191
土 研 資 料
第 1 6 0 5 号

土木研究所資料

砂質地盤の流動化および杭基礎構造物の動的応答特性に関する模型振動実験

昭和55年 8 月

建 設 省 土 木 研 究 所
地震防災部振動研究室

ま え が き

地震時における土木構造物を始めとする各種構造物の地震被害をみると，構造物の支持地盤の震害に帰因する例が数多くみられる。代表的な事例としては昭和39年6月の新潟地震の際の昭和大橋の落橋，川岸町の県営アパートの傾斜・転倒がある[1]。これらの被害はいずれも支持地盤である砂質地盤の流動化（液状化）による支持力の低減によるものとされている。

このように軟弱な地盤上に建設される構造物に対しては，地震時の周辺地盤の影響も含めた構造物の動的応答特性を考慮した耐震設計を行う必要がある。そのために当研究室では飽和砂質地盤の流動化が土木構造物に及ぼす影響に関して，震害を受けた構造物の周辺地盤の耐震性についての詳細調査[2)〜6)]，地盤流動化の判定法に関する調査[7]，室内模型振動実験[8),9)]等を実施してきている。

本報告は地盤および杭基礎構造物の流動化時の動的応答特性を明らかにするために実施した室内模型振動実験の結果をとりまとめたものである。同実験は当研究室が筑波研究学園都市内の土木研究所に設置された大型振動台を用いて実施した最初の実験である。内容としては，まず，振動実験施設の概要を紹介し，次に実験の方法および実験結果を報告する。そして，これらの実験結果に基づいて地盤の耐震性に関する詳細な検討を行っている。

昭和55年8月

地震防災部

振動研究室　室　長　岩崎敏男
〃　研究員　常田賢一
〃　吉田精一
耐震研究室　後藤勝志
（振動研究室併任）

目　　次

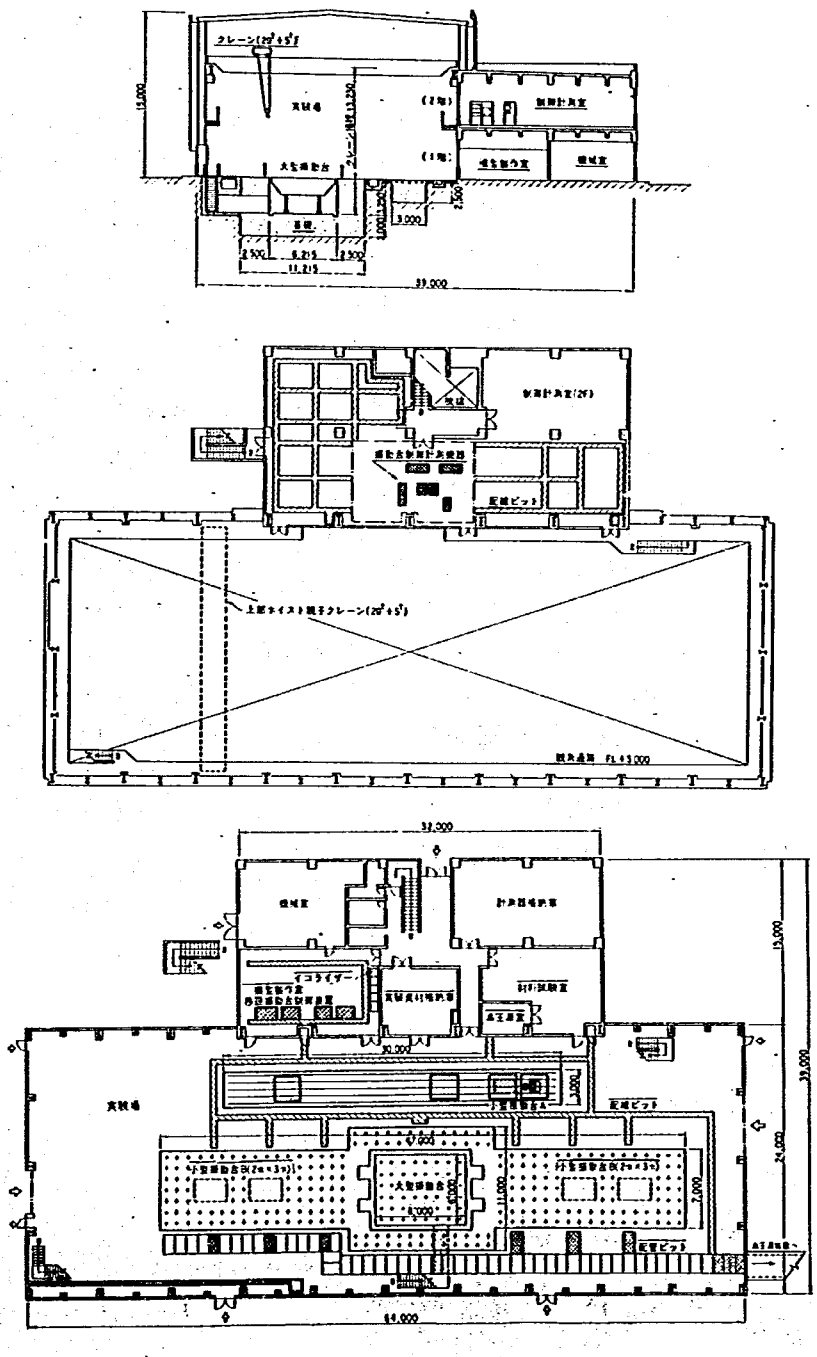
まえがき
1. 振動実験施設の概要 …… 1
2. 実験方法 …… 5
2.1 実験装置 …… 5
2.2 杭基礎モデル …… 6
2.3 地盤モデル …… 9
2.3.1 材料特性 …… 9
2.3.2 作成方法 …… 10
2.4 計測方法 …… 12
2.5 加振条件 …… 14
3. 実験結果 …… 15
3.1 地盤の特性 …… 15
3.2 動的応答特性のデータ整理方法 …… 17
3.3 動的応答特性の実験結果 …… 18
3.3.1 加振条件1（30gal 入力）…… 18
3.3.2 加振条件2（80gal 入力）…… 19
3.3.3 加振条件3（80gal 入力）…… 21
3.3.4 加振条件4（50gal 入力）…… 22
3.3.5 加振条件5（80gal 入力）…… 24
3.3.6 加振条件6（150gal 入力）…… 25
3.3.7 加振条件7（150gal 入力）…… 27
3.3.8 加振条件8（250gal 入力）…… 29
4. 地盤の耐震性と杭基礎構造物の応答特性に関する検討 …… 31
4.1 概　　要 …… 31
4.2 地盤と杭基礎構造物の応答特性 …… 31
4.2.1 地盤の応答加速度・過剰間隙水圧と杭頭加速度応答倍率の関係 …… 31
4.2.2 地盤の流動化の範囲と杭基礎構造物の応答変位の関係 …… 35
4.2.3 地盤の強度と流動化発生地盤加速度の関係 …… 37
4.2.4 地盤流動化と地盤せん断歪の関係 …… 38
4.2.5 地盤流動化と地盤沈下の関係 …… 41
4.3 地盤流動化の判定 …… 42
4.3.1 判定方法 …… 42
4.3.2 判定結果 …… 46
5. ま と め …… 53
あとがき …… 54
参考文献 …… 55

付属資料 …… 57
Ⅰ　地盤モデルおよび杭基礎モデルの応答特性値一覧 …… 59
Ⅱ　地盤の耐震性に関する解析結果 …… 83

1. 振動実験施設の概要

振動実験施設は，地盤および各種土木構造物を対象として，地震時の動的応答特性および耐震性を実験的に調査・研究するために建設されたものである。当該実験施設の建屋および第1期工事である大型振動台（6 m × 8 m －水平1軸加振）は昭和54年6月に設置を完了した。

