軟弱地盤と土木工事について

まえがき

土木工事を実施するに際して、昔も今も軟弱地盤はやっかいものである。土質工学の進歩により技術的にはほとんど解決されているが、実際には、工事に際してのトラブルが多い。トラブルの原因を考えてみると、

1．軟弱地盤が存在することが予測出来なかったことに起因する場合。

2．工事中に軟弱地盤に遭遇し適切な工法変更の処置が成されていない場合。

3．軟弱地盤を予測しつつ、設計に誤りがある場合。

4．施工方法に誤りのある場合。

等が挙げられる。

軟弱地盤が確実に予測され、且つ重要な構造物の場合には、設計、施工も慎重になされトラブルも少ないが、一般的な土木工事の場合には、十分な調査もなされない場合が多く、担当技術者の経験的判断と標準設計とにより、設計施工がなされる場合が多くまたトラブルも多い。

ここでは、かかる一般的な土木工事にマトを絞り、主として

1．土木工事に先立って、軟弱地盤を予測すること

2．軟弱地盤への対応の仕方を考えること

この二点について、私見を述べたいと思う。

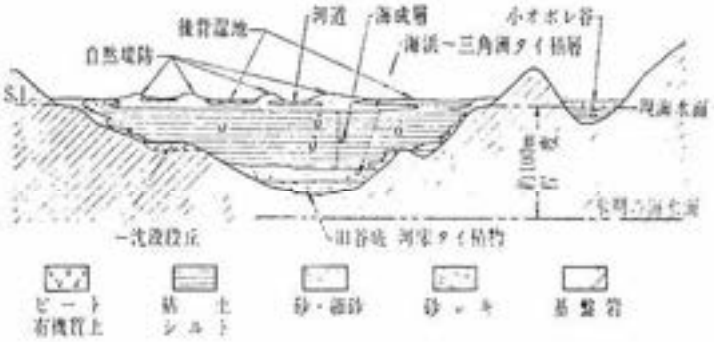
1については、軟弱地盤の生成の過程と分布の性状につして説明し、2については原則的な技術的考え方とトラブル毎の実例を主として、その適用法等を説明したいと思う。

もとより浅学の身であり、その上に独断と偏見も加わり不十分、不適確な部分もあろうかと思いますが、少しでもトラブルのない土木工事が出来ることを念ずる気持に免じてお許し願いたい。

Ⅰ　軟弱地盤の生成と分布

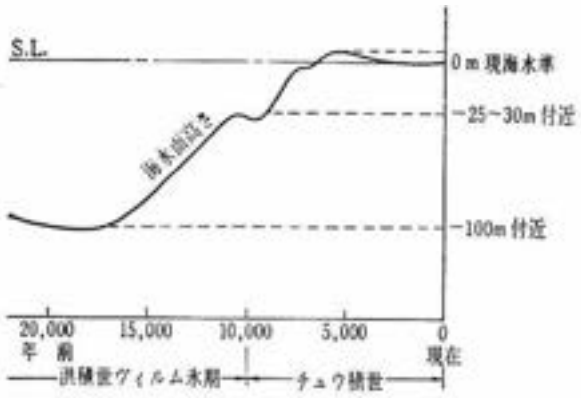
1-1　軟弱地盤の生成

軟弱地盤は一般に流速が0に近い所で堆積した地盤であり、地質的には10,000年より新しい時代の所謂沖積層に属するものである。一般に沖積平野と呼ばれている断面（おぼれ谷）は図－１の様である。



図－1　オボレ谷を埋積するチュウ積層の模式的断面

洪積世末期から沖積世初めにかけて地球は急速に温暖となり、氷河が融解し海水面が急激に上昇した。（図－２）



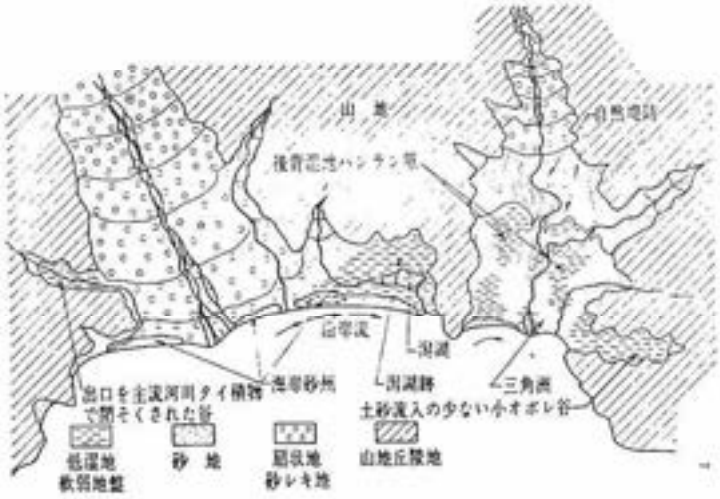
図－2　洪積世末～チュウ積世における海水面変動概念図

15,000年までに-100m 付近に海水面が低下していた時の地形が、図－１のおぼれ谷を形成している基盤である。

その後の海水面上昇に伴ってこのおぼれ谷は海となり、細粒粒子が静かに沈澱堆積し、現在の粘土地盤を形成していくことになる。

沖積層が全て軟弱地盤ではなく、堆積時の流速によって砂礫・砂・シルト・粘土となる。堆積時の流速は地形的要因が大きい。

図－３は地形と堆積物との関係を表したものである。



図－３　軟弱地盤のできやすい地形的位置

5,000年前の縄文海進以後、海水位が低下し、それに伴い沖積層が陸化し、海岸の沿岸流より陸化した湾口を砂洲が閉塞したり、陸化した部分への河川の砂の堆積が発生したり、堆積環境が急激に変化した。

また、10,000年前に海水位が低下しているが、低下分ほどそれ以前に堆積した粘土層は応力を受け固くなっている。これを洪積粘土と呼んでおり、10,000年以降の粘土と区別している。

