

土 木 研 究 所 資 料

掘割道路の地震時安定性に関する実験報告書

昭和63年 2 月

建設省土木研究所
機械施工部動土質研究室

「Copyright © (1988) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

掘割道路の地震時安定性に関する実験報告書

動土質研究室室長	古賀泰之
研究員	古関潤一
主任研究員	谷口栄一*
	森下義
	鷺田修三

要 旨

砂地盤上の掘割道路の浮上がりに対する地震時安定性を、小型のせん断土槽を用いた模型振動実験により調べた。

模型振動実験は、地盤条件および掘割道路模型の幅を変えた22個の模型について実施した。実験結果をもとに、掘割道路の浮上がり判定の指標としての浮上がり安全率の適用性、掘割道路の浮上がりに対する掘割道路幅と液状化砂層厚の影響、およびグラベルドレーン工法と締固め工法の浮上がり対策としての効果に関する検討を行った。

その結果、地盤が無対策の場合には浮上がり安全率が1.0～1.1程度のときに浮上がりが生ずること、掘割道路直下の液状化砂層厚が小さくなるほど浮上がり量が小さくなること、特に掘割道路を非液状化層に根入れして液状化した砂のまわり込みを防げば浮上がりが生じないことがわかった。また、グラベルドレーン工法と締固め工法は、それぞれ過剰間隙水圧の消散と地盤変形の抑制という点で浮上がり対策として効果のあることがわかった。

キーワード：掘割道路、砂地盤、耐震対策、模型実験

* 現企画部企画課長

目 次

1. 研究の背景	1
2. 実験目的	5
3. 実験方法及び実験条件	6
3.1 実験に用いた振動台	6
3.2 実験に用いた模型	7
3.2.1 小型せん断土槽	7
3.2.2 模型地盤の種類	7
3.2.3 掘削道路模型	7
3.2.4 模型地盤に用いた砂とドレーン材の特性	12
3.2.5 模型地盤の作成方法	12
3.2.6 模型地盤の物性値の算定方法	18
3.3 実験方法	18
3.3.1 実験手順	18
3.3.2 測定項目と測定方法	18
3.3.3 加振条件	33
4. 実験結果及び考察	35
4.1 実験結果の概略	35
4.2 測定値の時刻歴と目視による最終変位量	35
4.3 掘削道路模型の浮上がり安全率	52
4.3.1 浮上がり安全率の定義	52
4.3.2 浮上がり安全率の計算結果	53
4.3.3 浮上がり安全率と浮上がり量	54
4.3.4 浮上がり安全率と浮上がり速度	65
4.3.5 ま と め	67
4.4 掘削道路模型幅および液状化砂層厚の影響	68
4.4.1 掘削道路模型幅の影響	68
4.4.2 液状化砂層厚の影響	69
4.4.3 無次元量による比較	77
4.4.4 ま と め	80
4.5 浮上がり対策工の効果	81
4.5.1 グラベルドレーンを打設した場合	81
4.5.2 有孔板を入れた場合	82
4.5.3 締固め改良を行った場合	82
4.5.4 ま と め	87
5. 結 論	88
6. 今後の課題	89
参考文献	90

図 表 一 覧

表 番 号	名 称	ページ
表 3.1	振動台の主要諸元	6
表 3.2	模型地盤の概略	11
表 3.3	掘割道路模型の重量一覧	14
表 3.4	浅間山砂・ドレーン材の物理特性	15
表 3.5 (1)~(4)	地盤の初期物性値と加振条件	21
表 3.6	測定項目と使用計器	26
表 4.1 (1)、(2)	実験結果の概略	36
表 4.2 (1)~(4)	目視による最終変位量	48
表 4.3 (1)~(3)	浮上がり安全率一覧	56
表 4.4	無次元量一覧 (模型 59-1、59-4、60-7~60-9)	78

図 番 号	名 称	ページ
図 1.1	掘割道路に作用する力	1
図 1.2	全体計画における位置づけ	4
図 3.1	振動台の加振限界	6
図 3.2	振動台概略図	7
図 3.3	小型せん断土槽	8
図 3.4 (1)、(2)	模型地盤	9
図 3.6	有孔板	12
図 3.6	掘割道路模型	13
図 3.7	浅間山砂・ドレーン材の粒度分布	15
図 3.8	地盤作成用ホッパー	16
図 3.9	凍結試料用型枠	17
図 3.10	土槽容積の測定法	19
図 3.11	サンプリング手順	19
図 3.12	凍結試料の融解時の体積算定法	20
図 3.13	実験手順	25
図 3.14	測定ブロック図	26
図 3.15 (1)~(4)	計器設置位置	27
図 3.16 (1)、(2)	地表面変位測定位置	31
図 3.17	地盤内の計器設置方法	33
図 3.18	台加速度記録例	34
図 4.1 (1)~(20)	測定値の時刻歴	38
図 4.2	掘割道路の鉛直方向に作用する力	52
図 4.3	掘割道路直下の土塊に作用する力	52

図 4.4	浮上がり安全率の時刻歴の例(実験No 60-4-3)	55
図 4.5 (1)~(3)	浮上がり安全率と浮上がりの有無	59
図 4.6 (1)~(3)	浮上がり安全率と最終浮上がり量の関係	62
図 4.7	密な水平地盤の加振結果(実験No 59-7-3)	64
図 4.8 (1)、(2)	浮上がり安全率と浮上がり速度の関係	66
図 4.9	掘割道路模型の累積浮上がり量(模型59-1~59-5)	68
図 4.10	掘割道路模型底面に作用する過剰間隙水圧の経時変化(模型59-1~59-5)	70
図 4.11	掘割道路模型直下の砂地盤内の過剰間隙水圧の経時変化(模型59-1~59-4)	70
図 4.12 (1)~(5)	加振中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布	71
図 4.13 (1)~(5)	消散中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布	73
図 4.14	掘割道路模型の累積浮上がり量と台加速度の関係(模型60-7~60-11) ...	76
図 4.15	砂地盤の累積平均沈下量と台加速度の関係(模型60-7~60-11)	76
図 4.16	無次元量に用いた記号	77
図 4.17	掘割道路模型の累積浮上がり量とD/Hの関係(模型60-7~60-9)	79
図 4.18	掘割道路模型の累積浮上がり量とD/Bの関係 (模型59-1、59-4、60-7~60-9)	79
図 4.19	掘割道路模型の累積浮上がり量と台加速度の関係 (模型60-1、60-3~60-7)	85
図 4.20	砂地盤の累積平均沈下量と台加速度の関係 (模型60-1、60-3~60-7)	85
図 4.21	掘割道路模型底面に作用する過剰間隙水圧の最大値と台加速度の関係 (模型60-1、60-3~60-7)	86
図 4.22	掘割道路模型直下の砂地盤内の過剰間隙水圧の最大値と台加速度の関係 (模型60-1、60-3~60-7)	86

1. 研究の背景

他の道路や鉄道との立体交差のため、河港部の道路トンネル区間への取付けのため、さらには交通環境対策の一環として、地盤面を掘削して半地下構造（掘割形式）の道路を建設することがある。特に、各地で計画・建設が進められている大規模道路計画では、上述の後二者の理由のために、従来以上にこの形式の道路の建設例・計画が増加しつつある。

例えば「道路土工－軟弱地盤対策工指針¹⁾」では、以下のような記述がある。

掘割構造の道路を地下水位の高い軟弱地盤に建設する場合には、軟弱地盤対策に要する工費や供用開始後の地下水の排水に必要な費用などが、高くなる場合が多い。しかし、やむをえず掘割構造にする場合には、道路の重要度に応じて以下の項目を考慮し、適切な対策を施す必要がある。

- ① 掘割道路の基礎の不同沈下
- ② 地下水や浸透水による浮上がり
- ③ 地下水や雨水の排水
- ④ 地震時の安定性

地下水位の高い所に設ける掘割道路の構造は、U型擁壁構造とすることが多い。一般的な構造形式は、図1.1のとおりである。軟弱地盤に掘割道路を建設する場合、特に本体構造物および仮設構造物の土圧に対する安定性の検討、本体構造物の浮力に対する安定性の検討を行っておく必要がある。掘割道路の浮力に対する安全率 F_s は、以下の式で求める（図1.1参照）。

$$F_s = \frac{W_B + W_S + Q_S}{U_S + U_D} \dots\dots\dots (1.1)$$

ここに、

- W_B ：掘割道路本体の自重（舗装および捨てコンの重量を含む）（tf/m）
- W_S ：張出し底版上の上載土の荷重（tf/m）
- Q_S ：張出し底版上の上載土のせん断抵抗、または掘割側面と背面土の摩擦抵抗（tf/m）
- U_S ：掘割道路底面に作用する水圧による浮力（tf/m）
- U_D ：掘割道路底面に作用する地震時の過剰間隙水圧による浮力（tf/m）

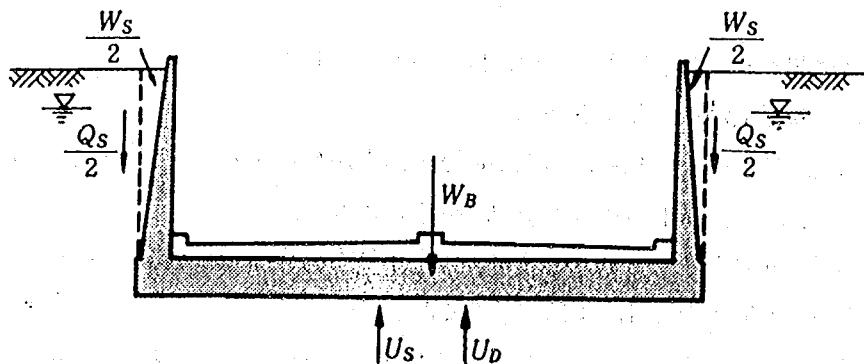


図 1.1 掘割道路に作用する力

常時の地下水位状態に対して浮力に対する所要安全率は、 Q_s を考慮して、1.2以上とする。

地震時において掘割道路の建設される地盤に液状化の発生が予想される場合には、液状化に伴う過剰間隙水圧を考慮して、浮力に対する安全率が最も危険な状態において1.0以上あり、浮力に対して安定であることを確認する。また、掘割道路の側方地盤において液状化が生じた場合には、側壁への作用土圧が増大すると考えられるので、この点についても留意する必要がある。

常時および地震時の浮力の作用に対して安定を確保するための対処方法として、以下に示すようなものがある。

- ① 自重を大きくする。(底版厚を増す等)
- ② 底版を張り出し、その上の土により重量を増す。
- ③ 地盤改良により液状化を防止する。
- ④ 液状化が生じて速かに過剰間隙水圧を消散させる。
- ⑥ アンカーや側壁との連結により引抜き抵抗を増す。

(以下略)

事実、掘割道路は、その構造上、原地盤土の重量に比べて著しく軽い構造物であり、地下水位の高い所で建設された場合、常時の安全率1.2を確保することですら、かなり困難な場合がある。

さらに、地盤が液状化して地中の間隙水圧が上昇するような所では、浮上がりに対する安定に関してかなり問題が生ずることが予想される。掘割道路は、比較的新しい道路構造であり、まだ地震による被害を受けたことはないが、規模・形状は異なるが、同様に軽量で地中に建設された構造物である下水道管理施設やガソリンスタンドのガソリンタンク等に現実に浮上がりによる被害が生じている²⁾ことを考えると、同様の恐れが掘割道路に対してもあることは否定できない。

これに対して、上述したようないくつかの対策が考えられるが、まだこれらの方策の適用性や具体的な設計法は確立されておらず、大規模道路に係る掘割道路区間の重要性和計画の進捗を考えると、このような地震時の安定の検討法を早急に確立する必要がある。これらの背景の下に、当研究室では、「掘割道路に関する試験調査」(昭和57～60年度)および「掘割道路の耐震対策調査」(昭和61～65年度)を実施してきている。

これらの課題においては、掘割道路構造を合理的に設計施工するため、特に、砂地盤上の掘割道路の耐震性を評価し、必要に応じて合理的な耐震対策を行う方法を確立するために、図1.2のような全体計画のもとに研究を進めてきた。

掘割道路の耐震性に関する主たる研究課題は、以下のようである。

(1) 掘割道路の地震時浮上がりに関する課題

- 1) 無対策時に周辺地盤の液状化による掘割道路の浮上がりが生ずるか否かの判定法、また、浮上がりが生ずるとすればその浮上がり量の予測法を確立すること。
- 2) 掘割道路の浮上がりが予想されたときに、浮上りを防止または軽減するための合理的かつ経済的な工法およびその工法の設計法を確立すること。

このような工法は、地盤条件、構造条件、周辺環境、道路が既にあるものか、これから新設するものか等によって異なると考えられる。掘割道路自体は、これまでに建設されたものは必ずしも多くはなく、これから建設が増加する構造と考えられるから、その意味では、新設する場合の耐震対策を重点に考えてゆけばよいと言える。一方、既に建設されたもので耐震性に問題があるものが

出てくるとも考えられ、そのような場合にも対応することは将来必要があると考えられる。このような観点から、この課題では、新設及び既設の掘削道路を対象とする。

3) 具体的な対策工としては、地盤改良工、締切り工、アンカー工等が考えられるが、本研究では、当面以下の地盤改良工法を対象とする。

- | | | |
|-----------|---|--|
| ① 締固め工 | } | 小型せん断土槽実験の詳細は本報告書に記述。ドレーン工の解析法の概略は文献参照 3) 4) |
| ② ドレーン工 | | |
| ③ 深層混合処理工 | } | 文献参照 3) 4) |
| ④ 排水補強ぐい工 | | |

(2) 掘削道路の擁壁の地震時安定性に関する課題

- 1) 掘削道路の擁壁としては、止水上の理由から両側の擁壁が底面で一体化したU型擁壁となったり、環境対策上の観点から頂部にストラット（突張り）またはふたを設けた擁壁となったりすることがある。これらは、通常の擁壁と比べ、剛性が大きいことから常時および地震時の土圧が、従来の擁壁土圧と異なったものとなると考えられ、これらを合理的に算定する方法を確立することが課題となる。
- 2) さらに、擁壁周辺地盤が液状化するような場合には、土圧はさらに複雑なものとなると考えられ、実際上は、液状化を防止するか、液状化を考慮した土圧を設定することにより対応することになる。

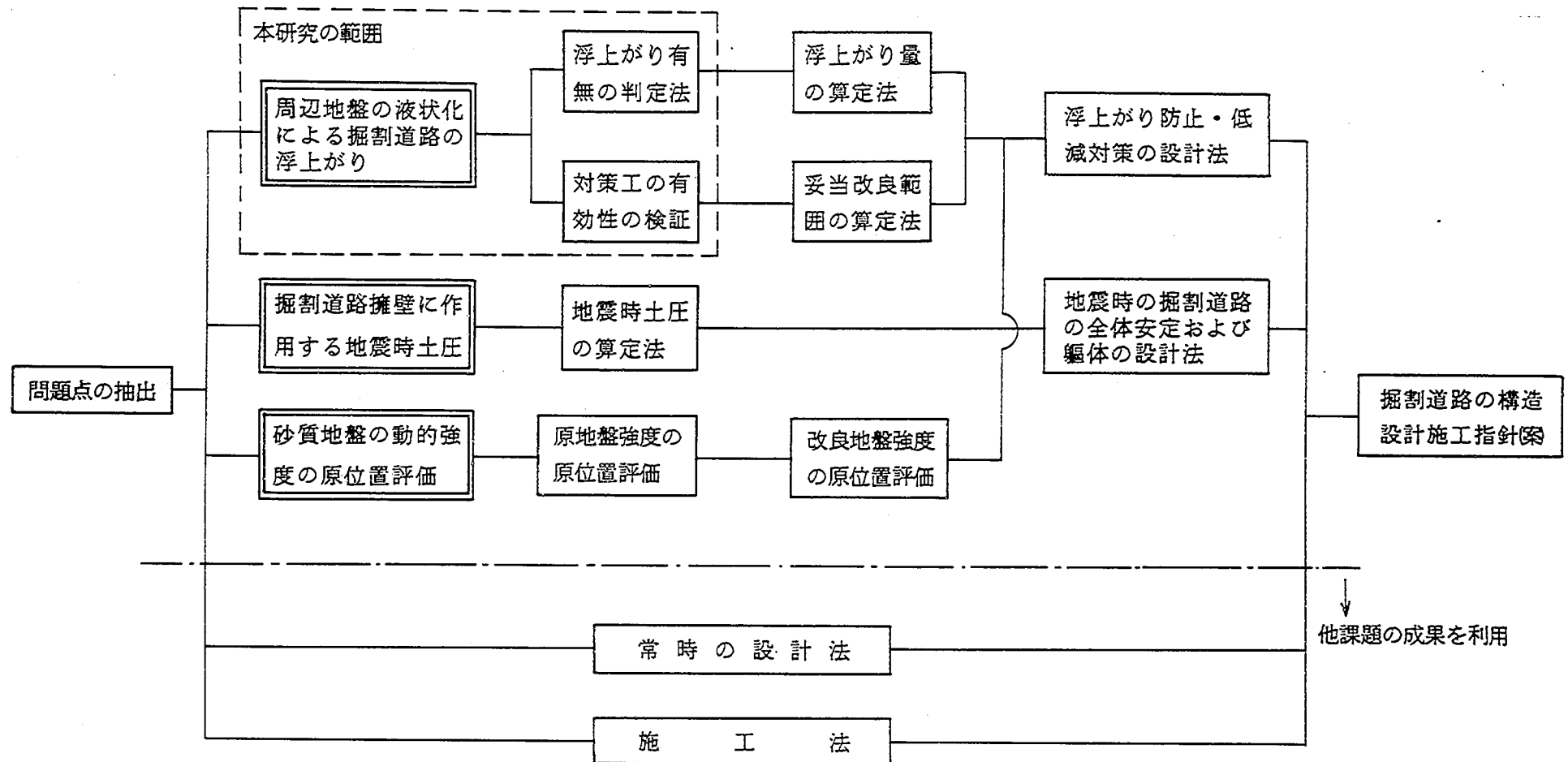


図 1.2 全体計画における位置づけ

2. 実 験 目 的

前章末に述べたような研究の一環として、昭和59年度から昭和60年度にかけて、1)無対策地盤において液状化した場合の掘割道路の浮上がりの判定基準を定めること、2)いくつかの浮上がり防止工法の概要を把握すること、を目的として、小型のせん断土槽中の砂地盤に掘割道路を模した軽量物体を埋設した振動台実験を行った。これらは、地盤の密度などの諸条件や対策工の条件を容易に変えて性状を把握するために行ったものである。

従来より、液状化性土の耐震対策として、1章で述べたように地盤改良により液状化を防止する方法、および液状化が生しても速かに過剰間隙水圧を消散させる方法が行われている、また、掘割道路の場合には、道路のまわりを締切って液状化した砂の流れ込みを防ぐ方法もありうる。本実験では、前二者の方法として締固め工法とグラベルドレーン工法を具体的な対象とした。

本報告では、掘割道路の浮上がり判定の指標としての浮上がり安全率の適用性、浮上がりに対する掘割道路幅と液状化砂層厚の影響、および締固め工法とグラベルドレーン工法の浮上がり対策としての効果に関して、これらの実験結果をもとに検討を行った。前出の図1.2において点線で示した部分が本報告の検討範囲である。

3. 実験方法及び実験条件

3.1 実験に用いた振動台

この実験に用いた振動台は、建設省土木研究所内のゴム耐震実験施設にある 4.0m×4.0m の振動台である。表 3.1 に振動台の主要諸元を、図 3.1 に加振限界を示す。また、図 3.2 に振動台の概略図を示す。

表 3.1 振動台の主要諸元

振動台	鋼床版溶接箱構造 大きさ：4.0m×4.0m 重さ：13.5 ton
最大積載重量	40 ton
最大変位	水平 ±100mm 鉛直 ±50mm
最大加速度	水平 1 G 鉛直 1 G
加振機	水平：29.5 ton アクチュエーター 2 台 鉛直：27.3 ton アクチュエーター 4 台
加振方向	水平 1 軸および鉛直、2 軸加振可能
加振波形	正弦波および地震波
振動数範囲	起振可能周波数 100 Hz P S D制御可能周波数範囲 水平：0.1~20 Hz 鉛直：0.1~50 Hz 正弦波制御可能周波数範囲 水平：0.1~35 Hz 鉛直：0.1~50 Hz
加振・計測 解析装置	コンピューター：ECLIPS S/130(64kW) 磁気ディスク：12.5MB FFTプロセッサ：加振波形の発生・制御 計測チャンネル数：40 ch 入出力付属機器：磁気テープ装置、X-Yプロッタ、グラフィックディスプレイ、ハードコピー、プリンター、PTP、PTR、CR

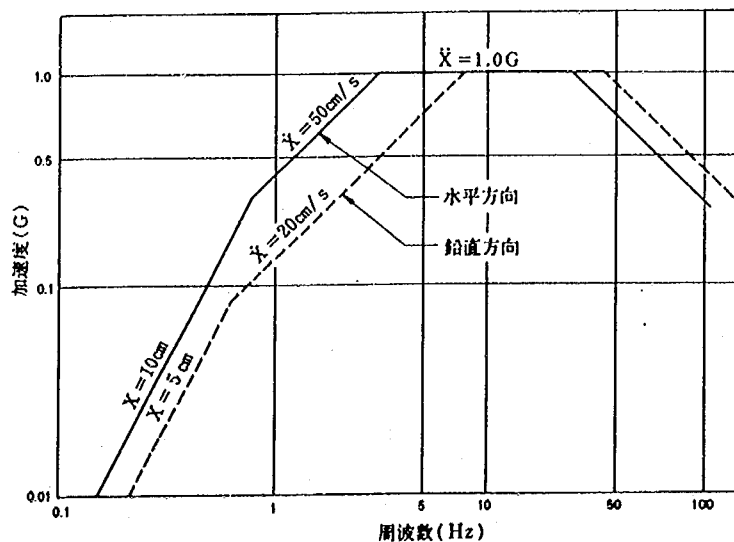


図 3.1 振動台の加振限界

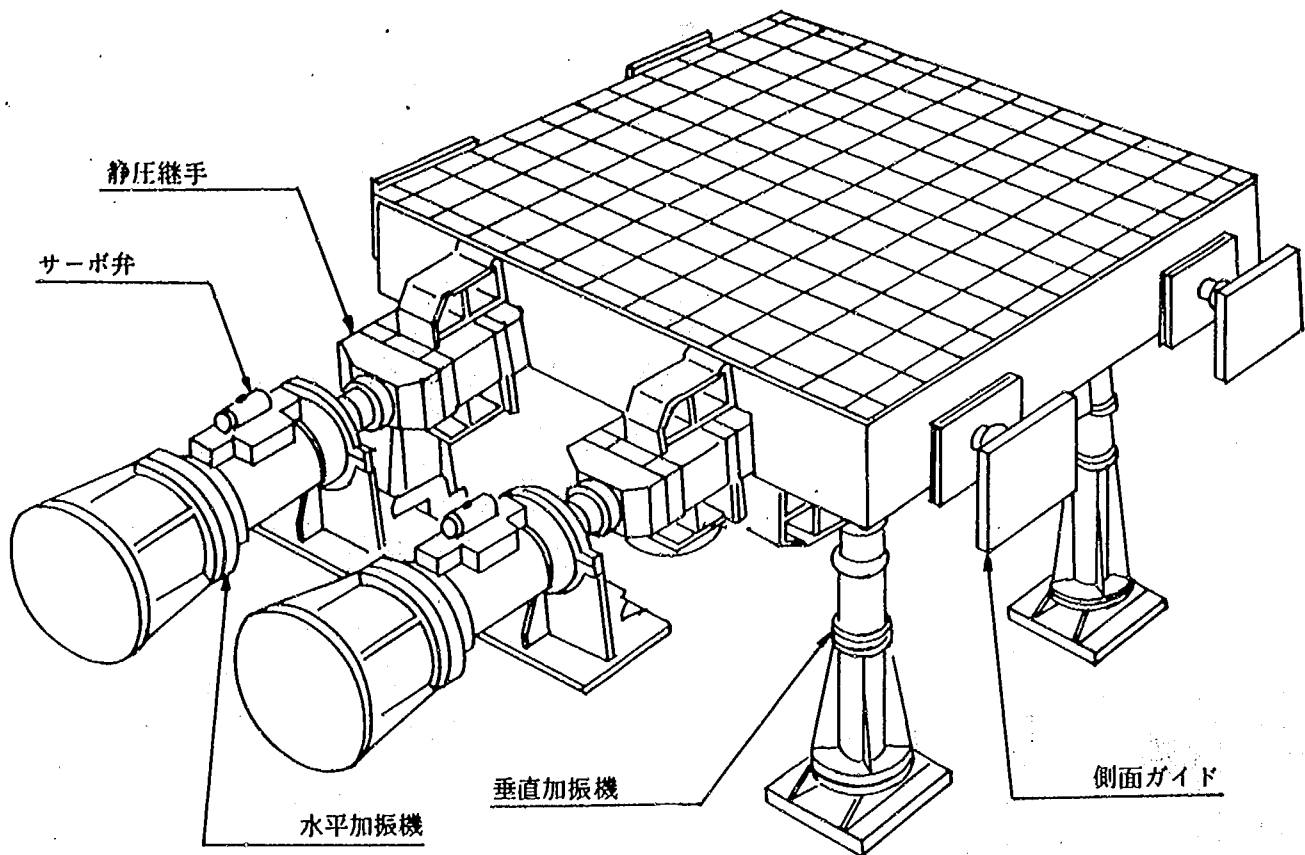


図 3.2 振動台概略図

3.2 実験に用いた模型

3.2.1 小型せん断土槽

実験に用いた小型せん断土槽（長さ 1100mm×高さ 500mm×奥行き 200mm）を図 3.3 に示す。土槽は、厚さ 10mm の塩化ビニル製のせん断枠を鉄製の丸棒を介して積み重ねたもので、鋼製枠によって横ぶれを防止し、自由に単純せん断変形ができる構造となっている。

3.2.2 模型地盤の種類

実験に用いた模型地盤は図 3.4 (1), (2) に示すような 2 種類のものである。これらのうち、図 3.4 (1) は昭和 59 年度に、図 3.4 (2) は昭和 60 年度に実験を行ったものである。

昭和 59 年度の模型 59-2, 59-5 では掘割道路模型のまわりに砕石ドレーンを設置した。また、模型 59-3 では掘割道路模型の下に図 3.5 のような有孔板を 4 段積み重ねた。

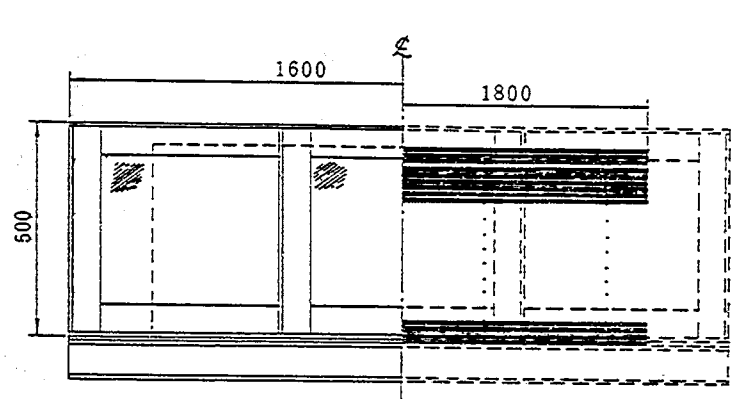
昭和 60 年度の模型 60-2~60-6 では、掘割道路模型のまわりを締め固めて改良地盤とした。

また、模型 59-9~59-10, 模型 60-8~60-11 では、掘割道路模型の下部、側部を締め固めて液状化する層の厚さを変化させた。

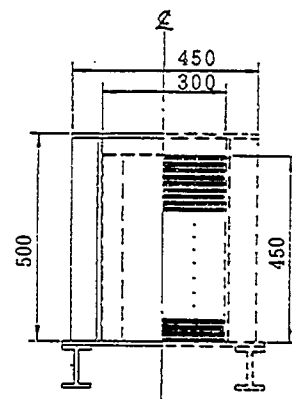
これらの模型地盤の概略・目的等をまとめて表 3.2 に示す。

3.2.3 掘割道路模型

図 3.6 に掘割道路を模した埋設用模型（以下、掘割道路模型または掘割模型と呼ぶ）を示す。これはアクリル製の箱で、外寸法は、大きい箱が幅 400mm×奥行き 195mm×高さ 255mm、小さい箱が幅 200mm×奥行き 195mm×高さ 255mm である。掘割模型底面には、高感度の間隙水圧計（PF10-01、ST 研究所製、容

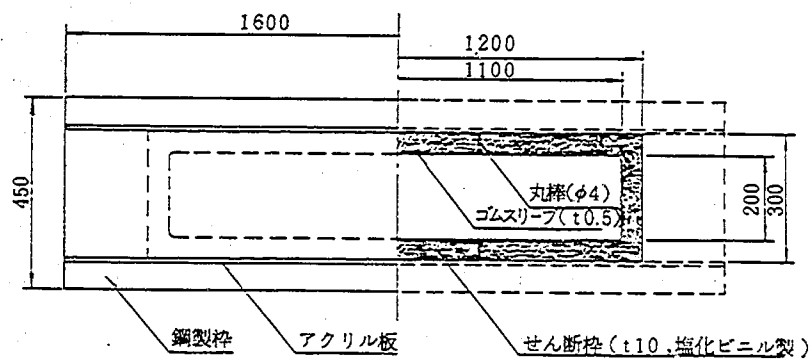


正面図

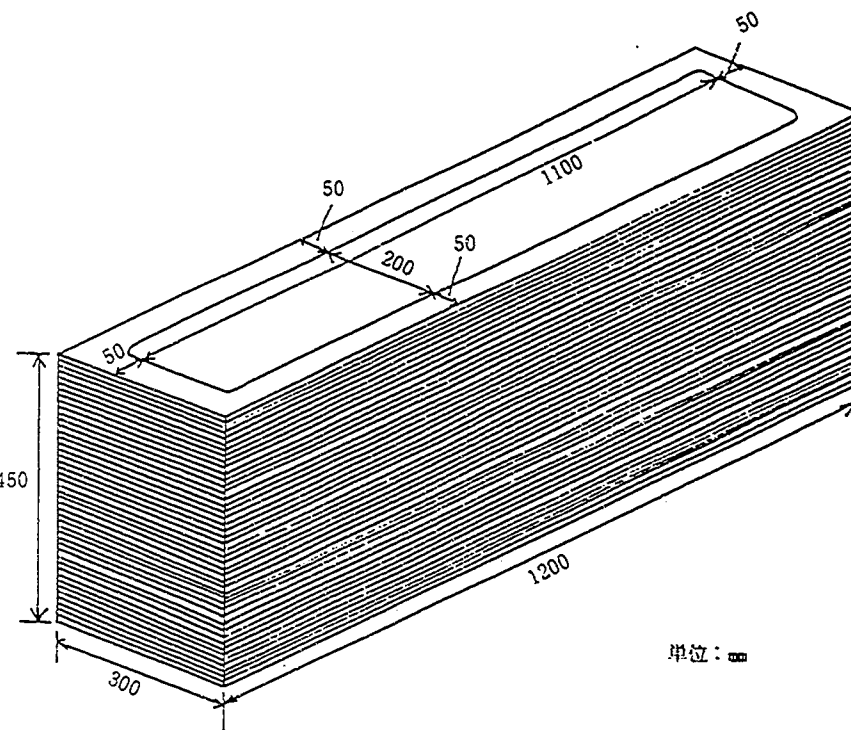


側面図

(単位mm)



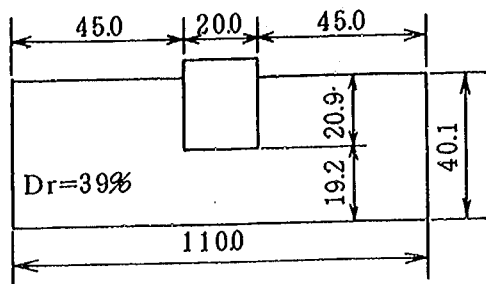
上面図



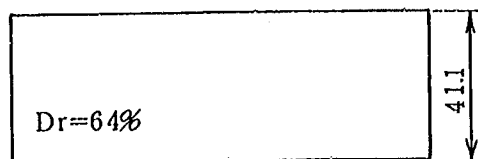
単位:mm

図 3.3 小型せん断土槽

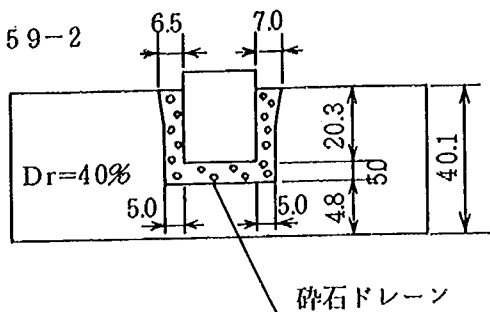
59-1



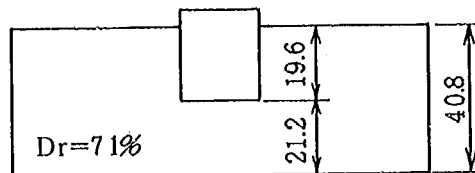
59-7



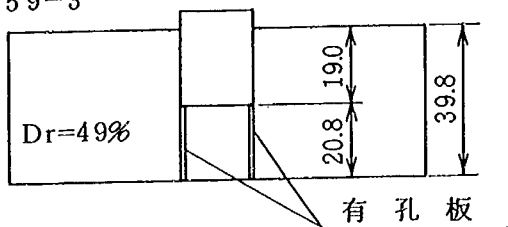
59-2



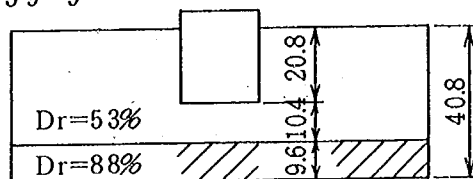
59-8



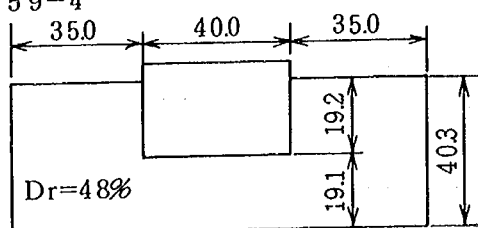
59-3



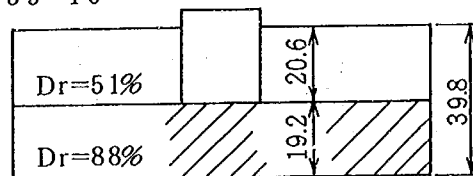
59-9



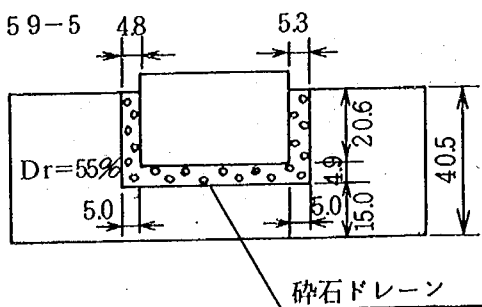
59-4



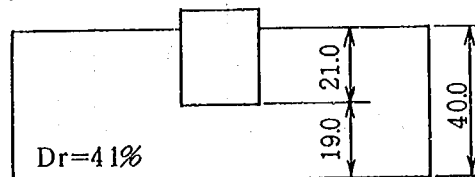
59-10



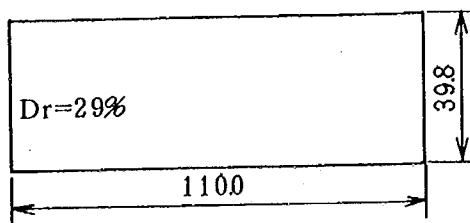
59-5



59-11

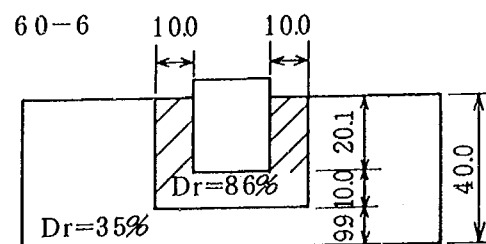
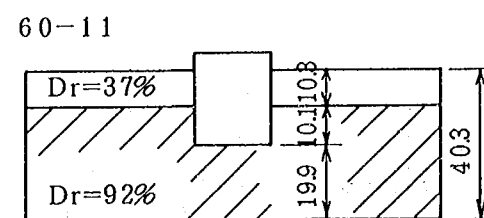
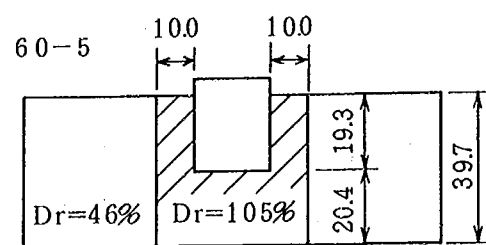
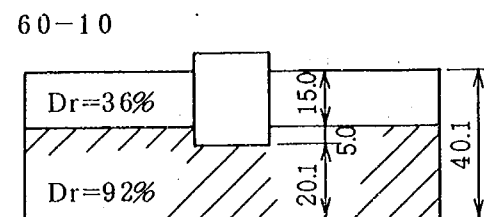
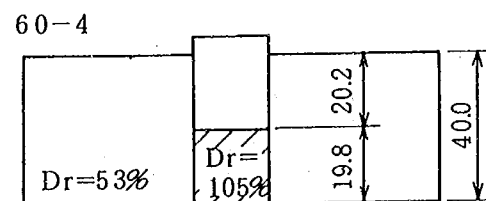
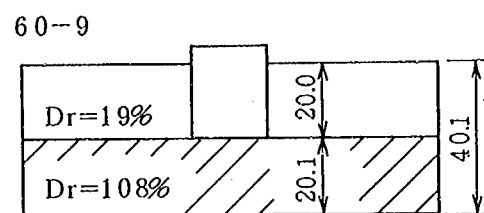
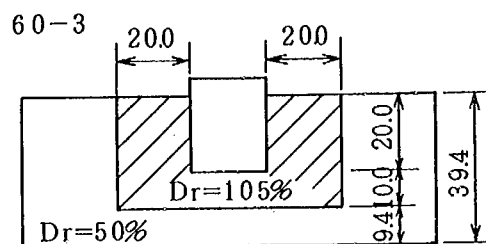
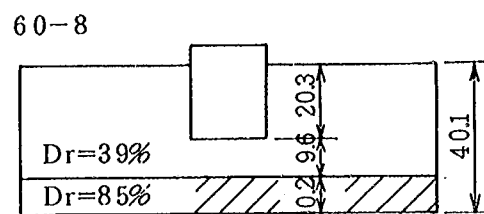
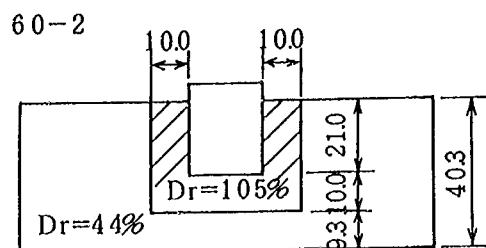
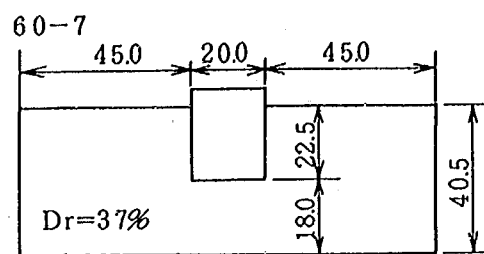
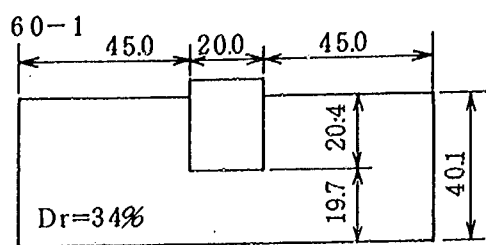


59-6



単位：cm

図 3.4(1) 模型地盤



单位: cm

图 3.4(2) 模型地盤

表 3.2 模型地盤の概略

模型番号	掘割模型幅 (cm)	対策工の種類	地 盤 条 件	備 考
59-1	20.0	—	$D_r=39\%$	無 対 策
59-2	20.0	グラベルドレーン	$D_r=40\%$	グラベルドレーンの効果 (掘割模型幅小)
59-3	20.0	有 孔 板	$D_r=49\%$	砂の流れ込みを防止した場合の影響
59-4	40.0	—	$D_r=48\%$	無対策時の掘割模型幅の影響
59-5	40.0	グラベルドレーン	$D_r=55\%$	グラベルドレーンの効果 (掘割模型幅大)
59-6	—	—	$D_r=29\%$	ゆるい地盤の液状化特性
59-7	—	—	$D_r=64\%$	密な地盤の液状化特性
59-8	20.0	—	$D_r=71\%$	無対策で地盤が密な場合
59-9	20.0	—	液状化砂層厚 10 cm $D_r=53\%(88\%)*$	無対策で液状化砂層厚が異なる場合の影響
59-10	20.0	—	液状化砂層厚 0 cm $D_r=51\%(88\%)*$	
59-11	20.0	—	$D_r=41\%$	無 対 策
60-1	20.0	—	$D_r=34\%$	無 対 策
60-2	20.0	締 固 め (直下10cm,側方10cm))	$D_r=44\%(105%)*$	締固め改良を行った場合の効果及び締固め改良範囲の影響
60-3	20.0	締 固 め (直下10cm,側方20cm))	$D_r=50\%(105%)*$	
60-4	20.0	締 固 め (直下20cm)	$D_r=53\%(105%)*$	
60-5	20.0	締 固 め (直下20cm,側方10cm))	$D_r=46\%(105%)*$	
60-6	20.0	締 固 め (直下10cm,側方10cm))	$D_r=35\%(86%)*$	
60-7	20.0	—	$D_r=37\%$	無 対 策
60-8	20.0	—	液状化砂層厚 10 cm $D_r=39\%(85%)*$	無対策で液状化砂層厚が異なる場合の影響及び締固め層に根入れした場合の効果
60-9	20.0	—	液状化砂層厚 0 cm 根入れ 0 cm $D_r=19\%(108%)*$	
60-10	20.0	—	液状化砂層厚 0 cm 根入れ 5 cm $D_r=36\%(92%)*$	
60-11	20.0	—	液状化砂層厚 0 cm 根入れ 10 cm $D_r=37\%(92%)*$	

* : 締固め部の相対密度

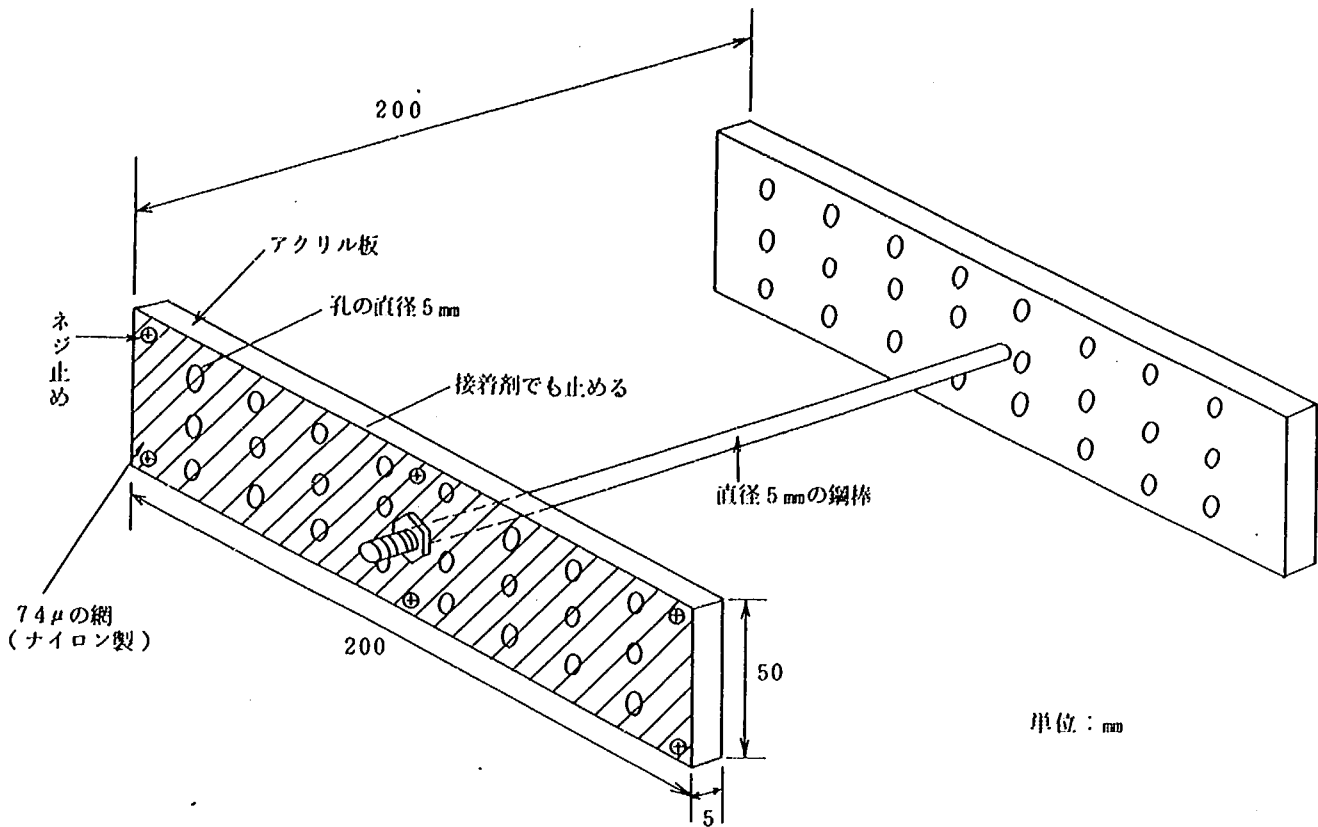


図 3.5 有孔板

量 100 g f/cm^3) を 3 個埋め込み、掘割道路模型底面での間隙水圧を測定できるようになっている。

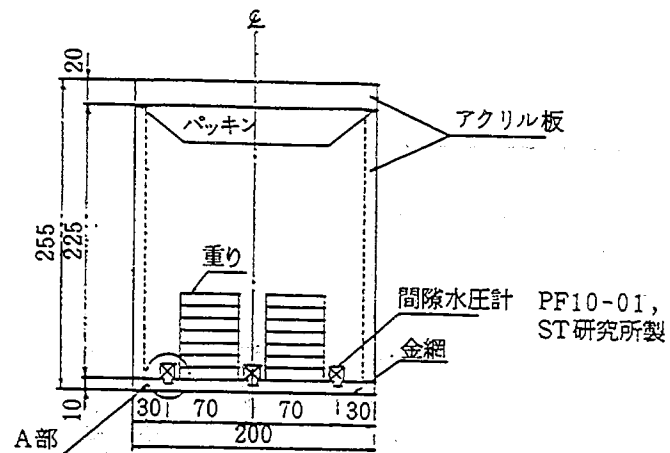
また掘割道路模型内部には、実験前に掘割道路模型が浮上らないようにするため、図 3.6 に示すようにおもりを取りつけた。表 3.3 に各模型地盤に設置した掘割道路模型の重量とみかけの比重の一覧表を示す。