振動実験施設は，図－1.1のように実験場（24m×64m）を中心として，1階には模型製作室，実験資材格納室，材料試験室，計測器格納室，機械室があり，2階は振動実験のための制御計測室となっている。



図－1.1　振動実験施設概要図

昭和55年3月現在，振動実験施設および付属する油圧源施設に設置されている主な実験装置は，次のとおりである。

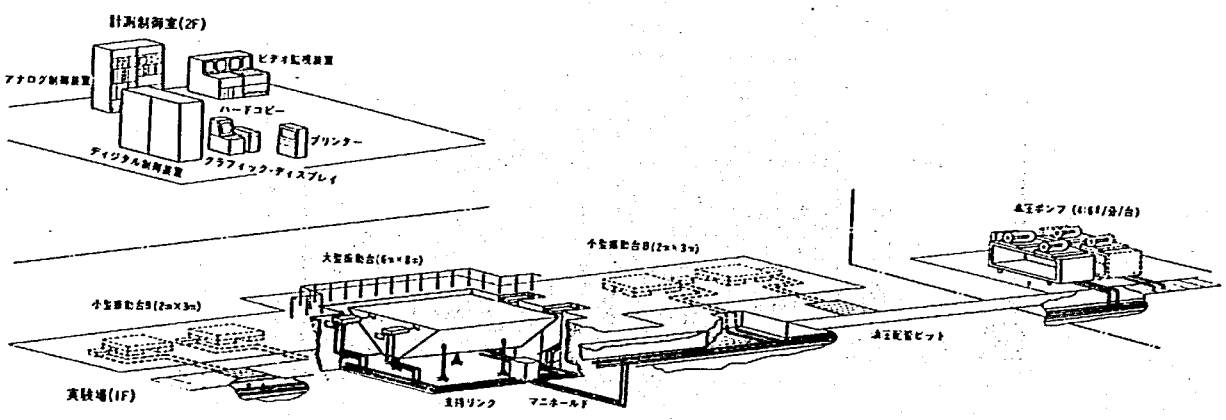
(1) 大型振動台

大型振動台は表－1.1に示すように寸法6 m × 8 m，最大加振力100 ton，最大振巾± 75 mm，最大速度± 60 cm/sec，最大加速度± 700 galの能力を有している。アナログ制御およびミニコンによるディジタル制御により，正弦波，ランダム波，地震波などの加振が可能である。現在は，水平1方向の加振であり，同振動台の動力系統，計測制御系統を含めた概要図は図－1.2のようである。

表－1.1　振動台諸元

項目	大型振動台	小型振動台B（昭和55年以降）
振動台寸法	6m×8m：1基	〔2m×3m：4基〕
最大載荷重量	100 ton	〔25 ton/基〕
最大転倒モーメント	150 ton－m	〔37 ton－m〕
最大加振力	100 ton(25 ton×4台)	〔25 ton/基〕
最大変位振巾	±75mm	〔±75mm〕
最大速度	±60cm/sec	〔±60cm/sec〕
最大加速度	±700gal：最大載荷時 ±2,500gal：無載荷時	〔±700gal：最大載荷時〕 〔±2,500gal：無載荷時〕
加振方式	水平1軸加振 〔水平－上下2軸同時加振〕	〔水平1軸加振〕
駆動方式	電気油圧サーボ方式	〔電気油圧サーボ方式〕
制御方式	アナログ制御・ディジタル制御	〔アナログ制御・ディジタル制御〕
加振波形	正弦波、三角波、矩形波、ランダム波、地震波	〔正弦波、三角波、矩形波、ランダム波、地震波〕
周波数自動掃引	変位一定加振 速度一定加振 加速度一定加振	〔変位一定加振 速度一定加振 加速度一定加振〕
周波数範囲	DC～30Hz	〔DC～50Hz〕

〔　〕は昭和55年以降の分。



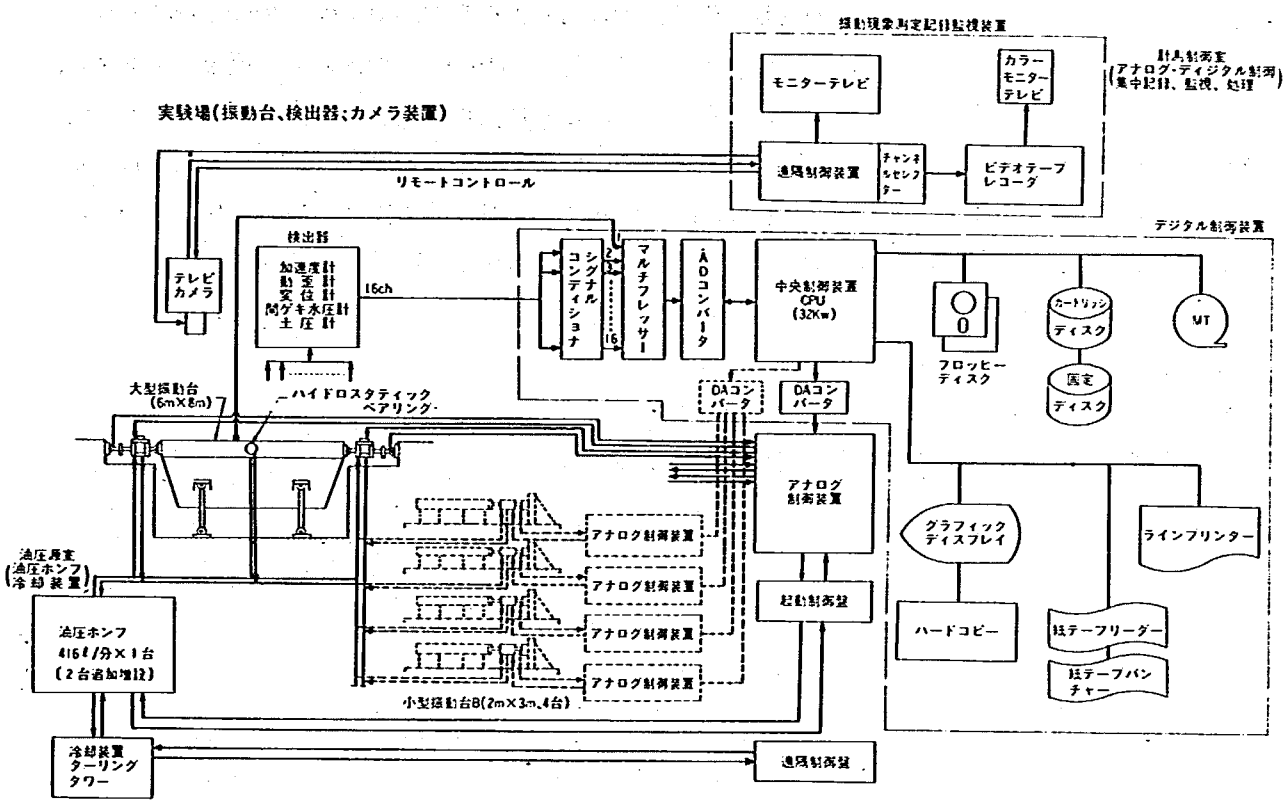
図－1.2　振動台の鳥瞰図

なお，昭和55年度以降には表－1.1に示す小型振動台の4基の増設を行い，長大構造物の耐震性に関する実験を可能とするとともに，上下方向加振機を増設し，上下方向加振および水平－上下2軸同時加振の機能を備える計画である。

