92
ＩＳＳＮ　0386－5875
土木研究所資料第2768号

土木研究所資料

液状化にともなう地盤流動に関する振動台実験

平成元年２月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

Copyright © (1989) 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，複写は，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。

土木研究所資料
第2768号　1989年2月

液状化にともなう地盤流動に関する振動台実験

地震防災部　振動研究室　室　長　佐々木　　康
〃　　研究員　松　本　秀　應
〃　　佐　谷　祥　一

要　旨

地震による地盤の液状化は、様々な構造物に被害をもたらす。特に最近では、液状化に伴って地盤が、水平方向に流動するという現象のあることが指摘されている。この地盤の流動は、橋台や橋脚の安定性を大きく損ない、また地中に埋設された管路に過度の変位をもたらしその機能を損なわせることがある。

この地盤流動と言った現象は、経験的知識として認識され始めてはいるが、その発生機構は十分に解明されておらず、地盤流動の予測や、その対策についての技術は未だ確立されていない。

そこで、液状化に伴う地盤流動の機構の解明を目的として振動台実験を実施した。その結果から、地表面の水平変位は液状化層の厚さ、地盤の応答加速度の大きさ、加振時間との相関が高いことが明かとなり、これらの要因から地表面の流動量を予測する方法について検討した。

キーワード：液状化、地盤流動、永久変形、模型実験

目　次

1．　まえがき …… 1

2．　研究の目的 …… 2

3．　既往の研究 …… 4

4．　実験模型、材料特性、計測器等の配置ならびに加振条件 …… 24
4．1　実験の概要 …… 24
4．2　模型地盤と加振条件 …… 24
4．3　模型の物性 …… 28
4．4　計測器とその配置 …… 28

5．　模型－1の挙動 …… 37
5．1　概要 …… 37
5．2　実験番号1－1 …… 37
5．3　実験番号1－2 …… 38
5．4　実験番号1－3 …… 41
5．5　実験番号1－4 …… 43
5．6　模型－1の挙動のまとめ …… 44

6．　模型－2の挙動 …… 76
6．1　概要 …… 76
6．2　実験番号2－1 …… 76
6．3　実験番号2－2 …… 77
6．4　実験番号2－3 …… 81
6．5　実験番号2－4 …… 82
6．6　模型－2の挙動のまとめ …… 84

7．　模型－3の挙動 …… 116
7．1　概要 …… 116
7．2　実験番号3－1 …… 116
7．3　実験番号3－2 …… 117
7．4　実験番号3－3 …… 120
7．5　実験番号3－4 …… 122

7．6　模型－3の挙動のまとめ ……123

8．模型－4の挙動 ……152
8．1　概要 ……152
8．2　実験番号4－1 ……152
8．3　実験番号4－2 ……153
8．4　実験番号4－3 ……160
8．5　実験番号4－4 ……162
8．6　模型－4の挙動のまとめ ……163

9．液状化にともなう地盤流動の要因の考察 ……196

10．あとがき ……201

参考文献 ……202

巻末資料 ……205

1．加速度鉛直分布 ……207
2．加速度倍率鉛直分布 ……223
3．間隙水圧鉛直分布 ……239
4．間隙水圧鉛直分布（消散過程） ……255
5．間隙水圧比鉛直分布（加振過程） ……270
6．地中，水平変位鉛直分布 ……286
7．地表面変位鋲による地表面傾斜図 ……302
8．地表面変位測定結果図（鉛直移動） ……314
9．地表面変位測定結果図（水平移動） ……316
10．地表面変位測定結果図（水平移動平面図） ……318
11．地表面測量鋲測定結果 ……326

1. まえがき

地震による地盤の液状化は様々な構造物被害をもたらす。被害の形態を土質工学的な機構の面から分類すると、支持力の減少、土圧の増大、浮力の作用などによってもたらされる被害である。さらに最近では、液状化にともなって地盤が水平方向に流動するという現象のあることが指摘されている。地盤の流動は、橋台や橋脚の安定性を損ない、また地中に埋設された管路に過度の変形をもたらしその機能を損なう。

液状化にともなう地盤の流動に近い現象としては、盛土などの斜面崩壊がある。盛土の下の地盤が液状化すると盛土法面の崩壊だけでなく、法尻からかなり遠い地盤まで亀裂を生じたり水平方向の永久変位をもたらすことがある。

また、地盤液状化によって前面にせり出した岸壁や護岸の近傍のみならず背後の埋め立て地盤のかなりの距離の範囲まで変状をもたらすこともある。

このような現象は現在、経験的知識として認識されはじめてはいるが、その発生機構は十分解明されていない。このため、地盤流動の予測や、その対策についての技術は確立されていない。

振動研究室では、液状化にともなう地盤流動による被害を軽減する方策を探る第一歩として、地盤流動の機構解明のための振動台実験を実施した。　この実験は、液状化による道路構造物の被害軽減と、地中に埋設された構造物の被害軽減や被害発生の予測に役立てようとするものである。

この報告書では、4種の模型実験の振動台実験において観察した液状化にともなう地盤流動の挙動について記述し、地盤流動の機構を説明できる力学モデルを検討する。

平成元年2月

建設省 土木研究所 地震防災部 振動研究室
室　長　佐々木　　康
研究員　松　本　秀　應
　　佐　谷　祥　一

2．研究の目的

この研究のねらいは、

A．地盤流動の機構の解明

B．地盤流動を支配する因子の抽出

C．地表に生じた変状から地中構造物の被害の有無を推定する方法の開発

である。

上記のねらいを達成するためには既往の震害事例の分析や、解析的手法などのアプローチも存在し得るが、現実には流動機構を解明するに足る十分な定量的データが蓄積されておらず、また機構が不分明なために解析的なアプローチもまた実施し難い。

このため、振動台を用いた実験的手法によりこのねらいの達成を試みる。

実験計画の策定に際して念頭においた作業仮説としての地盤流動の機構を概念的に記述すると次のとうりである。

①常時せん断応力が作用している地盤、またはその直下の地盤の液状化

②間隙水圧の発生、または、液状化した下位の層から伝播した圧力による間隙水圧上昇

③地盤強度の低下、または剛性の低下

④常時のせん断応力（初期せん断応力）、または、これと地震動によるせん断応力の合作用によるすべりまたは変形の進行。

このプロセスを模型式的に図2.1に示す。

液状化にともなう地盤流動は、図2.1に示した形のみならず、初期に（地震前に）水平な地表面を有する地盤でも生じ得ると考えられる。このような場合の流動の過程を模式的に図2.2に示す。

液状化層厚が厚い所では、表層付近の間隙水圧が上昇している継続時間が長く、またその大きさも大きい。このため、液状化層が薄くて、相対的に間隙水圧の大きくない所との側方土圧σ_h'の差が生じ地盤流動が生じたり、また両者の間隙水圧の消散にともなう沈下量に差があるため地盤流動が生じる場合もあると考えられる。

しかし、ここでは当面、図2.1に示したような場合だけを取り扱い、

1）液状化層厚の違い

2）地表の傾斜の違い

3）液状化層下面が水平でないこと

などが地盤流動に与える影響を調べることとする。

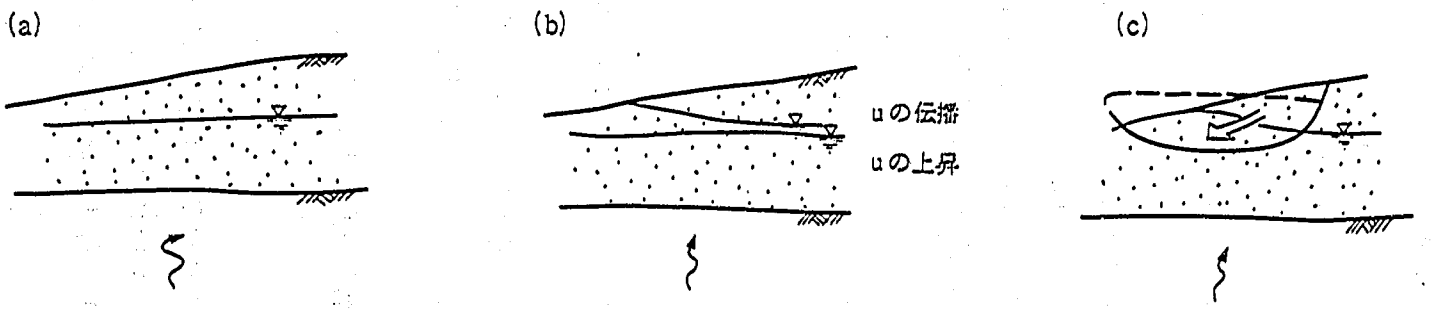


図２－１　地盤流動の機構の模式図

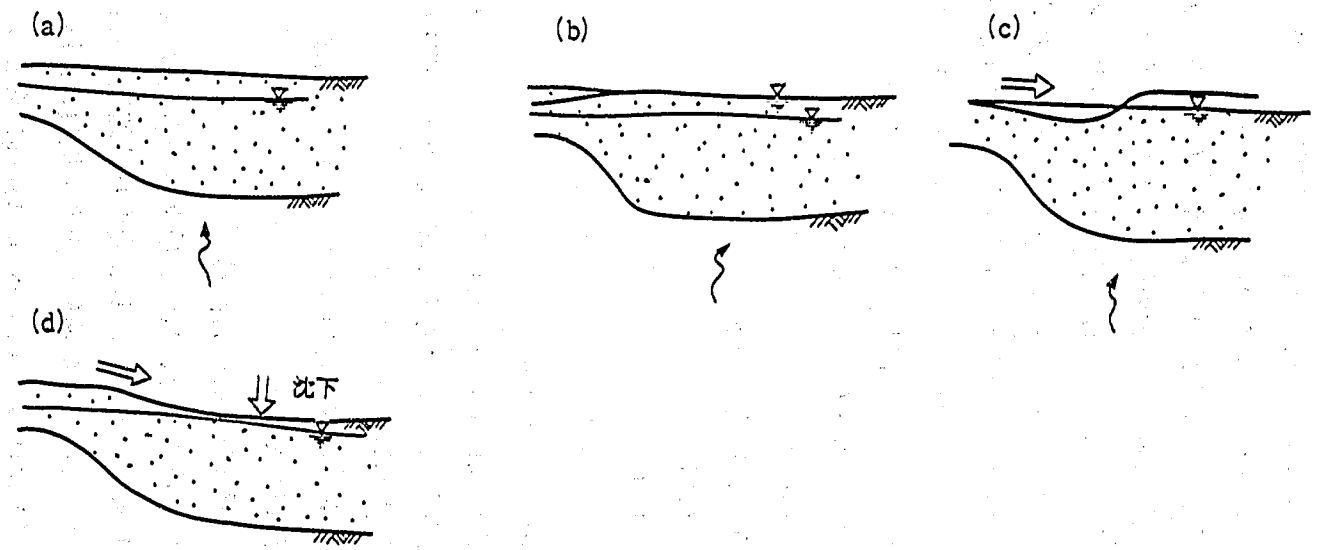


図２－２　液状化層の厚さが異なる水平地盤の流動の模式図

3．既往の研究

土質工学会がまとめた「地盤の液状化[1]」では、実際の液状化の例を構造物別に紹介し次のように述べている。

…… 液状化が生じたと判定される明白な根拠は、主に地表への噴砂や噴水現象であり、まれにはヴァンノーマンダムの事例のように上向き浸透流に運ばれた液状化した砂の痕跡などである。

液状化による構造物の被害は、地盤が液状化したことによるものと、土構造物などのように盛土本体の液状化によるものに大別できる。

地盤の液状化は支持力の低下や横方向地盤反力の低下をもたらし、鉄筋コンクリート建築物の沈下や傾斜ならびに橋脚の倒壊などをもたらすことを紹介した。

また液状化した地盤は、見かけ上大きな比重を有する液体のような性状を示すため、地中の管路や構造物を浮き上がらせたり、土圧の増大による加付加の被害をもたらす。

ダムや盛土などのような土構造物の本体が液状化したり、自然斜面を有する地盤で液状化が発生すると、安定性を失って崩壊や地すべりを生じるが、崩壊した土砂は通常の斜面崩壊に比べてはるかに遠くまで運ばれることも液状化の特徴である。……

すなわち、地盤が液状化した結果を構造物を造る立場から分類し、

支持力の低下

横方向地盤反力の低下

浮力の作用

土圧の増大

などの現象が生じると述べ、さらに〝崩壊や地すべり〟という表現を用いて地盤が流動する現象を生じることを指摘している。

米国の国立研究協議会が主催したワークショップ報告[2]では、液状化に関する研究の動向を網らし、ある程度解明されたと考えられる事項、未解決の事項などを、現象、その解釈、予測法ならびに対策などの観点からまとめている。

この報告でも、液状化という現象を、地盤や構造物に生じた震害事例報告を引用しながら第2章で次のように記述している。

…… 破壊形態（Failure Types）

間隙水圧の上昇、噴砂、種々の型の変形（deformation）などを含む多くの現象が液状化に関連して生じる。しかし、変形は建造物に被害をもたらすほど大きい時にのみ工学的な重要性を持つ。このような地盤の変形を地盤の破壊（ground failure）と呼ぶ。地盤の破壊は幾つかの型または形態（forms or types）をとって現出する。

と述べ、次のような地盤の破壊形態を列挙している。

…… 1）噴砂（sand boils）

2）フロー（flow failures）

数10mに及ぶ大きい土塊がときには時速数10kmの速さで何kmも下流方向に流れ出す形の

地盤破壊で3度程度以上の勾配を持つ地盤での液状化が原因となっている。サンフェルナンド地震のときのローワーサンフェルナンドダムの上流法面の崩壊がこの型の例として顕著であり、鉱さいダムの崩壊、海底地盤で生じる崩壊もこの型に分類できる。（図3.1）

3）ラテラルスプレッド（lateral spread）

下層の液状化によって生じる地表部の土塊が側方に押し広げられるように移動する形態である。この型の破壊は主要動の継続時間中の慣性力の作用によって生じ、主要動の終了とともに移動は止まる。0.3～3度程度の非常に勾配のゆるい地盤で生じ、移動方向は勾配の下方や、河岸などの自由端のある側に向い、移動量はときには数10mに達することもあるが普通は数mのオーダーである。

事例としてアラスカ地震のときに250橋以上の橋梁が平坦な両岸部が河岸にせり出したことにより両側から突き上げられて被災した事例が挙げられる。

図3.2にこの型の破壊の模式図を示す。

4）地盤揺動（ground oscillation）

非常にゆるい斜面で液状化したとき、前二者のように一方向に流れ出さないで地表部のブロックが前後に揺動する形態の破壊で、亀裂、噴砂、沈下をともなうことが多い。（図3.3）

地盤が海面がうねるように波うつ現象として観察される。

この型の地盤破壊は構造物や、地中管路などに大きな損傷をもたらす。

5）支持力低下（loss of bearing capacity ）

6）浮上がり（buoyant rise of buried structures）

7）沈下（ground settlement）

8）擁壁の倒壊（failure of retaining walls）

岸壁などの崩壊はこの型の破壊である。……

さらにこの書の第3章では、上記の液状化による破壊のうち地盤の破壊を水平地盤と、傾斜地盤または盛土などの基礎地盤とを区別して記述している。

ここに、水平地盤とは常時地盤内に初期せん断応力が作用していない地盤を意味し、後者は初期せん断応力の作用している地盤を指す。

第3章では上記の2）、3）の型の破壊を取り上げているがここではラテラルスプレッドの語の替わりに〝変形破壊（deformation failure）〟という語を用いている。

また、土の応力ひずみ関係により、地盤を構成する土の状態をType-Ⅰ、Type-Ⅱに分け、排水条件と組み合わせて破壊のメカニズムの分類を試みている。Type-Ⅰの状態とはゆるい状態であり、定常状態（steady state）より小さい相対密度の状態で、このときの応力ひずみ関係は図3.4に示すように最大せん断応力に達した後さらにせん断すると強度が残留強度（または定常状態強度）まで低下するような土である。

Type-Ⅱの状態とは密な土で、せん断にともなって強度が低下するような特性を有しない土である。

表3.1 に破壊のメカニズムの分類を示す。

メカニズムＡとは、図3.5に示すように最大せん断強度より小さい応力が繰返し作用することによ

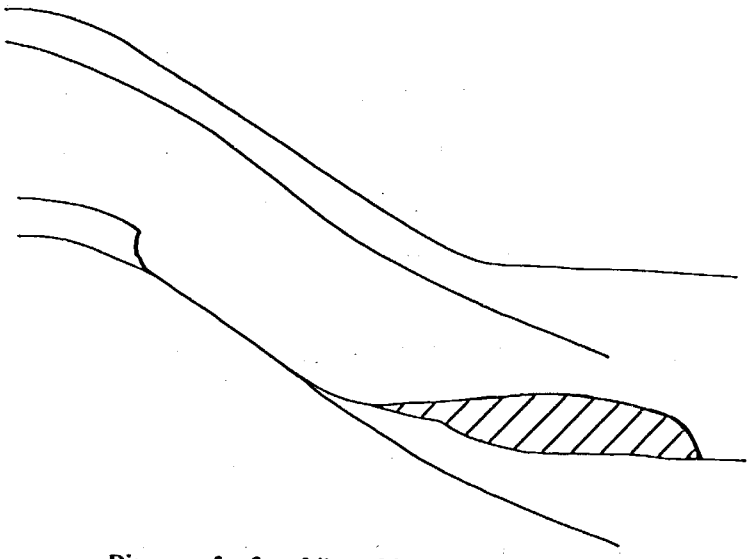


Diagram of a flow failure. Liquefaction develops beneath the ground surface, causing the soil to lose strength and flow down the steep slope. On land the liquefied soil and blocks of intact soil riding on the flow commonly come to rest as a mass when the flow reaches the bottom of the steep slope. Beneath water some flows have traveled many kilometers down long gentle slopes. Source: Youd (1984b).

図３－１　フロー破壊[2)]

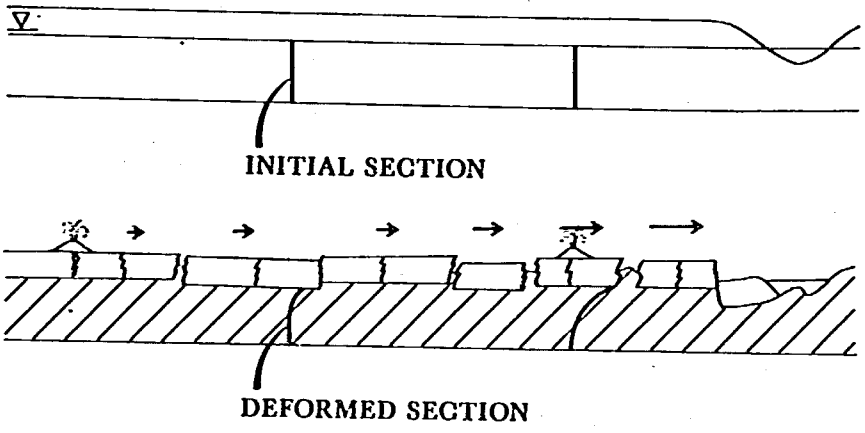
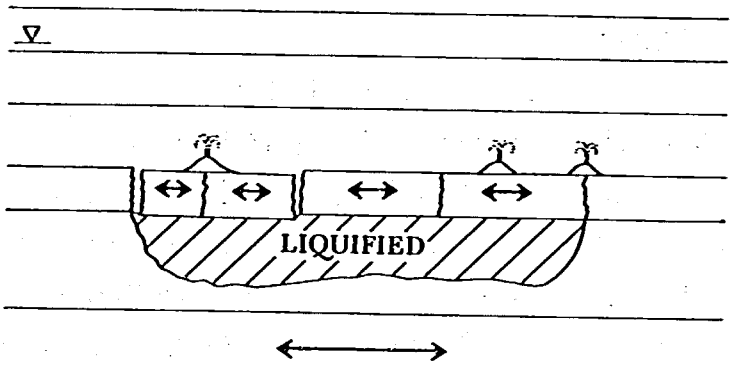


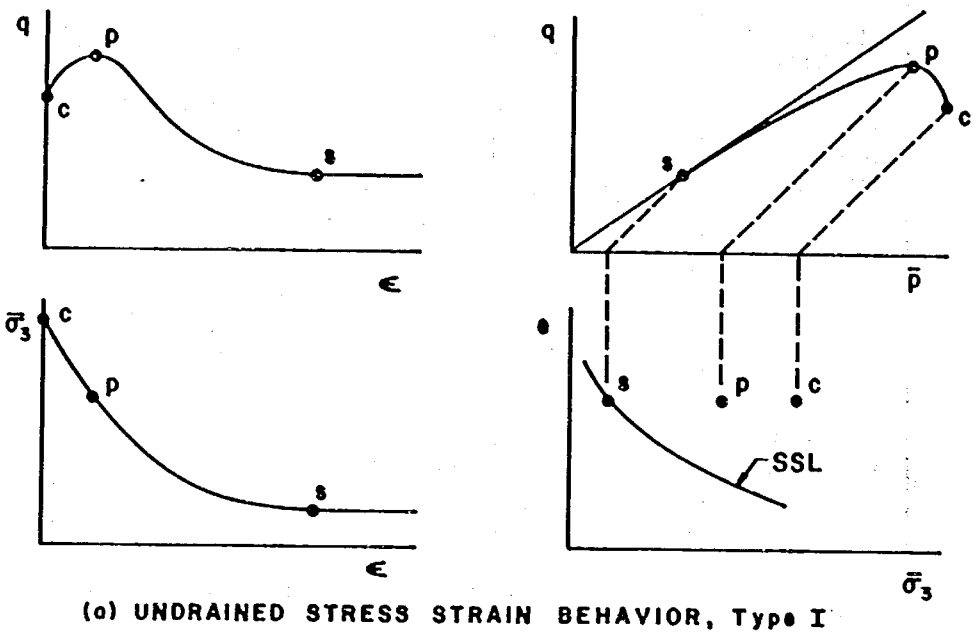
Diagram of lateral spread before and after failure. Liquefaction occurs in the cross-hatched zone. The surface layer moves laterally down the mild slope, breaking up into blocks bounded by fissures. The blocks also may tilt and settle differentially with respect to one another. Source: Youd (1984b).

図３－２　ラテラルスプレード[2)]

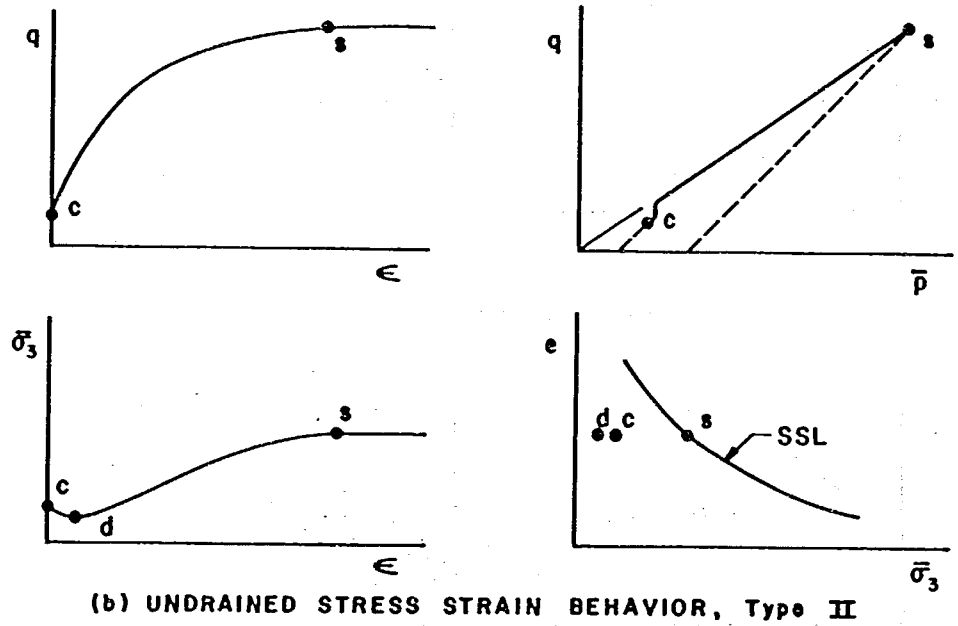


The mechanism of ground oscillation. Liquefaction occurs in the cross-hatched zone, decoupling the surface layer from the underlying firm ground. The decoupled layer vibrates in a different mode than the underlying and surrounding firm ground, causing fissures to form and impacts to occur between oscillating blocks and adjacent firm ground. Traveling ground waves and opening and closing fissures are commonly seen during ground oscillation. Source: Youd (1984b).

図３－３　地盤振動[2)]



(a) UNDRAINED STRESS STRAIN BEHAVIOR, Type I



(b) UNDRAINED STRESS STRAIN BEHAVIOR, Type II

Legend: SSL = Steady State Line, s = steady state, c = consolidation state, p = peak strength.

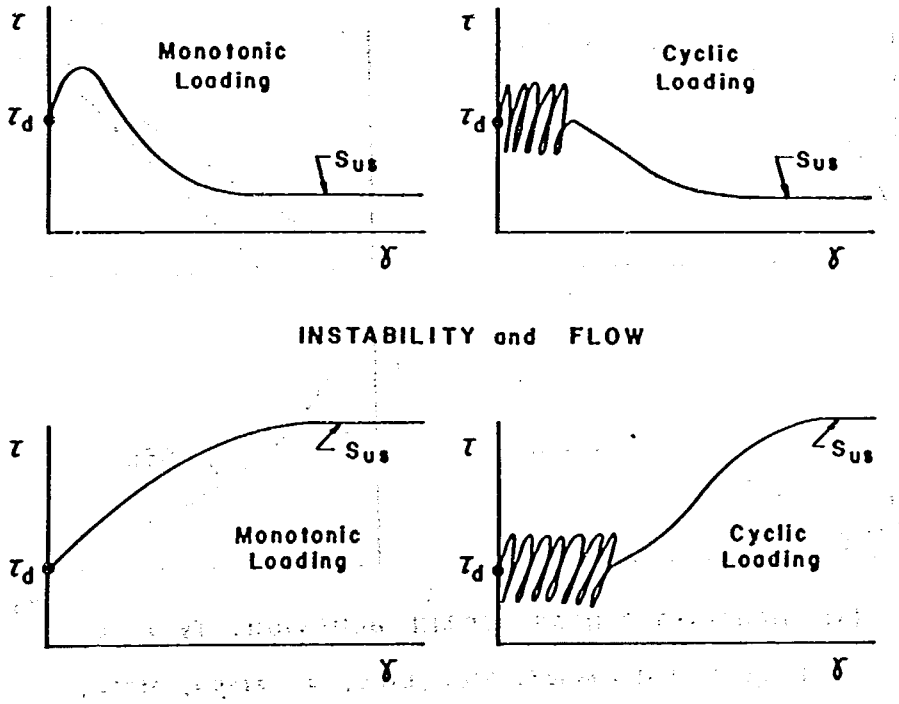
Comparison of two basic types of stress-strain behavior found in soils under undrained monotonic shear: (a) stress-strain behavior type I; (b) stress-strain behavior type II. Source: Adapted from Poulos (1971), Castro (1975), and Castro et al. (1982).

図3－4　Type－IとType－IIの土の応力ひずみ関係[2)]

表３－１　破壊のメカニズムの分類

DRAINAGE CONDITIONS	STRESS-STRAIN BEHAVIOR		
	TYPE I	TYPE II	
	FLOW		DEFORMATION
UNDRAINED LOCALLY	MECHANISM A	NOT POSSIBLE	EXCESSIVE DEFORMATION BUT NOT INSTABILITY
UNDRAINED GLOBALLY		MECHANISM B	
DIFFUSION OF PORE PRESSURE		MECHANISM C	

Classification scheme for various mechanisms of failure. Source: Modified from Whitman (1985).



Unstable and stable behavior under static and cyclic loading. Source: Castro (1976).

図３－５　Type－ＩとType－Ⅱの土の応力ひずみ関係[2)]

って定常状態に達し、地震動による慣性力の作用がなくてもフロー破壊に到るメカニズムである。Type-Ⅱの土では生じない。

この現象は非排水状態で生じる。

メカニズムBとは、図3.6に示すように、土層全体は非排水状態であっても、振動中または振動終了時に土層内で土粒子の局所的な移動が生じ、液状化した土層の最上部に極めて間隙の大きい、まれには水だけから成るような層が形成されることによるメカニズムである。Type-Ⅱの土でもこの層ではほとんどせん断強度が期待できないのでフロー破壊を生じる。

メカニズムCとは、図3.7に示すように土層や盛土中のある限定された部分が液状化したとき、この部分の間隙水圧の消散にともない非液状化層に浸透したり、亀裂を生じ、非液状化層も結果的に亀裂のため強度を失うことになるのでフロー破壊に到るメカニズムである。

さらにこの書の第4章では、液状化の判定や間隙水圧の予測手法とともに地盤の流動量や変形量を算定する幾つかの考え方や方法を紹介している。

その記述にそって、地盤流動量の算定法に関する既往の研究を概観してみよう。

液状化にともなう（地盤の）破壊は、過大な変位の結果であり、地震による地盤災害と同様に海洋のオフショア構造物の波による破壊にも例をみることができる。

しかし、地盤流動の予測はまだまだ初期の段階（early years）にあると述べている。

永久変形（Permanent Deformation）の予測法を、すべり土塊の運動から求める方法（sliding Block Anulysis）、弾性論的考え方を用いた近似解法、非線形動的解析による方法などに分けて紹介し、最初にNewmarkの方法[3]を紹介している。

図3.8、3.9にNewmarkの考え方に沿った永久変形量の算定方法を紹介し[4]、この考え方に沿ったMakdisi、Seedの計算結果を紹介している[5]。

Newmarkの原論文は、ダムの地震時安定性を論じたものであるが、その中で、ダムの破壊形態にもふれ、図3.10に示すような2つの形態の破壊があると述べ、同図（a）に示すような単一のすべり面が明らかに存在する場合の変形量を追跡することが可能であるとしてその考え方を示している。

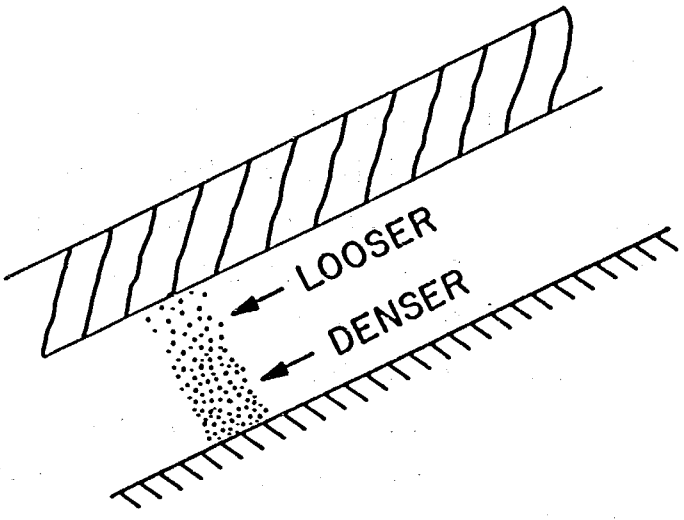
すべり面の明らかに現れる型の破壊の例としては図3-11に示すような3つの形態の他、複合すべり面に沿う土壊の移動があり、いずれも図3.8,3.9に示したように、ある限界の加速度を超える入射外力により生じる運動を想定し、その変位量を積分して地震動の継続時間中の総移動量（変位量）を算定しようとする考え方である。

図3.11（C）のような破壊は堤体基部の地盤が液状化などによって強度を失った場合に生じる。このような場合の限界震度は次式で与えられる。

$$N = \frac{S_q}{P'} \quad (1 - r_u) \quad \cdots \quad (1)$$

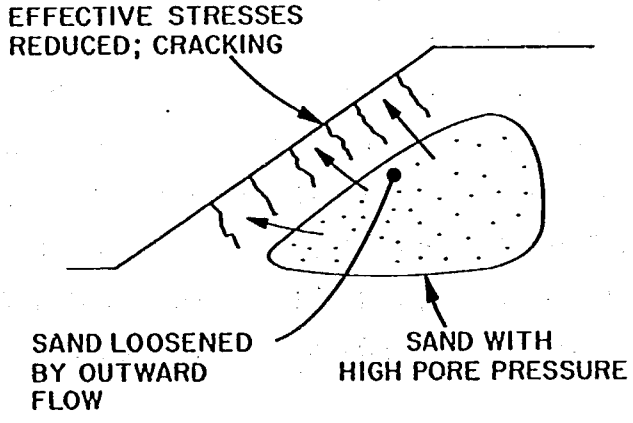
ここにS_q：地盤のせん断強度，P'：地盤の有効上載圧，r_u：地盤内の間隙水圧比である。

さて、文献2）の記述にもどって、この書の第4章ではNewmark流の考え方の他に弾性論的な考え



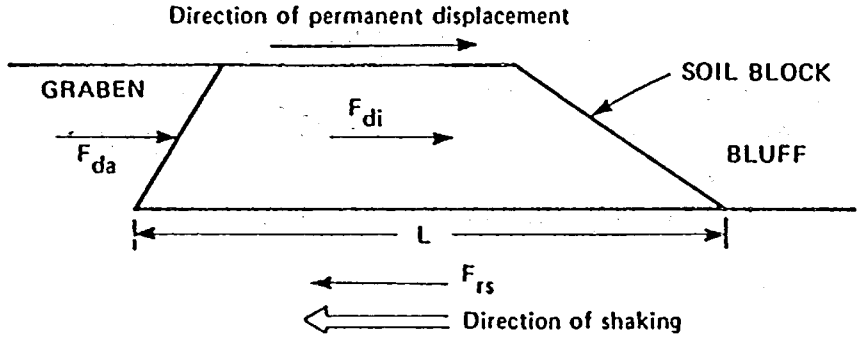
Example of a potential situation for mechanism B failure arising from the rearrangement of the soil into looser and denser zones. Local volume change occurs, but the sand as a whole remains at a constant volume and is "globally" undrained.

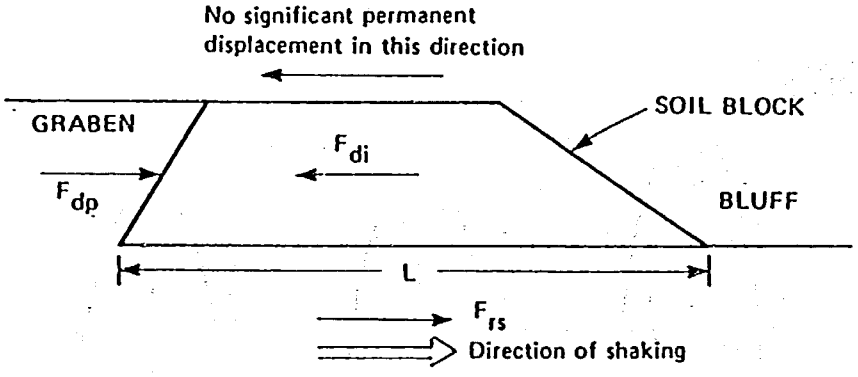
図３－６　土槽内の土粒子の局所的な移動[2)]



Examples of a potential situation for mechanism C failure resulting from spreading of pore pressure and global volume changes.

図３－７　局所的な液状化の影響[2)]





F_{da} = Driving force due to active soil pressure

F_{di} = Driving force due to earthquake inertia

F_{rs} = Resisting force due to soil shear strength

F_{dp} = Resisting force due to passive soil pressure

$$F_{di} = K_{max} W$$

where K_{max} = maximum seismic coefficient

W = weight of soil block

$$F_{rs} = S_u L$$

where S_u = average undrained shear strength of soil

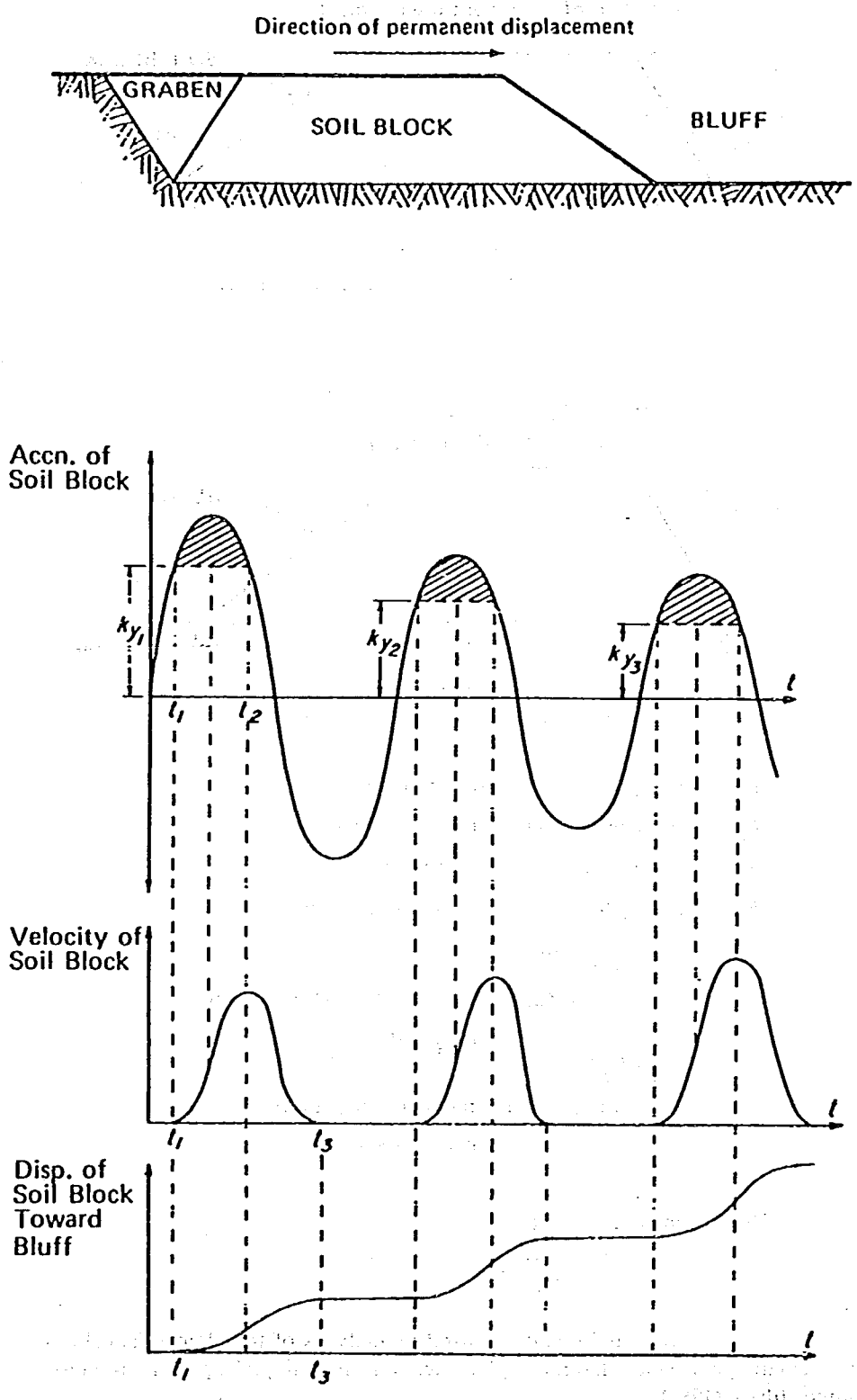
L = length of soil block

Yield Seismic Coefficient

$$K_y = \frac{F_{rs} - F_{da}}{W}$$

Forces and equations used in analyses of translatory landslides for calculating permanent lateral displacements from earthquake ground motions. Source: Idriss (1985).

図３－８　永久変形の計算に用いる力[2)]



Schematic illustration for calculating displacement of soil block toward the bluff. Source: Idriss (1985) adapted from Goodman and Seed (1966).

図３－９　永久変形の計算法[2)]

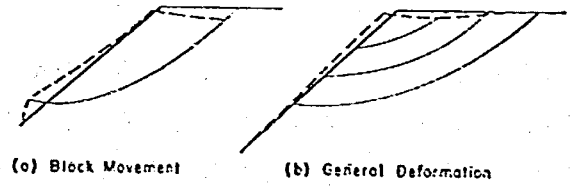
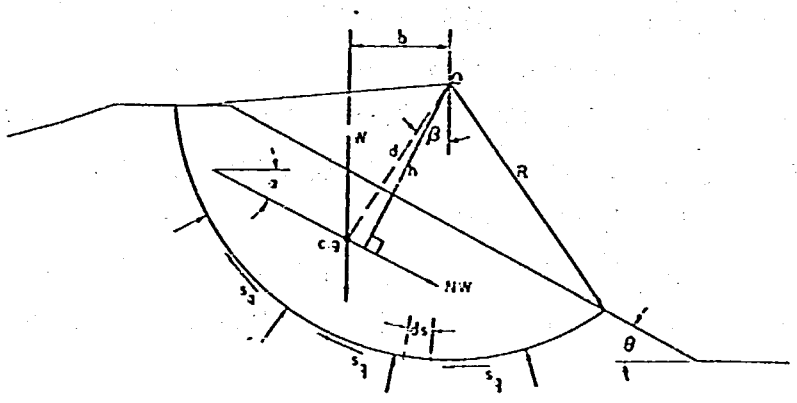
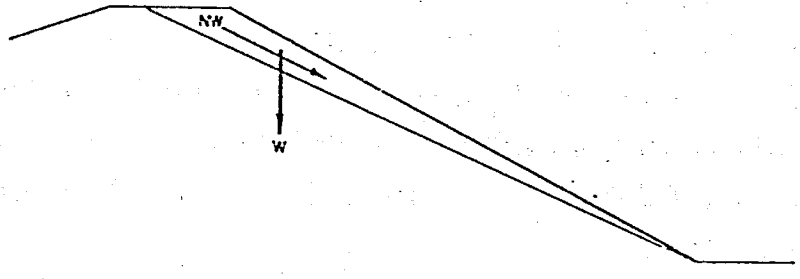


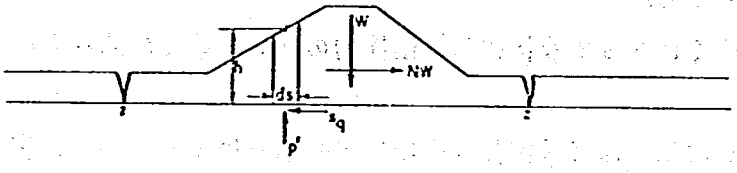
図3－10　ダムの破壊形態[3)]



(a) Circular Sliding Surface



(b) Plane Sliding Surface



(c) Block Sliding

Forces acting on a sliding element

図3－11　すべり土塊に作用する慣性力[3)]

方による変形量の算定法についても言及している。この分類に属する変形量の算定の考え方は、液状化によって軟化する土の剛性変化に基づいて変形量を算定しようとするものでSeedら[6]の考え方が紹介されている。

また最近では、動的応答解析に間隙水圧の発生モデルを組み込み、時々刻々の有効応力変化や剛性変化を取り込んだ有効応力解析が試みられるようになってきている。このような目的のために開発された計算プログラムのうち、あるものは変形量も追跡できるよう試みてはいるが、どのような条件の場合に対しても変形量を計算できるプログラムはまだない。種々の試みがなされているが変形量を算定する実務的に満足すべき方法が確立されるまでには、まだまだ多くの研究開発が必要とされる、とこの書では結んでいる。

地盤液状化にともなう盛土の安定性について論じた最近の報告[7]の中で、Seedは液状化問題には2つの種類のものがあると述べている。

その1は液状化を発生させる応力条件の決定の問題であり、その2は生じ得る滑りや変形で表現した液状化の結果（consequences of liquefaction）の決定の問題である。

経験的に間隙水圧比が60%以下ならばせん断強度は大きく低下せず、また大きな変形も生じないということが判っている。構造物の設計に当たって液状化被害を防止するには間隙水圧が上昇しないよう考える方法と、万一間隙水圧が上昇しても安定であるような設計の考え方があり、間隙水圧が上昇しないようにする考え方をとる場合は第一種の液状化問題に帰着する。第二種の液状化問題を扱うに際しては液状化した土の強度をどのように設定するかが大きな問題で、専門家の間でも考え方に相異がある。

土木の分野とりわけ土質工学の分野では問題解決の方法に異なった手段を用いて同じ結論に到達することがある。しかし方法論の選択は、過去の事例にどれだけ支えられているか、その方法が実際的にどれだけ適用可能であるかを含めて全ての事実の認識に基づく必要がある。

と述べ、過去の震害事例から土の〝残留強度（residual strength）〟とN値の関係をまとめている。その立場は、第二種の液状化問題に必要なデータを実証的に収集しようとしていると理解される。

この論文でSeedはさらに、液状化にともなう変形を予測する問題は、変形の生じ方から2つのカテゴリーに分類できるとしている。

1）振動の継続中に液状化し、液状化した土層、液状化していない土層の複合体に慣性力が作用している場合の変形。

2）振動の終了近くになって液状化し、慣性力のない状態で静的な力の不平衡により生じる変形

そして2）の問題のみが現状では（残留強度を用いて）取り扱えると述べ、変形量を求める手順を次のように提案している。

a．液状化層の残留強度を設定し、これが目一杯発揮されると仮定する。この強度を用いて安定解析を行い、Fsが1.0もしくは1.0以下になれば滑りまたは大変形が生じると判定する。

b．液状化層の変形に対する抵抗を無視する。この状態でFsが1.0より十分大きければ全体系の変形は非液状化部分の土の強度変形関係により規定される。変形量は小さいと判定される。

c．液状化層が変形に対する抵抗を有するとき安定が保たれる結果となったとき、この抵抗に見合う液状化層中のせん断ひずみをconservafivelyに算定する。このひずみを用いて全体系の変形を算定する。

Seedのこの論文の論調は、残留強度の値やその応用に重点をおいているせいであろうか上のカテゴリー１）に属する変形がNewmarkの考え方にそって算定できるにも拘らず、カテゴリー２）の問題しか実務的には取り扱えないと主張している。ただしNewmark流の考え方でカテゴリー１）の解を算定するには土塊の大きさや個々の土塊への分割をどのように設定するのかの問題は残ると考えられる。

さて、ところで文献１）や、文献２）で地盤の液状化にともなって地盤が流動する場合のあることが指摘されているが、その大きさや流動の範囲はどの程度のものであろうか。

日本海中部地震で埋設ガス管や水道管に多くの被害を生じた能代市内の被害の状況について検討した久保、浜田、安田らは、液状化にともなう地盤流動量の計測を試みている。[8),9),10),11),12),13)]

昭和60年に発表された文献8),9),10)および11)は、昭和61年に筆を加えてまとめ直し土木学会論文集に収録されているので、ここでは文献 12),13) に沿って浜田らの昭和61年までの研究の結果をまずふり返ってみよう。

文献12)では図3.12に示す能代市の２地域と、新潟市内の信濃川沿いの地域の地震によって生じた地表の永久変位量の分布を測定している。

永久変位の測定には、地震前後に撮影した航空写真をもとに比較測定点の位置を求め、地震前後の位置の差を変位のベクトル量として求めている。

能代市の測定に用いた航空写真は地震発生の２年前に撮影した1／8000の縮尺のものであり、地震後の写真は震後１週間して撮影された同じく1／8000の縮尺のものである。新潟での測定には地震発生の２年前に撮影された1／11000の縮尺の写真と、地震発生の４時間後に撮影された1／25000の写真が用いられている

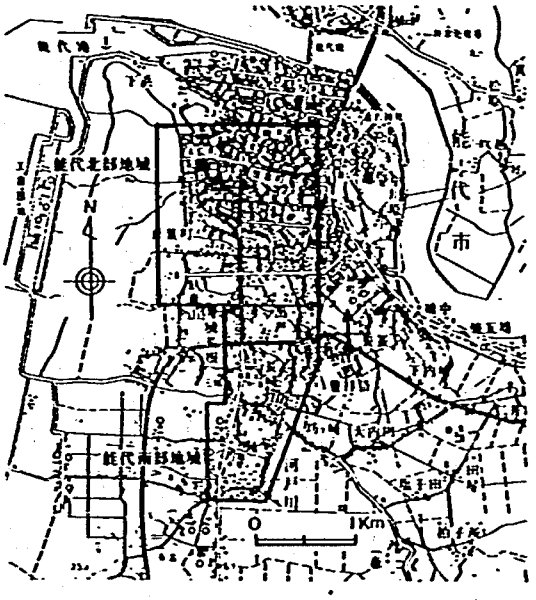


図３－12　能代市の地盤永久変位測定領域[12)]

能代での測定に際しては写真から求めた一部の比較測定点の座標値を地表測量で求めた座標値と比較しその差の標準偏差をまず求め、地震前後の標準偏差の２乗和の平方根で変位の精度を求めている。この結果北部地域では水平±16cm、鉛直±20cm、南部地域では水平±17cm、鉛直±28cmの精度で変位が求められていると報告している。

新潟での測定では国土地理院発行の1／25000地形図との比較から変位の精度は水平±72cm、鉛直±66cm程度としている。

図3.13～3.15に測定結果を示す。

この測定により判明した地表の永久変位量について次のような特徴が認められると報告している。

能代北部地域；a．砂丘の斜面に沿ってすべりが発生した。

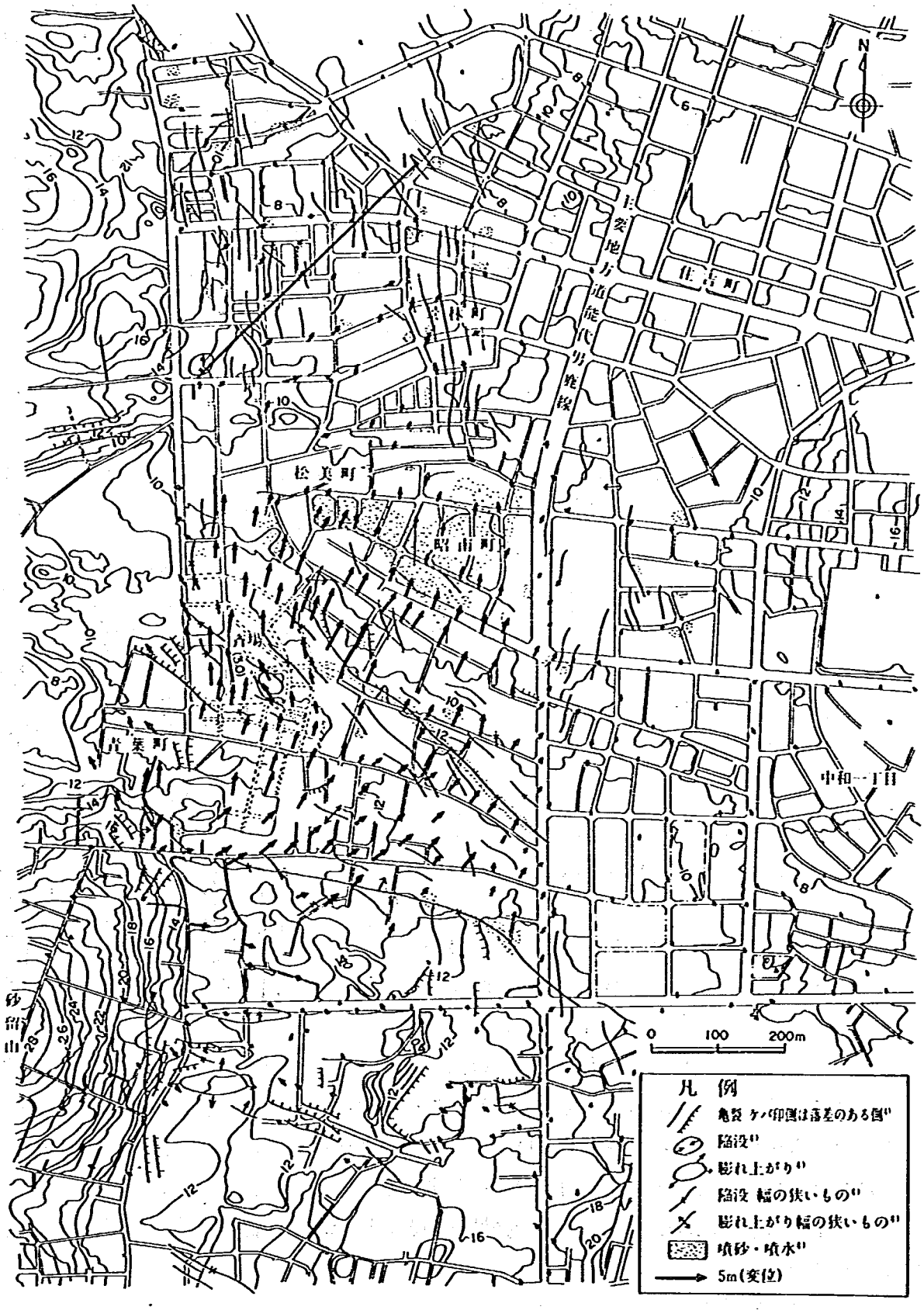


図３－13　能代市北部地域の地盤永久変位[12)]

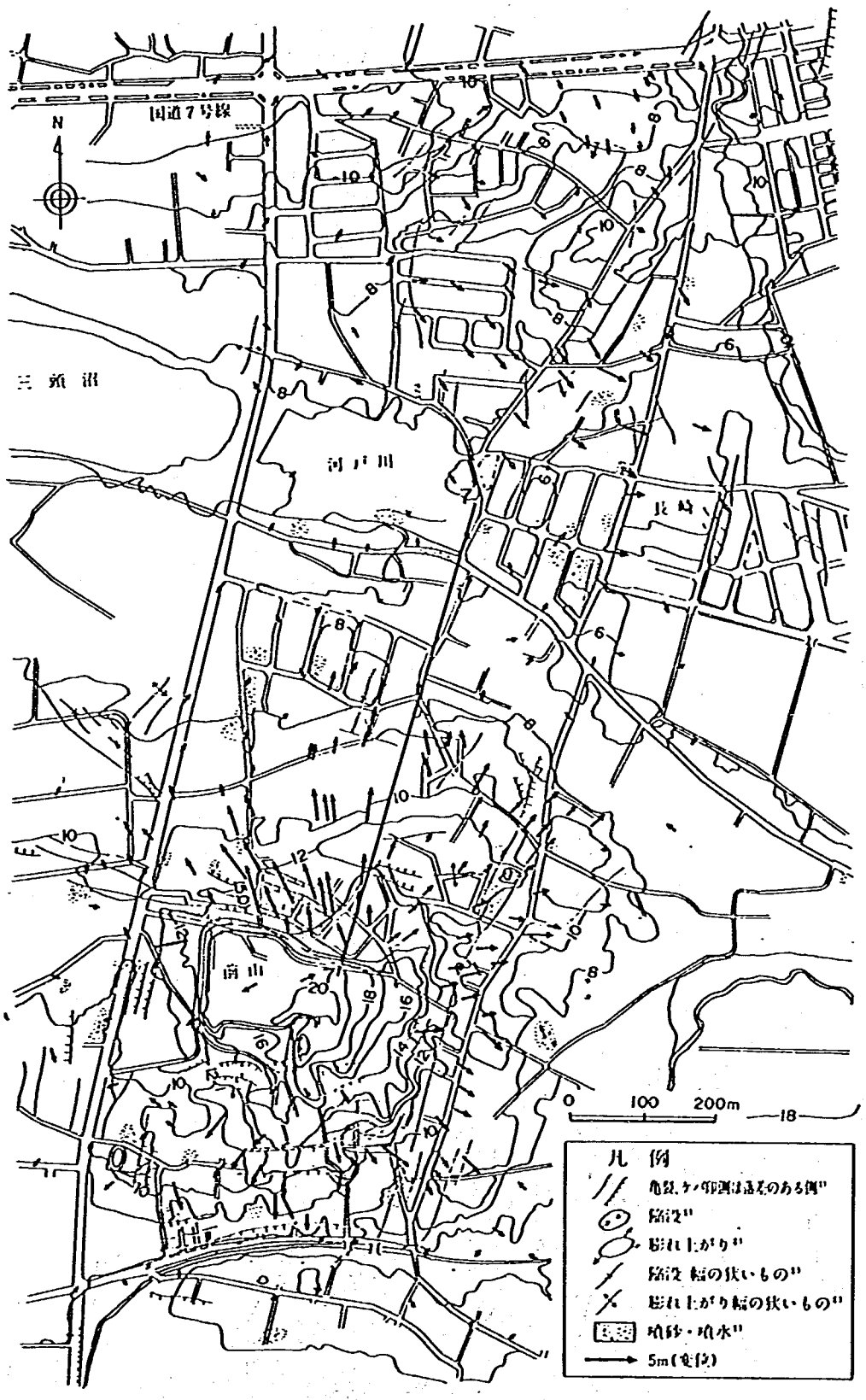


図 3－14　能代市南部地域の地盤永久変位[12)]

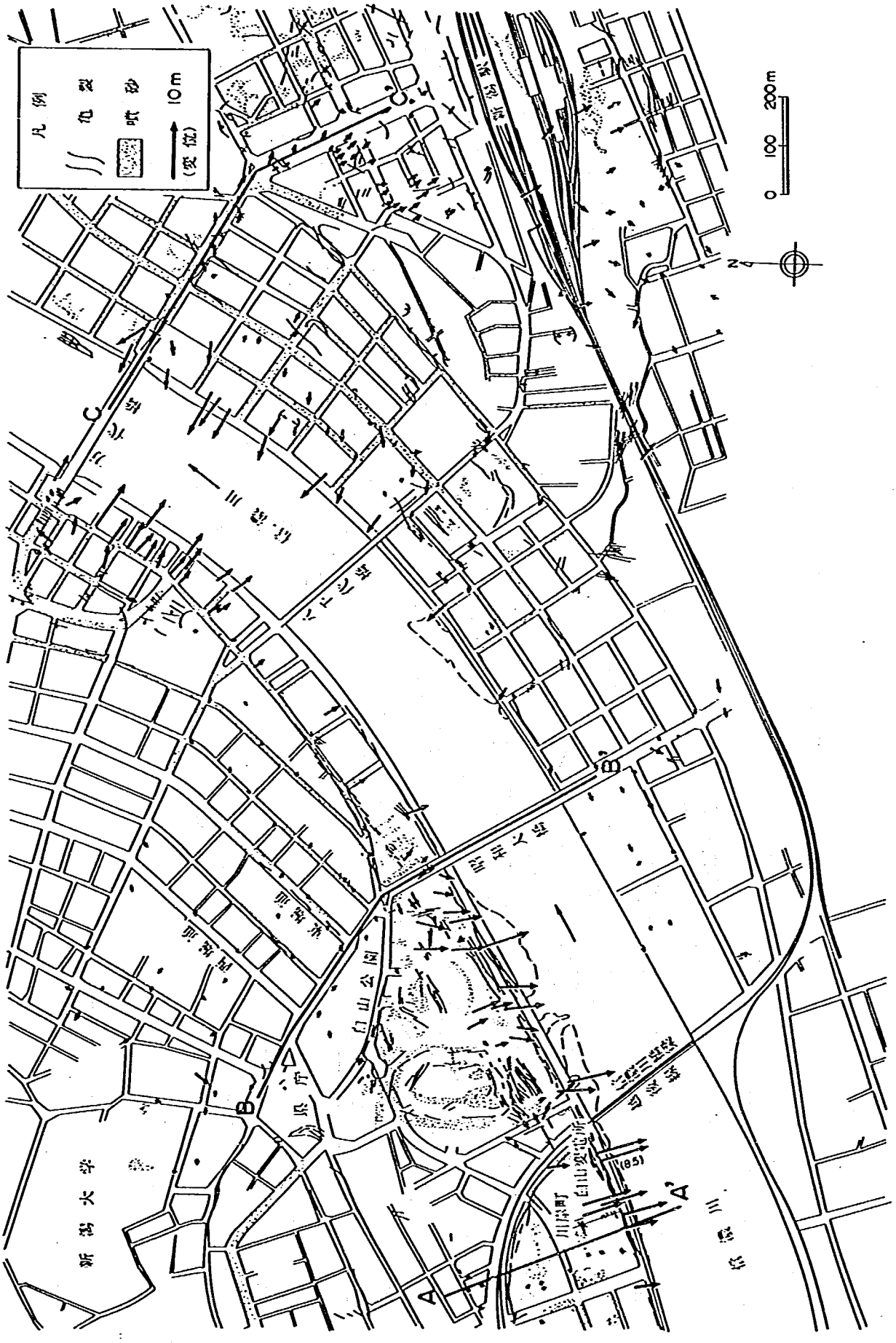


図３－15　新潟市の地盤永久変位[12)]

b．砂留山の中腹から北または北東の約1㎞の範囲まで永久変位が認められる。

c．青葉町付近で最大3mの水平位が発生した。

d．県道能代男鹿線の東側では水平変位は1m以下である。

e．発生した亀裂は変位ベクトルに直交している。

能代南部地域；a．前山から放射状のすべりが発生

b．北側斜面で最大5mの水平変位が発生

c．南側の変位発生範囲は約300m離れた斜面下端の道路付近まで

d．東側斜面の変位発生範囲は斜面下端の道路付近まで

e．北側の変位発生範囲は400m程度

なお、両地域とも永久変位の大きい所で段差や亀裂が多発していると述べているが、亀裂や段差の間隔と幅についてはふれていない。

新潟　　；a．永久変位の認められる範囲で亀裂、噴砂が観察される。

b．白山公園付近で最大8mの水平変位が発生

c．信濃川の川幅は16～23m縮っている。

これらの地域の土層構成を調べ、能代地区では250gal、新潟では159galの最大加速度が作用したとの仮定のもとに液状化層を同定している。一方能代地域では井戸用パイプの引き抜き試験から地下水位下1～2mのところで図3.16に示すような変状発生を見出している[10]。また新潟の事例については、図3.17 に示すように新潟駅北側のＲＣ造建築物の基礎杭の変状を引用し、すべりの発生した深さの同定を試みている。

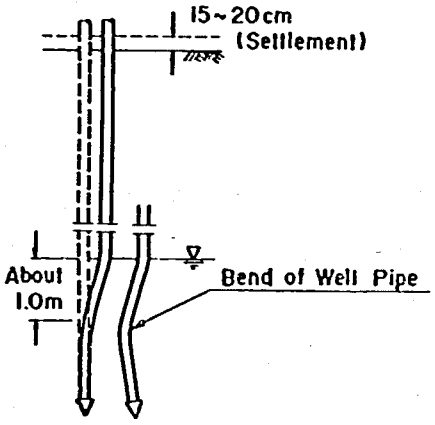


図３－16　井戸用パイプの曲がり[8]

このような測定と検討の結果、この報告では次のような結論を得ている。

１）．能代では日本海中部地震により、地表勾配６％以下の斜面に沿って最大5mの永久変位を生じた。新潟地震により信濃川沿いの平地が信濃川に向かって最大8mの永久変位を生じた。

２）．能代では斜面に沿って1～5mの液状化層が存在し、新潟では河心に向かって下面が傾斜する厚さ約10mの液状化層が存在する。

液状化にともなう地盤の永久変形量に影響する因子としてつぎのようなものが主要な作用を及ぼしていた。

a．地表面の傾き

b．液状化層下面の傾き

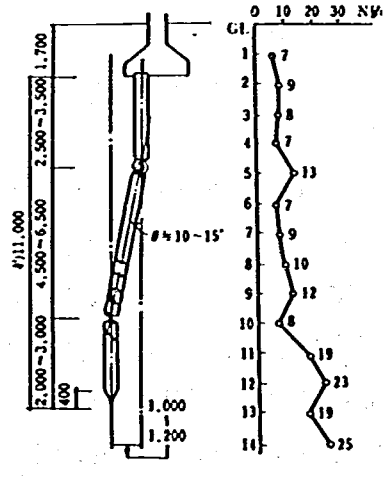


図３－17　RC 杭の変状[12]

c．護岸の存在

3）．新潟地震による信濃川の川幅の変動量、橋梁、鉄塔、基礎杭の被害状況は地盤の永久変形量と符合する。

また文献13)では、上述の永久変形についての測定結果について要因分析を行って、地盤の永久変形量の予測式の提案を試みるとともに、家屋の被害率や埋設管路の被害との関係を考察している。

永久変形量に影響を及ぼす因子として次のものをとりあげている。

a．地表面の勾配

b．液状化層の厚さ

c．液状化層の深さ（上面と下面の深さ）

d．液状化層の勾配（上面と下面の勾配）

e．F_L 値

f．P_L 値

要因を定量化するため能代の事例について変位ベクトルの方向にとった27断面、新潟の事例については5断面、さらにサンフェルナンド地震の1断面を設定し、さらに各断面の中に部分断面を設定して部分断面の永久変位量と上記各因子の平均値を部分断面毎にそれぞれ求め、それらの相関分析を行っている。

その結果、液状化層上面の勾配や土層全体の勾配と永久変形量との相関性は弱く、能代では地表勾配が、また新潟では液状化層下面の勾配が支配的であったと指摘している。両事例を共通的に説明できる勾配として、地表面勾配、液状化層下面の勾配のうちいずれか大きい方の値（θ）を説明因子にとりあげている。またP_L値との相関性は低いが液状化層厚（H）との相関性が比較的良好であったと報告している。

この検討に基づき永久変形量を左右する両因子について重回帰分析を行って

$$D = 0.75\sqrt{H^3}\sqrt{\theta} \quad \cdots (2)$$

になる関係を求めている。

また、低圧ガス導管、水道管、家屋被害との相関分析に先立ち、永久変形量を用いて地表の永久ひずみを算出している。

永久ひずみの算定手順としては1辺200mのメッシュ内の変位分布は距離に対して線形的に変化するとの仮定を設け、変位分布関数を算出しその微分をメッシュのひずみとしている。

こうして算定した地盤の永久ひずみは川岸町周辺では最大4％にも達している。また別途報告されている既往文献による亀裂延長とひずみとの関係を基に、永久ひずみが0.1～0.2%以上になっているところでは亀裂が発生していると述べている。また、永久ひずみの分布と家屋被害、ϕ75～100 mmのガス導管の被害分布、亀裂、段差などの分布とは一致するとも述べている。

さらに浜田らは同種の検討を継続しており、阿賀野川左岸地域の地盤変状を文献14)に報告している。

文献14)では、地表面がほぼ平坦とみなせるにも拘らず最大6～7mの永久変形が発生したと報告している。この原因としては液状化層下面が傾斜した地盤構成を指摘しているが具体的な地盤調査結果は呈示していない。

文献13)で紹介したゆるい傾斜地盤が地盤液状化が原因で広範囲にすべり、永久変位を生じた事例を解析的に、しかも簡易な方法で求めようとした東畑の検討[15]は流動の機構を考察する上で、示唆に富む興味深いものである。

先述の能代市南部地域の地盤永久変位の測定結果に関連して東畑は次のような見解を記している。

測定結果から得られる事実；変位のベクトルは地盤が斜面の最急勾配の方向にすべっている。

前山の高地で4mの変位が生じ亀裂も発生している。この付近が最大の変位で低地では永久変位は小さい。

田子向いの井戸用パイプの折れ曲がり状況は地下水位付近ですべりが生じたことを示している。

測定結果および地盤調査結果から推定されること；地表から1.6mの深さから下位の厚さ1.6mのAs-1層が液状化したと考える。

表層Ts層は厚さ1.6m、長さ550mの一様な板状であり、地震時にはAs-1層との境界のせん断応力が解放される。

そして図3.18に示すような棒モデルを考え、棒の自重が低面に作用していたせん断応力が解放されるために圧縮されたと考えた。

すなわち、棒モデルと軸方向応力の間には次の関係が成立する。

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \gamma \sin\theta \quad \cdots (3)$$

すべりの上端をx＝0とし下端をx＝Lとする。x＝Lで変位u＝0，x＝0でσ＝0、であり応力と変位の間にヤング率を介して存在する次の

$$\sigma = -E \frac{\partial u}{\partial x} \quad \cdots (4)$$

なる関係を考慮し、2式を解いて次式を得ている。

$$u = \frac{\gamma \sin\theta}{2E} (L^2 - X^2) \quad \cdots (5)$$

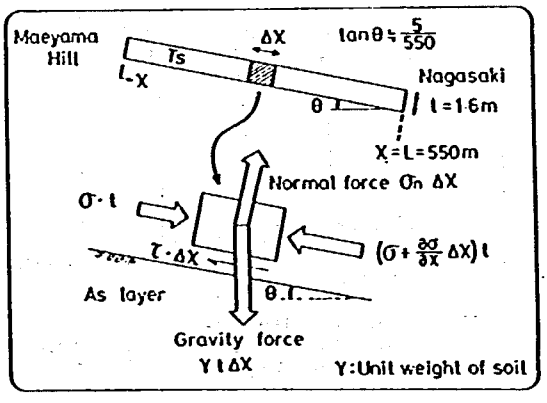


図3－18　地盤変位を求める計算モデル[15]

この考え方に基づいて計算すると前山北麓（x＝

0）でｕ＝２ｍとなり実測値の半分の変形量しか得られないが変位量の分布形状は実測結果と類似の傾向を示すと報告している。

さらにこの棒モデルを平板モデル（二次元）に拡張し、土の引っ張り応力を無視する工夫を施せば前山のすべりの変位の分布を計算で再現できると述べている。

安田らは文献13),14)に述べられた地盤の液状化によって生じる永久変位を振動台実験によって再現し、変位を生じる要因の影響度合を検討している。[16),17),18)]

文献16)にそって実験の概要を以下に記す。

用いた土槽は幅80cm×高さ70cm×奥行き50cmの大きさのもので、豊浦町の浜から採取した砂を用いて締固めた基盤層（Dr=80%）とゆるい液状化層（Dr=55%）の二層からなる模型地盤を作っている。

模型地盤は地表面が水平で液状化層が傾いているＡシリーズのものと、地表面と液状化層下面の両方とも傾いているＢシリーズの２種のものを作っている。加振は３Hz、225galの入力で、液状化が生じて10秒間だけ加振を継続している。

図3.19に安田らの実験結果を示す。

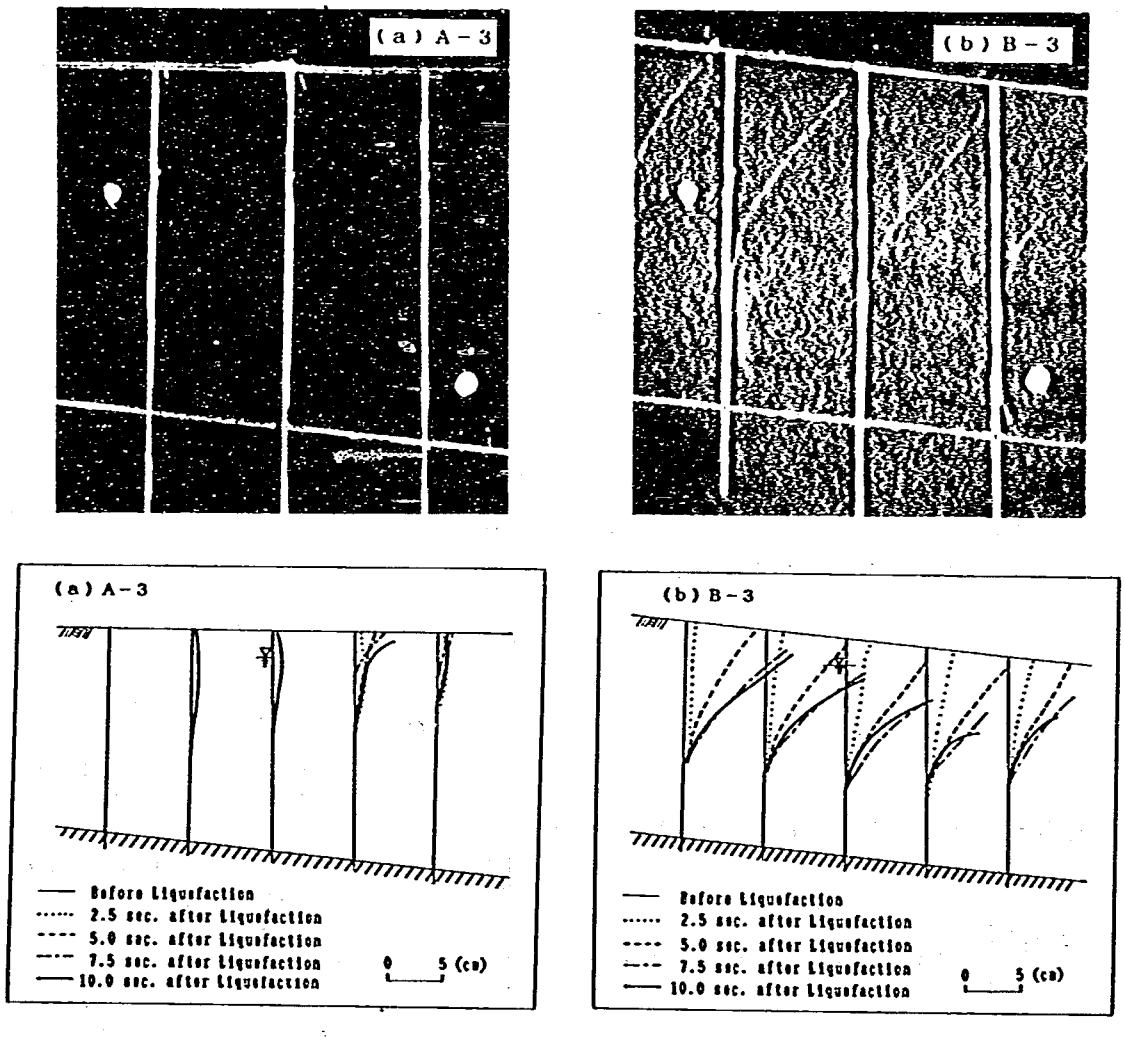


図３－19　安田らの実験結果[16)]

この実験によりAシリーズよりBシリーズの方が地盤変状は大きい。Aシリーズの地表での永久変位はBシリーズの1/10程度しか生じていない。A，B両シリーズとも液状化層低部では（層厚の1/2～1/3）変位が生じていないこと、および地表に生じた永久変位は液状化層内のうちすべり面に沿う土塊の移動によって生じたものではなく、液状化層上部の一様なひずみ（深さ方向に線形的な変形分布）によってもたらされたものであることを報告している。

また文献17)では、先述の文献6)と同種の解析を行って実験結果との比較を試みている。

以上述べてきた既往の知見のまとめと気付いた問題点を最後に記しておこう。

1）．地盤流動の形態には2つの種類のものがある。

地盤の液状化によって生じた地盤流動形態には次の2種のものがある。

a．地震動が経ってからすべるもの一般に勾配の急な斜面で生じ、すべった土塊の変位量は大きい。

ヴァンノーマンダム、持越鉱山などの例がある。

b．地震動の継続時間中に生じ、地震動の終わったときには変位が進行しないすべり。

一般に勾配のゆるい斜面（0.3～3°）で生じ、表層部に不飽和層が存在する。

能代の事例、新潟の事例などがある。

2）．地盤流動量の大きさは地表の勾配、液状化層下部の勾配のうち大きい方の勾配と液状化層厚に支配される。

ただし、この知見は日本海中部地震、新潟地震の事例から帰結されたもので、どれだけの一般性があるのか確かではない。

3）．表面に表れる永久変位は液状化層内の一様なひずみ（深さ方向に直線的に分布する変位）によってもたらされる。

日本海中部地震の井戸用パイプの曲がり、新潟地震の折れた基礎杭、振動台実験のいずれも単一の面（またはうすいすべり層）に沿ったすべりによって地表の永久変位が発生するものではなさそうなことを示している。

また、安田らの実験においては液状化層の全厚さが地表の永久変位に寄与しているのではなく、ある深さより浅い部分の液状化層のひずみが地表の永久変形をもたらしているもののようである。

4）．文献13)に示された式（2）には地震動の影響が考慮されていない。

5）．文献15)に提案された簡易計算法でも地震動の影響は考慮されていない。

6）．すなわち、永久変形は一瞬にして生じた1）のa．のタイプのものかb．のタイプのものであるかを仕分けする必要があろう。

7）．これに関連して永久変形が地震動継続時間中のいつの時点で生じ、いつ終了したのか、また液状化層のせん断抵抗は大きなひずみに対して零とみてよいのかどうかなどの点を解明する必要があろう。

4．実験模型，材料特性，計測器の配置ならびに加振条件

4．1　実験の概要

ゆるい飽和砂層とその上に載った傾斜した不飽和層から成る模型地盤を作成し、これを水平方向に加振して飽和砂層を液状化させる。

このとき、模型地盤は傾斜面の下方に向かって流動する。

流動量を支配する因子として地表の勾配、液状化層の厚さ、液状化層下面の勾配、ならびに水平加速度に着目し、これらの条件を変えた模型地盤4体についての加振実験を行って、地盤流動の機構を解明する。

以下に模型の形状、加振条件、用いた砂の土質特性ならびに計測項目等を説明する。

4．2　模型地盤と加振条件

図4.1に実験に用いた模型地盤の形状を示す。

模型地盤は振動研究室所有の鋼製土槽（長さ6 m、高さ2m、奥行き3m）を用いて作成している。この土槽は長手方向の両端の壁が下端をヒンジとして回転できる構造となっているが、この実験ではこの可動壁を固定して用いている。その理由は、傾斜した不飽和地盤の両端境界から強制変位が作用すると、地盤液状化にともなう変位と強制的な変位と混在してしまい、着目している因子の影響度合が不分明になると考えられるからである。

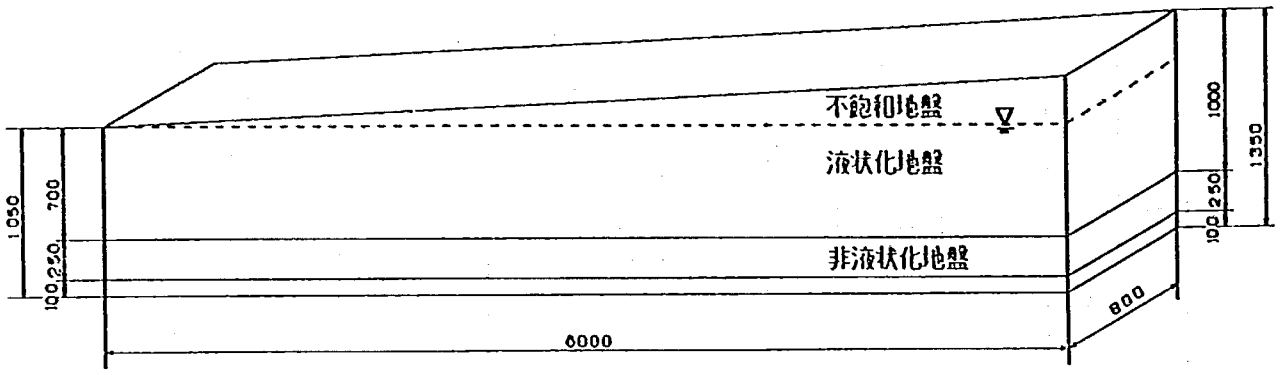
特に、地表勾配のある模型地盤の両端部は地盤厚さが異なり、土槽端部の壁に作用する土圧の大きさが異なる。両端の可動壁の頭部をリンク棒で結合してあると両端の側壁は土圧の大きい方すなわち、斜面の上方に向かって強制的な変形を与えることになってしまって具合の悪いことになってしまう。

また、実験は二次元状態（平面ひずみ状態）のもとで行うことを意図しており、土槽の奥行き方向の全幅を用いないで隔壁によって仕切った幅80cmの部分を使用する。このため、写真4.1に示すような鋼製アングル、ベニヤ板ならびに摩擦の軽減のための塩化ビニール板を用いた隔壁を使い、土槽内の模型地盤と反対側には隔壁のたわみを防止するためのダミーの土を水平に埋め戻している。
埋め戻し土の高さは模型地盤の地表面の平均高さと同じ高さである。

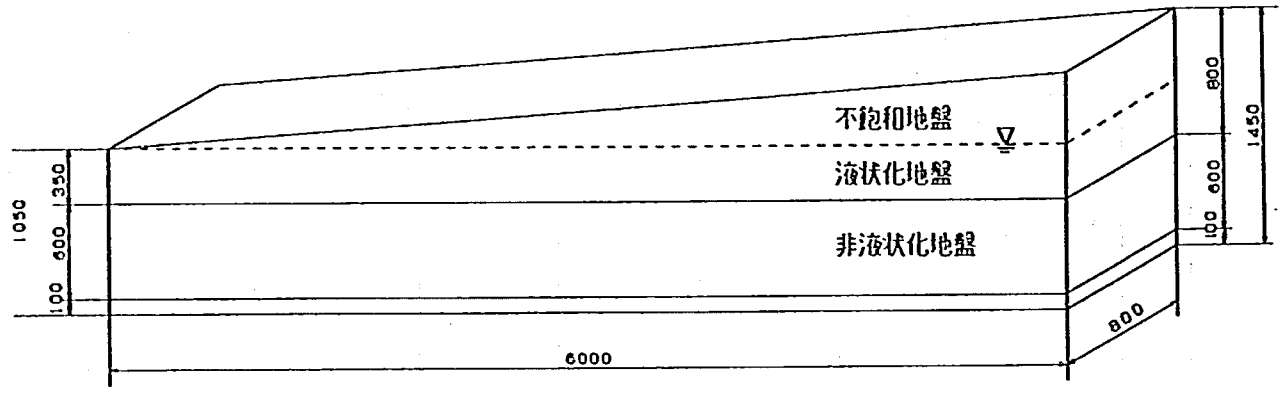
模型地盤の下部には、写真4.2,4.3に示すように砂利を用いた通水層と同一の砂（後述）を用いて締め固めた非液状化層を設けている。非液状化層を設けた理由は液状化層下面を傾斜させるため土槽底部には液状化層の下に非液状化層を設けざるを得ないが、液状化層下面が水平な場合においても振動台に載る全重量を同程度とし制御を容易にすることのほか、剛な土槽低面からの直接的な振動の入射を回避すること、実験対象とする土層を土槽側面の窓から観察し易い高さにすること、などである。

液状化層、非液状化層とも砂を水中に落下させ、できうる限り飽和度の高い状態になるよう努力している。非液状化層の作成方法は、写真4.4に示すように水中落下により所定の非液状化層の高さよりも高く（約10cm程度）土を入れた後、2Hz,250galの正弦波状の入力加速度で振動台を加振し（継続時間　30分程度）、締固めを行っている。文献16)に記述されている方法にならったものである。

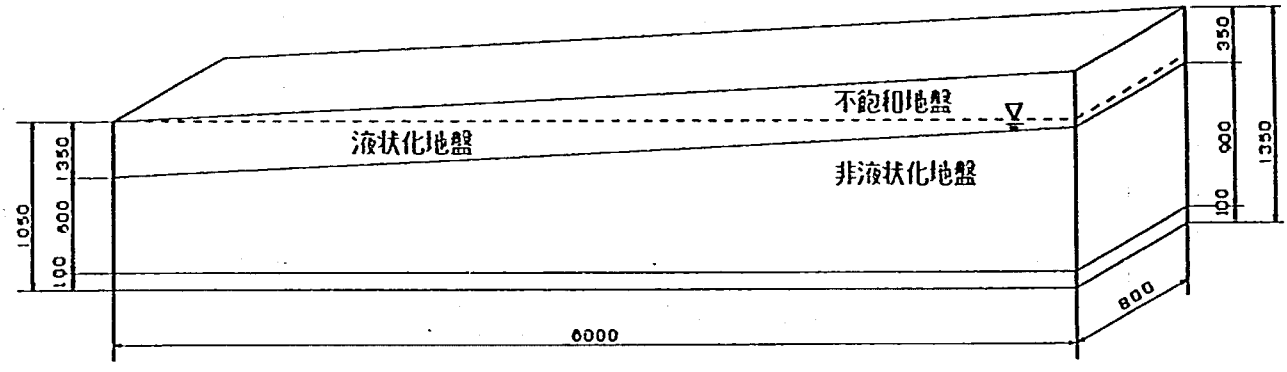
後述するように、このような締固めによって非液状化層の相対密度は80%程度に締め固まる。



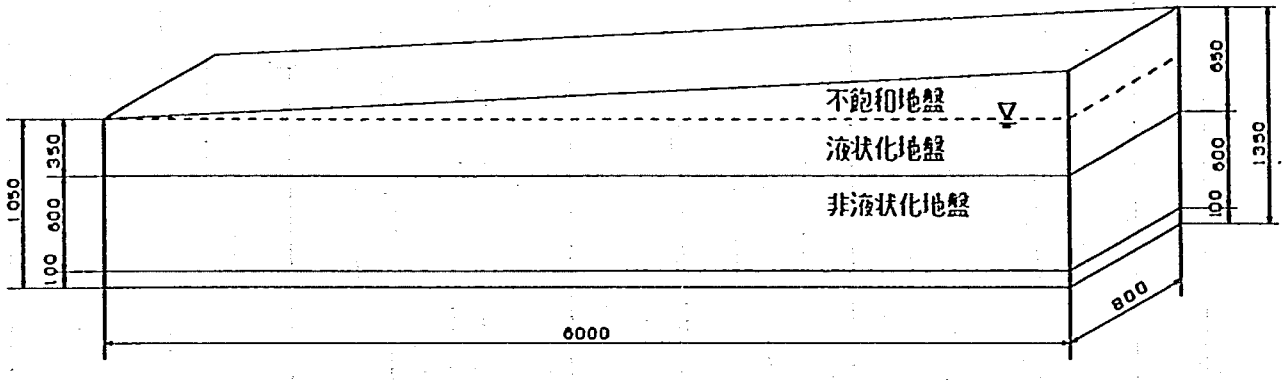
（a） 模型－1 （液状化層厚７０ｃｍ，地表面勾配５％）



（b） 模型－2 （液状化層厚３５ｃｍ，地表面勾配７．５％）



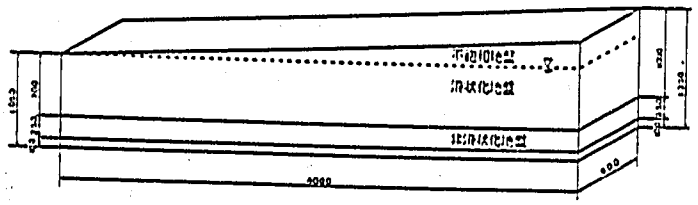
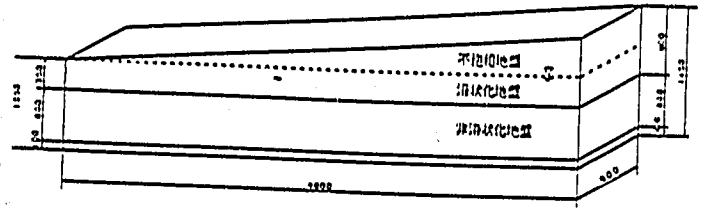
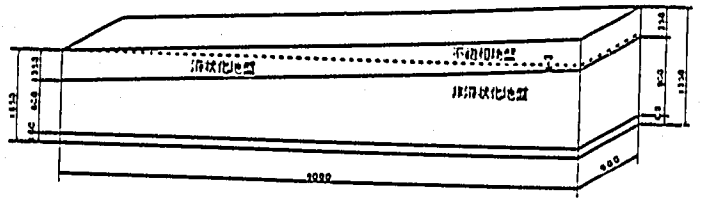
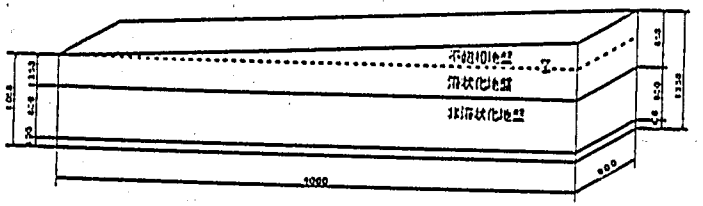
（c） 模型－3 （液状化層厚３５～５ｃｍ，地表面勾配５％）



（d） 模型－4 （液状化層厚３５ｃｍ，地表面勾配５％）

図４－１ 模型地盤の形状

表４－１　模型概要及び加振条件

	模型形状	地盤の密度		加振条件				
模型－１		不飽和層	Dr＝3% γ_t＝1.49t/m^3	実験 NO	１－１	１－２	１－３	１－４
				目標加速度（gal）	５０	１００	１５０	２００
		液状化層	Dr＝51% γ_{sat}=1.93t/m^3	実測加速度（gal）	８５	１２１	１６７	２２３
模型－２		不飽和層	Dr＝－48% γ_t＝1.37t/m^3	実験 NO	２－１	２－２	２－３	２－４
				目標加速度（gal）	５０	１００	１５０	１００
		液状化層	Dr＝22% γ_{sat}=1.88t/m^3	実測加速度（gal）	１６８	１２８	１６９	１２９
模型－３		不飽和層	Dr＝26% γ_t＝1.57t/m^3	実験 NO	３－１	３－２	３－３	３－４
				目標加速度（gal）	５０	１００	７５	７５
		液状化層	Dr＝52% γ_{sat}=1.93t/m^3	実測加速度（gal）	１５９	１６４	１３８	１４７
模型－４		不飽和層	Dr＝－１% γ_t＝1.49t/m^3	実験 NO	４－１	４－２	４－３	４－４
				目標加速度（gal）	５０	１００	１５０	２００
		液状化層	Dr＝38% γ_{sat}=1.90t/m^3	実測加速度（gal）	８５	１１９	１５９	２０３

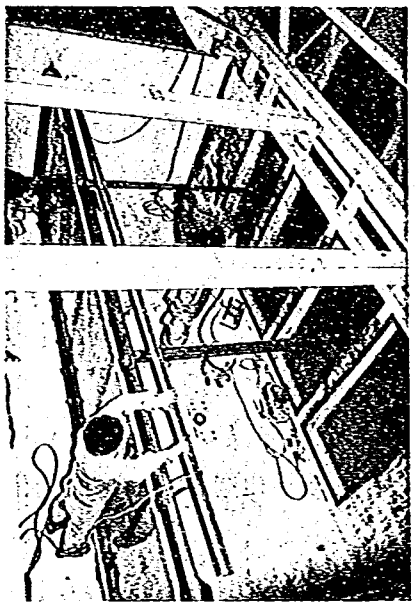


写真　4－1　隔壁の作成状況

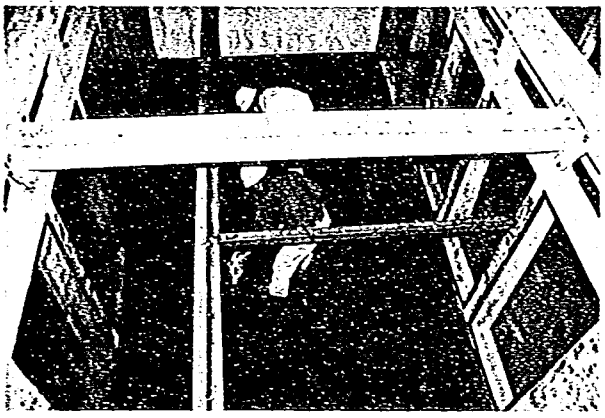


写真　4－2　通水層用の砂利の搬入

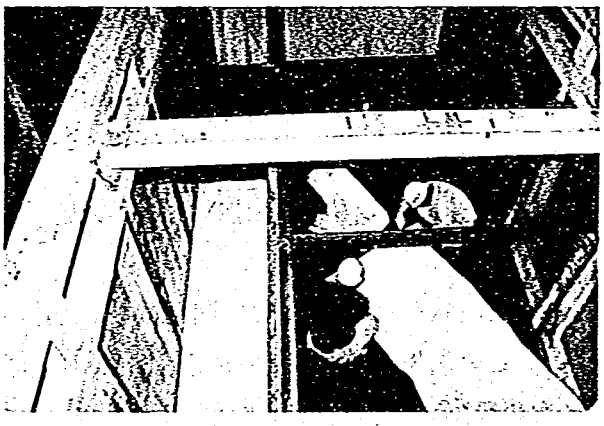


写真　4－3　ジオテキスタイルの設置状況

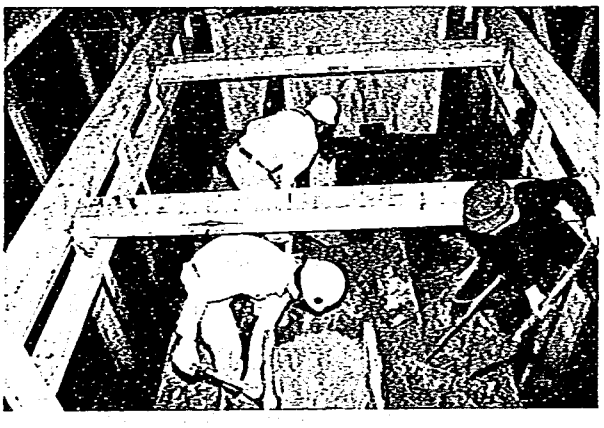


写真　4－4　非液状化層の作成状況

次に締固めた非液状化層上面を所定の高さ、勾配になるよう削り取り、さらにこの上に水中落下法によって液状化層を作成した。

土槽内に張った水の中に投入する砂は湿潤状態であり、不均質な小土塊が混在しているので、投入に当たっては、網目50mmのフルイを介して、ゆるい砂層ができるだけ均質にできるようにしている。

土を投入するときの水深は20cm程度、フルイはフロートを用いて水面高さに設置しておき、人力でフルイの上から砂を投入している。このようにして作成した液状化層は厚さ約10cmくらいずつのリフトで所定の厚さまで立ち上がる。

写真-4.5,4.6に、フルイおよび、砂の投入状況を示す。また写真4.7に模型地盤の全景を示す。

でき上がった液状化層の相対密度は次節で詳述するが、約20%～50%程度となっている。

表4.1に示す模型の加振条件には、4体の模型の形状のほか、非液状化層ならびに液状化層の相対密度も示しておく。

こうして作成した液状化層の上に不飽和の層を所定の高さ、所定の勾配になるように作成した。作成方法は先述の液状化層の作成と同様フルイを通して湿潤状態の砂を落下させる方法をとった。

液状化層ならびに不飽和層とも密度の測定のため、投入した砂の湿潤重量と含水比を測定し、でき上がった各層の厚さから算定した体積を用いて密度を求めた。

また、模型実験の液状化層と不飽和層の側面のうち土槽壁面の窓ガラスに接する側には、写真4.8に示すように予め溝型の型枠の中に白色に着色した砂を入れて立てておき、地盤作成後型枠だけを抜き取るという方法で設置した白色のマーカーを設置した。白色のマーカーの間隔は20cm、マーカーの幅は3cmである。

なお、地盤中ならびに地表面には加速度計，間隙水圧計，変位計，変位計測用の測量鋲などを設置したがこれらについては次節で詳述する。

上述のようにして作成した模型地盤の長手方向に2Hzの正弦波状の加速度で20秒間（40波）加振した。加振加速度は図4-2に示すように段階的に増大させた。この加振条件を表4-1に示す。なお、各加振段階の加振終了後、上昇した間隙水圧の消散を待って次の段階の加振を行うこととしているので各加振段階の間には約1.5時間の休止時間を置いた。

4．3　模型の物性

模型地盤として用いた砂は、千葉県の浅間山産の山砂である。図4.3に粒径加積曲線を、表4.2に物理特性を示す。これより浅間山砂の平均粒径はD_{50}は0.27mm、均等係数u_cは1.87であり、粒径のそろった細砂であることがわかる。

表4－2　浅間山物理特性

項　　目	浅間山砂
土粒子の比重Gs	2．655
最大粒径(mm)	4．76
平均粒径D_{50}(mm)	0．27
均等係数Uc	1．87
曲率係数Uc′	1．37
最大間隙比e_{max}	0．976
最小間隙比e_{min}	0．596

4．4　計測器とその配置

各模型地盤の計測器の配置図を図4.4に、また、計測項目を表4.3に示す。

図4.4に示すように、模型地盤の3ないし4断面において応答加速度と間隙水圧の深度分布が求められるよう計測

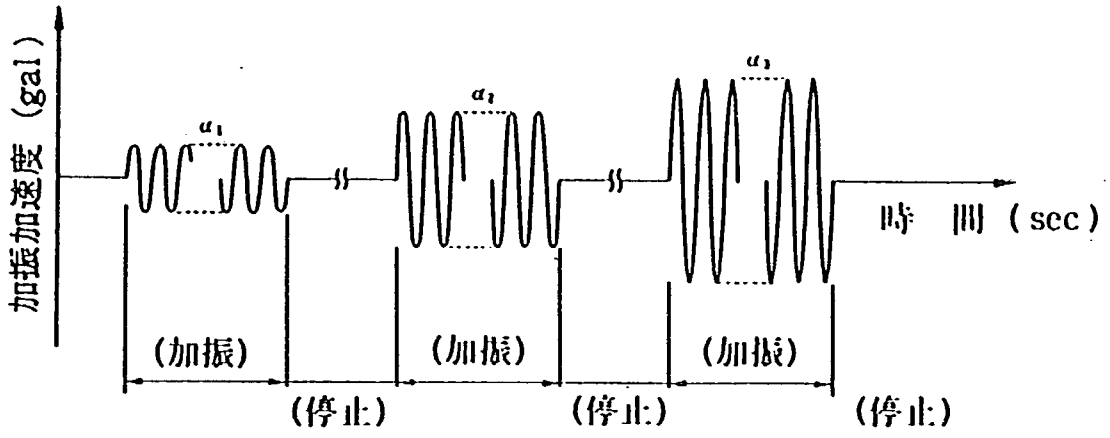


図４－２　模型の加振方法

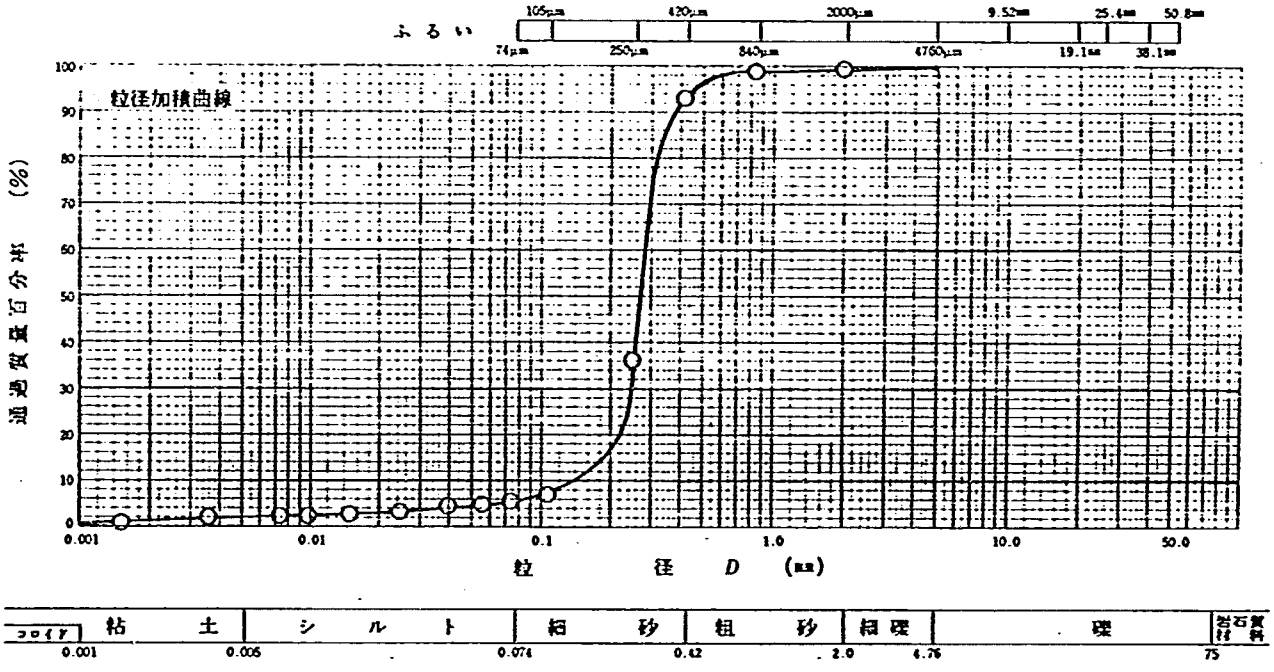
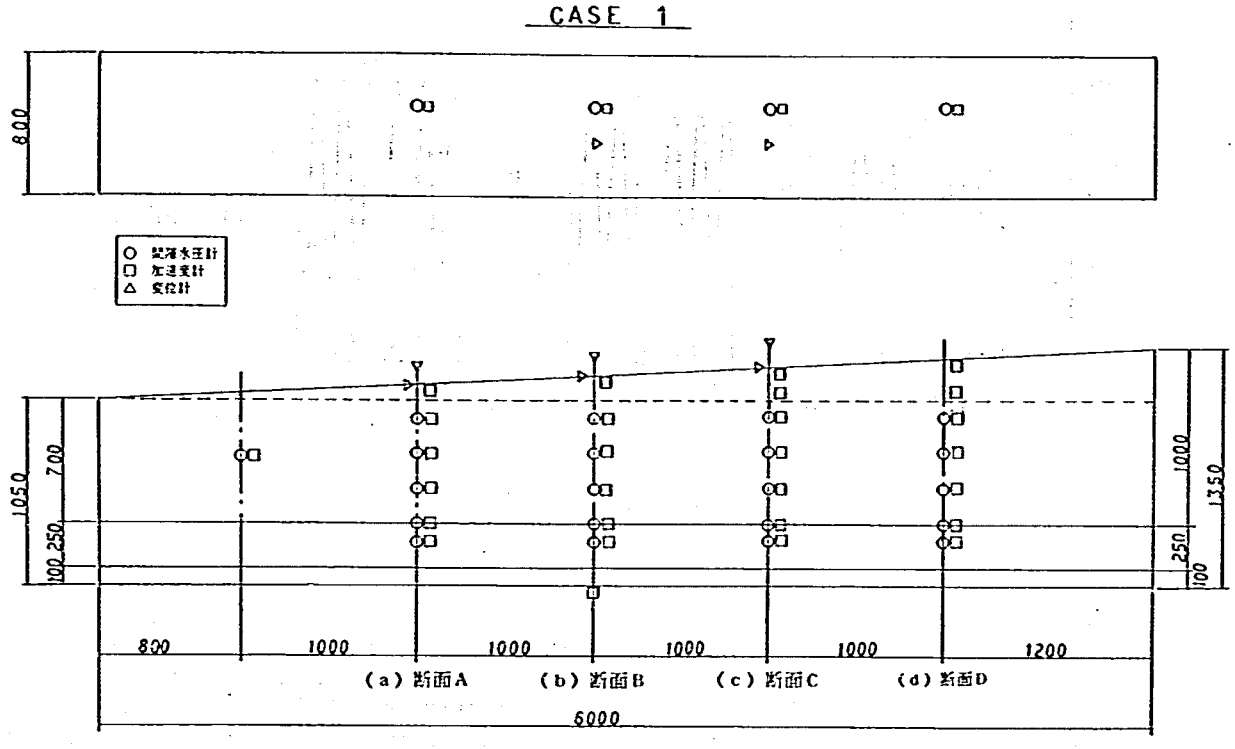
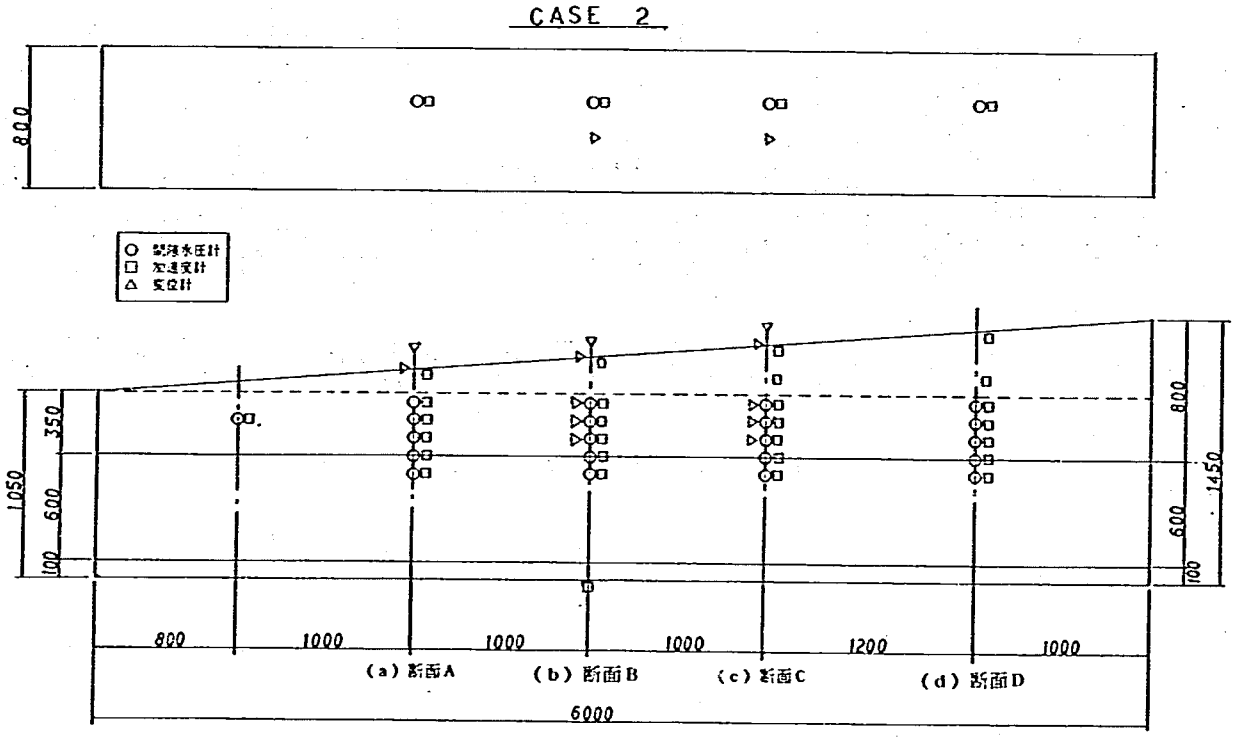


図４－３　浅間山砂の粒径加積曲線

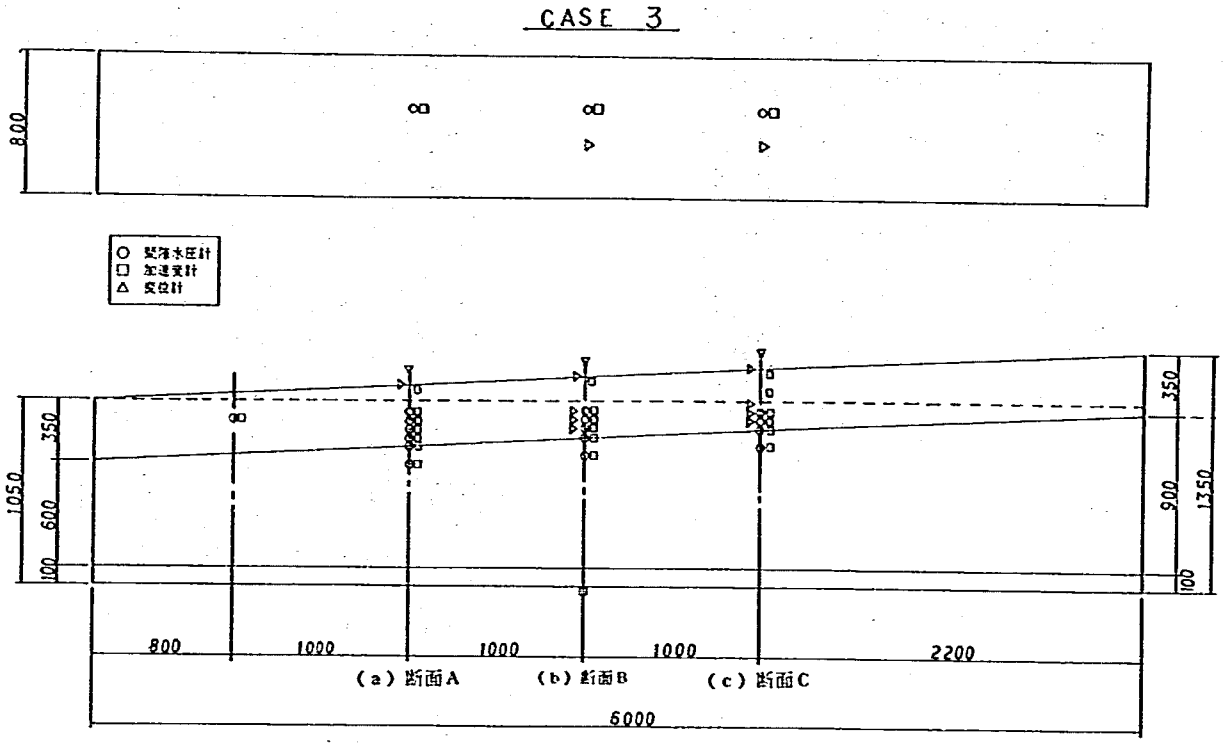


（a） 模型－1 （液状化層厚７０ｃｍ，地表面勾配５％）

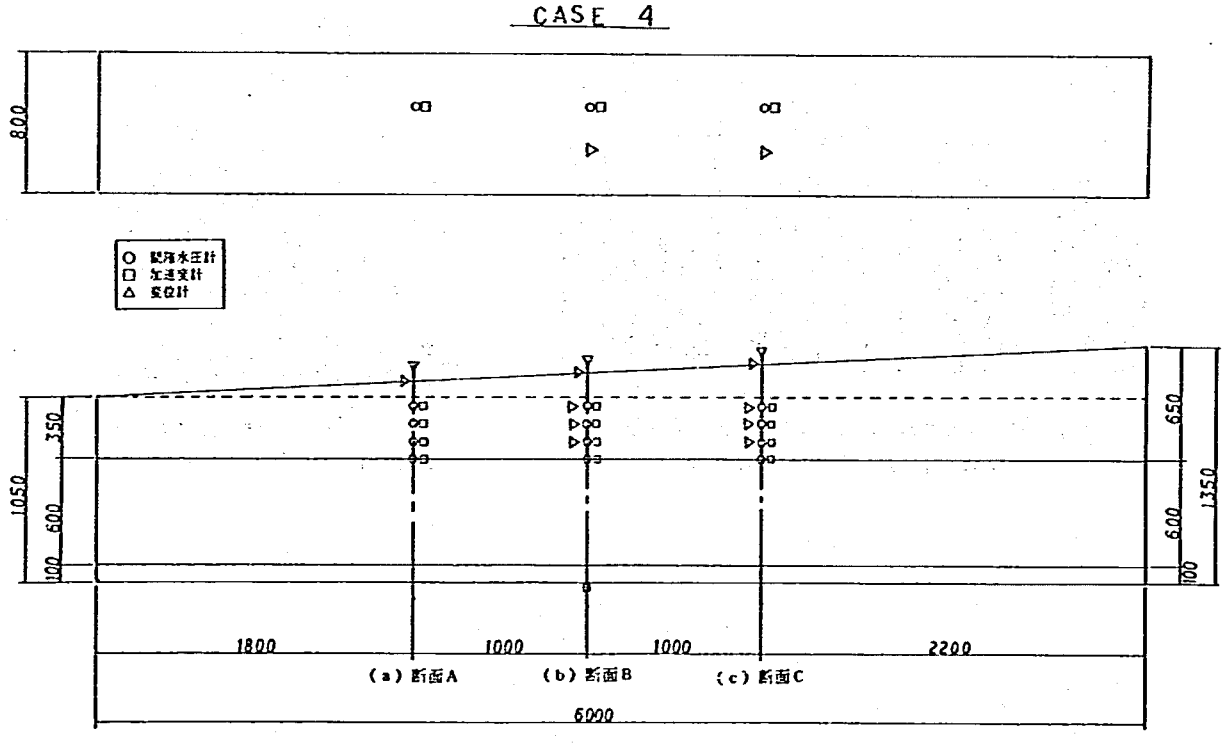


（b） 模型－2 （液状化層厚３５ｃｍ，地表面勾配７．５％）

図４－４ 計測器配置図



（c） 模型－3 （液状化層厚３５～５ｃｍ，地表面勾配５％）



（d） 模型－4 （液状化層厚３５ｃｍ，地表面勾配５％）

図4－4 計測器配置図

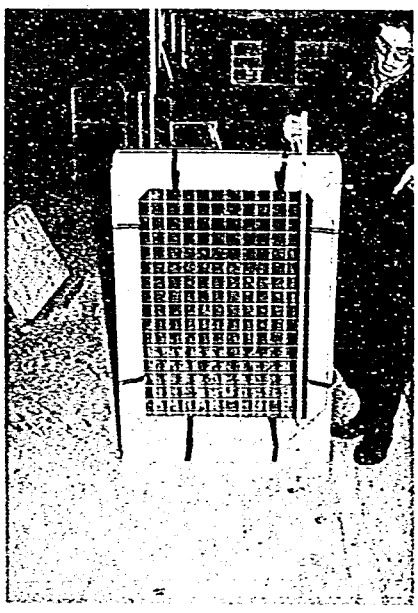


写真　4－5　地盤作成用フルイ

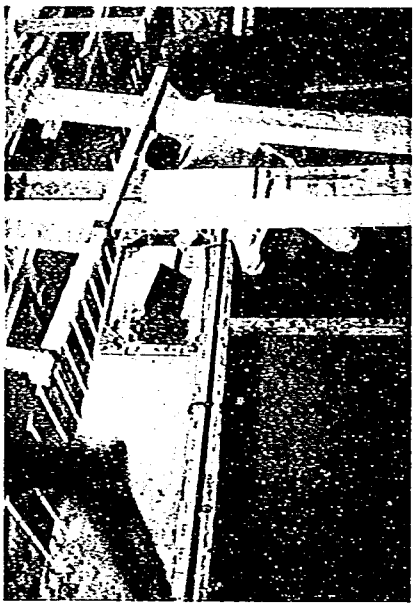


写真　4－6　液状化層の作成状況

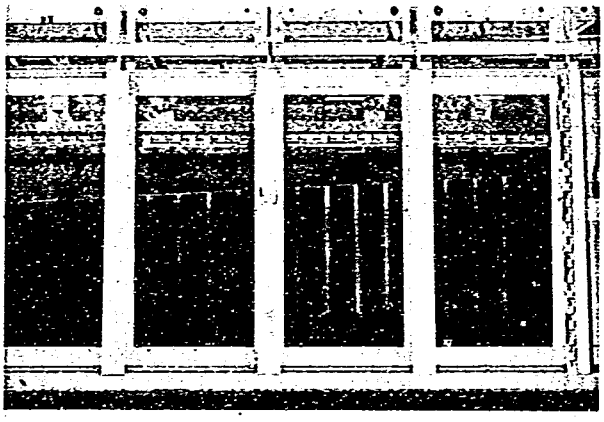


写真　4－7　模型地盤の全景



写真　4－8　マーカ作成用型枠

表4－3　計　測　項　目

		模型－1	模型－2	模型－3	模型－4
加速度	不飽和地盤	6	6	4	3
	液状化地盤	17	17	13	12
	非液状化地盤	4	4	3	0
	振　動　台	1	1	1	1
	合　　計	28	28	21	16
間隙水圧	液状化地盤	17	17	13	12
	非液状化地盤	4	4	3	0
	合　　計	21	21	16	12
変　位	地表面（水平）	3	3	3	3
	地表面（鉛直）	3	3	3	3
	地　中（水平）	6	6	6	6
	合　　計	12	12	12	12

器を深度方向に配置するとともに、地表面の水平、鉛直変位及び地中の水平変位の計測を実施した。以後図4.4に示すように測定を行っている断面を斜面下方より断面A，B，C，Dと呼ぶこととする。

また、地表面には20cm間隔のメッシュ状に測量鋲を設置するとともに、観測窓に接する側の模型側面には水性ペイントにより白く着色した浅間山砂を用いたマーカー（格子状の白線）を設けておいた。これらを模型－1～3では3秒間隔，模型－4では5秒間隔でスチールカメラにより撮影し加振中の変状の様子をとらえるとともに、加振終了後に測量及びトレースすることにより各加振段階に対する変形状況の計測を行った。地表面の標点の測量状況、及び側面のマーカーのトレースの状況を写真4.9，4.10に示す。

以後、標点の測量結果は斜面下方へ向かう方向をX方向、観測窓から離れる方向をy方向、沈下の方向をZ方向として整理を行う。

加速度計と間隙水圧計は、写真4.11に示すように10cm×5cm程度の穴開きのアルミ板に取付けてある。このアルミ板は、計測器を所定の位置により安定に位置づけさせるとともに、加速度計が埋設作業中に傾いたり、方向が変わってしまうことを防ぐために取付けている。地盤模型が計測器の埋設位置まで出来上がると、写真4.12のように水中において間隙水圧計に脱気したフィルターの組付けを行い、ケーブルを計測器のまわりを一周させ十分なたるみを与えた状態にした後、浅間山砂をかぶせ計測器の埋設を完了する。

地中の水平変位は、5cm×3cmの厚さ3mmの塩ビ板をとりつけた糸の先に変位計を接続し計測を行った。ここでは、糸と地盤の間の摩擦を除去するために、写真4.13に示すように洗剤を注入したビニールチューブ（内径2mm、外径4mm）内に糸を通し、内径13mmの塩ビパイプによるガイドを経て斜面の山側の地表へと導き出した。写真4.14，4.15にガイド及び変位計への接続状況を示す。

なお、実験では模型-3,4では地中変位計用の糸として4号のナイロン釣り糸を用いたが、ナイロン

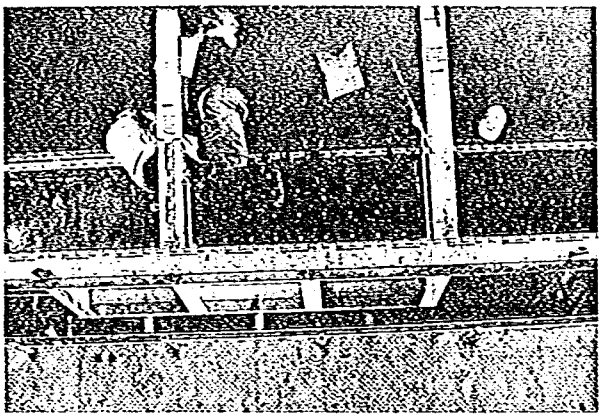


写真　4－9　地表面の標点の測量状況



写真　4－10　側面のマーカーのトレース状況

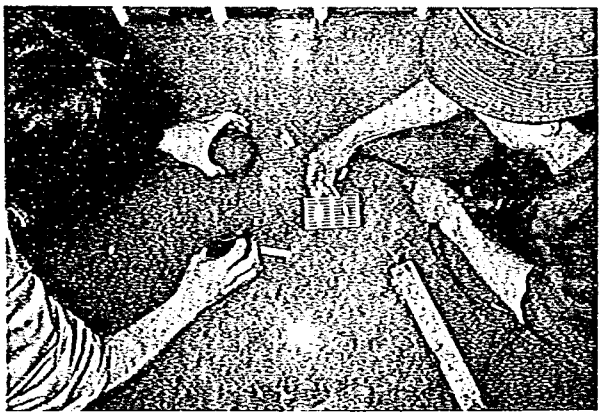


写真　4－11　加速度計と間隙水圧計

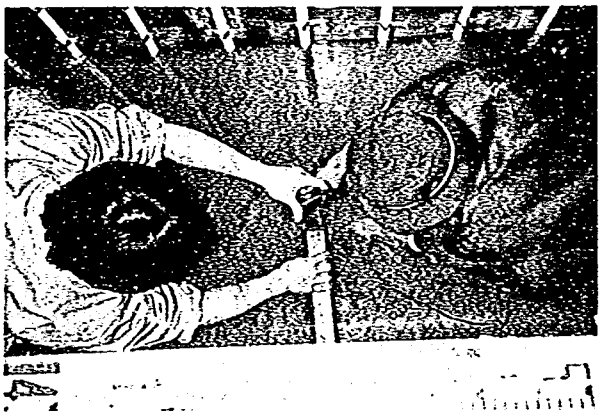


写真　4－12　計測器の埋設状況

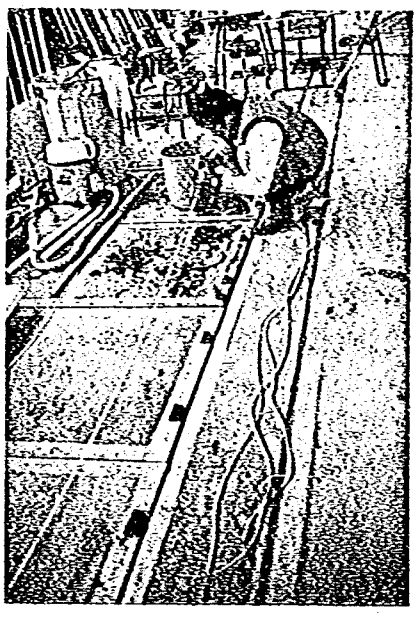


写真　4－13　地中変位計用
ビニールチューブ

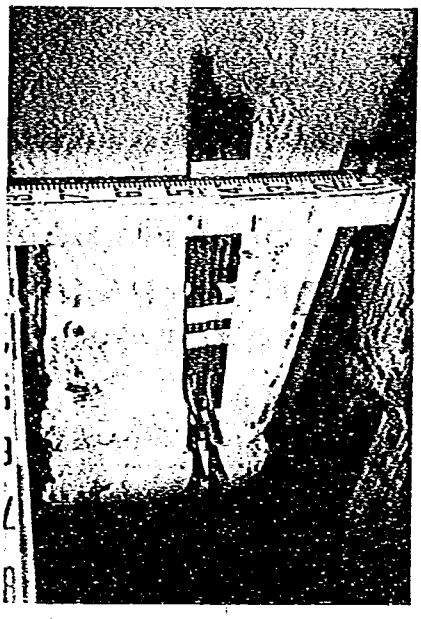


写真　4－14　地中変位計用ガイド

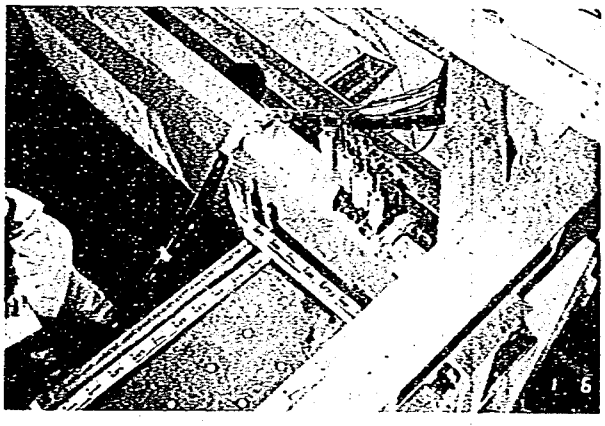


写真　4－15　地中変位計測用変位計

チューブと糸の間に砂が流入してしまい、糸とチューブの間の摩擦が大きくなり、地中変位計の時刻歴波形に階段状のぎごちなさが認められた。そのため、模型-1,2では釣り糸よりも太い水糸を用い、チューブ内への砂の流動を低減させる工夫をした。

計測に使用した測定器類を表4.4に、また、計測系統図を図4.5に示す。種々の計測器からの出力は、動ひずみアンプにより増幅され30Hzのローパスフィルターを経た後ディジタルデータレコーダに収録される。実験結果は12ビットのA／Dコンバータによりディジタル値に変換され、加振実験中は100Hz、また間隙水圧の消散過程の計測中は2Hzのサンプリング周波数で収録を行った。

表4－4　計　測　器　一　覧

計測器名	型　式	能　力	備　考
ディジタル データレコーダ	ＰＳ－ ９８１６	最大入力１２８ｃｈ １２ビットＡ／Ｄ コンバータ	
ペンレコーダ		最大入力　１２ｃｈ	実験中の加速度、間隙水圧、変位のモニターに使用
動ひずみアンプ	６Ｍ８２	オートバランス 10μストレイン入力 で0.4Ｖ	
加速度計	ＢＡ－２Ｌ	容量　２Ｇ	寸法　□16㎜×30㎜
間隙水圧計	BP－500GRS	容量　500g/cm^2	寸法　φ20㎜×35㎜
変位計	SDP－50R SDP-100R DLT-100ASZ	容量　50㎜ 容量　100㎜ 容量　200㎜	主に深部の地中変位に使用 主に浅部の地中変位、地表面の鉛直変位に使用 地表面の水平変位に使用

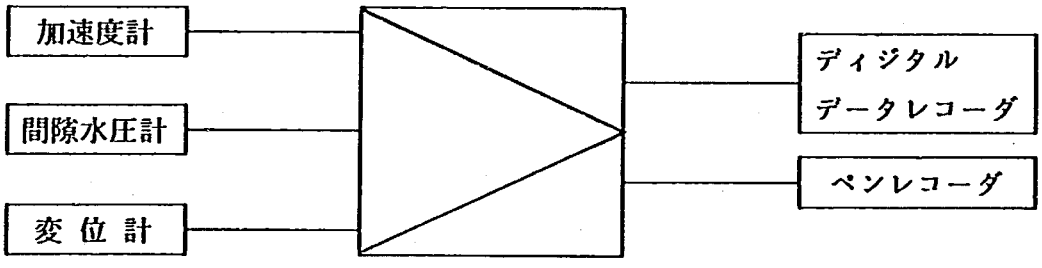


図4－5　計　測　系　統　図

5．　模型－1の挙動

5．1 概要

図5.1に模型－1の形状および計測器の配置図を示す。また表5.1に加振の経過を示す。

模型－1の地盤は、厚さ70cmの液状化層（相対密度51%）の上に5%の勾配の不飽和層が載った地盤模型である。

この地盤模型を4段階の台加速度で加振した。各加振加速度毎の実験を実験番号1-1～1-4と呼ぶこととする。

表5－1　模型－1の加振経過

実験No.	入力加速度 gal 目標値	入力加速度 gal 実績値	加振前の平均勾配	加振による平均変位量
1-1	50	85.4	5.0%	5.7cm
1-2	100	120.6	5.1%	14.5cm
1-3	150	166.6	4.1%	10.5cm
1-4	200	223.0	3.8%	6.2cm

注）1）加振振動数はいずれも2Hz
2）継続時間は20sec
3）平均変位量は測量鋲No.37～51の変位量の平均値

表5.1に示すように模型-1では振動台加速度を50, 100, 150, 200galと段階的に増加して加振を行っており、実験1-2までは、入力加速度に比例して変位量が増加し、その後の実験4-3, 4では入力加速度が増加しているにも係わらず変位量は減少する傾向にある。これは加振前の地表面の勾配が大きく影響していると考えられる。

以下に実験番号ごとに地盤模型の挙動を記す。

5．2 実験番号1－1

1）加速度記録

図5.2にそれぞれ測定断面A，B，C，Dの加速度記録の時刻歴図を、また、図5.3に各断面の加速度記録の鉛直分布を示す。

台加速度50gal（実質的には平均80gal程度の加速度が入力された。）程度の加振レベルに対しては、模型地盤のうち非液状化層及び液状化層低面より20cmまでの部分での加速度増幅は見られない。

液状化層内の上部及び地表に設置した加速度計の記録は斜面下方側の断面A，Bにおいては加振開始後5～10秒ほどからヒゲ状のスパイクが現れ、2～3倍に増幅されている。全継続時間中の平均的な増幅率でみると、断面Aの地表では2.0倍、断面Bで1.8倍、断面Cで1.2倍、断面Dで1.2倍程度に増幅されている。

2）間隙水圧の記録

図5.4に断面A，B，C，Dの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。
また、断面A，B，C，Dごとの間隙水圧の鉛直分布を図5.5に示す。図5.5では、加振開始後の経過時間を追って等時線で示している。同図中には、初期上載圧σ_{v0}'の鉛直分布を破線で示す。
この図から次のことが判る。

a．間隙水圧の上昇速度は斜面下方（断面A）ほど早く、液状化層上端の間隙水圧に着目すると断面Aで6秒，断面Bで9秒，断面Cで12秒，断面Dで１５秒ほどで上載厚に等しくなる。

b．断面A，B，C，Dのうち間隙水圧の絶対値は、a．で示した上載厚にひとしくなるまで

の時刻においては上載荷重の小さい斜面下方の断面Aの値が大きく、次いで断面B，C，Dとなっている。

c．このため加振の初期の段階では間隙水圧比は斜面の下方（断面Aの側）ほど大きい。

d．完全液状化している領域は液状化地盤の上部呑みであり、その厚さは、斜面下方（断面A）ほど厚い。

e．間隙水圧の消散過程は断面A，B，C，D毎に鉛直鉛直分布の等時線を示した図5.6のようである。

f．加振終了後約15～30分程度で各間隙水圧の値は零になる。

3）変位計の記録

実験1-1の変位計記録の時刻歴図及び水平変位の深度分布図を図5.7，5.8に示す。これより地表面の水平変位は、加振開始後5～10秒程度において断面A，B，Cの順に変位が発生し、この変位が発生し始める時刻は間隙水圧が有効上載圧に達する時刻に対応する。加振段階では高振動数のノイズが加振波形に含まれており間隙水圧の発生も10～15秒の間で大きく、模型地盤の変状はこの変化に対応する。また、地表面の水平変位は液状化地盤におけるせん断変形が主たる原因であることがわかる。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図5.9に示す。

図5.9の測量鋲の移動量は奥行き方向の3つの測量鋲の移動量を平均した値である。測量結果は巻末資料に収録してある。図5.10には側面および上面のスケッチを示す。

また、加振前後の模型地盤表面、側壁から見た模型地盤の様子をそれぞれ写真5.1～5.12に示す。

これらの図および写真からも地表面の変位は完全液状化に達した液状化層上層部のせん断変形によるものであり、不飽和地盤内でのせん断変形が小さいことがわかる。

5．3 実験番号1－2

1）加速度記録

図5.11に断面A，B，C，Dの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験1-2では、加振開始後1～2秒程度から液状化層底面より40cm以浅の領域において記録波形にヒゲ状のスパイクが現れ始める。

加振開始後断面Aで1秒以降、断面B～Dで2秒以降に記録波形にスパイクが出現し始め、スパイクの大きさは断面A及び不飽和地盤内では2秒ごろに最大となり、その後は減少し150gal程度の振幅となり、断面B～Dの液状化層では2～10秒ごろに最大値を示すが、断面Aのように著しく振幅が減少するようなことはない。

いずれの断面においても液状化地盤の下部でスパイクが発生しない理由は、液状化地盤の下部での間隙水圧の発生が小さいためと考えられる。

応答加速度の増幅は液状化層内の底面から20cmより上の領域で増幅されており、加速度の＋側（斜面下方へ向かう側）での増幅が大きく、－側ではほとんど増幅されていないが、逆に小さくなっている。この様子は、断面A，B，C，D毎に描いた地盤内の応答加速度振幅の鉛直分布図でも明かであ

る。図5.12に応答加速度の鉛直分布を示す。

スパイクが生じはじめた時刻以降では各点の加速度は台加速度にくらべて大きくなる。ヒゲ状のスパイクによる短周期の加速度振幅も含めて、加振時間中の最大加速度とそれが生じた時刻をひろってみると表5.2のようであった。

いずれの点においても最大加速度は斜面の下方に向かう向き（加速度振幅の＋側）で生じている。また地表近くの浅い点になるにつれて－側の振幅（斜面の上方に向かう向きの振幅）は小さくなることおよび最大加速度を生じた時刻以降の加速度振幅が減少する傾向などが生じている。このため、地表および液状化層内の大部分の最大加速度は加振終了前に生じていることが表5.2の発生時刻からも読みとれる。

表５－２　加振中の最大応答加速度（実験１－２）

高　さ	最大加速度		増幅倍率	
	Amax (gal)	発生時刻 (sec)	振動台に対する増幅倍率	底面に対する増幅倍率
	A B C D	A B C D	A B C D	A B C D
液状化層底面	106 99 110 108	0.1 0.1 3.3 0.1	0.9 0.8 0.9 0.9	1.0 1.0 1.0 1.0
底面から20cm	186 165 116 120	20. 19. 20. 0.1	1.5 1.4 1.0 1.0	1.8 1.7 1.1 1.1
底面から40cm	567 867 773 140	1.6 14. 8.0 19.	4.7 7.2 6.4 1.2	5.3 8.8 7.0 1.3
底面から60cm	617 470 551 599	1.2 1.7 3.2 2.7	5.1 3.9 4.6 5.0	5.8 4.8 5.0 5.6
地表面	466 476 400 273	1.2 1.7 2.2 2.7	3.9 4.0 3.3 2.3	4.4 4.8 3.6 2.6

注）振動台加速度は121gal

表5.2および図5.12に示すようにスパイクが生じはじめて以降の応答加速度倍率は断面Ｄを除くと液状化層底面から40cmの所で最大となり断面Ａで4.4倍，断面Ｂで6.6倍，断面Ｃで7.0倍，断面Ｄで4.8倍程度に増幅されていることがわかる。また、最大の増幅率を示す深度が、断面Ｂ，Ｃでは加振時間と共に深い方向に移動することもわかる。

２）間隙水圧の記録

図5.13に断面Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。

地盤内部を大きく液状化地盤低面以深、液状化地盤低面より20cm上の領域、それ以深の領域に分けると、液状化地盤より深い部分では加振と共に単調に間隙水圧は増加し、低面より20cmを越える部分では1波目で上昇しきり、その後は一定値を示し、液状化地盤低面より20cm上の部分は両者の中間的な傾向を示している。

断面Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄとの間隙水圧の鉛直分布を図5.14に示す。

時刻歴波形ならびに間隙水圧の空間的な分布については次のような傾向が見られる。

ａ．液状化地盤の上層部においては、1波目でほぼ上載圧に等しい間隙水圧が発生し、その後は一定値を示す。また、液状化地盤の下層部においては加振中単調に間隙水圧が上昇する傾向にある。このような傾向が異なる深度の境界は斜面上方（断面Ｄ）に行くほど浅くなる。

ｂ．非液状化層内の間隙水圧比は最大で0.3～0.4程度であり間隙水圧の値は液状化層底面の値

よりも常に小さい。

c．波形に現れるスパイクの振幅は他の実験に比べて小さく、しだいに加振終了までその振幅が小さくなり続ける傾向にある。

d．液状化層内の間隙水圧比の分布をコンターで示すと図5.15ようである。

e．1）で述べた加速度記録にスパイクが現れる時刻は、間隙水圧比がほぼ1.0に達する時刻に等しい。

また、あとで述べる変位計の記録に地表の変位が現れはじめる時刻はほぼ間隙水圧比が1.0程度まで達した時刻に等しい。

3）変位計の記録

図5.16に地表の3点で計測した鉛直変位（沈下量）の時刻歴、同じ点の水平変位の時刻歴、ならびに地中で計測した変位の時刻歴を示す。

地表のデータも液状化地盤の上層部における地中のデータも正弦波状の変化を示しており、D-11, D-12の地中変位計は良好な計測が行われていると考えられる。このことは、側面からマーカーの観測結果と地中変位計の測定結果がほぼ一致することからも確認できる。ただし、D-7, D-10は有意な変位が計測されておらず、側面からのマーカーの観測結果と一致しない。また、D-6の変位形は計測中に計測用の糸が滑車からはずれしまい14秒以後のデータが不良となっている。

地表の変形計の記録をみると次のような傾向のあることがわかる。

a．鉛直変位に変化が生じはじめる時刻は断面Aで加振開始後約1秒、断面Bで約1秒、断面Cで2秒経過した時点である。

b．水平変位に変化が見られるのは断面A、B、Cとも1秒程度経過した時である。（表5.4）

鉛直変位に変化がではじめた時刻より若干早い時刻である。

表5－4　地表の変位計に変位が計測されはじめた時刻（実験1－2）

断面	鉛直変位	水平変位
A	1 SEC	1 SEC
B	1	1
C	2	1

c．上記の時刻以降は約10㎜程度の振幅を持った正弦波状の変動をしながら加振終了まで変位量は増加し続ける。

d．断面Aの水平変位（D－4）を除くと加振時間とともにほぼ直線的に変位は増加を続け、D－4は約13秒を境に変位の加割合が減少する。

表5－5　地表の最終変位（実験1－2）

測点	加振終了後		加振終了後30分後	
	鉛　直	水　平	鉛　直	水　平
A	56.0㎜	166.0㎜	58.1㎜	165.6㎜
B	52.3	157.8	56.8	157.8
C	58.3	欠　測	60.7	欠　測

注）加振終了後30分後には間隙水圧計の出力はほぼ零まで戻っている。

e．加振終了時までに生じた変位は表5.5のようであり、斜面の下方で生じた変位（断面Cより断面Aで生じた変位）の方が小さくなっている。

f．なお、液状化層中に発生した間隙水圧の消散にともなう変位量は、鉛直方向が4㎜程度、水平方向は0.4㎜程度であり水平変位については、加振中に生じた変位に比べると無視できる

程度のものであった。

図5.17に示した水平変位の鉛直分布から次のような傾向を生じたことがわかる。

g．断面B，Cでの地中の水平変位は、液状化地盤上層部のせん断変形により発生し、加振の継続している間増加しつづける。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図5.18に示す。

また加振前および加振中の地盤表面、側壁からみた模型地盤の様子をそれぞれ写真5.13～5.24に示す。

加振開始後3秒の写真から白線によるマーカーに変状が認められ、液状化地盤上層部のせん断変形に起因する斜面下方への変状が生じている。

図5.19には、加振後に観察窓で描き写した白線マーカーの移動状況と、地表の亀裂等をスケッチした結果を示す。

上述の図5.18～5.19から次のことがわかる。

a．変状が発生している領域は、液状化地盤の上層部以浅の領域であり、変状の認められる深度は、斜面の下方（断面Aの側）ほど深い。

b．これらの地盤流動の生じはじめたときの地盤内間隙水圧比はほぼ1.0に近い値まで上昇している。

c．地表変位は、液状化地盤の上層部のせん断変形によってもたらされたものであり、これより上の部分はほとんど水平に移動しただけで形状を保ったまま変位している。

d．液状化層内の変形した部分（領域）は、加振時間の経過につれて液状化地盤の上部から下部へと広がっている。

e．流動は、加振中にのみ生じ、加振終了と同時に停止する。ただし、発生した間隙水圧の消散に応じて地表は2～4mm程度沈下する。

f．移動する土塊に作用する加速度は100～200gal程度であった。

g．写真から判読した地表の亀裂の発生状況は次のとうりである。

I）15秒で斜面下端から4～6m付近にひびわれが増加し幅も拡大。

II）加振終了後斜面下端から2.0mは水没（加振開始時は斜面下端から1.4mまで水没）。

5．4 実験番号1－3

1）加速度記録

図5.20に、断面A，B，C，Dの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験1-3では、167gal程度の振幅を持つ加速度が入力された。

この入力加速度に対して、液状化層下面から20cmおよび地表面に埋設した加速度記録には、ヒゲ状のスパイクが生じており、地表面の加速度記録ではスパイクが発生した後、振幅が急激に減少している。この傾向は液状化層上部の加速度形の一部にも認められる。

図5.21には、加速度振幅の鉛直分布を示す。

この図においては、下記のb.を考慮して、各時刻にもっとも近い時点の＋側の振幅、－側の振幅を用いている。

図5.20，5.21から次のことに気付く。

a．加振開始直後から、液状化層底面より20cm以浅の点においては加速度記録にはひげ状のスパイクが現れている。

b．加速度の振幅は＋側（斜面下方に向かう側）の値の方が－側よりも大きい。この傾向は加振開始と同時に認められ、－側の振幅は極めて小さくなる。

c．非液状化層における加速度の増幅はいずれの断面においても0.9～1.0倍程度となっており、増幅されていない。

d．液状化層内での加速度振幅の増幅は大きく、加振後3秒程度で生じる最大の値は＋の側で4～6倍程度になっている。

e．地表付近の不飽和層内ではこれに比べて加速度の増幅は小さく、加振とともに減少し最終的には0.2～1.0倍程度の増幅倍率となっている。

f．加振開始直後から現れるスパイクは、後述する間隙水圧の加振開始直後の急な上昇によってもたらされたものと考えられる。

2）間隙水圧の記録

図5.22に間隙水圧の時刻歴を示す。

液状化層上層部では、ほぼ加振開始と同時に1波目で間隙水圧は初期上載圧近くまで上昇し、それ以深の領域では加振中増加を続けている。

図5.23に間隙水圧の鉛直分布を示す。

図5.22,5.23から次のような点に気付く。

a．断面A，Bの液状化層及び断面C，Dの液状化層上層部では1波目でほぼ初期上載圧まで上昇している。

b．全体として初期上載圧に達していない計測値となっているが、間隙水圧の深度分布の傾向からは完全液状化に達していると考えられ、2回の加振による地盤の形状の変形を考慮して上載圧を計算しなおす必要がある。

3）変位計の記録

図5.24に変位計の時刻歴を、また図5.25に水平変位の鉛直分布を示す。

図5.24,5.25から気付く実験1-3における変位の特徴は以下のような点である。

a．地表、地中とも変位はほぼ加振開始と同時に生じている。これは間隙水圧比が加振開始とほぼ同時に1.0近くまで上昇していることと符合する。

b．断面A，Cにおける地表の変位は地盤の動的な応答による正弦波状の変動はあるものの、その中央値は加振の継続時間中はほぼ直線的に増加する。

c．これに対し、斜面中央に近い側の断面Bでは水平変位も鉛直変位も上に凸な曲線を描いて増加しているが、原因についてはさらに吟味が必要である。

d．地中の変位計については、その傾向は側壁からの観測結果と一致するが、地中における水

平変位量については変位計による計測結果の方が小さい。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後の測量鉄の測量結果を図5.26に示す。また写真5.25～5.30に加振前、加振中および加振後の模型地盤の状況を示す。

図5.27には、加振後の模型の状況のスケッチを示す。

これらの写真及び図から次のことがわかる。

a．加振後の地表面形状は左端から3m程度まではほぼ水平となり、これより右の部分は4/100程度の勾配となっている。

b．加振前（実験1-2終了時）には左端から2.4m程度の部分では2/100程度、これより右側の部分では4/100程度の勾配であり、加振により斜面の下方で勾配が2/100程度ゆるくなったことがわかる。

c．地表面には、全域にわたって亀裂が生じ、実験1-2で生じた亀裂幅も拡大している。

5．5 実験番号1－4

1）加速度記録

図5.28に加速度記録の時刻歴図を示す。

入力加速度振幅は223galで、非液状化層では、振動台加速度とほぼ等しい一定振幅の応答を示している。

液状化層内の加速度は、いずれの断面においても、液状化層低面より20cm上の領域で100galを越えるようなスパイクが発生しており、それ以深の領域では応答加速度が小さくなっている。

図5.29には加速度の鉛直分布を示す。

図5.28,5.29から次のことが指摘できる。

a．非液状化層内での加速度の増幅率は、いずれの断面においてもほぼ0.9となっている。

b．液状化層内での加速度の増幅は液状化層低面より20cm上の領域で大きく、2～4倍に達する。

c．地表面での加速度の増幅率は加振開始後2秒程度で2～4倍と大きな値を示すが、その後急激に減少し0.5倍程度となる。

d．また加速度記録にドリフトが生じたものがあり、これらについては加速度計が傾斜したと考えられる。

2）間隙水圧計の記録

図5.30に間隙水圧の時刻歴を示す。また、間隙水圧の鉛直分布比を図5.31に示す。

実験1-4においては、加振開始後2～3波目で間隙水圧の上昇が終了し、その後は一定値を示す。図5.31では、破線で示した初期上載圧の線まで間隙水圧の値が達していないが、これは3回の加振により地盤の形状が初期状態から大きく異なったことにより、初期上載圧の計算値に誤差が生じたためである。

3）変位計の記録

図5.32に変位記録の時刻歴を、また図5.33に水平変位の鉛直分布を示す。

地表の水平変位は、断面A，Bと断面Cでは傾向が異なり、断面A，Bでは直線的に増加するのに対し、断面Cでは加振開始後5秒程度までは増加割合が大きく、その後増加割有為が減少する傾向にある。地中の変位も地表の変位と同様の傾向を示す。また、液状化層底面から40cmまでの変位は－の値を示すことがあり、計測上の誤差とも考えられるが現時点ではこの原因はよく判らない。

4）測量結果および側壁からの観察結果

加振終了後の地表の測量鋲の測量結果を図5.34にまた図5.35に側壁および地表のスケッチを示す。写真5.31～5.36に加振前後の模型の状況を示す。写真5.37に加振後の亀裂と段差を示す。

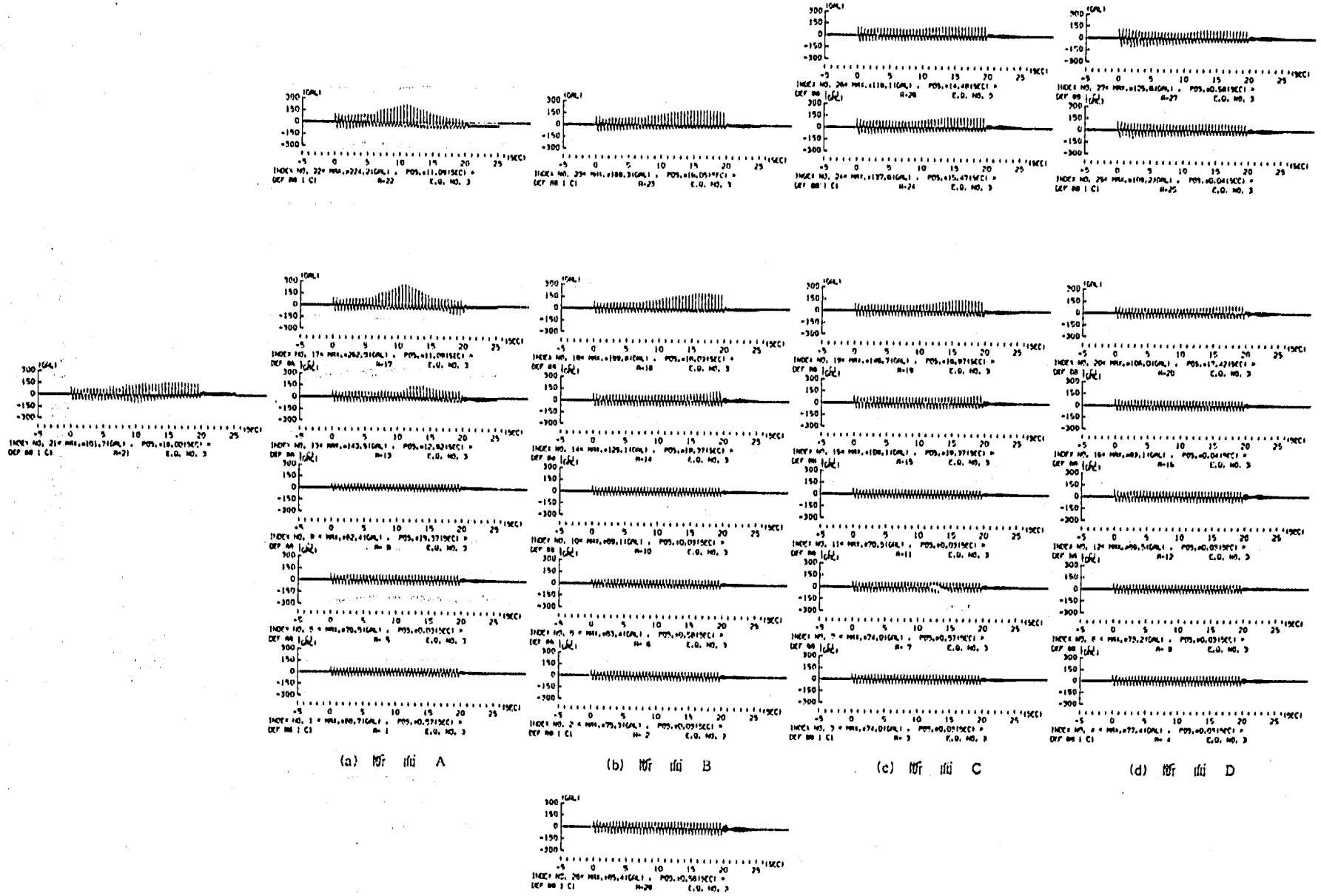
模型の長さ方向に斜面下側、中央、斜面上部の3つの部分に大まかにブロック分けをすると、実験1-4では、斜面下側の部分（断面A）及び中央部分（断面B）では、地表面の勾配が小さかったため斜面上部（断面C）より権威量が小さく、その変位の発生傾向を異なる。最終的に4回の加振による累積変位量を見ると中央部分での変位量が40cm程度と最大であり、斜面下部及び上部では境界の影響を受け、斜面下部では30cm程度，斜面上部では25cm程度の変位量となっている。



写真　5－37　加振後の亀裂と段差

5．6　模型－1の挙動のまとめ

厚さ70cm、相対密度51%の飽和した砂層の上に勾配5%の不飽和な斜面の載った模型－1は、入力加速度50galの加振によって、加振開始後6～15秒程度で飽和砂層内の間隙水圧比は1.0近くまで上昇し、その後の引き続く加振継続時間中に永久的な変形が累積した。入力加速度100gal、150galおよび200galの加振段階ではほぼ加振開始と同時に飽和層内には間隙水圧比1.0に近い間隙水圧が発生し加振継続時間中に変形が生じた。



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図5－2 加速度記録の時刻歴図（実験１－１）

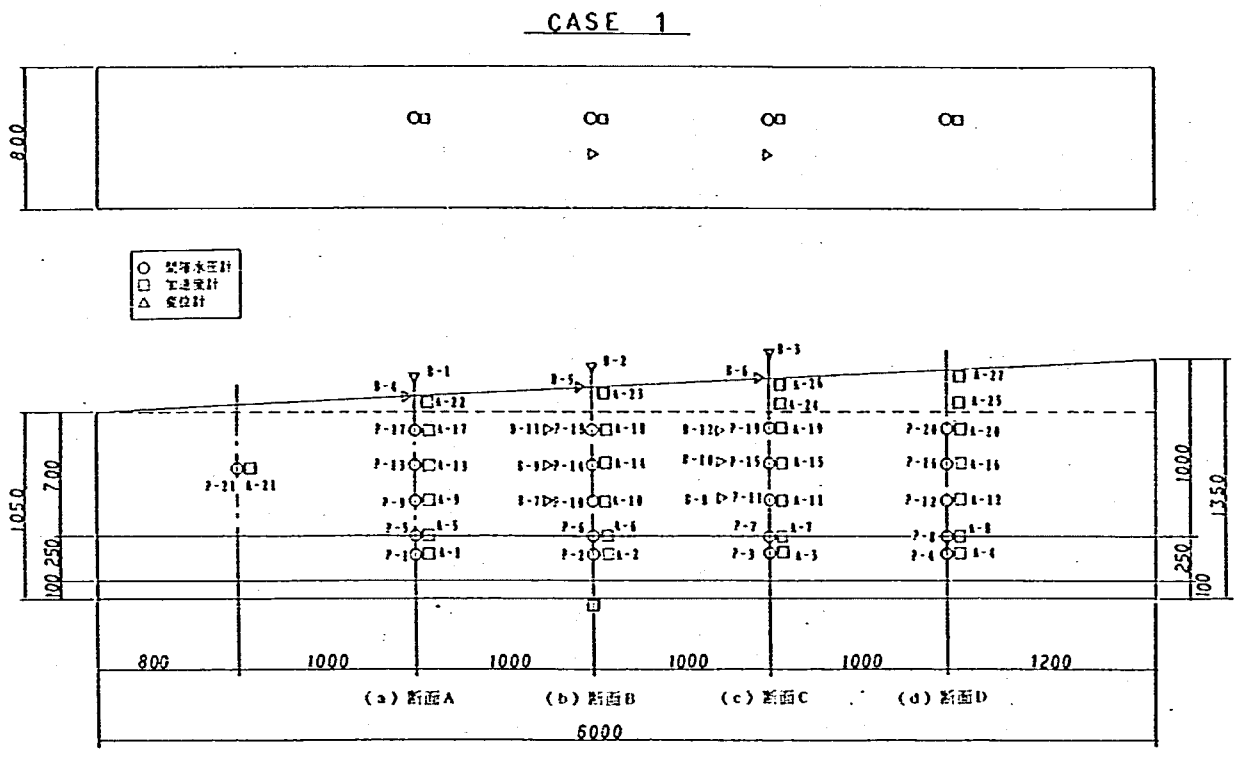
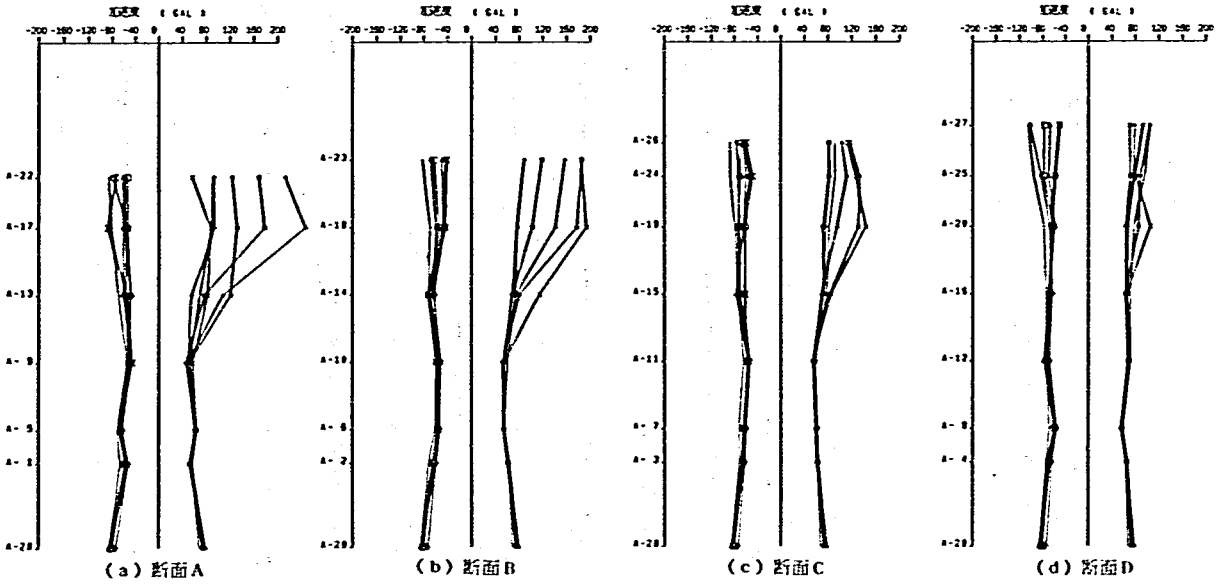


