

土木研究所資料

昭和大橋における地盤および下部構造の耐震性調査

昭和55年 7 月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

ま え が き

昭和39年6月に発生した新潟地震では新潟市内を中心として、土木構造物を始めとする各種の構造物に甚大な被害が発生した。これらの被害の中でも特に目を引いたのが地盤の噴砂現象（＝流動化あるいは液状化）であり、昭和大橋での落橋、川岸町での県営アパートの傾倒などは記憶にも新しい¹⁾。

地盤の流動化による被害の重大性の認識が高まり、新潟地震を契機として地盤の流動化に関する種々の調査・研究が実施されるようになった。土木研究所においても、これまでに流動化の履歴に関する調査^{2), 3)}，流動化する地盤の動的挙動あるいは流動化砂層中の杭基礎構造物の応答特性に関する室内模型振動実験^{4)～6)}，砂質地盤の動的強度特性に関する室内実験⁷⁾，地盤流動化の判定法に関する調査^{8), 9)}，原位置における地盤の耐震性調査^{10)～12)}，地盤の耐震地図に関する調査¹³⁾，地盤の流動化が土の特性に及ぼす影響に関する調査¹⁴⁾など多岐にわたる調査・研究を実施してきている。そして、これらの研究成果は道路橋耐震設計指針（昭和47年4月）を改訂した「道路橋示方書V耐震設計編」¹⁵⁾に盛り込まれることとなった。

本調査は地盤の流動化の代表例である昭和大橋において、これまでの研究成果に基づく地盤流動化の詳細な判定調査法の適用を行い、判定法の検討および当該地点での地震と地盤流動化を考慮した下部構造（杭基礎）の耐震性に関する検討を行うのを目的としている。本報告の内容としては、まず原位置地盤調査、動的強度試験、地盤の地震応答解析の各種の調査を実施し、これらの結果に基づいて地盤および下部構造の耐震性に関する諸検討を行っている。

昭和55年7月

建設省土木研究所

地震防災部振動研究室 室長 岩崎敏男

〃 研究員 常田賢一

〃 〃 木全俊雄

〃 〃 吉田精一

目 次

ま え が き

1. 調査概要	1
2. 調査地点の被害状況	2
3. 調査地点の地形・地質	15
4. 原位置地盤調査	21
4.1 概要	21
4.2 ボーリング調査	22
4.3 P S 検層	28
4.4 不攪乱試料採取	31
5. 室内試験	32
5.1 概要	32
5.2 物理特性試験	32
5.3 動的強度試験	34
6. 地盤の地震応答解析	38
6.1 概要	38
6.2 応答解析法	38
6.3 地盤のモデル化および入力地震動	39
6.4 応答解析結果	44
7. 地盤の耐震性の検討	57
7.1 地盤流動化の判定方法	57
7.2 判定結果	59
8. 下部構造の耐震性の検討	62
9. まとめ	65
あ と が き	66
参 考 文 献	67
付 属 資 料	69
I 物理特性試験結果	70
II 動的強度試験結果	86
III マトリックス法による S H 波の重複反射理論	98
IV 川岸町での観測地震動, 基盤入射波形および基盤地震動のデジタル数値	102
V 地盤の地震応答解析結果	106
VI 補正項 C_2 の算出方法	112
VII 流動化に対する抵抗率 (FL) の計算結果	114
VIII 下部構造の耐震性に関する計算法	118

1. 調査概要

調査地点は図-1.1に示す新潟市内の信濃川の河口から約5km上流に位置する昭和大橋であり、右岸は新潟市下所島地先、また左岸は川端町地先となっている。原位置での調査作業は、サケ、マス、アユのいわゆるさう河性水族が、海から川へ、または川から海へ移動するさう河期外である7～8月に実施した。

本調査では次の項目について実施した。

1) 原位地盤調査

- ・ボーリング
- ・標準貫入試験
- ・PS検層
- ・不攪乱試料採取

2) 室内試験

- ・物理特性試験
- ・動的強度試験

3) 地盤の地震応答解析

4) 地盤の耐震性の検討

5) 下部構造の耐震性の検討

なお、本報告では、まず調査地点での新潟地震における被害状況と地形および地質の概要について紹介してから、上記の調査内容の報告をする。



図-1.1 調査地点位置図

2. 調査地点の被害状況

新潟地震による昭和大橋の被害状況については、地震直後に実施された調査の報告〔文献1〕から引用することにする。

橋梁諸元および構造

(1) 一般

- 路線番号 主要地方道 546 号（新潟停車場線）
- 所在地 新潟市
- 架設年月 昭和 39 年 5 月
- 架橋河川 信濃川
- 橋 格 一等橋
- 幅 員 24.0 m
- 橋 長 303.9 m

(2) 上部構造

- 構造形式 活荷重合成鋼単ゲタ橋
- 上部構造地震係数 0.2
- 橋面舗装 アスファルト舗装
- 支 承 固定：線支承
可動：線すべり支承

(3) 下部構造

- 構造形式 くい式橋脚
鋼くい径 600mm 9 本 1 列使用
くい長 25 m

構造概要は図-2.1 のようである。

地盤の状況

本地点での地盤調査は地震前の昭和 36 年に水中で 2 点のボーリング、地震後に左右両岸を含めて計 4 本のボーリングがおこなわれた。

これらの結果を図-2.2 および図-2.3、室内試験に関しては Na 2, 3 ボーリングについて表-2.1、表-2.2 に示した。また、図-2.4 は以上の結果を総括して地盤図として示したものである。これらのボーリング実施時の地盤高は明確でない。ボーリングの結果はすべて、その当時の地盤高を基準に書かれていた。なお標準貫入試験では昭和 36 年、昭和 39 年の実施分とも落錐はドラム方式による自由落下である。

調査深度 30 m までの地盤はすべて沖積層の砂であるが、それらを粒度組成および N 値等の特

徴からながめると、非常に様相を異にした特徴ある3層に区分して考えることができ、また、これによると左右兩岸の地盤にかなりの差異があることがわかる。すなわち、下部から上部への細砂層、中砂層、粗砂層に分かれる。ここでのおのおのは D_{60} で0.2 mm, 0.3 mmを境とする。次に各層の特徴を示すと、

- ① 細砂層：深さ16～18 mより以深に分布する均質な層で、暗青灰色を呈する。しかし、部分的にはシルト・砂鉄を挟在することがある。 N 値は30以上であり、地震の前後で比較した場合、大きな変化はみられない。ただし、全体としては地震後の N 値は大きく出ている傾向があるが、標準貫入試験の精度から考えて、実際に地震で変化したのか試験誤差なのか判明しない。
- ② 中砂層：右岸では深さ5 m以下に層厚約15 mで存在し、左岸に向かって次第に深くなり N_1 ボーリング地点では-14 m以深に現われ、厚さは約3 mに減少する。本層には腐食物、粗砂、細砂、砂鉄をとまなう部分もある。 N 値の幅は非常に大きい、この原因として考えられることは成因を異にする中砂からなることである。（右岸側は砂丘堆積層の延長部分、 N_3 ボーリングでの10～15 mは新期の堆積層と考えられる。）
- ③ 粗砂層：3層のうち最も上部に位置する新しい堆積層で、その分布は左岸で厚く（約13 m）、右岸で薄く、これは中砂と対照的な形で分布している。

この層は堆積環境として不安定な状態でできたものと考えられ、シルト質、ローム質、細礫、および腐食土を混える。 N 値では地震前に大部分が10以下であったと考えられるが、地震後には多少増加した傾向がみられる。

各層の堆積状態は以上のとおりであるが、地震による影響を最も大きく受けたと考えられる粗砂（ $D_{60} = 0.3$, $U = 3$ ）について三軸圧縮試験による臨界間隙比の測定（Cassagrande Critical Void Ratio）と γ_d の変化にとまなう N 値の関係についての室内実験をおこなった。

図-2.6は臨界間隙比についての実験結果を示している。この結果 $\sigma_3 = 0.5 \sim 1.5 \text{ kg/cm}^2$ の範囲内での臨界間隙比（破壊時における容積変化から求めた） $e_{cr} = 0.8$ であり $\gamma_d = 1.5 \text{ g/cm}^3$ をえた。

一方、同一の砂に関する N 値の実験から図2.5の $N - \gamma_d$ の関係を求めた。これらより現場 N 値の条件を考慮して $N = 5$ 以下の粗砂では少なくともliquefactionを生ずる可能性があったものと考えられる。しかし動的な条件におけるliquefactionに対する臨界間隙比は必ずしも上記の実験条件と一致するものではない。他の資料より考察すれば、その臨界間隙比はさらに低いところにあったのではないかと推定している。

上部工の被害

地震による昭和大橋の変状概要は図-2.7に示すようである。そして、上部工の変状は写真-2.1～2.7、表2.3、図2.8に見られるとおりである。

被害は左岸側に集中している。すなわち、左岸の取付道路の盛土が沈下し、路面が大きな亀裂を無数に生じ、擁壁も傾斜、滑動し、目地が開き、くい違いを生じている。橋台との取付部も写真-2.3に見られるようにかなりの落差が生じている。上部工は中央に位置する橋脚 P_6 の左岸側の4径間と右岸側の1径間が変状図に見られるように落橋している。 G_6 -ゲタは落橋により水

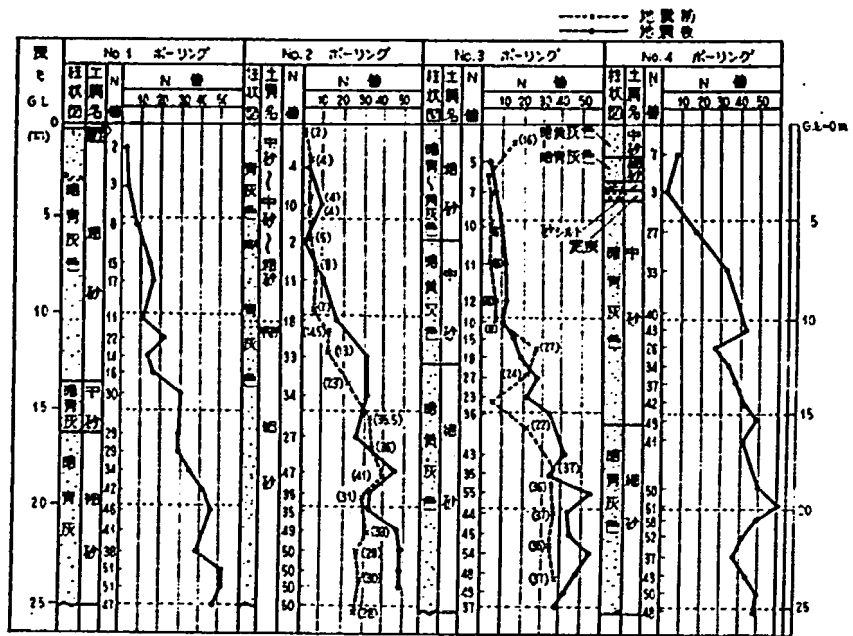


図-2.2 昭和大橋ボーリング柱状図

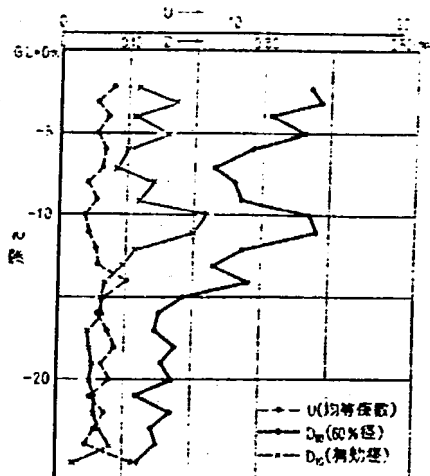


図-2.3 深さに伴う粒度変化

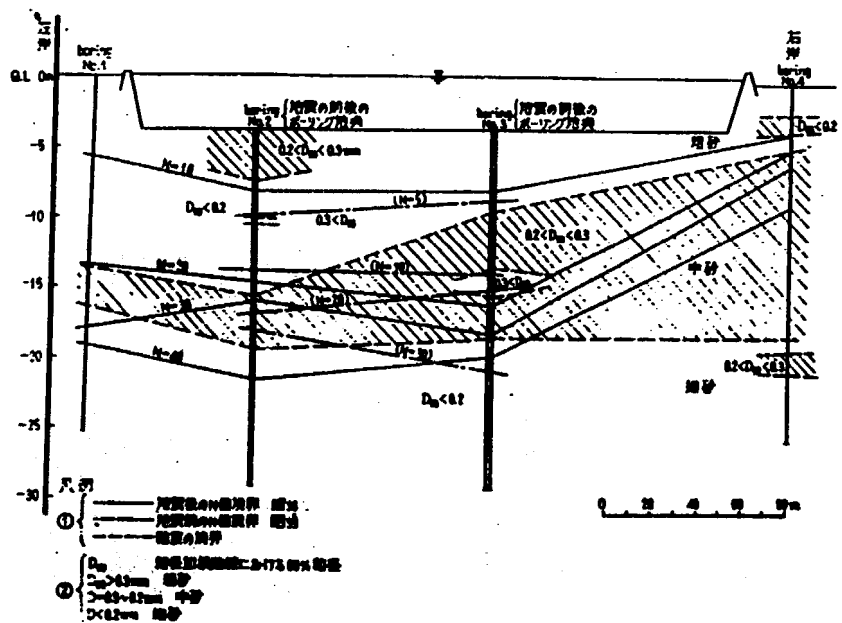


図-2.4 昭和大橋地盤図

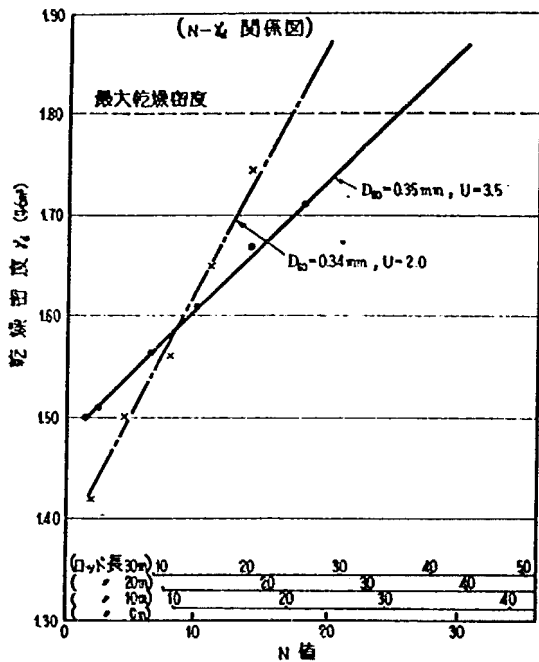


図-2.5 N値と γ_d の関係

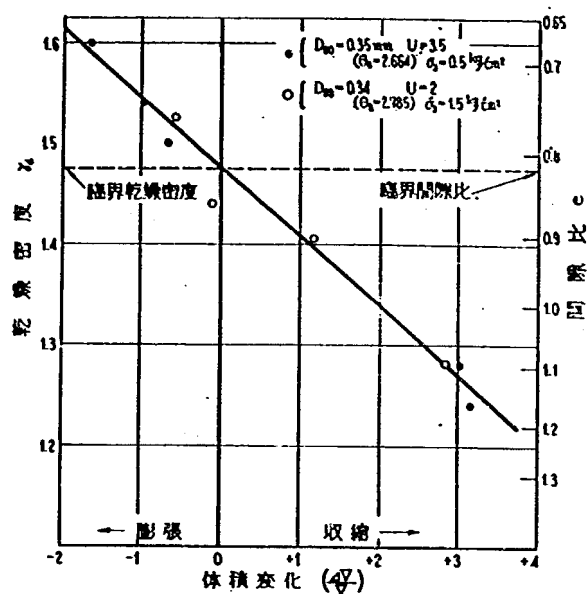


図-2.6 臨界間隙比

中に没し、わずかにランプポストのみ水面上に出ている（写真-2.1，2）。他のゲタは固定端側がすべて外れて水中に落下している。このように昭和大橋では12連中左岸よりの中間5径間が落橋し、中央の橋脚 P_0 ——これはともに可動支承を受けるものである——と左岸よりの P_1 とが写真に見られるように水中に没している（写真-2.1，2）。

その外のゲタは地震時にゲタ端がぶつかり合って下フランジや腹板にかなりの損傷を受けているが（写真-2.7，8），これらの損傷は左岸側に限られ、右岸側のゲタでは、橋脚 P_0 上、下流側の高欄がゲタどうしの押し合いで写真-2.3，4のように変形したのが見られるにすぎない。左岸の上流側の G_1 -ゲタは橋台の胸壁とはげしくぶつかり合ったようすで写真-2.3，4のように腹板と下フランジとが座屈変形を生じている。下流側のゲタも写真-2.5，6のようにぶつかってはいるが、ゲタの損傷はなかった。

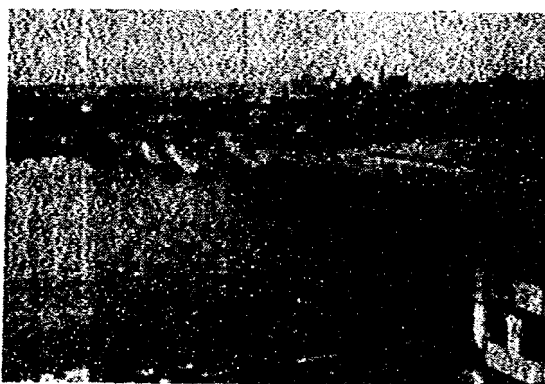


写真-2.1 5径間が落橋した昭和大橋

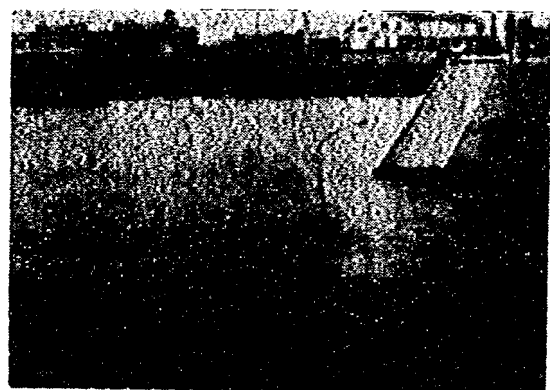


写真-2.2 水中に没した G_0 -ゲタ、ランプポストが水面上に出ている

給出疫位脚中心間隔

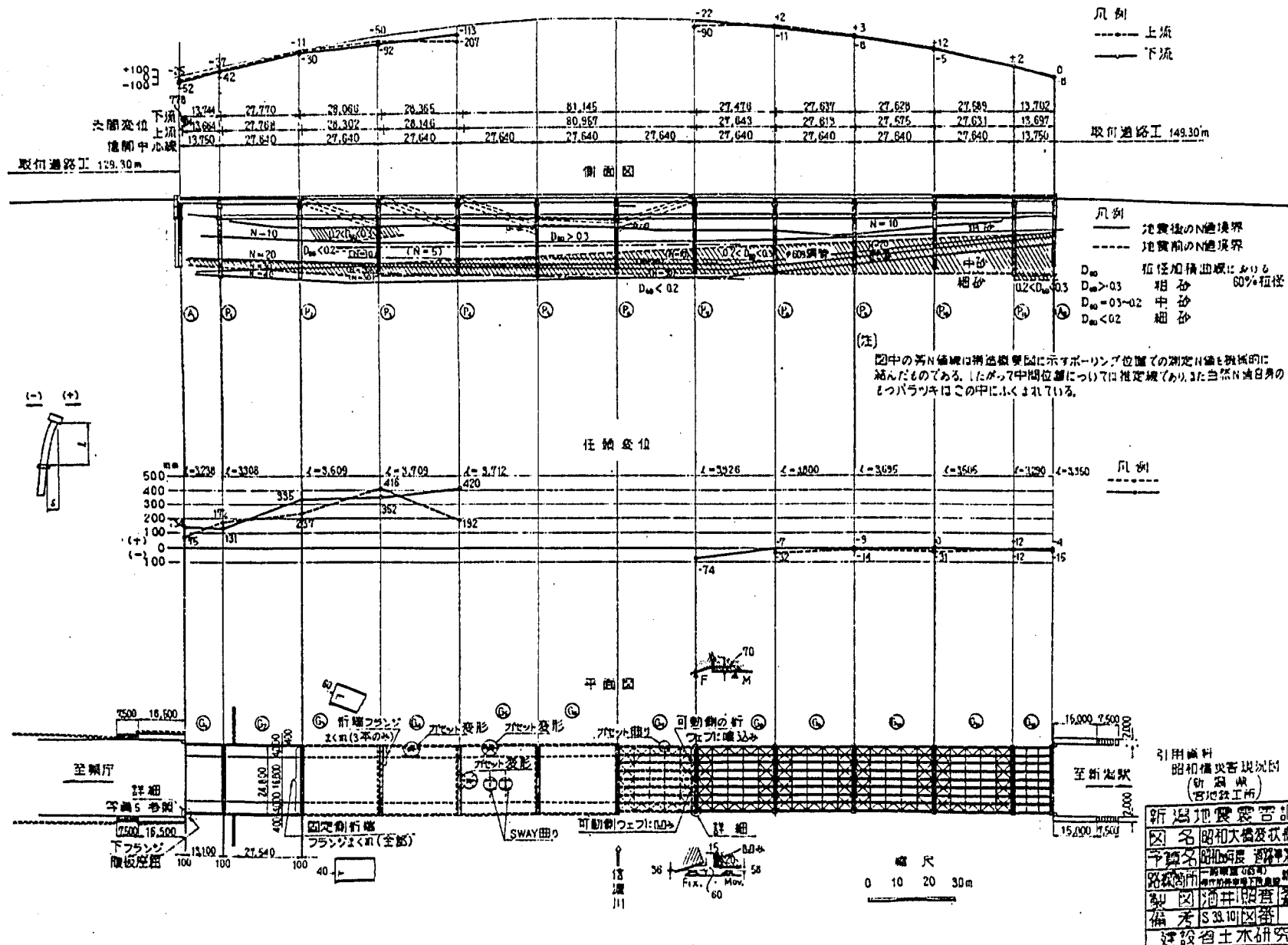


图-2.7 昭和大橋変状概要図



写真-2.3 左岸側橋台付近の取付道路の沈下

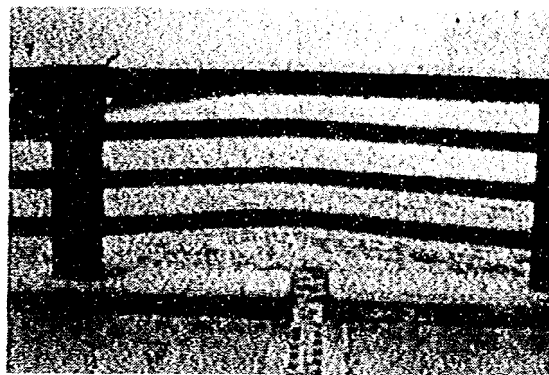


写真-2.4 橋脚P₀上、下流側高欄の変状



写真-2.5 胸壁と衝突し座屈した上流側
G₁-ゲタの腹板と下フランジ

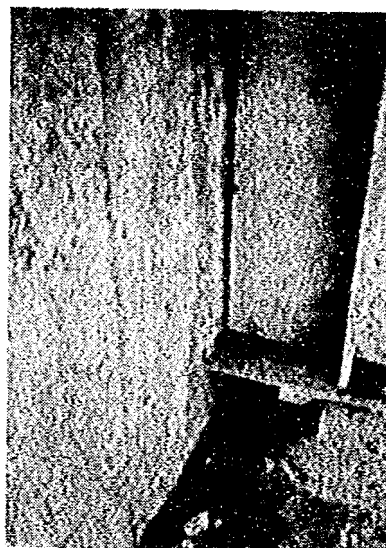


写真-2.6 胸壁とぶつかっている
下流G₁-ゲタ



写真-2.7 橋脚P₁上、下流側支承付近の変
状脊の突起がせん断されている



写真-2.8 橋脚P₂上、下流側
G₃-ゲタ端部の変状

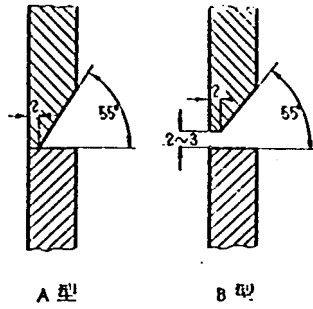


図 - 2.8

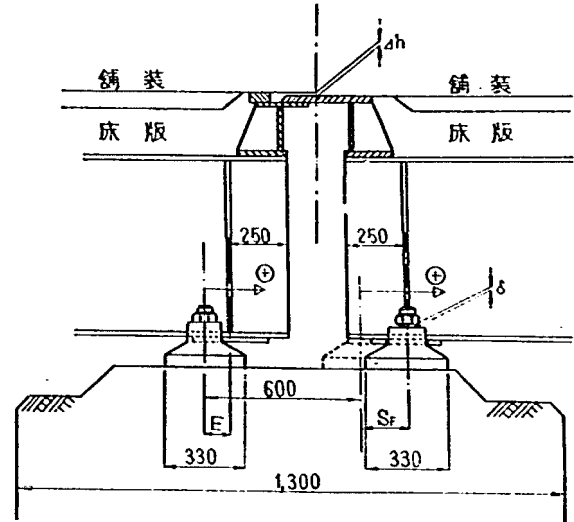
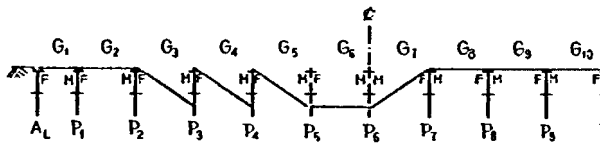


図 - 2.9 支承付近の損傷状況

表 - 2.3 支承付近の損傷一覧

														
		A ₁	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	A ₂
Δh	上流側	25	23	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0	0
	下流側	12	19	—	—	—	—	—	—	-3	0	1	-2	-2
E	上流側	—	-5	-75	—	—	—	—	-85	-33	-30	-40	-17	—
	下流側	—	-11	-55	—	—	—	—	-150	-47	-35	-38	-6	—
S _F	上流側	-28	0	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0	16
	下流側	60	0	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0	10
A _m	上流側	—	19	90	—	—	—	—	—	—	25	20	68	—
	下流側	—	93	72	—	—	—	—	—	23	16	65	13	—
δ	上流側	12	0	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0
	下流側	0	0	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	6

Δh 伸縮継手位置で測った路面の高差

E ソールプレート中心と可動沓中心とのずれ

S_F コーピング部支承中心と固定沓中心とのずれ

A_m 可動鋼ソールプレート側面の沓との摩擦によるベッキのはがれ

δ アンカーボルトの抜け出し量(固定沓)

支承付近の損傷も、左岸橋台上の固定沓では沓のまわりの敷きモルタルが破碎され、沓が 10 mm 以上浮上がり、アンカーボルトも抜け出ていた（上流側の G₁-ケタ）。右岸橋台上の沓も同じように固定沓が敷きモルタルの破壊により胸壁側へずれを生じている。落橋したケタでは地震動によるのか、あるいは落橋時の衝撃によるのか明確でないが、ソールプレートの突起や沓の横振れ止めの突起がせん断されているものが多い。落橋していないものでも、沓の突起が切れてしまっているのが G₈-ケタの可動沓（上流側）にあった（写真 2.7, 8）。

地震発生後 5 日目において、図 2.9 に示すように可動沓の中心線とソールプレート中心線のズ

レE, 固定沓の支承モルタル剝離によるコーピング上でのズレ S_F , アンカーボルトの抜け上り量 δ , 伸縮継ぎ手上での不陸 dh の測定結果は表-2.3に示す。表中, ソールプレートの移動量とあるのは, ソールプレート側面が沓と移動の際こすり合って, 塗装されていたペイントがはがれていた痕跡のあとをたどってその長さを測ったもので, 橋軸方向の地震動振幅の推定のために参考となりうるであろう。

下部工の被害

図-2.7の変状からわかるように右岸側の橋台から取付部盛土の間の被害はほとんど無いといってもよく, この右岸橋台を基準にとり変状観測を行った。測定は計画支間長に対して行われ, また橋脚の傾斜は沓座の水平材と水面に近く設けられた水平材との間での水平変位量として示されている。

以上の値を一覧表にして示すと表2.4を得る。

この測定結果では埋没した P_3 , P_6 橋脚についてはふれてないが, 復旧工事に伴って上部工を取り除いたときに, その変形の状態を観測している。

それによれば, 両脚とも完全落橋した両隣りのケタの下に巻きこまれた形で, 折れ曲がって居ると認められた。

橋脚個々の変状については表-2.4に示す鋼管ぐいの曲がりのほかに, コンクリート水平材の鋼ぐいとの肌ばなれ, クラック, コンクリート脱落が認められたほか上部工の落橋の際のケタ端による擦痕などが見られた。

すでに述べたように右岸橋台ならびに取付盛土部にはほとんど被害が認められなかったが, 左岸側橋台ならびに取付部には大きな変状が認められた。橋台は表-2.4に示す程度に少なくとも河心側に押出されており, その裏付けとして, それに続く擁壁の鉛直打継ぎ目の目地の開きを実測すると,

上流橋台側から

$$28+22+18+36+4+0=108\text{ cm}$$

下流橋台側から

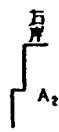
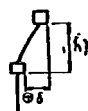
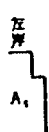
$$48+28+10+40+0+6=132\text{ cm}$$

この結果からすれば, 取付の始点を0にして, 河心方向の変形が序々に大きくなったとはいえないが, 河心方向への動きのあらわれとして, 観測できる。

また, この一つの現われとして, 護岸の河心方向への押出しが観測され, 2~3 mに及ぶ。

表 - 2.4 昭和大橋橋脚変状表

	下 流				上 流			
	計 画 (m)	実 測 (m)	Δ (mm)	δ/h	計 画 (m)	実 測 (m)	Δ (mm)	δ/h
A_2	0	0	0	$-\frac{0.015}{3.000}$	0	0	0	$+\frac{0.006}{3.000}$
P_{11}	13.750	13.702	48	$+\frac{0.004}{3.290}$	下流に同じ	13.697	53	$-\frac{0.012}{3.290}$
P_{12}	41.390	41.291	99	0	"	41.328	62	$-\frac{0.031}{3.505}$
P_9	69.030	68.919	111	$-\frac{0.009}{3.694}$	"	68.903	127	$-\frac{0.014}{3.695}$
P_8	96.670	96.556	114	$-\frac{0.007}{3.800}$	"	96.516	154	$-\frac{0.032}{3.800}$
P_7	124.310	124.032	278	$-\frac{0.074}{3.926}$	"	124.159	151	$-\frac{0.584}{3.926}$
P_6								
P_5								
P_4	207.230	205.177	2.053	$+\frac{0.420}{3.712}$	"	205.116	2.114	$+\frac{0.192}{3.712}$
P_3	234.870	233.542	1.328	$+\frac{0.352}{3.709}$	"	233.262	1.608	$+\frac{0.416}{3.709}$
P_2	262.510	261.608	902	$+\frac{0.235}{3.509}$	"	261.564	946	$+\frac{0.237}{3.509}$
P_1	290.150	289.398	772	$+\frac{0.131}{3.308}$	"	289.332	818	$+\frac{0.172}{3.308}$
A_1	303.900	303.122	778	$+\frac{0.134}{3.353}$	"	302.996	904	$+\frac{0.075}{3.353}$



$\Delta = [\text{計画スパン長}] - [\text{実測スパン長}]$

$P_7 \sim P_4$ { 下流, (82.920) - (81.145) = 1.775 80.665
上流, (82.920) - (80.957) = 1.963 80.615

このような災害がなぜ起ったか。不可抗力のものであったかどうか、その原因となるものを列挙してみたい。

強震計で捕捉された新潟地震の実態から、昭和橋の動的な解析ならびにそれに基づく震度法による解析結果については、3節において述べるので、ここでは被災後の調査結果から判明した地盤から予想される原因、上部工から予想される原因、下部工の変状から予想される原因について、現象面から追求してみることにする。

(1) 地盤から予想される原因

i) 左岸橋台を中心にして起ったと見られる地すべり

この現象については左岸橋台の河心方向への移動、取付の擁壁継ぎ目地の開き、橋台前面の河岸の護岸の前面押出し約3 mからも明かに認められる。しかもその深さは、橋台の基礎ぐいとして打ちこまれた鋼管ぐいの傾斜などから見て、くい先端より深い所ないし、くい先位置で起こり、くい先も水平に移動していると予想できる。

ii) 地盤上置砂層の liquefaction について

新潟市内の建物の被害の原因とみられている上置砂層の liquefaction はこの地区にも生じたと予想できる。すなわち、この地区から採取してきた砂に対して、臨界間隙比を求めると0.8、そのときの乾燥密度 γ_d で 1.5 g/cm^3 を得た。この結果から少なくとも、せん断変形を受けて体積減少する上置砂層としては左岸橋台付近で5 m以上(被災後のボーリング資料によるので、被災前はもっと深かったとも予想される) No. 2 ボーリングすなわち P_2, P_3 橋脚の中間付近では8~10 m, No. 3 ボーリングすなわち P_7 橋脚付近で、同じく約10 mと推定できる。一方、被害の少なかった右岸橋台の付近では3 m程度とNo. 4 ボーリングから推定できて、河心部および左岸側と対称的である。これ以下の締まった層が震動を受けて、liquefaction を生じたかどうかについては、今のところ判定資料を持ち合せないので言及できない。

このような砂自身の持つ物理的な性質のほかに、この現象が生じたであろう証拠として次の二つがある。

一つは被災直後の付近住民の観察である。それによると水面が泡立ち、もくもく盛り上がったように見えたと言うことであるが、急激な体積変化による土砂内部の間隙水圧の高まりが、水面に向かって開放された結果と見られる。二つ目はくいの変形状態からの推定である。すなわち、昭和橋の復旧にあたって、災害原因の究明の意味から可動端が落橋して、固定側の橋脚が残っていた、 P_4 橋脚の最下流側の鋼ぐいを引抜いた。引き抜かれたくいの全様を写真-2.9, 10に示す。また変状図を図-2.10に示す。

これらによるとくい先端から約4 mの区間は永久変形を生じておらず、その位置は河底から換算すると-12 mになる。いま、この点がくいの変形に対する第1不動点であったとして、抵抗層の上縁からの距離をChangの算定式で求めると1.75 mを得る。

したがって、 $-12 \text{ m} + 1.75 \text{ m} = -10.25 \text{ m}$ が、liquefactionを受けなかった抵抗層上面と

想定される。この結果は、別個に推定した臨界間隙比からの推定深さと大略一致する。

(2) 上部工から予想される原因

上部工の被害の状況からケタどうしが、大きな力で衝突していることがわかる。これはケタ端のフランジの座屈、高欄の座屈として認められ、被災時の付近住民の話によると、ゴロゴロという雷のような大きな音がしたとのことである。これは衝突音がケタ下の空間に共鳴して発したものと想像される。左岸橋台から加わった水平力がケタの落橋に大きな影響を与えていると考えてよい。

また、ここで特筆すべきことは P_5 橋脚の上の沓は G_6 、 G_7 -ケタの沓とともに可動沓が載っており、落橋した他のケタの固定沓が橋脚上に残っていたにもかかわらず G_6 -ケタでは P_5 橋脚上の固定端も落下している。この水没ケタ G_6 の落下原因の1つとして1橋脚に2個の可動沓が集まっていたため、隣のケタの水平力の分まで落ちたケタ G_6 の固定沓にはたらいた結果も強く影響しているよう。これらの相互干渉については現在解析中であり、後報する予定でいる。

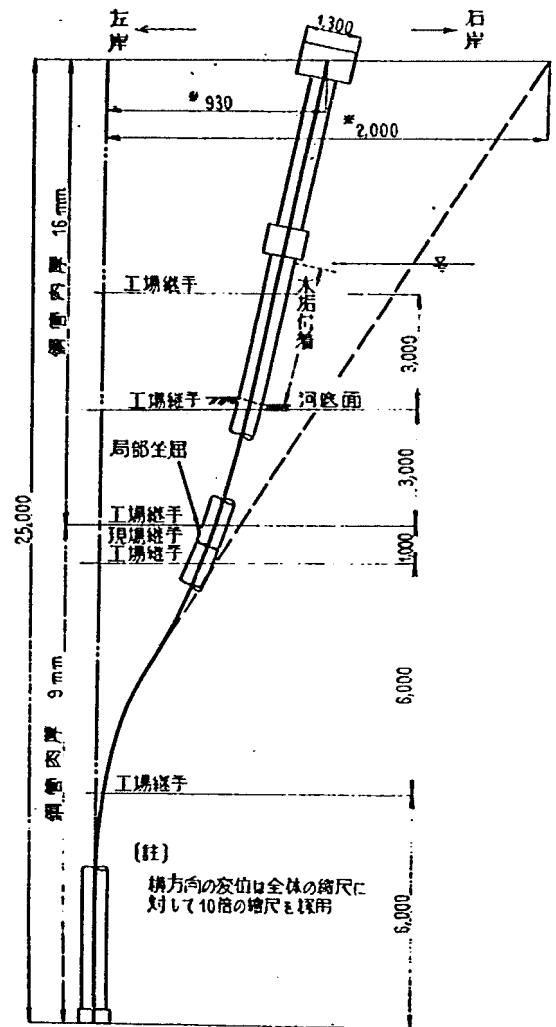


図-2.10 下部工の変状

(3) 下部工から予想される原因

i) 下部工としての剛性の不足

上置砂層の liquefaction により、地盤の横抵抗がほとんど消滅して、図-2.10に示すような大きな変形をくいに生じているものと考えられる。この図を見ると、左岸側に向っても大きな変形を生じた時があるらしく、しかも曲げ変形の内側に局部座屈を生じている。

このことは、この局部座屈を生じた段階では、地盤の液状化が、これ以下に及んでいなかったらしいことを意味しよう。したがって、当初の設計条件に近い位置で最大曲げモーメントを生じており、しかも鋼管の肉厚が16 mmから9 mmに落された位置で生じているので、結果的には断面の急変による、断面不足を示しているといえよう。

ii) 2次的な要因

今までの説明から上置砂層の液状化により、地盤の抵抗層が下がったことが最大の原因であるが、たまたま、 P_5 、 P_6 橋脚（埋没橋脚）を河底から取り出したところつぎの事実が判明した。

すなわち、写真-2.9、10に見られるように、河底部に、近い現場継ぎ手において、曲げ変形をそれほど受けてない状態で、切断されたと見られるものが、 P_5 、 P_6 橋脚について1

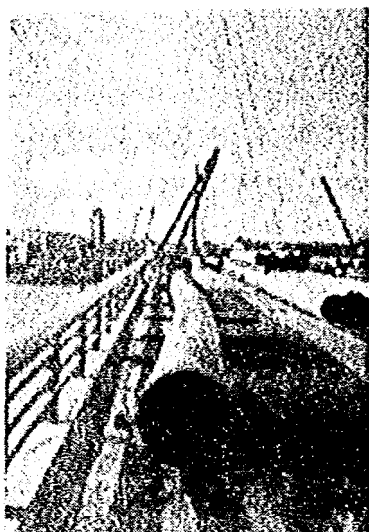


写真 - 2.9

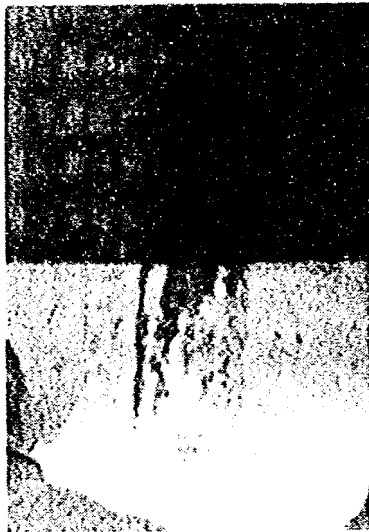


写真 - 2.10



写真 - 2.11

本づつみられた。この切断は P_4 橋脚の変形図で言えば局部座屈を生ずる前と考えられ、地震動を受けた時間の大部分を9本の鋼管ぐいの8本で、抵抗していたと想像される。

これが被災の直接原因とは考えられないが、現場継ぎ手の設計、施工、そして継ぎ手位置の選定の重要性を教えるものとして、今後の改善が望まれる。

ちなみに、先に述べた、 P_4 橋脚から引抜いたぐいから試験片を切り出して、継ぎ手強度を調べた。

試験は16mmと9mmの突合せ工場継ぎ手と、9mm 相互の現場継ぎ手について、引っ張り、曲げ試験を行なった。試験結果を表-2.5に示す。この結果から明かに現場継ぎ手の継ぎ手強度が低下していると認められる。この低下の原因としては、X線検査の結果によると、溶接の溶けこみ不足とスラグの巻きこみが目立つ。同じような環境で P_5 、 P_6 のぐい継ぎ手も施工されており、比較的小さい曲げ引張応力度で破断することもあり得ると推察される。

しかし、この結果を他の一般の現場での施工結果と比べるとどうであろうか。その例として矢切高架橋の例をつぎにあげる。

この場合、現場継ぎ手の開先の条件をルート間隔零のA型とルート間隔2～3mmにとったB型の2種類にした。A型は多数の現場で採用されており、昭和橋もこの例になる。試験結果を同じく表 2.5に示す。これから見ても、昭和橋だけでなく、一般的な鋼ぐいの継ぎ手の問題であることがわかってる。

以上の調査報告では、昭和大橋での被害の主因が周辺砂地盤の液状化(=流動化)であることが指摘されているが、昭和大橋以外の万代橋、東跨線橋、八千代橋、新浜松橋、泰平橋等の橋梁においても地盤の流動化の発生が推測されている¹⁾。

表 - 2.5

試験片	昭和橋		矢切高架橋	
	工場 (kg/mm ²)	現場 (kg/mm ²)	A 型 (kg/mm ²)	B 型 (kg/mm ²)
1	50.3	27.6	38.1	46.2
2	50.7	33.0	31.8	37.3
3	51.3	49.4	31.6	
4	50.9	52.1	32.4	

3. 調査地点の地形・地質

調査地周辺は現在市街地化が著しく、地形の判読は難しいが、図－3.1に示す明治44年測図の古地形図をみると、比較的わかりやすく区分を行うことができる。当時の地形図によると新潟市およびその周辺の地形は、幾条にもものぼる砂丘の形成と砂丘間低地および河口附近の三角州が大きな地形区分と行うことができる。砂丘の分布は、図－3.1に示す通りであるが、最も海岸線に近いものが幅および比高とも最大となっている。このような砂丘列を開析して信濃川等の河川は、逐次流路を変えつつ変遷を繰り返して現在の河道を形成したが、このため砂丘は数多く遮断された形となっている。信濃川河口附近の三角州として明瞭なものは、現在の万代橋右岸側で当時は万代島と呼ばれていたが、信濃川の北側の東掘あるいは西掘附近も大きな三角州地形を示している。また、信濃川の南側にみられる小さな砂丘列間は低平地となっており、後背湿地地形を示し、場所によっては潟湖となっているが、その最も大きなものが鳥屋野潟であり現在でも残存している。

図－3.2は新潟市付近について、沖積世に形成した微地形を対象に地形分類を行ったものである¹⁶⁾。地形分類は国土地理院発行の2.5万分の1地形図と古い地形図から読図して行ったが、分類方法は国土調査法の地形分類基準(表－3.1)を準用している。同図によれば調査地点の微地形は人工地に相当する。また、図－3.3は昭和大橋付近をほぼ南北に縦断する地層断面図である¹⁶⁾。同図から調査地点付近が沖積砂質土層で構成されていることがうかがわれる。

新潟地震の際には新潟市を中心として地盤の流動化が発生しているが、図－3.4は新潟市付近での流動化地点の分布を示したものであり、旧河道も併記している¹⁶⁾。流動化は随所にみられるが、信濃川沿いの人工地に集中しているのがわかる。

以上のことから本調査地点の地形の特性をまとめると次のようになる。

- 1) 現昭和大橋左岸側から白山公園一帯にかけて旧河道部に位置しており、やや下流側で三角州地形と変化している。
- 2) 現昭和大橋右岸側は、あまり河道変化がないように思われるが、わずかながら掘削側の傾向にある。背面は、後背湿地地帯である。

また、地質としては、砂質土が優勢な地質構成を示すことが予想され、深度約100m付近までは、沖積層が厚く分布するようである。また、既存資料等では、N値10～20回を呈する比較的均質な粘性土が、深度50m付近から約50mの層厚で分布することも知られている。

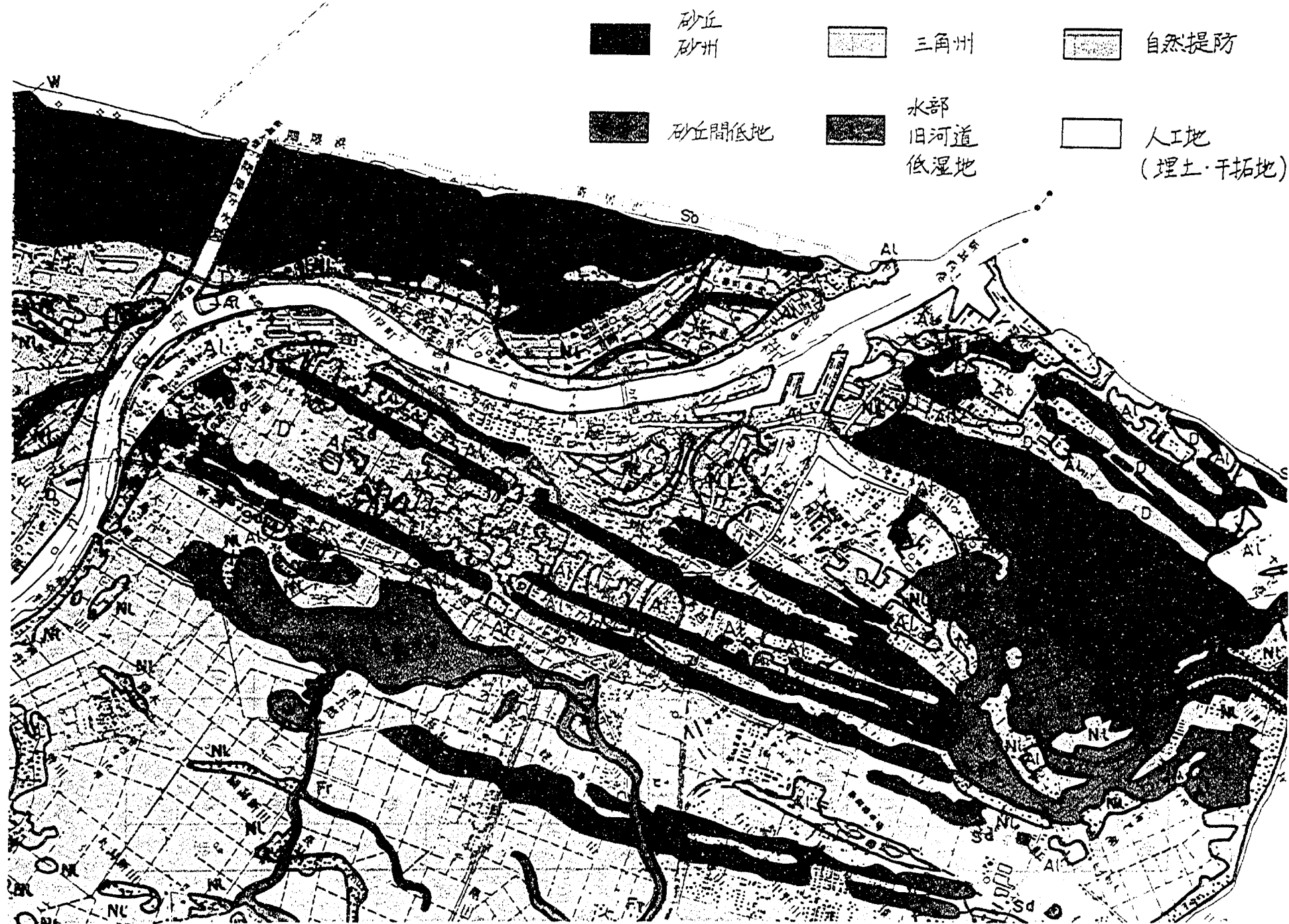


図 - 3.2 調査地点周辺の微地形分類

表 - 3.1 地形分類の説明

(国土調査法の分類を基準にし、対象地域内の地形性状を補足した)

地形の分類		記号	定 義
山地		M	山地と丘陵地、起伏をもつ斜面で表現される地域
台地		T	洪積台地または段丘面とする範囲。砂レキ段丘や開析扇状地（段丘化しているもの）も含む
低地	扇状地	F	山麓部との谷口に半円錐形に発達し、扇頂寄りには粗粒な砂レキで末端ほど細粒となる勾配の緩い堆積地形
	自然堤防	N l	河川の流路沿いに形成される帯状の微高地、洪水時に堆積する砂やシルトを主とする
	後背低地	B m	微高地に挟まれる沖積作用が比較的滞る排水不良の低湿地
	谷底低地	V p	山地、丘陵地、台地を刻む谷部に広がる谷幅の狭い低地、沖積作用が及ぶ平坦地、主として、シルト、砂、粘土から成る
	三角州	D	河川の河口付近に広がる平坦地、自然堤防の発達が悪く、シルト、粘土などの細粒物質から成る
	砂丘、砂州、砂堆	S d	海岸線沿いに波浪により砂を風砂現象で運ばれ、小高丘を形成する砂丘土砂を沿岸流で砂州を作り、より発達させ、均質な砂より成る砂堆
	砂丘間低地	I d	砂丘列の間の低地、排水不良の軟弱な粘土、腐植土が卓越
	旧河道	F r	過去の河川流路の跡、帯状に凹地形を示す極めて軟弱な粘性土、腐植土から成る
その他	低湿地	M l	排水不良な湿地性植物の繁茂する沼沢地、三角州性低地に多く分布する。
	河川敷	S r	堤防によって囲まれた氾濫原
	砂浜	S b	現在の海岸線沿いに発達、砂レキ質
	人工地	A l	盛土地、埋立地、干拓地等の範囲、海面、河川、潟湖、沼沢地を陸化した所
	水部	W	河川、湖沼、貯水池等の水面

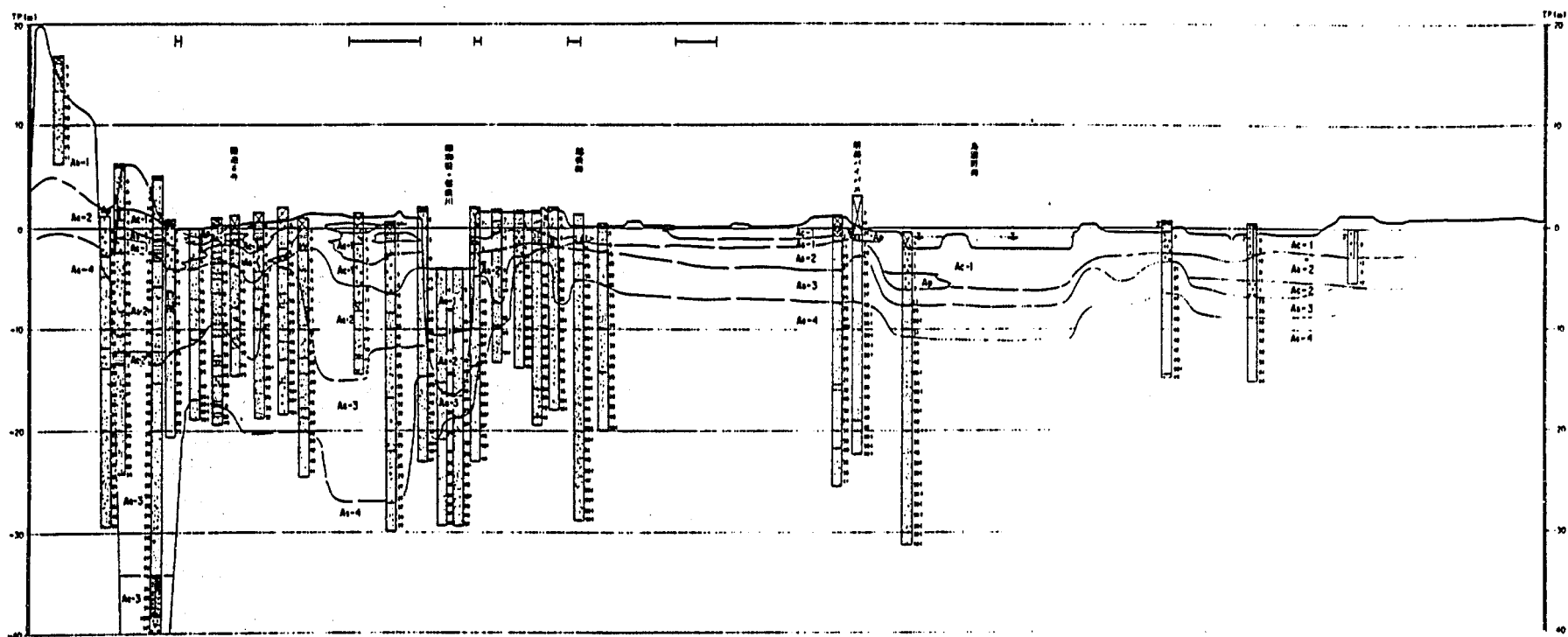


図-3.3 調査地点周辺の地質断面図

旧河道

新潟地震による流動化地点



図-3.4 新潟地震での流動化地点および旧河道分布

4. 原位置地盤調査

4.1. 調査概要

昭和大橋での原位置地盤調査箇所は図-4.1に示すように、橋台の取付道路盛土の沈下、擁壁の傾斜・滑動が発生した左岸側のP-1橋脚の下流側(B-1地点)、隣接する左岸側3径間と右岸側2径間の桁が落下したP-5橋脚の上流側(B-2地点)および被害の軽微であった右岸側のP-11橋脚の上流側(B-3地点)の3箇所である。そして、図-4.2のようにB-1では40m、B-2およびB-3では25mの深度までボーリングおよび標準貫入試験を行うとともに、B-1およびB-2では深度10~12m程度、B-3では深度5m程度までのN値の小さい土層で総数21ライナーの不攪乱試料を採取した。また、B-1では40mの深度まで1mピッチでP・S検層を実施した。

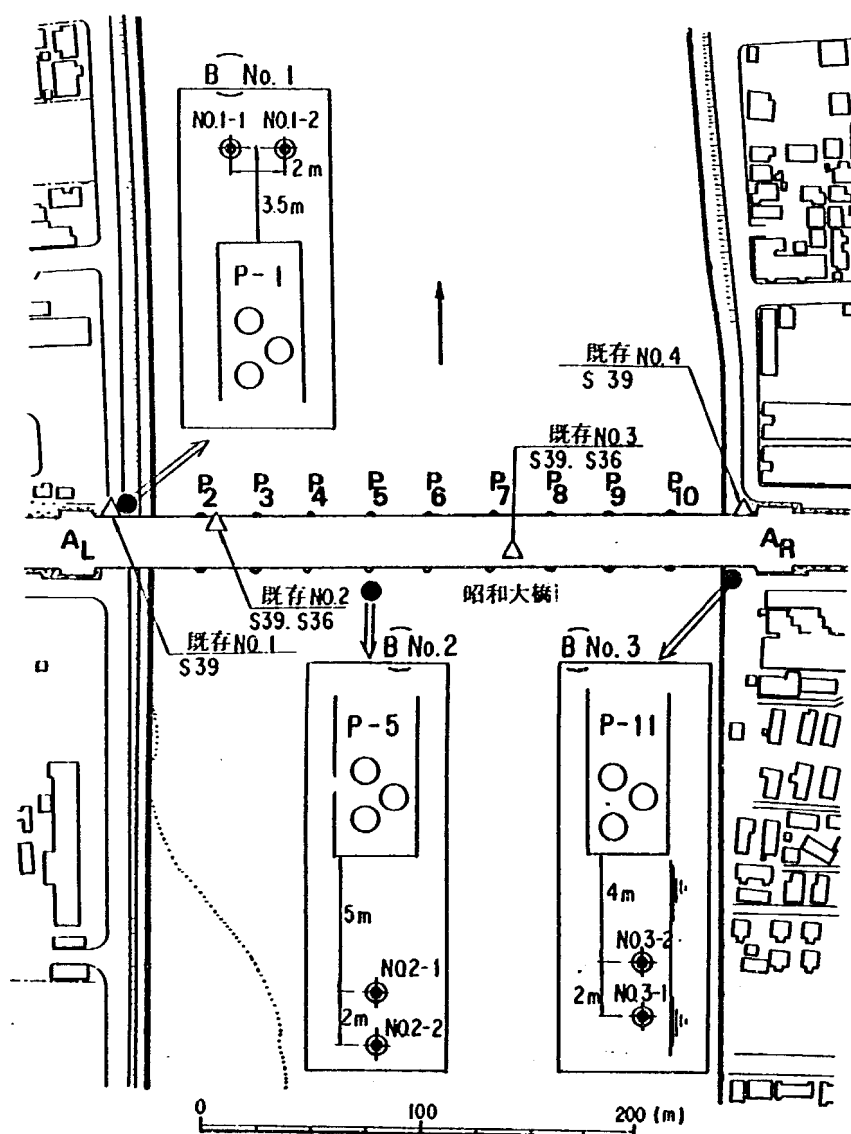


図-4.1 ボーリング位置図

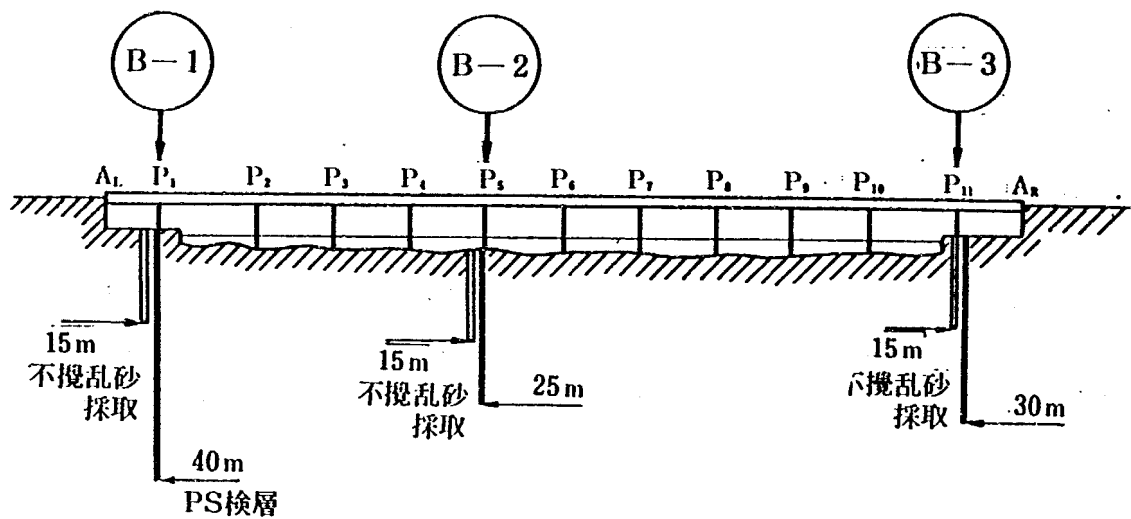


図-4.2 ボーリング状況図

4.2 ボーリング調査

ボーリング調査は、ハンドフィード式ボーリング機械を用いて、口径76%の標準貫入試験孔と口径86%の不攪乱試料採取孔の2孔で1地点として3地点について行った。

標準貫入試験孔によるボーリング調査から得られた土質柱状図、N値分布の結果を、ボーリング孔B-1、B-2およびB-3に対して、各々、図-4.3、図-4.4および図-4.5に示す。当地点では第2章の図-2.2のように地震前後においてボーリング調査が実施されているが、その結果も含めて作成したのが図-4.6の地質断面図である。既往ボーリングデータは、新潟地震前後の古い記録であり、正確な標高は不明であるが、次の推定を行ってレベルを配置した。

- 左右岸では地形的にあまり変化がないものと考え、ボーリング孔口標高は、現在の地表面に合せた。
- 河床部の標高は、全く不明であるために、前後のN値分布および土質を参考にし想定した。

また、河床地形も全く不明であるために参考までに調査地下流約200mの横断測量(S.53)の結果を右岸を基準に記入した。

本地区に分布する土質は、全体的に砂地盤であり、土性のみでは層区分が困難な傾向を示すことから、成因的な背景を考慮した区分を行ない断面図を作成した。地層区分は「新潟地区の地盤」¹⁷⁾を参考にして、大略次の4層に区分を行った。上記文献による地層の層序および特徴は表-4.1の通りである。

調査地の最下部層Lmである海成砂層は、標高-18m~-21m間ではほぼ平坦に分布する。この層は、土性においてその上位層(Ls)と明瞭な相違をしめしている。下部砂層(Ls)は、いわゆる右岸側の砂丘堆積層の延長部と推定され旧河道の影響により、場所により著しく層厚変化がみられる。その上面の地層境界面は、上部層と明瞭な土性変化がみられないが、N値の大きさおよび分布形状から左岸側へ連続性があるものと推定した。

この下部砂層(Ls)の上位に沖積層が谷部や平地部を覆っている。沖積層は、一般に最上部層(Us)に区分されるといわれているが、今回は土性的にもN値の分布からも区分を行うことは難しく、あえて区分を行っていない。以下に、調査地に分布する各地層の特徴について述べる。

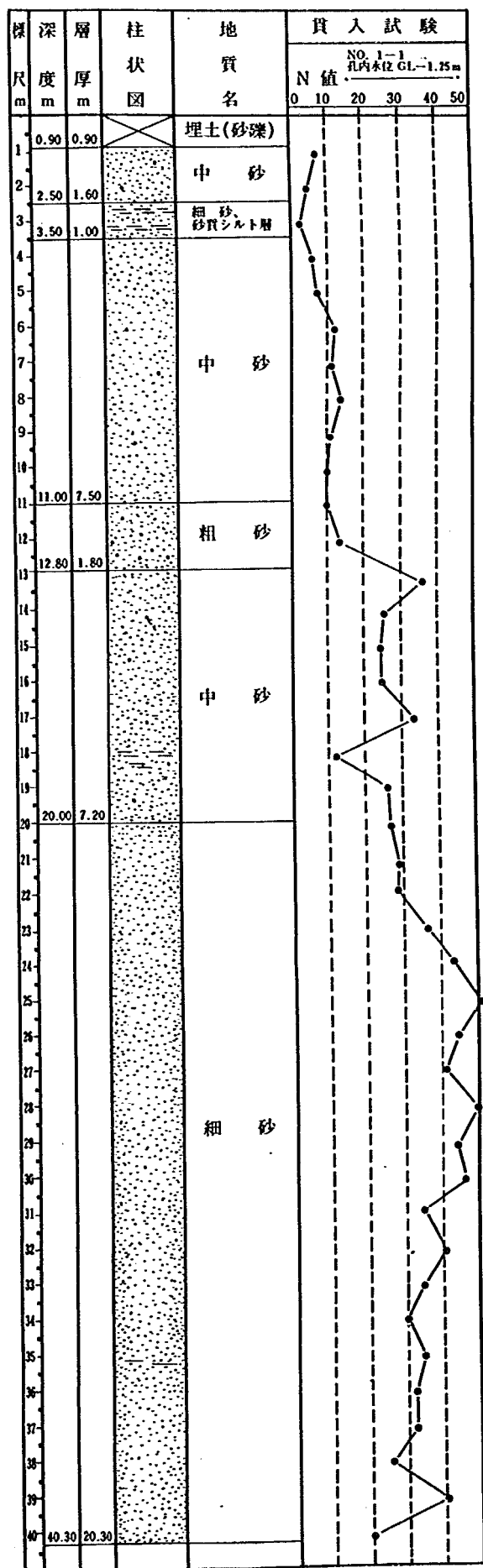


図-4.3(A) 土質柱状図(B-1)