(2) 自動制御計測装置

本装置は，制御計測室（2階）に設置されており，大型振動台のアナログ制御およびミニコンによるディジタル制御計測を行うものである。この振動台は正弦波による一定振巾の掃引加振，指定するパワースペクトル強度での任意の地震波形による加振が可能である。また，計測では加振制御と同時に15成分のアナログ波形をＡＤ変換することができ，変換したデータを磁気ディスクあるいは磁気テープに収録することができる。さらに，ミニコンにより任意の成分の波形解析を行ない，結果をグラフィックディスプレイに表示させると同時にハードコピーおよびプリントアウトする機能を有している。

同装置のシステムの概要を図－1.3に示す。



図－1.3　計測制御システムブロック図

(3) 振動現象記録監視装置

8台のテレビカメラが，実験場および隣接する油圧源施設に設置されており，制御計測室に設備されたモニターテレビおよびビデオレコーダーにより，諸装置の作動の状況の監視あるいは振動現象の記録が可能である。

(4) 油圧供給装置

本装置は，振動実験施設に隣接する油圧源施設に設置されており，大型振動台の動力源である。油圧ポンプは1台当り416 ℓ/min の送油能力を有し，大型振動台を最大60 cm/sec 以上の速度で加振することができる。また，本装置およびそれに付属する冷却装置の始動停止は計測制御室より遠隔操作が可能である。

(5) 動的土質試験機

材料試験室には，共振法土質試験機，粘性土用低周波動的せん断試験機，振動三軸試験機等の土質試験機があり，砂質土および粘性土の地盤の動的特性（変形特性，強度特性）を計測するために用いられている。

(6) その他の振動実験装置

以上の実験施設の他に，実験場には動電型加振機を任意の位置に移動し実験するための基礎（3 m × 30 m − 4条のレール敷設)および大型振動台周辺に設けられた振動実験用基礎（7m×47m)がある将来，後者の基礎上には小型振動台B（2m×3m，最大加振力25 ton)を4台設置し，橋梁，トンネル，埋設管路などの模型振動実験を実施する予定である。このほかに，振動実験用の施設として，模型地盤作成用の大型試験土槽（6m×3m×2m），脱水槽，大型乾燥炉，小型振動台（1.5 m × 2.25m，最大加振力2 ton，最大振巾±50 mm，最大速度76 cm/sec），動電型加振機（加振力544 kg/台，4台），現場振動実験用起振機（最大加振力3 ton および40 ton，各1台）等がある。

これらの諸施設を用いて次に示す研究を実施している。

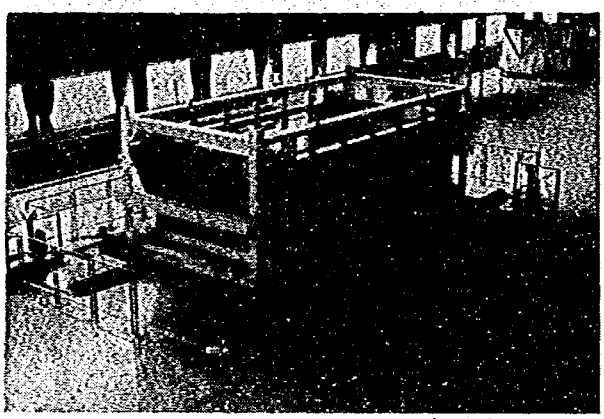
- ●地盤の地震応答特性および耐震性に関する研究
- ●地盤と構造物の動的相互作用に関する研究
- ●土木構造物の地震応答特性および耐震性に関する調査

2. 実験方法

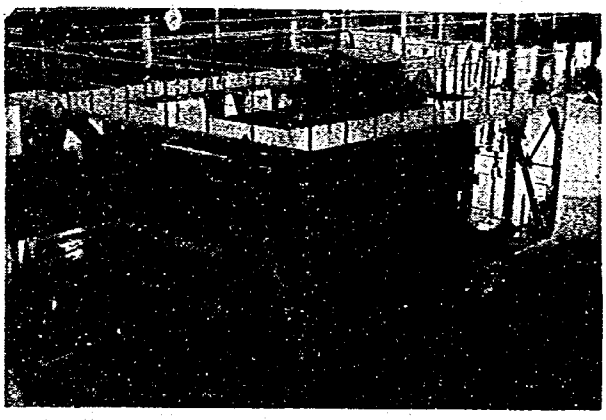
2.1 実験装置

本実験に用いた施設としては,「1.振動実験施設の概要」で紹介した大型振動台，自動計測制御装置，振動現象記録監視装置，油圧供給装置の他に，豊浦標準砂を用いた地盤モデルを作成する必要上から，次の諸装置を用いている。

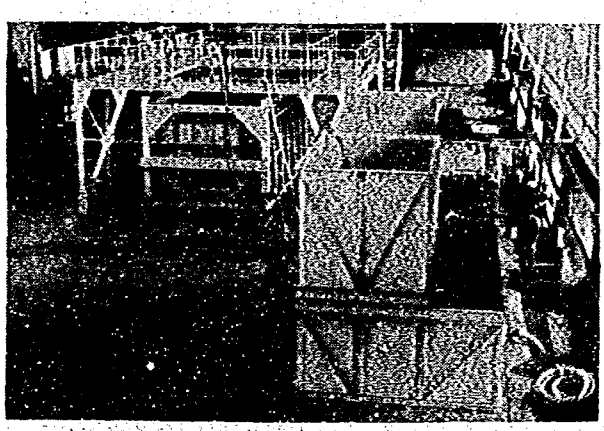
1）大型試験土槽：飽和砂地盤模型を作成するための土槽であり，長さ6 m，幅3 m，高さ2 m，重量約18ton である。側面はガラス張りとなっており，加振方向の壁は下端ヒンヂの可動壁となっている。写真－2.1.1は振動台上に架台を介して搭載した土槽の全景である。



写真－2.1.1　大型試験土槽



写真－2.1.2　作業用足場



写真－2.1.3　脱水槽および貯水槽

写真－2.1.4　水中サンドポンプ

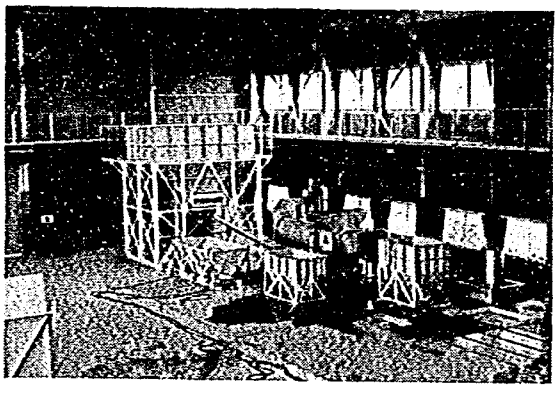
2）作業用足場：地盤模型作成，計測等の諸作業を行うための作業台であり，長さ8.4 m，幅7.5 m，床高3.5 mの寸法をもつ。同足場は固定せず，クレーンによる移動が可能である。写真－2.1.2は実験時の足場の設置状況である。

3）脱水槽：実験に用いた湿潤砂の1次脱水を行うものであり，片側々面はパンチングメタルとSUS 250メッシュで水が抜ける構造となっている。写真－2.1.3の右側の施設のうち上部が脱水槽であり，長さ5.6 m，幅2 m，高さ2 mである。

