

土 木 研 究 所 資 料

液状化による流動地盤中の杭基礎に作用する
流動力特性に関する模型実験

平成4年7月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

[Copyright © (1992) 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。」

液状化による流動地盤中の杭基礎に作用する 流動力特性に関する模型実験

Experimental Study on Drag Force Acting on Piles in Soils Flowed by Liquefaction

振動研究室 室長 常田 賢一
研究員 松本 秀應*
" 岩崎 秀明
東 拓生

要 旨 流動地盤中の杭基礎が地盤から受ける水平力に関する検討

地盤が傾斜している場合、地震による地盤の液状化にともなって地盤が大きく流動し、構造物に大きな被害をもたらすことが報告されている。地盤流動を考慮した耐震設計を行う上では、構造物が流動地盤から受ける力の大きさを適切に評価することが必要である。本研究では、液状化地盤内で杭模型を水平方向に牽引することにより、流動地盤中の杭基礎を模擬し、計測された牽引力を杭の受ける水平抵抗力として、杭の牽引速度、地盤の液状化の程度、杭の配置との関係を検討した。その結果、水平抵抗力は液状化の程度の進展にともなって著しく低減し、完全液状化状態では極めて小さくなること、また、水平抵抗力は牽引速度の増大にともなって増加し、完全液状化に近づくほど流体からの抗力的な特性を持つこと、さらに、杭配置との関連では、杭の総本数よりも牽引直角方向への投影本数が水平抵抗力の大きさを左右すること、などの知見が得られた。

キーワード：液状化、地盤流動、杭、流動力、模型実験

*現 建設省土木研究所企画部企画課建設専門官

目 次

1. 概 説	1
2. 実験方法	2
2.1 実験概要	2
2.2 実験装置・実験材料	2
2.3 実験ケース	7
2.4 計測方法	7
2.5 計測データの処理	13
3. 実験結果の整理方法	20
4. 液状化の程度と水平抵抗力の関係	25
5. 杭の配置が水平抵抗力に与える影響	32
5.1 杭の配置が正方形配置の場合	32
5.2 杭の配置が同じで牽引方向が異なる場合	37
5.3 牽引直角方向への杭の投影本数が同じ場合	44
5.4 牽引方向への杭の投影本数が同じ場合	48
5.5 千鳥配置の効果	53
6. 杭配置と群杭効果による分担水平抵抗力の関係	57
7. 杭の牽引速度と水平抵抗力の関係	62
8. まとめ	65
参考文献	66
付属資料	
1. 正規化した水平抵抗力	67
2. 過剰間隙水圧比 Ru_T と正規化した水平抵抗力との関係	73
3. 牽引速度～水平抵抗力の回帰曲線	81

1. 概 説

地盤が傾斜している場合、液状化に伴って水平方向に地盤が大きく流動（変位）して、構造物に大きな被害をもたらすことが最近の1990年7月のフィリピン地震や1991年4月のコスタリカ地震でも報告されており^{1),2)}、古くは1964年6月の新潟地震等でも地盤の大変位が発生していたことが報告されている³⁾。

振動研究室においては、このような地盤の流動の重要性に鑑みて、これまでに地盤流動の発生特性及び流動量の予測方法に関する研究を実施してきている⁴⁾⁻⁷⁾。そして、次の課題として地盤流動が構造物に及ぼす影響の解明と地盤流動を考慮した耐震設計法の検討へと発展させることが必要となっている。

本報告書では、杭基礎に作用する流動地盤からの流動力の設計上の取り扱い方法を明らかにすることを目的として、模型実験により地盤の液状化の程度、杭配置の違い、流動速度等が、杭に作用する抗力あるいは杭の抵抗力に与える影響について検討した結果を報告する。

なお、本実験では、液状化させた地盤模型の中を、杭模型を強制的に牽引することにより、流動地盤中の杭基礎を模擬するようにした。

2. 実験方法

2.1. 実験概要

実験により流動地盤中の杭基礎を模擬する方法として、土槽内に傾斜地盤を作り振動台等で加振することにより液状化地盤を流動させる方法がある。振動研究室では過去にこの方法で流動地盤から杭基礎に作用する水平力を計測する実験を行っている。しかし、水平力に影響を与えと考えられる、地盤の液状化の程度、地盤流動の速度等の条件を任意にコントロールすることができず、十分な検討が行えなかった。

上記の事項に鑑み、本実験では斜面や偏荷重により液状化地盤を流動させるのではなく、水平でかつ成層構造の液状化地盤内で、鉛直にした杭模型を水平に移動させることにより、流動地盤中の杭基礎を模擬した。この方法をとることにより、地盤流動の速度は自由に変えることができる。また、地盤の液状化の程度はコントロールできないが、完全液状化状態から過剰間隙水圧が消散していく過程で計測を行うことにより、液状化の程度に応じて、杭に作用する抗力あるいは杭の水平抵抗力を得ることができる。

2.2 実験装置・実験材料

1) 実験装置

写真-2.2.1に実験に用いた装置の全景を示し、図-2.2.1では実験装置の概略を示す。また、ボイリング装置及び衝撃荷重載荷装置を写真-2.2.2、写真-2.2.3に示す。実験装置の主要装置および諸元は以下のとおりである。

- | | |
|--------------------|-------------------------------------|
| ① 実験箱寸法 | 長さ1800×幅600×高さ1000 (mm) |
| ② ボイリング装置
(給水槽) | ボイリングタンク
移動台車
巻き取り装置
給排水装置 |
| ③ 衝撃荷重載荷装置 | 打撃により液状化を生じさせる。 |

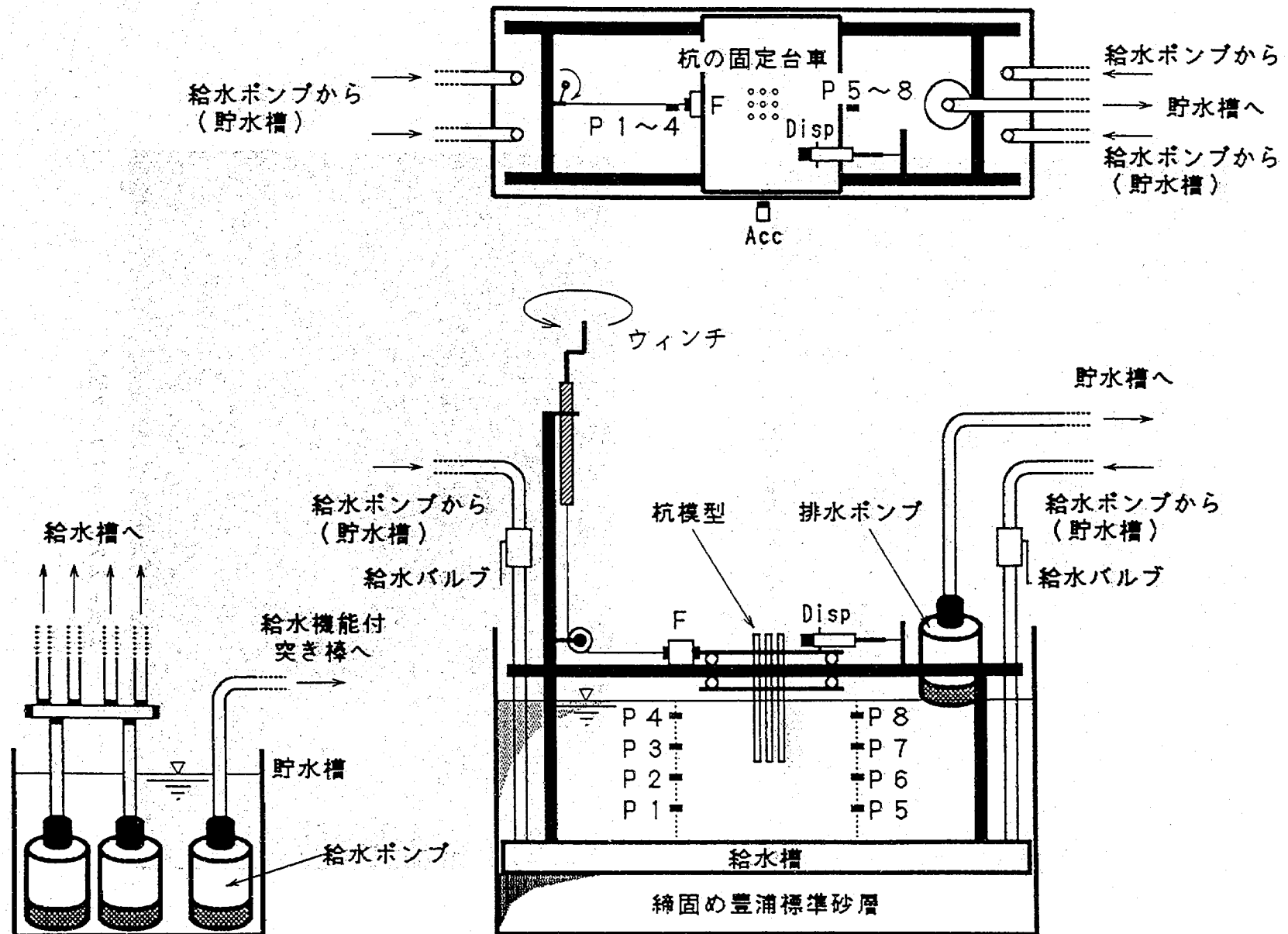
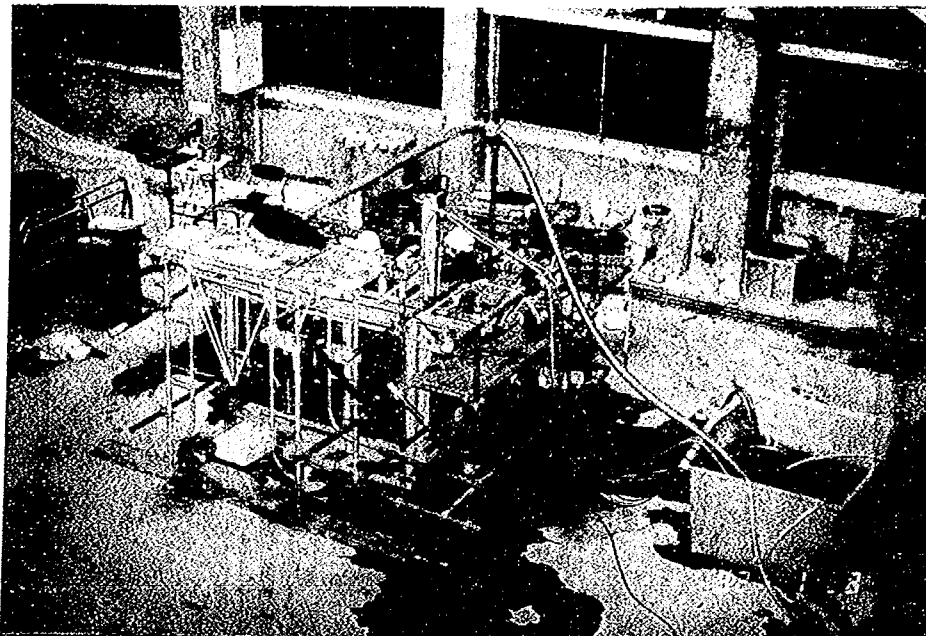
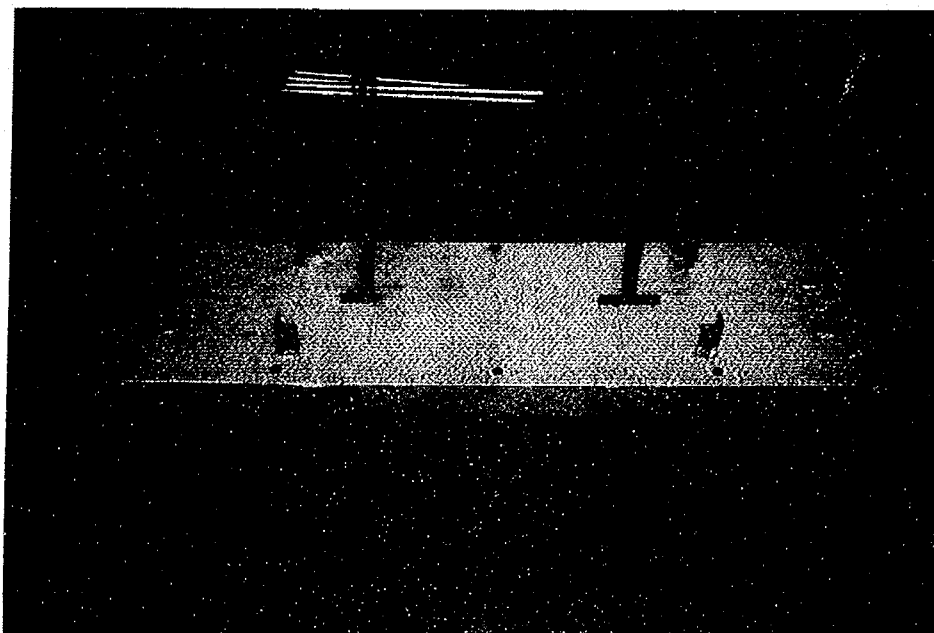


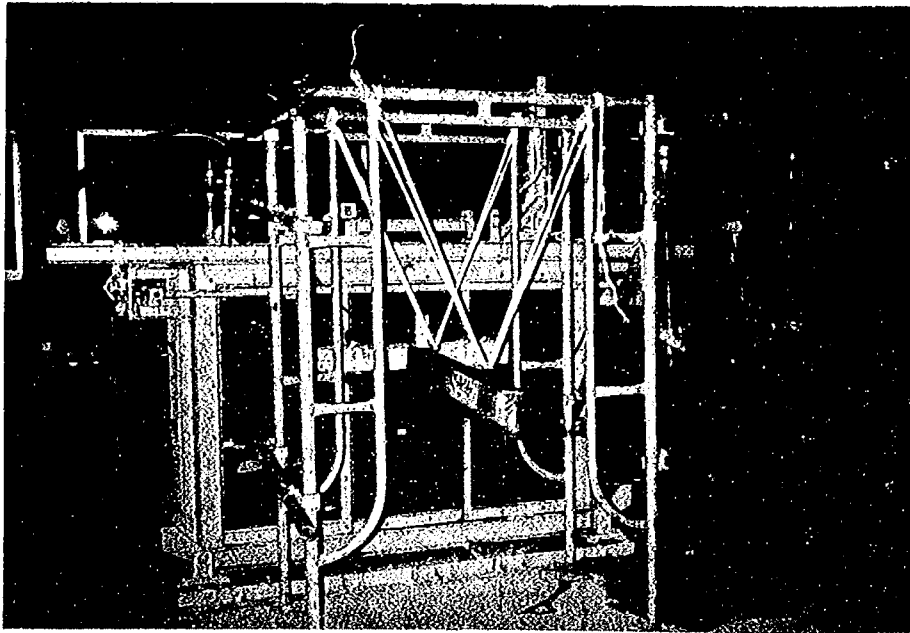
図-2.2.1 実験装置の概略



写真－2.2.1 実験に用いた装置



写真－2.2.2 ボイリング装置



写真－ 2.2.3 衝撃荷重装置

2) 実験材料

(1) 実験砂

地盤作製には振動実験棟に用意されていた豊浦標準砂を使用した。表－ 2.2.1 に豊浦標準砂の基本特性を示す。まず、豊浦標準砂を所定の深度まで投入し、地表面が水平に成るように整形した。この整形した地表面にボーリング装置をセットし、その後注水した。この状態で、ボーリングタンクの上蓋から高さ45cmになるまで豊浦標準砂を投入した。

表－ 2.2.1 模型地盤の基本特性

比 重 : G_s	2.636
最大間隙比 : e_{max}	0.934
最小間隙比 : e_{min}	0.667
地盤間隙比 : e	0.789
相 対 密 度 : D_r	54.3 (%)
飽和単体体積重 : γ_{sat}	1.914 (gf/cm ³)
水中単体単位体積 : γ^3	0.914 (gf/cm ³)

ボーリング装置のセット後に投入した砂に関しては、地盤模型の密度を把握するために投入するごとに重量を計測するとともに適宜取り出して含水比を求めた。投入重量ならびに含水比に関する計測結果の一覧を表－ 2.2.2, 表－ 2.2.3 に示す。投入総重量716.27kgf, 平均含水比0.05%である。投入体積 V は幅1.8m, 奥行き0.6m, 深さ0.45mより $V = 0.486\text{ m}^3$ となり、これより間隙比 $e = 0.789$ になる。従って、相対密度 $D_r = 54.3\%$ 程度の地盤が作製されたものと推定される。

(2) 杭材料

杭模型には塩化ビニール製の直径18mmの丸棒を用いた。なお、この丸棒は中空になっているため、牽引時に変形する可能性があった。そこで、中空部に鋼棒を差し込むことにより曲げ剛性を高め、牽引時に変形しないようにした。写真－ 2.2.4 に杭模型を示す。

表- 2.2.2 実験に用いた砂の
投入重量

(単位: kgf)

回数	重量	回数	重量
1	18.89	21	19.89
2	19.92	22	18.13
3	19.36	23	16.28
4	18.35	24	18.04
5	18.74	25	17.66
6	18.65	26	17.58
7	18.19	27	17.24
8	20.01	28	17.79
9	19.35	29	18.33
10	19.48	30	18.06
11	19.40	31	17.70
12	19.06	32	17.60
13	19.37	33	17.88
14	19.53	34	16.39
15	19.19	35	17.46
16	20.47	36	17.86
17	18.15	37	16.96
18	17.24	38	18.78
19	18.38	39	16.96
20	17.95		
投入総湿潤重量 $W_t = 716.27 \text{ kgf}$			

表- 2.2.3 実験に用いた砂の含水比

(単位: gf)

回数	風袋 番号	湿潤+風袋 (w1)	乾燥+風袋 (w2)	風袋 (w3)	含水比 (%)
1	3	225.38	225.26	34.40	0.063
2	8	211.28	211.20	33.75	0.045
3	9	261.34	261.24	35.01	0.044
4	11	235.06	234.99	33.10	0.035
5	15	195.95	195.88	31.49	0.043
6	4	251.15	251.03	34.72	0.055
7	13	202.63	202.51	33.31	0.071
8	19	198.82	198.74	33.46	0.048
9	2	239.50	239.36	35.91	0.069
10	17	201.37	201.30	32.99	0.042
11	12	173.00	172.93	33.07	0.050
12	7	239.15	239.06	33.44	0.044
13	7'	216.87	216.77	34.02	0.055
総重量 $w1 = 2851.50$ $w2 = 2850.27$ $w3 = 438.67$ 含水比 $w = (w1 - w2) / (w2 - w3)$ より $w = 0.051 \%$					

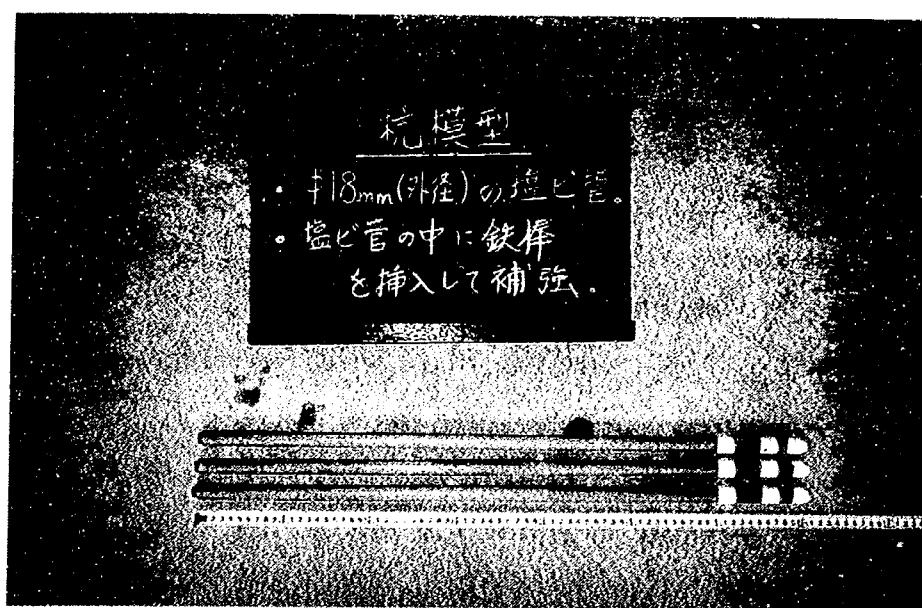
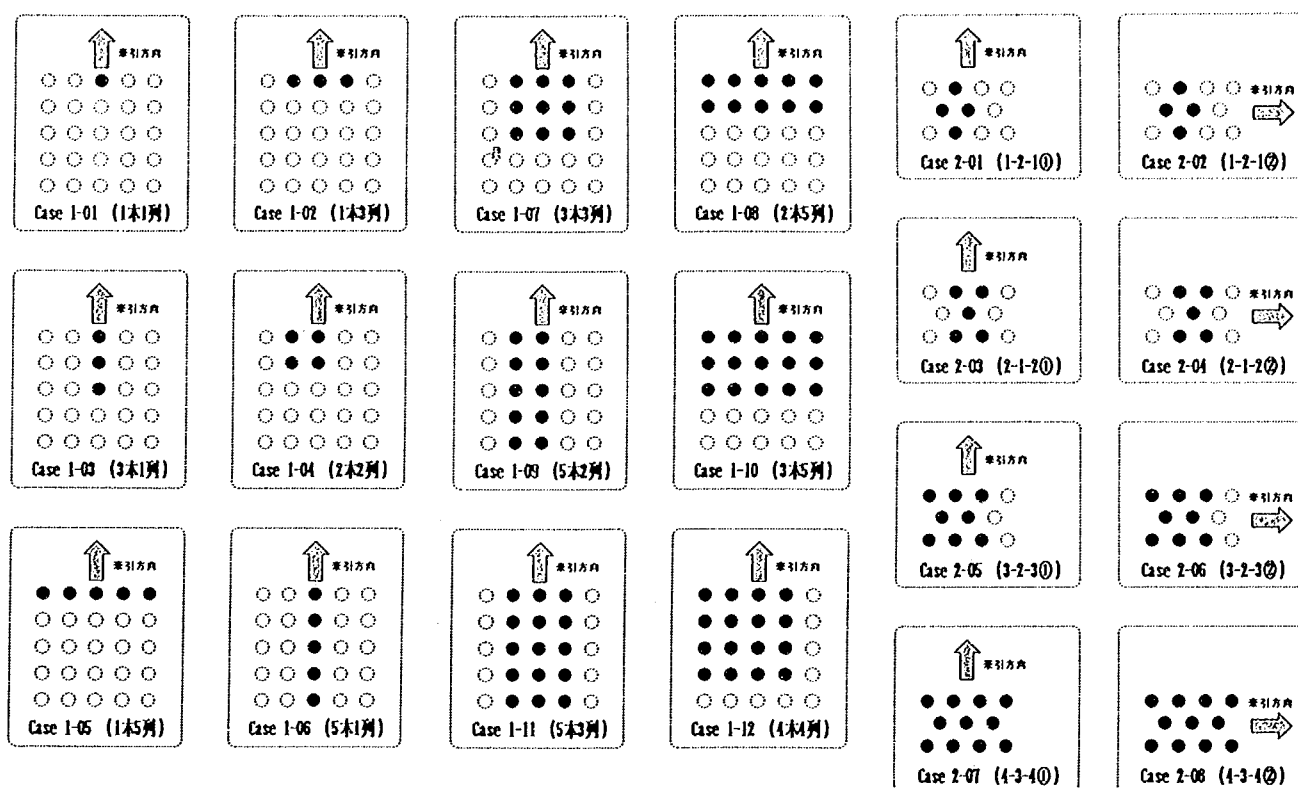


写真- 2.2.4 杭模型

2.3 実験ケース

予備検討及び牽引時の杭固定台車の摩擦力を求める実験を踏まえて本実験を行った。実験ケースは格子配列が12ケース、千鳥配列が8ケースの合計20ケースである。杭の配置と牽引方向を図－2.3.1に示す。実験ケース毎にケース番号と杭の配置を示した。格子配列の場合「本」とは牽引方向の杭本数、「列」とは牽引直角方向の杭本数を示す。千鳥配列に関しては、同じ杭配置に関して2方向から牽引した。各実験ケースとも、杭の牽引速度を1.5, 2.6, 4.5 mm/sec. の3段階に変化させるとともに、計測データのばらつきを平準化するために、各速度について同じ実験を2回以上実施した。



図－2.3.1 杭の配置と牽引方向

2.4 計測方法

各実験ケースに対する手順を図－2.4.1に示す。図より、全体的な流れはまず杭を杭固定台車に設置し、この後動ひずみアンプの調整に入る。写真－2.4.1に杭の設置状況を示す。これらの準備作業が完了すると、ボイリング装置を用いて液状化が生じるような緩い地盤の作製に取りかかる。地盤作製では、全ての地盤模型が一様な密度を有する地盤になるように十分な注意を払った。つまり、ボイリング装置で模型地盤をボイリングさせるとともに給水機能付き棒で模型地盤を全体を突いて、全層液状化の状態にした。写真－2.4.2に模型地盤の地表面付近のボイリング状況を表す。これら一連の作業を2～3回程度繰り返した。この後、実験箱の側方上端に設置したバイブレーターで微弱な振動

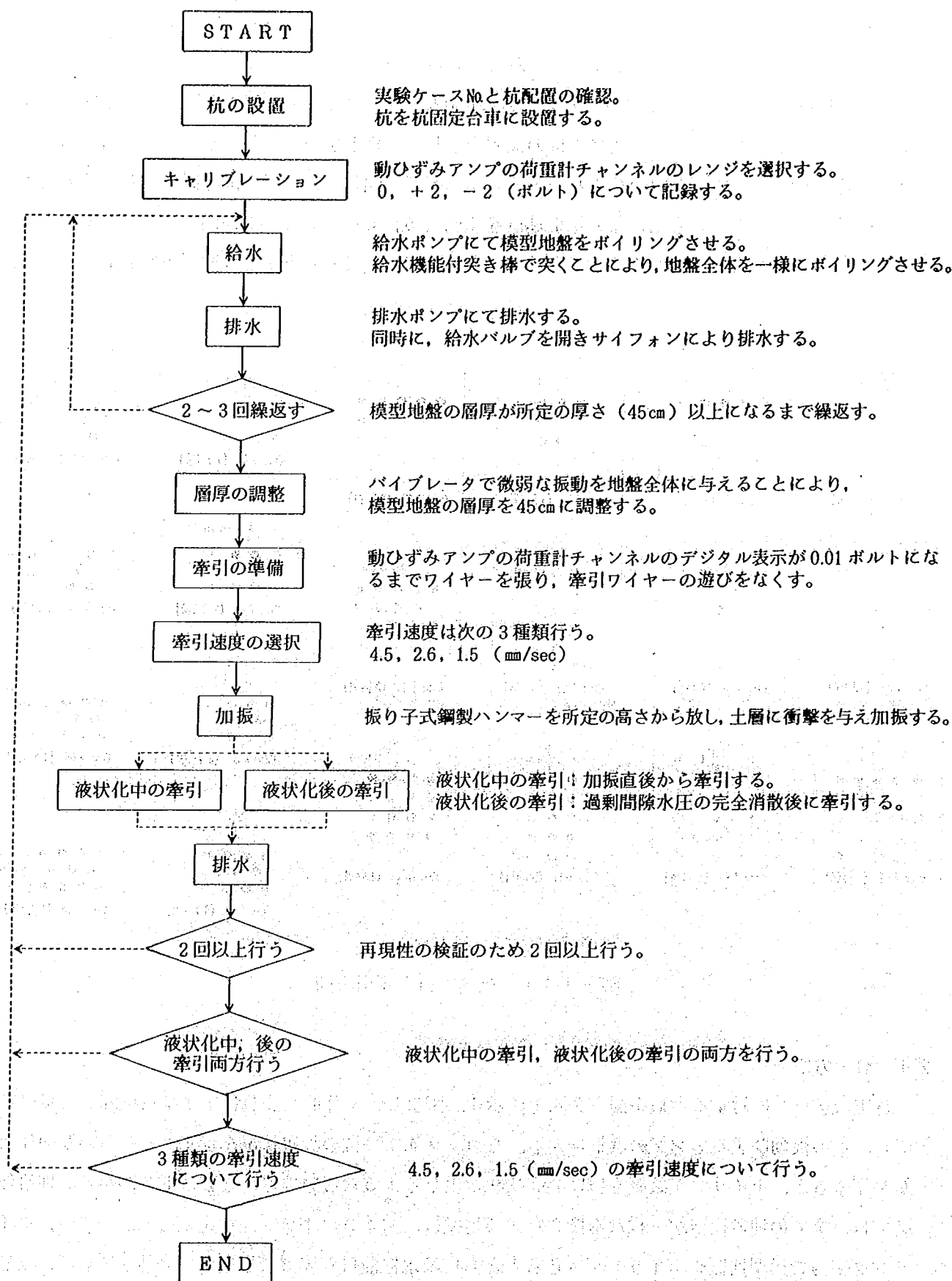


図-2.4.1 実験手順フロー

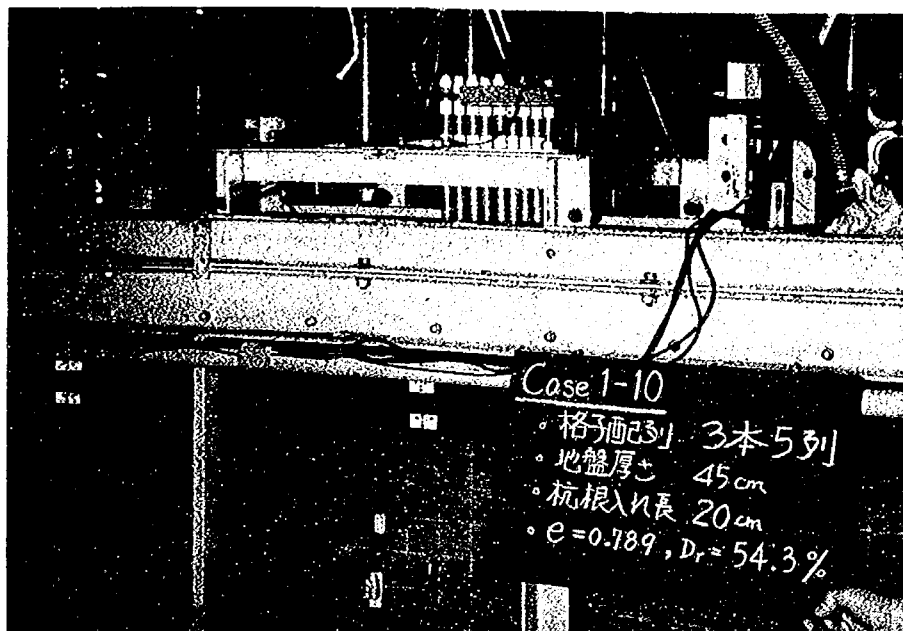


写真-2.4.1 杭の設置状況

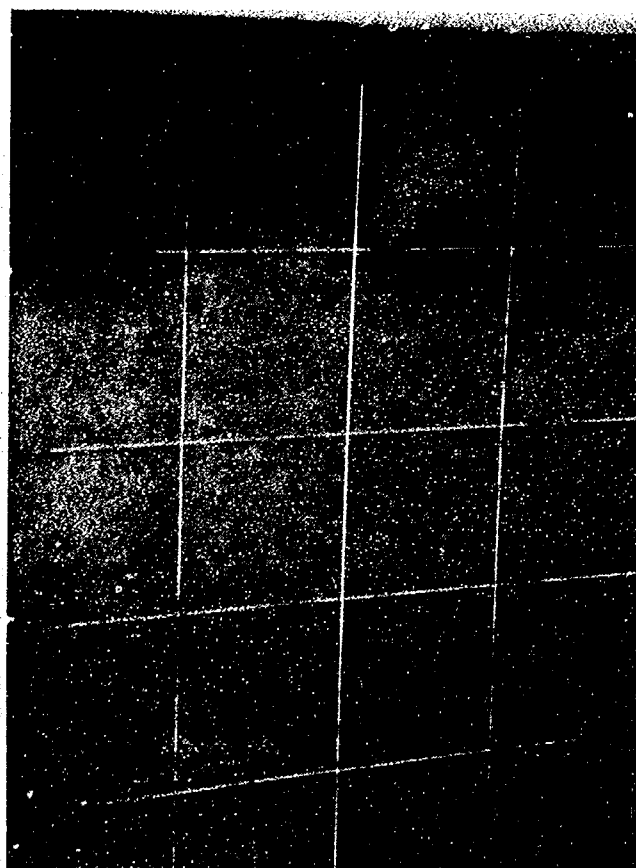


写真-2.4.2 模型地盤のボーリング状況

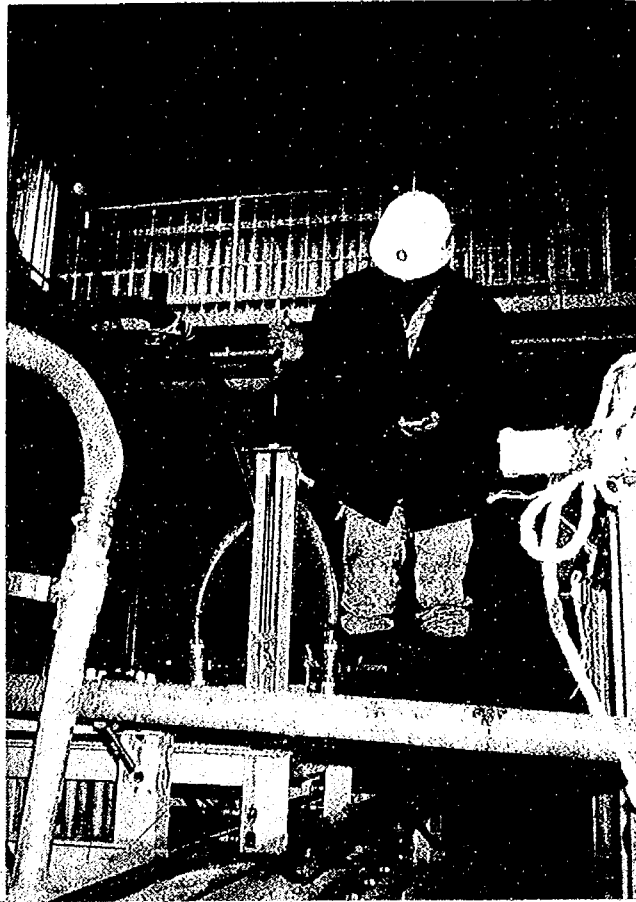
を地盤全体に与えることにより模型地盤の層厚を調整した。模型地盤の作製が終了すると、データの収録を開始した後、加振させるとともに牽引を始めた。写真－2.4.3に加振状況、写真－2.4.4に牽引状況をそれぞれ示す。牽引速度は4.5mm/sec.(120rpm)、2.6mm/sec.(70rpm)および1.5mm/sec.(40rpm)の3段階である。そこで、rpmとは写真－2.4.4に示す牽引装置の1分間当たりの回転数を表す。なお、今回用いた牽引装置では1回転当たりの杭固定台車の水平移動距離は2.25mm/回である。

本実験では杭模型を固定した移動台車に変位を与えることにより地盤と杭の間に相対変位を生じさせ、台車の変位、牽引力および液状化地盤内の間隙水圧の変化をレコーダーに収録した。表－2.4.1に計器設置個数を示す。なお、実験状況を把握するために各計測器の計測結果をペンオシロに出力させた。

間隙水圧計ならびに加速度計の設置位置を図－2.4.2に示す。P1～P4の間隙水圧計は、杭設置位置から牽引方向に対してボイリングタンク上蓋から10cmピッチで配置した。P5～P8は同様のピッチで杭設置位置から牽引方向と反対側に配置した。写真－2.4.5に間隙水圧計をボイリングタンク上に設置した状況を示す。加速度計は衝撃荷重の載荷面に対して反対側の土槽壁アクリル板に配置した。



写真－2.4.3 打撃による加振



写真－2.4.4 ウィンチによる牽引

表－2.4.1 計器設置箇所数

液状化層の 厚さ*長さ*幅 (cm)	計 器 設 置 箇 所 数				合 計
	間隙水圧計	加速度計	変位計	荷重計	
45 * 180 * 60	8	1	1	1	11

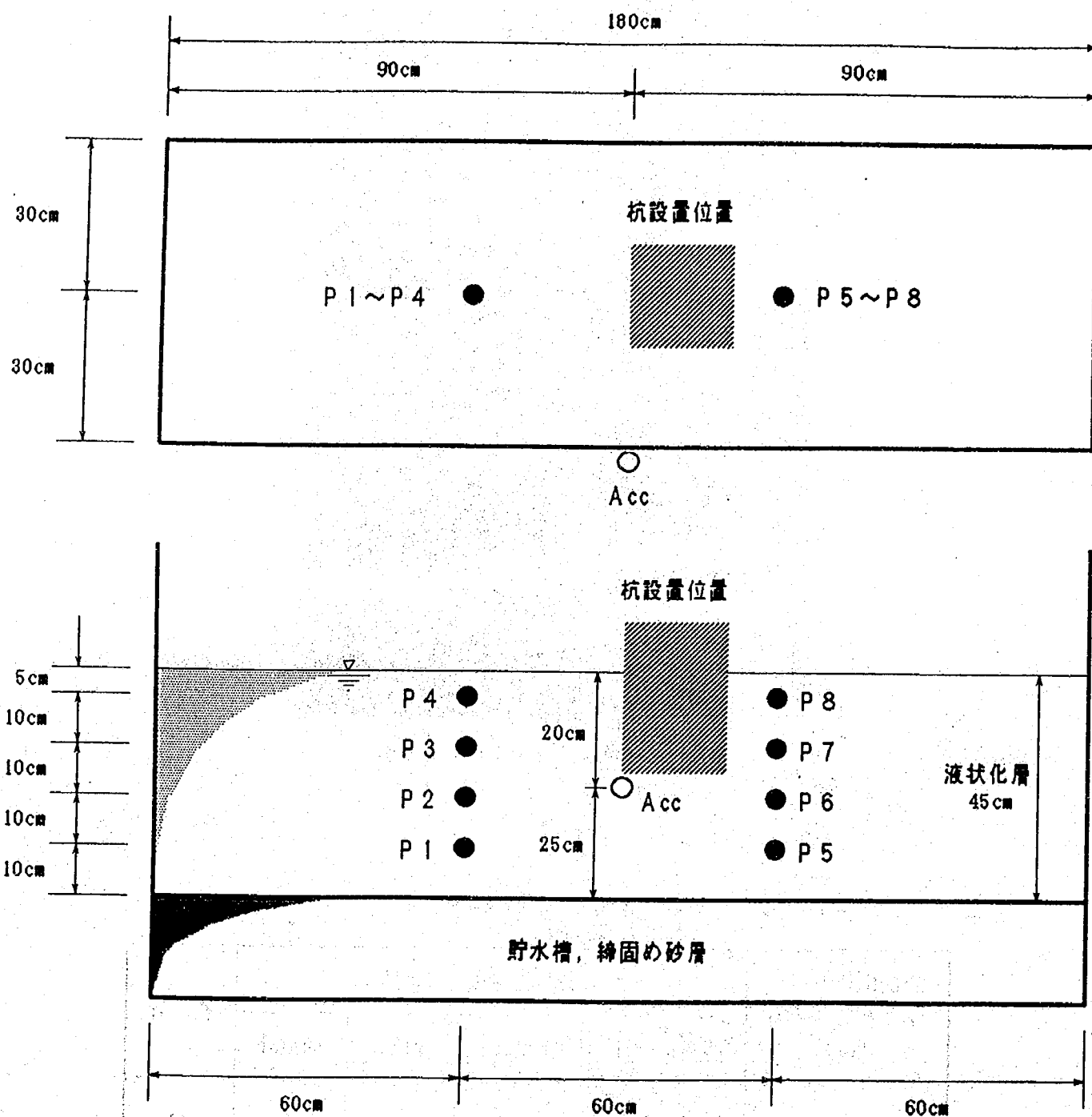
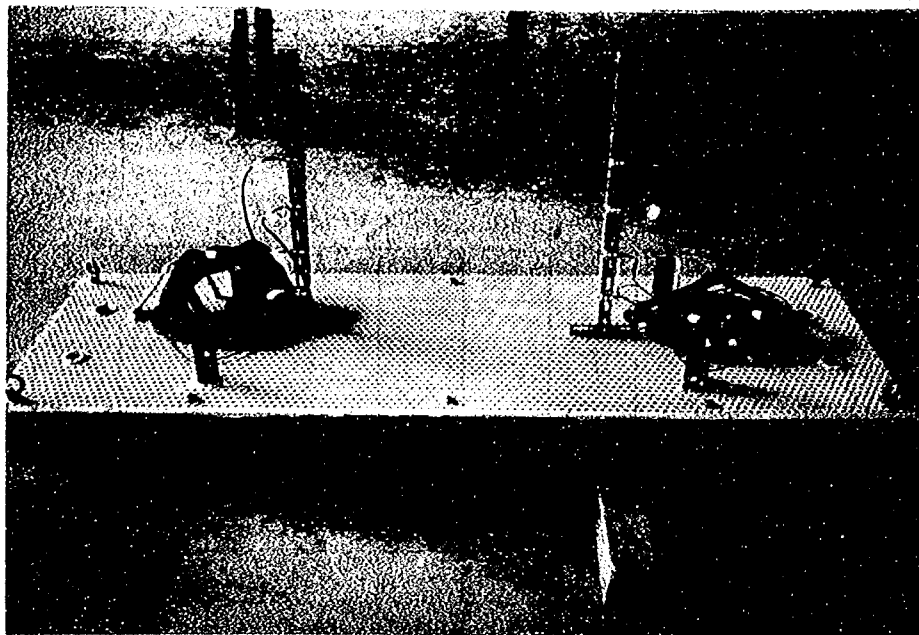


図- 2. 4. 2 計測器の設置位置



写真－ 2. 4. 5 間隙水圧計の設置状況

2. 5 計測データの処理

計測データの1次処理として、以下の項目に関して行った。

- ① 実験により得られた記録波形の時刻歴図。
- ② 台車の荷重（水平抵抗力）と変位、変位速度等の関係の図化。
- ③ 過剰間隙水圧と荷重（水平抵抗力）の関係に対する一覧表の作成。

上記に示した処理項目の図化に関しては、土木研究所で作成された処理プログラムを用いて、パーソナルコンピュータで図形処理を行った。時刻歴図の一例を図－2. 5. 1に示す。この図は加振直後から牽引した計測結果をもとに作図したもので、(a)は土槽壁面の加速度、(b)は牽引荷重、(c)は牽引変位、(d)はP1～P4までの過剰間隙水圧、(e)はP5～P8までの過剰間隙水圧に関する時刻歴をそれぞれ表わしている。各計測結果の関係を求めた一例を図－2. 5. 2に示す。図中の、(a)は荷重（LOAD）～変位（DISP）、(b)は過剰間隙水圧（P1, P5）～変位（DISP）、(c)は荷重（LOAD）～過剰間隙水圧（P1, P5）、(d)は速度（VEL）～変位（DISP）の関係をそれぞれ示している。同様に、過剰間隙水圧の完全消散後に牽引した場合の時刻歴を図－2. 5. 3、関係図を図－2. 5. 4にそれぞれ示す。なお、荷重の変化特性を3ステージに区分することとした。

過剰間隙水圧の各ステージの荷重を時刻歴図より求めた結果の例を表－2. 5. 1に示す。表中に示す速さに関する項目で120rpmは4.5mm/sec., 70rpmは2.6mm/sec., 40rpmは1.5mm/sec.に対応している。

ステージⅠ（全層液状化ステージ）の荷重値は図－2. 5. 2の(a)に示すステージⅠ段階での読み取り値である。ステージⅡ（過剰間隙水圧消散ステージ）の荷重値は、図－2. 5. 2の(c)荷重（LOAD）～過剰間隙水圧（P1, P5）の関係図より過剰間隙水圧が3, 6, 9, 12, 15, 18gf/cm²に対応して読み

