

中縮尺土地保全図付属説明書

縮尺 2 万 5 千分の 1

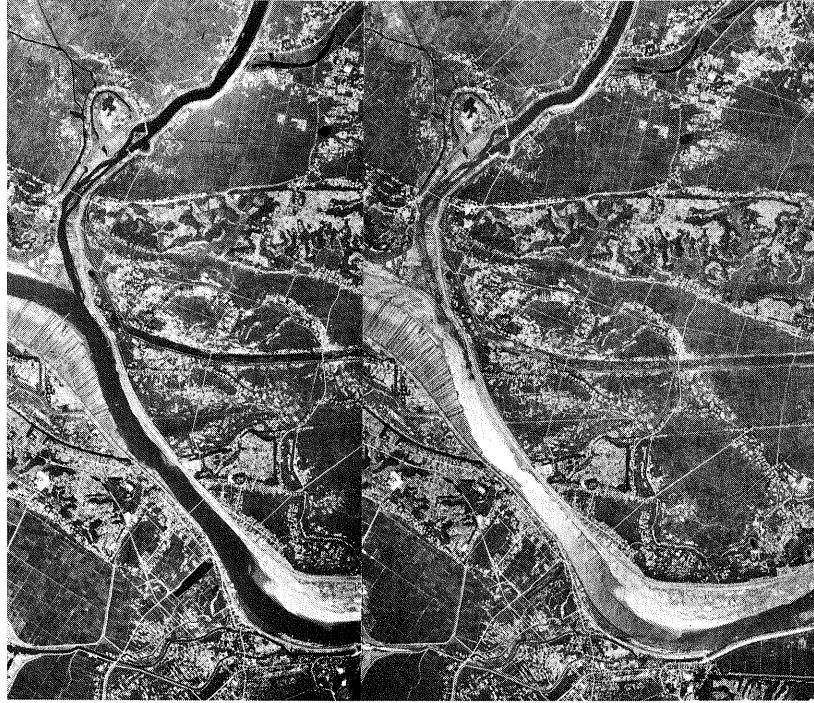
土地保全基本調査(茨城南部地区)報告書

—— 軟弱地盤災害に対して ——

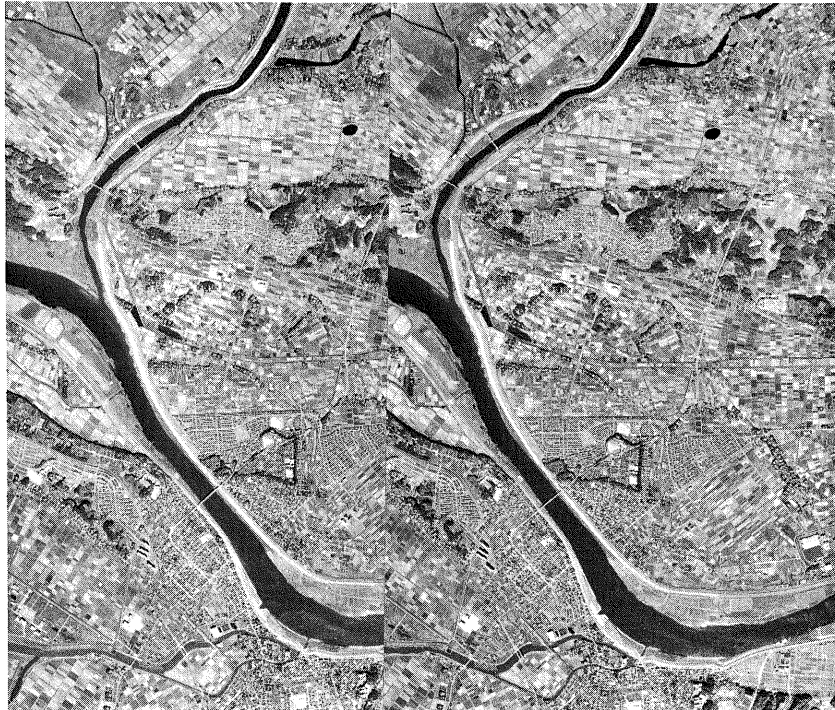


平成元年 3 月

国土庁土地局国土調査課



1947年頃の取手市付近の土地利用状況



1984年頃の取手市付近の土地利用状況

序

この調査は、茨城南部地域を対象に国土調査法に基づき実施されている縮尺5万分の1土地分類基本調査の成果、もしくはこれに準じてなされている成果が軟弱地盤災害に対して、土地が潜在的にもっている脆弱性を予測・評価するにあたって、どこまで貢献できるかを明らかにし、あわせてその予測・評価手法の試案を提示することを目的として実施した。

現在、縮尺5万分の1土地分類調査の成果は、(1)地形分類図・表層地質図・土壌図・傾斜区分図などからなる自然環境関係の主題図と、(2)土地利用現況図や防災保全等関係法令指定区域図などの社会環境関係の主題図からなる。これらの主題図類は、それぞれ単独にも広く利用されている。ある程度の基礎知識があれば、洪水や地すべりの常襲地は地形分類図から読みとることができるし、建物など建設する場所の支持基盤の深さや骨材・用土の採取適地は表層地質図から、また、泥炭地など水で飽和した軟弱地盤の分布や表層構成物質の土性は、土壌図からそれぞれ読みとることができる。

土地分類基本調査の成果は、このような個別の利用法だけでなく、これらを相互に有機的に組み合わせることによって、例えばダム・道路・水路・発電所といった構造物の位置選定や、農地・宅地の造成などの事業を進めるうえでの基礎資料としても利用できる。

本調査は、(1)既往の土地分類調査成果から、軟弱地盤地域にみられる水害、地盤沈下及び地震災害に対する土地のもつ脆弱性をどう読みとっていけばよいかという点と、(2)土地分類調査成果をどう加工し、あるいは何を付加することによって読み易くなるかを、茨城南部の軟弱地盤地域を例にして明確にしようとしたものである。さらに、このような成果を他地域へ適用する場合の適用限界と問題点を明らかにし、水害、地盤沈下及び地震災害の予測のための望ましい手法書案の作成を試みた。

調査の成果は、軟弱地盤災害対策土地保全図として別添の図にまとめた。

広い沖積平野では都市化が進み、人口の過度な集中によって、周辺の軟弱地盤地域にも利用が高まって来ており、これまで利用価値の低かった地域にも利用の高度化が襲って来ている。このことからこれが災害に結びつかないように保全策がとられ、適正な土地利用が推進されるよう希望したい。本書がその一役を担えれば幸いである。

企画・編集：国土庁土地局

国土調査課専門調査官 庄 司 浩

作業機関：基礎地盤コンサルタンツ

鹿 野 明 郎

目 次

まえがき

| | |
|------------------------|----|
| 1. 調査地域及び調査項目 | 1 |
| 2. 調査項目詳論 | 5 |
| 2.1 地形及び土地利用の変遷 | 5 |
| 2.2 沖積層と丘陵地の地盤地質 | 9 |
| 2.3 地下水と地盤沈下の状況 | 23 |
| 2.4 地震災害と液状化 | 42 |
| 2.5 水災害の状況 | 56 |
| 2.6 法的規制区域 | 64 |
| 2.7 軟弱地盤地域の土地保全 | 67 |
| 3. 災害予測と危険度評価の手法 | 71 |
| 3.1 斜面崩壊 | 71 |
| 3.2 液状化 | 75 |
| 3.3 地盤沈下 | 79 |
| 3.4 水災害 | 89 |
| むすび | 91 |

ま え が き

茨城県南部では、利根川の中流域とその支流の小貝川に沿って、沖積世の海成粘土とその上部に分布する砂層によって広範囲に「軟弱地盤」が分布している。「軟弱地盤」についての明確な定義はないが、沖積層の最も新しい推積物として一般に強度が低く、また圧縮性も大きいので、地下水の過剰揚水による地盤沈下、盛土荷重による圧密沈下や盛土端部での側方流動、基礎工事の掘削時の塑性流動的な変形、杭基礎の場合のネガティブフリクションの発生、或いは地震動による液状化や構造物の不同沈下等「軟弱地盤」の地盤特性に応じて様々な問題を内在し、またそのような問題の重要性は「軟弱地盤」の形成規模にも密接に関連してくる。

「軟弱地盤」が形成される環境は後背湿地、三角州、おぼれ谷、潟湖性低湿地等であり、関東平野では6000年～7000年前には内陸の奥深くまでおぼれ谷が入り込み、茨城南部でも現在の土浦・下妻・古河付近まで浅い海が湾入していたといわれている。

わが国の場合、関東に限らず大都市に近い大河川沿いで、奥の深いおぼれ谷が形成されている場合には、それが埋積されて沖積平野となり、広範囲な「軟弱地盤」を推積している場合がある。このような沖積低地では、液状化履歴や広域な地盤沈下がみられるなど、すでに軟弱地盤の有する脆弱性が顕在化している地域もあれば、部分的な開発によって局部的にその脆弱性を指摘されてはいるけれども、地域全体として未だ軟弱地盤地域の有する問題点の全体像が把握されていない地域もある。

東京をはじめとする大都市では、急激な地価高騰により益々都市近郊の沖積低地等の大規模な開発が進められることから、これらに先立ち軟弱地盤地域の脆弱性を把握することが、今後の土地利用を図る上で必要不可欠のものであり、情報の有機的な重ね合わせには既往資料の整備がより重要である。

正 誤 表

| | | 誤 | 正 |
|------|---------------|----------------------|----------------------|
| p 5 | 2.2.1 ③3行目 | 路がある。 <u>た</u> って、この | 路がある。 <u>か</u> って、この |
| p 8 | 表-4 牛久の中欄下1行目 | 松ヶ丘の造成 <u>値</u> が | 松ヶ丘の造成 <u>地</u> が |
| p 9 | 図-5 右下枠 | <u>既往</u> の | <u>既往</u> の |
| p 13 | 表-8 記事欄上段 | <u>水川</u> | <u>水田</u> |
| p 14 | 下2行目 | 図- <u>7</u> に示す。 | 図- <u>6</u> に示す。 |
| p 21 | 上3行目 | 各層 <u>順</u> に | 各層 <u>準</u> に |
| p 36 | 上2行目 | 竜ヶ崎で | 竜ヶ崎 <u>市</u> で |
| | 上3行目 | 取手で | 取手 <u>市</u> で |
| p 42 | 上3行目 | し易 <u>す</u> い | し易い |
| p 53 | 表-19 副記号欄 | <u>凝</u> 灰質 | <u>凝</u> 灰質 |
| | 表-20 副記号欄 | <u>凝</u> 灰質 | <u>凝</u> 灰質 |
| p 55 | 下4行目 | 埋立地の <u>地</u> 盤条件や | 埋立地 <u>は</u> 地盤条件や |
| p 75 | 上2行目 | 地震災害は <u>地</u> 盤災害、 | 地震災害 <u>に</u> は地盤災害、 |

1. 調査地域及び調査項目

1.1 調査地域

縮尺5万分の1地形図「竜ヶ崎」図幅の低地及び台地は、地形的・地質的な見地から、いろいろな災害の多い地域と考えられるが、水害の記録を除いては、具体的な事例に比較的乏しい地域である。従来から進められてきた中縮尺土地保全調査は、災害の発生した地域で、災害現況を把握しながら保全図の作成を試みてきたが、本地区ではこれまでの成果による手法を基に保全図の作成を試みた。

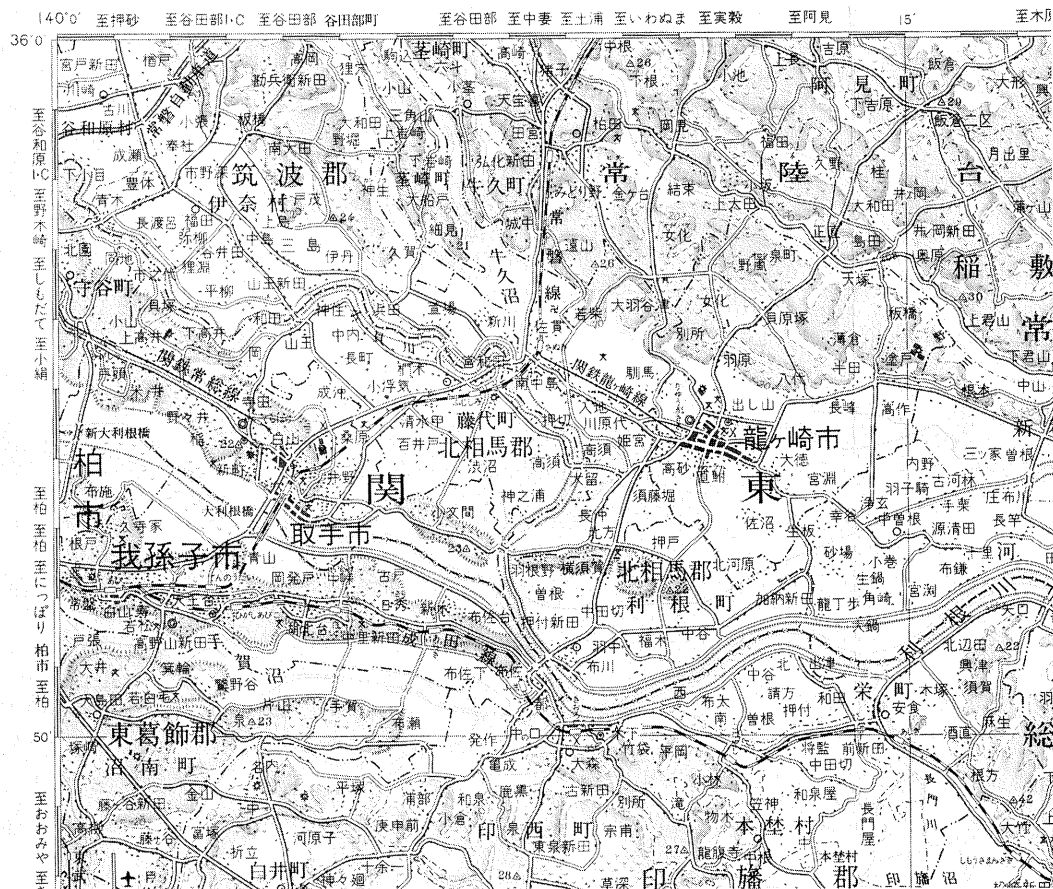
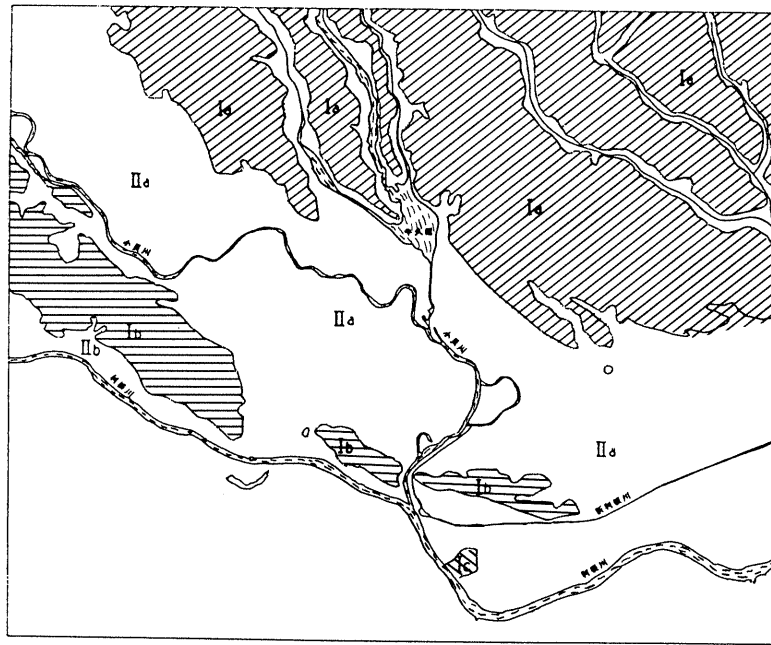


図-1 調査地域

調査地周辺の地形は、筑波山塊の麓から南に広がる台地とそれを下刻して流れる河川によって作られた低地とに区分することができる。台地は利根川、小貝川及びその支川によって開析され大きく3つに分けられる。牛久沼周辺から竜ヶ崎にかけて広がる台地は筑波・稲敷台地で、標高20m～30mで東に向かってわずかに高度を増している。利根川の左岸に沿って分布している台地を北相馬台地といい、標高は15m～30mで取手市街地で断ち切られているが、更に東へ戸田井、羽根野にかけて分布する台地も一連のものである。布川台地は、標高15m～20mで、元来は我孫子台地の東端部にあたるが、利根川の改修工事によって切り離されたものである。低地は筑波・稲敷台地と北相馬台地の間に広がる小貝川低地及び利根川沿いに分布する利根川下流低地である。小貝川低



凡例

I 台地

Ia 筑波・稲敷台地

Ib 北相馬台地

Ic 布川台地

II 低地

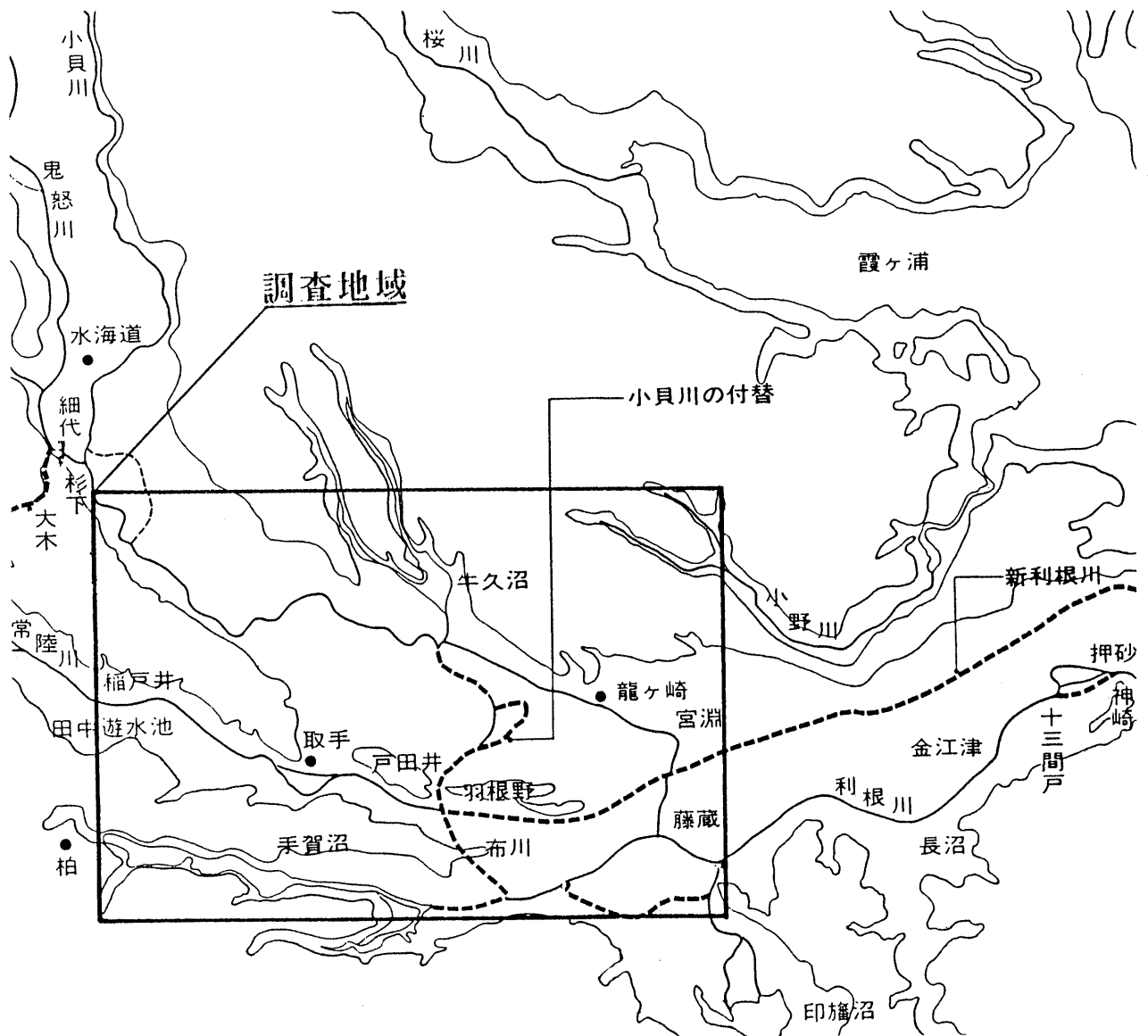
IIa 小貝川低地

IIb 利根川下流低地

図-2 地形概略図

地は、小貝川に沿って幅 4.5 km～6 km、西から東へ向う傾斜は平均勾配が約 1/2,500 である。一方利根川下流低地は 5～10km の幅を持ち、平均勾配は 1/5,000 程度である。これらの低地は、自然堤防、氾濫原（後背湿地）、旧流路跡、干拓地（旧湖沼跡）、湖岸低地などの微地形から構成されている。

筑波・稲敷台地と北相馬台地に挟まれた小貝川低地の沖積地盤は、砂・粘土互層（七号地層）——海成粘土（有楽町層）——砂層——砂・粘土互層というサイクルで、厚さ 40～50m 内外に達する沖積層を堆積し、一口にしていえば強度の低い地盤が発達している地域である。歴史的には水災害の多発地域で、1629年に鬼怒川と小貝川を分離、1630年の小貝川の付替、1594～1654年の60年間に及ぶ利根川の東遷事業、1666年の新利根川の開削等の治水工事が行なわれたが、台風による明治の三大洪水をはじめ、大正・昭和に入ってからも多くは台風の影響で洪水に何回も見舞われており、最近では昭和56年台風15号による小貝川高須町の破堤、昭和61年台風10号による小貝川石下町豊田地先の破堤が耳新しい。また、地震災害では1921年12月に竜ヶ崎付近を震源とするマグニチュード7.0の地震が発生している。当時の詳細な被害状況は定かでは



-----江戸時代に開削された流路
 (参考文献(3) 一部抜粋、編集)

図-3 利根川の河川改良

はないが、地裂や噴砂、石灯・石碑の転倒があったとされているが記録はない。1987年12月千葉県東方沖を震源とするマグニチュード6.7の地震では、利根川左岸流域の被害は佐原より下流にみられた。

1.2 調査項目

調査は既存資料の蒐集・解析、空中写真判読、現地調査等の方法によって下記の各項目について実施した。

- ① 地形および土地利用の変遷
- ② 沖積層と丘陵地の地盤地質

- ③ 地下水と地盤沈下の状況
- ④ 地震災害（液状化）予測
- ⑤ 水災害の状況
- ⑥ 法定規制区域等
- ⑦ 軟弱地盤地域の土地保全

なお、項目としては掲げていないが、蒐集したボーリング柱状図のうち、縦横断面図作成に使用したものは規格を統一して整理し、それ以外のものは一括して各々資料集とした。

2. 調査項目詳論

2.1 地形および土地利用の変遷

地形の変遷は土地利用状況と不可分の関係にあるので、ここでは地形変遷と5時期の土地利用現況をあわせて土地利用変遷とした。

2.2.1 地形の変遷

当地区の地形の変遷は、そのほとんどが河道の変遷と云っても過言ではないので、ここでは河道の変遷として明治36年以降の古い地形図（旧版地形図）及び空中写真を用いた。変遷の状況は

- ① 明治36年以前、大利根橋右岸の小堀付近では、現在の堤防を横切って蛇行していた。三日月状の池はその時の流路跡であり、現在も茨城県と千葉県の間境となっている。
- ② 明治36年以前、利根川右岸千葉県印旛郡栄町四ツ谷付近でも、利根川本川は右岸側に蛇行して、現在の四ツ谷集落を流れていた。
- ③ 明治36年以前、新利根川大橋と大利根橋の間の右岸側は、本流から分流した小流路があった。この小流路の右岸側に湿地と池があり、池からは本川に流路がある。たつて、この湿地と池と部分に本川が流れていたことをうかがわせる。
- ④ 明治36年以前、利根川の支川小貝川は、高須町を迂回して流れており、流路跡が細長い曲線状の低地として残っている。またこの下流の神之浦についても同様である。
- ⑤ 牛久沼上流の森の里は、昭和28年頃まで水域であったが、昭和28年～同66年までの間に埋立てられた。
- ⑥ 小貝川にかかる常総橋付近の青木では、昭和19年頃に河道を宅地化しているものと思われる。

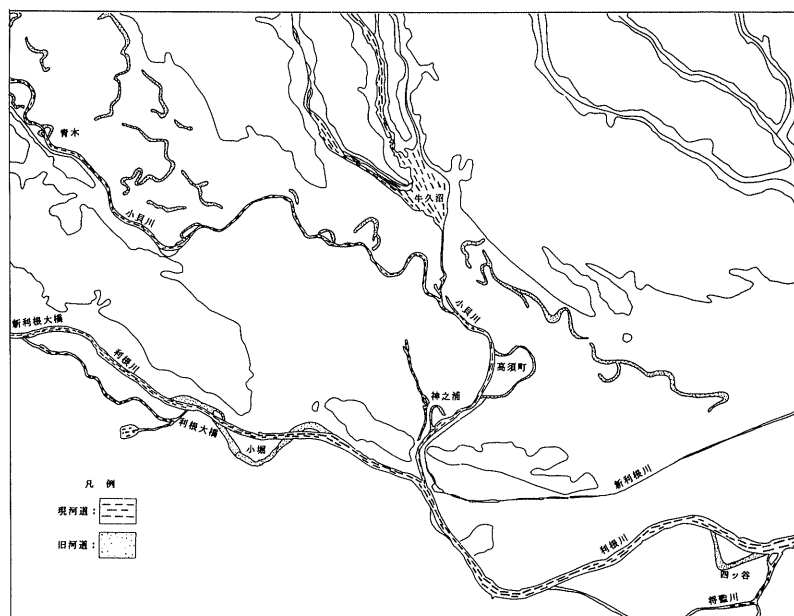


図-4 旧河道状況図

地形図が作られる以前（明治36年以前）の地形変化については、明治36年の地形図に表示された中から、自然堤防の配列状況や土地利用の状況によって判断できる。小貝川流域については、自然堤防の配列状態から、小貝川の流路は出水の度毎に変わっていたものと推測される。

2.1.2 土地利用の変遷

昭和20年代から昭和60年代までの各時点で国土地理発行の5万分の1、2.5万分の1の古い地形図等を用いて土地利用の経年変化を追った。用いた資料及び区分項目を以下に示す。

表-1 旧版地形図

| 縮 尺 | 2.5 万 分 の 1 | | | | 5 万 分 の 1 |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | 牛 久 | 竜ヶ崎 | 藤 代 | 取 手 | 竜 ヶ 崎 |
| 発行年月日 | S 28. 12. 28 | S 31. 11. 30 | S 28. 12. 28 | S 31. 11. 30 | M 42. 4. 30 |
| | S 32. 8. 30 | S 34. 1. 30 | — | — | T 5. 6. 30 |
| | S 45. 4. 30 | S 45. 6. 30 | S 44. 11. 30 | S 44. 3. 30 | S 7. 4. 30 |
| | S 53. 12. 28 | S 53. 8. 30 | S 53. 10. 30 | S 54. 2. 28 | S 22. 5. 30 |
| | S 61. 6. 30 | S 62. 1. 30 | S 61. 4. 30 | S 61. 5. 30 | S 26. 9. 30 |

（M：明治、T：大正、S：昭和）

表-2 空中写真

| 撮 影 年 | 地 区 名 | 縮 尺 |
|--------|-------------|-------|
| 昭和22年 | MKT47-M399 | 4万分の1 |
| " 37 " | KT-62-1 竜ヶ崎 | 1万分の1 |
| " 43 " | KT-68-3X " | 2万分の1 |
| " 52 " | KT-77-2Y 千葉 | 4万分の1 |
| " 56 " | KT-81-2Y " | 4万分の1 |

表-3 土地利用判読項目

| | |
|----|----------------------------|
| 1 | 水田 |
| 2 | 畑・樹園地 |
| 3 | その他農用地 |
| 4 | 林地（常緑自然林、落葉自然林、海岸風衝林、植林） |
| 5 | 草地 |
| 6 | 裸地 |
| 7 | 住宅地 |
| 8 | 公共・公益施設・オープンスペース |
| 9 | 道路・水路・空港用地 |
| 10 | 工業用地 |
| 11 | 自然保護・リクレーション用地（8と重複する場合あり） |
| 12 | 水域 |

最も顕著な土地利用の変化は、「とりで」「うしく」の2駅を中心とした市街地の拡大である。また、台地上や台地周辺では畑地や林地が拡大し、宅地やゴルフ場が増加している。宅地では、昭和50年以前は鉄道の線路に沿う地域の駅を中心とした拡大が顕著であったが、昭和50年から60年にかけては駅周辺の市街地から離れた台地上や低地に大規模な宅地造成が行なわれた。詳細を表-4に示す。

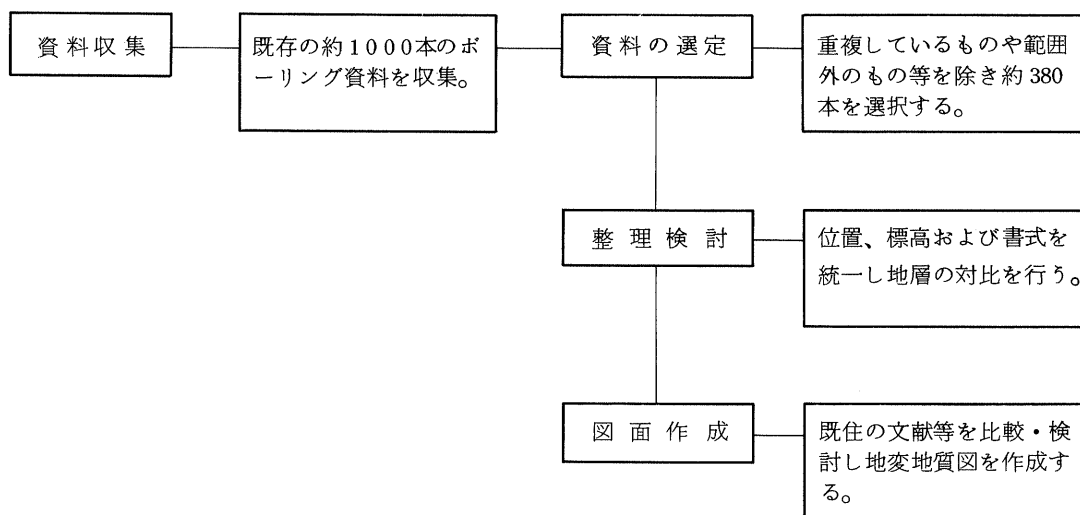
表-4 調査時点間における主要な変化

| | 昭和20年～40年の土地利用(地形) | 昭和40年～50年の土地利用(地形)変化 | 昭和50年～60年の土地利用(地形)変化 |
|-----|--|---|---|
| 竜ヶ崎 | <ul style="list-style-type: none"> • 低地では、水田中の湿地に竜ヶ崎飛行場が完成。水田の耕地整備が進み、水田中の畑が減少。竜ヶ崎の市街地が北側へ拡大。 | <ul style="list-style-type: none"> • 利根川河川敷にゴルフ場建設。 • 大利根飛行場完成。 • 三番割に利根浄化センター完成。 • 住宅拡大地区…馬場、布川、姫宮町 • 住宅建設中の地区…羽根野台、油内、野岸、出し山町、野原町 | <ul style="list-style-type: none"> • 低地では、栄、油内、竜ヶ崎で宅地化が進み、藤代町の小貝川右岸で宅地造成が行なわれている。 • 台地上では、羽根野台の宅地化が進む。 |
| 牛久 | <ul style="list-style-type: none"> • 低地では、佐貫駅南側の畑の宅地化が進み、又西側の水田の宅地造成が進む。 • 台地上では、畑の面積が拡大している。 • 松ヶ丘、上池台、小坂台地の造成が始まる。 • 金ヶ台、貝原塚町でゴルフ場が建設。 | <ul style="list-style-type: none"> • 刈屋、緑ヶ丘、宝陽台、栄町など、牛久駅周辺で宅地造成が行なわれる。 • 佐貫駅西側で宅地造成。 • 向原の西方で宅地造成が始まる。 • 牛久駅周辺のつつじヶ丘、一本松、東区などの畑地の宅地化が進む。 • 小坂団地、松ヶ丘の造成値が宅地化。 | <ul style="list-style-type: none"> • 牛久沼南側の佐貫駅周辺の宅地化が進む。東側の水田の宅地造成が行なわれる。 • 若芝町、羽根原町、貝原塚町の台地上で大規模な宅地造成が行なわれる。 • 牛久駅周辺の宝陽台、刈谷、みどり野、緑ヶ丘、栄町の宅地化が進む。 • 阿見町の台地上に福田工業団地が建設される。 • 小野川左岸野下根と上池台に学校が建設される。 |
| 藤代 | <ul style="list-style-type: none"> • 低地では、水田の耕地整備が進み、それに伴い、低地の畑が減少している。 • 台地上では、筑波、茨城、取手国際の3つのゴルフ場が建設。 | <ul style="list-style-type: none"> • 常総線に戸頭駅が新設され、駅南側の畑地の宅地化が進む。 • 「いなと」駅北側の畑地の宅地化が進む。 • 新取手の造成地の宅地化。 • 藤代駅西側の水田が宅地化する。 • 谷井田の水田が宅地化する。 | <ul style="list-style-type: none"> • 南守谷駅周辺の宅地の造成が始まる。(みずきの、柿の沢) • 小貝川右岸の低地の「山王」に高校が建設される。 • 小貝川左岸の谷井田周辺の宅地化が進む。 • 柳島に養護学校が建設される。 • 小貝川右岸の平沼の畑地が水田に造成された。 • 牛久沼北西方の台地上の「あしび野」「細見」の宅地化が進む。 |
| 取手 | <ul style="list-style-type: none"> • 低地では、水田の耕地整備が進み、それに伴い低地の畑が減少している。 • 取手駅西側の畑地の宅地化が進み、東側の水田で宅地造成が行なわれている。 • 利根川河川敷に2つのゴルフ場が建設された。 | <ul style="list-style-type: none"> • 取手駅周辺で宅地化が進んでいる。水田の宅地化…井野団地、吉田、新町、西畑、林地の宅地化…本郷、新取手 • 光風台団地の造成が始まる。 • 谷中の宅地化が進む。 • 利根川河川床に運動公園ができる。 | <ul style="list-style-type: none"> • 「てらはら」駅南方の西町の造成地が宅地化し、西部の水田に高等学校が建設された。 • 「にとりで」駅が建設され、北側の台地上の造成地が宅地化される。 • 造成中だった光風台団地が宅地化される。 • 茨沼東側の水田に宅地の造成が始まり、北側に学校が建設される(低地)。 |

2.2 沖積層と丘陵地の地盤地質

2.2.1 作業手順

既存のボーリング資料を収集整理、検討することにより、地盤地質を考察した。作業は図－5の手順に従った。



図－5 作業手順フローチャート

2.2.2 ボーリング資料の整理

ボーリング柱状図は、調査の目的によって精度が異なり、位置や標高の表示方法、記載の方法などがまちまちである。“整理検討”の作業においてその統一をおこなったが、その際に留意した点を以下に記す。

① 位置の決定・標高の統一

位置の正確に示されている資料はそれに従ったが、指定された範囲が大まかなものや、地名・ポイント名等で記されているものは、その範囲の中央部をポイントとした。なお、一箇所でも数本のボーリングを行なっている場合には、地層の分布状況から最も良く対比できるものを採用した。

標高は資料により色々な基準を用いている。今回は地形図の標高の基準となっている東京湾中等潮位(T.P.)に統一した。なお記載のないものや、調査現場に基準点を設けて地盤高を表記しているものに関しては、付近のボーリング標高や地形図から標高を決定した。

表-5 特殊な基準面（対東京湾中等潮位）

| 基準面 ペール | 読み方 | 意味 | 使用区分 | 東京湾平均海面 との関係(m) | 備考 |
|------------|--------|----------|------------------|--------------------|------------------|
| A.P. | エーピー | アラカワペール | 荒川、中川、 多摩川、東京 | -1.1344 | |
| Y.P. | ワイピー | エドガワペール | 江戸川、利根川 | -0.8402 | |
| O.P. | オーピー | オオサカペール | 大阪湾、淀川 | -1.3000 | |
| K.P. | ケーピー | キタカミペール | 北上川 | -0.8745 | |
| S.P. | エスピー | シオガマペール | 塩釜港、鳴瀬川 | -0.0873 | |
| O.P. | オーピー | オモノペール | 雄物川 | ±0.0000 | 大阪湾のO.P. と異なる |
| N.P. | エスピー | ナゴヤペール | 名古屋港 | -1.412 | |
| M.S.L. | エムエスエル | ミーンシーレベル | 木曾川 | ±0.0000 | 東京湾平均海面 |
| A.P. | エーピー | 不明 | 吉野川 | -0.8333 | 荒川のA.P.と 異なる |
| T.P. | テーピー | トーキョーペール | 東京湾 | ±0.0000 | |