3.2.4 模型地盤に用いた砂とドレーン材の特性

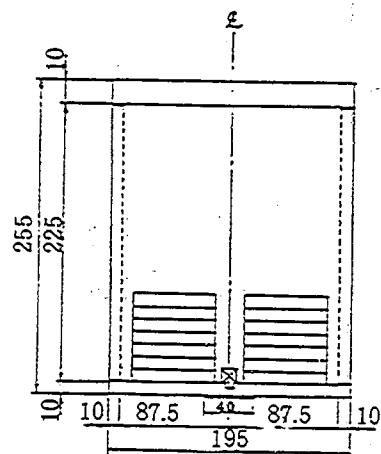
表 3.4 に模型地盤作成に用いた浅間山砂とドレーン材の物理特性を示す。ドレーン材には碎石 7 号を用いた。これらの粒度分布を図 3.7 に示す。

3.2.5 模型地盤の作成方法

- ① 浅間山砂とドレーン材は、温度 110°C で炉乾燥させた後、温度が室温となるまで空気中に放置した。浅間山砂については、この後 2 mm ふるいでふるって通過分を使用した。
- ② 密度の小さい非改良地盤は、小型せん断土層内に 0.5 mm 厚のゴムスリーブを設置し、厚さ 10 cm の飽和砂地盤ができるに見合う量の水をはって、鋼製枠より 10 cm 高い所から、図 3.8 に示すホッパーを用いて浅間山砂を一様に自由落下させた。このとき、ホッパーの開口幅を目標相対密度になるように調整した。ただし、まき出し場所によっては、一層のまき出し厚を 5 cm としたところもある。
- ③ ②の作業を繰返すことによって 40 cm 厚の非改良地盤を作成した。途中で地盤面が所定の高さになったときに、間隙水圧計及び加速度計の埋設と掘割道路模型の設置を行い、その位置を記録した。
- ④ 昭和 59 年度の模型 59-2 と 59-5 に設置した碎石ドレーンは、あらかじめ砂と碎石ドレーンの

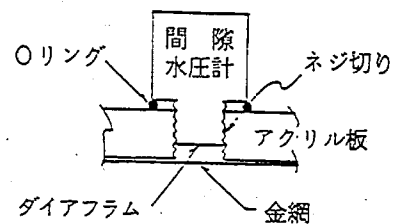


正面図

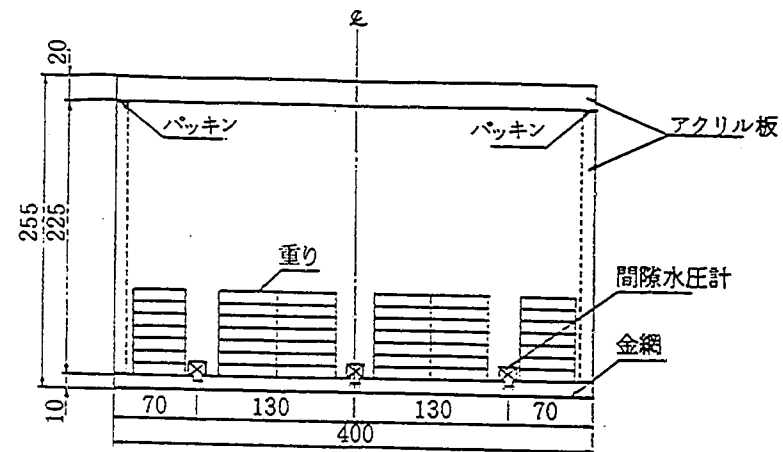


側面図

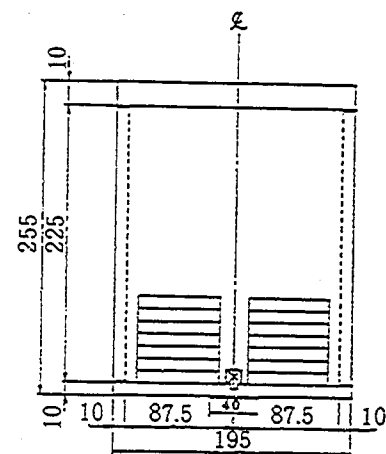
掘割道路模型(小)



A部詳細図



正面図



側面図

単位: mm

掘割道路模型(大)

図 3.6 掘割道路模型

表 3.3 掘割道路模型の重量一覧

模型番号	掘割道路模型 の地盤中深さ Z_s (cm)	掘割道路模型 の地盤中体質 V (cm^3)	掘割道路模型 の重量 W (gf)	みかけの比重 G_a
59-1	20.9	8151	11630	1.427
59-2	20.3	7917	11710	1.479
59-3	19.0	7410	11650	1.572
59-4	21.2	16536	23200	1.403
59-5	20.6	16068	23250	1.447
59-6	—	—	—	—
59-7	—	—	—	—
59-8	19.6	7644	18240	1.078
59-9	20.8	8112	18240	1.016
59-10	20.6	8034	11650	1.450
59-11	21.0	8190	13920	1.700
60-1	20.4	7956	11620	1.461
60-2	21.0	8190	11800	1.441
60-3	20.0	7800	11840	1.518
60-4	20.2	7878	11800	1.498
60-5	19.3	7527	11720	1.557
60-6	20.1	7839	11685	1.491
60-7	22.5	8775	11685	1.332
60-8	20.3	7917	11685	1.476
60-9	20.0	7800	11685	1.498
60-10	20.0	7800	11685	1.498
60-11	20.4	7956	11685	1.469

$$V = Z_s \times A$$

A : 掘割道路模型の断面積

$$G_a = \frac{W}{V \times \gamma_w}$$

γ_w : 水の単位体積重量
(1.0 gf/ cm^3 とした)

表3.4 浅間山砂・ドレーン材の物理特性

項 目	浅 間 山 砂		碎石7号 (59年度)
	59年度	60年度	
比 重 G_s	2.72	2.72	2.72
平均粒径 D_{50} (mm)	0.24	0.24	4.00
均等係数 U_c	1.9	1.9	1.7
透水係数 k (cm/sec)	2.99×10^{-2} ($D_r=80.2\%$)	7.88×10^{-3} ($D_r=51\%$) 3.34×10^{-3} ($D_r=89.6\%$)	4.90
最大間隙比 e_{max}	1.013	1.013	—
最小間隙比 e_{min} 注)	0.670	0.670	—
最小間隙比 e_{min} 注)		0.639	

注) e_{min} は土質工学会の方法によるもの

e_{min}' は昭和60年度に凍結試料の型枠を用いて求めたもの。

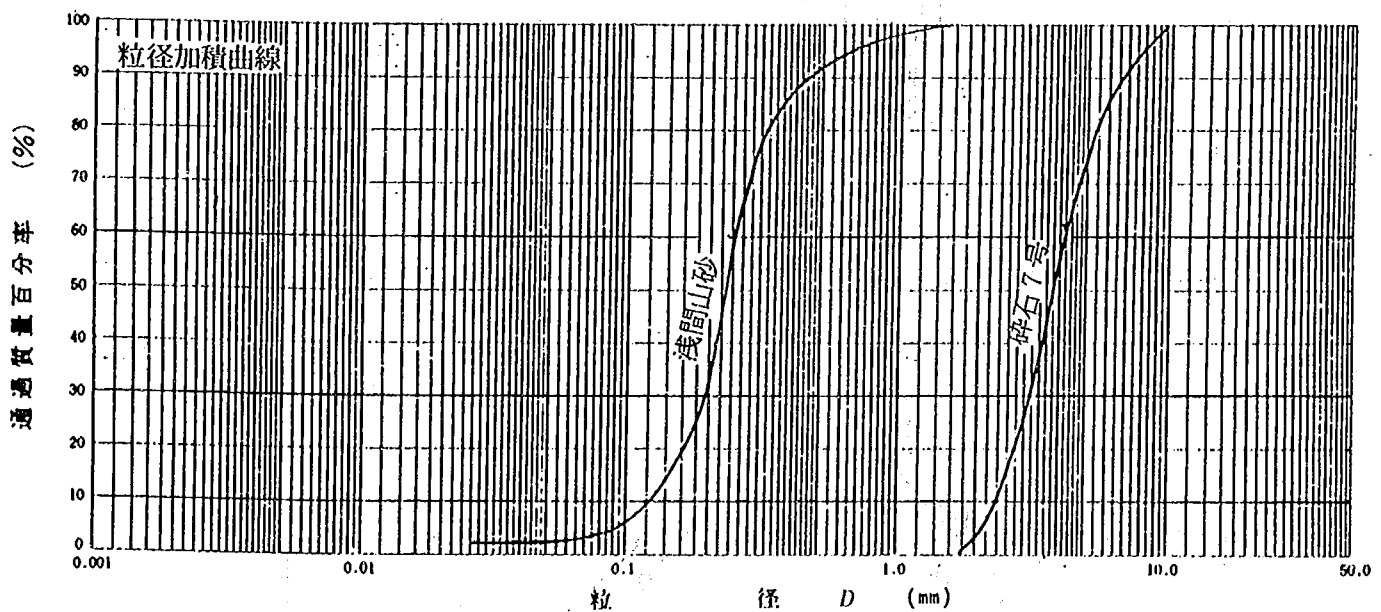


図3.7 浅間山砂・ドレーン材の粒度分布

境界となる部分に仕切り板(ステンレス製)を設置しておき模型地盤ができた後でこれを上へ引き抜いた。また、碎石ドレーンの透水性能を維持する目的で、砂と碎石ドレーンの間に砂を通さない布を設置した。

- ⑤ 昭和60年度の模型60-2~60-6には、密度が高い改良地盤部がある。改良地盤部は、図3.9に示す鋼製の型枠を用いて作成した凍結試料を、せん断土槽中に設置後解凍して作成した。この凍結試料は、所定の相対密度に見合う砂と水の投入量を測定しておき、水をはった型枠に砂を8~10層

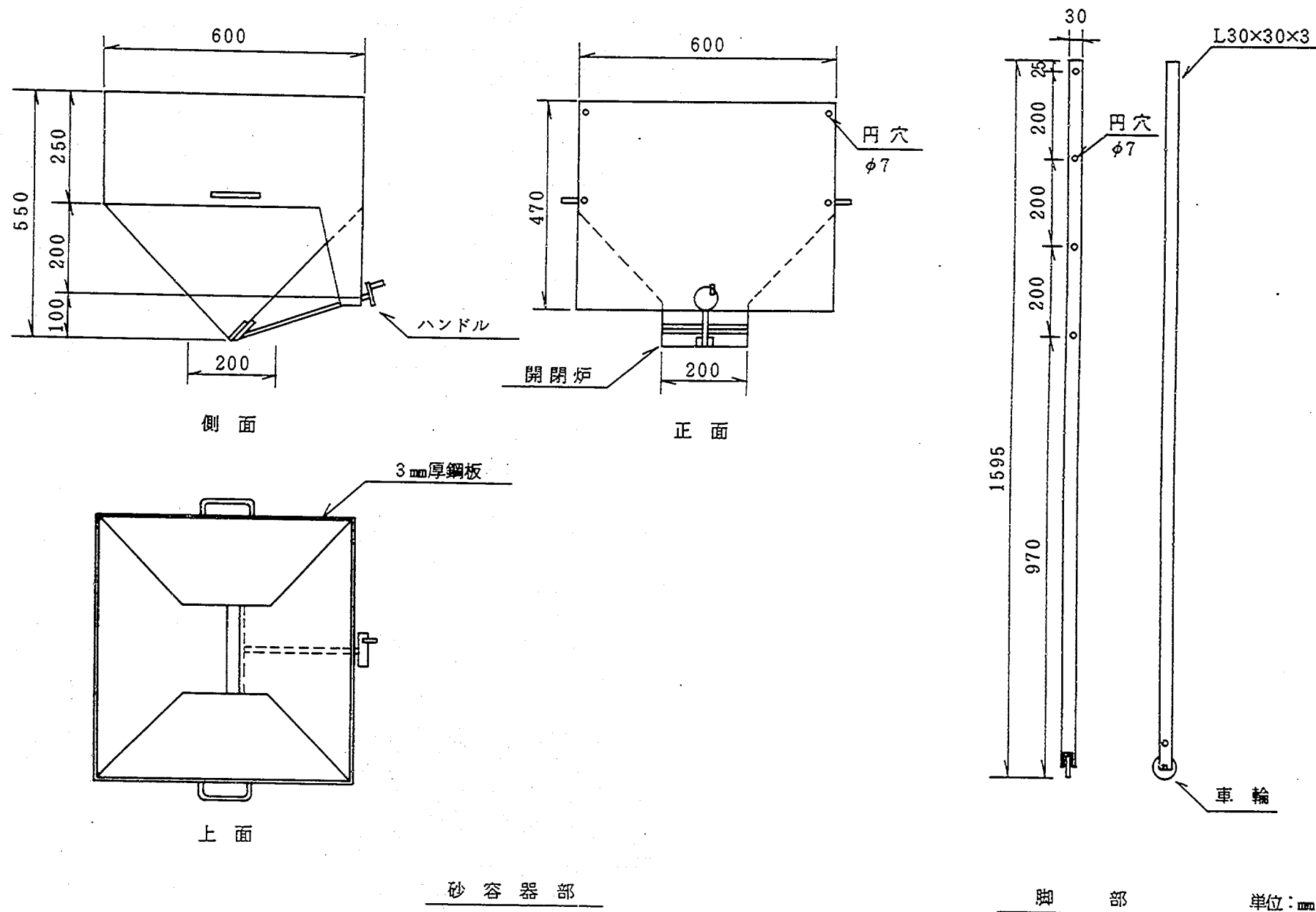


図 3.8 地盤作成用ホッパー

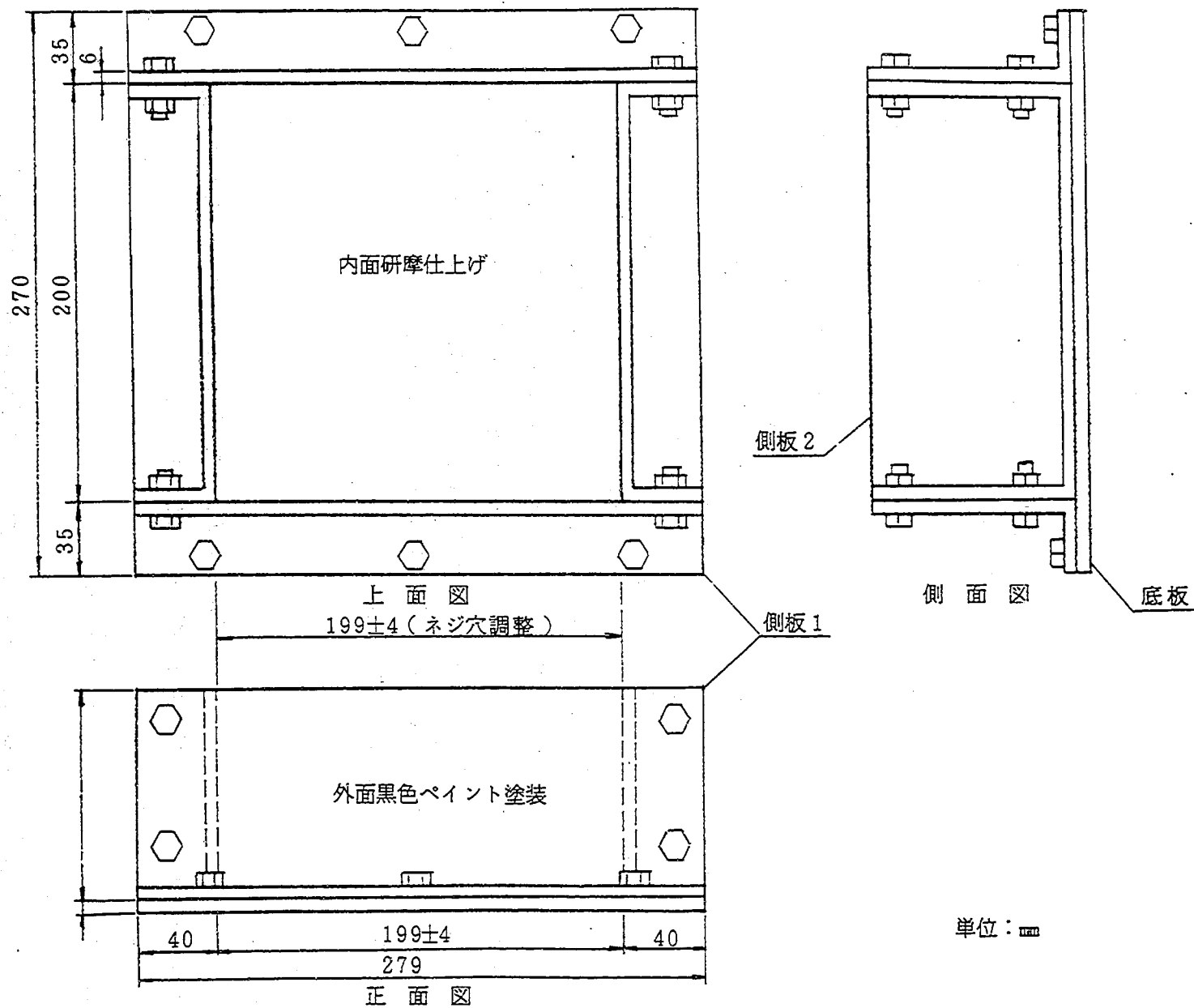


図 3.9 凍結試料用型枠

に分けてまき出し、その都度、木づちで型枠を数十回たたいて締め固めた。砂の表面を整形後、型枠の底面を除く周囲を断熱材（スタイロフォーム）で覆い（ただし上面は穴をあけた板を介する）、上面に10kgのおもりを載せてフリーザー（-25℃）で凍結させた。

⑥ また、地盤の下部や地盤全体が密な模型については、非改良地盤と同様に砂をまきだして、突き棒で締め固めて密な地盤を作成した。

⑦ 砂を全て投入した後、地表面上に残った余分な水をスポイトで取り除き、地表面を平らに整形した。以上が模型地盤の作成方法である。

3.2.6 模型地盤の物性値の算定方法

まず、模型地盤の物性値算定の基礎となるせん断土槽内の容積は、図3.10に示すように、せん断土槽にゴムスリプを設置してせん断土槽内に水を注ぎ、その時の水量を求めて全体の容積を決定した。非改良地盤の体積は、全体の容積から掘削道路模型、地盤改良部または碎石ドレーン部及び計器の体積を差し引いて求めた。このとき、碎石ドレーンの体積は体積変化がないものと仮定し、設計寸法通りの値を用いた。

非改良地盤の密度などの物性値は、模型地盤作成時の砂と水の投入量と体積から求めたものと、図3.11に示すサンプリングによる結果より求めたものがある。ただし、主に前者を用いてサンプリングによる値を評価し、投入量から求めた値とかけはなれたものは無視した。また、サンプリングを実施しなかった模型については、投入量から物性値を求めた。

昭和60年度に実験を行った凍結試料による締め固め改良地盤部の物性値は、砂と水の型枠への投入重量及び凍結試料の体積から求めた。凍結試料の融解時の体積は、図3.12に示す方法で求めた。

表3.3では浅間山砂の最小間隙比を2通りの方法で求めている。一つは土質工学会の方法によるものであり、もう一つは凍結試料の型枠を用いて求めたものである。凍結試料の型枠を用いた方法では、乾燥砂を8～10層にわけてまき出し、その都度木づちで30～50回型枠を打撃して砂を締め固め、最後に表面を整形して最小間隙比を求めた。模型60-1～60-7では、これらの値を用いて地盤の相対密度を2通り計算した。図3.4(2)に示した相対密度は土質工学会の方法によるものである。

このようにして求めた地盤の初期物性値を表3.5(1)～(4)に示す。

3.3 実験方法

3.3.1 実験手順

図3.13に実験の手順を示す。各センサーからの出力は、加振が終了して過剰間隙水圧が完全に消散するまで測定を続けた。その後、標尺を用いて地表面の変位を測定した。

3.3.2 測定項目と測定方法

振動実験における測定項目は以下の通りである。

① 過剰間隙水圧

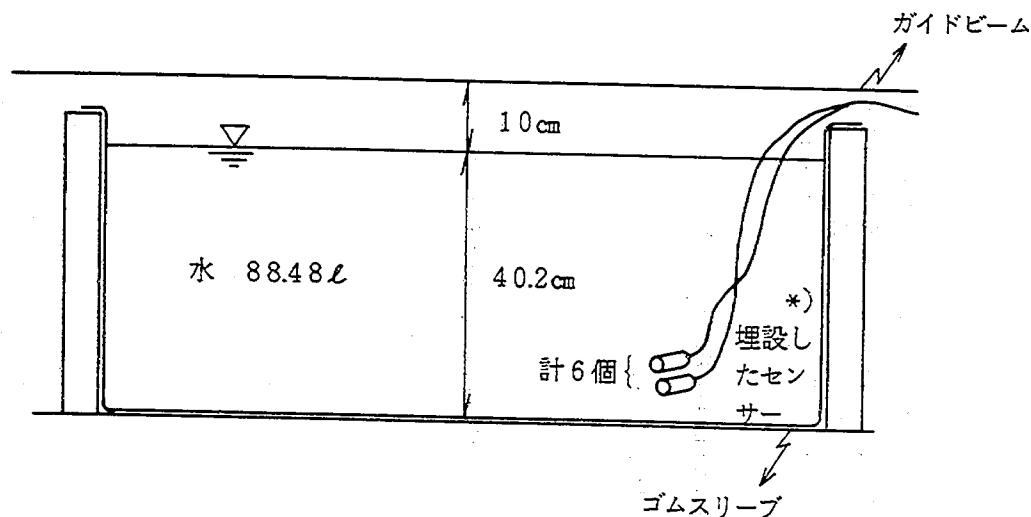
模型地盤内部、掘削道路模型底面での過剰間隙水圧を、間隙水圧計を用いて測定した。

② 加速度

地表面、模型地盤内部、振動台上での水平長手方向の加速度を、加速度計を用いて測定した。

③ 変位

掘削道路模型の浮上がり量を回転式変位計で、地表面の鉛直変位及びせん断土槽の水平変位を摺動



*) 砂中に埋設したセンサーの体積をキャンセルするために入れてある。

図 3.1 0 土槽容積の測定法

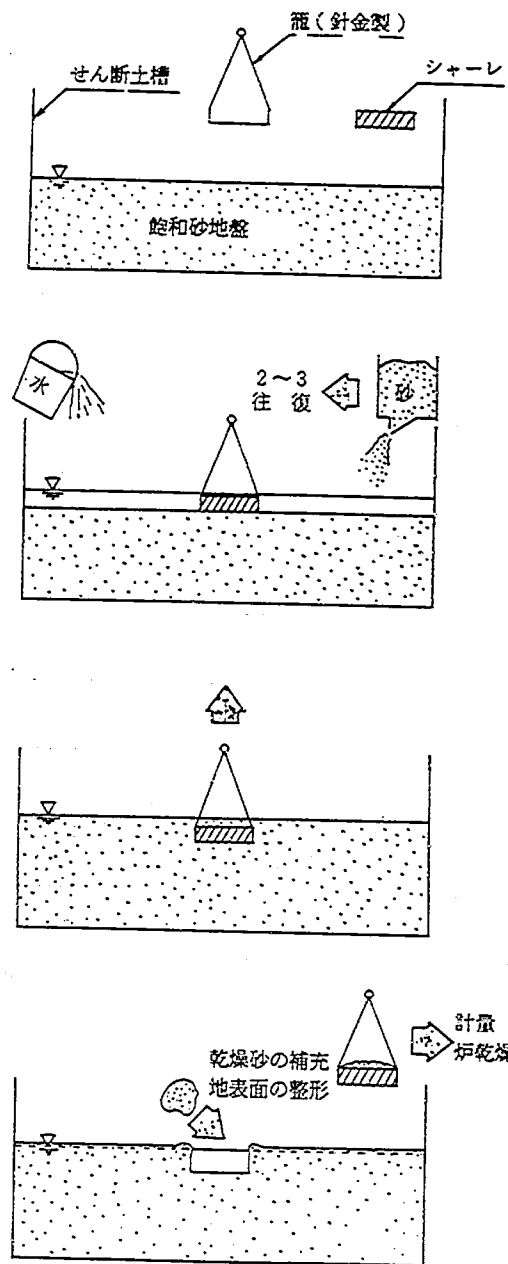
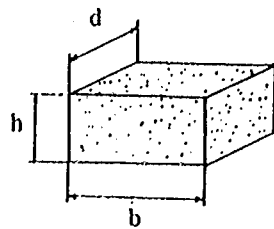


図 3.1 1 サンプルング手順

作業手順

1. アルミ製シャーレ（深さ 16 mm，直径 75 mm）、籠の準備
2. 飽和砂地盤上にシャーレを置く。（籠付）
3. シャーレが浸る程度の水を投入。
4. 砂層模型作成装置によって、乾燥砂を投入。
5. シャーレが若干埋る程度に飽和砂地盤を作成する。
6. 籠を静かに引き上げ飽和砂の充填したシャーレを取り出す。
7. シャーレの上面を精密に整形し、計量の後、炉乾燥する。
8. シャーレを取り出した部分に乾燥砂を補充し、地表面を整形する。



凍結時の1個あたりの寸法(型枠内寸)

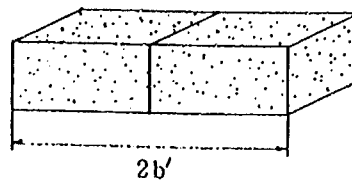
$$b = 20.00 \text{ cm}$$

$$h = 10.00 \text{ cm}$$

$$d = 19.40 \text{ cm}$$

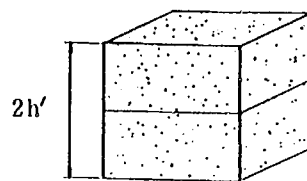


融解時は凍結試料を重ねた時にできる
試料同士間の空隙が砂と水で埋まるも
のとする。



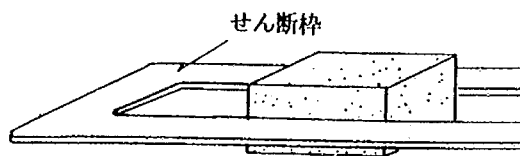
横に並べて幅を測定

1個あたりの平均幅 $b' = 20.00 \text{ cm}$



合わせる面を3通り変えて、上下に重
ねて高さを測定

1個あたりの平均高さ $h' = 10.09 \text{ cm}$



融解時の奥行きは、
せん断棒内寸－メンブレンの厚さ
となる。

$$d' = 20.00 - 0.05 \times 2 = 19.90 \text{ cm}$$

以上より、1個の凍結試料が融解したときに占める体積は

$$V = 4013.83 \text{ cm}^3$$

となる。

図3.12 凍結試料の融解時の体積算定法

表 3.5.(1) 地盤の初期物性値と加振条件

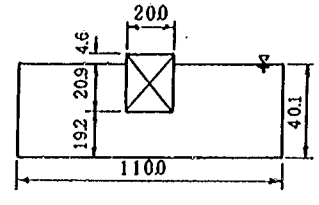
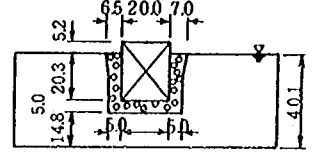
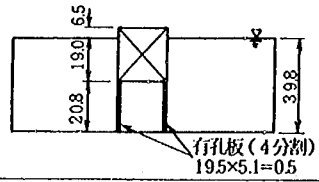
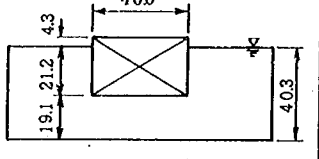
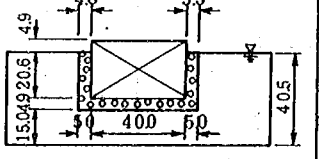
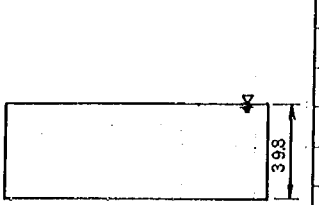
機 型 No	模 型 略 図	初 期 物 性 値					実験No	加 振 条 件			掘削模 型重量 (kg)	水温 (℃)	温度補正し た透水係数 (cm/sec)	備 考	
		項目	投入量 算定	サンプリング結果				加振速度 (gal)	加振時間 (Hz)	時間 (sec)					
				No.1	No.2	No.3									平均
59-1		浅間山砂						59-1-1	75.9	2	10	11.63	20	299×10 ⁻²	
		γ_t (gf/cm ³)	189	197	202	190	196	59-1-2	91.2	2	10				
		e	0.87	0.73	0.74	0.85	0.77	59-1-3	109.8	2	10				
		Dr (%)	39	52	54	29	45	59-1-4	144.9	2	10				
		Sr (%)	94	100	100	94	98	59-1-5	144.1	2	10				
								59-1-6	144.5	2	10				
59-2		浅間山砂						59-2-1	144.7	2	10	11.71	19	2.92×10 ⁻²	砂とドレーン材 を布で仕切った。
		γ_t (gf/cm ³)	1.92	1.89	1.90	1.90	1.90								
		e	0.87	0.85	0.86	0.86	0.86								
		Dr (%)	40	45	41	43	43								
		Sr (%)	99	92	96	94	94								
		ドレーン材 γ_t (gf/cm ³)	2.12					59-2-2	145.2	2	10			ドレーン材 4.78	
59-3		浅間山砂						59-3-1	140.8	2	10	11.65	20	299×10 ⁻²	
		γ_t (gf/cm ³)	1.91	1.95	1.85	1.88	1.89								
		e	0.83	0.76	0.90	0.87	0.84								
		Dr (%)	49	69	30	36	45								
		Sr (%)	94	96	89	93	93	59-3-2	151.2	2	10				
59-4		浅間山砂						59-4-1	136.7	2	10	23.20	19	2.92×10 ⁻²	
		γ_t (gf/cm ³)	1.91	1.86	1.89	1.86	1.87								
		e	0.84	0.88	0.83	0.88	0.86								
		Dr (%)	48	38	51	38	42								
		Sr (%)	95	88	89	88	88	59-4-2	138.2	2	10				
59-5		浅間山砂						59-5-1	140.5	2	10	23.25	19.5	2.60×10 ⁻²	砂とドレーン材 を布で仕切った。
		γ_t (gf/cm ³)	1.95	1.88	1.88	1.88	1.88								
		e	0.81	0.85	0.84	0.85	0.85								
		Dr (%)	55	43	46	45	45								
		Sr (%)	100	91	90	91	91								
		ドレーン材 γ_t (gf/cm ³)	1.70					59-5-2	137.5	2	10				
59-6		浅間山砂						59-6-1	54.7	2	10		20		
		γ_t (gf/cm ³)	1.88	1.44	1.42	1.42	1.42	59-6-2	72.9	2	10				
		e	0.90	0.91	0.94	0.94	0.94	59-6-3	94.4	2	10				
		Dr (%)	29	33	26	26	26	59-6-4	110.2	2	10				
		Sr (%)	96					59-6-5	134.3	2	10				
								59-6-6	150.0	2	10				

表 3.5.(2) 地盤の初期物性値と加振条件

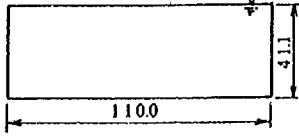
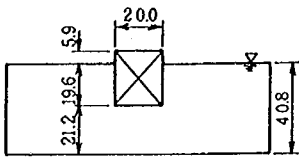
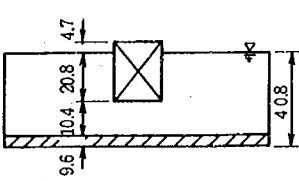
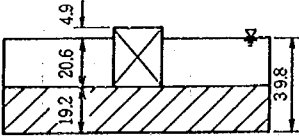
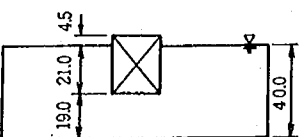
模型 No	機 型 略 図	初 期 物 性 値						加 振 条 件				掘削機 型重敏 (kg)	水温 (℃)	温度補正し た透水係数 (cm/sec)	備 考
		項 目	投入量 算定	サンプリング結果				実験No	台加振数 (gal)	振動 数 (Hz)	時間 (sec)				
59-7		単位: cm	浅間山砂					59-7-1	136.1	2	10	185			
		γ_t (g/cm ³)	1.93	1.92	1.94										
		e	0.78	0.84	0.81			59-7-2	151.4	2	10				
		Dr(%)	64	47	57										
		Sr(%)	93					59-7-3	183.3	2	10				
59-8		浅間山砂						59-8-1	120	2	10	824	200		
		γ_t (g/cm ³)	1.91	2.00	1.96	1.97		59-8-2	140	2	10				
		e	0.76	0.72	0.73	0.71		59-8-3	160	2	10				
		Dr(%)	71	97	81	86		59-8-4	188.4	2	10				
		Sr(%)	87					59-8-5	201.3	2	10				
								59-8-6	225.4	2	10				
								59-8-7	246.6	2	10				
								59-8-8	266.2	2	10				
								59-8-9	287.5	2	10				
								59-8-10	307.9	2	10				
								59-8-11	327.8	2	10				
								59-8-12	417.3	2	10				
59-9		上 部						59-9-1	105.3	2	10	824	200		
		γ_t (g/cm ³)	1.92		1.81										
		e	0.82		0.96			59-9-2	57.9	2	10				
		Dr(%)	53		12										
		下 部						59-9-3	124.9	2	10				
59-10		上 部						59-10-1	141.2	2	10	11.65	200		
		γ_t (g/cm ³)	1.93	1.87		1.85									
		e	0.83	0.87		0.91									
		Dr(%)	51	38		25		59-10-2	140.9	2	10				
		下 部													
59-11		浅間山砂						59-101-1	144.0	2	10	1392	18		
		γ_t (g/cm ³)	1.90	1.90	1.88	1.94		59-101-2	140.9	2	10				
		e	0.86	0.84	0.88	0.81									
		Dr(%)	41	44	37	53	45	59-101-3	132.3	2	連続				
		Sr(%)	96												

表 3.5(3) 地盤の初期物性値と加振条件

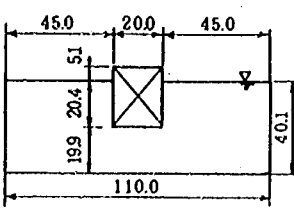
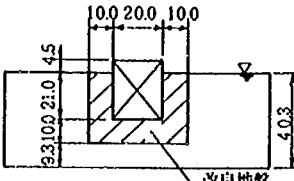
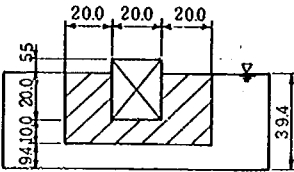
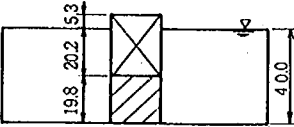
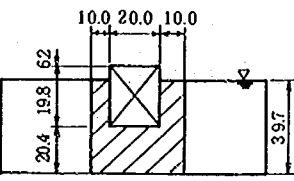
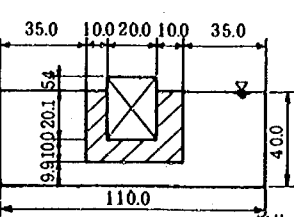
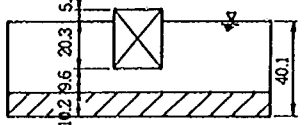
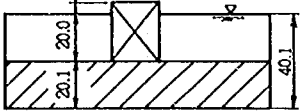
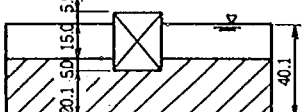
機型No	機 型 略 図	非改良地盤初期物性					実験No	加 振 条 件			掘削機 型重量 (kg)	水温 (℃)	速度補正 した透水係数 (cm/sec)	備 考	
		項目	投入量 算定	サンプリング結果				注3 採用値	台加速度 (gal)	振動数 (Hz)					時間 (sec)
			No 1	No 2	No 3										
60-1		γ_d (g/cm ³)	1.435				1.435	60-1-1	84.4	2	10	11.62	8.5	6.57×10^{-3} (Dr=51%)	掘削直下の σ'_v $\sigma'_v = 9.39$ g/cm ³
		γ_t (g/cm ³)	1.893				1.893	60-1-2	99.9	2	10				
		e	0.89				0.89	60-1-3	111.0	2	10				
		ω (%)	31.9				31.9	60-1-4	133.2	2	10				
		Sr(%)	97.4				97.4	60-1-5	155.4	2	10				
		Dr(%)	34.3				34.3	60-1-6	199.8	2	10				
		Dr'(%)	31.4				31.9								
60-2		γ_d (g/cm ³)	1.480		1.439		1.460	60-2-1	163.7	2	10	11.80	4.5	5.81×10^{-3} (Dr=51%)	$\sigma'_v = 9.26$ 改良地盤物性 $\gamma_d = 1.69 \text{ g/cm}^3$ $\gamma_t = 2.00 \text{ g/cm}^3$ e = 0.65 $\omega = 21.8\%$ Sr = 91.2% Dr = 105.0% Dr' = 96.3%
		γ_t (g/cm ³)	1.929		1.876		1.903	60-2-2	107.7	2	10				
		e	0.83		0.89		0.96	60-2-3	125.0	2	10				
		ω (%)	30.4		30.4		30.4	60-2-4	192.2	2	10				
		Sr(%)	99.3		92.6		96.0	60-2-5	163.7	2	10				
		Dr(%)	51.1		35.8		43.5								
		Dr'(%)	46.8		32.9		39.9								
60-3		γ_d (g/cm ³)	1.529	1.456	1.467	1.456	1.477	60-3-1	81.9	2	10	11.84	5.0	5.90×10^{-3} (Dr=51%)	$\sigma'_v = 10.36$ 改良地盤物性 模型No 60-2 に同じ
		γ_t (g/cm ³)	1.990	1.878	1.903	1.867	1.910	60-3-2	109.9	2	10				
		e	0.77	0.86	0.85	0.86	0.84	60-3-3	125.0	2	10				
		ω (%)	30.2	29.0	29.7	28.4	29.3	60-3-4	142.2	2	10				
		Sr(%)	106.4	91.5	94.8	89.6	95.6	60-3-5	168.1	2	10				
		Dr(%)	68.2	92.3	46.3	42.3	49.8	60-3-6	176.7	2	10				
		Dr'(%)	62.5	38.7	42.5	38.7	95.6	60-3-7	211.1	2	10				
								60-3-8	232.7	2	10				
								60-3-9	259.2	2	10				
								60-3-10	271.5	2	10				
								60-3-11	301.6	2	10				
60-4		γ_d (g/cm ³)	1.485				1.485	60-4-1	87.6	2	10	11.80	8.0	6.98×10^{-3} (Dr=51%)	$\sigma'_v = 10.06$ 改良地盤物性 模型No 60-2 に同じ
		γ_t (g/cm ³)	1.928				1.928	60-4-2	111.5	2	10				
		e	0.83				0.83	60-4-3	127.4	2	10				
		ω (%)	29.9				29.9	60-4-4	159.3	2	10				
		Dr(%)	52.9				52.9	60-4-5	167.2	2	10				
60-5		γ_d (g/cm ³)	1.490	1.469	1.465	1.474	1.467	60-5-1	81.9	2	10	11.72	4.5	5.81×10^{-3} (Dr=51%)	$\sigma'_v = 10.75$ 改良地盤物性 模型No 60-2 に同じ
		γ_t (g/cm ³)	1.957	1.891	1.882	1.860	1.878	60-5-2	101.7	2	10				
		e	0.82	0.85	0.85	0.88	0.85	60-5-3	129.3	2	10				
		ω (%)	31.4	28.7	28.5	28.8	29.4	60-5-4	146.5	2	10				
		Sr(%)	104.1	91.6	90.9	88.8	93.9	60-5-5	168.1	2	10				
		Dr(%)	54.7	47.1	45.6	37.7	46.3	60-5-6	189.6	2	10				
		Dr'(%)	50.1	43.2	41.8	34.6	42.9	60-5-7	211.1	2	10				
								60-5-8	237.0	2	10				
								60-5-9	254.2	2	10				
								60-5-10	284.4	2	10				
								60-5-11	305.9	2	10				
60-6		γ_d (g/cm ³)	1.437				1.437	60-6-1	84.4	2	10	11.69	7.0	6.28×10^{-3} (Dr=51%)	掘削直下の σ'_v $\sigma'_v = 9.87 \text{ g/cm}^3$ 改良地盤物性 $\gamma_d = 1.583 \text{ g/cm}^3$ $\gamma_t = 1.960 \text{ g/cm}^3$ e = 0.713 $\omega = 23.8\%$ Sr = 90.5% Dr = 85.9% Dr' = 98.7%
		γ_t (g/cm ³)	1.890				1.890	60-6-2	102.6	2	10				
		e	0.89				0.89	60-6-3	125.0	2	10				
		ω (%)	31.5				31.5	60-6-4	145.8	2	10				
		Dr(%)	35.1				35.1	60-6-5	162.3	2	10				

表 3.5(4) 地盤の初期物性値と加振条件

模型No	模 型 略 図	初 期 物 性 値					実験No	加 振 条 件			振動機 型重量 (kg)	水温 (℃)	温度補正 した透水 係数 (cm/sec)	備 考
		項 目	投入量 算定	サンプリング結果				採用値	台座速度 (gal)	振動数 (Hz)				
60-7		γ_d (g/cm ³)	1.453				1.453	60-7-1	87.4	2	10	11.685	7.0	$\sigma_v' = 7.47$ g/cm ³ (Dr=51%)
		γ_t (g/cm ³)	1.885				1.885	60-7-2	100.0	2	10			
		e	0.87				0.87	60-7-3	123.2	2	10			
		ω (%)	29.8				29.8	60-7-4	139.5	2	10			
		Sr(%)	93.4				93.4							
		Dr(%)	41.1				41.1							
		Dr(%)	37.7				37.7							
60-8		上部						60-8-1	86.8	2	10	11.685	7.0	下 部 $\gamma_d = 1.581$ g/cm ³ $\gamma_t = 1.972$ g/cm ³ e = 0.72 $\omega = 24.7\%$ Sr = 91.2% Dr = 85%
		γ_d (g/cm ³)	1.448				1.448	60-8-2	108.5	2	10			
		γ_t (g/cm ³)	1.883				1.883	60-8-3	125.3	2	10			
		e	0.88				0.88	60-8-4	144.6	2	10			
		ω (%)	30.0				30.0	60-8-5	163.9	2	10			
		Sr(%)	91.2				91.2	60-8-6	183.2	2	10			
		Dr(%)	39				39							
60-9		上部						60-9-1	91.6	2	10	11.685	7.0	下 部 $\gamma_d = 1.657$ g/cm ³ $\gamma_t = 2.023$ g/cm ³ e = 0.64 $\omega = 22.1$ Sr = 91.1% Dr = 10.8%
		γ_d (g/cm ³)	1.397				1.397	60-9-2	113.3	2	10			
		γ_t (g/cm ³)	1.849				1.849	60-9-3	125.3	2	10			
		e	0.95				0.95	60-9-4	147.0	2	10			
		ω (%)	32.4				32.4	60-9-5	163.9	2	10			
		Sr(%)	91.1				91.1	60-9-6	183.2	2	10			
		Dr(%)	19				19	60-9-7	204.9	2	10			
								60-9-8	229.0	2	10			
60-10		上部						60-10-1	94.0	2	10	11.685	6.3	下 部 $\gamma_d = 1.601$ g/cm ³ $\gamma_t = 1.980$ g/cm ³ e = 0.70 $\omega = 23.7$ Sr = 89.9% Dr = 9.2%
		γ_d (g/cm ³)	1.439				1.439	60-10-2	111.57	2	10			
		γ_t (g/cm ³)	1.871				1.871	60-10-3	130.1	2	10			
		e	0.89				0.89	60-10-4	149.4	2	10			
		ω (%)	30.0				30.0	60-10-5	163.9	2	10			
		Sr(%)	89.9				89.9	60-10-6	183.2	2	10			
		Dr(%)	3.6				3.6	60-10-7	207.3	2	10			
								60-10-8	224.1	2	10			
60-11		上部						60-11-1	91.6	2	10	11.685	7.9	下 部 $\gamma_d = 1.603$ g/cm ³ $\gamma_t = 1.984$ g/cm ³ e = 0.70 $\omega = 23.8$ Sr = 10.5% Dr = 9.2%
		γ_d (g/cm ³)	1.442				1.442	60-11-2	115.7	2	10			
		γ_t (g/cm ³)	1.876				1.876	60-11-3	130.1	2	10			
		e	0.89				0.89	60-11-4	149.4	2	10			
		ω (%)	30.1				30.1	60-11-5	163.9	2	10			
		Sr(%)	90.5				90.5	60-11-6	183.2	2	10			
		Dr(%)	3.7				3.7	60-11-7	204.9	2	10			
								60-11-8	229.0	2	10			

注(1) 土質工学会の方法による $e_{min} = 0.670$ より算定注(2) 凍結試料の型枠を用いて求めた $e_{min} = 0.639$ より算定

注(3) 投入量と、妥当と思われるサンプリング結果との平均値

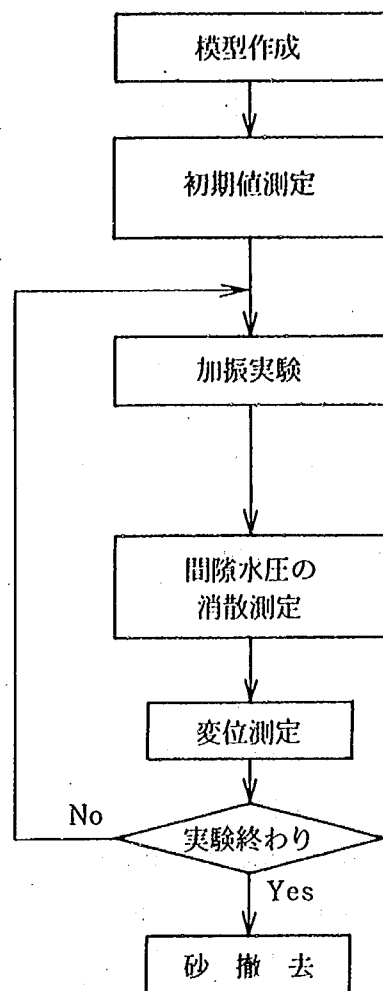


図3.13 実験手順

式変位計及びダイヤルゲージ式変位計で測定した。また加振終了後に、掘割道路模型の天端の浮上がり量と地盤の表面に設置した標点の沈下量を、標尺を用いて測定した。

測定項目と使用計器の一覧表を表 3.6 に、測定ブロック図を図 3.14 に、計器設置位置を図 3.15 に、地表面変位の測定位置を図 3.16 に示す。

表 3.6 測定項目と使用計器

項 目	測定位置	測 定 数		使 用 計 器	備 考
		59年度	60年度		
過 剩 間隙水圧	掘割道路 模型底面	3	3	ひずみゲージ式間隙水圧計 (PF10-0.1ST 研究所製, 容量 0.1kgf/cm ²)	59-6, 59-7はなし
	地 盤 内	5	6	ひずみゲージ式間隙水圧計 (BP-0.5KCS共和電業製, 容量 0.5kgf/cm ²)	59-6, 59-7は4点 60-3は7点
加 速 度	振 動 台	1	1	ひずみゲージ式加速度計 (AS-GA共和電業製, 容量 2 G)	
	地 盤 内 地 表 面	4	5	"	59-6, 59-7は5点 60-7~60-11は内 1個が掘割上
変 位	土槽側面	2	2	摺動式変位計 (9E08-D3-30, 三栄測器製容量 30mm)	
	地 表 面	2		摺動式変位計 (SDP-50R, 東京測器研究所, 容量 50mm)	
			2	ダイヤルゲージ式変位計 (9E08-D1-30, 三栄測器製, 容量 50mm)	
		4	6	スケール	加振前後で測定
	掘割道路 模型上面	2	2	回転式変位計 (LR-19, 坂田電機製)	
		2	2	スケール	加振前後で測定