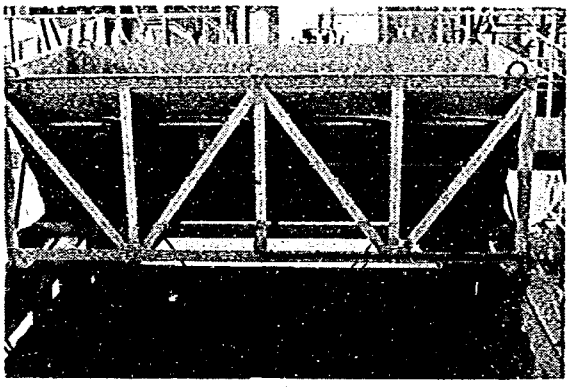
4）貯水槽：脱水槽からの脱水や土槽への給水を貯蔵する。写真－2.1.3のように脱水槽の下部にあり，長さ5.6 m，幅3.15m，深さ1.6 m，容量約28m³である。

5）水中サンドポンプ：土槽内の湿潤砂を脱水槽へ搬送したり，貯水槽の水を土槽内へ送る。能力は0.5 m³／分×15mのものが2台ある。写真－2.1.4に外観を示す。

6）乾燥炉：脱水槽で1次脱水した湿潤砂を乾燥する。湿潤砂はスクリューコンベアーで移動される途中で，バーナーによる熱風で乾燥される。写真－2.1.5に全景を示すが，0.5 m³／Hの能力があり，時間当り約20ℓの灯油を消費する。



写真－2.1.5　乾燥炉，砂貯蔵槽，ホッパーおよびバケット



写真－2.1.6　ホッパー

7）砂貯蔵槽：乾燥炉により乾燥された砂を貯蔵する。写真－2.1.5のように上面開口部から投入して，下部の取出口から自然落下により取出す構造となっている。貯蔵容量は25m³である。

8）ホッパー：地盤模型を作る際に上槽内へ落下投入する乾燥砂を1次的に貯蔵する。下部に開度を調整できる開口部があり，土槽上面を自走させながら開口部から砂を自然落下させる構造となっている。本体外観を写真－2.1.6に示す。

9）バケット：砂貯蔵から土槽，脱水槽から乾燥炉，乾燥炉から砂貯蔵槽へと砂試料を運搬する容器である。クレーンで吊って移動する。写真－2.1.5に外観を示すが2 m³と3 m³用がある。

2.2　杭基礎モデル

地盤モデル内に設置する構造物モデルとしては，杭基礎モデルを想定した。実験の目的を入力の振動数と構造物の固有振動数の関係の解明に置いているため，モデル化に際しては相似律を重視せずに所定の固有振動数を持たせるように設計した。設計に際しては次の事項に主眼を置いた。

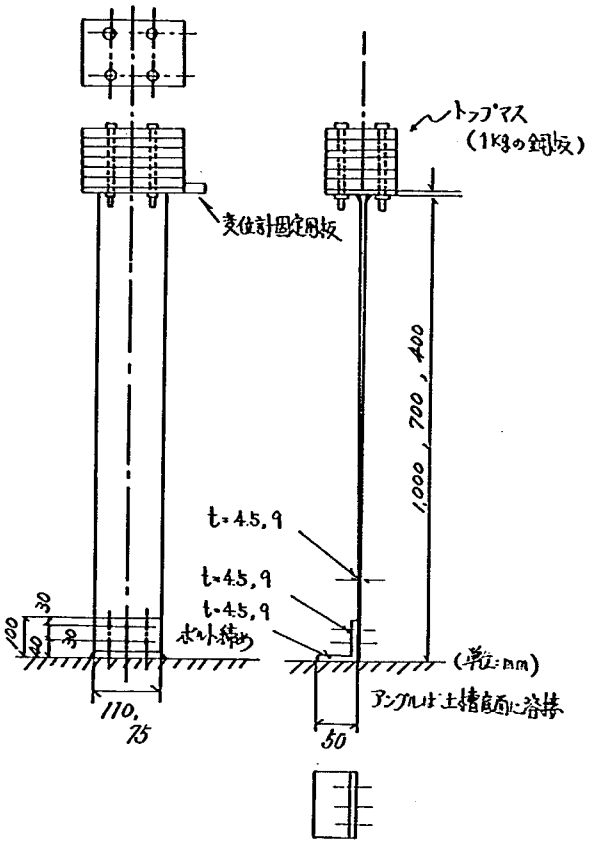
1）入力加振は一定の振動数を持つ正弦波として，この振動数より小さい固有振動数のモデル，入力振動数と同一の固有振動数のモデルおよび入力振動数より高い固有振動数のモデルを設定する。

2）杭基礎モデルは支持地盤に固定された状態を想定し，下端固定とする。

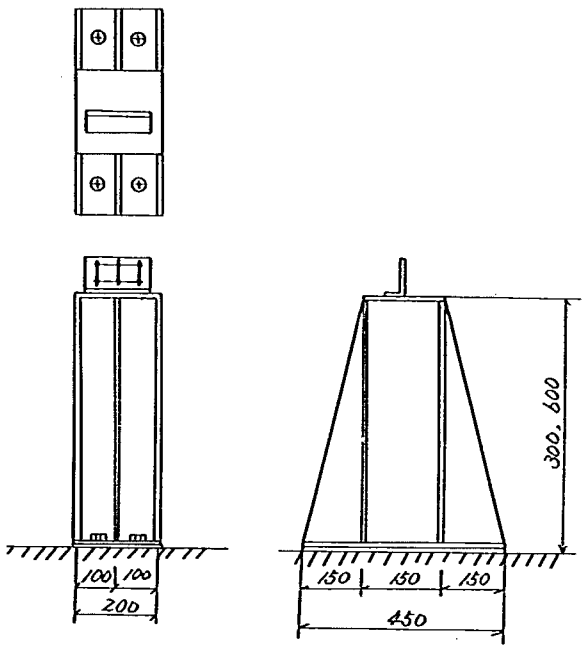
3）地盤の流動化層厚の影響を検討するために杭長の条件を変える。

4）同一固有振動数の杭基礎であって杭長が異なる場合の応答特性の差異を検討できるようなモデルを設定する。

図－2.2.1は杭基礎モデルの概要を示すが，杭部を1枚の鉄板としてその上部に質量（トップマス）を取付ける構造である。トップマスの重量は鉄板の枚数で調整できる。また，杭の下端は土槽底面あるいは台座に溶接したアングルにボルト締め固定する。図－2.2.2は杭長を短かくし，各モデルのトップマス下面の高さを合わせるために設けた台座の概要である。台座は加振時に変形しないよう充分剛性を持たせ，固定用ボルトで土槽底面に取付ける構造とした。

