

縮尺 5 万分の 1 仙台地域土地保全図  
付 属 説 明 書

—— 地震対策を中心とした土地保全策 ——

昭 和 59 年 3 月

国土庁土地局国土調査課

企画・立案・成果とりまとめ

国土庁土地局国土調査課

(担当 専門調査官 靱倉克幹)

協力機関

基礎地盤コンサルタント株式会社

(安田進, 長谷川章, 船山満ほか)

## まえがき

わが国は環太平洋地震帯に属し、世界でも有数な地震活動の盛んな国である。このため、過去に地震による被害を多く受けてきている。戦後の代表的なものだけを挙げても、南海地震（1946）、福井地震（1948）、十勝沖地震（1952, 1968）、新潟地震（1964）、伊豆半島沖地震（1974）、伊豆大島近海地震（1978）、宮城県沖地震（1978）等で大被害を受けてきている。これらの経験をもとに、建造物の設計にあたっては、耐震設計を施すようになってきつつあるが、まだまだ地震のたびに新たな種類の被害が認識され、設計手法の見直しが行なわれたりしているのが現状である。

このことは、地震に対する地盤応答をあらかじめ予測し、地盤特性に適った建造物設計、ひいては、これを反映させた土地利用計画樹立の必要性が高いことを示している。

そのためには、基礎地盤調査、地震力および被害の想定、土地利用の適性評価等を有機的に行ない、総合的な判断を行なわなければならない。最近、東海地震対策等により、地震動の想定や個々の建造物の被害想定を行なう手法が、いくつか開発されてきており、これらの個々の手法を活用し、総合的に検討を行なっていけば地震に対する土地保全対策は樹立できる。

わが国における最も新しい大地震である宮城県沖地震の際には、土木・建築建造物の破損、崖崩れ等の種々の被害が、かなり広範囲にわたって生じた。地震動の規模は超特大ということもなく、将来想定しておく地震動として、適当な大きさのものであった。そこで、「縮尺5万分の1土地保全基本調査（以下、今回の調査と呼ぶ）」においては、宮城県沖地震で被害を多く受けた仙台～塩釜～石巻地区をとりあげてみた。そしてこの地区について、次の検討を行なった。

- ① 宮城県沖地震の際の災害実態調査
- ② 将来の地震に対する被害想定
- ③ ①と②を比較し、適切なる予測手法の検討
- ④ ①～③をもとにした土地利用適性評価

検討結果は「縮尺5万分の1仙台地域土地保全図」として地震被害分布図、微地形分類図、地盤分類図、土地利用履歴図、防災保全等規制現況図および地震対策土地保全基本図にまとめている。

本書の第一部は、仙台地域を対象にして実施した調査検討結果について述べたものであり、第二部は、これらの検討を通じて得られた地震災害対策を中心に据えた土地保全調査手法を述べたものである。

わが国の国土面積は37万7,000平方キロである。この限られた国土に1億2千万もの人々が生活している。わが国の人口は、明治初年が3,480万人と推計されているから、110余年の間に2.4倍に増加した勘定になる。人口の急速な増加と集中による土地需要は、土地が本来もっている性状や機能に適合した利用だけでは充足できず、土地のもつ属性からみると必ずしもふさわしくない土地利用を余儀なくされているのが実状である。土地利用の高度化に際しては、地盤改良などの土地保全策の努力が一方では続けられてはいるが、災害の危険と背中合わせの生活や生産活動を余儀なくされているところが少なくない。

それぞれの土地が潜在的にもっている災害に対する脆弱性を認識しないまま高度な土地利用がなされた場合には、大災害に発展することが少なくないことは、1959年の伊勢湾台風をはじめ、多くの事例が示しており、1978年の宮城県沖地震もその例外でなかった。

土地利用の適性と制約性の評価は、土地の地形・傾斜、表層地質、土壌、土地利用現況などの中縮尺地図情報すなわち、縮尺5万分の1土地分類本調査の各成果を有機的に重ね合わせることによって可能とな

ると言われている。縮尺5万分の1土地分類基本調査は、すでに全国土の半分以上の地域の調査完了し、その成果は印刷刊行されており、土地利用の高度化が適正になされる区域の拡大が期待されるところである。

しかし、現実には、中縮尺土地分類地図情報が完備している地域内からも土地利用上の制約を無視した土地利用の高度化がなされ、集中豪雨や地震などの危険な自然作用に際して、災害規模を大きくさせている事が後を断ってない。その原因としては、この種の刊行物の存在が周知されていないこと、刊行物の入手が容易でないことなどのほかに、既刊の成果物から特定目的に必要な情報を読みとるのに幅広い知識と高度の判断力を必要としており、情報の有機的重ね合わせによる検討が模索の段階にとどまっていることを挙げることができる。

本書が、地震防災のための土地分類調査成果の有機的重ね合わせ手法の確立と土地保全策の樹立の一里塚として利用され、国土の開発と保全に少しでも寄与できれば幸いである。

なお、この調査は、国土庁土地局国土調査課で企画・立案・成果とりまとめを実施しており、現地調査と調査結果の解析の一部を民間コンサルタント（基礎地盤コンサルタント株式会社）に委託した。調査の過程で建設省、農林水産省、日本国有鉄道、宮城県、仙台市などの官公庁をはじめ、多くの機関から資料提供など便宜をはかっていただいた。とくに東北大学理学部地質学古生物学教室中川久夫助教授には、仙台・石巻地方の基礎地盤および地盤災害に関する貴重な資料の提供をいただき、調査のすすめ方についての御意見を賜った。これらの方々に厚くお礼を申し上げる。

# 目 次

## 第 1 編

§ 1 調査概要	1
1.1 調査仕様	1
1.2 調査目的	1
1.3 調査項目	1
1.4 調査の流れ	5
§ 2 基礎地盤調査	6
2.1 調査手順	6
2.2 地形・地質概要	7
2.3 微地形分類	9
2.4 基盤上面等高線	11
2.5 地盤分類	14
§ 3 地震災害実態調査	17
3.1 調査手順	17
3.2 仙台市及びその周辺における地震災害の概要	19
3.2.1 1978年以前の地震災害履歴	19
3.2.2 1978年宮城県沖地震の概要	21
3.3 地盤破壊	24
3.3.1 被害の概要	24
3.3.2 地盤破壊分布図の作成法	26
3.3.3 分布図からみた特徴	26
3.4 建築物の被害	27
3.4.1 被害の概要	27
3.4.2 建築物被害分布図の作成法	28
3.4.3 分布図からみた特徴	28
3.5 公共土木構造物の被害	29
3.5.1 被害の概要	29
3.5.2 公共土木構造物被害分布図作成法	43
3.5.3 分布図からみた特徴	43
3.6 埋設管の被害	44
3.6.1 被害概要	44
3.6.2 埋設管被害分布図作成法	49
3.6.3 分布図からみた特徴	49
3.7 その他の被害	49
3.7.1 農作物被害	49

3.7.2	津波浸水箇所	52
3.7.3	火災発生箇所	52
3.7.4	貴重な自然，文化財被害	52
3.7.5	避難路，場所，緊急輸送路	52
3.7.6	交通規制地区	56
3.7.7	情報システム被害	60
§ 4	地盤と地震災害のまとめ（1978年宮城県沖地震）	63
4.1	基盤地盤調査結果と地震災害結果のまとめの方法	63
4.2	地震被害と微地形分類図	63
4.3	地震被害と地盤分類図	64
4.4	地盤破壊と災害の関係	64
4.5	地震災害を考慮した地形・地質分類	65
4.6	各分類毎の地震被害具体例	65
§ 5	地震応答と被害想定の調査	69
5.1	調査手順	69
5.2	将来想定しておくべき地震動	70
5.2.1	調査地付近の地震活動度	70
5.2.2	調査地域の活断層	72
5.2.3	調査地域に予想される地震	73
5.3	基盤・地表での加速度分布の想定	74
5.3.1	最大加速度の予測式	74
5.3.2	新耐震の式を用いた加速度想定結果	93
5.3.3	今回考案した推定方法	94
5.4	地盤破壊の想定	96
5.4.1	地盤破壊の種類と重要性	96
5.4.2	液状化の予測方法	99
5.4.3	軟弱土地盤の予測方法	101
5.4.4	ガケ崩れの予測方法	101
5.5	建築・土木構造物被害の想定	101
5.5.1	耐震設計方法の現状	101
5.5.2	建築物の被害想定	103
5.5.3	土木構造物の被害想定	117
§ 6	土地利用適性評価	129
6.1	適性土地利用ということ	129
6.2	土地利用の現況と履歴	130

6.3 法令による土地利用の規制	132
6.4 土地利用適性評価の結果	132
§ 7 まとめ	152
参考文献	154
<b>第 2 編</b>	
§ 1 手引書の範囲	159
§ 2 調査手順	159
§ 3 調査方法	164
地震災害実態調査	164
基礎地盤調査	165
地震応答と被害想定	168
土地利用適性評価	177
§ 4 あとがき	182
参考文献	182
巻末資料	183





第 1 編



# § 1 調査概要

## 1.1 調査仕様

- (1) 調査件数 仙台地域縮尺5万分の1土地保全基本調査
- (2) 調査範囲 縮尺5万分の1地形図図幅「仙台」、「塩釜」、「松島」、「石巻」の内、図1-1に示す範囲
- (3) 調査期間 昭和56年度（企画立案現地調査）、昭和57年度（成果図の編集・印刷）
- (4) 調査機関 国土庁土地局国土調査課
- (5) 調査協力機関 基礎地盤コンサルタンツ株式会社

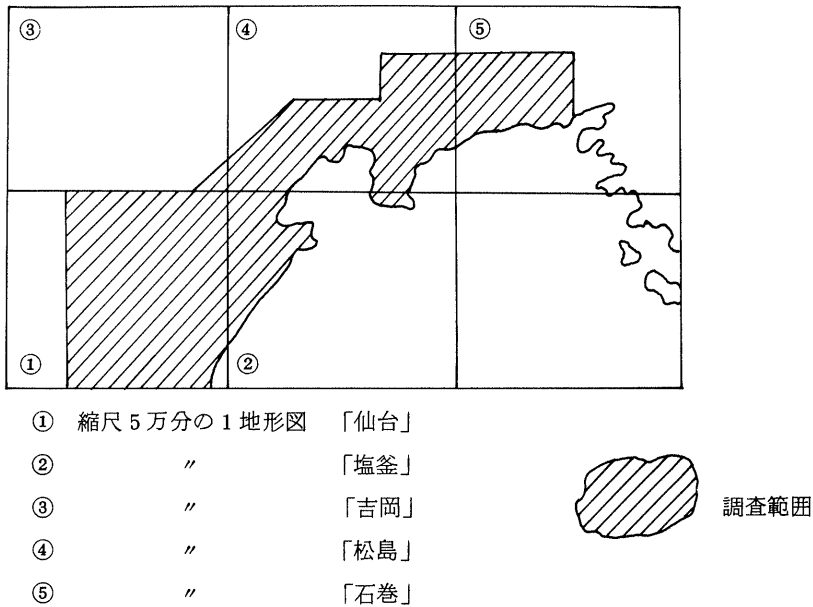


図1-1 調査範囲図

## 1.2 調査目的

本調査は、前記範囲について地震災害を中心として土地保全上必要な事項を調査し、既刊の土地分類基本調査の成果が地震対策土地保全上どのように機能するかを検討し、この種の調査・解析手法の確立を試みる。

## 1.3 調査項目

本調査は次の5項目について実施する。

- ① 地震災害実態調査（宮城県沖地震）
- ② 基礎地盤調査



① 地震災害実態調査

② 基礎地盤調査

③ 地震応答調査

④ 土地利用適性評価

⑤ 土地保全調査（地震対策）手法確立

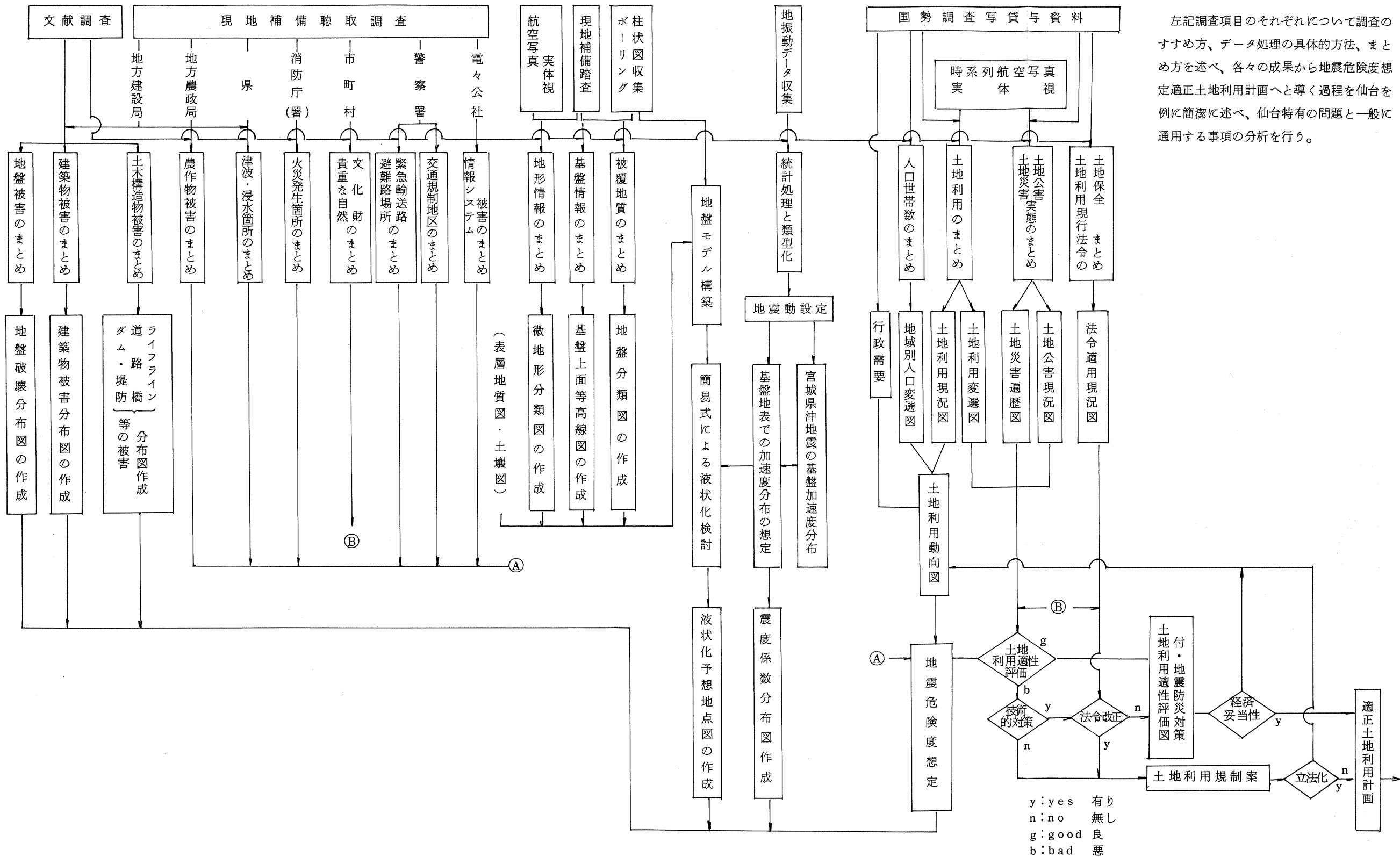


図1-2 縮尺5万分の1 土地保全調査流れ図

- ③ 地震応答調査
- ④ 土地利用適正評価
- ⑤ 土地保全調査（地震対策）手法確立

#### 1.4 調査の流れ

調査は、前項の5項目についてそれぞれ資料収集とその解析、編集を中心にすすめた。また必要に応じて航空写真実体視による補備調査を行なった。

本調査においては、地震災害（宮城県沖地震による被害）のまとめに関する資料、及び地震防災に関する有益な資料を収集することが重要な位置を占めている。これらの資料収集方法としては、

- i) 既刊の図書・雑誌等からの収集
- ii) 関係省庁・自治体・公益事業体等の未公表資料からの収集がある。調査手順としては、第1に i) の収集方法を行ない、その中で原典資料を参照する必要があるものについては、第2に ii) の収集方法を行なった。

本調査の流れ図は図1-2に示すとおりである。

## § 2 基礎地盤調査

### 2.1 調査手順

図1-2に示す調査の流れのうち基礎地盤調査に関するものを以下に抄録する。

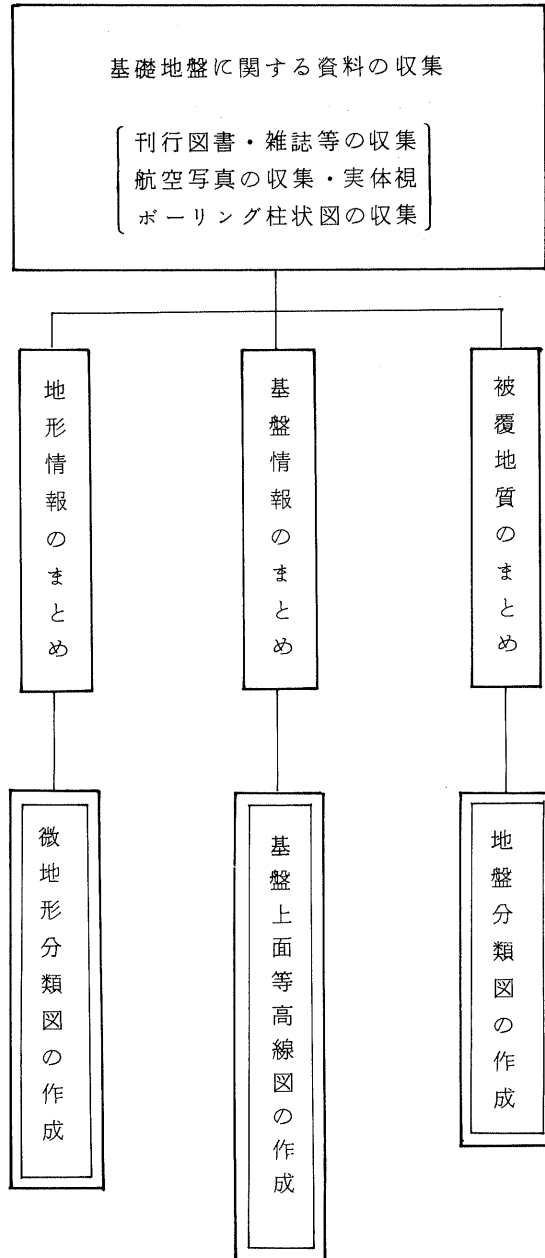


図2-1 基礎地盤調査流れ図

## 2.2 地形地質概要

調査範囲は、宮城県仙台周辺地域～塩釜・松島地域～石巻地域であり、地形地質の特徴から図2-2に示すとおり、北上山地・新第三層分布地域・段丘地帯および沖積平野の3地区に分けることができる。また調査地周辺に分布する地質の層序は表2-1のとおりである。

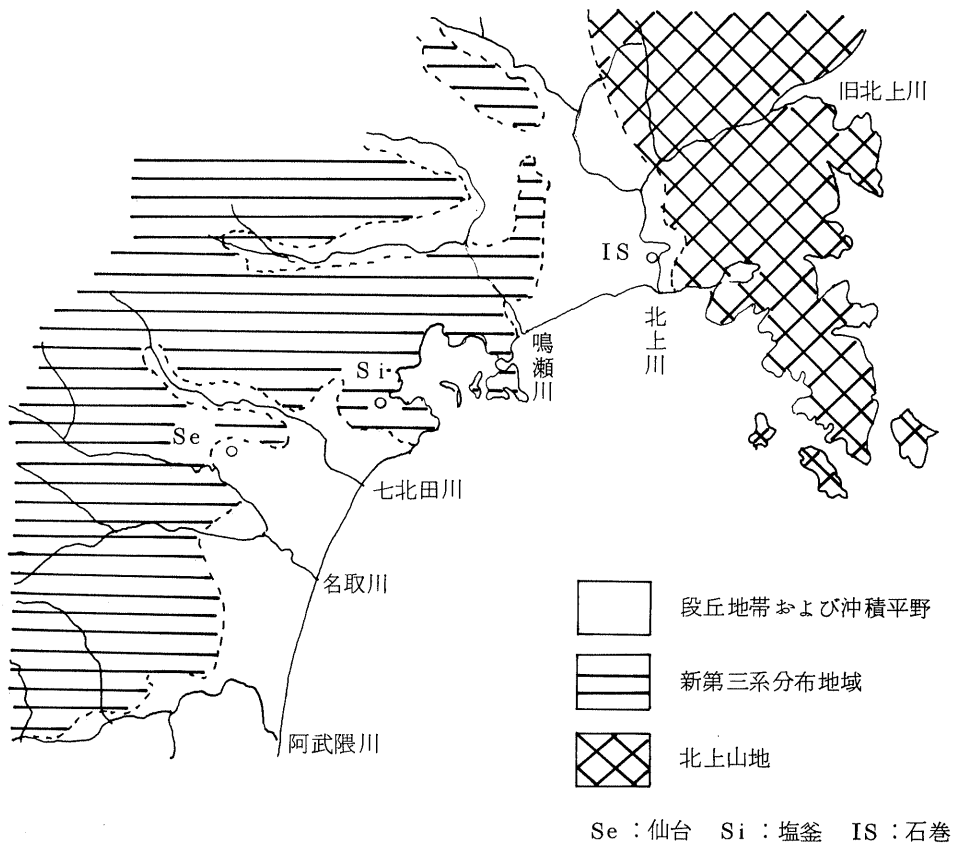


図2-2 地形地質区分概略図(参考文献(1)を参考とした)

北上山地は新第三紀層の基盤をなす中生層およびそれらを入した花崗岩類からなる地域である。北上山地は中生代後期に褶曲断層を伴う著しい造山運動を受けて強く変形し、さらに花崗岩類によって貫かれた地域であり、その後も隆起を続けていて、第三紀以降ずっと陸地として存続した安定地塊でもある。<sup>(1)(2)</sup> 構成岩石は一般に堅硬で風化・浸食に強く急峻な山腹斜面を作ることが多い。

北上山地と阿武隈山地の間に分布する丘陵地から奥羽脊梁山脈に連なる地域は、新第三紀層からなっている。また、新第三紀層は、丘陵を開析した低地や太平洋沿岸に広く発達する海岸平野の下に伏在し、低地や平野の基盤を構成している。



表 2 - 1 層序対比表<sup>(2)</sup>

地質時代		仙南地域及び阿武隈山地	仙台周辺地域	塩釜・松島地域	仙北地域及び北上山地				
新 生 代	第四紀		沖積地堆積物						
	更新世		段丘堆積物						
	鮮 新 世		青葉山層			清滝層			
			仙 台 層 群			大年寺層 八木山層 広瀬川・凝灰岩 北山層	向山層	瀬峰層	真滝層
						竜の口層 亀岡層	竜の口層 下馬層	竜の口層 有賀層	油島層 有賀層
						滝安山岩			
			中 新 世			沼田層 白石層	萩保層群 白沢層 湯元凝灰岩		
	福田層 金ヶ瀬層 鉢森山 火山岩類					名取層群 綱木層・七北田層 旗立層・青麻層 茂庭層 高館安山岩類 槻木層	松島凝灰岩 網尻層 佐浦町層 塩釜集塊 岩類	黄金迫層 追戸層 笹岳山 安山岩類	下黒沢層
	古第三紀								
	中 生 代		白亜紀			花崗岩類			花崗 大島層群 大島層 新月層
ジュラ紀		相馬層群			十三浜層群 橋浦層群				
					志津川層群 皿貝層群				
三疊紀				稲井層群					
古 生 代	二疊紀	弓折決層 大芦層 上野層			登米層				
	石炭紀	立石層 真野層							
	デボン紀	合の沢層							

段丘地帯および沖積平野は、塩釜～松島地域にかけて位置する新第三系の丘陵地によって、北方の北上川、鳴瀬川流域の石巻地域と南方の七北田・名取・広瀬・阿武隈川流域の仙台地域に区分される。段丘地形は更新世の海水準降下期に形成されたもので、仙台地域で良く発達し、次のように区分されている<sup>(3)</sup>。

V面	本砂金面	(標高300～400m)
IV面	青葉山面	( " 80～210m)
III面	台の原面	( " 40～90m)
II面	2 仙台上町段丘	( " 30～70m)
	1 仙台中町段丘	( " 25～60m)
	仙台下町段丘	( " 20～50m)

本砂金面(V面)は奥羽脊梁山脈東縁の丘陵頂部に弱い波状をなし、断片的に残っているにすぎない。青葉山面(IV面)も開析された段丘面である。台の原面(III面)は仙台市街地を取り巻く丘陵に明瞭な段丘面として発達している。台の原面より新期のII面・I面の段丘群は仙台市の市街地をのせて発達しているほか、宮城県内の各河川沿いにも発達しているのが認められる。

沖積平野は海水準最下降期に形成された埋没谷を埋積した堆積物、いわゆる沖積層からなる。

仙台地域の沖積平野(以下仙台平野という)はその西限を比較的明瞭な直線的な境界で新第三系分布地域および段丘地域と接し、その東方を多賀城～亶理にかけた約40kmのなだらかな海岸線によって限られた東西幅が約10kmの南北に細長い海岸平野となっている。その西限の直線的な境界部分には長町一利府断層、大年寺山断層等があり、それらは活断層と考えられている(参考文献(2)、(4)による。ここでいう活断層とは過去200万年前から現在までの間に活動したとみなされる断層をさす)。なお、1978年宮城県沖地震の際に述べた断層群が活動した形跡は認められていない。

仙台平野の大部分は、河床勾配の急な七北田川・名取川・広瀬川によって運搬された主に粗粒な碎屑物から構成されている。

石巻地域の沖積平野(以下石巻平野という)には、仙台平野より短い約20kmの海岸線があり、北上川・鳴瀬川・定川などの河川が太平洋に注いでいる。北上山地および新第三系分布地域との境界は仙台平野のように直線的でなく複雑に入り込んでおり、北上川等の河川沿いに発達した平野である。これらの河川の河床勾配は緩く、そのため運搬される碎屑物は仙台平野の河川に比べ粗粒碎屑物がほとんどなく、石巻平野は主に細粒な堆積物から構成されている。

松島～塩釜地域は、前述の仙台・石巻平野を境するように位置し海岸線が複雑に入り込み、また湾内には多くの島々が散在し、そのすぐれた自然の風景から日本三景の一つにあげられている(県立自然公園に指定)。湾内に注ぐ河川は高城川が最大である他は小規模なものばかりである。同地域は新第三系が分布し、河川の河口付近に小規模な沖積低地が形成されている。また海岸段丘の発達は悪いが、海岸崖、海食洞、ノッチなどの侵食地形がみられる。

### 2.3 微地形分布

調査範囲における微地形を次のように分類し、微地形分類図にまとめた。

- ① 山地・丘陵地
- ② 段丘(開析 状地を含む)

- ③ 自然堤防（発達の良好な部分）
- ④ 自然堤防（発達の微弱な部分）
- ⑤ 後背湿地
- ⑥ 旧河道
- ⑦ 浜堤
- ⑧ 埋立地
- ⑨ 河原・砂浜
- ⑩ 造成地（埋土部）
- ⑪ 段丘崖

前頁の地形地質的な特徴から区分した北上山地、阿武隈山地、新第三系分布地域は、①山地、丘陵地、一部⑩造成地に分類され、段丘地帯は②段丘、沖積平野③～⑪に細かく分類される。なお、分類は航空写真の実体視のほか、既存の資料（主に文献2）を参照して行った。

分類した各々の微地形の特徴について以下にまとめる。

#### ① 山地・丘陵地

山地および丘陵地は主として中・古生層および新第三層からなっている。中・古生層の分布のする北上山地は急傾斜面が多く、新第三層の分布する松島～塩釜および仙台周辺は丘陵となっている。

#### ② 段丘

段丘は、仙台周辺に良く発達し、大きく5段に区分されている。古い段丘は面の傾斜が強く、V面の本砂金面では緩い波状を呈している。塩釜～松島地域は、段丘の発達が悪い。

#### ③④ 自然堤防

一般に、自然堤防は洪水時などに河川沿いに形成された微地形で、現在は現・旧道沿いの帯状の微高地をさす。幅は一定でなく、形も複雑である。また、構成土層は主に砂質土からなる。ここではその発達の程度から、「発達の良好な部分」と、「発達の微弱な部分」に区分した。

仙台平野では、名取川・広瀬川沿いに発達良好な自然堤防が多く認められ、発達微弱な部分も含めると現在の河道を中心にして片側約5kmの幅をもつ自然堤防帯が存在している。七北田川沿いでは、現河道沿いに発達良好な部分があり、その外側に発達微弱な部分が認められる。

石巻平野では、仙台平野に比べ自然堤防の発達は悪く、北上川では現河川沿いのほか、旧河道沿いの一部に認められ、定川の現河道沿いに発達微弱な部分が断片的に認められるにすぎない。

#### ⑤ 後背湿地

後背湿地は、海岸や河岸に沿って発達する浜堤、自然堤防などの微高地背後の湿地である。洪水などで氾濫した時にはいつまでも水の退かないところであり、堆積物は一般に細粒で泥炭層を在することが多い。とくに、仙台地域では七北田川と広瀬川の自然堤防にはさまれた後背湿地（苫竹～福田町）に泥炭層が広く分布しており、水はけの悪い小規模な沼地、湿地が点在している。

#### ⑥ 旧河道

旧河道は、過去に河道であった低いところで、仙台・石巻地域共に自然堤防間にはさまれて認められる。いずれも地下水位は高く、水はけは悪い。とくに仙台地域の名取川流域では自然堤防に伴った旧河道が断片的な旧河道が断片的ながら多く存在し、しかも曲流が著しい。当時の名取川はかなり暴れ川であったことが推定される。

⑦ 浜堤

浜堤は、海岸線にそって、狭長で直線的な緩い起伏をもつ微高地であり、主として海成の砂からなる。仙台平野では4列ないし3列の浜堤が発達している。かつての陸地であった松島～石巻の新第三層分布地域の山地・丘陵地に近い地域では、4列でしかも各々の幅も広いが、陸域からも遠く、碎屑物を供給する河川の河口から離れている地域では、列数も3列と少なく、その幅も狭く、しかも断続的となる。石巻平野も仙台平野と同様な傾向にある。これらの浜堤の間には、かつての潟湖のなごりである後背湿地（浜堤間低地）が存在している。

⑧ 埋立地

埋立地はかつての海水域潟湖に土砂を搬入して陸地としたところである。名取川河口付近右岸（閉上）の港湾・宅地、塩釜港の工場・港湾施設・火力発電所などの敷地および石巻地域の港湾施設はすべて埋立地である。

⑨ 河原・砂浜

とくに説明するまでもないが、河原は河川敷内の砂質微高地であり、砂浜は砂からなる海岸である。

⑩ 造成地（埋土部）

仙台市の新興住宅地である鶴ヶ谷～旭ヶ丘～黒松～桜ヶ丘～中山および、向山～青山～緑ヶ丘の地域は、丘陵地を切り切土を谷地に埋めた人工的な平坦地といゆる造成地である。石巻地域では、石巻神社のある丘陵地を切り盛りした新興の宅地がそれである。

## 2.4 基盤上面等高線

仙台・石巻平野はいわゆる沖積平野であり、それを構成する堆積物は沖積層である。このうち、仙台・石巻平野については、その基盤上面形を微地形分類図に等高線で表示した。<sup>(5)</sup>

沖積層という用語は二通りの意味に使われている。ひとつはいまから約18,000年前、氷河時代の最大海面低下期（主ウルム氷期）に存在した谷を埋め立てた堆積物を総称するものであり、他の一つは主ウルム氷期の谷を埋めた堆積物のうち最近1万年間（完新世）の堆積物に限定しての呼称するものである。仙台平野の地下には、更新世末期の海水準低下に対応して、鮮新世の竜の口層を主体とする地層を削り込んで形成された埋没谷が存在し、そこには未固結な各種の碎屑物が厚く堆積している。全体として見た場合、これらの未固結堆積物は、①最大海面低下期に続く海水準の上昇期に堆積したものであり、②海面上昇は必ずしも一様でなく停滞期や若干の下降期の間にはさんでいて軽微な不整合や層相変化によって未固結堆積層は下部砂レキ層・中部粘土層・上部砂層に3区分されているが、この地域で完新世堆積物を限定するには未だ証拠不十分である。

以上のことから、ここでは氷河性海水準変動を指標として、最大海面低下期に形成された埋没谷を埋め立てて、堆積した一連の地層を一括して扱うこととし、これを“沖積層”と呼ぶことにする。

仙台平野は、北から七北田川、名取川、阿武隈川等の諸河川によって供給された各種の碎屑物からなり、基盤地質は大部分が鮮新世竜の口層の砂岩・凝灰岩である。基盤に刻まれた埋没谷は、七北田川・名取川で明瞭に現われている。埋没谷底深度は、現海岸線付近で七北田川が-60m、名取川が-70mであり、海岸線より約6kmまでが緩い勾配で、それより上流では急勾配となる。また、沖積平野の西限にあたる地域では、基盤上面等高線が地形区分の境界と平行し、勾配も急となる。これら段丘地形面の撓曲、直線的な地形区分境界線の存在と地質構造の特徴（地層の不連続）などから、丘陵・台地地

帯と低地地帯を境いする北東から南西に走る断層が推定されていて、長町一利府構造線と呼ばれている。

名取川・七北田川の埋没谷には、深度－50m～－60mにかけて広がる埋没平坦面が存在している。とくに名取川右岸の平坦面は幅が2km～3kmと広く発達している。また、塩釜－多賀城丘陵に接する沖積平野下の深度－10m～－20mにも平坦面が認められる。

仙台平野を形成する沖積層は、七北田埋没谷と名取・広瀬川ではその特徴が異なっている。以下、各埋没谷ごとにその特徴をまとめる。

#### i) 七北田川埋没谷

七北田川埋没谷の沖積層は次のように細分されている。(2)(5)

- a) 上部砂・粘土層(3～10m)：浜堤間湿地堆積物。自然堤防・後背湿地の堆積物等からなり、微地形と密接な関係をもつ。有機質に富み、苫竹・福田町でピート層が厚く分布し、軟弱地盤を形成している。
- b) 上部砂層(12～20m)：海浜性の中粒～細粒砂で、浅海性の貝化石を含む。内陸部では、層厚が急減し消滅する。
- c) 中部粘土層(0～10m)：内湾性の貝化石を含んだ海成粘土層。内陸部に向って薄くなる。
- d) 下部砂礫層(5～15m)：下部は砂混りの礫、上部はシルト混りの礫が多い。内陸部に向って厚さを増す。
- e) 下部粘土層(0～15m)：有機物に富む陸性粘土で、内陸部に向って徐々に薄くなり、消滅する。
- f) 最下部砂礫層(15m±)：最低海水準期から海進期にかけての堆積物。上流部では下部粘土層が消滅し、下部砂礫層と合致して区別が困難となる。

#### ii) 名取・広瀬川埋没谷

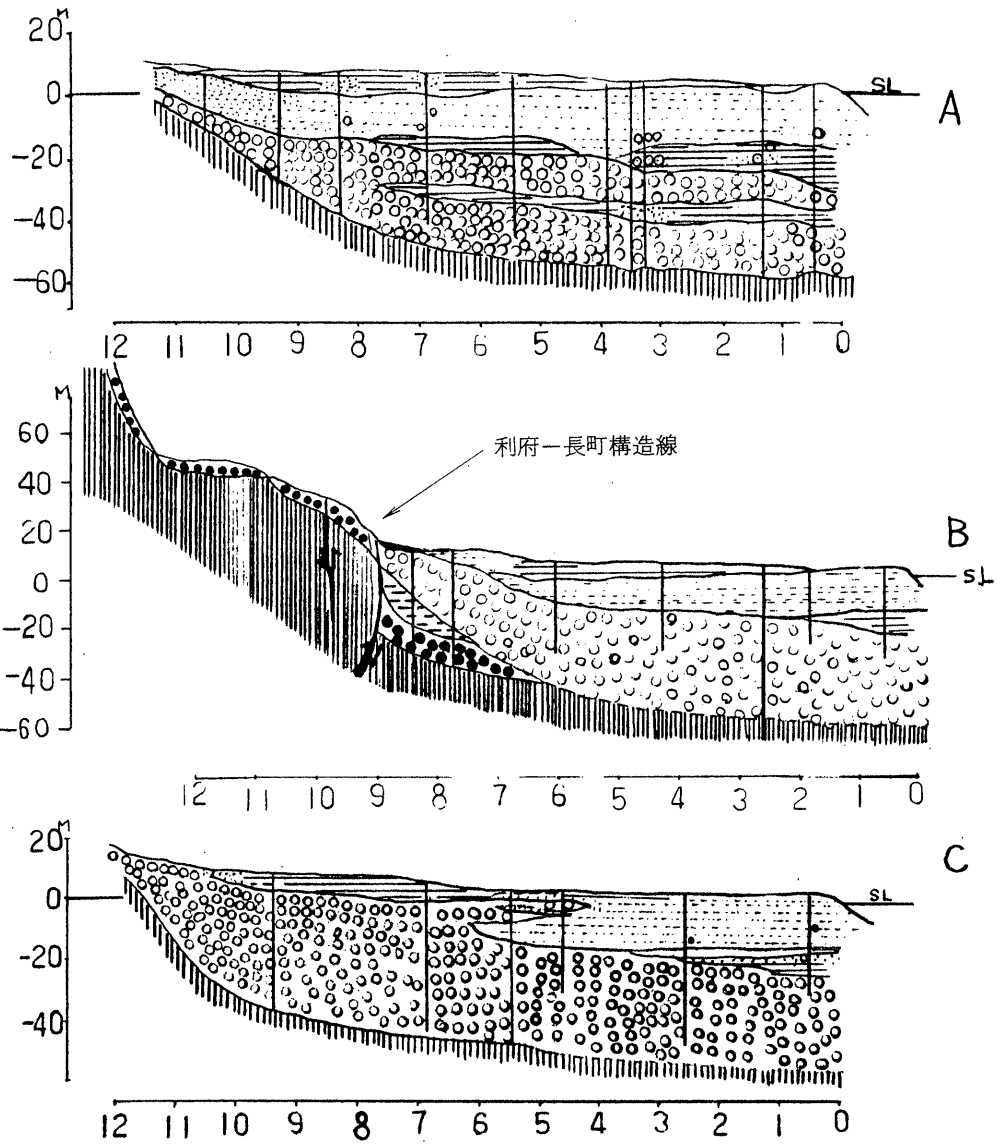
名取・広瀬川埋没谷の沖積層は、次のように細分されている。(2)(5)

- a) 上部粘土・砂層(0～8m)：七北田川埋没谷の堆積物と同様で、自然堤防微高地は砂～シルトからなり、後背湿地では泥炭～泥質物からなっている。
- b) 上部砂層(0～20m)：浅海性堆積物。内陸部へ5～6km付近で消滅する。
- c) 中部粘土層(4～5m)：七北田川埋没谷と比べ薄く、貝化石も少ない。
- d) 下部砂礫層(40m±)：シルト・粘土混りの砂礫層。まれに中部に薄い粘土をはさんでいる。

七北田川埋没谷の下部砂礫層と同じ。

前項の微地形分類と対照すると表層部に分布する上部砂・粘土層は、現在の地形を形成する自然堤防、後背湿地、旧河道と密接な関連を持っていることがうかがえる。

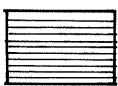
洪水によって山地・丘陵地から運搬された多量の碎屑物を含む河川水が通常の河道を越え、低地にあふれ出すと、その流量は急速におとろえ、運搬力が弱まる。そして、そこに砂などの比較的粗粒な物質が堆積し、更に河道から遠ざかると流水の流速は更に遅くなり、シルト・粘土などの細粒物質が堆積する。これらの現象が繰り返されると河道沿いの微高地・自然堤防は成長して、後背湿地との対照が明瞭になってくる。そして、後背湿地には沼や泥炭地になることが多い。しかし、流路が変わればこの上に自然堤防が形成されることもある。表層部の上部砂・粘土層は以上の過程によって形成されたものである。



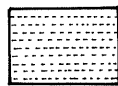
断面 A：七北田川に沿う地質断面図(5)

” B：広瀬川・名取川に沿う地質断面図(2)

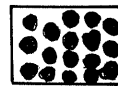
” C：名取川南側に沿う地質断面図(5)



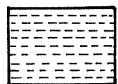
粘土



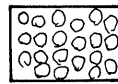
砂



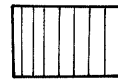
段丘堆積物



シルト



礫



基盤

図2-1 各河川に沿う地質断面図

石巻平野は北上川・定川から供給された碎屑物からなる。北上川埋没谷は海岸線で-90m以深の谷底深度をもち、10km内陸側でも-80mであり、その勾配は仙台平野の各河川の谷底よりも緩勾配であり、その谷壁は極めて急峻である。定川埋没谷の谷底深度は-80m以深であるが、内陸側8km付近では-20mとなり谷底勾配も北上川より急勾配である。

i) 北上川埋没谷(下流)

北上川下流の埋没谷を埋積する沖積層は次のように細分されている<sup>(2)</sup>。

- a) 上部砂・粘土層(0~20m)：陸成層。有機物に富んだ砂・粘土互層で、泥炭層の薄層をはさんでいる。
- b) 上部砂層(20m)：海浜性貝化石を含む。浜堤群を構成する砂層で、海岸から内陸部へ2km程度まで発達し、より内陸側では陸成粘土層へと層相変化する。
- c) 中部粘土層(20~35m)：海成粘土層で、佐沼・若柳の内陸部まで発達する。海性貝化石を多く含む。
- d) 下部砂・粘土層(40~50m)：砂・粘土の互層で有機物を含む沼沢地ないし三角州堆積物である。
- e) 下部砂礫層(3~10m)：埋没谷の谷底を埋めて発達する河成の砂礫層。

ii) 定川埋没谷

定川の埋没谷を埋積する沖積層は、基本的には北上川下流の沖積層と同じである。

- a) 上部砂・粘土層(0~15m)：浜堤間湿地堆積物と、定川によってできた陸成堆積物とからなる。浜堤間では薄く、内陸側ほど厚い。
- b) 上部砂層(15~20m)：海浜性堆積物。貝化石を含む。
- c) 中部粘土層(15m)：海成堆積物。
- d) 下部砂・粘土層(40~45m)：沼沢・三角州堆積物。下部に有機物を多く含む。
- e) 下部砂礫層(2~15m)：河成層。内陸側で厚くなる。

2.5 地盤分類

本調査では「道路橋示方書、V耐震設計編」<sup>(7)</sup>の考え方に準拠して既存のボーリング柱状図(未公表資料を含む)から沖積平野の地盤分類を行ない、地盤分類図にまとめた。

道路橋示方書における構成土質の標準貫入試験によるN値とその層の厚さから次のように分類されている。

すなわち、砂質土にあってはN値30またはこれ以下のもの、粘性土にあってはN値10もしくはこれ以下のしまりの悪い地層をA層「沖積層」とし、これらの厚さがそれぞれ

0m	.....	の場合	第1種地盤	
10m未満	.....	"	2	"
10m~25m未満	.....	"	3	"
25m以上	.....	"	4	" と定義している。

また、A層よりもN値の大きいしまり地層をD層(洪積層)として、岩盤とは区別し、さき第1種~第4種地盤の定義はD層の厚さがA層の厚さに比べて無限に厚いと言う前提をおいている。D層の厚さが既知の場合には図2-2によって地盤種別は定められることになっている。

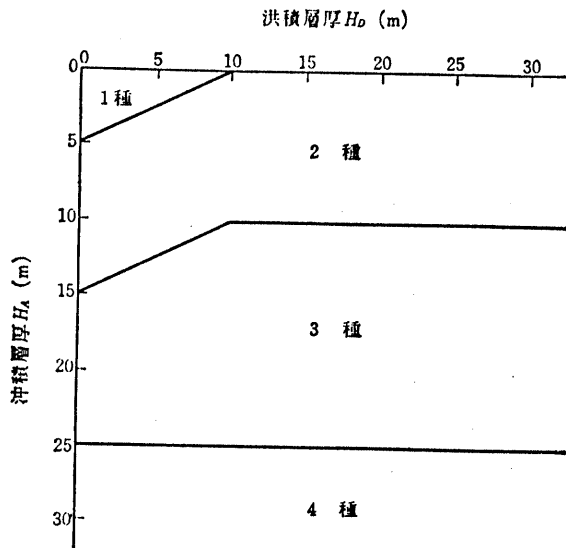


図2-2 沖積層厚 $H_A$ と洪積層厚 $H_D$ による地盤種別<sup>(7)</sup>

地盤分類図は既存のボーリング柱状ごとにA層の厚さを求め、各地点における層厚から等層厚線図を描いて作成した。なお、作成に際しては微地形分類図・基盤上面等高線図を考慮した。上記の方法によって求められる地盤の区別は、A層の層厚によって決まり、泥炭層や液状化の危険性のある砂層を表示できないため、次の2種を追加表示することにした。

- 泥炭層分布地域 …………… 第5種地盤
- 液状化の危険性の高い地域 …………… 第6種地盤

“5種地盤”は既存の表層地質図に示されている泥炭分布地域を参考に、微地形分類図の後背湿地と重複する地域(自然堤防と重複しない地域)が相当すると判断して図示した。その際、後背湿地と自然堤防の境界部は、両微地形の特徴を同時に持つ地域と考えられるので、ある程度の幅をもつ漸移帯を仮定し、それらの範囲を除いた。

また、ボーリング柱状図より、深度10m未満に $N \leq 2$ の粘性土層、泥炭層が3m以上の層厚を有する地点を選定し、微地形を考慮に入れ、合わせて図示した。

“6種地盤”は§5で後述する地震応答計算で、4ケースの想定地震動〔宮城県沖地震 $M=7.4$ 、同 $M=8.0$ 、内陸型地震(南)・(北)共に $M=6.5$ 〕全てに対して「液状化危険度が高い」と判定された地域と、1978年宮城県沖地震で液状化した地域を合わせて示した。

各々の地盤種別の特徴は次のとおりである。

- 1種地盤
  - 山地・丘陵地(新第三分布地域)及び段丘地域に相当する地域
- 2種地盤
  - 仙台平野では、名取・広瀬河流域の自然堤防地帯へ河口付近、梅田河流域、海岸沿いの浜堤地



帯および多賀城地域が相当する。また、山地・丘陵地のうち造成地の埋土部も2種地盤に含めた。

石巻平野では、山地・丘陵地周辺をとりまいて細長く分布し、仙台平野の分布形態とは趣きを異にしている。

○ 3種地盤

仙台平野では、海岸沿いの浜堤地帯に閉ざされた内陸に相当する地域である。また2種地盤内の仙台市長町付近・名取市手倉田付近・名取川沿いの日辺・種次～閑上付近も3種地盤に相当する。

石巻平野では、2種地盤同様に山地・丘陵地の周囲をとりまくような範囲に相当する。

○ 4種地盤

仙台平野では、利府町長者～新幹線車輛基地入口にかけた地域、仙台市燕鎖・福住町および名取市手倉田付近に分散して、わずかな範囲が相当するにすぎない。

石巻平野では、沖積平野の大部分を占めている。

○ “5種地盤”

既存資料(9)およびボーリング柱状図によると、規模の大きい泥炭分布地は、北より山王・福田町(苦竹)・田子・南田中・増田泥炭地と呼ばれ、中でも代表的なのは福田町(苦竹)泥炭地であり、5m～8mの層厚を有して泥炭層が分布している。また山王地域で6m～7m、増田地域で3m～4mの層厚を有している。

○ “6種地盤”

現河川沿い、海岸沿いおよび埋立地が相当する。また1ヶ所であるが田子泥炭地と自然堤防(発達微弱な部分)との境界部に相当する後背湿地内で、“6種地盤”に相当する結果が得られた。現河川沿いの締りの緩い砂層が分布するため、その地域で液状化が生じることは容易に推定され現に宮城県沖地震時には、液状化現象が見られた。自然堤防と後背湿地、とくに泥炭分布地域との境界部で危険性が高いということは、両地形の一般的な形成過程及び堆積物の特徴から判断すると、その境界部は両者の漸移的な特徴をそなえているためと推定される。すなわち泥炭層を含む粘性土層と砂層の互層であり、泥炭地に近い地点では泥炭層が卓越し、自然堤防に近い地点では砂層が卓越する。そしてその砂層は、ゆるく飽和しており、かつ粒度がそろっているため液状化の可能性が極めて高い。したがってそのような地帯は“5種地盤”または“6種地盤”のどちらかに含めている。また同様に発達微弱な自然堤防は、後背湿地との比高が小さいため水飽和している場合が多く地震の際に液状化する可能性が高く、“5種地盤”の中でもとくにその対策には考慮が必要である。

## § 3 地震災害実態調査

### 3.1 調査手順

本調査の最終目的は、地震災害を勘案した土地保全図を作成することにある。この意味において、1978年宮城県沖地震は、地震規模、災害の発生度合及びその調査精度からいって、今後の地震災害対策上最も基本となるものと考えてよい。そこで各機関で発表されている災害報告書から、対象物毎に被害の概要をまとめ、関係機関からの補備聴取結果もあわせて、地盤破壊、建築物被害、土木構造物被害に関して、被害分布図を作成した。

この結果と基礎地盤調査結果及び地震応答調査結果をかさね合わせることによって、被害分布の特徴を把握し、地震災害を勘案した土地保全図作成の基礎資料にあてようとしたものである。

地震災害実態調査の流れを図 3-1に示すとともに、分布図作成の流れを図 3-2に示す。

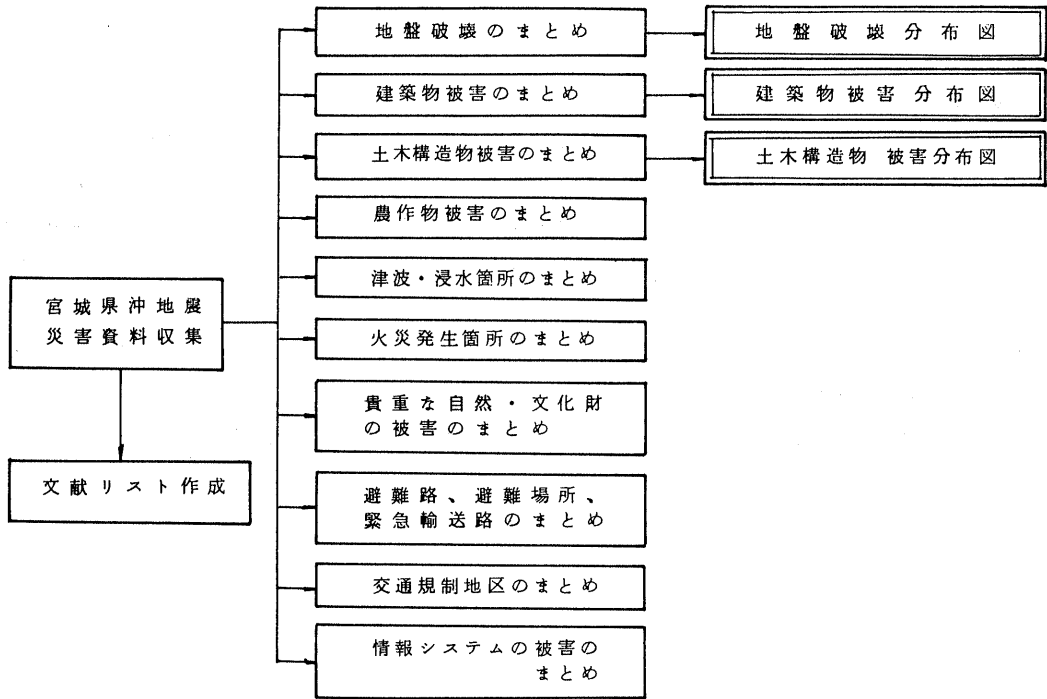


図 3-1 地震災害実態調査の流れ

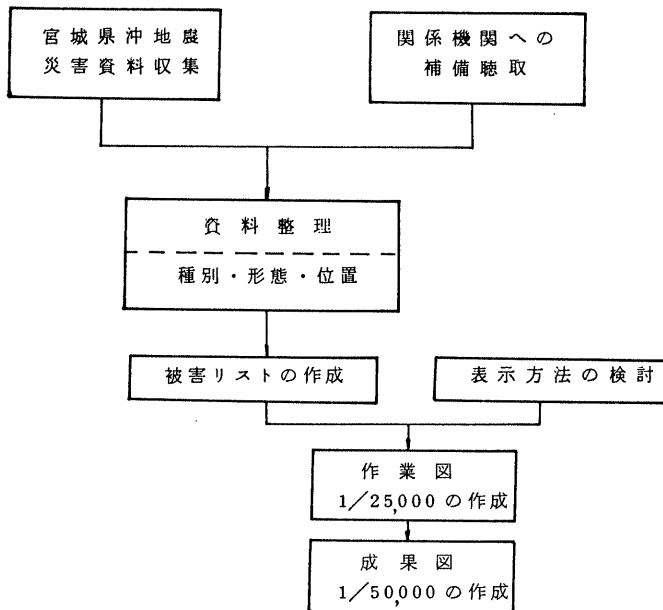


図 3-2 被害分布図作成手順

## 3.2 仙台市及びその周辺における地震災害の概要

### 3.2.1 1971年以前の地震災害履歴

大地震は地域によって異なるが、数十年あるいは、数百年の間をほぼ同一地域に繰り返し発生し、かつ地域別にみると大地震の発生過程や被害の状況には一定のパターンがあると考えられている。

これらのことは、膨大な過去の資料の解析により可能であり、現在もなお、有史以来の地震資料について、その確実度、統一性を高める努力がなされてきている。これらの成果から地震の発生機構についても次第に明らかになってきている。

ここでは、既往の地震災害報告書<sup>(13)</sup>、<sup>(14)</sup>から、以下のものを抄録した。

これらの研究によると、地震による被害形態は、海洋型と内陸型では異なり、海洋型でも震央が沿岸域と日本海溝側では異なるという。震央位置による被害形態の特徴は次のとおりである。

#### 1) 海洋型（日本海溝側）

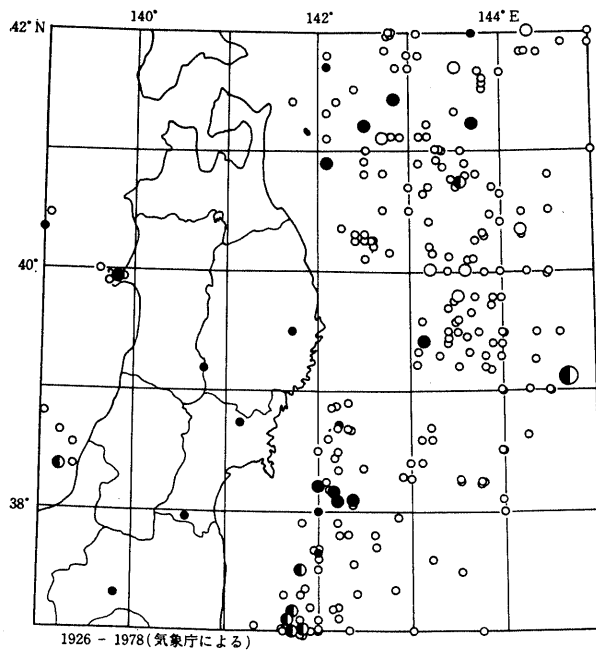
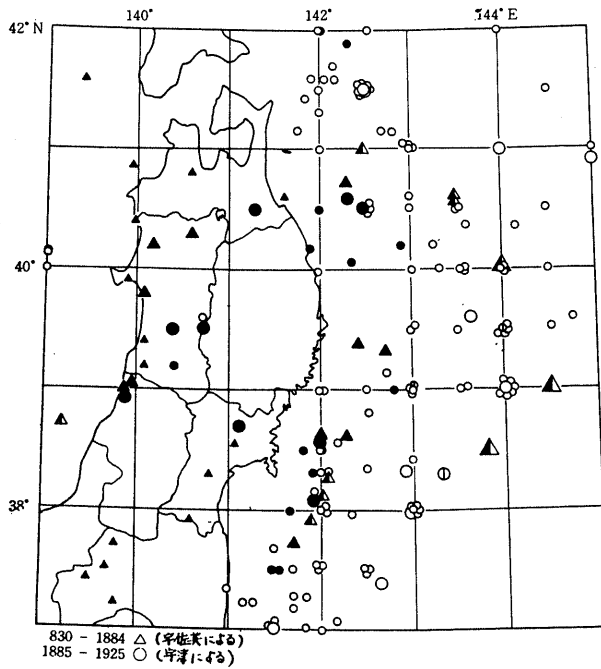
地震規模は大きいですが、地震動による被害はほとんどない。被害の大部分は津波によるものである。この代表例が1933年の三陸地震津による災害である。

#### 2) 海洋型（沿岸域）

地震動による災害がほとんどで、津波被害はあっても小規模である。この代表例が1978年宮城県沖地震である。

#### 3) 内陸型

地震規模が小さいため、災害は局所的である。この代表例が1962年宮城県北部地震である。



830-1884	1885-1978		△, ○ 地震動被害、津波被害なし
△	○	8 ≤ M	△, ○ 津波被害のみ
△	○	7 ≤ M < 8	△, ● 地震動被害、津波被害
△	○	6 ≤ M < 7	▲, ● 地震動被害のみ

参考 震央分布図 (M 6.0 以上、深さ 60 km 以浅)

### 3.2.2 1978年 宮城県沖地震の概要

日時：昭和53年（1978年）6月12日 17時14分頃

震央：宮城県金華山沖（北緯38度09分、東経142度13分）

震源の深さ：約40km

地震のマグニチュード：7.4

地震波の特性について以下のとおりまとめられている。<sup>(15)(16)(2)</sup>

- ① 一般に地表における加速度が大きかった。
- ② 顕著な方向性（仙台付近では、南北方向が卓越）が認められた。
- ③ 主要動の初期に大きい波形が現われた。

①について、新潟地震で最大加速度は、250gal程度であったが、今回の地震では、その2倍またはそれ以上の大きな加速度が地表で記録されている。

②について、地震波の方向性については、卓越の方向が必ずしも南北方向ではないが、この方向性は、ブロック塀の倒壊、東北石油タンクの亀裂、港湾護岸壁の被害にその影響がみられる。

③について、ケーソンなど比較的剛な基盤の上につくられた橋脚に亀裂、鉄筋の降伏座屈が発生していることについて、このことが一つの要因と考える。

宮城県においてまとめた同県の被害額は、表3-1の通りである。地盤破壊、建築物被害、土木構造物被害、埋設管（ガス・水道）の被害の概要については次頁で述べるが、本地震は、ガス・水道・電気のライフライン被害とともに、御町、苦竹を代表とする軟弱地盤地帯及び緑ヶ丘を代表とする沢部を埋積した人工盛土地等の新興開発地に顕著な被害が認められ、都市型災害として特徴づけられる。

表3-1 宮城県沖地震被害<sup>(15)</sup>（宮城県分）

（昭和53年9月18日現在）

区 分		単 位	数 量	被害額(千円)	摘 要
人	死 者	人	27		
	負 傷 者	〃	10,962		重傷者262人、軽傷者10,700人
住 家	全 壊	戸	1,377	59,959,134	
	半 壊	〃	6,171		
	一部破損(浸水)	〃	125,327		床上浸水3戸、床下浸水2戸、5,300千円を含む
	非 住 家	〃	43,238	18,926,380	
	小 計	〃	176,113	78,885,514	

区 分		単位	数 量	被害額(千円)	摘 要
医療・衛生施設	病 院	棟	119	349,218	公立 47棟 160,708千円 私立 72棟 188,510千円
	診 療 所 等	〃	194	40,600	公立 10棟 9,500千円 私立 104棟 31,100千円
	医 療 機 器 等	件	735	205,509	
	水 道 施 設	箇所		1,733,399	工業用水、広域水道を含む 64市町村 2広域水道
	清 掃 施 設	〃	37	1,292,377	
	そ の 他 の 衛 生 施 設	〃	34	1,643,463	
	小 計			5,264,566	
商 工	工 場 商 店		53,524	95,753,230	大企業 653件 25,337,050千円
	そ の 他 営 業 用 建 築 物	棟			中小企業 52,871件 70,416,180千円
	小 計		53,524	95,753,230	
耕 地	農 水 田	ha	61.2	132,000	
		畑			〃
	農 業 用 施 設	箇所	1,261	10,134,000	溜池 113 頭首工 20 揚水機 122ほか
	小 計			10,266,000	
農 産 物	農 作 物	ha	834.2	277,873	
	共同利用その他施設	箇所	903	1,595,358	
	小 計			1,873,231	
畜 産	家 畜 等	頭	1,844	2,851	
	畜 産 施 設	箇所	913	338,481	
	畜 産 品 等	件	3	3,575	
	小 計			344,907	
養蚕	養 蚕 施 設	箇所	7	10,070	
水 産	漁 船	隻	21	3,550	
	漁 港 施 設	箇所	109	2,493,000	外かく施設 26箇所 けい留施設 70 箇所 輸送施設 13箇所
	水 産 ・ 養 殖 施 設	〃	564	1,277,796	
	水 産 物 等	kg	286,880	78,307	
	漁 業 用 資 器 材	件	34	11,210	
	小 計			3,863,863	

表 3 - 1 続き

区 分		単 位	数 量	被害額(千円)	摘 要
林 道	林地・林道・治山	箇所	97	390,377	
	林産施設	〃	81	459,970	
	林産物	件	6	128,888	
	小 計			863,235	
教 育 施 設	小 学 校	校	360	1,931,173	国公立 358校 1,918,383千円 私立 2校 12,790千円
	中 学 校	〃	171	513,322	国公立 170校 512,972千円 私立 1校 350千円
	高 校	〃	103	1,617,377	公立 86校 992,766千円 私立 17校 624,611千円
	そ の 他	箇所	353	3,287,192	国公立 153校 1,357,534千円 私立 200校 1,929,658千円
	文 化 財 件		28	244,440	
	小 計			7,593,504	
公 共 土 木 施 設	道 路	箇所	2,154	5,005,793	
	橋 梁	〃	236	5,715,705	
	河 川	〃	482	12,822,659	
	海 岸	〃	14	433,656	
	砂 防 施 設	〃	15	437,383	
	港 湾	〃	83	3,745,872	外かく施設 11箇所 けい留施設 26箇所ほか
	小 計	〃	2,981	28,161,068	
そ の 他	鉄道その他交通施設		17	7,062,155	国鉄分 6,300,000千円 船舶 131,500千円
	電 力 施 設			2,960,000	
	通 信 施 設		2,660	850,000	電々公社分
	社会福祉施設		212	604,967	
	都 市 施 設		(4)129	925,664	下水道 838,453千円 都市公園 872,211千円
	ガ ス 施 設		190	947,000	
	そ の 他		142,536	225,357,62	
	小 計			35,884,958	
総 計			268,764,146		



### 3.3 地盤破壊

#### 3.3.1 被害の状況

地盤破壊という定義を大きなひずみが生じ流動的な状態となったものと仮定し、噴砂、噴泥、噴水が認められた地点（液状化地点）と斜面崩壊地点を調査対象とした。

図3-3は、土木学会<sup>(15)</sup>が調査した宮城県の液状化地点を示したものである。今回の地震で液状化に起因する海岸及び河川構造物の被害は認められるものの、新潟地震のように液状化そのものが大きく問題になったということにはなかった。これは、地盤構成が異なることに加え、新潟地震を教訓に、液状化しやすい範囲の重要構造物は対策工が施工されていたこと、新潟地震の場合より、液状化の激しさが異なることによるものと考えられる。

図3-4は、宮城県<sup>(13)</sup>がまとめた斜面崩壊の分布図である。この図から、斜面崩壊は石巻湾周辺の北上山地縁辺部と、松島湾周辺に集中していることがわかる。地質は、前者が層理面の発達した中生代の堆積岩とこれを貫く花崗岩からなり、後者が第三世紀の凝灰岩類からなり、両者とも急崖をなしている。前者の急崖は造構造運動によるものであり、

後者のそれは海蝕によるものである。こういった地形地質環境を反映して、斜面崩壊箇所数は多いが、規模の大きいものは少ない。ただし、緑ヶ丘を代表とする谷部を埋めた盛土の崩壊等、新興開発地の造成盛土の被害は著しく、今回の地震災害のうちでとくに注目すべき現象のひとつとなった。

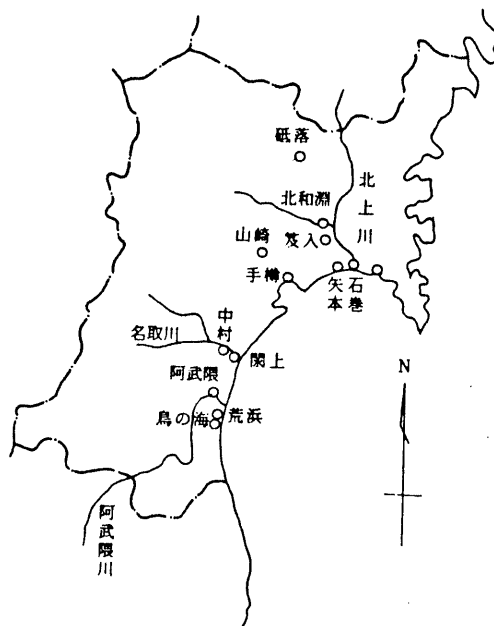


図3-3 液状化現象の認められた箇所<sup>(15)</sup>

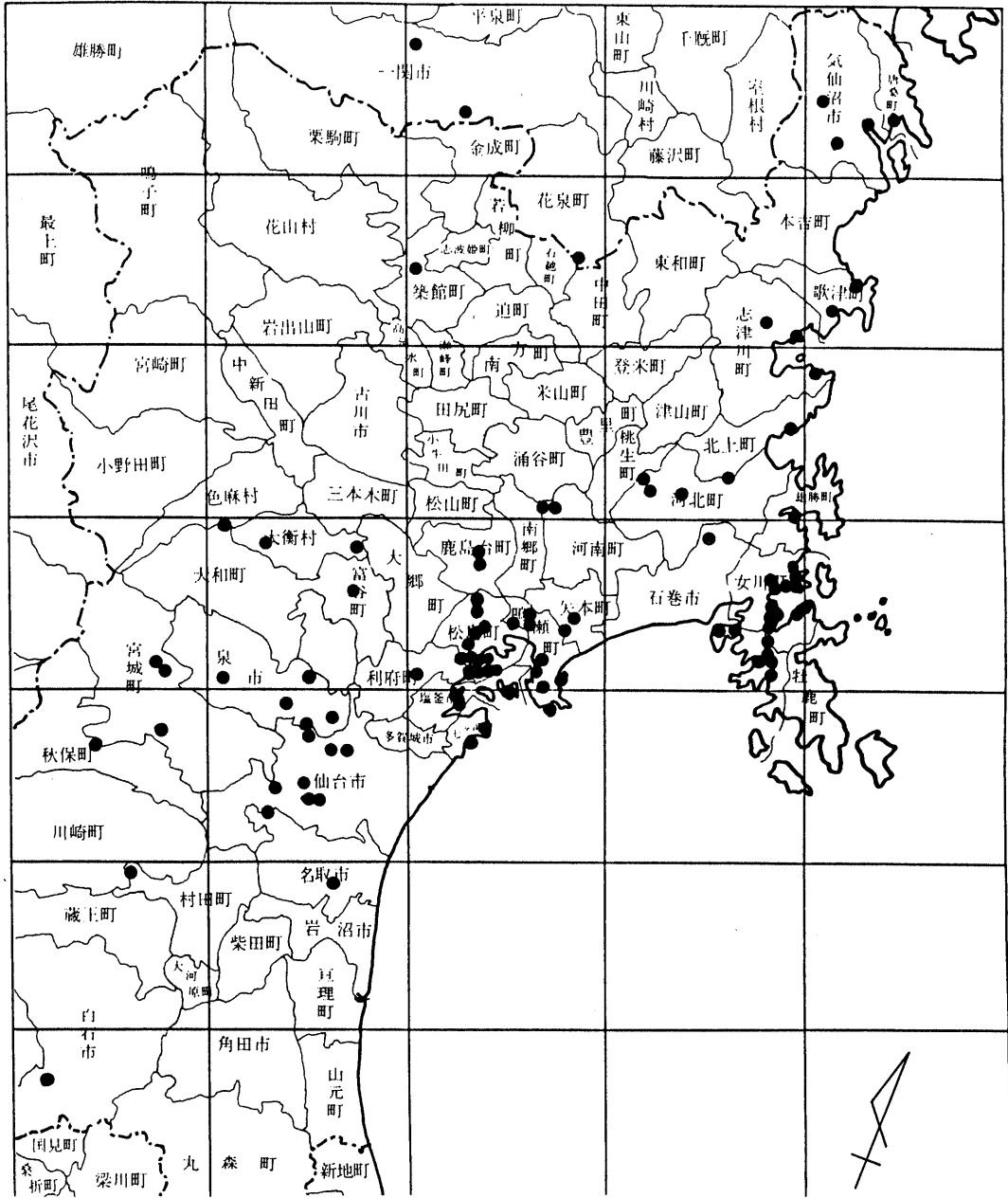
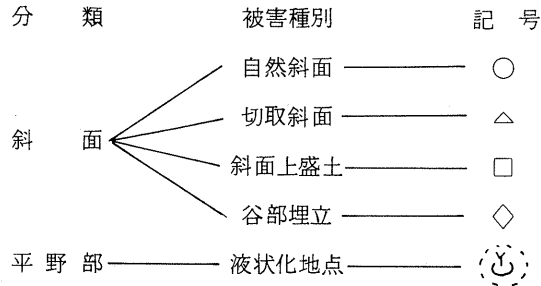