(財)日本建設情報総合センター(1986)による。

② 記載内容の検討

地質柱状図の記載は個人によって差があり、特有の表現がなされている。土質の記載に関しては、特にシルトと粘土の区別に個人差がみられる。これを統一することは地層を対比していくうえで非常に重要な事柄である。しかし一定の基準に統一することは、ボーリングコアを再検討しないかぎり不可能で、土質の記載内容の違いは、地層の対比を行なった後、それぞれの内容を検討し、折衷案をもうける方法をとった。なお、地層の対比には、調査地の中央付近で非常に良く地層の対比をおこなった資料があったので、これをインデックスとした。

2.2.3 地質

調査地付近を構成する地質層序を表-6に示す。

表-6 地質層序(概要)表

| 地質時代 | | 地層名 | | | 特記事項 |
|------|-------|------|--------|---------------------------------------|---|
| 第四紀 | 完新世 | 沖積層 | 藤代層 | 河内部層 | 沖積低地の表層を構成。主として粘土・細粒砂よりなり腐植物を多量に含む。 |
| | | | | 藤代部層 | 縄文海進時の堆積物で貝殻を含むシルト層よりなる。 |
| | | | 小貝川層 | 腐植物を含む砂質または粘土質シルトよりなる下部は円～亜円礫層。 | |
| | 更新世後期 | 洪積層 | 関東ローム層 | 関東ローム層 | 主に風化の進んだ火山層よりなる。 |
| | | | | 段丘礫層 | 砂の優越した砂礫層よりなる。 |
| | | | 常総層 | 常総層 | 主に灰色を呈す火山灰質粘土層とこれに挟在する火山灰質砂層、および凝灰質な砂礫～砂層を含む一連の堆積物よりなる。 |
| | | | | 下総層群 | 見和層 |
| | 更新世中期 | 下総層群 | 石崎層 | 葉理の発達した礫混じり灰色中粒砂で、砂鉄を多く含み軽石粒を含むことがある。 | |

(土地分類基本調査「竜ヶ崎」一部加筆、編集)

調査地の基底を構成する下総層群は、中期更新世～後期更新世に堆積した浅海性の地層で、砂を主体とした堆積物よりなっている。本層はその性状より大きく2層に区分され、下位を石崎層、上位を見和層と呼んでいる。

石崎層は、砂鉄を含む浅海性の砂層で、砂礫やシルトの薄層を挟んでいる。平行葉理や斜交葉理の発達が著しく、貝化石や生痕化石を含んでおり、層厚は30m以上とされている。

見和層は、調査地に分布するほとんどの台地を構成している地層である。本層はその性状により、下部・中部・上部の3層に区分されている。下部層は内湾性の貝化石を含む軟弱な泥層で、部分的に礫層を挟んでおり、最大で約40mの層厚を示す。中部層は部分的にシルト層を含む河成の礫層で、層厚は10～30mである。上部層は見和層の主体をなす浅海成層で、全般的に下半分は淘汰の良い細粒砂、上半分は砂鉄質の斜交葉理の著しい粗粒砂よりなり、層厚は10～15mである。なお中部層は調査地には分布していない。

下総層群の上位に分布する常総層は、旧河道堆積物の粗粒相(竜ヶ崎礫層を含む)と、その外側に広がる後背湿地の泥質相(常総粘土層を含む)とからなる。なお本

層は、かつて2層に区分されていたが、最近の研究で1層にまとめられている。

段丘礫層は、小野川沿いに見られる。一般に紫褐色の斜交葉理の発達した中粒砂からなり、硬質岩の細礫を含んでいる。これらの地層の上位に堆積する関東ローム層は、関東北西部方面の火山灰層と富士・箱根方面の火山灰層が混合した堆積物で、南関東の武蔵野・立川ローム層に対比されている。

沖積層は、最終氷期（ウルム氷期）後半に形成された谷を埋積して分布する地層で、主に泥・シルト・砂・礫およびこれらの混在物から構成されている。関東平野の沖積層の模式地である東京低地では、この層を大きく2層に区分して下位のを七号地層、上位は有楽町層と呼んでいる。七号地層は、今から2.5万～2.0万年前に堆積の始まった地層で、主に埋没段立の一部とこれを切りこむ谷を覆って分布しており、その基底には“BG”と呼ばれる基底礫層がある。本層は調査地では小貝川層と呼ばれている。有楽町層は、今から約0.5万年前の海進時（縄文）に堆積した地層で、下位の七号地層を切り込んで分布しており、その基底には“HBG”と呼ばれる基底礫層がある。本層は調査地では藤代層と呼ばれている。また有楽町層はその堆積物の性状により、さらに2層に区分されているが、調査地では下位を藤代部層、上位を河内部層と呼んでいる。

なお、七号地層は年代測定の結果や海面変動の経過から、更新世末期の地層であることが知られているが、土質工学的には、現在でも沖積層として扱われているため沖積層として記載した。

表一 沖積層の対比表

| ×10 ⁴ y.B.P | 東京低地 | | 鬼怒川・小貝川低地 | | | | 海水準変動曲線 0 - 50 - 100 | |
|---------------------------|------|-----------|-----------|---------|-----|-----------------|-------------------------|-------|
| | | | 地質層序 | 中流部 | 下流部 | 手賀沼 | | |
| 5・ | 有楽町層 | 砂泥 | 藤代層 | 河内部層 | 砂礫 | 砂泥 | 手賀沼層 | 有楽町海進 |
| | | 砂 | | | | | | |
| 10・ | HBG | シルト | 藤代部層 | 藤代部層・下部 | 砂礫 | 泥 砂泥 礫・泥炭 | 手賀沼層 | 有楽町海進 |
| | | 砂礫 | | | | | | |
| 20・ | 七号地層 | シルト | 小貝川層 | 上部砂礫層 | 泥炭 | 泥 | 布佐層 | 七号地海進 |
| | | 砂泥 | | | | | | |
| | | シルト | | | | | | |
| 30・ | BG | 砂礫 | BG | 中部礫層 | 砂 | 礫・泥炭 | | |
| | | 埋没段丘礫層 | | | | | | |
| | | 埋没段丘礫層 | | | | | | |
| | | 埋没海成段丘堆積物 | | | | | | |
| | | | 北海道礫層 | 下部礫層 | | | | |

(アーバンクボタNo.21より編集)

2.2.4 地盤の土質工学的性質

本調査で確認されたのは、下総層群、小貝川層および藤代層である。表-8に区分された地質の層序表を示し、各層について説明する。

表-8 地質層序(詳細)表

| 地質時代 | 地層名 | 記号 | 層相 | N値最大頻度範囲(頻度%) | 記 事 | | |
|-------------|-------------|------|------|-----------------|----------------------------------|--|--|
| 完 新 世 | 表盛土 | B | - | 砂質土 粘性土 | 1~10 (86.6) | 水川、畑等の耕作土および宅地道路の盛土。 | |
| | 2次のローム | 1m | - | 粘性土 | 1~10 (75.0) | 台地の縁辺部に、薄く分布するローム質な土壌。 | |
| | 藤代部 | 上 | A1 | (s) | 砂質土 | 1~10 (86.4) | 一般にB層直下に分布、層厚は最大で5m前後、N値はほぼ5以下。 |
| | | | | (c) | 粘性土 | 1~10 (69.9) | 腐植物や貝殻片を混入、層厚は5m以下、N値はほぼ5以下。 |
| | | | | (pt) | 腐植土 | 1~10 (56.2) | ほぼ全域に分布する後背湿地性の堆積物、層厚は5m以下、N値はほぼ0~1程度。 |
| | | A2 | (s) | 砂質土 | 1~10 (56.1) | ほぼ全域に分布、埋没谷で厚く埋没台地の部分で薄い。N値はほぼ10~20程度。 | |
| | (c) | | 粘性土 | 1~10 (100.0) | A2s層に挟まれ局所的に分布。層厚は3m以下、N値はほぼ5以下。 | | |
| | 下部 | A3 | (c) | 粘性土 | 0 (73.3) | 埋没谷に厚く分布(最大35m)。貝殻片、腐植物を混入する。N値はほぼ0。 | |
| | 更 新 世 | 小貝川層 | A4 | (pt) | 腐植土 | 1~10 (88.9) | 主にA3c層直下に分布。層厚は1~3m前後、N値は5~10程度、旧表上の可能性あり。 |
| | | | | (c) | 粘性土 | 1~10 (86.9) | 埋没谷に分布。A4s層と互層状を成す。層厚は1~10m前後、N値はほぼ5以下。 |
| (s) | | | | 砂質土 | 51以上 (25.3) | 埋没谷に分布、腐植物を混入する。層厚は2m以上、N値は分布範囲が広く安定しない。 | |
| (g) | | | | 砂礫 | 51以上 (64.0) | 埋没谷の基底礫の性格を持つ。層厚は3~10m前後、N値はほぼ50以上。 | |
| 下総層群 | | D1 | (c) | 粘性土 | 11~20 (87.5) | 埋没台地の最上部層。層厚は10m以下、N値は5以下。 | |
| | | | (s) | 砂質土 | 51以上 (40.0) | 埋没台地に分布、層厚は5~20m程度、N値はほぼ50以上だが、部分的に安定しない。 | |
| | | | | (c) | 粘性土 | 1~20 (54.5) | D2s層に挟まれて分布。層厚は3m以下、N値はデータ数が少なく安定しない。 |
| | | D3 | (s) | 砂質土 | 51以上 (50.3) | 埋没台地に分布。層厚は最大で15m程度、N値はほぼ50以上だが部分的に低い。 | |
| | | | (c) | 粘性土 | 11~20 (53.9) | D3s層に挟まれて分布。層厚は1m~10m程度、N値は11~20程度である。 | |
| | | D4 | (s) | 砂質土 | 51以上 (95.8) | 台地の基底部付近に分布。小礫、浮石を混入する。層厚は5m以下、N値はほぼ50以上。 | |
| | | | (g) | 砂礫 | 51以上 (83.3) | D4s層の礫分の多くなった層、層厚は5m以下、N値はほぼ40以上。 | |
| | | D5 | (s) | 砂質土 | 51以上 (36.0) | 埋没台地の基底部付近に分布、貝殻片を多量に混入。層厚は6m以下、N値はほぼ50以上。 | |
| | | D6 | (pt) | 腐植土 | 11~20 (46.2) | 埋没谷の基底面レベルに水平に分布、旧表土の可能性あり。N値は11~20程度。 | |
| | | D7 | (s) | 砂質土 | 51以上 (94.2) | 基盤的性格を持ち、ほぼ全域に分布すると考えられる。N値は50以上、上限はほぼ水平 | |
| | | | (g) | 砂礫 | 51以上 (100.0) | D7s層の礫分の多くなった層。N値は50以上。 | |

① 下総層群 (D1~7)

調査地の基底を構成する地層で、その分布深度は一般に深く、ボーリング資料により確認できるものは少ない。本層は、その性状および累重の状況から7層に区分し、下部よりD7~D1とした。これらの地層を構成しているものは主に砂質土であるが、部分的に粘性土や腐植土層を挟在している。全体に締りが良く、N値は50以上のものが多い(粘性土・腐植土で11~20を示す)。

② 小貝川層 (A4)

埋没谷に広く分布している。層厚は一般に20~30mで、層相は砂質土および粘性土の互層を主体としており、全体に層相の変化が著しい。その基底面には礫層を伴っている場合が多く、また稀に腐植土層を挟在する。砂礫は全般に締りが良く、N値も50以上のものがほとんどである。それに比べて砂質土は腐植物を混入するなどやや不均質な部分があるため、N値は50以上を示すものもあるが安定していない。粘性土および腐植土のN値はほぼ10以下である。

③ 下部藤代層〔藤代部層〕(A3)

下位の小貝川層を覆って厚く堆積しており、その層厚は最大で35mである。本層は主に粘性土およびシルト(稀に細砂)よりなり、貝殻片や腐植物を混入している。本層の上下には一般に砂質土層が分布しているため、それらの付近ではやや砂質になる。全般に含水比が高く軟質で、N値はほとんど0もしくはそれに近い値を示す。

④ 上部藤代層〔河内部層〕(A1・2)

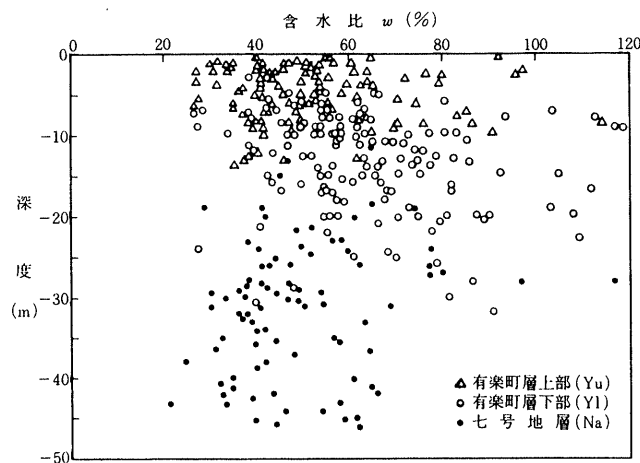
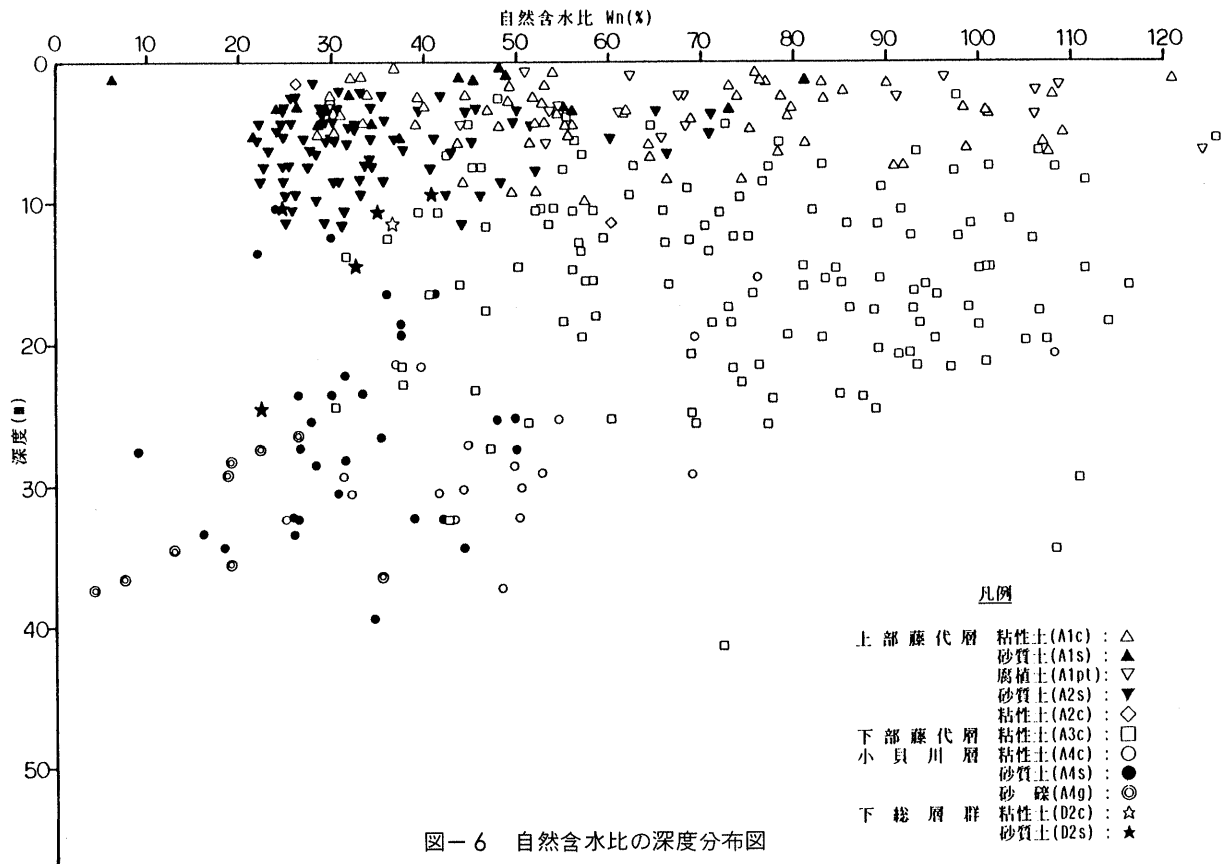
本層は調査地のほぼ全域に分布しており、その性状から大きく2層に区分し、下からA2層、A1層とした。A2層は主に細粒~中粒(稀に礫を混在)の砂質土からなり、層厚は最大で約20mに達するが、埋没台地上で厚く低地の中央部でやや薄い。他の層に比べて締りが良く、N値が5~10とやや高いことから、地層を対比して行く上で良いキーベッドとなる。局所的に粘性土A2c層を挟在している。A1層は、砂質土および腐植土よりなり、一般に層厚は薄く最大で5m前後である。全般に軟弱な堆積物でN値はほぼ5以下である。

次に上記各層の土質工学的性質を説明する。これらの沖積層はいわゆる軟弱地盤を形成しており、正規圧密の海成粘土が主体で、これに締りの悪い砂層が分布するので地下水の過剰揚水による地盤沈下や地震による液状化の生じやすい地盤である。収集したボーリング資料は、主に構造物の建設・設計を目的とした調査であるので、沖積層での多数の土質試験が行なわれている。ここでは、これらの土質試験結果から得られた地盤の諸特性のうち①自然含水比、②液性限界、③一軸圧縮強度、④標準貫入試験値についてまとめた。

① 自然含水比 (W_n)

自然含水比と深度との関係を図-7に示す。全体的な傾向としては小貝川層<藤代層、砂質土層<粘性土層で含水比が大きい。各層別にみると上部藤代層は20

%～60%、下部藤代層は50%～110%、小貝川層は20%～50%付近に集中がみられる。なお、東京低地で同様の試験結果をまとめているので調査地のデータとの比較を行った。その結果それぞれ対比される地層は、ほぼ同様な傾向を示していることが分った。



② 液性限界 (W1)

液性限界と塑性指数の関係図(塑性図)を図-8に示す。上部藤代層中の腐植土層(A1pt)と粘性土(A1c)の一部が高塑性域に、また下部藤代層(A3c)の一部が高活性域に分布する他は顕著な差は認められず、A線に沿って分布している。また東京低地の試験結果を図-9(a)、(b)に示すが、調査地のデータとの相違は特に見出すことは出来ない。

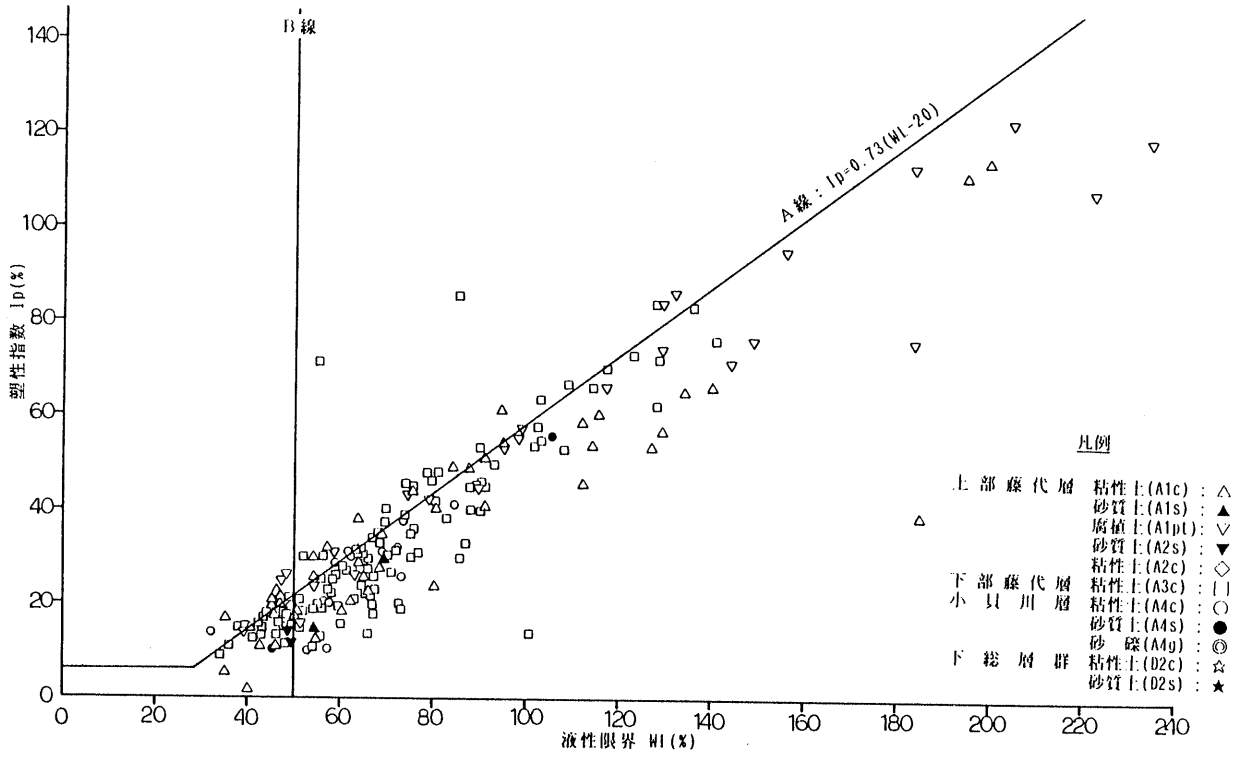


図-8 塑性図

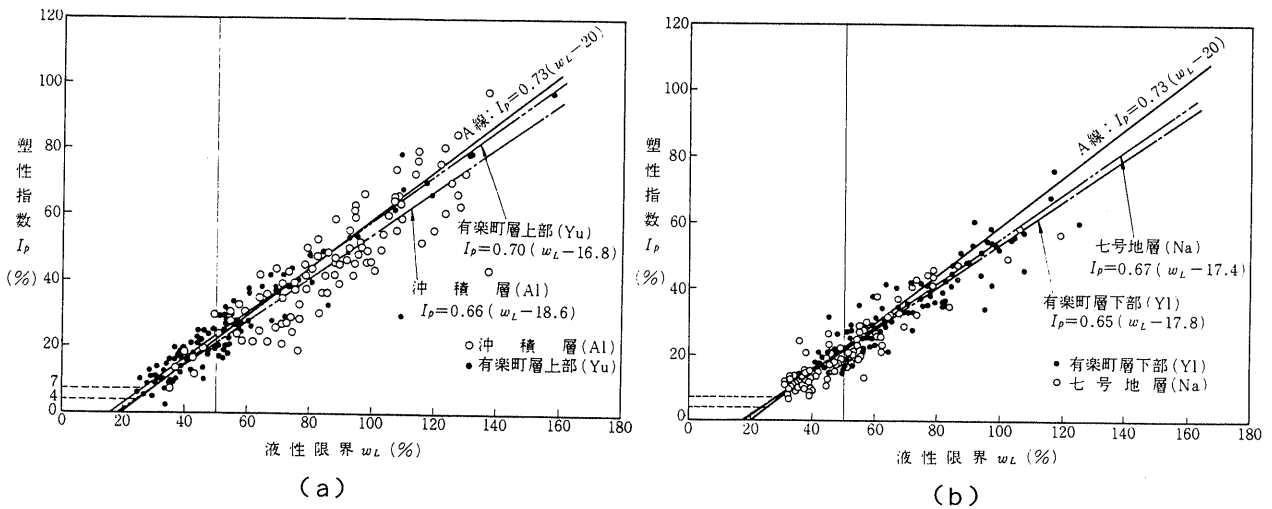


図-9 (a)、(b) 有楽町層・七号地層の塑性図(東京低地の例)

③ 一軸圧縮強度 (q_u)

一軸圧縮強度と深度との関係を図-10、11に示す。全般に深度が増すごと、時代の古い地層ほど値が大きくなる傾向にある。また、砂質土と粘性土の差は上部藤代層で見るとかぎり無い。各地層ごとに見ると藤代層上部は0.1~1.1、藤代層下部は0.2~1.6、小貝川層は0.7~1.3の値を示す。東京低地での試験結果を図-12(a)、(b)に示すが、それぞれ対比される地層ごとにほぼ同様な値を示している。

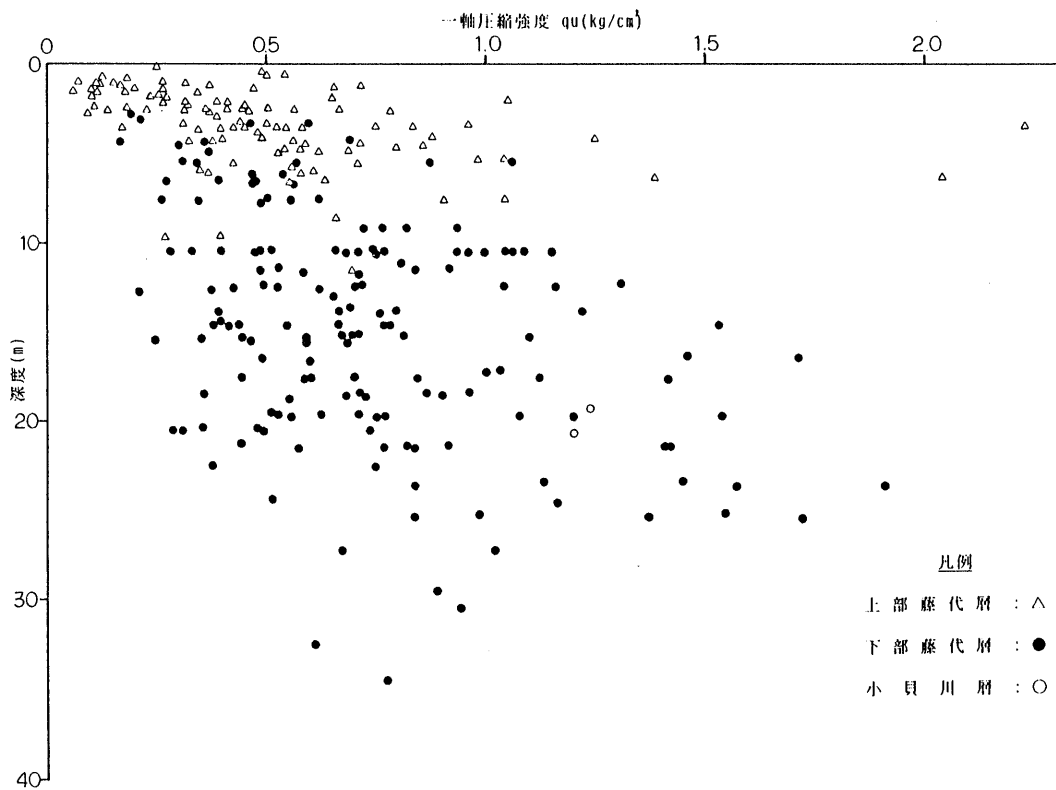


図-10 一軸圧縮強度の深度分布図(粘性土)

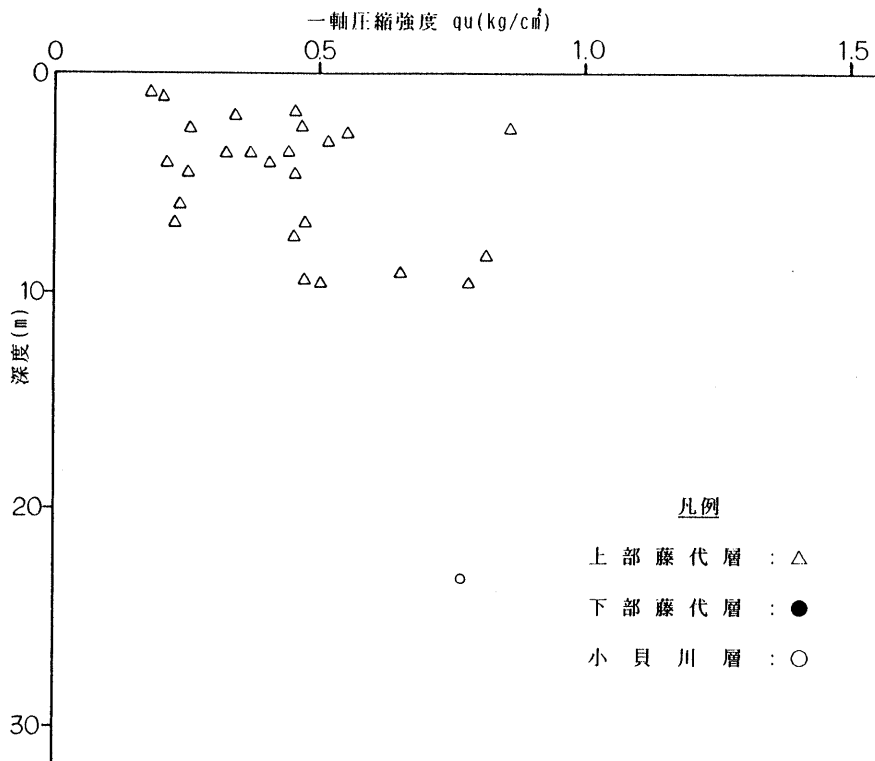


図-11 一軸圧縮強度の深度分布図(砂質土)

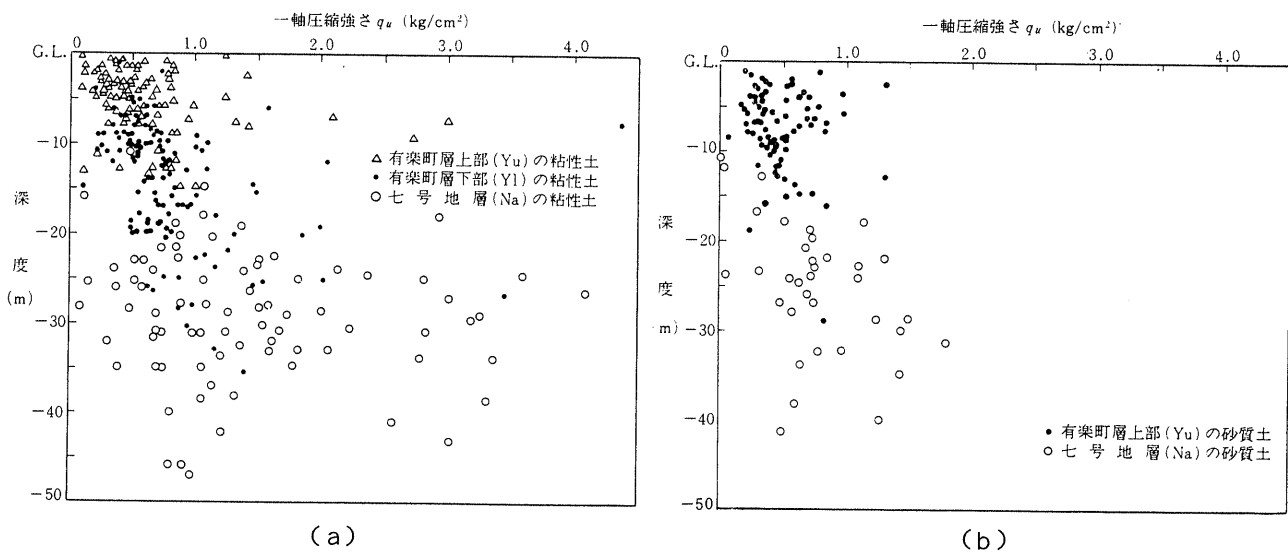


図-12 (a)、(b)一軸圧縮強度の深度分布図(東京低地の例)

また、一軸圧縮強度と自然含水比との相関から海成粘性土と陸成粘性土の特性が示されているので、藤代層中の粘性土に関して同様の相関図を作成した。その結果あまり明瞭ではないが、ほぼ海成粘性土の特性を示していると言える。

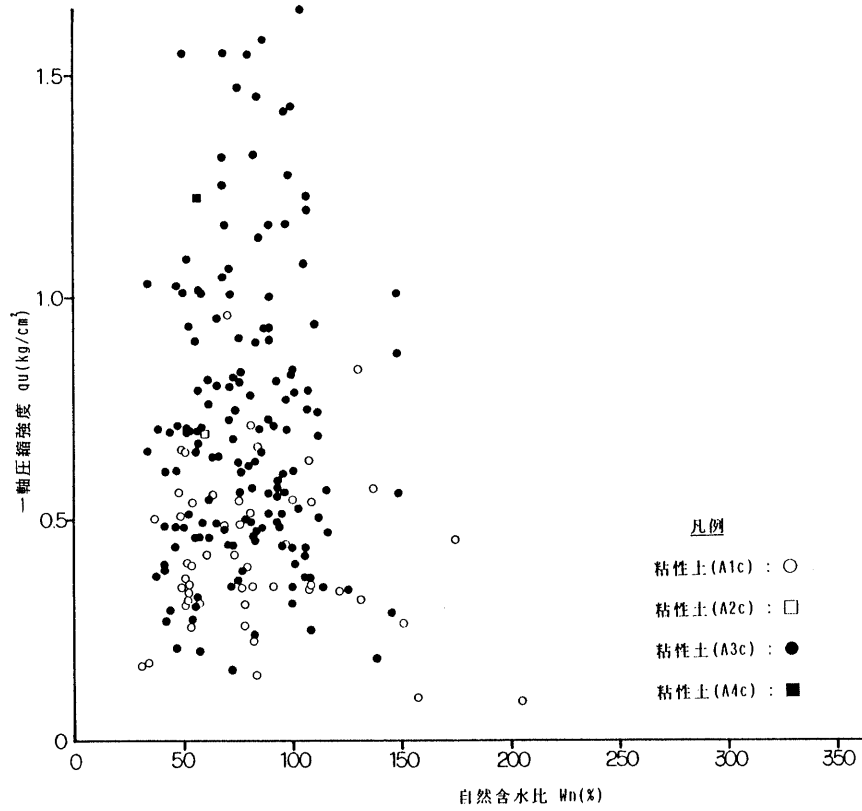


図-13 一軸圧縮強度と自然含水比との関係図

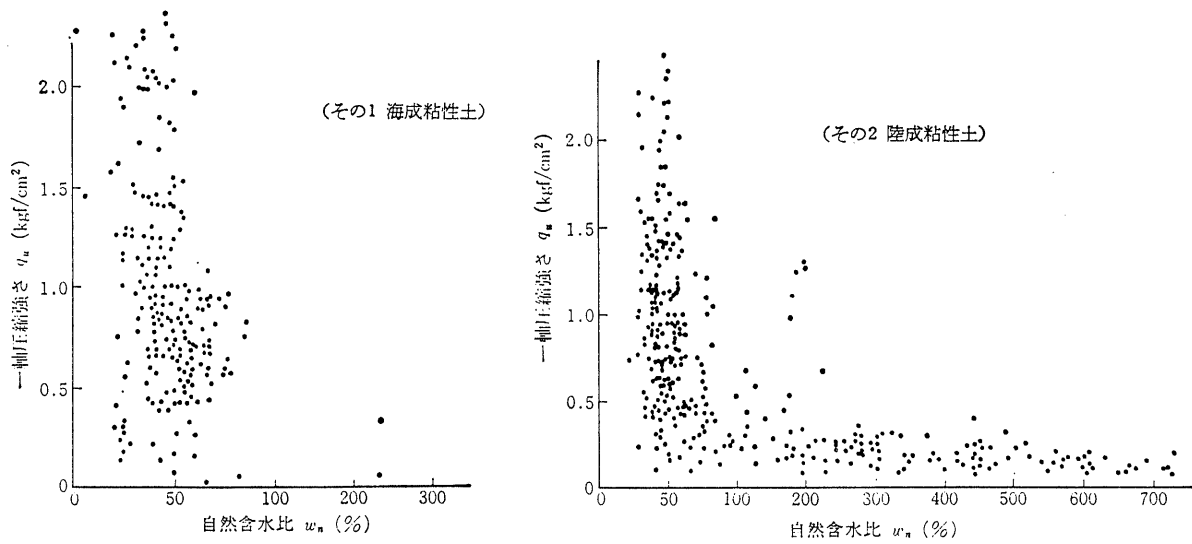


図-14 一軸圧縮強度と自然含水比との関係からみた陸成、海成粘性土の違い

④ 標準貫入試験値 (N 値)