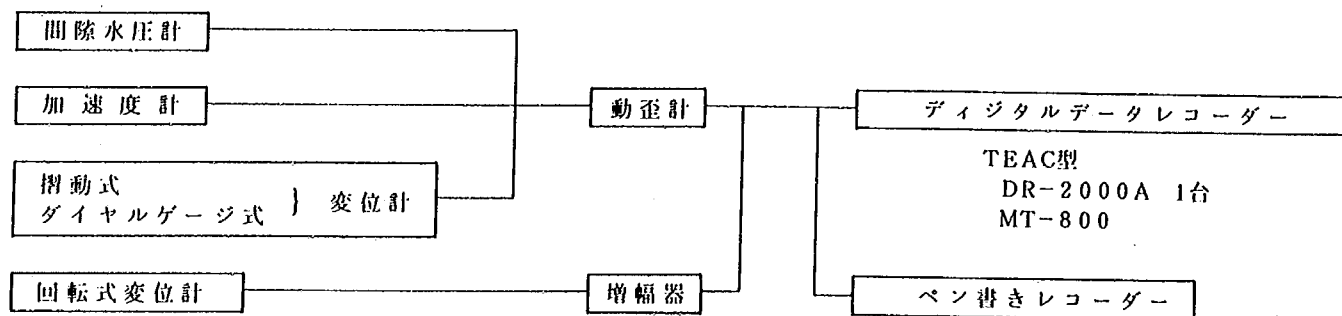


図 3.14 測定ブロック図

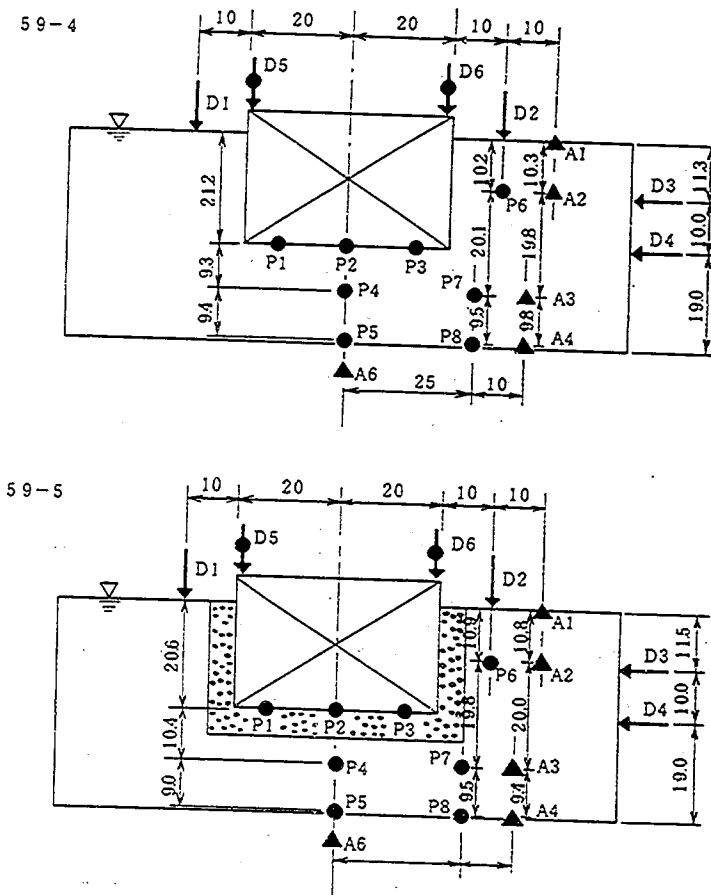
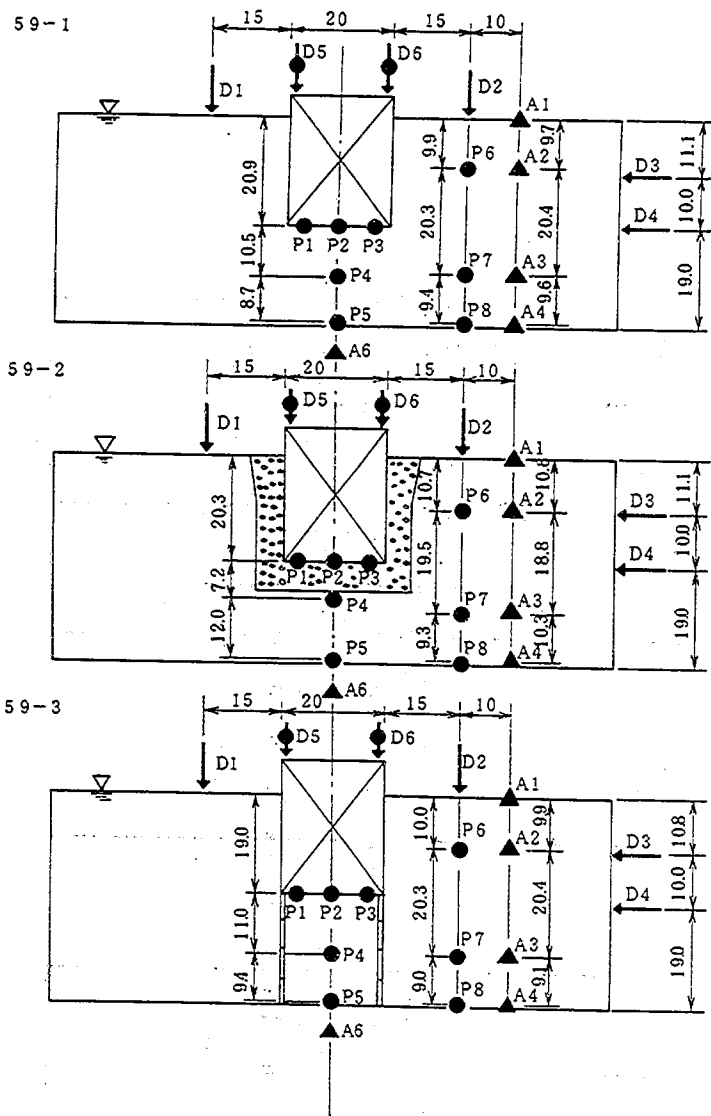
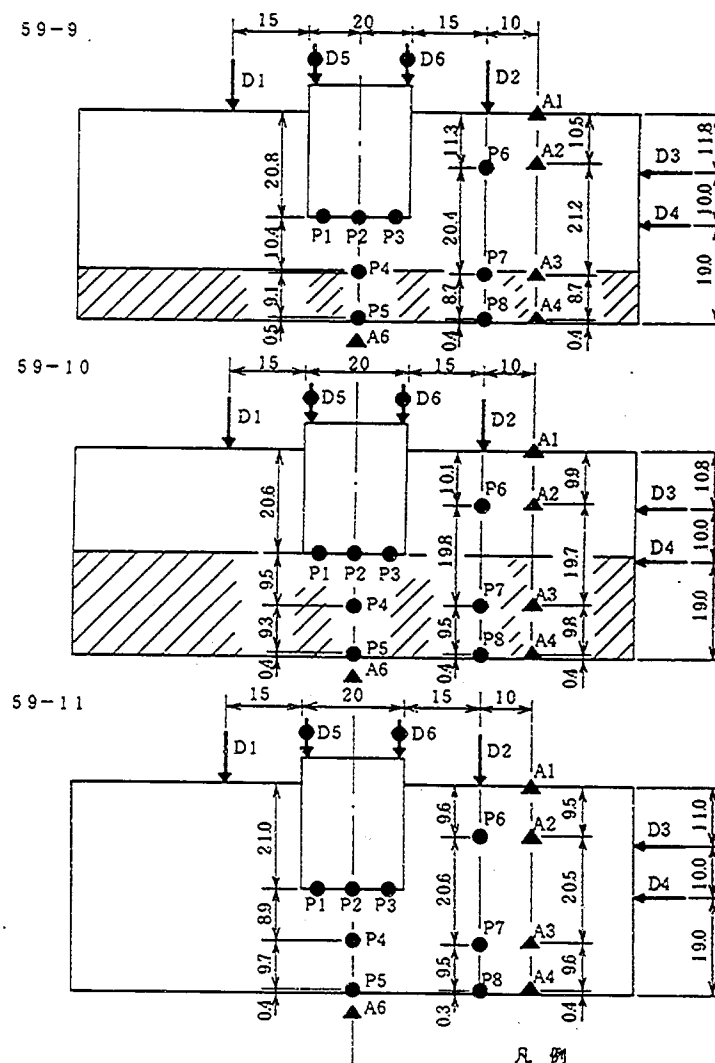
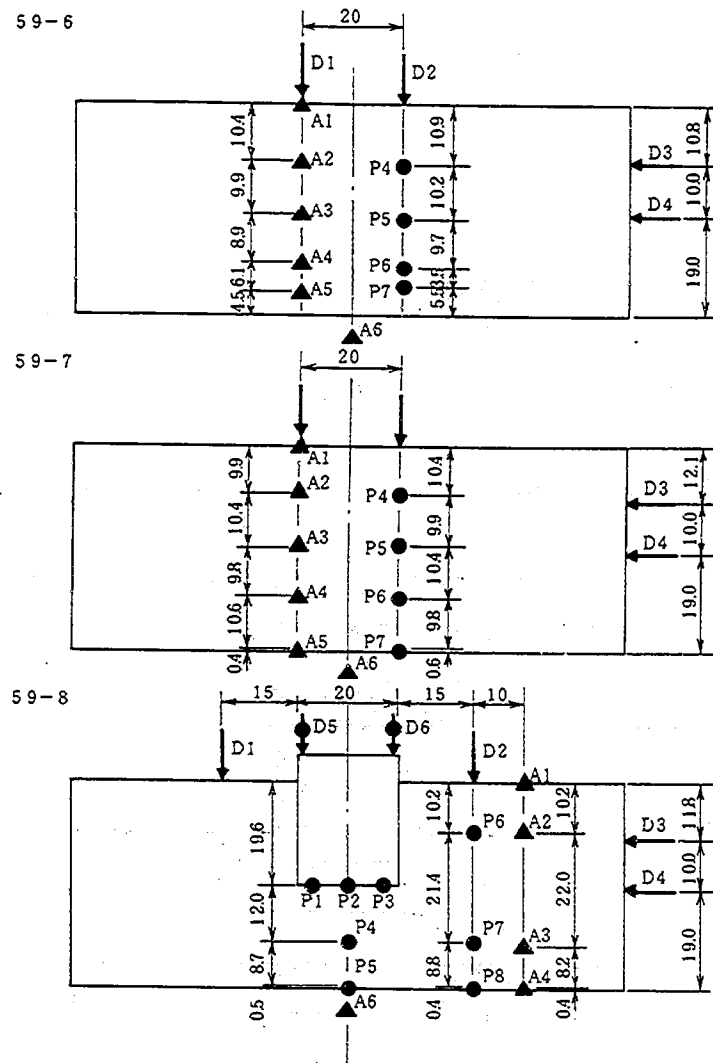


図 3.1 5(1) 計器設置位置



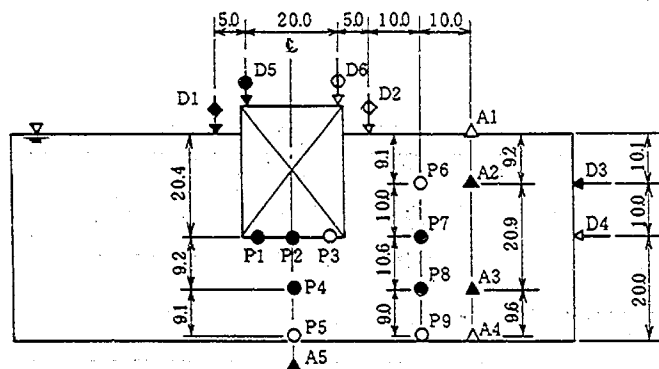
凡例

- P 間隙水圧計
- ▲ A 加速度計
- ← D 撓動式変位計
- ← D 回転式変位計

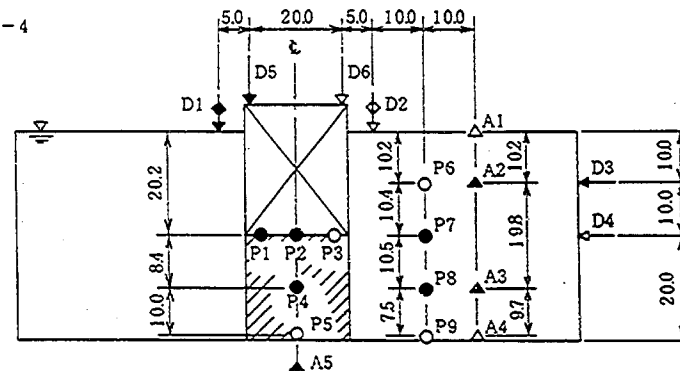
単位: cm

図 3.1 5(2) 計器設置位置

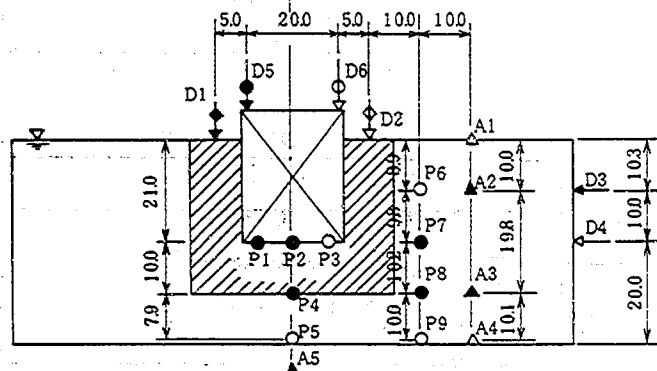
60-1



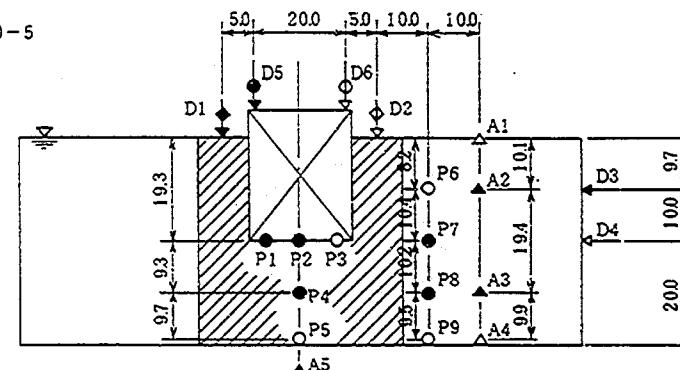
60-4



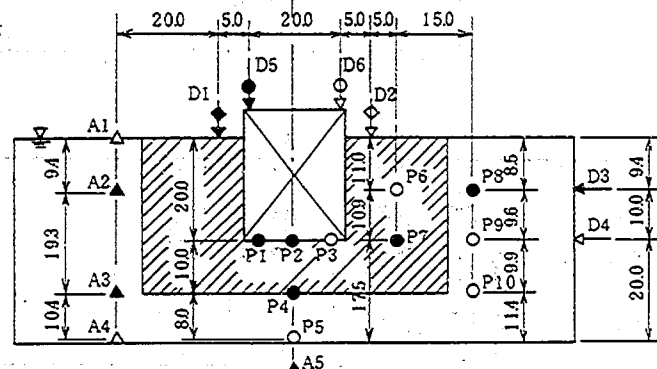
60-2



60-5



60-3



60-6

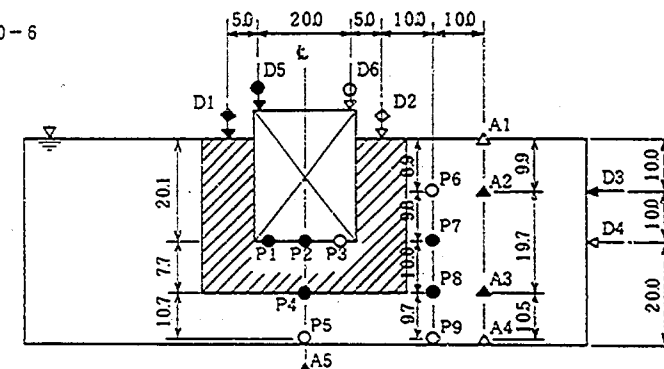
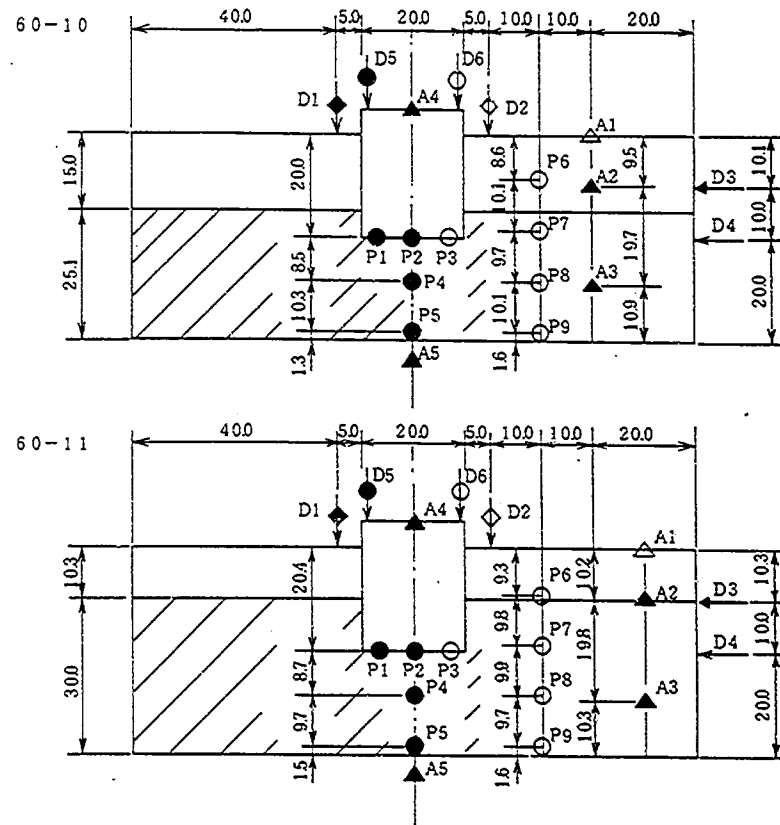
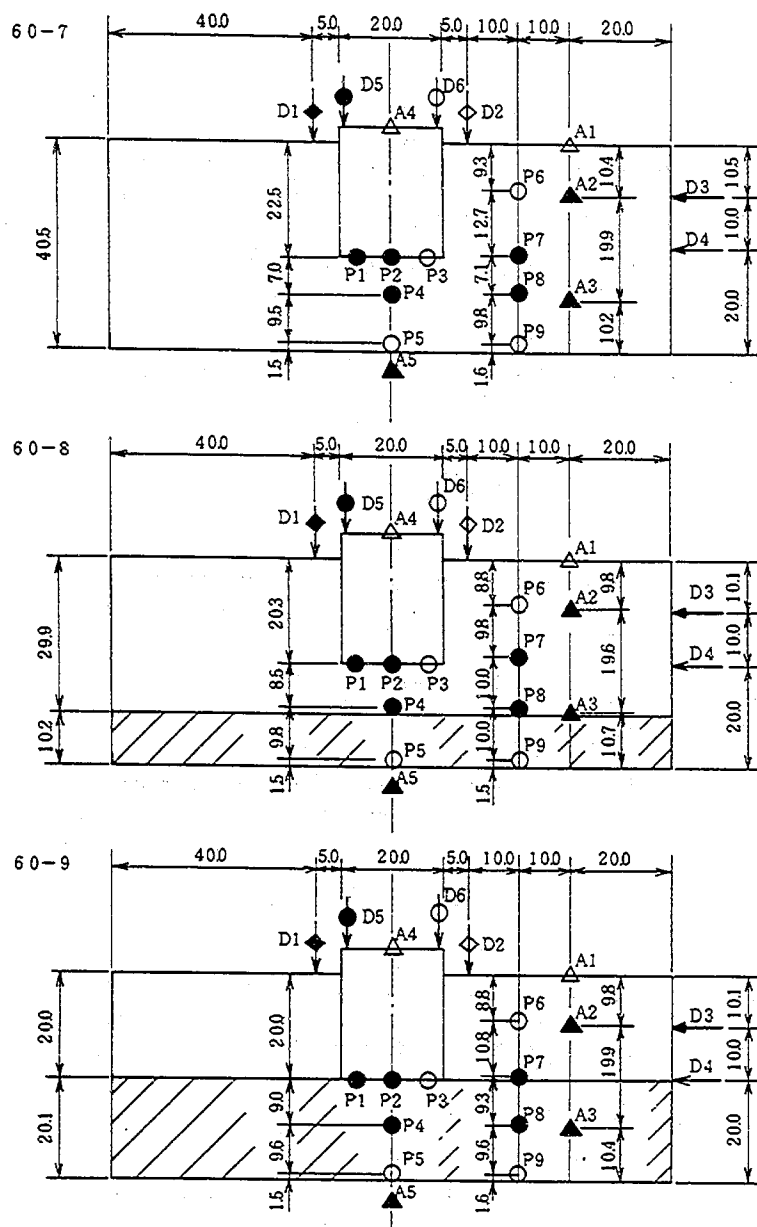


图 3.1 5(3) 計器設置位置



凡 例

- | | | | |
|----|----|---|-------------|
| ● | ○ | P | 間隙水圧計 |
| ▲ | △ | A | 加速度計 |
| ← | ← | D | 撓動式変位計 |
| ←● | ←○ | D | 回転式変位計 |
| ←◆ | ←◇ | D | ダイヤルゲージ式変位計 |

黒塗りの計器がペンレコーダーでモニターしたもの
白塗りの計器はデータレコーダーの故障により測定不能

図 3.1 5(4) 計器設置位置

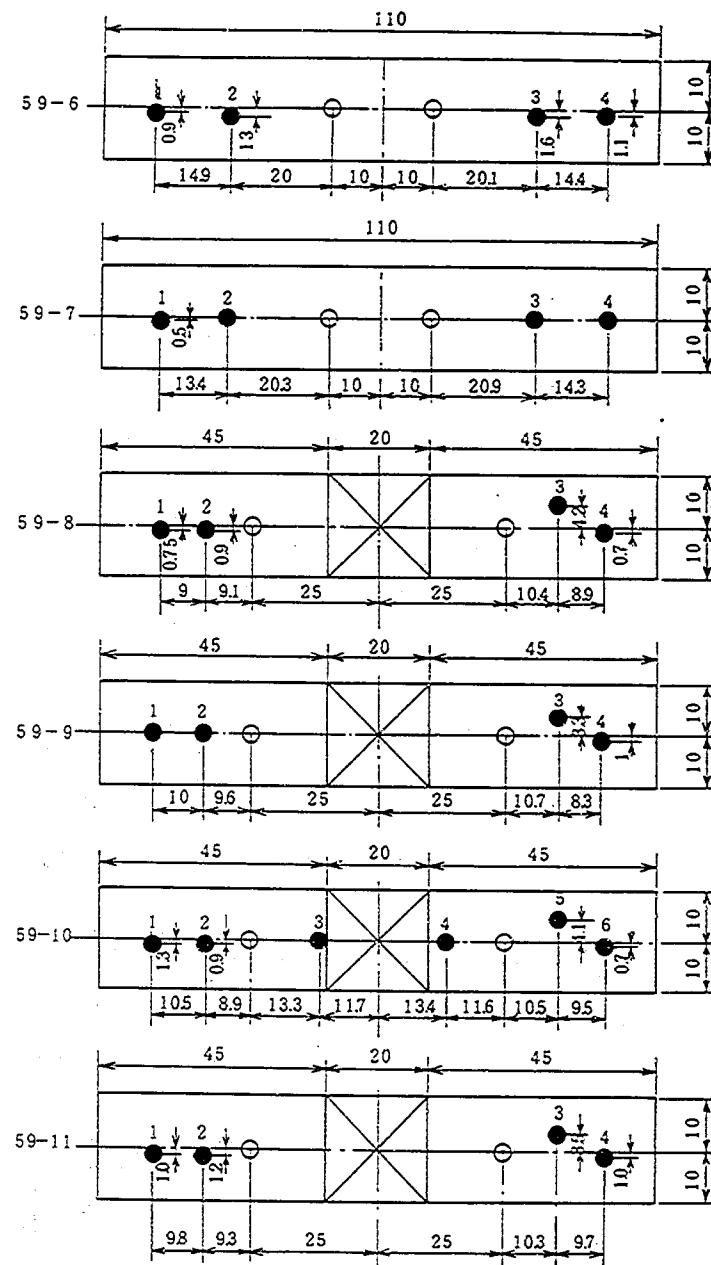
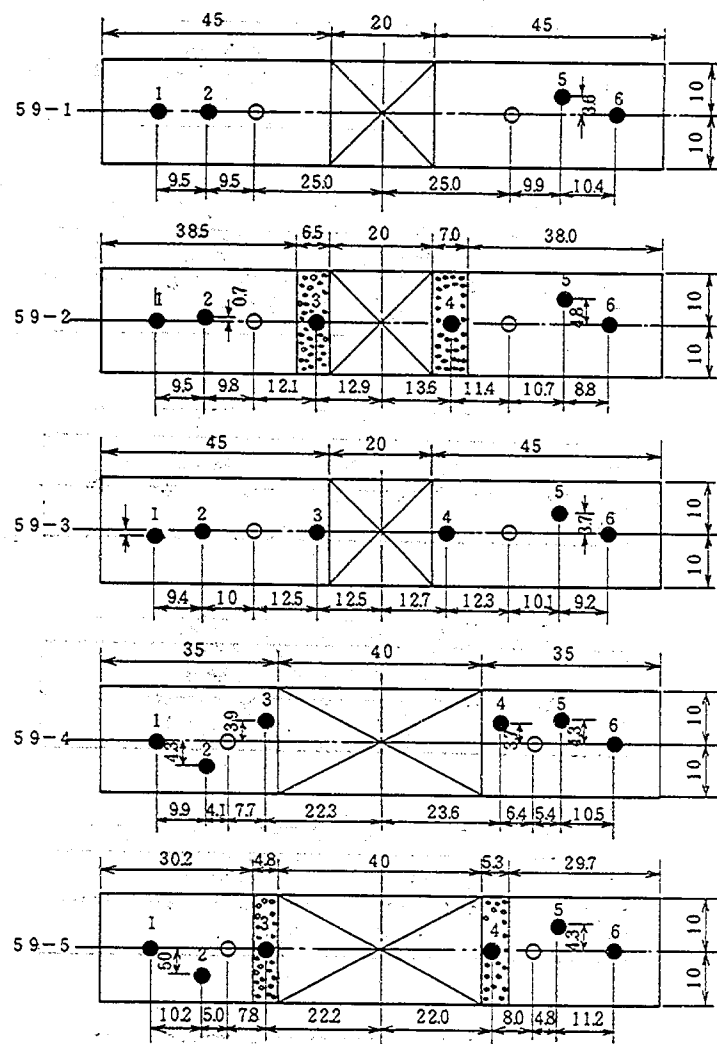
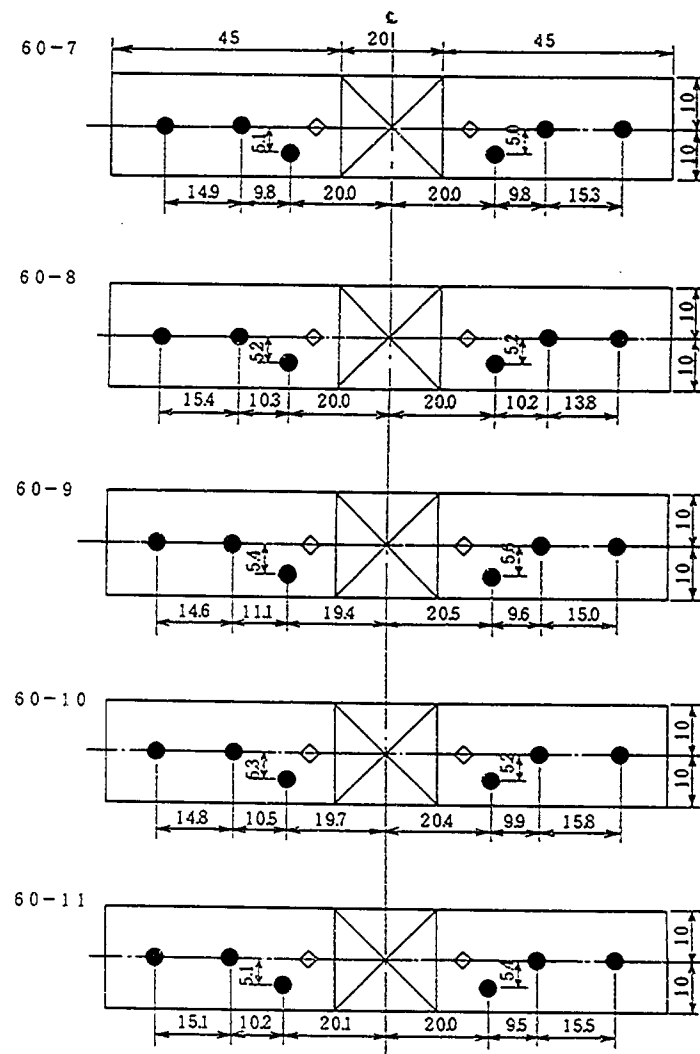
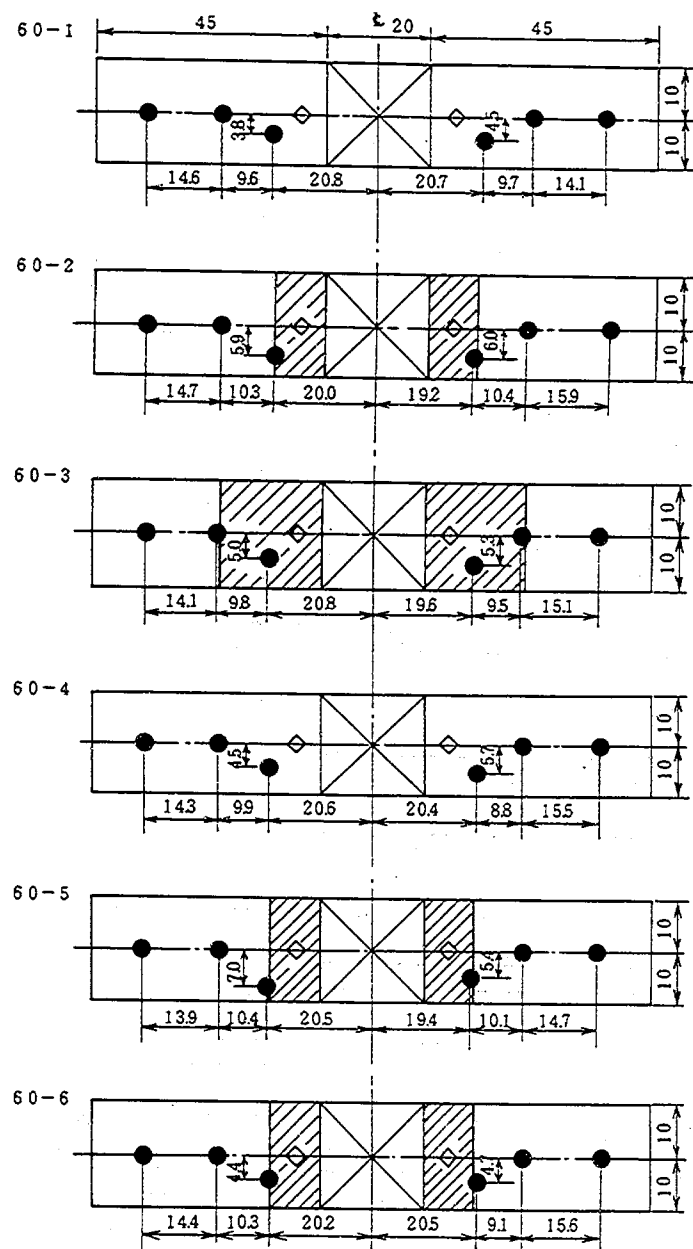


图 3.1 6(1) 地表面变位测定位置



凡 例

- 目視用標点
- ◇ ダイヤルゲージ式変位計
- 摺動式変位計

図 3.1 6(2) 地表面変位測定位置

模型地盤内に設置した加速度計と間隙水圧計は、加振中の計器の回転や液状化時の計器の沈下を防ぐ目的で、図3.17のようにT字型に組んだプラスチック板上に針金で固定して設置した。また、間隙水圧計のセンサー前面にあるポーラスストーンは、煮沸による脱気を行ってから取り付けた。

地表面変位を変位計で測定するときには、地表面上にT字型に組んだプラスチック板を設置し、その変位を測定した。また、地表面変位を標尺で測定するときの標点は、プラスチックの薄板(30mm×40mm、厚さ1.5mm)に直径3mm、長さ85mmのねじを差し込んだもので、ねじ長のうち50mmの部分を地中に差し込んで固定した。

計器を用いた測定データは全てデジタルデータレコーダに記録した。ただし、昭和60年度に行った実験では、実験終了後にデジタルデータレコーダの故障が判明し、データ処理が不能となったため、測定結果は全てペンレコーダの記録を用いて整理した。ペンレコーダでモニターした計器は、図3.15に示した通りである。

3.3.3 加振条件

各模型の加振条件を初期物性値と合わせて表3.5(1)~(4)に示す。加振は、小型せん断土槽の長手方向の水平加振とし、全ケースについて振動数が2Hzの正弦波で加振した。加振時間は実験No.59-11-3以外は全て10秒間である。No.59-11-3は掘割道路模型が浮上がるまで加振を続けた。

表3.5に示した加振条件の台加速度は、各実験での振動台加速度の実測値を示したものである。この台加速度は、振動台に取り付けた加速度計の記録より次のように決定した。

振動台に取り付けた加速度計の記録では、図3.18に示すように最初の立ち上がり加速度が小さめになっている。そこで、台加速度としては図3.18に示すように、ほぼ加速度のピークが一定になった区間の平均両振幅の半分の値を用いた。

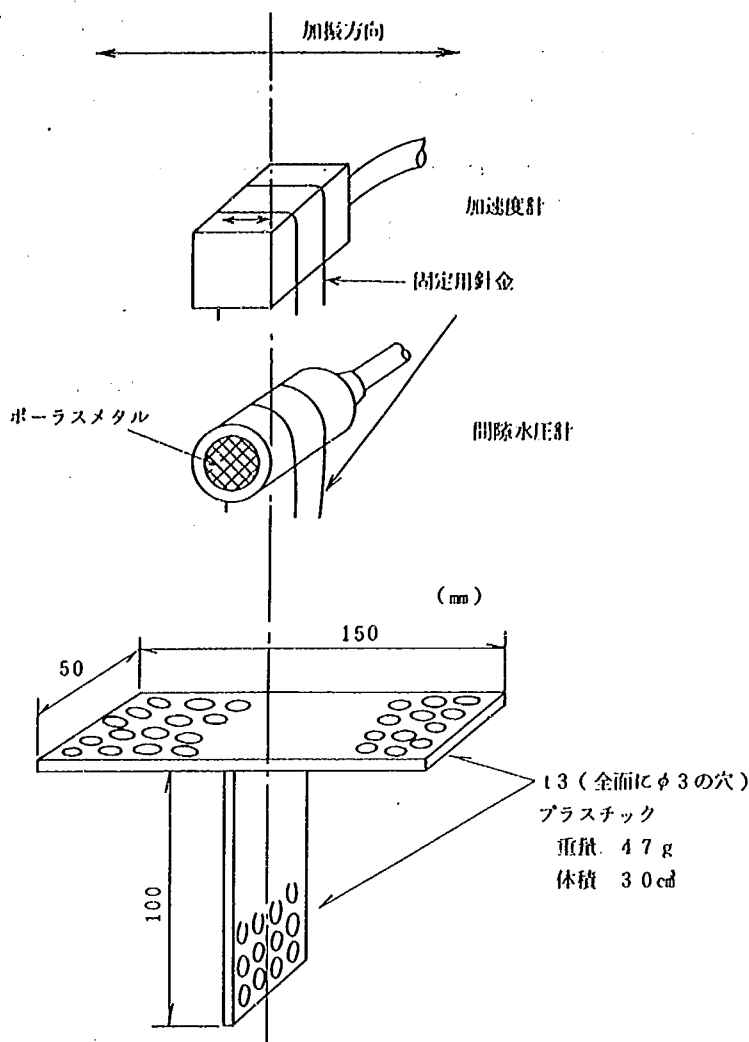


図3.17 地盤内の計器設置方法

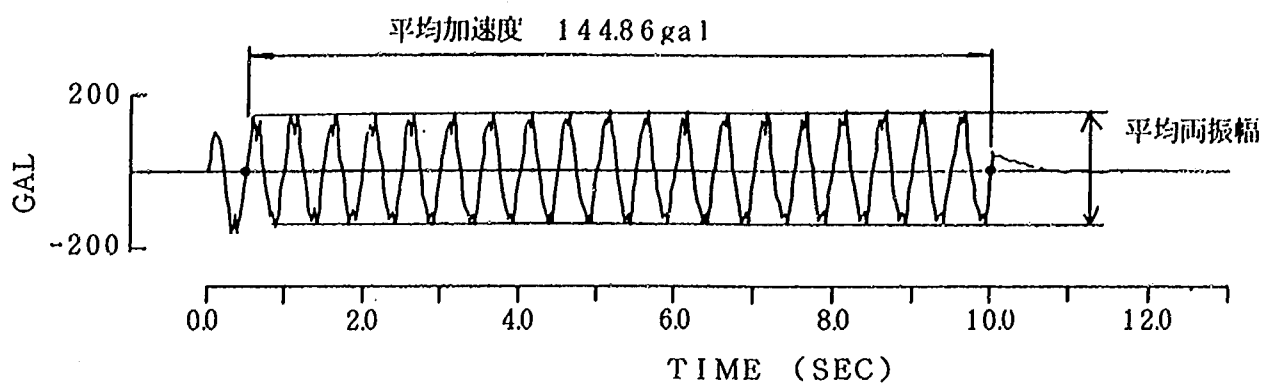


図3.18 台加速度記録例

4. 実験結果及び考察

4.1 実験結果の概略

各模型地盤の実験結果の概略を表 4.1 (1)、(2)に示す。掘割道路模型を設置した模型地盤では掘割道路模型の浮上がり量に着目し、掘割道路模型のない模型地盤では過剰間隙水圧と応答加速度に着目して整理した。

4.2 測定値の時刻歴と目視による最終変位量

図 4.1 (1)～(20)に、台加速度・過剰間隙水圧・変位及び応答加速度の時刻歴の例を、掘割道路模型を設置した模型地盤について1つずつ示す。掘割道路模型が浮き上がったケースでは、初めて浮上がりの生じた加振ステップにおける測定値を示した。

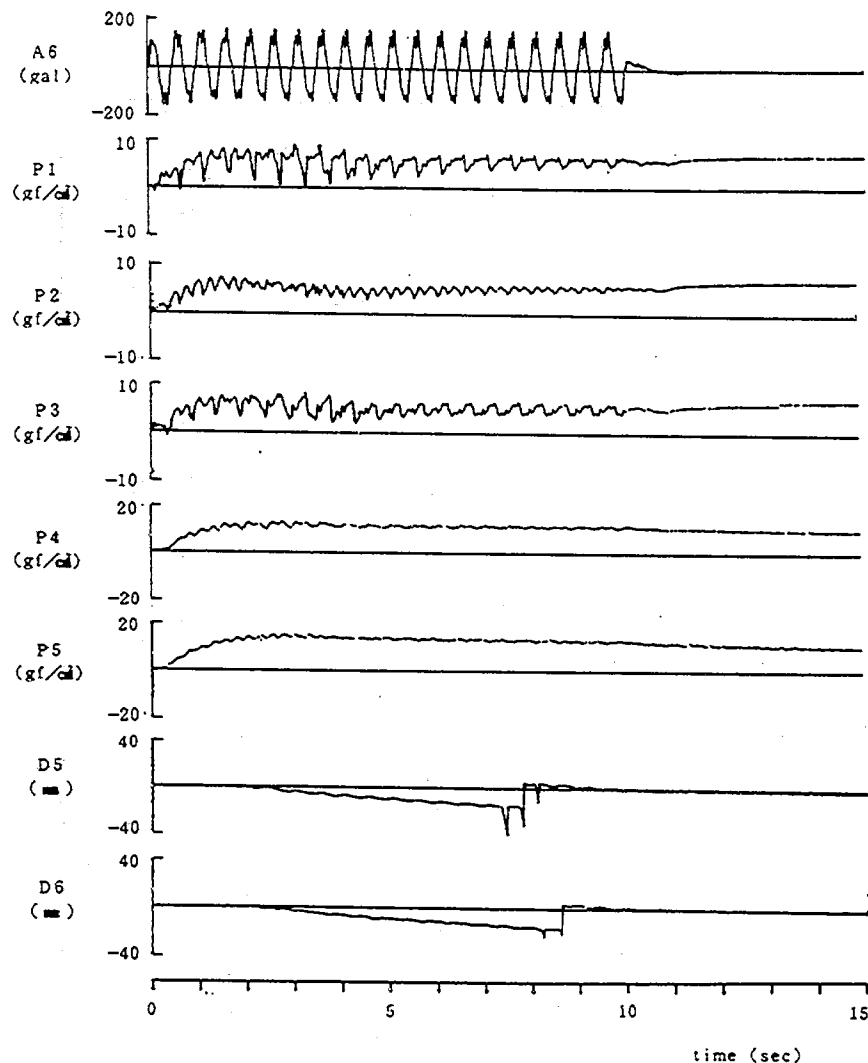
表 4.2 (1)～(4)には、各加振ステップにおける地盤表面及び掘割道路模型の目視による最終変位量(標尺を用いて測定した値)を示す。59年度に行った各実験では、鉛直方向のほかに水平方向の変位量も測定したが、60年度の実験では鉛直方向のみの測定を行った。

表 4. 1 (1) 実験結果の概略

模型番号	実 験 結 果
59-1	徐々に加振加速度を増すステップ加振を行ったが、145 gal の加振（59-1-4）ではじめて掘割模型が18 mm（目視平均）浮上った。
59-2	140 gal レベルの加振を2回行ったが、掘割模型の浮上がりは生じなかった。
59-3	140 gal レベルの加振を2回行ったが、1回目の加振で掘割模型が17 mm（目視平均）浮上った。
59-4	140 gal レベルの加振を2回行ったが、1回目の加振で掘割模型が5 mm（目視平均）浮上った。
59-5	140 gal レベルの加振を2回行ったが、掘割模型の浮上がりは生じなかった。
59-6	徐々に加振加速度を増すステップ加振を行ったが、134 gal の加振（59-6-5）で地表から20 cmの深さまではば液状化し、応答加速度も乱れた。
59-7	136 gal、151 gal、183 gal の順にステップ加振を行ったが、183 gal の加振（59-7-3）で地表から20 cmの深さまではば液状化し、応答加速度も乱れた。
59-8	徐々に加振加速度を増すステップ加振を行ったが、加振加速度を308 gal（59-8-10）まで大きくしてはじめて掘割模型が4 mm（目視平均）浮上った。
59-9	105 gal、58 gal、125 gal の順に加振を行ったが、1回目の105 gal 加振時に掘割模型が38 mm（目視平均）浮上った。
59-10	140 gal レベルの加振を2回行ったが、1回目の加振で掘割模型が9 mm（目視平均）浮上った。
59-11	140 gal レベルの加振を2回行ったあと、130 gal レベルで長時間の加振を行ったが、1回目の加振で掘割模型が11 mm（目視平均）浮上った。

表 4.1 (2) 実験結果の概略

模型番号	実 験 結 果
60-1	徐々に加振速度を増すステップ加振において、133 gal 加振時に 5 mm、155 gal 加振時に 17 mm 掘割模型の浮上がりを生じた。
60-2	1 回目に 164 gal の加振を行ったあと、108 gal からのステップ加振を行ったが、1 回目の加振時に掘割模型が 5 mm (目視平均) 浮上った。
60-3	300 gal レベルまでステップ加振を行ったが、掘割模型の浮上がりは生じなかった。
60-4	ステップ加振において 127 gal 加振時に掘割模型が 7 mm (目視平均) 浮上った。
60-5	300 gal レベルまでステップ加振を行ったが、掘割模型の浮上がりは生じなかった。
60-6	ステップ加振において 125 gal 加振時に掘割模型が 6 mm (目視平均) 浮上った。
60-7	ステップ加振において 1 回目の 87 gal 加振時に掘割模型が 16 mm (目視平均) 浮上がり、その後の加振 (100~140 gal) でも 7~10 mm の浮上がりを生じた。
60-8	ステップ加振において 109 gal 加振時に掘割模型が 5 mm (目視平均) 浮上った。
60-9	230 gal レベルまでステップ加振を行ったが、掘割模型の浮上がりはほとんど生じなかった。164~205 gal の加振で、1 mm 程度のわずかな浮上がりを生じた。
60-10	220 gal レベルまでステップ加振を行ったが、掘割模型の浮上がりはほとんど生じなかった。183~224 gal の加振で、0.5~1 mm 程度のわずかな浮上がりを生じた。
60-11	220 gal レベルまでステップ加振を行ったが、掘割模型の浮上がりはほとんど生じなかった。207~224 gal の加振で、0.5~1 mm 程度のわずかな浮上がりを生じた。



実験No 59-1-4

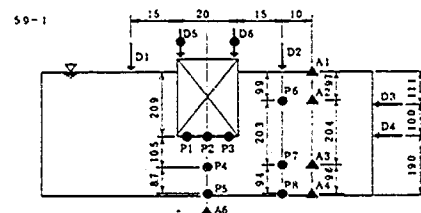
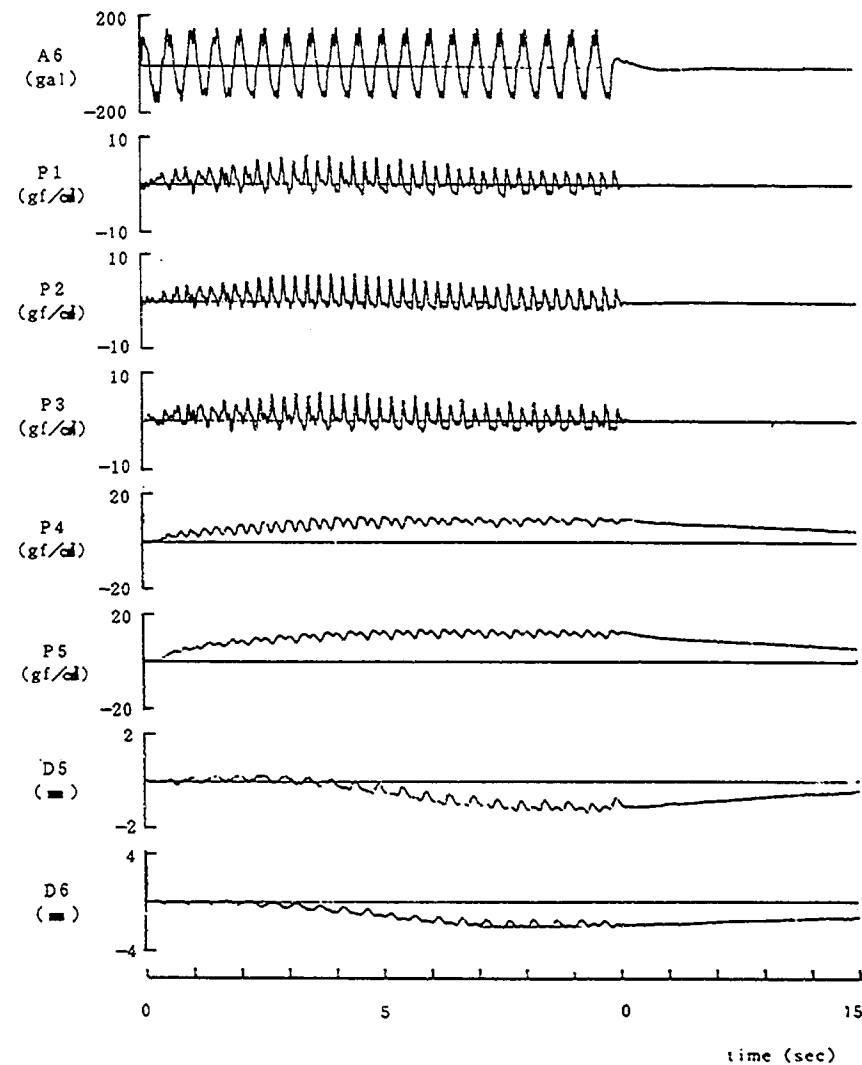