15,000年前のおぼれ谷の縦断と現在の河川縦断を模式的に比較すれば図－４の様になる。

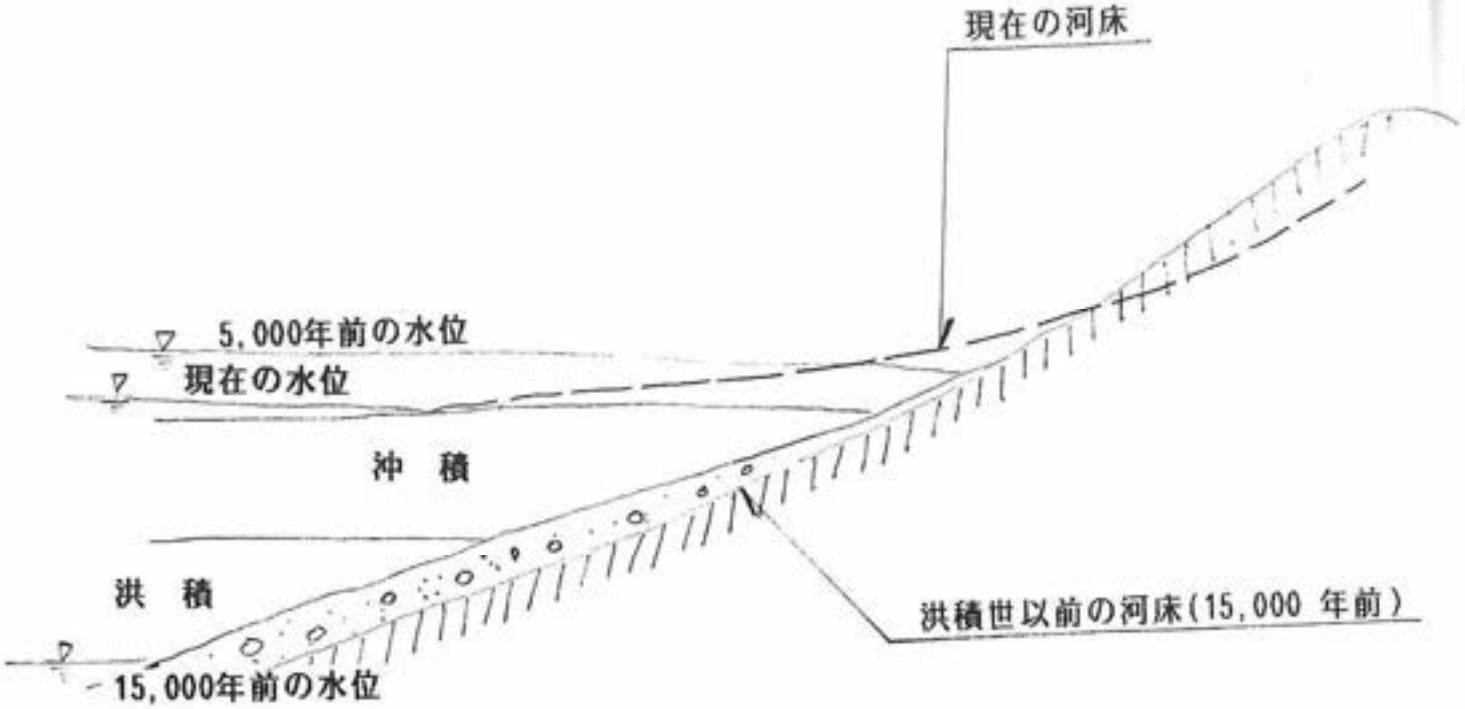
即ち

1)　陸化した沖積平野上の山側部分に堆積がなされた。

2)　上流では、ある地点から堆積環境から侵蝕環境に変化し、15,000年前の河床を現在も更に侵蝕している。

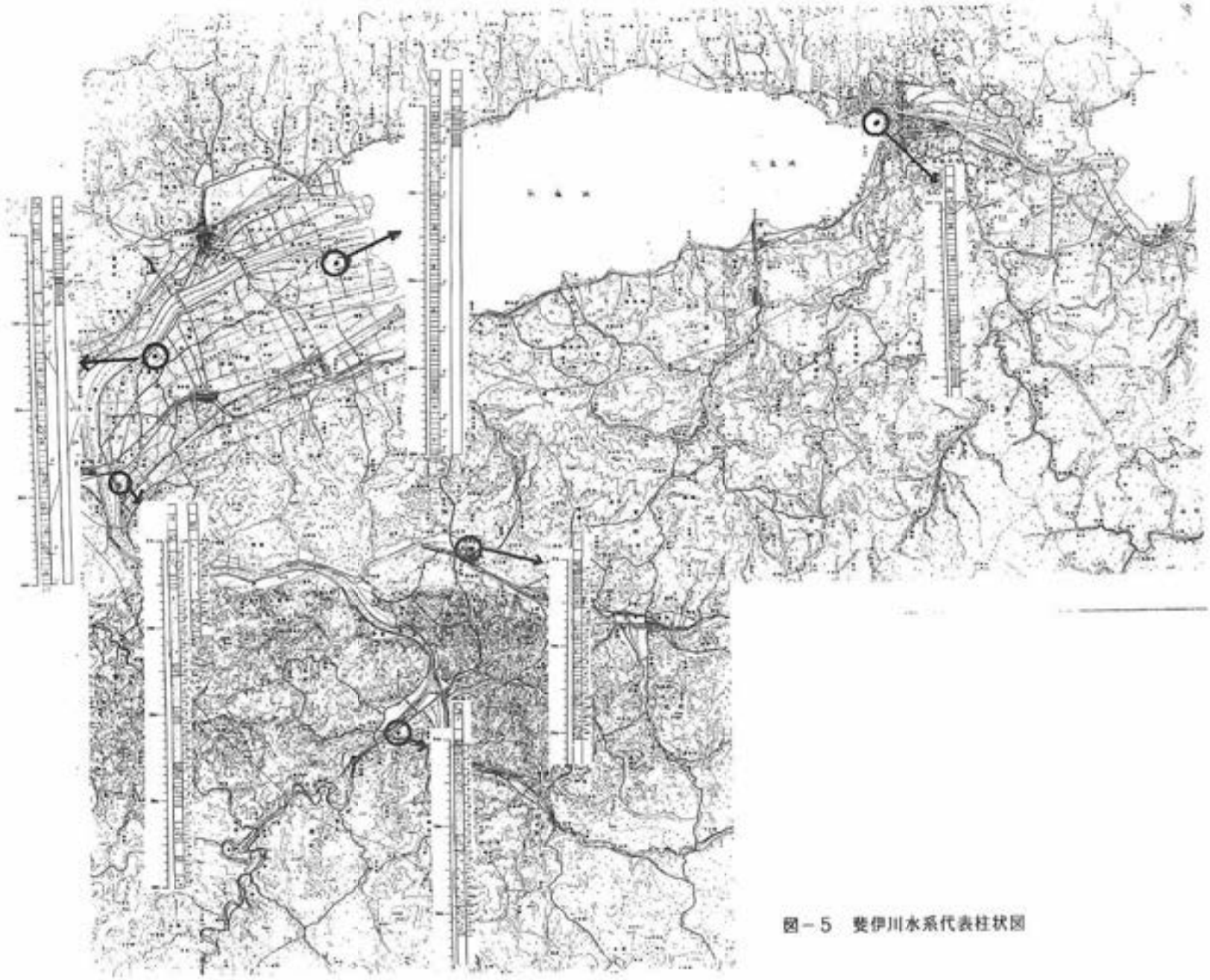
3)　急流河川で岩質が硬い場合は、堆積区間が短く、岩質が崩壊しやすくおぼれ谷が深い場合は、堆積区間が長い。

4)　現在の谷地形は、15,000年前に開削された谷に一致している。



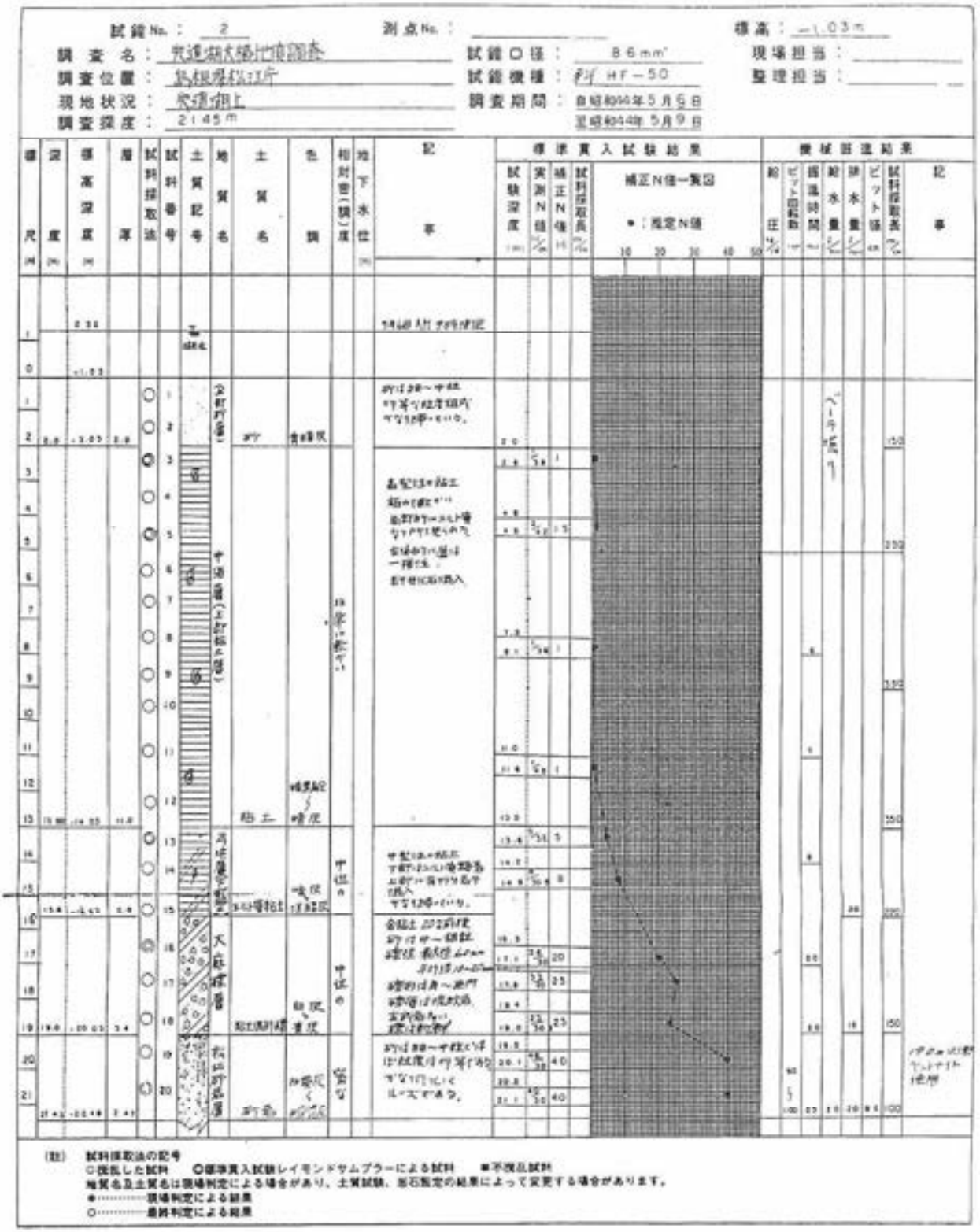
図－４　河川縦断模式図

以上の考え方を基本とし、松江－出雲－斐伊川の代表的なボーリング柱状図を図－５に示す。



図－5　斐伊川水系代表柱状図

図－6　松江市の代表的柱状図



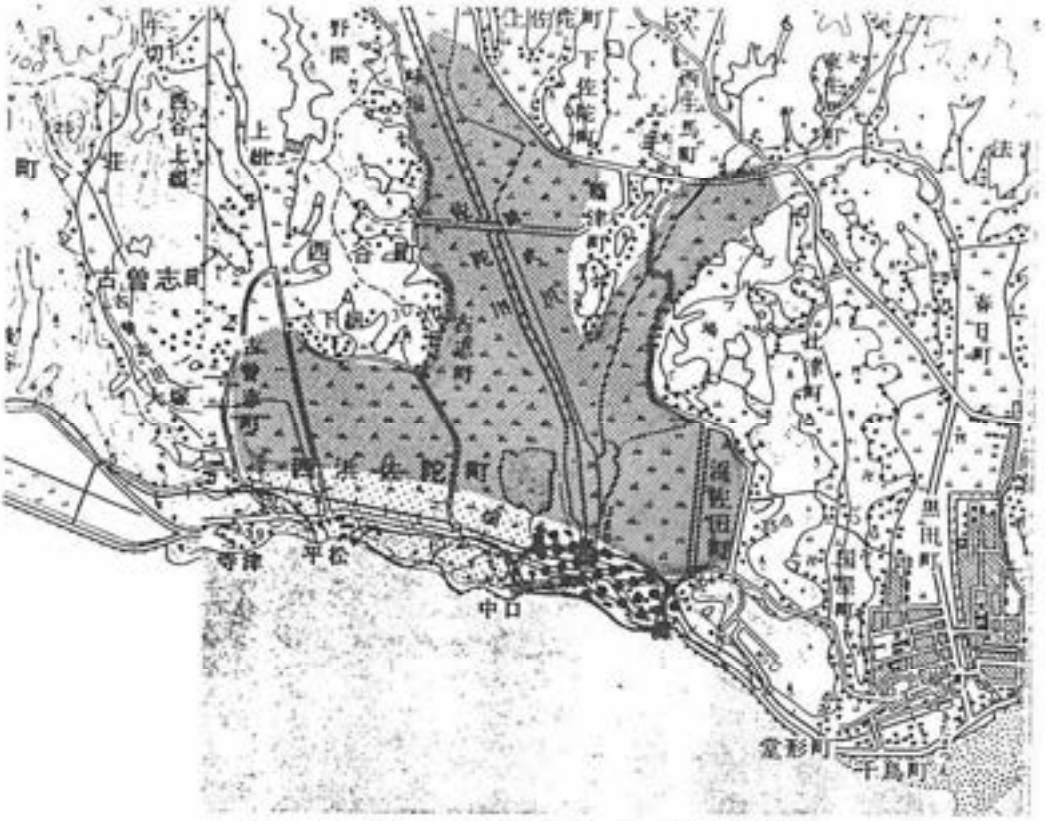
1-2　軟弱地盤の分布と特徴

1. 一般的な沖積平野

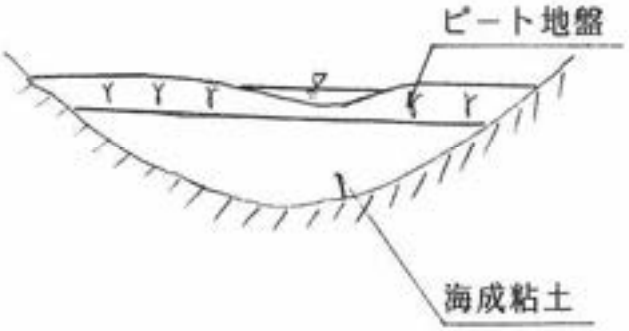
所謂沖積平野と呼ばれている平野は、ほぼ一様に海成粘土が堆積している。図－６は代表的な松江市の柱状図である。