N 値と深度との関係図を図-15に示す。一般に粘性土で値が小さく。砂質土で大きくなる傾向にある。上部藤代層の砂質土 (A2s) は目立って高い値を示すものもあるが、他は全般に 20 以下である。下部藤代層は概して値が小さく 0 もしくはそれに近い値である。小貝川層は、粘性土で 10 前後と値が一定しているが、砂質土では値がバラついている。

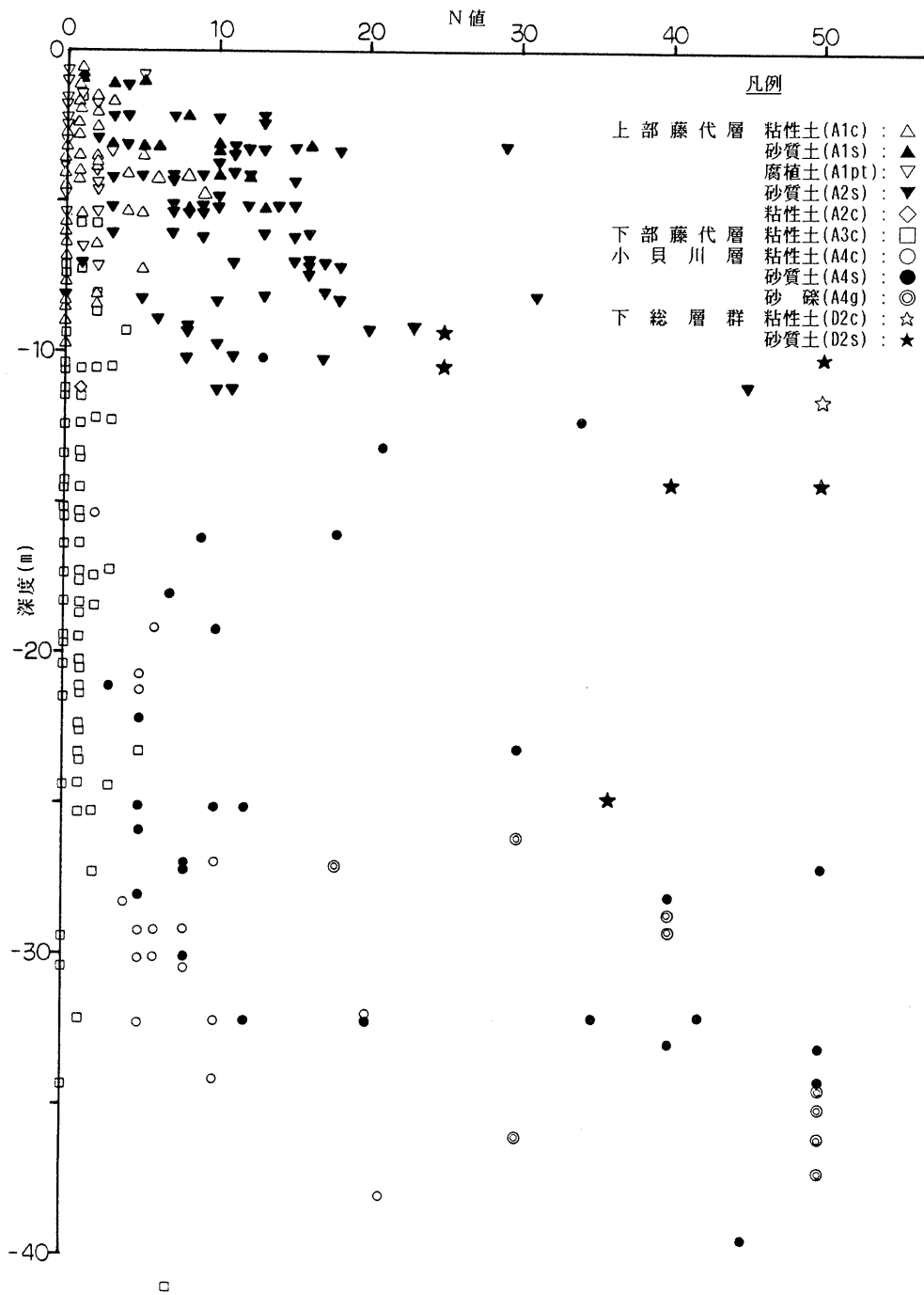
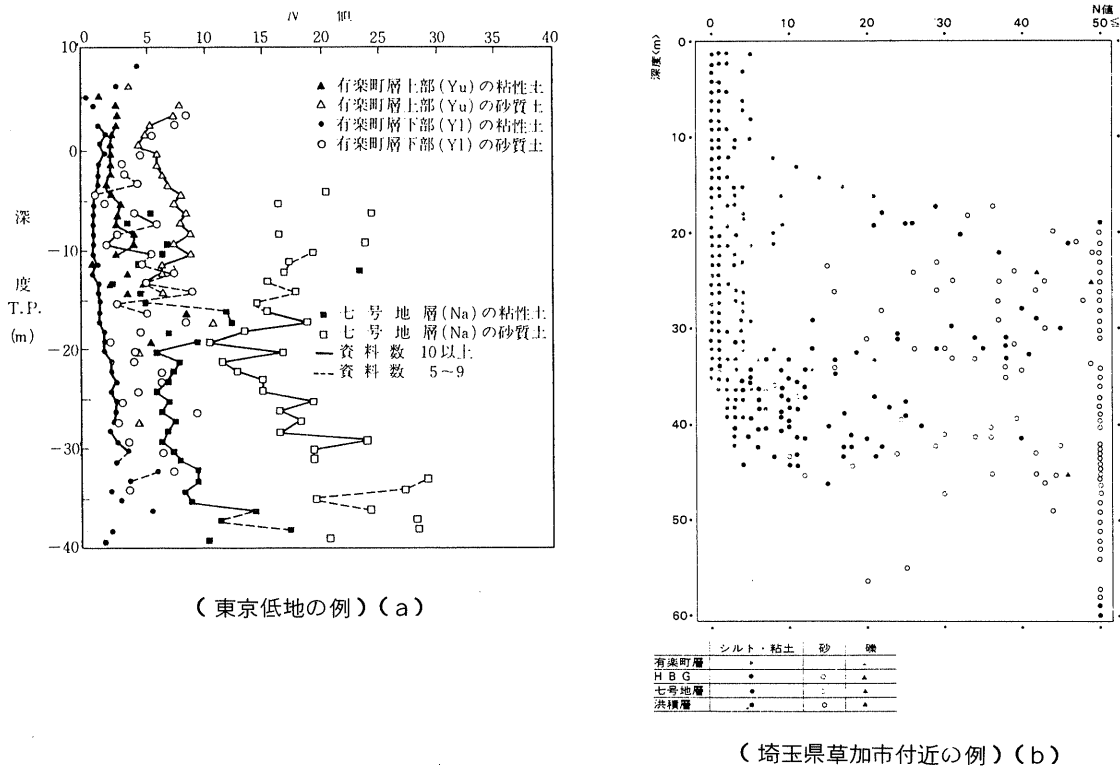


図-15 N値と深度の関係

同様の事を東京低地と埼玉県草加市付近で行っているので図-16(a)、(b)に示す。調査地に分布する小貝川層の砂(A4s)がバラつく他は、全般的な傾向としては各層順においてほぼ同様な傾向を示している。



(東京低地の例)(a)

(埼玉県草加市付近の例)(b)

図-16(a)、(b) 沖積層・洪積層のN値分布図(東京低地および埼玉付近の例)

以上区分した沖積層のうち、地盤沈下や地震時における砂地盤の液状化の対象となる地層は、藤代層上部の腐植土層(A1pt)、砂質土層(A1s+A2s)および藤代層下部粘性土層(A3c)である。以下これについて述べる。

① 腐植土層の分布

腐植土層は後背湿地や旧流路跡および牛久沼などの停滞水地帯に良く分布している。層厚は1m以下、1m~3m、3m以上の3区分に表示した。後背湿地や牛久沼周辺域で厚く(3m以上)なる傾向にある。

② 砂質土層分布

砂質土は、調査地のほぼ全域に分布している。層厚は5m以内の地域がほとんどだが、取手市山王付近~谷和原村にかけての小貝川流域沿いや、牛久沼周辺、取手市街地および利根町中田切・揚土付近で層厚が10m以上と厚くなっている。ボーリング孔内水位から求めた自然地下水位のコンターから見ると、概略的な傾向として北西域で厚く、南東に薄い傾向がみられる。特に取手市神之浦付近や河

内村加納新田～竜ヶ崎飛行場にかけては1 m前後の厚さである。

③ 粘性土層分布

粘性土は、基底面のコンターが10m以深の部分にコンターにほぼ調和的に分布堆積している。従って深いコンターの部分では厚く、浅いコンターの部分では薄くなっている。

2.2.5 藤代層基底等高線について

収集したボーリング資料に基づいて、藤代層基底等高線を作成した。なお、当初の予定では、小貝川層基底等高線の作成を考えたが、収集したボーリング資料では小貝川層の基底面（下総層群）を確認できるものが少なかったため、地質時代的に沖積層を区分できる藤代層の基底面を表示することとした。従ってこの等高線が表わしているものは、七号地層海進によって、ところどころの谷および一部の台地が埋められた後の面であるため、谷底部の位置が既往の文献に比べて多少浅くなっているものもある。基底面は埋没谷と埋没台地とに区分できる。以下その特徴について述べる。

① 埋没谷

調査地中央部の小貝川低地に沿って発達する。谷和原村から伊奈町付近では現在の小貝川の谷筋に沿うものと、中通川に沿うものの2本に分かれているが、藤代町前畑付近で一本になる。この付近では標高-20m前後である。谷はこれより南東方向に連続するが取手市桑原から南へ利根川に向く谷が分岐する。一方牛久沼にみられる埋没谷は藤代町高須付近で小貝川の谷と合流し、谷幅を広げる。最大で4Kmにも達する谷は竜ヶ崎市街地付近でやや幅を狭めるが、再び幅・標高共に増し竜ヶ崎市宮淵町付近から下流では-40mより深くなる。

② 埋没台地

伊奈村彌柳付近および取手市毛有付近に現在の台地から分離し孤立した高まりがみられる。また、牛久沼南西部や竜ヶ崎市街地付近および取手市小文間から利根町に連なる北相馬台地の縁辺部に付随又は張り出しているものがみられる。それらの標高は、おおよそ-10mであり、谷筋に平行に長く伸びた形状を呈しているものが多い、既往の文献によれば、このうちのいくつかは埋没段丘であるとされている。その形状および地質との関係から埋没段丘と解釈出来る部分もあると考られるが、今回の調査では明確に判読されるものが無いため、一括して埋没台地として区分した。

2.3 地下水と地盤沈下の状況

2.3.1 調査の手順

地下水と地盤沈下の状況は図-17の手順によった。

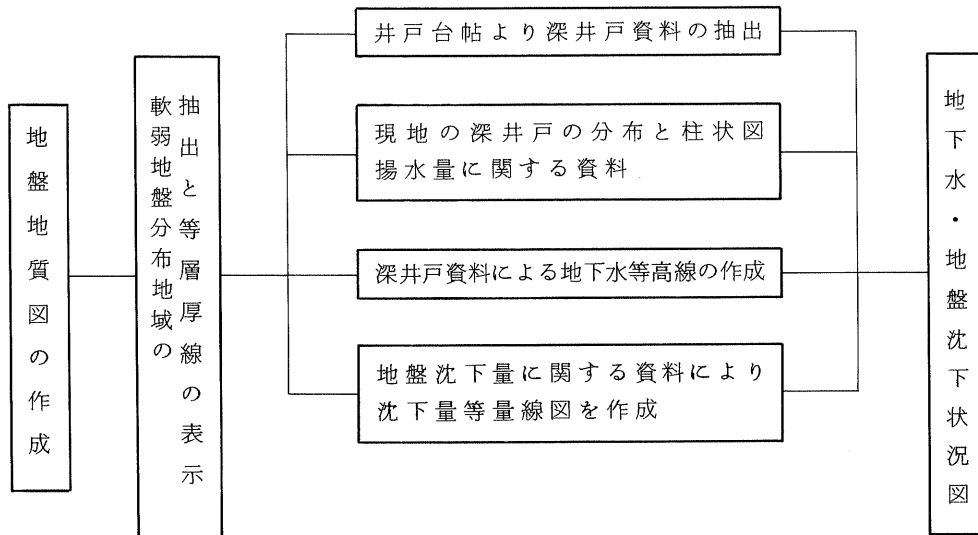


図-17 地下水・地盤沈下状況図のフローチャート

2.3.2 地下水の状況について

図-18は昭和60年度と61年度の茨城県の年間降雨量である。降雨量の一般的な傾向として、福島県との県境の北部山岳地帯と鹿島地方及び筑波山の北東丘陵地域に多い。竜ヶ崎地方は年によって降雨量に差があるものと思われるが、1200～1300mm/年の平均降雨量となり、関東地方の年平均降雨量1300mm/年(1951年～1980年の平均)に比してもそれほど降雨量の多い地域ではない。

表-9 降雨量年表

単位：mm

| | | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 年合計 | 最大日量 | 最大月日 |
|--------|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-------|
| 竜ヶ崎観測所 | 53年度 | 31 | 28 | 96 | 135 | 90 | 117 | 29 | 9 | 122 | 133 | 44 | 41 | 875 | 43 | 4.3 |
| | 54年度 | 52 | 76 | 69 | 111 | 145 | 73 | 80 | 41 | 91 | 269 | 170 | 32 | 1,200 | 86 | 10.19 |
| | 55年度 | 91 | 19 | 133 | 109 | 206 | 111 | 178 | 113 | 93 | 129 | 104 | 40 | 1,326 | 57 | 6.29 |
| | 56年度 | 4 | 31 | 112 | 156 | 121 | 111 | 44 | 108 | 124 | 293 | 63 | 7 | 1,174 | 149 | 10.22 |
| | 57年度 | 49 | 35 | 66 | 93 | 84 | 201 | 139 | 113 | 369 | 182 | 95 | 29 | 1,455 | 184 | 9.12 |
| | 58年度 | 21 | 48 | 105 | 114 | 92 | 165 | 135 | 204 | 199 | 124 | 66 | 4 | 1,277 | 77 | 8.15 |
| | 59年度 | 51 | 59 | 50 | 61 | 53 | 251 | 62 | 1 | 37 | 64 | 50 | 57 | 855 | 98 | 6.23 |
| | 60年度 | 9 | 177 | 145 | 173 | 89 | 328 | 71 | 104 | | | | | | | |

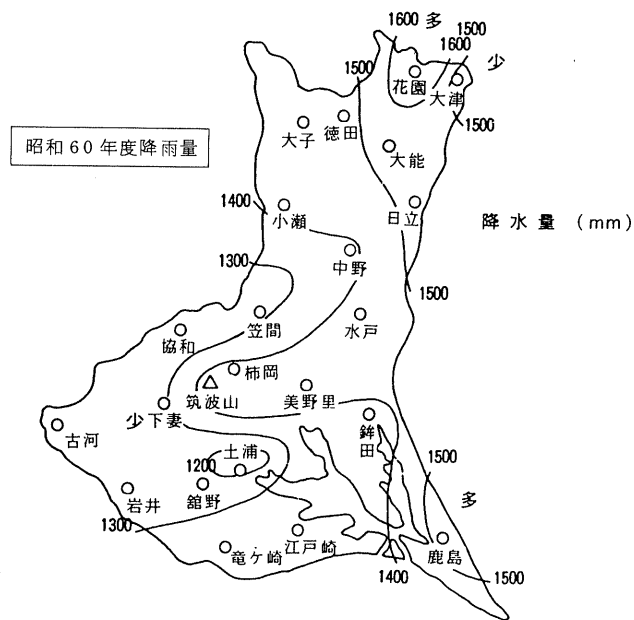


図-18(a) 茨城県の年間降雨量(mm)

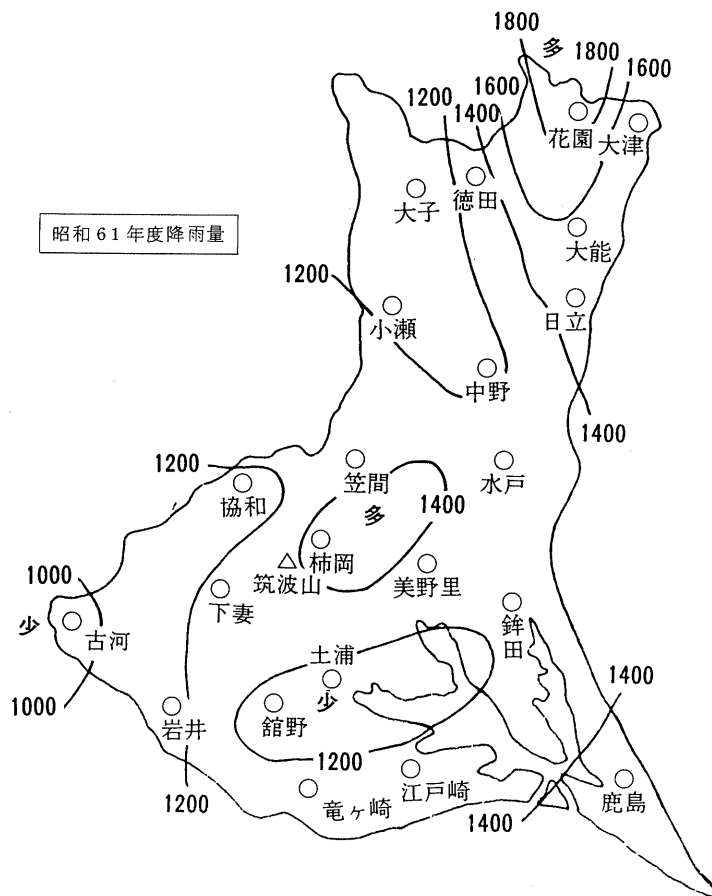


図-18(b) 茨城県の年間降雨量(mm)

一方、この地域は現在の利根川水系に沿う形で氷河期の谷が図-19のように形成されており、それが縄文前期の海進及びその後の海退を通じて徐々に埋積されて、現在のように埋没谷となっている事は明らかである。この埋没谷に向って利根川水系の両岸に広がる広大な丘陵地面（主として武蔵野面、一部に下末吉面）や栃木県境となっている山岳地帯からの浸透水が地下水となって補給されているであろう事は作業仮説的な一般論としては考えられるが、実際的なメカニズムはまだ明らか

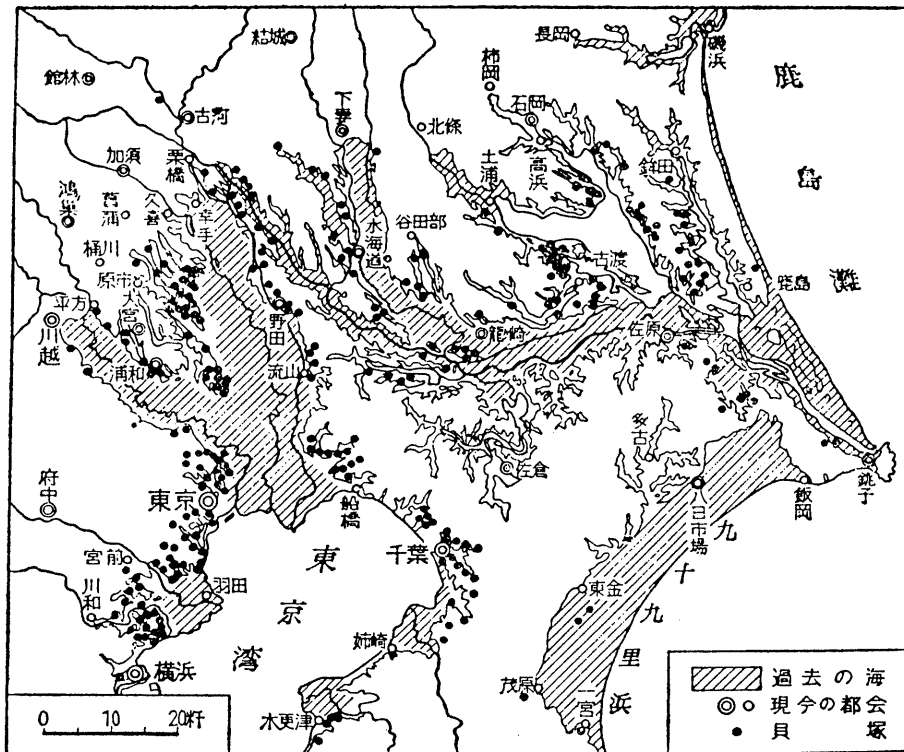


図-19 貝塚の分布から推定された石器時代の海岸線（東木龍七、1926）

ではない。竜ヶ崎地方の地下水の帯水層は、深度40～50m付近に分布する沖積層の基底礫層と60m以深の洪積層の礫質土があり、採水は沖積層の下部より洪積層にまたがっている場合や、沖積層の基底礫層の分布が明瞭でない、深度100m以深の洪積層中の礫質土3～5層を対象として採水している場合等がある。洪積層の礫質土の中でも深度140～160mの間に分布する厚さ10m内外の礫質土は広い範囲に分布し、この地域の有力な帯水層となっているように思われる。図-20、22、24に各々取手、藤代、竜ヶ崎の地下水の季節変動の観測実例を示す。

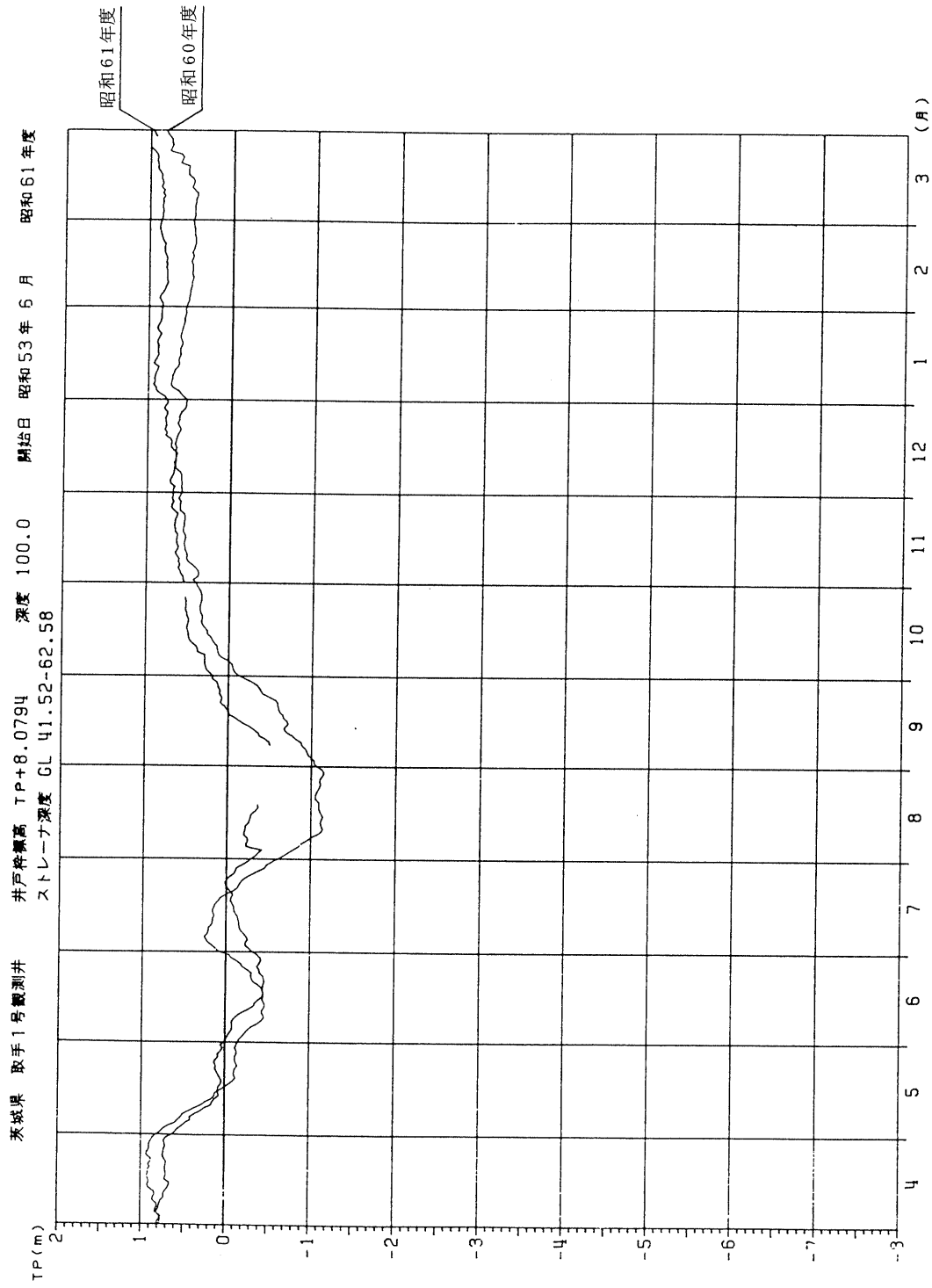
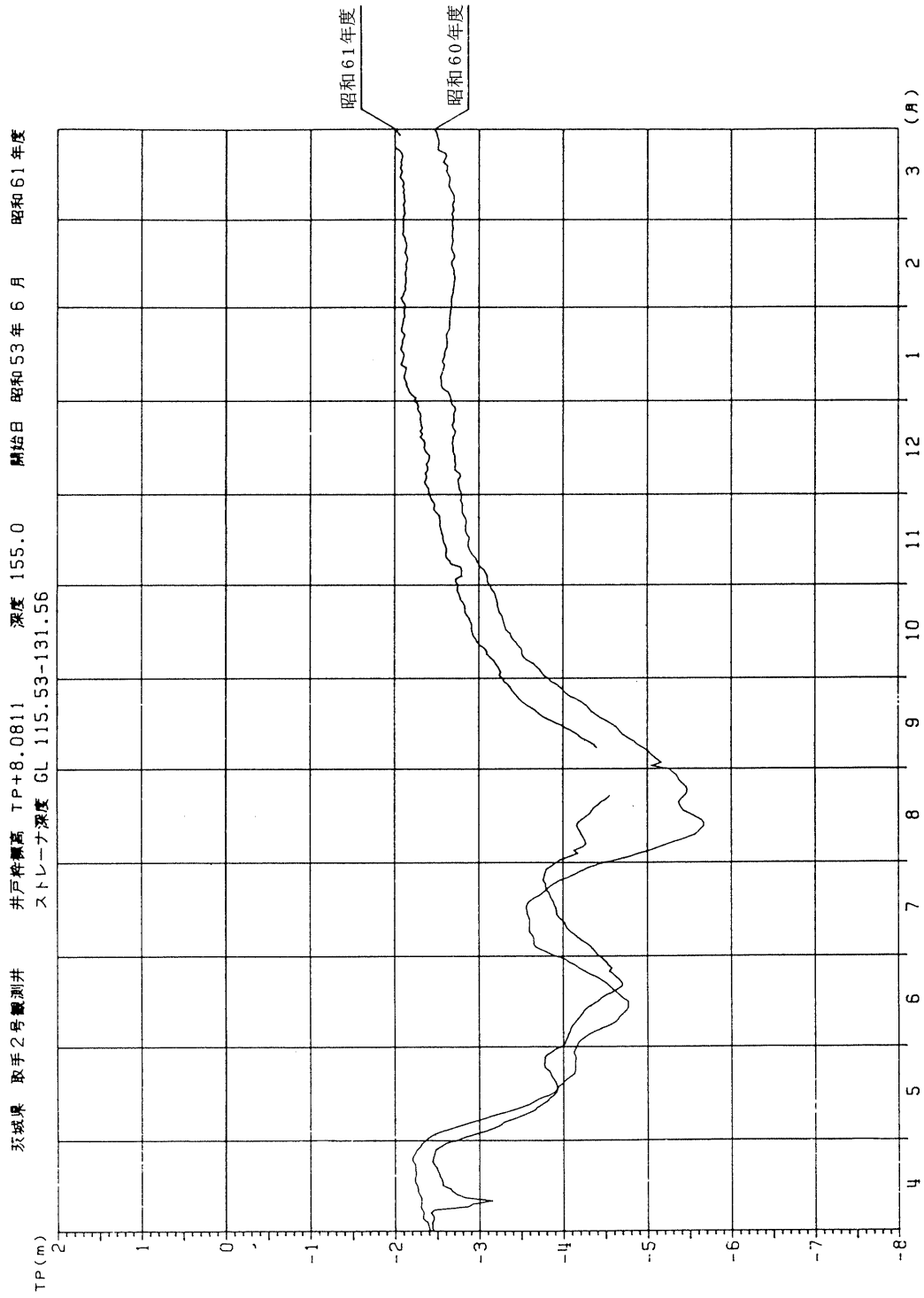


図-20(a) 地下水年間変動図(前年比)



図一20(b) 地下水位年間変動図(前年比)

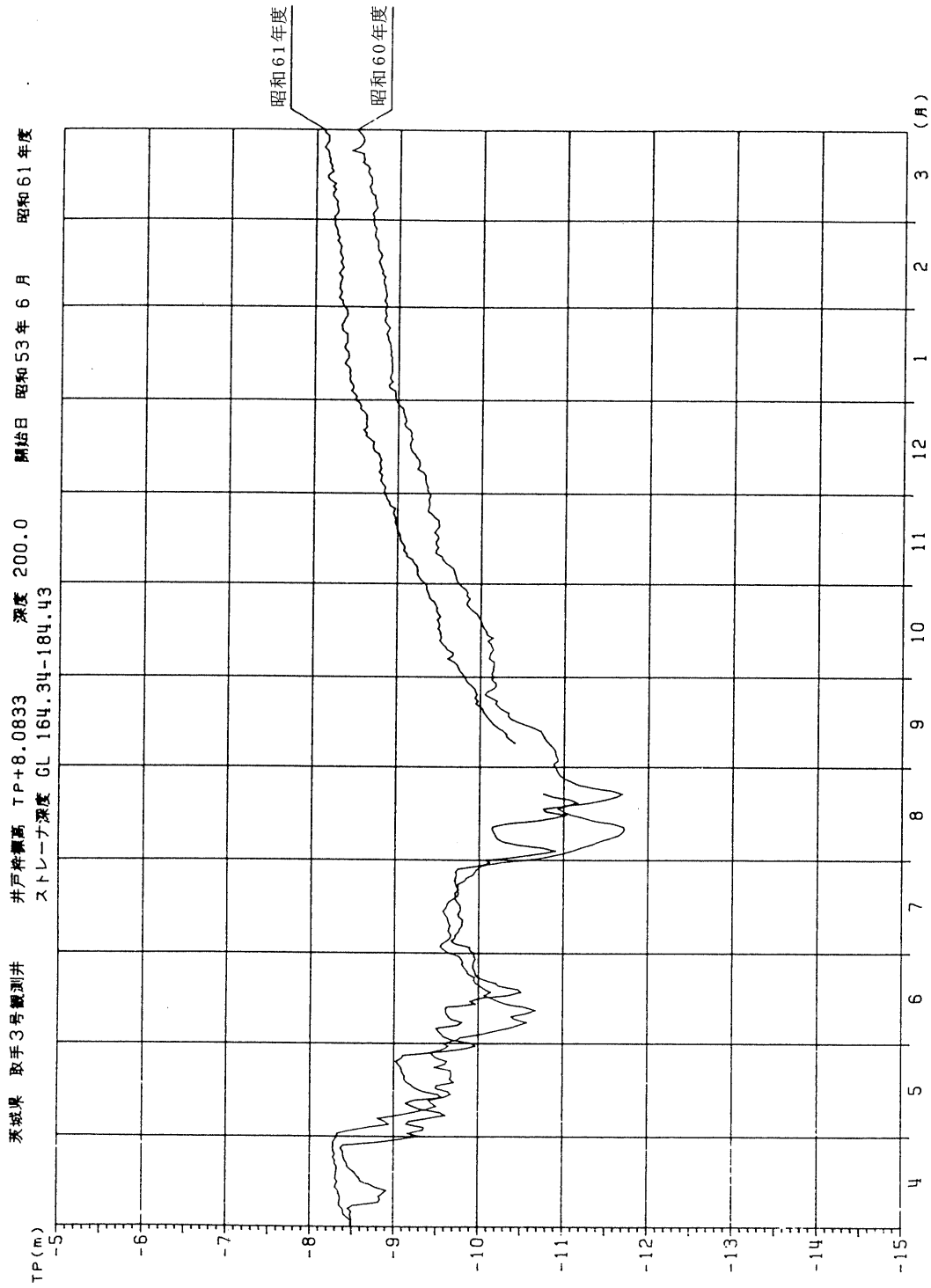


図-20(c) 地下水位年間変動図(前年比)

図-21は図-20の3本の地下水毎の経年変化を1枚の図に示したものである。ここで留意したいのは観測深度が平均値でほぼ深度51m、120m、174mで異なった帯水層の地下水位を観測しているのだが、水位変動のパターンがほとんど同一で位相差がない。ただ水位の上下幅は沖積層にまたがっている1号井が2mと小さく、洪積層の礫質土の水位を観測している2号井と3号井は3m内外を示し若干異なる。

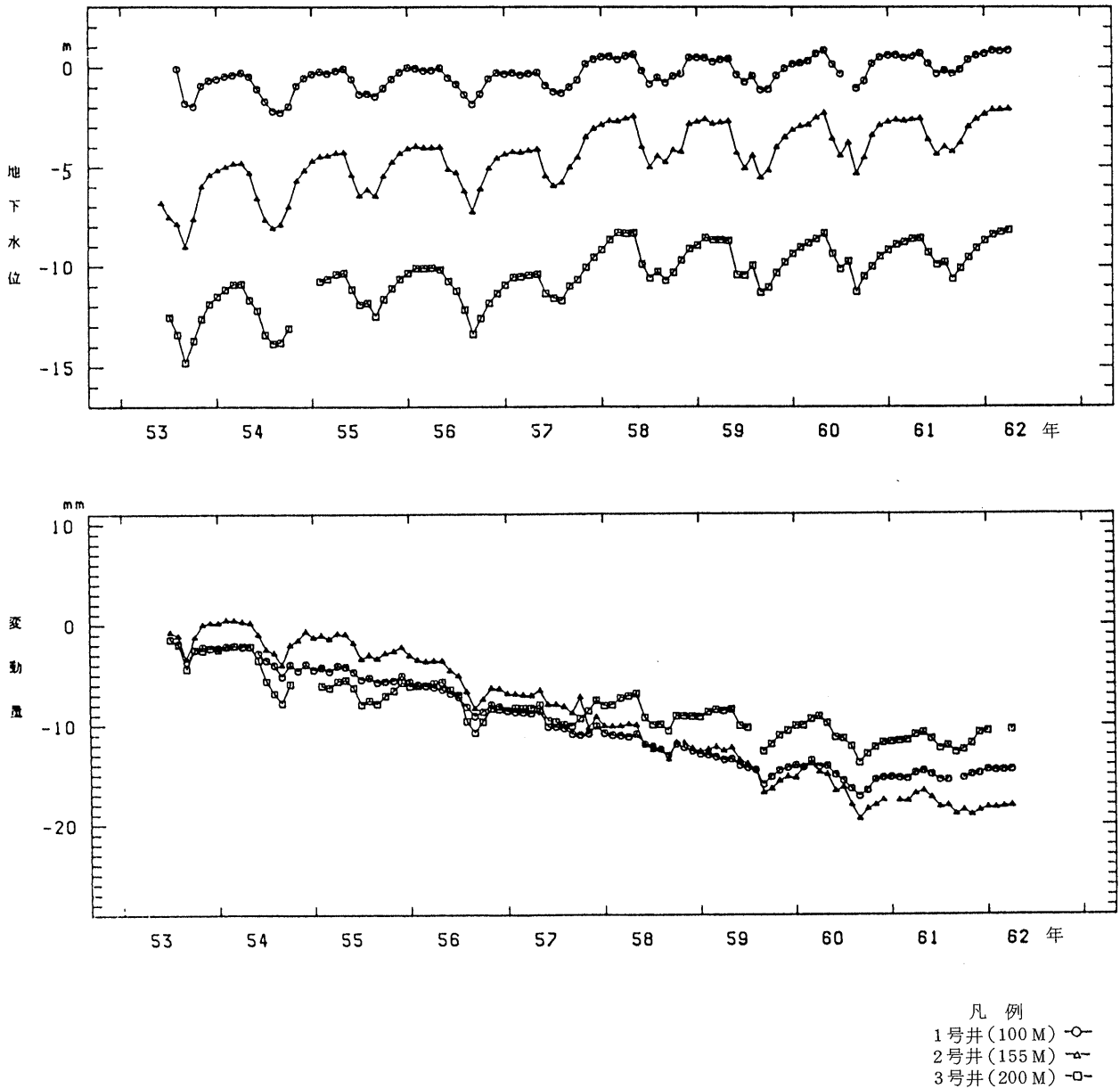


図-21 取手観測井

藤代の観測井は深度150mの井戸であり、ここではストレーナーの位置が深度133.5～144.5mで取手の2号井と3号井の間間的な洪積層の礫質土の水位を観測しているが、図-22で示すように季節的変動パターンは図-20で示したように取手1号井～3号井と同様であり、位相差はほとんどない。図-23は藤代観測井の経年変動地下水水位を示したものである。以上のことからわかるように取手と藤代の場合、同一の地下水脈の水位を観測しているのではないかと思われる位に、その変動パターンに類似性がある。