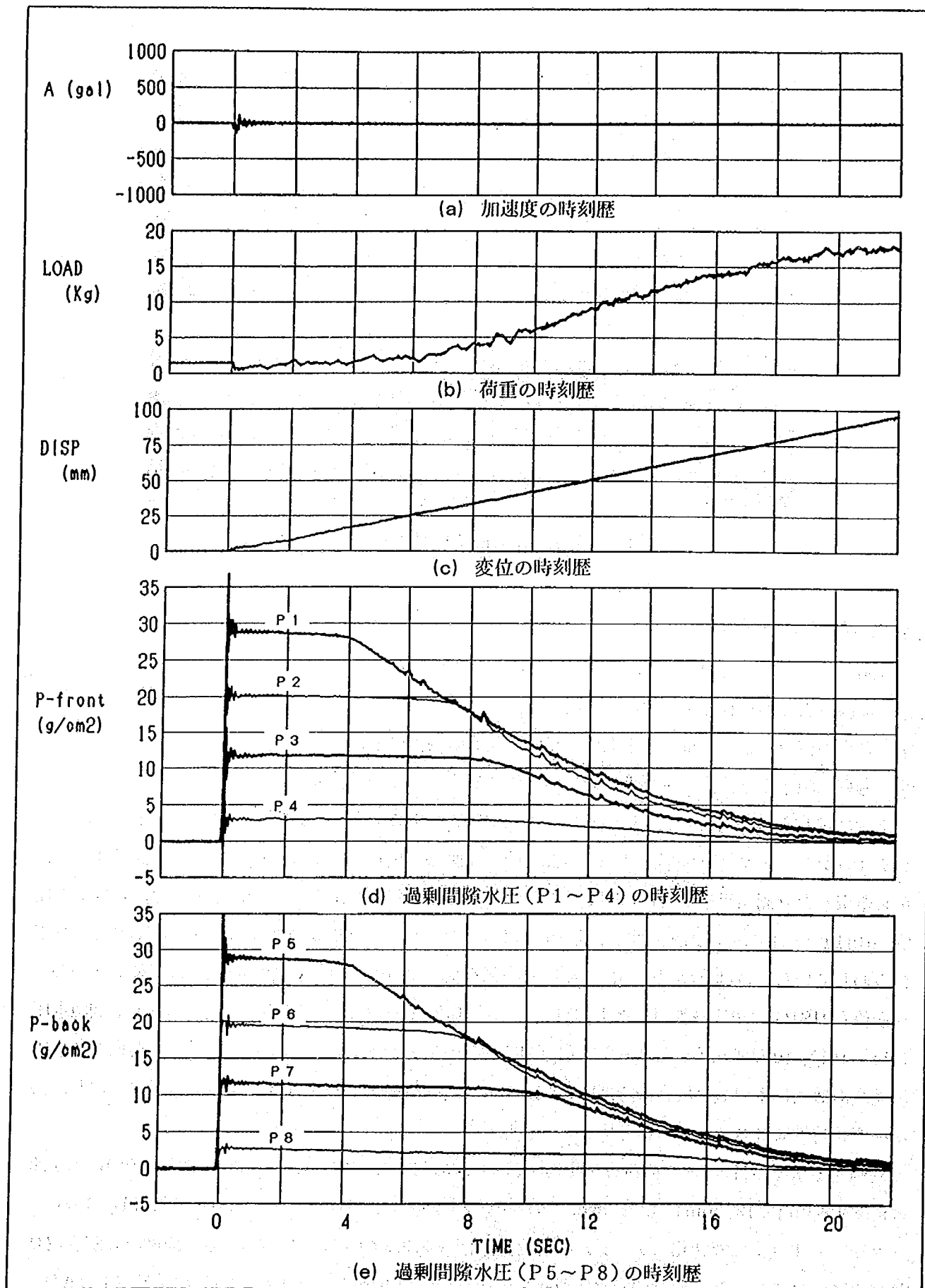
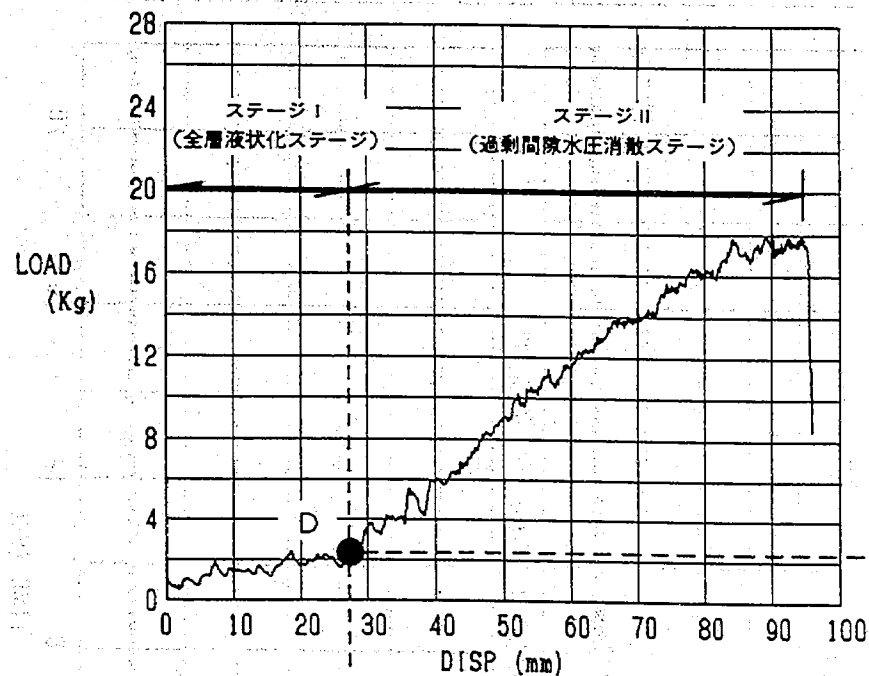
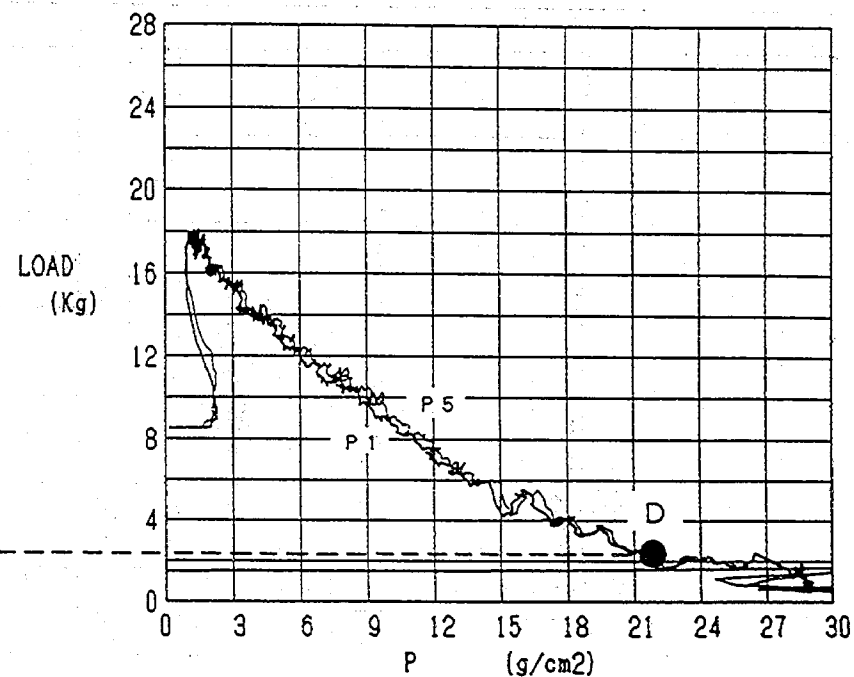


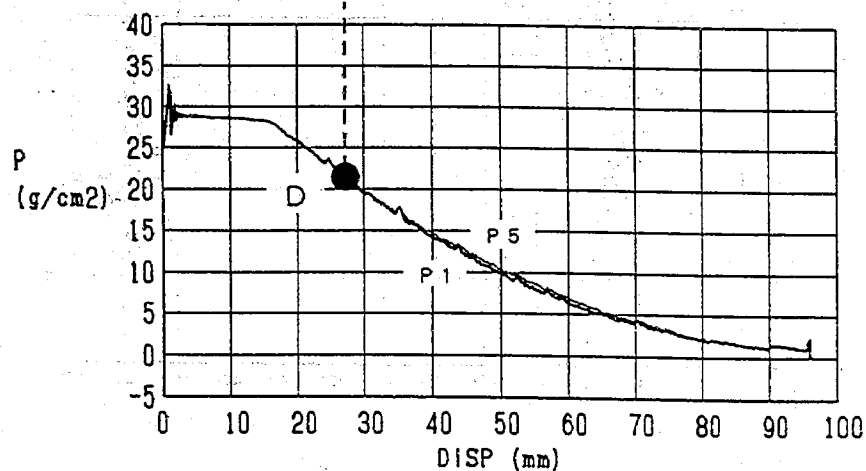
図-2.5.1 加振直後から牽引した場合の時刻歴図



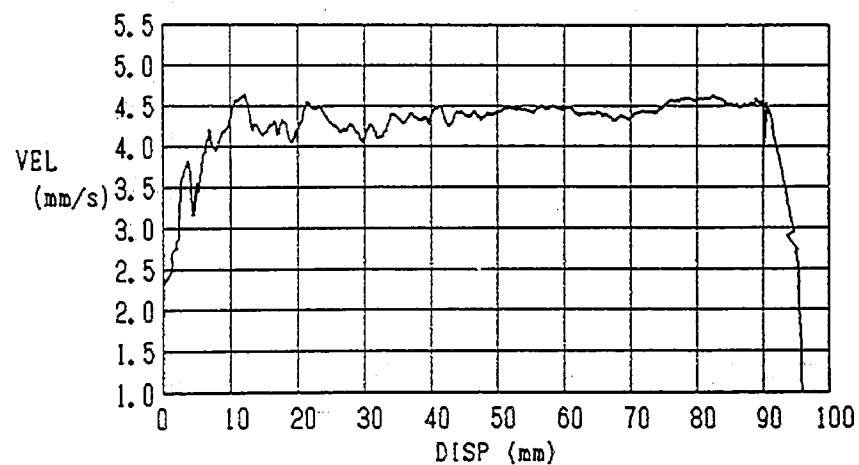
(a) 荷重 (LOAD) ~ 変位 (DISP)



(c) 荷重 (LOAD) ~ 過剰間隙水圧 (P1, P5)



(b) 過剰間隙水圧 (P1, P5) ~ 変位 (DISP)



(d) 杭の移動速度 (VEL) ~ 変位 (DISP)

図-2.5.2 加振直後から牽引した場合の計測値の関係図

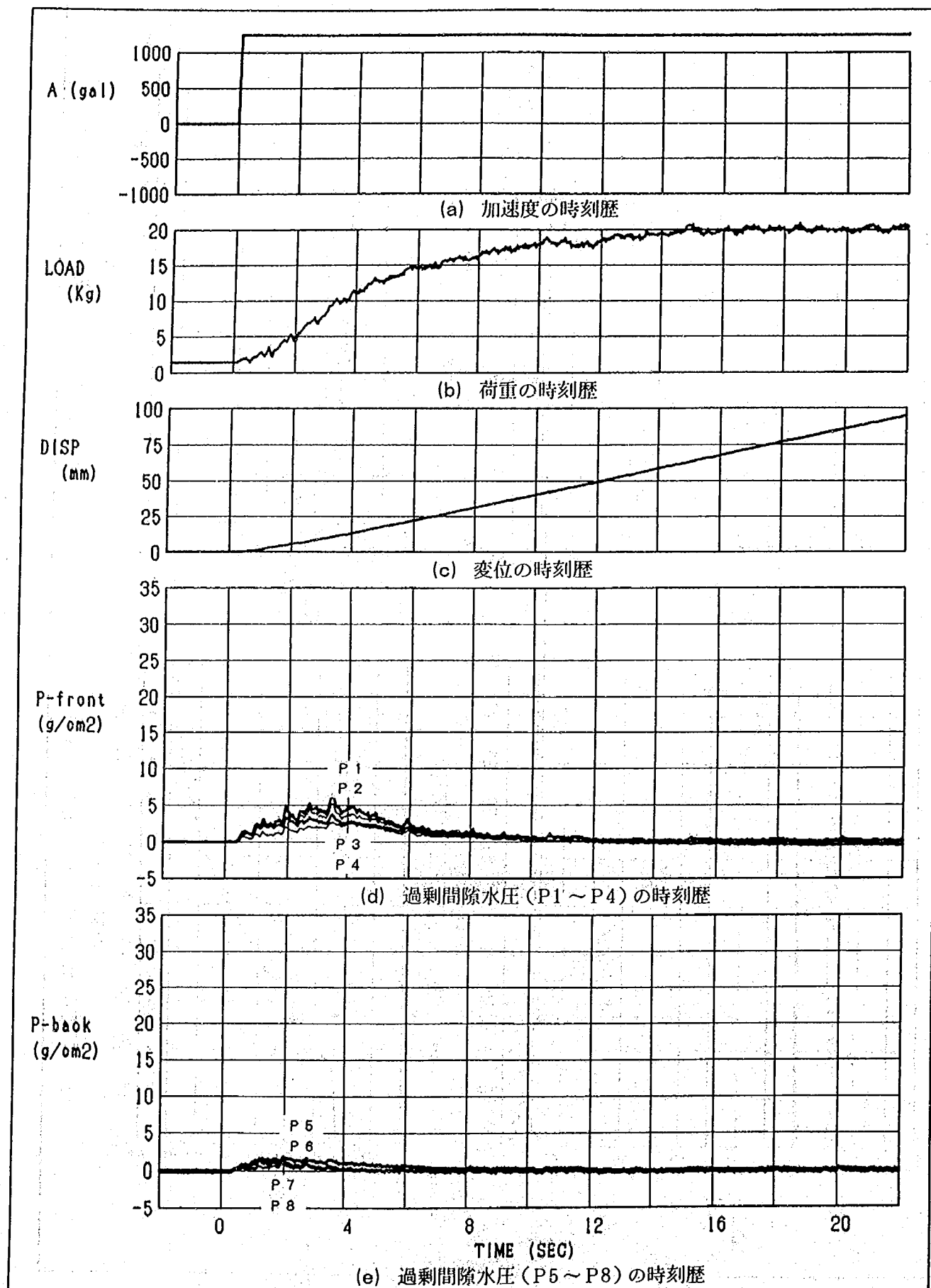
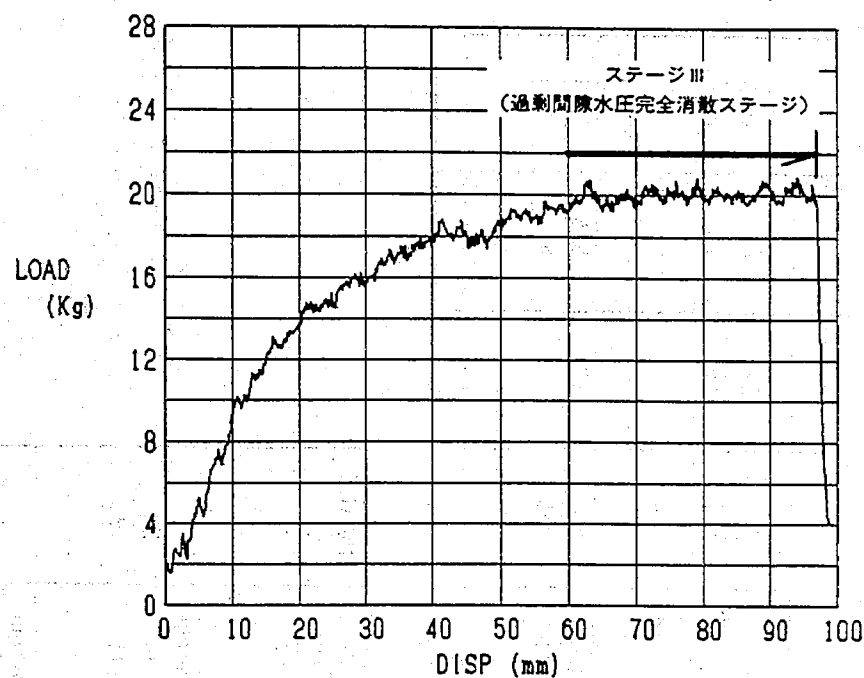
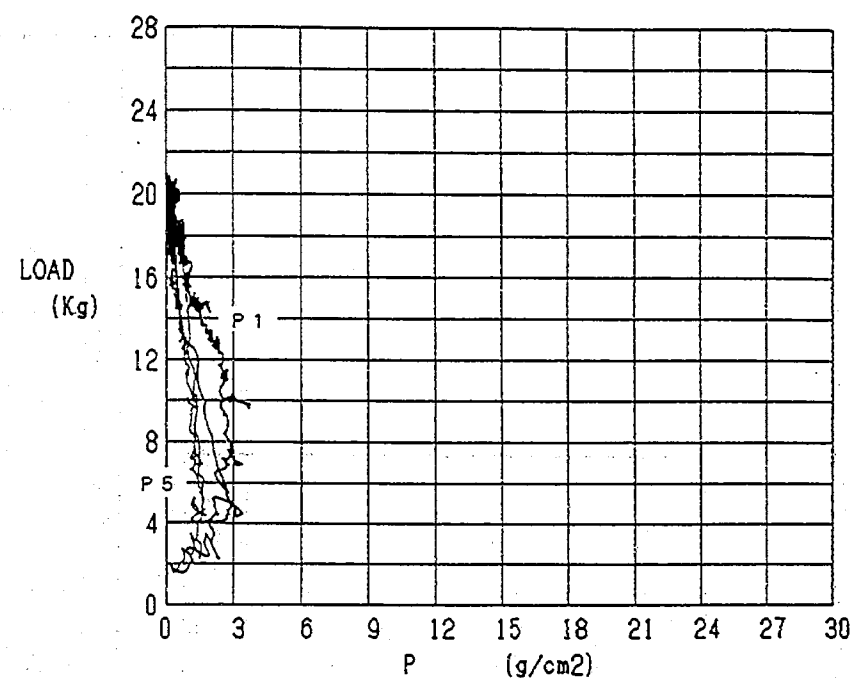


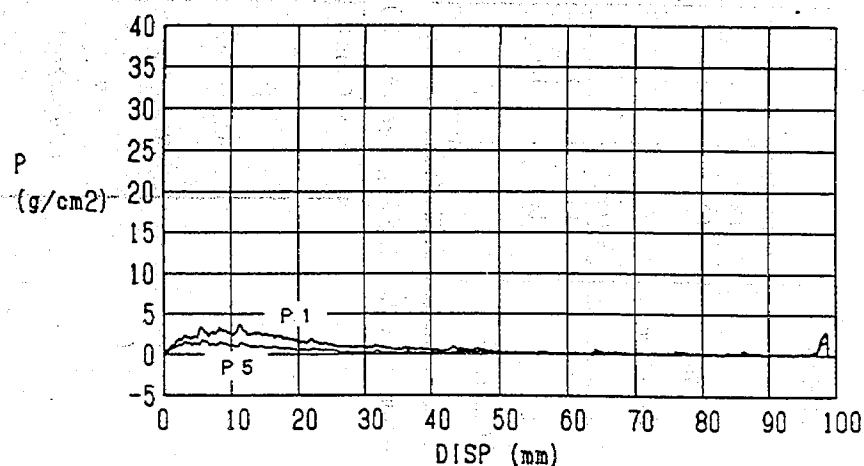
図-2.5.3 過剰間隙水圧が完全消散後に牽引した場合の時刻歴図



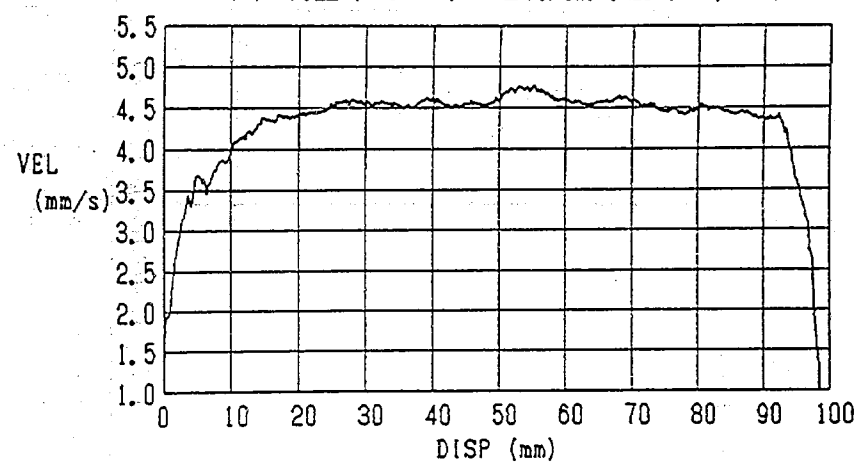
(a) 荷重 (LOAD) ~ 変位 (DISP)



(c) 荷重 (LOAD) ~ 過剰間隙水圧 (P1, P5)



(b) 過剰間隙水圧 (P1, P5) ~ 変位 (DISP)



(d) 杭の移動速度 (VEL) ~ 変位 (DISP)

図-2.5.4 過剰間隙水圧が完全消散後に牽引した場合の計測値の関係図

表-2.5.1 過剰間隙水圧と荷重に関する関係表の記入例

Case 1-04 (2本2例)

ステージⅠ (全層液状化ステージ)

速さ (rpm)	No	荷重 (kgf)
120 (4.5 mm/sec)	04	1.5
	05	1
	average	
70 (2.6 mm/sec)	08	0.75
	09	1
	average	
40 (1.5 mm/sec)	12	0.75
	13	0.75
	average	

ステージⅡ (過剰間隙水圧消散ステージ)

速さ (rpm)	No	過剰間隙水圧 (gf/cm ²)					
		18	15	12	9	6	3
120 (4.5 mm/sec)	04	4	5.5	7.25	10	12	15
	05	3	4	6	8	10.5	13.5
	average						
70 (2.6 mm/sec)	08	1	2	3.5	6.25	9	11.75
	09	1.5	2	3	5.25	7.5	10.5
	average						
40 (1.5 mm/sec)	12	1	1.5	2.5	3.75	5.75	8.75
	13	1.5	1.75	2.25	3.5	6	8.75
	average						

ステージⅢ (過剰間隙水圧完全消散ステージ)

速さ (rpm)	No	荷重 (kgf)
120 (4.5 mm/sec)	06	20
	07	21
	average	
70 (2.6 mm/sec)	10	20
	11	19.5
	average	
40 (1.5 mm/sec)	14	18.5
	15	17.75
	average	

取った。ステージⅠとⅡの分岐点を図-2.5.2の●印のD点で示す。この分岐点の値に関しては次章の3章で説明するが、ステージⅠの荷重値に対応する間隙水圧計P1およびP5の過剰間隙水圧の代表値とするために求めた。ステージⅢは図-2.5.4の(a)荷重(Load)～変位(DISP)の図中に示す段階での荷重値である。

3. 実験結果の整理方法

本章では前節の表-2.5.1に従って求めた内容を各実験ケースごとに取りまとめた結果とその平均値(ave.)の一覧を示す。取りまとめる方法は以下のとおりである。表-3.1~3.2に示すように、実験ケースとそれに対応する杭総本数、牽引方向に投影した場合の杭本数、牽引速度ならびに過剰間隙水圧の発生状況、すなわち全層液状化のステージⅠ(P1, P5が20gf/cm²)、過剰間隙水圧の消散過程のステージⅡ(P1, P5が18, 15, 12, 9, 6, 3gf/cm²)、過剰間隙水圧が完全に消散したステージⅢ(P1, P5が0gf/cm²)ごとに取りまとめている。

実験結果の解析上、地盤模型の液状化の程度をどう評価するかが重要であるが、図-3.1は液状化した模型地盤内の過剰間隙水圧(あるいは有効上載圧)の分布の概念を示す。本報告では、過剰間隙水圧の分布が図-3.1に示すように三角形分布をしていると想定して、杭模型先端(深度:20cm)での過剰間隙水圧を測点P1あるいはP5(深度:35cm)の測定値から推定することとした。さらに、図-2.5.2に示したように、ステージⅠでは杭先端が完全液状化状態にあり、D点以降で過剰間隙水圧が減少をすることから、D点に相当する測点P1あるいはP5での過剰間隙水圧を、杭先端の初期の有効上載圧と見なした。全実験ケースの測点P1あるいはP5でのD点に相当する過剰間隙水圧の平均値は20gf/cm²であり、模型地盤の有効単位体積重量が0.914gf/cm³であることから、杭先端の初期の有効上載圧を地盤深度に換算すると、21.9cm(=20/0.914)となる。ここで、この21.9cmと杭先端の深度、20cmとの差異は、牽引力に関与している杭先端以深の地盤の範囲であると考えられる。

本報告では、このように求めた杭先端の初期の有効上載圧を用いて、杭模型に係わる過剰間隙水圧比として、杭先端での過剰間隙水圧比を式(1)で、また杭全長の平均的な過剰間隙水圧比を式(2)で定義した。

$$Ru_T = \Delta u^T / \sigma'_T \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Ru_T は杭先端の過剰間隙水圧比、 Δu^T は杭先端の過剰間隙水圧、 σ'_T は杭先端の有効上載圧(=20gf/cm²)

$$Ru_A = \Delta u \cdot dz / \sigma' \cdot dz \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 Ru_A は杭全長の平均過剰間隙水圧比であり、地表面から深度21.9cmまでの有効上載圧(σ')の総和に対する過剰間隙水圧(Δu)の総和の比である。

なお、杭模型を取り付けた台車とガイドの間にはベアリングを用いて摩擦力の低減を図ったものの、牽引速度が1.5, 2.6及び4.5mm/sec.のときに、それぞれ0.9, 0.8及び0.75kgf程度の摩擦力が存在していたため、牽引力の算定ではこの摩擦力を計測された牽引力から減じている。

表- 3.1 (1) 水平抵抗力 (杭固定台車の摩擦力を除く格子配列 ケース 1-01~1-06)

●水平抵抗力: F [kgf]

実験ケース		水平抵抗力~過剰間隙水圧, 過剰間隙水圧比, 有効応力比~杭の移動速度の関係			Δu (GL-35cm)/ R_u (GL-21.9cm)/ $1-R_u$ (GL-21.9cm)							
		杭杭本数 (本)	投影本数 (本)	移動速度 (mm/sec)	20.00	18.00	15.00	12.00	9.00	6.00	3.00	0.00
					1.00	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00
					0.00	0.10	0.25	0.40	0.55	0.70	0.85	1.00
1-01 格子配列 (1本1列)	18	1	1	4.5	-0.150	0.400	0.600	1.100	1.600	2.900	4.100	6.100
	19	1	1	4.5	-0.100	0.850	1.300	1.900	2.350	3.300	4.350	6.100
	20	1	1	4.5	-0.300	0.300	0.800	1.100	2.100	2.900	4.100	6.100
	21	1	1	4.5	0.600	1.100	1.600	2.100	2.900	3.600	4.600	6.100
	ave	1	1	4.5	0.013	0.663	1.075	1.550	2.238	3.175	4.288	6.100
	24	1	1	2.6	-0.050	0.450	0.800	1.100	1.600	2.400	3.700	6.450
	25	1	1	2.6	0.200	1.450	1.900	2.400	3.200	4.000	4.950	6.450
	ave	1	1	2.6	0.075	0.950	1.350	1.750	2.400	3.200	4.325	6.450
	28	1	1	1.5	0.450	0.650	0.850	1.750	2.250	3.250	4.250	7.050
	29	1	1	1.5	0.150	0.150	0.650	1.050	1.350	2.750	3.750	7.050
	30	1	1	1.5	0.050	0.050	0.250	0.750	1.250	2.050	3.650	7.050
	ave	1	1	1.5	0.217	0.283	0.583	1.183	1.617	2.683	3.883	7.050
1-02 格子配列 (1本3列)	04	3	3	4.5	0.100	3.100	5.100	8.100	11.100	13.600	17.600	20.600
	05	3	3	4.5	1.600	9.100	11.600	14.100	16.600	19.100	22.100	20.600
	06	3	3	4.5	0.100	4.600	7.100	8.600	11.100	13.600	16.600	20.600
	ave	3	3	4.5	0.600	5.600	7.933	10.267	12.933	15.433	18.767	20.600
	07	3	3	2.6	0.200	2.700	4.200	6.200	9.200	12.200	15.200	19.450
	08	3	3	2.6	0.200	0.700	1.200	2.200	3.700	5.700	9.700	19.450
	09	3	3	2.6	0.700	3.700	5.200	7.200	9.700	12.700	15.200	19.450
	ave	3	3	2.6	0.367	2.367	3.533	5.200	7.533	10.200	13.367	19.450
	11	3	3	1.5	0.250	0.250	0.750	1.650	2.950	6.250	9.550	19.250
	12	3	3	1.5	0.250	0.250	0.950	1.950	3.050	4.750	7.250	19.250
	13	3	3	1.5	0.250	0.750	1.050	2.050	3.250	5.550	8.750	19.250
	ave	3	3	1.5	0.250	0.417	0.917	1.883	3.083	5.517	8.517	19.250
1-03 格子配列 (3本1列)	04	3	1	4.5	0.100	0.300	0.400	0.850	1.850	3.850	6.100	10.230
	05	3	1	4.5	0.100	0.600	0.850	1.350	2.600	4.100	6.350	10.230
	ave	3	1	4.5	0.100	0.450	0.625	1.100	2.225	3.975	6.225	10.230
	08	3	1	2.6	-0.050	0.450	0.800	1.300	2.300	3.200	5.000	9.200
	09	3	1	2.6	-0.050	0.700	0.900	1.500	2.200	3.700	5.200	9.200
	10	3	1	2.6	-0.050	0.950	1.700	2.200	2.700	4.200	5.700	9.200
	ave	3	1	2.6	0.050	0.700	1.133	1.667	2.400	3.700	5.300	9.200
	13	3	1	1.5	-0.050	0.050	0.250	0.950	1.550	2.750	4.500	10.630
	14	3	1	1.5	0.050	0.150	0.250	0.350	1.150	2.350	4.250	10.630
	ave	3	1	1.5	0.000	0.100	0.250	0.650	1.350	2.550	4.375	10.630
	04	4	2	4.5	0.600	3.100	4.600	6.350	9.100	11.100	14.100	19.600
	05	4	2	4.5	0.100	2.100	3.100	5.100	7.100	9.600	12.600	19.600
1-04 格子配列 (2本2列)	ave	4	2	4.5	0.350	2.600	3.850	5.725	8.100	10.350	13.350	19.600
	08	4	2	2.6	-0.050	0.200	1.200	2.700	5.450	8.200	10.950	18.950
	09	4	2	2.6	0.200	0.700	1.200	2.200	4.450	6.700	9.700	18.950
	ave	4	2	2.6	0.075	0.450	1.200	2.450	4.950	7.450	10.325	18.950
	12	4	2	1.5	0.000	0.250	0.750	1.750	3.000	5.000	8.000	17.380
	13	4	2	1.5	0.000	0.750	1.000	1.500	2.750	5.250	8.000	17.380
	ave	4	2	1.5	0.000	0.500	0.875	1.625	2.875	5.125	8.000	17.380
	04	5	5	4.5	0.100	3.100	5.100	8.100	12.600	19.100	25.100	37.350
	05	5	5	4.5	0.100	5.100	8.100	11.600	16.100	20.600	25.600	37.350
	ave	5	5	4.5	0.100	4.100	6.600	9.850	14.350	19.850	25.350	37.350
	08	5	5	2.6	0.200	0.950	2.700	4.450	8.200	13.700	20.200	29.700
	09	5	5	2.6	0.700	2.200	2.700	5.200	8.950	13.700	20.200	29.700
1-05 格子配列 (1本5列)	ave	5	5	2.6	0.450	1.575	2.700	4.825	8.575	13.700	20.200	29.700
	12	5	5	1.5	0.750	1.250	2.000	2.750	5.000	7.750	13.250	29.000
	13	5	5	1.5	0.250	0.500	1.250	2.250	5.000	8.500	13.750	29.000
	ave	5	5	1.5	0.500	0.875	1.625	2.500	5.000	8.125	13.500	29.000
	04	5	1	4.5	-0.100	1.500	2.400	3.200	4.100	5.600	7.600	10.100
	05	5	1	4.5	0.100	2.000	3.100	3.600	5.100	6.600	8.600	10.100
	ave	5	1	4.5	0.000	1.750	2.750	3.400	4.600	6.100	8.100	10.100
	08	5	1	2.6	0.400	1.100	1.800	2.200	4.100	6.100	7.900	10.700
	09	5	1	2.6	0.400	0.700	1.700	3.000	4.700	6.000	7.400	10.700
	ave	5	1	2.6	0.400	0.900	1.750	2.600	4.400	6.050	7.650	10.700
	12	5	1	1.5	0.050	0.150	1.050	1.450	2.750	5.450	7.450	10.250
	13	5	1	1.5	0.250	0.750	0.950	1.750	3.550	4.850	6.650	10.250
	ave	5	1	1.5	0.150	0.450	1.000	1.600	3.150	5.150	7.050	10.250

表-3.1 (2) 水平抵抗力 (杭固定台車の摩擦力を除く格子配列 ケース1-07~1-12)

●水平抵抗力: F [kgf]

実験ケース		水平抵抗力~過剰間隙水圧, 過剰間隙水圧比, 有効応力比~杭の移動速度の関係			Δu (GL-35cm) / R_u (GL-21.9cm) / $1-R_u$ (GL-21.9cm)							
		杭杭本数 (本)	投影本数 (本)	移動速度 (mm/sec)	20.00	18.00	15.00	12.00	9.00	6.00	3.00	0.00
					0.00	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00
1-07 格子配列 (3本3列)	04	9	3	4.5	0.600	3.600	5.600	7.600	11.100	15.100	21.600	30.600
	05	9	3	4.5	0.600	4.600	7.100	9.600	12.600	17.600	23.100	30.600
	ave	9	3	4.5	0.600	4.100	6.350	8.600	11.850	16.350	22.350	30.600
	08	9	3	2.6	0.700	1.700	2.700	4.700	7.200	11.700	16.200	28.950
	09	9	3	2.6	0.200	0.700	1.200	4.200	7.200	10.200	15.200	28.950
	ave	9	3	2.6	0.450	1.200	1.950	4.450	7.200	10.950	15.700	28.950
	15	9	3	1.5	0.250	0.250	1.750	3.250	5.250	9.250	13.250	26.750
	16	9	3	1.5	0.250	0.750	1.750	3.250	6.750	9.750	13.750	26.750
1-08 格子配列 (2本5列)	04	10	5	4.5	1.100	3.100	5.100	8.100	13.100	21.100	31.100	42.100
	05	10	5	4.5	1.100	3.100	5.600	9.600	16.100	22.100	33.100	42.100
	21	10	5	4.5	1.100	2.100	5.100	8.600	16.100	22.600	33.100	42.100
	ave	10	5	4.5	1.100	2.767	5.267	8.767	15.100	21.933	32.433	42.100
	08	10	5	2.6	0.700	1.700	3.700	7.700	11.200	16.700	24.700	41.700
	09	10	5	2.6	0.700	1.200	2.200	4.700	9.200	15.200	22.200	41.700
	ave	10	5	2.6	0.700	1.450	2.950	6.200	10.200	15.950	23.450	41.700
	12	10	5	1.5	1.250	0.750	1.250	1.750	3.750	6.750	13.250	41.750
1-09 格子配列 (5本2列)	04	10	2	4.5	0.100	2.600	5.600	8.100	10.100	12.600	17.600	23.350
	05	10	2	4.5	0.100	3.600	5.600	8.100	10.600	13.600	17.600	23.350
	06	10	2	4.5	0.100	2.100	4.100	6.600	9.100	11.600	16.600	23.350
	ave	10	2	4.5	0.100	2.767	5.100	7.600	9.933	12.600	17.267	23.350
	09	10	2	2.6	0.700	0.700	1.700	3.700	6.200	8.700	12.700	21.450
	10	10	2	2.6	0.200	0.200	1.200	3.700	5.700	8.700	12.700	21.450
	ave	10	2	2.6	0.450	0.450	1.450	3.700	5.950	8.700	12.700	21.450
	13	10	2	1.5	0.750	0.250	1.250	1.750	2.750	5.250	8.250	21.250
1-10 格子配列 (3本5列)	04	15	5	4.5	1.100	2.100	5.100	9.100	15.100	22.100	32.100	50.100
	05	15	5	4.5	1.100	2.100	5.600	10.600	16.600	24.100	35.100	50.100
	ave	15	5	4.5	1.100	2.100	5.350	9.850	15.850	23.100	33.600	50.100
	08	15	5	2.6	1.200	3.200	4.200	6.700	10.700	16.700	24.700	49.200
	09	15	5	2.6	1.200	1.200	2.700	6.700	10.200	16.200	24.200	49.200
	10	15	5	2.6	1.200	1.700	2.700	6.700	10.200	16.700	23.200	49.200
	ave	15	5	2.6	1.200	2.033	3.200	6.700	10.367	16.533	24.033	49.200
	16	15	5	1.5	0.750	0.750	1.250	2.750	6.250	10.750	17.250	46.250
1-11 格子配列 (5本3列)	04	15	3	4.5	0.600	2.100	4.100	7.100	11.100	15.600	22.100	33.100
	19	15	3	4.5	0.600	2.100	3.600	6.100	10.100	15.100	21.600	33.100
	ave	15	3	4.5	0.600	2.100	3.850	6.600	10.600	15.350	21.850	33.100
	08	15	3	2.6	0.200	0.700	1.700	3.200	6.200	10.200	14.700	32.200
	20	15	3	2.6	0.200	0.700	1.700	4.500	7.500	11.700	17.200	32.200
	ave	15	3	2.6	0.200	0.700	1.700	3.850	6.850	10.950	15.950	32.200
	12	15	3	1.5	0.250	0.750	0.750	1.750	3.250	6.750	10.750	29.750
	13	15	3	1.5	0.250	0.750	0.750	2.250	3.750	7.250	12.250	29.750
1-12 格子配列 (4本4列)	11	16	4	4.5	0.600	2.100	3.600	6.600	11.600	17.100	24.100	39.600
	12	16	4	4.5	0.600	3.600	5.600	10.100	14.600	21.100	30.100	39.600
	ave	16	4	4.5	0.600	2.850	4.600	8.350	13.100	19.100	27.100	39.600
	13	16	4	2.6	0.200	0.700	1.700	4.200	8.200	13.700	19.700	40.700
	14	16	4	2.6	0.200	1.200	2.700	5.200	8.200	13.700	19.200	40.700
	ave	16	4	2.6	0.200	0.950	2.200	4.700	8.200	13.700	19.450	40.700
	17	16	4	1.5	0.250	0.750	1.250	2.750	5.750	10.250	15.750	37.250
	ave	16	4	1.5	0.250	0.750	1.250	2.750	5.250	9.750	14.750	37.250

表-3.2 水平抵抗力 (杭固定台車の摩擦力を除く千鳥配列 ケース2-01~2-08)

●水平抵抗力: F [kgf]

実験ケース		杭本数 (本)	投影本数 (本)	移動速度 (mm/sec)	水平抵抗力~過剰間隙水圧, 過剰間隙水圧比, 有効応力比~杭の移動速度の関係 ① Δu (GL-35cm) / ② R_u (GL-21.9cm) / ③ $1-R_u$ (GL-21.9cm)							
					20.00 0.00	18.00 0.10	15.00 0.25	12.00 0.40	9.00 0.55	6.00 0.70	3.00 0.85	0.00 1.00
2-01 千鳥配列 (1-2-1) →	04	4	3	4.5	0.100	0.600	1.400	3.300	5.400	7.600	10.400	16.100
	05	4	3	4.5	-0.150	0.350	2.100	3.100	5.100	7.600	10.600	16.100
	ave	4	3	4.5	-0.025	0.475	1.750	3.200	5.250	7.600	10.500	16.100
	08	4	3	2.6	-0.050	0.400	0.950	1.800	3.300	6.200	8.700	14.950
	09	4	3	2.6	-0.050	0.500	0.950	1.950	3.700	5.200	8.200	14.950
	ave	4	3	2.6	-0.050	0.450	0.950	1.875	3.500	5.700	8.450	14.950
	12	4	3	1.5	0.000	0.150	0.750	1.250	3.000	4.500	6.750	14.250
	ave	4	3	1.5	0.000	0.250	0.450	0.750	1.850	3.250	5.500	14.250
2-02 千鳥配列 (1-2-1) ↓	04	4	3	4.5	0.600	0.600	1.600	4.350	7.100	10.350	14.100	21.480
	05	4	3	4.5	0.600	1.700	2.850	4.600	7.350	10.100	14.100	21.480
	ave	4	3	4.5	0.600	1.150	2.225	4.475	7.225	10.225	14.100	21.480
	08	4	3	2.6	0.200	0.700	0.700	1.700	4.200	7.200	11.200	19.950
	09	4	3	2.6	0.200	0.700	0.500	1.700	3.700	6.700	10.200	19.950
	ave	4	3	2.6	0.200	0.700	0.600	1.700	3.950	6.950	10.700	19.950
	12	4	3	1.5	0.000	0.050	0.750	1.250	2.250	3.750	6.850	19.500
	ave	4	3	1.5	0.000	0.250	0.050	0.750	0.850	1.850	5.250	19.500
2-03 千鳥配列 (2-1-2) →	04	5	3	4.5	-0.150	1.100	2.100	3.100	5.600	8.600	12.850	18.100
	05	5	3	4.5	0.100	1.350	2.850	4.850	6.850	9.350	12.600	18.100
	ave	5	3	4.5	-0.025	1.225	2.475	3.975	6.225	8.975	12.725	18.100
	08	5	3	2.6	0.700	0.700	1.200	2.450	4.200	6.950	10.200	17.950
	09	5	3	2.6	0.200	0.200	0.700	2.200	3.700	6.200	9.700	17.950
	10	5	3	2.6	0.200	0.200	0.450	1.700	3.450	5.450	8.950	17.950
	ave	5	3	2.6	0.367	0.367	0.783	2.117	3.783	6.200	9.617	17.950
	13	5	3	1.5	0.250	0.250	0.750	1.500	2.250	3.750	6.250	17.250
2-04 千鳥配列 (2-1-2) ↓	04	5	3	4.5	0.100	0.600	2.100	4.100	7.100	10.600	14.600	21.850
	ave	5	3	4.5	0.100	0.600	2.100	4.100	7.100	10.600	14.600	21.850
	08	5	3	2.6	0.000	0.450	0.450	2.200	4.700	8.200	11.700	20.450
	09	5	3	2.6	-0.050	0.700	0.200	2.000	4.200	7.200	10.700	20.450
	ave	5	3	2.6	-0.025	0.575	0.325	2.100	4.450	7.700	11.200	20.450
	12	5	3	1.5	0.250	0.250	0.550	1.000	2.250	4.000	7.750	20.250
	13	5	3	1.5	-0.250	-0.150	0.250	1.000	1.500	3.250	6.250	20.250
	ave	5	3	1.5	0.000	0.050	0.400	1.000	1.875	3.625	7.000	20.250
2-05 千鳥配列 (3-2-3) →	04	8	5	4.5	0.100	1.100	2.400	5.400	8.600	13.100	18.600	30.350
	05	8	5	4.5	0.100	1.100	2.100	5.100	9.100	13.100	18.100	30.350
	06	8	5	4.5	0.400	2.100	3.600	6.600	10.600	14.100	18.100	30.350
	ave	8	5	4.5	0.200	1.433	2.700	5.700	9.433	13.433	18.267	30.350
	09	8	5	2.6	0.500	1.200	1.700	3.700	6.500	10.200	15.200	28.950
	10	8	5	2.6	0.200	0.950	1.450	2.450	4.700	8.450	13.700	28.950
	ave	8	5	2.6	0.350	1.075	1.575	3.075	5.600	9.325	14.450	28.950
	13	8	5	1.5	0.250	0.250	0.250	0.750	2.950	5.250	9.750	27.500
2-06 千鳥配列 (3-2-3) ↓	04	8	3	4.5	0.100	0.100	1.100	2.600	5.100	8.600	14.100	24.850
	05	8	3	4.5	0.100	0.700	1.600	4.100	6.850	10.850	15.100	24.850
	ave	8	3	4.5	0.100	0.400	1.350	3.350	5.975	9.725	14.600	24.850
	08	8	3	2.6	0.450	0.700	0.700	2.000	3.700	7.200	11.200	24.700
	09	8	3	2.6	0.200	0.200	0.200	1.800	3.950	7.200	10.700	24.700
	ave	8	3	2.6	0.325	0.450	0.450	1.900	3.825	7.200	10.950	24.700
	12	8	3	1.5	0.250	0.250	0.250	1.150	3.150	5.250	9.000	24.000
	ave	8	3	1.5	0.250	0.250	0.250	0.250	1.250	2.500	8.500	24.000
2-07 千鳥配列 (4-3-4) →	04	11	7	4.5	0.600	1.100	2.600	5.600	10.100	16.100	25.100	38.850
	05	11	7	4.5	1.100	1.600	2.600	6.100	10.600	16.600	25.100	38.850
	ave	11	7	4.5	0.850	1.350	2.600	5.850	10.350	16.350	25.100	38.850
	08	11	7	2.6	0.700	1.200	1.200	3.200	6.200	11.200	17.700	37.700
	09	11	7	2.6	0.700	1.200	1.700	2.700	5.700	10.700	17.200	37.700
	ave	11	7	2.6	0.700	1.200	1.450	2.950	5.950	10.950	17.450	37.700
	12	11	7	1.5	0.250	0.750	0.750	1.250	3.250	6.250	10.750	35.250
	ave	11	7	1.5	0.250	0.750	1.250	1.750	4.250	6.750	11.750	35.250
2-08 千鳥配列 (4-3-4) ↓	04	11	3	4.5	0.350	0.600	3.100	4.600	8.600	12.100	17.100	26.350
	05	11	3	4.5	0.350	1.100	1.600	4.600	8.100	12.100	17.100	26.350
	ave	11	3	4.5	0.350	0.850	2.350	4.600	8.350	12.100	17.100	26.350
	11	11	3	2.6	0.200	0.200	0.700	1.200	3.700	7.700	12.700	26.200
	12	11	3	2.6	-0.050	0.450	1.450	3.700	6.450	10.200	13.450	26.200
	ave	11	3	2.6	0.075	0.325	1.075	2.450	5.075	8.950	13.075	26.200
	15	11	3	1.5	0.250	0.250	0.750	1.250	3.250	6.500	9.750	26.250
	ave	11	3	1.5	0.000	0.000	0.250	0.750	2.250	4.750	8.250	26.250