図５－１　模型－１の形状および計測器の配置状況



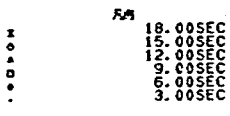
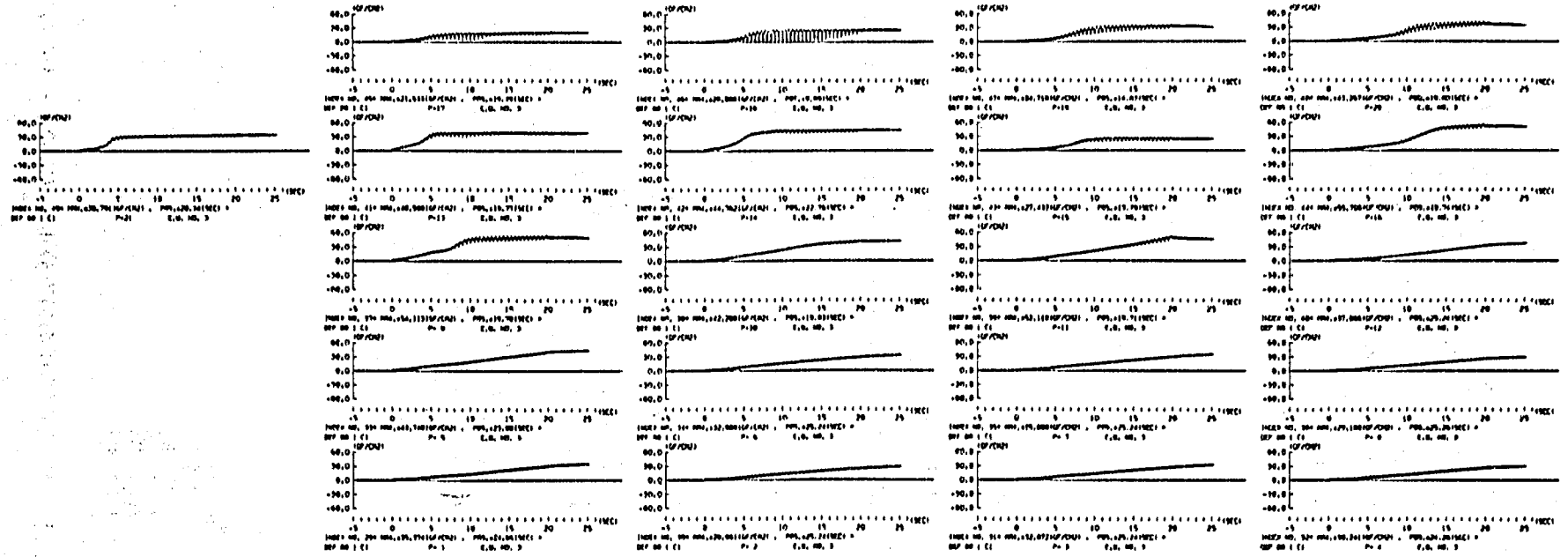
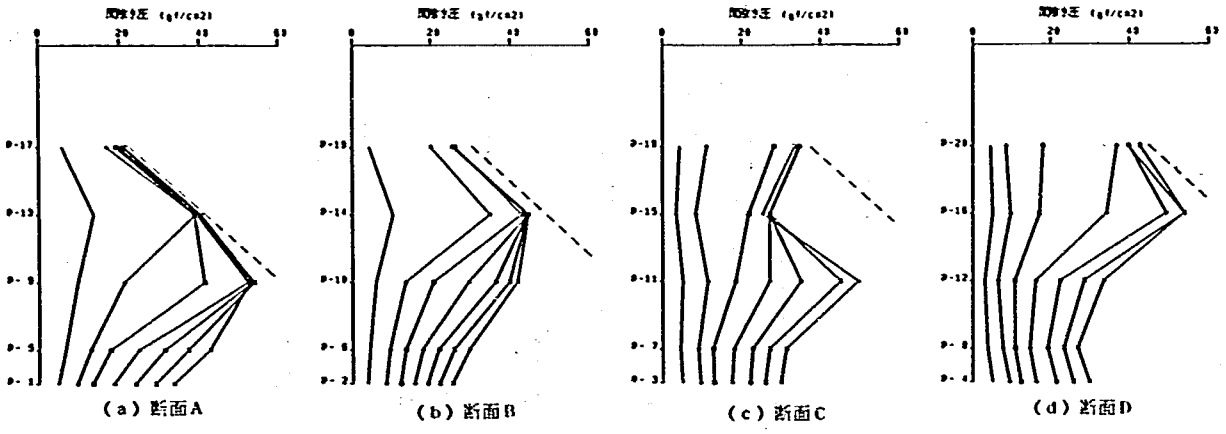


図５－３　加速度の鉛直分布図（実験１－１）



(a) 断面 A　(b) 断面 B　(c) 断面 C　(d) 断面 D

図5－4 間隙水圧記録の時刻歴図（実験１－１）



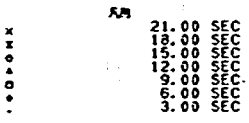
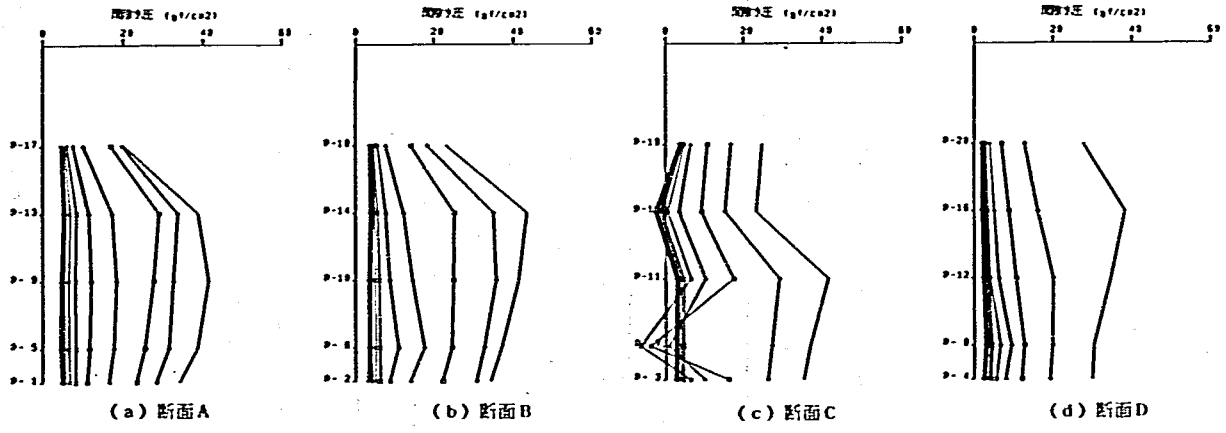


図５－５　間隙水圧の鉛直分布図（実験１－１）



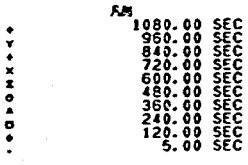
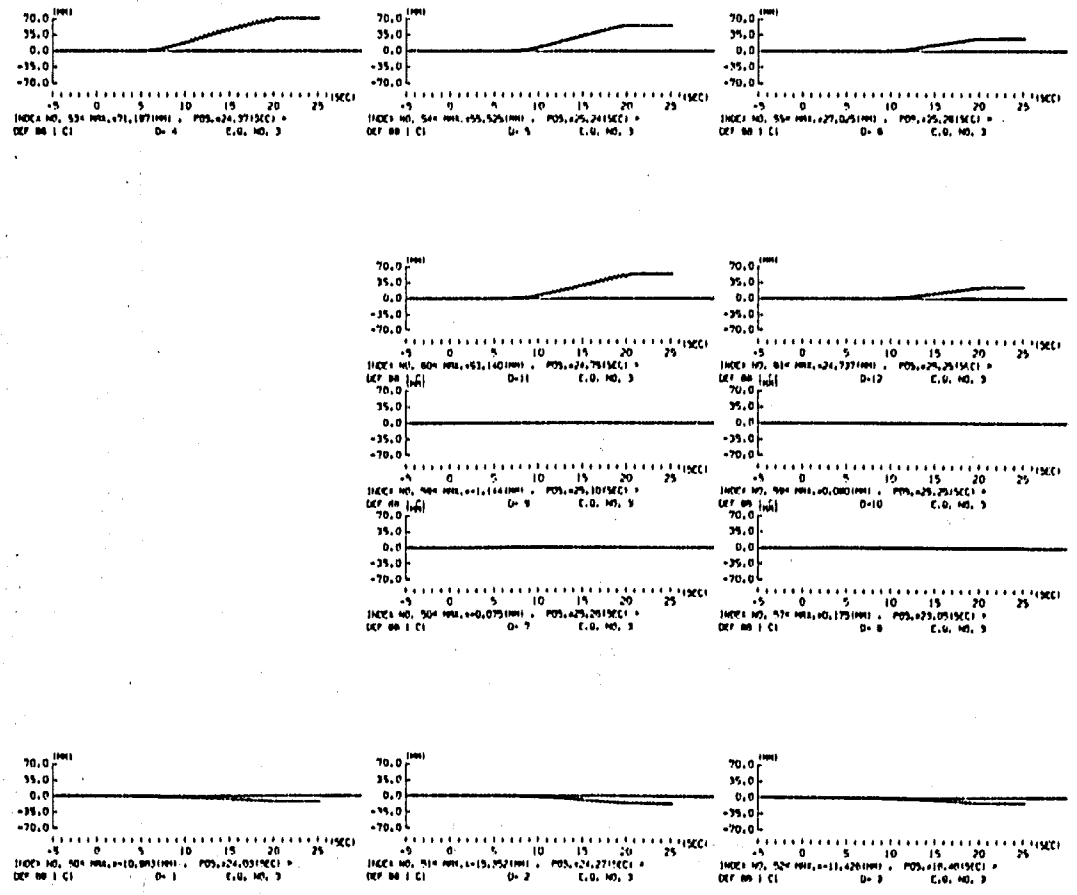


図５－６　間隙水圧の鉛直分布図（実験１－１消散過程）



(a) 断面 A　(b) 断面 B　(c) 断面 C

図5－7 変位計記録の時刻歴図（実験１－１）

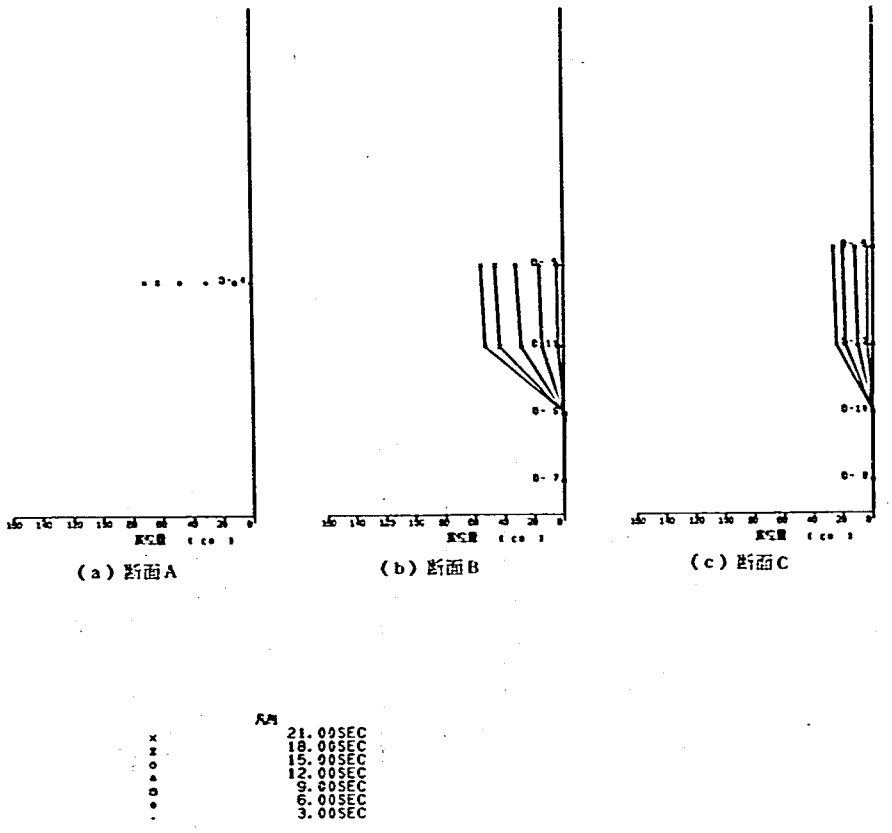


図5－8　水平変位の鉛直分布図（実験1－1）

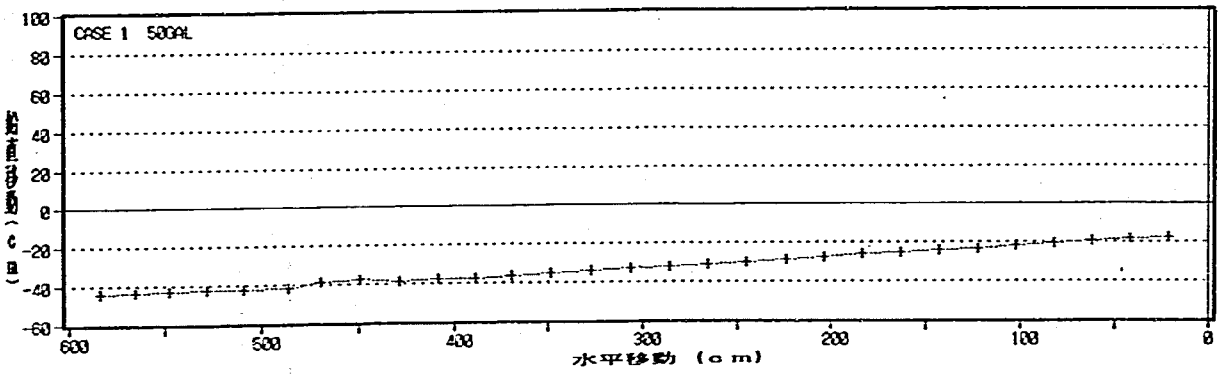


図5－9　地表面変位測定結果図（実験1－1）

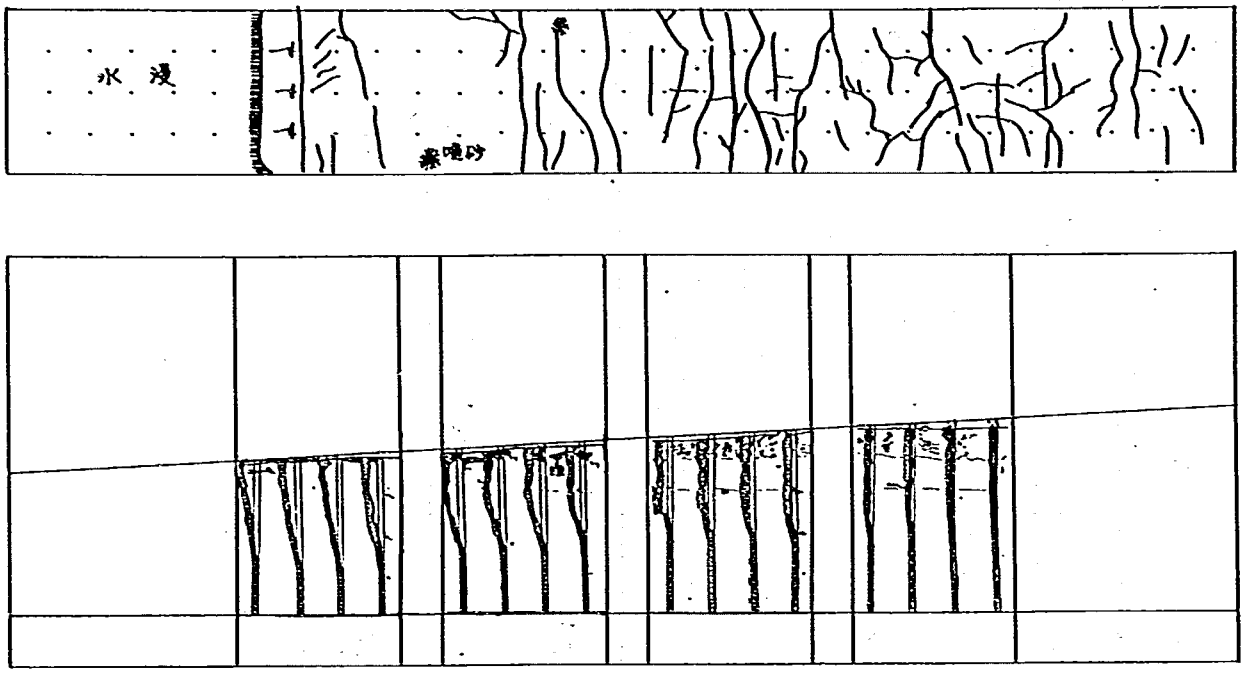
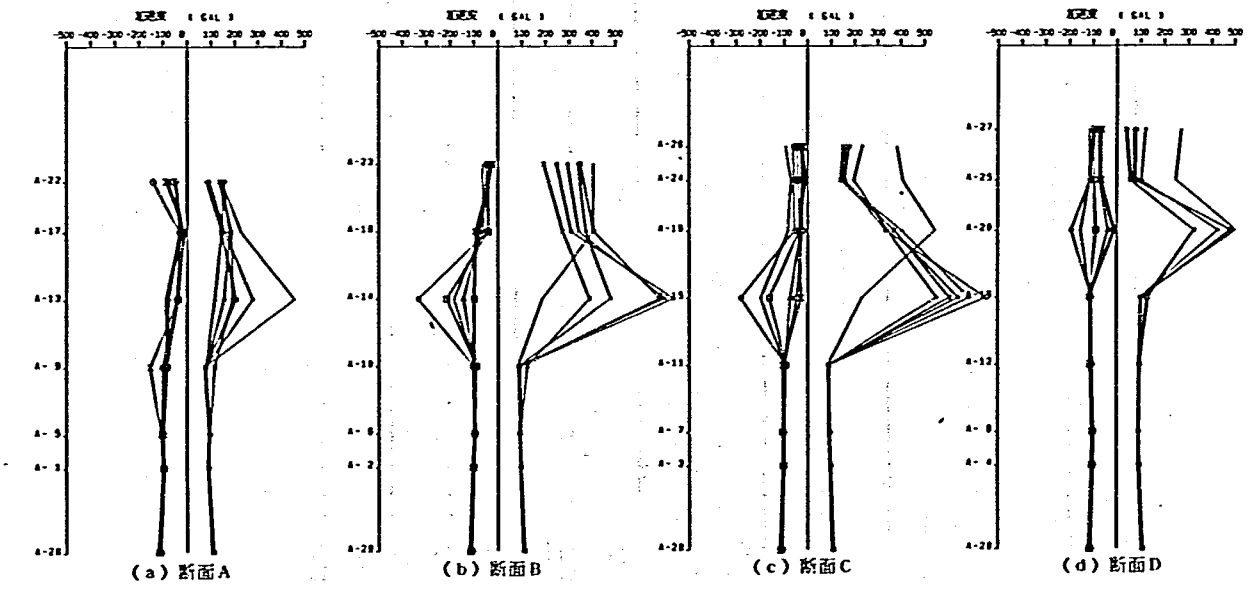


図５－10　側面および上面からのスケッチ図（実験１－１）



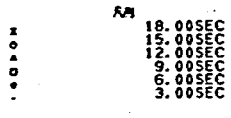
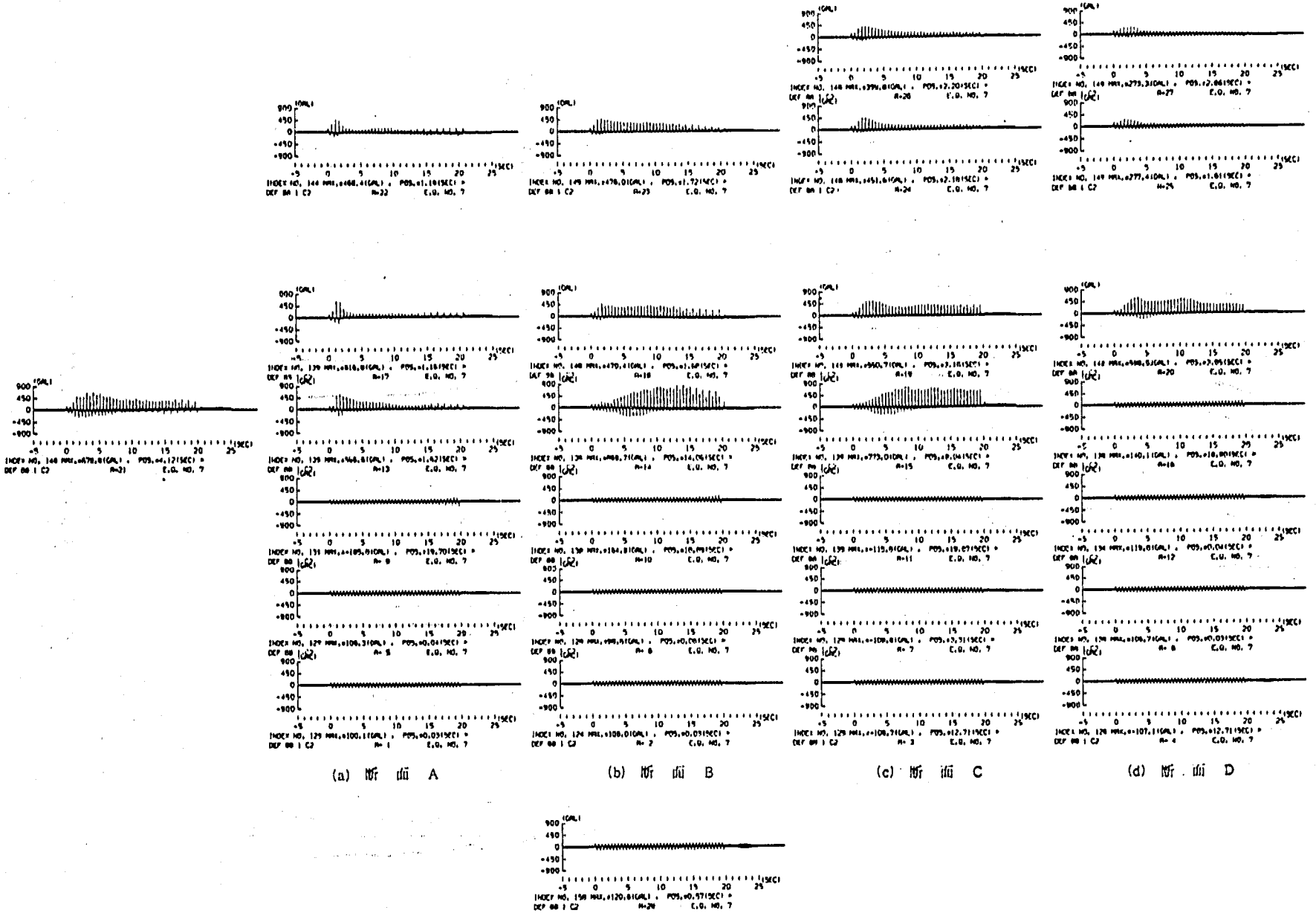
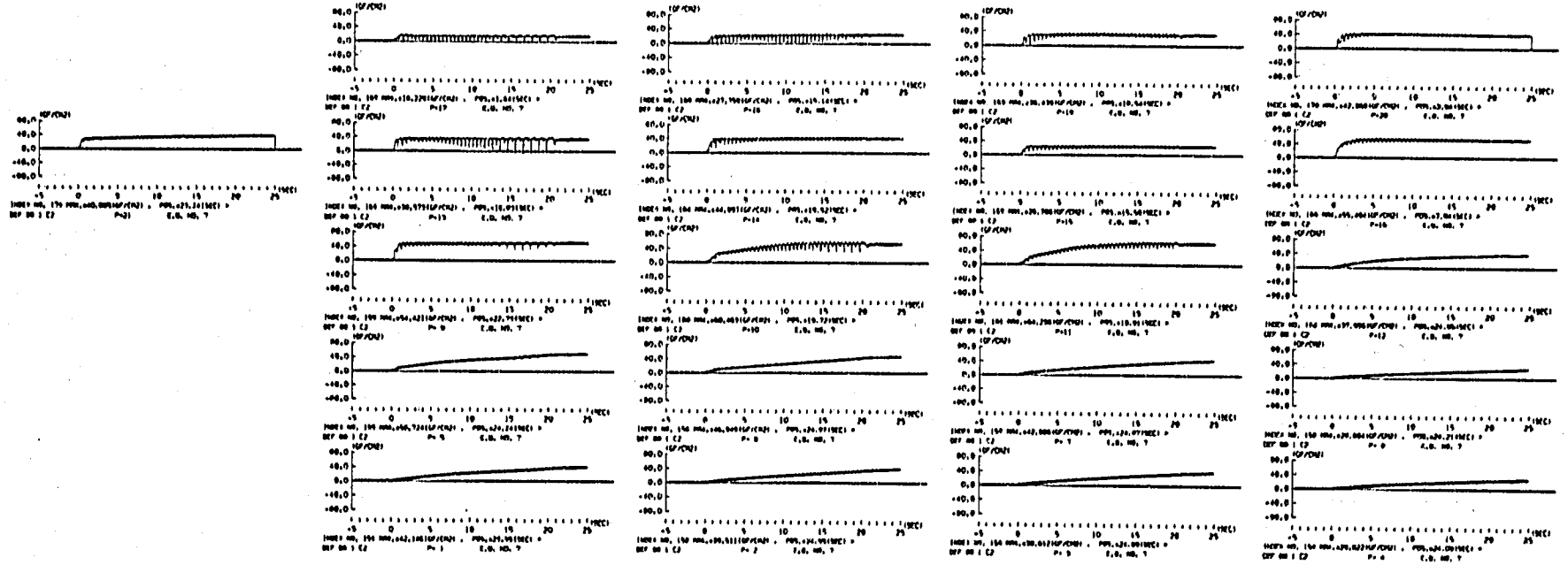


図５－12　加速度の鉛直分布図（実験１－２）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図5－11 加速度記録の時刻歴図（実験１－２）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図5－13 間隙水圧記録の時刻歴図（実験１－２）

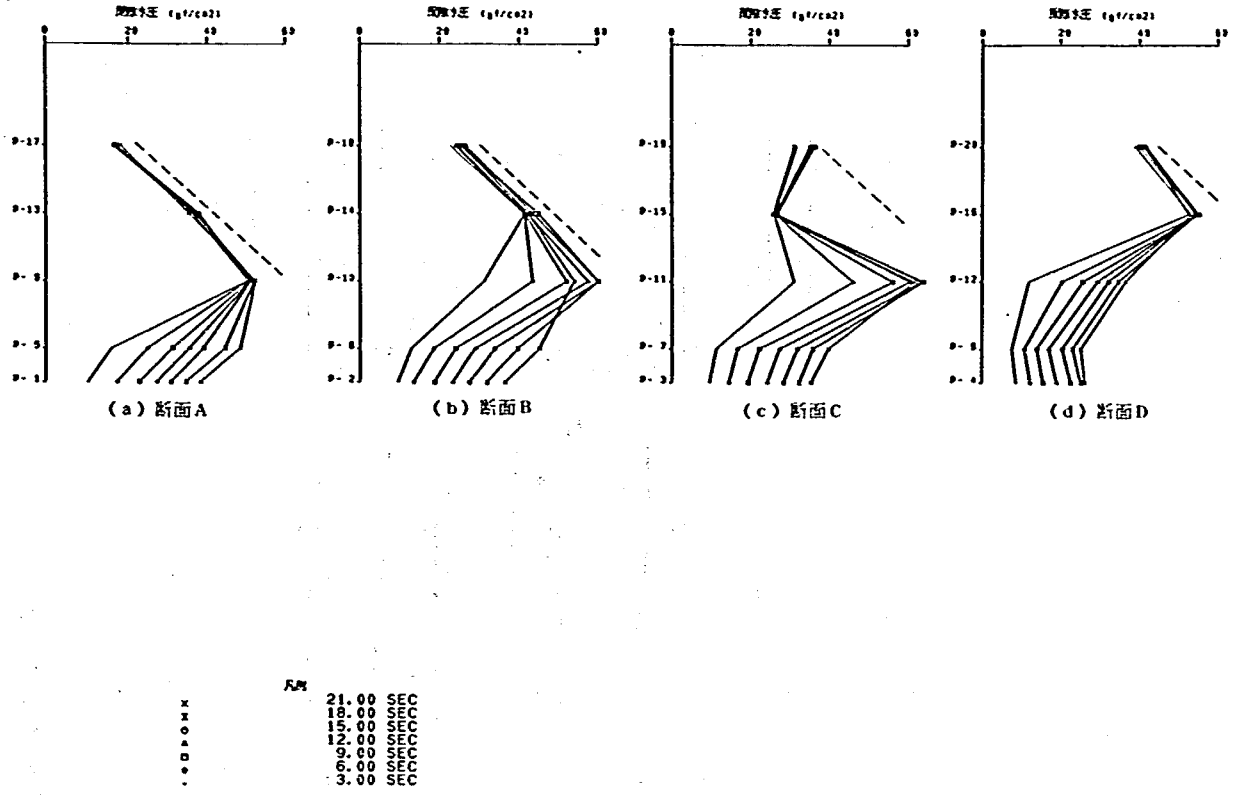
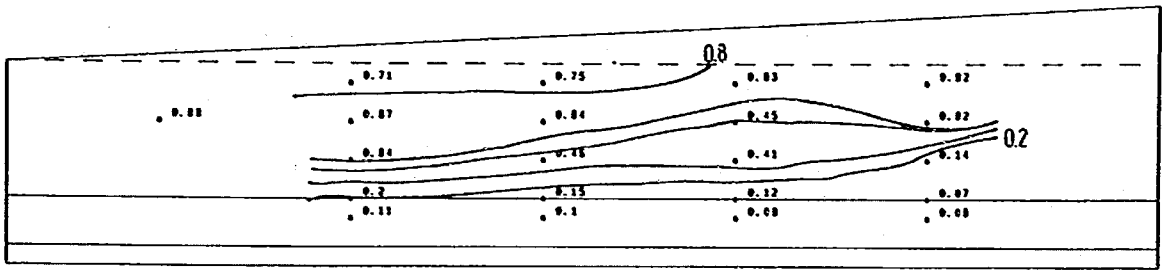
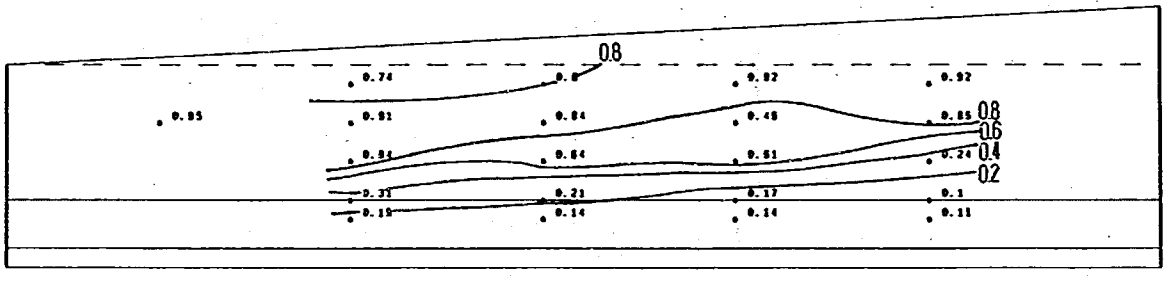


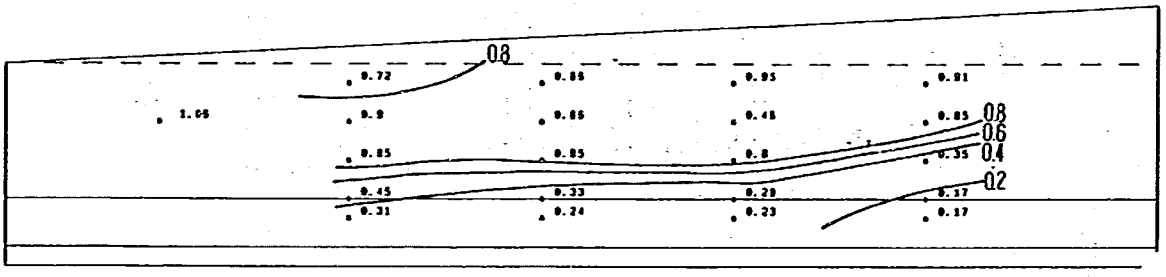
図5－14　間隙水圧の鉛直分布図（実験1－2）



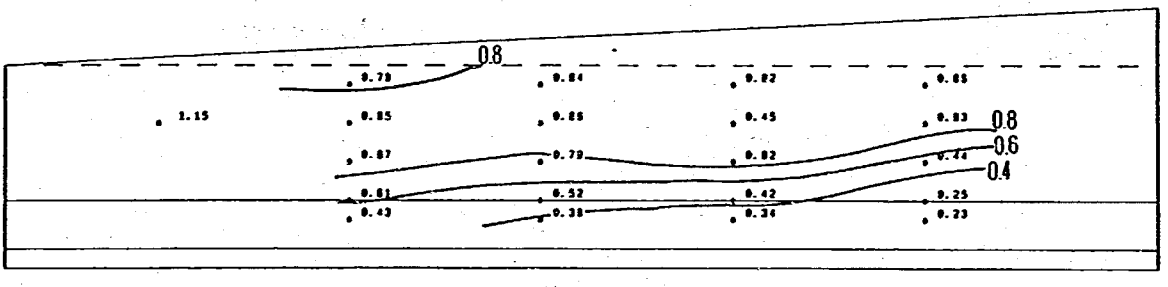
(a) 加振開始後３秒



(b) 加振開始後６秒

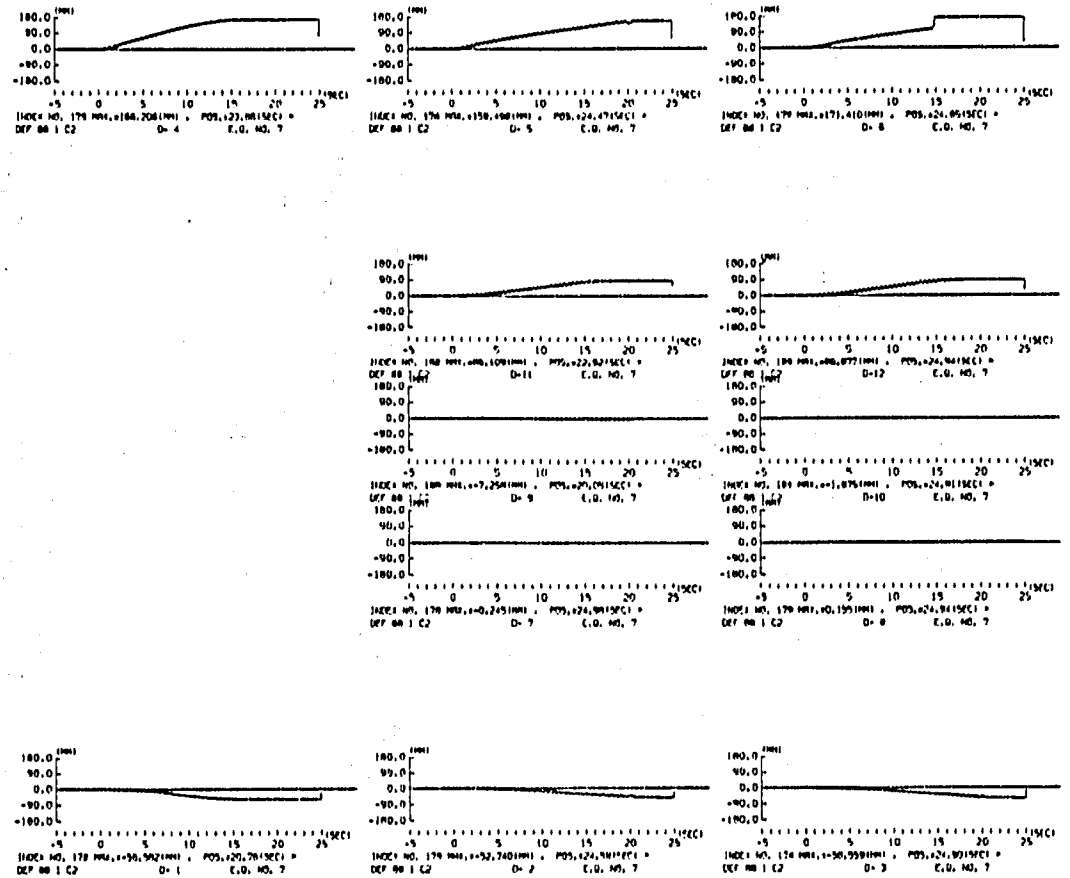


(c) 加振開始後12秒



(d) 加振開始後21秒

図５－15　間隙水圧比のコンター図（実験１－２）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図5－16 変位計記録の時刻歴図（実験１－２）

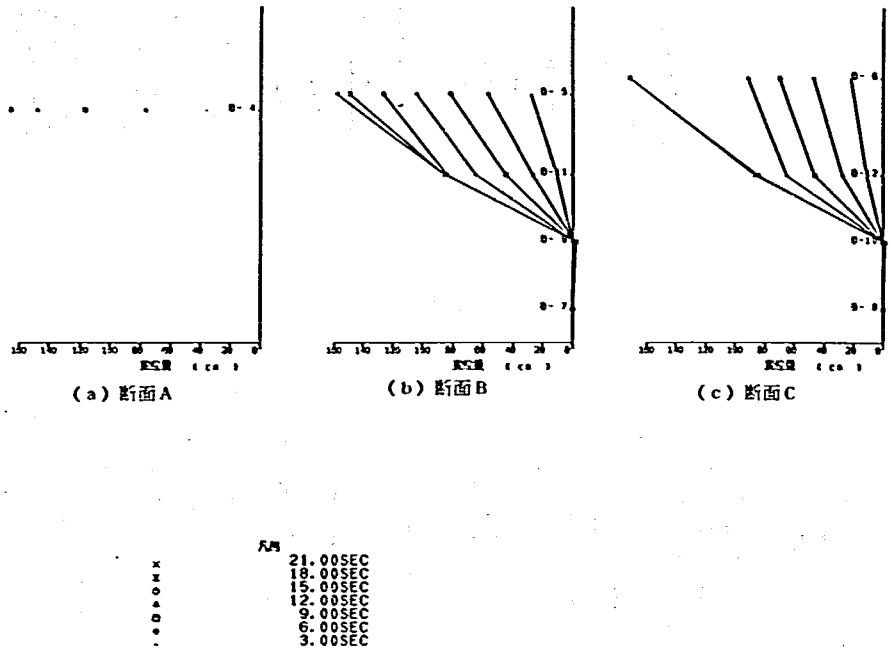


図5－17　水平変位の鉛直分布図（実験1－2）

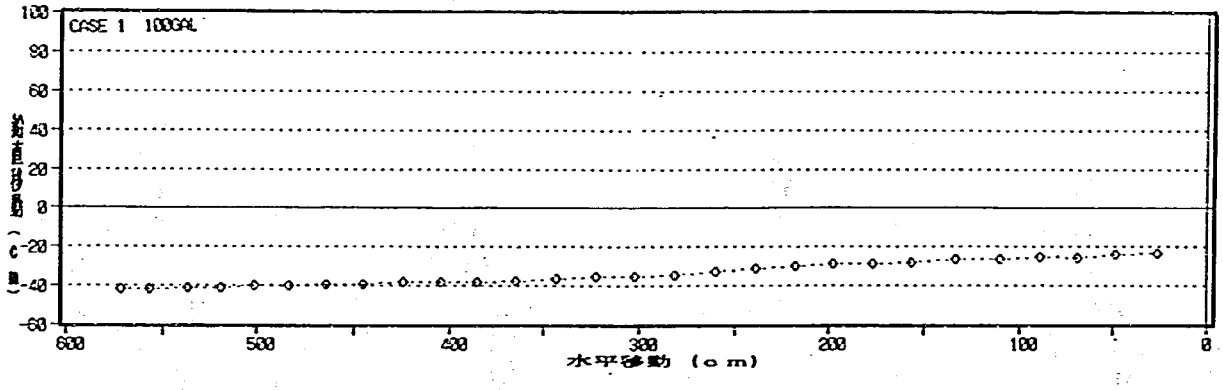


図5－18　地表面変位測定結果（実験1－2）

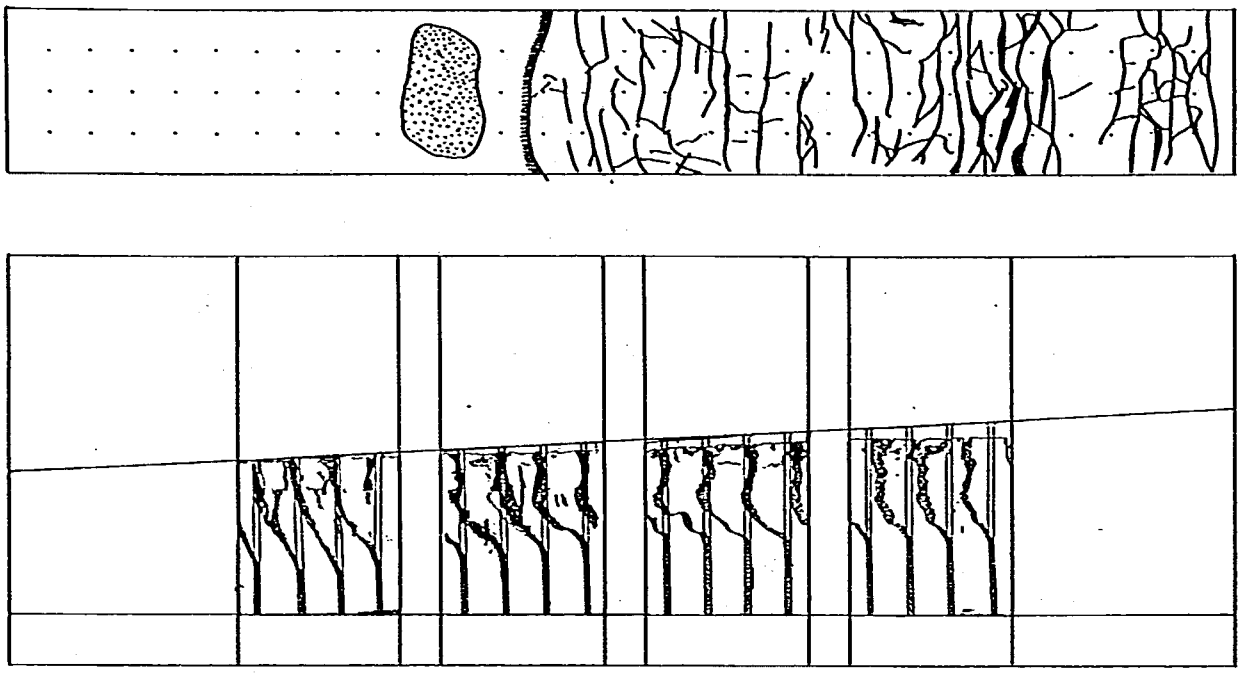
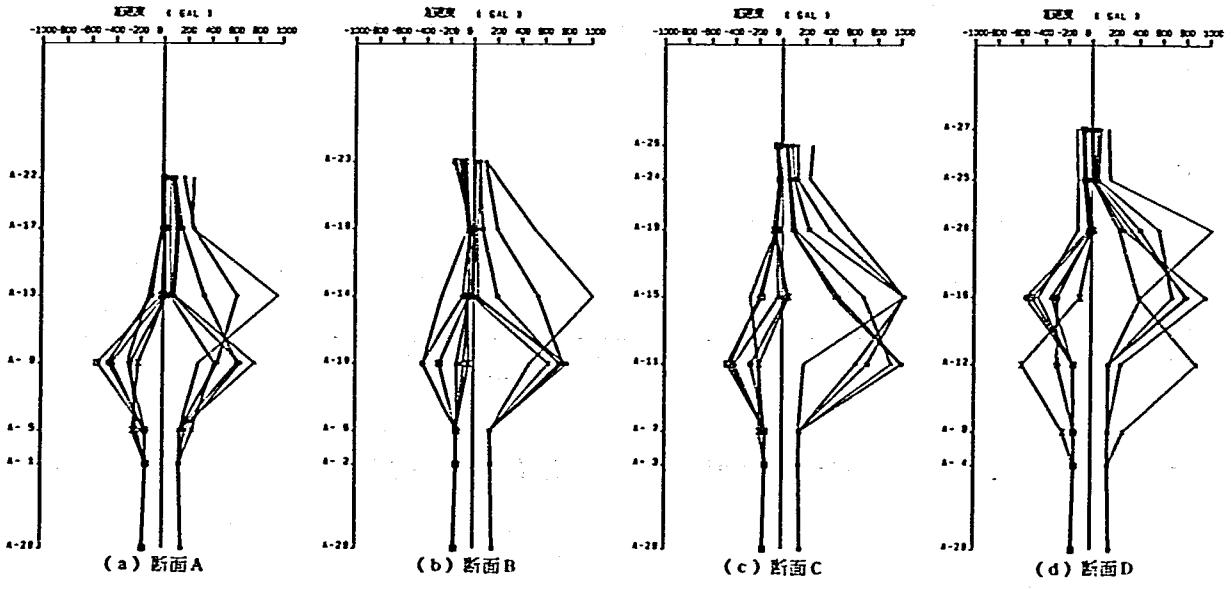


図５－19　側面および上面からのスケッチ図（実験１－２）



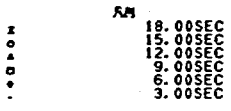
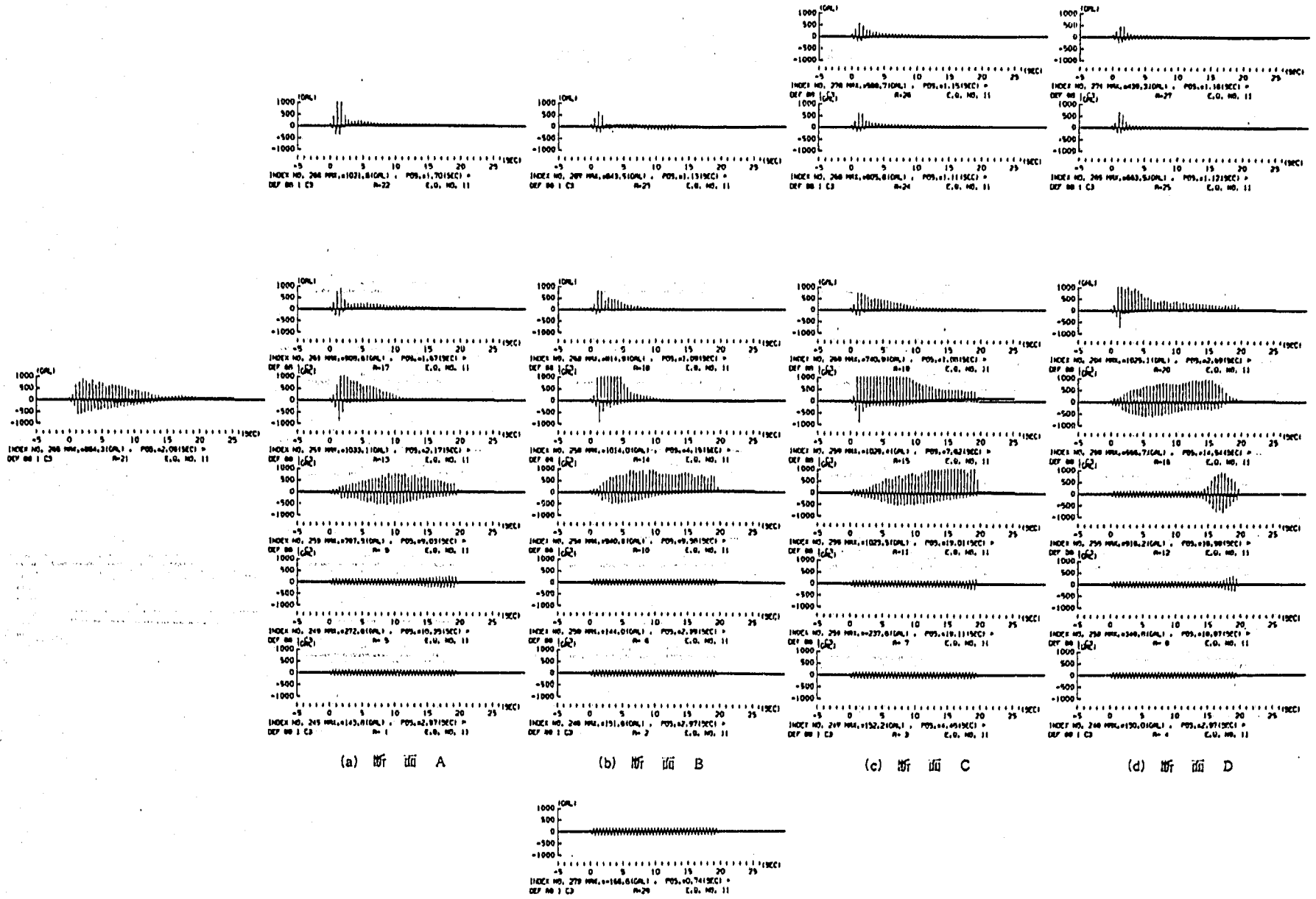
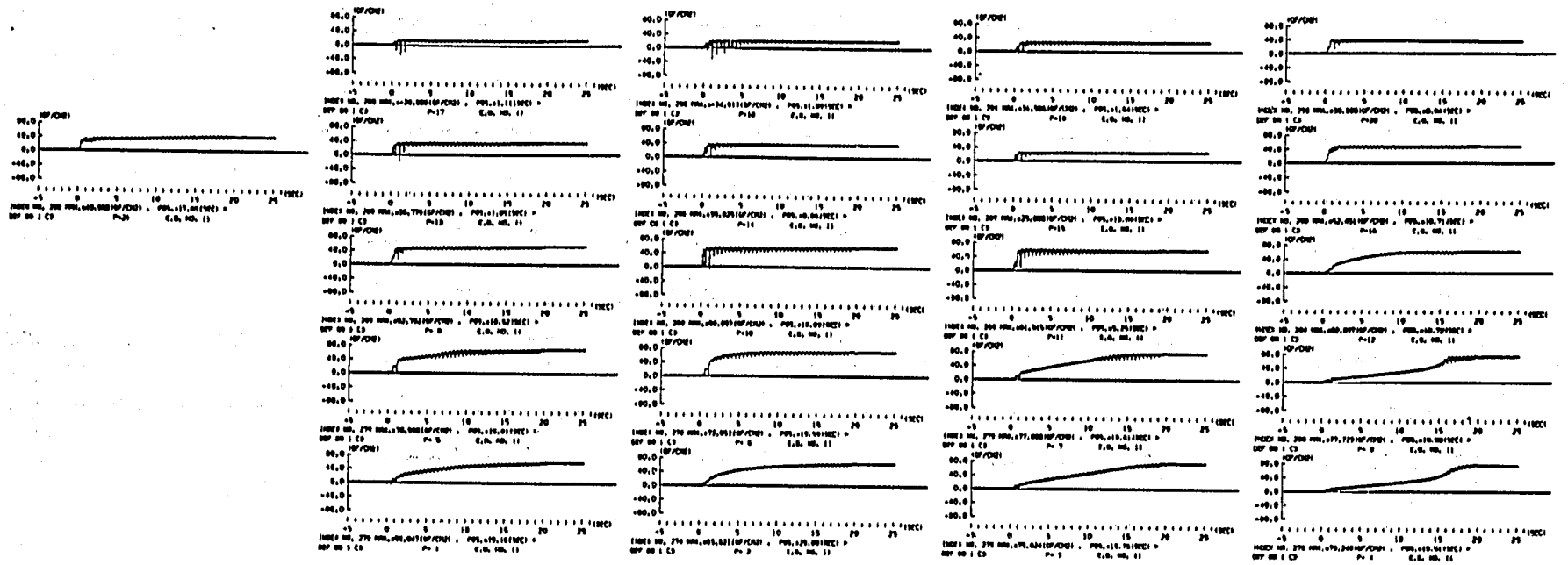


図５－21　加速度の鉛直分布図（実験１－３）



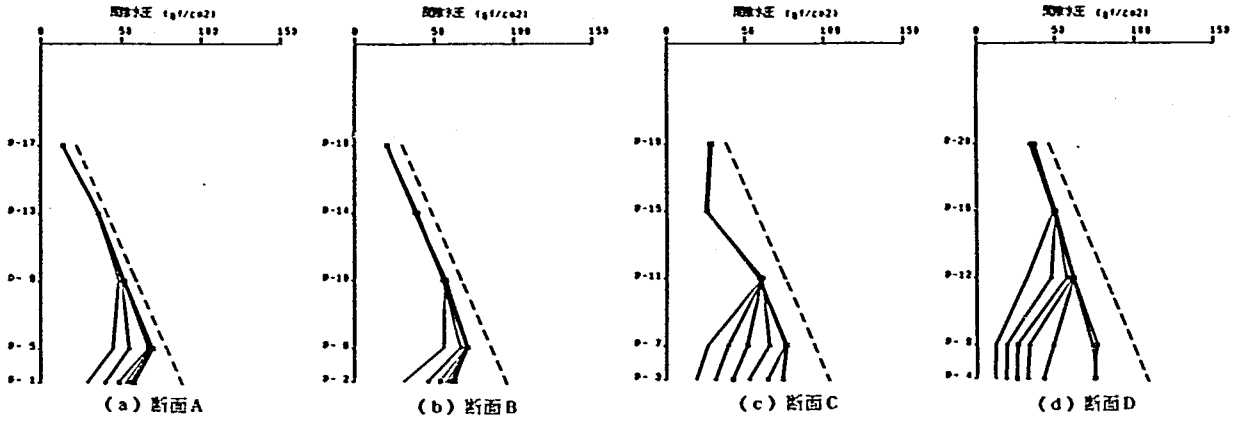
(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図5－20 加速度記録の時刻歴図（実験１－３）



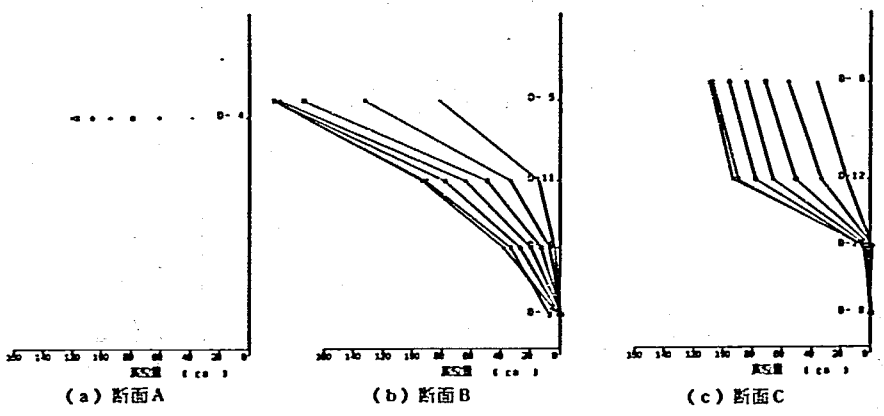
(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図5－22 間隙水圧記録の時刻歴図（実験１－３）



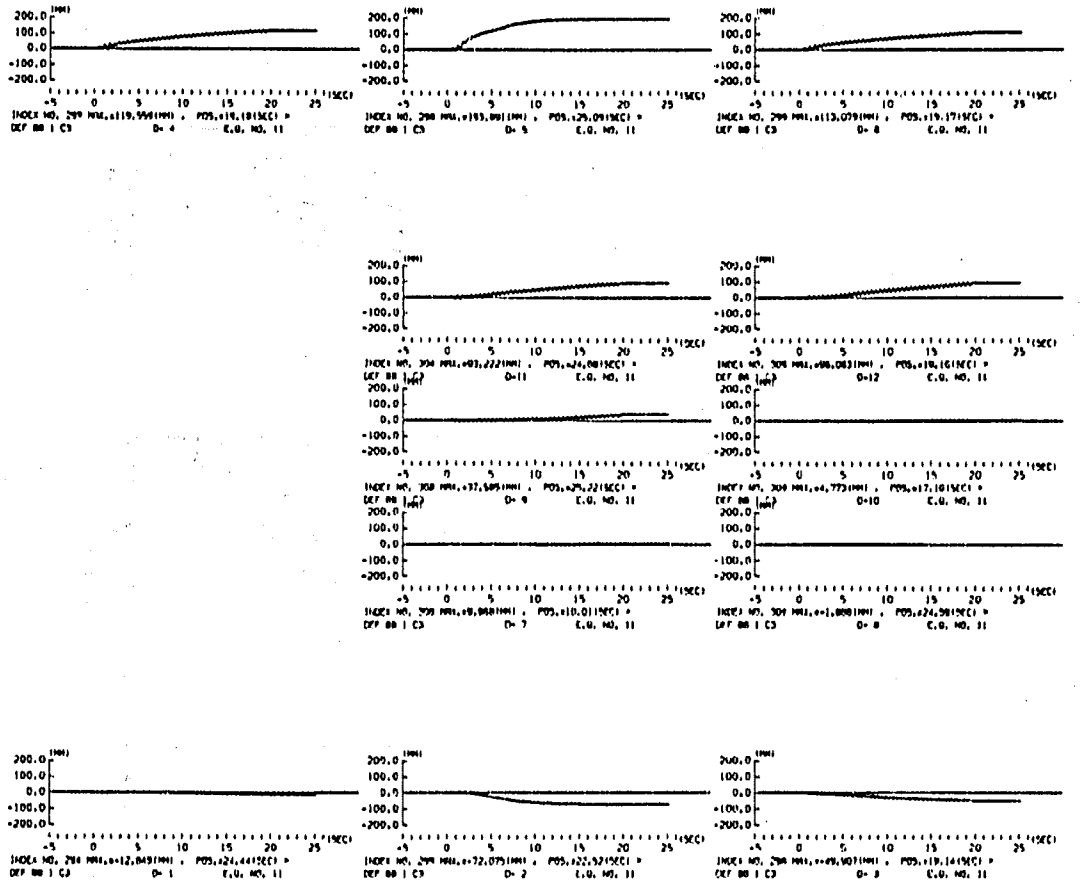
凡例
21.00 SEC
18.00 SEC
15.00 SEC
12.00 SEC
9.00 SEC
6.00 SEC
3.00 SEC

図 5 －23　間隙水圧の鉛直分布図（実験 1 － 3）



凡例
21.00SEC
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

図 5 －25　水平変位の鉛直分布図（実験 1 － 3）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図5－24 変位計記録の時刻歴図（実験１－３）

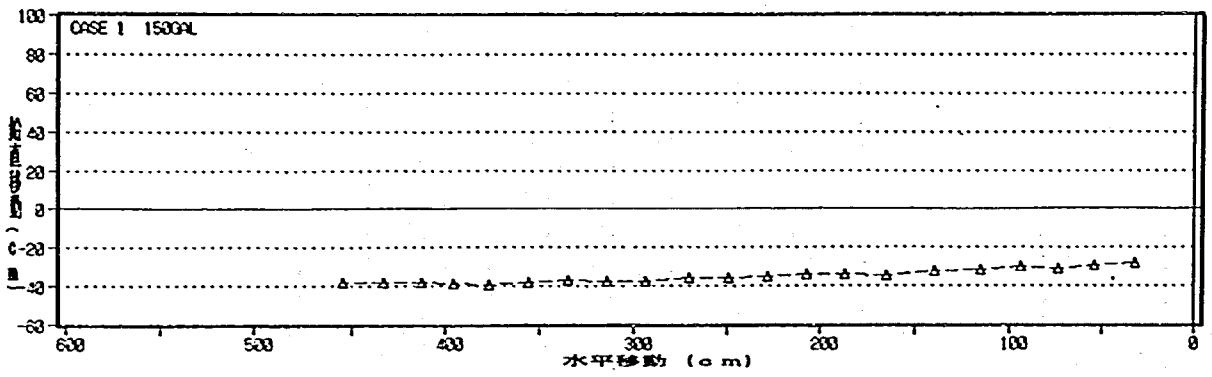


図５－26　地表面変位測定結果図（実験１－３）

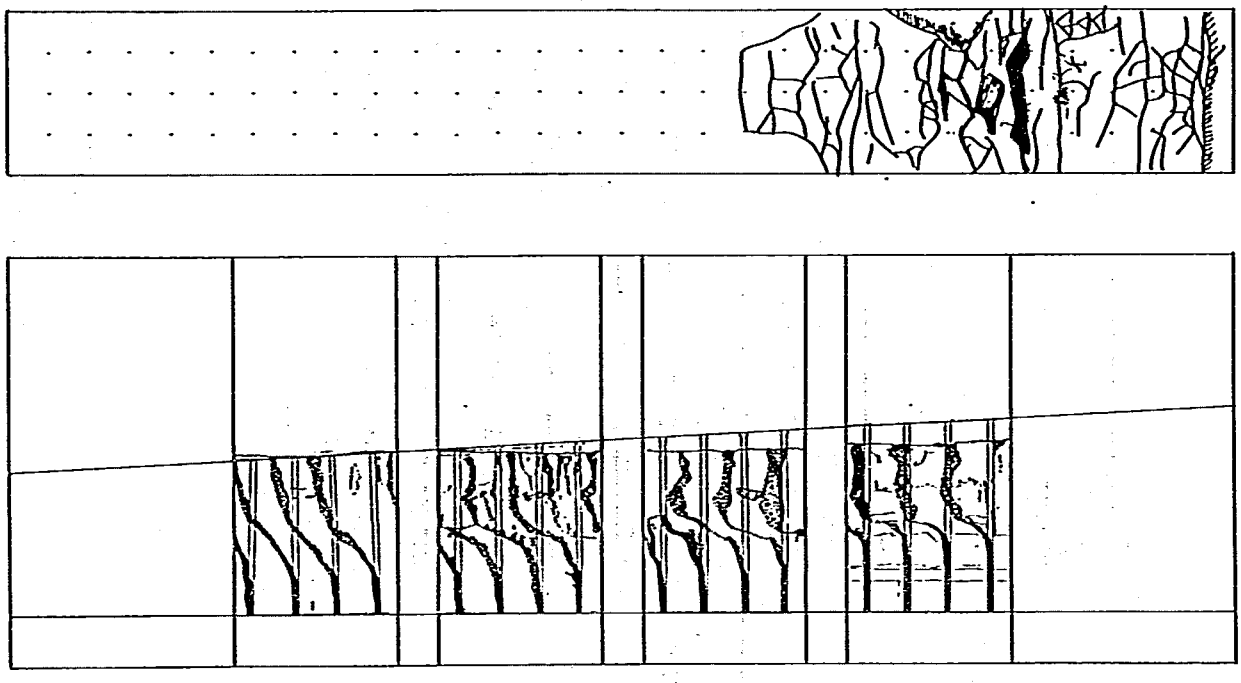
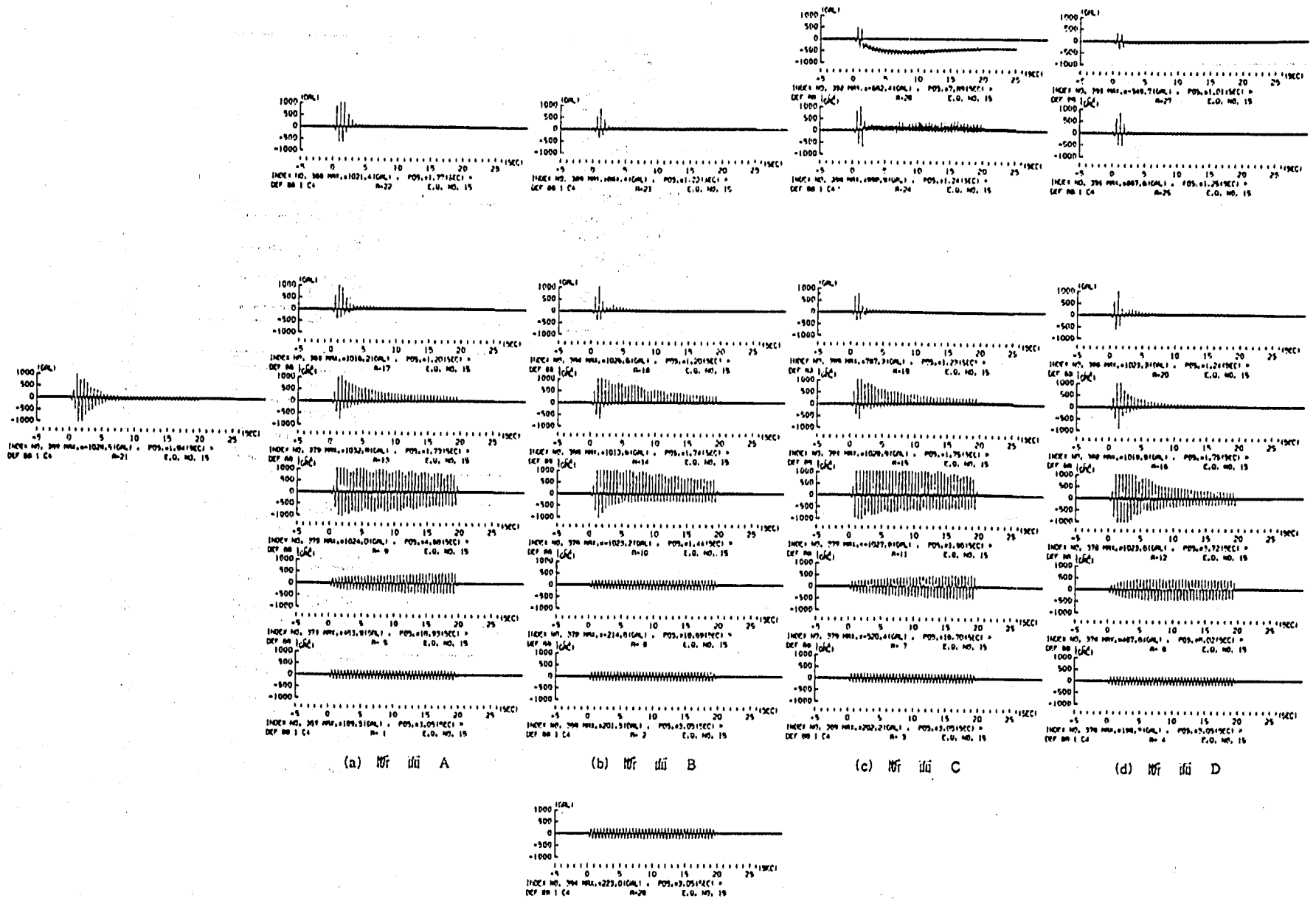


図５－27　側面および上面からのスケッチ図（実験１－３）



(a) 断面 A　(b) 断面 B　(c) 断面 C　(d) 断面 D

図5－28 加速度記録の時刻歴図（実験１－４）

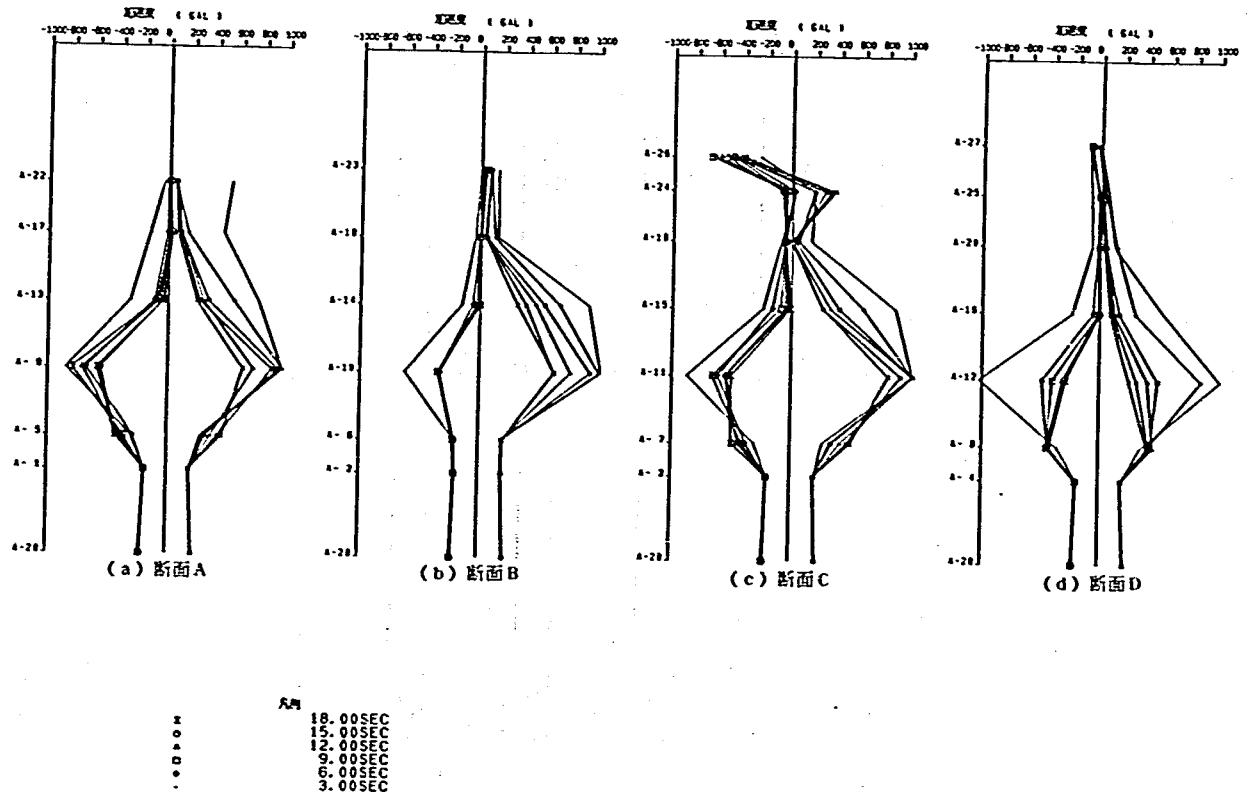


図5－29　加速度の鉛直分布図（実験1－4）

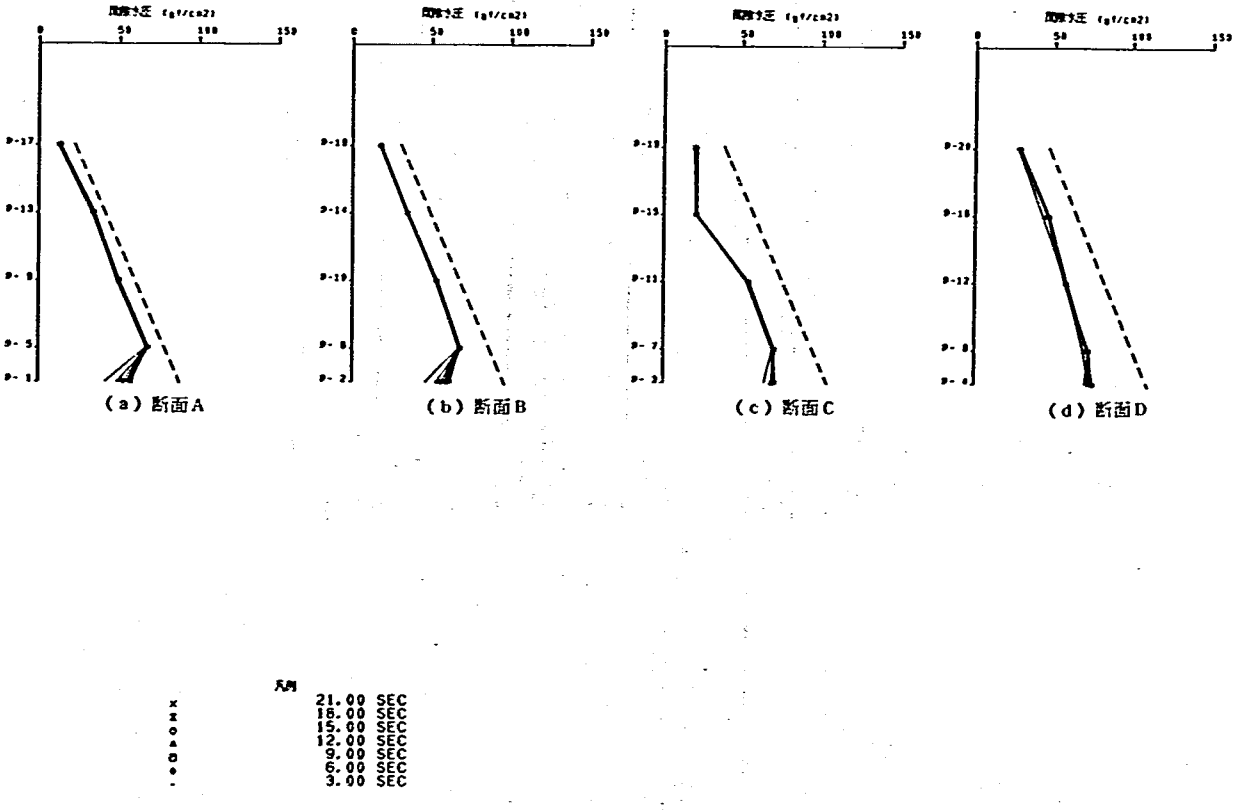
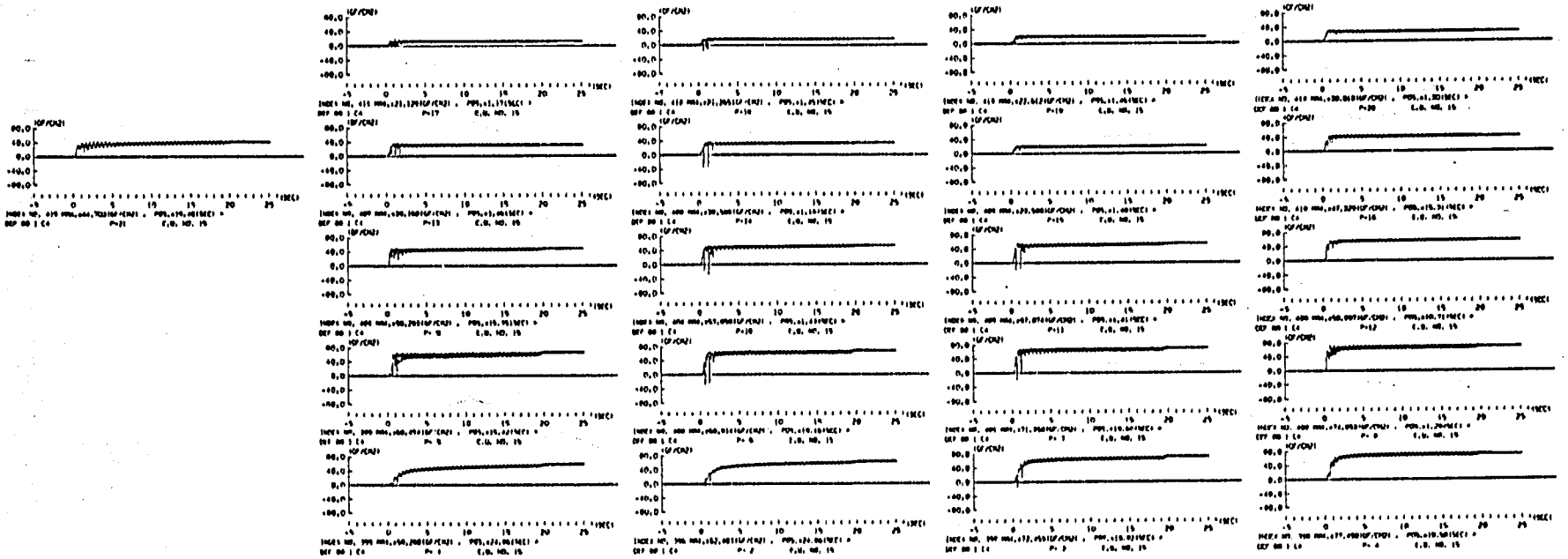
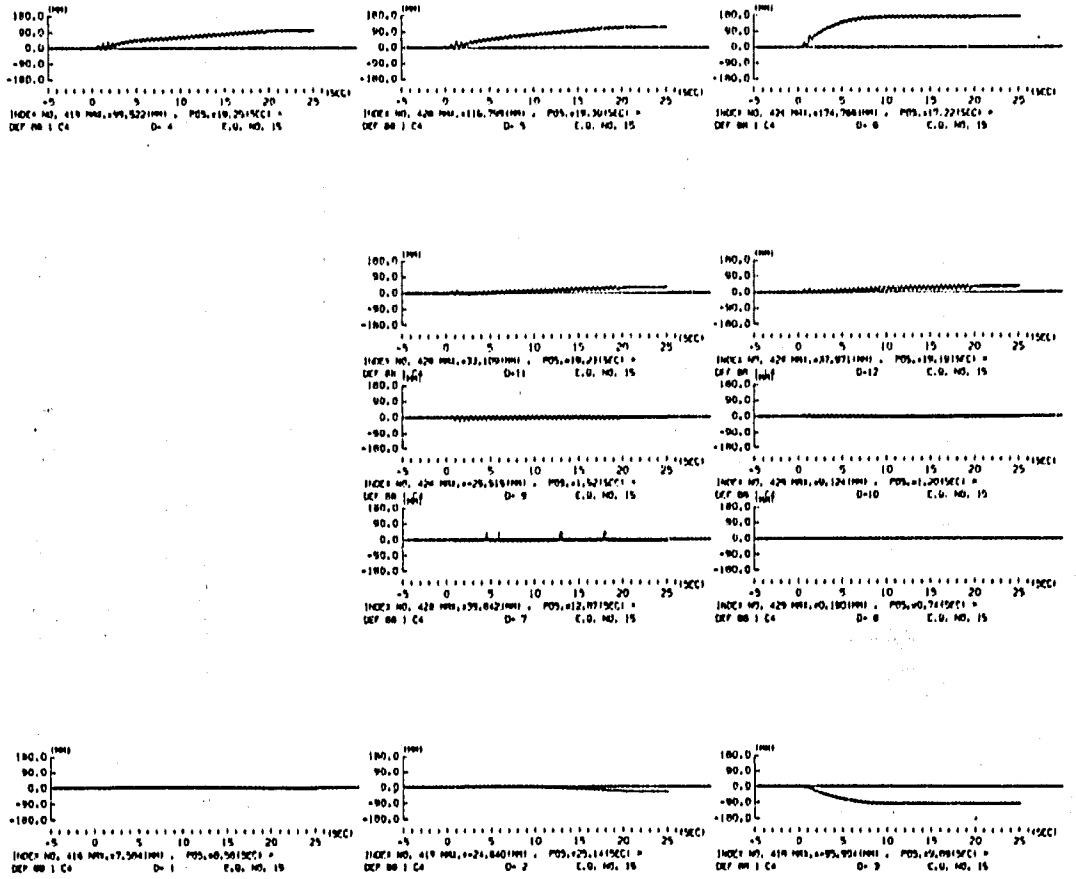


図5－31　間隙水圧の鉛直分布図（実験1－4）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図5－30 間隙水圧記録の時刻歴図（実験１－４）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図5－32 変位計記録の時刻歴図（実験１－４）

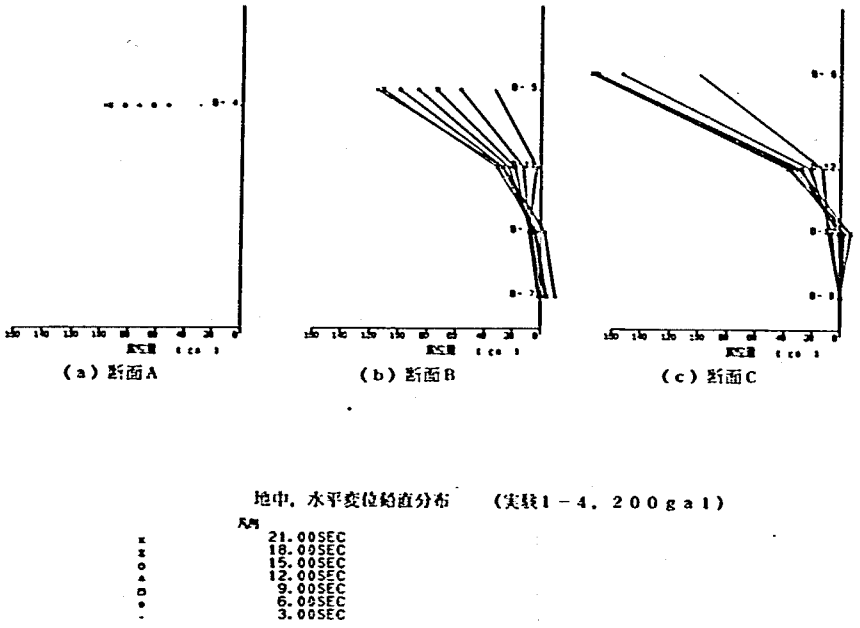


図5－33　水平変位の鉛直分布図（実験1－4）

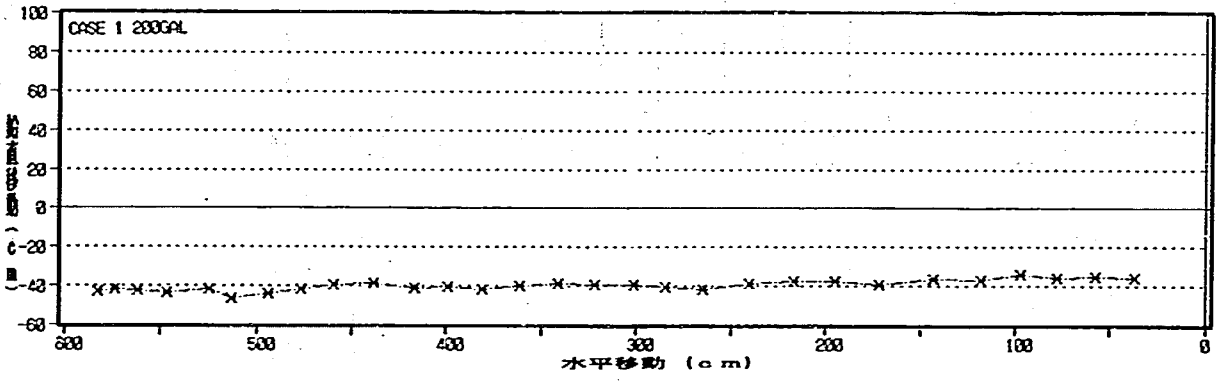


図5－34　地表面変位測定結果図（実験1－4）

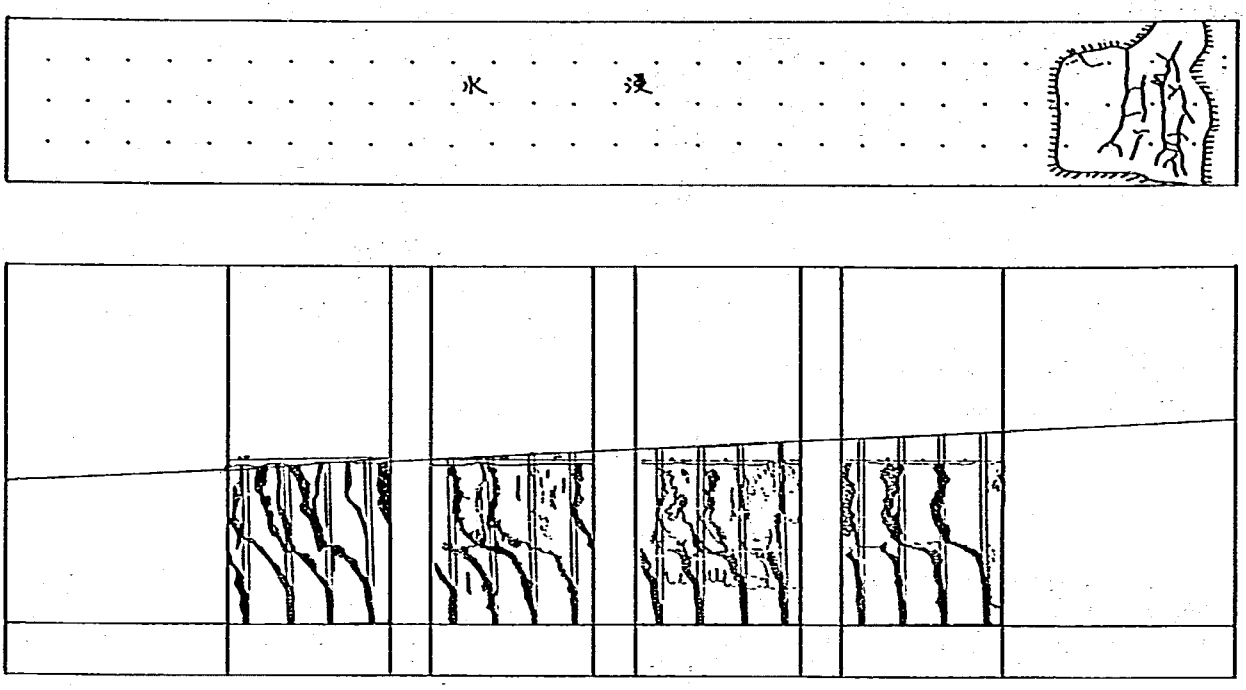


図５－35　側面および上面からのスケッチ図（実験１－４）

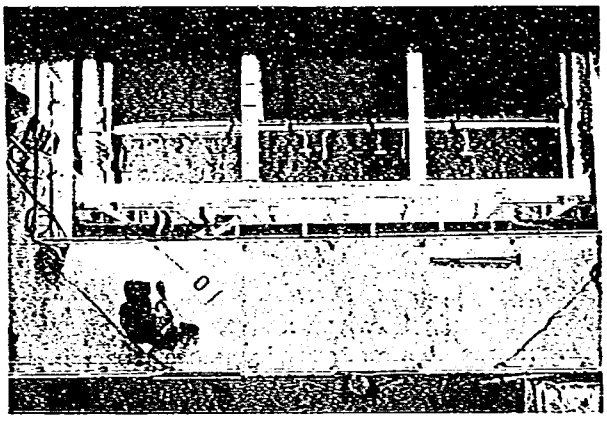


写真　5－1　加振開始時の模型地盤表面
（実験１－１，０sec）

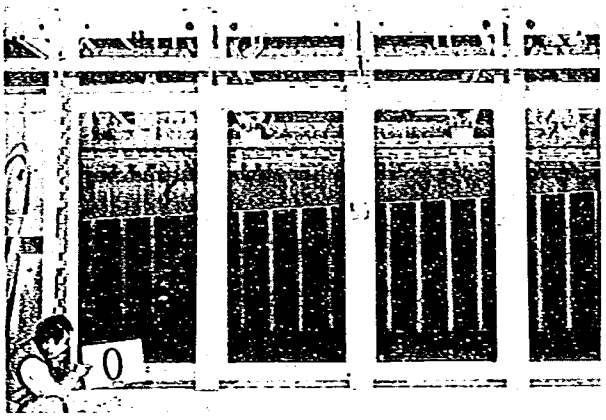


写真　5－2　加振開始時の模型地盤側面
（実験１－１，０sec）

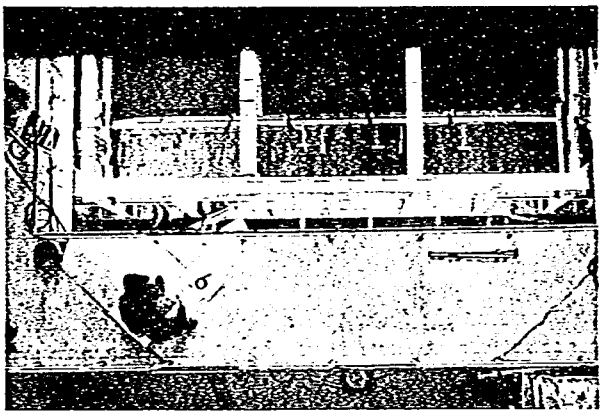


写真　5－3　加振開始６秒の模型地盤表面
（実験１－１，６sec）

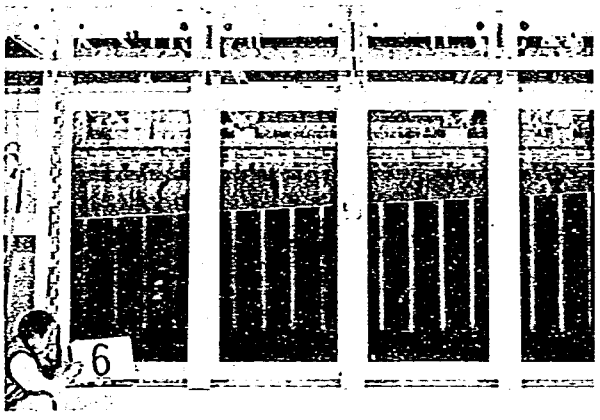


写真　5－4　加振開始６秒の模型地盤側面
（実験１－１，６sec）

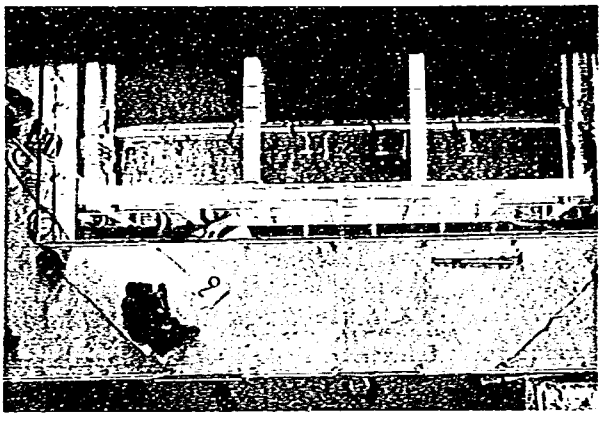


写真　5－5　加振開始９秒の模型地盤表面
（実験１－１，９sec）

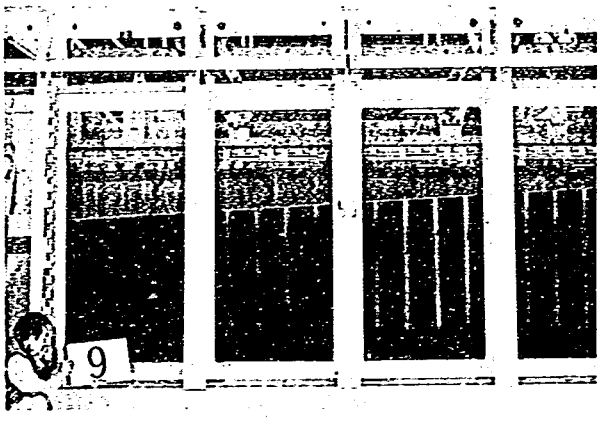


写真　5－6　加振開始９秒の模型地盤側面
（実験１－１，９sec）

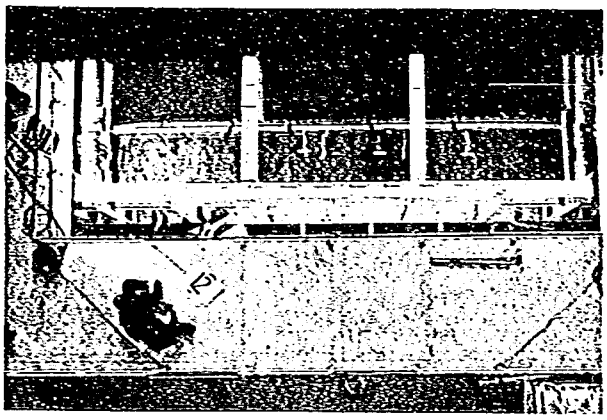
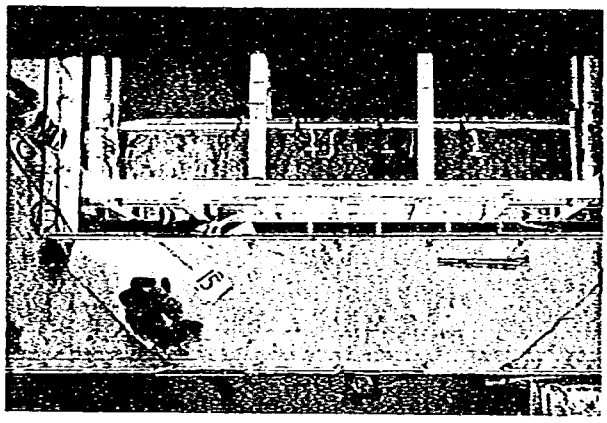


写真　5－7　加振開始12秒の模型地盤表面
(実験１－１，12sec)



写真　5－8　加振開始12秒の模型地盤側面
(実験１－１，12sec)



写真－5－9　加振開始15秒の模型地盤表面
(実験１－１，15sec)

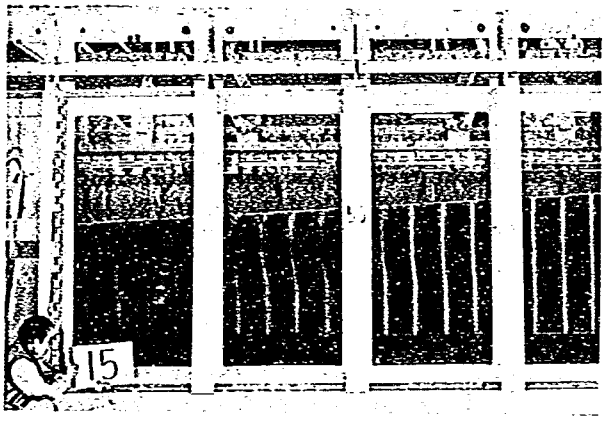


写真　5－10 加振開始15秒の模型地盤側面
(実験１－１，15sec)

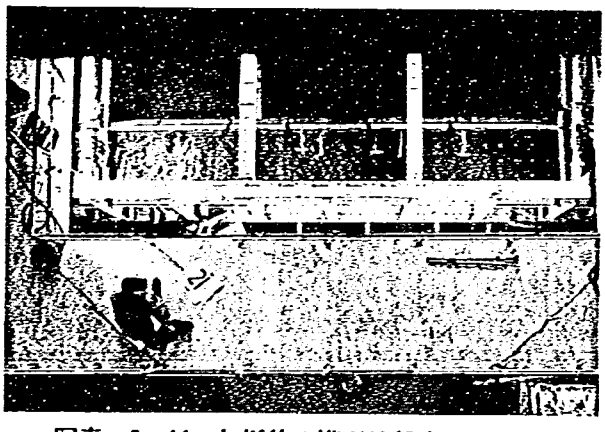


写真　5－11　加振後の模型地盤表面
(実験１－１，21sec)

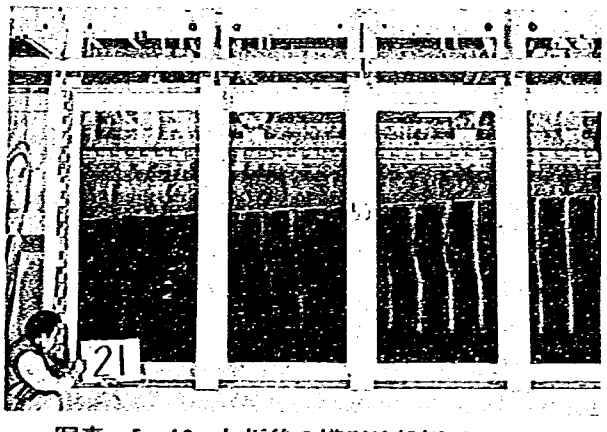


写真　5－12　加振後の模型地盤側面
(実験１－１，21sec)

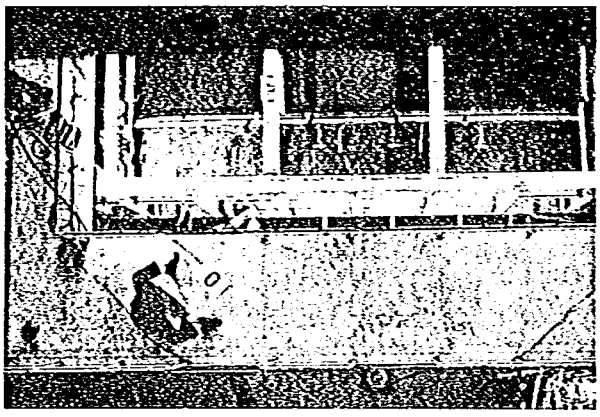


写真　5－13　加振開始時の模型地盤表面
（実験１－２，０sec）

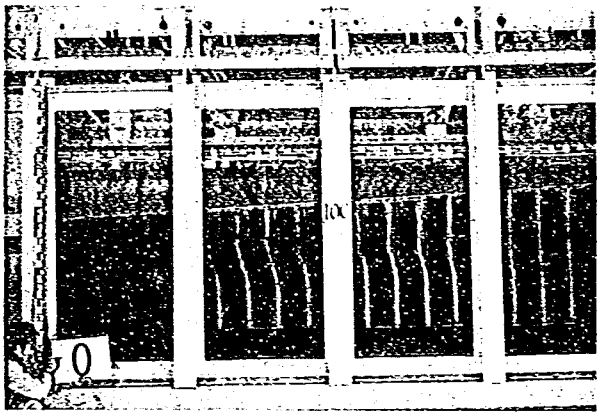


写真　5－14　加振開始時の模型地盤側面
（実験１－２，０sec）

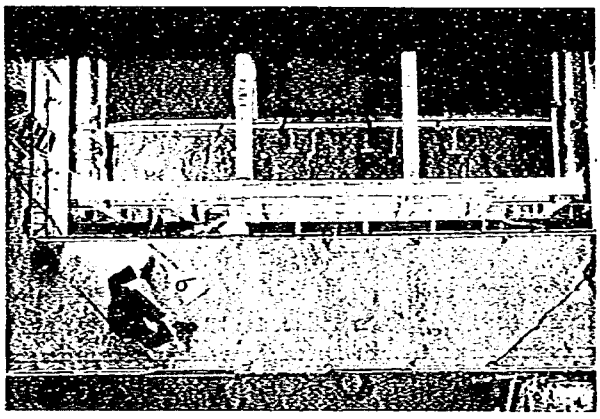


写真　5－15　加振開始６秒の模型地盤表面
（実験１－２，６sec）

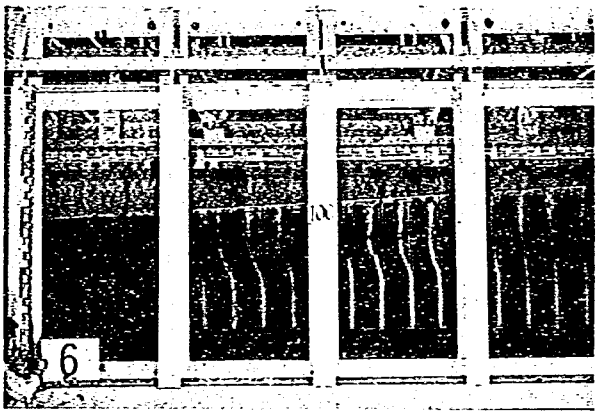


写真　5－16　加振開始６秒の模型地盤側面
（実験１－２，６sec）

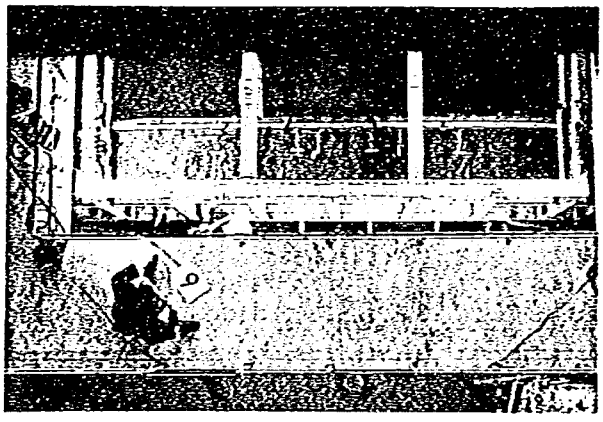


写真　5－17　加振開始９秒の模型地盤表面
（実験１－２，９sec）

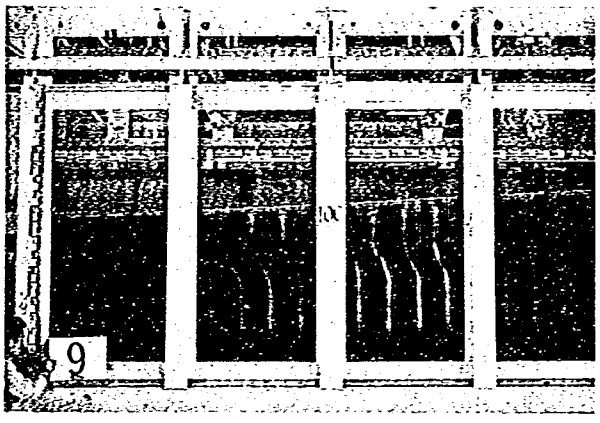


写真　5－18　加振開始９秒の模型地盤側面
（実験１－２，９sec）

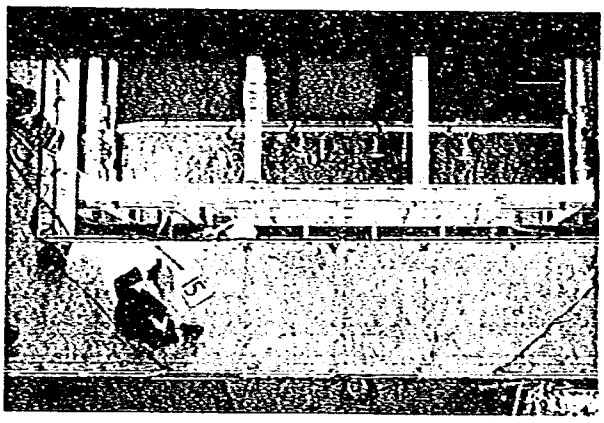


写真　5－19　加振開始15秒の模型地盤表面
（実験１－２，15sec）

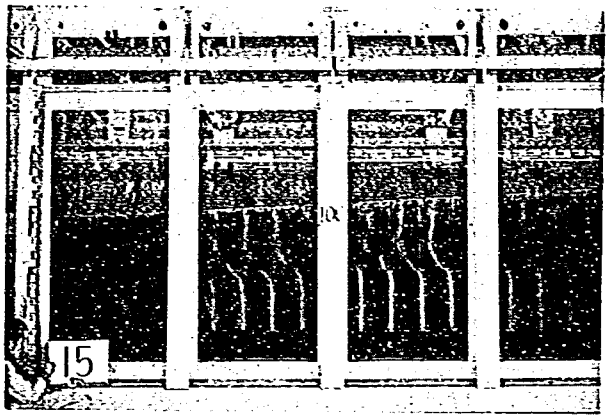


写真　5－20　加振開始15秒の模型地盤側面
（実験１－２，15sec）

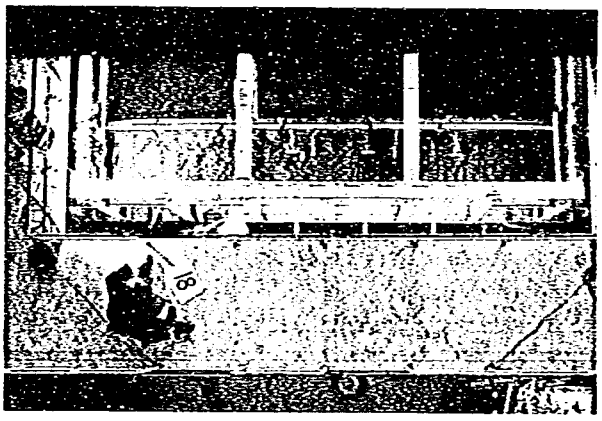


写真　5－21　加振開始18秒の模型地盤表面
（実験１－２，18sec）

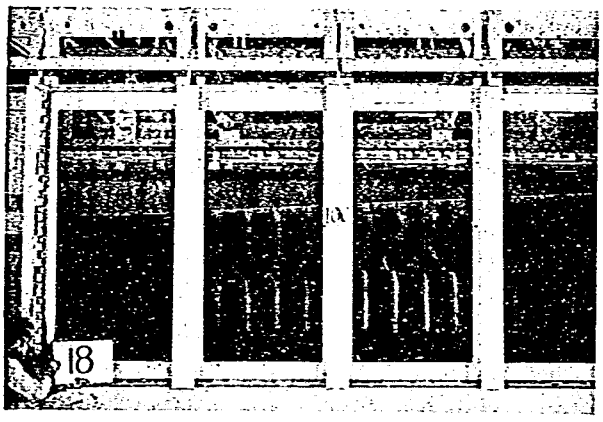


写真　5－22　加振開始18秒の模型地盤側面
（実験１－２，18sec）

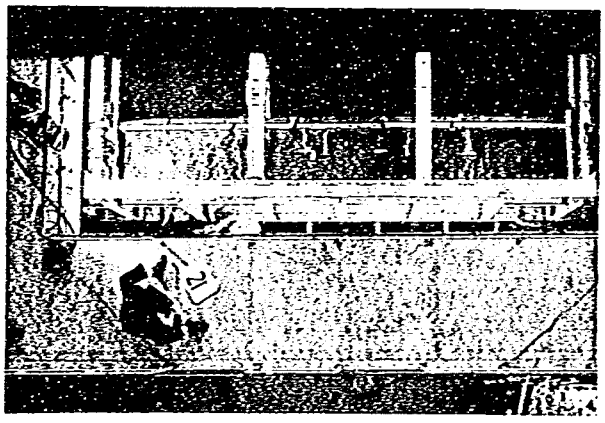


写真　5－23　加振後の模型地盤表面
（実験１－２，21sec）

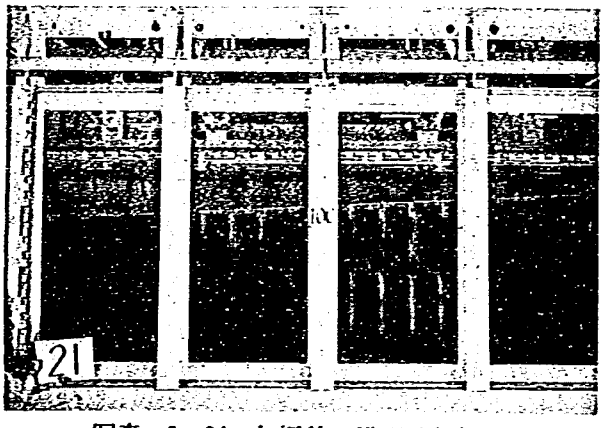


写真　5－24　加振後の模型地盤側面
（実験１－２，21sec）

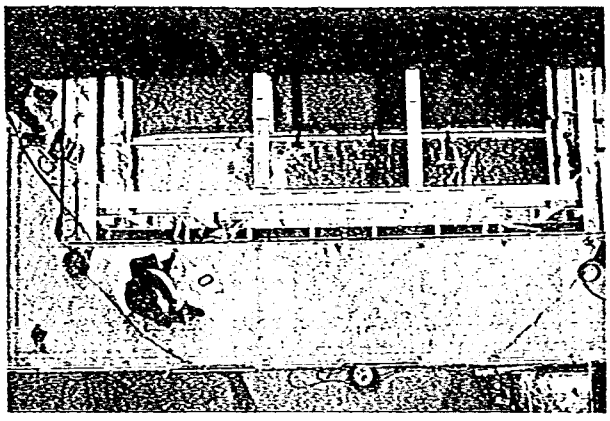


写真　5－25　加振開始時の模型地盤表面
(実験１－３，0 sec)

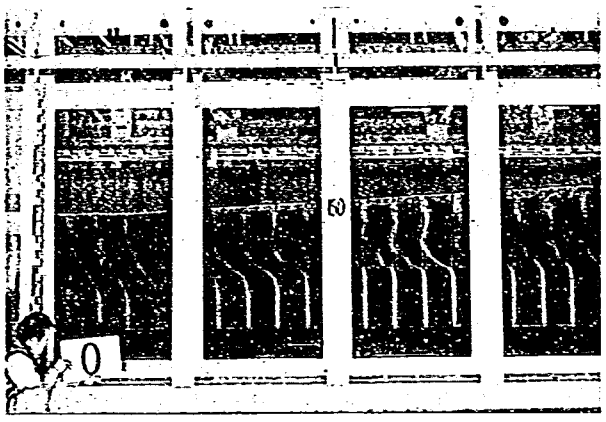


写真　5－26　加振開始時の模型地盤側面
(実験１－３，0 sec)

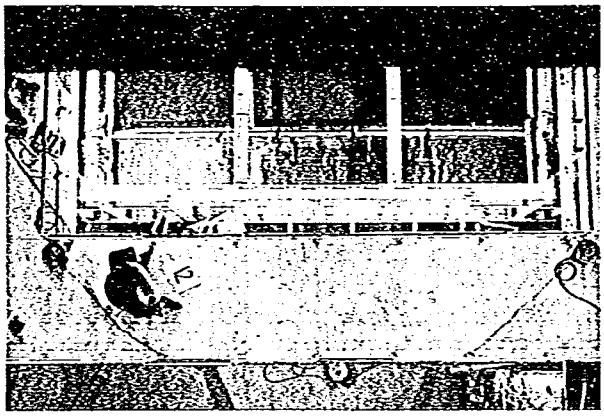


写真　5－27　加振開始12秒の模型地盤表面
(実験１－３，12sec)

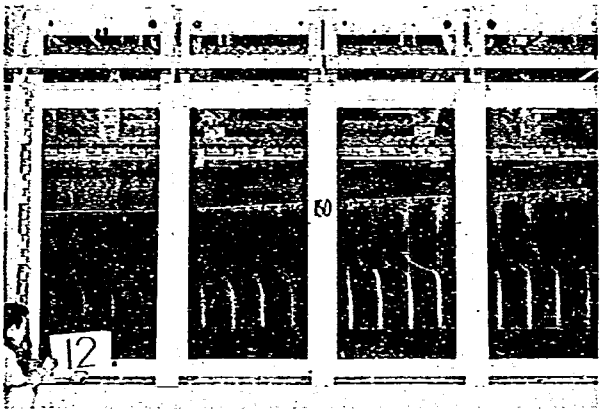


写真　5－28　加振開始12秒の模型地盤側面
(実験１－３，12sec)

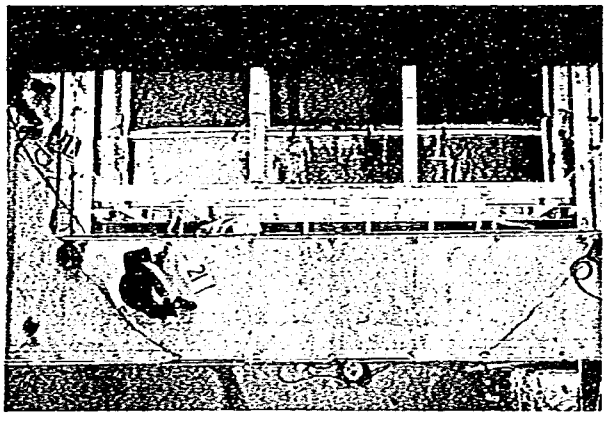


写真　5－29　加振後の模型地盤表面
(実験１－３，21sec)

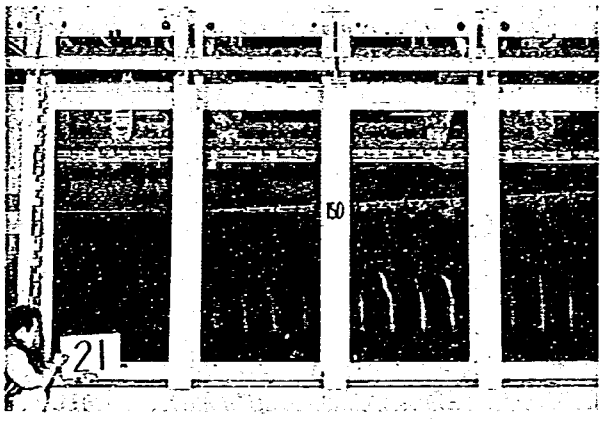


写真　5－30　加振後の模型地盤側面
(実験１－３，21sec)

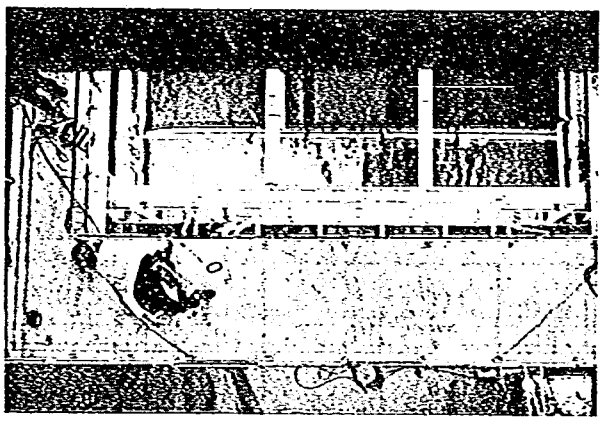


写真　5－31　加振開始時の模型地盤表面
（実験１－４，０sec）

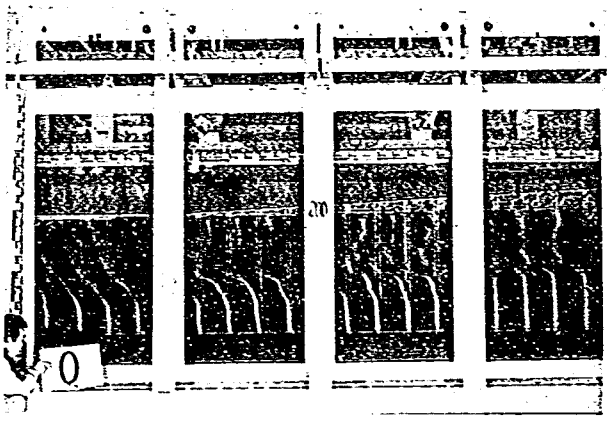


写真　5－32　加振開始時の模型地盤側面
（実験１－４，０sec）

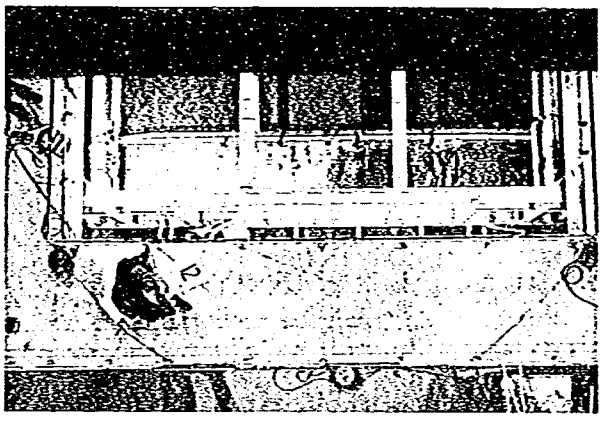


写真　5－33　加振開始12秒の模型地盤表面
（実験１－４，12sec）

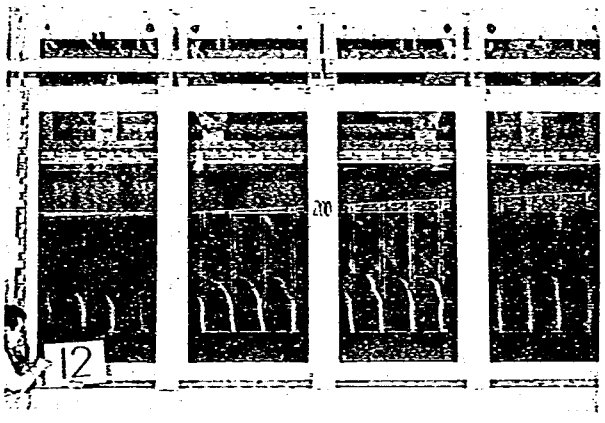


写真　5－34　加振開始12秒の模型地盤側面
（実験１－４，12sec）

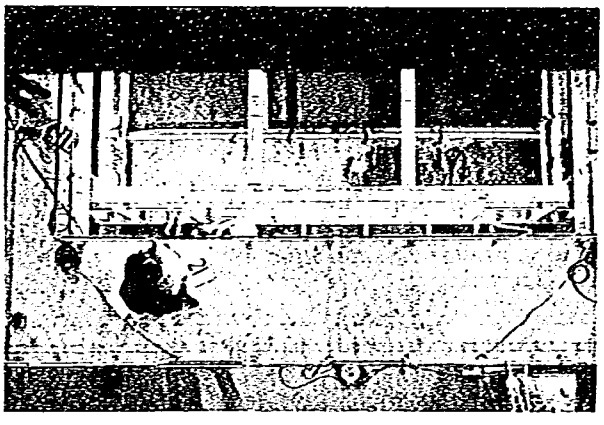


写真　5－35　加振後の模型地盤表面
（実験１－４，21sec）

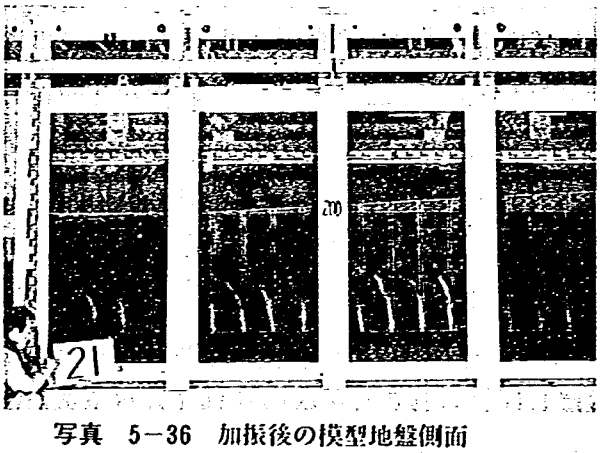


写真　5－36　加振後の模型地盤側面
（実験１－４，21sec）

6．　模型－２の挙動

6．1 概要

図6.1に模型－２の形状および計測器の配置図を示す。また表6.1に加振の経過を示す。

模型－２の地盤は、厚さ35cmの液状化層（相対密度22%）の上に7.5%の勾配の不飽和層が載った地盤模型である。

この地盤模型を4段階の台加速度で加振した。各加振加速度毎の実験を実験番号2-1～2-4と呼ぶこととする。

表6－1　模型－２の加振経過

実験No.	入力加速度 gal		加振前の平均勾配	加振による平均変位量
	目標値	実績値		
2-1	50	167.5	7.4%	2.6cm
2-2	100	128.3	7.4%	13.8cm
2-3	150	168.6	6.4%	16.3cm
2-4	100	129.5	4.8%	6.1cm

注）1)加振振動数はいずれも2Hz
2)継続時間は20sec
3)平均変位量は測量鋲No.37～51の変位量の平均値

表6.1に示すように実験2-1では加振波形に高振動数のノイズが含まれていたため最大加速度としては167.5galと大きかったが地盤模型には3cm程度の変状しか生じていない。実験2-2によって地盤表面は平均約14cm傾斜の下方に移動し、加振後の斜面勾配は約6.4%となった。

引き続く実験2-3,2-4では、加振開始後の１～２波目で地盤内の間隙水圧がほぼ初期上載圧近くまで上昇し加振継続時間中に継続して地盤は水平方向に流動した。流動量を地表の平均変位量で表わすとそれぞれ約16cm,約6cm（中央部）程度であった。

以下に実験番号ごとに地盤模型の挙動を記す。

6．2 実験番号２－１

１）加速度記録

図6.2にそれぞれ測定断面Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄの加速度記録の時刻歴図を示す。

台加速度50gal（実質的には最大167.5gal,平均100gal程度の加速度が入力された。）程度の加振レベルに対しては、模型地盤のうち非液状化層部分での加速度増幅は見られない。

液状化層内および地表に設置した加速度計の記録は加振の後半部においては地表に近いほど大きい値を示し、全層厚の厚い断面Ｄよりも薄い断面Ａの方が応答加速度の増幅の度合は大きい。全継続時間中の平均的な増幅率でみると、断面Ａの地表では1.3倍、断面Ｂで1.1倍、断面Ｃで1.1倍、断面Ｄで1.0倍程度に増幅されている。

図6.3に各断面の加速度記録の鉛直分布を示す。なお、いずれの波形も、地盤液状化が生じたときにしばしば見られるヒゲ状の乱れ（スパイク）は見られない。

２）間隙水圧の記録

図6.4に断面Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。

振動台の加速度が図6.2に示したように一定振幅ではなかったため、間隙水圧の発生量も加速度振層に対して加振開始後10秒程度に大きくなっている。断面Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄごとの間隙水圧の鉛直分布

を図6.5に示す。図6.5では、加振開始後の経過時間を追って等時線で示している。同図中には、初期上載圧σ_{v0}'の鉛直分布を破線で示す。

この図から次のことが判る。

a．加振開始後12秒程度で間隙水圧比（ここでは初期上載圧σ_{v0}'に対する比を算出した値）はほぼ1.0に達する。

b．断面A，B，C，Dのうち間隙水圧の絶対値は上載荷重の小さい断面Aが早く大きくなり、次いで断面B，C，Dとなっている。

c．このため加振の初期の段階では間隙水圧比は斜面の下方（断面Aの側）ほど大きい。

d．間隙水圧の消散過程は断面A，B，C，D毎に鉛直鉛直分布の等時線を示した図6.6のようである。

e．加振終了後約15～30分程度で各間隙水圧の値は零になる。

3）変位計の記録

実験2-1では、加振開始後10～15秒程度において変位が発生している。この加振段階では高振動数のノイズが加振波形に含まれており間隙水圧の発生も10～15秒の間で大きく、模型地盤の変状はこの変化に対応する。

実験2-1の変位計記録の時刻歴図及び水平変位の深度分布図を図6.7，6.8に示す。これより地表面の水平変位は、液状化地盤における水平変位が主たる原因であることがわかる。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図6.9に示す。

図6.9の測量鋲の移動量は、奥行き方向の3つの測量鋲の移動量を平均した値である。測量結果は巻末資料に収録してある。図6.10には側面および上面のスケッチを示す。

また、加振前後の模型地盤表面、側壁から見た模型地盤の様子をそれぞれ写真6.1～6.12に示す。

これらの図および写真からも地表面の変位は液状化層のせん断変形によるものであり、不飽和地盤内でのせん断変形が小さいことがわかる。

6．3 実験番号2－2

1）加速度記録

図6.11に断面A，B，C，Dの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験2-2では、加振開始後1～4秒程度から液状化層底面より10cm以浅の領域において記録波形にヒゲ状のスパイクが現れ始める。

加振開始後断面A、B，Cで2秒以降、断面Dで4秒以降に記録波形にスパイクが出現し始め、スパイクの大きさは5～

表6－2　スパイクの現れる時刻（実験2－2）

高さ	スパイクの現れる時刻 (sec)			
	断面A	断面B	断面C	断面D
液状化層底面	－	－	－	－
底面から10cm上	2.0	2.0	2.0	4.0
底面から20cm上	1.5	2.0	2.0	4.0
底面から30cm上	1.5	2.0	1.5	3.0
地　表　面	1.0	1.5	2.0	－

10秒ごろに最大となり、その後断面A～Cでは減少する傾向を示している。

このようなスパイクが現れる時刻は、液状化層底面よりも液状化層内および地表の方が1秒程度早い。スパイクの現れる時刻を表6.2に示す。

いずれの断面においても非液状化低面にスパイクが発生しない理由は、非液状化層内では間隙水圧の発生がないか、またはあったとしてもその値が液状化よりも小さく、両層の境界では液状化層から非液状化層への間隙水圧の伝播（消散）が生じるためと考えられる。

応答加速度の増幅は液状化層内の底面から10cmより上の領域で増幅されており、加速度の＋側（斜面下方へ向かう側）での増幅が大きく、－側ではほとんど増幅されていない。この様子は、断面A，B，C，D毎に描いた地盤内の応答加速度振幅の鉛直分布図でも明かである。図6.12に応答加速度の鉛直分布を示す。

スパイクが生じはじめた時刻以降では、各点の加速度は台加速度にくらべて大きくなる。ヒゲ状のスパイクによる短周期の加速度振幅も含めて、加振時間中の最大加速度とそれが生じた時刻をひろってみると表6.3のようであった。

いずれの点においても最大加速度は、加速度振幅の＋側（斜面の下方に向かう向き）で生じている。また地表近くの浅い点になるにつれて－側の振幅（斜面の上方に向かう向きの振幅）は小さくなることおよび最大加速度を生じた時刻以降の加速度振幅が減少する傾向などが生じている。このため、地表および液状化層内の大部分の最大加速度は加振終了前に生じていることが表6.3の発生時刻からも読みとれる。

表６－３　加振中の最大応答加速度（実験２－２）

高　さ	最大加速度				増幅倍率							
	Amax (gal)				発生時刻 (sec)				振動台に対する増幅倍率				底面に対する増幅倍率			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
液状化層底面	125	114	171	130	0.1	7.8	17.4	0.1	1.0	0.9	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
底面から10cm	611	675	675	584	8.6	6.6	5.6	17.5	4.8	5.3	5.3	4.6	4.9	5.9	4.0	4.5
底面から20cm	859	817	819	658	6.7	5.6	4.6	11.6	6.7	6.4	6.4	5.1	6.9	7.2	4.8	5.1
底面から30cm	694	690	344	274	4.7	6.7	5.2	5.6	5.4	5.4	2.7	2.1	5.6	6.1	2.0	2.1
地　表　面	627	508	378	200	5.2	4.7	3.7	3.6	4.9	4.0	2.9	1.6	5.0	4.5	2.2	1.5

注）振動台加速度は128gal

表6.3および図6.12に示すようにスパイクが生じはじめて以降の応答加速度倍率は斜面の上方に近い断面Dの液状化層底面から30cmより上の領域で小さくなっておりその他の液状化層内では5～7倍程度に増幅されていることがわかる。

２）間隙水圧の記録

図6.13に断面A，B，C，Dの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。

断面Dの地下水面下5cmに設置したP-20の間隙水圧計は計測器の不良のためノイズが大きく含まれているがその他の間隙水圧計は、加振開始と同時に上昇しはじめほぼ2秒程度から一定値を示す。

断面A，B，C，Dとの間隙水圧比の鉛直分布を図6.14に示す。

時刻歴波形ならびに間隙水圧の空間的な分布については次のような傾向が見られる。

a．いずれの断面においても加振と同時にほぼ単調に間隙水圧が上昇しはじめ、ほぼ2秒で間隙水圧比が1.0に近くなる。

b．非液状化層内の間隙水圧比は最大で0.7～0.8程度であり間隙水圧の値は液状化層底面の値よりも常に小さい。

c．スパイクは現れはじめてから5秒程度で極大となり、しだいに加振終了までその振幅が小さくなり続ける傾向にある。

d．液状化層内の間隙水圧比の分布をコンターで示すと図6.15ようである。

e．1）で述べた加速度記録にスパイクが現れる時刻は、間隙水圧比がほぼ1.0に達する時刻に等しい。

また、あとで述べる変位計の記録に地表の変位が現れはじめる時刻はほぼ間隙水圧比が1.0程度まで達した時刻に等しい。

3）変位計の記録

図6.16に地表の3点で計測した鉛直変位（沈下量）の時刻歴、同じ点の水平変位の時刻歴、ならびに地中で計測した変位の時刻歴を示す。

地表のデータも地中のデータも正弦波状の変化を示しており、地中変位計は良好な計測が行われていると考えられる。このことは、側面からマーカーの観測結果と地中変位計の測定結果がほぼ一致することからも確認できる。

地表の変形計の記録をみると次のような傾向のあることがわかる。

a．鉛直変位に変化が生じはじめる時刻は断面Aで加振開始後6秒、断面Bで約4秒、断面Cで3秒経過した時点である。

b．水平変位に変化が見られるのは断面A、B、Cとも2秒程度経過した時である。（表6.4）

鉛直変位に変化が出はじめた時刻より若干早い時刻である。

表6－4　地表の変位計に変位が計測されはじめた時刻（実験2－2）

断面	鉛直変位	水平変位
A	6 sec	2 sec
B	4	2
C	3	2

c．上記の時刻以降は、約10㎜程度の振幅を持った正弦波状の変動をしながら、加振終了まで変位量は増加し続ける。

d．断面Cの水平変位（D－6）をのぞくと加振時間とともにほぼ直線的に変位は増加を続け、D－6は約7秒を境に変位の増加割合が減少する。

表6－5　地表の最終変位（実験2－2）

測点	加振終了後		加振終了後30分後	
	鉛　直	水　平	鉛　直	水　平
A	46.0㎜	95.2㎜	50.4㎜	94.8㎜
B	42.4	137.5	45.9	137.0
C	47.5	165.5	52.6	165.2

注）加振終了後30分後には間隙水圧計の出力はほぼ零まで戻っている。

e．加振終了時までに生じた変位は表6.5のようであり、斜面の下方で生じた変位（断面ＣよりＡで生じた変位）の方が小さくなっている。

f．なお、液状化層中に発生した間隙水圧の消散にともなう変位量は、鉛直方向が4mm程度、水平方向は0.4mm程度であり水平変位については、加振中に生じた変位に比べると無視できる程度のものであった。

図6.17に示した水平変位の鉛直分布から次のような傾向を生じたことがわかる。

g．断面Ｂ，Ｃでの地中の水平変位は、液状化層低面からの高さにほぼ比例して大きくなり、この傾向を保って加振の継続している間増加し続ける。

h．地表での変位量は断面Ｃの方が大きいが、断面Ｂと断面Ｃでの地中における変位の発生量はほぼ等しい。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図6.18に示す。

また加振前および加振中の地盤表面、側壁からみた模型地盤の様子をそれぞれ写真6.13～6.24に示す。

加振開始後3秒の写真では、白線によるマーカーには変状が認められないが、6秒以後では液状化層のせん断変形に起因する斜面下方への変状が生じている。

図6.19には、加振後に観察窓で描き写した白線マーカーの移動状況と、地表の亀裂等をスケッチした結果を示す。

上述の図6.18～6.19から次のことがわかる。

a．地表変化（流動）が最初に生じたのは、加振開始3～6秒経過後である。（実験時の目視結果、ビデオ、ならびに前述の変位計の記録を総合判断すると加振開始後2秒程度であったと判断される。）

b．a．に述べた最初の地盤変位は、模型地盤全領域にわたってほぼ同時に生じている。

c．これらの地盤流動の生じはじめたときの地盤内間隙水圧比はほぼ1.0に近い値まで上昇している。

d．地表変位は、地下水面よりやや下よりの液状化層のせん断で変形によってもたらされたものであり、これより上の部分は水平に移動しただけで（若干の沈下も含む）形状を保ったまま変化している。

e．液状化層内の変形した部分（領域）は、加振時間の経過につれて液状化層の下部から液状化層全体へと広がっている。

f．流動は、加振中にのみ生じ、加振終了と同時に停止する。ただし、発生した間隙水圧の消散に応じて地表はほぼ一様に4mm程度沈下する。

g．移動する土塊に作用する加速度は200～600gal程度であった。

h．写真から判読した地表の亀裂の発生状況は次のとうりである。

Ⅰ）10秒で斜面下端から4m付近のひびわれが拡大。

Ⅱ）加振終了後斜面下端から1.5mは水没。

6．4 実験番号2－3

1）加速度記録

図6.20に、断面A，B，C，Dの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験2-3では、ほぼ一様な169gal程度の振幅を持つ加速度が入力できている。

この入力加速度に対して、液状化層下面から10～20cmおよび地表面に埋設した加速度記録には、加振中に生じたドリフトがのっている。ほとんど全てのドリフトは、斜面下方に向かう加速度（＋側）の側に生じている。あるものは、加振開始直後から生じており、またあるものは少し時間が経ってからドリフトが生じている。

このドリフトは加速度計が傾斜したことによるものと考えられるが、ここでは、この値に関する補正等は行わないで得られた記録をそのまま用いてとりあえずの論議を進めることとする。

図6.21には、加速度振幅の鉛直分布を示す。

この図においては、下記のb.を考慮して、各時刻にもっとも近い時点の＋側の振幅、－側の振幅を用いている。

図6.20，6.21から次のことに気付く。

a．加振開始直後から、液状化層底面より10cm以浅の点においては加速度記録にはひげ状のスパイクが現れている。

b．加速度の振幅は、＋側（斜面下方に向かう側）の値の方が－側よりも大きい。この傾向は加振開始と同時に認められ、－側の振幅は極めて小さくなる。

c．断面A，Cの液状化層底面から10cm以浅の加速度振幅は、加振中に段々小さくなる。
この傾向は、地表における加速度振幅についても同様である。

d．断面B，Cにおいては、スパイクの現れる液状化層上部においてもほぼ一定の振幅である。

e．非液状化層における加速度の増幅は、いずれの断面においても0.9～1.0倍程度となっており、増幅されていない。

f．液状化層内での加速度振幅の増幅は大きく、加振後3秒程度で生じる最大の値は＋側で4～6倍程度になっている。

g．地表付近の不飽和層内では、これにくらべて加速度の増幅は小さく、加振とともに減少し最終的には1倍程度の増幅倍率となっている。

h．加振開始直後から現れるスパイクは、後述する間隙水圧の加振開始直後の急な上昇によってもたらされたものと考えられる。

2）間隙水圧の記録

図6.22に間隙水圧の時刻歴を示す。

ほぼ加振開始と同時に1波目で間隙水圧は初期上載圧近くまで上昇している。

図6.23に間隙水圧の鉛直分布を示す。

図6.22,6.23から次のような点に気付く。

a．いずれの点においても1波目でほぼ初期上載圧まで上昇している。

b．サイクリックモビリティーに由るものと考えられるスパイクがいずれの記録にも現れてい

る。しかし、その現れ方は測点場所によって異なり、断面B，Dではスパイクの振幅が大きく断面A，Cでは小さい傾向にある。

3）変位計の記録

図6.24に変位計の時刻歴を、また図6.25に水平変位の鉛直分布を示す。

図6.24,6.25から気付く実験2-3における変位の特徴は以下のような点である。

a．地表、地中とも変位はほぼ加振開始と同時に生じている。これは間隙水圧比が加振開始とほぼ同時に1.0近くまで上昇していることと符合する。

b．断面A，Bにおける地表の変位は、地盤の動的な応答による正弦波状の変動はあるものの、その中央値は加振の継続時間中はほぼ直線的に増加する。

c．これに対し、斜面上端に近い側の断面Cでは上に凸な曲線を描いて増加している。これは、斜面上端側での境界の影響によるものとも考えられるが、原因についてはさらに吟味が必要である。

d．地中の水平変位の記録が、断面Bでは17秒程度、断面Cでは14秒程度で正弦波状の動的な変位成分が頭打ちになっているが、これはこの時点で変位量が変位計の測定範囲（100mm）に達してそれ以降は測定不能になったためである。

e．液状化層底面より10cm上の地中の変位計については、加振により－の値（斜面の上方に向かう側）を示しておりその値も小さく、側壁からの観察結果と一致しない。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後の測量鋲の測量結果を図6.26に示す。また写真6.25～6.30に加振前、加振中および加振後の模型地盤の状況を示す。

図6.27には、加振後の模型の状況のスケッチを示す。

これらの写真及び図から次のことがわかる。

a．加振後の地表面形状は左端から2m程度までは4/100程度、これより右の部分は5/100程度の勾配となっている。

b．加振前（実験2-2終了時）には左端から3.5m程度の部分では7/100程度、これより右側の部分では6/100程度の勾配であったが、加振により2/100～1/100程度ゆるくなったことがわかる。

c．地表面には、全域にわたって亀裂が生じ、実験2-2で生じた亀裂幅も拡大している。

6．5 実験番号2－4

1）加速度記録

図6.28に加速度記録の時刻歴図を示す。

入力加速度振幅は130galで、非液状化層および液状化層底面では、振動台加速度とほぼ等しい一定振幅の応答を示している。

液状化層内の加速度は、断面A，Cと断面B，Dで傾向が異なり、断面A，Cでは3秒程度で極大値を示し、その後急激に減少する。これに対し断面B，Dでは、加振中ほぼ一定の振幅で応答している箇所が多い。

図6.29には加速度の鉛直分布を示す。

図6.28,6.29から次のことが指摘できる。

a．非液状化層内での加速度の増幅率は、いずれの断面においてもほぼ0.9となっている。

b．液状化層内での加速度の増幅は液状化層中央で（深度方向の中央）大きく、4～6倍に達する。

c．地表面での加速度の増幅率は加振開始後3秒程度で2～6倍と大きな値を示すが、その後急激に減少し1～2倍程度となる。

d．また加速度記録にドリフトが生じたものがあり、これらについては加速度計が傾斜したことがわかる。

2）間隙水圧計の記録

図6.30に間隙水圧の時刻歴を示す。また、間隙水圧の鉛直分布比を図6.31に示す。

実験2-4においても、加振開始後1波目から、全観測点において間隙水圧はほぼ初期上載圧まで上昇していることがわかる。図6.31では、破線で示した初期上載圧の線まで間隙水圧の値が達していないが、これは3回の加振により地盤の形状が初期状態から大きく異なったことにより、初期上載圧の計算値に誤差が生じたためである。

3）変位計の記録

図6.32に変位記録の時刻歴を、また図6.33に水平変位の鉛直分布を示す。

地表の水平変位は、加振開始後3秒程度までは増加割合が大きく、その後増加割合が減少し直線的に増加する傾向にある。地中の変位はいずれの点おいても加振と同時に直線的に増加する傾向にある。また、液状化層底面から10cmの位置の変位は－の値を示しており、計測上の誤差とも考えられるが現時点ではこの原因はよく判らない。

4）測量結果および側壁からの観察結果

加振終了後の地表の測量鋲の測量結果を図6.34にまた図6.35に側壁および地表のスケッチを示す。写真6.31～6.36に加振前後の模型の状況を示す。写真6.37に加振後の亀裂と段差を示す。

模型の長さ方向に斜面下側、中央、斜面上部の3つの部分に大まかにブロック分けをすると、実験2-4では、斜面下側の部分（断面A）は、水平方向の変位は小さくほとんど加振前後の地表の永久的な変位はない。中央部分（断面B）では液状化層に永久的なせん断ひずみが累積して、結果的に地表に永久変位が生じている。斜面上部（断面C）でも、液状化層に永久的なせん断ひずみが累積して地表に永久変位がもたらされているが中央部分よりも変位量は小さい。

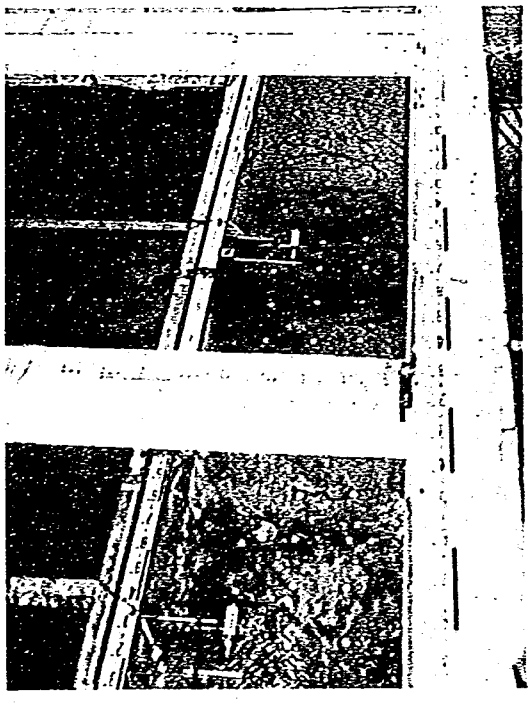


写真　6－37　加振後の亀裂と段差

6．6　模型－２の挙動のまとめ

厚さ35cm、相対密度22%の飽和した砂層の上に勾配7.5%の不飽和な斜面の載った模型－２は、入力加速度100galの加振によって、加振開始後2秒程度で飽和砂層内の間隙水圧比は1.0近くまで上昇し、その後の引き続く加振継続時間中に永久的な変形が累積した。入力加速度150gal、および100galの加振段階ではほぼ加振開始と同時に飽和層内には間隙水圧比1.0に近い間隙水圧が発生し加振継続時間中に変形が生じた。

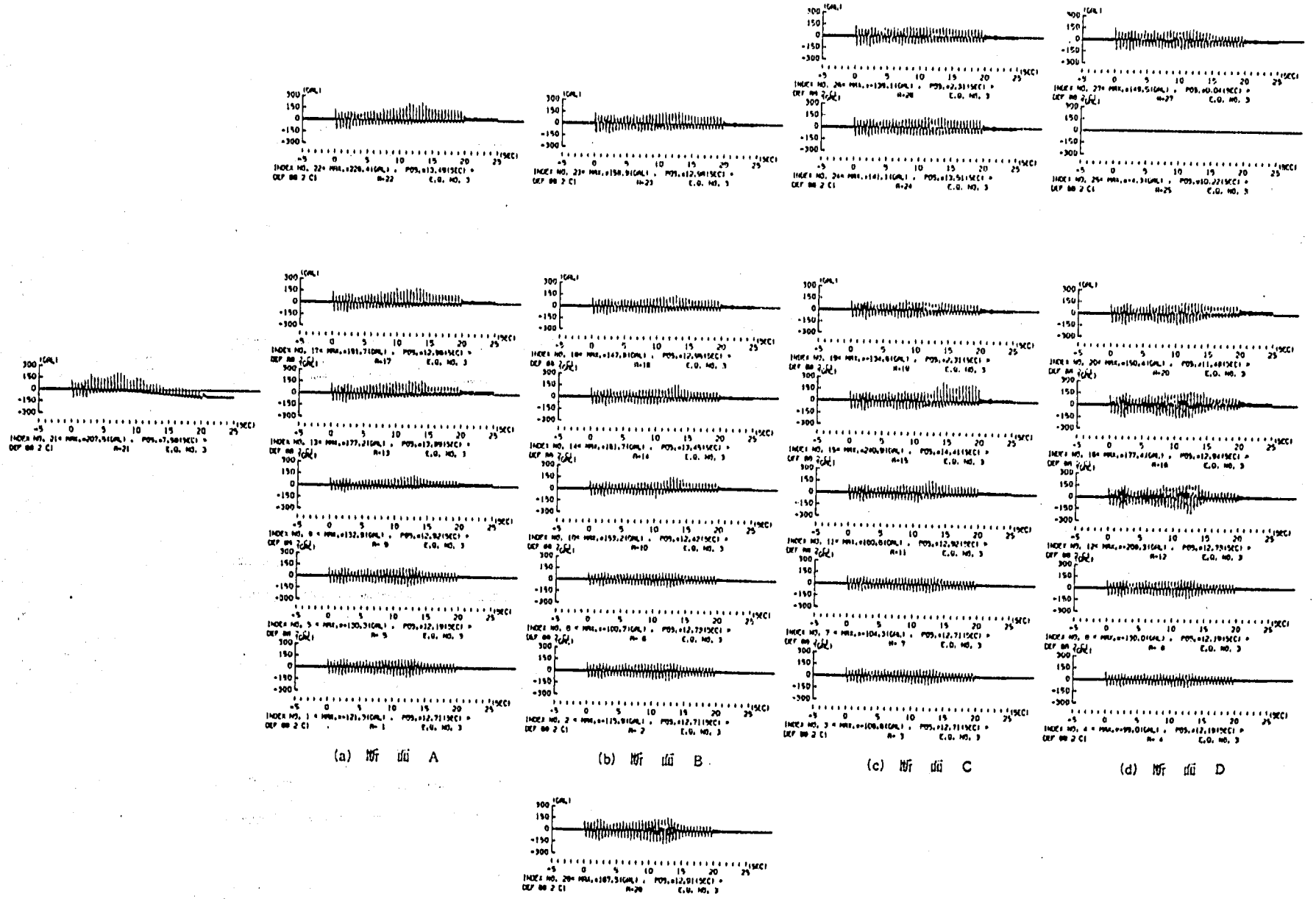


図6－2 加速度記録の時刻歴図（実験２－１）

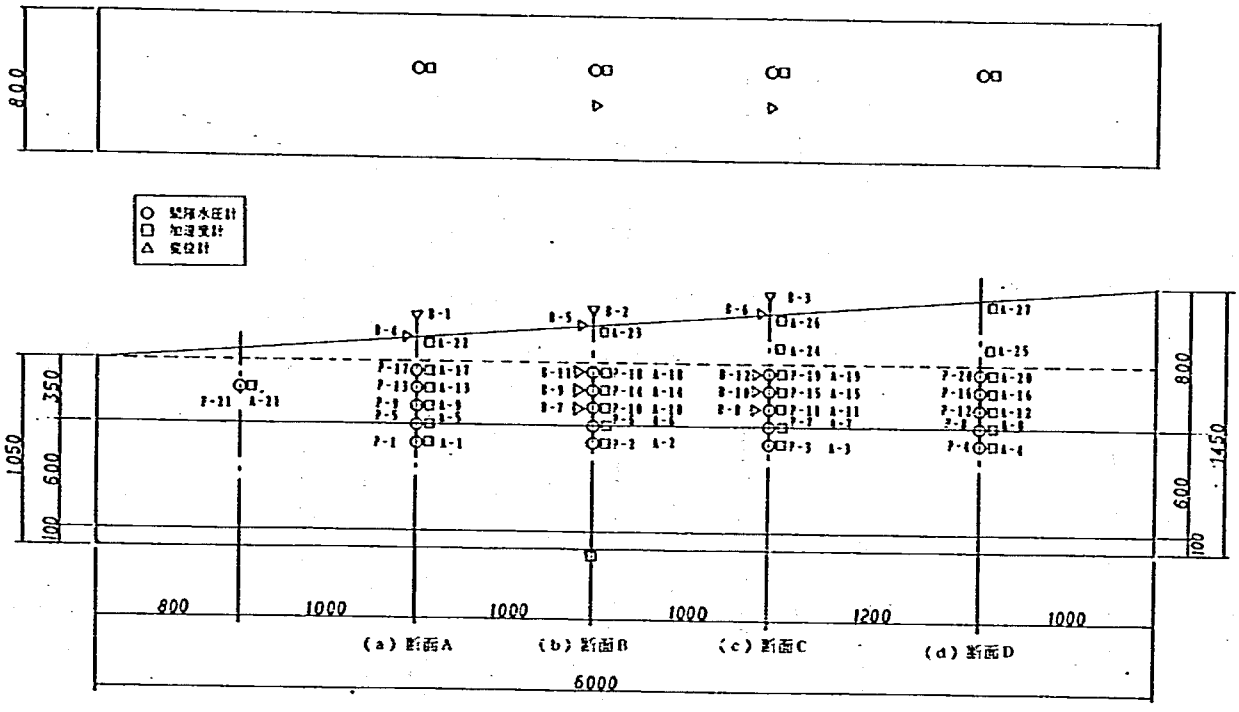
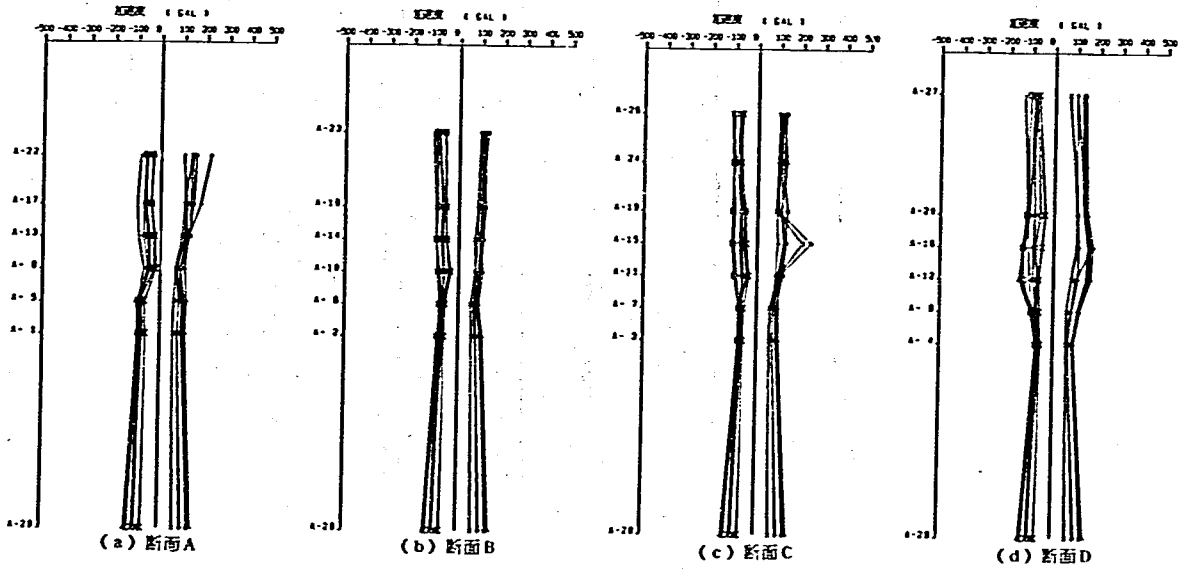


図６－１　模型－２の形状および計測器の配置状況



加速度鉛直分布　(実験２－１，　５０ｇａｌ)

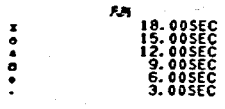
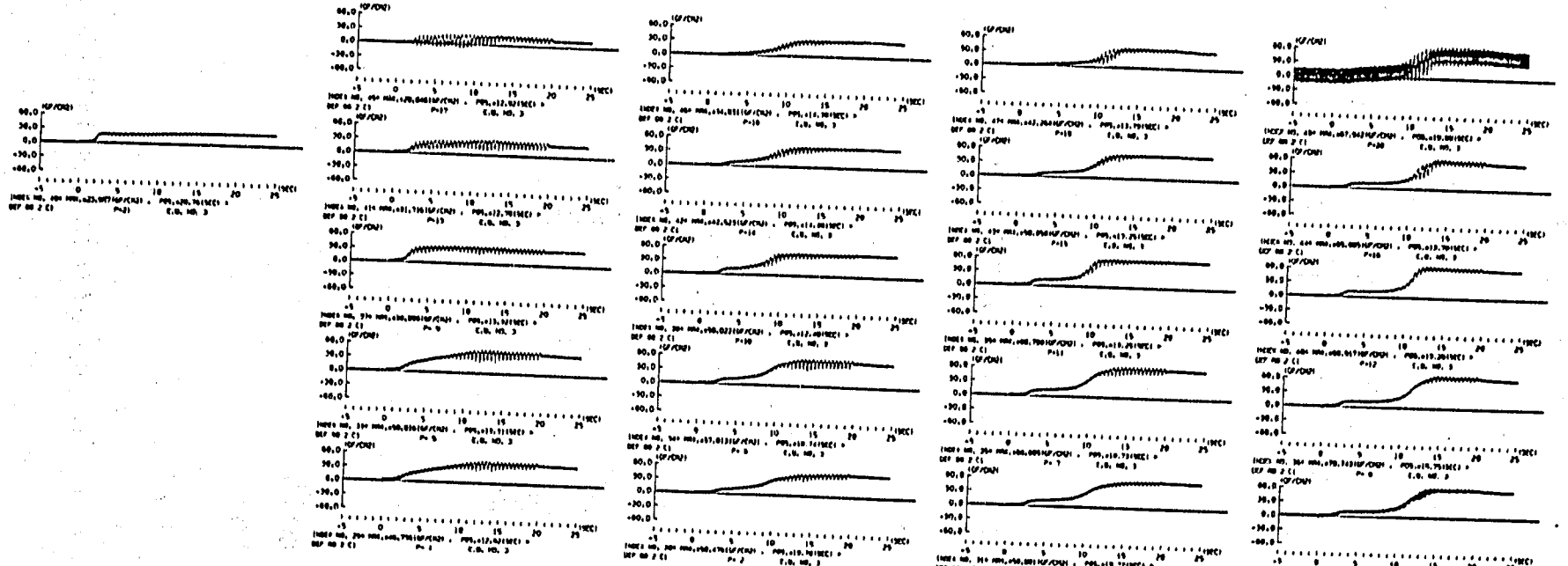


図６－３　加速度の鉛直分布図（実験２－１）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図6－4 間隙水圧記録の時刻歴図（実験２－１）