2. 湾口を海岸砂洲で閉ざされた流入土砂量の少ないおぼれ谷沖積平野

最も軟弱な地盤である。



図－７　浜佐陀付近の軟弱地盤地形図

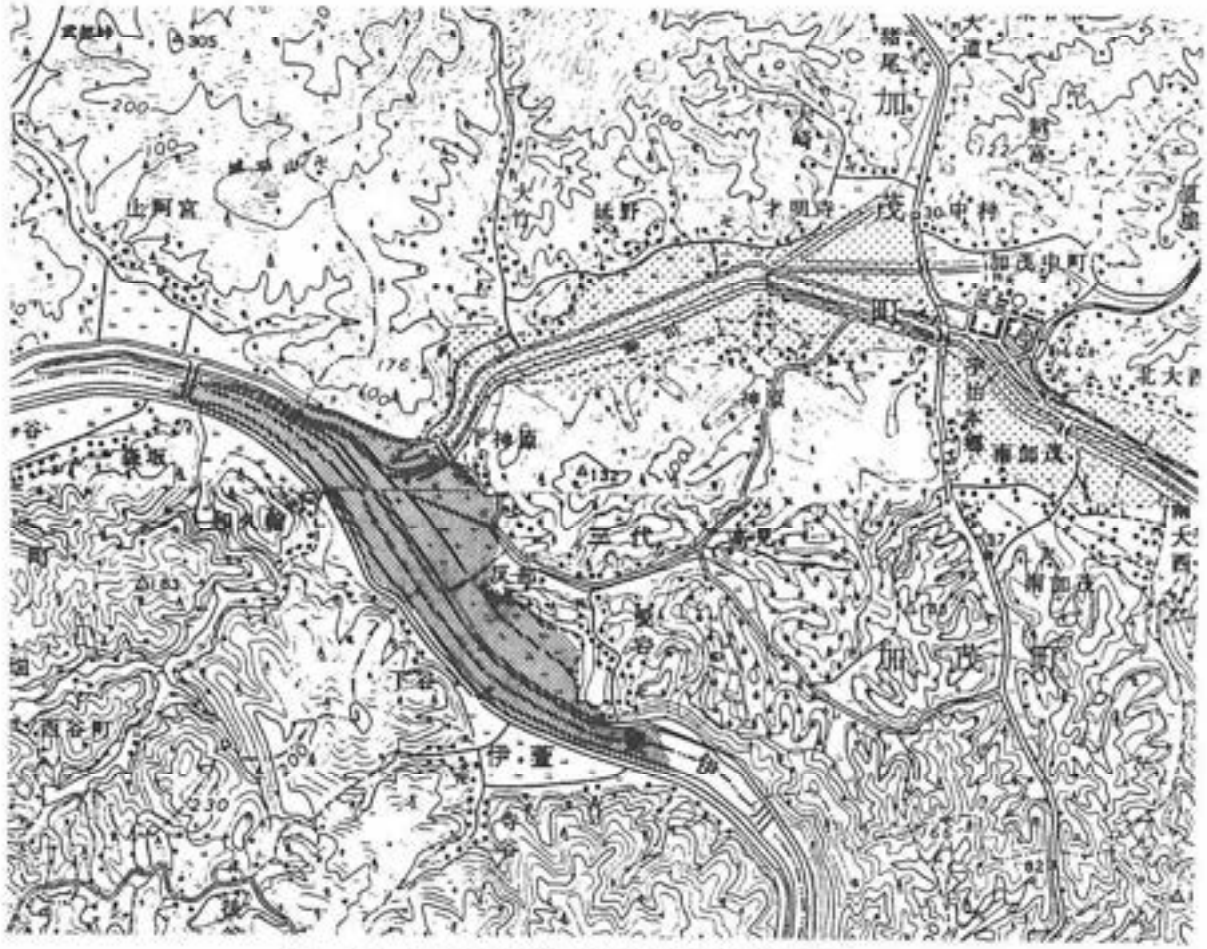


図－８

特に海岸砂洲は 5,000年以降の海水位低下により沿岸流が発生し、これによりミサキからミサキを連結する形で砂洲が発達したもので、湾口を閉ざされることにより、内側は湖沼化し水生植物で覆われ、これがピート地盤となったものである。

3. 本川の堆積物で河口を閉ざされた枝谷

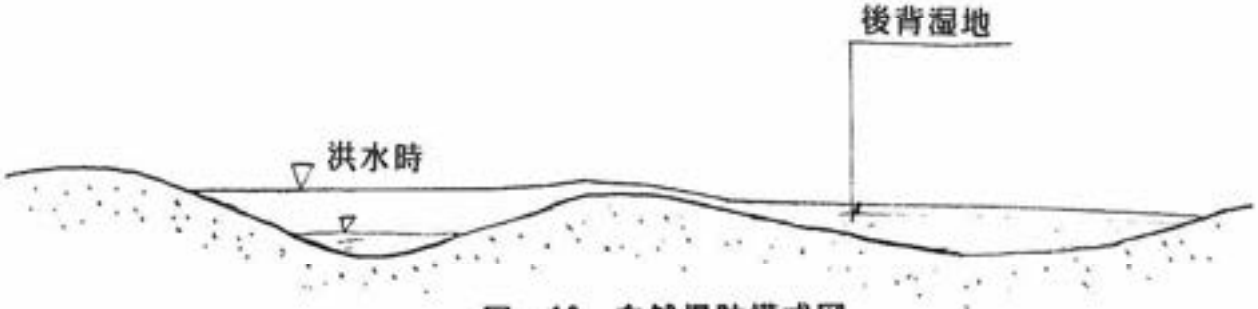
海水面の上昇に伴い、河川は河口から堆積が進行し砂礫または、砂が堆積する。河口部に比較的近い枝谷で堆積速度が本川より遅い場合は、枝谷の河口を閉ざされることにより軟弱地盤が出来る。