图 3-4 斜面崩壊分布图<sup>(13)</sup>

### 3.3.2 地盤破壊分布図の作成

地盤破壊分布図は、液状化地点、斜面崩壊に限って図示した。具体的には、総括的にまとめられている宮城県資料<sup>(13)</sup>、土木学会資料<sup>(15)</sup>、東北大学資料<sup>(16)(2)</sup>から、2万5千分の1地形図に被害位置をおとし、必要と認められるものについては、補完聴取を行なった。

成果図は、2万5千分の1の作業図から5万分の1に転記したものである。作業図には、種別により下記の記号により区分してある。



### 3.3.3 分布図からみた特徴

#### (1) 液状化地点

地震による地盤の液状化現状は、ルーズな砂が堆積する海岸線、河道沿いにおいて認められた。液状化現象の認められた地点のうち、石巻漁港及び七ヶ浜町にある火力発電所は埋立地であり、石巻市蛇田ニュータウン、利府町仙台新幹線車輛基地は水田部分に盛土した箇所である。また、名取川沿いの太子堂、猿俣付近の液状化地点は、破堤履歴のある箇所であった。同様の現象は落堀周辺にも認められた。

利府新幹線車輛基地の噴砂は、サンドマット及び構造物掘削埋戻し材料として使用されていた海砂が液状化したものと思われる。

一般的には液状化が生じた場合には、構造物に何らかの被害が生じる場合が多いが、ここでは、構造物そのものに大きな被害が認められていない。

この他、詳細な位置が不明のため図には明示していないが、名取川地区の貞山堀にも、液状化に起因する被害が認められている。

#### (2) 斜面崩壊

本図幅内で、自然・切り取り斜面の災害が顕著に認められる範囲は、松島湾周辺の急傾斜地である。これらのほとんどは岩塊の崩壊であり、崩積土砂の量が少ないことに特徴がある。

斜面上の盛土及び谷部埋立の盛土被害は、仙台市街地北部及び南部の新興住宅に顕著に認められる。宮城県<sup>(13)</sup>によると、斜面上をいわゆる切り盛りで整地した盛土部分と、昭和30年代に造成された逆転型埋土部分に被害が集中したと表現されている。

逆転型埋土は、切り取り順に谷を埋める方法で、埋土の材料は、元の位置にあった時と逆の順序に重なっている。つまり、下部は有機物混りの土壌・風化土が多く、軟弱化しやすい。また、中部は、大きな岩塊が含まれていることが多く、空隙が大きく雨水および地下水の浸透により風化が促進され、軟弱化しやすくなる。以上のように、谷を埋土して造成された地盤は、時間の経過とともに、その安定性が減少し、地震の発生あるいは集中豪雨などの異常な外力の作用により地盤が変動

し得る可能性が高いと考えられる。

### 3.4 建築物の被害

#### 3.4.1 被害の概況

宮城県<sup>(13)</sup>がまとめた資料によると、住家の被害だけで、家屋全壊1,377戸、半壊6,123戸、一部破損125,375戸となっている。この他、土木学会<sup>(14)</sup>によると、鉄筋コンクリート造建物被害が34件、鉄骨造が26件、鉄骨鉄筋コンクリート造が20件認められている。この内容は、鉄筋コンクリート造、鉄骨造に関しては中破（部分的な構造体の補修または補強を要する）以上のものを鉄骨鉄筋コンクリート造建物については、小被害のものもとりあげている。

図3-5は仙台市周辺の地震被害を示したものであり、図3-6は同じ範囲の地質の概略を示したものである。宮城県は、被害と地質の関係を次のようにまとめている。

鉄筋コンクリート及び鉄骨構造建築物の被害 …………… 旧市街地東部沖積地に集中

木造住家の被害 …………… 旧市街地南東部の水田地帯と周辺部及び北部の宅造地（新興宅造地）に集中旧市街地は、建築物の密集度合いが高いことから被害数は多いものの、概して軽微であった。

以上のように、被害は特定地域に集中している傾向にあり、地形地質と密接な関連があるようみられる。

なお、図3-7には、宮城県内各市町村の住家被害率を示した。この図から、沖積地での木造家屋の被害率が大きいことがうかがえる。

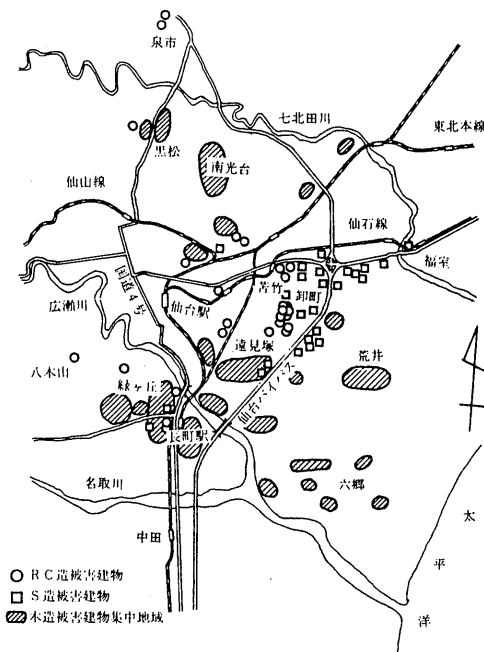


図3-5 建物の被害分布図

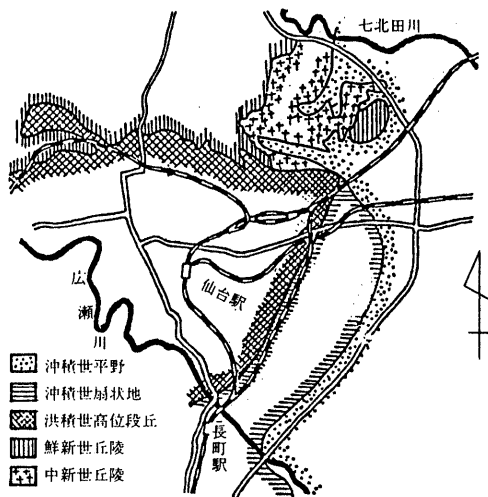


図3-6 仙台地域の地質概略<sup>(13)</sup>

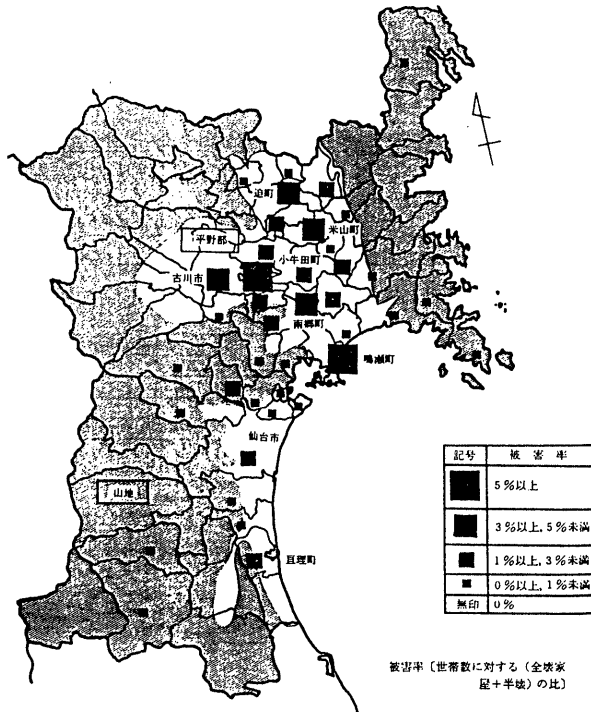


図3-7 宮城県内各市町村の住家被害等<sup>(13)</sup>

### 3.4.2 建築物被害分布図の作成

建築物の被害分布図は、宮城県資料<sup>(13)(17)</sup>、土木学会資料<sup>(15)</sup>、東北大学資料<sup>(10)</sup>、に基づいて作成した。被害図は、記号により下記のように区分している。

種	別	
鉄筋コンクリート造	.....	○
鉄骨造	.....	△
木造	.....	□

} ..... 被害密集部

このうち、仙台市周辺の木造住宅被害（半壊以上）については、宮城県資料<sup>(17)</sup>の75,000分の1の図幅から転記したものであり、その詳細は不明である。

### 3.4.3 分布図からみた特徴

鉄筋コンクリート及び鉄骨造の建築物の被害に関しては、かなりの精度で公表されているが、一般住宅の被害に関しては、一部を除き2.5万分の1及び5万分の1の精度で資料収集ができておらず、図幅全体を同一レベルで判断することができない。

ただ、宮城県<sup>(13)</sup>が述べているように、特定地域に被害が集中している傾向は認められ、地形・地質と密接な関係にあると予測される。被害調査結果と基礎地盤調査結果の対比は、後節で詳細に述べる被害形態は、地形・地質条件から大略次のように区分できる。

- 丘陵地縁辺部における被害（宅造地を含む）
- 表層地質が軟弱な粘性土地盤からなる沖積低地部における被害
- 表層地質が緩い砂地盤からなる沖積低地部における被害

例えば、仙台旧市街地周辺に限ってみると、旧市街地の南方と北方に木造住宅の被害が顕著に認められる。当地区は、丘陵地を切り土し、谷を埋め造成した新興新興住宅地である。

旧市街地東方の苦竹、卸町は、鉄筋コンクリート造、鉄筋造の建物を主体とする商業団地に被害が発生したが、この付近の表層地質は、軟弱な有機質土、粘性土を主体とする軟弱地盤であることが知られている。またこのような後背湿地性の地盤はルーズな砂と軟弱な粘性土、有機質土の互層からなり、自然堤防と境界付近は、むしろルーズな砂が卓越している場合が多い。

名取川、七北田川沿いの自然堤防縁辺部の住宅にも顕著な被害集中傾向が認められているのに対して太平洋沿岸に沿って発達する浜堤上に立地している荒浜地区には、顕著な住宅被害が生じていない点が興味深い。

### 3.5 公共土木構造物の被害

#### 3.5.1 被害の状況

ここでは公共土木構造物は、次のとおりグルーピングして話をすすめることにする。

带状構造物：道路、鉄道、河川堤防、海岸堤防（盛土以外も含む）

橋 梁：道路橋、鉄道橋、水管橋

港湾構造物：漁港、港湾の海岸施設全て（防波堤、護岸、道路、栈橋等）

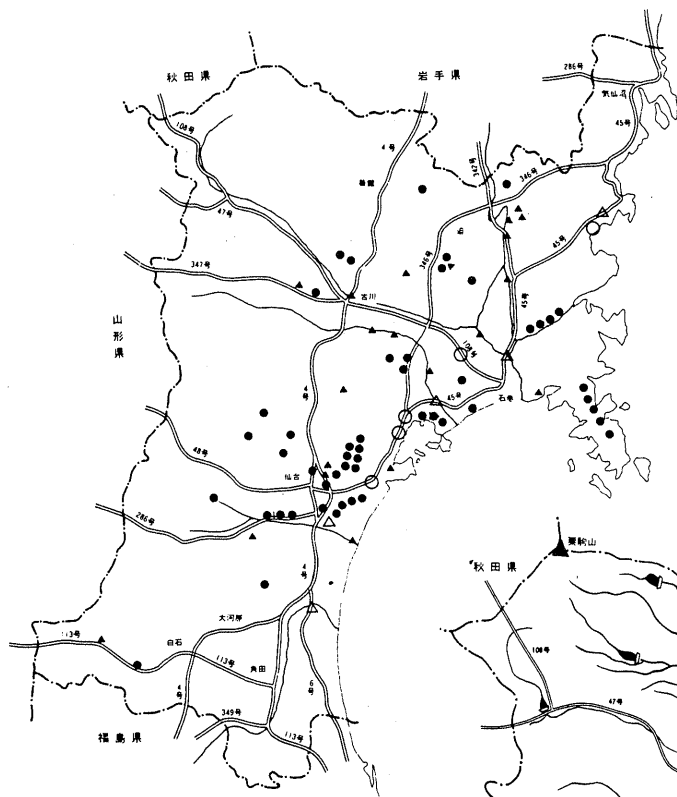
石油、ガスタンク

##### (1) 带状構造物

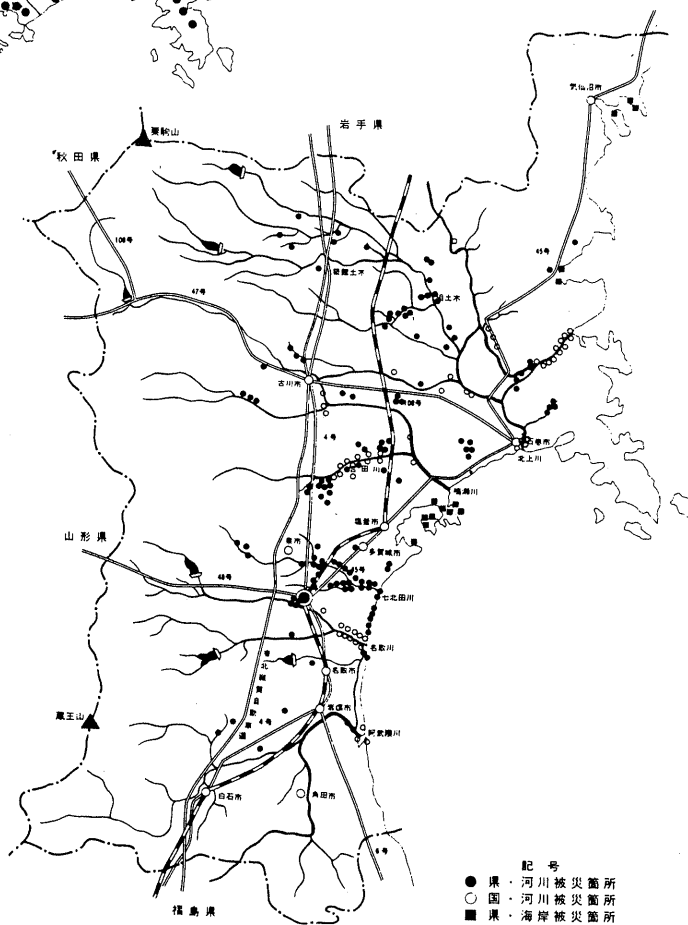
図3-8 a) b) は宮城県<sup>(13)</sup>がまとめた道路と河川及び海岸被災箇所分布である。この中で、道路に関しては、斜面崩壊、橋梁被災が含まれる。河川に関しては殆んど带状盛土の被害とと考えてよいが、海岸被害に関しては護岸等のコンクリート構造物の被害も含まれている。また、図3-9は、土木学会<sup>(15)</sup>がまとめた軌道、路盤被害の分布図である。

これらの図からも他の被害分布図と同様、被害がある特定地域に集中している傾向がわかる。また、過去の地震における带状盛土の大規模崩壊例として、十勝沖地震災害（姉沼付近）があげられるが、これは、軟弱地盤上の盛土で、盛土材料が砂であったこと、地震前に豪雨があったことが要因と考えられており、今回地震による被害がキレツ程度にとどまったのは、地盤条件の相違の他に地震前に降雨量が少なかったことも一因と考えられる。

(a)道路・橋梁の主なる被害箇所図（5,000千円以上）公共土木・災害復旧事業分



(b)河川・海岸被災箇所図



**東北地方建設局直轄道路分**  
 復旧工事費 5,000千円以上図示  
 ○印 道路災害5箇所 10箇所  
 △印 橋梁災害5箇所

**宮城県管理道路分**  
 復旧工事費 5,000千円以上図示  
 ●印 道路災害50箇所  
 ▲印 橋梁災害22箇所  
 5,000千円未満 記入省略  
 道路災害 285箇所  
 橋梁災害 22箇所

記号  
 ● 県・河川被災箇所  
 ○ 国・河川被災箇所  
 ■ 県・海岸被災箇所

図3-8 道路、河川、海岸被災箇所<sup>(1)</sup>

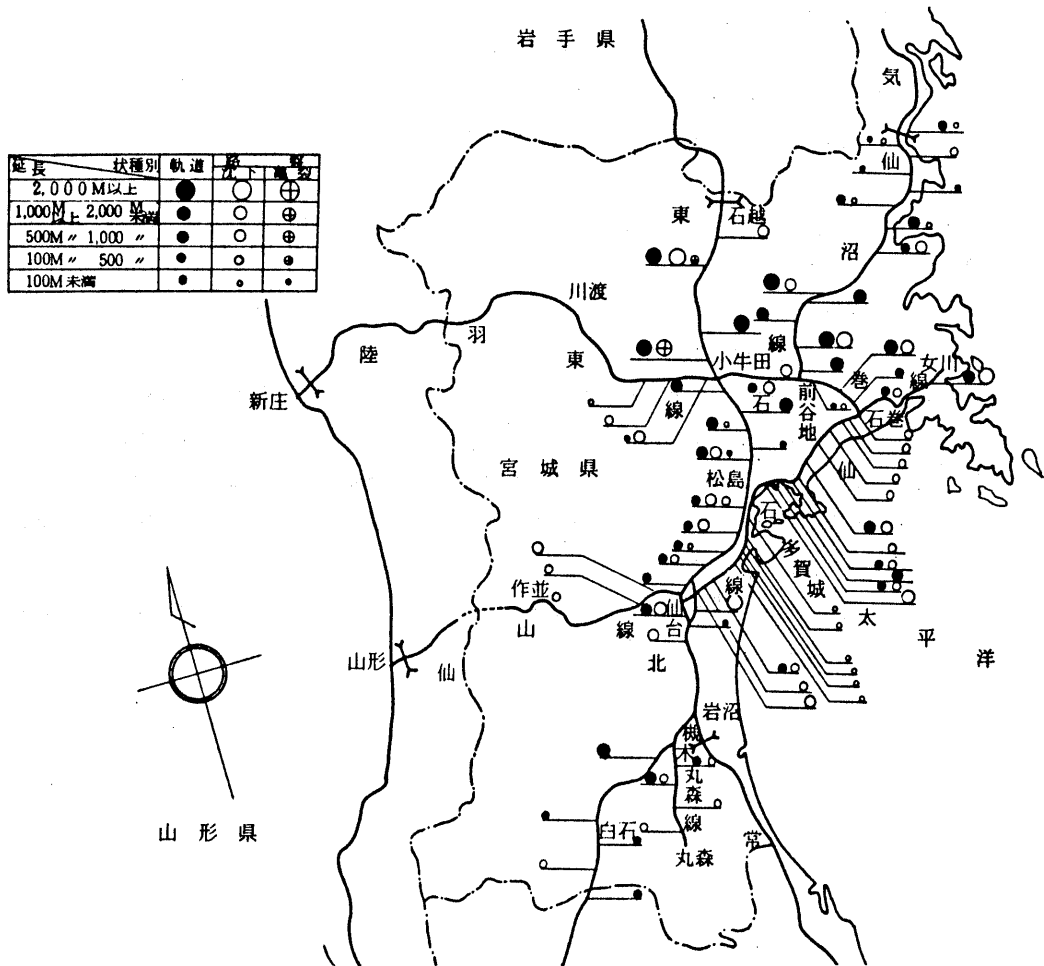


図3-9 軌道、路盤被害の発生分布状況<sup>(15)</sup>

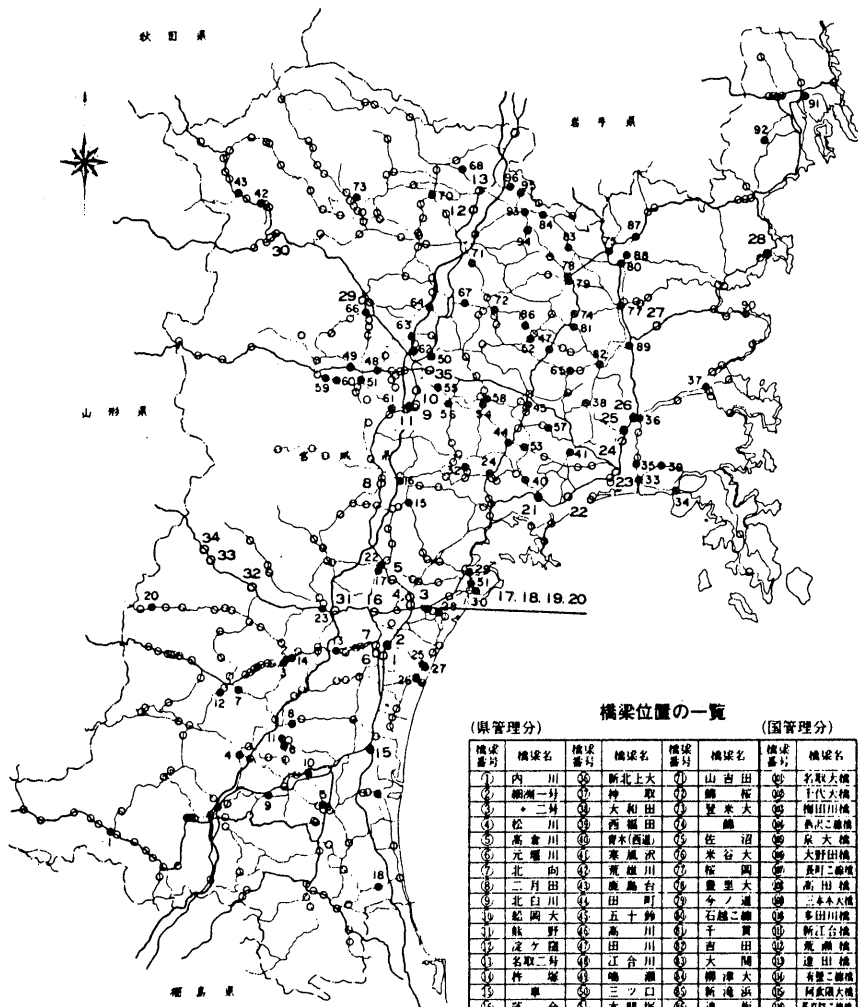


## (2) 橋 梁

図 3-10、図 3-11、表 3-2 は、道路橋、鉄道橋、水管橋の被害状況をまとめたものであり、これから橋梁被害の特徴が次のように分析されている。<sup>(13)</sup>

- ① 被害地域は、地形的に仙台平野、石巻平野、大崎平野等の海拔 0～15 m 程度の低地部で、地質学的には、第四紀の軟弱層の分布する地域の被害が甚大であり、山地部では比較的軽微であった。
- ② 被害の範囲は、震央距離で約 140 km におよび、特に甚大な被害を受けた橋梁は約 115 km の範囲に包含されている。
- ③ 低地の軟弱層を含む地域は、最大加速度 500 gal を超す地震動も記録されており、耐震設計基準をはるかに上回る地震力が作用したところもあった。
- ④ 地震動の方向性と橋梁の向きとの相互関係が重要な意味をもつものと思われ、地震動の方向は、墓石の転倒実態調査から、仙台以南は、南北方向、仙台以北は東西方向に卓越していたという報告<sup>(16)</sup>から、被害形態がこれと良く一致する。具体的には、橋軸方向と地震動の方向が一致を示す地点では、橋脚の破損などの大規模な被害が生じており、軸直角方向の震動を主体とする地震動によって生じた被害は、沓の損傷等が主体を占める。

図 3-13 は、東北大学<sup>(16)</sup>がまとめた地震動の方向を示した図であり、橋梁の方向による被害分析例が図 3-14 である。



(注)  
 ●印は国管の自立橋である。  
 左下Kその91欄を記載してある。  
 ○印は県管の橋梁である。  
 太数字は国管理分、細数字は県管理分。

橋梁位置の一覧

(県管理分) (国管理分)

橋梁番号	橋梁名	橋梁番号	橋梁名	橋梁番号	橋梁名	橋梁番号	橋梁名
1	内川	66	新北大	91	山古田	92	名取大橋
2	洲崎一井	67	神取	93	藤橋	93	王代大橋
3	・二井	68	大和田	94	賀米大	94	榎田川橋
4	松川	69	西郷田	95	藤橋	95	赤井二橋
5	高倉川	70	青木西郷	96	佐沼	96	辰大橋
6	元郷川	71	東風流	97	米谷大	97	大野田橋
7	北向	72	東風川	98	松岡	98	長野二橋
8	二月田	73	東風石	99	重里大	99	高田橋
9	北白川	74	田五	100	今ノ通	100	三本木大橋
10	船岡大	75	五十舞	101	石橋二橋	101	幸田川橋
11	麻野	76	高川	102	子實田	102	新江台橋
12	塚ヶ窪	77	田川	103	吉田	103	東橋
13	名取二井	78	江合川	104	大岡	104	道田橋
14	件車	79	嶋橋	105	藤津大	105	有賀二橋
15	車	80	三ツ口	106	新通浜	106	阿久保大橋
16	福合	81	木間橋	107	津坂	107	尾島二橋
17	七北田	82	野出	108	橋本	108	橋出上り橋
18	重殿	83	敷玉	109	香澤大	109	橋出下り橋
19	藤司	84	志野	110	夏川	110	藤田大橋上り橋
20	新藤川	85	三軒	111	道場	111	藤田大橋下り橋
21	八乙女	86	化新	112	道場	112	小野橋
22	大沢	87	長谷川	113		113	矢本二橋
23	品井沼大	88	篠野川	114		114	松田二橋
24	井上新	89	高倉	115		115	重又二橋
25	門上天	90	極の目	116		116	天主橋
26	井上土	91	伊勢三浦	117		117	新藤野川橋
27	高杉大	92	藤原三浦	118		118	水守橋
28	高の島	93	真尾	119		119	歌津大橋
29	中大代	94	町堂寺	120		120	岩出山大橋
30	大代山	95	大杉	121		121	成洲橋
31	下藤出	96	藤橋	122		122	生瀬橋
32	西内海	97	藤橋	123		123	峠ヶ根橋
33	万石	98	孝弘理	124		124	湯澤二橋
34	關北	99	下田	125		125	辰橋
35	止貫	100	花山沢	126		126	尾橋

図3-10 道路橋被害位置図<sup>(15)</sup>

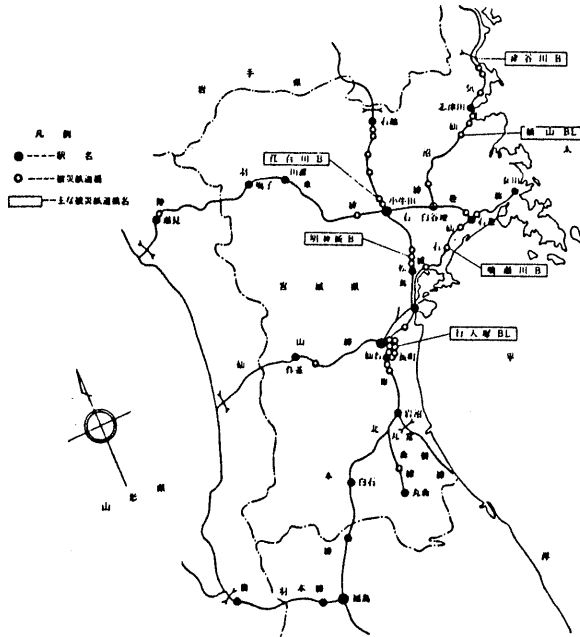
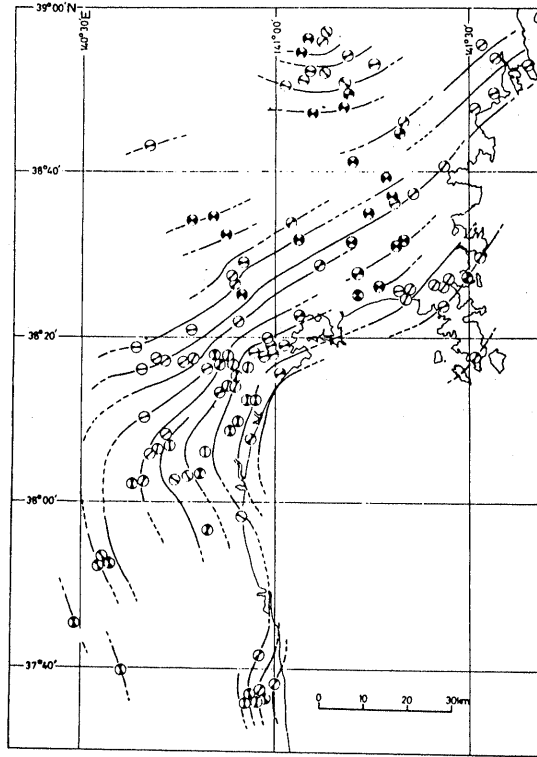


図3-11 鉄道橋被害箇所図<sup>(15)</sup>

表3-2 水管橋および橋梁添架管の被害状況<sup>(15)</sup>

事業体名・箇所名	被害状況
〔石巻市(上)〕	
○ 住吉跡線橋に添架の送水管	φ450 SPのドレンサ-型伸縮管Ⅱ型が離脱
○ 石巻大橋に添架の送水管	φ450 SPのドレンサ-型伸縮Ⅰ型管が離脱
○ 真の川水管橋橋台	φ500 CIPが橋台とともに沈下
○ 内海橋水管橋の配水管	φ250 CIP鉛コーキング継手離脱
〔古川市(上)〕	
○ 江合橋添架の配水管	φ200 SPドレンサ-ジョイントが2箇所離脱
○ 新江合橋添架の配水管	φ400 SPが道路沈下により可とう管破損(20cmの段差)
〔名取市(上)〕	
○ 橋梁添架配水管	φ100 SP、水管橋台が振動により橋台の中間に管軸方向と直角に横断亀裂(20~25mm)が生ずる。
〔塩釜市(上)〕	
○ 大倉系、七北田川水管橋(導水管)	φ700 SP、水管橋台が振動により橋台の中間に管軸方向と直角に横断亀裂(20~25mm)が生ずる。
〔仙台市(上)〕	
○ 広瀬川水管橋	φ1,100×2条 伸縮管振動による杵手等々の破損
○ 七北田川水管橋(配水管)	φ1,100×2条 左岸地盤の沈下に伴う伸縮管の抜け出し
○ 七北田川水管橋(配水管)	φ400mm×1条 両岸地盤沈下に伴う抜け出し
○ 梅田川水管橋(配水管)	同 上
〔鳴瀬町(上)〕	
○ 旧小野橋(添架の配水管)	φ200 SGPのビクトリックジョイント3箇所離脱
○ 不動橋添架の配水管	φ100 SGPの管に亀裂(応急溶接)
○ 鳴瀬大橋添架の配水管	φ400 SGPのビクトリックジョイント1箇所離脱
○ 松ヶ島橋添架の配水管	φ200 SGPのスリーブジョイント離脱



東北大学理学部地質学古生物学教室 (1979)

図3-13 1978年宮城県沖地震における各地の地盤水平震動方向<sup>(13)(16)</sup>

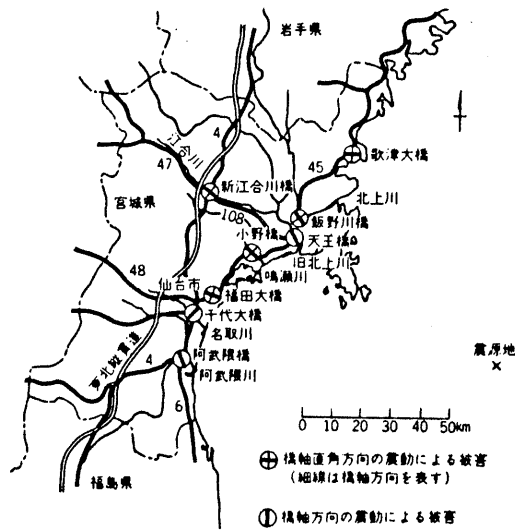


図3-14 被害橋梁における震動の卓越方向<sup>(15)</sup>  
(建設省管理分)

### (3) 港湾構造物

港湾構造物の被害は、けい留施設（岸壁、棧橋、物陽場）外かく施設（防波堤、防潮堤、護岸）臨港交通施設（道路、鉄道）及び荷さばき施設である。

図3-15は、宮城県<sup>(1)</sup>による主な港湾、漁港被災箇所図であり、表3-3は土木学会<sup>(3)</sup>による主な港湾、漁港の被災状況は、図3-15<sup>(1)</sup>および表3-3に示すとおりであり、震害の特徴は次のようにまとめられている。<sup>(3)</sup>

- ① 砂質地盤において控え工として矢板を用いている矢板岸壁の前傾被害が目立った。
- ② 水深-3m未満の重力式構造の物揚場、護岸の前傾、滑動被害が目立った。
- ③ エプロン、荷さばき他、臨港道路等、水際線背後の陥没、亀裂の被害が目立った。
- ④ 防波堤、控え組み杭式矢板岸壁、棧橋には顕著な被害は生じなかった。

以上のことから、顕著な被害が生じた箇所は、埋立堤塘も含めてルーズな砂が堆積しており、石巻港等では、液状化現象（噴砂）が確認されていること等から、おそらくは、ルーズな飽和砂質土地盤の液状化が最大の原因であろう。

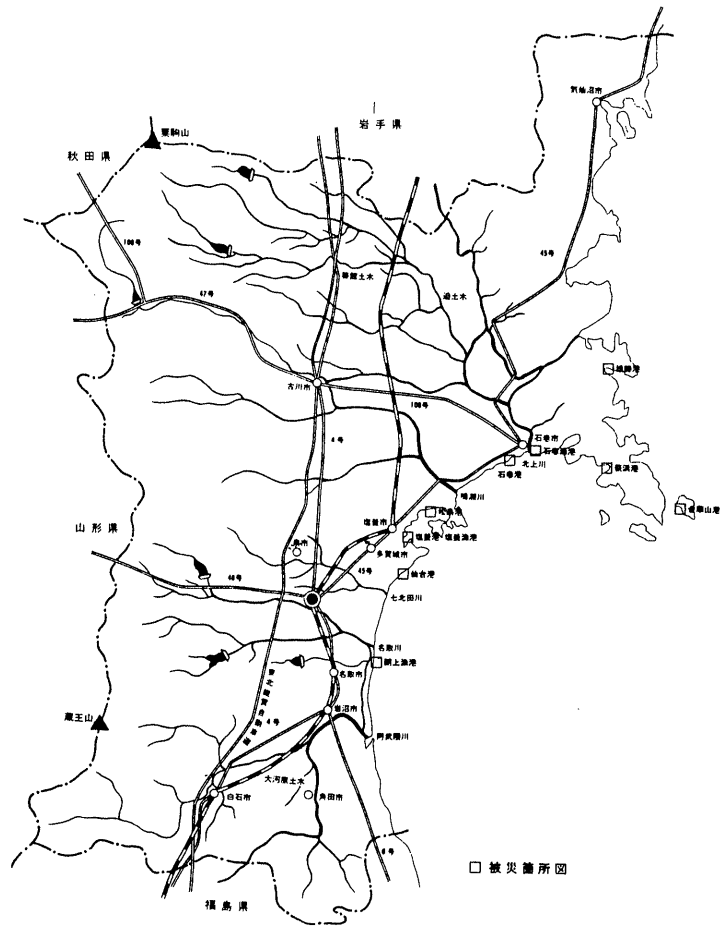


図 3—15 港湾、漁港被害箇所分布図<sup>(13)</sup>

表3-3 港湾構造物の被害状況（'78年7月3日）<sup>(15)</sup>

県別	港名	地区名	施設名	被害状況	被害数量	被害額		
宮	塩釜港 (仙台港区)	中野	道路(埠頭1号線)	クラックおよび沈下(8cm)	L=29.5m	6,400千円		
			"(西幹線)	路肩崩壊	L=33.0m	1,800		
			"(区画4号線)	岸壁取付部沈下	L=17.0m	900		
			"(中野幹線)	側溝沈下および路肩崩壊	L=1,000.0m	16,900		
			岩壁(-4.5m)	エプロンクラックおよび沈下	L=83.3m	} 7,000		
			"(-1.2.0m)	" "				
			"(-1.2.0m)	" "				
			"(-1.0.0m)	" "		} 7,1900		
	蒲生	道路(蒲生幹線)	歩道沈下および路肩崩壊	L=100.0m	1,800			
	長浜	護岸	波返工沈下(L=80+15), 水叩クラックおよび沈下	L=34.0m	2,800			
	国災計				10件	109,900		
	城	中野	高さばき地(-4.5m)	沈下	L=27.0m W=19.0m	2,800		
			"(-4.5m)	"	L=18.0m W=7.0m	7,900		
			"(-1.2.0m)	"	L=24.0m W=7.0m	9,100		
			"(-1.0.0m)	"	L=55.5m W=2.0m	6,200		
			"(-7.5m)	"	L=71.0m W=20.0m	7,600		
			荷役機械			1基	7,2000	
			フェリー埠頭	可動機	ランブウェイ接続箇所段差, 第1・第2バース可動橋向側のソデ地盤沈下		4箇所	750
			岸壁	エプロン沈下, 目地離脱	L=500m		300	
		県災計				8件	106,650	
		合計				15件	216,550	
		県	塩釜港	真山埠頭	道路(一本松3号線)	真山4号との取付部沈下(50cm)	L=54.4m	3,200
				中埠頭	物揚場(-4.0m)	上部工前傾およびエプロンクラック沈下	L=87.5m	8,7800
				千賀ノ浦	観光棧橋	エプロン沈下	L=69m	1,200
				中の島	護岸	石積護岸崩壊およびはらみ	L=40m	8,100
	要害			物揚場(-2.0m)	上部工前傾, エプロンクラックおよび沈下	L=259.4m	} 12,300	
				胸壁	クラックおよび沈下	L=161.3m		
吉田花洲	物揚場(-1.5m)			上部工前傾, エプロンクラックおよび沈下	L=87.8m	6,600		
	"(-1.5m)			" "	L=79.3m	6,600		
馬放島	物揚場			目地の離脱, エプロン沈下 { エプロン59.3m 補壁工16.6m	L=23m	3,500		
石浜	物揚場(-2.0m)			上部工の前傾, エプロンクラック沈下(20cm)	L=25.0m	11,900		
	"(-1.5m)			" "	L=60.0m	} 1,600		
	船揚場 防波堤			エプロンクラック沈下 目地の離脱, 沈下(12~13cm)	L=40m L=102.7m		1,000	
国災計						12件	143,800	

表 3-3 続 き

県名	港名	地区名	施設名	被害状況	被害数量	被害額
宮	塩釜港	真山埠頭	栈橋(真山2・3号)	取付部護岸沈下およびスレ	W=20.0m	200千円
			荷さばき地(真山1号)	沈下	L=4.0m W=4.0m	6,400
		中埠頭	栈橋	栈橋と護岸のスレ	2箇所	500
			荷さばき地	沈下	3.0m×5.0m A=15.00m	3,000
		千賀ノ浦	栈橋通路	"	L=15.0m W=4.5m A=107.5m	200
			観光栈橋	"	L=50.0m	1,400
		西埠頭	岸	護版破損	L=5.0m W=2.0m	250
			"	"沈下	L=7.0m W=3.0m	50
		庁舎	浄化槽	クラック, 沈下		4,200
		東宮物揚場	エプロン沈下	L=55.0m W=9.0m	500	
		蒲水	"	"	L=17.0m W=3.0m A=51.0m	100
			"	"	L=5.5m W=1.5m	100
			"	取付工全体クラック, 沈下	L=3.0m	100
		代ヶ崎	防波堤	水叩沈下(10cm)	L=8.0m W=2.0m	100
	吉田花洲	"	基部捨石均し	L=10.0m	100	
	石浜	船揚場	取付目地充填	L=55.0m	200	
		防波堤	目地充填	L=21.0m	50	
	県災計			17件	17,450	
	合計			29件	161,250	
	松島港	海岸前	観光栈橋	エプロン沈下 { エプロン 144.6㎡ 上部打換 54.3㎡ }	L=33.0m	7,000
			護岸	水叩沈下	L=21.3m	1,900
			物揚場	上部工一部前傾, エプロンクラックおよび沈下	L=29.0m	4,100
		双観山下	"	上部工沈下, クラック, エプロンクラックおよび沈下	L=33.0m	7,700
		国災計			4件	20,700
		海岸前	護岸	水叩沈下	L=10.0m	120
		波打浜	背後地	沈下	L=65.0m V=15.0m	120
		県災計			2件	240
		合計			6件	20,900
		石巻港	中島埠頭	岸壁(-10.0m)	上部工傾斜(50cm)	L=41.0m
大手埠頭	"(-7.5m)		エプロン沈下	L=27.0m	9,300	
日和埠頭	"(-9.0m)		上部工傾斜(50cm), エプロン沈下	L=50.0m	850,000	
潮見埠頭	"(-4.5m)		"(50cm), "	L=30.0m	300,000	



県名	港名	地区名	施設名	被害状況	被害数量	被害額	
宮 城 県	石巻港	南浜埠頭	岸壁(-7.5m)	エプロン沈下	L=100m	4,800千円	
		東1号線	道路	壁, 護岸崩壊	L=100m	2,600	
			"	沈下	L=428m	14,400	
		釜北線	"	通路欠壊	L=320m	8,400	
		大曲(定川)	護岸		L=435.4m	31,100	
		北1号線	道路	全面30cm盛り, 1箇所地割れ	L=246.5m	5,500	
		西浜海岸	堤防	波返工はらみ	L=170m	42,700	
			"	水叩クラック	L=120m	5,800	
		内港(仲瀬)	護岸		L=175.0m	26,000	
		釜北線	臨港鉄道		L=600m	1,100	
		国災計			14件	2,801,700	
		中島埠頭	荷さばき地	クラック, 沈下	260×40 A=1,400 $m^2$	70,000	
		大手埠頭	"	" "	260×3 A=780 $m^2$	25,000	
		日和埠頭	"	" "	380×30 A=1,140 $m^2$	60,000	
			荷役機械	脱輪および脚の破損	3基	90,000	
		潮見埠頭	荷さばき地	クラック, 沈下	200×20 A=4,000 $m^2$	12,000	
	南浜埠頭	"	" "	130×50 A=6,500 $m^2$	20,000		
	県災計		" "	6件	277,000		
	合計			20件	3,078,700		
	雄勝港	立浜	防波堤	沈下	L=32.4m	900	
		唐桑	物揚場	上部工前傾, エプロン沈下	L=80m	9,000	
		大浜	防波堤	沈下	L=25.1m	700	
		伊勢畑	護岸	"	L=170m	1,000	
		国災計			4件	11,600	
		萩浜港	小積	物揚場(-1.5m)	上部工前傾, エプロン沈下 { 50m動式-上部工前傾, エプロン沈下 50m矢板式-エプロン沈下	L=100.0m	9,500
			国災計			1件	9,500
		金華山港	金華山	物揚場(-2.0m)	上部工前傾, エプロン沈下	L=400m	4,400
				物揚場2号(-2.5m)	" "	L=15.0m	1,300
				" 3号(-2.5m)	" "	L=50.0m	1,400
			物揚場		L=5m	3,500	
	国災計				4件	10,600	
	県計				82件	3,509,140	

#### (4) 石油、ガスタンク

石油貯蔵施設の被害内容及び件数は、表 3-4 に示す通りである。

このうち規模の大きな災害は、東北石油㈱仙台製油所の屋外貯蔵タンクに亀裂が生じ、多量の油が流出した。この油は、雨水排水溝を介して海上へ一部流出したが、オイルフェンスにより外洋への拡散は防止された。

この他にも塩釜地区の石油コンビナートタンクの不同沈下が発生している。

ガスホルダーの被害は、仙台市ガス局の原町工場にある有水式ガスホルダーが炎上した。この他有水式のガスホルダーは石巻ガス㈱で 2 基、古川ガス㈱で 1 基がガイドローラーの破損やはずれの被害を生じている。

球形ガスホルダーについては、仙台市ガス局港工場の一基の基礎コンクリートの一部破損、アンカーボルトの曲がりの被害が生じた程度である。

表 3-4 石油貯蔵施設の被害内容<sup>(15)</sup>

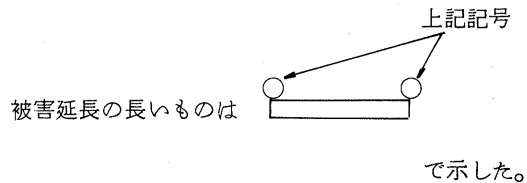
被害内容	件数	被害内容	件数
製造所		給油取扱所	
加熱炉, 配管の変形, 破損, 亀裂	2	防火扉の亀裂	124
屋内貯蔵所		防火扉の傾斜	35
荷くずれによる漏油	9	防火扉の倒壊	30
壁の亀裂	6	空地の亀裂	32
建物外壁破損又は倒壊	5	空地の沈下	30
防火扉の倒壊	4	空地の陥没	15
その他	5	チャッキバルブ配管亀裂	43
屋外タンク貯蔵所		配管亀裂	20
タンクの不等沈下	21	エア配管亀裂	7
タンクの基礎の亀裂, 破損	15	通気管亀裂	4
タンク基礎コンクリートリング上部モルタル		コンクリート蓋(タンク上部)沈下	5
亀裂又ははく離	14	販売室および油脂庫の壁体亀裂または傾斜	34
防油堤の亀裂	12	建屋と防火扉の継目に亀裂	8
エアフォームのフレキシブル変形	11	キャノピー傾斜	5
浮屋根部分の変形	10	固定給油設備アイランド亀裂	13
梯子の変形, 脱輪	10	販売室ガラス 損または亀裂	29
タンク本体のずれ	6	注油口のブロックボックス破損	5
タンク本体の浮上	5	集水溝沈下又は亀裂	5
ミキサー破損	5	その他	34
タンク本体の傾斜又は変形	4	一般取扱所	
タンク本体底部亀裂	4	防火扉の亀裂	23
配管の亀裂又は折損	4	防火扉の倒壊	9
その他	7	防火扉の傾斜	6
屋内タンク貯蔵所	4	建物壁体の亀裂	13
地下タンク貯蔵所		空地の地盤沈下	11
送油配管亀裂又は切損	10	チャッキバルブ配管亀裂	15
地盤沈下	7	配管の亀裂	9
チャッキバルブ配管亀裂	5	その他	9
コンクリート上蓋亀裂	5		
その他	11		

### 3.5.2 公共土木構造物被害分布図の作成

公共土木構造物被害の分布は宮城県<sup>(13)</sup>、土木学会<sup>(15)</sup>、東北大学<sup>(16)(2)</sup>をもとに作成した。これらの資料で位置が明示できないものについては、関係官庁から補完聴取し、その位置を明らかにするよう努めた。

被害図は、下記の記号で区分している。

帯状構造物	.....	}	鉄道	.....	○
			道路	.....	⊕
			河川堤防、海岸堤防	.....	⊗
			付帯構造物（土留め等）	.....	⊠
橋梁（跨線橋、水管橋、歩道橋を含む）	.....				◇
港湾構造物	.....	}	護岸、岸壁、棧橋	.....	□
			防波堤、防潮堤	.....	△
石油タンク	.....				◡
ガスタンク	.....				⊞



### 3.5.3 分布図からみた特徴

本図幅においては、河川堤防の被害が強調されているが、実態は若干異なるものと思われる。その理由は、同じ盛土でも道路等の場合、交通にあまり障害がなかったものについては、記録に残っていないが、河川堤防の場合、洪水等の二次災害防止という意味から、小規模なものまで調査復旧がなされ、かつ記録に残っていたためである。ただ河川堤防の場合は道路盛土と異なり、締固めが十分でないこと、河川により浸食され、不安定な状態となっている部分も多い等も被害の頻度を高めた要因と考えられる。その他、被害が顕著に認められるのは、橋梁を代表とする構造物と盛土が接する部分、土留等の線上に長い構造物である。前者は、基礎及び構造形態が異なることによる相対変位及びそれに伴う偏差応力により構造物そのものに被害が生じた例であり、後者は、大きな相対変位を許容できない細長い構造物が局所的な応力集中により破壊した例である。

また、公共土木構造物についても、地盤との関連は見逃せない。その例として、海岸埋立て地の被害、造成地の道路被害等が認められる。ただ建築物の場合と異なり、極端な偏在傾向はあらわれない。

### 3.6 埋設管の被害

#### 3.6.1 被害概要

仙台市におけるガス管及び水道管の被害箇所は図3-16<sup>(13)</sup>に示し、市町村別配水管等の被害状況は表3-5<sup>(15)</sup>に示すとおりである。または仙台、塩釜、石巻、古川の各市のガス供給管の本支管別被害分布は表3-6に示すとおりである。これから埋設管の震害は図3-17および以下のとおりとめられている。<sup>(15)</sup>

- ① 平野部における被害箇所は、仙北平野一円および旧北上川下流部、鳴瀬川沿岸地帯、松島町の干拓地、塩釜市の海岸埋立て地、名取市の名取川河口埋立地、阿武隈川沿岸地帯に集中している。
- ② 内陸丘陵地では、仙台市、泉市における宅造による人工盛土地に集中し、段丘堆積物からなる仙台市旧市街地では少数の被害にとどまっている。

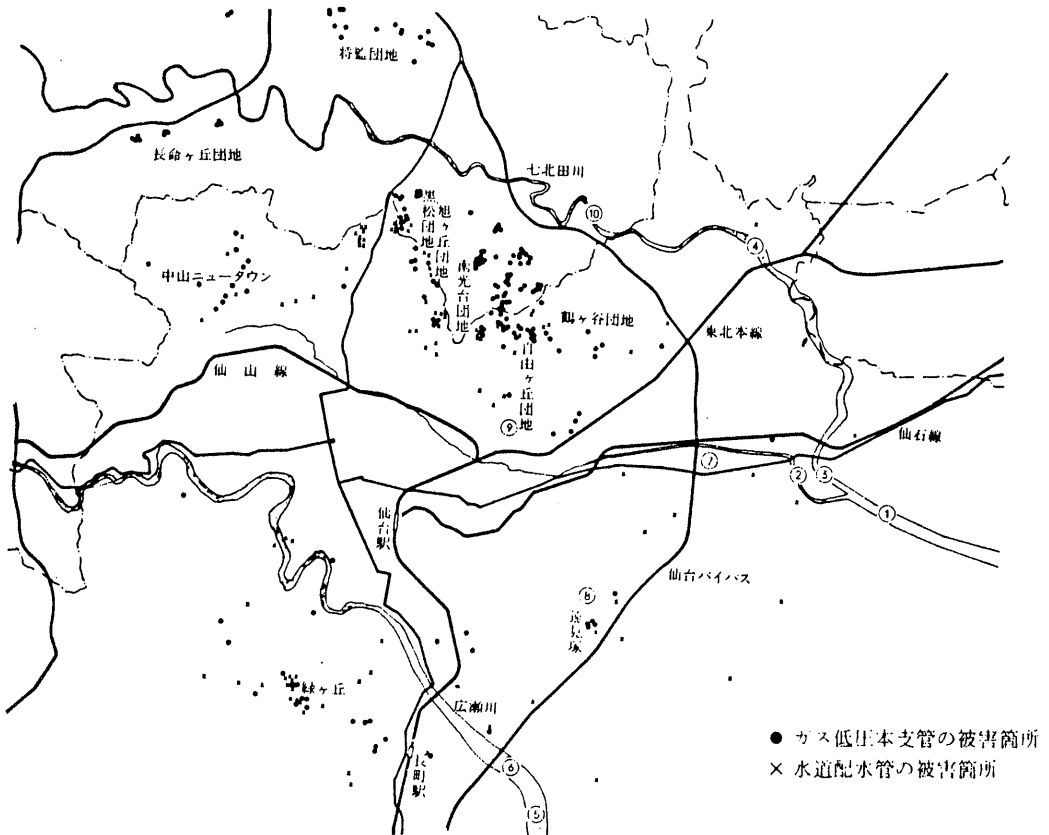


図3-16 仙台市におけるガス管および水道管の被害箇所<sup>(13)</sup>

表3-5 市町村別配水管等の被害状況<sup>65)</sup>

事業体名	導・送・配水管被害件数						弁 類			設 備		
	ACP	VP	CIP	DCIP	SP	その他	制水弁	空気弁	消火栓	ポンプ類 ポンプ電 源切1	メータ 類	養注施 設等
白石市(上)		2			23		1		2			
蔵王町 <sup>10</sup> ( 水等)	1	8			6		3	1	3			
大河原町(上)	5	1			3							
村田町(上)	4	2			2							
柴田町(上)	12	25			2			1				
川崎町(上)	2	1										
岩沼市(上)		4										
大和町(上)	1											
富谷町(上)		4										
みやぎ台(上)		6										
泉市南光台(上)	210	36		1	103							
利府町(簡)	1											
七ヶ浜町(上)	5											
挑生町(上)	3											
北上町(簡)		4										
女川町 <sup>1</sup> ( 上水 3簡水)	3		1		2					ベンチ エリー 1	養注 4台	
亘理町(上)	6	1										
涌谷町(上)	15	4	12							1		
田尻町(上)	1	1										除鉄機 傾く1
小牛田町(上)	12	1	6						1			
三本木町(上)	4										1	
岩出山町(上)					2							
鳴子町 <sup>1</sup> ( 上水 1簡水)	1	1			1							
小野田町(上)					2							
色麻町(簡)											1	
築館町(上)	1											1
鹿島台町(上)	9	7	1				1					
高清水町(簡)												除鉄機 沈下1
清峰町(簡)	1	3					1					
若柳町(簡)					1					1		
栗駒町(上)	1	2										
石越町(簡)	1	6										
登米水道(企)	5	4	1		1							
東和町(簡)	4	3							1			ろかき 沈下1
中田町(上)	1	4										
豊里町(上)	2	1					泥吐1					
南方町(上)	6	10			1							
気仙沼市(上)	2	1										
志津川町(簡)		1										
本吉町(簡)	2											

事業体名	導・送・配水管被害件数						弁 類			設 備		
	ACP	VP	CIP	DCIP	SP	その他	制水弁	空気弁	消火栓	ポンプ類	メータ類	養注施設等
唐桑町(上)												
歌津町(上)	3				1							
登米広域(用)			2									
県企業局(用)			管路の沈下8, 配水池法面隆起1, 水管橋護岸2 ほか									
大郷町(上)	8	4					3			2		
名取市(上)	46	5			2							
角田市(上)	16	1	3		2							
泉市(上)	67	45		6	3		仕切2 泥吐7	1				
松島町(上)	18	56		1	4							
多賀城市(上)			4	1	10			1		配電盤2	2	
塩釜市(上)	14		25		35	16	17		4		流量計 等2	
石巻市(上)	25	6	13	11	6			1				
河北町(上)	5	9		1								
矢本町(上)	20	8										
河南町(上)	47	9	3	4								
鳴瀬町(上)	37	7			7		1					
牡鹿町(3簡水)	5	9	1		1							
南郷町(上)	5				1						流量計 1	
古川市(上)	40	7	18	1	3					配電盤1		
松山町(4簡水)	7	9										
若柳町(上)	1	7	3			4						
米山町(上)	21	4										
仙台市(上)	69	77	21	11	30	15	2		1		水位計 1	バック 槽1
合 計	774	405	114	37	153	口径不 明 21 35	39	6	11	9	9	9

註 6月末の災害報告による。一部その後の資料修正。

表3-6 ガス本支管供給管の被害状況<sup>(15)</sup>

事業者	本支管 管種 接合 方法 被害形態	本 管 (75mm以上)					支 管 (75mm未満)	本支管 合 計	供 給 管 鋼 管 ねじ接合	総 計
		鋼 管			鋳 鉄 管	合 計	鋼 管 ねじ接合			
		溶 接	ねじ接合	小 計	メカニカル 接 合					
仙 台 市 ガ ス 局	ねじ部折損(箇所)	0	3	3	0	3	127	130	129	259
	ねじ部亀裂(箇所)	0	1	1	0	1	14	15	8	23
	抜け出し(箇所)	0	0	0	11	11	46	57	2	59
	ゆるみ(箇所)	0	1	1	3	4	5	9	2	11
	その他(箇所)	0	1	1	0	1	6	7	7	14
	合 計(箇所)	(0箇所/km) 0	(3.33箇所/km) 6	(0.11箇所/km) 6	(0.02箇所/km) 14	(0.03箇所/km) 20	(0.03箇所/km) 198	(0.18箇所/km) 218	(1.09箇所/km) 148	366
塩 釜 瓦 ス キ	ねじ部折損(箇所)	0								
	ねじ部亀裂(箇所)	0			5 (印ろう型)					
	抜け出し(箇所)	0	28	31	1	41	39	80	61	141
	ゆるみ(箇所)	0			4 (印ろう型)					
	その他(箇所)	3			0					
	合 計(箇所)	(0.16箇所/km) 3	(1.72箇所/km) 28	(0.88箇所/km) 31	(0.92箇所/km) 10	(0.89箇所/km) 41	(0.87箇所/km) 39	(0.88箇所/km) 80	(9.78箇所/km) 61	141
石 巻 ガ ス 株 式 会 社	ねじ部折損(箇所)	0	0	0	1	1	1	2	0	2
	ねじ部亀裂(箇所)	0	0	0	0	0	5	5	57	62
	抜け出し(箇所)	0	0	0	0	0	4	4	0	4
	ゆるみ(箇所)	0	0	0	0	0	1	1	0	1
	その他(箇所)	0	0	0	0	0	15	15	2	17
	合 計(箇所)	(0箇所/km) 0	(0箇所/km) 0	(0箇所/km) 0	(0.04箇所/km) 1	(0.02箇所/km) 1	(0.36箇所/km) 26	(0.20箇所/km) 27	(8.36箇所/km) 59	86
古 川 ガ ス 株 式 会 社	ねじ部折損(箇所)	0	0	0	0	0				
	ねじ部亀裂(箇所)	0	2	2	0	2				
	抜け出し(箇所)	0	0	0	0	0	5 (塩ビ1含む)	8	11	19
	ゆるみ(箇所)	0	0	0	0	0				
	その他(箇所)	0	1	1	0	1				
	合 計(箇所)	(0箇所/km) 0	(0.39箇所/km) 3	(0.21箇所/km) 3	(0箇所/km) 0	(0.17箇所/km) 3	(0.30箇所/km) 5	(0.23箇所/km) 8	(5.34箇所/km) 11	19
総 計	(0.04箇所/km) 3	(0.56箇所/km) 37	(0.28箇所/km) 40	(0.04箇所/km) 25	(0.09箇所/km) 65	(0.37箇所/km) 268	(0.22箇所/km) 333	279	612	



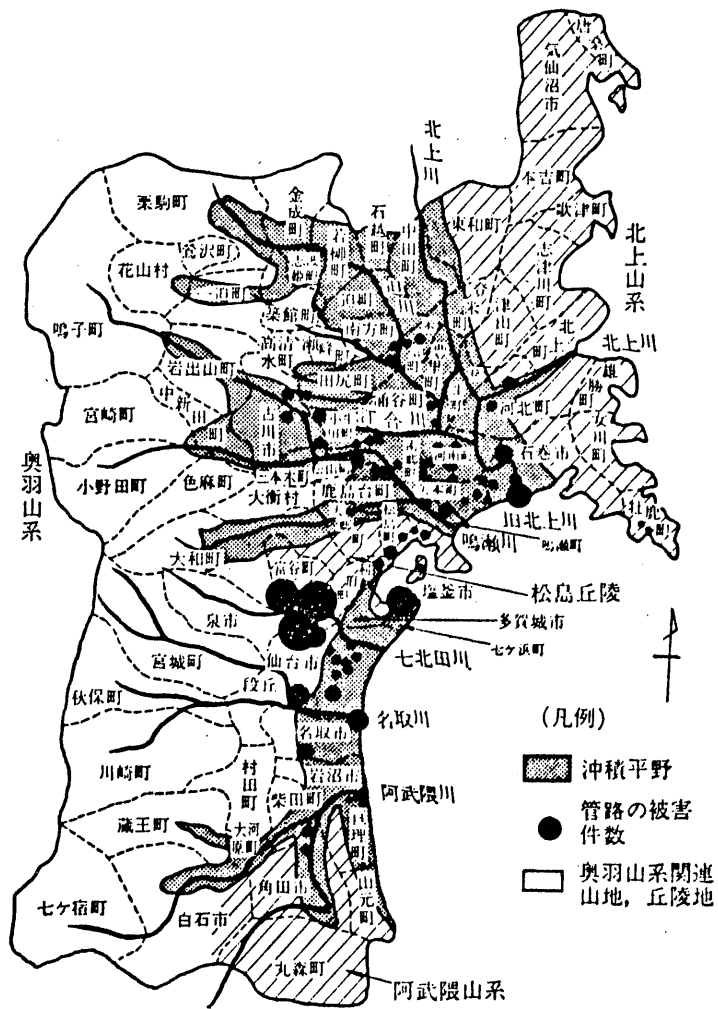


図3-17 宮城県の地形と地質と管路被害の分布<sup>(15)</sup>

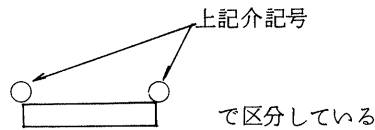
### 3.6.2 埋設管被害分布図の作成

ここでいう埋設管は、ガス、上下水道管で、そのうち本支管を対象とし、供給管の被害は明示していない。

被害図は、下記の記号で区分している。

ガス …………… ○  
上水道 …………… △  
下水道 …………… □

被害延長の長いものは



### 3.6.3 分布図からみた特徴

埋設管被害分布図は、既存資料のほかに各市町村から聴取作業によって補完して作成した。この分布図を見ると、3.6.1項で述べた見解に次のことを追加する必要がある。

- ① 平野部における被害箇所は、旧北上川下流部及び塩釜市の海岸埋立地に集中している。
- ② 内陸、丘陵地では、仙台市、泉市における宅造による人工盛土地に被害が集中し、仙台市旧市街地には殆んど認められない。

この他、埋設管の場合は、線上に長い構造物で大きな相対変位を許容できないという構造上の問題もある。

## 3.7 その他の被害

### 3.7.1 農作物被害

東北6件の農作物等の被害は表3-7に示すとおりである。被害は宮城県北部地域に集中している。農作物被害の概要は、次のとおりである。

#### <水 稲>

泥炭水田の局部に亀裂や隆起および稲苗の埋設、浮上り、横倒しなどの被害が生じた。ただし、植直し、肥培管理等からその後再成し収穫量という点での被害は僅少にとどまった。

#### <果 樹>

一部地域に若干の被害がみられたが、総じて被害は少なかった。

#### <野 菜>

とくにトマトは、地震の振動で花房が基部より裂けて落下する被害が宮城県南部亘理地方で発生した。

#### <園芸物>

鉢類が転落して破損したため植替や手直しによる活着、生育の遅れがみられた。この他、芯の部分に損害を受けたため廃棄処分されたものもある。

農業用施設の被害状況を表3-8に示した。この中で、水路及び海岸堤防等の海岸保全施設の被害が著しいことに特徴がある。

これらの被災箇所は、北上川流域及び仙台平野の低湿な泥炭地盤及び海岸線に沿う低湿砂地盤域に集中傾向があるといわれ、地盤との関連が深いことがうかがえる。

その具体列として、次のような被災箇所があげられる。

砂地盤上の農業施設被害

名取川地区 貞山堀北幹線排水路

高瀬川・花笹川両幹線排水路

手樽干拓堤防（噴砂が認められている。）

寒風沢海岸堤防

早川海岸堤防

軟弱な粘性土、泥炭地盤上の農業施設被害

旧迫川地区の高石・米山両幹線排水路

その他斜面崩壊に伴う農地被害の代表的な例として、宮城県鹿島台町船越地区では、地山（高さ15 m程度）が長さ90 mにわたり崩壊し、水田30 haが埋没した。

表3-17 (a) 農作物・樹体および家畜等の被害状況

(単位：千円)

種類名	都道府県名		青森県		岩手県		宮城県		秋田県		山形県		福島県		計	
	面積等	被害額	面積等	被害額	面積等	被害額	面積等	被害額	面積等	被害額	面積等	被害額	面積等	被害額	面積等	被害額
水陸稲類	65 ha	23,652	81.6 ha	245,898											881 ha	269,550
麦類																
雑穀・いも・豆類			15 ha	437											15 ha	487
野菜			3 ha	1,202											3 ha	1,202
果樹																
工芸作物																
飼料作物																
花き			37.050 畝	14,633											37.050 畝	14,633
桑																
茶																
その他																
小計	65 ha	23,652	83.4 ha 37.050 畝	262,220											889 ha 37.050 畝	285,872
果樹																
桑																
茶																
小計																
家畜(家きんを含む)																
畜産物																
蚕繭																
小計																
在庫品																
合計																

註1. 本表は「東北地域における昭和53年の気象経過と農業被害の概況」(東北地域農業気象協議会)資料による。

### 3.7.2 津波・浸水箇所

太平洋沿岸で観測された津波の高さは、14～22cmであった。したがって被害は認められていない。

浸水箇所は、住家の被害の中で、床上浸水3戸、床下浸水2戸が記録されている。

### 3.7.3 火災発生箇所

地震が直接的原因で火災となったものは、8件で、このうち大学の実験薬品の落下による化学反応に起因するものが3件、仙台市ガス局の有水低圧ガスホルダーの爆発が1件ある。

以上のように火災が非常に少なかったのは、本震の起こる8分前(17時6分頃)にM=5.8の前震があり、重要施設では、異常の有無が点検され、家庭では、火の始末やガスの元栓を締るなどの処置がとられたためであるといわれている。

### 3.7.4 貴重な自然・文化財被害

地震による文化財被害は22件をかぞえ<sup>(2)</sup>、そのうち主なものは次のとおりである。

- ・特別名勝松島における「雀島」「こけし島」の崩壊
- ・東照宮(仙台市)の本殿の傾斜
- ・旧有壁宿本陣(金成町)土壁の崩落
- ・大崎八幡神社(仙台市)の壁の一部崩壊
- ・瑞巖寺(松島町)の砲の一部崩落

### 3.7.5 避難路・場所・緊急輸送路

#### <避難路>

大規模な火災及び津波による被害がなかったため、特別な避難路の設定はなかった。

#### <避難場所>

災害救助法適用市町における救助内容と、地震発生約1ヵ月後の避難状況は表3-9,表3-10に示すとおりである。

地震発生後、被害の集中した市町では、小学校、公民館などの避難場所を設定し、二次災害の恐れのある地域は、「警戒地域」として指定し、避難の勧告を行なった。これらの被災者の収容のため、応急仮設住宅を建設した。その内訳は、表3-9に示すとおりである。

また、被災者は、市町村などの斡旋により公営住宅、知人、親戚宅へ仮住居を求めて避難した。農村部では、被災を免れた作業場やビニールハウスに寝泊りする姿も見られた。

#### <緊急輸送路>

地震のための緊急輸送路の設定など深刻な状態には至らなかった。ただし、通勤・通学は、一部迂回・折返し運転等を行ない、バス運行の増発等できりぬけた。

遠距離輸送については、仙台空港が使用可能な状態であったことから航空便が国鉄列車の運行再開まで増便され、長距離輸送が確保された。

都市圏との交通は、国道4号・6号・東北自動車道がほぼ正常に近い状態であったため、大きな混乱はなかった。

その他の主要幹線道路は、応急復旧、迂回路の確保を図り、交通が確保された。

表 3-9 災害救助法適用市町における救助内容

遭災日時	適用市町村	避難所の設置		応急仮設住宅の設置	住宅の応急修理世帯	炊き出し等食品給与期間	延人員	飲料水の供給		被服等生活必需品の給与	学用品の給与	障害物の除去
		場所	期間					期間	延人員			
6月12日 17時15分	仙台市	鹿野小学校 高砂小学校 他9箇所 計1,674人	6月12日 ～7月1日	66棟 (長町地区)  4棟 (西勝山地区) 計77棟	45	6月12日 ～ 7月1日 (20日間)	2,037	6月12日 ～ 18日 (7日間)	43,850	1,260	351	
6月13日 9時0分	追 町					6月13 6月13日	110	6月12日 ～13日 (2日間)	3,203			4
6月13日 10時0分	米 山 町							6月13日 ～14日 (2日間)	110			5
6月13日 12時0分	小牛田町			7棟	14							
6月14日 21時0分	鳴瀬町			5棟	10			6月15日 ～ 21日 (7日間)	55,000	10		3
6月22日 10時0分	泉 町	黒松老人 憩の家	6月28日 ～7月5日 (8日間) 延56人	1棟(黒松地区) 4棟(南光台地区) 計5棟	35	6月28日 ～ 7月5日 (8日間)	84	6月22日 ～ 6月24日 (3日間)	590			

表 3-10 地震発生後約1カ月後の避難状況

(昭和53年7月22日現在)