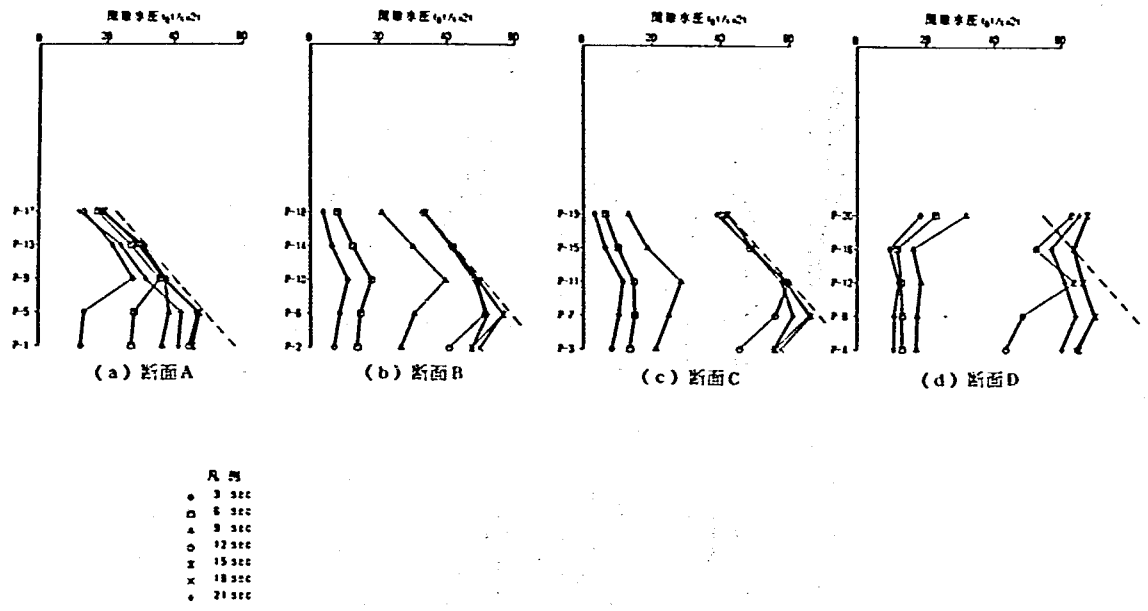


図６－５　間隙水圧の鉛直分布図（実験２－１）

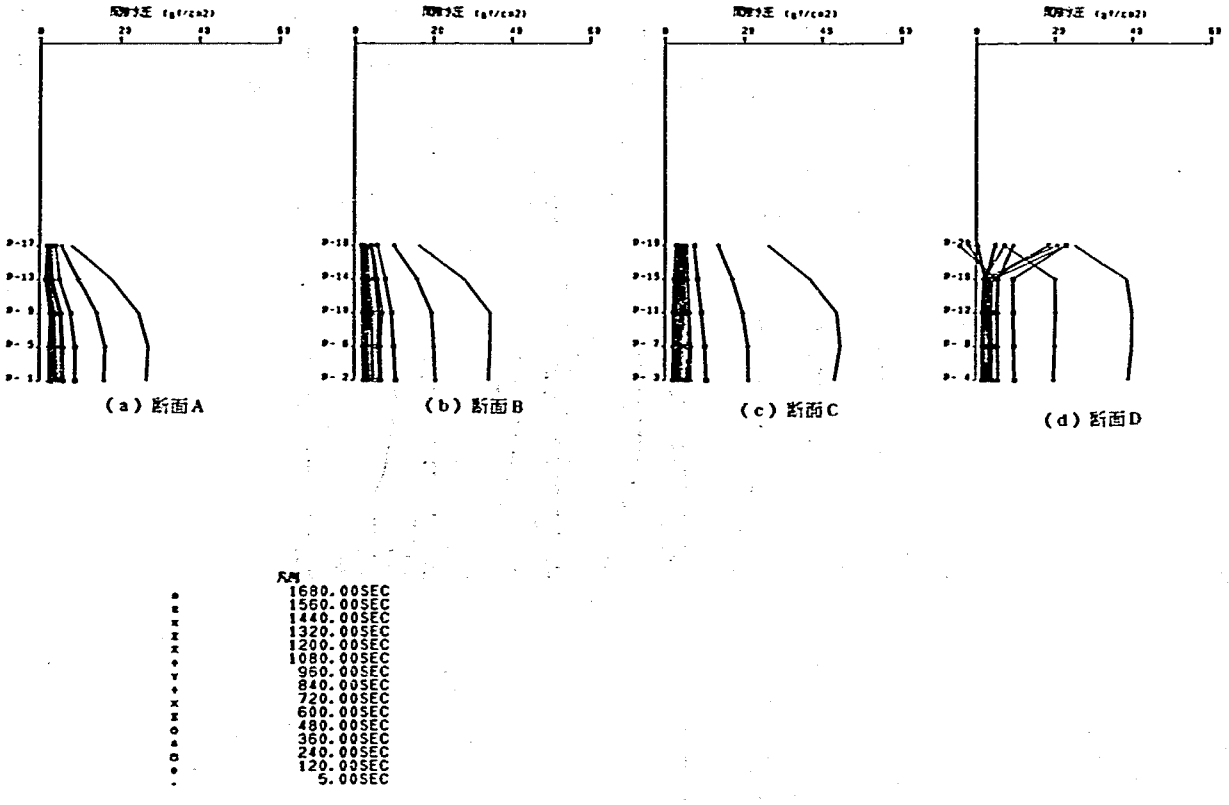
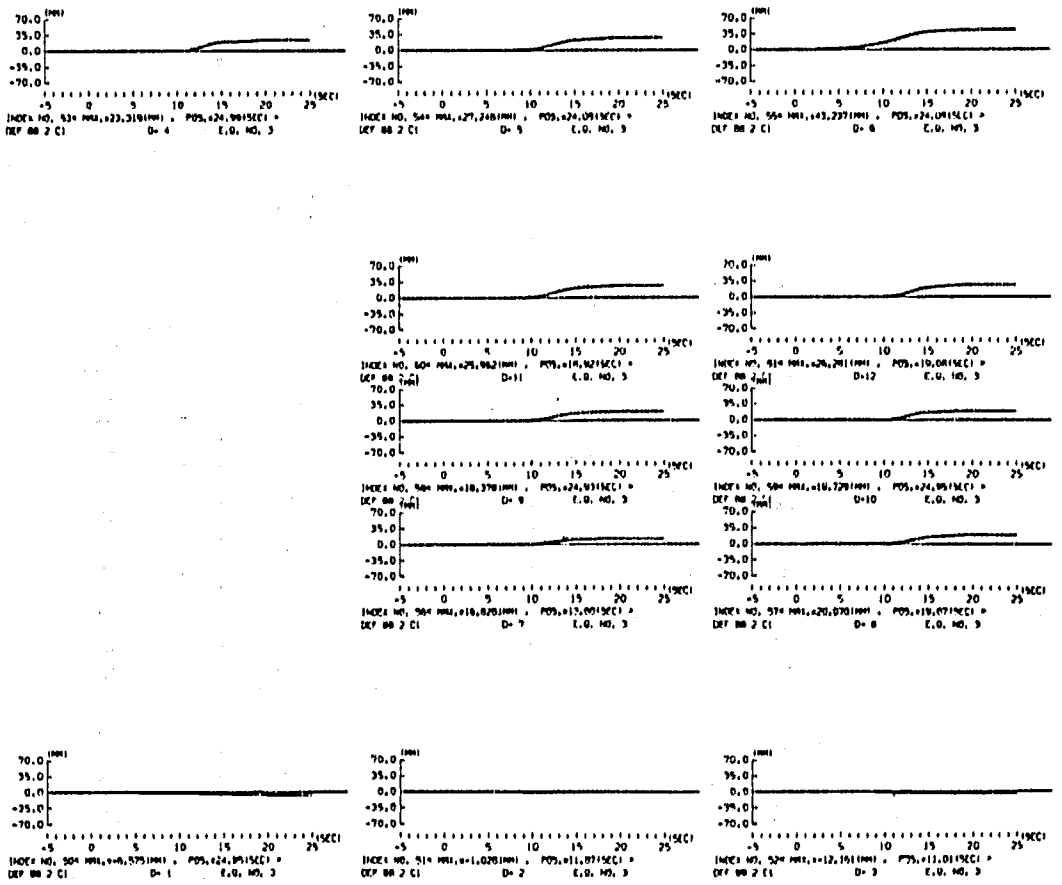


図６－６　間隙水圧の鉛直分布図（実験２－１消散過程）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図6－7 変位記録の時刻歴図（実験２－１）

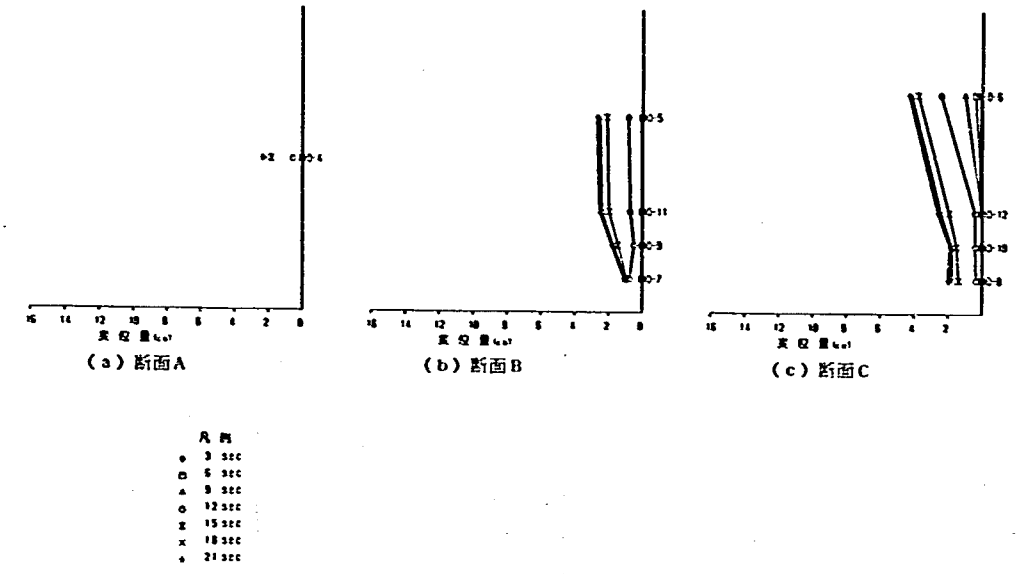


図６－８　水平変位の鉛直分布図（実験２－１）

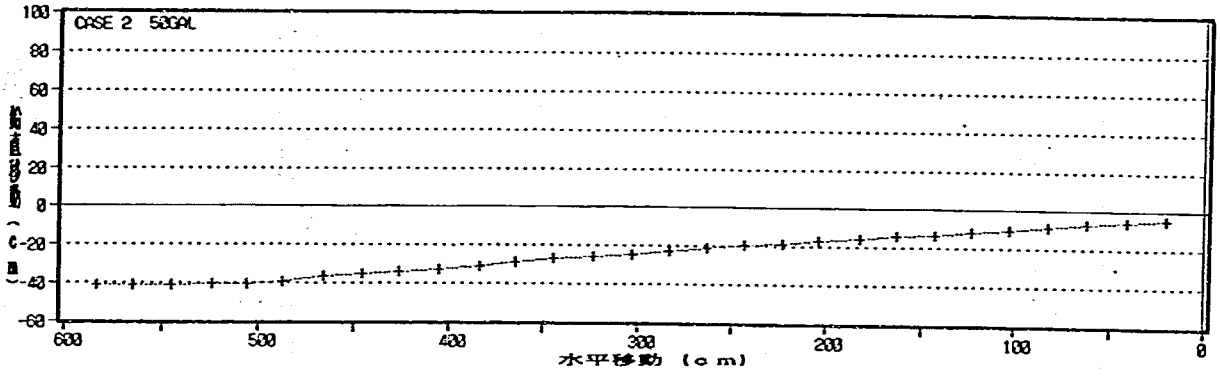


図６－９　地表面変位測定結果図（実験２－１）

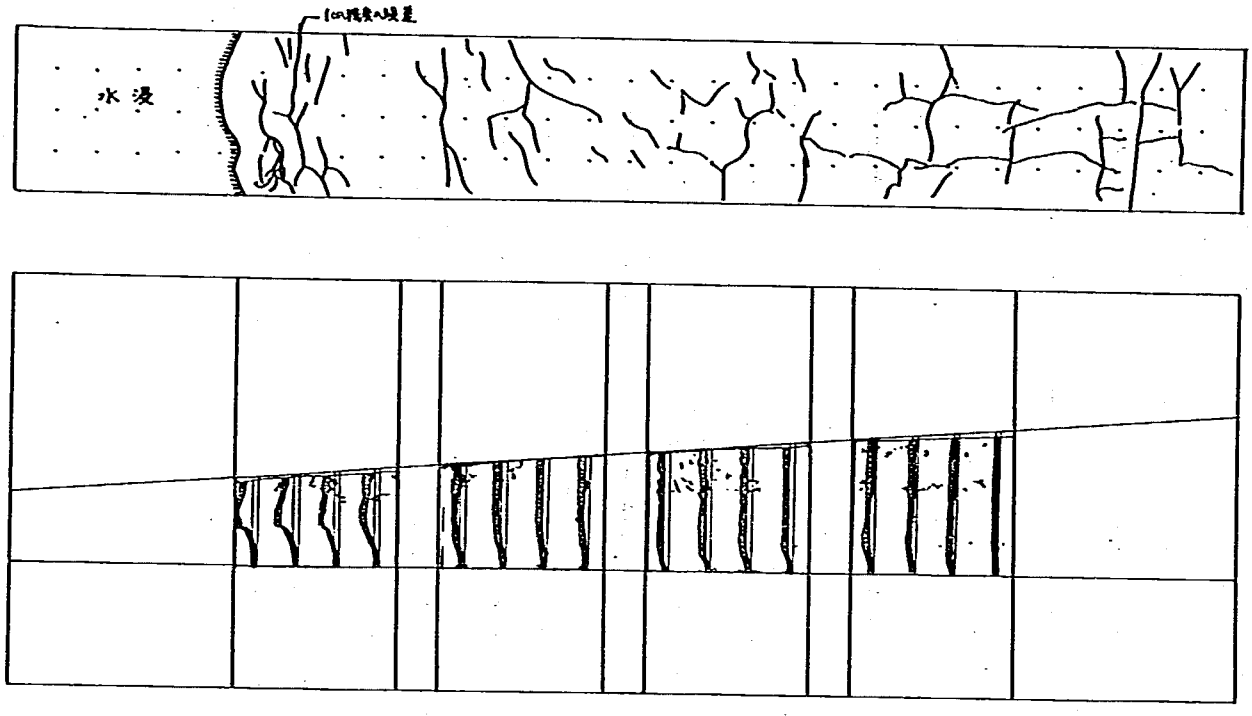
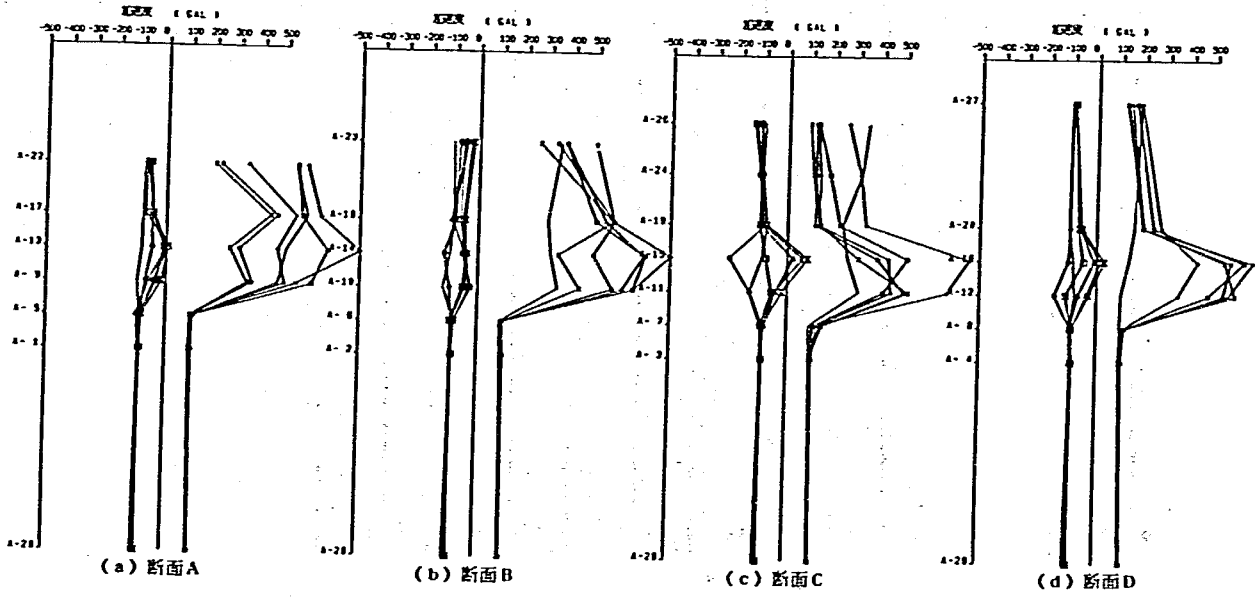


図６－10　側面および上面からのスケッチ図（実験２－１）



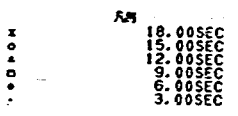
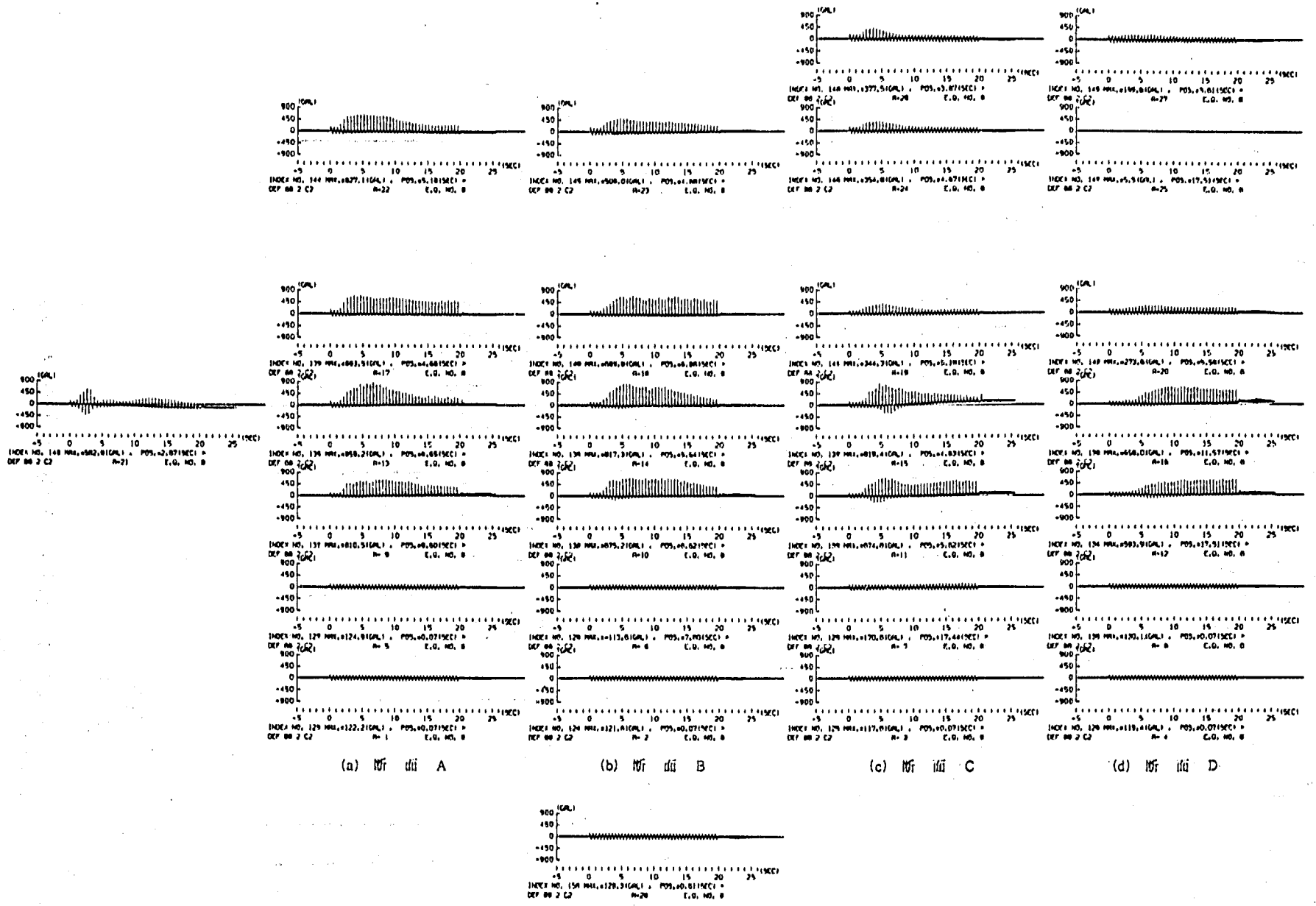
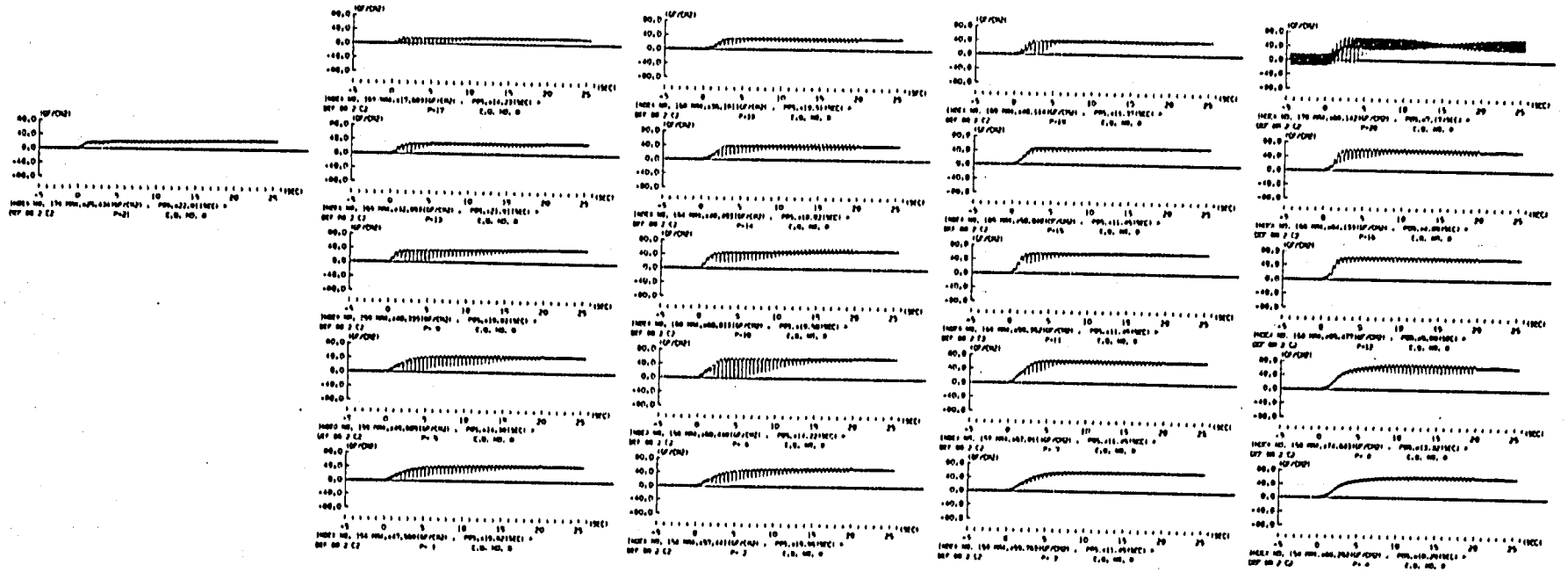


図６－12　加速度の鉛直分布図（実験２－２）



(a) 断 面 A　(b) 断 面 B　(c) 断 面 C　(d) 断 面 D

図6－11 加速度記録の時刻歴図（実験２－２）



(a) 断面 A　(b) 断面 B　(c) 断面 C　(d) 断面 D

図6－13 間隙水圧記録の時刻歴図（実験2－2）

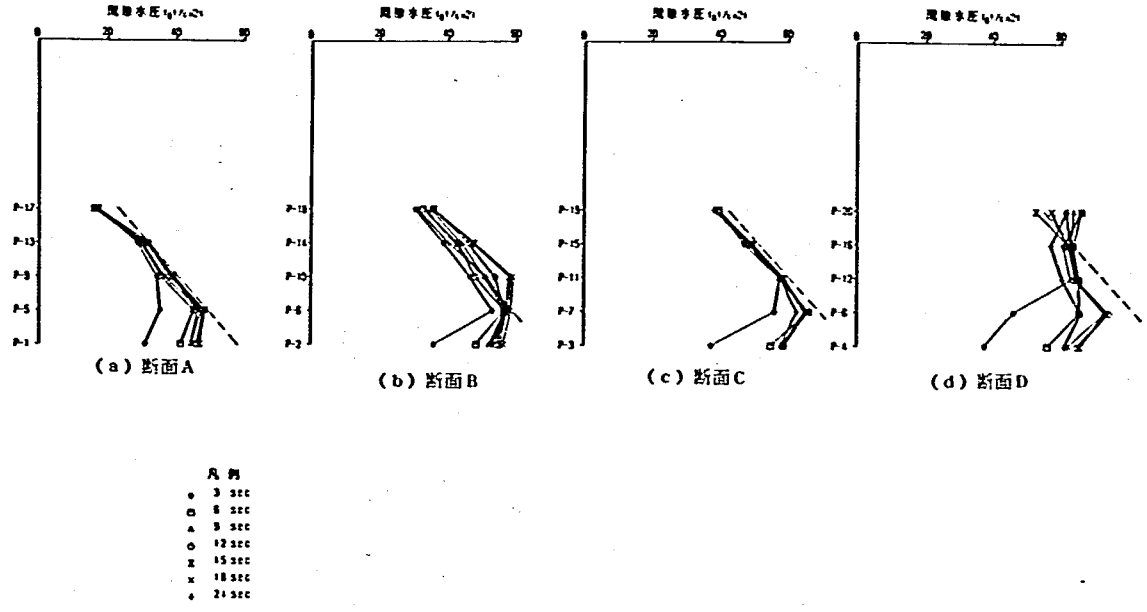
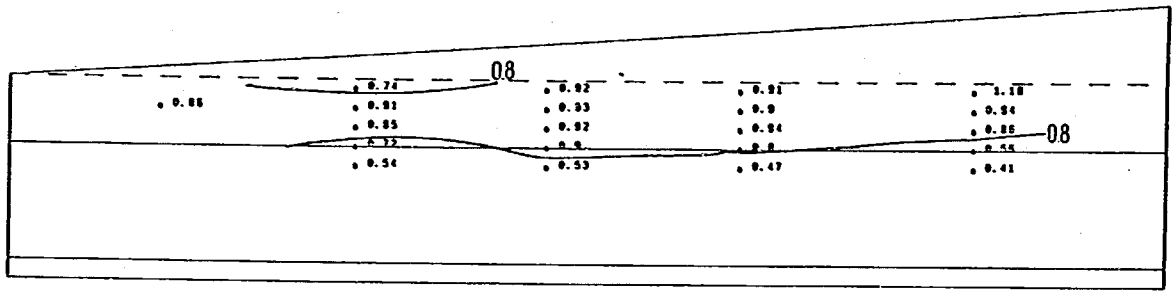
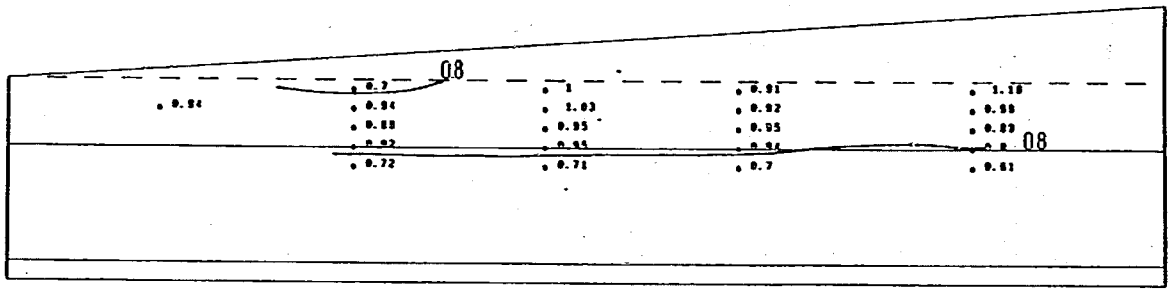


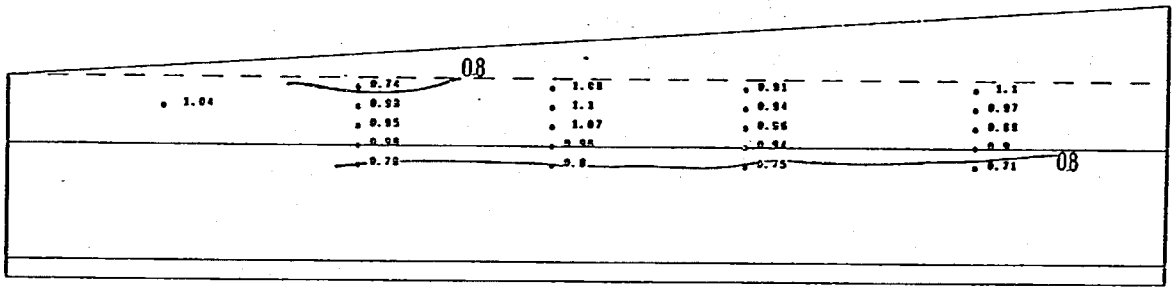
図6－14　間隙水圧の鉛直分布図（実験2－2）



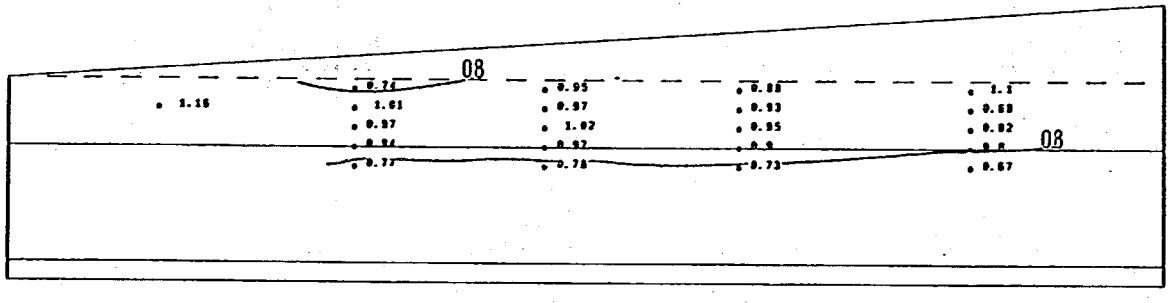
(a) 加振開始後 3 秒



(b) 加振開始後 6 秒

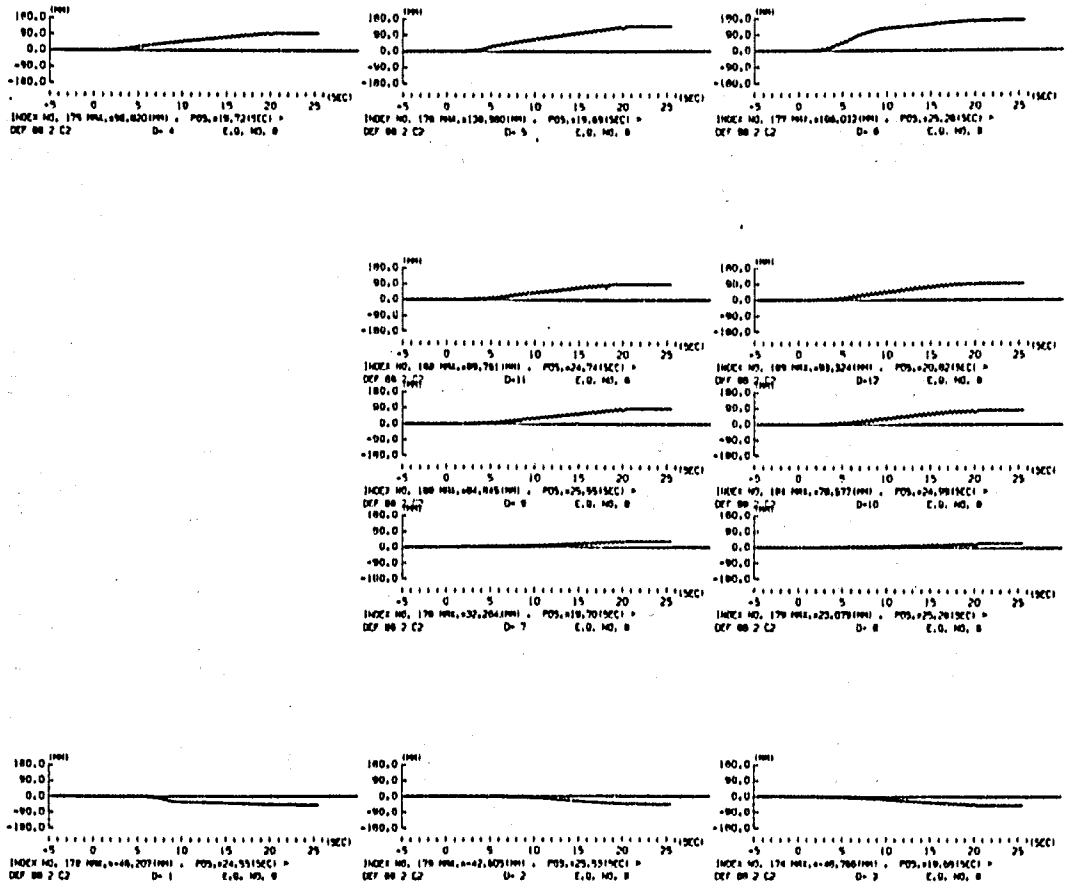


(c) 加振開始後12秒



(d) 加振開始後21秒

図 6 －15　間隙水圧比のコンター図（実験 2 － 2）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図6－16 変位記録の時刻歴図（実験２－２）

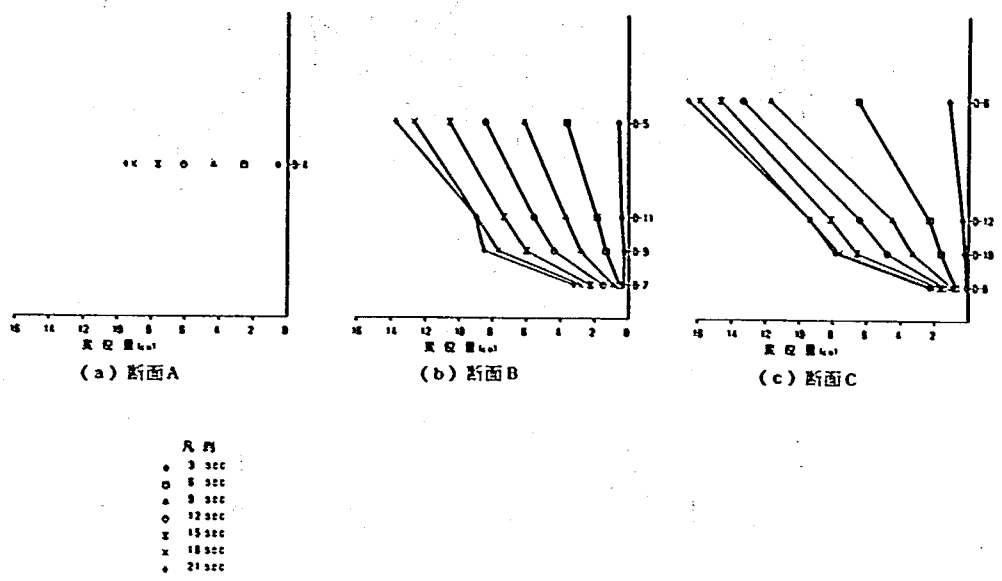


図6－17　水平変位の鉛直分布図（実験2－2）

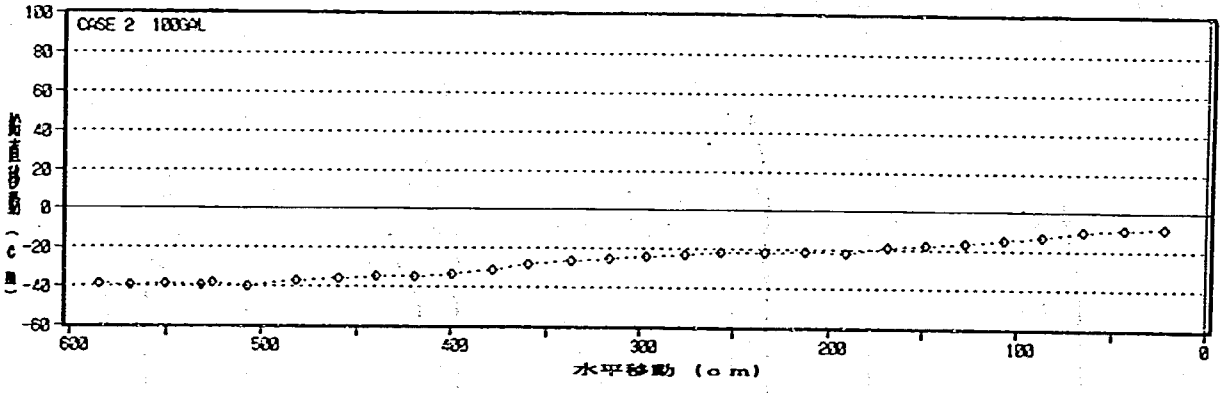


図6－18　地表面変位測定結果図（実験2－2）

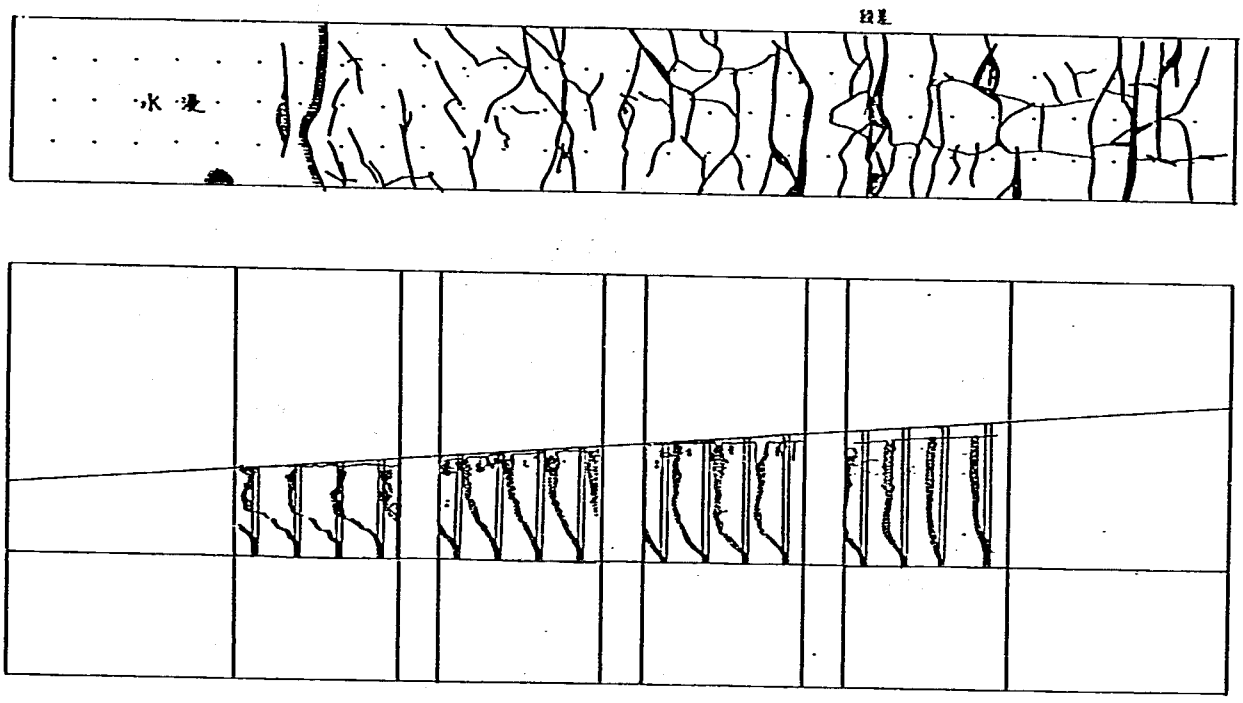
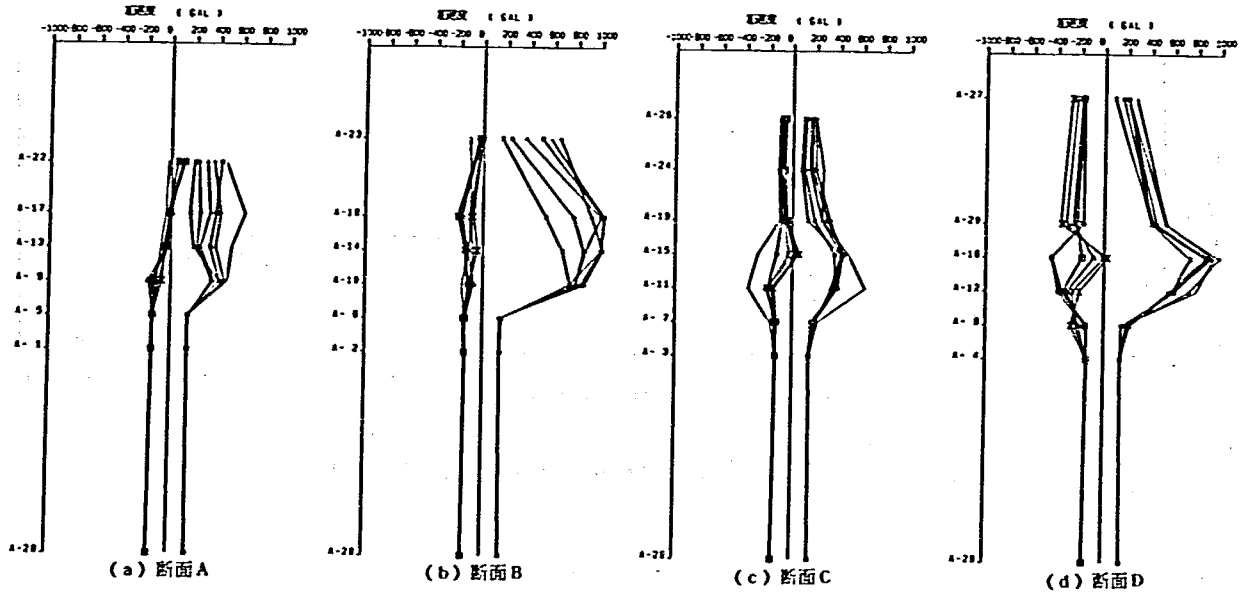


図６－19　側面および上面からのスケッチ図（実験２－２）



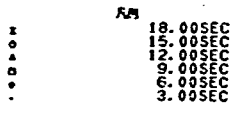
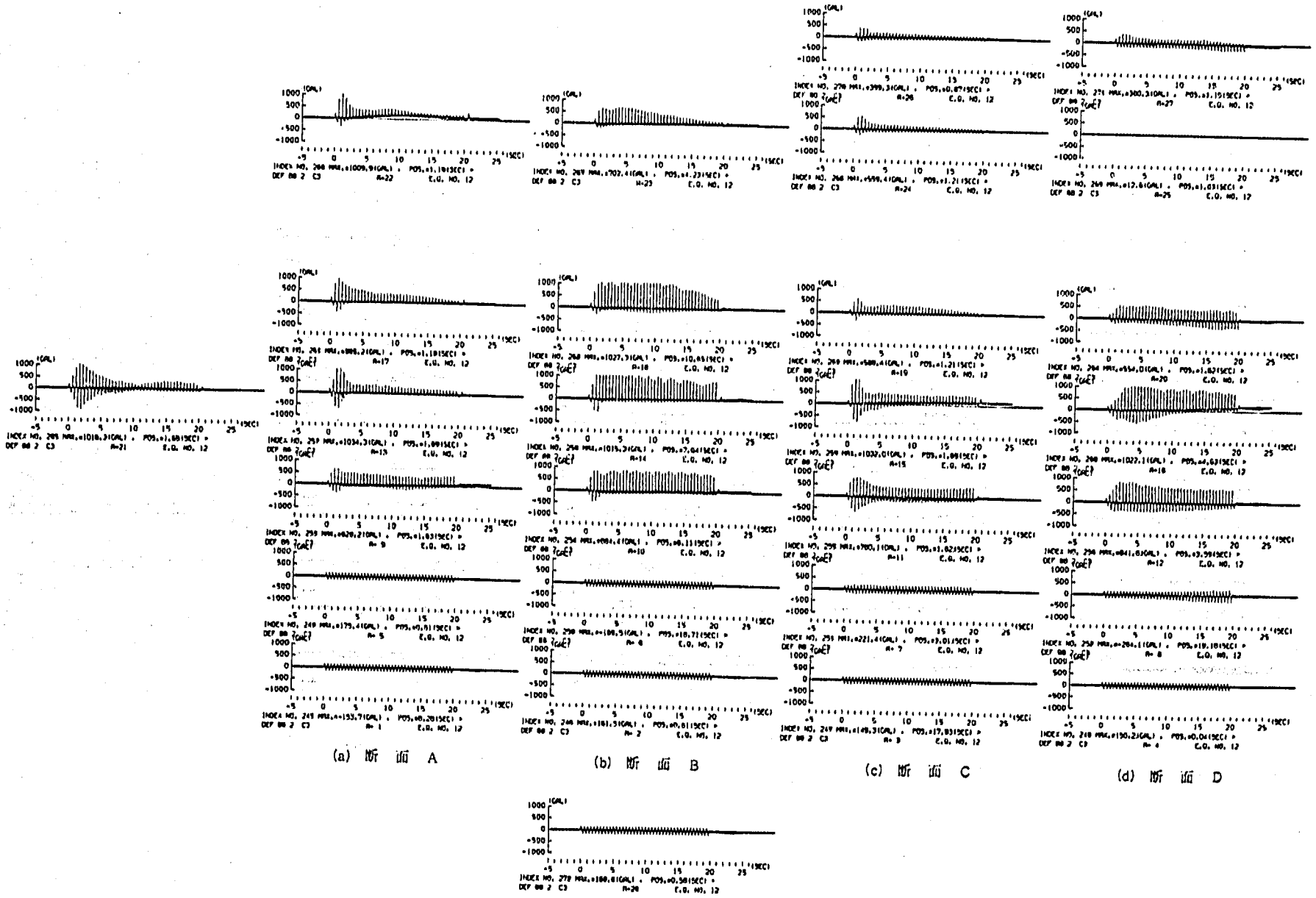
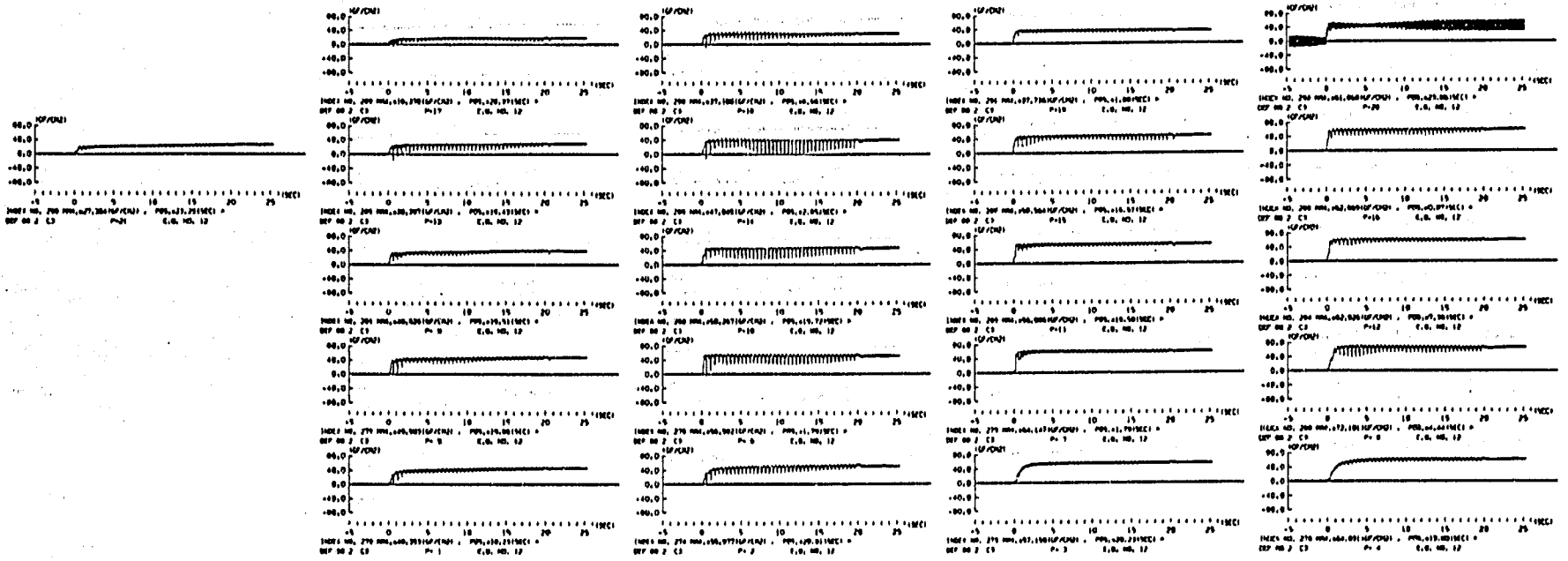


図６－21　加速度の鉛直分布図（実験２－３）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図6－20 加速度記録の時刻歴図（実験２－３）



(a) 測点 A　(b) 測点 B　(c) 測点 C　(d) 測点 D

図6－22 間隙水圧記録の時刻歴図（実験２－３）

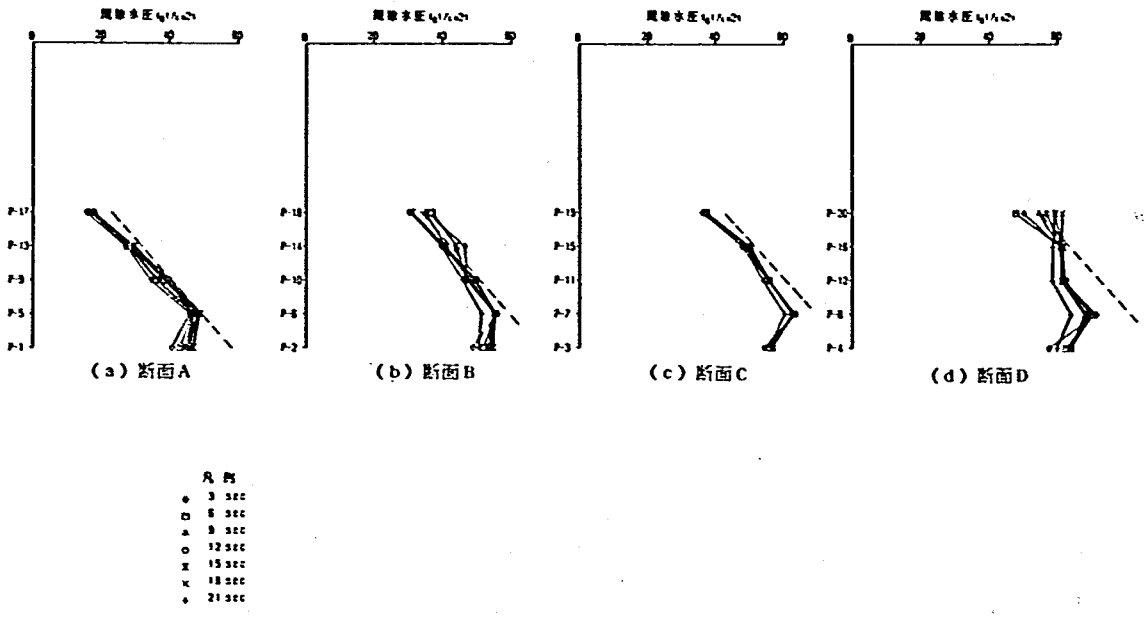


図 6 － 23　間隙水圧の鉛直分布図（実験 2 － 3）

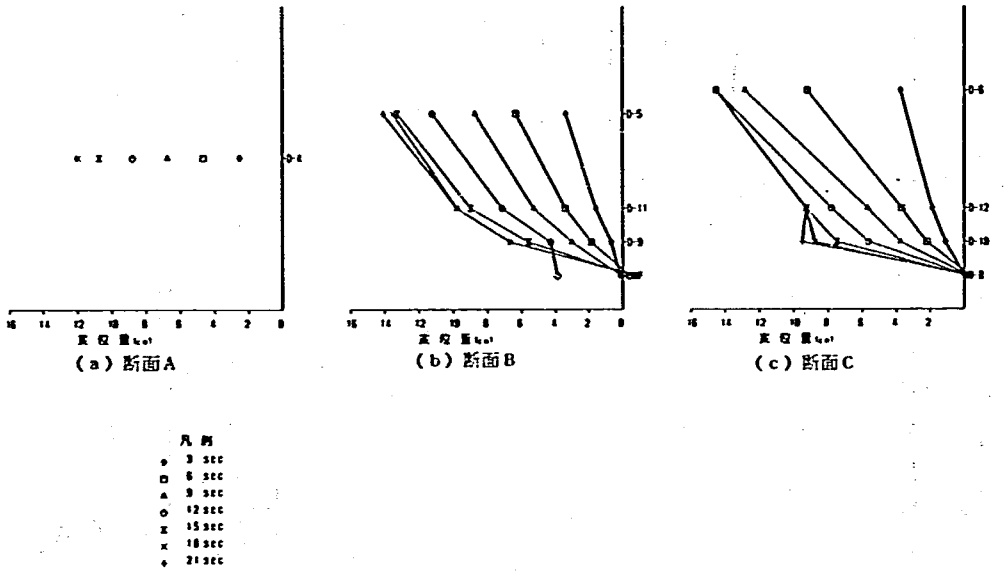
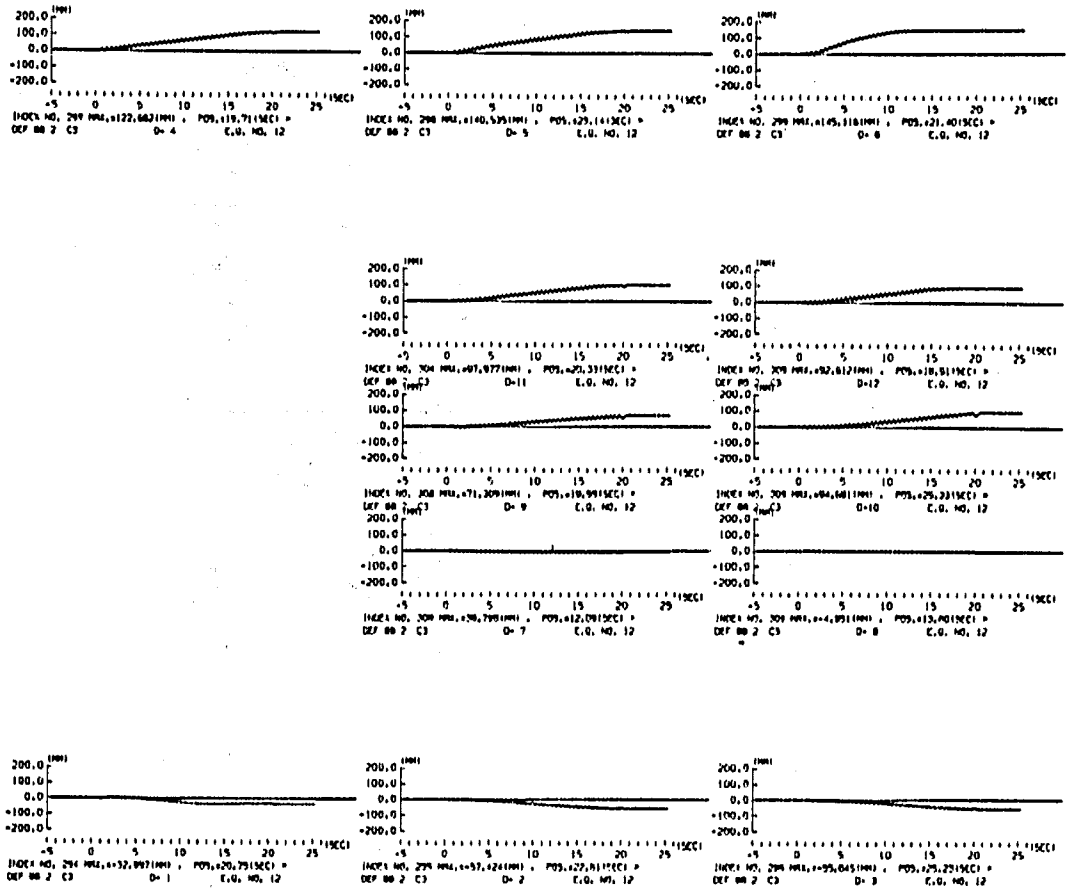


図 6 － 25　水平変位の鉛直分布図（実験 2 － 3）



(a) 断面 A　(b) 断面 B　(c) 断面 C

図6－24 変位記録の時刻歴図（実験２－３）

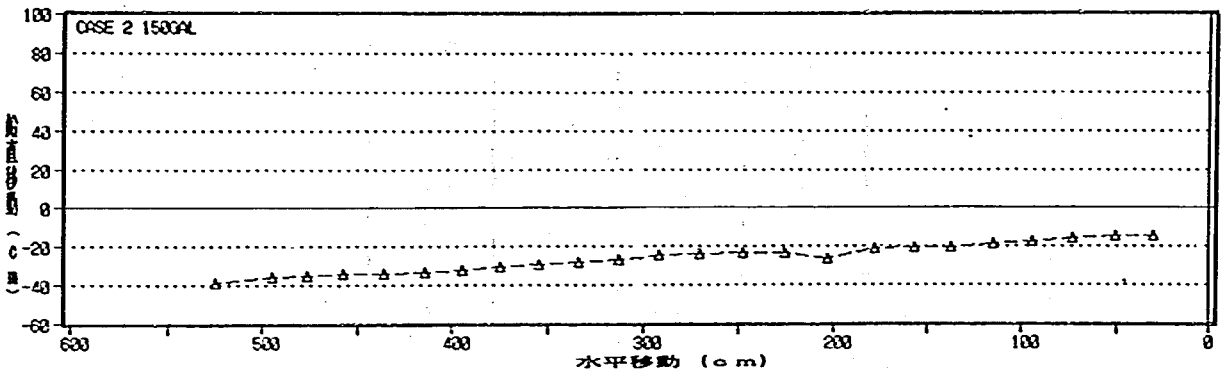


図６－26　地表面変位測定結果（実験２－３）

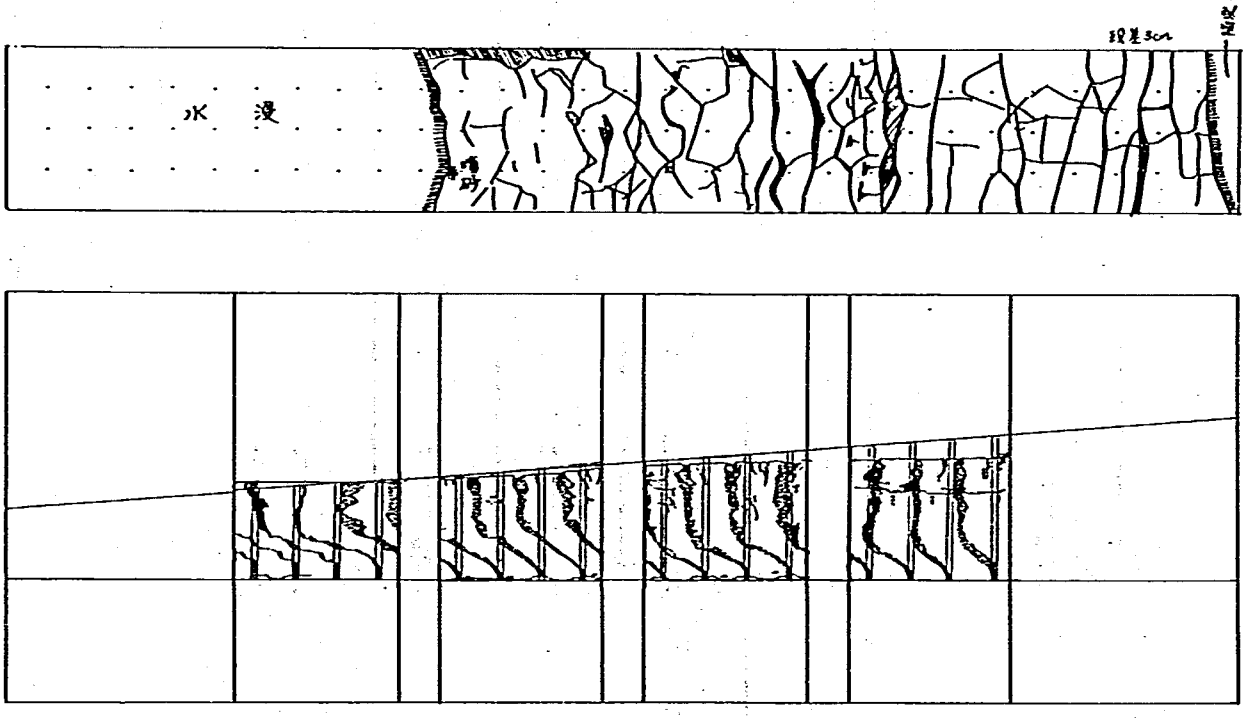
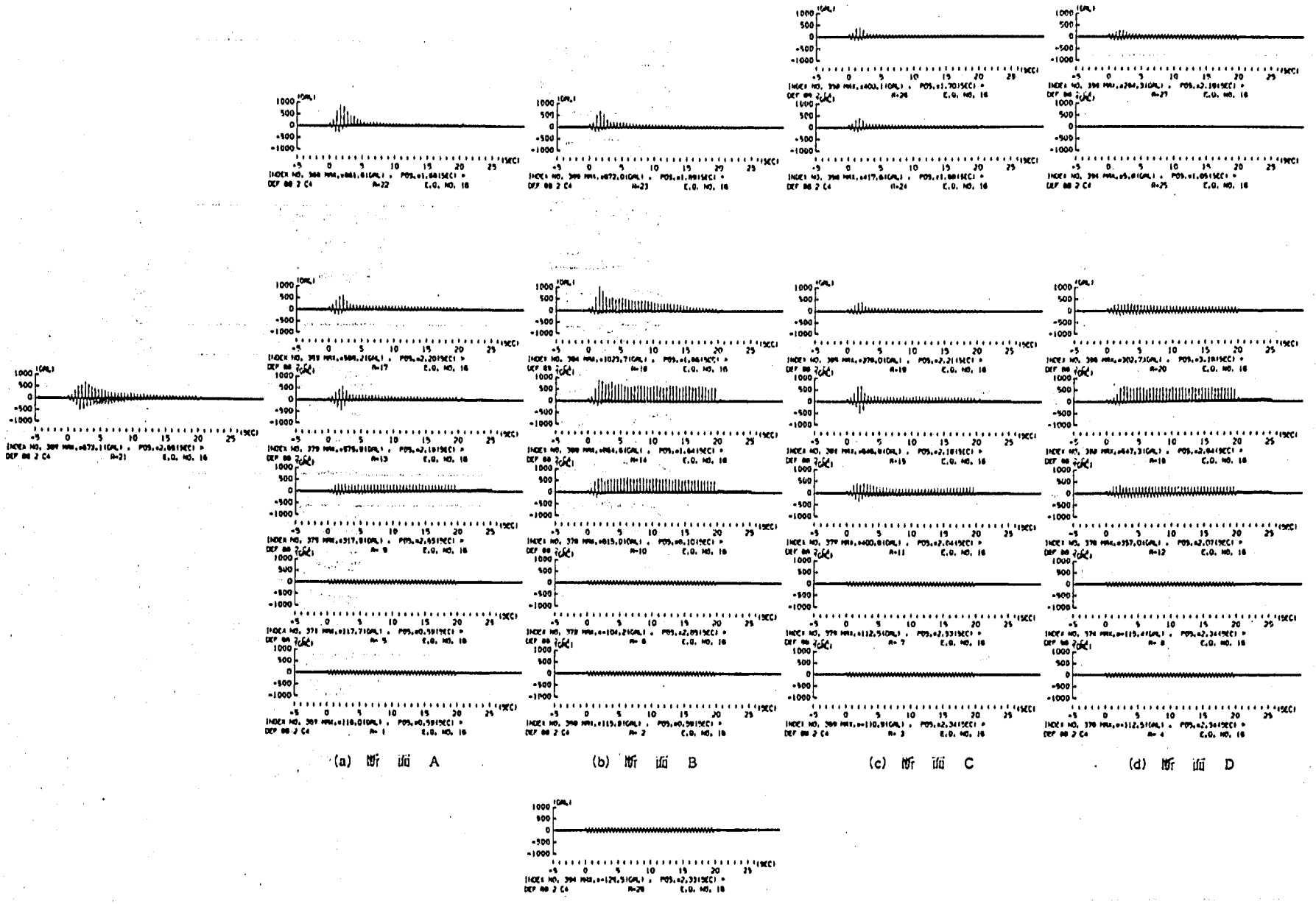


図６－27　側面および上面からのスケッチ図（実験２－３）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図6－28 加速度記録の時刻歴図（実験２－４）

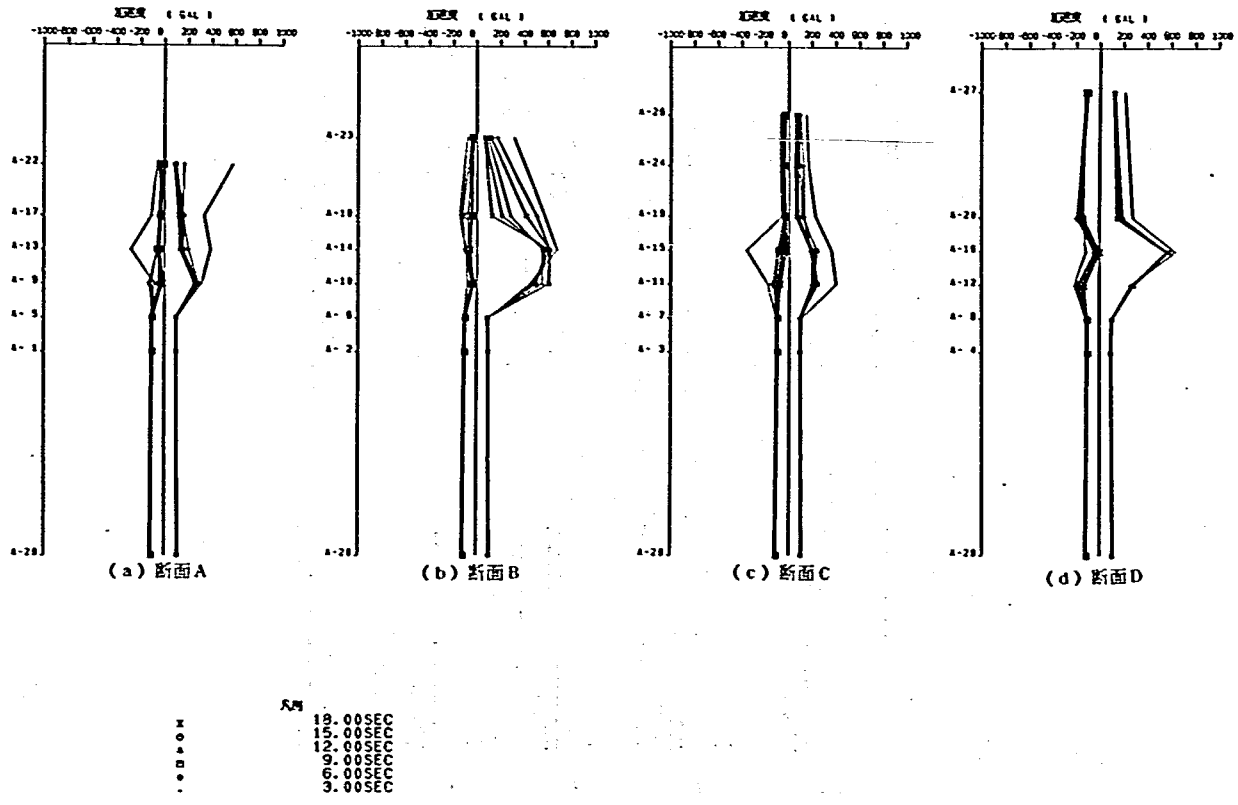


図6－29　加速度の鉛直分布図（実験2－4）

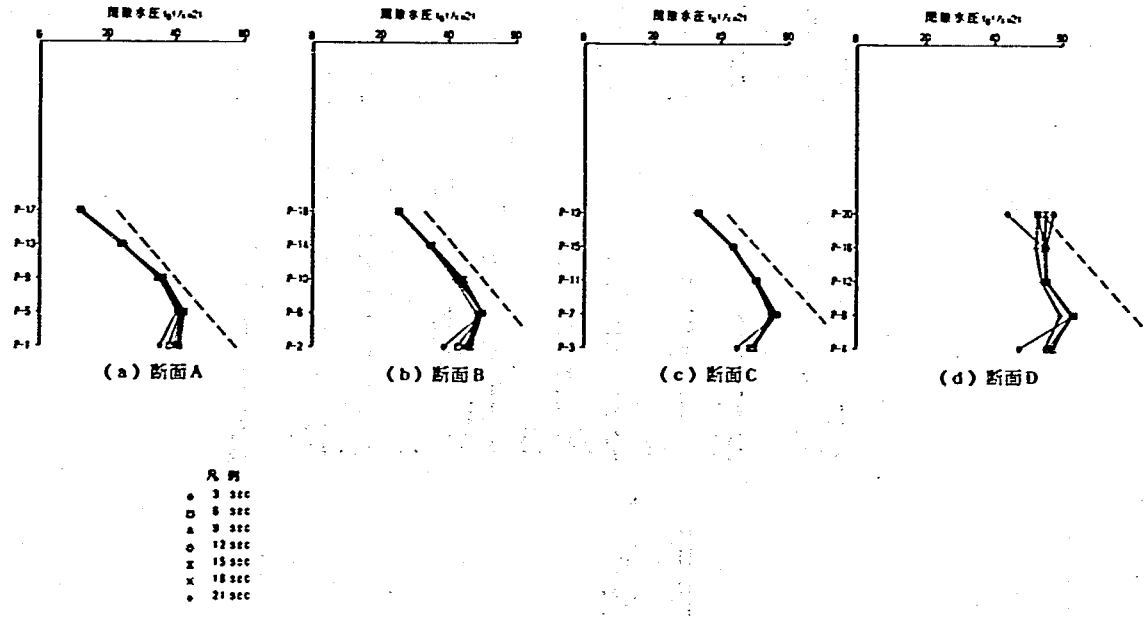
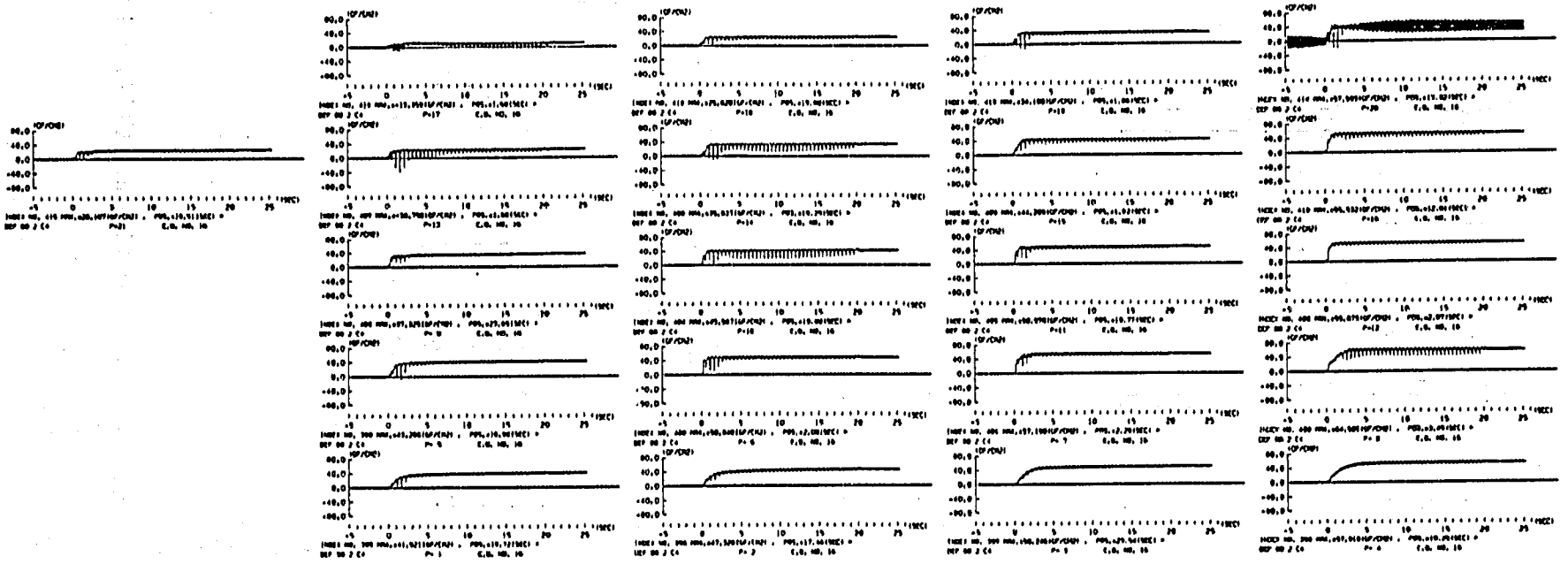
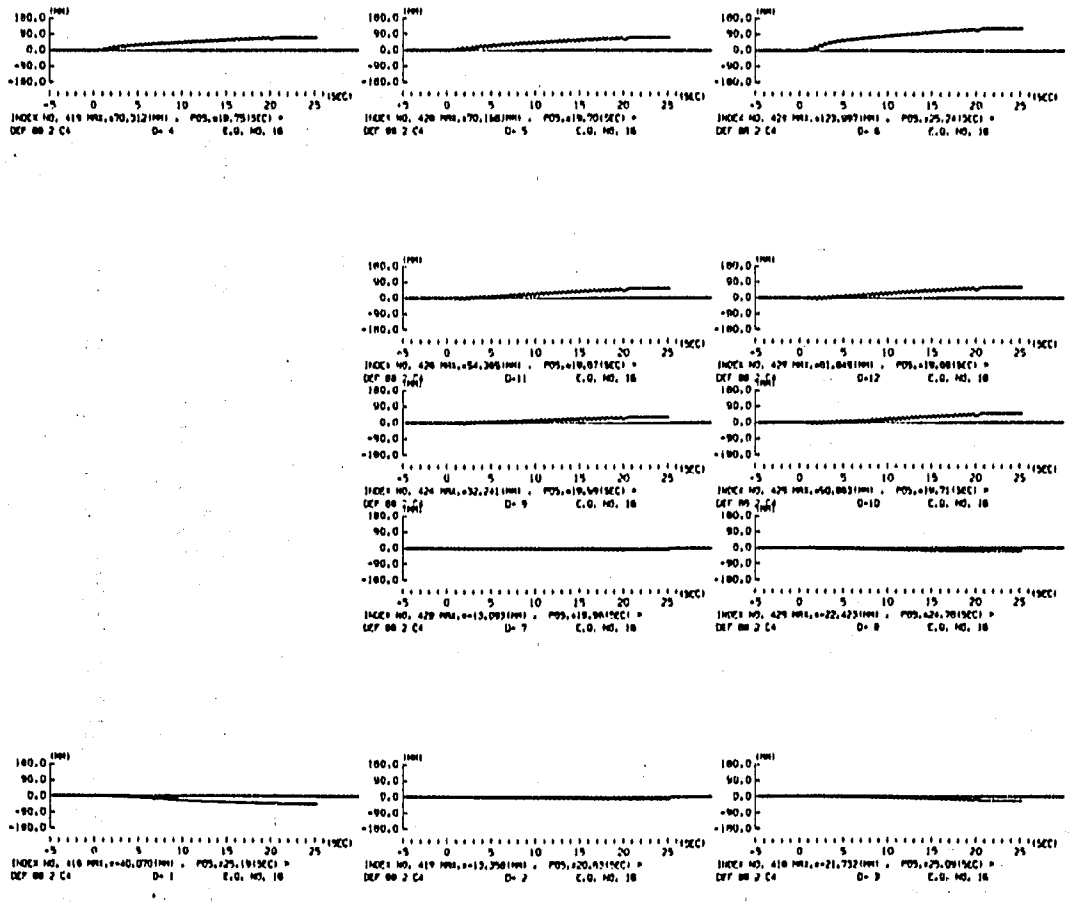


図6－31　間隙水圧の鉛直分布図（実験2－4）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C　　(d) 断 面 D

図6－30 間隙水圧記録の時刻歴図（実験２－４）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図6－32 変位記録の時刻歴図（実験２－４）

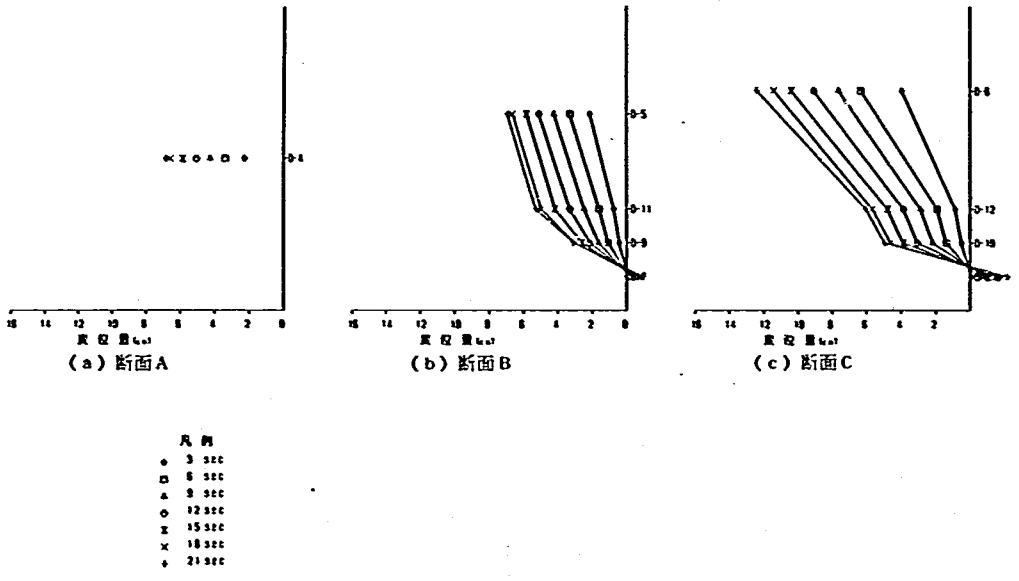


図6－33　水平変位の鉛直分布図（実験2－4）

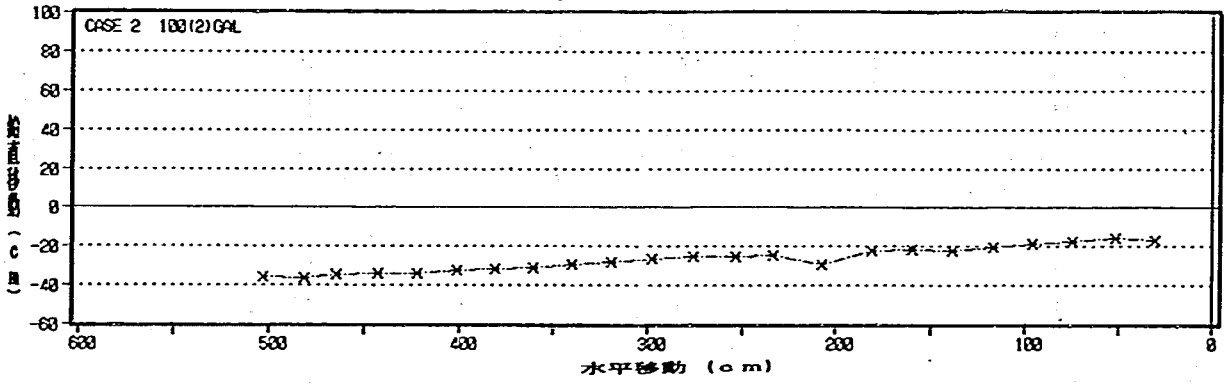


図6－34　地表面変位測定結果（実験2－4）

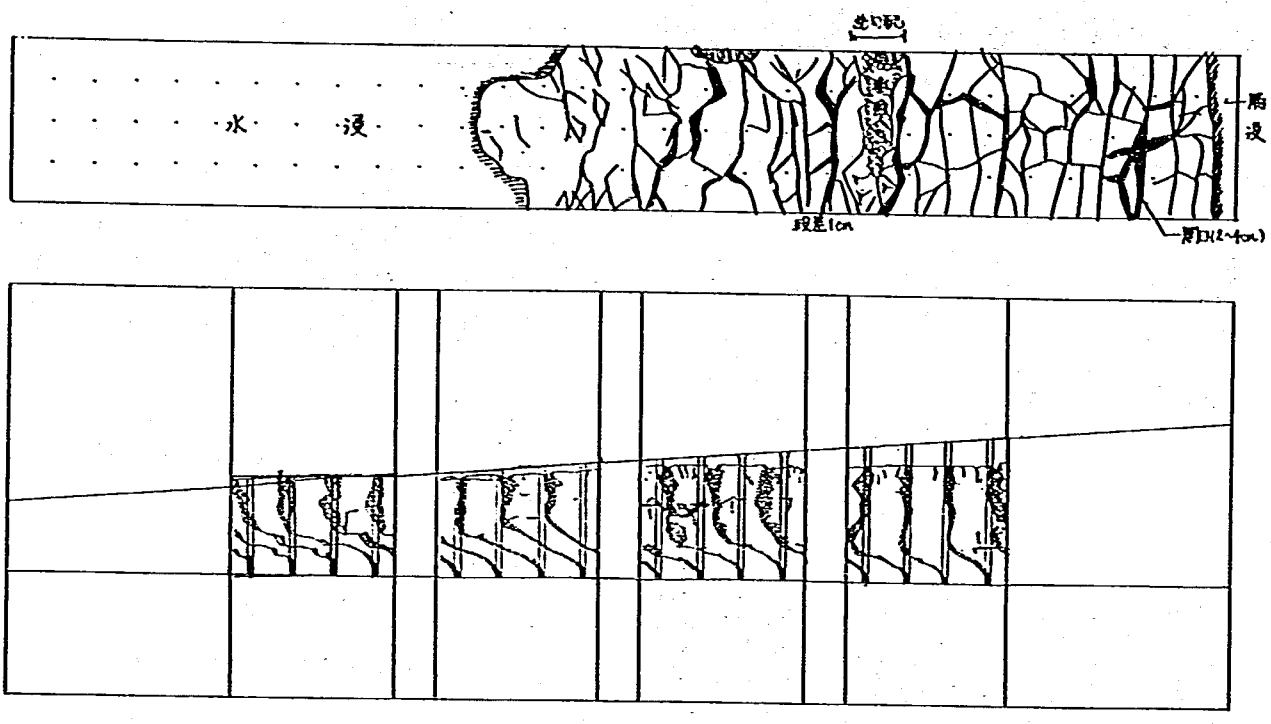


図6－35　側面および上面からのスケッチ図（実験2－4）

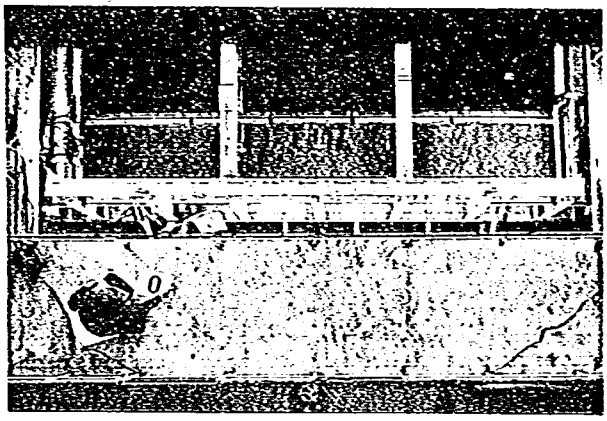


写真　6－1　加振開始時の模型地盤表面
(実験２－１，０sec)

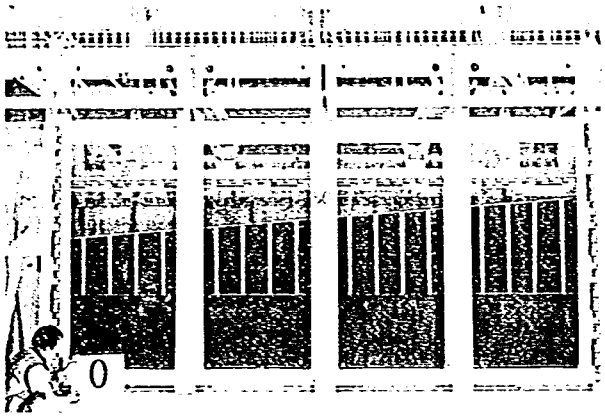


写真　6－2　加振開始時の模型地盤側面
(実験２－１，０sec)

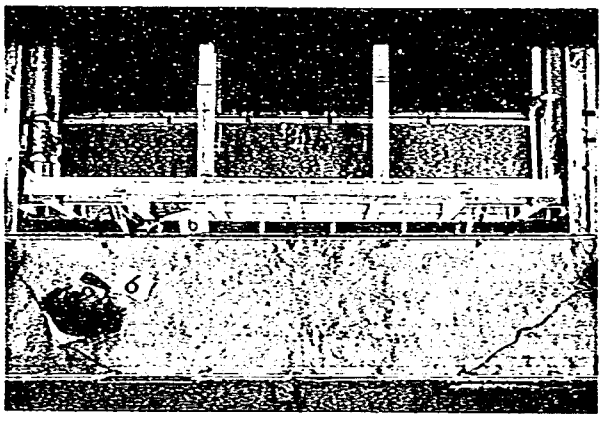


写真　6－3　加振開始６秒の模型地盤表面
(実験２－１，６sec)

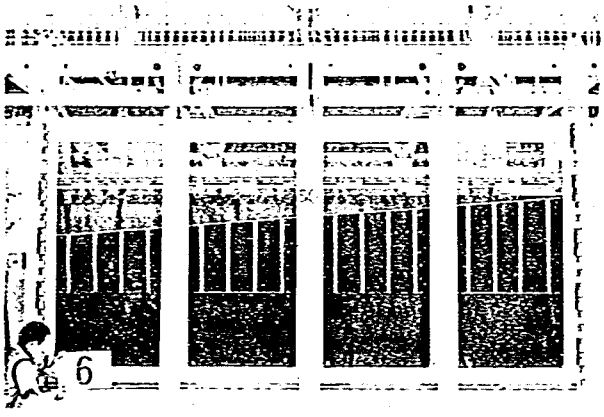


写真　6－4　加振開始６秒の模型地盤側面
(実験２－１，６sec)

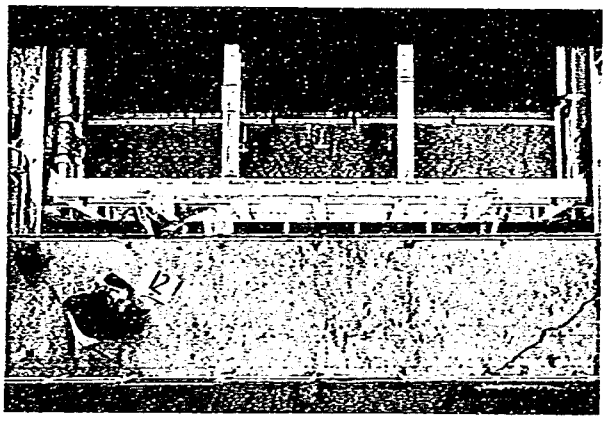


写真　6－5　加振開始12秒の模型地盤表面
(実験２－１，12sec)

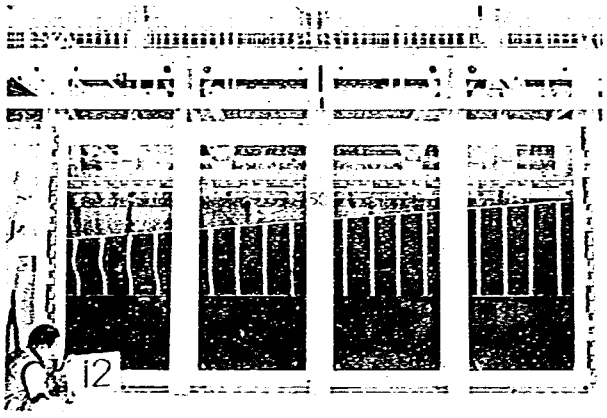


写真　6－6　加振開始12秒の模型地盤側面
(実験２－１，12sec)

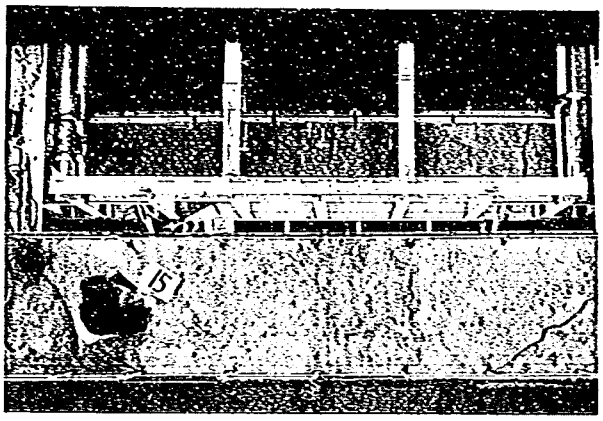


写真　6－7　加振開始15秒の模型地盤表面
（実験２－１，15sec）

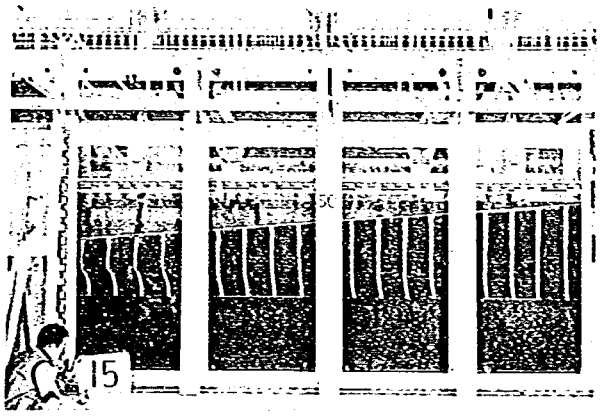


写真　6－8　加振開始15秒の模型地盤側面
（実験２－１，15sec）

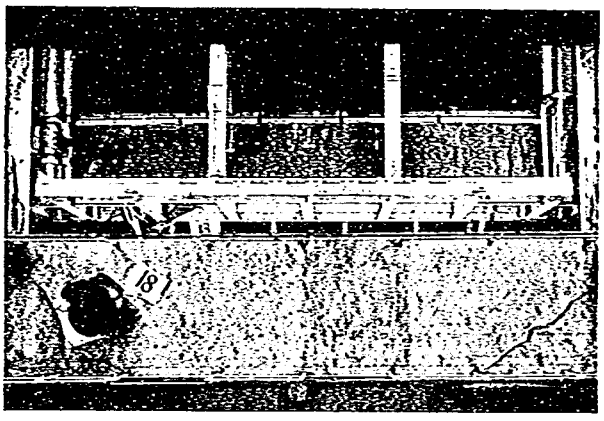


写真　6－9　加振開始18秒の模型地盤表面
（実験２－１，18sec）

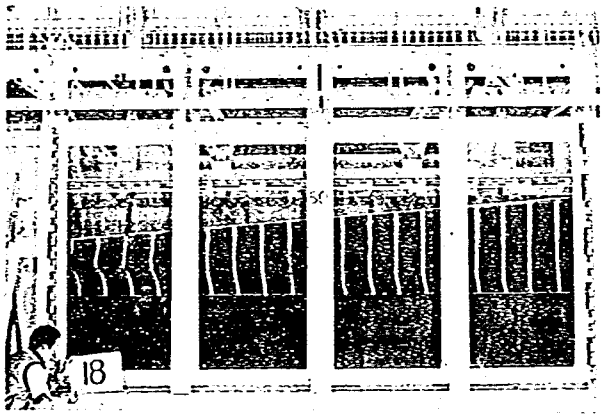
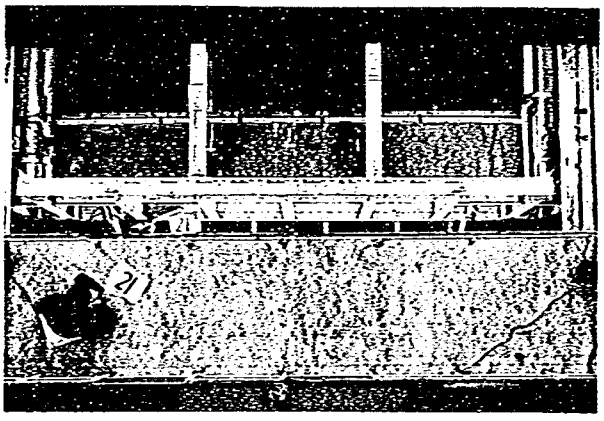


写真　6－10　加振開始18秒の模型地盤側面
（実験２－１，18sec）



写真－6－11　加振後の模型地盤表面
（実験２－１，21sec）

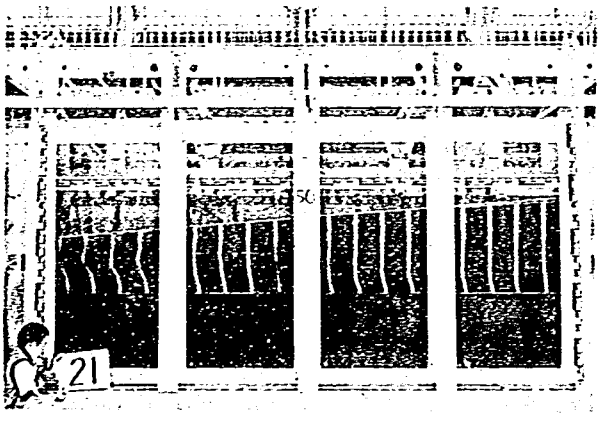


写真　6－12　加振後の模型地盤側面
（実験２－１，21sec）

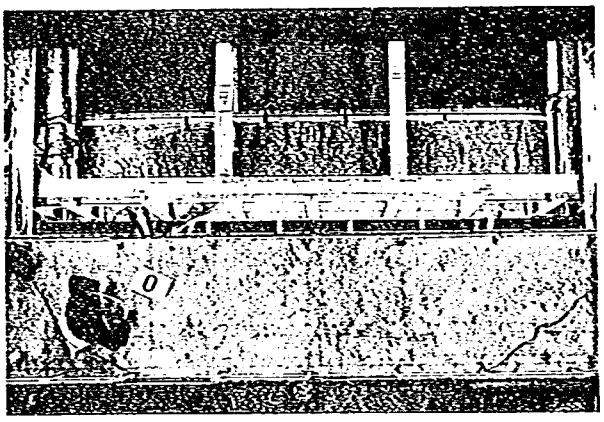


写真　6－13　加振開始時の模型地盤表面
(実験２－２，０sec)

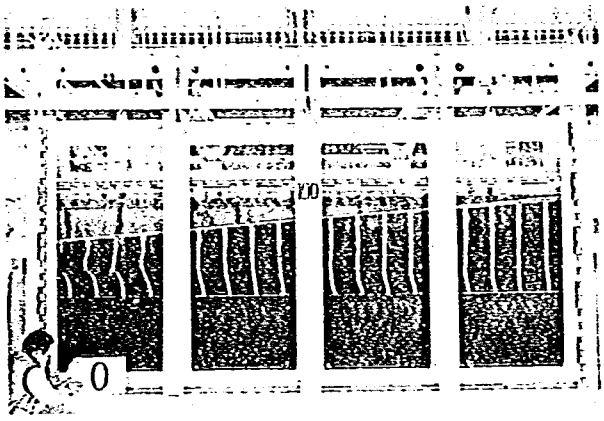


写真　6－14　加振開始時の模型地盤側面
(実験２－２，０sec)

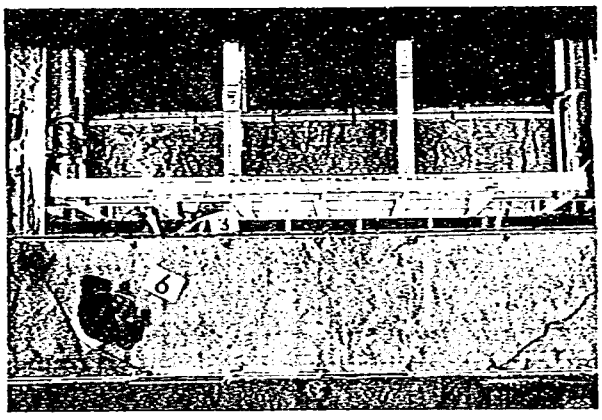


写真　6－15　加振開始６秒の模型地盤表面
(実験２－２，６sec)

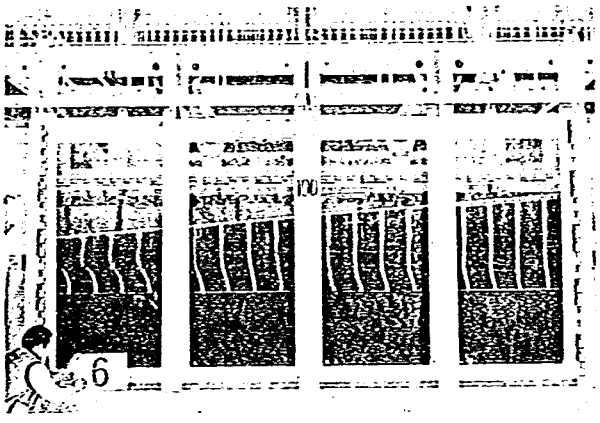


写真　6－16　加振開始６秒の模型地盤側面
(実験２－２，６sec)

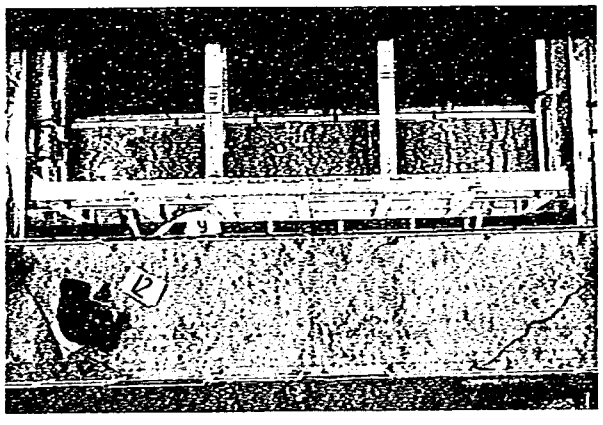


写真　6－17　加振開始12秒の模型地盤表面
(実験２－２，12sec)

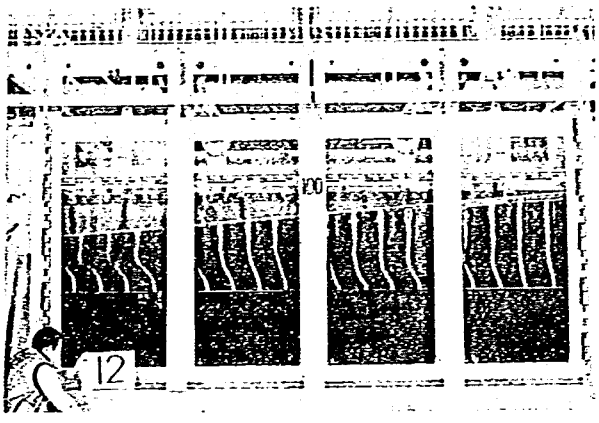


写真　6－18　加振開始12秒の模型地盤側面
(実験２－２，12sec)

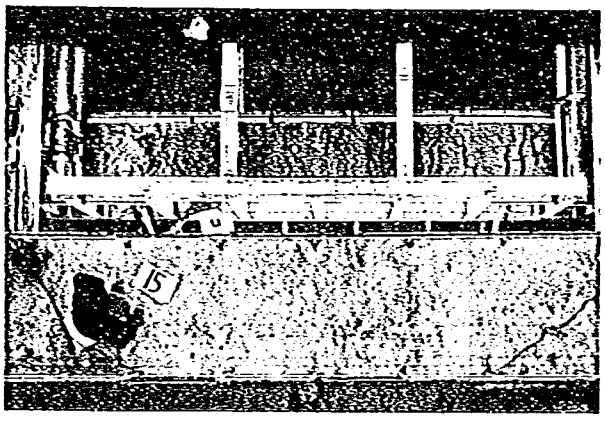


写真　6－19　加振開始15秒の模型地盤表面
(実験２－２，15sec)

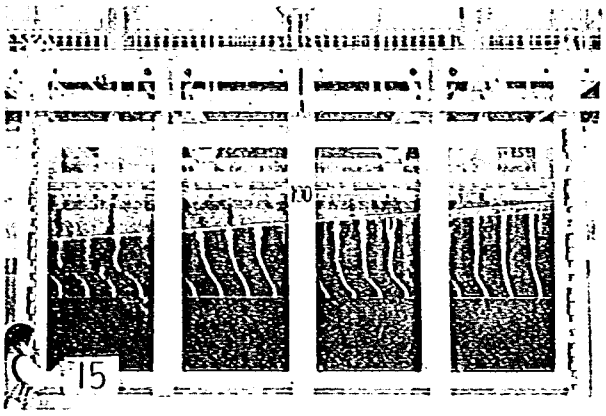


写真　6－20　加振開始15秒の模型地盤側面
(実験２－２，15sec)

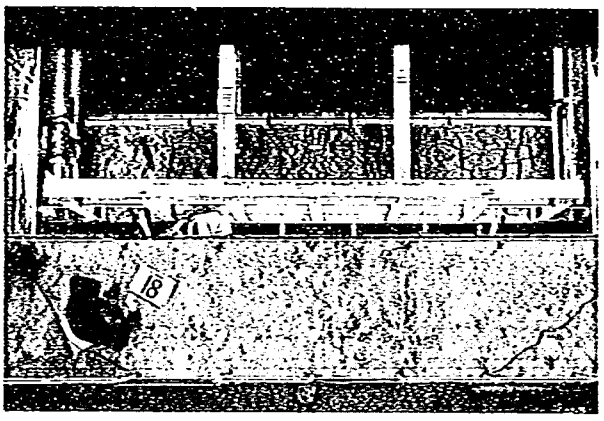


写真　6－21　加振開始18秒の模型地盤表面
(実験２－２，18sec)

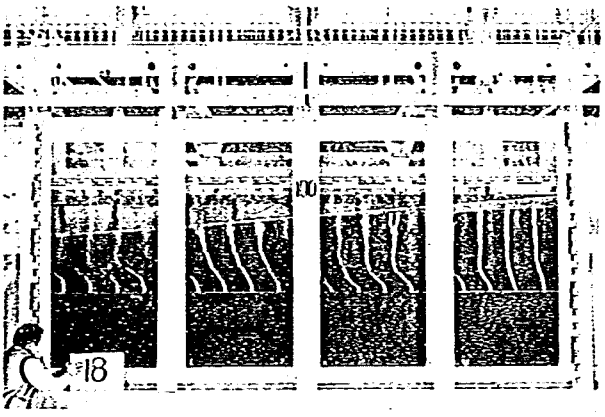


写真　6－22　加振開始18秒の模型地盤側面
(実験２－２，18sec)

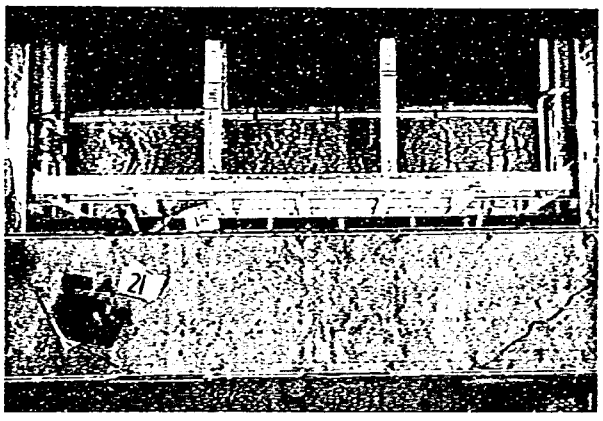


写真　6－23　加振後の模型地盤表面
(実験２－２，21sec)

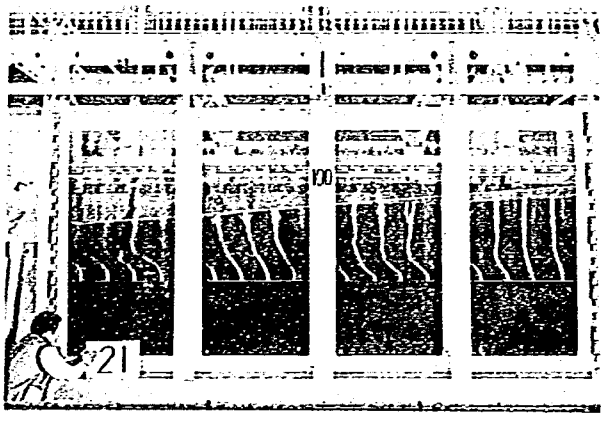


写真　6－24　加振後の模型地盤側面
(実験２－２，21sec)

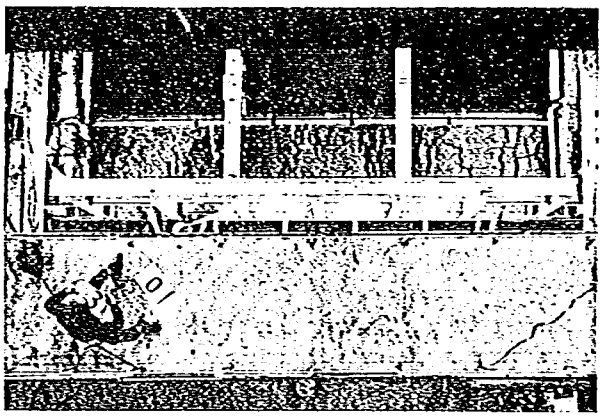


写真　6－25　加振開始時の模型地盤表面
(実験２－３，０sec)

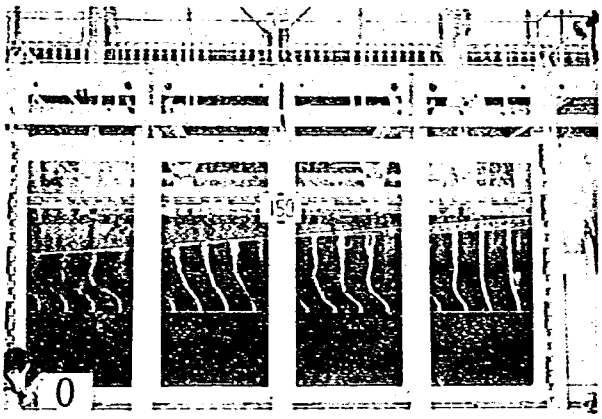


写真　6－26　加振開始時の模型地盤側面
(実験２－３，０sec)

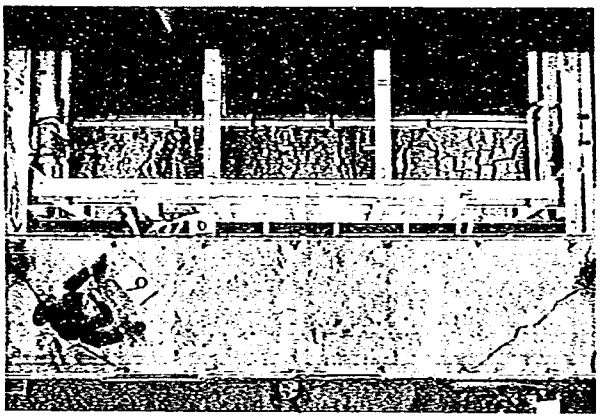


写真　6－27　加振開始９秒の模型地盤表面
(実験２－３，９sec)

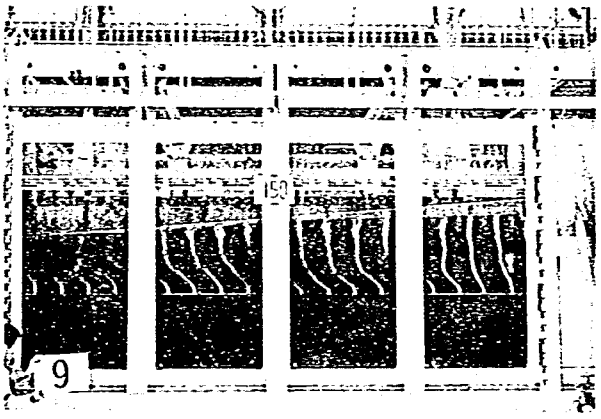


写真　6－28　加振開始９秒の模型地盤側面
(実験２－３，９sec)

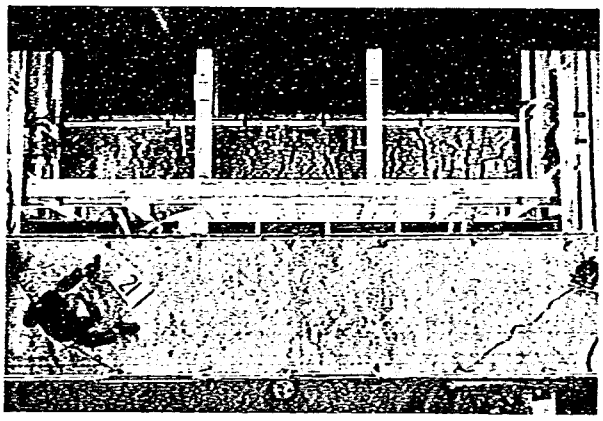


写真　6－29　加振後の模型地盤表面
(実験２－３，21sec)

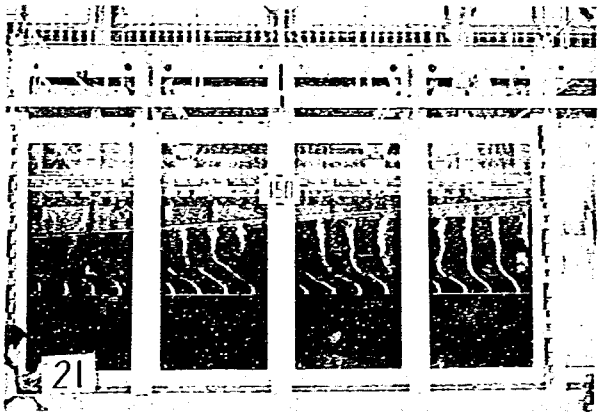


写真　6－30　加振後の模型地盤側面
(実験２－３，21sec)

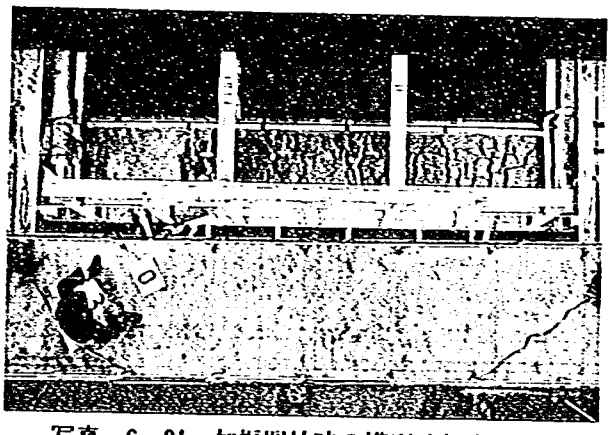


写真　6－31　加振開始時の模型地盤表面
(実験２－４，０sec)

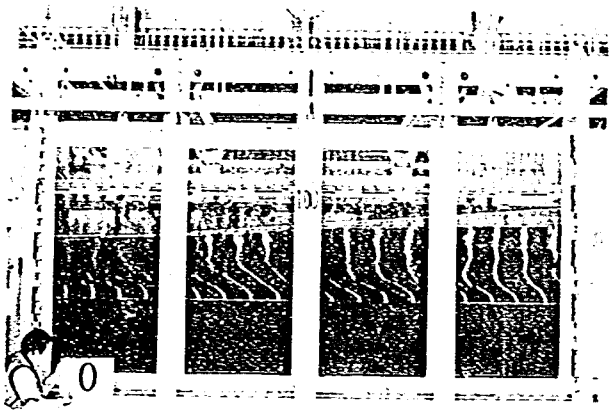


写真　6－32　加振開始時の模型地盤側面
(実験２－４，０sec)

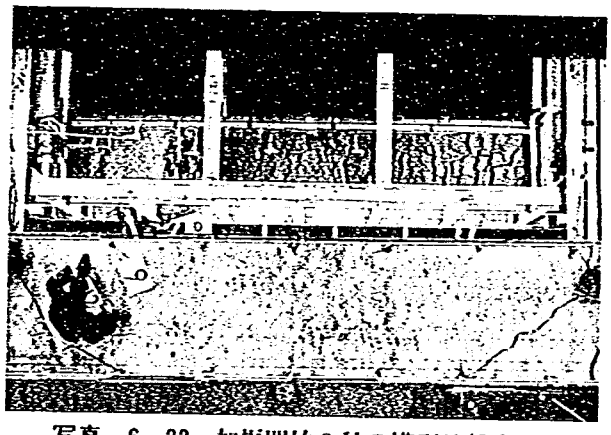


写真　6－33　加振開始９秒の模型地盤表面
(実験２－４，９sec)

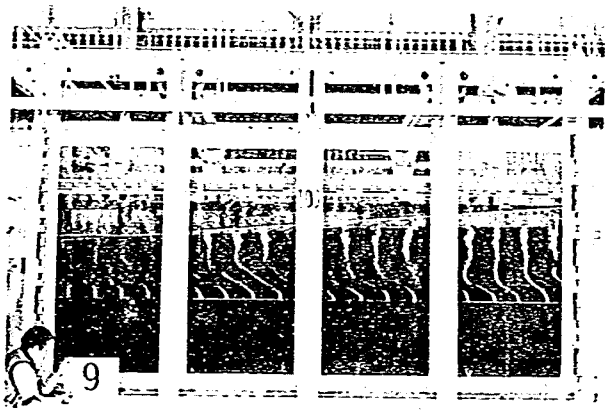


写真　6－34　加振開始９秒の模型地盤側面
(実験２－４，９sec)

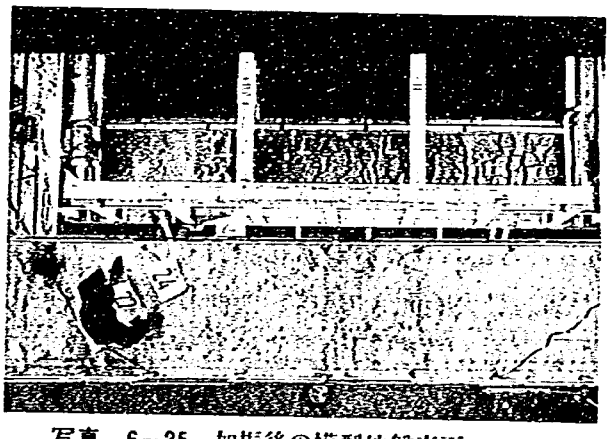


写真　6－35　加振後の模型地盤表面
(実験２－４，24sec)

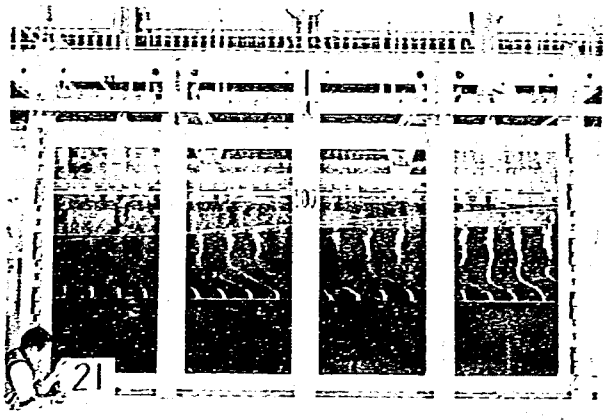


写真　6－36　加振後の模型地盤側面
(実験２－４，24sec)

７．　模型－３の挙動

７．１ 概要

図7.1に模型－３の形状および計測器の配置図を示す。また表7.1に加振の経過を示す。

模型－３の地盤は、液状化層底が5%の勾配で傾斜しており、厚さ35～5cmの液状化層（相対密度52%）の上に5%の勾配の不飽和層が載った地盤模型である。

この地盤模型を4段階の台加速度で加振した。各加振加速度毎の実験を実験番号3-1～3-4と呼ぶこととする。

表７－１　模型－３の加振経過

実験No.	入力加速度 gal		加振前の平均勾配	加振による平均変位量
	目標値	実績値		
3-1	50	159.2	4.7 %	6.2 cm
3-2	100	163.2	4.9 %	15.0 cm
3-3	75	137.5	4.9 %	8.8 cm
3-4	75	147.1	1.8 %	3.7 cm

注）1)加振振動数はいずれも2Hz
2)継続時間は20sec
3)平均変位量は測量鋲No.37～51の変位量の平均値

表7.1に示すように実験3-1では、加振初期の加振波形に高振動数のノイズが含まれていたため最大加速度としては159.2galと大きく地盤模型には6cm程度の変状が生じた。実験3-2によって地盤表面は平均約15cmほど傾斜の下方に移動した。

引き続く実験3-3,3-4では、加振開始後の２～４波目で地盤内の間隙水圧がほぼ初期上載圧近くまで上昇し加振継続時間中に継続して地盤は水平方向に流動した。流動量を地表の平均変位量で表わすとそれぞれ約9cm,約4cm（中央部）程度であり、加振前の地表面の平均勾配の値に対する変位量を示している。

以下に実験番号ごとに地盤模型の挙動を記す。

７．２ 実験番号３－１

１）加速度記録

図7.2にそれぞれ測定断面Ａ，Ｂ，Ｃの加速度記録の時刻歴図を示す。

振動台加速度の目標地は50galであったが、加振初期の4秒間ほどの間に最大159.2galのノイズが表れており,平均70gal程度の加速度が入力された。

非液状化層内および液状化層底面に設置したが速度計の記録は振動台の波形に対した形状を示しており、増幅率としては0.7～0.9倍程度であった。これは地盤内をせん断波が伝幡する間に振動台の加振波形に含まれている高振動成分が減衰したためであると考えられる。液状化層内では、断面Ｂにおいて加振開始後4秒ごろから波形にスパイクが現れはじめ、最大断面Ａで3倍、断面Ｂで7倍，断面Ｃで3倍程度に増幅されている。また、地表面での増進率は断面Ａ，Ｃで3倍，断面Ｂで2倍程度に増幅されている。

図7.3に各断面の加速度記録の鉛直分布を示す。断面Ｂの液状化層において大きく増幅されているとともに、全断面とも、－側の振動が加振が継続時間と共に小さくなる傾向にある。

２）間隙水圧の記録

図7.4に断面Ａ，Ｂ，Ｃの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。

振動台の加速度が図7.2に示したように加振初期に大きな加速度が入力されたため、2～4波目で間隙水圧比は1.0に達している。断面A，B，Cごとの間隙水圧の鉛直分布を図7.5に示す。図7.5では、加振開始後の経過時間を追って等時線で示している。同図中には、初期上載圧σ_{v0}'の鉛直分布を破線で示す。

この図から次のことが判る。

a．加振開始後1～2秒程度で間隙水圧比（ここでは初期上載圧σ_{v0}'に対する比を算出した値）はほぼ1.0に達する。

b．断面A，B，Cともほぼ同じ早さで間隙水圧は増加している。

c．非液状化層内の間隙水圧の値は、液状化層低面の値よりも常に小さい。

d．間隙水圧の消散過程は断面A，B，C毎に鉛直鉛直分布の等時線を示した図7.6のようである。

e．加振終了後約15～30分程度で各間隙水圧の値は零になる。

3）変位計の記録

実験3-1では、加振開始後2秒程度から変位が発生し始めている。この加振段階では、高振動数のノイズが加振波形に含まれており間隙水圧比は0～2秒の間で1.0に達しており、模型地盤の変位発生の時刻に対応している。

実験3-1の変位計記録の時刻歴図及び水平変位の深度分布図を図7.7，7.8に示す。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図7.9に示す。

図7.9の測量鋲の移動量は奥行き方向の3つの測量鋲の移動量を平均した値である。測量結果は巻末資料に収録してある。図7.10には側面および上面のスケッチを示す。

また、加振前後の模型地盤表面、側壁から見た模型地盤の様子をそれぞれ写真7.1～7.12に示す。

これらの図および写真から変位は斜面下方より発生し始め順次斜面上方へと流動を起こしている領域が広がっていくことがわかる。地盤内の変位に着目すると、斜面下方では地表面付近で大きくせん断変形が生じており、斜面上方へ向かうにつれ、せん断変形の大きい領域は地中内部へと変化しており、せん断変形の領域は液状化層の領域にほぼ一致している。

7．3 実験番号3－2

1）加速度記録

図7.11に断面A，B，Cの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験3-2では、加振開始後1～2秒程度から液状化層底面より5cm以浅の領域において記録波形にヒゲ状のスパイクが現れ始める。

このようなスパイクが現れる時刻は、液状化層内も地表面もほぼ同じである。スパイクの現

表7－2　スパイクの現れる時刻（実験3－2）

高さ	スパイクの現れる時刻 (sec)		
	断面A	断面B	断面C
液状化層底面	——	——	——
底面から 5cm上	——	——	——
底面から10cm上	1.0	1.0	1.5
底面から15cm上	1.0	1.0	1.5
地　表　面	1.0	1.0	1.5

れる時刻を表7.2に示す。

応答加速度の増幅は液状化層内で増幅されており、加速度の＋側（斜面下方へ向かう側）での増幅が大きく、－側ではほとんど増幅されないが逆に小さくなっている。この様子は、断面A，B，C毎に描いた地盤内の応答加速度振幅の鉛直分布図でも明かである。図7.12に応答加速度の鉛直分布を示す。

スパイクが生じはじめた時刻以降では液状化層内の各点での加速度は振動台加速度にくらべて大きくなる。ヒゲ状のスパイクによる短周期の加速度振幅も含めて、加振時間中の最大加速度とそれが生じた時刻をひろってみると表7.3のようであった。

いずれの点においても最大加速度は、加速度振幅の＋側の符号（斜面の下方に向かう向き）で生じている。また地表近くの浅い点になるにつれて－側の振幅（斜面の上方に向かう向きの振幅）は小さくなることおよび、最大加速度を生じた時刻以降の加速度振幅が減少する傾向などが生じている。このため、地表および液状化層内の大部分の最大加速度は加振終了前に生じていることが表7.3の発生時刻からも読みとれる。

表７－３　加振中の最大応答加速度（実験３－２）

高　さ	最加速度 Amax (gal)			最加速度 発生時刻 (sec)			増幅倍率 振動台に対する増幅倍率			増幅倍率 底面に対する増幅倍率		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
液状化層底面	163	151	291	0.1	0.1	19.4	1.0	0.9	1.8	1.0	1.0	1.0
底面から 5cm上	150	529	705	0.6	19.0	4.6	0.9	3.2	4.3	0.9	3.5	2.4
底面から10cm上	319	748	946	11.5	2.7	1.7	2.0	4.6	5.8	2.0	5.0	3.3
底面から15cm上	645	856	506	14.1	2.2	17.6	3.9	5.2	3.1	4.0	5.7	1.7
地　表　面	897	513	380	1.7	2.2	2.7	5.5	3.1	2.3	5.5	3.4	1.3

注）振動台加速度は164gal

表7.3および図7.12に示すようにスパイクが生じはじめて以降の応答加速度倍率は液状化層の中央付近で最大となり4～6倍程度に増幅されていることがわかる。

2）間隙水圧の記録

図7.13に断面A，B，Cの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。

いずれの間隙水圧計も、加振開始と同時に上昇しはじめほぼ1秒程度から一定値を示す。

断面A，B，Cとの間隙水圧の鉛直分布を図7.14に示す。

時刻歴波形ならびに間隙水圧の空間的な分布については次のような傾向が見られる。

a．いずれの断面においても液状化層内は、ほぼ1秒で間隙水圧比が1.0に近くなる。

b．非液状化層内の間隙水圧比は最大で0.6～0.7程度であり間隙水圧の値は液状化層底面の値よりも常に小さい。

c．1）で述べた加速度記録にスパイクが現れる時刻は、間隙水圧比がほぼ1.0に達する時刻に等しい。

また、あとで述べる変位計の記録に地表の変位が現れはじめる時刻はほぼ間隙水圧比が1.0程度まで達した時刻に等しい。

3）変位計の記録

図7.15に地表の3点で計測した鉛直変位（沈下量）の時刻歴、同じ点の水平変位の時刻歴、ならびに地中で計測した変位の時刻歴を示す。

地表の変形計の記録をみると次のような傾向のあることがわかる。

a．鉛直変位に変化が生じはじめる時刻は断面Aで加振開始後約1秒、断面Bで約3秒、断面Cで2秒経過した時点である。

b．水平変位に変化が見られるのは断面Aで1秒、断面B，Cで2秒程度経過した時である。（表7.4）

c．上記の時刻以降は断面A，Cでは、15秒程度までほぼ直線的に変位量は増加し続けるのに対し、断面Bでは6秒程度まで急激に変位が増加し、その後はあまり変位量は増加しない。

d．加振終了時までに生じた変位は表7.5のようであり、液状化層の厚い断面A，Bでは165～174mmと大きく液状化層の薄い断面Cでは87mmと小さい。

表7－4　地表の変位計に変位が計測されはじめた時刻（実験3－2）

断面	鉛直変位	水平変位
A	1 sce	1 sec
B	3	2
C	2	2

表7－5　地表の最終変位（実験3－2）

測点	加振終了後		加振終了後30分後	
	鉛　直	水　平	鉛　直	水　平
A	41.3mm	164.7mm	41.2mm	164.6mm
B	36.8	173.8	37.1	172.8
C	41.0	86.6	41.0	86.6

注）加振終了後30分後には間隙水圧計の出力はほぼ零まで戻っている。

e．なお、液状化層中に発生した間隙水圧の消散にともなう変位量は、鉛直方向が-0.1～0.3mm程度、水平方向は-0.1～0.0mm程度であり－値となっているのも計測上の誤差と考えられ、加振中に生じた変位にくらべると十分無視できる程度のものであった。

図7.16に示した水平変位の鉛直分布から次のような傾向を生じたことがわかる。

f．断面B，Cでの地中の水平変位は、液状化層の上層不で発生しており、断面A，Cでは加振時間にほぼ比例して増加し、断面Cでは6秒程度までに大きな変位が発生している。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図7.17に示す。

また加振前および加振中の地盤表面、側壁からみた模型地盤の様子をそれぞれ写真7.13～7.18に示す。

加振開始後3秒の写真では、白線によるマーカーには変状が認められないが、12秒後では液状化層のせん断変形に起因する斜面下方への変状が生じている。

図7.18には、加振後に観察窓で描き写した白線マーカーの移動状況と、地表の亀裂等をスケッチした結果を示す。

上述の図7.17，7.18から次のことがわかる。

a．地表変化（流動）が最初に生じたのは、加振開始後約3秒経過後である。（実験時の目視結果、ビデオ、ならびに前述の変位計の記録を総合判断すると加振開始後2秒程度であったと判断される。）

b．これらの地盤流動の生じはじめたときの地盤内間隙水圧比はほぼ1.0に近い値まで上昇している。

c．地表変位は、液状化層のせん断で変形によってもたらされたものであり、これより上の部分は水平に移動しただけで（若干の沈下も含む）形状を保ったまま変化している。そのため液状化層の厚い斜面下方（写真では左側）では全層にわたってせん断変形が生じているのに対し、斜面上方（写真では右側）では地下水位以深の薄い層内のみにおいてせん断変形が生じている。

d．斜面下方において変形した部分（領域）は、加振時間の経過につれて液状化層の上部から液状化層全体へと広がっている。

e．流動は、加振中にのみ生じ、加振終了と同時に停止する。

f．移動する土塊に作用する加速度は100～300gal程度であった。

g．写真から判読した地表の亀裂の発生状況は次のとうりである。

Ⅰ）6秒でひびわれの幅が広がり、本数も増加する。

Ⅱ）水没範囲が広がり、その付近のひびわれは減少している。

Ⅲ）加振終了後斜面下端から2.5mは水没。

7．4 実験番号3－3

1）加速度記録

図7.19に、断面A，B，Cの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験3-3では、ほぼ一様な130gal程度の振幅を持つ加速度が入力できている。

この入力加速度に対して、液状化層内に埋設した加速度記録には、加振中に生じたドリフトがのっている。ほとんど全てのドリフトは、加振開始後2秒程度位から生じており斜面下方に向かう加速度は＋側に生じている。

このドリフトは加速度計が傾斜したことによるものと考えられるが、ここでは、この値に関する補正等は行わないで得られた記録をそのまま用いてとりあえずの論議をすすめることとする。

図7.20には、加速度振幅の鉛直分布を示す。

この図においては、下記のb.を考慮して、各時刻にもっとも近い時点の＋側の振幅、－側の振幅を用いている。

図7.19，7.20から次のことに気付く。

a．加振開始後2秒程度から、液状化層底面内におかれている加速度記録にはひげ状のスパイクが現れている。

b．スパイクが現れた以後の加速度の振幅は＋側（斜面下方に向かう側）の値の方が－側よりも大きい。

c．断面Aにおける液状化層内および地表面の加速度振幅は、加振中に段々小さくなる。

d．断面B，Cにおいては、スパイクが現れた後においても一側の加速度はほぼ一定の振幅であり大きく変化することはない。

e．非液状化層における加速度の増幅はいずれの断面においても0.8～1.2倍程度となっており、増幅されていない。

f．液状化層内での加速度振幅の増幅は断面Aで3.5、断面Bで4.0、断面Cで3.4程度と大きな違いはないが、地表面での増幅は断面Aで0.5、断面Bで4.2、断面Cで3.8と断面Aにおける増幅率が小さくなっている。

g．加振開始直後から現れるスパイクは、後述する間隙水圧の加振開始直後の急な上昇によってもたらされたものと考えられる。

2）間隙水圧の記録

図7.21に間隙水圧の時刻歴を示す。

液状化層内では3～4波目から一定値を示し始める。断面B，Cでは模型完成時の地盤変形から求めた上載圧に達していないが、時刻歴からは間隙水圧は上載圧に達していると考えられる。

図7.22に間隙水圧の鉛直分布を示す。

図7.21,7.22から次のような点に気付く。

a．液状化層内においては、3～4波目から一定値を示し始めている。断面B，Cでは、模型完成時の地盤形状から求めた上載圧に達していないが、時刻歴からは間隙水圧は上載圧に達していると考えられる。

b．サイクリックモビリティーに由るものと考えられるスパイクがいずれの記録にも現れている。しかし、その現れ方は測点場所によって異なり、断面Aでは2～4秒の間で負の水圧に達するほどのスパイクが現れた後、4g/cm^{2}程度の振幅となる。また、断面Bにおけるスパイクの振幅の変化は緩やかであり、加振と共に振幅が減少する傾向にある。

3）変位計の記録

図7.23に変位計の時刻歴を、また図7.24に水平変位の鉛直分布を示す。

図7.23,7.24から気付く実験3-3における変位の特徴は以下のような点である。

a．地表の変位はほぼ加振開始後2秒程度から生じている。これは間隙水圧の値が一定値を示し始める時刻とほぼ一致する。

b．いずれの断面においても地表の水平変位は地盤の動的な応答による正弦波状の変動はあるものの、その中央値は加振の継続時間中はほぼ直線的に増加する。

c．これに対し、地表の鉛直変位（沈下）は、断面CからAへと移るにつれ小さくなり、最終的には断面Aでは4mmほどの突起が生じている。これは土槽の長さに限りがあるため境界の影響が斜面の下方に位置する断面Aにおいて大きく現れたためと考えられる。

d．地中の水平変位の記録が、ほとんど計測されていないが、これは地中変位計に用いられた糸とチューブの摩擦の影響が大きく出ているためと考えられる。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後の測量鋲の測量結果を図7.25に示す。また写真7.19～7.24に加振前、加振中および加振

後の模型地盤の状況を示す。

図7.26には、加振後の模型の状況のスケッチを示す。

これらの写真及び図から次のことがわかる。

a．加振後の地表面形状は、左端から3m程度までは2/100程度、これより右の部分は6/100程度の勾配となっている。

b．加振前（実験3-2終了時）には左端から1.7m程度の部分では1/100程度、これより右側の部分では5/100程度の勾配であったが、加振により斜面下方では1/100程度緩くなり、逆に斜面上方では5/100程度きつくなったことがわかる。

c．地表面には、全域にわたって亀裂が生じ、実験3-2で生じた亀裂幅も拡大している。

d．加振後、斜面下方の約3.5mの領域は水没した。

7．5 実験番号3－4

1）加速度記録

図7.27に加速度記録の時刻歴図を示す。

入力加速度振幅は147galで、非液状化層および液状化層底面では、振動台加速度とほぼ等しい一定振幅の応答を示している。

液状化層内の加速度は、断面Aと断面Bで傾向が異なり、断面Aでは液状化層中央での増幅が小さくなる傾向を示している。これに対し断面B，Cでは、地表に向かって増幅が大きくなる傾向を示す。

図7.28には加速度の鉛直分布を示す。

図7.27,7.28から次のことが指摘できる。

a．非液状化層内での加速度の増幅率は、いずれの断面においてもほぼ0.9となっている。

b．液状化層内での加速度の増幅は断面B，Cでは地表面に向かうにつれ大きく、2～6倍に達する。

c．地表面での加速度の増幅率は加振開始後3秒程度で2～6倍と大きな値を示しその後減少し断面Aで0.5，断面Bで2倍程度となる。逆に断面Cでは加振と共に増幅率が増加し最大6倍程度となる。

d．また加速度記録にドリフトが生じたものがあり、これらについては加速度計が傾斜したことがわかる。

2）間隙水圧計の記録

図7.29に間隙水圧の時刻歴を示す。また、間隙水圧の鉛直分布比を図7.30に示す。

実験3-4においても、加振開始後4波目程度から、液状化層内の間隙水圧はほぼ初期上載圧まで上昇していると考えられる。図7.30では、破線で示した初期上載圧の線まで間隙水圧の値が達していないが、これは3回の加振により地盤の形状が初期状態から大きく異なったことにより、初期上載圧の計算値に誤差が生じたためである。但し、断面Cの間隙水圧の鉛直分布は深度方向にほぼ等しい値を示しており、地盤上部で呑み間隙水圧が発生し下方へと水圧が伝搬しているようである。

3）変位計の記録

図7.31に変位記録の時刻歴を、また図7.32に水平変位の鉛直分布を示す。

地表の水平変位は、加振開始後2秒程度から発生し始め、その後直線的に増加する傾向にある。また、水平移動両に着目すると、断面Aで40㎜，断面Bで77㎜，断面Cで83㎜と斜面上方にいくほど大きく、斜面の初期勾配の大小関係と一致する。地中の変位はいずれの点おいても有意な変位は計測されておらず地中変位計に不良があったと考えられる。

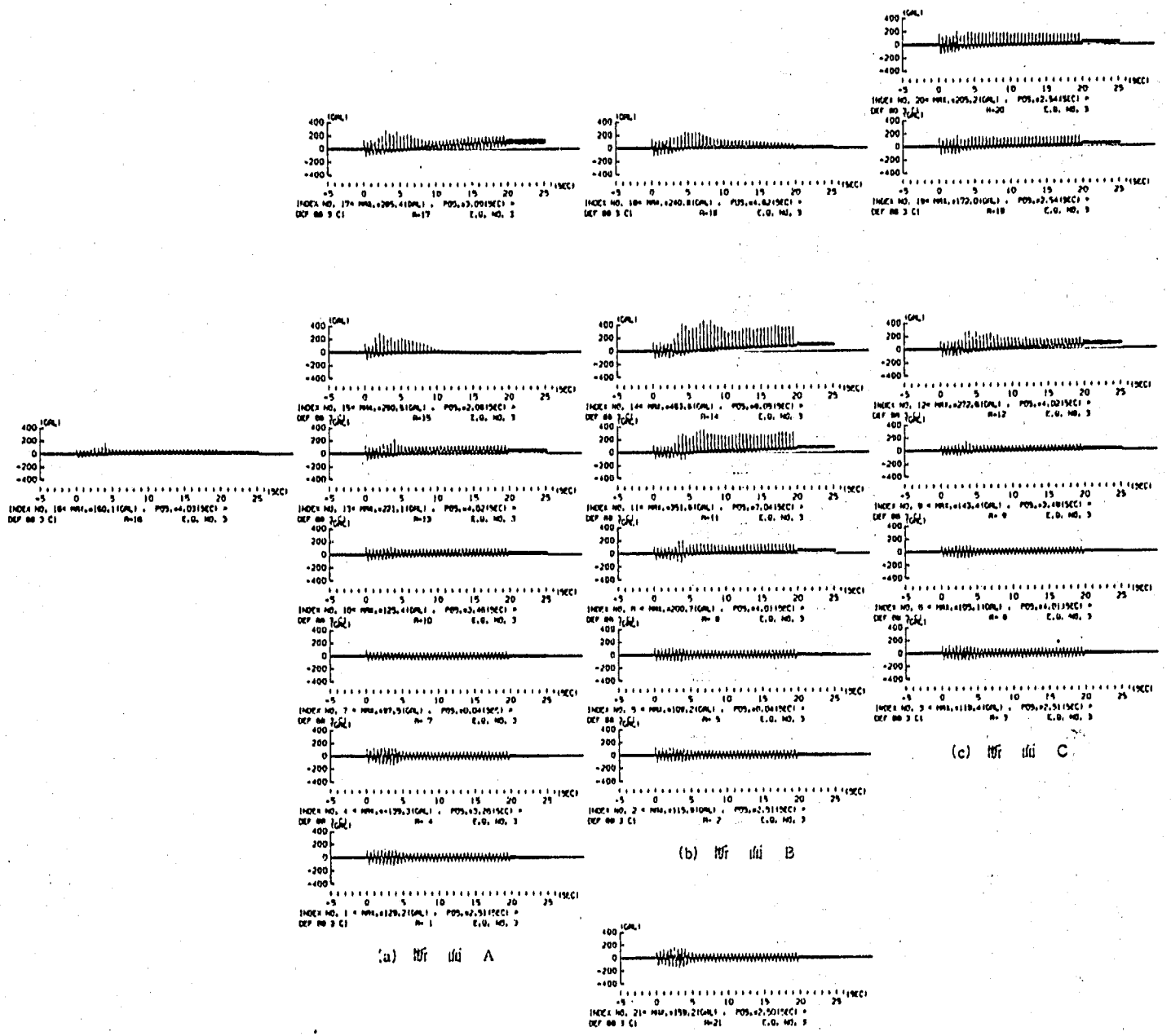
4）測量結果および側壁からの観察結果

加振終了後の地表の測量鋲の測量結果を図7.33にまた図7.34に側壁および地表のスケッチを示す。写真7.25～7.30に加振前後の模型の状況を示す。

模型の長さ方向に斜面下側、中央、斜面上部の3つの部分に大まかにブロック分けをすると、実験3-4では、斜面下側の部分（断面A）は、水平方向の変位は液状化層全体で発生している。中央部分（断面B）では液状化層内に永久的なせん断ひずみが累積して、結果的に地表に永久変位が生じている。斜面上部（断面C）でも、液状化層内に永久的なせん断ひずみが累積して地表に永久変位がもたらされており、液状化層厚が薄いため中央部分よりも変位量は小さい。

7．6　模型－3の挙動のまとめ

厚さ35～5cm、相対密度52%の低面が勾配5%で傾斜した飽和した砂層の上に勾配5%の不飽和な斜面の載った模型－3は、入力加速度50gal（最大160gal，平均70gal程度）の加振によって、加振開始後2秒程度で飽和砂層内の間隙水圧比は1.0近くまで上昇し、その後の引き続く加振継続時間中に永久的な変形が累積した。入力加速度100gal、および75galの加振段階でもほぼ加振開始後2秒程度で飽和層内には間隙水圧比は1.0に達し加振継続時間中に変形が生じた。



(a) 断 面 A

(b) 断 面 B

(c) 断 面 C

図7－2 加速度記録の時刻歴図（実験３－１）

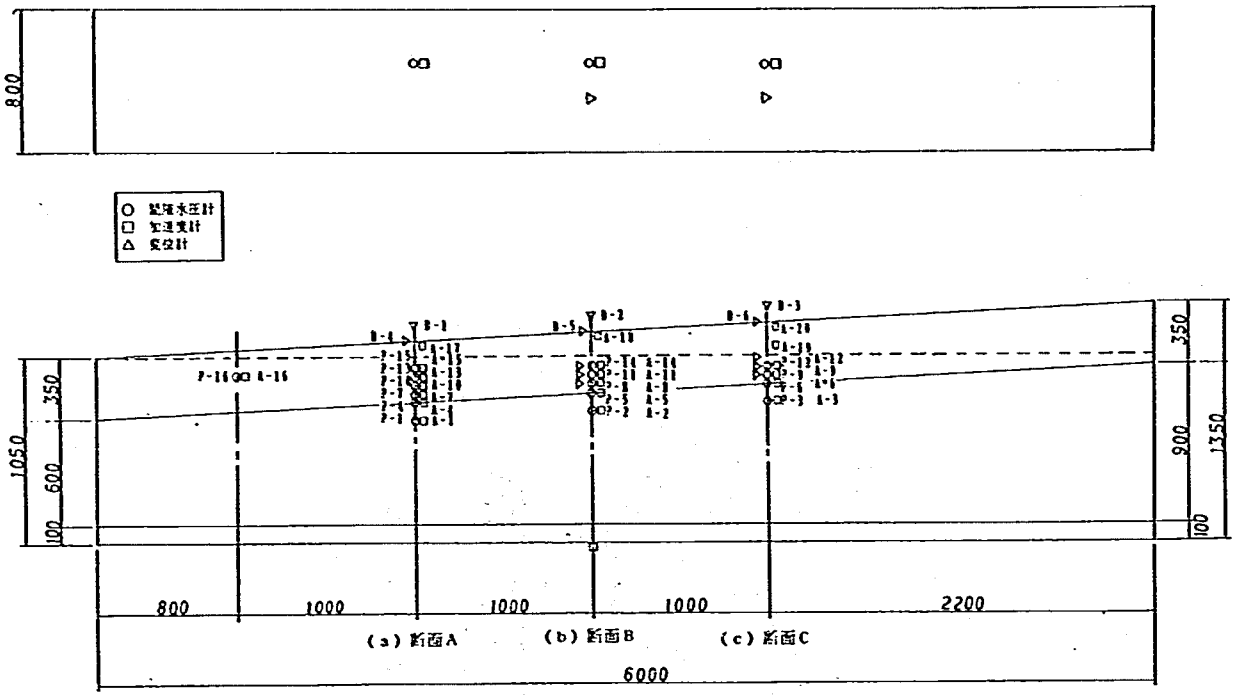


図７－１　模型－３の形状および計測器の配置状況

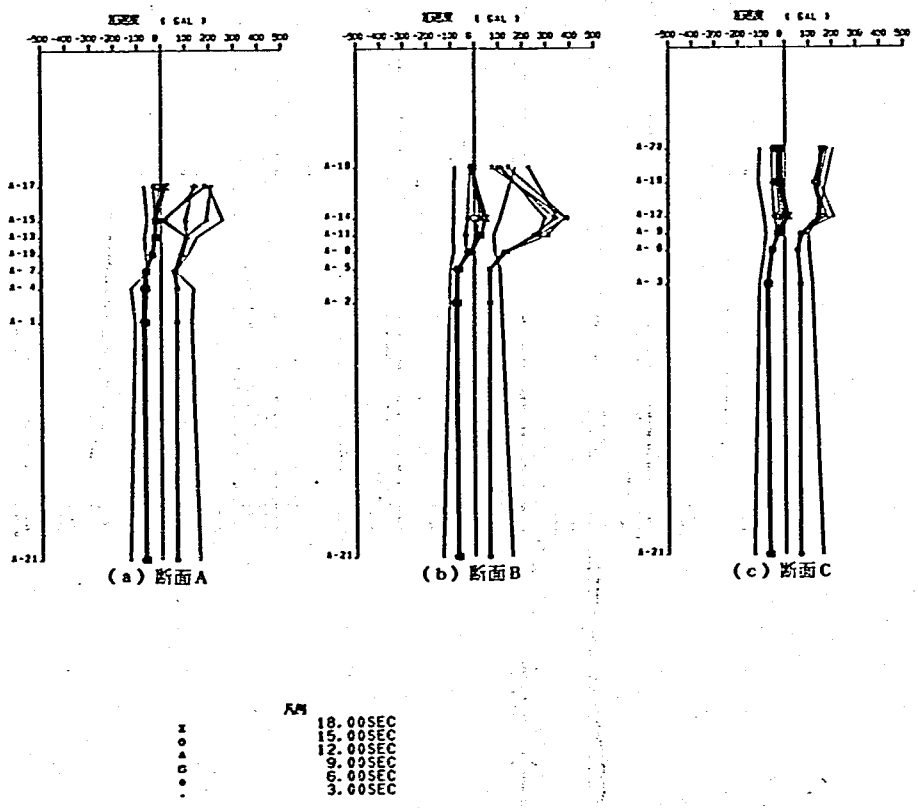
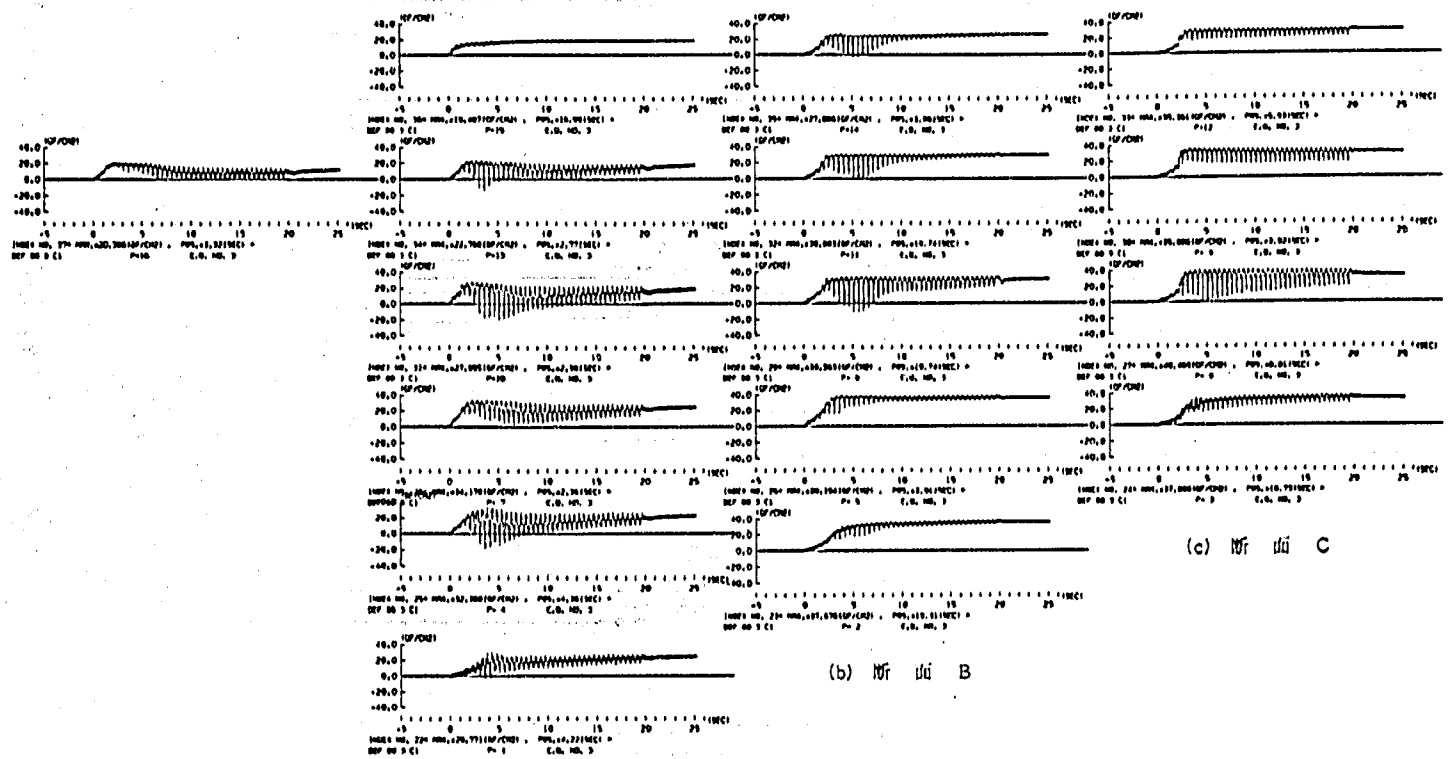


図７－３　加速度の鉛直分布図（実験３－１）



(a) 断 面 A

(b) 断 面 B

(c) 断 面 C

図7－4 間隙水圧記録の時刻歴図（実験３－１）

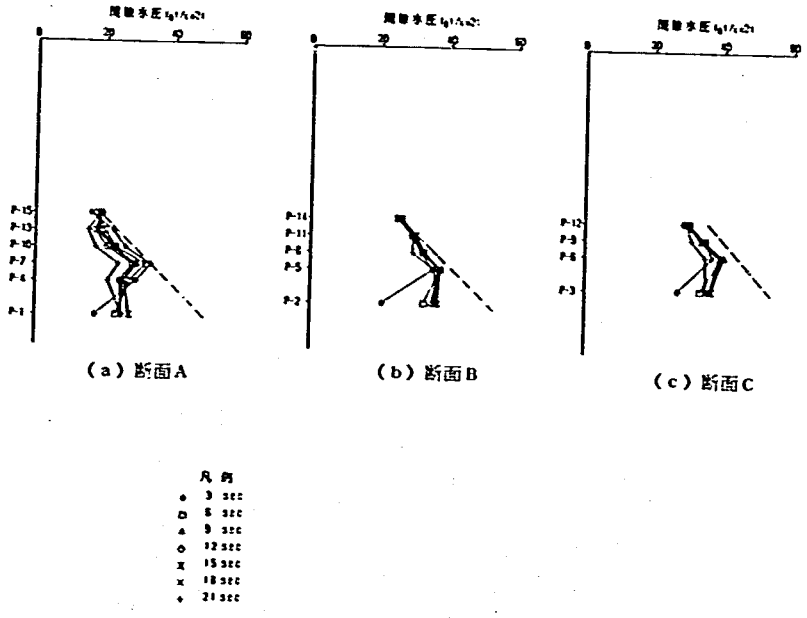


図7－5　間隙水圧の鉛直分布図（実験3－1）

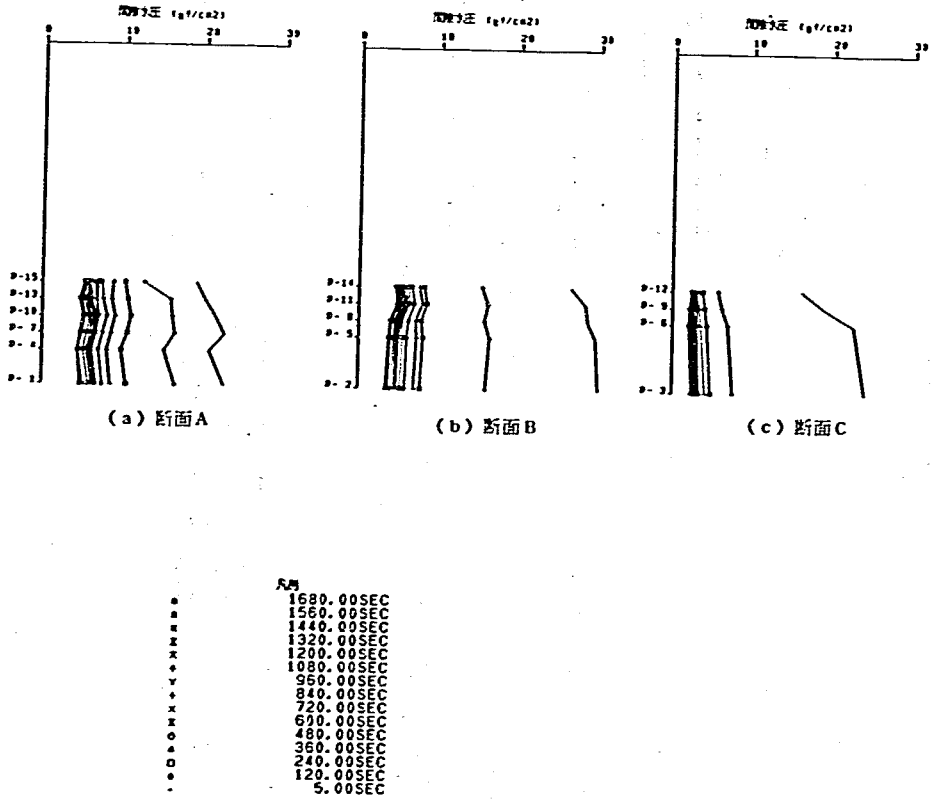
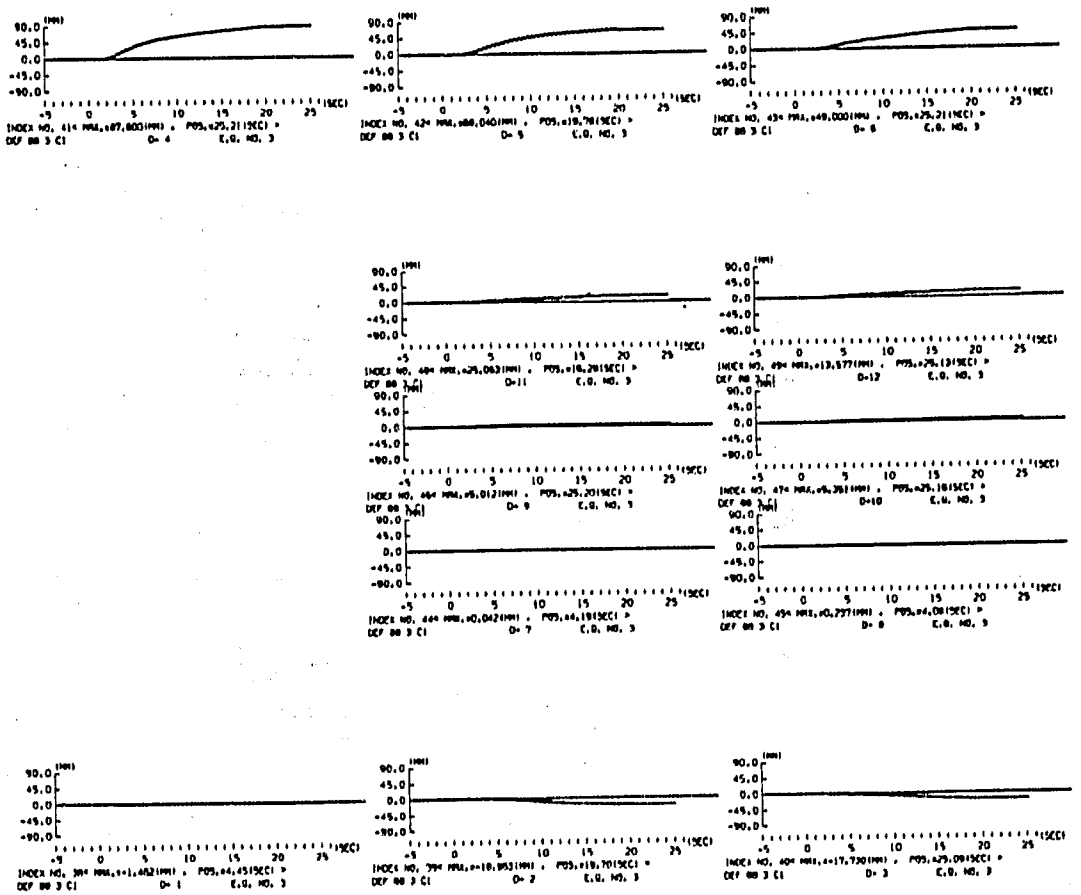