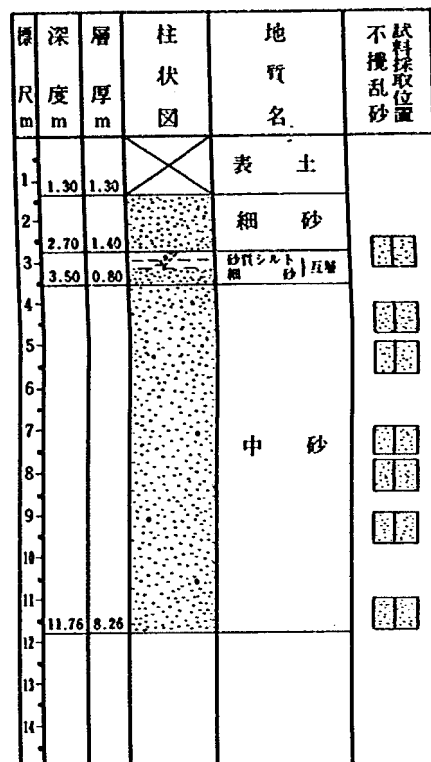


図-4.3(B) 土質柱状図(B-1: 不攪乱試料採取)

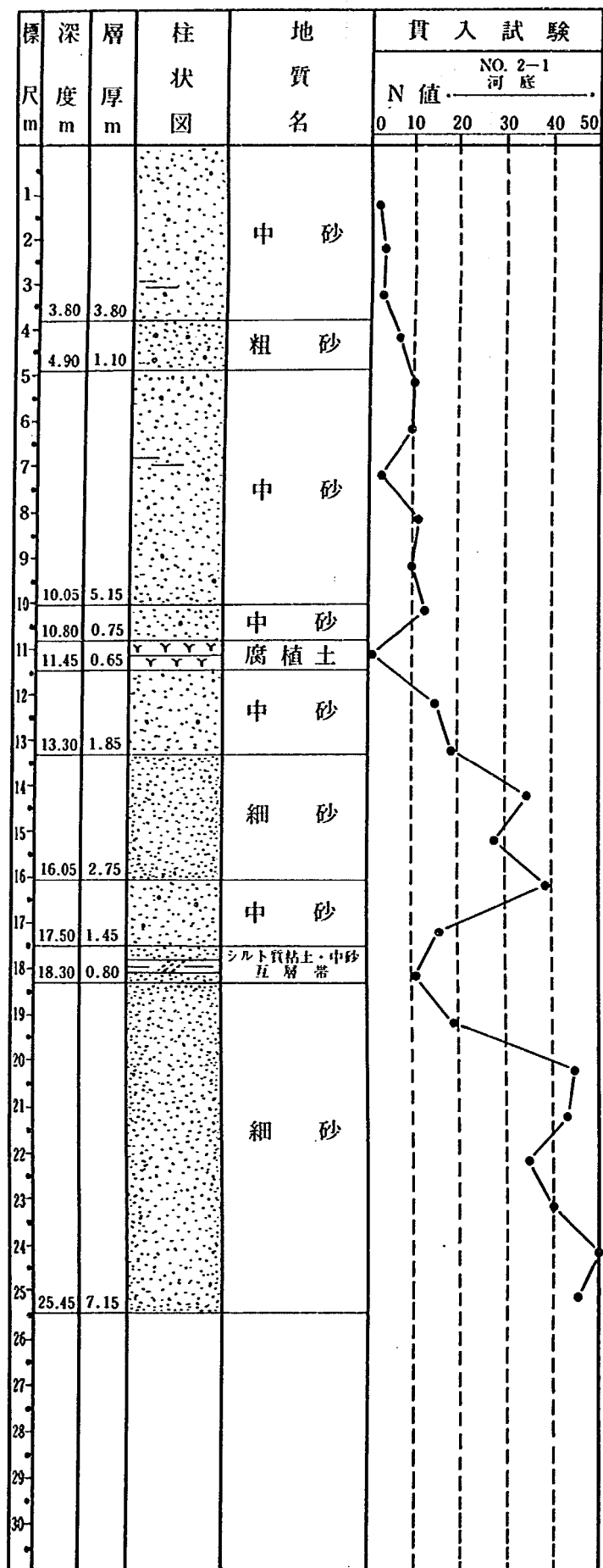


図-4.4(A) 土質柱状図(B-2)

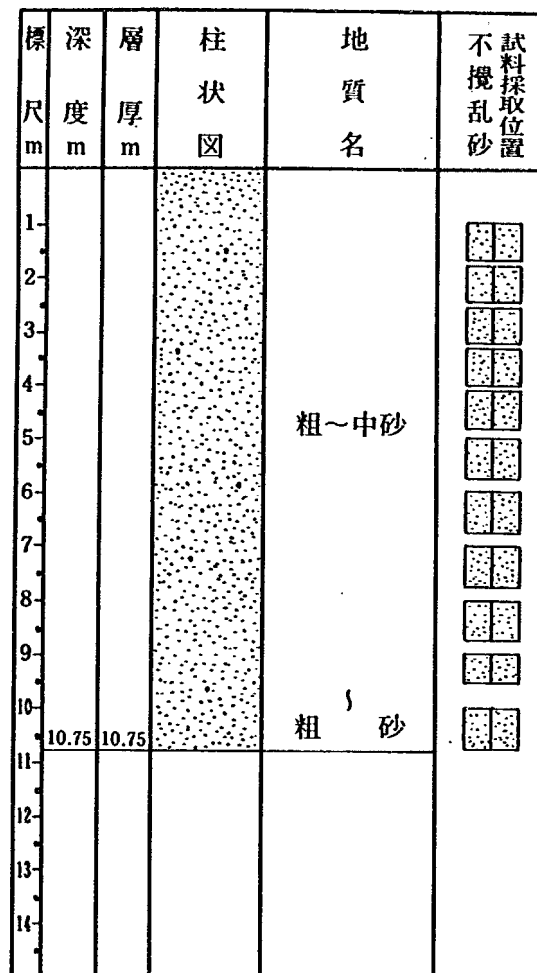


図-4.4(B) 土質柱状図(B-2:不攪乱試料採取)

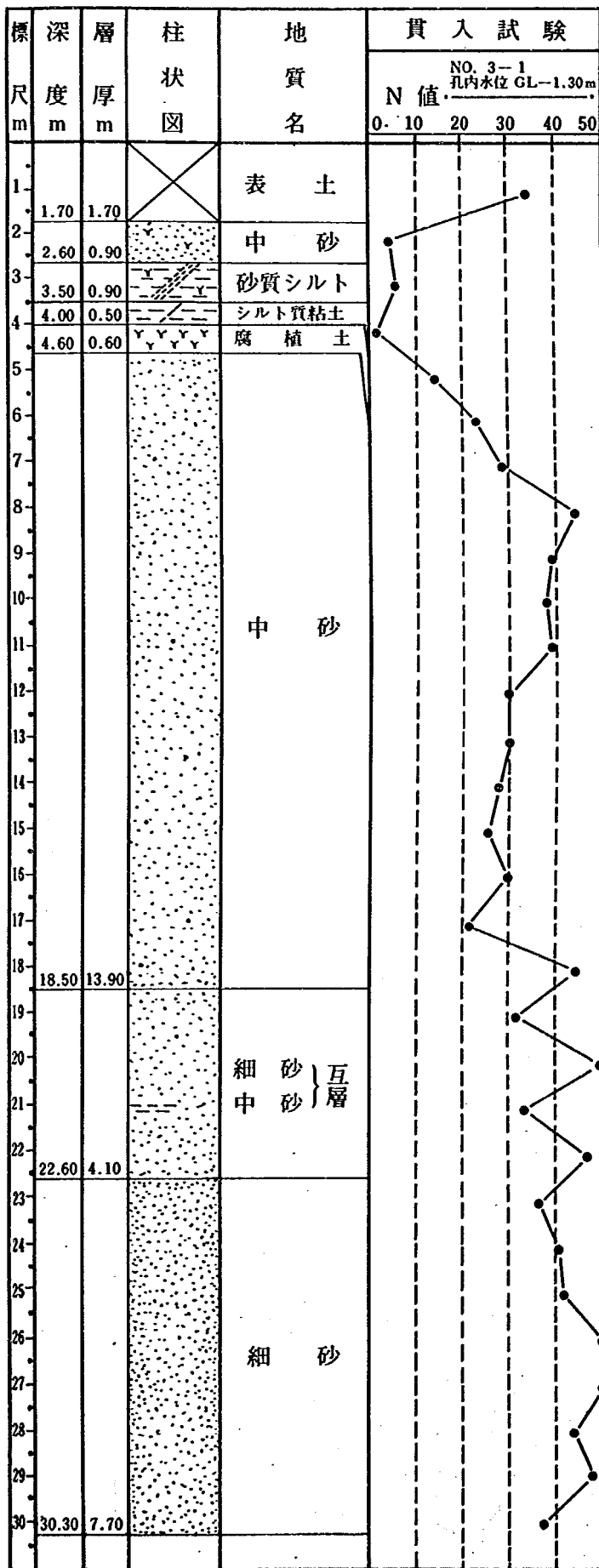


図 - 4.5(A) 土質柱状図 (B-3)

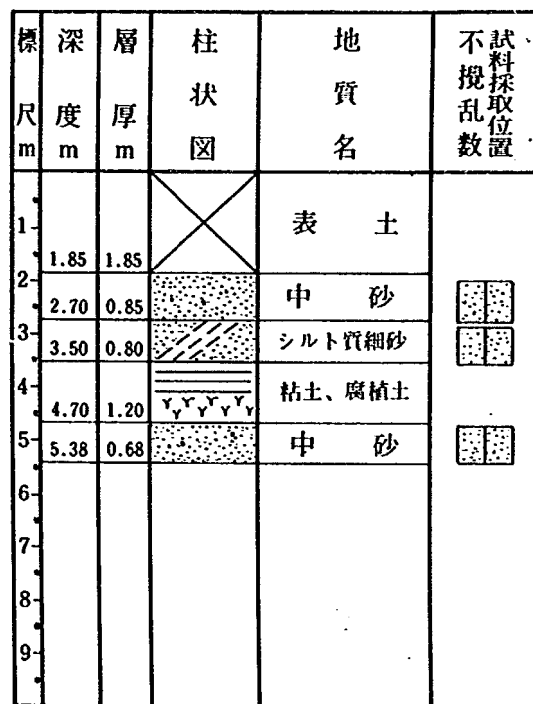


図-4.5(B) 土質柱状図 (B-3: 不攪乱試料採取)

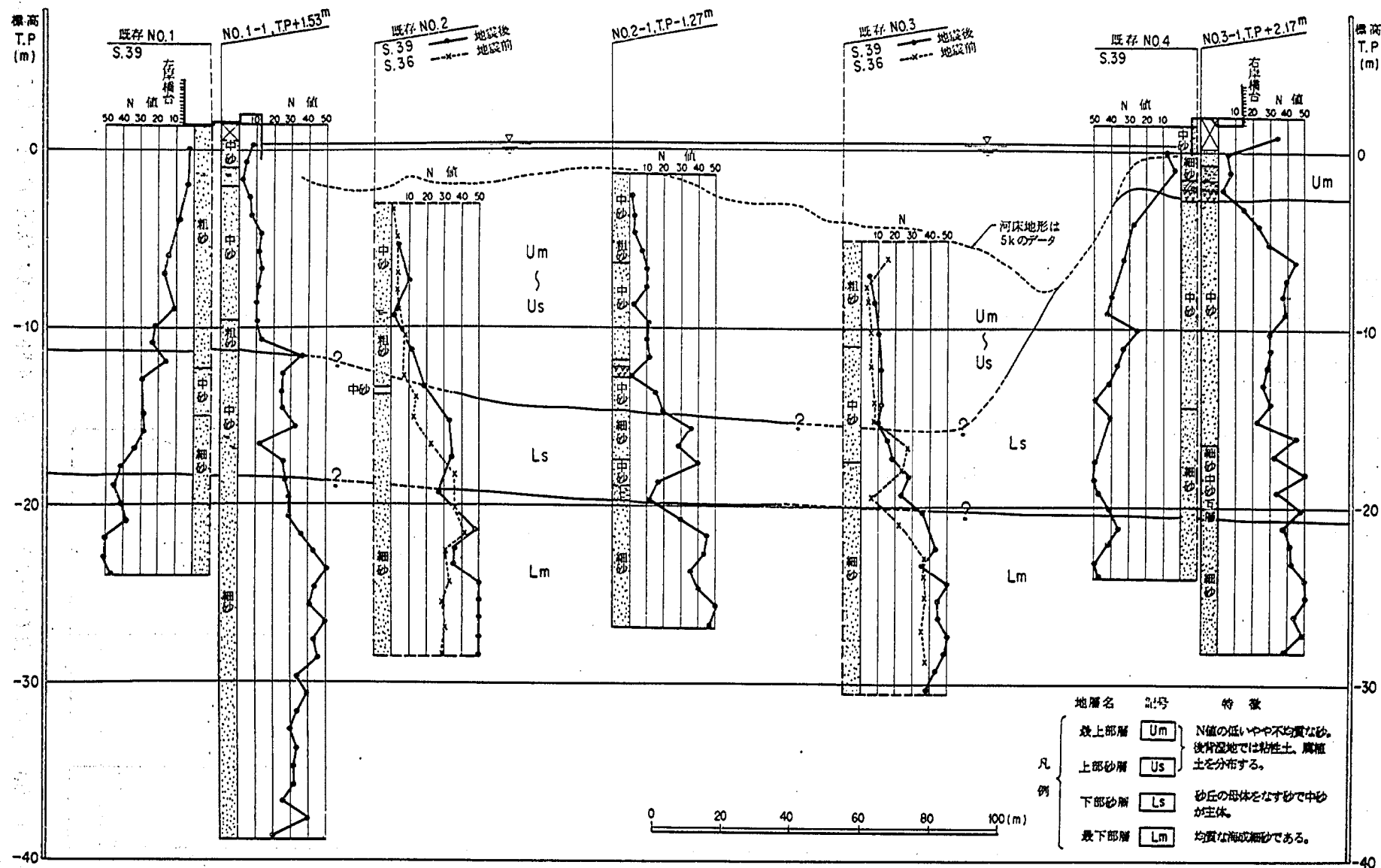


図 - 4.6 横断柱状図

表－4.1 調査地点の地層区分

時 代	地 層 名	記 号	特 徴
第四紀	沖積層	最上部層	Um 最上部層でN値の低い細～中砂が主体。 後背湿地および潟周辺では腐植土混り粘土を分布する。
		上部砂層	Us 中～細砂を主体とし、シルトの薄層あるいは、互層を所々に混える。
	洪積層	下部砂層	Ls 中砂を主体とするが、所によりシルトの薄層あるいは互層をしめす。N値は20～40回程度。
		最下部層	Lm 海成の均質な細砂層、N値は30～50回程度。

●最下部層（Lm）

いわゆる海成砂層であり、今回の3本のボーリング結果によると非常に均質な微細砂が主体で深度方向、水平方向にも層厚変化が少ない傾向を示す。局部的にシルトの薄層を挟み、また貝殻片も一部にわずかに混入している。N値は、概ね30以上を示すが、最上部の地層境界部、およびB-1の最下部で一部20台のN値を示す。

●下部砂層（Ls）

砂丘の母体をなす砂層で概ね中砂が主体であるが、堆積環境の影響によりシルトを挟んだ部分もみられる。N値は、シルトを挟む部分で10～15程度を示すが砂質土で一部10台がみられるものの概して20以上を示す。右岸側では、相対的に大きなN値特性を示している。

●上部層（Us, Um）

河川による氾濫原堆積物であるために、全体に層相変化が著しい。全体的に中～粗砂の分布が多いが、局部的に腐植土や粘性土薄層を挟在している。これらの薄層は、いずれも河川の後背湿地性のもので、特に右岸側の最上部附近にみられる腐植土は、現在の地形からも明瞭といえる。腐植土あるいは粘性土のN値は2程度の軟質なもので、砂質土は20以下をしめすが、10以下のルースなものが多い。

4.3 PS 検層

地盤の弾性波速度を知る為に、B-1 孔において深度 40m までの PS 検層を実施した。以下その測定方法、解析方法、解析結果について述べる。

測定に用いた孔中受振器は、固有周波数 28 Hz の上下動 1, 水平動 2 の直交する 3 成分の換振器を内蔵している。本体はゴムチューブで覆われ、その外側の片面に背板（剛板）が取り付けられたもので、受振器先端部には方位計が組み込まれている。方位計は、地球磁場の磁極に対する受振器の方位角を検出するもので、受振器の孔内における向きを知るものである。

振源としては、S 波の場合、地表に横たえた厚板に上載荷重をかけ、その側方を交互に水平方向に打撃するいわゆる「板叩き法」を用いた。一方、P 波振源としては、地表を鉛直に強打する一種の「重錘落下法」を用いた。

実際の測定作業にあたっては、まず孔中受振器を孔内の測定深度まで降し、加圧装置を用いてゴムチューブを膨張させ、受振器を孔壁に密着固定させる。次いで振源から発せられた弾性波を、信号として受振器でとらえ、電磁オシログラフにより波形記録として発振時を表わすショットマークと共に感光紙上に記録する。今回の孔内での受振器の設置間隔は 1 m を原則とし、GL-40m から GL-1m まで測定を行った。

上記のようにして得られた観測波形記録から P 波については上下動成分の記録、S 波については水平動成分の記録のうち、方位計で S 波の振動方向により優位な成分を選び、測定深度順に並べた波形一覧図を作成する。

図-4.7 は P 波速度と S 波速度の走時曲線の結果であり、同結果に基づき B-1 孔の総合柱状図を描いたのが図-4.8 である。

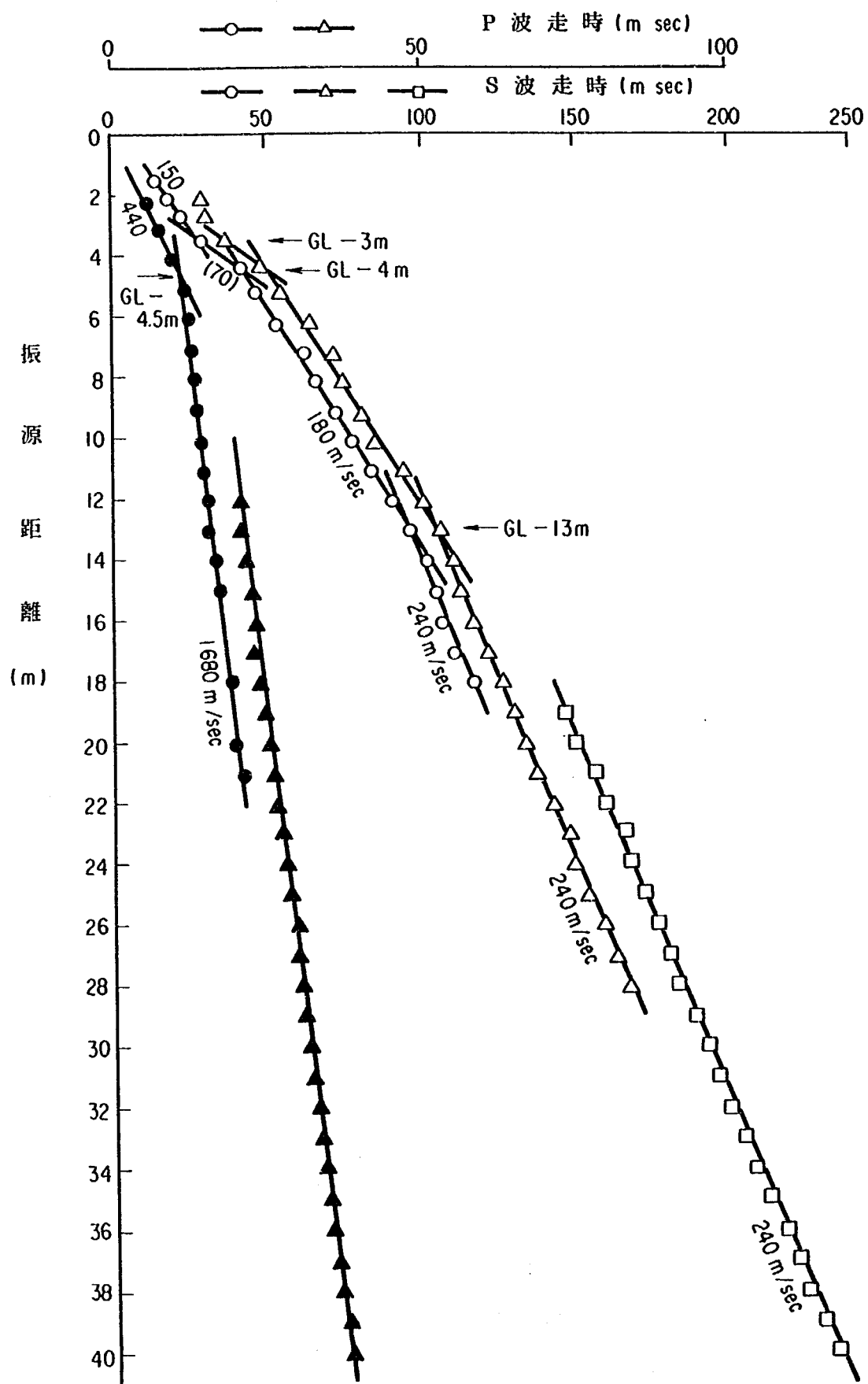


圖-4.7 P S 檢層結果

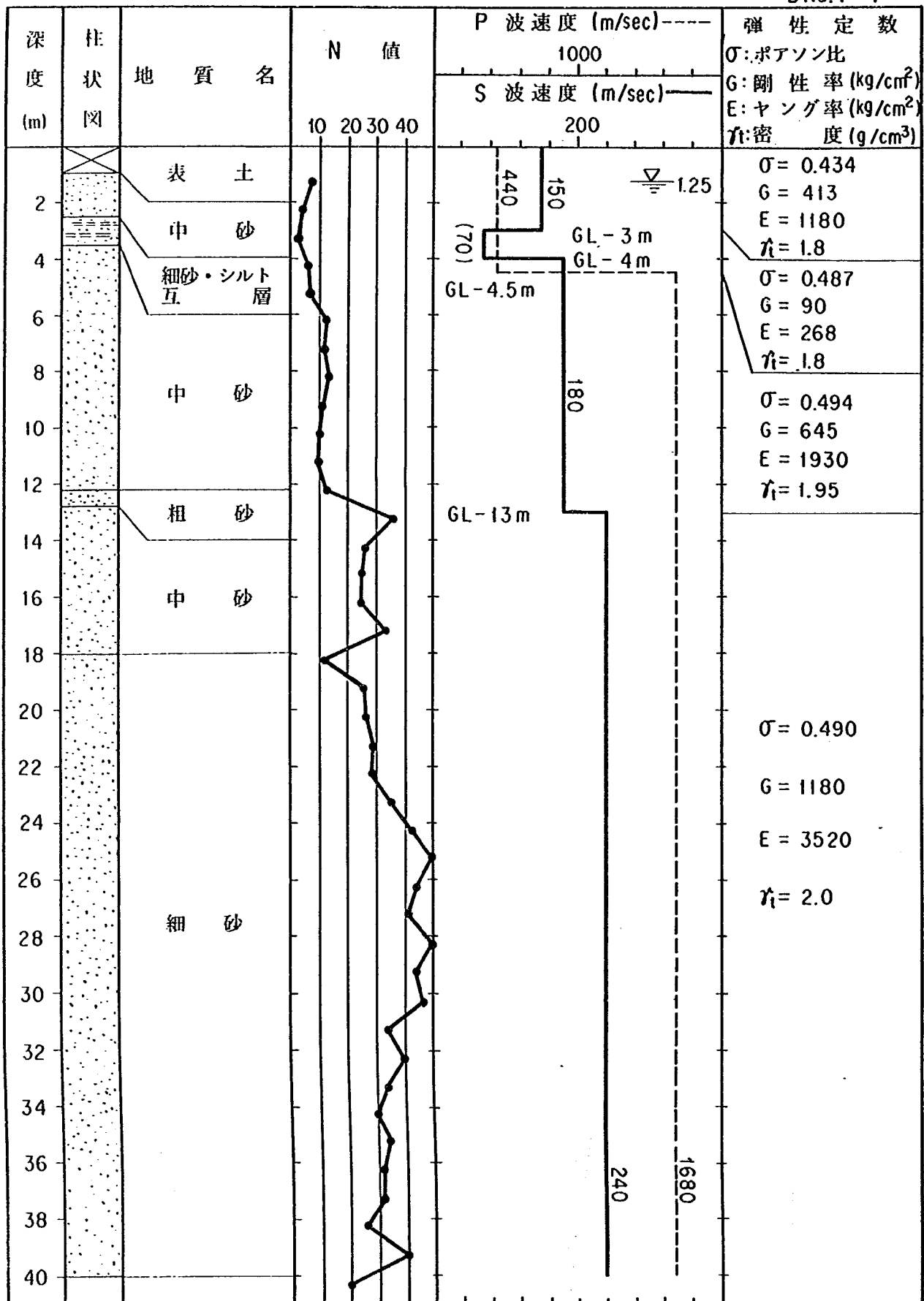


図-4.8 総合柱状図 (B-1)

4.4 不攪乱試料採取

原地盤の動的強度を実測するために，サンドサンプラーによる不攪乱砂採取を行った。対象土層は各孔の表層部の沖積飽和砂層であり，B-1孔から7ライナー，B-2孔から11ライナー，B-3孔から3ライナーで総数21ライナーの採取を行った。各孔の採取深度の状況を図-4.9に示す。

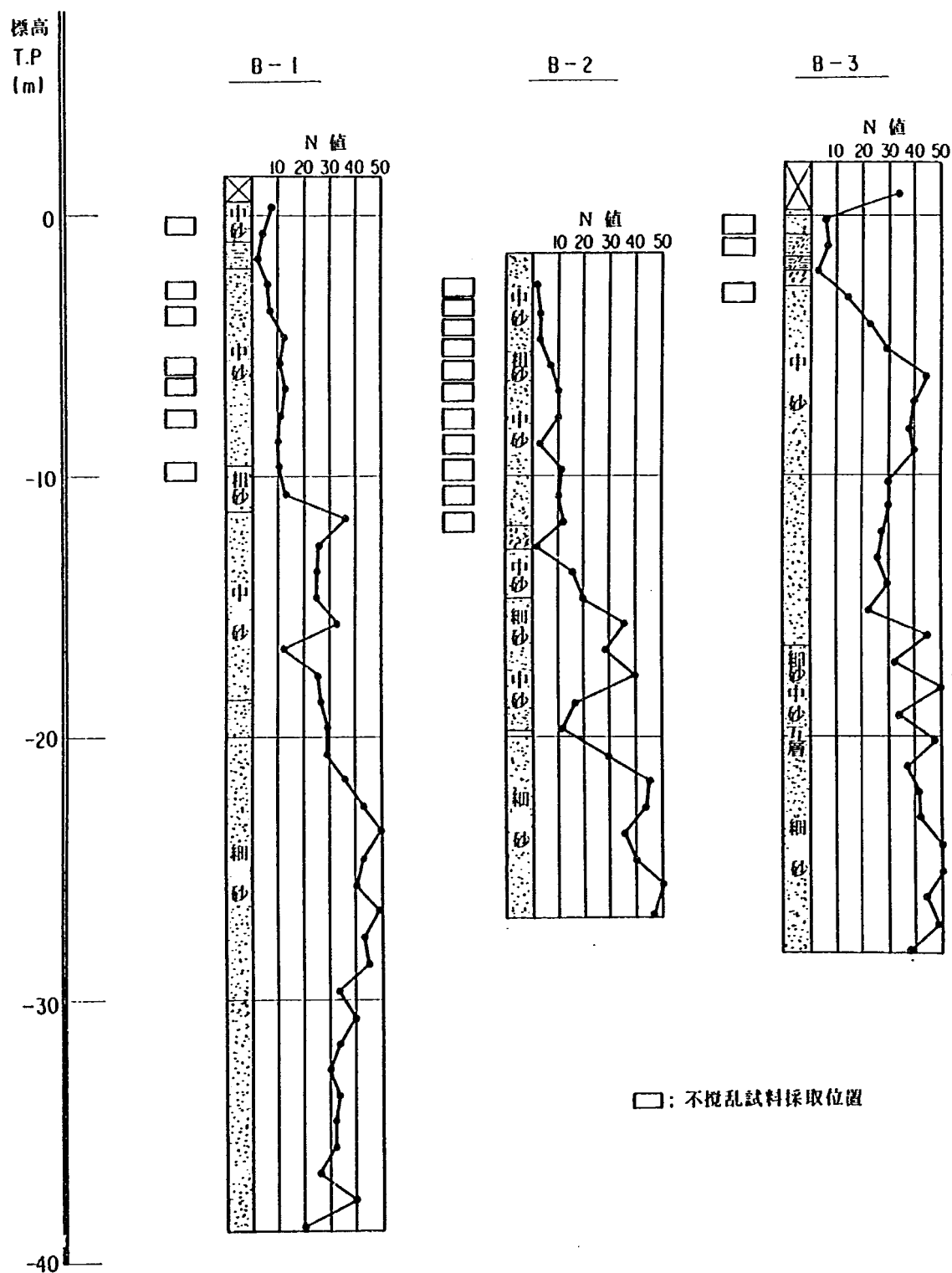


図-4.9 不攪乱試料採取状況

5. 室内試験

5.1 概要

調査地点の地盤の物理特性，力学特性を明らかにするために，本調査では物理特性試験と振動三軸試験機による動的強度試験を行った。

これらの結果は第7章の地盤の耐震性の検討のために用いられるものである。

5.2 物理特性試験

調査の深度 20 m 以浅の砂質土層を対象に採取された試料の物理的，力学的特性を把握する目的で室内土質試験を行った。以下にその概要について述べる。

試験に供した試料は，原則として標準貫入試験器により採取したもので，試験内容は次の通りである。

- 1) 比重試験
- 2) 含水比試験
- 3) 粒度試験
- 4) 相対密度試験

試験結果の詳細は，付属資料Ⅰに示す通りであるが，同結果から作成した各孔の深度毎の物理特性の一覧図を図－5.1に示す。

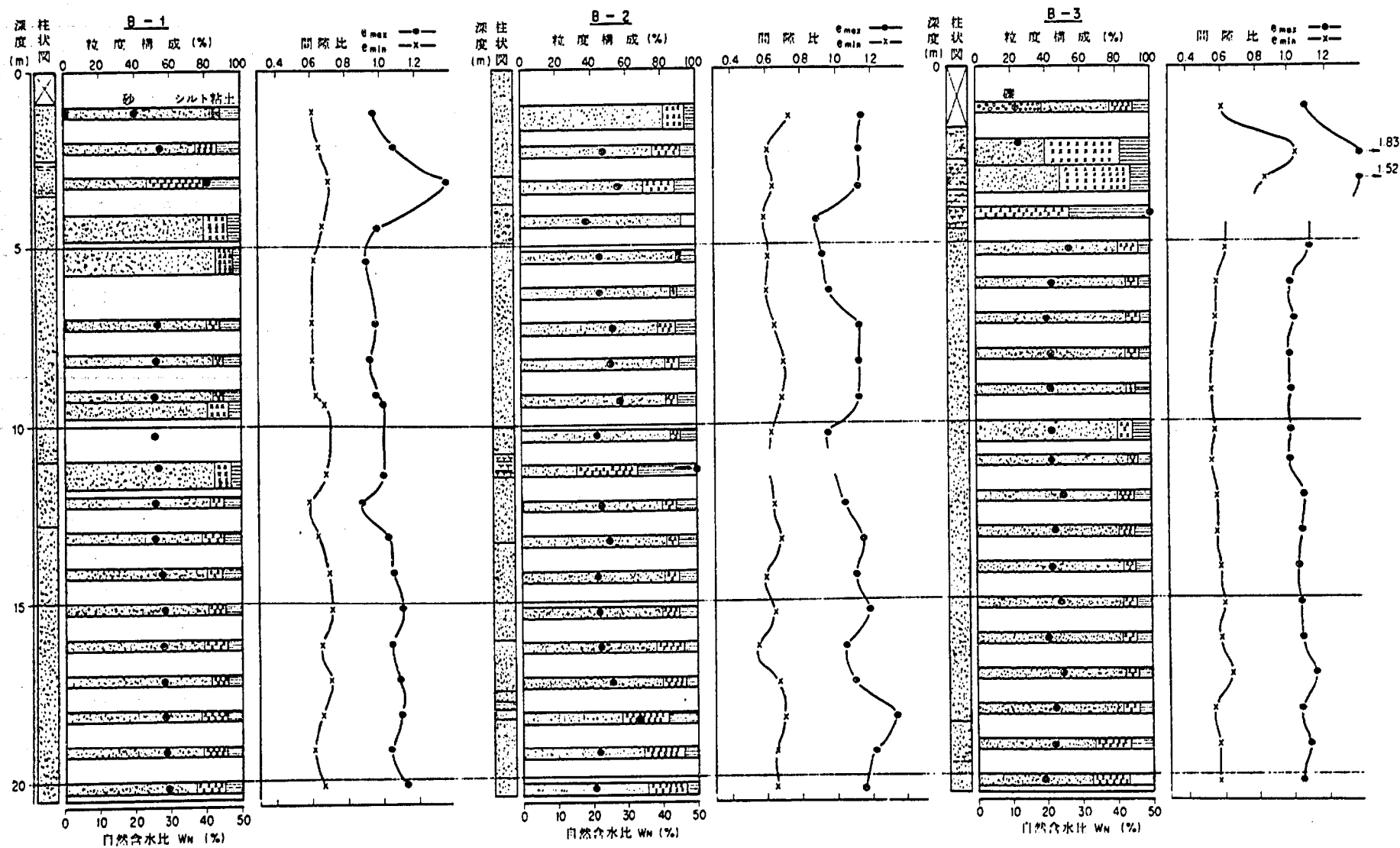


図-5.1 物理特性試験結果一覧

5.3 動的強度試験

地震時の地盤の液状化抵抗強度を知るために、ツイストサンプラーにより原位置で採取した不攪乱砂質土に対して、振動三軸試験機により動的強度試験を実施した。

採取後の試料は、以後の取り扱いが容易なように凍結されており、ライナーから押し出し後、所定の供試体高さに成形した。このようにして作成された供試体は、三軸セルにセット後、約 0.1 ～ 0.2 兆の負圧で融解を行ない、さらに融解後は、脱気水、炭酸ガスを繰り返し供給して Skempton の B 係数が 0.96 以上得られるようにした。さらにその後、現位置有効上載圧にて約 3 時間の圧密を行った。

試験に用いた装置は、一般に用いられている軸加振型の振動三軸試験機である。測定は、軸応力、軸変位、間げき水圧の 3 項目で行い、動的載荷は 0.5 Hz の正弦軸荷重で行った。

試験結果の詳細は、付属資料Ⅱに示す通りである。これらの結果から液状化強度 ($R_{\ell 20}$) は、(5.1) 式で定義するように繰り返し回数 20 回で軸歪両振巾が 5 % に達する応力比として求めたが、表-5.1 に結果を示す。また、このようにして求めた $R_{\ell 20}$ とその試料の物理特性を一覧にして表-5.2 に示した。

$$R_{\ell 20} = \frac{\sigma_{dp}}{2\sigma_v} = \left\{ \begin{array}{l} \text{動的軸歪両振巾} \\ \text{(DA)が繰り返し} \\ \text{回数 } N=20 \text{ 回で } 5 \\ \text{\% に達する応力比} \end{array} \right\} \cdots (5.1)$$

表-5.1 動的強度試験結果

№	試料 №	深 度 (m)	σ'_v (kg/cm ²)	$R_{\ell 20}$
1	1-2-2	2.48 ~ 3.21	0.35	0.348
2	1-2-3	4.06 ~ 4.79	0.49	0.233
3	1-2-4	5.00 ~ 5.74	0.58	0.215
4	1-2-5①	7.00 ~ 7.64	0.77	0.217
5	1-2-5②	7.75 ~ 8.50	0.84	0.238
6	1-2-6	9.00 ~ 9.75	0.96	0.210
7	1-2-7	11.00 ~ 11.76	1.15	0.190
8	2-2-1①	1.00 ~ 1.70	0.15	※0.542
9	2-2-1②	1.73 ~ 2.48	0.17	※0.391
10	2-2-2	2.50 ~ 3.25	0.23	0.433
11	2-2-3	3.30 ~ 4.05	0.29	0.278
12	2-2-4	4.10 ~ 4.85	0.37	0.223
13	2-2-5	5.00 ~ 5.75	0.45	0.317
14	2-2-6	6.00 ~ 6.74	0.55	0.253
15	2-2-7	7.00 ~ 7.77	0.64	0.262
16	2-2-8	8.00 ~ 8.75	0.74	0.382
17	2-2-9	9.00 ~ 9.75	0.83	0.155
18	2-2-10	10.00 ~ 10.75	0.93	0.228
19	3-2-1	2.05 ~ 2.80	0.32	0.528
20	3-2-2	2.80 ~ 3.55	0.38	0.268
21	3-2-3	4.70 ~ 5.38	0.52	0.275

※ $A_u = \sigma'_v$ により求めた $R_{\ell 20}$

図-5.2 は各ボーリング孔毎に $R_{\ell 20}$ の実験結果を深度分布で示したものである。B-1 の表層部 3 m, B-2 の 1 ~ 3 m および B-3 の 2.5 m の深度での動的強度が通常の砂質土のそれより大きくなっている [() 付]。この B-1 および B-3 の結果は砂質シルト層のものであることが明らかであるが、B-2 については N 値、平均粒径 D_{50} 等のデータからはその原因が不明である。また、図-5.3 は D_{50} と $R_{\ell 20} = 0.0042 Dr^* [Dr^* = 2.1\sqrt{N/(\sigma'_v + 0.7)}]$ の関係を示したものであるが、図-5.2 で動的強度がかけ離れているデータを除く [図-5.3 の () 付] と従来の実験結果にかなり合致することが分かる。

また、表-5.2 に基いて $R_{\ell 20}$ と有効上載圧 (σ'_v)、間げき比 (e_c) および細粒分含有率 (F.C.) との関係を示したのが、各々、図-5.5 および図-5.6 であるが特定の傾向はみられない。

No	Sample No	Depth(m)	σ'_v (kg/cm ²)	N	R _{L20}	$D_r^* = 21\sqrt{\frac{N}{6v+0.7}}$	0.0042D _r [*]	$\frac{R_{L20}}{0.0042D_r^*}$	Gs	e _{max}	e _{min}	e _c	D _{rc}	D ₅₀	U _c	FC
1	1-2-2	2.48~3.21	0.35	2	0.348	29.0	0.122	0.226	267	1.38	0.71	0.888	73.4	0.058	110以上	53.0
2	1-2-3	4.06~4.79	0.49	6	0.233	42.2	0.198	0.035	269	0.98	0.67	0.927	18.2	0.22	14.7	20.5
3	1-2-4	5.00~5.74	0.58	7	0.215	49.1	0.206	0.009	270	0.92	0.62	0.780	46.2	0.25	5.9	13.5
4	1-2-5①	7.00~7.64	0.77	11	0.217	57.4	0.241	-0.024	267	0.97	0.61	0.786	51.1	0.26	280以上	19.0
5	1-2-5②	7.75~8.50	0.84	13	0.238	61.0	0.256	-0.018	266	0.94	0.61	0.756	55.8	0.24	78.4	23.0
6	1-2-6	9.00~9.75	0.96	11	0.210	54.1	0.227	-0.017	267	1.01	0.68	0.798	64.5	0.245	29.0	19.0
7	1-2-7	11.00~11.76	1.15	10	0.190	48.8	0.205	-0.015	267	1.01	0.68	0.866	43.9	0.295	14.2	15.0
8	2-2-1①	1.00~1.70	0.15	2	0.542	32.2	0.135	0.407	270	1.15	0.74	0.941	51.0	0.22	12.0	18.5
9	2-2-1②	1.73~2.48	0.17	3	0.391	39.0	0.164	0.227	267	1.13	0.61	0.811	61.3	0.16	28.6	24.5
10	2-2-2	2.50~3.25	0.23	3	0.433	37.7	0.158	0.275	267	1.13	0.64	0.896	47.8	0.165	59.4	30.0
11	2-2-3	3.30~4.05	0.29	3	0.278	36.6	0.154	0.124	267	1.13	0.64	0.907	45.5	0.385	4.2	8.5
12	2-2-4	4.10~4.85	0.37	7	0.223	53.7	0.226	-0.003	266	0.89	0.59	0.784	35.3	0.385	4.2	8.5
13	2-2-5	5.00~5.75	0.45	10	0.317	61.9	0.260	0.057	255	0.92	0.62	0.585	111.7	0.370	7.6	11.0
14	2-2-6	6.00~6.74	0.55	10	0.253	59.4	0.249	0.004	269	0.96	0.60	0.878	22.8	0.26	131.8	14.5
15	2-2-7	7.00~7.77	0.64	3	0.262	31.4	0.132	0.130	267	1.13	0.65	0.935	40.6	0.18	95.5	22.0
16	2-2-8	8.00~8.75	0.74	11	0.388	58.0	0.244	0.138	266	1.13	0.70	0.829	70.0	0.23	17.9	18.0
17	2-2-9	9.00~9.75	0.83	10	0.155	53.7	0.225	0.070	267	1.13	0.69	0.953	40.2	0.185	97.6	17.5
18	2-2-10	10.00~10.75	0.93	12	0.228	57.0	0.239	0.011	265	0.95	0.63	0.780	53.1	0.34	52.0	15.0
19	3-2-1	2.05~2.80	0.32	5	0.528	46.5	0.195	0.333	267	1.83	1.03	1.238	73.7	0.038	31.3	60.0
20	3-2-2	2.80~3.55	0.38	6	0.268	49.5	0.208	0.060	271	1.52	0.86	1.112	62.0	0.072	42.1	51.0
21	3-2-3	4.70~5.38	0.52	14	0.275	71.1	0.299	-0.024	268	1.11	0.64	0.752	76.2	0.225	20.0	18.5

表一5.2 動的強度と物理特性の一覧表

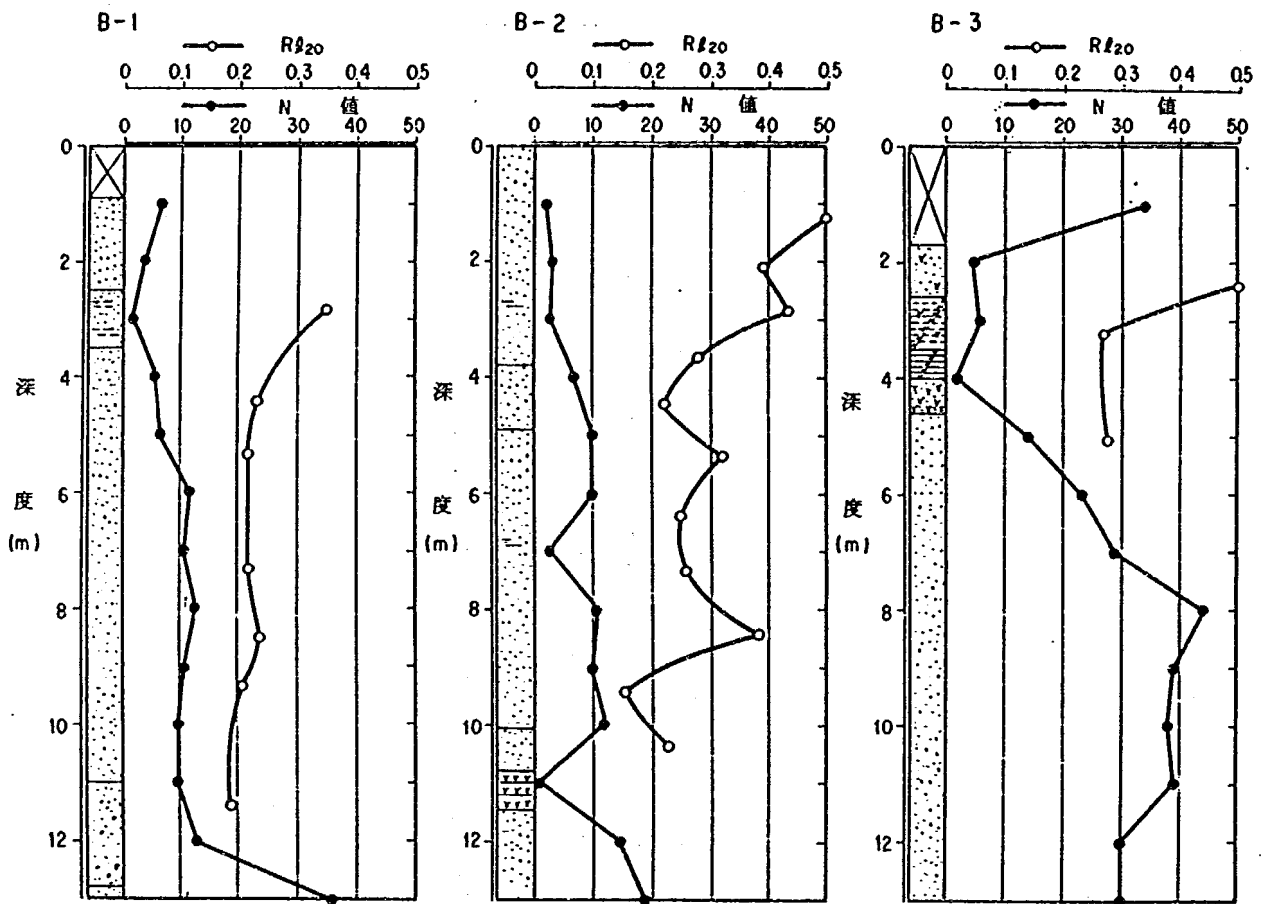


図-5.2 $R_{\ell 20}$ の深度分布

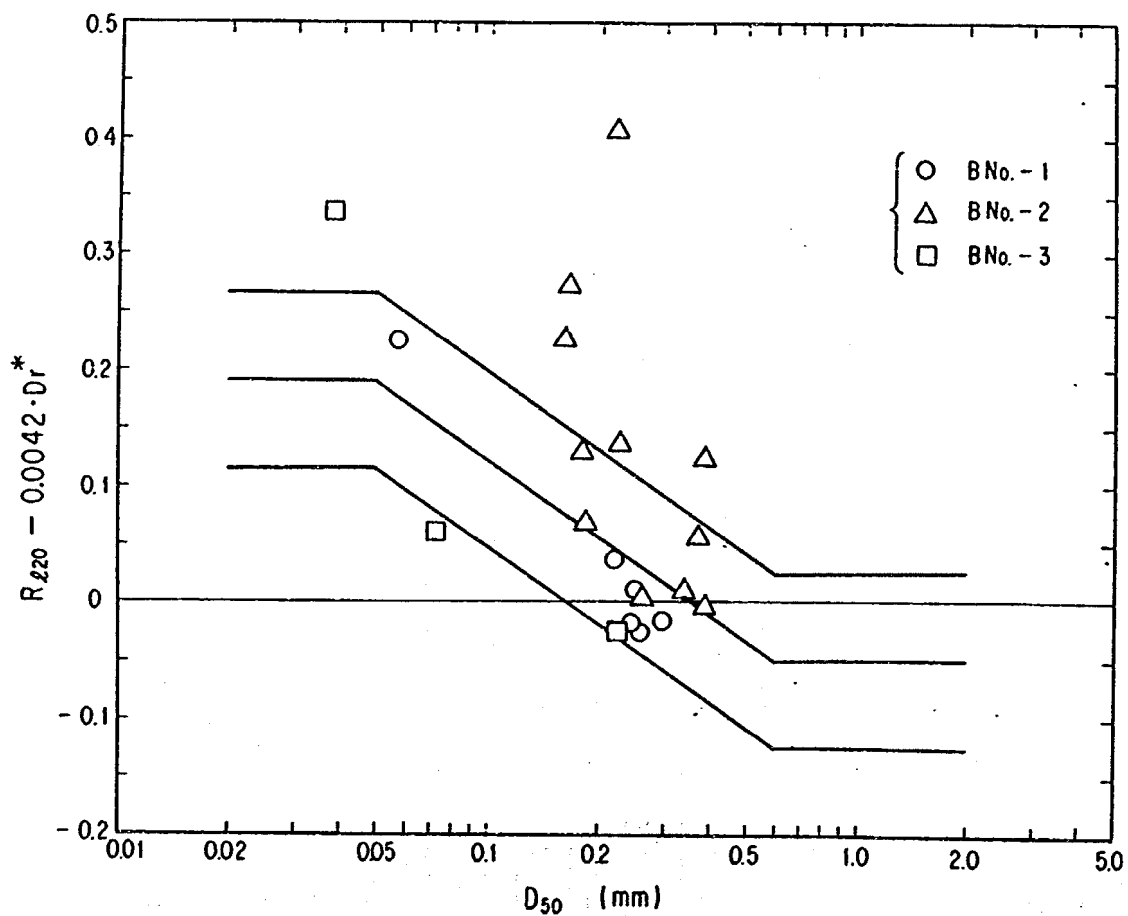


図-5.3 $R_{\ell 20} - 0.0042 D_r^* \sim D_{50}$

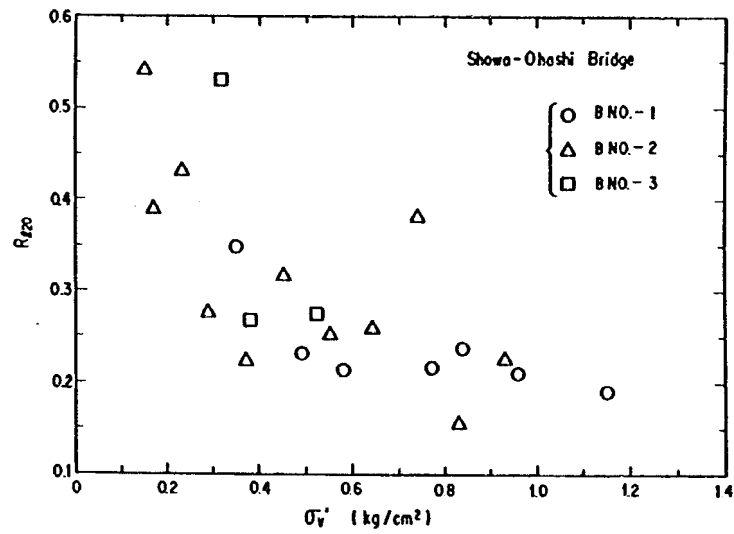


図 - 5.4 $R_{\ell 20} \sim \sigma'_v$

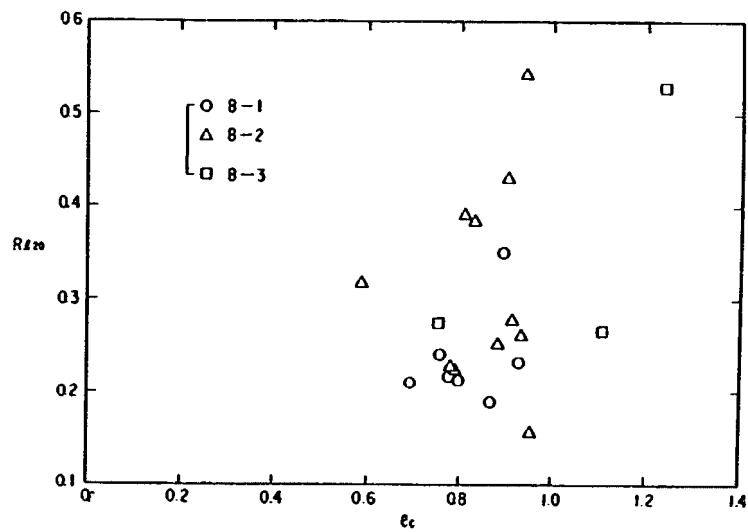


図 - 5.5 $R_{\ell 20} \sim e_c$

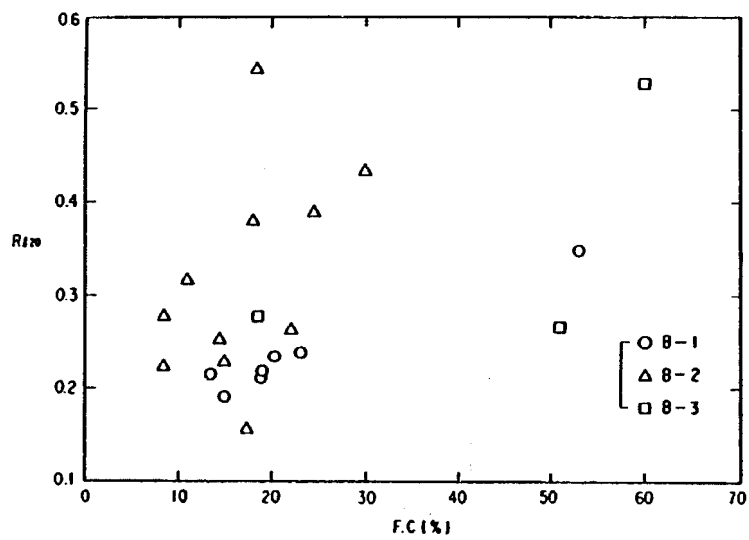


図 - 5.6 $R_{\ell 20} \sim F.C.$

6. 地盤の地震応答解析

6.1 概要

地震時の地盤の耐震性を検討するためには、前章の地盤の動的強度を求めると同時に地盤内に作用する地震荷重を推算することが必要である。ここでは原位置地盤調査結果に基づいて、3箇所のボーリング位置での1次元の地盤のモデル化を行い、土の非線型性を等価線形で考慮した重複反射理論に従って地盤の地震応答解析を実施した。

6.2 応答解析法

計算に用いた解析手法は、波動論にもとづくSH波の重複反射理論により、Haskellのマトリックス法である。（詳細は付属資料Ⅲに示す）

まず地盤モデル(h_i , ρ_i , V_{si} , H_i)を与え、所定の深度の層マトリックスを計算する。一方、決められた入射波形を加速度調整後、周波数関数に変換する。これら両者をかけ合せることによって、指定深度の加速度応答関数が求まる。時間関数としての応答波形は、これに逆フーリエ変換を施すことによって得られる。計算に際しては、土の非線型性を考慮し図-6.1に示すような逐次追跡ひずみ収斂計算を行った。これは、初期モデルとして、微小ひずみ(P - S 検層時 $=10^{-6}$)で得られる地盤定数を採用し、ある入力地震波を基盤に作用させた場合の発生ひずみを求め、そのひずみに応じて $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 曲線によりモデル変更を行ない、計算を繰り返す。このようにして計算前後のひずみの変動が10%以内に収斂した時点をもって計算を打ち切り、その時の最終応答を地震時の応答とみなしている。

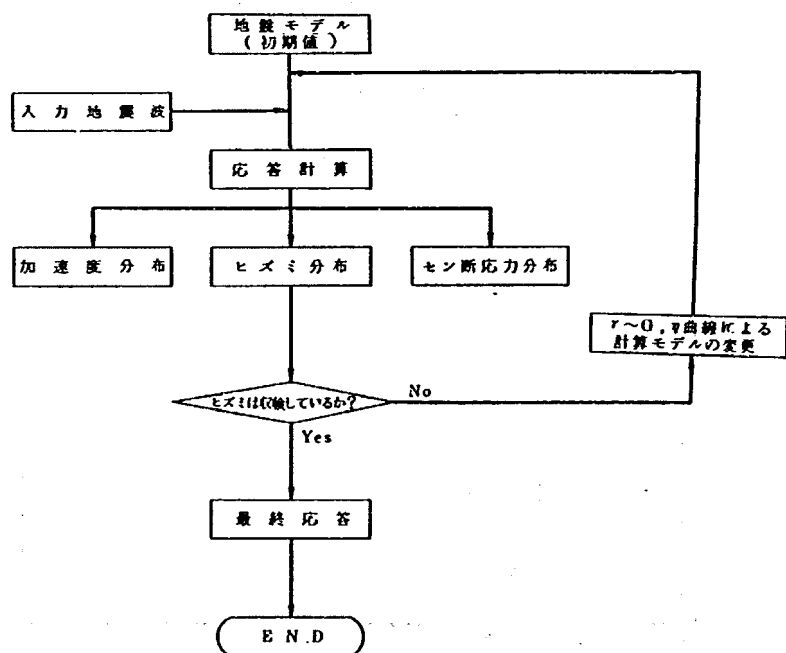


図-6.1 地盤の地震応答解析のフローチャート

6.3 地盤のモデル化および入力地震動

1) 地盤モデル

計算に用いた初期地盤モデルは、原位置地盤調査結果に基づいて図-6.2のように設定した。本調査においては、深度最大40mまでしかボーリングおよびPS検層は実施していないが、本調査地点付近での既存のボーリング結果によると深度40m程度以深にN値が20程度以下の粘土層が存在していることが判明している。従って、地盤のモデル化に際しては、深度40m以深では既存資料(図-6.3)を参考にして、仮想基盤を各孔のモデル共にせん断弾性波速度(V_s)が350m/sである砂礫層の上面の深度98mに設定した。

また、剛性率 G および減衰率 h の歪依存性については、既存の研究成果^{18), 19)}により求めた $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ の曲線を用いた。採用した G , h の歪依存曲線は、ボーリング孔毎に図-6.4~図-6.5のようになる。

深度 (m)	B-1 (左岸)					B-2					B-3 (右岸)				
	速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	層厚 (m)	$G/G_0, h$ 曲線		速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	層厚 (m)	$G/G_0, h$ 曲線		速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	層厚 (m)	$G/G_0, h$ 曲線	
0	150	1.80	3.5 GL-3.5m	S-1		150	1.80	3.80 GL-3.8m	S-1		150	1.80	2.60 GL-2.6m	S-1	
10	180	1.95	9.3 GL-12.8m	S-2		180	1.95	9.50 GL-13.3m	S-2		160	1.70	2.00 GL-4.6m	C	
20											240	2.00	38.4	S-2	
30	240	2.00	30.2	S-3		240	2.00	29.7	S-3						
40			GL-43.0m					GL-43m					GL-43m		
50	250	1.70	55.0	C		250	1.70	55.0	C		250	1.70	55.0	C	
			GL-98.0m					GL-98m					GL-98m		
100	350	2.00	∞	基盤		350	2.00	∞	基盤		350	2.00	∞	基盤	

図-6.2 応答解析のための地盤モデル

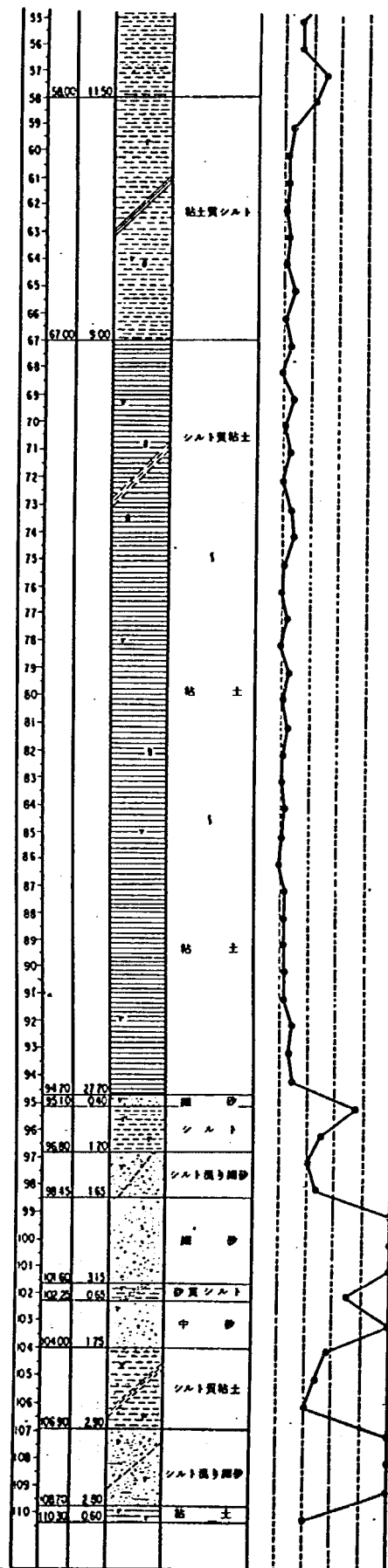
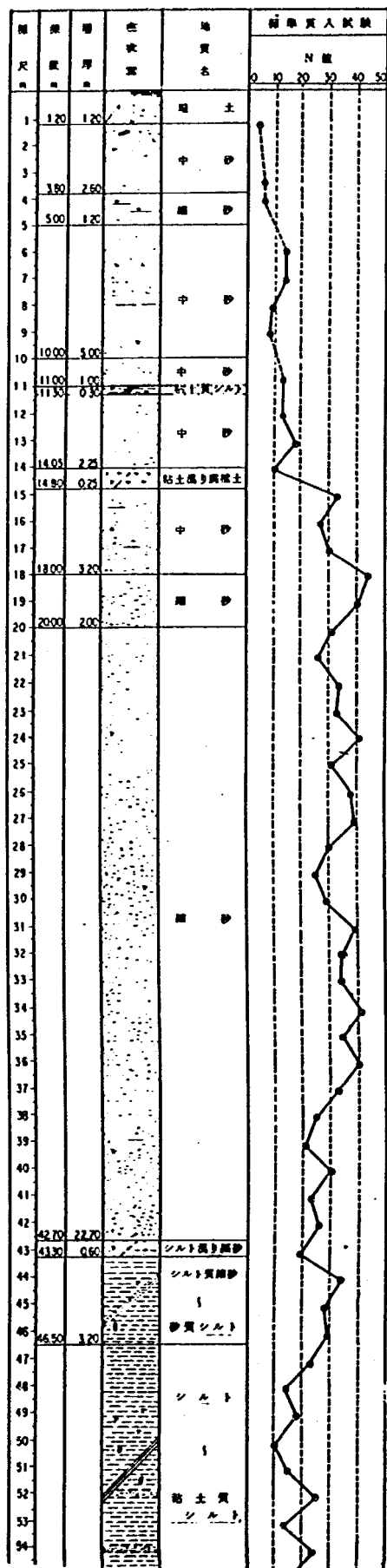