豊浦標準砂

$D_r = 54.3 \%$

$\gamma' = 0.914 \text{ gf/cm}^3$

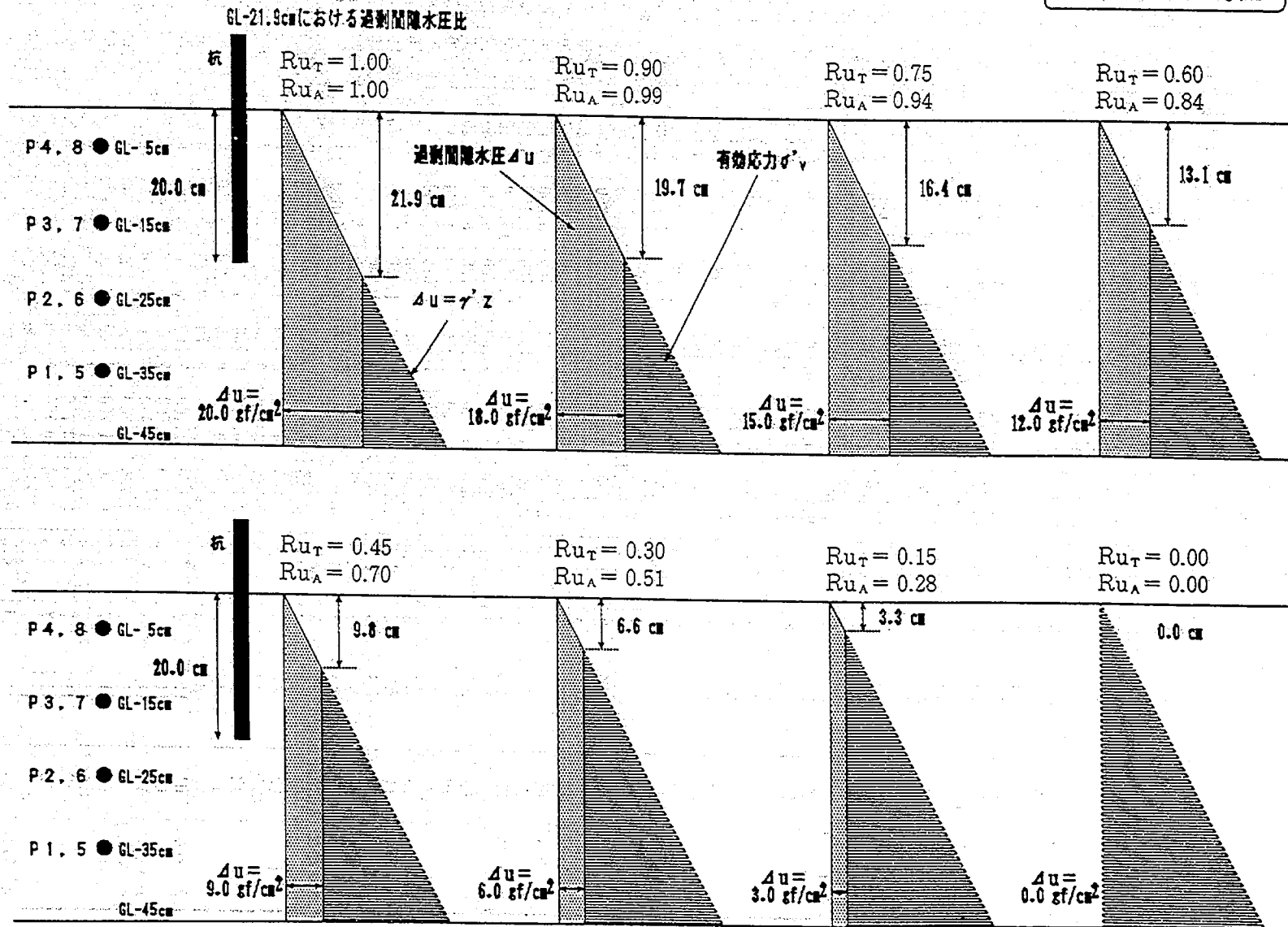


図-3.1 過剰間隙水圧の分布概念図

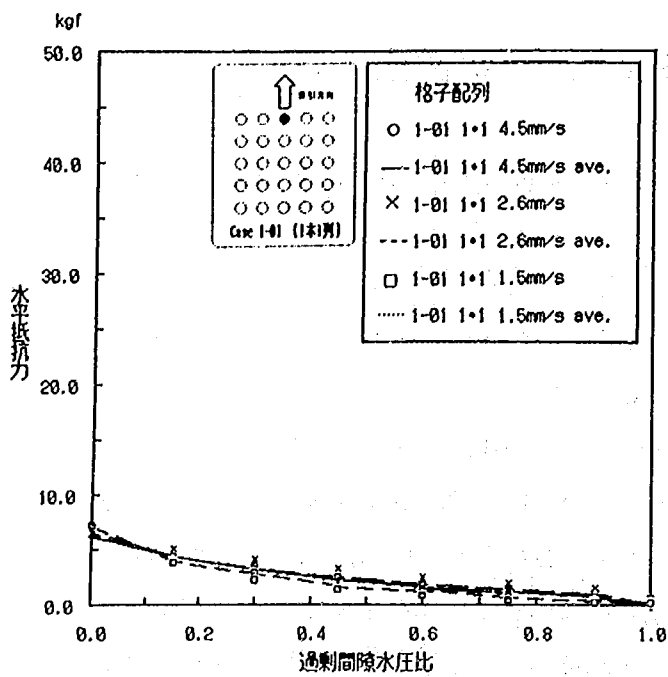
4. 液状化の程度と水平抵抗力の関係

表-3.1～3.2の計測結果をもとに、過剰間隙水圧比と水平抵抗力との関係を、牽引速度をパラメータにしてまとめたものを図-4.1～4.2に示す。

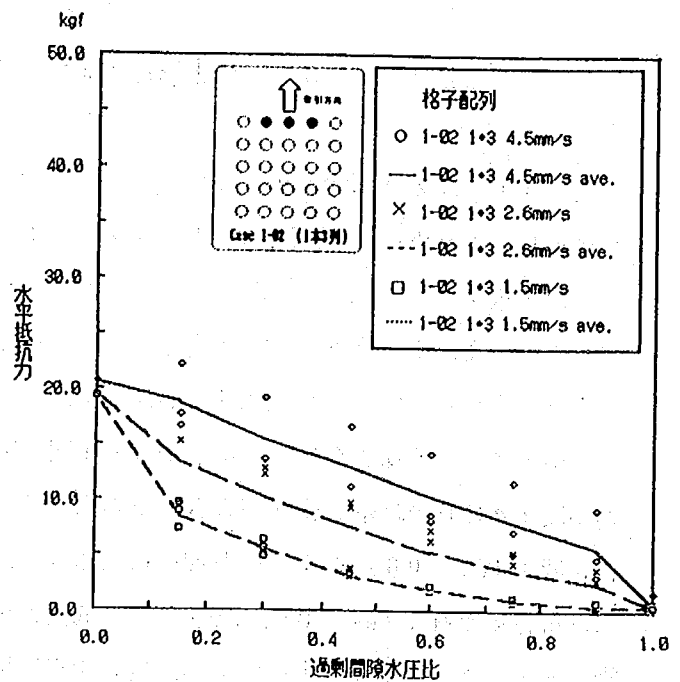
どの実験ケースでも、杭に作用する水平抵抗力は過剰間隙水圧比(R_{u_T})の増加にともない著しく減少する。例えば格子配列の2本2列(ケース1-04)の杭模型を4.5mm/sec.で牽引した場合、 $R_{u_T}=0.0$ で19.6kgfであった水平抵抗力が、 $R_{u_T}=1.0$ では0.35kgfにまで減少する。

牽引速度との関係をみると、格子配列で1列の場合(ケース1-01, 1-03, 1-06)を除き、同一過剰間隙水圧比では牽引速度が大きいほど水平抵抗力が大きいという傾向がみられる。ただし、非液状化状態($R_{u_T}=0.0$)では、牽引速度による水平抵抗力の違いはほとんどない。また、完全液状化状態に近付くにつれ($R_{u_T}=0.9, 1.0$)、水平抵抗力が牽引速度に応じて大きくなる傾向は不明瞭になる。図-4.3には、完全液状化状態での速度と水平抵抗力との関係の例を示したが、牽引速度の最も大きい場合($V=4.5\text{mm/sec.}$)に、水平抵抗力が最も小さくなる場合もある。全ケースをみても、一定の傾向がみられない。この原因として、完全液状化状態及びその近傍では水平抵抗力が極めて小さく、牽引時に杭固定台車とレールの間に生じる摩擦力の影響が支配的になっていることが考えられる。実際、完全液状化状態で生じる水平抵抗力(計測値)は最大で2kgf程度で、摩擦力の大きさ0.75～0.9kgfに近く、補正の方法によって水平抵抗力(補正值)の大きさが、強く影響を受ける可能性がある。

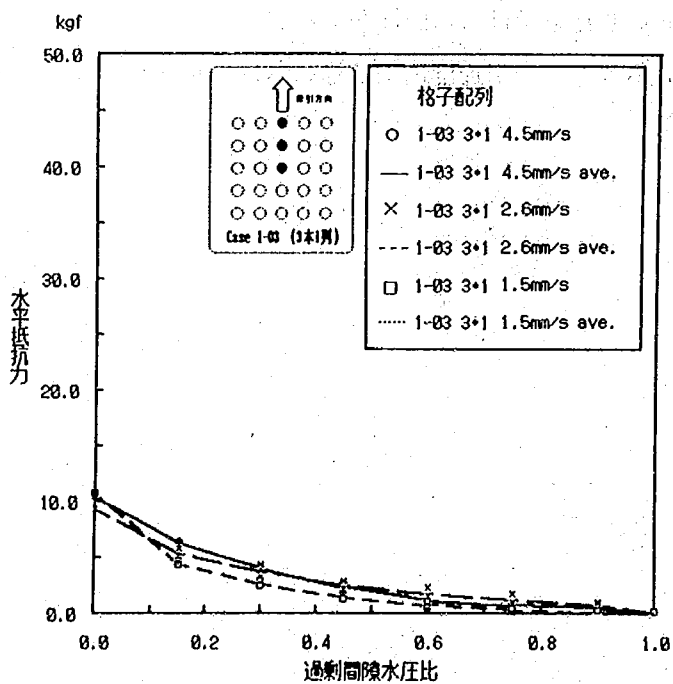
1列の場合は、水平抵抗力自体が他のケースに比べて小さく、牽引速度による違いもほとんどみられない。



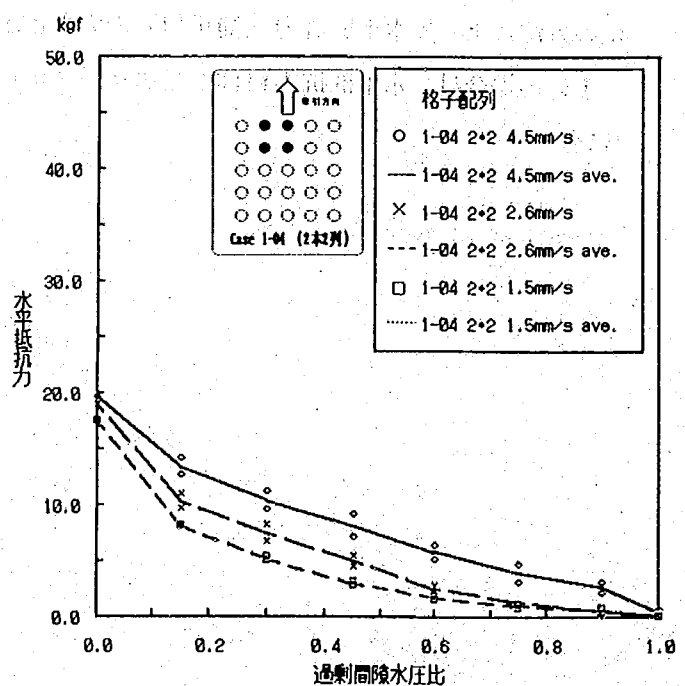
(a) ケース 1-01



(b) ケース 1-02

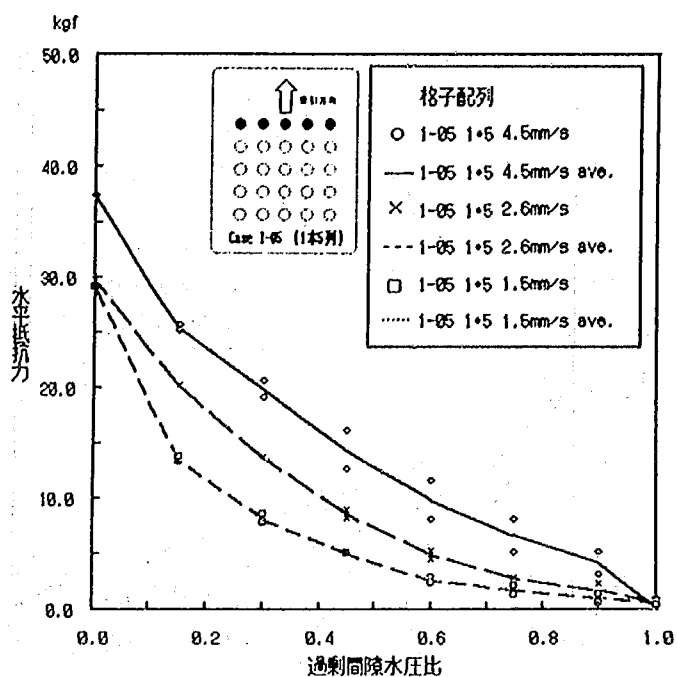


(c) ケース 1-03

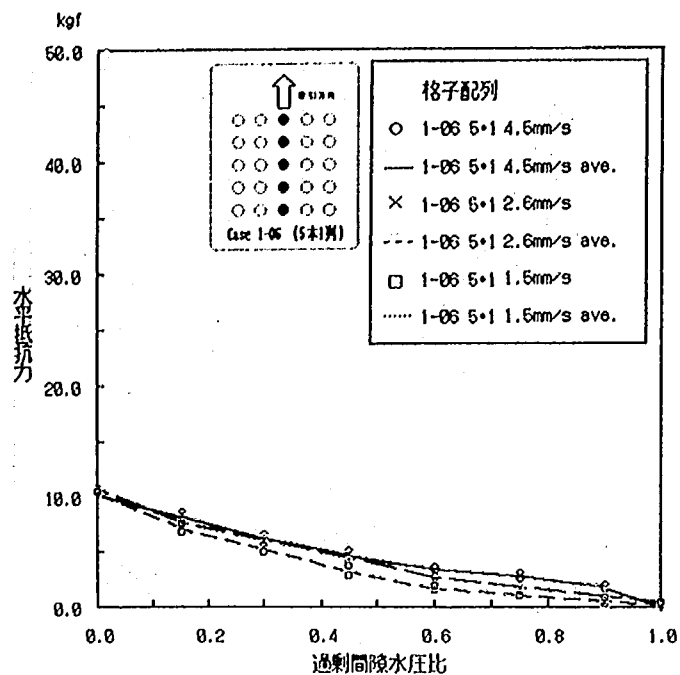


(d) ケース 1-04

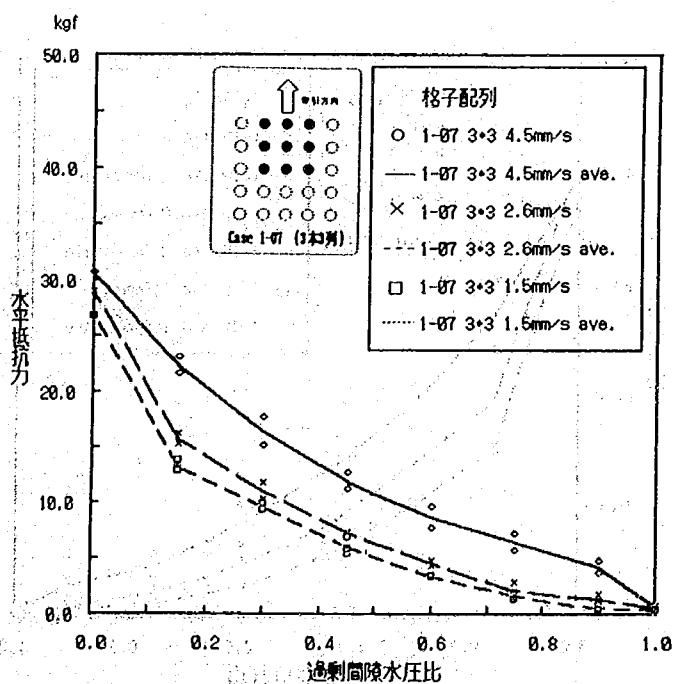
図-4.1(1) 過剰間隙水圧比 Ru_r と水平抵抗力の関係
(格子配列 実験ケース 1-01~1-04)



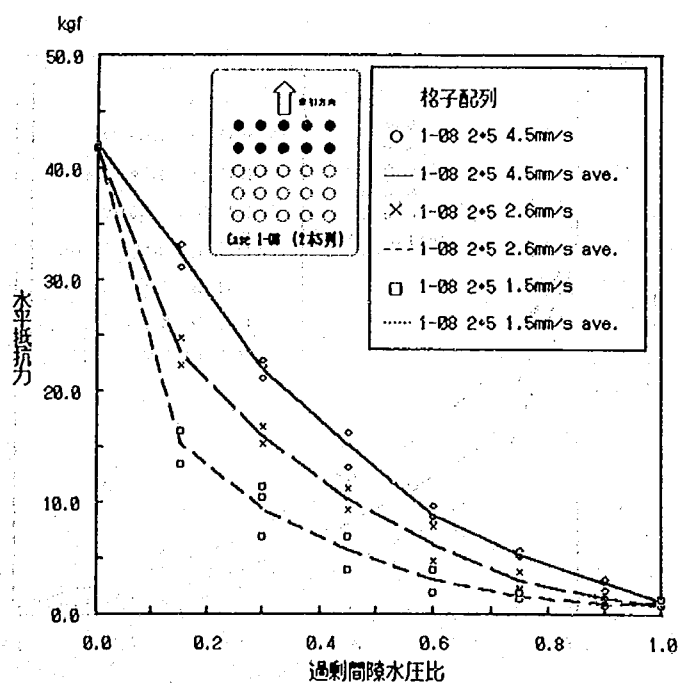
(e) ケース 1-05



(f) ケース 1-06

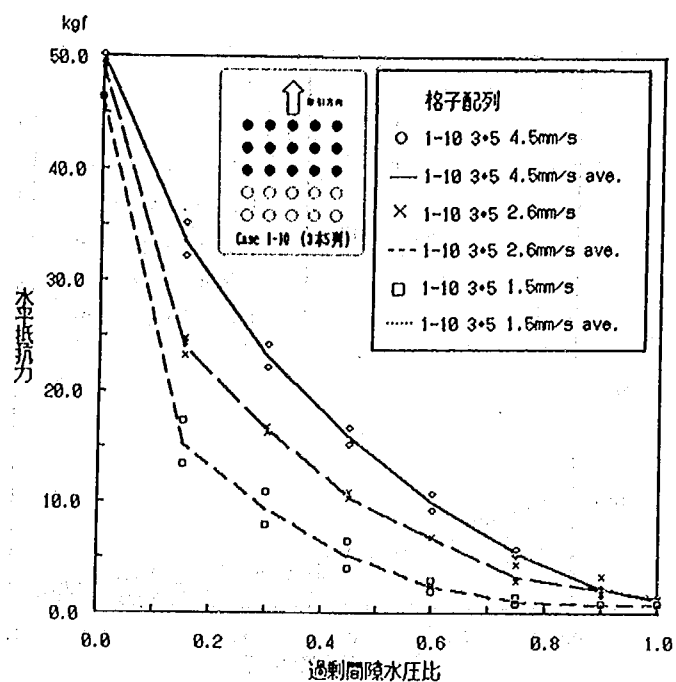


(g) ケース 1-07

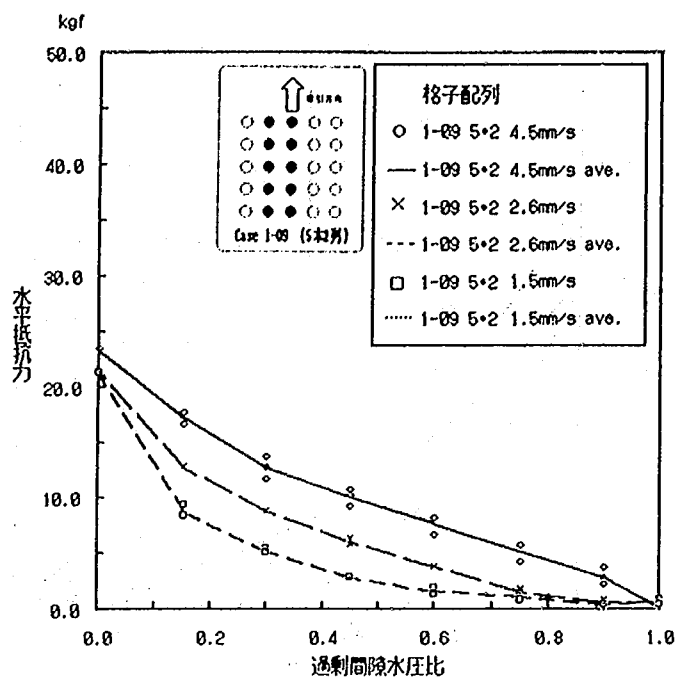


(h) ケース 1-08

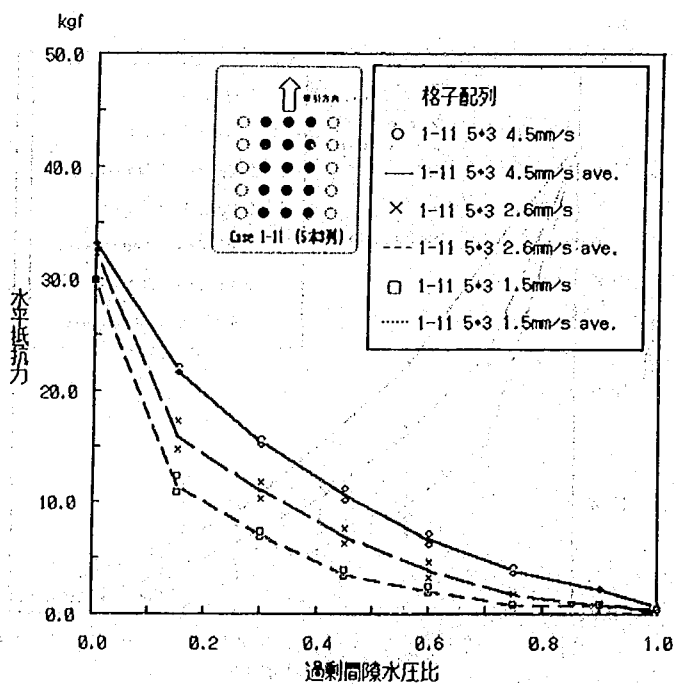
図-4.1(2) 過剰間隙水圧比 Ru_r と水平抵抗力の関係
(格子配列 実験ケース 1-05 ~ 1-08)



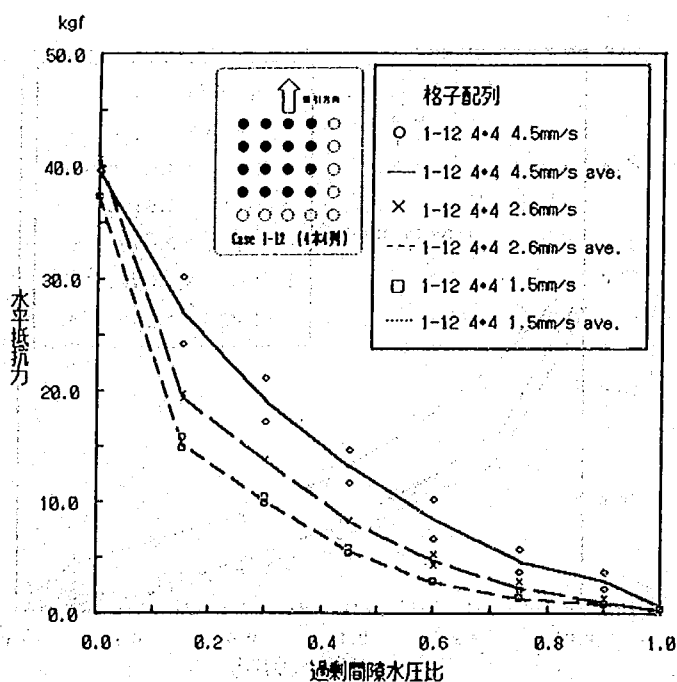
(i) ケース 1-10



(j) ケース 1-09

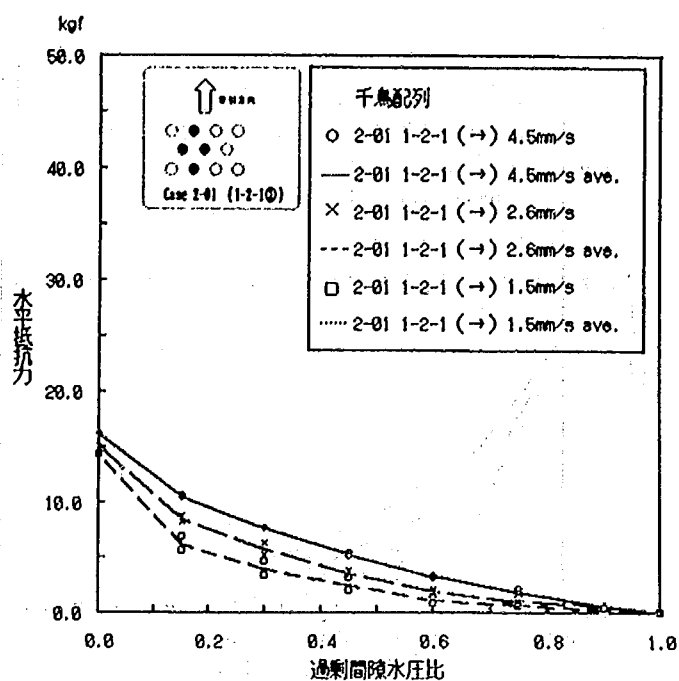


(k) ケース 1-11

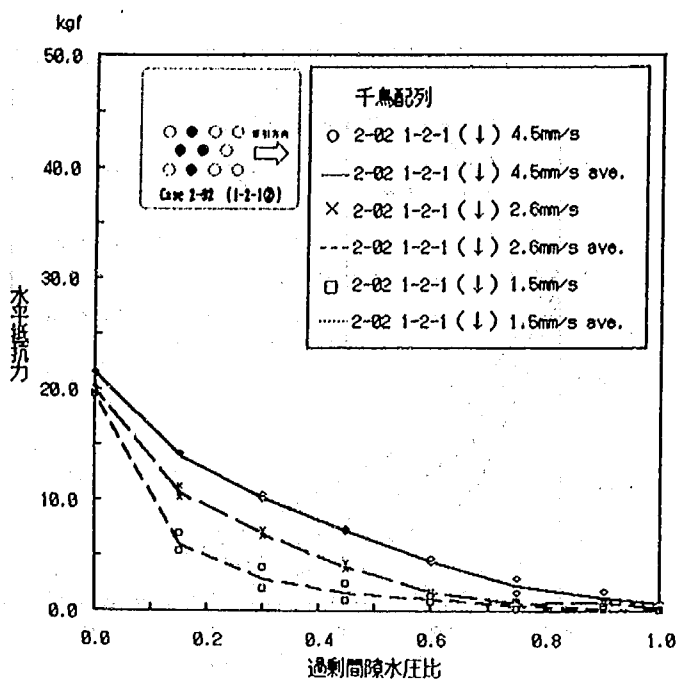


(l) ケース 1-12

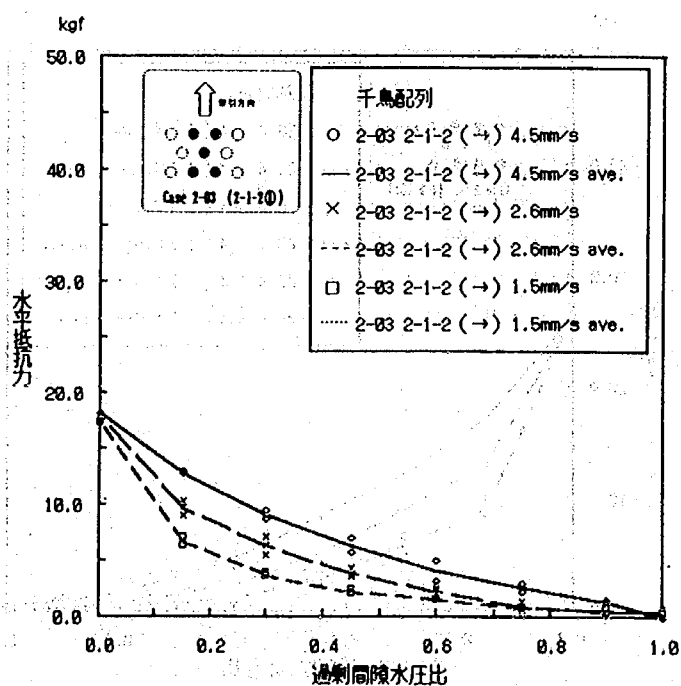
図-4.1(3) 過剰間隙水圧比 R_{ur} と水平抵抗力の関係
(格子配列 実験ケース 1-09 ~ 1-12)



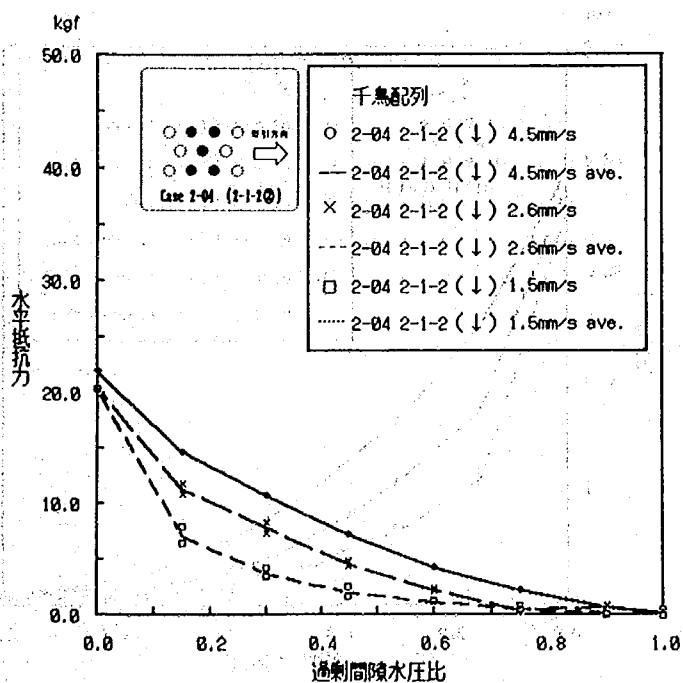
(a) ケース 2-01



(b) ケース 2-02

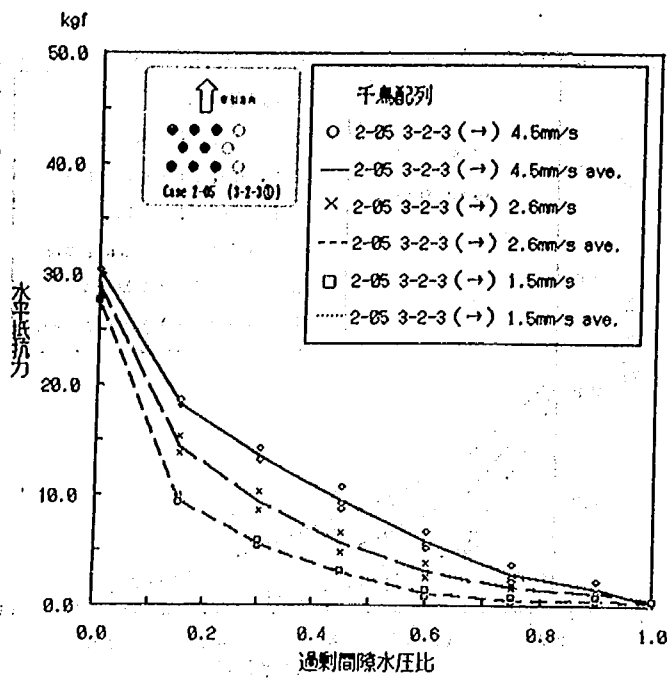


(c) ケース 2-03

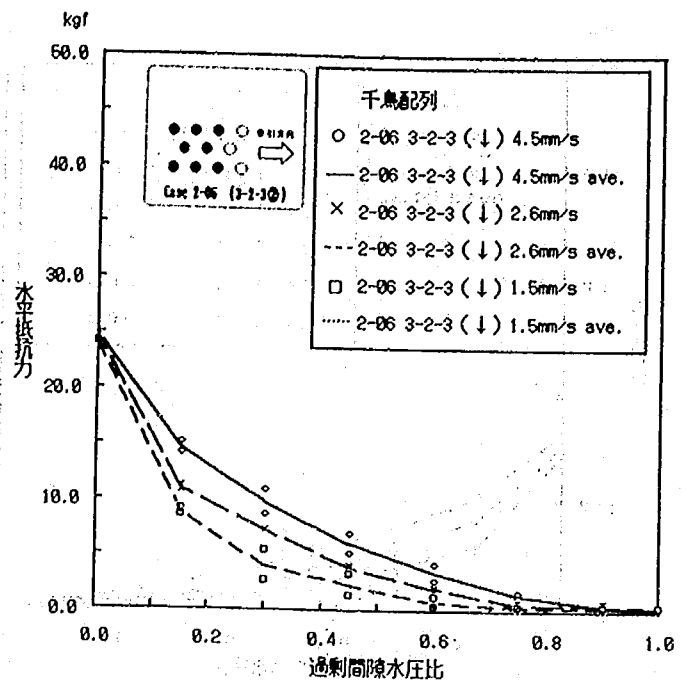


(d) ケース 2-04

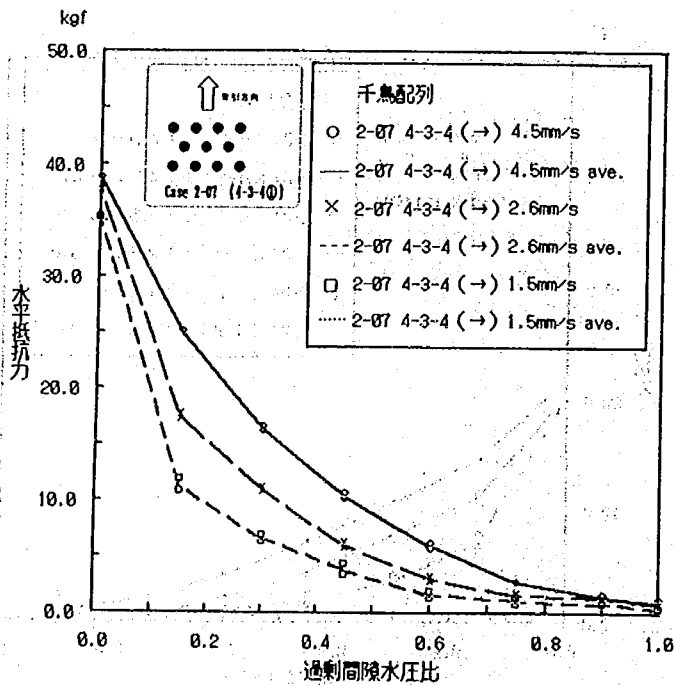
図-4.2(1) 過剰間隙水圧比 Ru_r と水平抵抗力の関係
(千鳥配列 実験ケース 2-01 ~ 2-04)



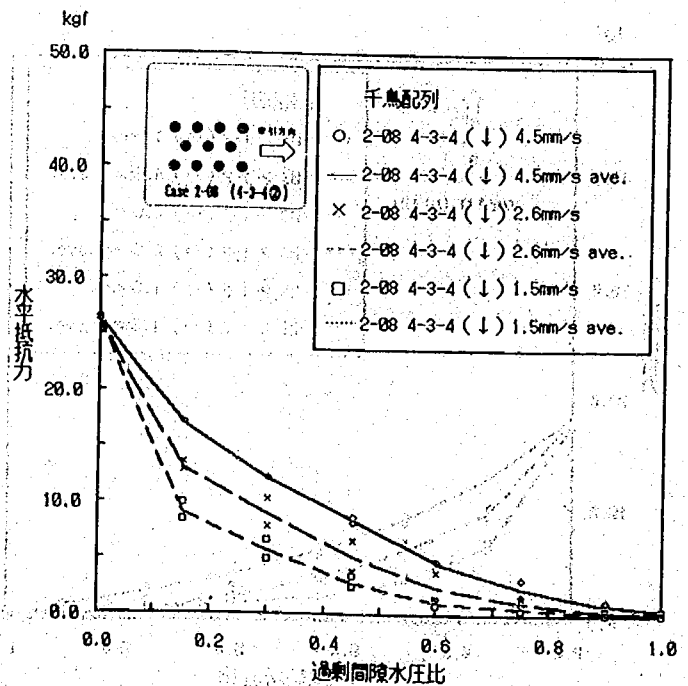
(e) ケース 2-05



(f) ケース 2-06

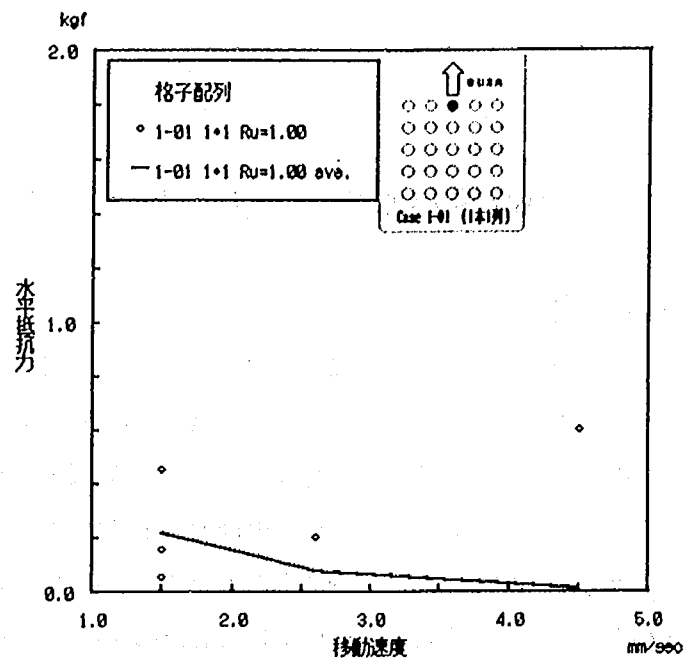


(g) ケース 2-07

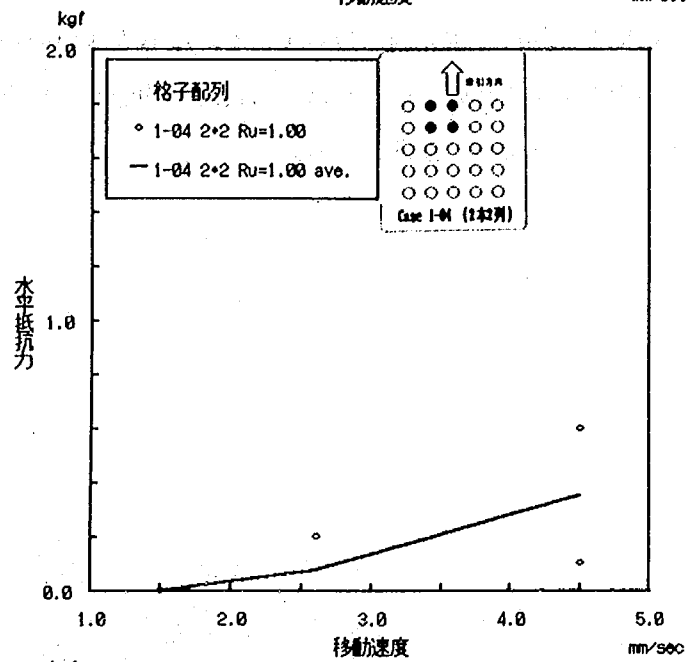


(h) ケース 2-08

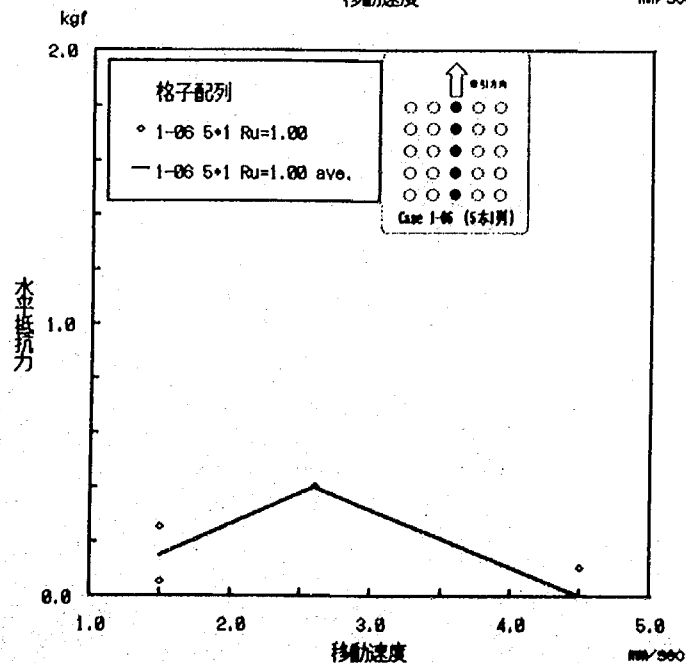
図-4.2(2) 過剰間隙水圧比 R_{uT} と水平抵抗力の関係
(千鳥配列 実験ケース 2-05 ~ 2-08)



(a) ケース 1-01



(b) ケース 1-04



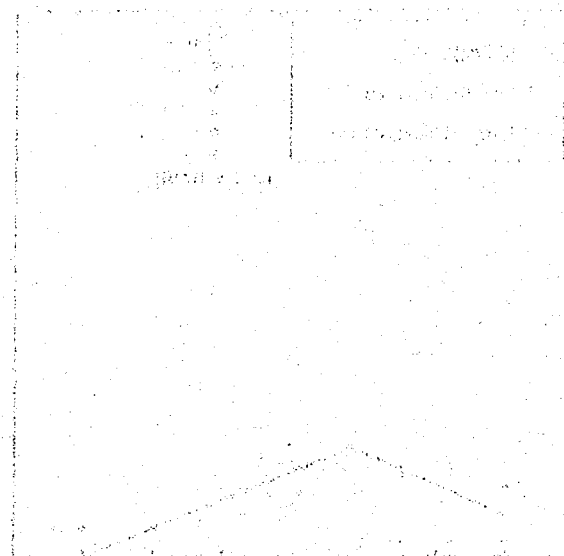
(c) ケース 1-06

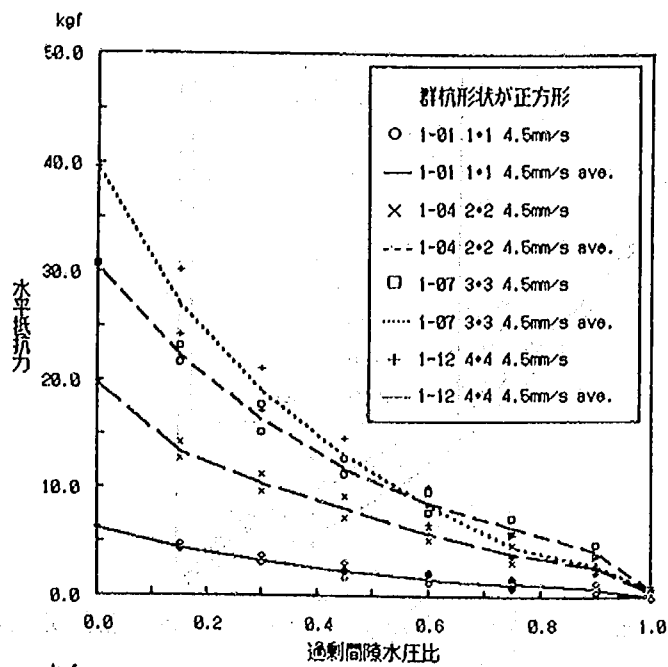
図-4.3 完全液状化状態での杭の牽引速度と水平抵抗力の関係
(ケース 1-01, ケース 1-04, ケース 1-06)

5. 杭の配置が水平抵抗力に与える影響

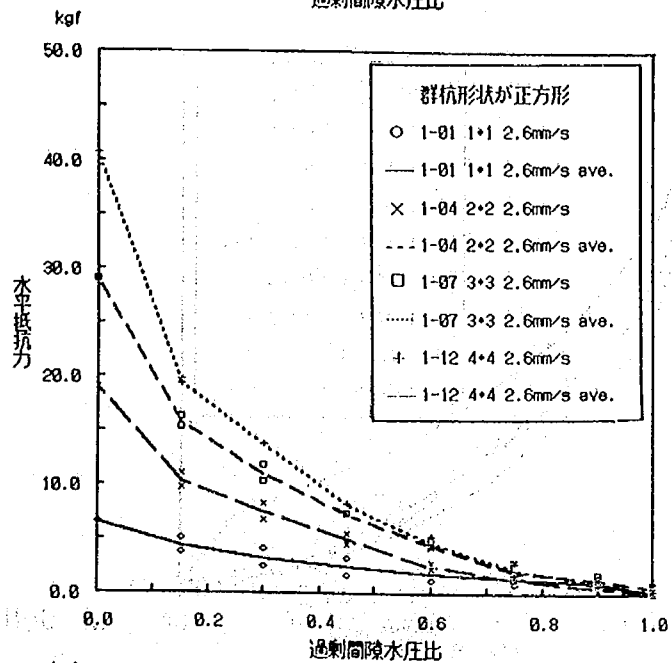
5.1 杭の配置が正方形配置の場合

正方形配置に関して過剰間隙水圧比と水平抵抗力の関係を速度ごとに比較した結果を図-5.1.1に示す。ここで取り上げたのは1本1列(ケース1-01), 2本2列(ケース1-04), 3本3列(ケース1-07)および4本4列(ケース1-12)の合計4ケースである。図より, 当然のことながら総本数が多いほど水平抵抗力も大きい。そこで, 各実験での最大水平抵抗力を基準にして正規化したのが図-5.1.2である。各速度とも4本4列が最も低減率が大きく, 次に3本3列, 2本2列と続き, 1本1列の低減率が最も小さい。杭1本当たりについて検討したのが図-5.1.3である。杭1本当たりについても既に示した結果と同様に4本4列が最も小さく, 最も大きいのが1本1列である。図-5.1.4は牽引直角方向への投影杭1本当たりの水平抵抗力と過剰間隙水圧比との関係だが, 各速度とも1本1列が他の実験ケースとは異なった傾向にある。

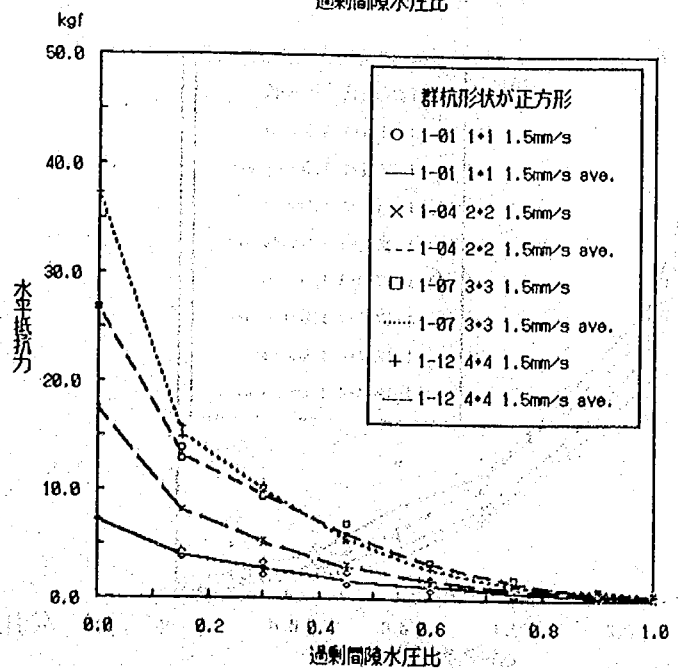




(a) 牽引速度 4.5 mm/sec.