図 4.1 (1) 測定値の時刻歴



実験No 59-2-1

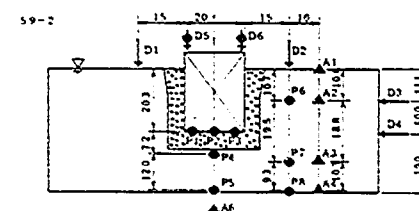


図 4.1 (2) 測定値の時刻歴

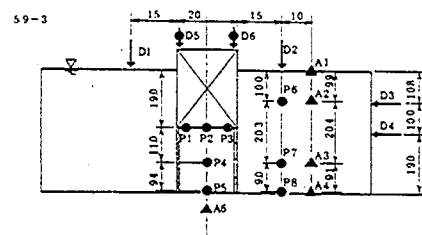
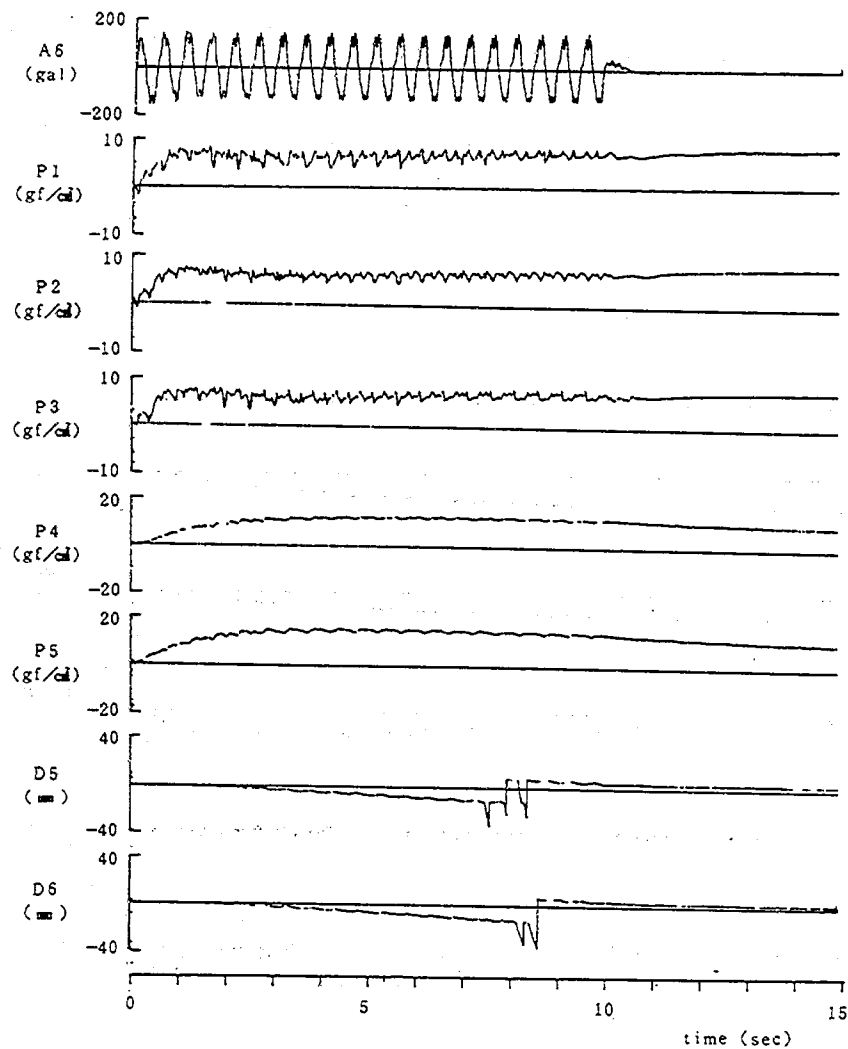


図 4.1 (3) 測定値の時刻歴

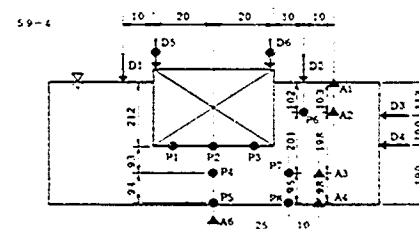
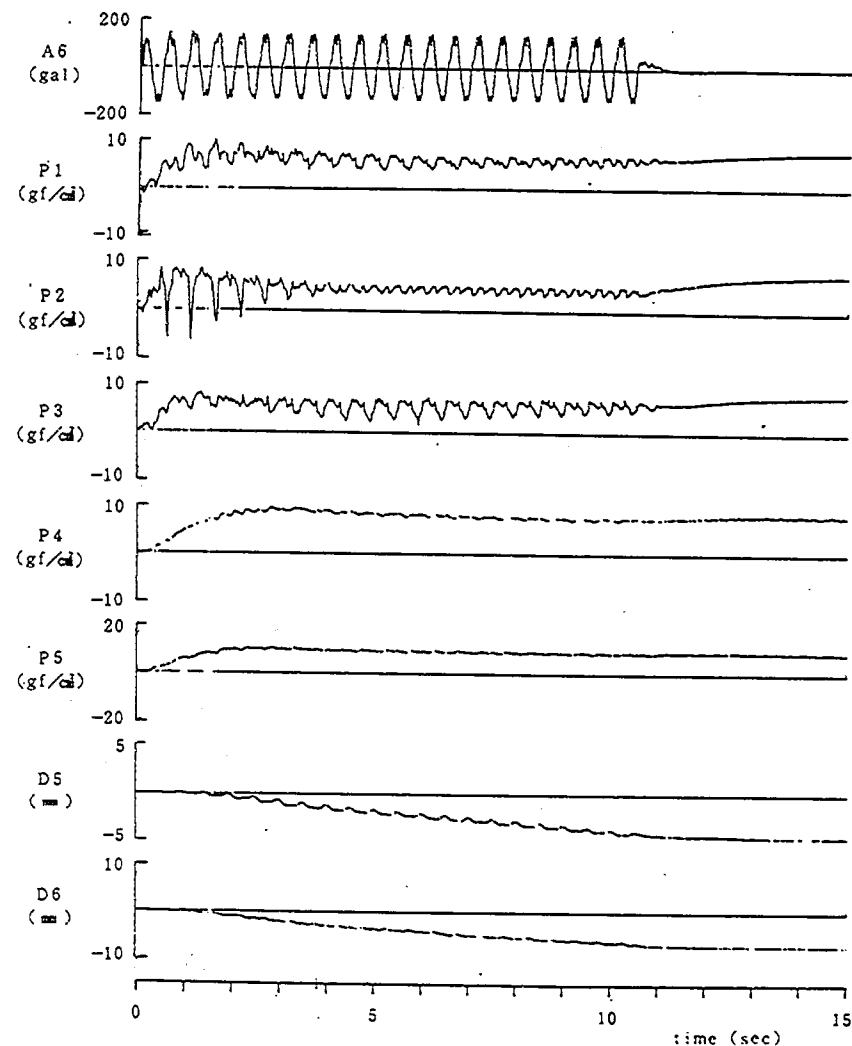
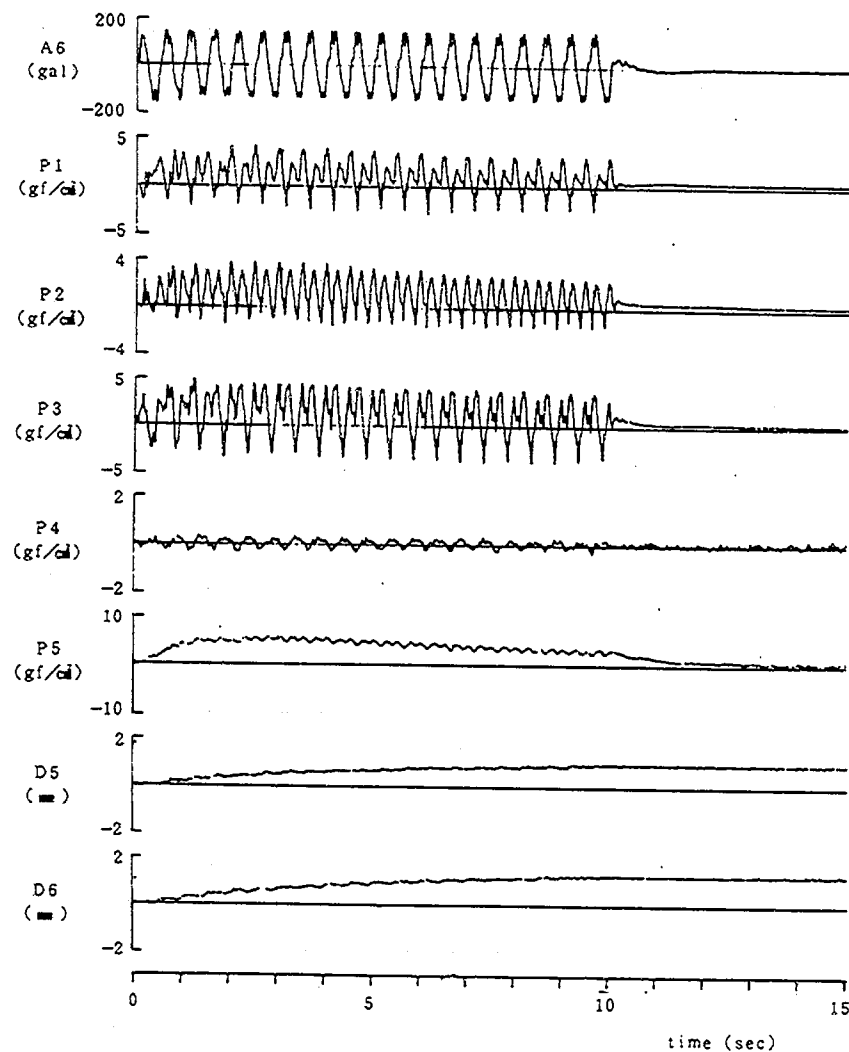


図 4.1 (4) 測定値の時刻歴



実験No. 59-5-1

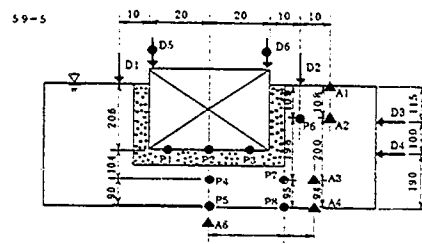
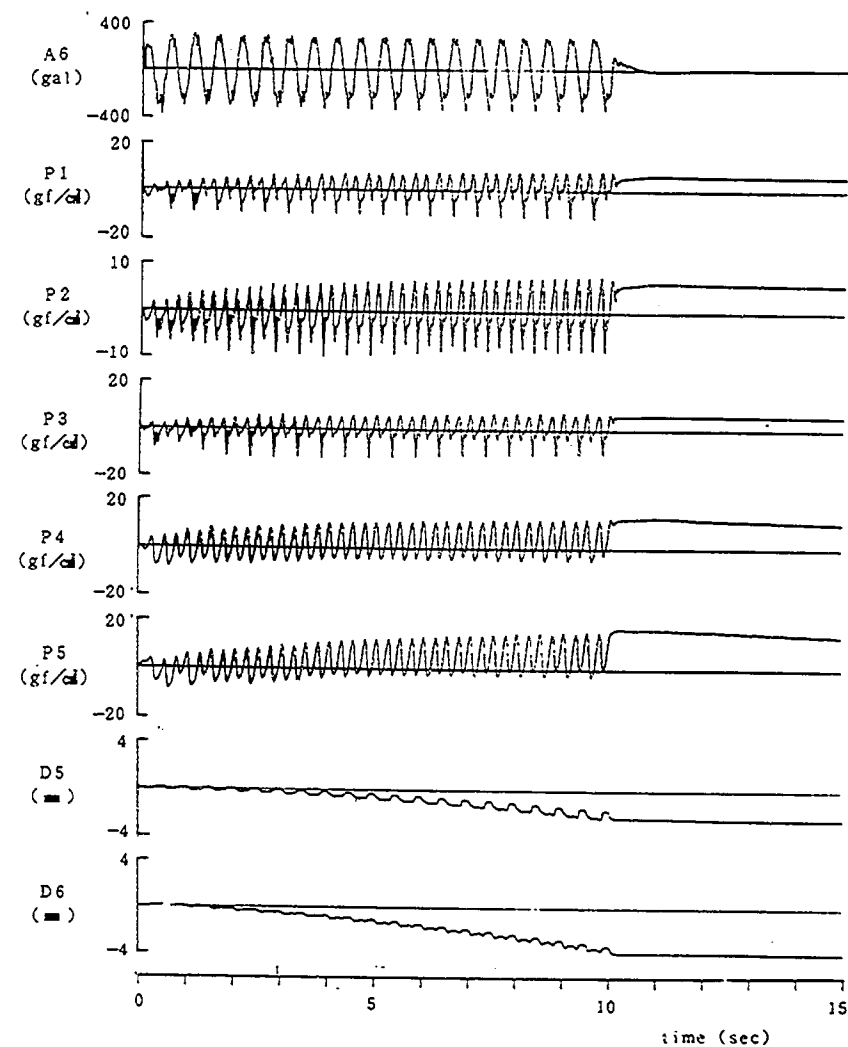


図 4.1 (5) 測定値の時刻歴



実験No 59-8-10

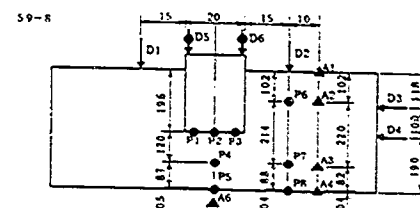
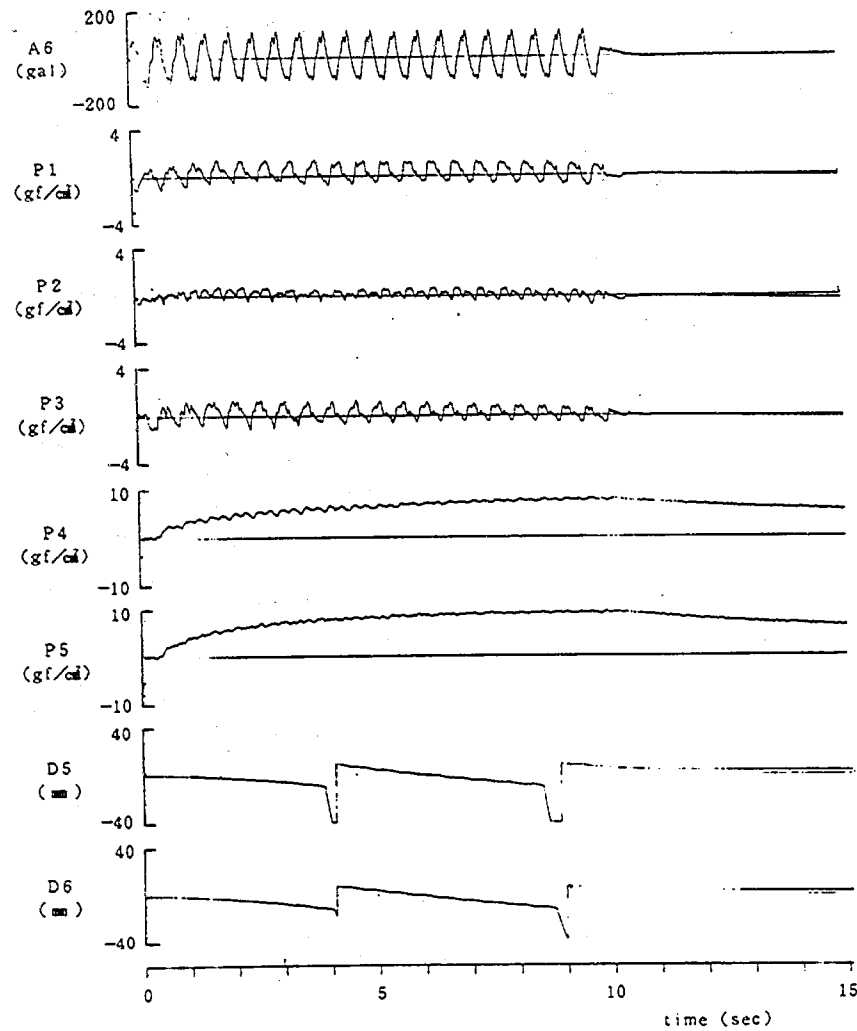


図 4.1 (6) 測定値の時刻歴



実験No 59-9-1

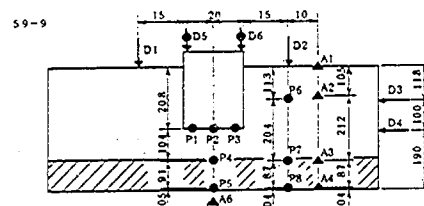
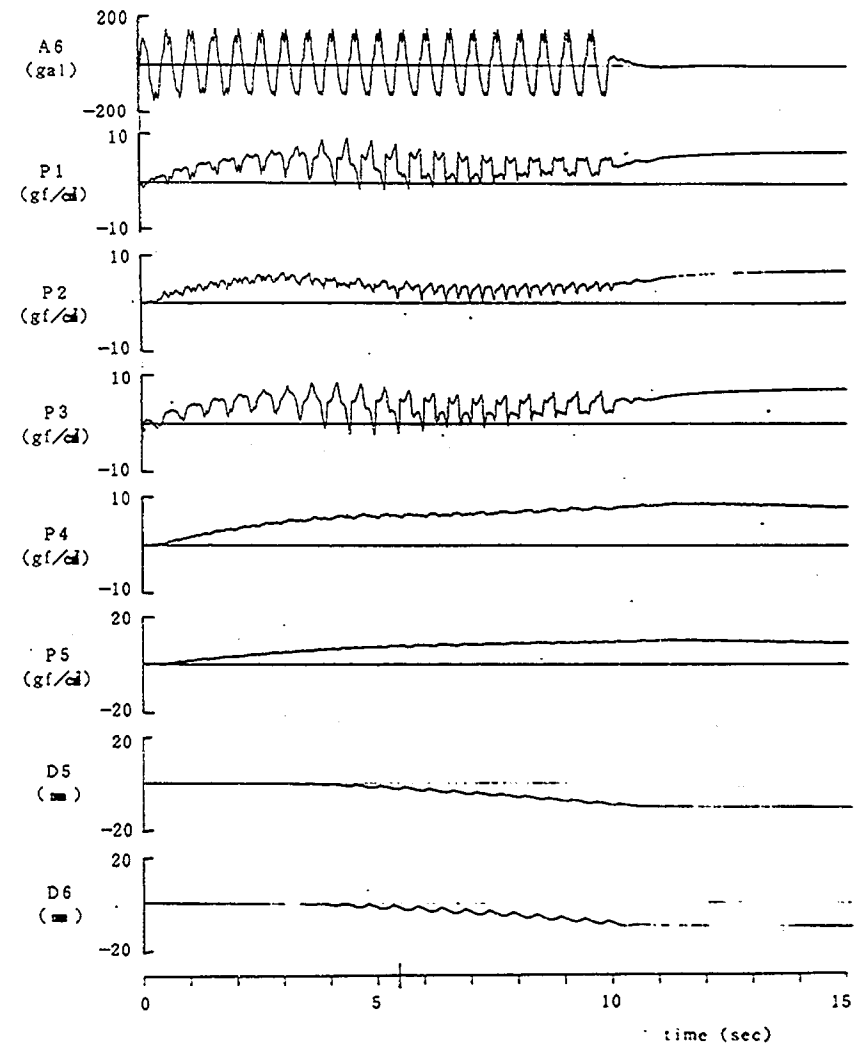


図 4.1 (7) 測定値の時刻歴



実験No 59-10-1

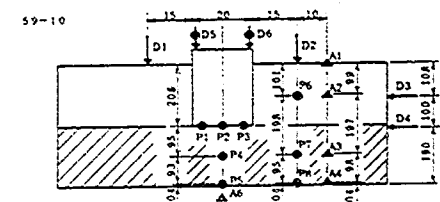
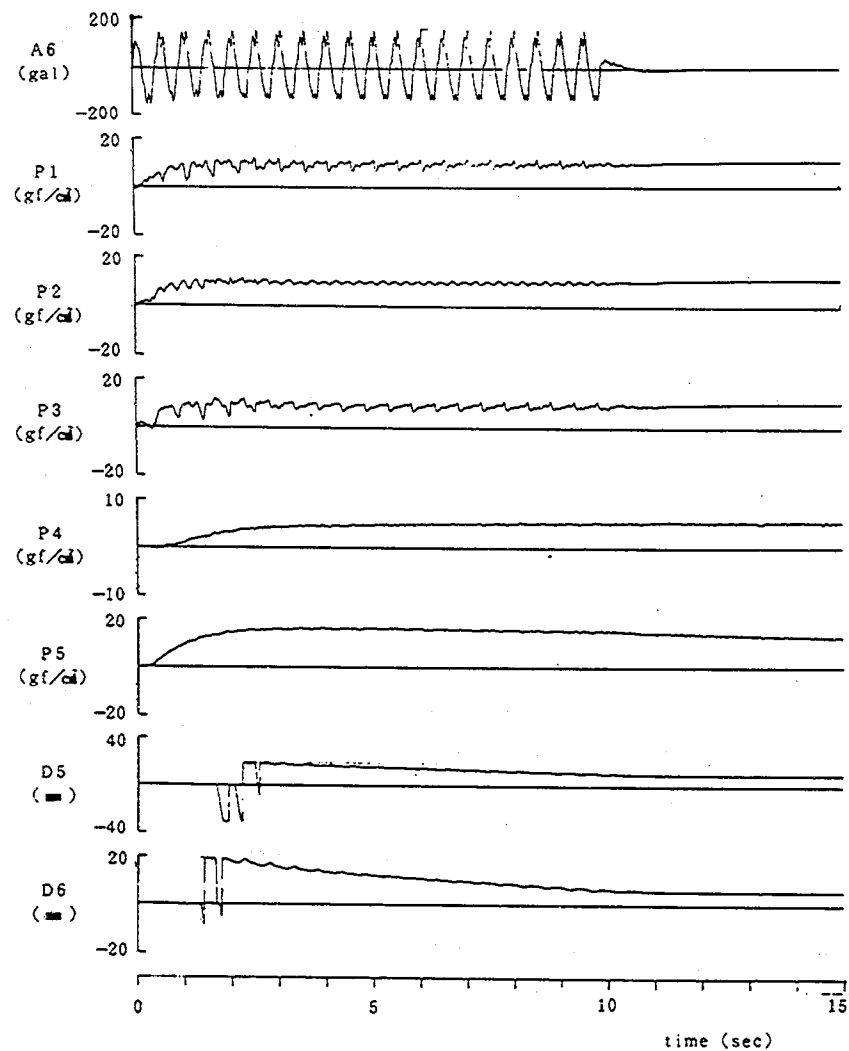


図 4.1 (8) 測定値の時刻歴



実験No. 59-11-1

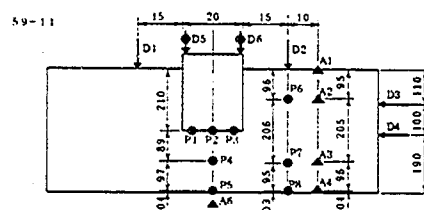
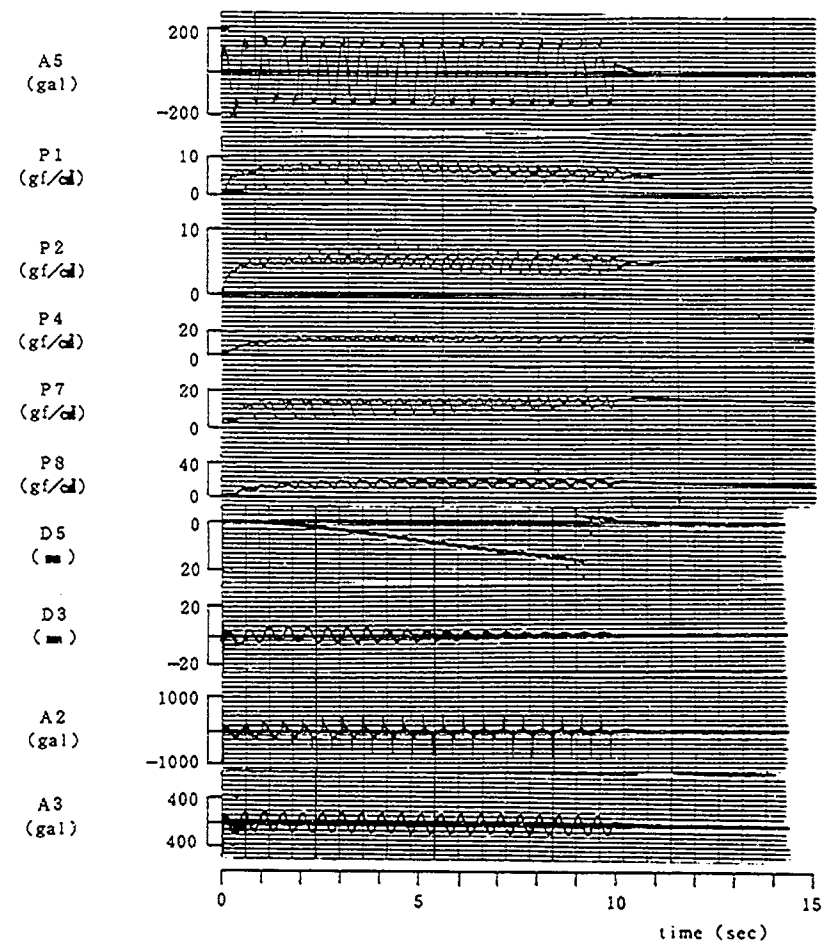


図 4.1 (9) 測定値の時刻歴



実験No. 60-1-5

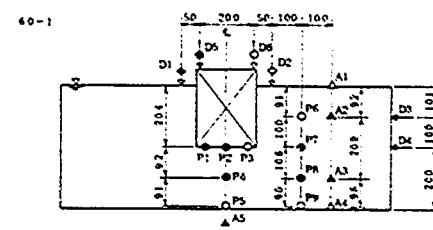
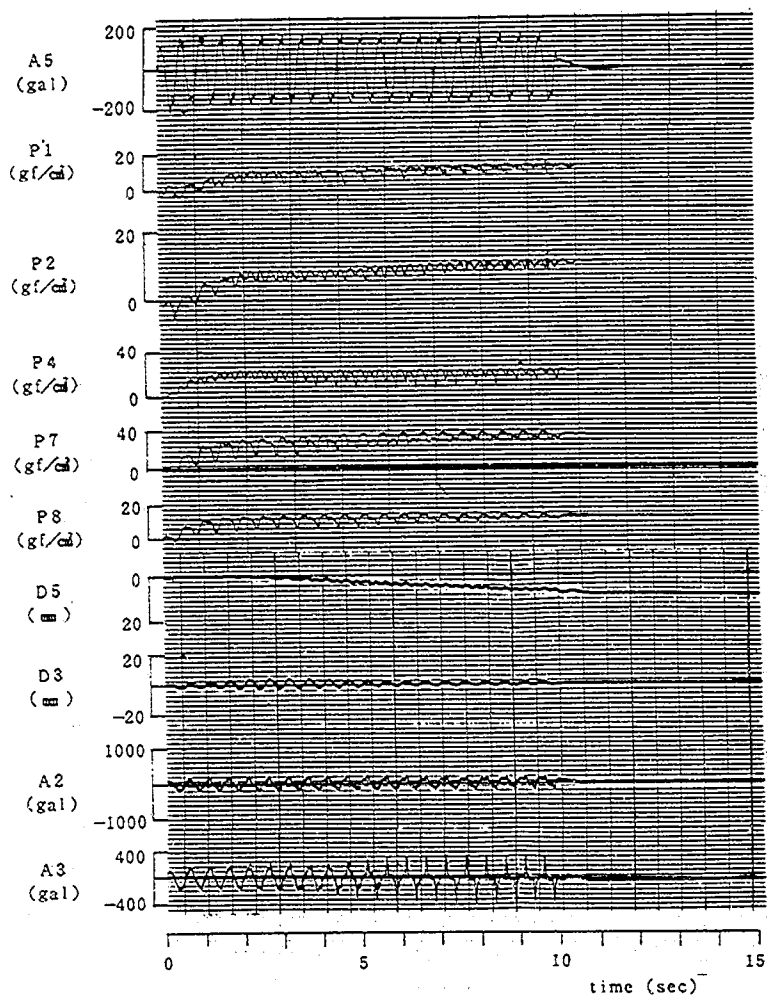


図 4.1 (10) 測定値の時刻歴



実験No. 60-2-1

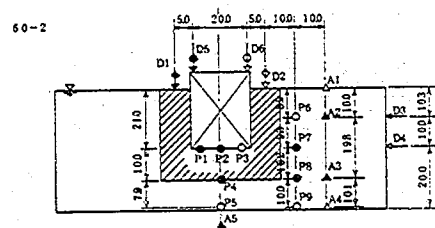
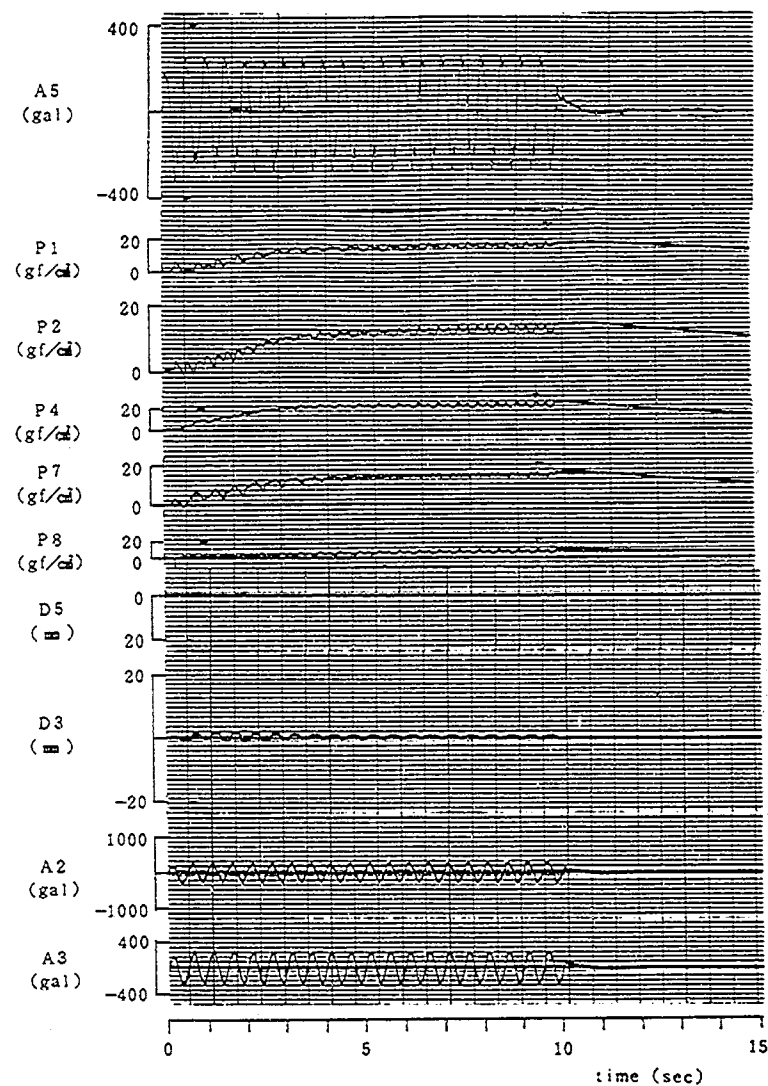


図 4.1 (11) 測定値の時刻歴



実験Na 60-3-9

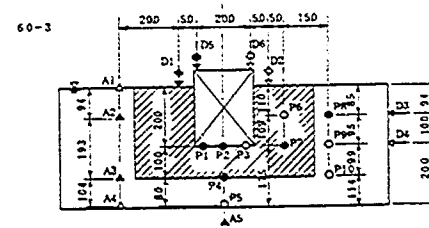


図 4.1 (12) 測定値の時刻歴

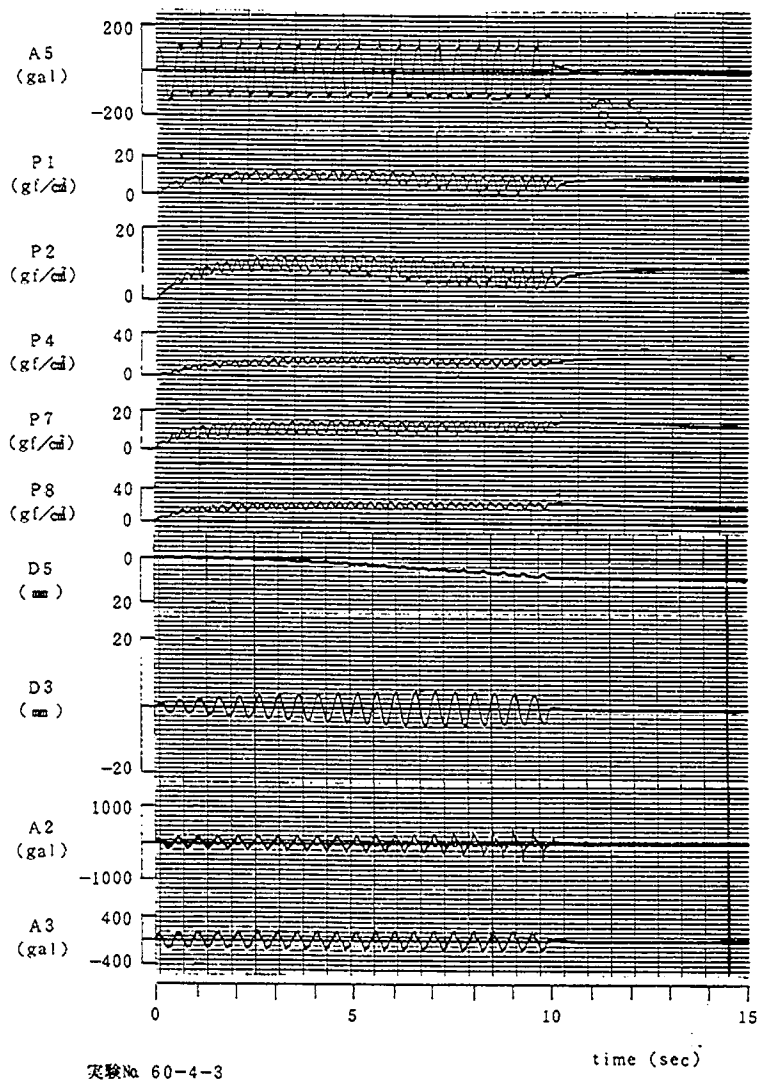


図 4.1 (13) 測定値の時刻歴

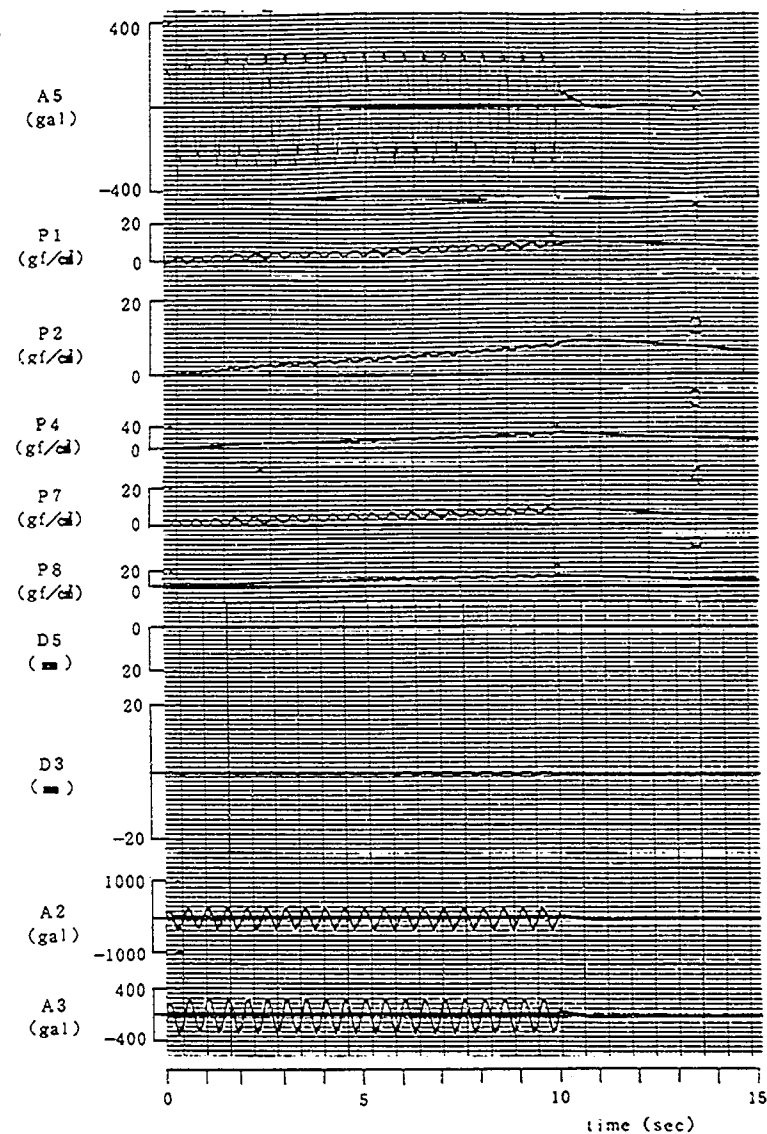
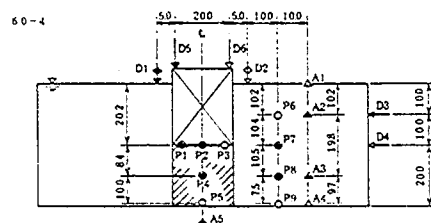
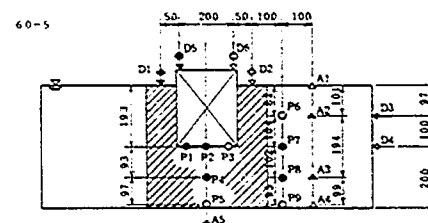
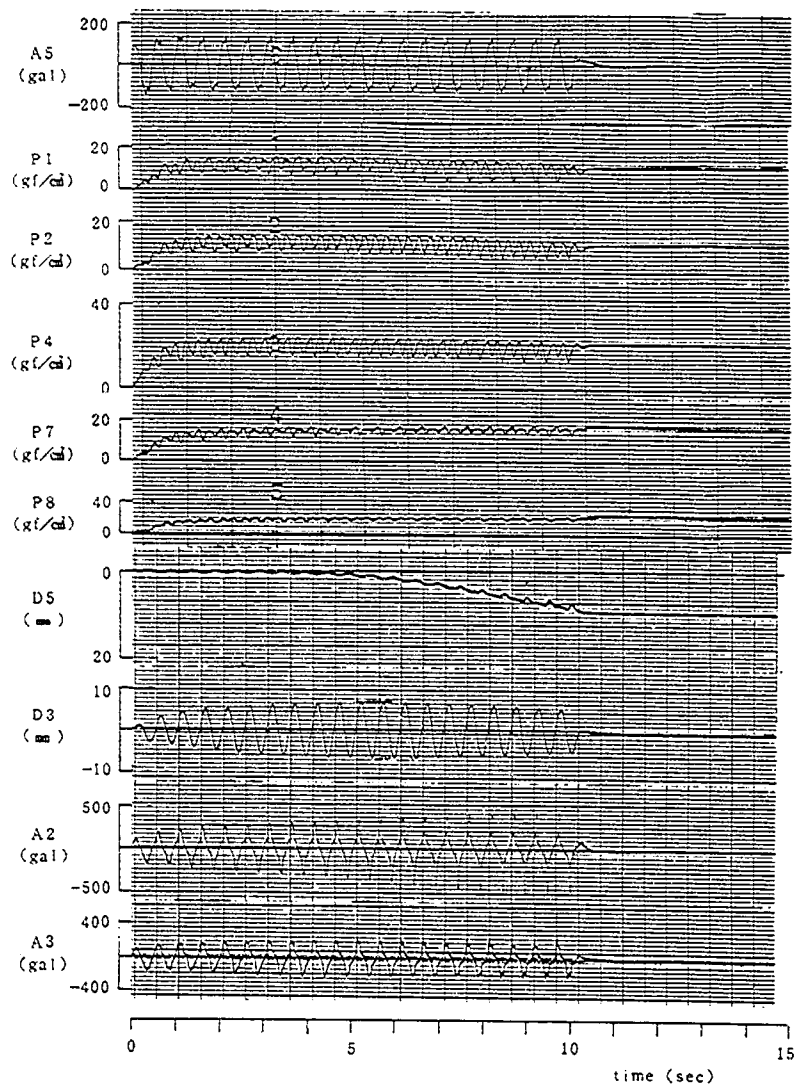


図 4.1 (14) 測定値の時刻歴





実験No. 60-6-3

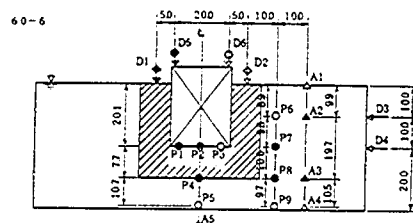
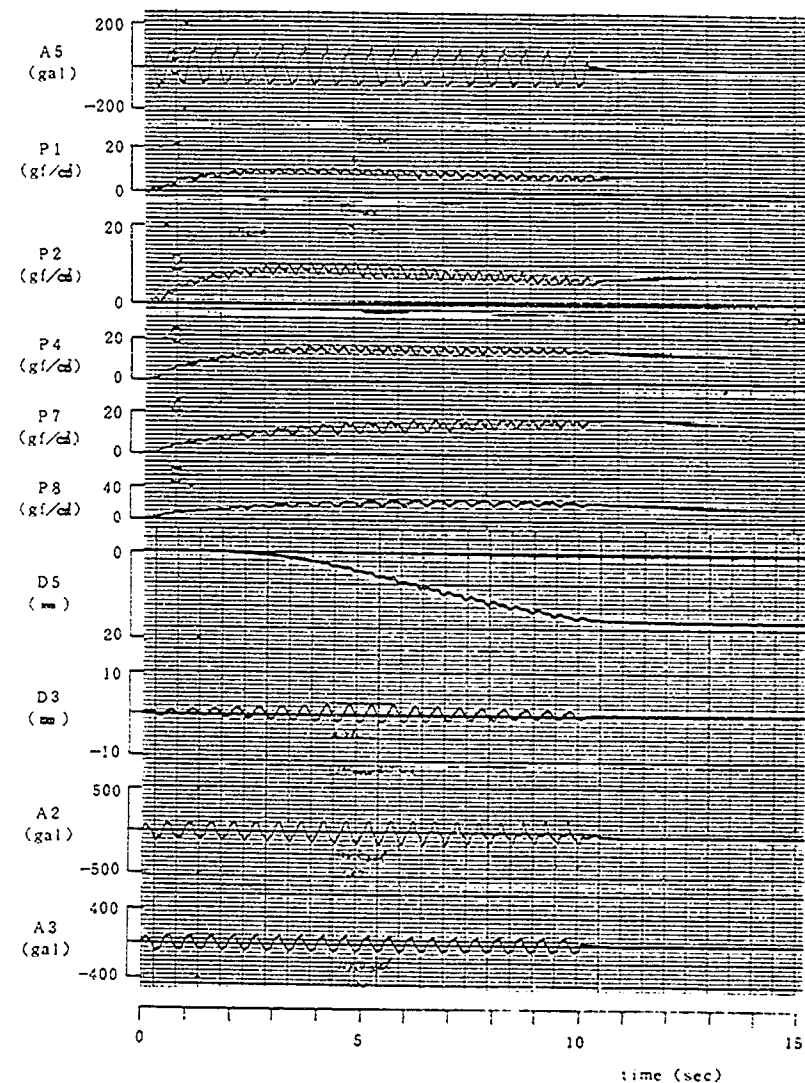


図 4.1 (15) 測定値の時刻歴



実験No. 60-7-1

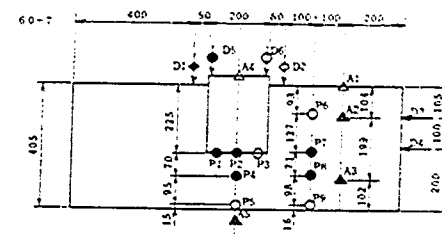
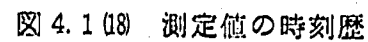
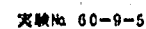
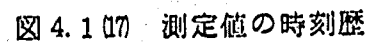
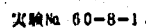


図 4.1 (16) 測定値の時刻歴



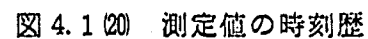
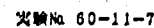
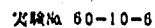