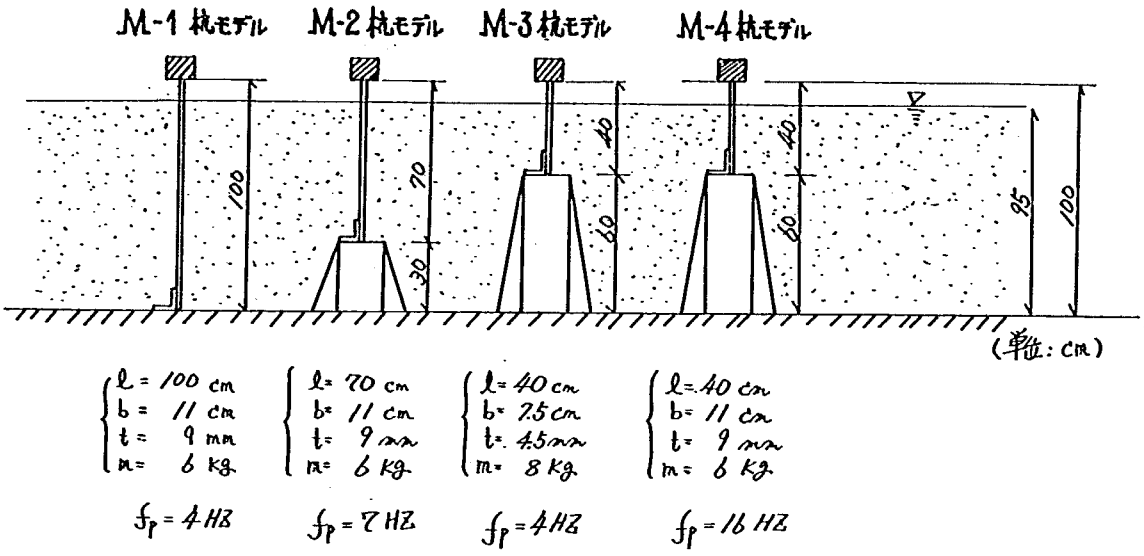


図－2.2.1　杭基礎モデル概要図



図－2.2.2　杭基礎モデル（M－2，M－3，M－4）固定用台座

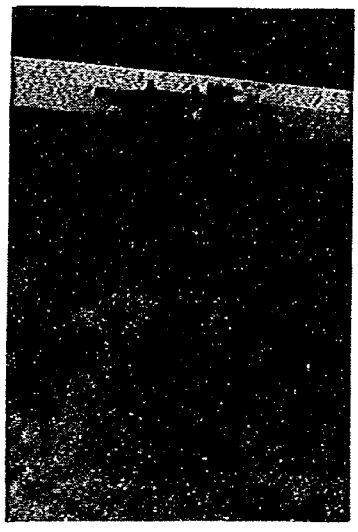
図－2.2.3は実験に用いた杭基礎モデルの諸元を示したものである。モデルは固有振動数(fp)と杭長(ℓ)を変えた4種類とした。モデル—1(M－1）はℓ＝100cm，fp＝4Hz，モデル－2（M－2）はℓ＝70cm，fp＝7Hz，モデル－3（M－3）はℓ＝40cm，fp＝4Hz，モデル－4（M－4）はℓ＝40cm，fp＝16Hz である。M－1とM－3は固有振動数を同じにして杭長を変えたモデルである。



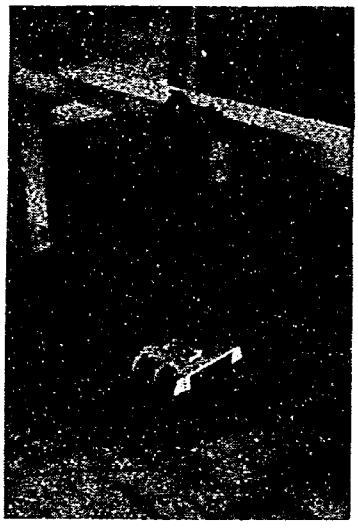
図－2.2.3　杭基礎モデル諸元

杭基礎モデルの固有振動数の測定はモデル設置状態において自由振動をさせ，トップマスでの加速度応答波形の振動数から推算した。

写真－2.2.1～2.2.4は各モデルの設置状況を示し，写真2.2.5は4つのモデルの設置状況を示している。写真の中で杭のトップマスの位置に渡してある梁は，杭頭の変位を測定する変位計を取付けるためのものである。図－2.2.4に各モデルの設置位置を示す。

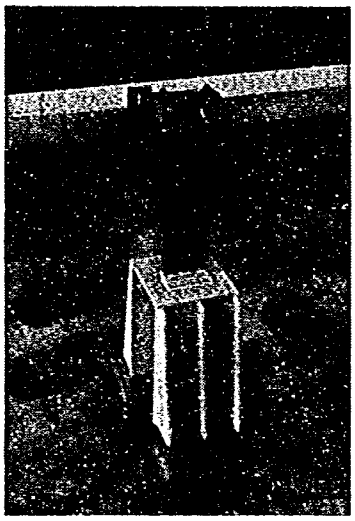


写真－2.2.1　M－1
杭基礎モデル（fp＝4Hz）



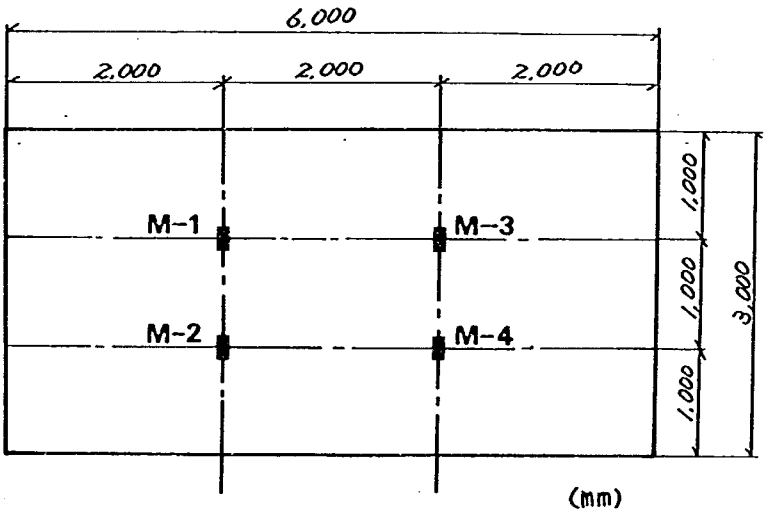
写真－2.2.2　M－2
杭基礎モデル（fp＝7Hz）

写真－2.2.3　M－3
杭基礎モデル（fp＝4Hz）



写真－2.2.4　M－4
杭基礎モデル（fp＝16Hz）

写真－2.2.5　杭基礎モデル設置状況

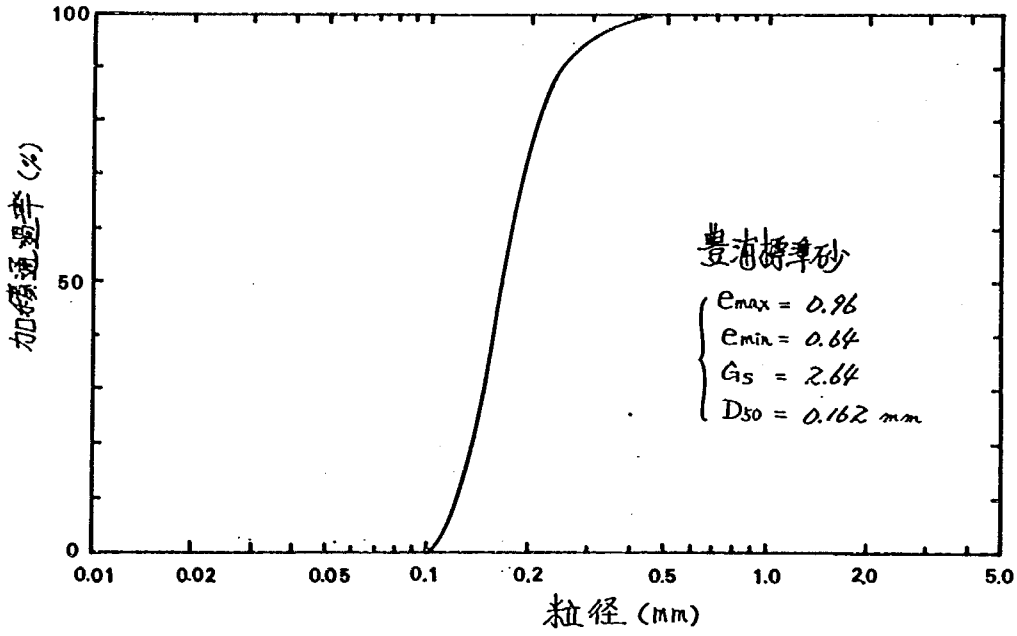


図－2.2.4　設置位置平面図

2.3　地盤モデル

2.3.1　材料特性

実験に用いた地盤モデルの材料は豊浦標準砂であり，その粒径加積曲線及び物理特性は図—2.3.1に示すとおりである。標準砂の平均粒径D_{50}は0.162㎜，均等係数$U_c(D_{60}/D_{10})$は1.46であり，一般にきれいな砂と呼ばれ，流動化を起こしやすい特性を持つ地盤材料である。