(b) 牽引速度 2.6 mm/sec.



(c) 牽引速度 1.5 mm/sec.

図-5.1.1 過剰間隙水圧比 Ru_p と水平抵抗力の関係 (正方形配置)

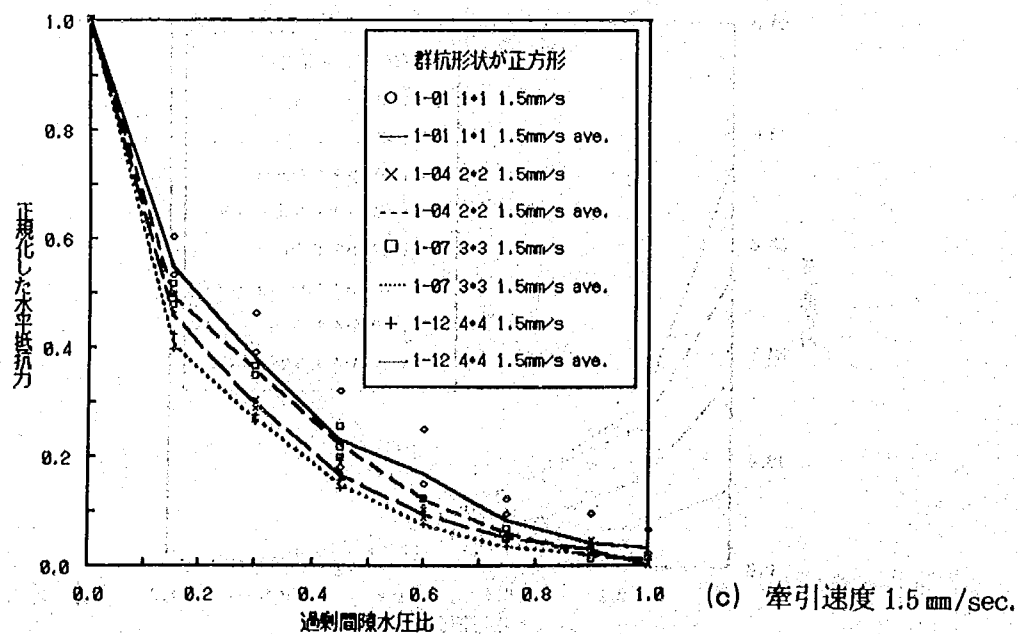
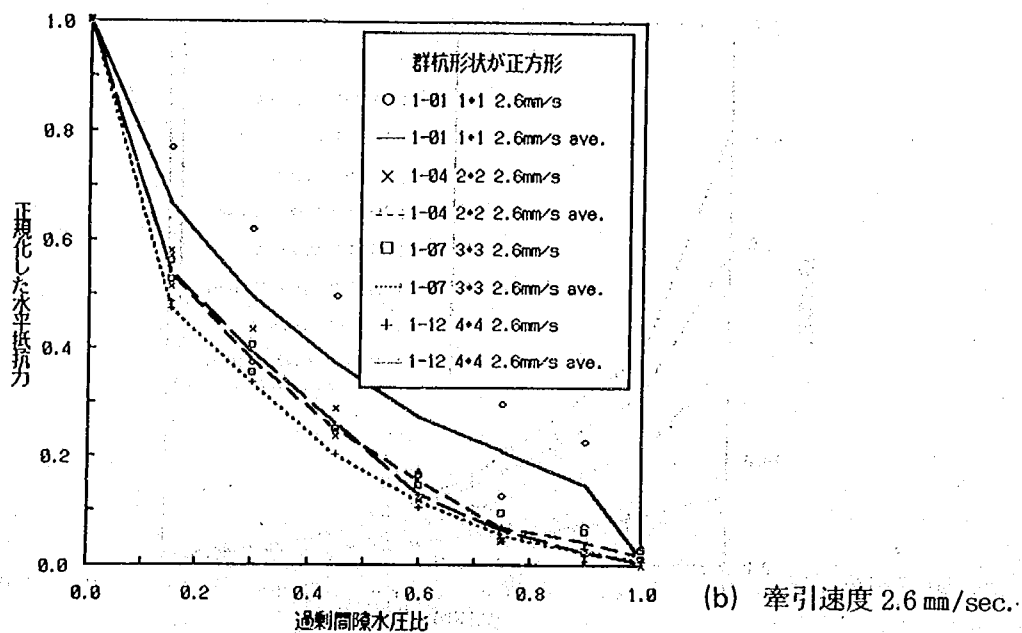
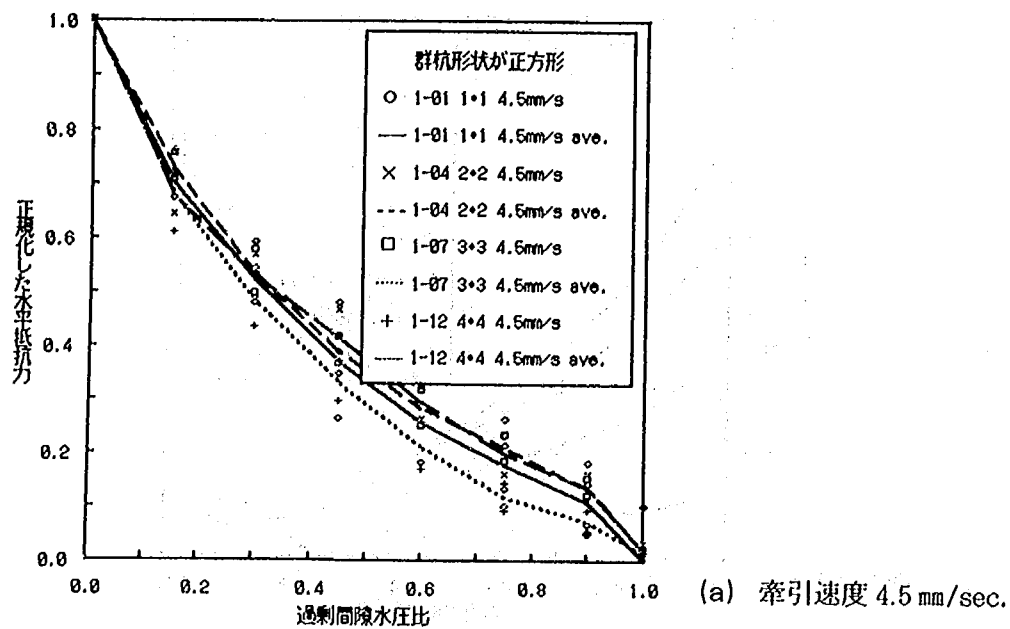
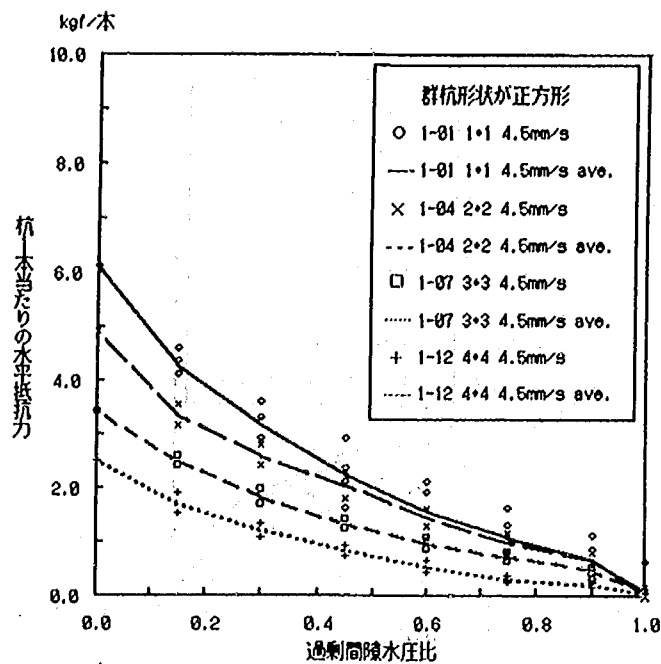
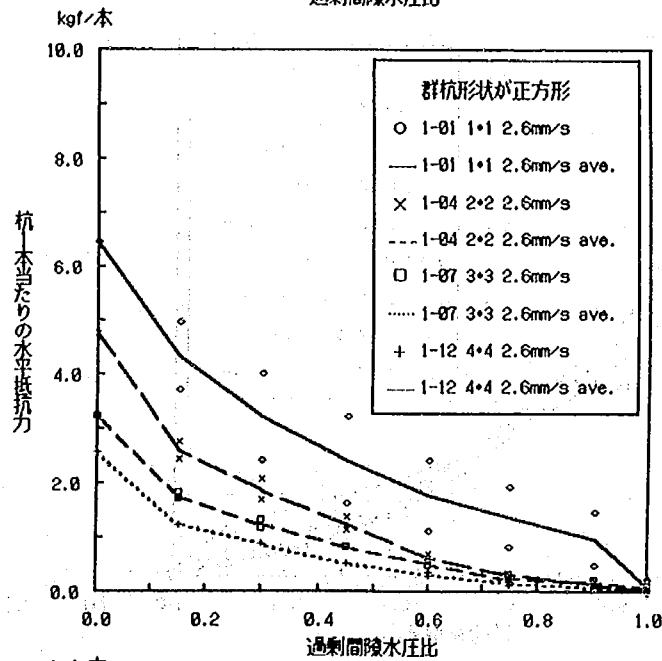


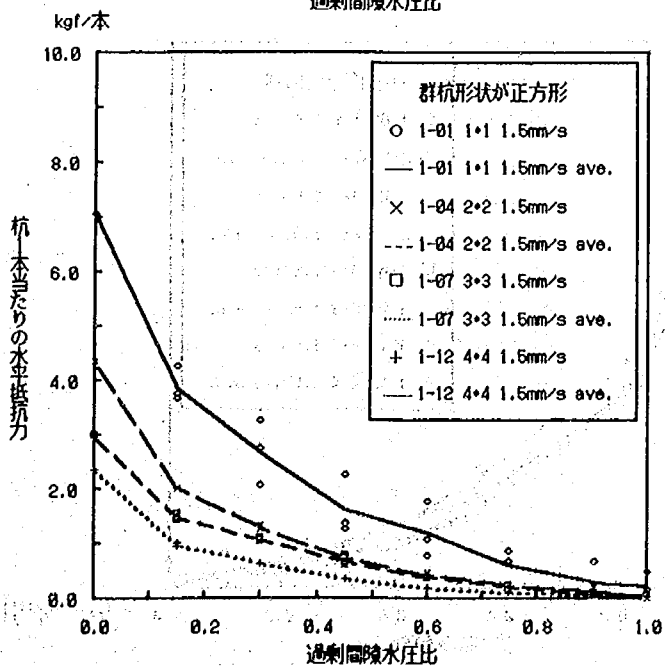
図-5.1.2 過剰間隙水圧比 Ru_r と正規化した水平抵抗力の関係 (正方形配置)



(a) 牽引速度 4.5 mm/sec.

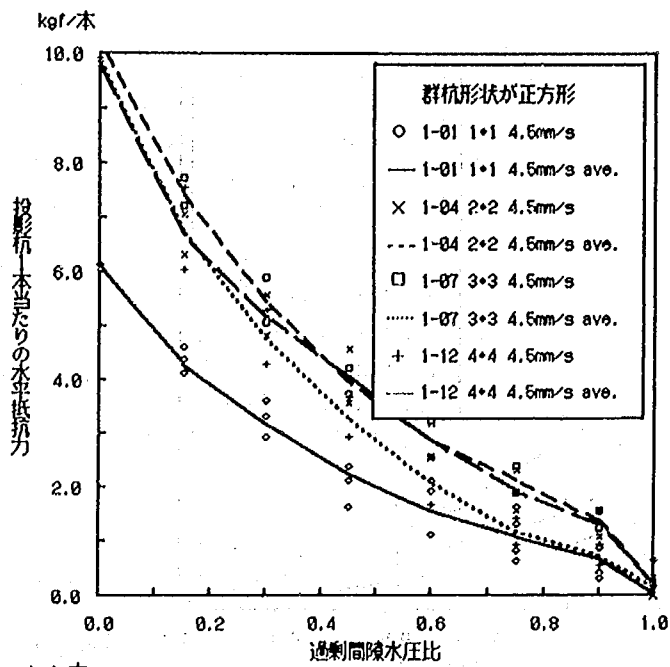


(b) 牽引速度 2.6 mm/sec.

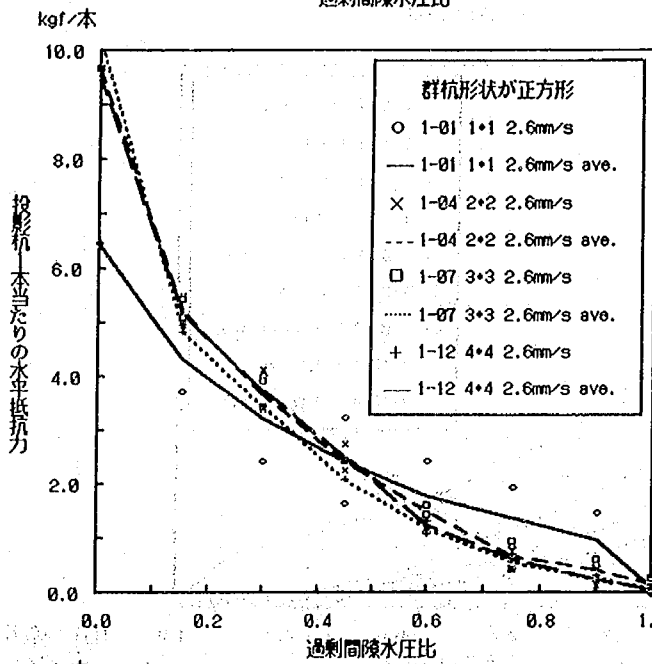


(c) 牽引速度 1.5 mm/sec.

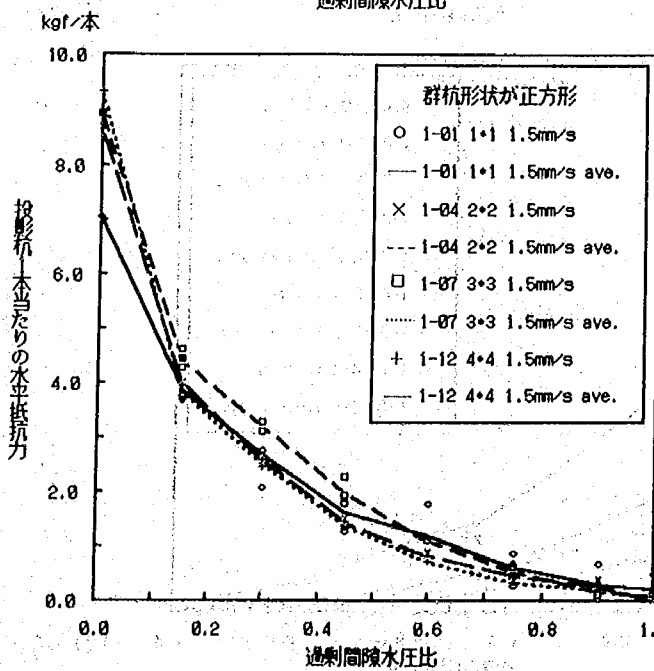
図-5.1.3 過剰間隙水圧比 Ru_r と 1 本当たりの水平抵抗力の関係 (正方形配置)



(a) 牽引速度 4.5 mm/sec.



(b) 牽引速度 2.6 mm/sec.



(c) 牽引速度 1.5 mm/sec.

図-5.1.4 過剰間隙水圧比 Ru_r と牽引直角方向への投影杭 1 本当たりの水平抵抗力の関係 (正方形配置)

5.2 杭の配置が同じで牽引方向が異なる場合

格子配列に関して杭配置が同じで牽引方向が異なる場合について、牽引速度ごとに過剰間隙水圧比と水平抵抗力の関係を求めたのが図-5.2.1～5.2.3である。ここで比較したのは以下の4つの場合である。

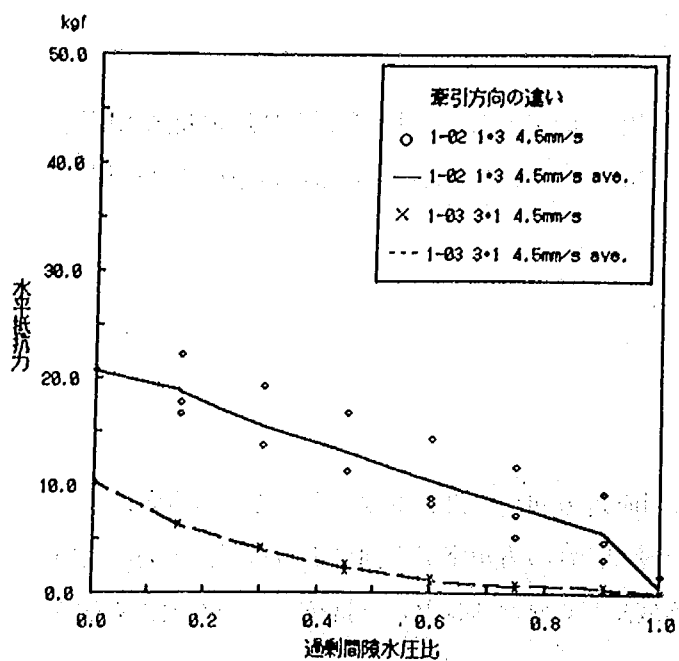
- ① 1本3列, 3本1列
- ② 1本5列, 5本1列
- ③ 2本5列, 5本2列
- ④ 3本5列, 5本3列

全ての比較結果で、同一の過剰間隙水圧比では牽引直角方向への投影本数が大きくなる方向に牽引した場合の方が水平抵抗力が大きい。②と④を比べると②の方が牽引方向による水平抵抗力の違いが大きく、牽引方向を変えることによって投影本数が大きく異なるほど水平抵抗力の差も大きくなる傾向がある。

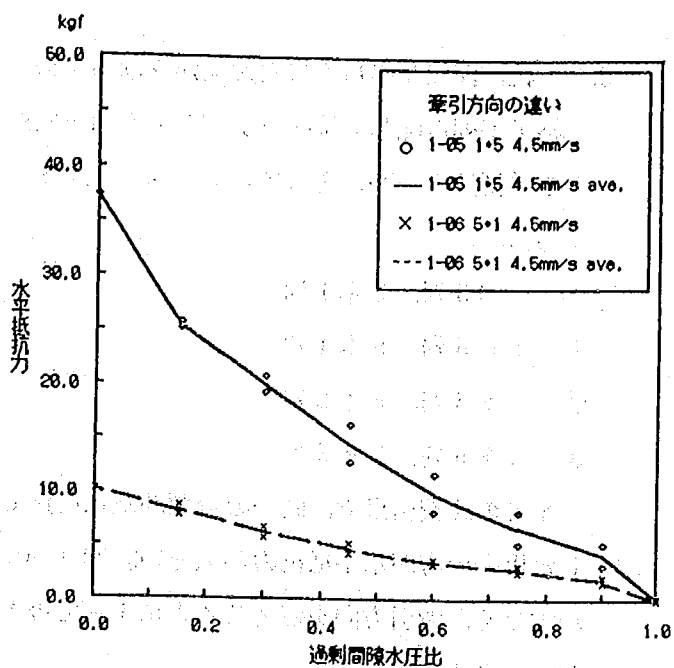
千鳥配列についても同様に比較を行った。比較結果を図-5.2.4～5.2.6に示す。比較したのは以下の4つの場合である。

- ⑤ 1-2-1 (ケース2-01, 2-02)
- ⑥ 2-1-2 (ケース2-03, 2-04)
- ⑦ 3-2-3 (ケース2-05, 2-06)
- ⑧ 4-3-4 (ケース2-07, 2-08)

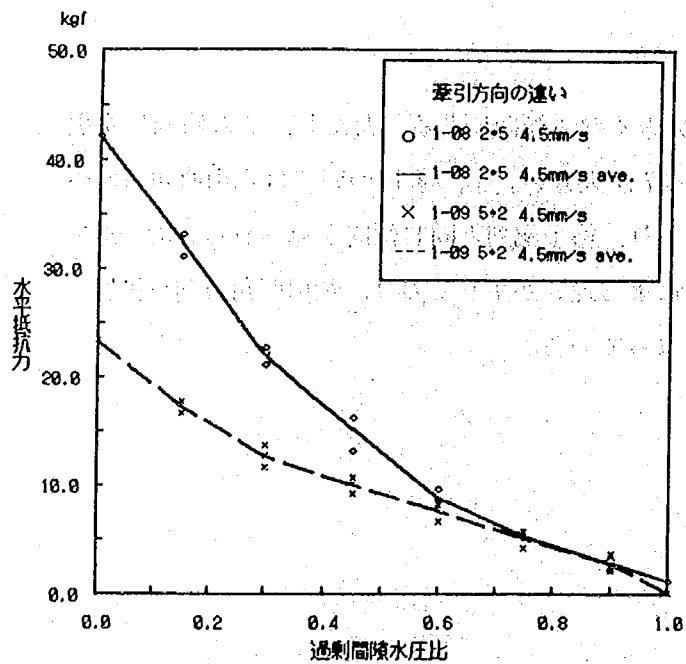
⑤では2-02が、⑥では2-04が水平抵抗力が大きくなる傾向にある。ただし、この傾向は牽引速度が大きいほど強い。⑦では2-05、⑧では2-07が大きい。⑦、⑧については牽引直角方向への投影本数が多い方が水平抵抗力が大きくなっており、格子配列と同じ傾向が見られる。⑤、⑥では投影本数は同じであるにもかかわらず、牽引方向による違いが生じており、牽引直角方向へ投影した杭模型全体の幅が大きい方が水平抵抗力が大きくなっている。



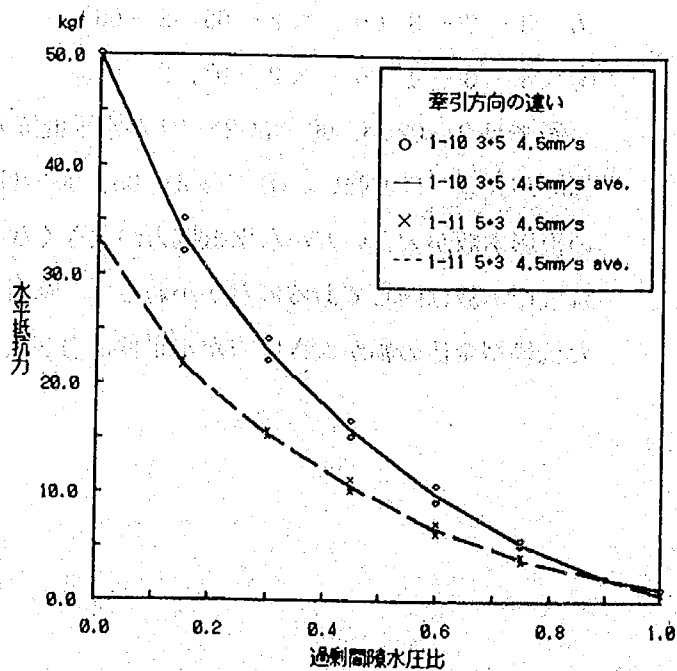
(a) 1本3列と3本1列



(b) 1本5列と5本1列

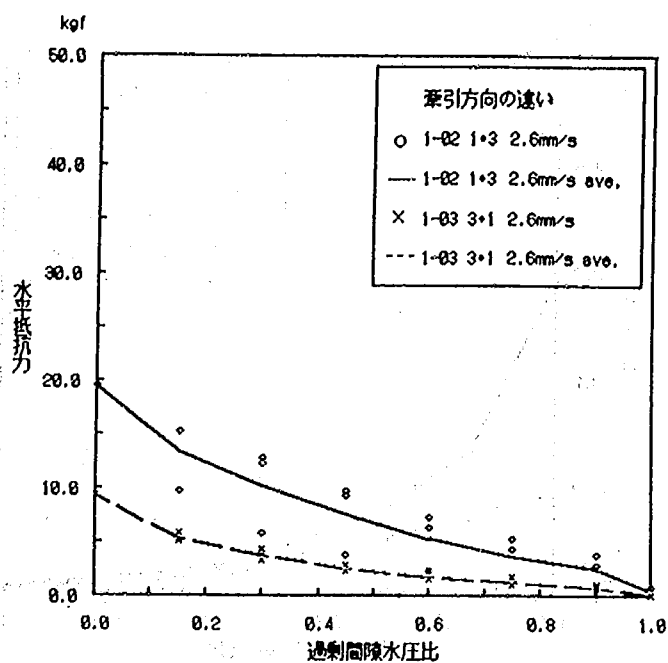


(c) 2本5列と5本2列

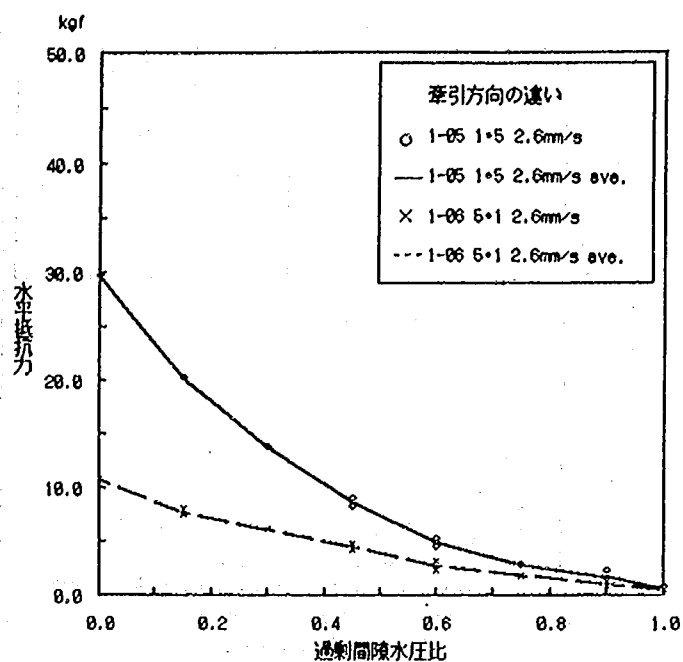


(d) 3本5列と5本3列

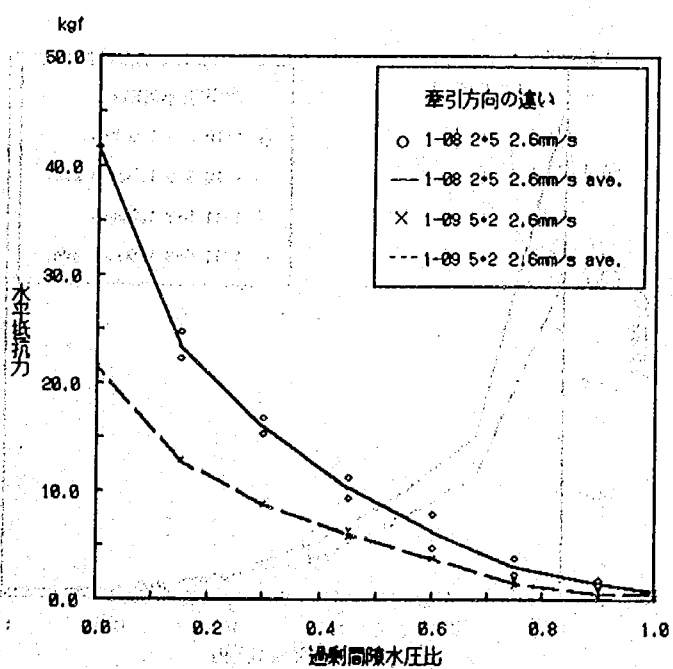
図-5.2.1 過剰間隙水圧比 Ru_r と水平抵抗力の関係
(牽引方向による違い 格子配列 牽引速度 4.5 mm/sec.)



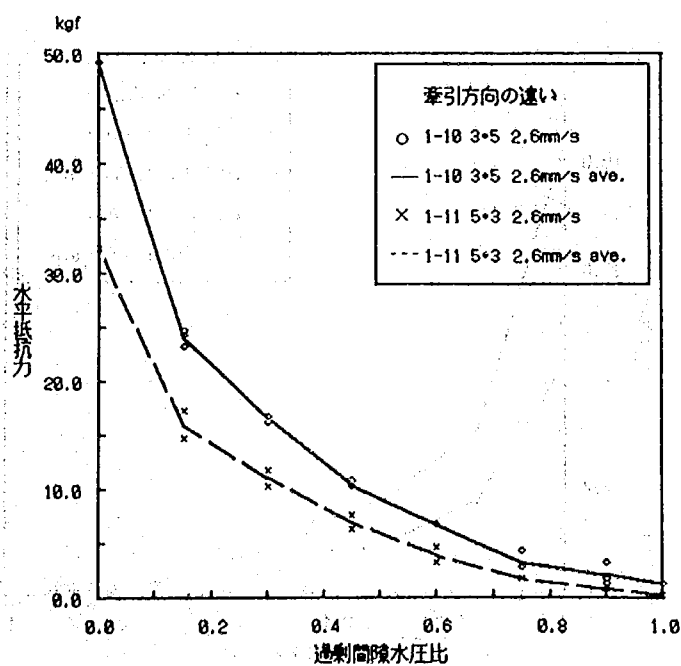
(a) 1本3列と3本1列



(b) 1本5列と5本1列

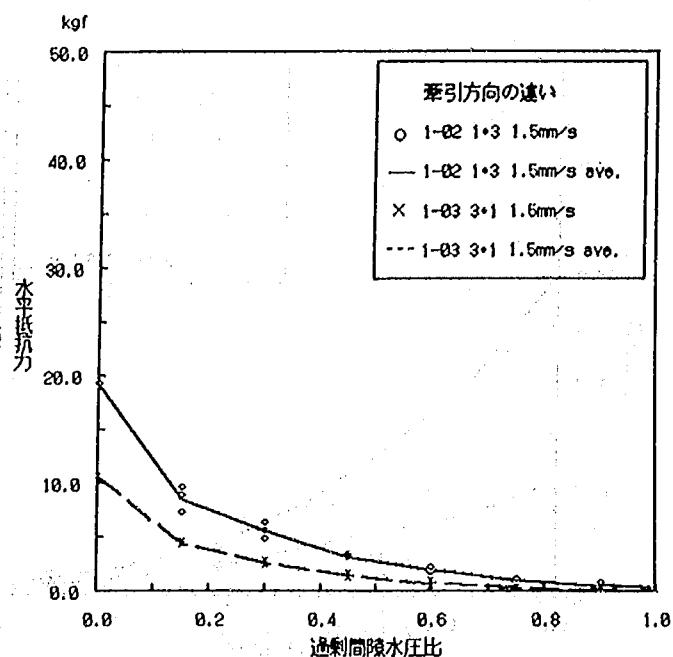


(c) 2本5列と5本2列

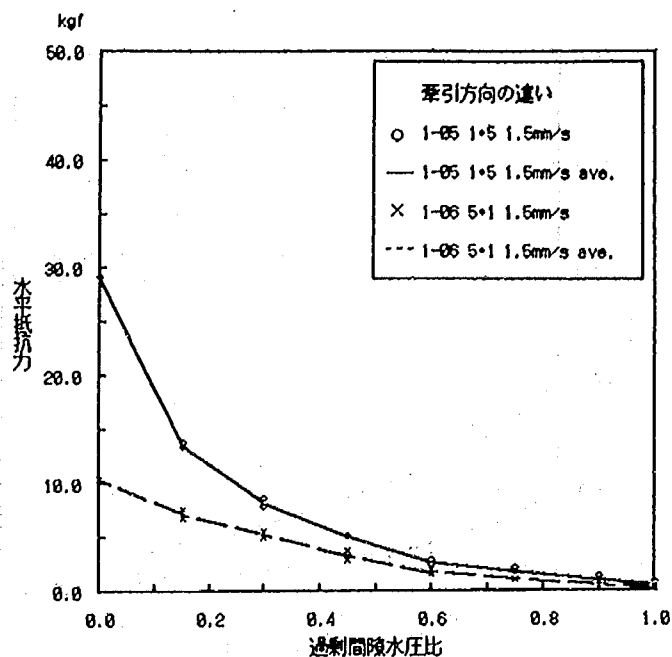


(d) 3本5列と5本3列

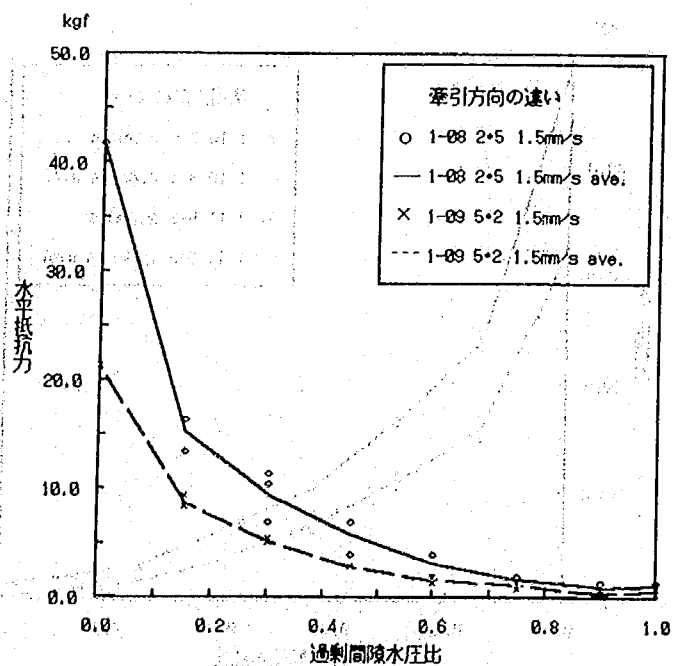
図-5.2.2 過剰間隙水圧比 R_{ur} と水平抵抗力の関係
(牽引方向による違い 格子配列 牽引速度 2.6mm/sec.)



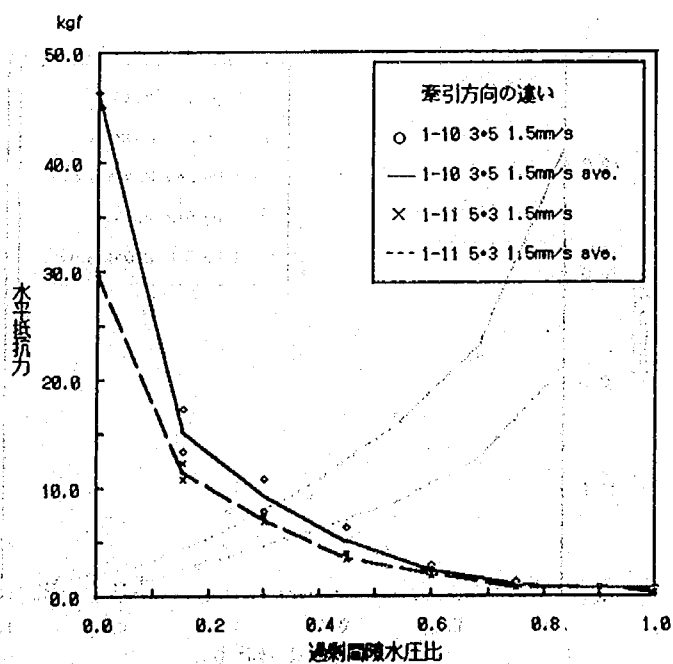
(a) 1本3列と3本1列



(b) 1本5列と5本1列

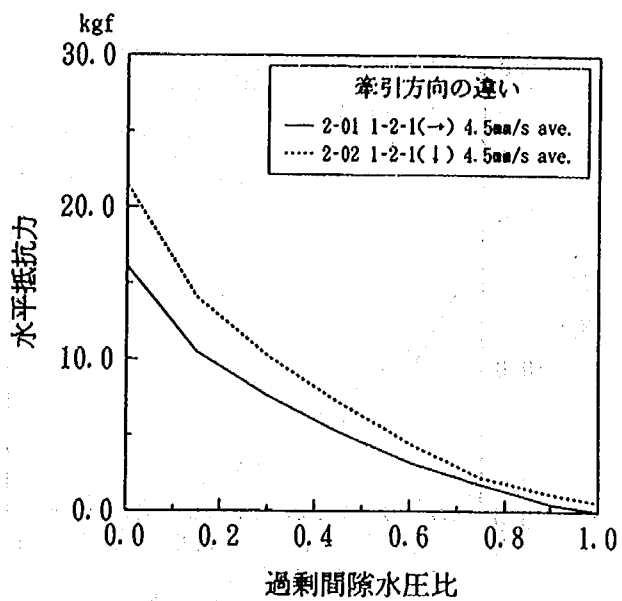


(c) 2本5列と5本2列

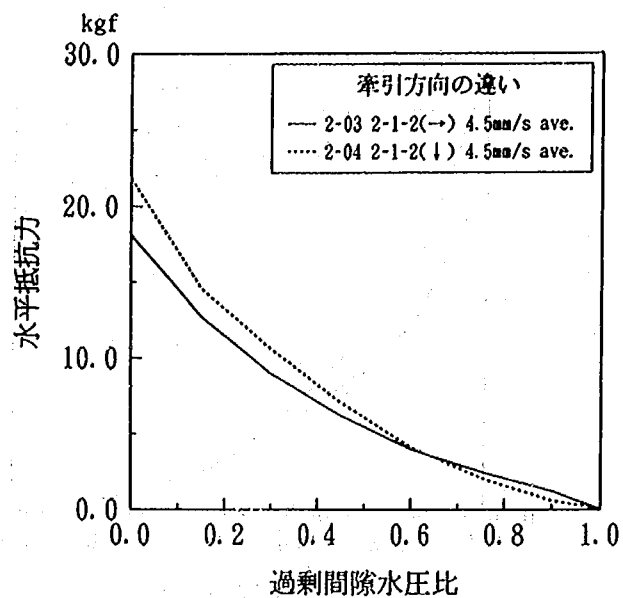


(d) 3本5列と5本3列

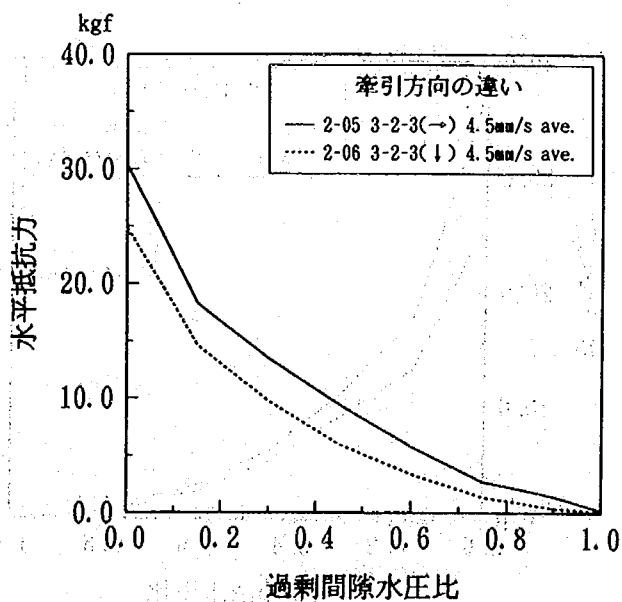
図-5.2.3 過剰間隙水圧比 Ru_T と水平抵抗力の関係
(牽引方向による違い 格子配列 牽引速度 1.5mm/sec.)