ではこの地点より10Kmほど下流にある竜ヶ崎の観測井ではどうであろうか。図-24に示すようにパターンは明らかに異なる。

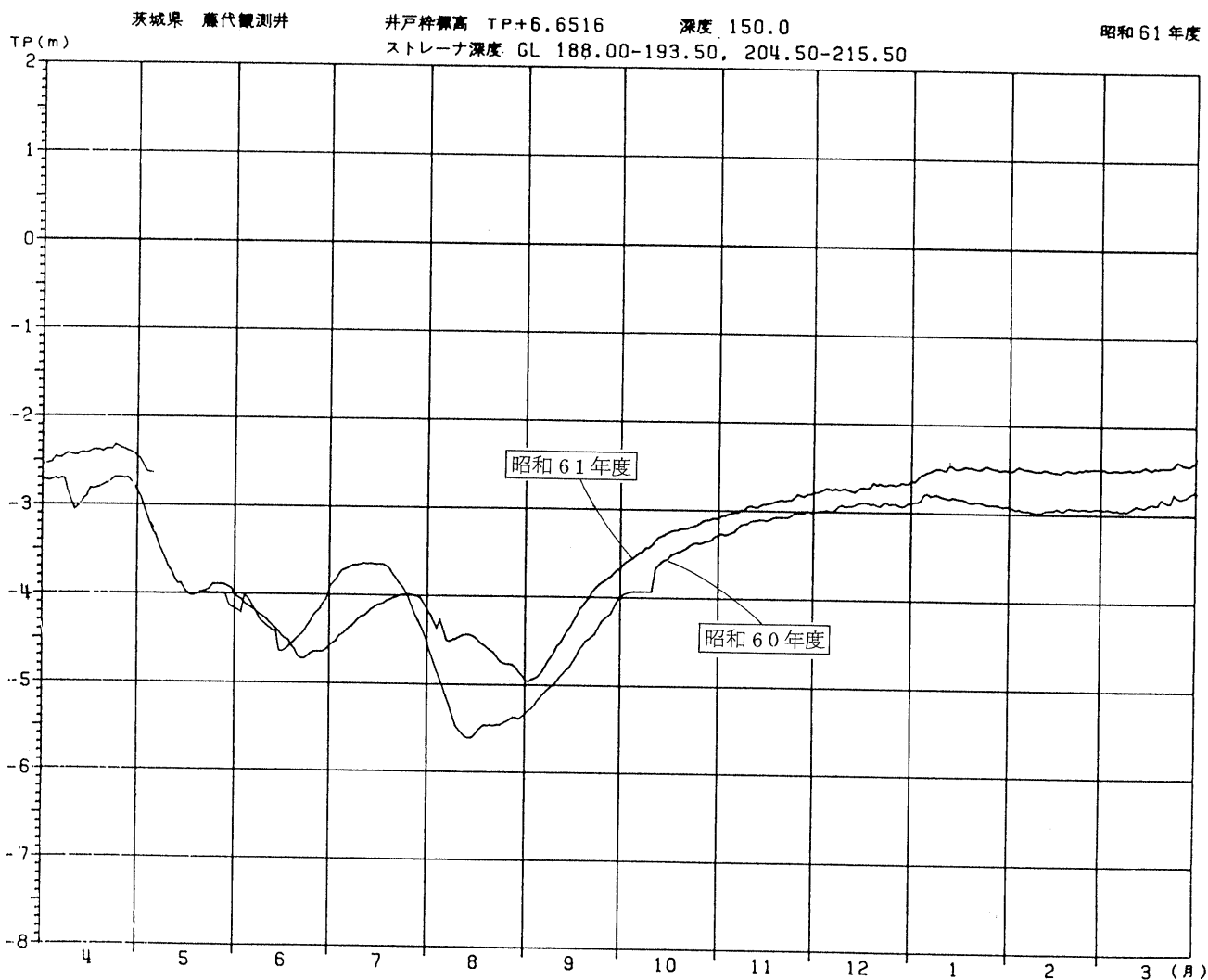


図-22 地下水水位年間変動図(前年比)

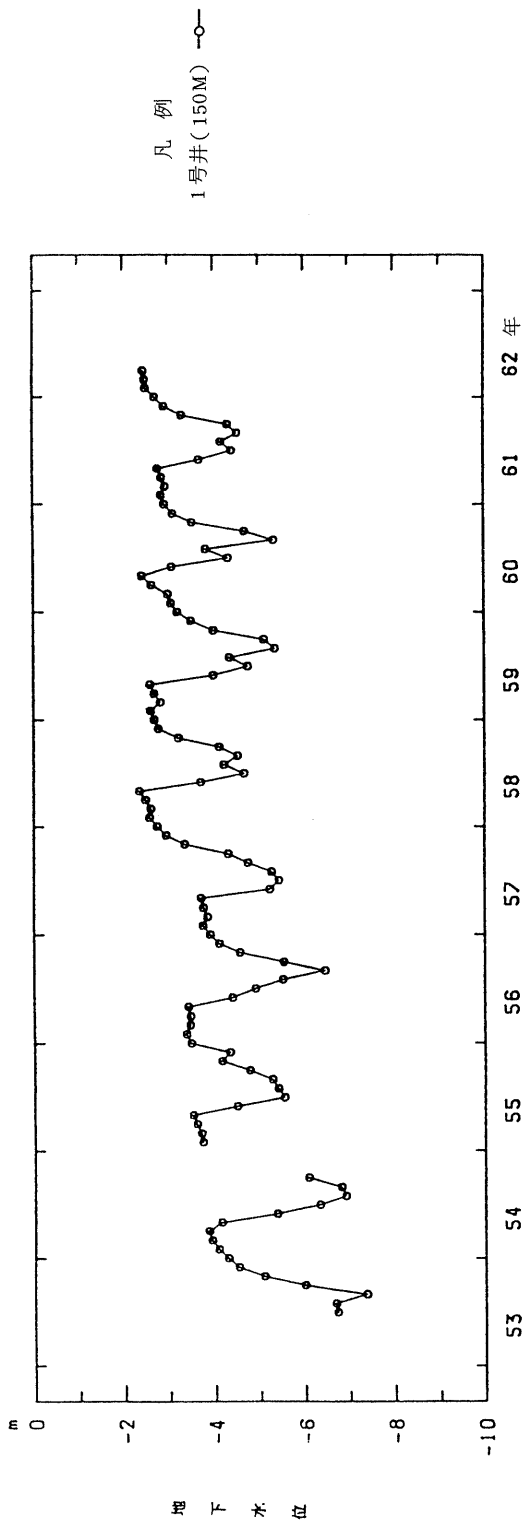


図-23 藤代観測井

NO. 44 - 1 茨城県 竜ヶ崎 地区 井戸標高 I.P. + 6.32 m 深度 110 m 開始日 昭和 57 年 4 月
又下レ-ナ深度 GL - 40m - 51m, 62m - 78.5m, 88.5m - 100.5m 昭和 61 年度

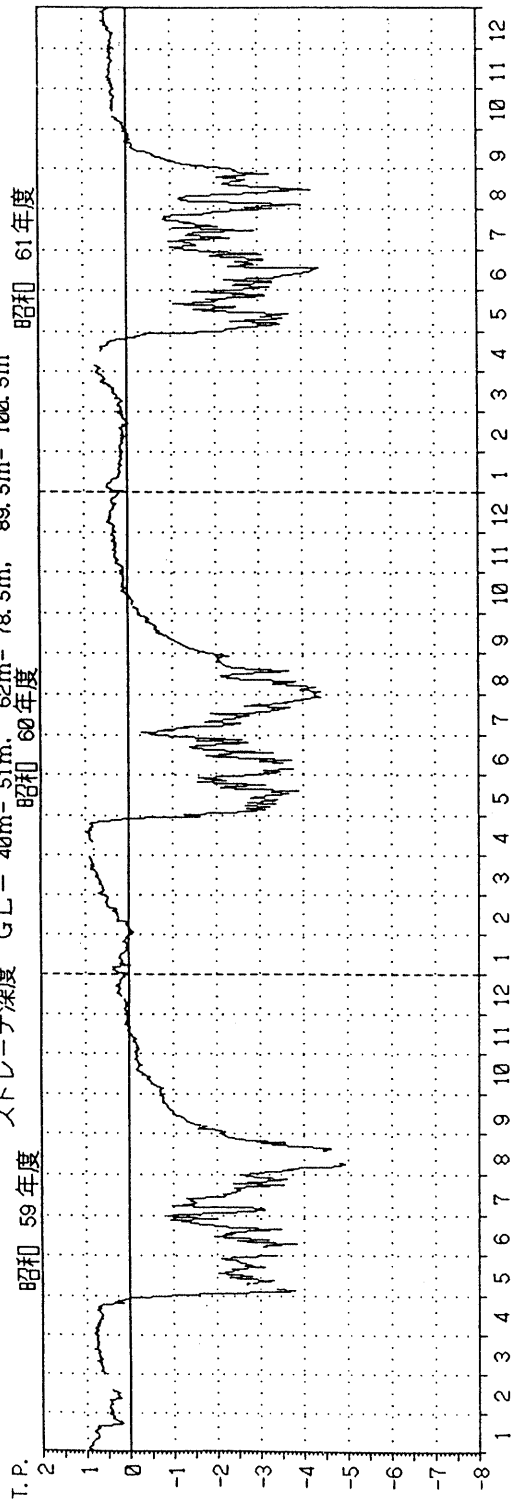


図-24(a) 地下水位経年変動図(3年間)

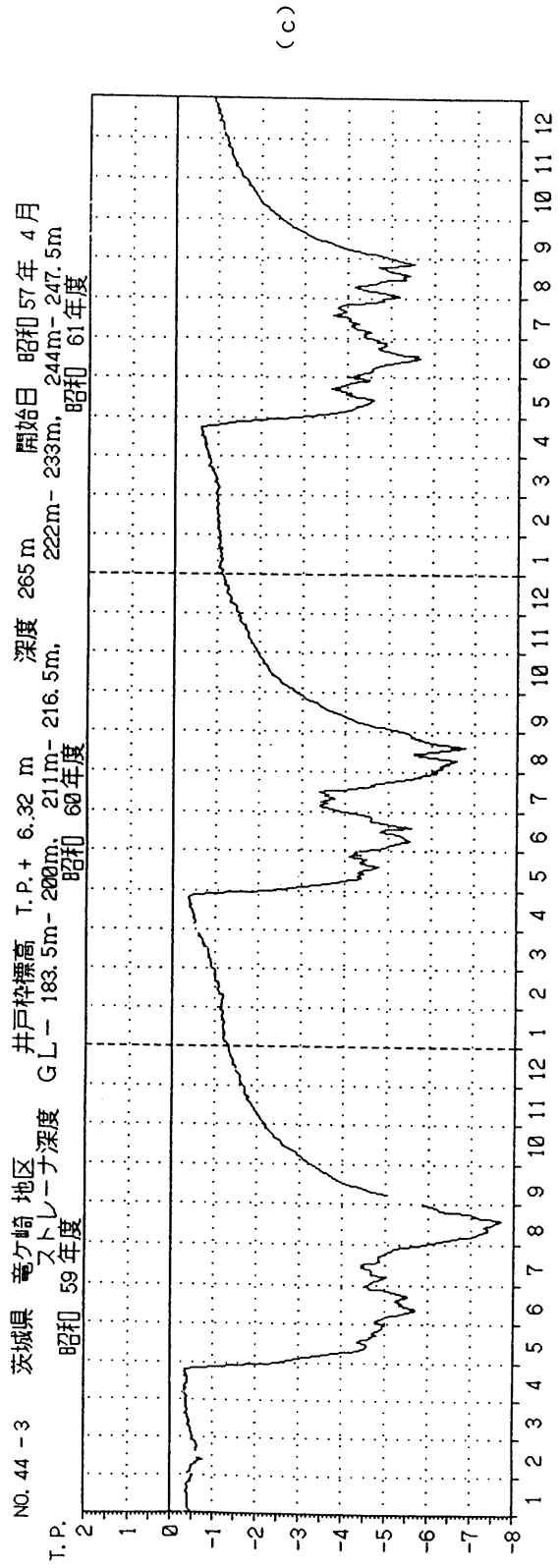
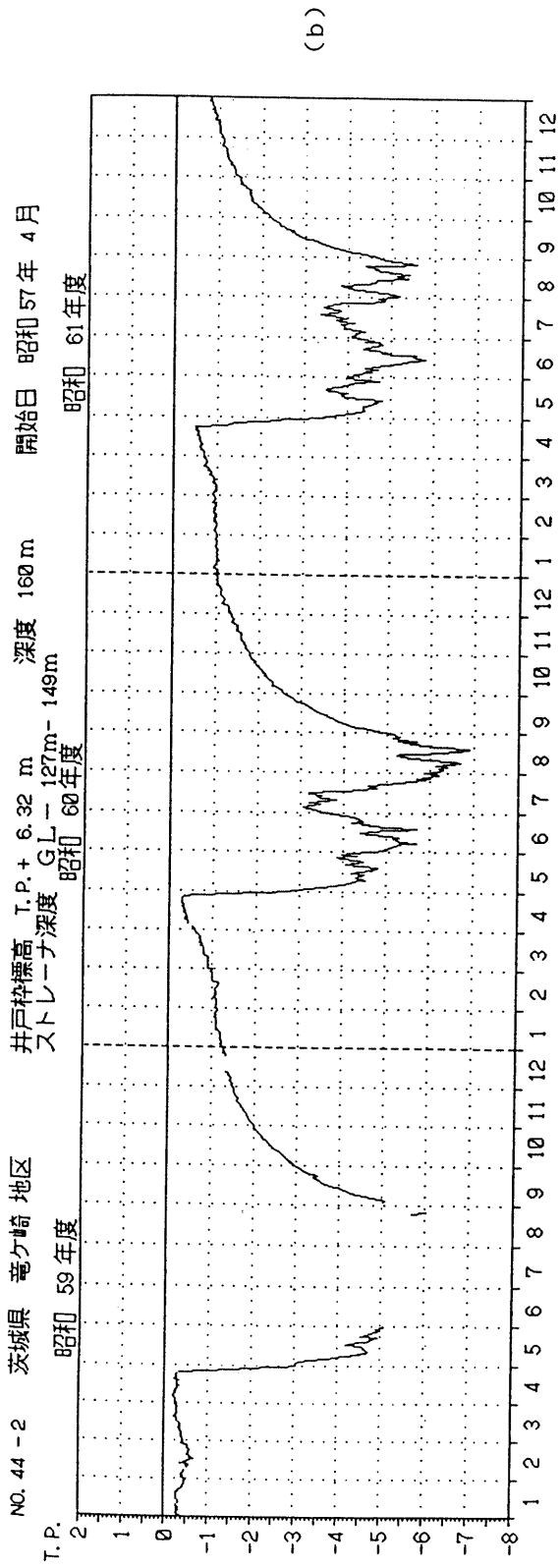


図-24(b),(c) 地下水位経年変動図(3年間)

以上のように、この地方の地下水は主として深度50～250mに分布する洪積層中の被圧水を利用している。その自然地下水位の等深線を求めると深度-5m～-15mとかなり高く、表-10の深井戸資料からも分るように、揚水量の平均は2100t/日とかなり豊富な地下水が賦存していることがわかる。一方浅いボーリング資料によって液状化と関連する沖積層上部の砂層等の地下水位を推定すると、当地方の江戸崎町、河内村、竜ヶ崎市、利根町の沖積面では深度2～3mと極めて浅く、伊奈町谷和原村の地域では深度7～10mと深くなる傾向がある。

表-10 深井戸資料

| 柱状図No. | 地名 | 標高 (m) | 地下水位 (G.L.)(m) | T.P.水位 (m) | 揚水量 (ℓ/分) |
|--------|------|-----------|-------------------|---------------|--------------|
| 24 | 谷和原村 | 11 | -16.09 | -5.09 | 2,019 |
| 33 | 守谷町 | 10 | -24.28 | -14.28 | 1,900 |
| 36 | 伊奈町 | 8 | -17.90 | -9.90 | 1,293 |
| 41 | 伊奈町 | 9 | -15.75 | -6.75 | 1,698 |
| 60 | 取手市 | 19 | -15.25 | +3.75 | 2,017 |
| 62 | 取手市 | 25 | -21.16 | +3.84 | 556 |
| 64 | 取手市 | 20 | -32.67 | -12.67 | 1,410 |
| 65 | 取手市 | 8 | -9.81 | -1.81 | 347 |
| 66 | 取手市 | 15 | -27.38 | -12.38 | 1,464 |
| 67 | 取手市 | 18 | -17.00 | -1.00 | 208 |
| 68 | 取手市 | 20 | -6.00 | +14.00 | 211 |
| 69 | 取手市 | 20 | -11.84 | +8.16 | 850 |
| 70 | 取手市 | 20 | -20.00 | ±0.00 | 1,500 |
| 72 | 取手市 | 15 | -22.00 | -7.00 | 1,800 |
| 73 | 取手市 | 7 | -12.20 | -5.20 | 564 |
| 74 | 取手市 | 10 | -8.30 | +1.70 | 1,456 |
| 75 | 取手市 | 10 | -3.32 | +6.68 | 1,076 |
| 106 | 茎崎町 | 5 | -16.55 | -11.55 | 1,736 |
| 154 | 牛久市 | 8 | -1.80 | +6.20 | 2,400 |
| 155 | 竜ヶ崎市 | 6 | -5.62 | +0.38 | 3,000 |
| 157 | 竜ヶ崎市 | 15 | -20.70 | -5.70 | 1,042 |
| 170 | 竜ヶ崎市 | 6 | -5.62 | +0.38 | 3,000 |
| 173 | 藤代町 | 6 | -4.80 | +1.20 | 800 |
| 174 | 藤代町 | 6 | -7.00 | -1.00 | 1,042 |
| 175 | 藤代町 | 6 | -6.52 | -0.50 | 1,153 |
| 177 | 藤代町 | 5 | -4.00 | +1.00 | 160 |
| 180 | 藤代町 | 5 | -5.45 | -0.45 | 3,360 |
| 181 | 取手市 | 6 | -15.62 | -9.76 | 1,320 |
| 189 | 取手市 | 6 | -7.80 | -1.80 | 1,002 |
| 206 | 藤代町 | 5 | -5.45 | -0.45 | 3,360 |
| 211 | 竜ヶ崎市 | 5 | -6.10 | -1.10 | 177 |
| 212 | 竜ヶ崎市 | 5 | -6.52 | -1.52 | 1,000 |
| 227 | 竜ヶ崎市 | 5 | -8.40 | -3.40 | 1,410 |
| 281 | 竜ヶ崎市 | 25 | -20.65 | +4.35 | 2,017 |
| 286 | 利根町 | 5 | -4.94 | +0.06 | 1,897 |
| 287 | 利根町 | 5 | -5.37 | -0.37 | 804 |
| 288 | 利根町 | 7 | -6.25 | +0.75 | 1,150 |
| 289 | 利根町 | 10 | -17.00 | -7.00 | 1,500 |
| 290 | 利根町 | 5 | -3.65 | +1.35 | 1,503 |
| 291 | 利根町 | 5 | -6.19 | -1.19 | 965 |
| 335 | 河内町 | 5 | -3.15 | +1.85 | 1,002 |
| 378 | 牛久市 | 10 | -3.30 | +6.70 | 3,000 |
| 380 | 牛久市 | 8 | -6.20 | +1.80 | 3,331 |

2.3.3 地盤沈下について

地盤沈下が一般に認識され始めた昭和47年より、当地域でも表-11に示す水準点が新設され、精密水準測量が実施された。昭和54年までの取手、藤代地区の沈下の状況が茨城県によってまとめられているが、これによると藤代地区の沖積面に

表-11 精密水準測量の年次別実施状況

| 年度 | 地区名 | 対象市町村名 | 水準点新設 | 観測点数 | 測量延長距離(Km) | 備考 |
|----|--------|----------------|--------|------|------------|----------------|
| 47 | 土浦・千代田 | 土浦市 新治郡千代田村 | 土浦市 21 | 32 | 43 | |
| | | | 千代田村 7 | | | |
| | 土浦 | 土浦市 | 25 | 29 | 32 | 土浦市が実施 |
| | 取手 | 取手市 | 22 | 39 | 61 | |
| 48 | 古河・総和 | 古河市 猿島郡総和町 | 古河市 2 | 58 | 62 | |
| | | | 総和町 28 | | | |
| | 土浦・千代田 | - | 0 | 32 | 43 | |
| | 土浦 | - | 0 | 29 | 32 | 土浦市が実施 |
| | 取手 | - | 0 | 39 | 60 | |
| | 古河・総和 | - | 0 | 57 | 66 | |
| 49 | 五霞 | 猿島郡五霞村 | 10 | 10 | 25 | |
| | 土浦 | 土浦市 | 0 | 8 | 12 | |
| | 土浦 | 〃 | 0 | 29 | 32 | 土浦市が実施 |
| 50 | 取手・藤代 | 取手市 北相馬郡藤代町 | 取手市 1 | 55 | 94 | |
| | | | 藤代町 14 | | | |
| | 古河・総和 | - | 0 | 56 | 69 | |
| | 五霞 | - | 0 | 10 | 29 | |
| 51 | 取手・藤代 | - | 0 | 55 | 98 | |
| | 古河・総和 | - | 0 | 56 | 71 | |
| | 五霞 | - | 0 | 10 | 29 | |
| | 土浦・千代田 | - | 0 | 32 | 43 | 当該年度以降 隔年実施 |
| | 土浦 | - | 0 | 29 | 32 | 土浦市が実施 |
| 52 | 取手・藤代 | - | 取手市 4 | 54 | 97 | |
| | 古河・総和 | - | 0 | 55 | 73 | |
| | 五霞 | - | 0 | 10 | 29 | |
| 53 | 取手・藤代 | - | 0 | 55 | 103 | |
| | 古河・総和 | - | 0 | 56 | 78 | |
| | 五霞 | - | 0 | 9 | 29 | |
| | 土浦・千代田 | - | 0 | 32 | 43 | |
| | 土浦 | - | 0 | 29 | 32 | 土浦市が実施 |

(茨城県の地盤沈下第1報)

鍋底状沈下と国道六号線沿いに幅の狭い波状の沈下がみられるとしている。また取手地区にはこの両者が複合した地盤沈下が生じており、その中心部では5年間では350mm以上の沈下が確認された。地盤沈下の発生原因は、鍋底状の沈下の場合は地下水の汲み上げによって洪積層の間隙水圧が低下し、それによって層厚が減少したものと考えられたが、国道六号線沿いの沈下は、厚さ1~2mの腐植土層がこの地域の地表面の比較的浅い所に分布しているので、これが盛土荷重等によって圧密沈下したもので、5年間で120mmと推定された。

昭和53年に地盤沈下観測井による垂直方向の変動量観測と地下水との因果関係を調べる目的で二重管式の観測井を表-12のように設置した。また、この他に地層の収縮量を測定するために、井戸の鉄管が抜けあがってゆくのを利用して図-25

表-12 地盤沈下等観測井一覧表

| 名 称 | 設 置 場 所 | 深 度 (m) | 観測開始年月 |
|------------------|------------------------|------------|-------------|
| 茨城県地下水取手観測井 | 取手市桑原 (岡堰土地改良区所有地) | 200 | 昭和 53. 6 |
| | | 155 | |
| | | 100 | |
| 茨城県地下水藤代観測井 | 北相馬郡藤代町大字毛有 (藤代高校) | 180 | 53. 6 |
| 茨城県地下水総和観測井 | 猿島郡総和町大字葛生 (総和工業高校) | 230 | 53. 6 |
| | | 180 | |
| | | 90 | |
| 首都圏地下水理総合調査古河観測井 | 古河市大字中田字根瓦 (利根団地内) | 456 | 49. 7 |
| 総和中学校観測井 | 猿島郡総和町女沼290~1 | 150 | 48.10 |

のようなものを取手の観測井に設置した。この実測値を表-13に示す。この結果から、層厚40m内外の軟弱地盤の海成粘土を含む0~100mの間の地層の収縮は

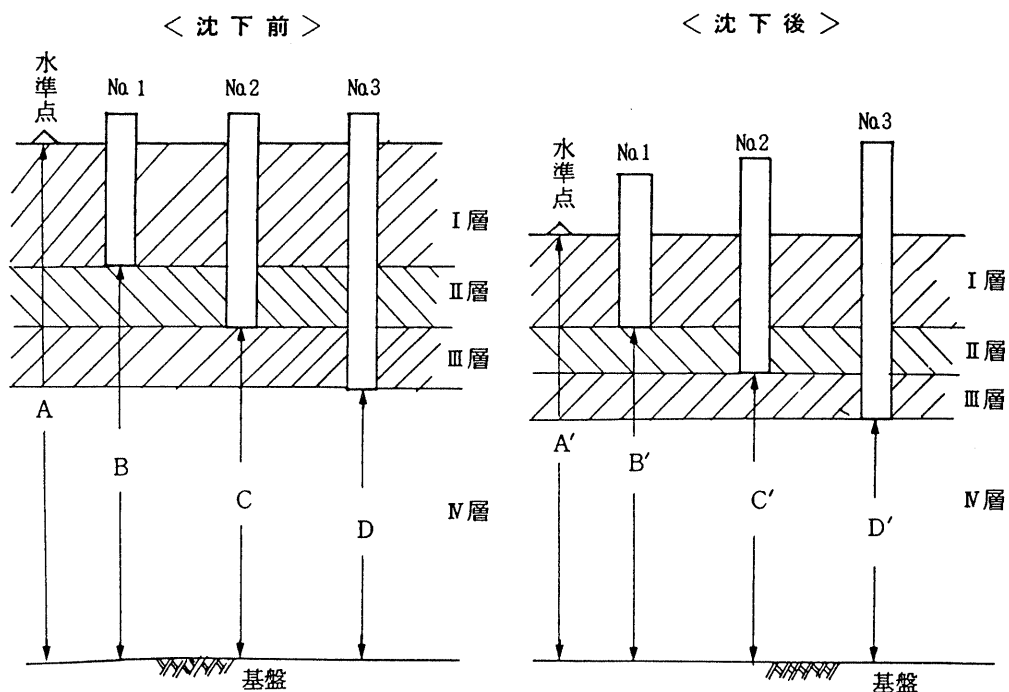


図-25 層別地盤変動量の測定

表一 13 取手観測井の年間累計沈下量

| | 53年 | 54年 | 55年 | 56年 | 57年 | 58年 | 59年 |
|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 取手1号 0~100m | -2.23 | -4.07 | -6.21 | -8.81 | -11.20 | -13.52 | -14.14 |
| 取手2号 100~155m | +0.30 | -0.85 | -3.58 | -7.06 | -9.89 | -12.64 | -13.49 |
| 取手3号 155~200m | -2.11 | -5.63 | -5.82 | -8.29 | -7.10 | -8.54 | -9.14 |
| 合計沈下量 | -4.04 | -10.55 | -15.61 | -24.16 | -28.19 | -34.70 | -36.77 |

(沈下量は年間累計沈下量を示す)

もちろんのこと、深度100m以深の洪積層の収縮も発生しており、採水の影響が地層全体に及んでいることがわかる。県南地方の地下水対策は竜ヶ崎で昭和46年、取手で昭和49年、茨城県としては昭和52年より地下水採取の適正化に関する条例を実施しており、さらに昭和59年4月からは水道水源を地下水利用から河川水利用として県南広域水道用水供給事業から受水している。この事によって、図-26に示すように、昭和61年頃より変動量は沈静化してきている。同じことは、図-27についても言える。

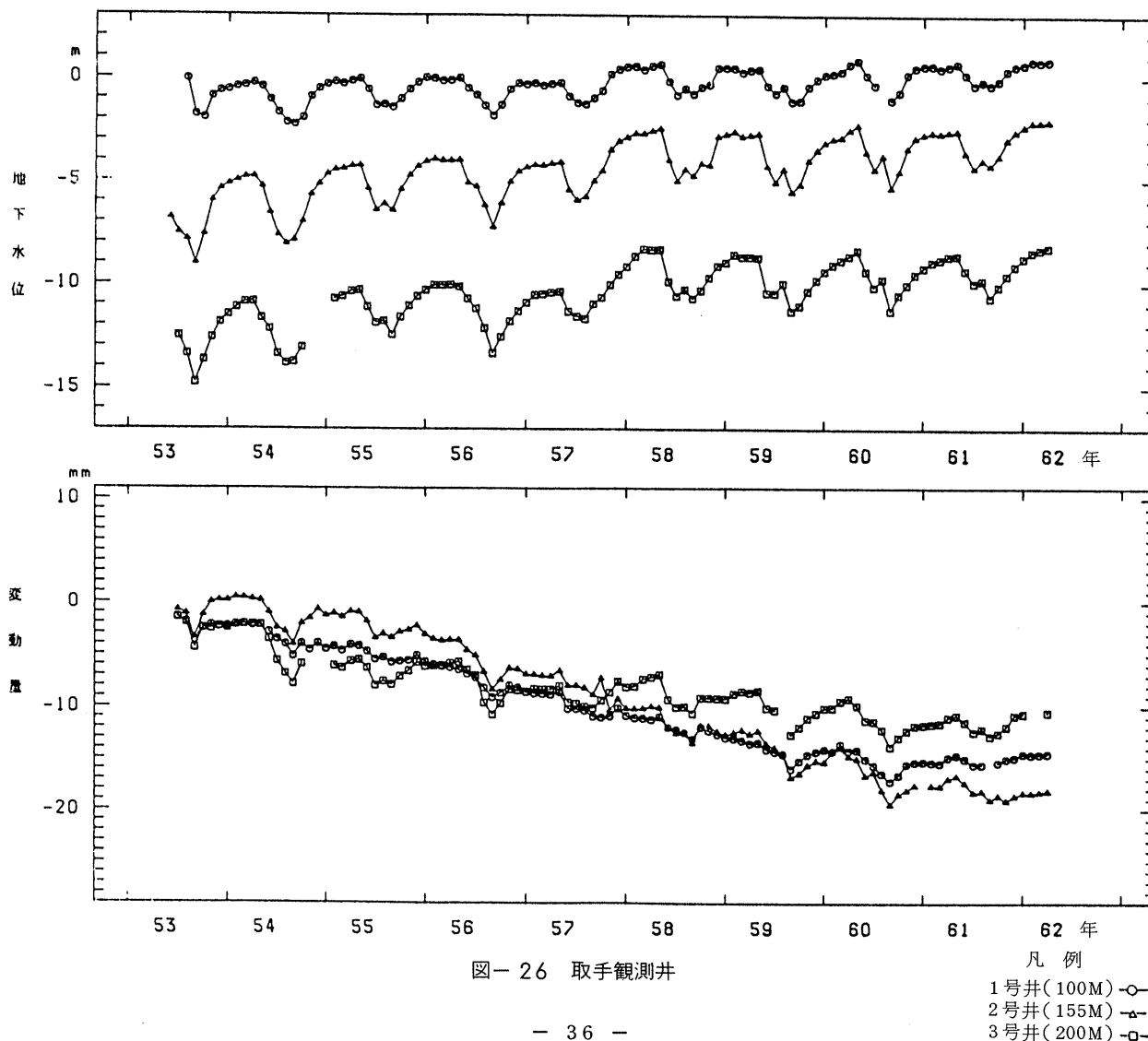
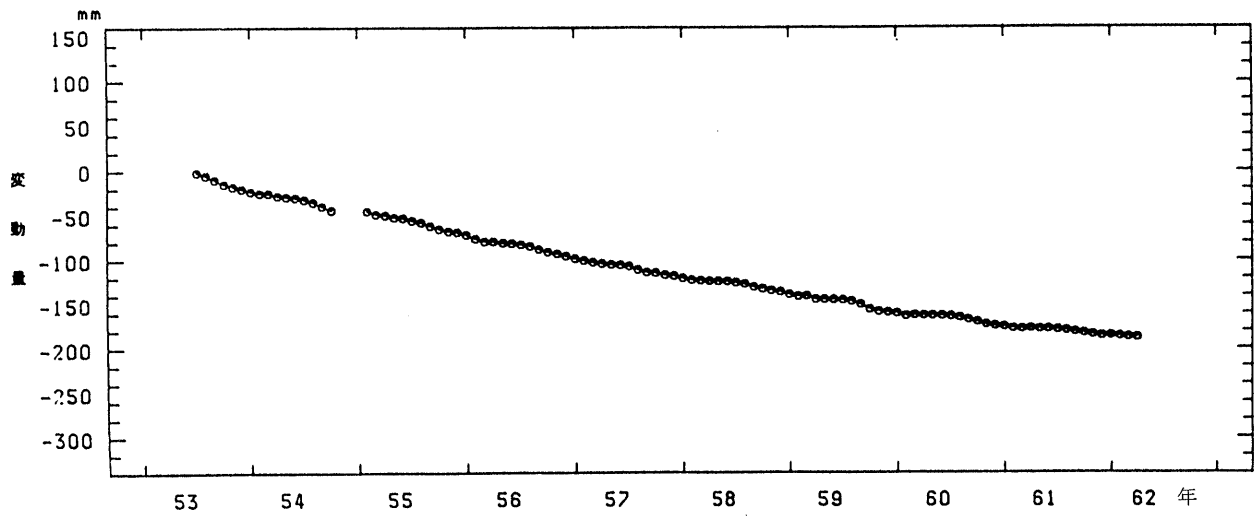
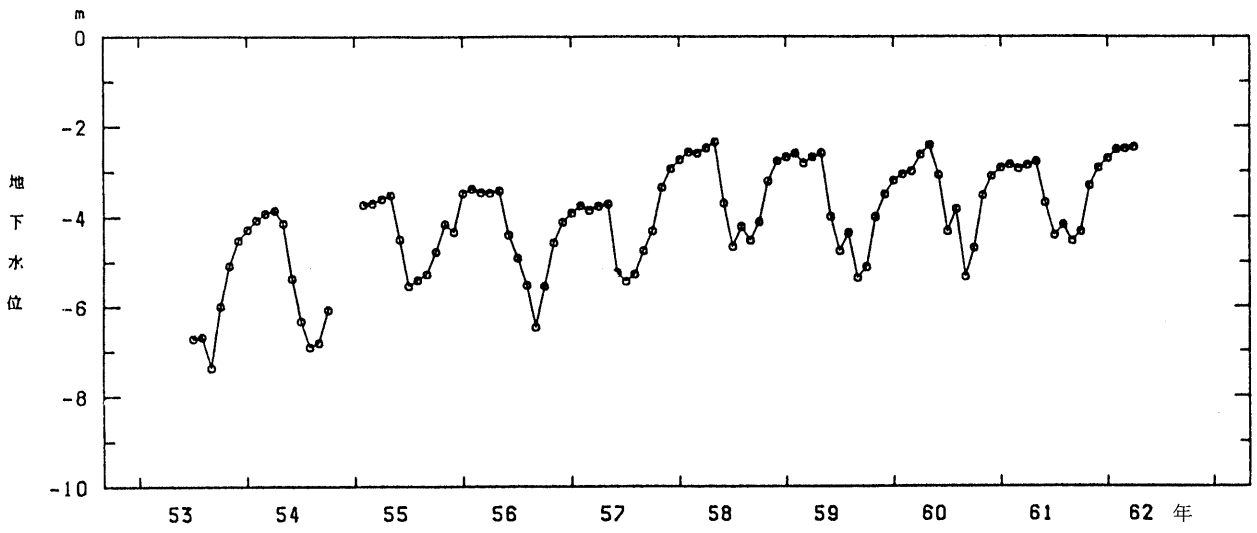


図-26 取手観測井



凡例
1号井(150M) —○—

图-27 藤代観測井

図-28は1カ月毎の地下水位と地盤変動の観測結果の関係を示したもので、横軸に地下水位の変動、縦軸に地盤の変動量が示されている。一般には、地下水位の低下に伴って地層が収縮するので右下がりの図となるが、取手1号井、2号井及び藤代観測井では地下水の採取規制によって水位は回復してきたものの、地盤沈下はゆるやかながら続いているので左下がりの図となっている。取手3号井は、地下水位の回復と共に地盤沈下も回復にむかい、図は左上がりとなっている。水準測量に