市 町 村	避難総数		避難(移転)先	備 考
	世帯数	人員		
仙 台 市	478	1,536	市 営 住 宅 71世帯 268人 応急仮設住宅 67世帯 そ の 他 340世帯 (公社, 公団アパート, 借家, 縁故, 自家作業場など)	危険区域 緑ヶ丘 92戸 荒巻源新田, 北根一念防 71戸
石 巻 市	21	92	市 営 住 宅 2世帯 7人 縁 故 19世帯 85人	
塩 釜 市	2	9	自家のり乾燥庫 2世帯 9人	
古 川 市	92	356	市 営 住 宅 7世帯 24人 縁 故 33世帯 137人 自家作業場等 52世帯 195人	
名 取 市	9	44	借 家 3世帯 13人 自家作業場等 4世帯 21人 縁 故 2世帯 10人	新築中4戸
白 石 市	1	3	縁 故 1世帯 3人	

表 3-1-7(b) 農業関係施設等の被害状況

(単位：千円)

種類名	都道府県名		青森県		岩手県		宮城県		秋田県		山形県		福島県		計	
	件数	被害額	件数	被害額	件数	被害額	件数	被害額	件数	被害額	件数	被害額	件数	被害額	件数	被害額
共同利用施設	耕種関係		62	83,136	366	1,408,578							28	32,574	456	1,524,288
	畜産関係		1	100	6	8,000									7	8,100
	蚕糸関係		5	1,409	7	15,270									12	16,679
	園芸関係		3	2,150	2	3,750									15	5,925
	その他		6	5,750	15	16,200									21	21,950
	自然牧野															
計		10	15	77	92,545	395	1,451,808						28	32,574	511	1,576,942
非共同利用施設	耕種関係						7,680	6,078,438							7,680	6,078,438
	畜産関係						910	333,731							910	333,731
	蚕糸関係						1	4,800							1	4,800
	園芸関係						110	50,120							111	50,540
	その他															
	自然牧野															
計						8,701	6,467,089						1	420	8,702	6,467,509
地方公共団体施設	耕種関係															
	畜産関係					2	750								2	750
	蚕糸関係															
	園芸関係					1	300								1	300
	その他															
	自然牧野															
計						3	1,050							3	1,050	
合計		10	15	77	92,545	9,100	7,919,947						29	32,994	9,216	8,045,501

注1. 本表は「東北地域における昭和53年の気象経過と農業災害の概況」(東北地域農業気象協議会)資料による。

表 3-1-8 農地・農業用施設の被害状況

(単位: ha・ヶ所・千円)

区分	青森県		岩手県		宮城県		秋田県		山形県		福島県		被害総計	
	(面積) ヶ所	被害額	(面積) ヶ所	被害額	(面積) ヶ所	被害額	(面積) ヶ所	被害額	(面積) ヶ所	被害額	(面積) ヶ所	被害額	(面積) ヶ所	被害額
農地	(10) 2	4,000	(2100) 742	109,000	(612) 143	132,000	(10) 2	4,000	(05) 1	4,000	-	-	(2787) 890	253,000
池	-	-	42	118,000	75	527,700	4	8,000	4	304,000	51	654,000	176	1,611,700
農道	-	-	-	-	15	256,400	1	18,000	-	-	5	32,000	21	305,400
農業用水	24	321,000	105	186,000	816	6,319,000	8	5,000	7	27,000	43	187,000	1,003	7,045,000
農業用施設	3	5,000	112	97,000	152	451,500	2	8,000	3	35,000	17	69,000	289	665,500
農機	7	11,000	3	4,000	37	69,600	-	-	-	-	3	6,000	50	90,600
農道	-	-	9	28,000	103	643,800	2	2,000	8	27,000	2	6,000	124	706,800
農地保全	-	-	-	-	3	30,000	-	-	-	-	-	-	3	30,000
小計	34	337,000	271	433,000	1,201	8,298,000	17	41,000	22	393,000	121	954,000	1,655	10,456,000
海岸保全施設	-	-	1	3,000	60	1,836,000	-	-	-	-	4	90,000	65	1,929,000
計	(10) 36	341,000	(2100) 1,014	545,000	(612) 1,404	10,266,000	(10) 19	45,000	(05) 23	-	125	1,044,000	2,621	12,638,000
農地	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
農業用施設	-	-	1	9,271	4	511,812	-	-	-	-	-	-	5	521,083
計	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	(10) 36	341,000	(2100) 1,015	554,271	1,408	10,777,812	(10) 19	45,000	(05) 23	397,000	125	1,044,000	2,626	13,159,083

注1. 本表は東北農政局農産部防災課調査による。  
 2. 農地・農業用施設(土地改良事業関係)には、岩手県および宮城県内の国営事業実施中の地区における農業用施設の被害を含む。



### 3.7.6 交通規制地区

#### <東北自動車道>

被害箇所 : 飯坂 I.C ~ 築館 I.C

被害の概要 : 路面の段差や亀裂損壊あるいは、路肩、のり面崩壊、幅 30cm、長さ 50m の大規模な亀裂 3箇所を含め、大小 70箇所に及ぶ。

制御状況 : 飯坂 I.C ~ 築館 I.C 間閉鎖

14日10時 飯坂 I.C ~ 泉 I.C 開通

15日17時 全線開通

#### <国・県の道路と、鉄道> <sup>(45)</sup>

地震による国道の通行規制は表 3-11 に示し、宮城県管理の道路の通行規制は表 3-12 に示すとおりである。

また、国鉄の被災区間、不通再開状況は表 3-13、表 3-14 に示すとおりである。

表 3-11 通行規制状況 (道路)

路線 番号	箇所名	状況	規制	規制期間	
				開始	解除
4	白石市田町 (30.45km)	水道管破裂による路面沈下	片側通行	12日 23時	13日 1時30分
"	黒川郡富谷町志戸田 (37.17km)	路面隆起 h=20.40m	"	12日 17時20分	13日 8時
6	相馬郡鹿島町川子 (283.4km)	橋台背面沈下 h=10cm	"	12日 18時	12日 19時
45	桃生郡鳴瀬町小野 (38.2km)	のり面崩落 V=400m	"	12日 19時	16日 13時
"	大船渡市大船渡下平 (165.5km)	路面亀裂 70m	"	13日 13時	16日 19時30分
"	気仙郡三陸町大峠 (180.6km)	" 10m	"	12日 19時05分	15日 17時
"	" 三陸町越喜来 (183.6km)	" 50m	"	12日 19時05分	15日 17時
"	" 三陸町越喜来 (184.3km)	" 32m	"	12日 17時51分	15日 17時
"	九戸郡野田村下安家 (336.7km)	崩落土処理 L=10m V=100m <sup>3</sup>	"	12日 18時20分	14日 17時
48	宮城郡宮城町作並 (30.5km)	立木転倒	"	12日 17時30分	12日 19時50分
108	桃生郡河南町須江 (5.8km)	路面陥没 L=6m h=70cm	全面通行止	12日 18時	13日 16時25分
"	古川市古川駅前 (35.5km)	ガス漏れ	"	12日 17時30分	12日 19時50分

表 3-1-2 (a) 道路の通行規制箇所調査 (橋梁災害含む)

(53.12.1現在)

番号	路線名	地名	地名	橋名	状況	規制	開始	解除	概要
1	346号	錦	桜	橋	上下部工被災・ゲルバ 一品桁1スパン落橋	通行止	6月12日	11月1日	落橋部既橋により6月24日から二輪車・歩行者通行確保、上流に 仮橋架設、規制解除11月1日
2	342号	登米	大	橋	橋脚破損、ゲルバ 1スパン落橋	徐行	"	"	応急工事施工により2t積重以下の通行確保 (昭和54年公共事業台併、復旧完了見込)
3	石巻・鹿島台・大衛	木間	塚	橋	橋脚破損、桁歪込み	通行止	"	8月3日	
4	湯沢・桑館・志津川	米谷	大	橋	省破損・変位 上部トラス上弦材切断	大型通行止	"	9月11日	応急工事施工により2t積重以下の通行確保 (公共事業台併復旧昭和55年度完了見込)
5	古川・佐沼	江	合	橋	橋台破壊	"	"	6月13日	6月13日から車両通行止 下流に仮橋架設、規制解除
6	仙台・泉	北	根	橋	橋台裏沈下	徐行	"	6月12日	
7	大和・松島	洞	堀	橋	"	通行止	"	6月13日	応急復旧
8	根白石・塩釜	八	乙	橋	橋台破壊	"	"	"	
9	涌谷・三本木	化	粧	橋	橋台裏沈下	片側通行	"	6月14日	
10	大和・松島	西	川	橋	"	"	"	8月3日	
11	346号	感	恩	橋	上部工破損	"	"	7月12日	
12	石巻・女川	西	内	橋	橋台破壊、桁歪込み	徐行	6月15日	6月21日	6月21日大型車通行止 54年9月復旧工事完了
13	塩釜・亘理	関	上	橋	"	車両通行止	6月17日	9月30日	
14	古川・松山	志	田	橋	"	片側通行	6月20日	6月29日	応急工事により片側交互通行(総重量10t以下) 54年3月復旧工事完了
15	石巻・鮎川	万	石	橋	省破損	通行止	6月21日	6月12日	
16	河内・米山	豊	里	橋	橋台破損	通行止	6月12日	6月22日	
17	大和・松山	善	川	橋	"	"	"	6月13日	
18	瀬峰・豊里	十	五	橋	道路陥没	"	"	6月28日	6月28日時間帯通行止
19	奥松島・松島公園	松島町	手	橋	道路陥没	"	"	6月14日	
20	定義・仙台	宮城町	定	義	落石、崩上	"	"	6月13日	
21	気仙沼・本吉	気仙沼市	金	取	路盤亀裂、松の木倒壊	"	"	6月14日	
22	升次・吉岡	大和町	城	内	瓦落下	"	"	6月13日	
23	栗駒公園	栗駒町	上田	湯	落石	徐行	"	6月12日	
24	有壁停車場	金成町	有	壁	"	通行止	"	8月13日	
25	湯沢・桑館・志津川	湯沢	湯	湯	"	"	"	"	
26	軍沢・一迫	"	"	山	"	"	"	"	

表3-1-12 (b) 道路の通行規制箇所調査書

(前頁より)

番号	路線名	地	地名	状況	規制	開始	解除	摘要
27	286号	仙台市	羽黒台	崩土	通行	6月12日		11月1日片側交互通行確保、54年3月復旧工事完了
28	北上・河	北上町	牧の奥	亀裂、沈下、段差	"	"	7月22日	兼用堤
29	女川・志津川	雄勝町	釜谷峠	欠礫、崩土	"	"	6月13日	
30	釜谷・大須・雄勝	"	立兵	崩土	"	"	"	
31	牡鹿半島公園	女川町	牡鹿町	欠礫、亀裂、崩土	"	"	"	合線1、2箇所被災(本原～終点)、7月1日女川～大原解除 54年3月復旧工事完了
32	亙理・大河原・川崎	村田町	音無	崩土	片側通行	"	6月15日	
33	東和・薄衣	東和町	二良根	落石	通行止	"	6月13日	
34	大郷・利府	利府町	森郷	崩土、亀裂、欠礫	"	"	9月13日	
35	粕川・幡谷	大郷町	不来内	崩土	"	"	7月25日	
36	湯沢・築館・志津川	東和町	平倉	欠礫	大型通行止	"	"	応急工事により6月14日より片側交互通行 54年2月復旧工事完了
37	宝江・迫	中田町	新井田	陥没	片側通行	"	6月13日	
38	346号	米山町	西野	民家倒壊	"	"	"	
39	浦谷・登米	豊里町	波	民地ブロック積倒壊	通行止	6月13日	6月30日	
40	馬場・只越	唐桑町	役場前	石積崩壊	片側通行	6月12日	6月17日	
41	鳴子・岩ヶ崎	鳴子町	上原	崩土	"	"	6月13日	
42	東和・薄衣	東和町	蛙石	亀裂	"	"	"	
43	北上・河	河北町	大川	亀裂、沈下、欠礫	通行止	"	7月22日	兼用堤
44	仙台・山寺	秋保町	長袋	ブロック積沈下	片側通行	"	6月13日	
45	愛島・名取	名取市	種松	崩土	"	"	12月20日	54年3月復旧工事完了
46	根白石・塩釜	泉市	長淵	ブロック積破損	"	"	"	
47	342号	中田町	長崎	亀裂	"	"	6月14日	
48	西成田・泉	富谷町	祭田	沈下、段差	大型通行止	6月14日	6月14日	54年3月復旧工事完了
49	鳴瀬・南郷	鳴瀬町	砂山	亀裂	通行止	6月13日	6月22日	兼用堤
50	釜石・大須・雄勝	雄勝町	名振～船越	"	大型通行止	6月15日	7月11日	
51	河内・津山	河内町	及人	"	片側通行	6月13日	6月26日	兼用堤 6月19～26日車両通行止
52	286号	仙台市	赤石	落石危険	通行止	6月18日	11月14日	6月20日片側規制、11月14日工事完了
53	塩塩・花淵・菅瀬田	塩釜町	佐浦町	倉庫倒壊	片側通行	6月12日	6月15日	

表3-13 被害が大きく応急工事に長時間を要した主な箇所(仙台鉄道管理局)

線 区 別	被 災 箇 所	被 害 状 況	運 転 再 開 月 日
東北本線	松島・品井沼間田中川橋梁	前後築堤変状	6月16日
”	松島・品井沼間石巻街道架道橋	前後築堤変状	6月16日
”	小牛田・田尻間(上り)江合川橋梁	橋脚変状	6月18日
”	小牛田・田尻間(下り)北川橋梁	橋台沈下	6月16日
”	長町・宮城野間行人塚高架橋	橋脚亀裂	6月30日
仙石線	野蒜・陸前小野間鳴瀬川橋梁	橋桁変状	6月21日
”	石巻港駅構内	路盤不等沈下・軌道狂	6月24日
気仙沼線	陸前小泉・本吉間津谷川橋梁	橋桁変状	7月7日

表3-14 国鉄運転再開表(仙台鉄道管理局)

線 名	不 通 区 間	上 下 別	開 通 時 刻	
			月 日	時 刻
東 北 本 線	南 仙 台・仙 台	上	6月13日	8:20
		下	6月13日	10:20
	利 府・仙 台	上	6月13日	19:35
		下	6月16日	17:00
	岩 切・鹿 島 台	上	6月16日	9:00
		下	6月18日	17:10
小 牛 田・瀬 峰	上	6月14日	23:40	
	下	6月14日	22:30	
瀬 峰・石 越	上	6月15日	0:20	
	下	6月15日	0:20	
東 北 (貨 物) 線	長 町・宮 城 野	上	6月30日	16:45
		下	6月18日	17:00
丸 森 線	槻 木・丸 森		6月18日	17:00
仙 山 線	仙 台・山 寺		6月14日	19:30
陸 羽 東 線	小 牛 田・西 古 川		6月14日	13:30
石 巻 線	小 牛 田・石 巻		6月16日	17:00
			6月16日	17:00
気 仙 沼 線	前 谷 地・樽 津		6月19日	17:00
			7月1日	18:00
			7月6日	24:00

3.7.7 情報システム被害

通信システムの地震被害は表3-15、表3-16、表3-17、表3-18、表3-19、表20、図3-18、図3-19、図3-20、図3-21にまとめられているとおりである。

表3-15 加入電話申告障害状況

通信部	加入数	申告障害		り障率 (%)
		局数	加入数	
宮城	533,000	11	2,874	0.5
福島	492,000	17	522	0.1
岩手	331,000	14	630	0.2
青森	386,000	1	5	0.0
合計	1,742,000	43	4,031	0.2

表3-16 一般加入電話申告障害取扱局別状況

取扱局名	加入数	り障加入数	り障率 (%)	取扱局名	加入数	り障加入数	り障率 (%)	取扱局名	加入数	り障加入数	り障率 (%)			
宮城通信部管内	仙台電話局	272,600	1,345	0.5	福島通信部管内	平報話局	57,700	35	0.1	岩手通信部管内	遠野報話局	6,500	9	0.1
	塩釜報話局	40,800	109	0.3		飯坂報話局	6,700	8	0.1		一ノ関報話局	22,400	102	0.5
	岩沼報話局	18,000	56	0.3		白河報話局	20,900	12	0.1		大船渡報話局	21,400	46	0.2
	白石報話局	12,100	52	0.4		須賀川報話局	18,300	11	0.1		宮古報話局	26,100	2	0.0
	大河原報話局	25,600	64	0.3		石川報話局	15,700	30	0.2		釜石報話局	24,000	33	0.1
	古川報話局	29,200	301	1.0		三春報話局	14,300	24	0.2		二戸報話局	15,600	63	0.4
	小牛田報話局	15,000	198	1.3		小浜報話局	22,300	9	0.0		水沢報話局	34,100	64	0.2
	石巻報話局	60,500	395	0.7		相馬報話局	10,400	28	0.3		北上報話局	21,200	46	0.2
	気仙沼報話局	27,200	77	0.3		原町報話局	18,300	27	0.1		久慈報話局	15,100	45	0.3
	追報話局	12,500	184	1.5		喜多方報話局	14,000	18	0.1		岩泉報話局	5,200	19	0.4
築館報話局	19,600	93	0.5	田島報話局	11,000	5	0.0	千歳報話局	9,600	32	0.3			
計	533,100	2,874	0.5	勿来報話局	13,800	14	0.1	沼宮内報話局	10,700	38	0.4			
福島通信部管内	福島報話局	102,700	117	0.1	富岡報話局	16,000	28	0.2	計	331,300	630	0.2		
	郡山報話局	71,000	91	0.1	計	491,700	522	0.1	岩手通信部管内	八戸報話局	80,600	5	0.2	
	会津若松報話局	59,300	39	0.1	盛岡報話局	95,100	94	0.1		合計	1,436,700	4,031	0.28	
	二本松報話局	19,300	26	0.1	花巻報話局	24,300	37	0.2						

注) 加入数は53.5万。

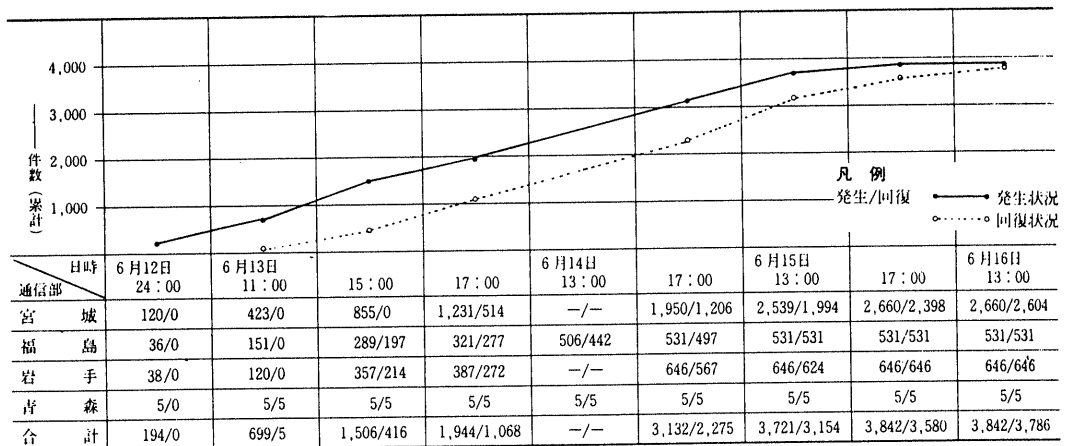


図3-18 加入電話の申告障害および回復状況

表 3-17 公衆電話申告除害状況

通 信 部	設 備 数 (53.3 米現在)	申告障害数	り障率(%)
宮 城	26,215	251	1.0
福 島	24,096	16	0.1
岩 手	16,989	7	0.0
合 計	67,300	274	0.4

表 3-18 市外電話回線り障状況

伝 送 方 式	り障ルート 収容回線数	り 障 状 況	
		り ル ー ト 数	り 回 線 数
同 軸	16,413	3	16,413
マイクロ	電 話	4	6,880
	テ レ ビ	1	上り 6 下り 6
PCM (パルス符号変調) SHC (短距離搬送方式)	2,490	7	680
合 計	27,060	15	23,960

注) 合計からはTV回線を除く。

表 3-19 市外電話回線伝送区間別り障状況

伝送路	ル ー ト 名・障 害 区 間	伝 送 方 式	収 容 回 線	り 障 回 線	り障率(%)
同 軸	常盤同軸(原町一仙台間)	C-12MTr	6,900	6,900	100
	東北第Ⅱ同軸(福島一仙台間)	〃	4,900	4,900	100
	〃 (仙台一盛岡間)	〃	4,600	4,600	100
	東北第Ⅰ同軸(仙台一盛岡間)	〃		(12 M 化 工 事 中)	
	小 計		16,400	16,400	100
マイ ク ロ	東仙札 6 G 第Ⅱルート(十条一榴岡)	6GHZ (U <sub>a</sub> )	6,100	6,100	100
	東仙青 4 G (仙台一函館間)	4GHZ (B <sub>a</sub> )	250	250	100
	仙台一石 巻11G	11GHZ (T <sub>2</sub> )	1,500	400	28.4
	石巻一気仙沼 2G	2GHZ (B <sub>4</sub> )	320	130	40.6
	小 計		8,170	6,880	85.5
P C M ・ S H C	仙 台一 名 取	PCM-24	690	212	30.7
	榴 岡一 楯 釜	〃	487	24	4.9
	榴 岡一 七 北 田	〃	637	48	7.5
	石 巻一 牡 鹿	〃	180	161	89.4
	石 巻一 河 北	〃	177	112	63.3
	大 河 原一 川 崎	〃	194	113	58.2
	宮 古一 岩 泉	T-12SR	121	12	9.9
小 計		2,486	682	27.4	
合 計			27,056	23,962	88.6

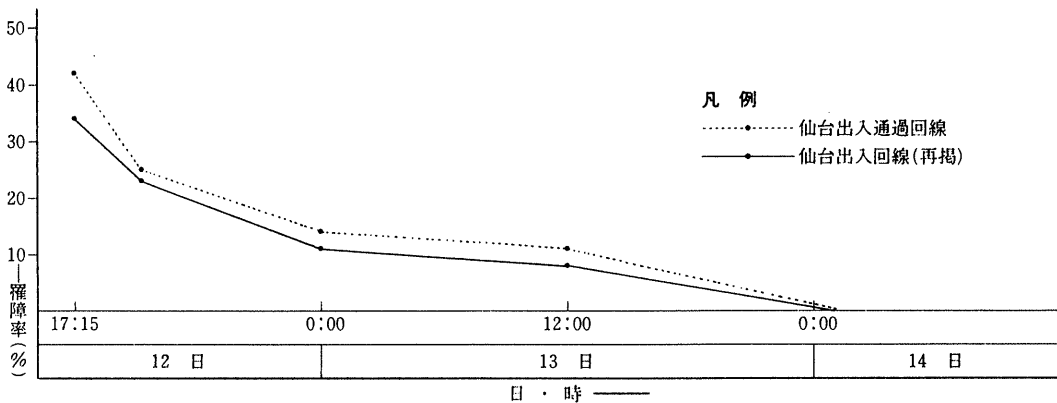


図 3-19 市外電話回線の回復状況

表3-20 主要設備の被害状況

設備	被害項目	単位	被害数
線路	電柱損傷(折損, 倒壊, 傾斜を含む)	本	892
	同軸ケーブル損傷	件/延m	18/5,300
	架空ケーブル損傷(SDワイヤ含む)	〃	247/22,265
宅内	電話機損傷	個	1,071
	引込線損傷	件	3,091
	屋内線損傷	〃	882
土木	マンホール損傷(緑石破損, HH損傷含む)	個	389
	埋設管路の損傷	延km	5.7
	公社専用橋の損傷	橋	1
木	道路橋添架管路の損傷(継手部破損, 離脱)	延km	* 7.9

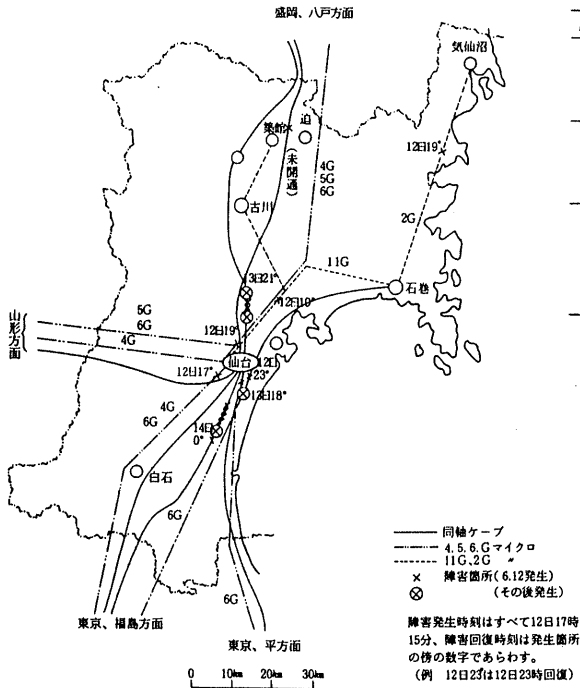
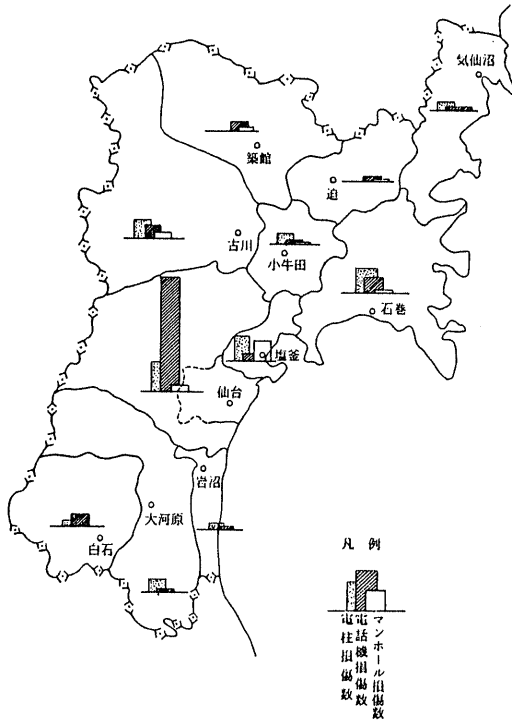


図3-20 仙台を中心とする同軸・マイクロ伝送路と被害状況



	電柱損傷	電話機損傷	マンホール損傷
仙台	157	608	33
塩釜	145	34	116
岩沼	24	19	—
白石	38	68	—
大河原	63	11	1
古川	95	70	32
小牛田	48	21	10
石巻	126	77	7
気仙沼	44	15	14
迫	4	27	9
築館	—	45	8
合計	744	995	230

図3-21 宮城県内の被害分布状況

## § 4 地盤と地震災害のまとめ(1978年宮城県沖地震)

### 4.1 基礎地盤調査結果と地震災害調査結果の重ね合わせ

地震災害の大きさを決定する要因は、地震波の性質、規模、地質構造、地形、表層地質、対象構造物の構造、地震前後の気象条件等多岐にわたっている。

1978年宮城県沖地震は、その規模、地震波の性質からみて当該調査範囲における模式的な地震であり、適切な表現ではないが、地震災害形態を知るための多大な犠牲を払った貴重な実験であったといえることができる。

災害発生形態と地質構造、地形、表層地質の関連が把握されれば、地震危険度を想定する上で、どういった基礎地盤情報を抽出すればよいか明らかになるはずである。また、次節で述べる地震応答と被害調査の検討結果もあわせれば、被害対象構造物がないために今回は被害が出なかった地域についても潜在的危険度を予測することができる。

この手法が確立されれば、その成果は仙台以外の他の地域にも適用でき、既存の土地分類調査情報と地震履歴を吟味することによって、将来の地震災害を事前に予測し、適切な対策につなぐことができるはずである。

以上の考え方に基づいて、次の作業を実施した。

- ① 地震被害と微地形分類図の重ね合わせ
- ② 地震被害と地盤分類図の重ね合わせ

### 4.2 地震被害と微地形分類図

地震被害分布図と微地形分類図を重ね合わせて見ると、両者が極めて良い対応をしていることがわかる。すなわち、地震被害分布は次の地形要素のところに集中している。

- i) 山地・丘陵地が造成された人工改変地のうち埋土部分
- ii) 平野部における後背湿地、とくに泥炭分布地
- iii) 傾斜地を含めた微地形境界部
- iv) 海岸埋立地

v) 逆に、台地や段丘地の平坦面では地震被害は散在的である。

i) の地域は、北部の鶴ヶ谷～埋松～桜ヶ丘にかけた地域と、南部緑ヶ丘～青山にかけた地域である。両地域は、新第三紀層分布地域内にあるが、宅地造成に伴う谷部の埋土部、斜面の盛土部が多く、これら盛土部の部分崩壊とそれに伴う木造家屋、埋設構造物の被害が多い。

ii) の地域は、日の出町、扇町、卸町等の泥炭分布地域で鉄骨・鉄筋コンクリート造の建築物被害が多い。

iii) の地域は、段丘平坦面と崖、自然堤防と後背湿地、自然堤防の発達が良好な部分と微弱な部分等の境界部に多い。しかし、名取川右岸の自然堤防、後背湿地が複雑に発達する地域では、ほとんどの被害がない。当地区は、礫地盤であることが知られており、構成地質の特性の差によるものと思われる。

iv) の地域は、塩釜・石巻の埋立地である。前者は、軟弱な海成粘性土の上に岩塊及び廃棄物等で埋立てた地盤であり、現在地盤沈下が進行している地帯で、後者は、浚渫土(海岸の細粒な砂)で埋立て



た地盤である。

#### 4.3 地震被害と地盤分類図

1～4種の地盤分類は、地震力が1～4に向って増幅されるというイメージである。特殊地盤は、3.5項で述べたとおり、軟弱な有機質土、粘性土が堆積する範囲と、液状化の危険性が高い地域として区分したものである。

特殊地盤はともかくとして、被害規模が地震力の大小だけで決定されるものであるなら、被害対象物が同一頻度で分布している条件で1～4の順序で被害度合が区分されるはずである。

当図からは、必ずしもその傾向を把握することはできない。

これは、被害対象物が同一頻度で分布していないところに最大の原因があるが、その他にも被害に関連する要素があることを示唆したものと考えられる。

1種地盤の中で、被害が集中している箇所は、仙台旧市街地、南及び北に広がる宅地造成地である。この造成地の中でも1種と2種が複雑に指交関係を示している部分（旧・現沢部の傾斜地）に被害が集中している傾向が認められる。また、被害集中が認められる地点の1つである仙台旧市街地南部の緑ヶ丘付近には、大年寺断層の存在が確認されている（ただし、造成地は1種地盤とはいえない）。

2種地盤の中では、仙台旧市街地にほとんど被害は認められないものの、基盤等高線が複雑になっている部分（利府～長町断層）の西側にわずかに被害の集中傾向が認められる。（ただし、これは段丘面の境界部と考えてよい。）

3種地盤に関しては、特殊地盤及び河川堤防等の特殊条件下にあるものを除くと、被害対象物が少なかったこともあって、顕著な被害との関連性は認めがたい。

苦竹、日の出町、扇町等の建築物の被害が集中した範囲は、ほぼ泥炭の分布する特殊地盤の中に含まれる。

4種地盤は、石巻平野及び仙台平野の海岸沿いにあるが、この地域に特に被害が集中したという傾向はない。

従来「沖積層（軟弱層）の厚いところでは地震被害が大きい」と言う事実が関東平野の沖積低地を中心に認められてきているが、以上述べてきたとおり、1978年宮城県沖地震の被害分布では沖積層の厚さよりも、その構成物の物性との相関が高いことが明らかになった。

#### 4.4 地盤破壊と災害の関係

3.3で述べたとおり、ここでは、地盤破壊を地震動によって引き起された斜面崩壊と地盤の液状化現象に限定している。したがって、地盤破壊が認められた箇所に構造物が存在した場合には大なり小なり被害が認められた。ただし、新幹線車輦基地においては液状化が認められたにもかかわらず、構造物そのものには顕著な被害がなかったのは、注目すべき点である。また、苦竹、日の出町、扇町等の軟弱な粘性土が分布する範囲では液状化現象は確認できなかったが、一部で軟弱層が塑性域に達し、建築物に大きな被害を受けている。

次に必ずしも地盤破壊を伴わない被害として、埋設管や堤防等のように連続した長い構造物において、地盤構成の相違による応答の相違から、局所的な応力集中により被害が生じた例や、ブロック壁

の倒壊等、構造上の欠陥が、被害の大きな要素を占めたものもある。

ただし、埋設構造物でも、地盤条件の良い仙台市街地では埋設管の敷設頻度が高いにもかかわらず、被害は軽微であった。

#### 4.5 地震災害を考慮した地形・地質分類

地震危険度を想定する場合に、基礎地盤の条件として危険な地域の抽出のほか、地震の位置、規模により、どの地域にどの程度の地震力が発生するか、を予測し、一方で将来土地利用を予想する必要がある。

宮城県沖地震によって被害をうけた区域およびその周辺地域の微地形や地盤と被害との関係は4.2～4.4で述べたとおりであるが、これらをまとめると表層数メートルの構成物質の物性を考慮した微地形で、次の地形単位に分類されたところが地震危険地帯として抽出できる。

- a) 台地・丘陵地における斜面上の盛土及び沢部埋立盛土範囲
- b) 急傾斜地、崖（段丘崖を含む）
- c) 泥炭分布域
- d) 自然堤防と後背湿地の漸多区間（発達不良な自然堤防域に相当）
- e) 現河道沿い
- f) 海岸線、海岸埋立地

地震力と被害率は、被害対象構造物の分布とも関連し、一義的には決定されるものではないが、従来ある地点での地震力を想定する場合の簡易法として、地震のマグニチュード・震源からの距離、軟弱層厚が関連するといわれてきたが、本地震の被害分布をみるかぎり、軟弱層厚ではなく、表層5 m程度の軟弱度合が関連するよう思われる。

#### 4.6 各分類毎の地震被害具体例

4.5で地震被害と基礎地盤調査の比較検討の結果から特記すべき事項が抽出された。ここでは、その代表的な例をあげる。

##### (1) 危険域

- (a) 山地・丘陵地における斜面上の盛土及び沢部埋立盛土範囲  
仙台市北部鶴ヶ谷～黒松～桜ヶ丘及び南部緑ヶ丘～青山にかけた造成地
- (b) 急傾斜地、崖（段丘崖を含む）  
松島、石巻の斜面崩壊地点及び仙台市東部の段丘崖
- (c) 泥炭分布域  
日の出町・扇町・卸町等の鉄骨・鉄筋コンクリート構造物の被害域
- (d) 自然堤防と後背湿地の漸多区間  
仙台市東北部の農業集落地域
- (e) 現河道沿い  
北上川、鳴瀬川、七北田川、名取川、広瀬川の河川堤防及び近隣の集落地域、河川にかかる橋梁

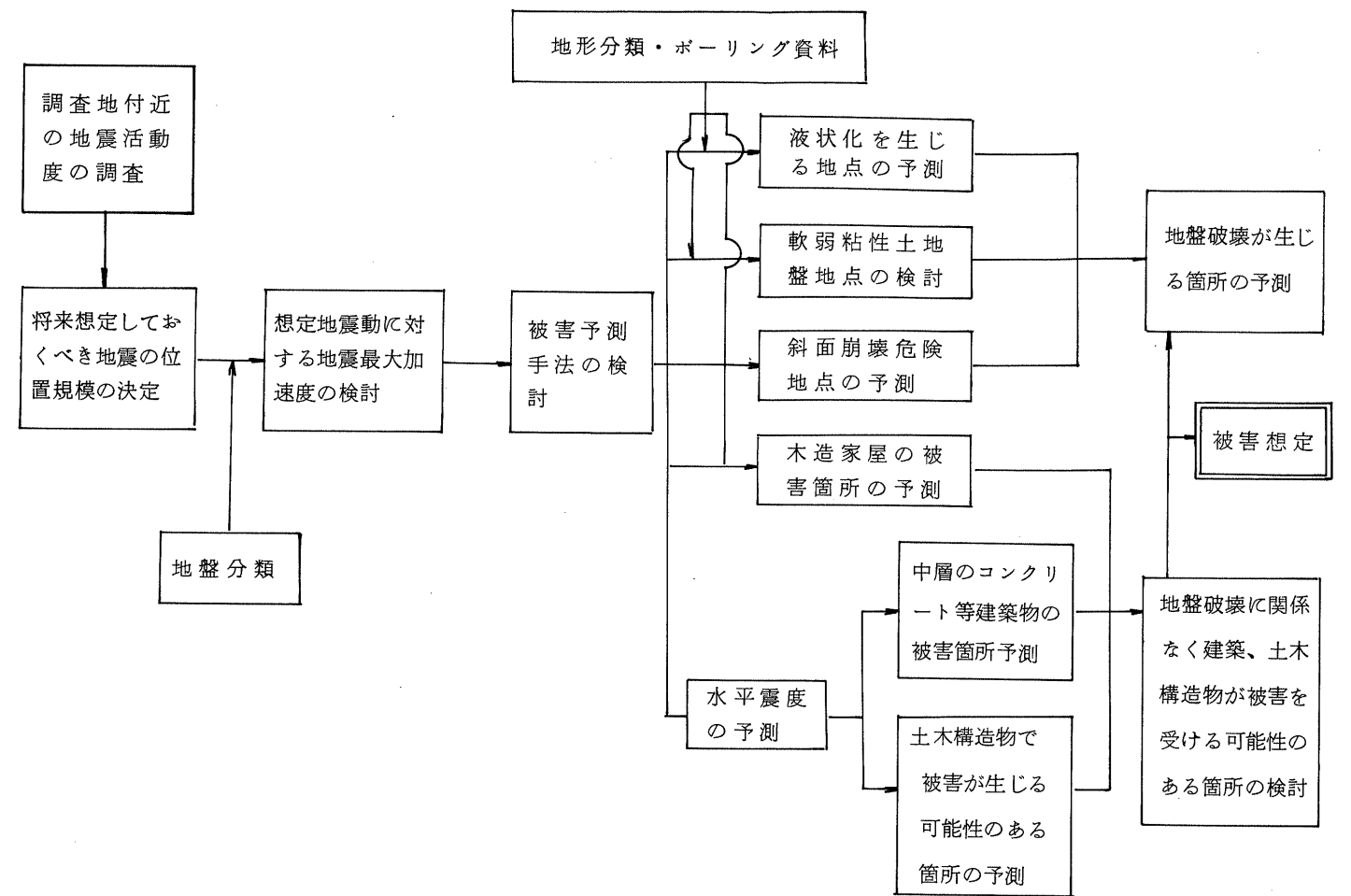
(f) 海岸線、海岸埋立地

海岸堤防及び石巻、塩釜の埋立地

(2) 被害の少ない地域

(a) 段丘 旧仙台市

(b) 浜堤 荒浜地区



## § 5 地震応答と被害想定との調査

### 5.1 調査手順

本章では、将来想定しておくべき地震動と、その地震動が生じた場合の、建築構造物・土木構造物・地盤・斜面等の被害予測手法を検討する。検討手順をフローチャートで示すと、図5-1となる。この手順で特筆すべきことは、被害を受ける箇所を次の2つに分けて検討し、最後に両者を合わせたことである。

- (1) 液状化、軟弱粘性土地盤の強度低下、ガケ崩れといった地盤破壊を生じる箇所
- (2) 地盤破壊を生じる生じないにかかわらず、地震動により建築・土木構造物が被害を受ける可能性がある箇所

これは、地盤破壊が生じればその上に立っている構造物はそれ自体が強くても、被害を受けるであろうとの考えに立っている。

地盤破壊が生じるか否かの定義はなかなか難しいものであるが、一応、地震荷重により土の歪が過大に生じ、降伏線を超えた状態を想定することとする。

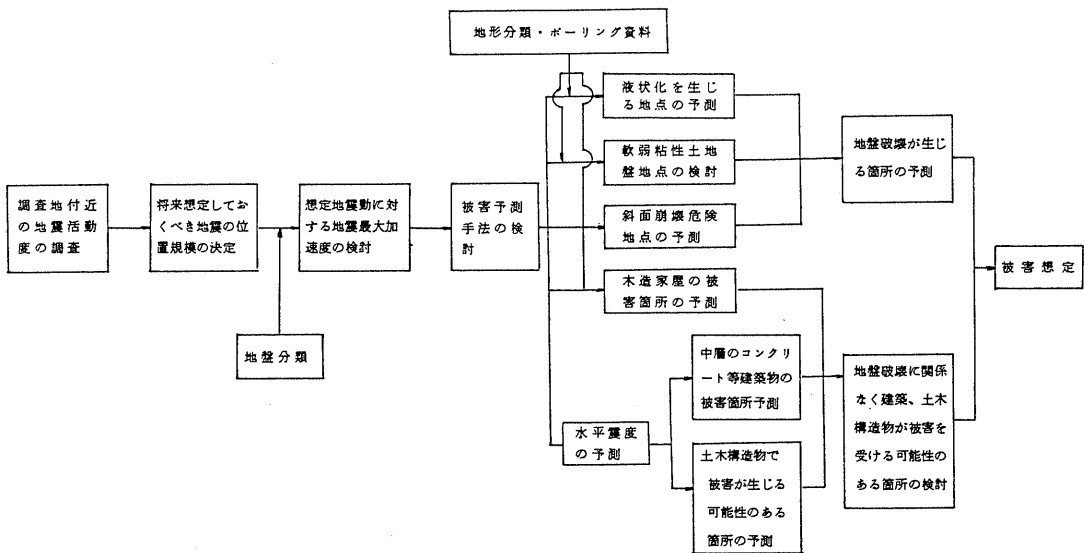


図 5-1 被害想定の見査のフローチャート

## 5.2 想定しておくべき地震

### 5.2.1 調査地域付近の地震活動度

#### (1) 太平洋岸の地震活動度

東北日本沿岸における明治以後（1868～1978年）の110年間に発生した $M > 7$ の地震の震央および近年の $M 8$ クラスの余震域を図5-2に示す。これによると、この地域における近年の地震活動地域は次の4つに大別される。

- (a) 1968年十勝沖地震（ $M 7.9$ ）の震源域
  - (b) 1933年三陸沖地震（ $M 8.3$ ）の震源域
  - (c) 1936年金華山沖地震（ $M 7.7$ ）を筆頭に1978年宮城県沖地震をも含む $M 7$ クラスが頻発する宮城県沖地震
  - (d) 1938年塩谷沖群発地震の震源域
- これらのどの地域にも入らないものとして次の2地域がある。
- (e) 東経143度以西の大地震のない岩手県沖地域

#### (f) 宮城県東方沖の海溝近傍

このうち(e)の地域は1926年以降 $M > 6$ の地震活動が全くなく、また、それ以前にも $M > 7$ の活動を実証できる証拠がないことから本来大地震を起こし得ない場所であると考えられている。

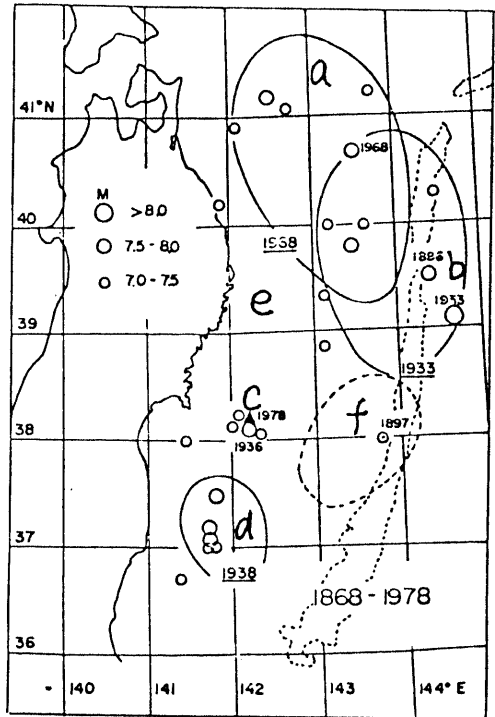
瀬野<sup>(19)</sup>は宮城県沖に発生する大地震を図5-3に示すように宮城近海（A領域）の地震と、より沖合（B領域）の地震に分け、それぞれの領域で起きた可能性のある歴史地震を列挙した。これによるとA領域では地震の規模は小さく（ $\sim M 7.4$ ）、くり返し間隔は30～40年、B領域では例が少ないが、規模は $M 7.7$ 程度、くり返し間隔は100年程度と考えられる。

#### (2) 内陸部の地震活動

過去に調査地点付近の内陸部に発生した被害地震の震央を図5-4に示す。また、内陸部の放出地震エネルギー密度を都道府県別に表わしたものを図5-5に示す。

これによると過去に宮城県内に被害を及ぼしたと思われる地震は図5-4に示したように6個程度でその規模は1900年に起った地震（ $M 7.0$ ）を除くとすべて $M$ が6～7の間である。

図5-5では、調査地域が含まれる宮城県では他府県に比べて放出地震エネルギーが小さい、すなわち、陸上で発生する大地震が少ないことがわかる。



マグニチュード、震央の位置は理科年表を参照した。実線でかこまれた地域はそれぞれ、1968十勝沖、1933三陸沖、1938塩屋沖地震の余震域を示し、点線でかこまれた地域は、宮城県東方沖の空白域を示す。

図5-2 東北日本弧の大地震の震央分布図

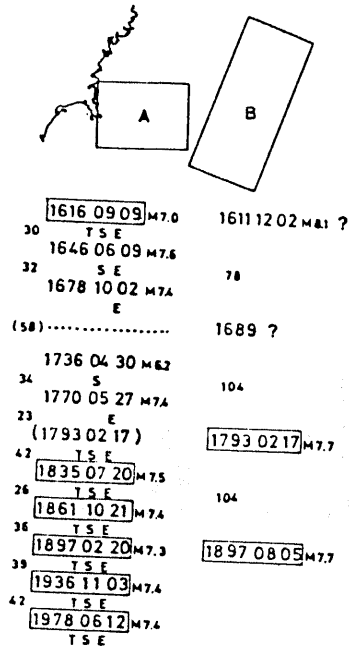


図 5-3 宮城県沖における歴史地震発生パターン(19)

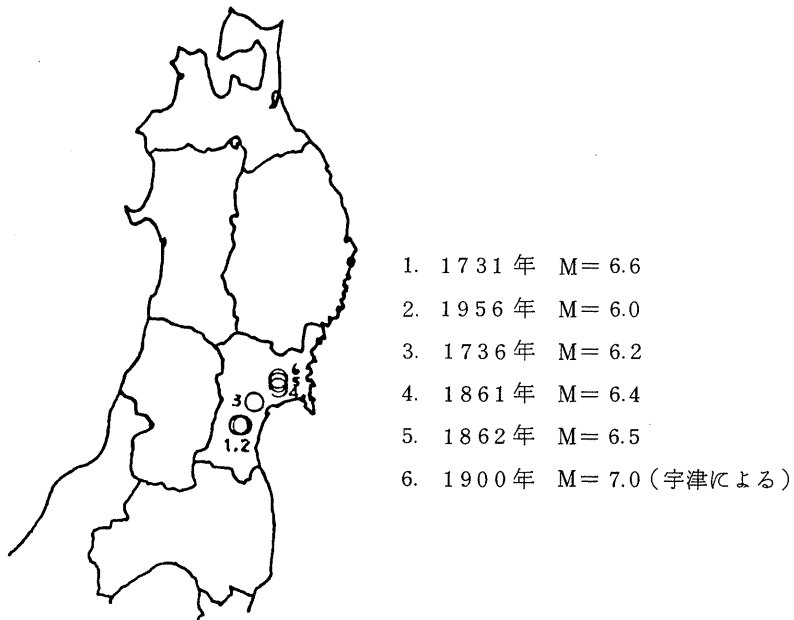


図 5-4 内陸部の地震の震央分布

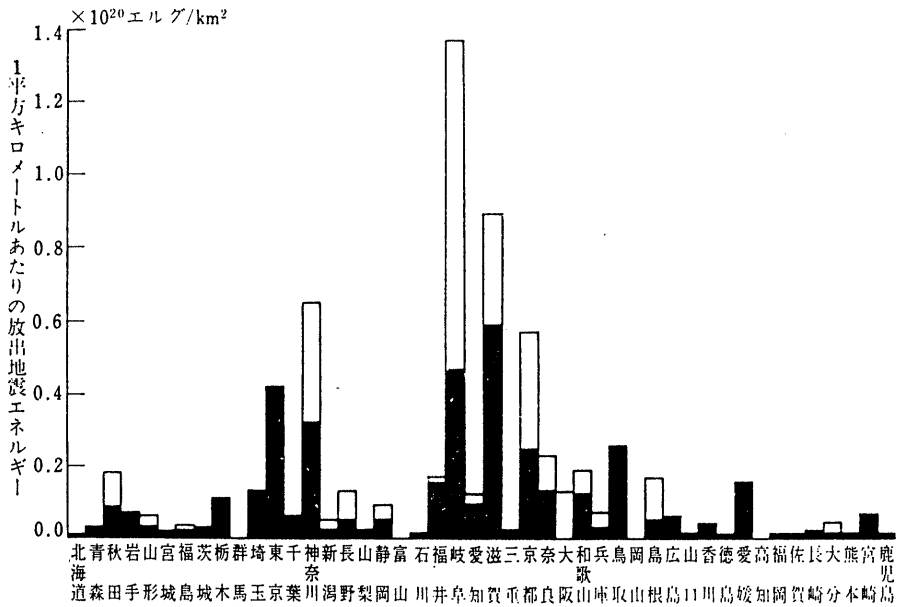


図 5-5 都道府県別放出地震エネルギー密度 (23)

### 5.2.2 調査地域の活断層

調査地域内の活断層については「日本の活断層」<sup>(4)</sup>にその位置、活動度などが記載されている。(資料編参照)これによると調査地域内で顕著な活断層は仙台市南東部を通る長町-利府線と呼ばれる活断層で、その長さは約1.7Kmである。この活断層の活動度はB級すなわち断層の平均変位速度が0.1~1m/1,000年である。地震断層の長さLや変位量Dは地震のマグニチュードMが大きいほど大きい傾向がある。また一部の例外を除けば、地震断層が地上に現れるのはMが6.5以上の地震に限られている。

過去に地震断層が現れた地震についてMとL、Dの関係を調べると、次式にみる関係があることがわかる。<sup>(4)(2)</sup>

$$\log L = 0.6 M - 2.9 \quad (L \text{の単位はKm}) \quad \dots\dots\dots 5.2.1$$

$$\log D = 0.6 M - 4.0 \quad (D \text{の単位はm}) \quad \dots\dots\dots 5.2.2$$

5.2.1式にL=1.7Kmを代入してMを求めるとM=6.9になる。

5.2.2 上記断層の平均変位速度0.5~0.7m/1,000年を代入すると、M=6.2~6.4/1,000年となる。また(1)式で得られたM=6.9の地震は5.2.2式の平均変位速度より推定すると2,000~3,000年に一度発生することになる。



### 5.2.3 調査地域に予想される地震

#### (1) 海洋性の地震

調査地域を含む東北日本の太平洋岸は地震国の我国の中でも特に地震活動が活発な地域である。この地域の地震発生特性はよく調べられており、数10～100年程度の間隔でM7クラスの地震が発生している。既往の被害地震のパターンを大別すると震の卓越するものと津波の被害が卓越するものになるが、本解析では震害の卓越する地震の方を重視して次に示す2つの既往地震を今後調査地域に予想される地震とした。

##### ① 1978年宮城県沖地震と同じ位置、規模のもの

震源 38.15°N 142.17°E

規模 M=7.4

##### ② 1978年宮城県沖地震と同じ位置で規模が大きいもの

震源 38.15°N 143.17°E

規模 M=8.0

#### (2) 内陸部の地震

内陸部に発生する地震は太平洋岸に発生する地震に比べて発生頻度が小さいため、同じ地点で繰り返し地震が起こるかどうかもはっきりしない。調査地域内およびその付近での地震発生の状況5.2.1で概算した通りであるが、Mが6.0～7.0程度の地震が6個程度起きているにすぎない。これらの地震の被害範囲は極めて極限されているので、調査地域全体に影響を与えるような地震は考えにくい。

一方、地震発生の可能性がある地点として活断層が存在する地点を想定する方法がある。この場合、活断層より発生する地震の規模は活断層の長さ、変位量から推定出来るが、その地震が耐震設計上想定する期間内に発生するかどうか予想できないという欠点がある。

このように内陸部に発生する地震を想定するのはむずかしいが、ここでは利府一長町断層が調査地域内に存在するため、この断層の北端と、または南端にM=6.5の地震が発生することを想定した。海洋性地震と合わせてその諸元を表5-1に示す。

表5-1 想定地震の諸元

No	震央位置	M	地域
1	38.15°N 142.17°E	7.4	宮城県沖
2	〃	8.0	〃
3	38.21°N 140.84°E	6.5	仙台市近郊
4	38.29°N 140.94°E	6.5	県北地方

### 5.3 基盤、地表での加速度分布の想定

#### 5.3.1 最大加速度の予測式

(1) 河角(1951)<sup>(24)</sup>

河角は震度階の検討から、震度 I と地表最大加速値  $\alpha$  との間に

$$\alpha \text{ (gal)} = 0.45 \times 10^{0.51} \dots\dots\dots (5.3.1)$$

なる関係を見出した。一方、震度分布が震央位置と地震のマグニチュードの関係を示していることから、計器観測資料のない古い時代(416~1925)の地震についても、古文書の記録を利用して震央位置とマグニチュード  $M_k$  を決めた。 $M_k$  と現在一般に用いられている気象庁マグニチュード  $M$  との関係は次に示すとおりである。

$$M = 4.85 + 0.5 M_k \dots\dots\dots (5.3.2)$$

また、 $M_k$ 、I と震源(央)、距離  $r$  ( $\Delta$ ) との間に

$$\begin{aligned} I &= M_k + I' \\ I &= 2 \ln \left( \frac{100}{\Delta} \right) - 0.00183 (\Delta - 100) \quad \Delta \geq 100 \text{ Km} \\ &= 2 \log \left( \frac{r_0}{r} \right) - \frac{1}{2 \ln 10} (r - r_0) \quad \Delta < 100 \text{ Km} \end{aligned} \left. \dots\dots (5.3.3) \right\}$$

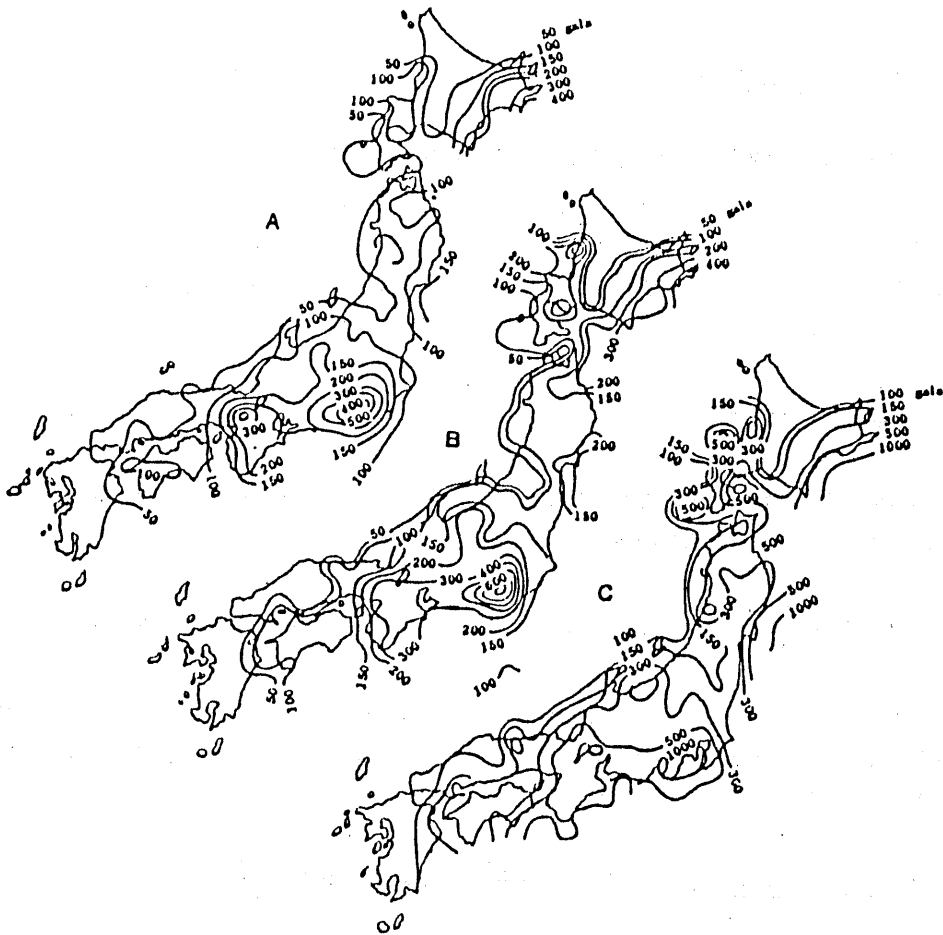
なる関係を求めた。(5.3.1)(5.3.2)(5.3.3)式から加速度とマグニチュード震源(央)距離との関係を求めると次式になる。

$$\log \alpha = M - 5.2 - 2.3 \log (\Delta / \Delta_0) - 0.000915 (\Delta - \Delta_0) \quad \Delta \geq 100 \text{ Km} \dots\dots\dots (5.3.4)$$

$$\log \alpha = M - 5.2 - \log (r / r_0) - 0.00834 (r - r_0) \quad \Delta < 100 \text{ Km} \dots\dots\dots (5.3.5)$$

ここで  $\Delta_0 = 100 \text{ Km}$ 、 $r_0$  は  $\Delta = 100 \text{ Km}$  に対応する震源距離  $r$ 、 $I = 0.01921 \text{ Km}$  である。

河角は上記の関係式を使って、期間75年、100年及び200年に予想される各地の最大加速値を計算し、分布図を作成している(図5-3)。この際に使用した地震数は343個、計算地点の数は日本全国の陸地およびその付近の緯度、経度を0.5度毎に分割した345点である。



A = 75年間、 B = 100年間、 C = 200年間

図 5-3 地震動の限界加速度分布 (河角による) (24)

(2) 金井(1966)<sup>(25)(26)</sup>

金井は日立鉾山の地下(深さ300m)での観測結果から地盤の増幅等性を含む次式を提案した。

$$\alpha_{\max} = \frac{5}{\sqrt{T_g}} \times 10^{0.61M - 1.73 \log x + 0.13} \dots\dots\dots (5.3.6)$$

ここで  $\alpha_{\max}$  は地表最大加速度、 $T_g$  は地盤の固有周期、 $M$  はマグニチュード、 $x$  は震源距離である。日本、アメリカの強震記録から読みとった最大加速度は(5.3.6)式で計算した値ともよく合うが、1957年のサフランシスコ地震のように、震源距離20kmぐらいの比較的震央に近い場所の強震記録とは合いかたが悪く、松代地震群の強震記録のような震央付近のものとは、相当のくいちがいがあることがわかった。そこで、上式の間係を、次のように一般化し、

$$\alpha_{\max} = \frac{5}{\sqrt{T_g}} \times 10^{0.61M - p \log x + Q} \dots\dots\dots (5.3.7)$$

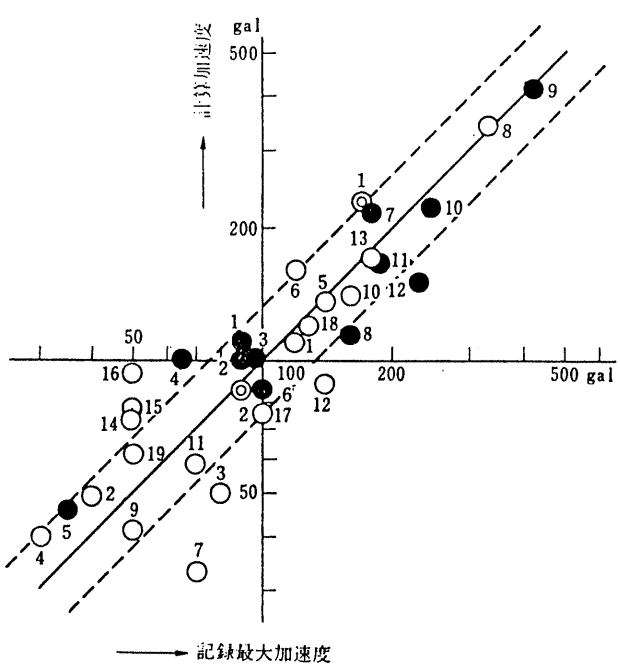
松代地震群の中の2組の代表的な強震記録から  $P$ 、 $Q$  を求めると、 $P = 2.35$ 、 $Q = 0.186$  となった。ところで、 $P$ 、 $Q$  は震源距離の関数と考えられるから

$$P = P_1 + \frac{P_2}{x} \quad Q = q_1 + \frac{q_2}{x} \dots\dots\dots (5.3.8)$$

の形で表わし、(1式)の  $P = 1.73$ 、 $Q = 0.13$  は  $x = 50$  km のものに相当し、ここで求めた  $P = 2.35$ 、 $Q = -0.186$  は  $x = 5$  km のものと仮定して(5.3.8)式から、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $q_1$ 、 $q_2$  の値を求めると、結局、次式が得られた。

$$\alpha_{\max} = \frac{5}{\sqrt{T_g}} \times 10^{0.61M - \left(1.66 + \frac{3.60}{x}\right) \log x + \left(0.167 - \frac{1.83}{x}\right)} \dots\dots\dots (5.3.9)$$

(5.3.9)式を使った計算値と強震観測で得られた最大加速度の間係を使った計算値と強震観測で得られた最大加速度の間係を示したのが図5-4である。マグニチュードの誤差は±0.2とされており、図5-4中の2本の破線は、マグニチュードの発表値に±0.2を入れて計算したものである。



1	Mar. 10, '33	Vernon	○
2	"	Los Angeles	
3	Cct. 2, '33	Vernon	
4	"	Los Angeles	
5	Dec. 30, '34	El Centro	
6	Oct. 31, '35	Helena	
7	Sept. 11, '38	Ferndale	
8	May. 18, '41	El Centro	
9	Feb. 9, '41	Ferndale	
10	June. 30, '48	Santa Barbara	
11	Oct. 3, '40	Ferndale	
12	Mar. 9, '49	Hollister	
13	Apr. 13, '49	Olympia	
14	"	Seattle	
15	Mar. 22, '57	Alexander	
16	"	S. Pacific	
17	"	State Bldg	
18	"	Golden Gate	
19	"	Oakland	
1	Nov. 13, '65	保科	●
2	Nov. 21, '65	"	
3	Jan. 3, '66	"	
4	Jan. 23, '66	"	
5	"	若保	●
6	Feb. 7, '66	穂科	●
7	Apr. 1, '66	"	
8	"	若保	●
9	Apr. 1, '66	穂科	●
10	"	穂科	●
11	Apr. 17, '66	保	●
	10^21*		
12	Apt. 17, '66	"	
	10^22*		
1	June 16, '64	新田	◎
2	"	湊田	

図5-4 強震動の記録最大加速度と計算加速度(25)

金井も75年、100年、200年間の速度期待値を求めている。図5-5に地震基盤における地震動の限界速度分布を示す。

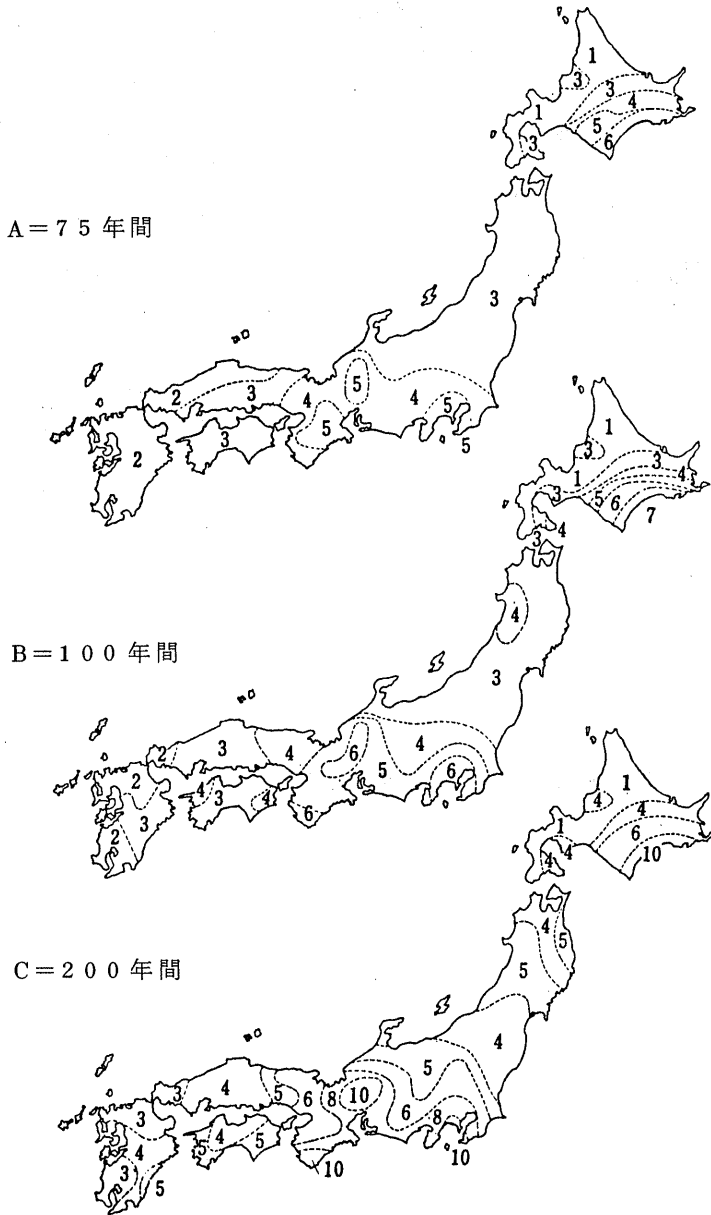


図5-5 限界速度分布(金井による)(25) 単位  $cm/sec$

(3) 建設省(1977)<sup>28)</sup>

総合技術開発プロジェクトの一環として「新耐震設計法の開発の研究」が昭和47年から昭和51年までの5ケ年にわたって行なわれた。

この中の「地震力に関する研究成果」の1つで加速度記録の解析が行なわれている。対象とした記録は、国内の地盤上で観測された既往の地震動加速度(主にSMC型強震計による)で波形で、建設省土木研究所、運輸省港湾技術研究所、東京大学地震研究所などの諸機関が刊行した資料のうち、地震のマグニチュード $M \geq 5.0$ 、最大加速度50 gal以上の記録のあるものである。このうち観測地点における最大加速度が10 gal未満の加速度波形および震源の深さが60 Kmより大きい地震の加速度波形については、上記の解析の対象から除外した結果、解析対象として採用したのは、51回の地震で得られた301記録(901成分)である。解析に際して着目した事項は次のとおりである。

① 地震諸元：マグニチュード $M$ 、震央距離 $L$

② 観測地点の地盤条件 $G.C.$ ：日本道路協会「道路橋耐震設計指針」に準拠し

第1種地盤：岩盤地域

第2種地盤：洪積地域

第3種地盤：沖積地域(但し第4種地盤を除く)

第4種地盤：沖積地域のうちで軟弱地盤地域

③ 波形特性

(i) 最大水平加速度 :  $A_{max}$  (gal)

(ii)  $A_{max}$  時での周期 :  $T_1$  (sec)

(iii) 主要動の継続時間 :  $T_d$  (sec)

(iv) 最大鉛直加速度と $A_{max}$ との比 :  $V/H$

(v)  $T_d$ 間の波形のゼロクロッシング数 :  $N_z$

(vi)  $T_d$ 間の波形の平均周期 :  $2 T_d / N_z$  (sec)

解析に使用した強震記録の $M$ 別、震央距離別の個数は表5-3の示すとおりである。

表5-3 波形特性値解析対象とした強震記録数の分布(3)

(記録数)

マグニチュード M	地盤 種別	震 央 距 離 Δ (Km)					計	
		20 < Δ	20 ≤ Δ < 60	60 ≤ Δ < 120	120 ≤ Δ < 200	200 ≤ Δ		
5.0 ≤ M < 6.0	1	2	3				5	67
	2	3	12	3			18	
	3	4	16	5	2	2	29	
	4	2	5	7	1		15	
6.0 ≤ M < 6.5	1		3	6	3	1	13	81
	2		7	8	2	1	18	
	3		12	13	8	1	34	
	4		3	6	6	1	16	
6.5 ≤ M < 7.0	1		1	2	1		4	62
	2		1	6	6		13	
	3	1	5	10	10	1	27	
	4		1	4	9	4	18	
7.0 ≤ M < 7.5	1			1		3	4	41
	2				2	12	14	
	3				2	14	16	
	4			1	1	5	7	
7.5 ≤ M < 7.9	1				1	2	3	50
	2				3	8	11	
	3			2	6	16	24	
	4				1	11	12	
計		12	69	74	64	82	301	

(注) 1) 記録数は1種地盤、2種地盤、3種地盤および4種地盤に対してそれぞれ29、74、130、68である。

2) 表の数値は記録数であり、水平方向の2成分および鉛直方向の1成分から成っている。



最大加速度  $\alpha_{\max}$  とマグニチュード  $M$ 、震央距離  $\Delta$  との関係式の形は表 5-4 に示すように仮定され、この関数の係数が各々の場合に計算されている。

これらの関係式を図に示すと、図 5-6 ~ 図 5-10 になる。

表 5-4 重回帰分析結果一覧表(28)