図-6.3 調査地点付近の深層ボーリング柱状図例

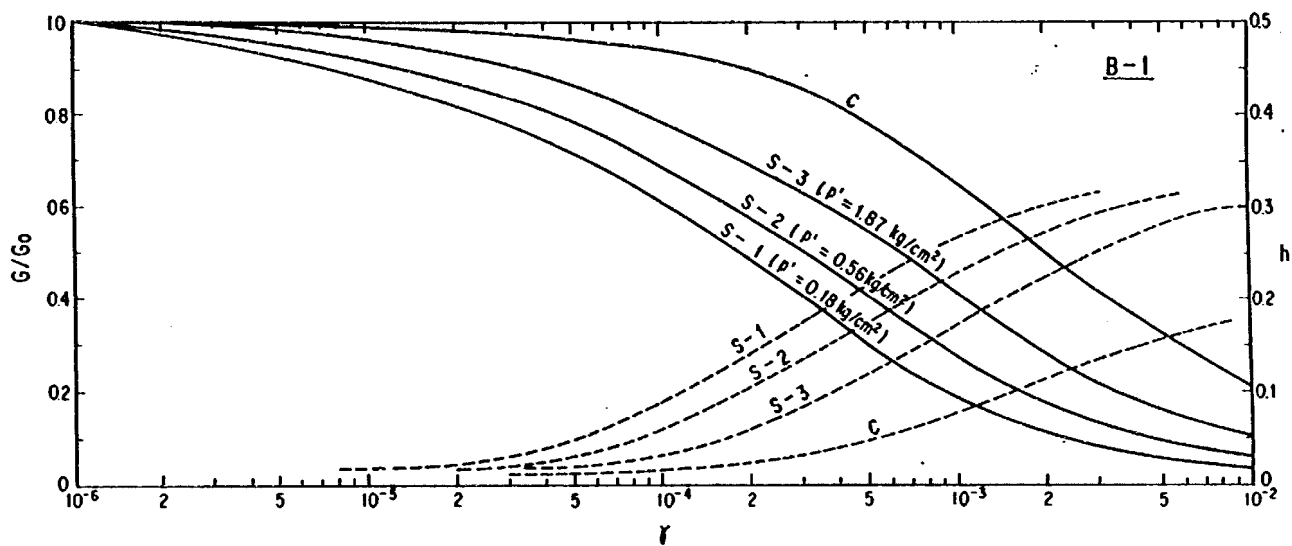


図-6.4 $G/G_0 \sim r$, $h \sim r$ (B-1 モデル)

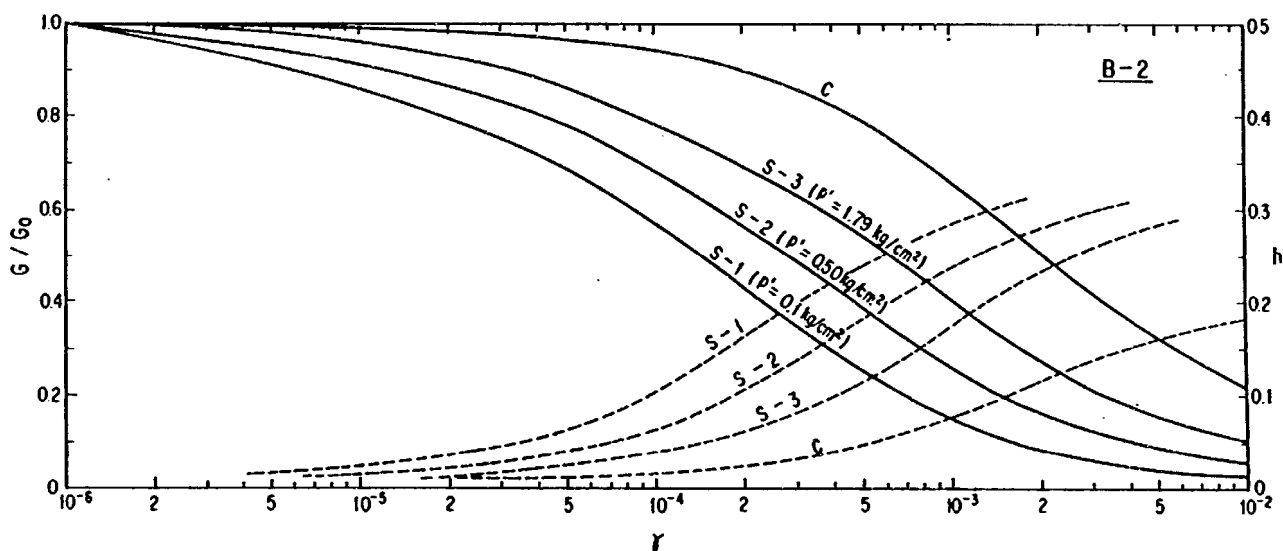


図-6.5 $G/G_0 \sim r$, $h \sim r$ (B-2 モデル)

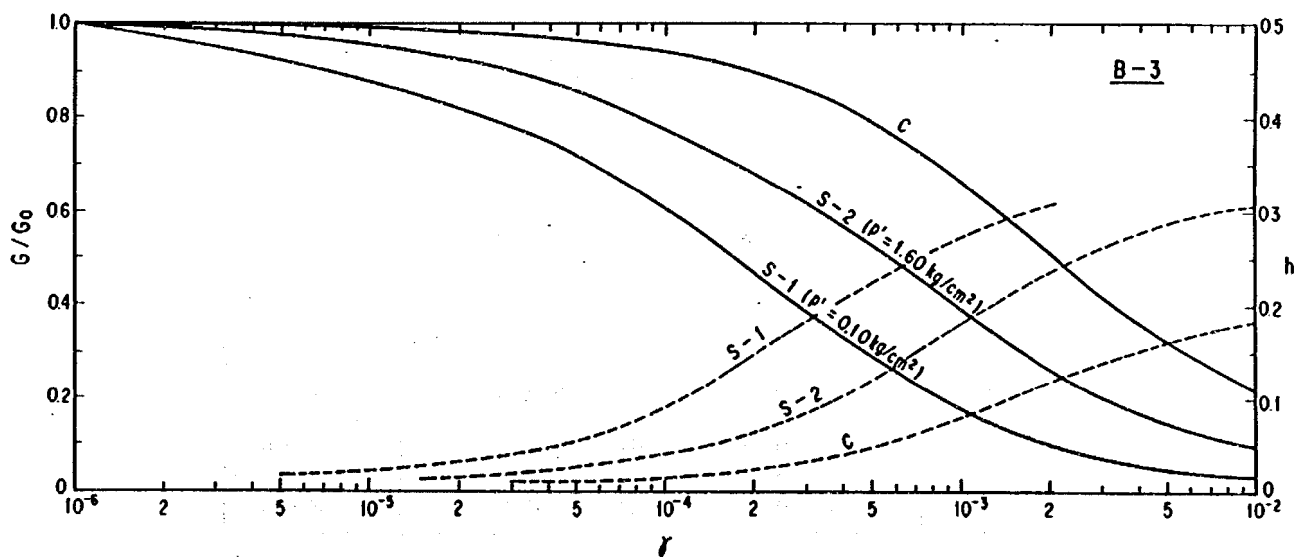


図-6.6 $G/G_0 \sim r$, $h \sim r$ (B-3 モデル)

2) 入力地震動

計算に用いた入力地震動は、1964年6月の新潟地震の際に、新潟市の川岸町で観測された加速度波形を、川岸町の地盤モデルを想定して基盤にもどした波形として求めたものである。図-6.8には、川岸町で観測された波形と地盤モデル、そしてその地盤モデルを考慮に入れて基盤にもどした時の入射波形を示した。ここで、入射波および基盤波の関係は、図-6.7のようである。

なお、川岸町での観測地震動と基盤にもどした入射波形および基盤波（合成波）のデジタル数値表（時間間隔 $\Delta t = 0.02$ 秒）は付属資料Ⅳを参照されたい。

入力地震動の最大加速度の値としては、表-6.1に示すように観測地震動を基盤にもどしたままの値とその最大値を100 gal, 200 galに縮小・拡大した値の3種類を設定した。

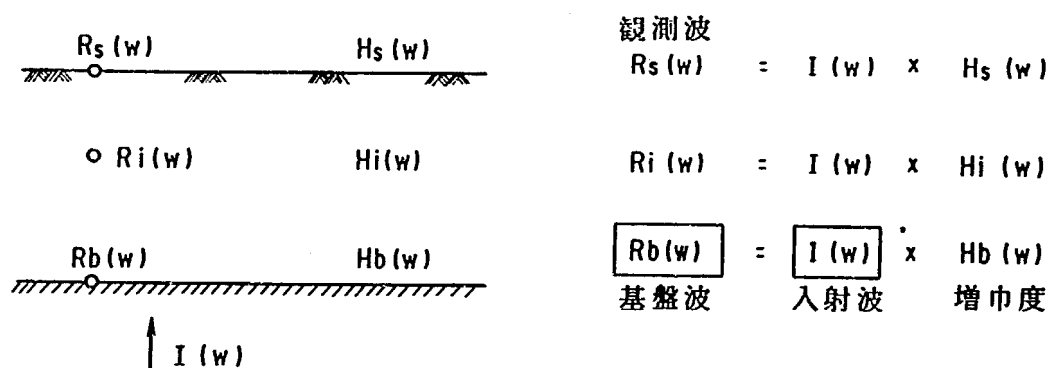


図-6.7 基盤入射波、基盤地震動の算出法

表-6.1 地盤の地震応答解析のための基盤入力加速度

モデル	基盤加速度 (gal)		
B-1	100	※ 129.3	200
B-2	100	※ 128.5	200
B-3	100	※ 130.5	200

注) ※：観測波形を地盤条件を考慮して、基盤にもどした時の加速度（入射加速度 88.6 gal）

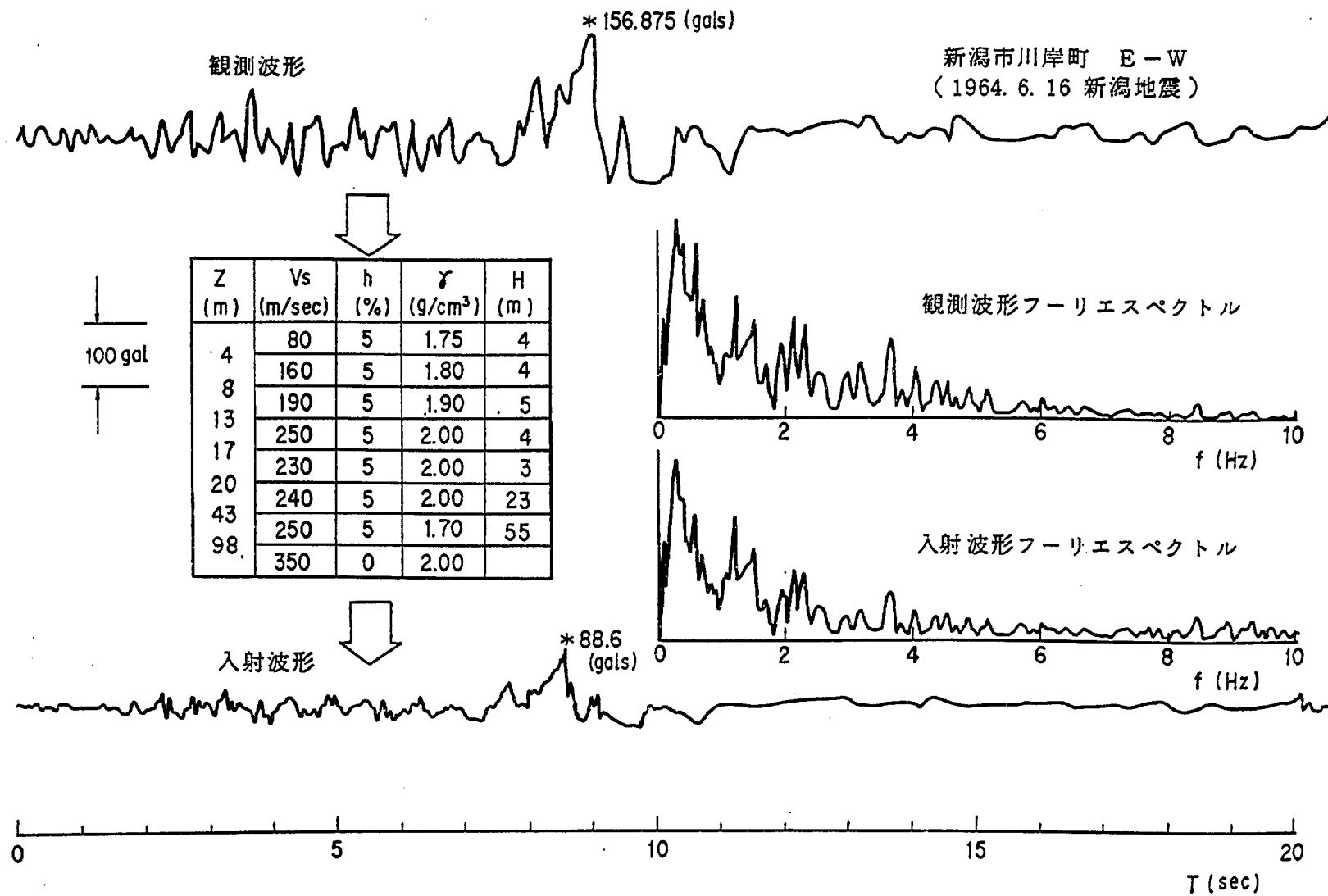


図-6.8 観測地震動と基盤入射地震動(川岸町)

6.4 応答解析結果

応答計算の最終結果をボーリング孔および作用加速度毎に図－6.9～図－6.17に示した。図－6.18は、結果をボーリング孔毎に、加速度、セン断応力、セン断歪、低減係数の順に一覧にして示したものである。また、図－6.19は、各モデルにおける地表面での応答加速度波形とそのフーリエスペクトルを、表－6.2は、地表面での最終応答加速度値を一覧として示した。さらに、図－6.20は、初期モデルと最終モデルとの地盤特性の比較を示したものである。

なお、付属資料Vに最終応答計算結果の各計算深度における加速度、セン断応力の最大値および低減係数を示す。

表－6.2 最終応答加速度値一覧表

項 目 B/%	基盤加速度 100 gal		入射加速度 88.6 gal		基盤加速度 200 gal	
	地表加速度	応答倍率	基盤加速度 地表加速度	応答倍率	地表加速度	応答倍率
B－1	116.8	1.17	129.3	1.14	216.0	1.08
			146.9			
B－2	117.1	1.17	128.5	1.15	214.3	1.07
			148.1			
B－3	113.5	1.14	130.5	1.13	213.4	1.07
			147.5			

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

SITE NAME : SHOWADHASHI B-1
INPUT WAVE : KAWAGISHICHO E-W 100

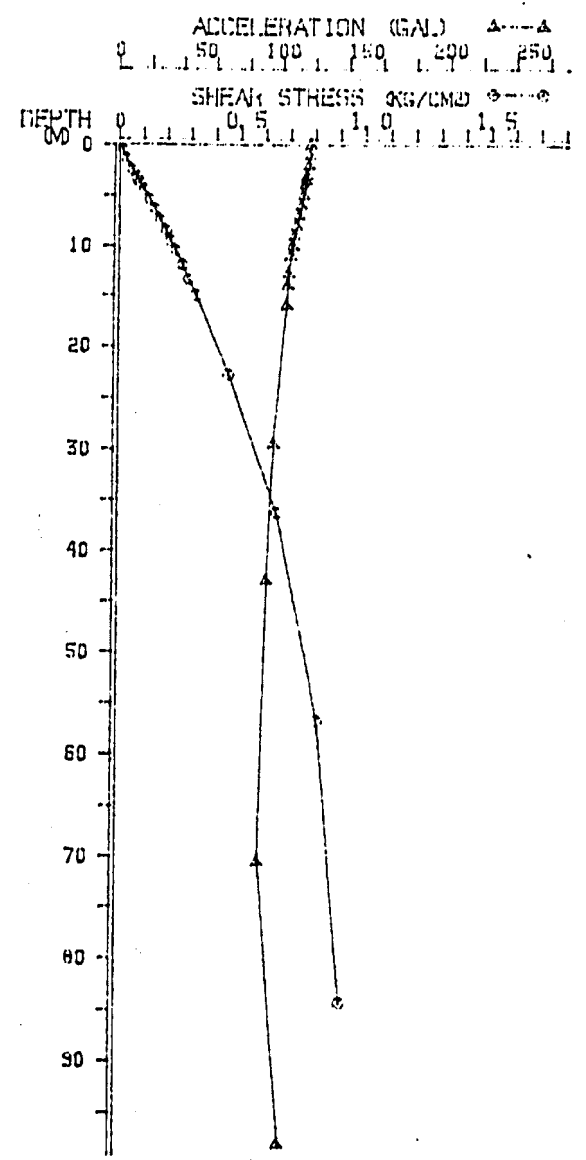
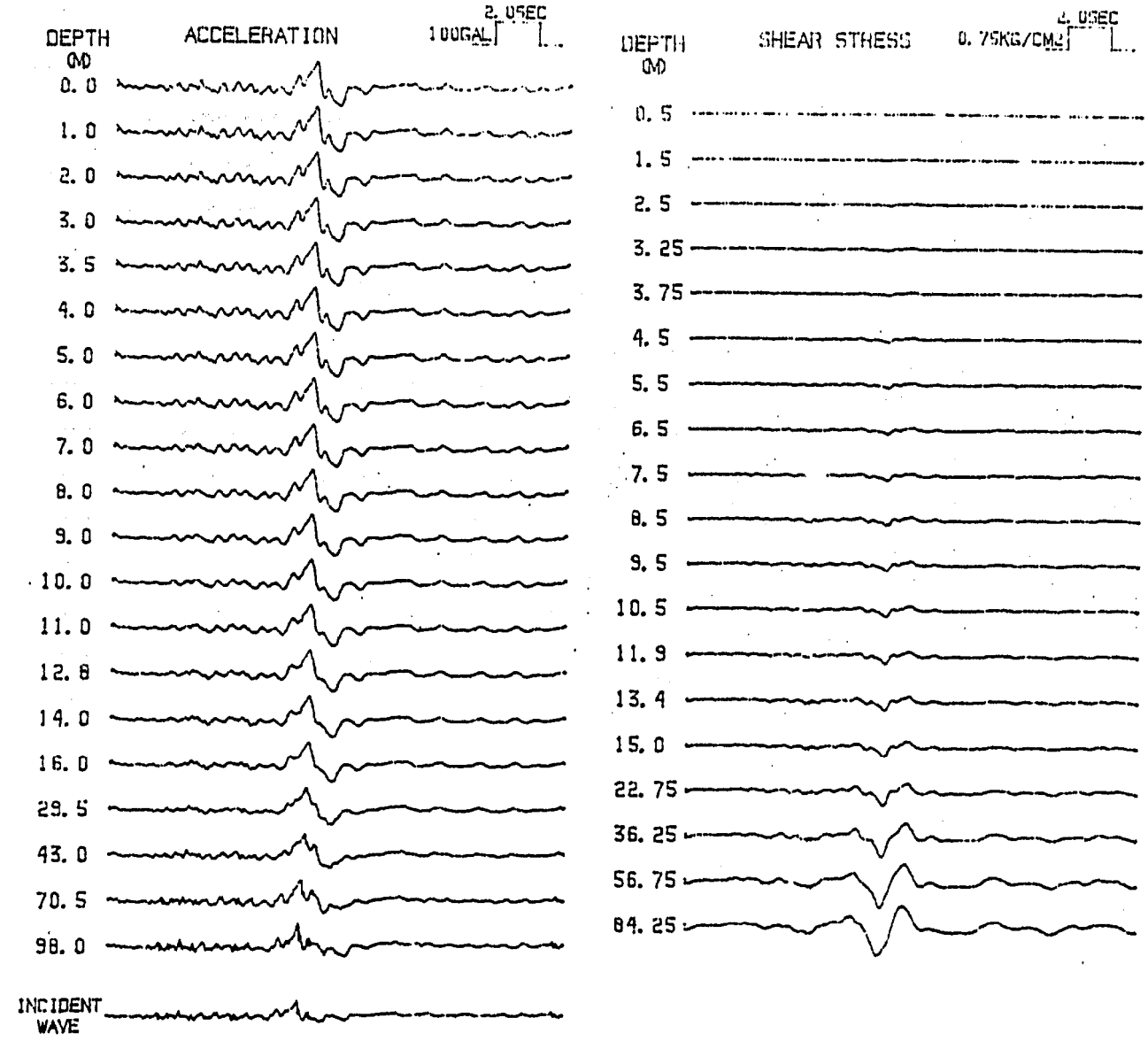


図-6.9 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-1: 100 gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

SITE NAME : SHIMADASHI B-1
INPUT WAVE : KAWAGISHICHO E-W 129

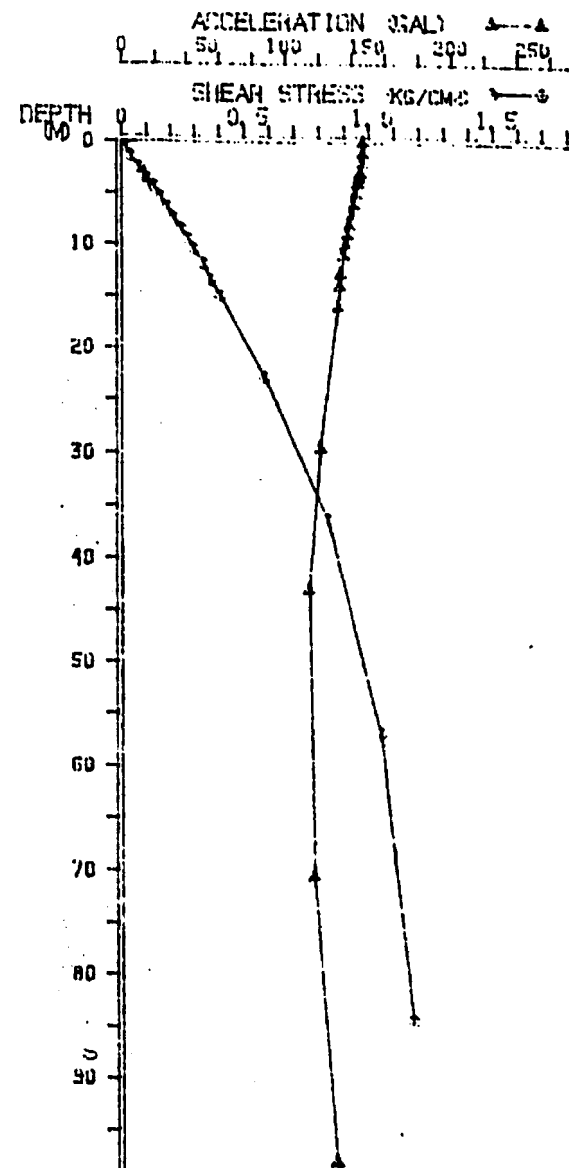
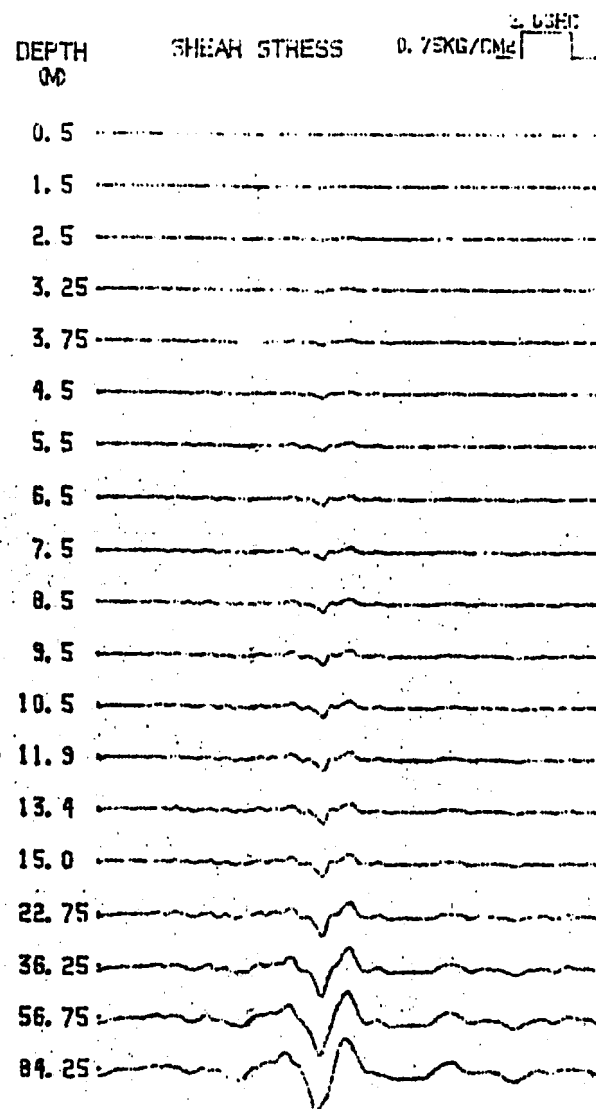
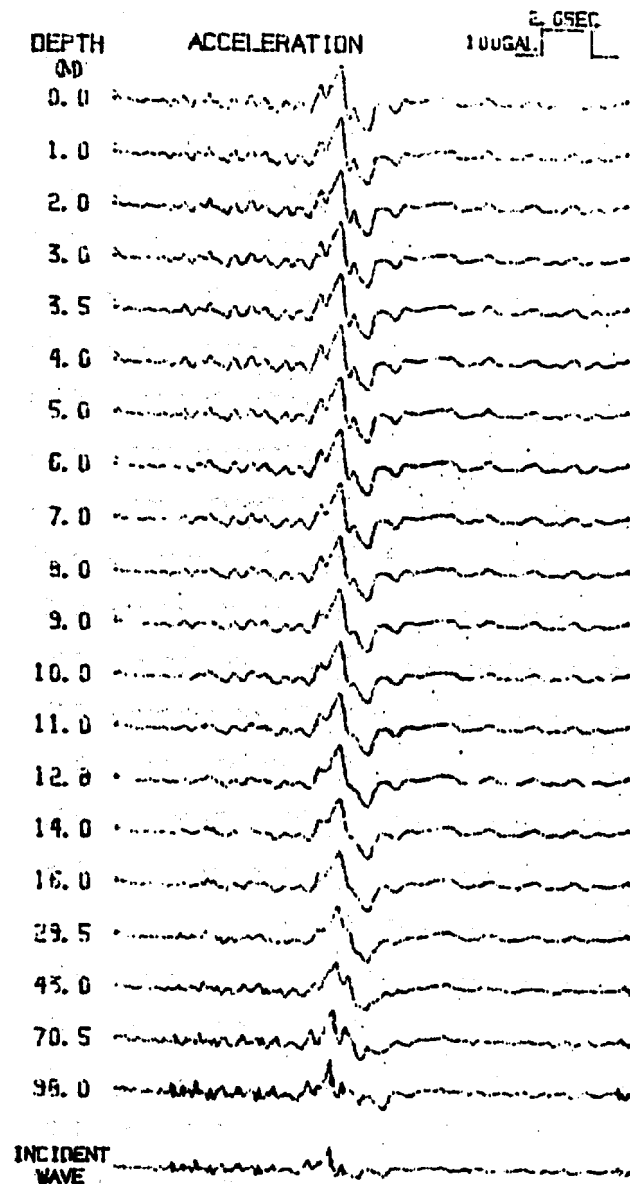


図-6.10 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-1: 129.3 gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

SITE NAME : SHOWASHI B-1
INPUT WAVE : KAWASIMICHO E-W 200

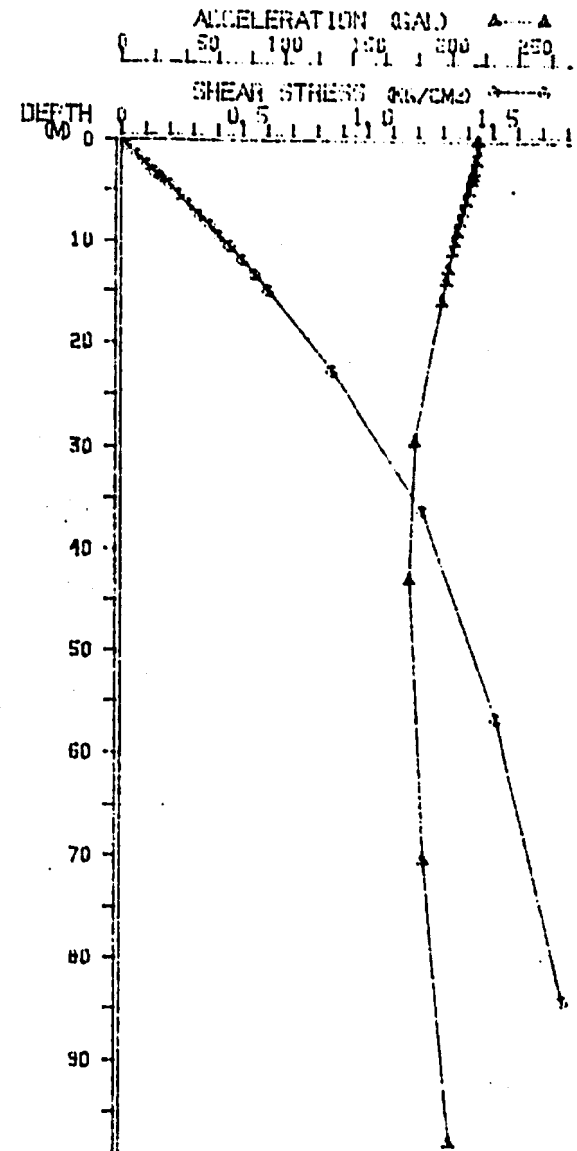
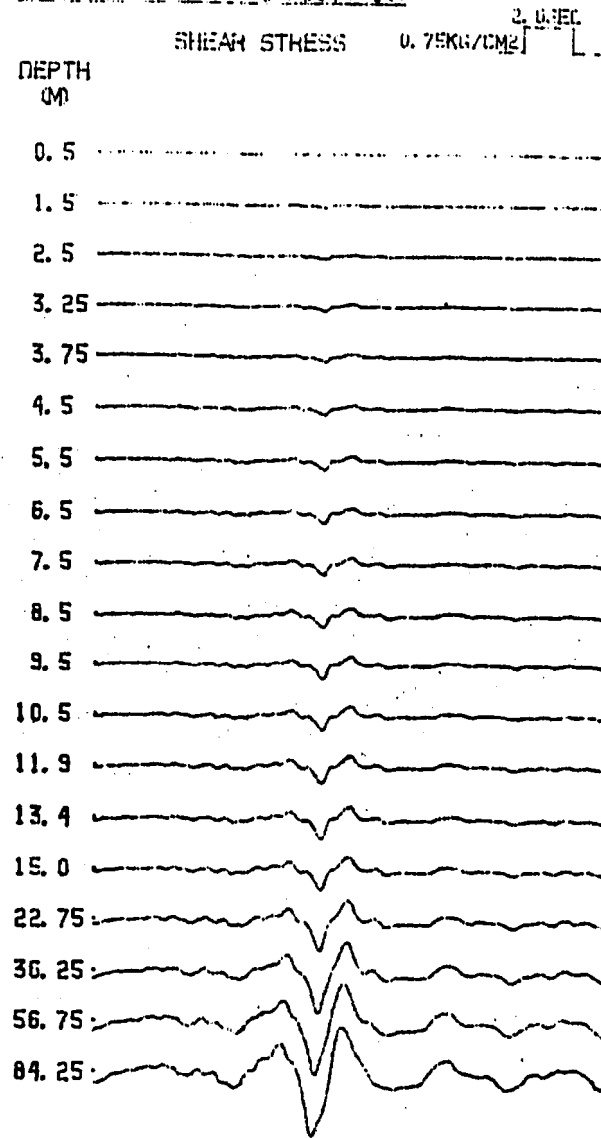
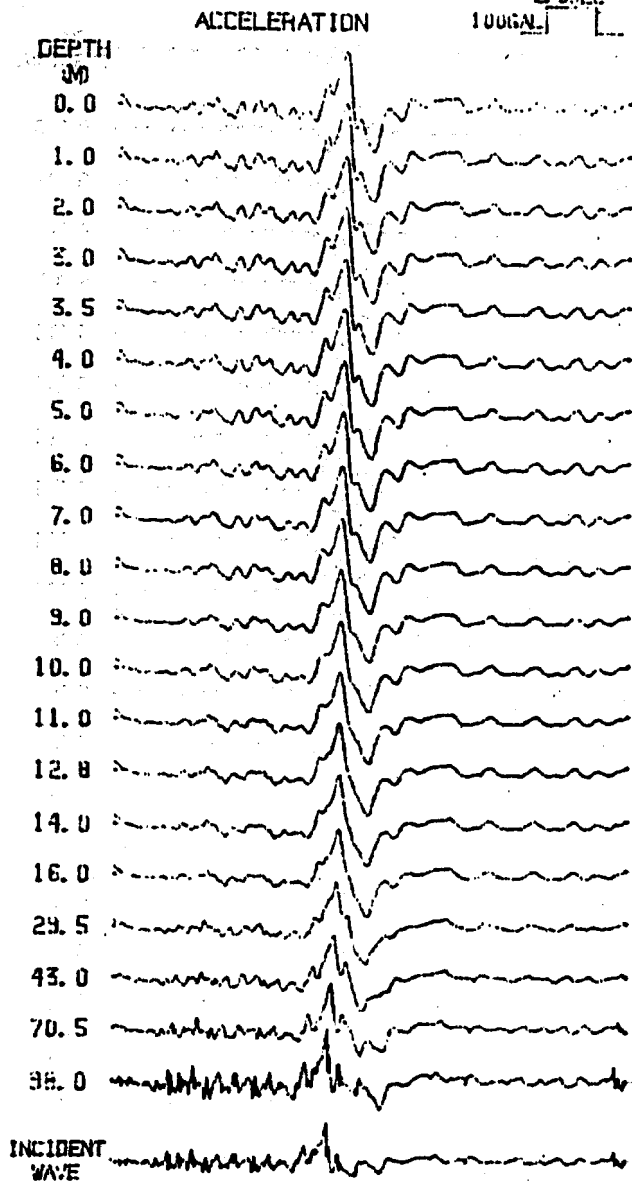


図-6.11 応答加速度分布および応答せん断応力分布(B-1:200gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

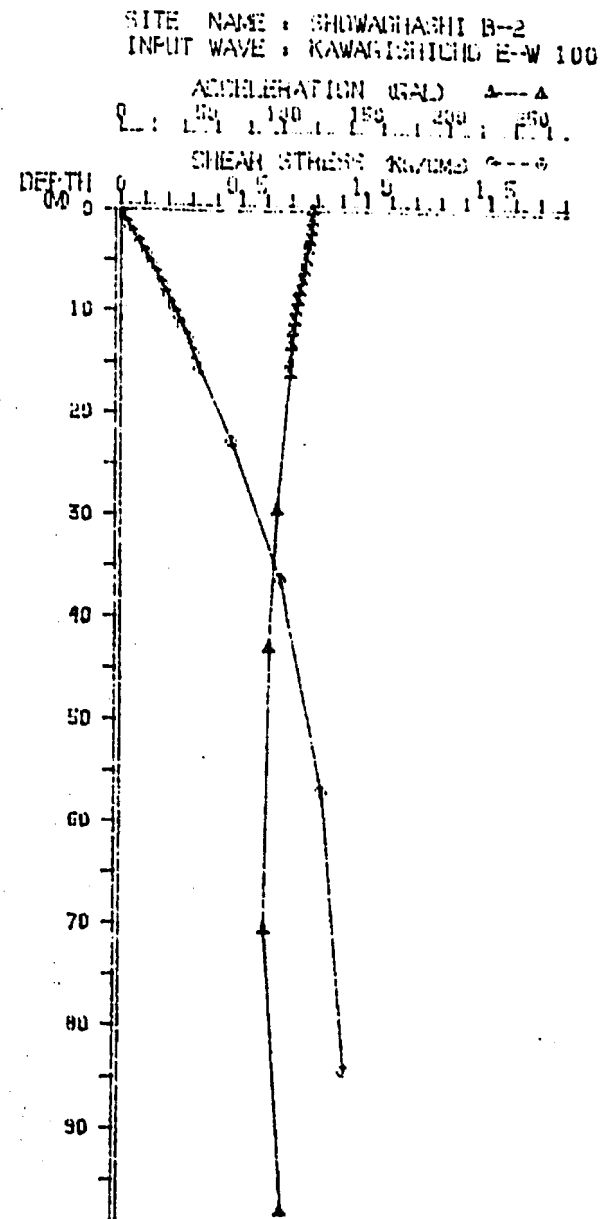
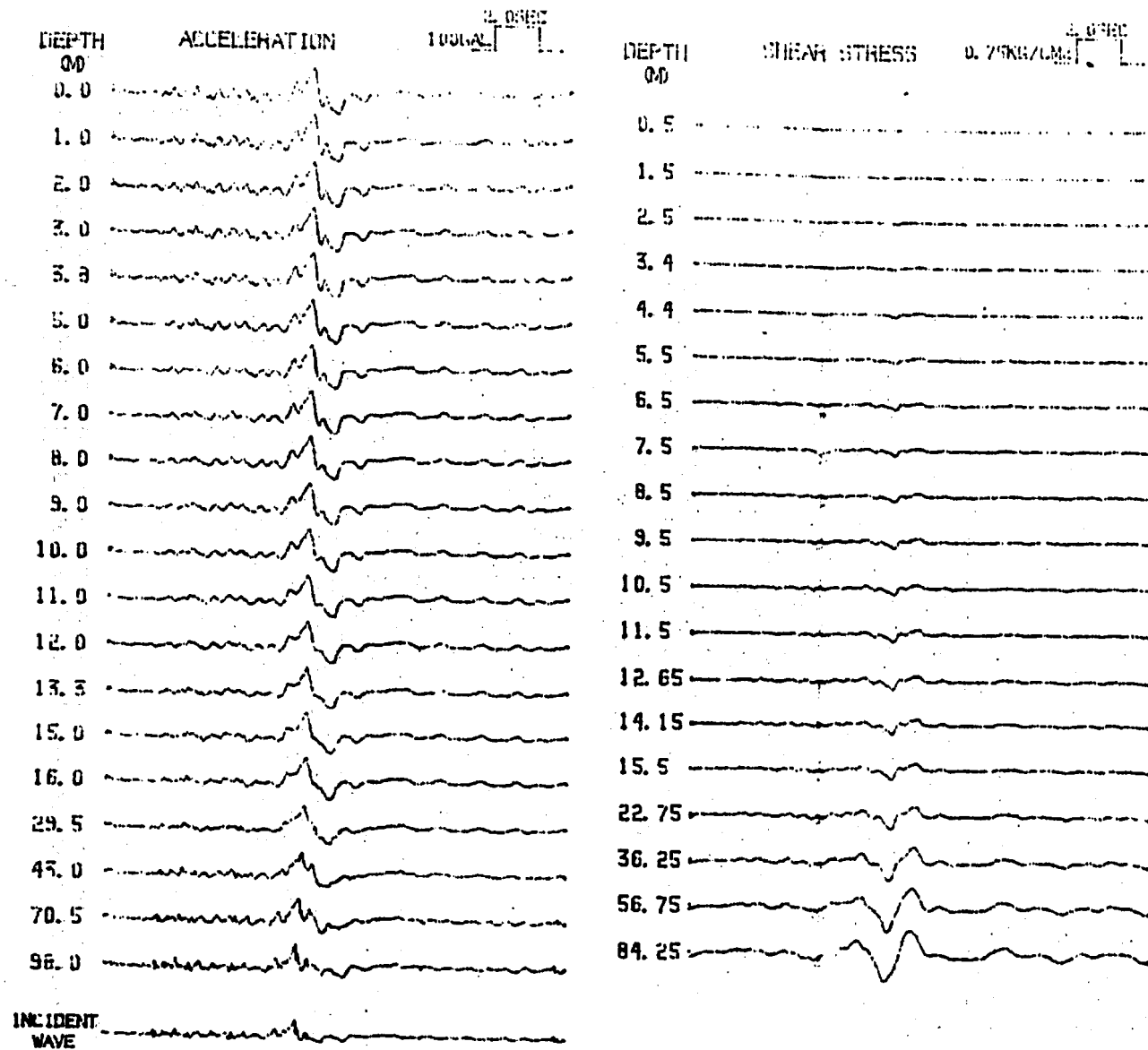


図-6.12 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-2:100gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

SITE NAME : SHUWACHASHI B-2
INPUT WAVE : KAWAGISHICHO E-W 128

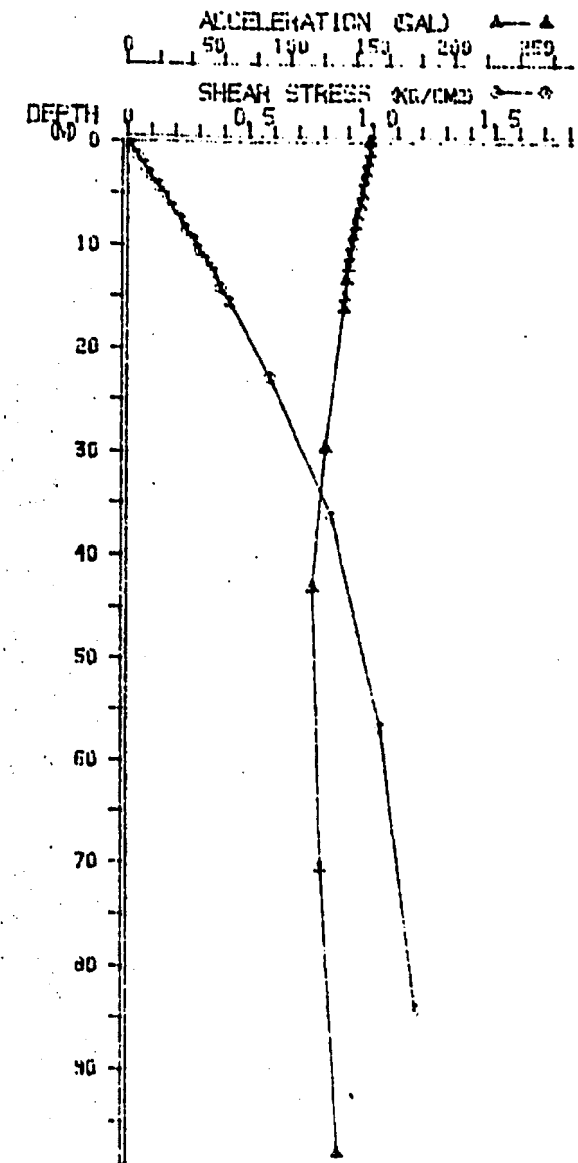
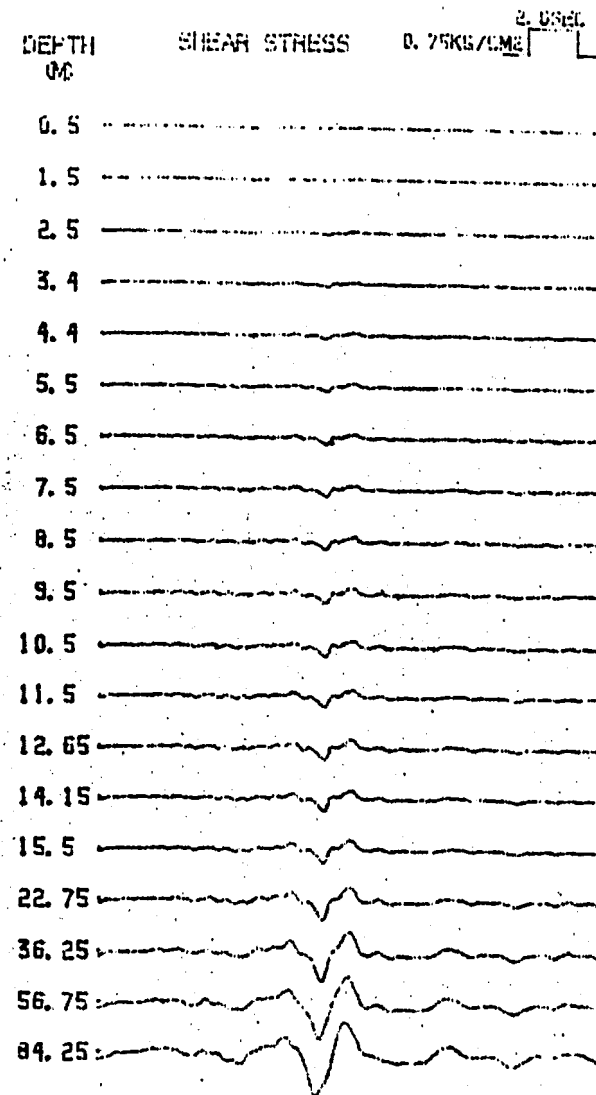
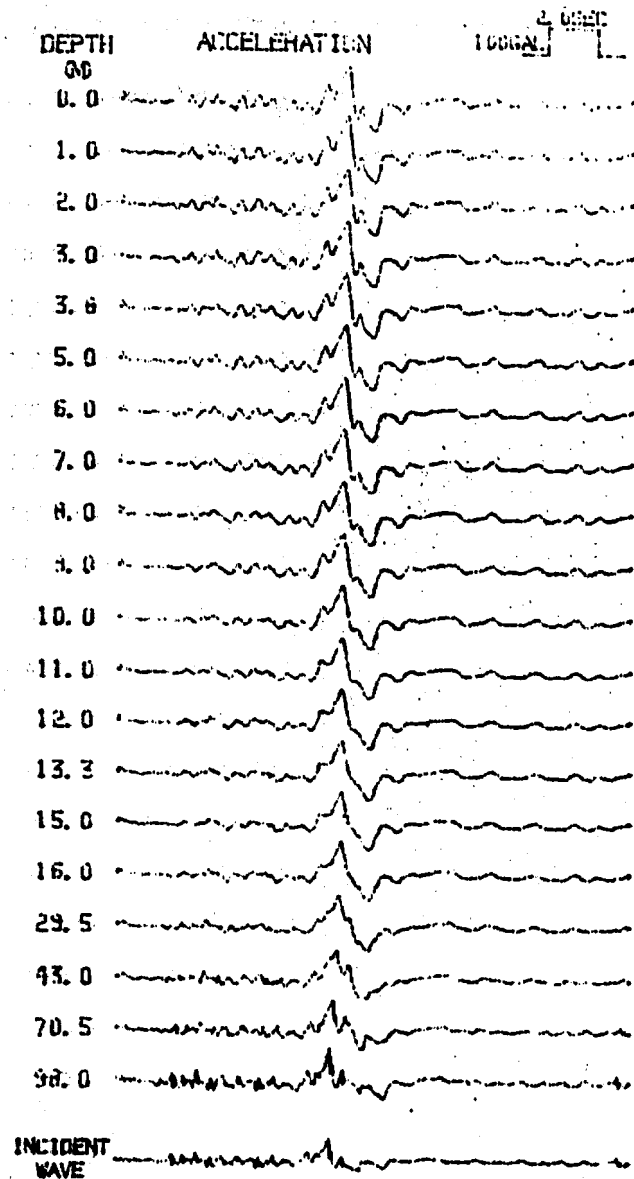


図-6.13 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-2: 128.5gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

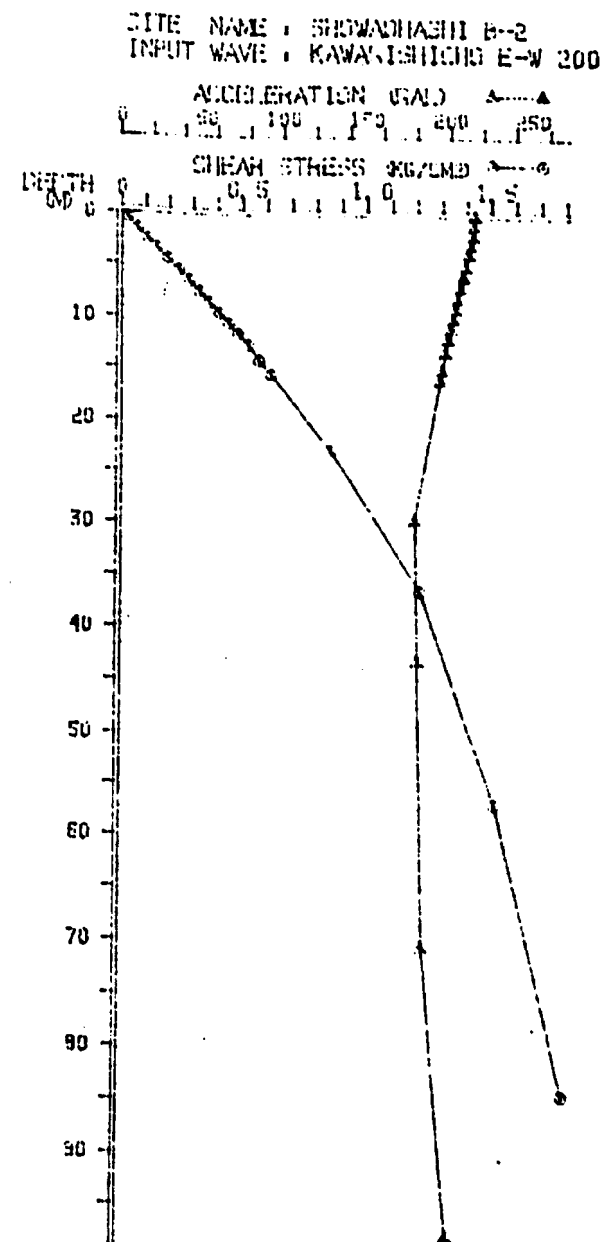
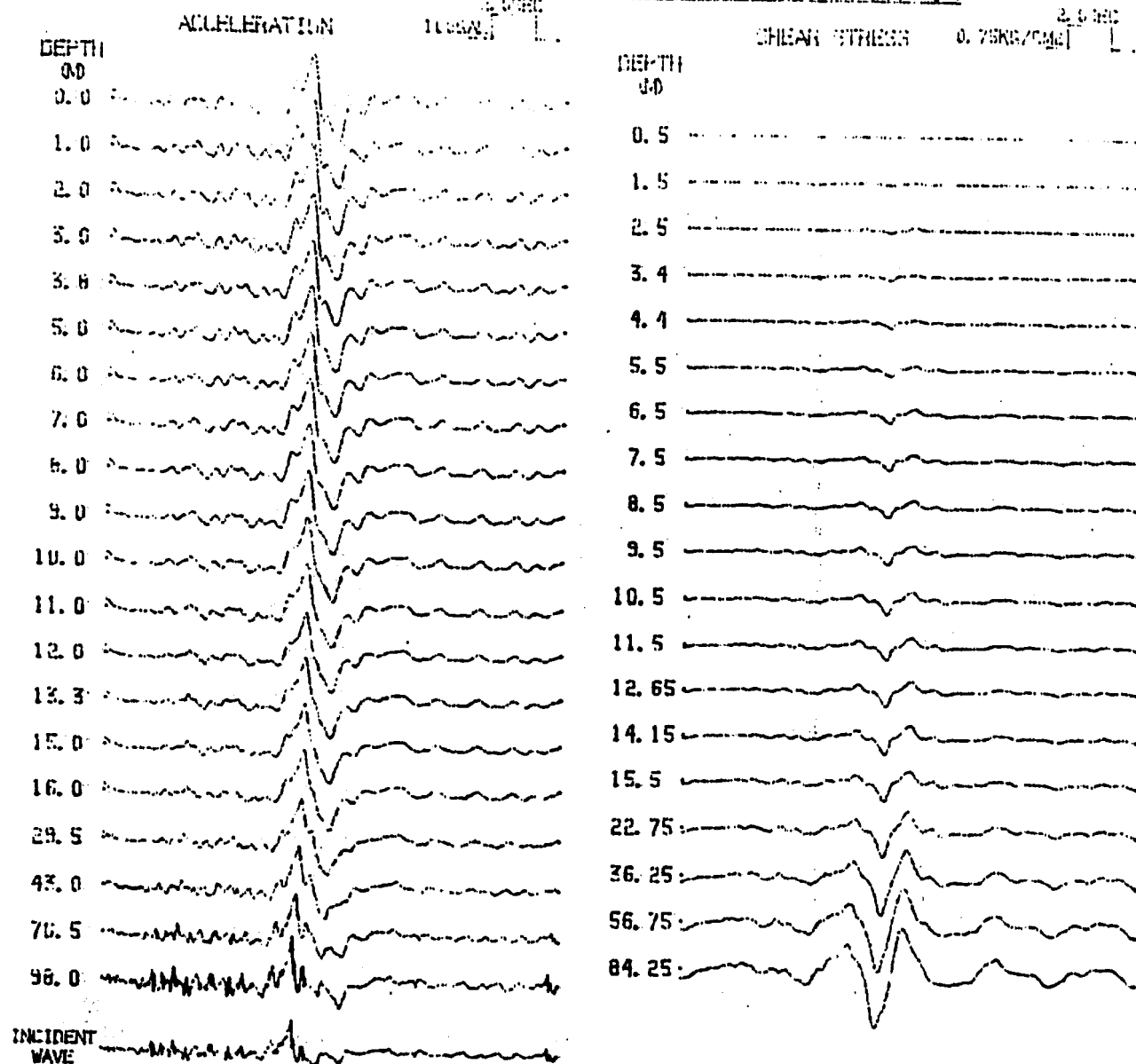


図-6.14 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-2: 200gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

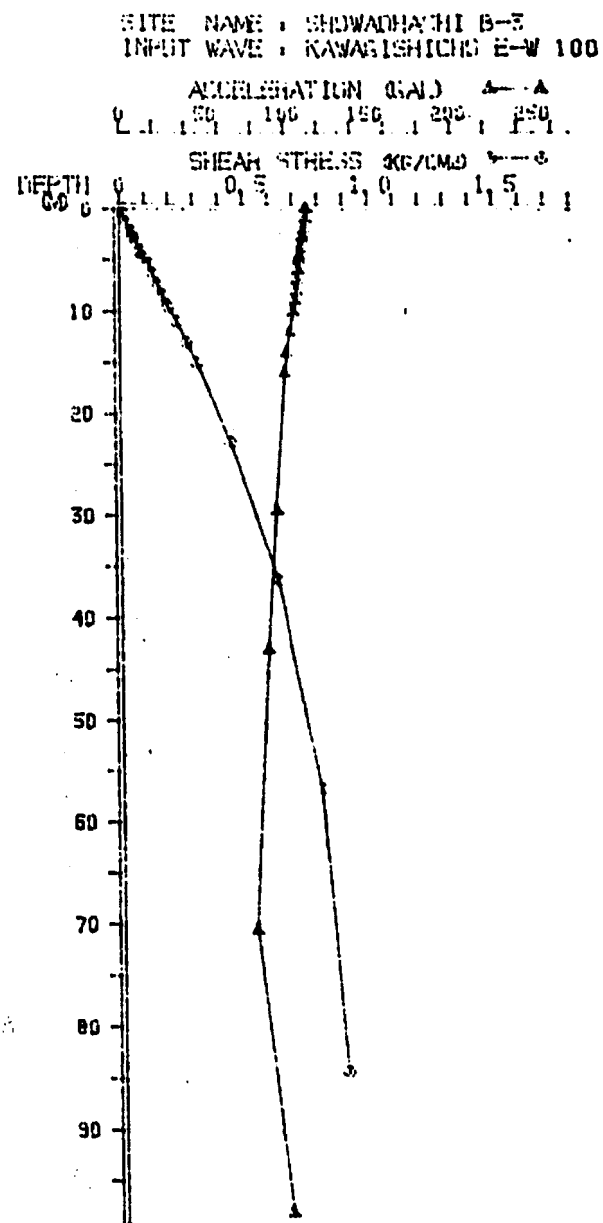
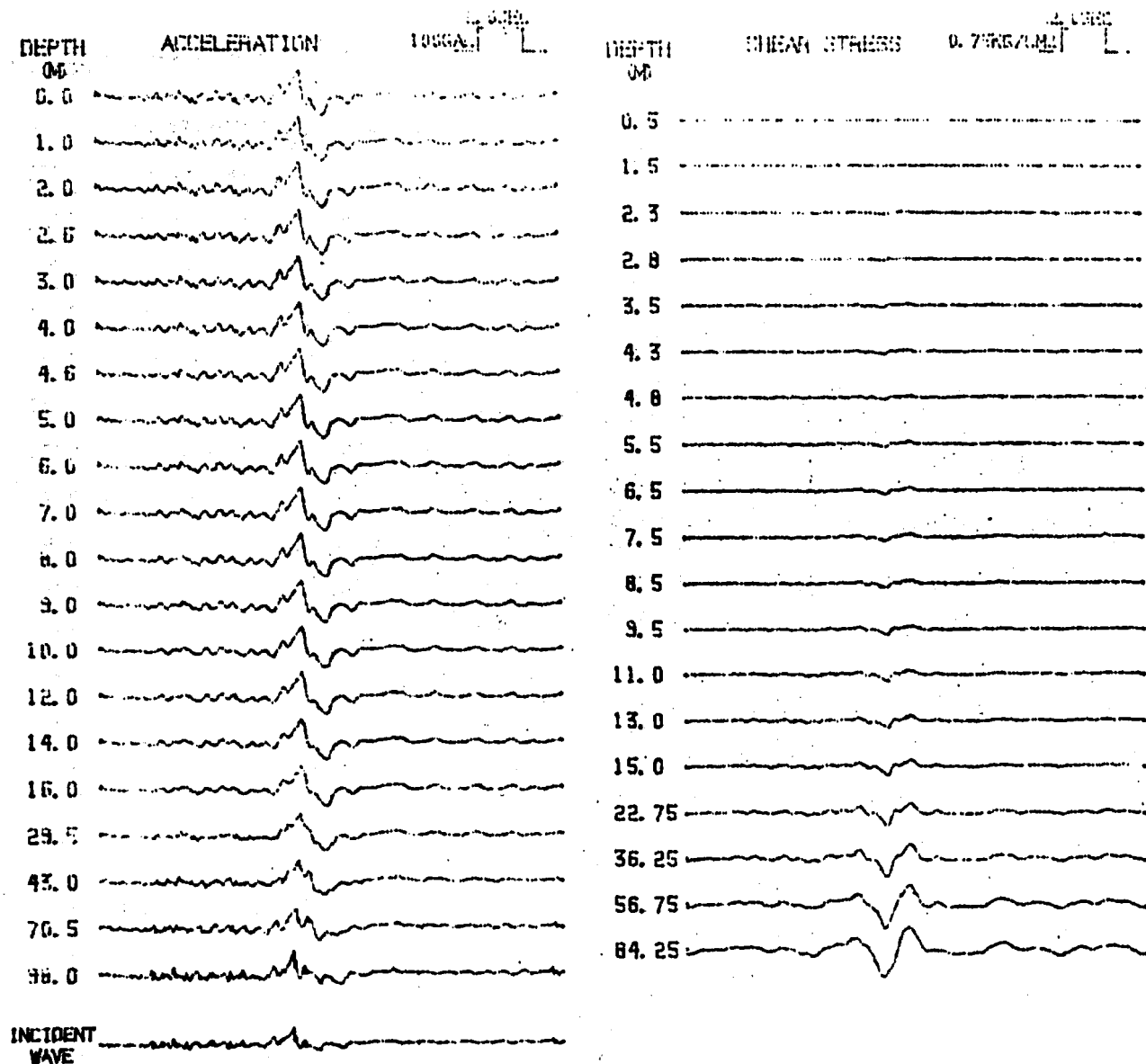


図-6.15 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-3:100gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