表 4.2 (1) 目視による最終変位量

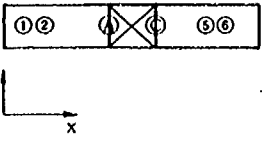
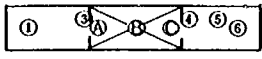
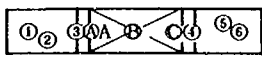
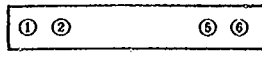
模型 No	測 定 位 置	実験 No	台加速度 (gal)	方向	変 位 量						単位mm			備 考
					1	2	3	4	5	6	掘削模型上面 A B C			
59-1	 Zは鉛直下方が正	59-1-1	75.9	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Z	10	-	-	-	10	10	-	-	-	
		59-1-2	91.2	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Z	10	20	-	-	-	-	10	-	-	
		59-1-3	109.8	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Z	15	10	-	-	10	10	10	-	-	
		59-1-4	144.9	X	320	370	-	-	-140	-20	-	-	-	
				Y	10	30	-	-	-10	-30	-	-	-	
				Z	185	160	-	-	170	130	-190	-	-170	
		59-1-5	144.1	X	00	460	-	-	200	30	-	-	-	
				Y	50	320	-	-	-100	-	-	-	-	
				Z	140	230	-	-	90	120	-70	-	-80	
		59-1-6	144.5	X	260	-	-	-	-10	-	-	-	-	
				Y	50	-	-	-	-60	-20	-	-	-	
				Z	60	-	-	-	60	60	-10	-	-10	
59-2		59-2-1	144.7	X	10	30	-	-	-40	-50	-	-		
				Y	-20	-100	-	-	80	-	-	-		-
				Z	160	30	140	90	130	130	10	-		-10
		59-2-2	145.2	X	20	230	-	-	107	30	-	-		-
				Y	30	100	-	-	-	10	-	-		-
				Z	90	90	30	30	70	60	10	-		-
59-3		59-3-1	140.8	X	40	180	-0.1	230	-140	50	-	-	実験後の有孔板と掘削模型との間隔は18.9と19.4	
				Y	20	20	-2.0	-50	-130	-20	-	-		-
				Z	140	130	120	130	120	130	-190	-		-160
		59-3-2	151.2	X	60	450	-70	-130	-340	-80	-	-		-
				Y	-10	10	50	-30	-60	-10	-	-		-
				Z	70	190	100	110	70	100	-	-		-30
59-4		59-4-1	136.7	X	170	260	-80	30	-190	-20	-	-		
				Y	30	420	160	-50	-250	-20	-	-		-
				Z	140	285	130	120	170	130	-65	-55		-40
		59-4-2	138.2	X	150	-	-370	110	-	-50	-	-		-
				Y	20	-	-180	-260	-190	10	-	-		-
				Z	50	130	90	60	115	-20	-15	-15		-
59-5		59-5-1	140.5	X	20	30	-30	70	-20	10	-	-		
				Y	-190	90	30	-20	-	30	-	-		-
				Z	80	70	40	40	70	70	15	10		20
		59-5-2	137.5	X	-10	-40	-50	-30	20	10	-	-		-
				Y	180	20	-	10	-10	10	-	-		-
				Z	30	30	20	10	05	10	10	-		-10
59-6		59-6-1	54.7	X	-	-	-	-	-	-	-	-		
				Y	-	-	-	-	-	-	-	-		-
				Z	-	-	-	-	-	-	-	-		-
		59-6-2	72.9	X	-	-	-	-	-	-	-	-		-
				Y	-	-	-	-	-	-	-	-		-
				Z	-	-	-	-	-	-	-	-		-
		59-6-3	94.4	X	-	-	-	-	-	-	-	-		-
				Y	-	-	-	-	-	-	-	-		-
				Z	15	-	-	-	15	15	-	-		-
		59-6-4	110.2	X	-	-	-	-	-	-	-	-		-
				Y	-	-	-	-	-	-	-	-		-
				Z	30	25	-	-	25	25	-	-		-
		59-6-5	134.3	X	170	40	-	-	10	-60	-	-		-
				Y	10	40	-	-	10	50	-	-		-
				Z	110	125	-	-	80	100	-	-		-
		59-6-5	160.0	X	-30	-60	-	-	-20	30	-	-		-
				Y	20	-20	-	-	10	10	-	-		-
				Z	110	100	-	-	80	10	-	-		-

表 4.2 (2) 目視による最終変位量

模型 No	測 定 位 置	実 験 No	台加速度 (gal)	方向	変 位 量						単位mm			備 考
					1	2	3	4	5	6	掘削模型上面			
											A	B	C	
59-7		59-7-1	136.1	X	-	30			-	70				
				Y	-05	-05			-	25				
				Z	25	25			20	10				
		59-7-2	151.4	X	50	80			45	50				
				Y	-	05			-	05				
				Z	40	55			45	50				
		59-7-3	183.3	X	40	50			05	80				
				Y	-	-			15	-				
				Z	80	80			80	80				
59-8		59-8-1	120	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	-	-			-	-				
		59-8-2	140	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	-	-			05	-				
		59-8-3	160	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	-	10			-	15	-			
		59-8-4	188.4	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	-	-05			-	05	-05		-05	
		59-8-5	201.3	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	-05	05			-	05	05		05	
		59-8-6	225.4	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	-	-			05	-				
		59-8-7	246.6	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	05	-05			05	-	-05		-05	
		59-8-8	266.2	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	-05	-			05	15	05		-	
		59-8-9	289.5	X	-	-			-	-				
				Y	-	-			-	-				
				Z	05	05			-	-	15		-05	
		59-8-10	307.9	X	-20	10			-40	-20				
				Y	-05	-15			-	05				
				Z	20	20			20	-	-35		-35	
		59-8-11	320.8	X	20	-20			-	10				
				Y	-10	-05			10	-05				
				Z	20	20			20	15	-50		-40	
		59-8-12	417.3	X	-20	-20			-40	-40				
				Y	05	10			-	40				
				Z	15	20			25	20	-35		-30	
59-9		59-9-1	105.3	X	260	250			-230	-150				
				Y	-30	-45			-130	90				
				Z	215	210			170	160	-360		-390	
		59-9-2	57.9	X	-10	-20			-20	-40				
				Y	-	-			-10	10				
				Z	10	10			15	10	10		20	
		59-9-3	124.9	X	-10	470			-120	-50				
				Y	30	-20			-50	50				
				Z	130	150			95	90	-120		-120	
59-10		59-10-1	141.2	X	80	190			100	100	-60			
				Y	50	100	-90	-70	-70	20				
				Z	120	110	80	100	100	100	-90		-80	
		59-10-2	140.9	X	90	320	50	70	-110	-170				
				Y	50	50	-	-40	-40	-10				
				Z	60	140	90	100	60	80	-30		-40	
59-11		59-11-1	144.0	X	90	610			-260	-70				
				Y	-20	-180			-130	40				
				Z	230	190			110	190	-90		-135	
		59-11-2	140.9	X	-40	-120			110	190				
				Y	40	170			-50	40				
				Z	150	190			-20	20	-90		-135	
		59-11-3	132.3	X	-160	550			-420	-40				
				Y	-20	10			-100	-30				
				Z	290	110			250	110	-		-15	

※ 表中の は、測定を実施していないもの。
また は、変化の無い事を意味している。

表 4.2 (3) 目視による最終変位量

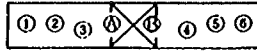
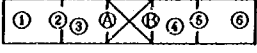
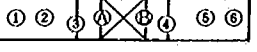
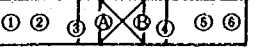
模型 No	測 定 位 置	火 態 No	台 加 速 (gal)	鉛 直 変 位 量						単位mm		備 考
				1	2	3	4	5	6	掘削模型上部		
										A	B	
60-1		60-1-1	89.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	
		60-1-2	79.8	1.0	1.0	0.5	- 0.5	0.5	-	1.0	-	
		60-1-3	111.0	1.0		0.5	1.5	0.5	1.0	-	-	
		60-1-4	133.2	8.0	8.0	12.5	9.0	8.5	3.0	- 4.5	- 5.0	
		60-1-5	155.4	16.0	16.0	11.0	12.5	10.5	12.0	-16.5	-18.0	
		60-1-6	149.8	9.0	7.0			8.0	8.0	- 5.0	- 5.0	
60-2		60-2-1	163.8	16.0	16.0	12.0	9.5	19.0	14.0	- 4.5	- 5.0	
		60-2-2	107.9	8.5	7.5	10.0	8.5	0.5	4.5	- 4.0	- 1.0	
		60-2-3	125.0	4.5	4.5	5.0	4.5	4.5	3.8	- 2.0	- 1.0	
		60-2-4	192.2	4.0	4.5	4.0	9.0	3.5	3.0	-	-	
		60-2-5	163.7	4.0	3.0	2.5	2.5	5.5	3.5	-	-	
60-3		60-3-1	81.9	-	-	-	-	-	-	-	-	掘削模型 とメンブ レンの摩 擦大
		60-3-2	109.7	-	-	-	-	-	-	-	-	
		60-3-3	125.0	-	0.5	-	-	-	-	-	-	
		60-3-4	142.2	-	1.0	-	1.5	0.5	-	-	-	
		60-3-5	168.1	-	-	-	-	-	0.5	-	1.0	
		60-3-6	176.7	-	-	-	-	-	-	0.5	-	
		60-3-7	211.1	1.0	0.5	1.0	-	0.5	0.5	0.5	-	
		60-3-8	232.9	-	2.0	0.5	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	
		60-3-9	259.2	1.5	1.5	1.0	3.0	4.5	1.5	-	-	
		60-3-10	271.5	4.5	6.0	7.5	8.0	5.5	3.0	-	-	
		60-3-11	301.6	7.0	6.0	9.5	2.0	3.5	8.0	- 1.3	- 3.1	
60-4		60-4-1	87.6	- 2.0	1.0	1.0	1.5	2.5	1.5	-	-	
		60-4-2	111.5	5.0	1.0	3.0	3.0	3.0	4.0	- 1.5	- 0.5	
		60-4-3	127.4	10.0	12.0	8.0	6.5	10.5	7.0	- 8.0	- 0.5	
		60-4-4	159.3	10.5	10.0	10.0	9.0	6.5	5.0	- 8.0	- 1.0	
		60-4-5	167.2	8.0	10.0	8.0	6.0	6.0	9.0	- 4.5	- 5.0	
60-5		60-5-1	81.9	-	-	-	1.0	0.5	-	-	-	掘削模型 とメンブ レンの摩 擦大
		60-5-2	107.9	0.5	-	-	-	0.5	-	-	0.5	
		60-5-3	129.3	0.5	1.0	0.5	-	-	0.5	-	-	
		60-5-4	146.5	-	- 0.5	- 0.5	-	- 0.5	- 0.5	-	-	
		60-5-5	118.1	-	0.5	-	-	-	-	-	-	
		60-5-6	189.6	1.0	0.5	1.0	-	0.5	1.0	0.5	-	
		60-5-7	211.1	-	-	-	-	-	-	- 0.5	- 0.5	
		60-5-8	237.0	1.5	1.0	-	1.0	0.5	0.5	-	-	
		60-5-9	254.2	3.0	3.5	2.5	1.0	2.0	1.0	- 0.5	0.5	
		60-5-10	244.4	4.5	5.0	4.0	3.5	4.5	3.0	0.5	-	
		60-5-11	305.9	8.0	6.0	4.5	1.0	4.0	5.5	-	- 0.5	
60-6		60-6-1	84.9	0.3	5.0	2.5	5.5	4.5	3.5	- 0.8	- 1.6	60-6-4,5 において ③は転倒
		60-6-2	103.6	8.6	7.8	6.4	5.3	5.4	4.2	- 1.2	- 1.8	
		60-6-3	125.0	12.6	10.2	10.9	8.8	11.4	12.1	- 7.6	- 3.7	
		60-6-4	145.8	8.8	9.0	13.2	7.9	7.8	7.0	- 6.8	- 4.5	
		60-6-5	162.3	6.6	10.5	12.3	7.5	2.2	7.2	- 1.8	- 1.1	

表 4.2 (4) 目視による最終変位量

機型 No	測 定 位 置	実 験 No	台 速 加 度 (gal)	鉛 直 変 位 量						単位mm		備 考
				1	2	3	4	5	6	掘削模型上面		
										A	B	
60-7		60-7-1	87.4	11.9	12.9	12.1	11.8	11.7	8.1	-13.3	-18.4	
		60-7-2	100.0	10.5	9.8	10.1	10.0	8.0	6.7	-2.2	-6.6	
		60-7-3	123.2	9.0	9.2	7.5	8.3	8.6	6.2	-2.7	-11.0	
		60-7-4	139.5	9.8	12.4	10.7	7.3	8.2	7.8	-2.8	-7.0	
60-8		60-8-1	86.8	5.8	5.2	4.4	5.0	4.2	2.6	0.6	0.2	
		60-8-2	108.5	9.0	7.8	7.9	7.1	6.9	4.5	-3.9	-5.4	
		60-8-3	125.3	7.3	7.1	9.5	6.6	6.1	8.3	-3.9	-4.3	
		60-8-4	144.6	5.7	5.7	2.6	4.0	4.9	3.2	-2.7	-2.1	
		60-8-5	163.9	3.8	5.7	5.6	5.0	4.1	4.1	-1.5	-1.6	
		60-8-6	183.2	3.6	7.1	9.1	13.9	4.7	4.0	-1.0	-0.2	60-8-6 において ②、③、④ は転倒
60-9		60-9-1	91.6	0.2	0.6	0.9	1.7	1.7	0.6	0.1	-0.1	
		60-9-2	113.3	0.9	1.3	1.1	1.2	2.1	1.6	0.4	0.3	
		60-9-3	125.3	1.3	1.5	1.7	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	60-9-4 において ①は転倒
		60-9-4	147.0	10.7	6.9	2.4	5.7	6.2	5.5	0.0	-0.1	
		60-9-5	163.9	/	7.4	7.3	7.2	7.8	4.0	-1.1	-0.9	60-9-7 において ③、④、⑤、⑥ は転倒
		60-9-6	183.2	/	2.0	5.0	6.4	6.6	6.8	-0.9	-1.0	
		60-9-7	204.9	/	6.2	13.2	13.0	8.4	12.0	-0.2	-1.0	60-9-8 において ②は転倒
		60-9-8	229.0	/	11.3	/	/	/	/	0.5	0.2	
60-10		60-10-1	94.0	0.0	0.9	0.4	0.4	0.6	0.6	-0.3	-0.1	
		60-10-2	115.7	1.0	0.7	0.4	1.1	0.4	0.8	0.1	0.3	
		60-10-3	130.1	1.2	1.5	0.7	1.1	1.4	0.5	0.4	0.3	
		60-10-4	149.4	5.9	5.6	2.5	5.0	6.4	2.1	0.0	-0.1	
		60-10-5	163.9	3.4	4.0	4.5	6.7	5.3	4.0	0.0	-0.2	
		60-10-6	183.2	3.3	3.2	3.9	2.5	3.0	3.2	0.3	1.0	
		60-10-7	207.3	2.5	2.1	1.9	0.8	1.9	2.1	-0.4	-0.8	60-10-8 において ①、③、④ は転倒
		60-10-8	224.1	4.5	3.5	6.0	2.1	2.2	2.1	-0.9	0.0	
60-11		60-11-1	91.6	0.6	0.2	0.2	0.0	0.5	-0.1	0.1	-0.3	
		60-11-2	115.7	0.4	0.8	0.7	0.2	0.6	0.5	0.3	-0.1	
		60-11-3	130.1	0.3	1.1	0.6	1.0	0.6	0.9	0.1	0.0	
		60-11-4	149.4	2.3	2.5	1.7	2.6	4.3	2.7	0.6	0.2	
		60-11-5	163.9	3.8	3.4	2.9	4.8	4.9	3.7	-0.1	-0.3	
		60-11-6	183.2	3.7	3.9	5.6	3.4	3.6	2.9	1.2	-0.4	60-11-8 において ①、②、③ ④、⑤、⑥ は転倒
		60-11-7	204.9	3.7	2.8	0.6	2.8	3.3	2.5	-1.5	-0.7	
		60-11-8	229.0	/	/	/	/	/	/	-0.3	-0.4	

4.3 掘割道路模型の浮上がり安全率

4.3.1 浮上がり安全率の定義

地震時に掘割道路の鉛直方向に作用する力として、図4.2に示す5つの力を考える。ただし、鉛直方向の地震動による掘割道路自身の慣性力は考慮していない。

掘割道路の浮上がりを抑える下向きの力と、浮上がりを生じさせる上向きの力の比を、浮上がり安全率¹⁾⁵⁾として定義する。すなわち、浮上がり安全率 F_u を次式で定義する。右辺の記号の意味は図4.2に示した。

$$F_u = \frac{W+Q}{U_s+U_d+F} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

本実験では、掘割道路模型側壁の摩擦抵抗を無視し、常に $Q=0$ とした。このとき、常時（加振前の状態）は $U_d=0$ 、 $F=0$ であるから、常時の浮上がり安全率は次式になる。

$$F_u(\text{常時}) = \frac{W}{U_s} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

本実験では、地下水位が地表面にあるので、式(4.2)による常時の浮上がり安全率は、表3.3において計算した掘割模型のみかけの比重と一致する。

地震時に地盤内で過剰間隙水圧が発生すると、 W と U_s が変わらぬままで $U_d>0$ となり、また場合により $F>0$ となるので、 F_u は常時の値よりも小さくなる。

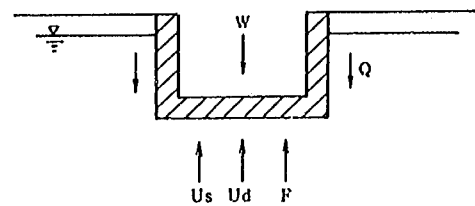
F_u が減少して1.0に等しくなると、掘割道路底面の土粒子が掘割道路を支える力が計算上ゼロになる。 F_u が1.0よりも小さくなると、掘割道路に関する力のつりあいが崩れ、掘割道路は上方へ押し上げられる。実際には、 F_u が1.0を下回る以前でも、地盤が十分に弱体化すれば掘割道路を浮き上がらすような地盤の変形が始まる可能性がある。

なお、(4.1)式の浸透水力に起因する力 F は次のように考えて計算する。

まず、図4.3のように掘割道路直下の土塊（土粒子部分のみ）に作用する力を考えたとき、浸透水力 S （上向きを正とする）が土塊の有効重量 T よりも大きくなると、土塊全体が掘割道路を押し上げるような働きをする。この押し上げる力を浸透水力に起因する力 F とすると、 F は次式で表される。

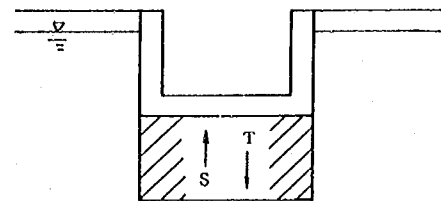
$$F = \begin{cases} S-T & (S \geq T \text{ の場合}) \\ 0 & (S < T \text{ の場合}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

浸透水力 S ⁶⁾は体積力として土塊に作用するが、土塊全体について積分することにより次式で表すことができる。



W:掘割道路の自重
Q:掘割道路側壁の摩擦抵抗
 U_s :静圧水による浮力
 U_d :過剰間隙水圧による揚力
F:浸透水力に起因する力

図4.2 掘割道路の鉛直方向に作用する力



S:浸透水力
T:土塊の有効重量

図4.3 掘割道路直下の土塊に作用する力

$$S = - \int \frac{du}{dz} dz \cdot A \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

ここに Z : 鉛直座標
 u : 過剰間隙水圧
 A : 掘割道路模型の底面積

また、土の有効単位体積重量を γ' とすると、土塊の有効重量 T は次式で表される。

$$T = \int \gamma' dz \cdot A \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

式(4.4)および式(4.5)の積分範囲は、計算上の F が最大になるような範囲とする必要がある。

4.3.2 浮上がり安全率の計算結果

本実験における掘割道路模型の浮上がり安全率を次のようにして計算した。

- ① 静水圧による浮力 U_s と掘割道路模型底面での有効上載圧 σ_v' は、各加振ステップにおける加振直前の掘割道路模型の地盤中深さ Z_s を用いて計算した。

$$U_s = A \cdot Z_s \cdot \gamma_w \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

$$\sigma_v' = \frac{W - U_s}{A} \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

ここに A : 掘割道路模型の底面積
 γ_w : 水の単位体積重量
 W : 掘割道路模型の自重

- ② 過剰間隙水圧による揚力 U_d は、掘割道路模型底面の間隙水圧計で測定した過剰間隙水圧の平均値 $\overline{du}$ を用いて次式で計算した。 $\overline{du}$ として、昭和59年度は3個の間隙水圧計による測定値の平均をとった。昭和60年度は3個ある間隙水圧計のうち1つが測定できなかったので、掘割道路模型底面に作用する過剰間隙水圧の分布が対称形になるものと仮定して平均値を求めた。

$$U_d = \overline{du} \cdot A \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

- ③ 浸透水力に起因する力 F は、掘割道路模型の直下に設置した間隙水圧計の測定値と、②で用いた $\overline{du}$ より次のように計算した。

まず、式(4.4)を変形すると浸透水力 S について次式が得られる。

$$S = (u_2 - u_1) \cdot A \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

ここに u_2 : 考える土塊(図4.3参照)の底面に作用する過剰間隙水圧
 u_1 : 考える土塊の上面すなわち掘割道路模型の底面に作用する過剰間隙水圧($= \overline{du}$)

昭和59年度の実験では、 u_2 として間隙水圧計 P_4 および P_5 の測定値をそれぞれ代入して浸透水力 S を求めた。また、それぞれの間隙水圧計の深さまでの土塊の有効重量 T を式(4.5)により求めた。浸透水力に起因する力 F は式(4.4)によって算定し、それぞれの間隙水圧計に対する2つの値のうち

の大きいほうをとった。

昭和60年度の実験では、間隙水圧計 P_5 のデータが測定できなかったので、 P_4 の測定値より F を求めた。

- ④ 浮上がり安全 F_u を、式(4.1)により計算した。ただし4.2.1でも述べたように、掘割道路模型側壁の摩擦抵抗 Q については次式を仮定させた。

$$Q = 0 \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

上記の方法で計算した浮上がり安全率 F_u の時刻歴の例を図4.4に示す。図中には掘割道路模型の浮上がり量の時刻歴もあわせて示したが、この実験では F_u がほぼ1.0を下回ったところで掘割道路模型が浮上がり始めていることがわかる。また、浮上がりが生じている間は F_u があまり変動しないこと、そして加振が終了すると浮上がりが止まり、過剰間隙水圧の消散に伴って F_u が徐々に回復してゆくことがわかる。

掘割道路模型を設置した模型の各加振ステップにおいて、浮上がり安全率を計算した結果を表4.3(1)～(3)に示す。掘割道路模型が浮上がった場合には、浮上がり始めた時間を変位計の測定記録から読み取り、その時間における浮上がり安全率を計算した。掘割道路模型が浮上がらなかった場合または浮上がり量が微小だった場合には、掘割道路模型底面の過剰間隙水圧が最大値を示した時間における浮上がり安全率を計算した。

表中には、変位計 D_5 による最大浮上がり量と、加振後に目視によって測定した最終浮上がり量の平均値もあわせて示した。また、掘割道路模型が浮上がった場合には、浮上がり始めた時間と加振継続時間および目視平均による最終浮上がり量から、掘割道路模型の平均的な浮上がり速度を計算し、表中に示した。

4.3.3 浮上がり安全率と浮上がり量

表4.3で計算した浮上がり安全率と、掘割道路模型の浮上がりの有無の関係を図4.5(1)～(3)に示す。目視による変化の測定はあまり精度が良いとは言えないので、目視平均による最終浮上がり量が2.0mm以上生じた場合に掘割道路模型が浮上がったものと判断し、2.0mm未満の場合には浮上がらなかったものとした。

図より、掘割道路模型が浮上がった場合の浮上がり安全率は、ほぼ1.1以下にあることがわかる。ただし、掘割道路模型の直下を締め固め改良した場合と、掘割道路模型を密な砂地盤上に設置した場合には、浮上がり安全率が1.1を下回っても浮上がらないときがある。

そこで、地盤条件別に浮上がり安全率と最終浮上がり量の関係を整理して図4.6(1)～(3)に示す。

(1) 掘割道路底面に液状化層がある場合

図4.6(1)は、掘割道路模型の直下に液状化する砂層がある場合のもので、浮上がり安全率が1.0から1.1の間で浮上がりが生じ、浮上がり安全率が1.1より大きくなると浮上がりが生じなくなることがわかる。

式(4.1)による浮上がり安全率が1.0のときに図4.2に示した掘割道路に作用する5つの力がつりあった状態になる。浮上がり安全率が1.0よりも小さくなると、掘割道路模型には鉛直方向上向きの加速度が生じることになるが、このような状態になる時間は極めて限られており、実質的には浮上がり安全率は1.0を下回らないと考えてよい。

図4.6(1)で浮上がり安全率が1.0から1.1の間で浮上がりが生じるのは、加振中に発生した過剰間隙水圧により掘割道路模型のまわりの地盤全体が弱体化し、浮上がり安全率が1.0まで下がる前に、掘割道路

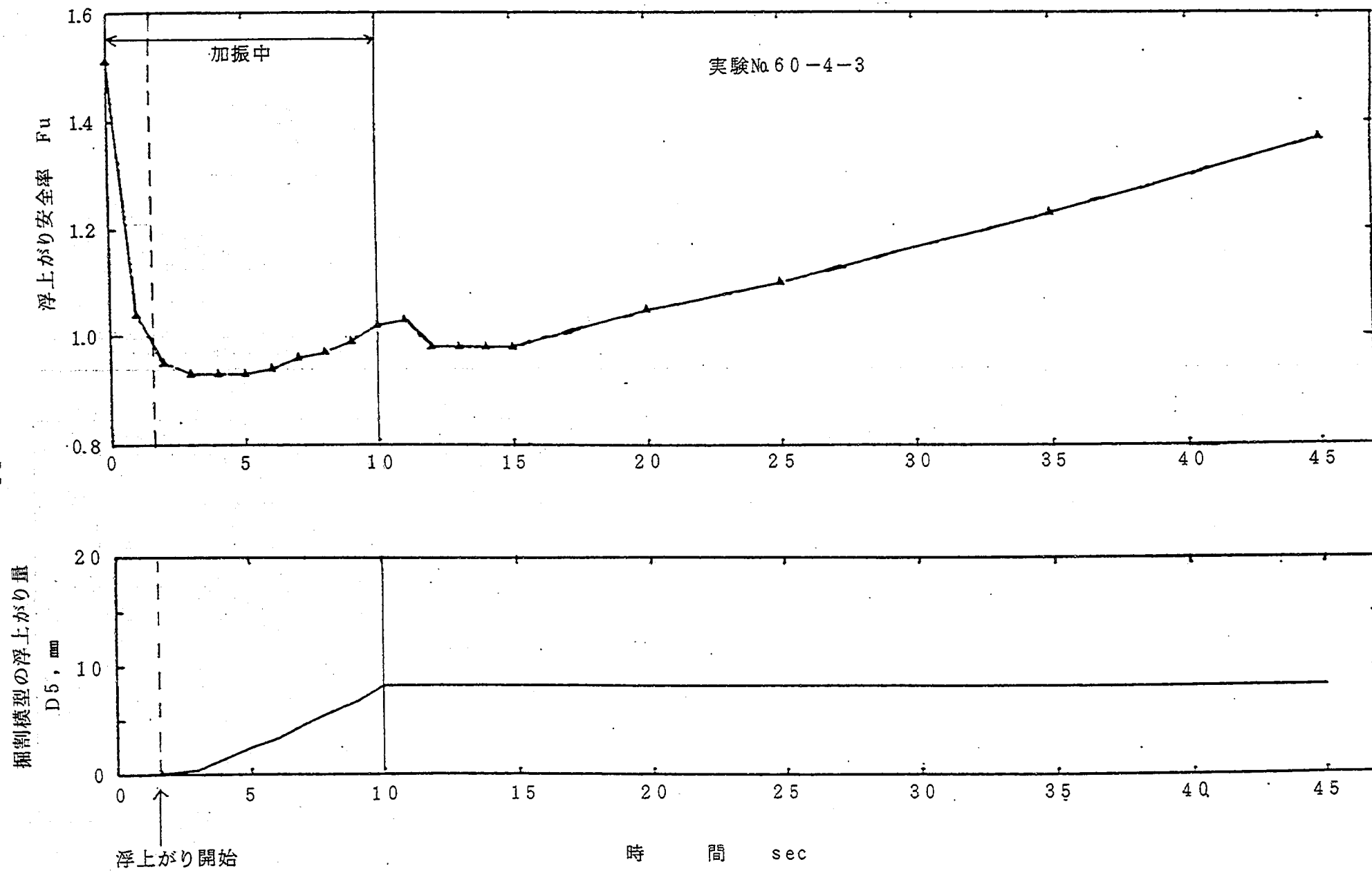


図 4.4 浮上がり安全率の時刻歴の例 (実験No 60-4-3)

表 4.3 (1) 浮上がり安全率一覧

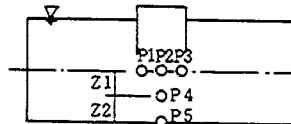
実験 No.	自重 W (gf)	断面積 A (cm ²)	加振 加速度 (gal)	静水圧に よる揚圧 力 U_s (gf)※1	常時の浮 上がり安 全率 W/U_s	過剰間隙水圧 (gf/cm ²)※3					時間 ※3 (sec)	掘削底面 の有効上 載圧 σ_v ※1 (gf/cm ²)	$\bar{P}/\sigma_v$	浸透水力		砂の有効 単位体積 重 γ' (gf/cm ³)	測点間隔 (cm)※4		砂の有効重量 (gf)		浸透水力 による力 F (gf)※5	動的な 揚圧力 U_d (gf)	Ud+Us +F (gf)	浮上り 安全率 F_u ※6	浮上がり量 (mm)※7		浮上がり 速 度 (mm/sec) ※8	備 考		
						P1	P2	P3	$\bar{P}$ ※2	P4				P5	S1		S2	Z1	Z2	T1					T2	(D5)			最大	最終 (目録平均)
59-1-1	11630	390	75.9	8151	1.427	3.9	3.8	4.1	3.9	3.6	3.9	(3.0)	8.9	0.44	-117.0	0				0	1521	9672	1.202	0	0	-				
1-2			91.2	8151	1.427	3.3	2.7	3.1	3.0	2.5	2.7	(3.0)	8.9	0.34	-195.0	-117.0				0	1170	9321	1.248	0	0.5	-				
1-3			109.8	8151	1.427	5.5	5.3	5.6	5.5	5.0	5.3	(3.0)	8.9	0.62	-195.0	-78.0				0	2145	10296	1.130	0	-0.5	-				
1-4			144.9	8151	1.427	8.1	7.4	7.4	7.6	11.8	13.7	1.5	8.9	0.85	163.80	741.0	0.89	10.0	8.7	3471.0	30198	0	2964	11115	1.046	-	18.0	212		
1-5			144.1	7449	1.561	10.3	9.3	9.3	9.5	13.2	14.4	2.0	10.7	0.70	1404.0	468.0		11.8		4096.0		0	3744	11193	1.039	0	7.5	0.94		
1-6			144.5	7449	1.561	9.2	8.6	8.8	8.9	10.9	11.8	1.7	10.7	0.83	780.0	351.0		11.8		4096.0		0	3471	10920	1.065	3.6	1.0	0.12		
59-2-1	11710	390	144.7	7917	1.479	5.9	5.7	5.7	5.8	9.9	24.6	(3.5)	9.7	0.60	1599.0	5733.0	0.90	7.2	12.0	2527.2	4212.0	0	2262	10179	1.150	1.3	0	-		
2-2			145.2	7917	1.479	3.0	3.4	3.4	3.3	8.8	17.5	(2.0)	9.7	0.33	2145.0	3393.0		7.2		2527.2		0	1287	9204	1.272	0	-0.5	-		
59-3-1	11650	390	140.8	7410	1.572	8.4	7.6	7.7	7.9	9.7	12.5	1.5	10.9	0.72	702.0	1092.0	0.91	11.0	9.4	3903.9	3336.1	0	3081	10491	1.110	-	17.5	2.06		
3-2			151.2	6911	1.686	10.0	9.3	9.8	9.7	11.1	13.0	2.0	12.2	0.80	546.0	741.0		12.3		4365.3		0	3783	10694	1.089	6.5	1.5	0.19		
59-4-1	23200	780	136.7	16536	1.403	9.8	8.3	8.0	8.7	7.5	8.8	1.5	8.5	1.02	-936.0	1014.0	0.91	9.3	9.4	6601.1	6672.1	0	6786	23322	0.995	4.6	5.3	0.62		
4-2			138.2	16084	1.442	8.8	7.1	9.7	8.5	7.2	8.9	2.0	9.0	0.94	-1014.0	1326.0		9.8		6956.0		0	6630	22784	1.018	2.5	1.7	0.21		
59-5-1	23250	780	140.5	16068	1.447	3.8	3.6	4.2	3.9	0.2	5.5	(3.0)	9.2	0.42	-2886.0	4134.0	0.95	10.4	9.0	7706.4	6669.0	0	3042	19110	1.217	0	-1.5	-		
5-2			137.5	16154	1.439	2.1	1.8	3.3	2.4	2.1	1.4	(3.0)	9.1	0.26	-234.0	-546.0		10.3		7632.3		0	1872	18026	1.290	0	0	-		
59-8-8	8240	390	266.2	7644	1.078	0.1	-0.3	0.1	0	0.8	-0.1	1.5	1.5	0	312.0	-351.0		12.0		4258.8		0	0	7644	1.078	0	-0.3	-		
8-9			289.5	7644	1.078	0.7	0.1	0.2	0.3	1.2	0.4	2.5	1.5	0.20	351.0	-312.0		12.0		4258.8		0	117	7761	1.062	0.5	1.0	0.13		
8-10			307.9	7605	1.083	3.4	3.3	3.6	3.4	6.8	5.6	0.6	1.6	2.13	1326.0	-468.0	0.91	12.1	8.7	4299.3	3087.6	0	1326	8931	0.923	2.7	3.5	0.37		
8-11			320.8	7488	1.100	6.1	5.6	6.3	6.0	10.2	10.7	1.5	1.9	3.16	1638.0	195.0		12.4		4400.8		0	2340	9828	0.838	3.4	4.5	0.53		
8-12			417.3	7332	1.124	6.6	5.2	5.9	5.9	10.0	10.9	1.5	2.3	2.57	1599.0	351.0		12.8		4542.7		0	2301	9633	0.855	3.1	3.3	0.39		
59-9-1	8240	390	105.3	8112	1.016	1.0	0.5	1.2	0.9	3.9	4.3	0.75	0.3	3.0	1170.0	156.0	0.92(上)	10.4		3731.5		0	351	8463	0.974	-	37.5	4.05		
9-2			57.9	6630	1.243	1.1	0.6	1.1	0.9	1.6	1.8	(2.0)	4.1	0.22	273.0	78.0		14.2	9.1	5095.0	3341.5	0	351	6981	1.180	-	-1.5	-		
9-3			124.9	6630	1.243	3.3	3.0	4.1	3.5	8.4	8.8	2.2	4.1	0.9	1911.0	156.0	1.02(下)	14.2		5095.0		0	1365	7995	1.031	-	12.5	1.60		
59-10-1	11650	390	141.2	8034	1.450	6.7	6.2		6.9	5.2	5.2	3.3	9.3	0.7	-663.0	0	0.93(上)	9.5	9.1	3668.0	3513.5	0	2691	10725	1.086	10.5	8.5	1.27		
10-2			140.9	7644	1.524	6.6	5.4		6.3	5.0	5.2	1.4	10.3	0.6	-507.0	78.0	0.99(下)	10.5		4054.1		0	2457	10101	1.153	3.9	3.5	0.41		
59-11-1	13920	390	144.0	8190	1.700	11.1	10.9		11.5	3.3	14.7	1.5	14.7	0.78	-3198.0	4446.0		8.9		3123.9		0	4485	12675	1.098	-	11.3	1.33	11-3は	
11-2			140.9	7761	1.794	13.4	12.1		13.0	0.6	14.0	2.0	15.8	0.82	-4836.0	5226.0	0.90	10.0	9.7	3510.0	3404.7	0	5070	12831	1.085	3.2	3.0	0.38	加振時間	
11-3			132.3	7644	1.821	14.0	12.5		13.4	1.8	12.4	6.0	16.1	0.83	-4524.0	-390.0		10.3		3615.3		0	5226	12870	1.082	1.6	0.8	0.02	475秒	

※1 同一の模型地盤において複数回加振した場合は、直前の加振終了後の掘削道路模型の変位量を求めて U_s , σ_v' の値を修正した。

$$\times 2 \quad \bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

※3 原則として、過剰間隙水圧の値は、掘削機が浮上する瞬間のものを
読取っているが、掘削機が動かない時や浮上り量が微小な場合には、
P1～P3の間隙水圧が最大値を示した時間の値を採用し、その時間を
()で示した。

※4 右図参照



※5 $[F = S - T (S \geq T \text{ の場合})]$

$$S = - \int \frac{du}{dz} dz \cdot A$$

$$T = \int \gamma' dz \cdot A$$

$$F = 0 \quad (S < T \text{ の場合})$$

ここに S : 浸透水力 (上向きが正)

T:土粒子の有効重量(下向きが正)

Z:鉛直座標(上向きが正)

U：過剰水

 γ : 土の有効単位体積重量

A: 模型の底面の断面積

✕ 6

$$F_u = \frac{W}{U_s + U_d + F}$$

※7 変位計D5の測定が不可能な場合“-”とした。

$$\text{※ 8 浮上がり速度} = \frac{\text{最終浮上がり量}}{\text{浮上がり始めてからの加圧継続時間}}$$

表 4.3(2) 浮上がり安全率一覧

実験 No.	自重 W (gf)	断面積 A (cm ²)	加振 加速度 G (gal)	静水圧に よる揚圧 力 U _s (gf)※1	常時の浮 上がり安 全率 W/U _s	過剰間隙水圧 (g/cm ³)※1				時間 t (sec)	掘削底面 の有効上 載圧 σ _v ' ※1 (gf/cm ²)	掘削底面 の有効土 圧 σ _v ※1 (gf/cm ²)	浸透 水圧 S (gf)	砂の有効 単位体積 重量 γ' (g/cm ³)	測点 間隔 (P2-P4) Z (cm)	砂の有効 重量 T (gf)	浸透水 力による力 F (gf)※4	動的な 揚圧力 U _d (gf)	U _d +U _s +F (gf)	浮上がり 安全率 F _s ※5	浮上がり量 (mm)		浮上がり 速度 (mm/sec) ※6	備 考
						P1	P2	P ₂ ※2	P4												最大 (D5)	最終 (D5)		
60-1-1	11620	390	844	7956	1.461	152	195	173	427	(58)	9.39	0.81	991	0.893	920	3204	0	675	8631	1.346	0	0	-	1-4で浮上 り開始時刻不明 1-5でD5抜 切れ
1-2			999	7956	1.461	325	316	322	512	(67)	9.39	0.34	741		920	3204	0	1256	9212	1.261	0	0.5	-	
1-3			1110	7937	1.464	406	451	421	683	(80)	9.44	0.45	1022		925	3221	0	1642	9575	1.213	0	0	-	
1-4			1332	7937	1.464	623	631	626	1024	(50)	9.44	0.66	1552		925	3221	0	2441	10378	1.120	4.5	4.8	-	
1-5			1554	7753	1.499	744	526	671	1195	10	9.92	0.68	2044		973	3389	0	2617	10370	1.121	-	17.3	1.92	
1-6			1498	7079	1.641	907	756	860	1621	12	11.64	0.74	2968		1145	3988	0	3354	10433	1.114	6.0	5.0	0.57	
60-2-1	11800	390	1637	8190	1.441	1097	856	1020	2366	26	9.26	1.10	5249	1.004	1000	3916	1333	3978	13501	0.874	8.0	4.8	0.65	2-4, 5で浮 上がり開始時刻 不明
2-2			1077	8007	1.474	1042	781	955	2147	26	9.73	0.98	4649		1048	4104	575	3725	12307	0.959	5.3	2.5	0.34	
2-3			1250	7909	1.492	905	781	864	1971	28	9.98	0.87	4317		1073	4201	0	3370	11396	1.035	4.2	1.5	0.54	
2-4			1420	7851	1.503	960	1065	995	1621	(155)	10.13	0.98	2441		1088	4260	0	3881	11732	1.006	1.7	0	-	
2-5			1637	7851	1.503	960	880	933	1752	(151)	10.13	0.92	3194		1088	4260	0	3639	11490	1.027	2.5	0	-	
60-3-7	11840	390	2111	7800	1.518	200	050	125	000	(95)	10.36	0.01	-488	1.004	1000	3916	0	488	8288	1.429	0	-0.3	-	掘削模型とメン ブレンの摩滅大
3-8			2327	7800	1.518	890	672	807	1017	(94)	10.36	0.78	819		1000	3916	0	3147	10947	1.082	0	-0.5	-	
3-9			2542	7800	1.518	1408	1429	1415	2343	(95)	10.36	1.37	3619		1000	3916	0	5519	13319	0.889	0	0	-	
3-10			2715	7800	1.518	1952	1829	1911	2785	(100)	10.36	1.84	3409		1000	3916	0	7453	15253	0.776	0	0	-	
3-11			3016	7800	1.518	2100	2001	2067	2785	(87)	10.36	2.00	2800		1000	3916	0	8061	15861	0.746	0	2.2	-	
60-4-1	11800	390	876	7878	1.498	944	955	948	1070	(95)	10.06	0.94	476	1.004	840	3288	0	3697	11575	1.019	0	0	-	
4-2			1115	7878	1.498	1338	1251	1309	1917	(103)	10.06	1.30	2371		840	3288	0	5105	12983	0.909	1.9	1.0	-	
4-3			1274	7839	1.505	1075	1009	1053	1159	1.6	10.16	1.04	413		850	3327	0	4107	11946	0.988	8.3	7.3	0.87	
4-4			1593	7558	1.561	1075	861	1004	1159	09	10.88	0.92	605		923	3615	0	3916	11474	1.028	10.2	9.5	1.04	
4-5			1672	7188	1.642	918	807	881	981	04	11.83	0.74	390		1018	3986	0	3436	10624	1.111	5.8	4.8	0.50	
60-5-5	11720	390	1681	7527	1.557	151	129	144	133	(100)	10.75	0.13	0	1.004	930	3643	0	562	8089	1.449	3	0	-	掘削模型とメン ブレンの摩滅大
5-6			1896	7527	1.557	226	218	223	265	(100)	10.75	0.21	164		930	3643	0	870	8397	1.396	0	-0.3	-	
5-7			2111	7527	1.557	302	283	296	398	(102)	10.75	0.28	399		930	3643	0	1154	8681	1.350	0	0.5	-	
5-8			2370	7527	1.557	453	398	435	486	(103)	10.75	0.40	199		930	3643	0	1597	9224	1.271	0	0	-	
5-9			2542	7527	1.557	956	900	937	1238	(108)	10.75	0.87	1174		930	3643	0	3654	1181	1.048	0	0	-	
5-10			2844	7527	1.557	1584	1503	1557	2166	(101)	10.75	1.45	2375		930	3643	0	6072	3595	0.862	0	-0.3	-	
5-11			3059	7527	1.557	1132	1735	1333	1591	(98)	10.75	1.24	1006		930	3643	0	5199	12726	0.921	0	0.3	-	
60-6-1	11690	390	844	7839	1.491	1084	1049	1072	1430	(102)	9.87	1.09	1396	0.961	770	2886	0	4181	12020	0.973	0	0.4	-	6-5で掘削 心
6-2			1035	7823	1.494	914	846	891	1536	24	9.92	0.90	2516		774	2902	0	3475	11298	1.035	1.2	1.5	0.20	
6-3			1250	7765	1.505	1530	1435	1498	2390	43	10.06	1.49	3479		789	2956	523	5842	14130	0.827	8.8	5.7	1.00	
6-4			1458	7547	1.549	1233	1122	1196	2155	18	10.62	1.13	3740		846	3171	569	4664	12780	0.915	6.6	5.7	0.70	
6-5			1623	7324	1.596	1084	1048	1072	2006	12	11.19	0.96	3643		902	3381	262	4181	11767	0.993	2.9	-0.4	-	

※1 直前の加振終了後の掘削道路模型の変位量を求めて
U_s, σ_v' の値を修正した。

$$\text{※2 } \bar{P} = \frac{2 \cdot P_1 + P_2}{3}$$

※3 原則として過剰間隙水圧 D 値は、掘削模型が浮上する瞬間の値を採用しているが、浮上がりがないときや、微小な場合は、P 2 が最大を示したときの値を採用し、時間の所に () で示した。

$$\text{※4 } F = S - T \quad (S \geq T \text{ の場合})$$

$$S = - \int \frac{du}{dz} dz \cdot A$$

$$T = \int \gamma' \cdot dz \cdot A$$

$$F = 0 \quad (S < T \text{ の場合})$$

ここに S : 浸透水圧 (上向きが正)

T : 砂の有効重量 (下向きが正)