波形 特性値	地盤 種別	回 帰 式	偏相関係数		重相関 係数 $r$
			$M$	$\Delta$	
Amax		$A_{\max} = a \cdot 10^{b \cdot M} \cdot \Delta^c$			
	1	$A_{\max} = 2.85 \times 10^{0.207M} \times \Delta^{-0.598}$	0.33	-0.47	0.48
	2	$A_{\max} = 1.32 \times 10^{0.330M} \times \Delta^{-0.806}$	0.50	-0.59	0.59
	3	$A_{\max} = 3.21 \times 10^{0.254M} \times \Delta^{-0.757}$	0.47	-0.61	0.61
	4	$A_{\max} = 6.47 \times 10^{0.423M} \times \Delta^{-0.977}$	0.65	-0.72	0.72
	全体	$A_{\max} = 1.84 \times 10^{0.302M} \times \Delta^{-0.800}$	0.51	-0.62	0.62
		$A_{\max} = a \cdot 10^{b \cdot M} (\Delta + 10)^c$			
	1	$A_{\max} = 4.60 \times 10^{0.208M} \times (\Delta + 10)^{-0.686}$	0.33	-0.47	0.48
	2	$A_{\max} = 2.45 \times 10^{0.333M} \times (\Delta + 10)^{-0.924}$	0.50	-0.59	0.59
	3	$A_{\max} = 5.90 \times 10^{0.261M} \times (\Delta + 10)^{-0.886}$	0.48	-0.62	0.62
	4	$A_{\max} = 1.28 \times 10^{0.432M} \times (\Delta + 10)^{-1.112}$	0.65	-0.71	0.72
全体	$A_{\max} = 3.41 \times 10^{0.308M} \times (\Delta + 10)^{-0.925}$	0.51	-0.62	0.62	

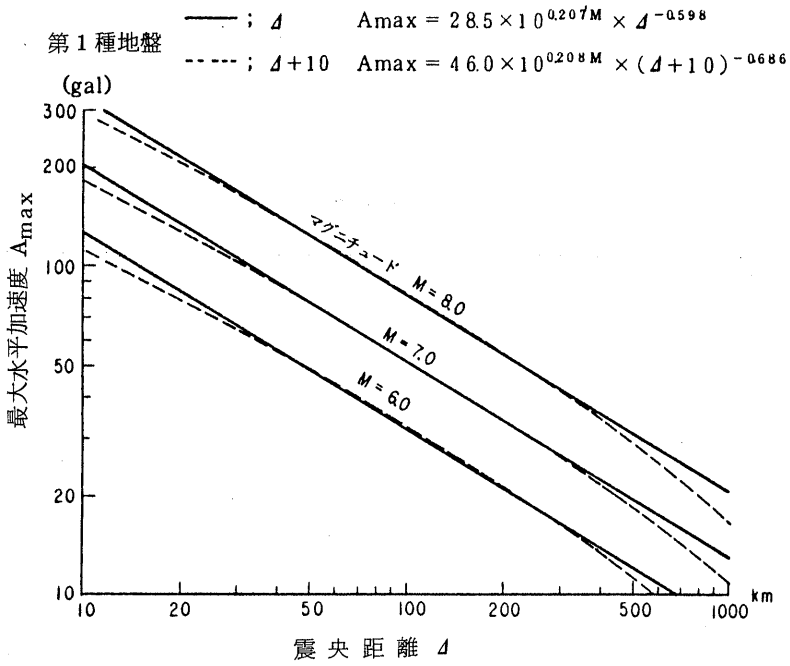


図5-6  $A_{max} - M - \Delta$  関係図 (28)

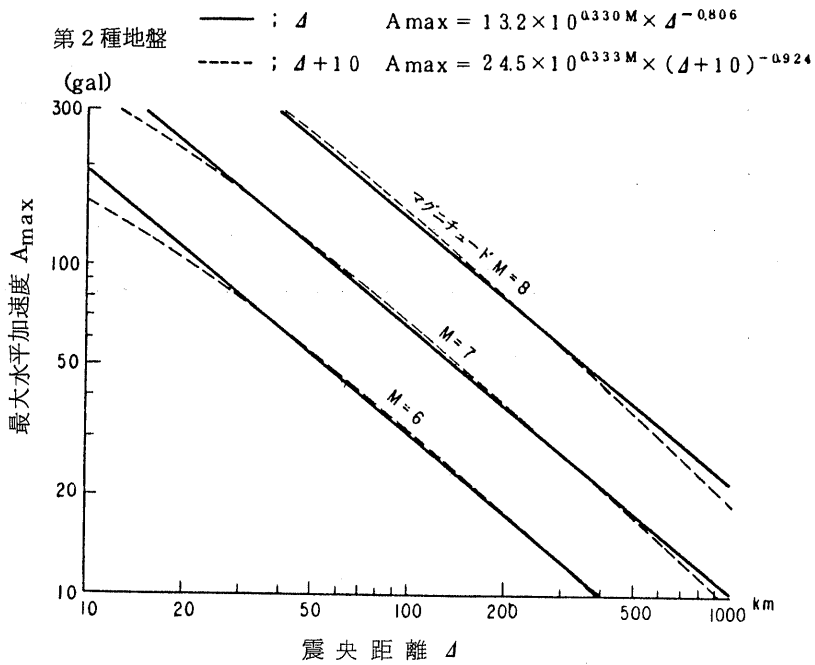


図5-7  $A_{max} - M - \Delta$  関係図 (28)

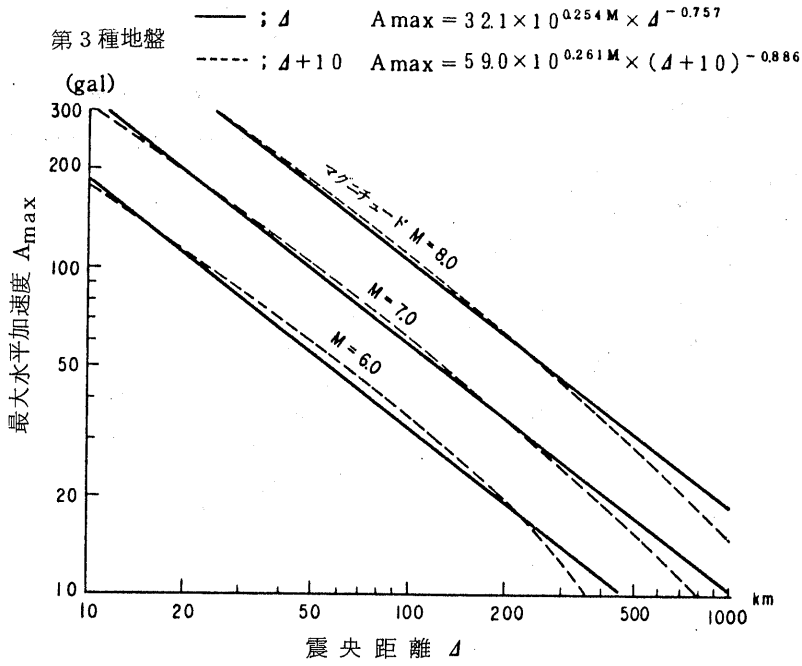


図5-8  $A_{max} - M - \Delta$  関係図 (28)

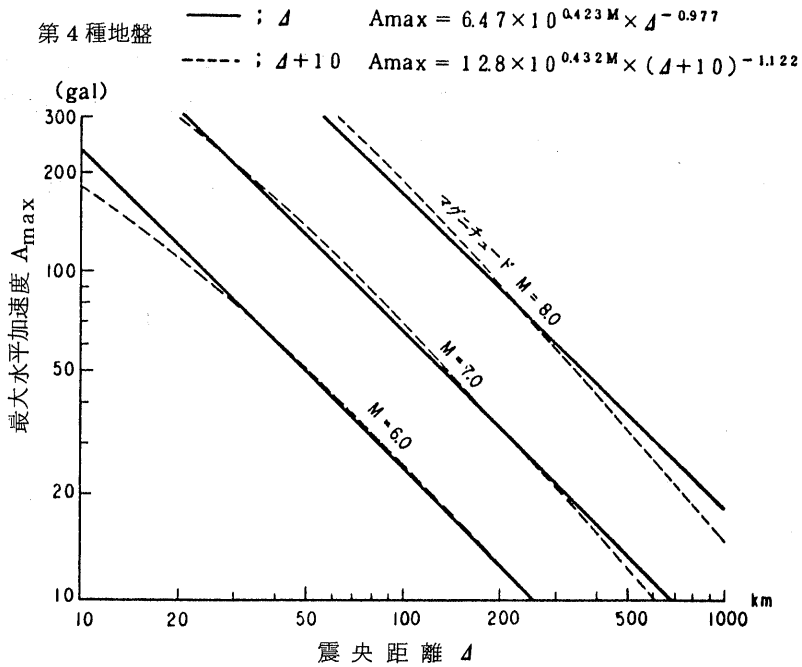


図5-9  $A_{max} - M - \Delta$  関係図 (28)

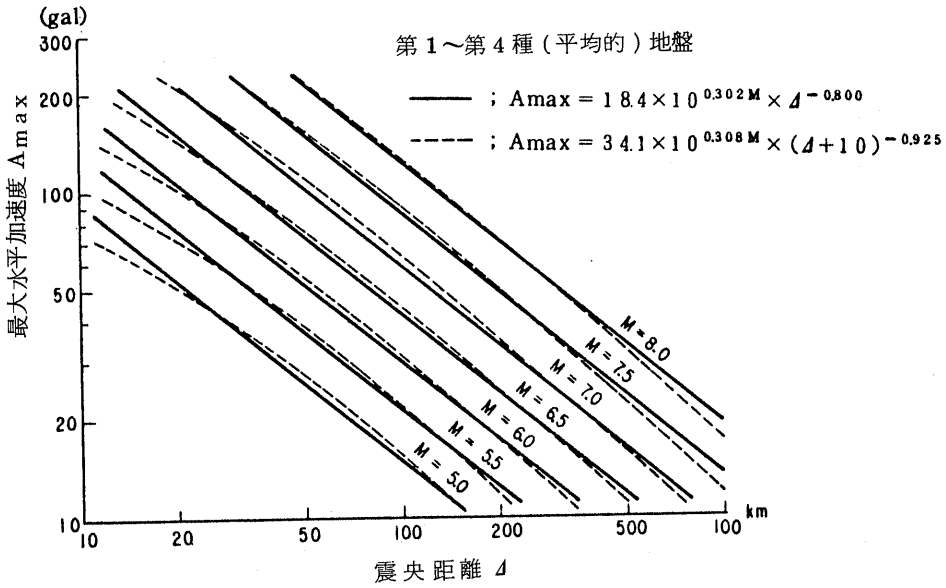


図5-10 Amax-M-Δ 関係図 (28)

なお、地盤種別の定義は、道路橋示方書<sup>(7)</sup>では図2-2に示すとおりである。

(4) 岡本<sup>(29)</sup> (1969)

岡本は岩盤における地震動を定量的に調べるため鬼怒川発電所の堅坑を利用して地震観測が行なった。この地点での地盤構造は粗粒凝灰岩である。地下6.7.2 mにおいて記録された最大加速度と地震のマグニチュードおよび震央距離との関係を求めると、図5-11となる。

その関係はおよそ図のような直線で表わすことができるので、これを式に表わすと次のようになる。

$$\log \frac{\alpha_{\max}}{640} = \frac{(\Delta + 40)}{100} (-7.604 + 1.7244M - 0.1036M^2)$$

..... (5.3.10)

ここで  $\alpha_{\max}$  : 最大加速度 (gal)

M : マグニチュード

Δ : 震央距離 (km)

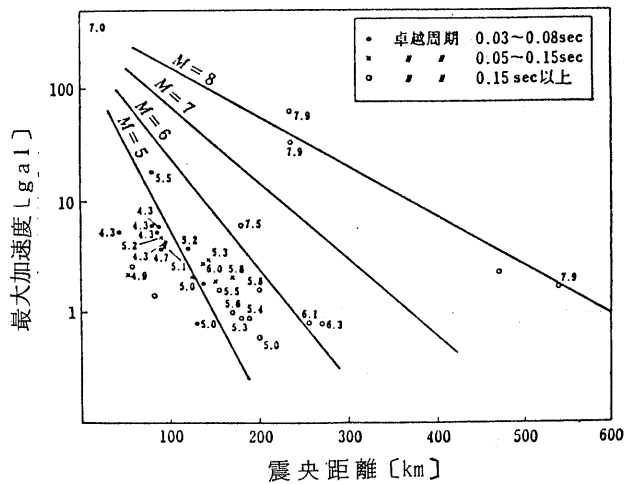


図 5-11 岩盤における地震最大加速度<sup>(29)</sup>

(5) 勝又(1972)<sup>(30)</sup>

勝又は震源域を球体と仮定して地震動の最大加速度  $\alpha$  を求める方法を提案している<sup>(30)</sup>。それによれば、

$$\log \alpha = \log \alpha_0 - \beta \log R^1 \quad \dots\dots\dots (5.3.11)$$

ここで  $\alpha$  : 任意の点における地震動の最大加速度

$\alpha_0$  : 半径  $r$  の球の表面における最大加速度

$R^1$  : 次式で定義する有効距離

$$R^1 = R - r$$

$r$  : 震源域を表わす球の半径で次式で与える。

$$\log r = 0.5 M - 2.25$$

$$\beta = -0.125 + 2.4$$

ここに震源域を想定した半径  $r$  の球の表面における最大加速度  $\alpha_0$  は 4000 gal と想定している。この場合の距離による最大加速度の減衰の度合いは、図 5-12 に示す通りである。

(6) 諸外国の最大加速度予測式

① Housner (1965)

Housner は米国の地震記録を整理して図5-14に示すような最大加速度と震央距離との関係を求めた。

② Seed (1965)

図5-15 参照

表5-5 種々の最大加速度予測式 (Ambraseysによる)

Empirical Relationships between Acceleration and other Parameters.

$\log(a)$	$= 0.331(I) - 0.923$	CAN-04/KOV-00
	$= 0.416(I) - 1.040$	PET-52/ISH-32
	$= 0.330(I) - 0.500$	GR-56/GR-42
	$= 0.500(I) - 1.350$	PET-52
	$= 0.427(I) - 0.897$	HER-56
	$= 0.550(I) - 1.222$	NR-63
$\log(\bar{a})$	$= 0.308(I) - 0.040$	NEU-54
$\log(a)$	$= 0.500(I) - 0.347$	KAW-51
$\log(a)$	$= 4.79 - 1.92 \log(D)$	NEW-54
$\log(a)$	$= 3.31 + 0.34(M) - 2.0 \log(R)$	EST-63
$\log(a)$	$= 3.09 + 0.347(M) - 2.0 \log(R + 25)$	EST-70
$\log(a)$	$= -1.75 + 0.466(M) - 1.4 \log(R)$	MIC-71
$\log(a_0)$	$= -2.1 + 0.81(M) - 0.027(M)^2$	GR-56
$\log(a)$	$= 0.698 - 0.51 \log(T) + 0.61(M) - (1.66 + 3.6/R) \log(R)$ $+ (0.167 - 1.83/R)$	KAN-66
$\log(a/g)$	$= -0.2 + 0.20(M) - 1.10 \log(R)$	DEN-71
$\log(a/g)$	$= 3.0 - 2.0 \log(1.6D + 43)$	CLD-71
$\log(a/g)$	$= 3.5 - 2.0 \log(1.6D + 80)$	CLD-71
$\log(a/g)$	$= \log(0.69xe^{1.6M}) - \log(1.10xe^{1.1M} + D^2)$	MIL-69
$a/g$	$= 335.5 / ((1.6D)^2 + 225)^{-1}$	KRS-59
Tabulated and graphical relationship: I, a		OLD-26
	M, I, a, r	BEN-55
	M, D, a	BLM-65
	M, D, a	HOU-65

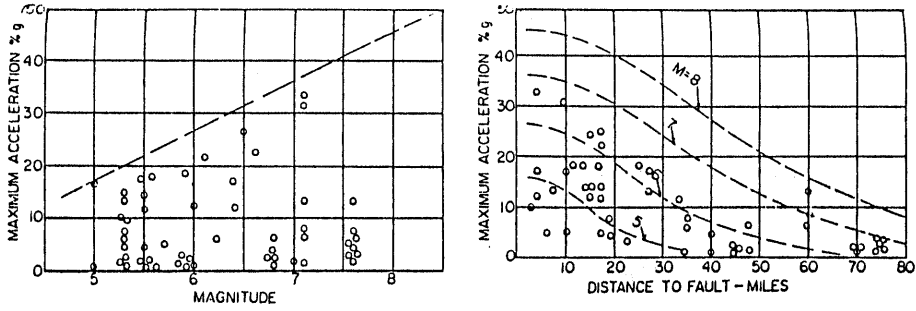
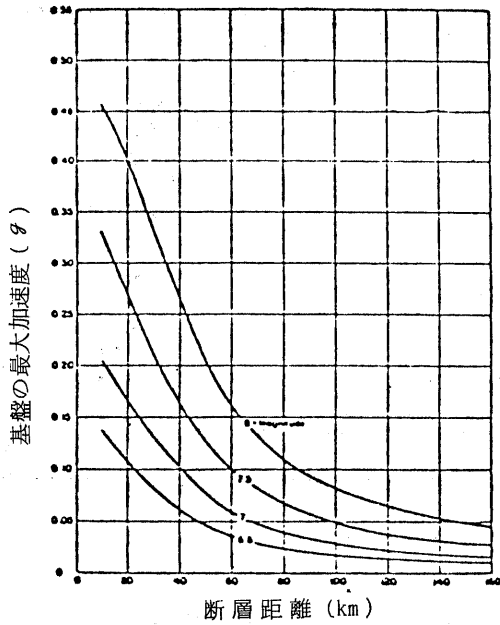


図5-14 最大加速度～断層からの距離～マグニチュード関係  
(Housnerによる)



断層距離と基盤の  
最大加速度との関  
係 (Seed, 1969)

図5-15

③ Cloud (1971)

Cloudは図5-16に示す19の地震記録に基づき地震動の最大加速度と震央距離  $\Delta$  (単位 mile) (付近距離では震央距離のかわりに断層からの距離を使用) の関係を求め、これを次式で与えている。

$$\log\left(\frac{\alpha_{\max}}{g}\right) = \begin{cases} 3.0 - 2 \log(\Delta + 43) & \dots\dots\dots \text{平均値} \\ 3.5 - 2 \log(\Delta + 80) & \dots\dots\dots \text{大きめに見積った場合} \end{cases} \quad (5.3.12)$$

ここで  $\alpha_{\max}$  : 最大加速度 (gal)  
 $g$  : 重力加速度 (980 gal)  
 $\Delta$  : 震央距離もしくは断層からの距離 (mile)

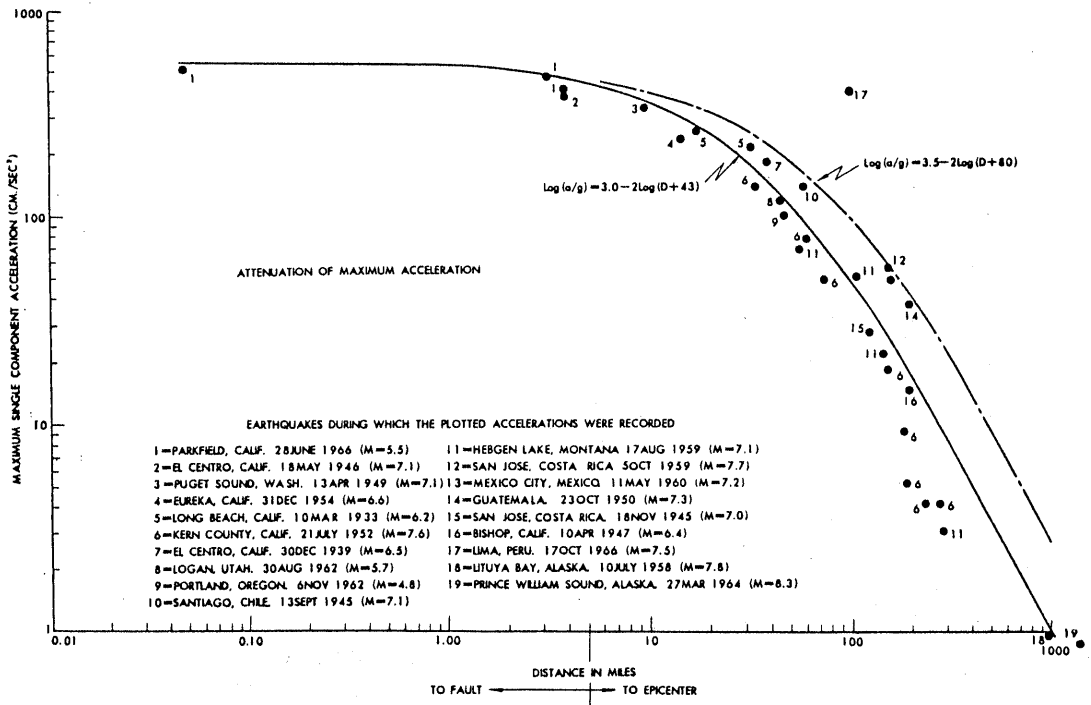


図5-16 最大加速度～震央(もしくは断層からの)距離の関係(Cloudによる)



④ Donovan (1973)

Donovan は米国北西部で得られた地震記録に 100 個以上の日本の地震の記録と少数のバ  
プア・ニューギニアで得られた記録を加えた総計 678 個の強震記録から次式に示す予測式を  
提案した。これらの強震記録のうち 214 個は 1971 年に発生したサン・フェルナンド地震  
から得られたものである。

$$\alpha_{\max} = 1080 \times e^{0.5M} \times (A + 25)^{-1.32} \dots\dots\dots (5.3.13)$$

米国における予測式 その 1

Reference	Data source	Distance parameter	Dependent variable	Equation	Standard Deviation
Blume(1966)	Southern California	Epicentral distance $A(mi)$	Peak ground acceleration $ag(g)$	$ag = \frac{a_0}{1 + (A/h)^2}$ Where $a_0$ is epicentral acceleration, focal depth	Not reported
Braze(1972)	United States east of long 106°W	Epicentral distance $A(mi)$	Distance over which a Modified Mercalli intensity is felt	$\log A = a_1 + b_1 I_e$ Where $I_e$ is epicentral intensity, $a_1$ and $b_1$ are tabulated	Not reported
Cloud and Perez (1971)	North and South America	Epicentral distance or distance to fault $A(mi)$	Maximum single Component ground acceleration $ag(g)$	$ag = 3.0 - 2 \log(A + 4.3)$ $ag = 3.5 - 2 \log(A + 8.0)$	Not reported
Cornell and Merz(1974)	Northeastern United States rock sites	Epicentral distance $A(mi)$	Modified Mercalli intensity	$I = 2.6 + I_e - 1.3 \ln A$ $A \geq 1.0 mi$	$\sigma_{I_1} = 0.2$
	Northwestern United States all sites	do	do	$I = 3.1 + I_e - 1.3 \ln A$ $A \geq 1.0 mi$ Where $I_e$ is epicentral intensity	$\sigma_{I_1} = 0.5$
Donovan (1974)	San Fernando rock sites	Distance to energy center $R(km)$	Peak ground acceleration $ag(gals)$	$ag = 1.2783 \times 10^6 (R + 25)^{-2.77}$	Not reported
	San Fernando, soil sites	do	do	$ag = 2.054 \times 10^5 (R + 25)^{-1.83}$	Not reported
	San Fernando all sites	do	do	$ag = 5.165 \times 10^5 (R + 25)^{-2.04}$	$\sigma_{Inag} = 0.484$
	do	do	do	$ag = 1.84 \times 10^4 R^{-1.42}$	Not reported
	Western North America, Japan, Papua New Guinea	do	do	$ag = 1.080 e^{0.5M} (R + 25)^{-1.32}$	$\sigma_{Inag} = 0.707$
Donovan (1973)	Worldwide	Hypocentral distance, or distance to fault $R(km)$	Peak ground acceleration $ag(gals)$	$ag = 1.320 e^{0.58M} (R + 25)^{-1.52}$	$\sigma_{Inag} = 0.84$
Duke and others (1972)	San Fernando all sites	Distance to energy center $R(km)$	Peak ground acceleration $ag(gals)$	$ag = \frac{6.69}{R} e^{-0.0097R}$	$\sigma_{ag} = 0.052 g$
	do	do	Spectral acceleration $Sg(aals)$	$Sg = \frac{5.34}{R} e^{-0.0068R}$	$\sigma_{Sg} = 0.053 g$
Esteva(1970)	See reference	Hypocentral distance $R(km)$	Peak ground acceleration $ag(gals)$	$ag = 1.230 e^{0.8M} (R + 25)^{-2}$	$\sigma_{Inag} = 1.2$
	do	do	Peak ground velocity $vg(cm/sec)$	$Vg = 15 e^M (R + 0.17 e^{0.59M - 1.7})$	$\sigma_{Invg} = 0.84$
Estera and Rosenblueth (1964)	West Cost of United States	Hypocentral distance $R(km)$	Peak ground acceleration $ag(gals)$	$ag = 2000 e^{0.8M} R^{-2}$	See reference
	do	do	Peak ground Velocity $Vg(cm/sec)$	$Vg = 20 e^M R^{-1.7}$	See reference

米国における予測式 その2

Reference	Date source	Distance parameter	Dependent variable	Equation	Standard Deviation
Esteve and Villaverde (1974)	Western United States	Hypocentral distance R (km)	Peak ground acceleration ag (gals)	$ag = 5600e^{0.8M} (R+40)^{-2}$	$\sigma_{\ln ag} = 0.64$
	do	do	Peak ground velocity Vg (cm/sec)	$Vg = 32e^M (R+25)^{-1.7}$	$\sigma_{\ln Vg} = 0.74$
	do	do	Maximum average Spectral acceleration $\bar{A}$ (gals)	$\bar{A} = 69600e^{0.8M} (R+70)^{-2}$	$\sigma_{\ln \bar{A}} = 0.75$
	do	do	Maximum average Spectral velocity $\bar{V}$ (cm/sec)	$\bar{V} = 250e^M (R+60)^{-1.7}$	$\sigma_{\ln \bar{V}} = 0.64$
Gupta and Nuttli (1975)	Central United States	Epicentral distance to isoseismal A (km)	Modified Mercalli intensity	$I = I_e + 3.7 - 0.0011A - 2.7 \log A$ Where $I_e$ is epicentral intensity	Not reported
Gutenberg and Richter (1956)	California	Epicentral distance	Peak ground acceleration	Graphical	Not reported
Housner (1965)	Western United States and Central and South America	Distance to fault	Peak ground acceleration	Graphical	Not reported
Howell and Schultz (1975)	California coast	Epicentral distance to isoseismal A (km)	Modified Mercalli intensity	$I = I_e + 0.874 - 0.422 \ln A - 0.0186A$	$\sigma_I = 0.64$
	do	do	Logarithm of Modified Mercalli intensity	$\ln I = \ln I_e + 0.16 - 0.0763 \ln A - 0.0023A$	$\sigma_I = 0.44$
Howell and Schulz (1975)	Rocky Mountains Washington Oregon	Epicentral distance to isoseismal A (km)	Modified Mercalli intensity	$I = I_e + 1.802 - 0.628 \ln A - 0.009A$	$\sigma_I = 0.61$
	do	do	Logarithm of Modified Mercalli intensity	$\ln I = \ln I_e + 0.332 - 0.198 \ln A - 0.0012A$	$\sigma_I = 0.47$
	Central and Eastern United States and Canada	Epicentral distance to isoseismal A (km)	Modified Mercalli intensity	$I = I_e + 3.278 - 0.989 \ln A - 0.0029A$	$\sigma_I = 0.64$
	do	do	Logarithm of Modified Mercalli intensity	$\ln I = \ln I_e + 0.480 - 0.139 \ln A - 0.00075A$	$\sigma_I = 0.43$
			(other forms of equations examined and reported also)	Where $I_e$ is epicentral intensity	
McGuire (1974)	West Coast of United States	Hypocentral distance R (km)	Peak ground acceleration ag (gals)	$ag = 472 \times 10^{0.28M} (R+25)^{-1.3}$	$\sigma_{\log ag} = 0.222$
	do	do	Peak ground velocity Vg (cm/sec)	$Vg = 5.64 \times 10^{0.40M} (R+25)^{-1.2}$	$\sigma_{\log Vg} = 0.273$
	do	do	Peak ground displacement dg (cm)	$dg = 0.393 \times 10^{0.43M} (R+25)^{-0.88}$	$\sigma_{\log dg} = 0.330$

米国における予測式 その3

Reference	Data Source	Distance parameter	Dependent variable	Equation	Standard Deviation
McQuire (1974)	do	do	Spectral velocity ( $T=1$ sec $\tau=0.02$ ) $S$ (in/sec) (Spectral attenuation equations given for other periods and dampings also)	$S=0.428 \times 10^{0.38M} (R+25)^{-0.59}$	$\sigma_{\log S}=0.274$
Mickey (1971)	See reference	Hypocentral distance, $R$ (km)	Peak particle acceleration $a$ (g)	$a=3.04 \times 10^{0.74m-4} R^{-1.4}$	See reference
	do	do	Peak particle velocity $V$ (cm/sec)	$V=4.06 \times 10^{0.88m-3} R^{-1.5}$	do
	do	do	Peak particle displacement $d$ (cm)	$d=5.66 \times 10^{1.1m-5} R^{-1.2}$	do
				Where $m$ is body-wave magnitude	
Milne and Davenport (1969)	Western United States Central America Chile	Epical distance $A$ (km)	Peak ground acceleration $a_g$ (g)	$a_g = \frac{0.69 e^{-1.64M}}{11 e^{11M/A^2}}$	Not reported
	Eastern Canada	do	Modified Mercalli intensity	$I=I_7-9.66-0.0037A+1.38M+0.00528A/M$	$\sigma_I=0.53$
				Where $I_7$ is site intensity of $M=7$ event at distance $A$	
Newmann (1954)	West Coast of United States	Epical distance $A$ (mi)	Modified Mercalli intensity	$I=I_e+0.15-3.17 \log R$ $R \geq 1.12$ miles	Not Reported
Nuttli (1973a)	Central United States	Epical distance	Vertical particle acceleration velocity and displacement at 3 frequencies for Rayleigh waves	Graphical and tabular for various earthquakes	Not Reported
Nuttli (1973b)	Central United States	Epical distance	Sustained ground acceleration velocity and displacement at 3 frequencies for surface wave	Graphical and tabular	Not reported
Orphal and Lahoud (1974)	California	Hypocentral distance $R$ (km)	Peak ground acceleration $a_g$ (g)	$a_g=0.066 \times 10^{0.4M} R^{-1.39}$	See reference
	California and nuclear explosions	do	Peak ground velocity $V_g$ (g)	$V_g=0.726 \times 10^{0.52M} R^{-1.34}$	do
	do	do	Peak ground displacement $d_g$ (m)	$d_g=0.0471 \times 10^{0.57M} R^{-1.18}$	do
Rosmussen and others (1974)	Duget Sound Washington	Epical distance	Modified Mercalli intensity	Graphical date and limits given for each earthquake	Not calculated date shown
Schnabel and Seed (1973)	Western United States	Distance to fault	Peak ground acceleration	Graphical	Not reported
Stepp (1971)	Puget Sound Washington	Hypocentral distance to isoseismal $R$ (km)	Modified Mercalli intensity	$I=I_e-2.017 \log(R/h)-0.008(R/h)$ Where $I_e$ is epical intensity, $h$ is focal depth	Not reported

### 5.3.2 新耐震の式を用いた加速度想定結果

前項(3)で述べた新耐震設計法(案)の提案式に基づいて、次の二通りの地表最大加速速度を各メッシュ単位ごとに求めた。

- ① 各地点の地盤種別に応じて地表最大加速度値を求める。
- ② 1種地盤の計算加速度値 $\alpha_B$ を各地点について求め、次に図5-17の $\alpha_B \sim \alpha_S$ 関係を用いて、地盤種別に対応する地表最大加速度値を求める。

宮城県沖地震に対して、①の方法により塩釜港付近で試算した結果は4種地盤の条件でも106gal程度である。ところが、宮城県沖地震の際に実測された値では288galの最大加速度が生じている。他の加速度観測地点で比べても、同様に①②の方法による加速度計算結果が実測値よりかなり低かった。

同様に、計算結果と実測値が合わなかった例として、十勝沖地震(1968年)も挙げられる。この場合、図5-18に示すとおり、新耐震の方が実測値より小さ目の加速度を与えるようになってきている。

このように、地域や地震により特性があって必ずしも一般的な加速度予測式が合わないため、次節のように、今回は調査地の特性に合うように、別の方法を用いた。

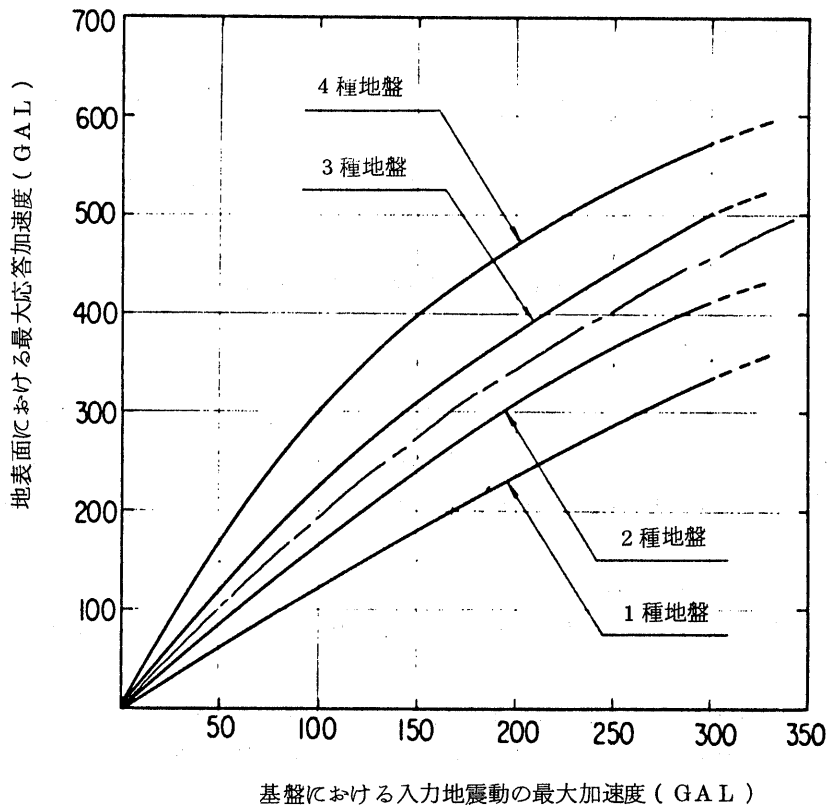


図5-17 表層地盤の地震応答特性(30)

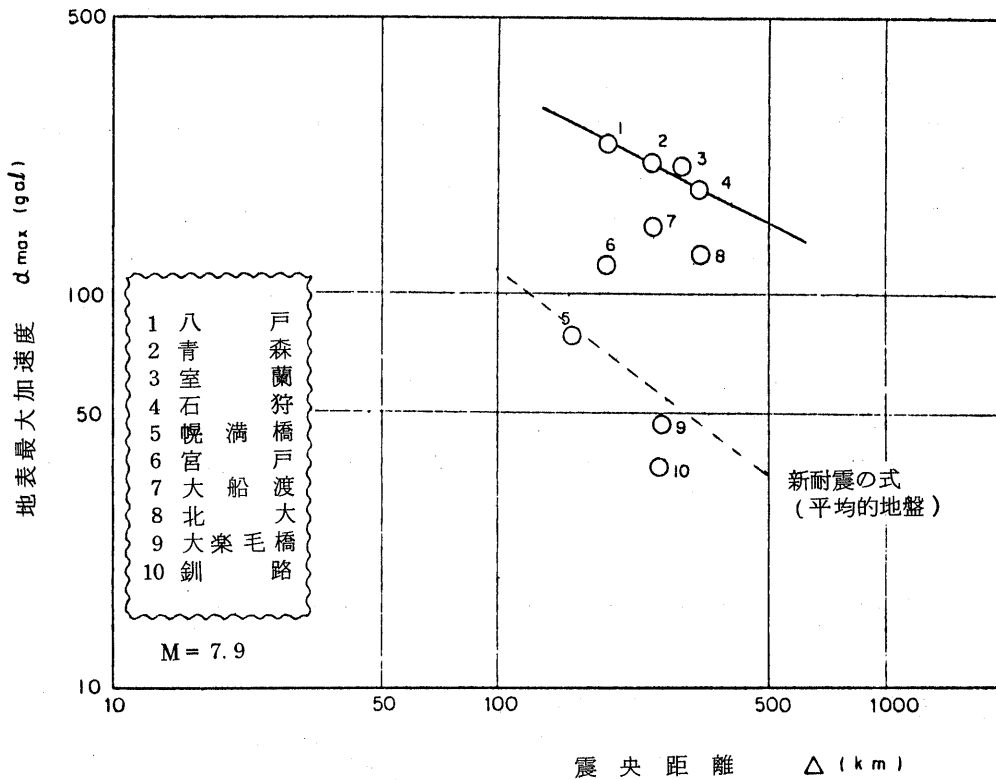


図5-18  $\alpha_{max} \sim \Delta$  関係の推定(十勝沖地震)

### 5.3.3 今回採用した加速度算定方式

前項(2)で述べたように新耐震設計法(案)の推定式による計算加速度値は、宮城県沖地震での実測値とはよい一致をみなかった。そこで、ここでは次の仮定をもうけて、想定地震に対する各地点での発生加速度(地表最大加速度 $\alpha_{smax}$ )を推定してみることにした。計算結果については次節で述べる。

- ① 宮城県沖地震での水平方向最大加速度の記録データは、図5-19にまとめられている。データにばらつきがあるため、震央距離 $\Delta$ (km)~基本水平最大加速度 $\alpha_{max}$ の関係を図中提案曲線に示すように一義的に決定した。
- ② 次に、各種地盤種別に対する地表最大加速度値を図5-17の関係図より求めた。すなわち、①の基本水平最大加速度値を図5-17の一点鎖線とし、1種地盤~4種地盤に応じて地表最大加速度を求めた。
- ③ 宮城県沖地震の震央位置においてマグニチュードを変化させた場合は、新耐震の平均式の中の

マグニチュードに関する項から、補正係数 $\alpha$ を下式により求めた。

$$\alpha = \frac{10^{0.308 \times M}}{10^{0.308 \times 7.4}} \dots\dots\dots (5.3.14)$$

ただし、実態と合わないのは、海洋型の地震の場合のみと考えられ、直下型の地震の場合は、新耐震設計法の式で求められた1種地盤の結果を使用し、図5-17の関係図より基盤加速度及び2~4種地盤の地表最大加速度を求めた。

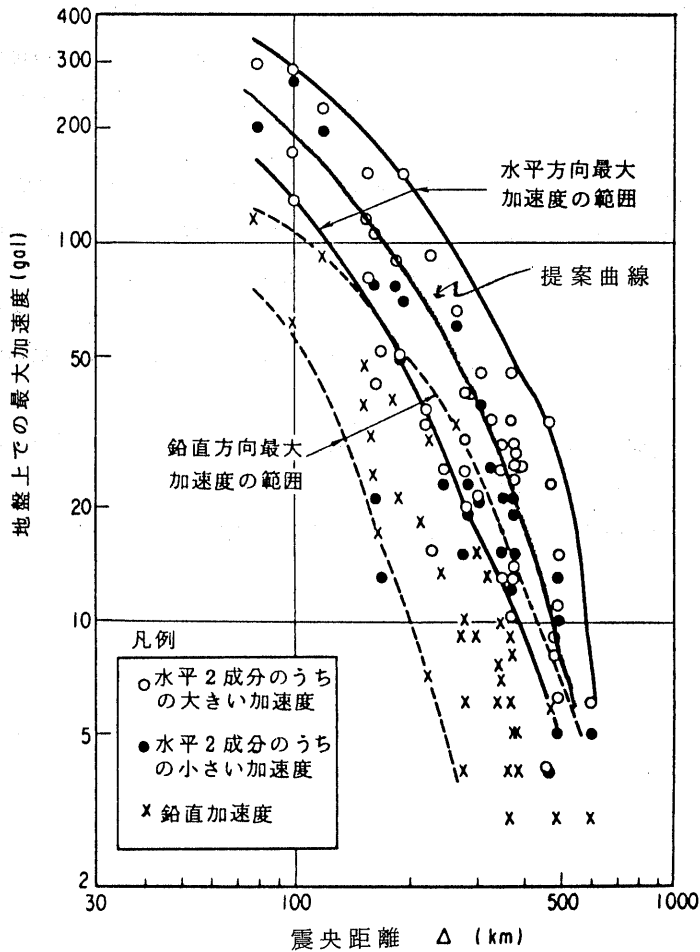


図5-19 震央距離と地盤上での最大加速度

## 5.4 地盤破壊の想定

### 5.4.1 地盤破壊の種類と重要性

5.1でも述べたように、地盤破壊の地震応答としての定義はすっきりとしていない。しかし、地盤内の土が降伏した状態というイメージで考えた場合、地盤破壊の例としては次の3つが上げることができる。

- (a) 緩い飽和砂地盤の液状化
- (b) 軟弱な粘土地盤の強度低下
- (c) ガケ崩れ

液状化に関しては新潟地震（1964年）以来注目をあび、最近では後述するように予測手法もかなり確立してきている。図5.4.1は新潟地震により液状化した箇所を示している<sup>(33)</sup>。一方、図5.4.2は建築物の被害の区分を示している<sup>(34)</sup>。両図を対比してわかるように、液状化を生じた箇所では建築物の被害も大きかったことが明なかになっている。また、図5.4.3は埋設管の被害率と液状化率（延長に対する）を示しているが<sup>(35)</sup>、図から明らかなように液状化が生じた区間では被害も大きくなっている。このように、液状化が一旦生じると、建築・土木構造物が何らかの被害を受けるものと考えられる。

軟弱な粘土地盤の強度低下に関する構造物の被害に関しては、まだあまり研究が行なわれていないが、一例として示したのが図5.4.4である<sup>(36)</sup>。これは十勝沖地震による姉沼地区の鉄道の被害状況を示したものであるが、図に示されたように地震時に盛土が沈下し、側方に流動した軟弱粘土が近接のクイを曲げて被害を与えている。このように軟弱粘土は地震時に流動的になり、強度は失う可能性がある。したがって、これも重要な地盤破壊現象で、そこに構造物があると被害を受け易いと考えられる。

ガケ崩れは、自明の理であるように、そこに構造物があれば必ず被害を受ける。例えば、宮城県沖地震による緑ヶ丘団地の例がそれである。

このように、地盤破壊として上記の3つをとりあげ、以後にその可能性のある箇所を検討してゆく。





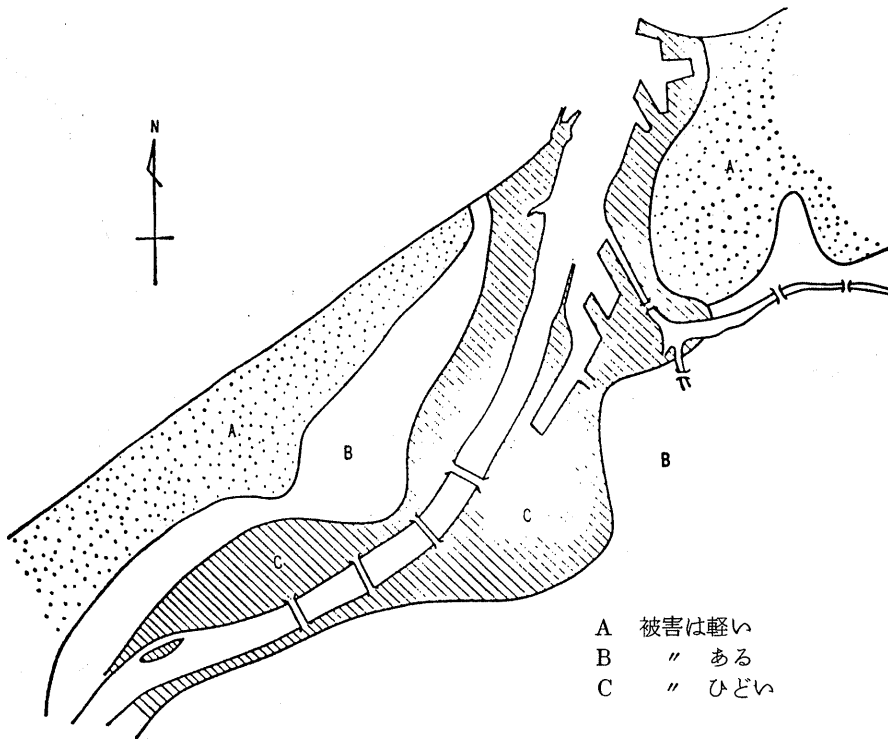


図 5.4.2 新潟地震による建築物の被害の区分(岸田<sup>(34)</sup>)

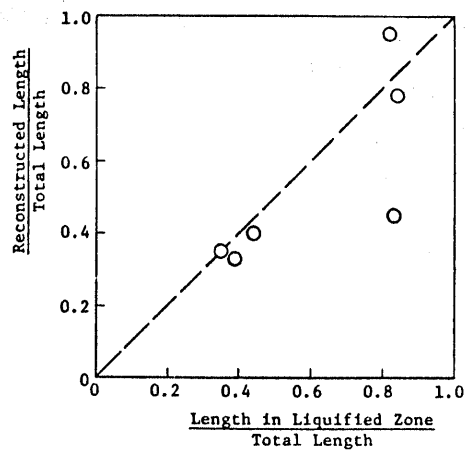


図 5.4.3 液状化率と埋設管被害率(久保、片山<sup>(35)</sup>)

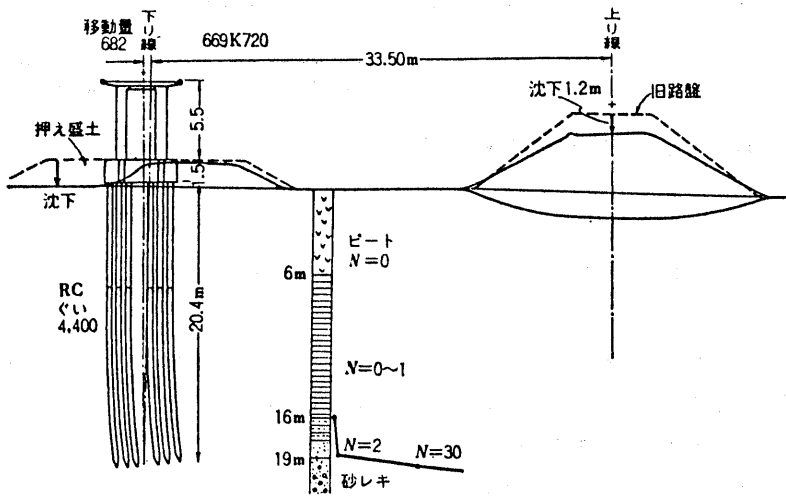


図 5.4.4 盛土の沈下と高架橋の移動 (36)

#### 5.4.2 液状化の予測方法

地震による地盤の液状化の予測方法は表 5.4.1 に示すとおり簡易なものから詳細なものまでいくつかある。このうち、(b)および(c)について説明を加える。

表 5.4.1 液状化予測方法の種類と必要な調査項目

液状化予測方法	必要な調査，試験，解析
(a) 過去の震害記録をもとにした予備的な検討	震害記録の人手、聞きこみ調査
(b) 地形、地質をもとにした予備的な検討	微地形分類、地層断面図作成
(c) 各種基準（道路橋耐震設計指針、建築基礎構造設計基準、港湾の施設の技術上の基準、建造物設計標準解説、危険物の規制に関する規則、道路橋示方書、土地改良事業計画設計基準）および各種簡易予測方法	ボーリング、標準貫入試験、〔サンプリング〕、粒度試験、〔地震力の設定
液状化試験および地震応答解析などを行なう詳細な予測方法（過剰間隙水圧の蓄積と消散を考慮する方法も含む）	ボーリング、標準貫入試験、サンプリング、P S 検層、粒度試験、〔最大・最小密度試験〕、液状化試験（振動三軸試験など）、〔動的変形係数を求める試験〕、地震力の設定、地震応答解析、〔過剰間隙水圧を考慮した安定解析〕
(e) 模型実験（振動台など）、現場実験などを行なう方法	振動台実験、クイの振動実験、発破による実験

（注）（ ）内は場合によっては不要な項目

#### 5.4.3 軟弱粘土地盤の予測方法

地震時に破壊を生じ易い軟弱粘土の予測方法については、現在、その予測方法がないと言うことができよう。ただ、道路橋示方書V耐震設計編<sup>(7)</sup>では、次の層を耐震設計上土質定数をゼロとする土層と規定している。

〔 現地盤から3 m以内にある粘性土層およびシルト質土層で、一軸圧縮試験または原位置試験により推定される一軸圧縮強度が  $0.2 \text{ Kg/cm}^2$  以下の土層 〕

一軸圧縮試験のデータを広範囲に収集することは困難であるためここでは、この値に代るものとして

$$N \text{ 値} = 2$$

の値をとることにした。そして、N値が2より小さい粘土層が10 m以浅に、3 m以上の層厚で堆積している地盤及び微地形分類図で後背湿地に区分され、かつ、既往資料<sup>(10)</sup>で泥炭分布域に区分されている範囲を地震時に地盤破壊が生じる地盤とみなした。

#### 5.4.4 ガケ崩れの予測方法

地震時にガケ崩れが生じる危険性のある箇所への予測手法についてはまだほとんど方法が考え出されていない。ただし、普段から降雨に対して弱い、急傾斜のガケや、沢部に造成盛土したガケ等が、やはり地震の時にもよく崩れていることが、一般に報告されている。

そこで、今回は、宮城県がまとめた急傾斜地崩壊危険箇所一覧表<sup>(73)</sup>にまとめられている箇所を危険箇所とした。ただ、詳細な図が入手不可能であったため、表に示されている位置が2.5万分の1の地形図から判断できる地点のみとしている。

### 5.5 建築、土木建造物の被害の想定

#### 5.5.1 耐震設計方法の現状

わが国の耐震工学は、濃尾地震（1891年）を契機に研究が開始された。1916年には、今日でもなお耐震設計の主流を占めている震度法（静的解析）が佐野によって考案され、これにより建造物の耐震設計が行なわれるようになり、関東地震（1923年）の際に、地盤の軟硬によって建造物の受ける被害が異なることが認められ、耐震設計に地盤の状況が考慮されるようになってきた。その後、1940年代から動的解析（地震応答解析）方法も考え出され、最近では地中建造物に対して応答変位法も用いられるようになってきている。したがって、現在耐震設計は大別して、次の4種類の方法のいずれかを用いて、あるいは、併用して行なわれている。

- 震度法
- 修正震度法
- 応答変位法
- 動的解析法

1977年に建設省でまとめられた「新耐震設計法（案）」<sup>(59)</sup>に従って、これらの方法で用いられる地震荷重の概要を述べると次のようになる。

##### (1) 震度法

震度法は、地震荷重を建造物に静的に作用させて計算する方法であり、現在でも最も広く用いら

れている。震度法に用いる地震荷重（設計震度）は、一般に次式によって算定する。

$$K_H = \Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3 \cdot K_0 \quad \dots\dots\dots (5.5.1)$$

- ここに、  
 $K_H$  : 設計水平震度  
 $K_0$  : 標準設計水平震度  
 $\Delta_1$  : 地域による補正係数  
 $\Delta_2$  : 地盤の特性による補正係数  
 $\Delta_3$  : その他の補正係数

$K_0$ 、 $\Delta_1 \sim \Delta_3$  の値は、各構造物により多少異なる。

(2) 修正震度法

構造物および地盤の地震応答を考慮し、地震荷重を定めて行なう耐震計算法で、橋梁などの設計に用いられている。修正震度法に用いる地震荷重（設計震度）は、一般に次式によって算出する。

$$K = \Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_4 \cdot \Delta_5 \cdot \Delta_6 \cdot K_0 \quad (5.5.2)$$

- ここに、  
 $K$  : 設計水平震度または標準ベースシヤ係数  
 $\Delta_1$  : 地域による補正係数  
 $\Delta_2$  : 地盤の特性による補正係数  
 $\Delta_4$  : 地盤の特性ごとに定まる構造物の応答特性に応じた補正係数  
 $\Delta_5$  : 構造特特別補正係数  
 $\Delta_6$  : その他の補正係数

(3) 応答変位法

応答変位法は、構造物の地震時における挙動を主として周辺地盤の変位により支配されるものとして解析する計算法である。地中構造物のように地盤と一体となって動くと考えられる構造物の設計に用いられている。構造物には地震時の地盤の変位を強制変位として与えることになる。地盤の変位振幅量は、次の式等で計算される。

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} S_v T k_{H'} \cos \frac{\pi x}{2H} \quad \dots\dots\dots (5.5.3)$$

- ここに、  
 $U_h$  : 地表面から深さ $x$  ( cm ) における水平方向の変位振幅 ( cm )  
 $S_v$  : 単位震度あたりの応答速度 ( m/sec )  
 $T$  : 表層地盤の基本固有同期 ( sec )  
 $k_{H'}$  : 表層地盤に作用させる設計水平震度  
 $H$  : 表層地盤の深さ

(4) 動的解析法

構造物、地盤を動力的にモデル化し、解析する計算法である。重要な構造物等の設計に用いられている。動的解析法にも応答スペクトル法と時刻歴応答解析法とがある。応答スペクトル法に用いる設計震度は、当該構造物の地震応答を支配する主要な次数の固有振動について、その固有振動数、固有関数、刺激係数、ならびに各次固有振動数に対応する応答スペクトルの値等から算出する。時刻歴応答解析法に用いる入力地震波は、建設地点の地盤条件に適した過去の強震記録、またはそ

れらを修正したもの、あるいは適切な模擬地震波が用いられている。

### 5.5.2 建築物の被害想定

建築物の耐震設計は、建築基準法に従って行なわれている。これによれば、水平震度は震度法により次式で計算される。

$$K_i = Z B_i \dots\dots\dots (5.5.4)$$

ここで、 $Z$  : 地域係数で、図 5.5.1 に示したように 0.8～1.0 の値をとる。

$B$  :  $i$  階の震度分布を示し、高さ 16 m まで 0.2、それをこえる部分は、高さ 4 m を増すごとに 0.01 を加える。

前述した「新耐震設計法(案)」では、現行の建築基準法を改善し、将来建築基準法にもこの方法を取り入れる準備が進められている。この方法によれば、耐震設計は次の手順で行なわれる。

- 1) 表 5.5.1 に従って耐震設計区分を定める。
- 2) 図 5.5.2 に従って、1 次設計による建築物の部材断面および配置の決定ならびに安全性の照査を行なう。
- 3) 2 次設計を行なう耐震設計区分にあつては、図 5.5.2 に従って安全性の照査を行なう。

各設計区分で用いられる地震荷重を表にすると、表 5.5.2 となる。表中の地域係数  $A_1$  (または  $Z$ ) の分布図、および地盤種別係数  $A_2$ 、 $A_4$  (または、 $G_0(T)$ 、 $G_1(T)$ ) と構造物の固有周期  $T$  との関係図を示したのが、図 5.5.3(1)、5.5.3(2) である。また、地盤種別は表 5.5.3 に従って行なわれる。

さて、建築物は建築基準法に従って造るように法律で義務づけられている。したがって、建築物では上記の地震荷重を考慮して設計されていることになる。このように耐震設計された構造物に対して将来の地震時の被害想定を行なうには、想定地震によって生じる地震荷重が、設計に用いられた値より大きいかが最大の判断項目となるであろう。つまり、想定地震による地震荷重の方が大きければ、被害を受ける構造物も生じる可能性があると予測されることができよう。

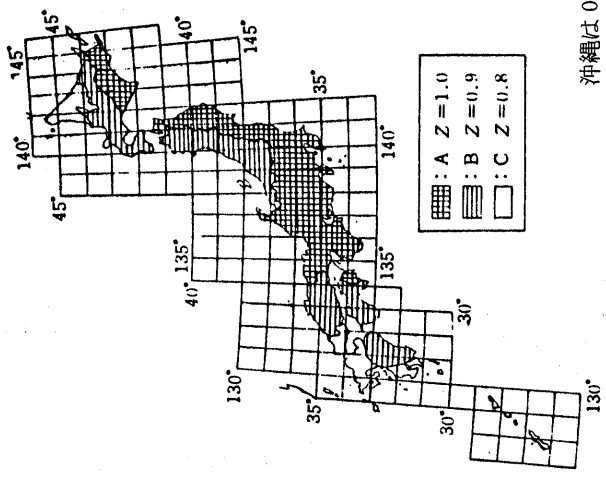
式(5.5.4)および表 5.5.2 をもとに試算すると、設計用の地震荷重として、本調査地域では、次の値がとられることになる。

- |                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| ○ 現行の建築基準法           | $K_i = 0.2$ (16 m の高さまで) |
| ○ 新耐震設計法(案) I-A, I-B | $K_H = A_1 K_0 = 0.2$    |
| ○ II-A, II-B         | $A_1 K_0 = 0.2$          |
| ○ III-A, III-B       | $A_1 K_0 = 0.2$          |

表 5.5.1 耐震設計区分<sup>(59)</sup>

区分	概要	適用される建築物
I-A	構造規定による1次設計を行なうもの	木構造
I-B	震度法ならびに構造規定による1次設計を行なうもの	壁式鉄筋コンクリート構造
II-A	修正震度法による1次設計ならびに修正震度法による略算的な2次設計を行なうもの	一般の鉄筋コンクリート構造および鋼構造
II-B	修正震度法による1次設計ならびに修正震度法による精算的な2次設計を行なうもの	“ ” 鉄骨鉄筋コンクリート構造またはプレストレストコンクリート構造
III-A	修正震度法による1次設計ならびに応答スペクトル法による2次設計を行なうもの。	高層の建築物
III-B	修正震度法による1次設計ならびに応答スペクトル法と時刻歴応答解析法による2次設計を行なうもの	高層の建築物





沖縄は 0.7

(建設省告示第 1621 号、S5 3.1 0.1 5 で S5 4.4. 1 より施行が決まっている)

図 5.5.1 (2) 地震地域係数 (Z) (行政区分で振り分けられたもの)

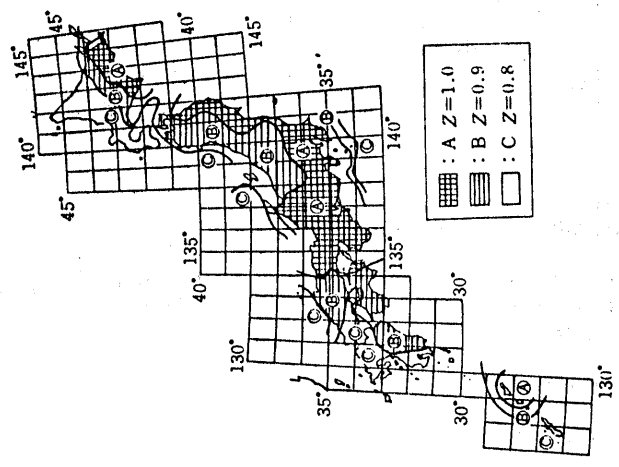


図 5.5.1 (1) 地域係数 (Z), (原形)

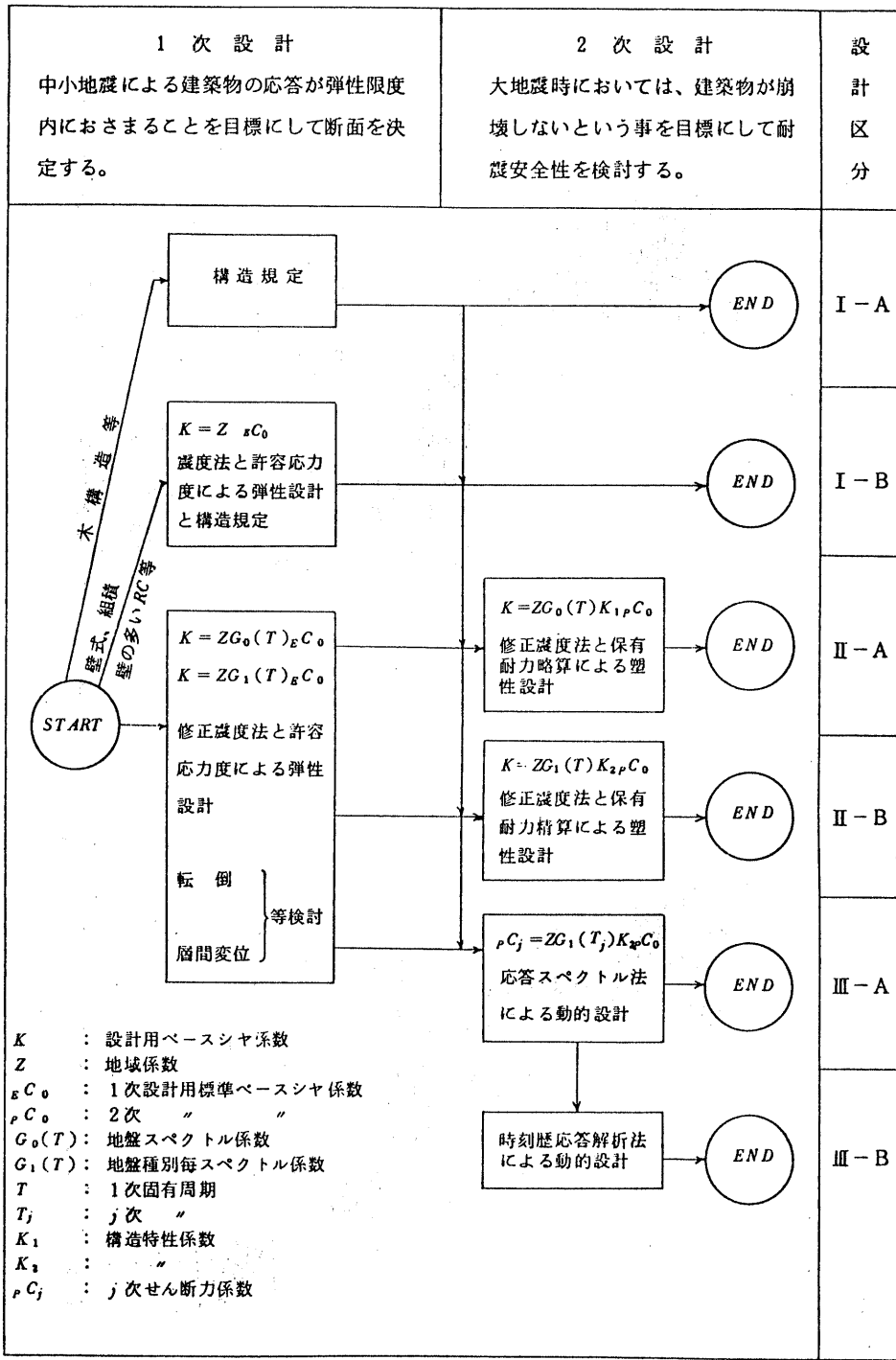


図 5. 5. 2 設計区分のブロックチャート<sup>(59)</sup>

表 5.5.2 各設計区分での地震荷重 <sup>(59)</sup>

設計区分	1 次 設 計			2 次 設 計		
	荷 重	G	安全性の照査	荷 重	G	安全性の照査
I - A	$d_1 \cdot K_2$ * ( $K_2 = 0.2$ )	—	構造規定	必 要 な し		
I - B	$d_1 \cdot K_2$ ( $K_2 = 0.2$ )	—	許容応力度 構造規定			
II - A	$d_1 (d_2 \cdot d_4) \cdot K_2$ ( $K_2 = 0.2$ )	$(d_2 \cdot d_4) = G_0 (T)$	同 上 $\delta_i$ $D_i (\frac{1}{200})$ $\delta_r$ $D_r (\frac{1}{200})$	$d_1 (d_2 \cdot d_4) d_5 \cdot K_0$ ( $K_2 = 1.0$ ) ( $d_5 = K_1$ )	$(d_2 \cdot d_4) = G_0 (T)$	保有耐力 略算値 > 荷重
II - B	同 上	$(d_2 \cdot d_4) = G_0 (T)$ または $(d_2 \cdot d_4) = G_1 (T)$	同 上	同 上 但し $d_5 = K_2$	$(d_2 \cdot d_4) = G_1 (T)$	保有耐力 精算値 > 荷重
III - A	$d_1 \cdot (d_2 \cdot d_4) d_3 K_2$ ( $K_2 = 0.2$ )	同 上	同 上	応答スペクトル法 ( $K_2 = 1.0$ ) ( $d_5 = K_2$ )	$(d_2 \cdot d_4) = G_1 (T)$	保有耐力 精算値 > 荷重
III - B	同 上	同 上	同 上	III-Aの2次設計 と時刻歴応答解析 法 (人力地震波の 制約)	(人力地震波の選 定などに含まれ る)	不安定又は崩壊
主要記号	* : 構造規定に含まれている。 $d_1$ : 地域係数 (1.0 ~ 0.8) $d_2 \cdot d_4$ : 地盤種別係数 ( $G_0$ : 1 ~ 4 種の包絡線) ( $G_1$ : 1 ~ 4 種別に設定) $d_5$ : 構造特性係数 ( $K_1, K_2$ ) $K_1$ : 略算の場合 (0.6 ~ 0.3) $K_2$ : 精算 " (0.5 ~ 0.3)					

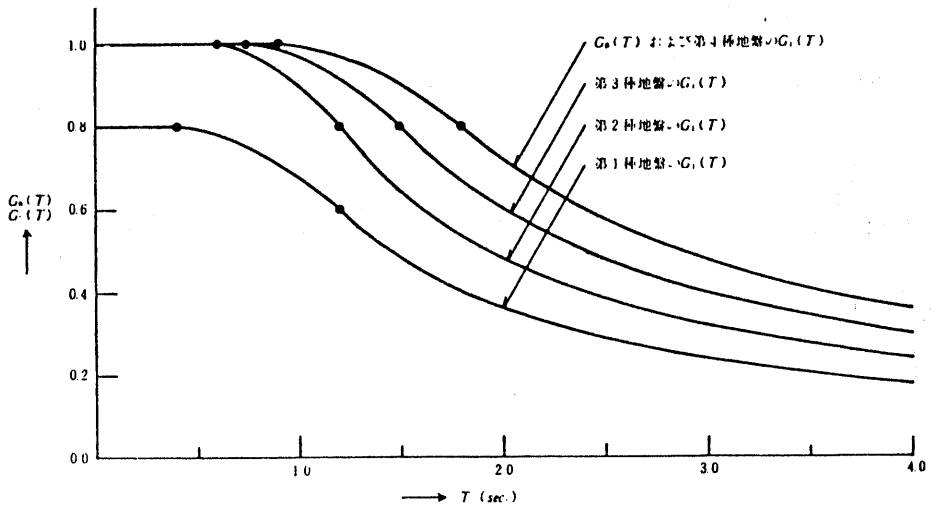


図 5.5.3 (1) 地盤スペクトル係数  $G_0 ( T )$  および  $G_1 ( T )$

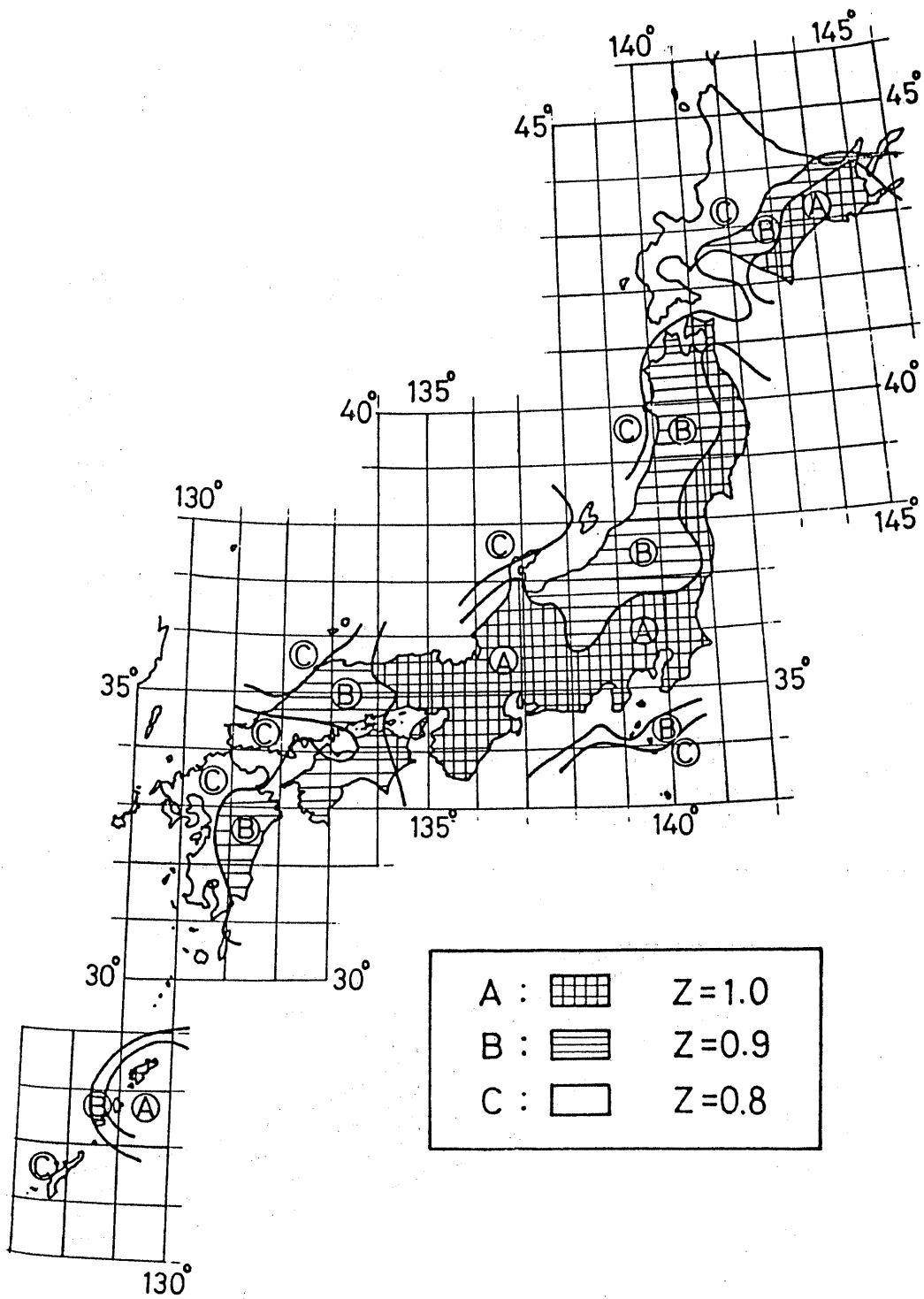


图 5.5.3 (2) 地域係数 (Z)<sup>(59)</sup>

表 5.5.3 地盤種別<sup>(7)</sup>

	地盤構成	常時微動特性		N 値
		平均周期	卓越周期	
第1種	地盤が当該建築物の周囲担当の範囲にわたって岩盤、硬質砂層その他主として第3紀以前の地層によって構成されているもの。	0.2秒以下	0.1秒以下	
第2種	地盤が当該建築物の周囲担当の範囲にわたって砂層、砂礫り硬質粘土層、ローム層その他主として洪積層によって構成されているもの、または厚さが概ね5m以上の砂利層若しくは砂層の沖積層によって構成されているもの。	0.1～0.45秒	0.3秒付近	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GL-10～15mでN値が30を超える。</li> <li>・GL-25～30mまでにN値が60を超える。</li> </ul>
第3種	第1種、第2種、第4種以外の地盤	0.35～0.75秒	0.5秒付近	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第2種、第4種の中間</li> <li>・GL-25～30mにN値30を超える層があるが薄い層である。</li> </ul>
第4種	腐植土、泥土その他これらに類するもので構成されている沖積層（盛土がある場合においてはこれを含む）でその深さが概ね30m以上のもの、沼沢、泥海等を埋め立てた土地であって、ごみ、泥土その他これらに類するもので埋め立てた地盤の深さが概ね3m以上であり、且つこれらで埋め立てられてから概ね30年を経過しないもの。	0.55秒以上	0.8秒付近	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GL-25～30mにおよぶまでN値31を超えない。</li> <li>・GL-30mまでN値10以下</li> <li>・GL-60mまでかなり厚い地層がN値60を超えることがない。</li> <li>・N値10以下の地層が10m以上の厚さに存在する。</li> </ul>