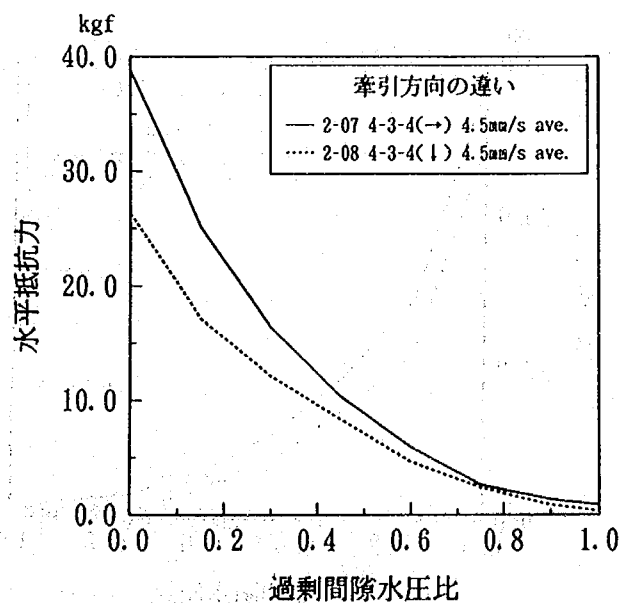
(a) ケース 2-01 とケース 2-02



(b) ケース 2-03 とケース 2-04

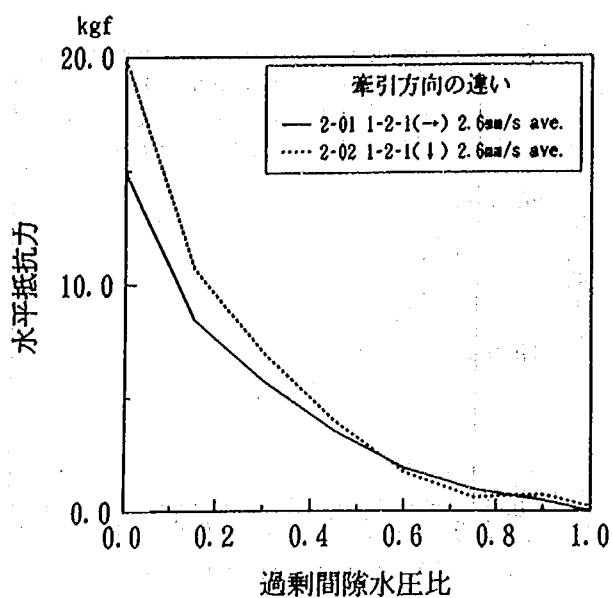


(c) ケース 2-05 とケース 2-06

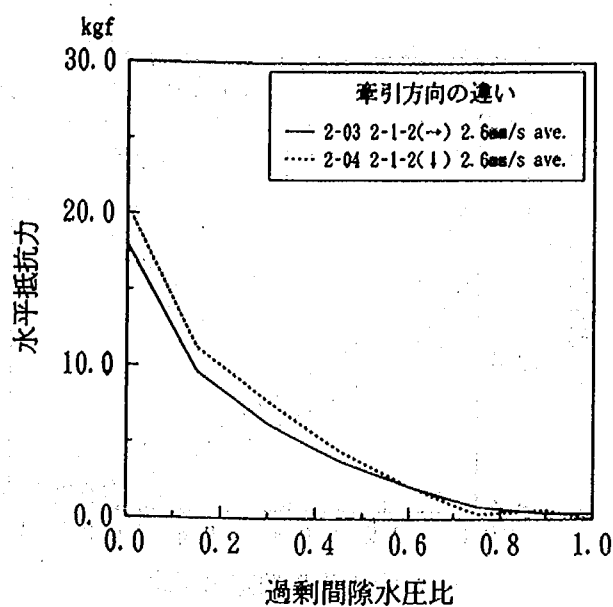


(d) ケース 2-07 とケース 2-08

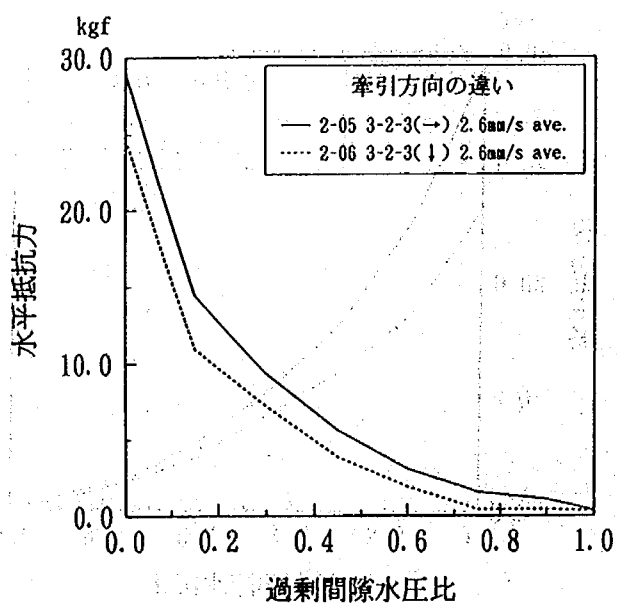
図-5.2.4 過剰間隙水圧比 R_{ur} と水平抵抗力の関係
 (牽引方向による違い 千鳥配列 牽引速度 4.5mm/sec.)



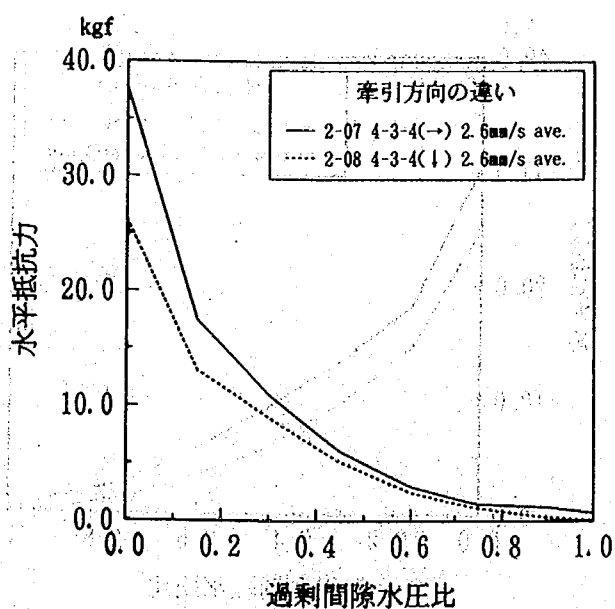
(a) ケース 2-01 とケース 2-02



(b) ケース 2-03 とケース 2-04

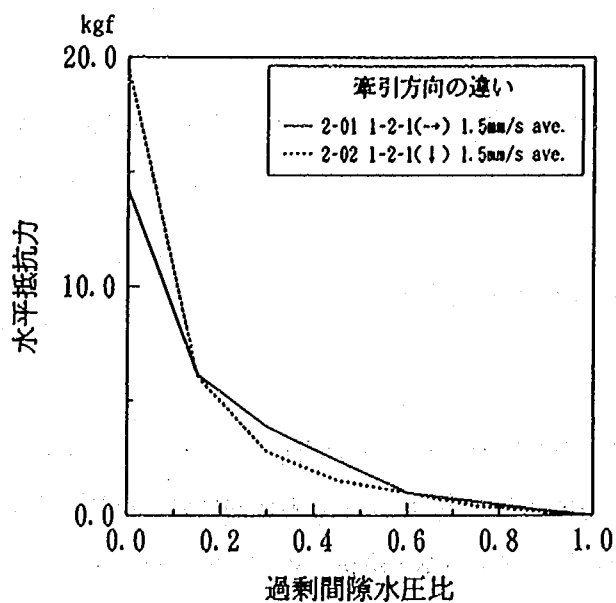


(c) ケース 2-05 とケース 2-06

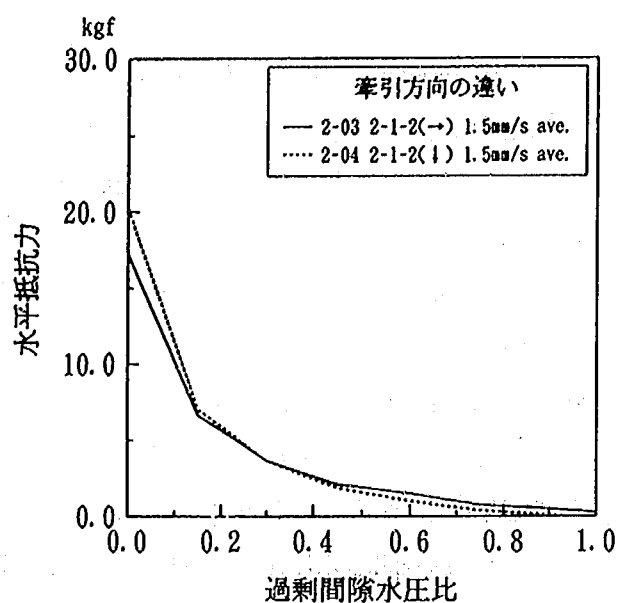


(d) ケース 2-07 とケース 2-08

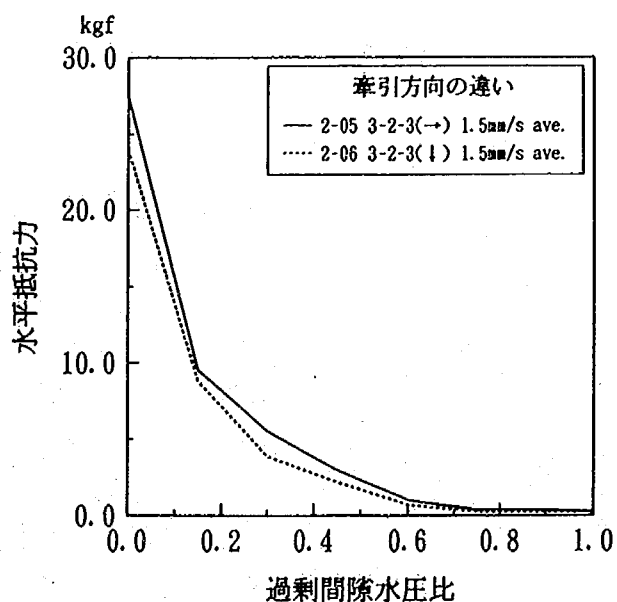
図-5.2.5 過剰間隙水圧比 Ru_f と水平抵抗力の関係
(牽引方向による違い 千鳥配列 牽引速度 2.6 mm/sec.)



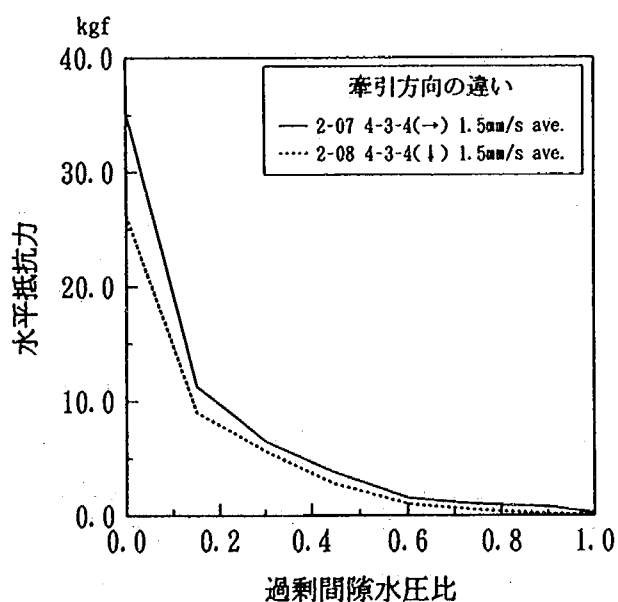
(a) ケース 2-01 とケース 2-02



(b) ケース 2-03 とケース 2-04



(c) ケース 2-05 とケース 2-06



(d) ケース 2-07 とケース 2-08

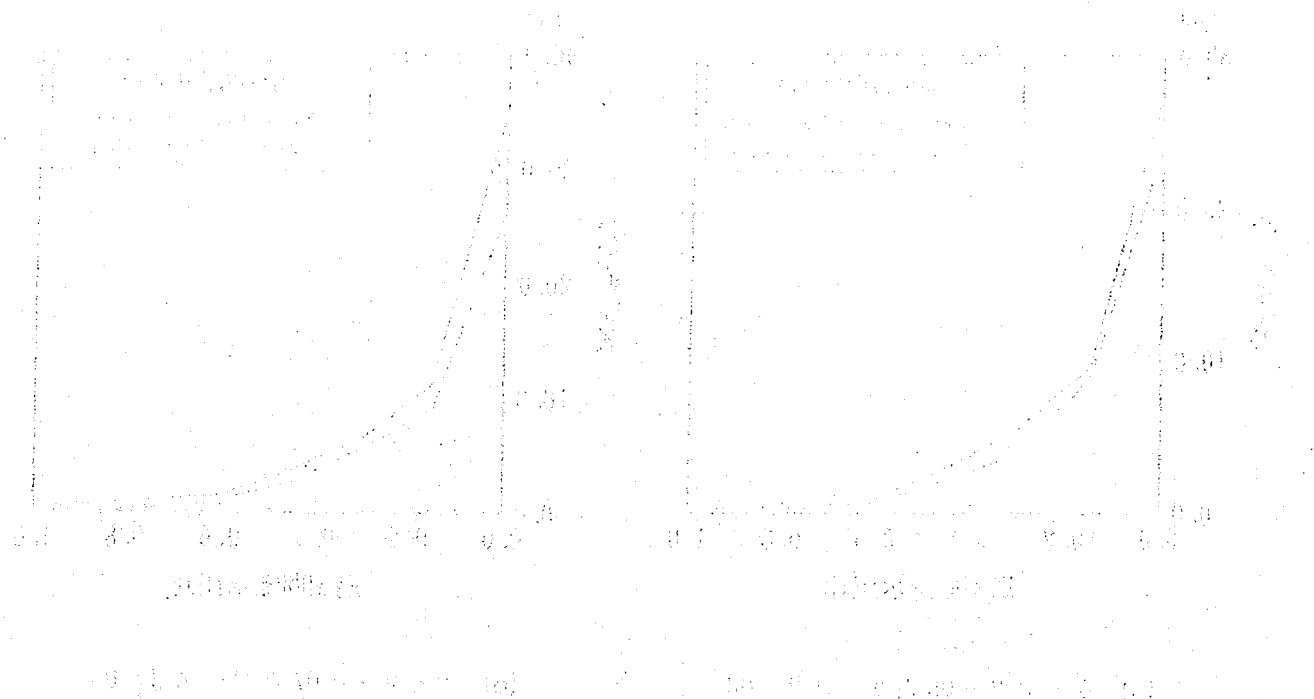
図-5.2.6 過剰間隙水圧比 R_{u_T} と水平抵抗力の関係
(牽引方向による違い 千鳥配列 牽引速度 1.5 mm/sec.)

5.3 牽引直角方向への杭の投影本数が同じ場合

格子配列に関して牽引直角方向への杭の投影本数が同じ場合について牽引速度ごとに、過剰間隙水圧比と水平抵抗力の関係を求めたのが図-5.3.1～5.3.3である。ここで比較したのは以下の4つの場合である。

- ① 1本1列, 3本1列, 5本1列 (牽引直角方向への投影本数1本)
- ② 2本2列, 5本2列 (" " 2本)
- ③ 1本3列, 3本3列, 5本3列 (" " 3本)

全般に、牽引方向への杭の本数が増えると水平抵抗力が増大するという傾向が見られる。しかし、過剰間隙水圧比が大きくなるにつれて、この傾向は弱まり①～④に共通する傾向は見いだせなくなる。また、過剰間隙水圧比が小さい範囲でも本数の増加に対する水平抵抗力の増加の割合は小さい。たとえば、②の場合牽引方向への杭の本数が2本から5本に増えても、水平抵抗力は最大で2割程度増加するのみである。



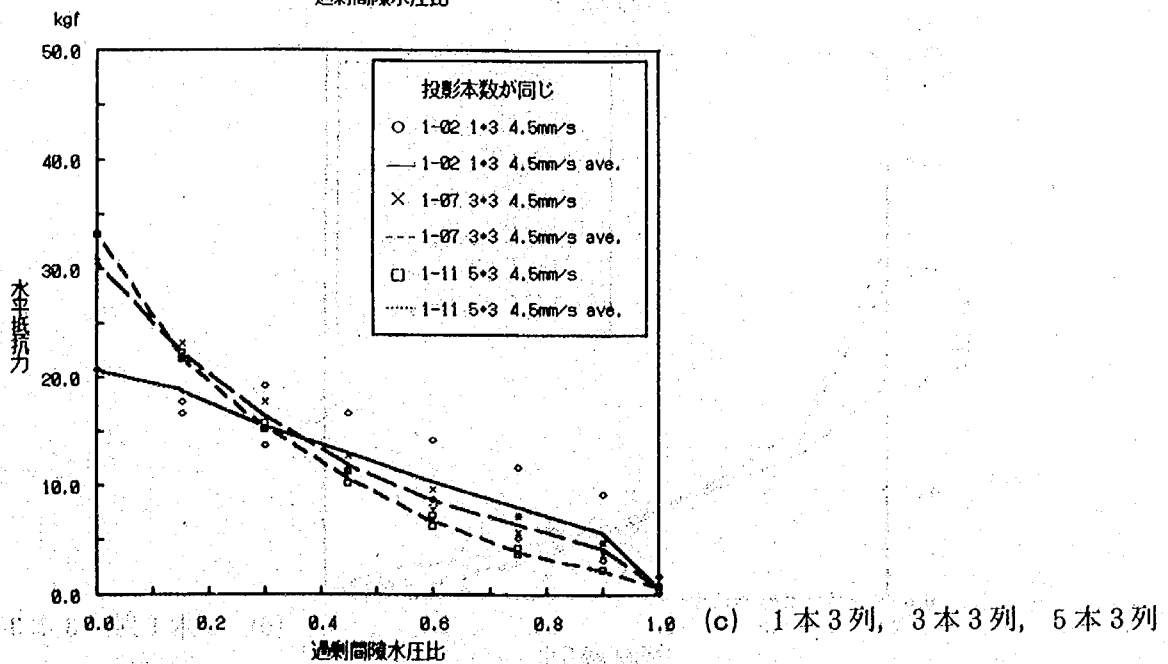
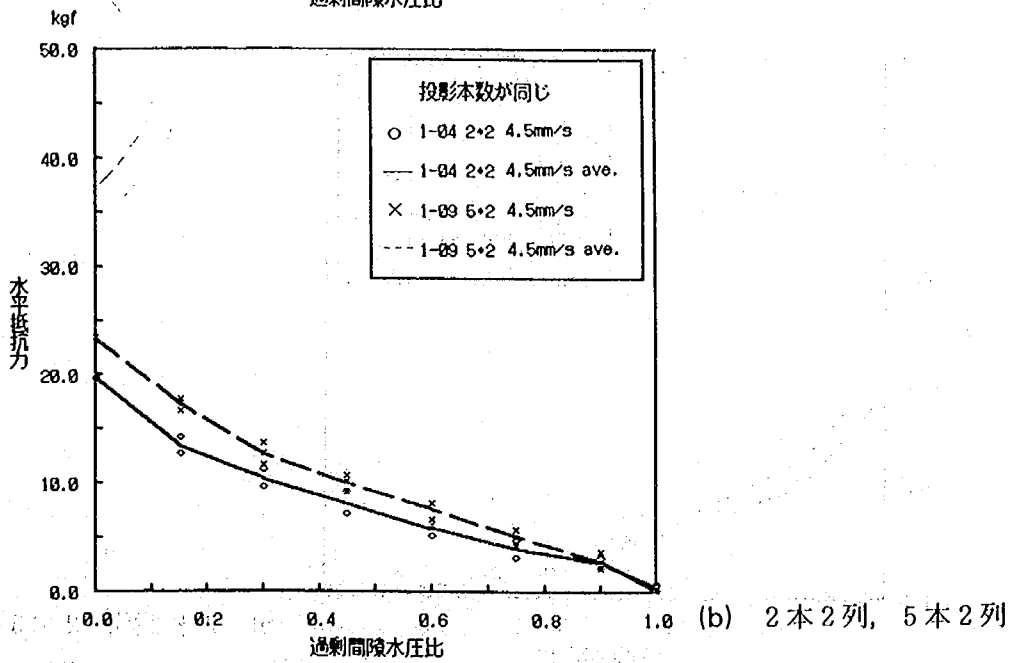
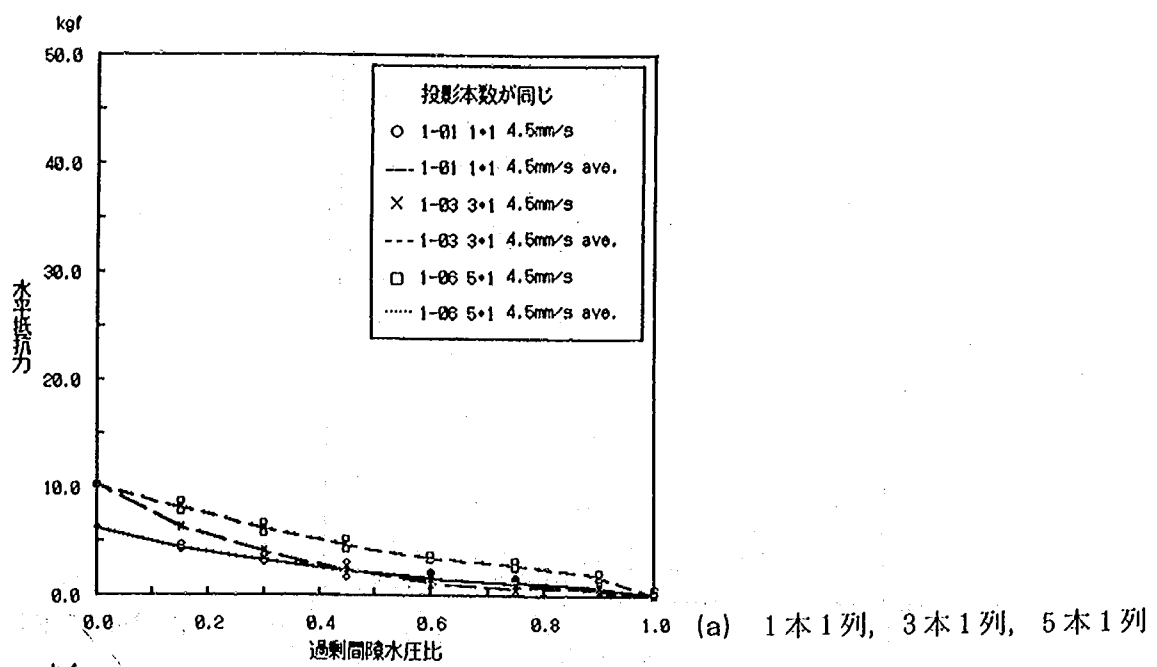
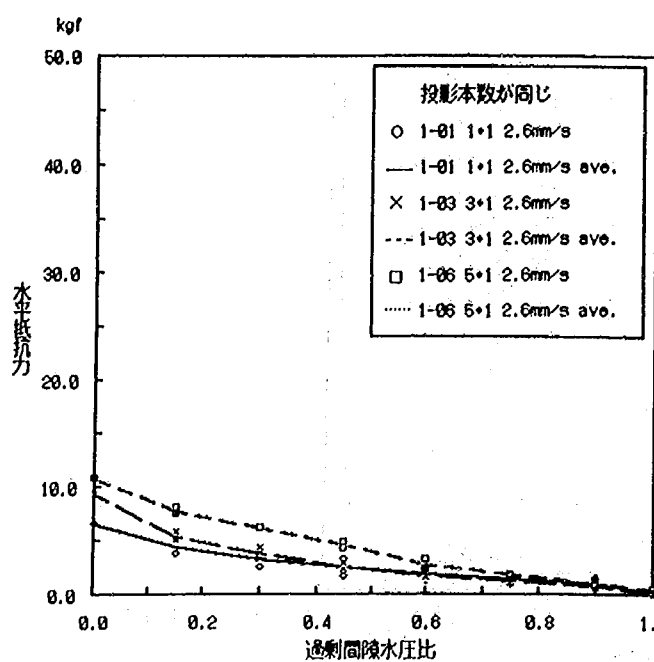
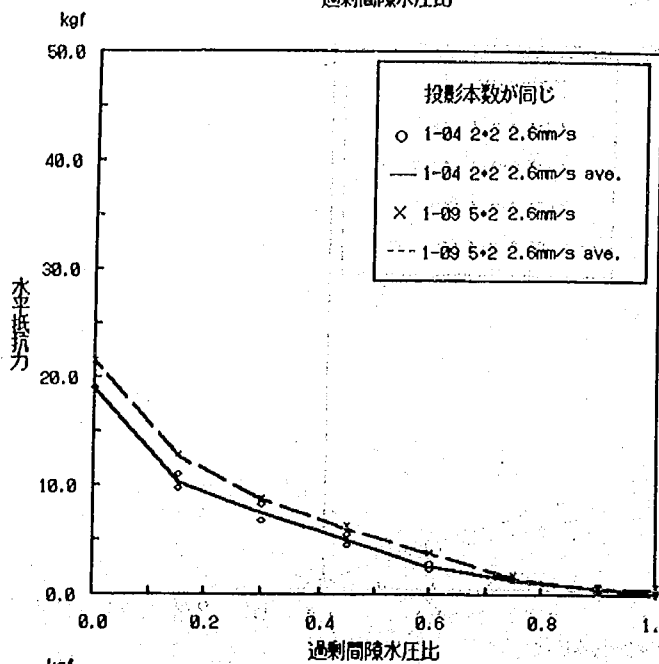


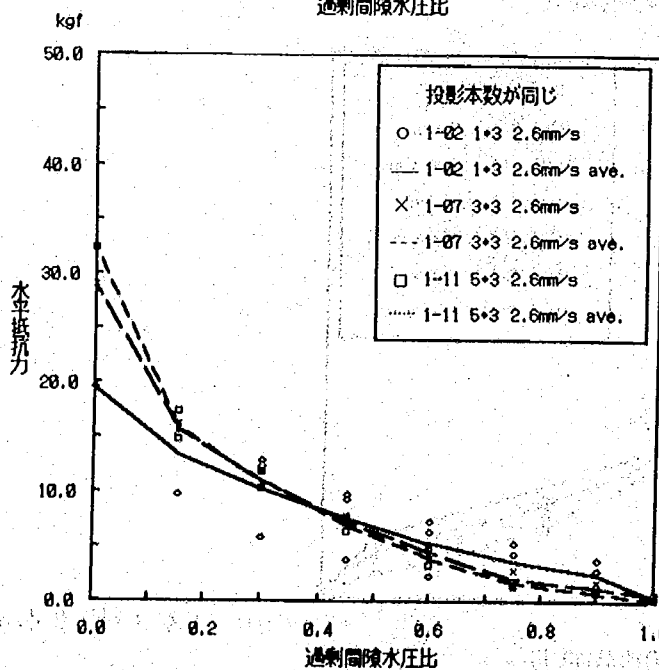
図-5.3.1 過剰間隙水圧比 R_{ur} と水平抵抗力の関係
(牽引直角方向への投影本数が同じ 牽引速度 4.5 mm/sec.)



(a) 1本1列, 1本3列, 1本5列

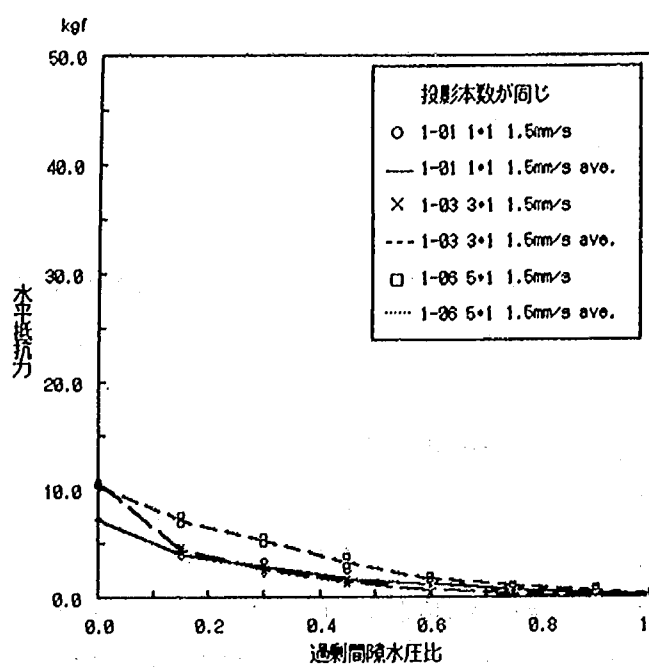


(b) 2本2列, 2本5列

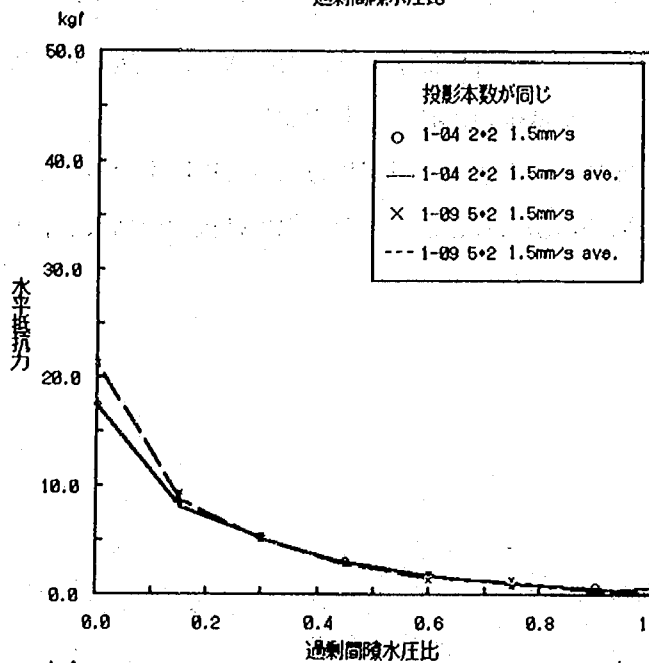


(c) 3本1列, 3本3列, 3本5列

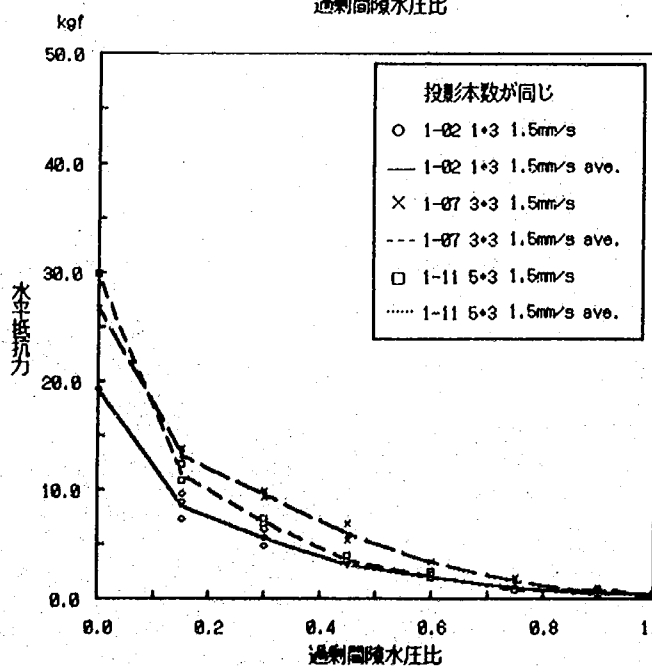
図-5.3.2 過剰間隙水圧比 R_{ur} と水平抵抗力の関係
(牽引直角方向への投影本数が同じ 牽引速度 2.6mm/sec.)



(a) 1本1列, 3本1列, 5本1列



(b) 2本2列, 5本2列



(c) 1本3列, 3本3列, 5本3列

図-5.3.3 過剰間隙水圧比 Ru_r と水平抵抗力の関係
(牽引直角方向への投影本数が同じ 牽引速度 1.5mm/sec.)

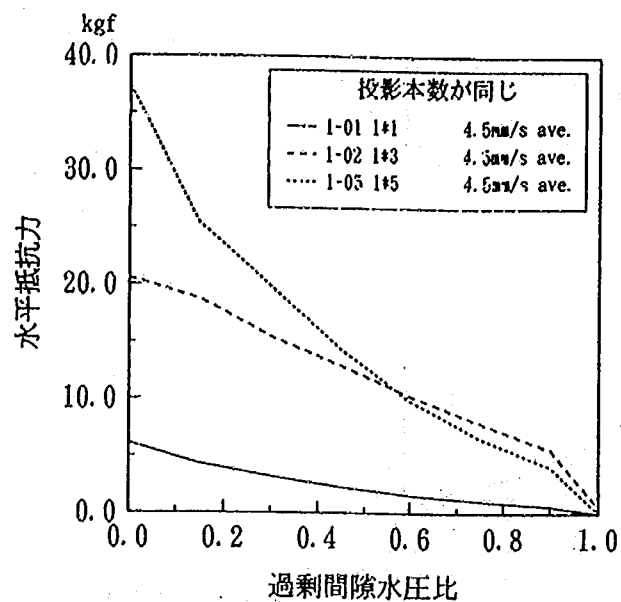
5.4 牽引方向への杭の投影本数が同じ場合

本節では、牽引方向への杭の投影本数が同じ場合について牽引速度ごとに、過剰間隙水圧比と水平抵抗力の関係を求める。その結果を図-5.4.1～5.4.3に示す。ここでは以下の場合について比較した。

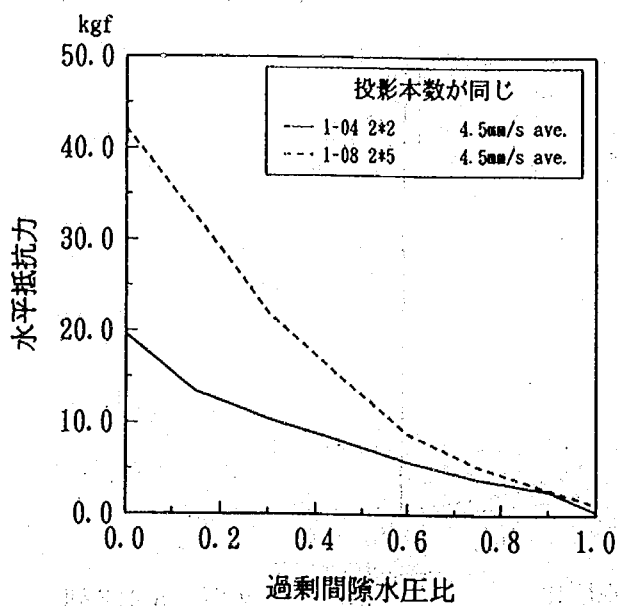
- ① 1本1列, 1本3列, 1本5列 (牽引方向への投影本数1本)
- ② 2本2列, 2本5列 (" 2本)
- ③ 3本1列, 3本3列, 3本5列 (" 3本)

過剰間隙水圧比が小さい範囲, すなわち液状化の程度が小さい範囲では, 列数が増えるほど水平抵抗力が大きくなるという明確な傾向が見られる。しかし, 完全液状化状態に近付くにつれてこの傾向は不明瞭になる。列数が1列から2列に増える場合には水平抵抗力の増大は依然として顕著であるが, 2列から3列, 5列に増える場合には, 水平抵抗力は必ずしも増加しない。

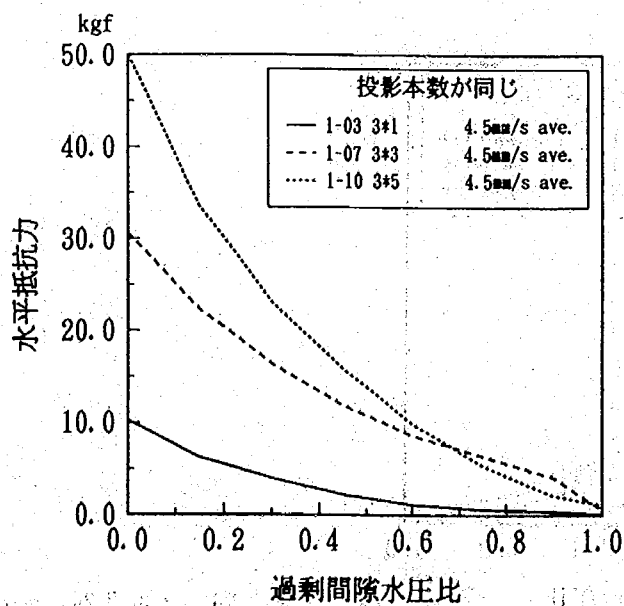
5.3の結果と比較すると, 図-5.4.4に示すように牽引直角方向への投影本数が1本から複数本に増えるときよりも, 列数が1列から複数列に増えるときの方が, 水平抵抗力の増大が著しい。



(a) 1本1列, 1本3列, 1本5列

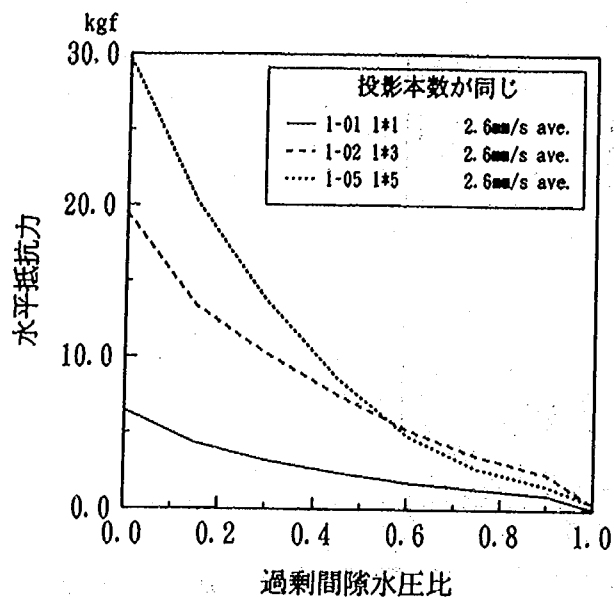


(b) 2本2列, 2本5列

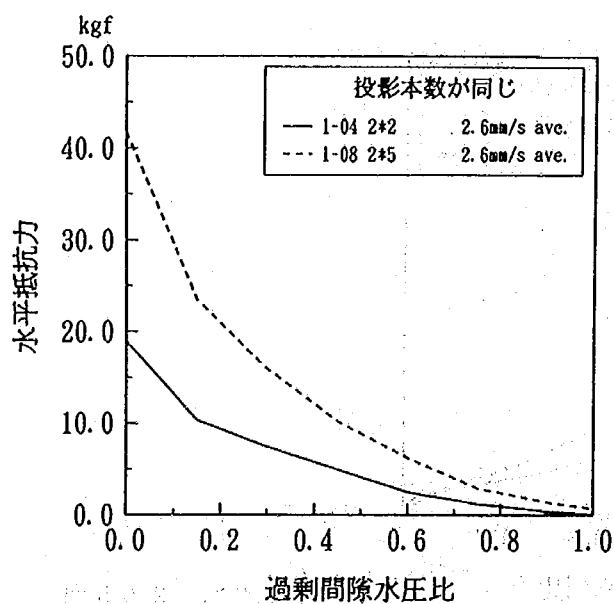


(c) 3本1列, 3本3列, 3本5列

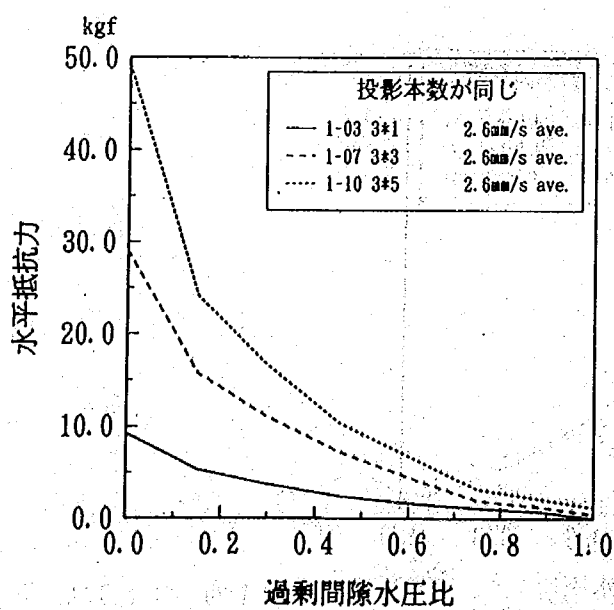
図-5.4.1 過剰間隙水圧比 Ru_T と水平抵抗力の関係
(牽引方向への投影本数が同じ 牽引速度 4.5 mm/sec.)



(a) 1本1列, 3本1列, 5本1列

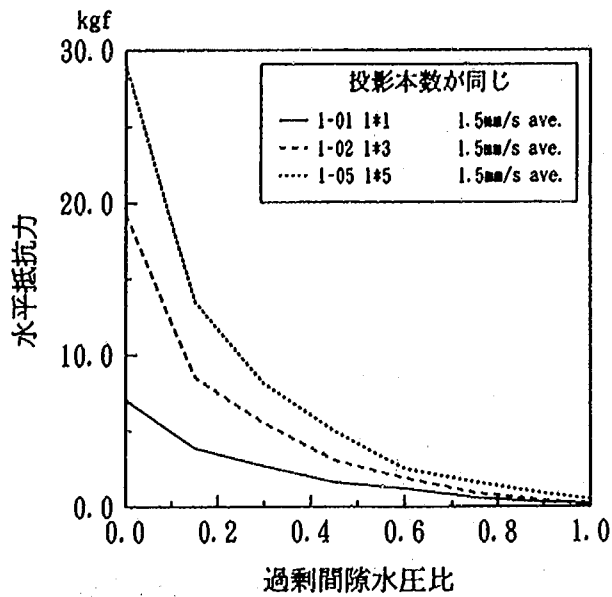


(b) 2本2列, 5本2列

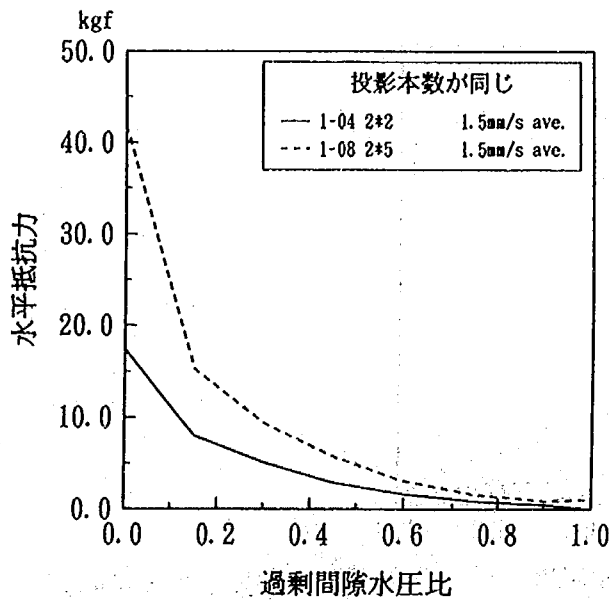


(c) 1本3列, 3本3列, 5本3列

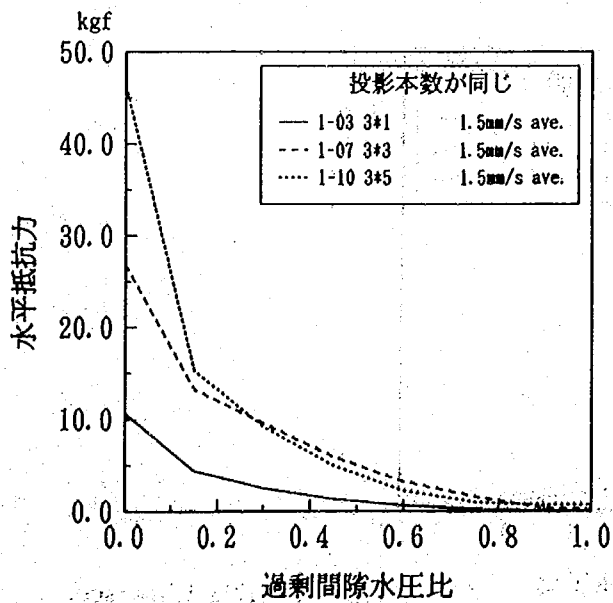
図-5.4.2 過剰間隙水圧比 Ru_r と水平抵抗力の関係
(牽引方向への投影本数が同じ 牽引速度 2.6 mm/sec.)