図7－6　間隙水圧の鉛直分布図（実験3－1消散過程）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図7－7 変位計記録の時刻歴図（実験３－１）

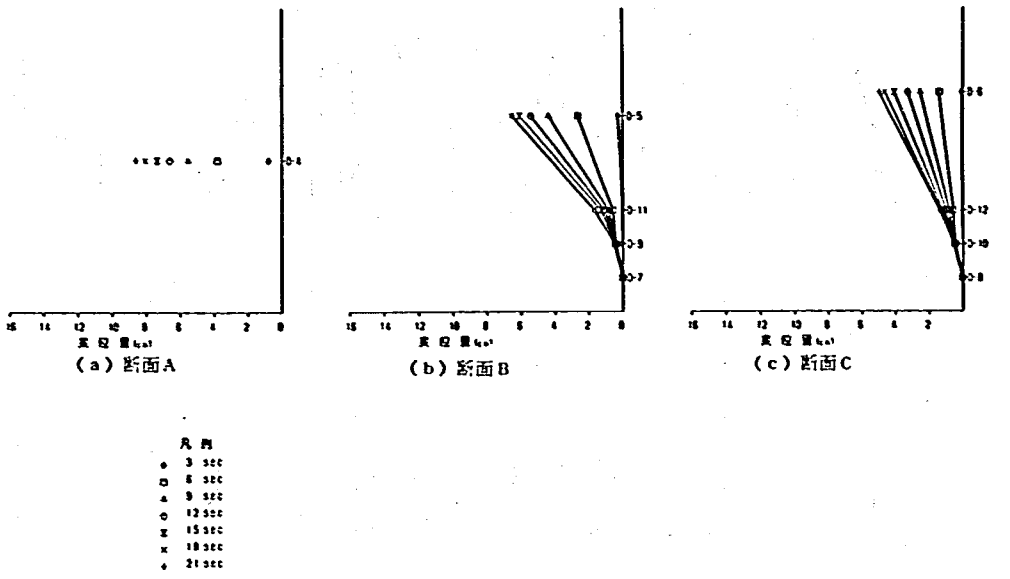


図7－8　変位計記録の時刻歴図（実験3－1）

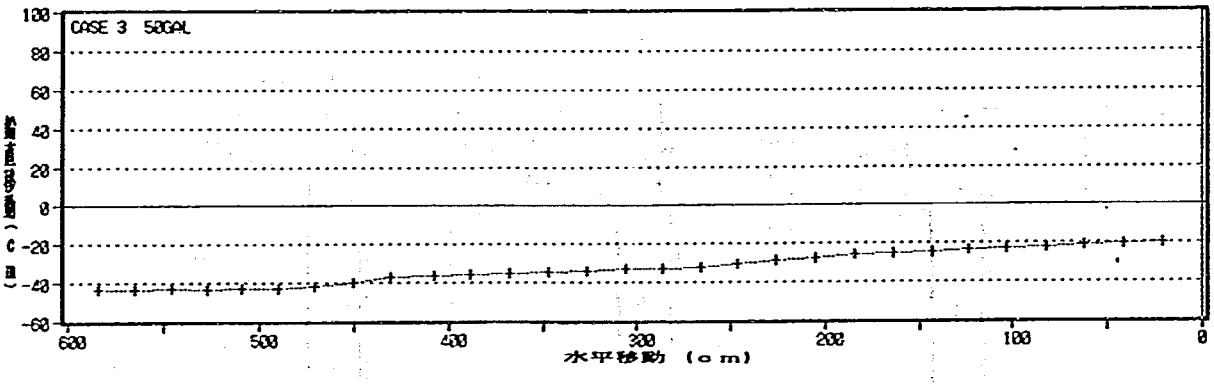


図7－9　地表面変位測定結果図（実験3－1）

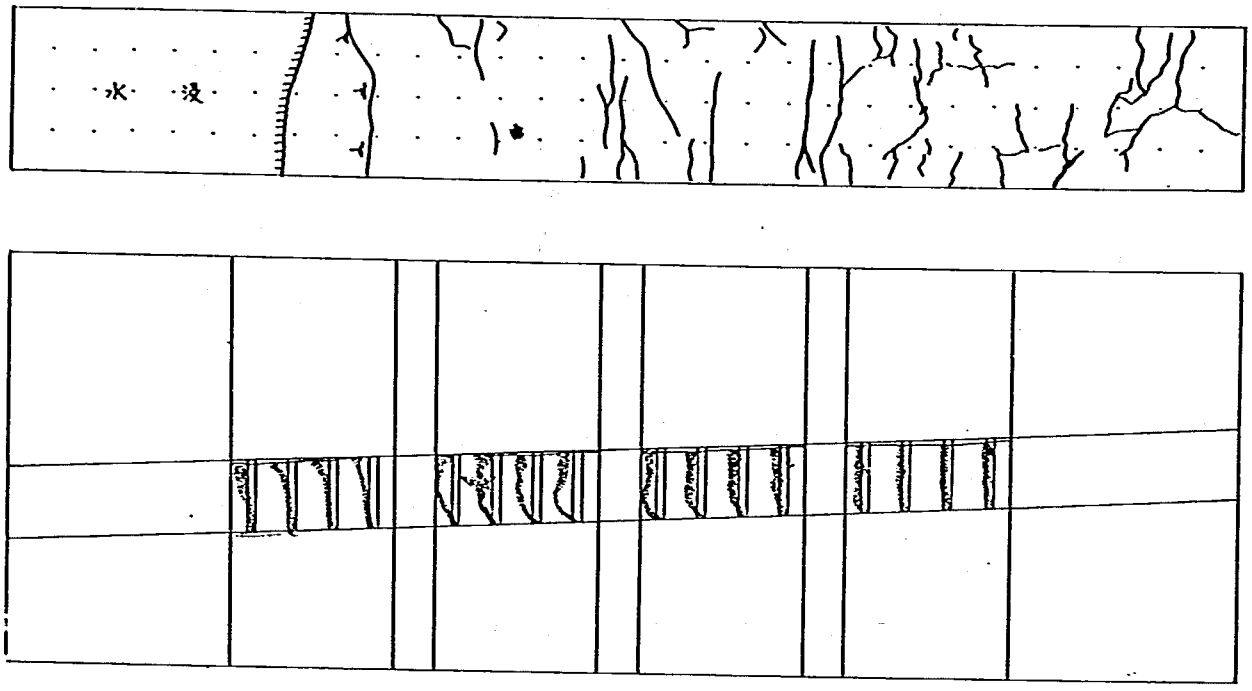
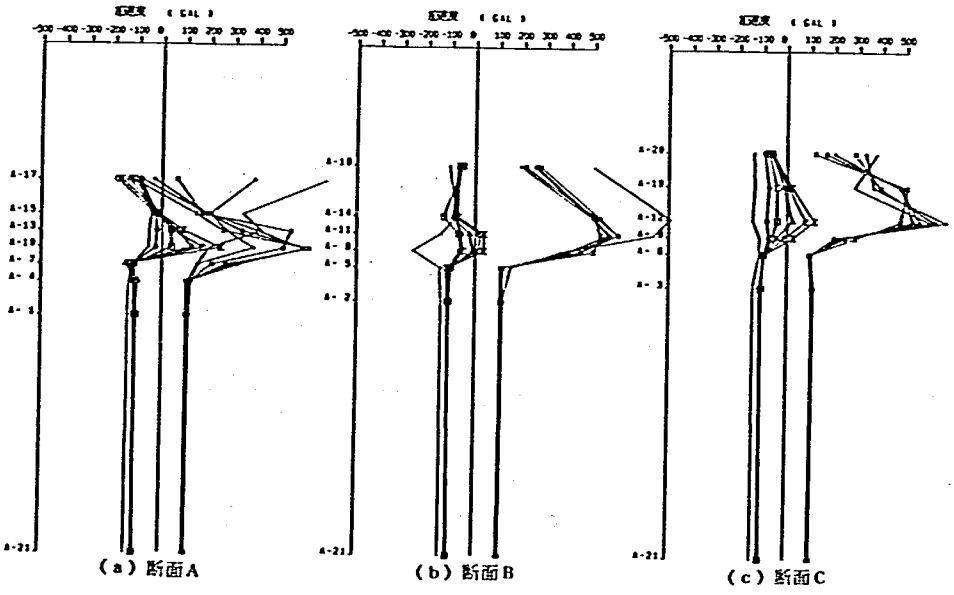


図７－10　側面および上面からのスケッチ図（実験３－１）



凡例
× 18.00SEC
○ 15.00SEC
△ 12.00SEC
□ 9.00SEC
◇ 6.00SEC
· 3.00SEC

図７－12　加速度の鉛直分布図（実験３－２）

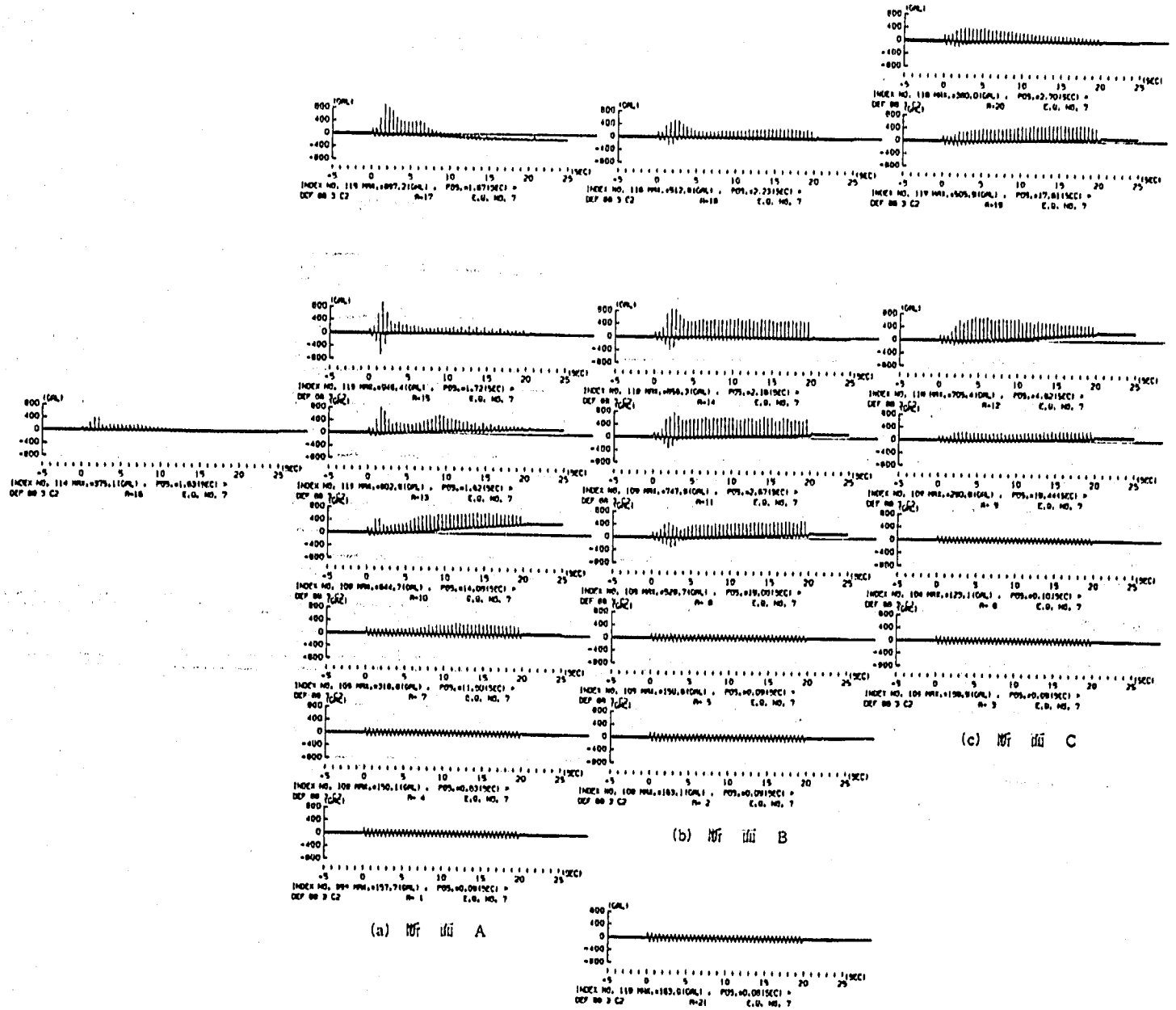
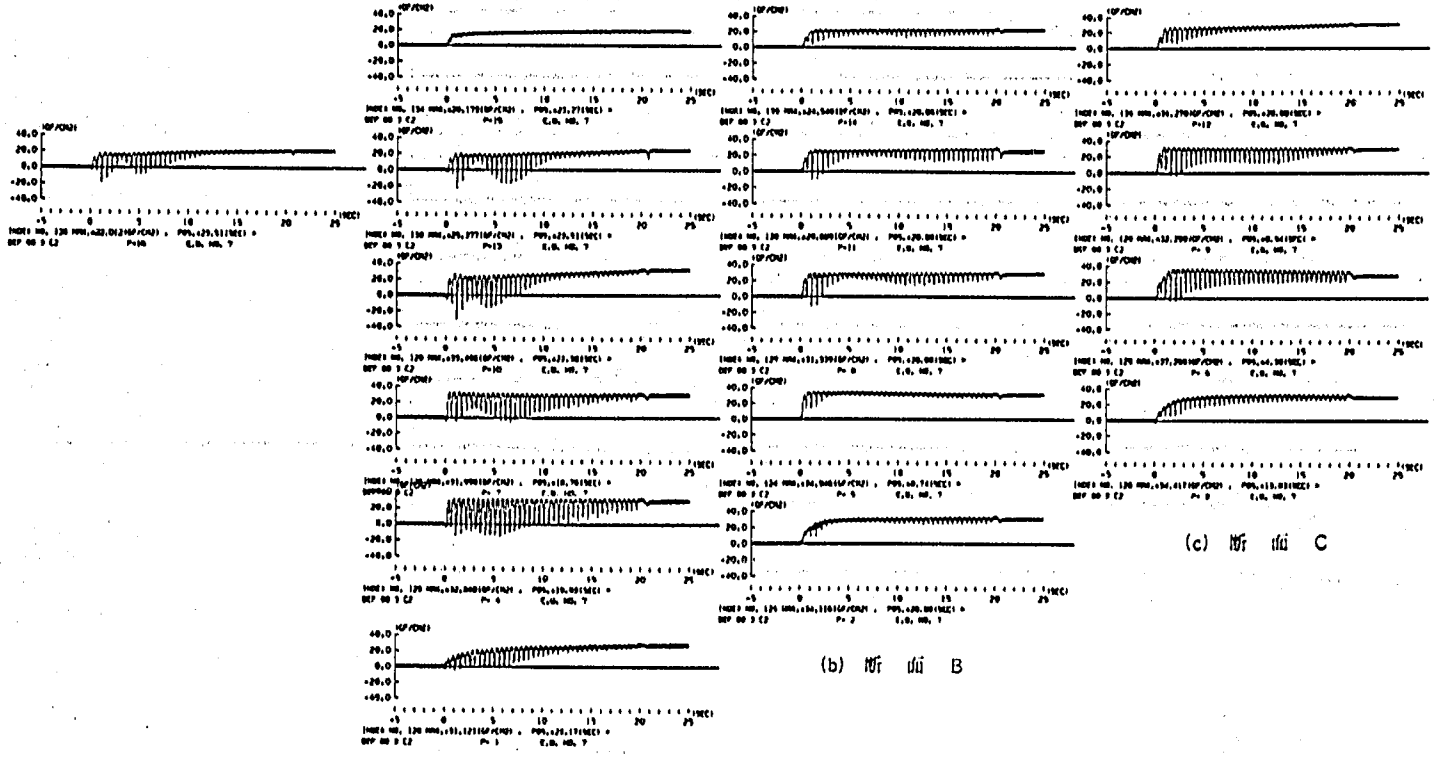
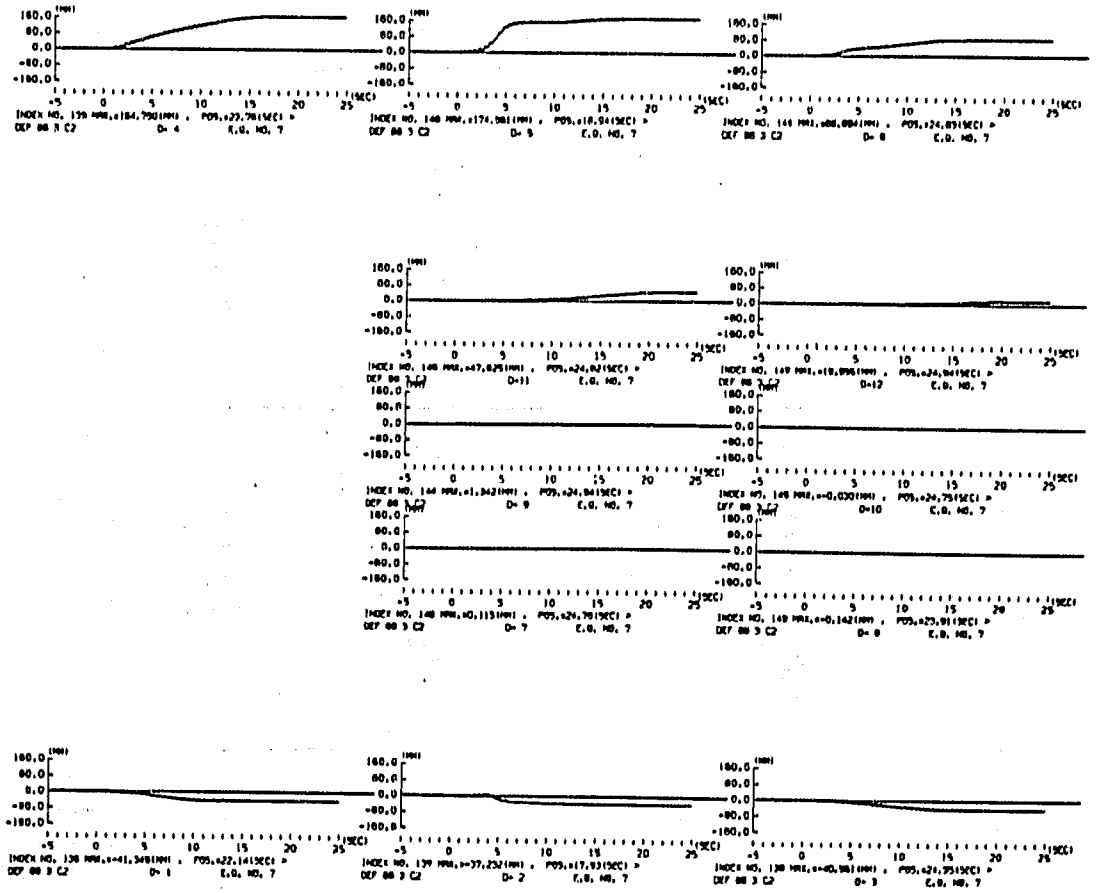


図7－11 加速度記録の時刻歴図（実験3－2）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図7－13 間隙水圧記録の時刻歴図（実験３－２）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図7－15 変位計記録の時刻歴図（実験3－2）

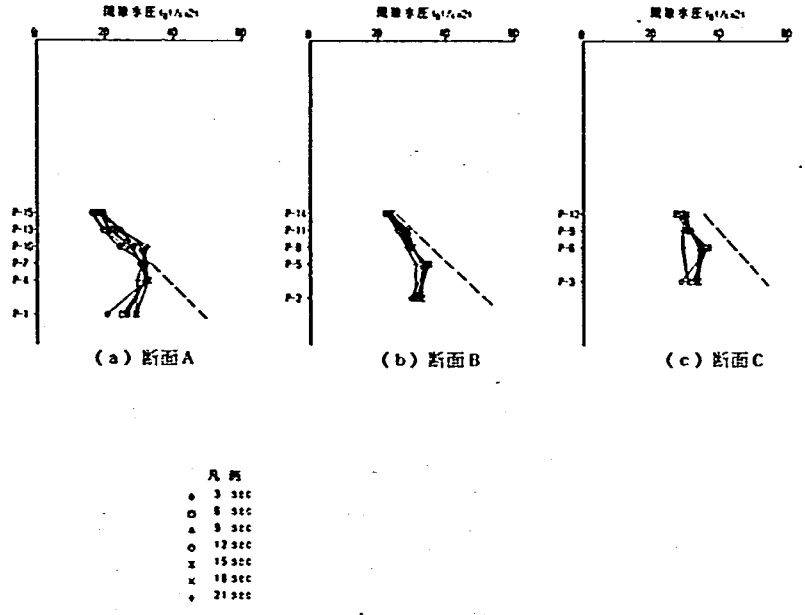


図7－14　間隙水圧の鉛直分布図（実験3－2）

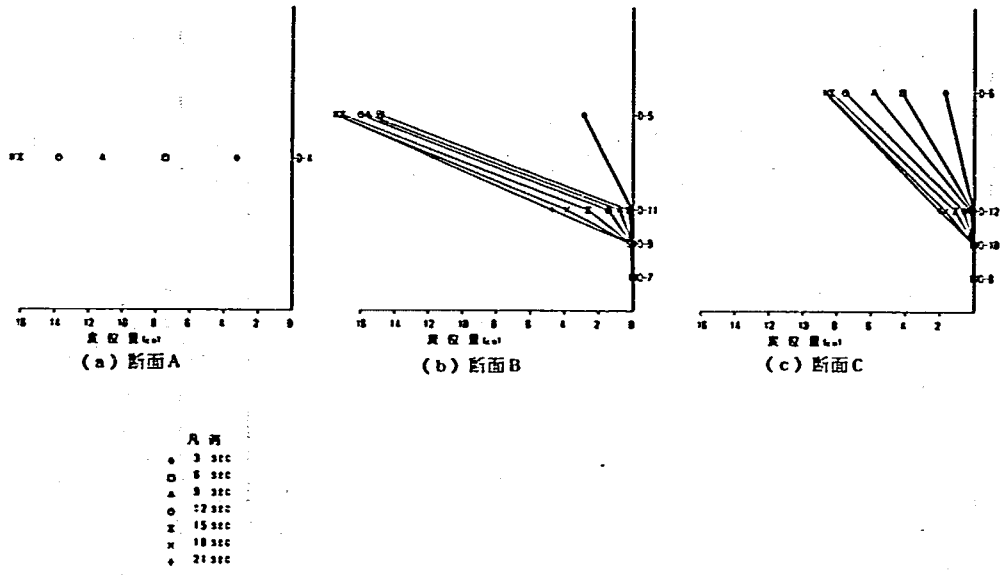


図7－16　水平変位の鉛直分布図（実験3－2）

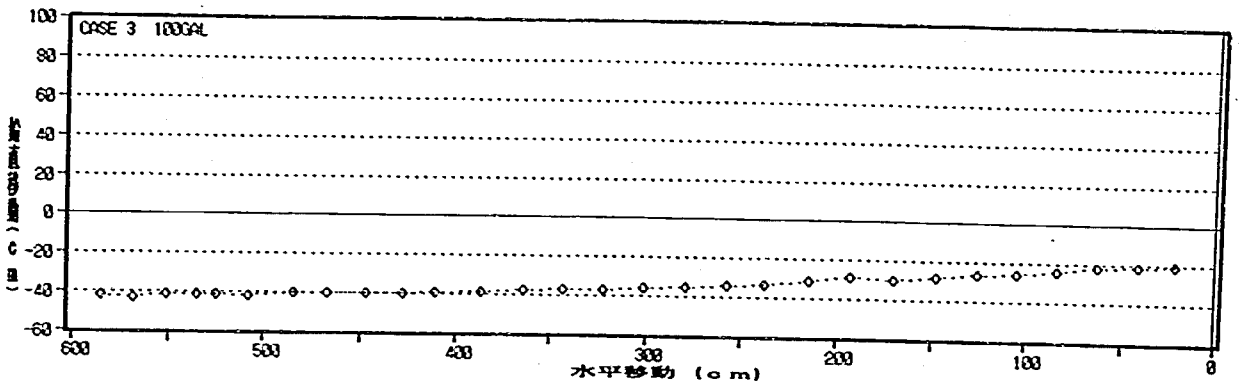


図 7 －17　地表面変位測定結果図（実験 3 － 2）

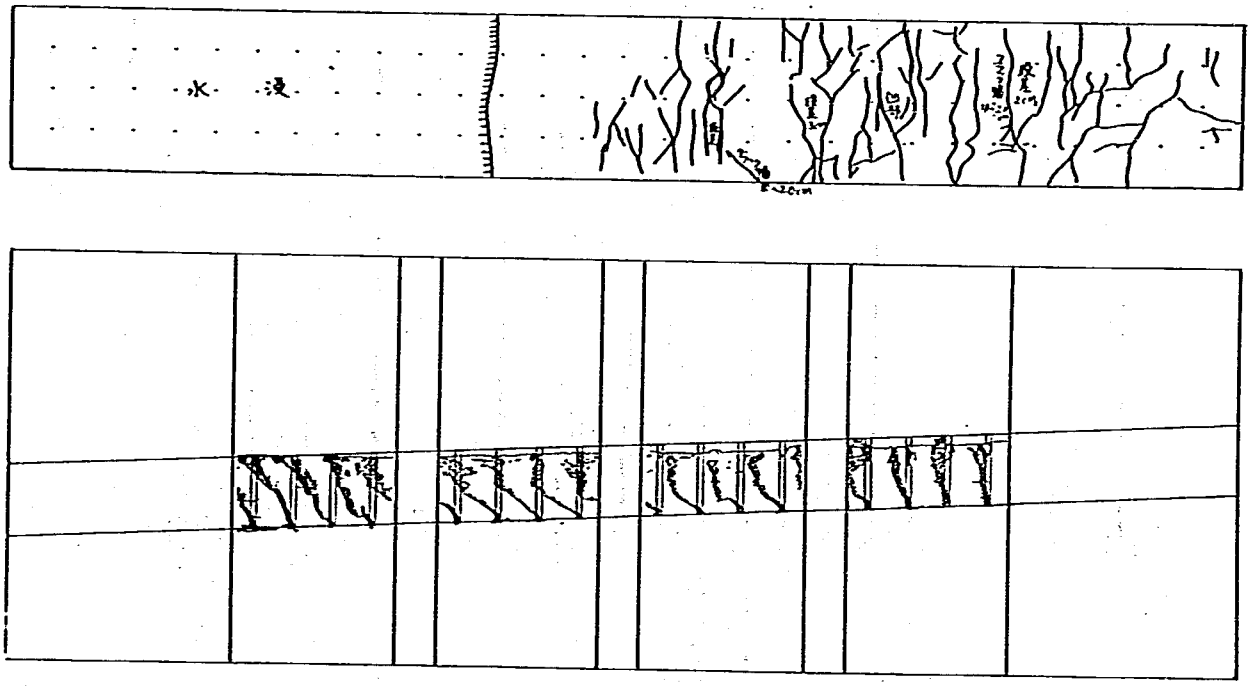


図7 －18　側面および上面からのスケッチ図（実験 3 － 2）

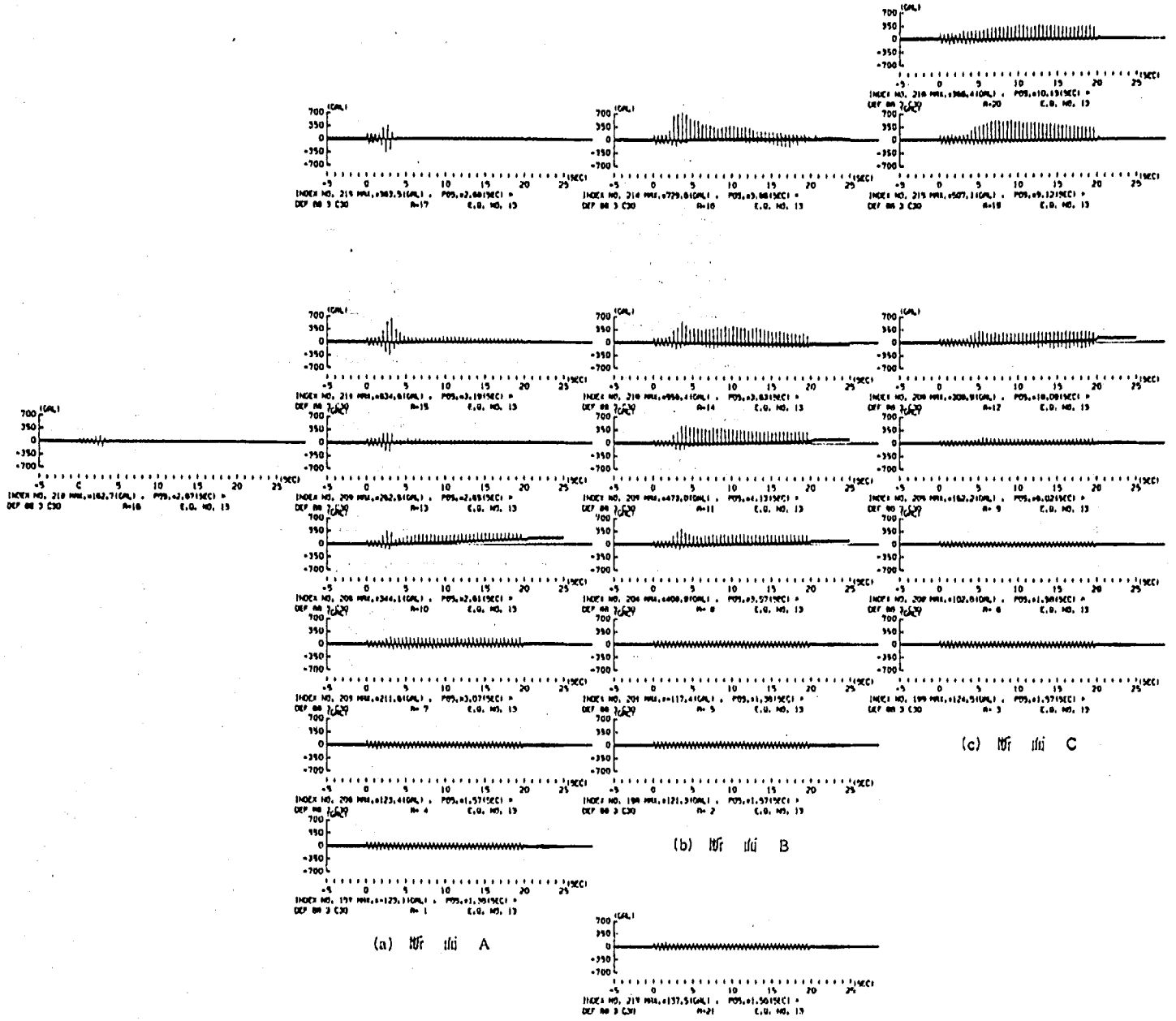


図7－19 加速度記録の時刻歴図（実験３－３）

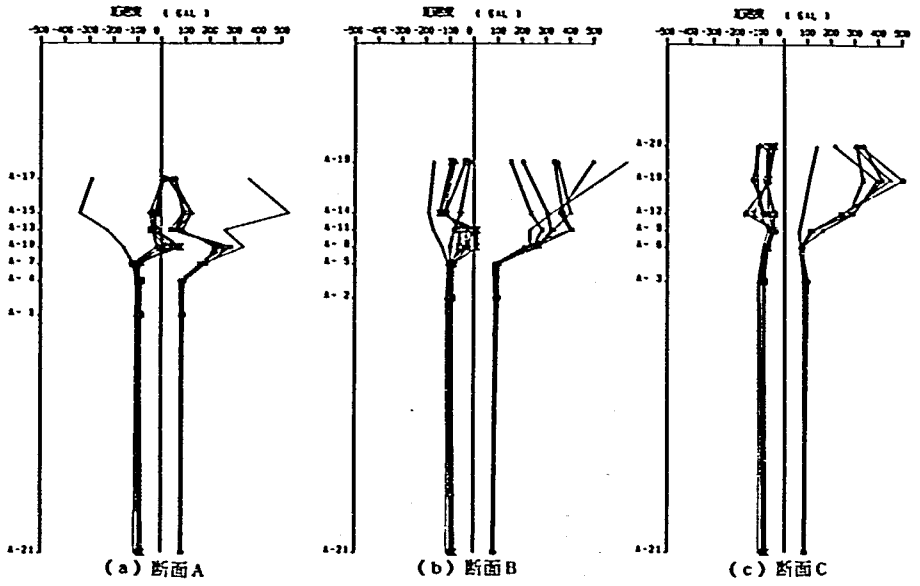


図7－20　加速度の鉛直分布図（実験3－3）

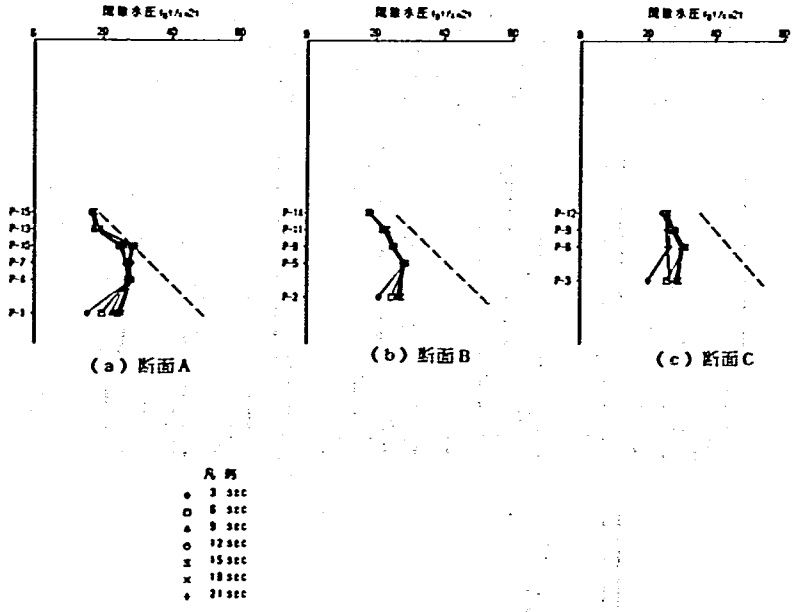
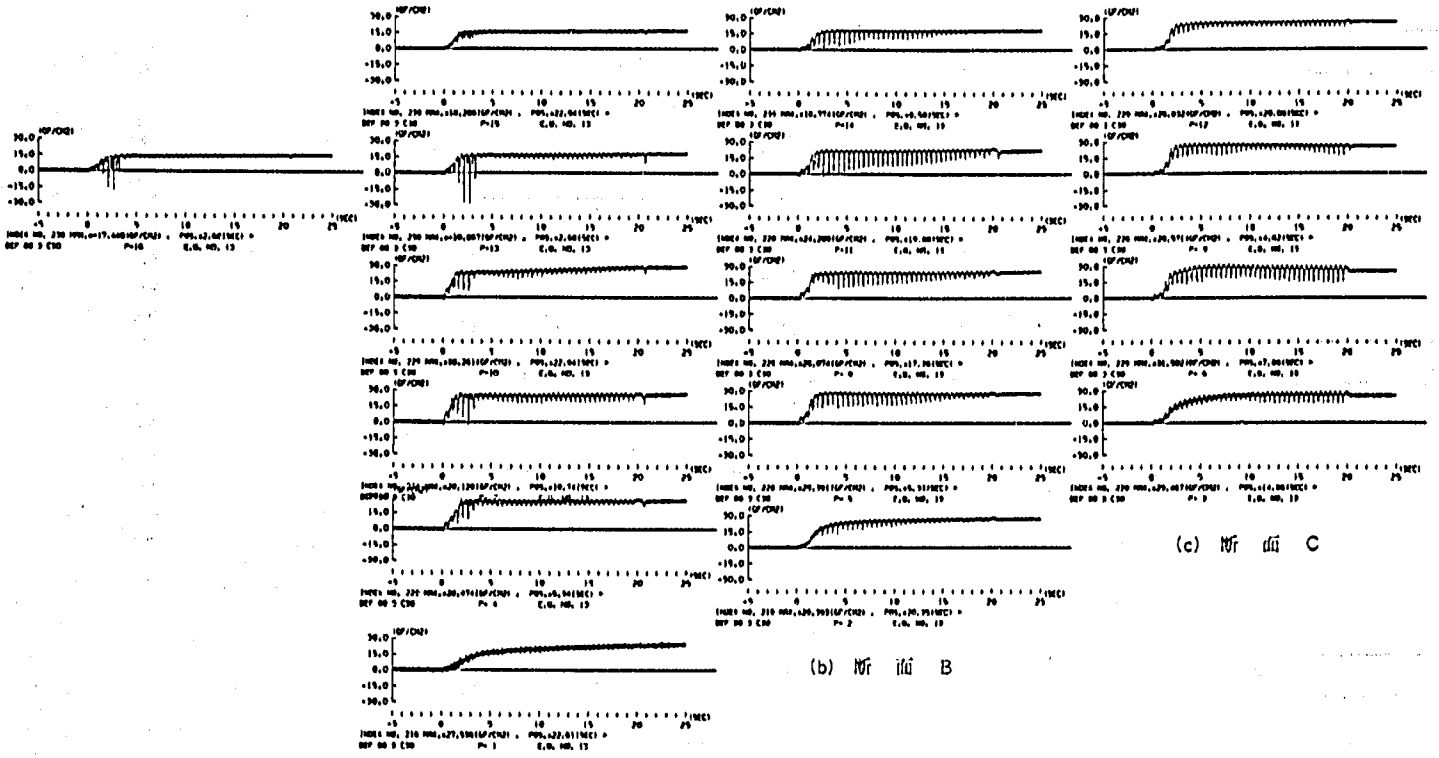
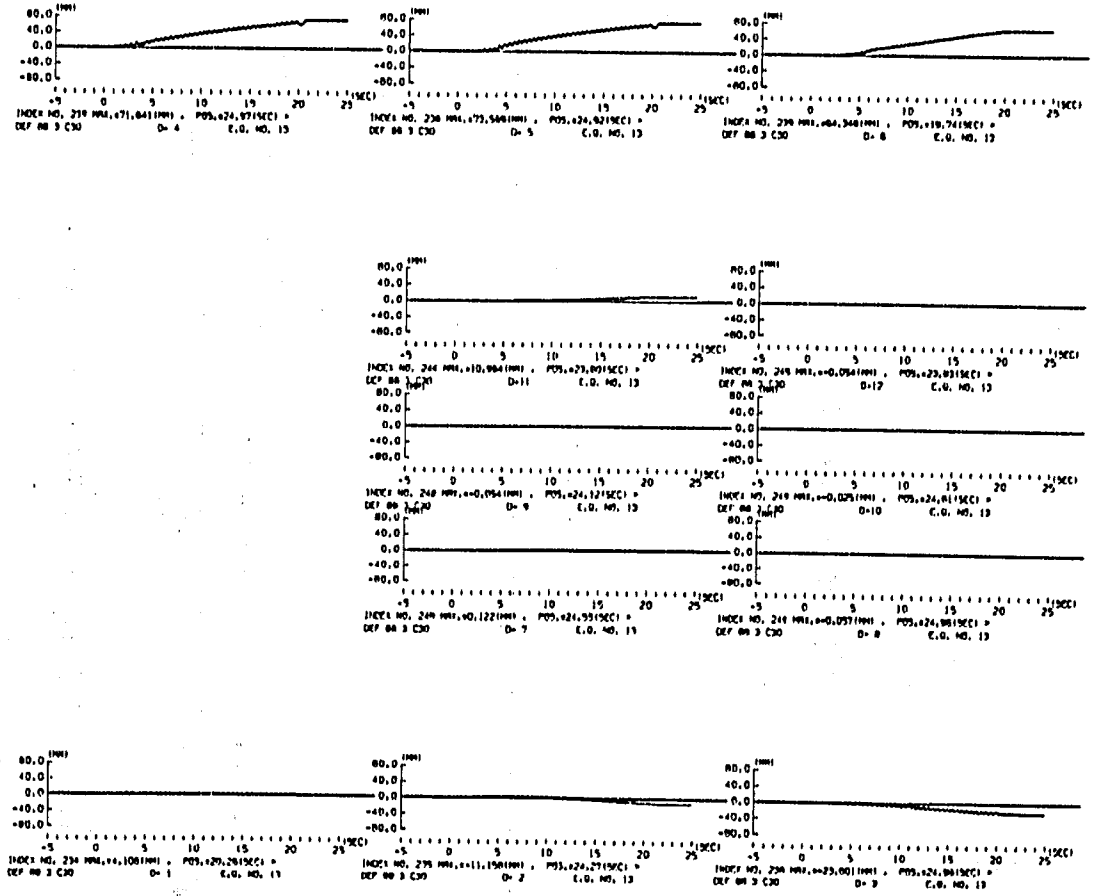


図7－22　間隙水圧の鉛直分布図（実験3－3）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図7－21 間隙水圧記録の時刻歴図（実験3－3）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図7－23 変位計記録の時刻歴図（実験3－3）

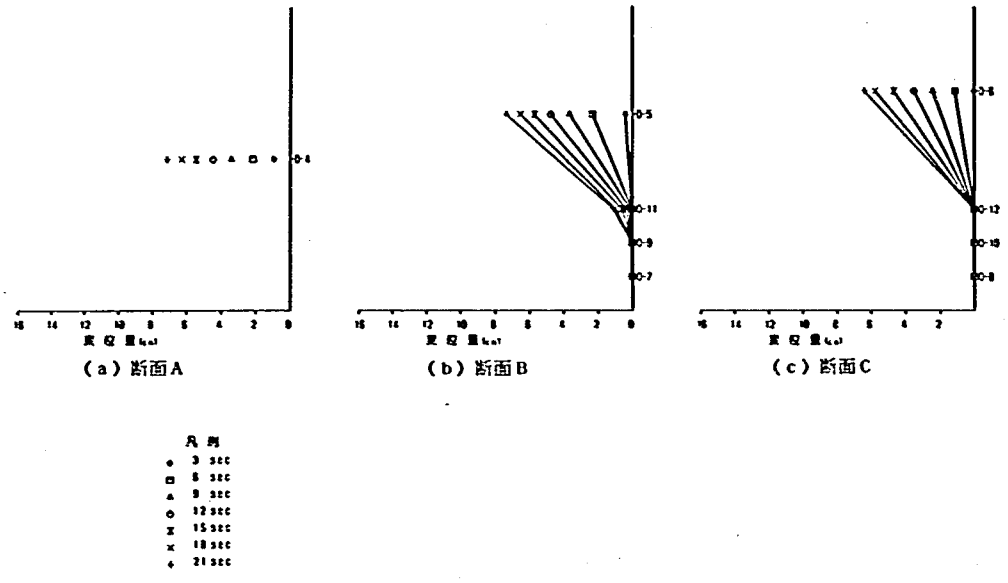


図7－24　水平変位の鉛直分布図（実験3－3）

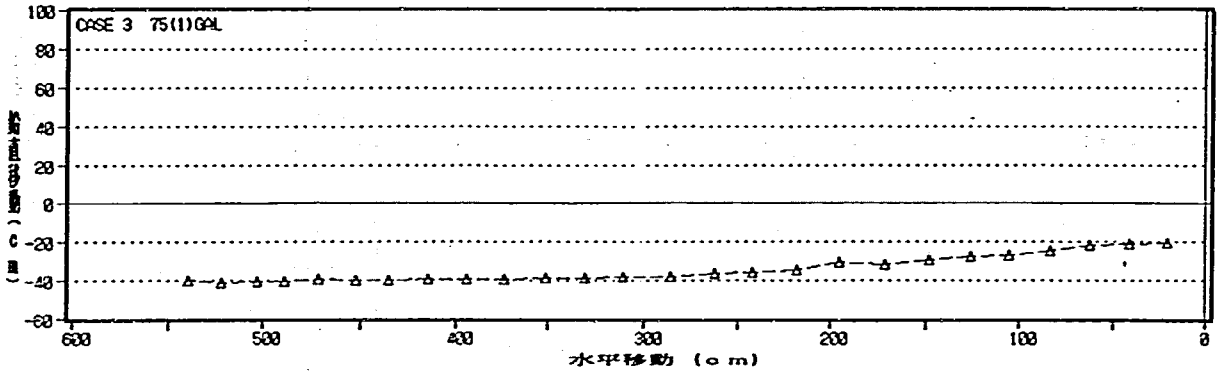


図7－25　地表面変位測定結果図（実験3－3）

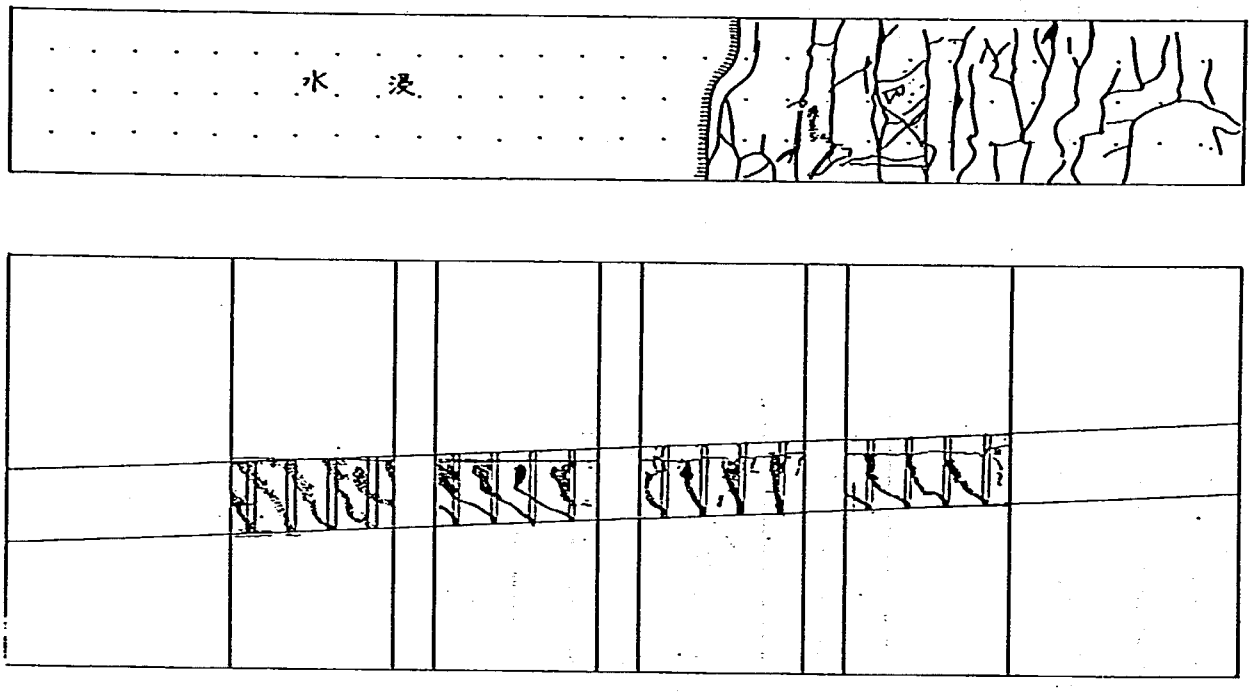


図７－26　側面および上面からのスケッチ図（実験３－３）

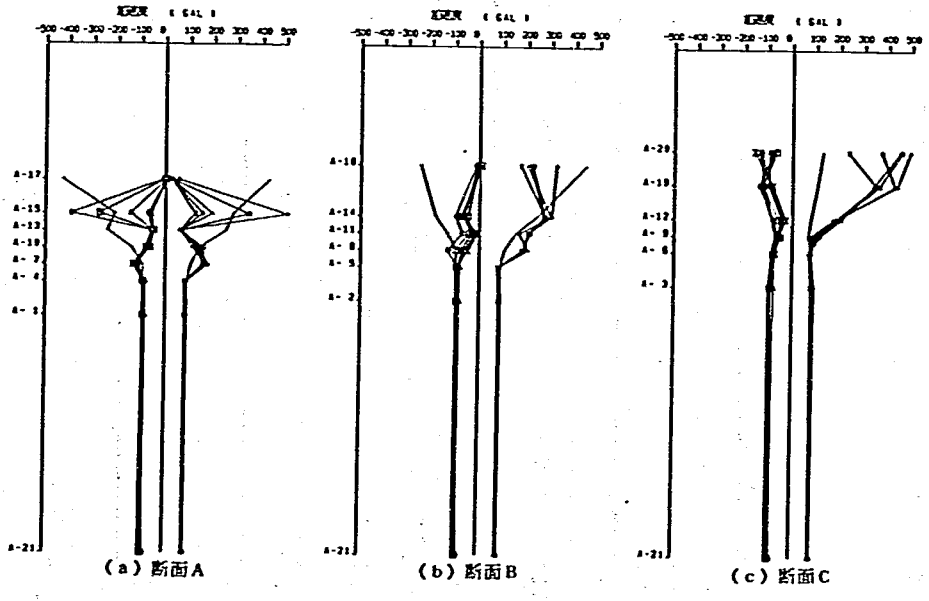
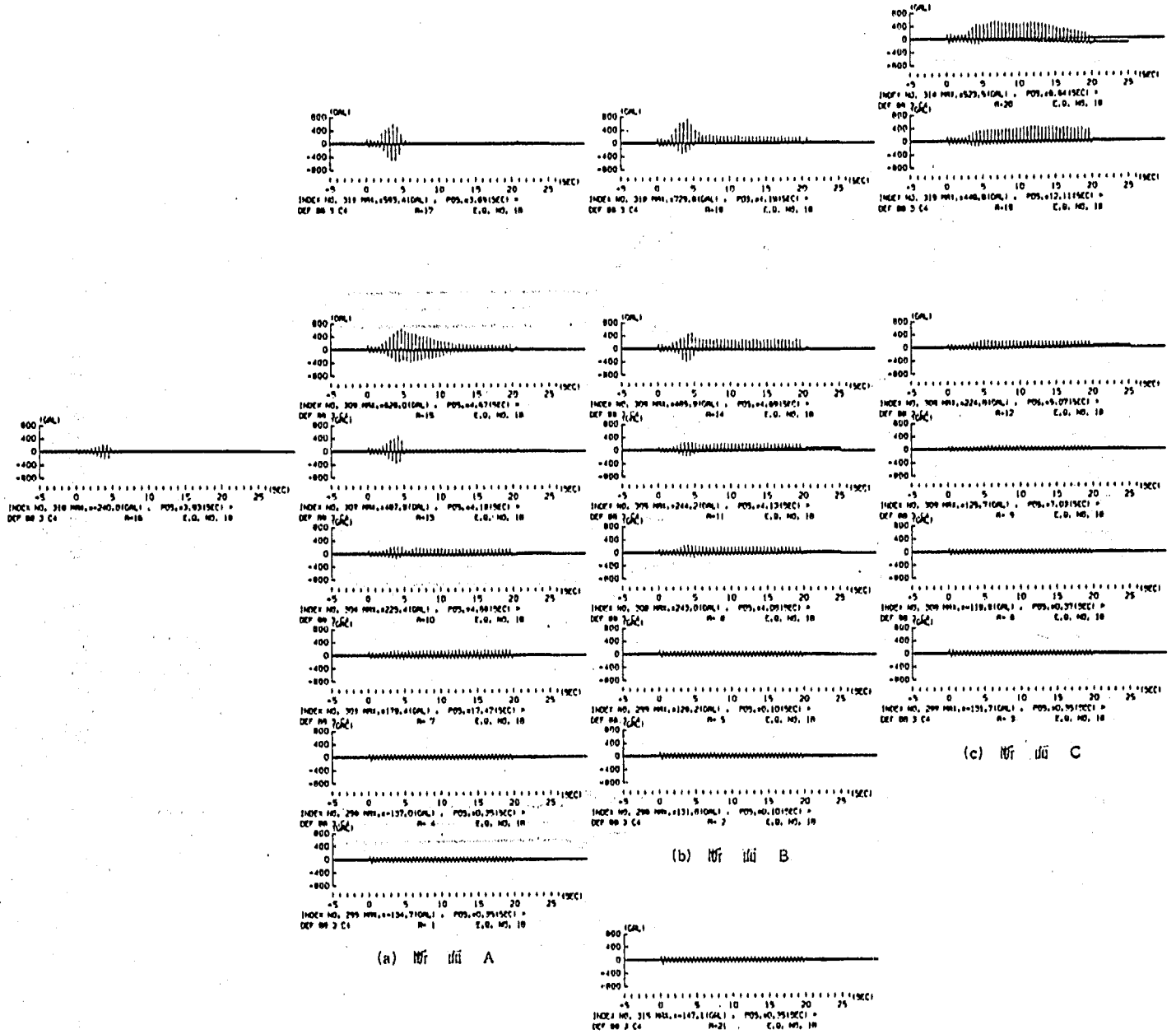


図７－28　加速度の鉛直分布図（実験３－４）

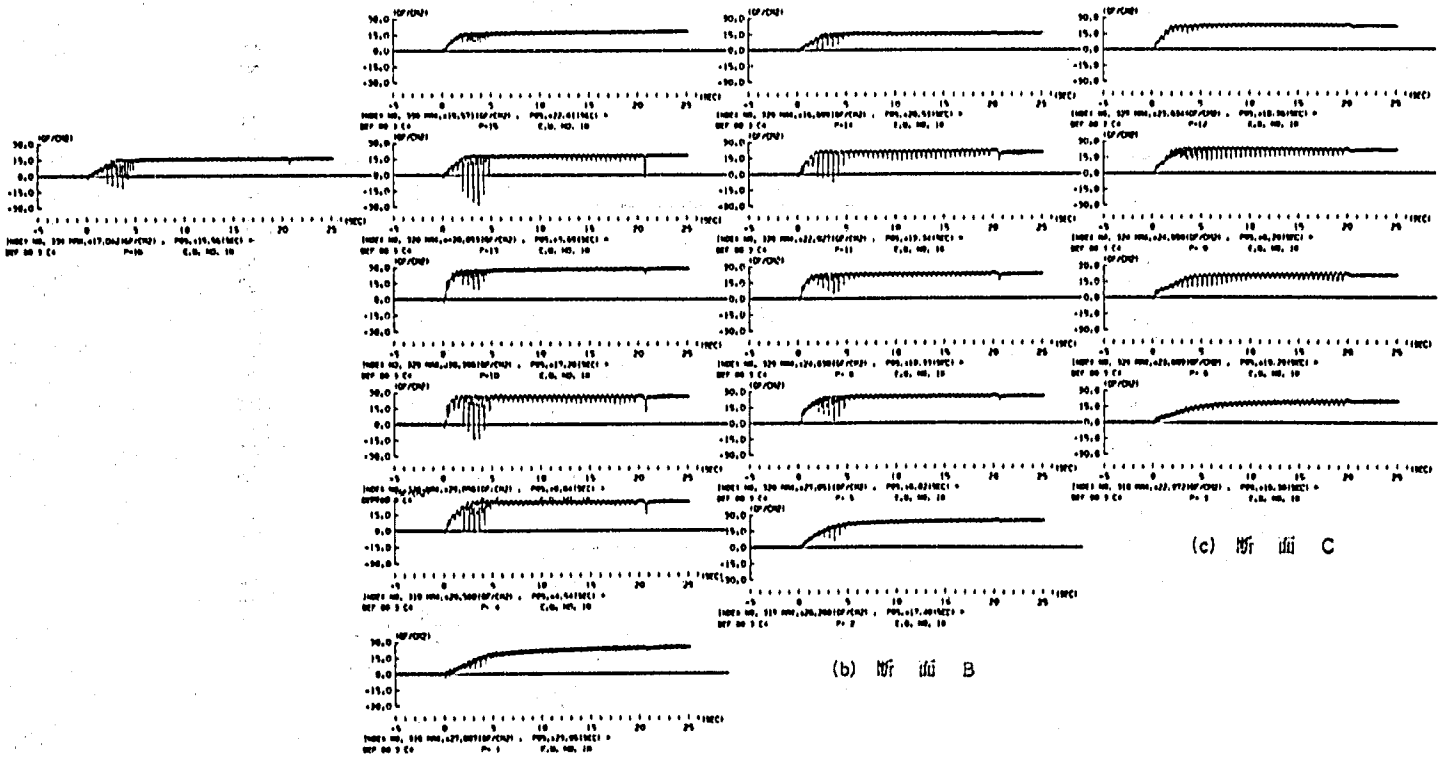


(a) 断 面 A

(b) 断 面 B

(c) 断 面 C

図7－27 加速度記録の時刻歴図（実験３－４）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図7－29 間隙水圧記録の時刻歴図（実験３－４）

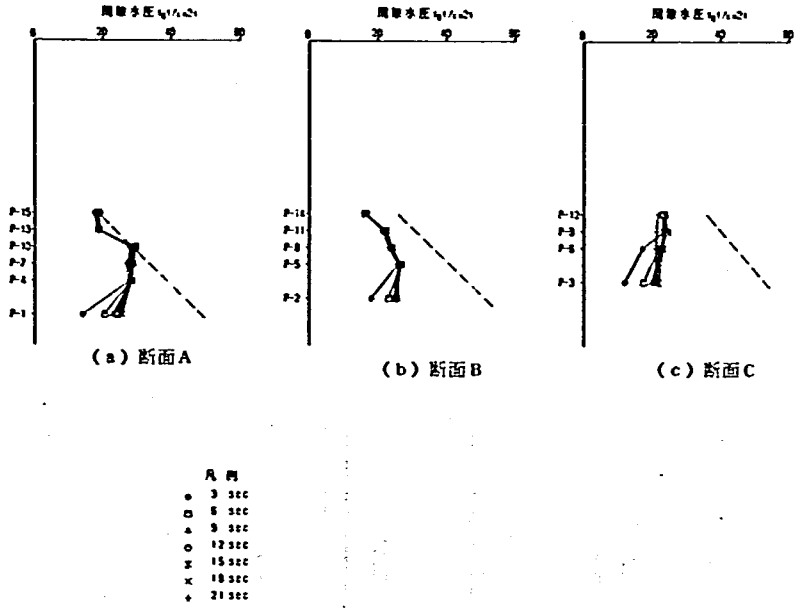


図７－30　間隙水圧の鉛直分布図（実験３－４）

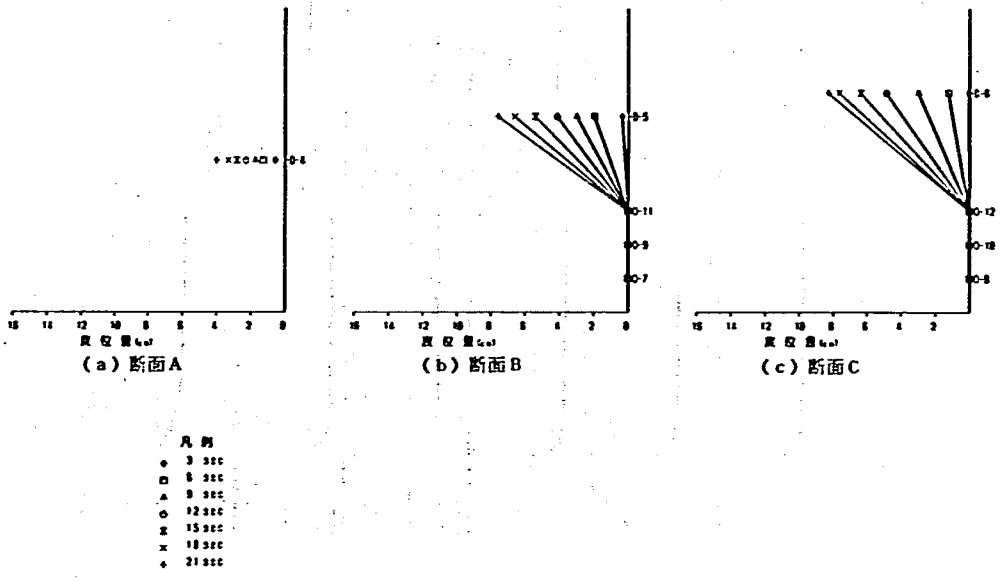
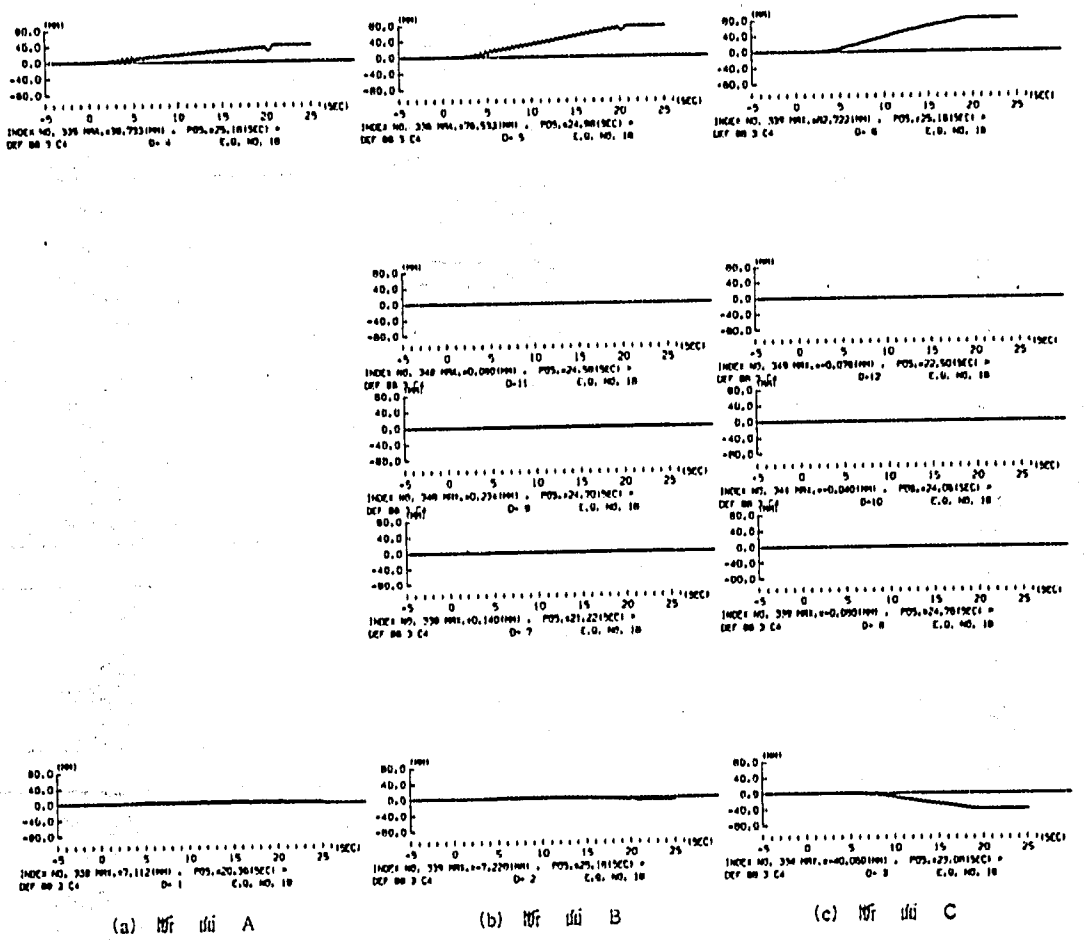


図７－32　水平変位の鉛直分布図（実験３－４）



(a) 断面 A　　(b) 断面 B　　(c) 断面 C

図7－31 変位計記録の時刻歴図（実験３－４）

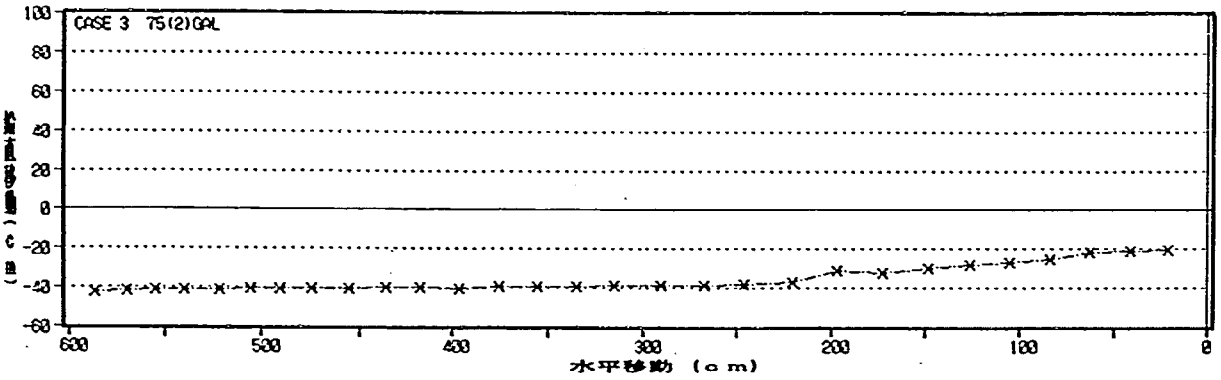


図7－33　地表面変位測定結果（実験3－4）

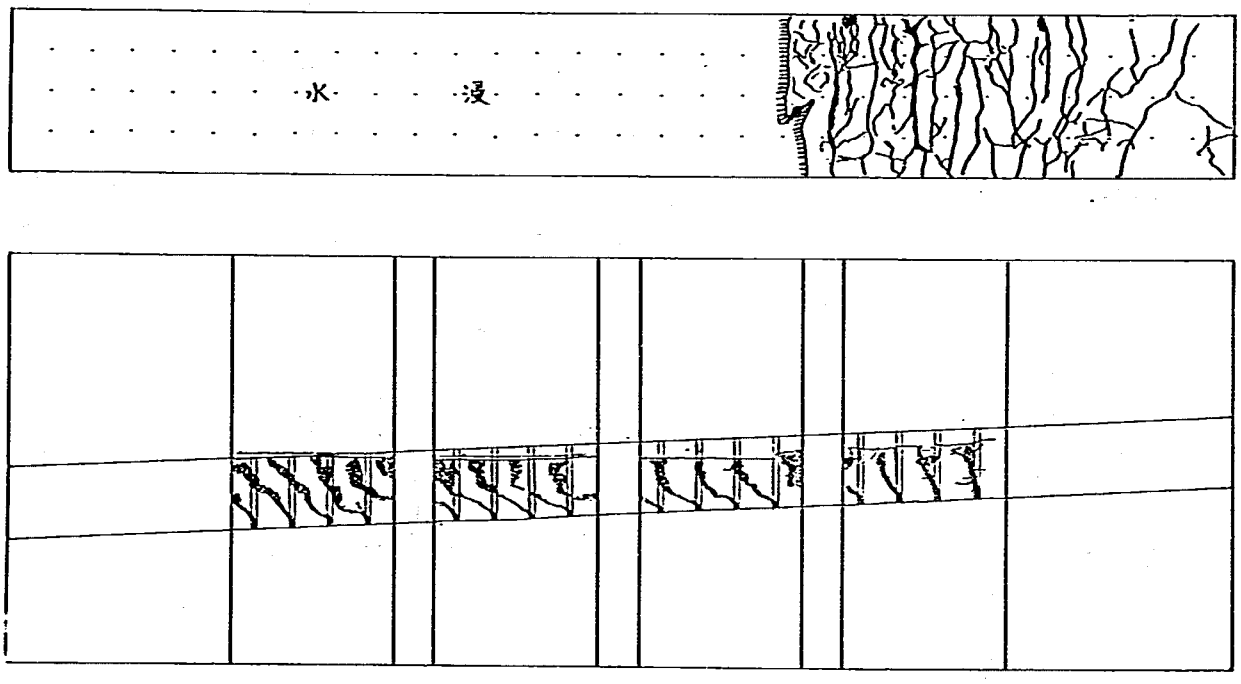


図7－34　側面および上面からのスケッチ図（実験3－4）

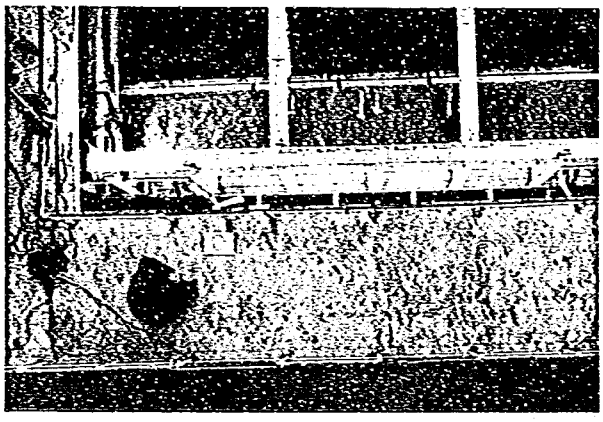


写真　7－1　加振開始時の模型地盤表面
（実験３－１，０sec）

欠　損

写真　7－2　加振開始時の模型地盤側面
（実験３－１，０sec）

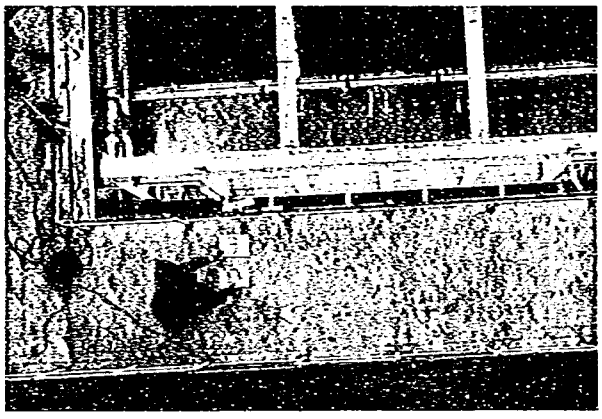


写真　7－3　加振開始３秒の模型地盤表面
（実験３－１，３sec）

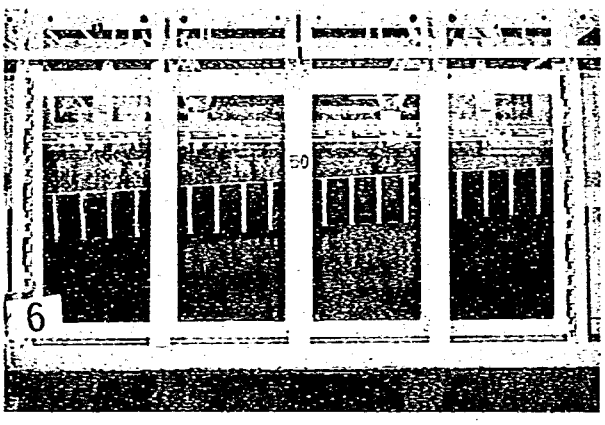


写真　7－4　加振開始３秒の模型地盤側面
（実験３－１，３sec）
（写真中の６秒は３秒の誤り）

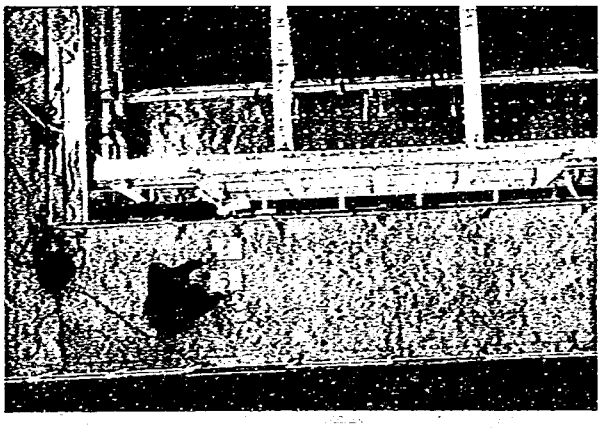


写真　7－5　加振開始６秒の模型地盤表面
（実験３－１，６sec）

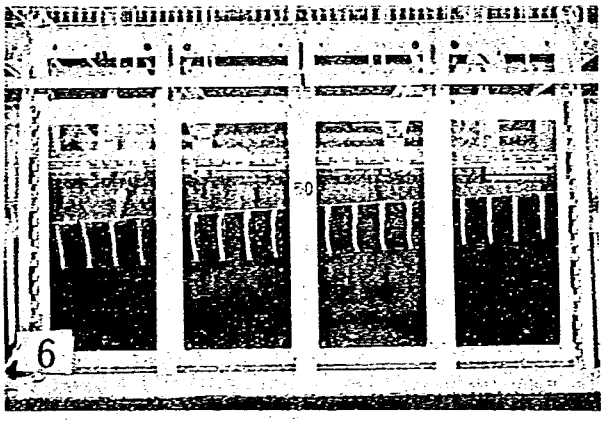


写真　7－6　加振開始６秒の模型地盤側面
（実験３－１，６sec）

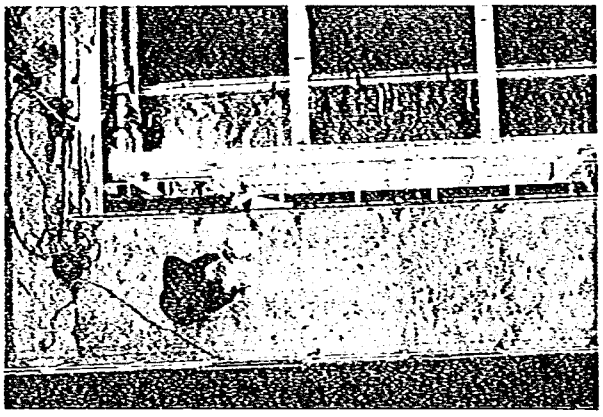


写真　7－7　加振開始９秒の模型地盤表面
（実験３－１，９sec）

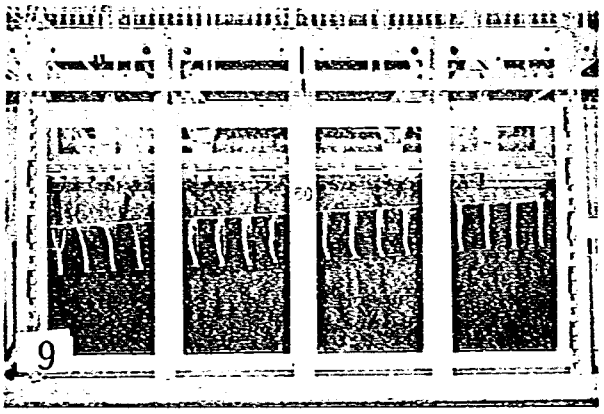


写真　7－8　加振開始９秒の模型地盤側面
（実験３－１，９sec）

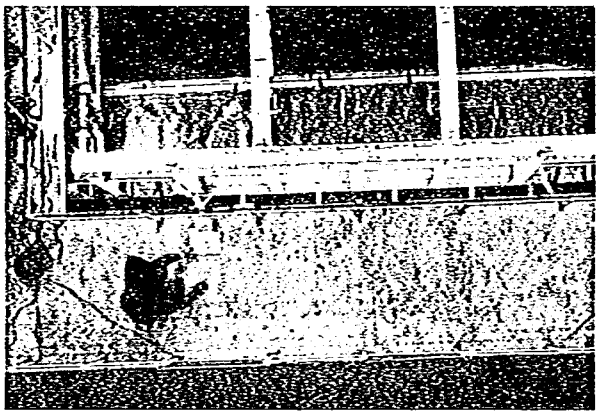


写真　7－9　加振開始18秒の模型地盤表面
（実験３－１，18sec）

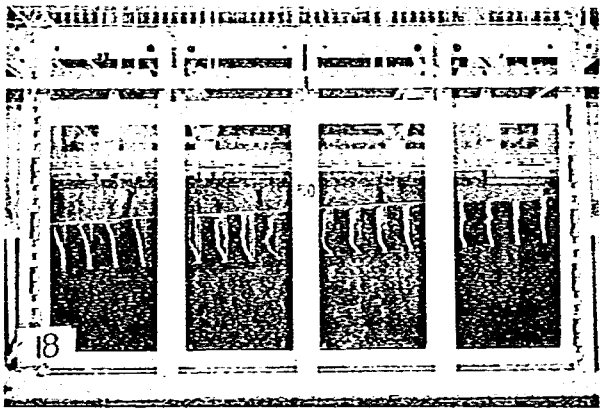


写真　7－10　加振開始18秒の模型地盤側面
（実験３－１，18sec）

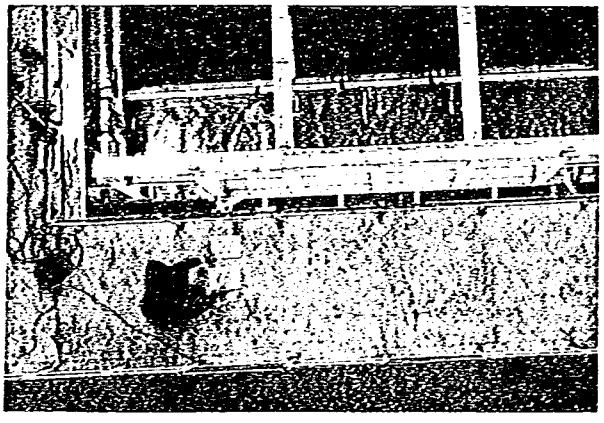


写真　7－11　加振後の模型地盤側面
（実験３－１，21sec）

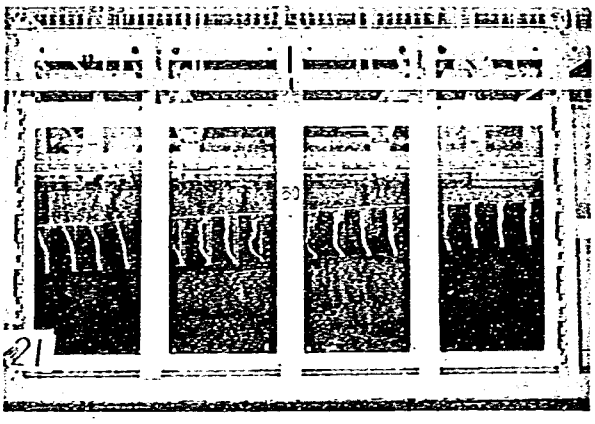


写真　7－12　加振後の模型地盤側面
（実験３－１，21sec）

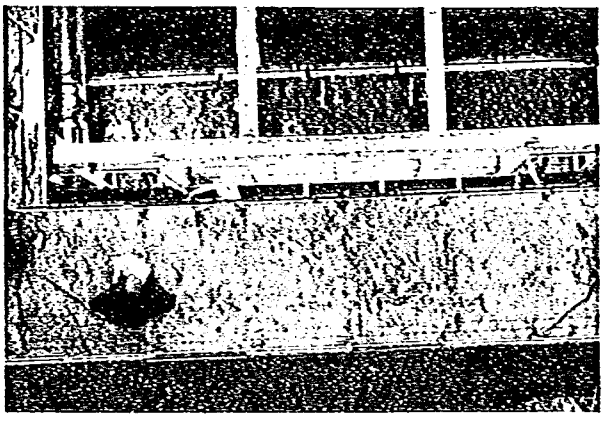


写真　7－13　加振開始時の模型地盤表面
（実験３－２，０sec）

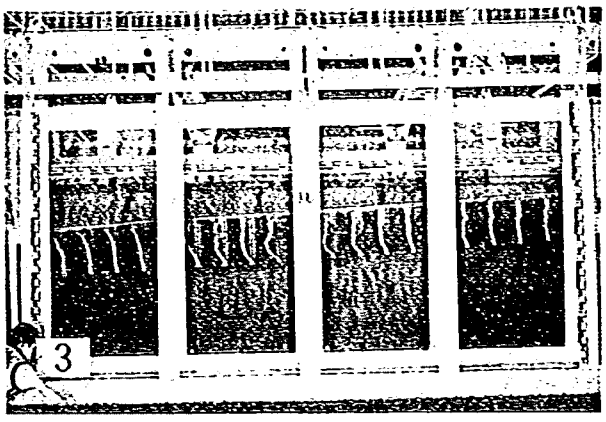


写真　7－14　加振開始時の模型地盤側面
（実験３－２，０sec）

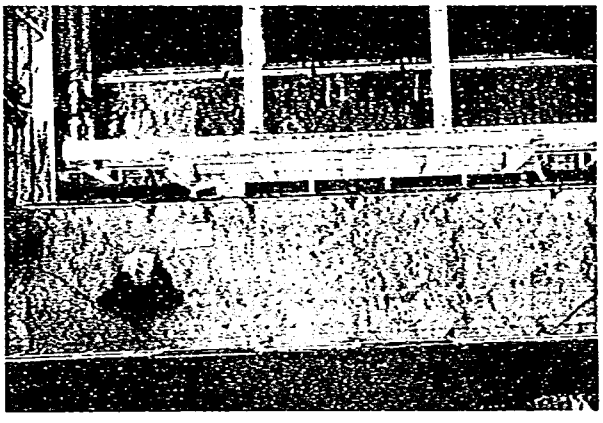


写真　7－15　加振開始12秒の模型地盤表面
（実験３－２，12sec）

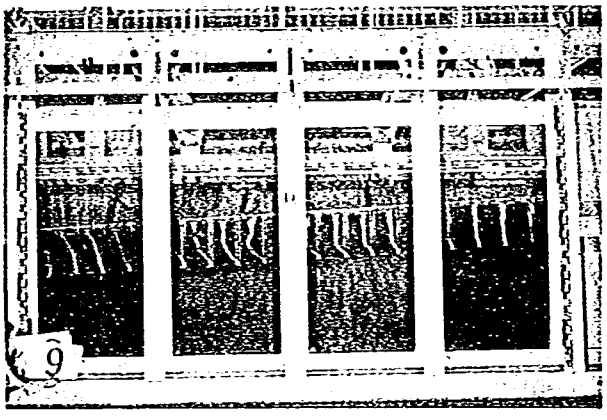


写真　7－16　加振開始12秒の模型地盤側面
（実験３－２，12sec）

（写真中の９秒は12秒の誤り）

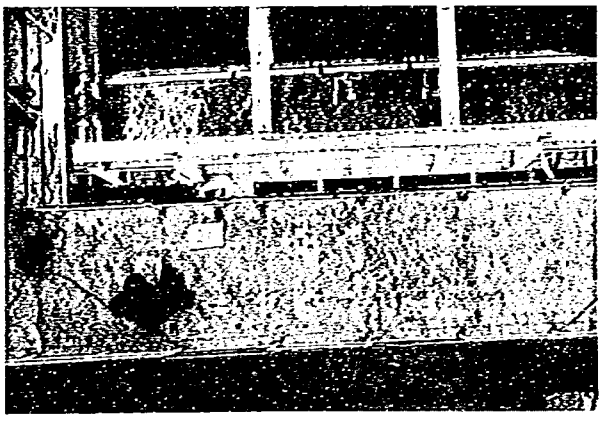


写真　7－17　加振後の模型地盤表面
（実験３－２，21sec）

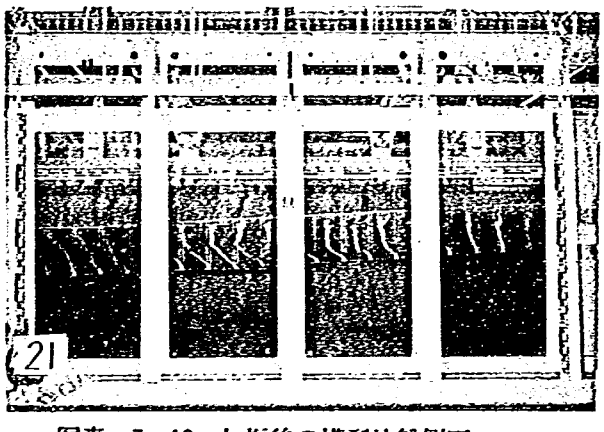


写真　7－18　加振後の模型地盤側面
（実験３－２，21sec）

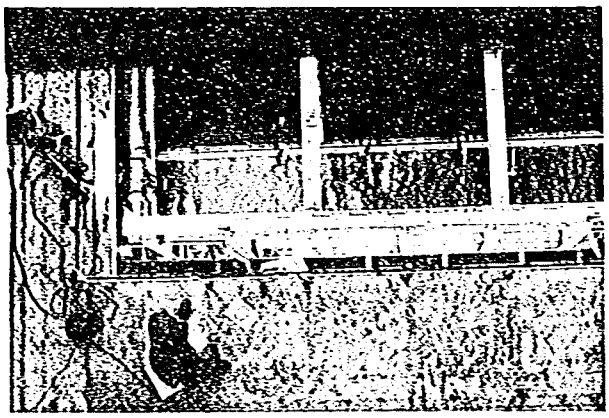


写真　7－19　加振開始時の模型地盤表面
(実験３－３，０sec)

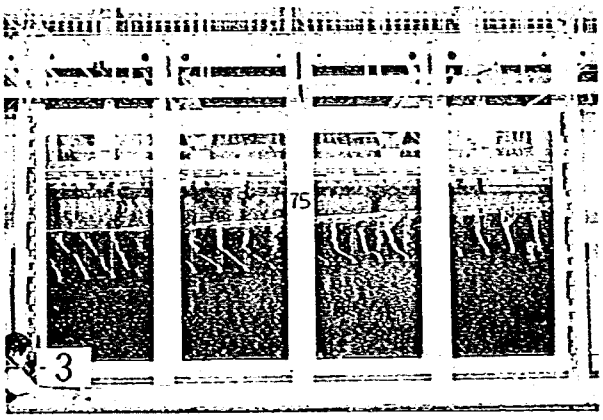


写真　7－20　加振開始時の模型地盤側面
(実験３－３，０sec)

(写真中の３秒は０秒の誤り)

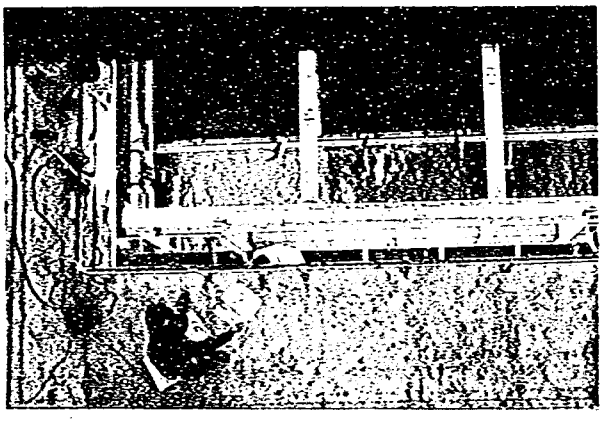


写真　7－21　加振開始12秒の模型地盤表面
(実験３－３，12sec)

(写真中の９秒は12秒の誤り)

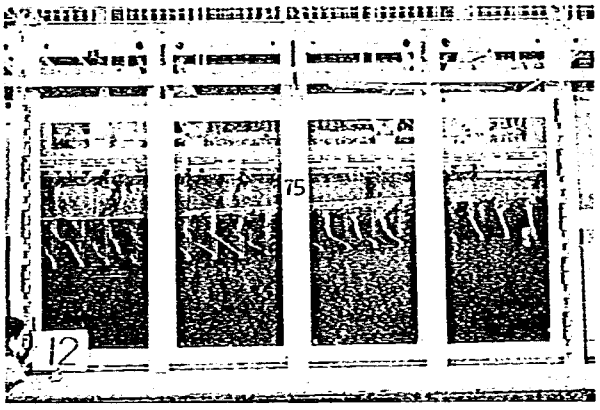


写真　7－22　加振開始12秒の模型地盤側面
(実験３－３，12sec)

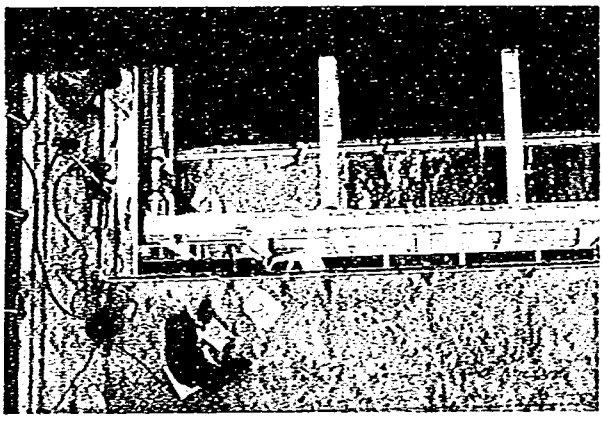


写真　7－23　加振後の模型地盤表面
(実験３－３，21sec)

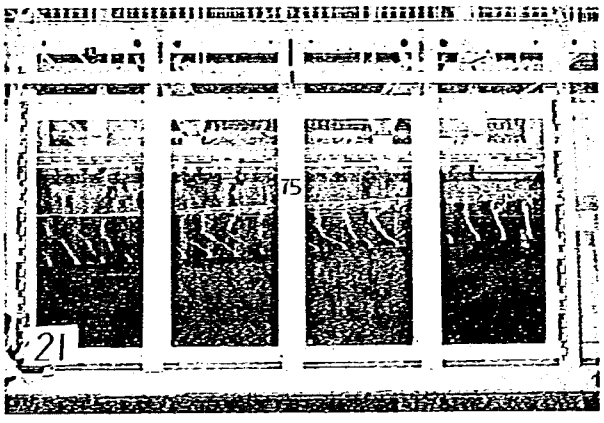


写真　7－24　加振後の模型地盤側面
(実験３－３，21sec)

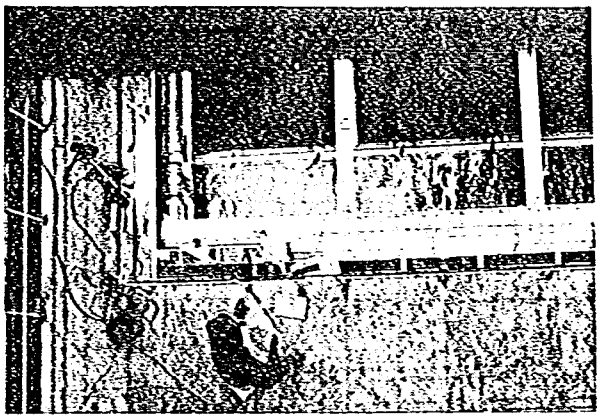


写真　7－25　加振開始3秒の模型地盤表面
(実験3－4，3sec)

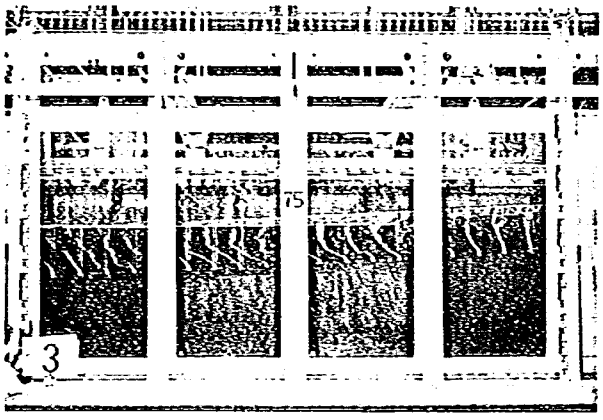


写真　7－26　加振開始3秒の模型地盤側面
(実験3－4，3sec)

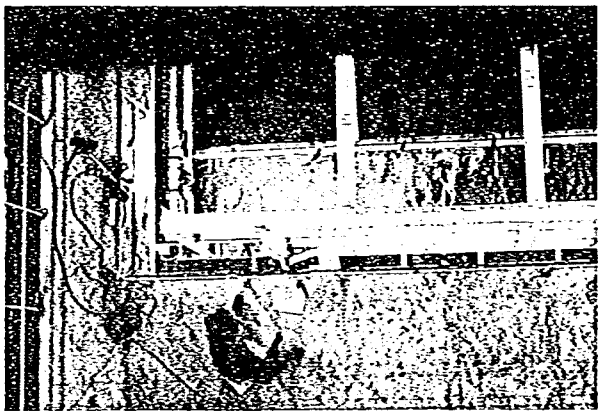


写真　7－27　加振開始9秒の模型地盤表面
(実験3－4，9sec)

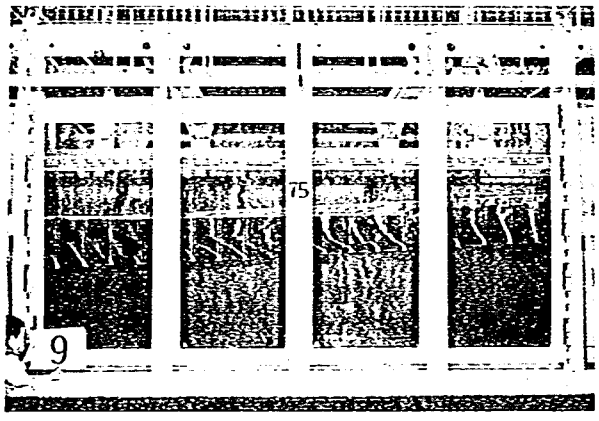


写真　7－28　加振開始9秒の模型地盤側面
(実験3－4，9sec)

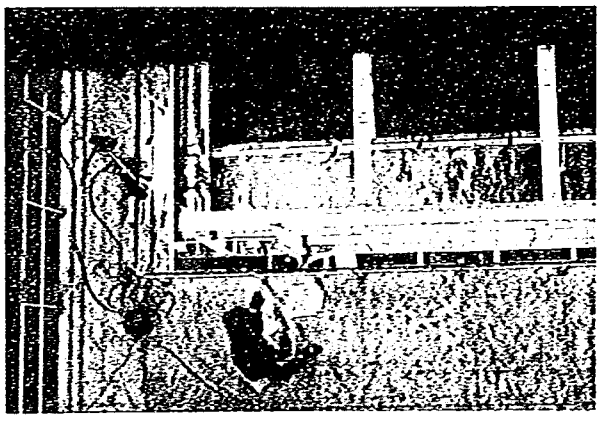


写真　7－29　加振開始18秒の模型地盤表面
(実験3－4，18sec)

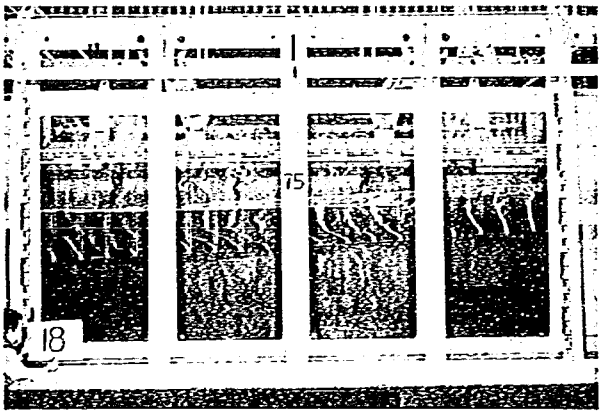


写真　7－30　加振開始18秒の模型地盤側面
(実験3－4，18sec)

8．　模型－4の挙動

8．1 概要

図8.1に模型－4の形状および計測器の配置図を示す。また表8.1に加振の経過を示す。

模型－4の地盤は、厚さ35cmの液状化層（相対密度38%）の上に5%の勾配の不飽和層が載った地盤模型である。

この地盤模型を4段階の台加速度で加振した。各加振加速度毎の実験を実験番号4-1～4-4と呼ぶこととする。

表8.1に示すように実験4-1では地盤模型にはほとんど変状が生じていない。実験4-2によって地盤表面は平均約6cm、傾斜の下方に移動し、加振後の斜面勾配は約5.7%となった。

表8－1　模型－4の加振経過

実験No	入力加速度 gal		加振前の平均勾配	加振による平均変位量
	目標値	実績値		
4-1	50	84.5	4.7%	0.6cm
4-2	100	119.5	4.7%	6.2cm
4-3	150	158.8	5.7%	14.7cm
4-4	200	203.4	4.8%	21.9cm

注）1)加振振動数はいずれも2Hz
2)継続時間は20sec
3)平均変位量は測量鋲No.37～51の変位量の平均値

引き続く実験4-3,4-4では、加振開始後の1波目に地盤内間隙水圧がほぼ初期上載圧近くまで上昇し加振継続時間中に継続して地盤は水平方向に流動した。流動量を地表の平均変位量で表わすとそれぞれ約15cm,約22cm（中央部）程度であった。

以下に実験番号ごとに地盤模型の挙動を記す。

8．2 実験番号　4－1

1）加速度記録

図8.2にそれぞれ測定断面A，B，Cの加速度記録の時刻歴図を示す。

振動台加速度50gal（実質的には最大84.5gal,平均70gal程度の加速度が入力された。）程度の加振レベルに対しては、模型地盤のうち非液状化層部分での加速度増幅は見られない。

液状化層内および地表に設置した加速度計の記録は地表に近いほど大きい値を示し、全層厚の薄い断面Aよりも厚い断面Cの方が応答加速度の増幅の度合は大きい。全継続時間中の平均的な振幅でみると、断面Aの地表では70/70≒1.0倍、断面Bで70/70≒1.0倍、断面Cでは90/70≒1.3倍程度に増幅されている。

図8.3に各断面の加速度記録の鉛直分布を示す。なお、いずれの波形も、地盤液状化が生じたときにしばしば見られるヒゲ状の乱れ（スパイク）は見られない。

2）間隙水圧の記録

図8.4に断面A，B，Cの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。

液状化層内に埋設した間隙水圧計は、断面B，Cの最上層（地下水面より5cm下）のものを除いて加振開始後、加振終了までほぼ単調に増加していく。断面A，B，Cごとの間隙水圧の鉛直分布を図8.5に示す。図8.5では、加振開始後の経過時間を追って等時線で示している。同図中には、初期上載圧σ_{vo}'の鉛直分布を破線で示す。

この図から次のことが判る。

a．加振終了時点でも間隙水圧比（ここ期上載圧σ_{v0}'に対する比を算出した値）は0.3以下である。

b．間隙水圧比は浅い方がやや大きいがどの深さでもほぼ同じ大きさで上昇する。

c．断面A，B，Cのうち間隙水圧の絶対値は上載荷重の小さい断面Aが早く大きくなり、次いで断面B，Cとなっている。

d．このため間隙水圧比は斜面の下方（断面Aの側）ほど大きくなる。

e．加振終了後約30分程度で各間隙水圧の値は零になる。

3）変位計の記録

実験4-1では、変位計は有意な値を示していない。この加振段階では地盤中に発生した間隙水圧比も0.3以下であり、模型地盤に有意な変状は発生しなかった。このことは、前述の加速度記録にスパイクが見られず、模型地盤全体のどこにも塑性領域と考えられるほどの大きなひずみが発生しないと考えられる挙動と整合している。

なお、実験4-1の変位計記録の時刻歴図は図8.6に示す。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図8.7に示す。

図8.7の測量鋲の移動量は奥行き方向の3つの測量鋲の移動量を平均した値である。測量結果は巻末資料に収録してある。図8.8は側面および上面のスケッチを示す。

また、加振前後の模型地盤表面、側壁から見た模型地盤の様子をそれぞれ写真8.1～8.4に示す。

これらの写真でも模型地盤に何の変化も生じていないことが示されている。

なお、斜面下端の地表部は加振終了時点の写真に示すように若干色調が濃くなっており、間隙水圧消散によって斜面下端部の地表付近の含水比が高くなったことがわかる。

8．3 実験番号4－2

1）加速度記録

図8.9に断面A，B，Cの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験4-2では、加振開始1.5波までの間のみ、目標加速度を超える値（最大2割程度）が入力されたが、全継続時間（20秒、40波）の大部分はほぼ一様な100gal程度の加速度が入力できている。

この入力加速度に対して非液状化層上面（液状化層下面）では、断面Aで9秒程度まで、断面Bで11秒程度まで、断面Cで15秒程度までは一様な加速度振幅で応答している。やや断面A，Cが断面Bに比べてこの時刻までの加速度振幅が小さいものの、ほぼ100gal程度の値であり非液状化層内での増幅はないことがわかる。むしろ断面Cでは入力加速度よりも極くわずかであるが小さな振幅の応答加速度が観察されているが、この理由は観測位置より上の土の層厚が大きいことの他、側壁の影響もあると考えられるが正確なところは現時点では分からない。

加振開始後、断面Aで9秒以降，断面Bで11秒以降，断面Cで15秒以降は記録波形にヒゲ状のスパイクが出現し始め、スパイクの大きさは加振時間の経過につれて増大している。

このようなスパイクが現れる時刻は、液状化層低面よりも液状化層内および地表の方が2秒程度早い。スパイクの現れる時刻を表8.2に示す。

表8－2　スパイクの現れる時刻（実験4－2）

高さ	スパイクの現れる時刻 (sec)		
	断面A	断面B	断面C
液状化層底面	9	11	15
底面から10cm上	7	10	13
底面から20cm上	6	9	14
底面から30cm上	6	9	13
地　表　面	6	8	12

いずれの断面においても非液状化底面にスパイクが現れる時刻に2秒程度の遅れのある理由は、非液状化層内では間隙水圧の発生がないか、またはあったとしてもその値は液状化よりも小さく、両層の境界では液状化層から非液状化層への間隙水圧の伝播（消散）が生じるためと考えられる。この模型では、非液状化層内で間隙水圧の測定を行っていないが、土槽側面の窓ガラスを直して観察した白線マーカーが両層境界付近で移動や乱れがみられないこともこの推定を裏付けている。

液状化層内で、スパイクが生じるまでの応答加速度は地表に向かうにつれて増幅されてやや大きくなっているが、その程度はわずかである。

この様子は、断面A，B，C毎に描いた液状化層内の応答加速度振幅の鉛直分布の等時線でも明かである。図8.10に応答加速度の鉛直分布を示す。また、表8.3にスパイクが現れるまでの観測位置ごとの応答加速度の増幅倍率を示す。

表8－3　液状化層・地表での応答加速度振幅と増幅倍率（実験4－2）

高　さ	加速度振幅			増幅倍率					
				台加速度に対する倍率			底面に対する倍率		
	断面A	断面B	断面C	A	B	C	A	B	C
液状化層底面	99	101	88	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
底面から10cm上	97	101	88	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
底面から20cm上	108	76	59	1.1	0.8	0.6	1.1	0.8	0.7
底面から30cm上	113	104	105	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.2
地表面	138	116	121	1.4	1.2	1.2	1.4	1.1	1.4

注）1）液状化層の応答加速度にスパイクが現れる6秒以前の観測データによる。
2）振動台加速度は100gal

表8.2に示す時刻以降、応答加速度にヒゲ状のスパイクが現れる理由は、液状化層内の間隙水圧が上昇し、液状化層内の有効応力が非常に小さくなったためと考えられる。

この状態ではモールの応力図上で応力円は（ほとんど）破壊線に接した状態でしかも原点に近い位置まで応力の軌跡は達していて、せん断応力が極めて小さく、液体に近い挙動を示すもののダイレクタンシー効果により強度が回復するサイクリックモビリティの現象を示す。同様の現象は古賀らも報告している。[19]

このため、液状化層内の深さの違う点の応答加速度は、スパイクが生じるような状態に至ったときには位相差がほとんどなくなってしまう。これに対し、スパイクが生じる以前の状態では土層のせん断加速度と減衰に見合った量だけ位相差を持った応答加速度が観測される。

図8.11,8.12に時間軸を拡大して描いた実験4-2の断面A，B，Cの部分的な加速度波形（4～6秒と16秒～18秒）4波分ずつを示す。

スパイクが生じはじめた時刻以降では各点の加速度は振動台加速度に比べて大きくなる。ヒゲ状のスパイクによる短周期の加速度振幅も含めて、加振時間中の最大加速度とそれが生じた時刻をひろってみると表8.4のようであった。

いずれの点においても最大加速度は加速度振幅の＋側（斜面の下方に向かう向き）で生じている。また地表近くの浅い点になるにつれて－側の振幅（斜面の上方に向かう向きの振幅）は小さくなることおよび最大加速度を生じた時刻以降の加速度振幅が減少する傾向などが生じている。このため、地表および液状化層内の大部分の最大加速度は加振終了前に生じていることが表8.4の発生時刻からも読みとれる。

表８－４　加振中の最大応答加速度（実験４－２）

高　さ	最大加速度						増幅倍率					
	Amax (gal)			発生時刻 (sec)			振動台に対する増幅倍率			底面に対する増幅倍率		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
底　面	224	318	128	19.4	14.5	19.4	1.9	2.7	1.1	1.0	1.0	1.0
底面から10cm上	552	605	269	12.6	18.6	17.0	4.6	5.1	2.3	2.5	1.9	2.1
底面から20cm上	923	391	626	10.6	11.6	19.5	7.7	3.3	5.2	4.1	1.2	4.9
底面から30cm上	848	520	367	9.6	11.6	16.5	7.1	4.4	3.1	3.8	1.6	2.9
地　表　面	291	285	365	9.1	10.6	19.1	2.4	3.4	3.1	1.3	0.9	2.9

注）　振動台加速度は120gal

表8.4および図8.10に示すようにスパイクが生じはじめて以降の応答加速度倍率は斜面の下方に近い断面A，Bの方が断面Cに比べて大きくなっていることがわかる。

なお、加振終了時の加速度記録の一部には、零まで戻らないでドリフトの生じたものがある。このドリフトは加振中に加速度計が傾斜したことによるものと考えられる。ここではこのドリフト量の補正は行わないで、計測されたままの値を用いて以降の議論を進めることとする。

2）間隙水圧の記録

図8.13に断面A，B，Cの間隙水圧記録の時刻歴図を示す。

断面Bの地下水面下5cmに設置したP-11の間隙水圧計を除く全間隙水圧計は、加振開始と同時に上昇しはじめる。

断面A，B，Cごとの間隙水圧比の鉛直分布を図8.14に示す。

時刻歴波形ならびに間隙水圧の空間的な分布については次のような傾向が見られる。

a．断面Aにおいてはどの深さでも加振と同時にほぼ単調に間隙水圧が上昇しはじめ、ほぼ4秒で間隙水圧比が1.0に近くなる。

b．断面Bの間隙水圧計の計測結果もa．と同様であるが間隙水圧比が1.0に近くなる時刻は加振開始後8秒で約4秒の遅れがある。

c．断面Cにおいては加振開始から7～9秒程度までの間隙水圧上昇速度はそれ以後に比べて遅い。7～9秒くらいから間隙水圧上昇速度が大きくなって加振開始後約12秒ではほぼ間隙水圧比は1.0になる。

d．断面Aでは3秒目くらいから、断面Bでは6秒、断面Cでは9秒くらいから鋭いヒゲ状のスパイクが現れはじめる。その周波数は加振周波数と等しい。

e．スパイクは現れはじめてから加振終了までその振幅が大きくなり続けるものと、ある時刻付近で極大となってそれ以降は徐々に小さくなるものとがある。

f．断面A、B、Cの間隙水圧を相互に比べてみると、加振開始から12秒くらいまでは、上載荷重の小さい断面Aの方が上載荷重の大きい断面Cよりも大きい。この間は間隙水圧の水平方向への伝播が生じているものと考えられる。

g．このような断面ごとの間隙水圧の上昇速度の遅れは図8.14に示した間隙水圧比でみるともっと判り易い。

各断面ごとの間隙水圧比の平均値は表8.5、図8.15のようである。

表8－5　各断面ごとの平均間隙水圧比（実験4－2）

時間 sec	平均間隙水圧比		
	A	B	C
0	0	0	0
3	0.46	0.19	0.14
6	1.02	0.46	0.32
9	1.02	0.94	0.45
12	1.01	1.00	0.88

h．液状化層内の間隙水圧比の分布をコンターで示すと図8.16のようである。

i．1）で述べた加速度記録にスパイクが現れる時刻は、間隙水圧比がほぼ1.0に達する時刻に等しい。

また、後で述べる変位計の記録に地表の変位が現れはじめる時刻は、ほぼ間隙水圧比が1.0程度まで達した時刻に等しい。

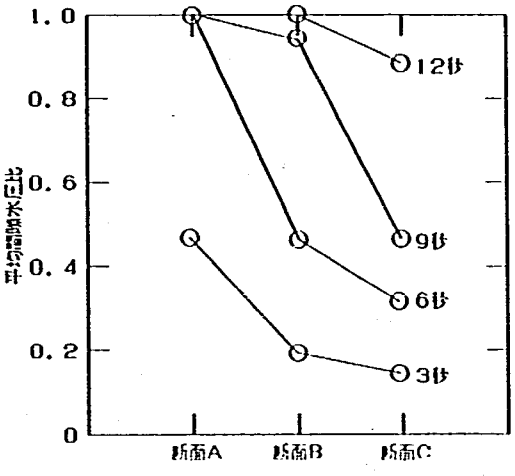


図8－15　各断面ごとの平均間隙比の変化（実験4－2）

3）変位計の記録

図8.17に地表の3点で計測した鉛直変位（沈下量）の時刻歴、同じ点の水平変位の時刻歴、ならびに地中で計測した変位の時刻歴を示す。

地表のデータは正弦波状の変化をしているが、地中の変位計の記録は階段状になっている。これは、今回用いた計測用の細いワイヤーとビニール管との間に比較的大きな摩擦力が作用していたこと、ならびにワイヤーが伸び易い材質のものであったために、ある移動が生じて摩擦に打ち勝った分だけ変位計出力に変化が生じるというプロセスになってしまった結果と考えられる。それで、地中の変位記録については全体的な、定性的傾向を推定する参考値程度の信頼性しかないと考えられる。（後述i項）

地表の変形計の記録をみると次のような傾向のあることがわかる。

a．鉛直変位に変化が生じはじめる時刻は、断面Aで加振開始後約5秒、断面Bで約9秒、断面Cで11秒経過した時点である。

b．水平変位に変化が見られるのは断面Aで4秒、Bで7秒、Cで10秒程度経過した時である。（表8.6）

鉛直変位に変化が出はじめた時刻より若干早い時刻である。

c．上記の時刻以降は約5㎜～15㎜程度の振幅を持った正弦波状の変動をしながら、加振終了まで変位量は増加し続ける。

d．水平変位に上述の正弦波的な変動がみられるのは、地盤表面の応答変位を忠実に計測できていると考えると理解し易いが、鉛直変位にこのような変動が計測されるのは何故であろうか。これについては、次のように考えられる。

表８－６　地表の変位計に変位が計測されはじめた時刻（実験４－２）

断面	鉛直変位	水平変位
A	5 sec	4 sec
B	9	7
C	11	10

4章で述べたように模型1の地表変位のの計測は、標点から鉛直変位計まで約20cmの間を水糸で直結して計測しているので、図8.18に示すように鉛直変位がなくて水平変位だけが生じていても見かけ状、変位があったように計計測される。

表８－７　地表の最終変位（実験４－２）

測点	加振終了後		加振終了後30分後	
	鉛　直	水　平	鉛　直	水　平
A	21.3㎜	80.5㎜	22.8㎜	80.8㎜
B	21.5	78.4	23.0	78.4
C	18.0	41.8	18.0	39.8

注）加振終了後30分後には間隙水圧計の出力はほぼ零まで戻っている。

e．加振終了時までに生じた変位は表8.7のようであり、斜面の下方で生じた変位（断面CよりAで生じた変位）の方が大きくなっている。

f．なお、液状化層内に発生した間隙水圧の消散にともなう変位量はいずれの点、いずれの方向（鉛直か水平か）についても15㎜程度以下で、加振中に生じた変位に比べると無視できる程度のものであった。

図8.19に示した水平変位の鉛直分布から次のような傾向を生じたことがわかる。

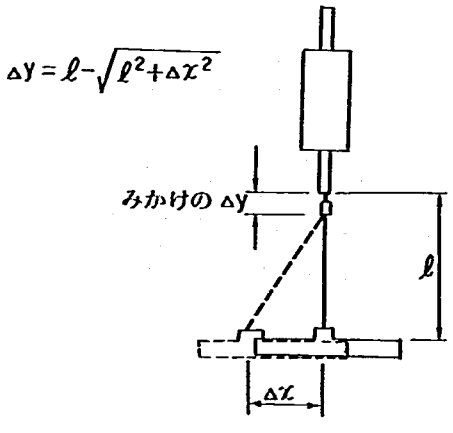


図５－18　計測された鉛直変位への水平変位の影響

g．断面B，Cでの地中の水平変位は、液状化層低面からの高さにほぼ比例して大きくなり、この傾向を保って加振の継続している間増加しつづける。

h．断面Bでの水平変位の方が断面Cよりも大きい。この傾向は、地表の変化と同じである。

1．側壁から観察した模型地盤の挙動（後述）から判断すると、液状化層より上の不飽和層内ではほぼ同じ大きさの水平変位量が生じている。つまり地表の水平変位量と不飽和層下面（液状化層との境界）の水平変位量はほぼ同じとみられる。このことからすると、計測された地中の水平変位量は実際に生じた地中の水平変位量の約1/3程度の大きさと推定される。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後に実施した地表の測量鋲の測量結果を図8.20に示す。

また加振前および加振中の地盤表面、側壁からみた模型地盤の様子をそれぞれ写真8.5～8.14に示す。また写真8.15には、地表に現れた亀裂と段差の様子を示す。

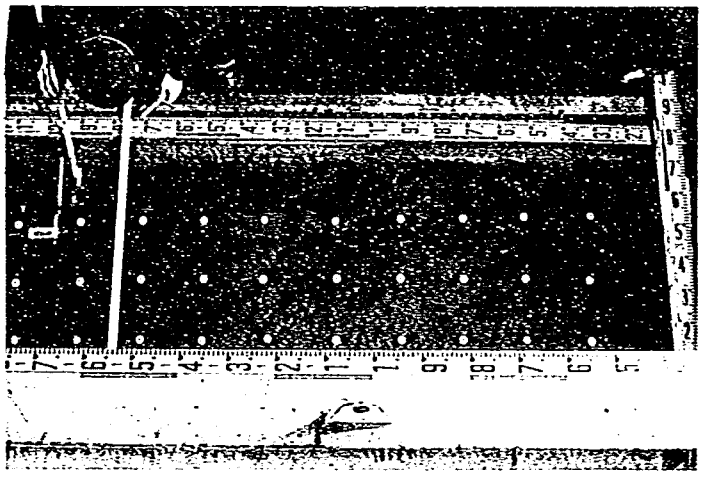


写真 8－15 模型地盤表面の亀裂と段差

加振開始後5秒の写真では白線によるマーカーには変状が認められないが、10秒では斜面下方側の白線に折れ曲がりが生じ、地盤のこの部分に永久変位が生じているのがわかる。このとき斜面上方、画面の右側部分では変位は生じていない。15秒、20秒では画面の全領域で変状が生じているのがわかる。

図8.21には、加振後に観察窓で描き写した白線マーカーの移動状況と、地表の亀裂等をスケッチした結果を示す。

また図8.22（a）には上に示した写真から読み取った地表の測量鋲の変位を加振開始後の時間ごとに示す。また同図（b）には次のようにして算定した地表の主ひずみの分布を示す。

$$\varepsilon_i(t_j) = \left(\frac{\Delta X_i(t_j) - \Delta X_{i-1}(t_j)}{X_i(t_{j-1}) - X_{i-1}(t_{j-1})} + \frac{\Delta X_{i+1}(t_j) - \Delta X_i(t_j)}{X_{i+1}(t_{j-1}) - X_i(t_{j-1})} \right) / 2 \qquad \cdot(8.1)$$

ここに
$\varepsilon_i(t_j)$ ；時刻t_jのときの、地表面のi点の主ひずみ
t_j；時刻、（$j=1 \rightarrow t_1=0$sec, $j=2 \rightarrow t_2=5$sec・・・）
$X_i(t_{j-1})$ ；時刻t_{j-1}のときのi点の座標値（1測線3点の測量鋲の座標の平均値）
$X_{i-1}(t_{j-1})$ ；時刻t_{j-1}のときのi点（考えている点の左隣の点）の座標値）
$\Delta X_i(t_j)$ ；時刻t_{j-1}からt_jまでの間の（5秒間の）i点の変位量（3点の変位量の平均値）

ただしε_iを算定する時刻は5sec, 10sec, 15sec, 20secとし、また左端、および右端についてはε_iを算定しない。

上述の図8.20～8.22から次のことがわかる。

a．地表変化（流動）が最初に生じたのは、加振開始5秒経過後、10秒以前である。（実験時の目視結果、ビデオ、ならびに前述の変位計の記録を総合判断すると加振開始後5秒程度であったと判断される。

b．aに述べた最初の地盤変位は、模型地盤全領域にわたって生じたものではなく、模型地盤左端から約2mまでの領域であった。

c．上述の変位が生じ始めて約4秒程度経ったたときに断面Bを含む領域でも変位（地盤流動）が生じはじめた。

d．断面Cではさらに2秒程度遅れて地盤流動が生じはじめた。

e．これらの地盤流動の生じはじめたときの地盤内間隙水圧比はほぼ1.0に近い値まで上昇している。

f．模型側面の白線マーカーの挙動も上述と同じ傾向を示し、まず模型の左側（斜面の下方）の一部分が左方に移動し、やや遅れて右側（斜面上の方）の地盤に変化が生じている。

g．地表変位は、地下水面よりやや下よりも深い部分の液状化層の一部分の変形によってもたらされたものであり、これより上の部分は水平に移動しただけで（若干の沈下も含む）形状を保ったまま変化している。

h．液状化層内の変形した部分（領域）は、加振時間の経過につれて模型地盤左方から右方へと広がっている。この様子を模式的に示すと図8.23のようであった。

i．流動は、加振中にのみ生じ、加振終了と同時に停止する。ただし、発生した間隙水圧の消散に応じて地表はほぼ一様に1.5mm程度沈下する。

j．移動する土塊に作用する加速度は310gal程度であった。

k．写真から判読した地表の亀裂の発生状況は次のとうりである。

Ⅰ）10秒で斜面下端から2m付近に亀裂発生。

Ⅱ）15秒で斜面下端から4m付近と5m付近に亀裂発生、2m付近の亀裂は拡大。

Ⅲ）20秒で斜面下端から5m付近の亀裂は拡大。

Ⅳ）加振終了後斜面下端から2m付近は水没。

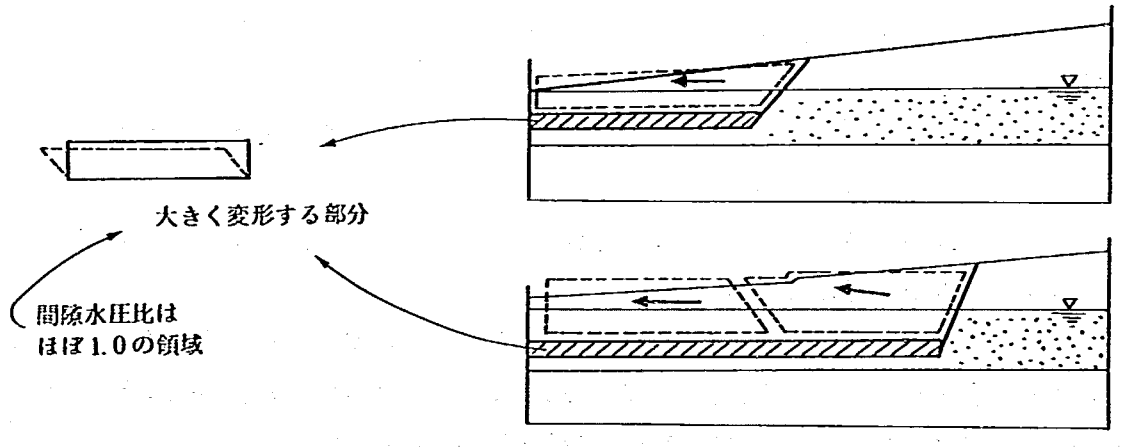


図5－23　地盤流動の模式図

8．4　実験番号4－3

1）加速度記録

図8.24に、断面A．B．Cの加速度記録の時刻歴図を示す。

実験4-3では、ほぼ一様な158gal程度の振幅を持つ加速度が入力できている。

この入力加速度に対して、液状化層下面および地表を除き、液状化層内に埋設した加速度記録は、加振中に生じたドリフトがのっている。ほとんど全てのドリフトは、＋側（斜面下方に向かう加速度）に生じている。あるものは、加振開始直後から生じており、またあるものは少し時間が経ってからドリフトが生じている。

このドリフトは加速度計が傾斜したことによるものと考えられるが、ここでは、この値に関する補正等は行わないで得られた記録をそのまま用いてとりあえずの論議をすすめることとする。

図8.25には、加速度振幅の鉛直分布を示す。

この図においては、下記のb.を考慮して、各時刻にもっとも近い時点の＋側の振幅、－側の振幅を用いている。

図8.24，8.25から次のことに気付く。

a．加振開始直後から、いずれの点においても加速度記録にはひげ状のスパイクが現れている。

b．加速度の振幅は＋側（斜面下方に向かう側）の値の方が負の側よりも大きい。この傾向は加振開始2秒程度以降はさらに顕著となり、負の振幅は極めて小さくなる。

c．液状化層上面、および断面A，Cの液状化層上面から10cmの深さの加速度振幅は、加振中に段々小さくなる。

この傾向は、地表においても同様である。

d．断面Bにおいては、地表および液状化層上面の加速度が12秒程度まではほぼ一定の振幅であるが、それ以降は小さくなる。

e．非液状化層における加速度の増幅は断面Aで約2倍、断面Bで約3倍、断面Cで約2倍となっている。

f．液状化層内での加速度振幅の増幅はさらに大きく、加振後3秒程度で生じる最大の値は＋側で6倍程度になっている。

g．地表付近の不飽和層内ではこれにくらべて加速度の増幅はやや小さく、断面B，Cでは2.5倍程度の増幅倍率となっている。

h．加振開始直後から現れるスパイクは、後述する間隙水圧の加振開始直後の急な上昇によってもたらされたものと考えられる。

i．加振後の地表面形状は、地盤左端から2m程度まではほぼ水平、これより右は2つの斜面となっている。すなわち、2mから4m（右端から2m）までは5/100程度の勾配の部分および5mから6m（右端）まではこれよりゆるい1/100程度の勾配の２つの斜面を形成している。

2）間隙水圧の記録

図8.26に間隙水圧の時刻歴を示す。

ほぼ加振開始と同時に１波目で間隙水圧は初期上載圧近くまで上昇している。

図8.27に間隙水圧の鉛直分布を示す。

図8.26,8.27から次のような点に気付く。

a.P-1,P-2,P-3,P-4,P-5,P-6では1波目にほぼ初期上載圧まで上昇している。

b．これより浅い、P-7,P-8,P-9では2波目（1秒目）で初期上載圧まで間隙水圧が上昇しており、P-10では3波目に初期上載圧まで達したと見ることができる。

c．サイクリックモビリティーに由るものと考えられるスパイクがいずれの記録にも現れている。しかし、その現れ方は測点場所によって異なっている。

3）変位計の記録

図8.28に変位計の時刻歴を、また図8.29に水平変位の鉛直分布を示す。

変位計記録で観察された変位の傾向および地中変位計の記録の信頼性については実験4-2で述べたところと同様である。

図8.28,8.29から気付く実験4-3における変位の特徴は以下のような点である。

a．地表、地中とも変位はほぼ加振開始と同時に生じている。これは間隙水圧比が加振開始とほぼ同時に1.0近くまで上昇していることと符合する。

b．断面B，Cにおける地表の変位は地盤の動的な応答による正弦波状の変動はあるものの、その中央値は加振の継続時間中はほぼ直線的に増加する。

c．これに対し、斜面下端に近い側の断面Aでは上に凸な曲線を描いて増加している。これは、斜面下端側での境界の影響によるものとも考えられるが、原因についてはさらに吟味が必要である。

d．地表の水平変位の記録が、断面Aでは10秒程度、断面B，Cでは15秒程度で頭打ちになっているが、これはこの時点で変位量が変位計の測定範囲（100㎜）に達してそれ以降は測定不能になったためである。

e．地中の変位計については、加振後、いったん－値（斜面の上方に向かう側）を示した後、＋値に転じている。現時点ではこの原因は何によるものか判らない。

f．地中の水平変位の値に関しては、8．3節3）のi．項に述べたと同じである。

4）測量結果および側壁からの観察

加振終了後の測量鋲の測量結果を図8.30に示す。また写真8.16～8.21に加振前、加振中および加振後の模型地盤の状況を示す。

図8.31には、加振後の模型の状況のスケッチを示す。

これらの写真及び図から次のことがわかる。

a．加振後の地表面形状は左端から1.8m程度まではほぼ水平、これより右は上に凸な曲線を描く斜面となっている。上に凸な斜面を2つの直線斜面で近似すると、左端から1.8m～4.2mの間が勾配5/100、4.2m～6m（右端）の間が勾配1/100となっている。

b．加振前（実験4-2終了時）には左側の水平部分は左端から2mの長さがあったから、実験4-3の加振によって模型表面は約20cm斜面の下方（左側）へ進み、さらに中央部分の約2.4mの間の勾配は1/100程度ゆるくなったことがわかる。

c．地表面には、全域にわたって亀裂が生じ、実験4-2で生じた亀裂幅も拡大している。

d．この亀裂は加速度計、間隙水圧計等のケーブルの埋設してある付近では特に顕著である。

8．5　実験番号4－4

1）加速度記録

図8.32に加速度記録の時刻歴図を示す。

入力加速度振幅は203galで、非液状化層上端では断面Aを除いて、ほぼ一定振幅の応答をしている。断面Aの加速度A－1は加振後10秒程度以降、やや応答倍率が増加している。

液状化層内の加速度は、加振の初期から大きく、加振の途中から応答値が減少することおよび＋側（斜面の下方）の加速度は加速度計の容量（±1000gal）を越えるほどの大きい値になっているものがあるなどの特徴が目につく。

図8.33には加速度の鉛直分布を示す。

断面B，Cの地表部の値が－側になっているのは加速度計の傾斜により生じたドリフトのためである。

図8.32,8.33から次のことが指摘できる。

a．非液状化層内での加速度の増幅率は、断面Aで500/200＝2.5、断面Bで480/200=2.4、断面Cで400/200=2.0となっている。

b．液状化層内での加速度の増幅はさらに大きい。加速度計容量を越える値のため、正確な増幅倍率は判らない。

c．しかし、液状化層上部ほど、大きい応答加速度となっている。

d．液状化層最上部および不飽和層内では、加振の初期（0～7秒程度まで）に大きかった応答加速度が減少している。

ことに、断面B，Cの不飽和土層上端（地表）では、加振開始後6秒以後は、振動がほとんど増幅されない状態になっている。6～20秒後間のこの2点を拡大してみると、図8.34に示すように断面Bでは約200gal,断面Cでは80gal程度の応答をしていることがわかる。

e．また加速度記録にドリフトが生じたものがあり、これらについては加速度計が傾斜したことがわかる。

2）間隙水圧計の記録

図8.35に間隙水圧の時刻歴を示す。また、間隙水圧比の鉛直分布を図8.36に示す。

実験4-4では、加振開始後1波目から、全観測点において間隙水圧はほぼ初期上載圧まで上昇していることがわかる。

3）変位計の記録

図8.37に変位記録の時刻歴を、また図8.38に水平変位の鉛直分布を示す。

地表の変位計のうち、斜面最下端（断面C）の水平変位はD－4は、頭打ちになっている。また断面Bの地表の水平変位を示すD－5についても同様に2秒程度以降の時刻歴記録は不自然な形をしている。計測上の誤差とも考えられるが現時点ではこの原因はよく判らない。

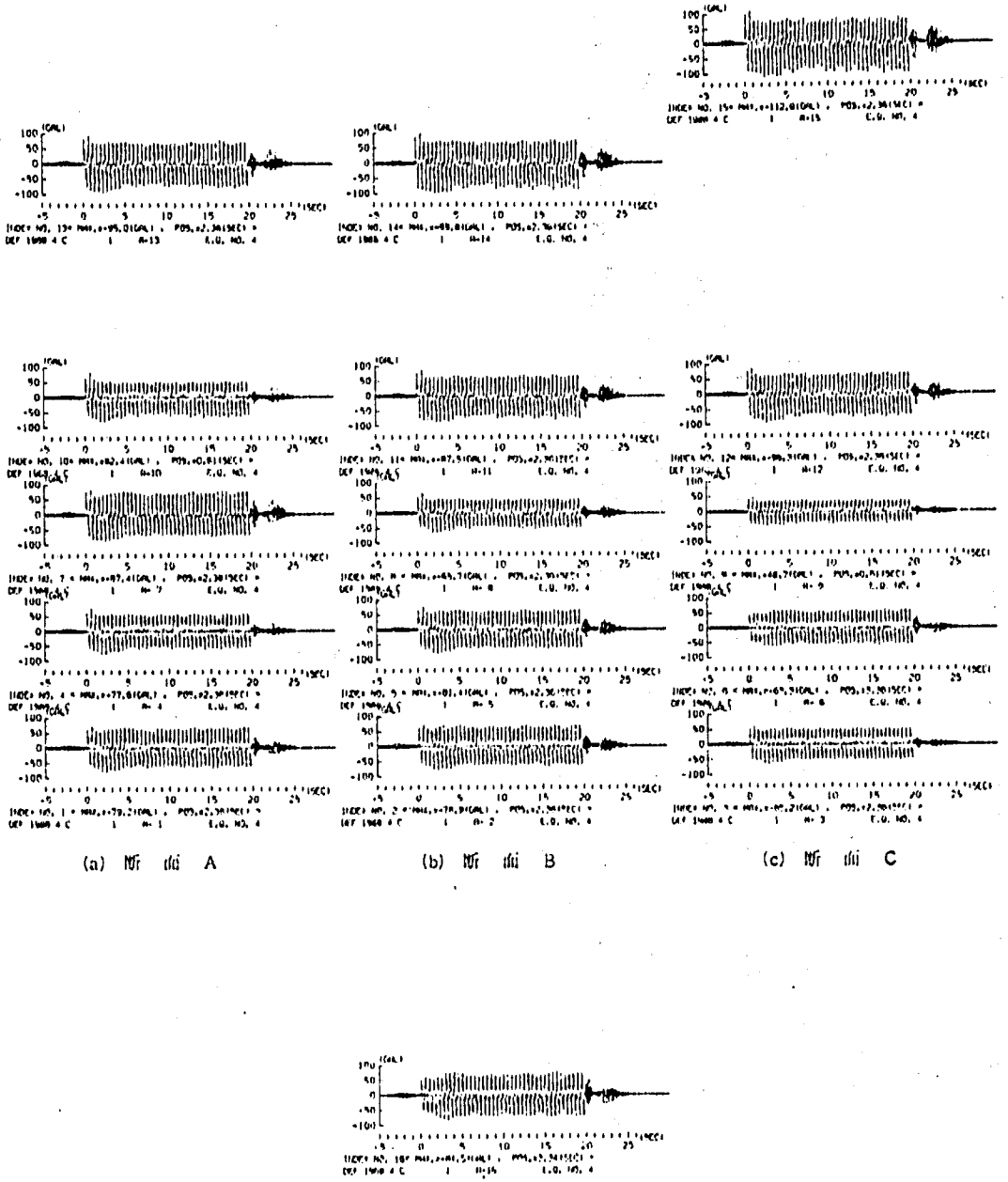
4）測量結果および側壁からの観察結果

加振終了後の地表の測量鋲の測量結果を図8.39にまた図8.40に側壁および地表のスケッチを示す。写真8.22～8.27に加振前後の模型の状況を示す。

模型の長さ方向に斜面下側、中央、斜面上部の３つの部分に大まかにブロック分けをすると、実験4-4では、斜面下側の部分（断面Ａ）は、水平方向の変位は小さくほとんど加振前後の地表の永久的な変位はない。中央部分（断面Ｂ）では不飽和層上部の部分に永久的なせん断ひずみが累積して、結果的に地表に永久変位が生じている。斜面上部（断面Ｃ）では、不飽和層下部に永久的なせん断ひずみが累積して地表に永久変位がもたらされているように見える。実験4-4では、その前の加振段階における加振の結果として地下水位が上昇し、断面Ｂでは地表近くまで飽和層が上昇していること、断面Ｃでも同様に不飽和層下部の一部が水浸して飽和しているために、このような変形を生じたものと考えられる。

８．６　模型－４の挙動のまとめ

厚さ35cm、相対密度38%の飽和した砂層の上に勾配5%の不飽和な斜面の載った模型－４は、入力加速度70galでは、飽和砂層内に間隙水圧比30%程度の間隙水圧が発生したものの、模型地盤全体には永久的な変位や変形は生じなかった。入力加速度100galの加振によって、加振開始後4秒程度で飽和砂層内の間隙水圧比は1.0近くまで上昇し、その後の引き続く加振継続時間中に永久的な変形が累積した。入力加速度150galおよび200galの加振段階ではほぼ加振開始と同時に飽和層内には間隙水圧比1.0に近い間隙水圧が発生し加振継続時間中に変形が生じた。



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－2 加速度記録の時刻歴図（実験４－１）

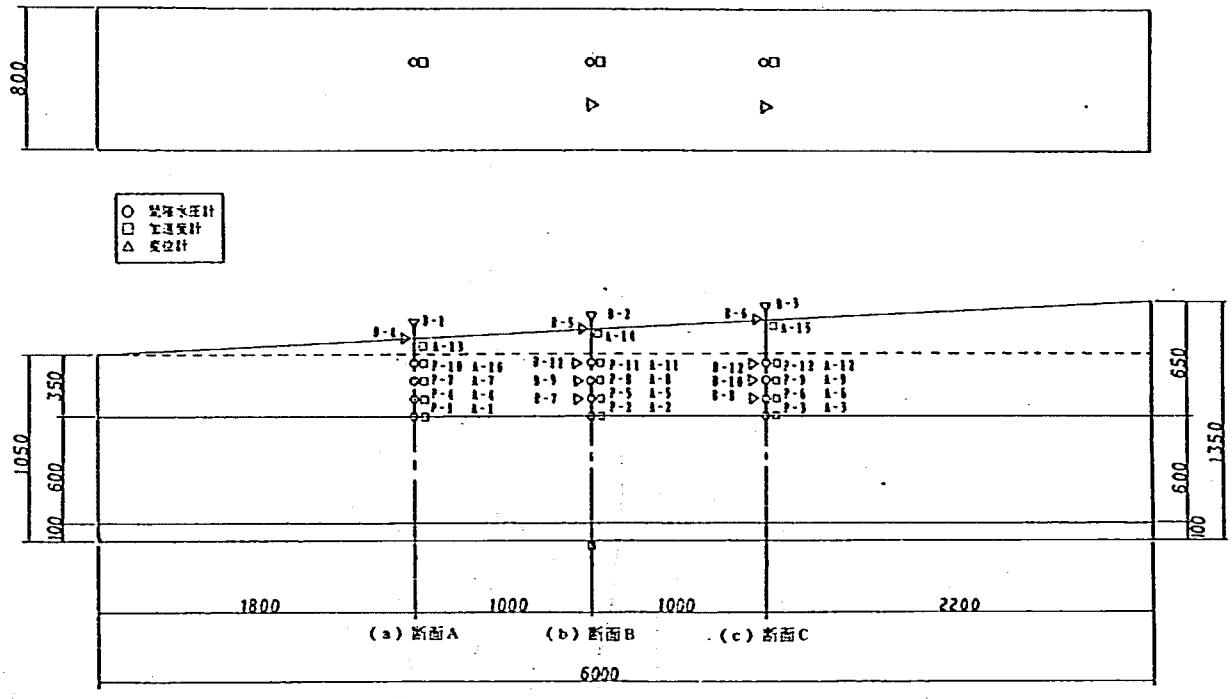
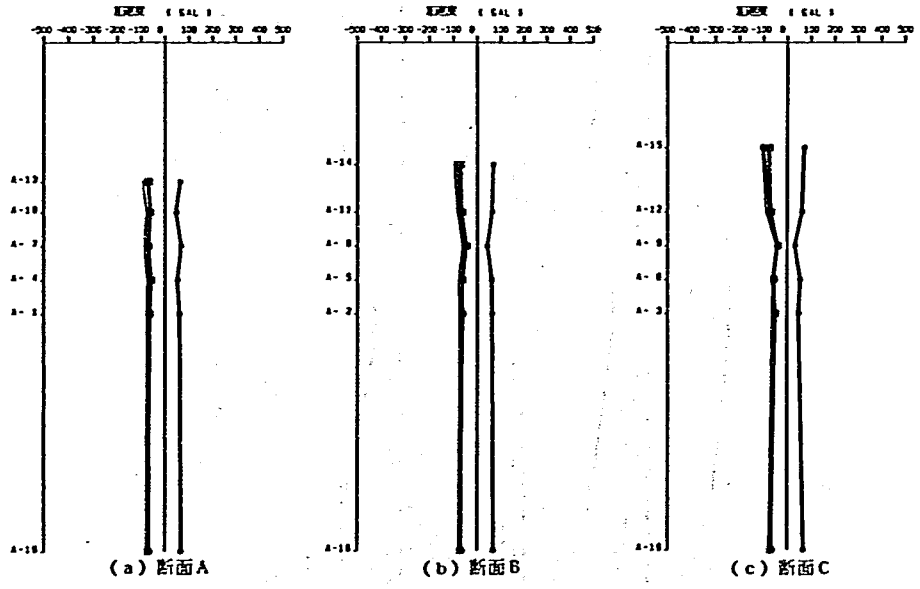


図8－1　模型－4の形状および計測器の配置状況



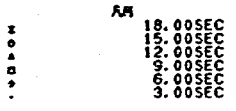
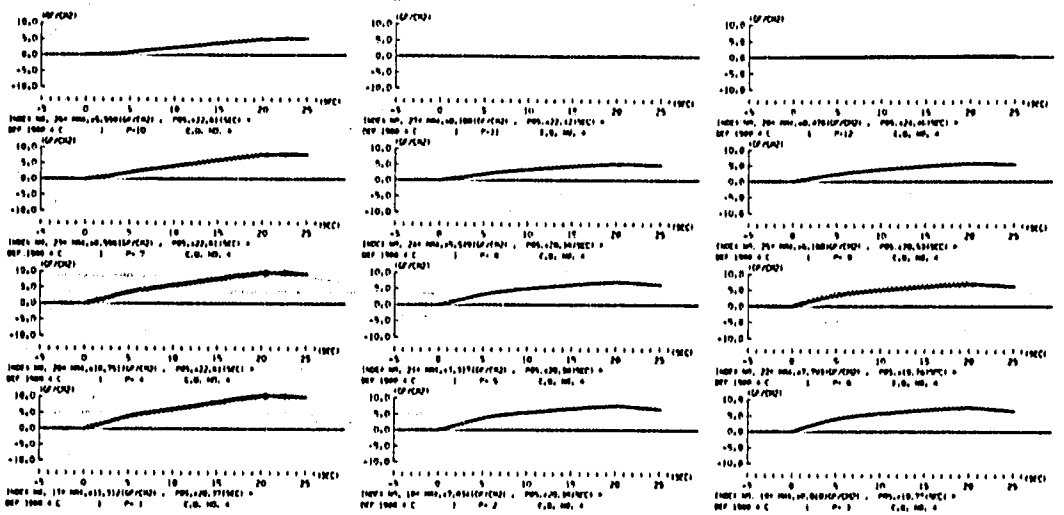


図8－3　加速度の鉛直分布図（実験4－1）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－4 間隙水圧記録の時刻歴図（実験4－1）

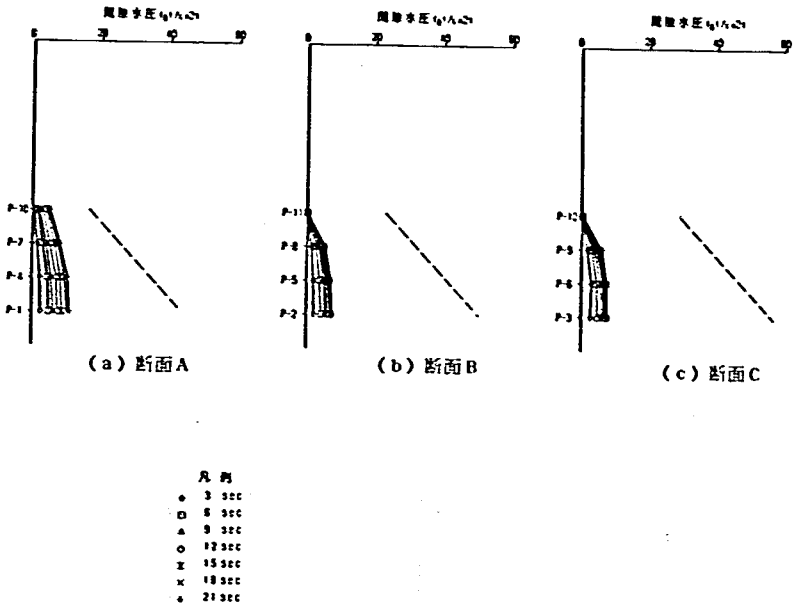


図8－5　間隙水圧の鉛直分布図（実験4－1）

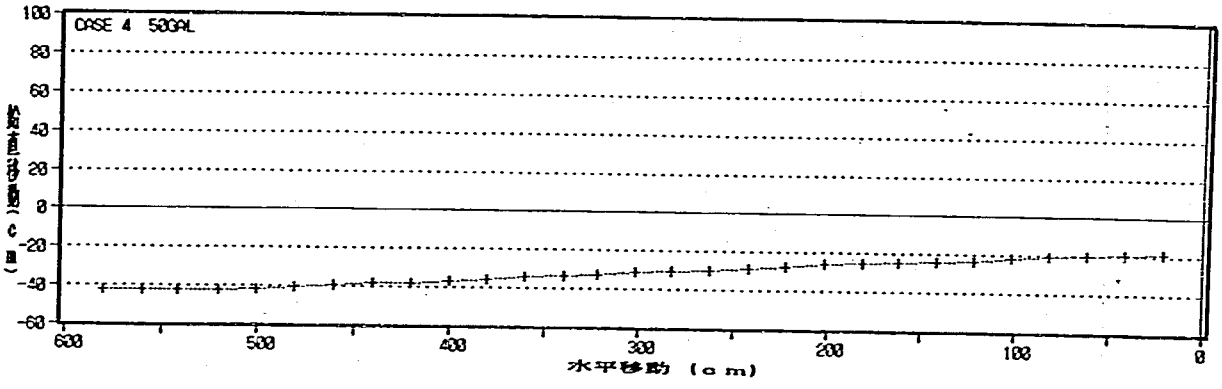
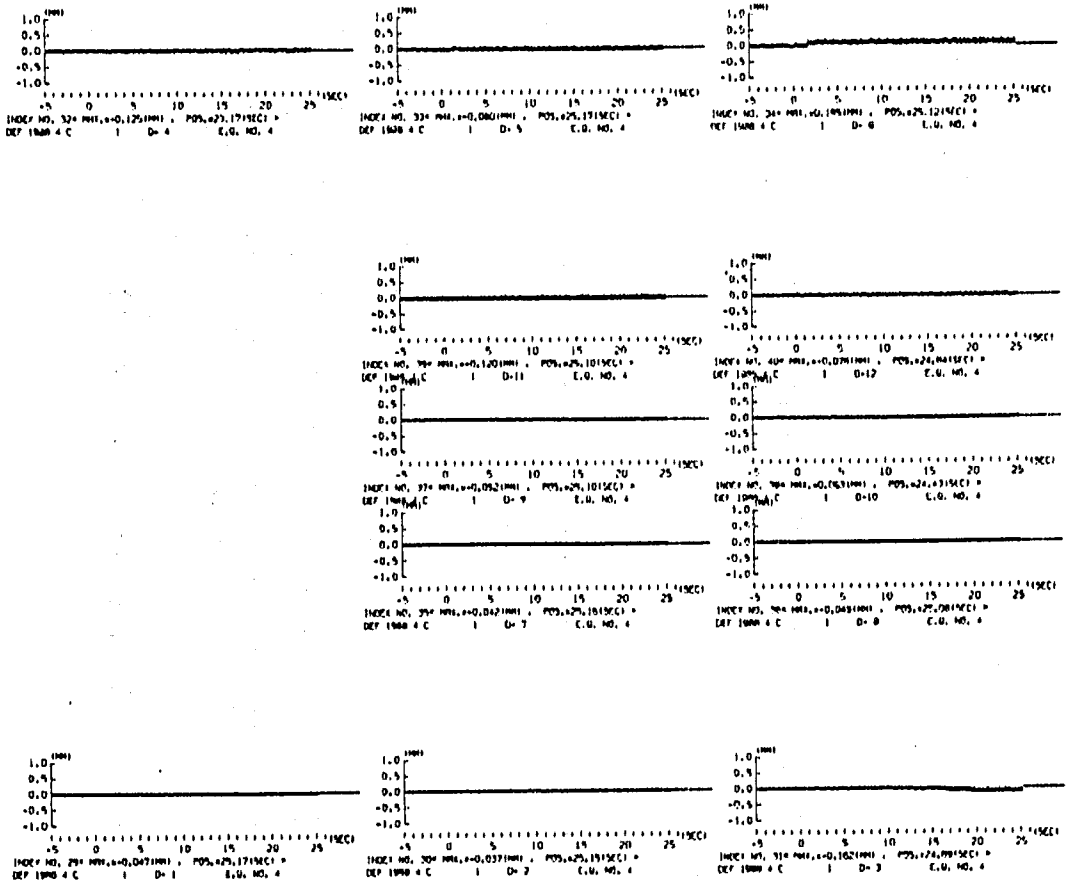


図8－7　地表面変位測定結果図（実験4－1）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－6 変位計記録の時刻歴図（実験４－１）

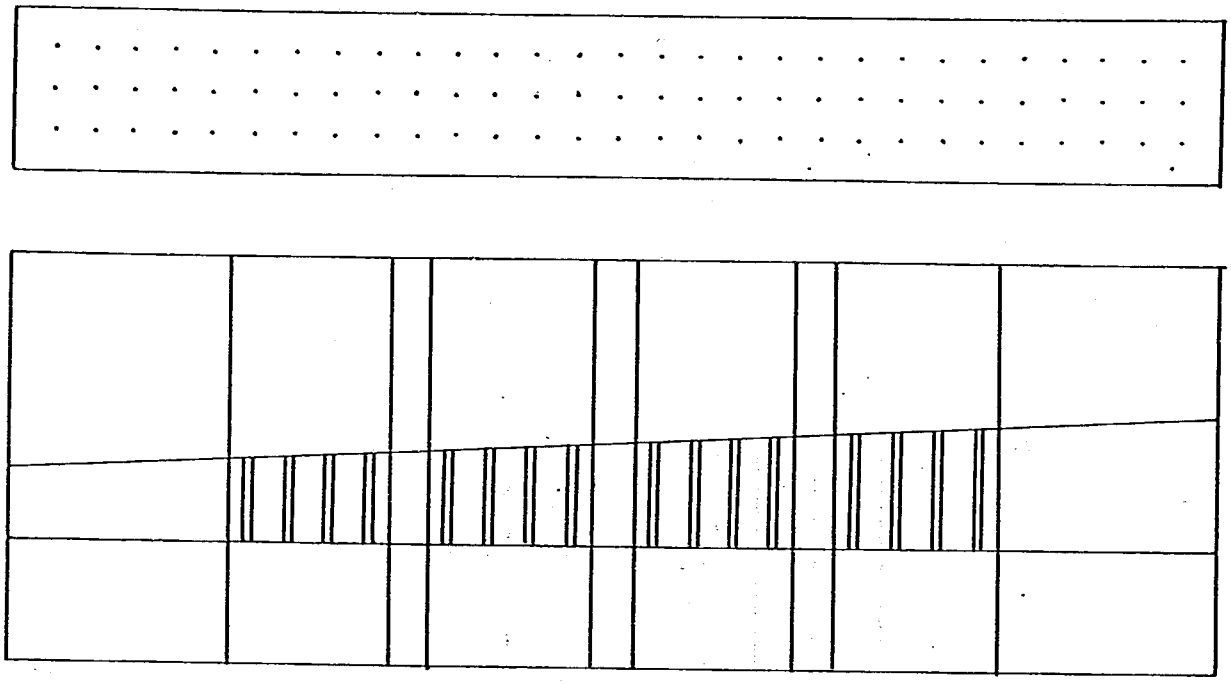
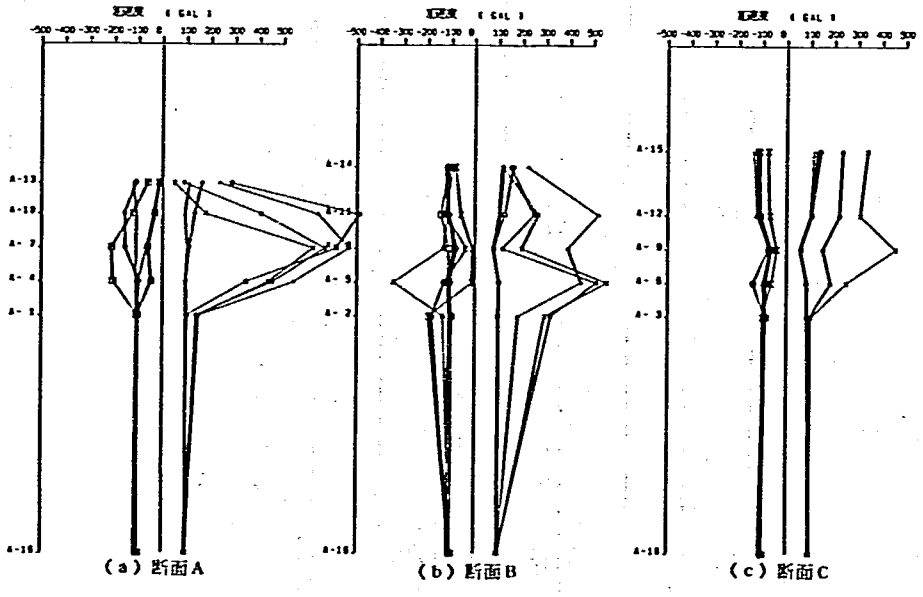