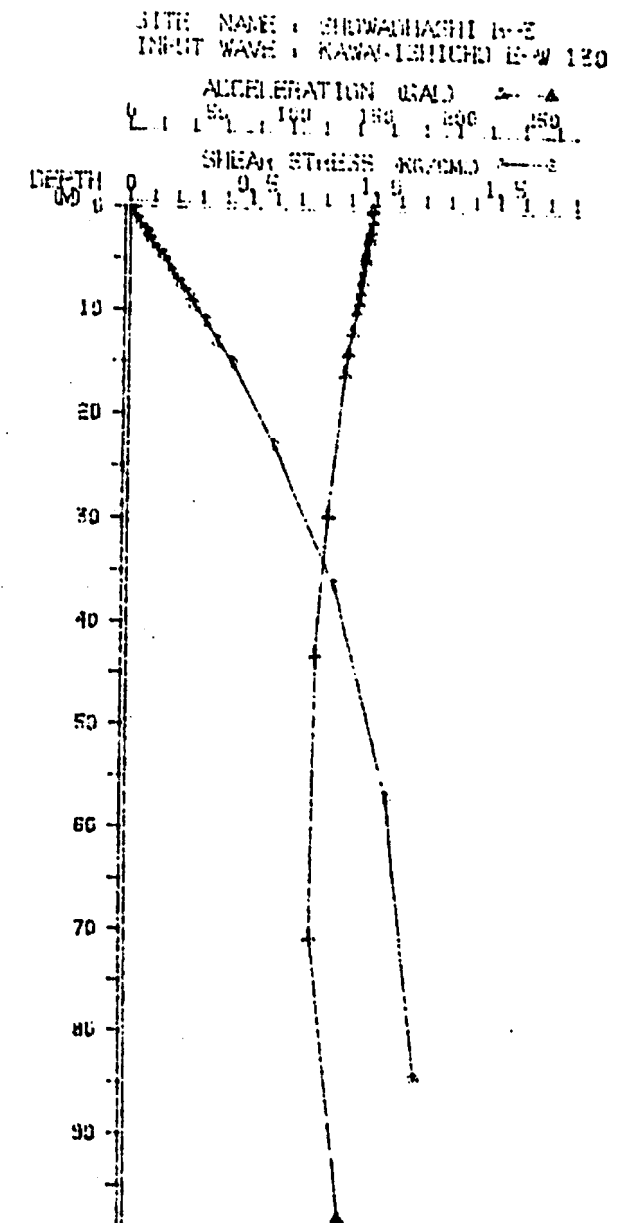
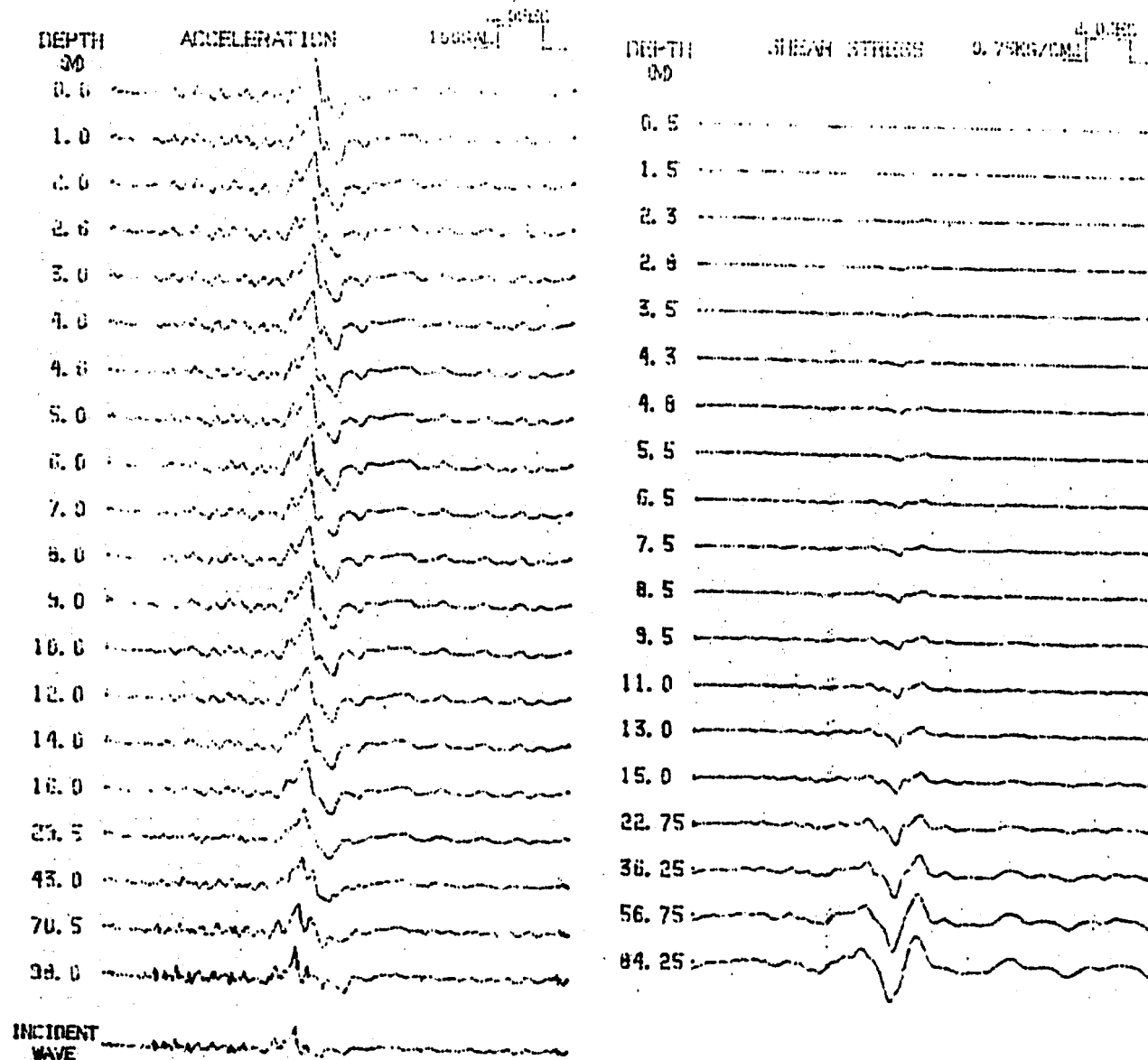


図-6.16 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-3: 130.5 gal)

RESULTS OF RESPONSE ANALYSIS

SITE NAME : SHOWADASHI B-3
INPUT WAVE : KAWAGISHICHI E-W 200

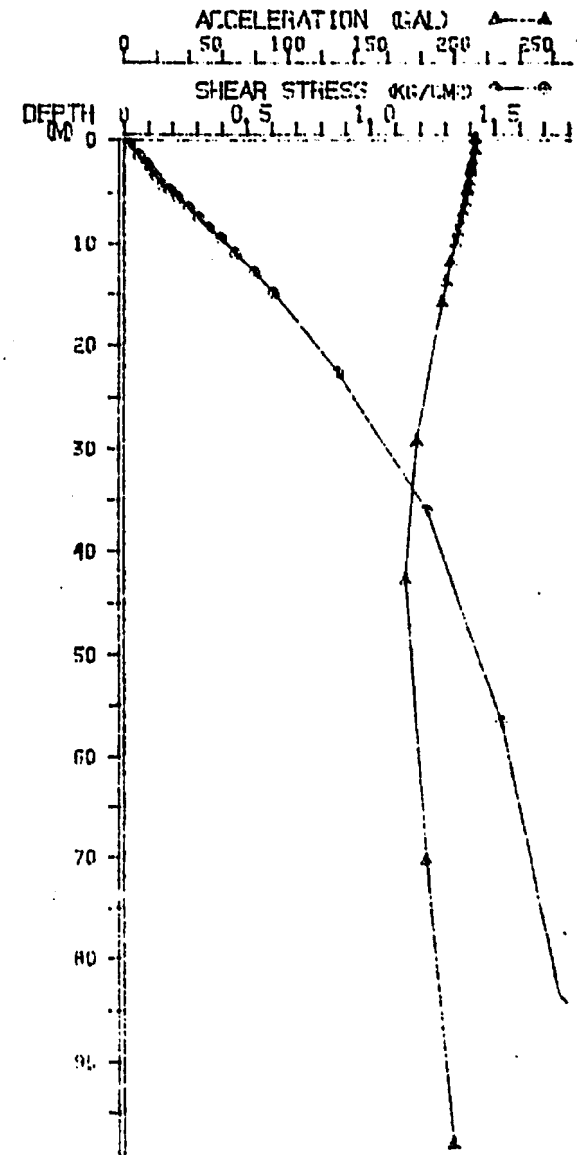
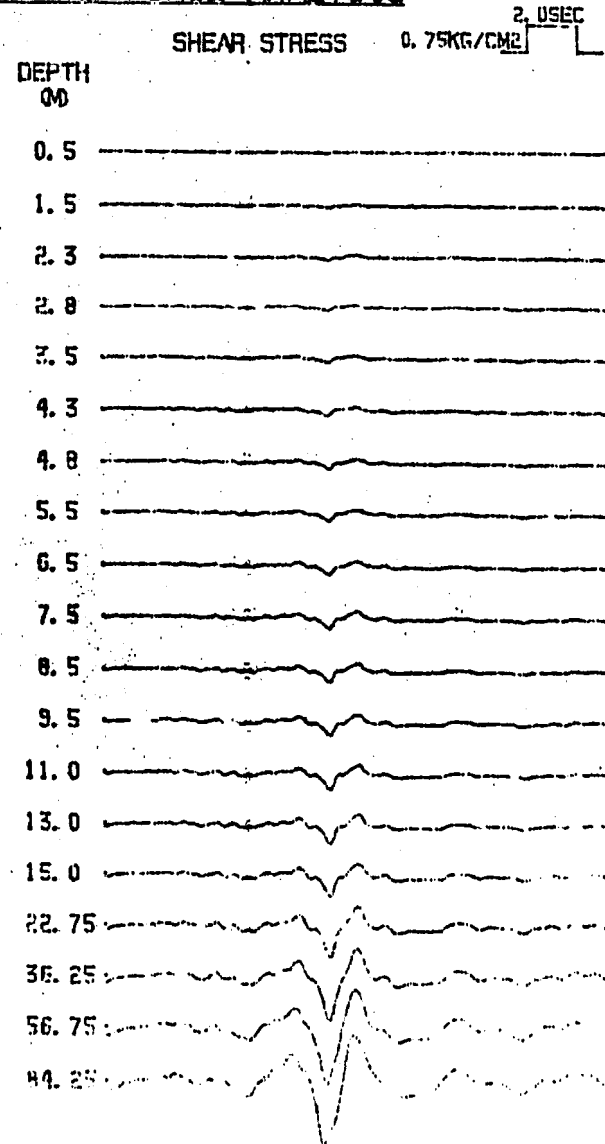
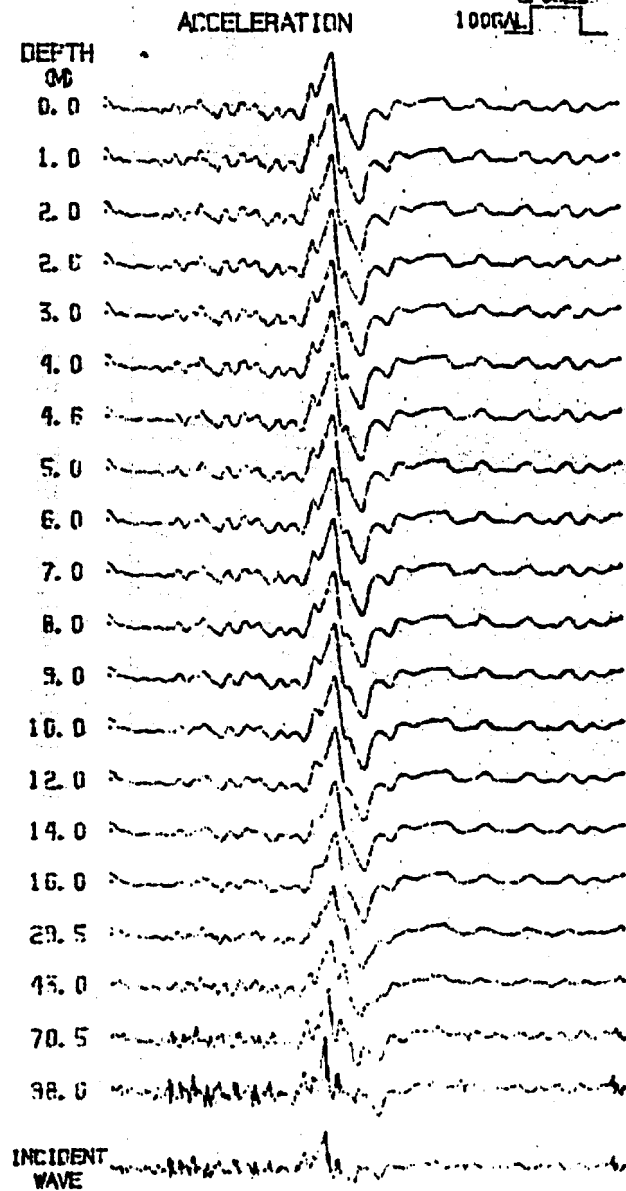


図-6.17 応答加速度分布および応答せん断応力分布 (B-3: 200gal)

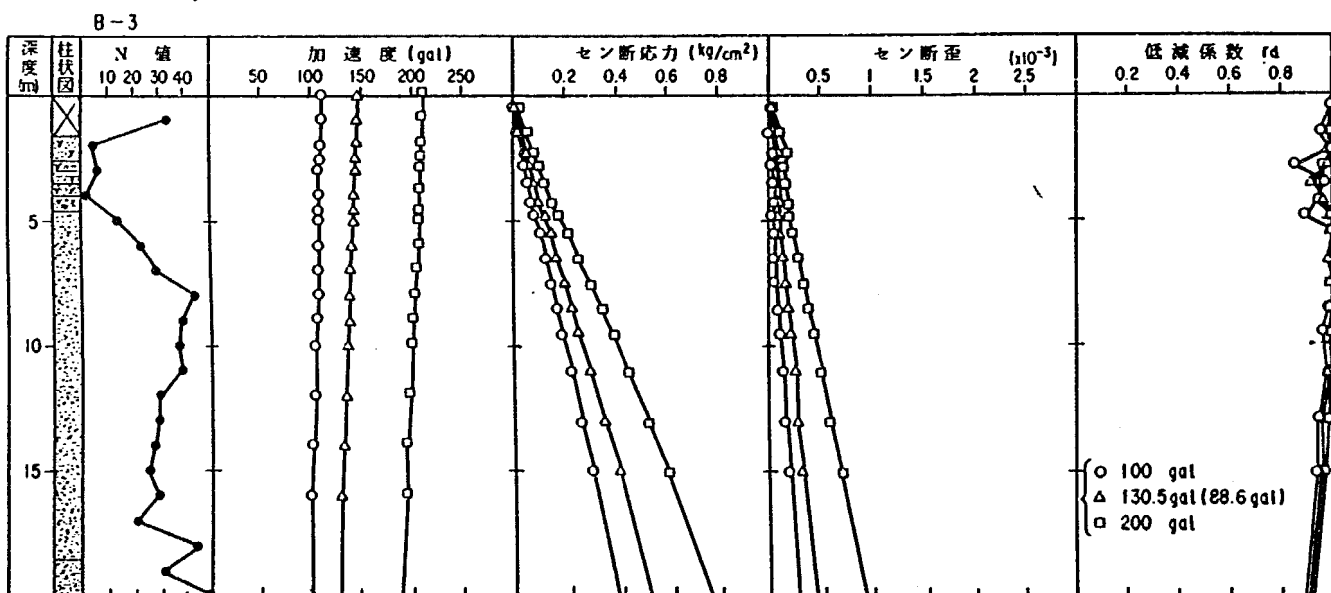
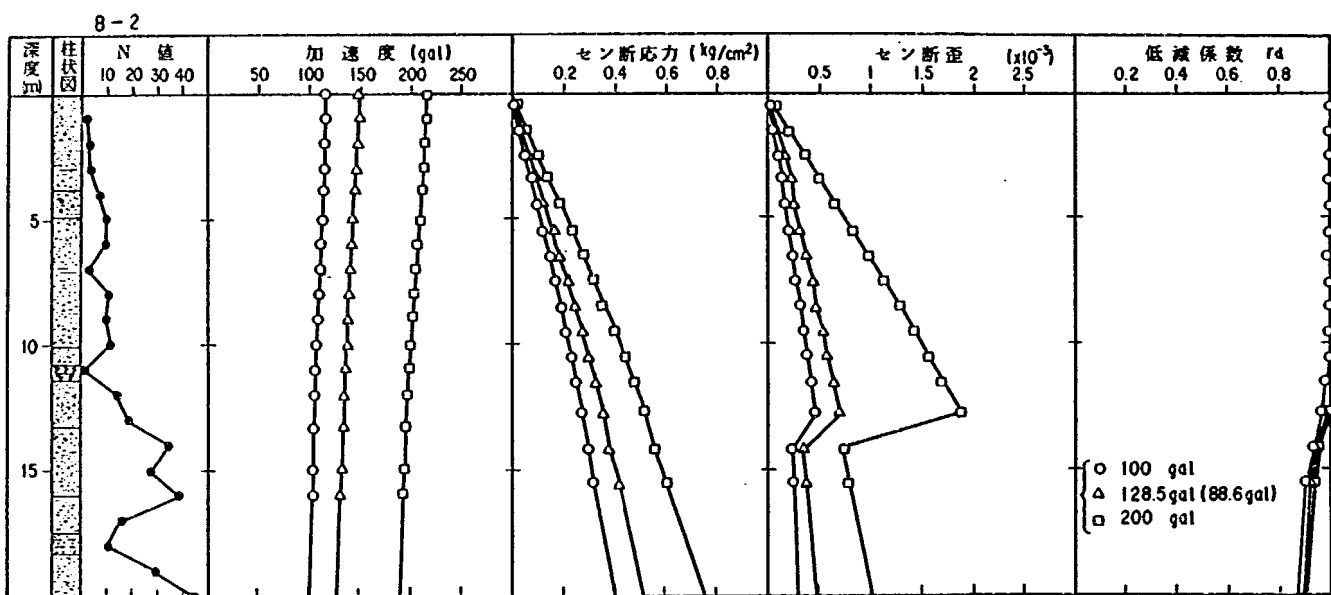
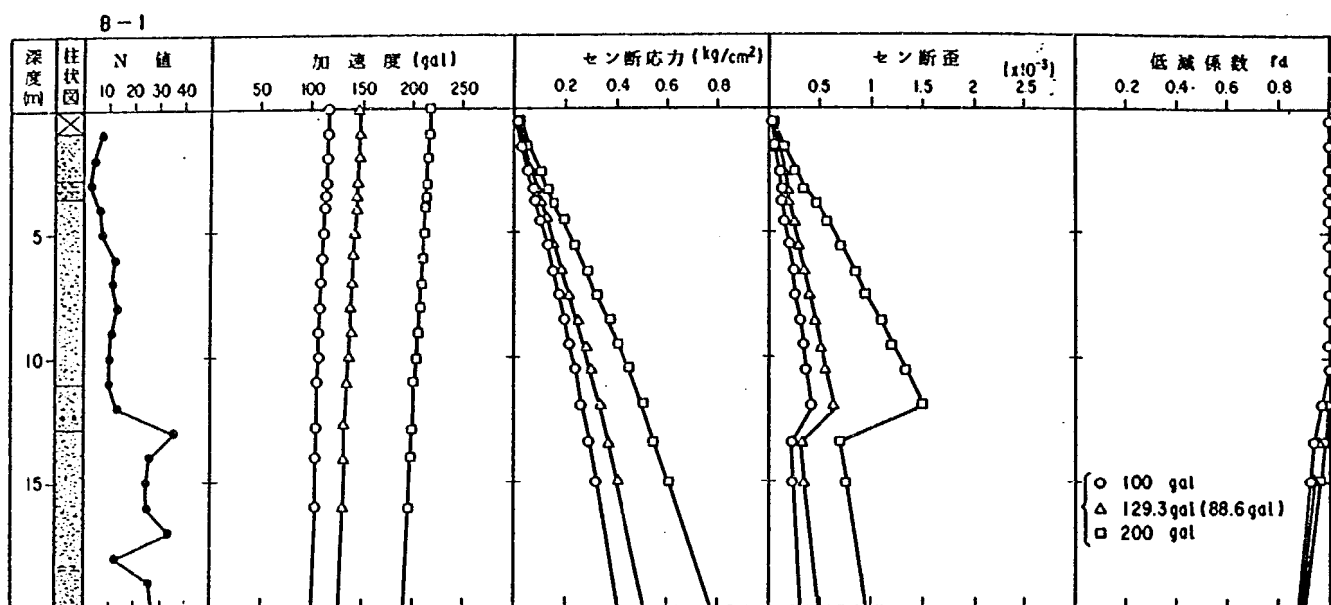
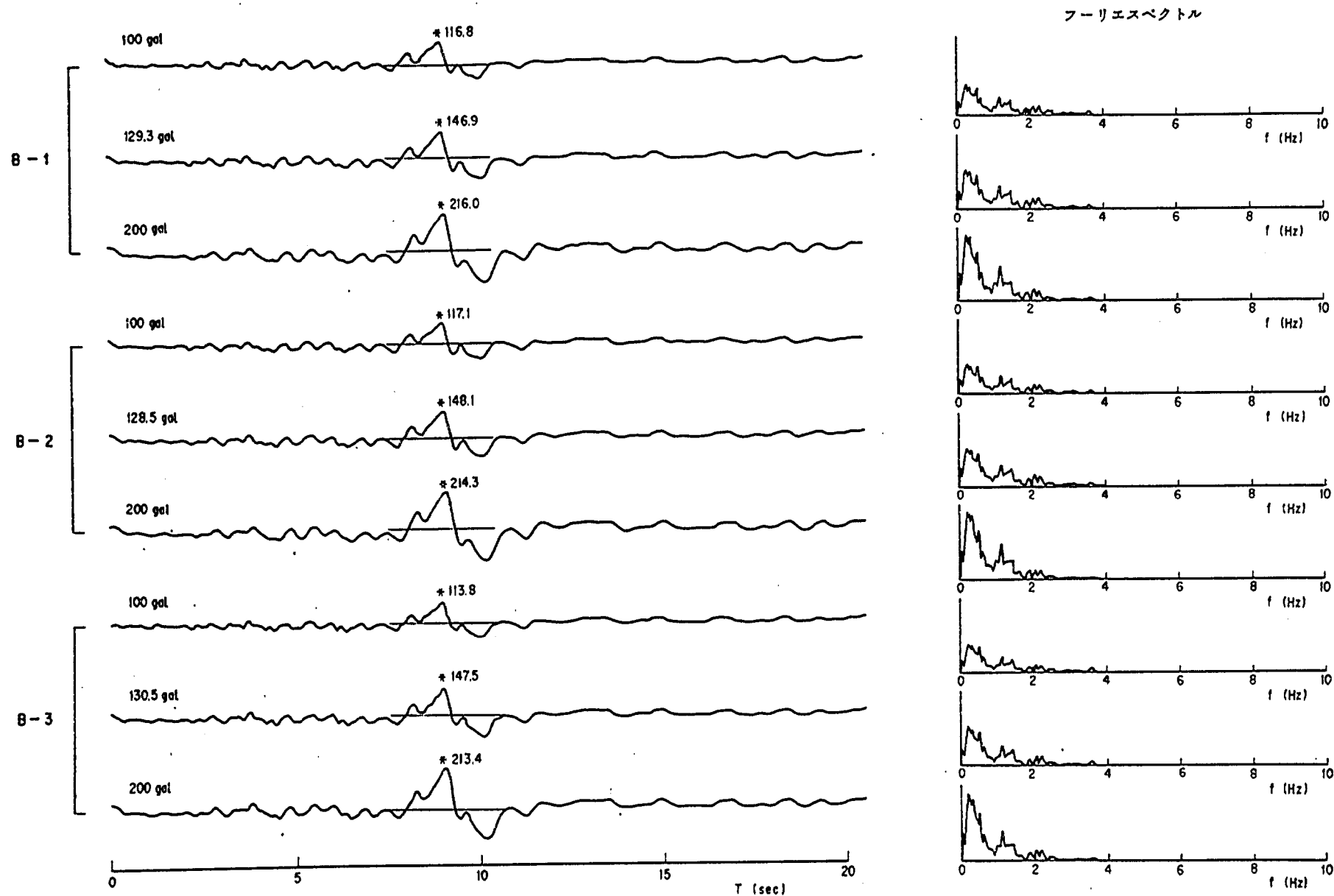


図-6.18 応答計算結果一覧図



図一6.19 地表面における加速度波形およびフーリエスペクトル

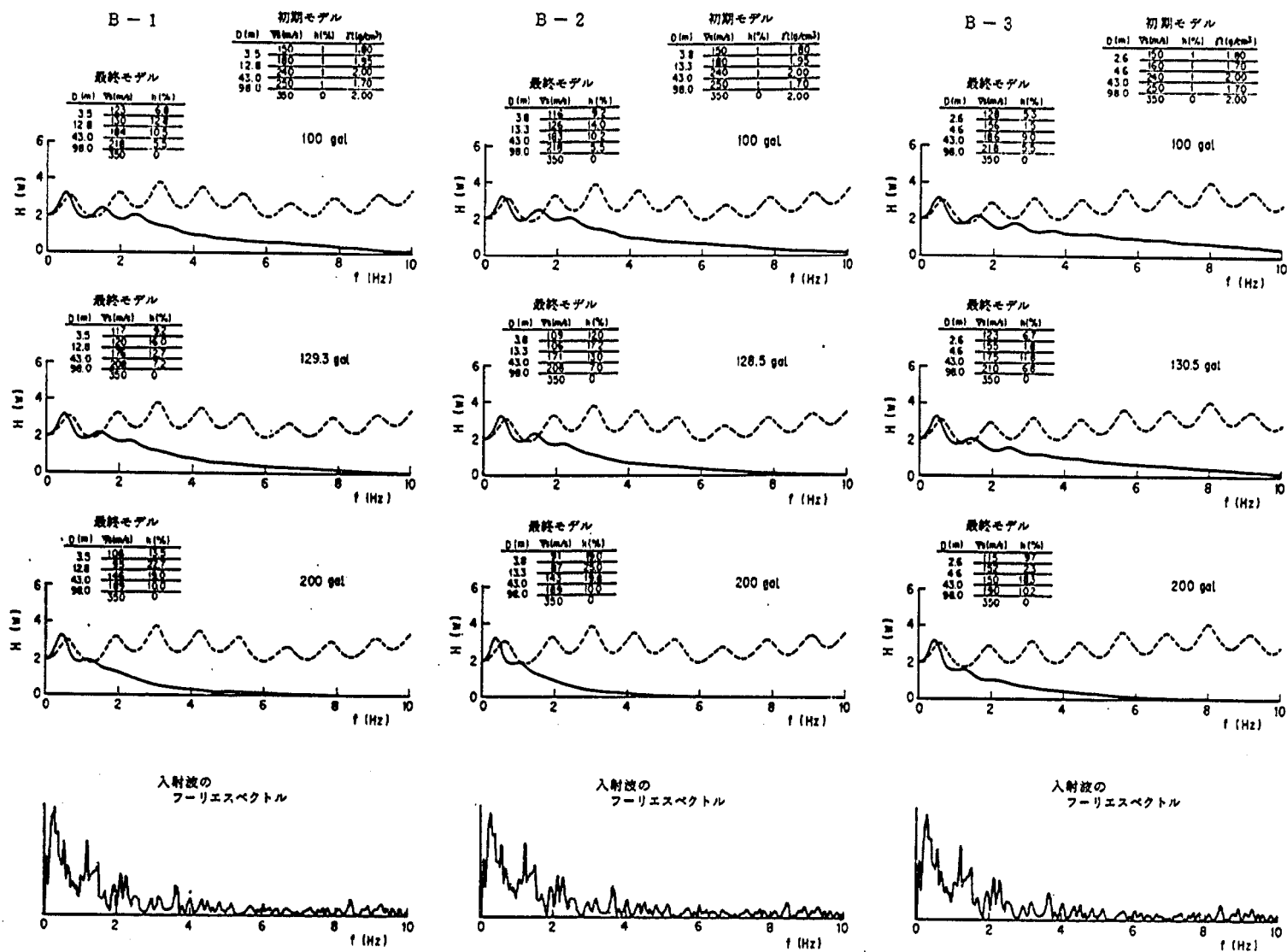


図-6.20 地表面における伝達関数

7. 地盤の耐震性の検討

7.1 地盤流動化の判定方法

地盤の流動化の判定指標は 7.1 式で定義した流動化に対する抵抗率 (FL)^{9), 15)} を用いて行った。

$$FL = \frac{R}{L} \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

ここに、 R ：地盤の動的強度、 L ：地震荷重

FL 値を求めるのに必要な R および L は簡易推定式に基く方法（簡易判定法）および動的強度試験、地盤の地震応答解析に基く方法（詳細判定法）の 2 方法で行った。

1) 簡易判定法

本法においては (7.1) 式中の地盤の動的強度 (R) と地震荷重 (L) を、各々、(7.2) および (7.3) 式で定義される簡易推算式を用いた。同式は道路橋示方書第 V 編耐震設計編¹⁵⁾ の条文の規定に反映されたものであり、 N 値、平均粒径 D_{50} 等の調査結果から動的強度が、また、地表面震度を与えることにより地震荷重が推算できる。

$$R = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} + 0.19 & 0.02 \text{ mm} < D_{50} \leq 0.05 \text{ mm} \\ 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} + 0.225 \log 10 \left(\frac{0.35}{D_{50}} \right) & 0.05 \text{ mm} < D_{50} \leq 0.6 \text{ mm} \quad \dots\dots (7.2) \\ 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} - 0.05 & 0.6 \text{ mm} < D_{50} \leq 2.0 \text{ mm} \end{cases}$$

$$L = K_s \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \cdot r_d \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

ここに、 N ： N 値 (回)

σ_v ：有効上載圧 (kgf)

D_{50} ：平均粒径 (mm)

K_s ：判定に用いる設計水平震度

σ_v ：全上載圧 (kgf)

σ_v' ：有効上載圧 (kgf)

r_d ： $1 - 0.015 Z$

なお、 K_s は、(7.4) 式で与えられる。

$$K_s = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot K_{s0} \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

ここで K_{s0} ：標準設計水平震度 (= 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

(7.4)式中の ν_2 は当該地盤が4種地盤であるので1.2とし、 ν_3 は重要度を1級として1.0とした。また、新潟県では $\nu_1 = 0.85$ であるが、ここでは1.0、0.85および0.7の3種類を設定したので、簡易判定法で用いた地表面水平震度(K_S)は(7.5)式に示すように0.18、0.15および0.13の3種類である。

$$K_S = 0.15 \times 1.0 \times 1.2 \times 1.0 = 0.18 (180 \text{ gal})$$

$$K_S = 0.15 \times 0.85 \times 1.2 \times 1.0 = 0.15 (150 \text{ gal}) \dots\dots\dots (7.5)$$

$$K_S = 0.15 \times 0.7 \times 1.2 \times 1.0 = 0.13 (130 \text{ gal})$$

2) 詳細判定法

詳細判定法でのRおよびLは、それぞれ、動的強度試験の結果(前記5.3)および地盤の地震応答解析(前記6.4)の結果を用いた。

ここで、原位置における地盤の動的強度は、室内動的強度試験の結果から(7.6)式を用いて推算した。

$$R = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot R_{L20} \dots\dots\dots (5)$$

ここで R_{L20} : 振動三軸試験より求めた動的強度

C_1 : 原位置応力状態に換算するための補正項

$$C_1 = \frac{1 + 2 K_0}{3}$$

C_2 : 実際の地震動による荷重がランダム波であることによる補正項、

本調査では $C_2 = 2.02$

C_3 : サンプリング等による乱れに対する補正項

C_4 : サンプリング等および再圧密による密度化に対する補正項

C_5 : 実際の地震動が多方向せん断応力を生じさせているのに対する補正項

一般には $C_1 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \div 1.0$

ここで(7.6)式の C_2 の算出方法の詳細については、付属資料Ⅵを参照されたい。このようにして求めた各ボーリング孔、各加速度毎の C_2 の分布は、図-7.1に示した。また、図-7.2は、 C_2 を求める際に必要な $R_L/R_{L20} \sim N_c$ の関係を示したものである。

一方、地震荷重(L)は地盤の地震応答解析で得られた最大せん断力から、(7.7)式に基づいて計算した。

$$L = \frac{\tau}{\sigma'_v} \dots\dots\dots (7.7)$$

ここで τ : 応答計算で得られた最大せん断応力(兆)

σ'_v : 有効上載圧(兆)

図-7-1 C_2 の分布

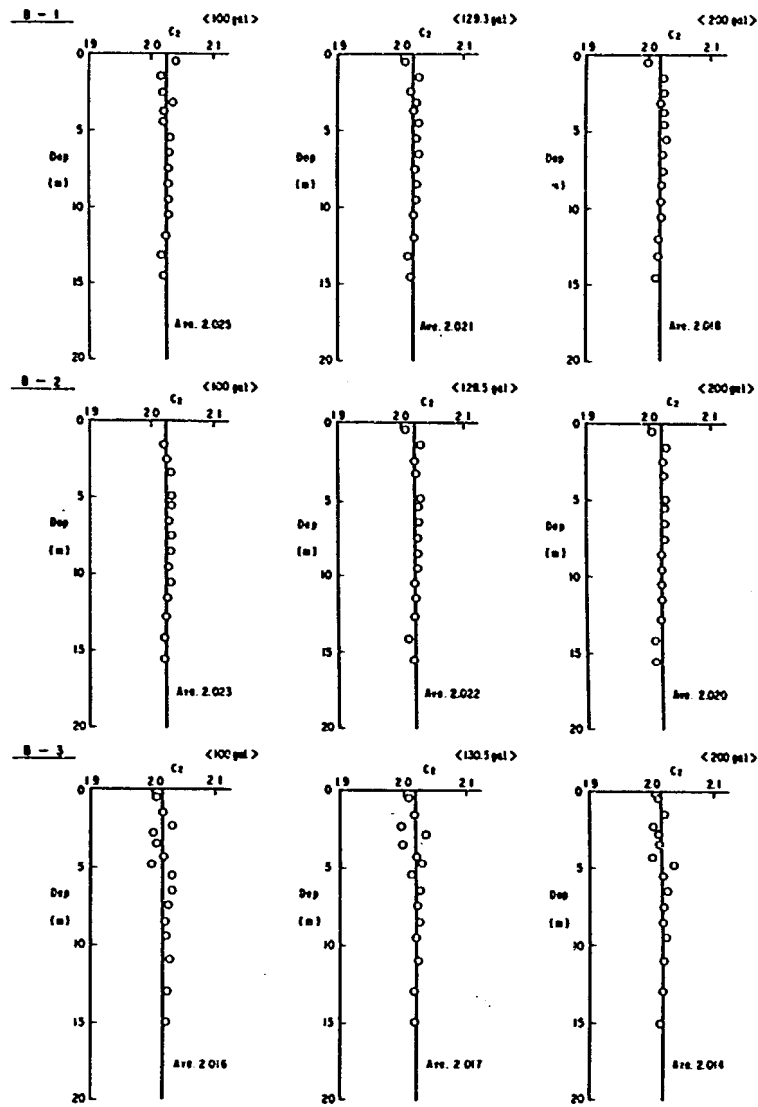


図-7.1 C_2 の分布

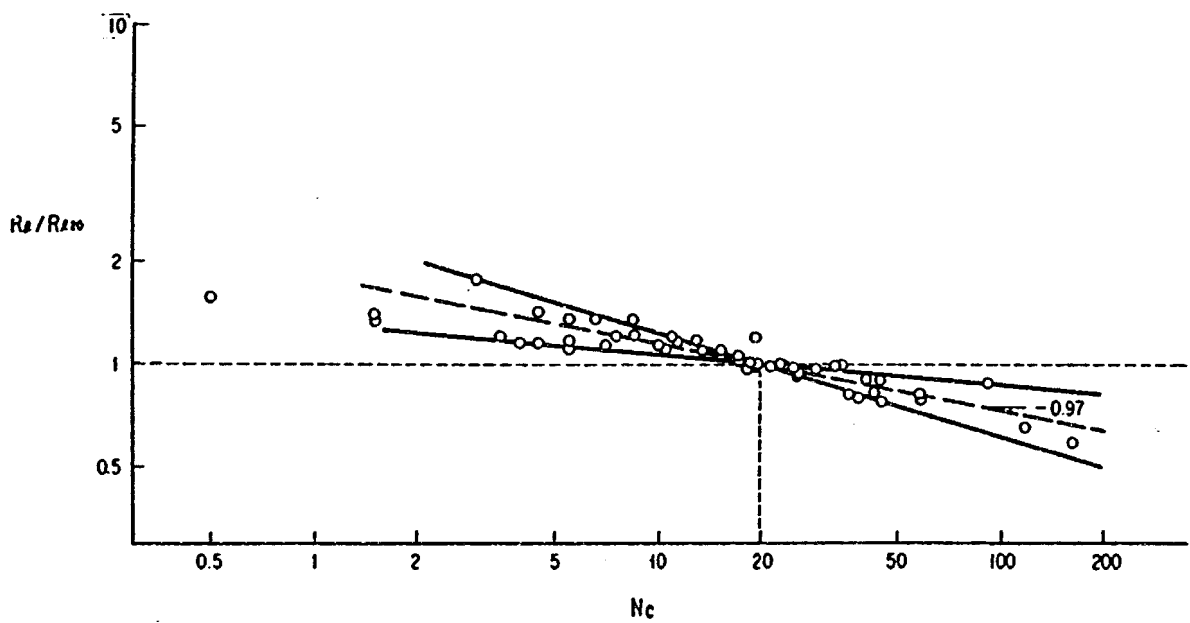


図-7.2 $Re/Re_{20} \sim N_c$

7.2 判定結果

簡易判定法および詳細判定法による各ボーリング孔毎の F_L 値の計算結果は図-7.3の通りである。 F_L の計算結果の詳細は付属資料Ⅶを参照されたい。同図の詳細判定法の結果には、簡易判定法において $K_s = 0.18$ とした場合の結果との比較のために、 $\alpha_B = 165(\text{gal})$ の場合を他の計算結果の外挿で求めている。従って詳細法において仮定基盤に戻した地震動 ($\alpha_B \div 130\text{gal}$) および $\alpha_B = 165\text{gal}$ とした地震動に対する地表面での応答加速度 ($\alpha_{s\max}$) は、それぞれ 150gal および 180gal 程度であり、簡易判定法で設定した 0.15 および 0.18 の地表面水平震度 (K_s) に相当すると言える。ここで、新潟地震の際に県営アパートの地下1階で記録された最大加速度が 150gal であったことを考えると昭和大桥付近における地表面加速度は $150 \sim 180\text{gal}$ 程度と推定され、図-7.3において詳細法判定での $\alpha_B \div 130 \sim 165(\text{gal})$ の場合、あるいは簡易判定法での $K_s = 0.15 \sim 0.18$ の場合の結果は新潟地震規模の地震に対する地盤の耐震性を示すものと考えられる。 F_L を用いた判定では、 $F_L \leq 1.0$ の土層を流動化層とし、 $F_L > 1.0$ の土層を非流動化層と判定するが、図-7.3によれば、B-1の地点では砂質シルト層の部分を除くと、詳細法、簡易法ともに深度 12m 程度までの F_L 値がほぼ 1.0 に近い値を示している。また、B-2地点では簡易法による F_L 値が詳細法のそれより小さく、詳細法では動的強度の大きい表層部を除いた深度 10m 程度まで $F_L \div 0.5 \sim 1.0$ となり、他方、簡易法でも深度 10m 以浅で $F_L \div 0.45 \sim 1.0$ となっている。さらに、B-3地点では詳細法、簡易法のいずれの方法でも F_L 値が 1.0 以上であり、B-1地点、B-2地点とは F_L 値の分布に明確な違いがある。

以上の結果によれば、新潟地震程度の規模の地震によりB-1地点では 12m 程度までの砂層で、また、B-2地点では河床から 10m 程度までの砂層で地盤の流動化が発生すると推定されるが、B-3地点では流動化の可能性がないと推定される。新潟地震後の被害調査の際に、橋脚基礎の鋼管ぐいが引き抜かれたが、ぐいは途中でくの字形に変形していた。この変形性状は地盤の流動化による支持力の低下に帰因するものとされているが、これによれば、橋脚付近では河床から 10m 程度の範囲で流動化が発生したものと推定されている。これはB-2地点の判定に基く推定流動化層の範囲とほぼ対応しており、流動化に対する抵抗率 (F_L) による判定の妥当性の裏付けとなるものと思われる。

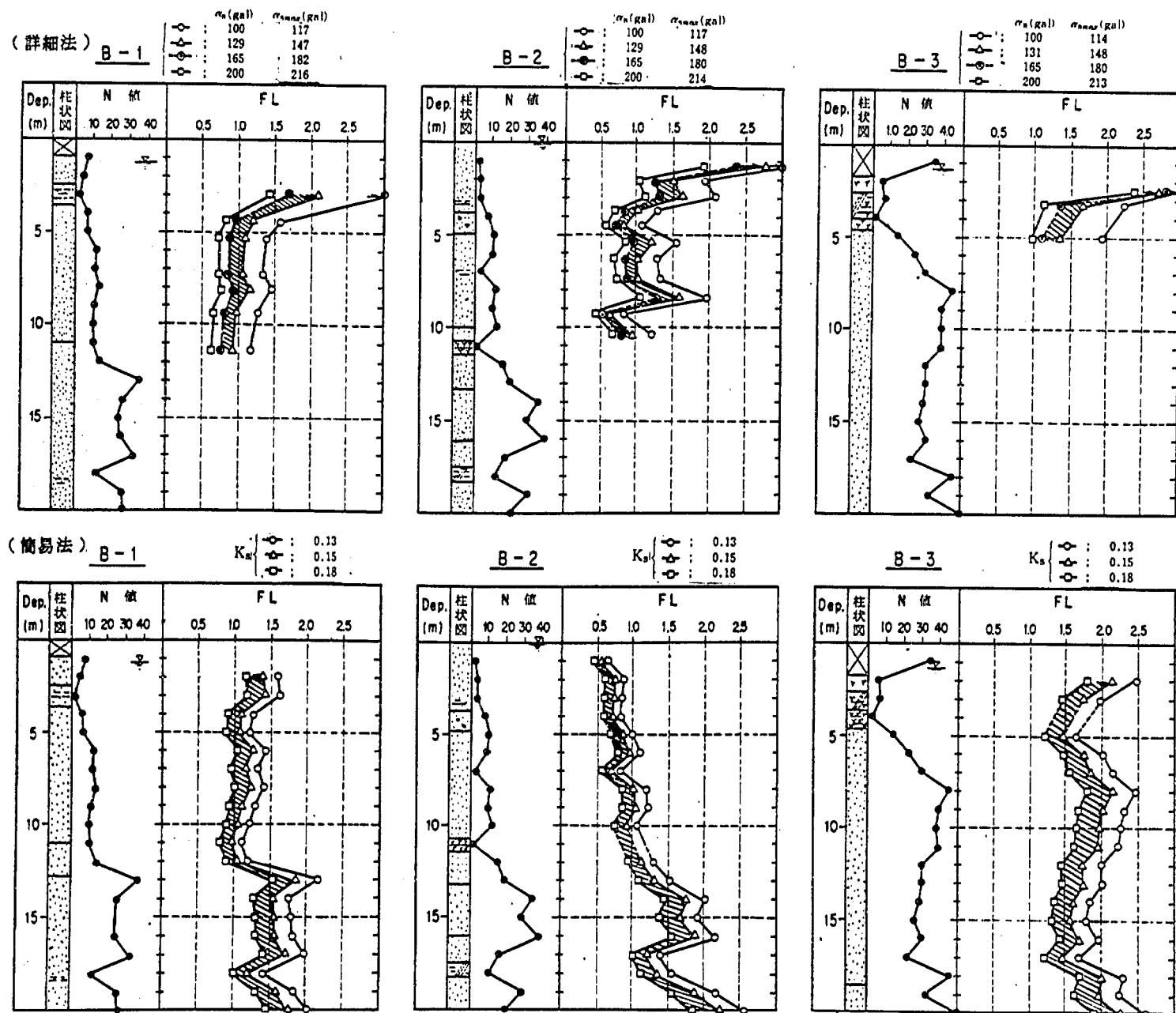


図-7.3 詳細判定法および簡易判定法によるFLの計算結果

8. 下部構造の耐震性の検討

昭和大橋の下部構造は長さ 25 m, 径 600 鋼管ぐいによるパイルベントによるくい式橋脚である。当初は 9 本 1 列構造であったが, 被害後の復旧工事の際に増ぐいされ, 9 本 2 列の 18 本構造に補強された。本節では P₅ 橋脚を対象として, 「道路橋示方書 V 耐震設計編」⁹⁾ に従って, 前節までの地盤の耐震性調査の結果に基づいた流動化を考慮した下部構造の耐震性を検討する。P₅ 橋脚の構造諸元を図-8.1 に示す。

図-7.3 の地盤流動化の判定結果によれば, P₅ 橋脚付近では深度 10 m 以浅で流動化すると推定され, 詳細判定および簡易判定の両結果を踏えると, $0.6 < F_L \leq 1.0$ とみなされる(図-8.1 参照)。従って, 当地点では $F_L > 0.6$ であるため, 耐震設計上の地盤面は常時の設計地盤面と一致する。また, 下部工形式がくい基礎であるため, 耐震設計上の地盤面より $1/\beta$ (後述 $\div 4.0$ m) の範囲で流動化の影響(土質定数の低減)を考慮する。ここで, 道路橋示方書によれば土質定数を低減させる土層の取扱いは表-8.1 の係数 D_E で考慮するよう規定されている。当地盤の詳細判定および簡易判定の両結果によると $D_E = 1/3$ とされ, 標準貫入試験結果より推定される $1/\beta$ の範囲の横方向地盤反力係数 (1.0 kg/cm) を $1/3$ に低減することになる。ここでは参考のために $D_E = 2/3$ および流動化を考慮しない $D_E = 1$ の場合も計算した。計算は「道路橋示方書 IV 下部構造編」¹⁰⁾ のくい本体に水平荷重を受けるくい基礎の設計計算法により行った。同橋における設計水平震度 (K_h)⁹⁾ は 0.2 であるが, $K_h = 0.15$ および 0.25 の場合も計算した。計算方法の詳細は付属資料Ⅸを参照されたい。

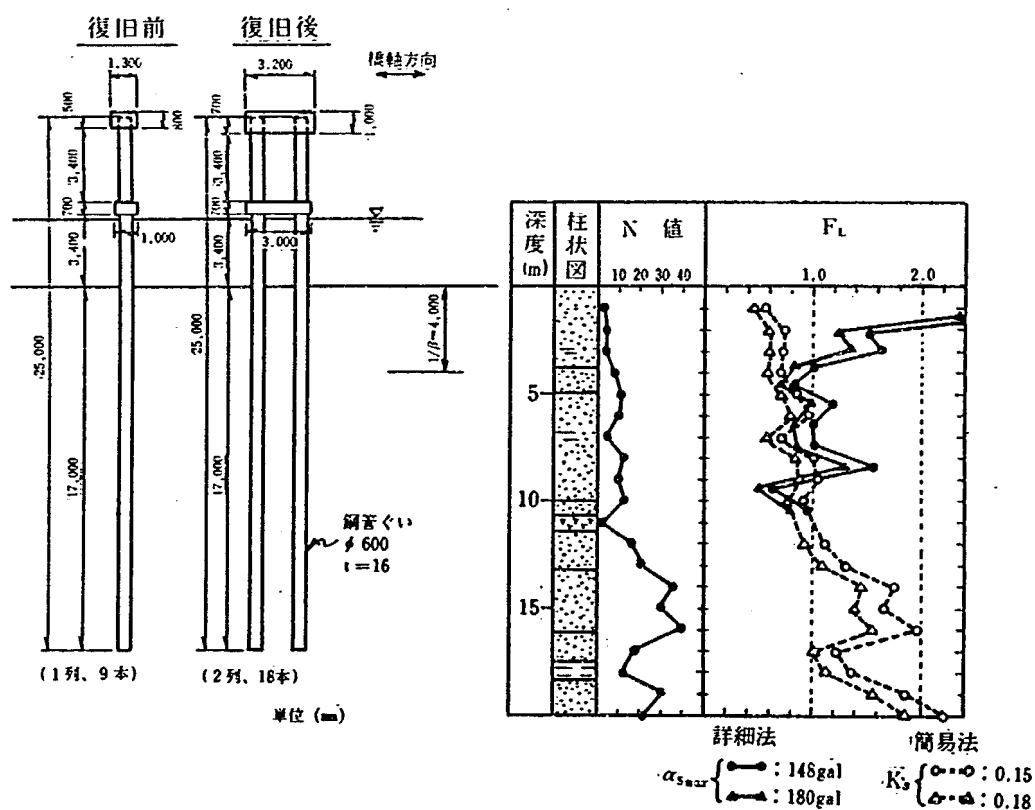
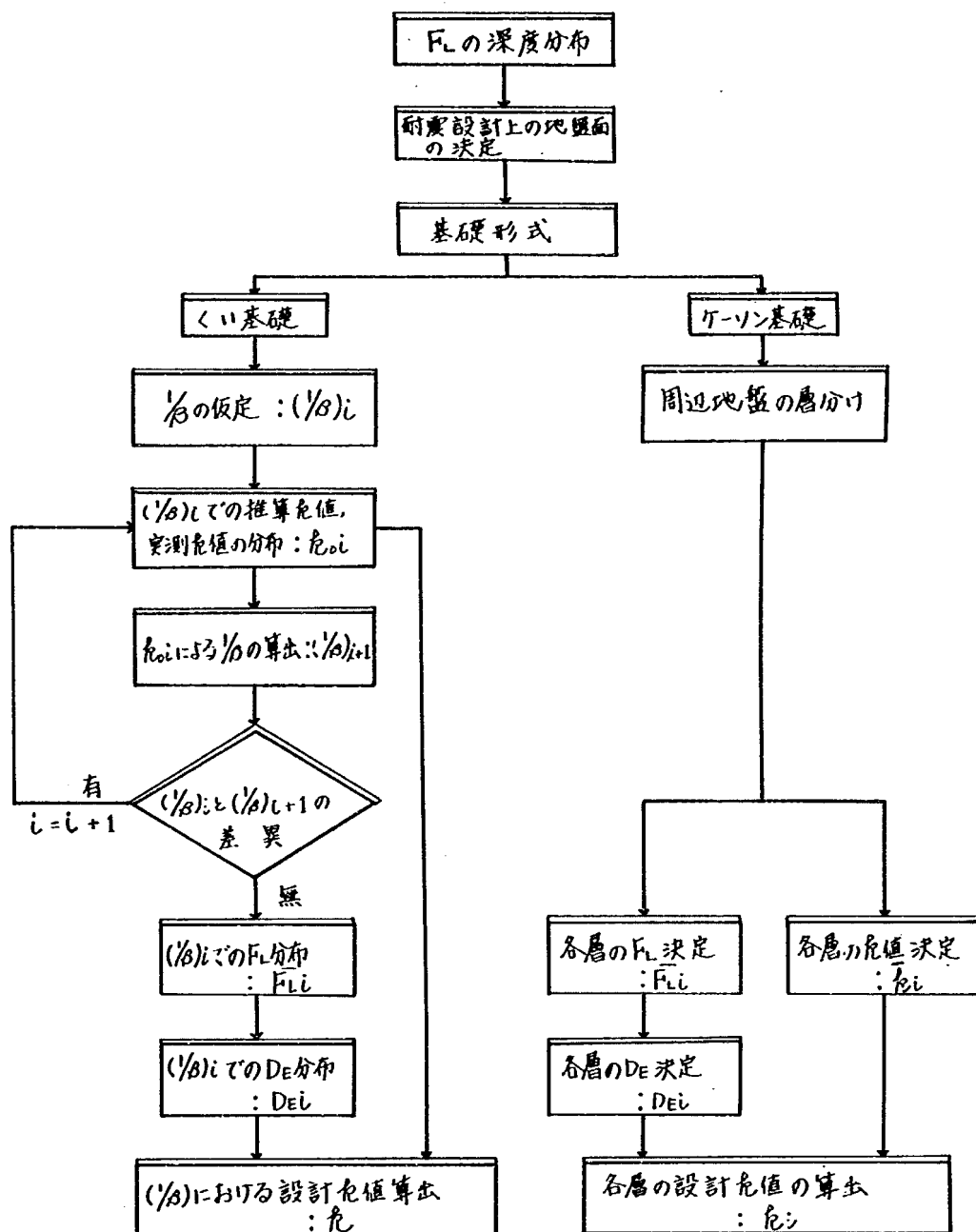


図-8.1 下部構造概要および周辺地盤の耐震性 (P₅)



図－8.2 流動化を考慮した設計用k値の決定フロー図

表－8.1 土質定数に乘じる係数

FL の 範 囲	現地盤からの深度 χ (m)	土質定数に乘じる係数DE
$FL \leq 0.6$	$0 \leq \chi \leq 10$	0
	$10 < \chi \leq 20$	$\frac{1}{3}$
$0.6 < FL \leq 0.8$	$0 \leq \chi \leq 10$	$\frac{1}{3}$
	$10 < \chi \leq 20$	$\frac{2}{3}$
$0.8 < FL \leq 1.0$	$0 \leq \chi \leq 10$	$\frac{2}{3}$
	$10 < \chi \leq 20$	1

図-8.3は橋脚天端の橋軸方向の水平変位量の計算結果である。同図から復旧後では復旧前に比較して、 $1/5 \sim 1/6$ の変位量となることがわかる。また、流動化しないと考える場合 ($D_E = 1$) に比べて、 $D_E = 2/3$ および $D_E = 1/3$ として流動化を考慮した場合は、それぞれ10%および30%の変位量の増加となる。この傾向は復旧前および復旧後とも同様である。 $D_E = 0$ の場合の計算結果も参考のため添えたが、 $D_E \approx 0$ の応答変位量に比較して増加が著しい。

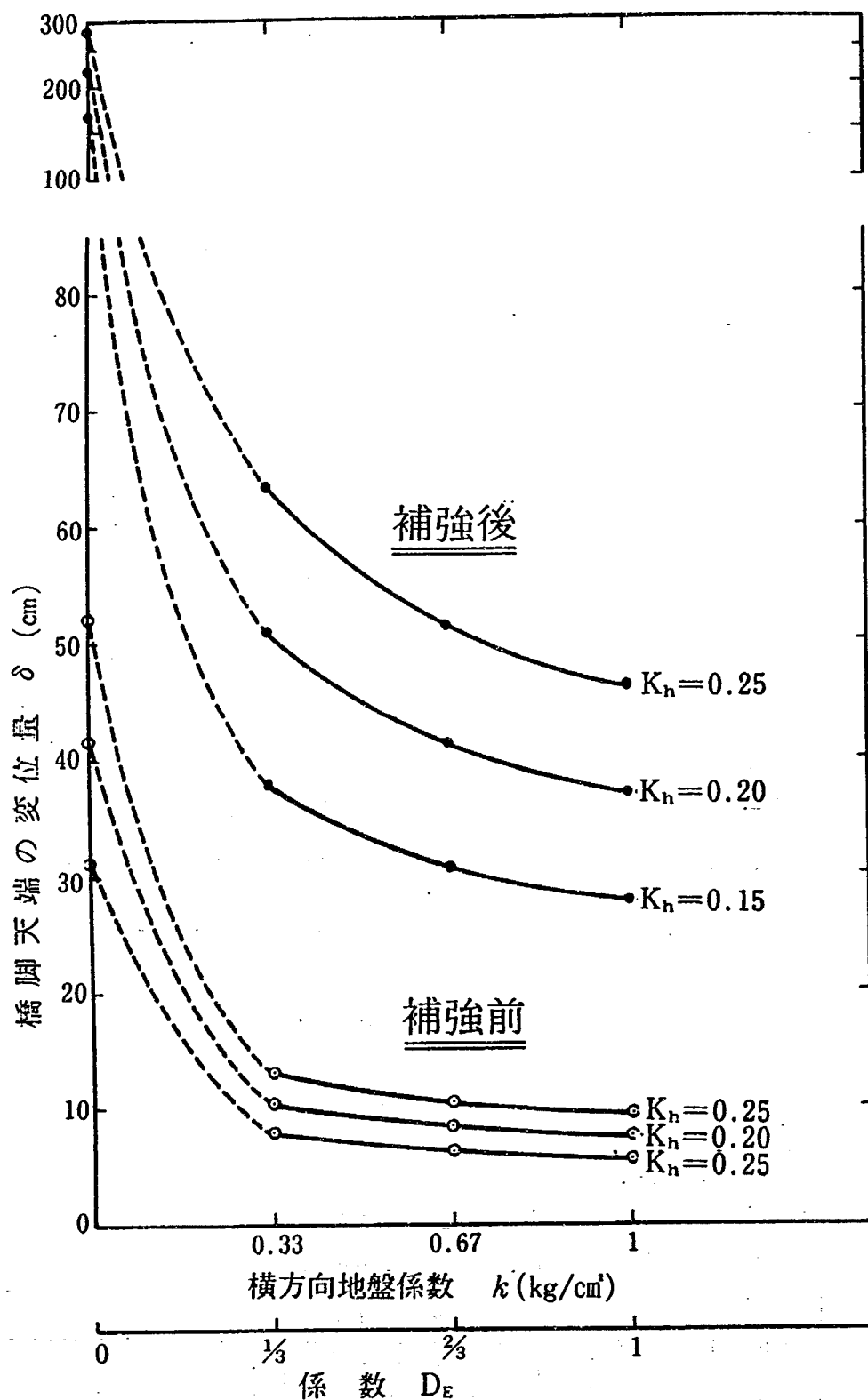


図-8.3 橋脚天端の応答変位計算結果 (P_5)

9. ま と め

昭和大橋における地盤および下部構造の耐震性に関する調査結果から次のことが明らかになった。

- (1) 原位置地盤調査によれば昭和大橋における周辺地盤は新潟地震当時と顕著な違いはみられず、低水敷から左岸にかけてN値が10程度以下の飽和砂質土層が10m程度の層厚で周辺地盤を構成している。
- (2) 流動化に対する抵抗率 F_L による流動化の判定結果は新潟地震時の橋梁の被害程度とも対応がとれており、当該地点では合理的な判定指標として用い得るものである。
- (3) 原位置地盤調査結果および流動化の検討結果によれば、今後、新潟地震規模の地震が発生した場合には、低水敷から左岸にかけて10m程度以浅の砂層で流動化するものと推定される。
- (4) 本橋のP5橋脚での流動化を考慮した下部構造の耐震性に関する調査によれば、流動化を考慮した場合 ($D_E = 1/3$) の橋脚天端の橋軸方向水平変位量は、考慮しない場合に比較して30%程度の増加となる。また、1列9本の下部構造の補強により、橋脚天端の変位量は補強前の $1/5 \sim 1/6$ に低減する。

あ と が き

本調査により地盤の流動化の判定をかなり合理的に行なえることがわかったが、次に問題となるのはその判定結果を構造物の耐震設計にいかに反映させるかである。今後は流動化を考慮した構造物の耐震設計法の研究をさらに発展させる必要がある。

なお、本調査の際には、北陸地方建設局信濃川下流工事事務所、新潟県土木部道路建設課および新潟市建設局都市計画課の御協力を頂いた。関係各位に厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所：新潟地震調査報告，土木研究所報告 第125号，昭和40年6月
- 2) 栗林，龍岡，吉田：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，昭和49年12月
- 3) 岩崎，龍岡，吉田：我が国における地震時の地盤流動化履歴，土木技術資料 Vol. 18 No. 10, 1976. 10
- 4) 岩崎，龍岡，吉田：砂層中の杭の動的挙動に関する模型振動実験，土木研究所資料 第1152号，昭和51年6月
- 5) 岩崎，龍岡：流動化する地盤内の杭基礎の動的挙動に関する模型実験，土木技術資料 Vol. 18, No. 9, 1976. 9
- 6) 岩崎，龍岡，常田，吉田：流動化砂層中の杭の地震時挙動，土木技術資料 Vol. 18 No. 1, 1979. 1
- 7) 岩崎，龍岡，常田：不攪乱砂質土の動的強度の推定法，第5回土木学会関東支部年次研究発表会，1978. 1
- 8) 大橋，岩崎，龍岡，宮田：地震時における地盤流動化判定法の検討，土木技術資料 Vol. 19, No. 4, 1977. 4
- 9) 岩崎，龍岡，常田：地盤流動化の判定方法，土木技術資料 Vol. 20, No. 4, 1978. 4
- 10) 岩崎，常田：関上大橋における地盤の耐震性調査，土木技術資料 Vol. 22, No. 7, 1980. 7
- 11) 岩崎，常田：1978年宮城県沖地震で被災した名取堤防における地盤の耐震性調査，土木技術資料 Vol. 22,
- 12) 岩崎，常田：昭和大橋における地盤の耐震性調査，土木技術資料 Vol. 22, (投稿中)
- 13) 岩崎，常田，佐藤：流動化履歴地点の地盤特性（その4），第35回土木学会年次学術講演会概要集 第三部，1980. 9
- 14) 常田，吉田：飽和砂質土の内部摩擦角に及ぼす過剰間ゲキ水圧の影響，第35回土木学会年次学術講演会概要集 第三部，1980. 9
- 15) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，昭和55年5月
- 16) 土木研究所振動研究室：中部地区・北陸地区等地盤耐震性調査報告書，昭和53年1月
- 17) 建設省設計局：都市地盤調査報告書 第16巻，1967
- 18) 岩崎，龍岡，高木：砂のせん断変形係数と減衰の歪依存性について，第12回土質工学研究発表会，1977. 5
- 19) 岩崎，龍岡，常田，吉田：共振法，振動三軸試験による沖積粘土の動的変形係数，第13回土質工学研究発表会，1978. 6

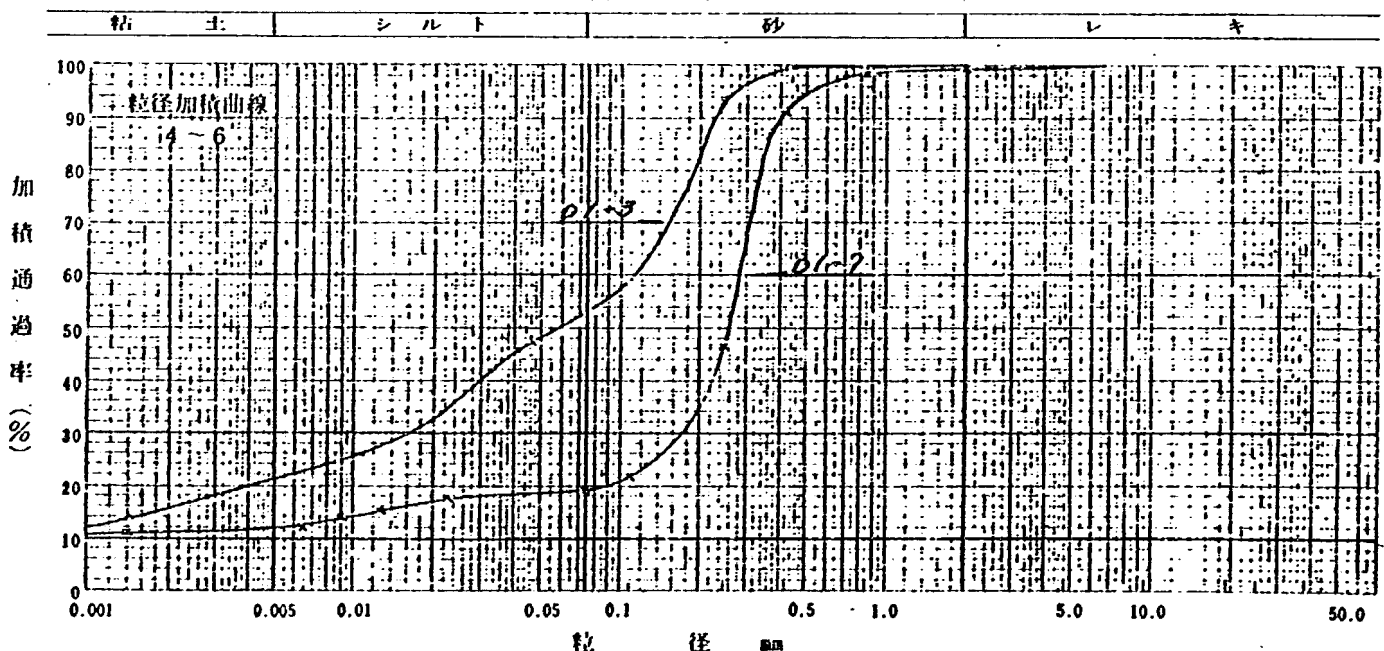
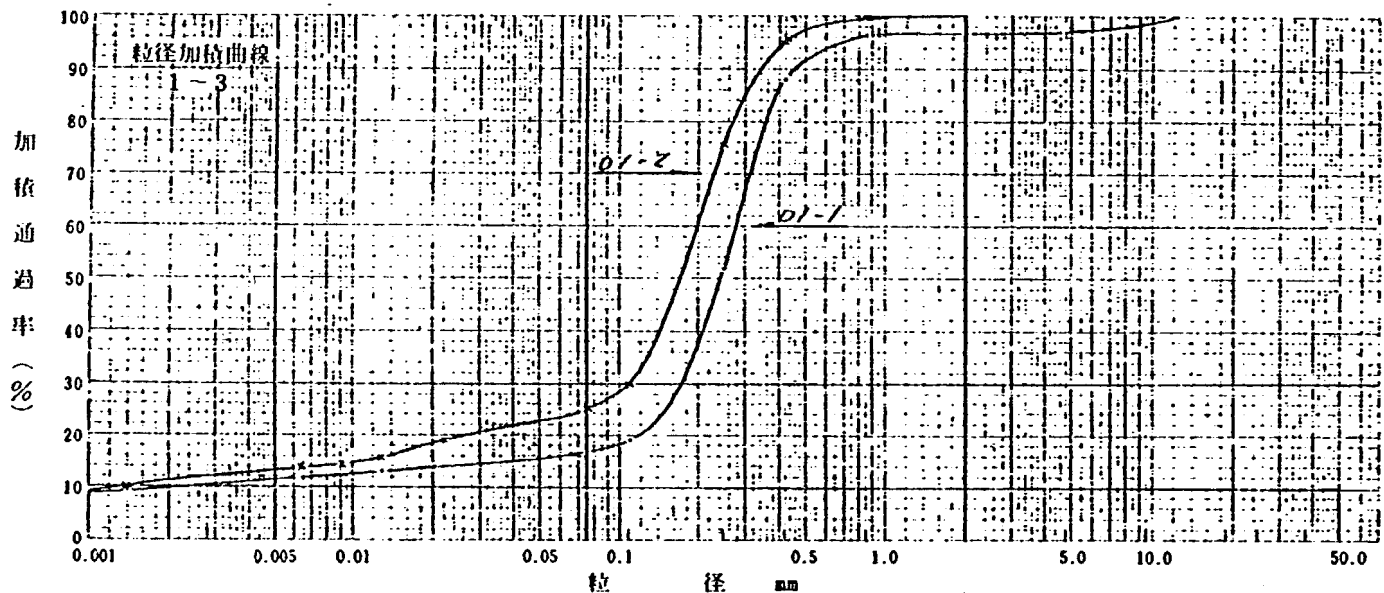
付 属 資 料