そこで、5.3で検討した、想定地震に対する地表最大加速度から、水平震度を求め、上記の値と比較すれば、被害想定が出来ることになる。地表最大加速度から水平震度を求める方法は、確定された方法が現在ないが、運輸省港湾技術研究所から最近次のような式が提案されている。<sup>(60)</sup>

$$\left. \begin{aligned} e_A &= \frac{1}{3} \left( \frac{\alpha}{g} \right)^{\frac{1}{3}} && (\alpha \geq 200 \text{ gal の場合}) \\ e_A &= \frac{\alpha}{g} && (\alpha < 200 \text{ gal の場合}) \end{aligned} \right\} \quad (5.5.5)$$

ここに  $e_A$  : 作用震度 (=  $K_i, K_H$ )

$\alpha$  : 最大地盤加速度 (gal)

$g$  : 動加速度 (gal)

そこで、今回はこの式を用いて、5.3で求めた地表最大加速度から水平震度を想定し、建築物の被害想定に用いることとした。ただし一般の木造家屋は、震度法による耐震設計は行なわれていないと考えられるため、この方法による被害想定は、表 5.5.1 の中の I-B～II-B に相当する建築物、つまり、中層の鉄筋コンクリート・鉄筋鉄骨コンクリート・プレストレスコンクリート・鋼構造の建築物を対象とし、木造家屋では以下に述べる別の方法で被害想定を行なった。なお、この他 III-A、III-B に相当する高層の建築物では、十分な耐震設計が行なわれているはずで、将来の地震に対して被害は受けないと判断することにした。

日本では、木造家屋は昔から多く造られ、地震のたびに何らかの被害を受けてきた。そして、地盤条件と被害との関係がかなり研究されてきている。被害に影響を与える要因として、現在考えられている要因を挙げると次のようになる。

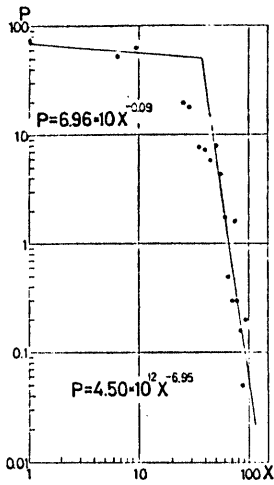
- 微地形
- 地質構造
- 沖積粘土層の厚さ

- 基盤の深さ
- 極く表層の強度（前節の地盤破壊と同じ意味）
- 地盤種別
- 地震応答スペクトル

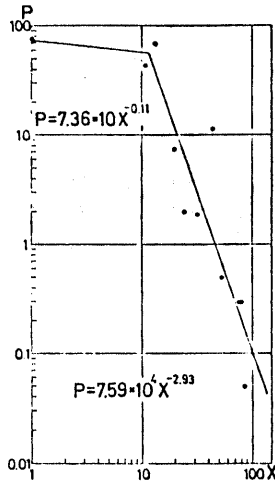
これらの関係で、被害率との関係を調べた例を、図 5.5.4～5.5.9 に示す。これらの関係は、地震の規模、震央距離、地盤条件が変わると異なってくると考えられるため一義的な関係あるとは言えない。

また、東京天文台<sup>(67)</sup>では、震度階毎の被害を表 5.5.5 のように説明している。このようにいろいろの要因が考えられるが、決定的な被害予測方法はないため、表 5.5.5 を重視して家屋の倒壊が 30 % 以上と定義されている震度 VII ( 400 gal 以上 ) の場合に被害を受けると考えておく。

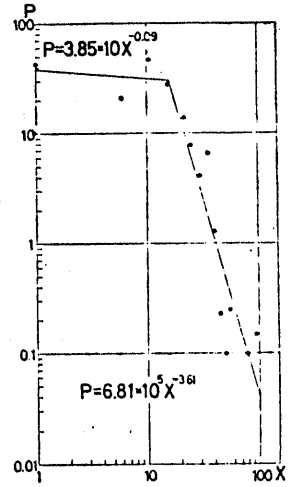
なお、家屋の構造に着目した被害の判定例として、表 5.5.4 に静岡県<sup>(66)</sup>の例を示した。



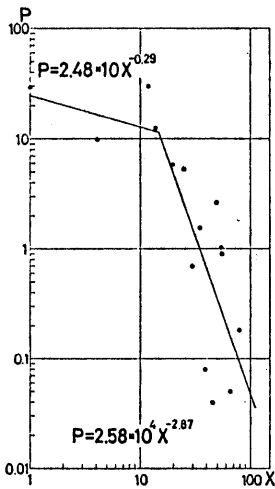
(a) 砂泥質な沖積低地



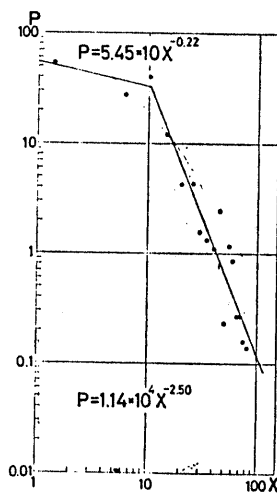
(b) 谷底低地・緩斜面



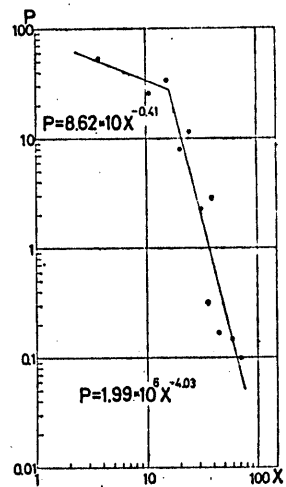
(c) 海岸平野



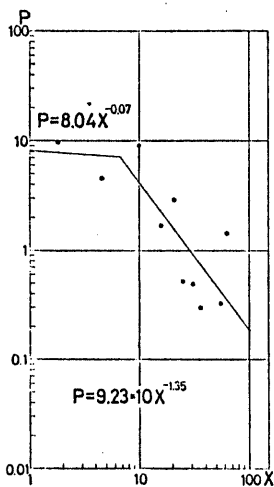
(d) 扇状地・沖積錐



(e) 台地



(f) 丘陵地・台地斜面



(g) 山地

図 5.5.4<sup>(61)</sup>

各種地形における住家全壊率  $P$  (%)  
と震源距離  $X$  (km) の関係

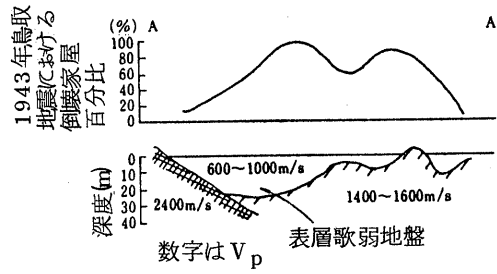


図 5.5.5 地下構造と震害との関係(横尾ら<sup>(62)</sup>)

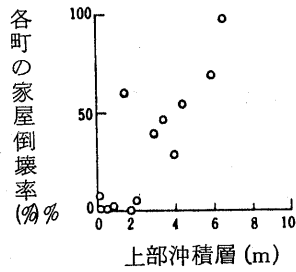


図 5.5.6 1944年東南海地震における名古屋市熱田区・港区の家屋倒壊率と上部沖積層厚の関係(Omote・Miyamura<sup>(63)</sup>原図)

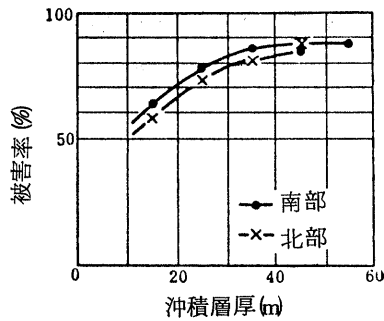


図 5.5.7 沖積層の厚さと木造建物被害率の関係(関東大地震・横浜)(表・宮村, 1951<sup>(64)</sup>)



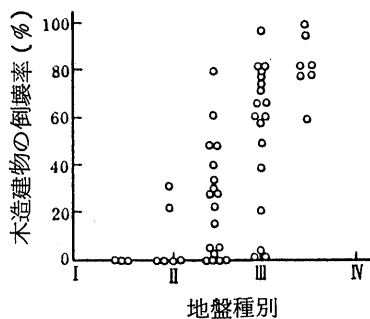


図 5.5.8 1944 年東南海地震，静岡県菊川流域  
(金井，1968)<sup>(65)</sup>

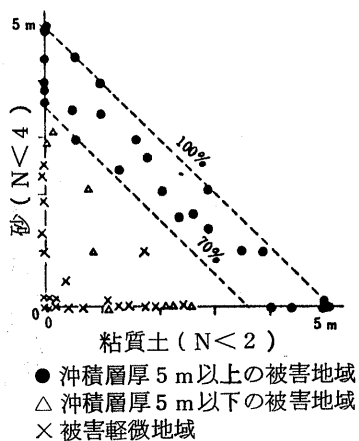


図 5.5.9 地盤状況 (G.I. - 5m までの軟弱層厚)  
と震害との相関図 (% は軟弱層率)  
(表，宮村<sup>(63)</sup>)

表 5.5.4 自家耐震診断カルテ<sup>(66)</sup>

昭和 年 月 日



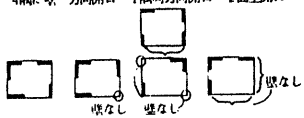
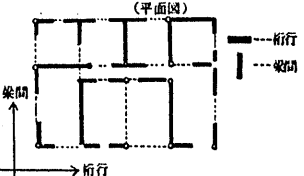




建築物の所有者					連絡先	電話 ( )	
建築物の所在地							
自家耐震診断							
注：2階建の場合は、1階部分を診断する。							
欄	項	目			評点	解 説	
a	構法	地盤				(構造) 大黒柱式  耐力壁式  前面の建物に多く 耐力壁が少ない 後面の新しい 建物が多い	
	耐力壁式	良い	普通	悪い			
	大黒柱式	0.9	0.8	0.6			
b	階数	屋根葺材			重い屋根 — 瓦葺、カヤ葺等 軽い屋根 — 鉄板、スレート等		
	平家	軽い	重い				
	2階建	1.2	1.0				
c	4隅に壁	1.0				1階か内 1面全開口 4隅に壁 方向開口 2階内方向開口 2面全開口 	
	1隅が両方向とも開口	0.9					
	1面全開口・2隅が両方向開口	0.8					
	2面全面開口	0.7					
d	筋かい有り	1.5				建物のどこかに筋かいがあれば筋かい有りとみなす	
	筋かいなし	1.0					
e	見かけの壁率が0.5未満	0.2				※この項目については、桁行、梁間方向別々に計算して壁の長さの少ない方で行う。 (平面図) 	
	0.05以上0.15未満	0.4					
	0.15 " 0.25 "	0.7					
	0.25 " 0.35 "	1.0					
	0.35 " 0.45 "	1.3					
	0.45 " 0.55 "	1.7					
	0.55 " 0.65 "	2.2					
0.65以上	3.0						
f	増築せず	1.0				増築せず  1階のみ増築  2階を増築  	
	1階のみ増築	0.9					
	2階を増築	0.8					
g	老朽化していない	1.0				建物全体から判断し、特に北側の台所、風呂場等の土台、柱脚部分を診断する。	
	腐蝕著しい	0.8					
総合評点	E = a × b × c × d × e × f × g						



表 5.5.5 震 度 階<sup>(47)</sup>

気象庁震度階級は日本で、改正メルカリ震度階は諸外国で使われている。説明欄の数字は地動の加速度で、単位はガル (cm/sec<sup>2</sup>)。

気象庁震度階級 (1949年)			改正メルカリ震度階 (1931年)	
震度	名称	説明	震度	説明
0	無感	人体に感じないで地震計に記録される程度。0.8以下		無感覚
I	微震	静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。0.8～2.5	I	地震計にのみ感ずる程度の地震。特に感じやすい状態にあるごく小数の人に感ずる程度。1.0以下
II	軽震	大勢の人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかるぐらいの地震。2.5～8.0	II	ビルの上層に静止しているような少数の人々だけにのみ感ずる。動きやすく作られた物体はゆらぐ。1.0～2.1
III	弱震	家屋がゆれ、戸障子がガタガタと鳴動し、電燈のようなつり下げ物は相当ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。8～25	III	特にビル上層の屋内で著しく感じ、止まっている自動車がわずかにゆらぐが、多くのものは地震とは思わない。2.1～5.0
IV	中震	家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花びんなどは倒れ、器内の水はあふれ出る。また歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛出す程度の地震。25～80	IV	日中屋内の多数の人に感じ、皿、窓ガラス、扉などがゆれ、止まっている自動車はかなりゆらぐ。5.0～10.0
V	強震	壁に割目がいり、墓石、石垣籠が倒れたり、煙突、石垣などが破損する程度の地震。80～250	V	ほとんど全部の人に感じ多く人は目がさめる。すわりの悪いものは倒れ振り時計が止まる。10～21
VI	烈震	家屋の倒壊は30%以下で山くずれが起き、地割れを生じ、多くの人々は立っていることができない程度の地震。250～400	VI	すべての人々に感じ、多く人は驚いて戸外に飛出す。21～44
VII	激震	家屋の倒壊が30%以上におよび山くずれ、地割れ、断層などを生ずる。	VII	ほとんどすべての人が戸外に飛出し、すわりの悪いものや、設計のよくないものにはかなりの損害がある。44～94
		400以上	VIII	堅ろうな建物にもかなりの損害があり、煙突、記念碑、壁などが墜落し家具が横倒する。また砂や泥などを多少吹出し、井戸水に変化がある。94～202
			IX	堅ろうな建物にも損害があり、一部つぶれ地面に亀裂が著しく現われる。202～432
			X	石工物の大部分破損、地面に亀裂多大、鉄道線路のわん曲。432以上
			XI	残存建物少なく、橋りょう破損大亀裂。
			XII	あらゆるものが破損、地表に波形が見られ、あるものは空中に投出される。

### 5.5.3 土木構造物の被害想定

土木構造物の耐震設計は、構造物によって行なわれているものと行なわれていないものがある。表 5.5.6 はこの概要を、また、表 5.5.7 は耐震設計が行なわれている構造物でとられている設計水平震度を示している。

このように構造物によってマチマチであるが、「新耐震設計法(案)」<sup>(59)</sup>ではこれらをまとめて、次のように地震荷重を求めるように述べてある。

#### 1) 震度法の場合

式(5.5.1)により設計震度を求める。ただし、補正係数は次のようにして求める。

$$K_0 = 0.20 \quad \dots\dots\dots (5.5.1)$$

$$A_1 \quad \dots\dots\dots \text{図 5.5.1 0, 表 5.5.7}$$

$$A_2 \quad \dots\dots\dots \text{表 5.5.9}$$

$$A_3 \quad \dots\dots\dots \text{表 5.5.1 0}$$

#### 2) 修正震度法の場合

式(5.5.2)により設計震度を求める。ただし、補正係数は次のようにして求める。

$$K_0 = 0.20 \quad \dots\dots\dots (5.5.2)$$

$$A_4 \quad \dots\dots\dots \text{図 5.5.1 1}$$

#### 3) 応答変位法の場合

式(5.5.3)により地盤の変位振幅を求める。ただし、 $S_v$  は図 5.5.12 により求め、 $K_H'$  は次式より求める。

$$K_H' = \frac{1}{B_G} \frac{K_H}{A_2} \quad \dots\dots\dots (5.5.3)$$

ここに、 $K_H$ 、 $A_2$ ：式(5.3.1)より求める。

$B_G$ ：表層地盤の増幅係数であり、一般に  $4/3 \sim 2$  の値をとる。

さて、各構造物タイプによってだいたいどの設計法を用いるかの目安については、表 5.5.11 のように述べられている。

表 5.5.11 各構造物ごとに用いられる設計法の目安

構 造 物 \ 設 計 法	震 度 法	修 正 震 度 法	応 答 変 位 法	動 的 解 析
基 礎	○			△
コンクリート及び鋼構造物	○	○		△
土 構 造 物	○			△
地 中 構 造 物	○		○	

○：用いる

△：場合によって用いる

したがって、各構造物でそれぞれ異なった方針で設計されることになるが、動的解析法を除いて水平震度で結局地震荷重が決定されることになる。本調査地で上記の方法による基本の震度（構造物に関係ない地盤だけに関係した震度  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $K_0$ ）を試算すると次のようになる。

第1種地盤	.....	0.18
第2種地盤	.....	0.20
第3種地盤	.....	0.22
第4種地盤	.....	0.24

そこで、建築物の場合と同様に、将来想定される地震に対しての水平震度分布を求めておき、上記の値と比較すれば、土木構造物が被害を受ける可能性がある地区を予測できることになるであろう。

ただし、堤防や道路のように耐震設計が現在行なわれていないものについては、この予測方法は用いることができない。これらの構造物等については、独自の被害想定方法が考え出されてきているが、まだまだ完全な被害想定への道は遠い。

表 5.5.6 対象構造物・施設に関する耐震規定の現況<sup>(59)</sup>

番号	構造物・施設の種別	構造規定	依拠法令	耐震規定			調査試験基準	摘要
				地震動設計条件	計算法	安全率		
1	下水道施設	○	下水道					
2	堤防	○	河川					
3	海岸保全施設	○	海岸					
4	堰・水門	○	河川	△				
5	揚排水施設(樋門樋管を含む)	○	河川	○	○	○	○	
6	ダム	○	河川・特多ダム <sup>注1)</sup>	○	○	○	○	
7	斜面崩壊防護施設	○	急傾斜地 <sup>注2)</sup>					
8	道路(橋を除く)	○	道路			○	○	
9	橋	○	道路	○	○	○	○	
10	トンネル(地下道・共同溝を含む)	○	道路	△	△	△	△	
11	人工島(埋め立て地を含む)	△	道路	△	△	△	△	
12	地中埋設管路	△	石油パイプライン <sup>注3)</sup>	△	△	△	△	

注 ○印はあり、△印は対象によってはあり  
 注 1) 特定多目的ダム法  
 注 2) 急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律  
 注 3) 石油パイプライン事業法

表 5.5.7 各施設種別毎設計震度一覧表(1)

行政管理庁調べ(1973)

施設種別	標準設計 水平震度	補正係数(震度)			設計水平 震度の範囲	鉛直震度	基礎の規 定の有無	根拠規定等	地震の流動 化判定の有無
		地域別	地域別	重要度別					
建築物	0.2	告示2表	第一種 木造0.6 鉄骨0.6 鉄・コ0.8	同 上	軟弱地盤 煙突等0.3 その他 0.2~ 0.096	-	有	○建築基準法 ○建築基準法施行令 ○建設省告示第1074号	-
		その他	第二種 木造0.8 鉄骨0.8 鉄・コ0.9 その他1.0 軟弱地盤 設計震度 0.3						
公営住宅	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上
高層建築物	-	-	-	-	-	-	-	○建設省建築審査会審査	-
屋外タンク貯蔵所	0.3以上	-	-	-	0.3以上	-	有		-
道路橋	0.2	A 1.00 B 0.85 C 0.70	1種 0.9 2種 1.0 3種 1.1 4種 1.2	1級 たただし特別 2級	0.30~ 0.10	有(一部)	有	○道路構造令 ○道路構造令 ○橋および高架の道路に關する技術基準 (比較的長周期(0.5~2.0秒)の橋では設計震度を1.25倍する。又落橋防止構造の規定あり)	有
横断歩道橋	0.20~0.10	-	-	-	0.20~ 0.10	0.10	-	○横断歩道橋設計指針 (落橋防止構造について は道路構造設計指針を適用)	-
海岸保全施設	-	-	-	-	-	-	-	○海岸保全施設築造基準	-
河川堤防	-	-	-	-	-	-	-	○河川砂防技術基準	-
ダム	-	(1) 0.12~0.20(震度)	-	-	0.10~ 0.25	-	-	○ダム構造令(案)49年度 中に立法措置をとる予定 ○同施行規則(案) ○ダム設計基準(日本大 学コンクリートアーチ ダム会議) ○コンクリートアーチダムの 設計震度を2倍とする	-
		(2) 0.10~0.15( "	-	-	-	-	-		
ダム	-	(1) 0.12~0.25(震度)	-	-	-	-	-		-
		(2) 0.10~0.20( "	-	-	-	-	-		-
港湾構造物	-	第1地域 0.15(震度) 第2地域 0.10( " 第3地域 0.05( "	第1種 0.8 第2種 1.0 第3種 1.2	0.5 ~ 1.5	0.020~ 0.225	-	-	○漁港構造物標準設計法	-



表 5. 5. 7 - (2)

施設種別	標準設計 水平震度	補正係数 (震度)				設計水平 震度の範囲	鉛直震度	基礎の規 定の有無	根拠規定等	地震の流動 化規定の有無
		地域別	地盤別	重要度別	地盤別					
ガスホルダー	16mm以下0.2 mm以上0.3	—	—	—	—	—	—	○ガス工作物の技術上の基 準の細目を定める告示	—	
沈埋トンネル (1) 地上施設	0.2	A 1.00 B 0.85 C 0.70	1種 0.9 2種 1.0 3種 1.1 4種 1.2	1級 1.0 2級 0.8	0.1~0.3	水平設計震 度の1/2	有	○沈埋トンネル耐震設計指 針(土木学会) (比較的長周期(0.5~ 2.0秒)の構造物では水 平設計震度を1.25倍す る。)	有	
(2) 地中管路	基板の震度 0.15	A 1.00 B 0.85 C 0.70	—	1級 1.0 2級 0.8	基板の震度 から函路中 心位置の姿 位を求めて 設計する。	—	有	○石油パイプライン專業法 ○同法関連技術基準省令) ○技術基準関連の細目 (告示) ○石油パイプライン地震対 策要綱(日本道路協会)	有	
石油パイプライン (1) 地上施設	基板の震度 0.15	A 1.00 B 0.85 C 0.70	1種 1.20 2種 1.33 3種 1.47 4種 1.60	1級 1.0 2級 0.8	0.1~0.24	—	有	—	—	
(2) 地中管路	同 上	同 上	—	同 上	基板の震度 から地表部 の変位を求 めて設計す る。	—	—	—	—	
地下道、地下街	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

表 5. 5. 7 - (3)

施設種別	標準設計 水平震度	補正係数(震度)			設計水平 震度の範囲	鉛直震度	基礎の規 定の有無	根拠規定等	地盤の流動 化判定の規 定の有無
		地域別	地盤別	重要度別					
漁港構造物	-	第一地域	-	陸揚岸壁 0.15(震度)	0.15~ 0.00	-	-	○漁港構造物設計基準法	-
				出漁準備岸壁 0.15(〃)					
				休けい岸壁 0.10(〃)					
-	第二地域	-	陸揚岸壁 0.10(震度)	0.15~ 0.00	-	-	-	-	-
			出漁準備岸壁 0.10(〃)						
			休けい岸壁 0.05(〃)						
-	第三地域	-	陸揚岸壁 0.05(震度)	0.15~ 0.00	-	-	-	-	-
			出漁準備岸壁 0.00(〃)						
			休けい岸壁 0.00(〃)						
鉄道構造物	-	A地域 0.20(震度) B地域 0.15(〃)	軟弱 普通 岩盤	1級線 1.2 新幹線 1.0 3級線 0.8 4級線 0.9	0.264~ 0.108	0.132~ 0.054	有り	○構造物設計基準このほか 地盤の深さ別係数あり	-
水道施設	-	0.05~0.50(震度)	岩盤、硬い 砂、れき層	浄水施設等 0.4	0.1~0.3 ただし、塔 状構造物に 対しては 0.4とする	-	-	○水道施設の耐震工法	-
				塔状構造物等 0.5					
				埋設管路 0.3					
-	こり積層	-	-	海水施設等 0.7	-	-	-	-	-
				塔状構造物等 0.7					
				埋設管路 0.7					
-	ちゅう積層	-	-	海水施設等 1.0	-	-	-	-	-
				塔状構造物等 1.0					
				埋設管路 1.0					
-	軟弱地盤	-	-	浄水施設等 2.0	-	-	-	-	-
				塔状構造物等 1.0					
				埋設管路 2.0					
水力発電施設 取水塔、取水路、 導水管、発電所、 変電所、送電路等	-	-	-	-	-	-	-	○発電用水力設備に関する 技術基準を定める省令 (ダム本体はダムの項に よる)	-
原子力発電施設	-	-	-	A 建築物 3K B 機器 3.6K C 建機 1.5K 建機 1.8K 建機 1.2K	3K-K	0.24 0.24	-	○発電用原子力設備に関す る技術基準を定める省令 Kは建築基準法に規定す る震度	-
火力発電施設	建築基準法建築 基準構造設計 基準に準ず	同左	同左	同左	同左	同左	同左		

表 5.5.8 地域係数 ( $A_1$ )<sup>(59)</sup>

地 域 区 分	地 域 係 数 $A_1$
A	1.0
B	0.85
C	0.7

表 5.5.9 地盤の種別による補正係数 ( $A_2$ )<sup>(59)</sup>

区 分	地 盤 種 別 <sup>1)</sup>	係 数
1 種	(1)第三紀以前の地盤 (以下岩盤と称する) (2)岩盤までの洪積層 <sup>2)</sup> の厚さが10m未満	0.9
2 種	(1)岩盤までの洪積層の厚さが10m以上 (2)岩盤までの沖積層 <sup>3)</sup> の厚さが10m未満	1.0
3 種	沖積層の厚さが2.5m未満かつ軟弱層の厚さが5m未満	1.1
4 種	上記以外の地盤	1.2

- 注) 1) 地盤種別は一応の目安を示したものであるから、建設地点の状況に応じて係数を判断する。  
ここでいう地層の厚さは地表面からの厚さとする。  
2) 沖積層の締った砂層、砂れき層、玉石層をふくむ。  
3) がけくずれなどによる新しい堆積層をふくむ。

表 5.5.10 構造物の種別による補正係数<sup>(59)</sup>

種 別	係 数
鋼 構 造 物 コンクリート構造物 鉄骨鉄筋コンクリート構造物	1.0
巨大な剛体状の構造物 土 構 造 物	0.5

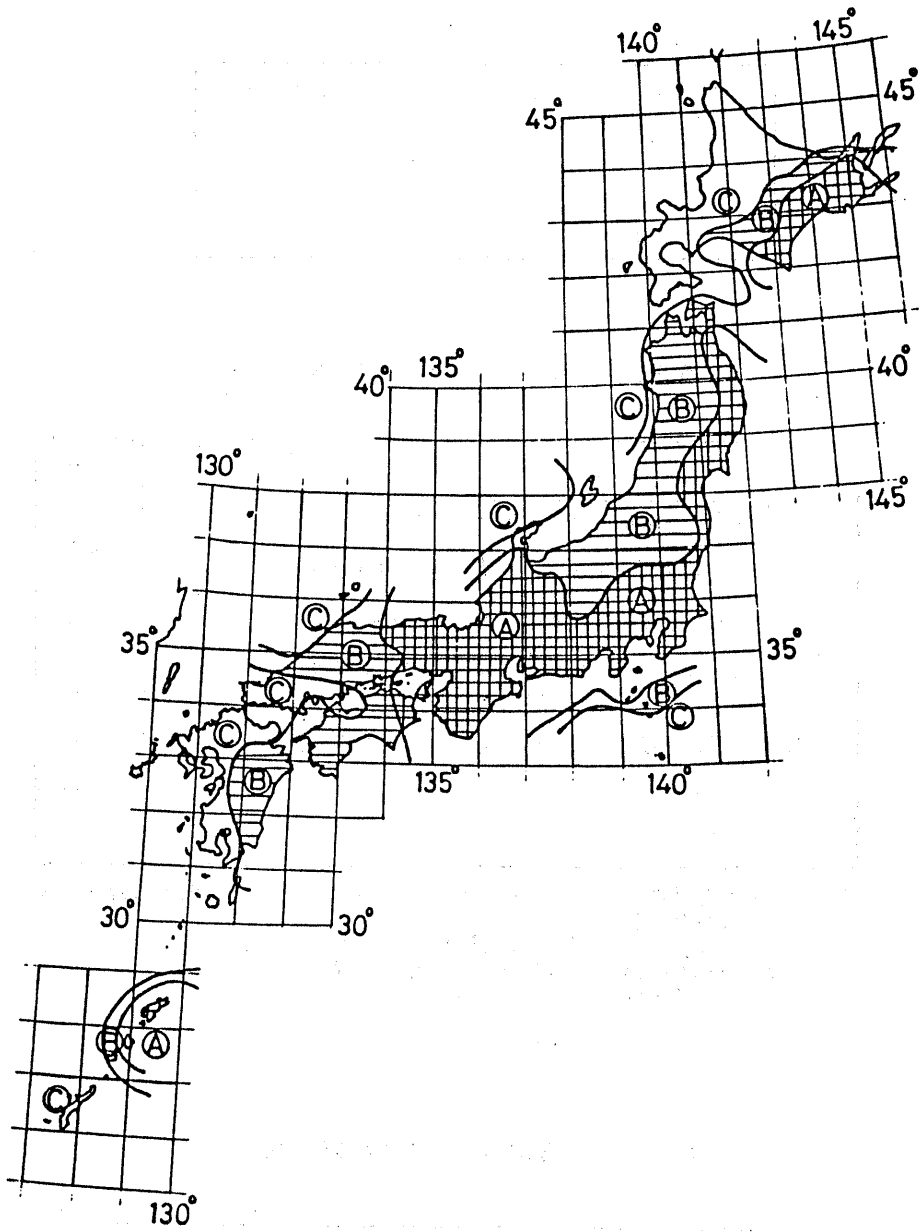


图 5.5.10 地域区分<sup>(59)</sup>

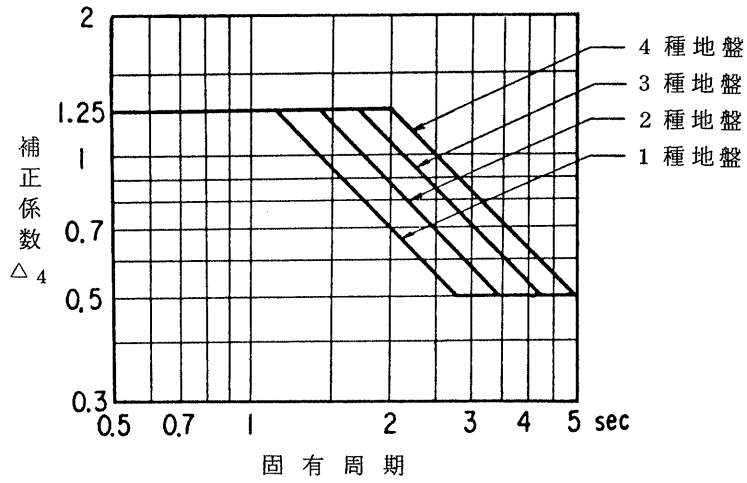


図 5.5.11 補正係数  $\Delta_4$ <sup>(59)</sup>

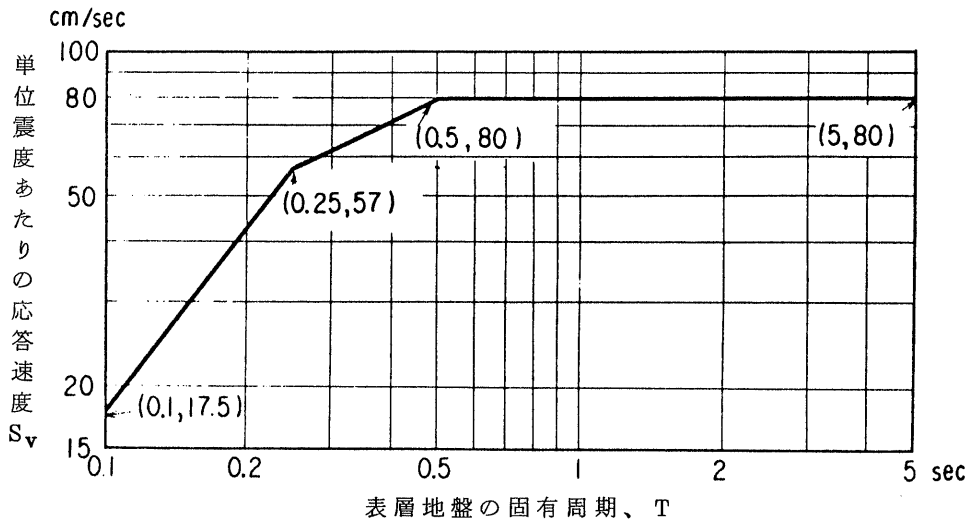


図 5.5.12 単位震度あたりの応答速度<sup>(59)</sup>





## § 6. 土地利用適性評価

### 6.1 適性土地利用ということ

土地利用は、土地に対する社会・経済的ニーズと、それぞれの土地が備えもっている性質（自然立地条件）の接線上である均衡を保ちながら成り立っているものである。

したがって、どんなに素晴らしい素質をもった土地でも、社会・経済的ニーズのないところは、いつまでも低位利用の段階を脱脚できない。

逆に、土地に対する社会・経済的ニーズが高いところでは、自然立地条件に多少の難点があってもそれはその時代に相応した経済力と技術力を背景にそれなりに繕われ、背伸びした土地利用の高度化が図られることが少なくない。このような土地が、大地震などの危険な自然作用に直面すると、それぞれの土地が潜在的にもっている災害に対する脆弱性を一度に顕在化させ、その土地を生活や生産の舞台としている人々の生命・財産の安全を脅かすことになるのである。

地震災害は、天災の代表のようにいわれている。いつ(When)、どこで(Where)、どの程度(What)の地震がどのようにして(How)起るか、3W1Hのうち三つだけでも予測できれば良いが、現在のところ、これらを高い精度で予測する技術は完成していない。災害の予測ができなければそれは天災だと言えようかも知れない。

しかし、仙台地方にあっては、すでに§4で説明したとおり、金華山沖地震帯が東方に控えているため、宮城県沖地震程度、もしくはこれより大きい地震が20～30年に一回の割合で襲ってくることは、過去の事実から判っている。また、大地震が起れば、不安定な斜面では山崩れや崩壊が発生し、地盤のやわらかいところでは、地震波が増幅され、地割や陥没が発生し、水飽和した砂地盤のところでは地盤の液化化をまぬがれない。これらは、宮城県沖地震をまつまでもなく、過去における幾多の地震からよく知られているところである。

宮城県沖地震は、何度も述べているおりこの地方を襲う地震としてはとくに大きいものではなかった。にもかかわらず、死者は27名に達し、全壊家屋1,377戸に及ぶ被害が発生した。「仙台市の地盤は、地震に対して安全だ」とかってからいわれてきた。旧市内は、第三紀層を基盤として広瀬川につくった何段かの段丘のうえに立地し、地盤は悪くない。たしかに、伊達藩が築いた旧市内は、過去の地震では被害は殆んどなく、今回の地震でも災害に結びつく直接的な被害は殆んど無かった。被害は、経済の高度成長期を中心に造成された新興市街地に集中した。いわば、人口が都市に集中し、旧市内だけでは手狭まとなり、市域を段丘地帯から東の沖積平野と集中の丘陵地帯へと進出を余儀なくさせたところが主要被災地となった。沖積平野の中でも被害は、苦竹など後背低地や泥炭地に集中した。また、丘陵地での被災地は、丘陵を切り盛りした住居団地造成地の谷埋め部に及びその直下流部に集中した。<sup>(2)</sup>

この地震で仙台市の地盤は安全だという概念は通用しなくなった。しかし、この地震が災害に直結する直接被害や甚大な地震災害をもたらした部分は、特定地盤条件をもつ地域へ進出を余儀なくされた新興市街地に限定されている。このことは、宮城県沖地震程度の地震はいつでもやってくるものと言う認識にたつて、地震対策を行なうことが必要であることを示している。ことに土地が本来もっている体質を正しく認識し、土地のもっている体質に適さない土地利用高度化にあたっては、十分な体質改善を行なう必要があることを示している。

人っ子ひとりいない土地、人々の生活や生産になんの縁もない土地では、どんな大地震が起っても災



害にはつながらない。また、大地震に際して地盤振動加速度が増幅しやすいところや地盤破壊を起しやすいたる所でも、別の要素から人々の生活や生産の舞台としての利用ニーズが高く、事前に地盤の体質改善がなされ、構造物の配置、建造に当って地震動に耐えうる設計・施工がなされていれば災害につながらないはずである<sup>(68)</sup>。

以上述べてきたとおり、土地利用が適性に行なわれているかどうかを評価するという事は難しい仕事である。適性評価手法は、いまだ確立されていない。解決すべきいくつかの課題を残していまだ検討の段階にある。少なくとも、次のような項目についての調査と吟味をしたうえで投資・利益比を土地利用種目ごとに検討し、最大の利益を挙げる土地利用に比べてどの段階にあるかを分級評価する含蓄のある極めて難しい仕事である。

- ① 土地が本来もっている体質の把握
- ② 現況土地利用と問題点（土地利用履歴と災害履歴）
- ③ 地震時の地盤挙動の予測
- ④ 現行法令による土地利用規制
- ⑤ 耐震地盤改良の適否（各種土地利用種目ごと）
- ⑥ 予測された地盤挙動に対する構造物の被災の可能性の把握と耐震設計の安全性経済性の検討

①③については、すでに述べたので、ここでは、②④について触れ、メッシュ単位での土地利用適性について述べる。

## 6.2 土地利用の現況と履歴

調査対象域の土地利用の現況と履歴は、付図の土地利用履歴図に示すとおりである。土地利用現況は、国土地理院（1976）<sup>(78)</sup>の25,000分の1土地利用図をもとに、宮城県（1980）土地利用基本計画書等<sup>(69)(71)</sup>により修正し、図6-1に示す分類区分によりまとめた。関係市町村ごとの地目別面積は、表6-1に示すとおりである。

市町村面積に対する道路数は、どこでも数%であるが、宅地面積には30%から3%の間ではばらついている。宅地面積が10%を超える市町村は、塩釜市（29.5%）、多賀城市（25%）、仙台市（23%）、七ヶ浜町（13.7%）、および石巻市（10.5%）である。農地率が25%以上でかつ、農地面積が1,000 haをこえる市町村は、仙台市（27.4%）、名取市（37.1%）、矢本町（49.4%）となっている。

これらの特定地域における土地利用の高度化は、人口の特定地域への集中によってもたらされたものである。表6-2および図6-2は、1921年（大正5年）から1980年（昭和55年）までの国勢調査結果から、人口・世帯数の動向を見たものである。以下にその特徴を列記する。

- 市部・町部を比べると市部は著しい増加傾向にある。  
とくに、1960（昭和35）年度以後は、仙台市、泉市、多賀城市が顕著である。
- 町部は全体として漸増であるが、市部に比べ著しく小さい。
- 七ヶ浜町を除くほとんどの町部は、1950年（昭和25年）～1970年（昭和45年）にかけて若干減少した。また町部の人口数・その変遷傾向は良く相似している。

市部の人口集中地区について、1960年（昭和35年）以後の国勢調査報告資料より抜粋し、表6

- 3、図6-3にまとめた。

人口集中地区の人口・人口密度の変遷についてみると次のような特徴が認められよう。

- 人口については、全体に増加の傾向にあるが、塩釜市を除いた市部では、とくに1970年(昭和45年)前後より急激に増加している。
- 人口密度については、全体に減少の傾向にある。ただし、多賀城市の1970年(昭和45年)から

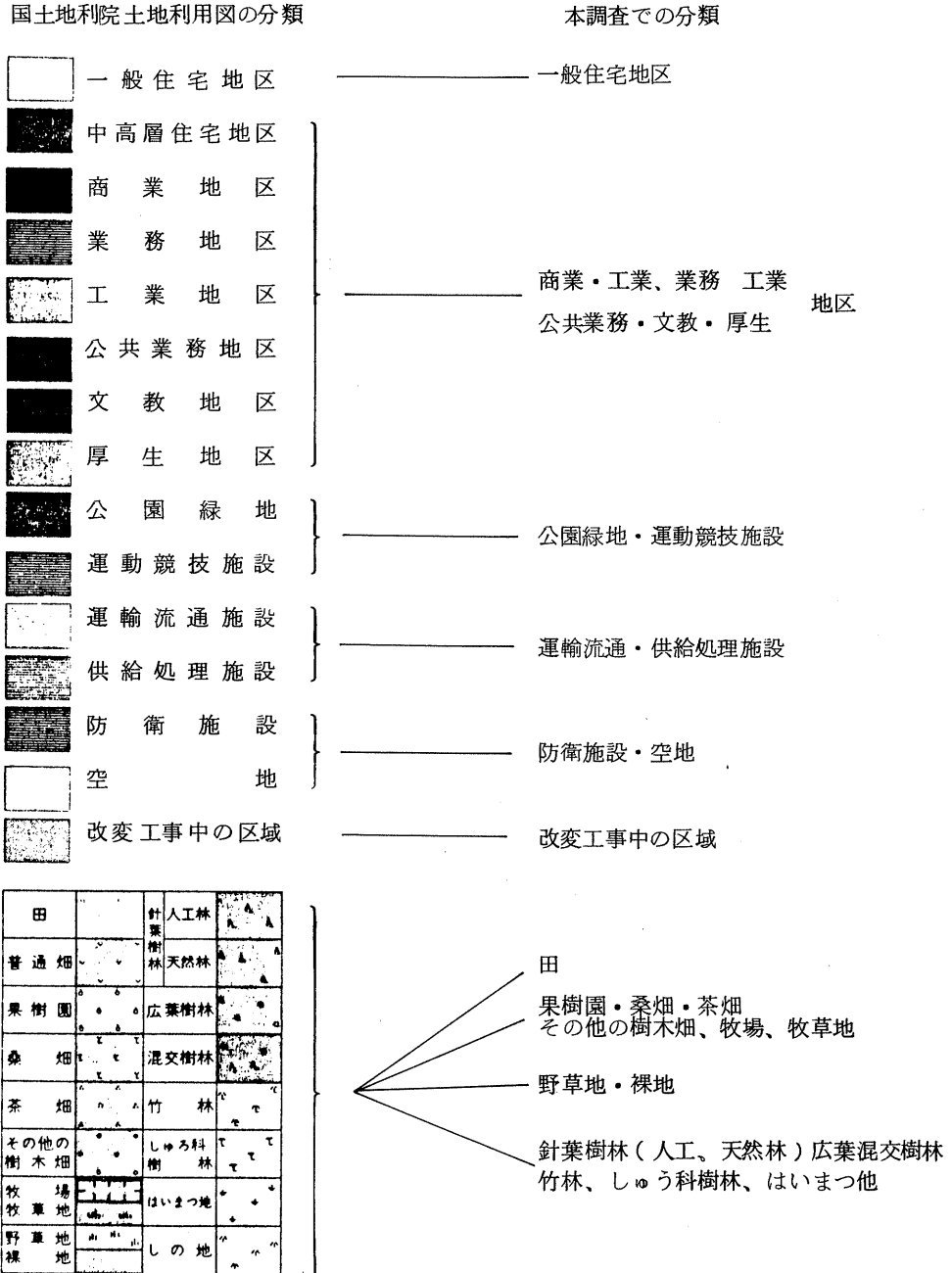


図 6. 1 土地利用現況図の分類

1975年（昭和50年）にかけては増加している。

以上のことから次のことが推定できよう。すなわち、人口増加にもかかわらず人口密度が減少していることは、人口集中地区の拡がりの方が人口増加の方より大きいことを、また一家屋あたりの居住員数（一般的には家族数）が少ないことを示しているといえる。

都市的土地利用に照準を合わせて、仙台・石巻地域の土地利用の変遷を見ると、土地利用履歴図右下のようになる。この図は、国土地理院発行の縮尺5万分の1旧版地形図のうち、表6-9に示すものを編集して作成したものである。この図から、昭和20年代後半までは宅地の拡大は殆んど認められないが、昭和30年代後半から50年代の前半にかけての経済の高度成長期に都市部は急激に拡大した様子を読みとることができる。

### 6.3 法令による土地利用の規制

1978年宮城県沖地震による被害は、丘陵の谷埋め造成地と、利府一長町構造線の東側低平地なかでも若竹・卸町付近のまさに地盤沈下地帯（付図の土地利用履歴図参照）に集中した。これらの区域が宅地造成の規制区域となっていれば被害はかなり軽かっであろう。

急傾斜崩壊危険区域、地すべり防止区域、砂防指定地、河川区域、河川保全区域、宅地造成区域、宅地造成規制区域、鳥獣特別保護区域、環境保全区域、文化財埋蔵区域など法令によって住宅地造成等が制限されている区域の分布は、付図オーバーレイに示すとおりである。

また、国土利用計画法等による五地域区分の市町村別面積及びその分布は、表6.5及び付図の地震対策土地保全基本図に示すとおりである。

### 6.4 土地利用適性評価の結果

地震被害を考慮した土地利用適性評価を行なうには、6.1で述べた検討が必要であるが、今回は、表6-1に示す各項について検討し、その成果を付図として「地震対策土地保全基本図の右下半部に、次の5ケースに分けて示した。

#### ① 土地利用適性評価図

（宮城県沖地震と同規模地震（現在） M=7.4）

…………… 現在の土地利用現況（主流の建築物）に対する評価

#### ② 土地利用適性評価図（宮城県沖地震と同規模地震 M=7.4）

…………… 将来主流を占める建築物に対する評価

#### ③ 土地利用適性評価図（想定宮城県沖地震 M=8.0）

…………… 将来主流を占める建築物に対する評価

#### ④ 土地利用適性評価図（内陸型（北） M=6.5）

…………… 将来主流を占める建築物に対する評価

#### ⑤ 土地利用適性評価図（内陸型（南） M=6.5）

…………… 将来主流を占める建築物に対する評価

次に前述した事項と重複するが、今回実施した想定方法をまとめる意味で表6-1に示す項目毎に説明する。

表 6.1 市町村別地目別区分土地利用の現況

(単位：ha)

地目区分	市町名	仙台市	塩釜市	名取市	多賀城市	泉市	石巻市	松島町	七ヶ浜町	利府町	矢本町	鳴瀬町
(1) 農用地	田	6,510	220	3,743	687	2,144	2,395	1,191	349	871	2,415	1,303
	畑	5,130	80	3,220	559	1,633	1,830	1,020	188	596	2,030	1,050
	採草放牧地	1,380	140	523	128	494	565	171	161	275	370	251
		0	0	0	0	17	0	0	0	0	15	2
(2) 森林	天然林	5,398	348	3,485	81	9,673	7,275	2,741	266	2,995	879	2,405
	人工林	2,605	250	1,953	34	6,542	2,765	1,514	72	1,178	542	1,668
	その他	2,609	78	1,532	35	2,722	4,236	1,069	183	1,568	292	678
		184	20	0	12	409	274	158	11	249	45	59
(3) 原野	0	27	45	0	0	34	84	60	56	0	45	
(4) 水面・河川・水路	イ) 水面	1,496	11	360	166	258	1,191	245	41	129	195	461
	湖	109	3	11	6	51	483	44	30	53	14	36
	溜池	0	0	0	0	0	472	0	0	0	0	0
	ロ) 河川	109	3	11	6	51	11	44	30	53	14	36
	ハ) 水路	1,063	3	132	131	98	609	145	0	36	78	367
		324	5	217	29	109	99	56	11	40	103	58
(5) 道路	イ) 一般道路	986	94	450	117	355	389	225	36	175	273	188
	ロ) 農道	803	77	188	66	242	318	150	30	62	167	132
	ハ) 林道	163	17	252	51	57	38	74	6	55	101	54
		20	0	10	0	56	33	1	0	58	5	2
(6) 宅地	イ) 住宅	5,582	539	773	507	835	1,446	181	179	103	276	161
	ロ) 工場	4,264	337	604	283	712	947	129	108	88	218	146
	ハ) 事務所・店舗等の宅地	572	75	33	65	91	300	21	1	1	3	1
		746	127	136	159	32	199	31	70	14	55	14
(7) その他	3,716	588	1,219	416	1,280	1,088	616	373	163	841	672	
計	23,688	1,827	10,075	1,974	14,545	13,816	5,283	1,304	4,492	4,879	5,235	

(参考資料 71) より抜粋 昭和 53 年 3 月現在)

表 6.2 地域別人口・世帯数の変遷

	大正5年	大正9年	大正14年	昭和5年	昭和10年	昭和15年	昭和22年	昭和25年	昭和30年	昭和35年	昭和40年	昭和45年	昭和50年	昭和55年
仙台市	164,522	167,867 (29,946)	198,472 (35,926)	226,412	253,697	258,878 (46,810)	298,413	346,391 (67,989)	380,297 (79,320)	425,272 (102,798)	480,925 (129,275)	545,065 (163,301)	615,473 (200,455)	664,868 (236,638)
塩釜市	11,989	14,583 (2,918)	18,517 (3,677)	24,778	30,945	37,465 (6,068)	44,111	45,820 (8,976)	50,960 (10,186)	55,325 (12,137)	58,363 (14,032)	58,772 (15,083)	59,235	61,040 (17,244)
多賀城市	5,515	5,193 (833)	5,939 (942)	6,592	7,401	8,199 (1,216)	14,095	14,659 (2,734)	17,311 (3,241)	21,047 (4,330)	27,444 (6,338)	36,677 (9,631)	44,862 (12,554)	50,785 (15,539)
泉市	(10,199)	10,134 (1,540)	10,674 (1,620)	11,812	10,662	10,796 (1,544)	13,607	13,833 (2,056)	13,878 (2,057)	13,652 (2,186)	19,061 (4,083)	33,190 (8,711)	70,087 (19,928)	98,016 (—)
石巻市	41,935	43,657 (7,879)	48,613 (8,653)	55,763	60,985	65,566 (10,893)	84,441	85,939 (15,391)	89,891 (16,790)	93,698 (19,658)	98,240 (23,262)	106,681 (27,569)	115,085 (31,326)	120,699 (34,374)
名取市	(13,502)	20,758 (3,389)	22,051 (3,601)	23,584	24,442	24,669 (3,837)	30,629	32,243 (5,114)	32,966 (5,228)	33,026 (5,671)	34,205 (6,563)	40,845 (9,048)	46,730 (11,223)	49,715 (12,495)
利府町	5,390	4,718 (748)	4,936 (750)	5,211	5,480	5,598 (—)	7,216	7,763 (1,208)	8,036 (1,263)	7,927 (1,307)	7,934 (1,467)	8,031 (1,644)	9,712 (2,215)	11,201 (2,737)
七ヶ浜町	6,542	6,285 (1,055)	6,626 (1,101)	7,441	8,463	9,278 (1,407)	10,599	11,618 (1,808)	11,953 (1,890)	13,054 (2,270)	13,322 (2,501)	14,204 (2,940)	16,164 (3,662)	16,393 (4,101)
鳴瀬町	5,846	8,072 (1,386)	8,521 (1,411)	9,225	9,691	9,714 (1,504)	12,076	13,328 (2,117)	13,504 (2,159)	12,738 (2,222)	12,030 (2,331)	11,751 (2,456)	11,714 (2,585)	11,967 (2,714)
松島町	8,584	7,644 (1,293)	8,371 (1,357)	9,155	9,947	10,064 (1,550)	14,237	15,333 (2,645)	15,687 (2,658)	15,045 (2,830)	15,115 (3,169)	16,004 (3,643)	16,568 (4,017)	17,246 (4,365)
矢本町	11,259	11,070 (1,708)	11,709 (1,773)	12,637	13,164	13,709 (2,008)	18,818	24,035 (3,132)	21,392 (3,528)	20,916 (3,741)	20,026 (4,061)	20,441 (4,531)	22,187 (5,295)	24,898 (6,149)

(参考文献77より抜粋)

図 6.2 地域別人口変遷図

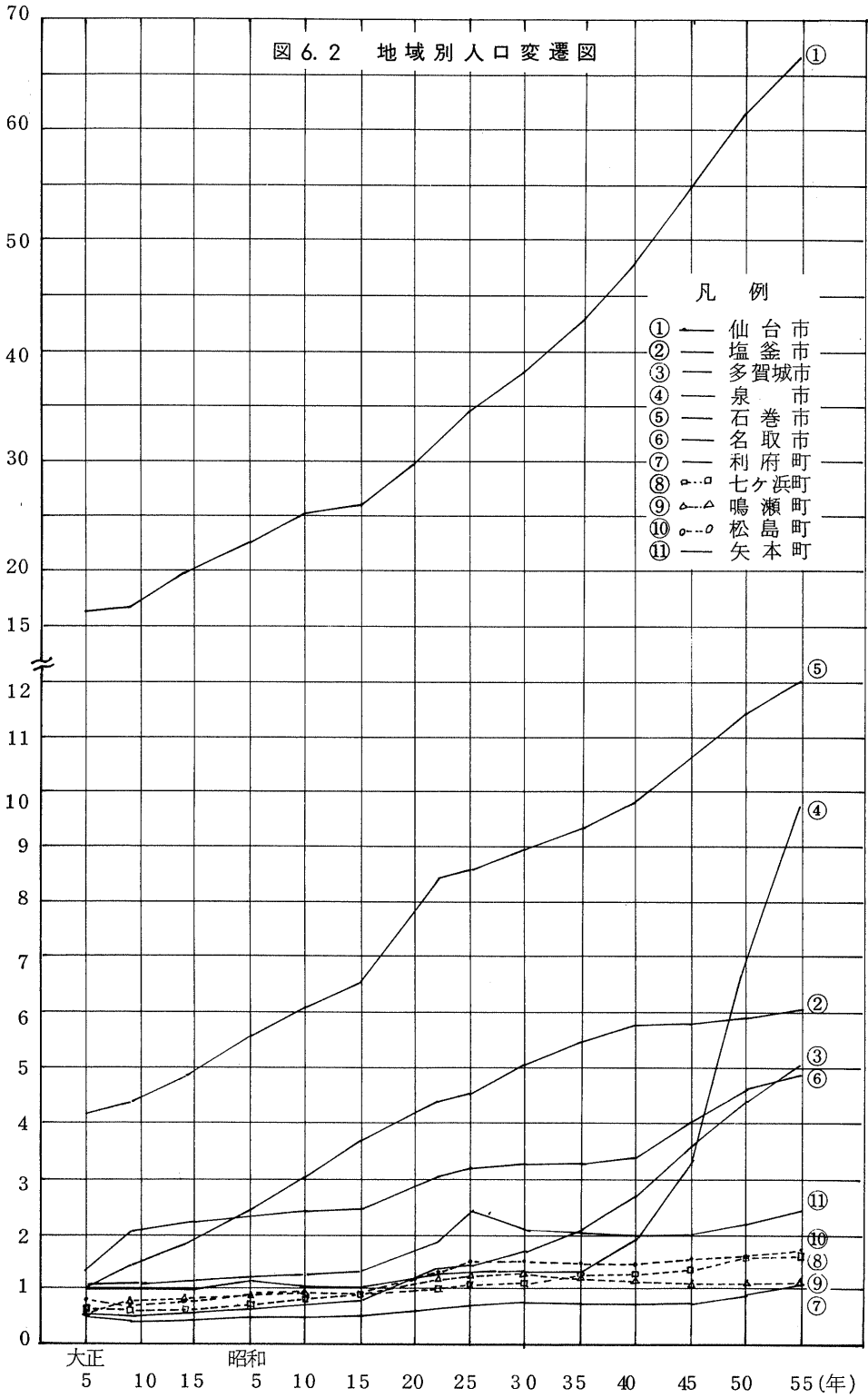


表 6.3 人口集中地区の人口・面積・人口密度

都 市 名	昭和35年			昭和40年			昭和45年			昭和50年			昭和55年		
	人口 (人)	面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	人口	面積	人口密度	人口	面積	人口密度	人口	面積	人口密度	人口	面積	人口密度
仙 台	335,979	3.30	10,182	373,524	3.50	10,672	439,290	5.14	8,547	532,460	7.06	7,542	584,140	7.85	7,442
石 巻	61,573	6.6	9,330	65,402	7.8	8,385	71,359	1.18	6,048	80,833	1.57	5,149	93,094	1.89	4,926
塩 釜	45,417	4.9	9,269	51,349	6.3	8,151	51,511	7.2	7,155	53,714	9.5	5,654	55,361	1.02	5,428
多賀城	—	—	—	—	—	—	25,239	5.1	4,949	44,862	7.4	6,063	50,785	9.2	5,521
泉	—	—	—	—	—	—	14,979	1.6	9,362	48,698	6.1	7,983	64,852	8.0	8,107

・人口密度は小数点以下切上げ

(参考文献77より抜粋)

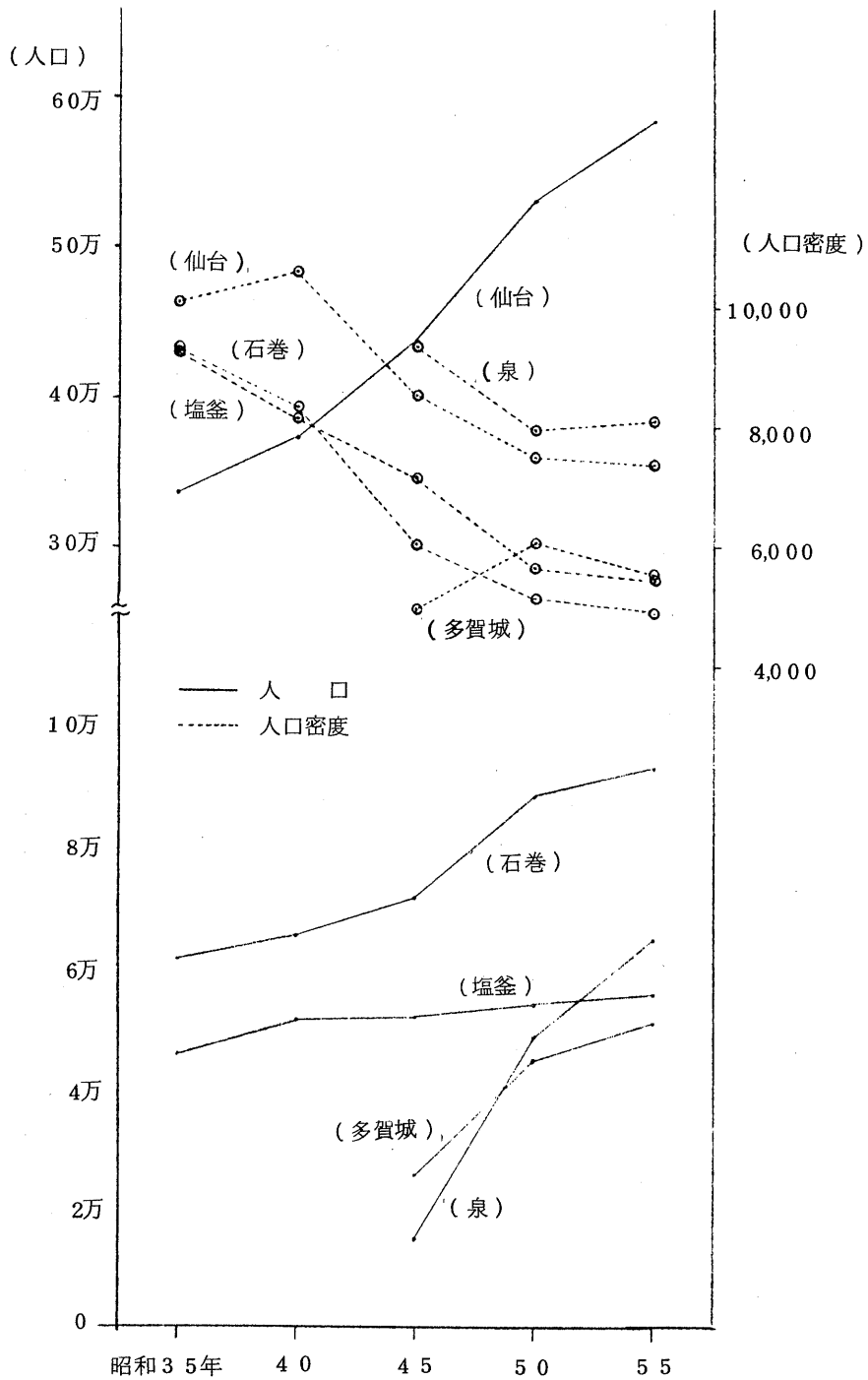


図 6.3 人口集中地区の人口・人口密度変遷図



① 位置

メッシュ番号：標準メッシュに下図のような記号を付し、各メッシュを更に4等分した。

地区名：市町村名を記入した。ただし、仙台市は広範囲にわたるため、縮尺2.5万分の1の地形図幅区分にあわせて、「仙台市東北」、「仙台市東南」、「仙台市西北」、「仙台市西南」の4地区に区分した。

② 微地形分類

微地形分類図に従ってメッシュの主流を占める微地形名を記入する。この図は、山地丘陵地、段丘、

表 6.4 住宅地変遷図に使用した図幅

図幅名	時代				
	I	II	III	IV	(V)
仙 台	大 14	昭 8	昭 19	昭 27	昭 53
塩 釜	大 4	昭 8	昭 19	昭 26	昭 54
松 島	大 1	昭 8	昭 19	昭 27	昭 54
石 巻	大 5	昭 8	昭 19	昭 27	昭 50

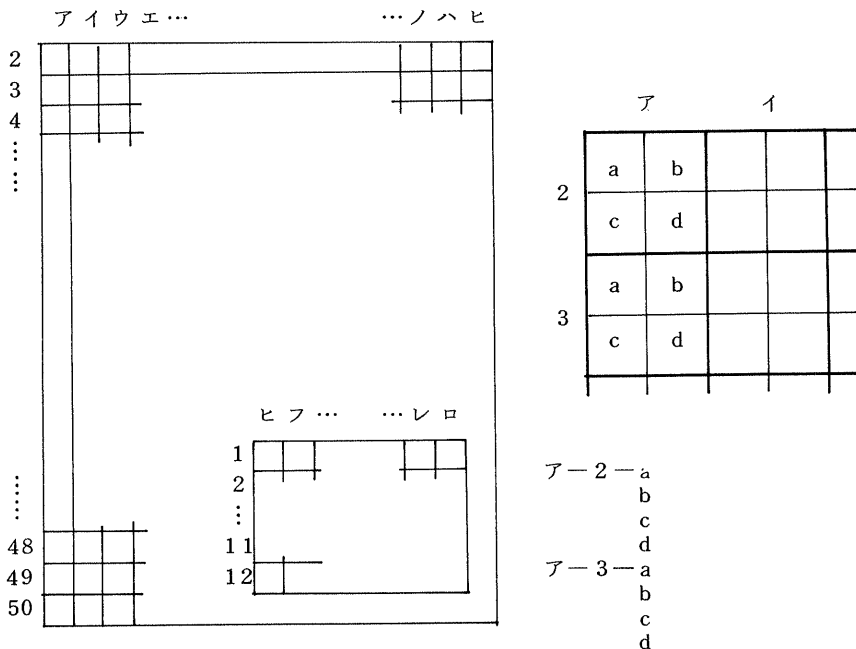


図 6.4 メッシュ番号



表 6.5 市町村別面積及び土地利用規制現況面積

(単位：ha)

区分 市町村名	総面積	都市計画区域				農業振興地域		森林地域			自然公園地域			自然保全 地域				
		市街化 区域	市街化 調整区域	用途地域 (市街化除)	その他	農用地 区域	その他	国有林	地域森林 計画対象 民有林	(保安林)	特別地域	特別保 護区	普通地域					
仙台市	23,711	23,688	11,678	12,010			5,552	3,650	1,902	4,860	765	4,095	537				2,439	
塩釜市	1,831	1,827	1,291	536			—	—	—	227	0	227	121	1,718			1,718	—
名取市	10,075	10,075	827	9,248			4,654	2,360	2,294	3,594	117	3,477	152	—				3,168
多賀城市	1,974	1,974	1,283	691			520	302	218	59	0	59	1	—				—
泉市	14,545	6,229	2,089	4,140			1,435	1,066	369	9,382	1,648	7,734	1,207	4,392			4,392	
石巻市	13,785	11,660	2,550	9,110			2,756	1,201	1,555	7,631	949	6,682	562	12,589	104		12,485	—
松島町	5,283	5,283	250	5,033			1,512	649	863	2,748	34	2,714	82	2,912			2,912	—
七ヶ浜町	1,304	1,304	255	1,049			308	189	119	263	6	257	32	1,282			1,282	—
利府町	4,492	4,492	278	4,214			870	270	600	2,950	173	2,777	179	1,339			1,339	—
矢本町	4,860	4,860	389	4,471			3,745	2,454	1,291	895	108	787	111					—
鳴瀬町	5,235	5,235	120	5,115			2,138	1,045	1,093	2,326	301	2,025	308	1,949			1,949	—

(参考文献 71) より抜粋 昭和51年4月1日現在)

自然堤防（発達の良い部分）、自然堤防（発達微弱な部分）、後背湿地、泥炭分布域、旧河道、浜堤、埋立地、河原、砂浜、造成地（埋立部）段丘崖を図示してある。この図は、丘陵地の埋立、後背湿地の泥炭分布域を明示し、自然堤防を発達良好な部分と微弱な部分とに区分したことに特徴がある。

㉓ 地盤状

○ 基盤深度

付図の微地形分類図に記載した基盤上面等高線より読みとって記入する。この等高線図は、永河性海水準変動を指標として、最大海面低下期に形成された埋没谷を埋め立てて、堆積した一連の地層を一括して“沖積層”と呼ぶものとする、その等厚線を示すものと解釈できる。

○ 表層の土層：

付図の微地形分類図、及び地盤分類図裏面の断面図ポーリング柱状図を参考として区分する。微地形と表層土層の関連は、次のようなイメージである。

- 岩 : 山地・丘陵地
- 砂～砂礫 : 段丘、河原
- 砂質土 : 浜堤、自然堤防、旧河道、海岸埋立地、砂浜
- 粘性土 : 後背湿地
- 泥炭 : 後背湿地（泥炭分布域）
- 混合土 : 造成地（埋土）