図－9　加茂町付近の軟弱地盤地形図

4. 自然堤防背後の後背湿地

5,000年前以降の海水面低下に伴い、沖積平野は河川の堆積環境となり河は自然堤防内を流れることになる。

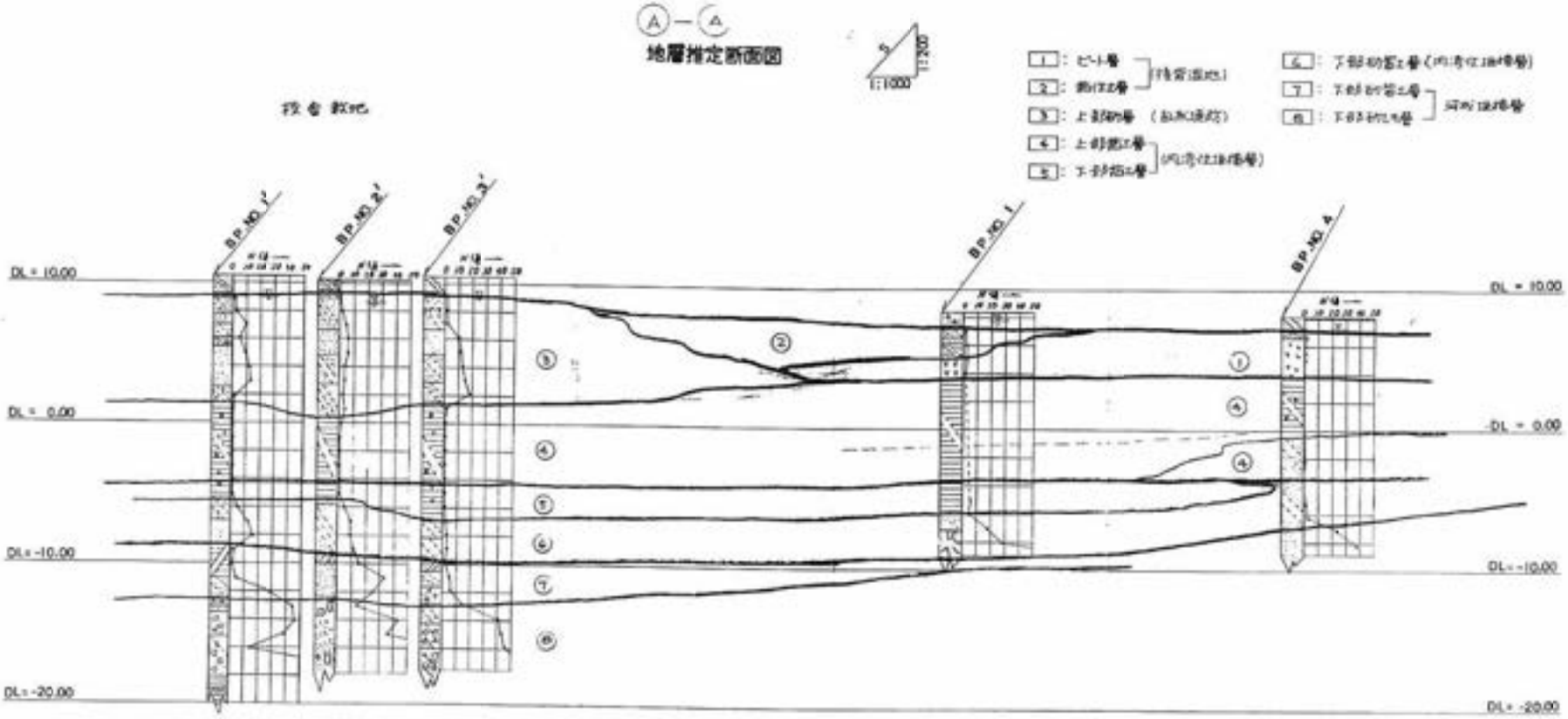


図－10　自然堤防模式図

洪水時には、この自然堤防を越えて氾濫し背後地に湿地帯を形成する。そしてこの自然堤防は、堆積土砂の増加により低い位置に河道を変えることで新たな自然堤防を形成する。

従って、後背湿地はピート・砂・粘土が複雑に入り組んだ地盤となることが多い。一般に平野部で山地との境界の谷地形に多く存在する。

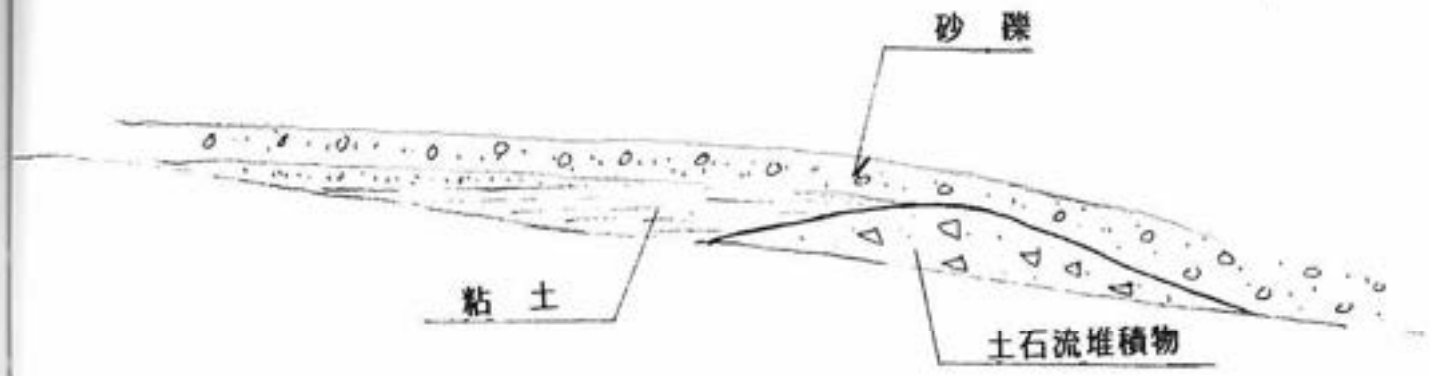
図－11　安来高校付近の軟弱地盤図



図－12　安来高校付近地層断面図

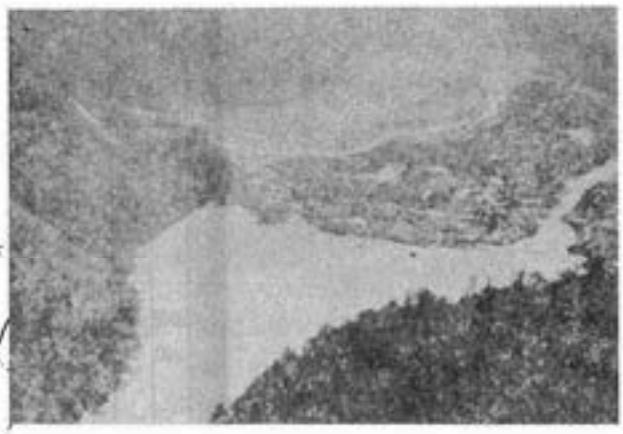
5. 土石流等で河道を閉塞されて出来た湖

大規模な土石流の流出土砂により河道が埋没し、このダムにより上流側には湖が出来、ここに粘土等が堆積したもの。



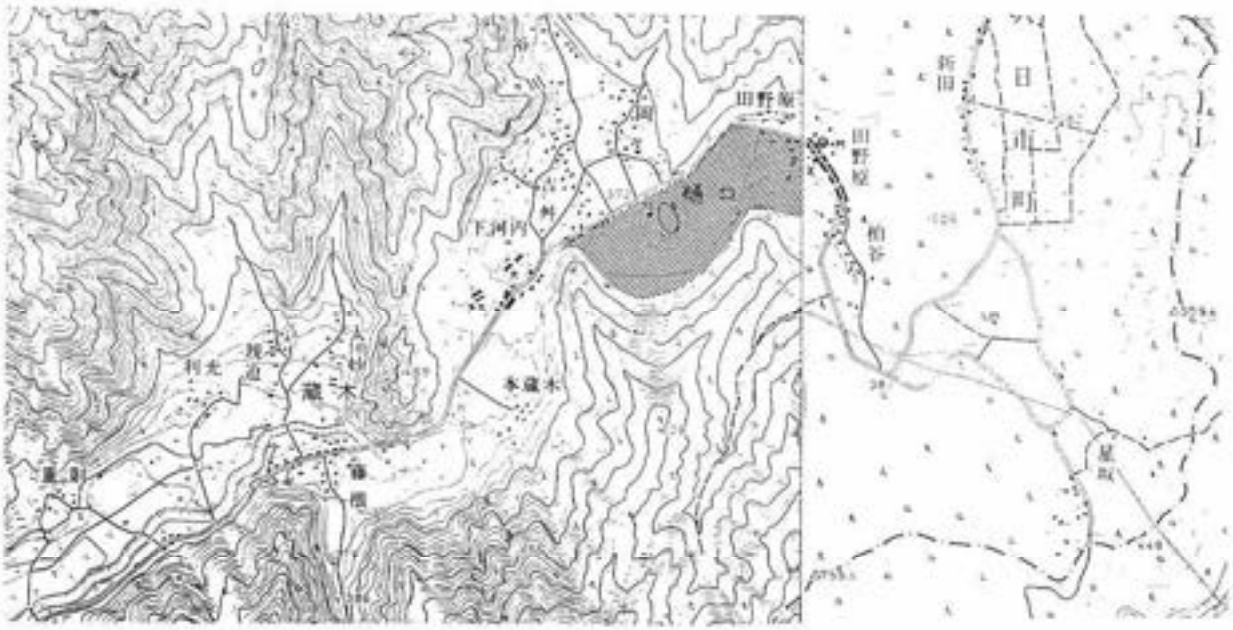
図－13　土石流により閉塞された河川の模式断面図

昭和５９年９月長野県西部の地震による大規模崩壊は、土石なだれとなり、10㎞流下し、本川玉滝川を長さ３．５㎞、幅２００ｍ、深さ３０ｍにわたって閉塞した。このためその上流に長さ約２．５㎞、幅１００ｍ、深さ３０ｍの湛水池が出来た。図－14はその平面図と湛水池の写真である。

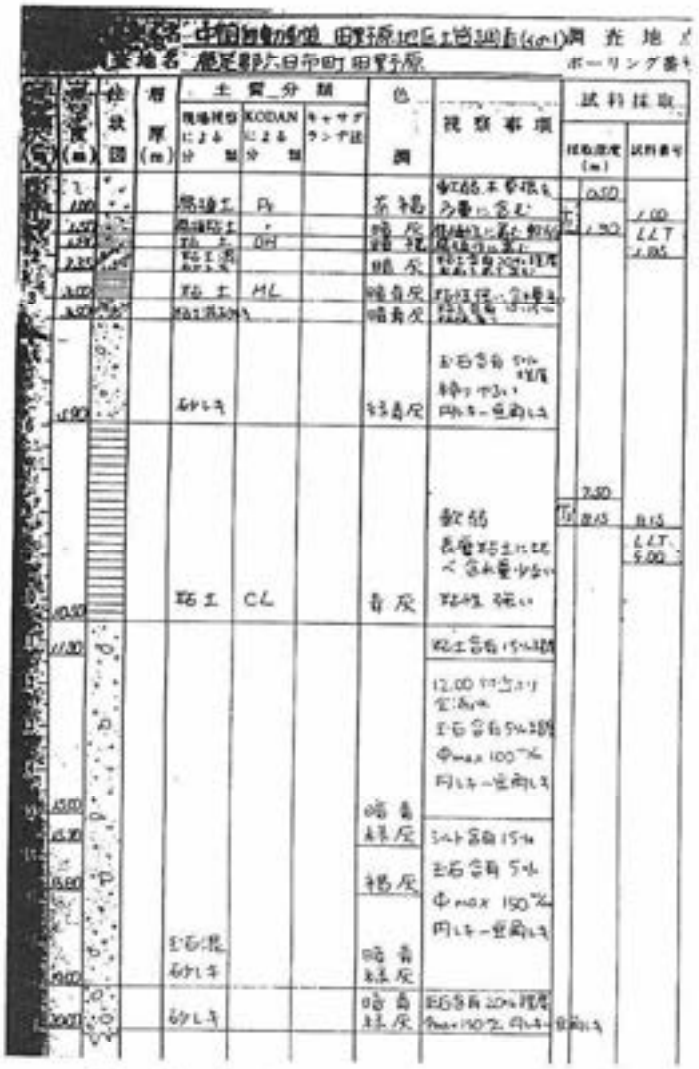


写真－１

図－14　長野県西部地震被害状況図



図－15　六日市町田野原地内の軟弱地盤地形図



図－16　六日市町田野原地区柱状図

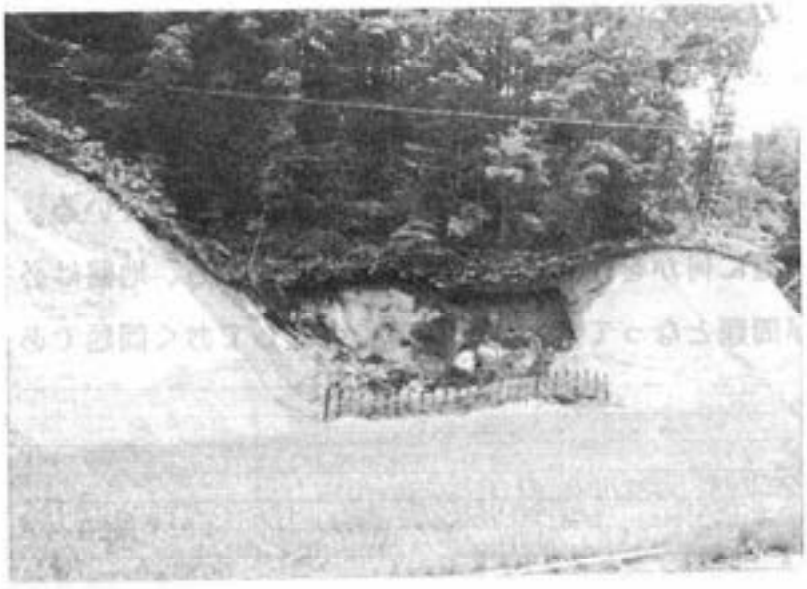
図－15は、鹿足郡六日市町田野原地区の地形図で、高津川の水源地の上流にあたる。図－16柱状図に示す様に厚さ４．５mのN＝３回の軟弱層が存在していた。