図８－８　側面および上面からのスケッチ図（実験４－１）



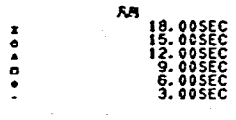
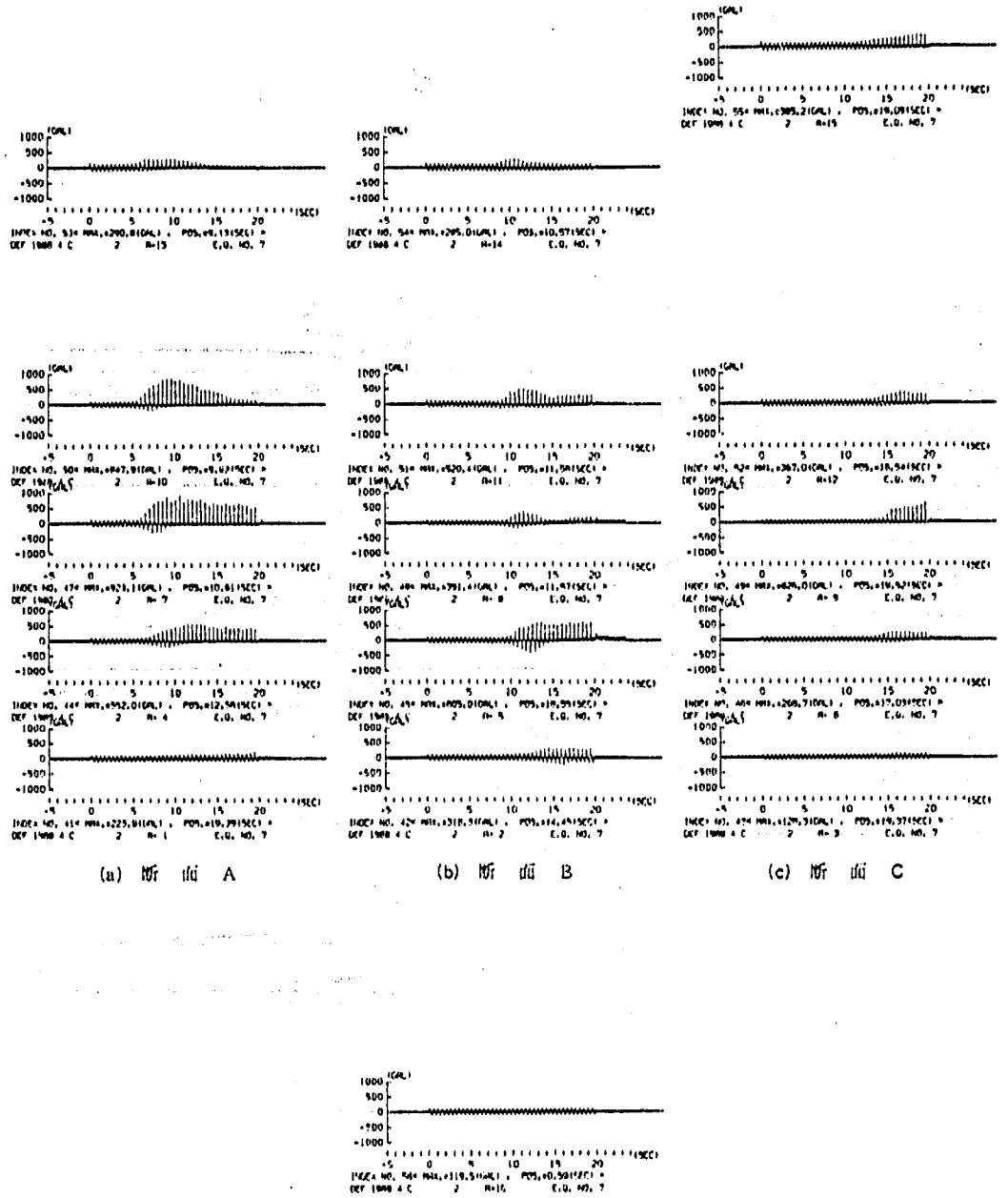
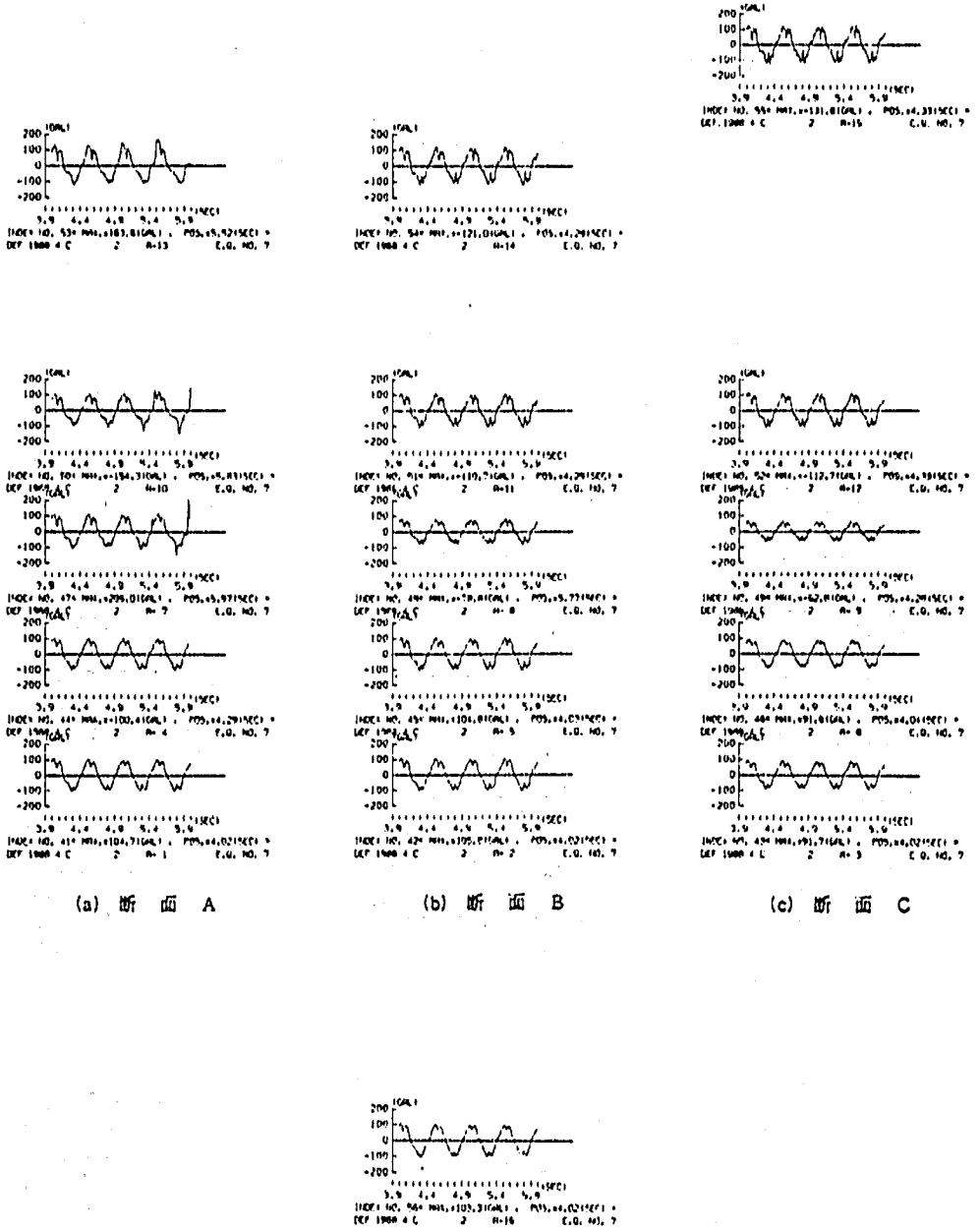


図８－10　加速度の鉛直分布図（実験４－２）



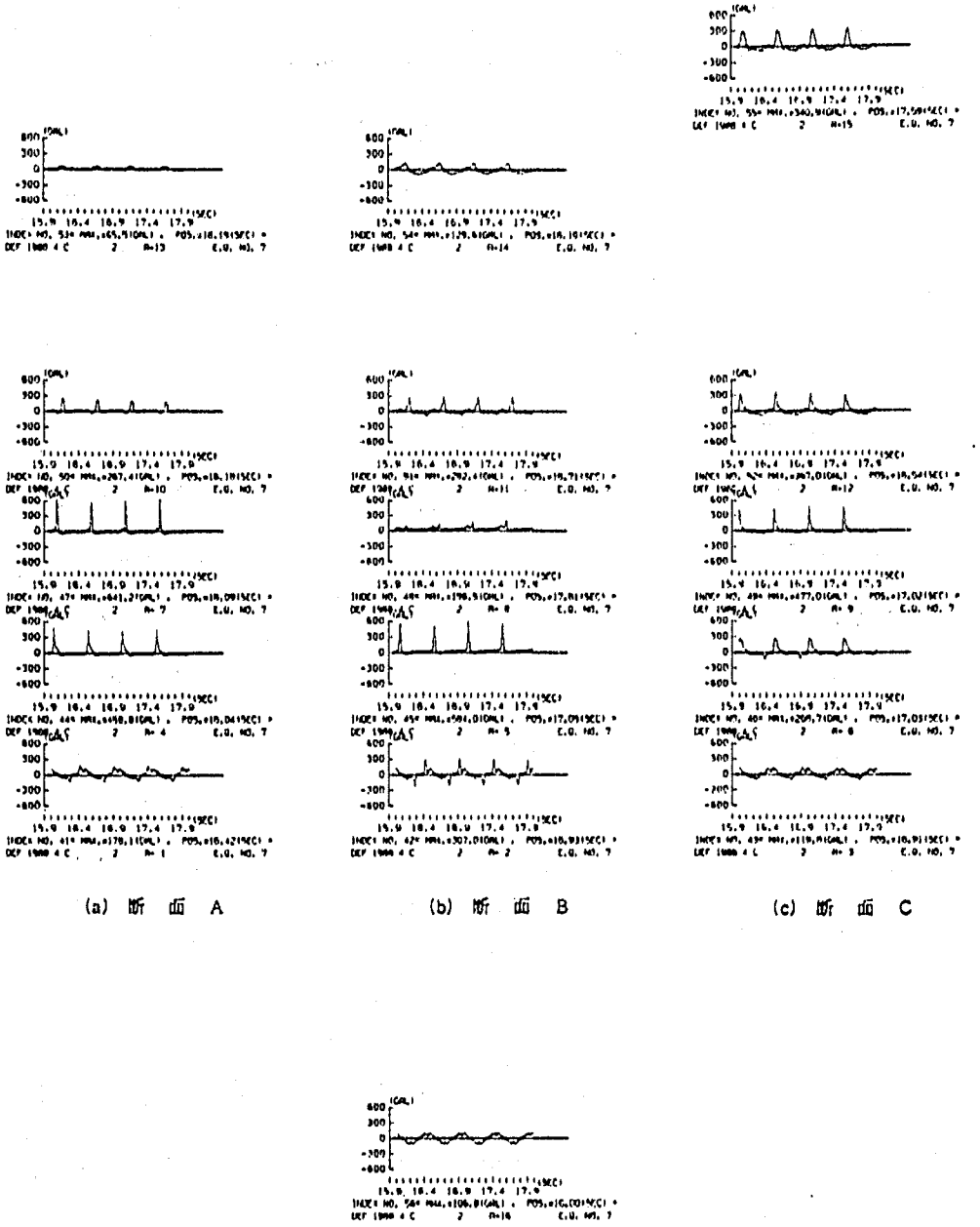
(a) 断面 A　　(b) 断面 B　　(c) 断面 C

図8－9 加速度記録の時刻歴図（実験４－２）



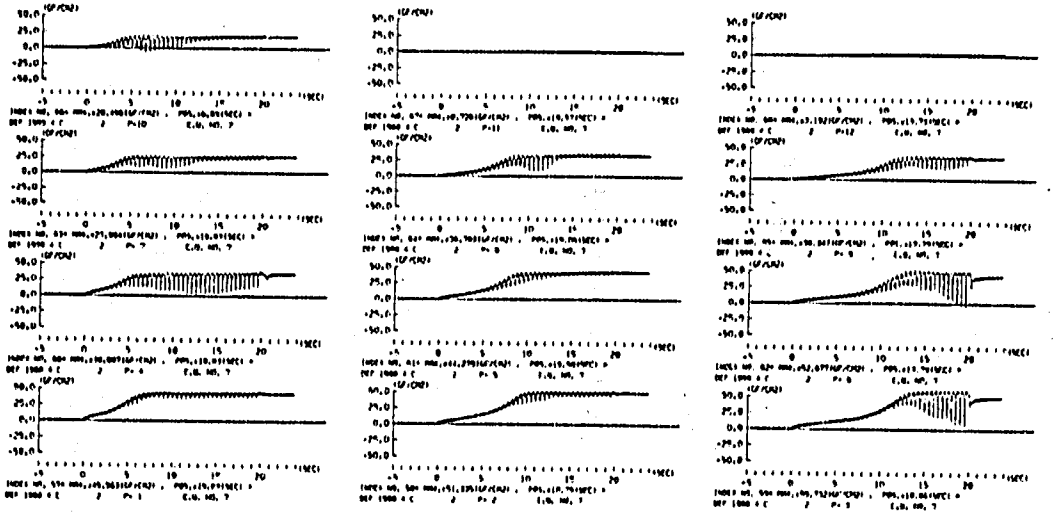
(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－11 加速度記録の時刻歴図（実験4－2，4～6秒）



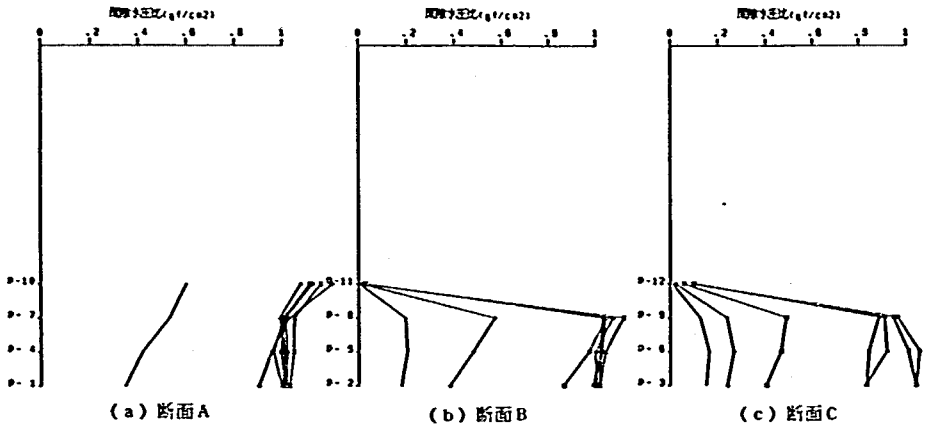
(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－12 加速度記録の時刻歴図（実験4－3, 16～18秒）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－13 間隙水圧記録の時刻歴図（実験４－２）



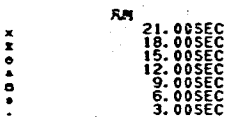
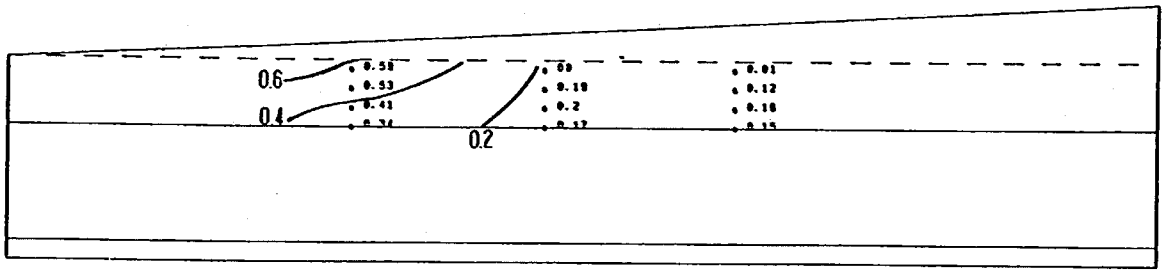
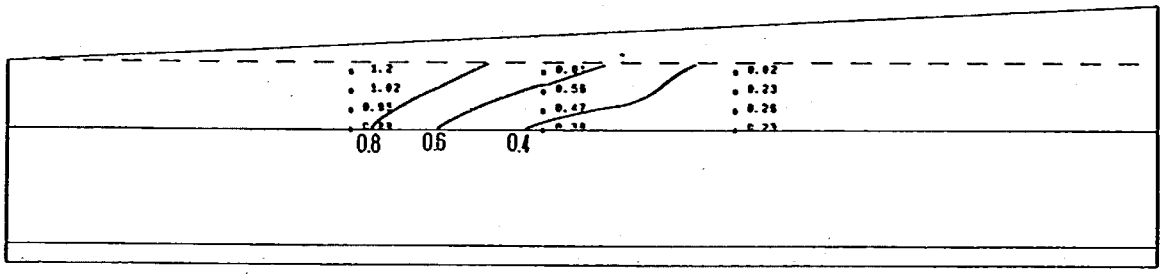


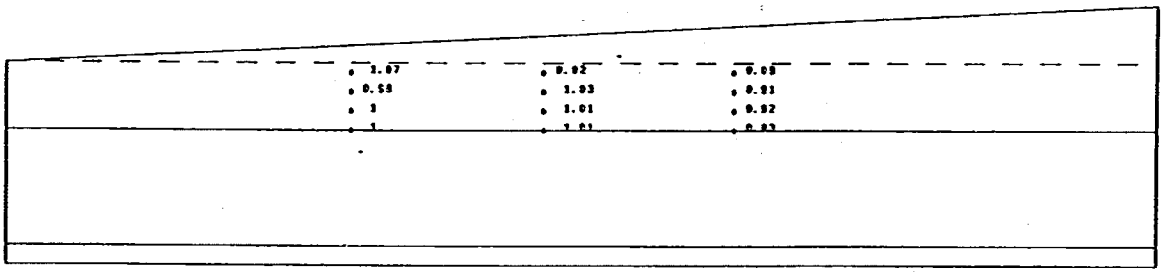
図8－14　間隙水圧比の鉛直分布図（実験4－2）



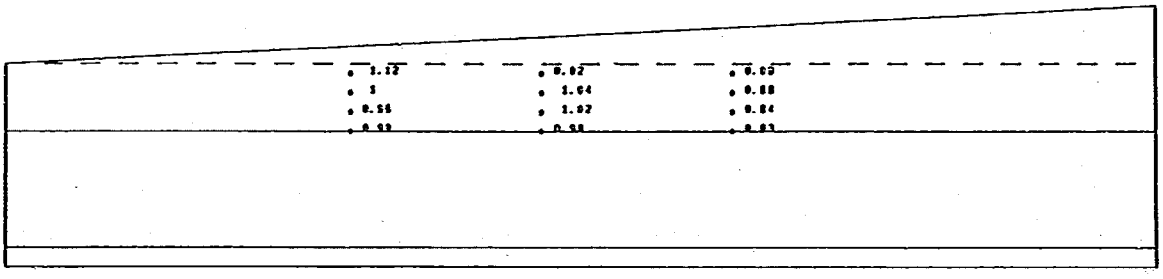
(a) 加振開始後 3 秒



(b) 加振開始後 6 秒

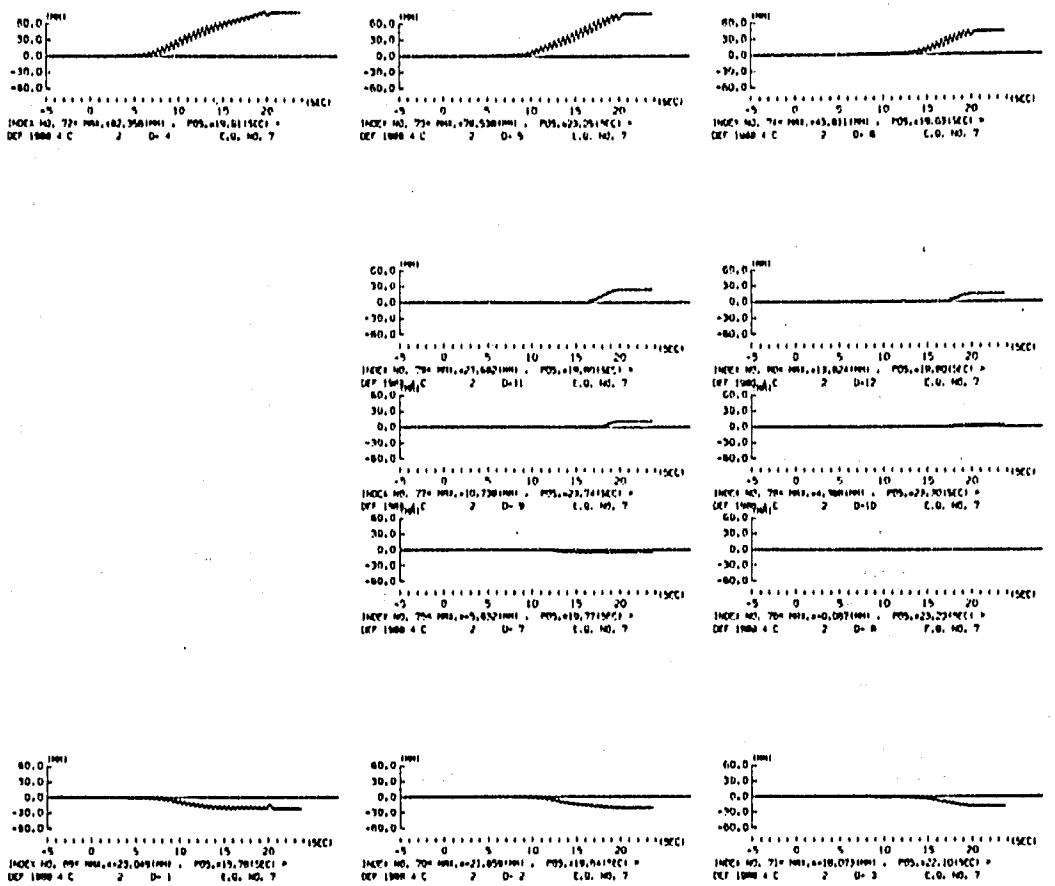


(c) 加振開始後12秒



(d) 加振開始後21秒

図 8 － 16　間隙水圧比のコンター図（実験 4 － 2 ）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－17 変位記録の時刻歴図（実験４－２）

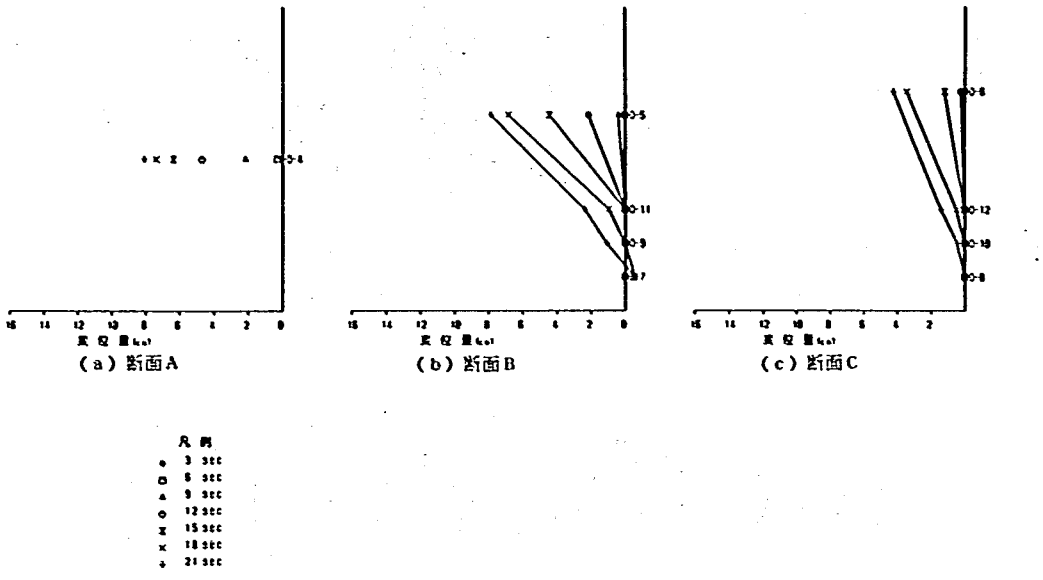


図8－19　水平変位の鉛直分布図（実験4－2）

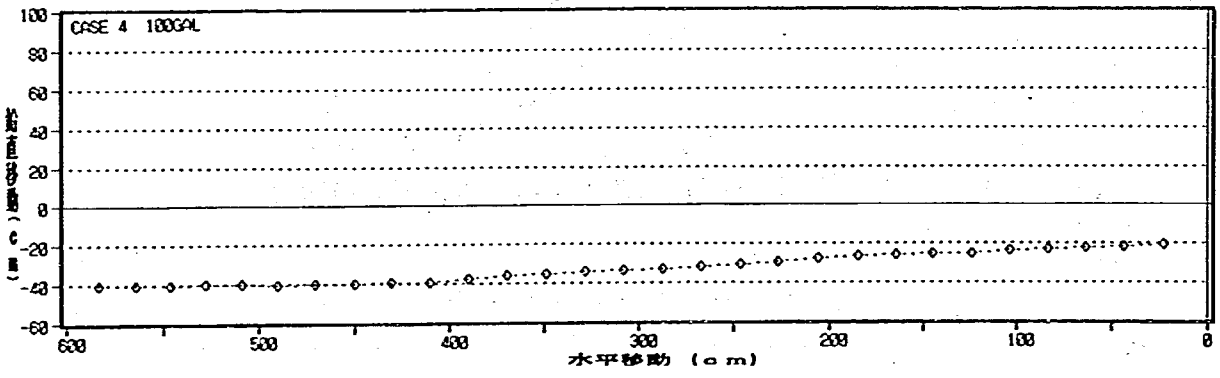


図8－20　地表面変位測定結果図（実験4－2）

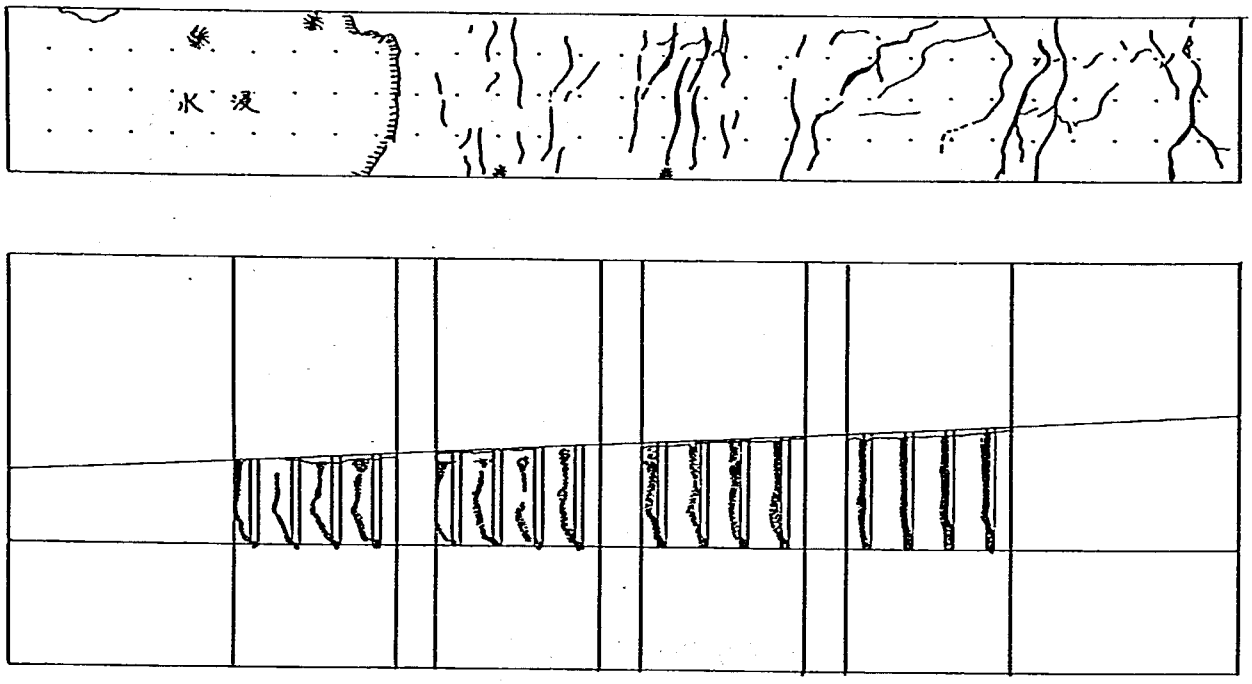


図8－21　側面および上面からのスケッチ図（実験4－2）

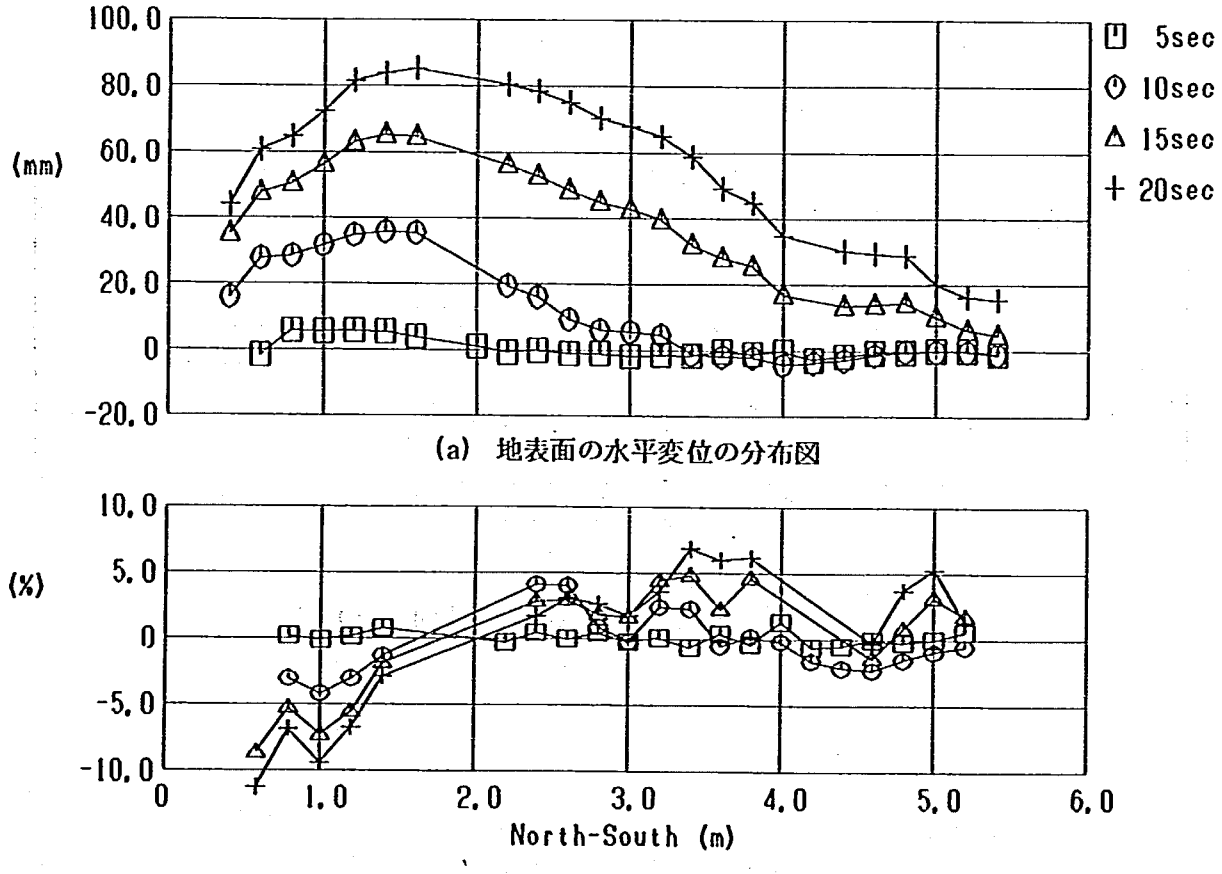
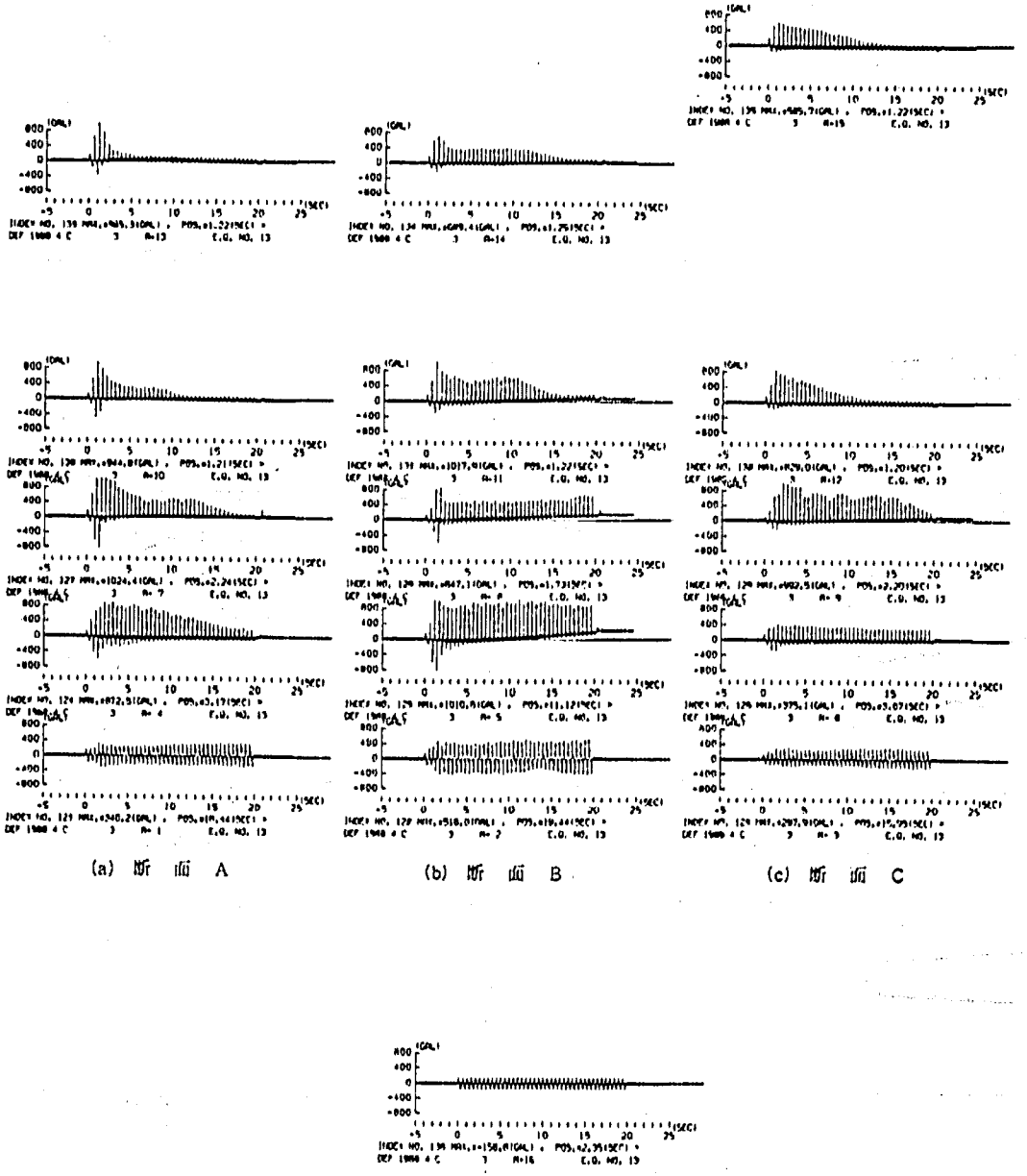


図8－22　測量鋲の計測から読みとった地表面の水平変位，主ひずみの分布（実験4－2）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－24 加速度記録の時刻歴図（実験４－３）

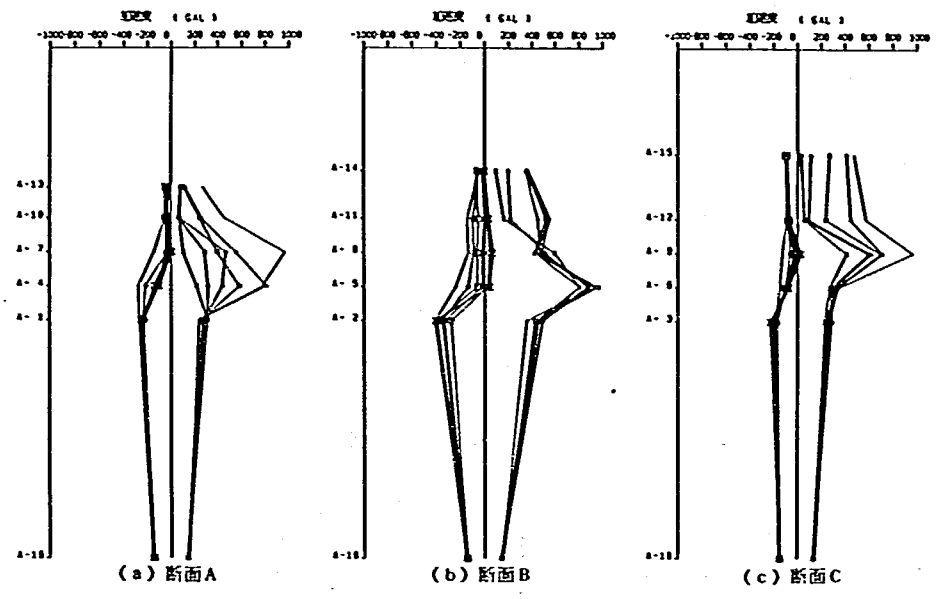


図8－25　加速度の鉛直分布図（実験4－3）

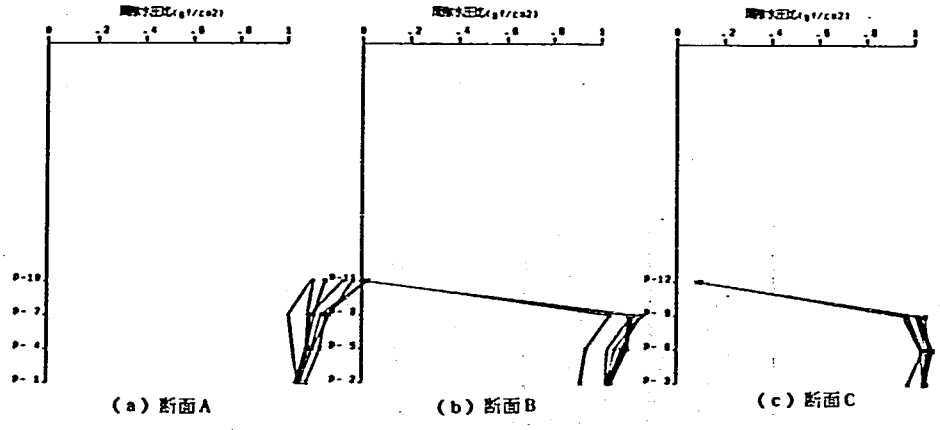
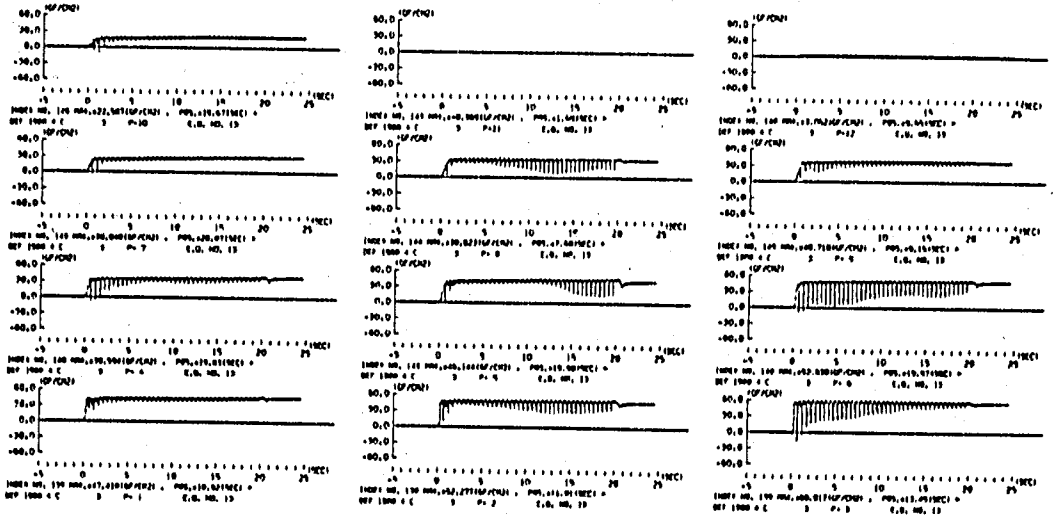
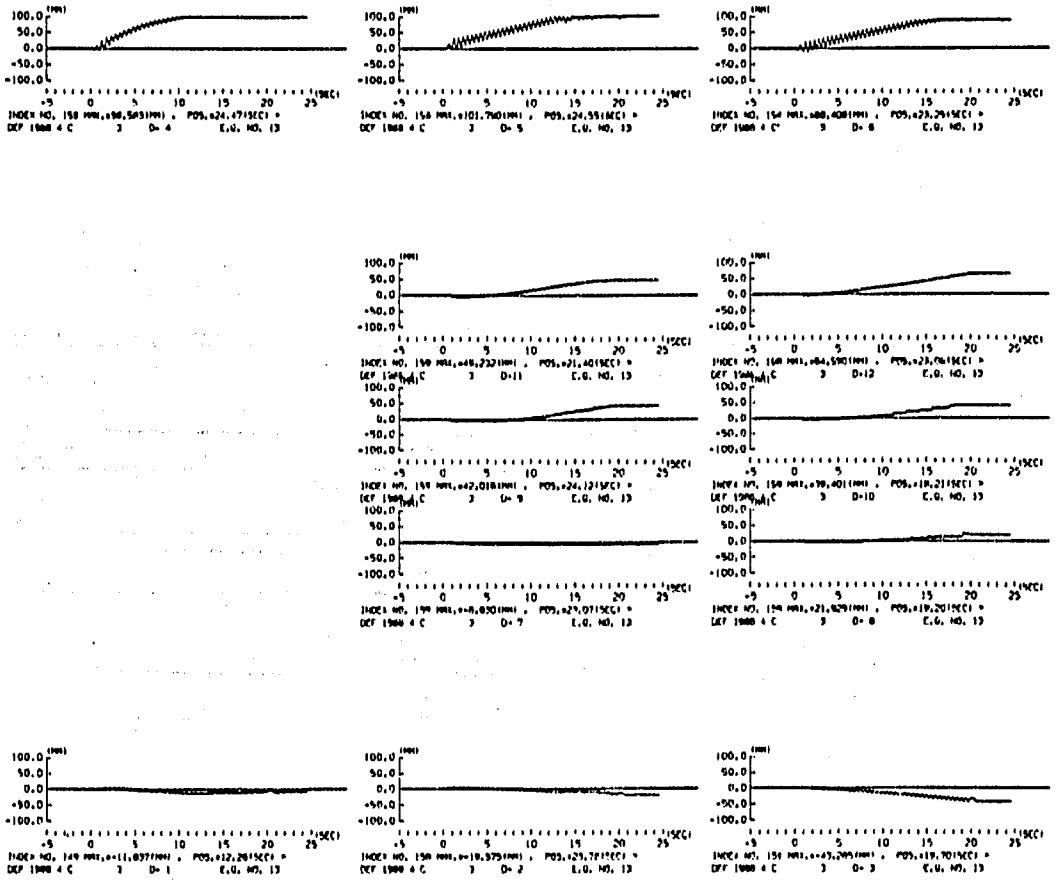


図8－27　間隙水圧比の鉛直分布図（実験4－3）



(a) 断面 A　　(b) 断面 B　　(c) 断面 C

図8－26 間隙水圧記録の時刻歴図（実験４－３）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－28 変位計記録の時刻歴図（実験４－３）

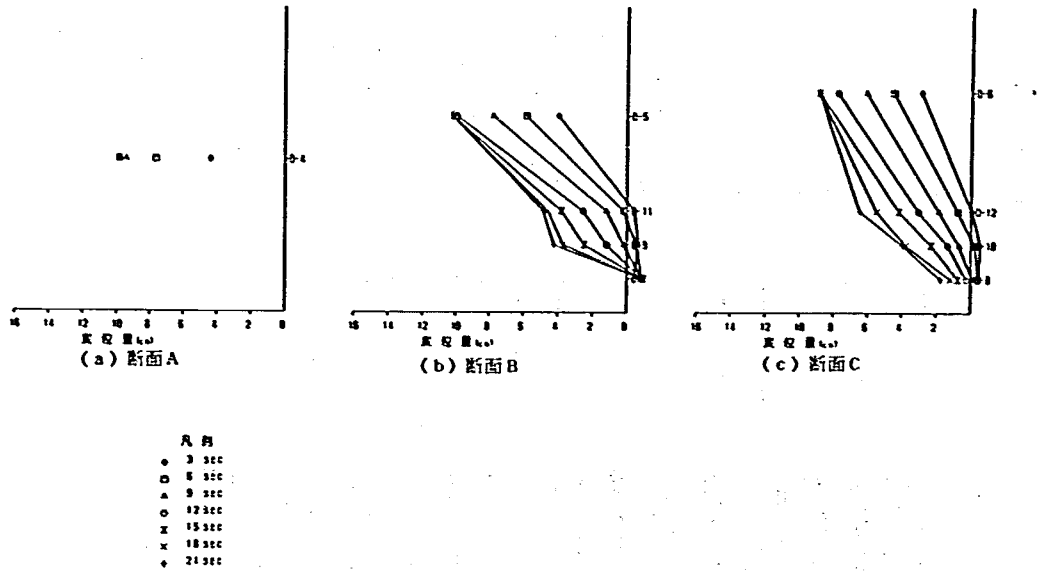


図8－29　水平変位の鉛直分布図（実験4－3）

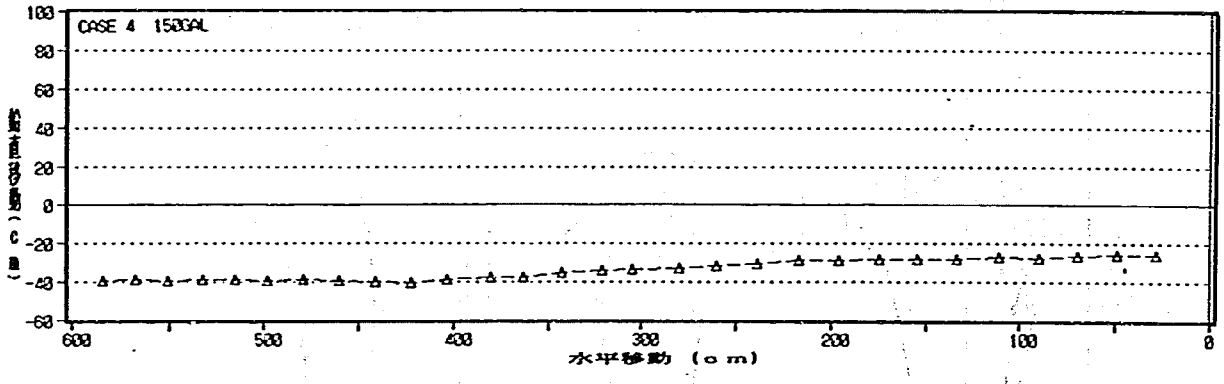


図8－30　地表面変位測定結果図（実験4－3）

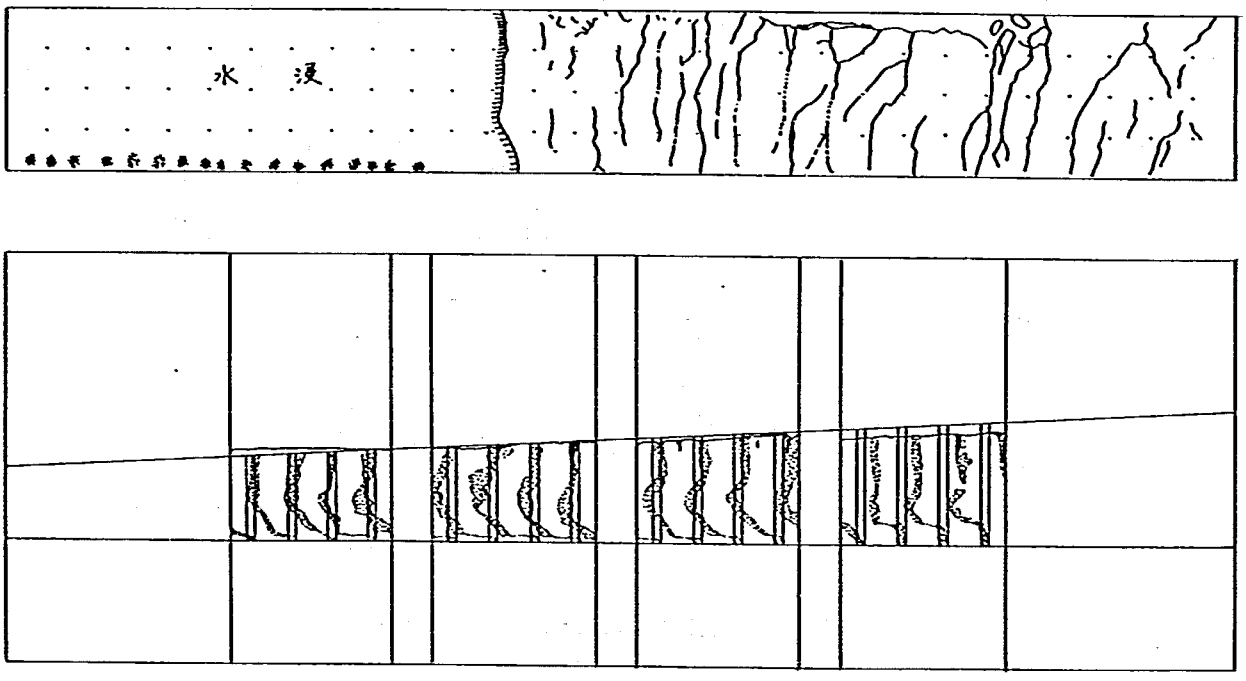
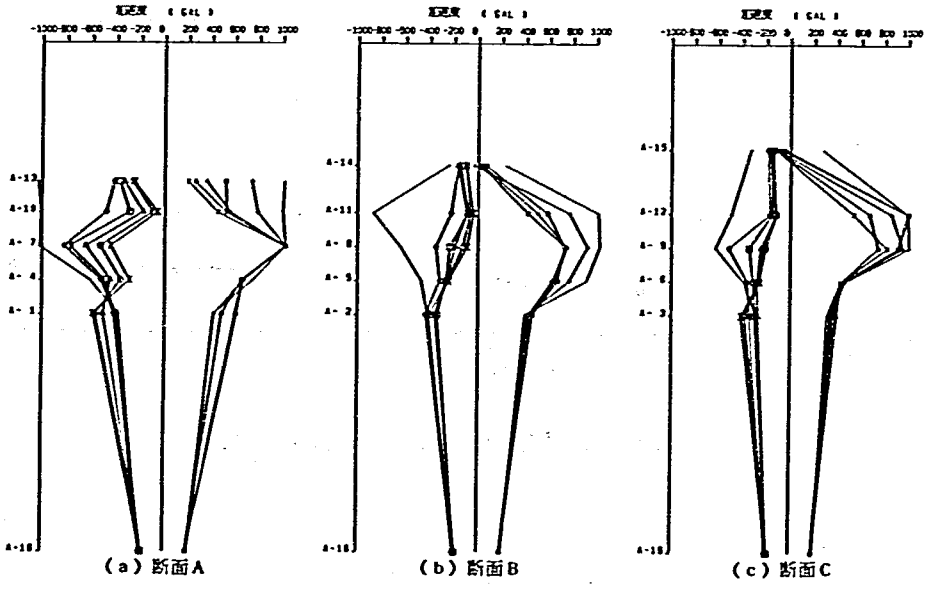


図8－31　側面および上面からのスケッチ図（実験4－3）



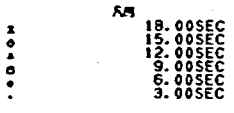
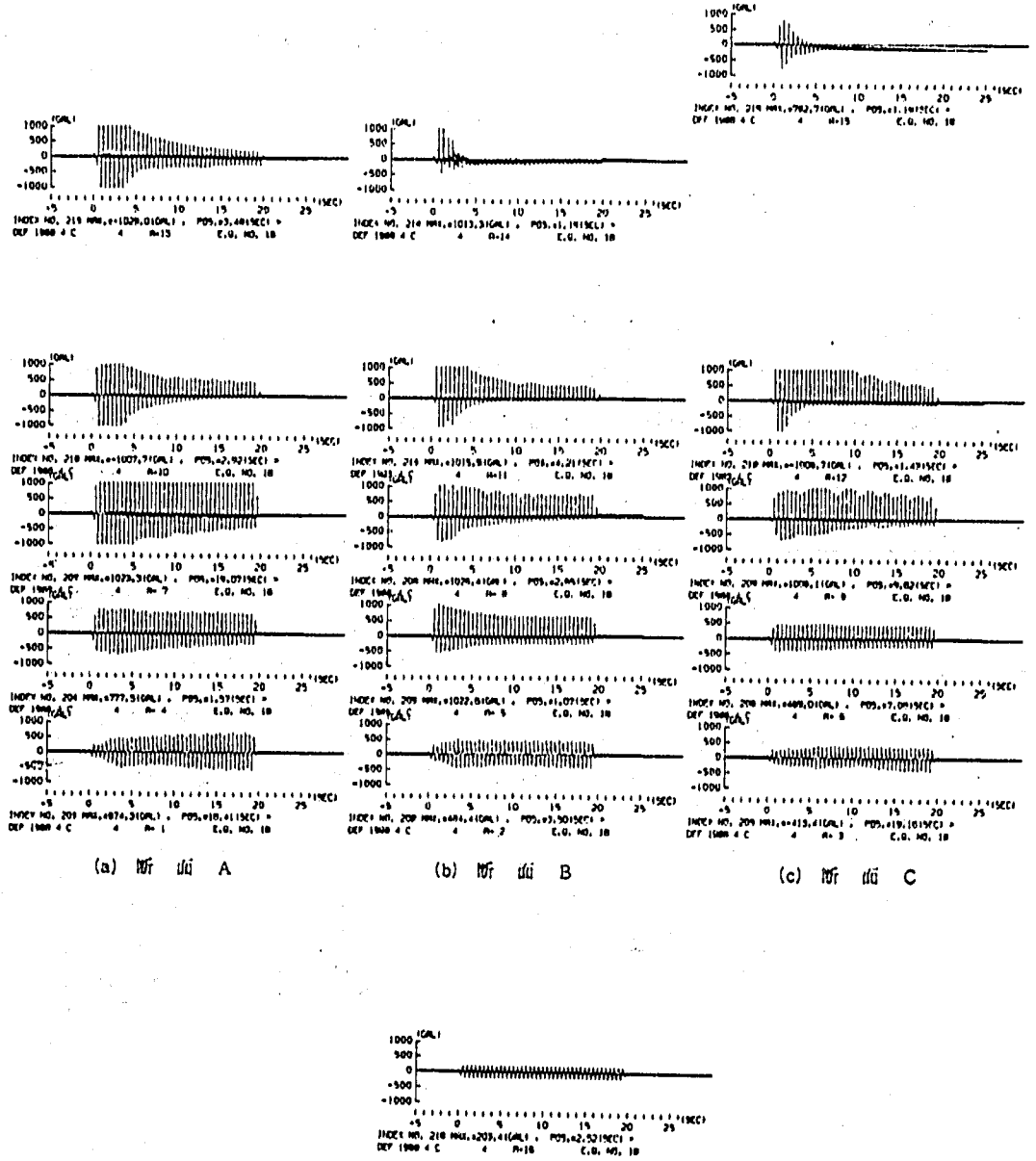


図8－33　加速度の鉛直分布図（実験4－4）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－32 加速度記録の時刻歴図（実験４－４）

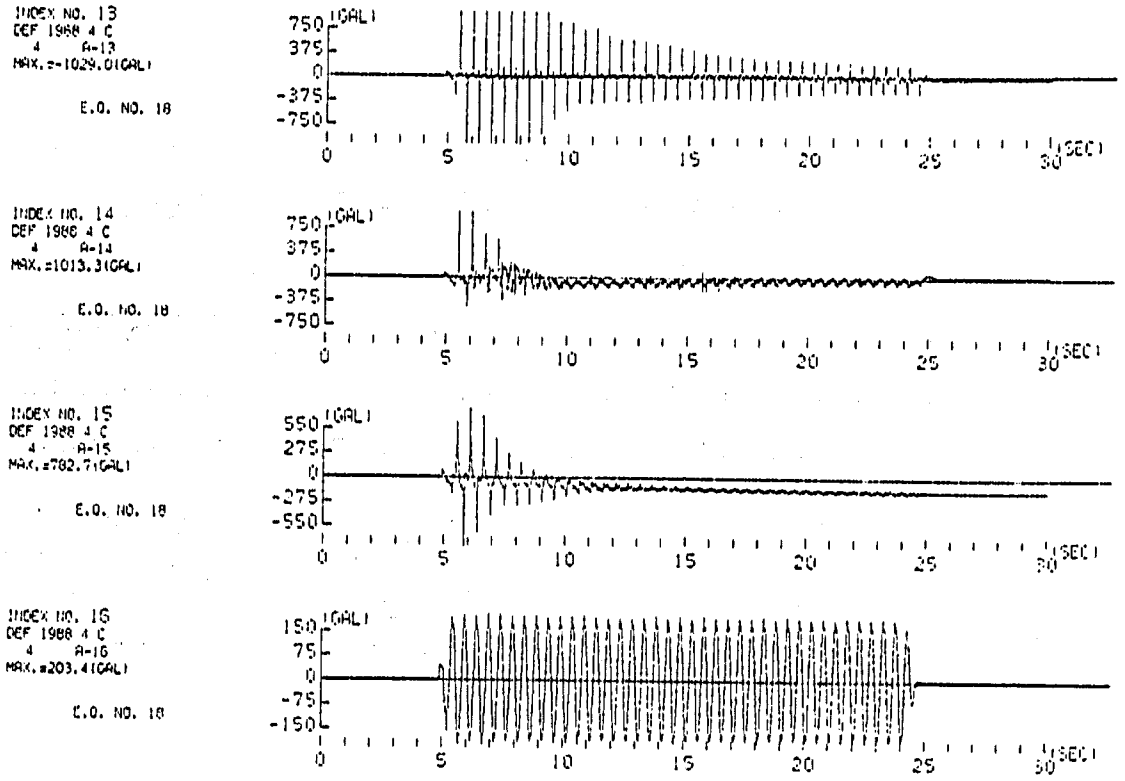
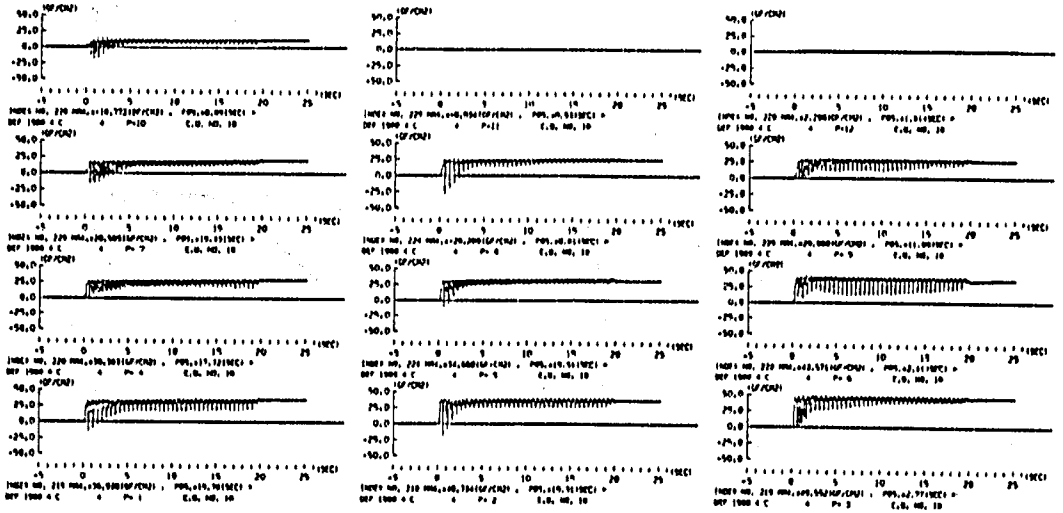


図８－34　地表面および振動台の加速度記録の時刻歴図（実験４－４）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－35 間隙水圧記録の時刻歴図（実験4－4）

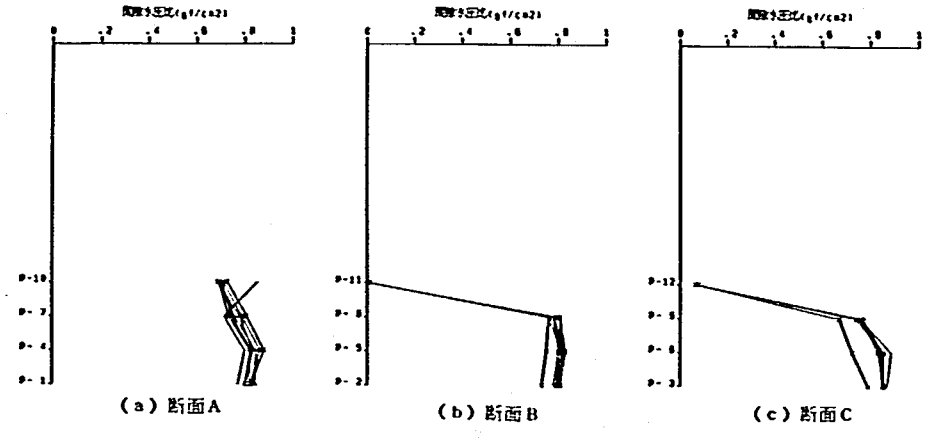


図8－36　間隙水圧比の鉛直分布図（実験4－4）

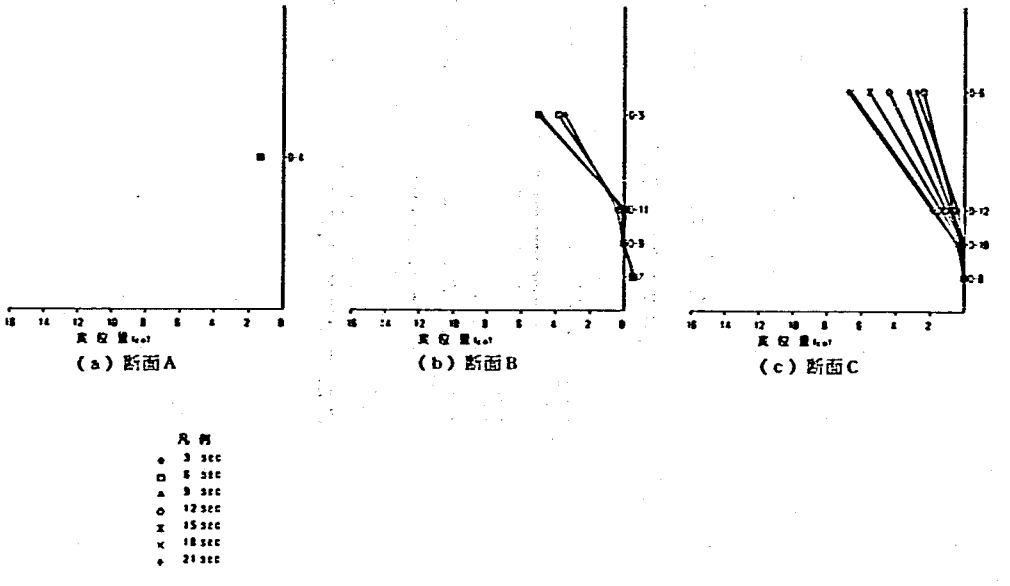
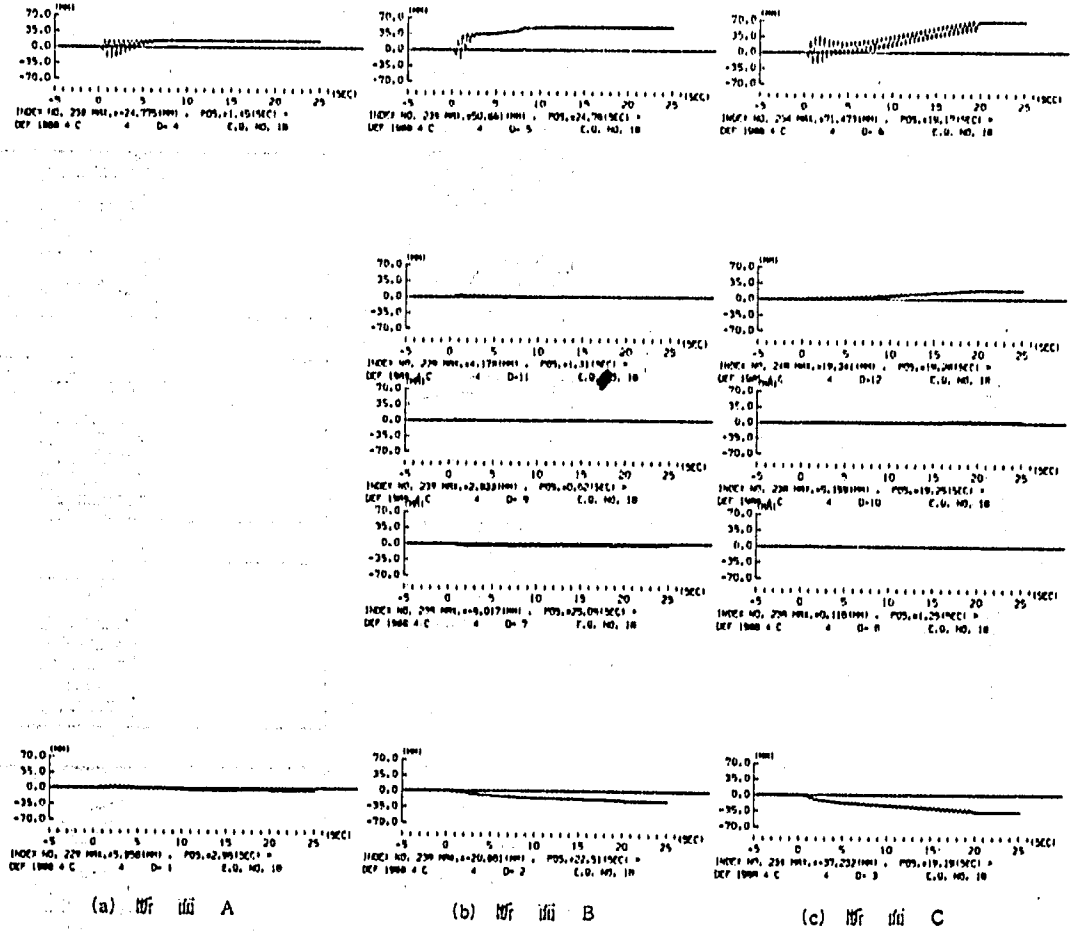


図8－38　水平変位の鉛直分布図（実験4－4）



(a) 断 面 A　　(b) 断 面 B　　(c) 断 面 C

図8－37 変位記録の時刻歴図（実験４－４）

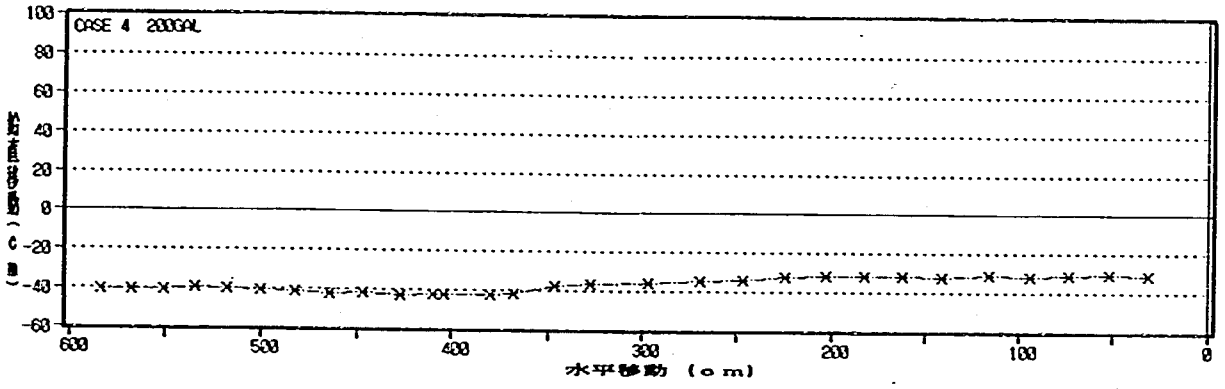


図８－39　地表面変位測定結果図（実験４－４）

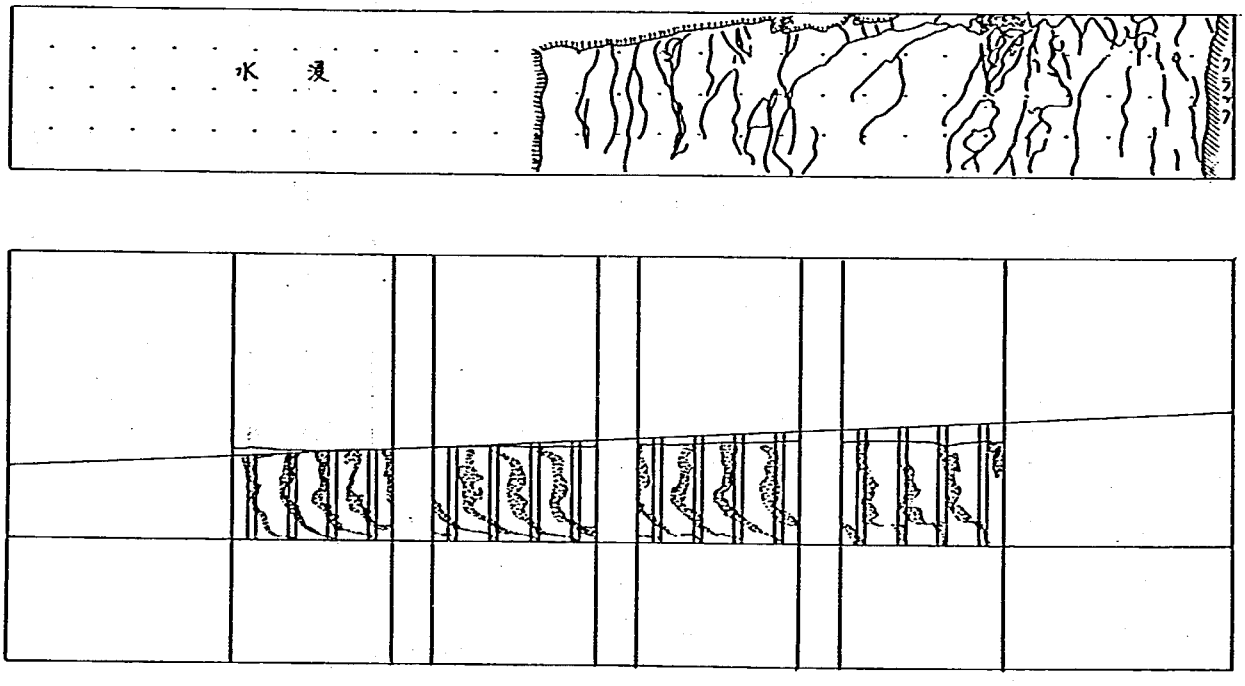


図８－40　側面および上面からのスケッチ図（実験４－４）

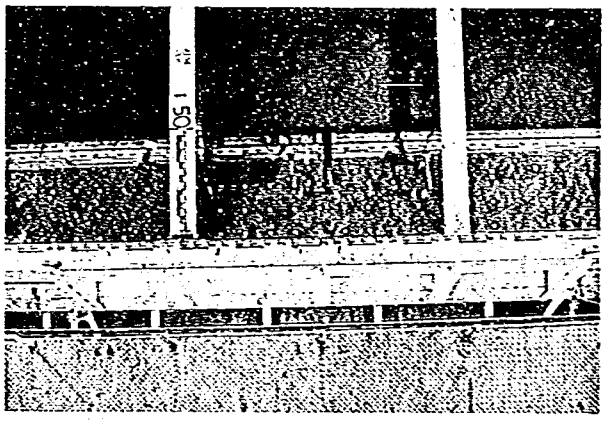


写真　8－1　加振開始時の模型地盤表面
（実験４－１，０sec）

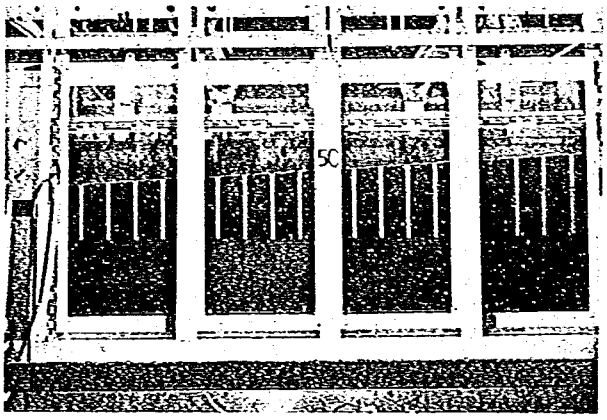


写真　8－2　加振開始時の模型地盤側面
（実験４－１，０sec）

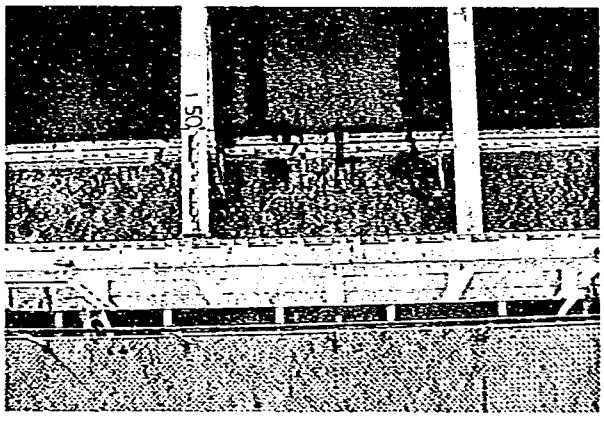


写真　8－3　加振後の模型地盤表面
（実験４－１，20sec）

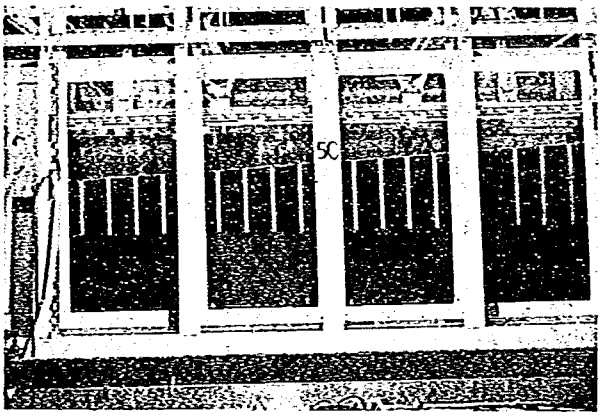


写真　8－4　加振後の模型地盤側面
（実験４－１，20sec）

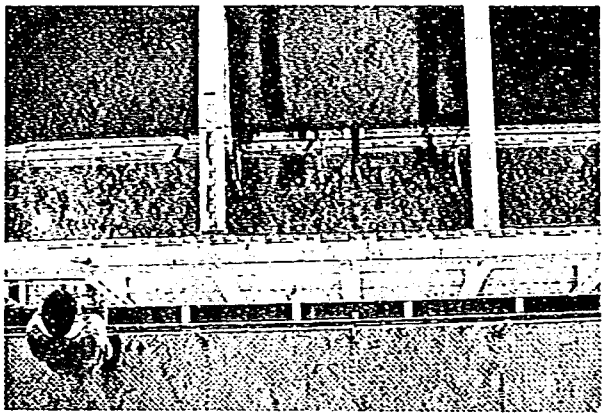


写真　8－5　加振開始時の模型地盤表面
（実験４－２，０sec）

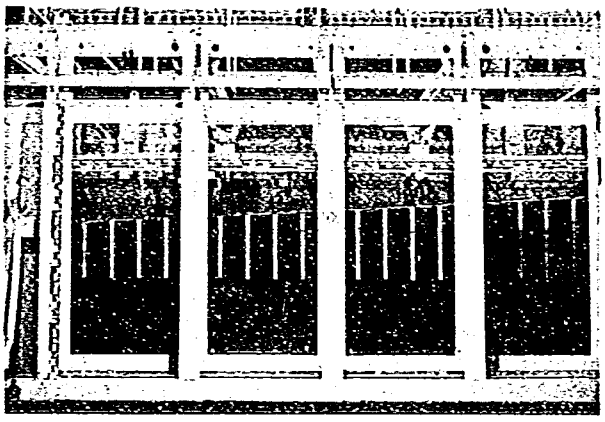


写真　8－6　加振開始時の模型地盤側面
（実験４－２，０sec）

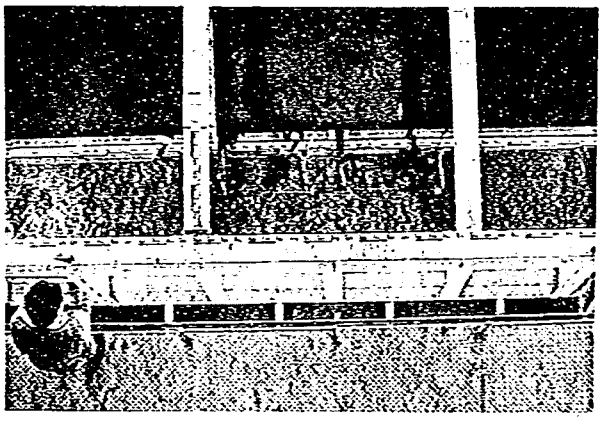


写真　8－7　加振開始５秒の模型地盤表面
（実験４－２，５sec）

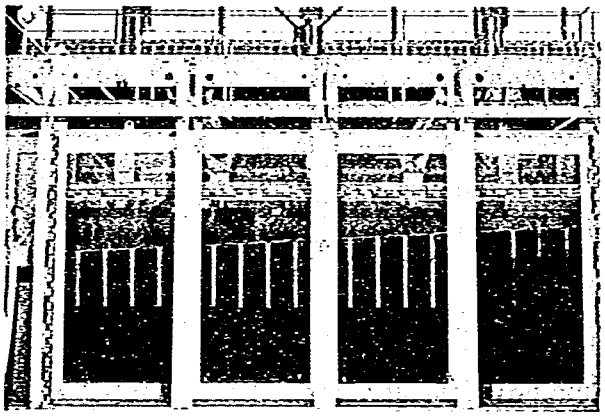


写真　8－8　加振開始５秒の模型地盤側面
（実験４－２，５sec）

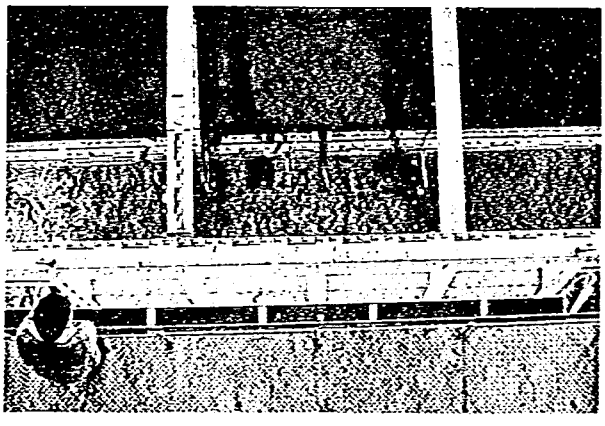


写真　8－9　加振開始10秒の模型地盤表面
（実験４－２，10sec）

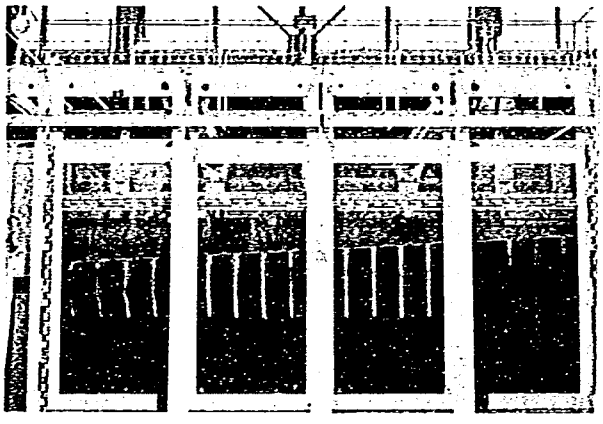


写真　8－10　加振開始10秒の模型地盤側面
（実験４－２，10sec）

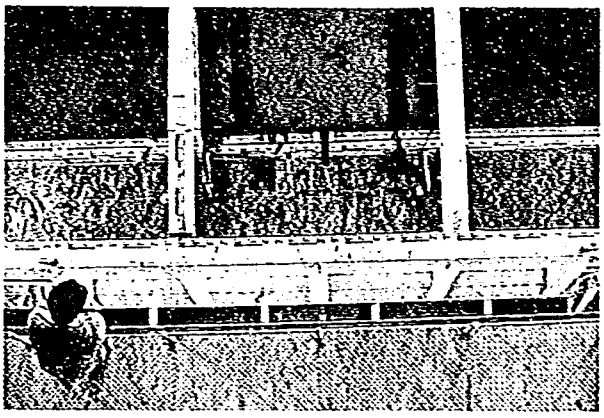


写真　8－11　加振開始15秒の模型地盤表面
(実験４－２，15sec)

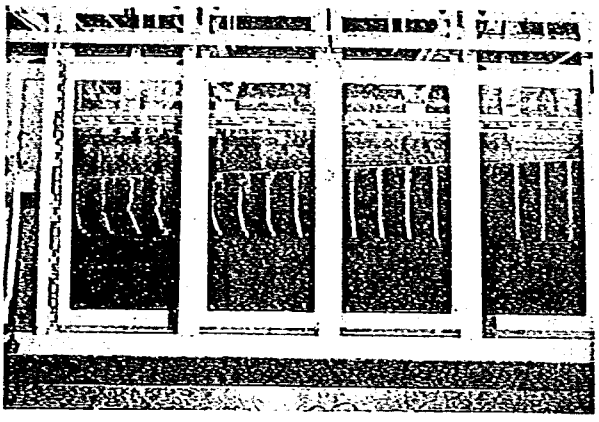


写真　8－12　加振開始15秒の模型地盤側面
(実験４－２，15sec)

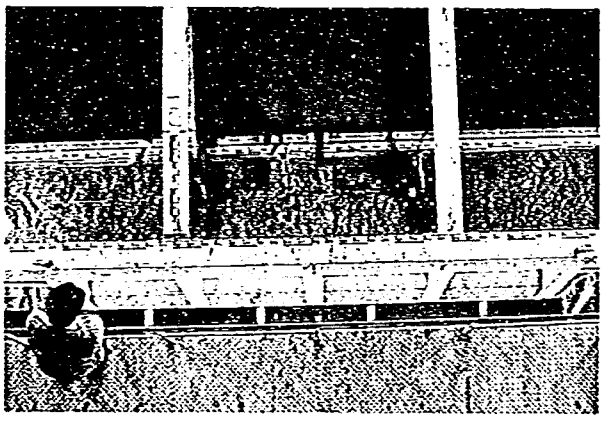


写真　8－13　加振後の模型地盤表面
(実験４－２，20sec)

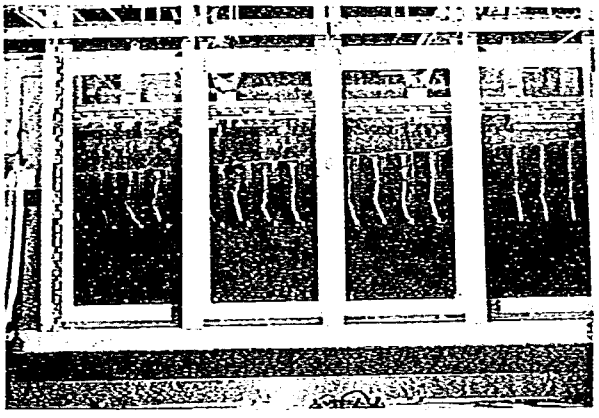


写真　8－14　加振後の模型地盤側面
(実験４－２，20sec)

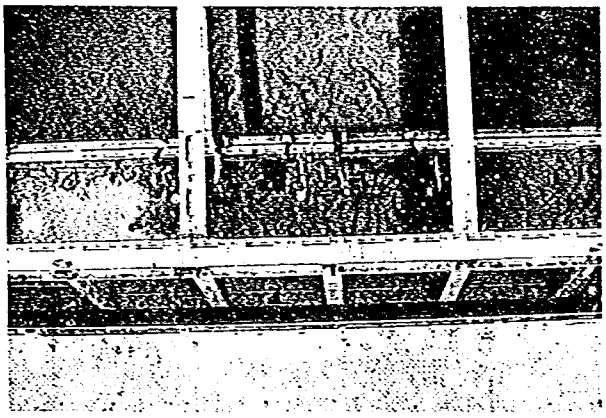


写真　8－16　加振開始時の模型地盤表面
（実験４－３，０sec）

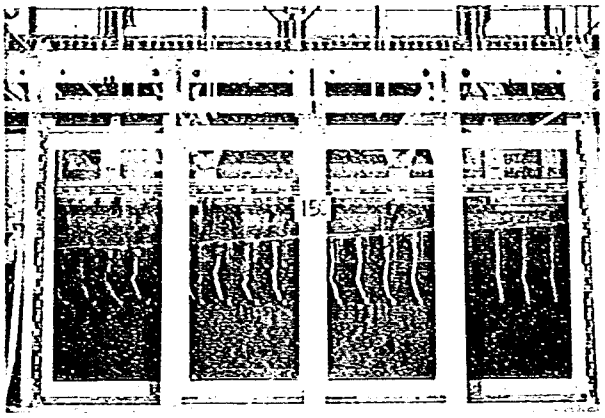


写真　8－17　加振開始時の模型地盤側面
（実験４－３，０sec）

欠　損

写真　8－18　加振開始９秒の模型地盤表面
（実験４－３，９sec）

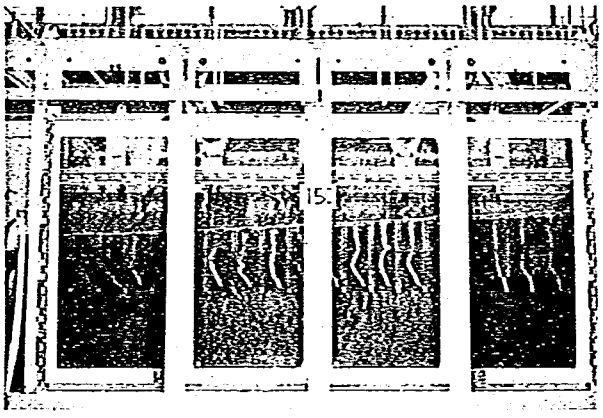


写真　8－19　加振開始９秒の模型地盤側面
（実験４－３，９sec）

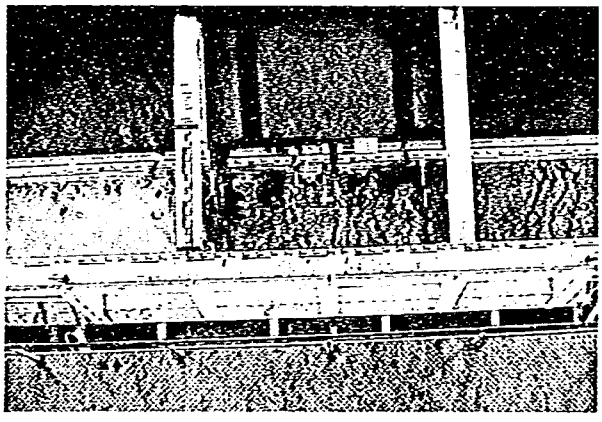


写真　8－20　加振後の模型地盤表面
（実験４－３，20sec）

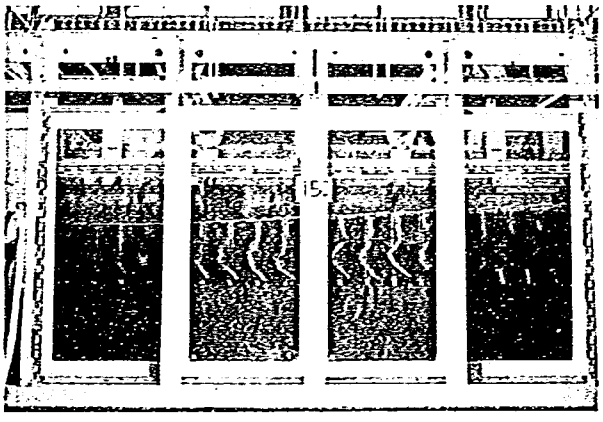


写真　8－21　加振後の模型地盤側面
（実験４－３，20sec）

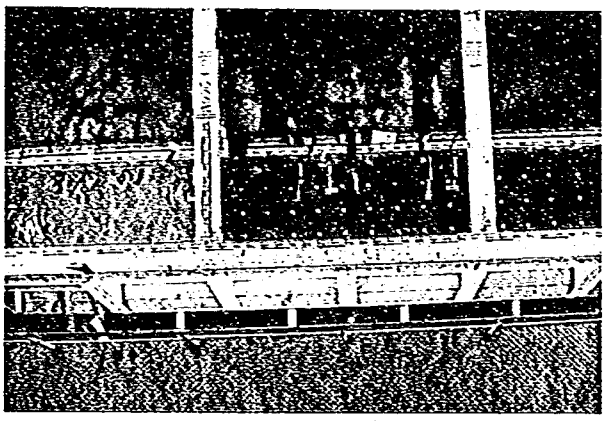


写真　8－22　加振開始時の模型地盤表面
（実験４－４，０sec）

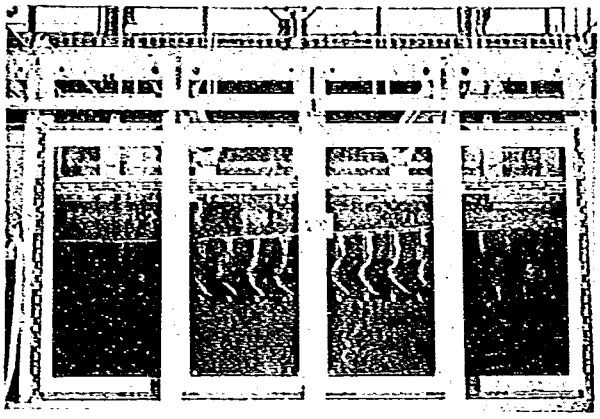


写真　8－23　加振開始時の模型地盤側面
（実験４－４，０sec）

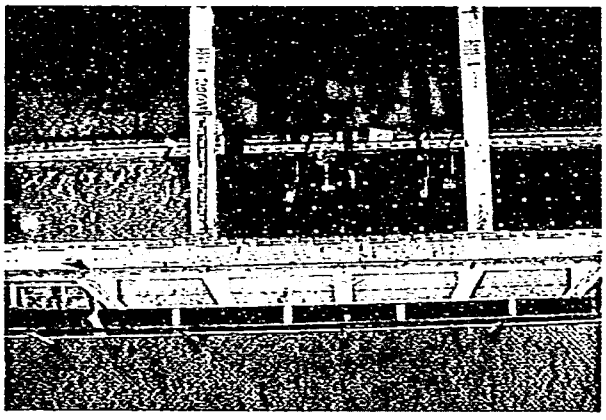


写真　8－24　加振開始９秒の模型地盤表面
（実験４－４，９sec）

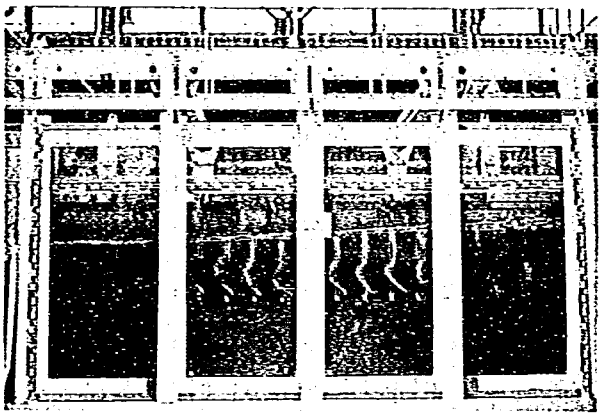


写真　8－25　加振開始９秒の模型地盤側面
（実験４－４，９sec）

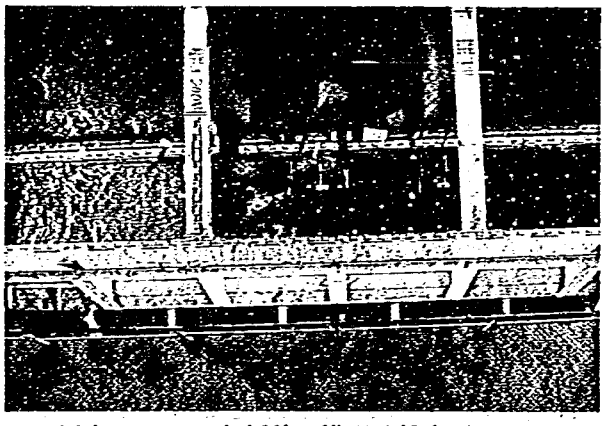


写真　8－26　加振後の模型地盤表面
（実験４－４，20sec）

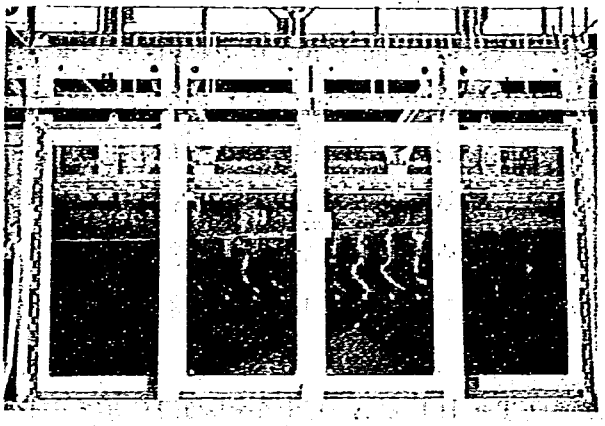


写真　8－27　加振後の模型地盤側面
（実験４－４，20sec）

9．液状化にともなう地盤流動の要因の考察

実験から得られた事実として以下の事項があげられる。

a．地盤内の間隙水圧がある大きさになったときに加速度記録にひげ状のスパイクが現れるがでる。

b．この時の間隙水圧はほぼ上載荷重に等しい。

c．間隙水圧が1.0程度になったときに流動が変位計に現れている。

d．流動は地盤内ひずみが左右非対称になり斜面下方に向かうひずみの累積結果として地表に現れる。

e．地盤内ひずみは間隙水圧比がほぼ1.0であっても加速度が作用しないと（加振を停止すると）進行しない。

f．地盤内に生じる永久ひずみは地下水面より下で、かつ地盤内間隙水圧比がほぼ1.0の領域においてのみ卓越して累積する。

g．地盤内のひずみの累積速度は勾配のきつい程（初期せん断応力の大きいほど）大きい。

h．斜面の下の地盤の初期上載圧が異なるため、模型地盤内の間隙水圧の生じ方には場所による違いがあり、斜面下方で早く間隙水圧が上昇する。

i．このため地盤の流動も斜面下方の方が先に発生し、総量も大きくなる。

j．i．に示した通り斜面下方での流動が大きいため、斜面に直交する方向の亀裂が発生し、加振とともに亀裂の本数が増加し、亀裂幅が広がる。

結局、以上の事実から地盤の流動量は

①間隙水圧比が1.0程度となった層の厚さが大きいほど

②勾配の急なほど

③作用せん断力（加速度）振幅と回数の大きいほど

大きくなると考えられる。

そこで、各実験結果について地表面の水平変位量D（cm）と間隙水圧比が1.0程度となっている継続時間T（sec），間隙水圧比が1.0程度となっている液状化層の厚さH（cm），そのときの地表面における平均応答加速度A（gal）の関係について整理を行う。

整理結果を表9.1に示す。ここでは、断面A～D毎にD，T，H，Aの関係について整理を行っており，DがTおよびHに比例するものと考えD／（T・H）の値も併記した。なお、Tは間隙水圧の時刻歴から求め、Hについては地盤側面からの観測結果から、また、Aは地表面における応答加速度記録から求めた。また、Dは各段面を中央とする前後9点の地表面の測量鋲の平均水平移動量を用いた。

D／（T・H）とAの関係を図9.1に示す。図9.1では地盤模型毎に記号を変えて示してあり、図中には全データを用いた回帰直線を併記した。

図9.1では、地表面の勾配の影響が考慮されていない。そこで、地表面の勾配をパラメータとして、D／（T・H）とAの関係を整理したものが図9.2である。図中には各勾配毎に求めた回帰直線を示したが、勾配が6％未満のデータでは相関係数が0.3程度と低く、傾きも0.0002程度と小さい。それ

に対し、勾配６％以上のデータでは相関係数が0.9程度と高く、傾きは0.0005程度であった。

また、図9.1,9.2では、断面Ａ～Ｄの全データを用いたため、特に断面Ａや断面Ｃ，Ｄでは土槽による境界の影響が含まれていることが考えられ、このことがデータのバラツキを大きくしている可能性がある。そこで断面Ｂ（地盤中央）のデータのみを用いてＤ／（Ｔ・Ｈ）とＡの関係を整理したものが図9.3である。ここでは、データ数が少ないため地表面の勾配との相関をもとめることはできないが、Ｄ／（Ｔ・Ｈ）とＡの相関は全データを用いた場合よりも良くなっており、その回帰直線の傾きは勾配６％以上の全データを用いた場合の回帰直線とほぼ等しい。

以上の整理結果から、地表面の勾配が５～６％程度の地盤における地表面の水平変位量Ｄは、式（６）で表される。

$$D_n = (0.53 \cdot A + 13) * 10^{-4} \quad \cdots\cdots (6)$$

ここで、

D_n ：正規化された単位時間当りの地表面の水平変位量であり

$D_n = D / (T \cdot H)$ (1/SEC)

Ｄ　：地表面の水平変位量（cm）

Ｔ　：地盤内の間隙水圧比が100％程度となってからの加振継続時間（sec）

Ｈ　：間隙水圧比が1.0程度となっている液状化層の厚さ（cm）

Ａ　：地盤内の間隙水圧比が1.0程度となってからの地表面の平均応答加速度（gal）

である。

表９－１　各実験に対するT，H，D，A，i

実験 No.	断面	T (sec)	H_0 (cm)	H_1 (cm)	i (%)	D (cm)	A (gal)	D/(T*H) (10^{-4}/SEC)
1－1	A	15.0	60.0	9.0	4.95	7.85	130	87.22
1－1	B	14.0	40.0	14.0	4.95	6.13	151	109.46
1－1	C	10.5	60.0	19.0	4.95	3.00	108	47.62
1－1	D	8.5	40.0	24.0	4.95	1.27	100	37.35
1－2	A	19.5	60.0	9.0	5.12	15.91	161	135.98
1－2	B	19.5	60.0	14.0	5.12	16.94	292	144.79
1－2	C	19.5	60.0	19.0	5.12	15.03	203	128.46
1－2	D	19.5	40.0	24.0	5.12	10.68	111	136.92
1－3	A	20.0	70.0	9.0	1.63	9.16	187	65.43
1－3	B	19.5	70.0	14.0	4.11	11.81	101	86.52
1－3	C	19.5	70.0	19.0	4.11	10.46	115	76.63
1－3	D	19.5	70.0	24.0	4.11	6.47	86	47.40
1－4	A	20.0	70.0	9.0	0.0	4.05	150	28.93
1－4	B	20.0	70.0	14.0	1.92	5.55	113	39.64
1－4	C	20.0	70.0	19.0	3.83	13.69	欠測	97.79
1－4	D	20.0	70.0	24.0	3.83	4.53	15	32.36
2－1	A	10.0	35.0	13.5	7.43	3.77	159	107.71
2－1	B	10.0	35.0	21.0	7.43	2.75	108	78.57
2－1	C	9.5	35.0	28.5	7.43	2.04	139	61.35
2－1	D	8.0	35.0	37.5	7.43	1.63	82	58.21
2－2	A	19.0	35.0	13.5	7.42	14.16	391	212.93
2－2	B	18.5	35.0	21.0	7.42	14.39	363	222.24
2－2	C	18.5	35.0	28.5	7.42	11.03	168	170.35
2－2	D	18.0	35.0	37.5	7.42	4.40	155	69.84
2－3	A	20.0	35.0	13.5	7.48	17.56	392	250.86
2－3	B	20.0	35.0	21.0	7.48	16.46	421	235.14
2－3	C	20.0	35.0	28.5	5.91	13.84	176	197.71
2－3	D	20.0	35.0	37.5	5.91	8.62	227	123.14
2－4	A	20.0	35.0	13.5	4.82	6.36	215	90.86
2－4	B	20.0	35.0	21.0	4.82	6.16	147	88.00
2－4	C	20.0	35.0	28.5	4.82	6.51	113	93.00
2－4	D	20.0	35.0	37.5	4.82	2.67	140	38.14
3－1	A	19.0	26.0	9.0	4.74	8.88	122	179.76
3－1	B	17.5	21.0	14.0	4.74	6.78	149	184.49
3－1	C	19.5	16.0	19.0	4.74	4.68	142	150.00
3－2	A	19.5	26.0	9.0	4.87	17.08	189	336.88
3－2	B	19.5	21.0	14.0	4.87	15.60	280	380.95
3－2	C	19.5	16.0	19.0	4.87	10.60	229	339.74
3－3	A	19.0	26.0	9.0	3.06	5.20	79	105.26
3－3	B	18.0	21.0	14.0	4.85	8.69	325	229.89
3－3	C	18.5	16.0	19.0	4.85	4.51	118	152.36
3－4	A	19.0	26.0	9.0	1.80	3.45	101	69.84
3－4	B	19.0	21.0	14.0	3.98	3.47	267	86.97
3－4	C	18.5	16.0	19.0	6.15	2.67	281	90.20
4－2	A	16.0	35.0	9.0	4.65	9.78	155	174.64
4－2	B	12.0	35.0	14.0	4.65	7.19	160	171.19
4－2	C	8.5	35.0	19.0	4.65	4.02	264	135.13
4－3	A	20.0	35.0	9.0	5.70	11.25	229	160.71
4－3	B	20.0	35.0	14.0	5.70	14.17	290	202.43
4－3	C	20.0	35.0	19.0	5.70	13.09	242	187.00
4－4	A	20.0	35.0	9.0	4.82	4.69	545	67.00
4－4	B	20.0	35.0	14.0	4.82	4.44	165	63.43
4－4	C	20.0	35.0	19.0	4.82	7.30	385	104.29

但し、H_0：間隙水圧が１．０程度となっている液状化層の厚さ
H_1：不飽和地盤層の厚さ

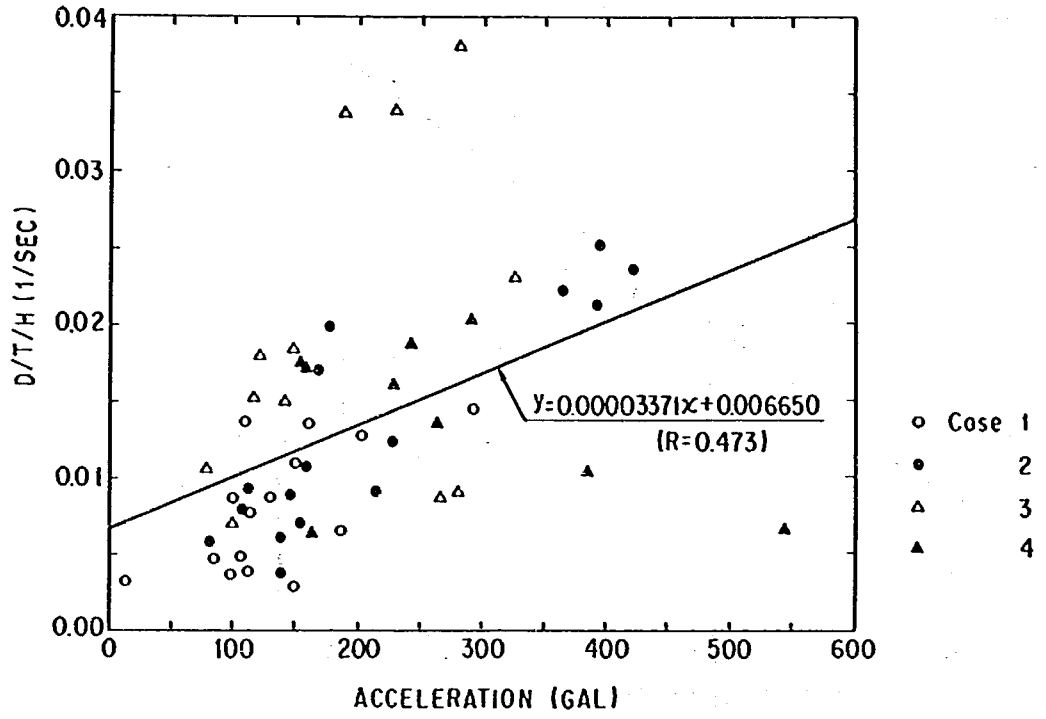


図9－1　D／(T・H) とAの関係（全断面のデータを使用）

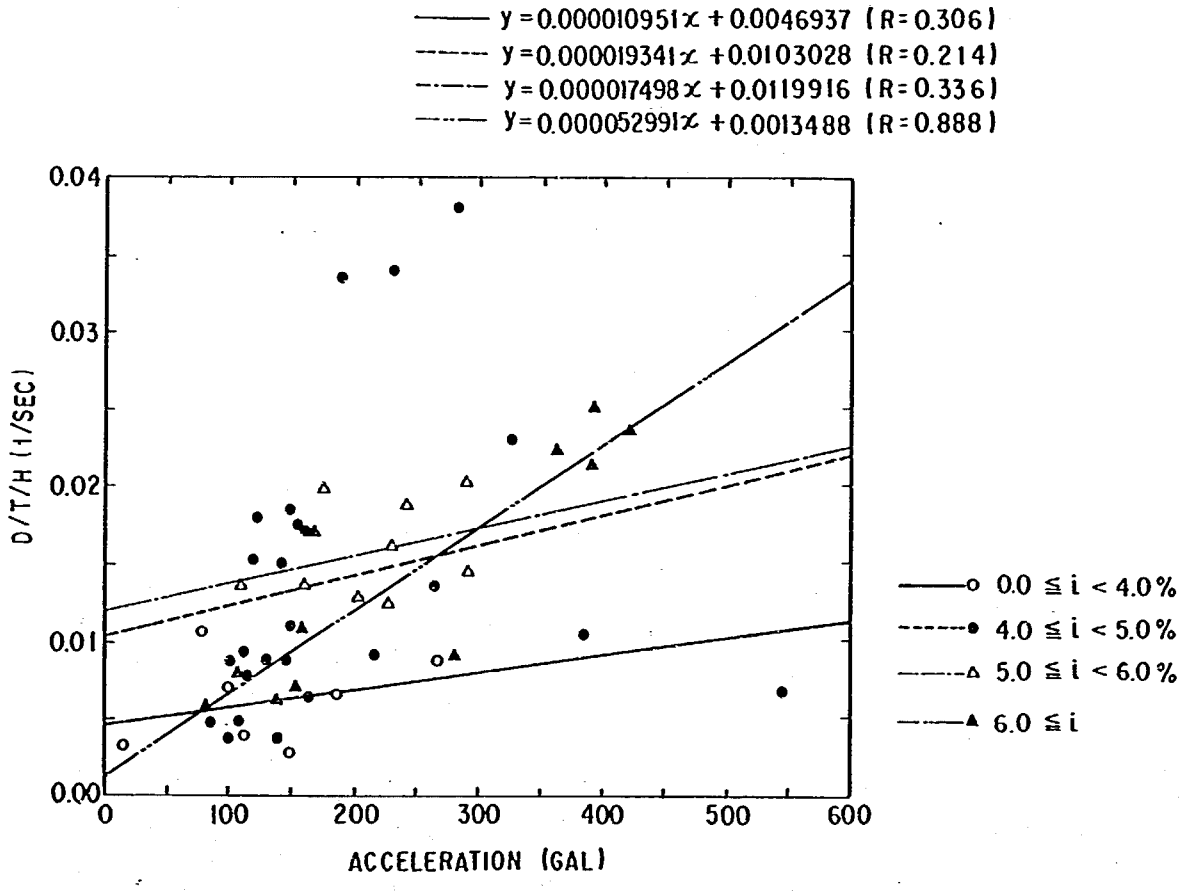


図9－2　D／(T・H) とAの関係（全断面のデータを使用）

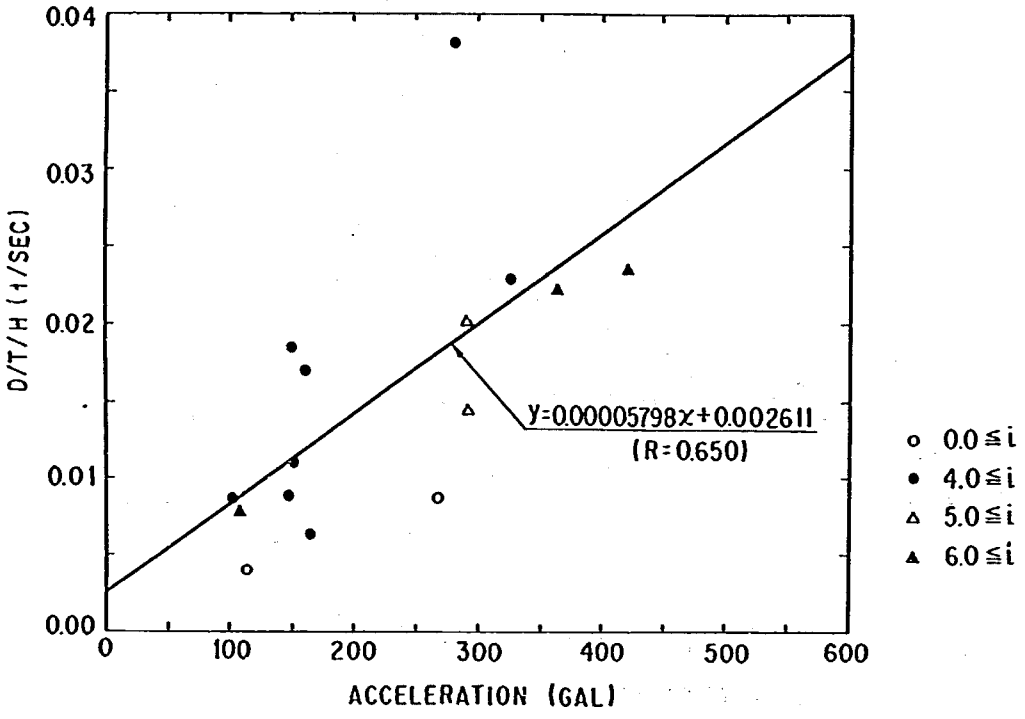


図9－3　D／(T･H) とAの関係（断面Bのデータを使用）

１０．　まとめ

液状化に伴う地盤流動の機構の解明を目的として振動台実験を実施した。その結果以下の事項が明かとなった。

（１）地表面の水平変位量は液状化層の厚さ，地盤の応答加速度の大きさ，地盤が液状化してからの加振継続時間との相関が高い。

（２）また、これらの関係は、式(6)で表される。

参考文献

1）土質工学会；地盤液状化、P.8, 1984

2）Committee on Earthquake Engineering, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council;Liquefction of Soils During Earthquakes,National Academy Press, 1985

3）Newmark,N.M.;Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Geotechnique 15(2), PP139-160, 1965

4）Idriss,I.M.;Evaluating Seismic Risk in Engincering Practice, Proc. 11th Int. Conf. SMFE, vol.1. PP255-320, 1985

5）Makdisi. F. I. and H. B. Seed; Simplified Procedure for Estimating Dam and Embankment Earthquake-Induced Deformations, Jour. GE Div. ASCE 104(GT7), PP849-867, 1978

6）Seed. H. B., I. M. Idriss, K. L. Lee and F. I. Makdisi; Dynamic Analysis of the Slide in the Lower San Fernando Dam During the Earthquake of Fabruary 9, 1971, Jour. GE Div., ASCE 101(GT9), PP889-911, 1975

7）Seed. H. B.; Design Problems in Soil Liquefaction, Jour. GE Div., ASCE 113(8), PP827-845, 1987

8）久保慶三郎、浜田政則、磯山龍二；日本海中部地震における地盤の永久変位の測定、第18回地震工学研究発表会講演概要，土木学会耐震工学委員会、PP353-356, 1987

9）浜田政則、安田進、磯山龍二；新潟地震における永久変位量の測定、第18回地震工学研究発表会講演概要、土木学会耐震工学委員会、PP345-348, 1987

10）浜田政則、恵本克利、磯山龍二、安田進；地盤の永久変位と地震被害について、第18回地震工学研究発表会講演概要、土木学会耐震工学委員会、pp349-352, 1987

11）Hamada. M., S. Yasuda, R. Isoyama and K. Emoto; Study on Liquefaction Induced Permanent Ground Displacements, Association for the Development of Earthquake Prediction, 1986

12）浜田政則、安田進、磯山龍二、恵本克利；液状化による地盤の永久変位の測定と考察、土木学会論文集　第376号／Ⅲ-6、PP211-220, 1986.12.

13）浜田政則、安田進、磯山龍二、恵本克利；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　第376号／Ⅲ-6　PP221-229, 1986.12.

14）浜田政則、磯山龍二、安田進；新潟地震による阿賀野川左岸地域の地盤の永久変位（その1）、第19回地震工学研究発表会講演概要、土木学会耐震工学委員会、PP177-180, 1987.7.

15）東畑郁生；液状化による地盤のすべり量の解析、第18回地震工学研究発表会講演概要、土木学会耐震工学委員会、PP357-360, 1985.7.

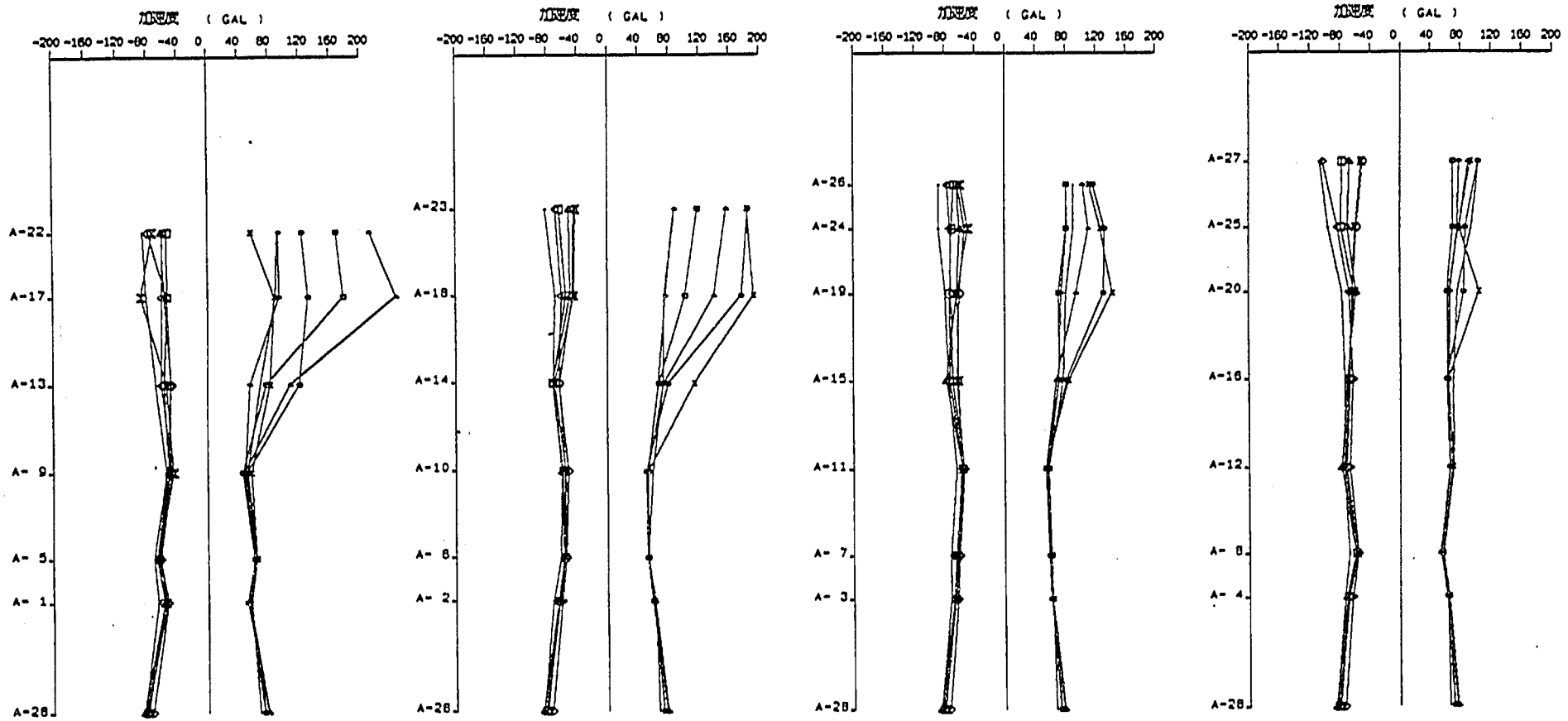
16）安田進、多田浩、福崎真介、中島良二、山本芳生；液状化による地盤の永久変位に関する振動台実験、第22回土質工学研究発表会、土質工学会、PP731-734, 1987.6.

17）安田進、規矩大義、多田浩；液状化による永久変位の簡易解析、第23回土質工学研究発表会、

土質学会、PP969-970, 1988.6.
１８）安田進、中島良二、宮崎賢一、井上賢、多田浩；液状化による永久変位と土圧の関係、第23回土質工学研究発表会、土質学会、PP701-702, 1988
１９）古賀泰之、松尾修、武藤正人、唐沢安秋；液状化性地盤上の盛土の地震時挙動に関する模型振動実験、土木技術資料、Vol.30, No.8, PP22-29, 1988

巻末資料

加速度鉛直分布 CASE 1　　STEP-1 50GAL

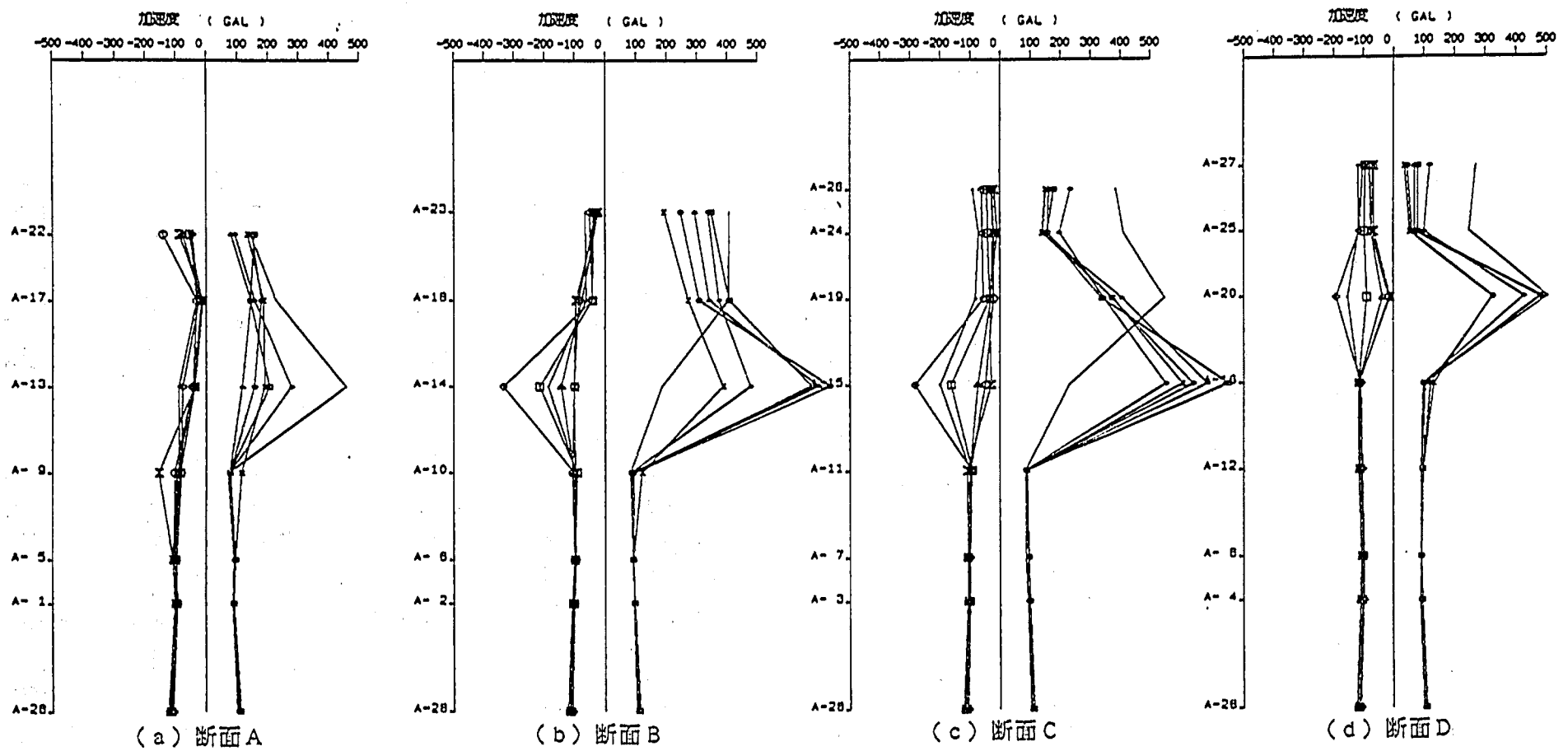


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度鉛直分布　（実験１－１，　５０ｇａｌ）

凡例
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

加速度鉛直分布 CASE 1　　STEP-2 100GAL

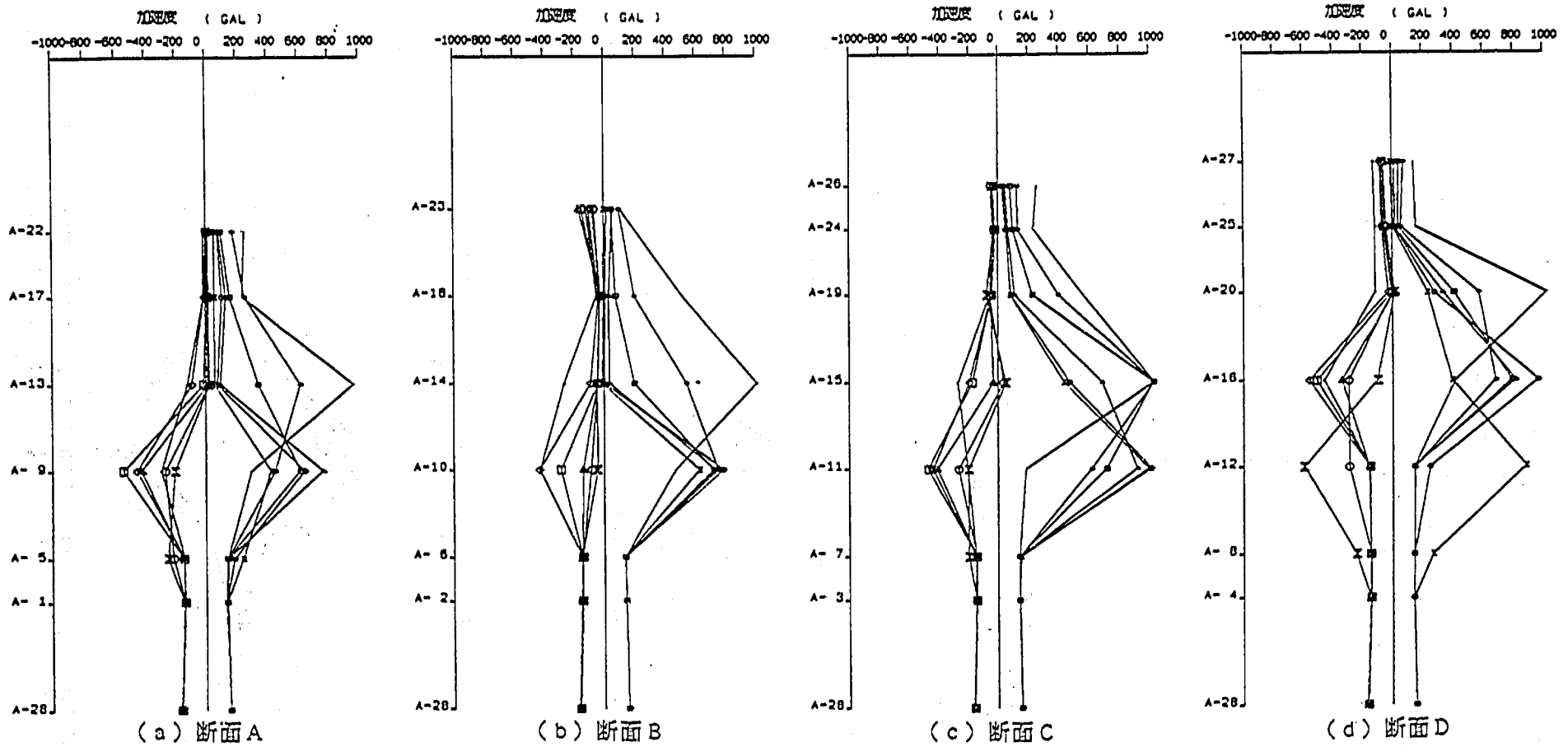


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度鉛直分布　（実験１－２，１００ｇａｌ）

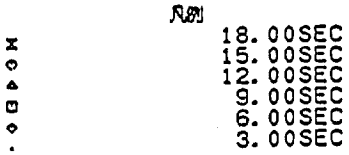
凡例
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

加速度鉛直分布 CASE 1　　STEP-3 150GAL

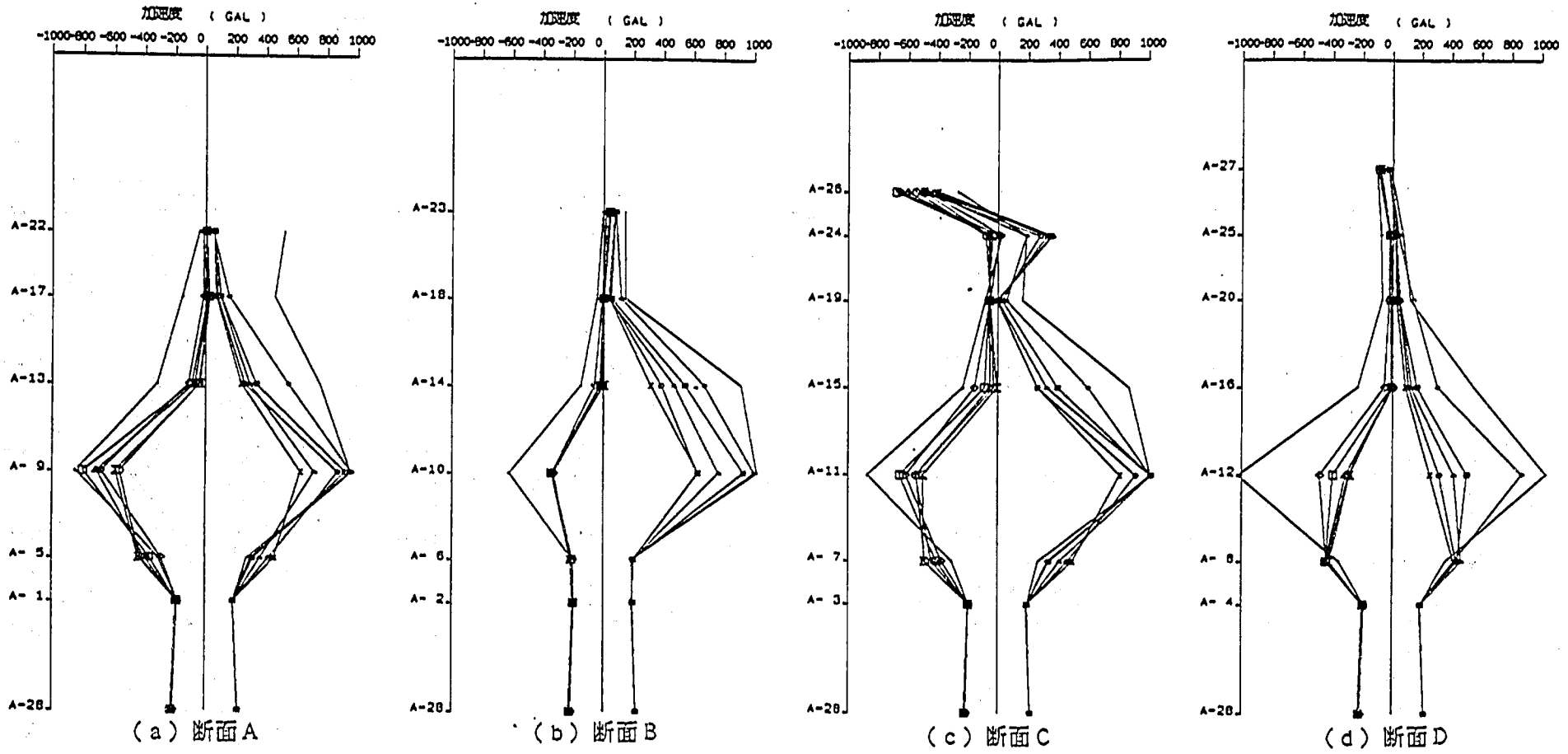


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度鉛直分布　（実験1－3，150gal）



加速度鉛直分布 CASE 1　　STEP-4 200GAL

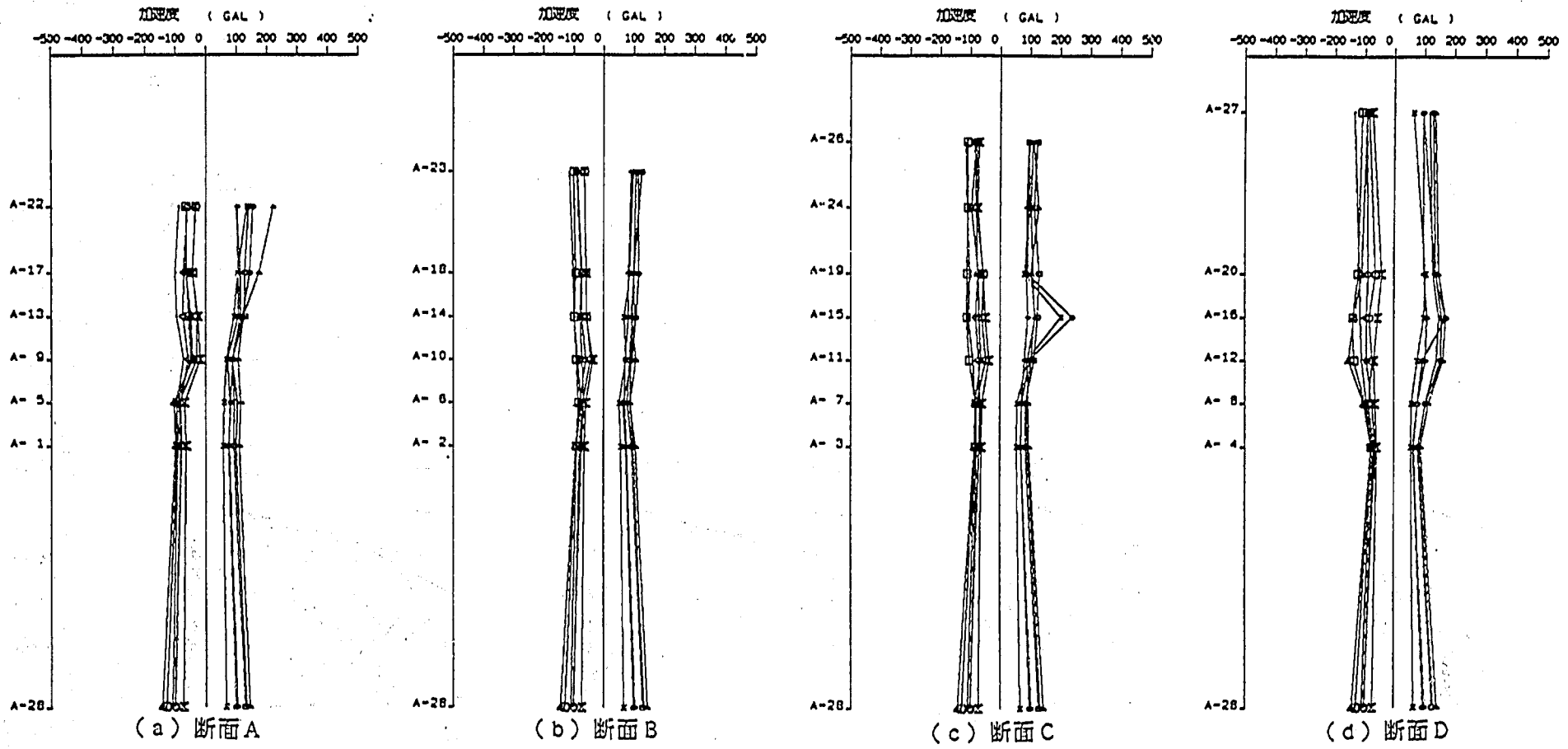


加速度鉛直分布　（実験１－４，２００ｇａｌ）

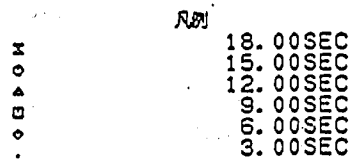
凡例

×	18.00SEC
○	15.00SEC
▲	12.00SEC
□	9.00SEC
◇	6.00SEC
.	3.00SEC

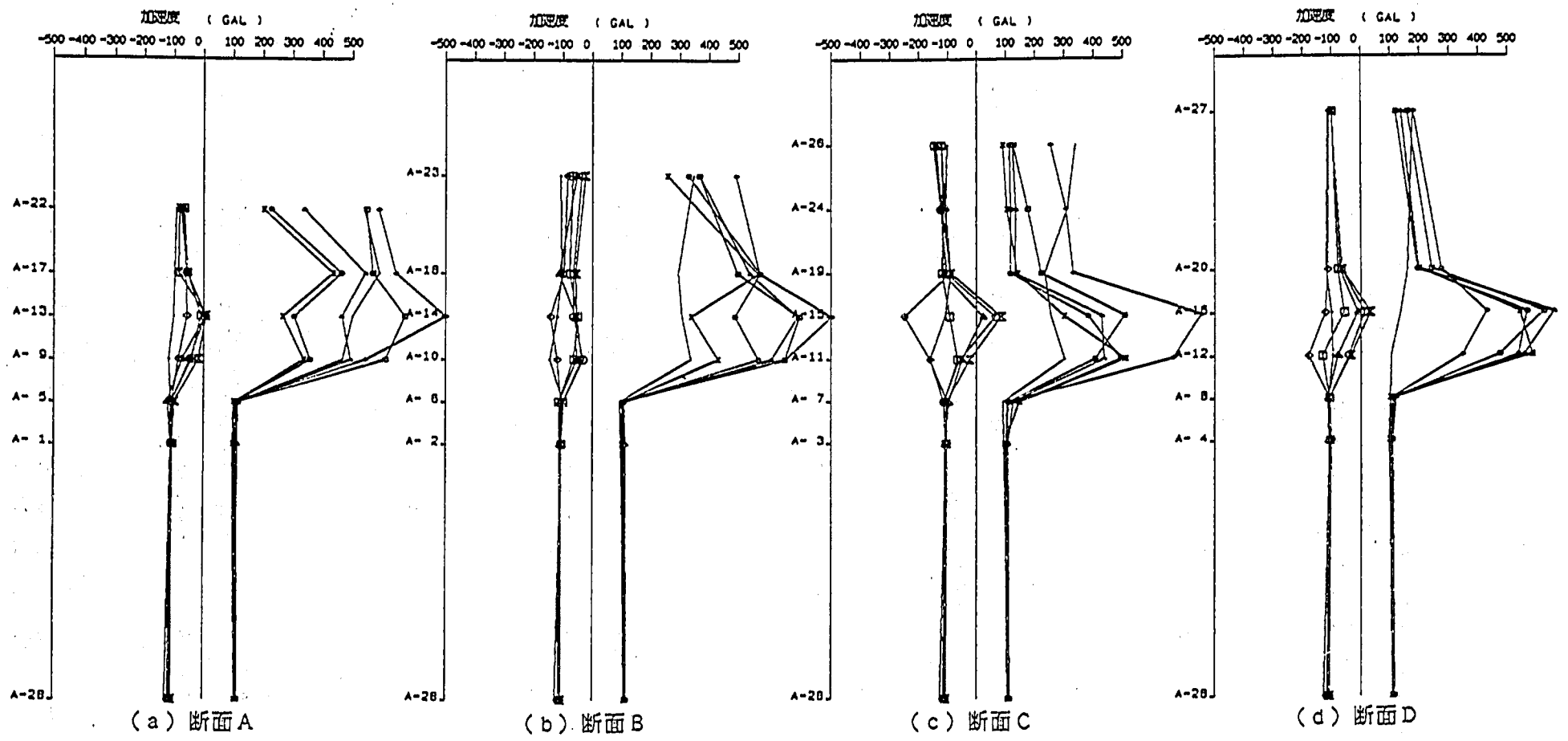
加速度鉛直分布 CASE 2　　STEP-1



加速度鉛直分布　（実験２－１，　５０ｇａｌ）



加速度鉛直分布 CASE 2 STEP-2

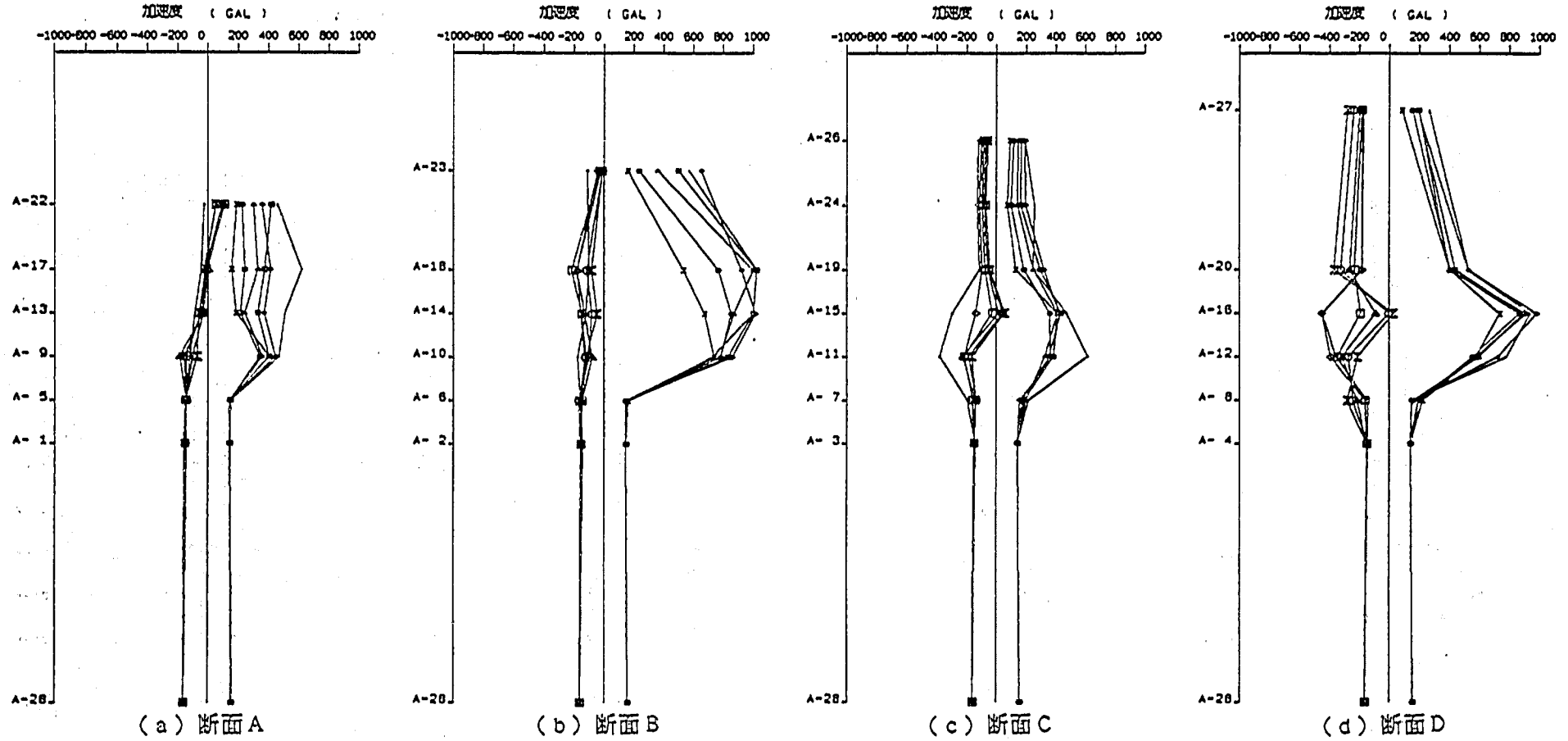


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度鉛直分布　（実験２－２，１００ｇａｌ）

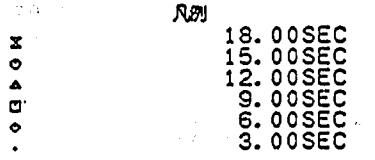
凡例
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

加速度鉛直分布 CASE 2　　STEP-3

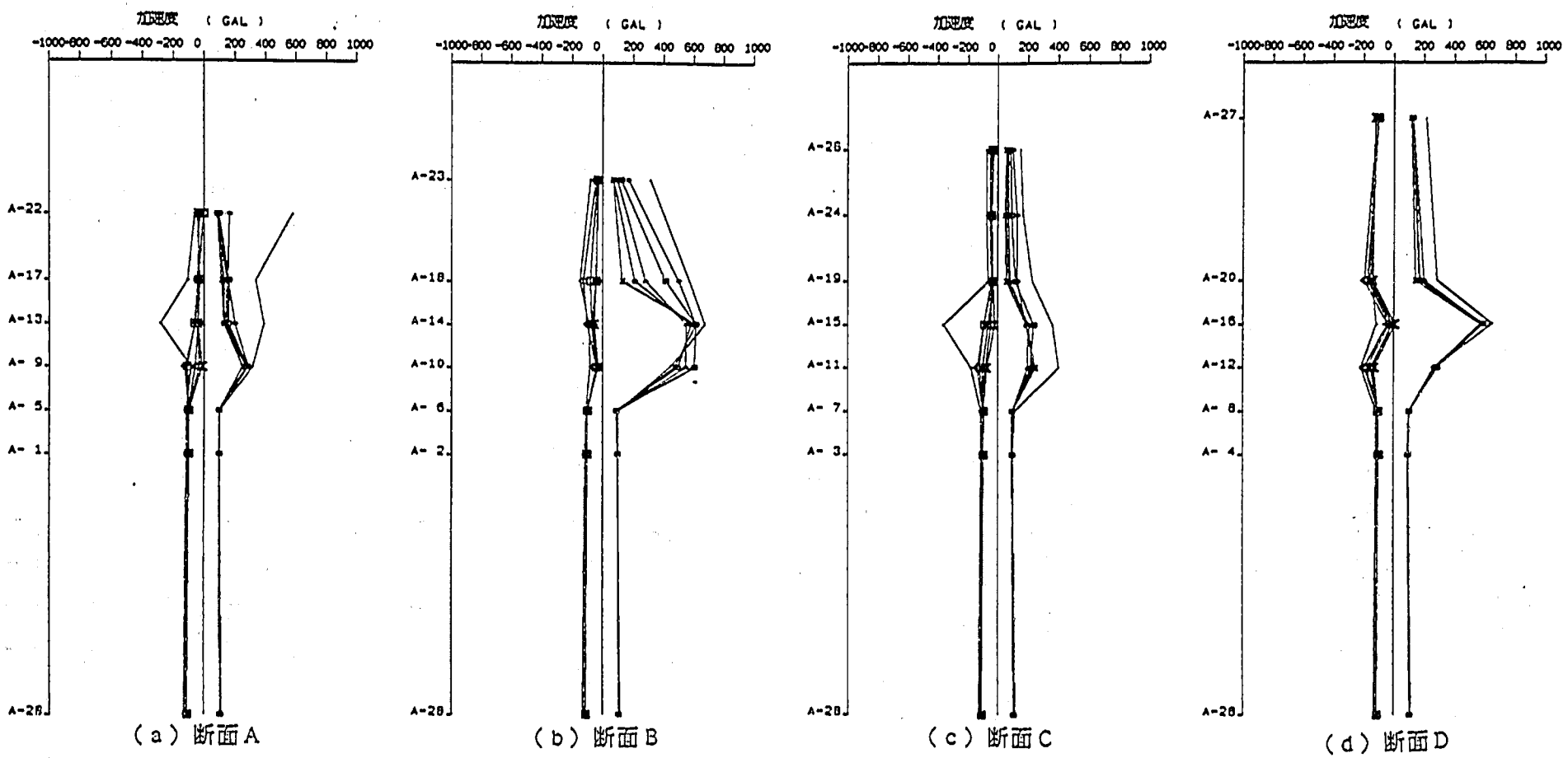


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度鉛直分布　（実験２－３，１５０ｇａｌ）



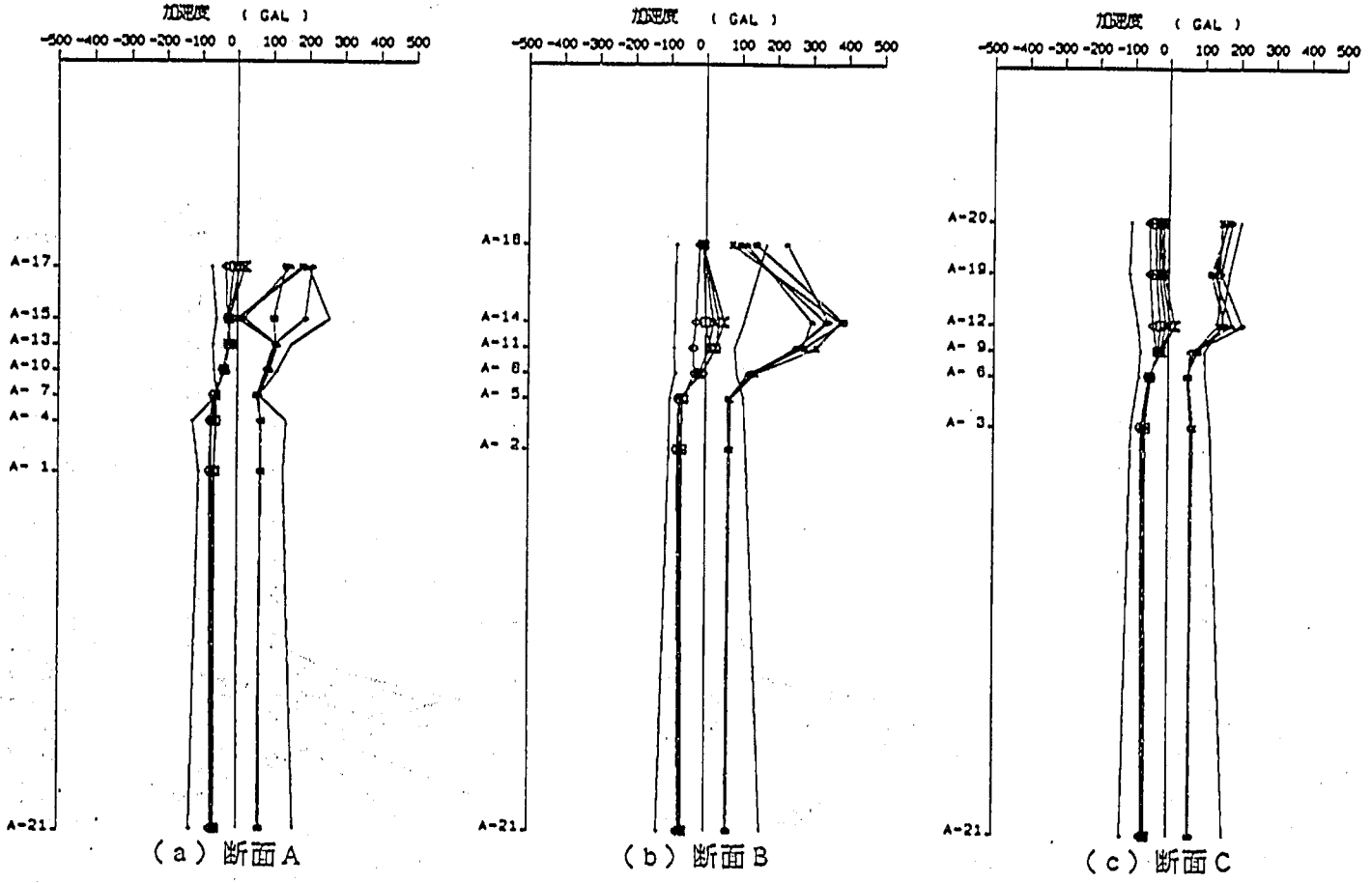
加速度鉛直分布 CASE 2　　STEP-4



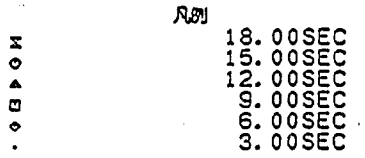
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度鉛直分布　（実験２－４，１００ｇａｌ）