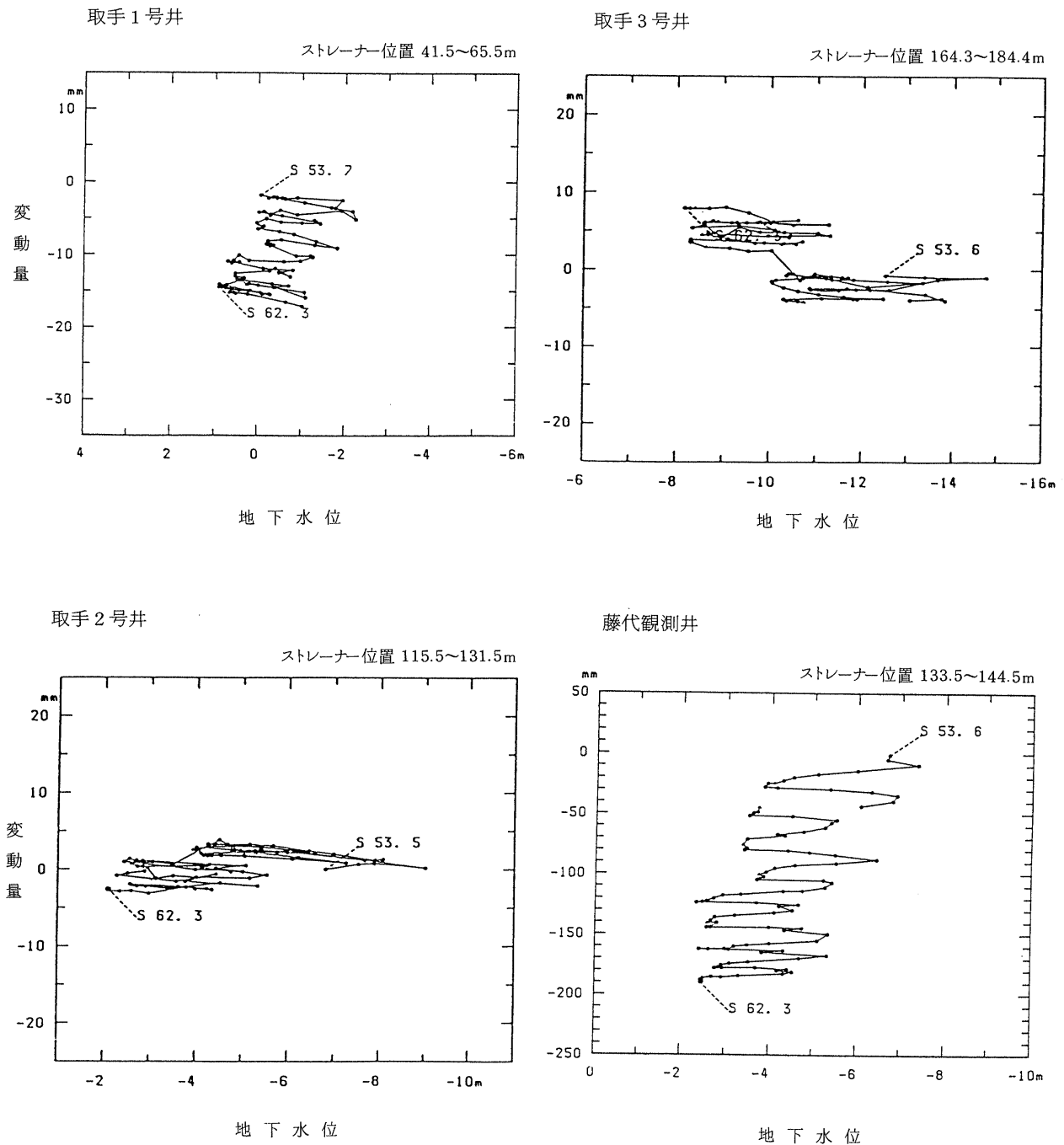


図-28 地下水位と変動量の相関

よって平面的に見た場合でも、昭和56年を境にして沈下量が減少し、沈下範囲も次第に狭まって来ていることが表-14でも示されている。

表-14

| 調査地域 | 調査面積 (Km ²) | 地盤変動量別面積 (Km ²) | | | | | | 年間最大沈下量及び地点 | | 観測期間 |
|-------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------|-----------------|
| | | +2~0 ^{cm} | 0~2 ^{cm} | -2~-4 ^{cm} | -4~-6 ^{cm} | -6~-8 ^{cm} | -8 ^{cm} 以上 | 沈下量 (cm) | 沈下地点 | |
| 取手・藤代 | 44.70 | - | 26.68 | 14.41 | 3.57 | 0.04 | - | 6.3 | 取手市桑原 006-040 | 53.1.1 ~ 54.1.1 |
| | 53.73 | - | 31.32 | 15.61 | 6.66 | 0.14 | - | 6.5 | 取手市谷中 006-043 | 54.1.1 ~ 55.1.1 |
| | 33.74 | - | 26.22 | 7.19 | 0.33 | - | - | 4.6 | 取手市桑原 006-040 | 55.1.1 ~ 56.1.1 |
| | 38.49 | 6.61 | 29.37 | 2.51 | - | - | - | 3.5 | " " | 56.1.1 ~ 57.1.1 |
| | 38.49 | 4.86 | 29.15 | 4.48 | - | - | - | 3.3 | 藤代町毛有藤代観測井 | 57.1.1 ~ 58.1.1 |
| | 38.49 | 18.43 | 18.32 | 1.74 | - | - | - | 2.5 | " " | 58.1.1 ~ 59.1.1 |
| | 38.49 | 14.34 | 23.96 | 0.19 | - | - | - | 2.0 | 取手市桑原 066-040 | 59.1.1 ~ 60.1.1 |
| | 38.49 | 0.41 | 32.85 | 5.23 | - | - | - | 2.8 | 藤代町毛有 006-041 | 60.1.1 ~ 61.1.1 |
| | 38.49 | 17.88 | 19.88 | 0.73 | - | - | - | 1.4 | 藤代町藤代 10904 | 61.1.1 ~ 62.1.1 |

(茨城県の地盤沈下第1報)

2.3.4. 地下水採取規制について

図-29～31は各々の年の水頭分布を示す。水頭等高線は丘陵地や谷地形の形状に支配されており、被圧地下水面は地表面より2～5m以内の深さに存在していた。

図-30での水頭を図-29と比べると10～20mの低下があり、鬼怒川、小貝川の

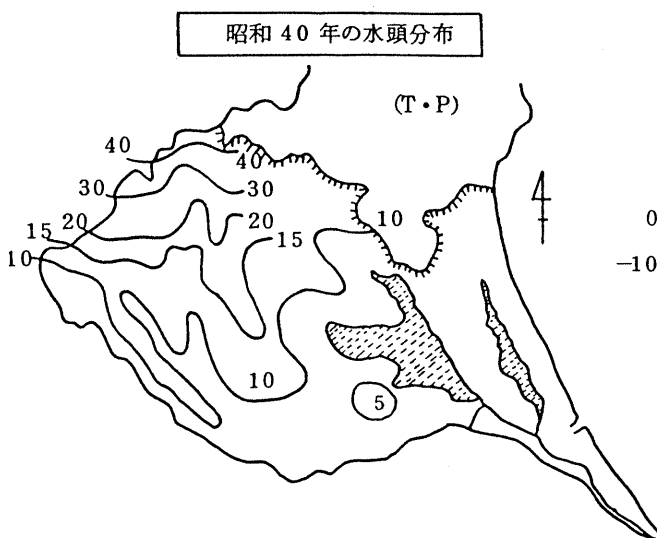


図-29 水頭分布図

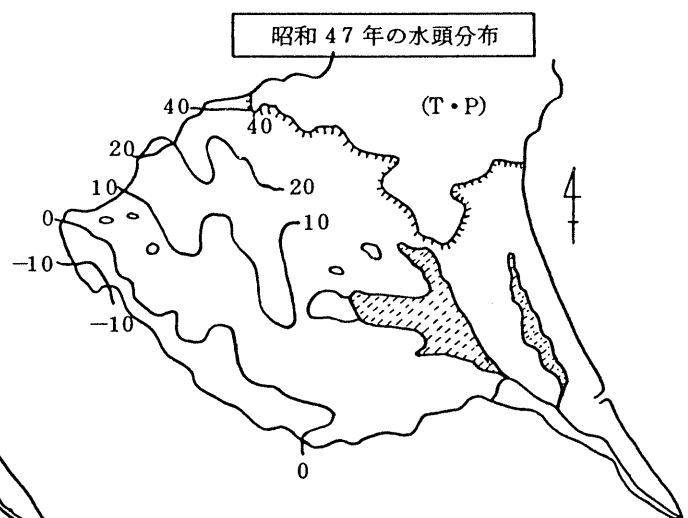


図-30 水頭分布図

低地では海水面より低くなっている。図-31になると地下水頭はさらに5~10m低下し、海水面以下の地域が内陸にまで広がると地盤沈下によって井戸の抜け上がりが目立つようになった。昭和53年当時のこの地方の地下水の採取量は77万t/日であり、これを25%削減することが当面の目標であった。そこで昭和52年に図-32の地域を地下水採取規制の指定区域とし、その内容を表-15に示す。

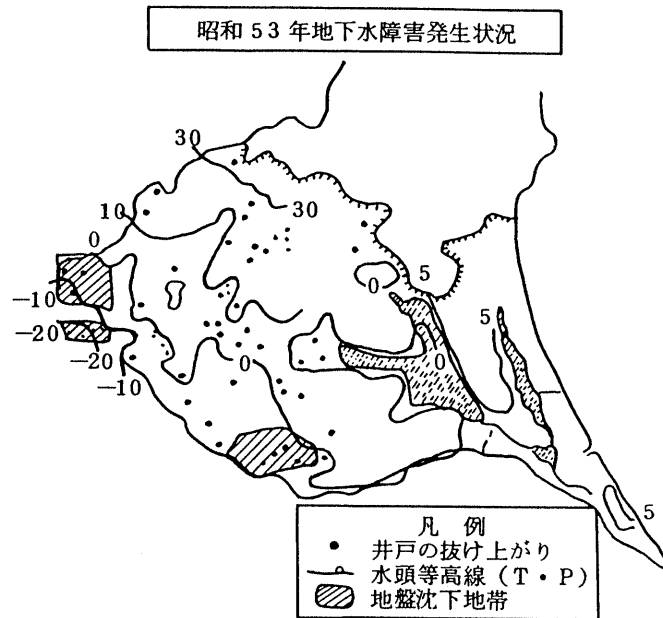


図-31 水頭分布図及び地下水障害発生状況

表-15 地下水規制の内容

| 団体名 | 名称 | 測定年月日 | 内容 |
|------|---------------------|-----------|---|
| 茨城県 | 茨城県地下水の採取の適正化に関する条例 | S52.4.1 | 揚水施設吐出断面積が $\left[\begin{array}{l} \text{農業用 } 125\text{cm}^2 \\ \text{農業以外 } 50\text{cm}^2 \end{array} \right]$ 以上の場合は知事の許可(届出)が必要である。 |
| | 茨城県公害防止条例 | S46.10.18 | 地盤沈下に係る「特定施設」として、揚水機の吐出断面積が 19cm^2 以上は知事に届出をする。 |
| 竜ヶ崎市 | 竜ヶ崎市公害防止条例 | S46.10.1 | 日採量 50m^3 以上の揚水施設は採取量、深度、ストレーナーの位置、口径等を市長に届出をする。 |
| 取手市 | 取手市公害防止条例 | S49.12.20 | 吐出断面積 19cm^2 以上の施設は市長に届出をし、採取量、水位について報告をする。 |

(茨城業企画部、1986)

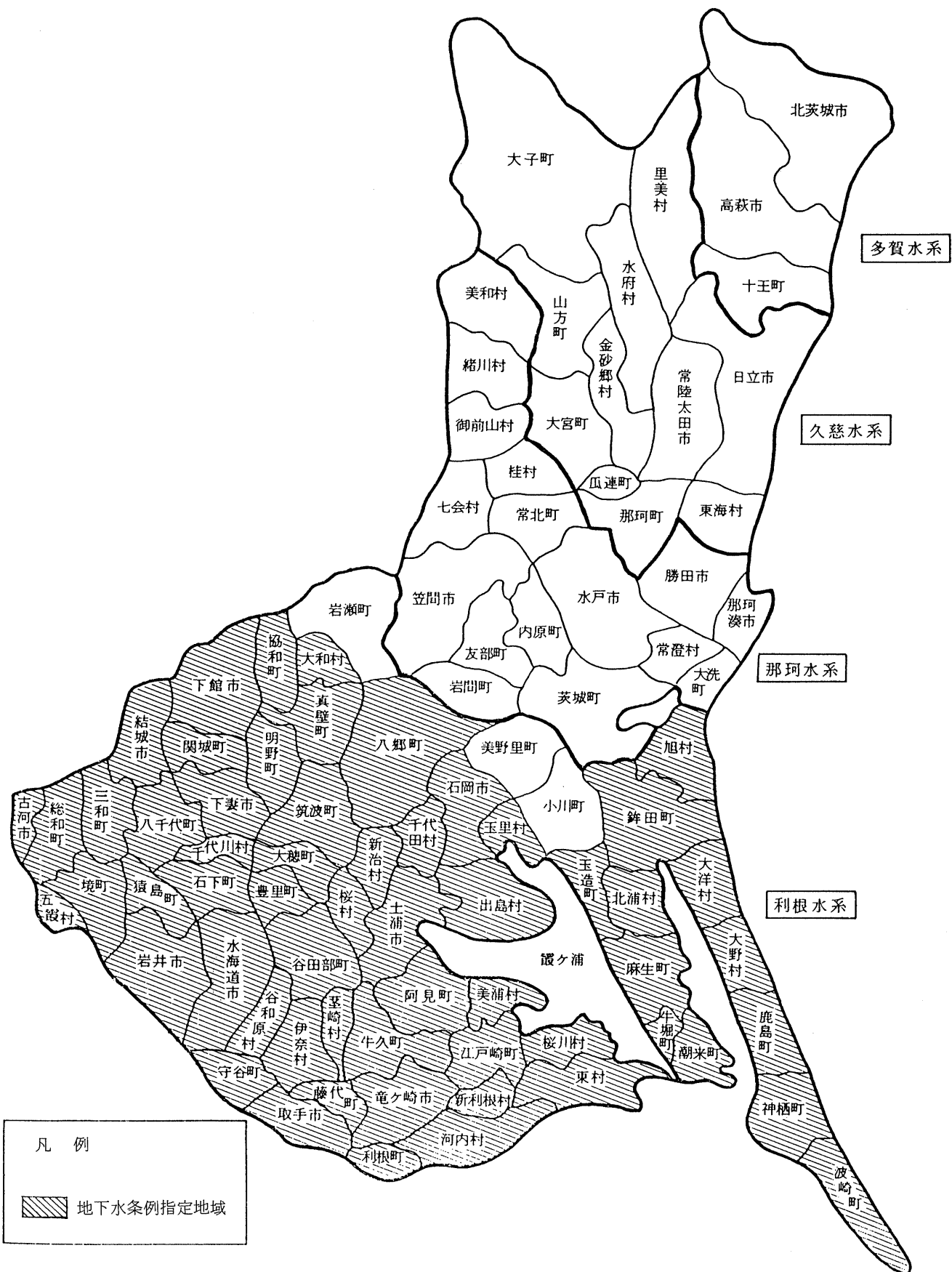


図-32 茨城県地下水条例指定地域

2.4 地震災害と液状化

2.4.1 調査の手順

液状化を予測するために、微地形による液状化のし易い地域を抽出して第1次判定とし、第2次判定は調査地域のボーリング柱状図と土質試験資料を用いた。第1次判定では新潟地震、秋田沖地震の際の被害状況等より、旧河道、湖沼等の埋立地、後背湿地、干拓地、自然堤防、水田上の盛土造成地、丘陵地との境界等を対象として行なった。第2次判定はボーリング柱状図より液状化判定に必要な対象地盤を抽出し、それに浅い地層の地下水位等高線を重合し対象とする地盤図を作成した。土質試験箇所は、ボーリング地点の中でも都市部域や高速道、橋梁箇所等の限られた構造物の箇所で行われているにすぎないので、液状化判定に必要なD50の粒径には、当該地と同様の堆積環境にあったと推定される東京低地のD50も併せて参考とし、各地点毎の液状化指数を計算によって求めた。その具体的方法は2.4.3でのべる。

液状化の判定に必要な砂層の分布範囲、厚さ、地下水位等は、上部砂層等厚線として作成した。なお、上部砂層の土性については2.2.4で触れているので、ここでの詳細は省略する。また、過去の被害地震の噴砂や亀裂、墓石倒壊については、分布図を作成するだけの記録が得られなかったため、以下に表として作成した。

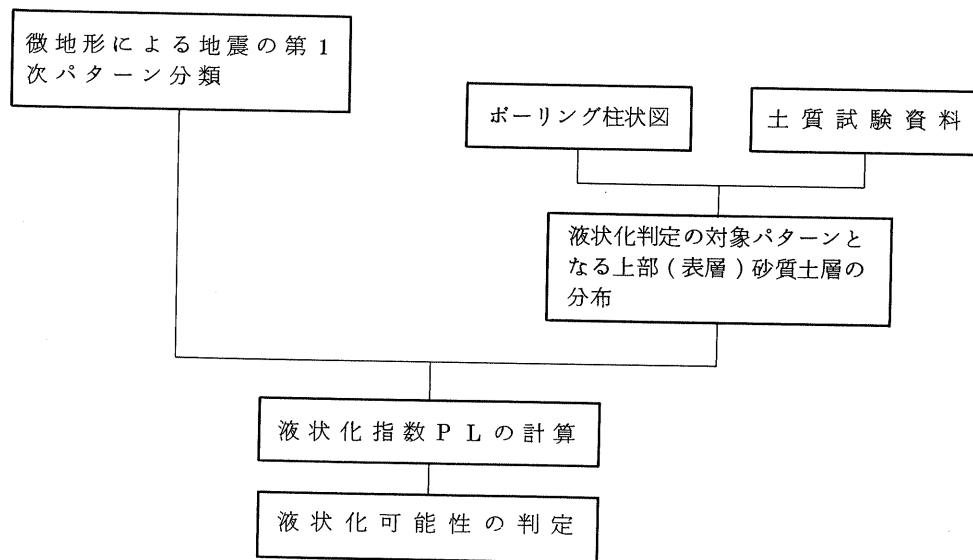


図-33 液状化判定フローチャート

2.4.2 被害地震の状況

茨城県に被害をもたらした主な被害地震を表-16に示す。なお本表の作成には、「地震のはなし」：茨城県消防防災課、1985及び「日本被害地震総覧」：宇佐見龍夫、1988を用いた。

表-16 主な被害地震

| 番号 | 年月日 (日本暦) | 北緯 東経 | マグニ チュード (M) | 震源の 深さ (km) | 被災 地域 | 被害の概要 |
|----|----------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|--|
| 1 | 1677 11. 4 延宝 5. 10. 9 | 36.6° 141.5° | 7.4 | 10 | 常陸 房総 | 磐城、常陸、安房、下総、上旬より地震多く、常陸房総に津波。 小名浜、神白、永崎にて溺死80余、水戸領の壊家189、溺死36、房総で倒家220余、死261、岩沼領で流家490余、死123、津波尾張・八丈にも及んだ。震央N34.7°、E141°か？ |
| 2 | 1895 1. 18 明治 28. 1. 18 | 35.9° 140.4° | 6.8 | 50 | 利根 川下 流域 | 22時48分、この地震は茨城地方より関東平野を震動する地震中最も著大なもので震域が非常に広大であった。 総面積12800方に及び本邦の顕著な地震中稀にみる広震域をもつものであった。 最も強烈なのは、霞ヶ浦付近で家屋の倒壊、人畜の死傷があった。水戸付近に近づくにつれ漸次被害の度は減じたが、煙突の崩壊、壁の亀裂等があり震力にはさほど差がなかった。県内の主な被害は次のとおりである。 圧死4、負傷34、破損した官公署学校41、全壊家屋53、破損家屋1190、破損土蔵375、塀壁破倒76、煙突崩壊33、亀裂地49、陥落地3、橋梁落下2、郡別にみると新治郡が最も被害が大きく、東茨城、那珂郡がこれに次いでいる。亀裂地のうち那珂郡が17カ所を占め、那珂川沿岸で延長5町余、巾5寸余にも及ぶものがあった。 その他は皆畑地で長さ6～10間で悉く泥土を噴出し、亀裂の方向は多く東西であった。 |
| 3 | 1921 12. 8 大正 10. 12. 8 | 36.0° 140.2° | 7.0 | 60 | 茨城 県竜 ヶ崎 | 千葉県印旛郡で土蔵破損数カ所、道路に亀裂を生ず。茨城県竜ヶ崎で墓石多く倒れ、田畑・道路に亀裂。また、栃木県芳賀郡で石塀潰れ、河内郡で壁や瓦の落下などがあった。千葉・成田・東京でも微小被害があった。余震(東京の地震計による)は8日12回、9日28回、10日4回(08時11分まで)だった。 |

| 番号 | 年月日 (日本暦) | 北緯 東 径 | マグニ チュード (M) | 震源の 深 さ (km) | 被災 地域 | 被害の概要 |
|----|--------------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|----------------|--|
| 4 | 1923 9. 1 大正 12. 9. 1 | 35.2° 139.3° | 7.9 | 40 | 関東 南部 | いわゆる関東大地震で、震災地を通じて全壊 28,266、半壊26,233、焼失447,128、津 波による流失868、死者99,331、負傷103,733 行方不明43,476、東京、横浜、横須賀・小田 原等出火、東京都の2分の1が焦土と化した。 本県の被害の総計は死者5、負傷40、全壊棟 数517、半壊棟数630等であった。 |
| 5 | 1930 6. 1 昭和 5. 6. 1 | 36.4° 140.7° | 6.6 | 30 | 那珂 川流 域 | 02時58分、那珂川下流域の地震。この地震 は関東地方の全般、東北地方、中部地方の大半 にわたって人に感じた。 震域の長半径は500kmに及び震央付近であっ た水戸地方気象台では創立以来はじめての強震 で、その震度は大正12年の関東大震災の際よ り大きかったといわれ、県下全般に壁の亀裂、 墓石の転倒、煉瓦塀崩壊、屋根瓦崩落等の被害 があった。 |
| 6 | 1938 5. 23 昭和 13. 5. 23 | 36.7° 141.4° | 7.1 | 10 | 磐城 沖 | 16時18分、小名浜、福島、郡山、白河、若 松付近で煉瓦煙突の折存、壁崩壊、壁・道路の 亀裂などの被害があった。 本県の震度は強震程度で煙突5本折存、磯原で 土蔵の倒壊1、東京で負傷1。 |
| 7 | 1938 11. 5 昭和 13. 11. 5 | 37.1° 141.7° | 7.7 | 20 | 福島 県東 方沖 | 17時43分、近来稀にみる大規模な地震で東 北地方の大部分から北海道及び近畿地方の一部 にまで達した。 福島、宮城、茨城等の諸県下で強震。福島県下 で死者1、住家全壊4、非住家全壊16、小名浜 で津波1.07km |

1921年12月8日の竜ヶ崎地震の際の各地方の震度を図-34に示す。

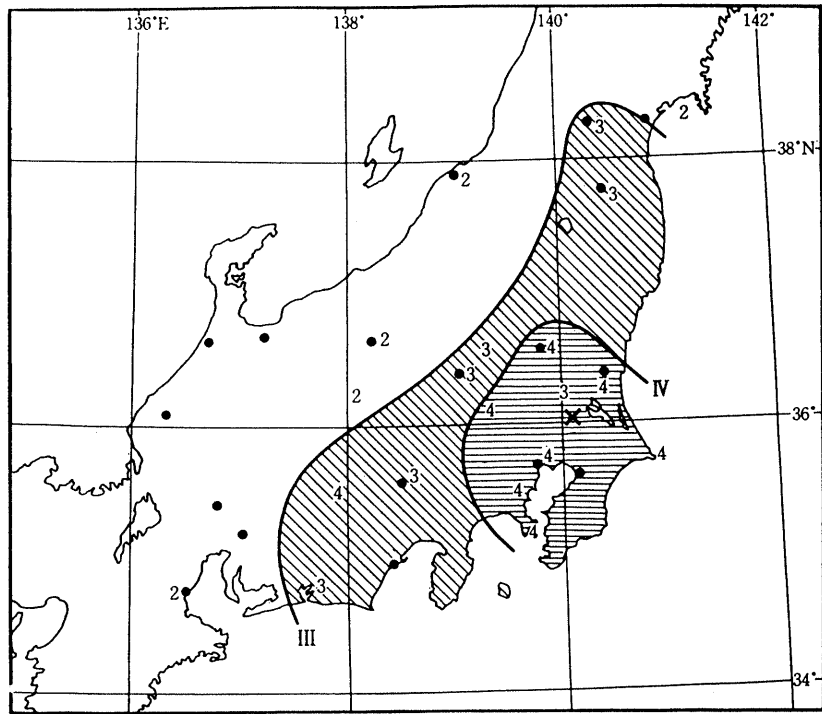


図-34 龍ヶ崎地震の震度分布

また、各地震の震央分布を図-35に示す。

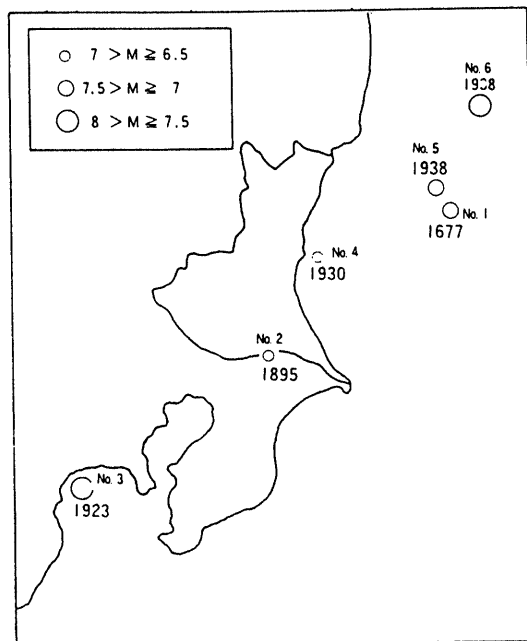


図-35 各地震の震央分布

表-17は、昭和の年代に入ってからのもとの茨城県の有感地震の発生回数である。

表-17 水戸地方の地震発生回数

水戸地方気象台

| 年 | 震度 | 有 感 | | | | | | | 小計 | 合 計 |
|--------------|-------|-----|----|-----|----|---|----|-----|-----|-------|
| | 無 感 | I | II | III | IV | V | VI | VII | | |
| 1926年(大正15年) | 433 | 124 | 2 | 1 | - | - | - | - | 127 | 560 |
| 27年(昭和2年) | 429 | 134 | 7 | 3 | 1 | - | - | - | 145 | 574 |
| 28年(昭和3年) | 467 | 122 | 4 | 1 | 1 | - | - | - | 128 | 595 |
| 29年(昭和4年) | 370 | 86 | 7 | 3 | - | - | - | - | 96 | 466 |
| 1930年(昭和5年) | 390 | 109 | 10 | 2 | 1 | 1 | - | - | 123 | 513 |
| 31年(昭和6年) | 690 | 167 | 14 | 2 | - | 1 | - | - | 184 | 879 |
| 32年(昭和7年) | 535 | 108 | 5 | 3 | - | - | - | - | 116 | 651 |
| 33年(昭和8年) | 900 | 93 | 5 | 4 | 1 | - | - | - | 103 | 1,003 |
| 34年(昭和9年) | 507 | 76 | 11 | 2 | - | - | - | - | 89 | 596 |
| 35年(昭和10年) | 733 | 67 | 7 | 5 | - | - | - | - | 79 | 812 |
| 36年(昭和11年) | 624 | 35 | 3 | 3 | - | - | - | - | 41 | 665 |
| 37年(昭和12年) | 687 | 59 | 9 | 6 | 1 | - | - | - | 75 | 762 |
| 38年(昭和13年) | 3,415 | 151 | 45 | 15 | 2 | 3 | - | - | 216 | 3,631 |
| 39年(昭和14年) | 1,277 | 66 | 23 | 5 | - | - | - | - | 94 | 1,371 |
| 1940年(昭和15年) | 773 | 40 | 20 | 1 | - | - | - | - | 61 | 834 |
| 41年(昭和16年) | 770 | 38 | 22 | 4 | 1 | - | - | - | 65 | 835 |
| 42年(昭和17年) | 534 | 38 | 20 | 2 | 1 | - | - | - | 61 | 595 |
| 43年(昭和18年) | 985 | 64 | 21 | 5 | 1 | - | - | - | 91 | 1,076 |
| 44年(昭和19年) | 784 | 34 | 25 | 5 | - | - | - | - | 64 | 848 |
| 45年(昭和20年) | 631 | 46 | 26 | 5 | - | - | - | - | 77 | 708 |
| 46年(昭和21年) | 459 | 39 | 28 | 8 | - | - | - | - | 75 | 534 |
| 47年(昭和22年) | 325 | 34 | 22 | 6 | - | - | - | - | 62 | 387 |
| 48年(昭和23年) | 334 | 51 | 26 | 8 | - | - | - | - | 85 | 419 |
| 49年(昭和24年) | 412 | 45 | 37 | 6 | 2 | - | - | - | 90 | 502 |
| 1950年(昭和25年) | 511 | 38 | 26 | 8 | - | - | - | - | 72 | 583 |
| 51年(昭和26年) | 558 | 55 | 18 | 3 | - | - | - | - | 76 | 634 |
| 52年(昭和27年) | 780 | 39 | 19 | 4 | 1 | - | - | - | 63 | 843 |
| 53年(昭和28年) | 786 | 35 | 24 | 6 | 1 | - | - | - | 66 | 852 |
| 54年(昭和29年) | 549 | 36 | 15 | 5 | 1 | - | - | - | 57 | 606 |
| 55年(昭和30年) | 538 | 17 | 5 | 1 | - | - | - | - | 43 | 581 |

表-17つづき

| 年 | 震度 | 有 感 | | | | | | | 小計 | 合 計 |
|-----------------|----------|-----|----|-----|----|---|----|-----|----|-------|
| | 無 感 0 | I | II | III | IV | V | VI | VII | | |
| 1956年(昭和31年) | 342 | 30 | 19 | 4 | - | - | - | - | 53 | 395 |
| 57年(" 32 ") | 487 | 38 | 9 | - | - | - | - | - | 47 | 534 |
| 58年(" 33 ") | 646 | 20 | 12 | 1 | - | - | - | - | 33 | 679 |
| 59年(" 34 ") | 446 | 29 | 12 | 3 | 1 | - | - | - | 45 | 491 |
| 1960年(" 35 ") | 800 | 24 | 7 | 6 | - | - | - | - | 37 | 837 |
| 61年(" 36 ") | 1,058 | 36 | 21 | 4 | - | - | - | - | 61 | 1,119 |
| 62年(" 37 ") | 903 | 27 | 17 | 4 | - | - | - | - | 48 | 951 |
| 63年(" 38 ") | 688 | 28 | 12 | 2 | 1 | - | - | - | 43 | 731 |
| 64年(" 39 ") | 925 | 39 | 20 | 5 | 1 | - | - | - | 65 | 990 |
| 65年(" 40 ") | 450 | 42 | 16 | 9 | 1 | - | - | - | 68 | 518 |
| 66年(" 41 ") | 519 | 41 | 20 | 2 | 1 | - | - | - | 64 | 583 |
| 67年(" 42 ") | 313 | 34 | 19 | 3 | - | - | - | - | 56 | 369 |
| 68年(" 43 ") | 618 | 31 | 17 | 3 | 1 | - | - | - | 52 | 670 |
| 69年(" 44 ") | 286 | 37 | 15 | 2 | - | - | - | - | 54 | 340 |
| 1970年(" 45 ") | 283 | 34 | 15 | 3 | - | - | - | - | 52 | 335 |
| 71年(" 46 ") | 291 | 36 | 16 | 8 | 1 | - | - | - | 61 | 352 |
| 72年(" 47 ") | 314 | 39 | 30 | 4 | 1 | - | - | - | 74 | 388 |
| 73年(" 48 ") | 272 | 36 | 33 | 11 | 1 | - | - | - | 81 | 353 |
| 74年(" 49 ") | 275 | 31 | 22 | 11 | 2 | - | - | - | 66 | 341 |
| 75年(" 50 ") | 234 | 27 | 19 | 7 | - | - | - | - | 53 | 287 |
| 76年(" 51 ") | 207 | 19 | 26 | 8 | 1 | - | - | - | 54 | 261 |
| 77年(" 52 ") | 187 | 40 | 20 | 4 | 3 | - | - | - | 67 | 254 |
| 78年(" 53 ") | 310 | 31 | 29 | 7 | 2 | - | - | - | 69 | 379 |
| 79年(" 54 ") | 182 | 27 | 20 | 10 | - | - | - | - | 57 | 239 |
| 1980年(" 55 ") | 260 | 21 | 23 | 7 | 2 | - | - | - | 53 | 313 |
| 81年(" 56 ") | 253 | 27 | 16 | 3 | 1 | - | - | - | 47 | 300 |
| 82年(" 57 ") | 146 | 58 | 27 | 9 | 2 | - | - | - | 96 | 242 |
| 83年(" 58 ") | 127 | 27 | 20 | 6 | 2 | - | - | - | 55 | 182 |
| 84年(" 59 ") | 102 | 28 | 24 | 13 | - | - | - | - | 65 | 167 |
| 85年(" 60 ") | 83 | 30 | 16 | 6 | - | - | - | - | 52 | 135 |

次に震源となった地域別の有感地震の月別分布を示す。

表-18(a)~(d) 有感地震の月別の震度分布

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計 |
|--------|----------------|----------|---------------|----------|---------|---------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|--------|-----|---------|----|
| 茨城県沖 | I I II I | I | II II | | | | III IV III III III | III II III III | I I I I | II | | II | 34 |
| 鹿島灘 | | | IV I | II | II | | | II II | | | II | | 7 |
| 茨城県北部 | | III | | | | | | | | | III | II | 3 |
| 茨城県中部 | II | | I I | | | | | | | | | | 3 |
| 茨城県南部 | | | | | | | | I | | | | | 1 |
| 茨城県南西部 | I I | | I | III | | | | | | | I | II I | 8 |
| その他 | I I | II II | II II I | II II | I II | III I I | III III III III | I I II II | II II II | I I | I | I I | 40 |
| 不明 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 有感地震回数 | 9 | 5 | 12 | 4 | 3 | 3 | 26 | 13 | 7 | 3 | 4 | 7 | 96 |

(昭和57年)

- (注) 1. I、II、IIIの数字は震度を表わす。
 2. 無感地震とは59C型地震計に記録された全振巾3mm以上の地震(有感を除く。)

(a)

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計 |
|--------|---------------|----|--------|----|---------------------------|----|-----|----|--------|-----------------|----|----------------|----|
| 茨城県沖 | II I II | I | I | I | I | II | III | I | III | II | I | | 13 |
| 鹿島灘 | III | | | | II I | | | | | II II | | | 5 |
| 茨城県北部 | | II | | | | | | | | | | | 1 |
| 茨城県中部 | II | | | | | I | II | | | | | I I | 5 |
| 茨城県南部 | | IV | | | | | | | | | | | 1 |
| 茨城県南西部 | III | | | II | II | | I | II | | II III IV | | II | |
| その他 | I I | II | I I | | II I II III I | | II | II | I I | I | I | I II III | 20 |
| 不明 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 有感地震回数 | 8 | 4 | 3 | 2 | 10 | 2 | 4 | 3 | 3 | 8 | 2 | 6 | 55 |

(昭和58年)

(b)

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計 |
|--------|--------|------------------|-------------|------------------|--------|--------|---|---|--------|-----------------------|--------|------------------|----|
| 茨城県沖 | Ⅲ Ⅲ | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ Ⅲ Ⅰ | | Ⅲ | Ⅱ | | Ⅰ Ⅰ | | | Ⅰ | 12 |
| 鹿島灘 | | | | | Ⅰ | | Ⅲ | | Ⅱ | Ⅰ Ⅱ Ⅲ | | Ⅲ | 7 |
| 茨城県北部 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 茨城県中部 | Ⅱ | | | | | | | | | Ⅱ | Ⅱ | Ⅱ | 4 |
| 茨城県南部 | | | | Ⅰ | | | | | | | | | 1 |
| 茨城県南西部 | Ⅰ | Ⅱ | | | Ⅱ Ⅱ | Ⅲ Ⅱ | Ⅲ | | | | | Ⅰ | 8 |
| その他 | Ⅲ Ⅰ | Ⅰ Ⅰ Ⅰ Ⅰ | Ⅲ Ⅰ Ⅱ | Ⅰ Ⅰ Ⅱ Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | | | Ⅰ Ⅱ | Ⅰ Ⅰ Ⅰ Ⅲ Ⅰ | Ⅰ Ⅱ | Ⅰ Ⅱ Ⅲ Ⅰ | 33 |
| 不明 | | | | | | | | | | | | | |
| 有感地震回数 | 6 | 6 | 4 | 8 | 4 | 4 | 3 | 2 | 8 | 8 | 4 | 8 | 65 |