土石流によるものかどうかは不明であるが、この様な上流部において軟弱粘土層が厚く堆積していることもある。

6. 谷に厚く堆積していた火山灰質土

大山または、三瓶山の噴火に伴う火山灰質土（黒ボク）が、中国山脈・山間部に広く堆積している。

侵蝕作用の進行しているところではすでに流失しているが、侵蝕のやや緩慢な盆地性の緩い谷部では厚く堆積し、これが地下水以下の場合には、土木工事にとって危険な軟弱地盤を構成する。



写真－２

7. 人工的に造られた溜池・沈澱池等

都市部では市街化が進行し、農業用水用の溜池もその必要性がなくなり、埋立する場合が多い。溜池の底には軟弱な粘土層が堆積している。

また、鉱山のボタ山付近には、昔沈澱池が作られており、これがその後埋立てられたりして、一見識別出来ない場合がある。構造物を設置した場合、異常な沈下が発生し、調査の結果、旧沈澱池の粘土層が存在していたということもある。

Ⅱ　軟弱土の技術的問題

軟弱層に土木構造物を作る場合、基本的に次ぎの問題がある。

1．沈　下　（圧密沈下）
2．すべり　（斜面の安定）
3．支持力
4．変　形　（側方流動等）

これらの理論的説明は専門書に譲るとして、技術者として頭に入れておくべきことにつき述べる。

すべりも支持力も地盤の破壊時の塑性平衡を問題にしている点では全く同じことであるが、一般にすべりの場合は安全率Fs ≧ 1.2とし、支持力の場合は、Fs ≧ 3.0としている点、構築する土木構造物の重要度、構造物の許容される変形の程度から、設計の安全性を考慮するという技術的感覚から別けて考えている。

また、軟弱地盤に何かを作れば破壊には至らなくても、地盤は必ず変形する。近年この変形が問題となってきた。設計時に考慮しておく問題である。

2-1　沈　下

沈下量

$$S = \frac{e_1 - e_0}{1 + e_0} \cdot H$$

または

$$S = \frac{H}{1 + e_0} Cc \cdot \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

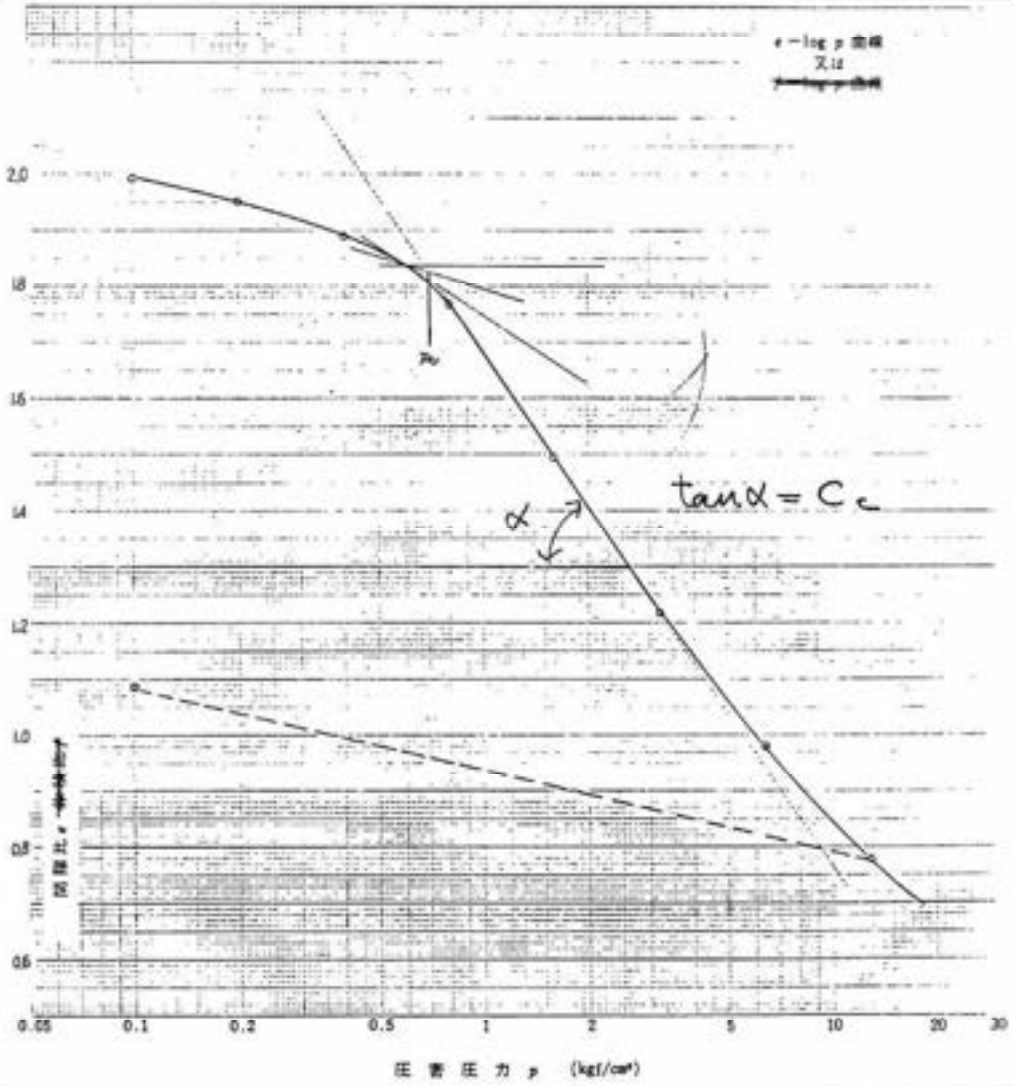
e_0 ：圧密層の初期間隙比
e_1 ：圧密層の圧密後の間隙比
H ：圧密層の層厚
Cc ：圧縮指数
Po ：圧密層の土かぶり圧
ΔP：圧密層の圧力増分

JIS A 1217	圧　密　試　験　(e-$\log p$ 曲線)	報告用紙

調査名・調査地点　北部土地区画整理事業 6号線・7号線の調査設計　　試験年月日　60 年 12 月 日

試　験　者

試料番号	採取深さ	自然含水比 w_n %	初期体積比 f_0	初期間隙比 e_0	圧縮指数 C_c	圧密降伏応力 p_y kgf/cm²	記号
No. 3-1	5.00 m ～ 5.80 m	85.5	3.040	2.040	0.821	0.730	
No.	m ～ m						
No.	m ～ m						
No.	m ～ m						