㉔ 地盤種別

付図の地盤分類図を参照し、相当する地盤種別（1種～4種）を記入する。新耐震設計法では沖積層（A層）と洪積層（D層）の層厚を媒介として、地盤分類を実施することになっているが、この沖積層、洪積層の定義が明瞭ではなく、ここでは工学的な分類として、砂質土 $N \leq 30$ 、粘性土で $N \leq 10$ を沖積層（A層）として扱うことにし、中間層にN値の大きい土層が堆積している場合も評価できるよう配慮した。具体的には、沖積平野においてA層に対するD層は無限度と考え、A層の層厚によって次のように地盤種別をしている。

1種地盤	A層の層厚	0 m
2種地盤	A層の層厚	1.0 m 未満
3種地盤	A層の層厚	1.0 m 以上 2.5 m 未満
4種地盤	A層の層厚	2.5 m 以上

なお、丘陵地における谷部の埋土地盤は、2種から4種まで区分されるはずであるがここでは一応2種地盤として扱っている。

㉕ 土地利用の現況：

付図の土地利用履歴図の主要図から、図6.1の区分のいずれかを読みとる。

① 将来主流を占める建築物

土地利用基本計画図<sup>(71)</sup>の中には、国土地理院の土地利用図<sup>(78)</sup>のように詳細な区分はなされていない。そこで、将来主流を占める建築物は、現況土地利用から以下のように想定する。

現況土地利用

将来主流を占める建築物

- 市街化区域の中の住宅密集部及びその周辺
- 主要幹線道路沿い

- 土地利用の現況の中で中層に区分された地域とその周辺（運輸・商業・工業等）
- 市街化区域の中でベッドタウン的な性格をもつ地域（○○=ニュータウン  
○○団地）
- 農業地域の中の集落

中高層住宅  
木造住宅

㊄ 想定地震動

5.2.3で述べたとおり表6.6のとおり地震を想定し将来被害を試算する。

表 6.6 想定地震の諸元

震央位置	M	地 域
38.15°N, 142.17°E	7.4	海洋性沿岸域 宮城県沖地震震央位置
〃	8.0	〃
38.21°N, 140.84°E	6.5	内陸型 仙台南 利府～長町構造線 南端
38.29°N, 140.94°E	6.5	〃 仙台北 〃 北端

加速度の推定方法は5.3.2、5.3.3に述べたとおりであり、以下に略記する。

- 海洋性沿岸域 宮城県沖地震と同規模の想定地震 (M=7.4)

図6.5の提案曲線に示すよう距離と最大加速度の関係を一義的に決定し(これを基本最大加速度と呼ぶ)、この基本最大加速度を図6-4の一点鎖線とし、1種～4種地盤に応じて地表最大加速度を推定した。

- 海洋性沿岸域 想定宮城県沖地震 (M=8.0)

想定宮城県沖地震 (M=7.4) で求められた値を、新耐震設計法の平均式

$$A_{max} = 34.1 \times 10^{0.308M} \times (\Delta + 10)^{-0.925} \dots\dots\dots (6-1)$$

のMに関する項から、補正係数 $\alpha$ を下式により、求めた。

$$\alpha = \frac{10^{0.308 \times M}}{10^{0.308 \times 7.4}} \dots\dots\dots (6-2)$$

(M = 8.0)

- 内陸型の地震

新耐震設計法の1種地盤の式

$$A_{max} = 46.0 \times 10^{0.208M} \times (\Delta + 10)^{-0.686} \dots\dots\dots (6-3)$$

と、図6-4の関係から地盤種別に応じて地表最大加速度を求めた。

次に地表最大加速度から水平震度を求める方法は、確立された方法はないが運輸省港湾技術研究所から最近次のような式が提案されている。

$$\left. \begin{aligned}
 K_s &= \frac{1}{3} \left( \frac{A_{\max}}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (A_{\max} \geq 200 \text{ gal の場合}) \\
 K_s &= \frac{\alpha}{g} \quad (A_{\max} < 200 \text{ gal の場合})
 \end{aligned} \right\} \dots (6-4)$$

そこで、今回はこの式を用いて  $A_{\max}$  から  $K_s$  を計算している。

具体的には、緯度・経度  $30''$  毎に計算した加速度値と付図に示した地盤分類図を勘案し相当するメッシュの最大加速度値を求め、その値をもとに式(6-4)から震度係数を求める。

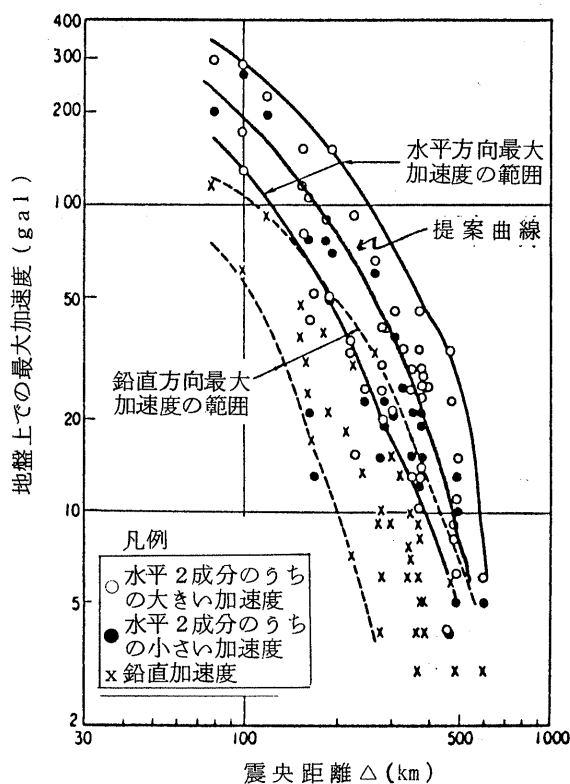


図 6.5 震央距離と地盤上での最大加速度

④ 地盤破壊：5.4に詳述するとおりで以下に骨子を記す。

(1) 液状化

液状化の判定は道路橋示方書に基づき次の手順によった。

- ① ボーリング資料から、礫地盤、粘土地盤は液状化しないものとした。
- ② 砂地盤からなる地点において、下式で液状化検討を実施した。

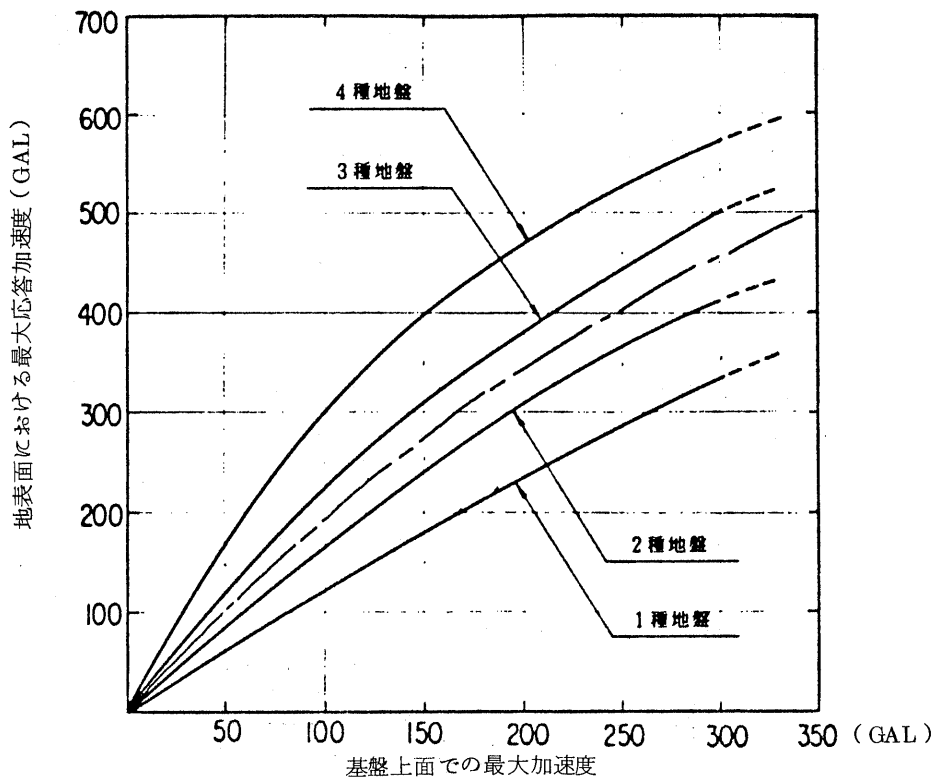


図 6.6 表層地盤の地震応答特性

$$F_L = \frac{R}{L} \quad (6-5)$$

$$L = \frac{A_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_{v'}} \cdot r d \quad (6-6)$$

$$r d = 1.0 - 0.015 Z \quad (6-7)$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_{v'} + 0.7}} + 0.19 \quad (0.02 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0.05 \text{ mm})$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_{v'} + 0.7}} + 0.2251 \log\left(\frac{0.35}{D_{50}}\right) \quad (0.05 \text{ mm} < D_{50} \leq 0.6 \text{ mm})$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_{v'} + 0.7}} - 0.05 \quad (0.6 \text{ mm} < D_{50} \leq 2.0 \text{ mm})$$

..... (6-8)

- ③ 以上の試算にあたっては、平均粒径  $D_{50}$  単位体積重量  $\gamma_1$  が必要であるが、これらは、地質ボーリングの結果から決定した。ただし、土質試験が実施していないものについては、土質分類から表 6.7 に基づいて仮定値を定めた。

表 6.7 土質分類と単位重量，平均粒径の仮定値

土質分類	地下水位面下の単位重量 $\gamma_{i2}$ (t/m <sup>3</sup> )	地下水位面上の単位重量 $\gamma_{i1}$ (t/m <sup>3</sup> )	平均粒径 $D_{50}$ (mm)
表土	1.7	1.5	0.02
シルト	1.75	1.55	0.025
砂質シルト	1.8	1.6	0.04
シルト質細砂	1.8	1.6	0.07
微細砂	1.85	1.65	0.1
細砂	1.95	1.75	0.15
中砂	2.0	1.8	0.35
粗砂	2.0	1.8	0.6
砂れき	2.1	1.9	2.0

- ④ 液状化指数  $I_L$  は、岩崎らの提案式によった。

$$I_L = \int_0^{20} F \cdot W(z) \cdot dz$$

$$F_L < 1.0 \text{ の時は } F = 1 - F_L$$

$$F_L \geq 1.0 \text{ の時は } F = 0.0$$

$$W(z) = 10 - 0.5z \quad (z: \text{深度(m)})$$

- ⑤ 液状化の可能性は岩崎らの提案に基づき次のように判定した。

$$I_L \leq 5 \quad \text{液状化の可能性が低い}$$

$$I_L > 5 \quad \text{液状化の可能性が高い}$$

- ⑥ 地質調査資料が不足していたため、次のようにして補足した。

- 1978年宮城県沖地震で液状化が生じた地点は、この地震と同程度及びそれ以上の加速度（震度）が作用する地震で再び液状化する危険性が高いとした。
- 1978年宮城県沖地震では、発達微弱な自然堤防及び海岸埋立地はかならずしも噴砂等が生じていないが、被害分布からみてこの付近に被害の集中傾向があることから、液状化危険地帯とした。また、宮城県沖地震での震度係数分布図と比較すると、液状化が生じた地点での最小値は0.15程度と推定されるので、他の想定地震において震度係数が0.15以上と推定される場合のみ、当地区が液状化の危険性が高いということにした。

## (2) 軟弱粘土

地震時に破壊を生じ易い軟弱粘土の予測方法については、現在その方法がない。そこでここでは、次の条件を満足する地点は破壊すると仮定する。

- ① ボーリング資料からN値2より小さい粘土層が10m以浅に3m以上の層厚で堆積している地



点でかつ  $K_s \geq 0.16$  となる場合。

- ② 微地形分類図で後背湿地に区分され、かつ、泥炭分布域に区分されている範囲でかつ  $K_s \geq 0.16$  となる場合。(  $K_s \geq 0.16$  は宮城県沖地震において、軟弱粘土分布域で被害が生じた範囲の低限值(今回の方法による予測値)である。)

### (3) 斜面崩壊

地震時に斜面崩壊が生じる危険性のある箇所への予測方法については、ほとんどその方法が考え出されていない。

そこで、次のような定義をした。

- ① 宮城県がまとめた急傾斜地崩壊危険箇所一覧表にまとめられている箇所及び地すべり地。
- ② 丘陵地における宅造地で埋土に分類される箇所、ただし内陸型の地震の場合は、宮城県沖地震で埋土が破壊した箇所の震度係数が低限值で0.15であったため、0.15以上の震度が予測される地点だけとする。
- ③ 宮城県沖地震で埋土を除く斜面崩壊のあった箇所及びその周辺、ただし、内陸型の地震の場合は、宮城県沖地震で切土、及び自然斜面が崩壊した箇所の震度係数が低限值で0.11であったため、0.11以上の震度が予測される地点だけとする。
- ① 地盤破壊がなく、構造物の破壊の危険性がある範囲

想定地震動の欄で、決定された震度( $K_s$ )を判断基準とした。判定の基準は、次のとおりとする。

木造被害	$K_s \geq 0.25$	
中層被害	$K_s > 0.2$	
土木構造物被害	$K_s \geq 0.18$	(1種地盤)
(土構造物は除く)	$K_s \geq 0.2$	(2種地盤)
	$K_s \geq 0.22$	(3種地盤)
	$K_s \geq 0.24$	(4種地盤)

なお、木造被害は、気象庁での震度階Ⅶの激震で家屋の倒壊率が30%以上となる値( $A_{max} \geq 400 \text{ gal}$ )を意味する。

#### ① 対策工の必要性

対策工の選定基準は、将来予測される建築物(木造・中層)に着目し、次のように設定した。

- 現在農業地・林地等で将来建築物が造られると判断される地区で、  
「地盤破壊」の可能性が高い地域。
  - 現在木造建築物が主体で、将来中層建築物に変化すると想定される地域。
- 「地盤破壊」の可能性が高い地域。 → 「地質改良」
- 「地盤破壊」は伴わないが、「建築物破壊」の可能性が高い地域。 → 「構造物強化」

#### ② 備考

参考として、「地盤沈下」の生じている箇所は軟弱層が厚いと考えられること、及びこの付近の建築物は突出ぐいとなり耐震性が低下していると考えられること、自然環境を変化させるような大規模な土木工事を実施する場合に関連の深い「自然環境保全」「文化財保護」について備考の欄に付記した。

「地盤沈下」 …… 付図の土地利用履歴図に記載した累計沈下量（mm）を記入する。

（記入例 20～30）

「自然環境保全」 …… 付図の防災・保全等規制現況図から、以下に該当するものかどうかを読みとる。

「文化財保護」 …… 「鳥獣特別法護区」、「風致地区」、「緑地環境保全地域」  
「史跡・名勝・天然記念物」 「埋蔵文化財包蔵地」

地震対策土地保全基本図の右上の土地利用適性評価図は現在の建築物（木造・中層）について、対策工の必要性のある箇所をわかるようにしたもので、この成果の一部は、今回採用した評価手法が現実の被害と一致するか否かをチェックのための内挿検定を作業の成果の一部でもある。当図と宮城県沖地震の被害実態を比較すると、以下の諸地点を除き良い一致を示している。

- ① 広瀬川・名取川合流地点西側の三角地帯における住宅被害。
- ② 長屋敷、井土、二又、山王等の浜堤上の住宅被害。
- ③ 名取川左岸、沢目、小在家、及び七北田川右岸、田子等の発達良好な自然堤防上の住宅被害。

①については、新幹線の地質調査資料によると、地盤上部1～2mはN値1～5の軟弱な粘性土、ルーズな砂が堆積し、その下位には砂礫層が確認されており、地下水位が地表下2～3mと低く、地盤破壊が原因とは考えがたい。ただし、この付近には、利府～長町構造線が推定されており、この影響とも考えられる。

②、③については、その詳細は不明であるが、東北大学における家屋の被害調査結果と比較するとおそらくは地形境界域における被害がほとんどではないかと推定される。

以上一部を除き、今回設定した評価規準が地震被害実態と良く対応していたため、将来主流を占めるであろう建築物（木造・中層）に対して、土地利用適性評価を行った。

土地利用適性評価図の下の4図は、想定される地震に対応して、表6.8、表6.9の基準にもとづいて分級評価したものである。

表 6.8 土地利用適性評価図作成基準

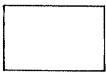
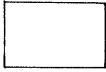

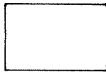
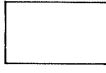
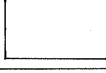

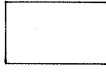
記号	地盤破壊の危険性	※ 建築物破壊の危険性	将来の建築物に対する対策工の必要性				主流を占める建築物	
			なし	立地を避ける	地盤改良	構造物強化	現在	将来
	あり	あり			○	○	木造	木造
	あり	なし			○			
	なし	あり				○※		
	あり	あり			○	○	木造	中層
	あり	なし			○			
	なし	あり		(△)		○		
	あり	あり			○	○	中層	中層
	あり	なし			○			
	なし	あり				○		
	あり	あり		△	○	○	なし	木造
	あり	なし		△	○			
	なし	あり				○※		
	あり	あり		△	○	○	なし	中層
	あり	なし		△	○			
	なし	あり				○		
		なし	○				なし	なし

※：地盤破壊はないが建築物の破壊の危険性がある場合、（木造の破壊の危険範囲を $A_{max} \geq 400 \text{ gal}$ としたため、通常は地盤破壊の危険性もあると考えておくべきである。）

(△)：木造から中層に改変するのは避けるべきであるという意味である。

△：可能であれば避けるべきであるという意味である。

表 6.9 被害想定図作成基準（中層・木造建築物について）

区 分	説 明
地盤破壊  (中層・木造にかかわらず被害の危険性大)	 <p>○ 斜面崩壊危険域で、埋土の場合は<math>K_s \geq 0.15</math>、宮城県沖地震被害位置は<math>K_s \geq 0.11</math>とした。（<math>K_s = 0.15</math>、<math>K_s = 0.11</math>は、宮城県沖地震で埋土及び自然斜面・切り取り斜面が崩壊した箇所の想定震度低限值である。）</p>
	 <p>○ 宮城県が昭和52年5月時点で調査した、急傾斜地危険箇所である。なお、埋土及び宮城県沖地震で実際に被害のあった箇所は、上記範囲に区分してある。</p>
	 <p>○ 後背湿地の泥炭分布域、及びN値2以下の粘性土が10m以浅に3m以上の層厚で分布している地点で、<math>K_s \geq 0.16</math>を示す地域。</p>
	 <p>○ 液状化危険域で、液状化指数<math>I_L &gt; 5</math>の地点、宮城県沖地震で液状化が生じた箇所とその想定地震動より大きい地点、微地形分類で発達微弱な自然堤防及び海岸埋立地に分類され、かつ震度係数<math>K_s \geq 0.15</math>となる範囲。 （<math>K_s = 0.15</math>は、宮城県沖地震で上記微地形分類箇所被害が生じた範囲及び実際に液状化が生じた箇所の低限值である。）</p>
	 <p>○ 液状化危険域及び粘土地盤破壊危険域両者の性格をもつ地域</p>
地盤破壊なし	 <p>○ 地盤破壊はないが、中層建築物が被害を受ける地域（<math>0.2 &lt; K_s &lt; 0.25</math>）</p>
	 <p>○ 地盤破壊はないが、中層・木造の建築物が被害を受ける地域。 （<math>K_s \geq 0.25</math>、<math>A_{max} \geq 400 \text{ gal}</math>）（実際は、地盤破壊も生ずる可能性が大）</p>
	 <p>○ 建築物に被害はないと考えられる地域。</p>

## § 7. ま と め

本調査は、1978年宮城県沖地震により大きな被害を受けた仙台市周辺について、地震被害実態と基礎地盤条件、加速度（震度係数）分布、現在の土地利用条件等をかきね合わせ、被害分布の特性を把握することによって本地区の地震災害を勘案した土地保全図を作成し、今後、この種の業務を実施するに当たっての基礎資料にしようとしたものである。

調査範囲は、宮城県仙台市周辺地域～塩釜～松島～石巻地域で、地形地質の特徴から、次の三地区に区分される。

- (a) 北上山地：先第三系の層理面の発達した堆積岩とそれらを貫入した花崗岩類からなる地域
- (b) 新第三系分布域：新第三紀中新統の凝灰岩類からなる地域
- (c) 段丘地帯および沖積低地

北上山地及び新第三系分布域における被害は、急崖地の崩壊・落石が主であり、崩壊土砂の量が非常に少ないことに特徴がある。

自然地盤からなる丘陵地や段丘地帯では、ほとんど被害は認められず、人工地盤・沖積低地の後背湿地自然堤防の一部に被害が集中した。

宅地の人工地盤の崩壊は、斜面上の盛土と谷部埋立盛土とは、その様相が異なった。斜面上の盛土は、いわゆる切り盛りにより宅地を造成した範囲で、地山と盛土の一体化が十分なされなかったため、その境界域ですべりが生じたと考えられている。谷部の埋土範囲は、いわゆる逆転型の盛土で、下部は有機物を含み、粘土分が多く軟弱であること、中部は、岩塊からなり、空隙を生じやすいこと等から、浸透水により軟弱化しやすく、地震の異常な外力により、土砂が容易に移動し、亀裂、陥没、すべりが生じたと考えられている。その他海岸や湿地を砂で埋立した人工地盤において、地下水位が高く十分な締固めが実施されていなかったため、液状化が生じた例が見られた。

従来、1923年の関東大地震（河角）や1944年の東海地震（宮村）における沖積層厚と家屋倒壊率の関係から、沖積層の厚さと被害率の間には密接な関係があるといわれてきた。しかし、基盤上面等深線図や、地盤分類図と被害分布の関係を比較してみると、これらの間には明瞭な関係が認められない。中川ら（東北大学理学部古生物教室）は、被害率と沖積層あるいはその中の粘土質部の全層厚とは無関係で、最上部の層相と密接な関係をもち、かつ、この最上部層の層相は、平野部の微地形と密接な関係にあるといっている。

中川らの提案は今回の調査でも明確にあらわれており、沖積低地部の後背湿地の中でも表層部が軟弱な泥炭が分布する地域、自然堤防でも、その直下に軟弱な粘性土層や泥炭層が分布する地域（発達微弱な自然堤防地域に相当）に被害の集中傾向が認められた。

調査対象地の地震力を表わす指標として加速度に着目し、新耐震設計法を踏襲してその推定を試みた。このとき、対象地区の地盤種別を必要とする。新耐震設計法では、沖積層厚、洪積層厚を勘案して1種～4種に分類することになっているが、沖積層の定義が明確ではない。そこで、土質工学的な意味で、砂質土で  $N \leq 30$ 、粘性土で  $N \leq 10$  を沖積層（A層）と定義し中間にN値の大きい土層が堆積する場合も評価できるよう配慮した。また、新耐震設計に基づき、マグニチュード、震源からの距離、地盤種別を関数として想定される加速度値を求めると、実測結果と一致しないことが判明した。そこで今回新たに海洋型の地震について、実測結果を勘案した加速度の修正を実施した。このようにして、既往の加速度推

定方法を、宮城県沖地震の実態に合致するよう条件を付加し、加速度（震度係数）の分布を求めたにもかかわらず、宮城県沖地震の被害実態とはかならずしもよい関係は認められていない。

以上のことから、巨視的な被害範囲を推定するためには、加速度分布を推定することにより可能となるが、ある程度以上の地震力が発生した範囲についてのより詳細な被害分布域の特徴を説明するためには、速度及び変位に着目する必要があるためには、表層部（10m未満）を構成する土層の力学的性を適確に把握する必要があると考える。もちろん個々の構造物については地震波の性質、地盤及び構造物の応答特性・相互作用について詳細な検討を必要とする。

将来の地震危険度を推定する場合、対象地区の将来地震を予測する必要がある。一般に大規模地震は、数十年あるいは、数百年の間において、ほぼ同一地区にくり返し発生し、かつ地域別にみるとその発生過程や被害の状況には一定のパターンがあると考えられている。今後他地区でも同様な作業を実施する場合には、その地域特性を適確に把握する必要がある。

将来の地震危険度からみた土地利用のあり方を考えると、次のようなことがいえる。

- 山地部においては、造成時の埋土、斜面上の盛土の被害が、今回大きな問題としてとり上げられ、とくに埋土は、時間の経過とともに軟弱化、不安定化していくという指摘がなされており、これを防止するための締固め度規準、浸透水対策規準を整備するとともに、このような範囲は、緑地・公園に利用する等、行政的な面からの指導も必要と考えられる。
- 沖積低地部については、今回の被害実態から表層部（10m未満）の地質状況が地震被害の大きな要因と考えられている。地表部が軟弱な地域に構造物を造る必要がある場合、その対策として地盤の強化、構造物基礎の強化が考えられる。また、どの程度の対策を構ずるかについては、構造物の種類特性に応じた耐震設基準の整備が必要である。ただし、一般住宅等に耐震設計を期待するのは、かなり無理があるように思われ、軟弱地盤地域の土地利用のあり方については、行政的な面からの指導が必要である。

地震災害を未然に防止するという観点に立つと、“地盤が破壊するか否か”が重要なポイントとなる。その適切な判断をするためには、少なくとも10m以浅の地質状況を知る必要がある、その広がり把握する必要がある。そのためには、現在、各機関でバラバラに実施されている地質調査を一括して整理・分析・評価し、地盤図を作成し、これらを定期的に修正していく機関が必要となる。こういった基礎的な作業があって、はじめて適切な土地利用の計画・修正・改変指導が可能となり、長期的かつ広範囲における地道な努力も積み重ねる必要がある。

## 参 考 文 献

- (1) 宮城県(1967): 宮城県20万分の1地質図及び同説明書。
- (2) 東北大学理学部地質学古生物学教室(1979): 1978年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について、東北大理地古研邦報、№80。
- (3) 中川久夫・小川貞子・鈴木養身(1960): 仙台附近の第四系および地形(1)、第四紀研究 Vol. 1、№6。
- (4) 活断層研究会編(1980): 日本の活断層一分布図と資料、東大出版会。
- (5) 長谷弘太郎(1965): 宮城県沖積平野の地質学的研究、東北大理地古研邦報、№64。
- (6) 建設省計画局・宮城県(1965): 仙台湾臨海地帯の地盤、都市地盤調査報告書、第10巻。
- (7) (社)日本道路協会(1980): 道路橋示方書・同解説、(V. 耐震設計編)。
- (8) (社)日本建築学会(1974): 建築基礎構造設計基準・同解説。
- (9) 経済企画庁(1967): 土地分類基本調査 地形・表層地質・土壌「仙台」。
- (10) 宮城県(1979): 土地分類基本調査「松島」。
- (11) 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一・寒川 旭・松野久也(1982): 松島地域の地質、地質調査所。
- (12) 東北地方建設局(1977): 治水地形分類図、国土地理院。
- (13) 宮城県(1980): '78宮城県沖地震災害の教訓=実態と課題
- (14) 宮城県(1978): '78宮城県沖地震災害の概要=応急措置と復興対策
- (15) 土木学会東北支部: 1978年宮城県沖地震調査報告書
- (16) 東北大学理学部地質学古生物教室: 1978年宮城県沖地震調査報告書(内部資料)
- (17) 宮城県(1980): 昭和54年度宮城県地震地盤基礎図作成業務報告書
- (18) "1978年宮城県沖地震による被害の総合的調査研究"自然災害特別研究(1) 1979
- (19) 瀬野"宮城県沖に予想される地震について"地震予知連絡会会報 vol. 21 1979
- (20) 宇佐美"日本被害地震総覧"東大出版会
- (21) 力武"日本各地の地震危険度"サイエンス 書 1981
- (22) 松田時彦(1976)"活断層から発生する地震の規模と周期について"地震28 p269-283
- (23) 宇津(1979)"1885~1925年の日本の地震活動"地震研究所彙報 vol 54
- (24) 河角(1951)
- (25) 金井(1966)
- (26) 金井 清: 地震工学、共立出版、pp40~pp43、昭和44年5月
- (27) 金井 清: 建築構造体系1、地震工学、彰国社、pp13~pp18、昭和43年11月
- (28) 建設省土木研究所: 耐震技術に関する研究開発総合報告書、昭和52年3月
- (29) 岡本: 耐震工学、オーム社、pp110、1971
- (30) 土木研究所: 地震を特定した場合の地震動の推定法に関する研究、土木研究所資料、第1389号  
昭和53年3月
- (31) N. M. Ambraseys: Dynamics and Response of Foundation Materials in Epicentral Regions of Strong Earthquakes, 5th. WCEE (Rome), 1973
- (32) Robin K Mc Guire: EVALUATION OF EARTHQUAKE RISK TO SITE,

Open-File Report 76-67, 1976

- (33) 栗林栄一 龍岡文夫 吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴、土木研究所彙報、第30号、1974
- (34) 岸田英明：Damage to Reinforced Concrete Buildings in Niigata City with special reference to Foundation Engineering, Soil and Foundation, Vol. 6、No. 2、pp. 71~88
- (35) 久保慶三郎、片山恒雄：地下埋設管震害の定量的解析、第4回日本地震工学シンポジウム、1975。
- (36) 池田俊雄：地盤と構造物、鹿島出版会、1975
- (37) 岩崎敏男、龍岡文夫、常田賢一、安田 進、“地震時地盤液状化の程度の予測について”、土と基礎 28-4、1980
- (38) 佐藤弘行、岩崎敏男、常田賢一、“流動化履歴地点の地盤特性(その5)”、第36回土木学会年次学術講演会、1981
- (39) 古藤田喜久雄、若松加寿江、“関東大震災の液状化地図”、基礎工 vol. 6、No. 11、1978
- (40) 建設省建築研究所、“新潟地震による建築物の被害”、建築研究報告 No. 42、1965
- (41) 陶野郁雄、安田 進、“宮城県沖地震における地盤の液状化”、基礎工 vol. 6、No. 11、1978
- (42) 栗林栄一、龍岡文夫、吉田精一、“明治以降の本邦の地盤液状化履歴”、土木研究所報 No. 30 1974
- (43) 運輸省港湾局、港湾技術研究所、北海道開発局港湾部、“1973年根室半島沖地震港湾被害報告” 1973
- (44) 岩崎敏男、川島一彦、常田賢一、“1978年6月宮城県沖地震被害調査概報”、土木研究資料 第1422号、1978、10
- (45) 佐々木康、“宮城県沖地震による河川堤防の被害について”第24回土質工学シンポジウム発表論文集、1978
- (46) 日本道路協会、“道路橋示方書・同解説、V耐震設計編”、1980、5
- (47) 日本鉱業協会、“捨石、鉱さいたい積場建設基準及び解説”、1980、3
- (48) 土田 肇、“液状化に対する地盤の耐震設計法の現状と問題点”、土と基礎 vol. 23、No. 6、pp. 5~10、1975
- (49) 土地改良計画設計基準、第3部設計、第一編フィルダム、農林省農地局、1966年6月
- (50) 建造物設計標準解説、基礎構造物及び抗土圧構造物、日本国有鉄道、1974年6月
- (51) 建築基礎設計基準・同解説(1974改)、日本建築学会、1974年11月
- (52) 危険物の規則に関する規則、消防庁、1978年2月
- (53) 港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、1979年3月
- (54) LNG地下式貯槽指針、日本瓦斯協会、液化天然ガス用貯槽保安調査委員会、1979年3月
- (55) Seed. H. B., “Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes”, Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE, Vol. 105. No. GT 2, 1979
- (56) 岩崎敏男、龍岡文夫、常田賢一、安田 進、“砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例”



第5回日本地震工学シンポジウム講演集、1978

- 57) Seed. H. B., and Idriss I. M., "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, №SM9, 1971
- 58) 吉見吉昭、"砂地盤の液化化"、技報堂、1980
- 59) 建設省：新耐震設計法（案） 土木研究所資料 №1422
- 60) 土田肇他：港湾・海岸施設耐震性調査手法について 港湾技研資料 №336 1980
- 61) 高野道雄：1923年関東大地震における震度と震源距離・方向性・地層の関係・土木学会編集報告集 第319号 1982
- 62) 横尾、馬場、畑中：鳥取市附近地盤調査 防災研究報告 Vol. 2 1949
- 63) 表俊一郎、宮村撰三：Relations between the Earthquake Damage and the Structure of Ground in Nagoya City 東大地震研彙報、Vol. 24 1951
- 64) 表俊一郎、宮村撰三：横浜市並びに名古屋市の震害分布と地盤の関係 建築雑誌、№773 1951
- 65) 金井 清：地震工学、建築構造大系 彰国社 1968
- 66) 静岡県：木造住宅の耐震診断基準および改修設計指針 1978
- 67) 東京天文台：理科年表
- 68) 榎倉克幹（1983）：土地利用のあるべき姿を模索する「土地保全調査成果」とくに20万分の1千築県土地保全基本指針マトリックス、「地図」 Vol. 21、№2 1983
- 69) 宮城県企画部、昭和48年、宮城県土地利用規制図及び記載項目説明書 昭和48年版
- 70) "、昭和53年3月、宮城県防災・保全等規制現況図及び同説明書
- 71) "、昭和53年3月、宮城県国土利用計画関係資料集、
- 72) 宮城県、昭和53年7月、宮城県新長期総合計画 — 新しいふるさとづくり —
- 73) 宮城県防災会議、昭和54年、宮城県地域防災計画（震災編）。
- 74) 宮城県、昭和55年3月、仙台湾地域公害防止計画。
- 75) 宮城県、昭和55年3月、宮城県土地利用基本計画（計画書・計画図、（参考）総活図）。
- 76) 宮城県保健環境部、昭和56年、宮城県公害資料（地盤沈下編）。
- 77) 総理府統計局、国勢調査報告（大正5・9・14年、昭和5・10・15・22・25・30・35・40・45・50・55年）。
- 78) 国土地理院、昭和51年、縮尺2万5千分の1 土地利用図「広瀬」・「石巻」・「松島」・「小野」・「渡波」・「仙台西北部」・「仙台東北部」・「仙台西南部」・「仙台東南部」。
- 79) 仙台市総務局防災対策室、昭和56年、仙台市防災都市づくり基本計画。

第 2 編



# 目 次

まえがき

§ 1	手引書の範囲	159
§ 2	調査手順	159
§ 3	調査方法	164
3.1	地震災害実態調査	164
3.2	基礎地盤調査	165
3.3	地震応答と被害想定調査	168
3.4	土地利用適性評価	177
§ 4	あとがき	182
	参考文献	182



## § 1 手引書の範囲

### 手引書の範囲

本手引書は、地震災害に対する土地保全を縮尺 1/50,000 の精度で調査する場合に、手引となる調査方法を述べたものである。

## § 2 調査手順

### 調査手順

地震に対する土地保全調査は次の手順で行なう。

- ① 地震災害実態調査
- ② 基礎地盤調査
- ③ 地震応答と被害想定調査
- ④ 土地利用適性評価

ただし、場合によっては①を行なわないこともある。

地震に対する土地保全調査の一般的な手順と考えられ、また、今回の調査で用いたものをフローチャートで示すと、図 2-1 となる。この手順は大別すると上記の 4 項目となる。

仙台地域のように調査地区に近年地震が発生し、その被害が明らかである場合は地震災害実態調査を行なうことができるが、このような経験を受けていない地域では①を省略し、②以降の調査のみとなる。

①～④で行なわれる調査の目的と概要を述べると次のようになる。



図-2-1 縮尺5万分の1 土地保全調査流れ図

(概倉1981をもとに一部改変)

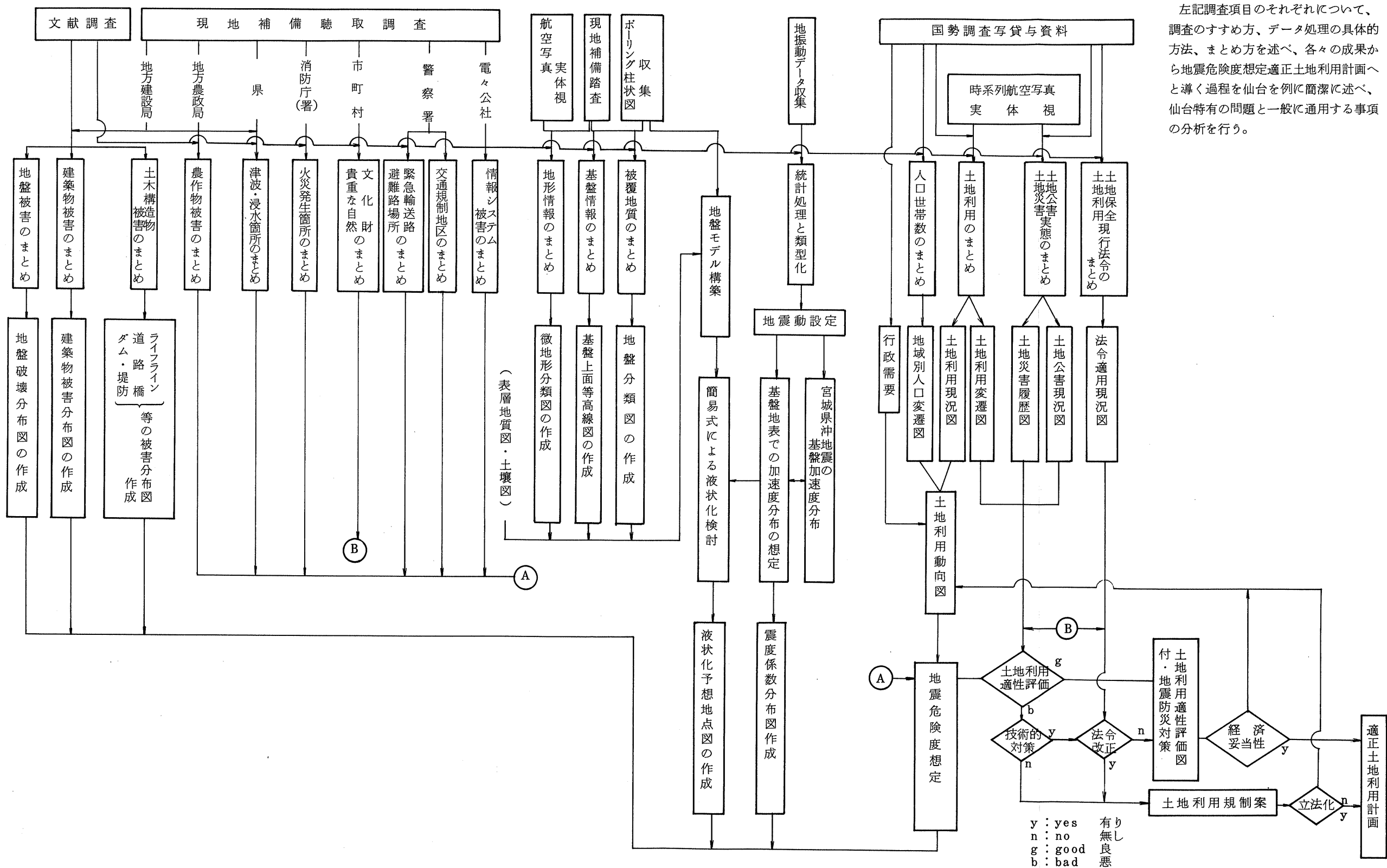
① 地震災害実態調査

② 基礎地盤調査

③ 地震応答および被害想定調査

④ 土地利用適性評価

⑤ 土地保全調査(地震対策)手法確立



左記調査項目のそれぞれについて、調査のすすめ方、データ処理の具体的方法、まとめ方を述べ、各々の成果から地震危険度想定適正土地利用計画へと導く過程を仙台を例に簡潔に述べ、仙台特有の問題と一般に通用する事項の分析を行う。



### (1) 地震災害実態調査

地震に対する土地保全調査を行なうにあたっては、構造物等の被害予測を行なうことが不可欠であるが、前章で述べたように、その方法は確立されているとは言い難い。過去の経験によると、被害には地域の特異性もあるようである。そこで、対象地区付近に大地震が発生し被害を受けている場合には、その被害状況を調査しておく、将来の被害予測に役立つ。

調査方法としては、被害記録等の文献によるものに加えて、聞きこみ調査（聴取調査）を行えば、より詳細な情報が入手出来る。調査項目としては、土木・建築構造物や崖崩れ等の一次災害に加え、火災・津波・交通障害等の二次災害も調べておく必要がある。これらの被災状況は、次の基礎地盤調査結果等と結びつけ、被災原因の究明、および被害想定方法の確立に役立つ。

### (2) 基礎地盤調査

ある地点で発生した地震波は地盤内を通過して伝播してくるが、その間に波の性質が変化してくる。特に軟らかい表層部を伝わって地表に達する間に大きく増幅される。したがって、この表層（構造物側から言うと基礎地盤）の性質を調べておくことが、被害の予測に重要なこととなる。

基礎地盤の性質の性質を表現するパラメータとしてはいくつか考えられているが、次の3つが代表的なものであろう。

- i) 微地形
- ii) 軟弱層の厚さ（基礎深度）
- iii) 地盤分類（種別）

対象地域内におけるこれらの値をまとめるためには、ボーリング柱状図収集、各種地形・地質関係文献収集、航空写真収集、現地補踏査等が必要である。

調査結果は、微地形分類、基盤上面等高線図、地盤分類図等にまとめ、被害想定および(1)で述べた過去の地震による被害の要因の検討に用いる。

### (3) 地震応答および被害想定調査

当然のことながら地震による構造物等の被害は、その地震動の大きさによって大幅に異なる。したがって、被害の予測を行なうにあたっては、想定しておくべき地震動を設定しておく必要がある。これは過去の地震履歴等から決定される。

想定された地震に対する地域内各地点の地表における地震動を表わすパラメータとしては、地表最大加速度を採るのが一般的である。この値が得られれば、それをもとに構造物の耐震設計で通常用いられている設計震度や、液状化の可能性等の分布図が作成される。この場合に、(2)で調べた基礎地盤に関する情報が必要である。

以上で得られた情報をもとに、各種構造物や地盤の被害想定を次に行なう。これには、液状化のように地盤自身が破壊するためにその上の構造物も被害を受けるものと、地盤は破壊しないが地震動のために構造物が被害を受けるものとが含まれる。

### (4) 土地利用適性評価

土地利用適性評価を行なうにあたっては、まず、国勢調査資料等をもとに、対象地域内の土地利用

・人口密度・土地災害等の現状、これまでの変遷、さらに今後の動向をまとめる。

次に、(3)で得られた被害想定もあわせて、対象地域内各地での地震危険度の現況、および将来の土地利用計画に対する地震危険度を判定する。その結果、危険と判断された地区に対しては、それに対する対策を検討する。

### § 3 調 査 方 法

前章で述べた手順に従って、各項目の調査方法を具体的に述べてゆく。ただし、今回の仙台～石巻地区の調査では、一般的な方法に比べて多少その方法を修正して用いているので、以下には一般的な方法の後に〔今回用いた方法〕をとくに分けて述べてある。

#### 3.1 地震災害実態調査

##### 地震災害実態調査

地震災害実態調査を行なうには、まず過去に調査地に被害をもたらした地震を調べる。次に、その被災状況を被災記録や聞きこみ調査等によって調べる。

調査結果をもとに、地震動の分布、地盤破壊状況、構造物の被災状況等をまとめる。

対象地域に被害を与えた地震を調べるためには、例えば宇佐美<sup>1)</sup>が416年以降の地震被害をまとめた資料等が有効である。

被害を与えた地震について、詳しい被災記録を手に入れる。被災記録以外にも地震直後の航空写真があると役に立つ。また、ここ50～60年以内に生じた地震であれば、当時の住民から聞きこみ調査を行なうと詳しい情報が得られることもある。

これらの情報をもとに、次の項目についてまとめを行なう。

- (1) 地震動の分布(地表加速度分布、墓石転倒率等)
- (2) 地盤破壊(液状化、崖崩れ、地すべり等)地点
- (3) 建築物の被害
- (4) 土木構造物の被害
- (5) 農作物の被害
- (6) 津波、浸水による被害
- (7) 火災発生箇所
- (8) 貴重な自然、文化財の被害
- (9) 避難状況(用いられた避難路、避難場所、緊急避難路等)
- (10) 交通規制状況
- (11) 情報システムの被害

これらの結果は、一枚の地図上にまとめておく。ただし、被害箇所が多い場合には、数枚の図面に分けてまとめておく。そして、次節で述べる基盤調査結果とあわせて、被災の原因についての考察を行なう。これには次のような考察等が必要である。

- (A) 地盤破壊箇所～地震動～地形・地質状況
- (B) 建築・土木構造物被害～地震動～地形・地質状況
- (C) 建築・土木構造物被害～火災発生箇所

なお、(B)については、関連諸機関に既に考察が行なわれているものもある場合が多いので、これらの資料も収集しておく必要がある。

〔今回用いた方法〕

宮城県沖地震は、つい最近発生した注震であり、まだ記憶に新しい。また、詳しい被災調査報告書もまとめられているため、地震災害実態調査は精度よく行なうことができた。この際に参考とした被災調査報告書のうち、主なものを挙げると次のようになる。

- i) 宮城県： '78 宮城県沖地震災害の教訓、昭和53年および55年
- ii) 土木学会東北支部： 1978年宮城県沖地震調査報告書、1979
- iii) 東北大学理学部地質学古生物教室： 1978年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について 1979

このような資料収集以外にも、崖崩れ、土木構造物の被害については補備聴取調査も行なった。調査結果は、前述の(1)～(11)の項目ごとに被害状況をまとめ、さらに次の被害位置分布図を1/50000の精度で作成した。

- (a) 地盤破壊分布図――液状化地点および斜面崩壊地点
- (b) 建築物被害分布図――鉄筋コンクリート、鉄骨造、木造に分けて作成
- (c) 公共土木構造物被害分布図――带状構造物（鉄道、道路、河川堤防、海岸堤防、付帯構造物）、橋梁、港湾構造物、石油タンク、ガスタンクに分けて作成

以上のような調査結果は、3.3で述べる地震時の被害想定の際に利用された。

なお、今回の対象地域に被害を与えた地震は過去にいくつかあったが、ここ数十年の間におけるものは、いずれも被害地域が一部に限定されていて、また、被害状況も詳しくは明らかにされていないため、ここでは宮城県沖地震による被害だけにしぼっている。

### 3.2 基礎地盤調査

#### 基礎地盤調査

基礎地盤調査では、地形、地質に関する諸資料を収集し、これをいくつかのパラメータについて整理する。パラメータとしては、①微地形分類 ②基盤上面深度 ③地盤分類（耐震設計上の地盤種別） ④軟弱層厚 ⑤崩壊れ等危険箇所 等をとっておく。

地形・地質に関する資料としては、文献や航空写真、古地図以外に次の刊行物を参考にするとよい。

- (1) 地形図
- (2) 地質図（20万分の1等）
- (3) 土地分類調査成果（地形分類図、表層地質図、土壌図、傾斜分類図、土地利用現況図）
- (4) 治水地形分類図
- (5) 都市地盤調査

ところで、地震による構造物の被害とその基礎地盤状況とは、密接な関係がある。このことが最初に明らかにされたのは関東地震（1923）である。この時、軟弱層の厚く堆積する下町で木造家屋の被害が多く生じ、逆に台地の山の手では土蔵の被害が多く生じた。その後、東南海地震（1964）、新潟地震（1964）それに宮城県沖地震等で、構造物の被害と地盤の関係についていくつかの関係が見出されてきた。しかし、地盤状況を表わすパラメータとして何を採用すればよいか、ということについて方法がまだ確立されていないのが現状である。そこで、地形・地質に関する資料を収集した後は、次に示すようないくつかのパラメータについて、分布図を作るのりまとめを行なっておくことが必要である。

- (A) 微地形分類
- (B) 基盤上面深度（表層の厚さ）
- (C) 地盤分類（耐震設計上の地盤種別）
- (D) 軟弱層厚
- (E) 崖崩れ等危険箇所

これらのうち、(B)の基盤上面深度は、深部の岩盤内を伝播してきた地震波が軟らかい表層にはいと大きく増幅されるので、採用されているパラメータである。ただし、基盤のとり方は一定でなく、次のような値が採用されている。

- i) せん断波速度  $V_s = 2 \sim 3 \text{ km/秒}$ 程度の岩の上面
  - ii) 沖積層の基底面
  - iii) 標準貫入試験でのN値  $> 50 \sim 70$ または  $V_s > 300 \sim 500 \text{ m/秒}$ となる層の上面
- i)の深度を推定するのは困難なことが多

いため、工学的には ii)または iii)がよく採用されている。

表 3.1 耐震設計上の地盤種別<sup>2)</sup>

地盤種別	地盤の特性値 $T_g$ (s)
1 種	$T_g < 0.2$
2 種	$0.2 \leq T_g < 0.4$
3 種	$0.4 \leq T_g < 0.6$
4 種	$0.6 \leq T_g$

(C)の地盤分類は、いくつかの耐震設計基準・指針でとり入れられているパラメータである。各基準により分類の方法が多少異なるが、最近出された基準類として「道路橋示方書<sup>2)</sup>」による分類方法を示すと、表一3.1となる。ただし、地盤の特性値（表層の固有周期）が求め難い場合には、図一3.1を用いて分類してもよいようになっている。

(D)の軟弱層厚は、表層の強度が被害に影響を与えるであろうとの考えでとられているパラメータである。ゆるい飽和砂質土地盤では液化化、軟弱な粘性土地盤では地震時強度底下が問題となり、これらの程度を表わすパラメータがいくつか考え出されている。これについては、3.3の被災予測のところで後述する。

地盤の特性値  $T_g$  は、式(3.1)によって算出する。

$$T_g = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに

$T_g$  : 地盤の特性値(s)

$H_i$  :  $i$ 番目の地層の厚さ(m)

$V_{si}$  :  $i$ 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

次に(B)は、崖崩れや地すべりが生じると、その上に建っている構造物は当然被災予測のところで後述する。

〔今回用いた方法〕

前述したパラメータのうち、今回は(A)微地形分類図、(B)基盤上面等高線図、(C)地盤分類図、それにボーリング位置図を作成した。また、(D)軟弱層厚のパラメータは地盤分類図に含め、(E)崖崩れ等危険箇所については、宮城県調査による急傾斜崩壊危険地域及び地すべり区域の資料を入手し、整理を行なっておいた。

まず、(A)の微地形分類図は、航空写真の実体視のほか、東北大学でまとめられていた資料等をもとに作成した。この際、宮城県沖地震時の被災状況から判断して、自然堤防の発達の良い部分と発達の微弱な部分とに特別に分けた。

調査地域内の沖積層はかなり厚く堆積しており、その厚さも明らかにできるため、(B)の基盤上面としては、沖積層の下端面を採用した。ただし、沖積層の定義

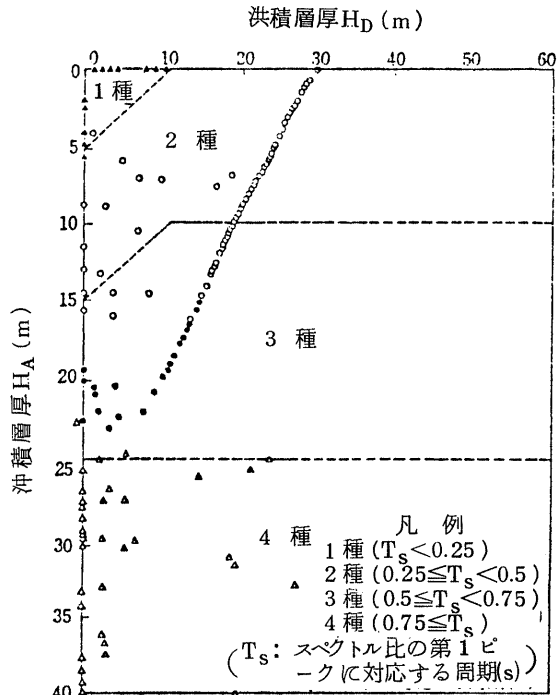
として、現在、主ウルム氷期の最大海面低下期(約1.8万年前)に生じた谷を埋めたた堆積物を総称する場合と、生物群の変化の境を基準にした完新世(約1万年前～現在)に堆積した層とする場合の2通りがある。調査地である仙台平野では、主ウルム氷期の最大海面低下期に第三紀層を削って埋沿谷が形成されている。この不整合面は明瞭であり、地震基盤上面としてもこの境を採用した方がよいと判断されるため、今回は主ウルム氷期以後の堆積物を沖積層とした。そして、東北大学でまとめられた資料等をもとに基盤上面等高線図を作成した。

(C)の地盤分類を行なうにあたっては、まずボーリング資料を収集した。まとめられている刊行物としては、“仙台湾臨海地帯の地盤”があり、その他いくつかの機関からボーリング資料を収集した。これをもとに、図3.1の方法に従って地盤分類を行なった。ただし、以下の点に多少修正を施して用いた。

i) 図-3.1では沖積層、洪積層により区分されるが、地震波の増幅に対する区分であるため、表-3.1に示されているように、もともと地盤の硬・軟から分類されるものである。調査地の場合、沖積層といえども下部にはよく締った砂レキ層が堆積しており、図-3.1を直接用いると不都合が生じる。そこで、全国的に通常よく用いられている値として、

砂質土： $N \leq 30$ 、粘性土： $N \leq 10$

の場合に、図-3.1でいう沖積層とみなすことにした。なお、図-3.1はもともと上記のN値



注: 1) 洪積層には、地山、ローム層および沖積層の締まった砂層、砂れき層、玉石層を含む。  
2) 沖積層には、がけ崩れなどによる新しい堆積層、表土ならびに軟弱層を含む

図3-1 沖積層厚H<sub>A</sub>と洪積層厚H<sub>D</sub>による地盤種別2)

をもとに出されているため、新たに次の2種類の区分をつけ加えた。

第5種地盤 - - - 泥炭層が表層に堆積している地盤

第6種地盤 - - - 液状化の危険性の高い地盤

これらの判断方法については、次節で述べる。

### 3.3 地震応答と被害想定調査

#### 地震応答と被害想定調査

地震応答調査では、まず将来想定しておくべき地震を、過去の地震履歴・活断層調査および地球物理学的考察をもとに決定する。次にその地震により調査地域内に生じる地震動を予測する。

被害想定調査では、予測された地震動により各種構造物が被害を受けるか否かを判断する。ただし、崖崩れや液状化のように地盤自身が破壊し、その上の構造物も被害を受ける場合があるので、これも考慮しておく。

#### (1) 地震応答調査

将来想定しておくべき地震動を決定するためには、次の2段階の調査を行なうのが一般的である。

(A) 将来発生すると考えられる地震の位置、規模

(B) 想定された地震が発生した場合の調査地域内各地での地震動(最大加速度等)

ただし、調査地付近の過去の地震動を調べ、その地震によって生じたであろう地表最大加速度を式(3.2)等で試算し、統計処理することによって直接(B)の地震動だけを求める方法もとられている。

(A)の将来発生すると考えられる地盤の位置・規模を検討するには、付近での過去の地震活動に関する資料(例えば“理科年表<sup>3)</sup>”)にも416年以降の大地震がリストアップしてある)、地震発生メカニズム・周期性に関する地球物理学の文献、活断層の位置、規模、ランク等の資料を集めて、これらをもとに将来発生が予想される地震の震央位置、震源深さ、マグニチュードを決定する。いくつかの地震発生が予想される場合には、一つとは限らずいくつかの地震を想定しておくといよい。なお、これを決定するにあたっては、最終目的である土地利用計画において、対象としている期間に見合った発生頻度の地震としておくことが必要である。

次に(B)の地震動を検討することになるが、この場合、通常地震動のパラメータとして地表や基盤における最大加速度をとることが多い。最大加速度の推定式は、国内・外で数多く提案されているが、最近出された例として、“新耐震設計法(案)<sup>4)</sup>”で提案されている地表最大加速度の推定式を示すと、次のようになる。

$$\begin{array}{ll} \text{第1種地盤} & \alpha_{\max} = 2.85 \times 10^{0.207M} \times \Delta^{-0.598} \\ \text{第2種地盤} & \alpha_{\max} = 1.32 \times 10^{0.330M} \times \Delta^{-0.806} \\ \text{第3種地盤} & \alpha_{\max} = 3.21 \times 10^{0.254M} \times \Delta^{-0.757} \\ \text{第4種地盤} & \alpha_{\max} = 6.47 \times 10^{0.423M} \times \Delta^{-0.977} \end{array} \quad (3.2)$$

ここで、 $\alpha_{\max}$  : 地震最大加速度 (gal)

M : マグニチュード

#### Δ : 震央距離 ( Km )

なお、震央距離が近い場合 ( 10 ~ 30 Km 程度 ) やマグニチュードが大きい場合 ( 8.0 以上 ) に  
は、式の適用にあたって注意を要する。また、地震によってはこの式からかなりはずれるものもあ  
るので、いくつかの他の提案式でも試算してみる必要がある。

## (2) 地盤破壊被害の想定方法

さて、以上のようにして地震が 定されたら、次にその地震動に対する被害想定を行なう。この  
方法には確立されたものがあるとは言えないのが現状であるが、最近では次の 2 段階の方法が用い  
られている。

### (A) 地盤破壊箇所の想定

### (B) 地盤破壊は生じないが構造物自体が被害を受ける箇所の想定

2 段階にしてあるのは、地盤破壊が生じる箇所ではその上に建っている構造物はまず被害を受け  
ると予測されること、その他に、地盤破壊は生じなくても振動が大きい箇所では構造物は被害を受け  
るためである。

地盤破壊といっても定義がなかなか困難であるが、地盤内の土が降伏 ( 流動化 ) したというイメ  
ージで考えた場合、次の 3 つがあげられるであろう。

- i) ゆるい飽和砂の液状化
- ii) 軟弱な粘土地盤の強度低下
- iii) 崖崩れ、地すべり

i) の液状化については、最近多くの研究が行なわれ、予測方法もかなり確立されている。その予測  
方法を大別すると、a) 地形、地質にもとづいた予備的な予測、b) N 値等の一般土質調査結果を用い  
た簡易的な予測、c) 室内液状化試験および地震応答解析を行なう詳細な予測、に分けることが出来  
る。a) の地形地質にもとづく予備的な予測では、微地形分類結果を用いて、例えば旧河道、砂丘間  
低湿地、人工地、低湿地が特に液状化し易いと判断する方法等が提案されている。ただし、この方  
法では地震動の大きさは考慮に入れることが出来ない。b) の一般土質調査結果を用いた簡易的な予  
備方法では、N 値・粒度分布、地下水位から予測するものが多い。予測方法は数多く提案されてい  
るが、大別すると限界 N 値の考えを用いるものと、繰返しせん断抵抗率 ( 液状化に対する安全率 )  
 $F_L$  を計算する方法とがある。前者では地震動を考慮し難いので、被害想定には後者の方が適して  
いると考えられる。後者のうち、最近提案された方法でわが国でよく用いられている方法として、  
岩崎・竜岡ら<sup>5)</sup>の方法があげられる。これは次式により  $F_L$  を、そして、その地点の液状化の激し  
さを示す液状化指数  $I_L$  を求めるようになっている。

$$F_L = \frac{R}{L}$$
$$L = \frac{A_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \cdot r d$$
$$r d = 1.0 - 0.015 Z$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} + 0.225 \log \left( \frac{0.35}{D_{50}} \right)$$

$$(0.04 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm})$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} - 0.05$$

$$(0.6 \text{ mm} < D_{50} \leq 1.5 \text{ mm})$$

$$I_L = \int_0^{20} F \cdot W(z) \cdot dz$$

$$F_L < 1.0 \text{ の時は } F = 1 - F_L$$

$$F_L \geq 1.0 \text{ の時は } F = 0.0$$

$$W(z) = 1.0 - 0.5z$$

そして  $I_L \leq 5$  液状化の可能性が低い

$I_L > 5$  液状化の可能性が高い

ただし、 $\sigma_v$  : 上載圧 ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$\sigma_v'$  : 有効上載圧 ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$z$  : 深度 ( $m$ )

$D_{50}$  : 平均粒径 ( $mm$ )

なお、c)の詳細な試験及び応答解析による方法は、広範囲な予測には不適であるため、結局現在のところ、式(3.3)あたりで予測するのが適切であると言えよう。

ii)の軟弱な粘土地盤の強度低下予測方法については確立されていないのが現状であるが、例えば道路橋示方書<sup>2)</sup>では、“地表面から3mまで一軸圧縮強度 $q_u = 0.2 \text{ Kg/cm}^2$ 以下の粘性土”を耐震設計上土質定数をゼロとする土層と規定してある。

iii)の崖崩れ地すべり予測方法についても確立されていない。

しかし、普段から降雨に対して弱い、急傾斜の崖や沢部に造成盛土した崖等が地震時にも崩れ易いとみなされている。

### (3) 構造物の被害想定方法

地盤破壊はしないが構造物自体が被害を受ける箇所の想定方法については、過去の震害をもとに方法がいくつか提案されてきている。しかし、最近では多くの構造物で耐震設計が行なわれるようになってきているため、将来の土地利用適正評価を行なうにあたっては、次のような構造物に大別した方がよいと考えられる。



(A) 特別な耐震設計が行なわれていない構造物

--- 木造家屋、河川・海岸堤防、道路盛土

(B) 耐震設計が行なわれている構造物

--- 鉄筋・鉄骨コンクリート建築物、橋梁、河川構造物、ダム、地中埋設物、港湾構造物

(A)の耐震設計が行なわれていない構造物の木造家屋については震害例がよく調べられ、図-3.2~図-3.4に示したように、いくつかのパラメータと被害率の関係がまとめられているので、これらを用いて予測を行なうことが出来よう。ただし、適切なパラメータとしては、○微地形、○地質構造、○沖積粘性土の厚さ、○基盤の深さ、○極く表層の強度、○地盤種別、○地震応答スペクトル等、諸説紛粉としており、確定した予測方法があるとは言い難いのが現状であろう。その他の河川、海岸堤防、道路盛土については、予測方法や耐震設計方法が現在考え出されている段階である。

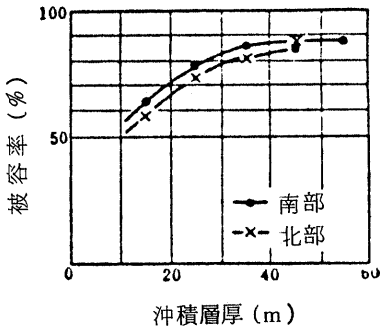


図 3.2 沖積層の厚さと木造建物被害率の関係 (関東大地震・横浜) (表・宮村, 1951) 6)

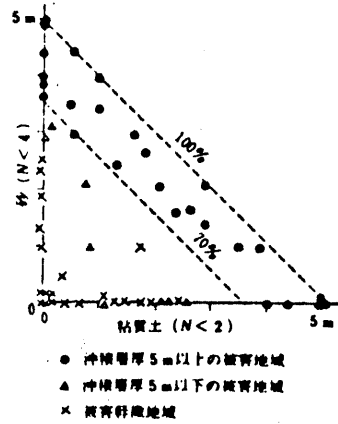


図 3.3 地盤状況 (G.I.-5m までの軟弱層厚) と震害との相関図 (%は軟弱層率) (表・宮村) 7)

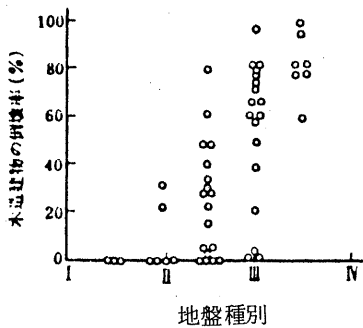


図 3.4 1944年東南海地震、静岡県菊川流域 (金井, 1968) 8)

B)の耐震設計が行なわれている構造物では、耐震設計用の地震荷重以上の地震動が生じた場合に、構造物は被害を受けるとみなすことができよう。この地震荷重のとり方には、震度法、修正震度法、応答変位法、動的解析法（地震応答解析、特別な構造物にのみ適用される）と4種類あり、また各構造物によって多少異なっているが、前3者で用いられる基本の震度（構造物に関係しない、地盤にだけ関係した震度）は、土木構造物に対して共通して次の値が用いられている。

$$K_H = \Delta_1 \Delta_2 K_0 \quad (3.4)$$

ただし、 $K_0$ ：基準深度（= 0.2）

$\Delta_1$ ：地域係数（新耐震設計法（案）では表-3.2）

$\Delta_2$ ：地盤の種別による補正係数（" 表-3.3）

表 3.2 地域係数（ $\Delta_1$ ）<sup>4)</sup>

地域区分	地域係数 $\Delta_1$
A	1.0
B	0.85
C	0.7

地域区分は図-3.5に示した通りとする。

表 3.3 地盤の種別による補正係数（ $\Delta_2$ ）<sup>4)</sup>

区分	地盤種別 <sup>1)</sup>	係数
1 種	(1) 第三紀以前の地盤（以下岩盤と称する） (2) 岩盤までの洪積層の厚さが1.0 m未満 <sup>2)</sup>	0.9
2 種	(1) 岩盤までの洪積層の厚さが1.0 m以上 (2) 岩盤までの沖積層の厚さが1.0 m未満 <sup>3)</sup>	1.0
3 種	沖積層の厚さが2.5 m未満かつ軟弱層の厚さが5 m未満	1.1
4 種	上記以外の地盤	1.2

また、建築構造物についても、ほぼ同様の次式が用いられている。

$$K_i = Z \cdot B_i \quad (3.5)$$

ただし、 $Z$ ：地域係数（A地域で1.0、B地域で0.9、C地域で0.8）

$B_i$ ： $i$ 階の震度分布を示し、高さ1.6 mまで0.2、それを越える部分は、高

さ 4 m を増すごとに 0.0 1 を加える。

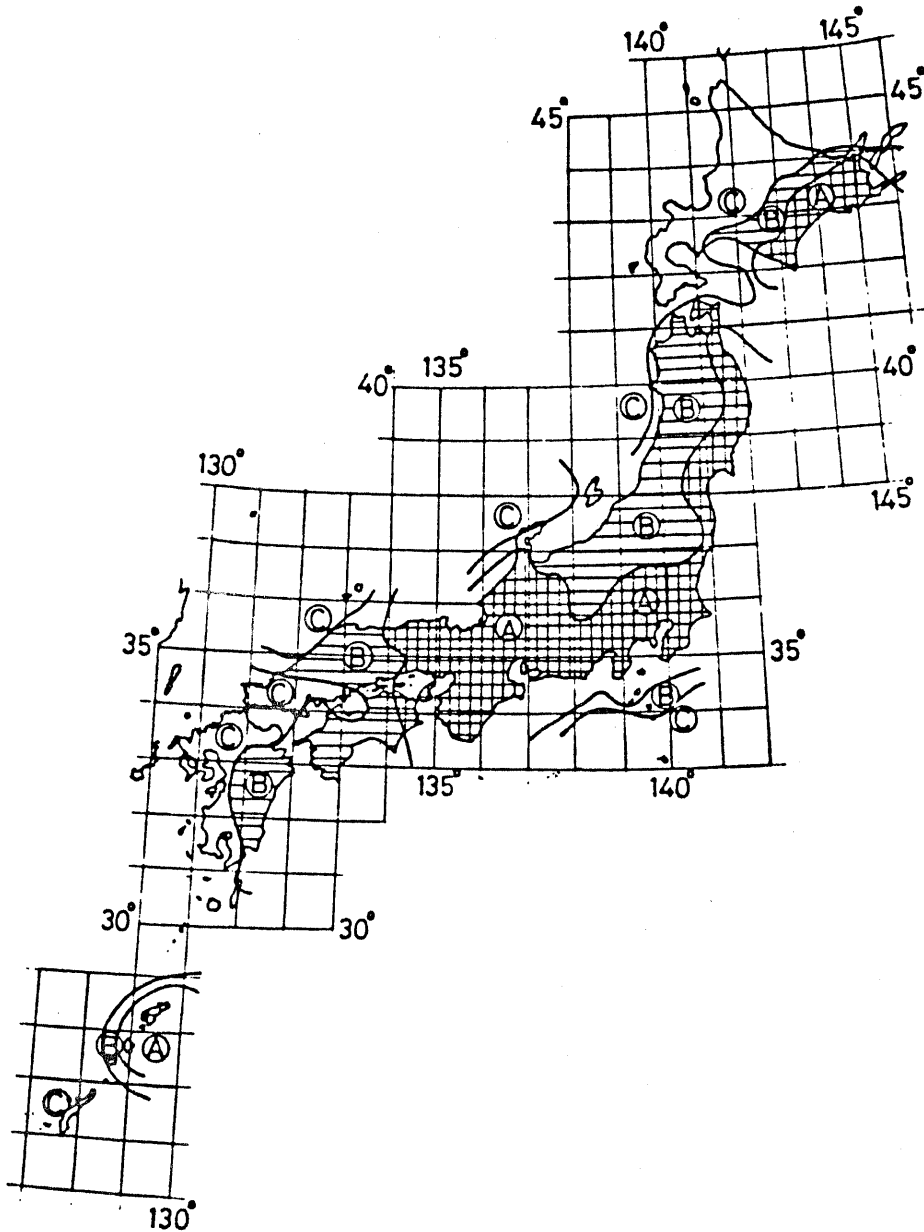


図 3. 5 地 域 区 分

ところで、前述したように想定される地震動は、通常地表最大加速度であり、式(3.4)、(3.5)で用いられている震度ではない。両者は同じ次元のものでないため、一対一の対応はできないが、最近、運輸省港湾技術研究所から次式が提案されている。<sup>9)</sup>したがって、このような関係を用いれば、想定地震動をもとに被災の可能性を判断することができよう。

$$\left. \begin{aligned}
 e_A &= \frac{1}{3} \left( \frac{\alpha_{\max}}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\alpha_{\max} \geq 200 \text{ gal の場合}) \\
 e_A &= \frac{\alpha_{\max}}{g} \quad (\alpha_{\max} < 200 \text{ gal の場合})
 \end{aligned} \right\} (3.6)$$