(a) 1本1列, 1本3列, 1本5列

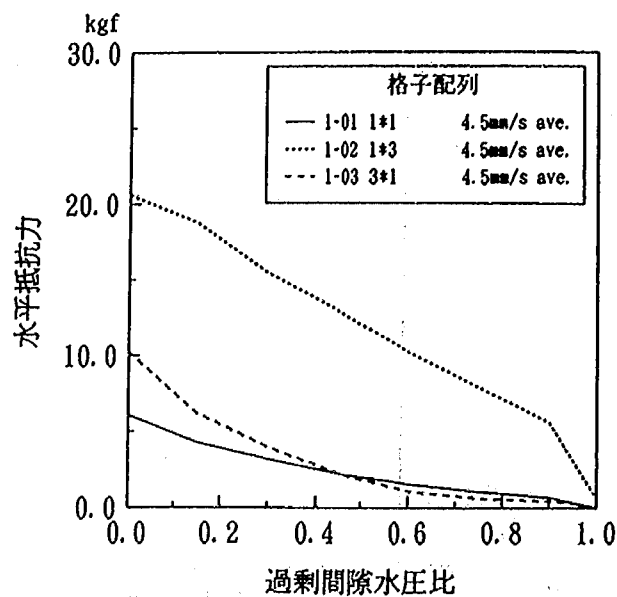


(b) 2本2列, 2本5列

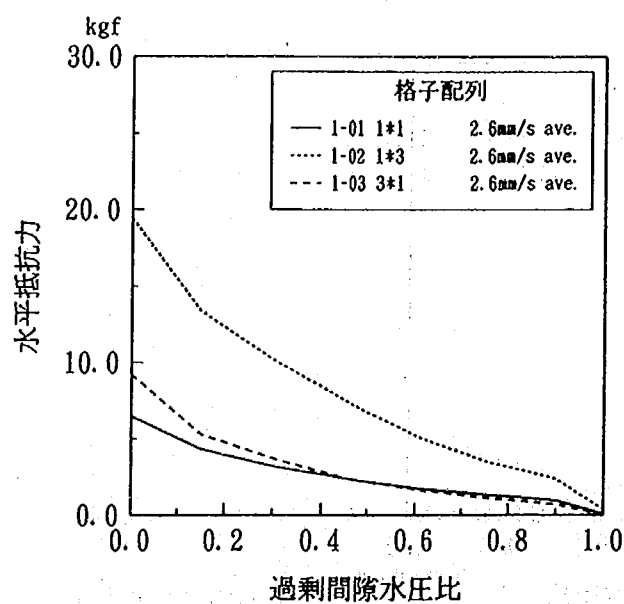


(c) 3本1列, 3本3列, 3本5列

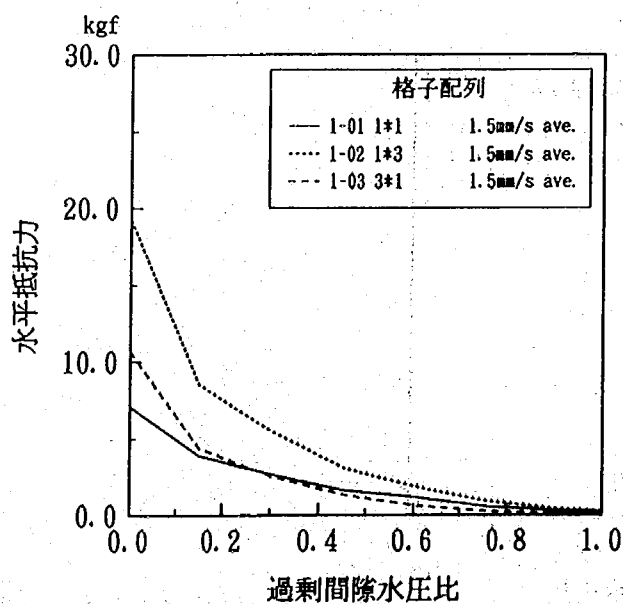
図-5.4.3 過剰間隙水圧比 R_{ur} と水平抵抗力の関係
(牽引方向への投影本数が同じ 牽引速度 1.5 mm/sec.)



(a) 牽引速度 4.5mm/sec.



(b) 牽引速度 2.6mm/sec.



(c) 牽引速度 1.5mm/sec.

図-5.4.4 過剰間隙水圧比 R_{uT} と水平抵抗力の関係
(配置による比較: 1本1列, 1本3列, 3本1列)

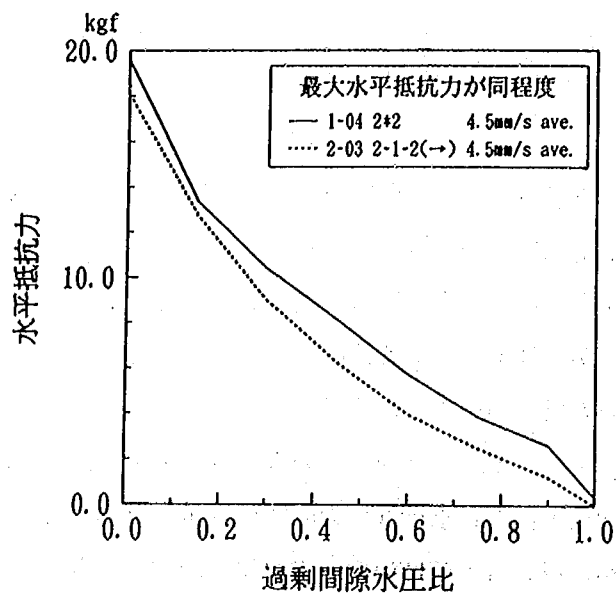
5.5 千鳥配列の効果

前項で述べたように、牽引直角方向への投影本数が水平抵抗力の大きさに強く影響している。特に投影本数が単数から複数になるところで水平抵抗力が急激に大きくなるため、杭と杭との間を流動地盤がすり抜ける際に杭と地盤の間に作用する力が、水平抵抗力の大きさを左右すると考えられる。

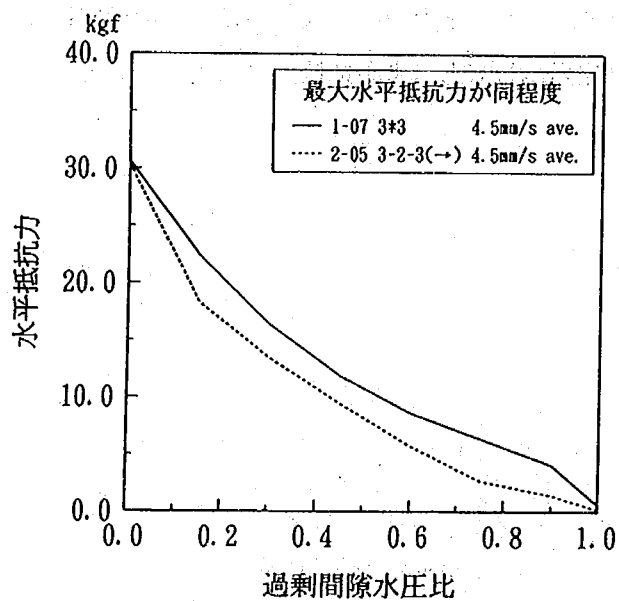
千鳥配列は、杭間の流動地盤のすり抜けがより困難になる杭配置であると考えられるので、ここでは格子配列と比較した場合の、千鳥配列の効果について考える。

図－5.5.1～5.5.3は、非液状化状態($R_{uT} = 0.0$)で同程度の大きさの水平抵抗力が作用する格子配列と千鳥配列の杭配置について、液状化の程度と水平抵抗力の関係を示したものである。両者の差異はそれほど顕著ではないが、液状化が進行すると千鳥配列の方が格子配列よりも水平抵抗力が小さくなる。完全液状化状態に近づくにつれて、また、牽引速度が大きいほどこの傾向は顕著になる。

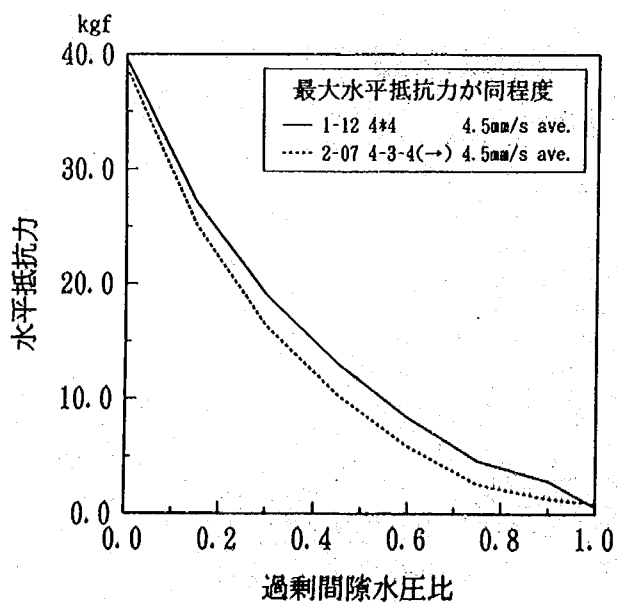
したがって、液状化地盤中では杭を千鳥配列にしても、水平抵抗力は増大しないと考えられる。



(a) ケース 1-04 とケース 2-03

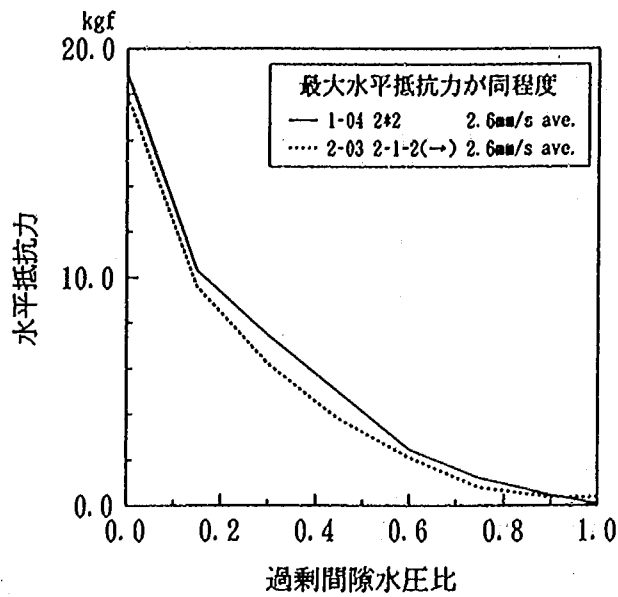


(b) ケース 1-07 とケース 2-05

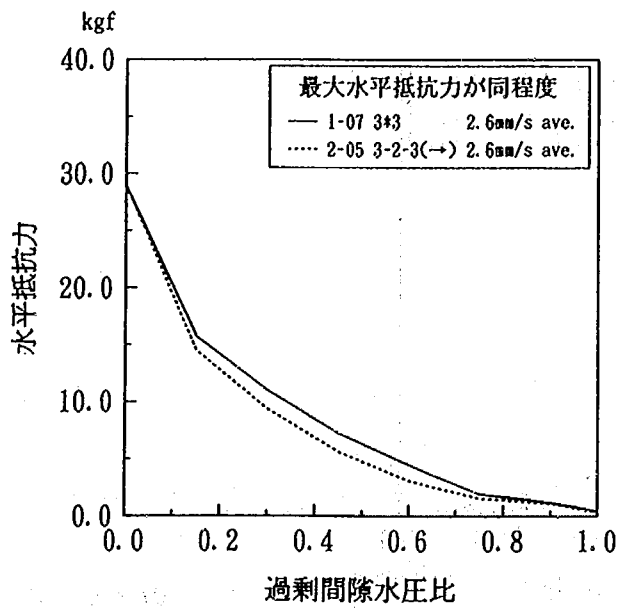


(c) ケース 1-12 とケース 2-07

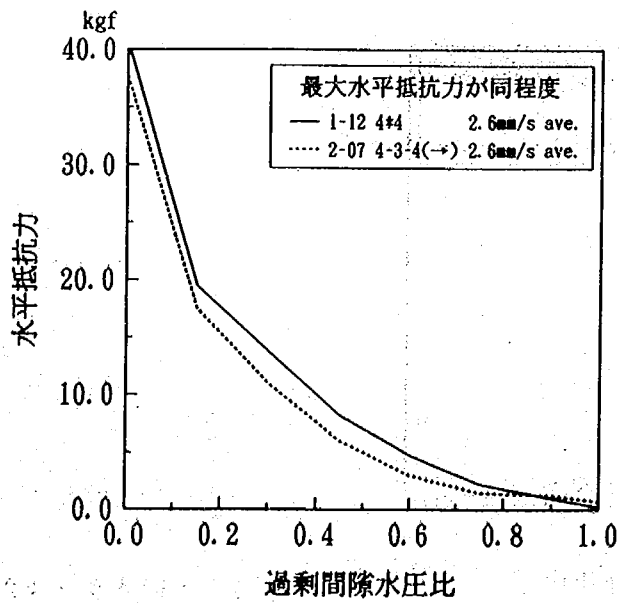
図-5.5.1 過剰間隙水圧比 Ru_r と水平抵抗力の関係
(格子配列と千鳥配列の比較 牽引速度 4.5mm/sec.)



(a) ケース 1-04 とケース 2-03

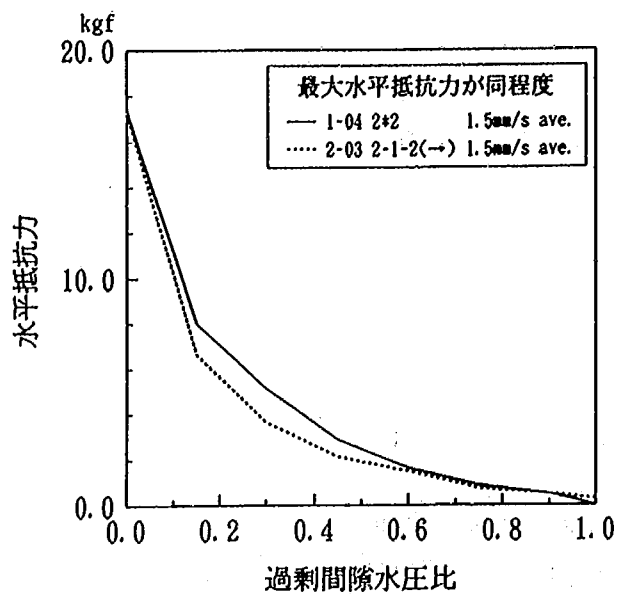


(b) ケース 1-07 とケース 2-05

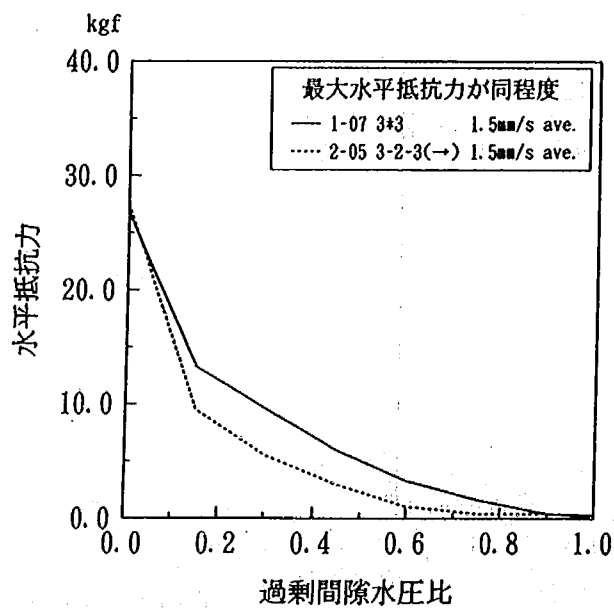


(c) ケース 1-12 とケース 2-07

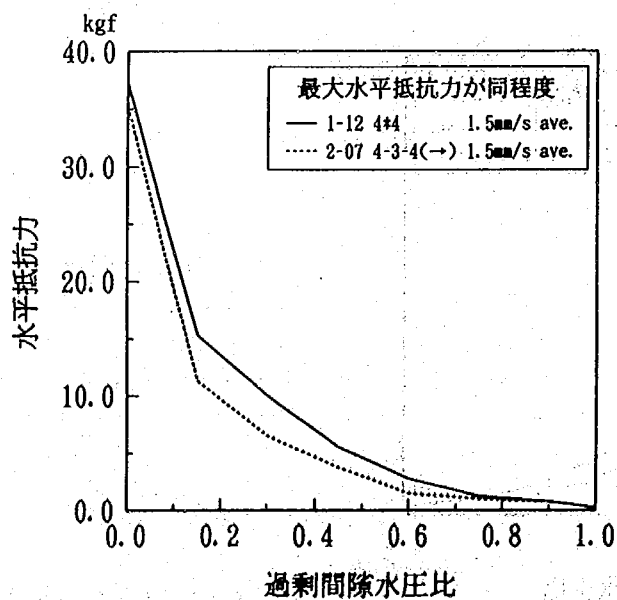
図-5.5.2 過剰間隙水圧比 Ru_T と水平抵抗力の関係
(格子配列と千鳥配列の比較 牽引速度 2.6mm/sec.)



(a) ケース 1-04 とケース 2-03



(b) ケース 1-07 とケース 2-05



(c) ケース 1-12 とケース 2-07

図-5.5.3 過剰間隙水圧比 Ru_T と水平抵抗力の関係
(格子配列と千鳥配列の比較 牽引速度 1.5 mm/sec.)

6. 杭配置と群杭効果による分担水平抵抗力の関係

図-6.1に示すように格子配列の3本5列を取り上げ、牽引方向に対して最前列、中間および最後列のそれぞれの5本の群杭が分担している水平抵抗力を求めた。つまり、実験ケース1-05、1-08および1-10の結果を用いて、以下の手順に従って算出した。牽引方向に対して最前列にある5本分の水平抵抗力は実験ケース1-05の値とした。中間に位置する5本分については、実験ケース1-08から実験ケース1-05の結果を差し引いた値とした。最後列の5本に関しては実験ケース1-10から実験ケース1-08を差し引いた値とした。図-6.1は過剰間隙水圧比ごとにまとめているが、各図の下段の位置に牽引速度ごとの結果を示している。これらの図より、過剰間隙水圧比および速度をとおして最前列の分担が大きい。以上の結果を分担率でまとめたのが図-6.2である。過剰間隙水圧比 $R_{u_T}=0$ では最前列が全体の水平抵抗力の約75%分担している。この値は R_{u_T} の増加に伴って大きくなり、 $R_{u_T}=0.60$ 、 0.90 では100%を示していることより、この状態では全ての水平抵抗力を最前列の5本杭で分担している。

千鳥配列に関して同様の検討を実施したのが図-6.3である。図から理解されるように前方に位置する5本の杭の水平抵抗力は、実験ケース2-04の結果とした。中間の3本は実験ケース2-06から実験ケース2-04を差し引いた値とした。後列の3本に関しては実験ケース2-08から実験ケース2-06を引いた値とした。各過剰間隙水圧とも前方の5本杭に分担力が集中している。図-6.4に分担率を示す。前方の5本杭の水平抵抗力が集中し、70~80%程度分担している。中間の3本杭よりは後方の3本杭の分担率が高い。

水平抵抗力の分配

- ①: 移動速度 4.5 mm/sec
- ②: [2.6 mm/sec]
- ③: (1.5 mm/sec)

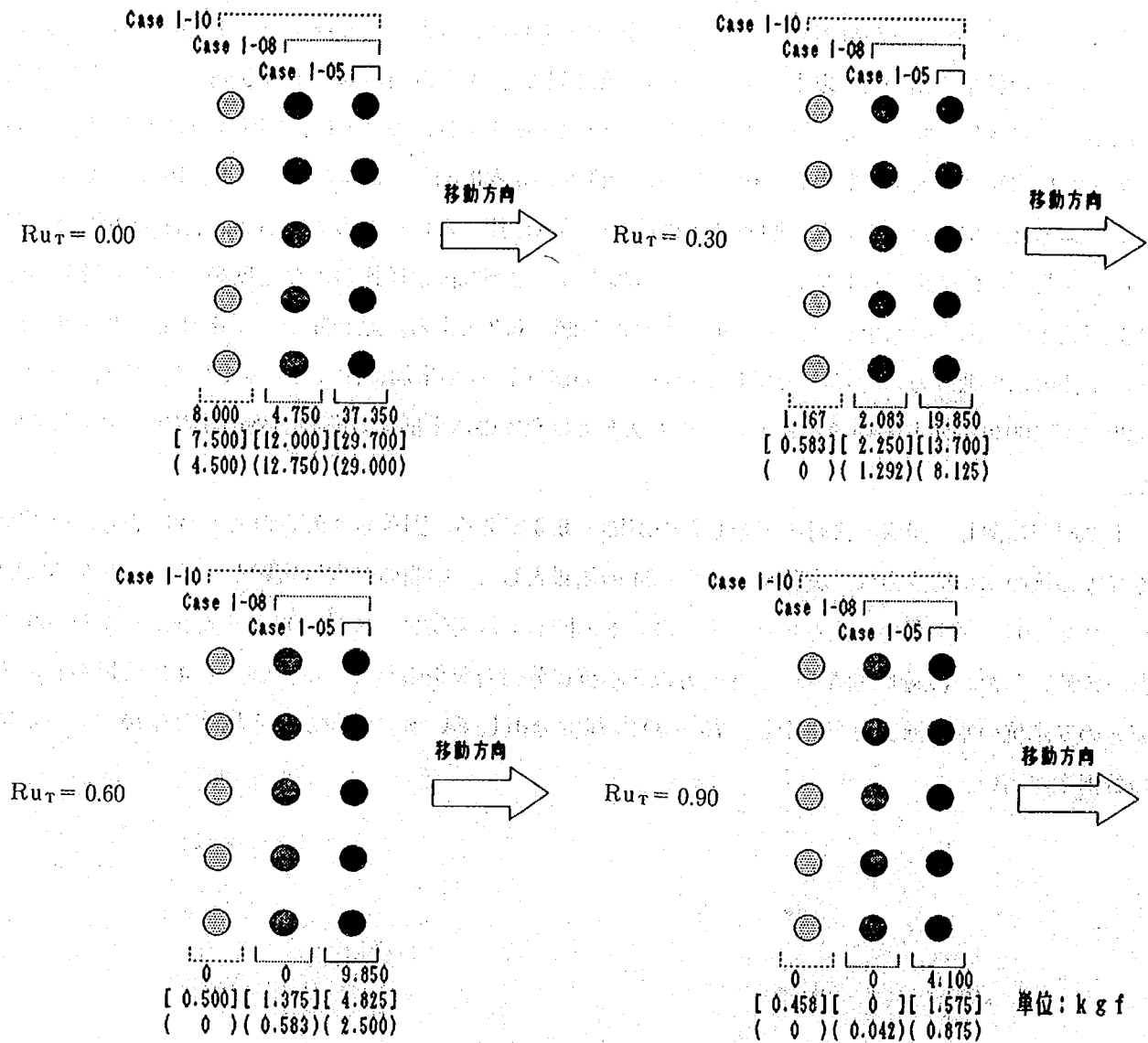


図-6.1 格子配列(3本5列)での群杭の分担水平抵抗力

水平抵抗力の分担率

- ①: 移動速度 4.5 mm/sec
 ②: [2.6 mm/sec]
 ③: (1.5 mm/sec)

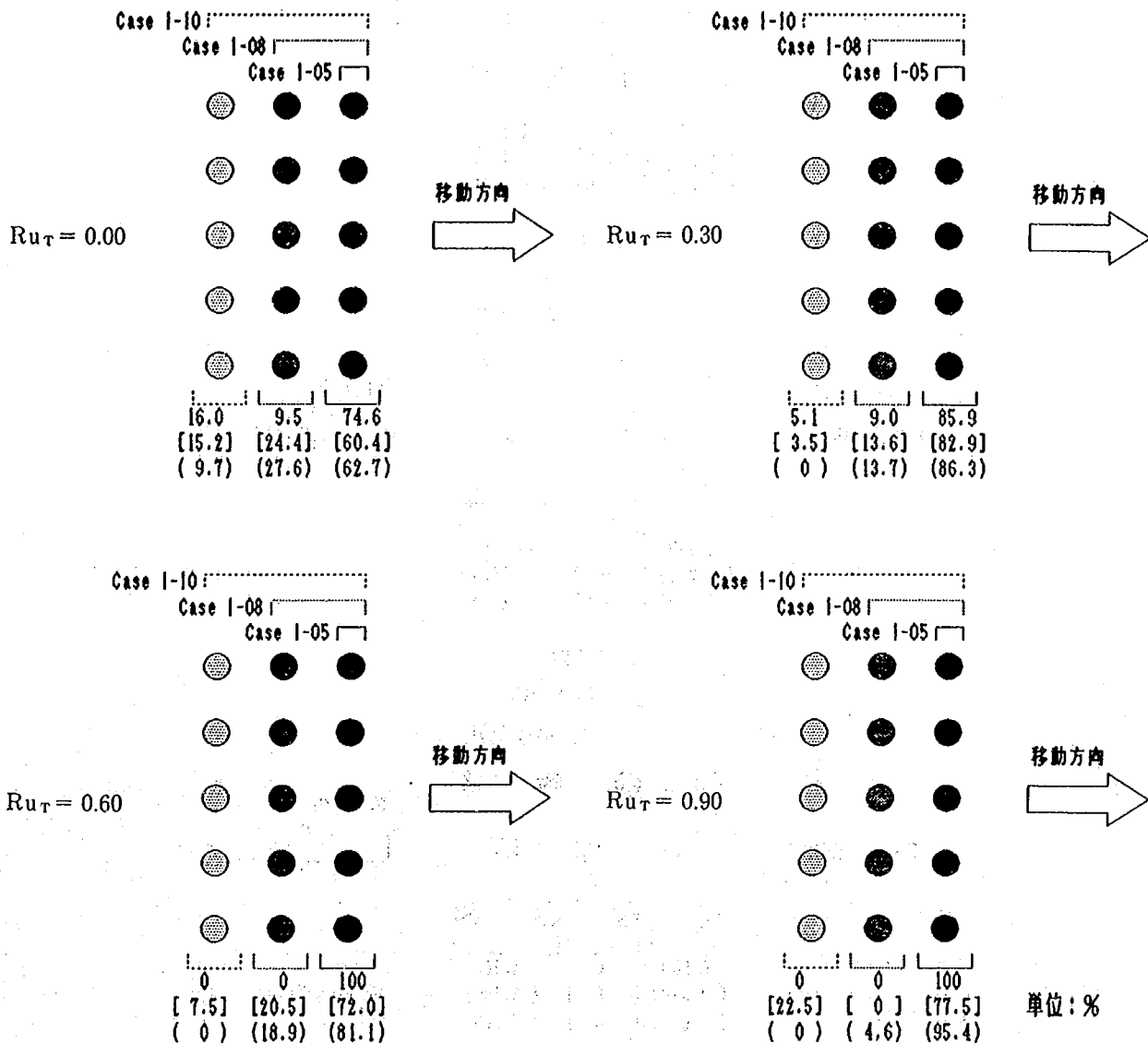
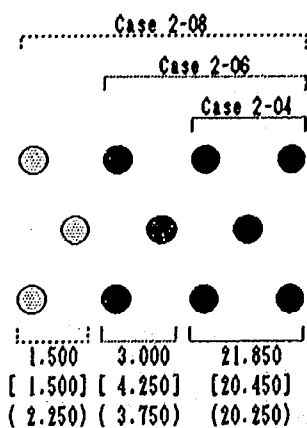


図-6.2 格子配列(3本5列)での群杭の水平抵抗力の分担率

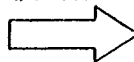
水平抵抗力の分配

- ①: 移動速度 4.5 mm/sec
- ②: [2.6 mm/sec]
- ③: (1.5 mm/sec)

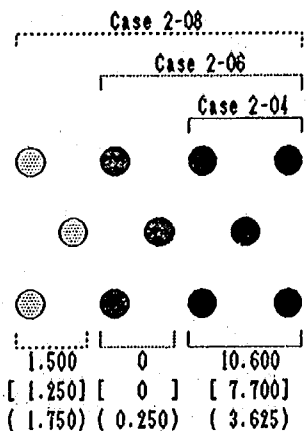
$$Ru_T = 0.00$$



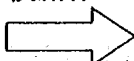
移動方向



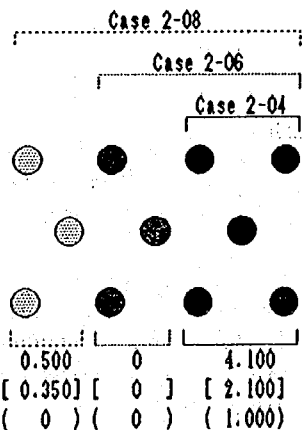
$$Ru_T = 0.30$$



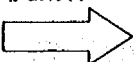
移動方向



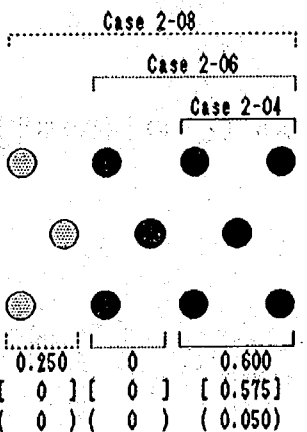
$$Ru_T = 0.60$$



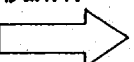
移動方向



$$Ru_T = 0.90$$



移動方向



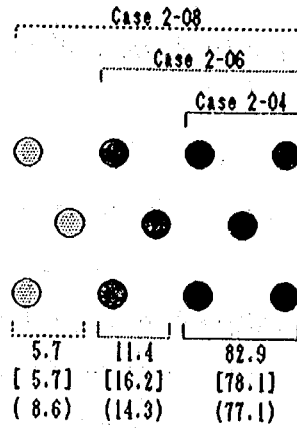
単位: kgf

図-6.3 千鳥配列(4-3-4)での群杭の分担水平抵抗力

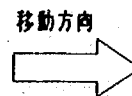
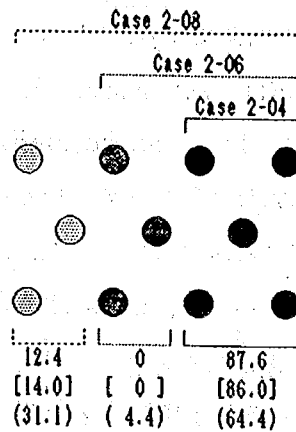
水平抵抗力の分担率

- ①: 移動速度 4.5 mm/sec
 ②: [2.6 mm/sec]
 ③: (1.5 mm/sec)

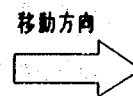
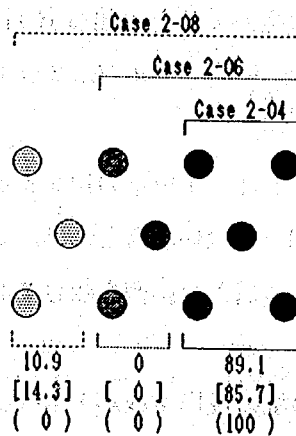
$Ru_T = 0.00$



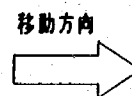
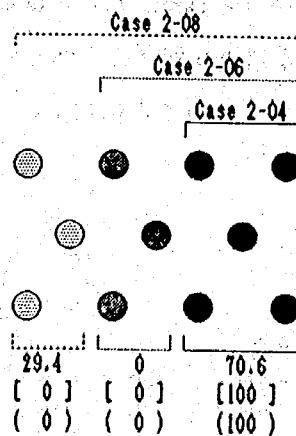
$Ru_T = 0.30$



$Ru_T = 0.60$



$Ru_T = 0.90$



単位: %

図-6.4 千鳥配列(4-3-4)での群杭の水平抵抗力の分担率

7. 杭の牽引速度と水平抵抗力の関係

図-7.1は過剰間隙水圧比をパラメーターとして、牽引速度と水平抵抗力との関係を整理したものである。4.でみたように、同一過剰間隙水圧比では非液状化状態を除いて水平抵抗力は杭の牽引速度の増加に応じて増加する。牽引速度が0の場合は水平抵抗力も0であるとの仮定に立ち、同一過剰間隙水圧比での水平抵抗力(P)と牽引速度(V)の関係が(1)式で表されると想定した。

$$P = aV^b \quad \dots\dots\dots (1)$$

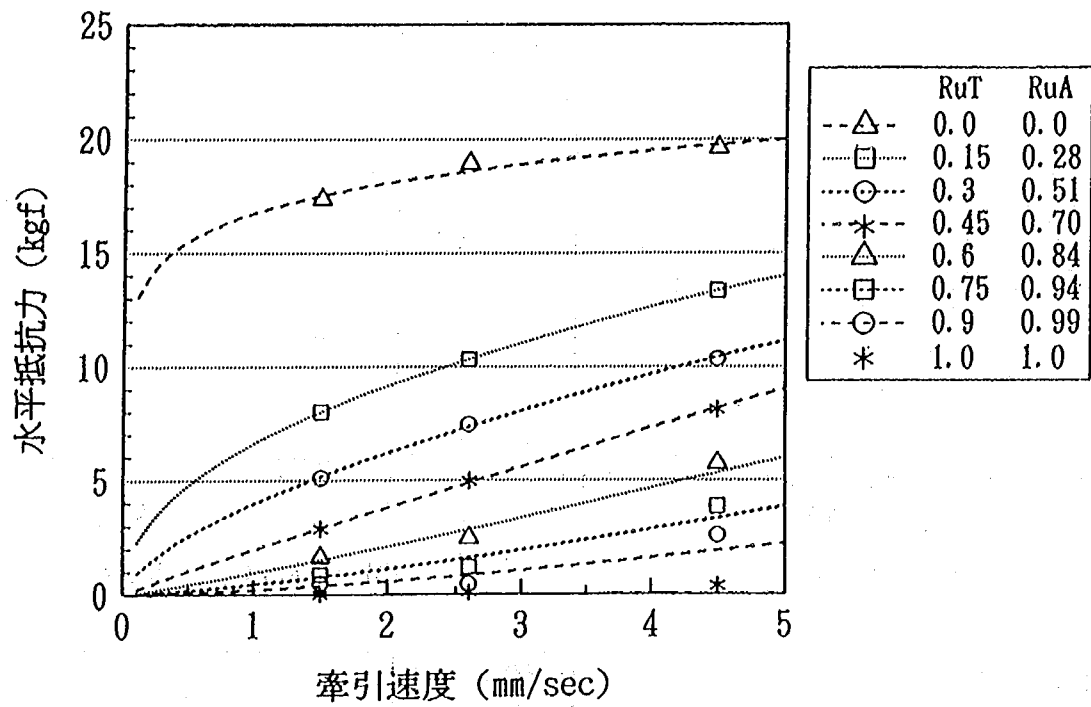
(1)式を各実験ケースに当てはめてみたのが図-7.1の曲線である。杭配置が1列の場合を除き、(1)式による回帰の相関係数 r の2乗はほぼ0.9を超えており、回帰式の説明力は大きい。パラメーター a 、 b は過剰間隙水圧比に応じて変化する。 b の値は、水平抵抗力に対する牽引速度の影響度を示していると考えられ、 b の値が大きければ水平抵抗力に対する牽引速度の影響が大きいということになる。

液状化が進展するにつれて、地盤は流体的な性質を強めていく。一般に非液状化状態の地盤から杭に作用する力を考える場合、相対速度の影響は考慮しない。また、流水中の杭に作用する水平抵抗力は速度の2乗に比例すると考えられている。したがって、 b の値は過剰間隙水圧比が大きくなるにつれて、0から2へと増加する傾向を持つことが予想される。

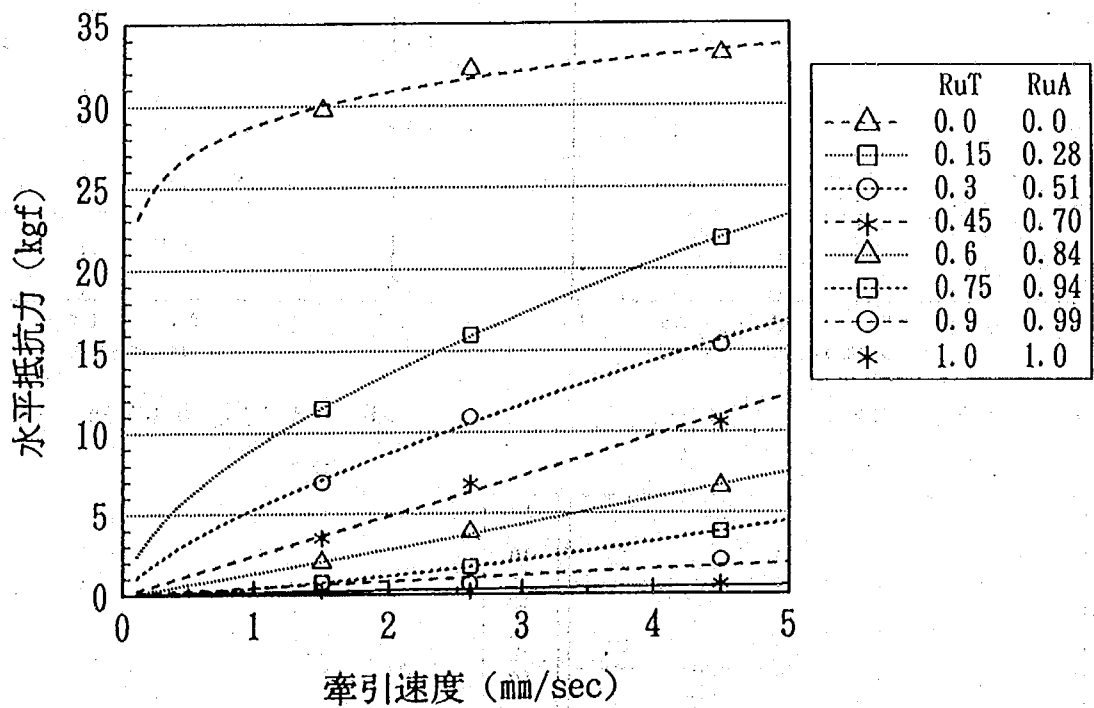
b の値を、過剰間隙水圧比との関係で示したのが図-7.2である。この図では $r^2 > 0.7$ となるものだけを示している。全般に $Ru_r = 0.9$ 以下の範囲では b の値は Ru_r の増加にともなって増加する。 $Ru_r = 0.0$ では0.1~0.3程度の小さな値をとり、 $Ru_r = 0.9$ では2以上の値をとることもあるが、前述の予想に近い結果が得られているとみてよい。

しかし、完全液状化状態($Ru_r = 1.0$)では、1以下の値をとるケースもみられる。また、データのばらつきが大きく(1)式による回帰が当てはまらない場合もある。この原因のひとつとして、4.で触れたように水平抵抗力の計測値が小さく摩擦力の補正の影響を受けており、計測値自身の信頼性が低いことが考えられる。

杭の配置との関係では牽引直角方向への杭の投影本数が1本の場合(5本1列)を除き、投影本数(列数)が少ないほど b の値が大きくなる傾向がみられる。たとえば図-7.2をみると、牽引方向の本数にかかわらず、 b の値の大きさはほぼ2列>3列>5列(<1列)の順になっている。したがって、水平抵抗力はこの順に牽引速度の影響を受け易いということになる。

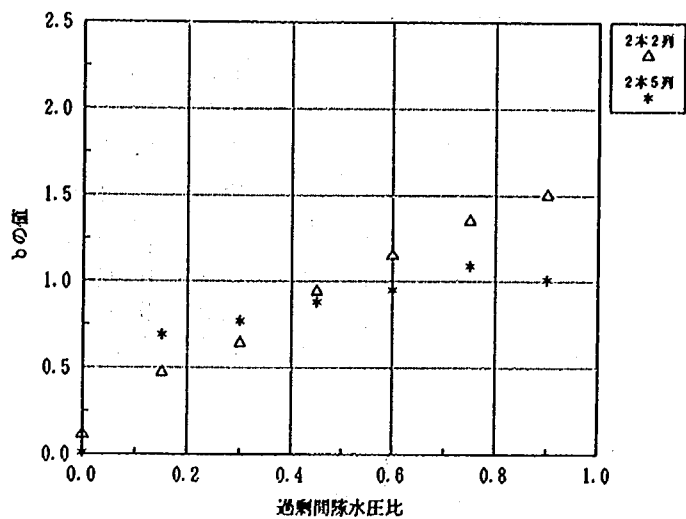


(a) 2本2列

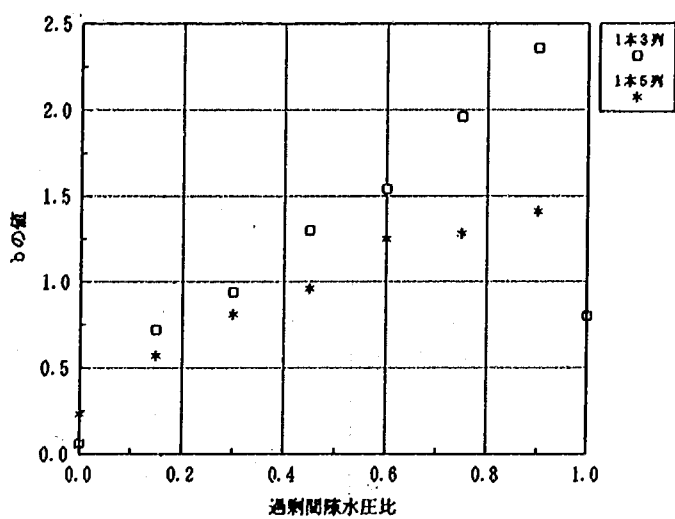


(b) 5本3列

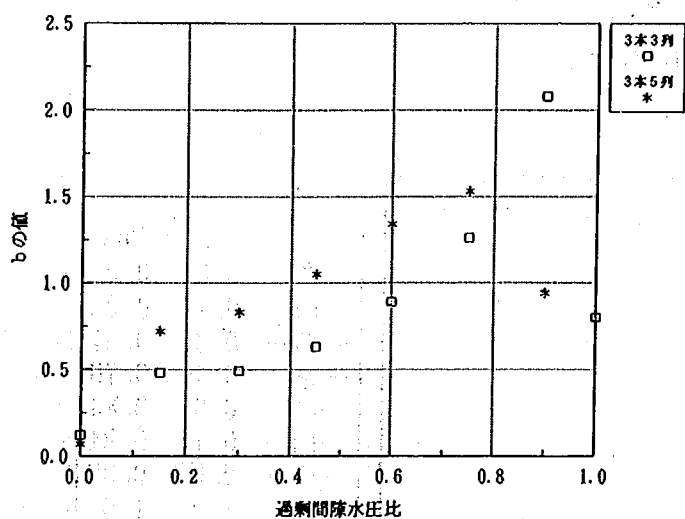
図-7.1 牽引速度と水平抵抗力の関係例



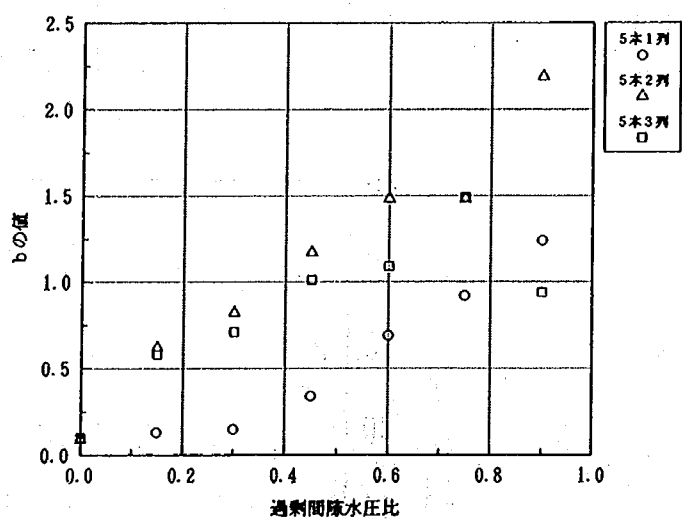
(a) 2本2列, 2本5列



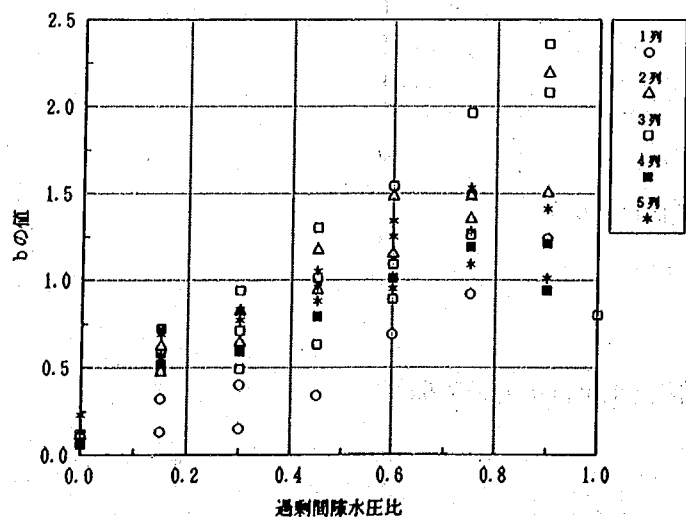
(b) 1本3列, 1本5列



(c) 3本3列, 3本5列



(d) 5本1列, 5本2列, 5本3列



(e) 全ケース

図-7.2 過剰間隙水圧比 Ru_T と係数 b の関係

8. ま と め

今回の実験から得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) 水平抵抗力は過剰間隙水圧（比）の増加にともなって減少し、完全液状化状態では著しく小さくなる。
- (2) 杭本数が同じ場合、牽引直角方向への杭の投影本数が多い方が水平抵抗力が大きくなる。ただし、この傾向は完全液状化状態に近づくにつれて小さくなる。
- (3) 牽引直角方向への投影本数が同じであれば、杭全体の本数が異なっても、同程度の水平抵抗力が生じる。すなわち、水平抵抗力は牽引方向の前面に配置された杭に集中する。
- (4) 水平抵抗力は牽引速度の増加に伴って増加するが、その影響度合は完全液状化状態に近づくにつれて大きくなる。また、牽引直角方向への杭の投影本数が1本の場合、水平抵抗力に対する速度の影響は小さい。
- (5) 格子配列と千鳥配列で水平抵抗力の発生特性に大きな違いはない。