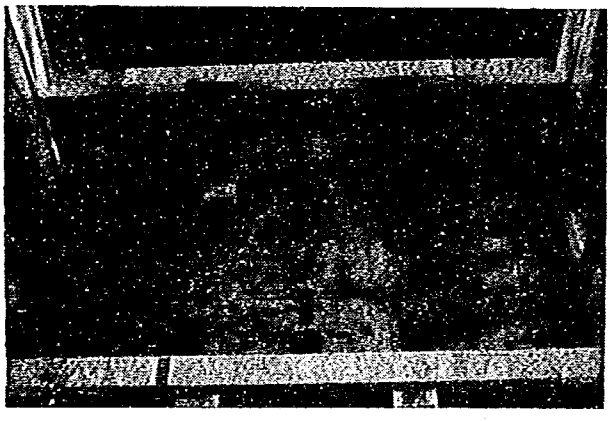


図－2.3.1　地盤モデル材料特性

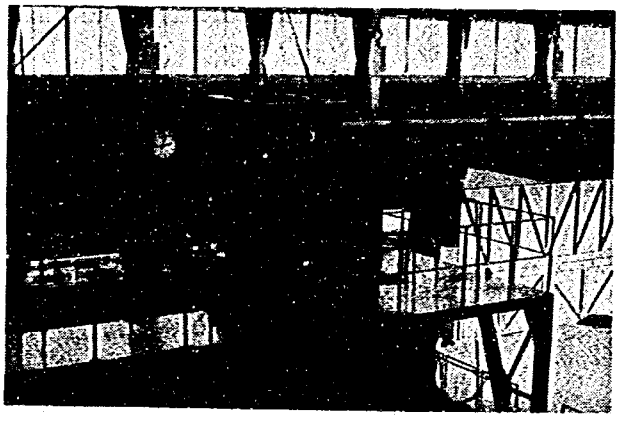
2.3.2　作 成 方 法

標準砂を用いた地盤モデルは，均一でかつ気泡の少ない飽和砂層となるよう留意して作成したが，その方法は以下のようである。

まず，大型試験土槽内に杭基礎モデルを設置する。そして，この大型試験土槽を振動台上に設置して，30～40 cm程度の深さまで水を張る（写真－2.3.1）。次に，写真－2.3.2に示すように土槽上



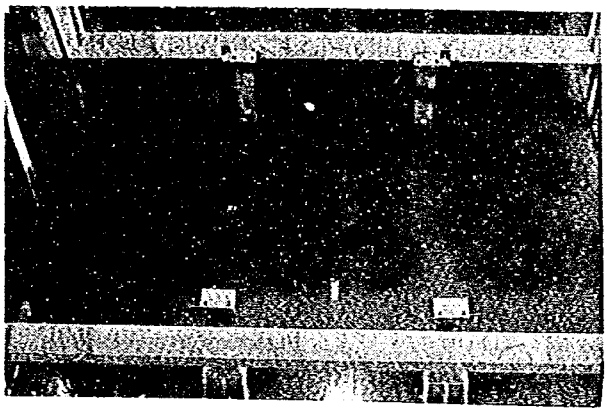
写真－2.3.1　砂投入前の水張り



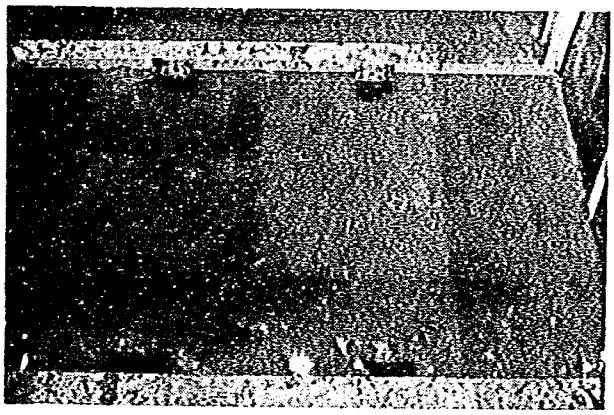
写真－2.3.2　ホッパー内への砂の投入

端に仮設したホッパーの中にクレーンで運んだ乾燥砂を投入し均等にならした後に，ホッパーを長手方向に自走させながら，ホッパー下端から砂を自然落下させる（写真－2.3.3）。順次，この作業を

写真－2.3.3　砂の自然落下投入



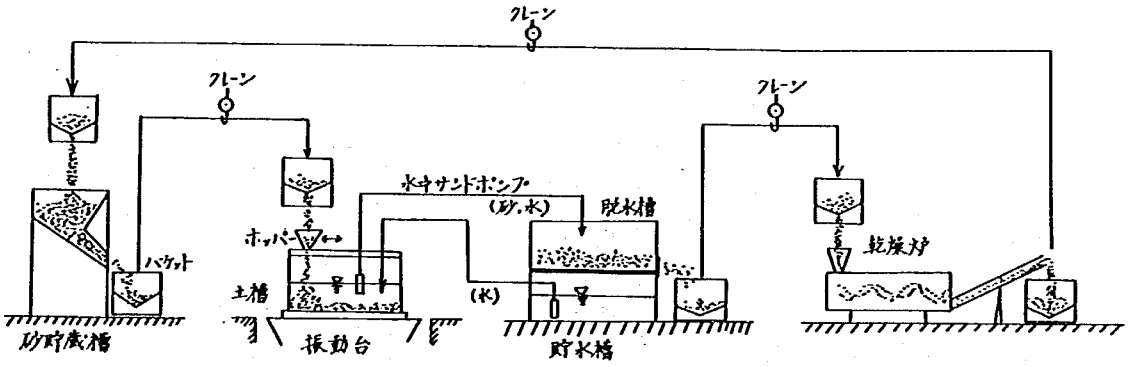
写真－2.3.4　投入途中の土槽状況



写真－2.3.5　地盤モデルの完成状況

繰返し，地盤加速度測定用の加速度計を埋設する深度まで砂を投入する（写真－2.3.4）。そして，加速度計を埋設の後に再度砂の投入を開始する。所定の砂層高（約1 m）に達した後，砂層表面を軽いタッチで整形し，上水を排水して地盤モデルの作成を完了する（写真－2.3.5）。

地盤モデル作成作業および実験後の処理作業の作業工程を図－2.3.2に示す。実験後の湿潤砂の撤



図－2.3.2　地盤モデル作成のための作業工程概図

去は二台の水中サンドポンプを用いており，１台のポンプにより脱水槽の水を吸い上げ，循環水のウォータージェット（噴射水）によって砂層を撹乱させ，もう１台のポンプでその濁水を吸い込み脱水槽に排出する。脱水槽において自然落下による水の除去を行った後に湿砂を乾燥炉に運び，乾燥処理した後に砂貯蔵槽に貯蔵して一連の作業を完了する。