(昭和59年)

(c)

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計 |
|--------|--------|---|--------|-------------|---|--------|-------------|-------------|---|------------------|--------|--------|----|
| 茨城県沖 | | | Ⅱ Ⅲ | Ⅰ | | Ⅰ Ⅰ | | Ⅲ Ⅰ Ⅰ | Ⅰ | Ⅰ Ⅱ Ⅰ Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | 15 |
| 茨城県沿岸 | | | | | | Ⅱ | | | | | | Ⅰ | 2 |
| 茨城県北部 | | | | | | | | | Ⅰ | | | | 1 |
| 茨城県中部 | | | | | | Ⅰ | | | | Ⅰ Ⅱ | | Ⅰ Ⅱ | 5 |
| 茨城県南部 | | | | | | | Ⅱ | | | Ⅱ Ⅰ | | | 3 |
| 茨城県南西部 | | | | | Ⅱ | | | Ⅰ Ⅰ | Ⅰ | Ⅲ Ⅱ Ⅱ | Ⅱ Ⅱ | | 9 |
| その他 | Ⅰ Ⅰ | | Ⅱ | Ⅱ Ⅰ Ⅰ | Ⅲ | | Ⅰ Ⅰ Ⅲ | Ⅰ Ⅲ | Ⅰ | Ⅰ Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | 17 |
| 有感地震回数 | 2 | 0 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 7 | 4 | 13 | 4 | 5 | 52 |

(昭和60年)

(d)

調査中の1987年12月17日にM=6.7の地震が千葉県東方沖に発生し、当該地方でも震度Ⅳを記録した。被害は図-36のように九十九里浜より千葉市にかけて多く発生したが、竜ヶ崎地方でも4Km程下流の柴崎付近より河口にかけて主として屋根の被害が多発した。金江津方面では噴砂があり、利根川の堤防の一部に亀裂が入る等の被害を生じたが、調査地域での被害は記録されていない。

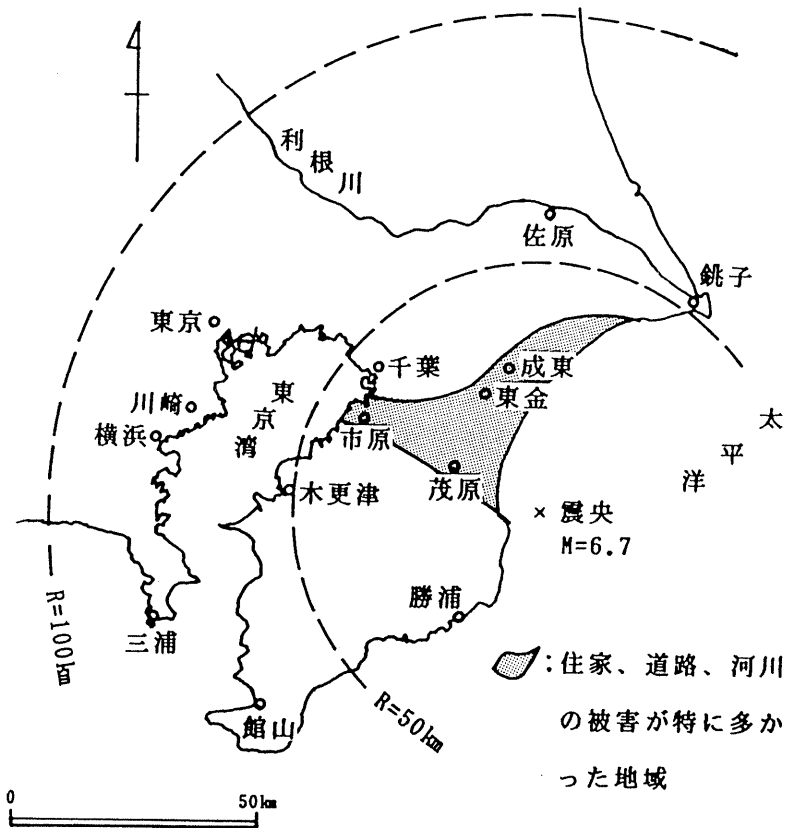


図-36 住家など特に被害の多かった地域

2.4.3 液状化層の推定

① 液状化判定手法

対象地域の地盤の液状化判定は「道路橋示方書・同解説」の方法で行った。方法の概略は次のとおりである。

$$F_L = R / L$$

ここで

F_L : 液状化に対する抵抗率

R : 動的せん断強度比 (地盤の液状化強度)

L : 地震時せん断応力比の最大値

L は次式より算定する。

$$L = \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot r_d \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$$

ここで

α_{max} : 地表面最大加速度

g : 重力加速度

r_d : 地震時せん断応力比の深さの方向の低減係数

($1 - 0.015z$) z は深度 (m)

σ_v, σ_v' : 地盤の全上載圧および有効上載圧 (kgf/cm^2)

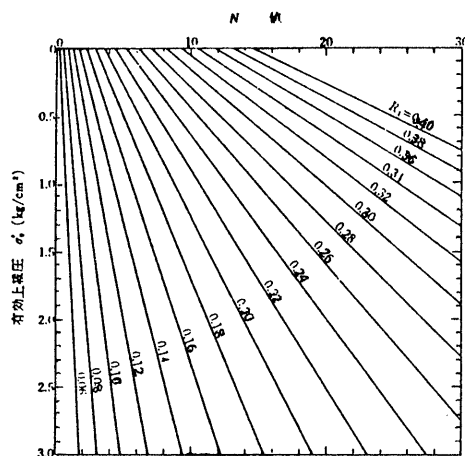
一方 R は

$$R = R_1 + R_2$$

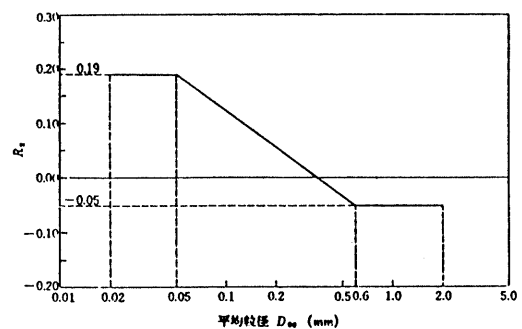
R_1 : N 値と有効上載圧とによる強度比

R_2 : 平均粒径 D_{50} による強度比

で表わされる。 R_1, R_2 は図-37に示す関係図より求められる。



(a) N 値、有効上載圧 σ_v' と動的せん断強度比の第1項 R_1 の関係



(b) 平均粒径 D_{50} と動的せん断強度比の第2項 R_2 の関係

図-37 R_1, R_2 の算定方法

② 液状化判定に必要なパラメータの設定

(i) 地盤定数

液状化判定にはN値、平均粒径D50、単位体積重量 r_t 、地下水位が必要である。上記パラメータのうちN値、地下水位はすべての地点で得られているが、 r_t 、D50についてはデータの数が多かった。従って、液状化判定に必要な地盤定数は次のように設定した。

- 1) N値……………標準貫入試験による測定値をそのまま用いた。
- 2) 平均粒径D50 ……試験値のあるものについてはそのまま用いた。ただし、データがない地点については現地の試験結果と対比した所、東京低地のパラメータが近似的なので表-19を用いた。
- 3) 地下水位……………測定値をそのまま用いた。
- 4) 単位体積重量 r_t ……表-20のように東京低地の液状化予測にある土質毎の r_t の標準値を用いた。

表-19 各土質の平均粒径一覧表

| 主記号 | 副記号 | ローム質 | 有機質 | 粘土質・ | シルト質・ | 砂質・ | 礫混り | |
|---------------|--------|---|-------|-------|-------|-------|------|--|
| | なし | 疑灰質 | | 混り | 混り | 混り | | |
| 表土 | 0.02 | - | - | - | - | - | - | |
| ローム | 0.0075 | - | 0.007 | 0.007 | 0.01 | 0.015 | 0.02 | |
| 腐植土・泥炭 | 0.005 | 0.006 | - | 0.007 | 0.01 | 0.015 | 0.02 | |
| 粘土 | 0.005 | 0.006 | 0.005 | - | 0.015 | 0.01 | 0.03 | |
| シルト | 0.025 | 0.016 | 0.015 | 0.015 | - | 0.04 | 0.05 | |
| 砂 | 0.35 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.16 | - | 0.9 | |
| 砂 礫 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | - | - | |
| 土丹 | 0.025 | - | - | - | - | - | - | |
| 軽石・浮石 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 3.0 | |
| 微砂 | 0.1 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | - | 0.2 | |
| 細砂 | 0.15 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | - | 0.25 | |
| 中砂 | 0.35 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.16 | - | 0.5 | |
| 粗砂 | 0.6 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.28 | - | 1.0 | |
| ガレキ・コンクリート片 | 0.001 | (単位 mm) (東京低地液状化予測、昭和62年 土質工学会 東京都土研の資料に一部加筆) | | | | | | |
| アスファルト・コンクリート | 0.001 | | | | | | | |
| ヘドロ | 0.005 | | | | | | | |
| シルト・砂の互層 | 0.2 | | | | | | | |
| 粘土・砂の互層 | 0.18 | | | | | | | |
| 土丹・砂の互層 | 0.19 | | | | | | | |
| 盛土・埋土 | 0.10 | | | | | | | |

表-20 各土質の単位体積重量一覧表

| 主記号 | 副記号 | ローム質 | 有機質 | 粘土質・ | シルト質・ | 砂質・ | 礫混り | |
|---------------|------|---|------|------|-------|------|------|--|
| | なし | 疑灰質 | | 混り | 混り | 混り | | |
| 表土 | 1.7 | - | - | - | - | - | - | |
| ローム | 1.5 | - | 1.3 | 1.6 | 1.6 | 1.75 | 1.8 | |
| 腐植土・泥炭 | 1.1 | 1.3 | - | 1.4 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | |
| 粘土 | 1.7 | 1.65 | 1.6 | - | 1.7 | 1.8 | 1.85 | |
| シルト | 1.75 | 1.7 | 1.65 | 1.75 | - | 1.8 | 1.85 | |
| 砂 | 2.0 | 1.85 | 1.8 | 1.8 | 1.85 | - | 2.05 | |
| 砂 礫 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | - | - | |
| 土丹 | 2.1 | - | - | - | - | - | - | |
| 軽石・浮石 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.85 | |
| 微砂 | 1.85 | 1.8 | 1.75 | 1.8 | 1.8 | - | 1.9 | |
| 細砂 | 1.95 | 1.8 | 1.75 | 1.8 | 1.8 | - | 2.0 | |
| 中砂 | 2.0 | 1.85 | 1.8 | 1.85 | 1.85 | - | 2.05 | |
| 粗砂 | 2.0 | 1.85 | 1.8 | 1.85 | 1.85 | - | 2.05 | |
| ガレキ・コンクリート片 | 2.1 | (単位 t/m³) ただし地下水面上は0.2を引いた値を用いる。 (東京低地液状化予測、昭和62年 土質工学会 東京都土研の資料に一部加筆) | | | | | | |
| アスファルト・コンクリート | 2.3 | | | | | | | |
| ヘドロ | 1.1 | | | | | | | |
| シルト・砂の互層 | 1.85 | | | | | | | |
| 粘土・砂の互層 | 1.85 | | | | | | | |
| 土丹・砂の互層 | 2.05 | | | | | | | |
| 盛土・埋土 | 1.7 | | | | | | | |

(ii) 地表最大加速度

「道路橋示方書」によれば、液状化判定に用いられる地表最大加速度 a_{max} は、水平深度 $k_s (= a_{max}/g)$ という形で表わされている。

k_s は次のように表わされる。

$$k_s = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot k_{sa}$$

ここで

k_{sa} : 液状化の判定に用いる標準設計水平深度 (= 0.15)

ν_1 : 地域別補正係数

ν_2 : 地盤別補正係数

ν_3 : 重要度別補正係数

通常 $k_s = 0.15 \sim 0.18$ 程度の値がとられ、本地域では k_s は 0.18 となることから、解析には $k_s = 0.18$ を用いて液状化判定を行った。

(iii) 液状化指数 P_L

液状化抵抗率 F_L によって、藤代上部砂層の液状化に対する安全性は求められるが、砂層の深さ、厚さ、粘性土等との関連によって、その地点の液状化のしやすさの度合いが異なってくると思われるので、これらの影響を総合的に評価するために液状化指数 P_L を求めた。

P_L は次式によって求められる。

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

$$F = 1 - F_L \quad (F_L < 1.0)$$

$$F = 0 \quad (F_L \geq 1.0)$$

$$W(z) : \text{重み関数} = 10 - 0.5Z$$

$$Z : \text{深度 (地表面 } Z = 0 \text{)}$$

液状化判定による危険度の基準は次の通りである。

$P_L = 0$ の時……………液状化危険度はかなり低い。液状化に関する
詳細な調査は一般に不要

$0 < P_L \leq 5$ の時……………液状化危険度は低い。特に重要な構造物の設
計に際しては、より詳細な調査が必要

$5 < P_L \leq 15$ の時……………液状化危険度が高い。重要な構造物に対して、
より詳細な調査が必要。液状化対策が一般に
必要

$15 < P_L$ の時……………液状化危険度が極めて高い。液状化に関する
詳細な調査と液状化対策は不可避

この他、砂層の深度、厚さ、地下水位、D50の粒径、N値を用いて各ボーリング地点ごとに液状化の可能性を求め、計算で得た液状化指数 P_L の判定結果と照合したところ概ね整合した。

2.4.4 液状化の範囲

液状化の発生する可能性があるのは、一般に飽和した緩い砂質地盤の分布する所であるといわれている。過去の大地震によって液状化現象の発生した地点は、新潟地震では過去300年間に河道となった所といわれ、宮城沖地震の場合は海岸や潟を埋立てた所であったという。本地域には、小貝川による自然堤防が良く発達し、後背湿地も丘陵地との境目に分布して、地下水位も1m前後とかなり高い所もある。液状化のしやすさを、液状化指数 P_L によって検討した結果、本地域の自然堤防は相対的に締りが良く液状化し難いが、発達の軽微な自然堤防では $15 < P_L$ で液状化しやすいような傾向にある。

本地域の液状化判定には、液状化指数の計算結果を参考としながら、 $15 < P_L$ では微地形判読による小貝川の旧河道とこれに沿って形成された自然堤防を含めた地域に限って「非常に液状化を起しやすい」範囲と予測した。また、 $5 < P_L \leq 15$ では谷和原村より伊奈町に至る小貝川左岸の沖積面、小貝川右岸の台地との境付近の後背湿地、国道6号線沿い、竜ヶ崎市川原代町―須藤堀町―惣新田に至る地区及び竜ヶ崎市街地北側より幸谷に至る地区の盛土・埋土部又は旧後背湿地を「液状化しやすい」地域とした。 $P_L \leq 5$ では小野川、乙戸川、桂川の小河川の沖積面のような地区が、一般には液状化しにくい地域である。牛久沼周辺は、土地の改変が進んでいるので液状化を起しやすい地域や起しにくい地域が混在しているが、一般的な傾向として液状化しやすいと考えられる。丘陵地では、土地の開発によって平坦化が進み、枝谷の埋立地が増加している。埋立地の地盤条件や地下水位等の諸条件によって、一概に地震による被害が発生するとは思われないが、宮城沖地震の例にもあるように、ここでは丘陵地との境付近で地割れや陥没、盛土のり面の崩壊が発生する可能性もあると判断した。

2.5 水災害の状況

2.5.1 河道の変遷

本地域の水災害を語るにあたって小貝川、鬼怒川、利根川の歴史を振り返ってみたい。明治43年吉田東吾は「利根川治水論考」の中で香取海を中心とした概念図

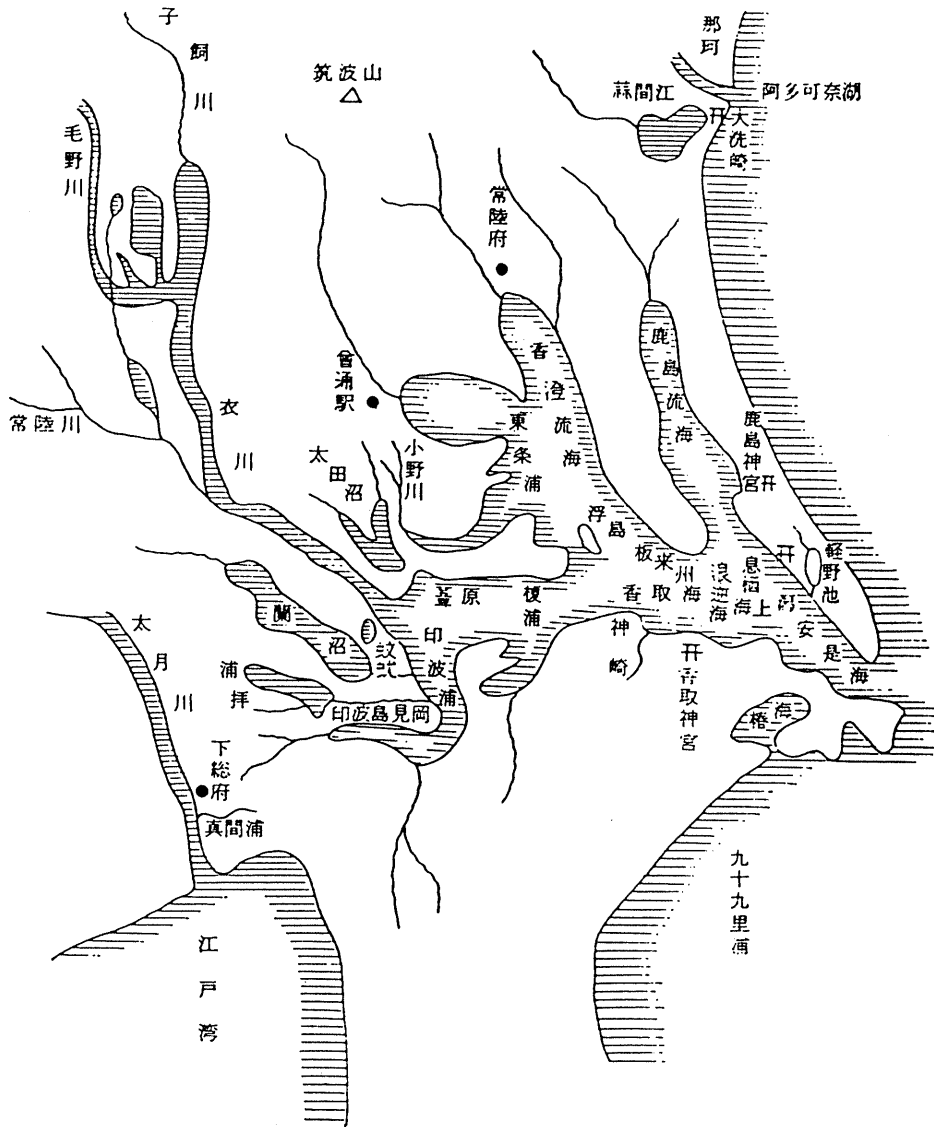


図-38 香取海の概念図(吉田東五による)

を描いている。当時、利根川は隅田川筋から東京湾に流入しており、小貝川は子飼川、鬼怒川は毛野川となっていた。8世紀後半から9世紀にかけての小貝川・鬼怒川は分離・合流をくり返し、これより下流一帯では網状に自然堤防や湿地等複雑な微地形が形成され、洪水時の停滞水域となって一大沼沢地を作っていた。記録によると14世紀の中頃には竜ヶ崎地方の金江津や押砂等には村落が成立しており、16世紀

末には河内一部だけでも1万6000余石(2,470t)の石高があって、河道の不安定な当時の稲作は水害との戦いでもあったと思われる。干拓技術が進み、新田開発が盛んになったのは17世紀中頃である。1629年鬼怒川の付替工事がおこなわれ、1630年には小貝川の付替も実施されて干拓事業が急速に進んだが、これに比例して水災害も多くなった。1654年利根川の東遷事業が完成し、さらに1665年新利根川(別名谷原新川)が開削されると、これらの沿岸の村落はさらに新たな水災害の危険にさらされた。

2.5.2 災害記録

竜ヶ崎地方の水害は、利根川の東遷事業が完成して以降1700年頃より小貝川・下利根川を中心に頻発している。表-21は1700年から明治末期(1910年)までの災害記録である。表からもわかるように、災害のほとんどは利根川と小貝川の

表-21

| 堤防決壊年月日 | | 決壊堤防箇所 | | | |
|-----------|-------|--------------|-----------|-----------------------------|---------------------------|
| | | 小貝川筋 | | 利根川筋 | |
| | | 町村名 | 箇所名 | 町村名 | 箇所名 |
| 宝永9. | 1712年 | 文村 | 押村付近 | | |
| 享保6. | 1721年 | | 不明 | | |
| 享保9. | 1724年 | | 不明 | | |
| 享保11. | 1726年 | | | 布川町 | 二番割 |
| 享保19. | 1734年 | | | | |
| 享保20. | 1735年 | | | | |
| 寛保2.7. | 1742年 | 文村 | 押付豊田付近 | | |
| 宝暦12. | 1762年 | 文村 | 上曾根 | | |
| 安永4. | 1776年 | 文村 | 上曾根 | | |
| 安永9. | 1780年 | | | 布川町 | 徳満寺裏 |
| 天明5.7. | 1785年 | 北文間村 文村 | 豊田 押付 | | |
| 文化9. | 1812年 | 北文間村 | 長沖 | | |
| 文政7. | 1824年 | 北文間村 | 長沖 | | |
| 文政11. | 1828年 | | | 布川町 | まけたはら 川岸 |
| 弘化3.6.24 | 1846年 | 北文間村 | 豊田 | 東文間村 | 加納新田 |
| 安政5.9.10 | 1858年 | 文村 北文間村 | 羽根野 豊田 | | |
| 明治3.7.20 | 1870年 | | | 生板村 | 大徳鍋子新田 |
| 明治4.7.10 | 1871年 | | | 金江津村 | 十三間戸 |
| 明治11.8.25 | 1878年 | | | 源清田村 | 猿島新田 |
| 明治18.9. | 1885年 | | | 十余島村 | 押砂 |
| 明治23.9. | 1890年 | | | 十余島村 | 清久 |
| 明治25.8. | 1892年 | | | 十余島村 | 四ツ谷 |
| 明治29.9.11 | 1896年 | 川原代村 北文間村 | 花丸 豊田 | 東文間村 金江津村 布川村 金江津村 | 加納新田 十三間戸 二番割 千里 |
| 明治31.9.8 | 1898年 | | | 十余島村 | 四ツ谷 |
| 明治35.8.10 | 1902年 | | | 十余島村 | 四ツ谷 |
| 明治39.7.18 | 1906年 | | | 布川村 | 二番割 |
| 明治40.8.21 | 1907年 | 北文間村 | 豊田 | 長竿村 | 十里 |
| 明治43.8.11 | 1910年 | 川原代村 北文間村 | 太日 豊田 | 源清田村 | 猿島新田 |

合流点付近に集中している。これは、合流点下流の布川・布佐に狭窄部があり、洪水時に利根川が小貝川へ逆流するという地形的なものが原因ではないかと思われる。実際には利根川の河床が上昇し始めたのは幕末の天明ないし文化年代以降の事であり、それまでの洪水は堤防の構造・規模等に問題があったものと思われる。三井によると「明治43年以降の度々重なる洪水は利根川が河川交通としての意味を失って後、関宿閘門閉鎖（東京の洪水防止）、河川改修（曲流を直流にする）、戦時に入ってから浚渫工事の中止によって土砂の堆積が進行した結果、利根川の川底だけが高くなった」ことに起因するという。

表-22は、大正・昭和期の災害の記録である。このように本調査地域には長期間にわたって水災害の記録があり、またこれらに対処するために費やされた数々の治水対策あるいは土地改良工事もあるが、既往資料の多くは図として表示されているものはない。昭和56年の台風15号及び昭和61年台風10号の被害についてはいくつかの対応資料があるので表示する。

① 昭和56年台風15号

台風経路図からもわかるが、本地域には8月23日に接近、雨量は21日～23日までの合計で66mmであった。しかし、利根川上流の栃木・群馬の両県では200mm～270mmの豪雨に見舞われ、利根川が増水して小貝川に逆流し24日02時12分頃小貝川高須橋上流左岸200m地点が決壊し、竜ヶ崎を中心とした被害が出た。

表-22 大正・昭和期の小貝川・利根川の洪水

| 堤防決潰年月日 | 記 事 |
|-------------|---|
| 大正 5年 1916年 | 利根川沿岸水田に漏水（7月下旬） |
| 大正 9年 1920年 | 大風雨 利根川・小野川出水（9月25日） |
| 昭和 2年 1927年 | 台風 破堤1ヶ所（9月） |
| 昭和10年 1935年 | 不連続線 利根川増水、小野川漏水 小貝川高須村高須橋下決潰（9月24日） |
| 昭和13年 1938年 | 台風 新利根川増水、伊崎村伊佐部水門決潰（6月末） |
| 昭和14年 1939年 | 台風 破堤3ヶ所 |
| 昭和16年 1941年 | 暴風雨 利根川増水（7月19日） |
| 昭和18年 1943年 | 台風 小貝川増水、馴柴村小通越水 |
| 昭和20年 1945年 | 台風19号（10月5日） |
| 昭和22年 1947年 | 台風（カスリン） 利根川大洪水（9月15日） |
| 昭和23年 1948年 | 台風（アイオン） 小貝川堤防決潰（9月25日） |
| 昭和24年 1949年 | 台風（キティ） 利根川増水（8月30日） |
| 昭和25年 1950年 | 台風 高須村右岸堤防形潰（8月） |
| 昭和33年 1958年 | 台風 利根川・小貝川洪水（9月25日～27日） |
| 昭和34年 1959年 | 台風（伊勢湾） 利根川・鬼怒川洪水（9月26日） |
| 昭和56年 1981年 | 台風15号 小貝川・高須橋左岸堤防決潰（8月24日） |
| 昭和61年 1986年 | 台風10号 小貝川石下町豊田地先右岸堤防決潰（8月5日） |

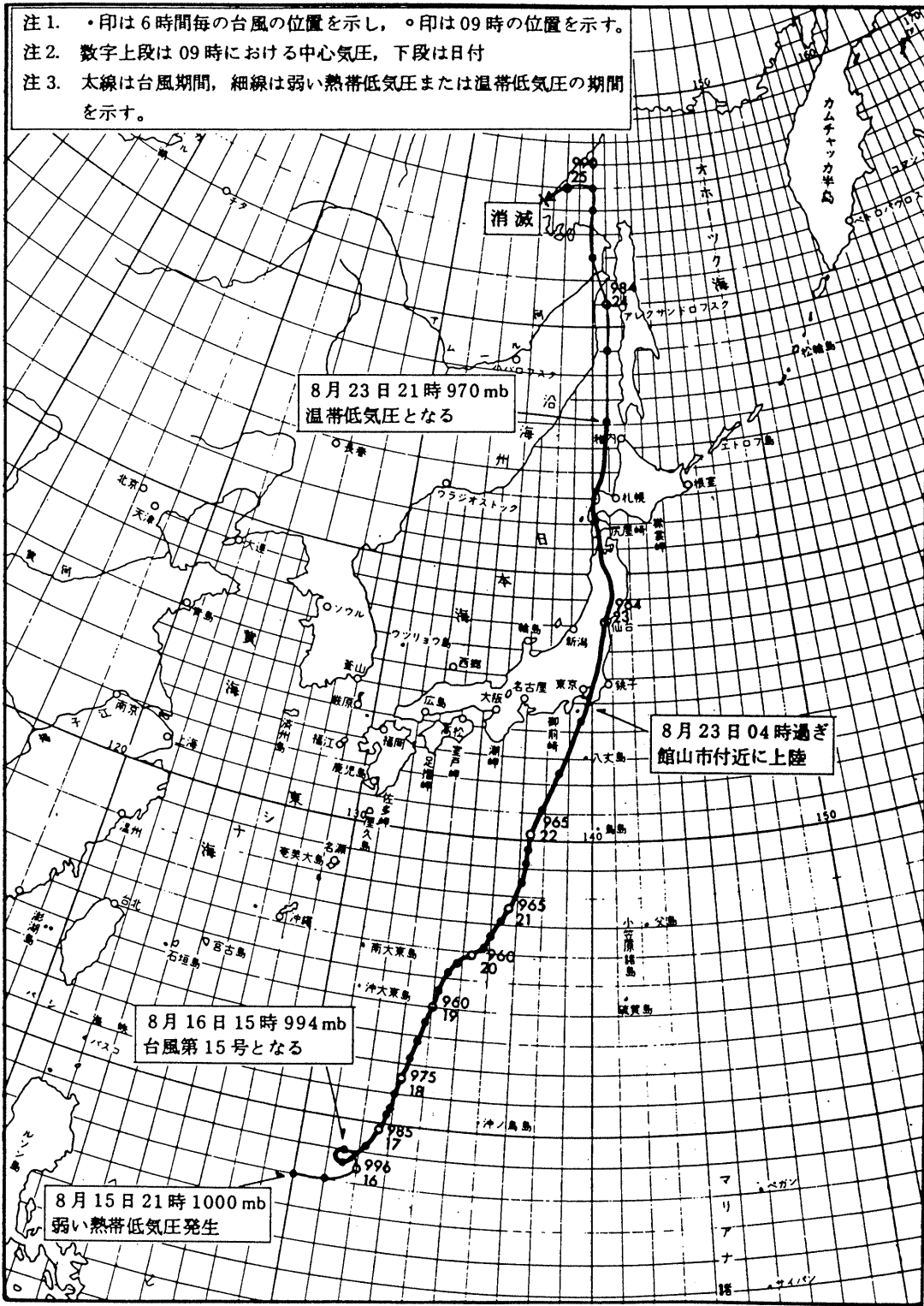


図-39 昭和56年台風第15号経路図

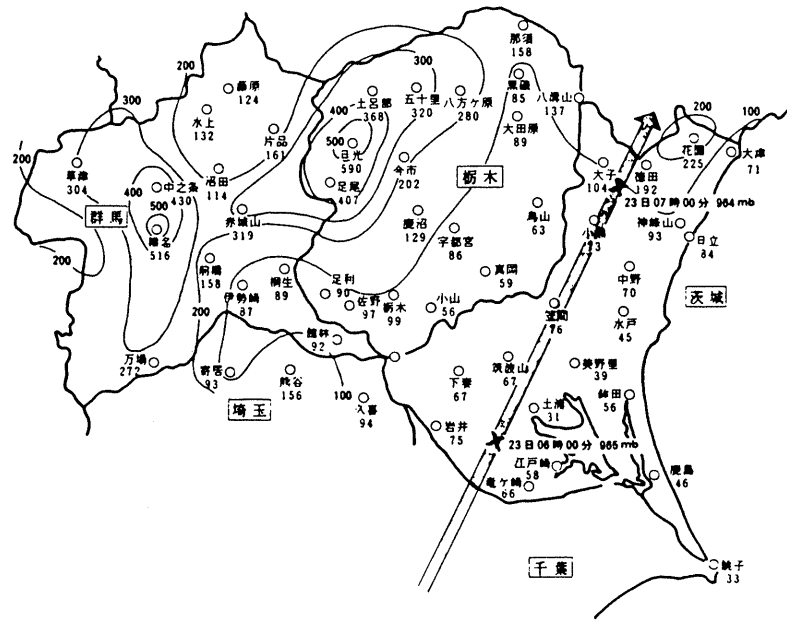


図-40 8月21日~23日総降水量(mm)