備考

(社)土質工学会 [不許複製] 544

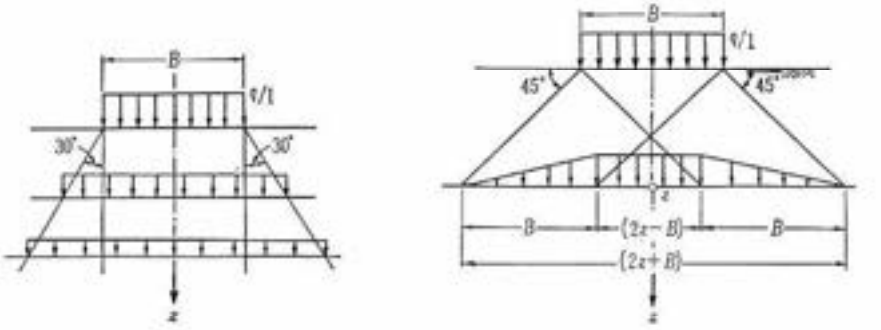
図－17　e－log P曲線

沈下時間　$t = \dfrac{(H_0/2)^2}{C_v} \cdot T_v$

Tv：定　数
H：圧密層
Cv：圧密係数

地盤内の応力分布

ブーシネスク、ニューマーク、オスターバーク等多くの式・図表が提案されている。概念的には次の方法がわかり易い。

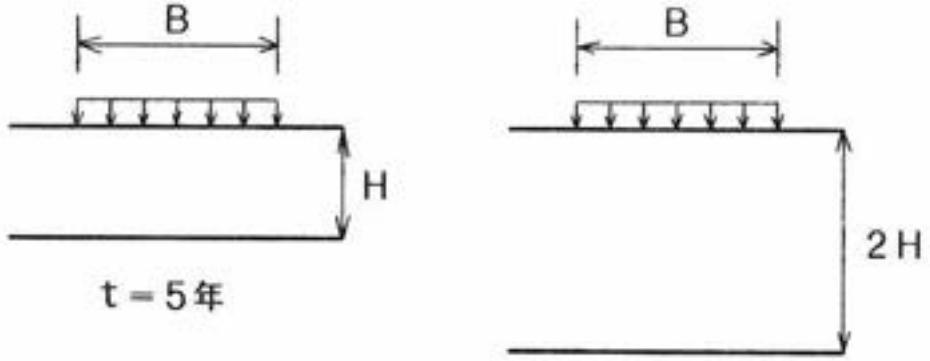


ボストン・コード法　　ケーグラー（Kögler）の方法

図－18　地盤内応力分布概念図

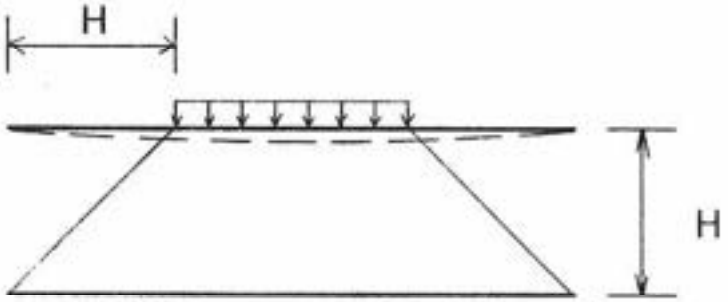
沈下に関する注意点

1. 正規圧密か過圧密か？
2. 沈下時間は圧密層厚の２乗に比例する。即ち、粘土層厚が２倍になれば時間は４倍になる。



図－19　沈下時間概念図

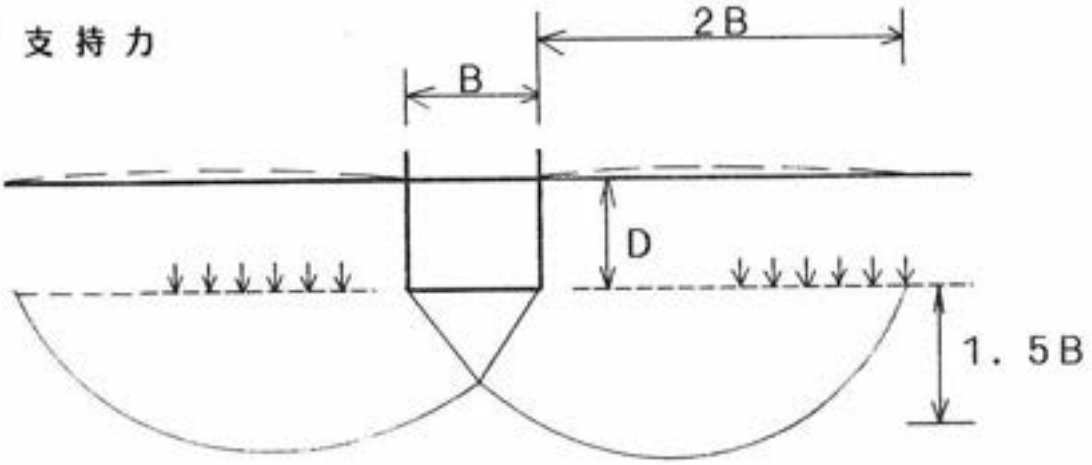
3. 沈下の側方への影響の範囲は深さHの範囲である。



図－20　沈下範囲概念図

2-2 すべり （省略）

2-3 支持力



図－21 支持力機構概念図

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma \cdot D_f N_q \quad \cdots\cdots\cdots (2\cdot6)$$

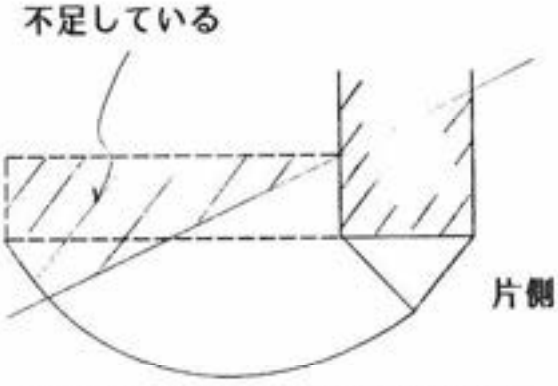
ここには α, β 形状係数であって表-2·2 に示されている。

表-2·2 テルツアギ公式の形状係数

基礎形状	連続	正方形	円形	長方形
α	1.0	1.3	1.3	$1+0.3B/L$
β	0.5	0.4	0.3	$0.5-0.1B/L$

支持力に関する注意点

1. 支持力（t/㎡）は、土自身の強度以外に構築する構造物の幅(B) と根入れ（Df）によって変る。
2. 上記の支持力公式は深さが１．５Ｂ、幅２Ｂの範囲がほぼ均一な時に成り立つ。
3. また、上式は地表面が水平な場合であるから、地表面が傾斜した場合には、１／２以下に減少する。



図－22 傾斜地支持力機構概念図

2-4 変　形

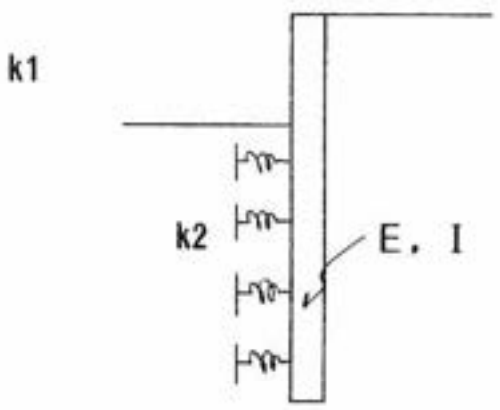
弾性変形

（即時沈下）

$$S = qB \frac{1-\mu^2}{E} Ip$$

q：基礎の荷重強度
B：基礎幅
E：土の弾性係数
μ：同ポアソン比
Ip：影響値

（矢板の変形）



弾性支承上の梁として、変形量と部材の応力を求める。

図－23　バネ支持力機構概念図

塑性変形（側方流動）

粘土帯域が塑性化する限界圧（マイヤホフの式）

$$qcv = \left(\alpha \frac{B}{H} + \frac{\pi}{2}\right) Cu$$

α：帯載荷で　1/2
　　円形　〃　1/3
　　矩形　〃　B ×L
　　α＝（1-B/3L）1/2
Cu：粘土の非排水強度

変形についての注意点

1. 変形量は、理論的に計算は出来ても、実際とはほとんど一致しない。
   従って、必ず計測により、チェックすべきである。
2. 変形を少なくおさえるために現状では、安全率を大きくとるか、強度を低く見積る以外に確信の持てる方法はない。
   テルツアギは支持力の項で、粘土地盤について次の様に強度を低く見積る様提案している。

土はそれが可成り密か，硬くて沈下曲線が図 72 の C_1 の如くでなければ，図 74 c のようには破壊しない。その沈下曲線が C_1 のようでないならば，フーチングは塑性平衡状態が図 74 の e と e_1 を越えて拡がる前に，地盤中に沈下する。そしてこの場合の沈下曲線の破壊点は，図 72 の曲線 C_2 のように明瞭ではない。このような土の上にある連続フーチングの支持力 Q_d の近似値はその土の粘着力と摩擦力がクーロンの式に於いて，下記の如くそれらの値の$\frac{2}{3}$に等しいと取ることによつて得られる。

$$c' = \frac{2}{3}c \qquad (29.6a)$$

$$\tan\phi' = \frac{2}{3}\tan\phi \qquad (29.6b)$$

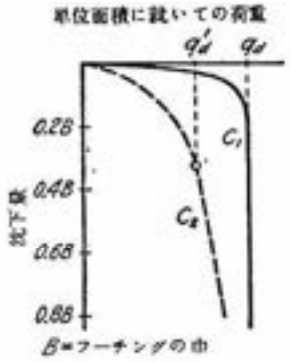


図 72 荷重強度とフーチングの沈下量との関係，(C_1) 密な又は硬い土のとき (C_2) 弛い又は軟い土のとき

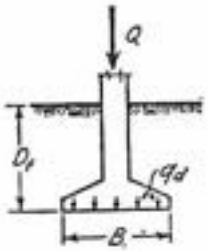


図 73 浅い連続フーチングの断面

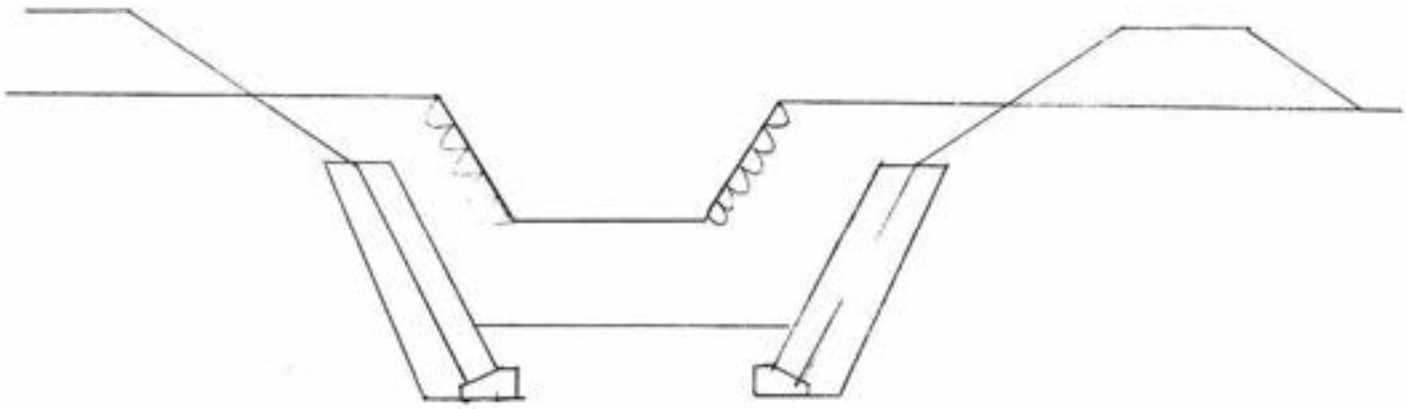
Ⅲ　軟弱地盤と土木工事

ここでは、軟弱地盤上への構造物または、盛土などの土木工事を実施した場合の実例を挙げ、問題点を説明する。出来るだけ特殊なものでなく一般的なものについて述べることとする。