- I 物理特性試験結果
- II 動的強度試験結果
- III マトリックス法によるS H波の重複反射理論
- IV 川岸町での観測地震動, 基盤入射波形および
基盤地震動のデジタル数値
- V 地盤の地震応答解析結果
- VI 補正項 C_2 の算出方法
- VII 流動化に対する抵抗率(FL)の計算結果
- VIII 下部構造の耐震性に関する計算法

I 物理特性試驗結果

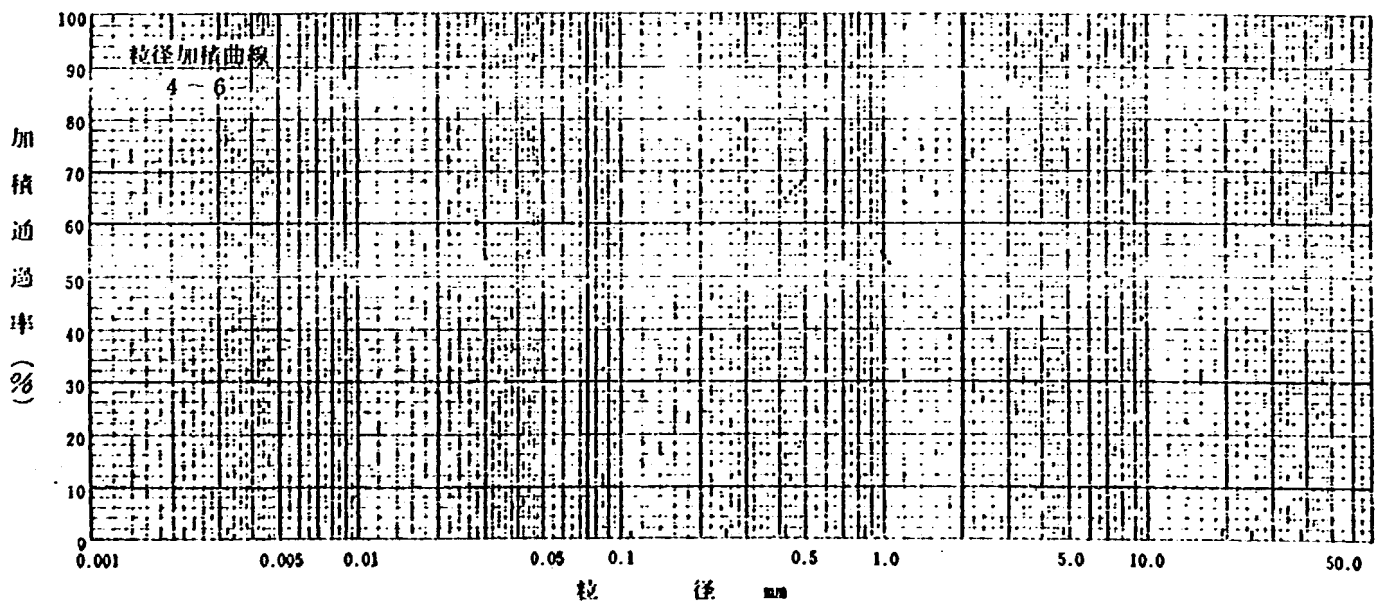
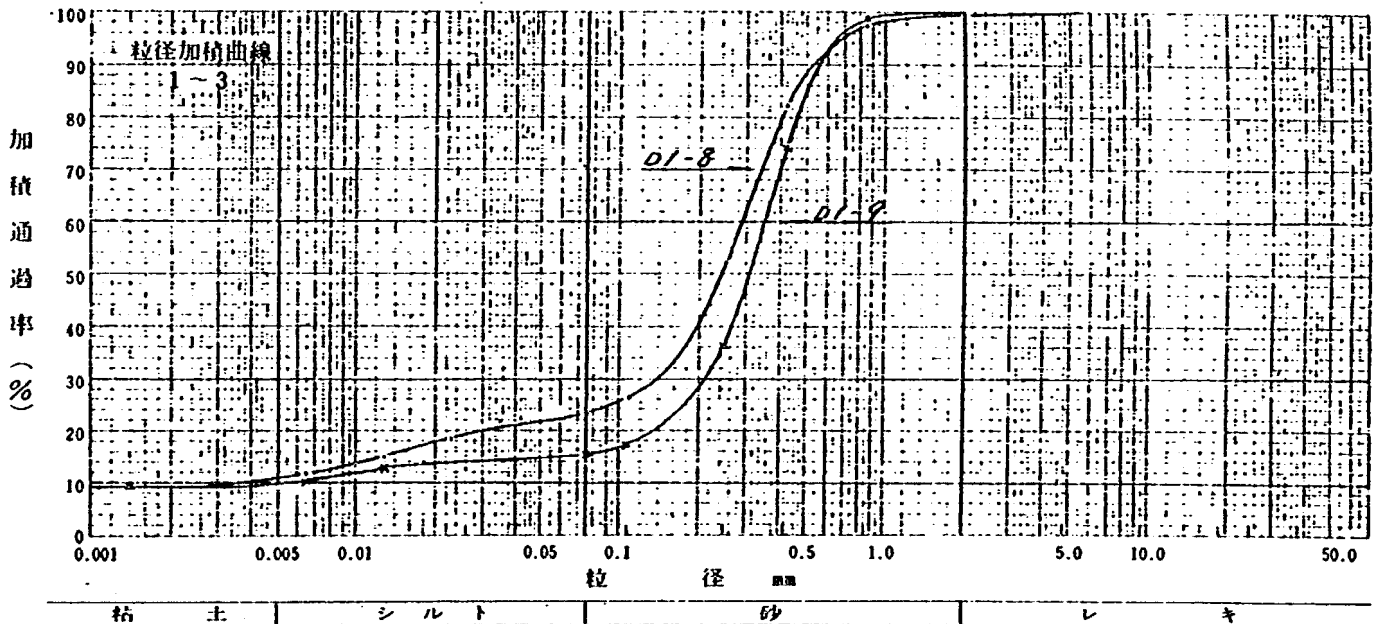
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D 1-1	D 1-2		D 1-3	D 1-7	
深 さ m	1.00 ~ 1.30	2.00 ~ 2.30		3.00 ~ 3.30	7.00 ~ 7.30	
レ キ 分 %	3.5	0.0		0.0	1.0	
砂 分 %	79.5	75.0		47.0	80.0	
シ ル ト 分 %	5.5	12.0		32.0	7.0	
粘 土 分 %	11.5	13.0		21.0	12.0	
粒度による分類	礫混り砂	砂質ローム		粘土質ローム	砂	
最大粒径 D_{max} mm	12.2	2.0		2.0	6.7	
60% 粒径 D_{60} mm	0.28	0.20		0.11	0.28	
30% 粒径 D_{30} mm	0.17	0.11		0.016	0.17	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0024	0.0014		0.001以下	0.001以下	
均等係数 U_c	116.7	142.9		110.0以上	280.0以上	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	



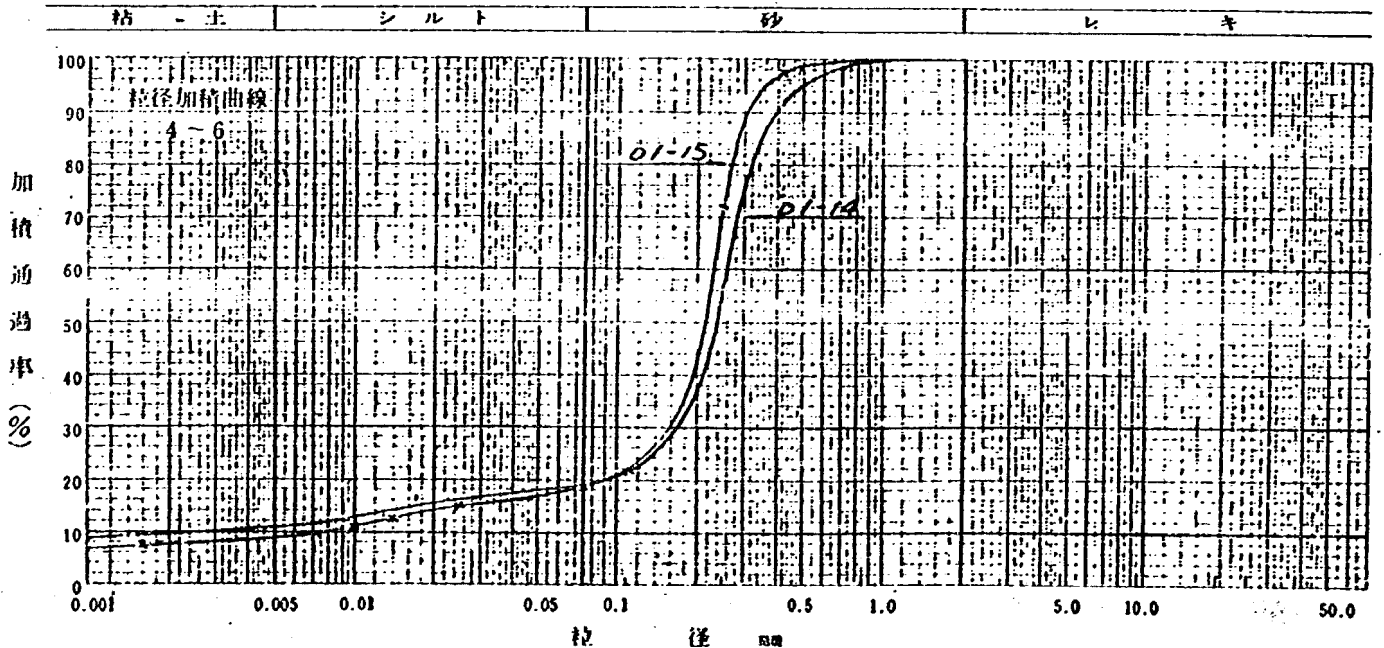
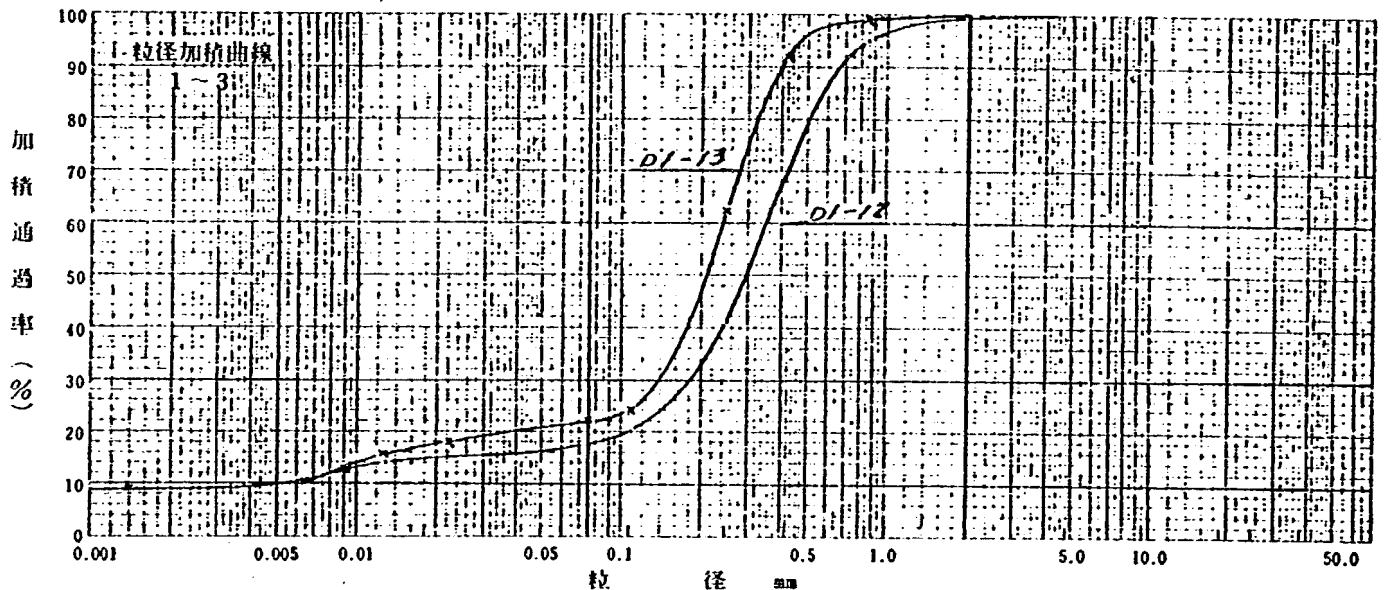
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D 1-8	D 1-9		D 1-10	D 1-11	
深 さ m	8.00 ~ 8.30	9.00 ~ 9.30		10.00 ~ 10.3	11.00 ~ 11.30	
レ キ 分 %	0.5	0.0				
砂 分 %	76.5	84.5				
シ ル ト 分 %	12.0	5.5				
粘 土 分 %	11.0	10.0				
粒度による分類	砂質ローム	砂				
最大粒径 D_{max} mm	5.3	2.0				
60% 粒径 D_{60} mm	0.29	0.35				
30% 粒径 D_{30} mm	0.14	0.21				
10% 粒径 D_{10} mm	0.0037	0.0055				
均等係数 U_c	78.4	63.6				
曲率係数 U_c'	—	—				



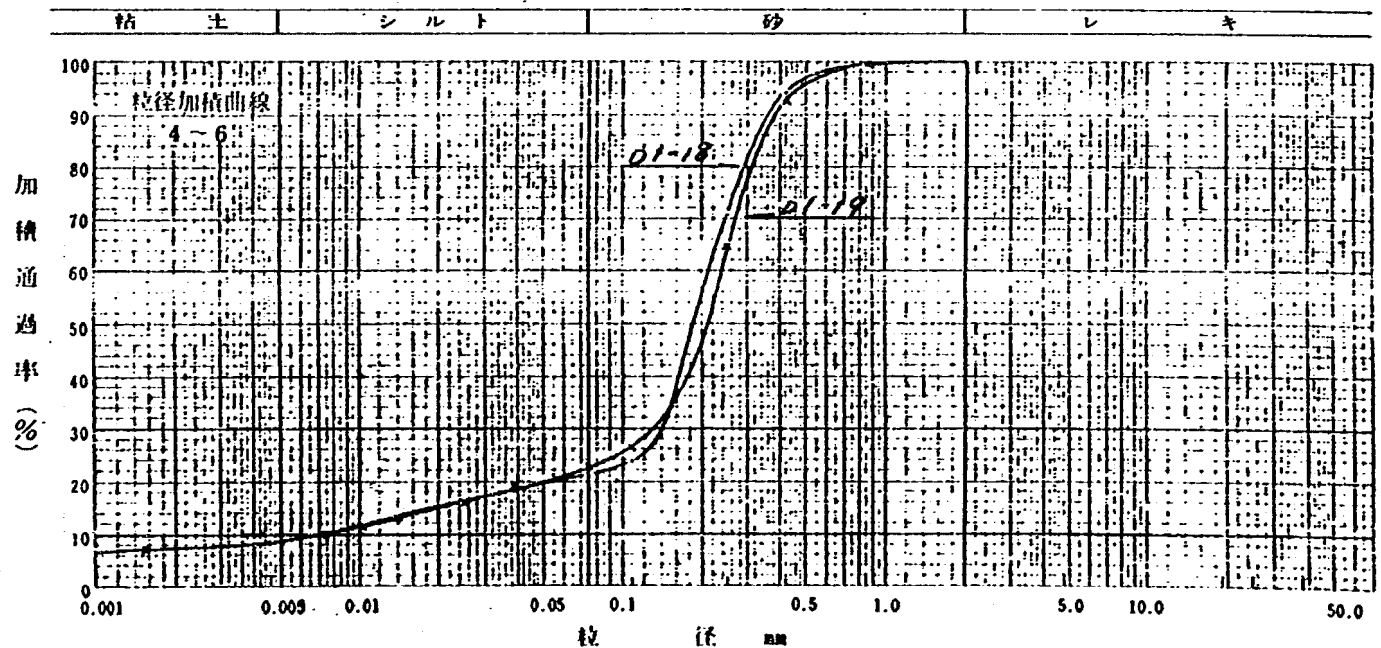
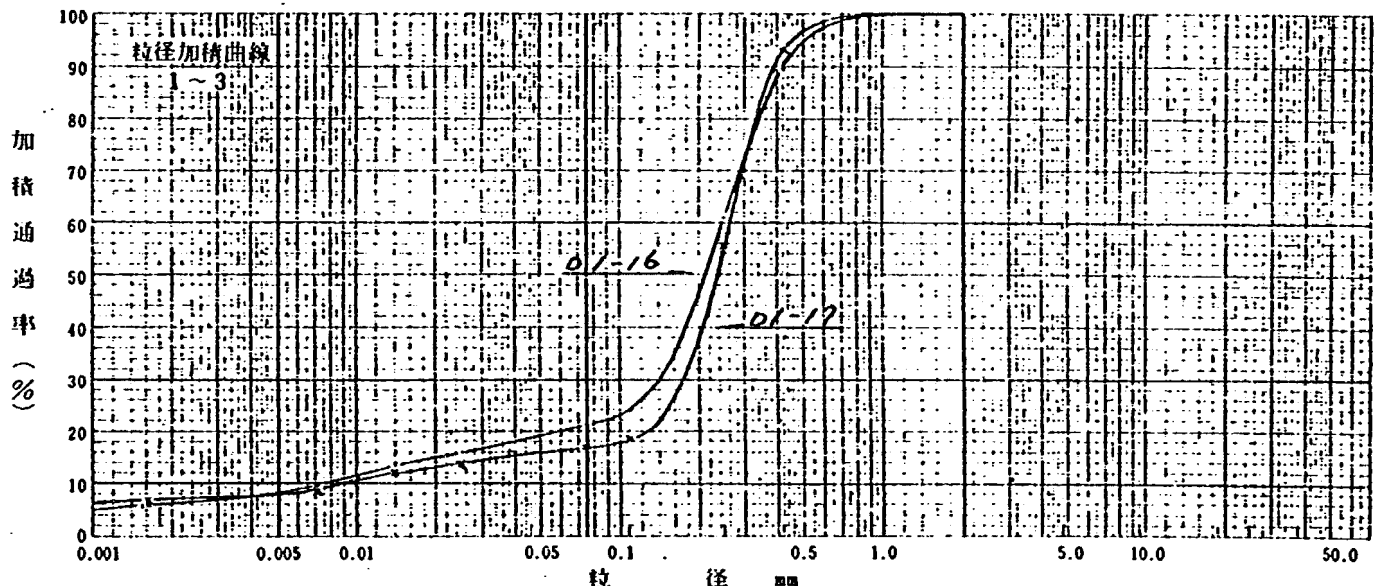
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D1-12	D1-13		D1-14	D1-15	
深 さ m	1200 ~ 1230	1300 ~ 1330		1400 ~ 1430	1500 ~ 1530	
レ キ 分 %	0.5	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	82.0	78.0		81.0	81.5	
シ ル ト 分 %	7.5	12.0		8.0	9.5	
粘 土 分 %	10.0	10.0		11.0	9.0	
粒度による分類	砂	砂質ローム		砂	砂	
最大粒径 D_{max} mm	4.3	2.0		2.0	2.0	
60% 粒径 D_{60} mm	0.35	0.24		0.26	0.23	
30% 粒径 D_{30} mm	0.18	0.14		0.17	0.16	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0055	0.0055		0.0026	0.0076	
均等係数 U_c	63.6	43.6		100.0	30.3	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	



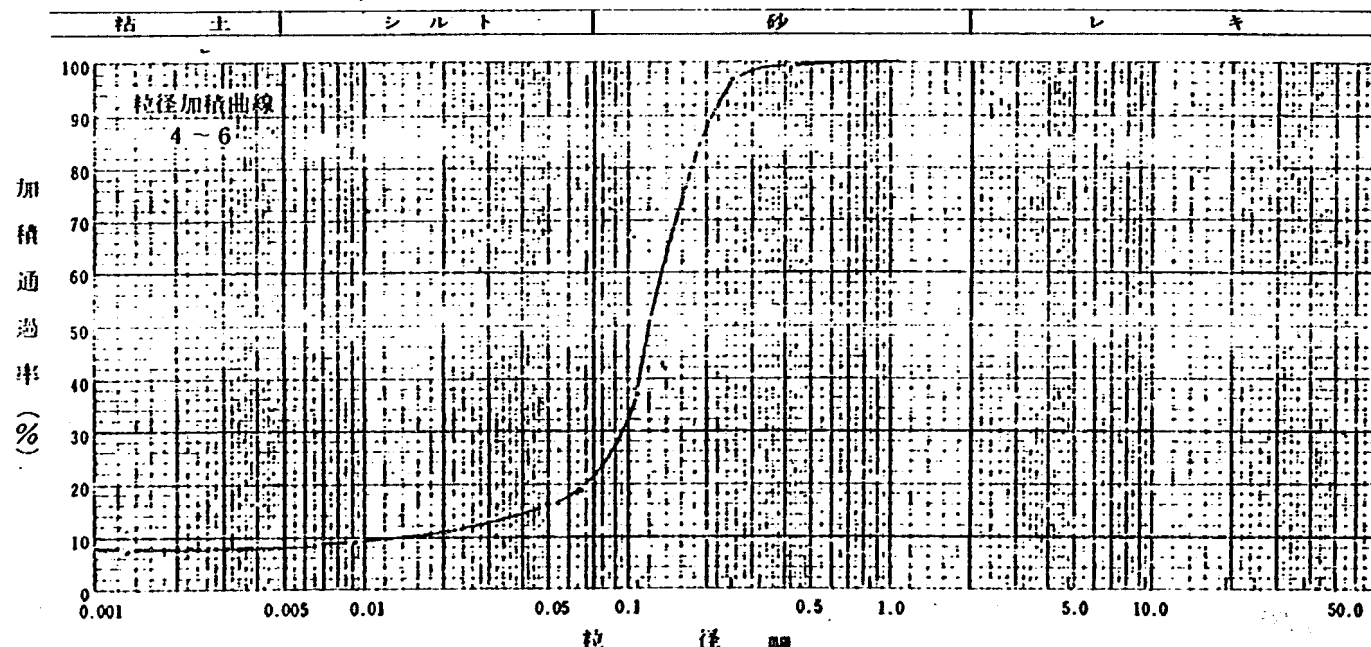
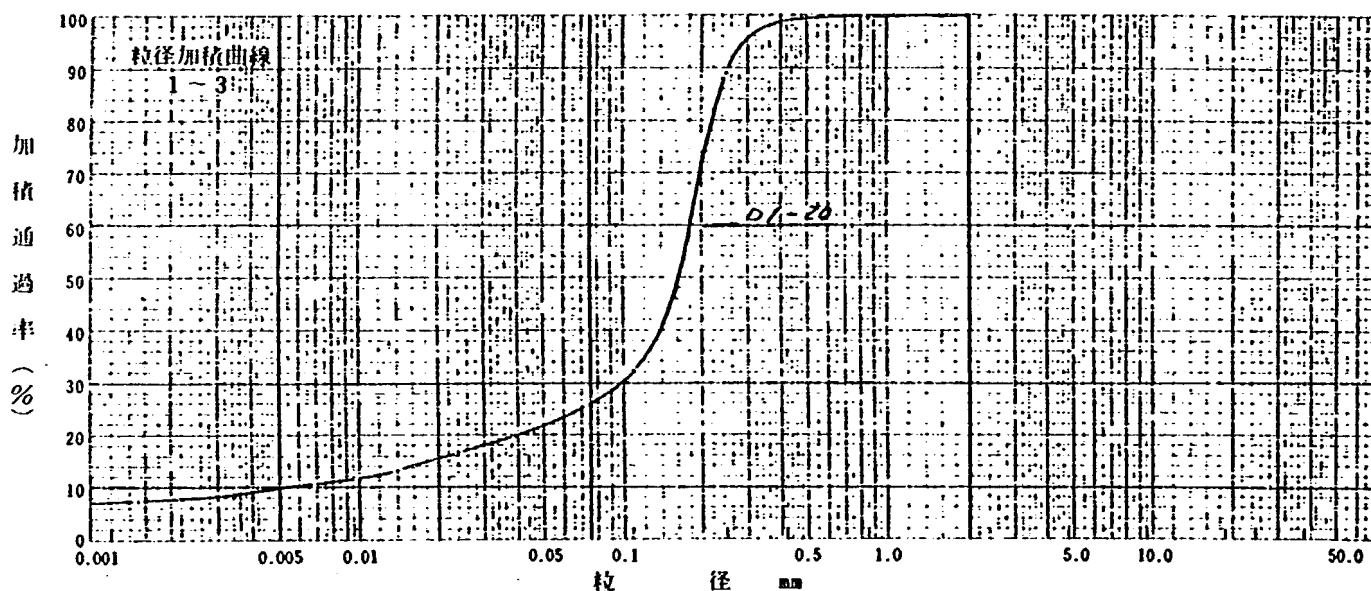
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D1-16	D1-17		D1-18	D1-19	
深 さ m	16.00 ~ 16.30	17.00 ~ 17.30		18.00 ~ 18.30	19.00 ~ 19.30	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	79.0	83.0		77.5	78.5	
シ ル ト 分 %	13.0	9.0		14.0	13.0	
粘 土 分 %	8.0	8.0		8.5	8.5	
粒度による分類	砂質ローム	砂		砂質ローム	砂質ローム	
最大粒径 D_{max} ㎜	2.0	2.0		2.0	2.0	
60% 粒径 D_{60} ㎜	0.24	0.26		0.21	0.24	
30% 粒径 D_{30} ㎜	0.14	0.17		0.14	0.13	
10% 粒径 D_{10} ㎜	0.0075	0.0090		0.0070	0.0070	
均等係数 U_c	32.0	28.9		30.0	34.3	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	



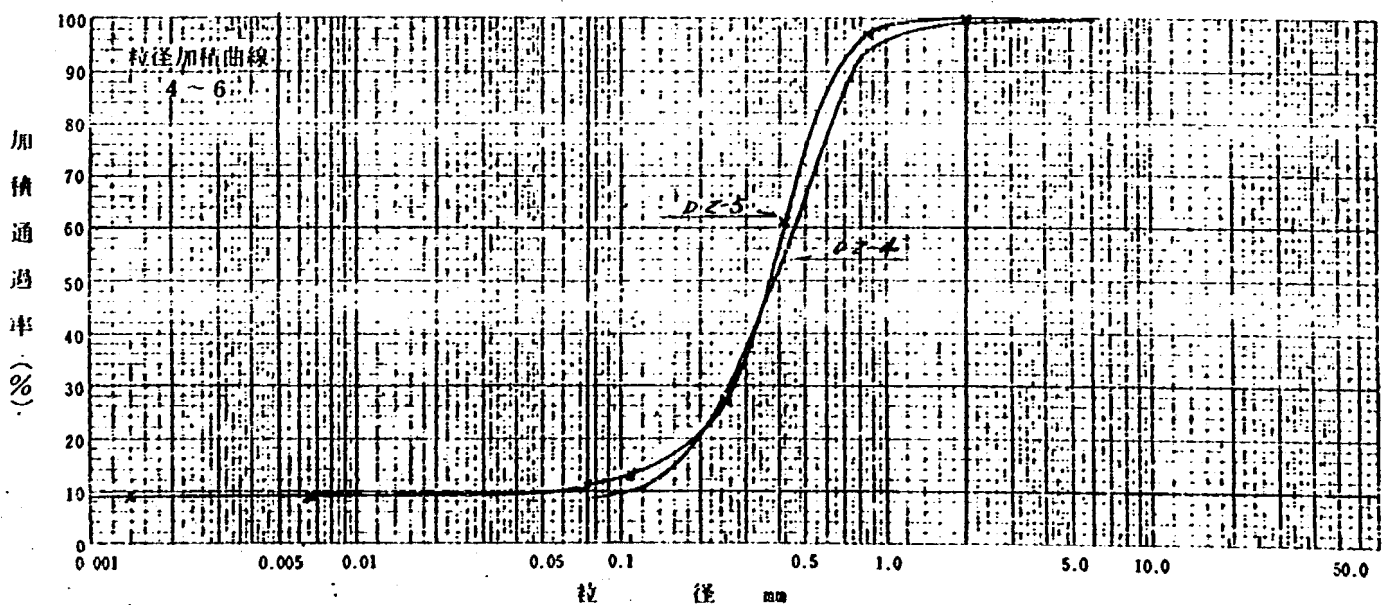
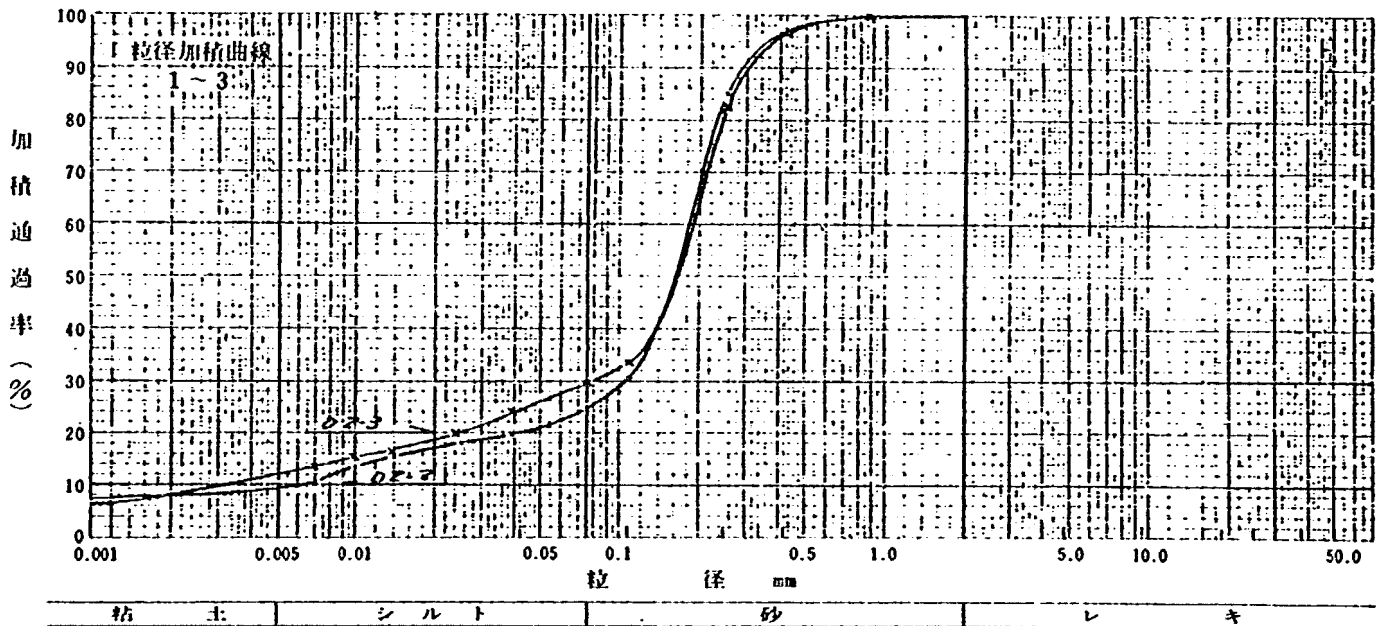
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D1-20			D1-21		
深 さ m	20.00 ~ 20.30			26.00 ~ 27.30		
レ キ 分 %	0.0			0.0		
砂 分 %	74.0			79.0		
シ ル ト 分 %	16.0			13.0		
粘 土 分 %	10.0			8.0		
粒度による分類	砂質ローム					
最大粒径 D_{max} mm	2.0			2.0		
60% 粒径 D_{60} mm	0.18			0.13		
30% 粒径 D_{30} mm	0.098			0.096		
10% 粒径 D_{10} mm	0.0054			0.013		
均等係数 U_c	33.3			10.0		
曲率係数 U_c'	—			—		



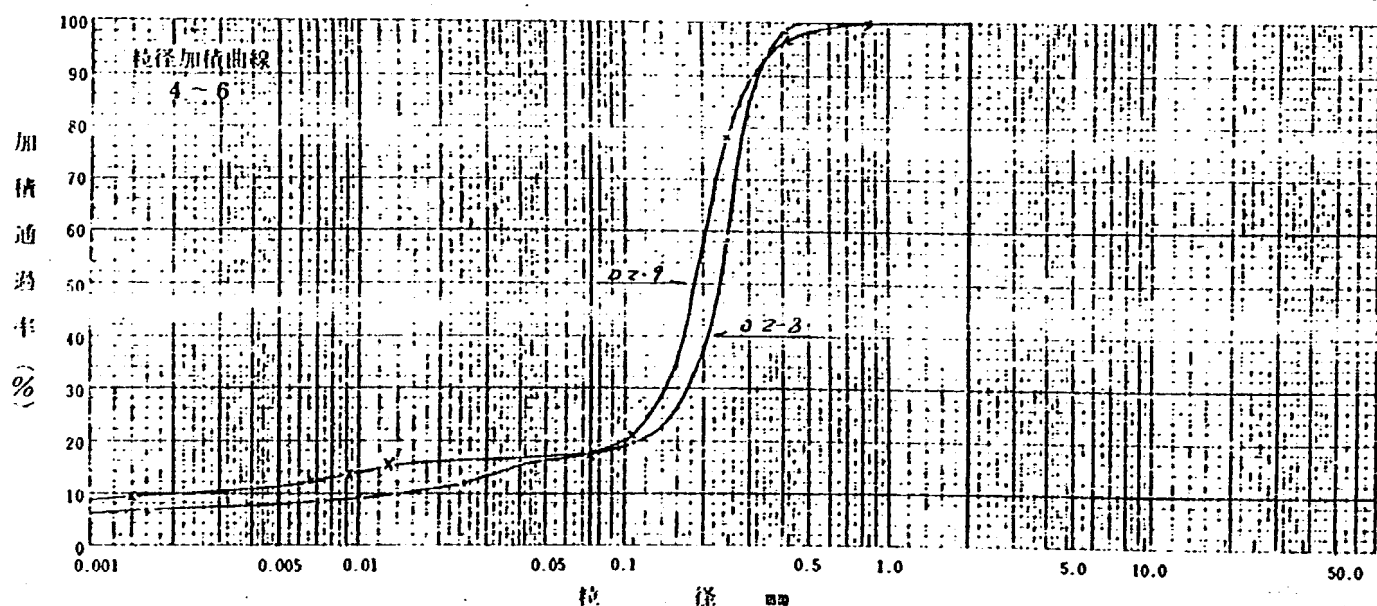
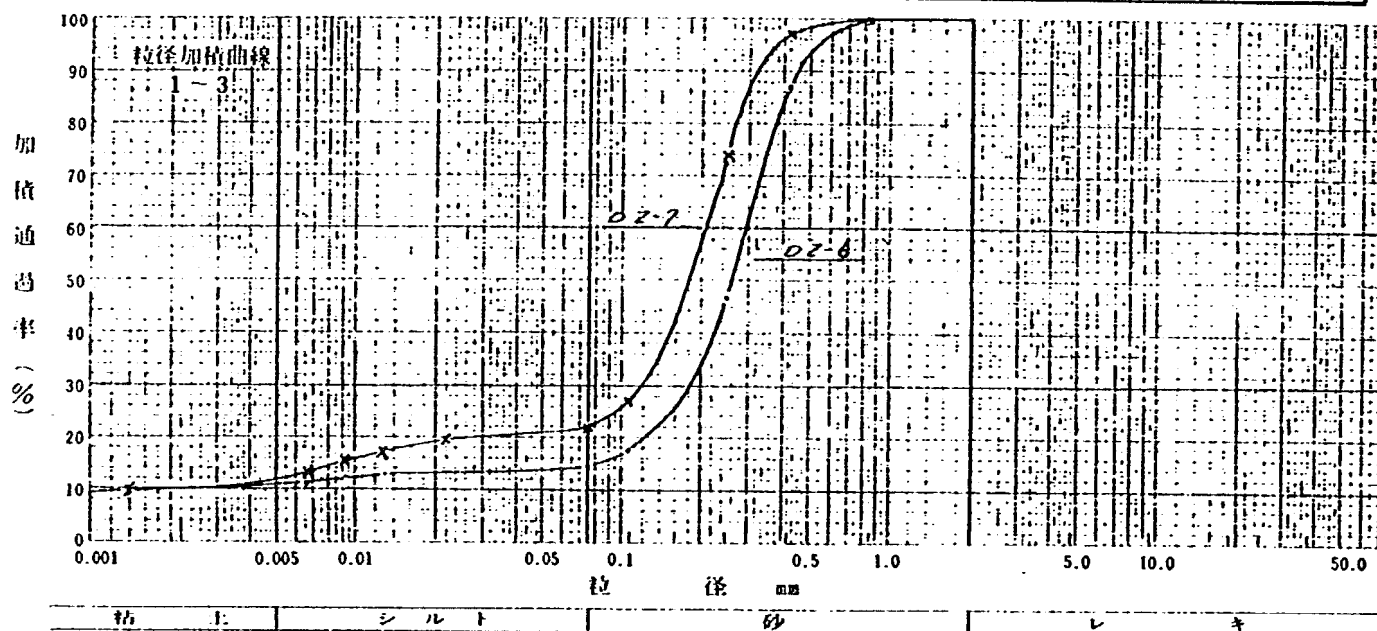
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D2-2	D2-3		D2-4	D2-5	
深 さ m	2.15 ~ 2.46	3.15 ~ 3.51		4.15 ~ 4.47	5.15 ~ 5.48	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	75.5	70.0		91.5	89.0	
シ ル ト 分 %	15.5	18.0		} 8.5	2.0	
粘 土 分 %	9.0	12.0			9.0	
粒度による分類	砂質ローム	砂質ローム		砂	砂	
最大粒径 D_{max} mm	2.0	2.0		6.1	3.2	
60% 粒径 D_{60} mm	0.18	0.19		0.46	0.42	
30% 粒径 D_{30} mm	0.105	0.078		0.26	0.27	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0063	0.0032		0.11	0.055	
均等係数 U_c	28.6	59.4		4.2	7.6	
曲率係数 U_c'	—	—		1.3	—	



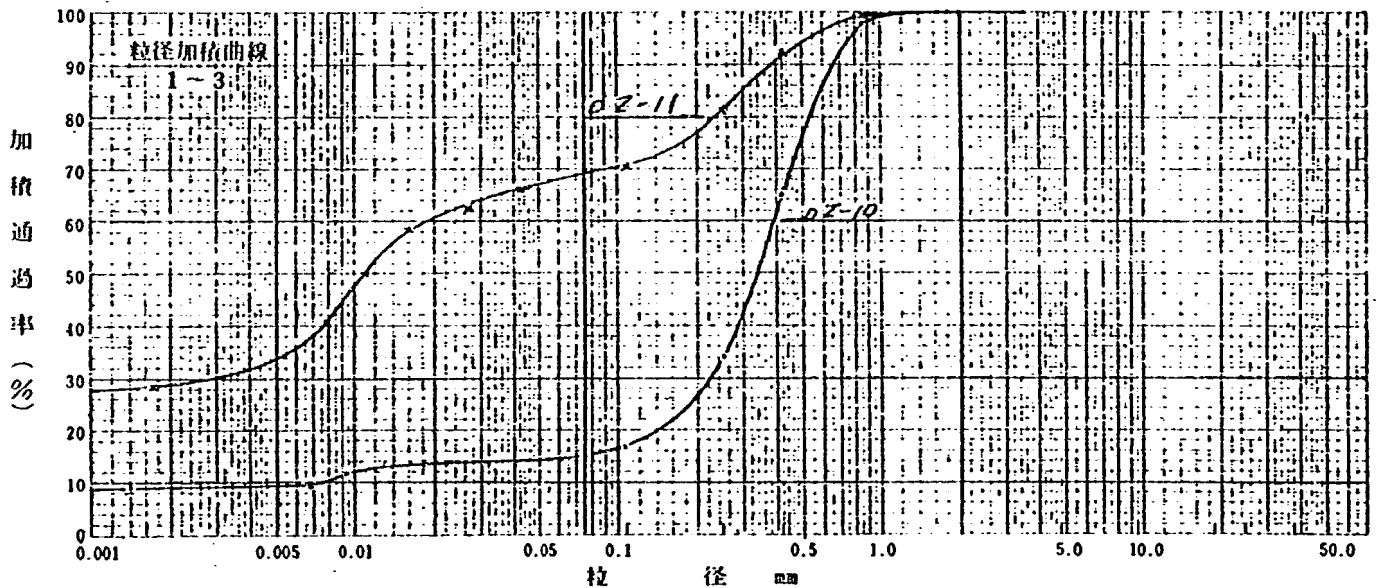
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D2-6	D2-7		D2-8	D2-9	
深 さ m	6.15 ~ 6.48	7.15 ~ 7.48		8.15 ~ 8.46	9.15 ~ 9.48	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	85.5	78.0		82.0	82.5	
シ ル ト 分 %	3.5	10.0		10.0	6.5	
粘 土 分 %	11.0	12.0		8.0	11.0	
粒度による分類	砂	砂質ローム		砂	砂	
最大粒径 D_{max} mm	2.0	2.0		2.0	2.0	
60% 粒径 D_{60} mm	0.29	0.21		0.25	0.205	
30% 粒径 D_{30} mm	0.18	0.14		0.17	0.14	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0022	0.0022		0.014	0.0021	
均等係数 U_c	131.8	95.5		17.9	97.6	
曲率係数 U_c	—	—		—	—	

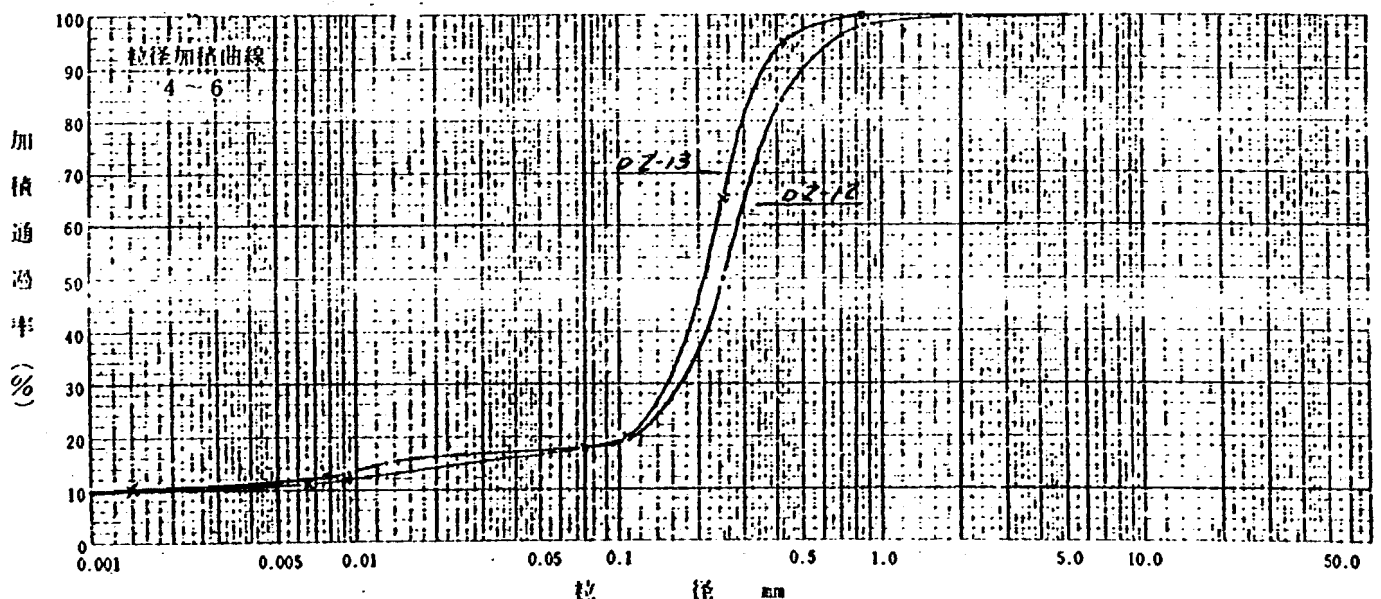


粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D2-10	D2-11		D2-1.2	D2-1.3	
深 さ m	10.15 ~ 10.45	11.15 ~ 11.45		12.15 ~ 12.45	13.15 ~ 13.45	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.5	0.0	
砂 分 %	85.0	31.0		81.5	82.5	
シル ト 分 %	5.5	35.0		6.5	6.5	
粘 土 分 %	9.5	34.0		11.5	11.0	
粒度による分類	砂	粘土(腐植土)		砂	砂	
最大粒径 D_{max} mm	3.5	2.0		5.2	2.0	
60% 粒径 D_{60} mm	0.39	0.019		0.28	0.23	
30% 粒径 D_{30} mm	0.22	0.0028		0.17	0.15	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0075	0.001以下		0.0012	0.001	
均等係数 U_c	52.0	19.0以上		233.3	230.0	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	

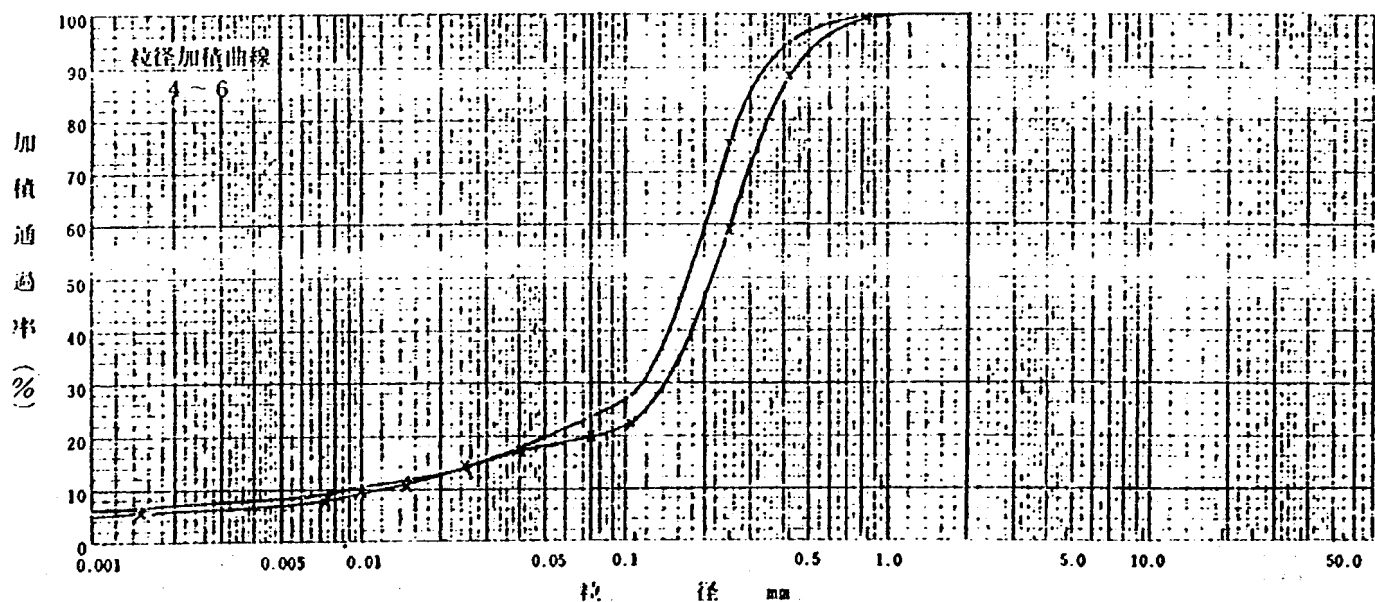
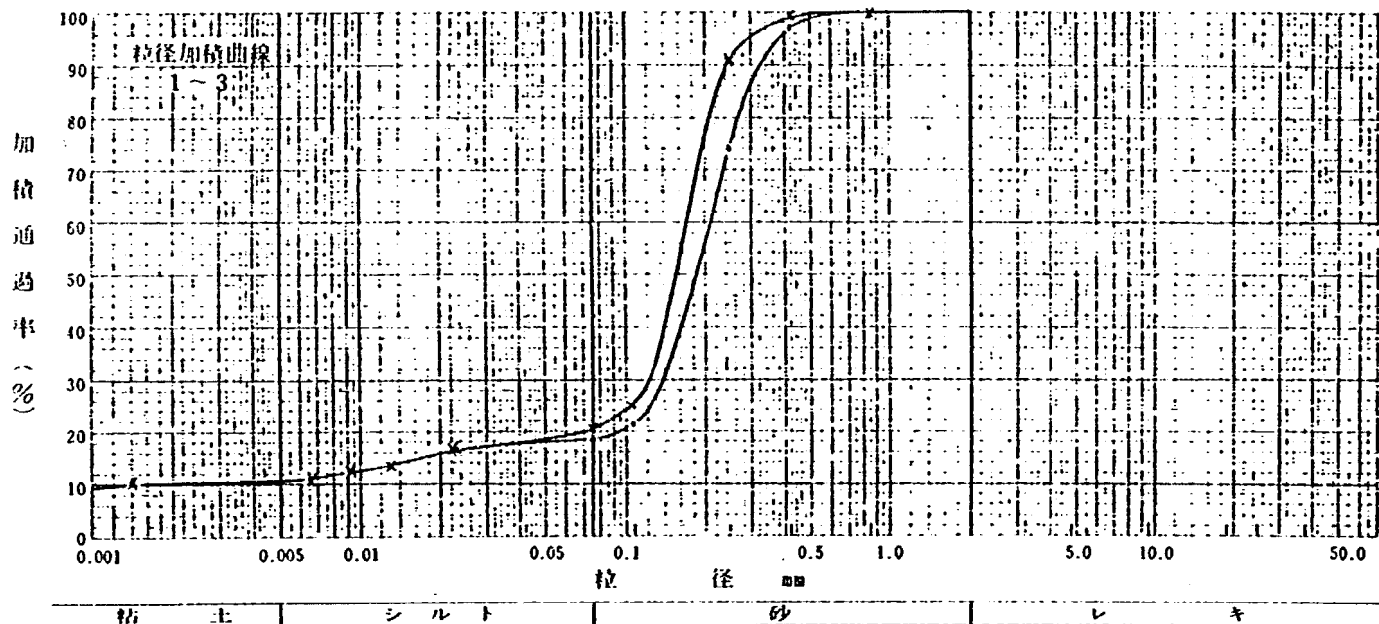


粘 土 シ ル ト 砂 レ キ



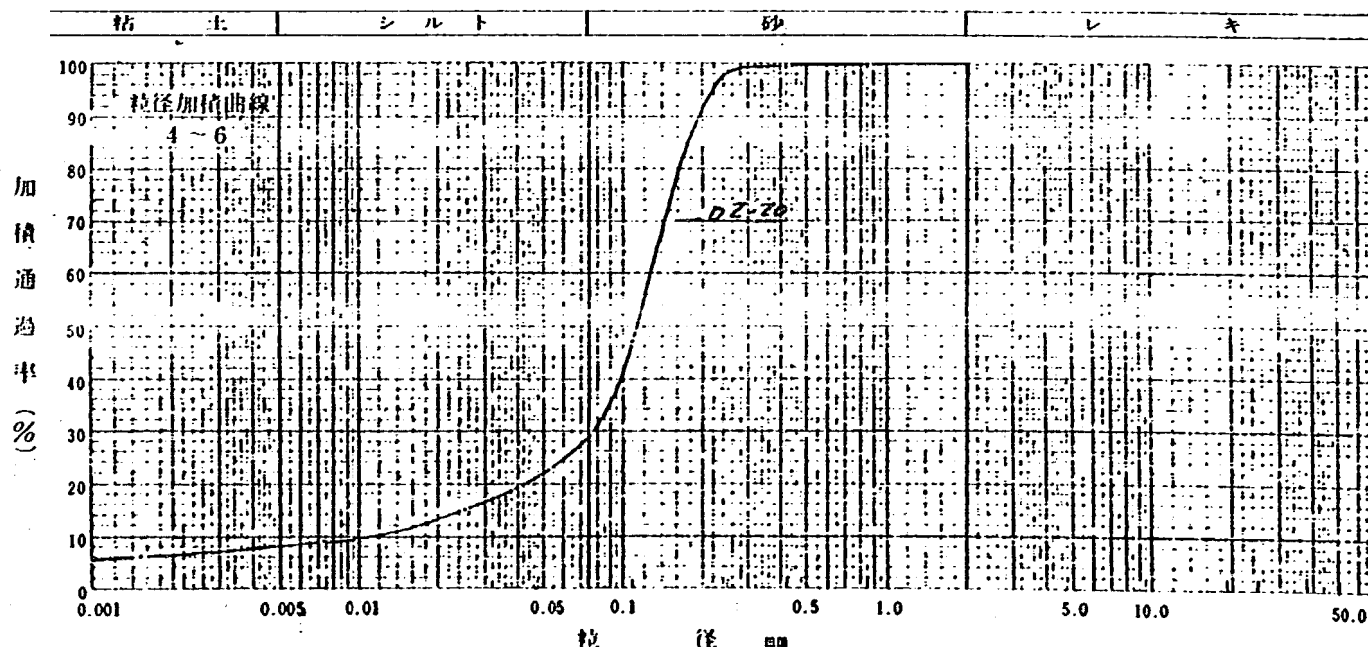
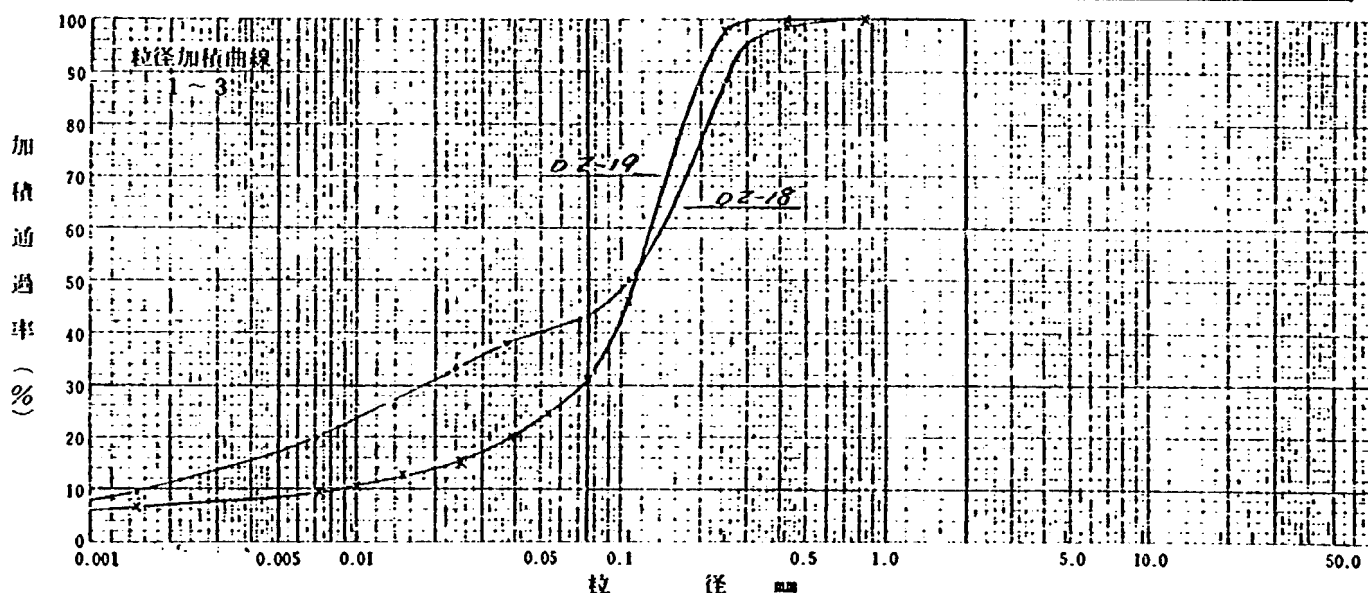
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D2-14	D2-15		D2-16	D2-17	
深 さ m	14.15 ~ 14.45	15.15 ~ 15.45		16.15 ~ 16.45	17.15 ~ 17.45	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	81.5	79.5		76.5	80.0	
シ ル ト 分 %	8.0	10.0		15.5	13.5	
粘 土 分 %	10.5	10.5		8.0	6.5	
粒度による分類	砂	砂質ローム		砂質ローム	砂	
最大粒径 D_{max} mm	2.0	2.0		2.0	2.0	
60% 粒径 D_{60} mm	0.21	0.17		0.20	0.25	
30% 粒径 D_{30} mm	0.14	0.12		0.12	0.14	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0018	0.0018		0.009	0.012	
均等係数 U_c	116.7	94.4		22.2	20.8	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	



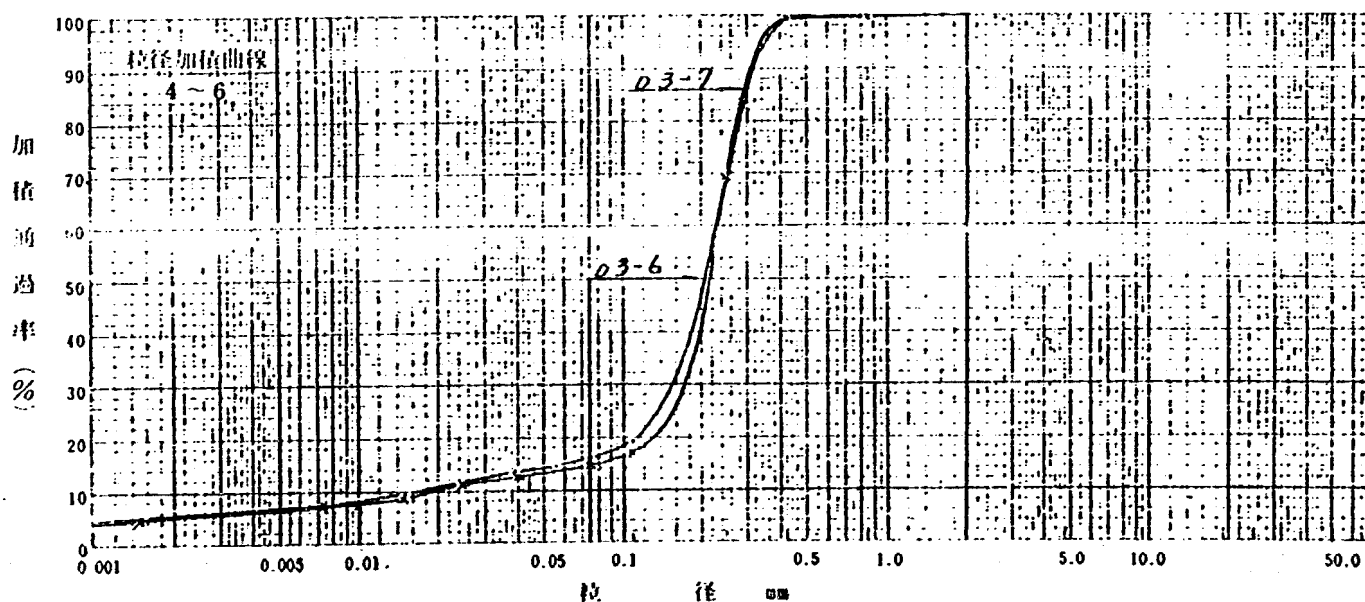
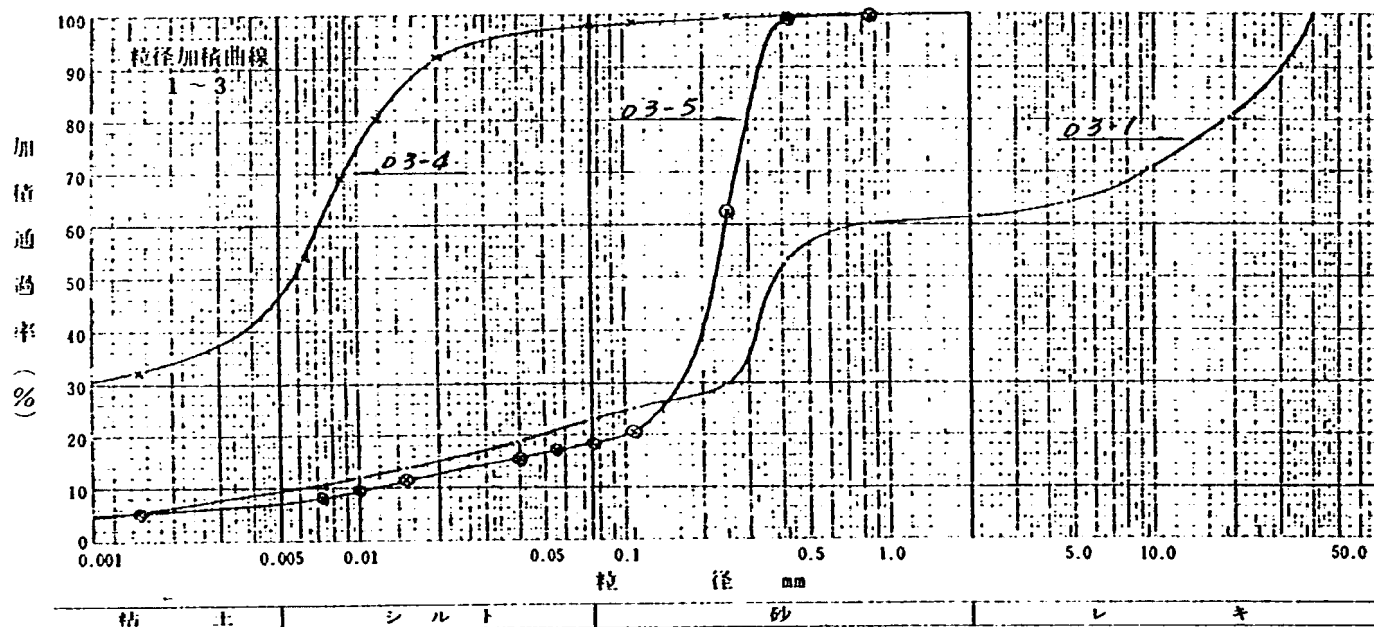
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D2-18	D2-19		D2-20		
深 さ m	18.15 ~ 18.45	19.15 ~ 19.45		20.15 ~ 20.45		
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0		
砂 分 %	57.0	69.0		71.0		
シ ル ト 分 %	26.0	23.0		22.0		
粘 土 分 %	17.0	8.0		8.0		
粒度による分類	砂質ローム	砂質ローム		砂質ローム		
最大粒径 D_{max} ㎜	2.0	2.0		2.0		
60% 粒径 D_{60} ㎜	0.14	0.13		0.13		
30% 粒径 D_{30} ㎜	0.018	0.071		0.077		
10% 粒径 D_{10} ㎜	0.0014	0.009		0.011		
均等係数 U_c	100.0	14.4		11.8		
曲率係数 U_c'	—	—		—		