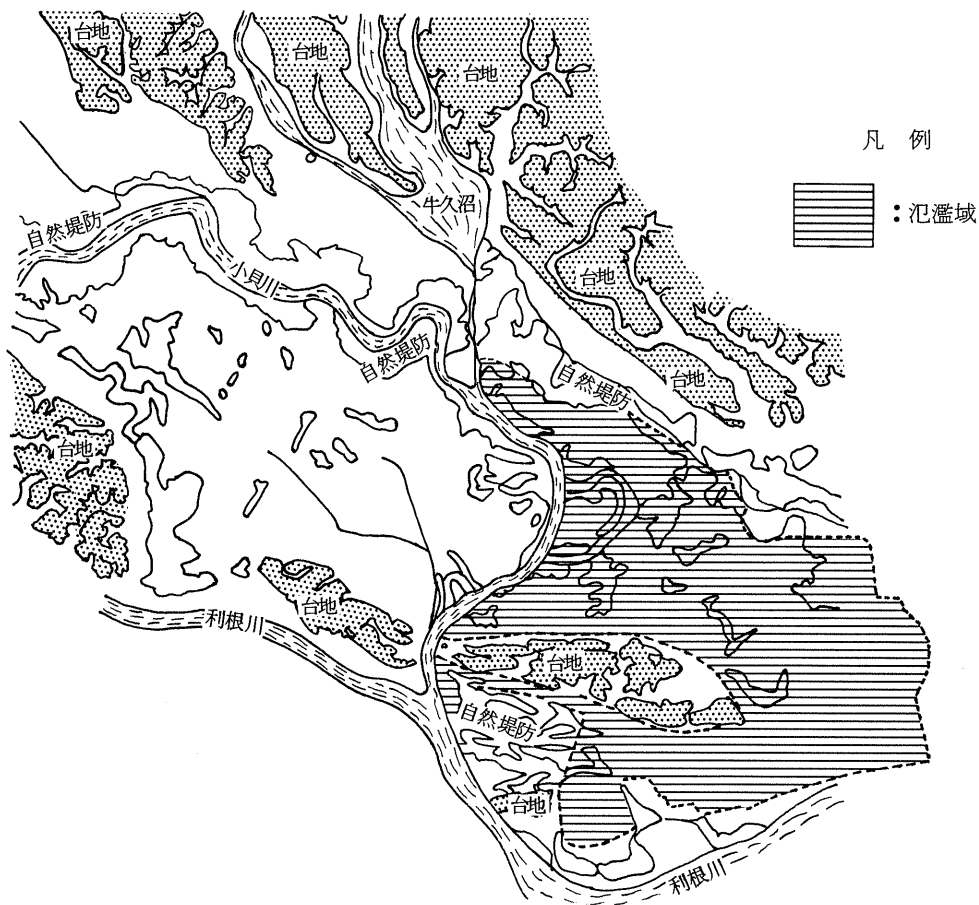


図-41 台風15号による小貝川の氾濫域

② 昭和 61 年台風 10 号

台風 10 号は典型的な雨台風であり、茨城県内は各地で豪雨となって被害が続出した。小貝川は上流で氾濫した

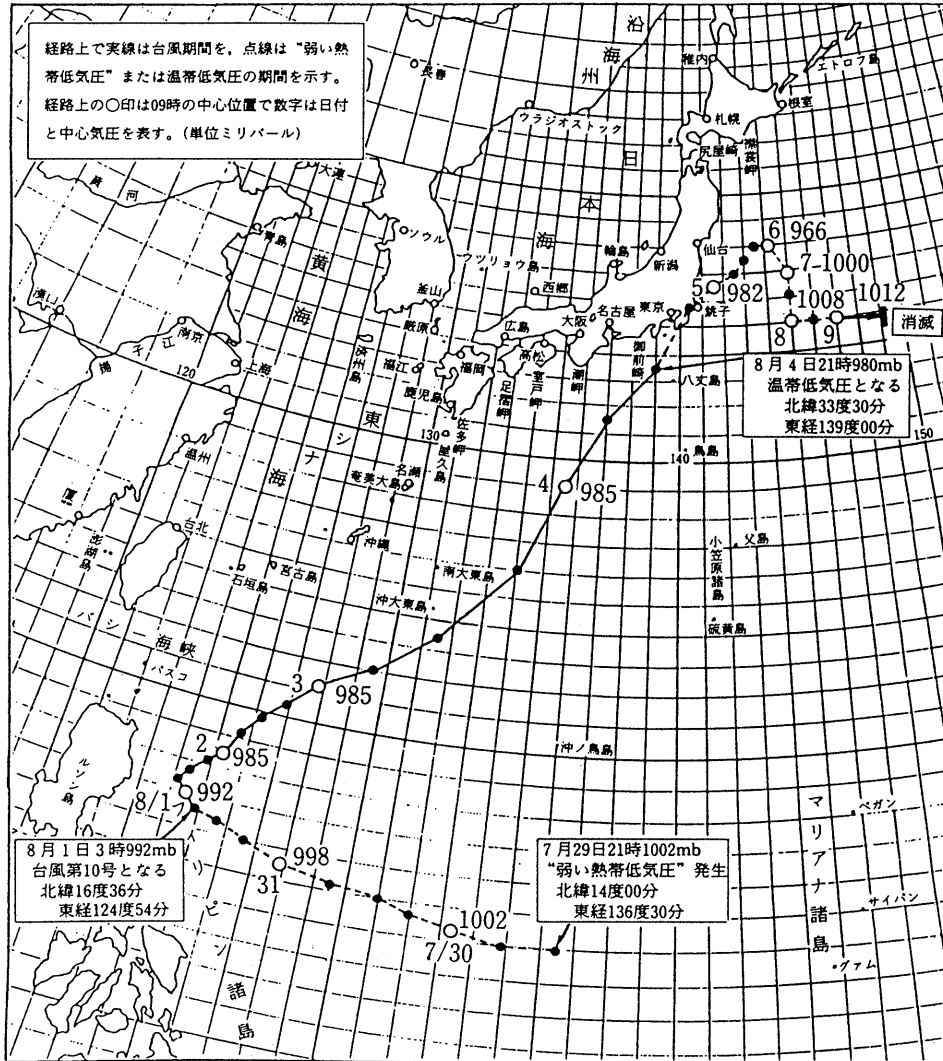


図- 42 昭和 61 年台風第 10 号の経路図

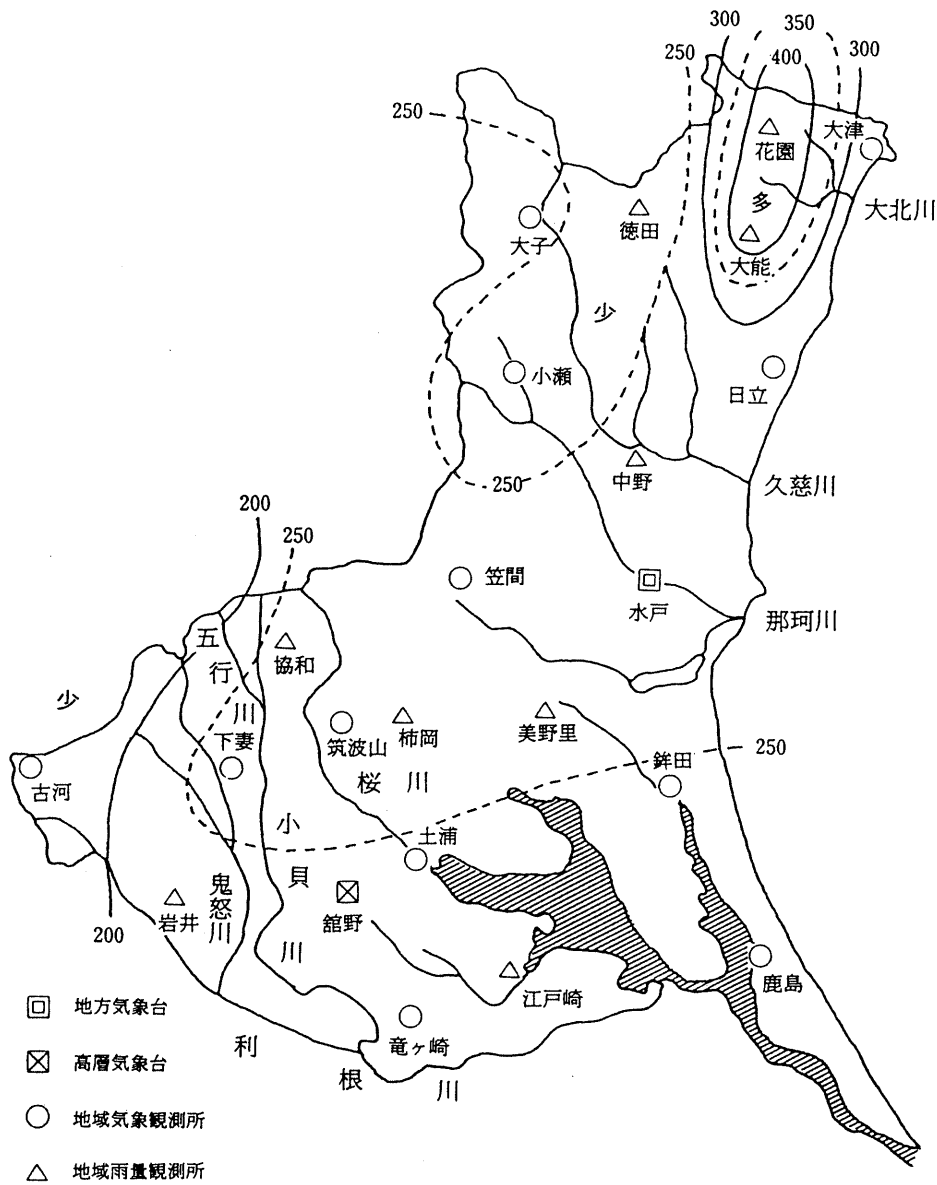


図-43 総降水量分布図(単位:mm) 昭和61年8月4日~5日

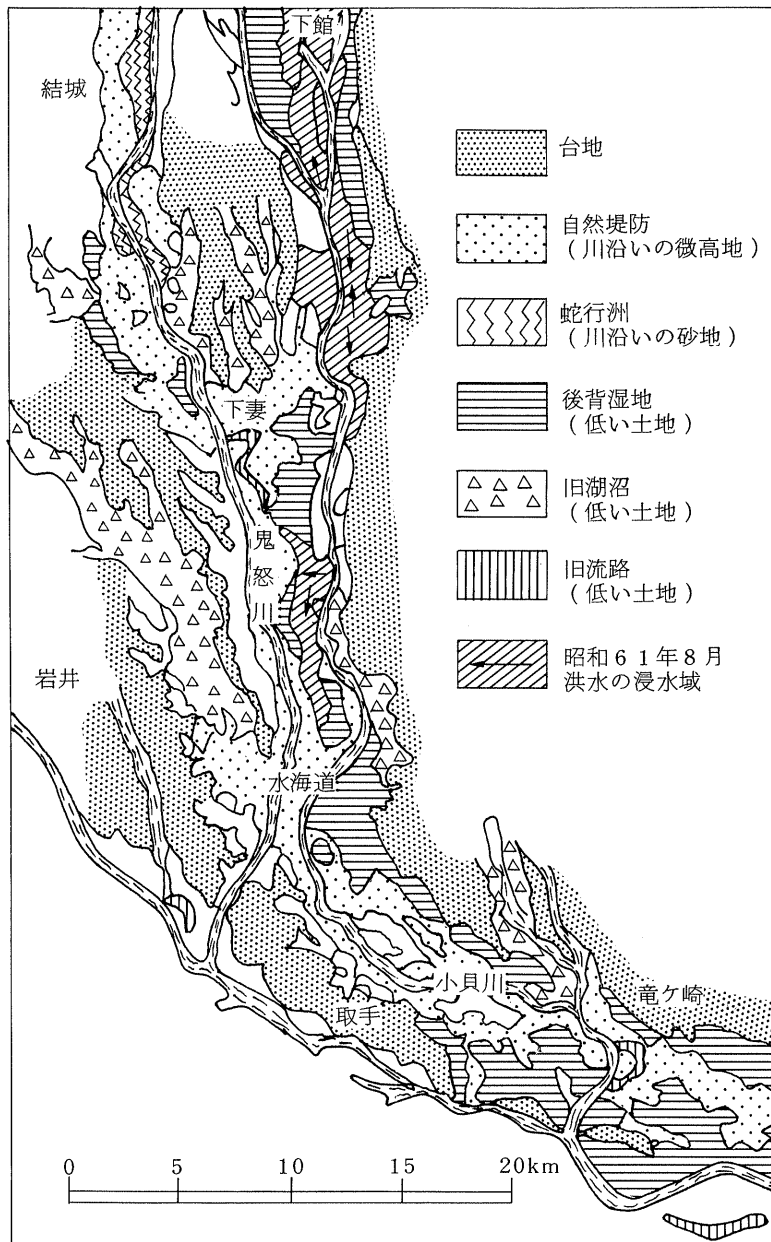


図-44 鬼怒川・小貝川低地の地形と台風10号による洪水

2.6 法的規制区域

軟弱地盤地域の法的な規制としては、地下水採取規制、振動規制、急傾斜地崩壊危険区域及び河川保全区域がある。いずれも図示が困難であることから以下各項目毎に表等によって明示する。

2.6.1 地下水採取規制

昭和52年に「茨城県地下水の採取適正化に関する条例」が制定され各市町村単位に規制が図られた。本地域では全域が指定の対象となり、その内容は以下のとおりである。

〔条例の適用をうける揚水施設の基準〕

指定地域内の動力を用いて地下水を採取する揚水施設で、揚水機の吐出断面積（吐出口が2以上あるときはその断面積の合計）が 19 cm^2 以上で、規制で定める基準面積を超える場合は知事の許可を受けなければならない。

表-23 用途別基準断面積

| 用途 | 使用目的 | 基準断面積 |
|-------|---------------------------|-------------------|
| 生活用水 | 水道用、その他飲用水 | 50 cm^2 |
| 工業用水 | ボイラー用、原料用、製品処理及び洗滌用、冷却用等 | 〃 |
| 農業用水 | 水田、畑地、草地、花木、種苗、施設園芸のかんがい用 | 125 cm^2 |
| その他用水 | 公園、ゴルフ場、プール、試験研究、養魚、防火用 | 50 cm^2 |

2.6.2 振動規制

振動規制法により昭和60年度までに取手市、竜ヶ崎市、牛久市に対して第2種区域の基準（昼間70db）が適用されている。

表-24 振動に係る指定地域

| 指定地域 | 告示年月日 | 施行年月日 |
|----------|-----------|-----------|
| 取手市、竜ヶ崎市 | 58. 1. 13 | 58. 1. 13 |
| 牛久市 | 59. 3. 31 | 59. 7. 1 |

振動による苦情件数は昭和56年度より昭和61年度までの6年間で下記のとおりである

一方、本地域の北西部を通る常磐自動車道は、茨城県公害技術センターの測定によると振動レベルは50db未満が最大で、大半の地点で20～40dbレベルで推移しており振動に対しては良好な環境にあると思われる。

表-25 苦情件数

| | 56年度 | | 57年度 | | 58年度 | | 59年度 | | 60年度 | | 61年度 | | 計 | |
|------|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|----|----|
| | 受理 | 処理 | 受理 | 処理 | 受理 | 処理 | 受理 | 処理 | 受理 | 処理 | 受理 | 処理 | 受理 | 処理 |
| 竜ヶ崎市 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 取手市 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 11 | 11 |
| 牛久市 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| 阿見町 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 茎崎町 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 新利根村 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 河内村 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 谷田部町 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 伊奈町 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 谷和原村 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 守谷町 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 藤代町 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 4 |
| 利根町 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 合計 | 7 | 7 | 4 | 4 | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 5 | 2 | 2 | 22 | 21 |

2.6.3 急傾斜地崩壊危険区域

本地域の急傾斜地崩壊危険区域指定箇所は表-26のとおりである。

表-26 急傾斜地崩壊危険区域指定箇所

| 箇所名 位置 | 勾配 (度) | 高さ (m) | 延長 (m) | 面積 (ha) | 人家 (戸) | 指定年月日 | 告示番号 | 公共的建物 | 備考 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|-------|-------|------|
| 向取手市台原宿 | 70 | 8 | 130 | 0.50 | 2 | 48.7.9 | 722号 | 取手小学校 | |
| 中取手市取手 | 60 | 5~8 | 120 | 0.379 | 14 | 51.2.9 | 132号 | | |
| 新道根柄 取手市東5丁目 | 45~75 | 12~14 | 170 | 1.03 | 20 | 53.10.12 | 1219号 | | |
| 新道根柄 取手市東5丁目 | 45~75 | 14~16 | 147 | 0.75 | 19 | 54.3.29 | 453号 | | 追加指定 |
| 新道根柄 取手市東5丁目 | 45~75 | 12~15 | 155 | 0.69 | 24 | 54.3.29 | 453号 | | 追加指定 |
| 取手3丁目 取手市取手3丁目 | 60 | 7 | 42.5 | 0.15 | 5 | 55.12.25 | 1768号 | | |
| 中原の2 取手市白山2丁目 | 70 | 6 | 90 | 0.12 | 6 | 53.2.6 | 118号 | | |
| 白山6丁目 取手市白山2丁目 | 54 | 5.5~10 | 74 | 0.15 | 5 | 56.2.26 | 241号 | | |
| 白山2丁目 取手市白山2丁目 | 55 | 5 | 43 | 0.14 | 5 | 57.9.16 | 1282号 | | |
| 城中 伊奈町城中 | 70 | 11 | 210 | 0.67 | 6 | 53.10.12 | 1220号 | | |
| 城南 伊奈町城南 | 50 | 7~12 | 190 | 0.78 | 6 | 56.5.11 | 806号 | | |

2.6.4 河川保全区域

河川保全区域については表-27、表-28に示した。

表-27 1級河川

| 河川名 | | | 区 間 | | 河川延長 (km) | 流域面積 (kd) | 指 定 年月日 | 管理事 務所名 |
|-----|------|-----------------|------------------------|----------|--------------|--------------|---------------------|------------|
| 本 川 | 1次支川 | 当該河川 | 上 流 端 | 下 流 端 | | | | |
| 利根川 | 小貝川 | 北浦川 | 北相馬郡藤代町大字中内字中内236番地先 | 小貝川への合流点 | 7.90 | 25.7 | 48.4.12 | 竜ヶ崎 |
| | | | 同町大字山王字太田702番地先 | | 7.90 | | | |
| 利根川 | 小貝川 | 西浦川 | 取手市寺田字新田沼104番地先の市道橋下流端 | 北浦川への合流点 | 6.20 | 9.2 | 48.4.12 | 竜ヶ崎 |
| 利根川 | 小貝川 | 谷田川 (牛久沼を含む) | 筑波郡大穂町大字長高野字天神下945番地先 | 小貝川への合流点 | 35.20 | 163.7 | 40.4.1 | 竜ヶ崎 土 浦 |
| | | | 同町大字前野字竹の下2007番地先 | | 35.20 | | | |
| 利根川 | 小貝川 | 西谷田川 | 筑波郡豊里町大字酒丸760番地先 | 谷田川への合流点 | 12.80 | 65.5 | 40.4.1 | 土 浦 |
| | | | 同町大字百家字一ツ橋1067番地先 | | 12.80 | | | |
| 利根川 | 小貝川 | 稲荷川 | 小野川からの分派点 | 谷田川への合流点 | 10.60 | 30.4 | 43.4.20 (56.4.3) | 竜ヶ崎 |
| | | | | | 10.60 | | | |
| 利根川 | 小貝川 | 中通川 | 筑波郡谷和原村大字押砂字沼田218番地先 | 小貝川への合流点 | 11.20 | 50.0 | 40.4.1 | 竜ヶ崎 |
| | | | 同村同大字字堀淵205番地先 | | 11.20 | | | |

表-28 準用河川

| 水系名 | 本川名 | 準用河川名 | 区 間 | | 指定延長 (m) | 指 定 年月日 | 市町村名 |
|-----|------|-------|--|--|----------------|------------|------|
| | | | 起 点 | 降 点 | | | |
| 利根川 | 小野川 | 西大塚川 | 左岸 竜ヶ崎市大塚町字和久井1854番地先 右岸 同市同町1854番3地先 | 小野川への合流点 | 1,587 (780) | (56.1.28) | 竜ヶ崎市 |
| 利根川 | 大正堀川 | 横田川 | 左岸 竜ヶ崎市馴馬町字式区3472番3地先 右岸 同市同町同字3446番地先 | 大正堀川への合流点 | 140 | 56.3.2 | 〃 |
| 利根川 | 乙戸川 | 桂川 | 左岸 阿見町阿見字阿見原5270番地先 右岸 同町鈴木字八坪97番の2地先 | 左岸 阿見町吉原字沖田2831番地先(牛久町界) 右岸 同町吉原字牛頭座2832番地先(牛久町界) | 7,280 | 49.3.27 | 阿見町 |
| 利根川 | 稲荷川 | 刈谷川 | 左岸 牛久町牛久字大港3026番の2地先 右岸 同町同字3026番の1地先 | 稲荷川への合流点 | 1,750 | 49.3.25 | 牛久市 |
| 利根川 | 稲荷川 | 結束川 | 左岸 牛久町大字女化1059番地先 右岸 同町同大字1060番地先 | 小野川への合流点 | 1,900 | 49.3.25 | 〃 |
| 利根川 | 稲荷川 | 太田川 | 牛久町大字女化579番地先の町道暗渠 | 小野川への合流点 | 1,700 | 49.3.25 | 〃 |
| 利根川 | 乙戸川 | 桂川 | 左岸 牛久町桂字桂1307番地先(阿見町界) 右岸 同町同字1308番地先(阿見町界) | 乙戸川への合流点 | 2,600 | 49.3.25 | 〃 |
| 利根川 | 谷田川 | 根古屋川 | 左岸 牛久町牛久字大淵1124番地先 右岸 同町同字1115番地先 | 左岸 牛久町大字遠山字馬内102番地先(竜ヶ崎 市界) 右岸 同町大字城中根古屋779番地先 | 1,500 | 49.3.25 | 〃 |
| 利根川 | 谷田川 | 遠山川 | 牛久町牛久字勘定1790番地先の町並橋 | 左岸 牛久町大字遠山字馬内103番地先(竜ヶ崎 市界) 右岸 同町同大字同字103番の4地先 | 1,500 | 49.3.25 | 〃 |

2.7 軟弱地盤地域の土地保全

軟弱地盤は、その堆積した環境あるいはそこに作用した自然の営力によって、その形成規模や土性等が異なるのは当然としても、軟弱地盤のもつ本質的な脆弱性によって土地利用方法の多様性が基本的に制約を受ける場合がある。軟弱地盤の沖積面には、気象や河川の有する営力により自然堤防や後背湿地、沼沢地、旧河道、ポイントバー等様々な微地形が複合して存在し、それぞれの地形のもつ固有な条件に応じて土地利用が行われており、また一方では土地の改変も積極的に行われ、それによって新たな付加価値を生み出している。特に大都市近郊の沖積平野にあっては、工業団地の誘致、大規模住宅地や総合レクリエーション基地の開発、都市交通の新設整備等急激な農用地の改変にとどまらず、従来の経済開発のなかではその利用すら考えられなかった谷地や湿地等の荒廃地や沼沢地の埋立による土地利用も進められている。このような状況の中で、軟弱地盤地域の土地保全を適切に行うことによって、長期的視野のもとでの土地利用のかかわる社会環境あるいは環境資源が維持されるのは望ましい事実である。本調査では、調査地域の軟弱地盤の構成に由来する災害に係わる情報、あるいは今後の土地利用計画に係わる情報からこの地域の特性を認識し、それによって土地利用の適性評価手法の適合性の検討をするための資料の作成をおこなった。図-45に作業手順を示す。土地保全の最終的な成果は、フローチャートからも分かるように各種情報の重ね合わせであり、情報の組み合わせ方によって目的とする情報の出力を得ることができる。

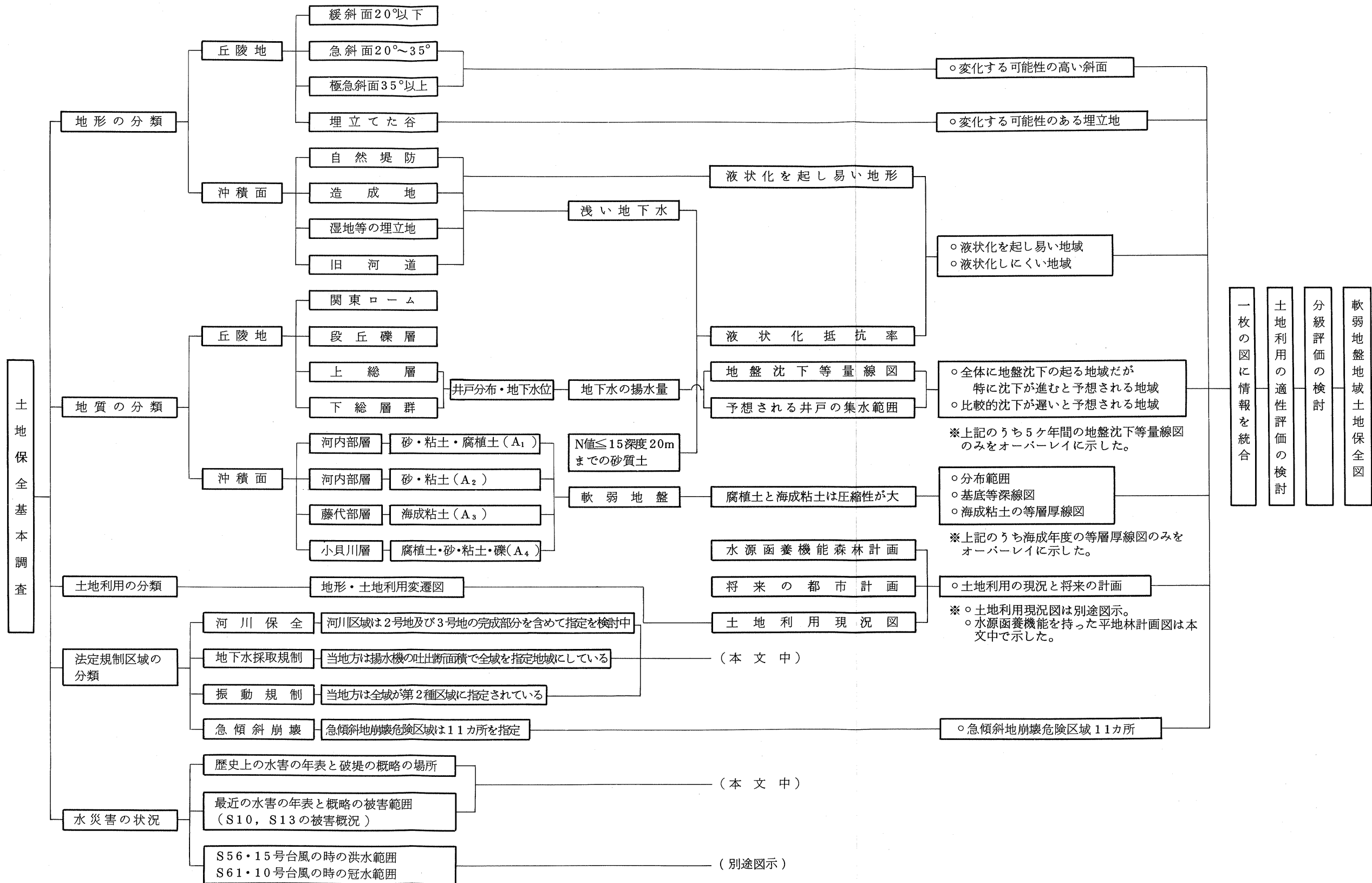


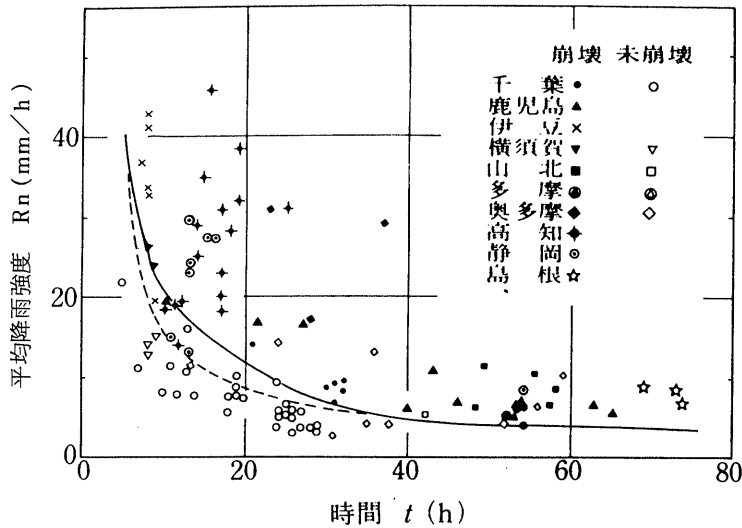
図-45 軟弱地盤地域土地保全図作業手順フローチャート

3. 災害予測と危険度評価の手法

土地利用の適性評価を最終目的とした本調査では、災害予測と危険度評価はその途中成果であるに過ぎない。にもかかわらずここに取り上げた理由は、この予測と評価如何が最終目的の評価の優劣を決定するためである。今回は、これらの手法を各々のフローチャートとして示した。以下各災害別に述べる。

3.1 斜面崩壊

本地域の斜面は、そのほとんどが台地を取りまく斜面であり、比高25m以下で武蔵野面の層厚3m程度のローム層と下末吉面の成田砂層を持つ。この地層は直立している崖でも一般に安定であるが、崖下には崩落土が形成されている。調査地域内には11箇所急傾斜地崩壊危険区域が指定されているが、豪雨による斜面崩壊の痕跡は少ない。斜面崩壊の素因としての自然条件は、千葉県の高尾山豪雨災害地域と同じ条件にあることから、ここでは図-46を参考とする。



斜面崩壊に対する降雨条件（風間による）（横軸は、崩壊に影響を及ぼす降水が始まってからの経過時間、縦軸は、その間の平均降雨強度を示す。図中の実線は、関東地方、点線はより広い区域での崩壊の限界曲線を示す。）

図-46 斜面崩壊と平均降雨強度

次に調査地域付近の雨量をみてみよう。降雨量は年間で約1200 mmが平均であり、この月別平均は表-29に示した。表からもわかるように、最も雨の多いと思われる6月でも1月の平均が200 mm強であり、崩壊を発生させる量には到っていない。

表-29 月別平均降雨量

| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 年平均 |
|---------|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 降雨量(mm) | 27 | 70 | 96 | 119 | 88 | 211 | 90 | 106 | 164 | 144 | 70 | 27 | 1,212 |

(1981~1985年5ヶ年の平均値)

図-47のフローチャートは、降雨と崩壊の関連性に重点を置いた手法となっており、従来から各方面で実施されている簡便な手法の大枠を整理したものである。が、実施にあたっては調査票を必要とする等いろいろな資料の収集や若干の解析を必要とする。

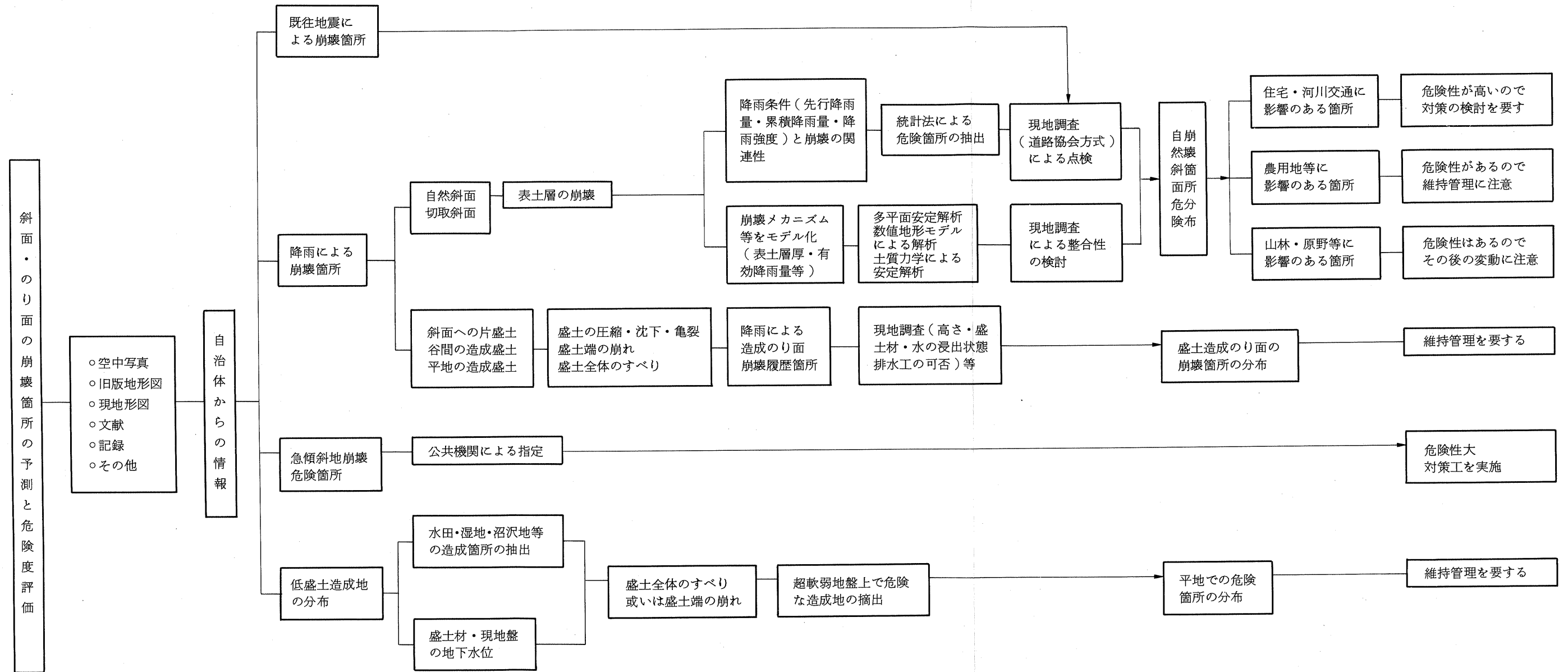


図-47 斜面・のり面崩壊箇所の予測と危険度評価手法のフローチャート(案)

3.2 液状化

地震災害は地盤災害、地震水害、建築物被害等があり、それぞれの被害状況について予測手法が開発されている。ところで、調査地域の小貝川・利根川はかつて氷期の最盛期に深い谷を刻み込み、そこに後氷期の海進に伴い40m内外に達する厚い海成粘土を堆積している。海成粘土の上部には5～10mのN値の低い砂層が堆積し、また地下水位は、元来が沼沢地が陸化した地域でもあるので全般に高い傾向にある。このような地盤特性をもつた軟弱地盤地域では、10～100Km程の所に震源をもつ巨大地震（ $M \geq 8.0$ ）が発生した場合、地盤の応答倍率が高く、かつ卓越周期も長いので共振による被害が出やすいといわれている。東南海地震（1944）の際には、小貝川及び利根川下流域と似た地盤状況にある静岡県の大田川低地と菊川低地に被害が集中した。この時の震央は両地域よりそれぞれ90Km～150Km離れた所にあり、マグニチュードは8.0であった。このような過去の経験からするならば、当地域の沖積平野は地震に対して極めて弱い事は明らかである。従って、さまざまな解析手法を駆使して被害予測図を作成することが望ましいが、ここでは液状化危険地区（マイクロゾーニング）の予測をするにとどまった。液状化の予測手法としては、新潟地震、秋田沖地震等の教訓より微地形によって液状化しやすい地域を判別し、これにボーリング柱状図から液状化強度を計算で求め、結果を重ねた。

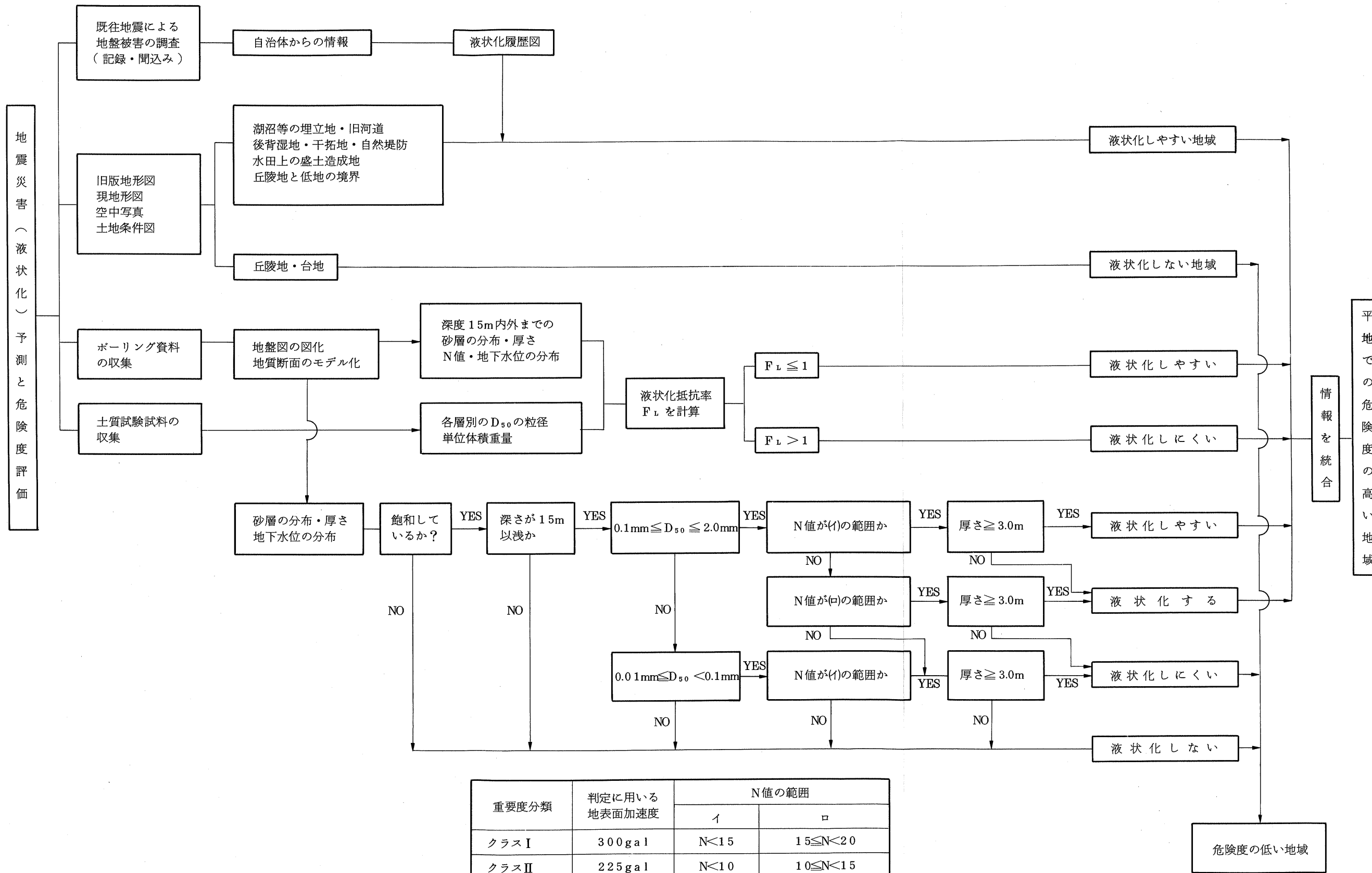


図-48 地震災害（液状化）予測と危険度評価手法のフローチャート（案）

3.3 地盤沈下

権根によれば「1平方キロメートルより1000t/日以上の揚水をするると沈下が始まる」としており、これを「沈下を起さないために必要な井戸の集水範囲」と理解して各井戸の集水範囲を円で示したところ、沈下量の大きい取手市から牛久沼にかけての井戸では集水範囲の重複する所が多く存在した。実際には厳密な意味での水収支のバランスを検討する必要があるが、少なくとも上記のことは過剰揚水を示すのではないかと考えられ、地盤沈下の原因の1つと推察した。このことは、都市化の加速的な進行に伴って水資源の確保も急務となろうが、井戸の新設については、井戸相互の干渉範囲を考慮する必要のあることを示唆している。

今回の調査では、洪積層の粘性土の地盤特性は把握できなかったが、縄文海進によって形成された海成粘土の圧縮特性として圧縮指数と自然含水比・間隙比・塑性指数の相関がみられる。