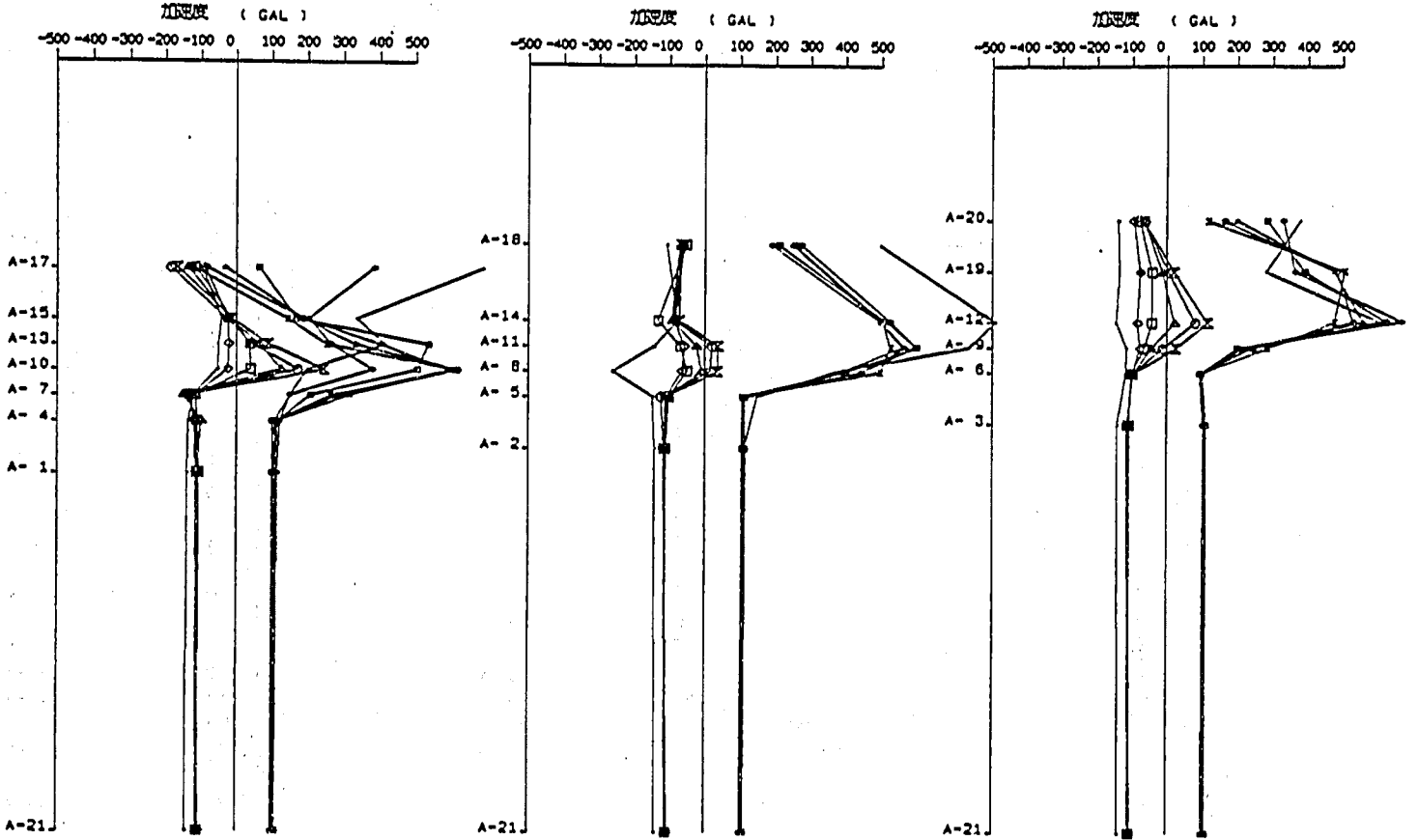
加速度鉛直分布 CASE 3 STEP-1



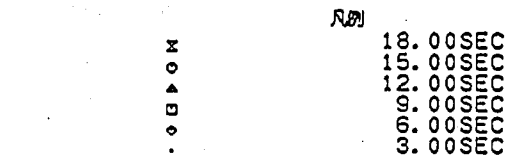
加速度鉛直分布 （実験３－１， ５０ｇａｌ）



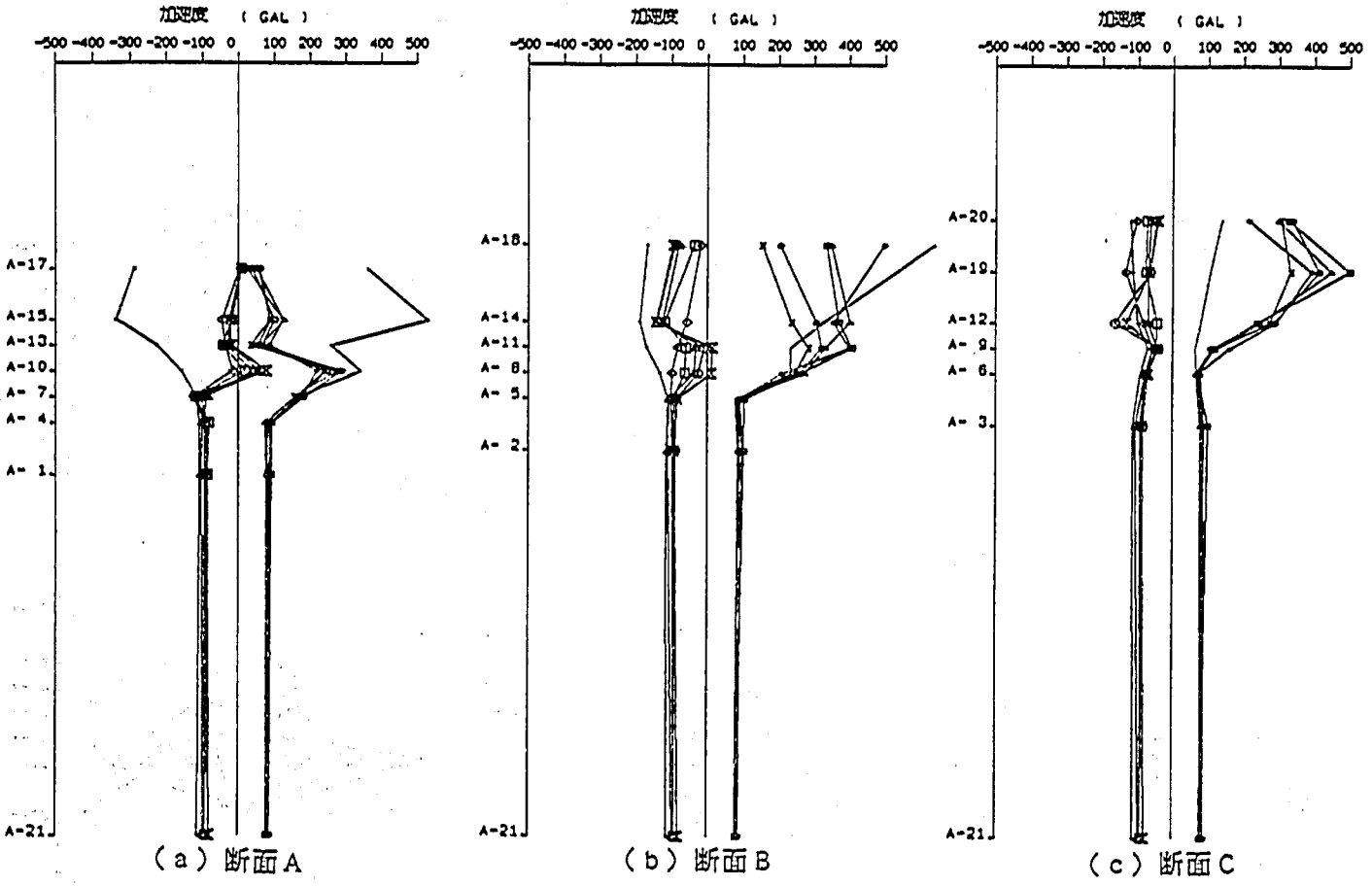
加速度鉛直分布 CASE 3　　STEP-2



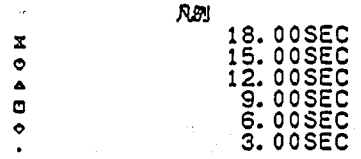
加速度鉛直分布　（実験３－２，１００ｇａｌ）



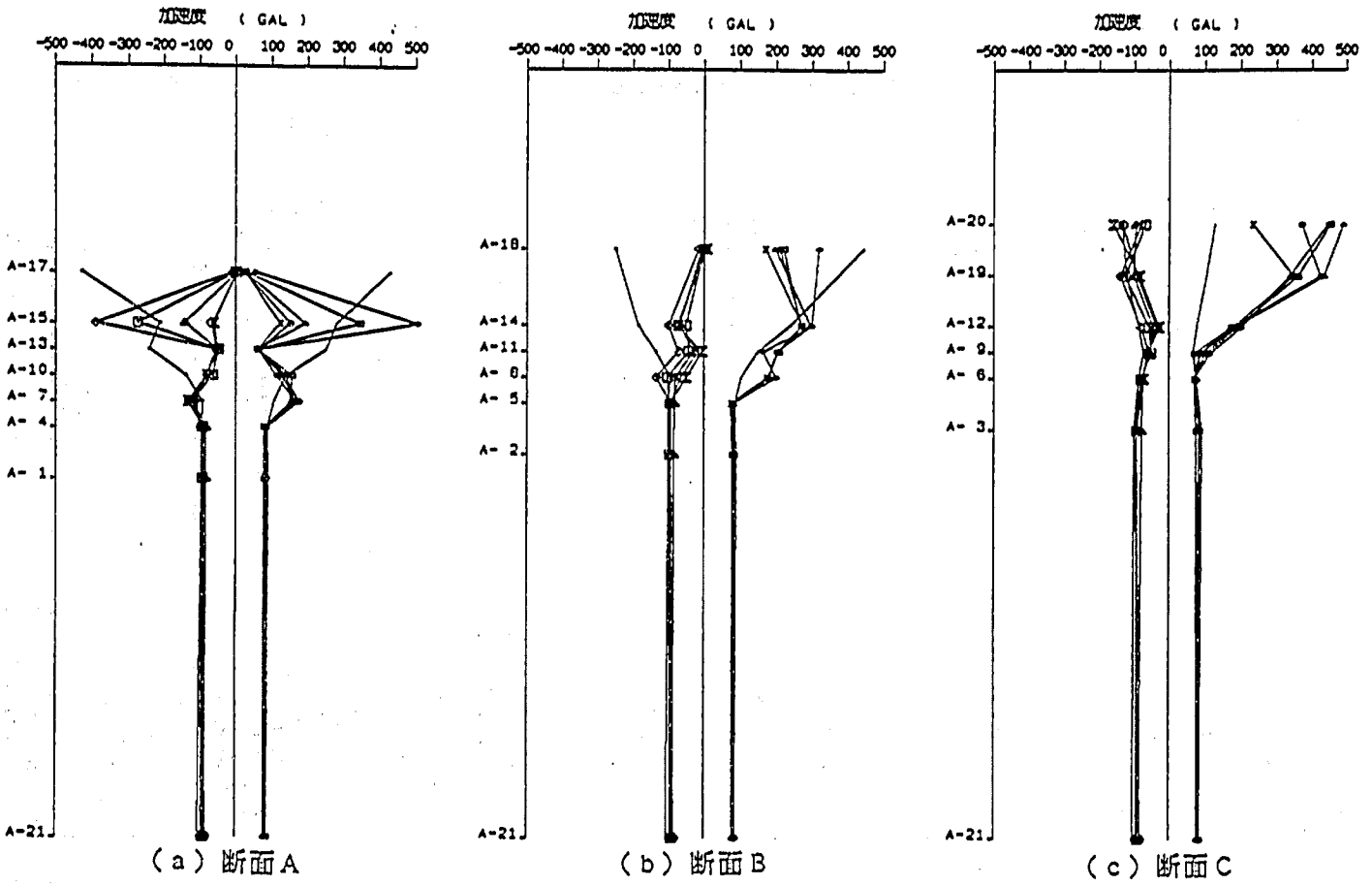
加速度鉛直分布 CASE 3　　STEP-3



加速度鉛直分布　（実験３－３，　７５ｇａｌ）

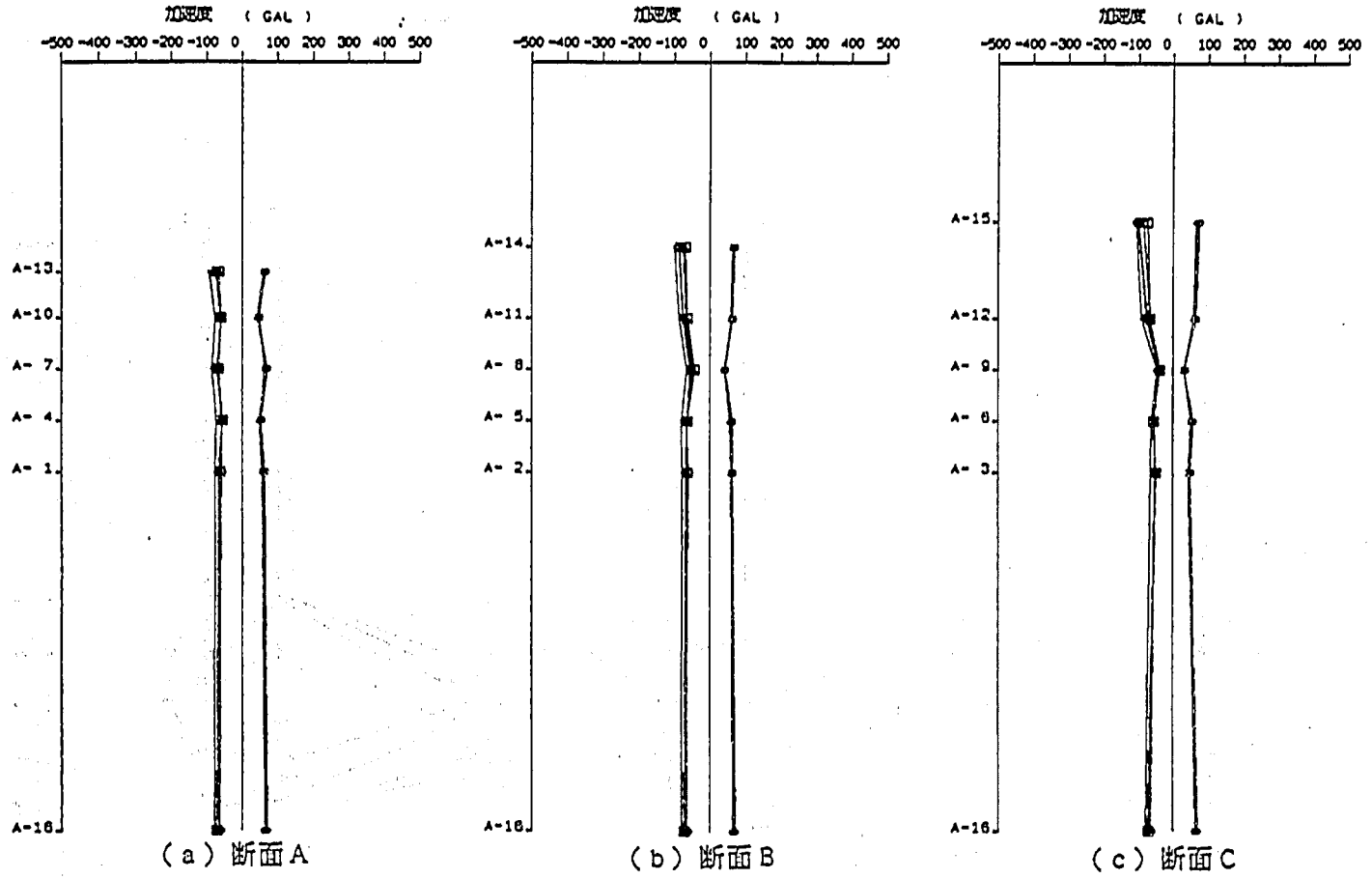


加速度鉛直分布 CASE 3　　STEP-4

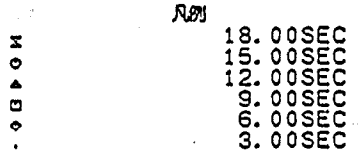


加速度鉛直分布　（実験３－４，　７５ｇａｌ）

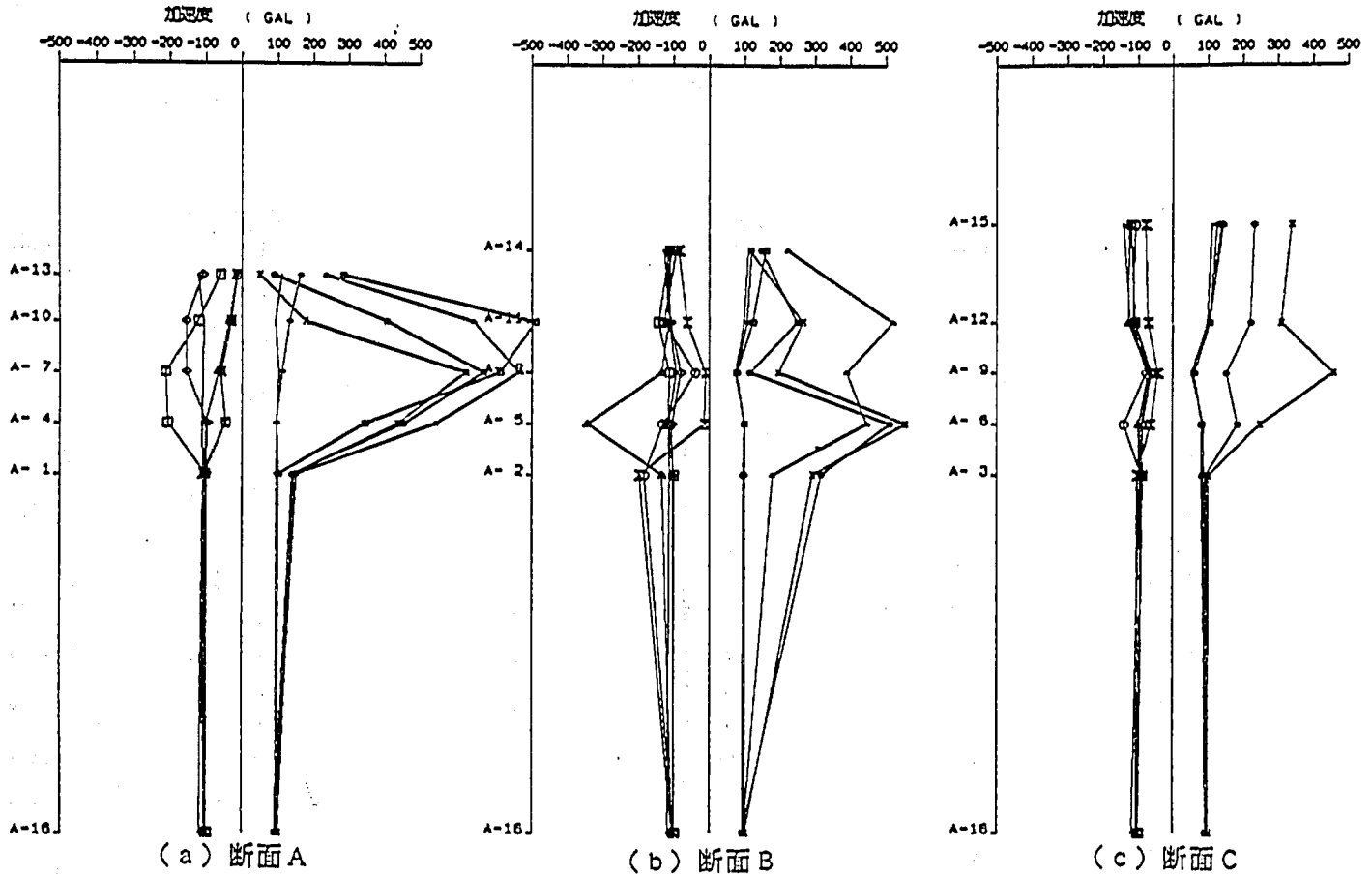
加速度鉛直分布 CASE 4 STEP-1



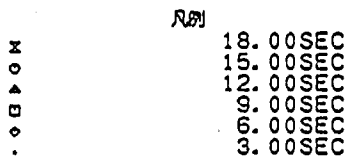
加速度鉛直分布 （実験４－１， ５０ｇａｌ）



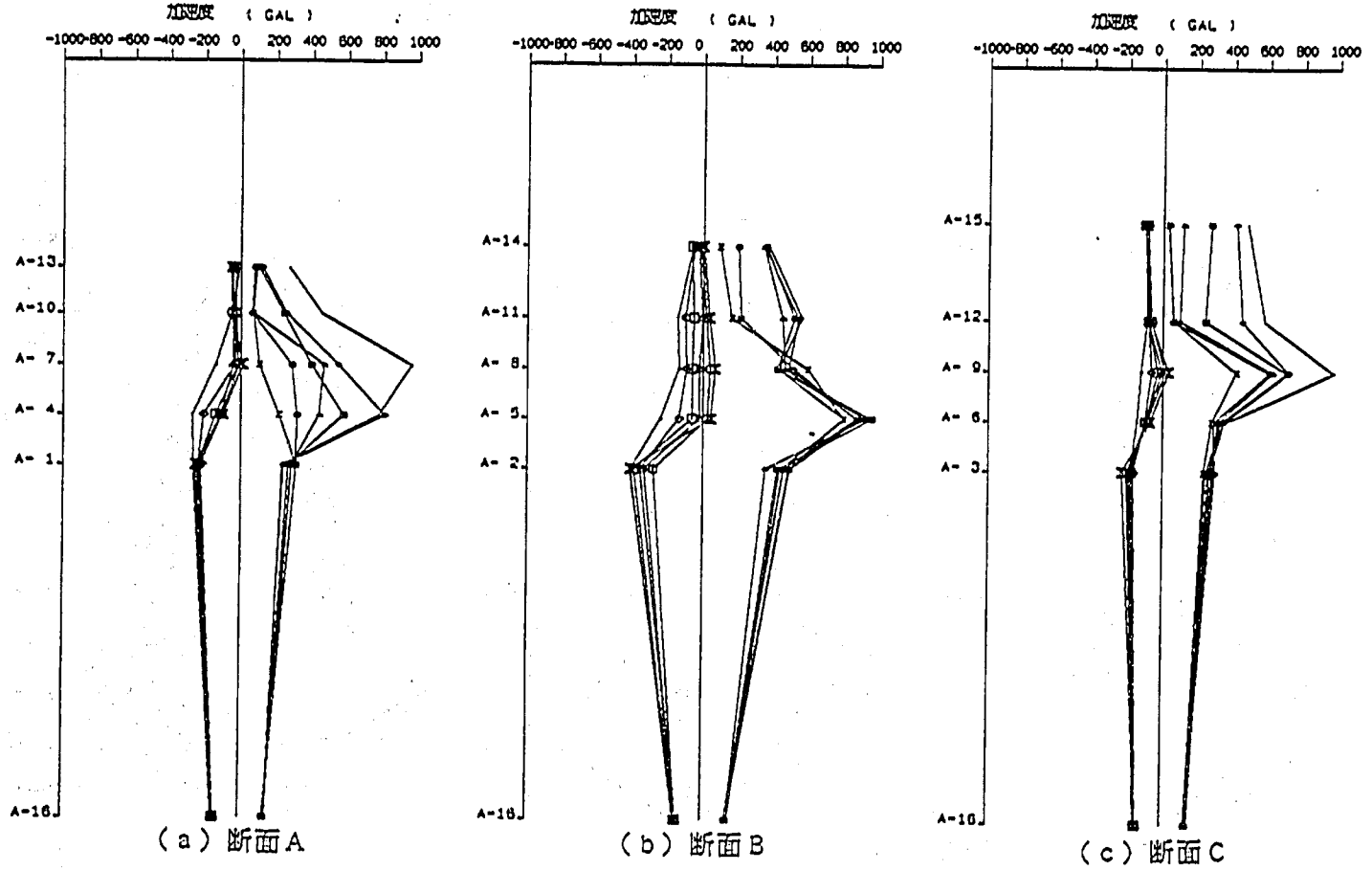
加速度鉛直分布 CASE 4　　STEP-2



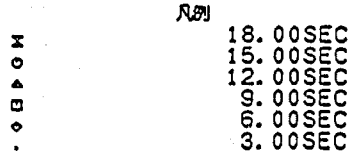
加速度鉛直分布　（実験４－２，１００ｇａｌ）



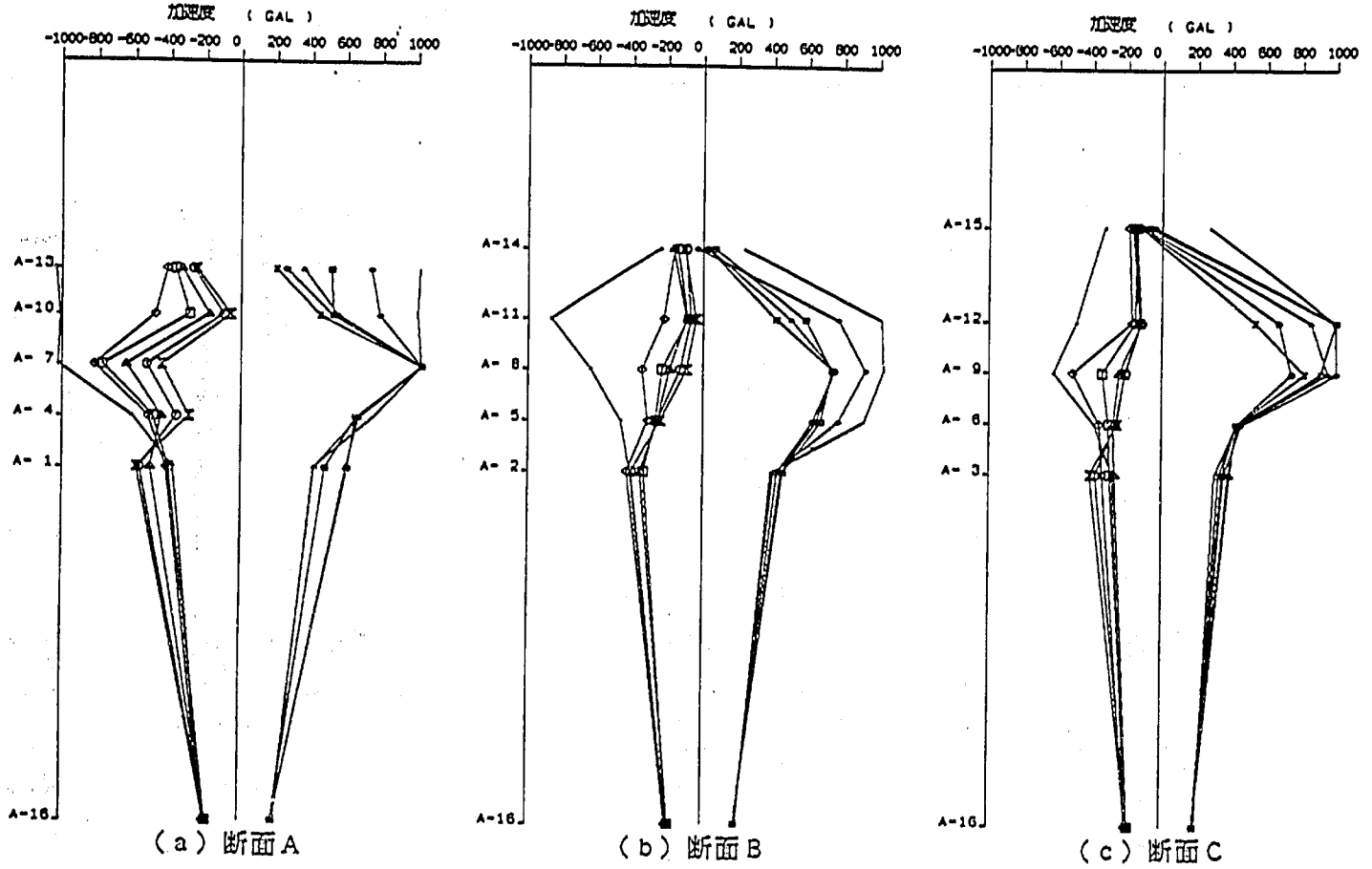
加速度鉛直分布 CASE 4 STEP-3



加速度鉛直分布 （実験４－３，１５０ｇａｌ）



加速度鉛直分布 CASE 4　　STEP-4

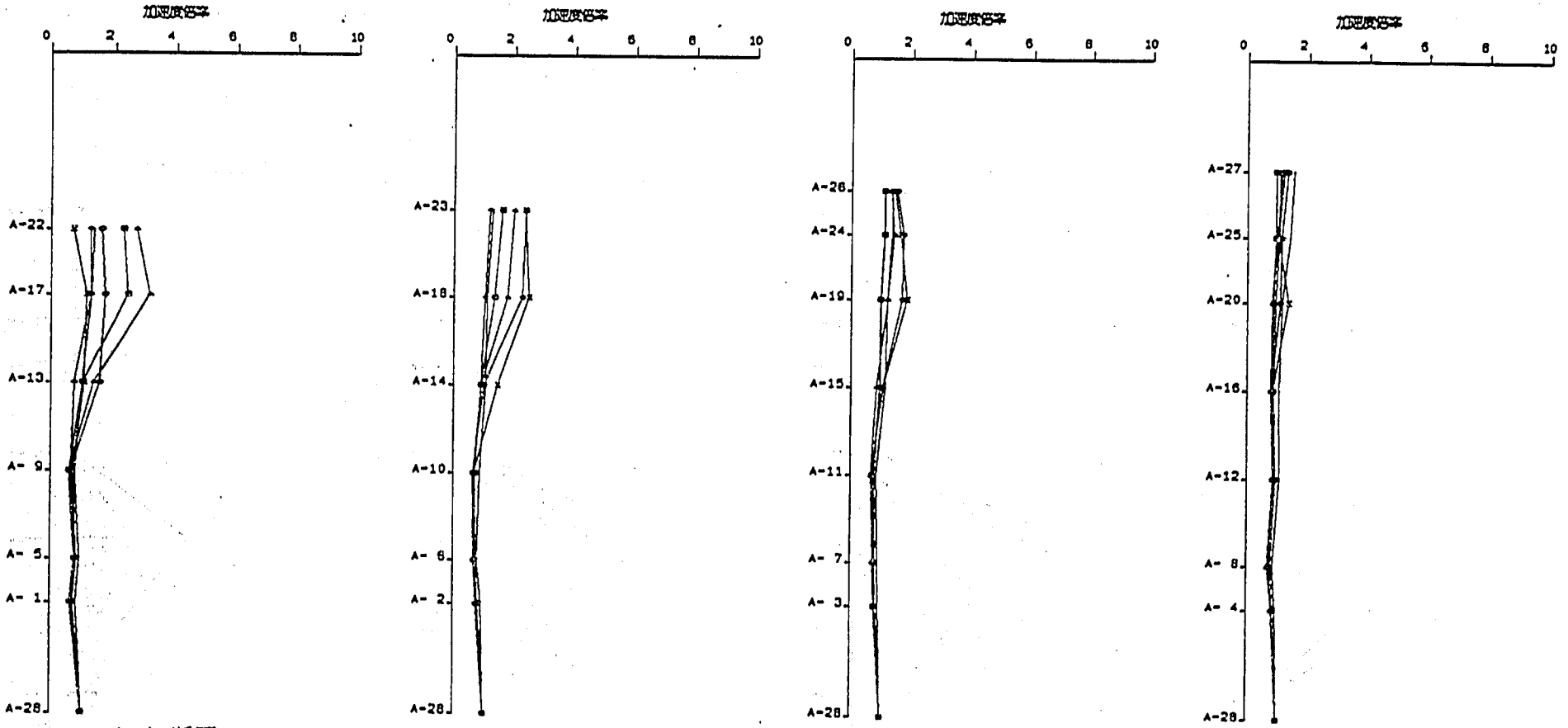


加速度鉛直分布　（実験４－４，２００ｇａｌ）

凡例

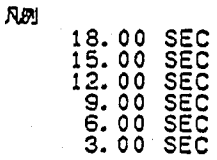
×	18.00SEC
○	15.00SEC
▲	12.00SEC
□	9.00SEC
◇	6.00SEC
・	3.00SEC

加速度倍率鉛直分布 CASE 1 50GAL (STEP-1)

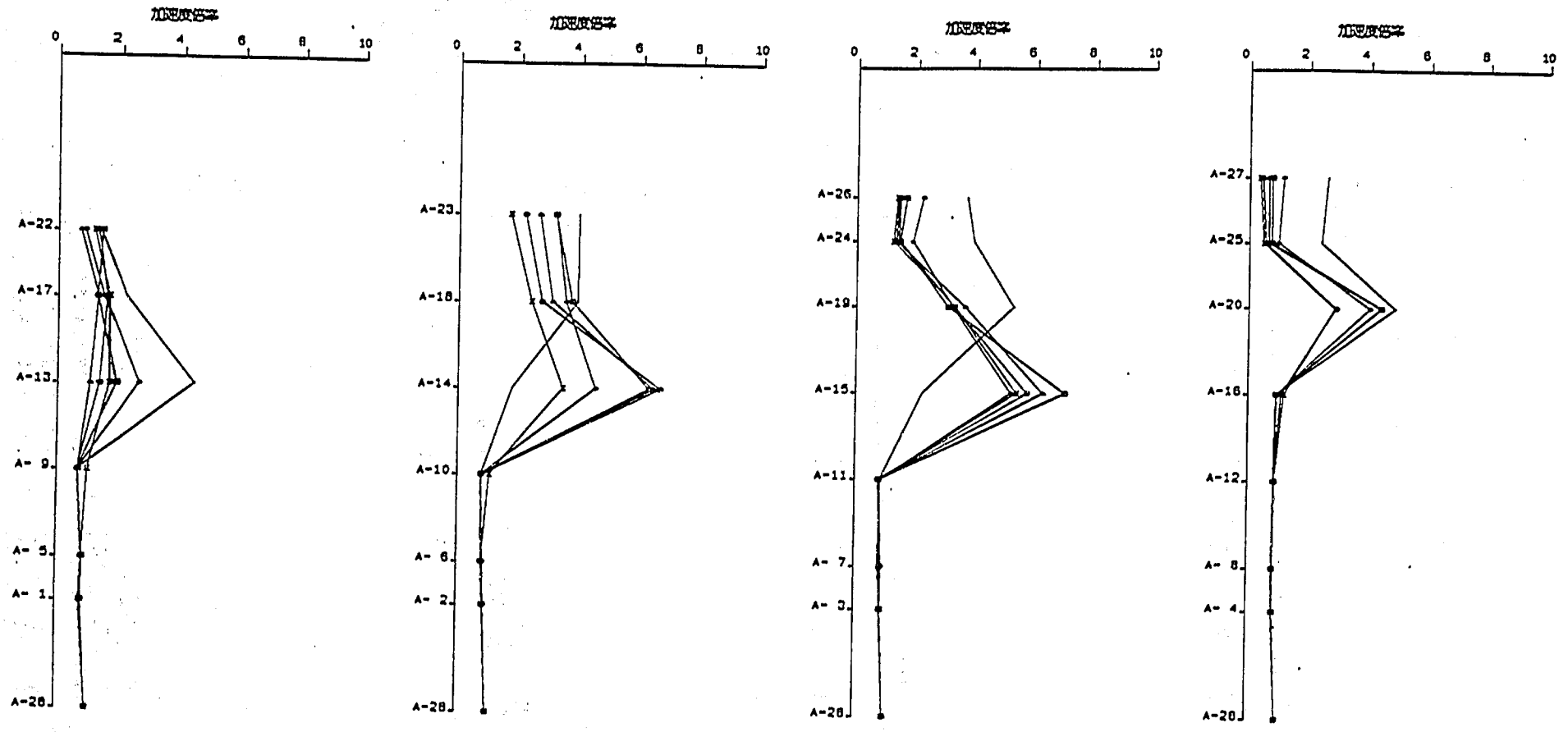


(a) 断面A　(b) 断面B　(c) 断面C　(d) 断面D

加速度倍率鉛直分布　(実験1－1, 50gal)

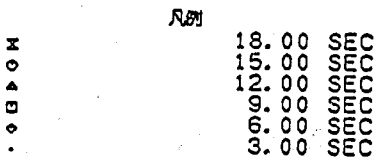


加速度倍率鉛直分布 CASE 1 100GAL (STEP-2)

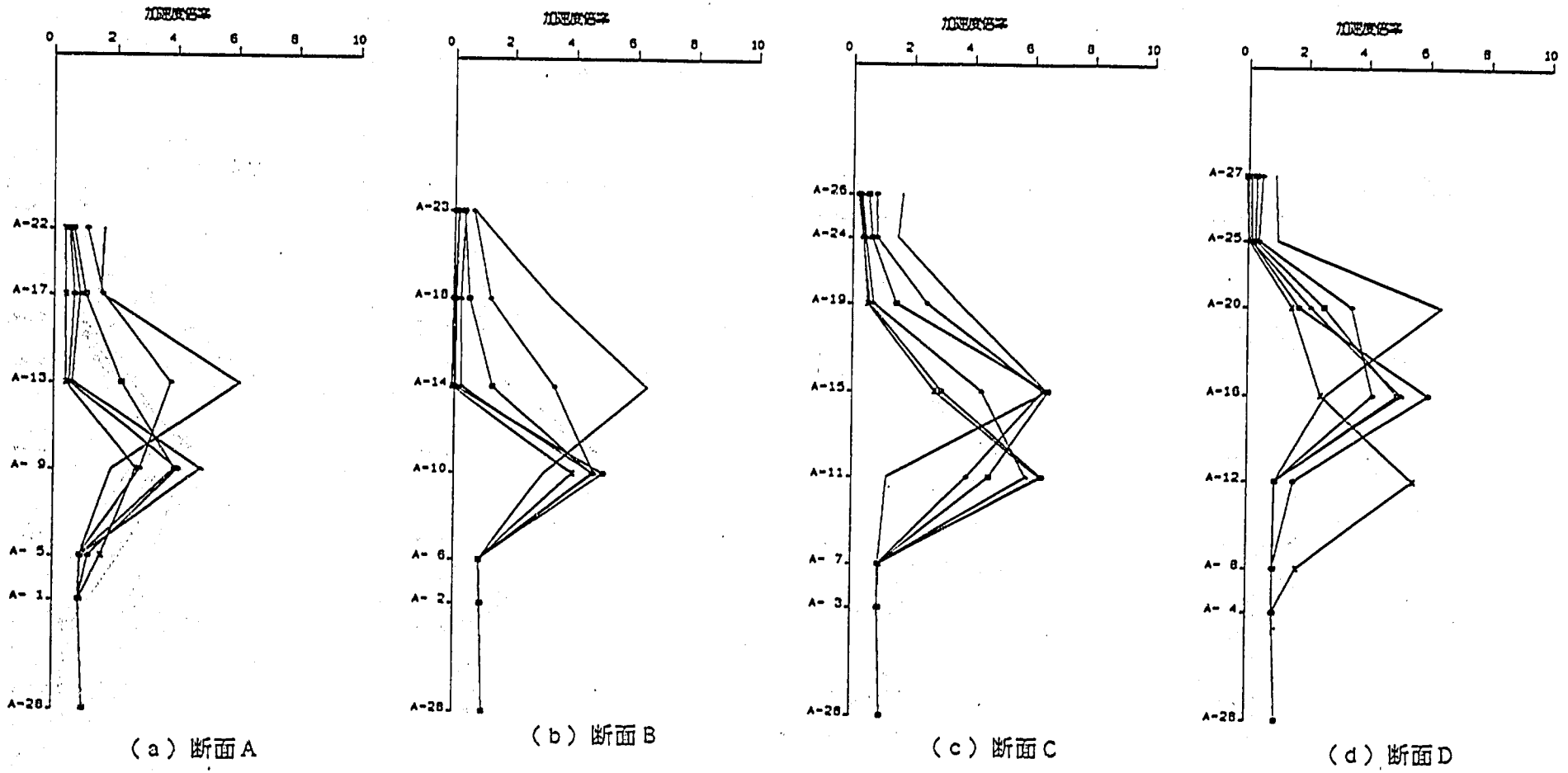


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度倍率鉛直分布　（実験1－2，100gal）



加速度倍率鉛直分布 CASE 1 150GAL (STEP-3)



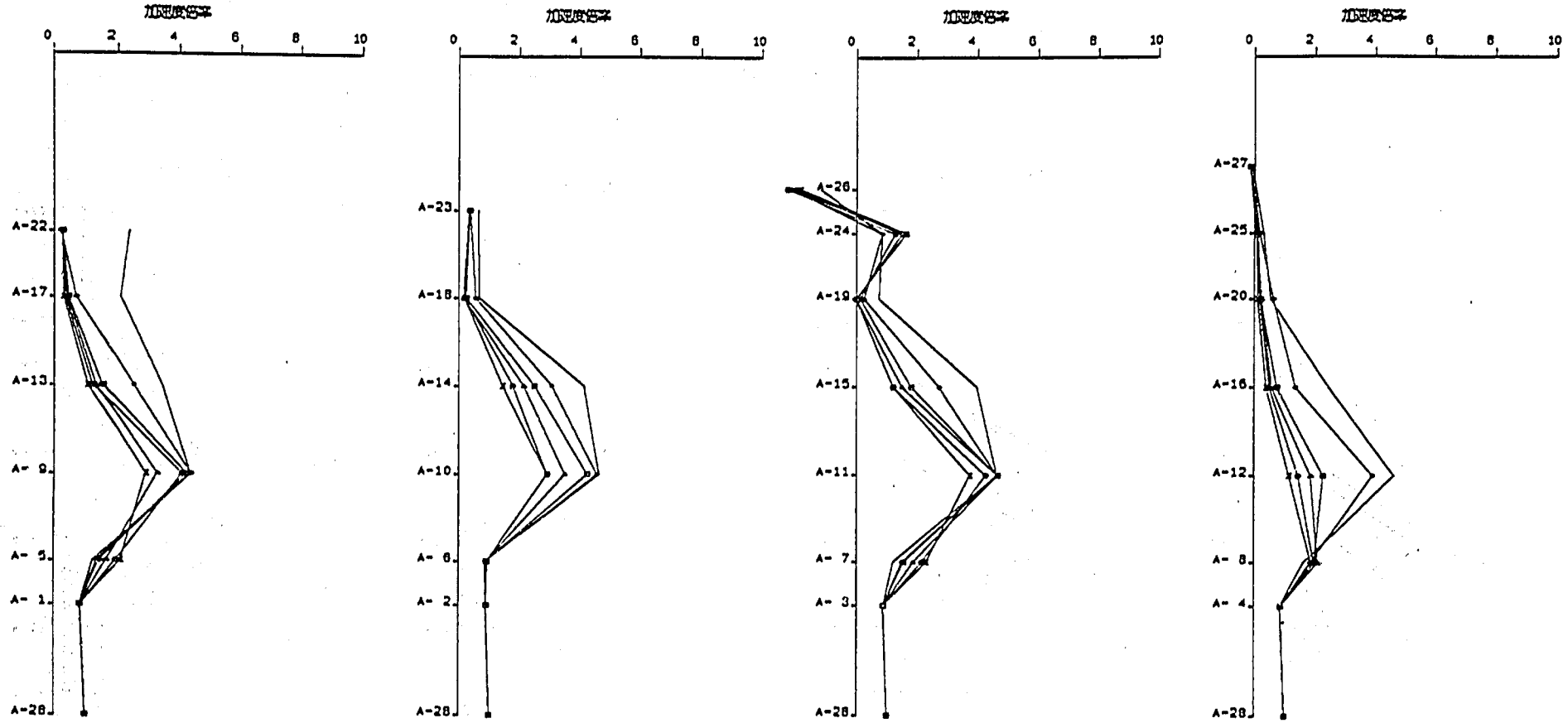
(a) 断面A　(b) 断面B　(c) 断面C　(d) 断面D

加速度倍率鉛直分布　(実験1－3，150gal)

凡例

18.00 SEC
15.00 SEC
12.00 SEC
9.00 SEC
6.00 SEC
3.00 SEC

加速度倍率鉛直分布 CASE 1 200GAL (STEP-4)



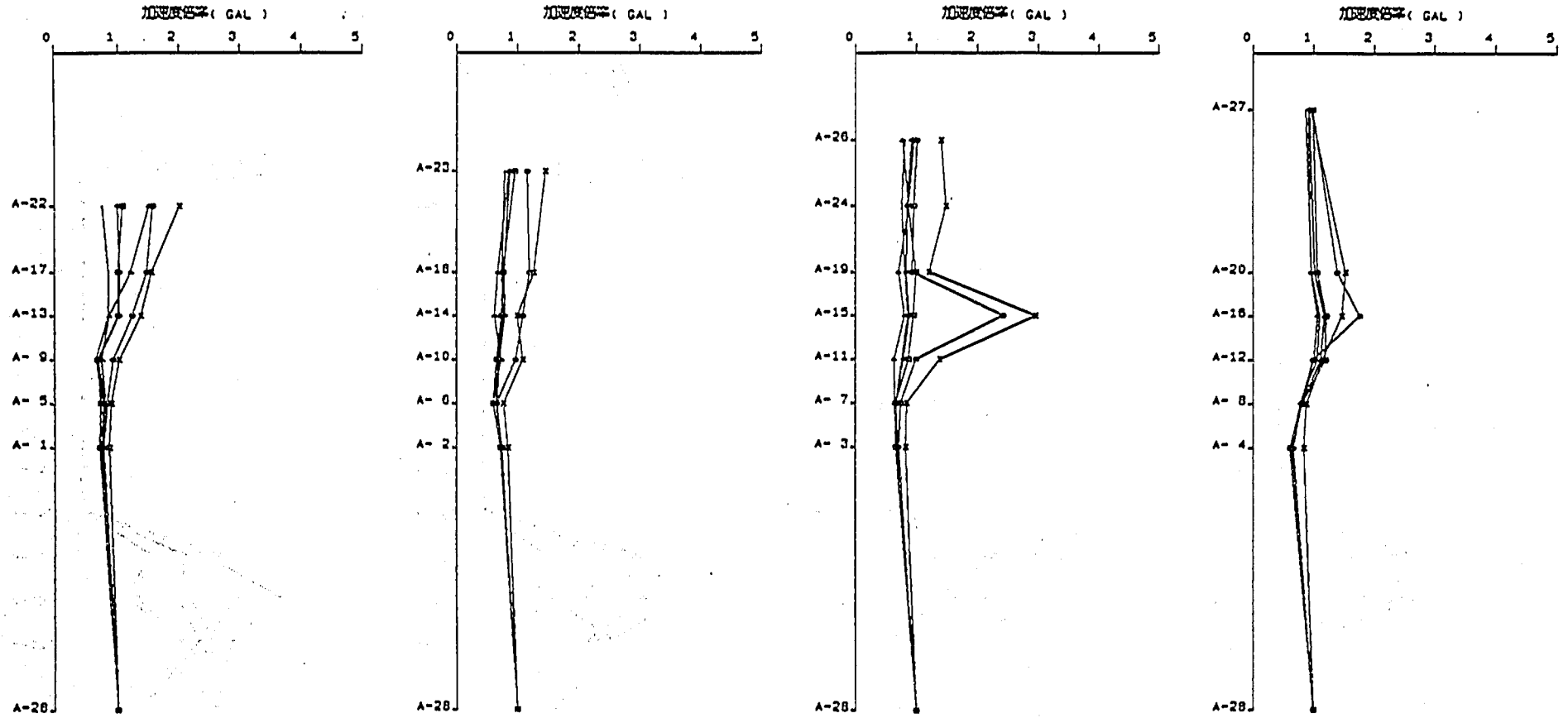
(a) 断面A　(b) 断面B　(c) 断面C　(d) 断面D

加速度倍率鉛直分布　(実験1－4，200gal)

凡例

18.00 SEC
15.00 SEC
12.00 SEC
9.00 SEC
6.00 SEC
3.00 SEC

加速度倍率鉛直分布 CASE 2 STEP-1



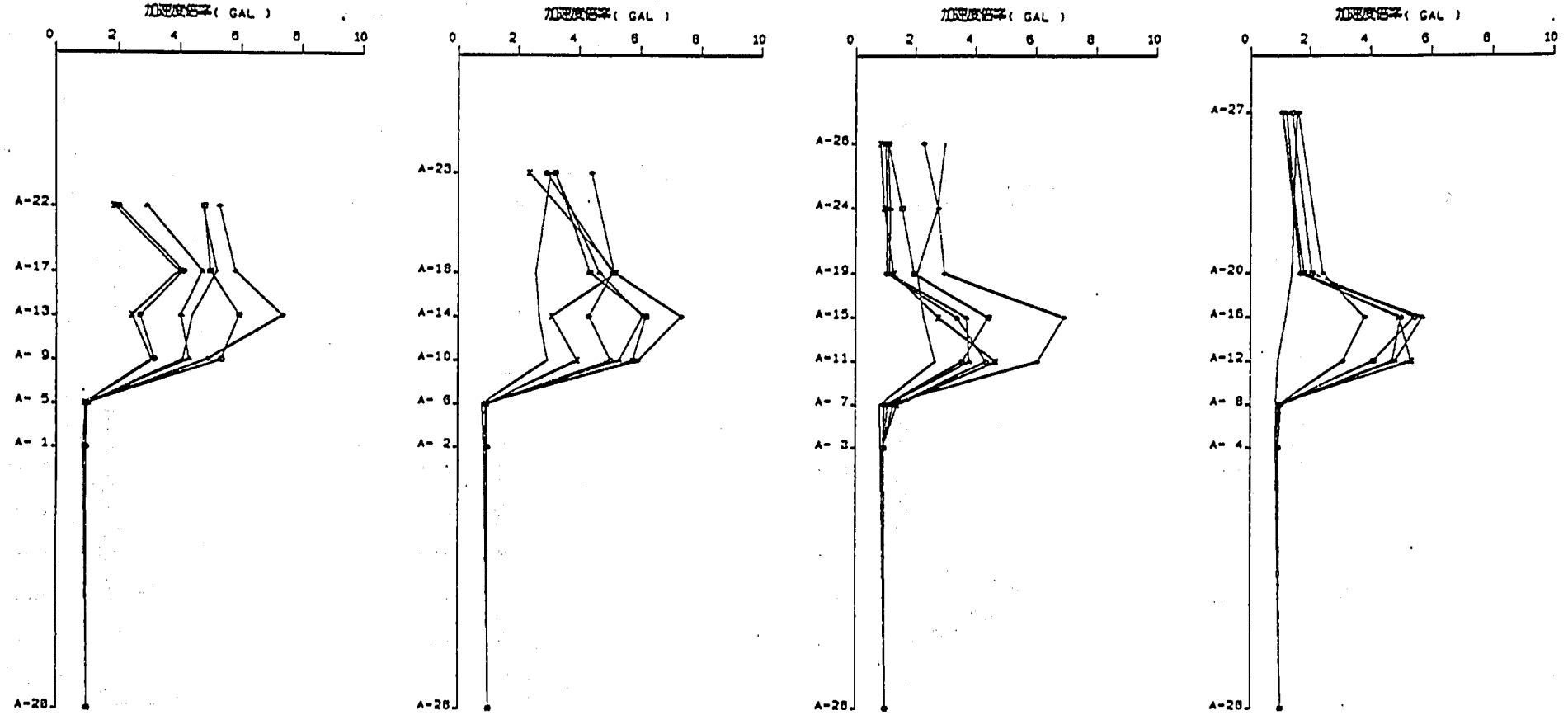
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度倍率鉛直分布　（実験２－１，　５０ｇａｌ）

凡例
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

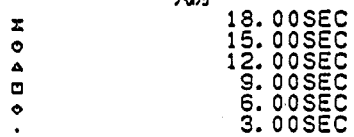
M04B0.

加速度倍率鉛直分布 CASE 2 STEP-2

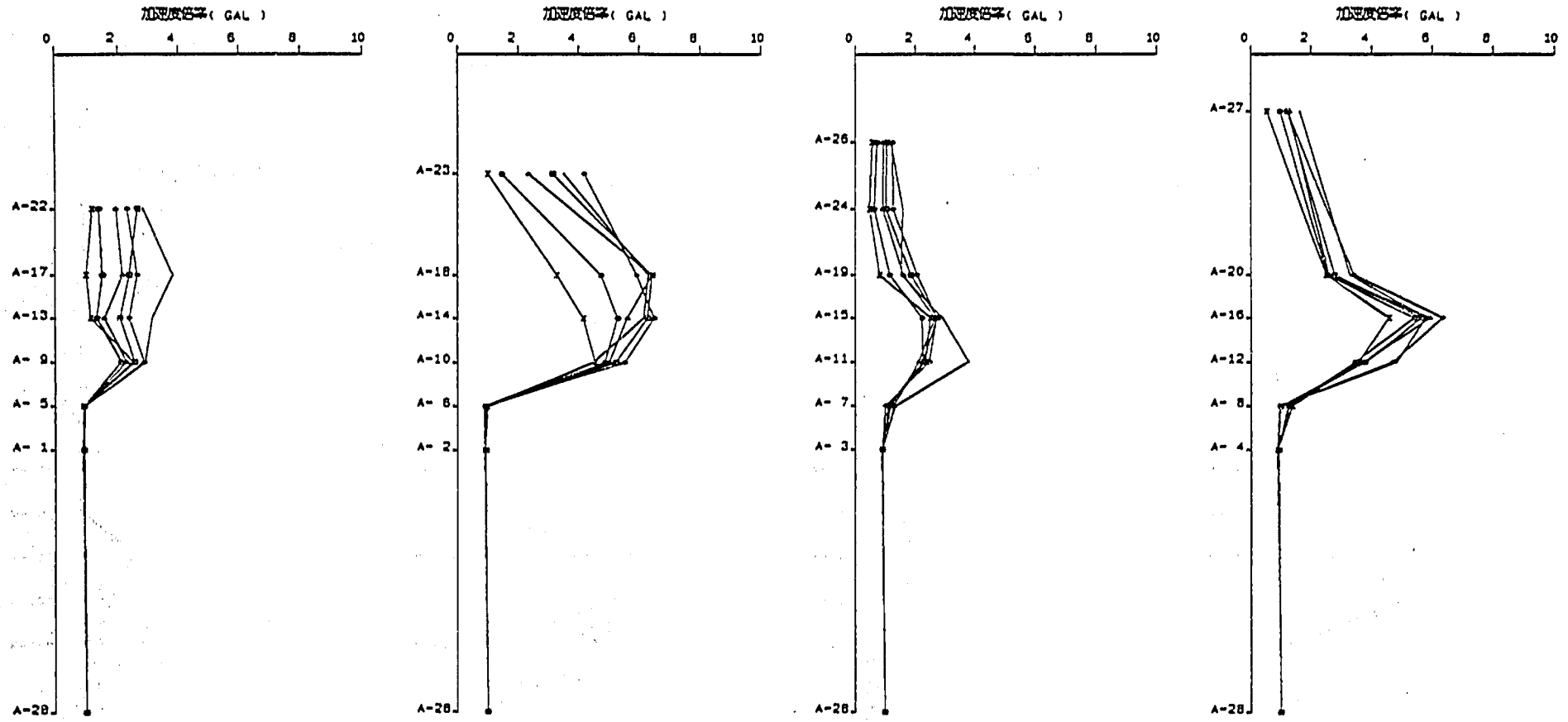


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度倍率鉛直分布　（実験２－２，１００ｇａｌ）

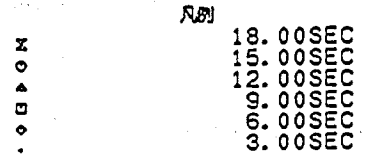


加速度倍率鉛直分布 CASE 2 STEP-3

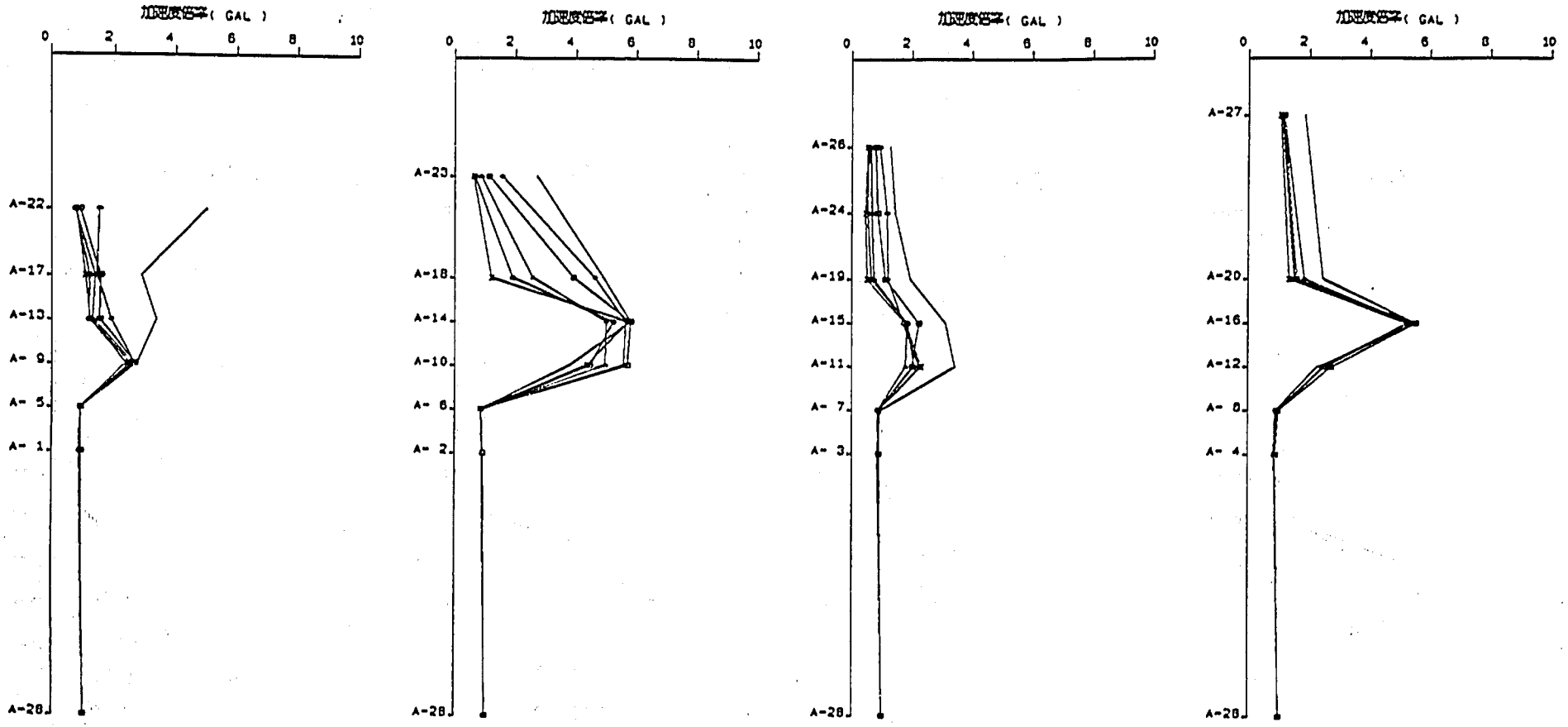


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

加速度倍率鉛直分布　（実験２－３，１５０ｇａｌ）



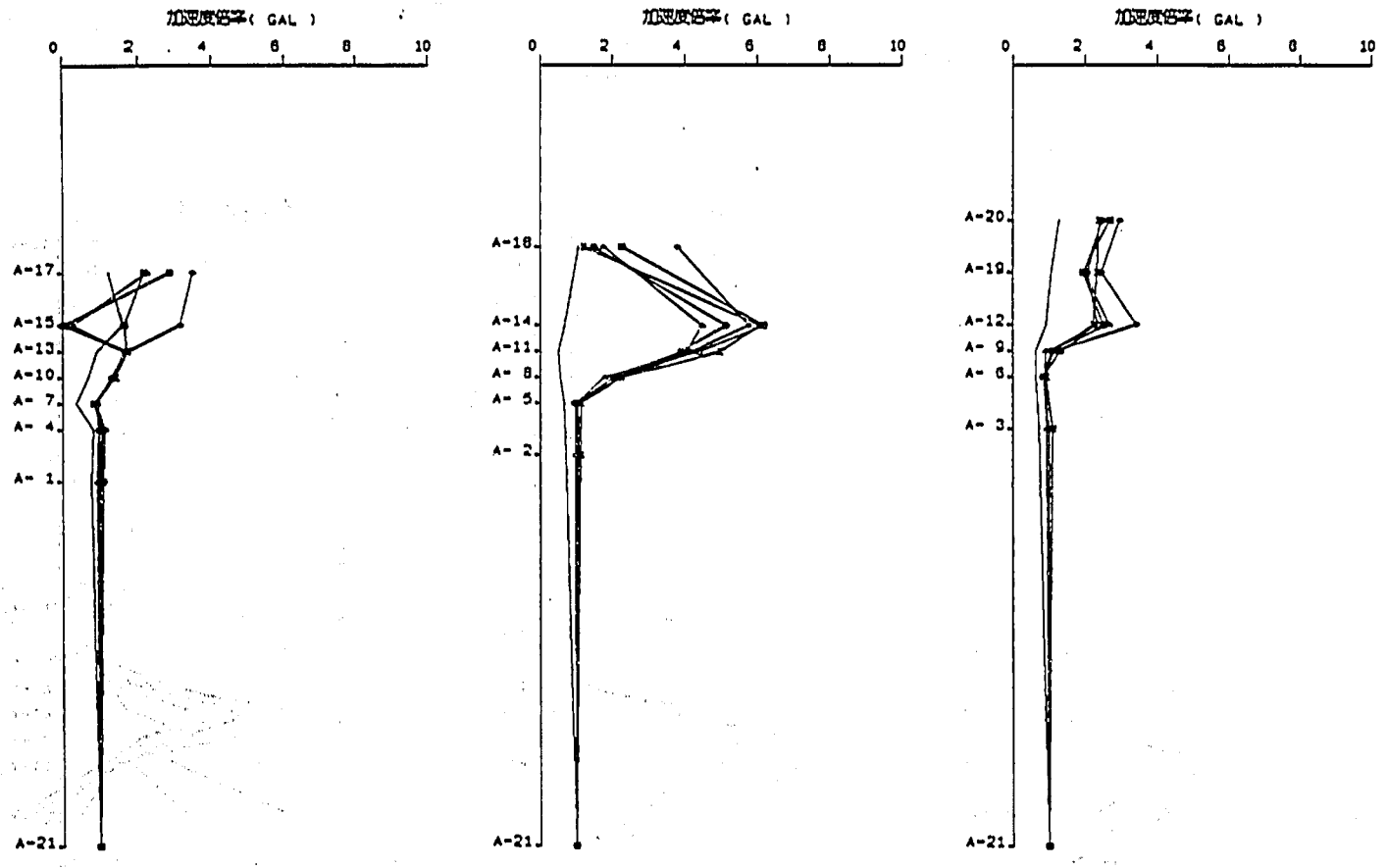
加速度倍率鉛直分布 CASE 2 STEP-4



（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

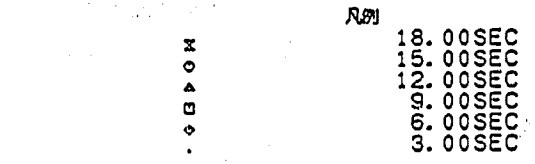
加速度倍率鉛直分布　（実験２－４，１００ｇａｌ）

加速度倍率鉛直分布 CASE 3 STEP-1

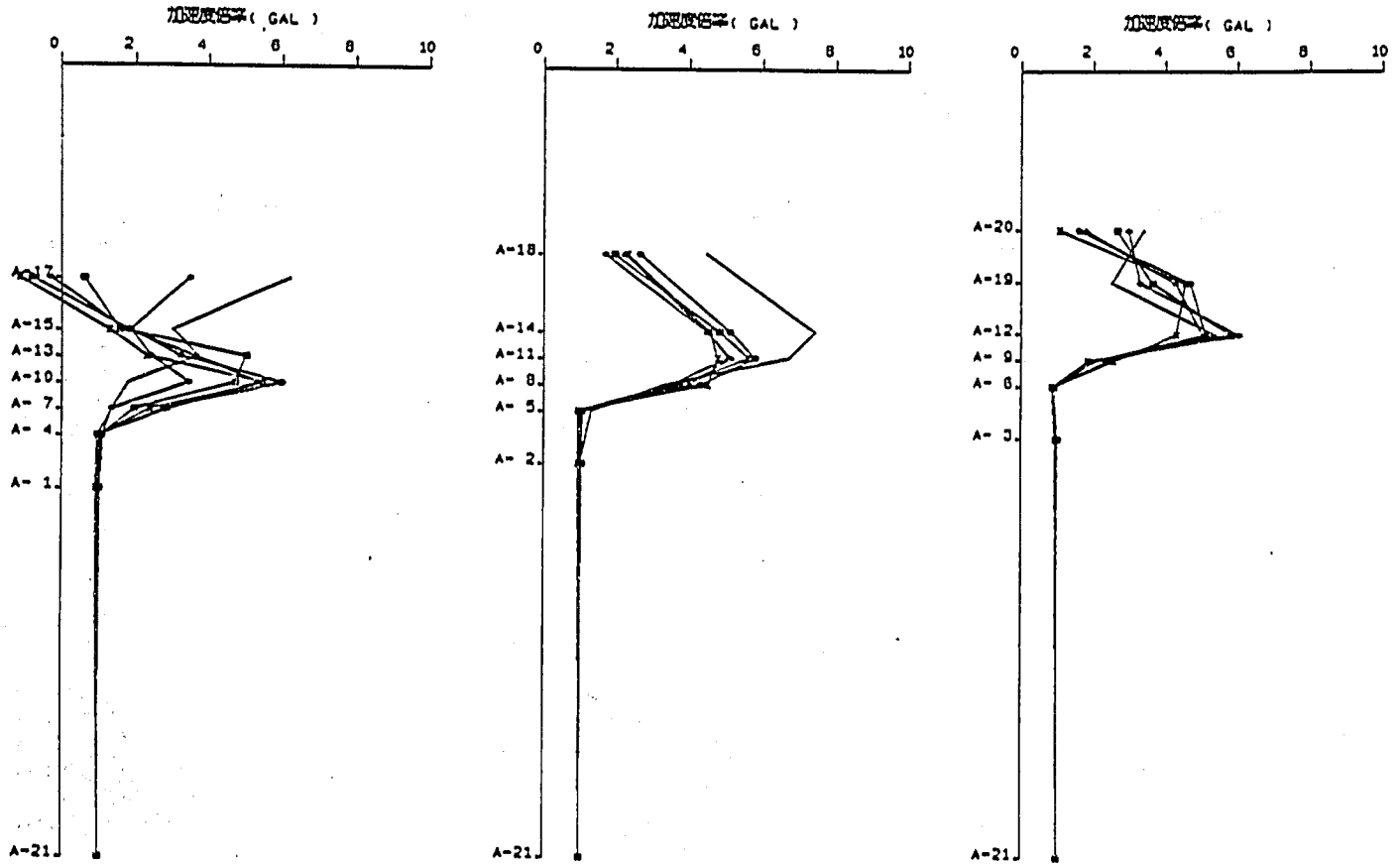


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

加速度倍率鉛直分布　（実験３－１，　５０ｇａｌ）



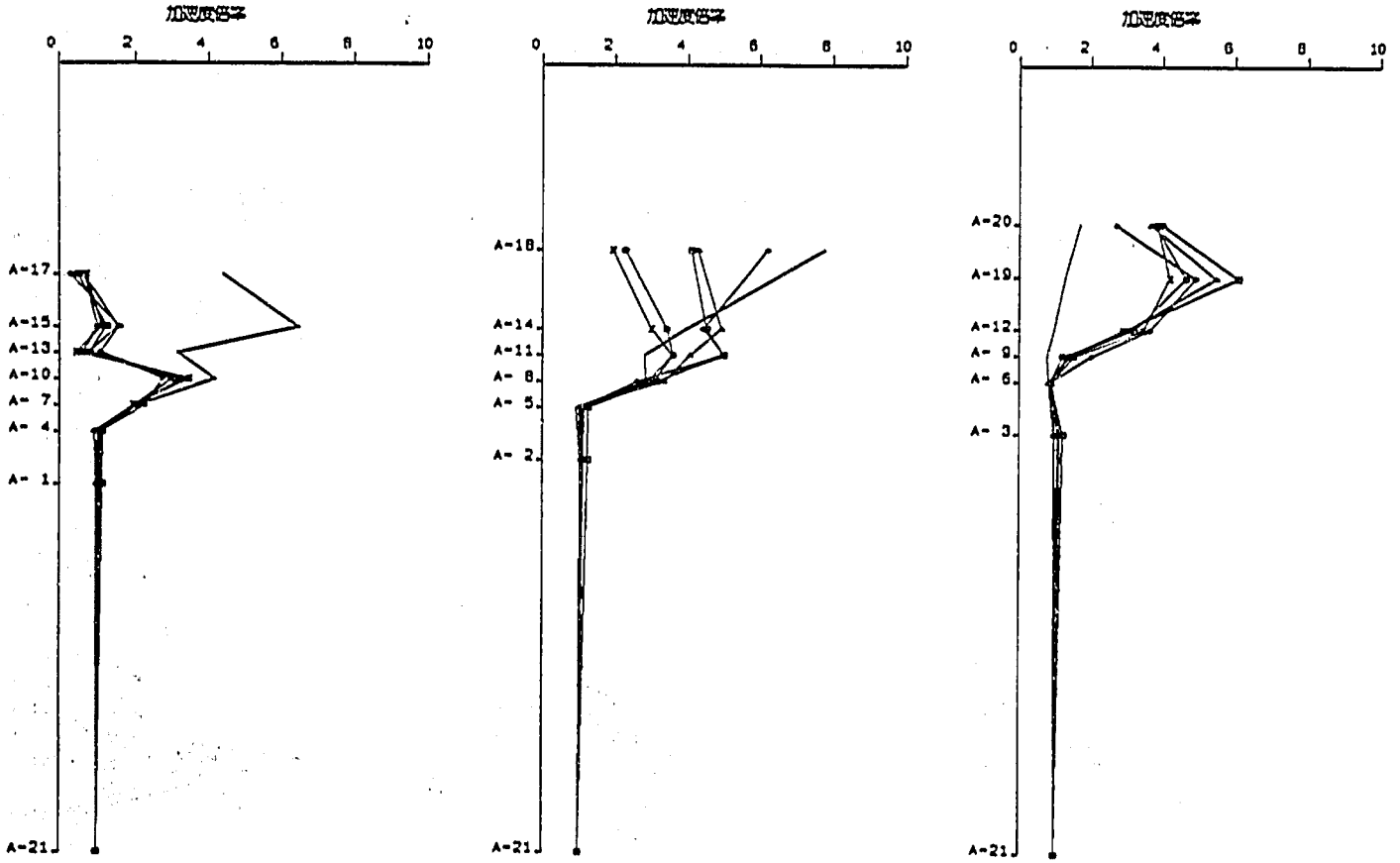
加速度倍率鉛直分布 CASE 3 STEP-2



（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

加速度倍率鉛直分布　　（実験３－２，１００ｇａｌ）

加速度倍率鉛直分布 CASE 3 STEP-3

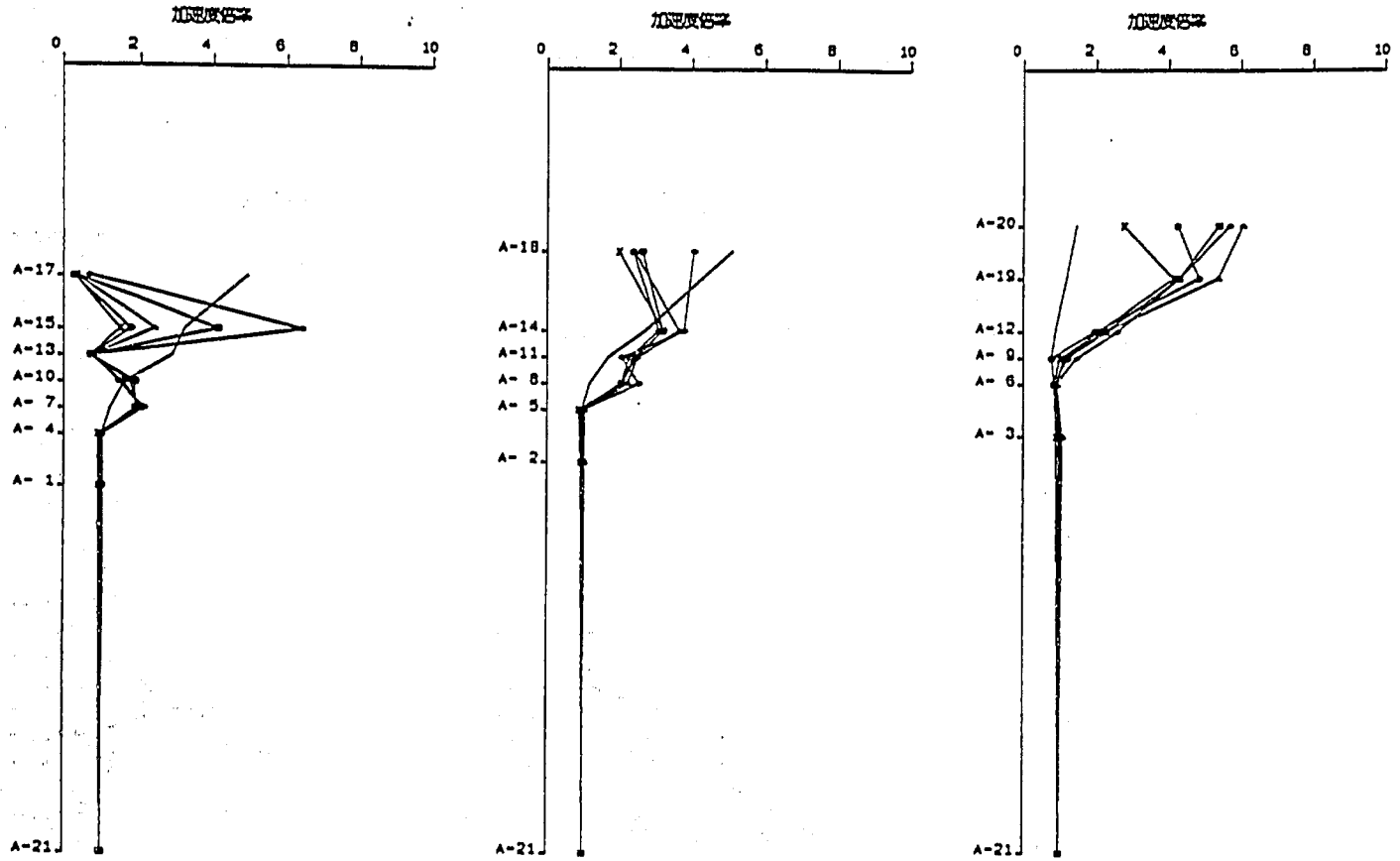


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

加速度倍率鉛直分布　（実験３－３，　７５ｇａｌ）

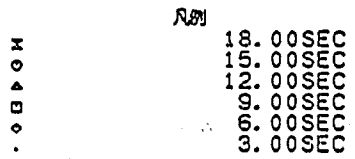
凡例
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

加速度倍率鉛直分布 CASE 3 STEP-4

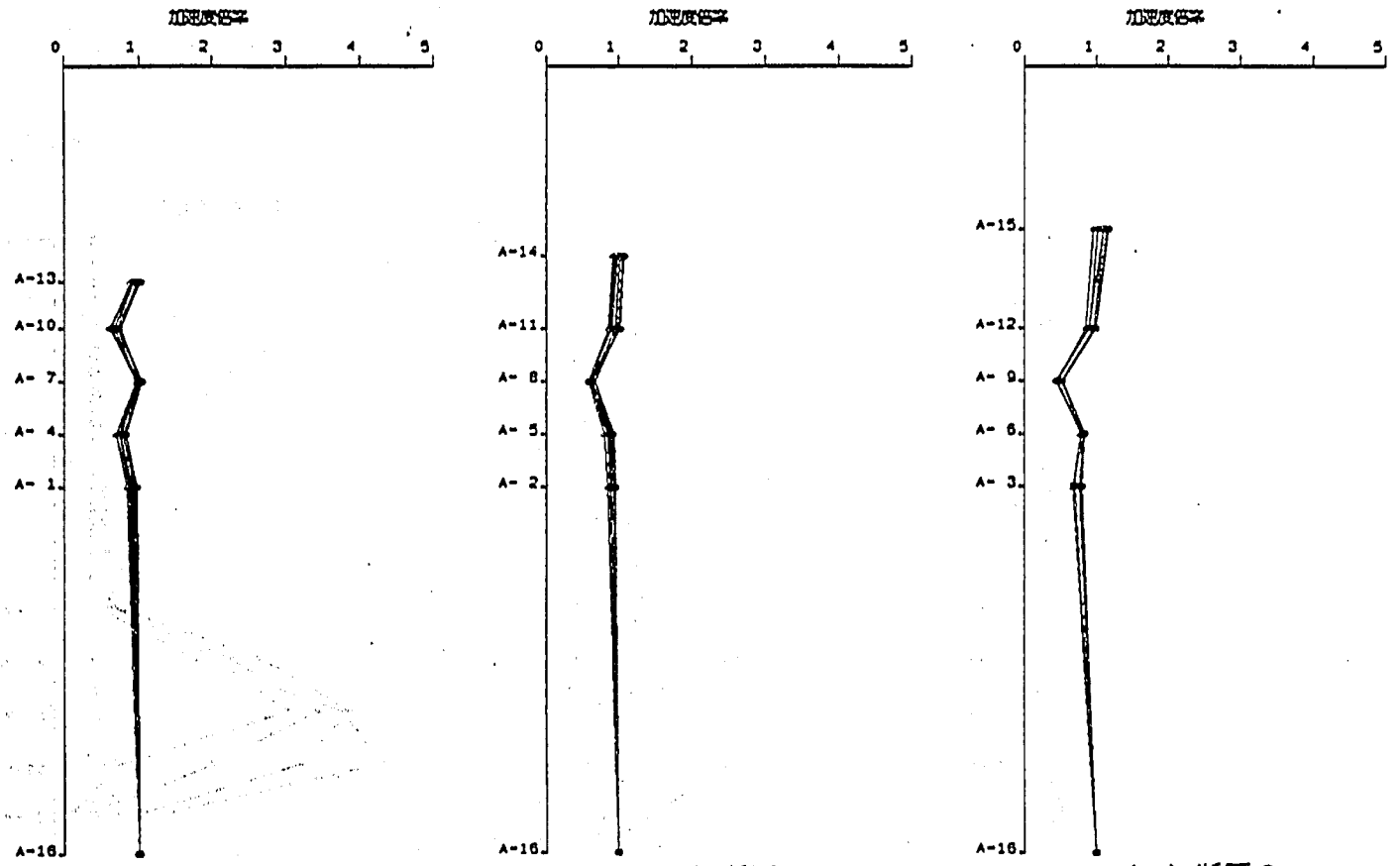


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

加速度倍率鉛直分布　　（実験３－４，　７５ｇａｌ）

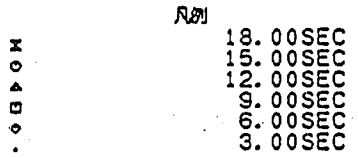


加速度倍率鉛直分布 CASE 4 STEP-1

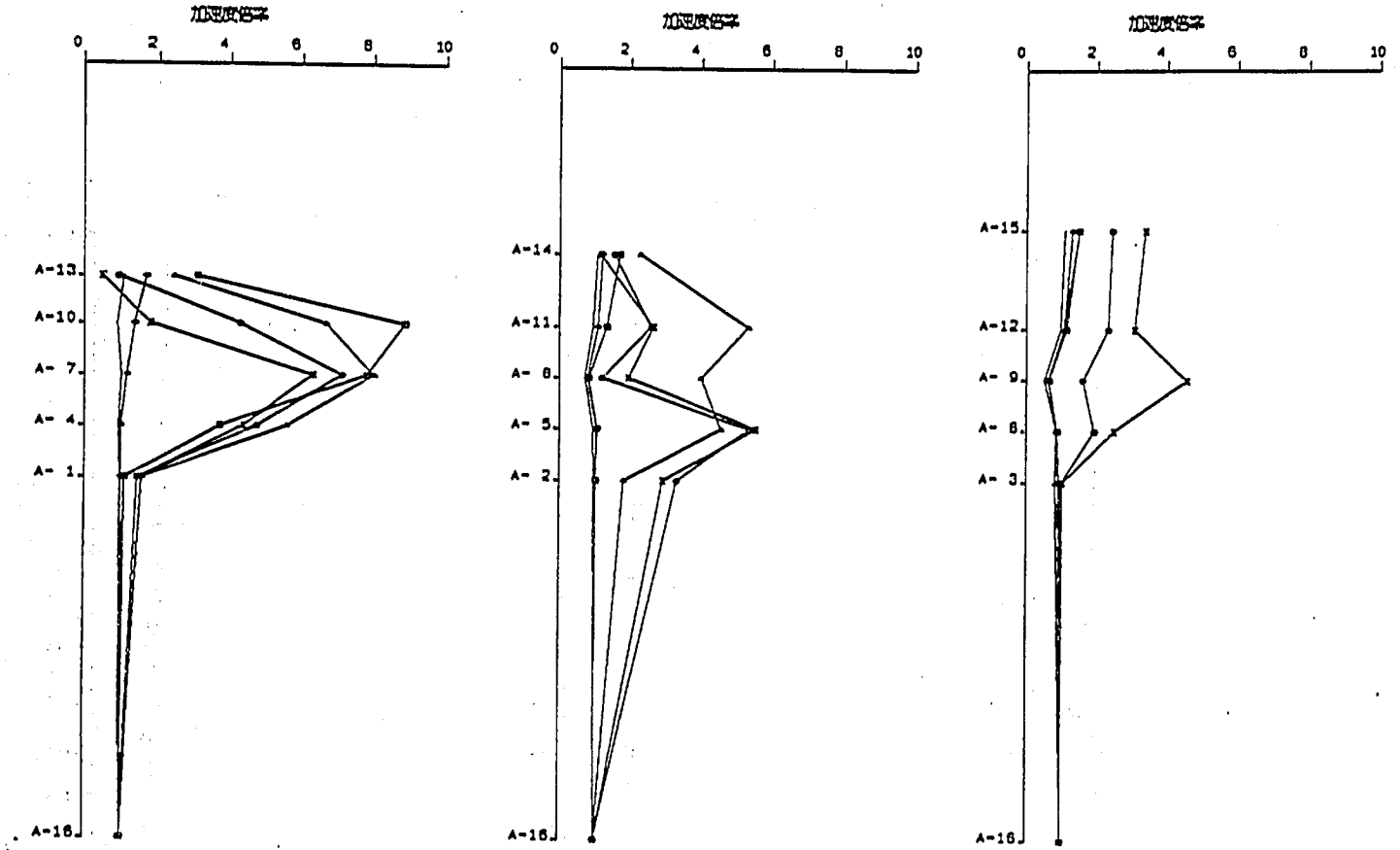


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

加速度倍率鉛直分布　　（実験４－１，　５０ｇａｌ）



加速度倍率鉛直分布 CASE 4 STEP-2



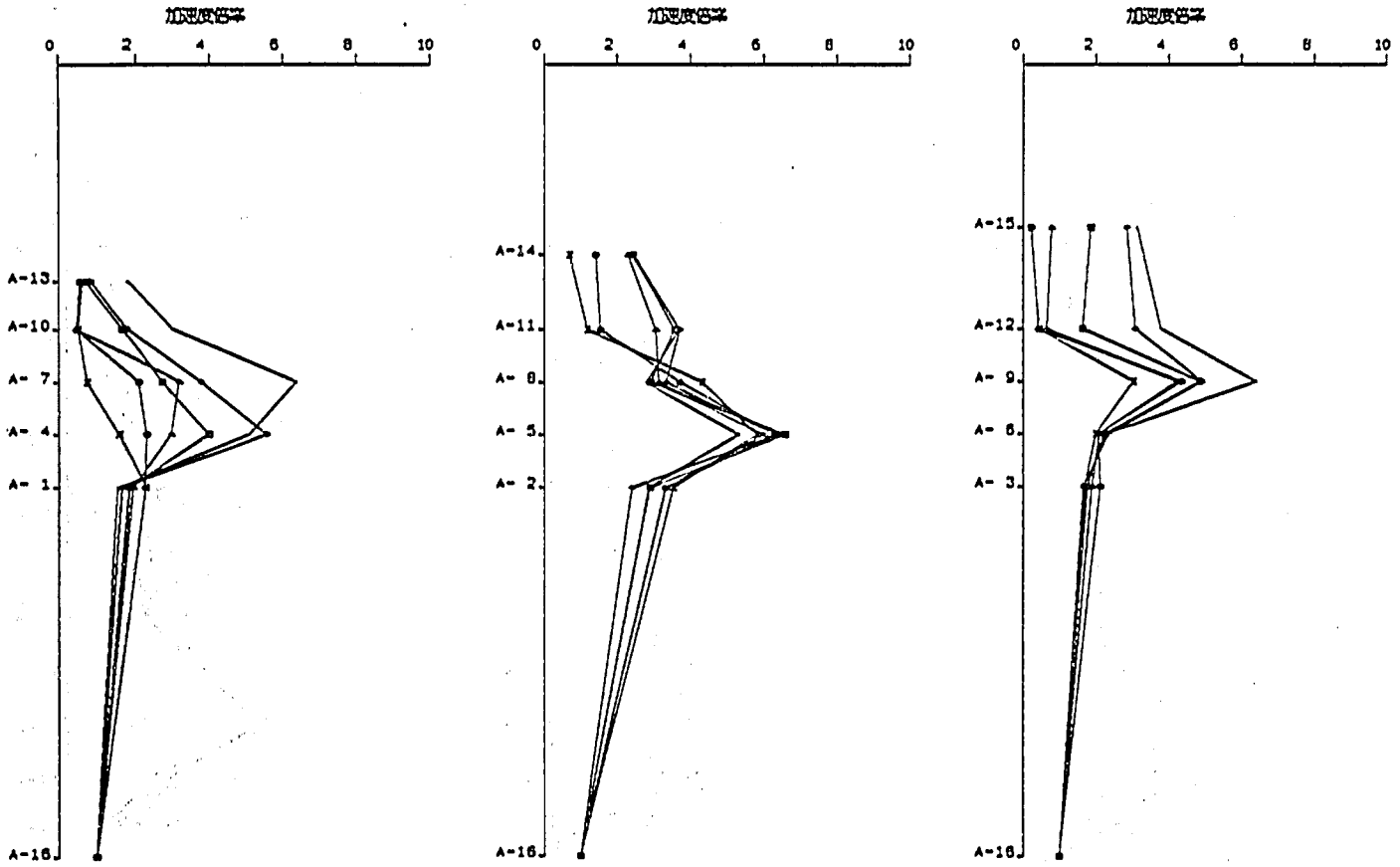
（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

加速度倍率鉛直分布　（実験４－２，１００ｇａｌ）

凡例

18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

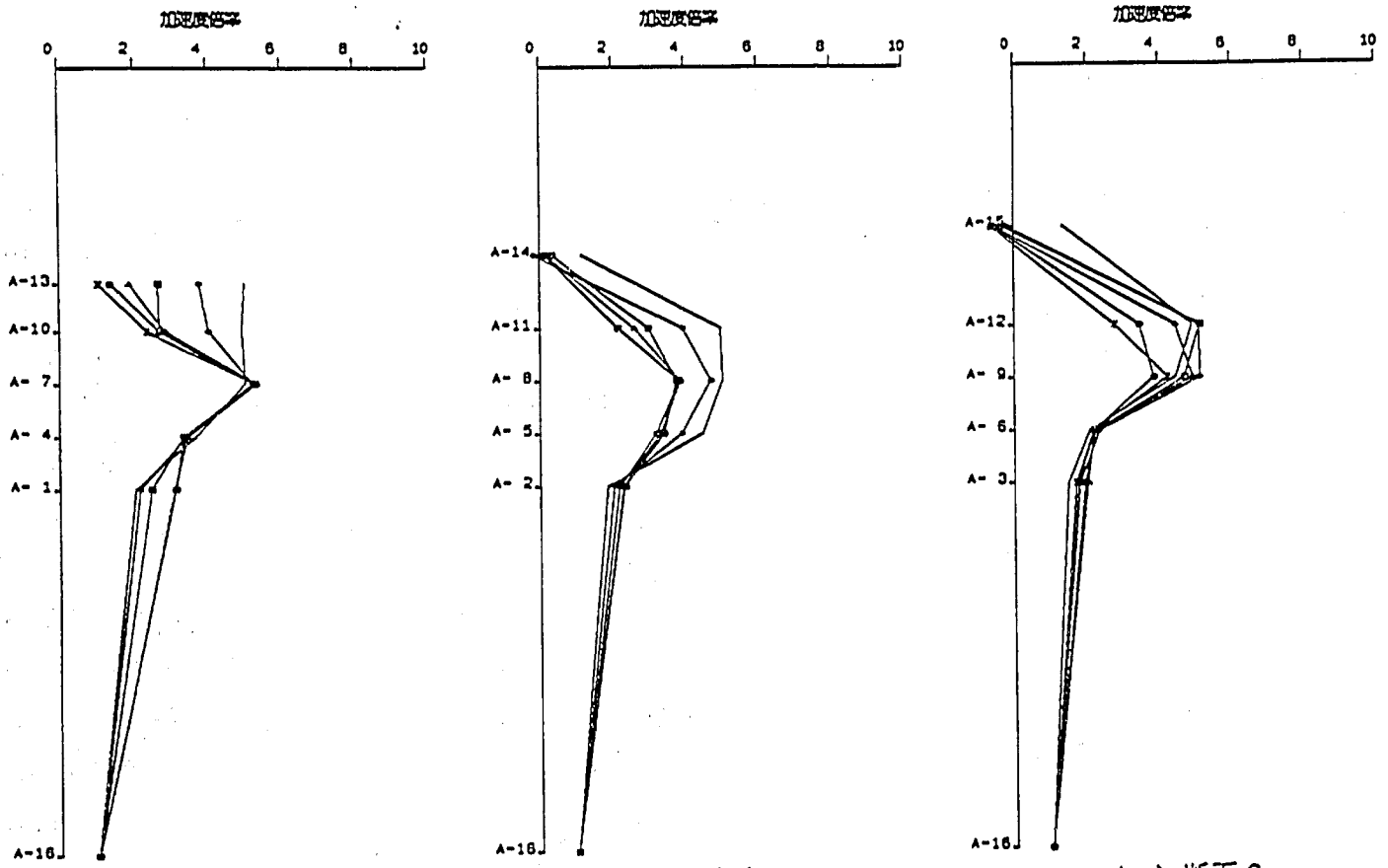
加速度倍率鉛直分布 CASE 4 STEP-3



（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

加速度倍率鉛直分布　　（実験４－３，１５０ｇａｌ）

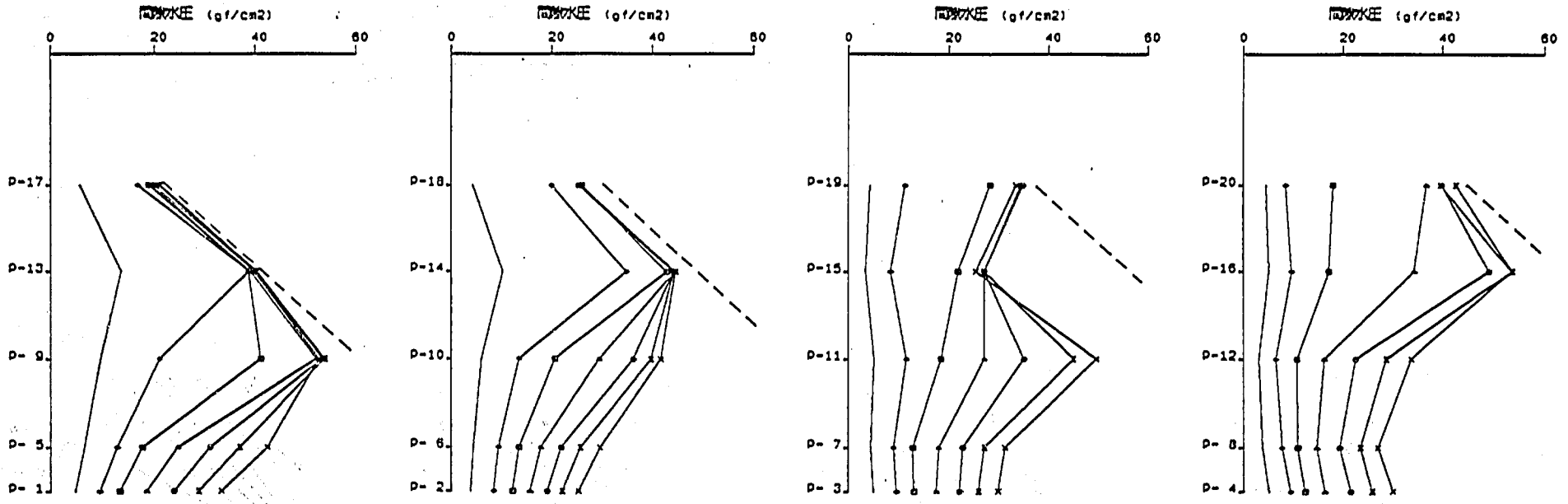
加速度倍率鉛直分布 CASE 4 STEP-4



（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

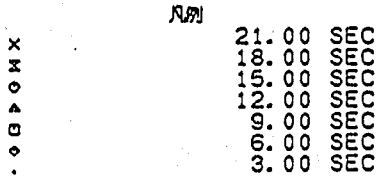
加速度倍率鉛直分布　　（実験４－４，２００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 1　50GAL (STEP-1)

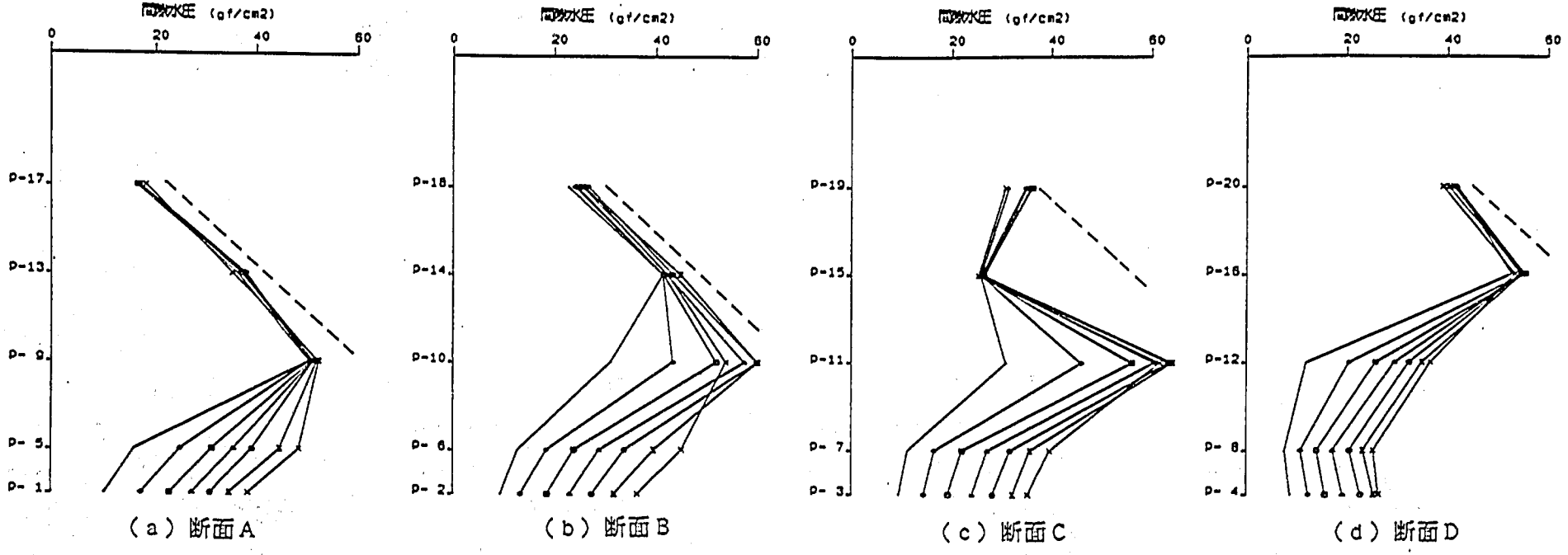


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験１－１，　５０ｇａｌ）

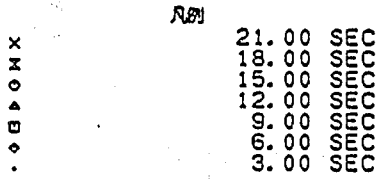


間隙水圧鉛直分布 CASE 1　100GAL (STEP-2)

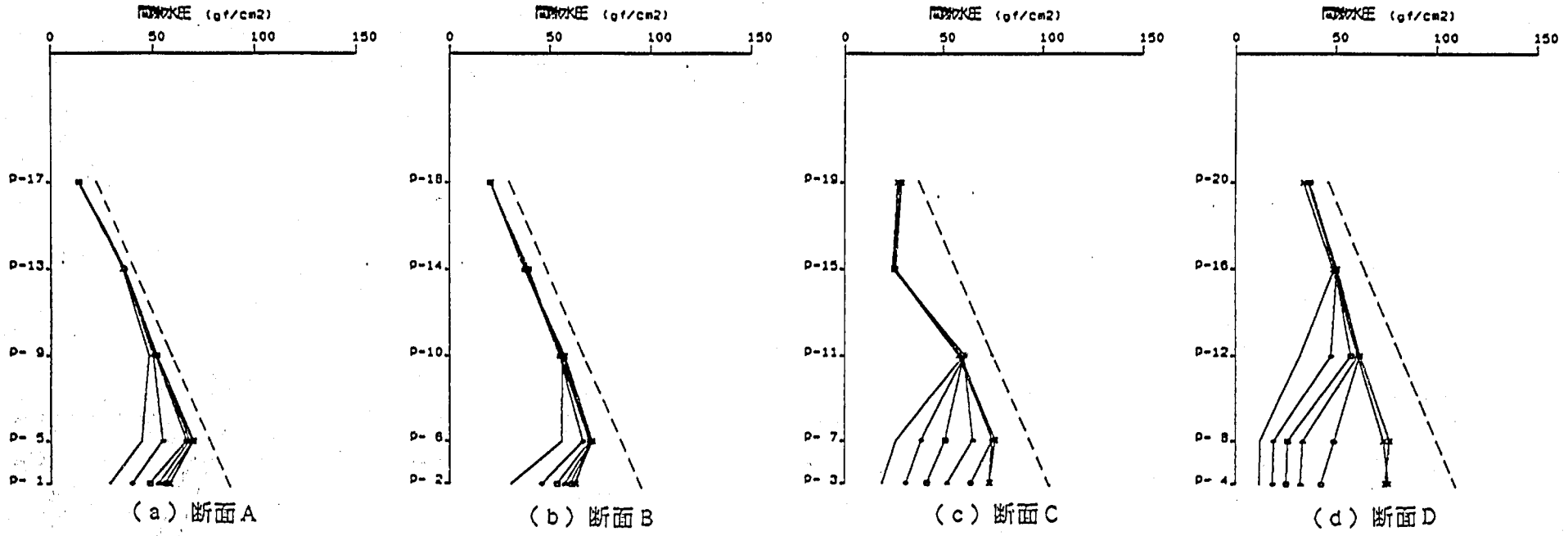


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験1－2，100gal）

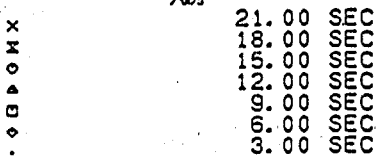


間隙水圧鉛直分布 CASE 1　150GAL (STEP-3)

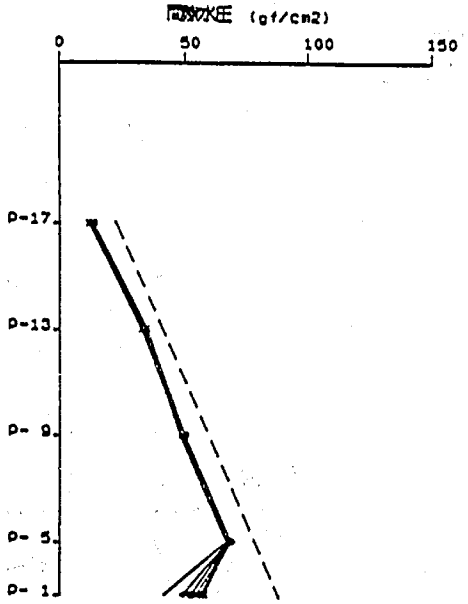


(a) 断面A　(b) 断面B　(c) 断面C　(d) 断面D

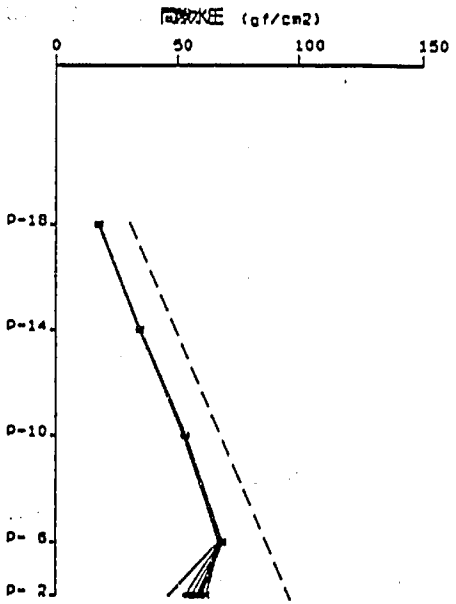
間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験1－3，150gal）



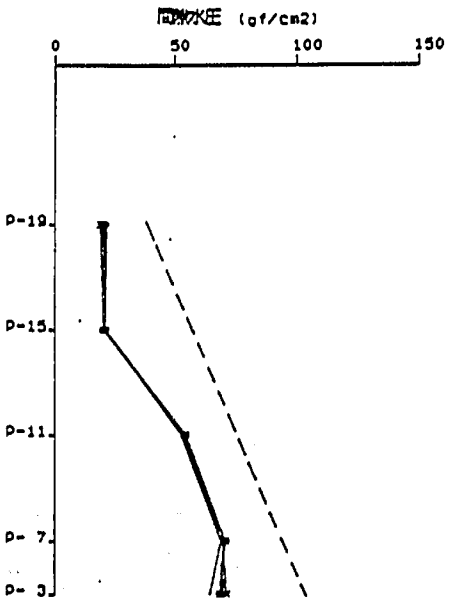
間隙水圧鉛直分布 CASE 1　200GAL (STEP-4)



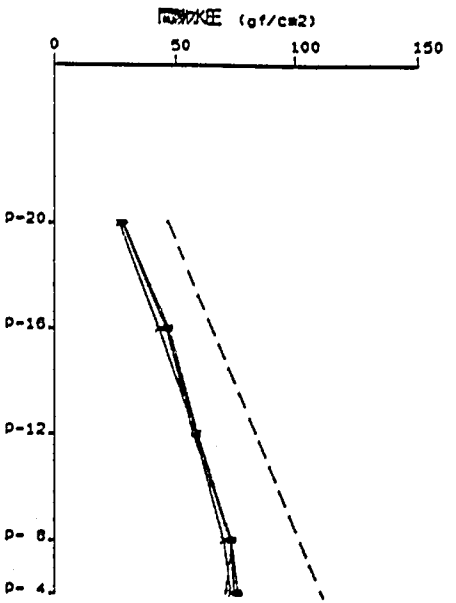
(a) 断面A



(b) 断面B

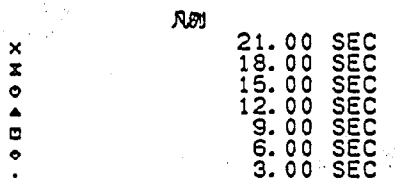


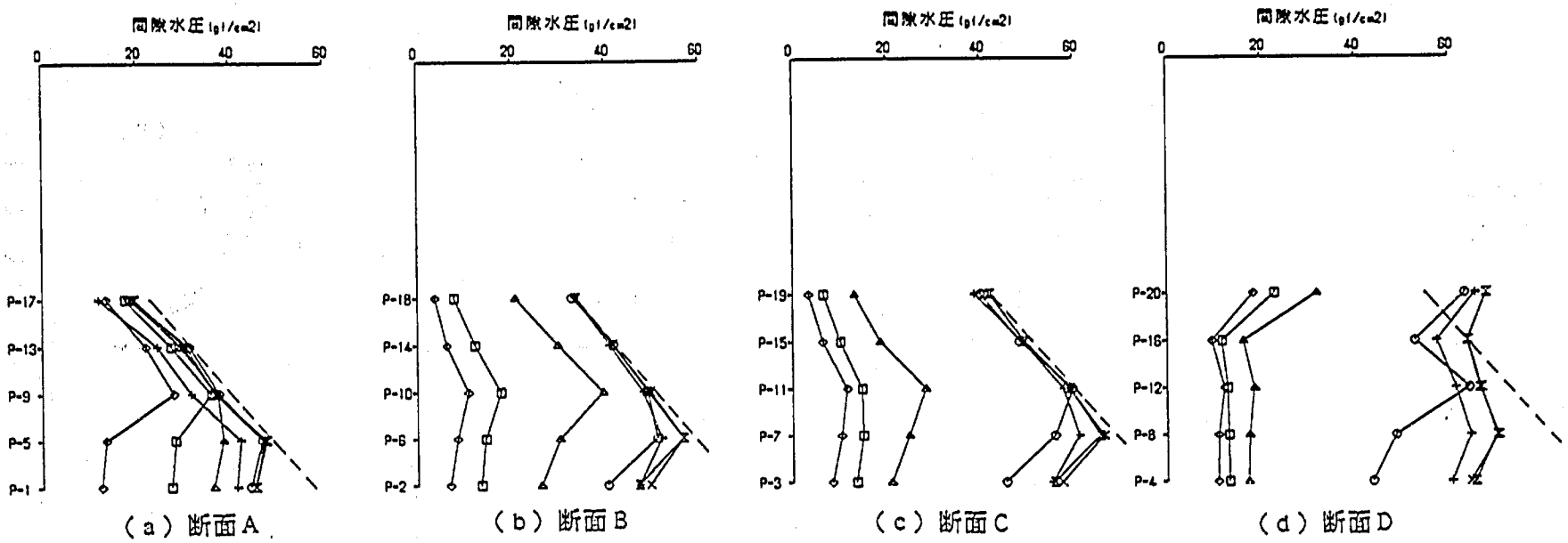
(c) 断面C



(d) 断面D

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験１－４，２００ｇａｌ）



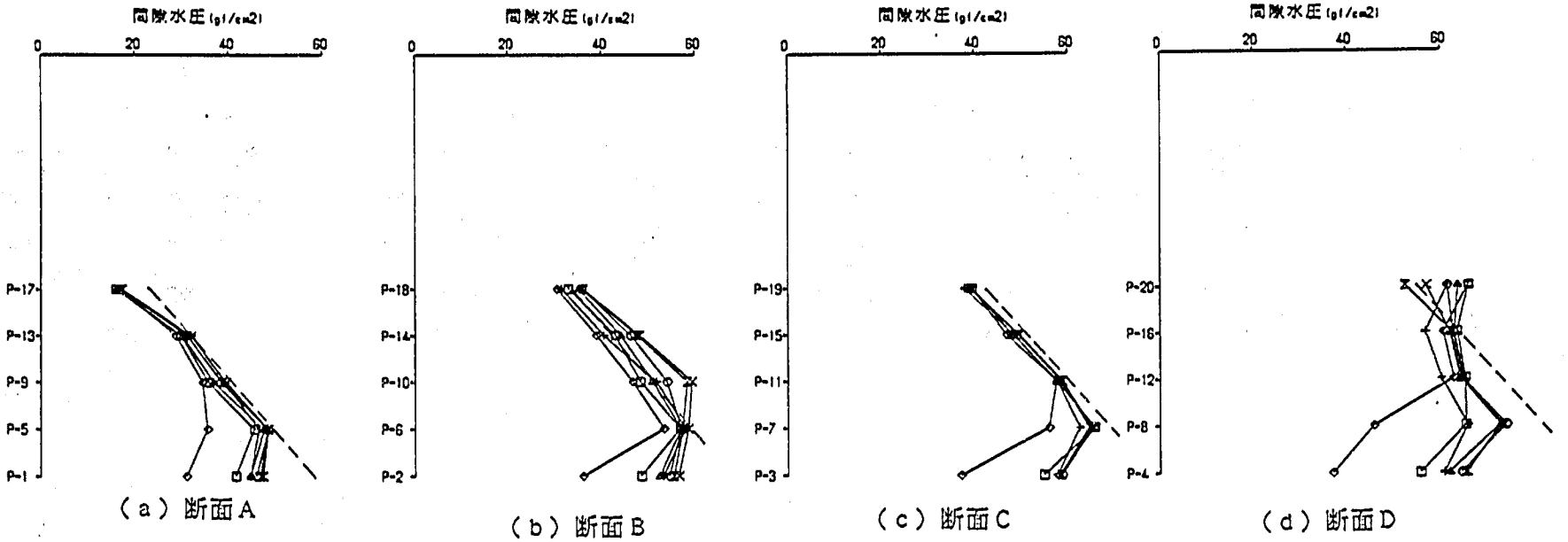


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡 例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- M 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験２－１，　５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　2　100 GAL (STEP- 2)

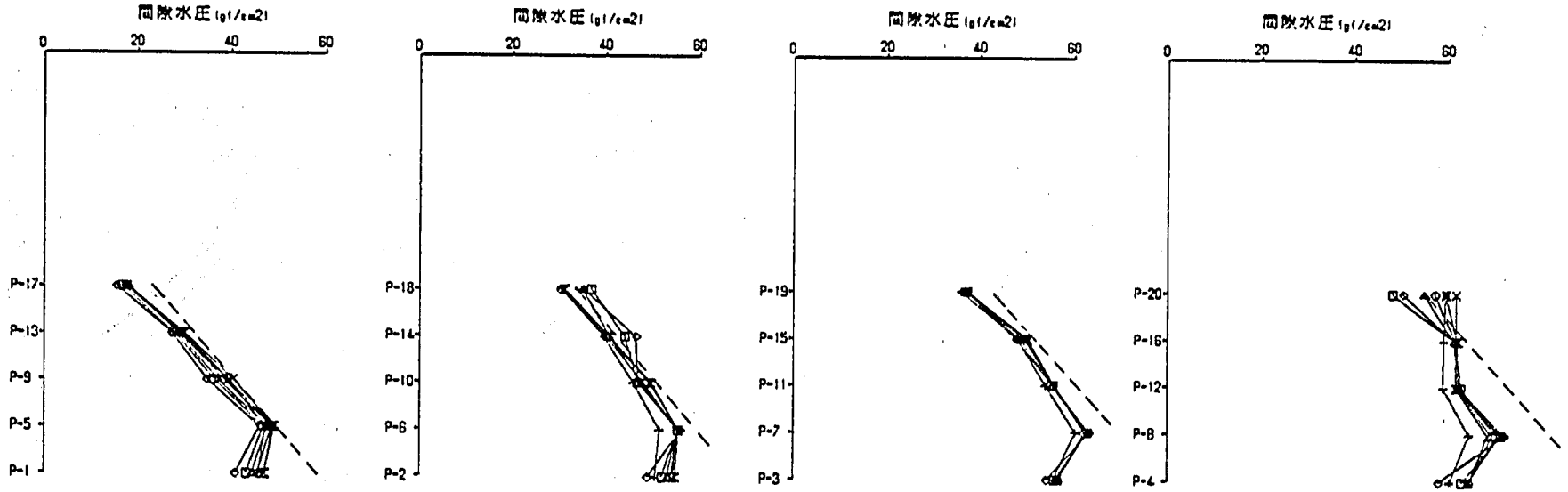


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ⋈ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験２－２，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　2　150 GAL (STEP- 3)

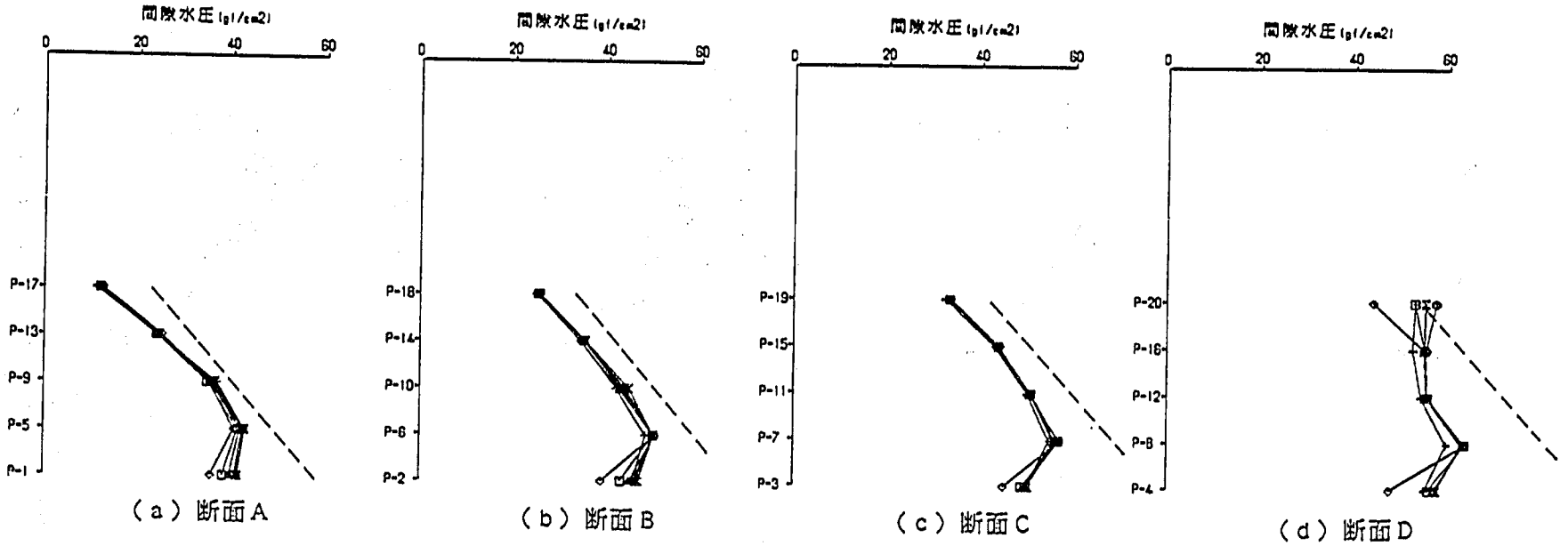


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡 例
- ○ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ◇ 12 sec
- ✕ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験２－３，１５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　2　100 GAL (STEP- 4)

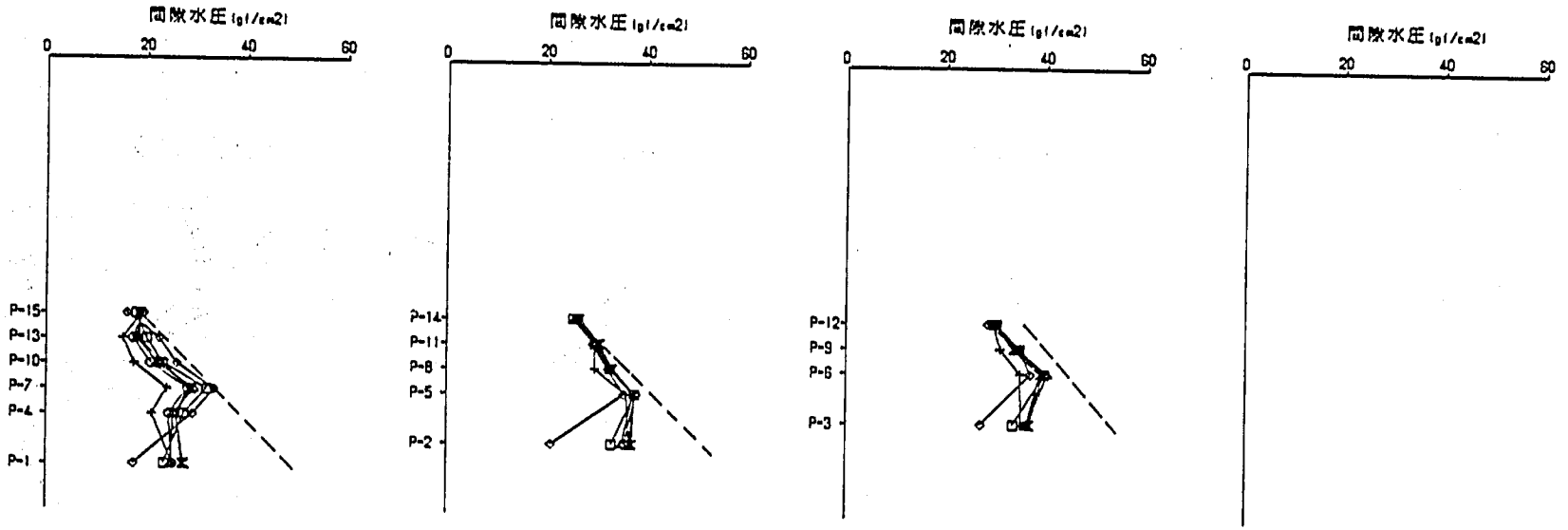


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ✱ 15 sec
- × 18 sec
- ＋ 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験２－４，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE 3　50 GAL (STEP- 1)

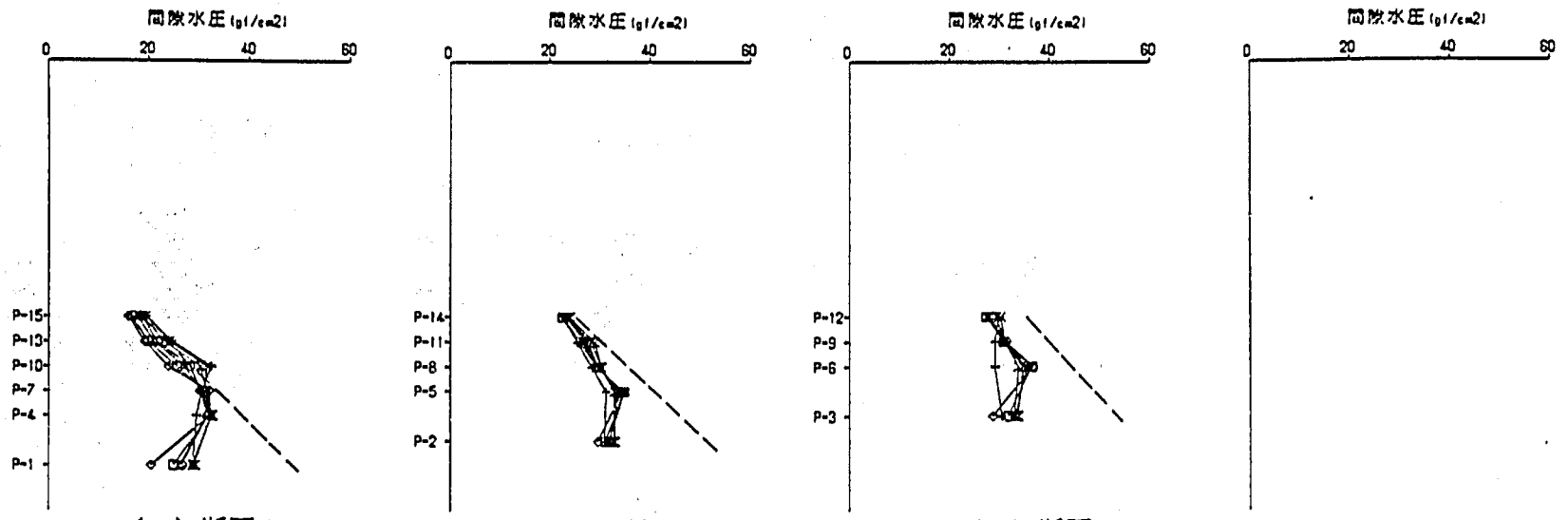


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡 例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✕ 15 sec
× 18 sec
+ 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験３－１，　５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE 3　100 GAL (STEP- 2)

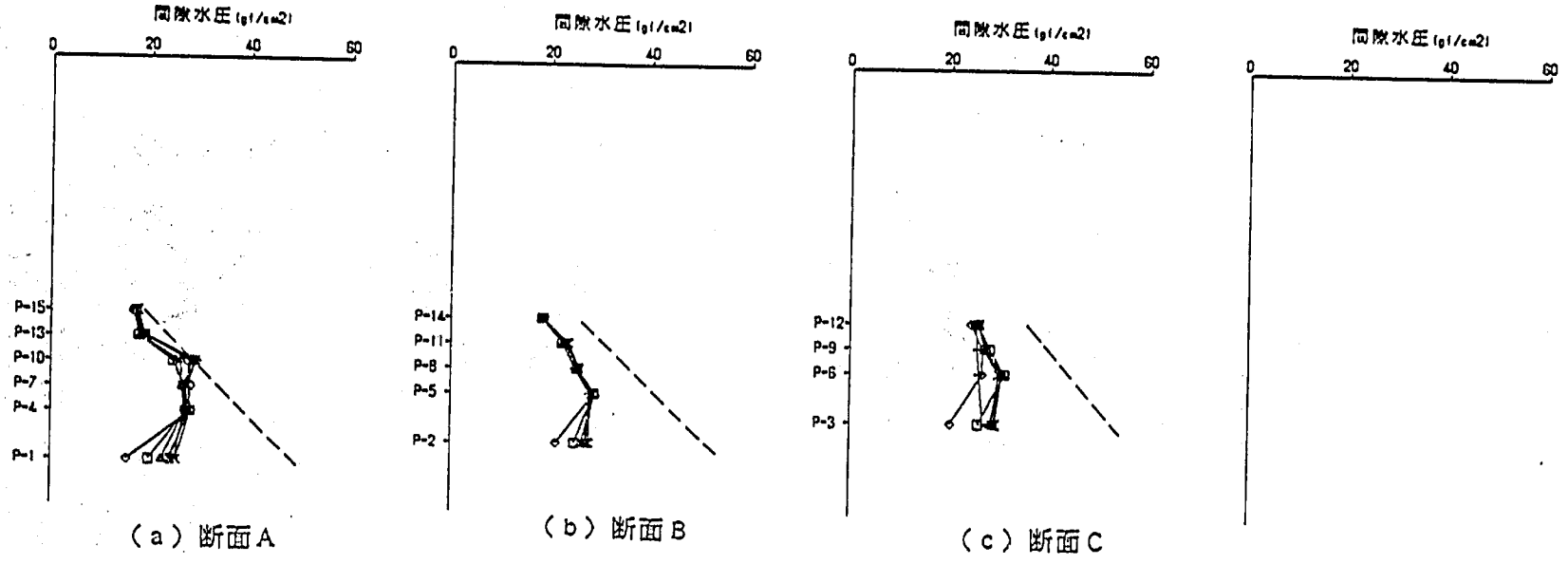


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡 例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✕ 15 sec
× 18 sec
＋ 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験３－２，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE 3　75 GAL (STEP- 3)

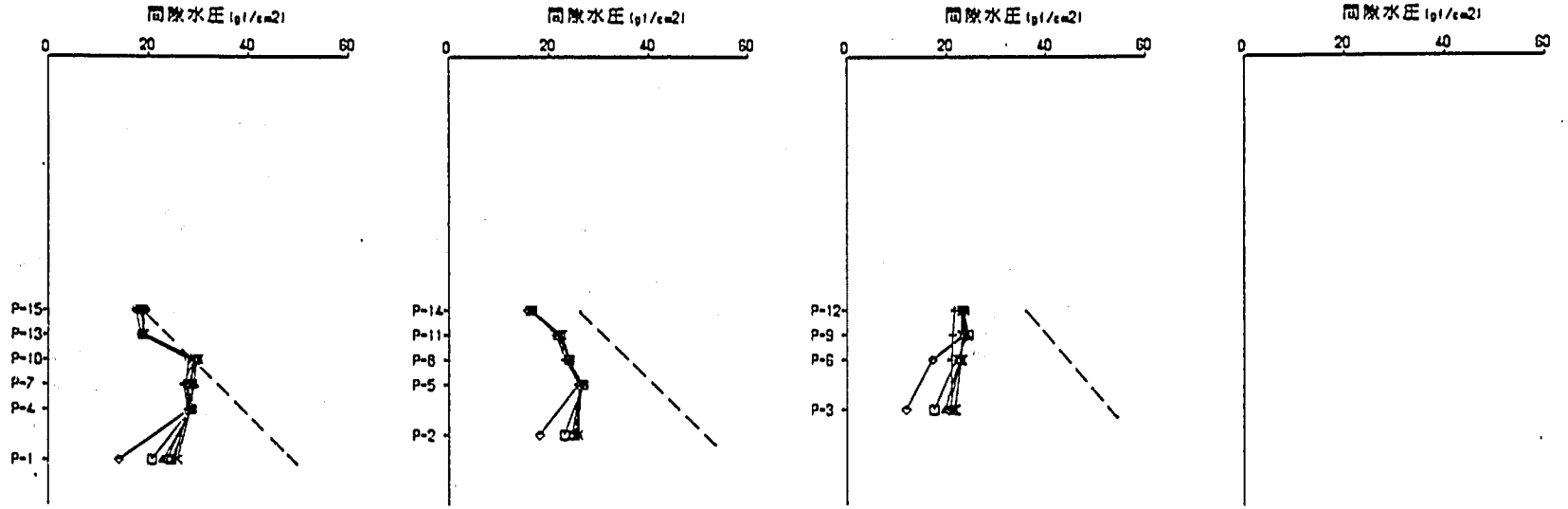


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡例
- 3 sec
- 6 sec
- 9 sec
- 12 sec
- 15 sec
- 18 sec
- 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験３－３，　７５ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　3　75 GAL (STEP- 4)

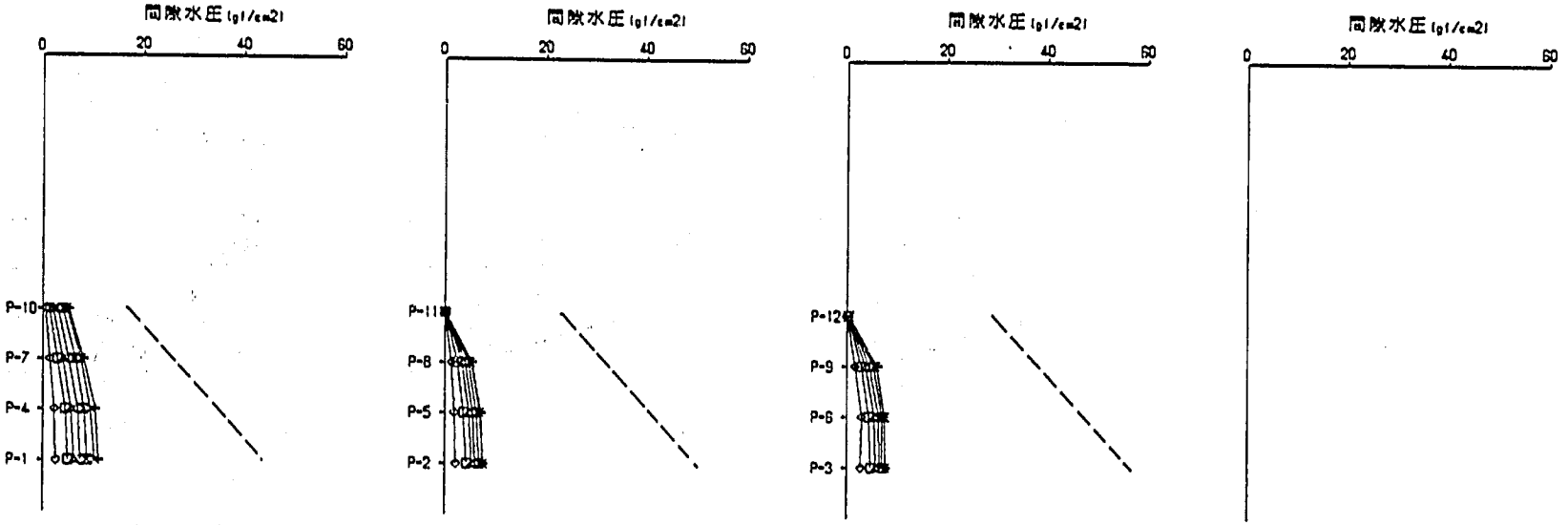


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

凡例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✱ 15 sec
× 18 sec
＋ 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験３－４，　７５ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　4　50 GAL (STEP- 1)

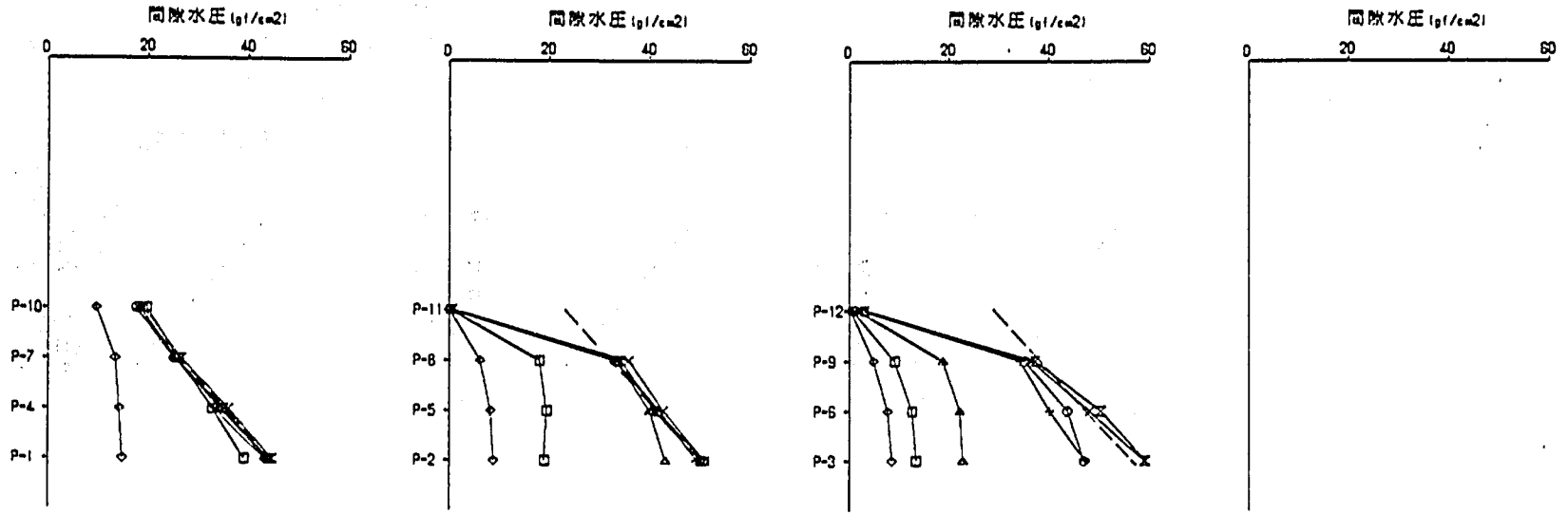


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡 例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✕ 15 sec
× 18 sec
＋ 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験４－１，　５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　4　100 GAL (STEP- 2)

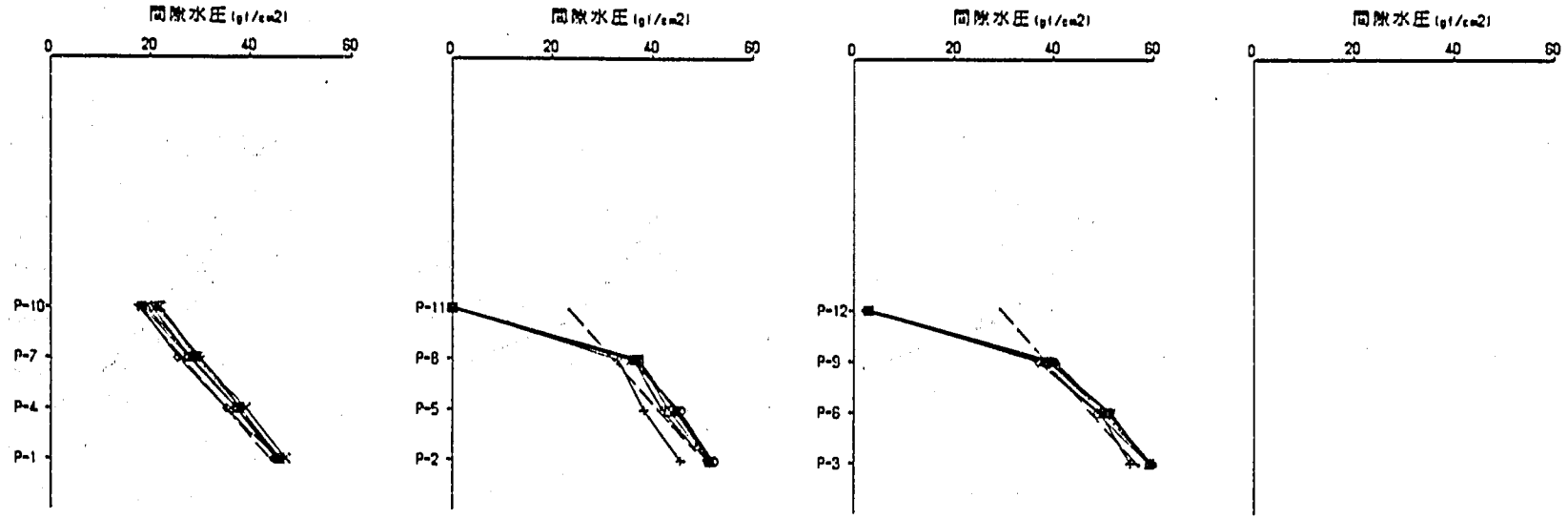


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

凡例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✕ 15 sec
× 18 sec
＋ 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験４－２，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　4　75 GAL (STEP- 3)

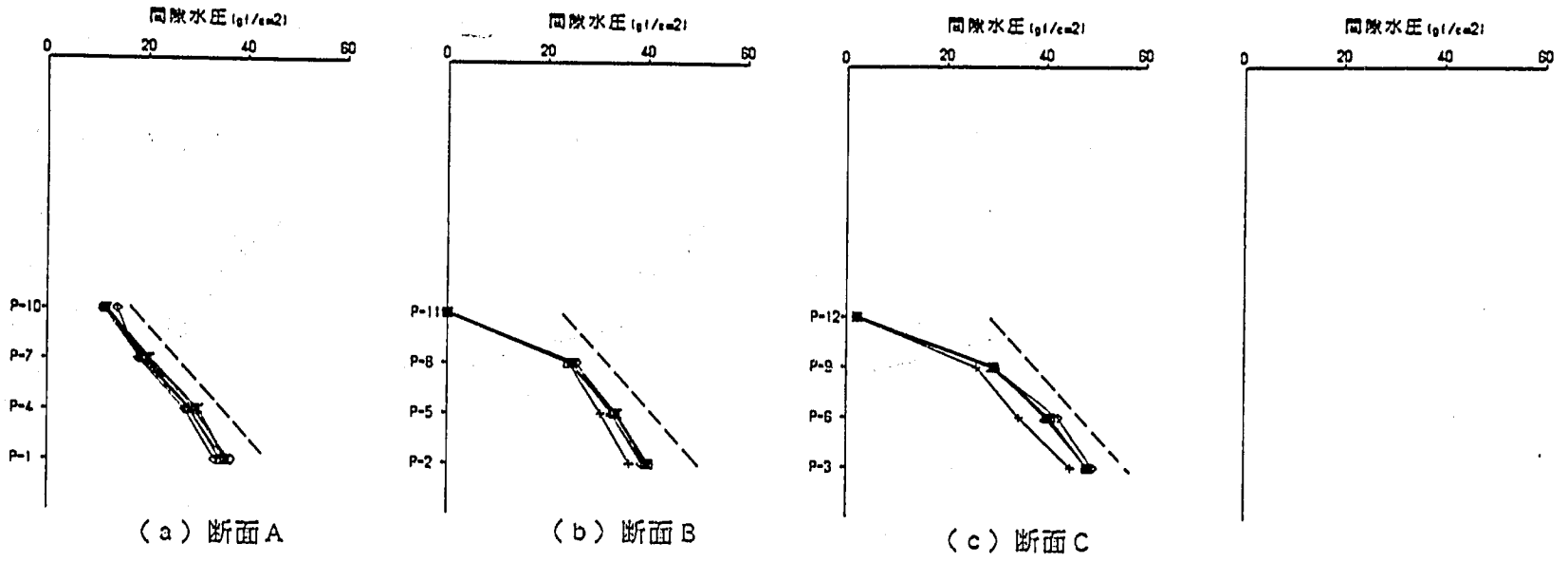


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡 例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ✱ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験４－３，１５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布　CASE　4　75 GAL (STEP- 4)

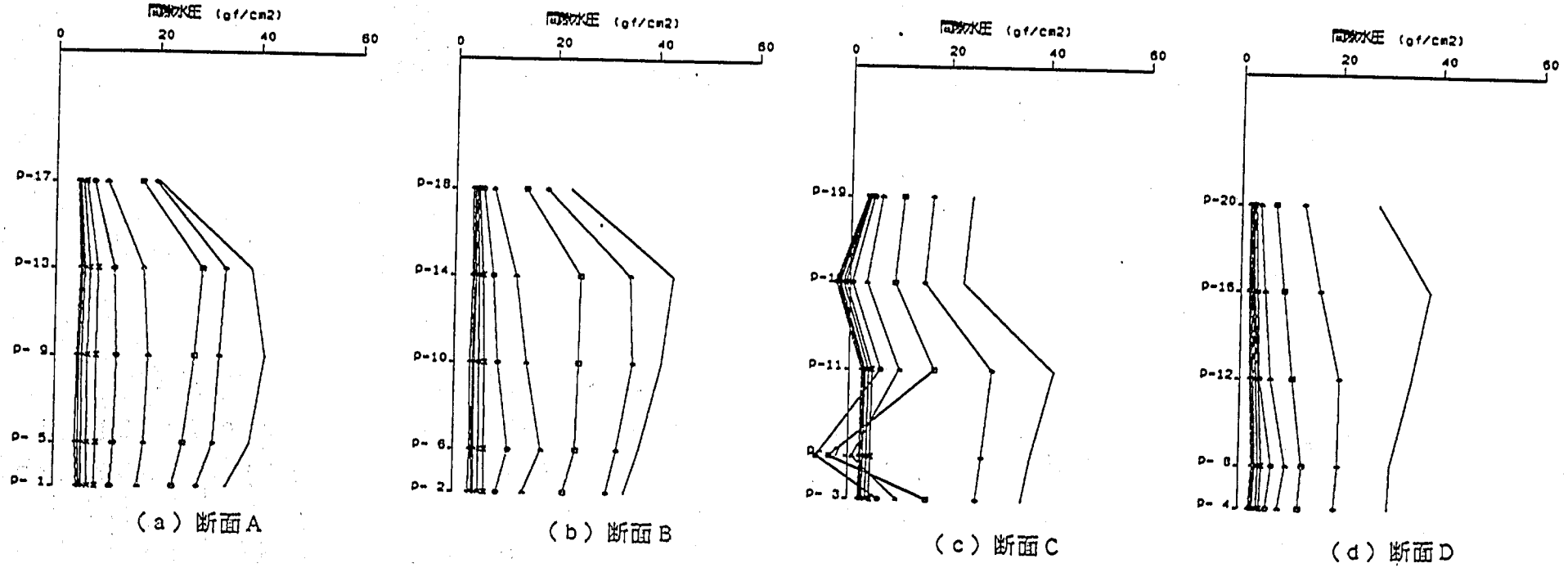


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✕ 15 sec
× 18 sec
＋ 21 sec

間隙水圧鉛直分布（加振過程）　（実験４－４，２００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 1　50GAL (STEP-A)



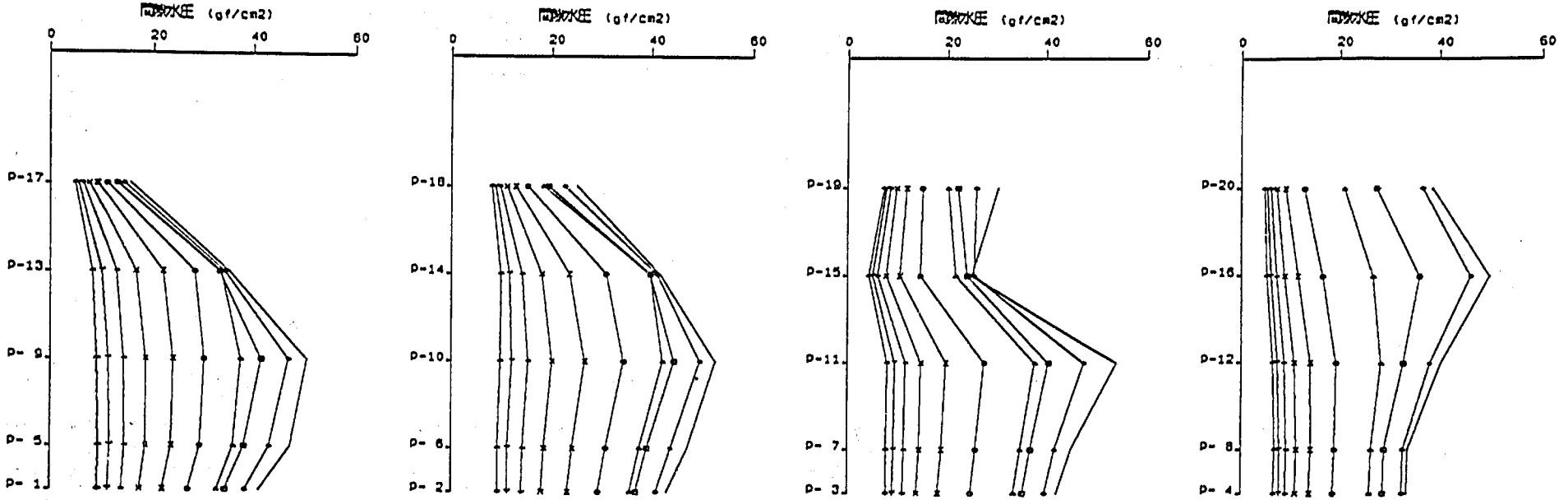
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡例

+	1080.00 SEC
Y	960.00 SEC
+	840.00 SEC
X	720.00 SEC
✕	600.00 SEC
○	480.00 SEC
▲	360.00 SEC
□	240.00 SEC
◇	120.00 SEC
·	5.00 SEC

間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験１－１，　５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 1　100GAL (STEP-B)



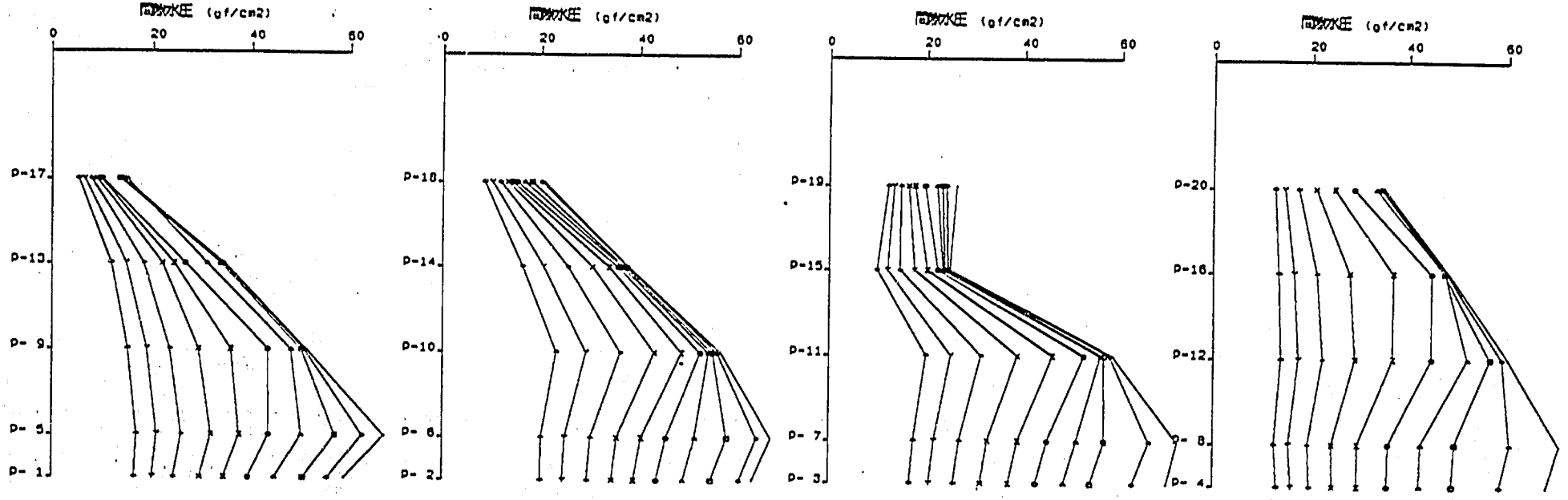
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡例

1080.00 SEC
960.00 SEC
840.00 SEC
720.00 SEC
600.00 SEC
480.00 SEC
360.00 SEC
240.00 SEC
120.00 SEC
5.00 SEC

間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験１－２，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 1　150GAL (STEP-C)



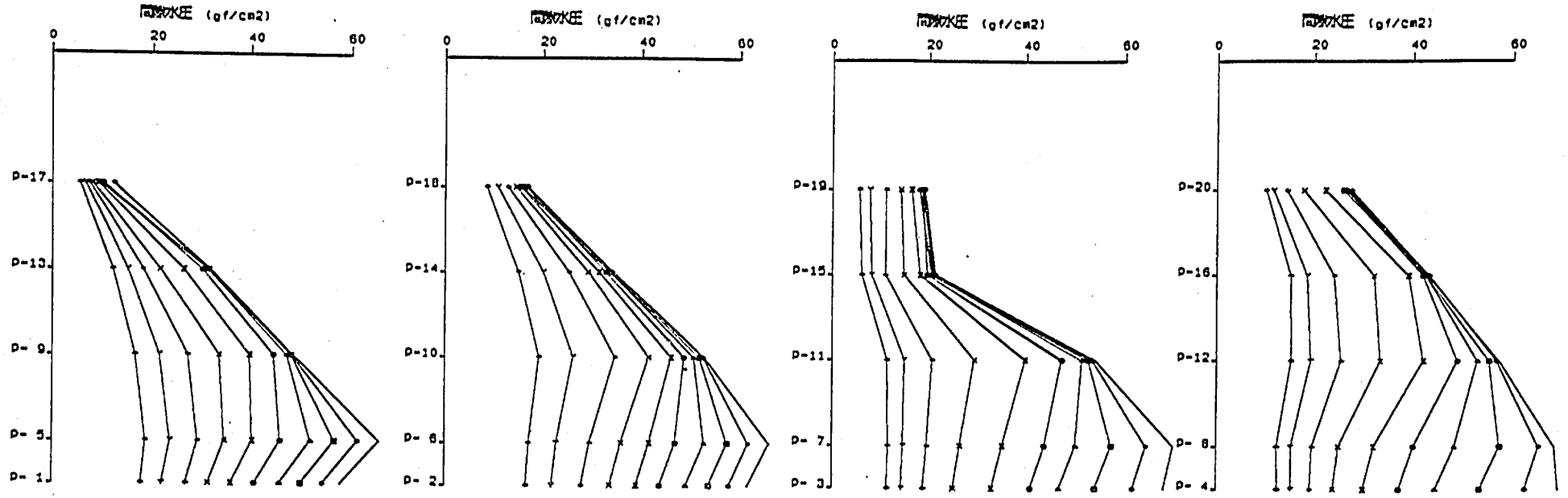
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡例

1080.00 SEC
960.00 SEC
840.00 SEC
720.00 SEC
600.00 SEC
480.00 SEC
360.00 SEC
240.00 SEC
120.00 SEC
5.00 SEC

間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験１－３，１５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 1　200GAL (STEP-D)



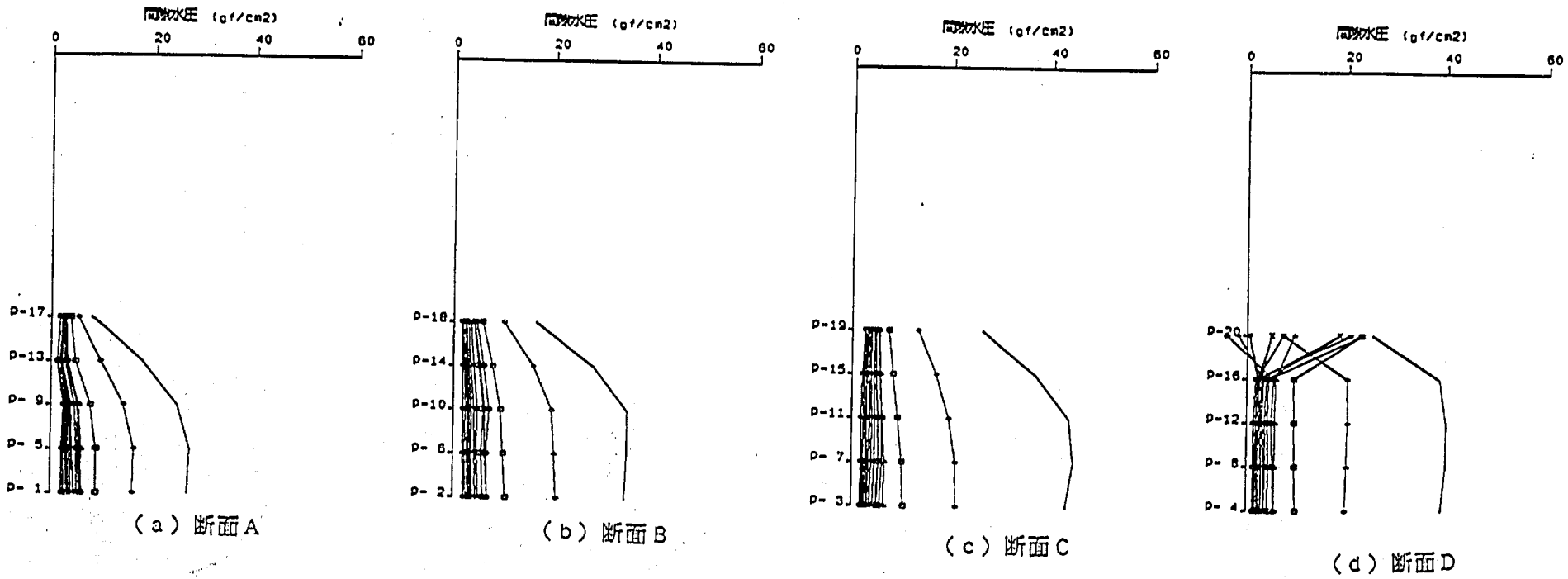
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

凡例

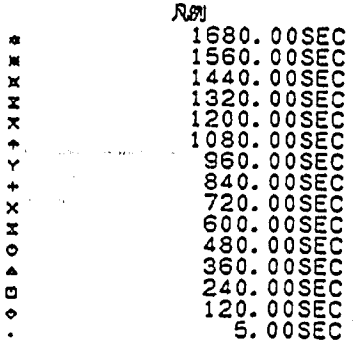
1080.00 SEC
960.00 SEC
840.00 SEC
720.00 SEC
600.00 SEC
480.00 SEC
360.00 SEC
240.00 SEC
120.00 SEC
5.00 SEC

間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験１－４，２００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 2 STEP-A

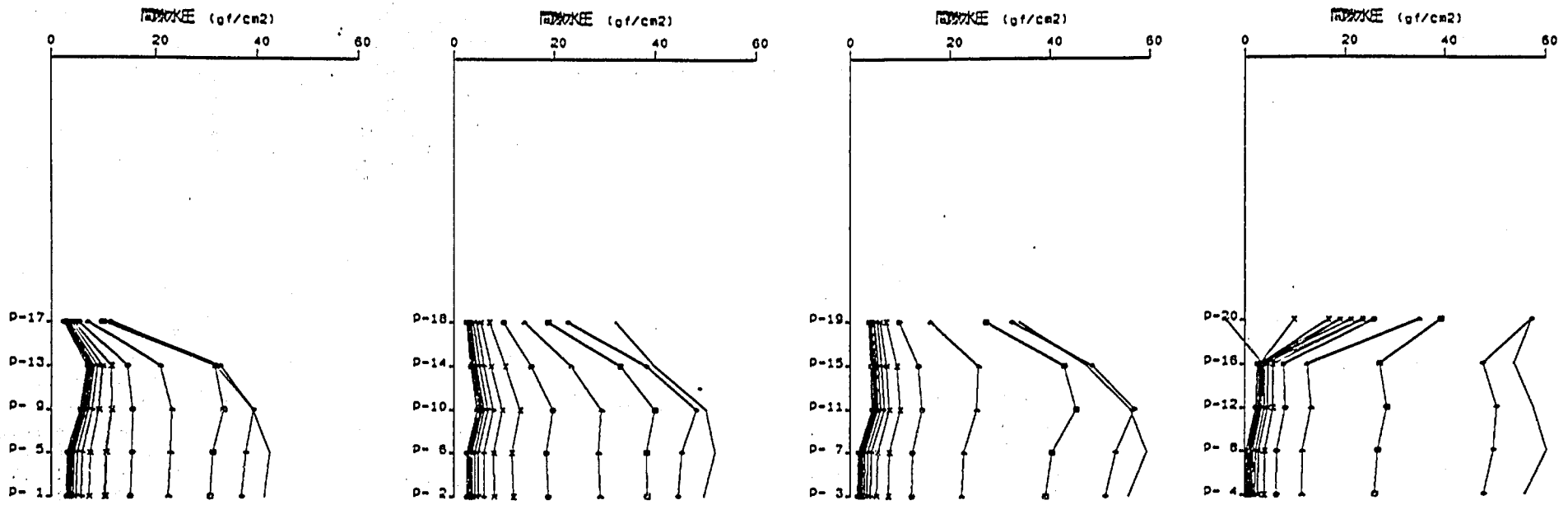


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

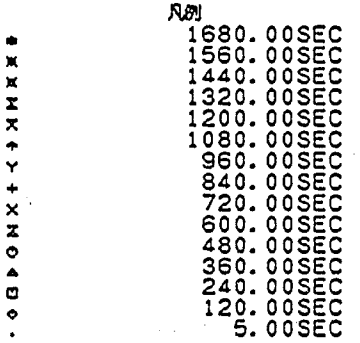


間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験２－１，　５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 2　STEP-B

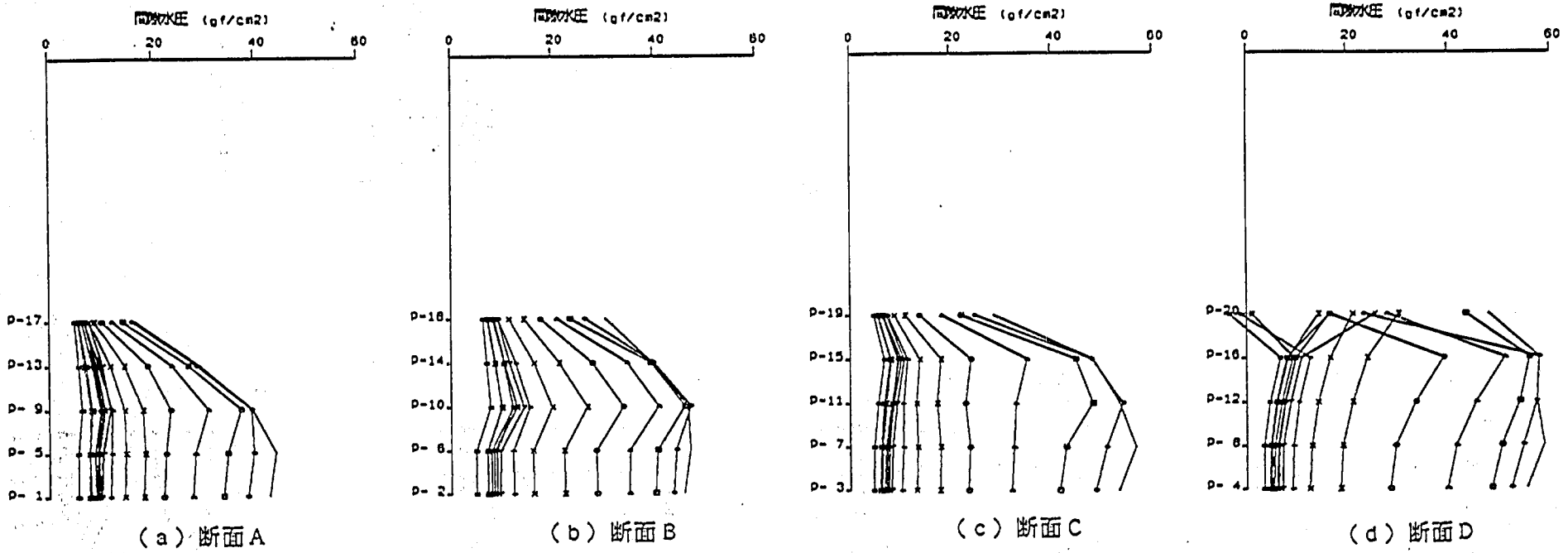


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

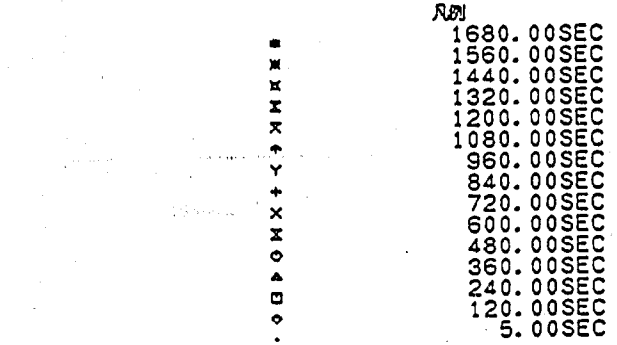


間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験２－２，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 2 STEP-C