Z : 鉛直座標

U : 過剰間隙水圧

γ' : 土の有効単位体積重量

A : 掘削底面の断面積

$$\text{※5 } F_u = \frac{W}{U_s + U_d + F}$$

$$\text{※6 浮上がり速度}$$

$$= \frac{\text{最終浮上がり量}}{\text{浮上がり始めてからの加振継続時間}}$$

表 4.3(3) 浮上がり安全率一覧

実験 No.	自重 W (gf)	断面積 A (cm ²)	加振 加速度 (gal)	静水圧に よる揚圧 力 U _s (gf)※1	常時の浮 上がり安 全率 W/U _s	過剰間隙水圧 (gf/cm ²) ※3				時間 t (sec)	掘削底面 の有効上 載圧 σ _v ' ※1 (gf/cm ²)	浸透水力 F/σ _v ' (gf)	砂の有効 単位体積 重量 γ' (gf/cm ³)	測定 間隙 水圧 (P ₂ -P ₄) Z (cm)	砂の有効 重量 T (gf)	浸透水 による 力 F _d ※4 (gf)	動的な 揚圧力 U _d (gf)	U _d +U _s +F (gf)	浮上がり 安全率 F _s ※5	浮上がり量 (mm)		浮上がり 速度 (mm/sec) ※6	備 考		
						P1	P2	P ₂ ※2	P4											最大 (D5)	最終 (目視平均)				
60-7-1	11,685	390		87.4	8.775	1.332	8.3	7.0	7.9	1.16	1.9	7.46	1.06	1.443		7.0	2.411	0	3.081	11.856	0.986	15.0	15.9	1.96	7-1で 掘削偏心
7-2				100.0	8.151	1.434	9.8	8.1	9.2	1.46	1.6	9.06	1.02	2.106		8.6	2.962	0	3.588	11.739	0.995	8.5	6.9	0.82	
7-3				123.2	7.878	1.483	10.4	8.7	9.8	1.53	1.4	9.76	1.00	2.145	0.883	9.3	3.203	0	3.822	11.700	0.999	13.0	9.9	1.15	
7-4				139.5	7.488	1.560	11.9	10.4	11.4	1.94	1.3	10.76	1.06	3.120		10.3	3.547	0	4.446	11.934	0.979	11.0	7.4	0.85	
60-8-1	11,685	390		86.8	7.917	1.476	10.0	8.4	9.5	1.07	3.6	9.66	0.98	4.68		8.5	2.927	0	3.705	11.622	1.005	1.5	-0.4	—	
8-2				108.5	7.917	1.476	10.0	9.0	9.7	1.28	2.5	9.66	1.00	1.209		8.5	2.927	0	3.783	11.700	0.999	4.5	4.7	0.63	
8-3				125.3	7.761	1.506	10.5	8.7	9.9	1.28	1.5	10.06	0.98	1.131	0.883	8.9	3.065	0	3.861	11.622	1.005	5.2	4.1	0.48	
8-4				144.6	7.605	1.536	10.5	9.3	10.1	1.49	2.5	10.46	0.97	2.028		9.3	3.203	0	3.939	11.544	1.012	3.0	2.4	0.32	
8-5				163.9	7.488	1.560	11.6	9.3	10.8	1.60	2.4	10.76	1.00	2.028		9.6	3.306	0	4.212	11.700	0.999	3.0	1.6	0.21	
8-6				183.2	7.449	1.569	12.1	9.9	11.4	1.76	4.3	10.86	1.05	2.418		9.7	3.340	0	4.446	11.895	0.982	2.2	0.6	0.11	
60-9-1	11,685	390		91.6	7.800	1.498	8.4	7.8	8.2	6.4	—	9.96	0.82	-7.02		9.0	3.591	0	3.198	10.998	1.062	0	0	—	
9-2				113.3	7.800	1.498	8.4	7.0	7.9	6.4	—	9.96	0.79	-5.85		9.0	3.591	0	3.081	10.881	1.074	0	-0.4	—	
9-3				125.2	7.800	1.498	8.4	7.3	8.0	6.4	—	9.96	0.80	-6.24		9.0	3.591	0	3.120	10.920	1.070	0	-0.2	—	
9-4				147.0	7.839	1.491	8.9	7.5	8.4	8.0	—	9.86	0.85	-1.56	1.023	9.0	3.591	0	3.276	11.115	1.051	0	0.1	—	
9-5				163.9	7.839	1.491	10.5	7.5	9.5	7.5	5.0	9.86	0.96	-7.80		9.0	3.591	0	3.705	11.544	1.012	1.0	1.0	0.20	
9-6				183.2	7.761	1.506	11.0	7.0	9.7	6.9	2.5	10.06	0.96	-1.092		9.1	3.631	0	3.783	11.544	1.012	1.0	1.0	0.13	
9-7				204.9	7.761	1.506	11.6	7.8	10.3	8.5	4.2	10.06	1.02	-7.02		9.2	3.671	0	4.017	11.778	0.992	1.0	0.6	0.10	
9-8				229.0	7.722	1.513	11.6	8.1	10.4	10.7	4.1	10.16	1.02	2.73		9.2	3.671	0	4.056	11.778	0.992	0.5	-0.4	—	
60-10-1	11,685	390		94.0	7.800	1.498	4.3	3.5	4.0	2.1	—	9.96	0.40	-7.41		8.5	3.249	0	1.560	9.360	1.248	0	0.2	—	
10-2				115.7	7.800	1.498	5.3	4.6	5.1	3.7	—	9.96	0.51	-5.46		8.5	3.249	0	1.989	9.789	1.194	0	-0.2	—	
10-3				130.1	7.800	1.498	6.9	6.7	6.8	5.3	—	9.96	0.68	-5.85		8.5	3.249	0	2.652	10.452	1.118	0	-0.4	—	
10-4				149.4	7.800	1.498	9.6	7.0	8.7	8.4	—	9.96	0.87	-1.17	0.980	8.5	3.249	0	3.393	11.193	1.044	0	0.1	—	
10-5				163.9	7.800	1.498	10.1	7.3	9.2	10.6	—	9.96	0.92	5.46		8.5	3.249	0	3.588	11.388	1.026	0	0.1	—	
10-6				183.2	7.800	1.498	10.1	7.3	9.2	9.5	5.0	9.96	0.92	3.90		8.5	3.249	0	3.588	11.388	1.026	0.5	-0.7	—	
10-7				207.3	7.839	1.491	10.1	8.1	9.4	14.2	8.2	9.86	0.95	1.872		8.4	3.210	0	3.666	11.505	1.016	0.5	0.6	0.07	
10-8				224.1	7.800	1.498	10.7	9.3	10.2	14.8	5.2	9.96	1.02	1.794		8.5	3.249	0	3.978	11.778	0.992	1.0	0.3	0.06	
60-11-1	11,685	390		91.6	7.956	1.469	3.7	3.2	3.5	2.1	—	9.56	0.37	-5.46		8.7	3.339	0	1.365	9.321	1.254	0	-0.2	—	
11-2				115.7	7.956	1.469	5.8	4.6	5.4	4.3	—	9.56	0.56	-4.24		8.7	3.339	0	2.106	10.062	1.161	0	-0.1	—	
11-3				130.1	7.956	1.469	7.4	6.4	7.1	5.3	—	9.56	0.74	-7.02		8.7	3.339	0	2.769	10.725	1.090	0	-0.1	—	
11-4				149.4	7.956	1.469	8.9	8.4	8.7	8.5	—	9.56	0.91	-7.8		8.7	3.339	0	3.393	11.349	1.030	0	-0.4	—	
11-5				163.9	7.995	1.462	10.0	8.1	9.4	10.1	—	9.46	0.99	2.73	0.984	8.6	3.300	0	3.666	11.661	1.002	0	0.2	—	
11-6				183.2	7.995	1.462	10.5	8.1	9.7	12.8	—	9.46	1.03	1.209		8.6	3.300	0	3.783	11.778	0.992	0	-0.4	—	
11-7				207.3	7.995	1.462	10.5	8.1	9.7	12.2	4.0	9.46	1.03	9.75		8.6	3.300	0	3.783	11.778	0.992	0.5	1.1	0.18	
11-8				224.1	7.956	1.469	10.5	9.3	10.1	14.9	4.0	9.56	1.06	1.872		8.7	3.339	0	3.939	11.895	0.982	1.0	0.4	0.07	

※1 直前の加振終了後の掘削液面下の有効上載圧を示す。

※2 P₂とP₄の平均値。

※3 過剰間隙水圧の最大値を示す。

※4 浸透係数と浸透圧の積。

※5 掘削液面下の有効上載圧と掘削液面下の有効重量の比。

※6 掘削液面下の有効上載圧と掘削液面下の有効重量の比。

※1 直前の加振終了後の掘削道路模型の変位量を求めて
U_s, σ_v' の値を修正した。

$$\text{※2 } \bar{P} = \frac{2 \cdot P_1 + P_2}{3}$$

※3 原則として過剰間隙水圧 D 値は、掘削模型が浮上がる瞬間の値を採用しているが、浮上がりがないときや、微小な場合は、P₂ が最大を示したときの値を採用し、時間の所に () で示した。

$$\text{※4 } F = S - T \quad (S \geq T \text{ の場合})$$

$$S = - \int \frac{du}{dz} \cdot dz \cdot A$$

$$T = \int \gamma' \cdot dz \cdot A$$

$$F = 0 \quad (S < T \text{ の場合})$$

ここに S : 浸透水力 (上向きが正)

T : 砂の有効重量 (下向きが正)

Z : 鉛直座標

U : 過剰間隙水圧

γ' : 土の有効単位体積重量

A : 掘削底面の断面積

$$\text{※5 } F_u = \frac{W}{U_s + U_d + F}$$

$$\text{※6 浮上がり速度}$$

$$= \frac{\text{最終浮上がり量}}{\text{浮上がり始めてからの加振継続時間}}$$

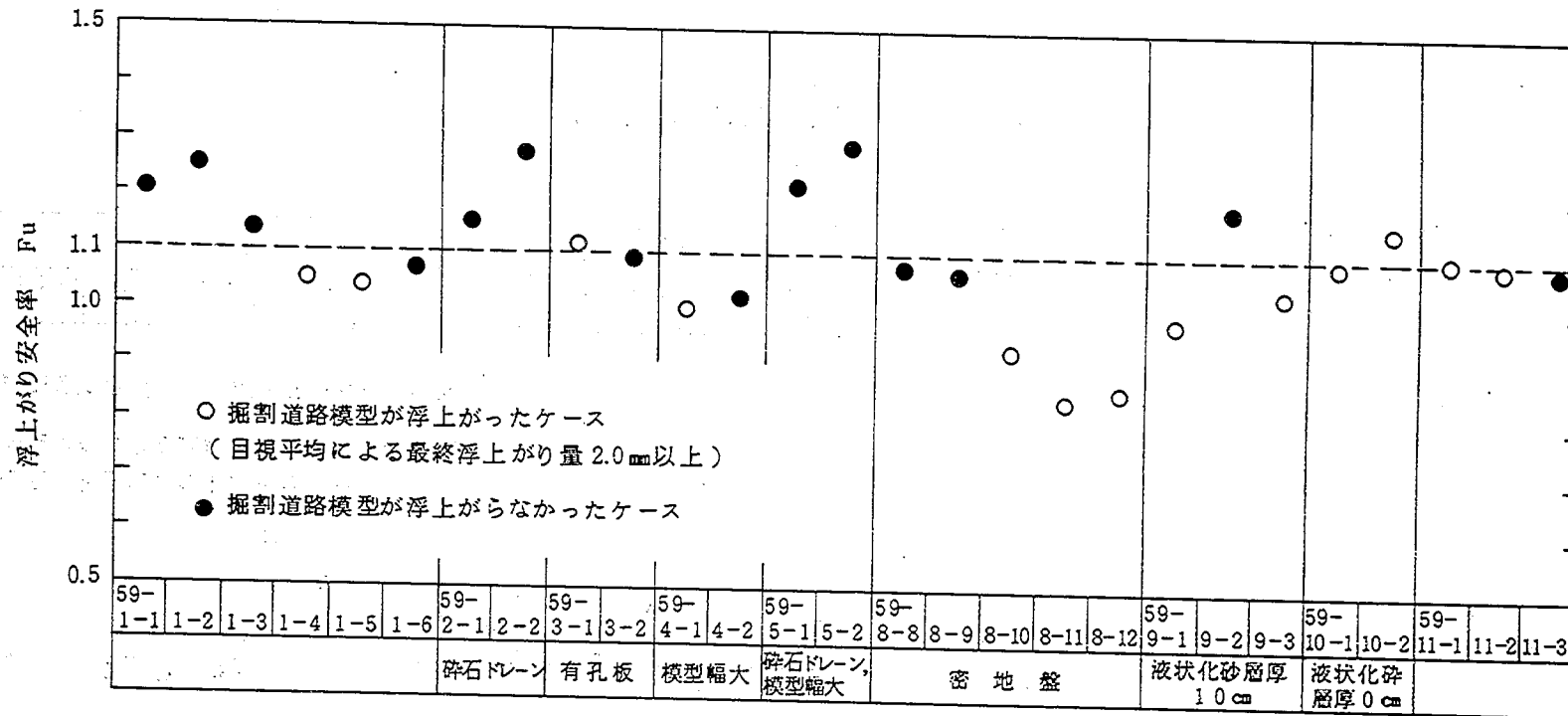


図 4.5(1) 浮上がり安全率と浮上がりの有無

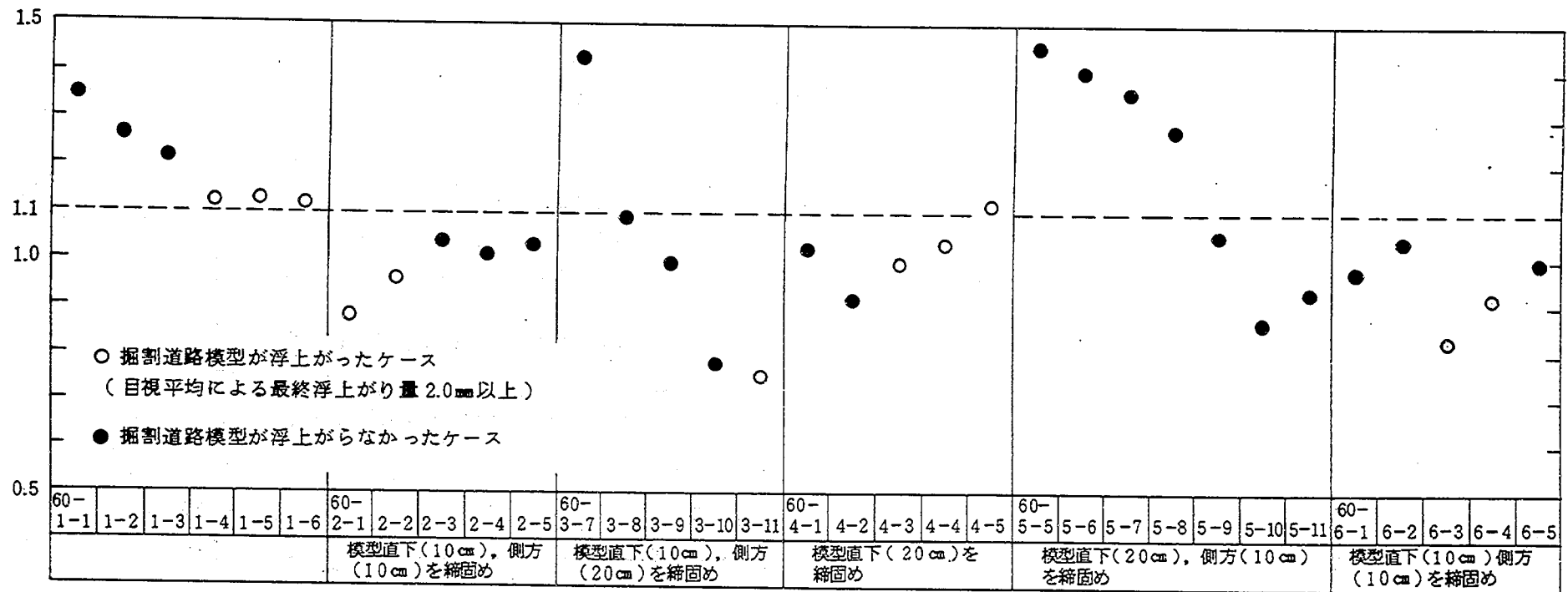


図 4.5(2) 浮上がり安全率と浮上がりの有無

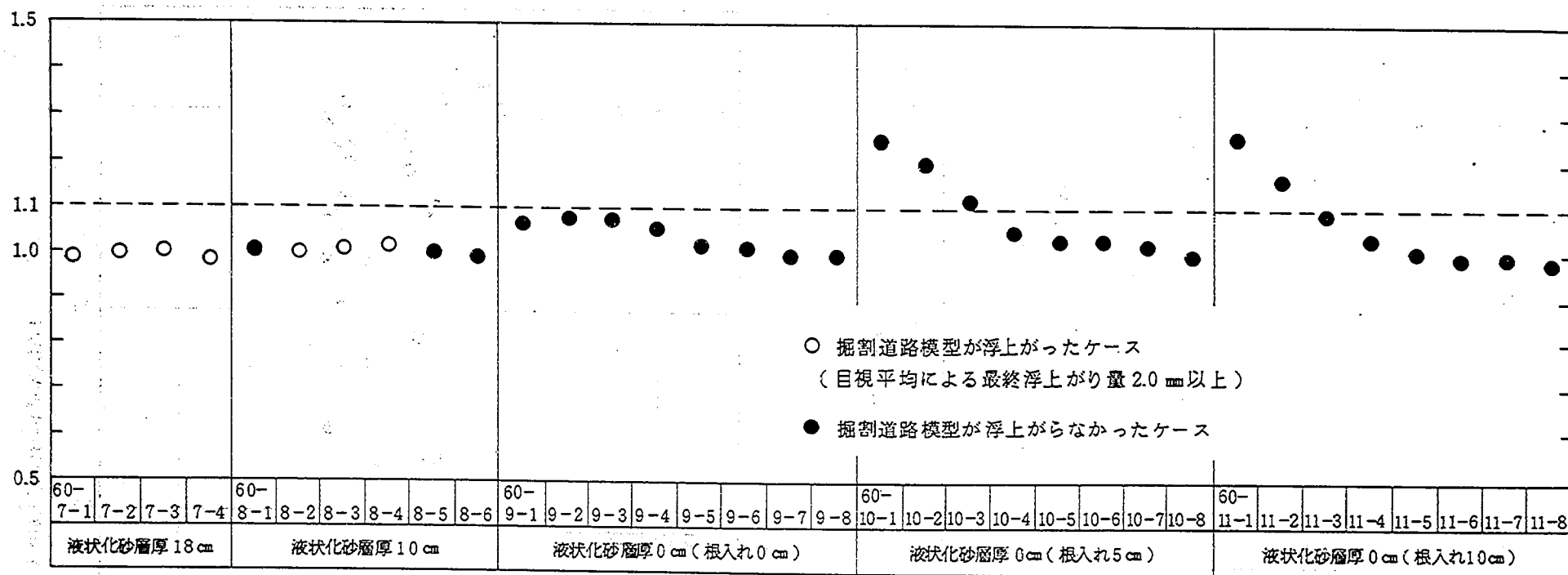


図 4.5(3) 浮上がり安全率と浮上がりの有無

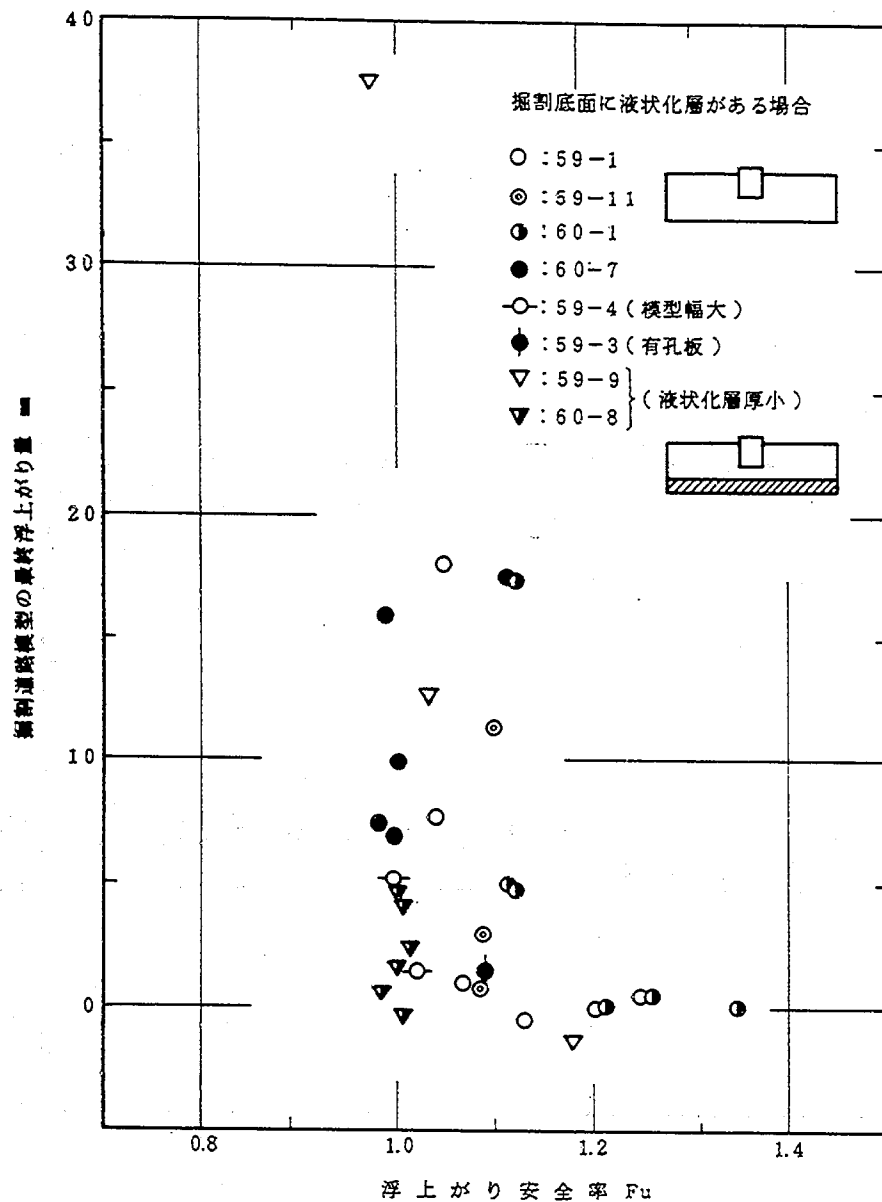


図 4.6(1) 浮上がり安全率と最終浮上がり量の関係

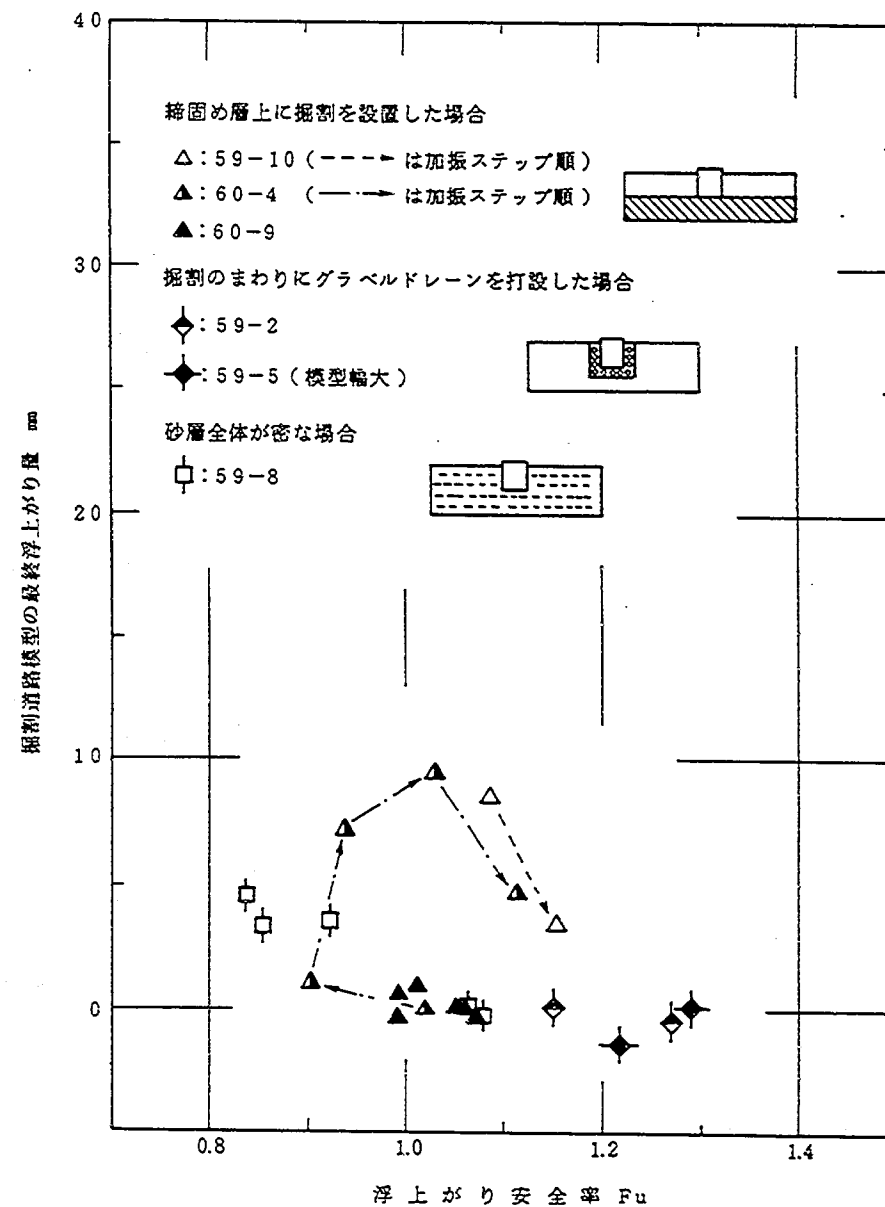


図 4.6(2) 浮上がり安全率と最終浮上がり量の関係

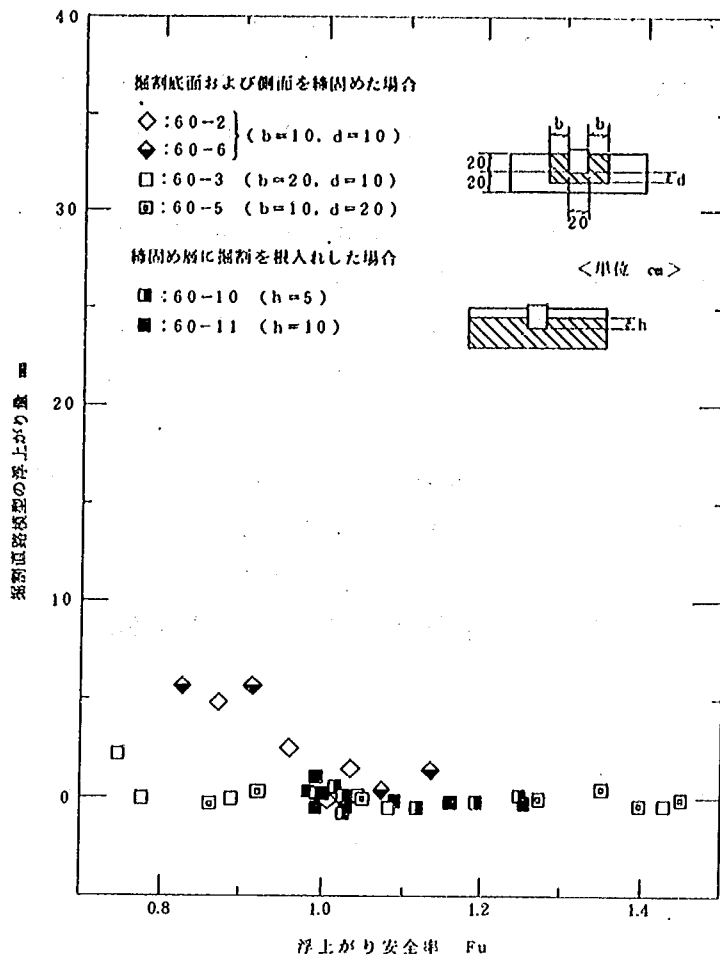


図 4.6(3) 浮上がり安全率と最終浮上がり量の関係

模型を浮上がらすような地盤の変形が始まるためと考える。

(2) 下部締固め層に根入れしない場合、グラベルドレーンを打設した場合、砂層全体が密な場合

図 4.6(2)は、締固め砂層上に掘割道路模型を根入れせずに直接設置した場合（ブロック状の締固め改良部の上に掘割道路模型を設置した場合を含む）、掘割道路模型のまわりにグラベルドレーンを打設した場合、および地盤全体が密な砂層の場合である。

密な締固め砂層上に根入れなしで掘割道路模型を設置した場合を見ると、模型 59-10 と模型 60-4 で浮上がりが生じているのに対し、模型 60-9 ではほとんど浮上がっていない。

これは、掘割道路底面への砂のまわり込みやすさに次のような違いがあったためと考える。

まず、模型 59-10 では締固め砂層の相対密度が 88% と比較的 low、かつ一回目の加振速度が 140 gal レベルと大きかった。そのため、完全に液状化した上部砂層の砂が締固め砂層を乱して掘割道路模型の下にまわり込み、一回目の加振ステップから 8mm 程度の浮上がりが生じた。

模型 60-4 は、締固め層の相対密度が 105% と高く、加振も 80 gal レベルからのステップ加振であったが、掘割道路模型の直下のみが締固められていた。そのため、3 回目の加振ステップ（120 gal レベル）で液状化した側方の砂層の砂が直下の締固め砂層を乱して掘割道路模型の下にまわり込み、7mm 程度の浮上がりが生じた。いったん浮上がってしまうと、あとは砂がまわり込みやすくなるので、その後の加振ステップでも 5～10mm 程度の浮上がりが生じた。

一方、模型 60-9 は、相対密度が 108% と高い締固め層が掘割道路模型の下方全面にあったので、

液状化した砂のまわり込みが起こりにくく、浮上りはわずかしかなかった。

次に、掘割道路模型のまわりにグラベルドレーンを打設した場合の結果を見ると、2つの模型のいずれも浮上っていない。どの加振も140 galレベルの大きな加振加速度で行ったが、浮上り安全率は1.2程度で大きめの値になっている。

これは、グラベルドレーンの排水効果により、掘割道路模型の底面に作用する過剰間隙水圧が低減されたために、浮上り安全率が下がらず、浮上りも生じなかったと考える。

砂層全体が密（相対密度71%）な模型59-8では、掘割道路模型の常時の浮上り安全率が1.1程度で、他と比較して小さな値であったにもかかわらず、加振加速度を310 gal程度に大きくする（実験No 59-8-10）まで浮上りが生じなかった。

ここで表4.3(1)を見ると、模型59-8の底面に作用する過剰間隙水圧（P1～P3）は、浮上りが生じる前の加振ステップ（290 gal程度、実験No 59-8-9）まではほとんど上昇していない。

一方、相対密度64%の水平砂地盤である模型59-7を、180 gal レベルで加振したときの過剰間隙水圧の時刻歴を図4.7に示す。これを見ると、地盤のどの深さでも過剰間隙水圧が発生しており、上記の模型59-8の結果に反する。

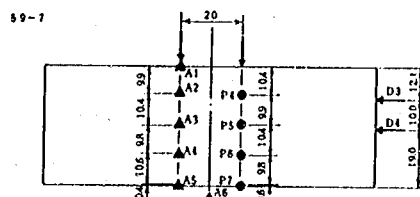
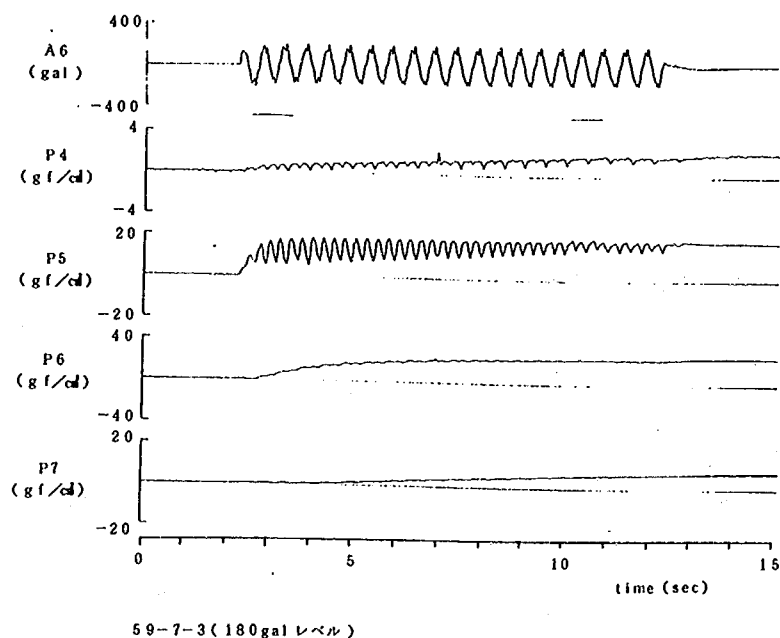


図4.7 密な水平地盤の加振結果（実験No 59-7-3）

一般に、どんな密な計算でも、290 galもの加振速度を加えれば、ある程度は過剰間隙水圧が発生することが予想される。模型59-8は何らかの原因で砂層が不飽和になっており、そのため過剰間隙水圧が発生しにくく、掘割道路模型の浮上りも生じにくかったものとする。

(3) 下部締固め層に根入れした場合、掘割道路の側方と底面を締固め改良した場合

図4.6(3)は、掘割道路模型の底面と側面を締固め改良部で囲んだ場合、および水平な締固め層に掘割

道路模型を根入れして設置した場合の、浮上がり安全率と最終浮上がり量の関係である。

掘割道路模型の底面と側面を締固め改良部で囲んだ場合のうち、改良範囲の小さい模型 60-2 と模型 60-6 では、浮上がり安全率が 0.8 ~ 0.9 程度に下がったときに、5 mm 程度の浮上がりを生じている。それ以外の模型では浮上がり安全率が 1.0 以下に下がっても浮上がりは生じていない。

また、水平な締固め層に掘割道路模型を根入れして設置した場合は、浮上がり安全率が 1.0 付近までしか下がらず、浮上がりも生じていない。

模型 60-2 と模型 60-6 では、改良範囲が不十分なため、改良部の側方と下方の地盤が液状化したときに、掘割道路模型の浮上りを抑えられなかったと考える。

ここで、表 4.3(1)(2)(3)の浸透水力に起因する力 F の項を見ると、 F が正の値になっているのは、模型 60-2 と模型 60-6 で大きな浮上がりが生じた加振ステップに限られる。(実験 No. 60-6-5 では、 F の値は正であったが、加振中に掘割道路模型が偏心したためにあまり浮上がらなかった。) このことから、模型 60-2 と模型 60-6 では改良部分に大きな揚圧力が加わっていたことが予想できる。

次に、掘割道路模型の底面と側面を締固め改良部で囲んだ模型では、浮上がり安全率が 1.0 を大きく下回る場合があるが、これは、浮上がり安全率を計算する際に、掘割道路模型側壁の摩擦抵抗 Q をゼロとしたためと考える。

側面が締固め改良されている場合には、まわりの砂が液状化しても締固め改良部と掘割道路模型側壁の間にはある程度の摩擦が発揮されるであろう。このとき、式(4.1)において本来考慮に入れるべき Q をゼロとして取り扱えば、実際よりも浮上がり安全率を低く見積もることになる。

さらに、(1)でも述べたように図 4.2 に示した掘割道路の底面に作用する力のつりあいを考えると、式(4.1)による浮上がり安全率が 1.0 以下で、しかも掘割道路模型が浮上がらないような状態は本来起こり得ない。

ゆえに、掘割道路模型の底面と側面を締固めた場合には、実際に発揮されている Q を式(4.1)に代入して計算すると、浮上がり安全率は 1.0 かそれ以上になるものと考えられる。砂地盤全体が密な模型 59-8 についても、同様のことが言える。

他の模型でも、浮上がり安全率が 1.0 を若干下回った例があるが、これは過剰間隙水圧を掘割道路模型底面の 2・3 点でしか測定していないことと、その測定精度の問題に起因するものと考えられる。

4.3.4 浮上がり安全率と浮上がり速度

目視平均による最終浮上がり量が 2.0 mm 以上の場合について、浮上がり安全率と浮上がり速度の関係を図 4.8(1)、(2)に示す。浮上がり速度の計算法については 4.3.2 で述べた。

図 4.8(1)は、掘割道路模型の底面に液状化する砂層がある場合のものであるが、浮上がり安全率と浮上がり速度との間に一意的な対応関係はない。

図 4.8(2)は、締固め砂層上に根入れなしで掘割道路模型を設置した場合、砂層全体が密な場合、および掘割道路模型の底面と側面を締固め改良部で囲んだ場合のものである。いずれも掘割道路の底面が密な砂層に接しているという点で条件が一致しているが、この場合も浮上がり安全率と浮上がり速度の間に一意的な対応関係はない。

次に図 4.8(1)と図 4.6(1)を比べると、浮上がりの生じたデータで見ると両者の関係が非常によく似ていることがわかる。図 4.8(2)と図 4.6(2)、(3)を比べても同様のことが言える。

これは、浮上がり量の大きい場合には全て加振開始後 1 ~ 2 秒程度で浮上がり始めており、その結果、

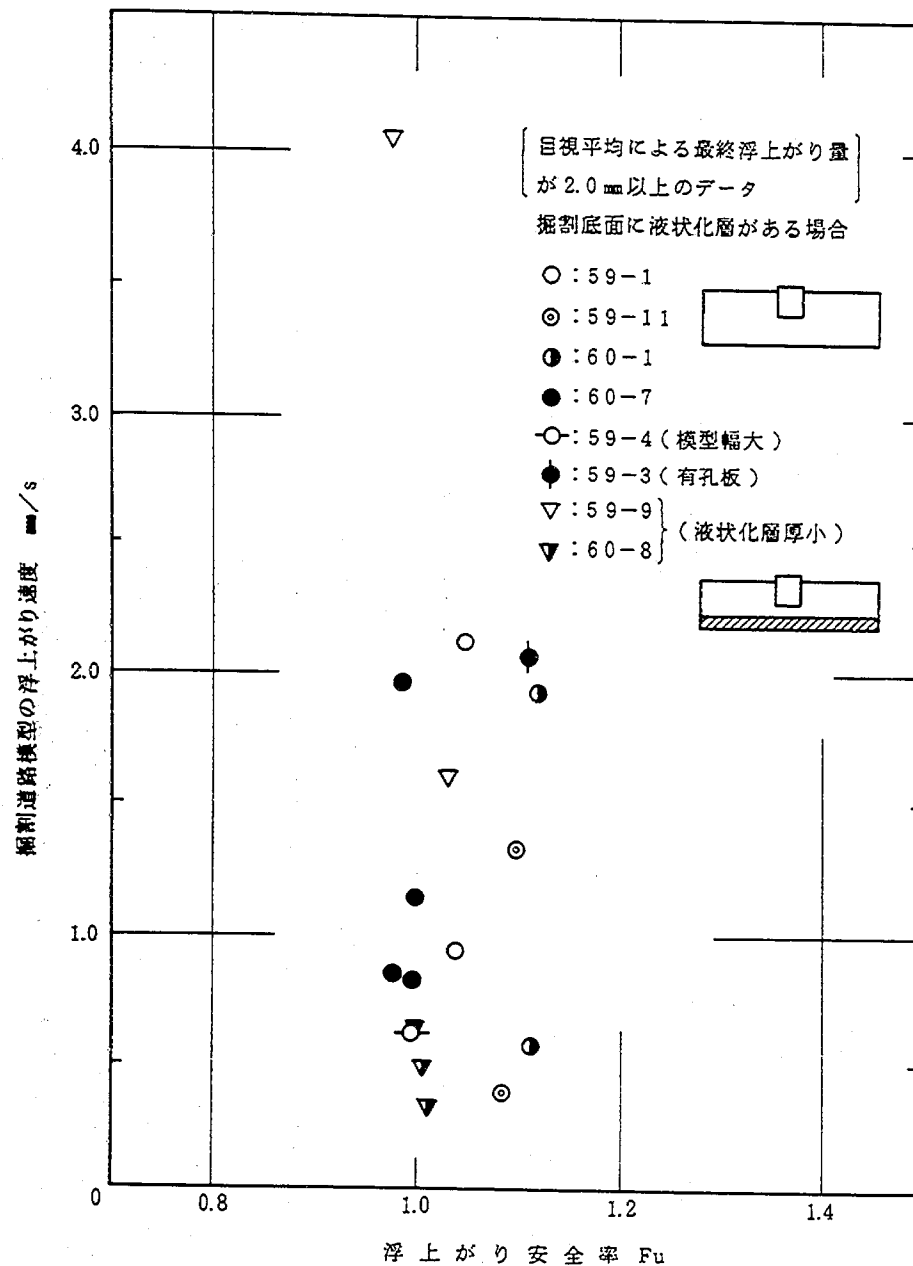


図 4.8(1) 浮上がり安全率と浮上がり速度の関係

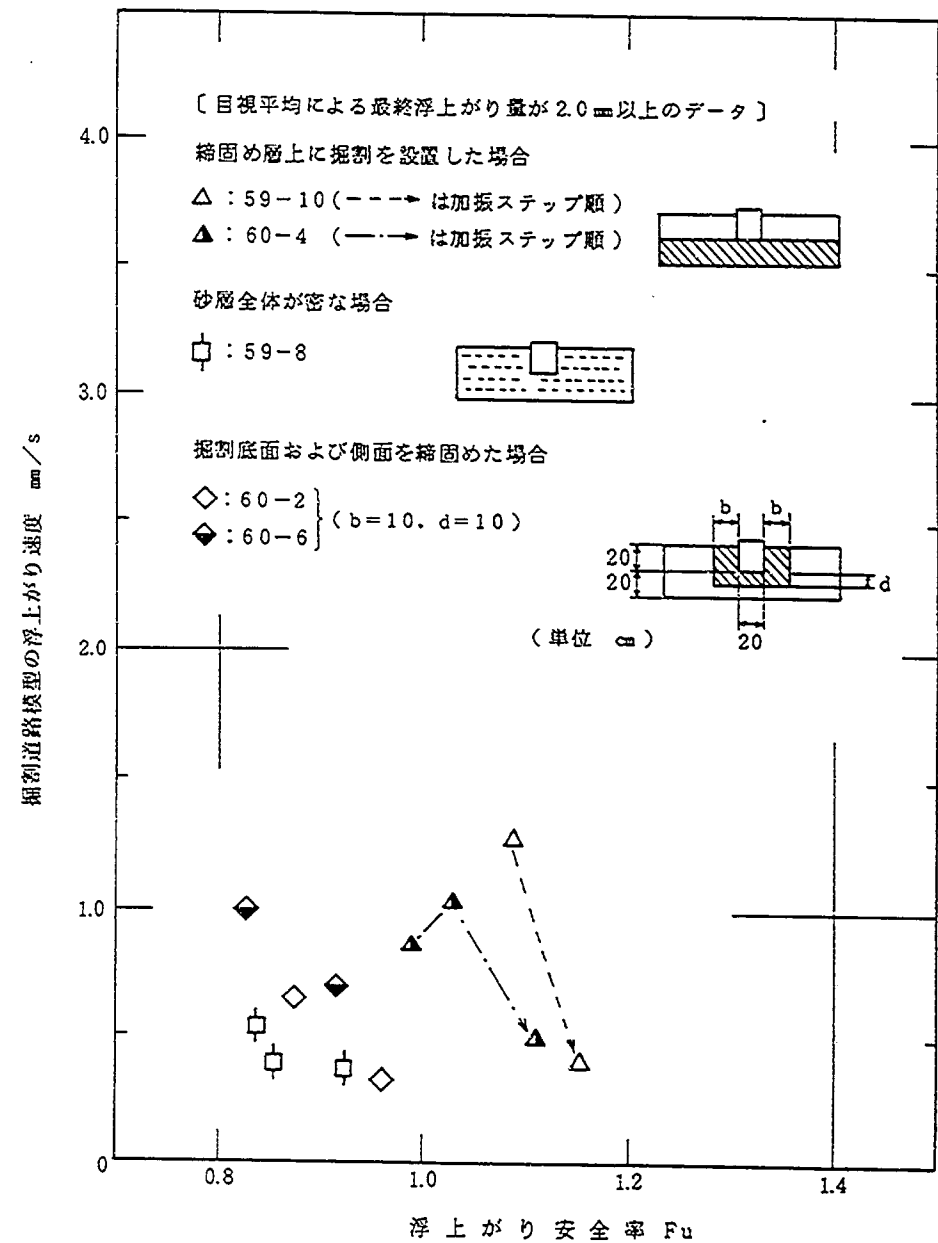


図 4.8(2) 浮上がり安全率と浮上がり速度の関係

浮上がり始めてからの加振継続時間が8～9秒とほぼ一定値になり、浮上がり速度と浮上がり量がほぼ比例するためである。

つまり、浮上がり量の大きいものほど計算上の浮上がり速度も大きくなり、両者と浮上がり安全率との関係が同じようになったと考える。

ゆえに、4.3で浮上がり安全率と浮上がり量の関係について検討したことを、そのまま浮上がり安全率と浮上がり速度の関係に適用することができる。

4.3.5 ま と め

掘割道路模型の浮上がり安全率に関して検討したことをまとめると次のようになる。

- ① 掘割道路模型の底面に液状化する砂層がある場合には、浮上がり安全率が1.0～1.1程度のときに浮上がりが生じた。
- ② 掘割道路模型の周囲にグラベルドレーンを打設すると、過剰間隙水圧の消極効果により浮上がり安全率が大きくなり、その結果浮上がりも生じなかった。
- ③ 掘割道路模型の底面と側面を十分な改良範囲で締固めると、浮上がり安全率が1.0を下回っても浮上がらなかった。浮上がり安全率が1.0以下になるのは、側壁の摩擦抵抗を無視しているためで、これを考慮すれば浮上がり安全率は1.0以上になると考える。
- ④ 締固め改良範囲が不十分な場合には、掘割道路模型が浮上ることがあった。このとき、浸透水力に起因する力が掘割道路模型の底面に作用していた。
- ⑤ 浮上がり安全率と浮上がり量および浮上がり速度の間には、一意的な対応関係はなかった。これら进行评估するためには、別な指標の導入が必要である。

4.4 掘割道路模型幅および液状化砂層厚の影響

4.4.1 掘割道路模型幅の影響

ここでは、無対策の砂地盤に掘割道路模型を設置した場合の模型幅の影響について、模型59-1と模型59-4の結果をもとに検討を行う。

図4.9に、模型59-1～59-5について140 galレベルの加振を2回行った場合の、掘割道路模型の累積浮上がり量を示す。模型59-2～59-5では、はじめの2回の加振時のデータを示した。また模型59-1では、はじめの3回の加振時の加振加速度が70～110 galと低く、このとき掘割道路模型の浮上がりも見られなかったため、これらの影響は小さいものと考えて、4回目と5回目の140 galレベルの加振時についてデータを示した。

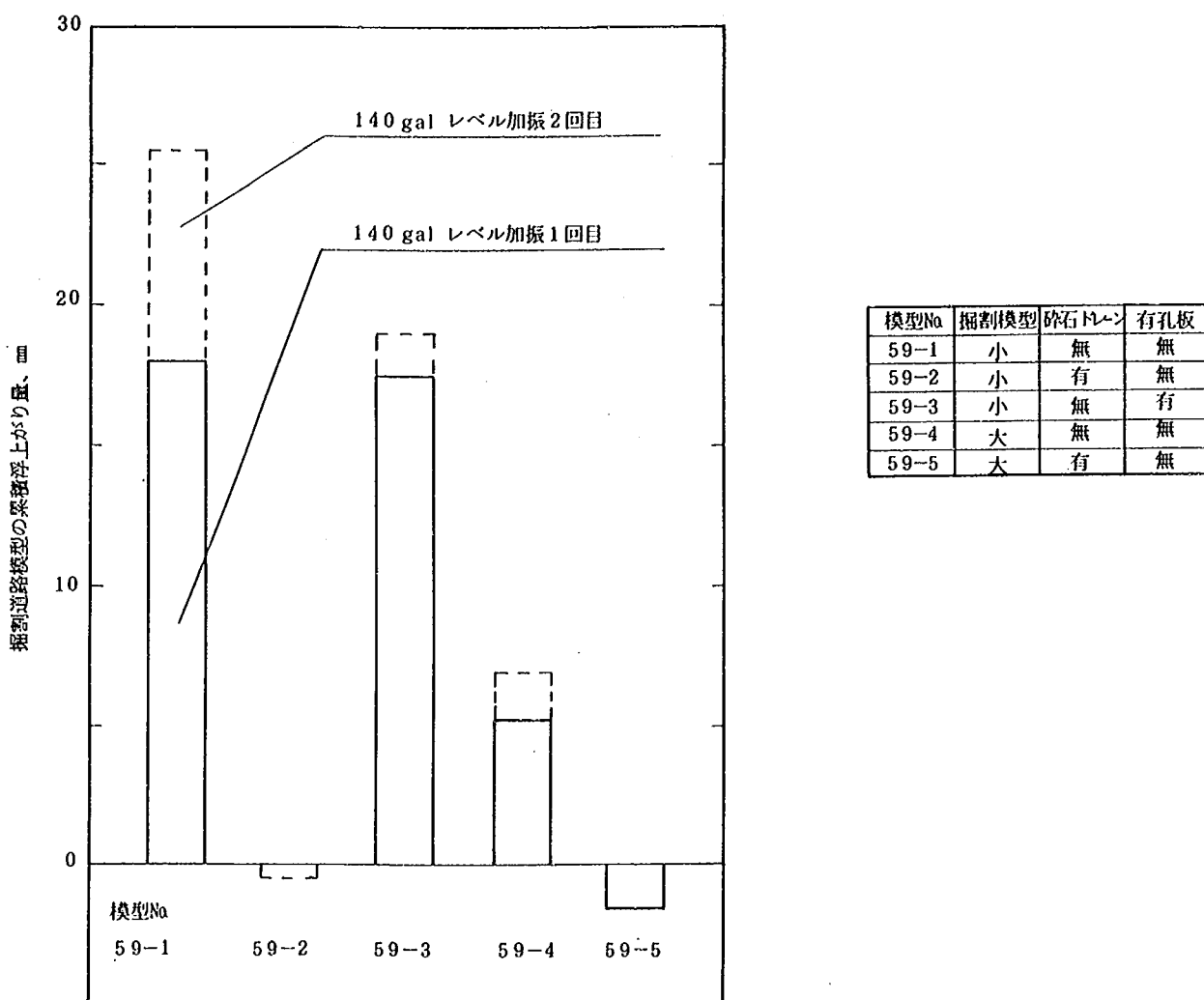


図4.9 掘割道路模型の累積浮上がり量（模型59-1～59-5）

図4.10には、模型59-1～59-5について1回目の140 galレベル加振時の、掘割道路模型底面に作用する過剰間隙水圧（P-2）の経時変化を示す。同じ場合における掘割道路模型直下の砂地盤内の過剰間隙水圧（P-4）の経時変化を図4.11に示す。ただし、模型59-5のP-4の水圧計が不良でデータを正しく測定できなかったため、これを除いた。