2.4 計測方法

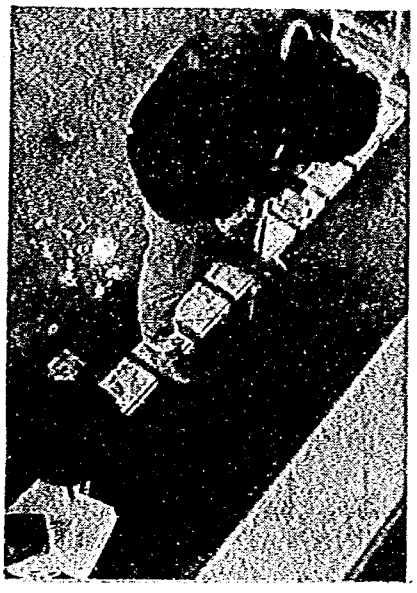
実験時の地盤モデルおよび杭基礎モデルの動的応答を測定するために用いた検出器は，表－2.4.1のように分類される。機械的な計測は加振前後の砂層の状態を把握するための砂層表面沈下量測定（写真－2.4.1）と静的コーン貫入試験（写真－2.4.2）および地盤モデルの単位体積重量測定のた

表－2.4.1　計測項目および検出器一覧表

	計測項目	検出器名	計測方法
機械的計測	投入砂重量	クレーン用ロードセル	砂を投入する前のバケットに入った状態の重量を量る。
	砂層表面沈下量	押板付ノギス	砂箱表面に鋼梁を渡し，それと砂表面間の長さを測定する。
	砂層貫入抵抗	ポーターコーン	ポーターコーンを押し込み，ロッドの先のコーンの貫入抵抗を測定する。

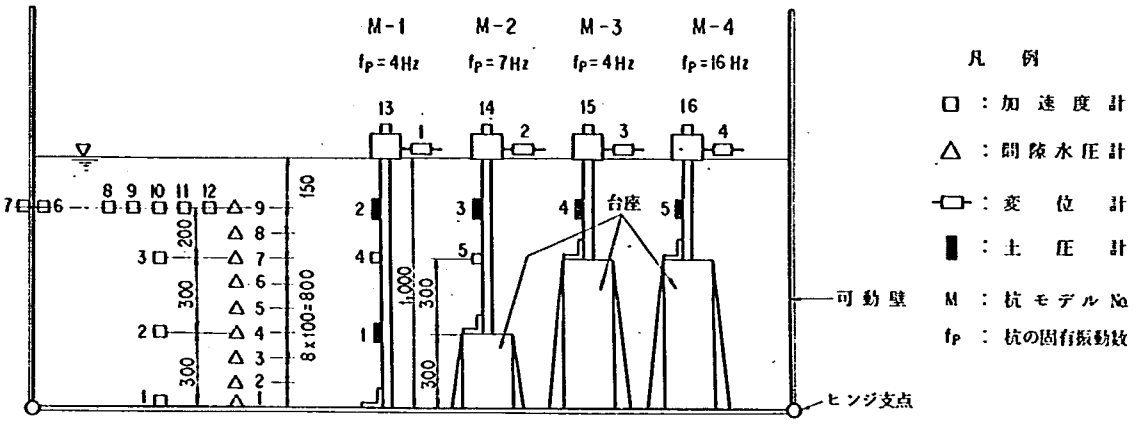
	計測項目	検出器名	検出器型式	定格容量	備考
電気的計測	杭頭変位	変位計	インダクタンス式	±2.5㎜	新興
	砂中・杭加速度	加速度計	単軸方向ひずみゲージ式	±2G	〃
	砂中過剰間隙水圧	間隙水圧計	ひずみゲージ式	2㎏	共和電業
	杭に作用する動土圧	土圧計	〃	0.5㎏	ST研究所

写真－2.4.1　地盤モデル表面沈下量測定



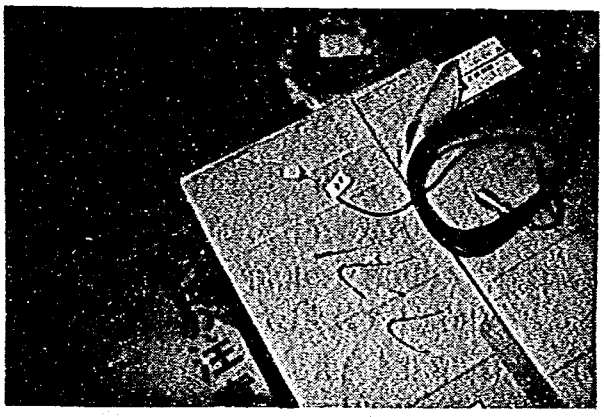
写真－2.4.2　静的コーン貫入試験

めの材料の投入重量の測定である。電気的な計測は，加振中の地盤や杭の動的挙動を計測するものであり，アンプを介して増幅した後にデータレコーダに収録する。さらにモニター用として，ペン書きオシログラフと電磁オシロにも同時収録する。測定項目は地盤及び杭の加速度，杭頭変位，地盤中の過剰間隙水圧及び土圧であり，各検出器の配置は図－2.4.1のとおりである。各検出器の全景を写真

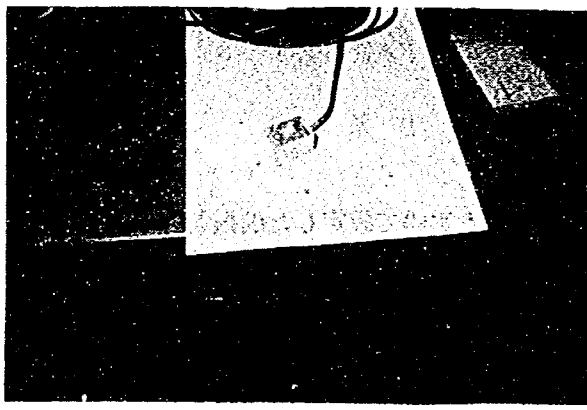


図－2.4.1　計測器配置図

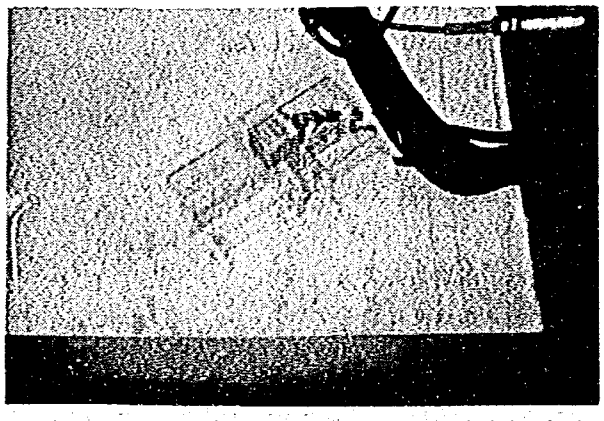
2.4.3(A)～2.4.3(G)に示す。写真－2.4.3(A)は，防水加工をしない加速度計であり杭頭に設置されている。また，写真－2.4.3(B)および(C)は，水面下に設置するために防水処理を施した加速度計であり，写真－2.4.3(D)は入力加速度を検出するために振動台上に設置したサーボ加速度計である。また，写真－2.4.3(E)，(F)および(G)は，それぞれ間隙水圧計，土圧計および変位計である。