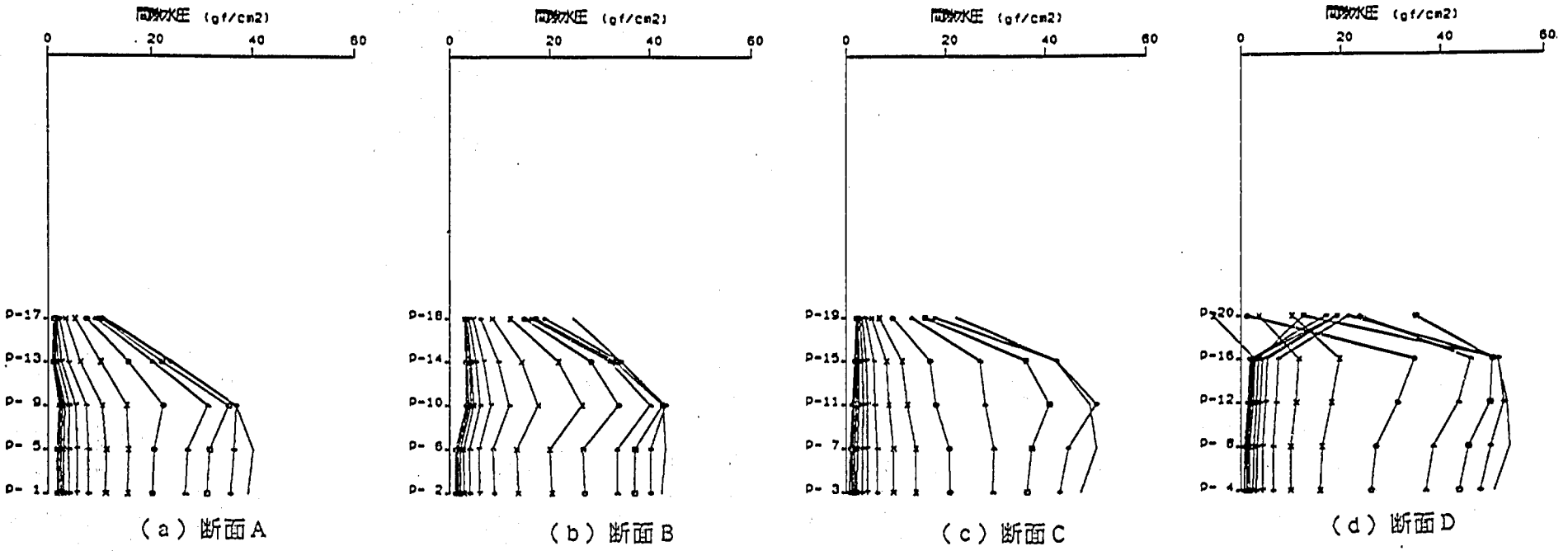


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D



間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験２－３，１５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 2 STEP -D

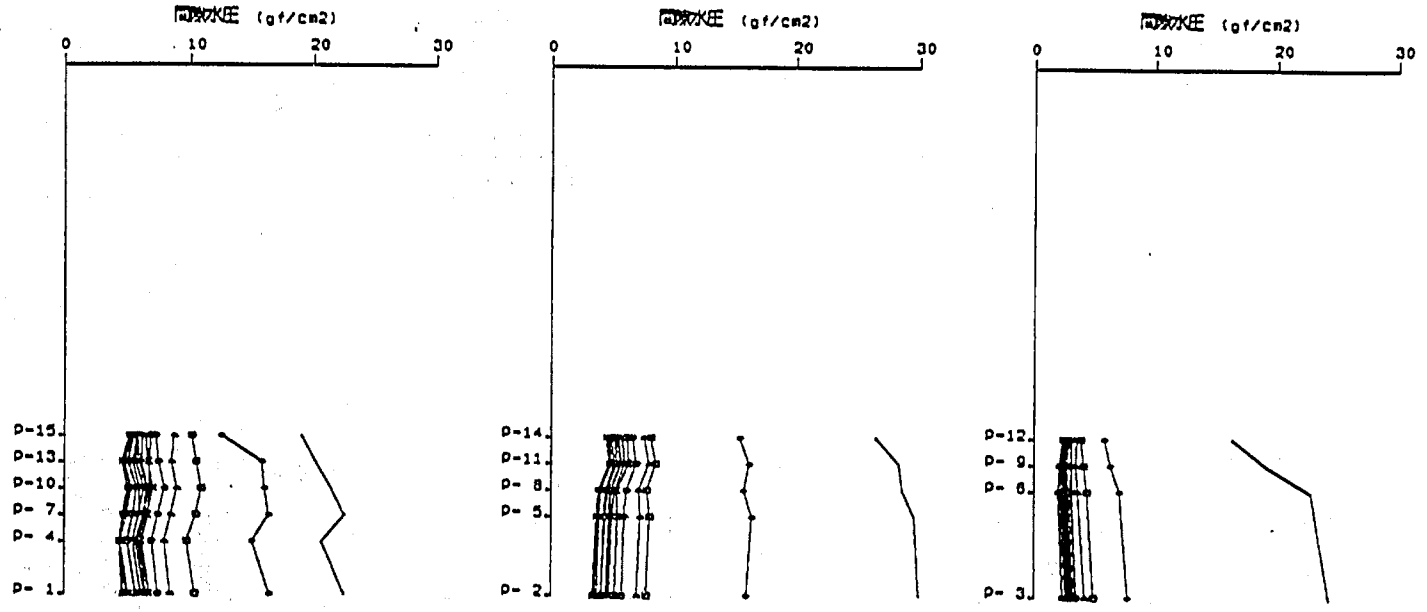


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

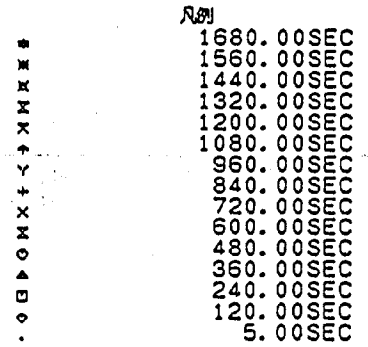
凡例
1680.00SEC
1560.00SEC
1440.00SEC
1320.00SEC
1200.00SEC
1080.00SEC
960.00SEC
840.00SEC
720.00SEC
600.00SEC
480.00SEC
360.00SEC
240.00SEC
120.00SEC
5.00SEC

間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験２－４，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 3 STEP-A

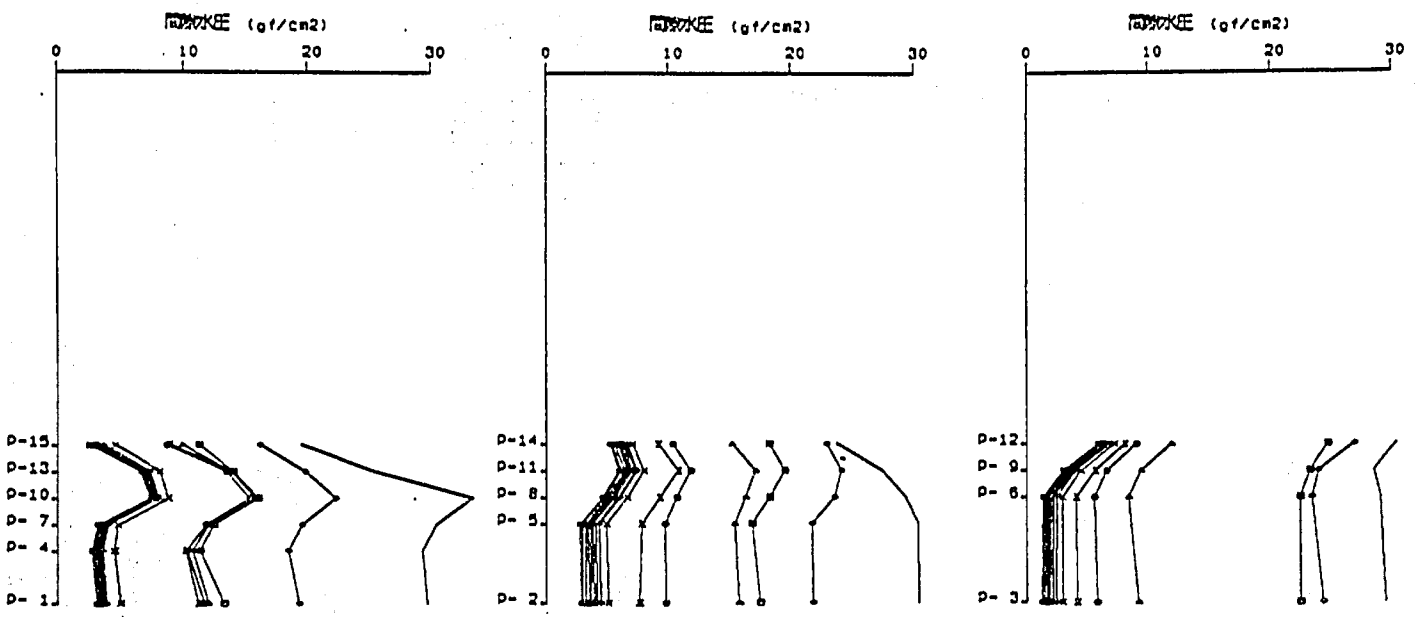


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

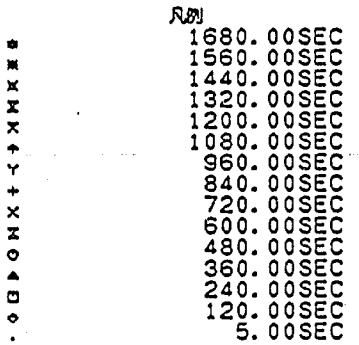


間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験３－１，　５０ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 3　STEP-B

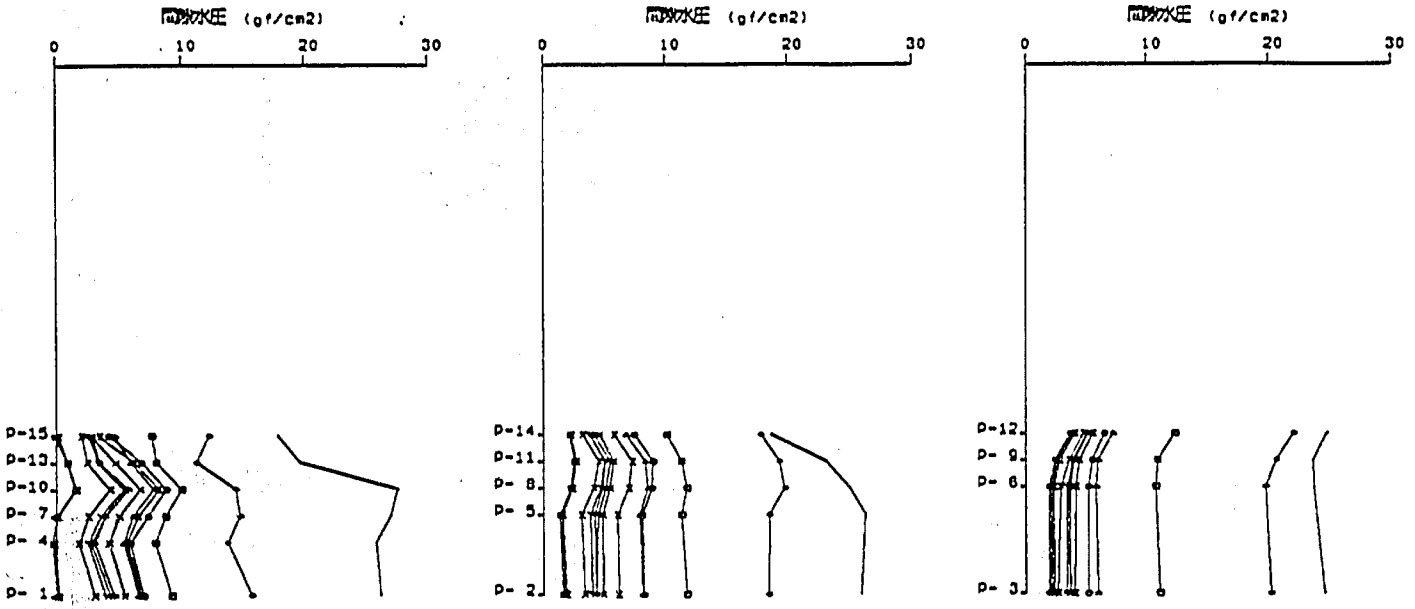


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C



間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験３－２，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 3　STEP-C

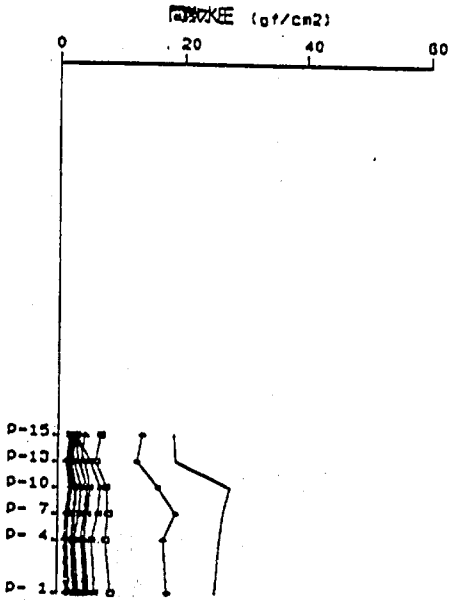


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

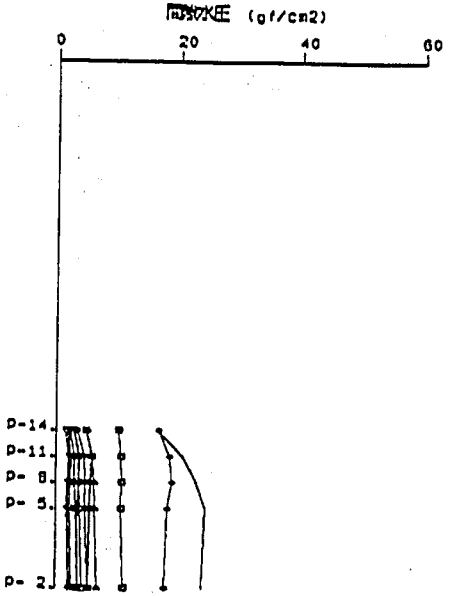
凡例
1680.00SEC
1560.00SEC
1440.00SEC
1320.00SEC
1200.00SEC
1080.00SEC
960.00SEC
840.00SEC
720.00SEC
600.00SEC
480.00SEC
360.00SEC
240.00SEC
120.00SEC
5.00SEC

間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験３－３，　７５ｇａｌ）

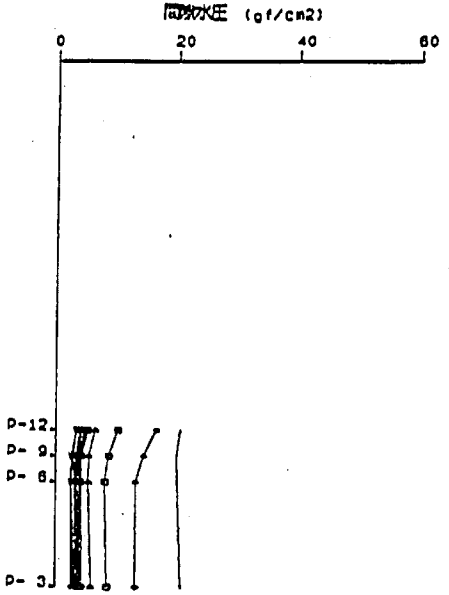
間隙水圧鉛直分布 CASE 3 STEP-0



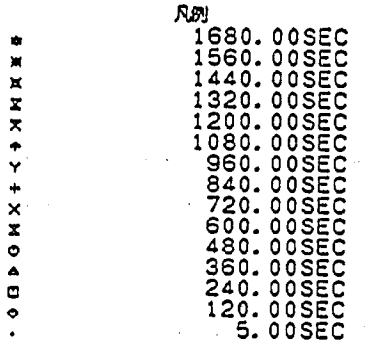
（a）断面A



（b）断面B

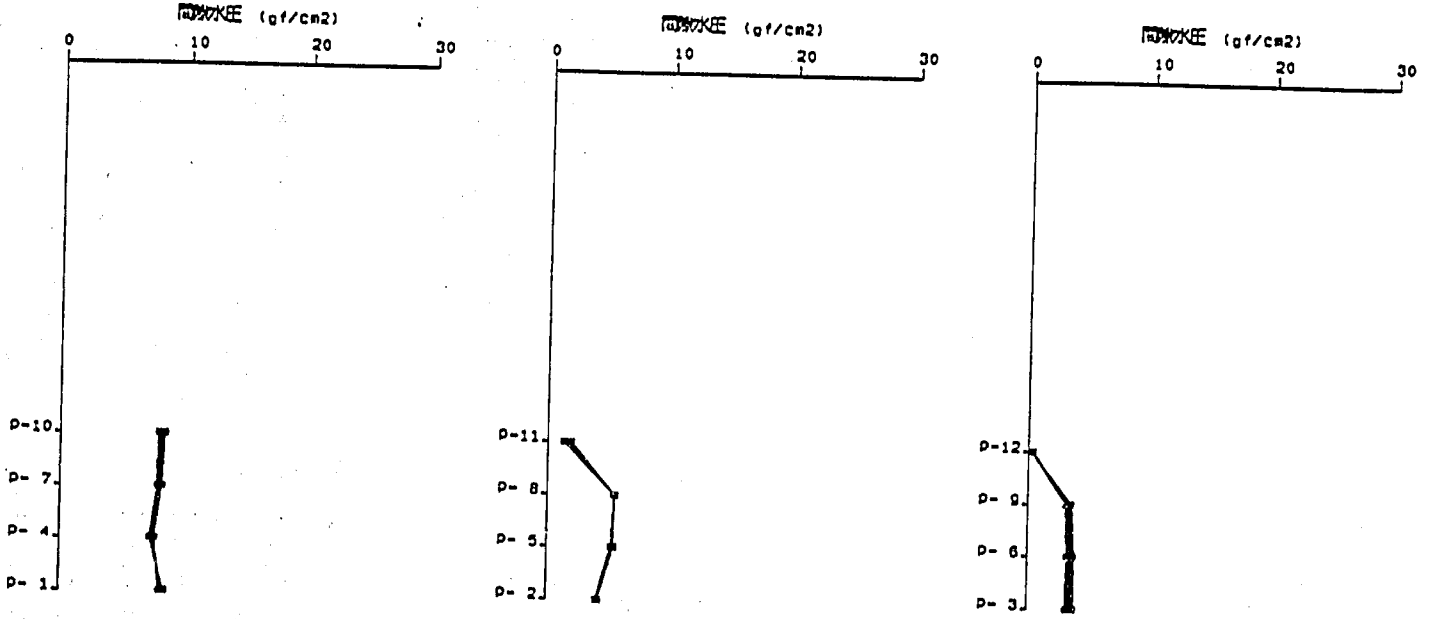


（c）断面C

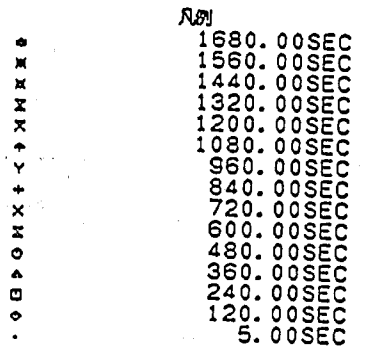


間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験３－４，　７５ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 4 STEP-A

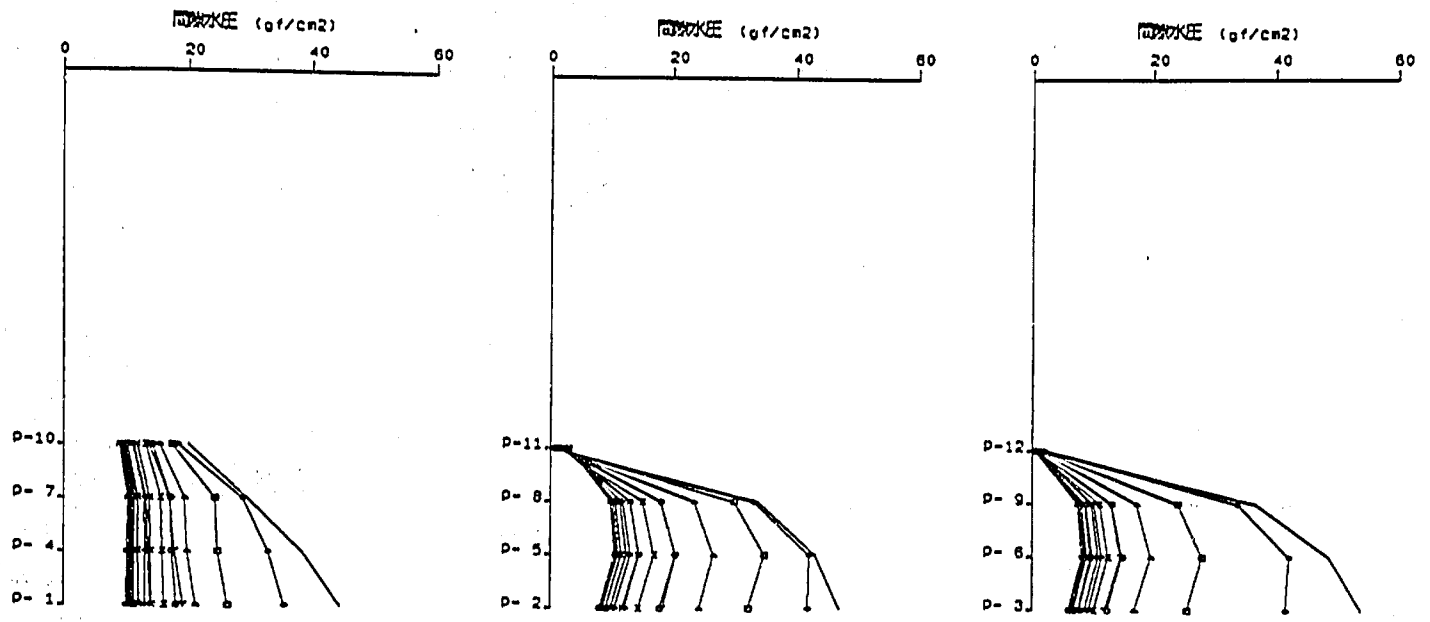


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C



間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験４－２，１００ｇａｌ）

間隙水圧鉛直分布 CASE 4　STEP-B 150GAL

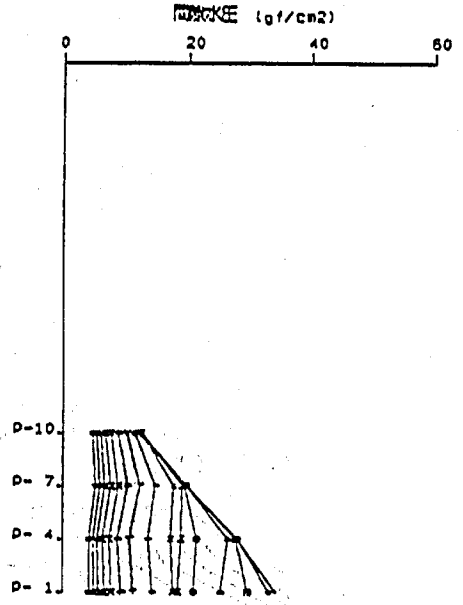


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

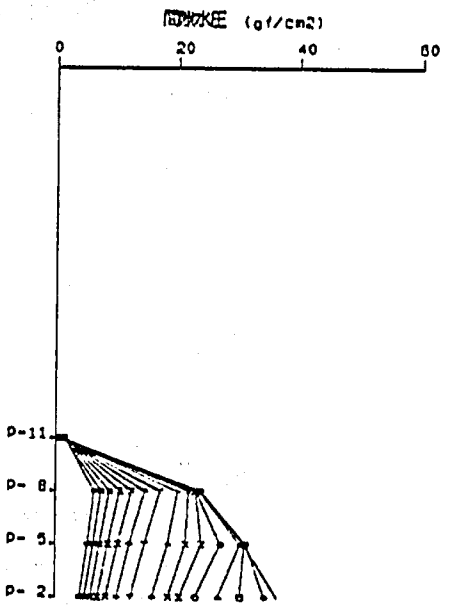
凡例
1680.00SEC
1560.00SEC
1440.00SEC
1320.00SEC
1200.00SEC
1080.00SEC
960.00SEC
840.00SEC
720.00SEC
600.00SEC
480.00SEC
360.00SEC
240.00SEC
120.00SEC
5.00SEC

間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験４－３，１５０ｇａｌ）

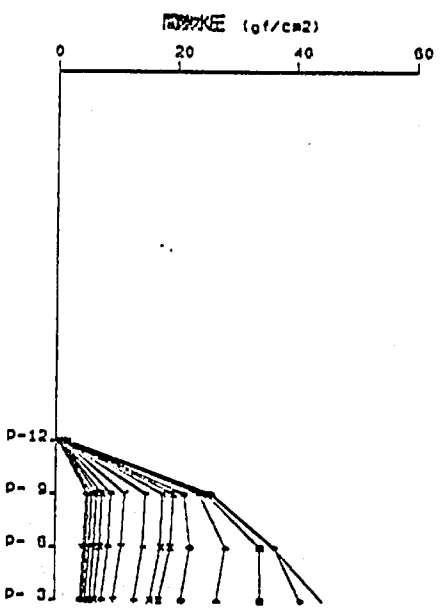
間隙水圧断面分布 CASE 4　STEP-C 200GAL



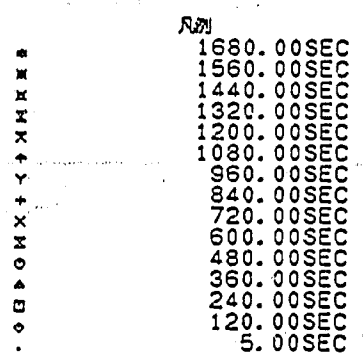
（a）断面A



（b）断面B

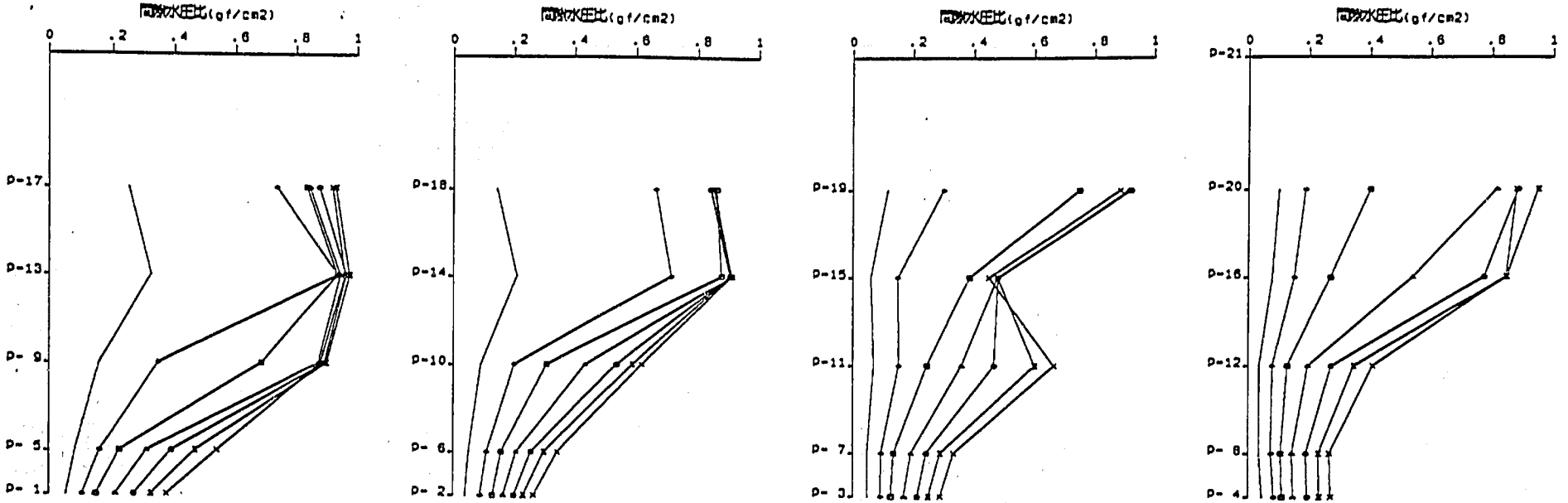


（c）断面C



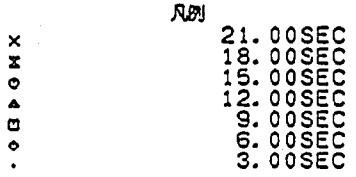
間隙水圧鉛直分布（消散過程）　（実験４－４，２００ｇａｌ）

間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 1STEP-1

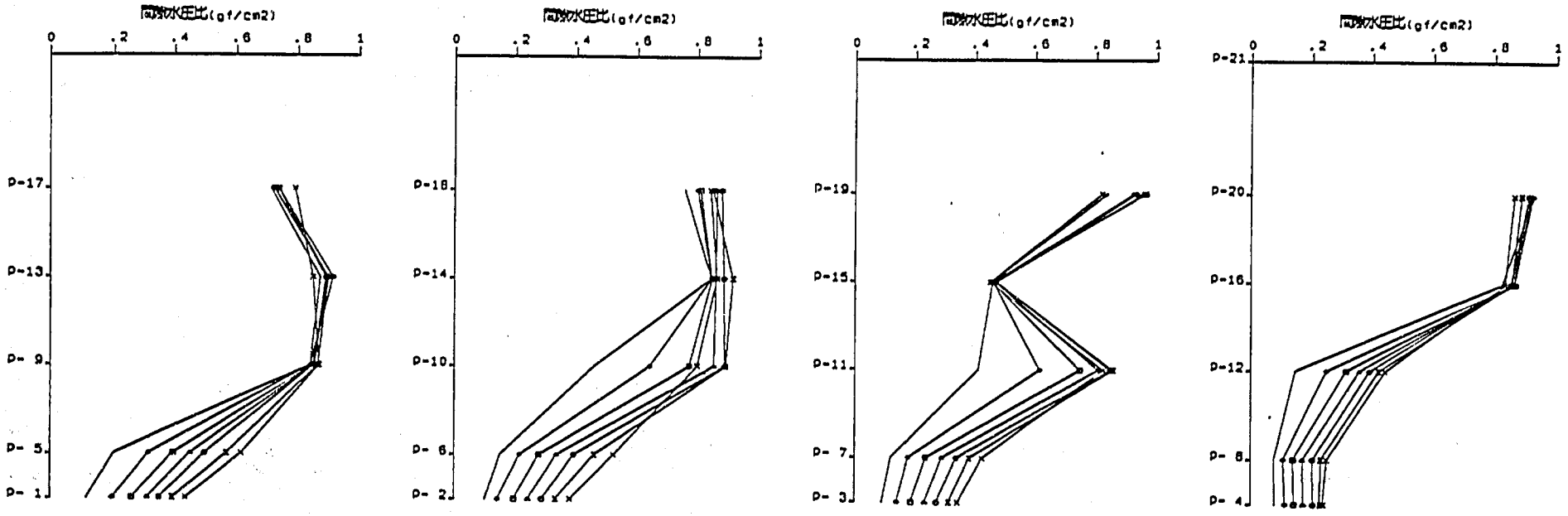


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験１－１，　５０ｇａｌ）

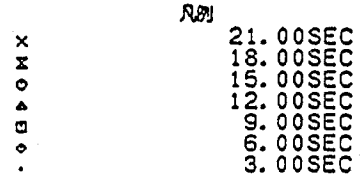


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 1STEP-2

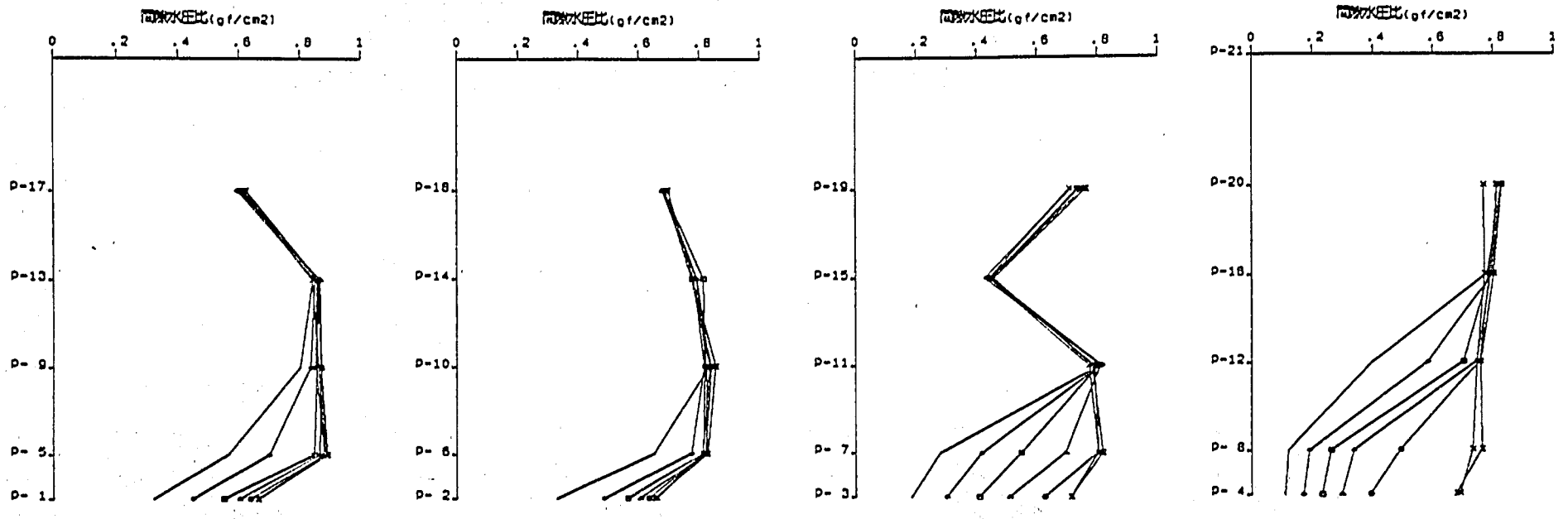


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験１－２，１００ｇａｌ）

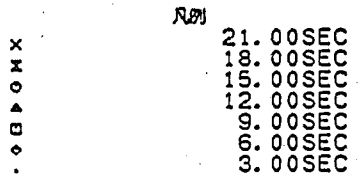


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 1STEP-3

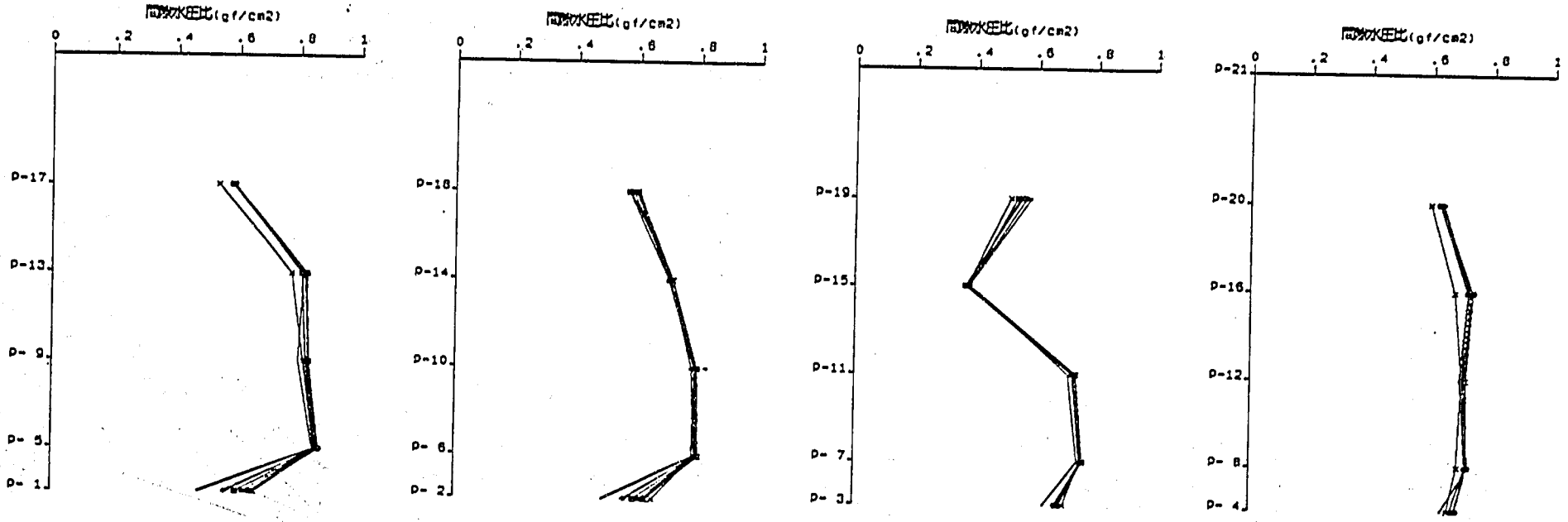


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験１－３，１５０ｇａｌ）



間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 1STEP-4



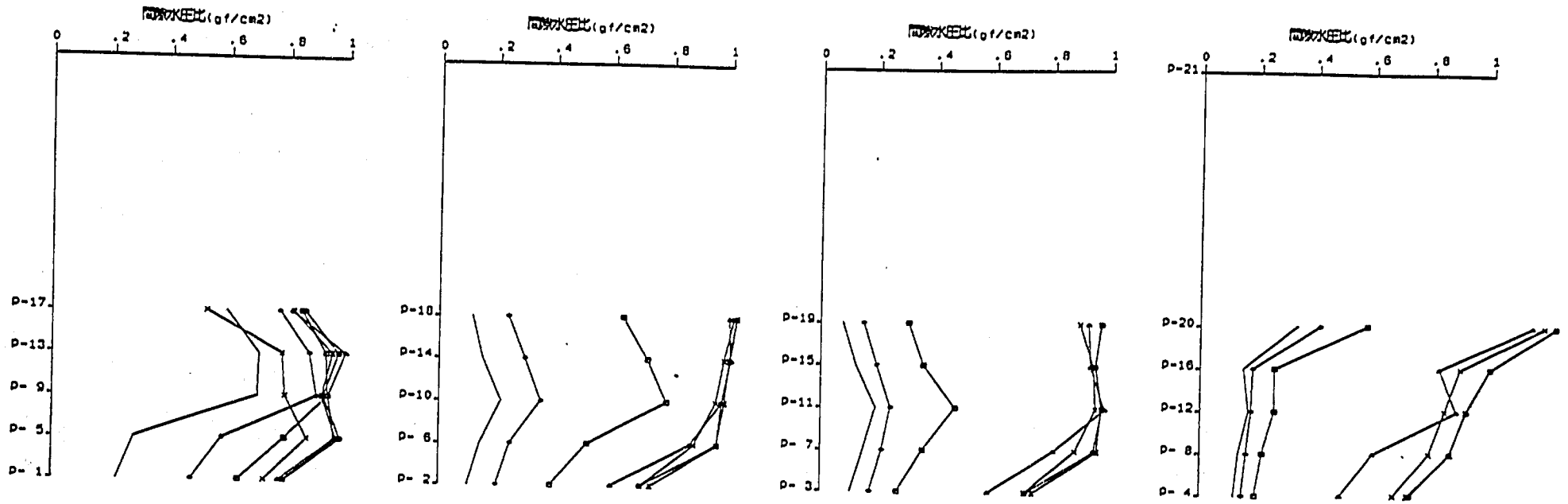
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験1－4，200gal）

凡例

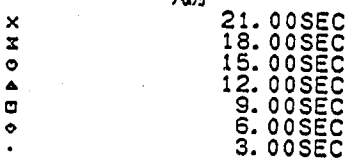
21.00SEC
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

間隙水圧比等高線深度分布図 CASE 2STEP-1

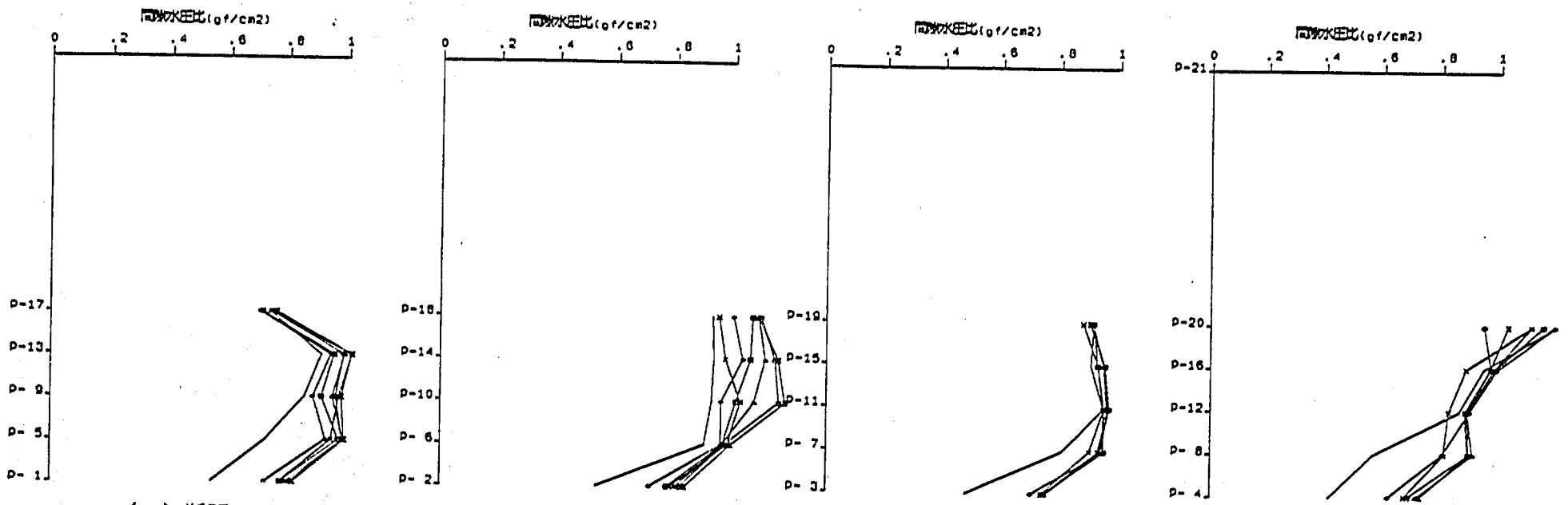


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験２－１，　５０ｇａｌ）

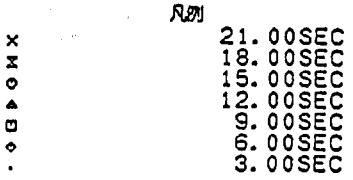


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 2STEP-2

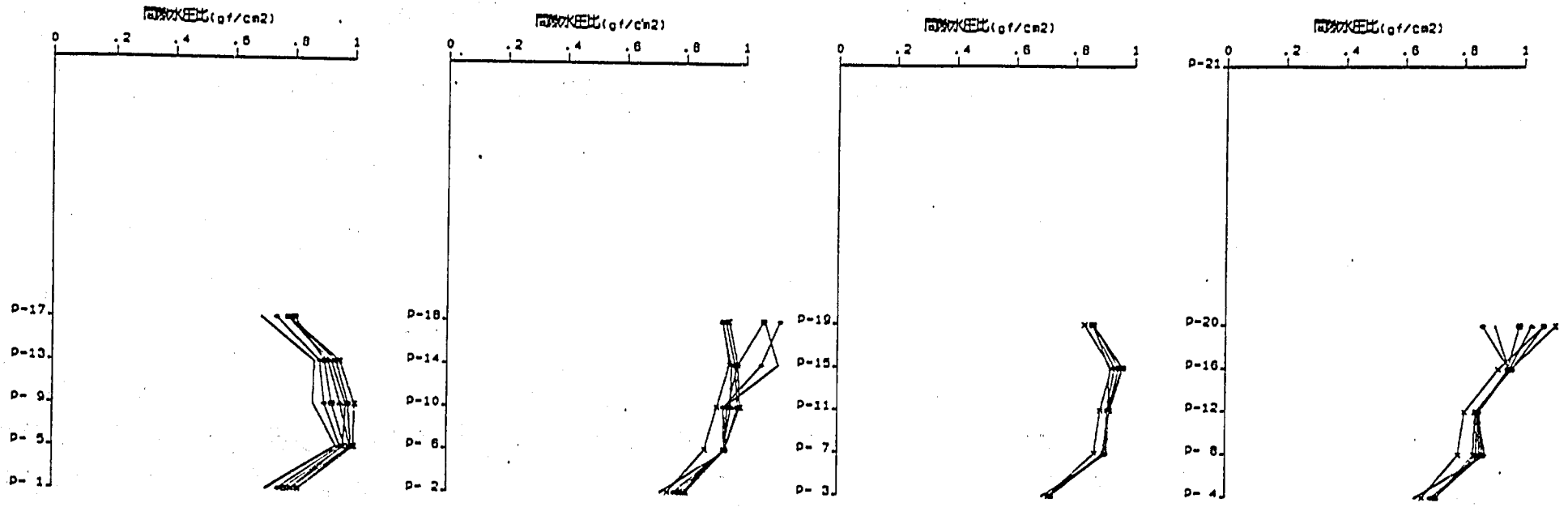


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験２－２，１００ｇａｌ）

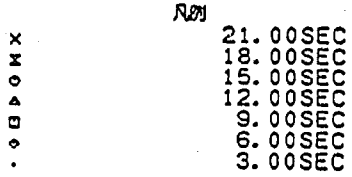


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 2STEP-3

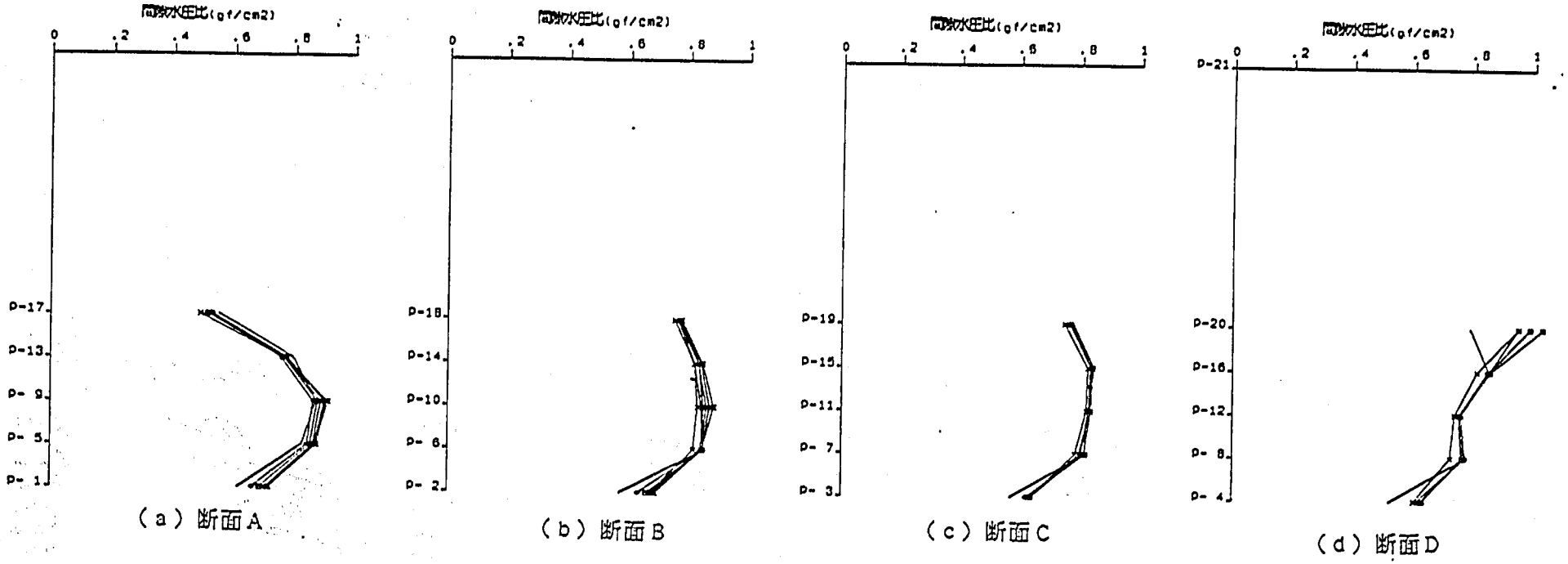


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験２－３，１５０ｇａｌ）

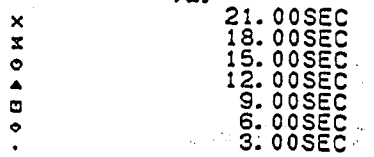


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 2STEP-4

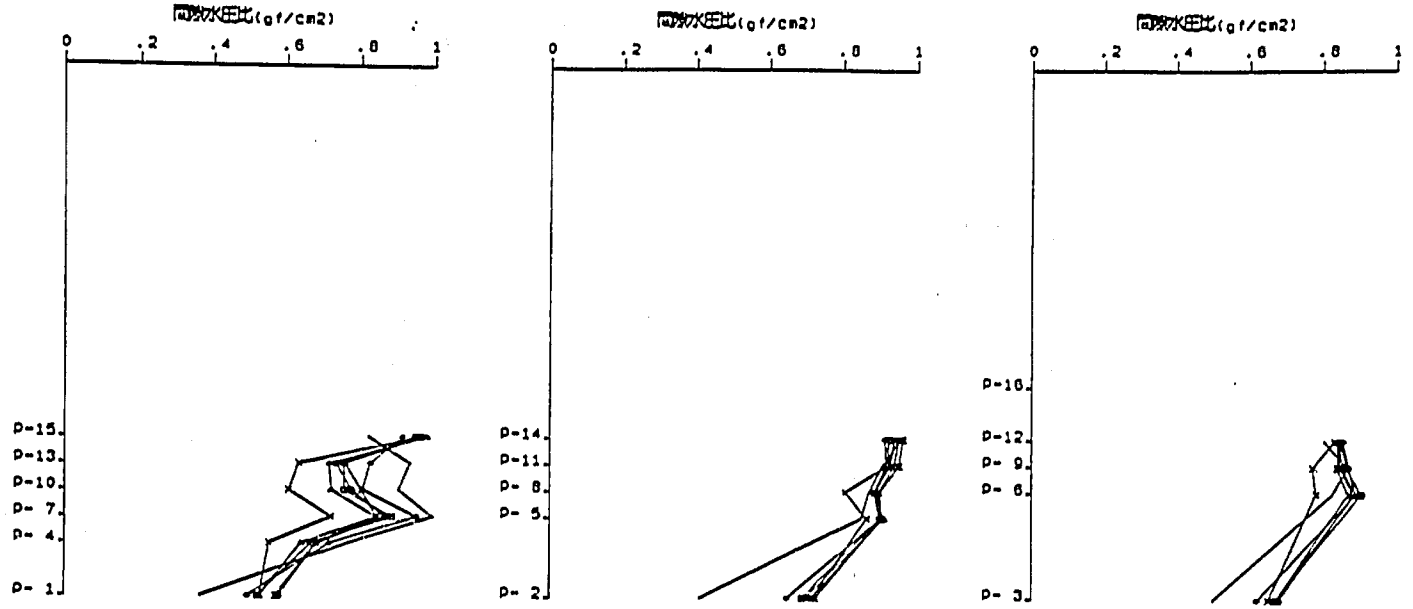


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C　（d）断面D

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験２－４，１００ｇａｌ）

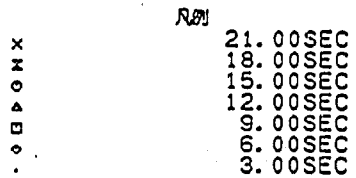


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 3STEP-1

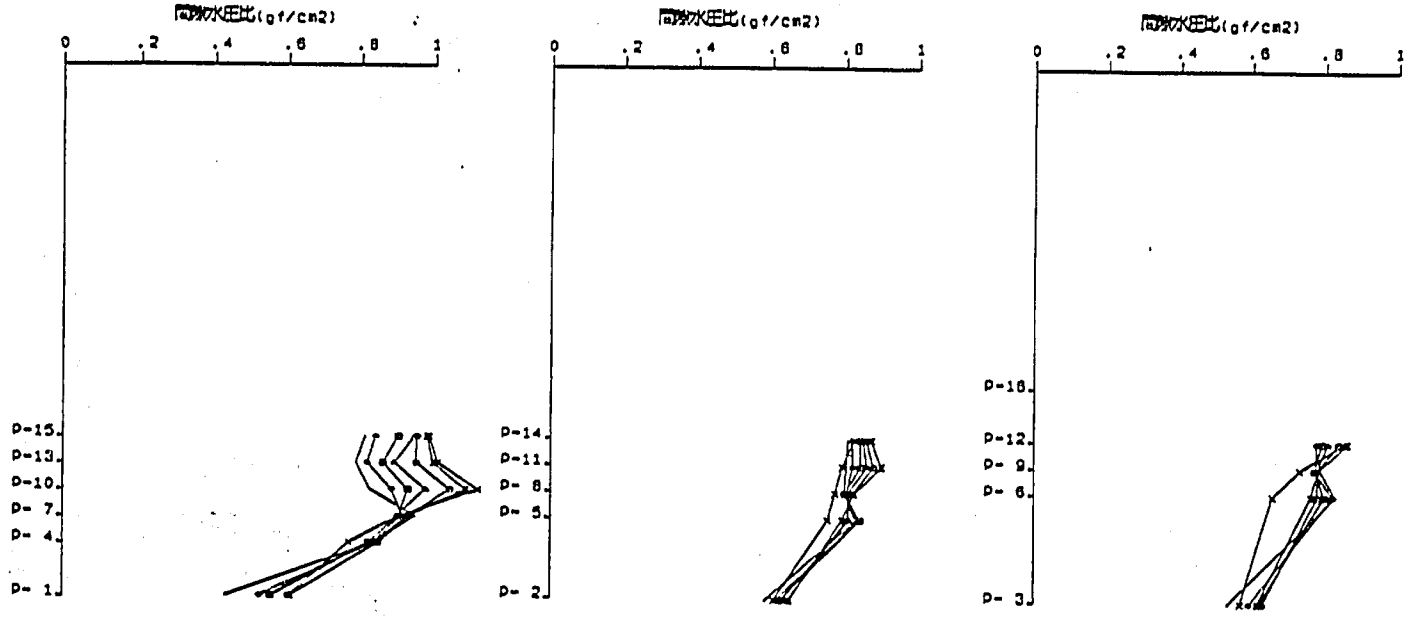


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　　（実験３－１，　５０ｇａｌ）



間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 3STEP-2

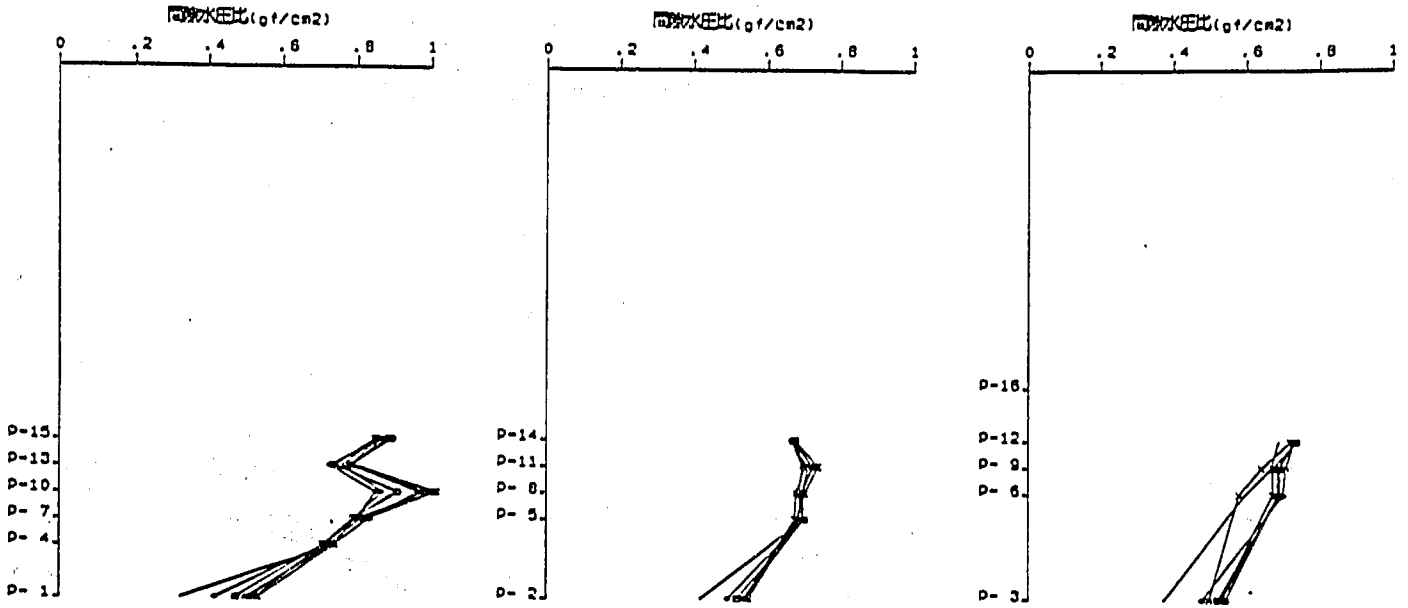


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　　（実験３－２，１００ｇａｌ）

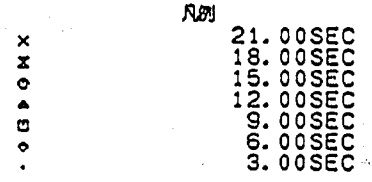


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 3STEP-3

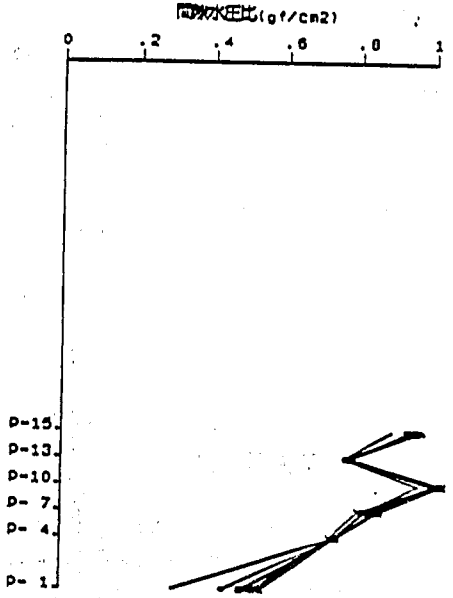


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

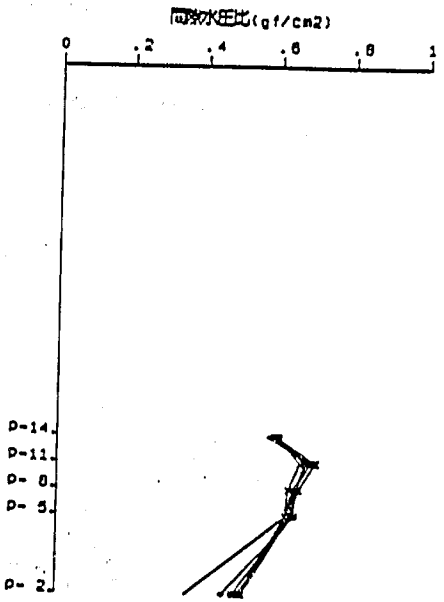
間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　　（実験３－３，　７５ｇａｌ）



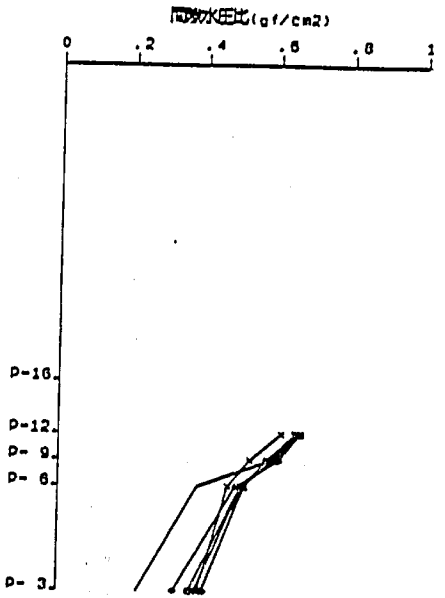
間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 3STEP-4



（a）断面A

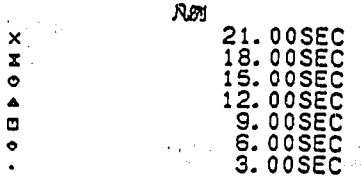


（b）断面B

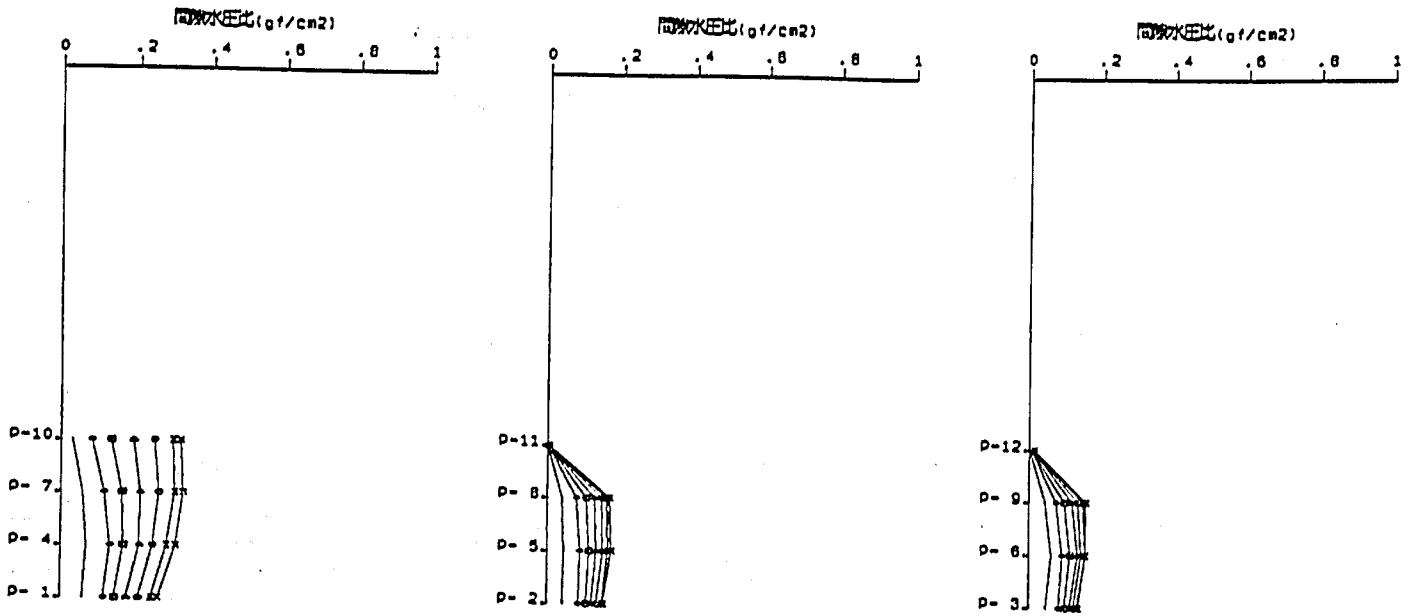


（c）断面C

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験３－４，　７５ｇａｌ）

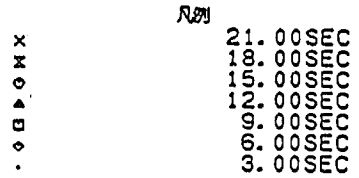


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 4STEP-1

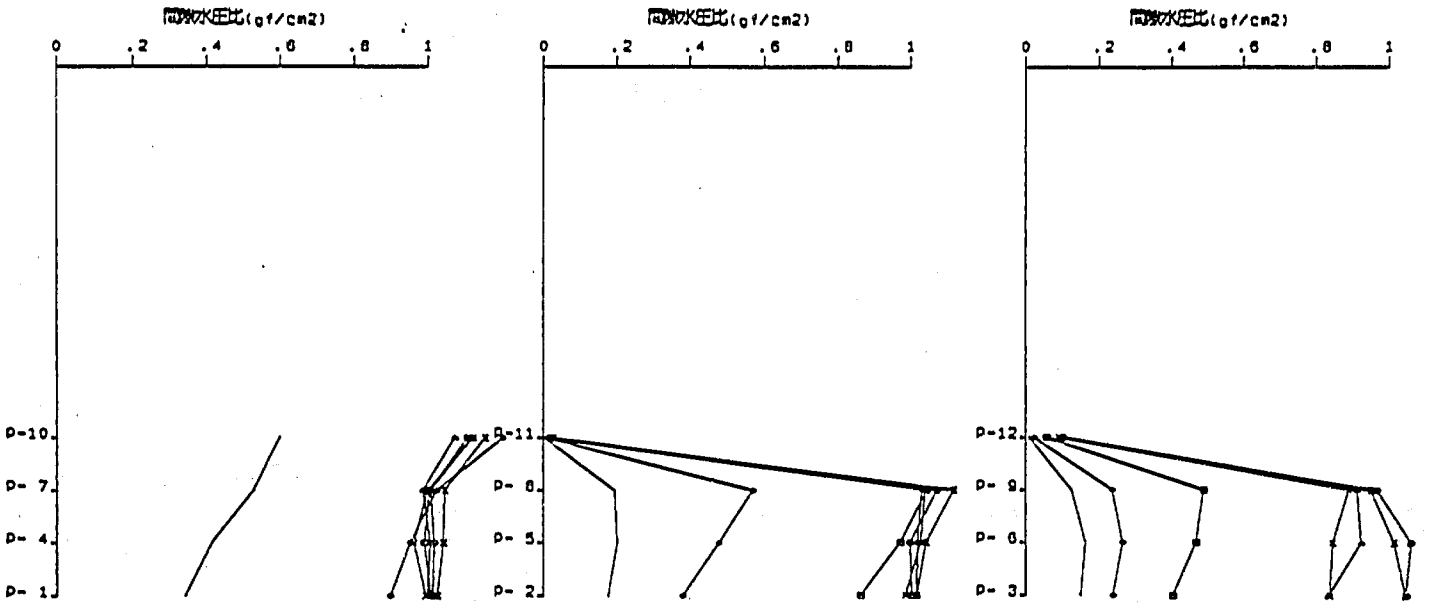


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　（実験４－１，　５０ｇａｌ）

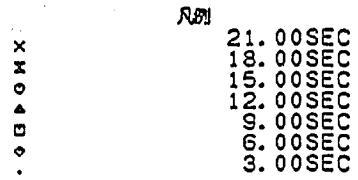


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 4STEP-2

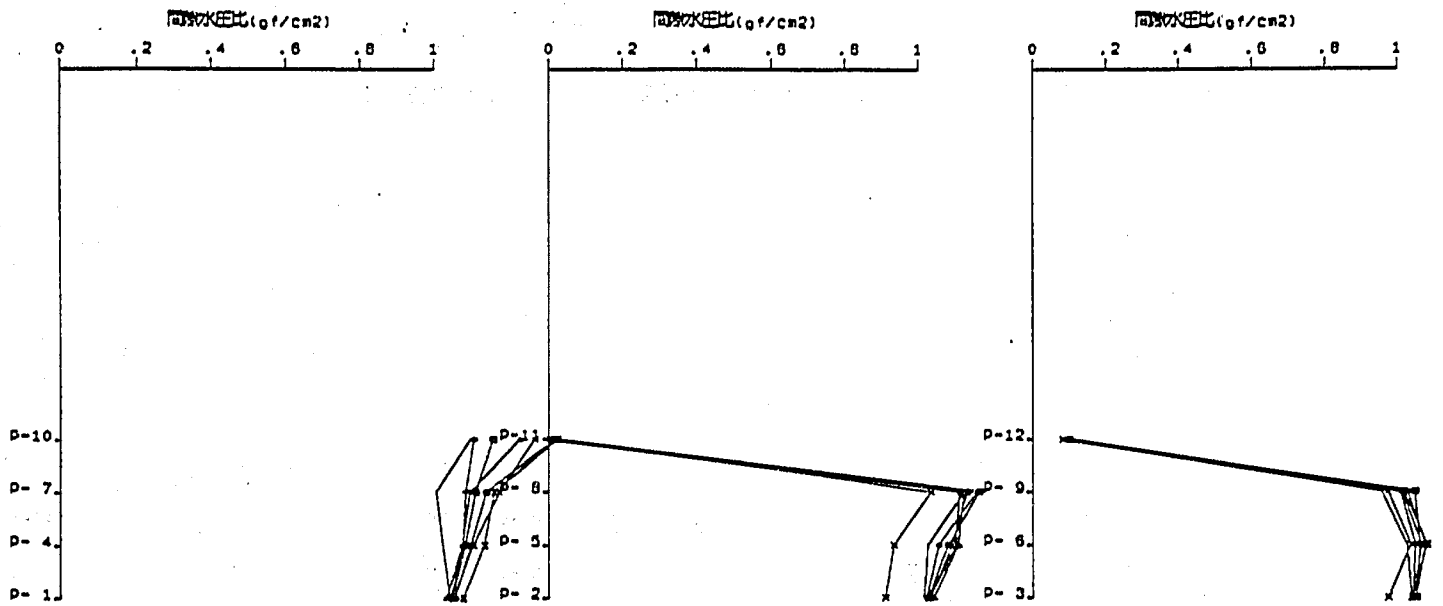


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　　（実験４－２，１００ｇａｌ）

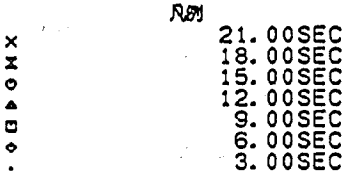


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 4STEP-3

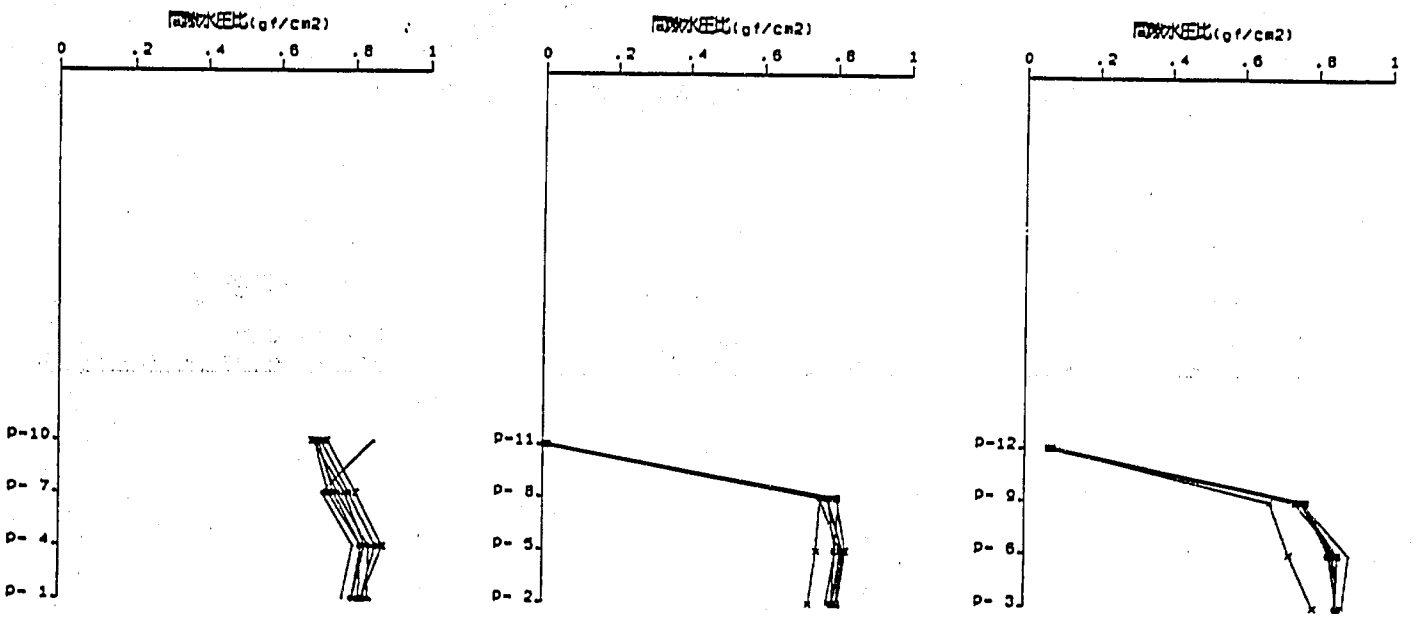


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　　（実験４－３，１５０ｇａｌ）

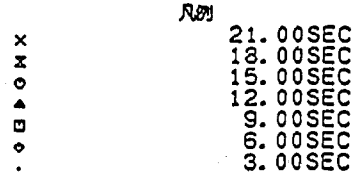


間隙水圧比鉛直深度分布図 CASE 4STEP-4

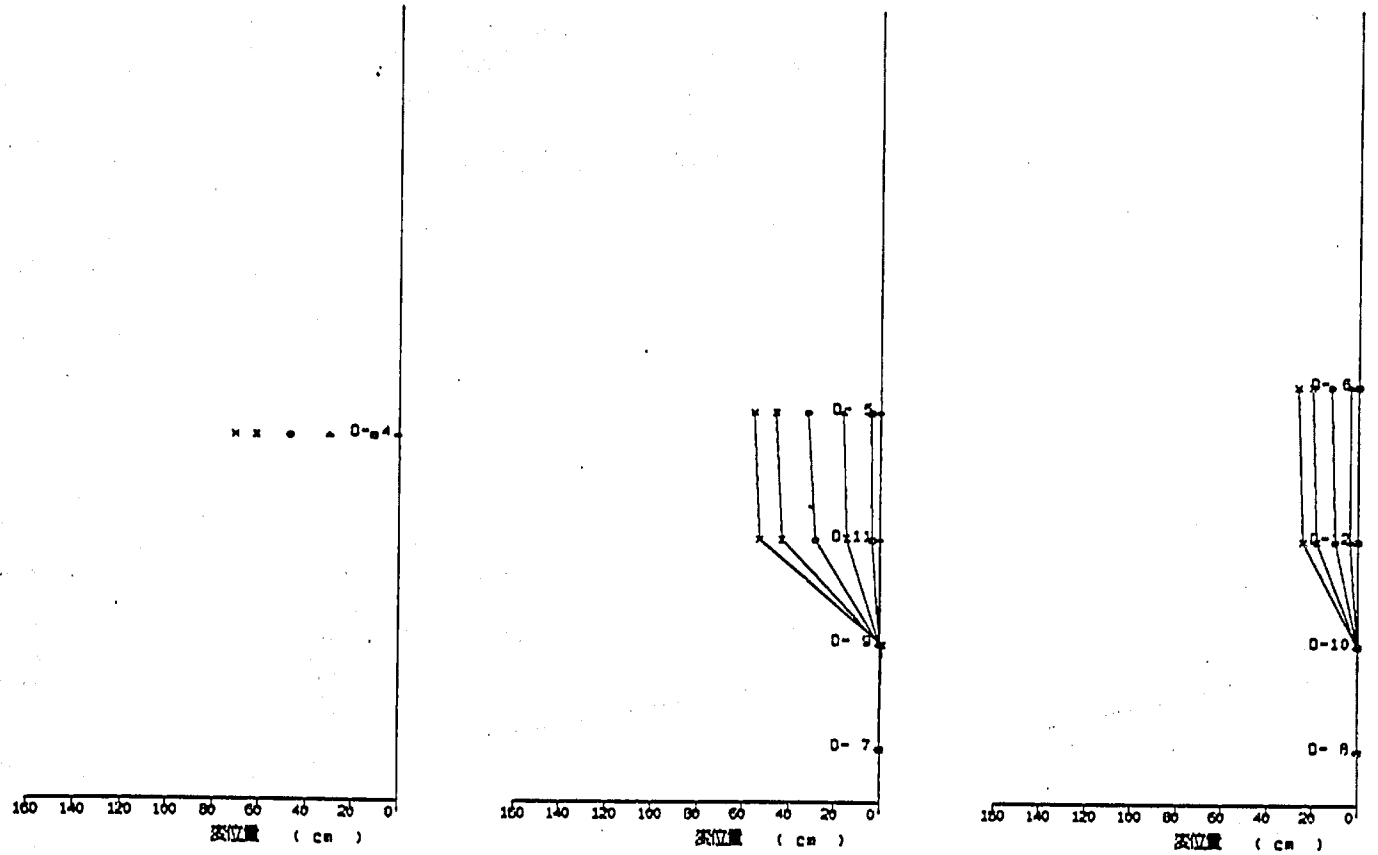


（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

間隙水圧比鉛直分布（加振過程）　　（実験４－４，２００ｇａｌ）



地中，水平変位鉛直分布 CASE 1STEP-1



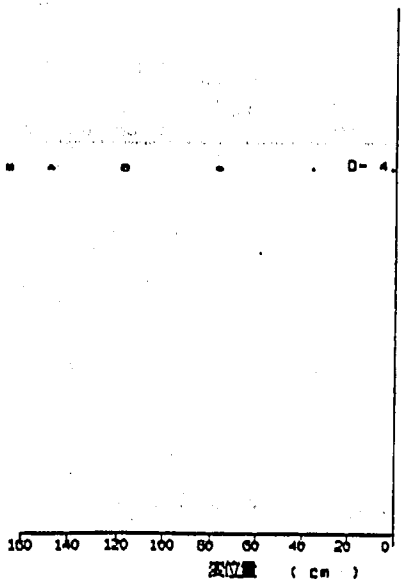
（a）断面A　　（b）断面B　　（c）断面C

地中，水平変位鉛直分布　　（実験１－１，　５０ｇａｌ）

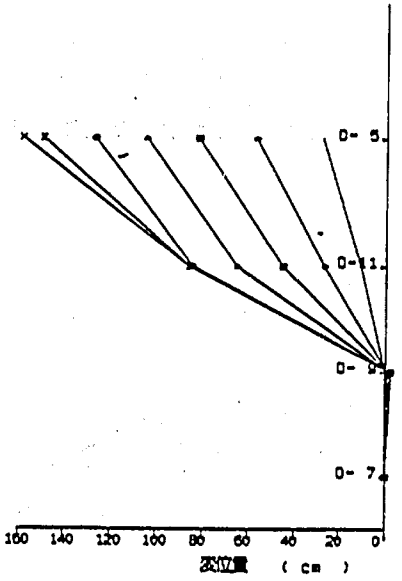
凡例

×	21.00SEC
＊	18.00SEC
○	15.00SEC
▲	12.00SEC
□	9.00SEC
◇	6.00SEC
・	3.00SEC

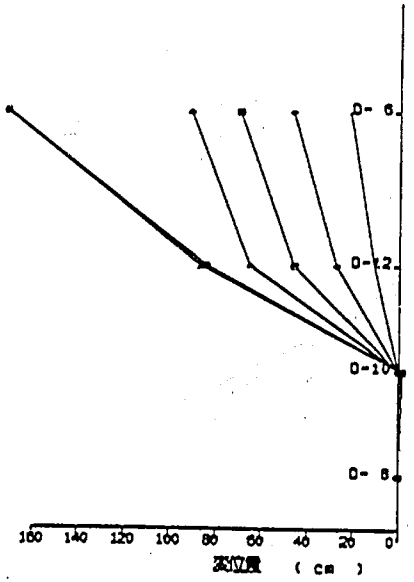
地中，水平変位鉛直分布 CASE 1STEP-2



（a）断面A

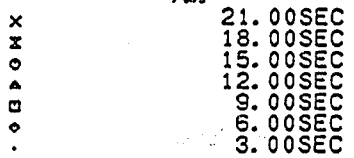


（b）断面B

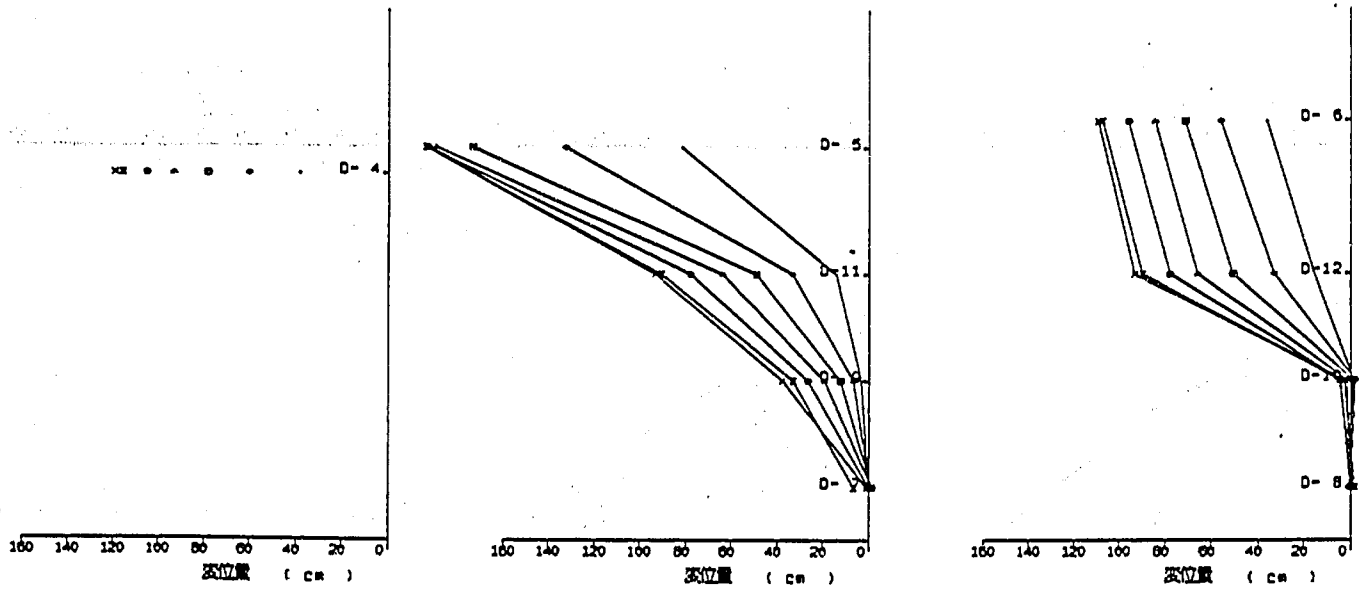


（c）断面C

地中，水平変位鉛直分布　（実験１－２，１００ｇａｌ）



地中，水平変位鉛直分布 CASE 1STEP-3



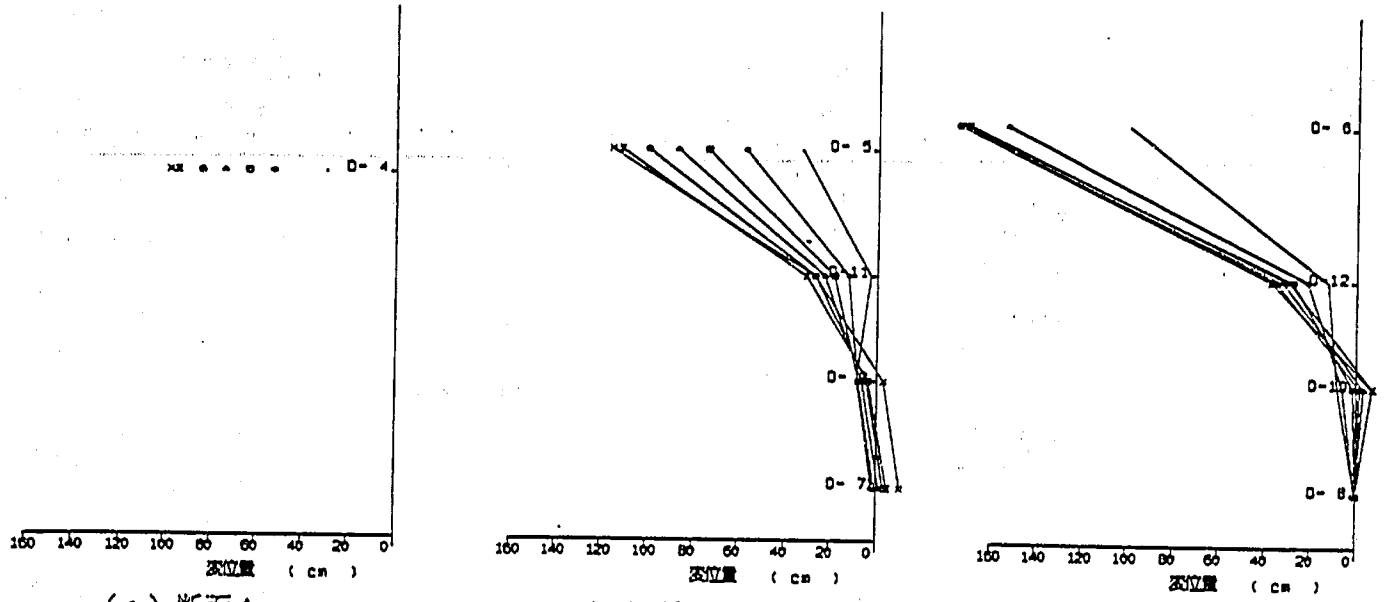
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

地中，水平変位鉛直分布　（実験１－３，１５０ｇａｌ）

凡例

21.00SEC
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

地中，水平変位鉛直分布 CASE 1STEP-4

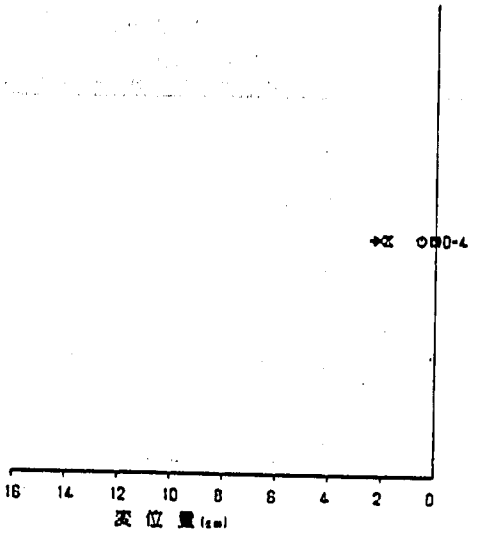


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

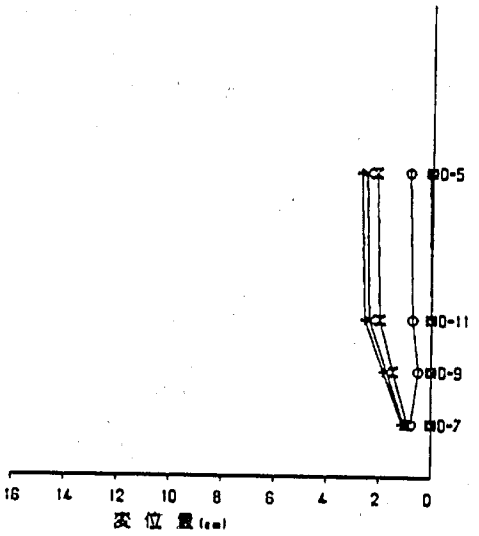
地中，水平変位鉛直分布　（実験1－4，200gal）

凡例
21.00SEC
18.00SEC
15.00SEC
12.00SEC
9.00SEC
6.00SEC
3.00SEC

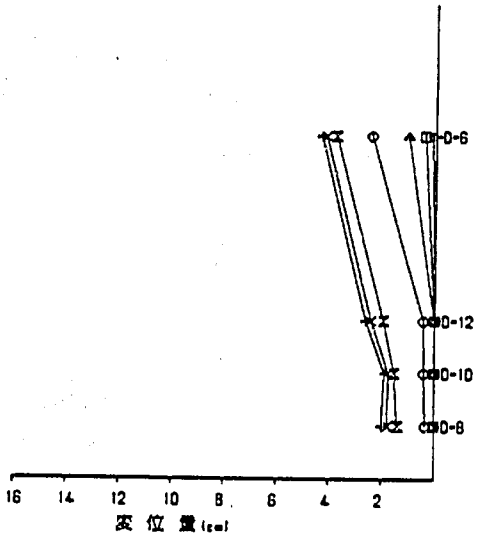
地中，水平変位鉛直分布　CASE　2　50 GAL (STEP- 1)



（a）断面A



（b）断面B

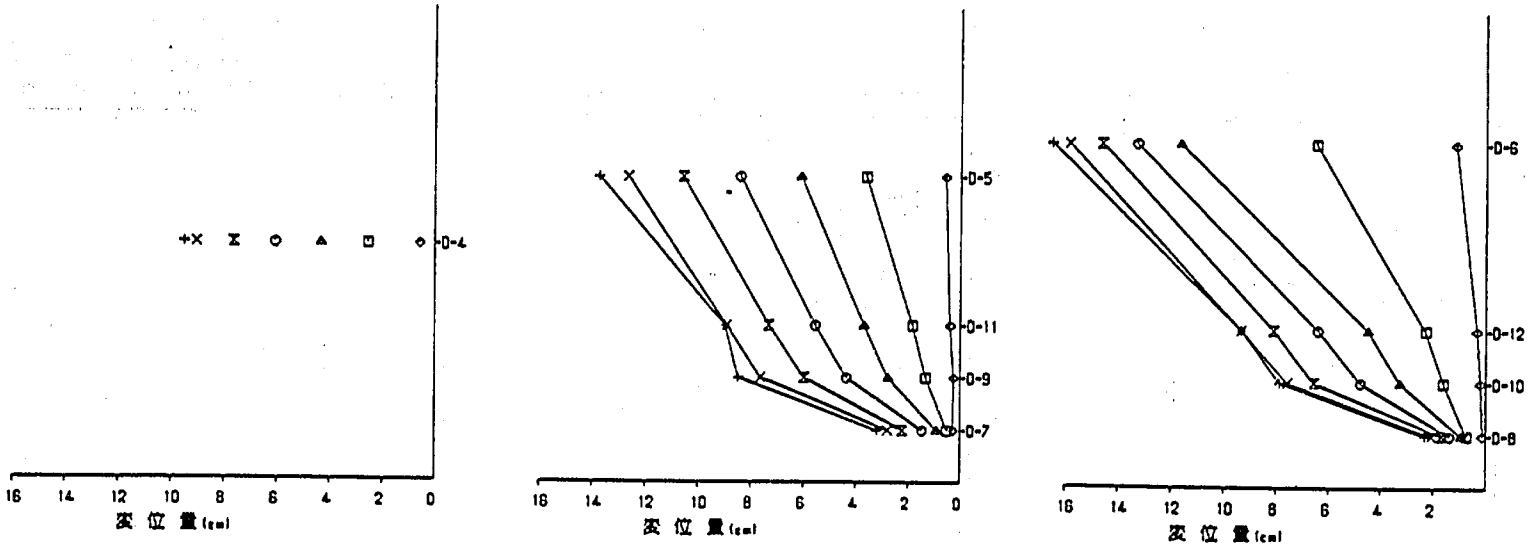


（c）断面C

凡 例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ⧖ 15 sec
- × 18 sec
- ＋ 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験２－１，　５０ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 2　100 GAL (STEP- 2)

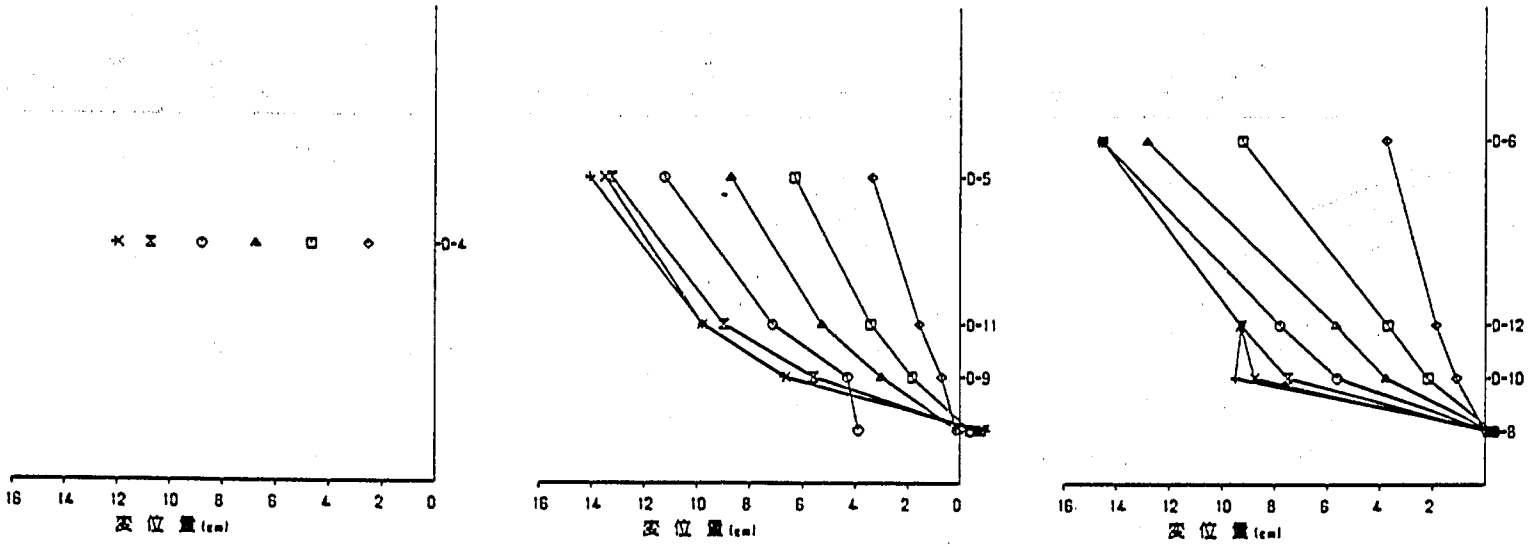


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ⊠ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験２－２，１００ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 2　150 GAL (STEP- 3)

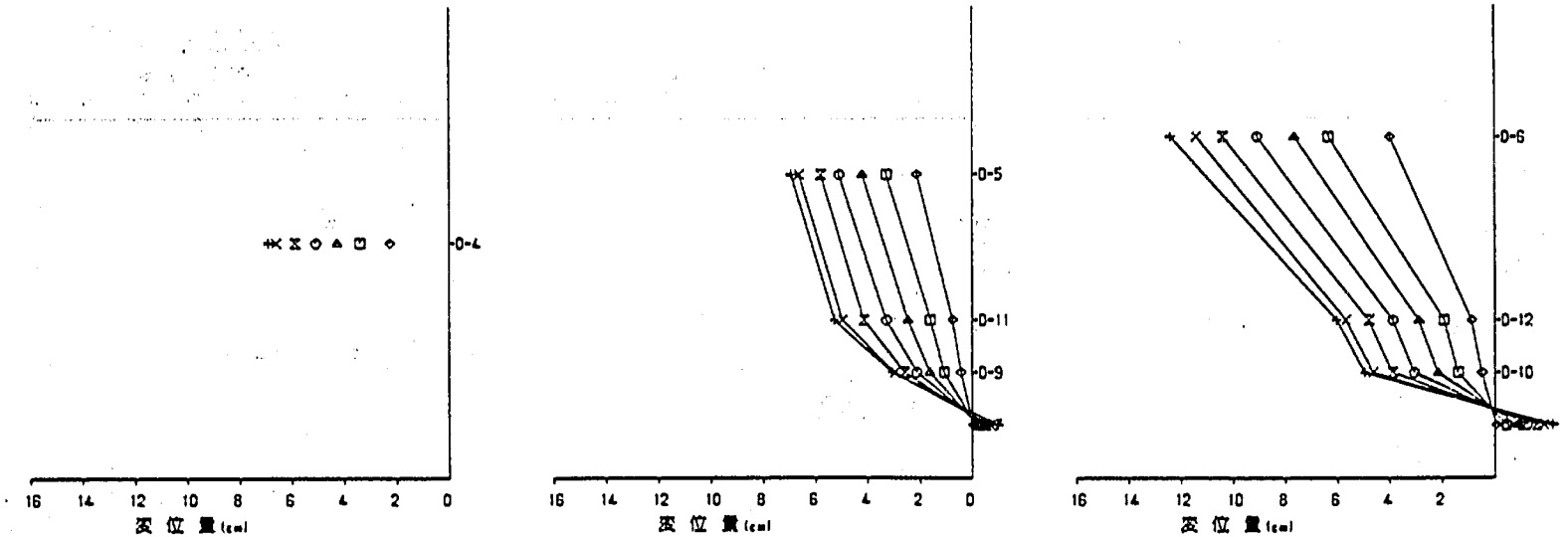


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡例
- 3 sec
- 6 sec
- 9 sec
- 12 sec
- 15 sec
- 18 sec
- 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験２－３，１５０ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 2　100 GAL (STEP- 4)

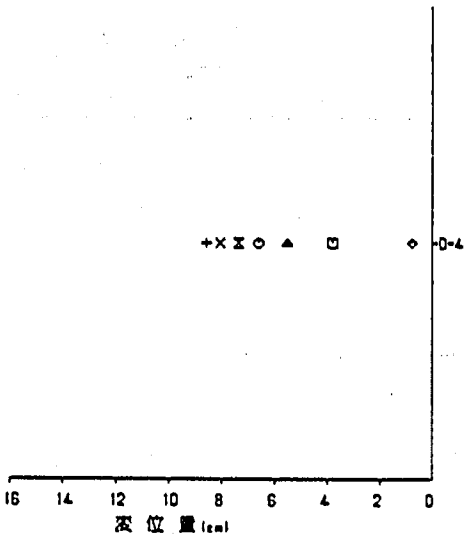


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

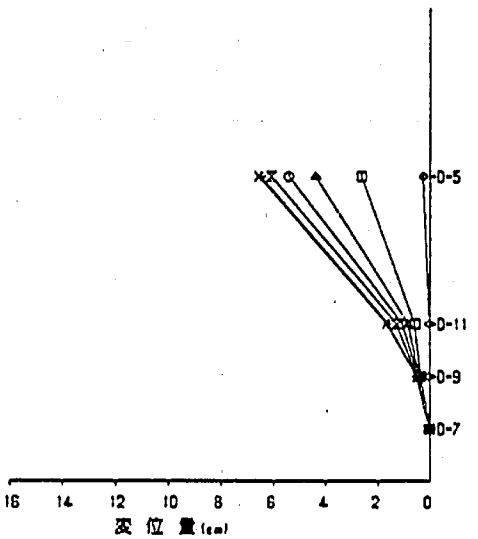
凡例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ⊠ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験２－４，１００ｇａｌ）

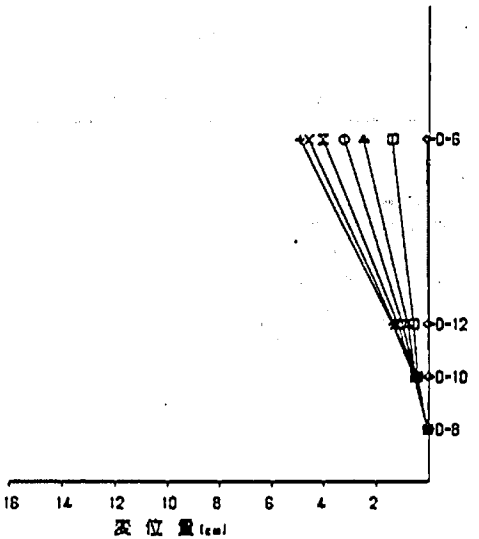
地中，水平変位鉛直分布　CASE 3　50 GAL (STEP- 1)



（a）断面A



（b）断面B

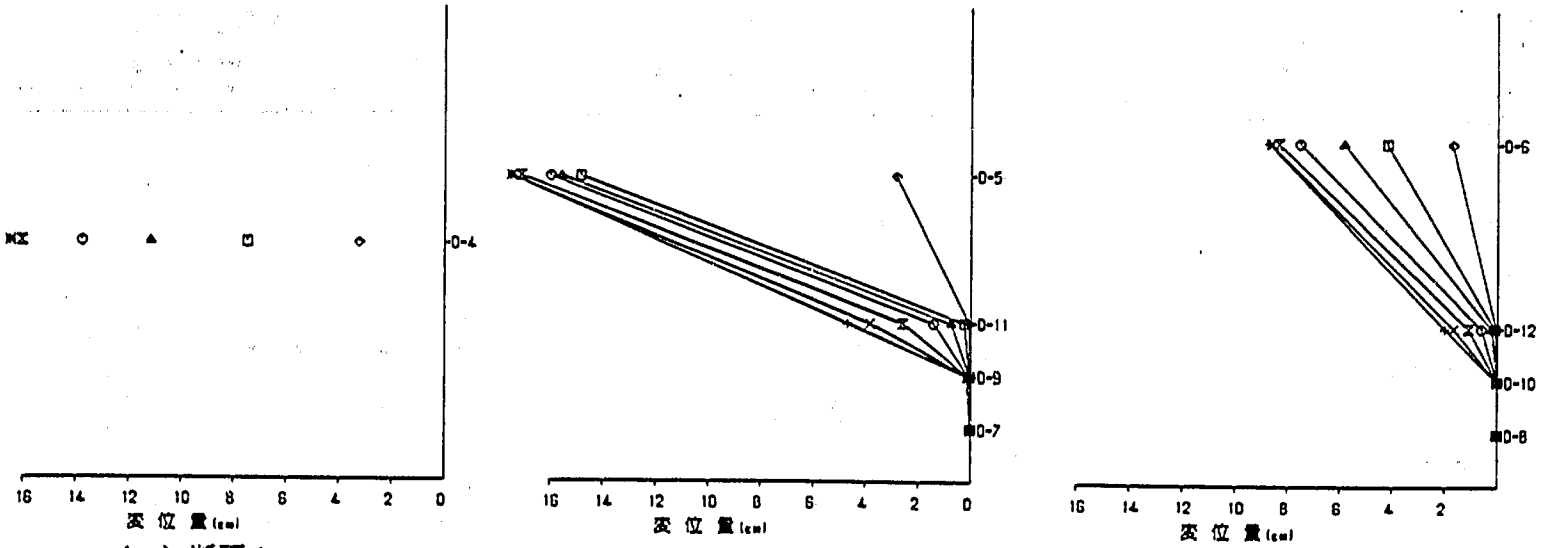


（c）断面C

凡 例
◇ 3 sec
□ 6 sec
▲ 9 sec
○ 12 sec
⧖ 15 sec
× 18 sec
+ 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験３－１，　５０ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 3　100 GAL (STEP- 2)

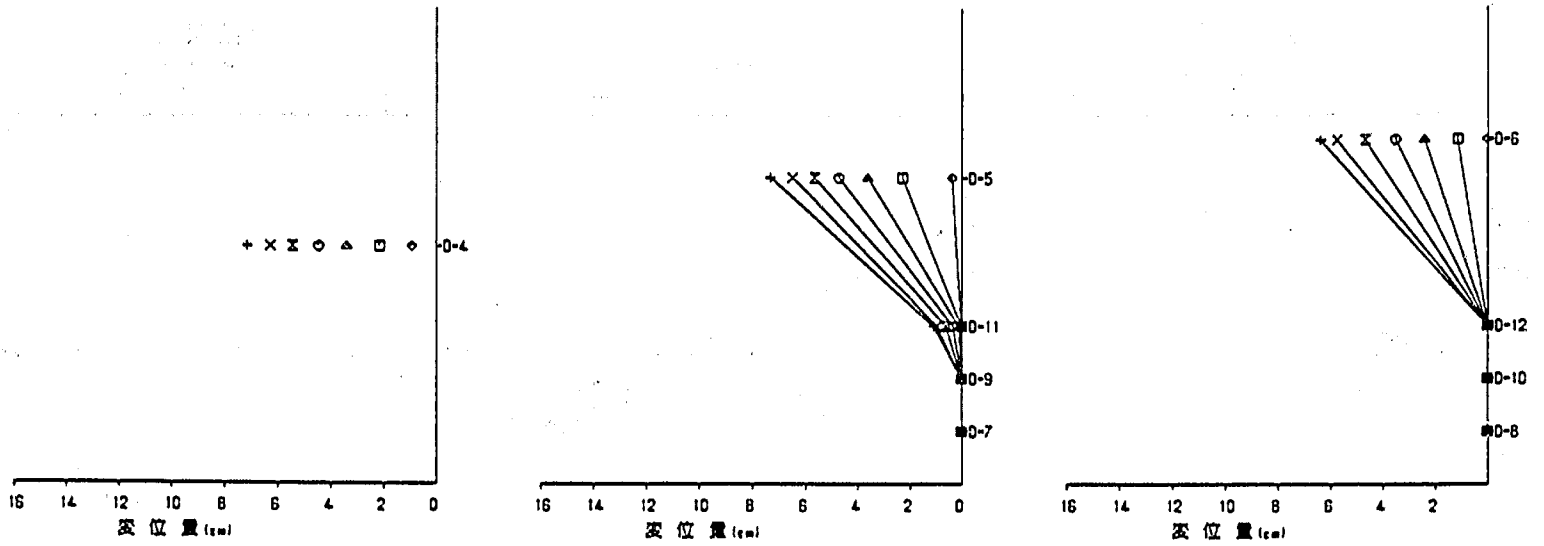


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✱ 15 sec
× 18 sec
＋ 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験３－２，１００ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 3　150 GAL (STEP- 3)

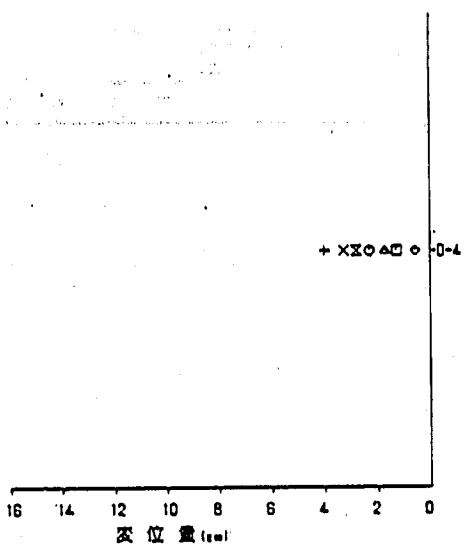


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

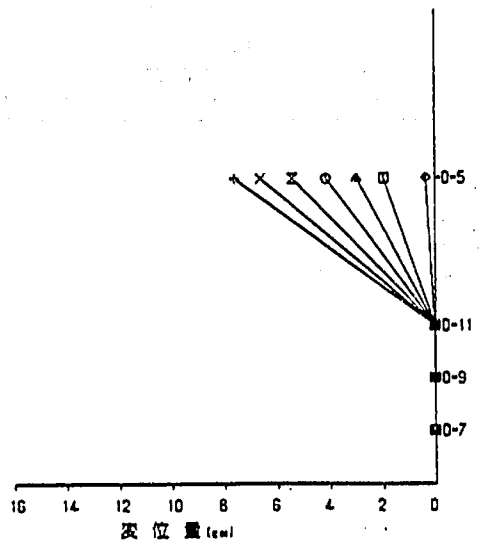
凡例
- 3 sec
- 6 sec
- 9 sec
- 12 sec
- 15 sec
- 18 sec
- 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験３－３，　７５ｇａｌ）

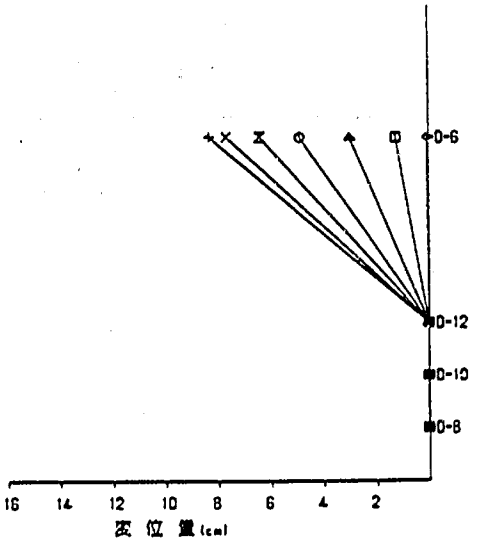
地中，水平変位鉛直分布　CASE 3　100 GAL (STEP- 4)



（a）断面A



（b）断面B

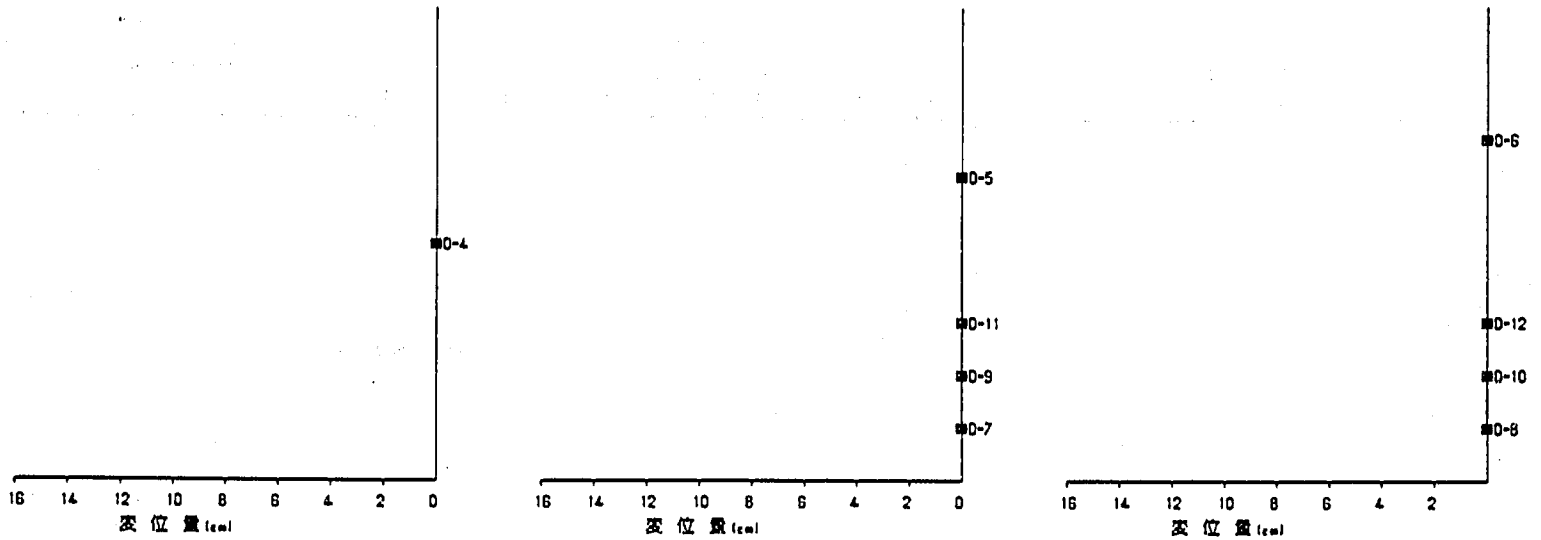


（c）断面C

凡例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ⊠ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験３－４，　７５ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 4　50 GAL (STEP- 1)

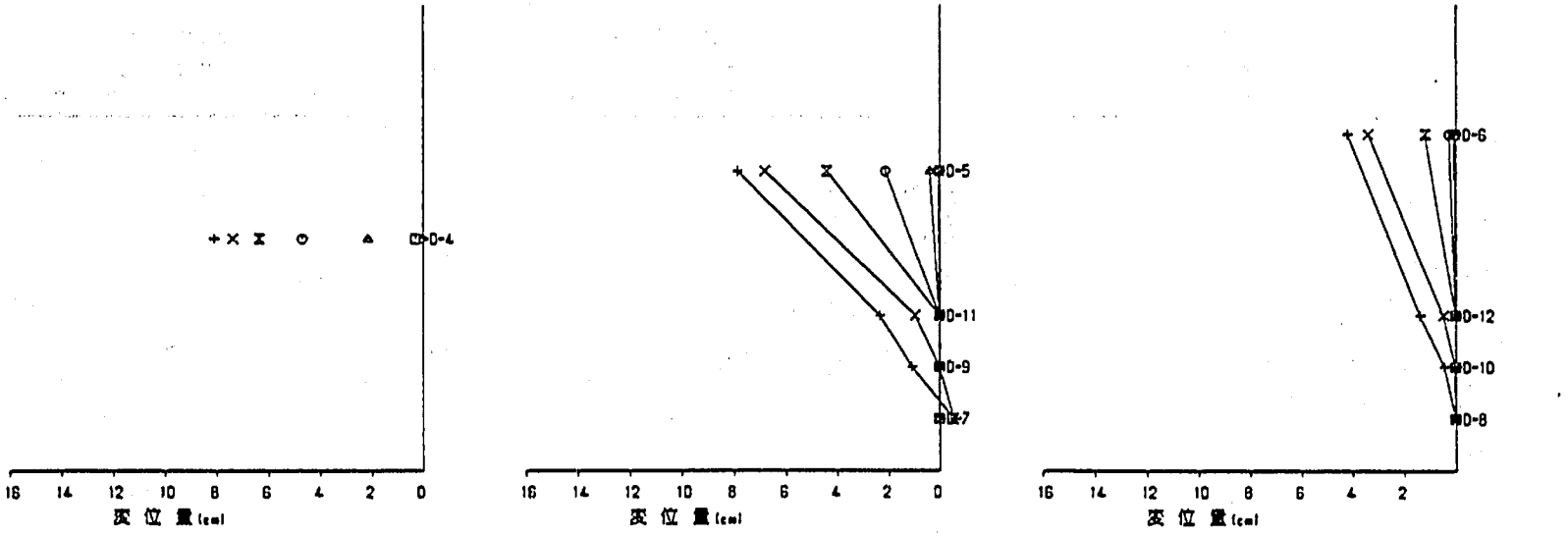


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡 例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
✱ 15 sec
× 18 sec
＋ 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験４－１，　５０ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 4　100 GAL (STEP- 2)

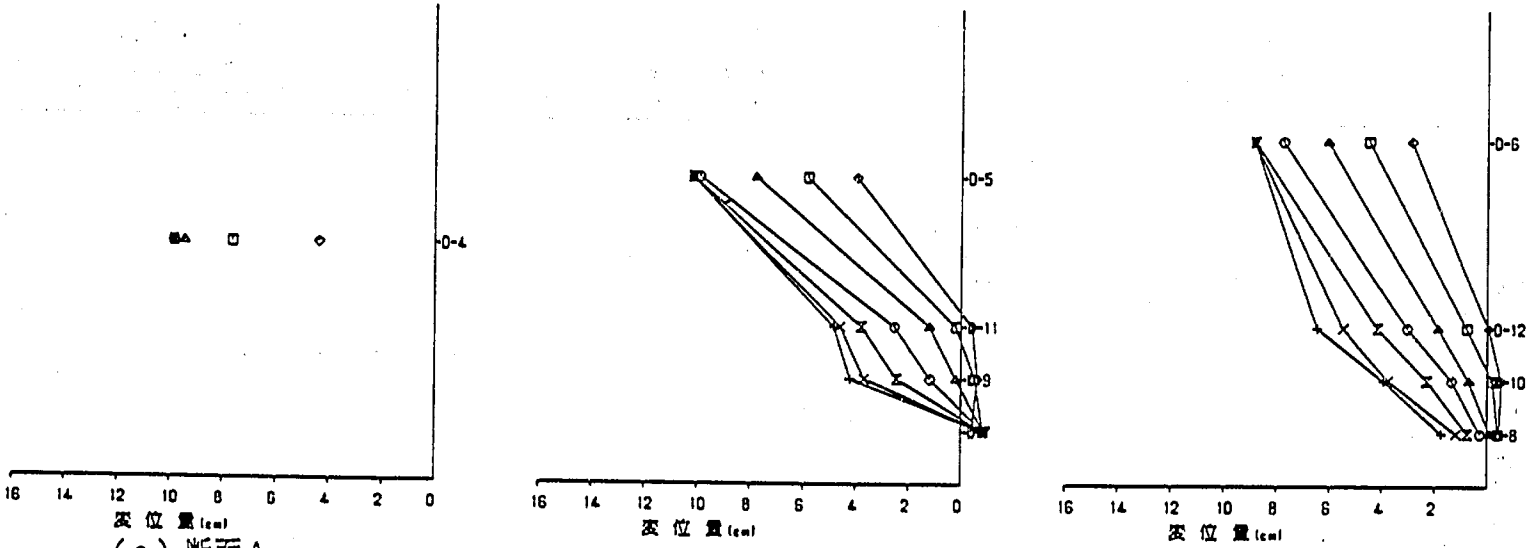


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡 例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ⧖ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験４－２，１００ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE 4　150 GAL (STEP- 3)

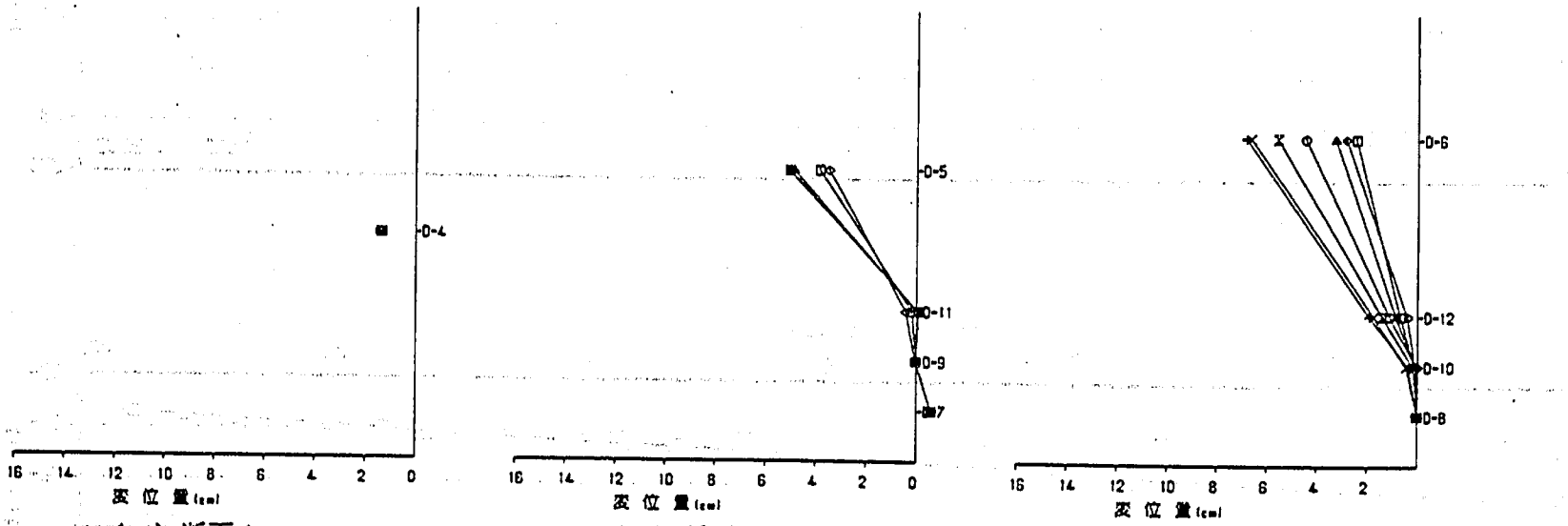


（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡例
- ◇ 3 sec
- □ 6 sec
- △ 9 sec
- ○ 12 sec
- ✳ 15 sec
- × 18 sec
- + 21 sec

地中，水平変位鉛直分布　（実験４－３，１５０ｇａｌ）

地中，水平変位鉛直分布　CASE　4　100 GAL (STEP- 4)

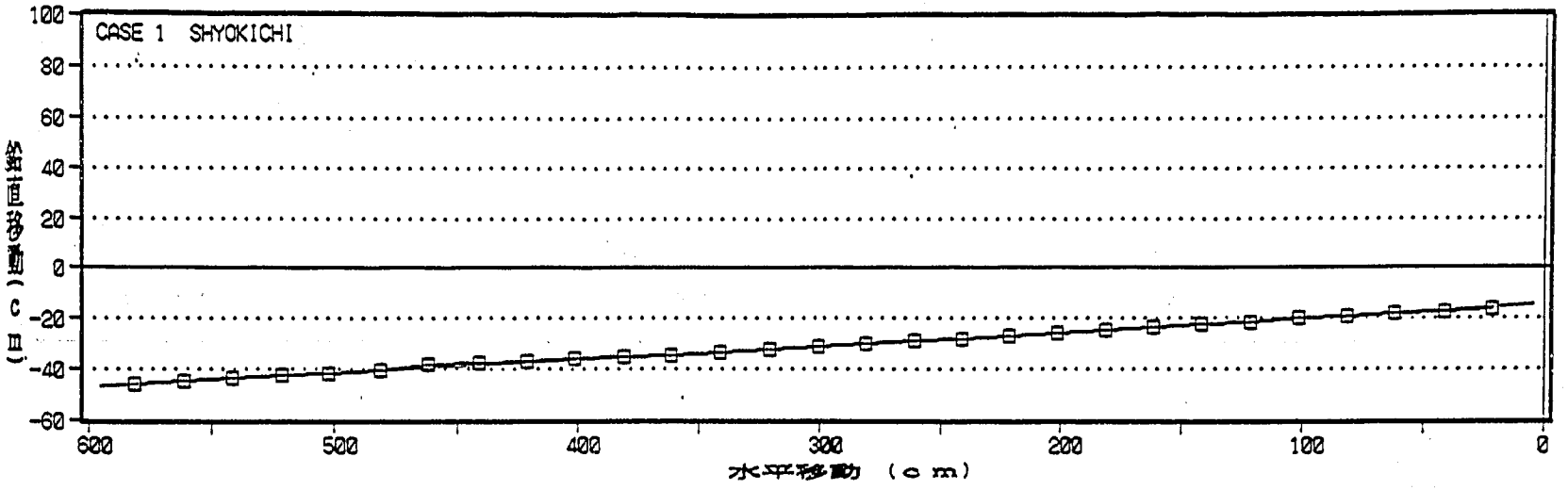


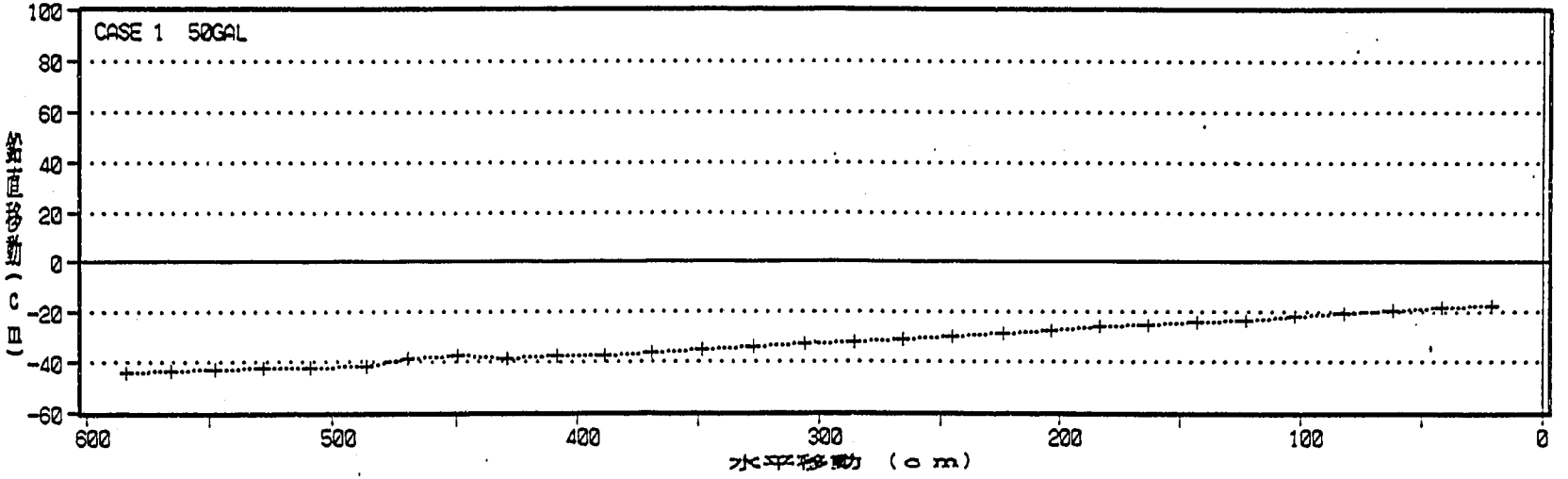
（a）断面A　（b）断面B　（c）断面C

凡 例
◇ 3 sec
□ 6 sec
△ 9 sec
○ 12 sec
⧖ 15 sec
× 18 sec
+ 21 sec

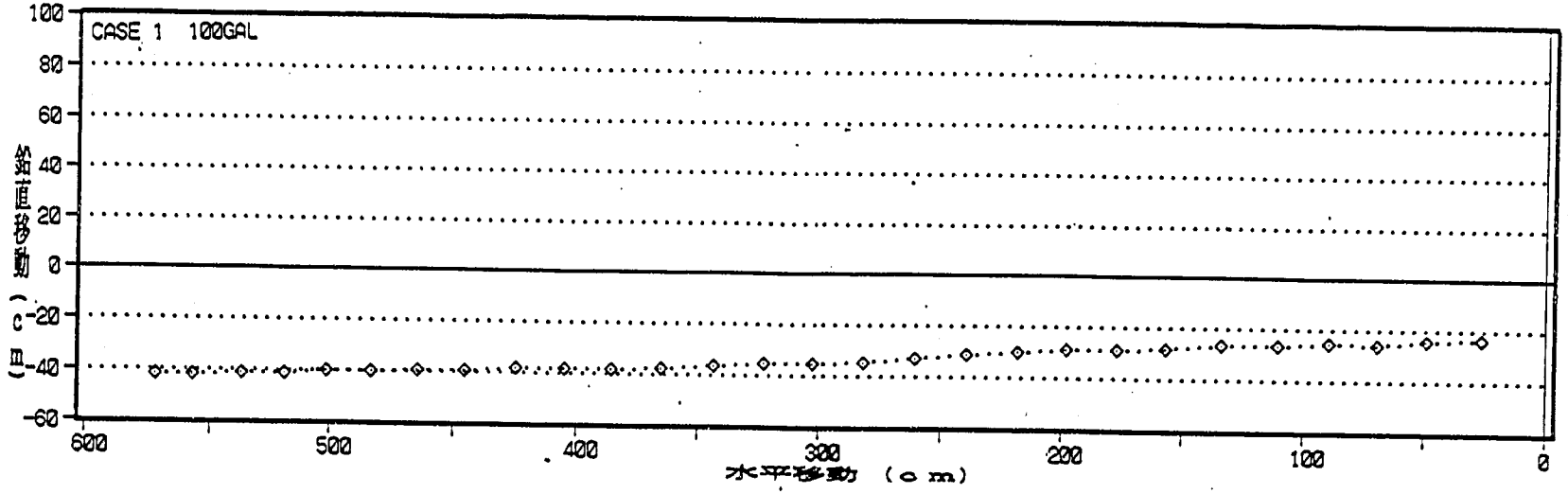
地中，水平変位鉛直分布　（実験４－４，２００ｇａｌ）

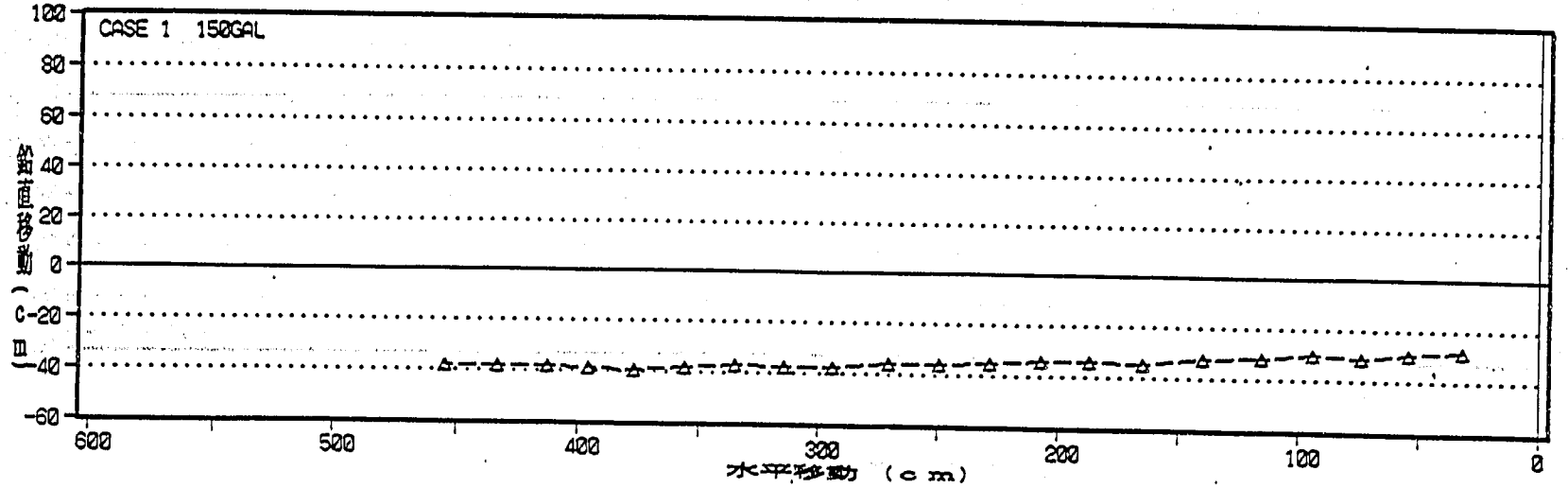
地表面変位による地表面傾斜図





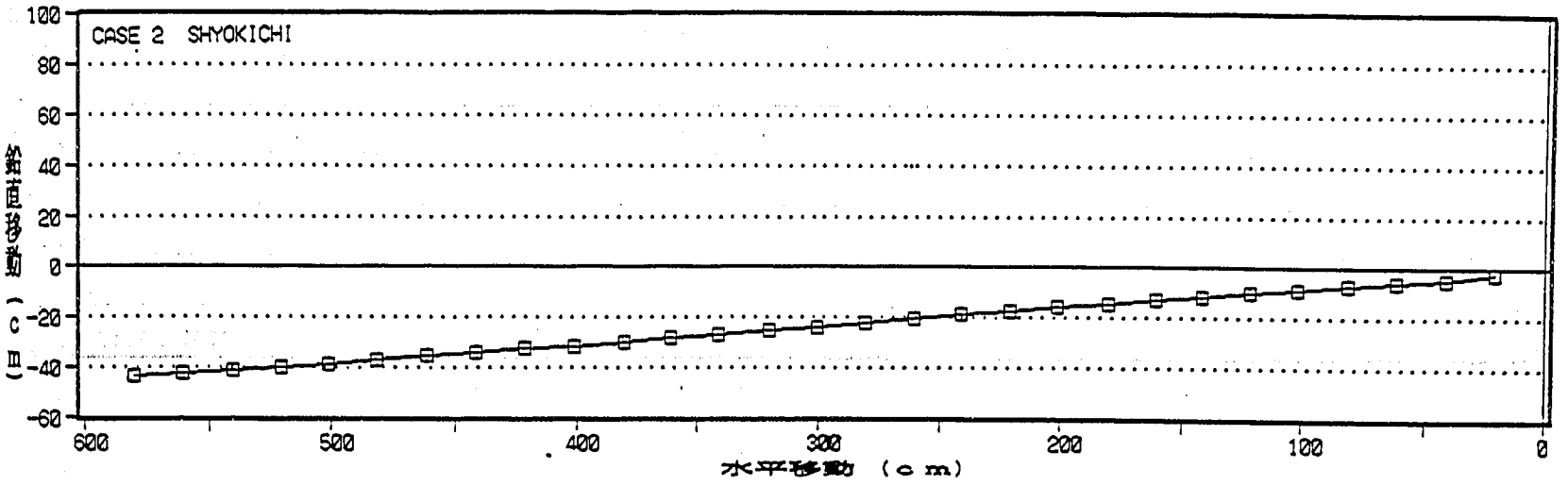
地表面変位線による地表面傾斜図

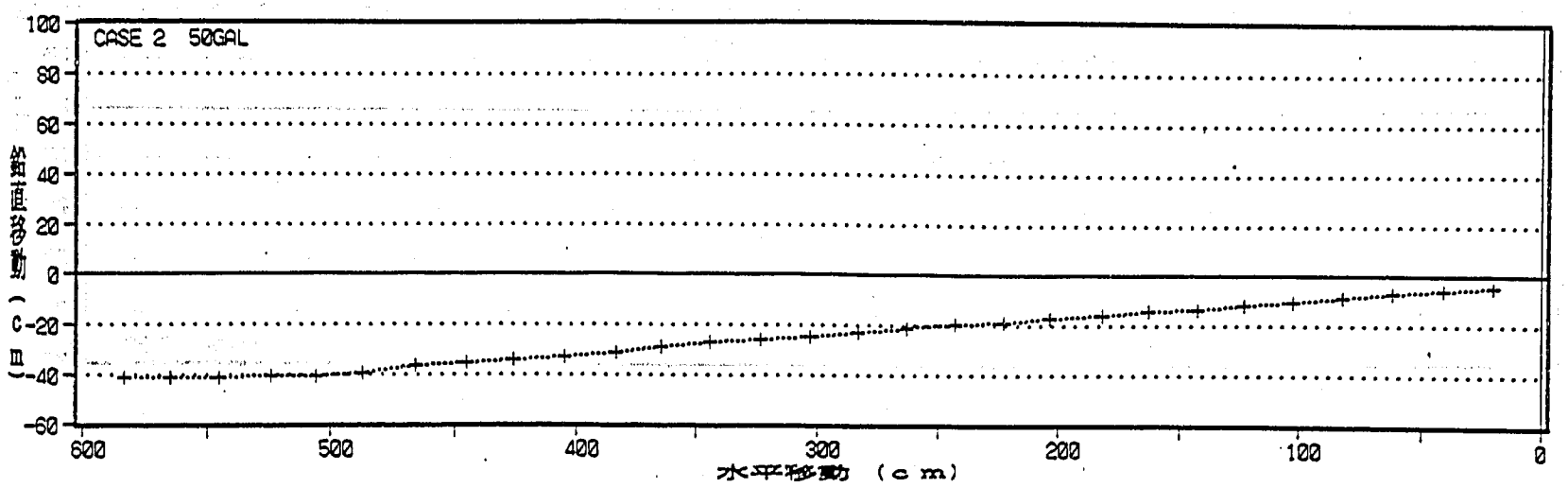




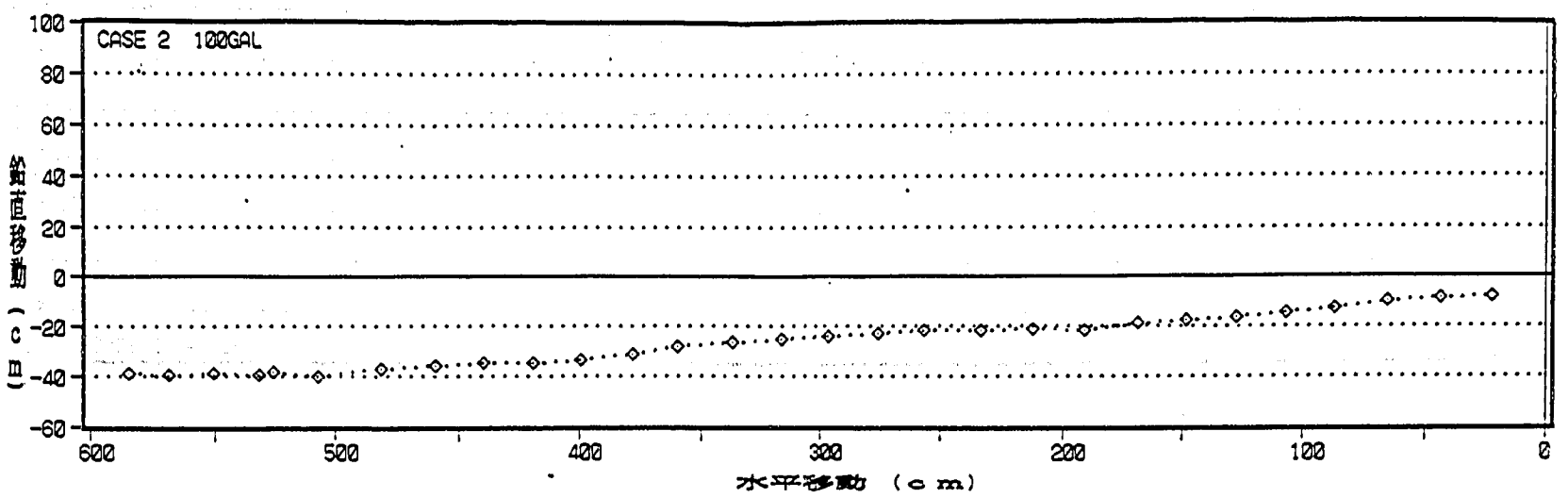
地表面変位線による地表面傾斜図

地表面変位線による地表面傾斜図





地表面変位量による地表面傾斜図



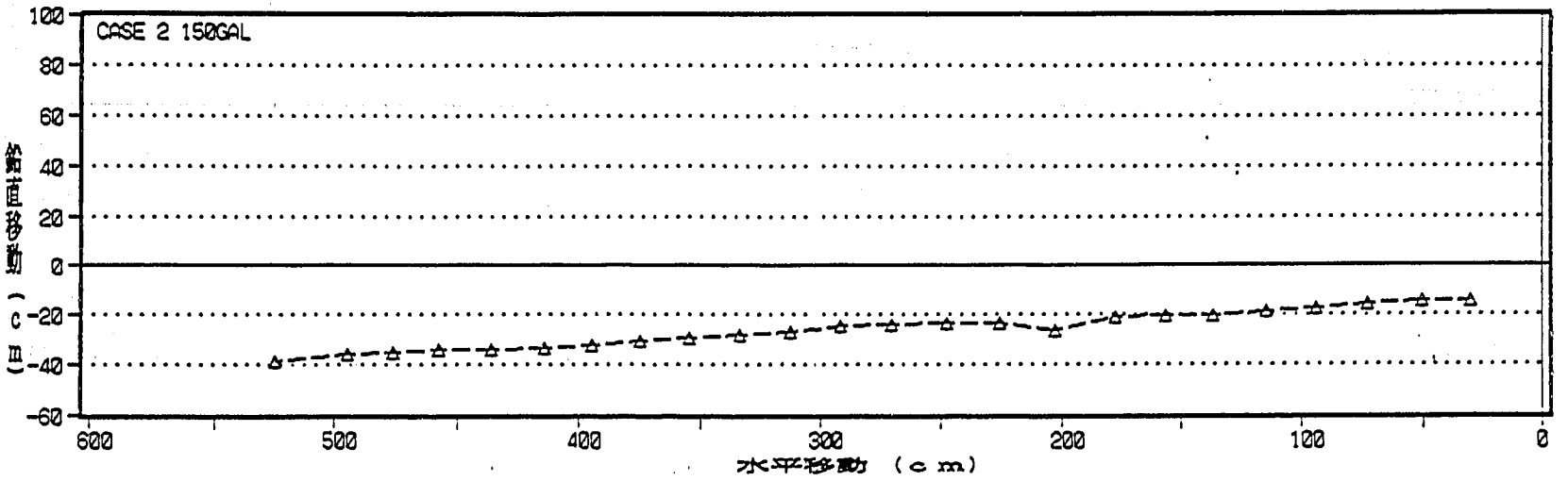
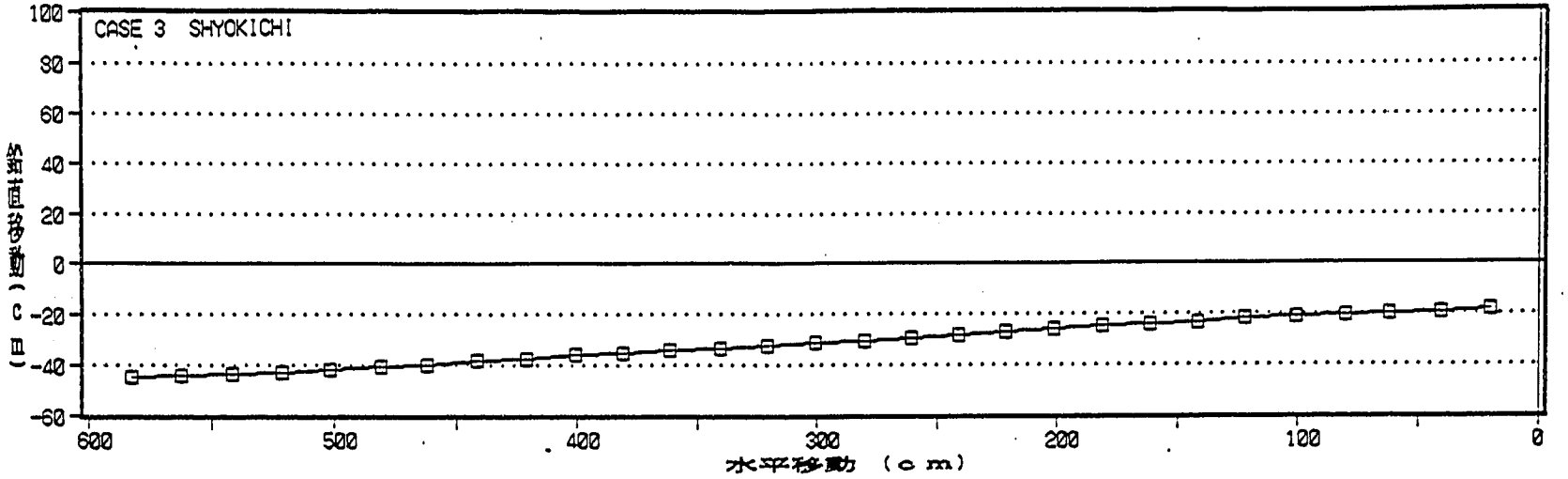
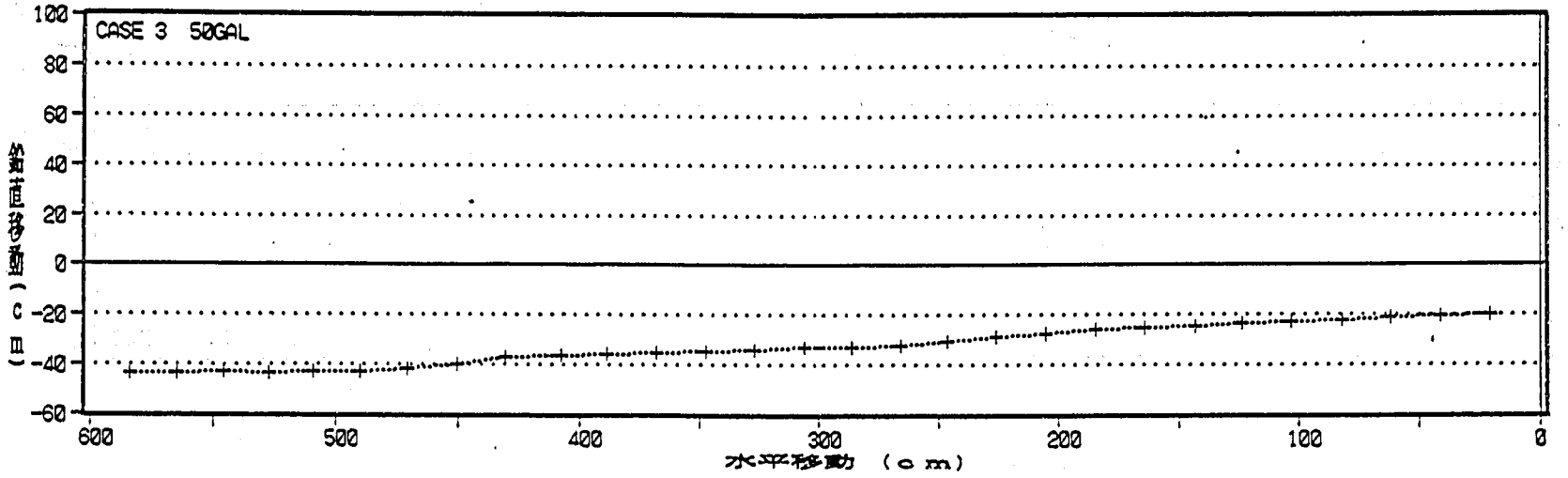
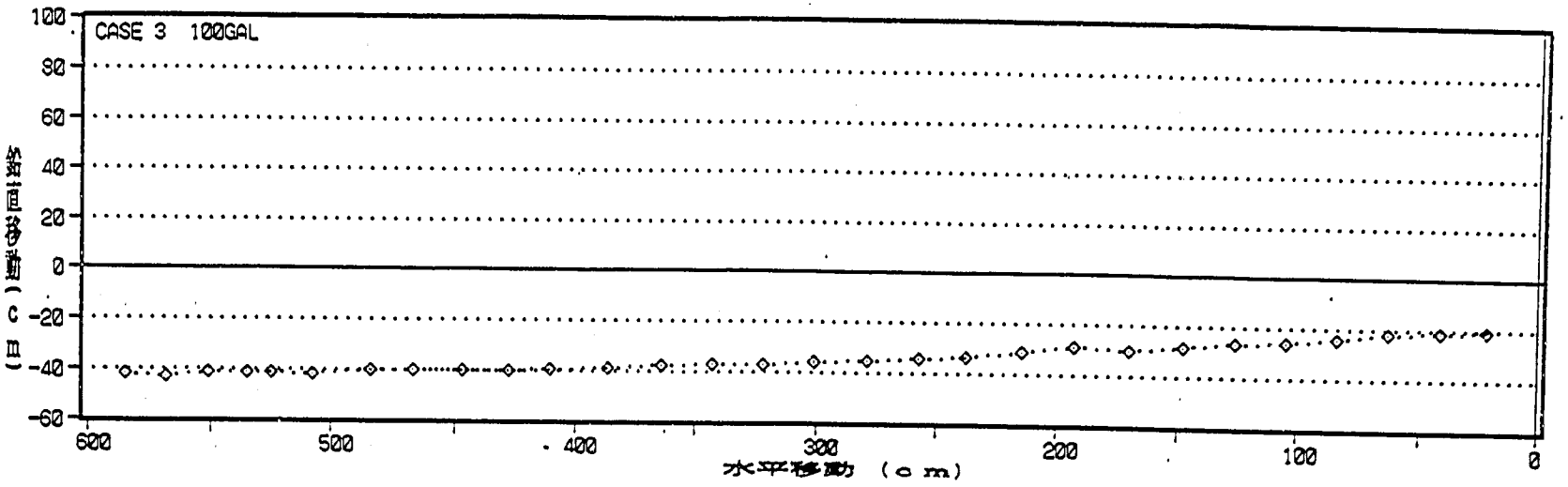


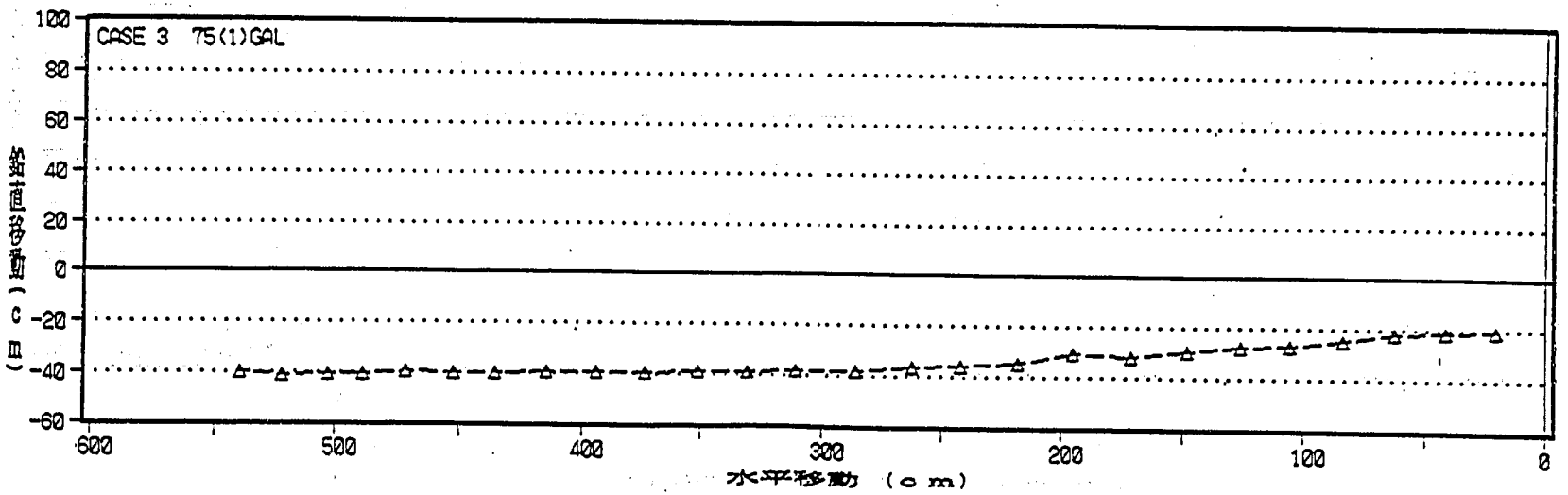
図 地震動変位波による地表面変形図

地表面変位量による地表面傾斜図

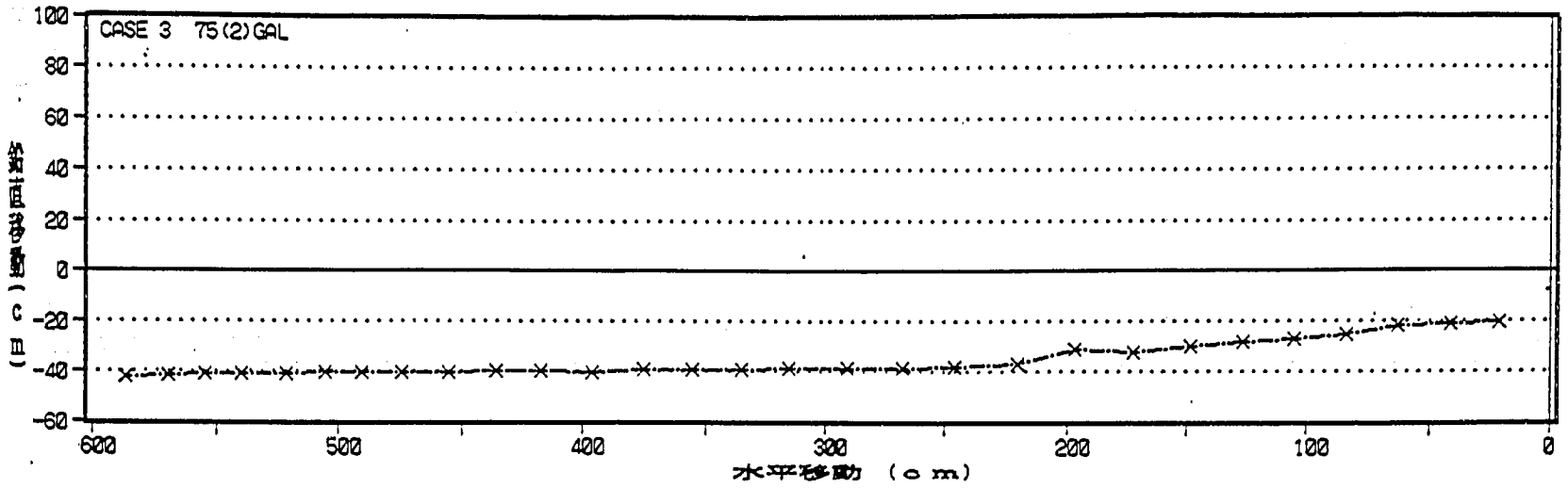




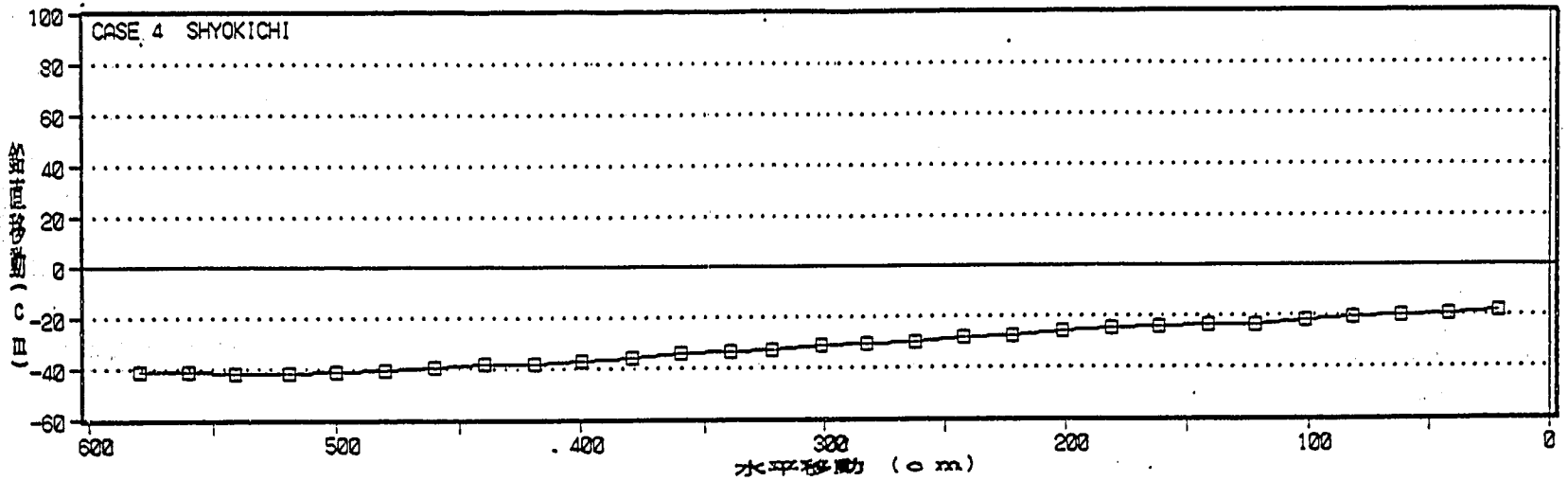

CASE 3 100GAL
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
600
500
400
300
200
100
0
水平移動 (cm)
残留回転量(cm)