ここで、 $e_A$  : 作用震度 (=  $K_i \cdot K_H$ )

$\alpha_{\max}$  : 最大加速度 (gal)

$g$  : 重力加速度 (= 980 gal)

以上の方法で、地盤破壊、土木・建築構造物の被害、想定調査は行なえる。ただし、河川堤防、橋梁、鉄道、道路等について、関係諸官庁ですでに被災想定を独自の方法で行なわれている地域もある。したがって、これらの被災想定資料を用いることができれば、活用することが望まれる。

[今回用いた方法]

(1) 地震応答調査

調査対象地域を含む東北日本の太平洋沿岸は地震活動が活発であり、過去に数多くの地震が発生し、またこれらの発生機構に関する研究もかなり行なわれている。そこでこれらの資料を集め、さらに調査地域内に存在する活断層についても調べた結果、表-3.4に示した4つの地震を想定しておくことが明らかにされた。

表 3.4 今回想定された地震

No	震央位置	M	地域	備考
1	38.15°N, 142.17°E	7.4	宮城県沖	宮城県沖地震と同じ
2		8.0	〃	〃 より大規模
3	38.21°N, 140.84°E	6.5	仙台市近郊	利府一長町断層 南端
4	38.29°N, 190.94°E	6.5	県北地方	〃 北端

これらの地震により発生する地表最大加速度を推定するにあたり、式(3.2)の適用性を次に調べてみた。図-3.6は、宮城県沖地震の際に調査地内・外で実測された加速度と震央距離との関係を示している。この実測値と式(3.2)とを比べてみると大幅に異なり、No1、2の海洋型の地震には式が適用できないと判断された。そこでNo1、2の地震に対しては、図中に提案曲線として示した関係を用いることとした。ただし、この関係は地盤の種類を無視(平均的な地盤)しているので、図-3.7に示された地盤種別による地震応答性の相違を考慮して、各地点での地表最大加速度を推定した。なお、No2ではさらにマグニチュードの影響に関する補正も行なっている。また、No3、4の内陸型の地震に対しては、一般的な関係が成り立つものと考え、式(3.2)を用いた。このようにして、4種類の想定地震動に対する各地点での地表最大加速度が推定された。

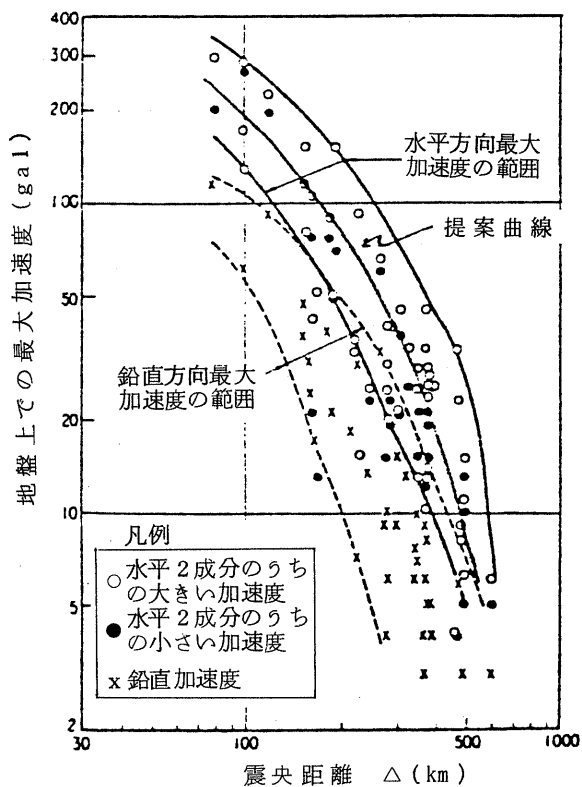


図 3.6 震央距離と地盤上での最大加速度 11)

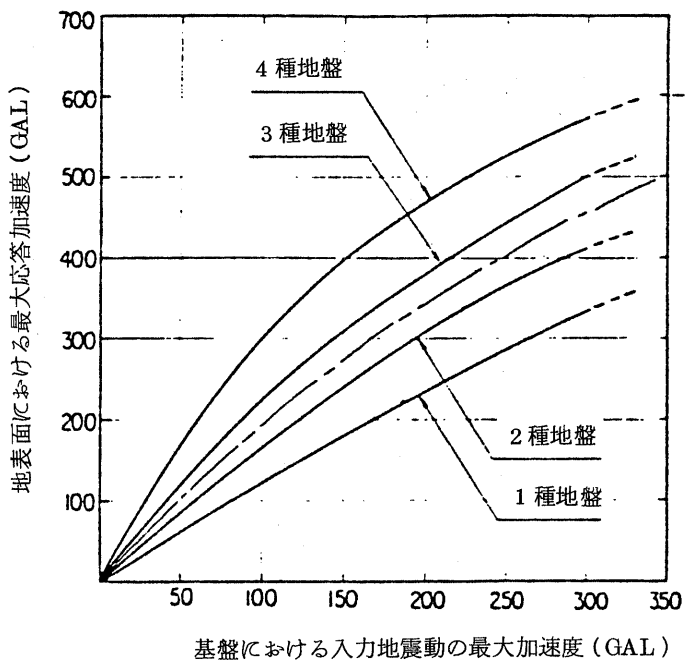


図 3.7 表層地盤の地震応答特性 11)

(2) 地盤破壊被害の想定

地盤破壊は、表-3.5に示したように、一般的な方法に加えて、地盤災害実態調査結果で得られた考察をもとに、被災想定方法を考察し、想定を行なった。

表 3.5 今回用いた地盤破壊想定方法

種別	用いた方法	地震災害実態調査結果を特に考慮した点
液状化	○(3.3)のRを多少修正された道路橋示方書 <sup>2)</sup> の式によって代表的なボーリング地点で判定した。	○宮城県沖地震の際、液状化した地点は、当時の加速度以上で再び液状化すると判断した。 ○発達微弱な自然堤防、海岸埋立地で $K_s \geq 0.15$ の時液状化すると判断した。
軟弱粘土	○ $N \leq 2$ の粘土層が10m以上で3m以上の層厚で堆積している地点で、かつ $K_s \geq 0.16$ の場合破壊すると判定した。( $N \leq 2$ は $q_u \leq 0.2 \text{ Kg/cm}^2$ に相当すると判定した。)	○後背湿地に属し泥炭分布域で、かつ $k_s \geq 0.16$ の場合破壊すると判定した。
斜面崩壊	○急傾斜地崩壊危険箇所および地すべり地を破壊すると判定した。	○丘陵の宅造地の埋立箇所、かつ $K_s \geq 0.15$ の場合破壊すると判定した。 ○宮城県沖地震で被害のあった斜面で、かつ宮城県沖地震より地震動が大きいと想定される箇所を破壊すると判定した。

(3) 建造物の被害想定方法

次に、地盤破壊は生じないが、土木、建築建造物自体が被害を受ける場合の被害想定を、表-3.6に示した方法で行なった。

表 3.6 今回用いた土木・建築構造物の被害想定方法

構造物の種類	被害想定方法
木造の建築物	$k_s \geq 0.25$ の場合に被害を受けると判定した。
中層の //	$k_s > 0.2$ //
1 種地盤上の土木構造物	$k_s \geq 0.18$ //
2 //	$k_s \geq 0.2$ //
3 //	$k_s \geq 0.22$ //
4 //	$k_s \geq 0.24$ //

このうち中層の建築物および土木構造物については、式(3.4)、(3.5)に従った。つまり、これらの式で計算される設計震度でこれらの構造物は耐震設計が行なっており、それ以上の地震動が生じる場合に被害を受けるとみなした。この場合、地表最大加速度から震度を求める式は、式(3.6)を用いた。

木造構造物の場合は、図-3.2~3.4のように種々のパラメータの影響は調べられてきつつあるが、定説がなく、しかも、地震災害実態調査の結果、本地域では、中積層厚や地盤種別との明瞭な関係は見出されなかったため、大雑把ではあるがもっと一般的な関係を用いることとした。気象庁の震度階の決め方によると、震度階Ⅵが家屋の倒壊30%以下、震度階Ⅶが30%以上となっている。そこで震度階でⅦになる場合に木造建築物は被害を受けると判定することにした。これは、 $\alpha_{max} = 400 \text{ gal}$  したがって  $k_s \geq 0.25$  に相当する。なお、高層の建築物は十分な耐震設計が行なわれており、被害は受けないと見なした。

### 3.4 土地利用適正評価

#### 土地利用適性評価

地震に対する土地利用適性評価を行なうには、前節までに得られた被害、想定に加え、土地利用・土地公害の現況と動向についての資料を収集する。そしてそれらを総合して、調査地域内各地点での土地利用適性評価を行なう。

地震災害に対する土地利用適性評価を行なうにあたっては、次の項目についての情報が必要である。

- (A) 土地利用・土地公害の現況
- (B) 将来の土地利用の動向
- (C) 地盤、土木・建築構造物の地震による被災の可能性

これらのうち、(C)については前章までの調査で明らかになってきており、(A)と(B)に関する調査がさらに必要となる。

(A)については、国勢調査資料、土地利用図、地形図、航空写真が一般に手に入り易いので利用で

きる。また、土地公害や土地利用・保全に関する法令も手に入るであろう。(B)については、(A)と同様の項目について関係各庁が想定している資料を入手し、動向図としてまとめておくとよい。

#### 〔今回用いた方法〕

今回の調査範囲では国土地理院発行の土地利用図が作られているので、これを(A)の基本とした。ただし、構造物の被害想定の際に分けた方法に合わせるために、表-3.7のように土地利用の分類の仕方を修正した。その他、(A)に関して関係各庁から資料を収集し、土地利用変遷図、土地公害現況図、防災害保全等規制現況図を作成した。

(B)の将来の土地利用の動向については、宮城県土地土用基本計画図を入手して用いた。ただし、この中では土地利用図のような詳細な区分は行なわれていないため、表-3.8に示した判断を行なって利用した。

以上の結果と前節までに行なった各種の調査をもとに、総合的な土地利用適用評価を行なった。これは、表-3.9に示したように、標準メッシュを更に4等分した約500m<sup>2</sup>のメッシュごとに評価を行なった。表-3.9のうち、対策工の必要および種類については、表-3.10の判断基準で判定を行なった。また、地盤沈下や自然環境を変化させるような大規模な土木工事を実施する場合に関連の深い「自然環境保全」および「文化財保護」の必要性についても備考の欄に付した。一例をあげて表-3.9を説明すると次のようになる。

例えば、表-3.9のコー24-Cの位置に対する評価をとりあげてみる。この地点の地盤状況は基盤深度が6.5mと深く、表層は砂質土で構成され、第IV種の地盤である。現在は木造の一般住宅が主流を占めているが、将来は中高層の建築物が主流を占めるようになると考えられている。もし、宮城県沖地震と同じ震源位置にM=8の地震が発生した場合、この地点では地表で312galの最大加速度が生じ、水平震度としては0.23程度の荷重が構造物に加わると考えられる。

この地震動により表層の砂質土層は液状化を生じると予想され、構造物が被害を受けると考えられる。これに対する対策工としては、地盤が液状化しないように地盤改良を施すことがまず必要であるが、さらに生じる水平震度も中層の建築構造物および土木構造物で用いられている設計震度より大きい場合、これらの構造物の強化も必要となる。

以上のようにして作られた表-3.9をもとに、土地利用適性評価図を作成した。



表 3.7 土地利用分類の修正方法

国土地理院土地利用図の分類	本調査での分類	主流の建築物
一般住宅地区	一般住宅地区	木造
中高層住宅地区	商業・工業・業務・工業地区 公共業務、文教、厚生	中高高層
商業地区		
業務地区		
工業地区		
公共業務地区		
文教地区		
厚生地区	公園、緑地、運動競技施設	緑地
公園緑地		
運動競技施設	運輸、流通、供給処理施設	中高層
運輸流通施設		
供給処理施設		
防衛施設	防衛施設	緑地
空地	空地	周辺の状況に合わせて判断
改変工事中の区域	改変工事中の区域	
	田、果樹園、桑畑、茶畑、 その他の果樹畑、牧場、牧草 草地、野草地、針葉樹林 (人工、天然材)広葉混交 樹林、竹林、しゅう科樹林、 はいまつ他	緑地

表 3.8 将来の土地利用の分類方法

将来主流を占める 建築物	
中高層 - - - - -	○市街化区域の中の住宅密集部及びその周辺 ○主要幹線道路沿い ○土地利用の現況の中で中層に区分された地域とその周辺（運輸、商業、工業等）
木造 - - - - -	○市街化区域の中でベッドタウン的な性格をもつ地域 （○○ニュータウン、○○団地） ○農業地域の中の集落

表 3.10 土地利用適性評価図作成基準

地盤破壊 の危険性	建築物破壊 の危険性	将来の建築物に対する対策工の必要性				主流を占める建築物	
		なし	立地を避ける	地盤改良	構造物強化	現在	将来
あり	あり			○	○		
あり	なし			○		木造	木造
なし	あり				○*		
あり	あり			○	○		
あり	なし			○		木造	中層
なし	あり		(△)		○		
あり	あり			○	○		
あり	なし			○		中層	中層
なし	あり				○		
あり	あり		△	○	○		
あり	なし		△	○		なし	木造
なし	あり				○*		
あり	あり		△	○	○		
あり	なし		△	○		なし	中層
なし	あり				○		
		○				なし	なし

※：地盤破壊はないが建築物の破壊の危険性がある場合、（木造の破壊の危険範囲を  $A_{max} \geq 400 \text{ gal}$  としたため、通常は地盤破壊の危険性もあると考えておくべきである。）

(△)：木造から中層に改変するのは避けるべきであるという意味である。

△：可能であれば避けるべきであるという意味である。

表 3.9 土地利用適性評価（一部）

想定地震 想定宮城県沖地震 M=8.0

位 置	地 区 名	地 形 分 類	地 盤 状 況				土 地 利 用 状 況		将来主流を占める建築物	想定地震動		地 盤 破 壊			地盤破壊なく構造物の破壊の危険性			対 策 の 必 要 性			備 考		
			基礎深さ (m)	表層の土層	地盤の種類	主流の建築物	区分	加速度 gal		震度	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	地盤沈下 (mm)
25-a	仙台市東北	自然遊歩道	6.5	砂質土	3種	中高層	商業厚生	中高層	3.12	0.23											30~40		
b	"	"	6.5	"	"	木造	一般住宅	木造	"	"											"		
c	"	"	6.5	"	"	中高層	"	中高層	"	"											"		
d	"	自然遊歩道	6.5	"	"	中高層	"	"	"	"											"		
25-a	"	旧河道	6.5	"	"	木造	"	"	"	"											20~40		
b	"	後背地 (泥炭)	6.5	泥炭	"	一田	木造	木造	"	"											30		
c	"	自然遊歩道	6.5	砂質土	"	木造	一般住宅	"	"	"											20~90		○
d	"	自然遊歩道	6.5	"	"	一田	"	木造	"	"											30~40		○
26-a	"	自然遊歩道	6.0~6.5	"	"	一	"	"	"	"											40~100		○
b	"	自然遊歩道	6.0~6.5	"	"	一	"	"	"	"											30~50		○
c	"	"	5.5~6.5	"	"	木造	一般住宅	"	"	"											20~50		
d	"	自然遊歩道	5.5~6.0	"	"	"	"	"	"	"											20~40		
27-a	仙台市東南	後背地 (泥炭)	4.5~5.5	泥炭	"	一田	"	一	"	"											20~30		
b	"	"	5.0~5.5	"	"	一	"	一	"	"											20		
c	"	"	4.0~5.0	"	"	一	"	一	"	"											"		
d	"	"	4.5~5.0	"	"	一	"	一	"	"											"		
28-a	"	"	3.5~4.5	"	"	一	"	一	"	"											10~20		
b	"	自然遊歩道	4.0~5.5	砂質土	2種	一	"	一	2.13	0.21											"		
c	"	後背地	3.5~4.0	粘性土	3種	一	"	一	3.13	0.23											"		
d	"	"	3.5~4.5	"	"	一	"	一	"	"											"		
29-a	"	"	3.0~3.5	"	"	一	"	一	"	"											"		
b	"	"	2.5~3.5	"	"	一	"	一	"	"											"		
c	"	"	3.5~4.0	"	"	一	"	一	"	"											"		
d	"	浜堤	2.5~3.5	砂質土	"	一	"	一	"	"											"		
30-a	"	後背地	3.5~4.5	粘性土	"	一	"	一	"	"											"		
b	"	浜堤	3.0~4.0	砂質土	"	木造	一般住宅	木造	"	"											10~30		
c	"	後背地	3.5~4.5	粘性土	"	一	普通畑	一	"	"											10~20		
d	"	"	3.5~4.0	"	"	一	田	一	"	"											10~30		

## §4 あとがき

地震に対する土地保全調査の基本となるのは、地盤・構造物の被害想定であろう。本手引書では、現時点での最新の被害想定方法をもとに土地保全調査を行なう方法を述べたが、本文中の随所にみられるように、被害想定方法は確立されているとはいえない。最近、東海地震対策等でこれらの手法に関する研究が活発に行なわれるようになってきている。したがって、今後、それらの成果をとり入れて、ここで述べた調査方法を修正してゆくことが必要であろう。

## 参 考 文 献

- 1) 宇佐美龍夫、“日本被害地震総覧”、東大出版会、1975
- 2) 日本道路協会、“道路橋示方書・同解説、V耐震設計編”、1980. 5
- 3) 東京天文台、“理科年表”、1982
- 4) 建設省、“新耐震設計法(案)”、土木研究所資料、№1422、1978
- 5) 岩崎敏男、龍岡文夫、常田賢一、安田進、“砂質地盤の地震時流動化の簡易判足法と適用例”、“第5回日本地震工学シンポジウム講演集”、1978
- 6) 表俊一郎、宮村撰三、“横浜市並びに名古屋市の震害分布と地盤の関係”、建築雑誌、№773  
1951
- 7) 表俊一郎、宮村撰三、“Relations between the Earthquake Damage and the Structure of Ground in Nagoya City”、東大地震研彙報、Vol 24、1951
- 8) 金井清、“地震工学”、建築構造大系、彰国社、1968
- 9) 土田肇他：“港湾・海岸施設耐震性調査手法について”、港湾技研資料、№336、1980
- 10) 建設省土木研究所、“1978年6月宮城県沖地震被害調査概報”、土木研究所資料、第1422号  
1978
- 11) 土木研究所、“地震を特定した場合の地震動の推定法に関する研究”、土木研究所資料、  
第1389号、1978

○ 新耐震設計による道路橋仕方書

耐震設計上の地盤種別

耐震設計上の地盤種別は、原則として地盤の特性値  $T_G$  により区別し、表 3.6.1 によるものとする。

表 3.6.1 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 $T_G$ (s)
1 種	$T_G < 0.2$
2 種	$0.2 \leq T_G < 0.4$
3 種	$0.4 \leq T_G < 0.6$
4 種	$0.6 \leq T_G$

地盤の特性値  $T_G$  は、式 ( 3.6.1 ) によって算出するものとする。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots ( 3.6.1 )$$

ここに、

$T_G$  : 地盤の特性値(s)

$H_i$  :  $i$  番目の地層の厚さ (m)

$V_{si}$  :  $i$  番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

値は式 ( 3.6.2 ) によるものとする。

粘性土層の場合

$$V_{si} = 100 N_i^{\frac{1}{3}} \quad (1 \leq N_i \leq 25)$$

砂質土層の場合

$$V_{si} = 80 N_i^{\frac{1}{3}} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$$

..... ( 3.6.2 )

$N_i$  : 標準貫入試験による  $i$  番目の地層の平均  $N$  値

$i$  : 当該地盤が地表面から基盤面まで  $n$  層に区分されるとき、地表面から  $i$  番目の地層の番号

ここでの基盤面とは、粘性土層の場合は  $N$  値が 25 以上、砂質土層の場合は  $N$  値が 50 以上の地層の上面、もしくはせん断弾性波速度が 300m/s 程度以上の地層の上面をいう。

なお、地表面が基盤面と一致する場合は 1 種地盤とする。

地盤種別は、4.3.(2)項に規定する地盤別補正係数  $v_2$  の値を求めるためのものである。概略の目安として、1 種地盤は岩盤、2 種地盤は洪積地盤、3 種地盤は沖積地盤 (ただし軟弱地盤は除く)、4 種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤と考えてよい。

この地盤種別の区分にあたっては、地盤の特性値  $T_G$  によるのを原則とし、 $T_G$  は式 ( 3.6.1 ) から求める。なお、 $T_G$  は元来微小ひずみ振幅領域における表層地盤の基本固有周期であるが、ここでは地盤の特性値と称することとした。 $V_{si}$  は、弾性波探査や PS 検層によって測定するのが望ましいが、実測値がない場合は式 ( 3.6.2 ) によって  $N$  値から推定してよいこととした。この場合の  $N$  値

は各層の平均的なN値で代表し、むやみに計算を複雑にする必要はない。

式(3.6.2)は、粘性土層については $N=1\sim 25$ の範囲、砂質土層については $N=1\sim 50$ の範囲での実験値から導いた推定式である。なお、N値が0の場合は $V_{s,i}=50\text{m/s}$ としてよい。

また、基盤面としては対象地点に共通する広がりを持ち、その面以下の地層の構成ならびに力学的性質の変化が小さいことが必要とされる。そこで、それ以下の地層がせん断弾性波速度 $300\text{m/s}$ 程度(式(3.6.2)より、粘性土層ではN値25、砂質土層ではN値50)以上の値を有している剛性の高い地層の上面を基盤面と規定した。

さらに、数多くの地盤を対象とした計算結果から $T_G$ と沖積層厚 $H_A$ および洪積層厚 $H_D$ の相関が明らかになり、図-解3.6.1により近似的に地盤種別を区分できることがわかった。したがって、 $T_G$ を式(3.6.1)で求めたい場合(相当深く標準貫入試験を行っても基盤面が現われない場合など)には、図-解3.6.1により地盤種別分類を行ってもよい。

なお、図-解3.6.1において、縦軸は当該地点の沖積層の厚さ、横軸は同一地点での沖積層の下にある洪積層の厚さをとるものとする。

ここでいう沖積層には、がけ崩れなどによる新しい堆積層、表土、埋立土ならびに軟弱層を含み、洪積層には沖積層のうちの締まった砂層、砂れき層、玉石層を含む。

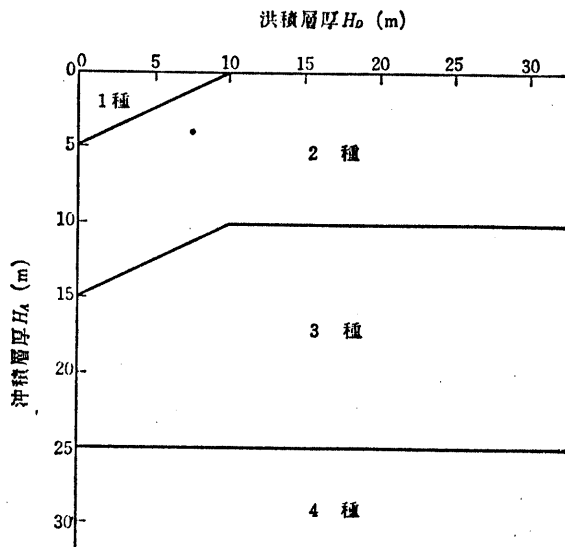


図-解3.6.1 沖積層厚 $H_A$ と洪積層厚 $H_D$ による地盤種別

# ○ 地震による地盤液状化の予測手法

## I 地形、地質等に基づいた概略の予測手法

ある調査地点の地盤が地震時に液状化するかどうかを概略的に予測する場合、過去においてその地点付近で液状化履歴があったかどうかという経験的事実は有用な判断資料となる。また、一般に地盤の液状化と地形、地質の間には密接な関係のあることが知られてきており、地形、地質等に基づいて液状化の概略予測を行なうことが可能である。

岩崎ら<sup>1)</sup>は新潟地震の際の新潟市周辺での液状化発生状況をまとめている(図5.4.7)。それによると、液状化は旧河道・埋立地・砂丘間低地に集中していることがわかる。また、宮城県沖地震について液状化履歴地点と地形の関係をまとめ(図5.4.8)、液状化が現河道や人工地、氾濫平野に集中して発生していると述べている。<sup>2)</sup> このような液状化地点と地形の関係の考察から、岩崎ら<sup>2)</sup>は表5.4.2に示す作成基準をもうけて、全国の沖積平野についての地盤耐震地図(液状化判定地図)を作成している。すなわち、地形分類によって、(A)液状化する可能性の高い地域、(B)液状化する可能性のある地域、(C)液状化する可能性の低い地域の3地域に区分した地図を作成している。この地図は液状化の概略調査を行なう上での1つの有用な資料であり、宮城県沖地震での液状化履歴地点50ヶ所のうち、66%が区分Aに属したことから、<sup>2)</sup> その妥当性はある程度裏付けられている(図5.4.9)。

古藤田、若松<sup>3)</sup>は関東地震(1923)における液状化地点と微地形の関係についての調査を行ない、液状化は扇状地性の平野部には殆んど生じておらず、河川中下流部の軟弱沖積地盤で生じていること、中でも厚い軟弱層がある埋没谷、地表近くに砂層がよく発達している自然堤防地帯あるいは旧河道部、埋立地等の新しい地盤で液状化が特に生じやすいと報告している。また、地下水位が1mより浅い所で液状化が発生した例が多いことを指摘している。

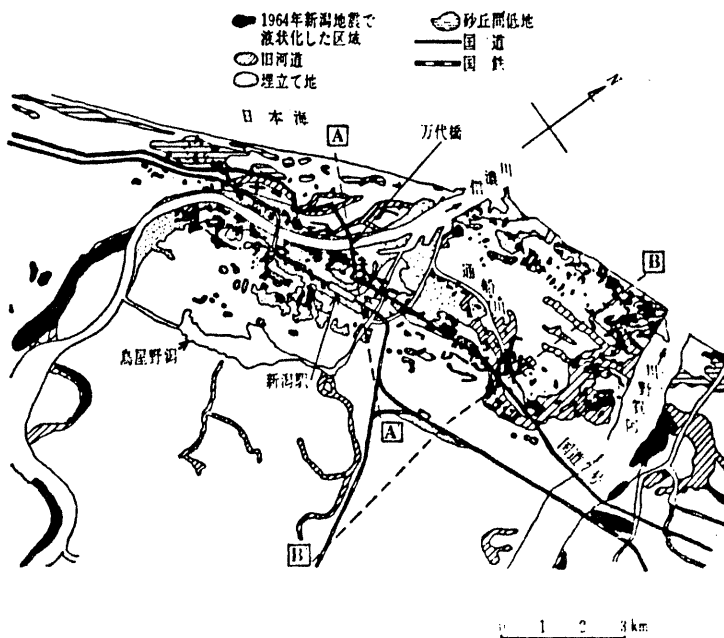


図5.4.7 1964年新潟地震による新潟市周辺での地盤の液状化

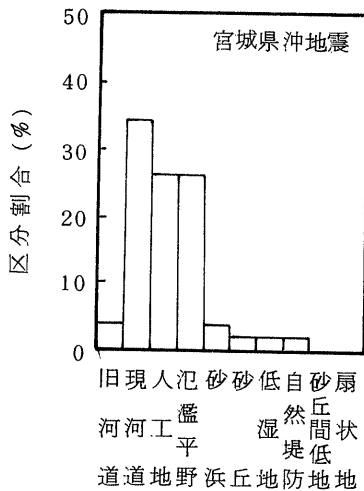


図 5.4.8 液状化地点と地形の関係

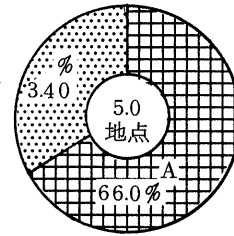


図 5.4.9 液状化地点と耐震地図の関係

表 5.4.2 地盤耐震地図作成基準

区 分	判 断 基 準
(A) 流動化する可能性の高い地域（詳細な調査が必要な地域）	旧河道、現河道、砂丘間低地人工地（埋立地） 低湿地
(B) 流動化する可能性のある地域（簡易な調査が必要な地域）	扇状地、自然堤防、砂丘、砂州、氾濫平野、 砂浜
(C) 流動化する可能性の低い地域（特に調査の必要のない地域）	山地、丘陵、台地

大崎<sup>4)</sup>は新潟地震（1964）による鉄筋コンクリート建物の液状化による被害を調査し、大被害を受けた地域が過去300年間に河道であった地域と一致すること、深さ5～10mの砂層のN値が低い地域に大被害が集中したことを報告している。

陶野、安田<sup>5)</sup>は宮城県沖地震（1978）における液状化地点の調査を行ない海岸や潟を埋立てた所に液状化が多く発生したと述べている。

さて、一般に扇状地では液状化は発生しにくいと、栗林、龍岡ら<sup>6)</sup>の調査によれば福井地震（1948）の時に福井平野の九岡町付近で扇状地における液状化がみられたと報告されている。この地区は九頭龍川の扇状地であるが、地下水位が非常に高く、かつ断層の上盤であったので、非常に加速度が大きかったために液状化が発生したと考えられる。砂礫地盤は非排水状態で条件が許せば液状化が発生するが、排水性の良い場合は液状化が発生しにくいと考えられる。

以上、地形・地質状況が地盤液状化と密接な関係にあり、液状化可能性を判定する概略調査に際し、



有用な情報になることがわかった。

ところで、一度液状化が発生した地点において、再び液状化が発生するかどうかということはむずかしい問題である。

栗林、龍岡ら<sup>6)</sup>は過去の大地震において再び液状化がみられた地点として7例あげており、一度液状化することによって再び液状化しないようになるとは言えないとしている。

運輸省の調査<sup>7)</sup>によると、1973年の根室半島沖地震の時に根室半島の花咲港の埠頭において、6月17日の本震の時には噴砂がみられなかった位置で6月24日の余震の時に噴砂現象が生じた。このことは一度地震動を受けた砂層がそれ以下の加速度の地震でも液状化し得ることを示している。

岩崎、川島、常田<sup>8)</sup>は宮城県沖地震で噴砂現象の生じた名取川中村地区では、同年2月の宮城県沖の地震(M=6.8)でもほぼ同一箇所噴砂現象のあったことを報告している。そして、この事実は入力地震動によって同一地点において繰返し液状化が発生することもありうるとしている。

一方、佐々木<sup>9)</sup>は宮城県沖地震および宮城県北部地震(1962)による河川堤防の被害調査を行ない同程度の地表加速度の地震が作用したと考えられる地域において、1962年の地震において液状化が発生したが、1978年の地震では液状化しなかった例、および両地震で液状化した例を示している。

## II N値、粒度試験結果を用いる簡易予測

### II-1 各種基準、指針による予測

地盤の液状化の予測を行なう簡易方法としては、通常N値や粒度試験結果を用いるものが多い。すなわち、一般的な地盤調査によって得られているデータに頼って、地震時液状化の可能性をみようとすることである。この方法は、次節で述べるSeedの方法、岩崎・龍岡の方法を除外すれば、各機関でだされている各種基準・指針に集約されていると考えてよかろう。

さて、それらの諸基準は液状化の可能性の推定法の違いにより次の2つの手法に大きく分けられる。

- 1) N値、粒径分布等により直接推定する方法
- 2) 繰返しセン断抵抗率 $F\ell$ を用いる方法

1)の方法は過去の地震による地盤の液状化経験に基づいて基準化されたものであり、極めて簡易にかつ直接的に液状化予測を行なうことができる。一方、2)の方法はN値、粒径分布等を用いて地盤の液状化に対するくり返し強さを求め、他方想定地震によって地震時地盤内に発生するセン断応力を計算することによって、両者の比 $F\ell$ (液状化に対する安全率)を算定するものであり、その値により液状化の判定を行なおうとするものである。この方法は液状化のメカニズムを考慮しており、また液状化の程度を $F\ell$ という連続量で表わしている点で、1)の方法よりすぐれているといえよう。

#### a. 繰返しセン断抵抗率 $F\ell$ を用いる方法

繰返しセン断抵抗率 $F\ell$ は次式によって求められる。

$$F\ell = \frac{\tau\ell}{\sigma'_v} \bigg/ \frac{\tau_d}{\sigma'_v} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

ここに  $\tau\ell$  ; 繰返し強さ

$\tau_d$  ; 繰返しセン断応力

$\sigma_v$  ; 有効上載圧

式(5.4.1)中、分母は地震時地盤内に発生するせん断応力比であり、地表最大加速度の関数である。また、分子は液状化に対する抵抗応力比を表わし、N値や平均粒径( $D_{50}$ )等から推定される。いま仮に、計算結果が $F\ell < 1$ ならば、地震によって地盤内に発生するせん断応力が地盤の液状化に対するせん断強度よりも大きいということになり、液状化するという判定がなされることになる。

この種の判定を行なうものとして、「道路橋示方書」と「捨石・鉋さいたい積場建設基準」の2つの基準があげられる。

以下その内容について述べる。

i) 道路橋示方書 V耐震設計編(日本道路協会、S55.5)<sup>10)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕「耐震設計上土質定数を低減させる土層」に関する条文に「流動化する砂質土層」として規定がある。

〔判定方法〕地下水位面が現地盤面から10m以内にある沖積層で、かつ現地盤面から20m以内の範囲における平均粒径 $D_{50}$ が0.02mm以上2.0mm以下である飽和砂質土層は地震時に液状化する可能性があるとして、次式によって液状化の判定を行なう。

$$F\ell = R/L \quad (5.4.2)$$

$$R = R_1 + R_2 \quad (5.4.3)$$

$$L = rd \cdot Ks \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \quad (5.4.4)$$

$$rd = 1.0 - 0.015x \quad (5.4.5)$$

$$Ks = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot Kso \quad (5.4.6)$$

ここに

$F\ell$  ; 液状化に対する抵抗率

$R$  ; 動的せん断強度比

$L$  ; 地震時せん断応力比

$rd$  ; 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

$Ks$  ; 液状化の判定に用いる地表面での水平震度

$\sigma_v$  ; 全上載圧( $Kg/cm^2$ )

$\sigma_v'$  ; 有効上載圧( $Kg/cm^2$ )

$R_1$  ; N値と有効上載圧 $\sigma_v'$ の関数で表わされる動的せん断強度比の第1項であり、図5.4.10による。

$R_2$  ; 平均粒径 $D_{50}$ の関数で表わされる動的せん断強度比の第2項であり、図5.4.11による。

$\nu_1$  ; 地域別補正係数

$\nu_2$  ; 地盤別補正係数

$\nu_3$  ; 重要度別補正係数

$Kso$  ; 液状化の判定に用いる標準設計水平震度(0.15とする)

$x$  ; 地表面からの深さ(m)

〔対策〕判定を行なった結果、液状化すると判定された砂質土層は $F\ell$ の値に応じて耐震設

計上土質定数を低減させるとしている。その場合の土質定数はその土層が液状化しないものとして求めた土質定数に表 5.4.3 の係数  $D_E$  を乗じて算出する。

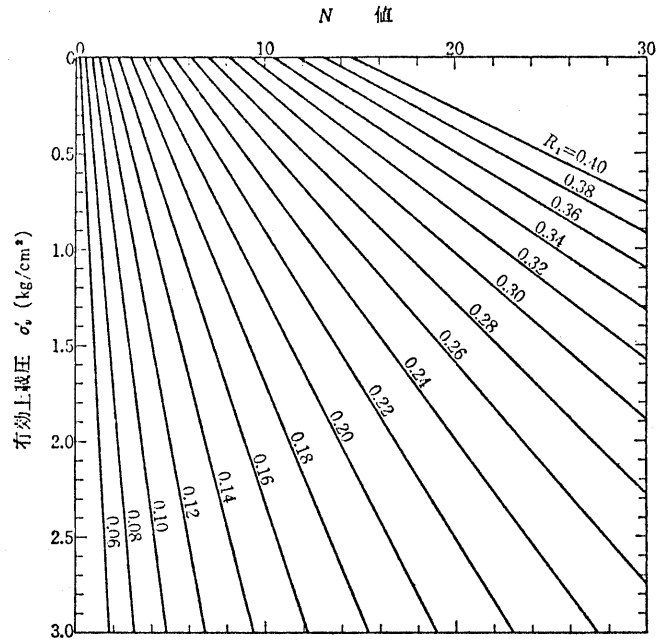


図 5.4.10 N 値，有効上載圧  $\sigma'v$  と動的せん断強度比の第 1 項  $R_1$  の関係

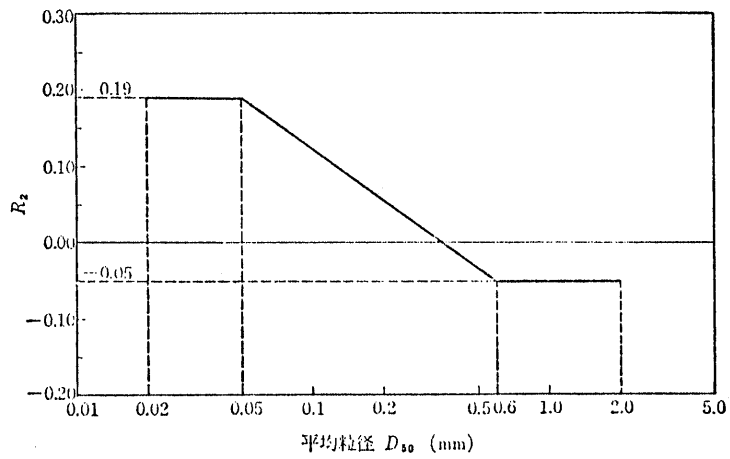


図 5.4.11 平均粒径  $D_{50}$  と動的せん断強度比の第 2 項  $R_2$  の関係

表 5.4.3 土質定数に乗じる係数

$F_L$ の 範 囲	現地盤面からの 深度 $x$ (m)	土質定数に乗じ る係数 $D_E$
$F_L \leq 0.6$	$0 \leq x \leq 10$	0
	$10 < x \leq 20$	$\frac{1}{3}$
$0.6 < F_L \leq 0.8$	$0 \leq x \leq 10$	$\frac{1}{3}$
	$10 < x \leq 20$	$\frac{2}{3}$
$0.8 < F_L \leq 1.0$	$0 \leq x \leq 10$	$\frac{2}{3}$
	$10 < x \leq 20$	1

ii) 捨石・鈹さいたい積場建設基準（日本鈹業協会、S 55.3）<sup>11)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕条文中「液状化の判定等」のところで、かん止堤及び基礎地盤の地震時安定解析の手法が示されており、それとの関連をもって液状化の可能性の判定法が規定されている。

〔判定方法〕図 5.4.1 2 は地震時安定解析のフローチャートである。通常の地震時安定解析(1)の結果、安全率が所定の範囲内にあることがわかった場合、次に液状化の可能性の程度を調べる必要がある。いくつかの条件はつけられているが、かん止堤内の浸潤水位の推定位置の高さによって、液状化の可能性が高いとみなされた場合は「地震時安定解析(2)」を、そうでない場合は「地震時安定解析(3)」を行なうものとしている。いずれも、下記に示す液状化の計算を行ない、その結果得られる  $F\ell$  値の大小によって地震時に発生する過剰間隙水圧の推定を行ない、この液状化による過剰な間隙水圧を考慮して安定解析を実施するよう条文中で規定している。

① 液状化の可能性が高い場合

$$F\ell = R/L \quad (5.4.7)$$

$$R = 1.2 R\ell \quad (5.4.8)$$

$$L = 4/3 Kh (\sigma_v/\sigma_v') (1-0.025 Z) \quad (5.4.9)$$

or

地震応答解析結果

ここに

$R\ell$  ; 振動三軸試験から得られる繰返し応力比

$Kh$  ; 設計震度

$Z$  ; 地表面からの深さ (m)

② 液状化の可能性がある場合

$$F\ell = R/U \quad (5.4.10)$$

$$R = 1.2 R\ell \quad (5.4.11)$$

$$L = 4/3 Kh (\sigma_v/\sigma_v') (1-0.025 Z) \quad (5.4.12)$$

ただし、 $R\ell$  は堆積物の内容により次の3つの予測式により算定する(図 5.4.1 3)。

- ① 黒鉱鉱床の採掘等により生ずる捨石、又は鉱さいよりなる築堤材料、又はたい積物の場合

$$Rl = 0.088 \sqrt{\frac{N}{0.1\sigma_v' + 0.7}} + 0.20$$

- ② ①以外の捨石、又は鉱さいよりなる築堤材料、又はたい積物の場合

$$Rl = 0.088 \sqrt{\frac{N}{0.1\sigma_v' + 0.7}} + 0.085 \log_{10} \frac{0.50}{D_{50}}$$

ただし、 $R_{\min} = 0.15$

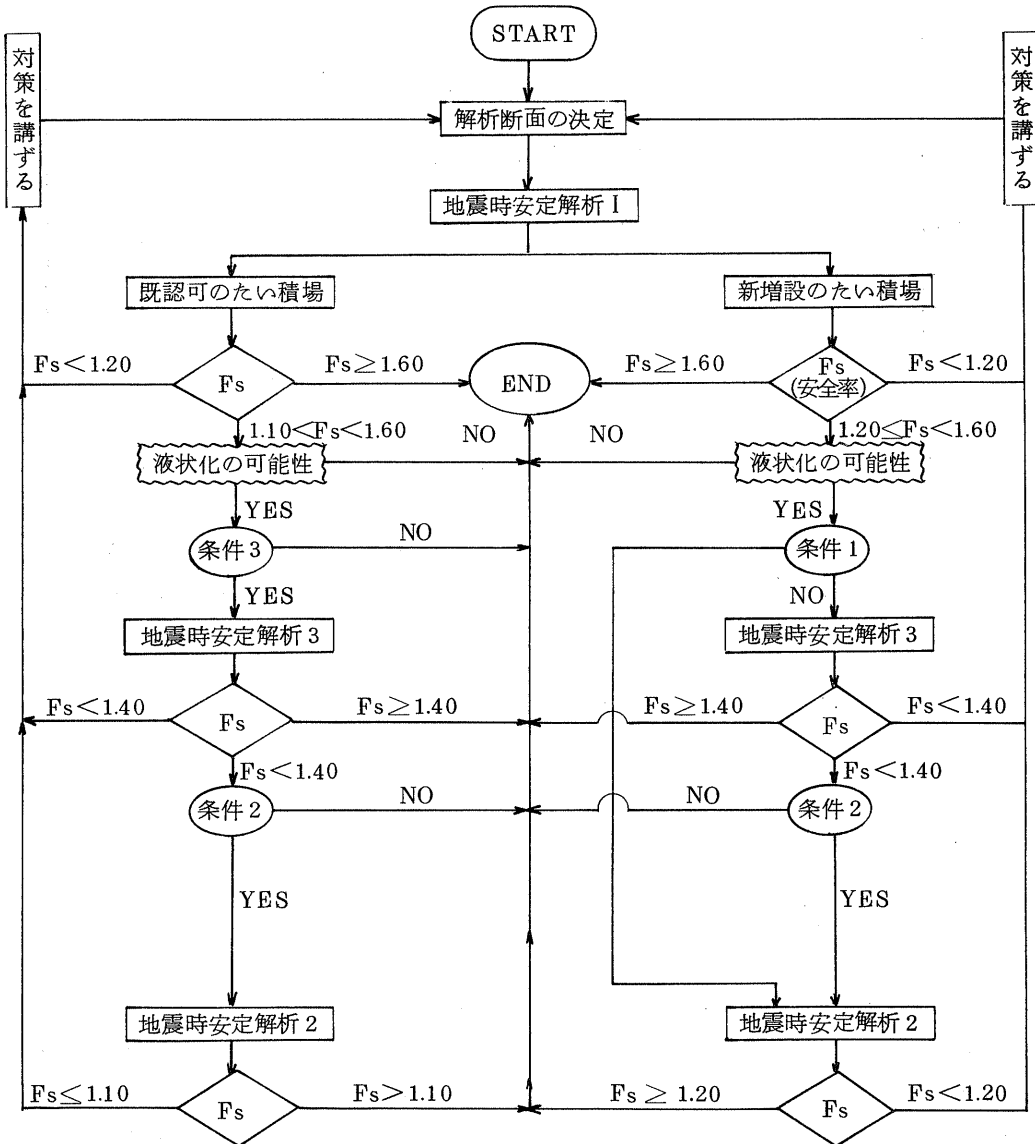
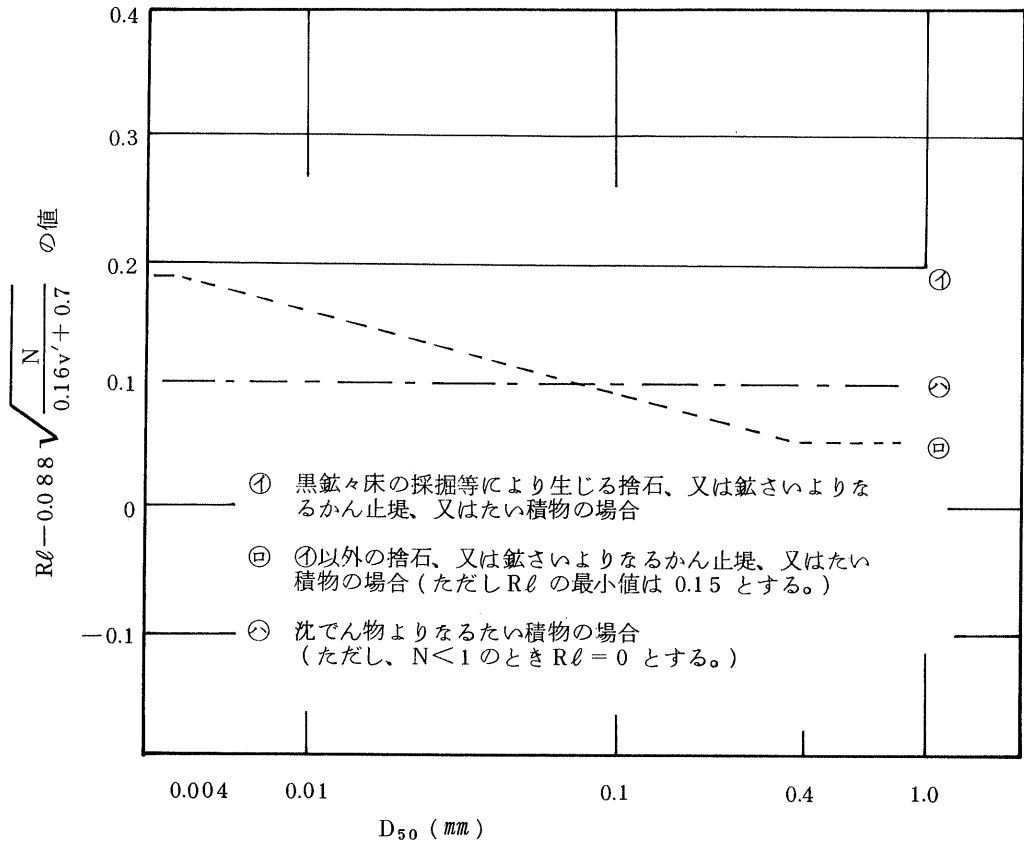


図 5.4.12 たい積場の地震時安定解析フローチャート



- (注) 1.  $D_{50} < 0.004$  ミリメートル及び  $D_{50} > 0.4$  ミリメートルのときはそれぞれ  $D_{50} = 0.004$  ミリメートル及び  $D_{50} = 0.4$  ミリメートルとして計算する。
2. 捨石、又は鉱さい及び沈でん物よりなる混合たい積物については、当該たい積物に占める捨石、又は鉱さい及び沈でん物の量により①、②、③の式のいずれかを使うものとする。

図 5.4.13 Rl と粒径の関係図

③ 沈殿物よりなるたい積物の場合

$$Rl = 0.088 \sqrt{\frac{N}{0.1\sigma v' + 0.7}} + 0.10$$

ただし、 $N < 1$  のとき  $Rl = 0$

b. N値、粒径分布等より直接推定する方法

粒径分布は別条件として、相対密度との関係でN値がある値（これを、限界N値と呼ぶ）より大きいかな否かで、ゆるいかな否か、そして液状化し易いかな否かを判定する方法である。以下、各基準の内容について、それらが出された年代順に従って述べてゆくことにする。なお、諸基準のうちいく

つかは既に土田<sup>12)</sup>がまとめを行なっている。

(1) 土地改良事業計画設計基準（農林省農地局）<sup>13)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕フィルダムの設計に関する部分でルーズな地盤上のダムとして、液状化による砂礫を防止するために適切な処置を施さなければならないと規定している。

〔判定方法〕条文において、低塑性で集中粒径の微砂などから成って、相対密度の小さい場合に液状化の可能性があるとしている。解説で、各種土質の液状化に対する抵抗性を表5.4.4のように順位づけて示している。また、相対密度50%以上の砂は液状化現象を起こしにくいこと、軟弱粘土の上にあるルーズな砂は特に液状化しやすいこと、およびあらい砂ほど、また粒度配合が良い砂ほど液状化の可能性が少なくなるとしている。なお、相対密度50%の時の有効上載圧とN値の関係を参考にあげている。

〔対策〕ルーズな材料を取り除いて良い材料と置換する方法および相対密度を増加させる方法とがあり、さらに後者には、転圧、爆発によって締め固める方法、パイプロフレーション工法、タイ打ち法などがあると述べている。

表5.4.4 ルーズ地盤における各種土質の流動化に対する抵抗率<sup>13)</sup>

順位	塑性指数	土性および粒度配合
①	15 以上	高塑性粘土
②	6 以上	中塑性粘土または粒度配合のよい粗砂または切込み砂利
③	6 以下	低塑性の粒度配合のよい砂利、砂、シルト混合物
④	6 以下	集中粒径の微砂と丸形粗シルトの混合物

(2) 建造物設計標準解説（基礎構造物）（日本国有鉄道）<sup>14)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕基礎の設計に用いる土質諸数値に関する条文に「地震時荷重に対する補正、流動化する砂質土層」として規定がある。内容は条文および解説を総合すれば、道路橋耐震設計指針・同解説（1972）の条文で規定していたものとほとんど同じ内容になっている。

〔判定方法〕つぎの条件に合致するものを液状化する砂質土層としている。

- i) 深さ10mより浅いところにある飽和砂質土層
- ii) 原位置における標準貫入試験のN値が10以下
- iii) 均等係数が6以下
- iv) 粒径加積曲線のD<sub>20</sub>（加積通過率20%に対応する粒径）が0.04～0.5mmの間にある。

また、特に検討を加えた場合はこの条項によらなくてもよいことになっている。

〔対策〕耐震計算上支持力を無視する。

(3) 建築基礎構造設計基準・同解説（日本建築学会）<sup>15)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕基礎の設計における地盤の許容支持力度に関する条文で液状化現象に留意すべきことを規定し、解説で判定基準および対策を示している。

〔判定方法〕およそつぎのような諸条件にあてはまる砂層を液状化現象の検討を必要とする地盤としている。

- i) 地表面から15mないし20mの深さ以内にある。
- ii) 純粋な砂層で、粒径が均一な中粒砂からなる。  
 シルト・粘土含有量 10%以下  
 平均粒径  $D_{50} = 0.075 \sim 2.0\text{mm}$  特に  $D_{50} = 0.15 \sim 1.0\text{mm}$   
 均等係数 10以下、特に5以下
- iii) 地下水位下において水で飽和している。
- iv) 締めり方が悪く標準貫入試験のN値が図5.4.14の危険範囲にある。図5.4.14は震度0.2を対象としたものである。

上記のほかに、より詳細な検討方法を示す論文が紹介されている。

〔対策〕 対策として次のものが示されている。

- i) 締め固めによる相対密度の増大
- ii) 液状化しにくい粒径の土による置換
- iii) 地下水位の低下

上記のほかに、新潟地震の際に、液状化しない深い支持層中に十分打ち込まれたクイによって支持された構造物の被害が少なかったことが指摘されている。なお地下壁周囲の地盤が液状化すると側圧が増加するので検討を要することも述べられている。

(4) 危険物の規制に関する規則(消防庁)<sup>16)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕基礎および地盤に関する条文において、液状化しない地盤であるべきことを規定している。ただし、液状化という用語は用いられなく、次に示す判定に該当する地質以外であるべきことといったような表現となっている。

〔判定方法〕技術上の基準の細目を定める告示において、次の諸条件に該当する砂質土は適合しないとしている。

表5.4.5 限界N値

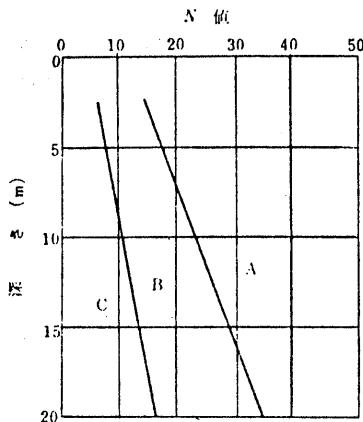


図5.4.14 液状化の危険性とN値

10%を起えて35%未満	5%以上10%以下	5%未満	細粒分含有率	
6	8	12	A	標準貫入試験値
7	12	15	B	



- i) 基礎の上面から3m以深で、地表面からの深さが15mまでにある。
- ii) 地下水によって飽和されている。
- iii) 平均粒径 $D_{50}$ が2mm以下である。
- iv) 細粒分(74 $\mu$ 以下)の含有率に応じて、標準貫入試験のN値が表5.4.5に示した値以下である。

(5) 港湾の施設の技術上の基準(日本港湾協会)<sup>17)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕砂質土の液状化として、緩く詰まった飽和砂質土層の液状化を考慮すべきことを条文中で指適している。液状化するか否かの判定方法および対策は解説で述べられている。

〔判定方法〕液状化するか否かの予測を次のいずれかで行なうようにされている。

- i) 粒径分布及びN値による方法
- ii) くり返しセン断試験による方法
- iii) 砂層の振動試験による方法

これらのうちいずれの方法をとるかは、対象とする構造物の重要性を考慮して決めるようにされている。ただし、iii)では地盤の応力状態を再現するのが困難であり、また必要な試料の量も多いので、通常はi)かii)を用いると述べられている。

i)の方法で予測を行なう場合には、図5.4.15に示した液状化の可能性のある土の粒度分布の範囲に含まれる土で、かつ地盤のN値が図5.4.16に示した液状化に対する限界N値よりも小さいときに液状化の発生が予測されるとするのを標準にしている。図5.4.16の点線は相対密度が約80%のN値に対応している。相対密度が80%をこえると液状化の可能性は小さいと考えられるため、対象地盤のN値が直線(A)と点線の間の範囲にある場合には液状化の可能性は小さいと判断してよい、と述べられている。また、直線(B)を用いる場合には、根拠となるデータが少ないので、十分慎重に行なわなければならないと述べられている。

ii)の方法で予測を行なう場合には、地震時に対象地盤に生じるセン断応力を推定し、このセン断応力に対して液状化現象が発生するか否かを振動セン断試験により判定するように述べられている。

〔対策〕対策として次のものがあげられている。

- i) 対象地盤を改良し液状化の可能性がないようにする。
- ii) 液状化現象が発生しても構造的に致命的な被害が生じないように構造物を設計する。

なお、ii)の対策を行なう場合は、液状化した地盤のセン断抵抗は無視するように決められている。

(6) LNG地下式貯槽指針(日本瓦斯協会、液化天然ガス用貯槽保安調査委員会)<sup>18)</sup>

〔液状化現象の取扱い〕盛土及び地盤改良に関する条文中で、地盤の液状化の可能性について判定し、躯体、貯槽の周囲の盛土及び周辺の構造物に与える影響を検討するように規定されている。また、その解説において、地下式貯槽の底部は一般に安定した支持層に設置されるので底部付近での液状化の可能性はないこと、地表面付近で液状化が発生した場合躯体への影響は少ないが、貯槽の周囲の盛土又は周辺の構造物に影響を与えることが考えられると述べられている。

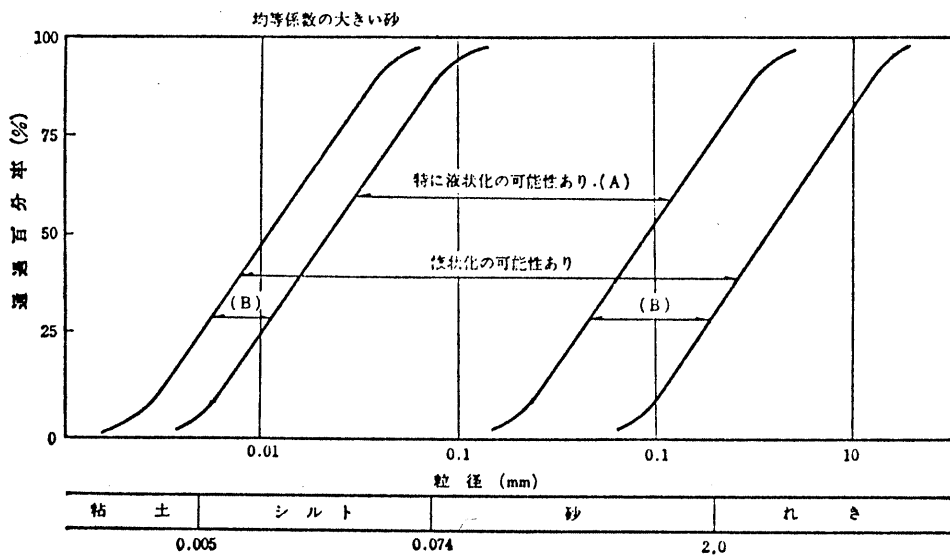
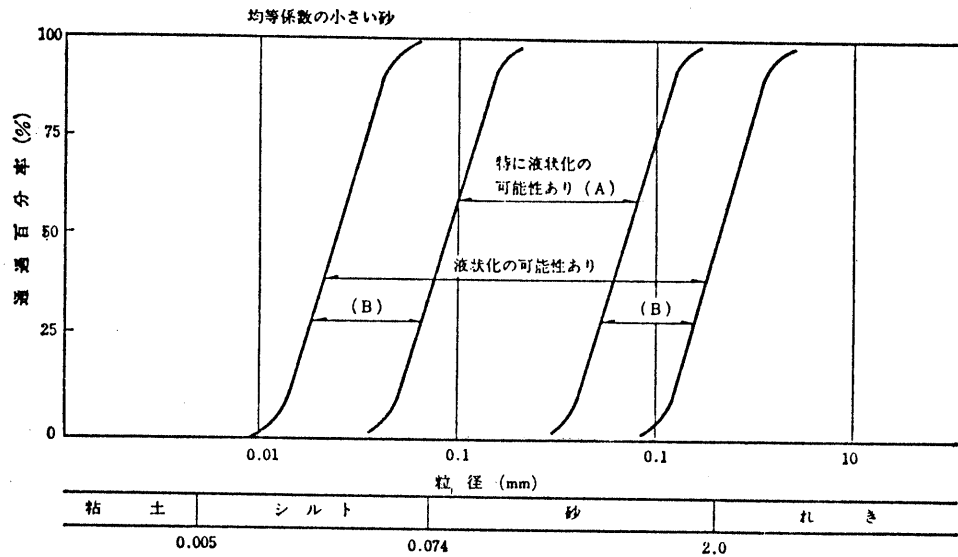


図 5. 4. 15 液状化の可能性のある土の粒径分布

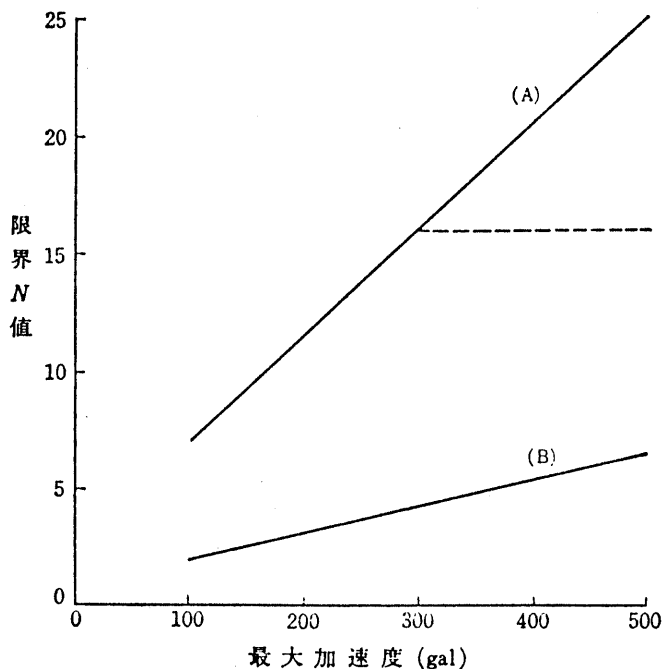


図 5.4.16 液状化に対する限界 N 値と地震最大加速度

〔判定方法〕次のすべての条件に適合する地盤は地震時に液状化する可能性があるとして条文で定められている。

- i) 地下水によって飽和されている。
- ii) 地表面から 1.5 m 以内にある。
- iii) 平均粒径  $D_{50}$  が 2.0 mm 以下である。
- iv) 細粒分 (74  $\mu$  以下) 含有率が 35% 以下の砂質土である。
- v) 細粒分含有率に応じ、標準貫入試験の N 値が図 5.4.17 の限界値以下である。

ただし、N 値は自然地盤においては平均をとり、砂グイ工法などで締固めた地盤では砂グイと砂グイの間接点の値をとるように決められている。

なお、解説において、上記の判定基準より液状化しないと判定される場合でも、細粒分だけの塑性指数が 1.5 以下または日本統一土質分類法により ML と分類される土は、液状化する可能性があるに注意するように述べられている。また、上記の基準で判定が困難な場合には、室内動的土質試験等を利用してさらに詳細な検討を加えることが望ましいと述べられている。

〔対策〕液状化対策として、必要に応じて液状化を防止するための適切な地盤改良等を行うことが条文に定められている。この具体的な方法として、密度を増加させる方法、液状化しにくい土に置きかえる方法、地下水を低下させる方法があり、一般には振動衝撃締固め工法が用いられていると解説の中で紹介されている。

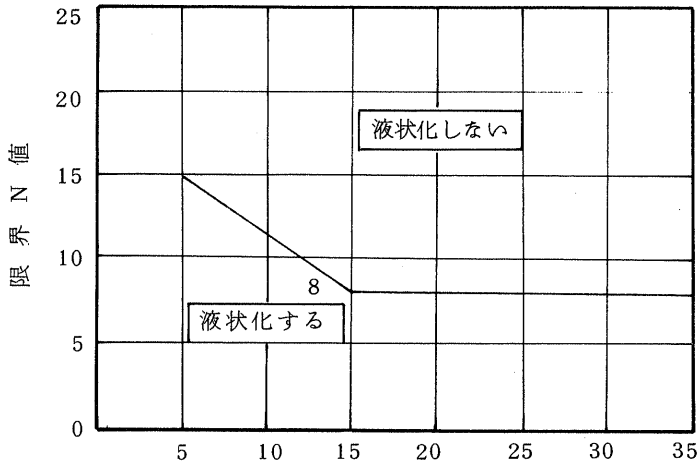


図 5.4.17 液状化を生じる土の細粒分含有率と限界 N 値<sup>18)</sup>

## II-2 主要研究者の提案式による予測

### a. 概 説

液状化の可能性を予測する場合、地震応答解析を行なって地盤内に発生するせん断応力を求め、室内液状化試験によって液状化抵抗を求めて、その両者を比較する方法がもっとも精密で望ましい。しかし、すべてのケースについてこのような解析を行なうことは不可能であり実用的ではない。そのため N 値、粒度試験結果等を用いる簡易予測手法がこれまでにいくつか提案されている。ここでは Seed の方法<sup>19)</sup> 岩崎・龍岡の方法<sup>20)</sup> について以下に述べる。これらの方法はほとんど共通した考え方に基づいており、地表最大加速度  $d_{max}$  を仮定して地震時地盤内に発生するせん断応力を推定し、一方で地盤の N 値、粒径分布等から液状化抵抗を推定して両者の比  $F\ell$  (液状化抵抗係数) を求めることによって液状化判定がなされる。これらの方法を用いると液状化するかないかだけでなく、液状化しやすさが  $F\ell$  という数値で与えられるので便利である。

### b. Seed の方法

液状化の簡易予測法として最初に発表された方法は Seed-Idriss<sup>21)</sup> の方法である。この方法は地震による地表面加速度を仮定して地盤内に発生する等価せん断応力を計算し、一方地震のマグニチュード、地盤の N 値、地下水位、平均粒径から液状化抵抗を図表を用いて計算して両者を比較する方法である。この方法は砂の液状化抵抗が相対密度と初期有効応力に比例するという仮定に基づいているが、その後の研究によりこの仮定を修正する必要があることが明らかになった。Seed はその後新しい予測法を案しているのでここでは新しい予測法について述べる。

図 5.4.18 に Seed の方法による簡易予測法の概略を示す。この方法は実際の地震による地盤の液状化の調査、室内実験の結果に基づいて提案されたものである。地震時に地盤中に発生する等価せん断応力  $\tau_d$  は地表面加速度  $\alpha_{max}$  を仮定することにより次式を用いて求めることができる。

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v'} = 0.65 \times \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \quad r_d \quad (5.4.13)$$

ここに、 $\sigma_v$  : 全土被り圧  
 $\sigma_v'$  : 有効土被り圧  
 $g$  : 重力加速度  
 $r_d$  : 深さによる低減係数

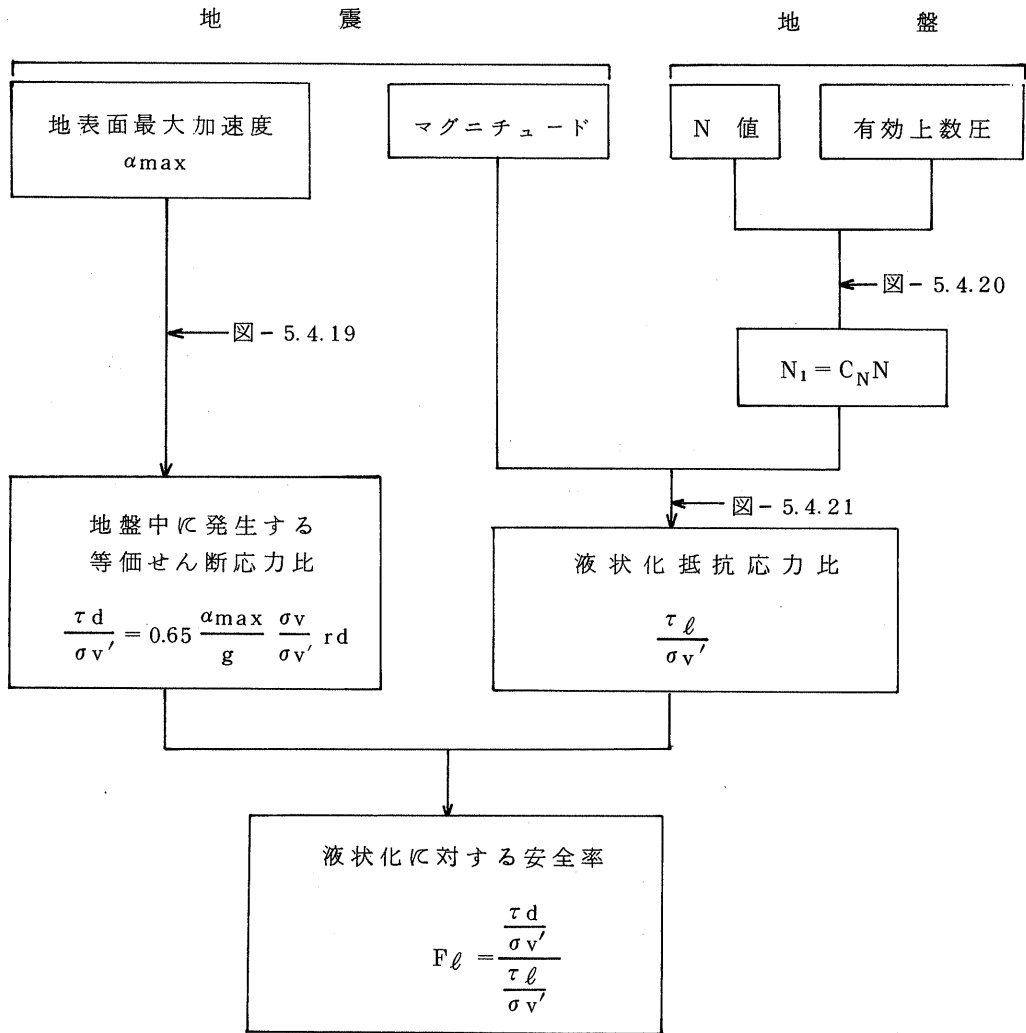


図 5.4.18 seed の方法による液化化の簡易予測法

式(5.4.13)の右辺の0.65は、地震時に地盤内に発生するせん断応力はランダムに変化するがその平均的な値は最大せん断応力の約65%になるということを表わしている。 $\tau_d$ を等価せん断応力と呼んでいる理由はランダムに変動するせん断応力を等価な正弦波的に変動するせん断応力に変換したためである。また、式(5.4.13)の $r_d$ は地中の深さ方向のせん断応力の低減係数であり、図5.4.19のような範囲にある。Seedは地盤内に剛体モデルを考え、その底面に働くせん断応力(=  $0.65 \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \sigma_v'$ )に、 $r_d$ という実際の地盤では変形があるということ考慮した補正係数を乗じて、等価せん断応力 $\tau_d$ を求めようとしている。