模型59-1～59-5の加振中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布を図4.12(1)～(5)に示す。また、加振

後の消散過程における過剰間隙水圧の鉛直方向分布を図4.13(1)~(5)に示す。

図4.9で模型59-1と59-4の浮上がり量を比較すると、掘割道路模型幅の小さい59-1のほうが浮上がり量が多いことがわかる。この違いの要因について次のように考える。

一般に、同じ地盤条件では、掘割道路幅が大きくなると掘割道路直下からの排水距離が長くなるので、発生した過剰間隙水圧が消散しにくくなり、大きな揚圧力が働く可能性がある。一方、掘割道路が浮上がるためには、掘割道路の下に砂または水が流れ込む必要があるが、同じ量の砂または水が流れ込んだ場合の浮上がり量は掘割道路幅に反比例する。

つまり、掘割道路幅が大きいと、排水距離に関しては浮上がりやすくなり、砂の流れ込みに関しては浮上がりにくくなることが予想できる。

ここで、図4.12(1)と図4.12(4)のB断面の過剰間隙水圧分布を比べると、模型59-4よりも模型59-1のほうが過剰間隙水圧が発生しやすいことがわかる。

図4.10および図4.11で掘割道路底面と直下の地盤における過剰間隙水圧を比べても、模型59-1のほうが発生量が多い。排水距離だけを考えると、道路幅の大きい模型59-4のほうが過剰間隙水圧が発生しやすいことが予想できるが、実験結果はこれと反対である。

過剰間隙水圧に関するこれらの違いは、地盤の相対密度の違いに起因すると考える。模型59-1の地盤の相対密度は39%で、模型59-4の48%よりも9%小さく、過剰間隙水圧が発生しやすかった。

浮上がり量の違いも、同じ要因によるものと考えられる。つまり、地盤の相対密度の違いにより模型59-1のほうが過剰間隙水圧が発生しやすく、かつ掘割道路模型が浮上がる時に地盤が変形しやすかったために、浮上がり量が大きくなった。

この2つの模型の実験結果を比べただけでは、掘割道路幅が異なるときの、排水距離と砂の流れ込みやすさの影響を明らかにすることができなかった。砂の流れ込みやすさの影響については、4.4.2で検討する。排水距離の影響は今後の検討課題である。

4.4.2 液状化砂層厚の影響

ここでは、掘割道路模型直下の液状化砂層厚を変えた場合に、砂の流れ込みやすさの違いが掘割道路模型の浮上がり量に及ぼす影響について検討する。

検討は、模型60-7~60-11の実験結果をもとに行った。模型59-9と59-10も液状化砂層厚を変えた実験であるが、模型59-10の常時の浮上がり安全率が1.02で他と比べて著しく低く、また両者の地盤の相対密度が50%程度で模型60-7~60-11よりも大きかったため、比較の対象からはずした。

模型60-7~60-11の加振は、いずれも80galレベルからほぼ20galきざみで加振加速度を増やしていくステップ加振である。掘割道路模型の累積浮上がり量と台加速度の関係を図4.14に、地盤の累積平均沈下量と台加速度の関係を図4.15に示す。

(1) 掘割道路模型の累積浮上がり量

図4.14より、液状化砂層厚の大きな模型60-8、60-7の順に浮上がり量も大きくなったことがわかる。締固め層の上に掘割道路模型を直接置いた模型60-9では、加振加速度が180galを越えたところでわずかな浮上がりを生じた。締固め層に掘割道路模型を根入れして設置した模型60-10、60-11では、全く浮上がりを生じなかった。

液状化砂層厚の大きな模型ほど浮上がり量が多いのは、掘割道路模型直下への砂の流れ込みやすさが

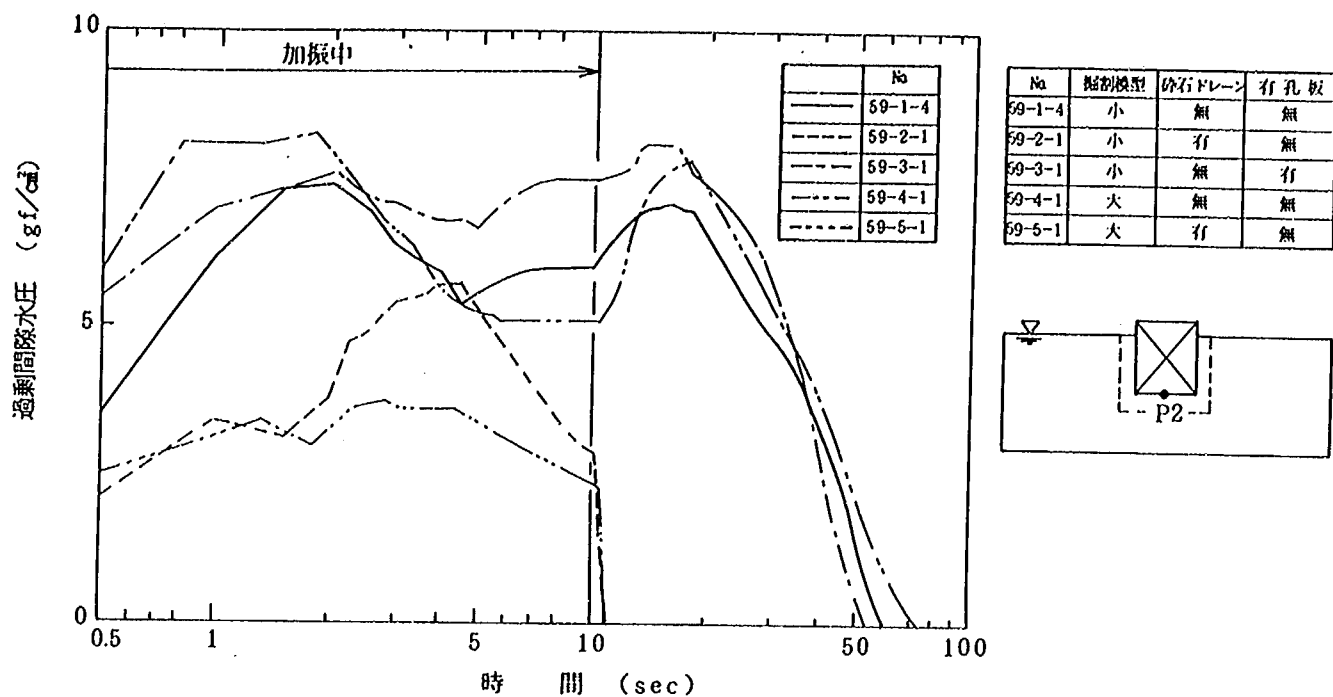


図 4.10 掘削道路模型底面に作用する過剰間隙水圧の経時変化 (模型 59-1 ~ 59-5)

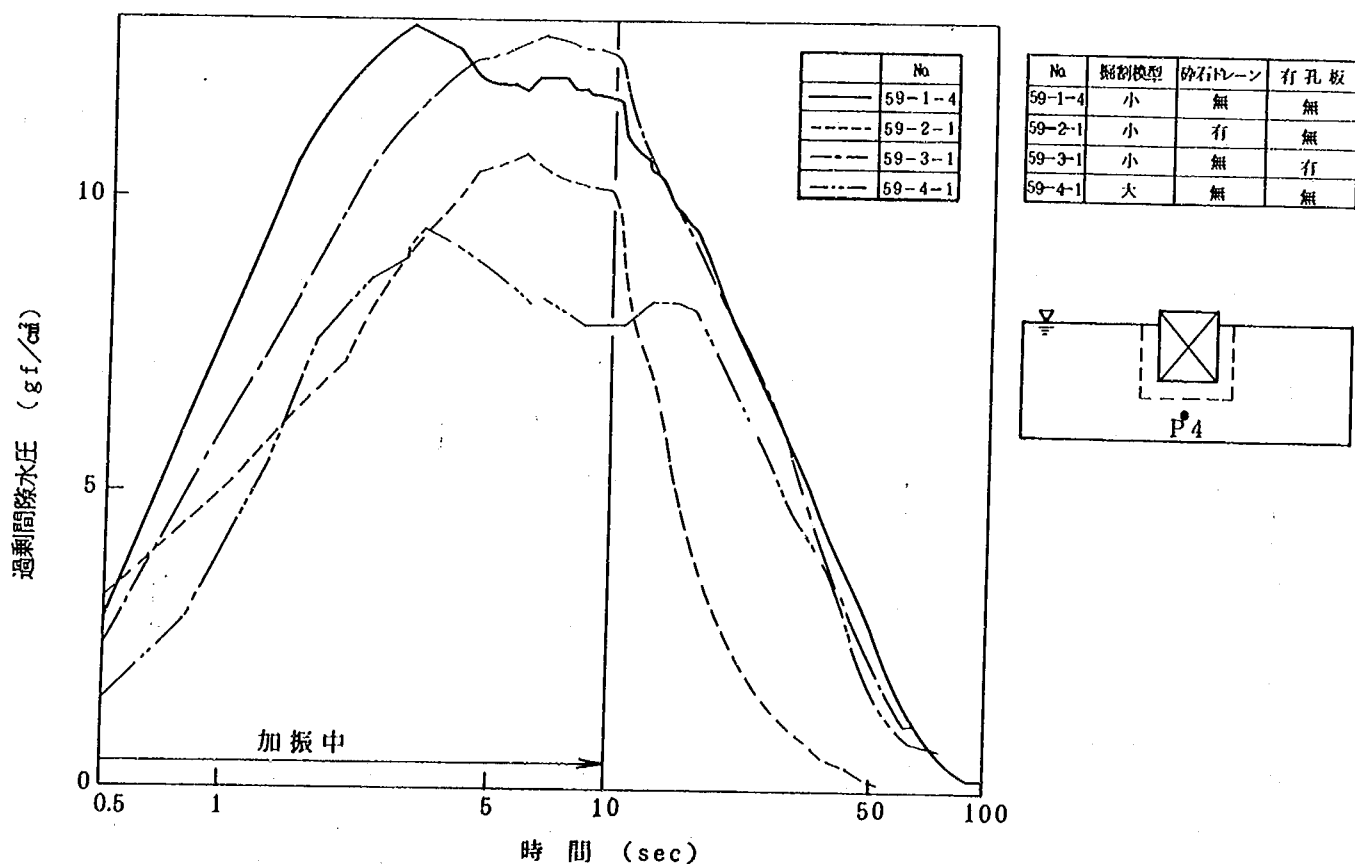
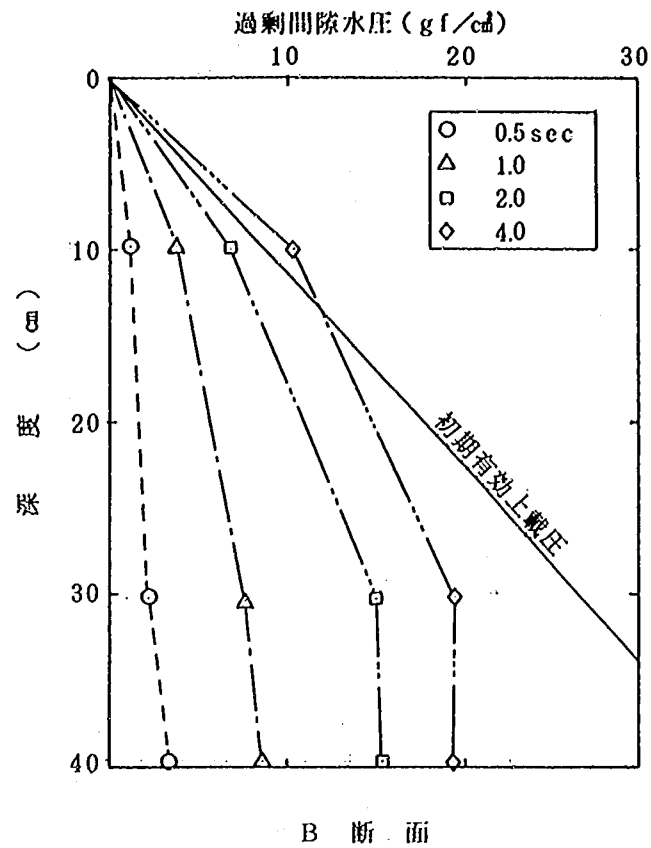
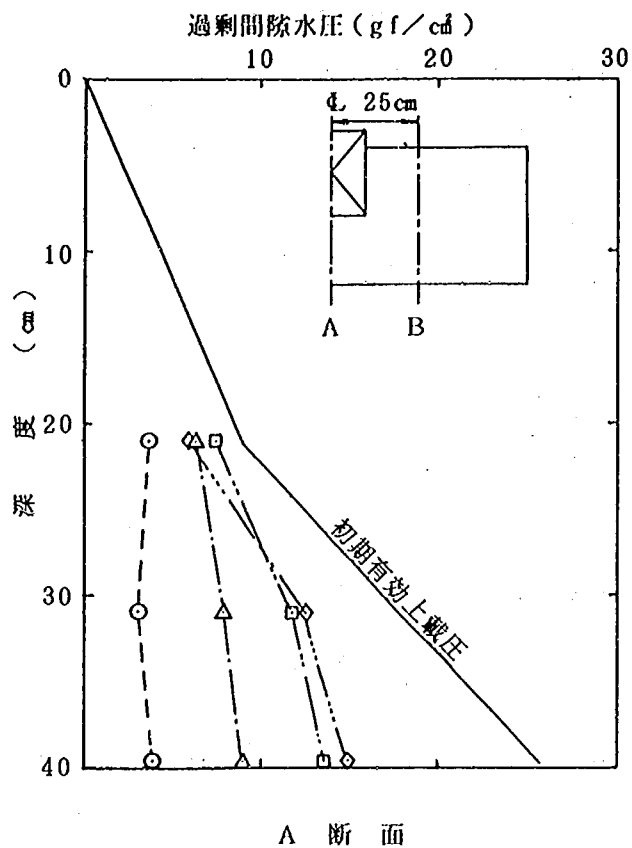
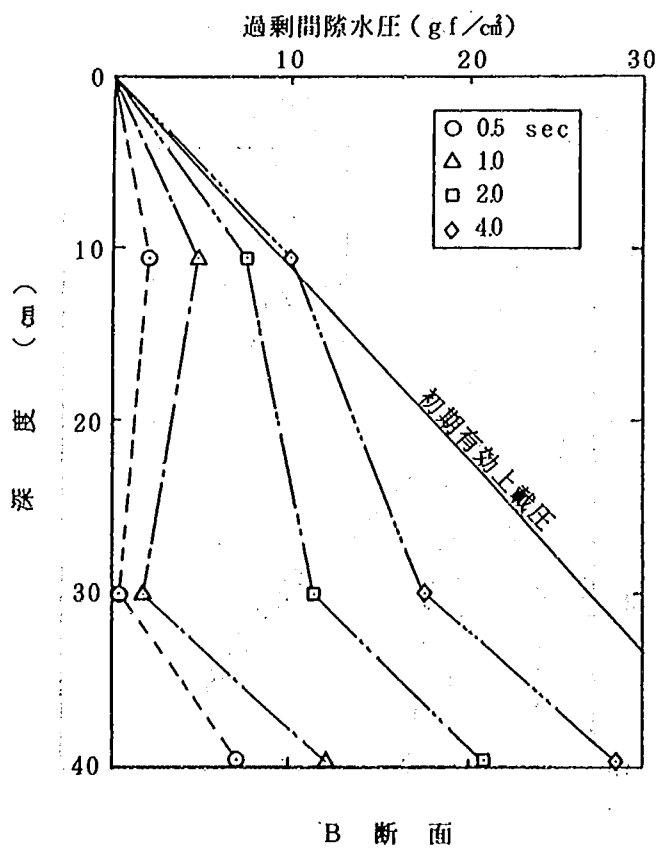
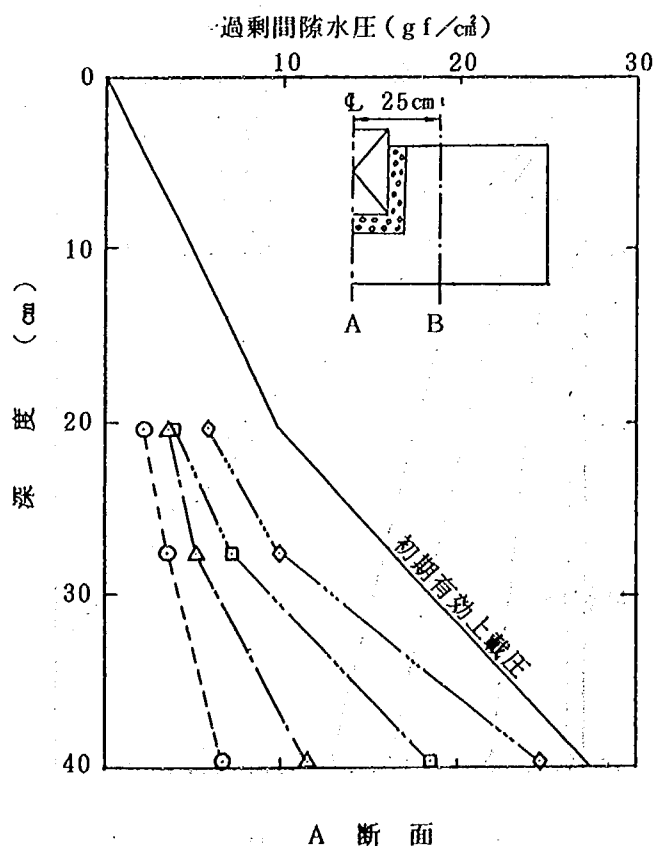


図 4.11 掘削道路模型直下の砂地盤内の過剰間隙水圧の経時変化 (模型 59-1 ~ 59-4)



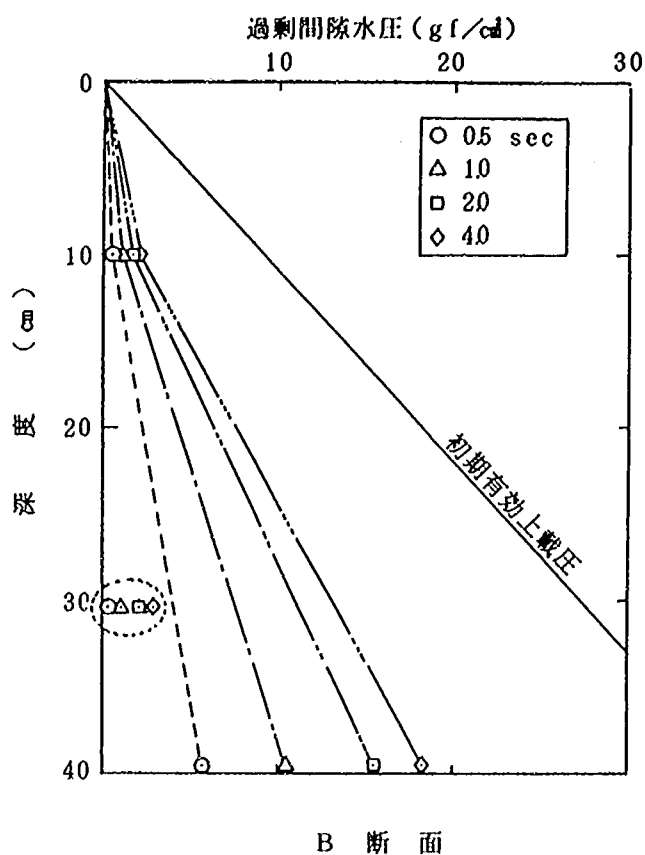
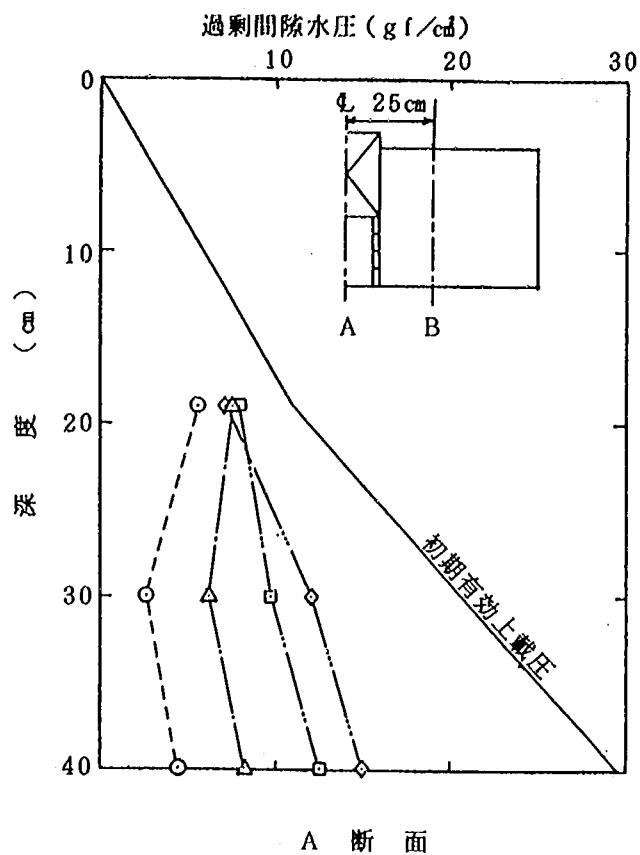
実験No. 59-1-4

図 4.1 2(1) 加振中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布

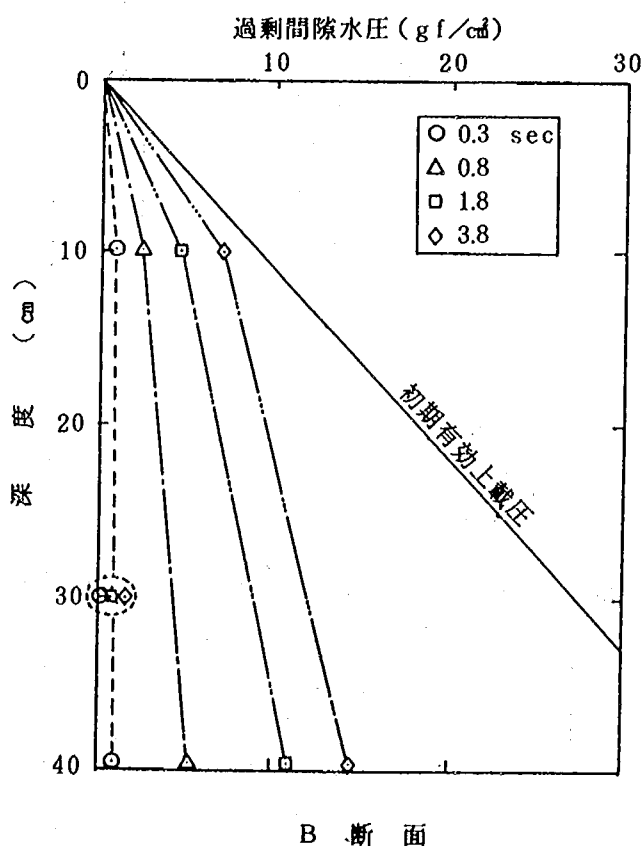
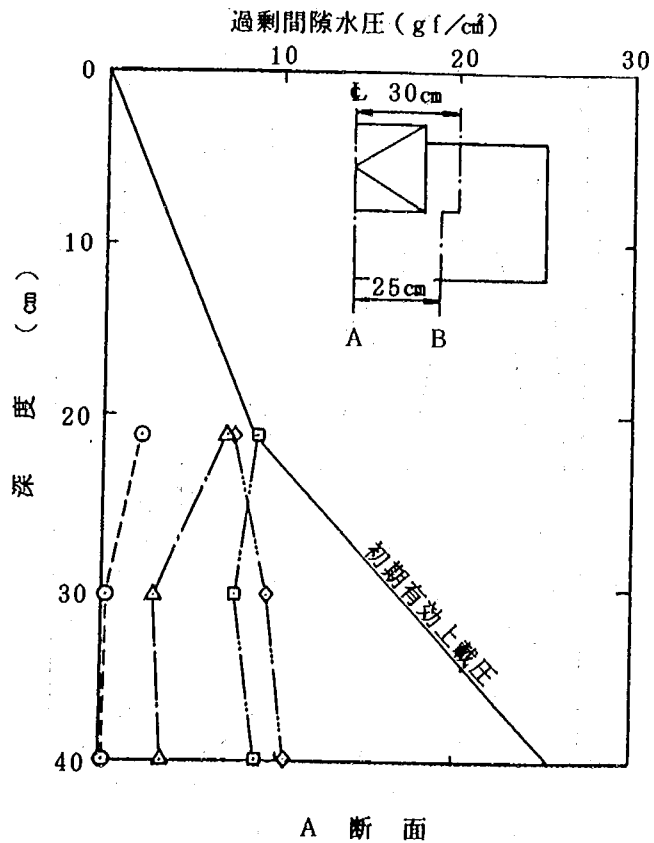


実験No. 59-2-1

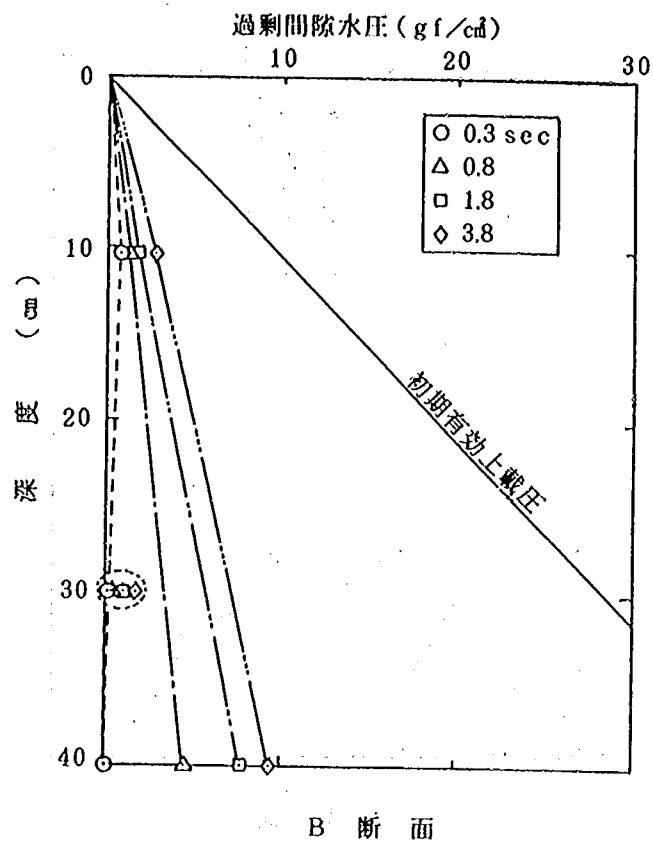
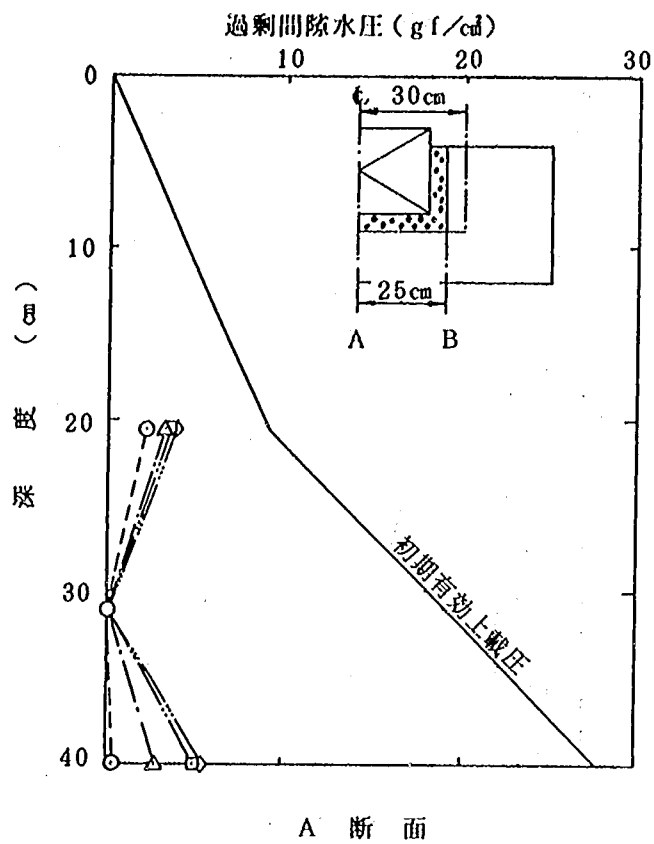
図 4.1 2(2) 加振中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布



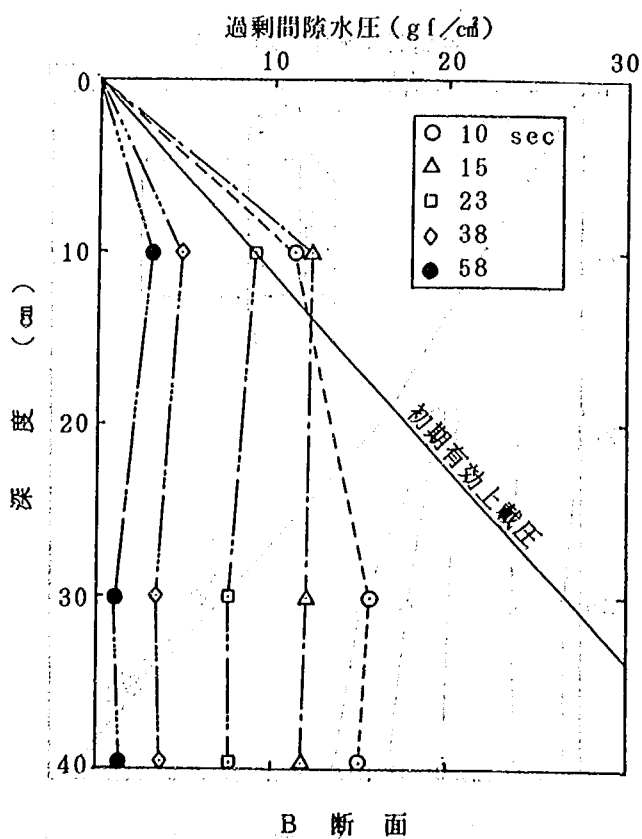
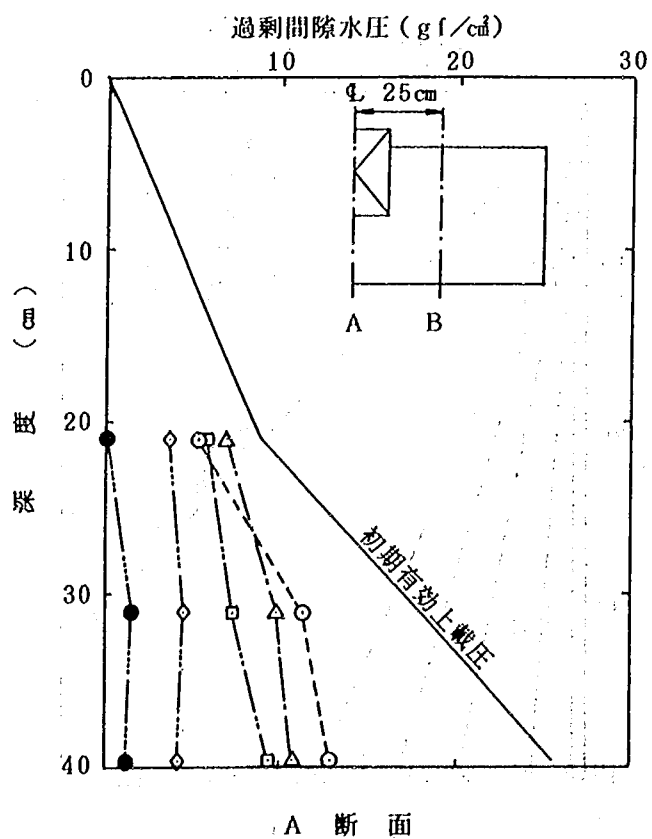
実験No. 59-3-1
図4.1 2(3) 加振中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布



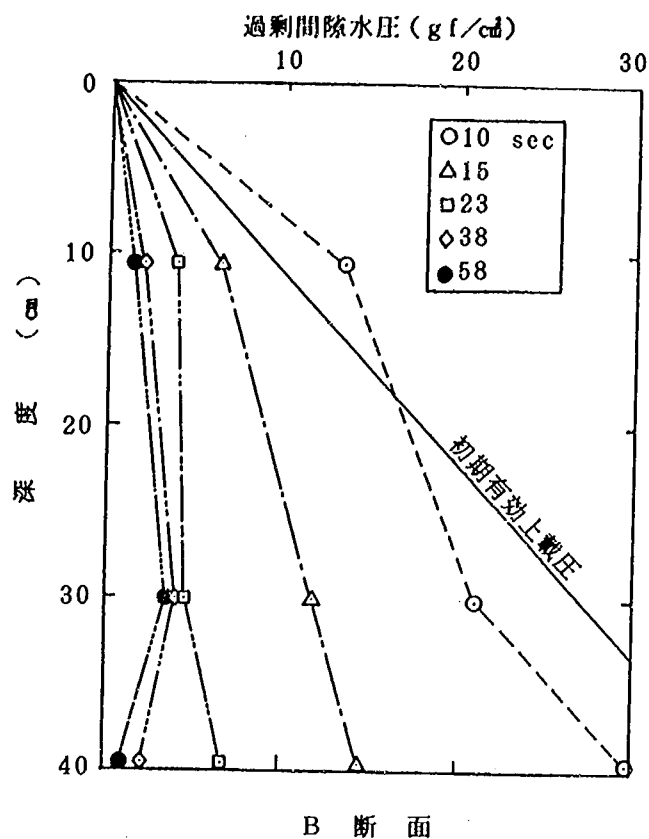
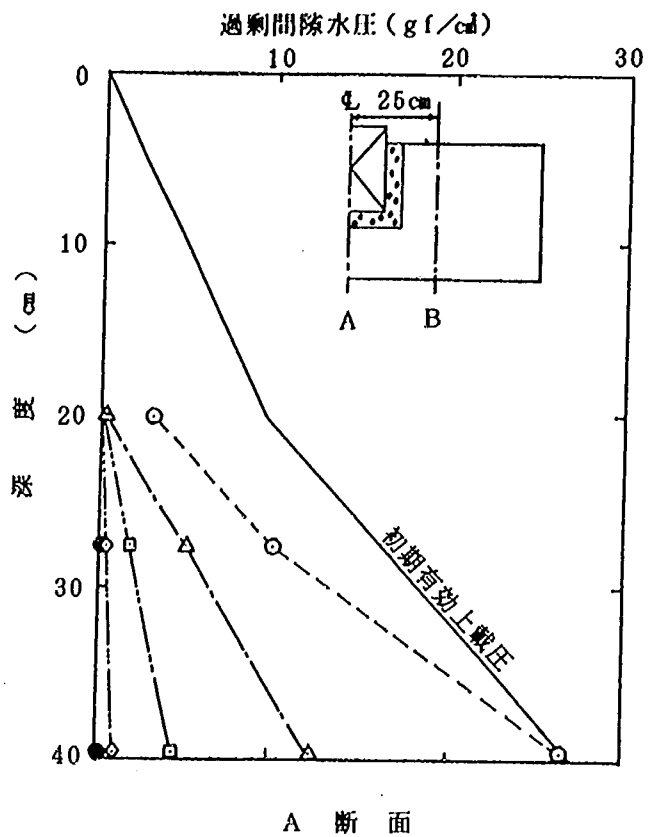
実験No. 59-4-1
図4.1 2(4) 加振中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布



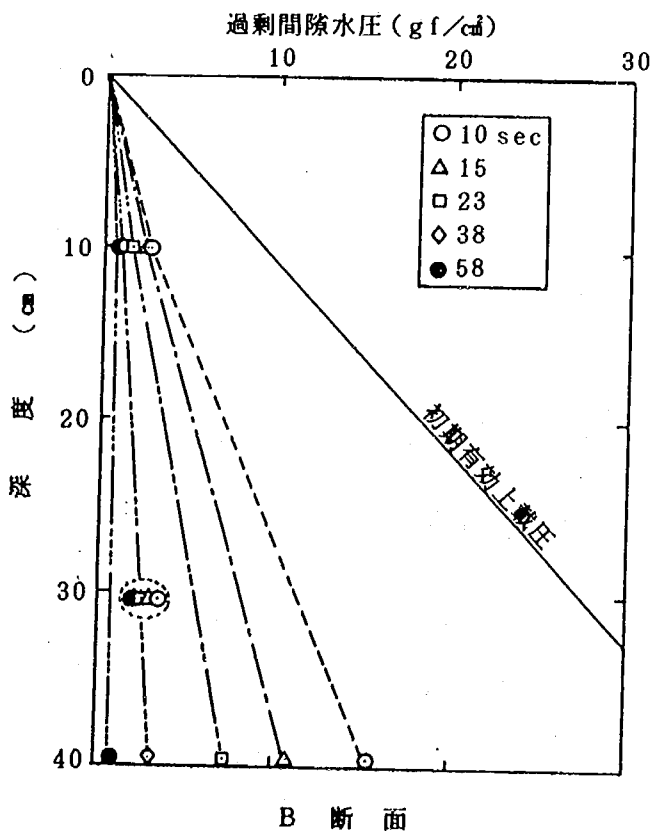
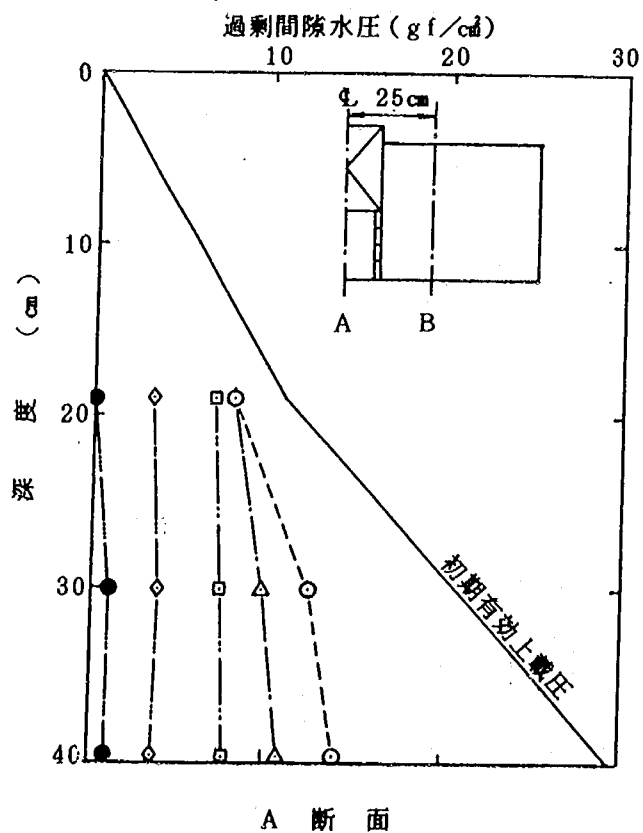
実験No. 59-5-1
図4.1 2(5) 加振中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布



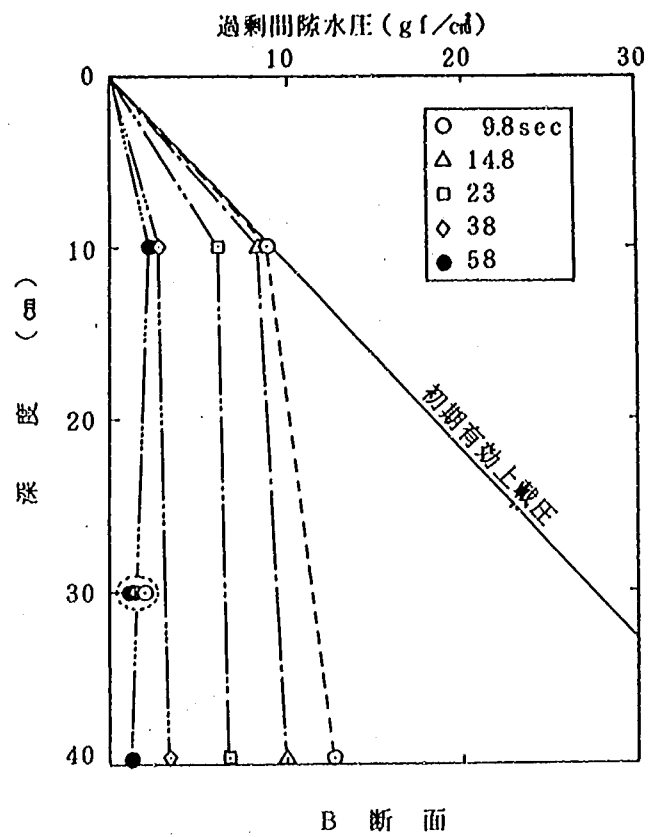
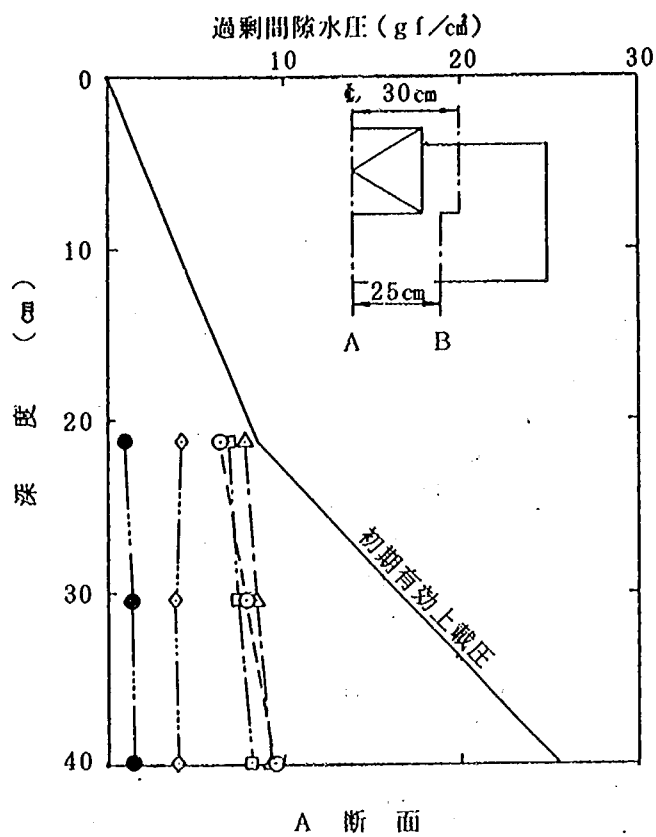
実験No. 59-1-4
図4.1 3(1) 消散中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布



実験No. 59-2-1
図4.13(2) 消散中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布

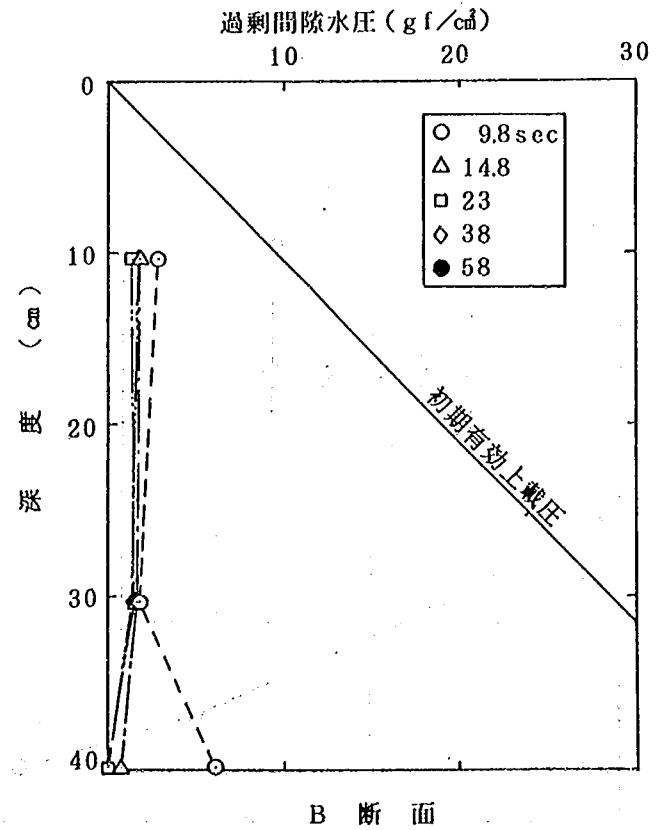
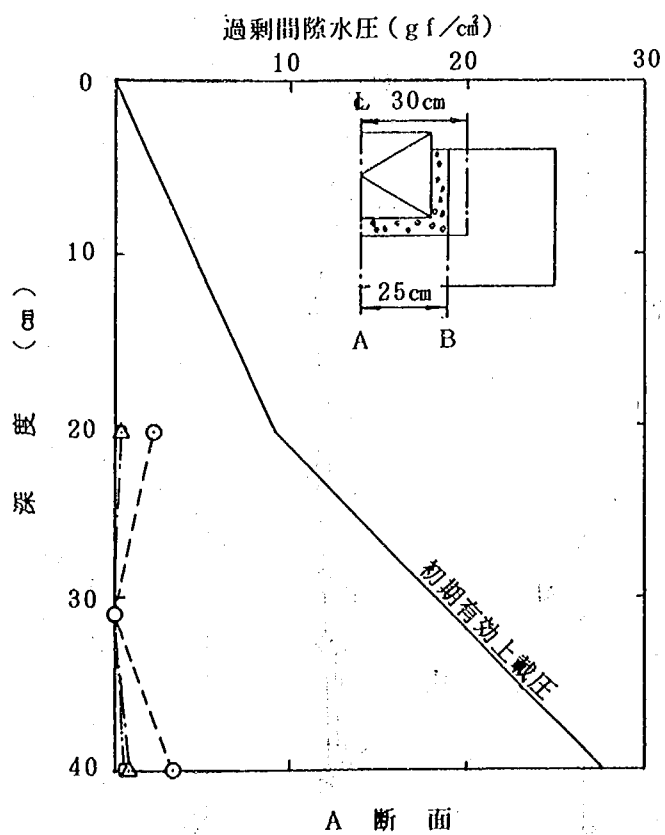