以上より、液状化地盤から杭に働く水平抵抗力は、基本的には完全液状化状態に近づくにつれ抗力的な特性を持つ傾向にあることがわかった。しかし、杭の配置・液状化の程度により、異なった特性を示すこともある。また、完全液状化状態では、水平抵抗力が著しく小さく速度との関係を見いだすのが困難であった。

今後は、計測方法、速度の設定等を改良した実験を行うことが必要である。

参 考 文 献

- 1) 嶋津晃臣, 佐々木 康, 岡原美知夫: フィリピン地震調査速報, 第32巻, 第10号, 平成2年10月
- 2) 安田 進, 渡辺啓行, 吉田 望: バジェデラエストレージャ (コスタリカ) 地震被害速報, 土と基礎, Vol. 39, No. 8, 1991. 8
- 3) 浜田, 安田, 磯山, 恵本: 液状化による地盤の永久変位と地震被害に関する研究, 土木学会論文集, No. 376, III-6, 1986
- 4) 佐々木, 常田, 松本, 佐谷: 液状化に伴う地盤流動特性, 土木技術資料第33巻, 第1号, 平成3年1月
- 5) 松本, 常田, 佐谷: 液状化に伴う流動特性に与える境界条件の影響の検討, 第26回土質工学研究発表会, 平成3年6月
- 6) 常田, 松本, 東, 佐々木, 東畑: 液状化による地盤流動量の簡易予測, 土木技術資料第35号第5巻, 平成5年5月
- 7) 常田, 松本, 東畑, 佐々木: 液状化による地盤流動の予測及び杭に及ぼす影響に関する研究, 第24回耐風耐震構造専門部会, 日米天然資源に関する会議, 平成4年5月
- 8) Tokida, K., Matsumoto, H. and Iwasaki, H.: Experimental Study on Drag Acting on Piles in Ground Flowing by Soil Liquefaction, 3rd Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Honolulu, May, 1992.
- 9) 常田, 松本, 東: 杭基礎に作用する流動土圧の発生特性, 第47回土木学会年次学術講演会, 平成4年9月

付属資料 1. 正規化した水平抵抗力

（附註）本報已出版之「中國食料」

付図-1.1 (1) 格子配列 実験ケース 1-01 ~ 1-06 (杭固定台車の摩擦力を除く)

● $R_u = 0$ の時の F 値で正規化した水平抵抗力: $f_0 (=F/F_0)$

実験ケース		杭総本数 (本)	投影本数 (本)	移動速度 (mm/sec)	正規化した水平抵抗力 ~ 過剰間隙水圧, 過剰間隙水圧比, 有効応力比 ~ 杭の移動速度の関係							
					$\otimes \Delta u (GL-35cm)$	$\otimes R_u (GL-21.9cm)$	$\otimes 1-R_u (GL-21.9cm)$					
					20.00	18.00	15.00	12.00	9.00	6.00	3.00	0.00
					1.00	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00
					0.00	0.10	0.25	0.40	0.55	0.70	0.85	1.00
1-01 格子配列 (1本1列)	18	1	1	4.5	-0.025	0.086	0.098	0.180	0.262	0.475	0.672	1.000
	19	1	1	4.5	-0.016	0.139	0.213	0.311	0.385	0.541	0.713	1.000
	20	1	1	4.5	-0.049	0.049	0.131	0.180	0.344	0.475	0.672	1.000
	21	1	1	4.5	0.098	0.180	0.262	0.344	0.475	0.590	0.754	1.000
	ave.	1	1	4.5	0.002	0.109	0.176	0.254	0.367	0.520	0.703	1.000
	24	1	1	2.6	-0.008	0.070	0.124	0.171	0.248	0.372	0.574	1.000
	25	1	1	2.6	0.031	0.225	0.295	0.372	0.496	0.620	0.767	1.000
	ave.	1	1	2.6	0.012	0.147	0.209	0.271	0.372	0.496	0.671	1.000
	28	1	1	1.5	0.064	0.092	0.121	0.248	0.319	0.461	0.603	1.000
	29	1	1	1.5	0.021	0.021	0.092	0.149	0.191	0.390	0.532	1.000
1-02 格子配列 (1本3列)	30	1	1	1.5	0.007	0.007	0.035	0.106	0.177	0.291	0.518	1.000
	ave.	1	1	1.5	0.031	0.040	0.083	0.168	0.229	0.381	0.551	1.000
	04	3	3	4.5	0.005	0.150	0.248	0.393	0.539	0.660	0.854	1.000
	05	3	3	4.5	0.078	0.442	0.563	0.684	0.806	0.927	1.073	1.000
	06	3	3	4.5	0.005	0.223	0.345	0.417	0.539	0.660	0.806	1.000
	ave.	3	3	4.5	0.029	0.272	0.385	0.498	0.628	0.749	0.911	1.000
	07	3	3	2.6	0.010	0.139	0.216	0.319	0.473	0.627	0.781	1.000
	08	3	3	2.6	0.010	0.036	0.062	0.113	0.190	0.293	0.499	1.000
	09	3	3	2.6	0.036	0.190	0.267	0.370	0.499	0.653	0.781	1.000
	ave.	3	3	2.6	0.019	0.122	0.182	0.267	0.387	0.524	0.687	1.000
1-03 格子配列 (3本1列)	11	3	3	1.5	0.013	0.013	0.039	0.086	0.153	0.325	0.496	1.000
	12	3	3	1.5	0.013	0.013	0.049	0.101	0.158	0.247	0.377	1.000
	13	3	3	1.5	0.013	0.039	0.055	0.106	0.169	0.288	0.455	1.000
	ave.	3	3	1.5	0.013	0.022	0.048	0.098	0.160	0.287	0.442	1.000
	04	3	1	4.5	0.010	0.029	0.039	0.083	0.181	0.376	0.596	1.000
	05	3	1	4.5	0.010	0.059	0.083	0.132	0.254	0.401	0.621	1.000
	ave.	3	1	4.5	0.010	0.044	0.061	0.108	0.217	0.389	0.609	1.000
	08	3	1	2.6	-0.005	0.049	0.087	0.141	0.250	0.348	0.543	1.000
	09	3	1	2.6	-0.005	0.076	0.098	0.163	0.239	0.402	0.565	1.000
	10	3	1	2.6	-0.005	0.103	0.185	0.239	0.293	0.457	0.620	1.000
1-04 格子配列 (2本2列)	ave.	3	1	2.6	-0.005	0.076	0.123	0.181	0.261	0.402	0.576	1.000
	13	3	1	1.5	-0.005	0.005	0.024	0.089	0.146	0.259	0.423	1.000
	14	3	1	1.5	0.005	0.014	0.024	0.033	0.108	0.221	0.400	1.000
	ave.	3	1	1.5	0.000	0.009	0.024	0.061	0.127	0.240	0.412	1.000
	04	4	2	4.5	0.031	0.158	0.235	0.324	0.464	0.566	0.719	1.000
	05	4	2	4.5	0.005	0.107	0.158	0.260	0.362	0.490	0.643	1.000
	ave.	4	2	4.5	0.018	0.133	0.196	0.292	0.413	0.528	0.681	1.000
	08	4	2	2.6	-0.003	0.011	0.063	0.142	0.288	0.433	0.578	1.000
	09	4	2	2.6	0.011	0.037	0.063	0.116	0.235	0.354	0.512	1.000
	ave.	4	2	2.6	0.004	0.024	0.063	0.129	0.261	0.393	0.545	1.000
1-05 格子配列 (1本5列)	12	4	2	1.5	0.000	0.014	0.043	0.101	0.173	0.288	0.460	1.000
	13	4	2	1.5	0.000	0.043	0.058	0.086	0.158	0.302	0.460	1.000
	ave.	4	2	1.5	0.000	0.029	0.050	0.093	0.165	0.295	0.460	1.000
	04	5	5	4.5	0.003	0.083	0.137	0.217	0.337	0.511	0.672	1.000
	05	5	5	4.5	0.003	0.137	0.217	0.311	0.431	0.552	0.685	1.000
	ave.	5	5	4.5	0.003	0.110	0.177	0.264	0.384	0.531	0.679	1.000
	08	5	5	2.6	0.007	0.032	0.091	0.150	0.276	0.461	0.680	1.000
	09	5	5	2.6	0.024	0.074	0.091	0.175	0.301	0.461	0.680	1.000
	ave.	5	5	2.6	0.015	0.053	0.091	0.162	0.289	0.461	0.680	1.000
	12	5	5	1.5	0.026	0.043	0.069	0.095	0.172	0.267	0.457	1.000
1-06 格子配列 (5本1列)	13	5	5	1.5	0.009	0.017	0.043	0.078	0.172	0.293	0.474	1.000
	ave.	5	5	1.5	0.017	0.030	0.056	0.086	0.172	0.280	0.466	1.000
	04	5	1	4.5	-0.010	0.149	0.238	0.317	0.406	0.554	0.752	1.000
	05	5	1	4.5	0.010	0.198	0.307	0.356	0.505	0.653	0.851	1.000
	ave.	5	1	4.5	0.000	0.173	0.272	0.337	0.455	0.604	0.802	1.000
	08	5	1	2.6	0.037	0.103	0.168	0.206	0.383	0.570	0.738	1.000
	09	5	1	2.6	0.037	0.065	0.159	0.280	0.439	0.561	0.692	1.000
	ave.	5	1	2.6	0.037	0.084	0.164	0.243	0.411	0.565	0.715	1.000
	12	5	1	1.5	0.005	0.015	-0.102	0.141	0.268	0.532	0.727	1.000
	13	5	1	1.5	0.024	0.073	0.093	0.171	0.346	0.473	0.649	1.000
	ave.	5	1	1.5	0.015	0.044	0.098	0.156	0.307	0.502	0.688	1.000

付図-1.1(2) 格子配列 実験ケース 1-07~1-12 (杭固定台車の摩擦力を除く)

● $RH=0$ の時の F 値で正規化した水平抵抗力: $f_0 (=F/F_0)$

正規化した水平抵抗力~過剰間隙水圧, 過剰間隙水圧比, 有効応力比~杭の移動速度の関係

実験ケース	杭杭本数 (本)	投影本数 (本)	移動速度 (mm/sec)	Δu (GL-35cm)/ $\Delta R u$ (GL-21.9cm)/ $1-R u$ (GL-21.9cm)									
				20.00	18.00	15.00	12.00	9.00	6.00	3.00	0.00		
				0.00	0.10	0.25	0.40	0.55	0.70	0.85	1.00		
1-07 格子配列 (3本3列)	04	9	3	4.5	0.020	0.118	0.183	0.248	0.363	0.493	0.706	1.000	
	05	9	3	4.5	0.020	0.150	0.232	0.314	0.412	0.575	0.755	1.000	
	ave	9	3	4.5	0.020	0.134	0.208	0.281	0.387	0.534	0.730	1.000	
	08	9	3	2.6	0.024	0.059	0.093	0.162	0.249	0.404	0.560	1.000	
	09	9	3	2.6	0.007	0.024	0.041	0.145	0.249	0.352	0.525	1.000	
	ave	9	3	2.6	0.016	0.041	0.067	0.154	0.249	0.378	0.542	1.000	
	15	9	3	1.5	0.009	0.009	0.065	0.121	0.196	0.346	0.495	1.000	
	16	9	3	1.5	0.009	0.028	0.065	0.121	0.252	0.364	0.514	1.000	
	17	9	3	1.5	0.009	0.009	0.047	0.121	0.215	0.364	0.477	1.000	
	ave	9	3	1.5	0.009	0.016	0.059	0.121	0.221	0.358	0.495	1.000	
1-08 格子配列 (2本5列)	04	10	5	4.5	0.026	0.074	0.121	0.192	0.311	0.501	0.739	1.000	
	05	10	5	4.5	0.026	0.074	0.133	0.228	0.382	0.525	0.786	1.000	
	21	10	5	4.5	0.026	0.050	0.121	0.204	0.382	0.537	0.786	1.000	
	ave	10	5	4.5	0.026	0.066	0.125	0.208	0.359	0.521	0.770	1.000	
	08	10	5	2.6	0.017	0.041	0.089	0.185	0.269	0.400	0.592	1.000	
	09	10	5	2.6	0.017	0.029	0.053	0.113	0.221	0.365	0.532	1.000	
	ave	10	5	2.6	0.017	0.035	0.071	0.149	0.245	0.382	0.562	1.000	
	12	10	5	1.5	0.030	0.018	0.030	0.042	0.090	0.162	0.317	1.000	
	13	10	5	1.5	0.018	0.030	0.042	0.090	0.162	0.246	0.389	1.000	
	14	10	5	1.5	0.030	0.018	0.042	0.090	0.162	0.269	0.389	1.000	
	ave	10	5	1.5	0.026	0.022	0.038	0.074	0.138	0.226	0.365	1.000	
1-09 格子配列 (5本2列)	04	10	2	4.5	0.004	0.111	0.240	0.347	0.433	0.540	0.754	1.000	
	05	10	2	4.5	0.004	0.154	0.240	0.347	0.454	0.582	0.754	1.000	
	06	10	2	4.5	0.004	0.090	0.176	0.283	0.390	0.497	0.711	1.000	
	ave	10	2	4.5	0.004	0.118	0.218	0.325	0.425	0.540	0.739	1.000	
	09	10	2	2.6	0.033	0.033	0.079	0.172	0.289	0.406	0.592	1.000	
	10	10	2	2.6	0.009	0.009	0.056	0.172	0.266	0.406	0.592	1.000	
	ave	10	2	2.6	0.021	0.021	0.068	0.172	0.277	0.406	0.592	1.000	
	13	10	2	1.5	0.035	0.012	0.059	0.082	0.129	0.247	0.388	1.000	
	14	10	2	1.5	0.012	0.012	0.035	0.059	0.129	0.233	0.435	1.000	
	ave	10	2	1.5	0.024	0.012	0.047	0.071	0.129	0.240	0.412	1.000	
1-10 格子配列 (3本5列)	04	15	5	4.5	0.022	0.042	0.102	0.182	0.301	0.441	0.641	1.000	
	05	15	5	4.5	0.022	0.042	0.112	0.212	0.331	0.481	0.701	1.000	
	ave	15	5	4.5	0.022	0.042	0.107	0.197	0.316	0.461	0.671	1.000	
	08	15	5	2.6	0.024	0.065	0.085	0.136	0.217	0.339	0.502	1.000	
	09	15	5	2.6	0.024	0.024	0.055	0.136	0.207	0.329	0.492	1.000	
	10	15	5	2.6	0.024	0.035	0.055	0.136	0.207	0.339	0.472	1.000	
	ave	15	5	2.6	0.024	0.041	0.065	0.136	0.211	0.336	0.488	1.000	
	16	15	5	1.5	0.016	0.016	0.027	0.059	0.135	0.232	0.373	1.000	
	17	15	5	1.5	0.016	0.016	0.016	0.038	0.081	0.168	0.286	1.000	
	ave	15	5	1.5	0.016	0.016	0.022	0.049	0.108	0.200	0.330	1.000	
1-11 格子配列 (5本3列)	05	15	3	4.5	0.018	0.063	0.124	0.215	0.335	0.471	0.668	1.000	
	19	15	3	4.5	0.018	0.063	0.109	0.184	0.305	0.456	0.653	1.000	
	ave	15	3	4.5	0.018	0.063	0.116	0.199	0.320	0.464	0.660	1.000	
	08	15	3	2.6	0.006	0.022	0.053	0.099	0.193	0.317	0.457	1.000	
	20	15	3	2.6	0.006	0.022	0.053	0.140	0.233	0.363	0.534	1.000	
	ave	15	3	2.6	0.006	0.022	0.053	0.120	0.213	0.340	0.495	1.000	
	12	15	3	1.5	0.008	0.025	0.025	0.059	0.109	0.227	0.361	1.000	
	13	15	3	1.5	0.008	0.025	0.025	0.076	0.126	0.244	0.412	1.000	
	ave	15	3	1.5	0.008	0.025	0.025	0.067	0.118	0.235	0.387	1.000	
	11	16	4	4.5	0.015	0.053	0.091	0.167	0.293	0.432	0.609	1.000	
1-12 格子配列 (4本4列)	12	16	4	4.5	0.015	0.091	0.141	0.255	0.369	0.533	0.760	1.000	
	ave	16	4	4.5	0.015	0.072	0.116	0.211	0.331	0.482	0.684	1.000	
	13	16	4	2.6	0.005	0.017	0.042	0.103	0.201	0.337	0.484	1.000	
	14	16	4	2.6	0.005	0.029	0.066	0.128	0.201	0.337	0.472	1.000	
	ave	16	4	2.6	0.005	0.023	0.054	0.115	0.201	0.337	0.478	1.000	
	17	16	4	1.5	0.007	0.020	0.034	0.074	0.154	0.275	0.423	1.000	
	18	16	4	1.5	0.007	0.020	0.034	0.074	0.141	0.262	0.396	1.000	
	ave	16	4	1.5	0.007	0.020	0.034	0.074	0.148	0.268	0.409	1.000	

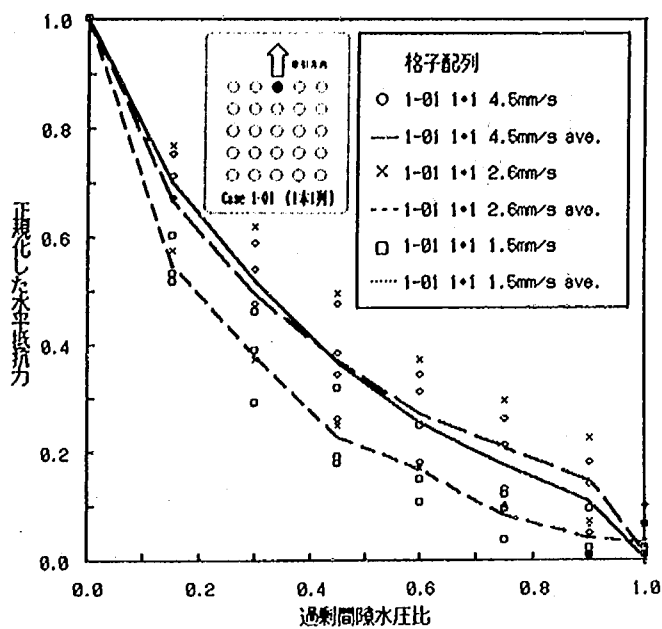
付図-1.2 千鳥配列 実験ケース 2-01~2-08 (杭固定台車の摩擦力を除く)

● $R=0$ の時の F 値で正規化した水平抵抗力: $f_0 (=F/F_0)$

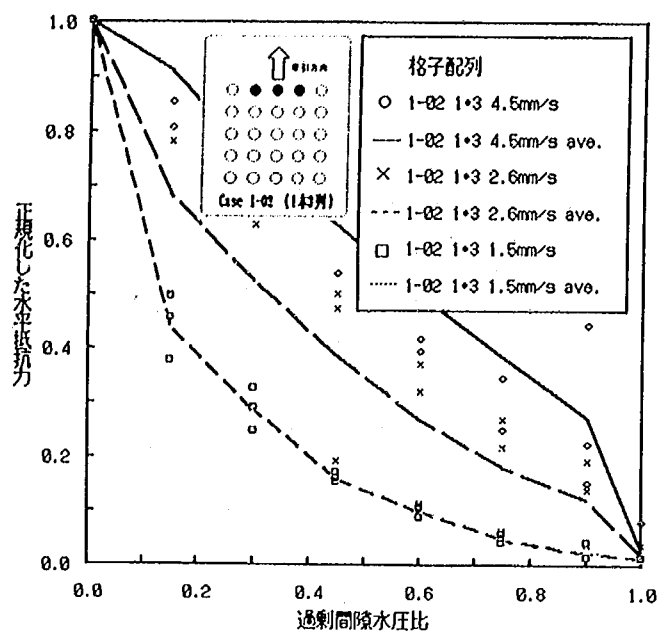
正規化した水平抵抗力～過剰間隙水圧比、有効応力比～杭の移動速度の関係													
実験ケース		杭杭本数 (本)	投影本数 (本)	移動速度 (mm/sec)	$\sigma_{av}(GL-35cm)/\sigma_{Ru}(GL-21.9cm)/\sigma_{I-Ru}(GL-21.9cm)$								
					20.00 1.00 0.00	18.00 0.90 0.10	15.00 0.75 0.25	12.00 0.60 0.40	9.00 0.45 0.55	6.00 0.30 0.70	3.00 0.15 0.85	0.00 0.00 1.00	
2-01 千鳥配列 (1-2-1) →	04	4	3	4.5	0.006	0.037	0.087	0.205	0.335	0.472	0.646	1.000	
	05	4	3	4.5	-0.009	0.022	0.130	0.193	0.317	0.472	0.658	1.000	
	ave	4	3	4.5	-0.002	0.030	0.109	0.199	0.326	0.472	0.652	1.000	
	08	4	3	2.6	-0.003	0.027	0.064	0.120	0.221	0.415	0.582	1.000	
	09	4	3	2.6	-0.003	0.033	0.064	0.130	0.247	0.348	0.548	1.000	
	ave	4	3	2.6	-0.003	0.030	0.064	0.125	0.234	0.381	0.565	1.000	
	12	4	3	1.5	0.000	0.011	0.053	0.088	0.211	0.316	0.474	1.000	
	13	4	3	1.5	0.000	0.018	0.032	0.053	0.130	0.228	0.386	1.000	
ave	4	3	1.5	0.000	0.014	0.042	0.070	0.170	0.272	0.430	1.000		
2-02 千鳥配列 (1-2-1) ↓	04	4	3	4.5	0.028	0.028	0.074	0.203	0.331	0.482	0.656	1.000	
	05	4	3	4.5	0.028	0.079	0.133	0.214	0.342	0.470	0.656	1.000	
	ave	4	3	4.5	0.028	0.054	0.104	0.208	0.336	0.476	0.656	1.000	
	08	4	3	2.6	0.010	0.035	0.035	0.085	0.211	0.361	0.561	1.000	
	09	4	3	2.6	0.010	0.035	0.025	0.085	0.185	0.336	0.511	1.000	
	ave	4	3	2.6	0.010	0.035	0.030	0.085	0.198	0.348	0.536	1.000	
	12	4	3	1.5	0.000	0.003	0.038	0.064	0.115	0.192	0.351	1.000	
	15	4	3	1.5	0.000	0.013	0.003	0.038	0.044	0.095	0.269	1.000	
ave	4	3	1.5	0.000	0.008	0.021	0.051	0.079	0.144	0.310	1.000		
2-03 千鳥配列 (2-1-2) →	04	5	3	4.5	-0.008	0.061	0.116	0.171	0.309	0.475	0.710	1.000	
	05	5	3	4.5	-0.006	0.075	0.157	0.268	0.378	0.517	0.696	1.000	
	ave	5	3	4.5	-0.001	0.068	0.137	0.220	0.344	0.496	0.703	1.000	
	08	5	3	2.6	0.039	0.039	0.067	0.136	0.234	0.387	0.568	1.000	
	09	5	3	2.6	0.011	0.011	0.039	0.123	0.206	0.345	0.540	1.000	
	10	5	3	2.6	0.011	0.011	0.025	0.095	0.192	0.304	0.499	1.000	
	ave	5	3	2.6	0.020	0.020	0.044	0.118	0.211	0.345	0.536	1.000	
	13	5	3	1.5	0.014	0.014	0.043	0.087	0.130	0.217	0.362	1.000	
ave	5	3	1.5	0.014	0.043	0.043	0.087	0.116	0.206	0.406	1.000		
ave	5	3	1.5	0.014	0.029	0.043	0.087	0.123	0.212	0.384	1.000		
2-04 千鳥配列 (2-1-2) ↓	05	5	3	4.5	0.005	0.027	0.096	0.188	0.325	0.485	0.668	1.000	
	ave	5	3	4.5	0.005	0.027	0.096	0.188	0.325	0.485	0.668	1.000	
	08	5	3	2.6	0.000	0.022	0.022	0.108	0.230	0.401	0.572	1.000	
	09	5	3	2.6	-0.002	0.034	0.010	0.098	0.205	0.352	0.523	1.000	
	ave	5	3	2.6	-0.001	0.028	0.016	0.103	0.218	0.377	0.548	1.000	
	12	5	3	1.5	0.012	0.012	0.027	0.049	0.111	0.198	0.383	1.000	
	13	5	3	1.5	-0.012	-0.007	0.012	0.049	0.074	0.160	0.309	1.000	
	ave	5	3	1.5	0.000	0.002	0.020	0.049	0.093	0.179	0.346	1.000	
2-05 千鳥配列 (3-2-3) →	04	8	5	4.5	0.003	0.036	0.079	0.178	0.283	0.432	0.613	1.000	
	05	8	5	4.5	0.003	0.036	0.069	0.168	0.300	0.432	0.596	1.000	
	06	8	5	4.5	0.013	0.069	0.119	0.217	0.349	0.465	0.596	1.000	
	ave	8	5	4.5	0.007	0.047	0.089	0.188	0.311	0.443	0.602	1.000	
	09	8	5	2.6	0.017	0.041	0.059	0.128	0.225	0.352	0.525	1.000	
	10	8	5	2.6	0.007	0.033	0.050	0.085	0.162	0.292	0.473	1.000	
	ave	8	5	2.6	0.012	0.037	0.054	0.106	0.193	0.322	0.499	1.000	
	13	8	5	1.5	0.009	0.009	0.009	0.027	0.107	0.191	0.355	1.000	
ave	8	5	1.5	0.009	0.020	0.020	0.045	0.107	0.209	0.336	1.000		
ave	8	5	1.5	0.009	0.015	0.015	0.036	0.107	0.200	0.345	1.000		
2-06 千鳥配列 (3-2-3) ↓	04	8	3	4.5	0.004	0.004	0.044	0.105	0.205	0.346	0.567	1.000	
	05	8	3	4.5	0.004	0.028	0.064	0.165	0.276	0.437	0.608	1.000	
	ave	8	3	4.5	0.004	0.016	0.054	0.135	0.240	0.391	0.588	1.000	
	08	8	3	2.6	0.018	0.028	0.028	0.081	0.150	0.291	0.453	1.000	
	09	8	3	2.6	0.008	0.008	0.008	0.073	0.160	0.291	0.433	1.000	
	ave	8	3	2.6	0.013	0.018	0.018	0.077	0.155	0.291	0.443	1.000	
	12	8	3	1.5	0.010	0.010	0.010	0.048	0.131	0.219	0.375	1.000	
	13	8	3	1.5	0.010	0.010	0.010	0.010	0.052	0.104	0.354	1.000	
ave	8	3	1.5	0.010	0.010	0.010	0.029	0.092	0.161	0.365	1.000		
2-07 千鳥配列 (4-3-4) →	04	11	7	4.5	0.015	0.028	0.067	0.144	0.260	0.414	0.646	1.000	
	05	11	7	4.5	0.028	0.041	0.067	0.157	0.273	0.427	0.646	1.000	
	ave	11	7	4.5	0.022	0.035	0.067	0.151	0.266	0.421	0.646	1.000	
	08	11	7	2.6	0.019	0.032	0.032	0.085	0.164	0.297	0.469	1.000	
	09	11	7	2.6	0.019	0.032	0.045	0.072	0.151	0.284	0.456	1.000	
	ave	11	7	2.6	0.019	0.032	0.038	0.078	0.158	0.290	0.463	1.000	
	12	11	7	1.5	0.007	0.021	0.021	0.035	0.092	0.177	0.305	1.000	
	13	11	7	1.5	0.007	0.021	0.035	0.050	0.121	0.191	0.333	1.000	
ave	11	7	1.5	0.007	0.021	0.028	0.043	0.106	0.184	0.319	1.000		
2-08 千鳥配列 (4-3-4) ↓	05	11	3	4.5	0.013	0.023	0.118	0.175	0.326	0.459	0.649	1.000	
	06	11	3	4.5	0.013	0.042	0.061	0.175	0.307	0.459	0.649	1.000	
	ave	11	3	4.5	0.013	0.032	0.089	0.175	0.317	0.459	0.649	1.000	
	11	11	3	2.6	0.008	0.008	0.027	0.046	0.141	0.294	0.485	1.000	
	12	11	3	2.6	-0.002	0.017	0.055	0.141	0.246	0.389	0.513	1.000	
	ave	11	3	2.6	0.003	0.012	0.041	0.094	0.194	0.342	0.499	1.000	
	15	11	3	1.5	0.010	0.010	0.029	0.048	0.124	0.248	0.371	1.000	
	16	11	3	1.5	0.000	0.000	0.010	0.029	0.086	0.181	0.314	1.000	
ave	11	3	1.5	0.005	0.005	0.019	0.038	0.105	0.214	0.343	1.000		