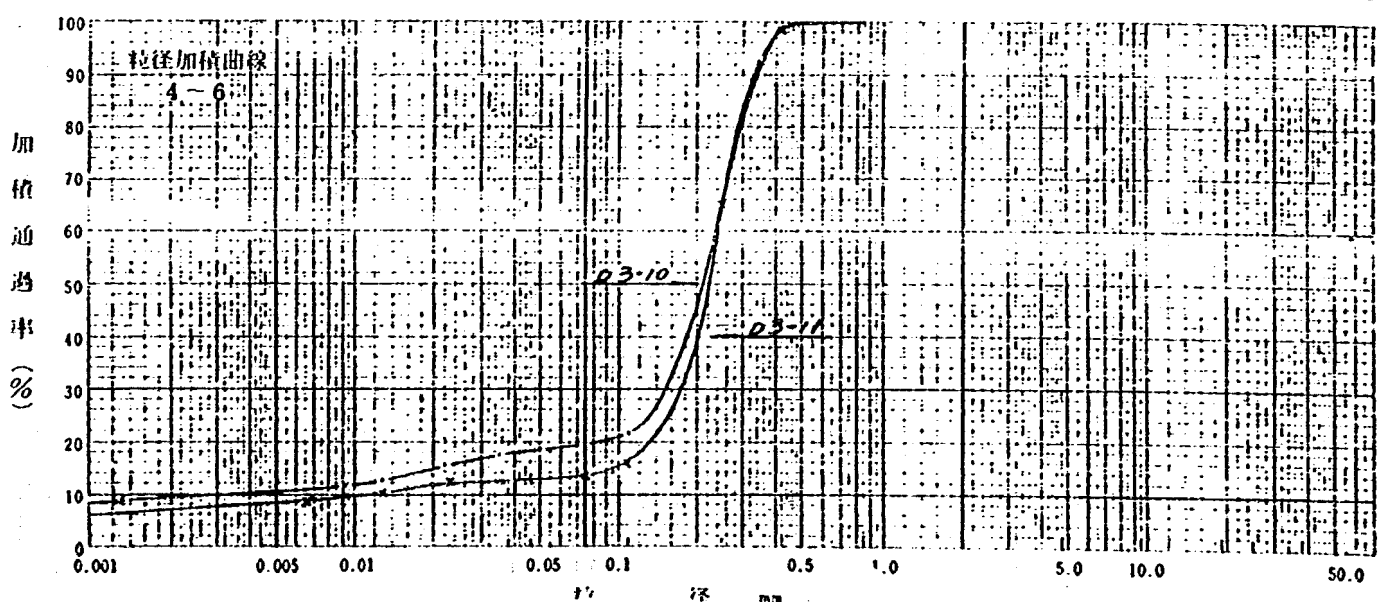
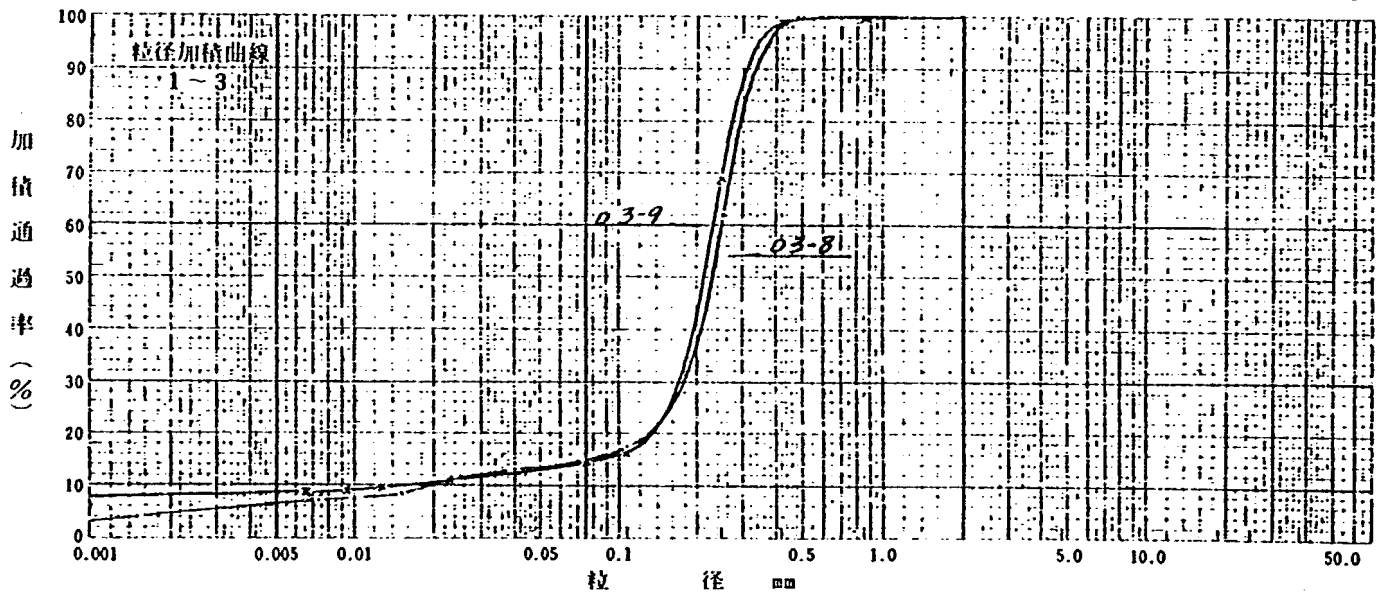
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D3-1	D3-4	D3-5	D3-6	D3-7	
深 さ m	1.00 ~ 1.30	4.00 ~ 4.32	5.00 ~ 5.36	6.00 ~ 6.30	7.00 ~ 7.30	
レ キ 分 %	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
砂 分 %	38.5	2.0	81.5	84.0	86.0	
シ ル ト 分 %	13.5	52.0	11.5	9.5	8.0	
粘 土 分 %	9.5	46.0	7.0	6.5	6.0	
粒度による分類	砂質粘土(腐植土)	粘土(腐植土)	砂	砂	砂	
最大粒径 D_{max} mm	4.00	0.85	2.0	2.0	2.0	
60% 粒径 D_{60} mm	0.8	0.0072	0.24	0.23	0.23	
30% 粒径 D_{30} mm	0.25	0.001以下	0.16	0.15	0.17	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0062	0.001以下	0.012	0.016	0.019	
均等係数 U_c	129.0	9.2 以上	20.0	14.4	12.1	
曲率係数 U_c'	—	—	—	—	—	



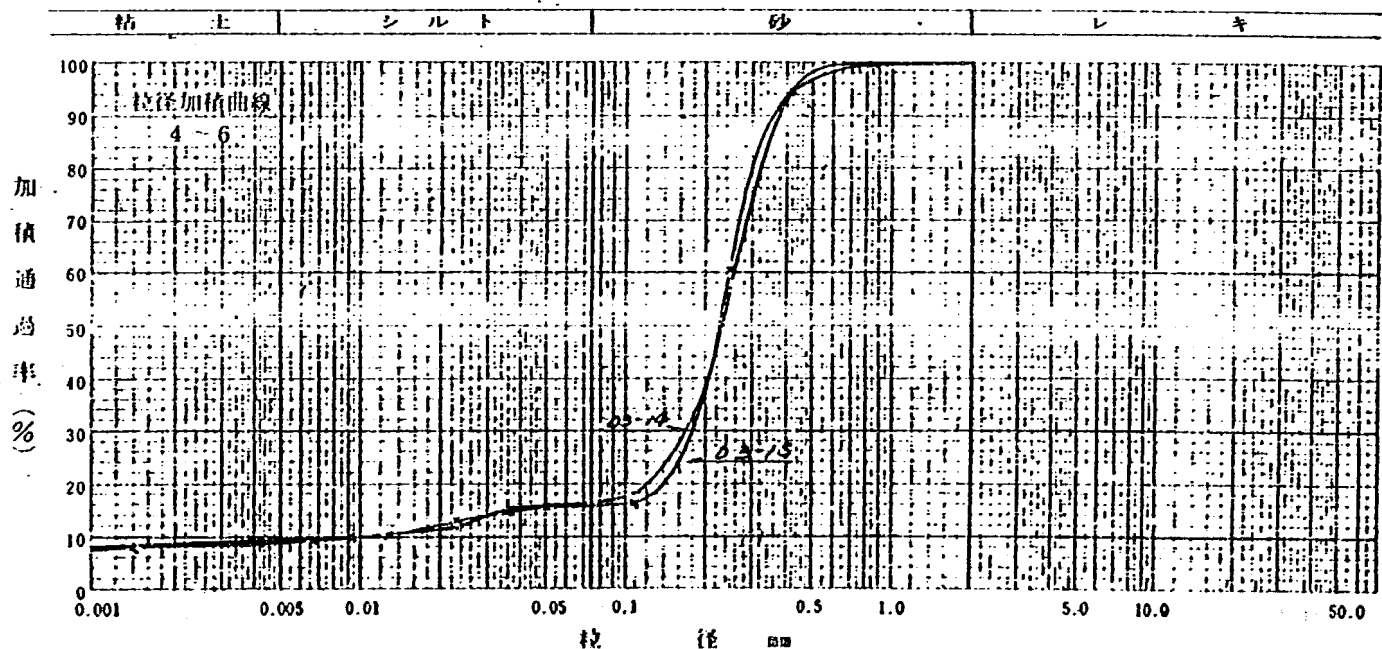
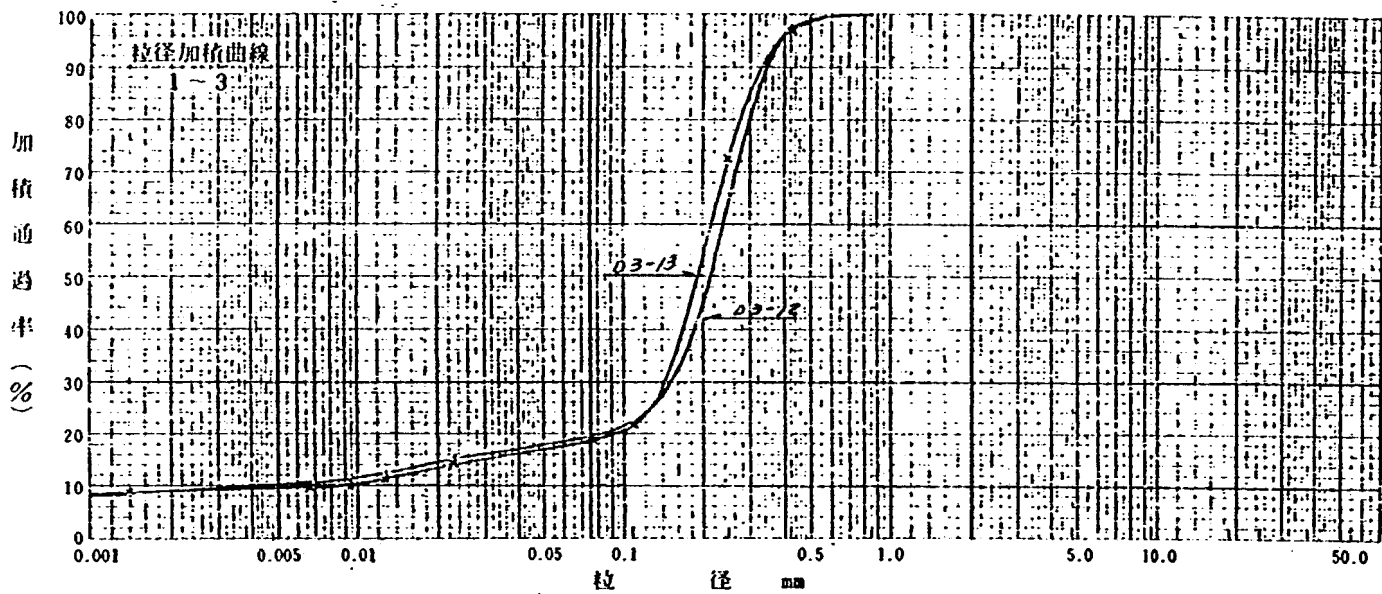
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D3-8	D3-9		D3-10	D3-11	
深 さ m	8.00 ~ 8.30	9.00 ~ 9.30		10.00 ~ 10.60	11.00 ~ 11.30	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	85.5	86.0		80.5	86.5	
シルト 分 %	8.0	5.5		9.0	5.5	
粘土 分 %	6.5	8.5		10.5	8.0	
粒度による分類	砂	砂		砂	砂	
最大粒径 D_{max} ㎜	2.0	2.0		0.85	0.85	
60% 粒径 D_{60} ㎜	0.25	0.23		0.24	0.24	
30% 粒径 D_{30} ㎜	0.18	0.17		0.15	0.17	
10% 粒径 D_{10} ㎜	0.020	0.016		0.0032	0.011	
均等係数 U_c	12.5	14.4		75.0	21.8	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	



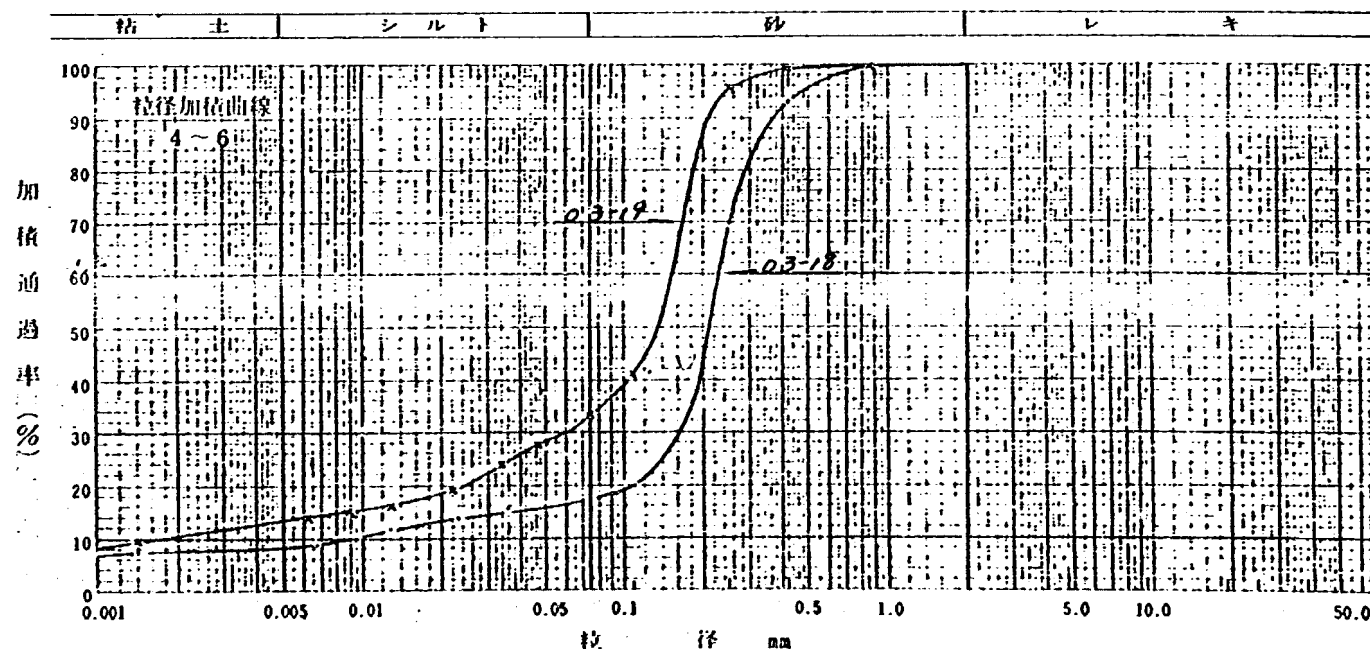
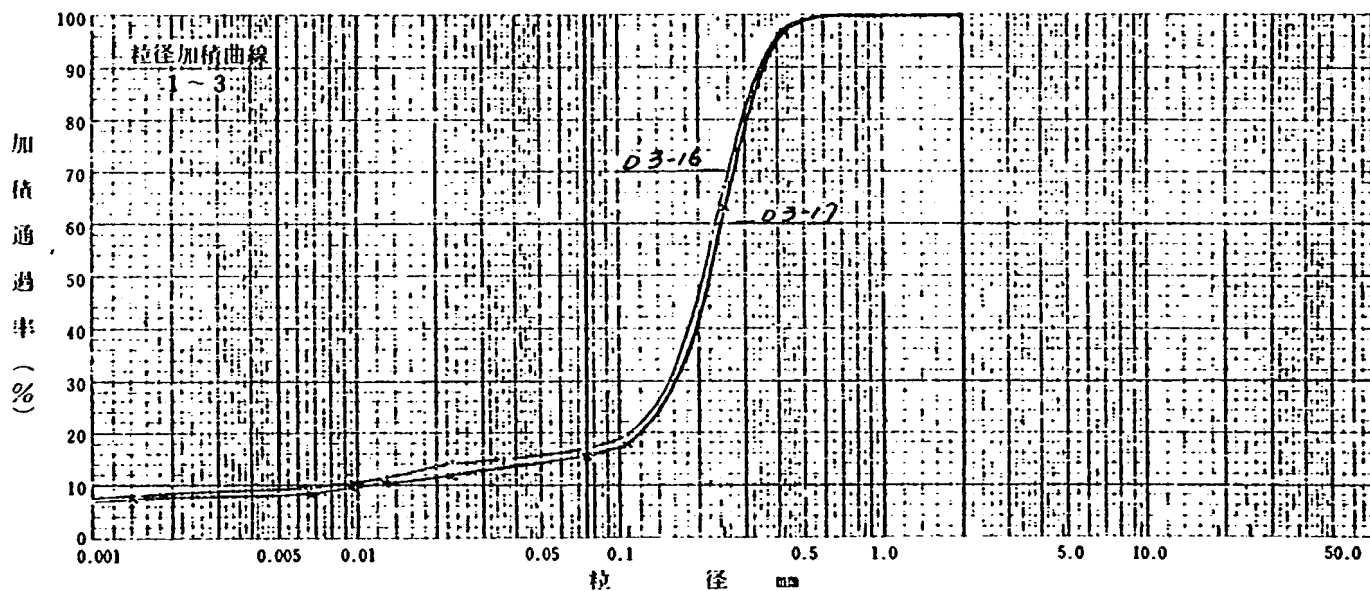
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D3-12	D3-13		D3-14	D3-15	
深 さ m	12.00 ~ 12.30	13.00 ~ 13.30		14.00 ~ 14.30	15.00 ~ 15.30	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	80.5	81.0		84.0	84.0	
シ ル ト 分 %	9.5	9.0		6.5	7.5	
粘 土 分 %	10.0	10.0		9.5	8.5	
粒度による分類	砂	砂		砂	砂	
最大粒径 D_{max} mm	0.85	0.85		2.0	2.0	
60% 粒径 D_{60} mm	0.24	0.215		0.26	0.24	
30% 粒径 D_{30} mm	0.15	0.14		0.17	0.18	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0004	0.085		0.01	0.01	
均等係数 U_c	54.5	25.3		26.0	24.0	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	



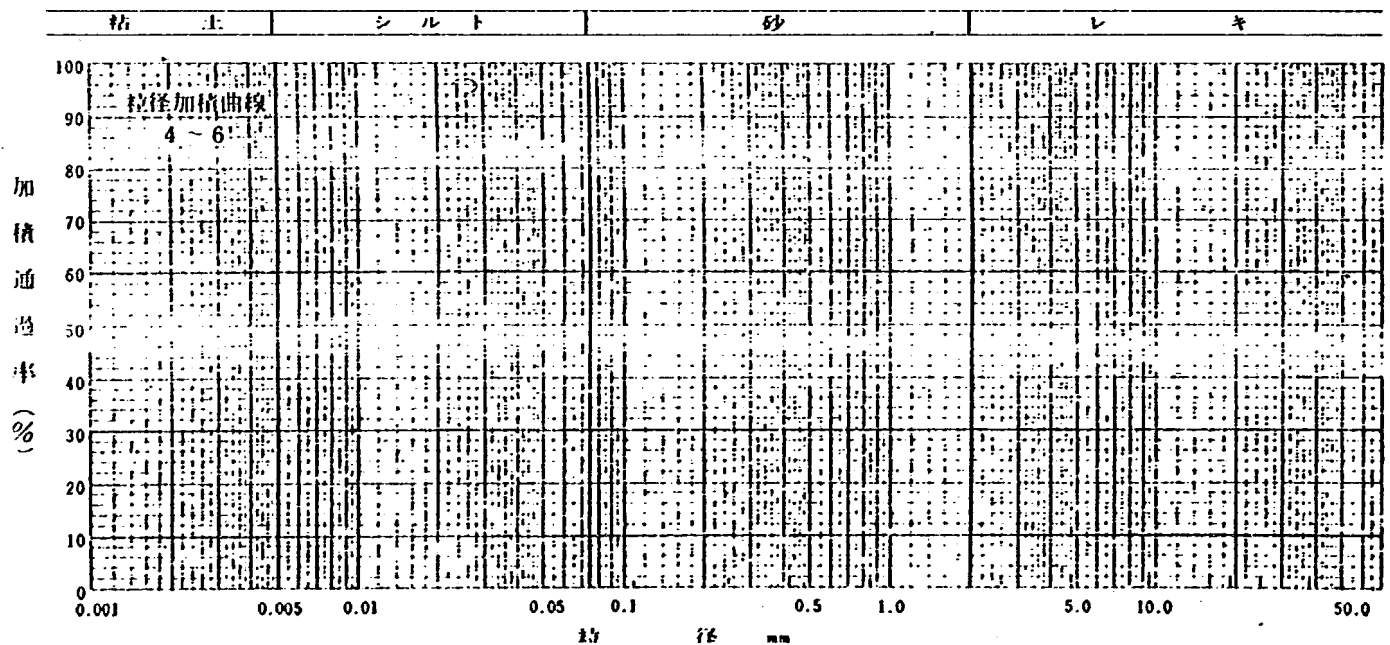
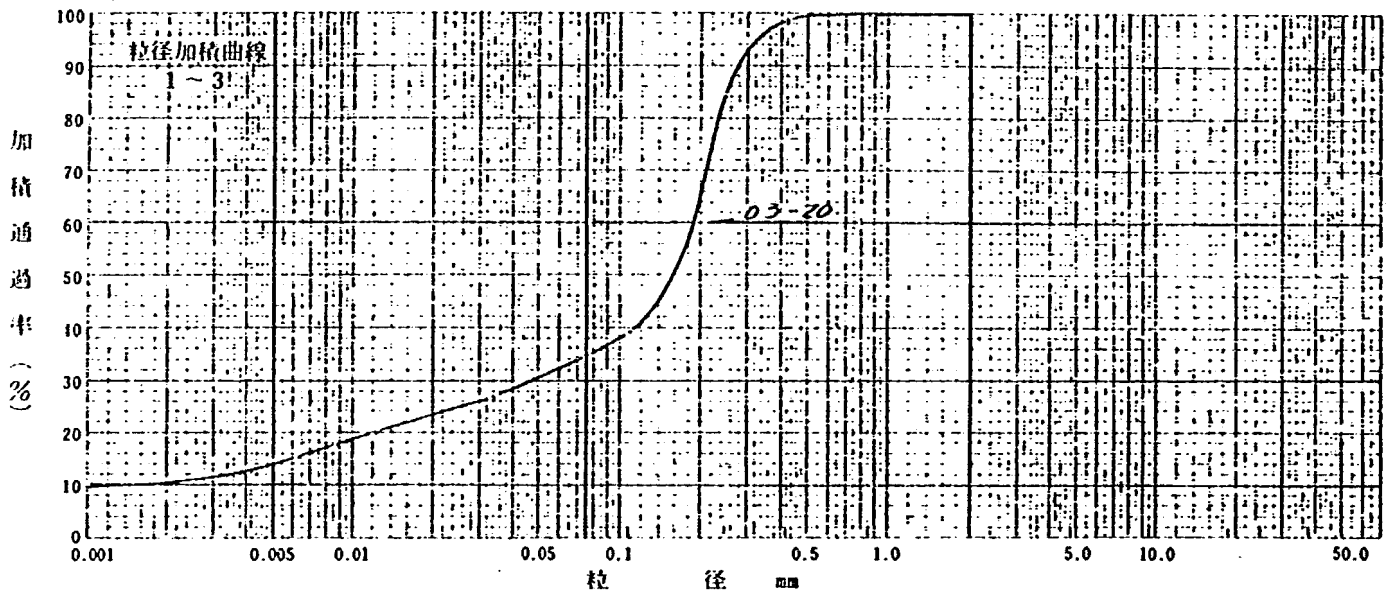
粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D3-16	D3-17		D3-18	D3-19	
深 さ m	16.00 ~ 16.30	17.00 ~ 17.30		18.00 ~ 18.30	19.00 ~ 19.30	
レ キ 分 %	0.0	0.0		0.0	0.0	
砂 分 %	83.0	84.5		83.0	67.0	
シ ル ト 分 %	8.0	7.5		9.0	20.0	
粘 土 分 %	9.0	8.0		8.0	13.0	
粒度による分類	砂	砂		砂	砂質ローム	
最大粒径 D_{max} mm	2.0	0.85		2.0	2.0	
60% 粒径 D_{60} mm	0.23	0.24		0.23	0.15	
30% 粒径 D_{30} mm	0.15	0.16		0.16	0.060	
10% 粒径 D_{10} mm	0.0080	0.012		0.0088	0.0017	
均等係数 U_c	28.8	20.0		26.1	88.2	
曲率係数 U_c'	—	—		—	—	



粒 度 試 験

	1	2	3	4	5	6
試 料 番 号	D3-20					
深 さ m	20.00 ~ 20.30					
レ キ 分 %	0.0					
砂 分 %	65.5					
シ ル ト 分 %	20.5					
粘 土 分 %	14.0					
粒度による分類	砂質ローム					
最大粒径 D_{max} mm	2.0					
60% 粒径 D_{60} mm	0.19					
30% 粒径 D_{30} mm	0.047					
10% 粒径 D_{10} mm	0.0015					
均等係数 U_c	126.7					
曲率係数 U_c'	—					



II 動的強度試験結果

振動三軸試験結果

調査番号:

試料名: 1-2-2

深 度: 2.48 ~ 3.51 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	Nc					備 考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.279	1.371	0.340	20	7	14	35	—	
2	1.314	1.413	0.225	74.5	80	165	117.5	—	
3	1.317	1.426	0.270	42	27	30.5	45	—	

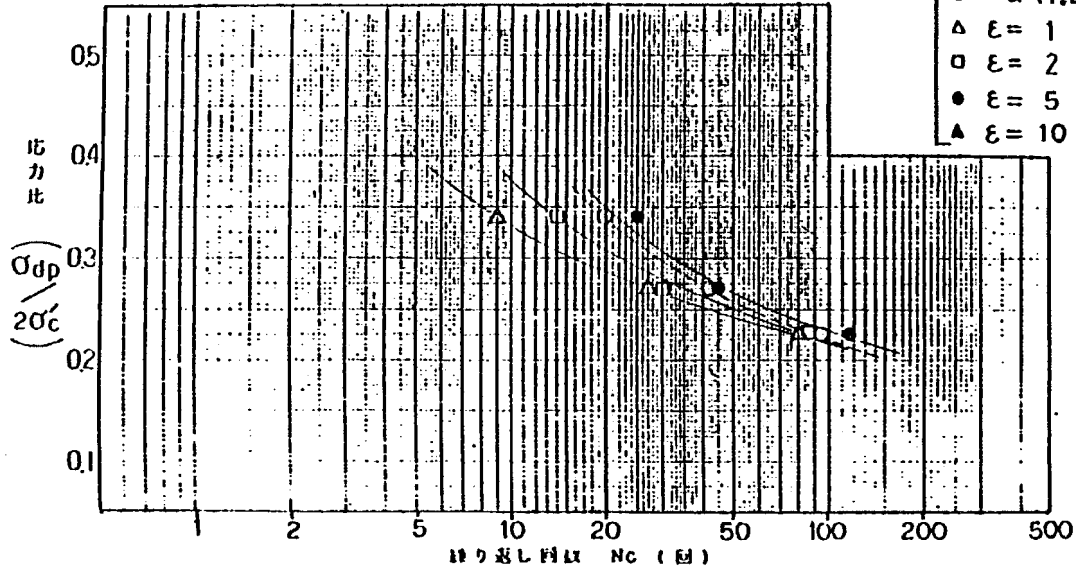
有効拘束圧: 0.35 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{120} = 0.348$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

調査番号:

試料名: 1-2-3

深 度: 2.06 ~ 2.77 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	Nc					備 考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.365	1.457	0.278	17	13	15	19.5	32.5	
2	1.372	1.462	0.230	22	18.5	20.5	21.5	23	
3	1.356	1.401	0.243	10	—	—	0.5	1.5	
4	1.390	1.486	0.215	20	—	0.5	1.5	2.5	

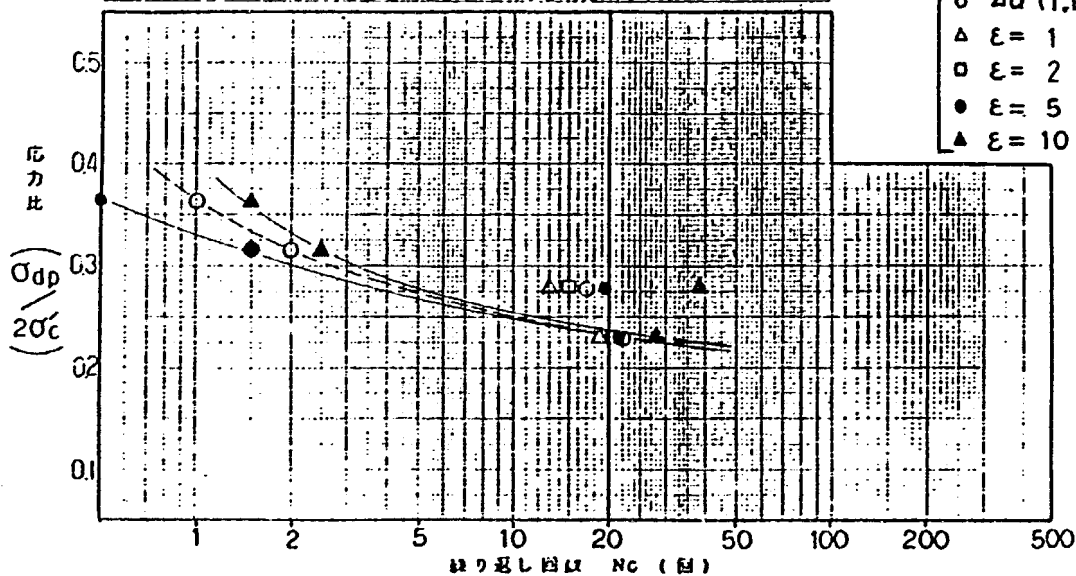
有効拘束圧: 0.47 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{120} = 0.233$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

調査地点: 新潟県新潟市中央区 試料名: 1-2-4

深: 5.00 ~ 5.74 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	Nc					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.458	1.521	0.255	2	1.5	2.5	3.5	5.5	
2	1.404	1.513	0.214	12	14	16	18.5	53.5	
3	1.418	1.463	0.170	17	16	17.5	19.5	—	

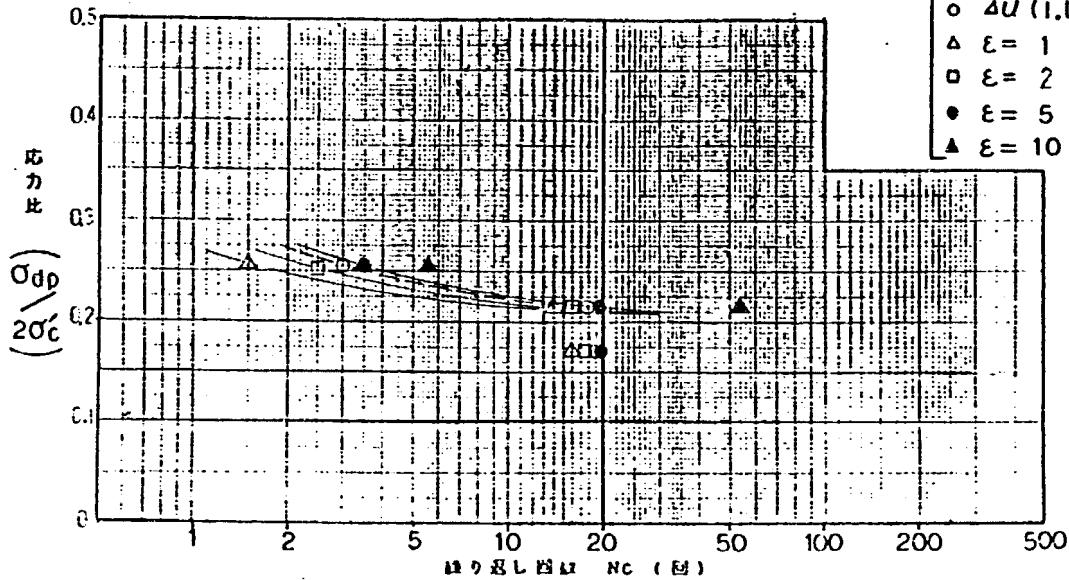
有効拘束圧: 0.58 kg/cm²

($\varepsilon = 5\%$)

$R_{\varepsilon 20} = 0.215$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\varepsilon = 1\%$
- $\varepsilon = 2\%$
- $\varepsilon = 5\%$
- ▲ $\varepsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

調査地点: 新潟県新潟市中央区 試料名: 1-2-5-①

深: 7.00 ~ 7.64 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	Nc					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.454	1.494	0.222	14	10.5	13	17.5	25.5	
2	1.478	1.510	0.237	7	3.5	5.5	10.5	18	
3	1.445	1.452	0.192	86	82	85	91	108	

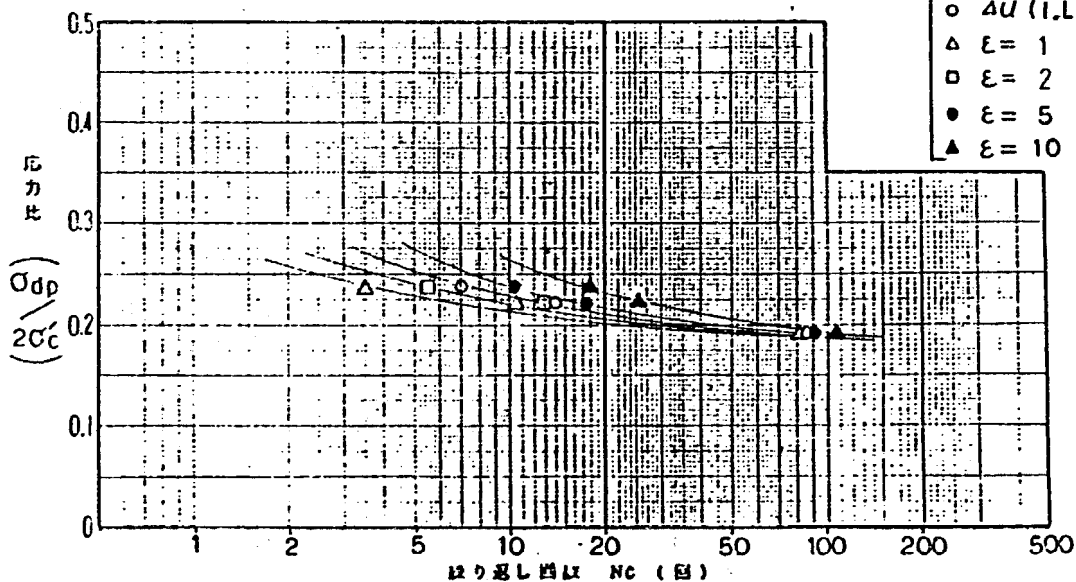
有効拘束圧: 0.77 kg/cm²

($\varepsilon = 5\%$)

$R_{\varepsilon 20} = 0.217$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\varepsilon = 1\%$
- $\varepsilon = 2\%$
- $\varepsilon = 5\%$
- ▲ $\varepsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 昭和橋梁建設局供試材料 No. 1-2-5-⑤ 深 度: 7.75 ~ 8.50 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備 考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.488	1.522	0.261	5	1	2.5	5.5	10.5	
2	1.479	1.508	0.234	30	25.5	27.5	34.5	70	
3	1.491	1.513	0.203	—	—	—	—	—	

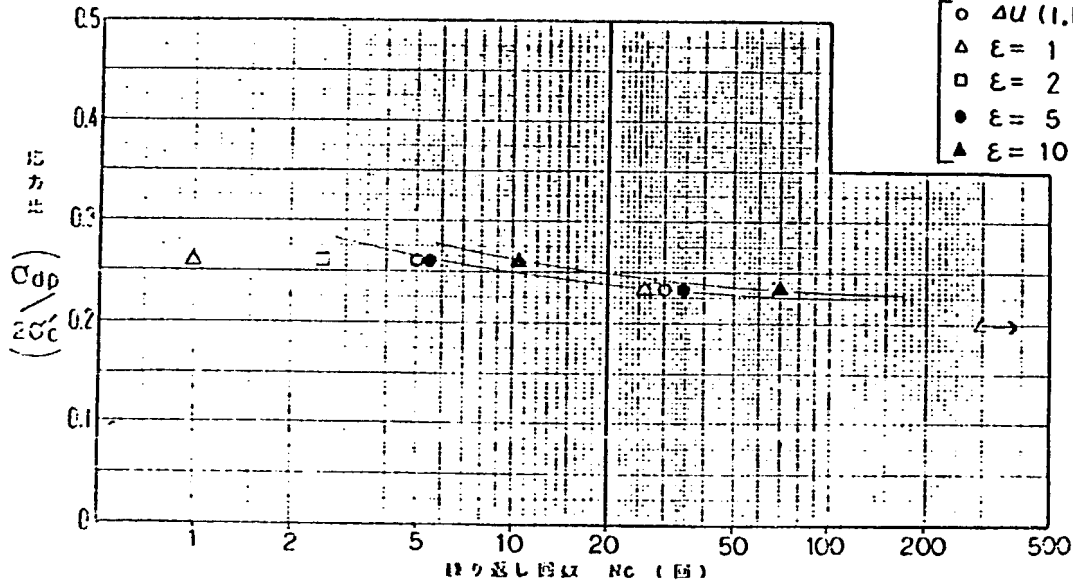
有効拘束圧: 0.84 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{\epsilon 20} = 0.555$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 昭和橋梁建設局供試材料 No. 1-2-6 深 度: 9.00 ~ 9.75 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備 考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.406	1.472	0.253	11	3.5	7.5	7.5	12.5	
2	1.441	1.497	0.200	27	20.5	27.5	35.5	51.5	
3	1.335	1.403	0.165	33	29.5	31.5	33.5	36	

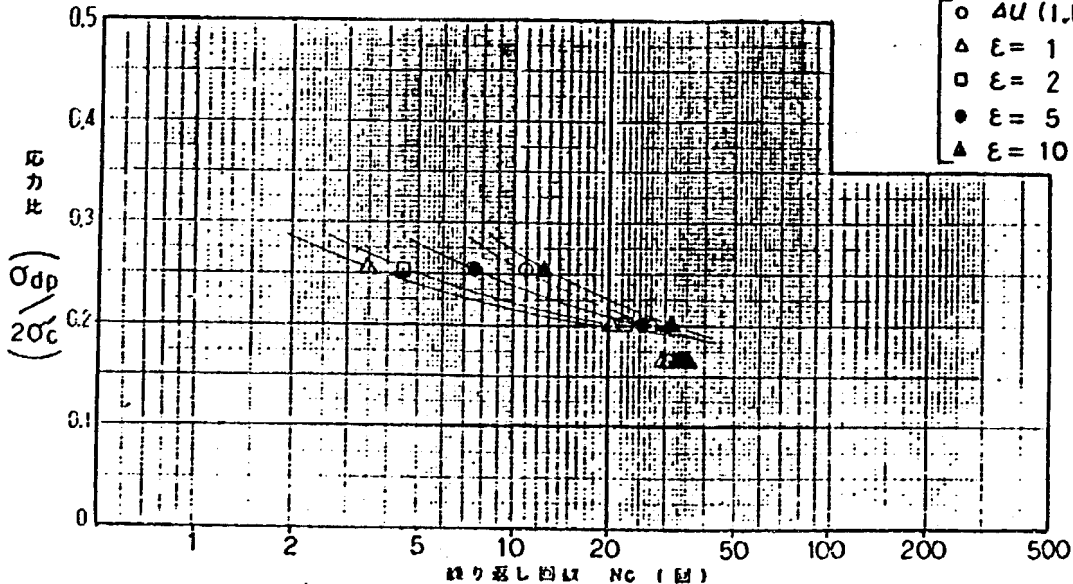
有効拘束圧: 0.96 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{\epsilon 20} = 0.810$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 砂質土

試料番号: 1-1-7

深: 1.00 ~ 1.76 m

No.	γ_{d0} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	NC					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.371	1.412	0.241	4	0.5	1.5	1.5	2.5	
2	1.371	1.421	0.153	61	5.5	5.5	5.5	5.5	
3	1.355	1.433	0.200	12	10.5	11.5	13.5	15	

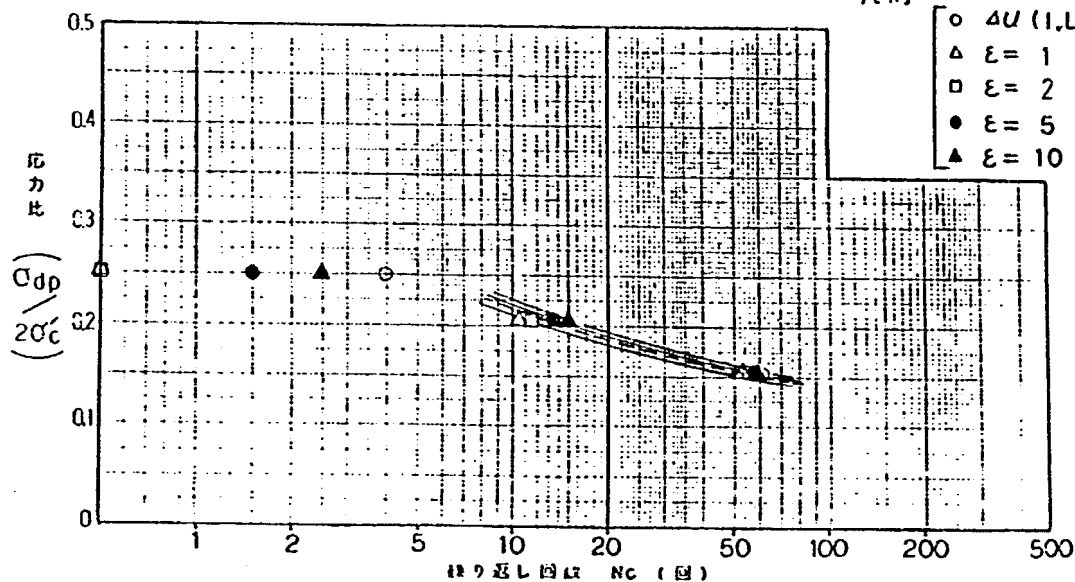
有効拘束圧: 1.15 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{120} = 0.190$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 砂質土

試料番号: 2-2-1-2

深: 1.00 ~ 1.76 m

No.	γ_{d0} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	NC					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.317	1.361	0.453	41	3.3	37.5			
2	1.365	1.420	0.563	16	10.5	17.5	32		
3	1.374	1.343	0.390	45.5	16.5	40.5			

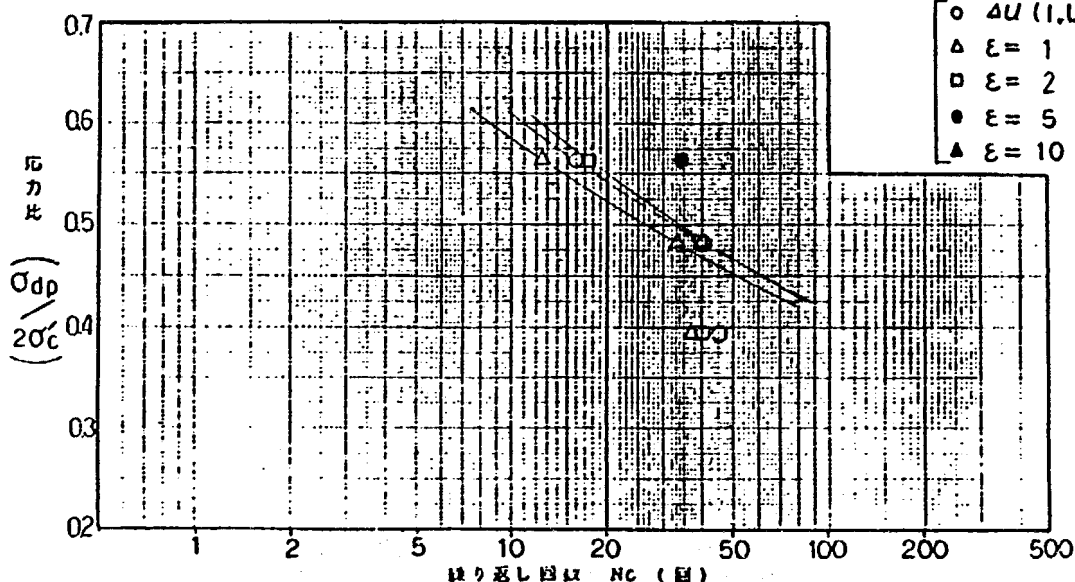
有効拘束圧: 0.15 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{120} = 0.542$ (1.1-10)

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 昭和45年7月20日採取土壌試料 試料名: 2-2-1-②

深 度: 1.73 ~ 2.48 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備 考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.858	1.897	0.540	7	25	5	11.5	—	
2	1.825	1.892	0.334	23	16	19	33	—	
3	1.825	1.892	0.350	25	21	24.5	—	—	

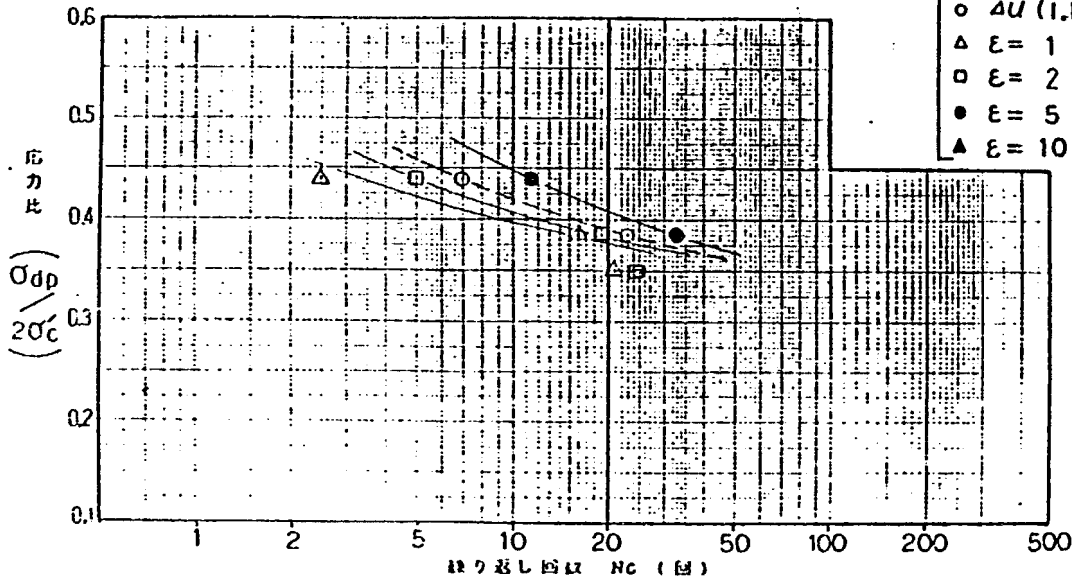
有効拘束圧: 0.17 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{t20} = 0.591$ (I.L. 25)

凡例

○	ΔU (I.L.)
△	$\epsilon = 1\%$
□	$\epsilon = 2\%$
●	$\epsilon = 5\%$
▲	$\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 昭和45年7月20日採取土壌試料

試料名: 2-2-2

深 度: 2.50 ~ 3.25 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備 考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.842	1.870	0.503	8	25	4.5	11.5	45	
2	1.872	1.824	0.416	18	7.5	11.5	18.5	55	
3	0.875	1.112	0.394	26	4	14.5	58	—	

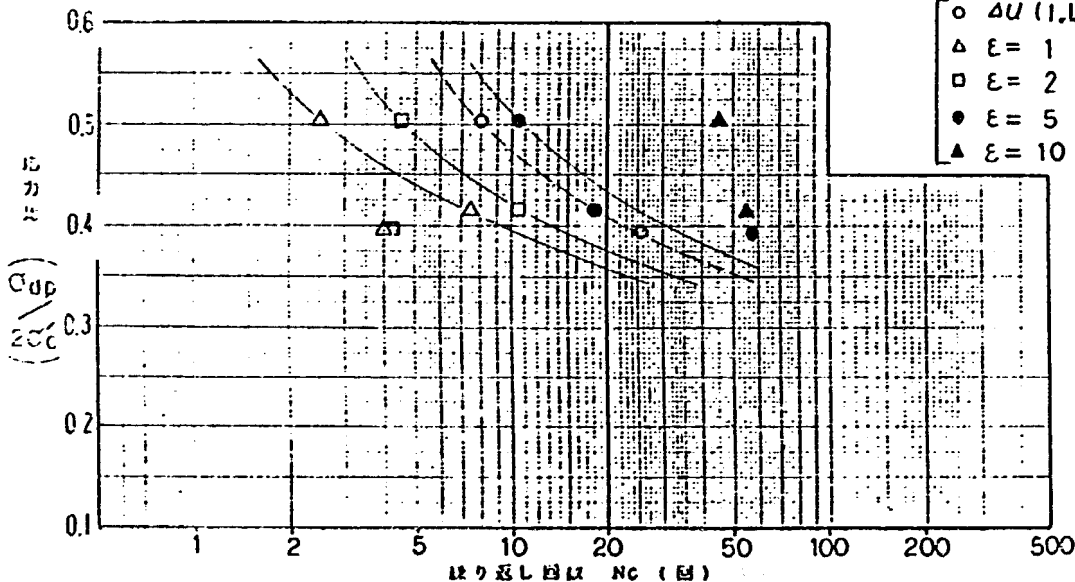
有効拘束圧: 0.23 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{t20} = 0.733$

凡例

○	ΔU (I.L.)
△	$\epsilon = 1\%$
□	$\epsilon = 2\%$
●	$\epsilon = 5\%$
▲	$\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試験条件: 振動三軸試験機

試料名: 2-2-3

深: 3.30 ~ 4.05 m

No.	δ_{DO} g/cm ³	δ_{DC} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c'$	NC					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.135	1.185	0.254	—	—	—	—	—	
2	1.341	1.370	0.313	10	4	6	10	38	
3	1.379	1.419	0.278	17	10	12.5	19	—	

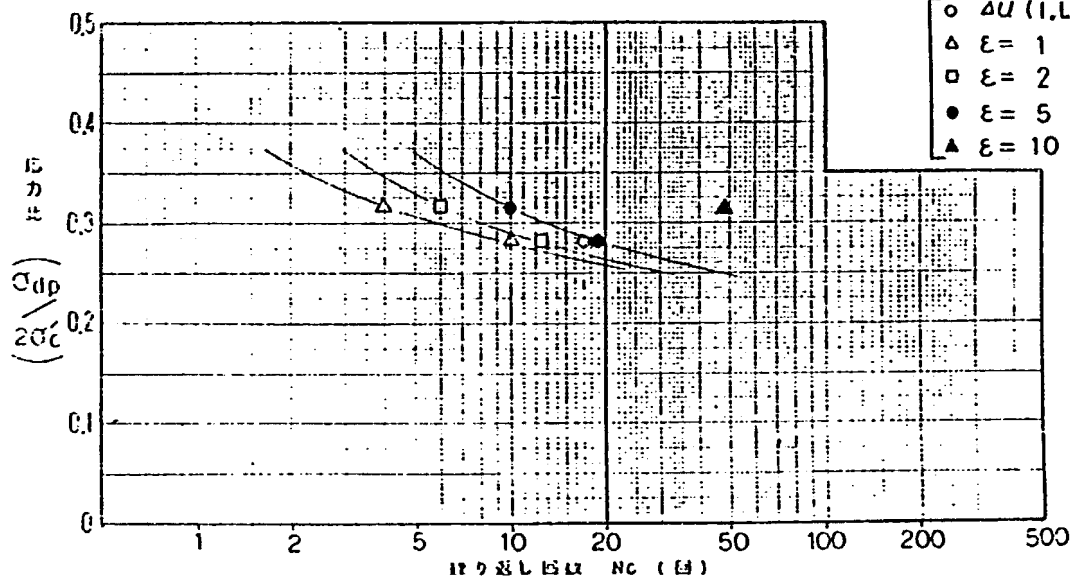
有効拘束圧: 0.29 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{t20} = 0.578$

凡例

- $\Delta U (1.L.)$
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試験条件: 振動三軸試験機

試料名: 2-2-4

深: 4.10 ~ 4.85 m

No.	δ_{DO} g/cm ³	δ_{DC} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c'$	NC					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.464	1.551	0.301	12	55	20.5	20.5	—	
2	1.497	1.559	0.301	5	1	2	55	19	
3	1.481	1.464	0.272	8	35	6	85	—	
4	1.321	1.37	0.212	10	75	10	11	14	

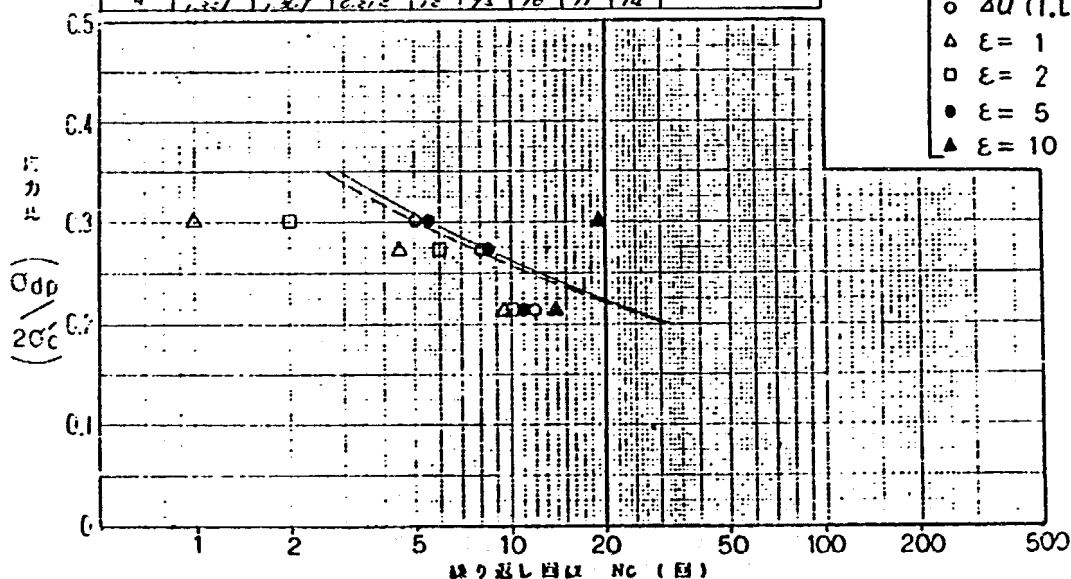
有効拘束圧: 0.37 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{t20} = 0.573$

凡例

- $\Delta U (1.L.)$
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試験機: 振動三軸試験機

材料: Z-2-5

径: 5.00 ~ 5.75 m

No.	γ_{DO} g/cm ³	γ_{DC} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	NC					備考
				I.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.495	1.511	0.281	17	12.5	16.5	45	—	
2	1.445	1.469	0.320	9	4.5	8.5	19	—	
3	1.459	1.478	0.362	6	3.5	5.5	10.5	—	

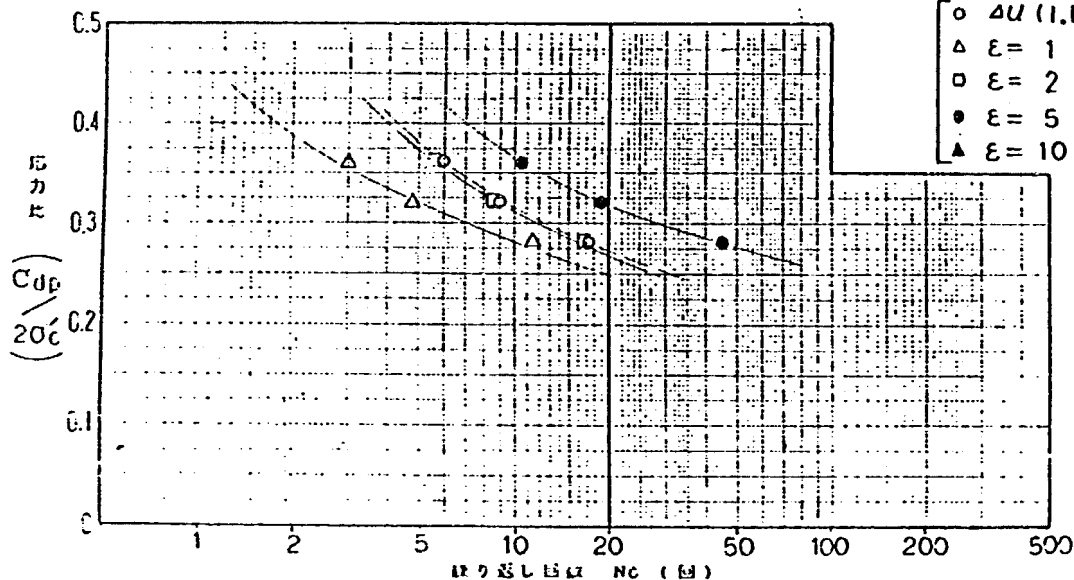
有効均来圧: 0.45 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$Re_{20} = 0.17$

凡例

- ΔU (I.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試験機: 振動三軸試験機

材料: Z-2-6

径: 6.00 ~ 6.74 m

No.	γ_{DO} g/cm ³	γ_{DC} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	NC					備考
				I.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.390	1.427	0.216	18	12.5	14.5	19	30	
2	1.525	1.469	0.303	11	6.5	8	11	17	
3	1.415	1.461	0.255	19	13.5	16	19.5	27	

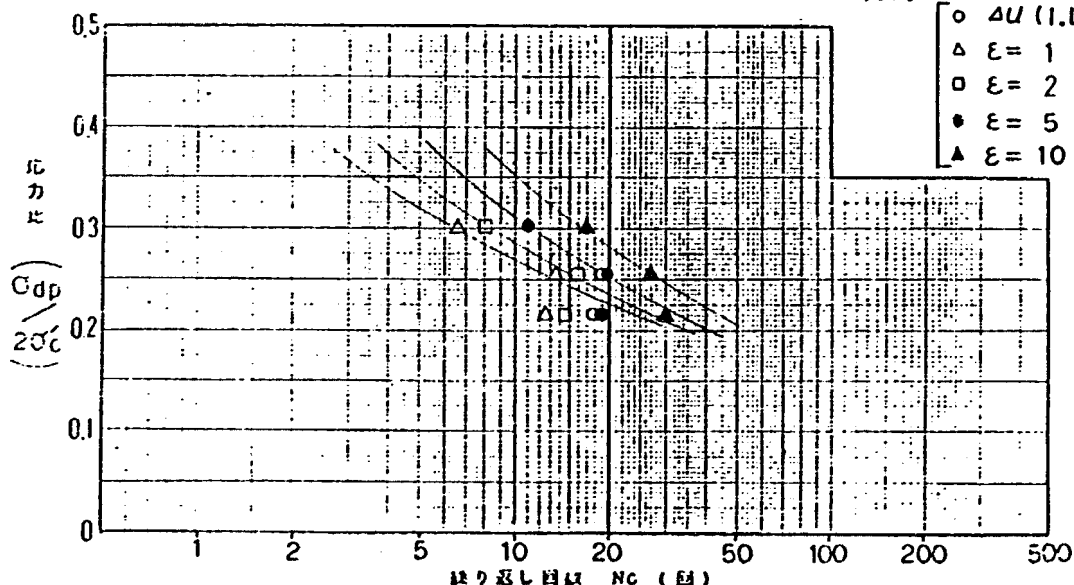
有効均来圧: 0.55 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$Re_{20} = 0.253$