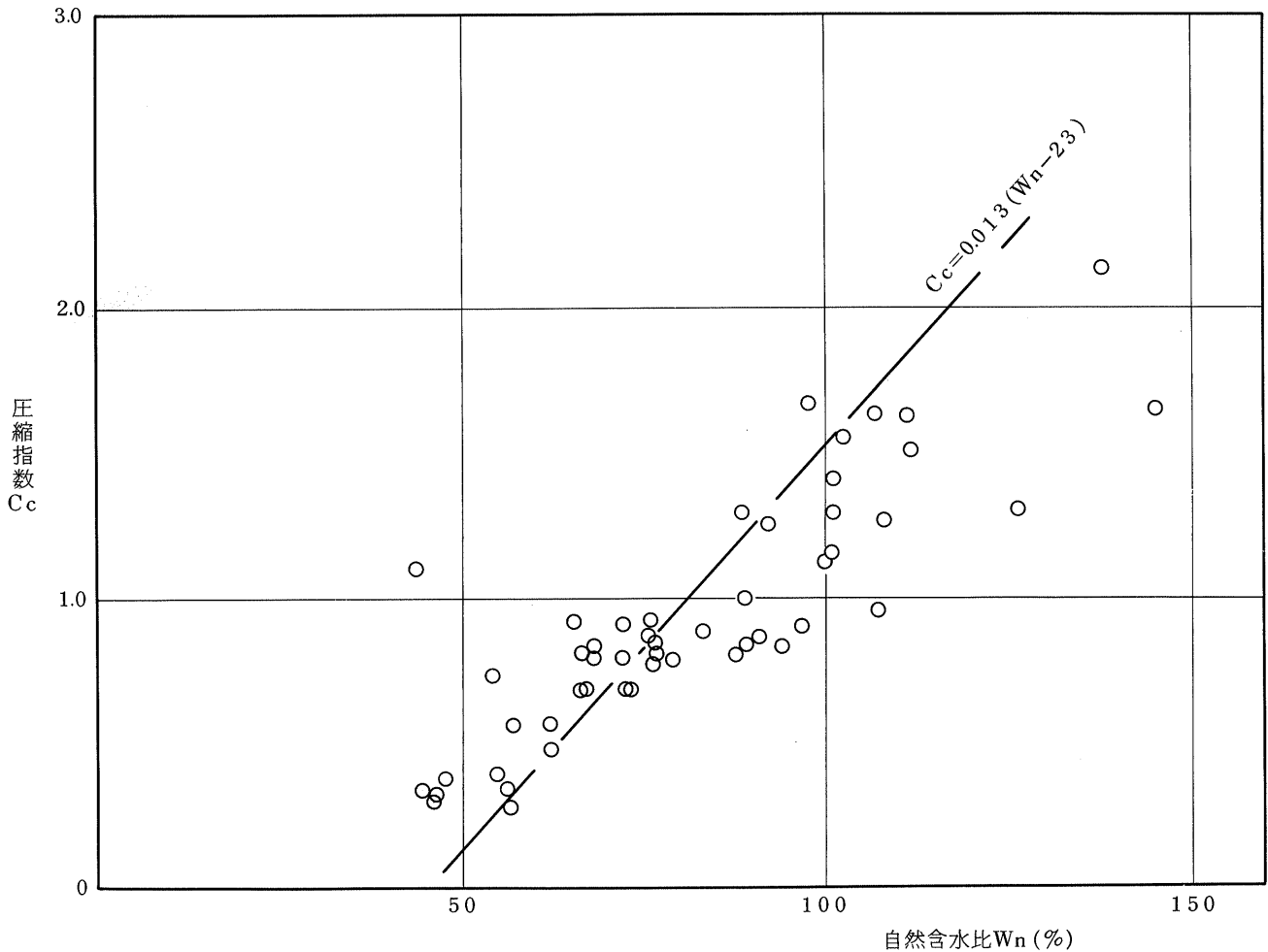
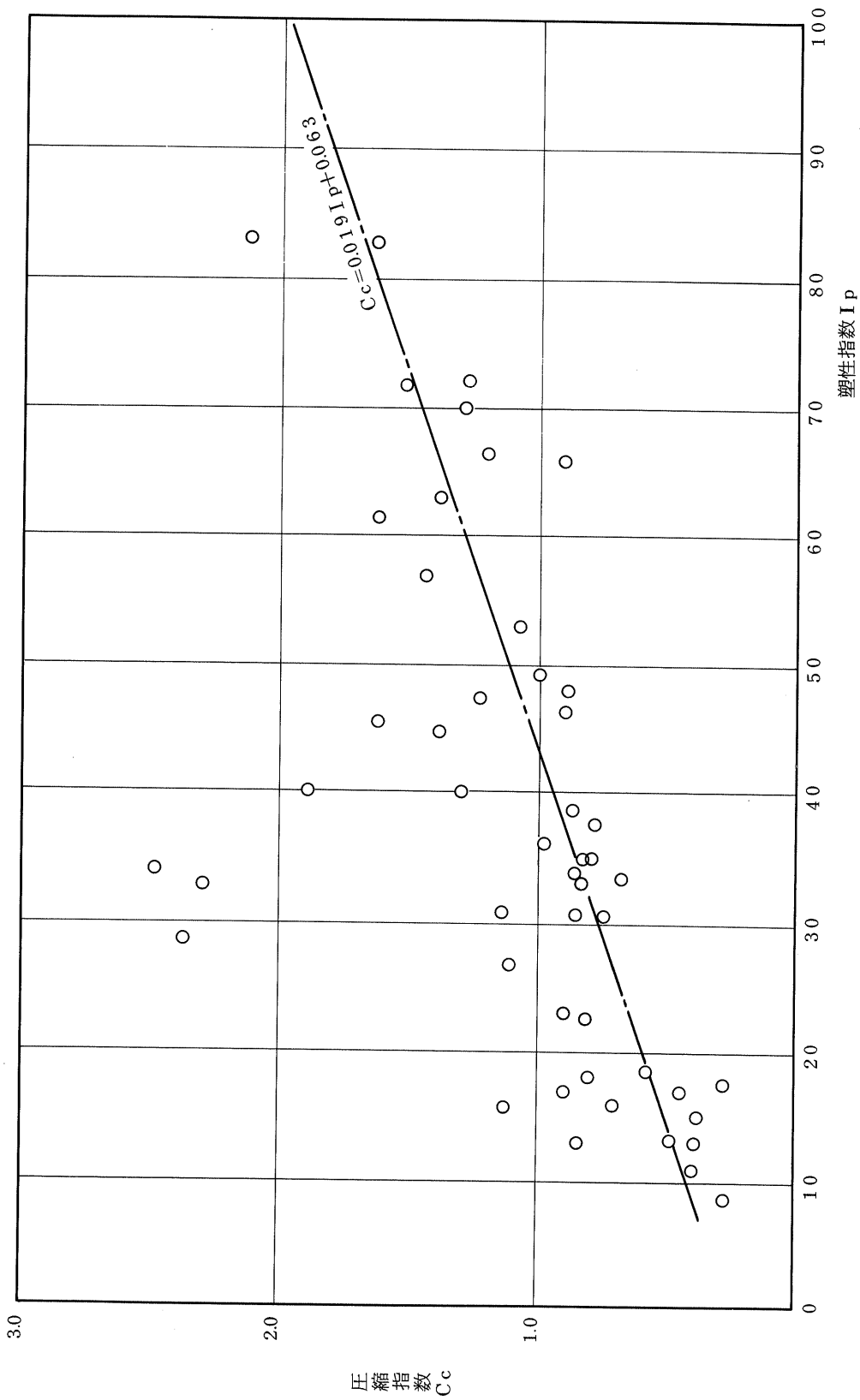


図-49 藤代部層(海成粘土)の圧縮指数と自然含水比の相関



図一50 藤代部層（海成粘土）の圧縮指数と塑性指数の相関

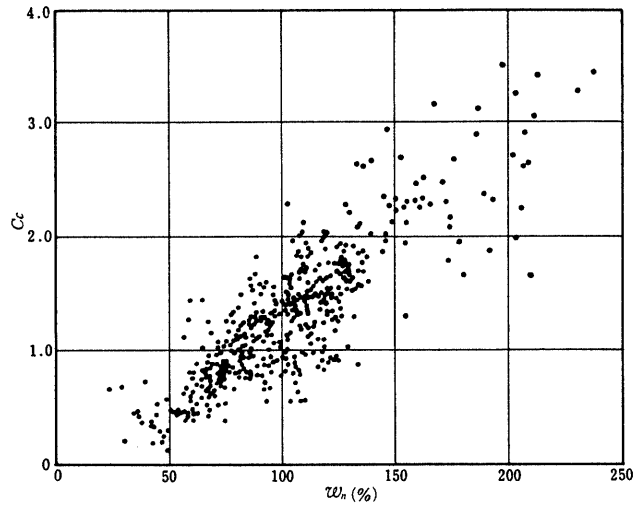


図-51 圧縮指数と自然含水比との関係(港湾)

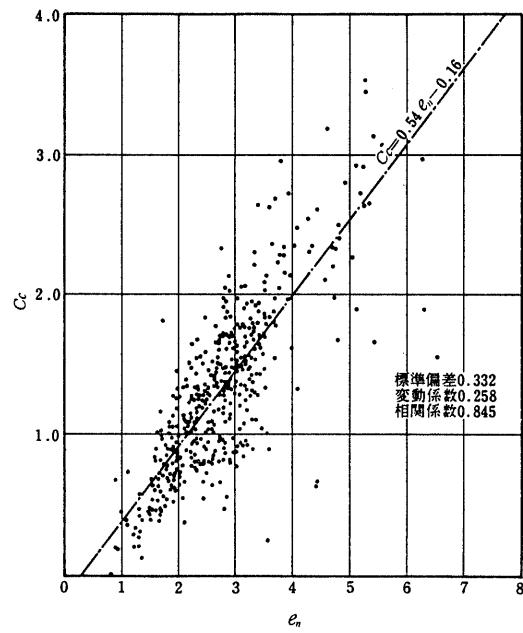


図-52 圧縮指数と自然間隙比との関係(港湾)

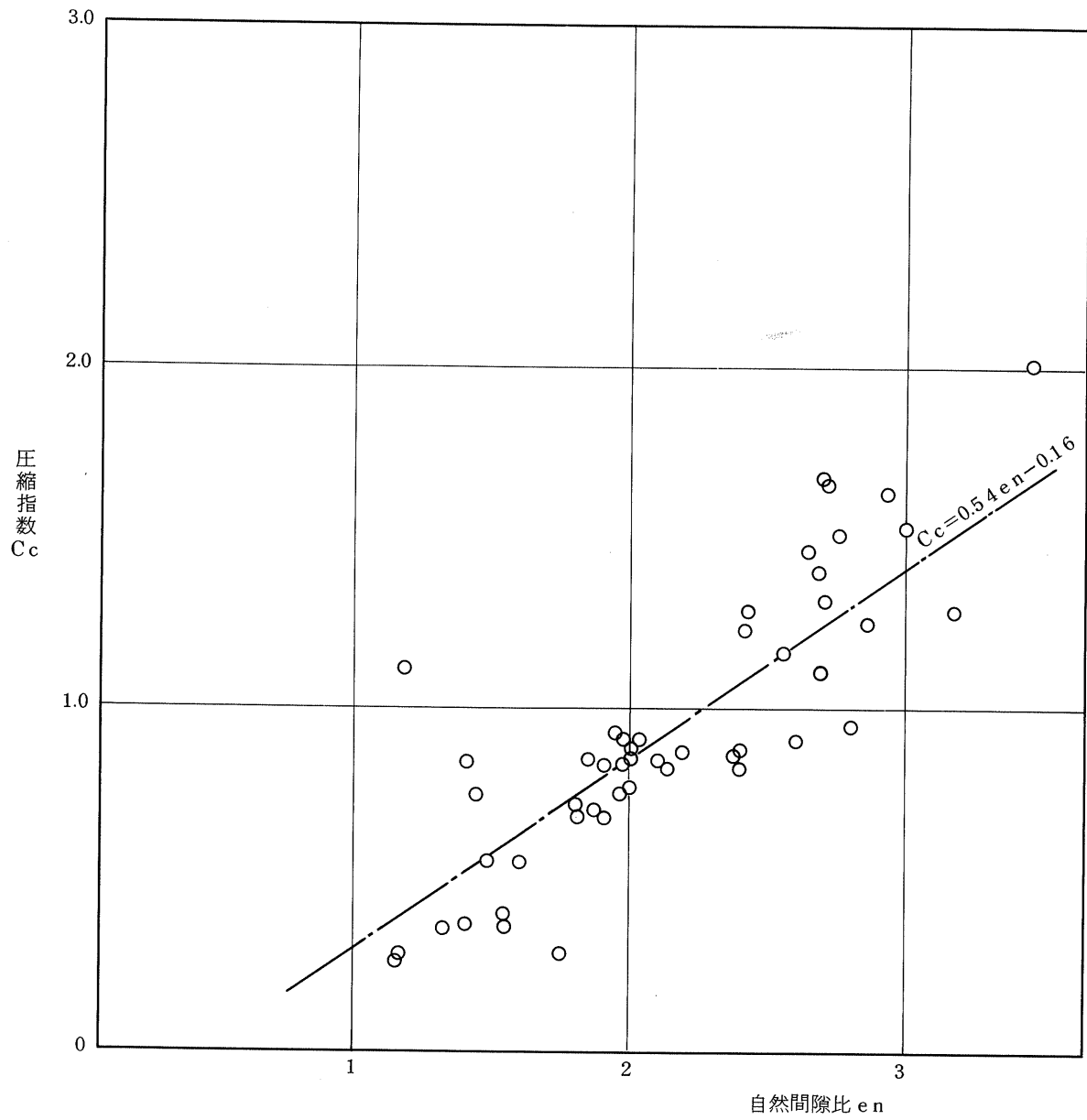


図- 53 藤代部層（海成粘土）の圧縮指数と自然間隙比の相関

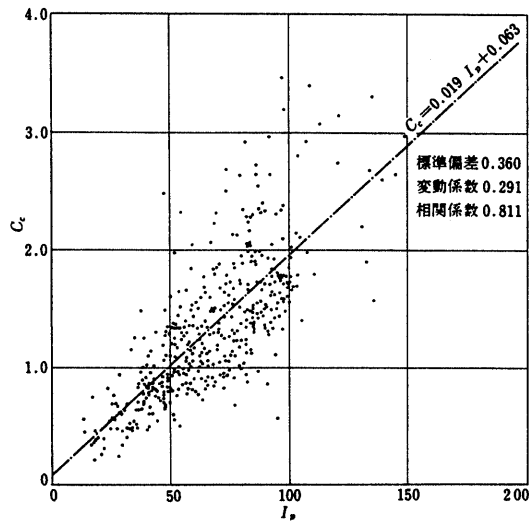


図-54 港湾地域における圧縮指数と塑性指数の相関

以上の相関図からも明らかなように、調査地域の海成粘土は、日本の海岸地帯に分布する海成粘土と圧縮特性のうえではかなり共通した性質を持っていることがわかる。当該地域では、この海成粘土の上に砂層を介して更にその上部に層厚1～5 m内外の腐植土層がほぼ全域に分布している。この腐植土層は自然含水比が100～800%あり、間隙比も極めて大きい。当然圧縮性が大きく強度も低い。この腐植土の圧縮指数 C_c と自然含水比 W_n の相関を図-55に示す。

同様に自然間隙比との相関を図-56に示す。

地下水揚水による地盤沈下のメカニズムについては、地盤の諸物性の他に、水圧低下による間隙水圧の経時変化を長期追跡することによって検証しうる場合もある。調査地域では、地下水規制の実施により一時低下していた地下水位が漸時旧に復しているが、地盤沈下はまだ進行しており、上述の概念のみでは説明できない現象もある。

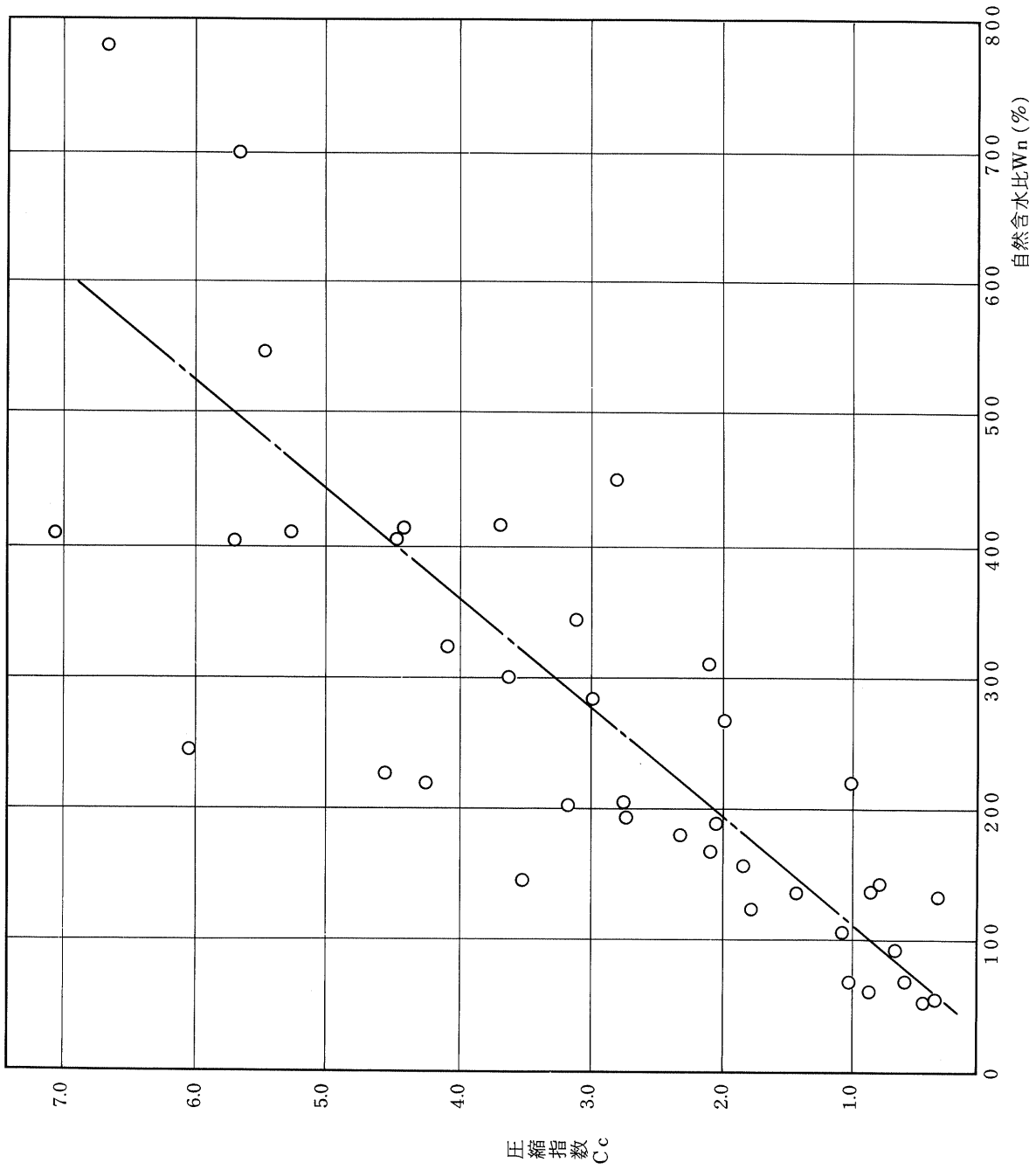
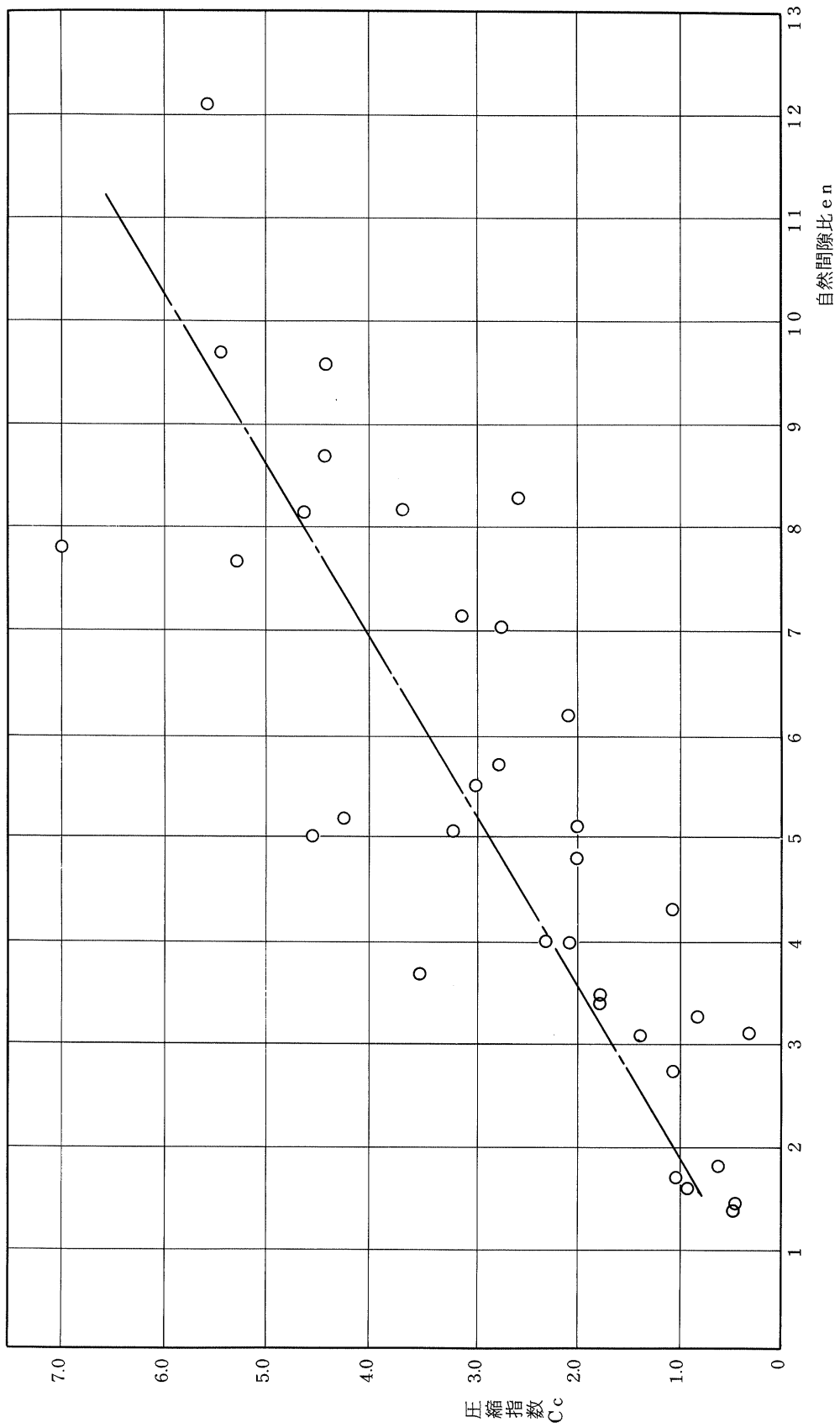


図-55 腐植土の圧縮指数と自然含水比の相関



図一56 腐植土層の圧縮指数と自然間隙比の相関

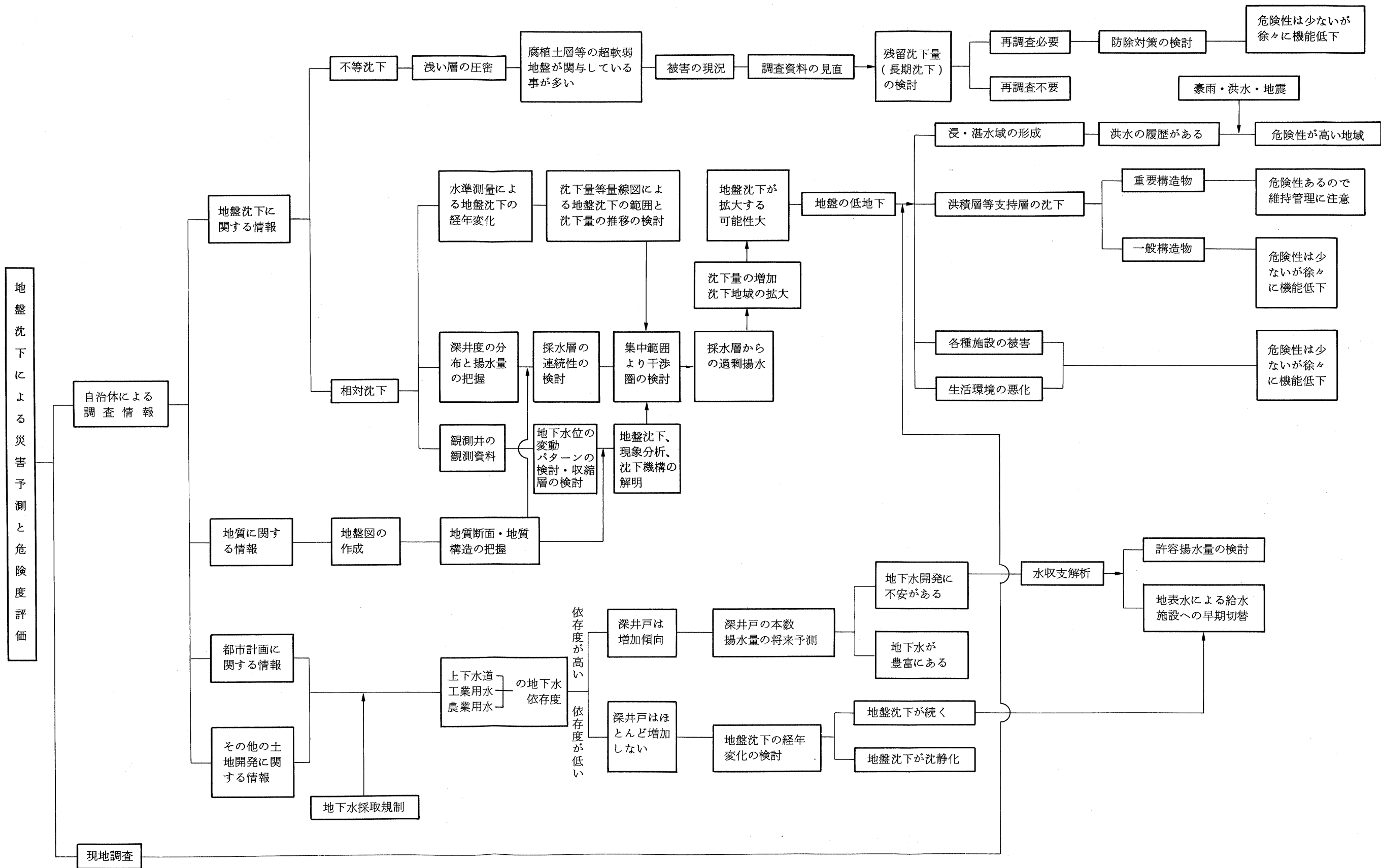
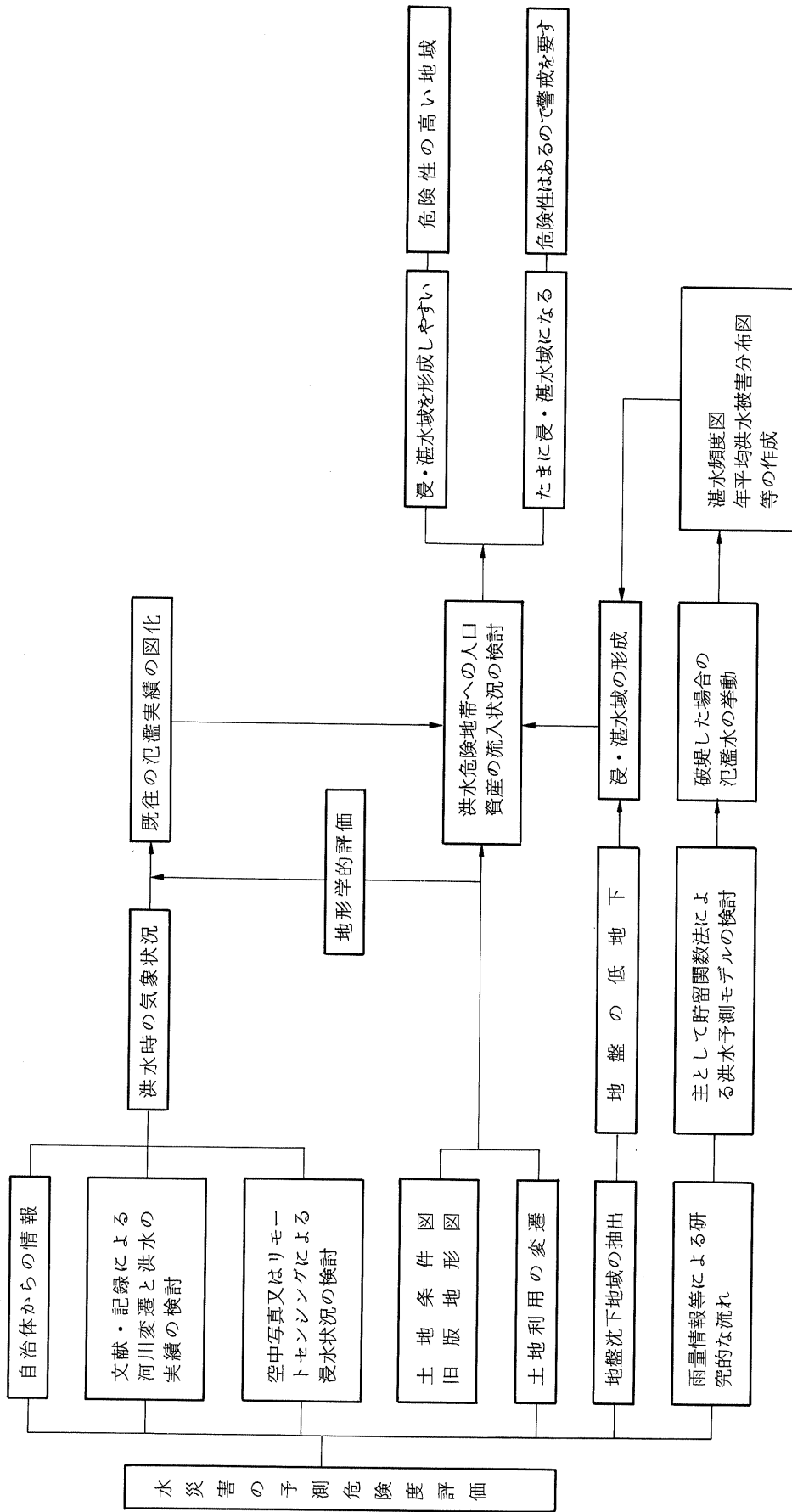


図-57 地盤沈下による災害予測と危険度評価手法のフローチャート(案)

3.4 水災害

河川に係わりを持つ本項目については、河川情報を取り扱う機関によって刻々の膨大な情報の集積・管理・解析及びこれに基づく具体的な水災害の予測或は危険度の予測がおこなわれてきている。本調査ではフローチャートに示すように自然条件図と河川の氾濫実績或は地盤沈下地帯との重ね合せにより危険度評価を試みた。なお、フローチャートの中で示した洪水予測モデルを使った計算による解析は実施していない。



図一 58 水災害の予測と危険度評価手法のフローチャート(案)

む す び

本調査は、軟弱地盤地域で予想される災害を対象に土地分類図、既応ボーリング資料、土質試験、各種観測資料、空中写真及び既刊の文献等のすべてを用い、整理・解析することによって軟弱地盤地域の潜在的な脆弱性の検討をおこなった。その結果、簡便な計算を用いて液状化指数 Pl を求め液状化の予測をおこない、また地盤沈下に係る各種資料の重合から地盤沈下の傾向を把握することも可能となった。本調査には1000本近くのボーリング資料を収集し、そううち約400本を直接の解析に用いた。これらの資料は、今後実施されるであろう各種の調査の基礎資料として貴重なものであり、有用価値の高いものである。調査成果と共に今後の利用を期待したい。

なお、これらの資料収集にあたり、心良く御協力戴いた茨城県農地部、土木部、竜ヶ崎土木事務所、江戸崎土地改良事務所、竜ヶ崎役所、取手市役所、利根町、伊奈町、藤代町、河内村及び利根浄化センターの各機関には心より謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 貝塚 爽平 (1979) : おぼれ谷土と基礎、1979、No.12
- 東木 竜七 (1926) : 地形と貝塚分布より見た関東低地の旧海岸線、地理学評論
- 吉田 東伍 (1910) : 香取海の概念図、取手郷土史 P120～121
- 貝塚・松田 (1982) : 首都圏の活構造・地形区分と関東地震の被害分布図、内外地図株式会社
- 大熊 孝 (1987) : 利根川治水の変遷と水害、東京大学出版会、P43
- 山本 晃一 (1986) : 水防体制の変遷、地質と調査、第4号、P2
- 水戸地方气象台 (1977) : 茨城県気象災害誌、P68
- 土木研究所 : 明治以降の本邦の地盤液状化履歴、土木研究所報、P51
- 菊地 隆男 (1981) : 先史時代の利根川水系とその変遷、アーバンクボタ19、P5
- (財)日本建設情報総合センター (1986) : 地質調査資料整理要領(案)解説書
- 斉藤 登志雄・遠藤 好 (1986) : 土地分類基本調査「竜ヶ崎」、茨城県
- 日本の地質『関東地方』編集委員会 (1987) : 日本の地質(関東地方)、共立出版
- 関東ローム研究グループ (1965) : 関東ロームその性状と起源、築地書館
- 遠藤 邦彦他 (1983) : 関東平野の沖積層、アーバンクボタ21、
- 東京都土木技術研究所 (1977) : 東京都総合地盤図I、技報堂出版
- 土質工学会 (1985) : 土質断面図の読み方と作り方、土質工学会
- 茨城県消防防災課 : 茨城県の災害、昭和56、57、60、61年
- 茨城県環境局 : 茨城県地盤沈下調査報告書(昭和61年)、
- 茨城県企画部 : 地下水観測調査報告書(昭和61年1月～12月)
- 茨城県地盤沈下対策専門委員会 (1979) : 茨城県の地盤沈下(第1報)
- 茨城県 (1982) : 茨城県工業用水整備構想、昭和57年3月
- 〃 (1978) : 県南地域広域的水道整備計画、昭和53年度
- 茨城県企画部 (1986) : 地下水の採取の適正化について、昭和61年4月
- 茨城県 (1987) : 霞ヶ浦地域森林計画書、昭和62年
- 〃 (1981) : 茨城県平地林保全利用計画図、社団法人日本林業技術協会
- 茨城県消防防災課 (1985) : 地震のはなし、昭和60年
- 宇佐見 龍夫 (1988) : 日本被害地震総覧、東京大学出版会
- 木全 俊雄 (1983) : 液状化判定指標 F_L 、 P_L 、土と基礎、31-4
- 神奈川県 : 神奈川県環境部液状化基準
- 建設省建築研究所 (1965) : 新潟地震による建築物の被害、建築研究所報告、No.42
- 陶野 邦夫・安田 進 (1978) : 宮城沖地震による地盤の液状化、基礎工、Vol.16、No.11
- 奥津 春雄 (1978) : 宮城県沖地震の被害状況と地盤特性、土と基礎、26-12
- 吉田 東伍 (1974) : 利根の変遷と江戸の歴史、崙書房
- 渡辺 一男 (1979) : 利根川と農 上巻、筑波書林

鈴木 秀男 (1958) : 竜ヶ崎郷土史、昭和 45 年
国立防災科学技術センター (1987) : 主要災害調査、第 27 号
吉田 東伍 (1910) : 利根川治水論考、日本歴史地理学会
下利根川小貝川沿岸水害予防組合 (1936) : 下利根川沿岸の水利と水害予防
三井 嘉邦夫 (1951) : 利根川・小貝川合流点付近における水害の研究、資源研彙報、19

-21

茨城県 (1978) : '86 水害 (台風 10 号)、茨城県消防防災課
茨城県企画部 (1986) : 地下水の採取の適性化について (昭和 61 年)
茨城県環境局 (1982) : 公害苦情等の概要 昭和 57 年度
茨城県公害技術センター : 茨城県公害技術センター年報、1985 年 (103 号)
1986 年 (19 号)
茨城県防災会議 (1987) : 茨城県地域防災計画 (資料編) 昭和 62 年
国土庁土地局 (1984) : 縮尺 15 万分の 1 土地保全図 (付属資料) 千葉県
牧原 康隆 (1987) : 斜面崩壊予測のための降雨情報、地質と調査、1987、No.3
建設省土木研究所 (1985) : がけ崩れ災害実態について、土木研究所資料、2161 号
河上 房義 他 (1978) : 宮城県沖地震における盛土の被害、土と基礎、26-12
松田 磐余 (1986) : 地震被害と地質、地質と調査、86-2
榎根 勇 (1969) : 地下水資源について (山本 莊毅、日本の地盤沈下、土と基礎、25-3)
建設産業調査会 (1981) : 軟弱地盤ハンドブック
鬼塚 克忠 他 (1985) : 有明粘土の圧縮指数と物理的性質の間の相関、土と基礎、33-4
松尾 新一郎 (1980) : 超軟弱地盤、土と基礎、28-11