3-1　構造物の基礎

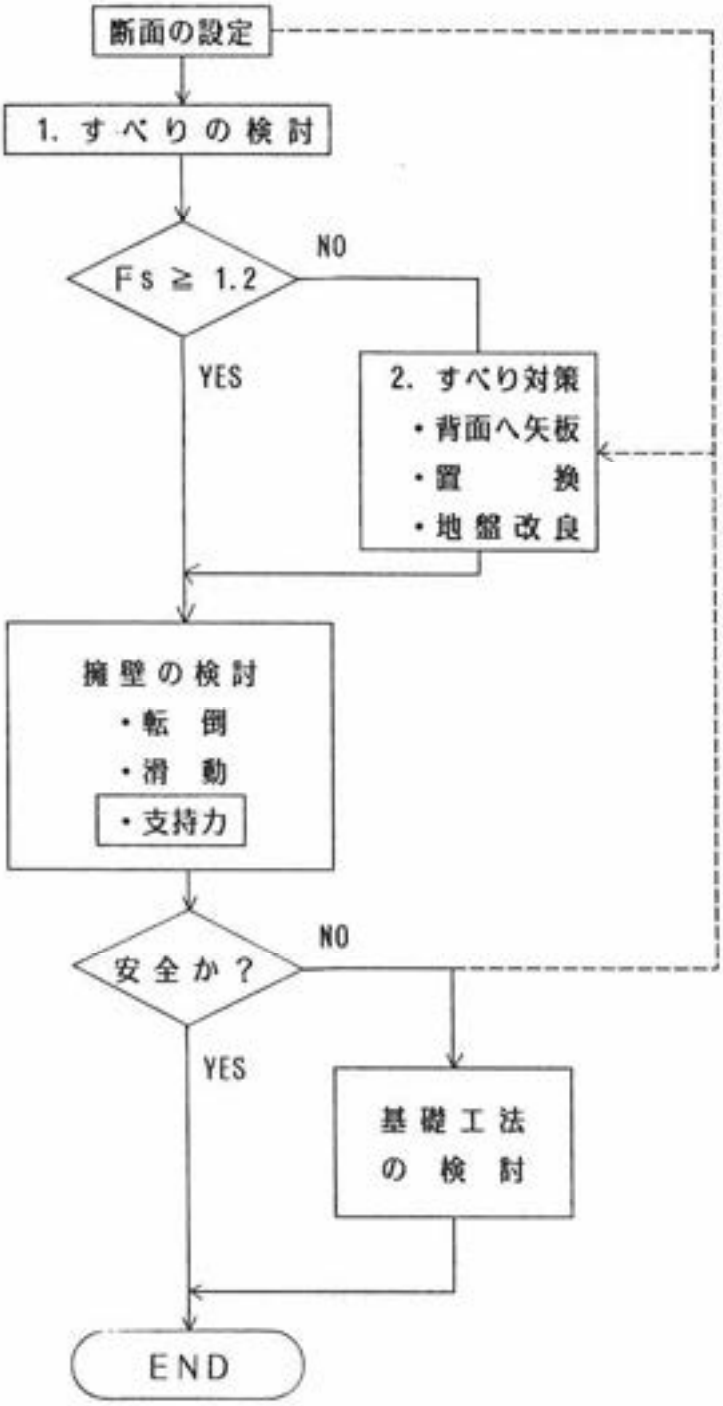
3-1-1　河川の護岸（擁壁）

河川の護岸は下図に示すように、現河床を切下げ堤防に盛土する場合が多い。また、河川は平野部の低地を流れることが多いため自然堤防の後背湿地または、小さい谷地形の地盤が多く、一般的に砂層を挟在したり、複雑な地盤の場合が多い。