凡例

- ΔU (I.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 鋼板 (S235) 厚さ 10mm

試験機: Z-2-7

深さ: 7.00 ~ 7.77 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備考
				I.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.359	1.357	0.260	19	10.5	14	23.5	—	
2	1.322	1.380	0.208	34	23.5	27.5	38.5	—	
3	1.345	1.402	0.307	8	3.5	6.5	13	—	

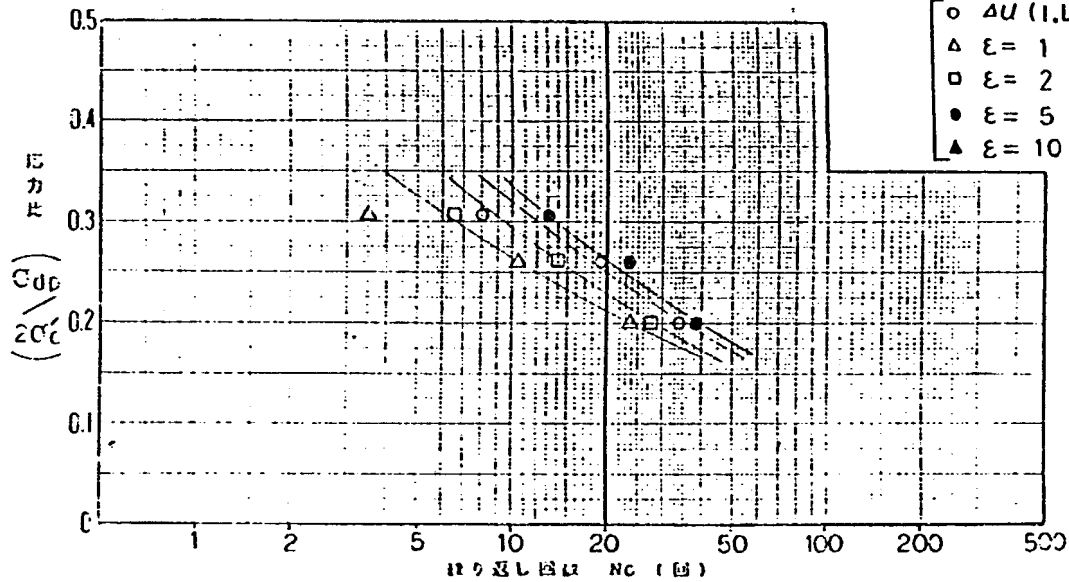
有効拘束圧: 0.54 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{c20} = 0.262$

凡例

- ΔU (I.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 鋼板 (S235) 厚さ 10mm

試験機: Z-2-8

深さ: 0.00 ~ 0.25 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備考
				I.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.374	1.446	0.263	30	20	25	36	48	
2	1.389	1.441	0.307	36	15.5	28	41	—	
3	1.435	1.474	0.358	19	7	13.5	26	45	

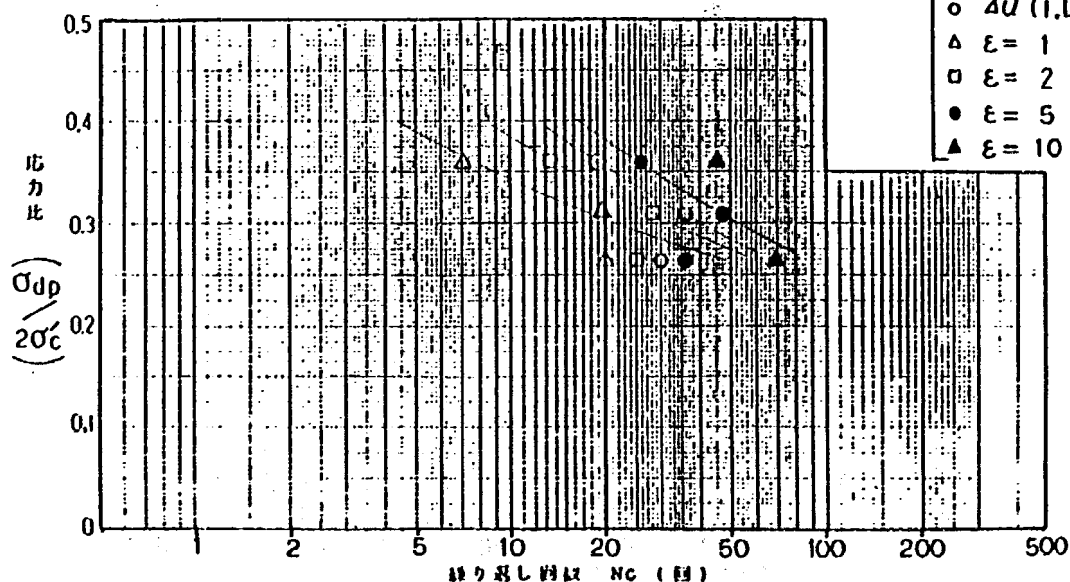
有効拘束圧: 0.74 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{c20} = 0.335$

凡例

- ΔU (I.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



吸物三軸試験結果

試料名: 吸物三軸試験結果

試料名: 吸物三軸試験結果

深: 7.00 ~ 9.747m

No.	δd_0 g/cm ³	δd_c g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.162	1.219	0.113	1	0.5	1	1.5	2.5	
2	1.343	1.390	0.157	23	20.5	21.5	23	25.5	
3	1.437	1.492	0.179	3	1	3	4	—	
4	1.479	1.553	0.176	16.5	16.5	17.5	28.5	—	

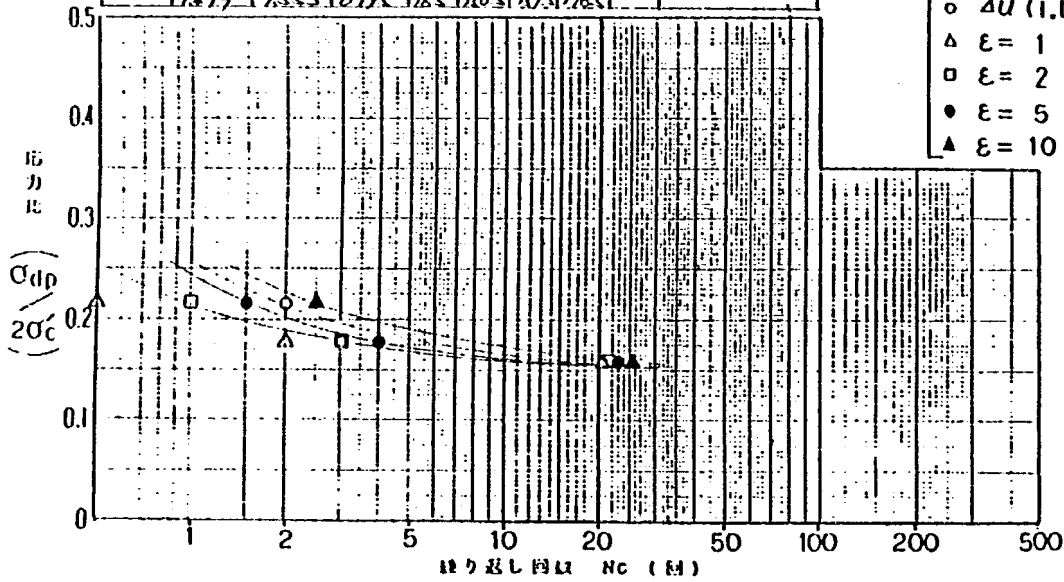
有効拘束圧: 0.83 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{\epsilon 20} = 0.155$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



吸物三軸試験結果

試料名: 吸物三軸試験結果

試料名: 吸物三軸試験結果

深: 10.00 ~ 10.75 m

No.	δd_0 g/cm ³	δd_c g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma_c$	Nc					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.413	1.463	0.188	42	38.5	40.5	43	39	
2	1.448	1.490	0.303	7	3	4.5	8.5	18	
3	1.473	1.525	0.248	13	6.5	7.5	15.5	16.5	

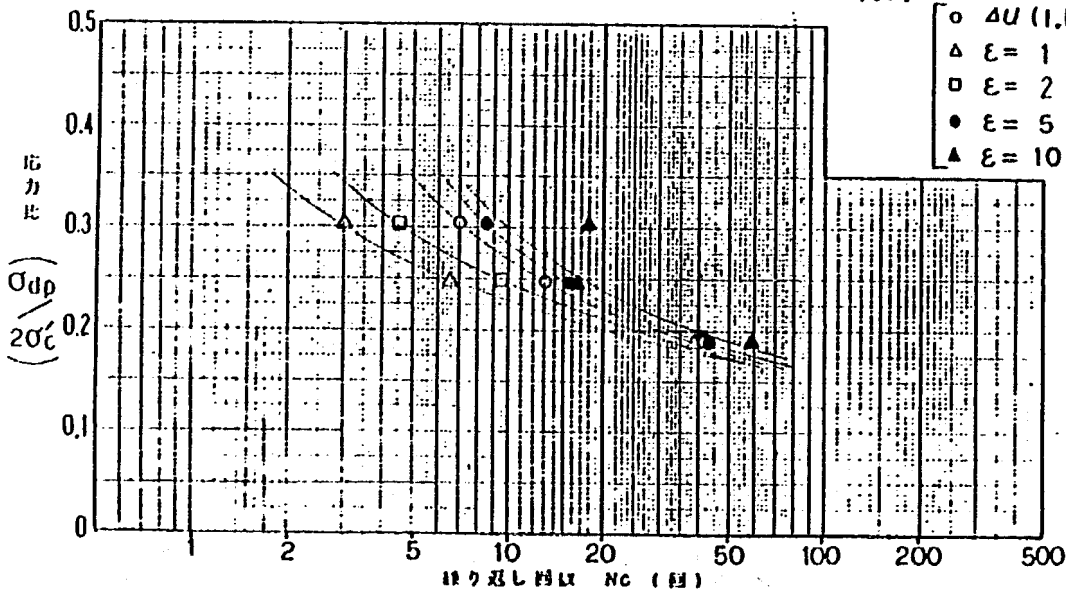
有効拘束圧: 0.93 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{\epsilon 20} = 0.553$

凡例

- ΔU (1.L.)
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名:

試料尺: 3-2-1

深: 2.05 ~ 2.80 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	Nc					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.160	1.187	0.507	70	48	104	163	—	
2	1.236	1.185	0.911	15	15	20	58	—	
3	1.169	1.207	0.715	1	0.5	0.5	1.5	16.5	
4	1.027	1.110	0.851	3	0.5	1.5	6.5	00.5	

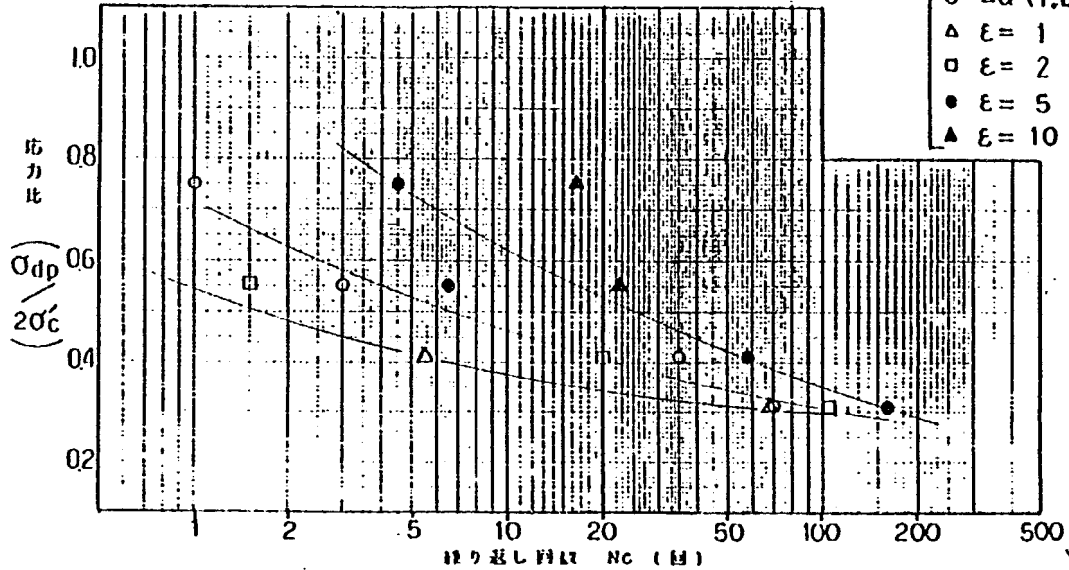
有効拘束圧: 0.32 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{t20} = 0.5 \pm 8$

凡例

- $\Delta U (1.L.)$
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



振動三軸試験結果

試料名: 振動三軸試験結果

試料尺: 3-2-2

深: 2.80 ~ 3.35 m

No.	γ_{do} g/cm ³	γ_{dc} g/cm ³	$\sigma_{dp}/2\sigma'_c$	Nc					備考
				1.L.	1%	2%	5%	10%	
1	1.262	1.315	0.278	13	3.5	7.5	17.5	—	
2	1.273	1.127	0.365	5	1.5	2.5	6.5	33	
3	1.085	1.180	0.470	4	0.5	1.5	3	11	
4	1.159	1.209	0.250	71	33.5	10.5	99.5	—	

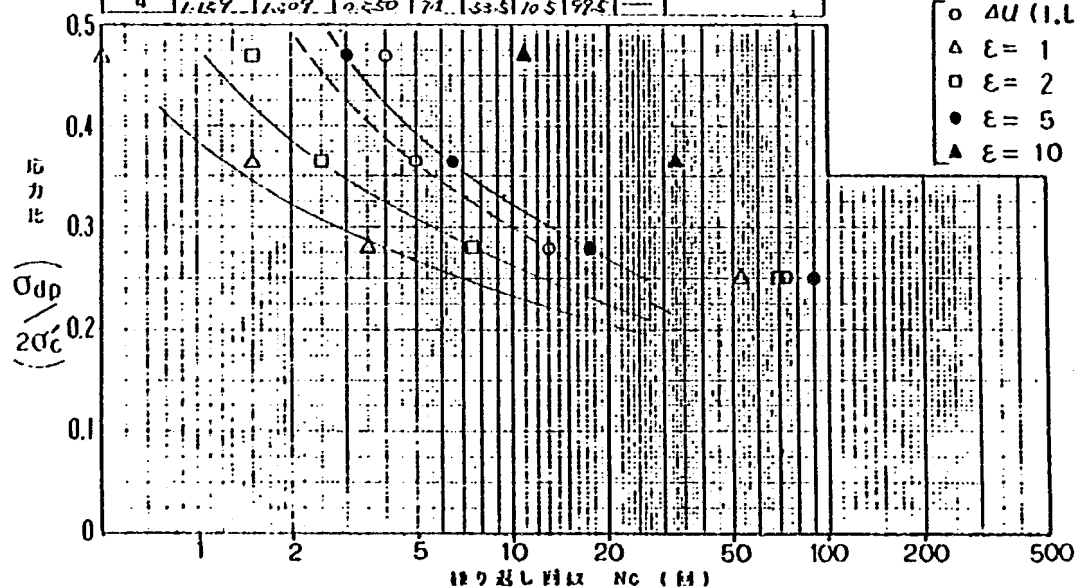
有効拘束圧: 0.38 kg/cm²

($\epsilon = 5\%$)

$R_{t20} = 0.68$

凡例

- $\Delta U (1.L.)$
- △ $\epsilon = 1\%$
- $\epsilon = 2\%$
- $\epsilon = 5\%$
- ▲ $\epsilon = 10\%$



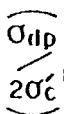
~~ALL INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED~~

注 1: 4.70~5.38 m

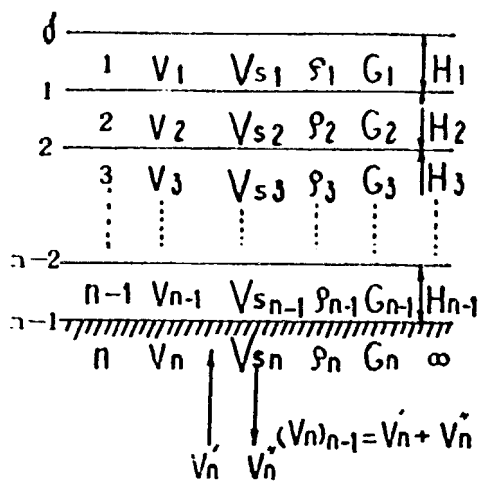
有效内压: 0.52 kg/cm^2

$$R_{120} = 0.075$$

0	ΔU (I.L.)
$\Delta \varepsilon = 1 \%$	
$\square \varepsilon = 2 \%$	
$\bullet \varepsilon = 5 \%$	
$\blacktriangle \varepsilon = 10 \%$	



Ⅲ マトリックス法によるSH波の重複反射理論



左図の様なn層構造の地盤モデルを考える
それぞれの層の

変位振巾 v_j
S波速度 V_{sj}
密度 ρ_j
層厚 H_j とする。

波動は境界面に垂直な方向に進行するものとする。

任意の深さZにおける波動は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} (\text{基底への入射波を } V_n^{\circ} \text{ とする}) \quad (V_j)_z &= (V_j) e^{i\omega(t-z/v_{sj})} + (V_j') e^{i\omega(t-z/v_{sj})} \\ &= (V_j' e^{-i\omega z/v_{sj}} + V_j'' e^{i\omega z/v_{sj}}) e^{i\omega t} \dots (1) \end{aligned}$$

但し V_j' は下降波 V_j'' は上昇波の波の振巾を表わす。

次に(1)式で表わせるSH波のせん断応力は

$$(\tau_j)_z = G_j \frac{\partial (V_j)_z}{\partial z} = G_j \left(-\frac{i\omega}{V_{sj}} V_j' e^{-i\omega z/v_{sj}} + \frac{i\omega}{V_{sj}} V_j'' e^{i\omega z/v_{sj}} \right) e^{i\omega t} \dots (2)$$

(1)(2)式から $e^{i\omega t}$ の項を省略して書き改めると

$$(V_j)_z = (V_j' + V_j'') \cos\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) - i(V_j' - V_j'') \sin\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) \dots (3)$$

$$(\tau_j)_z = -\frac{G_j \omega}{V_{sj}} (V_j' + V_j'') \sin\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) - i \frac{G_j \omega}{V_{sj}} (V_j' - V_j'') \cos\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) \dots (4)$$

(3)(4)を行列の形で表わすと

$$\begin{pmatrix} V_j \\ (\tau_j)_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) & -i \sin\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) \\ -\frac{G_j \omega}{V_{sj}} \sin\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) & -i \frac{G_j \omega}{V_{sj}} \cos\left(\frac{\omega z}{V_{sj}}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_j' + V_j'' \\ V_j' - V_j'' \end{pmatrix} \dots (5)$$

となる。ここで $j-1$ 番目の境界を考えると、境界では変位応力が連続であるという条件から

$$\begin{pmatrix} V_{j-1} \\ (\tau_{j-1})_{j-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_j \\ (\tau_j)_{j-1} \end{pmatrix} \dots (6)$$

である。然るに $j-1$ 番目の層境界を $z=0$ とすると(5)式より

$$\begin{pmatrix} V_{j-1} \\ (\tau_{j-1})_{j-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_j \\ (\tau_j)_{j-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \frac{G_j \omega}{V_{sj}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_j' + V_j'' \\ V_j' - V_j'' \end{pmatrix} \dots (7)$$

また、 $Z = H_j$ とすると、これは j 番目の境界における値で

$$\begin{pmatrix} V_j \\ \tau_j \end{pmatrix}_j = \begin{pmatrix} \cos(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) & -i \sin(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) \\ -\frac{G_j \omega}{V_{sj}} \sin(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) & -i \frac{G_j \omega}{V_{sj}} \cos(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_j + V_j'' \\ V_j' - V_j'' \end{pmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

と表わされる。(7)及び(8)式を

$$\begin{pmatrix} V_{j-1} \\ \tau_{j-1} \end{pmatrix}_{j-1} = E_j \begin{pmatrix} V_j + V_j'' \\ V_j' - V_j'' \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} V_j \\ \tau_j \end{pmatrix}_j = D_j \begin{pmatrix} V_j + V_j'' \\ V_j' - V_j'' \end{pmatrix} \text{と書き改めると}$$

$$\begin{pmatrix} V_j \\ \tau_j \end{pmatrix}_j = D_j E_j^{-1} \begin{pmatrix} V_{j-1} \\ \tau_{j-1} \end{pmatrix}_{j-1} = a_j \begin{pmatrix} V_{j-1} \\ \tau_{j-1} \end{pmatrix}_{j-1} \dots\dots\dots (9)$$

となる

但し

$$a_j = D_j E_j^{-1} = \begin{pmatrix} \cos(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) & (\frac{G_j \omega}{V_{sj}})^{-1} \sin(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) \\ -\frac{G_j \omega}{V_{sj}} \sin(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) & \cos(\frac{\omega H_j}{V_{sj}}) \end{pmatrix} \dots\dots\dots (10)$$

a_j を層マトリックスという。

(9)式より次の漸化式が得られる。

$$\begin{pmatrix} V_j \\ \tau_j \end{pmatrix}_j = a_j a_{j-1} a_{j-2} \dots\dots\dots a_2 a_1 \begin{pmatrix} V_0 \\ \tau_0 \end{pmatrix}_0 \dots\dots\dots (11)$$

V_0, τ_0 は地表面における変位セン断応力を表わす。然るに地表面では $\tau_0 = 0$ であるから(11)式は

$$\begin{pmatrix} V_j \\ \tau_j \end{pmatrix}_j = a_j a_{j-1} a_{j-2} \dots\dots\dots a_2 a_1 \begin{pmatrix} V_0 \\ 0 \end{pmatrix}_0 = A_j \begin{pmatrix} V_0 \\ 0 \end{pmatrix}_0 \dots\dots\dots (12)$$

となる。また $j-1$ 番目の境界面を考えると(6)式より

$$\begin{pmatrix} V_j \\ \tau_j \end{pmatrix}_{j-1} = A_j \begin{pmatrix} V_0 \\ 0 \end{pmatrix}_0 \dots\dots\dots (13)$$

となる。従って(12),(13)式は $j-1$ 番目の境界の振巾、セン断応力と地表の振巾の関係を表わしたものである。

(13)式において $j = n$ とおくと

$$\begin{pmatrix} V_n \\ \tau_n \end{pmatrix}_{n-1} = a_n a_{n-1} a_{n-2} \dots\dots\dots a_2 a_1 \begin{pmatrix} V_0 \\ 0 \end{pmatrix}_0 = A_n \begin{pmatrix} V_0 \\ 0 \end{pmatrix}_0 \dots\dots\dots (14)$$

となり、これは基盤面と地表面の関係を表わすものである。ところで(1)(2)より

$$\begin{aligned} (V_n)_{n-1} &= V_n' + V_n'' \\ (\tau_n)_{n-1} &= -i \frac{G_n \omega}{V_{sn}} (V_n' - V_n'') \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 15$$

である。従って(14)式を分解すると

$$\begin{aligned} (V_n)_{n-1} &= A_{11} V_0 + A_{12} \tau_0 = A_{11} V_0 = V_n' + V_n'' \\ (\tau_n)_{n-1} &= A_{21} V_0 + A_{22} \tau_0 = A_{21} V_0 = -i \frac{G_n \omega}{V_{sn}} (V_n' - V_n'') \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 16$$

(16)式から V_n' を消去し、入射波の振巾と地表面の振巾の関係を求めると

$$V_0 = \frac{i G_n \omega / V_{sn}}{A_{21} + (i \frac{G_n \omega}{V_{sn}}) A_{11}} \cdot 2 V_n'' = H(\omega) \times V_n'' \quad \dots\dots\dots 17$$

となる。従って $H(\omega)$ は地盤の振巾特性(増巾度)を表わすものとなる

以上のことから任意深度 Z 以浅の層マトリックスを $A_z(\omega)$ とすれば、任意深度における振巾セン断応力は

$$\begin{pmatrix} V_z \\ \tau_z \end{pmatrix} = A_z(\omega) \begin{pmatrix} H(\omega) \cdot V_n'' \\ 0 \end{pmatrix} = M_z(\omega) \begin{pmatrix} V_n'' \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots 18$$

となる。

但し、粘性減衰と考慮する場合は、 τ_j のかわりに

$$\tau_j^* = (1 + 2h_j i) \tau_j \quad (h_j \text{ は各層のクレップ}) \text{ と用 意。}$$

IV 川岸町での観測地震動，基盤入射波形および 基盤地震動のデジタル教値

1) 観測地震動

WAVE NAME : KAWAGISHI CHO (OBSERVED)									
MAX AMPLITUDE : 156.26 + 10** 0 (8.90 SEC)									
SAMPLING INTERVAL : .020 SEC TOTAL LENGTH : 20.460 SEC									
PAGE 1									
	0	2	4	6	8	0	2	4	6
	8								
.00	-13.12	-12.29	-11.46	-10.62	.62	11.87	1.51	-8.84	-19.19
.20	-21.87	-21.56	-21.24	-20.93	-20.62	-3.12	-6.62	1.87	-4.37
.40	6.87	4.37	1.87	-2.12	-7.62	-13.12	-15.62	-18.12	-20.62
.60	-18.12	-16.36	-14.55	-12.77	-6.46	4.37	3.30	2.23	-1.15
.80	-20.62	-28.75	-36.87	-27.29	-17.71	-8.12	-4.62	-1.12	-6.62
1.00	-5.62	-11.36	-17.05	-22.76	-19.37	-6.87	.62	8.12	-10.11
1.20	3.12	-2.81	-8.75	-14.69	-20.62	-20.62	-17.62	-14.62	-11.62
1.40	-5.62	-7.87	-10.12	-12.37	-15.62	-18.87	-20.62	-19.37	-16.87
1.60	-15.62	-14.87	-14.12	-13.37	-12.62	-11.87	-7.19	-2.50	2.18
1.80	-6.37	-10.00	-15.62	-13.95	-12.29	-10.62	-8.96	-7.29	-5.62
2.00	-20.62	-26.25	-31.87	-37.50	-43.12	-40.62	-34.87	-29.12	-23.37
2.20	-11.87	9.37	16.37	19.37	16.28	.62	-12.50	-25.62	-29.37
2.40	-36.87	-29.01	-21.16	-13.30	-9.79	-10.62	-11.04	-11.46	-11.87
2.60	13.12	17.12	21.12	25.12	29.11	33.12	6.87	-19.37	-45.62
2.80	-14.37	-17.12	-19.87	-22.62	-25.37	-28.12	-30.62	-33.12	-35.62
3.00	-40.62	-31.12	-21.62	-12.12	-2.62	6.87	16.37	21.87	29.37
3.20	-18.12	-12.62	-7.12	-5.12	-6.62	-8.12	-5.62	-3.12	-6.62
3.40	4.37	-6.12	-12.62	-21.12	-29.62	-38.12	-46.12	-54.12	-62.12
3.60	33.12	50.61	68.11	85.61	103.11	120.61	138.11	155.61	173.11
3.80	-38.12	-29.62	-21.12	-12.62	-5.12	4.37	-6.62	-14.62	-22.62
4.00	-20.62	-23.62	-26.62	-29.62	-32.62	-35.62	-38.62	-41.62	-44.62
4.20	-10.62	-12.36	-10.87	9.37	-17.50	-44.37	-51.87	-59.37	-66.87
4.40	-55.62	-42.62	-29.62	-16.62	-3.62	9.37	7.94	6.51	5.08
4.60	11.87	16.61	17.37	20.11	22.87	25.62	15.62	5.62	-4.37
4.80	-39.37	-48.75	-58.12	-65.62	-73.12	-80.62	-88.12	-95.62	-103.12
5.00	-21.87	-19.37	-16.87	-14.37	-11.87	-9.37	-6.87	-4.37	-1.87
5.20	8.12	16.69	25.26	33.83	37.70	36.86	20.62	4.37	-11.87
5.40	4.37	-3.87	-12.12	-20.37	-28.62	-36.87	-45.12	-53.37	-61.62
5.60	-20.62	-8.62	3.37	8.62	7.12	5.62	2.62	-3.37	-11.12
5.80	1.87	9.37	16.86	16.03	15.20	14.37	5.62	-3.12	-11.87
6.00	-29.37	-44.37	-59.37	-74.37	-89.37	-104.37	-119.37	-134.37	-149.37
6.20	-21.87	-29.62	-37.37	-45.12	-52.87	-60.62	-68.37	-76.12	-83.87
6.40	-20.62	-13.62	-6.62	-4.62	-7.62	-10.62	-18.96	-27.29	-35.62
6.60	-20.62	1.87	3.43	4.99	6.55	8.12	15.62	23.12	30.62
6.80	-34.37	-39.37	-44.37	-49.37	-54.37	-59.37	-64.37	-69.37	-74.37
7.00	-11.87	-11.87	-11.87	-11.87	-11.87	-11.87	-11.87	-11.87	-11.87
7.20	4.37	-1.69	-7.76	-13.83	-17.29	-18.12	-16.34	-14.55	-12.77
7.40	-16.87	-25.94	-35.00	-44.06	-53.12	-62.18	-71.24	-80.30	-89.36
7.60	-49.37	-48.37	-47.37	-46.37	-45.37	-44.37	-43.37	-42.37	-41.37
7.80	20.62	13.43	6.24	-9.93	-18.12	-26.31	-34.50	-42.69	-50.88
8.00	49.36	63.11	76.86	90.61	104.36	118.11	131.86	145.61	159.36
8.20	-5.62	-16.87	-28.12	-39.37	-50.62	-61.87	-73.12	-84.37	-95.62
8.40	54.37	70.20	76.51	73.29	70.08	66.86	59.72	52.58	45.44
8.60	61.86	73.86	85.86	97.86	109.86	121.86	133.86	145.86	157.86
8.80	104.36	114.86	125.36	135.86	146.36	156.86	167.36	177.86	188.36
9.00	119.36	129.36	139.36	149.36	159.36	169.36	179.36	189.36	199.36
9.20	-84.37	-77.12	-69.87	-62.62	-55.37	-48.12	-40.87	-33.62	-26.37
9.40	26.86	16.37	5.87	-4.62	-15.12	-25.62	-36.12	-46.62	-57.12
9.60	-75.99	-76.40	-76.81	-77.22	-77.63	-78.04	-78.45	-78.86	-79.27
9.80	-80.07	-80.47	-80.88	-81.29	-81.69	-82.10	-82.51	-82.92	-83.33
10.00	-78.12	-75.62	-73.12	-70.62	-68.12	-65.62	-63.12	-60.62	-58.12
10.20	-61.87	-29.06	-16.25	-3.44	9.37	16.37	23.37	30.37	37.37
10.40	-15.62	-11.62	-7.62	-3.62	4.37	9.37	14.37	19.37	24.37
10.60	1.87	-2.81	-7.50	-12.18	-16.87	-21.56	-26.25	-30.94	-35.62
10.80	-20.62	-22.62	-24.62	-26.62	-28.62	-30.62	-32.62	-34.62	-36.62
11.00	-58.12	-60.31	-62.49	-64.68	-66.87	-69.06	-71.25	-73.44	-75.62
11.20	-33.12	-28.62	-24.12	-19.62	-15.12	-10.62	-6.12	-1.62	2.87
11.40	13.12	11.37	9.62	7.87	6.12	4.37	2.62	0.87	2.12
11.60	.62	.87	1.12	1.37	1.62	1.87	2.12	2.37	2.62
11.80	5.62	4.87	4.12	3.37	2.62	1.87	1.12	0.37	2.12
12.00	-4.37	-3.12	-1.87	-.62	1.12	2.37	3.62	4.87	6.12
12.20	.62	1.87	3.12	4.37	5.62	6.87	8.12	9.37	10.62
12.40	10.62	11.12	11.62	12.12	12.62	13.12	13.62	14.12	14.62
12.60	16.86	17.12	17.37	17.62	17.87	18.12	18.37	18.62	18.87
12.80	18.12	18.37	18.62	18.87	19.11	19.37	19.62	19.87	20.12
13.00	16.86	16.87	16.88	16.89	16.90	16.91	16.92	16.93	16.94
13.20	25.62	25.86	26.12	26.37	26.62	26.86	27.12	27.37	27.62
13.40	11.87	7.87	3.87	-.12	-6.12	-12.12	-18.12	-24.12	-30.12
13.60	-5.62	-7.62	-9.62	-11.62	-13.62	-15.62	-17.62	-19.62	-21.62
13.80	-5.62	-3.54	-1.46	.62	2.62	4.62	6.62	8.62	10.62
14.00	-9.37	-8.12	-6.87	-5.62	-4.37	-3.12	-1.87	-0.62	0.62
14.20	8.12	7.12	6.12	5.12	4.12	3.12	2.12	1.12	0.12
14.40	6.87	5.87	4.87	3.87	2.87	1.87	0.87	-0.12	-1.12
14.60	29.37	28.37	27.37	26.37	25.37	24.37	23.37	22.37	21.37
14.80	16.86	15.37	13.87	12.37	10.87	9.37	7.87	6.37	4.87
15.00	-1.87	-3.37	-4.87	-6.37	-7.87	-9.37	-10.87	-12.37	-13.87
15.20	-8.12	-8.62	-9.12	-9.62	-10.12	-10.62	-11.12	-11.62	-12.12
15.40	-5.62	-5.37	-5.12	-4.87	-4.62	-4.37	-4.12	-3.87	-3.62
15.60	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62
15.80	-4.37	-3.12	-1.87	-.62	1.12	2.37	3.62	4.87	6.12
16.00	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62	-5.62
16.20	6.87	9.37	11.87	14.37	16.87	19.37	21.87	24.37	26.87
16.40	8.12	9.87	11.62	13.37	15.12	16.86	18.61	20.36	22.11
16.60	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86	16.86
16.80	-5.62	-6.62	-7.62	-8.62	-9.62	-10.62	-11.62	-12.62	-13.62
17.00	-9.37	-9.87	-10.37	-10.87	-11.37	-11.87	-12.37	-12.87	-13.37
17.20	-10.62	-10.12	-9.62	-9.12	-8.62	-8.12	-7.62	-7.12	-6.62
17.40	4.37	3.87	3.37	2.87	2.37	1.87	1.37	0.87	0.37
17.60	-11.87	-12.37	-12.87	-13.37	-13.87	-14.37	-14.87	-15.37	-15.87
17.80	4.37	5.12	5.87	6.62	7.37	8.12	8.87	9.62	10.37
18.00	11.87	12.62	13.37	14.12	14.87	15.62	16.37	17.12	17.87
18.20	21.87	20.11	18.37	16.62	14.87	13.12	11.37	9.62	7.87
18.40	-6.12	-9.62	-13.12	-16.62	-20.12	-23.62	-27.12	-30.62	-34.12
18.60	-14.37	-13.37	-12.37	-11.37	-10.37	-9.37	-8.37	-7.37	-6.37
18.80	-8.12	-8.12	-8.12	-6.46	-4.79	-3.12	-1.46	0.21	1.87
19.00	16.86	16.37	15.87	15.37	14.87	14.37	13.87	13.37	12.87
19.20	3.12	2.37	1.62	.87	.12	-.62	-1.37	-2.12	-2.87
19.40	-4.37	-3.62	-2.87	-2.12	-1.37	-.62	-.87	-1.62	-2.37
19.60	-1.87	-1.37	-.87	-.37	.12	.62	1.12	1.62	2.12
19.80	-1.87	1.12	4.12	7.12	10.11	13.12	16.12	19.12	22.12
20.00	14.37	13.62	12.87	12.12	11.37	10.62	9.87	9.12	8.37
20.20	10.62	12.36	14.12	15.87	17.62	19.37	21.12	22.87	24.62
20.40	29.36	29.87	30.36	30.87	-0.00	-0.00	-0.17	-0.00	.0000000000

2)入射波

WAVE NAME : KAWAGISHI CHO (INCIDENT)			MAX AMPLITUDE : 885.56 * 10 ⁻¹ (8.54 SEC)								SAMPLING INTERVAL : .020 SEC TOTAL LENGTH : 20.460 SEC		PAGE 1
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8			
.00	38.36	33.97	4.18	-4.47	-4.45	-19.61	-42.87	-36.27	-19.08	-26.21			
.20	-48.00	-39.01	12.10	52.39	42.42	24.08	35.45	28.55	-40.41	-113.56			
.40	-111.26	-48.86	-4.10	-8.62	-25.52	-21.05	-8.86	-7.67	-12.68	-31.71			
.60	-76.22	-104.00	-64.33	6.07	37.13	32.57	30.44	26.87	16.12	13.91			
.80	5.54	-30.24	-57.68	-41.68	-20.06	-29.29	-37.87	-20.51	-11.82	-32.45			
1.00	-48.61	-41.60	-40.25	-59.08	-71.83	-62.56	-51.16	-51.73	-55.47	-55.22			
1.20	-54.93	-54.81	-54.36	-55.26	-45.58	-8.90	36.06	38.97	-13.83	-63.67			
1.40	-52.18	-7.10	4.49	-26.38	-23.88	10.54	11.98	-33.31	-69.37	-73.19			
1.60	-81.80	-117.95	-154.87	-153.56	-115.77	-94.52	-121.23	-136.90	-76.31	16.66			
1.80	60.55	52.97	40.25	-4.47	-58.50	-66.46	-52.80	-85.95	-122.79	-92.31			
2.00	-37.00	-32.90	-58.54	-58.83	-63.96	-89.48	-71.38	7.38	68.72	66.38			
2.20	45.25	77.70	173.25	220.84	76.06	-166.72	-202.25	9.07	126.73	-6.69			
2.40	-133.62	-95.59	-60.31	-108.67	-126.11	-117.25	-164.43	-198.27	-159.91	-131.98			
2.60	-122.75	-64.94	-25.80	-51.08	1.56	166.87	147.32	-62.10	-183.83	-30.32			
2.80	88.41	51.53	-40.45	-47.83	5.58	23.63	13.09	39.47	59.16	1.15			
3.00	-50.21	-23.06	-46.85	-172.67	-205.33	-79.83	11.86	19.69	73.15	152.12			
3.20	205.00	268.58	277.12	104.49	-74.95	-25.27	73.60	-12.76	-119.33	-77.99			
3.40	-25.80	-37.25	-10.42	20.72	-27.28	-63.10	-32.16	-29.74	-61.09	-56.70			
3.60	-57.97	-88.94	-85.62	-96.20	-199.71	-264.81	-169.15	-54.15	-33.76	6.36			
3.80	86.44	35.20	-137.64	-204.30	-133.70	-132.86	-246.64	-288.28	-194.17	-112.17			
4.00	-128.20	-117.00	-34.87	21.33	4.72	-18.42	-2.13	36.80	73.48	81.39			
4.20	66.21	82.95	135.38	145.56	58.09	63.42	67.51	-5.42	-90.95	-160.08			
4.40	-182.11	-136.61	-61.66	-57.35	-127.67	-158.72	-124.39	-110.32	-127.59	-116.10			
4.60	-81.19	-65.11	-79.14	-125.54	-169.39	-140.26	-52.52	-19.08	-26.01	-7.78			
4.80	52.02	94.36	145.02	173.25	93.33	-31.92	-23.38	111.59	167.13	70.32			
5.00	-27.65	-30.03	-24.46	-89.72	-146.25	-132.59	-103.92	-108.43	-102.72	-56.29			
5.20	-10.91	-4.64	-25.35	-41.23	-33.80	-15.67	-13.66	-15.59	13.25	59.65			
5.40	81.89	77.21	70.23	69.87	64.08	32.57	-9.03	-10.91	-7.10	-101.74			
5.60	-244.02	-263.67	-182.64	-143.59	-89.11	59.98	111.42	-55.63	-195.77	-134.97			
5.80	-60.22	-112.13	-200.82	-238.15	-248.65	-208.48	-137.64	-134.93	-157.90	-109.50			
6.00	-49.48	-55.55	-63.22	-38.73	-55.14	-115.24	-137.47	-95.26	-19.04	46.36			
6.20	46.57	-8.20	-26.38	42.83	139.23	181.39	57.97	-85.33	-119.14	-61.66			
6.40	-75.44	-162.91	-182.93	-150.77	-174.40	-205.00	-163.61	-111.10	-96.33	-88.04			
6.60	-97.19	-119.18	-79.88	-9.44	-23.26	-79.79	-54.84	14.69	25.85	-8.16			
6.80	-40.53	-60.72	-51.65	-26.83	-29.25	-37.05	-16.66	-13.54	-48.41	-76.47			
7.00	-109.00	-169.23	-190.15	-151.42	-145.72	-187.15	-197.21	-189.82	-211.45	-216.41			
7.20	-194.17	-217.23	-261.16	-236.02	-172.26	-136.45	-89.06	-8.04	32.16	2.13			
7.40	-38.48	-52.88	-43.77	-64.59	53.68	92.26	99.24	114.01	174.72	255.62			
7.60	295.71	304.28	341.61	379.60	330.82	231.34	189.21	175.67	89.93	-25.44			
7.80	-52.51	3.65	50.17	50.79	20.43	-28.23	-54.11	12.80	162.33	261.53			
8.00	227.73	167.83	205.70	272.28	249.39	182.85	170.05	208.20	272.69	350.56			
8.20	381.82	355.44	324.62	389.37	326.14	401.92	438.76	442.16	435.48	513.63			
8.40	592.64	582.51	626.94	751.57	731.88	634.86	756.78	885.52	591.04	153.80			
8.60	138.17	365.78	327.30	97.11	-5.24	-26.26	-118.60	-216.86	-216.31	-276.22			
8.80	-236.43	-207.91	-253.86	-257.59	-152.37	-84.43	-71.10	40.49	154.87	72.82			
9.00	-29.62	78.28	172.55	3.49	-158.44	-166.19	-52.84	-72.37	-154.79	-182.31			
9.20	-180.55	-186.58	-190.72	-201.10	-219.97	-222.93	-212.92	-218.33	-236.59	-246.48			
9.40	-251.52	-269.68	-284.63	-301.53	-321.72	-342.67	-345.18	-334.23	-337.26	-346.95			
9.60	-335.38	-321.47	-327.50	-316.63	-287.75	-312.53	-364.51	-314.62	-184.69	-128.61			
9.80	-134.72	-71.79	18.30	9.48	-41.44	-30.73	-15.30	-54.32	-75.65	-44.31			
10.00	-25.31	-34.91	-30.07	-12.80	-6.24	-3.61	-5.83	-19.36	-26.91	-26.91			
10.20	-43.65	-72.70	-90.91	-100.39	-166.71	-106.46	-110.15	-121.93	-125.25	-126.72			
10.40	-143.38	-152.57	-140.14	-145.10	-176.98	-194.70	-200.49	-227.52	-251.60	-245.57			
10.60	-250.54	-286.85	-301.37	-272.04	-242.70	-231.13	-215.38	-193.10	-174.27	-153.22			
10.80	-132.14	-115.73	-94.69	-84.45	-40.53	-23.26	6.69	45.46	64.66	57.15			
11.00	47.71	51.98	58.05	53.46	46.32	44.27	39.30	28.02	20.54	20.80			
11.20	18.63	12.14	5.58	2.99	9.85	20.64	17.72	3.69	0.00	3.77			
11.40	-1.72	-8.78	-7.10	-10.17	-19.08	-19.81	-21.09	-33.44	-36.18	-21.70			
11.60	-13.33	-13.05	-3.20	6.32	3.41	4.35	12.59	11.77	10.58	23.34			
11.80	33.72	33.44	39.14	48.86	48.25	47.83	56.41	60.27	58.83	65.57			
12.00	69.78	67.53	69.99	77.50	78.07	78.69	86.52	90.46	89.27	93.21			
12.20	96.57	94.40	97.11	101.86	98.21	95.38	100.26	99.61	94.64	98.54			
12.40	102.44	97.39	98.79	106.58	101.58	93.00	100.10	105.97	95.55	87.75			
12.60	88.00	75.08	54.56	53.95	71.92	86.89	95.87	107.36	118.68	121.68			
12.80	119.59	126.36	144.04	151.46	136.61	122.17	124.31	123.65	107.28	91.53			
13.00	80.82	60.14	34.42	23.30	24.16	23.26	20.02	17.07	10.71	1.22			
13.20	-6.36	-16.29	-28.47	-33.64	-25.60	-13.17	-9.56	-12.23	-7.30	6.24			
13.40	16.12	22.07	28.64	28.76	21.37	19.73	20.18	7.84	-2.42	9.52			
13.60	22.93	16.62	11.80	22.60	29.33	30.48	43.57	58.05	57.07	52.55			
13.80	51.94	45.33	40.12	45.09	44.63	39.22	47.38	53.41	60.45	62.21			
14.00	60.96	30.40	-45.50	-63.14	-1.31	46.07	52.68	76.27	108.74	101.74			
14.20	84.76	102.60	123.85	118.93	115.32	122.83	118.85	109.86	110.73	105.64			
14.40	89.89	84.26	85.33	74.67	61.54	57.27	49.76	35.28	27.16	23.34			
14.60	14.85	5.05	-3.08	-10.67	-12.18	-8.62	-11.12	-16.70	-16.10	-15.71			
14.80	-20.68	-22.73	-22.52	-24.82	-21.25	-11.57	-9.15	-10.46	-2.71	4.35			
15.00	3.49	8.53	19.81	20.76	16.37	12.65	20.88	15.30	15.30	12.92			
15.20	12.96	9.68	12.35	9.31	4.43	8.37	8.70	5.53	1.27	9.97			
15.40	9.85	10.54	22.77	26.50	13.58	6.65	8.66	2.17	-8.44	-2.46			
15.60	1.44	-6.69	-12.51	-7.34	-6.97	-17.19	-16.94	7.06	34.58	43.45			
15.80	45.37	56.00	60.92	52.51	53.62	66.67	63.79	49.48	53.12	66.75			
16.00	68.72	71.30	82.50	84.59	79.67	83.85	87.79	85.33	90.50	96.41			
16.20	89.76												

3) 基盤波

WAVE NAME : KAWAGISHI CMO (BASE)											
MAX AMPLITUDE : 128.22 * 10** 0 (8.54 SEC)											
SAMPLING INTERVAL : .020 SEC TOTAL LENGTH : 20.460 SEC											
PAGE : 1											
	0	2	4	5	8	0	2	4	6	8	
0.00	10.85	10.51	6.73	5.73	6.09	3.89	1.50	2.88	5.37	4.98	
0.20	2.79	4.14	10.50	15.57	14.32	11.86	12.91	11.50	2.13	-2.68	
0.40	-8.16	-1.92	1.41	-1.14	-4.45	-4.26	-2.38	-1.63	-2.29	-5.57	
0.60	-12.21	-16.17	-11.12	-1.95	2.25	2.01	2.33	2.88	2.30	2.48	
0.80	1.58	-2.90	-6.68	-5.44	-3.53	-5.40	-7.18	-5.55	-4.78	-7.52	
1.00	-9.58	-8.45	-7.89	-10.06	-11.78	-10.60	-8.83	-8.52	-8.80	-9.01	
1.20	-9.18	-9.56	-10.30	-11.33	-10.66	-5.82	.79	2.43	-3.25	-9.04	
1.40	-7.52	-1.81	-7.72	-4.19	-4.30	-.29	.06	-4.91	-8.62	-8.61	
1.60	-9.61	-14.45	-19.76	-20.43	-16.58	-14.71	-18.68	-21.11	-13.73	-1.91	
1.80	4.05	4.21	2.25	-3.44	-10.49	-11.81	-10.36	-14.72	-20.14	-16.32	
2.00	-8.33	-7.25	-9.99	-9.69	-9.96	-12.87	-10.60	-.82	6.99	7.13	
2.20	4.86	8.58	19.75	25.01	6.56	-24.21	-29.53	-3.83	10.95	-5.49	
2.40	-21.84	-18.02	-14.35	-20.71	-23.04	-21.95	-27.64	-31.38	-25.73	-21.21	
2.60	-19.33	-11.56	-6.00	-8.43	-11.47	16.92	12.12	-2.24	-21.66	-9.30	
2.80	4.84	.53	-10.40	-10.55	-2.57	1.29	1.48	6.02	9.66	2.17	
3.00	-4.20	-.05	-1.82	-17.50	-22.87	-8.28	2.91	3.15	7.60	16.96	
3.20	18.38	25.25	27.26	6.58	-16.33	-10.65	1.69	-8.89	-22.09	-16.39	
3.40	-9.12	-9.99	-6.00	-.72	-6.75	-7.48	-2.70	-2.00	-5.34	-3.92	
3.60	-4.20	-9.73	-11.44	-13.76	-26.50	-34.39	-22.59	-8.55	-6.30	-1.31	
3.80	9.16	3.39	-17.92	-26.50	-17.71	-16.89	-30.42	-35.43	-23.61	-12.28	
4.00	-11.07	-7.60	3.99	11.99	10.47	7.34	7.86	9.54	10.09	7.86	
4.20	4.26	5.28	11.32	13.01	8.16	4.67	3.41	-2.71	-13.68	-23.67	
4.40	-27.62	-23.10	-14.55	-14.61	-23.84	-28.06	-23.95	-22.39	-25.18	-24.44	
4.60	-20.27	-17.79	-18.68	-23.48	-28.62	-25.98	-17.63	-14.52	-16.21	-13.17	
4.80	-6.20	.28	8.81	15.14	7.85	-5.43	-2.15	16.72	25.04	13.49	
5.00	1.23	.76	1.07	-7.23	-15.09	-16.25	-11.44	-13.25	-16.53	-10.80	
5.20	-7.08	-8.05	-12.42	-16.00	-15.77	-12.86	-10.90	-9.51	-5.10	-.98	
5.40	4.22	4.30	3.98	4.61	5.00	2.43	-1.70	-1.38	-.62	-11.46	
5.60	-28.03	-29.21	-17.92	-12.31	-5.46	13.18	19.87	-1.45	-21.19	-16.76	
5.80	-9.70	-17.82	-28.77	-34.19	-16.47	-32.02	-23.91	-23.74	-26.50	-19.74	
6.00	-10.85	-9.90	-9.12	-4.25	-4.67	-11.18	-13.85	-8.88	-.40	8.67	
6.20	8.75	1.52	-1.24	7.07	18.80	20.99	7.24	-12.07	-18.26	-12.97	
6.40	-16.06	-28.30	-32.18	-29.31	-33.25	-37.79	-32.70	-25.32	-21.78	-18.69	
6.60	-18.75	-22.46	-19.80	-12.69	-15.08	-22.71	-20.28	-11.74	-9.54	-12.44	
6.80	-14.79	-15.70	-13.03	-8.47	-7.66	-8.08	-5.29	-4.54	-8.74	-12.51	
7.00	-16.90	-24.28	-26.00	-19.86	-18.30	-23.82	-28.27	-26.11	-29.31	-30.75	
7.20	-29.60	-34.69	-42.25	-40.48	-33.16	-28.84	-22.48	-11.33	-5.14	-7.79	
7.40	-11.50	-11.64	-8.94	-3.06	-4.81	9.32	10.86	11.22	20.92	30.82	
7.60	35.70	36.80	41.33	45.69	38.82	25.21	18.61	15.92	4.46	-10.92	
7.80	-15.33	-9.23	-4.32	-5.31	-10.44	-18.02	-22.60	-15.03	3.63	16.61	
8.00	13.09	6.23	11.73	21.22	19.82	12.87	12.60	19.06	29.17	41.25	
8.20	47.84	47.24	49.32	55.10	56.81	58.09	65.65	65.80	66.96	78.57	
8.40	90.10	90.20	96.81	113.25	111.18	98.60	112.89	128.22	90.09	32.55	
8.60	27.08	53.36	47.72	18.39	5.73	4.14	-4.93	-14.45	-18.20	-18.18	
8.80	-12.22	-7.17	-10.62	-8.91	5.48	14.38	16.21	30.35	45.04	35.34	
9.00	23.38	38.37	52.43	33.98	11.14	17.15	33.17	32.67	24.10	22.08	
9.20	23.75	24.25	24.37	22.95	20.26	19.39	19.50	16.37	10.02	3.98	
9.40	-1.01	-7.50	-16.92	-27.92	-37.95	-46.95	-48.20	-49.74	-52.59	-55.57	
9.60	-55.64	-55.06	-56.07	-53.92	-48.73	-49.74	-54.39	-48.87	-29.64	-21.63	
9.80	-21.57	-13.81	-2.31	-5.28	-14.58	-16.05	-16.66	-24.93	-31.58	-30.65	
10.00	-29.60	-31.39	-31.31	-29.53	-28.90	-28.74	-29.17	-30.86	-31.83	-32.03	
10.20	-34.39	-38.21	-40.60	-41.96	-42.84	-42.69	-42.93	-44.13	-44.21	-43.99	
10.40	-45.59	-46.11	-43.08	-43.08	-45.82	-46.72	-45.82	-47.32	-48.56	-46.27	
10.60	-45.39	-47.96	-47.37	-41.16	-35.16	-31.46	-28.08	-24.41	-21.87	-19.39	
10.80	-16.85	-15.04	-12.52	-8.46	-4.92	-2.28	1.83	7.00	9.60	8.62	
11.00	7.05	6.93	6.93	5.60	3.85	2.61	1.06	-1.14	-2.78	-3.67	
11.20	-4.35	-5.89	-7.56	-8.90	-9.18	-9.02	-10.51	-13.37	-15.04	-15.69	
11.40	-17.36	-19.04	-19.28	-19.73	-20.59	-20.26	-19.72	-20.15	-18.99	-15.54	
11.60	-12.71	-10.90	-7.94	-5.12	-4.05	-2.59	-.32	.70	1.50	3.90	
11.80	5.94	6.56	7.71	9.06	8.85	8.59	9.43	9.75	9.69	10.19	
12.00	10.89	10.61	10.95	12.02	12.27	12.52	13.59	14.22	14.22	16.87	
12.20	15.37	15.02	15.18	15.56	16.91	14.32	14.73	14.48	13.66	13.99	
12.40	14.38	13.62	13.73	14.81	14.38	13.50	14.59	15.59	14.48	13.63	
12.60	13.82	12.37	9.97	10.09	12.61	14.79	16.24	17.99	19.70	20.34	
12.80	20.35	21.44	23.90	25.07	23.49	21.89	22.37	22.55	20.73	18.95	
13.00	17.86	15.50	12.44	11.17	11.38	11.35	10.94	10.63	9.83	8.69	
13.20	7.62	6.42	4.81	4.07	4.92	6.38	6.74	6.32	6.77	8.32	
13.40	9.48	10.20	11.04	11.13	10.32	10.18	10.31	9.01	8.06	9.07	
13.60	12.21	11.90	11.58	12.89	13.47	13.18	14.28	15.46	14.51	13.00	
13.80	11.93	10.14	8.48	8.16	7.27	5.79	5.98	6.15	4.13	4.14	
14.00	6.44	2.66	-6.93	-9.40	-1.93	3.89	4.64	7.56	11.81	11.35	
14.20	9.59	12.08	15.02	14.68	16.43	15.49	15.06	13.87	13.88	13.12	
14.40	11.09	10.31	10.53	9.56	8.43	8.30	7.71	6.16	5.45	5.27	
14.60	4.51	3.63	2.85	1.92	1.66	1.97	1.42	.54	.56	.23	
14.80	.24	.09	.29	.38	1.23	2.68	3.03	3.04	4.76	6.88	
15.00	8.11	9.98	12.38	12.94	12.33	12.46	12.32	11.21	10.72	10.53	
15.20	9.38	9.36	8.14	7.18	5.93	5.78	5.21	3.57	2.98	3.40	
15.40	2.80	2.31	3.30	3.38	1.44	.21	.17	.88	-2.14	-1.71	
15.60	-1.23	-2.27	-3.02	-2.39	-2.34	-3.63	-3.66	-.67	2.85	4.14	
15.80	4.54	5.99	6.76	5.80	5.93	7.56	7.28	5.53	5.97	7.65	
16.00	7.95	8.27	9.69	10.05	9.51	10.13	10.74	10.57	11.32	12.13	
16.20	11.40	11.62	13.88	13.83	10.62	8.41	7.83	5.23	2.71	2.60	
16.40	2.24	-.01	-1.71	-2.03	-2.25	-2.18	-1.60	-1.45	-1.28	-.59	
16.60	-.19	-.07	.80	1.69	2.07	2.77	3.10	3.18	3.06	3.96	
16.80	4.59	4.32	4.38	5.25	6.71	8.56	10.34	11.81	13.11	13.20	
17.00	12.08	12.24	13.65	12.99	10.38	8.72	7.43	6.74	2.17	.98	
17.20	-.62	-2.89	-4.15	-4.44	-4.36	-3.52	-2.43	-1.65	-.73	.00	
17.40	-.04	.46	2.02	2.68	2.51	3.38	4.34	4.36	4.87	6.15	
17.60	6.57	6.79	7.98	9.00	9.55	10.83	12.33	13.42	14.58	14.65	
17.80	13.14	13.11	14.77	13.82	10.22	8.08	6.58	3.07	.23	-.35	
18.00	-1.67	-4.36	-6.07	-6.92	-7.41	-6.69	-6.08	-6.79	-6.44	-4.22	
18.20	-2.96	-2.45	-.67	.86	.02	1.42	2.94	3.69	3.62	4.40	
18.40	5.05	5.68	7.14	8.46	9.88	12.31	14.94	17.10	19.16	19.60	
18.60	18.08	18.40	20.69	19.93	16.70	15.41	14.42	11.16	8.84	8.30	
18.80	6.01	3.25	2.44	1.07	-1.22	-1.49	-1.72	-4.12	-4.87	-3.20	
19.00	-3.36	-4.17	-2.34	-1.83	-3.13	-2.44	-1.00	-1.98	-1.98	.27	
19.20	.49	-.07	2.35	3.47	2.20	3.46	5.37	3.82	4.03	8.45	
19.40	10.53	10.45	13.69	16.02	12.95	13.66	15.97	15.29	14.13	15.30	
19.60	13.99	11.49	12.88	12.56	8.02	8.32	12.01	9.44	6.71	10.83	
19.80	11.86	8.17	11.09	12.08	11.12	11.73	20.12	18.16	11.95	23.08	
20.00	33.73	16.92	-5.19	-3.66	6.34	8.13	11.83	16.26	7.78	-4.57	
20.20	-5.79	-2.39	-1.57	-.77	-3.41	-8.72	-3.87	8.45	10.13	3.14	
20.40	4.50	11.19	11.57	9.18	-.00	-.00	-.17	-.00	.005555555555		

V 地盤の地震応答解析結果

B-1 (100 gal)

Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	P (kg/cm)	r_d
0.000	116.756	0.500	0.0124	0.090	1.1600
1.000	116.493	1.500	0.0302	0.270	0.9331
2.000	115.751	2.500	0.0551	0.450	1.0269
3.000	114.660	3.250	0.0710	0.585	1.0189
3.500	114.028	3.750	0.0811	0.679	1.0027
4.000	113.540	4.500	0.1005	0.825	1.0223
5.000	112.501	5.500	0.1266	1.020	1.0419
6.000	111.420	6.500	0.1498	1.215	1.0348
7.000	110.118	7.500	0.1701	1.410	1.0127
8.000	108.581	8.500	0.1954	1.605	1.0218
9.000	107.505	9.500	0.2135	1.800	0.9956
10.000	106.289	10.500	0.2352	1.995	0.9894
11.000	105.317	11.900	0.2632	2.268	0.9742
12.800	103.977	13.400	0.2881	2.563	0.9433
14.000	103.494	15.000	0.3199	2.883	0.9313
16.000	102.982	22.750	0.4521	4.433	0.8559
29.500	95.525	36.250	0.6493	7.133	0.7640
43.000	91.765	56.750	0.8173	10.821	0.6340
70.500	86.977	84.250	0.9103	15.496	0.4930
98.000	100.005				

B-1 (129.3 gal)

Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	P (kg/cm)	r_d
0.000	146.908	0.500	0.0147	0.090	1.0889
1.000	146.681	1.500	0.0397	0.270	0.9821
2.000	146.035	2.500	0.0699	0.450	1.0361
3.000	144.958	3.250	0.0881	0.585	1.0048
3.500	144.276	3.750	0.1045	0.679	1.0270
4.000	143.683	4.500	0.1310	0.825	1.0591
5.000	142.343	5.500	0.1591	1.020	1.0407
6.000	140.835	6.500	0.1894	1.215	1.0398
7.000	139.531	7.500	0.2175	1.410	1.0290
8.000	138.048	8.500	0.2471	1.605	1.0269
9.000	136.737	9.500	0.2746	1.800	1.0178
10.000	135.612	10.500	0.2981	1.995	0.9969
11.000	134.554	11.900	0.3373	2.268	0.9921
12.800	132.866	13.400	0.3635	2.563	0.9459
14.000	132.328	15.000	0.4047	2.883	0.9362
16.000	131.251	22.750	0.5793	4.433	0.8716
29.500	120.691	36.250	0.8306	7.133	0.7767
43.000	113.596	56.750	1.0402	10.821	0.6412
70.500	115.702	84.250	1.1686	15.496	0.5031
98.000	129.277				

B-1 (200 gal)

Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	ρ (kg/cm)	γ_d
0.000	216.016	0.500	0.0189	0.090	0.9538
1.000	215.752	1.500	0.0618	0.270	1.0382
2.000	214.879	2.500	0.1024	0.450	1.0322
3.000	213.790	3.250	0.1335	0.585	1.0350
3.500	213.096	3.750	0.1573	0.679	1.0514
4.000	212.426	4.500	0.1964	0.825	1.0801
5.000	210.691	5.500	0.2375	1.020	1.0562
6.000	208.764	6.500	0.2802	1.215	1.0463
7.000	207.149	7.500	0.3253	1.410	1.0468
8.000	205.270	8.500	0.3680	1.605	1.0401
9.000	203.882	9.500	0.4044	1.800	1.0193
10.000	202.076	10.500	0.4469	1.995	1.0163
11.000	200.891	11.900	0.4995	2.268	0.9991
12.800	198.318	13.400	0.5501	2.563	0.9735
14.000	197.313	15.000	0.6038	2.883	0.9500
16.000	194.818	22.750	0.8608	4.433	0.8808
29.500	179.305	36.250	1.2245	7.133	0.7787
43.000	176.379	56.750	1.5199	10.821	0.6372
70.500	184.486	84.250	1.7894	15.496	0.5239
98.000	200.060				

B-2 (100 gal)

Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	ρ (kg/cm)	γ_d
0.000	117.115	0.500	0.0101	0.090	0.9419
1.000	116.881	1.500	0.0322	0.270	0.9975
2.000	116.191	2.500	0.0546	0.450	1.0145
3.000	115.124	3.400	0.0767	0.612	1.0482
3.800	114.042	4.400	0.1033	0.801	1.0794
5.000	112.875	5.500	0.1259	1.016	1.0373
6.000	111.807	6.500	0.1496	1.211	1.0343
7.000	110.635	7.500	0.1718	1.405	1.0226
8.000	109.141	8.500	0.1950	1.600	1.0194
9.000	108.050	9.500	0.2164	1.795	1.0087
10.000	107.031	10.500	0.2383	1.990	1.0016
11.000	106.093	11.500	0.2569	2.185	0.9834
12.000	105.514	12.650	0.2801	2.410	0.9728
13.300	104.475	14.150	0.3027	2.706	0.9359
15.000	104.006	15.500	0.3238	2.976	0.9102
16.000	103.767	22.750	0.4534	4.426	0.8570
29.500	96.032	36.250	0.6512	7.126	0.7646
43.000	91.320	56.750	0.8180	10.814	0.6330
70.500	88.499	84.250	0.9117	15.489	0.4926
98.000	99.995				

B-2 (128.5 gal)

B-2 (200 gal)

Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	P (kg/cm)	γ_d	Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	P (kg/cm)	γ_d
0.000	148.123	0.500	0.0134	0.090	0.9843	0.000	214.340	0.500	0.0217	0.090	1.1010
1.000	147.823	1.500	0.0422	0.270	1.0335	1.000	214.065	1.500	0.0632	0.270	1.0694
2.000	147.010	2.500	0.0708	0.450	1.0412	2.000	213.359	2.500	0.1036	0.450	1.0526
3.000	145.688	3.400	0.0951	0.612	1.0278	3.000	212.067	3.400	0.1432	0.612	1.0698
3.800	144.671	4.400	0.1298	0.801	1.0722	3.800	210.643	4.400	0.1902	0.801	1.0854
5.000	143.348	5.500	0.1626	1.016	1.0594	5.000	208.824	5.500	0.2379	1.016	1.0709
6.000	141.877	6.500	0.1836	1.211	1.0307	6.000	207.209	6.500	0.2806	1.211	1.0600
7.000	140.339	7.500	0.2223	1.405	1.0467	7.000	205.534	7.500	0.3242	1.405	1.0546
8.000	139.124	8.500	0.2456	1.600	1.0153	8.000	204.014	8.500	0.3629	1.600	1.0366
9.000	137.706	9.500	0.2786	1.795	1.0265	9.000	202.447	9.500	0.4048	1.795	1.0306
10.000	136.719	10.500	0.2987	1.990	0.9928	10.000	201.011	10.500	0.4423	1.990	1.0159
11.000	135.636	11.500	0.3299	2.185	0.9987	11.000	199.479	11.500	0.4794	2.185	1.0029
12.000	134.775	12.650	0.3598	2.410	0.9880	12.000	198.103	12.650	0.5257	2.410	0.9974
13.300	133.656	14.150	0.3340	2.706	0.9388	13.300	196.212	14.150	0.5641	2.706	0.9530
15.000	132.705	15.500	0.4212	2.976	0.9362	15.000	194.693	15.500	0.6131	2.976	0.9417
16.000	132.142	22.750	0.5809	4.426	0.8683	16.000	193.389	22.750	0.8509	4.426	0.8789
29.500	120.985	36.250	0.6320	7.126	0.7724	27.500	178.426	36.250	1.2091	7.126	0.7757
43.000	113.356	56.750	1.0342	10.814	0.6327	43.000	130.167	56.750	1.5119	10.814	0.6392
70.500	118.412	84.250	1.1745	15.489	0.5017	70.500	182.984	84.250	1.7911	15.489	0.5287
98.000	128.511					98.000	199.994				

B-3 (100 gal)

Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	ρ (kg/cm)	r_d
1.000	113.463	0.500	0.0110	0.090	1.0495
2.000	112.535	1.500	0.0301	0.270	0.9611
2.600	111.803	2.300	0.0499	0.414	1.0374
3.000	111.429	2.800	0.0499	0.502	0.8559
4.000	110.443	3.500	0.0700	0.621	0.9702
4.600	109.902	4.300	0.0836	0.757	0.9506
5.000	109.615	4.800	0.0876	0.848	0.8900
6.000	109.090	5.500	0.1215	0.988	1.058
7.000	108.567	6.500	0.1371	1.188	0.9937
8.000	108.002	7.500	0.1600	1.388	0.9928
9.000	107.194	8.500	0.1818	1.588	0.9859
10.000	106.102	9.500	0.2001	1.788	0.9635
12.000	103.992	11.000	0.2372	2.088	0.9782
14.000	101.752	13.000	0.2747	2.483	0.9508
16.000	100.349	15.000	0.3155	2.883	0.9408
29.500	94.650	22.750	0.4471	4.438	0.8675
43.000	88.975	36.250	0.6338	7.138	0.7646
70.500	80.076	56.750	0.8008	10.826	0.6370
98.000	99.986	84.250	0.8937	15.501	0.4965

B-3 (130.5 gal)

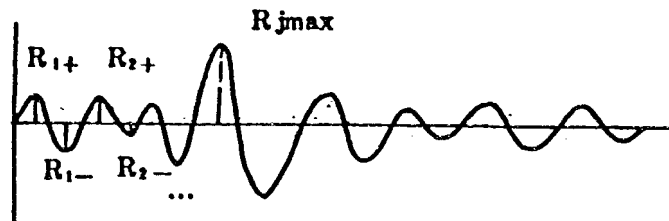
Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	ρ (kg/cm)	r_d
0.000	147.530	0.500	0.0141	0.090	1.0383
1.000	147.237	1.500	0.0400	0.270	0.9843
2.000	146.340	2.300	0.0612	0.414	0.9816
2.600	145.628	2.800	0.0766	0.502	1.0140
3.000	145.227	3.500	0.0867	0.621	0.9272
4.000	144.108	4.300	0.1102	0.757	0.9668
4.600	143.342	4.800	0.1372	0.848	1.0751
5.000	143.013	5.500	0.1524	0.988	1.0249
6.000	142.146	6.500	0.1758	1.186	0.9833
7.000	141.165	7.500	0.2116	1.388	1.0125
8.000	139.992	8.500	0.2412	1.588	1.0089
9.000	138.855	9.500	0.2651	1.788	0.9848
10.000	137.766	11.000	0.3117	2.088	0.9917
12.000	135.254	13.000	0.3603	2.488	0.9619
14.000	133.142	15.000	0.4169	2.888	0.9590
16.000	131.119	22.750	0.5878	4.438	0.8798
29.500	122.133	36.250	0.8369	7.138	0.7789
43.000	114.954	56.750	1.0473	10.826	0.6426
70.500	112.770	84.250	1.1683	15.501	0.5007
98.000	130.455				

B-3 (200 gal)

Z (m)	加速度 (gal)	Z (m)	τ (kg/cm)	p (kg/cm)	r_d
0.000	213.371	0.500	0.0210	0.090	1.0729
1.000	213.060	1.500	0.0594	0.270	1.0099
2.000	212.151	2.300	0.0903	0.414	1.0018
2.600	211.313	2.800	0.1072	0.502	0.9810
3.000	210.978	3.500	0.1310	0.621	0.9689
4.000	209.925	4.300	0.1562	0.757	0.9480
4.600	209.159	4.800	0.1902	0.848	1.0300
5.000	208.776	5.500	0.2231	0.988	1.0370
6.000	207.699	6.500	0.2648	1.188	1.0236
7.000	206.431	7.500	0.3085	1.388	1.0208
8.000	204.911	8.500	0.3467	1.588	1.0028
9.000	203.356	9.500	0.3976	1.788	1.0212
10.000	202.064	11.000	0.4538	2.088	0.9982
12.000	198.917	13.000	0.5344	2.488	0.9864
14.000	196.476	15.000	0.6106	2.888	0.9711
16.000	193.939	22.750	0.8724	4.438	0.9028
29.500	179.126	36.250	1.2339	7.138	0.7939
43.000	172.233	56.750	1.5312	10.826	0.6496
70.500	184.127	84.250	1.7652	15.501	0.5230
93.000	199.994				

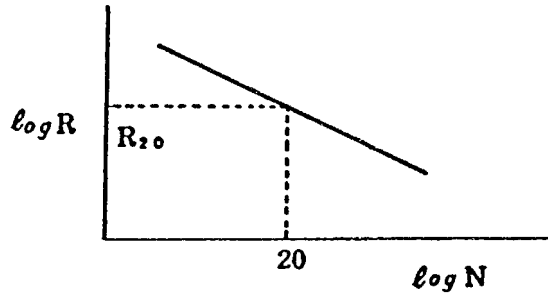
VI 補正項 C_2 の算出方法

セソ断応力波形



$$R_1 = \frac{R_{1+} + R_{1-}}{2}, \dots, R_j = \frac{R_{j+} + R_{j-}}{2}, \dots$$

R_j の振巾を有する第 j 波での液状化寄与率を K_j とする。一般に R と N の関係は下図のように



$$R = a N^b \text{ で表わされる。}$$

R_j の振巾で液状化に達する回数 N_j は、 $N_j = \left(\frac{R_j}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$

従って j 波の液状化寄与率は、 $K_j = \frac{1}{N_j} = \left(\frac{a}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}$ で表わされる。

このようにして、各波の液状化寄与率を求めることが出来る。

$j=1$ から N 迄の全波形について寄与率の総和を求めると

$$K = \sum_{j=1}^n K_j = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}} = a^{\frac{1}{b}} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}$$

$$K=1 \text{ になるための } a \text{ を逆算すると } a = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}}\right)^b$$

従って

$$R = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}}\right)^b \cdot N^b = \left(\frac{N}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}}\right)^b$$

$N=20$ で液状化に達する R_{20} は

$$R_{20} = \left(\frac{20}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}}\right)^b \text{ で表わされる。}$$

定義から

$$C_2 = \frac{R_{jmax}}{R_{20}} = R_{jmax} \cdot \left(\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}}{20}\right)^b = \left(\frac{R_{jmax}^{\frac{1}{b}} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}}{20}\right)^b$$

$$= \left(\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_{jmax}}{R_j}\right)^{\frac{1}{b}}}{20}\right)^b = \left(\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j}{R_{jmax}}\right)^{-\frac{1}{b}}}{20}\right)^b = \left(\frac{20}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j}{R_{jmax}}\right)^{-\frac{1}{b}}}\right)^b$$

振動三軸試験の結果から b を求めると $b \approx -0.197$

$$\therefore C_2 = \left(\frac{20}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j}{R_{jmax}}\right)^{0.197}}\right)^{0.197}$$

VII 流動化に対する抵抗率(F_L)の計算結果

簡易法

B-1 (左 岸)

深度 (m)	柱 状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度 (m)	基 礎 デ ー タ					低 減 係 数 C _d	R	L			F _L			F _L				
				N	r _t (g/d)	σ _v (kg/d)	σ' _v (kg/d)	D ₁₀ (mm)			K _s			K _a			F _L				
											0.13	0.15	0.18	0.13	0.15	0.18	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0		10 20 30 40		1	7				0.985												
				2	4	0.36	0.29	0.170	0.970	0.248	0.157	0.181	0.217	1.58	1.37	1.14					
				3	2	0.54	0.37	0.058	0.955	0.296	0.181	0.209	0.251	1.63	1.42	1.18					
				4	6	0.73	0.45	0.220	0.940	0.247	0.198	0.229	0.274	1.25	1.08	0.901					
5				5	7	0.92	0.55	0.250	0.935	0.242	0.201	0.232	0.279	1.20	1.04	0.869					
				6	12	0.12	0.64	(0.255)	0.910	0.295	0.207	0.239	0.287	1.42	1.23	1.03					
				7	11	1.31	0.74	0.260	0.895	0.273	0.206	0.238	0.285	1.32	1.15	0.957					
				8	13	1.51	0.83	0.240	0.880	0.294	0.208	0.240	0.288	1.41	1.22	1.02					
				9	11	1.70	0.93	0.245	0.865	0.264	0.206	0.237	0.285	1.28	1.11	0.928					
10				10	10	1.90	1.02	(0.245)	0.850	0.248	0.206	0.237	0.285	1.20	1.05	0.870					
				11	10	2.09	1.12	0.295	0.835	0.223	0.203	0.234	0.280	1.10	0.954	0.795					
				12	13	2.29	1.21	0.295	0.820	0.247	0.202	0.233	0.279	1.22	1.06	0.884					
				13	36	2.48	1.31	0.210	0.805	0.423	0.198	0.229	0.274	1.14	1.05	1.04					
				14	26	2.68	1.41	0.240	0.790	0.346	0.195	0.225	0.270	1.77	1.54	1.28					
15				15	25	2.88	1.51	0.215	0.775	0.344	0.192	0.222	0.266	1.79	1.55	1.29					
				16	25	3.08	1.61	0.210	0.760	0.340	0.189	0.218	0.262	1.80	1.56	1.30					
				17	33	3.28	1.71	0.235	0.745	0.365	0.186	0.214	0.257	1.97	1.70	1.42					
				18	12	3.48	1.81	0.185	0.730	0.255	0.182	0.211	0.253	1.40	1.21	1.01					
				19	26	3.68	1.91	0.210	0.715	0.328	0.179	0.207	0.248	1.83	1.59	1.32					
20				20	27	3.88	2.01	0.160	0.700	0.355	0.176	0.203	0.243	2.02	1.75	1.46					

簡易法

B - 2

深度 (m)	柱状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度 (m)	基 礎 デ ー タ					R	L			F _L			F _L					
				N	r _t (g/d)	σ _v (kg/d)	σ' _v (kg/d)	D ₁₀ (mm)		K _s	K _s	K _s	K _s	K _s	K _s	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
0		10 20 30 40		1	2	0.180	0.080	0.220	0.985	0.187	0.288	0.332	0.399	0.649	0.563	0.469					
				2	3	0.360	0.160	0.160	0.970	0.241	0.284	0.327	0.393	0.850	0.737	0.614					
				3	3	0.540	0.240	0.165	0.955	0.231	0.279	0.322	0.387	0.827	0.717	0.597					
				4	7	0.723	0.323	0.385	0.940	0.221	0.274	0.316	0.379	0.809	0.702	0.585					
5				5	10	0.918	0.418	0.370	0.985	0.258	0.264	0.305	0.366	0.978	0.848	0.707					
				6	10	1.11	0.513	0.260	0.910	0.282	0.256	0.295	0.354	1.10	0.955	0.786					
				7	3	1.31	0.608	0.180	0.895	0.199	0.251	0.289	0.347	0.792	0.686	0.572					
				8	11	1.50	0.703	0.230	0.880	0.288	0.244	0.282	0.338	1.18	1.02	0.852					
				9	10	1.70	0.798	0.185	0.865	0.290	0.240	0.276	0.332	1.21	1.05	0.875					
10				10	12	1.89	0.893	0.335	0.850	0.246	0.234	0.270	0.324	1.05	0.913	0.761					
				11	1	2.09	0.988	—	0.835	—	—	—	—	—	—	—					
				12	15	2.28	1.08	0.245	0.820	0.291	0.225	0.260	0.312	1.29	1.12	0.933					
				13	19	2.48	1.18	0.210	0.805	0.330	0.220	0.254	0.305	1.50	1.30	1.08					
				14	35	2.68	1.28	0.185	0.780	0.433	0.215	0.248	0.298	2.01	1.75	1.45					
15				15	28	2.88	1.38	0.155	0.775	0.403	0.210	0.243	0.291	1.92	1.66	1.38					
				16	39	3.08	1.48	0.170	0.760	0.444	0.206	0.237	0.285	2.16	1.87	1.56					
				17	16	3.28	1.58	0.210	0.745	0.284	0.201	0.232	0.278	1.41	1.22	1.02					
				18	11	3.48	1.68	0.105	0.730	0.307	0.197	0.227	0.272	1.56	1.35	1.13					
				19	29	3.68	1.78	0.110	0.715	0.415	0.192	0.222	0.266	2.16	1.87	1.56					
20				20	45	3.88	1.88	0.110	0.700	0.481	0.188	0.217	0.260	2.56	2.22	1.85					

簡易法

B - 3 (右岸)

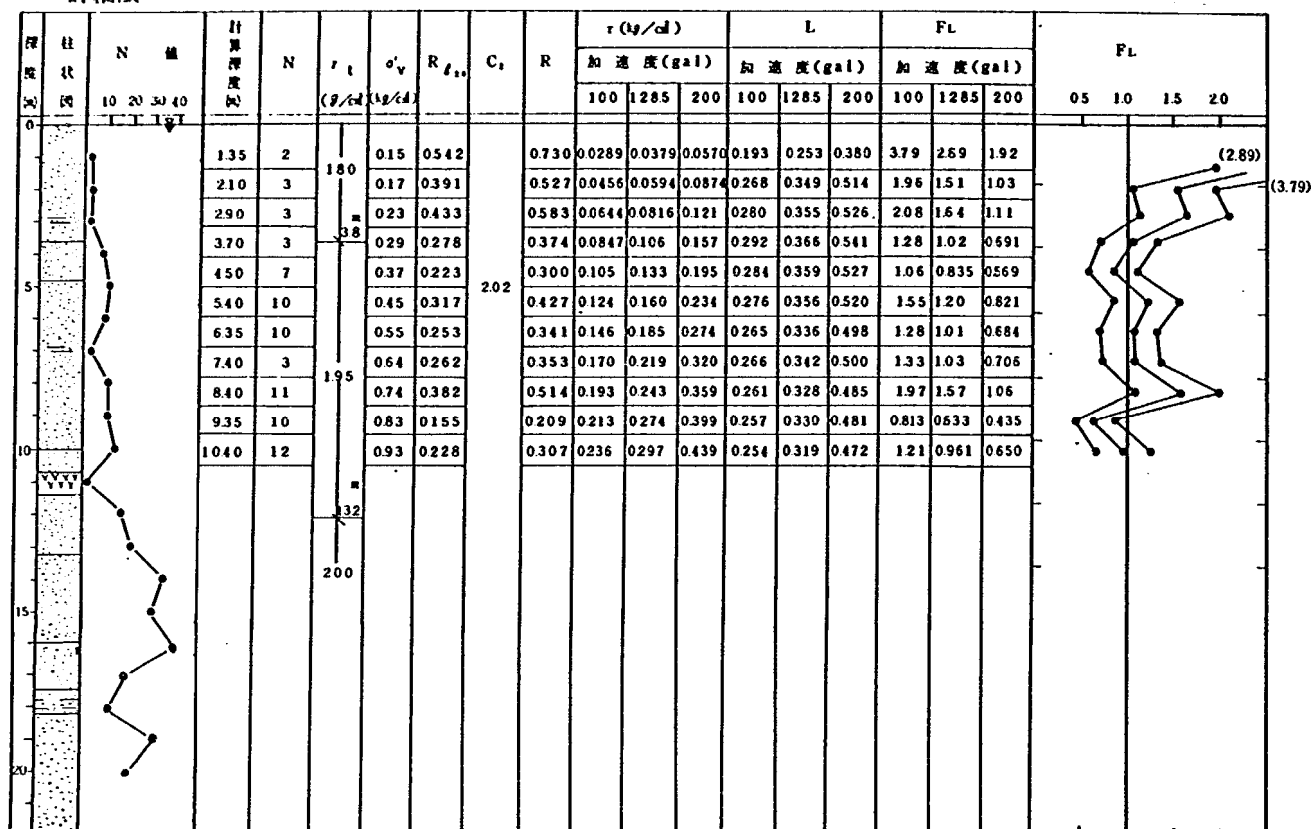
深度 (m)	柱状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度 (m)	基礎データ					低減係 数 r_d	R	L			F_L			F_L				
				N	r_t (g/cm)	σ_v (kg/cm)	σ'_v (kg/cm)	D_{10} (mm)			K_s			K_s			K_s				
											0.13	0.15	0.18	0.13	0.15	0.18	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0				1	4	1.80	—	—	—	0.985	—	—	—	—	—	—					
				2	5	0.360	0.290	0.038	0.970	0.388	0.157	0.181	0.217	248	215	179					
				3	6	0.536	0.366	0.072	0.955	0.364	0.182	0.210	0.252	200	174	145					
				4	2	0.706	0.436	0.0057	0.940	—	—	—	—	—	—	—					
5				5	14	0.888	0.518	0.225	0.985	0.342	0.206	0.238	0.285	166	144	120					
				6	23	1.09	0.618	0.205	0.910	0.421	0.209	0.241	0.289	202	175	146					
				7	29	1.29	0.718	0.215	0.895	0.446	0.209	0.241	0.289	214	185	154					
				8	44	1.49	0.818	0.230	0.880	0.516	0.208	0.240	0.289	248	215	179					
				9	39	1.69	0.918	0.210	0.865	0.483	0.207	0.239	0.287	233	202	168					
10				10	38	1.89	1.02	0.210	0.850	0.464	0.205	0.236	0.284	227	197	164					
				11	39	2.09	1.12	0.220	0.835	0.454	0.203	0.234	0.280	224	194	162					
				12	30	2.29	1.22	0.210	0.820	0.399	0.200	0.231	0.277	199	173	144					
				13	30	2.49	1.32	0.190	0.805	0.400	0.197	0.228	0.273	202	175	146					
				14	28	2.69	1.42	0.230	0.790	0.362	0.195	0.224	0.269	186	161	134					
15				15	26	2.89	1.52	0.225	0.775	0.345	0.192	0.221	0.265	180	156	130					
				16	30	3.09	1.62	0.210	0.760	0.367	0.188	0.217	0.261	195	169	141					
				17	22	3.29	1.72	0.220	0.745	0.311	0.185	0.214	0.257	168	146	121					
				18	45	3.49	1.82	0.210	0.730	0.423	0.182	0.210	0.252	232	201	168					
				19	32	3.69	1.92	0.135	0.715	0.401	0.179	0.206	0.247	225	195	162					
20				20	50	3.89	2.02	0.135	0.700	0.458	0.175	0.202	0.243	261	226	189					

詳細法

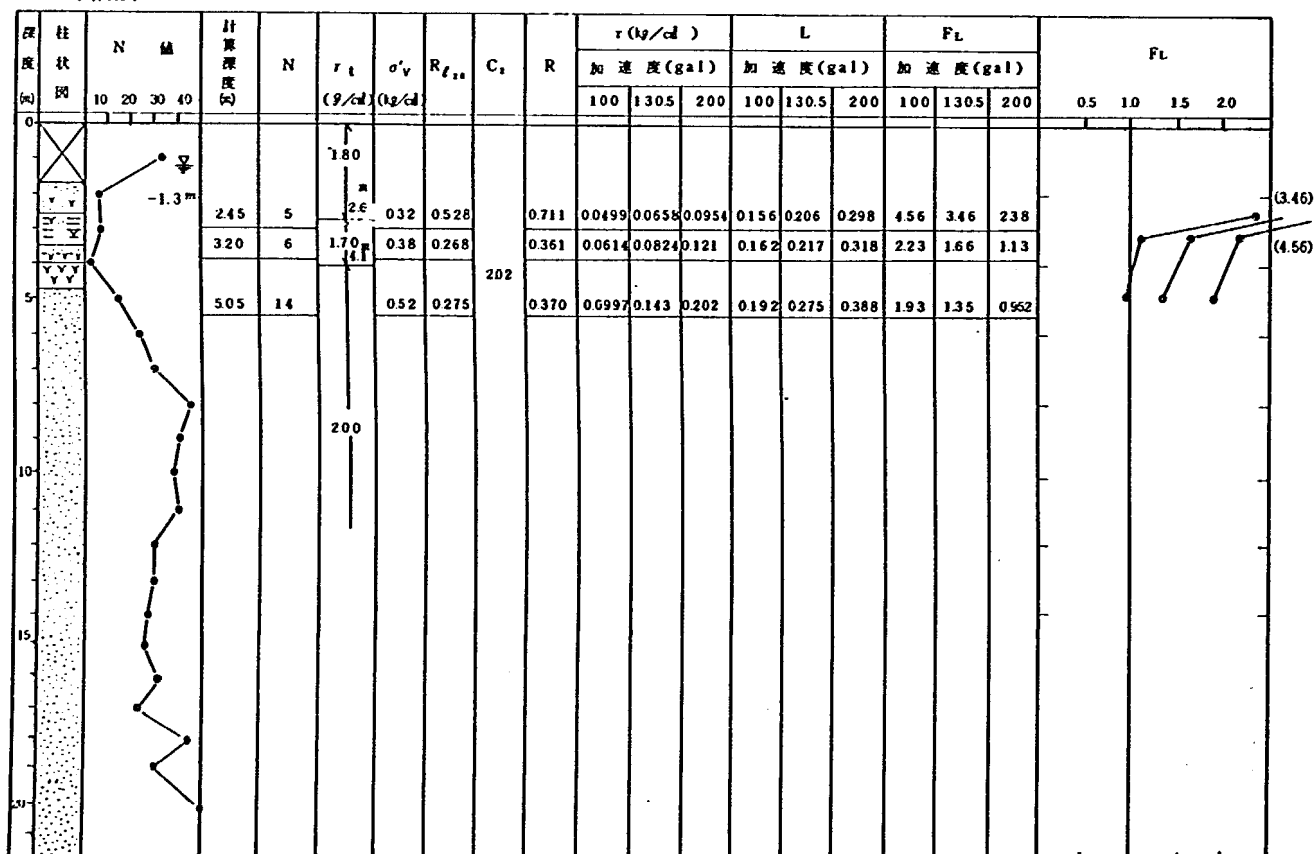
B - 1 (左岸)

深度 (m)	柱状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度 (m)	N	r_t (g/cm)	σ_v (kg/cm)	$R_{f,1}$	C_1	R	r (kg/cm)			L			F_L			F_L			
										加 速 度 (gal)			加 速 度 (gal)			加 速 度 (gal)			05	10	15	20
										100	1293	200	100	1293	200	100	1293	200				
0																						
5																						
10																						
15																						
20																						

B - 2



B - 3 (右岸)



VIII 下部構造の耐震性に関する計算法

くい基礎に及ぼす流動化の影響の検討

昭和大橋は上部構造形式が両端スパン（非合成単純鈑桁）を除いて、10スパンの活荷重合成単純鈑桁（27.64m@10）であり、下部構造形式はくい式橋脚となっている。当初は鋼管径φ600^{mm}、くい長25^mの9本1列（橋軸直角方向に9本）で施工されていたが、新潟地震後くい列を1列追加して9本2列の18本で復旧された。

ここでは、P5橋脚を対象として本文で検討した流動化抵抗係数 F_L を用いて復旧前後の2ケース（復旧前をCase-1、復旧後をCase-2とする）で、流動化がくい基礎に及ぼす影響の程度をくい頭変位量を計算することによって検討した。P5橋脚の一般図を図-1に示す。

1.1. 地盤条件

本文の地盤流動化の判定結果一覧によれば、B-2（P5橋脚付近）の深度10^m以浅の F_L 分布は詳細法では動的強度の大きい表層部を除けば $F_L = 0.6 \sim 1.2$ であり、簡易法では $F_L = 0.6 \sim 1.0$ 程度である。ここでは、深度10^m以浅の土層を流動化層と考慮して道路橋示方書V耐震設計編に従って、流動化層の土質定数の低減係数 D_E を $0.6 < F_L \leq 0.8$ の場合は $\frac{1}{3}$ に、また、 $0.8 < F_L \leq 1.0$ の場合には $\frac{2}{3}$ と定め、この2ケースを考慮ことにした。ここで低減させる土質定数は、横方向地盤反力係数 k とした。

横方向地盤反力係数 k は、 N 値より推定した変形係数を用いると次のように計算される。

まず最初に、 $\frac{1}{\beta} = 4.0^m$ と仮定する。すなわち、くいの水平抵抗に關与する地盤としては設計地盤面から深さ4.0^mまでを考慮する。

$$\bar{N} = \frac{2+3+3+8}{4} = 4 \quad (\text{深度4}^m \text{の間の平均} N \text{値})$$

$$E_0 = 28\bar{N} = 28 \times 4 = 112$$

$$k = \alpha E_0^{-\frac{3}{4}} = 0.2 \times 112 \times 60^{-\frac{3}{4}} = 1.04 \div 1.0 \text{ kg/cm}^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{1000 \times 0.6}{4 \times 2.1 \times 10^7 \times 1.32 \times 10^{-3}}} = 0.271, \quad \frac{1}{\beta} = 3.69 \div 4.0 \quad (\text{仮定値})$$

従って、ここでの計算に用いる k の値としては流動化による低減係数 D_E をかけた $k = 1.0 \times \frac{1}{3} = 0.33 \text{ kg/cm}^3$ 、 $k = 1.0 \times \frac{2}{3} = 0.67 \text{ kg/cm}^3$ の2ケースとなる。

1.2. くいのバネ定数の計算

鋼管径φ609.6^{mm}、 $I = 1.32 \times 10^{-3} \text{ m}^4$ 、 $E = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$ とし、これより $EI = 2.1 \times 10^7 \times 1.32 \times 10^{-3} = 27700 \text{ t} \cdot \text{m}^3$

1). 横方向地盤反力係数 $k = 0.67 \text{ kg/cm}^3$ ($D_E = \frac{2}{3}$) の場合

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{670 \times 0.6096}{4 \times 27700}} = 0.246 \text{ m}^{-1}$$

くいのバネ定数は、 $\frac{3}{\beta} = 12.2 < 17$ なので以下のように計算できる。

A. Case-1 < 杭頭ヒンジと考える >

$$k_h = 7.5^m, \quad \beta k_h = 0.246 \times 7.5 = 1.845$$

・ くい軸直角方向バネ定数 (K_1, K_2, K_3, K_4)

$$K_1 = \frac{3EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 0.5} = \frac{3 \times 27700 \times 0.246^3}{1.845^3 + 0.5} = 52.58 \text{ (t/m)}$$

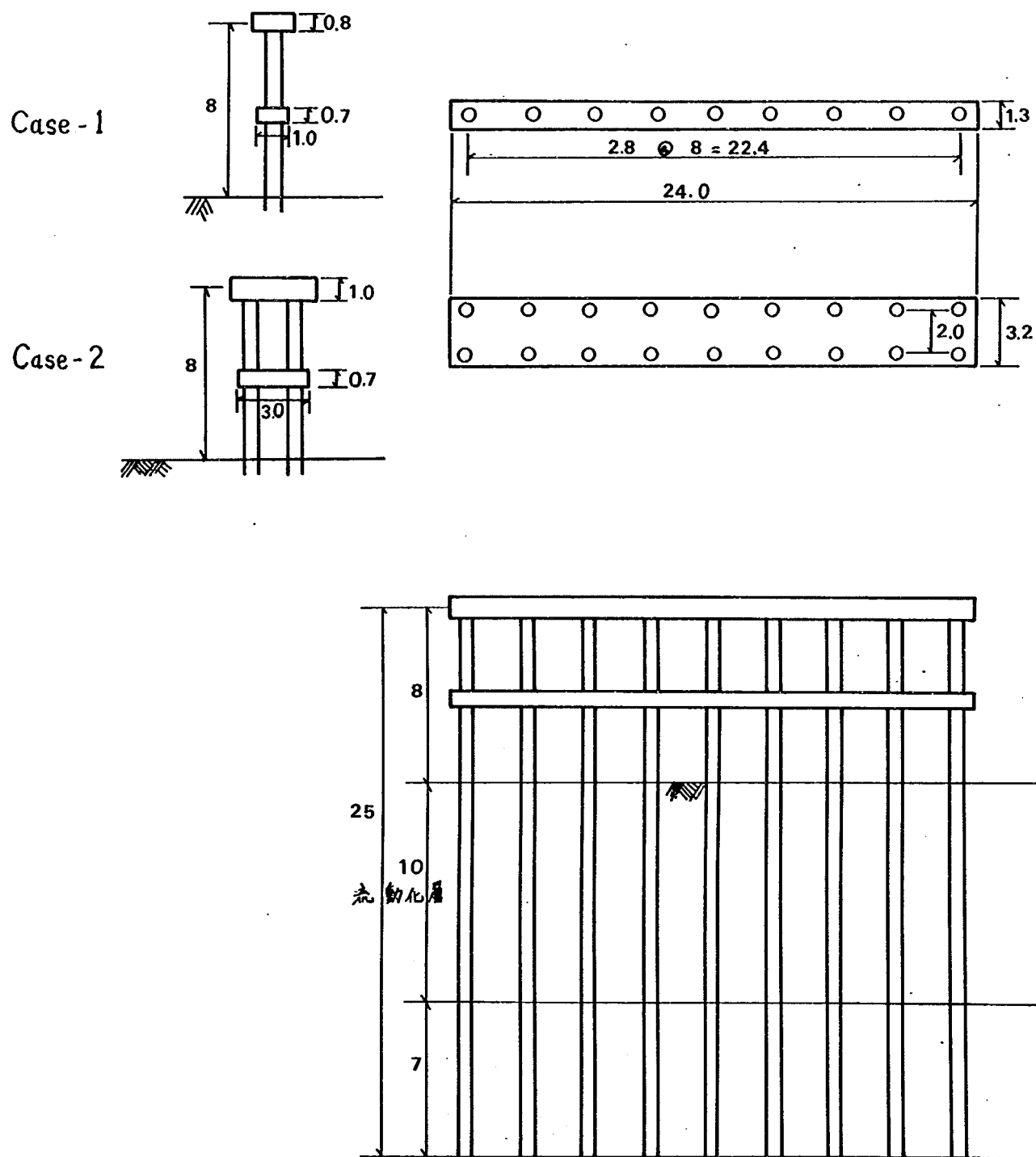


図 - 1 昭和大橋 P5 橋脚一般図

$$K_2 (\text{t/rad}) = K_3 (\text{t}^m/\text{m}) = K_4 (\text{t}^m/\text{rad}) = 0$$

・ くい軸方向バネ定数 (K_v)

$$\alpha = 0.027 (\text{t}^1/\text{D}) + 0.2 = 0.998$$

$$K_{v1} = \frac{\alpha \cdot E \cdot A_p}{L_1} = \frac{0.998 \times 2.1 \times 10^7 \times 0.0298}{17} = 36.738 (\text{t/m})$$

$$K_{v2} = \frac{E \cdot A_p}{L_2} = \frac{2.1 \times 10^7 \times 0.0298}{7.5} = 83.440 (\text{t/m})$$

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{K_{v1}} + \frac{1}{K_{v2}} = \frac{1}{36.738} + \frac{1}{83.440} = 3.92 \times 10^{-5} (\text{t/m})$$

$$\therefore K_v = 25,510 \approx 25,500 (\text{t/m})$$

B. Case-2 <杭頭固定と考える>

$$h = 7.3^m, \quad \beta h = 0.246 \times 7.3 = 1.796$$

$$\lambda = h + \frac{1}{\beta} = 7.3 + \frac{1}{0.246} = 11.37$$

・ くい軸直角方向バネ定数 (K_1, K_2, K_3, K_4)

$$K_1 = \frac{12EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 2} = \frac{12 \times 27700 \times 0.246^3}{2.796^3 + 2} = 207.41 (\text{t/m})$$

$$K_2 = K_3 = \frac{\lambda}{2} K_1 = 207.41 \times \frac{11.37}{2} = 1179.1$$

$$K_4 = \frac{4EI\beta}{(1+\beta h)} \cdot \frac{(1+\beta h)^3 + 0.5}{(1+\beta h)^3 + 2} = \frac{4 \times 27700 \times 0.246}{2.796} \cdot \frac{2.796^3 + 0.5}{2.796^3 + 2} = 9135.6 (\text{t}^m/\text{rad})$$

・ くい軸方向バネ定数

$$K_{v1} = \frac{\alpha \cdot E \cdot A_p}{L_1} = \frac{0.998 \times 2.1 \times 10^7 \times 0.0298}{17} = 36.738 (\text{t/m})$$

$$K_{v2} = \frac{E \cdot A_p}{L_2} = \frac{2.1 \times 10^7 \times 0.0298}{7.3} = 85.726 (\text{t/m})$$

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{K_{v1}} + \frac{1}{K_{v2}} = \frac{1}{36.738} + \frac{1}{85.726} = 3.89 \times 10^{-5} (\text{m/t})$$

$$K_v = 25,707 \approx 25,700 (\text{t/m})$$

2). 横方向地盤反力係数 $h = 0.33 \text{ t}^3/\text{cm}^3$ ($D_E = \frac{1}{3}$ の場合)

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{hD}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{330 \times 0.6096}{4 \times 27700}} = 0.206 \text{ m}^{-1}$$

これより, 1)と同様にくいのバネ定数が計算される。

以上より, くいのバネ定数を一覧表にすると表-1のとうりである。

表-1. くいのバネ定数

	Case - 1		Case - 2	
	$D_E = \frac{1}{3}$	$D_E = \frac{2}{3}$	$D_E = \frac{1}{3}$	$D_E = \frac{2}{3}$
K_1	42.77	52.58	164.17	207.41
K_2	0	0	997.33	1,179.1
K_3	0	0	997.33	1,179.1
K_4	0	0	8,342.8	9,135.6
K_v	25,500	25,500	25,700	25,000

1.3. くい頭変位量の計算

くい頭変位量の計算は変位法を用いて剛性の小さい橋軸方向についてのみ行い、また、設計震度については $k_R = 0.2$ を考える。

くい式橋脚のように耐震設計上の地盤面より上のくい体に地震時慣性力が作用する場合、通常の変位法による計算式のフーチング底面に作用する荷重にこの外力を付け加えるものとして、次のような計算式を考えることがある。

$$\left. \begin{aligned} A_{xx} \cdot \delta_x + A_{xy} \cdot \delta_y + A_{x\alpha} \cdot \alpha &= H_0 + G_H \\ A_{yx} \cdot \delta_x + A_{yy} \cdot \delta_y + A_{y\alpha} \cdot \alpha &= V_0 + G_V \\ A_{\alpha x} \cdot \delta_x + A_{\alpha y} \cdot \delta_y + A_{\alpha\alpha} \cdot \alpha &= M_0 + G_M \end{aligned} \right\} \text{---(1)}$$

原点0の変位($\delta_x, \delta_y, \alpha$)は、これを解くことにより求められる。

$$\left. \begin{aligned} G_H &= \sum F_i \cdot \cos \theta_i \\ G_V &= -\sum F_i \cdot \sin \theta_i \\ G_M &= \sum (G_i - F_i \cdot x_i \cdot \sin \theta_i) \\ F_i &= K_1 \cdot \bar{\delta}_x - K_2 \cdot \bar{\alpha} \\ G_i &= -K_3 \cdot \bar{\delta}_x + K_4 \cdot \bar{\alpha} \end{aligned} \right\} \text{---(2)}$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\delta}_x &= \frac{1 + \beta(h + \bar{h}_0) + 2\beta^2 \cdot h \cdot \bar{h}_0}{2EI\beta^3} \cdot Q_0 + \frac{S_0 h - T_0}{EI} \\ \bar{\alpha} &= \frac{1 + 2\beta \bar{h}_0}{2EI\beta^2} \cdot Q_0 + \frac{S_0}{EI} \end{aligned} \right\} \text{---(3)}$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{h}_0 &= \frac{R_0}{Q_0} \\ Q_0 &= \int_0^h P(x) dx \\ R_0 &= \int_0^h P(x)(h-x) dx \\ S_0 &= \int_0^h P(x)(h-x)^2 dx \\ T_0 &= \int_0^h P(x)(h-x)^3 dx \end{aligned} \right\} \text{---(4)}$$

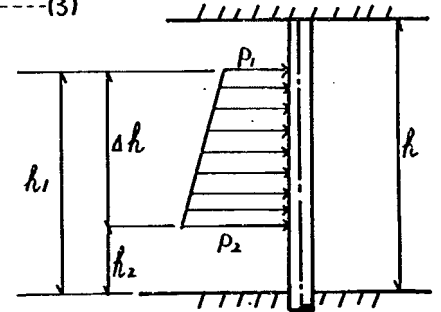


図-2 くい突出部の荷重

ただし、 $P(x)$ はくいの単位長さあたりに作用する軸直角方向分布荷重(t/m)

図-2のような部分等変分布荷重の場合、 Q_0, R_0, S_0, T_0 は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{\Delta h}{2} (P_1 + P_2) \\ R_0 &= \frac{\Delta h}{6} \{P_1(2h_1 + h_2) + P_2(2h_2 + h_1)\} \\ S_0 &= \frac{\Delta h}{24} \{P_1(3h_1^2 + 2h_1h_2 + h_2^2) + P_2(3h_2^2 + 2h_2h_1 + h_1^2)\} \\ T_0 &= \frac{\Delta h}{120} \{P_1(4h_1^3 + 3h_1^2h_2 + 2h_1h_2^2 + h_2^3) + P_2(4h_2^3 + 3h_2^2h_1 + 2h_2h_1^2 + h_1^3)\} \end{aligned}$$

表-2に荷重項 Q_0, R_0, S_0, T_0 の例を示す。

表-2. 荷重項 Q_0, R_0, S_0, T_0 の例

Q_0	$\frac{h}{2} (P_1 + P_2)$	Ph	$\frac{h}{6} (P_1 + 4P_2 + P_3)$	P
R_0	$\frac{h^2}{6} (2P_1 + P_2)$	$\frac{1}{2} Ph^2$	$\frac{h^2}{6} (P_1 + 2P_2)$	Ph_1
S_0	$\frac{h^3}{24} (3P_1 + P_2)$	$\frac{1}{6} Ph^3$	$\frac{h^3}{120} (9P_1 + 12P_2 - P_3)$	$\frac{1}{2} Ph_1^2$
T_0	$\frac{h^4}{120} (4P_1 + P_2)$	$\frac{1}{24} Ph^4$	$\frac{h^4}{360} (8P_1 + 8P_2 - P_3)$	$\frac{1}{6} Ph_1^3$

ここでは上記の計算法に従った。

1). $h = 0.67 \text{ kg/cm}^3$ の場合のくい頭変位量

A. Case-1

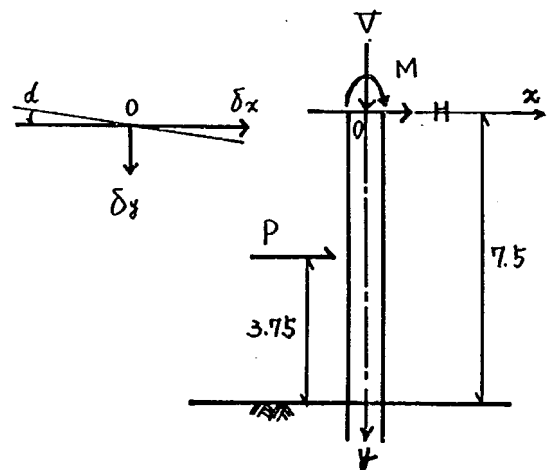
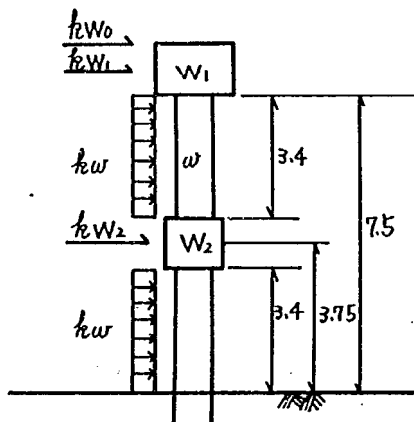


図-3 Case-1 単位(m)

表-3 くに作用する荷重

	W	W/q	$h(W/q)$
上部工死荷重(1)	891.37	99.04	19.81
水平材コンクリート(1)	57.41	6.38	1.28
水平材コンクリート(2)	38.64	4.29	0.86
くい自重		1.59	0.32
		(0.234 $\frac{t}{m}$)	

図-3, 表-3よりくい体に働く荷重 W は W_2 に比べて小さいので, W_2 の作用位置に集中荷重として働くものとして, 以下 Q_0, R_0, S_0, T_0 の計算を行う。

$$Q_0 = P = 1.18$$

$$R_0 = Ph_1 = 1.18 \times 3.75 = 4.43$$

$$S_0 = \frac{1}{2}Ph_1^2 = \frac{1}{2} \times 1.18 \times 3.75^2 = 8.31$$

$$T_0 = \frac{1}{6}Ph_1^3 = \frac{1}{6} \times 1.18 \times 3.75^3 = 10.39$$

$$\begin{aligned}\bar{\delta}_x &= \frac{1 + \beta(h + \bar{h}_0) + 2\beta^2 \cdot h \cdot \bar{h}_0}{2EI\beta^3} Q_0 + \frac{S_0 h - T_0}{EI} \\ &= \frac{1 + 0.246(7.5 + 3.75) + 2 \times 0.246^2 \times 7.5 \times 3.75}{2 \times 27700 \times 0.246^3} \times 1.18 + \frac{8.31 \times 7.5 - 10.39}{27700} \\ &= 0.01214\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\alpha} &= \frac{1 + 2\beta \bar{h}_0}{2EI\beta^3} Q_0 + \frac{S_0}{EI} \\ &= \frac{1 + 2 \times 0.246 \times 3.75}{2 \times 27700 \times 0.246^3} \times 1.18 + \frac{8.31}{27700} \\ &= 0.0013\end{aligned}$$

$$G_H = F = K_1 \cdot \bar{\delta}_x = 52.58 \times 0.01214 = 0.64$$

$$G_V = G_M = 0$$

また, 式(1)の左辺の係数は鉛直ぐいのみから成り, $K_2 = K_3 = K_4 = 0$ であるから次のようになる。

$$A_{xx} = \sum (K_1 \cos^2 \theta_i + K_V \sin^2 \theta_i) = K_1$$

$$A_{xy} = A_{yx} = \sum (K_V - K_1) \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i = 0$$

$$A_{xx} = A_{xx} = \sum \{(K_V - K_1) x_i \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta - K_2 \cdot \cos \theta_i\} = 0$$

$$A_{yy} = \sum (K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) = K_V$$

$$A_{yx} = A_{xy} = \sum \{(K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) x_i + K_2 \sin \theta_i\} = 0$$

$$A_{xx} = \sum \{(K_V \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i) x_i^2 + (K_2 + K_3) x_i \sin \theta_i + K_4\} = 0$$

ただし, x_i はくい頭の原点Oからの距離でこの場合 $x_i = 0$ である。

従って, 式(1)は次のようになる。

$$K_1 \delta_x = H_0 + G_H$$

$$K_V \delta_y = V_0 + G_V$$

$$\text{こゝより} \quad \delta_x = \frac{H_0 + G_H}{K_1} = \frac{21.09 + 0.64}{52.58} = 0.413 \text{ (m)}$$

$$\delta_y = \frac{V_0 + G_V}{K_V} = \frac{105.42}{25500} = 0.004 \text{ (m)}$$

B. Case-2

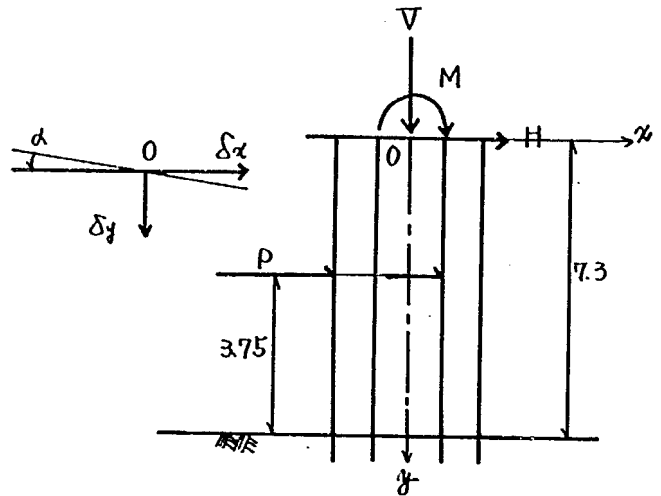
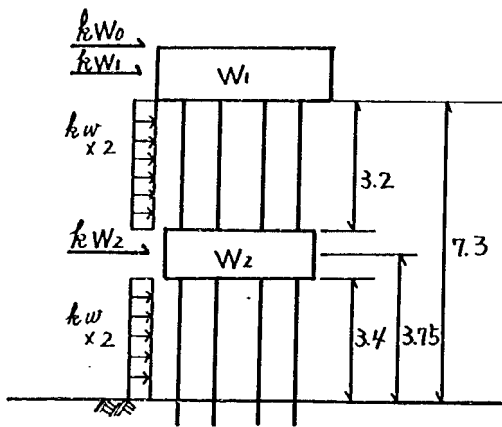


図-4 Case-2 単位(m)

表-4 くいに作用する荷重

	W	W/q	k · W/q
上部工死荷重(0)	891.37	99.04	19.81
水平材コンクリート(1)	176.64	19.63	3.93
水平材コンクリート(2)	115.92	12.88	2.58
くい自重 × 2		5.75	1.15
		0.871 t/m (中諸コンクリート)	

$$H_0 = 23.74^t, \quad V_0 = 118.67^t, \quad M_0 = 19.81 + 3.93 \times 0.5 = 21.78^t$$

図-4, 表-4より Case-1と同様にくい1本当り地表から3.75mの位置に集中荷重として, $P = 2.44^t$ が作用するを考慮する。なお, 中諸コンクリートの剛性は無視する。

$$Q_0 = P = 2.44$$

$$R_0 = Ph_1 = 2.44 \times 3.75 = 9.15$$

$$S_0 = \frac{1}{2} Ph_1^2 = \frac{1}{2} \times 2.44 \times 3.75^2 = 17.16$$

$$T_0 = \frac{1}{6} Ph_1^3 = \frac{1}{6} \times 2.44 \times 3.75^3 = 21.45$$

$$\bar{\delta}_x = \frac{1 + 0.246(7.3 + 3.75) + 2 \times 0.246^2 \times 7.3 \times 3.75}{2 \times 27700 \times 0.246^3} \times 2.44 + \frac{17.16 \times 7.3 - 21.45}{27700}$$

$$= 0.02456.$$

$$\bar{\alpha} = \frac{-1 + 2 \times 0.246}{2EI \times 0.246^2} \cdot Q_0 + \frac{S_0}{EI} = \frac{-1 + 2 \times 0.246 \times 3.75}{2 \times 27700 \times 0.246^2} \times 2.44 + \frac{17.16}{27700}$$

$$= 0.00269$$

$$F_{1i} = k_1 \bar{\delta}_x - k_2 \bar{\alpha} = 207.41 \times 0.02456 - 1179.1 \times 0.00269 = 1.92$$

$$G_i = -k_3 \bar{\delta}_x + k_4 \bar{\alpha} = -1179.1 \times 0.02456 + 9135.6 \times 0.00269 = -4.38$$

$$G_{11} = \sum F_{1i} = 1.92 \times 2 = 3.84$$

$$G_v = 0$$

$$G_M = \sum G_i = -4.38 \times 2 = -8.76$$

また、式6-1の左辺の係数は次のように表わされる。

$$A_{xx} = \sum (k_1 \cdot \cos^2 \theta_i + k_v \cdot \sin^2 \theta_i) = 2k_1$$

$$A_{xy} = A_{yx} = \sum (k_v - k_1) \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i = 0$$

$$A_{x\alpha} = A_{\alpha x} = \sum \{ (k_v - k_1) \chi_i \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i - k_2 \cdot \cos \theta_i \} = -2k_2$$

$$A_{yy} = \sum (k_v \cos^2 \theta_i + k_1 \sin^2 \theta_i) = 2k_v$$

$$A_{y\alpha} = A_{\alpha y} = \sum \{ (k_v \cos^2 \theta_i + k_1 \sin^2 \theta_i) \chi_i + k_2 \cdot \sin \theta_i \} = k_v \times 1 + k_v \times (-1) = 0$$

$$A_{\alpha\alpha} = \sum \{ (k_v \cos^2 \theta_i + k_1 \sin^2 \theta_i) \chi_i^2 + (k_2 + k_3) \chi_i \cdot \sin \theta_i + k_4 \} = k_v \times 1^2 + k_v \times (-1)^2 + k_4 \times 2 = 2k_v + 2k_4$$

従って、式(1)は次のように表わされる。

$$\begin{cases} 2k_1 \delta x & -2k_2 \alpha = H_0 + G_M \\ & 2k_v \delta y = V_0 \\ -2k_2 \delta x & +2(k_v + k_4) \alpha = M_0 + G_M \end{cases}$$

これを解くと

$$\delta x = \frac{(H_0 + G_M) + \frac{2k_2}{2(k_v + k_4)} (M_0 + G_M)}{2k_1 - \frac{(2k_2)^2}{2(k_v + k_4)}} = \frac{27.58 + \frac{2 \times 1179.1}{2(25700 + 9135.6)} \times 13.02}{2 \times 207.41 - \frac{(2 \times 1179.1)^2}{2(25700 + 9135.6)}}$$

$$\approx 0.084 \text{ (m)}$$

$$\delta y = \frac{V_0}{2k_v} = \frac{118.67}{2 \times 25700} \approx 0.002 \text{ (m)}$$

$$\alpha = \frac{(M_0 + G_M) + \frac{k_2}{k_1} (H_0 + G_M)}{2k_v + 2(k_4 - \frac{k_2^2}{k_1})} = \frac{13.02 + \frac{1179.1}{207.41} \times 27.58}{2 \times 25700 + 2(9135.6 - \frac{1179.1^2}{207.41})}$$

$$\approx 0.003 \text{ (rad)}$$

2). $k = 0.33 \text{ kg/cm}^3$ の場合のくい頭変位量も1)と同様な計算により求められる。

$$\text{Case-1 では } \delta x = 0.509 \text{ (m)}, \quad \delta y = 0.004 \text{ (m)}$$

$$\text{Case-2 では } \delta x = 0.104 \text{ (m)}, \quad \delta y = 0.084 \text{ (m)}, \quad \alpha = 0.003 \text{ (rad)}$$

3). 1)のB. Case-2の場合には水平材コンクリート(下側)の剛性、地表より上の部分のくいの中詰めコンクリートの剛性を無視して計算しているので厳密に行った計算値より大きめの値となっている。変位量の計算において正確を期する場合には次のようにして求めればよい。

図5のように水平材コンクリート(下)以下をくい基礎、それより上の部分を橋脚と考慮して変位の計算を行う。

$$H_0 = 23.74 + 4.88 = 28.62$$

$$V_0 = 118.67 + 5.57 = 124.24$$

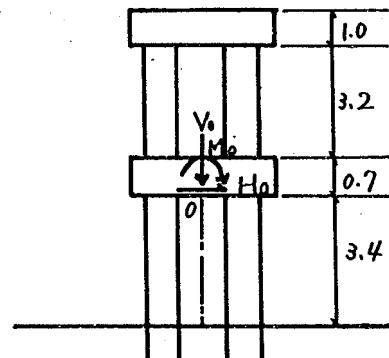
$$M_0 = 1981 \times 4.9 + 3.93 \times 4.5 + 4.88 \times 0.35 = 116.47$$

今、 $k = 0.67 \text{ kg/cm}^3$ の場合

$$\beta k = 0.246 \times 3.4 = 0.836$$

$$\lambda = k + \frac{1}{\beta} = 3.4 + \frac{1}{0.246} = 7.47$$

図-5
(m)



$$K_1 = \frac{12 \times 27700 \times 0.246^3}{(1 + 0.836)^3 + 2} = 604.2$$

$$K_2 = K_3 = 604.2 \times \frac{7.47}{2} = 2256.7$$

$$K_4 = \frac{4 \times 27700 \times 0.246}{1 + 0.836} \cdot \frac{(1 + 0.836)^3 + 0.5}{(1 + 0.836)^3 + 2} = 12127$$

$$K_V = 30625$$

$$\delta x_1 = \frac{28.61 + \frac{2256.7}{30625 + 12127} \times 116.47}{2 \times 604.2 - \frac{2 \times 2256.7^2}{30625 + 12127}} = \frac{28.61 + 6.15}{1208.4 - 238.24} = \frac{34.76}{970.16} = 0.0358 \text{ (m)}$$

$$\alpha = \frac{116.47 + \frac{2256.7}{604.2} \times 28.61}{2 \times 30625 + 2 \left(12127 - \frac{2256.7^2}{604.2} \right)} = 0.00325 \text{ (rad)}$$

求める変位量 $\delta x = \delta x_1 + \alpha \times 3.9 + \delta x_2$ で与えられるが δx_2 は非常に小さいと考えられるので無視すると、 $\delta x = \delta x_1 + \alpha \times 3.9$ で与えられることになる。

$$\delta x = 0.0358 + 0.00325 \times 3.9 = 0.048 \text{ (m)}$$

しかしながら、どちらの計算法で求めた変位量でも流動化の影響の傾向はほぼ同様であることから、今回の検討においてはあまり計算値そのものの精度がよくなっても傾向が把握できると考えられるので、以下、1.2)の計算で算出された結果に対して考察を加えることとする。

1.4. くい基礎（パイルベント）に及ぼした流動化の影響の検討

前項により計算したくい頭変位量 δx を一覧表にしたものが表-5である。表には参考までに前項で計算したケースの他に、流動化しない場合 ($D_E = 1$ の場合)、完全流動化の場合 ($D_E = 0$ の場合)、さらには設計震度 K_h を 0.15, 0.25 とした場合の変位量も合わせて示した。

ただし、 $D_E = 0$ の場合設計地盤面は流動化層下面（地表面下 10m）をとるので、地中部のくい長としては 7m となり ($sl = 2.37 < 3$) 厳密には有限長のくいとして扱わなければならないが、その場合誤差は 2 割程度と考えられ、ここではそのことを念頭において半無限長のくいとして扱った。

表-5 くい頭変位量（橋軸方向） δx 単位 (cm)

		$K_h = 0.15$	$K_h = 0.20$	$K_h = 0.25$
Case-1	$D_E = 1$	27.8	37.1	46.3
	$= \frac{2}{3}$	30.9	41.3	51.5
	$= \frac{1}{3}$	38.1	50.9	63.5
	$= 0$	170.0	226.8	283.5
Case-2	$= 1$	5.6	7.5	9.4
	$= \frac{2}{3}$	6.3	8.4	10.5
	$= \frac{1}{3}$	7.8	10.4	13.0
	$= 0$	31.2	41.7	52.1

計算結果より次のようなことがいえる。

1). Case-1の抗頭変位量は $k_R=0.15$ の場合 $D_E=1$ で27.8cm, $D_E=\frac{2}{3}$ で30.9cm, $D_E=\frac{1}{3}$ で38.1cm, $D_E=0$ で170cmとなり, $D_E=1$ に比べて $D_E=\frac{2}{3}$ では11%, $D_E=\frac{1}{3}$ では37%, $D_E=0$ では611%変位が増大する。

このような傾向を他の場合にも調べるためにCase-1において, $k_R=0.20$ の場合で $D_E=1$ の場合の変位量を1としてその他の場合の抗頭変位量を表わすと表-6のようになる。これより k_R が0.2, 0.25の場合についても k_R が0.15の場合と全く同様に D_E を $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{3}$, 0に低減するに従って抗頭変位量が $D_E=1$ の場合に比べて約11%, 37%, 611%と増大することがわかる。

2). この傾向はCase-2の場合についてもほぼ同様であることが表-7よりわかる。表-7にはCase-2の場合の $k_R=0.2$, $D_E=1$ の抗頭変位量を1とした場合の値を示した。表-6と表-7の値は, ほとんど同じであることがわかる。

表-6 Case1

	$k_R=0.15$	$k_R=0.20$	$k_R=0.25$
$D_E=1$	0.75	1	1.25
$=\frac{2}{3}$	0.83	1.11	1.39
$=\frac{1}{3}$	1.03	1.37	1.71
$=0$	4.58	6.11	7.64

表-7 Case2

	$k_R=0.15$	$k_R=0.20$	$k_R=0.25$
$D_E=1$	0.75	1	1.25
$=\frac{2}{3}$	0.84	1.12	1.40
$=\frac{1}{3}$	1.04	1.39	1.73
$=0$	4.16	5.56	6.95

3). Case-2の変位量は先にも述べたように厳密には表-5の値の $\frac{1}{2}$ 程度となる。

4). くい本体にかかる水平荷重を考慮して計算を行ったが, この水平荷重を無視した場合の変位量を試算により求めると, たとえばCase-1で $k_R=0.2$, $D_E=1$ の場合36cmとなり, 今回の計算値37.1cmとは1.1cmしか変わらぬ。これは昭和大桥のくい径が約600mmと小さく鋼管ぐいなのでくい自重が上部工荷重に比べてかなり小さいためであり, 無視してもさしつかえなかった。

にだし, このようなパイルベントや多柱基礎においてくい径が大きくなり, さうには場所打ちぐいとなり, くい自重の占める割合がふえてくれば今回のような計算をする方が望ましくなると考えられる。

5). 参考までに新潟地震の後にくいを引き抜いて観測した橋脚の変位を表-8に示す。

表-8 橋脚変位 δ_i

単位 (m)

	A_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	A_2
上流側	0.075	0.172	0.237	0.416	0.192	0.584	0.032	0.014	0.031	0.012	0.006
下流側	0.134	0.131	0.235	0.352	0.420	0.074	0.007	0.009	0	0.004	0.015

実際に観測された変形と静的な計算におきかえて求めた変形とは直接比較にならないと考えられるが, P_5 におけるCase-1のくい頭変位量と地表面での変位量の差を計算により求め表-9に示した。

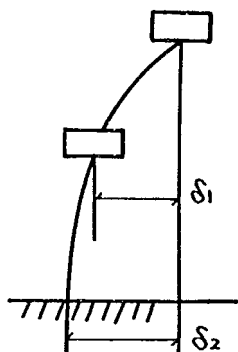


表-9 橋脚変状 δ_2 (Case-1) 単位(m)

	$K_A=0.15$	$K_A=0.20$	$K_A=0.25$
$D_E=1$	0.234	0.312	0.389
$=2/3$	0.255	0.338	0.421
$=1/3$	0.295	0.395	0.492
$=0$	0.892	1.189	1.487

昭和大橋における地盤および
下部構造の耐震性調査

土研資料第1591号
昭和55年7月(1980)

振動研究室 岩崎敏男, 常田賢一, 木全俊雄, 吉田精一

昭和大橋, 原位置地盤調査, 動的強度試験, 地盤の耐震性,
応答解析, 流動化の判定, 下部構造の耐震性

本報告書は地盤の流動化の代表例である昭和大橋において, これまでの研究成果に基づき地盤流動化の詳細な判定調査法の適用を行い, 判定法の検討および当該地点での地盤と地盤流動化を考慮した下部構造(くい基礎)の耐震性に関する検討の結果をとりまとめている。本報告の内容としては, まず原位置地盤調査, 動的強度試験, 地盤の地震応答解析の各種の調査を実施し, これらの結果に基づいて地盤および下部構造の耐震性に関する諸検討を行っている。

郵便はがき

二十円切手
をはいて
さい

305-□□

建設省土木研究所
振動研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

No. 197

No. 197

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第1591号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印