一方液化抵抗は地盤のN値、有効上載圧、地震のマグニチュードより求められる。まず地盤のN値を図5.4.20の係数 $C_n$ を用いて次式により換算 $N_1$ に変換する。

$$N_1 = C_n \cdot N \quad (5.4.14)$$

次に地震のマグニチュードを仮定して図5.4.21を用いて地盤の液化抵抗応力比 $\tau_e/\sigma_v'$ を求める。ただし、ここで用いるN値は泥水を用いてボーリング孔を掘削し、ロープとプーリーを用いてハンマーを落下させた場合のN値であり、ハンマーを自由落下させて求めた値より80%程度大きくなると言われている。式(5.4.14)による換算は図5.4.20に見られるように有効上載圧が1 ton/ft<sup>2</sup>の時のN値に換算することを意味している。

以上のようにして求められた $\tau_d/\sigma_v'$ と $\tau_e/\sigma_v'$ の比を液化化に対する安全率と定義することができる。

$$F\ell = \frac{\frac{\tau_d}{\sigma_v'}}{\frac{\tau_e}{\sigma_v'}} \quad (5.4.15)$$

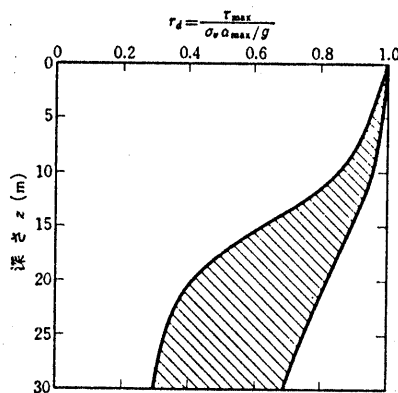


図5.4.19 動的せん断応力低減係数  $r_d$  の範囲  
(Seed・Idriss, 1971)

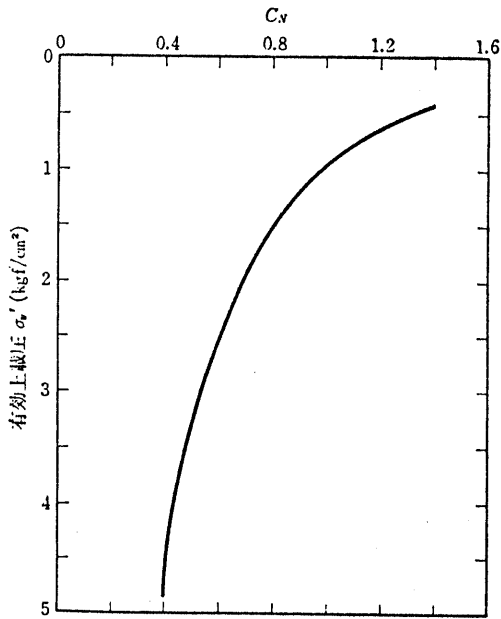


図 5.4.2.0 有効上載圧に関する N 値の換算係数 (Seed, 1979)

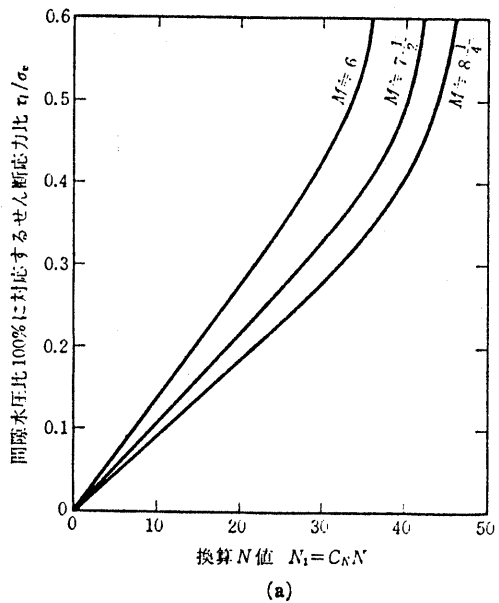


図 5.4.2.1 限界 N 値 (Seed, 1979)

c. 岩崎・龍岡の方法

岩崎・龍岡等は室内繰返し三軸試験結果に基づいて地震による地表面最大加速度、地盤の N 値、平均粒径  $D_{50}$ 、有効上載圧を用いる簡易予測法を提案した。図 5.4.2.2 にその概要を示す。

地震時に地盤内に発生するせん断応力の推定法は前述の Seed の方法とほとんど同じであり、地表面最大加速度  $\alpha_{max}$  を仮定して次式により求められる。

$$L = \frac{\tau_{max}}{\sigma'_v} = \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r'd' \quad (5.4.16)$$

$$r'd' = 1 - 0.015Z \quad (5.4.17)$$

ここに  $Z$  : 地表面からの深さ (m)

Seed の方法と異っている点は式 (5.4.16) では最大せん断応力になっているのに対して Seed の方法では等価な一様振幅のせん断応力になっている点である。式 (5.4.16) 中の  $r'd'$  は地盤の弾性的性質に起因した深さ方向の低減係数であり地盤が異なると当然変わってくるが、岩崎・龍岡等は地震応答計算結果の平均的な値として式 (5.4.17) を提案している。

一方不攪乱砂質試料の繰返し三軸試験より ( $\sigma'_v = 0.2 \sim 1.7 \text{ Kg f/cm}^2$ 、 $D_{50} = 0.04 \sim 1.5 \text{ mm}$  の正規圧密された埋立砂・および沖積砂について)、地盤の液化抵抗応力比  $R$  は、N 値と  $D_{50}$  との間に以下に示すような関係があることが明らかにされた。

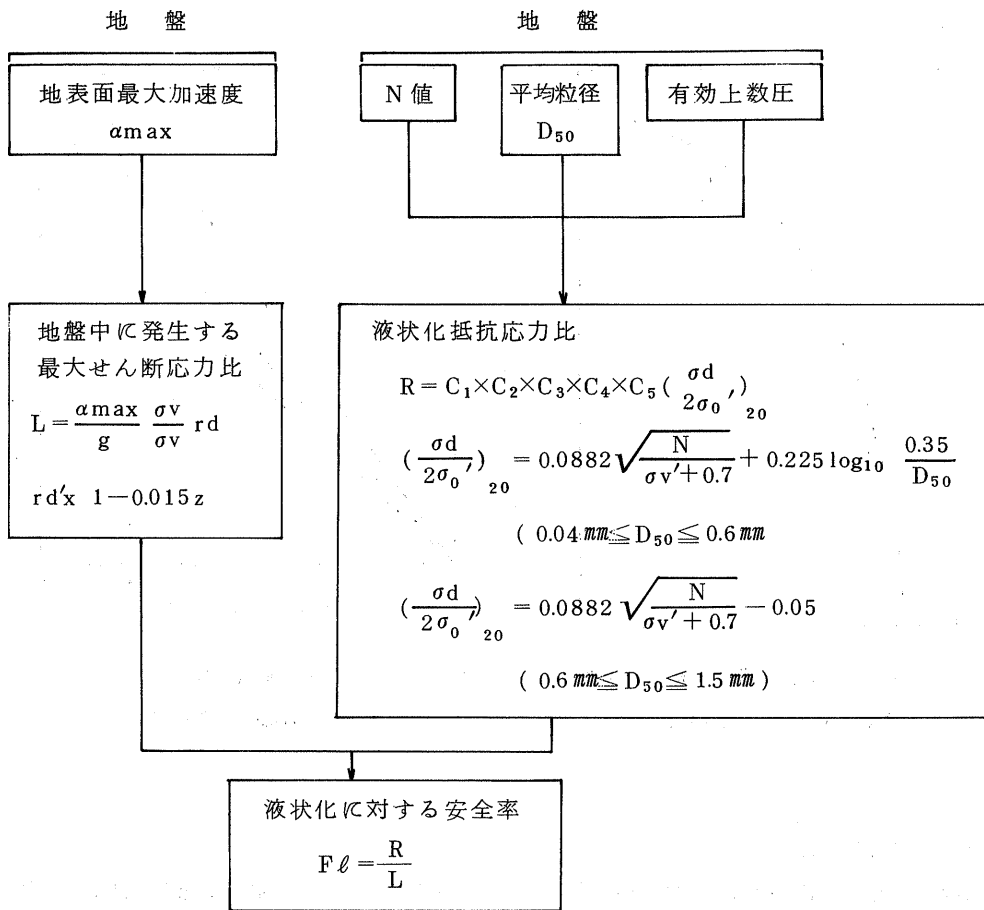


図 5.4.2 2 岩崎・龍岡の方法による液状化の簡易予測法

$$R = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times \left( \frac{\sigma_d}{2\sigma'_0} \right)_{20} \quad (5.4.18)$$

$$\left( \frac{\sigma_d}{2\sigma'_0} \right)_{20} = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.225 \log_{10} \frac{0.35}{D_{50}}$$

( 0.04 mm ≤  $D_{50}$  ≤ 0.6 mm )

( 5.4.19 )

$$\left( \frac{\sigma_d}{2\sigma'_0} \right)_{20} = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} - 0.05$$

( 0.6 mm ≤  $D_{50}$  ≤ 1.5 mm )



## 宮城県周辺の被害地震表

宇佐美竜夫著「資料日本被害地震総覧」より



仙台・その周辺の過去の被害地震(2)

番号	日本暦 西暦	北緯	東経	マグニ チュード	地域・被害摘要
23 (海)	貞観11 V 26 869 VI 13	38.5°	143.8°	8.6	三陸沿岸：城廓、門櫓、垣壁くずれ、倒壊するもの無数、津浪多賀城下を襲い、溺死者約1,000人、流光昼の如く隠映すという
97 (海)	慶長16 X 28 1611 XII 2	38.2°	143.8°	8.1	三陸および北海道東岸：三陸地方で強震、震害軽く、津浪の被害大、伊達領内で死者1,783人南部、津軽で人馬死3,000余、三陸地方で家屋流出多く、溺死者1,000人をこえた。岩沼付近でも家屋皆流失、北海道東部でも溺死者多かった。
100 (沿)	元和2 VI 28 1616 9	38.1°	142.0°	7.0	仙台：仙台城破損、津波あり、江戸で有感、10月28日に陸中に地震あり、釜石、大槌、鶴住居に津波あり、死者多しというも1611年の誤りか？
112 (沿)	正保3 IV 26 1646 VI 9	37.7°	141.7°	7.6	陸前：仙台城の石壁数十丈くずれ、櫓3つ倒れる。白石城破損、東照宮の垣破損、江戸でも強かった。
132	寛文8 VII 21 1668 VIII 28			5.9	仙台：仙台城の石垣くずれる。江戸で有感。
155	元祿9 XI 1 1690 XI 25				陸前：石巻川の舟300余、船頭所在を失し、溺死した。浦浜に水溢れる。地震記事が見当たらず、風津浪か。
176 (内)	享保16 IX 7 1736 X 7	37.9°	140.6°	6.6	岩代：桑折で家屋300余くずれ、橋84落ちる。
180 (内)	享保21 III 20 1731 IV 30	38.3°	140.8°	6.2	仙台：所々破損があった。
203 (沿)	明和9 V 3 1772 IV 3	39.3°	142.7°	7.4	陸前、陸中：山田、大槌、沢内などで山くずれ、人馬が死んだ。仙台領でも倒壊多かった。
213 (沿)	寛政5 I 7 1793 II 17	38.3°	142.4°	7.1	陸前、陸中：仙台湾で1,060余戸壊れ、死12、津浪があり、両石で17戸流出、死者12~13人波高は大船渡で9尺。

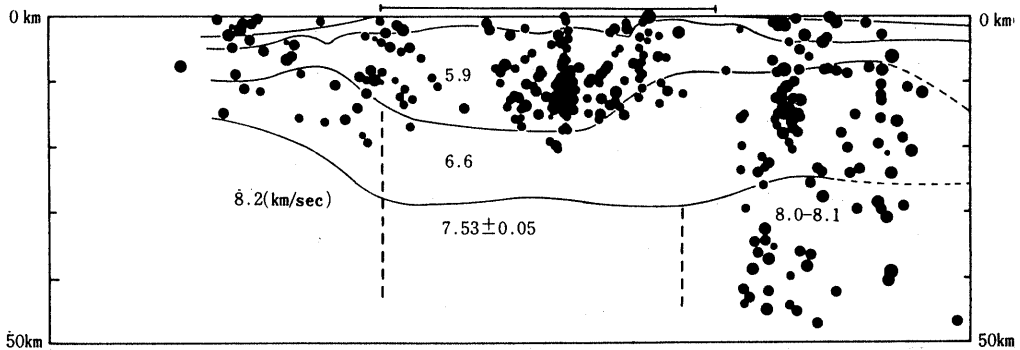
番号	日本 西暦	北緯	東経	マグニ チュード	地域・被害摘要
236 (沿)	天保6 VI 25 1835 VII 20	37.9°	141.9°	7.6	仙台：城の石垣がくずれ、家土蔵に破損あり。 羽前最上部に大地震があった。江戸で有感。
237	天保7 VII 25 1836 IX 5			5.9	仙台：仙台市内で家屋が破損したが、詳細は不明、疑わしい、あるいは236番の地震と同じか。
270 (沿)	文久1 IX 18 1861 X 21	37.9°	141.6°	6.4	陸前、陸中、磐城：仙台城破損、壊家、死者あり。陸前で被害多く、津波があり綾里で波高4m。
296 (沿)	明治30 II 20 1897	38.1°	141.5°	7.8 (7.3)	仙台沖：岩手、山形、宮城、福島で小規模の被害、一の関で家屋破損が72。
297 (海)	明治30 VIII 5 1897	38.0°	143.7°	7.7 (7.2)	仙台沖：津波により三陸沿岸に小被害。盛町で2～3m、釜石で1.3m。
306 (内)	明治33 V 12 1900	39.0°	141.0°	7.3 (6.8)	宮城県北部：遠田郡で最も激しく、県全体で、死傷17人、家屋全壊44、半壊48、破損1,474。
327 (海)	大正4 XI 1 1915	38.9°	143.1°	7.5 (7.0)	石巻沖：小津波、石巻辺で屋上の天水橋転落。
354 (沿)	昭和11 XI 3 1936	38.2°	142.2°	7.7	金華山沖：福島、宮城両県で非住家全壊3、その他小被害もあった。
385 (沿)	昭和31 IX 30 1956	38.0°	140.6°	6.1	阿武隈川下流：白石付近で死1人、非住家倒壊3、その他小被害
397 (内)	昭和37 IV 30 1962	38.7°	141.1°	6.5	宮城県北部：築館、石越、小牛田付近径40kmの範囲に被害が集中した。死者3人、住家全壊369、半壊1,542、橋梁、道路、鉄道の被害が多かった。

理科年表(53年度版)

卷 末 資 料

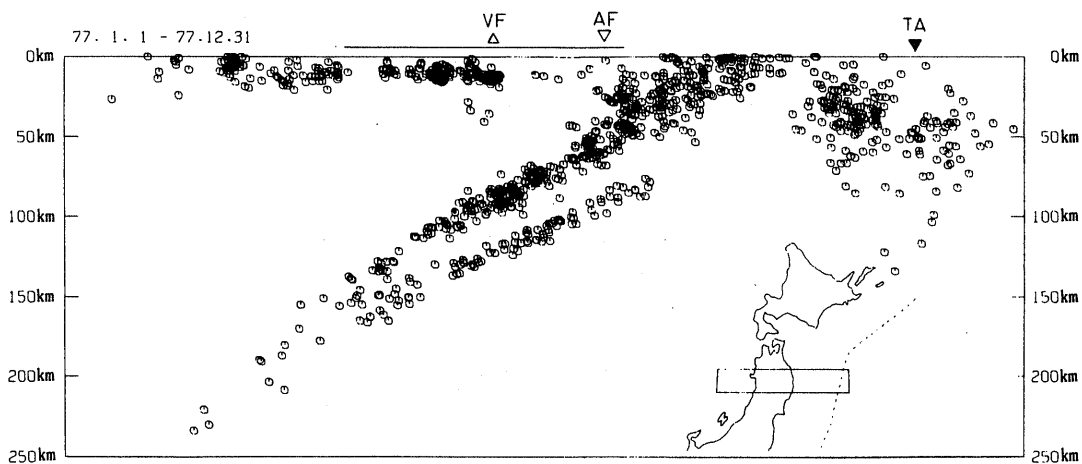


図II-4-2 男鹿-気仙沼測線に沿う鉛直断面における地殻構造と微小地震の震源分布<sup>1)</sup>



測線を中心に幅60kmの帯状領域に発生した地震の震源が図示されている。内陸部は図の上部の線分で示され、その右側が太平洋、左側が日本海である。図中の数字はP波速度を表わす。

図II-4-3 東西鉛直断面における北緯39度から40度の稍深発地震の深さ分布<sup>1)</sup>



VF：火山フロント，AF：アサイズミック・フロント，TA：海溝軸

震源の深さ分布例<sup>1)</sup>

1731 X 7 (享保16 K 7)

岩代  $\lambda = 140.6^\circ\text{E}$   $\varphi = 37.9^\circ\text{N}$   $M = 6.6$  [I] 桑折で家屋300余崩れ、橋84落ちる。白石城の石垣崩れ、小原温泉で山崩れ泉脈絶ゆ。仙台に被害多し。津軽で有感。

1736 IV 30 (享保21<元文1>III 20)

仙台  $\lambda = 140.8^\circ\text{E}$   $\varphi = 38.3^\circ\text{N}$   $M = 6.2$  仙台でところどころ破損あり。

1861 X 21 (文久1 K 18)

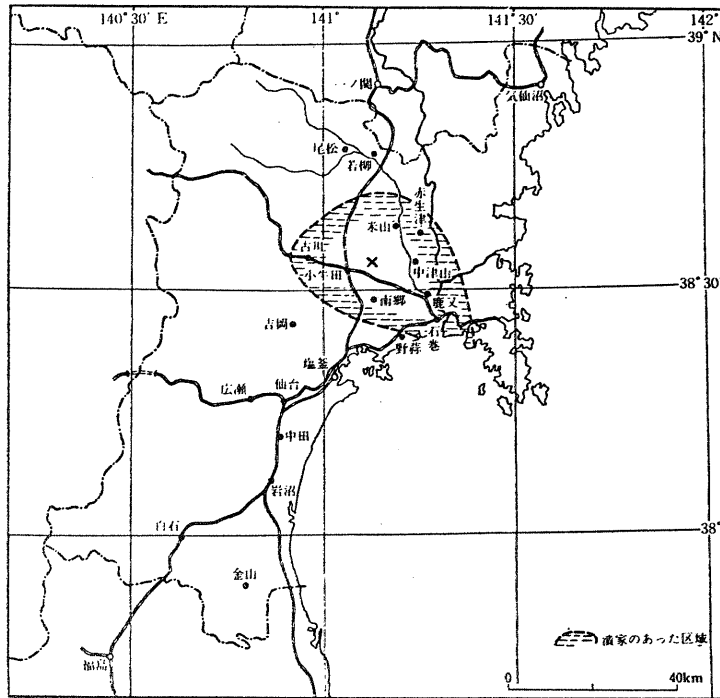
曉七ッ時陸中・陸前・磐城  $\lambda = 141.6^\circ\text{E}$   $\varphi = 37.7^\circ\text{N}$   $M = 6.4$  [III] 仙台城破損、綾里で津波(文久とのみあり年月日不明)の波高13尺(3.9m)。江戸有感、おもな被害は表(a)のとおり。津波記事を無視すると、被害域から  $\lambda = 141.1^\circ\text{E}$   $\varphi = 38.55^\circ\text{N}$  となる。〔津波規模2〕

+  
表(a) 被害状況

町	村	名	被害
陸前国 遠田郡	小牛田村	字北浦	潰家多く、死あり
	小牛田村	字下小牛田	破損あり、土蔵崩壊す
	南郷村		ところどころ人家つぶれ、破損多く、死あり
志田郡	古川町		土蔵の潰10余
栗原郡	尾松村	字栗原	家屋小破
	若柳町		土蔵小破
登米郡	米山町		潰11、死傷あり
	安生津	字二ッ屋	潰10、傷あり(赤生津か?)
桃生郡	中津山村	字寺崎	潰10余
	鹿又村		潰20余、死傷あり
	野蒜村		家破損、津波あり
黒川郡	吉岡町		器物の破損
仙台市			家屋破損、土蔵破る
宮城県	広瀬村	字上愛子	家屋破損3、道路亀裂
牡鹿郡	石巻町		家屋潰2~3
名取郡	中田村	字前田	家屋破損、壁崩る
	岩沼町		家屋小破損
磐城国 刈田郡	白石町		家屋破損、壁崩る
	伊具郡	金山町	土蔵の壁に亀裂



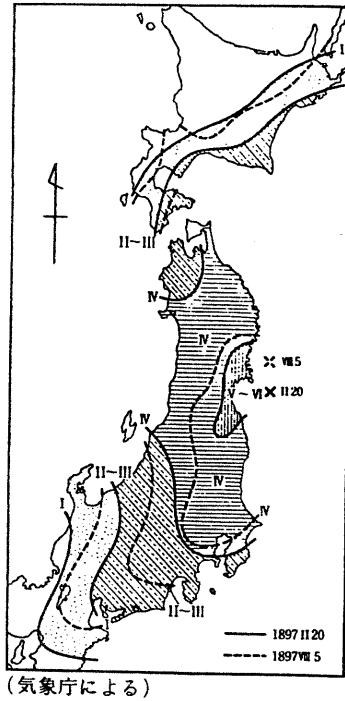
図(a) 被害地域



図(a) 被害地域

1897 II 20 (明治30) 05時50分

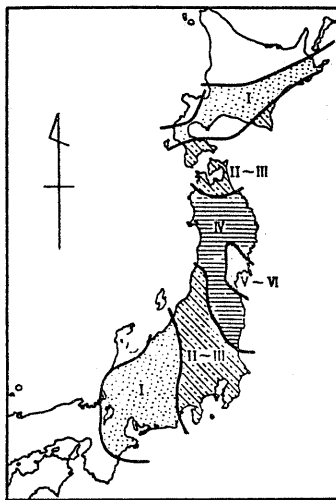
仙台沖  $\lambda = 141.5^{\circ}\text{E}$   $\varphi = 38.1^{\circ}\text{N}$   $M = 7.8$  (7.3) 被害範囲は広く、岩手・山形・宮城・福島 各県に及ぶ。しかし、被害は小規模。仙台の煉瓦作りの2階建てでは多少の亀裂のはいらないものはなかった。和風木造は壁の亀裂程度で無事。石巻で住家全倒1、半潰数10、地盤に亀裂を生じ、近くの蛇田・渡波・飯野辺で強くゆれた。岩手県では宮古で土蔵に小破損、久慈で微小被害、花巻で地裂け噴泥水、土蔵に小被害。とくに県南で強く揺れ、一ノ関で家屋の大破60、小破12、土蔵の大破23、小破44、煙突破損6、土蔵の亀裂60、山目村で家屋小破2、土蔵の大破5、小破29、亀裂25、中里村で家屋小破32、土蔵大破20、亀裂20。黄海(きみ)地方でも被害。その他土地の亀裂多し。福島で土蔵の破損等81、また、桑折、川俣、白河、山形県天童で小被害。金華山燈台も小被害。盛町で海水が3尺(0.9m)増潮した。石巻での当年中の余震173回。5月23日21時23分( $\lambda = 142^{\circ}30'\text{E}$ ,  $\varphi = 39^{\circ}\text{N}$ ,  $M = 7.5$  (7.0) ころにも地震があり、一ノ関で古い土蔵の壁土が落ちた。 $\lambda = 142.0^{\circ}\text{E}$ ,  $\varphi = 38.0^{\circ}\text{N}$ ととりたい。〔津波規模0〕参考：木村駿吉、1898、仙台市及付近震災被害調査報告、震災予防調査会報告、No.21 51-56



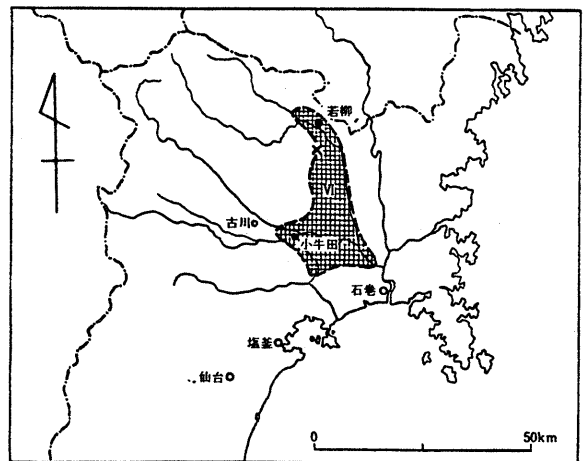
図(b) 震度分布

1900 V 12 (明治33) 02時23分

宮城県北部  $\lambda = 141.0^\circ\text{E}$   $\varphi = 39.0^\circ\text{N}$   $M = 7.3$  (6.8) 震央は  $\lambda = 141.1^\circ\text{E}$   $\varphi = 38.8^\circ\text{N}$ か?  
 遠田郡で被害最大、桃生・登米・志田の各郡も強かった。被害は文献により異なる。



図(c) 震度分布



図(d) 烈震域(点線)

表(b) 被害状況

郡名	死傷	家屋			道路堤防決壊	橋梁破損
		全潰	半潰	破損		
桃生	1	6	5	257	18	5
登米	2	7	4	190		
遠田	11	21	33	570		2
志田	2	7	4	400		
その他	1	3	2	57	2	

\* 黒川・名取・伊具・牡鹿・玉造・栗原の各郡

警察による統計は表(b)のようになっている。遠田郡南小牛田村は64戸のうち45戸が大破・転倒した。

柱が折れ、傾いた家が多かった。栗原郡若柳町で家屋全潰5、半潰2、破損27、土蔵崩壊20があった。仙台では壁の小亀裂にとどまり、塩釜で煙突倒れ、石垣が崩れた。地震前(?)に地鳴りがあった。範囲は盛岡と平を端とする楕円形の中では西は新庄まで聞こえた。

1933 III 3 (昭和8) 02時31分

三陸沖  $\lambda = 144.7^{\circ}E$   $\varphi = 39.1^{\circ}N$   $M = 8.3$   $h = 0 \sim 20$  km 三陸地震津波 地震による被害は少なく、三陸地方で壁の亀裂、崖崩れ、石垣・堤防の決壊があった程度。震後約30分～1時間の間に津波が北海道・三陸の沿岸を襲い大きな被害が出た。とくに、岩手県田老村田老では人口1,798人のうち、死763、傷118、戸数362のところ、358軒が流失し全滅といってよいほどの被害をうけた。また、その北の小本村小本でも、戸数145のところ流失77、人口792のうち死118もあった。綾里湾では波の高さが28.7mにも達し、白浜では戸数42のうち32が流失し、死66もあった。同村の港上、港下もほとんど全滅した。この津波は近代的な研究体制が整って初めてのものだったので各種の研究が行なわれ、V字形の湾、U字形の湾の順に波高が低く、遠浅の凹凸の少ない海岸では大津波にならないことが明らかにされた。今後の場合、北海道では一般に波は低く、襟裳岬付近でやや高かった(図(g))。

津波の振幅は銚子で10cm、宮崎15cm、鳥羽7.5cm。ハワイ島のKonaでは3mで小被害を伴い、Californiaで10cm、チリのIquiqueで20cmであった。津波の波源はかなりの広がりをもっている。

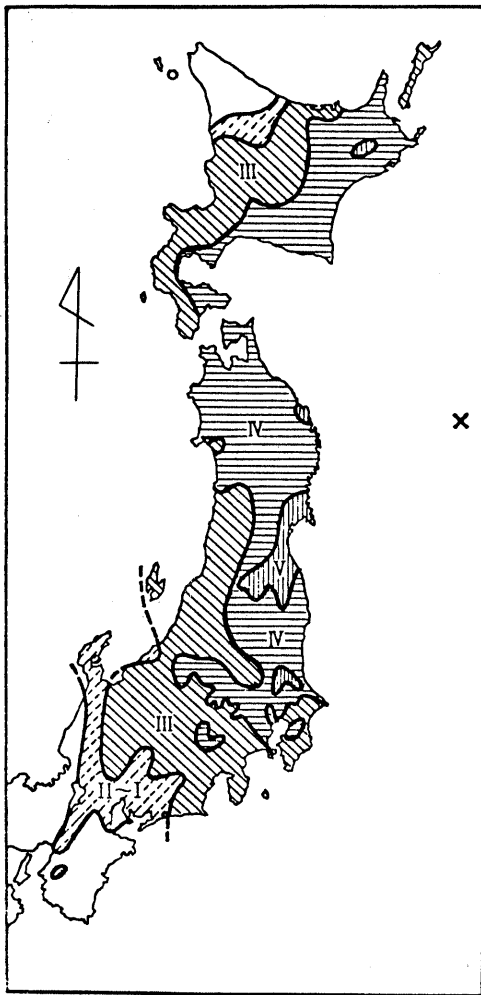
この場合は図(h)のように長軸の長さ500km、短軸の長さ145kmに及ぶ大きなものであった。また、津波の周期としては5分くらいのもものと10分くらいのもものが著しかった。明治29年の津波の教訓を生かしたところでの被害は少なくて済んだ。また、この津波の後に部落移転、避難道路・防波堤・防潮林等の対策をとった町村が多い。各地の波高等については表II-1-1を参照のこと。この地震で地鳴りや大砲のような音が東北地方各地で聞こえた。この原因については一部は津波によるものとの説もあるが井上<sup>(註)</sup>は本震および余震に伴った地鳴りと考えた。また、各地から発光現象の報告があったが、確からしいのは三陸沿岸でみられた津波に伴うもので波の山が光ったりした。これは発光性浮遊生物が原因とも考えられている。さらに、末広の調査によると底着性硅藻類が地震に先だって、海の表面に出現したらしい。この他、前兆現象としては三陸沿岸で2月ころから井水が減じたり、2日くらい前から潮位が低下したことが報告されている。海震の報告も多く、表(d)のとおりである。余震回数は図(f)のとおりで、図(h)は3、4月中のおもな余震の震央を示している。〔津波規模3〕注：1934、地震研究所彙報、別刷1

表(c) 被害状況

県名	死	傷	不明	計	家屋					船舶	
					流失	倒潰	焼失	浸水	計	流失	破損
岩手	1,316	823	1,397	3,536	2,914	1,121	216	2,259	6,510	5,860	
宮城	170	145	138	453	950	528		1,520	2,998	948	425
青森	23	70	7	100	151	113		107	371	320	312
北海道	13	54		67	19	48		131	198	162	44
福島								1	1	5	2
山形						7			7		
計	1,522	1,092	1,542	4,156	4,034	1,817	216	4,018	10,085		

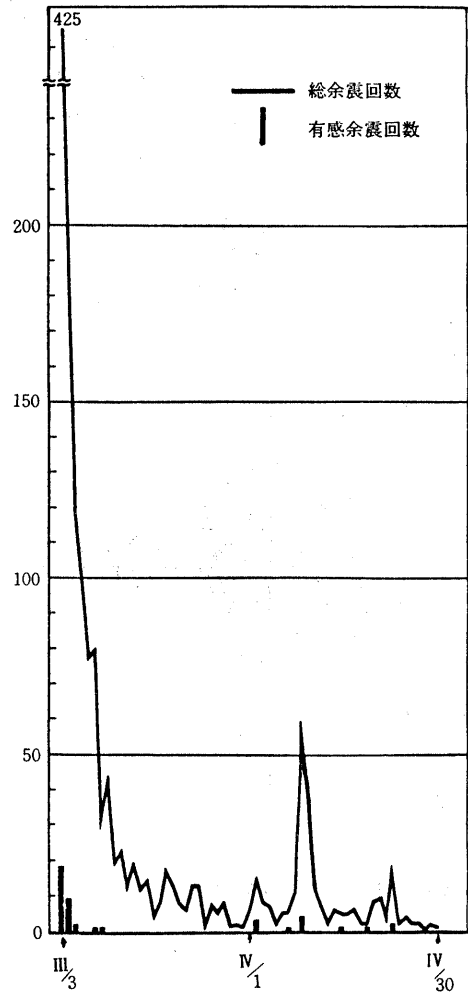
表(d) 海震の報告

船名	トン数	λ	φ	時刻	備考
もんでびでお丸		E	N	時 分	
		151°27'	40°35'	3 40	つよいエンジンの racing のような振動 4分間
小倉丸	7,270	143°45'	34°36'	2 33	激動, 3分間
摩耶丸	3,145	141°36'	37°38'	2 32	激動, 3分間, 全速でエンジンを後退したよう
東星丸	5,484	144°13'	39°45'	4 36	激動, 2秒, その後2回の微動
平安丸		149°30'	41°50'	2 31	5分間, 上下の激動, 羅針儀が飛び出すかと思うほど
得撫丸		142°32'	39°57'	2 33 ころ	強烈な振動, 1分間
盛進丸	50			2 30	船が折れるかと思うほどの上下の激動, 5分間
光洋丸		146°32'	36°37'	2 50	強い上下動, 3分間

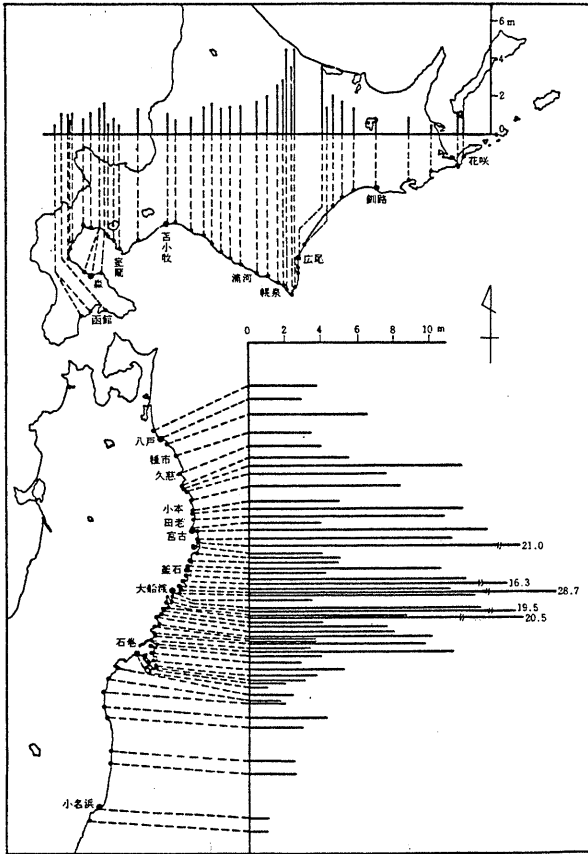


(気象庁による)

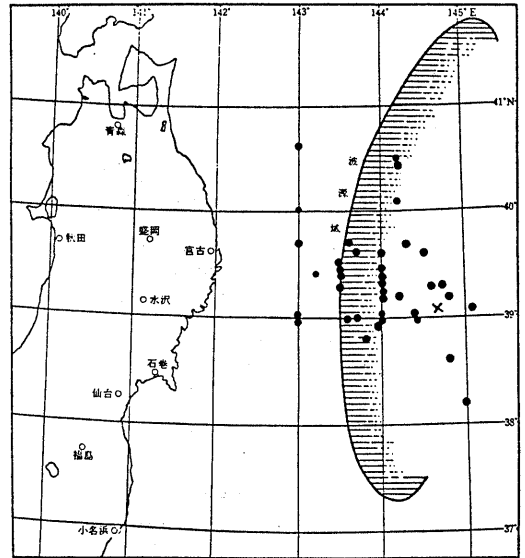
図(㊸) 震度分布



図(㊹) 日別余震回数



図(8) 津波波高(平均海面上)



(本多・竹花(1933)に加筆)

図(9) 本震および余震(3,4月中)震央

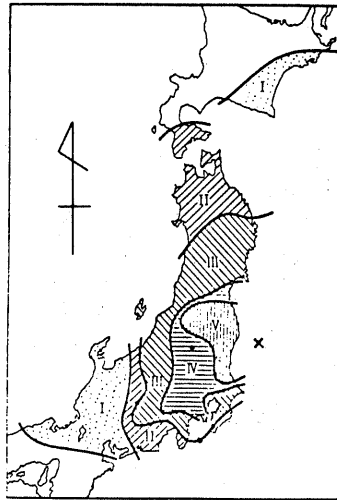
表Ⅱ-1-1 三陸津波の波高

地名	1896年三陸津波	1933年三陸津波	地名	1896年三陸津波	1933年三陸津波
岩手県種市町八木	10.7m	6.0m	岩手県三陸町吉浜本郷	24.4m	9.0m
久慈市小袖	13.7	8.2	三陸町越喜来浦	9.8	3.2
野田村玉川	18.3	5.8	三陸町綾里白浜	22.0	23.0
普代村大田名部	15.2	13.0	大船渡市細浦	6.7	3.1
田野畑村羅賀	22.9	13.0	陸前高田市泊	7.6	4.5
岩泉町小本	12.2	13.0	宮城県唐桑町只越	8.5	7.0
田老町田老	14.6	10.1	本吉町大谷	5.2	3.0
宮古市磯鶏	6.1	4.5	歌津町石浜	14.3	7.6
宮古市姉吉	18.9	12.4	志津川町志津川	2.1	1.7
山田町山田	5.5	4.5	北上町相川	4.6	4.8
山田町船越	10.5	6.0	雄勝町荒	8.8	10.0
大槌町波板	10.7	5.5	女川町女川浜	2.7	2.4
釜石市小白浜	16.7	6.0	牡鹿町敷浦	3.1	4.8

1938 V 23 (昭和13) 16時18分

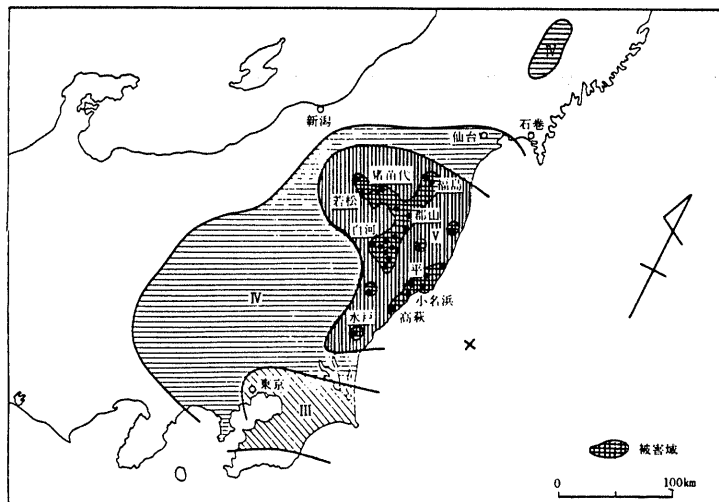
塩屋崎沖  $\lambda = 141.4^{\circ}E$   $\varphi = 36.7^{\circ}N$   $M = 7.1$   $h = 10$  km 被害は小名浜付近の沿岸と、内陸の福島・郡山・白河・若松付近にあった。とくに郡山・須賀川・猪苗代の付近で強く、煉瓦煙突の折損、壁落、壁や道路の亀裂があった。小名浜でも同様の小被害があ、小崖崩れもあった。小名浜に震後22分で小津波(全振幅83cm)が押し寄せた。福島県の被害は家屋250箇所、煙突の倒折7、橋梁堤防6、水道管破損2カ所等で、茨城県でも煙突5本折損し、磯原で土蔵の倒壊1。岩代熱海・湯本・飯坂等の温泉に異常があった。〔津波規模-1〕

図(i) 震度分布



(気象庁(1938)から作成)

図(j) 被害地域

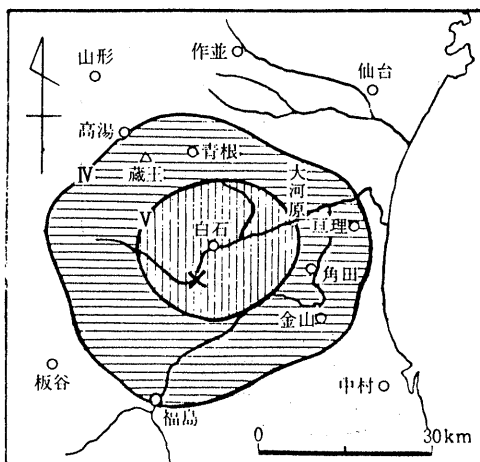


(竹花・副田による, 1938)

1956 Ⅸ 30 (昭和31) 06時20分

宮城県南部  $\lambda = 140.55^{\circ}\text{E}$   $\varphi = 37.95^{\circ}\text{N}$   $M = 6.1$   $h = 20\text{ km}$  死1、傷1、塀・垣根・風呂場倒壊17件。土蔵・家屋に亀裂多く、鉄道・電力線に小被害。小規模な地割れ・崖崩れところどころにあり。震央付近の小原温泉塩倉部落で墓石の転倒率40%。同温泉の湧出量が変化した。また、白石付近で地鳴りがあった。水準測量の結果、震央付近の斎川で8mmくらいの沈下が観測された。白石における日別有感余震回数は表(e)のとおり。また、11月3・8・13日におのおの1回の余震があった。昭和10年6月26日の地震と震央は同じ。

図(k) 震央付近の震度分布



(仙台管区気象台による, 1957)

表(e) 白石における日別有感余震回数

9月30日	10月1日	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
18	0	2	1	2	1	2	3	2	1	1	1	0	1	4	0	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0



1962 IV 30 (昭和37) 11時26分

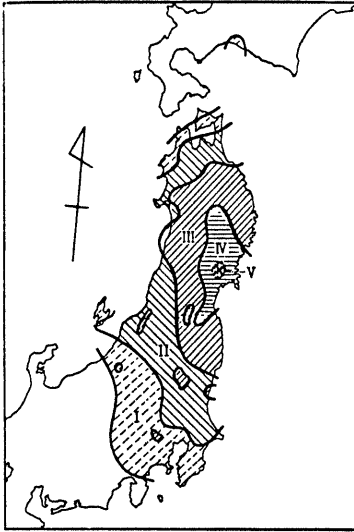
宮城県北部  $\lambda = 141.08^{\circ}E$   $\varphi = 38^{\circ}44'N$   $M = 6.5$   $h = 0$  km 宮城県北部地震 被害の大きかったのは田尻町・南方村で詳細は表(f)のとおり。国道・鉄道ともに盛土部分の被害多く、瀬峰駅の南で貨車脱線転覆。振動によるものと考えられる。古川市の北の江合橋は桁が水平15 cm、上下5 cmのズレを示した。南方村大袋・野谷地で水田中に軽石状の小石を噴出した。井水はふえたものが多かった。図(o)は建物の倒壊率(全潰+半潰)/住宅数}で、この他部落別にみると南方村一の曲で90%、同野谷地69%、若柳村大林88%、田尻町田尻29%である。震後の測量の結果、築館付近が約4 cm隆起した。図(n)は詳しい震度分布。図(m)は余震の減衰を示す。

表(f) 被害状況

市町村名	死	傷	家屋被害			非住家 損害	苗代(坪)	河川	道路	橋梁
			全壊	半壊	一部被害					
古川市	2	91	18	23	9,836	9,093	15,900	1	12	4
涌谷町		11	5	5	3,440	1,600	3,900	6	7	
○田尻町	1	19	105	317	660	405	21,900	9	6	2
○小牛田町		22	21	177	3,000	380	26,400	3	1	
南郷町		1		2	31	15	1,800		2	4
松山町					300	55	900			
三本木町					176	35	1,200		1	
築館町		12	3	16	1,000	2,144	5,000	10	24	
○若柳町		41	35	149	2,874	3,798	5,000	6	5	
栗駒町		3			200	90		2	6	1
高清水町		6	2	13	957	682	1,500		4	2
瀬峰町		5	3	18	900	535	6,000	4	14	6
一迫町		36			95	103	3,000		20	
○金成町		8	49	155	519	1,046	3,000	4	1	1
志波姫町		5	2	2	824	1,261	8,000	1	2	3
○一迫町		2	21	76	3,983	12,212	30,000	13	23	6
豊里町		1				1	4,000			
○米山町		1	23	84	370	452	6,400	1		1
石越町		4			1,000	172	3,000	6	2	
○南方村		4	53	77		279	6,000	4	6	1
その他							20,600	3	17	4
計	3	272 (276)	340 (369)戸	1,114 (1,542)戸	30,165 (25,575)戸	34,358 (37,003)棟	173,500	73 (390)	153 (283)	35 (187)

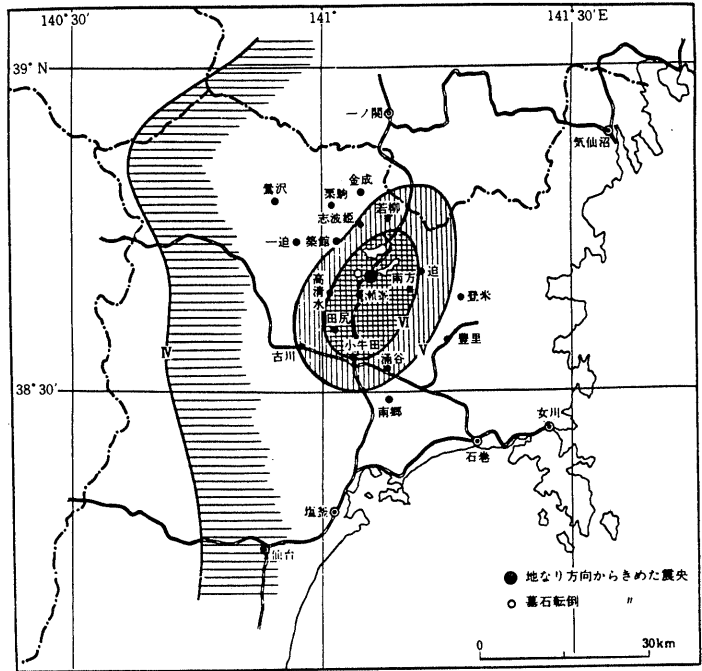
○は災害救助法適用。かっこ内の数字は別の資料による。

図(1) 震度分布

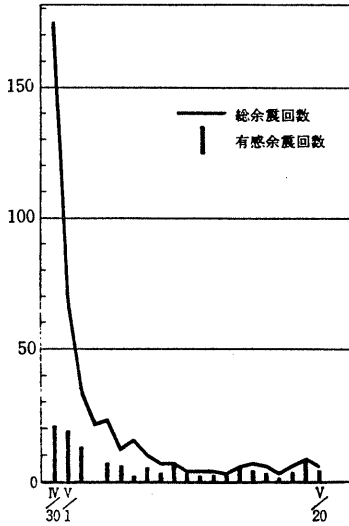


(気象庁による)

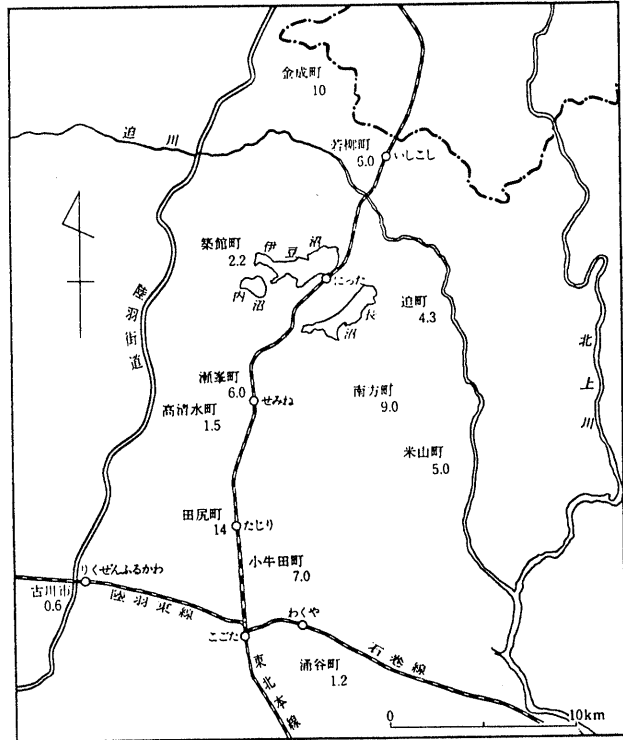
図(n) 震央付近の震度分布



図(m) 日別余震回数



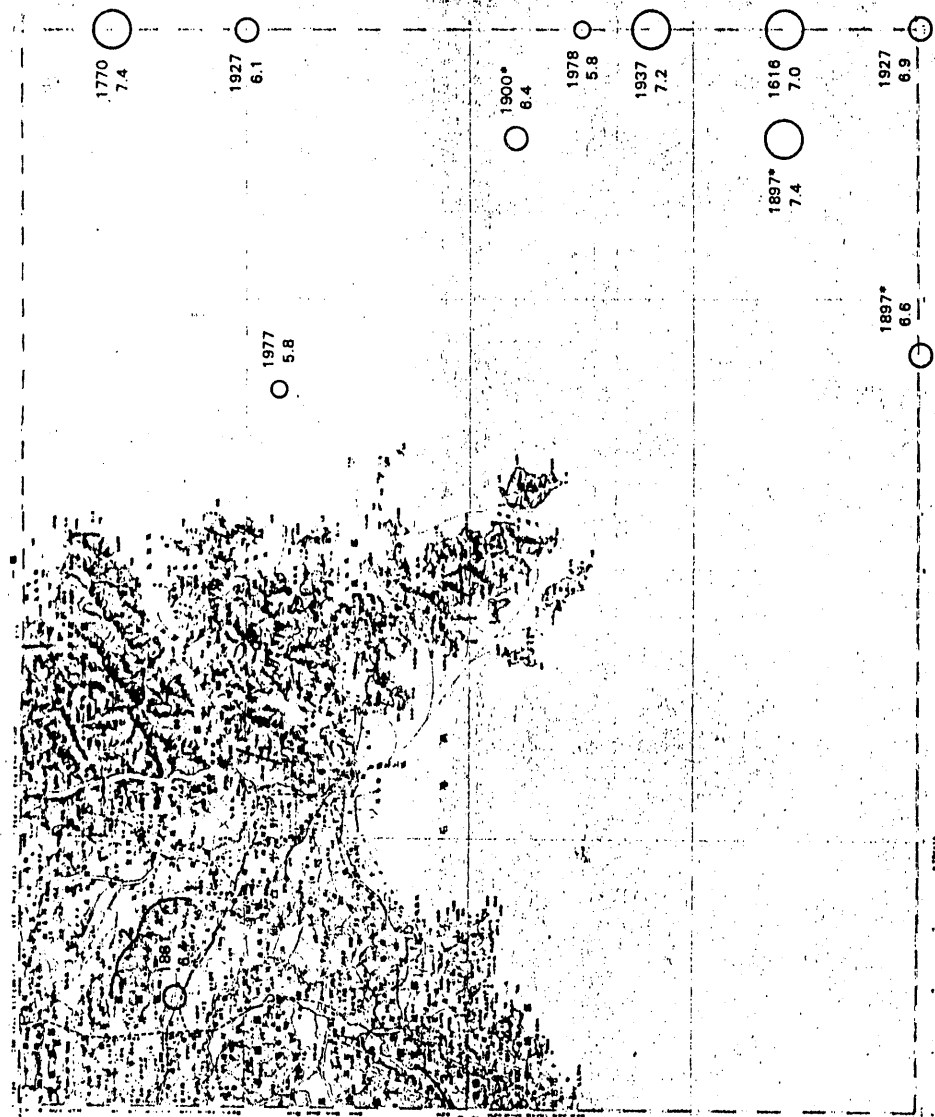
図(o) 家屋被害分布



(大沢ほかによる, 1962)

39 石巻

○ 日本の活断層（東京大学出版会）より



調査者：中川 高・今泉康三：出版  
 発行元：東京大学出版会  
 M 152 / M 201 / M 222 /  
 M 151P / M 199 / M 1072

凡 例

活断層  
 活断層であること  
 不明であること  
 (調査済 I)  
 活断層であること  
 不明であること  
 (調査済 II)  
 活断層の疑いがある  
 エピセントラル  
 (調査済 III)  
 ○○○○○○ 活断層  
 ○○○○○○ 活断層の  
 下位の断層を示す  
 調査方法  
 活断層の疑い下の方  
 調査済 I  
 調査済 II  
 調査済 III

M 152 ILL  
 M 151-15  
 M 151 ILL

凡例に添った断層は東京大学出版会  
 の「日本の活断層」(1972)  
 1:250,000 縮尺の地図に  
 いては調査済 I の断層

図—5.6a 調査地域の活断層(a)(4)

表 5-1 a 調査地域の活断層(1)<sup>(4)</sup>

この地域では確実度Ⅲの断層が数本認められるほかは、顕著な活断層はみられない。1978年宮城沖地震の震央は、この図幅の東方沖にある。

(中田 高・今泉俊文；太田陽子)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14
断層番号	断層名	図幅番号	確実度	活動度	長さ km	走向	傾斜	断層形態	変位基準	年代 10 <sup>4</sup> 年	断層変位		平均変位速度 m/10 <sup>3</sup> 年	備考・文献
											上成隆起側 m	下成凹側 m		
①	上品山西	10	Ⅲ		4	NNE		高度不連続	丘陵斜面		E			
②	加護坊山-筑岳山 <sup>1)</sup>	13	Ⅲ		12	NS~WNW		高度不連続	丘陵斜面		SW			
③	長町一利府 <sup>2)</sup> 線	14	Ⅲ		(5)	NE		高度不連続	丘陵斜面		NW			

〔注〕

- ② 加護坊山-筑岳山：加護坊山-筑岳ドーム（高橋・松野<sup>1)</sup>）は仙台周辺の三つの構造方向のうちの北東-南西方向のものにあたるが、この方向の断層の活動は顕著ではない。  
 ③ 長町一利府線：仙台図幅中の長町一利府線の北端部にあたるが、地形的には顕著ではない。Hanzawa *et al.*<sup>3)</sup> は、ここでは断層は北西落ちとしてゐる。南部では逆に北西隆起である。

〔文献〕

- 1) 高橋兵一・松野久也(1969)：涌谷地域の地質、地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅、地質調査所、26p.  
 2) 田山利三郎(1933)：北上山地の地形学的研究其一、A 仙台近傍の河岸段丘、斉藤報恩会学報、17, 1-83.  
 3) Hanzawa, S., Hatai, K., Iwai, J., Kitamura, N. and Shibata, T. (1953): The geology of Sendai and its environs. Sci. Rep. Tohoku Univ., 3rd ser., 25, 1-50.



表一5.1b 調査地域の活断層(2)(4)

この地域では確実度Ⅲの断層が数本認められるほかは、顕著な活断層はみられない。1978年宮城沖地震の震央は、この図幅の東方沖にある。

(中田 高・今泉俊文；太田陽子)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13	14
											断層名	図幅番号	確実度		
断層番号	断層長さ	断層方向	断層形態	変位基準	年代	断層変位	断層変位								
①	上品山西	10	Ⅲ		4	NNE		高度不連続	丘陵斜面		E				
②*	加護坊山一 麓岳山 <sup>1)</sup>	13	Ⅲ		12	NS~ W~NW		高度不連続	丘陵斜面		SW				
③*	長町一利府 <sup>2)</sup>	14	Ⅲ		(5)	NE		高度不連続	丘陵斜面		NW				

(注)

- ① 加護坊山一麓岳山：加護坊山一麓岳ドーム(高橋・松野<sup>1)</sup>)は仙台周辺の三つの構造方向のうちの北東一南西方向のものにあたるが、この方向の断層の活動は顕著ではない。
  - ② 長町一利府線：仙石図幅中の長町一利府線の北端部にあたるが、地形的には顕著ではない。Hanzawa *et al.*<sup>3)</sup>は、ここでは断層は北西落ちとしている。南部では逆に北西隆起である。
- [文献]
- 1) 高橋兵一・松野久也(1969)：瀧谷地域の地質。地域地質研究報告5万分の1図幅。地質調査所。26 p.
  - 2) 田山利三郎(1933)：北上山地の地形学的研究其一、A 仙台近傍の河岸段丘。斎藤報恩会学報, 17, 1-83.
  - 3) Hanzawa, S., Hatai, K., Iwai, J., Kitamura, N. and Shibata, T. (1933): The geology of Sendai and its environs. Sci. Rep. Tohoku Univ., 3rd ser., 25, 1-50.

も行っている。詳細は図1参照。最近の年代2.6万年は如きの中町段丘群中の木片の年代。1.9万年は広瀬川上流の作並付近の下町段丘に於ける中町の年代で、Omoto<sup>11)</sup>による。  
 ⑦ 作並一層状堆積層：玉折中の作並断層による。互層の第三系と本谷金剛層(更新統)との間の断層面の走向・傾斜はN5°E、垂直であるが、地形部の高さ3mにおよぶ赤色化した堆積層は受けていない。また、この断層線上で河床段丘に侵位は認められず、活動は休止していることが示される。  
 ⑧ 新山寺一層状堆積層：山形盆地北部に発達する南北方向の並行する新羅群で、狭長な小丘地形・凹地地形を形成する。河床による影響もあり、傾斜はEと判明される。  
 ⑨ 河内段丘：河内段丘の東縁は河床により移動されているが、これを境に河床段丘面の分布に大きな差があり、新羅群の侵襲の可能性を否定する。  
 ⑩ 長井段丘：長井山では古い侵位面が東に急斜し、その西縁は2本の新羅群と考えられる連続的急傾が階段状に配列する。Funayama<sup>14)</sup>の西川一帯が新羅群に位置する。  
 ⑪ 白雲山段丘：白雲山をとりまいて発達する急傾でカメザラ層の可能性がある。  
 ⑫ 石巻段丘：石巻段丘は河床段丘に近むき断層層と認められる小窪が認められるが、断層地形の可能性もある。  
 ⑬ 長井断層層：若干進行する短い断層層の集まりで、長井断層層により地形が崩壊している。  
 (文獻)

- 1) 田山利三郎(1933): 北上山塊の地形学的研究 其一 A 仙台近郊の河床段丘。資源調査報告, 17, 1-83.
- 2) 中川久夫・小川貞子・鈴木美津(1960): 仙台付近の第四系および地形(1)。第四紀研究, 2, 219-227.
- 3) 中川久夫・大橋啓四郎・今泉徳文(1976): 仙台平野西縁・長町一利府線に於ける新羅地層変動。東北地理, 28, 111-120.
- 4) 中川久夫・相模夏子・石田真二・竹内貞子(1961): 仙台付近の第四系および地形(2)。第四紀研究, 2, 30-39.
- 5) Hanawa, S., Hatai, K., Iseji, J., Kitamura, N. and Shibata, T. (1953): The geology of Sendai and its environs. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser., (Geology), 25, 1-50.
- 6) 大野啓四郎・中田寛(1977): 東北地方新羅群の第四紀地層変動とプロックモデル。地球科学, 31, 1-14.
- 7) 新泉啓明(1967, MS): 庄内山塊の南縁段丘の侵位。東北地理, 25, 84-90.
- 8) 大内 定(1973): 広瀬川の南縁段丘の侵位。東北地理, 25, 84-90.
- 9) 安正巳・舟山裕士・田口一徳・柴田重吾・山田真三・石坂啓夫・斎藤兵一・阿部智彦(1969): 宮城県下における地熱・温泉域の構造地質学的ならびに地球化学的研究。宮城県理工学部に於ける地質学・東北経済開発センター。東北大学理学部地質学・地質学専攻修士論文。
- 10) Fujiwara, K. (1958): Some considerations of the recent faulting in the western fringes of the Fukushima Basin. Sci. Rep. Tohoku Univ., 7th. Ser. 7, 1-19.
- 11) 今泉徳文(1976, MS): 東北地方新羅群の断層。東北大学理学部地質学専攻修士論文。
- 12) 米地文夫(1960): 庄内山塊の地形——特に南に侵位した後山塊の地形について——。山形大紀要(自然科学), 5, 89-100.
- 13) 藤沢健雄(1967): 山形盆地の地形発達。地理誌, 40, 523-542.
- 14) Funayama, Y. (1961): The geology and geological structure in the marginal area of the Yamagata Basin, with special reference to the ore deposits. Yamagata Prefecture, Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., 3rd ser. 7, 199-291.
- 15) 中田 寛・大橋啓四郎・今泉徳文(1976): 東北地方の活断層の構造。日本地質学会年報(11), 138-139.
- 16) 天野 勇(1976): 宮城県・山形県国境山塊の地質(概論)。地研(A) 東北地方における第三紀地層変動に関する構造地質学的研究。昭和48年報, 35-73.
- 17) Omoto, K. (1976): Tohoku University radiocarbon measurements III. Sci. Rep. Tohoku Univ., 7th ser. 26, 135-157.

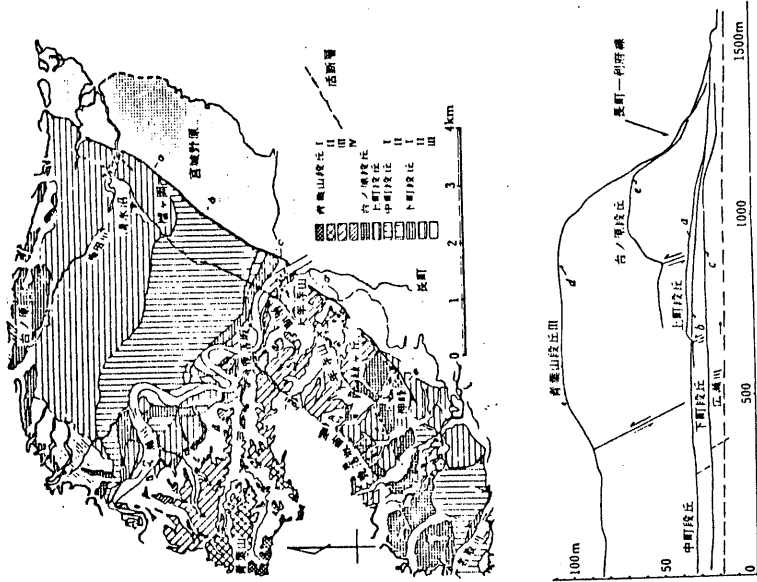


図1 長町一利府線(A-A)に於ける地形断面区分(上)と地形断面(下)(中田寛か)





仙台平野西縁の長町-利府線①およびこれに平行して数本の活断層が発達する。活断層は北東-南西の走行を持つ縦ずれ断層で活動度も比較的高く、B級のものが多く、この方向の断層は南方の円田断層⑤、白石断層⑨があり、大きくみると福島盆地西縁の断層に続くものと思われる。一方、脊梁山地西の山形盆地、長井盆地の縁辺にも活断層が見出される。しかし、山形盆地東縁のように山地と盆地との間に比較的明瞭な高度差があるが活断層の発達の良い地域もあり、これらの盆地では盆地の一方側だけに活断層が発達することが特徴である。内陸盆地縁辺の断層には南北方向のものが多い。

作並-屋敷平断層⑦は、第四紀に活動しているが、最近の活動は不活発と思われる。

1956年の白石地震(M6.1震央は南隣図幅内)は、白石断層⑨の活動に伴うものと考えられている。

(中田 高・今泉俊文；太田陽子・早川唯弘)

1 断層番号	2 断層名	3 図幅番号	4 確実度	5 活動度	6 長さ km	7 走向	8 傾斜	9 断層形態	10 変位基準	11 年代	12 断層変位		13 平均変位速度 m/10年	14 備考・文献
											上成分隆起側 m	下成分隆起側 m		
①	長町-利府線	3	I	B (12)	NE			断層壁 断層壁 低断層壁 低断層壁	青葉山段丘Ⅲ 台ノ原段丘(S面) 上町段丘 中町段丘 下町段丘	12 2.6 1.9	NW (>130) NW (80) NW (>15) NW (>13) NW (>8.6)	0.7 0.5 0.5		
②	大年寺山断層	3	I	B 3	NE		SE	逆むき低断層壁 逆むき低断層壁 逆むき低断層壁 逆むき低断層壁 断層頭	青葉山段丘Ⅲ 台ノ原段丘(S面) 上町段丘 中町段丘 第三紀層	12 2.6	SE (20) SE (15) SE (5) SE (3.4) SE (30)	0.1 0.1	・N73°E25°SEの逆断層、位置は図1の×印	
③	落坂断層	3	I	C 3	NE		SE	逆むき低断層壁 断層震頭	青葉山段丘Ⅲ 第三紀層		SE (6) SE (12)		・N63°E40°SEの逆断層、位置は図1の×印	
④	坪沼断層	3	I	B 5	NE		NW	断層壁 断層震頭	小起伏面 第三紀層/火山灰		NW (60)		・大八山牧場下N58°E40°NWの逆断層	
⑤	円田断層	3	II	B 10	NE ~EW			高度不連続	小起伏面		NW (80)			
⑥	(愛子断層)	7	I	B 2	NS			断層壁・地震状高まり 低断層壁	河岸段丘 SurfaceⅡ 河岸段丘 SurfaceⅢ 河岸段丘 SurfaceⅣ	12	W (42) E (5) W (21) W (11)	0.4		
⑦	作並-平断層	7	I [C]	9	NNE			高度不連続・地震状高まり 断層震頭	本砂金面 第三紀層/本砂金層		W (40) E (40) W		・本砂金西方N5°E、重直	
⑧	連田-三住	8	II	C 7	NS			逆むき低断層壁	大山噴出物斜面		E (20)			

⑨	白石断層	8	I	B 2.5	NNE			断層壁 低断層壁 低断層壁	H面 M面 L面		W(100) W(35) W(5)		
⑩	(鶴巻田断層)	9	I	B 4	NE			低断層壁	尾花沢下位面		SE (2)		
⑪	(尾花沢断層)	9	I	B 2	NS			逆むき低断層壁	尾花沢下位面		W (5)		
⑫	(長者原断層)	9	I	B (2)	NS			低断層壁	河岸段丘		E (10)		
⑬	(梶岡断層)	9	I	B 1.5	NS			低断層壁	小 状地		E (2)	0.1	
⑭	新山寺-境ノ目	9	II	B 2	NS			地盤状高まり	東原面		E (15) W (15)		
⑮	田沢-里	9	II	B 5	NS			地盤状高まり	東原面		E (10) W (10)		
⑯	富並〔北部〕 〔南部〕	9	II	B 5	NNE			低断層壁 地溝状凹地	大久保面 東原面		W (2) E (5) W (5)		
⑰	(博石北断層)	9	I	B 1	NNE			低断層壁	日影面		E (10)		・14)の岩野断層の北端
⑱	反田-東京	10	II	B 2	NS			逆むき低断層	大久保面		E (5)		
⑲	長善寺付近	10	II	B 3	NS			低断層壁	東原面		W (5)		
⑳	岩野断層 〔北部〕 〔南部〕	10	I	B 4	NS			低断層壁 低断層壁	東原面 新期扇状地Ⅰ面		W (5) W (2)		
㉑	寒河江東方	10	II	4	NS			低断層壁	大久保面		W (3)		
㉒	長岡山付近	10	II	B 2	NNW			階段状急壁	日影面・東原面		E (50)		
㉓	金沢南	10	II	B 1	NS			低断層壁	沖積面		W (2)		
㉔	村木沢付近	11	II	B 2	NS			低断層壁	沖積面		W (2)		
㉕	柏倉付近 〔北〕 〔南〕	11	II	B 1.5	NS			逆むき低断層壁 地震状高まり	扇状地 沖積面		E (2) E (5) W (5)		
㉖	土坂付近	11	I	B 2	NE			逆むき低断層壁	河岸段丘		W (10)		
㉗	(半郷断層)	11	I	B 3	NE			断層壁	火砕流堆積面		E (50)		
㉘	(上山断層)	12	I	B 3	NE			逆むき低断層壁	河岸段丘		E (15)		
㉙	(宮宿断層)	15	I	B 1.5	NE			逆むき低断層壁	河岸段丘		W (5)		
㉚	(常盤断層)	15	I	B 2.5	NE			低断層壁 地震状高まり	河岸段丘		E (10) W (10)		
㉛	白置山周辺	15	II	15	EW ~NE			断層壁	山地斜面		W (100)		
㉜	一本松東	15	I	B 0.5	NW			逆むき低断層壁	大山斜面		SW (20)		
㉝	古屋敷	15	II	B 1	NS			逆むき低断層	河岸段丘		W (10)		
㉞	(長井西断層)	16	I	B (6)	NE			断層壁 低断層壁	M面 L面		W (40~50) W (10)		・村上団幅の図1参照

〔注〕

① 長町-利府線：田山 によってその一部が宮城野拗曲線と呼ばれたように、地形的表現は拗曲線的であるが、地下では西上りの逆断層と考えられている(中田ほか)、中川ほか は大年寺山断層②との間の隆起部に背斜面があるとしている。断層の平均変位速度について、大内 も算定