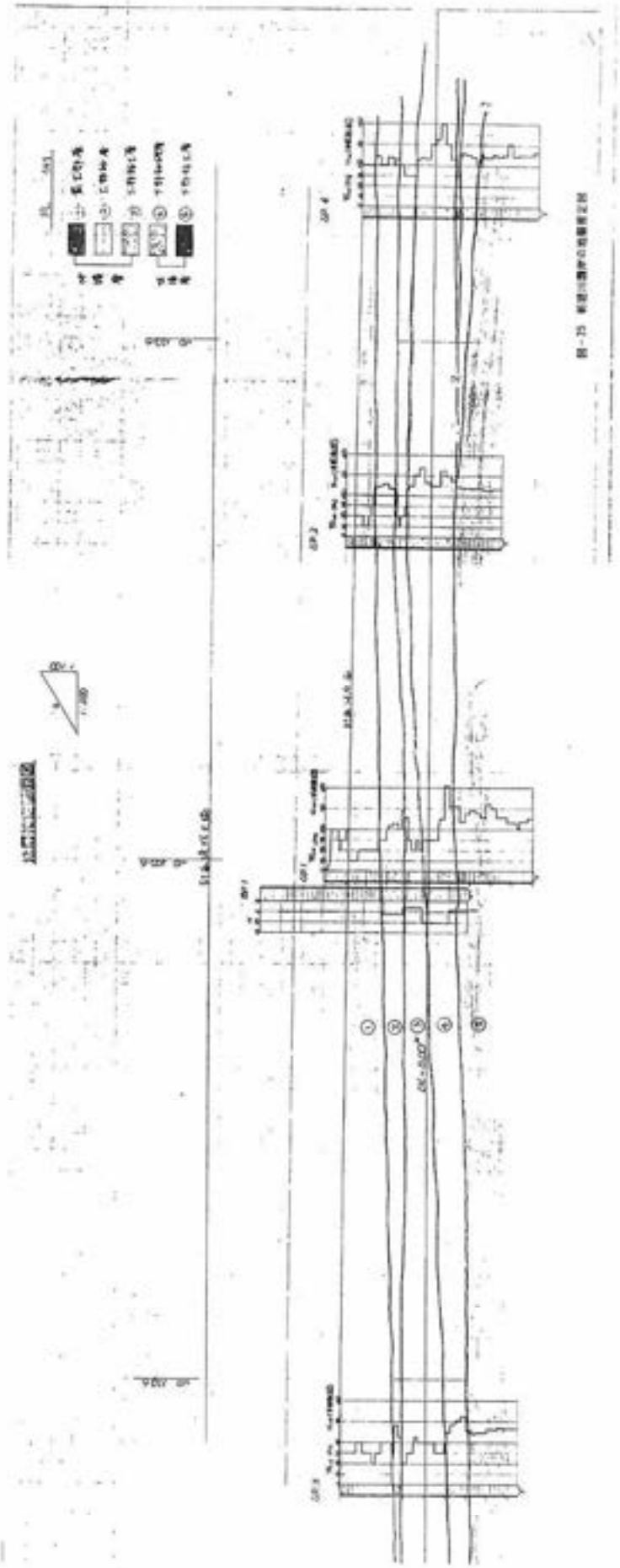
図－24　一般的な河川断面

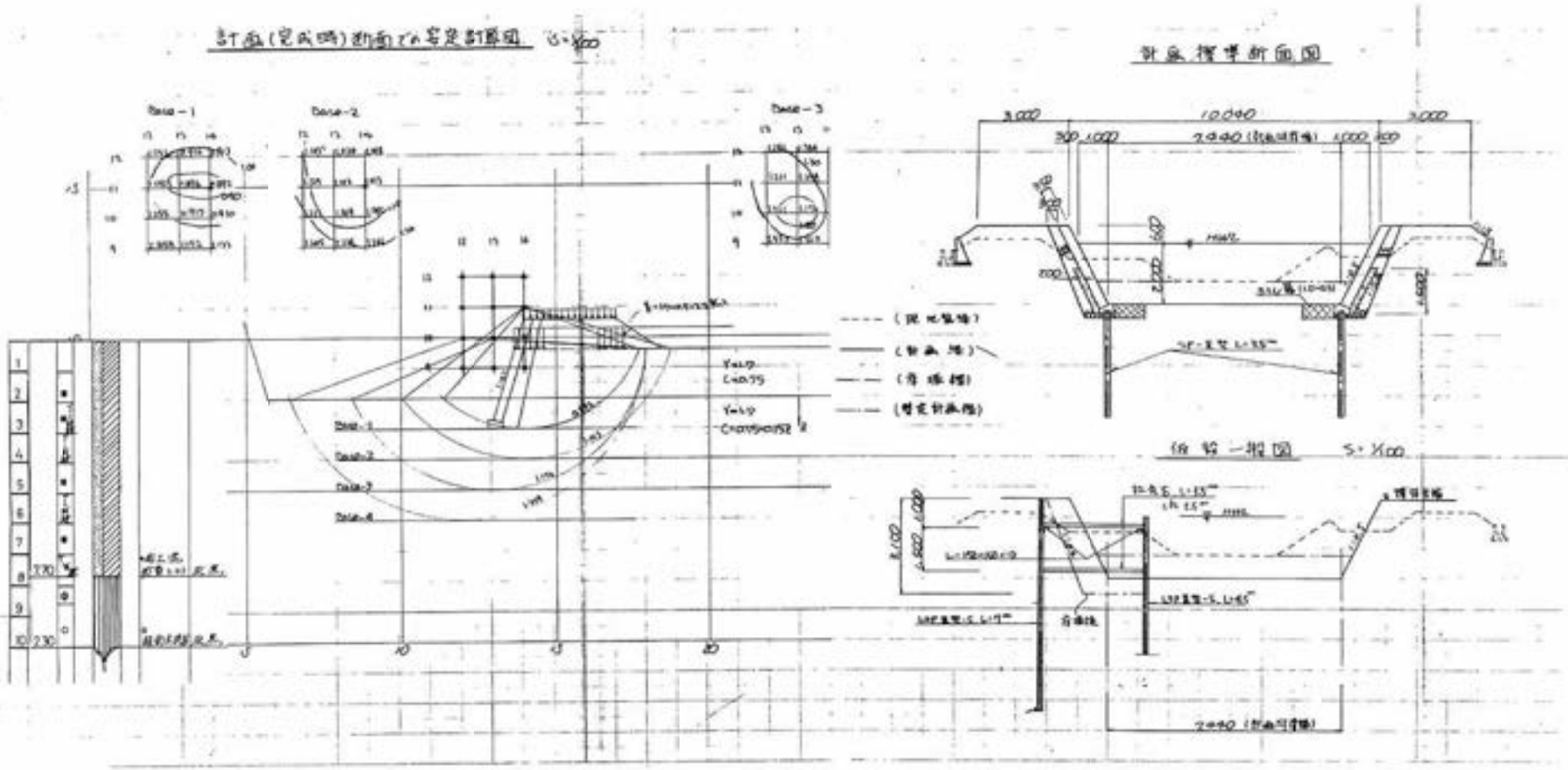
一応の標準断面が決まれば、次のフローの検討が必要になる。



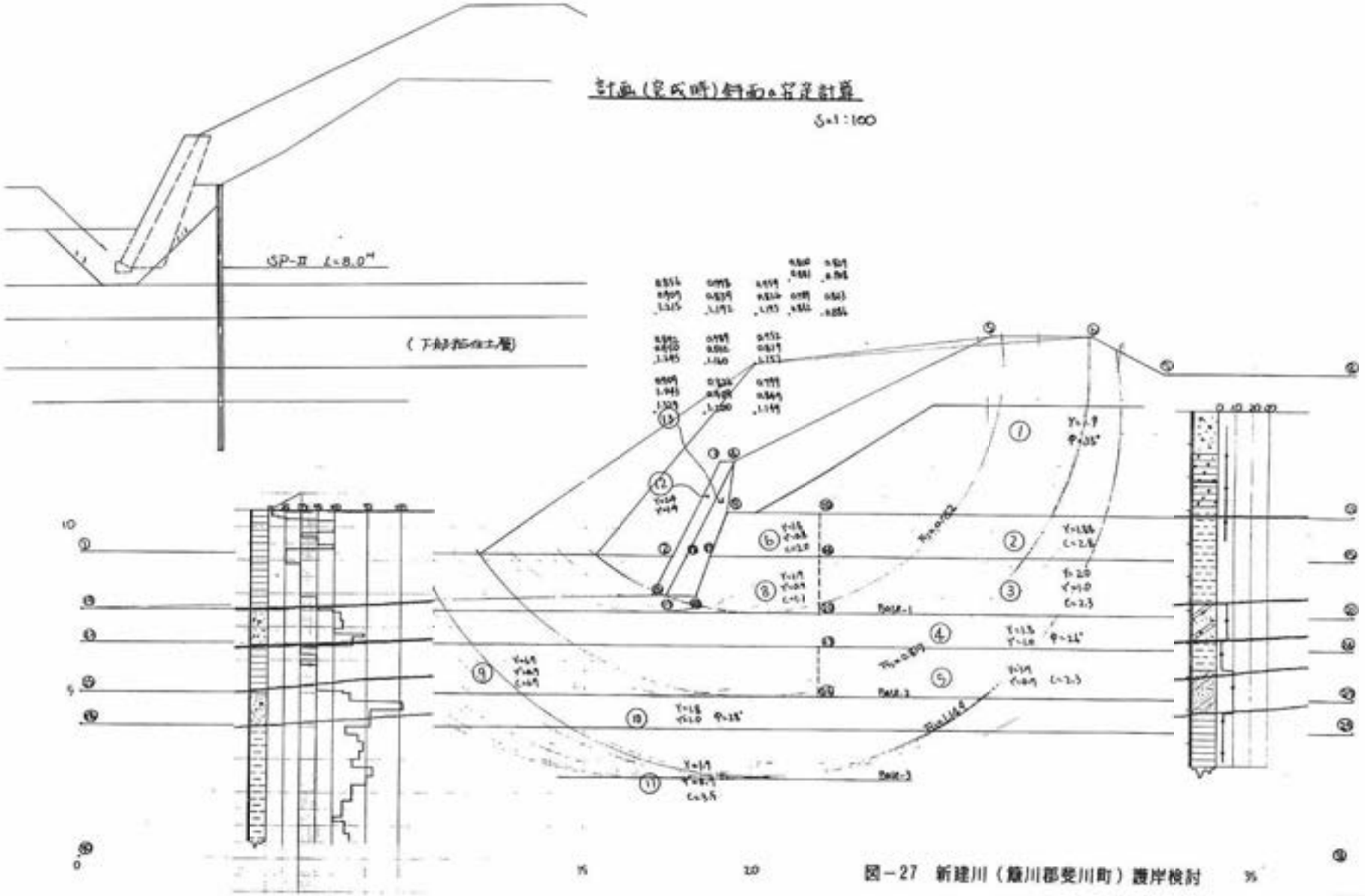
図－25は計画河川位置での地層縦断面図の例である。粘土層・砂層が互層をしており、これらの地層構成、層厚により対策工法も異なることがあるため、相当の密度の高い調査が必要となる。サウンディング調査によりプロフィルを把握し、主要点にボーリング調査を行う。

以下に対策実例を示す。

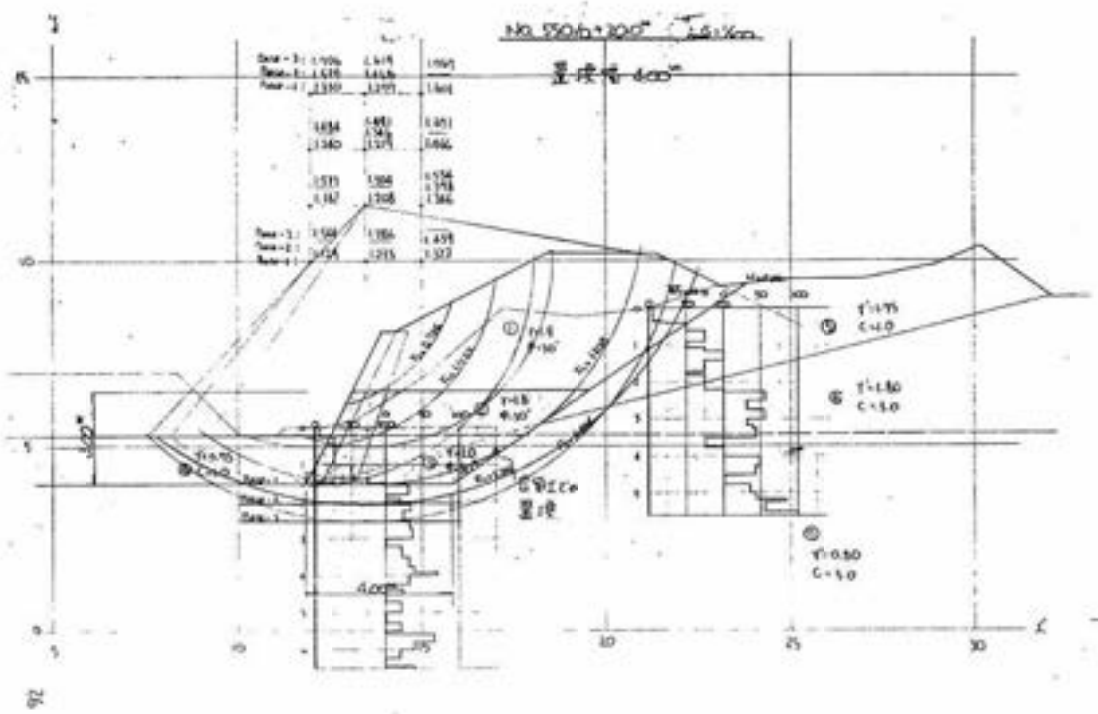


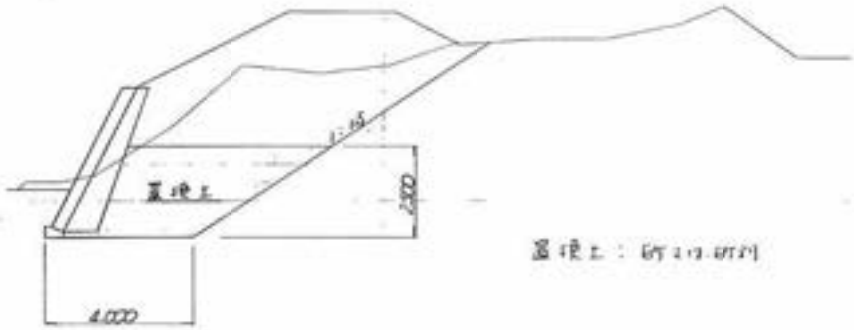


図－26　裏防川（鶴岐都海士町）護岸検討

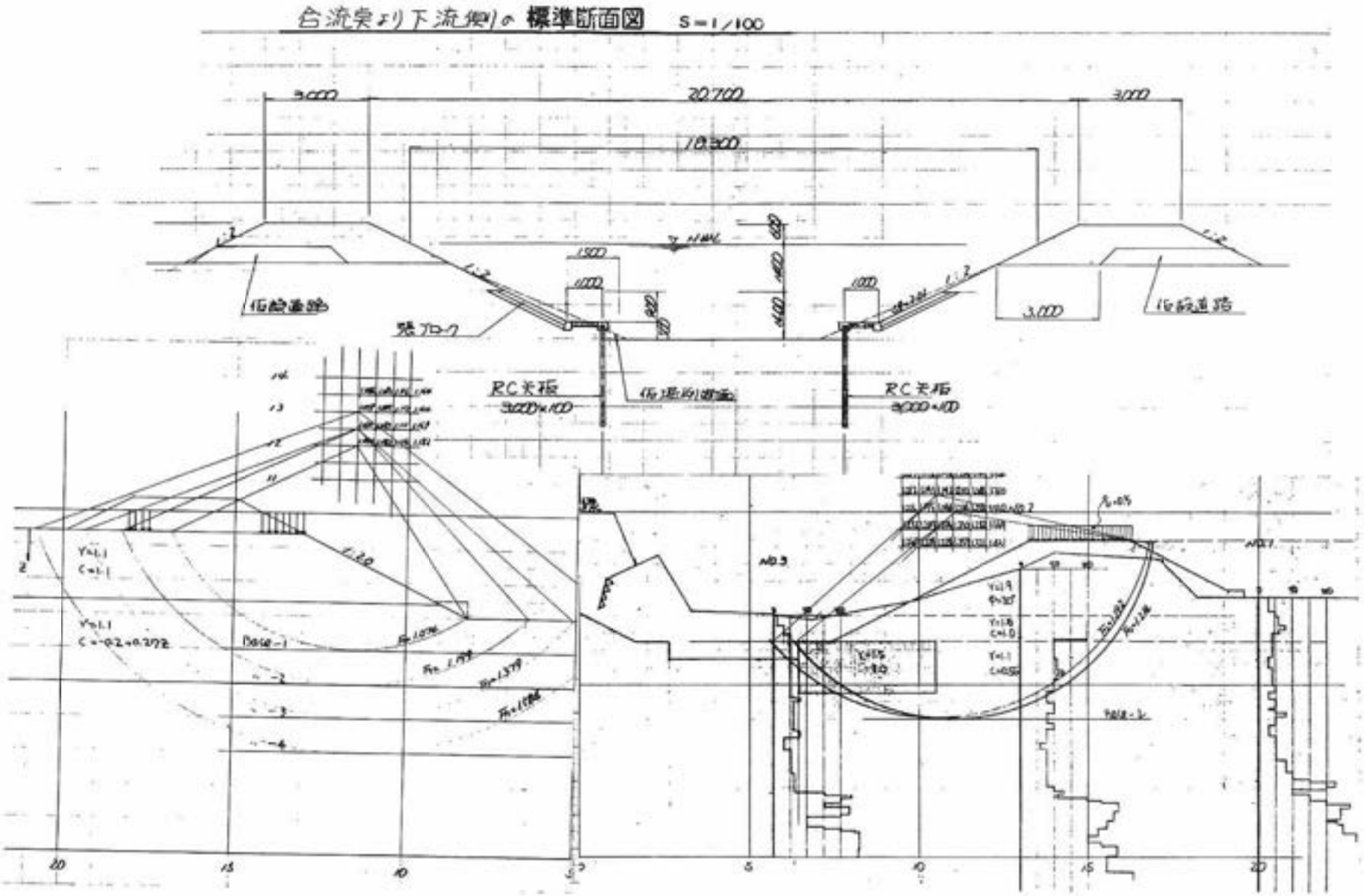


図－27　新建川（飯川郡斐川町）護岸検討





図－28　角田川（益田市角田）護岸検討



図－29　新建川護岸断面検討