付属資料 2. 過剰間隙水圧比 R_{uT} と
正規化した水平抵抗力の関係

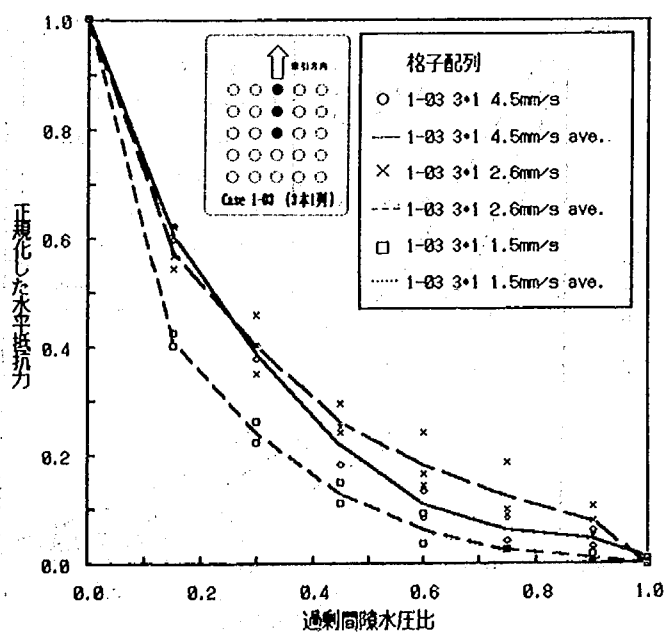
五、由本局知照各機關團體、工廠、學校、商店、
為商會代為登記、並發給執照。



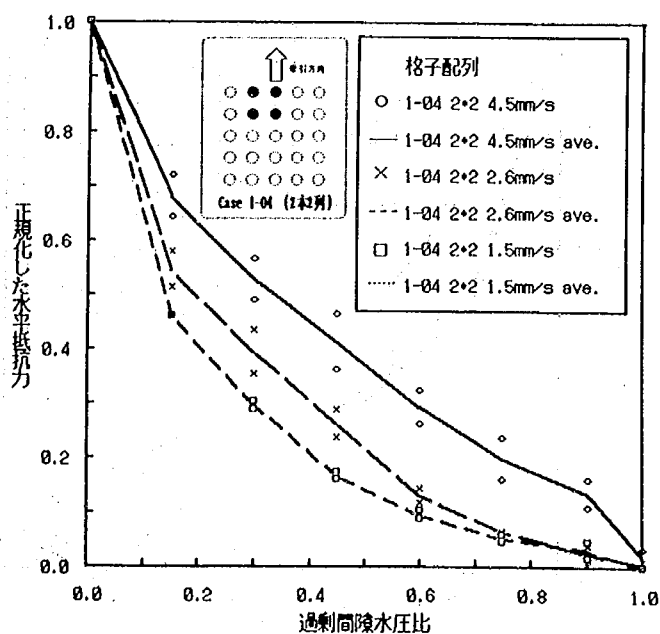
(a) ケース 1-01



(b) ケース 1-02

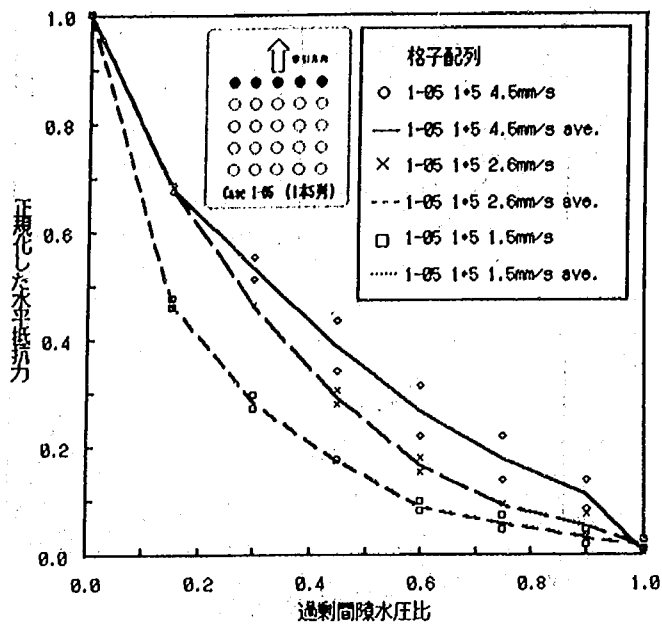


(c) ケース 1-03

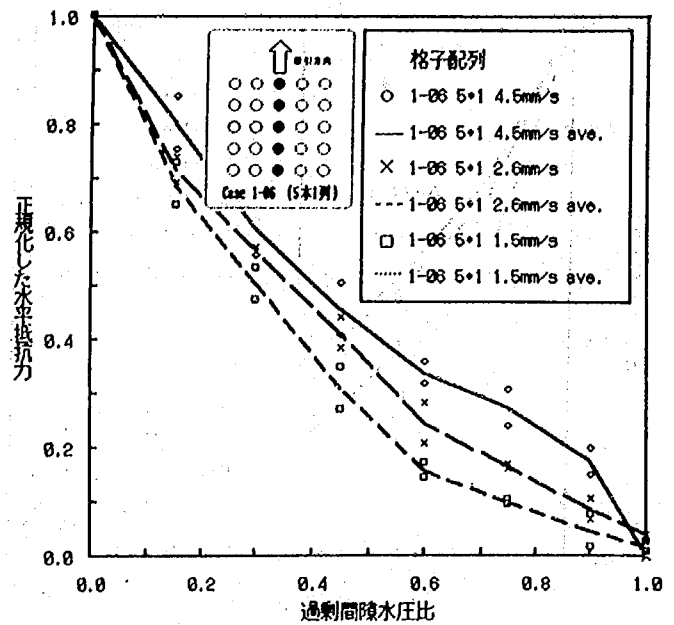


(d) ケース 1-04

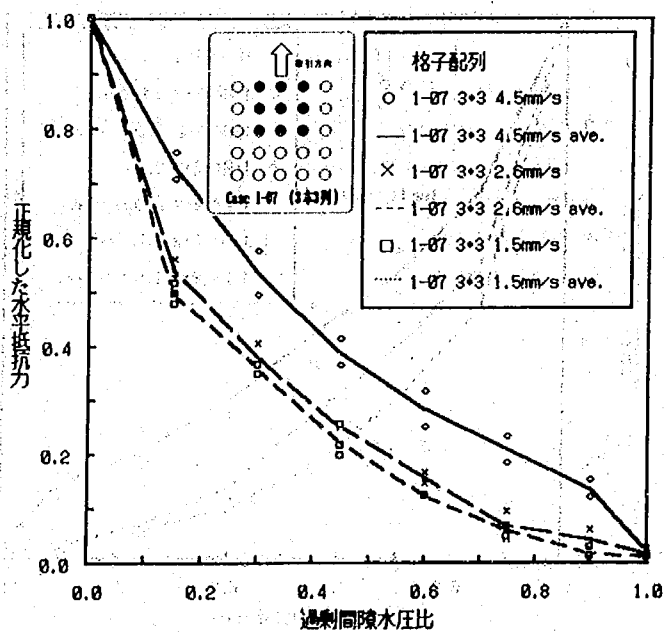
付図-2.1 (1). 格子配列 実験ケース 1-01～1-04



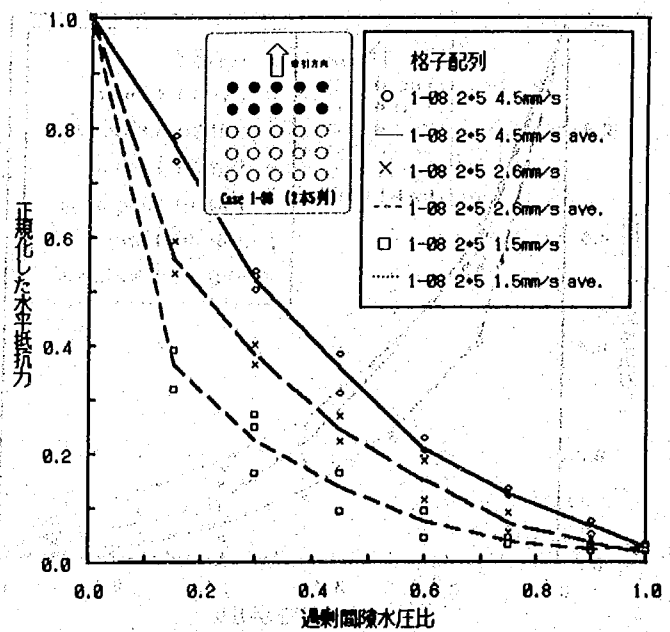
(e) ケース 1-05



(f) ケース 1-06

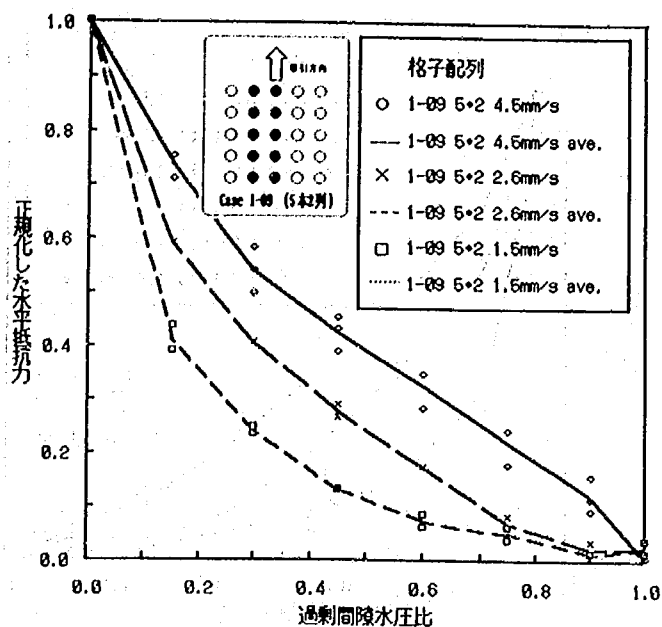


(g) ケース 1-07

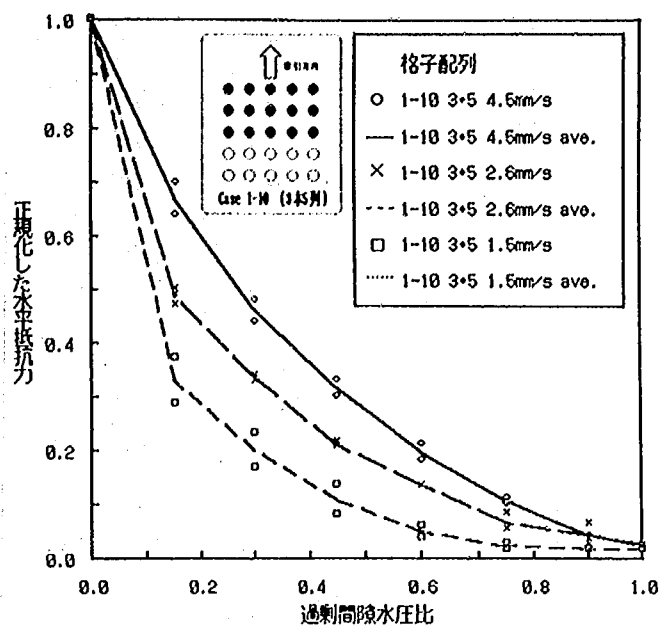


(h) ケース 1-08

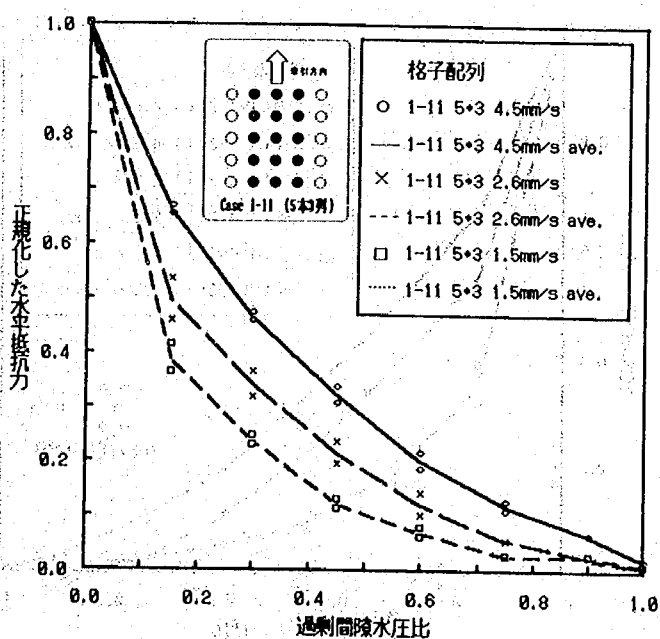
付図-2.1(2) 格子配列 実験ケース 1-05~1-08



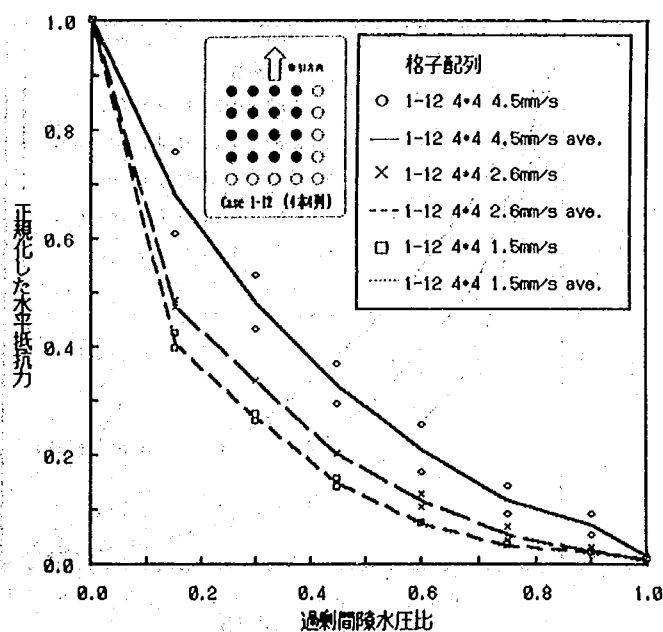
(i) ケース 1-09



(j) ケース 1-10

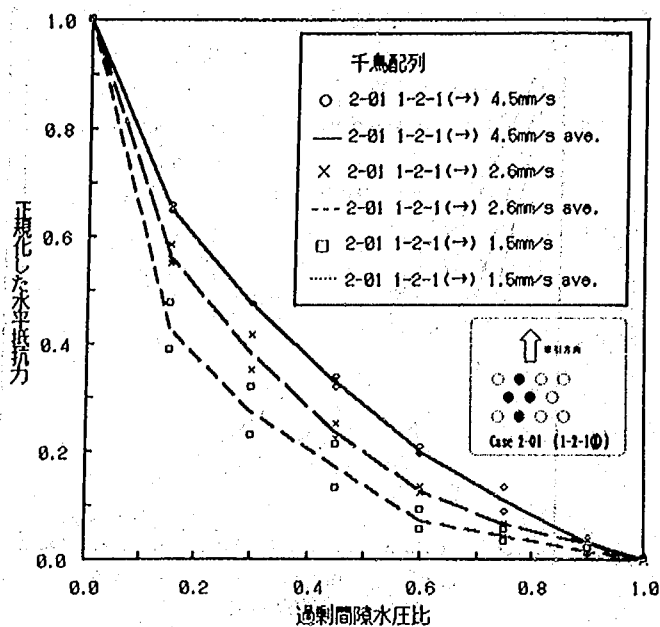


(k) ケース 1-11

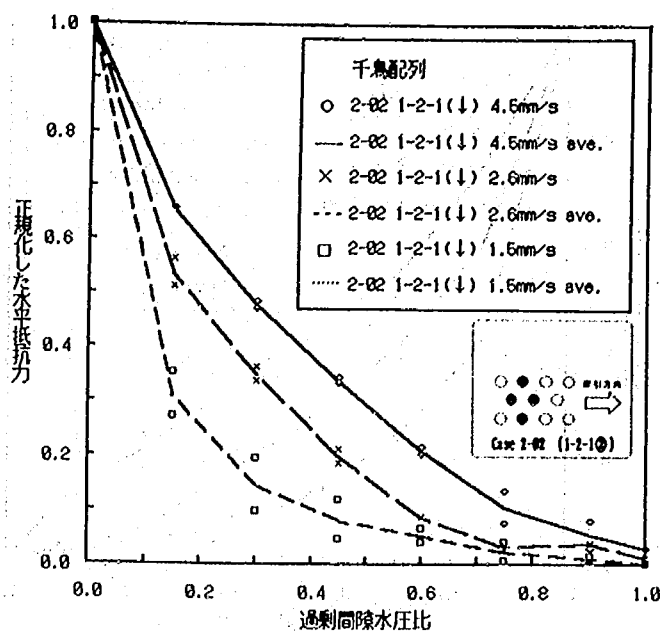


(l) ケース 1-12

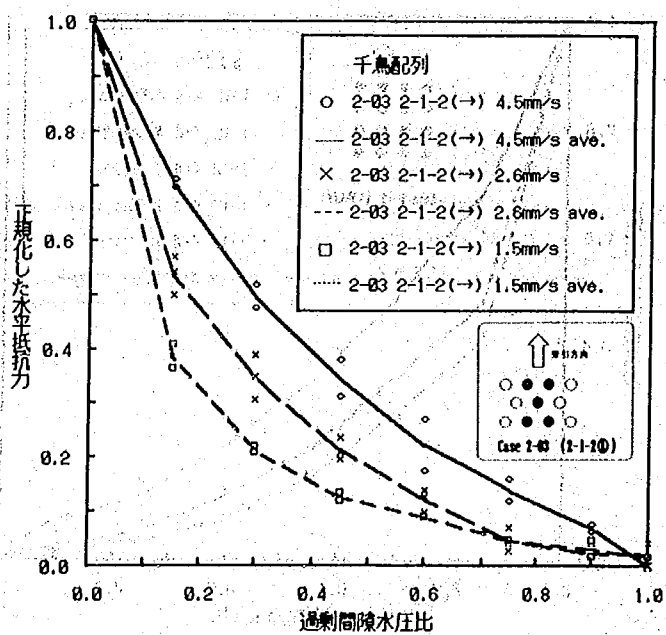
付図-2.1 (3) 格子配列 実験ケース 1-09~1-12



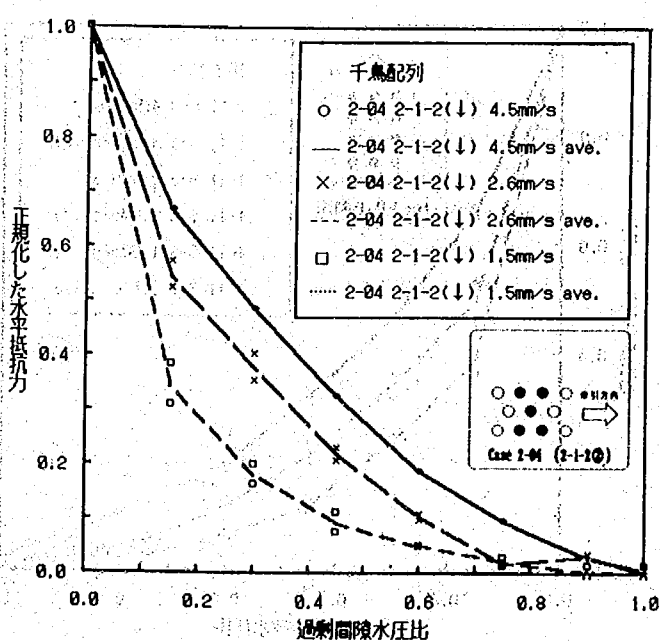
(a) ケース 2-01



(b) ケース 2-02

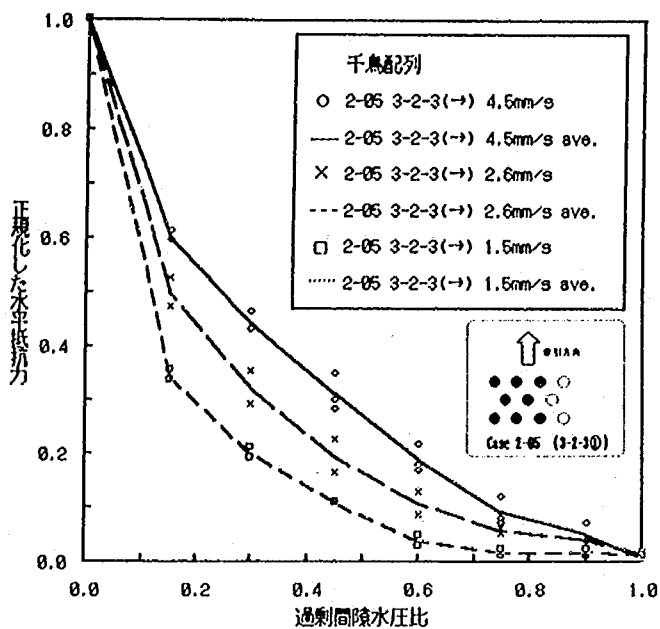


(c) ケース 2-03

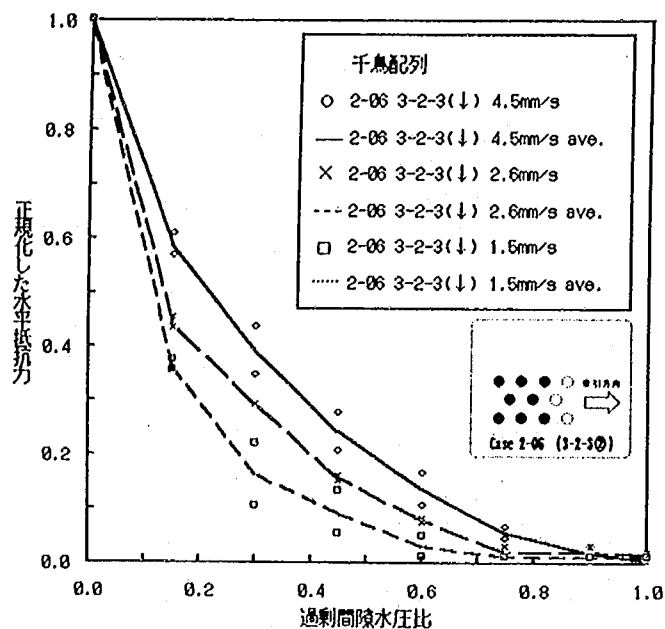


(d) ケース 2-04

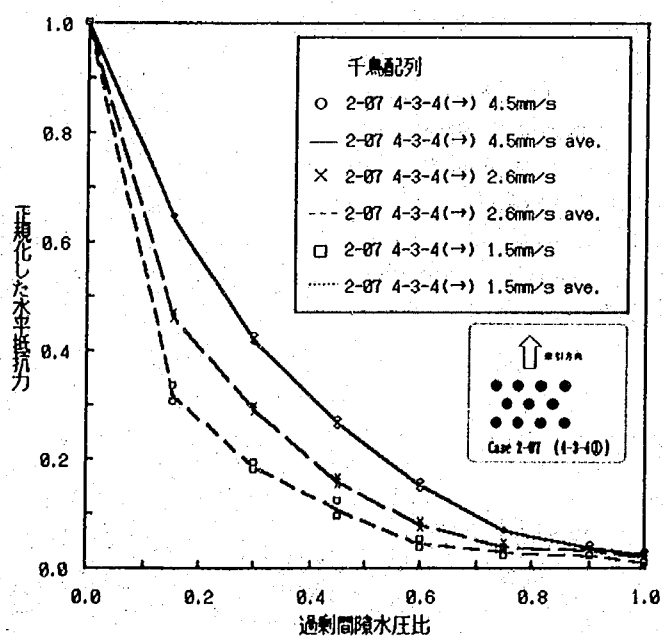
付図-2.2 (1) 千鳥配列 実験ケース 2-01 ~ 2-04



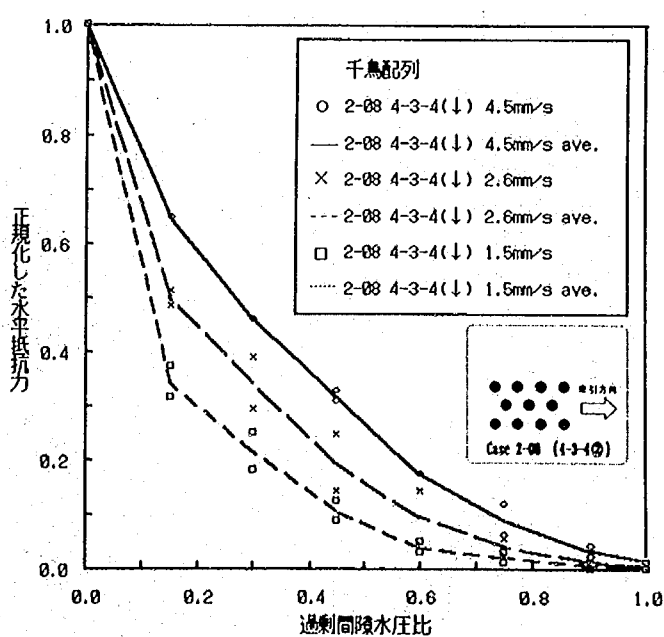
(e) ケース 2-05



(f) ケース 2-06



(g) ケース 2-07

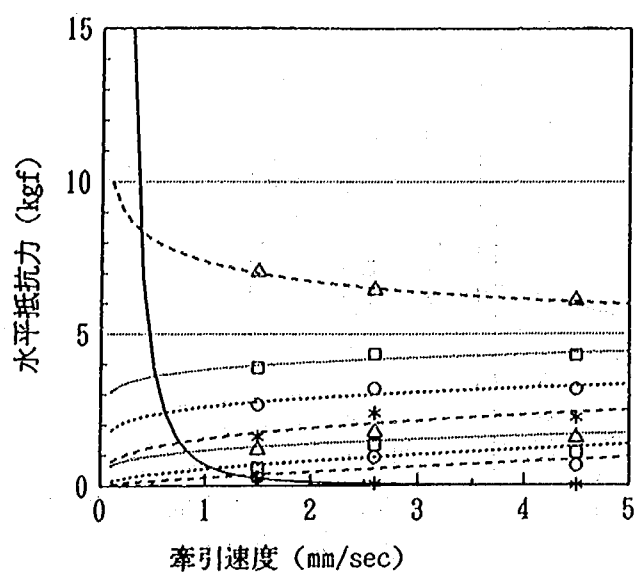


(h) ケース 2-08

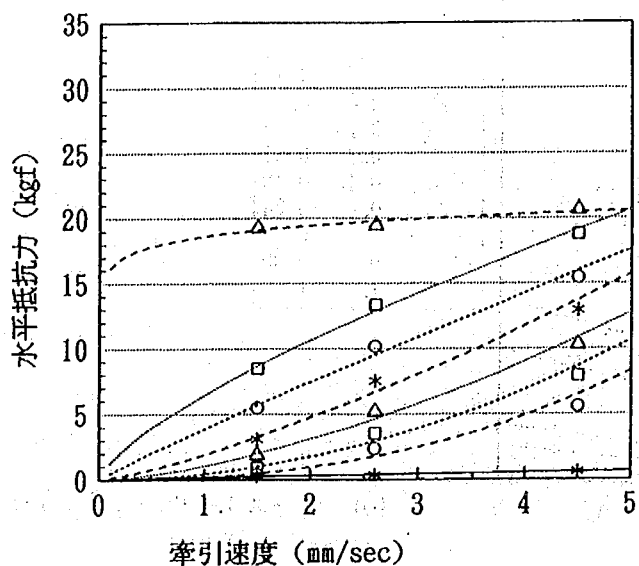
付図-2.2 (2) 千鳥配列 実験ケース 2-05~2-08

付属資料 3. 牽引速度～水平抵抗力の回帰曲線

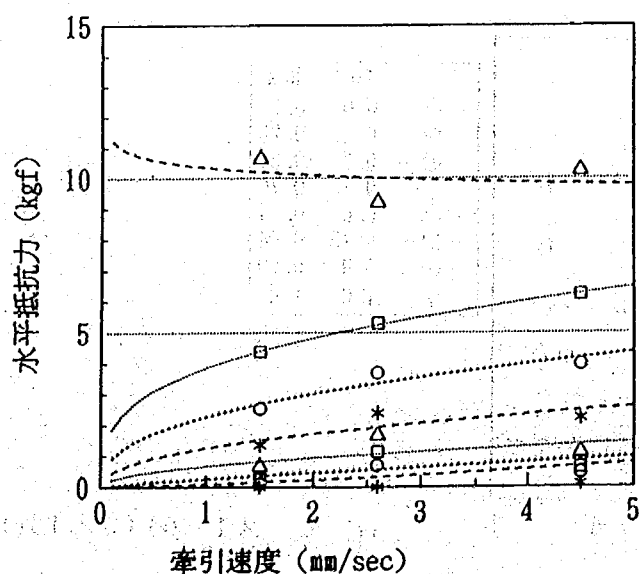
鄭世景園心代河川平本、鄭世景園心代河川平本



(a) ケース 1-01 (1本1列)

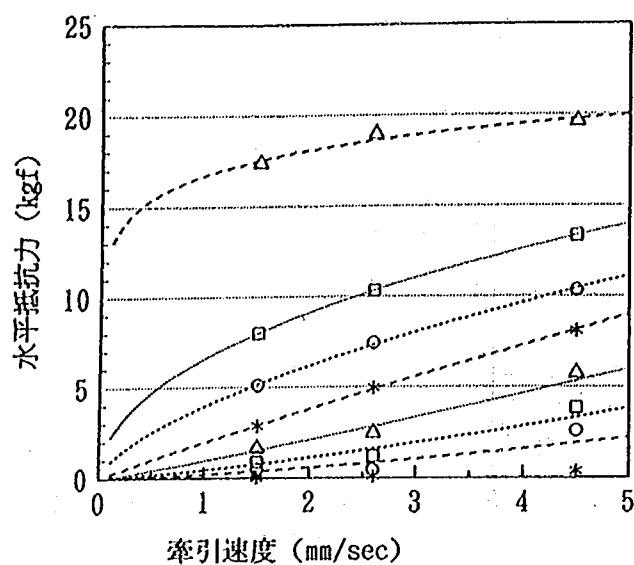


(b) ケース 1-02 (1本3列)

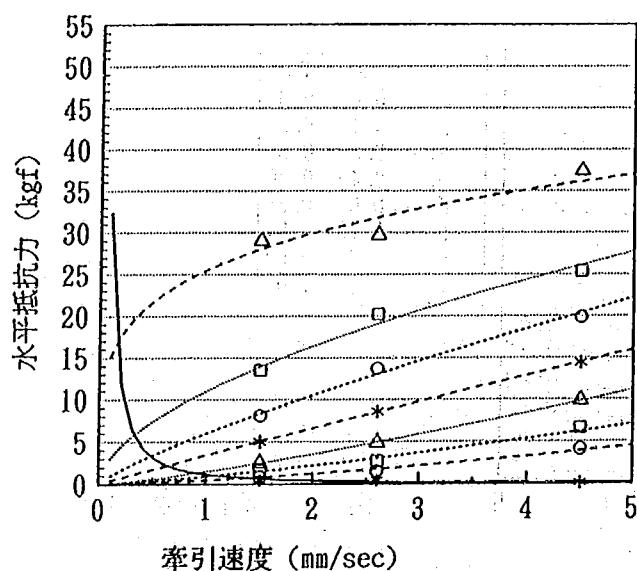


(c) ケース 1-03 (3本1列)

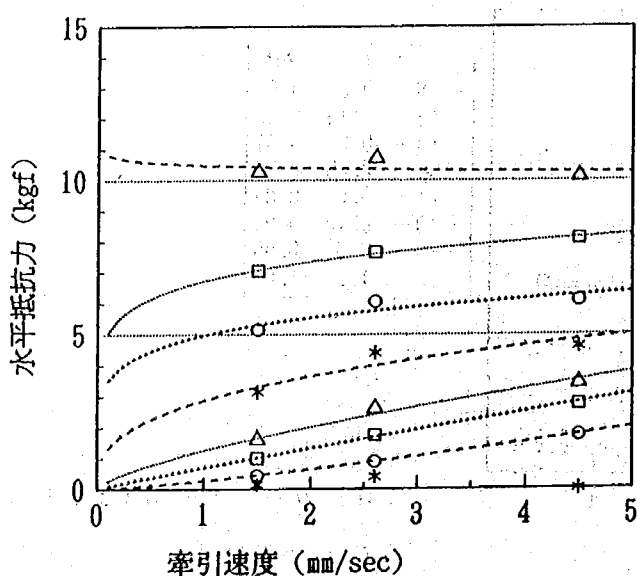
付図-3.1 (1) ケース 1-01 ~ ケース 1-03



(d) ケース 1-04 (2本2列)

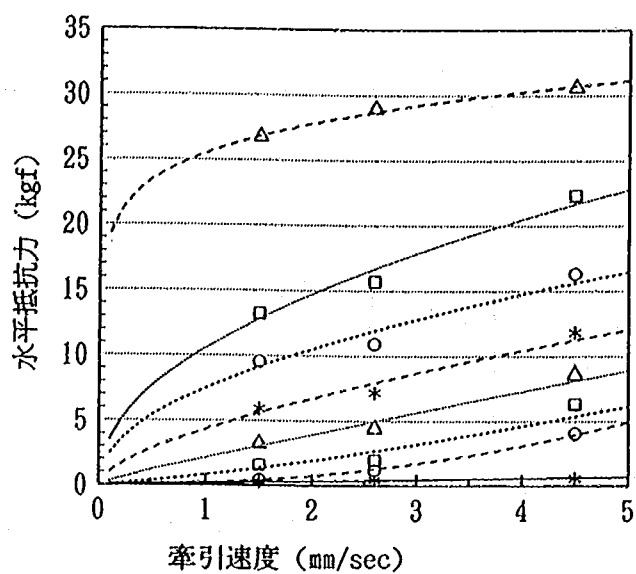


(e) ケース 1-05 (1本5列)

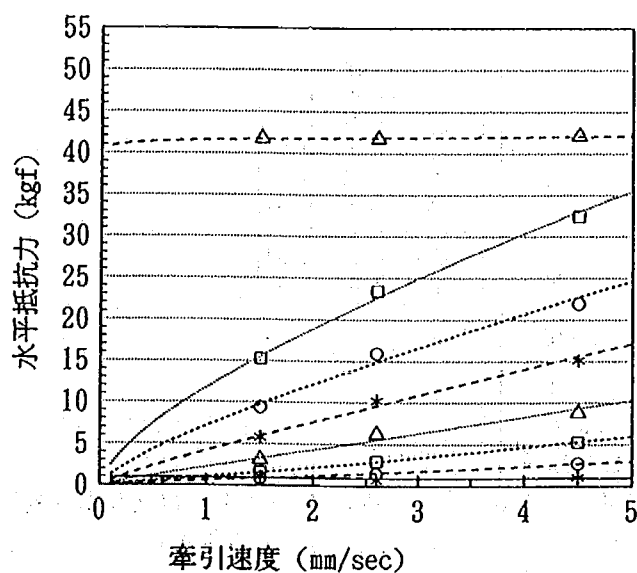


(f) ケース 1-06 (5本1列)

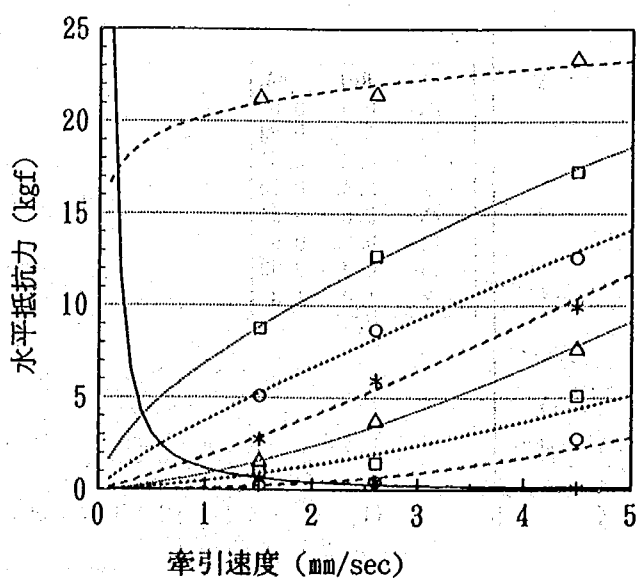
付図-3.1 (2) ケース 1-04~ケース 1-06



(g) ケース 1-07 (3 本 3 列)

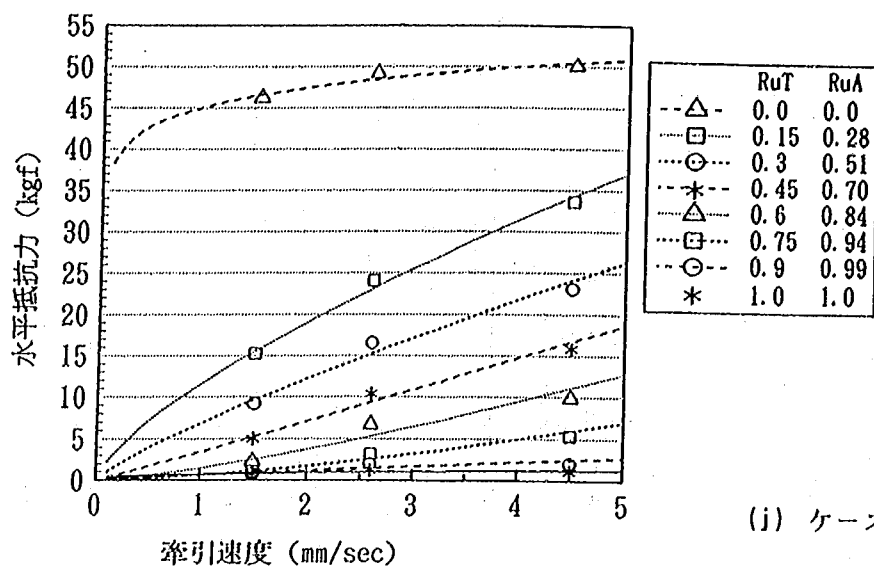


(h) ケース 1-08 (2 本 5 列)

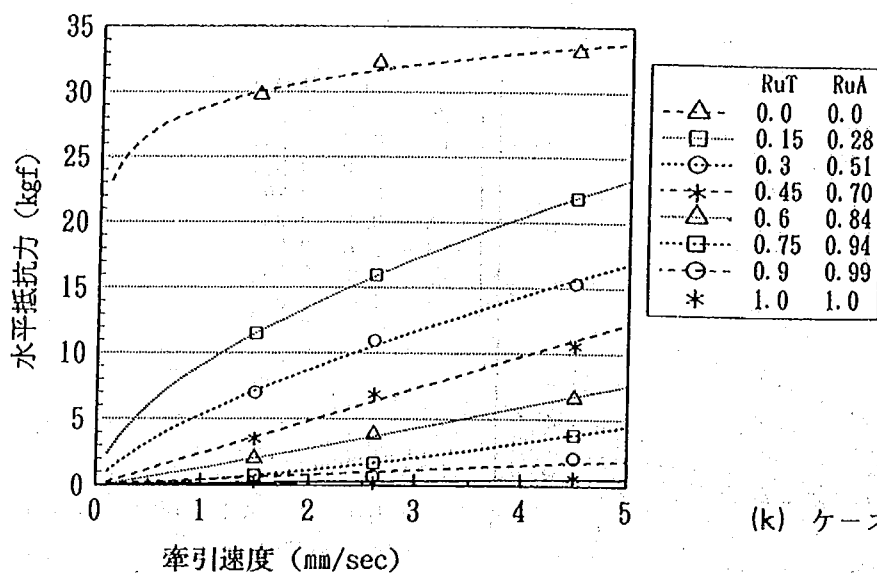


(i) ケース 1-09 (5 本 2 列)

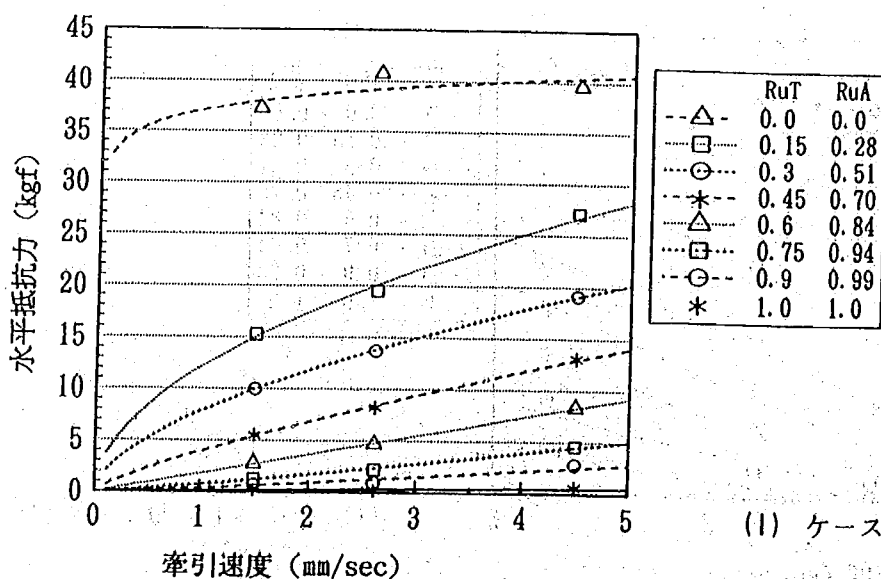
付図- 3.1 (3) ケース 1-07 ~ ケース 1-09



(j) ケース 1-10 (3本5列)

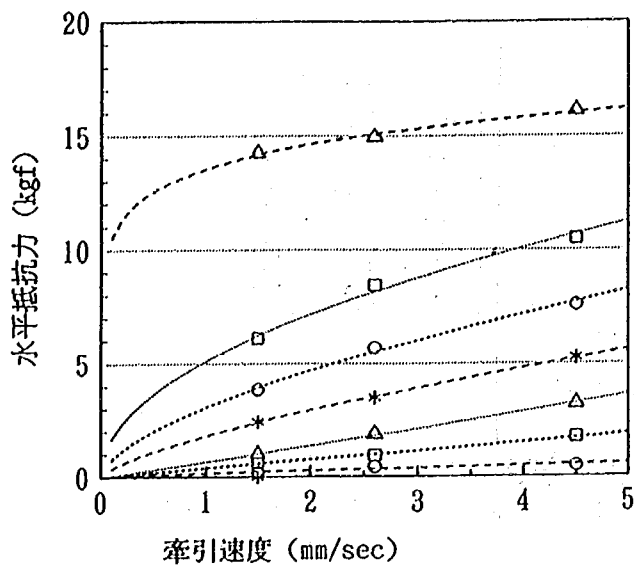


(k) ケース 1-11 (5本3列)

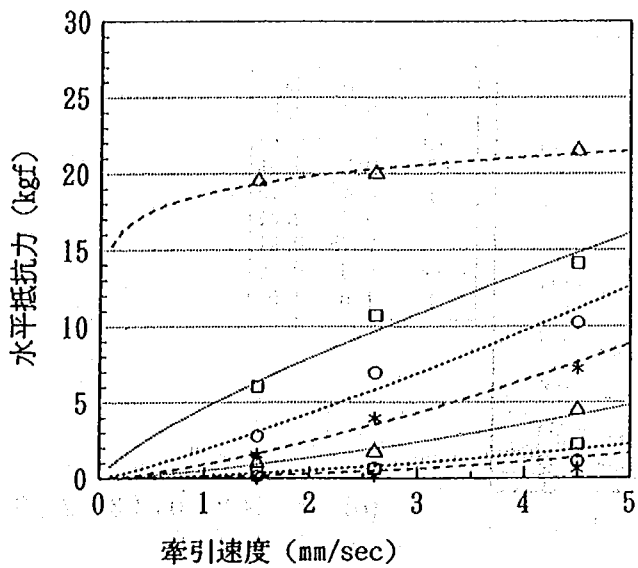


(l) ケース 1-12 (4本4列)

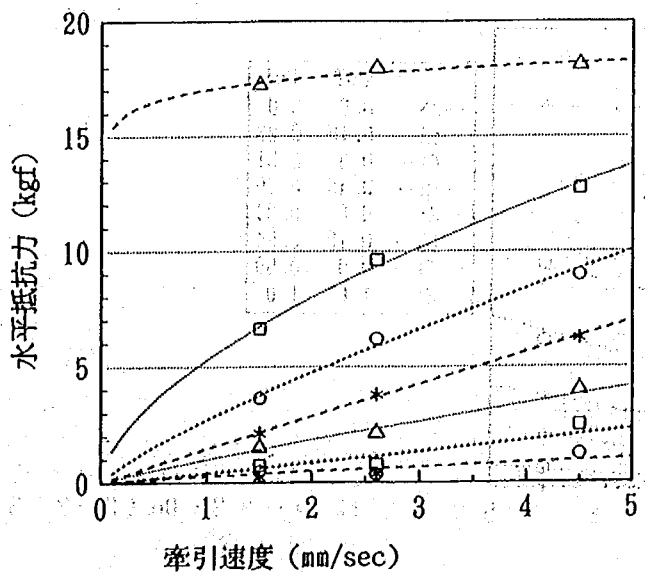
付図- 3.1 (4) ケース 1-10 ~ ケース 1-12



(a) ケース 2-01 (1-2-1 (→))

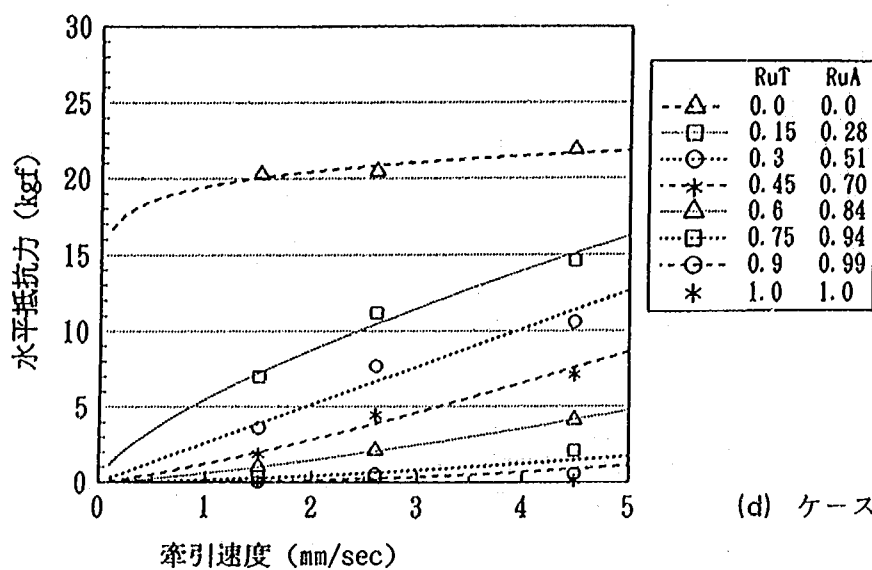


(b) ケース 2-02 (1-2-1 (↓))

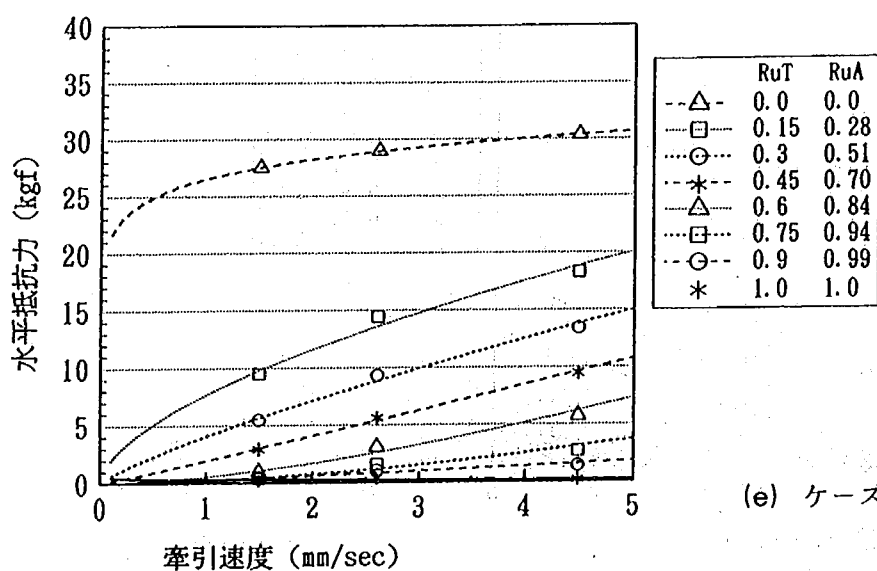


(c) ケース 2-03 (2-1-2 (→))

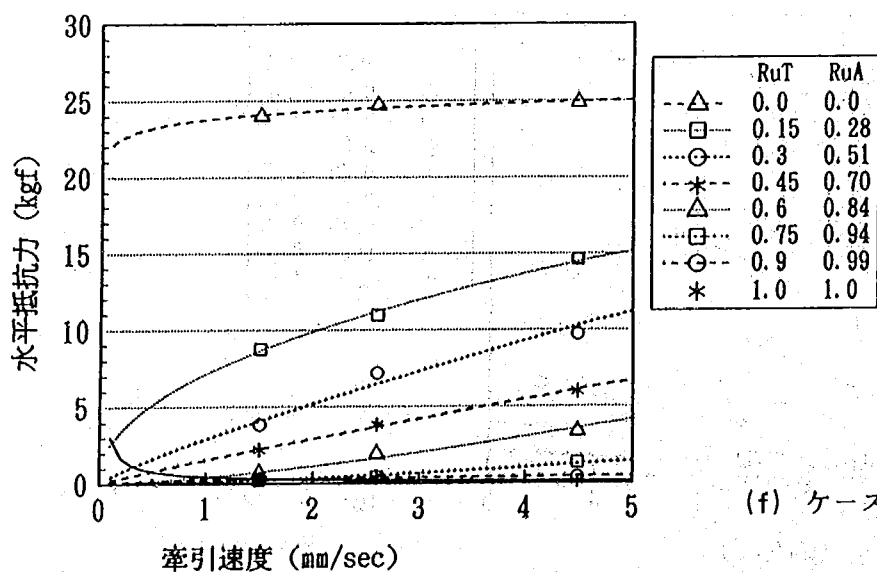
付図-3.2 (1) ケース2-01～ケース2-03



(d) ケース 2-04 (2-1-2(↓))

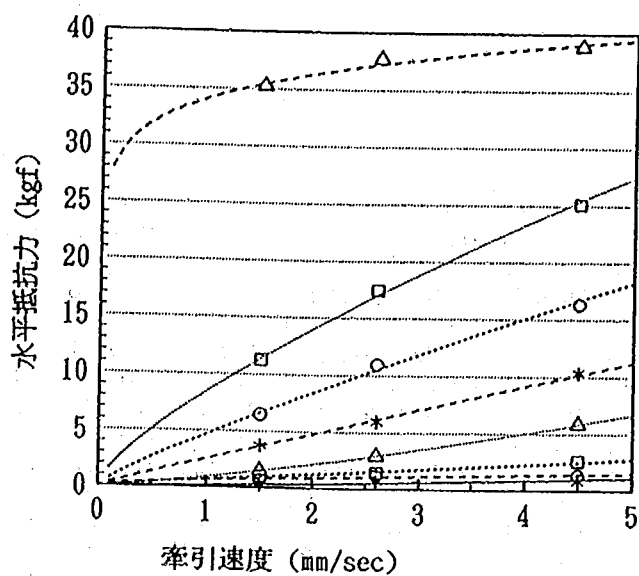


(e) ケース 2-05 (3-2-3(→))



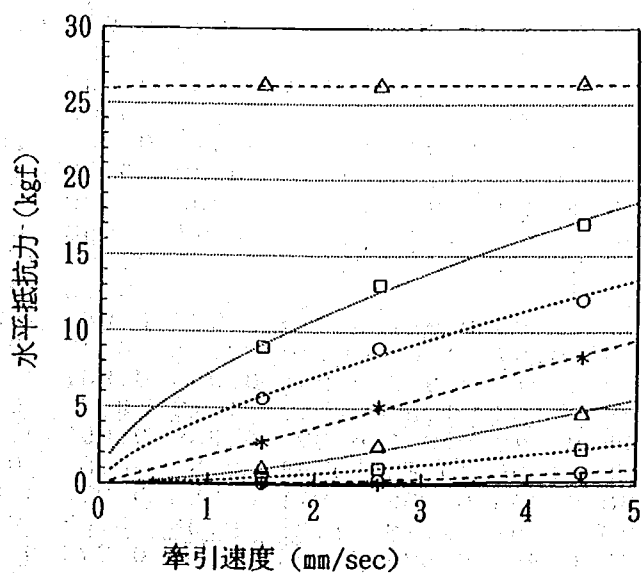
(f) ケース 2-06 (3-2-3(↓))

付図-3.2 (2) ケース 2-04~ケース 2-06



	RuT	RuA
--△--	0.0	0.0
---□---	0.15	0.28
---○---	0.3	0.51
---*---	0.45	0.70
---△---	0.6	0.84
---□---	0.75	0.94
---○---	0.9	0.99
*	1.0	1.0

(g) ケース 2-07 (4-3-4 (→))



	RuT	RuA
--△--	0.0	0.0
---□---	0.15	0.28
---○---	0.3	0.51
---*---	0.45	0.70
---△---	0.6	0.84
---□---	0.75	0.94
---○---	0.9	0.99
*	1.0	1.0

(h) ケース 2-08 (4-3-4 (↓))

付図-3.2 (3) ケース 2-07, ケース 2-08

付表-3.1 牽引速度～水平抵抗力の回帰曲線の係数bの値

杭配置		過剰間隙水圧比 R_u/T							
		1.00	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00
1本1列	rの2乗	0.980	0.469	0.497	0.455	0.595	0.715	0.686	0.983
	bの値	-2.56	0.78	0.56	0.25	0.30	0.15	0.09	-0.13
1本3列	rの2乗	0.994	0.963	0.979	0.987	0.980	0.987	0.993	0.860
	bの値	0.80	2.36	1.96	1.54	1.30	0.94	0.72	0.06
3本1列	rの2乗	-	0.544	0.362	0.311	0.639	0.867	0.997	0.066
	bの値	-	1.37	0.83	0.48	0.46	0.40	0.32	-0.04
2本2列	rの2乗	-	0.701	0.900	0.960	0.999	0.998	0.999	0.940
	bの値	-	1.50	1.35	1.15	0.94	0.64	0.47	0.11
1本5列	rの2乗	0.798	0.981	0.975	0.999	0.999	0.990	0.974	0.819
	bの値	-1.46	1.41	1.28	1.25	0.96	0.81	0.57	0.23
5本1列	rの2乗	-	0.999	0.996	0.973	0.837	0.787	0.989	0.060
	bの値	-	1.24	0.92	0.69	0.34	0.15	0.13	-0.01
3本3列	rの2乗	0.962	0.998	0.859	0.959	0.940	0.922	0.960	0.989
	bの値	0.80	2.08	1.26	0.89	0.63	0.49	0.48	0.12
2本5列	rの2乗	0.000	0.990	0.999	0.963	0.988	0.980	0.993	0.643
	bの値	0.01	1.01	1.09	0.95	0.88	0.77	0.69	0.01
5本2列	rの2乗	0.798	0.919	0.909	0.995	0.986	0.989	0.997	0.823
	bの値	-1.46	2.19	1.48	1.48	1.17	0.82	0.62	0.09
3本5列	rの2乗	0.587	0.774	0.952	0.929	0.977	0.976	0.992	0.909
	bの値	0.35	0.94	1.53	1.34	1.05	0.83	0.72	0.07
5本3列	rの2乗	0.567	0.699	0.999	0.996	0.985	0.993	0.999	0.928
	bの値	0.80	0.94	1.49	1.09	1.01	0.71	0.58	0.10
4本4列	rの2乗	0.567	0.877	0.994	0.999	0.997	0.999	0.992	0.455
	bの値	0.80	1.21	1.19	1.01	0.79	0.59	0.52	0.06
1-2-1(→)	rの2乗	-	0.797	0.993	0.997	0.999	0.993	0.987	0.984
	bの値	-	0.79	0.97	1.06	0.70	0.61	0.49	0.11
1-2-1(↓)	rの2乗	-	0.919	0.914	0.972	0.984	0.948	0.961	0.914
	bの値	-	1.85	1.56	1.36	1.40	1.18	0.77	0.09
2-1-2(→)	rの2乗	-	0.511	0.776	0.971	0.998	0.989	0.993	0.875
	bの値	-	0.82	1.09	0.89	0.98	0.82	0.59	0.04
2-1-2(↓)	rの2乗	-	0.763	0.656	0.999	0.971	0.948	0.975	0.844
	bの値	-	2.26	1.51	1.28	1.21	0.98	0.67	0.07
3-2-3(→)	rの2乗	0.156	0.909	0.940	0.972	0.996	0.989	0.974	0.999
	bの値	-0.20	1.16	1.74	1.58	1.06	0.81	0.60	0.09
3-2-3(↓)	rの2乗	0.547	0.571	0.970	0.975	0.996	0.961	0.994	0.876
	bの値	-0.83	0.43	1.53	1.43	0.91	0.84	0.47	0.03
4-3-4(→)	rの2乗	0.866	0.893	0.983	0.999	0.997	0.994	0.997	0.953
	bの値	1.11	0.54	0.87	1.24	0.92	0.84	0.73	0.09
4-3-4(↓)	rの2乗	0.429	0.999	0.999	0.990	0.996	0.985	0.991	0.427
	bの値	0.94	1.74	1.41	1.39	1.01	0.70	0.58	0.00

例 r: 相関係数

液状化による流動地盤中の杭基礎に作用する流動力特性に関する模型実験

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3129号
平成4年7月(1992)

常田賢一, 松本秀應
岩崎秀明, 東拓生

要旨

本研究は、液状化地盤内で杭模型を水平に索引することにより、流動地盤中の杭基礎を模擬し、計測された牽引力を杭の受ける水平抵抗力として、杭の牽引速度、地盤の液状化の程度、杭の配置との関係を検討したものである。

キーワード: 液状化, 地盤流動, 杭, 流動力, 模型実験



郵便はがき

305-□□

41円切手
をはいて
下さい

建設省土木研究所

振動研究室
行

茨城県つくば市旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 3129 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

土木研究所資料第 3129 号

液状化による流動地盤中の杭基礎に作用する
流動力特性に関する模型実験