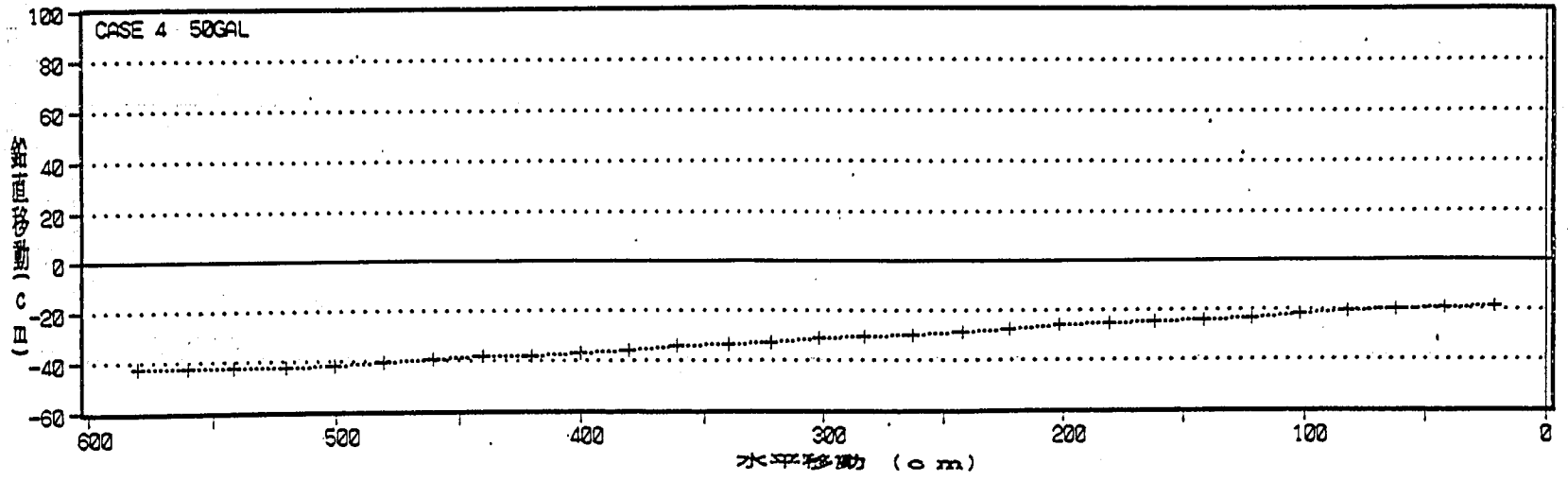

CASE 3 75(1)GAL
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
600
500
400
300
200
100
0
水平移動 (cm)
残留回転量(cm)

地表面変位線による地表面傾斜図

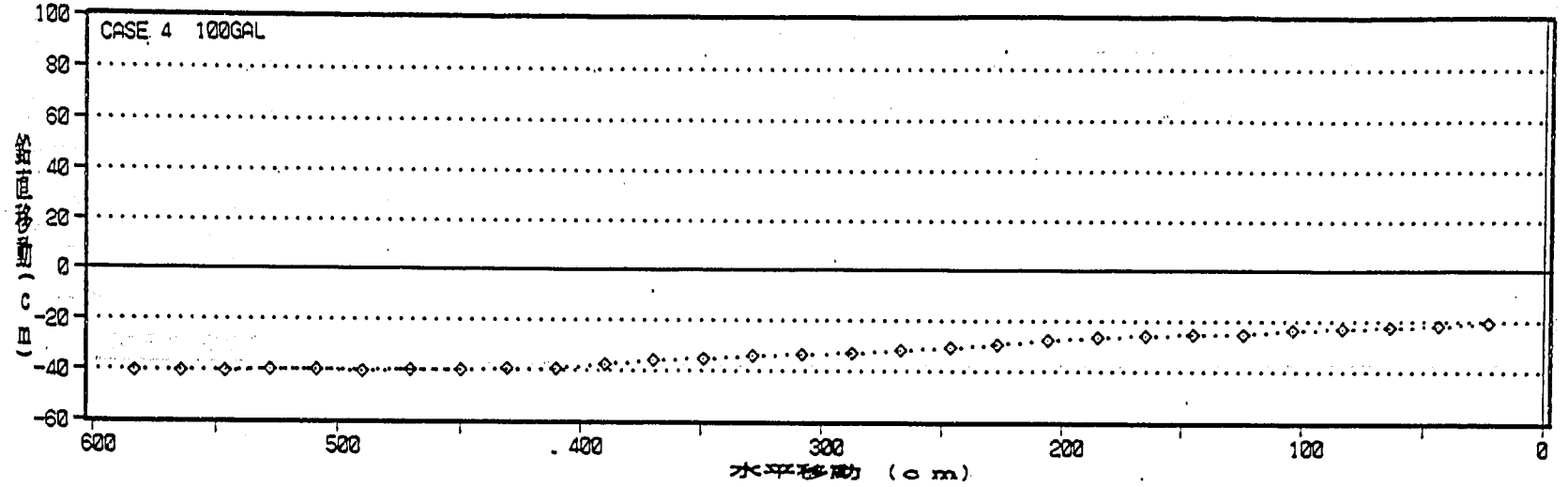


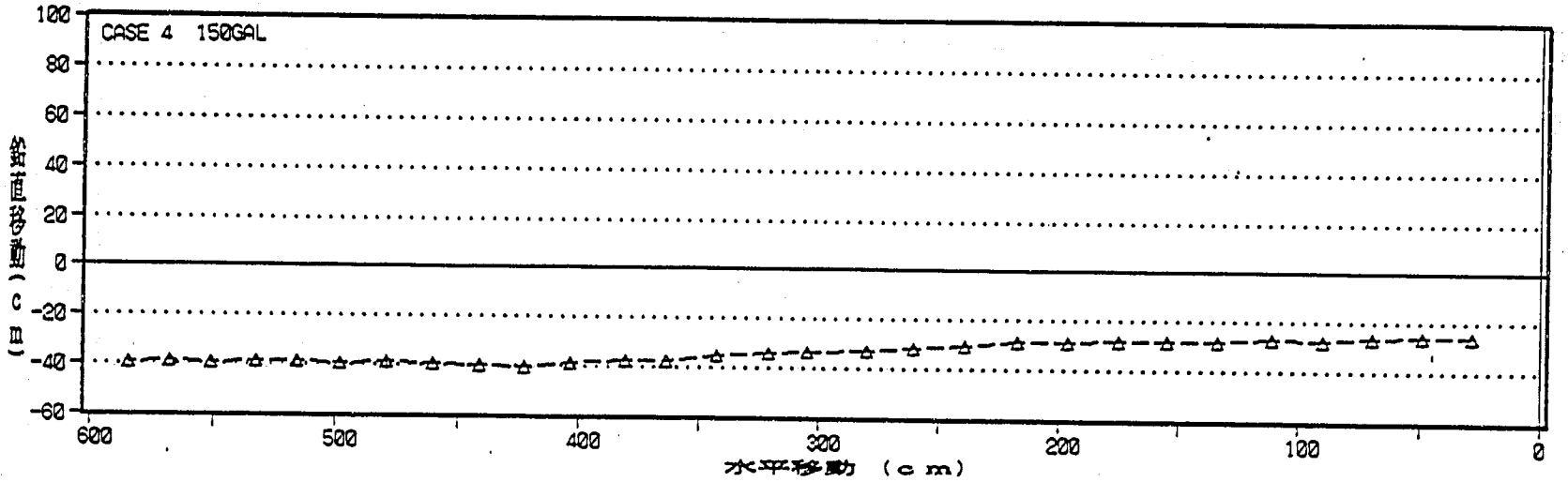
地表面変位線による地表面傾斜図



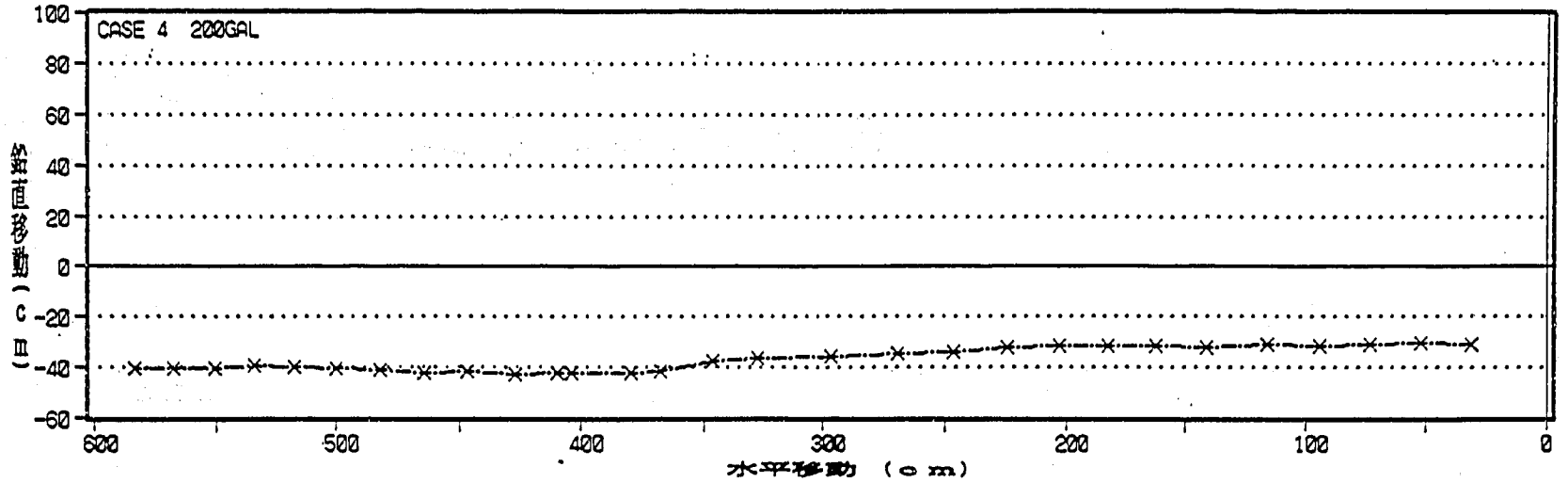


地表面変位線による地表面傾斜図

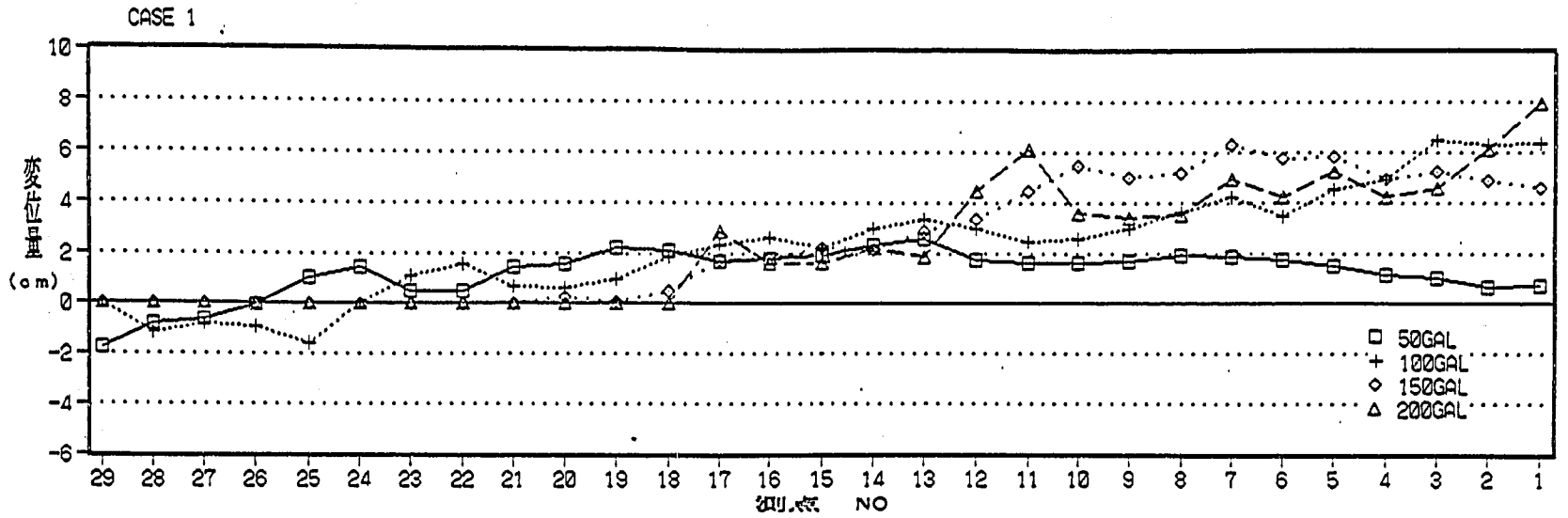


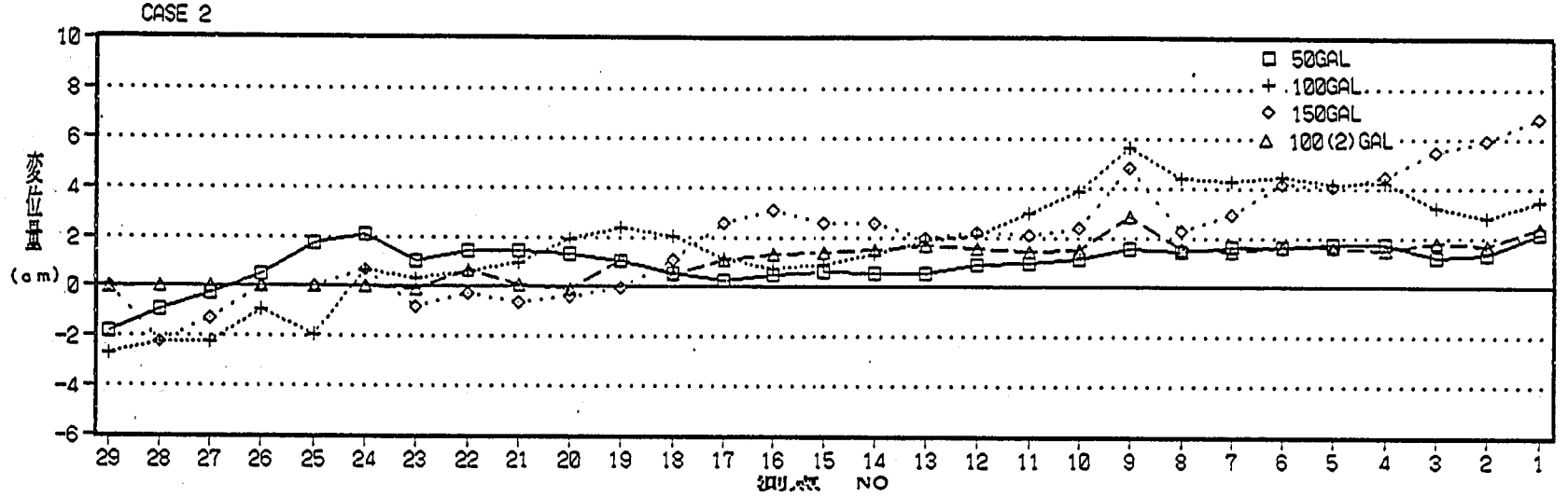


地表面変位量による地表面傾斜図

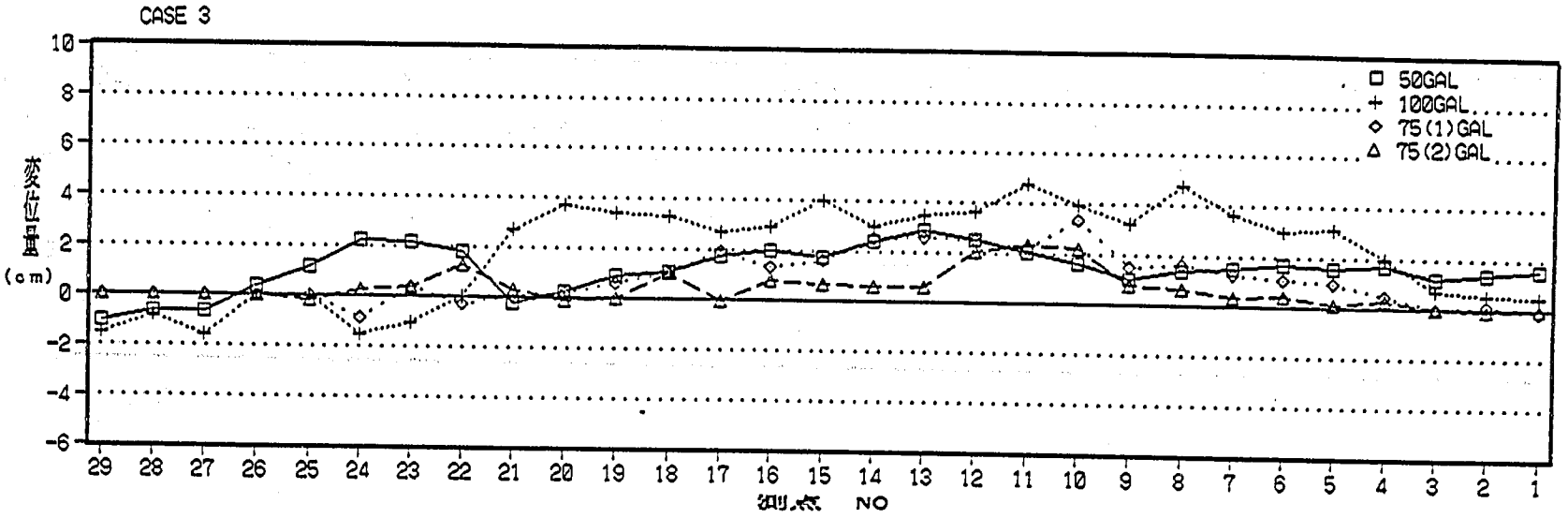


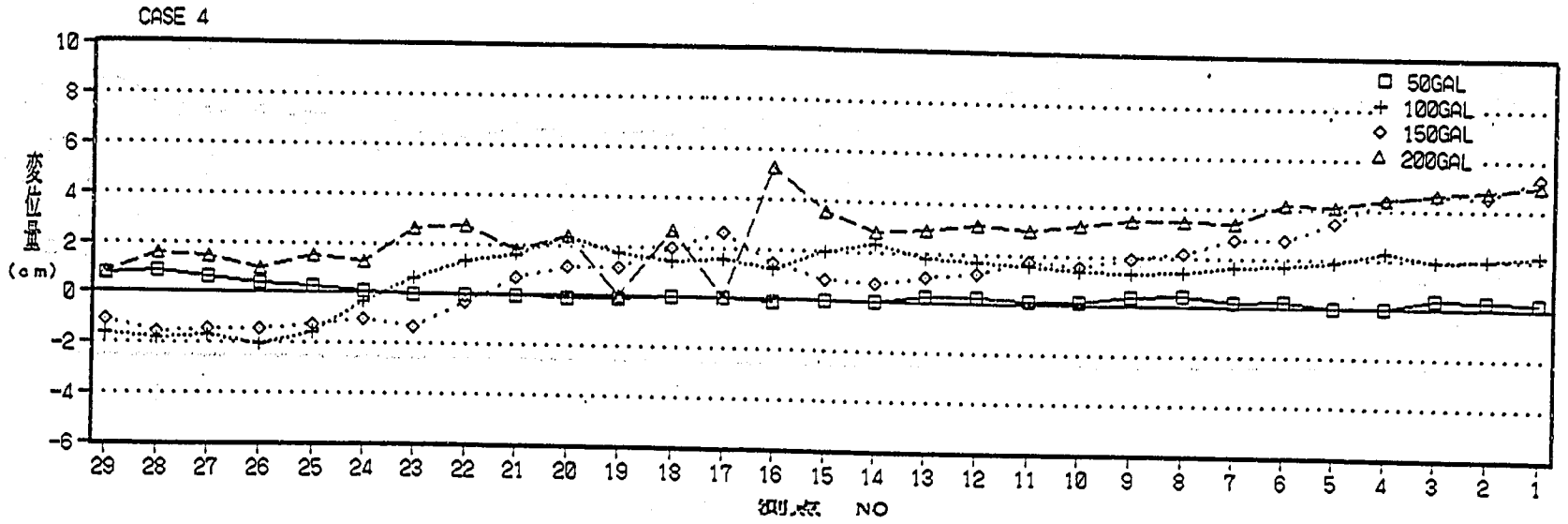
地表面変位測定結果図　　（鉛直移動）





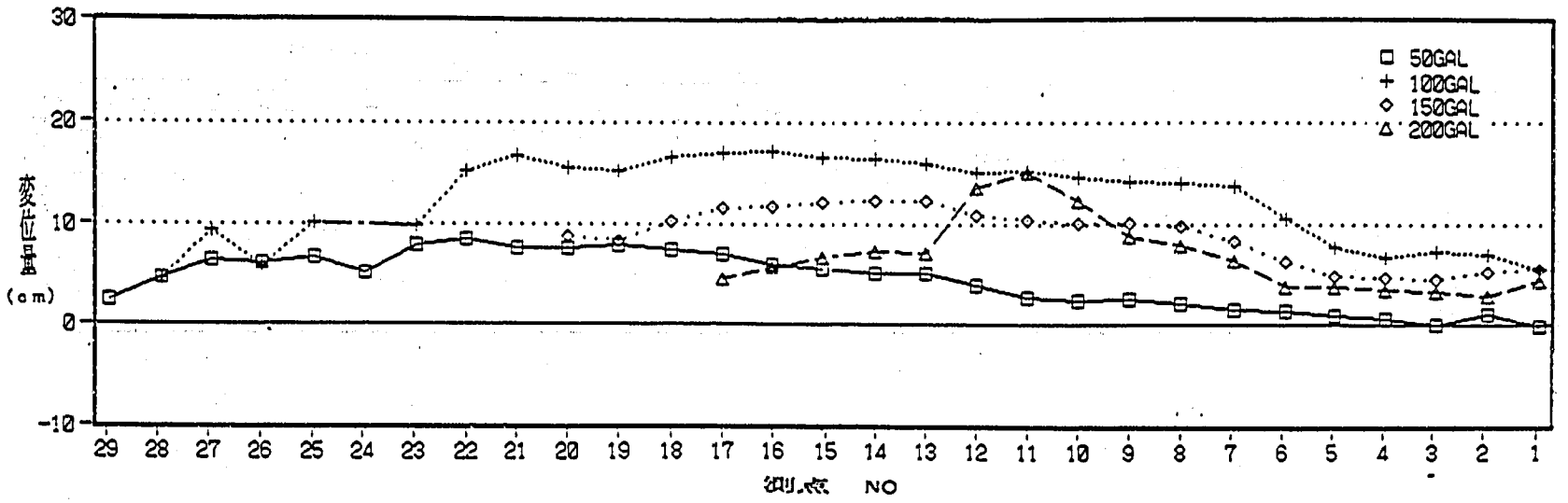
地表面変位測定結果図　　（鉛直移動）



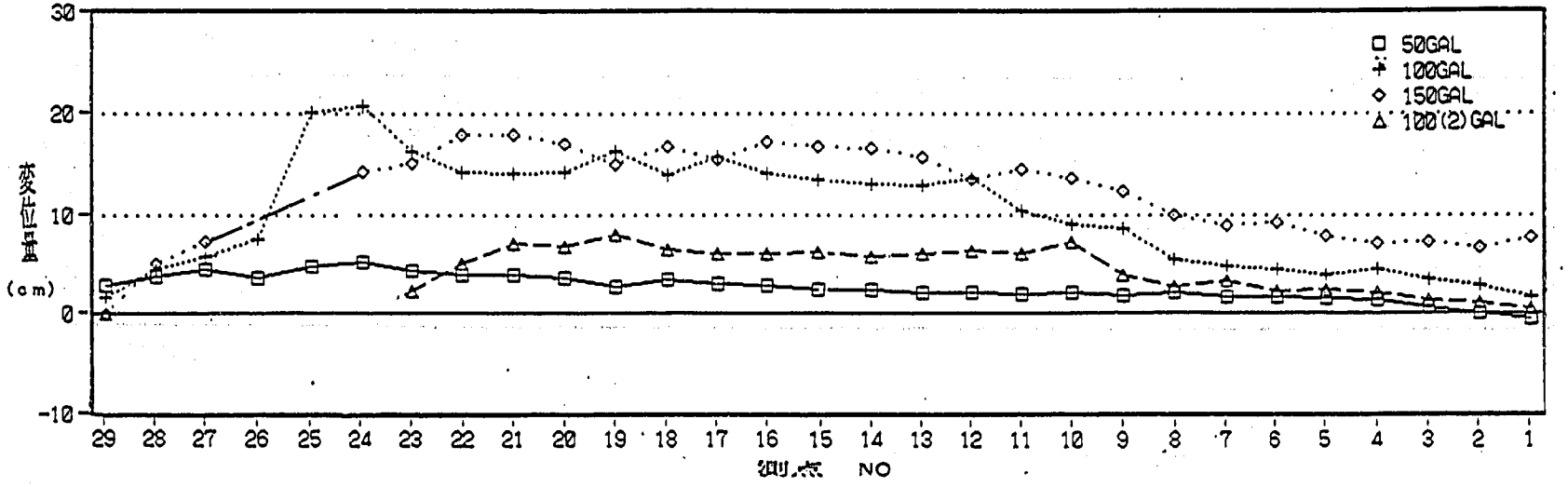


地表面変位測定結果図　（水平移動）

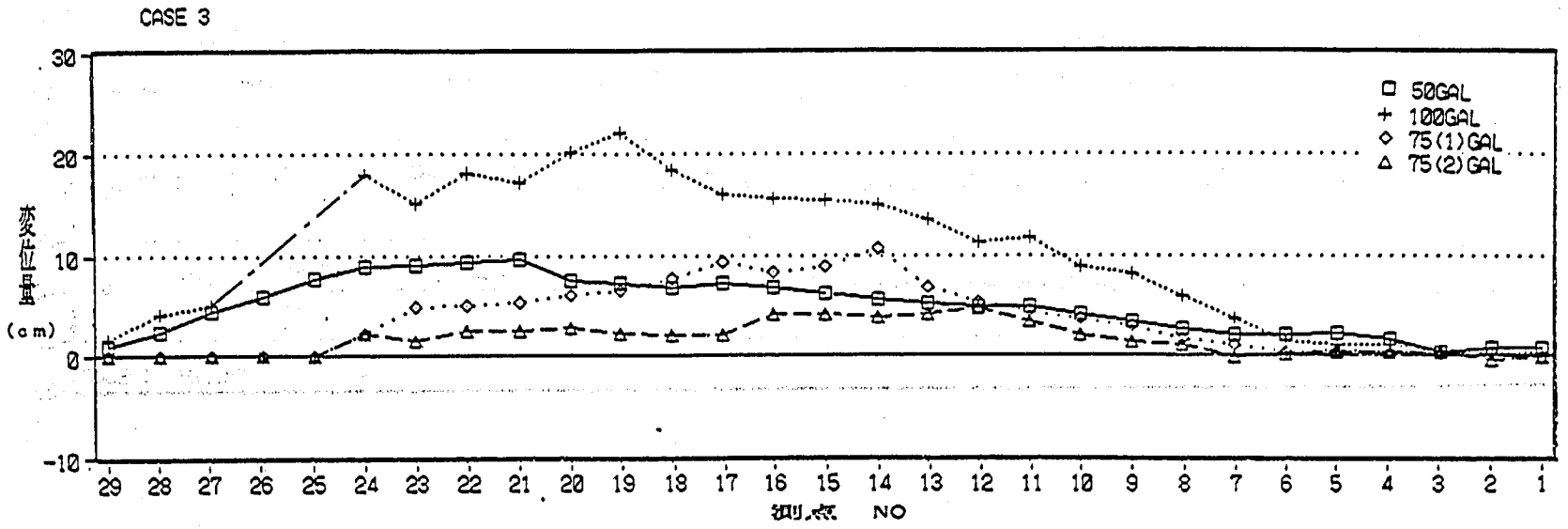
CASE 1

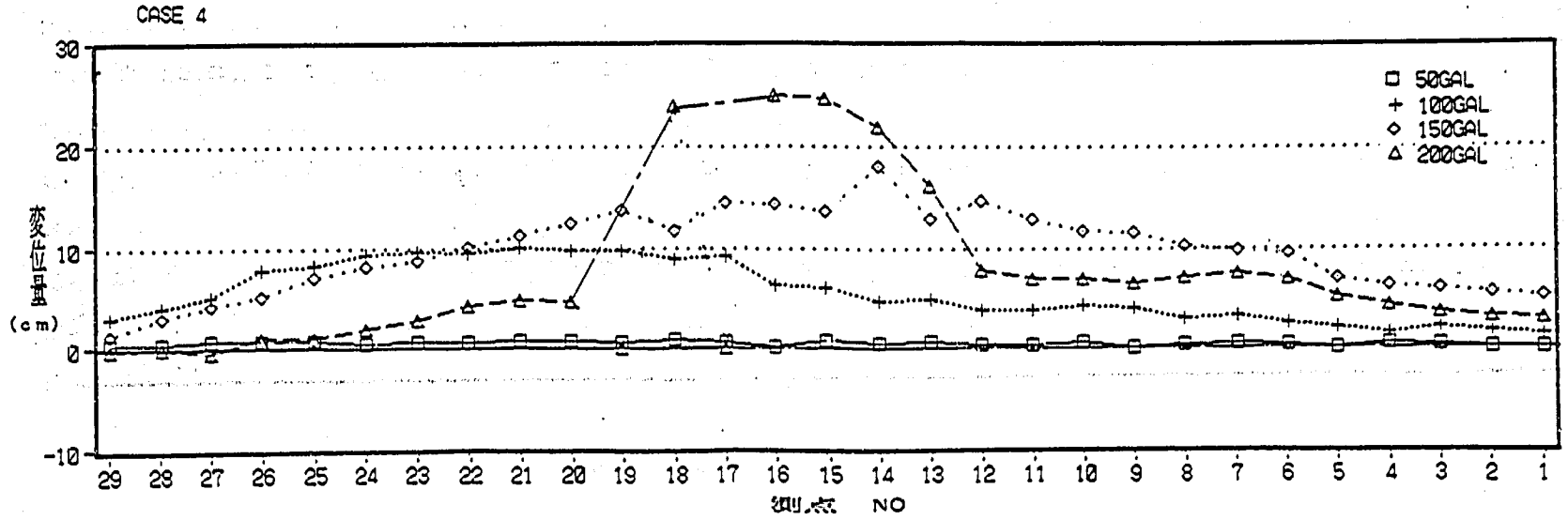


CASE 2



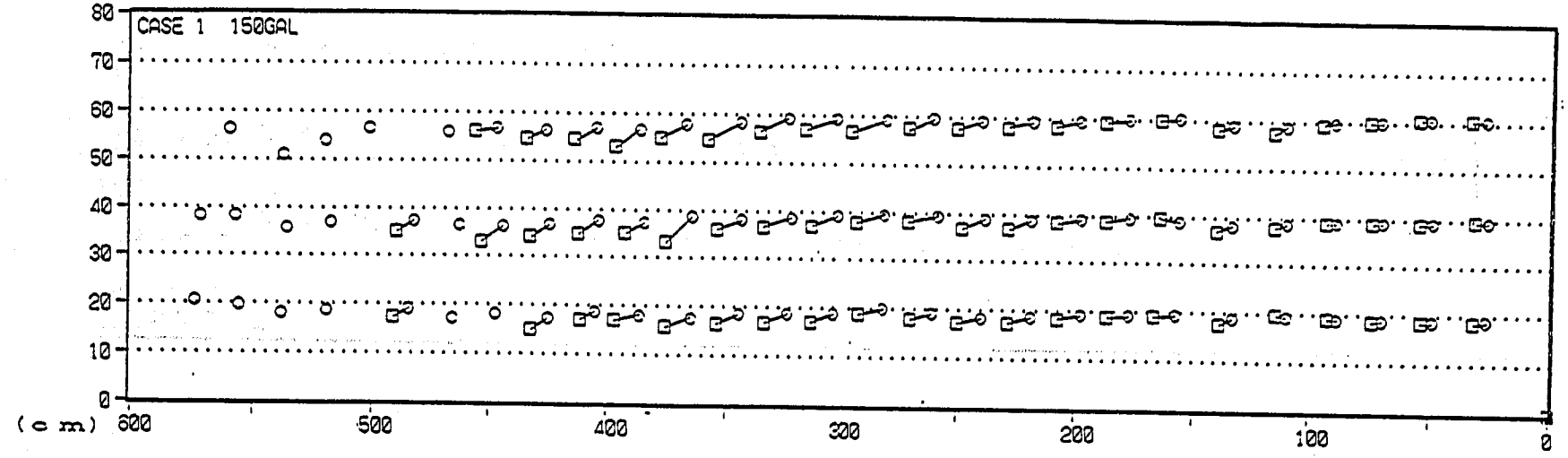
地表面変位測定結果図　（水平移動）

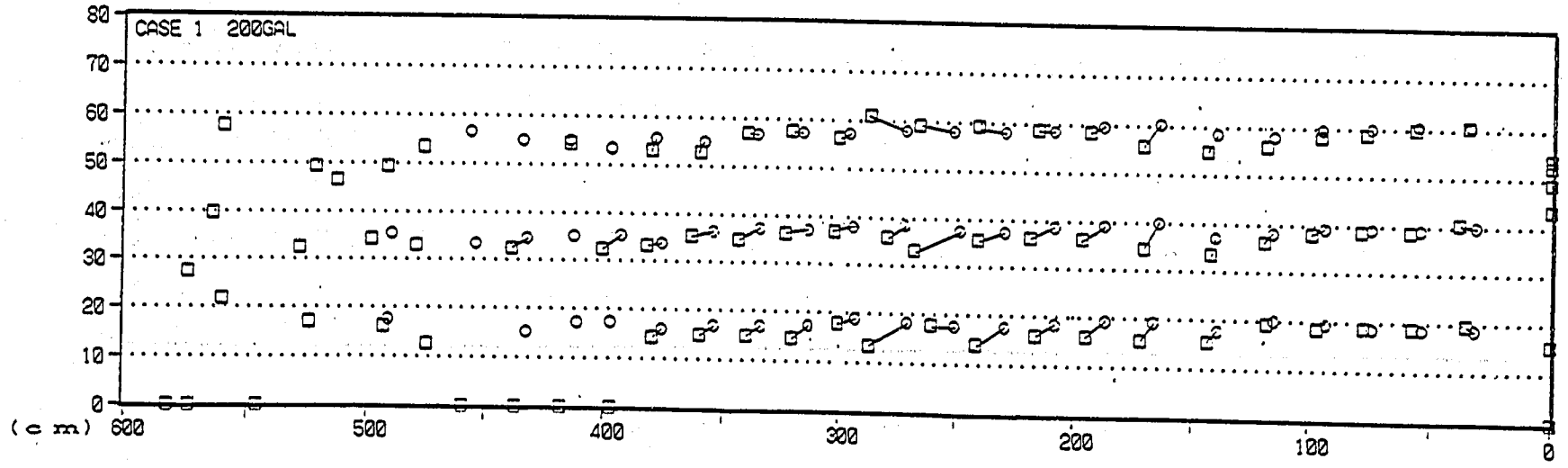




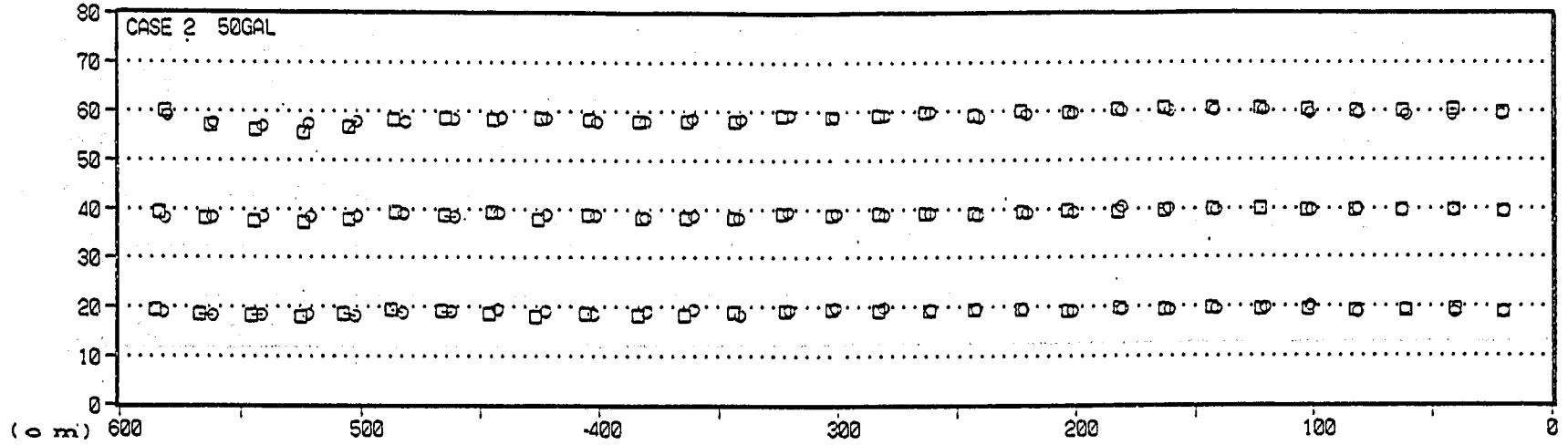
地表面変位測定結果図　（水平移動）

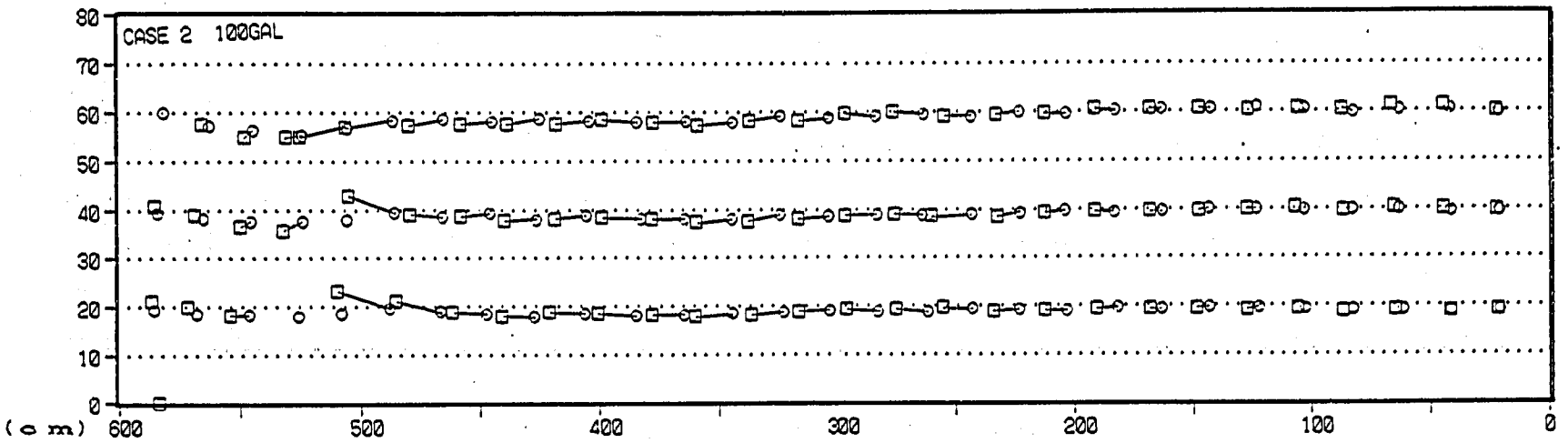
地表面変位測定結果図　（水平移動）





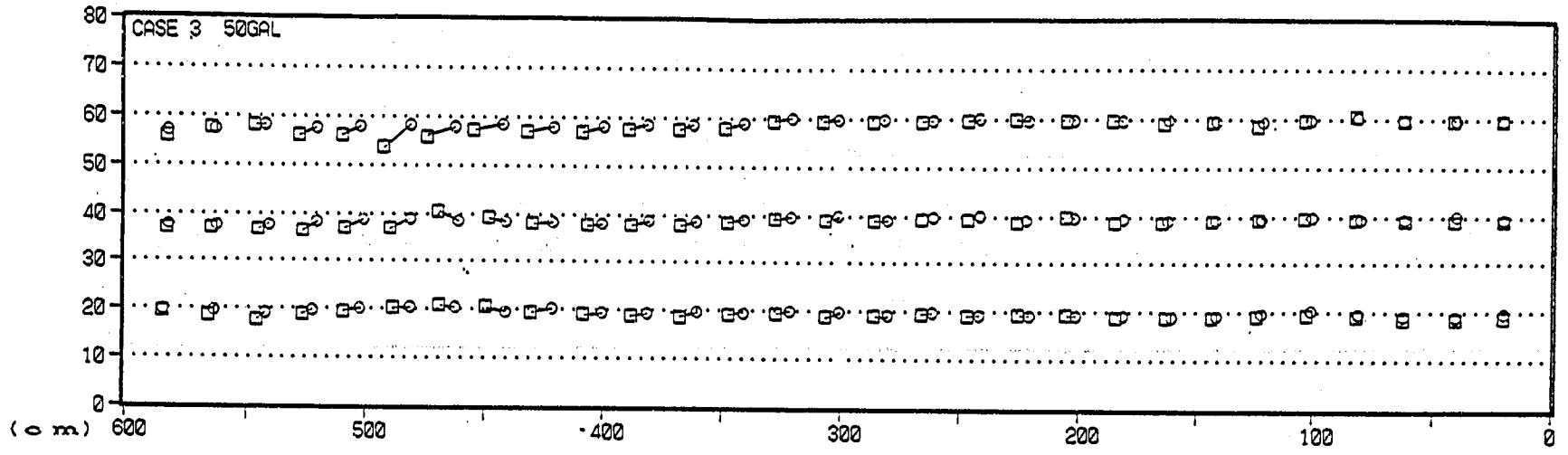
地表面変位測定結果図　（水平移動）

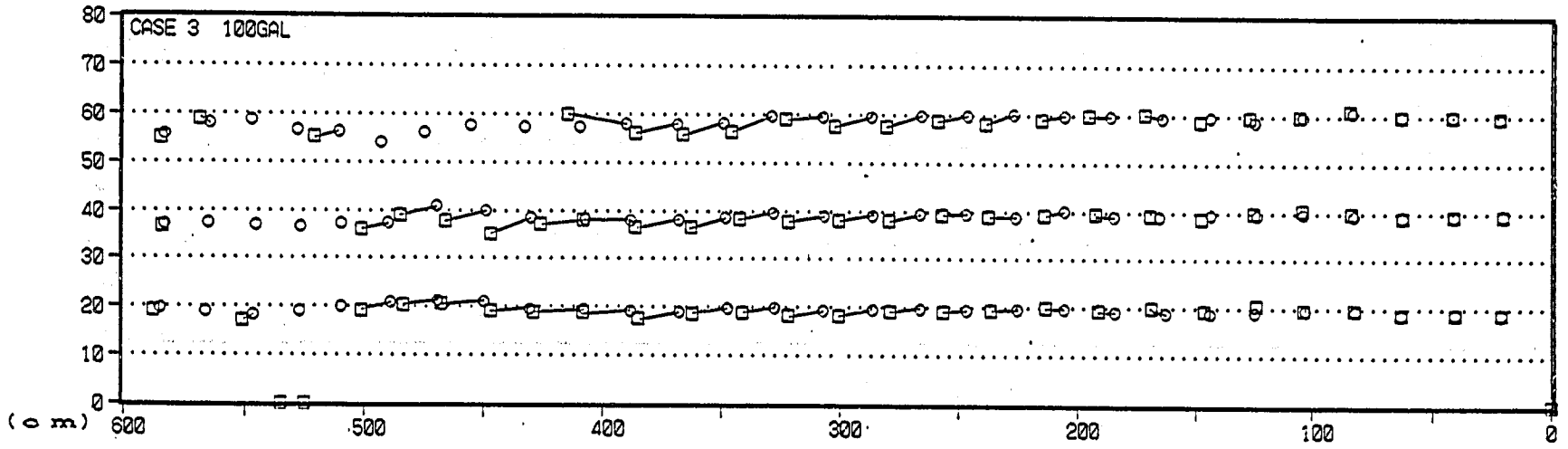




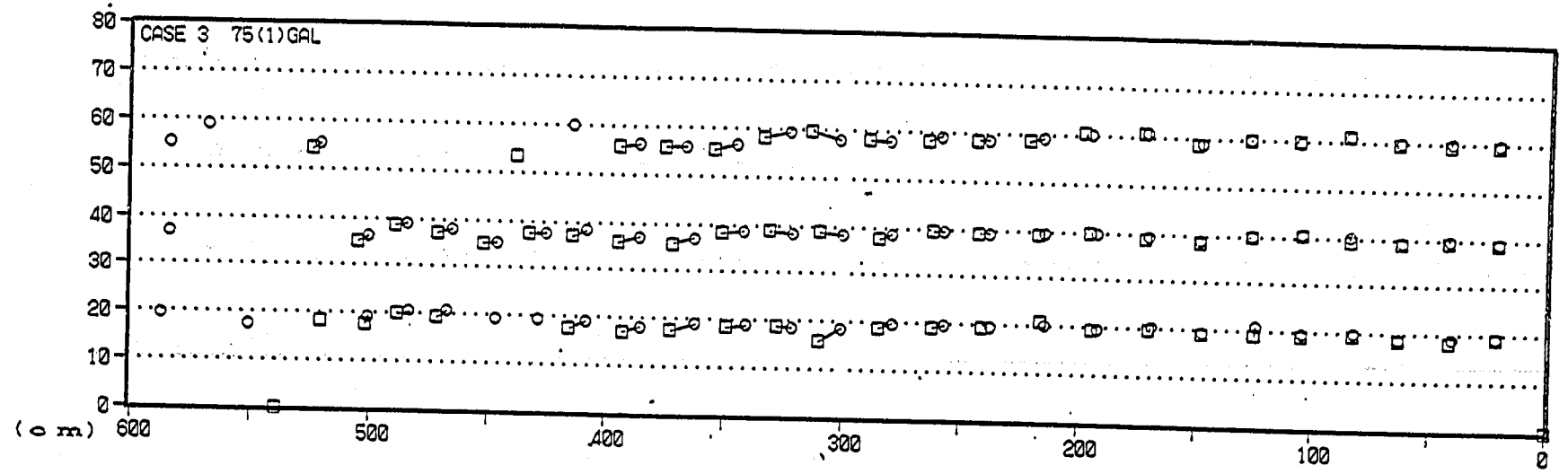
地表面変位測定結果図　（加振方向）

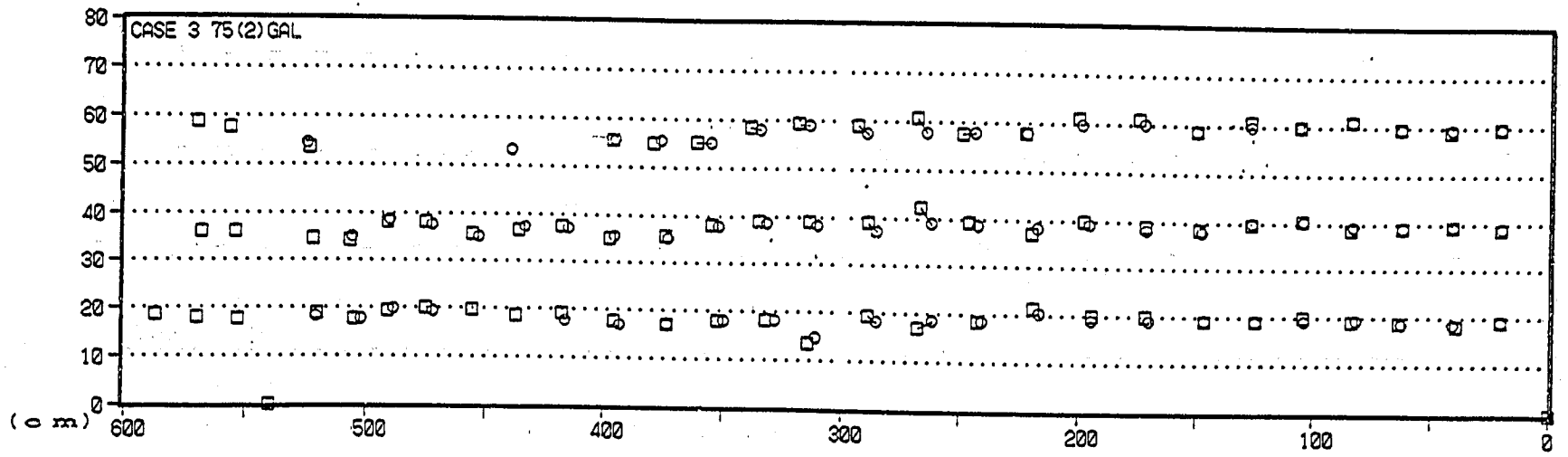
地表面変位測定結果図　（水平移動）



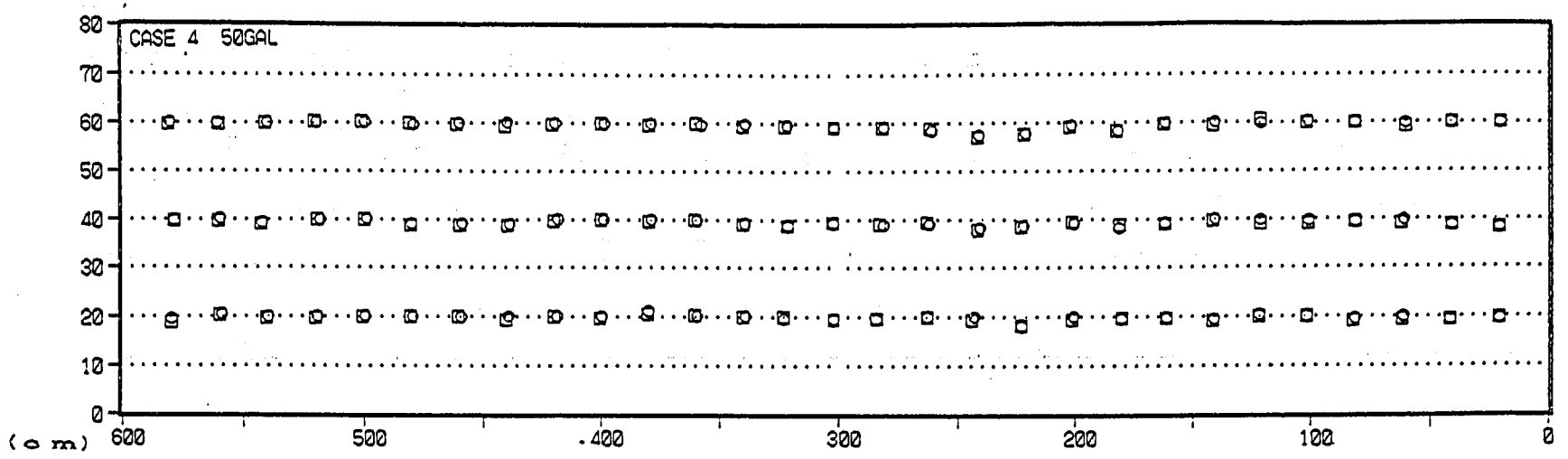


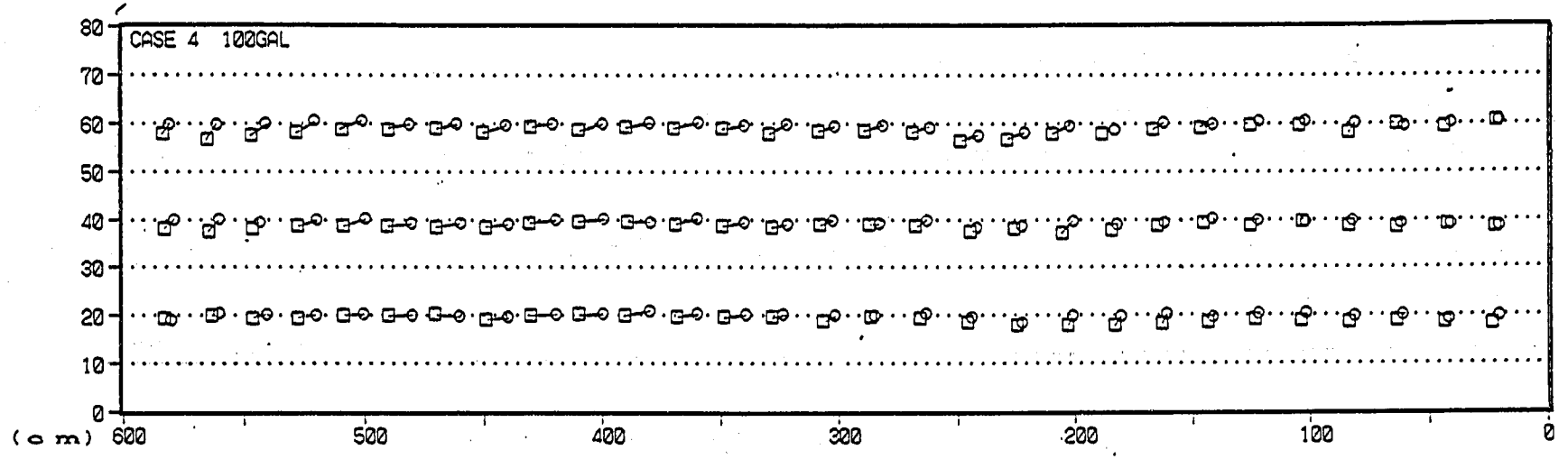
地表面変位測定結果図　（水平移動）





地表面変位測定結果図　（水平移動）





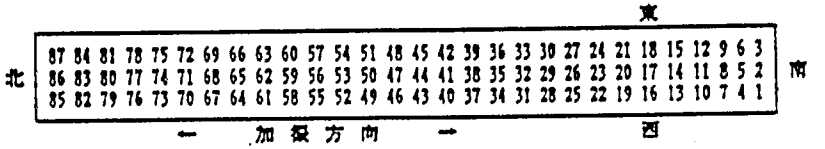
地表面変位測定結果図　（水平変動）

地表面変位測定結果　CASE 1（後　面）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
1	16.2	16.8	0.60	23.00	6.20	27.70	4.70	35.70	8.00
4	17.2	17.8	0.60	24.30	6.50	29.40	5.10	35.80	6.40
7	18.2	19.0	0.80	25.60	6.60	30.70	5.10	35.30	4.60
10	19.1	20.0	0.90	25.10	5.10	30.10	5.00	34.60	4.50
13	20.3	21.8	1.50	25.90	4.10	30.60	4.70	36.60	6.00
16	21.7	23.6	1.90	27.00	3.40	33.50	6.50	37.20	3.70
19	22.5	24.4	1.90	28.10	3.70	34.00	5.90	38.40	4.40
22	23.5	25.3	1.80	28.80	3.50	33.90	5.10	37.60	3.70
25	24.5	26.1	1.60	29.10	3.00	34.00	4.90	37.80	3.80
28	26.0	27.5	1.50	30.50	3.00	36.00	5.50	39.50	3.50
31	27.3	28.9	1.60	31.70	2.80	36.30	4.60	44.50	8.20
34	28.5	30.5	2.00	33.50	3.00	37.10	3.60	43.10	6.00
37	29.0	31.4	2.40	34.30	2.90	37.50	3.20	39.20	1.70
40	30.1	32.6	2.50	35.10	2.50	37.50	2.40	40.20	2.70
43	30.8	32.7	1.90	35.00	2.30	37.30	2.30	39.20	1.90
46	32.0	33.9	1.90	36.80	2.90	38.50	1.70	40.70	2.20
49	33.0	34.5	1.50	36.60	2.10	38.40	1.80	41.40	3.00
52	34.4	36.6	2.20	38.20	1.60	39.20	1.00		
55	35.2	37.3	2.10	38.40	1.10	39.40	1.00	42.30	2.90
58	36.1	37.6	1.50	38.50	0.90	39.80	1.30		
61	37.5	39.5	2.00	39.70	0.20				
64	37.6	37.9	0.30	39.90	2.00			43.80	
67	38.4	38.5	0.10	40.40	1.90	40.20	−0.20	41.50	1.30
70	40.6	41.8	1.20						
73	41.5	42.6	1.10	41.10	−1.50			41.30	
76	42.3	42.8	0.50	41.00					
79	43.3	42.8	−0.50	41.10	−1.70			41.60	
82	44.2	43.5	−0.70	41.80	−1.70			42.50	
85	45.4	43.5	−1.90						

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
2	16.5	17.1	0.60	22.70	5.60	27.30	4.60	35.70	8.40
5	17.2	17.7	0.50	23.40	5.70	28.30	4.90	34.70	6.40
8	18.2	19.1	0.90	25.60	6.50	30.90	5.30	35.50	4.60
11	18.8	19.9	1.10	24.80	4.90	29.60	4.80	33.80	4.20
14	20.0	21.3	1.30	26.50	5.20	33.10	6.60	38.40	5.30
17	21.4	22.8	1.40	26.50	3.70	32.00	5.50	36.60	4.60
20	22.1	23.8	1.70	28.00	4.20	33.50	5.50	37.60	4.10
23	23.1	24.8	1.70	28.50	3.70	33.00	4.50	37.20	4.20
26	24.3	25.8	1.50	28.70	2.90	33.60	4.90	37.20	3.60
29	25.5	27.1	1.60	29.50	2.40	35.00	5.50	38.80	3.80
32	26.8	28.3	1.50	30.40	2.10	35.00	4.60	38.50	3.50
35	27.6	28.8	1.20	31.60	2.80	35.40	3.80	39.00	3.60
38	28.6	31.0	2.40	34.20	3.20	37.60	3.40	39.90	2.30
41	29.7	32.0	2.30	34.80	2.80	37.20	2.40	39.10	1.90
44	30.8	32.6	1.80	34.60	2.00	37.20	2.60	38.70	1.50
47	32.0	33.6	1.60	35.80	2.20	38.30	2.50	39.70	1.40
50	32.9	34.2	1.30	36.90	2.70	39.20	2.30	41.80	2.60
53	34.3	36.3	2.00	38.20	1.90	38.50	0.30	40.00	1.50
56	35.0	37.0	2.00	37.70	0.70	37.60	−0.10		
59	35.9	37.4	1.50	37.60	0.20	37.30	−0.30	38.70	1.40
62	36.6	37.5	0.90	38.60	1.10	38.50	−0.10		
65	37.1	37.7	0.60	38.70	1.00			40.10	
68	38.4	38.6	0.20	40.00	1.40	39.50	−0.50	40.80	1.30
71	40.5	41.7	1.20						
74	41.3	42.3	1.00	40.80	−1.50			41.00	
77	42.1	42.2	0.10	40.80	−1.40				
80	43.1	42.5	−0.60	42.40	−0.10			41.80	
83	44.3	43.2	−1.10	41.40	−1.80			41.20	
86	45.4	43.5	−1.90					42.90	

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
3	16.7	17.7	1.00	24.90	7.20	29.30	4.40	36.70	7.40
6	17.4	18.3	0.90	25.00	6.70	29.60	4.60	35.10	5.50
9	18.3	19.7	1.40	26.00	6.30	31.20	5.20	35.70	4.50
12	19.2	20.6	1.40	25.40	4.80	30.40	5.00	34.30	3.90
15	20.1	21.8	1.70	26.00	4.20	32.10	6.10	36.50	4.40
18	21.3	23.2	1.90	26.40	3.20	31.60	5.20	36.00	4.40
21	22.4	24.3	1.90	29.00	4.70	36.50	7.50	42.70	6.20
24	23.1	25.3	2.20	29.00	3.70	34.80	5.80	37.50	2.70
27	24.3	26.2	1.90	29.20	3.00	34.30	5.10	37.10	2.80
30	25.6	27.4	1.80	29.70	2.30	35.00	5.30	38.40	3.40
33	26.8	28.6	1.80	31.00	2.40	35.20	4.20	41.80	6.60
36	28.0	30.0	2.00	33.10	3.10	35.70	2.60	39.40	3.70
39	28.8	31.6	2.80	35.50	3.90	37.50	2.00	39.10	1.60
42	29.9	32.1	2.20	35.70	3.60	37.30	1.60	39.40	2.10
45	31.0	33.0	2.00	35.40	2.40	37.20	1.80	38.70	1.50
48	32.1	34.0	1.90	36.80	2.80	38.00	1.20	39.30	1.30
51	34.1	36.4	2.30	38.60	2.20	39.70	1.10	42.60	2.90
54	34.9	36.9	2.00	38.90	2.00	39.10	0.20	40.50	1.40
57	35.1	37.6	2.50	38.70	1.10	38.00	−0.70	39.90	1.90
60	35.8	37.4	1.60	38.10	0.70	37.90	−0.20	38.80	0.90
63	37.0	38.5	1.50	39.30	0.80	38.10	−1.20		
66	37.4	37.9	0.50	39.60	1.70			40.90	
69	38.5	39.6	1.10					49.40	
72	40.1	42.1	2.00	39.90	−2.20				
75	41.5	42.5	1.00	40.70	−1.80			43.10	
78	42.9	42.2	−0.70	40.80	−1.40				
81	43.5	42.7	−0.80	42.00	−0.70			42.90	
84	44.9	44.3	−0.60						
87	45.9	44.3	−1.60						



地表面粗度区分図　ＣＡＳＥ１（水平方向）

NO	回転角	150GAL	変位量	1000GAL	変位量	1500GAL	変位量	2000GAL	変位量
1	21.3	21.0	-0.30	26.40	5.40	31.60	5.20	34.90	3.30
4	40.4	42.3	1.90	48.50	6.20	53.60	5.10	56.40	2.80
7	62.1	61.8	-0.30	68.80	7.00	73.40	4.60	76.40	3.00
10	81.7	81.9	0.20	88.50	6.60	92.80	4.30	95.70	2.90
13	101.4	102.3	0.90	109.90	7.60	114.20	4.30	118.60	4.40
16	120.7	122.4	1.70	132.60	10.20	138.70	6.10	144.00	5.30
19	141.0	142.5	1.50	157.00	14.50	166.10	9.10	171.20	5.10
22	160.9	162.1	2.20	176.90	12.70	186.50	9.70	193.50	7.00
25	180.6	182.2	2.70	197.20	12.90	206.70	9.50	214.90	8.20
28	201.2	203.8	2.60	218.30	14.50	228.30	10.00	240.40	12.10
31	221.4	224.4	3.00	239.50	15.10	250.00	10.50	265.90	15.90
34	240.8	244.6	3.80	260.50	15.90	270.20	9.70	287.30	17.10
37	260.5	265.5	5.00	281.90	16.40	292.60	10.70	300.40	7.80
40	281.4	286.0	4.60	302.80	16.80	313.40	10.60	321.20	7.80
43	300.1	306.1	6.00	322.70	16.60	333.80	11.10	339.90	6.10
46	320.3	326.3	6.00	344.20	17.90	354.50	10.30	360.00	5.50
49	341.0	348.5	7.50	364.50	16.00	376.00	11.50	381.00	5.00
52	361.4	368.8	7.40	386.00	17.20	397.10	11.10		
55	381.2	389.5	8.30	404.50	15.00	411.50	7.00	414.50	3.00
58	401.4	409.5	8.10	424.10	14.60	432.00	7.90		
61	421.2	428.7	7.50	446.20	17.50				
64	440.2	449.1	8.90	464.30	15.20			476.50	
67	461.6	468.6	7.00	484.20	15.60	490.70	6.50	491.40	0.70
70	481.2	489.6	7.70						
73	501.7	508.5	6.80	518.90	10.40			521.50	
76	521.4	527.5	6.10	537.50					
79	540.9	547.1	6.20	555.00	7.90			560.20	
82	560.1	565.2	5.10	572.60	7.40			573.40	
85	581.9	586.3	4.40						

NO	回転角	150GAL	変位量	1000GAL	変位量	1500GAL	変位量	2000GAL	変位量
2	21.3	21.0	-0.30	25.90	4.90	31.40	5.50	35.60	4.20
5	41.3	41.8	0.50	48.80	7.00	54.20	5.40	56.90	2.70
8	62.4	62.3	-0.10	69.50	7.20	73.90	4.40	77.10	3.20
11	81.5	82.1	0.60	88.80	6.70	93.40	4.60	96.60	3.20
14	101.4	102.1	0.70	109.90	7.80	114.90	5.00	118.10	3.20
17	121.1	122.4	1.30	133.20	10.80	139.50	6.30	143.20	3.70
20	141.0	142.5	1.50	156.20	13.70	164.00	7.80	171.40	7.40
23	160.9	162.6	1.70	176.80	14.20	186.60	9.80	194.30	7.70
26	180.6	183.2	2.60	197.20	14.00	207.60	10.40	215.70	8.10
29	201.0	203.3	2.30	218.10	14.80	228.10	10.00	241.10	13.00
32	220.9	223.4	2.50	237.90	14.50	248.10	10.20	260.10	12.00
35	240.9	244.4	3.50	258.70	14.30	271.10	12.40	287.10	16.00
38	260.3	265.6	5.30	281.90	16.30	293.70	11.80	300.60	6.90
41	280.1	285.4	5.30	301.60	16.20	313.80	12.20	320.40	6.60
44	300.2	305.1	4.90	321.80	16.70	334.20	12.40	340.30	6.10
47	320.3	326.3	6.00	343.00	16.70	354.30	11.30	360.00	5.70
50	341.0	347.9	6.90	364.20	16.30	376.10	11.90	380.20	4.10
53	361.4	368.9	7.50	384.50	15.60	393.20	8.70	397.00	3.80
56	380.8	388.5	7.70	403.70	15.20	412.40	8.70		
59	401.0	408.5	7.50	423.50	15.00	432.50	9.00	436.50	4.00
62	421.2	428.7	7.50	443.50	14.80	453.20	9.70		
65	440.8	449.1	8.30	462.30	13.20			474.20	
68	461.6	468.7	7.10	482.40	13.70	490.00	7.60	492.50	2.50
71	480.8	480.0	-0.80						
74	501.7	507.7	6.00	517.40	9.70			524.20	
77	520.7	526.6	5.90	534.90	8.30				
80	541.2	547.2	6.00	556.80	9.60			560.20	
83	561.0	565.2	4.20	571.40	6.20			573.80	
86	581.3	582.9	1.60					582.50	

NO	回転角	150GAL	変位量	1000GAL	変位量	1500GAL	変位量	2000GAL	変位量
3	21.1	21.2	0.10	27.30	6.10	32.90	5.60	38.40	5.50
6	41.4	42.0	0.60	49.90	7.90	54.90	5.00	58.10	3.20
9	62.1	62.6	0.50	70.00	7.40	74.60	4.60	78.40	3.80
12	81.9	83.1	1.20	89.80	6.70	94.70	4.90	98.80	4.10
15	101.4	102.6	1.20	110.30	7.70	115.40	5.10	118.80	3.40
18	121.4	122.6	1.20	133.20	10.60	139.70	6.50	141.80	2.10
21	141.3	142.7	1.40	155.90	13.20	164.00	8.10	170.50	6.50
24	161.1	163.3	2.20	177.60	14.30	187.40	9.80	196.30	8.90
27	181.2	183.6	2.40	198.20	14.60	208.30	10.10	218.30	10.00
30	201.0	203.5	2.50	218.30	14.80	228.70	10.40	240.40	11.70
33	221.1	223.6	2.50	239.80	16.20	250.20	10.40	257.70	17.50
36	241.2	245.5	4.30	260.70	15.20	271.20	10.50	279.10	7.90
39	261.2	266.0	4.80	281.40	15.40	295.60	14.20	302.10	6.50
42	281.0	286.1	5.10	302.40	16.20	316.40	14.00	323.80	7.40
45	301.0	306.5	5.50	323.10	16.60	336.00	12.90	343.70	7.70
48	321.5	327.5	6.00	344.40	16.90	358.10	13.70	363.70	5.60
51	341.8	348.2	6.40	367.00	18.80	378.20	11.20	382.40	4.20
54	362.0	369.5	7.50	386.50	17.00	397.20	10.70	400.50	3.30
57	381.7	389.3	7.60	405.00	15.70	414.10	9.10	417.80	3.70
60	401.4	408.5	7.10	425.30	16.80	434.50	9.20	438.60	4.10
63	421.1	428.6	7.50	446.60	18.00	456.00	9.40		
66	441.8	450.0	8.20	467.20	17.20			479.40	
69	461.5	471.0	9.50					498.10	
72	481.5	489.8	8.30	501.10	11.30				
75	502.3	509.5	7.20	519.80	10.30			527.80	
78	522.4	528.6	6.20	537.80	9.20				
81	542.1	548.9	6.80	559.30	10.40			564.30	
84	561.8	566.3	4.50						
87	581.3	582.3	1.00						

NO	150GAL 変位量	1000GAL 変位量	1500GAL 変位量	2000GAL 変位量
1	-0.17	5.47	5.43	4.33
2	1.00	7.03	5.17	2.90
3	0.03	7.20	4.53	3.33
4	0.67	6.67	4.60	3.40
5	0.93	7.70	4.80	3.67
6	1.40	10.53	6.30	3.70
7	1.47	13.80	8.33	6.33
8	2.03	14.07	9.77	7.87
9	2.57	14.17	10.00	8.77
10	2.47	14.70	10.13	12.27
11	2.67	15.27	10.37	15.13
12	3.87	15.13	10.87	13.67
13	5.03	16.03	12.23	7.07
14	5.00	16.43	12.27	7.27
15	5.47	16.63	12.13	6.63
16	6.00	17.17	11.77	5.60
17	6.93	17.03	11.53	4.43
18	7.47	16.60	10.17	3.55
19	7.87	15.30	8.27	2.23
20	7.57	15.47	8.70	4.05
21	7.50	16.77	9.55	
22	8.47	15.20		
23	7.87	9.77	7.05	1.60
24	5.07	11.30		
25	6.67	10.13		
26	6.07	5.83		
27	6.33	9.30		
28	4.60	4.53		
29	2.33			

	150GAL 変位量	1000GAL 変位量	1500GAL 変位量	2000GAL 変位量
累計	376	1013	565	374
平均	4.32	12.82	8.83	6.34

北

| | | | | | |

地表面測量点測定結果　CASE1（水平Y方向）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
1	19.3	19.9	0.60	18.60	-1.30	18.60	0.00	19.70	1.10
4	19.3	19.2	-0.10	18.70	-0.50	18.70	0.00	19.00	0.30
7	18.7	18.7	0.00	18.70	0.00	18.70	0.00	19.00	0.30
10	19.3	19.3	0.00	19.00	-0.30	19.10	0.10	18.70	-0.40
13	19.5	19.5	0.00	19.30	-0.20	19.80	0.50	19.60	-0.20
16	19.7	19.5	-0.20	18.70	-0.80	17.60	-1.10	15.60	-2.00
19	19.5	19.0	-0.50	19.10	0.10	19.10	0.00	15.50	-3.60
22	19.5	19.4	-0.10	19.30	-0.10	18.90	-0.40	16.20	-2.70
25	19.4	19.3	-0.10	18.90	-0.40	18.20	-0.70	16.20	-2.00
28	18.7	18.6	-0.10	18.50	-0.10	17.30	-1.20	14.30	-3.00
31	18.9	18.6	-0.30	18.30	-0.30	17.40	-0.90	18.00	0.60
34	19.3	19.0	-0.30	18.90	-0.10	17.90	-1.00	13.60	-4.30
37	19.6	19.6	0.00	20.10	0.50	19.00	-1.10	18.10	-0.90
40	19.2	19.4	0.20	19.20	-0.20	17.20	-2.00	14.80	-2.40
43	19.7	19.3	-0.40	18.50	-0.80	16.90	-1.60	15.10	-1.80
46	19.3	19.3	0.00	18.70	-0.60	16.50	-2.20	15.00	-1.50
49	19.0	18.3	-0.70	17.70	-0.60	16.00	-1.70	14.50	-1.50
52	18.5	18.2	-0.30	18.10	-0.10	17.00	-1.10		
55	18.5	18.6	0.10	18.70	0.10	17.00	-1.70	15.50	-1.50
58	18.8	18.7	-0.10	17.00	-1.70	15.00	-2.00		
61	18.6	17.8	-0.80	17.90	0.10				
64	19.0	18.8	-0.20	17.00	-1.80			12.70	
67	18.7	19.7	1.00	19.00	-0.70	17.30	-1.70	16.20	-1.10
70	18.1	19.5	1.40	-					
73	18.7	18.7	0.00	18.70	0.00			17.00	
76	19.2	18.7	-0.50	17.70	-1.00				
79	19.3	18.6	-0.70	19.70	1.10			21.70	
82	18.9	19.2	0.30	20.30	1.10			27.40	
85	18.0	19.0	1.00						

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
2	39.3	39.4	0.10	39.10	-0.30	39.70	0.60	40.30	0.60
5	39.1	39.0	-0.10	39.00	0.00	39.00	0.00	38.60	-0.40
8	38.7	38.8	0.10	39.00	0.20	39.10	0.10	38.80	-0.30
11	39.2	39.3	0.10	39.10	-0.20	39.10	0.00	38.10	-1.00
14	39.4	39.4	0.00	38.50	-0.90	37.90	-0.60	36.20	-1.70
17	39.4	39.4	0.00	37.80	-1.60	36.90	-0.90	33.60	-3.30
20	39.3	39.3	0.00	38.80	-0.50	39.60	0.80	34.50	-5.10
23	39.1	39.4	0.30	39.40	0.00	38.80	-0.60	36.30	-2.50
26	39.3	39.4	0.10	39.00	-0.40	38.30	-0.70	36.30	-2.00
29	38.9	39.1	0.20	38.70	-0.40	37.00	-1.70	35.70	-1.30
32	38.8	38.7	-0.10	38.60	-0.10	36.90	-1.70	33.30	-3.60
35	39.3	39.5	0.20	39.20	-0.30	38.00	-1.20	36.00	-2.00
38	39.6	39.7	0.10	39.40	-0.30	37.80	-1.60	36.90	-0.90
41	39.3	39.3	0.00	39.00	-0.30	37.00	-2.00	36.40	-0.60
44	39.3	39.3	0.00	38.50	-0.80	36.50	-2.00	34.80	-1.70
47	39.3	39.1	-0.20	38.20	-0.90	36.00	-2.20	35.40	-0.60
50	38.6	38.3	-0.30	38.60	0.30	33.50	-5.10	33.30	-0.20
53	39.0	38.6	-0.40	37.20	-1.40	35.00	-2.20	32.60	-2.40
56	38.5	38.4	-0.10	37.40	-1.00	34.70	-2.70		
59	38.7	38.2	-0.50	36.70	-1.50	34.20	-2.50	32.40	-1.80
62	38.5	38.2	-0.30	35.90	-2.30	33.00	-2.90		
65	38.1	38.1	0.00	36.40	-1.70			33.00	
68	38.4	38.9	0.50	37.20	-1.70	35.00	-2.20	34.10	-0.90
71	38.3	38.7	0.40					46.30	
74	38.4	37.9	-0.50	36.60	-1.30			32.50	
77	38.6	37.5	-1.10	35.50	-2.00				
80	38.8	38.2	-0.60	38.10	-0.10			39.70	
83	38.7	37.8	-0.90	38.20	0.40			43.30	
86	38.5	40.1	1.60					49.10	

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
3	59.2	59.0	-0.20	60.10	1.10	60.40	0.30	60.40	0.00
6	59.4	59.7	0.30	60.50	0.80	60.60	0.10	59.90	-0.70
9	59.1	59.3	0.20	59.70	0.40	59.80	0.10	58.80	-1.00
12	59.4	59.7	0.30	59.50	-0.20	59.40	-0.10	58.30	-1.10
15	59.6	60.1	0.50	58.60	-1.50	57.70	-0.90	56.10	-1.60
18	59.3	59.7	0.40	58.60	-1.10	58.10	-0.50	54.80	-3.30
21	59.7	59.9	0.20	60.00	0.10	59.80	-0.20	55.80	-4.00
24	59.1	59.9	0.80	59.70	-0.20	59.30	-0.40	58.40	-0.90
27	59.4	59.5	0.10	59.20	-0.30	58.30	-0.90	58.60	0.30
30	59.2	59.3	0.10	58.90	-0.40	57.90	-1.00	59.30	1.40
33	59.4	59.5	0.10	58.90	-0.60	57.70	-1.20	59.20	1.50
36	59.7	59.7	0.00	59.40	-0.30	57.60	-1.80	61.20	3.60
39	59.8	59.6	-0.20	59.10	-0.50	56.80	-2.30	56.50	-0.30
42	59.5	59.7	0.20	59.00	-0.70	57.00	-2.00	57.60	0.60
45	59.7	59.8	0.10	58.90	-0.90	56.30	-2.60	56.90	0.60
48	59.6	59.5	-0.10	58.10	-1.40	54.50	-3.60	52.70	-1.80
51	59.0	58.8	-0.20	57.60	-1.20	55.00	-2.60	53.10	-1.90
54	59.1	58.5	-0.60	56.50	-2.00	53.00	-3.50	52.60	-0.40
57	58.8	58.1	-0.70	56.80	-1.30	54.60	-2.20	54.20	-0.40
60	58.7	57.9	-0.80	56.20	-1.70	54.50	-1.70	53.90	-0.60
63	58.7	58.0	-0.70	56.50	-1.50	56.00	-0.50		
66	58.4	58.7	0.30	55.60	-3.10			53.40	
69	58.6	60.5	1.90					49.40	
72	58.0	58.0	0.00	56.00	-2.00				
75	58.0	56.6	-1.40	53.70	-2.90			49.30	
78	58.6	55.6	-3.00	50.80	-4.80				
81	58.0	57.2	-0.80	56.20	-1.00			57.70	
84	57.7	59.7	2.00						
87	58.0	59.0	1.00						

東

北　87 84 81 78 75 72 69 66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3　南
　　86 83 80 77 74 71 68 65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2
　　85 82 79 76 73 70 67 64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1

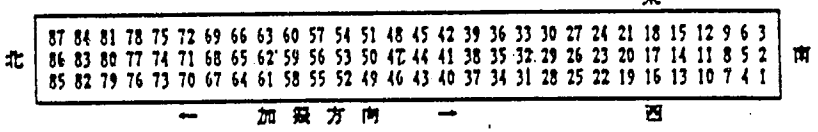
← 加振方向 →　　西

地表面測量結果　CASE2（給　水）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	100GAL	変位量
1	2.7	4.7	2.00	7.80	3.10	15.10	7.30	18.20	3.10
4	4.6	6.0	1.40	8.30	2.30	14.60	6.30	16.60	2.00
7	6.0	7.3	1.30	10.10	2.80	15.40	5.30	17.00	1.60
10	7.0	9.1	2.10	13.10	4.00	17.70	4.60	19.40	1.70
13	8.6	10.6	2.00	14.50	3.90	18.60	4.10	20.20	1.60
16	10.0	12.0	2.00	16.60	4.60	20.70	4.10	22.30	1.60
19	11.4	13.6	2.20	18.10	4.50	21.30	3.20	22.90	1.60
22	12.7	14.1	1.40	18.70	4.60	21.20	2.50	23.00	1.80
25	14.1	15.7	1.60	21.30	5.60	26.80	5.50	30.20	3.40
28	15.5	16.8	1.30	20.50	3.70	23.00	2.50	24.00	1.00
31	17.5	18.5	1.00	22.30	3.80	24.60	2.30	26.10	1.50
34	18.9	19.5	0.60	21.80	2.30	24.20	2.40	25.70	1.50
37	20.4	20.7	0.30	22.70	2.00	25.00	2.30	26.50	1.50
40	22.1	22.7	0.60	24.20	1.50	26.60	2.40	27.90	1.30
43	23.6	24.2	0.60	25.50	1.30	28.10	2.60	29.50	1.40
46	25.0	25.7	0.70	26.70	1.00	30.00	3.30	31.00	1.00
49	26.7	27.2	0.50	28.30	1.10	31.20	2.90	32.00	0.80
52	28.1	29.0	0.90	30.70	1.70	32.00	1.30	32.40	0.40
55	29.9	31.2	1.30	33.30	2.10	33.30	0.00	34.20	0.90
58	31.2	32.8	1.60	34.50	1.70	33.90	-0.60	33.80	-0.10
61	32.5	34.4	1.90	35.20	0.80	34.70	-0.50	35.30	0.60
64	34.0	35.5	1.50	36.10	0.60				
67	35.5	36.2	0.70	36.80	0.60			36.30	
70	36.4	38.8	2.40	38.30	-0.50	39.00	0.70		
73	39.1	40.9	1.80						
76	39.7	40.0	0.30						
79	40.9	40.5	-0.40	38.50	-2.00	37.20	-1.30		
82	42.1	41.2	-0.90	39.10	-2.10	37.30	-1.80		
85	42.9	41.1	-1.80	38.20	-2.90				

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	100GAL	変位量
2	2.1	4.3	2.20	8.10	3.80	15.00	6.90	17.00	2.00
5	4.1	5.2	1.10	7.80	2.60	13.20	5.40	14.70	1.50
8	5.6	6.7	1.10	9.60	2.90	14.50	4.90	16.00	1.50
11	7.1	8.6	1.50	12.70	4.10	16.80	4.10	18.20	1.40
14	8.6	10.1	1.50	14.30	4.20	18.50	4.20	20.10	1.60
17	10.0	11.4	1.40	15.60	4.20	19.60	4.00	21.10	1.50
20	11.4	12.6	1.20	16.60	4.00	19.40	2.80	20.70	1.30
23	12.8	14.2	1.40	18.70	4.50	21.20	2.50	22.70	1.50
26	14.2	15.6	1.40	21.10	5.50	26.50	5.40	29.40	2.90
29	15.8	16.8	1.00	20.50	3.70	23.20	2.70	25.20	2.00
32	17.2	18.1	0.90	20.50	2.40	22.60	2.10	24.00	1.40
35	18.6	19.4	0.80	21.10	1.70	23.20	2.10	24.70	1.50
38	20.1	20.6	0.50	22.20	1.60	24.20	2.00	25.60	1.40
41	22.0	22.5	0.50	23.50	1.00	25.50	2.00	27.30	1.80
44	23.6	24.3	0.70	25.10	0.80	27.70	2.60	29.20	1.50
47	25.4	25.7	0.30	26.30	0.60	29.10	2.80	30.70	1.60
50	26.6	26.9	0.30	28.00	1.10	30.60	2.60	31.40	0.80
53	28.1	28.6	0.50	30.80	2.20	31.80	1.00	32.30	0.50
56	29.6	30.6	1.00	32.80	2.20	32.70	-0.10	33.40	0.70
59	31.3	32.4	1.10	34.20	1.80	33.90	-0.30	33.70	-0.20
62	32.3	33.4	1.10	34.70	1.30	34.00	-0.70	33.80	-0.20
65	33.6	35.2	1.60	35.60	0.40	35.00	-0.60	36.00	1.00
68	35.3	36.1	0.80	36.30	0.20	36.40	0.10		
71	37.5	38.7	1.20	40.00	1.30				
74	38.2	40.0	1.80						
77	39.7	40.6	0.90	39.40	-1.20				
80	41.0	40.7	-0.30	38.20	-2.50				
83	42.2	41.1	-1.10	38.70	-2.40				
86	43.1	41.0	-2.10	38.30	-2.70				

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	100GAL	変位量
3	2.1	4.3	2.20	7.70	3.40	14.00	6.30	16.00	2.00
6	4.0	5.5	1.50	9.00	3.50	15.00	6.00	16.50	1.50
9	5.4	6.6	1.20	10.60	4.00	16.80	6.20	19.10	2.30
12	7.0	8.6	1.60	13.10	4.50	17.80	4.70	19.20	1.40
15	8.8	10.5	1.70	14.90	4.40	18.70	3.80	20.30	1.60
18	10.3	11.8	1.50	16.40	4.60	20.80	4.40	22.50	1.70
21	11.5	13.0	1.50	17.40	4.40	20.20	2.80	21.60	1.40
24	12.8	14.4	1.60	18.40	4.00	20.20	1.80	21.50	1.30
27	14.5	16.2	1.70	22.00	5.80	25.50	3.50	27.80	2.30
30	16.2	17.4	1.20	21.50	4.10	23.50	2.00	25.00	1.50
33	17.6	18.6	1.00	21.30	2.70	23.20	1.90	24.60	1.40
36	18.2	19.5	1.30	21.70	2.20	23.80	2.10	25.40	1.60
39	20.3	21.1	0.80	23.00	1.90	24.70	1.70	26.90	2.20
42	22.6	23.2	0.60	24.70	1.50	27.90	3.20	29.30	1.40
45	24.0	24.5	0.50	25.20	0.70	27.70	2.50	28.90	1.20
48	25.5	25.9	0.40	26.50	0.60	29.60	3.10	31.00	1.40
51	27.1	27.1	0.00	28.30	1.20	30.40	2.10	32.00	1.60
54	28.7	29.0	0.30	31.20	2.20	32.20	1.00	32.70	0.50
57	29.9	30.7	0.80	33.50	2.80	33.50	0.00	35.20	1.70
60	31.6	32.9	1.30	35.20	2.30	35.00	-0.20	35.00	0.00
63	32.6	33.9	1.30	34.70	0.80	34.00	-0.70	33.90	-0.10
66	33.9	35.1	1.20	35.90	0.80	35.90	0.00	36.30	0.40
69	35.6	37.1	1.50	37.30	0.20	35.60	-1.70	35.40	-0.20
72	37.1	39.7	2.60	41.00	1.30				
75	38.5	40.1	1.60	38.20	-1.90				
78	40.1	40.4	0.30	39.80	-0.60				
81	41.5	41.4	-0.10	39.20	-2.20				
84	42.5	41.7	-0.80	39.60	-2.10	37.00	-2.60		
87	43.7	43.1	-1.60	39.70	-2.40				



地表面着色領域写真　CASE2（水平X方向）

NO	距離(m)	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	100GAL	変位量
1	21.0	20.5	-0.50	22.10	1.60	29.20	7.10	28.90	-0.30
4	40.5	40.5	0.00	41.60	1.10	48.90	7.20	49.90	1.00
7	61.6	61.5	-0.10	64.90	3.40	72.60	7.70	74.40	1.80
10	81.0	82.8	1.80	86.90	4.10	93.80	6.90	95.80	2.00
13	101.2	102.4	1.20	105.90	3.50	113.30	7.40	115.80	2.50
16	120.9	122.8	1.90	127.20	4.40	137.20	10.00	138.80	1.50
19	141.2	143.0	1.80	148.50	5.50	156.90	8.40	161.10	4.20
22	160.4	162.6	2.20	168.20	5.60	178.40	10.20	180.90	2.50
25	180.2	181.6	1.40	190.20	8.60	203.70	13.50	205.90	2.20
28	201.5	203.4	1.90	212.20	8.80	225.20	13.00	231.60	6.40
31	220.8	222.7	1.90	233.80	11.10	247.50	13.70	253.80	6.30
34	240.8	242.7	1.90	255.00	12.30	270.00	15.00	276.60	6.60
37	260.4	261.5	1.10	275.30	13.80	291.10	15.80	297.50	6.40
40	280.8	283.2	2.40	295.90	12.70	312.00	16.10	317.70	5.70
43	300.0	303.0	3.00	316.40	13.40	333.00	16.60	339.00	6.00
46	320.1	322.5	2.40	336.60	14.10	353.40	16.80	359.00	5.60
49	341.1	344.0	2.90	360.40	16.40	375.30	14.90	381.40	6.10
52	360.8	364.7	3.90	378.10	13.40	396.20	18.10	402.20	6.00
55	381.0	384.0	3.00	400.50	16.50	416.70	16.20	424.90	8.20
58	402.0	406.0	4.00	420.80	14.80	437.40	16.60	444.70	7.30
61	422.1	426.7	4.60	441.10	14.40	460.00	18.90	467.90	7.90
64	441.7	446.2	4.50	461.50	15.30				
67	461.3	466.3	5.00	485.00	18.70			507.00	
70	481.9	487.6	5.70	510.10	22.50	524.30	14.20		
73	502.2	507.6	5.40						
76	521.5	525.2	3.70						
79	540.8	546.0	5.20	554.00	8.00	561.20	7.20		
82	561.1	566.7	5.60	572.00	5.30	577.80	5.80		
85	581.2	585.0	3.80	586.50	1.50				

NO	距離(m)	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	100GAL	変位量
2	21.2	20.7	-0.50	22.20	1.50	29.20	7.00	29.90	0.70
5	41.2	41.3	0.10	44.90	3.60	50.60	5.70	51.40	0.80
8	62.4	62.9	0.50	65.60	2.70	72.50	6.90	73.80	1.30
11	81.5	82.6	1.10	86.90	4.30	93.70	6.80	95.80	2.10
14	101.1	103.0	1.90	107.40	4.40	114.90	7.50	117.30	2.40
17	120.9	122.8	1.90	127.40	4.60	136.40	9.00	138.60	2.20
20	140.8	142.7	1.90	147.30	4.60	156.30	9.00	159.00	2.70
23	160.6	162.6	2.00	168.20	5.60	178.40	10.20	180.90	2.50
26	180.2	182.2	2.00	190.70	8.50	203.70	13.00	207.30	3.60
29	201.2	203.4	2.20	212.30	8.90	225.60	13.30	231.50	5.90
32	220.6	222.4	1.80	232.30	9.90	247.50	15.20	253.70	6.20
35	240.8	242.7	1.90	259.90	17.20	270.00	10.10	276.60	6.60
38	260.9	262.5	2.60	275.60	12.10	291.30	15.70	297.60	6.30
41	280.8	282.2	2.40	296.40	13.20	313.20	16.80	318.60	5.40
44	300.0	303.2	3.20	316.50	13.30	333.40	16.90	339.80	6.40
47	320.4	323.5	3.10	337.80	14.30	355.30	17.50	361.50	6.20
50	341.1	344.3	3.20	359.50	15.20	375.30	15.80	381.10	5.80
53	360.8	364.5	3.70	378.20	13.70	394.50	16.30	401.50	7.00
56	380.2	382.5	2.30	399.10	16.60	414.30	15.20	421.50	7.20
59	401.5	404.7	3.20	418.50	13.80	435.50	17.00	441.90	6.40
62	421.6	425.5	3.90	439.50	14.00	455.50	16.00	462.30	6.80
65	441.2	444.7	3.50	458.10	13.40	473.10	15.00	478.30	5.20
68	460.6	464.8	4.20	479.10	14.30	494.70	15.60		
71	481.5	485.9	4.40	505.40	19.50				
74	500.8	505.2	4.40						
77	520.3	524.0	3.70	532.00	8.00				
80	540.2	544.7	4.50	549.80	5.10				
83	560.7	564.5	3.80	568.90	4.40				
86	580.7	583.6	2.90	585.00	1.40				

NO	50GAL 変位量	100GAL 変位量	150GAL 変位量	100GAL 変位量
1	-0.50	1.60	7.67	0.53
2	0.00	2.83	6.63	1.10
3	0.67	3.50	7.20	1.43
4	1.37	4.43	7.07	2.17
5	1.53	3.87	7.83	2.47
6	1.70	4.50	9.20	2.27
7	1.67	4.83	8.83	3.27
8	2.13	5.53	9.87	2.70
9	1.77	8.63	12.33	3.83
10	2.07	9.07	13.60	7.27
11	1.97	10.40	14.50	6.13
12	2.07	13.63	13.43	6.33
13	2.10	12.87	15.70	6.13
14	2.40	13.03	16.50	5.87
15	2.43	13.47	16.77	6.23
16	2.90	14.00	17.20	6.13
17	2.93	15.70	15.40	6.13
18	3.47	13.87	16.67	6.60
19	2.77	16.20	14.90	8.03
20	3.53	14.17	17.00	6.90
21	3.87	14.10	17.83	7.13
22	3.90	14.20	17.85	5.05
23	4.37	16.23	15.10	4.40
24	5.13	20.73	14.20	
25	4.70	20.10		
26	3.60	7.55		
27	4.50	5.73	7.20	
28	3.70	4.40	5.00	
29	2.80	1.73		

NO	50GAL 変位量	100GAL 変位量	150GAL 変位量	100GAL 変位量
最大	227	825	896	311
最小	2.50	9.82	12.62	4.70

NO	距離(m)	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	100GAL	変位量
3	21.0	20.5	-0.50	22.20	1.70	31.10	8.90	32.30	1.20
6	41.3	41.2	-0.10	45.00	3.80	51.90	6.90	53.40	1.50
9	60.6	62.2	1.60	66.60	4.40	73.60	7.00	74.80	1.20
12	80.9	82.1	1.20	87.00	4.90	94.50	7.50	96.90	2.40
15	101.1	102.6	1.50	106.30	3.70	114.90	8.60	117.40	2.50
18	121.0	122.3	1.30	126.80	4.50	135.40	8.60	138.40	3.00
21	141.4	142.7	1.30	147.10	4.40	156.20	9.10	159.10	2.90
24	160.6	162.8	2.20	168.20	5.40	177.40	9.20	180.50	3.10
27	180.5	182.4	1.90	191.20	8.80	201.70	10.50	207.40	5.70
30	200.7	202.8	2.10	212.30	9.50	226.80	14.50	236.30	9.50
33	220.6	222.8	2.20	233.00	10.20	247.60	14.60	253.50	5.90
36	240.7	243.1	2.40	254.50	11.40	269.70	15.20	275.50	5.80
39	260.9	263.5	2.60	276.20	12.70	291.80	15.60	297.50	5.70
42	280.8	283.2	2.40	296.40	13.20	313.00	16.60	319.50	6.50
45	301.9	303.0	1.10	316.70	13.70	333.50	16.80	339.80	6.30
48	320.3	323.5	3.20	337.10	13.60	354.40	17.30	361.00	6.60
51	340.8	342.5	2.70	359.00	15.50	374.50	15.50	381.00	6.50
54	360.7	363.5	2.80	378.00	14.50	393.60	15.60	400.40	6.80
57	380.7	383.7	3.00	399.20	15.50	412.50	13.30	421.20	8.70
60	400.8	404.2	3.40	418.10	13.90	435.50	17.40	442.50	7.00
63	421.4	424.5	3.10	438.40	13.90	457.00	18.60	463.70	6.70
66	440.5	444.2	3.70	458.10	13.90	478.80	20.70	483.70	4.90
69	460.4	464.3	3.90	480.00	15.70	494.60	14.60	499.00	4.40
72	480.7	486.0	5.30	506.20	20.20				
75	500.8	505.1	4.30	525.20	20.10				
78	520.8	524.2	3.40	531.30	7.10				
81	540.2	544.1	3.80	548.20	4.10				
84	560.8	562.5	1.70	566.00	3.50	570.20	4.20		
87	579.5	581.2	1.70	583.50	2.30				

東

北	87	84	81	78	75	72	69	66	63	60	57	54	51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	南
	86	83	80	77	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23	20	17	14	11	8	5	2	
	85	82	79	76	73	70	67	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37	34	31	28	25	22	19	16	13	10	7	4	1	

一　加振方向　→　西

地表面測定点番号　CASE 2（ケース2）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	50GAL	変位量	100GAL	変位量
1	19.0	19.0	0.00	19.20	0.20	18.70	-0.50	19.10	0.40
4	19.0	19.4	0.40	19.00	-0.40	18.30	-0.70	18.00	-0.30
7	18.9	19.2	0.40	19.20	-0.10	18.50	-0.70	18.50	0.00
10	19.3	19.3	0.00	19.00	-0.30	18.80	-0.20	18.90	0.10
13	20.0	19.6	-0.40	19.50	-0.10	19.50	0.00	19.40	-0.10
16	19.8	19.6	-0.20	19.20	-0.40	19.00	-0.20	18.70	-0.30
19	19.6	19.9	0.30	19.40	-0.50	19.00	-0.40	19.40	0.40
22	19.6	19.5	-0.10	19.40	-0.10	19.00	-0.40	19.20	0.20
25	19.7	19.7	0.00	19.60	-0.10	19.50	-0.10	19.50	0.00
28	19.3	19.2	-0.10	19.20	0.00	18.00	-1.20	18.30	0.30
31	19.6	19.4	-0.20	19.00	-0.40	18.20	-0.70	17.80	-0.50
34	19.6	19.4	-0.20	19.70	0.30	19.00	-0.70	19.20	0.20
37	19.5	19.2	-0.30	19.50	0.30	19.00	-0.50	18.80	-0.20
40	19.8	19.3	-0.50	19.50	0.20	18.90	-0.60	18.70	-0.20
43	19.8	19.5	-0.30	19.00	-0.50	19.00	0.00	18.20	-0.80
46	19.3	19.2	-0.10	18.40	-0.80	18.00	-0.40	18.00	0.00
49	18.0	18.9	0.90	17.90	-1.00	17.50	-0.40	17.20	-0.30
52	19.2	18.4	-0.80	18.20	-0.20	18.20	0.00	18.00	-0.20
55	19.0	18.3	-0.70	18.60	0.30	19.20	0.60	19.60	0.40
58	18.2	18.5	0.30	18.80	0.30	19.80	1.00	20.00	0.20
61	18.9	18.1	-0.80	18.10	0.00	16.50	-1.60	15.80	-0.70
64	19.1	18.7	-0.40	18.80	0.10				
67	18.9	19.2	0.30	21.20	2.00			23.00	
70	18.6	19.4	0.80	23.30	3.90	25.70	2.40		
73	18.1	18.5	0.40						
76	18.5	18.0	-0.50						
79	18.2	18.3	0.10	18.20	-0.10	18.40	0.20		
82	18.4	18.7	0.30	20.00	1.30	20.40	0.40		
85	18.8	19.6	0.80	21.20	1.60				

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	50GAL	変位量	100GAL	変位量
2	39.0	39.4	0.40	39.50	0.10	39.10	-0.40	38.90	-0.20
5	39.2	39.6	0.40	40.00	0.40	40.60	0.60	40.50	-0.10
8	39.1	39.6	0.50	40.20	0.60	40.30	0.10	40.30	0.00
11	39.5	39.5	0.00	39.60	0.10	39.70	0.10	39.60	-0.10
14	40.0	39.6	-0.40	40.20	0.60	39.80	-0.40	39.90	0.10
17	39.6	39.8	0.20	39.80	0.00	39.50	-0.30	39.40	-0.10
20	39.7	39.8	0.10	39.60	-0.20	39.40	-0.20	39.40	0.00
23	39.9	39.7	-0.20	39.60	-0.10	39.60	0.00	39.70	0.10
26	39.9	39.3	-0.60	39.50	0.20	39.00	-0.50	38.90	-0.10
29	39.3	39.5	0.20	39.40	-0.10	38.00	-1.40	38.00	0.00
32	39.2	39.3	0.10	38.40	-0.90	38.40	0.00	38.00	-0.40
35	39.0	39.0	0.00	38.80	-0.20	38.30	-0.50	38.40	0.10
38	38.8	39.0	0.20	38.90	-0.10	39.00	0.10	38.60	-0.40
41	39.0	38.9	-0.10	38.70	-0.20	39.00	0.30	38.80	-0.20
44	38.9	38.6	-0.30	38.10	-0.50	37.70	-0.40	37.60	-0.10
47	39.2	39.0	-0.20	37.60	-1.40	37.00	-0.60	36.60	-0.40
50	38.4	38.1	-0.30	37.50	-0.60	36.90	-0.60	36.60	-0.30
53	38.3	38.2	-0.10	38.10	0.10	37.70	-0.40	37.60	-0.10
56	38.0	38.0	0.00	38.40	0.40	38.20	-0.20	38.00	-0.20
59	38.4	38.6	0.20	38.20	-0.40	38.50	0.30	38.90	0.40
62	38.6	37.9	-0.70	37.70	-0.20	38.00	0.30	38.90	0.90
65	39.1	39.2	0.10	38.70	-0.50	38.50	-0.20	38.00	-0.50
68	38.2	38.8	0.60	38.90	0.10	39.40	0.50		
71	38.8	39.4	0.60	42.70	3.30				
74	38.5	37.9	-0.60						
77	38.3	37.3	-1.00	35.80	-1.50				
80	38.4	37.6	-0.80	36.60	-1.00				
83	38.2	38.2	0.00	38.90	0.70				
86	38.1	39.3	1.20	40.70	1.40				

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	50GAL	変位量	100GAL	変位量
3	58.9	59.5	0.60	59.80	0.30	60.50	0.70	60.50	0.00
6	59.4	60.2	0.90	61.10	0.80	62.20	1.10	62.30	0.10
9	59.0	59.8	0.80	61.00	1.20	60.60	-0.40	60.20	-0.40
12	59.3	59.9	0.60	60.30	0.40	60.50	0.20	60.40	-0.10
15	59.7	60.1	0.40	60.40	0.30	60.20	-0.20	60.20	0.00
18	59.9	60.5	0.60	60.30	-0.20	60.90	0.60	60.80	-0.10
21	59.8	60.6	0.80	60.50	-0.10	60.10	-0.40	60.50	0.40
24	59.9	60.4	0.50	60.50	0.10	60.50	0.00	60.70	0.20
27	60.0	60.3	0.30	60.50	0.20	58.50	-2.00	58.50	0.00
30	59.6	59.5	-0.10	59.60	0.10	59.20	-0.40	59.00	-0.20
33	59.3	59.8	0.50	59.40	-0.40	58.80	-0.60	58.20	-0.60
36	58.2	59.1	0.90	59.10	0.00	58.90	-0.20	58.60	-0.30
39	59.6	59.6	0.00	59.80	0.20	59.70	-0.10	59.60	-0.10
42	59.1	59.0	-0.10	59.60	0.60	59.70	0.10	59.50	-0.20
45	58.8	58.7	-0.10	58.30	-0.40	57.80	-0.50	57.50	-0.30
48	59.0	59.0	0.00	58.20	-0.80	57.50	-0.70	56.70	-0.80
51	56.1	57.9	-0.20	57.30	-0.60	56.30	-1.00	55.90	-0.40
54	58.2	58.0	-0.20	57.80	-0.20	57.30	-0.50	57.30	0.00
57	58.0	58.0	0.00	58.40	0.40	56.90	-1.50	58.50	1.60
60	57.7	58.2	0.50	57.60	-0.60	56.90	-0.70	57.40	0.50
63	58.4	58.4	0.00	57.60	-0.80	55.70	-1.90	54.90	-0.80
66	58.4	58.2	-0.10	57.50	-0.80	56.00	-1.50	57.50	1.50
69	58.1	58.5	0.40	57.40	-1.10	56.90	-0.50	58.00	1.10
72	57.7	58.3	0.60	57.10	-1.20				
75	57.3	56.5	-0.70	54.30	-1.90				
78	57.2	55.6	-1.60	54.90	-0.70				
81	56.9	56.2	-0.60	54.30	-1.40				
84	57.5	57.0	-0.60	57.70	0.70	56.40	-1.30		
87	59.8	60.0	0.20						

東

北　87 84 81 78 75 72 69 66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3
86 83 80 77 74 71 68 65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2　南
85 82 79 76 73 70 67 64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1

← 加振方向 →

西

地表面測震結果　CASE3（設　置）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
1	18.7	20.3	1.60	20.80	0.50	20.60	−0.20	20.70	0.10
4	19.4	20.8	1.40	21.30	0.50	21.40	0.10	21.30	−0.10
7	20.0	21.5	1.50	22.20	0.70	22.10	−0.10	22.20	0.10
10	20.5	22.1	1.60	23.40	1.30	23.70	0.30	23.90	0.20
13	21.3	23.0	1.70	25.10	2.10	25.70	0.60	25.70	0.00
16	21.7	23.6	1.90	26.40	2.80	27.30	0.90	27.50	0.20
19	23.1	25.0	1.90	28.80	3.80	30.20	1.40	30.80	0.60
22	23.7	25.3	1.60	28.40	3.10	29.30	0.90	29.80	0.50
25	24.5	25.8	1.30	28.50	2.70	29.60	1.10	30.40	0.80
28	26.1	27.6	1.50	31.00	3.40	33.30	2.30	35.10	1.80
31	26.7	28.5	1.80	33.60	5.10	35.60	2.00	38.10	2.50
34	28.2	30.8	2.60	34.20	3.40	36.40	2.20	38.50	2.10
37	29.1	32.0	2.90	34.90	2.90	38.20	3.30	38.90	0.70
40	30.3	32.6	2.30	35.60	3.00	38.60	3.00	39.20	0.60
43	31.2	33.6	2.40	36.40	2.80	38.30	1.90	38.80	0.50
46	32.2	34.1	1.90	37.30	3.20	38.40	1.10	39.50	1.10
49	33.2	34.8	1.60	37.60	2.80	40.20	2.60	40.10	−0.10
52	34.0	35.3	1.30	38.50	3.20	40.20	1.70	40.50	0.30
55	34.9	35.6	0.70	39.10	3.50	39.90	0.80	40.00	0.10
58	35.7	35.8	0.10	40.00	4.20			40.00	
61	37.1	37.4	0.30	40.00	2.60			40.60	
64	38.0	39.7	1.70	39.40	−0.30	40.40	1.00	41.10	0.70
67	39.6	40.5	0.90	39.80	−0.70	40.40	0.60	40.80	0.40
70	40.8	43.0	2.20	41.30	−1.70	40.20	−1.10	40.50	0.30
73	42.0	43.2	1.20			41.30		41.00	
76	43.3	43.8	0.50			40.20			
79	43.5	42.8	−0.70	41.20	−1.60			41.70	
82	44.2	43.5	−0.70				0.00	41.70	
85	44.5	43.6	−0.90	42.80	−0.80			42.10	

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
2	18.4	20.0	1.60	20.50	0.50	20.50	0.00	20.50	0.00
5	19.3	20.5	1.20	21.10	0.60	21.20	0.10	21.20	0.00
8	19.9	20.6	0.70	21.10	0.50	21.20	0.10	21.20	0.00
11	20.6	21.8	1.20	23.90	2.10	24.50	0.60	25.10	0.60
14	21.2	22.7	1.50	26.20	3.50	27.30	1.10	27.60	0.30
17	21.8	23.3	1.50	26.30	3.00	27.30	1.00	27.40	0.10
20	22.9	24.2	1.30	28.00	3.80	29.10	1.10	29.30	0.20
23	24.1	25.3	1.20	30.30	5.00	31.80	1.50	32.30	0.50
26	24.5	25.4	0.90	28.80	3.40	30.00	1.20	30.40	0.40
29	25.4	26.8	1.40	31.40	4.60	34.90	3.50	37.20	2.30
32	26.7	28.8	2.10	33.60	4.80	35.40	1.80	37.50	2.10
35	27.9	30.3	2.40	33.80	3.50	36.00	2.20	38.50	2.50
38	29.1	32.1	3.00	35.90	3.80	38.00	2.10	38.40	0.40
41	30.4	32.8	2.40	35.80	3.00	38.40	2.60	39.00	0.60
44	31.2	33.2	2.00	36.60	3.40	38.30	1.70	38.90	0.60
47	32.1	34.1	2.00	37.00	2.90	38.40	1.40	39.20	0.80
50	33.2	35.2	2.00	37.70	2.50	39.00	1.30	39.60	0.60
53	34.0	35.1	1.10	38.50	3.40	38.90	0.40	39.50	0.60
56	34.8	35.7	0.90	38.90	3.20	39.30	0.40	39.30	0.00
59	36.1	36.3	0.20	39.50	3.20	39.70	0.20	39.60	−0.10
62	37.5	37.2	−0.30	39.90	2.70	40.00	0.10	40.30	0.30
65	38.3	39.8	1.50	40.20	0.40	38.70	−1.50	40.50	1.80
68	39.8	41.4	1.60	40.00	−1.40	40.20	0.20	40.50	0.30
71	40.8	42.8	2.00	41.30	−1.50	40.70	−0.60	40.90	0.20
74	41.9	43.2	1.30					40.90	
77	42.8	43.2	0.40						
80	43.6	42.7	−0.90					40.40	
83	44.1	43.2	−0.90					41.40	
86	44.3	43.2	−1.10	41.80	−1.40				

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
3	17.7	19.2	1.50	19.70	0.50	19.60	−0.10	19.60	0.00
6	18.8	20.3	1.50	20.80	0.50	21.00	0.20	21.00	0.00
9	19.6	21.0	1.40	22.00	1.00	22.10	0.10	22.10	0.00
12	20.3	22.5	2.20	25.00	2.50	25.60	0.60	25.70	0.10
15	21.1	22.6	1.50	26.20	3.60	27.40	1.20	27.60	0.20
18	21.7	23.4	1.70	26.60	3.20	28.00	1.40	29.00	1.00
21	23.3	24.6	1.30	27.90	3.30	29.10	1.20	29.40	0.30
24	24.0	25.4	1.40	31.60	6.20	34.00	2.40	35.00	1.00
27	24.6	25.5	0.90	29.10	3.60	31.30	2.20	32.40	1.10
30	25.5	27.5	2.00	31.30	3.80	35.40	4.10	38.00	2.60
33	26.7	28.9	2.20	33.30	4.40	36.00	2.70	38.30	2.30
36	27.7	30.2	2.50	34.20	4.00	37.30	3.10	38.70	1.40
39	29.1	31.8	2.70	35.50	3.70	37.80	2.30	38.50	0.70
42	30.4	32.9	2.50	35.90	3.00	37.80	1.90	38.50	0.70
45	31.0	31.8	0.80	37.50	5.70	38.80	1.30	39.70	0.90
48	32.4	34.4	2.00	37.10	2.70	38.60	1.50	39.10	0.50
51	33.1	34.7	1.60	37.40	2.70	39.20	1.80	38.60	−0.60
54	34.3	35.2	0.90	38.40	3.20	39.50	1.10	41.70	2.20
57	35.3	36.4	1.10	39.80	3.40				
60	36.2	36.6	0.40			40.00			
63	37.8	37.2	−0.60						
66	38.8	41.0	2.20						
69	39.8	43.7	3.90						
72	40.6	43.0	2.40	41.70	−1.30				
75	41.9	42.8	0.90			41.50		41.30	
78	42.6	42.8	0.20						
81	43.7	43.4	−0.30					41.30	
84	43.9	43.6	−0.30	42.80	−0.80			42.10	
87	44.6	43.5	−1.10	41.20	−2.30				

東

北　87 84 81 78 75 72 69 66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3
86 83 80 77 74 71 68 65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2　南
85 82 79 76 73 70 67 64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1

一　加振方向　一　四

地表面測定結果　CASE3（ホスゲ下回）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
1	20.0	20.8	0.80	21.50	0.70	21.10	-0.40	20.90	-0.20
4	40.2	40.4	0.20	40.40	0.00	41.10	0.70	39.50	-1.60
7	62.3	62.6	0.30	62.80	0.20	63.30	0.50	62.60	0.30
10	80.2	81.8	1.60	82.70	0.90	82.40	-0.30	83.60	1.20
13	100.9	102.8	1.90	103.50	0.70	104.50	1.00	104.60	0.10
16	121.2	123.8	2.60	124.00	0.20	124.30	0.30	124.50	0.20
19	140.9	143.3	2.40	146.30	3.00	146.90	0.60	146.40	-0.50
22	160.6	162.9	2.30	168.40	5.50	170.00	1.60	171.40	1.40
25	180.5	183.7	3.20	191.10	7.40	193.70	2.60	193.70	0.00
28	200.6	205.2	4.60	213.30	8.10	215.80	2.50	218.50	2.70
31	220.4	225.4	5.00	236.60	11.20	240.40	3.80	242.20	1.80
34	241.2	246.1	4.90	256.40	10.30	261.90	5.50	267.60	5.70
37	260.6	265.7	5.10	278.60	12.90	284.60	6.00	288.90	4.30
40	280.2	285.9	5.70	300.30	14.40	310.20	9.90	314.40	4.20
43	300.2	306.5	6.30	321.80	15.30	327.70	5.90	331.80	4.10
46	320.8	327.4	6.60	341.40	14.00	348.90	7.50	351.70	2.80
49	340.7	347.4	6.70	362.40	15.00	372.30	9.90	373.10	0.80
52	360.8	367.8	7.00	385.20	17.40	392.80	7.60	395.30	2.50
55	381.3	388.4	7.10	408.60	20.20	415.40	6.80	417.20	1.80
58	400.6	408.2	7.60	429.00	20.80			436.90	
61	421.3	430.0	8.70	446.90	16.90			454.80	
64	441.1	449.3	8.20	467.30	18.00	471.50	4.20	474.20	2.70
67	462.3	468.5	6.20	483.20	14.70	488.10	4.90	490.10	2.00
70	480.8	488.0	7.20	501.00	13.00	501.50	0.50	504.70	3.20
73	501.9	509.0	7.10			520.60		520.00	
76	522.3	526.6	4.30			539.50			
79	542.0	545.8	3.80	550.80	5.00			552.80	
82	563.5	565.7	2.20				0.00	570.20	
85	584.1	584.8	0.70	587.50	2.70			587.00	

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
2	20.1	20.6	0.50	20.40	-0.20	20.80	0.40	20.90	0.10
5	40.1	41.1	1.00	41.30	0.20	41.60	0.30	41.30	-0.30
8	61.7	61.7	0.00	62.20	0.50	61.90	-0.30	62.40	0.50
11	80.4	82.5	2.10	83.40	0.90	83.90	0.50	84.40	0.50
14	100.9	103.5	2.60	104.40	0.90	104.60	0.20	105.20	0.60
17	121.7	123.4	1.70	124.80	1.40	125.60	0.80	125.90	0.30
20	141.4	143.4	2.00	147.30	3.90	147.90	0.60	148.40	0.50
23	161.3	164.4	3.10	169.30	4.90	171.30	2.00	171.40	0.10
26	181.0	184.3	3.30	191.90	7.60	195.00	3.10	197.70	2.70
29	201.3	205.2	3.90	213.80	8.60	217.10	3.30	219.50	2.40
32	221.3	225.8	4.50	227.60	11.80	242.10	4.50	245.50	2.40
35	241.1	246.1	5.00	257.00	10.90	261.90	4.90	266.50	4.60
38	260.5	266.0	5.50	279.10	13.10	284.70	5.60	288.70	4.00
41	280.2	285.9	5.70	300.30	14.40	310.20	9.90	313.50	3.30
44	300.4	306.5	6.10	321.80	15.30	331.40	9.60	335.00	3.60
47	320.9	327.5	6.60	342.40	14.90	351.00	8.60	354.50	3.50
50	340.7	347.9	7.20	362.00	15.10	371.70	8.70	373.90	2.20
53	360.9	367.9	7.00	386.70	18.80	394.60	7.90	397.30	2.70
56	380.9	388.3	7.40	408.30	20.00	414.60	6.30	417.20	2.60
59	400.7	406.9	6.20	426.40	19.50	432.50	6.10	435.30	2.80
62	420.7	429.6	8.90	446.90	17.30	452.20	5.30	454.80	2.60
65	440.5	447.9	7.40	465.90	18.00	471.70	5.80	474.20	2.50
68	460.2	469.0	8.80	484.50	15.50	489.30	4.80	490.40	1.10
71	480.8	488.9	8.10	501.00	12.10	505.00	4.00	506.20	1.20
74	500.2	508.5	8.30					521.50	
77	520.6	526.5	5.90						
80	540.7	545.2	4.50					553.80	
83	562.0	564.8	2.80					568.00	
86	582.0	583.0	1.00	583.80	0.80				

NO	50GAL 変位量	100GAL 変位量	75GAL 変位量	75GAL 変位量
1	0.77	0.37	-0.10	-0.10
2	0.80	0.17	0.30	-0.47
3	0.30	0.53	0.13	0.33
4	1.70	1.13	0.37	0.40
5	2.30	1.13	0.50	0.27
6	2.13	1.57	0.40	0.13
7	2.17	3.80	1.10	-0.10
8	2.67	6.00	1.60	1.10
9	3.50	8.20	3.00	1.40
10	4.13	8.90	3.80	2.13
11	4.93	11.67	4.43	3.40
12	4.97	11.23	5.30	4.83
13	5.17	13.50	6.90	4.20
14	5.60	14.90	10.60	3.93
15	6.30	15.33	8.87	4.10
16	6.80	15.50	8.33	4.23
17	7.23	15.97	9.27	2.07
18	6.80	18.27	7.77	2.10
19	7.30	22.03	6.55	2.20
20	7.57	20.15	6.10	2.80
21	9.67	17.10	5.30	2.60
22	9.40	18.00	5.00	2.60
23	9.00	15.10	4.85	1.55
24	8.90	17.83	2.25	2.20
25	7.73			
26	5.90			
27	4.40	5.00		
28	2.40	4.10		
29	0.90	1.60		

	50GAL 変位量	100GAL 変位量	75GAL 変位量	75GAL 変位量
最大	424	719	266	124
平均	4.88	9.85	4.10	1.94

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
3	20.2	21.2	1.00	21.80	0.60	21.50	-0.30	21.30	-0.20
6	40.6	41.8	1.20	42.10	0.30	42.00	-0.10	42.50	0.50
9	61.7	62.3	0.60	63.20	0.90	63.40	0.20	63.60	0.20
12	81.1	82.5	1.40	84.10	1.60	85.00	0.90	84.50	-0.50
15	101.4	103.8	2.40	105.60	1.80	105.90	0.30	106.00	0.10
18	121.4	123.5	2.10	126.60	3.10	126.70	0.10	126.60	-0.10
21	141.3	143.4	2.10	147.90	4.50	150.00	2.10	149.70	-0.30
24	161.3	163.9	2.60	171.50	7.60	172.70	1.20	174.50	1.80
27	181.4	185.4	4.00	195.00	9.60	198.30	3.30	199.80	1.50
30	201.5	205.4	3.90	215.40	10.00	221.00	5.60	222.30	1.30
33	221.2	226.6	5.30	238.60	12.00	243.60	5.00	248.60	5.00
36	241.1	246.1	5.00	258.60	12.50	264.10	5.50	268.30	4.20
39	261.0	265.9	4.90	280.40	14.50	289.50	9.10	293.80	4.30
42	280.9	286.3	5.40	302.20	15.90	314.20	12.00	318.50	4.30
45	300.9	307.4	6.50	322.80	15.40	333.90	11.10	338.50	4.60
48	320.9	328.1	7.20	345.70	17.60	354.60	8.90	361.00	6.40
51	340.9	348.7	7.80	366.50	17.80	375.70	9.20	378.90	3.20
54	361.9	368.3	6.40	386.90	18.60	394.70	7.80	395.80	1.10
57	381.9	389.3	7.40	415.20	25.90				
60	400.4	409.3	8.90			438.40			
63	420.9	432.3	11.40						
66	441.9	454.5	12.60						
69	461.9	473.9	12.00						
72	481.0	492.4	11.40	520.80	28.40				
75	502.2	510.0	7.80			524.40		523.20	
78	520.3	527.8	7.50						
81	542.1	547.0	4.90					556.60	
84	562.2	564.4	2.20	568.50	4.10			570.00	
87	582.2	583.2	1.00	584.50	1.30				

東

北 | 87 84 81 78 75 72 69 66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3
86 83 80 77 74 71 68 65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2
85 82 79 76 73 70 67 64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1 | 南

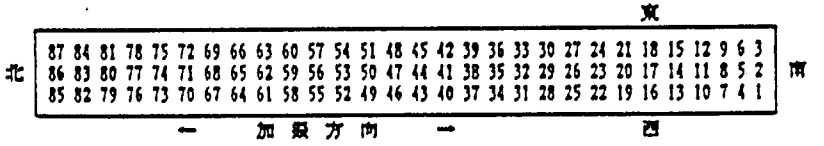
一　加　算　方　向　一

西

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
1	19.4	19.0	-0.40	18.90	-0.10	19.20	0.30	19.10	-0.10
4	18.9	18.5	-0.40	18.90	0.40	18.30	-0.60	18.40	0.10
7	19.0	18.7	-0.30	18.80	0.10	18.70	-0.10	18.80	0.10
10	19.4	19.3	-0.10	19.80	0.50	19.50	-0.30	19.20	-0.30
13	19.5	19.5	0.00	19.90	0.40	19.30	-0.60	20.00	0.70
16	19.1	19.2	0.10	20.60	1.40	19.30	-1.30	19.20	-0.10
19	19.0	19.0	0.00	19.40	0.40	19.30	-0.10	19.10	-0.20
22	19.0	19.0	0.00	20.00	1.00	19.90	-0.10	20.10	0.20
25	19.0	19.0	0.00	19.40	0.40	19.50	0.10	20.00	0.50
28	18.9	19.4	0.50	20.10	0.70	20.90	0.80	21.50	0.60
31	18.9	19.5	0.60	19.50	0.00	19.50	0.00	18.50	-1.00
34	18.9	19.1	0.20	19.30	0.20	19.10	-0.20	17.20	-1.90
37	19.4	19.4	0.00	19.10	-0.30	18.80	-0.30	19.50	0.70
40	19.0	19.1	0.10	18.30	-0.80	15.80	-2.50	12.50	-3.30
43	19.3	19.0	-0.30	18.40	-0.60	19.00	0.60	18.40	-0.60
46	19.5	19.5	0.00	19.00	-0.50	18.60	-0.40	17.90	-0.70
49	19.1	19.1	0.00	19.70	0.40	17.80	-0.90	17.20	-0.60
52	19.1	18.5	-0.60	17.80	-0.70	17.00	-0.80	17.80	0.80
55	19.0	18.8	-0.20	18.80	0.00	17.70	-1.10	19.10	1.40
58	19.2	19.3	0.10	19.00	-0.30			18.50	18.50
61	19.8	19.6	-0.20	19.20	-0.40			19.70	19.70
64	19.3	20.6	1.30	20.70	0.10	19.50	-1.20	20.00	0.50
67	20.1	21.1	1.00	20.50	-0.60	20.00	-0.50	19.40	-0.60
70	20.0	20.4	0.40	19.10	-1.30	17.60	-1.50	17.80	0.20
73	20.2	19.4	-0.80			18.40		19.00	
76	19.4	18.9	-0.50						
79	18.8	17.8	-1.00	17.20	-0.60			17.60	
82	19.6	18.7	-0.90					17.90	
85	19.7	19.5	-0.20	19.20	-0.30			18.50	

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
2	38.9	38.9	0.00	39.30	0.40	38.90	-0.40	38.70	-0.20
5	39.6	39.1	-0.50	39.40	0.30	39.30	-0.10	39.30	0.00
8	39.0	39.1	0.10	39.10	0.00	39.10	0.00	39.10	0.00
11	39.1	39.4	0.30	39.80	0.40	39.40	-0.40	38.70	-0.70
14	39.3	39.5	0.20	40.40	0.90	40.50	0.10	40.30	-0.20
17	39.0	39.4	0.40	39.90	0.50	39.90	0.00	39.60	-0.30
20	38.9	38.9	0.00	38.60	-0.30	38.40	-0.20	38.30	-0.10
23	38.8	38.8	0.00	39.40	0.60	39.10	-0.30	39.10	0.00
26	39.0	38.7	-0.30	39.60	0.90	39.80	0.20	40.00	0.20
29	39.4	39.8	0.40	39.40	-0.40	39.30	-0.10	37.20	-2.10
32	38.8	38.6	-0.20	38.90	0.30	39.30	0.40	39.40	0.10
35	39.5	39.2	-0.30	39.40	0.20	39.50	0.10	42.10	2.60
38	39.2	39.3	0.10	38.20	-1.10	37.80	-0.40	38.90	1.10
41	38.4	38.9	0.50	38.10	-0.80	39.00	0.90	38.90	-0.10
44	39.2	39.1	-0.10	37.90	-1.20	38.90	1.00	39.00	0.10
47	39.2	39.4	0.20	38.30	-1.10	38.30	0.00	38.20	-0.10
50	38.8	38.5	-0.30	36.70	-1.80	35.80	-0.90	35.80	0.00
53	38.2	37.8	-0.40	36.50	-1.30	36.10	-0.40	35.00	-1.10
56	38.2	37.7	-0.50	38.00	0.30	37.10	-0.90	37.50	0.40
59	37.9	37.7	-0.20	37.20	-0.50	37.60	0.40	36.70	-0.90
62	37.8	38.0	0.20	35.20	-2.80	35.20	0.00	35.80	0.60
65	37.9	39.3	1.40	37.90	-1.40	37.20	-0.70	38.00	0.80
68	38.0	40.4	2.40	39.10	-1.30	38.70	-0.40	38.00	-0.70
71	38.4	36.9	-1.50	36.10	-0.80	35.20	-0.90	34.30	-0.90
74	38.4	37.0	-1.40					34.40	
77	37.7	36.4	-1.30						
80	37.2	36.5	-0.70					36.00	
83	37.3	37.0	-0.30					35.90	
86	37.4	36.8	-0.60	36.50	-0.30				

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	75GAL	変位量	75GAL	変位量
3	59.4	59.6	0.20	59.60	0.00	59.40	-0.20	59.50	0.10
6	59.4	59.6	0.20	59.80	0.20	59.40	-0.40	59.10	-0.30
9	59.2	59.6	0.40	59.80	0.20	59.70	-0.10	59.50	-0.20
12	59.5	60.5	1.00	61.00	0.50	61.10	0.10	61.20	0.10
15	59.2	59.5	0.30	60.00	0.50	60.00	0.00	60.00	0.00
18	59.1	58.5	-0.60	59.60	1.10	60.00	0.40	60.90	0.90
21	59.0	59.4	0.40	58.80	-0.60	58.80	0.00	58.80	0.00
24	59.4	59.1	-0.30	60.30	1.20	60.80	0.50	61.00	0.20
27	59.3	59.7	0.40	60.00	0.30	60.60	0.60	61.00	0.40
30	59.4	59.6	0.20	59.10	-0.50	58.80	-0.30	58.00	-0.80
33	59.4	59.8	0.40	58.30	-1.50	58.50	0.20	57.70	-0.80
36	59.5	59.5	0.00	58.70	-0.80	58.20	-0.50	60.70	2.50
39	59.4	59.4	0.00	57.50	-1.90	58.20	0.70	58.90	0.70
42	59.2	59.4	0.10	57.60	-1.80	59.70	2.10	59.40	-0.30
45	59.2	59.2	0.00	59.00	-0.20	58.20	-0.80	58.50	0.30
48	59.3	59.2	-0.10	56.50	-2.70	55.60	-0.90	55.20	-0.40
51	58.5	57.8	-0.70	55.70	-2.10	55.70	0.00	55.00	-0.70
54	58.2	57.6	-0.60	56.20	-1.40	55.90	-0.30	55.40	-0.50
57	58.2	57.7	-0.50	60.00	2.30				
60	57.8	56.9	-0.90			53.40			
63	57.5	57.1	-0.40						
66	58.1	57.3	-0.80						
69	57.6	55.7	-1.90						
72	57.8	53.6	-4.20	55.10	1.50				
75	57.7	56.0	-1.70			54.20		53.50	
78	57.4	56.0	-1.40						
81	58.2	58.2	0.00					57.60	
84	57.1	57.5	0.40	58.60	1.10			58.60	
87	56.8	55.8	-1.00	54.80	-1.00				



地表面測度観測点結果　CASE4（裏　面）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
1	18.5	18.8	0.30	20.60	1.80	26.10	5.50	30.60	4.50
4	20.0	20.5	0.50	22.50	2.00	27.10	4.60	31.80	4.70
7	20.0	20.7	0.70	22.40	1.70	27.30	4.90	31.80	4.50
10	21.0	21.0	0.00	23.00	2.00	27.70	4.70	32.10	4.40
13	21.6	21.7	0.10	23.50	1.80	27.30	3.80	30.80	3.50
16	23.5	23.7	0.20	25.40	1.70	28.50	3.10	33.40	4.90
19	24.0	24.0	0.00	25.90	1.90	28.30	2.40	31.70	3.40
22	23.9	24.4	0.50	25.90	1.50	28.20	2.30	31.40	3.20
25	25.1	25.8	0.70	27.30	1.50	29.20	1.90	32.10	2.90
28	26.2	26.4	0.20	28.00	1.60	29.20	1.20	32.10	2.90
31	26.7	27.0	0.30	28.80	1.80	30.60	1.80	33.40	2.80
34	28.0	28.1	0.10	30.30	2.20	31.30	1.00	34.10	2.80
37	29.4	29.6	0.20	31.90	2.30	33.10	1.20	35.40	2.30
40	30.4	30.4	0.00	33.10	2.70	33.70	0.60	36.50	2.80
43	31.5	31.5	0.00	33.60	2.10	34.20	0.60	40.50	6.30
46	32.0	32.1	0.10	33.80	1.70	34.90	1.10	44.50	9.60
49	33.7	33.8	0.10	35.30	1.50	37.50	2.20		
52	34.5	34.6	0.10	36.30	1.70	38.30	2.00	41.00	2.70
55	36.0	35.8	−0.20	37.80	2.00	39.00	1.20		
58	37.3	37.3	0.00	39.30	2.00	40.30	1.00	43.20	2.90
61	38.2	38.2	0.00	39.80	1.60	39.80	0.00	41.30	1.50
64	39.0	39.0	0.00	40.00	1.00	40.10	0.10	42.10	2.00
67	39.8	39.7	−0.10	40.00	0.30	38.70	−1.30	41.20	2.50
70	40.4	40.7	0.30	40.20	−0.50	39.60	−0.60	40.10	0.50
73	41.4	41.9	0.50	40.00	−1.90	38.70	−1.30	39.30	0.60
76	42.1	42.4	0.30	40.50	−1.90	39.00	−1.50	39.70	0.70
79	41.8	42.5	0.70	40.70	−1.80	39.00	−1.70	40.60	1.60
82	42.3	42.3	0.00	40.50	−1.80	38.90	−1.60	40.20	1.30
85	40.5	42.0	1.50	40.40	−1.60	39.30	−1.10		

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
2	18.4	18.6	0.20	20.60	2.00	25.60	5.00	30.70	5.10
5	18.9	19.1	0.20	20.80	1.70	25.30	4.50	30.10	4.80
8	19.5	19.8	0.30	21.70	1.90	26.10	4.40	31.00	4.90
11	20.3	20.3	0.00	22.60	2.30	26.80	4.20	31.30	4.50
14	21.8	21.7	−0.10	23.50	1.80	26.90	3.40	31.10	4.20
17	22.7	22.7	0.00	24.60	1.90	27.30	2.70	31.00	3.70
20	23.5	23.9	0.40	25.50	1.60	28.00	2.50	31.80	3.80
23	24.0	24.4	0.40	25.90	1.50	28.00	2.10	31.50	3.50
26	24.8	25.0	0.20	26.30	1.30	28.30	2.00	31.90	3.60
29	25.7	25.8	0.10	27.30	1.50	29.10	1.80	32.40	3.30
32	27.4	27.5	0.10	29.10	1.60	31.20	2.10	34.30	3.10
35	28.4	28.6	0.20	30.20	1.60	31.70	1.50	34.80	3.10
38	30.2	30.5	0.30	32.00	1.50	33.00	1.00	35.80	2.80
41	30.6	30.6	0.00	32.90	2.30	33.80	0.90	36.10	2.30
44	31.3	31.3	0.00	33.40	2.10	34.40	1.00	39.60	5.20
47	32.0	31.9	−0.10	33.70	1.80	35.10	1.40	40.00	4.90
50	33.2	33.2	0.00	35.00	1.80	37.40	2.40		
53	34.1	34.2	0.10	35.50	1.30	37.40	1.90		
56	35.7	35.6	−0.10	37.60	2.00	38.30	0.70		
59	37.0	36.9	−0.10	39.20	2.30	40.10	0.90	43.50	3.40
62	38.1	38.1	0.00	39.40	1.30	40.10	0.70	41.50	1.40
65	38.3	38.2	−0.10	39.60	1.40	39.00	−0.60	42.90	3.90
68	39.1	39.1	0.00	39.80	0.70	38.50	−1.30	41.20	2.70
71	40.2	40.2	0.00	40.10	−0.10	38.80	−1.30	40.60	1.80
74	41.1	41.4	0.30	40.10	−1.30	38.70	−1.40	40.70	2.00
77	41.2	41.8	0.60	39.90	−1.90	38.60	−1.30	39.40	0.80
80	41.3	42.2	0.90	40.60	−1.60	38.90	−1.70	40.10	1.20
83	41.7	42.4	0.70	40.60	−1.80	38.90	−1.70	40.30	1.40
86	41.4	41.8	0.40	40.40	−1.40	39.30	−1.10	40.60	1.30

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
3	17.7	18.0	0.30	20.70	2.70	26.00	5.30	31.40	5.40
6	18.5	18.7	0.20	20.90	2.20	25.30	4.40	30.10	4.80
9	19.7	19.8	0.10	21.90	2.10	26.30	4.40	30.70	4.40
12	20.5	20.5	0.00	23.00	2.50	27.20	4.20	31.40	4.20
15	22.0	22.0	0.00	24.00	2.00	27.20	3.20	31.70	4.50
18	23.3	23.9	0.60	25.30	1.40	27.80	2.50	31.60	3.80
21	23.0	23.2	0.20	24.60	1.40	27.90	3.30	30.80	2.90
24	24.1	24.5	0.40	25.60	1.10	27.70	2.10	31.40	3.70
27	24.5	24.7	0.20	25.90	1.20	27.80	1.90	31.70	3.90
30	25.8	25.9	0.10	27.00	1.10	28.60	1.60	32.10	3.50
33	27.9	28.0	0.10	29.20	1.20	30.50	1.30	33.50	3.00
36	28.7	29.1	0.40	30.30	1.20	31.40	1.10	35.00	3.60
39	30.0	30.2	0.20	31.70	1.50	32.60	0.90	36.20	3.60
42	30.5	30.6	0.10	32.60	2.00	33.30	0.70	36.60	3.30
45	30.8	30.9	0.10	32.70	1.80	33.60	0.90	32.80	−0.80
48	34.0	33.7	−0.30	33.80	0.10	35.60	1.80	40.90	5.30
51	33.1	33.1	0.00	34.50	1.40	37.70	3.20		
54	34.0	33.9	−0.10	35.20	1.30			43.20	
57	35.7	35.8	0.10	37.00	1.20	38.50	1.50		
60	36.6	36.5	−0.10	39.20	2.70	40.80	1.60	41.60	0.80
63	37.4	37.3	−0.10	39.20	1.90	40.60	1.40	43.00	2.40
66	38.0	38.0	0.00	39.50	1.50	39.00	−0.50	41.30	2.30
69	39.1	39.1	0.00	39.90	0.80	38.50	−1.40	41.10	2.60
72	40.8	40.8	0.00	40.40	−0.40	39.10	−1.30	40.50	1.40
75	41.3	41.3	0.00	39.80	−1.50	38.70	−1.10	40.60	1.90
78	41.8	42.0	0.20	39.60	−2.40	38.10	−1.50	39.50	1.40
81	41.8	42.0	0.20	40.30	−1.70	39.30	−1.00	40.80	1.50
84	40.0	41.9	1.90	40.00	−1.90	38.60	−1.40	40.50	1.90
87	42.0	42.3	0.30	40.40	−1.90	39.30	−1.10	40.30	1.00

東

北　87 84 81 78 75 72 69 66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3
86 83 80 77 74 71 68 65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2　南
85 82 79 76 73 70 67 64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1

← 加振方向 →　西

NO	到着時刻	50GAL	積分量	100GAL	積分量	150GAL	積分量	200GAL	積分量
1	21.5	21.5	0.00	22.40	1.90	26.10	4.70	31.30	3.20
4	42.0	42.0	0.00	42.50	1.50	48.90	5.40	52.80	3.90
7	62.0	62.0	0.00	63.90	1.90	69.80	5.90	74.10	4.30
10	81.7	82.3	0.60	82.50	1.30	88.80	5.20	93.90	5.10
13	101.8	101.8	0.00	102.60	1.80	109.00	5.40	115.80	6.80
16	121.3	121.8	0.50	122.10	1.30	131.90	8.80	139.30	7.40
19	141.0	141.3	0.30	143.00	1.70	154.20	11.20	161.90	7.70
22	160.9	161.0	0.10	162.40	1.40	172.90	11.50	180.90	7.00
25	180.0	179.8	-0.20	182.70	2.90	195.50	12.80	201.50	6.00
28	200.6	201.0	0.40	202.90	1.90	215.00	12.10	224.40	9.40
31	223.0	223.0	0.00	224.80	1.80	237.20	12.40	245.30	8.10
34	243.8	244.1	0.30	245.50	1.40	259.10	13.60	268.50	9.40
37	262.8	263.0	0.20	265.90	2.90	279.30	13.40	288.80	9.50
40	283.8	284.0	0.20	286.70	2.70	305.00	18.30	327.40	22.40
42	301.1	302.0	0.90	307.10	5.10	320.70	13.60	343.70	22.00
46	322.9	323.0	0.10	328.00	5.00	342.40	14.40	355.00	22.60
49	339.3	339.8	0.50	348.70	8.90	363.10	14.40		
52	360.0	360.9	0.90	369.10	8.20	381.50	12.40	405.50	24.00
55	380.0	380.7	0.70	390.50	9.80	402.50	13.00		
58	400.0	400.7	0.70	410.20	9.50	422.70	12.50	427.20	4.50
61	419.5	420.2	0.80	430.30	10.00	441.90	11.60	445.50	3.60
64	439.7	440.2	0.50	449.40	9.20	458.90	9.50	463.20	4.30
67	459.8	460.4	0.60	470.20	9.80	478.30	8.10	482.00	3.70
70	480.0	480.2	0.20	489.70	9.50	497.20	7.50	500.30	3.10
73	500.0	500.4	0.40	508.60	8.20	515.50	6.90	518.00	2.50
76	519.1	519.8	0.70	527.40	7.60	531.50	4.10	533.30	1.80
79	540.0	540.3	0.30	546.40	6.10	550.00	3.60	550.30	0.30
82	559.2	559.9	0.70	563.20	3.30	565.80	2.60	567.30	1.50
85	579.9	580.0	0.10	582.00	2.00	585.50	2.50		

NO	到着時刻	50GAL	積分量	100GAL	積分量	150GAL	積分量	200GAL	積分量
2	21.5	21.5	0.00	22.40	0.90	26.10	5.70	31.10	5.00
5	41.5	41.5	0.00	42.50	1.00	48.80	6.30	52.80	4.00
8	61.5	62.3	0.80	63.90	1.60	69.80	5.90	74.20	4.40
11	81.5	82.2	0.70	83.40	1.20	90.40	7.00	94.60	4.20
14	101.5	101.6	0.10	103.40	1.80	111.10	7.70	115.50	4.40
17	121.7	121.7	0.00	124.90	3.20	135.00	10.10	141.60	6.60
20	140.6	141.3	0.70	145.00	3.70	154.00	9.00	161.90	7.90
23	161.5	161.5	0.00	164.40	2.90	174.30	9.90	182.20	7.90
26	180.7	180.7	0.00	183.70	3.00	195.20	11.50	202.80	7.60
29	200.0	201.1	1.10	205.00	3.90	216.10	11.10	223.30	7.20
32	222.0	222.8	0.80	225.80	3.00	237.20	11.40	245.10	7.90
35	241.0	241.4	0.40	244.50	3.10	259.20	14.70	269.40	10.20
38	262.2	263.1	0.90	267.80	4.70	280.40	12.60	294.00	13.60
41	281.9	282.7	0.80	286.80	4.10	306.20	19.40	322.40	16.20
44	301.2	302.2	1.00	305.30	6.10	322.00	12.70	347.10	25.10
47	321.0	321.1	0.10	328.10	7.00	342.00	14.90	368.40	25.40
50	339.4	340.2	0.80	349.40	9.20	363.50	14.10		
53	360.2	361.0	0.80	369.40	8.40	380.50	11.10		
56	379.5	380.0	0.50	389.60	9.60	402.80	13.20		
59	399.7	400.3	0.60	410.20	9.90	422.50	12.30	427.20	4.70
62	418.9	420.0	1.10	430.60	10.60	440.80	10.20	446.10	5.30
65	438.5	439.4	0.90	449.30	9.90	460.00	10.70	463.00	3.00
68	459.2	460.0	0.80	470.00	10.00	478.80	8.80	480.60	1.80
71	480.2	480.5	0.30	490.20	9.70	498.30	8.10	498.40	0.10
74	498.7	500.0	1.30	508.50	8.50	515.70	7.20	515.00	-0.70
77	518.2	519.0	0.80	527.50	8.50	532.70	5.20	532.30	-0.40
80	542.0	542.8	0.80	546.20	3.40	551.30	5.10	550.00	-1.30
83	560.1	560.3	0.20	564.90	4.60	568.60	3.70	568.20	-0.40
86	578.6	579.0	0.40	582.90	3.90	584.50	1.60	584.40	-0.10

NO	50GAL 積分量	100GAL 積分量	150GAL 積分量	200GAL 積分量
1	0.00	1.40	5.20	3.03
2	0.00	1.60	5.57	3.17
3	0.27	2.07	5.97	3.57
4	0.43	1.50	6.27	4.37
5	0.10	2.07	6.97	5.13
6	0.33	2.57	9.53	7.00
7	0.47	3.30	9.77	7.50
8	0.27	2.93	10.23	7.07
9	0.10	4.00	11.53	6.50
10	0.63	4.30	11.73	6.97
11	0.37	3.93	12.93	7.00
12	0.40	3.83	14.60	7.93
13	0.57	4.87	12.83	7.70
14	0.50	4.70	18.07	1.10
15	0.80	6.13	13.57	5.67
16	0.23	6.33	14.37	3.47
17	0.70	9.13	14.57	4.17
18	0.87	8.93	11.75	
19	0.63	9.80	13.80	2.00
20	0.73	9.80	12.43	4.73
21	0.83	10.03	11.30	4.97
22	0.70	9.50	10.03	4.37
23	0.70	9.63	8.77	2.87
24	0.50	9.27	8.10	1.97
25	0.80	8.33	7.13	1.07
26	0.73	7.87	5.13	1.03
27	0.73	5.20	4.33	-0.33
28	0.50	4.17	3.10	0.00
29	0.50	3.10	1.33	-0.20

NO	50GAL 積分量	100GAL 積分量	150GAL 積分量	200GAL 積分量
合計	43	481	831	335
平均	0.50	5.53	9.66	4.25

NO	到着時刻	50GAL	積分量	100GAL	積分量	150GAL	積分量	200GAL	積分量
3	20.5	20.5	0.00	21.90	1.40	27.10	5.20	30.00	2.90
6	41.5	41.5	0.00	43.80	2.30	48.80	5.00	50.40	1.60
9	61.0	61.0	0.00	63.70	2.70	69.80	6.10	71.80	2.00
12	81.7	81.7	0.00	83.70	2.00	90.30	6.60	94.10	3.80
15	101.6	101.8	0.20	104.40	2.60	112.20	7.80	116.40	4.20
18	121.2	121.7	0.50	124.90	3.20	134.60	9.70	141.60	7.00
21	141.0	141.4	0.40	145.90	4.50	155.00	9.10	161.90	6.90
24	161.2	161.9	0.70	166.40	4.50	175.70	9.30	182.00	6.30
27	181.4	181.9	0.50	188.00	6.10	198.30	10.30	204.20	5.90
30	201.5	201.9	0.40	209.00	7.10	221.00	12.00	225.30	4.30
33	221.3	221.6	0.30	228.60	7.00	243.60	15.00	248.60	5.00
36	241.1	241.6	0.50	248.60	7.00	264.10	15.50	268.30	4.20
39	261.1	261.7	0.60	268.70	7.00	281.20	12.50	306.40	25.20
42	281.0	281.5	0.50	288.80	7.30	305.30	16.50	332.20	26.90
45	301.2	301.7	0.50	308.90	7.20	322.30	13.40	348.30	26.00
48	322.0	322.5	0.50	329.50	7.00	343.30	13.80	370.20	26.90
51	339.2	340.0	0.80	349.30	9.30	364.50	15.20		
54	359.1	360.0	0.90	370.20	10.20			401.60	0.00
57	379.3	380.0	0.70	390.00	10.00	405.20	15.20		
60	399.1	400.0	0.90	410.00	10.00	422.50	12.50	427.50	5.00
63	420.0	420.6	0.60	430.10	9.50	442.20	12.10	448.20	6.00
66	440.0	440.7	0.70	450.10	9.40	460.00	9.90	465.80	5.80
69	460.1	460.8	0.70	469.90	9.10	479.30	9.40	482.40	3.10
72	480.0	481.0	1.00	489.60	8.60	498.30	8.70	501.00	2.70
75	500.0	500.7	0.70	509.00	8.30	516.30	7.30	517.70	1.40
78	520.0	520.7	0.70	528.20	7.50	534.30	6.10	536.00	1.70
81	540.0	541.1	1.10	547.20	6.10	551.50	4.30	551.50	0.00
84	560.1	560.7	0.60	565.30	4.60	568.30	3.00	567.20	-1.10
87	580.2	581.2	1.00	582.60	2.40	582.50	-0.10	582.20	-0.30

東

北　87 84 81 78 75 72 69 66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3 / 86 83 80 77 74 71 68 65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2 / 85 82 79 76 73 70 67 64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1　南

← 加振方向 →

西

地表面測震計測定結果　CASE4（水平Y方向）

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
1	19.8	19.9	0.10	18.40	-1.50	17.80	-0.60	18.20	0.40
4	20.0	19.5	-0.50	18.60	-0.90	18.10	-0.50	18.10	0.00
7	20.0	19.5	-0.50	18.80	-0.70	18.60	-0.20	19.10	0.50
10	19.5	19.2	-0.30	18.60	-0.60	18.70	0.10	18.90	0.20
13	20.0	20.0	0.00	19.00	-1.00	18.80	-0.20	18.90	0.10
16	20.0	20.1	0.10	19.30	-0.80	18.90	-0.40	18.40	-0.50
19	19.5	19.3	-0.20	18.50	-0.80	18.50	0.00	17.90	-0.60
22	20.0	19.9	-0.10	18.40	-1.50	19.00	0.60	18.10	-0.90
25	19.8	19.7	-0.10	17.90	-1.80	18.30	0.40	17.80	-0.50
28	20.0	19.5	-0.50	18.00	-1.50	18.60	0.60	17.20	-1.40
31	18.7	18.3	-0.40	18.00	-0.30	18.10	0.10	17.50	-0.60
34	20.0	19.6	-0.40	18.50	-1.10	18.00	-0.50	18.90	0.90
37	19.8	20.2	0.40	19.50	-0.70	18.50	-1.00	19.00	0.50
40	20.0	19.8	-0.20	19.70	-0.10	18.00	-1.70	14.80	-3.20
43	19.5	19.6	0.10	19.00	-0.60	18.20	-0.80	16.00	-2.20
46	19.8	20.0	0.20	19.70	-0.30	18.60	-1.10	17.40	-1.20
49	20.0	20.1	0.10	19.90	-0.20	19.80	-0.10		
52	20.0	20.5	0.50	19.90	-0.60	20.00	0.10	23.00	3.00
55	21.0	20.7	-0.30	20.20	-0.50	21.10	0.90		
58	20.0	19.8	-0.20	20.40	0.60	20.60	0.20	23.10	2.50
61	20.0	20.2	0.20	20.00	-0.20	20.70	0.70	21.00	0.30
64	20.0	19.5	-0.50	19.30	-0.20	20.00	0.70	22.50	2.50
67	20.0	20.2	0.20	20.50	0.30	20.40	-0.10	23.30	2.90
70	20.0	20.0	0.00	20.20	0.20	20.30	0.10	22.70	2.40
73	20.0	20.0	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	23.00	3.00
76	20.0	19.9	-0.10	19.60	-0.30	19.30	-0.30	20.50	1.20
79	20.0	19.7	-0.30	19.60	-0.10	19.30	-0.30	21.00	1.70
82	20.5	20.4	-0.10	20.20	-0.20	22.20	2.00	22.10	-0.10
85	19.7	19.0	-0.70	19.40	0.40	20.00	0.60		

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
2	38.5	38.0	-0.50	38.40	0.40	38.20	-0.20	37.30	-0.90
5	39.0	38.6	-0.40	39.10	0.50	38.20	-0.90	37.90	-0.30
8	39.5	39.0	-0.50	38.50	-0.50	38.50	0.00	38.70	0.20
11	39.7	39.4	-0.30	38.60	-0.80	39.00	0.40	38.90	-0.10
14	39.8	39.1	-0.70	39.60	0.50	39.10	-0.50	40.20	1.10
17	39.8	39.0	-0.80	38.80	-0.20	38.50	-0.30	39.40	0.90
20	40.0	39.6	-0.40	39.20	-0.40	39.00	-0.20	38.70	-0.30
23	39.2	38.9	-0.30	38.80	-0.10	39.00	0.20	38.20	-0.80
26	38.2	38.6	0.40	37.70	-0.90	38.00	0.30	37.20	-0.80
29	39.4	39.2	-0.20	37.20	-2.00	37.40	0.20	36.60	-0.80
32	38.5	38.4	-0.10	38.00	-0.40	37.60	-0.40	37.00	-0.60
35	38.1	37.7	-0.40	37.40	-0.30	36.90	-0.50	36.10	-0.80
38	38.9	39.2	0.30	38.70	-0.50	37.10	-1.60	35.00	-2.10
41	38.7	39.0	0.30	39.00	0.00	38.40	-0.60	34.00	-4.40
44	39.4	39.2	-0.20	38.90	-0.30	36.80	-2.10	32.00	-4.80
47	38.4	38.7	0.30	38.50	-0.20	36.80	-1.70	37.60	0.80
50	39.0	39.0	0.00	38.60	-0.40	37.60	-1.00		
53	39.7	39.9	0.20	39.00	-0.90	38.20	-0.80		
56	40.0	39.7	-0.30	39.50	-0.20	38.50	-1.00		
59	40.0	39.8	-0.20	39.70	-0.10	38.10	-1.60	39.00	0.90
62	40.0	39.5	-0.50	39.30	-0.20	39.20	-0.10	38.00	-1.20
65	39.0	38.8	-0.20	38.50	-0.30	38.10	-0.40	37.10	-1.00
68	39.0	38.6	-0.40	38.40	-0.20	38.50	0.10	39.70	1.20
71	39.0	38.8	-0.20	38.80	0.00	38.20	-0.60	38.70	0.50
74	40.0	39.9	-0.10	38.70	-1.20	38.30	-0.40	39.50	1.20
77	40.0	39.9	-0.10	38.60	-1.30	38.40	-0.20	37.40	-1.00
80	39.0	39.0	0.00	38.00	-1.00	37.60	-0.40	36.60	-1.00
83	40.0	39.5	-0.50	37.40	-2.10	36.80	-0.60	36.60	-0.20
86	40.0	39.5	-0.50	38.00	-1.50	35.60	-2.40	37.00	1.40

NO	初期値	50GAL	変位量	100GAL	変位量	150GAL	変位量	200GAL	変位量
3	60.0	60.0	0.00	60.40	0.40	60.00	-0.40	59.10	-0.90
6	60.0	59.9	-0.10	59.40	-0.50	59.40	0.00	58.70	-0.70
9	59.8	59.1	-0.70	59.80	0.70	59.60	-0.20	59.10	-0.50
12	59.8	59.9	0.10	58.30	-1.60	59.40	1.10	57.20	-2.20
15	59.9	59.8	-0.10	59.50	-0.30	57.90	-1.60	55.30	-2.60
18	60.0	60.5	0.50	59.70	-0.80	59.20	-0.50	58.70	-0.50
21	59.8	59.4	-0.40	59.00	-0.40	58.60	-0.40	57.90	-0.70
24	59.5	59.5	0.00	58.80	-0.70	58.50	-0.30	57.40	-1.10
27	58.2	58.1	-0.10	58.00	-0.10	58.00	0.00	56.40	-1.60
30	59.8	59.0	-0.80	58.00	-1.00	57.10	-0.90	55.90	-1.20
33	58.0	57.5	-0.50	56.80	-0.70	56.00	-0.80	54.90	-1.10
36	57.4	56.9	-0.50	56.50	-0.40	56.50	0.00	56.40	-0.10
39	58.5	58.6	0.10	58.20	-0.40	56.20	-2.00	56.70	0.50
42	59.0	59.1	0.10	58.50	-0.60	56.30	-2.20	54.30	-2.00
45	59.2	59.0	-0.20	58.50	-0.50	56.10	-2.40	56.50	0.40
48	59.5	59.3	-0.20	58.00	-1.30	55.40	-2.60	54.20	-1.20
51	60.0	59.4	-0.60	59.00	-0.40	58.10	-0.90		
54	60.0	59.9	-0.10	59.10	-0.80			60.20	
57	60.0	59.7	-0.30	59.40	-0.30	57.70	-1.70		
60	60.0	59.8	-0.20	58.70	-1.10	55.80	-2.90	54.00	-1.80
63	60.0	59.6	-0.40	59.30	-0.30	57.00	-2.30	55.30	-1.70
66	60.0	59.3	-0.70	58.30	-1.00	58.10	-0.20	56.80	-1.30
69	60.0	59.6	-0.40	58.90	-0.70	58.70	-0.20	56.30	-2.40
72	60.0	59.8	-0.20	58.60	-1.20	58.20	-0.40	55.50	-2.70
75	60.0	60.1	0.10	58.70	-1.40	57.50	-1.20	56.20	-1.30
78	60.0	60.1	0.10	58.30	-1.80	57.10	-1.20	55.50	-1.60
81	60.0	59.9	-0.10	57.60	-2.30	56.00	-1.60	54.70	-1.30
84	60.0	59.7	-0.30	56.70	-3.00	54.90	-1.80	54.20	-0.70
87	60.0	59.5	-0.50	57.90	-1.60	57.30	-0.60	56.50	-0.80

東

北 | 87 84 81 78 75 72 69 66 63 60 57 54 51 48 45 42 39 36 33 30 27 24 21 18 15 12 9 6 3 / 86 83 80 77 74 71 68 65 62 59 56 53 50 47 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17 14 11 8 5 2 / 85 82 79 76 73 70 67 64 61 58 55 52 49 46 43 40 37 34 31 28 25 22 19 16 13 10 7 4 1 | 南

← 加振方向 →

西

液状化にともなう地盤流動に関する振動台実験

ISSN 0386-5878
土研資料第2768号
平成元年2月（1989）

佐々木　康　松本秀應
佐谷祥一

要旨

本資料は，液状化にともなう地盤の流動機構の解明を目的として実施した振動台実験の結果をとりまとめたものである。その結果，地表面の水平変位は液状化層の厚さ，地盤の応答加速度の大きさ，加振継続時間との相関が高いことが明らかとなった。

キーワード：液状化，地盤流動，永久変形，模型実験

郵便はがき

切手をはって下さい

〒305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
地震防災部振動研究室
御中

No. 92

No. 92

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第２７６８号　　部

液状化にともなう地盤流動に関する振動台実験

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2768号
液状化にともなう地盤流動に関する振動台実験