実験No. 59-3-1
図4.13(3) 消散中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布



実験No. 59-4-1

図4.13(4) 消散中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布



実験No. 59-5-1

図4.13(5) 消散中の過剰間隙水圧の鉛直方向分布

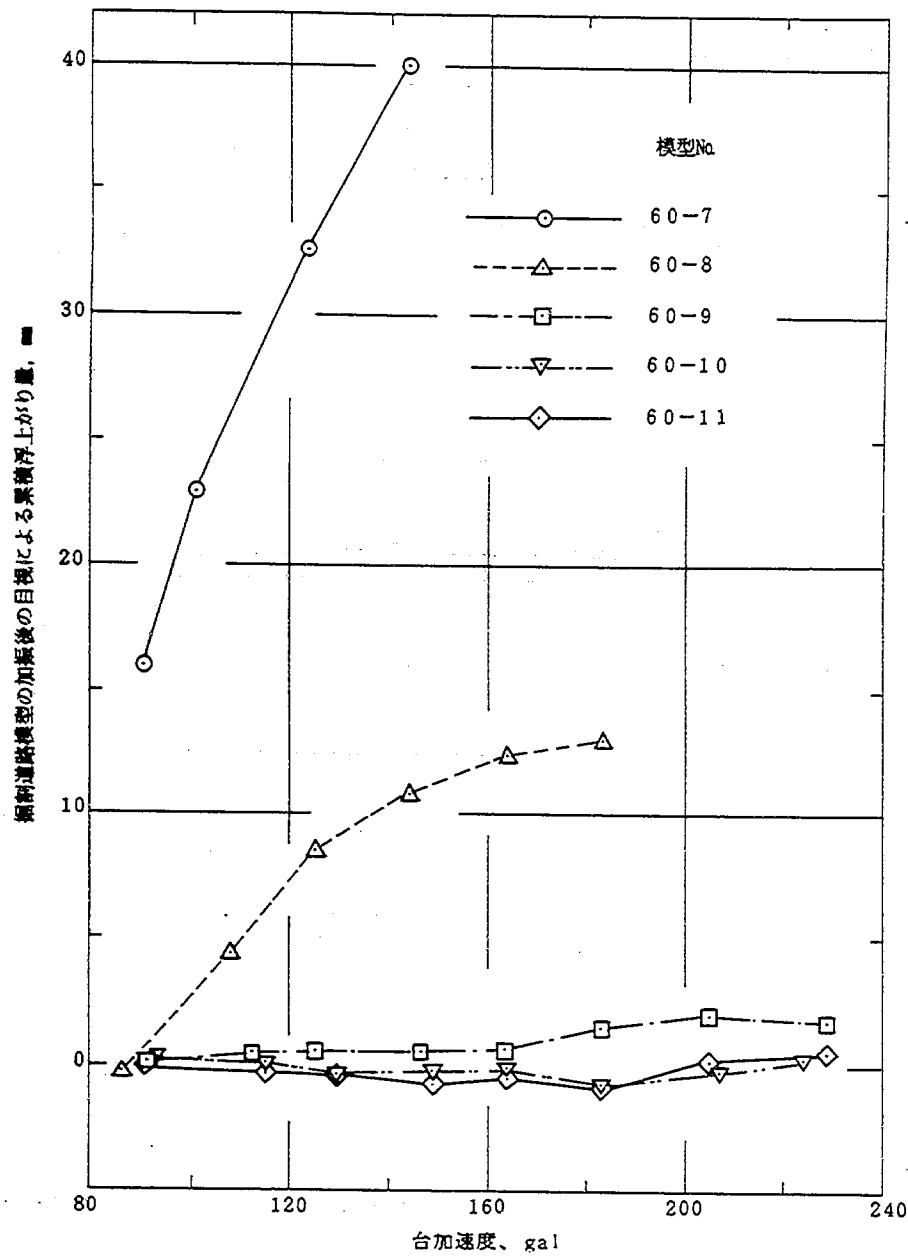


図 4.14 掘削道路模型の累積浮上がり量と台加速度の関係
(模型 60-7~60-11)

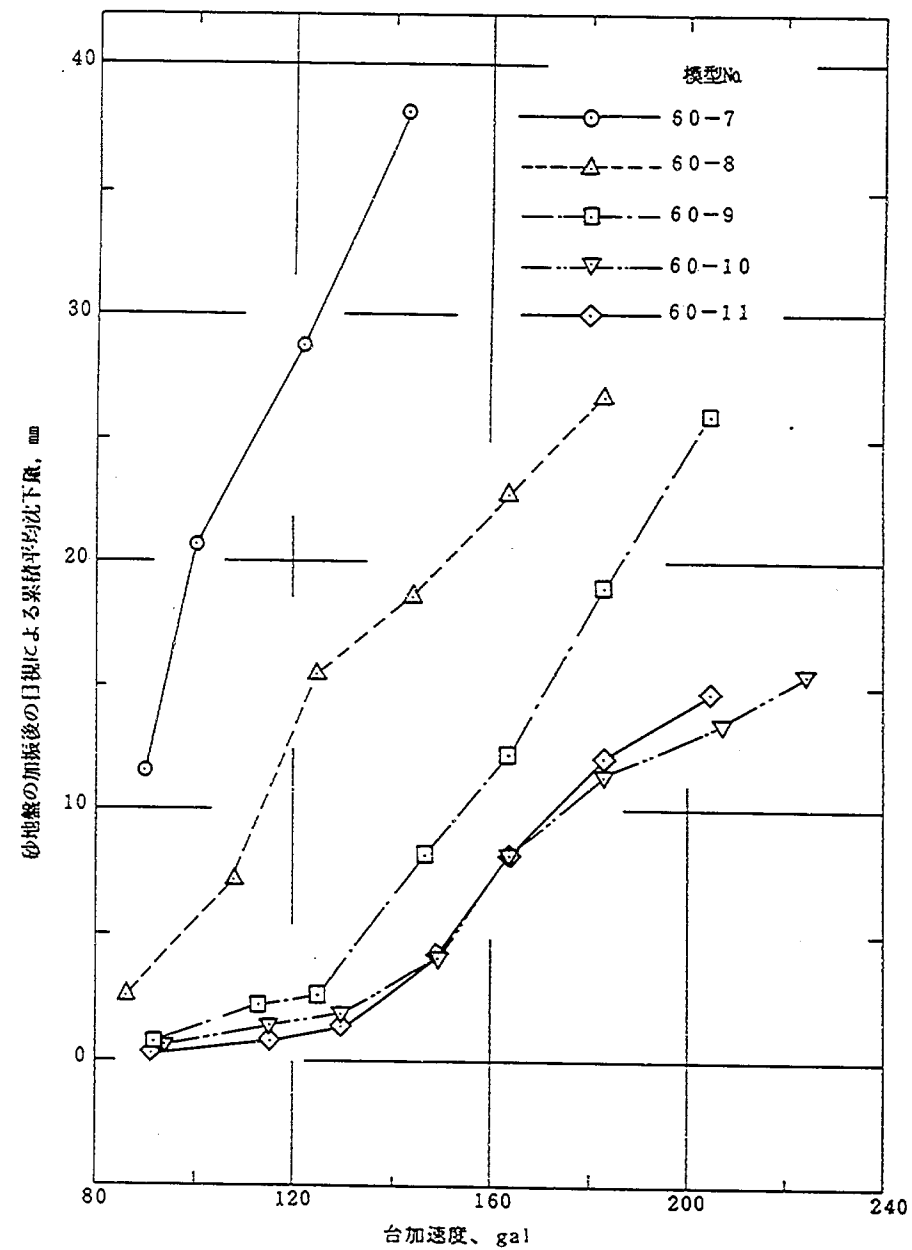


図 4.15 砂地盤の累積平均沈下量と台加速度の関係
(模型 60-7~60-11)

違うためと考える。すなわち、掘割道路模型が浮上るときには、その浮上がり量に見合うだけの砂と水が模型の側方から直下に供給される必要があるが、模型直下の液状化砂層厚が大きくなるほどこの供給が行われやすく、結果として大きな浮上りを生じる。

模型60-9では、掘割道路模型直下の液状化砂層厚がゼロであるかず締固め層が液状化しない限り浮上り量は生じないはずであるが、3.2.3でも述べたように完全に液状化した上部砂層の砂が掘割道路模型の下に若干まわり込んで、わずかな浮上りが生じたと考える。また、模型60-10と60-11で浮上りが生じなかったのは、掘割道路型の根入れによって、このような砂のまわり込みが全く起こらなかったためと考える。

(2) 地盤の累積平均沈下量

図4.15を見ると、液状化砂層厚の大きな模型ほど地盤の沈下量が大きくなっている。これには2つの大きな要因を考える。

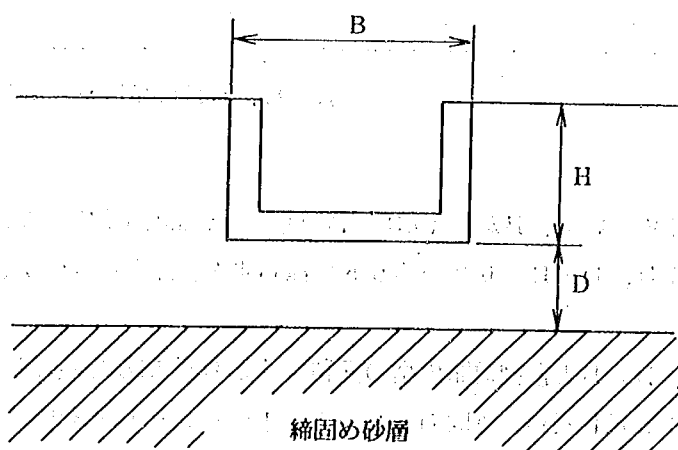
まず、先にも述べたように、掘割道路模型が浮上るとその直下へ砂と水が側方からまわり込むので、側方の地盤は沈下する。掘割道路模型の浮上がり量が多い場合ほど、これに起因する地盤の沈下量も大きくなる。

さらに、掘割道路模型が浮上らなくても、上部のゆるい砂層が加振ごとに締め固まっていくので、全体として地盤は沈下する。模型60-10と60-11で沈下が生じたのはこのためである。このような沈下量は、上部のゆるい砂層が厚い場合ほど、すなわち液状化砂層厚が大きい場合ほど大きくなる。

以上2つの要因は、いずれも液状化砂層厚が大きく掘割道路模型の浮上がり量が多い場合に、沈下量を大きくする。この点において、定性的ではあるが、図4.15の傾向は図4.14の傾向と一致している。

4.4.3 無次元量による比較

掘割道路模型幅を変えることと、掘割道路模型直下の液状化砂層厚を変えることは、いずれも砂の流れ込みやすさに関連性がある。そこで、掘割道路模型幅 B と液状化砂層厚 D および掘割道路模型の側壁高 H （図4.16参照）の相互の比をとって無次元量による比較を行う。



B : 掘割道路模型幅

H : 掘割道路模型の側壁高

D : 掘割道路模型直下の液状化砂層厚

図4.16 無次元量に用いた記号

ここでは、DとHが一定でBを変えた模型59-1と59-4と、BとHが一定でDを変えた模型60-7～60-9を対象とした。それぞれの模型のB, D, Hの値および無次元量D/H、B/H、D/Bの値を表4.4に示す。

表4.4 無次元量一覧(模型59-1, 59-4, 60-7～60-9)

模 型	掘割模型幅 B (cm)	側壁高 H (cm)	液状化砂層厚 D (cm)	D/H	B/H	D/B
59-1	20.0	20.9	19.2	0.919	0.957	0.960
59-4	40.0	21.2	19.1	0.901	1.887	0.478
60-7	20.0	22.5	18.0	0.800	0.889	0.900
60-8	20.0	20.3	9.6	0.473	0.985	0.480
60-9	20.0	20.0	0	0	1.000	0

(B, H, Dは模型地盤作成時の値)

模型60-7～60-9について、Bが一定な場合のD/Hと掘割道路模型の累積浮上がり量の関係を図4.17に示す。この図より、D/Hを0.8から0.5に減らすと、浮上がり量が著しく減少することがわかる。

次にHが一定の場合の、D/Bと掘割道路模型の累積浮上がり量の関係を図4.18に示す。図には対象とした全ての模型のデータを示したが、実験No 59-1-1～59-1-3のデータを除いた他のデータは、D/Bを1.0から0.5に減らすと浮上がり量が1/4程度に減少するという点で、互いに同じような傾向を示している。

模型59-1と59-4では加振条件が模型60-7～60-9と異なっているので、図4.18における比較は必ずしも正しくはない。さらに、このように無次元量で整理したときの浮上がり量に関する定性的な関係が、実物の掘割においても成り立つかどうかは不明である。後者については、より大型の模型振

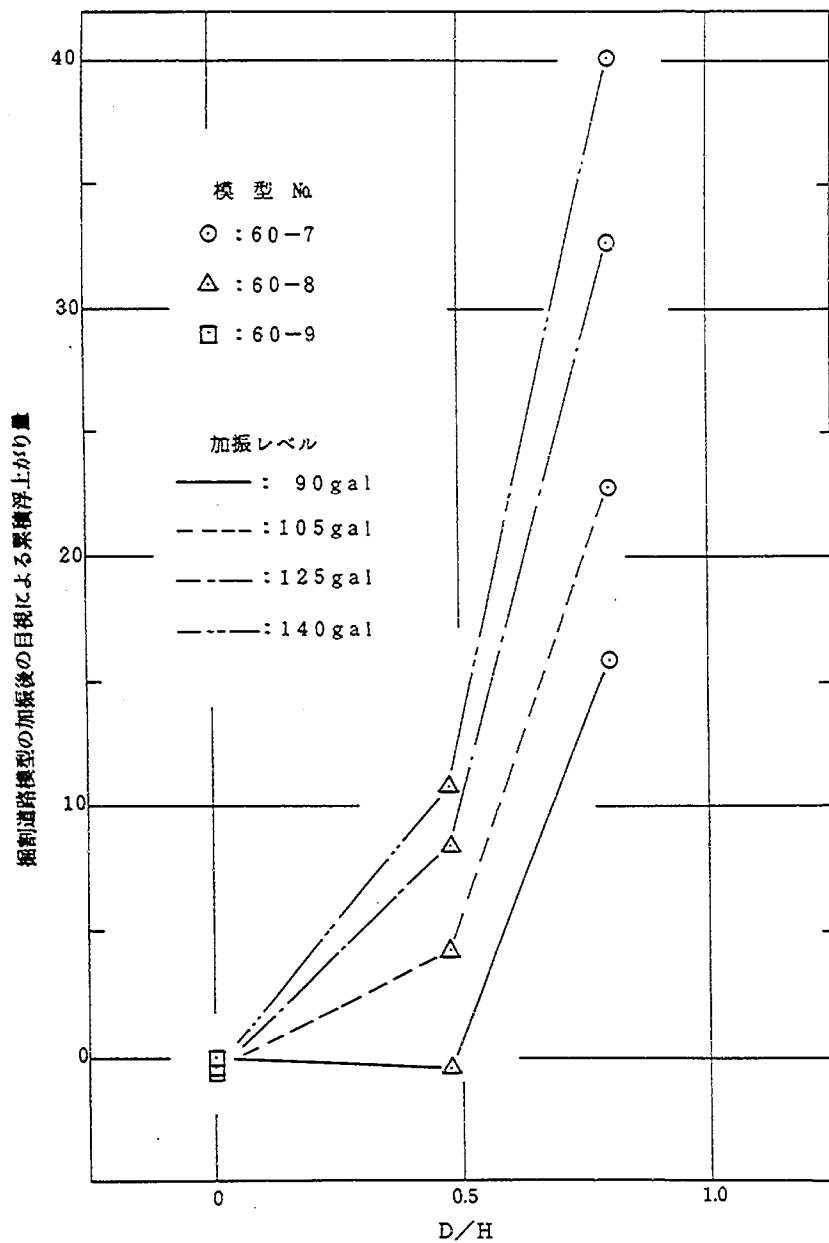


図 4.17 掘割道路模型の累積浮上がり量と D/H の関係
(模型 60-7 ~ 60-9)

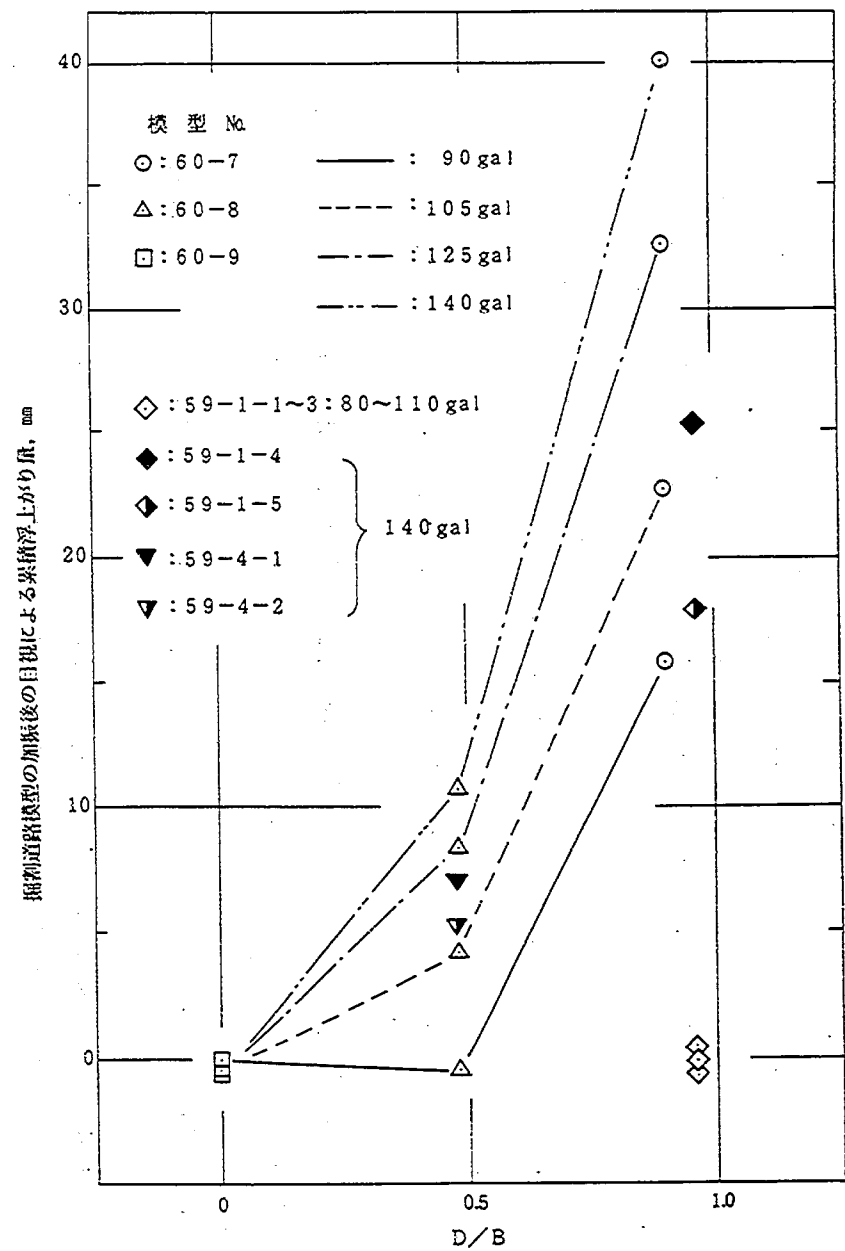


図 4.18 掘割道路模型の累積浮上がり量と D/B の関係
(模型 59-1, 59-4, 60-7 ~ 60-9)

動実験を行うことによって確認する必要がある。

なお、模型59-1と模型60-7は地盤の条件がほぼ同じだが、90 gal レベルの加振時の浮上り量は大きく異なった。これは、主に常時の浮上り安全率の違いに起因すると考える。模型60-7は常時の浮上り安全率が約1.33で、比較した他の模型よりも0.1程度小さかったために浮上りやすかった可能性がある。

模型60-1も、模型59-1や60-7と同じような地盤条件だが、地盤が不飽和だった可能性(4.5.3で詳しく述べる)があり、比較の対象からはずした。

4.4.4 ま と め

掘割道路模型幅と掘割道路模型直下の液状化砂層厚が掘割道路模型の浮上りに及ぼす影響について、検討したことをまとめると次のようになる。

- ① 掘割道路模型幅が広くなるほど、あるいは掘割道路模型直下の液状化砂層厚が小さくなるほど、掘割道路模型底面へ砂が流れ込みにくくなる。液状化砂層厚を小さくした場合については、浮上り量も小さくなることが実験より得られた。
- ② 特に、掘割道路模型を非液状化層に根入れして設置し、液状化した砂のまわり込みを防げば、浮上りは全く生じなかった。
- ③ 掘割道路模型幅の影響については、排水距離と砂の流れ込みやすさの両面を考える必要があるが、実験ではこれを明らかにすることができなかった。今後の検討問題である。

4.5 浮上がり対策工の効果

4.5.1 グラベルドレーンを打設した場合

ここでは、模型 59-1 と 59-2 および模型 59-4 と 59-5 の実験結果をもとに、掘割道路模型のまわり（底面および側面）にグラベルドレーンを打設した場合の浮上がり抑制効果について検討する。

(1) 浮上がり量の比較

140 gal レベルの加振を 2 回行ったときの、各模型における掘割道路模型の累積浮上がり量を図 4.9 に示した。模型 59-1 は 140 gal レベルの加振の前に、80～110 gal レベルの加振を計 3 回行ったが、浮上がりは生じなかったためこれらの加振の影響は小さいものと考えた。他の模型は、はじめから 140 gal レベルで加振を行った。

この図では、無対策の模型 59-1 と 59-4 が浮上がったのに対し、グラベルドレーンを打設した模型 59-2 と 59-5 は全く浮上っておらず、グラベルドレーンの打設による掘割道路模型の浮上がり抑制効果が明らかに現れている。

(2) 掘割道路模型底面における過剰間隙水圧

図 4.10 に、1 回目の 140 gal 加振時における掘割道路模型底面に作用する過剰間隙水圧（P-2）の経時変化を示した。これを見ると、加振中の過剰間隙水圧の発生量は、無対策の模型 59-1 と 59-4 よりも、グラベルドレーンを打設した模型 59-2 と 59-5 のほうが小さくなっている。また、加振後の過剰間隙水圧の消散も、グラベルドレーンを打設した場合のほうが著しくはやく進んでいる。

グラベルドレーンを掘割道路模型のまわりに打設すると、加振中も加振後も、掘割道路模型底面に作用する過剰間隙水圧の消散をはやめる効果があり、このために掘割道路模型が浮上がらなかったものと考えられる。

図 4.5 (1) の浮上がり安全率と浮上がりの有無の関係を見ると、無対策の模型 59-1 と 59-4 では浮上がり安全率が 1.1 を下回っているのに対し、グラベルドレーンを打設した模型 59-2 と 59-5 では浮上がり安全率が 1.1 を上回っており、グラベルドレーンによる過剰間隙水圧の消散効果が現れている。

(3) 周辺地盤における過剰間隙水圧

ここでは、グラベルドレーンのまわりの地盤における過剰間隙水圧を、グラベルドレーンがない場合と比較する。

図 4.12 および図 4.13 は、それぞれ加振中と加振後の、掘割道路模型近傍の地盤における過剰間隙水圧の鉛直方向分布である。

まず、掘割道路模型幅が 20 cm の場合について、図 4.12 (1) と (2) を比べると、グラベルドレーンのまわりの地盤における加振中の過剰間隙水圧は、グラベルドレーンがない場合とほとんど変わらない。加振後について図 4.13 (1) と (2) を比べると、グラベルドレーンのすぐ下の地盤（グラベルドレーンより 2 cm 下に設置された水圧計 P-4 の付近、図 4.11 参照）では過剰間隙水圧の消散が速く進んでいるが、それ以外ではほとんど変わりが無い。地盤の最深部では、かえってグラベルドレーンのある場合のほうが、過剰間隙水圧の発生量が多い。

掘割道路模型幅が 40 cm の場合について、図 4.12 (4) と (5) および図 4.13 (4) と (5) を比べると、グラベルドレーンのある場合のほうが、全体的に過剰間隙水圧の発生量が小さく、掘割道路模型幅が 20 cm の場合の結果と傾向が異なっている。

このような違いが生じた原因として、次の 2 点を考える。

一つは、掘割道路模型幅が40cmの場合における地盤の相対密度の違いである。グラベルドレーンのある場合には相対密度が55%、ない場合には48%で、ある場合のほうが過剰間隙水圧が発生しにくかった。

もう一つは、掘割道路模型幅が40cmの場合の図4.12(5)と図4.13(5)におけるB断面が、グラベルドレーンに近い位置にあったことである。掘割道路模型幅が20cmの場合のB断面はグラベルドレーンから比較的離れていたため、グラベルドレーンの影響が小さかったのに対し、幅が40cmの場合にはグラベルドレーンに近かったため、この影響が大きかった。

いずれにしても本実験の場合には、少なくともグラベルドレーンの近傍数cmの範囲にある地盤は、グラベルドレーンによる過剰間隙水圧の消散の影響を受けたと考えることができる。

(4) 透水係数の影響

既述の研究⁽⁶⁾によれば、グラベルドレーンの透水係数によって過剰間隙水圧の消散効果がかなり異なることが明らかになっている。今回のような小型の模型実験で、間隙流体として水を用いると、グラベルドレーンによる消散効果が実際の地盤の場合よりもかなり強く現れていることに留意する必要がある。

4.5.2 有孔板を入れた場合

ここでは、掘割道路模型の直下に有孔板を入れて砂の流れ込みを防止した模型59-3の実験結果を、無対策の模型59-1の実験結果と比較する。

図4.9を見ると、1回目の140galレベル加振時の掘割道路模型の浮上がり量は、模型59-3と59-1ではあまり変わらず、2回目の加振時には、有孔板のある模型59-3のほうが浮上がり量が小さい。

1回目の加振時の過剰間隙水圧の鉛直分布を図4.12(1)と(3)および図4.13(1)と(3)で比較すると、掘割道路模型直下のA断面ではほとんど変わらず、側方のB断面では有孔板のある模型59-3のほうが過剰間隙水圧の発生量が小さい。

浮上がり安全率について見ると、表4.3(1)より140galレベル加振時の浮上がり安全率は、模型59-1も59-3も1.0～1.1程度となっており、差は小さい。

一般に、掘割道路模型の下に砂が流れ込まず、水の流れ込みだけで浮上がった場合には、加振が終了して過剰間隙水圧が消散すると、流れ込んだ水が押し出されて掘割道路模型はもとの位置まで沈下するはずである。

有孔板は砂を通さず水だけを通すので、模型59-3にこのような考え方を適用できるはずだが、実際には浮上がったままであった。これは、有孔板のある場合でも、掘割道路模型の下に砂の流れ込みがあったためと考えられる。

有孔板は、図3.5の形状のものを鉛直に4段積み重ねて使用した。加振の際に有孔板が水平方向に変位したときに、有孔板どうしのすき間か、あるいは有孔板と掘割道路模型の間から掘割道路模型の下に砂が流れ込んだ可能性がある。

有孔板のある模型59-3は、地盤の相対密度が49%で有孔板のない模型59-1の39%よりも10%も高く、しかも加振前の常時の浮上がり安全率が1.57で模型59-1の1.43よりも大きかった。さらに、すき間からの砂の流れ込みがあったとしても、有孔板がない場合に比べると砂はかなり流れ込みにくかったはずである。それにもかかわらず、有孔板のない場合と同程度の浮上がりを生じた理由は不明である。

4.5.3 締固め改良を行った場合

ここでは、掘割道路模型のまわりの砂層を締固めた場合の浮上がり抑制効果について検討する。

検討は、模型60-1、60-3～60-7の実験結果をもとに行った。模型60-1と60-7にいずれも無対策の地盤であるが、模型60-1については、後に述べる理由により地盤が不飽和だった可能性があるため、模型60-7のほうを他との比較の対象とした。また模型60-2は、加振条件が他と異なるので比較の対象から除いた。

模型60-1、60-3～60-7の加振は、いずれも80galレベルからほぼ20galきざみで加振加速度を増やしていくステップ加振である。掘割道路模型の累積浮上がり量と台加速度の関係を図4.19に、地盤の累積平均沈下量と台加速度の関係を図4.20に示す。また、掘割道路底面に作用する過剰間隙水圧（P-2）の最大値と台加速度の関係を図4.21に、掘割道路直下の砂層における過剰間隙水圧（P-4）の最大値と台加速度の関係を図4.22に示す。

(1) 浮上がり量の比較

図4.19と図4.20を比べると、掘割道路模型の累積浮上がり量の大きな模型ほど、地盤の累積平均沈下量も大きいことがわかる。これは、掘割道路直下の液状化砂層厚を変えた場合の図4.14と図4.15における傾向と一致する。液状化砂層厚を変えた場合と同じ考え方を、この場合にも適用することができる。

(4.2.2 参照)

図4.19では、累積浮上がり量の大きさによって実験結果を下の3つのグループに分けることができる。

大きく浮上がったもの：模型60-7

浮上がったもの：模型60-1、60-4、60-6

浮上がらなかったもの：模型60-3、60-5

このうち模型60-1を除くと、締固め改良範囲の大きな模型ほど浮上がりにくくなることがわかる。

(2) 締固め改良範囲の小さい場合

図4.21を見ると、浮上がりの生じた模型60-1、60-4、60-6、60-7では、第1ステップの80gal加振時から掘割道路底面に掘割間隙水圧が作用している。模型60-4と60-6は、掘割道路模型の直下に締固め層があるが、締固め範囲が小さいので、まわりの液状化した砂層から過剰間隙水圧が伝播してきたと考える。

図4.22も、図4.21と同様な傾向を示している。模型60-4では、間隙水圧計P-4は締固め層の中央部にあるが、それにもかかわらず無対策の模型60-7と同程度の過剰間隙水圧が生じている。

また、模型60-4と60-6の浮上がり安全率は、図4.5(2)よりほぼ1.1以下となっており、図4.5(3)による模型60-7の浮上がり安全率と同程度と考えることができる。

このように、締固め改良範囲の小さい模型60-4と60-6では、掘割道路模型底面に作用する揚圧力と浮上がり安全率は無対策の模型60-7とほとんど変わらないが、浮上がり量は模型60-7よりも小さかった。これは、掘割道路模型が浮上がる時にまわりの締固め改良部が地盤の変形を抑制したためと考える。

(3) 締固め改良範囲の大きい模型60-3と60-5では、図4.21と図4.22より200gal以下の加振では掘割道路模型の下には過剰間隙水圧がほとんど生じていない。これは、大きな締固め改良部が水平地盤部のせん断変形を拘束し、水平地盤部で過剰間隙水圧が発生しにくかったためと考える。

例えば、模型60-3では、締固め改良部の長さが掘割道路模型の直下を含めて60cmあるのに対し、両側の水平地盤部の長さはそれぞれ25cmしかなかった。模型60-5では締固め改良部の長さは模型60-6と同じ40cmであるが、掘割道路模型の直下を全面改良したので、締固め部分全体が水平地盤部のせん断変形を抑える効果が強かった。

図4.21と図4.22によれば、加振加速度が200galを越えると、締固め改良範囲の大きい模型60-3と60-5でも掘割道路模型の下で過剰間隙水圧が生じている。このとき、浮上がり安全率も表4.3(2)より250gal以上の加振では1.1以下となっているが、それでも浮上がりは生じていない。これは、掘割道路模型が浮上するときの地盤の変形を、大きな締固め改良部が抑制したためと考えることができる。ただし、表4.3(2)の備考欄に示したように、これらの模型では、掘割道路模型とメンブレンの間の摩擦が掘割道路模型の浮上がりを拘束していた可能性もある。

(4) 模型60-1について

模型60-1については、図4.21と図4.22より掘割道路模型底面と直下の砂層での過剰間隙水圧が、模型60-4、60-6、60-7よりも小さい値となっている。これは、模型60-1の地盤が不飽和であった可能性を示していると考ええる。ただし加振を続けていくうちに、地盤中の気泡が少しずつ抜けていき、5回目と6回目の150galレベルの加振時には、地盤の飽和度がかなり高くなっていたために図4.19に示したような浮上がりを生じたと考ええる。

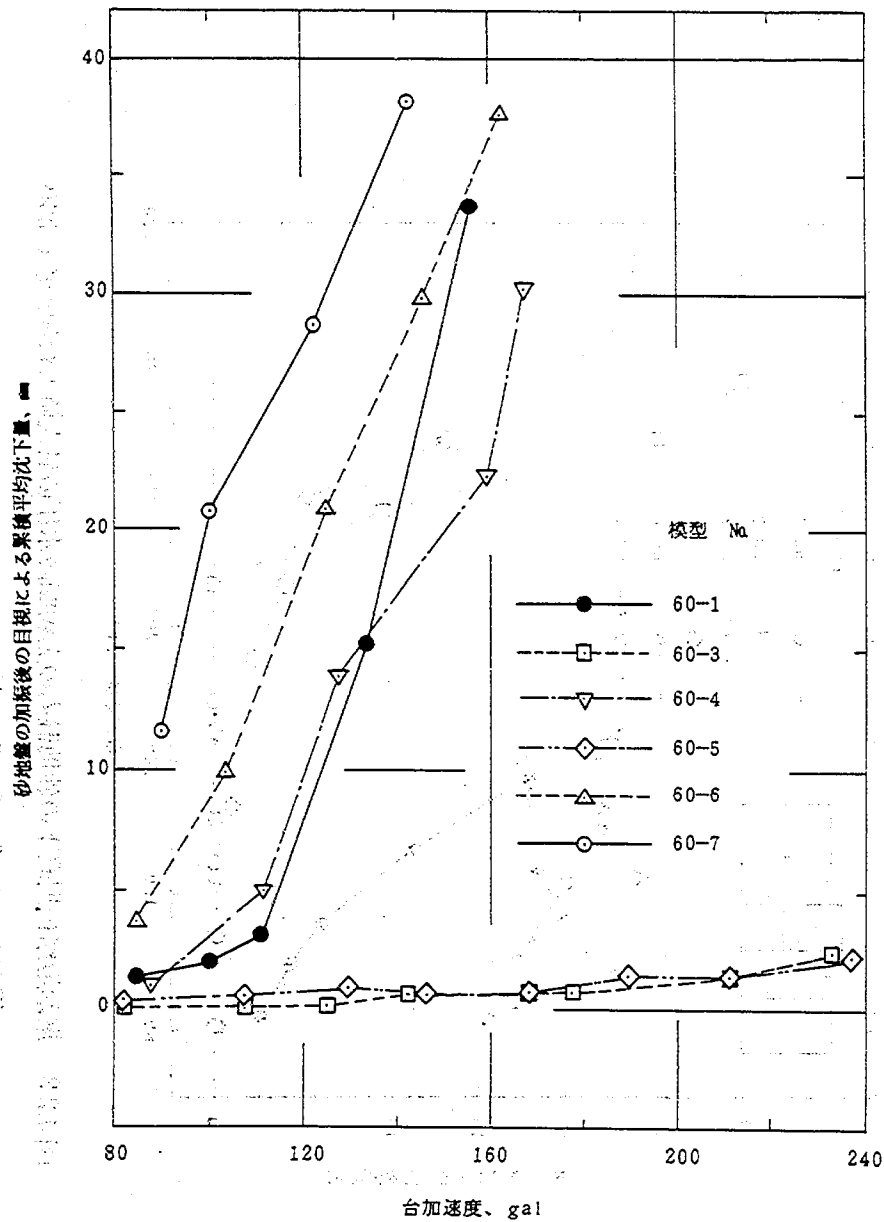


図 4.19 掘削道路模型の累積浮上がり量と台加速度の関係
(模型 60-1、60-3~60-7)

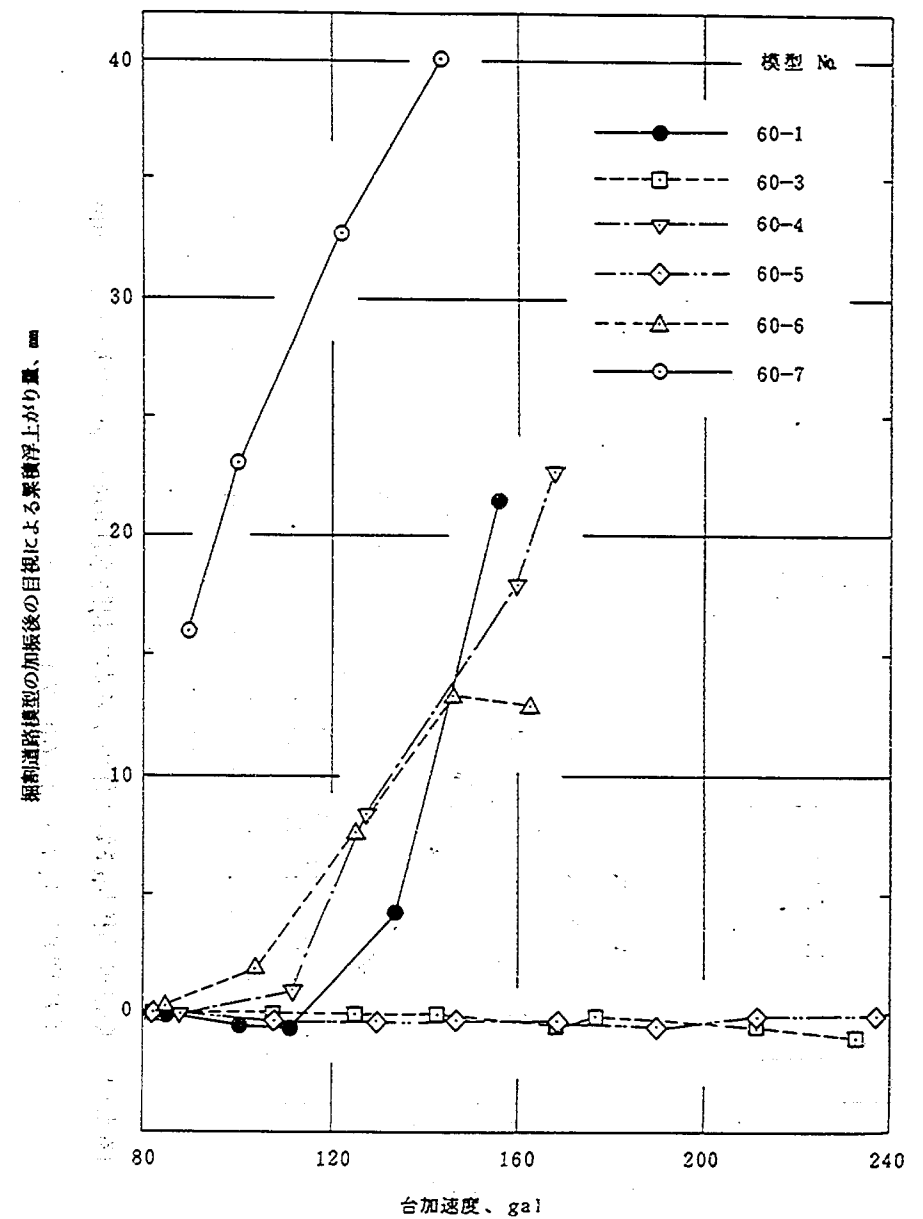


図 4.20 砂地盤の累積平均沈下量と台加速度の関係
(模型 60-1、60-3~60-7)

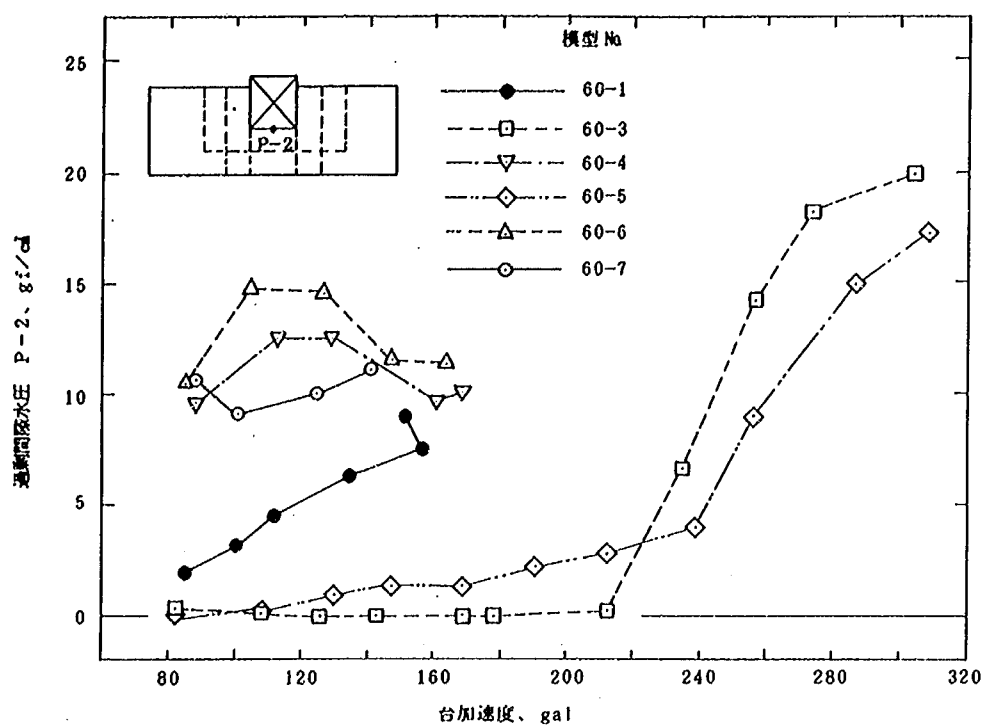


図 4.2.1 掘割道路模型底面に作用する過剰間隙水圧の最大値と台加速度の関係
(模型 60-1、60-3~60-7)

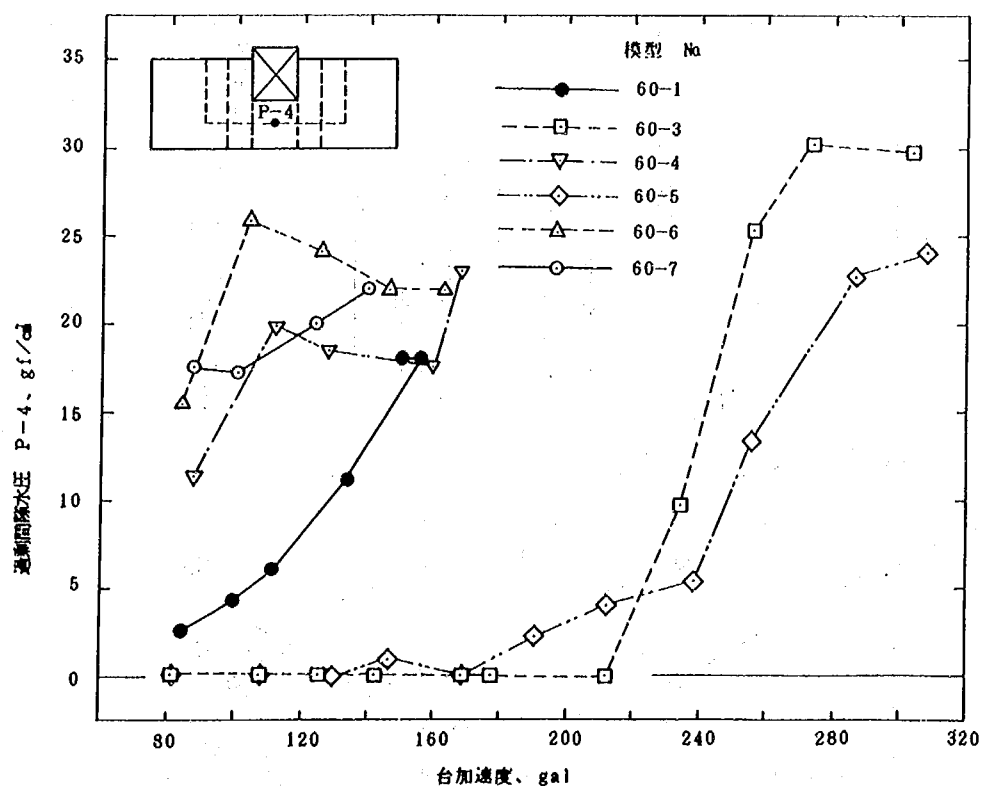


図 4.2.2 掘割道路模型直下の砂地盤内の過剰間隙水圧の最大値と台加速度の関係
(模型 60-1、60-3~60-7)

4.5.4 まとめ

浮上がり対策工に関して検討したことをまとめると次のようになる。

- ① 掘割道路模型のまわりにグラベルドレーンを打設すると、浮上がり抑制効果があった。これは、掘割道路模型の底面に作用する過剰間隙水圧の消散がはやく進むためで、消散の効果は加振中にも見られた。
- ② ただし本実験では、間隙流体として水を用いたので、グラベルドレーンによる消散効果が実際の地盤よりも強く現れており、この点が今後の検討課題である。
- ③ 掘割道路模型の下に有孔板を設置した場合の浮上がり量は、無対策の場合とあまり差がなかった。有孔板を設置しても砂の流れ込みを完全に防ぐことができなかったためと考える。
- ④ 掘割道路模型のまわりを締固め改良すると、浮上がり量を抑える効果があった。これは、掘割道路模型が浮上がる際の地盤の変形を、締固め改良部が抑制したためと考える。
- ⑤ 締固め改良範囲が小さい場合には、液状化した砂層の過剰間隙水圧が掘割道路模型の底面まで伝播し、無対策の場合と同程度の揚圧力が掘割道路模型に作用した。締固め改良範囲が大きい場合には、無対策の場合よりも過剰間隙水圧が生じにくかったが、これは大きな締固め改良部が水平地盤部のせん断変形を拘束したためと考える。

5. 結 論

長さ110 cm、高さ50 cm、奥行20 cmの小型せん断土槽を用いて掘割道路の浮上がりに関する模型振動実験を行った結果、次のことがわかった。

- 1) 掘割道路の底面に作用する力のつりあいから定義した浮上がり安全率が1.0～1.1程度のときに、掘割道路模型の浮上がりが生じる。掘割道路の下側を締固め改良した場合には、浮上がり安全率を計算する際に浸透水力に起因する力を考慮する必要がある。
- 2) 掘割道路直下の液状化砂層厚が小さくなるほど、砂の流れ込みが生じにくくなるために浮上がり量は小さくなる。特に、掘割道路を非液状化層に根入れして設置し、液状化した砂のまわり込みを防げば、浮上がりは全く生じない。
- 3) グラベルドレーンまたは締固め改良を掘割道路のまわりに行うと、それぞれ過剰間隙水圧の消散と地盤変形の抑制という点で、浮上がり対策として効果がある。グラベルドレーンについては、今回の実験条件では全く浮上がらなかった。締固め改良については、改良範囲が小さい場合には浮上がりが生じたが、浮上がり量は無対策の場合よりも小さかった。

6. 今後の課題

掘削道路の浮上がりに関する今後の課題として、次のような事項がある。

- 1) 掘削道路幅を変えた場合の、排水距離と砂の流れ込みやすさの変化の影響について、改めて実験的に検討する。
- 2) 浮上がり安全率だけでは浮上がり量を説明できなかったので、浮上がり量に関する検討を引き続き行う。
- 3) 安全解析や変形解析、浸透解析を利用した実験のシミュレーションを行い、実地盤に浮上がり対策工を行う場合の妥当改良範囲の設計に役立てる。特にグラベルドレンを打設した場合の透水係数の影響について明らかにする。
- 4) 今回の実験では模型地盤内部の変形状況がわからないので、これがわかるような実験を行い、安定解析あるいは変形解析の解析手法の検証に用いる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路土工—軟弱地盤対策工指針、pp.78—80、1986.
- 2) 谷口栄一、森下義：1983年日本海中部地震による地中構造物の浮上がりの被害、土木研究所資料第2235号、1985.
- 3) 建設省土木研究所：耐震地盤改良工法に関する共同研究報告書、共同研究報告書第2号、1987.
- 4) 建設省土木研究所：耐震地盤改良工法に関する共同研究報告書（その2）、共同研究報告書第3号、1987.
- 5) 日本道路協会：共同溝設計指針、pp.64—68、1986.
- 6) 佐々木康：地盤液状化に対する碎石ドレーン工法の有効性に関する研究、土木研究所資料第2194号、pp.98—108、1985.

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2550号
昭和63年2月(1988)

要 旨 砂地盤上の掘削道路の浮上りに対する地震時安定性を、小型せん断土槽を用いた模型振動実験により調べた。模型振動実験は、地盤条件および掘削道路模型の幅を変えた22個の模型について実施した。実験結果をもとに、掘削道路の浮上り判定の指標としての浮上り安全率の適用性、掘削道路幅と液化化砂層厚の影響、およびグラベルドレーン工法と締固め工法の浮上り対策としての効果に関する検討を行った。

郵便はがき

40円切手をはって下さい。

3 0 5 -

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
機械施工部動土質研究室 御中

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2550号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