写真－2.4.3(A)　防水未処理加速度計

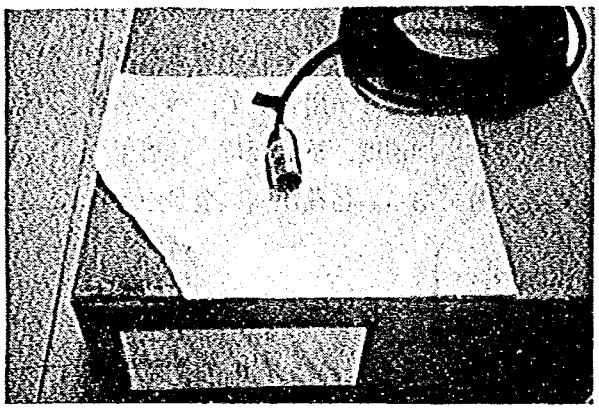


写真－2.4.3(B)　金属シール防水加速度計

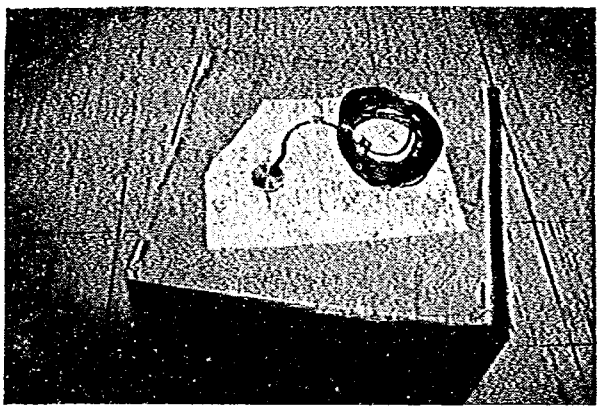


写真－2.4.3(C)　アクリル板シール防水加速計

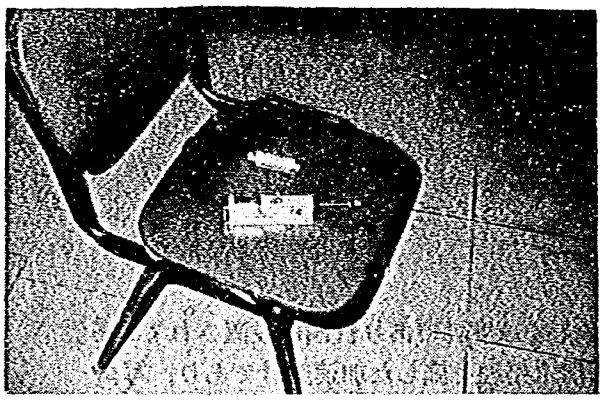
写真－2.4.3(D)　サーボ加速度計



写真－2.4.3(E) 間隙水圧計



写真－2.4.3(F) 土 圧 計



写真－2.4.3(G) 変 位 計

以上の他に，振動現象記録監視装置（テレビカメラ）による実験時の杭基礎モデルおよび地盤モデルのビデオ記録および8ミリ撮影を行っている。

2.5 加 振 条 件

本実験で設定した加振条件は表－2.5.1のようである。つまり，入力周波数は7Hz とし，入力加速度を変えた定常正弦波を8段階に分けて入力した。入力加速度は，入力加速度の増加・減少および同一加速度の再入力による地盤流動化に対する影響を調べることを目的として設定した。8段階の加速度のうち30gal は流動化をさせない程度の条件としており，他は流動化を発生させるように設定したものである。

入力はアナログ制御で行っており，入力加速度振幅を次第に増加させ，振動台上にモニター用として設置した加速度計の応答加速度が，所定の加速度レベルに達してから30秒間加振した。

表－2.5.1 加 振 条 件

加振段階	入力波形	最大入力加速度	入力周波数	加振時間
1	正弦波	30 gal	7Hz	所定の最大入力加速度に達してから30秒間。
2	〃	80 gal	〃	
3	〃	80 gal	〃	
4	〃	50 gal	〃	
5	〃	80 gal	〃	
6	〃	150 gal	〃	
7	〃	150 gal	〃	
8	〃	250 gal	〃	

3. 実験結果

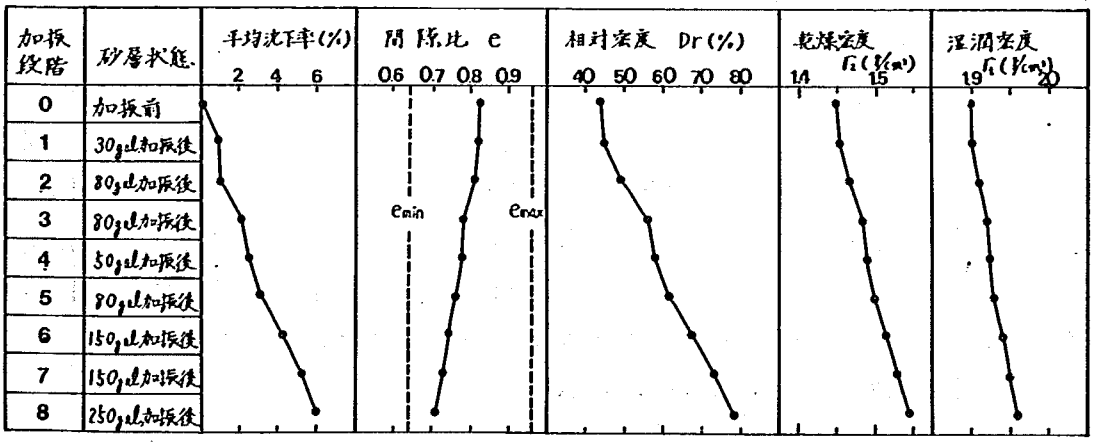
3. 1 地盤の特性

ゆるい飽和砂質地盤が地震時において地震荷重を受けてせん断変形することにより，過剰間隙水圧が地盤中に発生して，初期の有効拘束圧に近い程度まで上昇すると砂粒子は浮遊状態となる。これが通常の流動化（＝液状化）現象である。そして，過剰間隙水圧は上昇水として地表面に排出されて過剰間隙水圧は逸散し，体積収縮による地盤の沈下が発生し，その密度が大きくなった状態で安定する。このような一連の流動化する地盤状態の変化を，実験時の砂層の沈下及び貫入抵抗の測定結果から検討する。ここで対象とする沈下及び貫入抵抗の計測は，いずれも各加振段階の前後に行っており，加振前と加振後の変化に注目している。

まず，加振による沈下であるが，沈下量の測定は大型試験土槽の内部に設置した変位計固定用梁からの相対変位の測定で行った。各加振段階後の地盤面の相対変位量の測定結果の詳細は付属資料 1.1) に示すが，表－3.1.1 には加振前および各段階の加振後における砂層高，加振前に対する深さ方向の平均的な沈下割合およびこれらの結果から推算した間隙比(e)，相対密度（Dr），乾燥密度（γ_d），湿潤密度（γ）の結果を示す。また，同表の結果を図化したものが図－3.1.1 である。

表－3.1.1　実験時の地盤モデル特性表

加振段階	砂層状態	砂層高 H (cm)	平均沈下率 (%)	間隙化 e	相対密度 Dr (%)	乾燥密度 γ_d(g/cm³)	湿潤密度 γ(g/cm³)
0	加振前	95.62	0.0	0.820	43.8	1.451	1.902
1	30 gal 加振後	95.53	0.90	0.818	44.4	1.453	1.903
2	80 gal 〃	94.72	0.94	0.803	49.1	1.465	1.910
3	80 gal 〃	93.59	2.12	0.781	55.9	1.483	1.921
4	50 gal 〃	93.25	2.48	0.775	57.8	1.488	1.925
5	80 gal 〃	92.64	3.12	0.763	61.6	1.498	1.931
6	150 gal 〃	91.58	4.23	0.743	67.8	1.515	1.942
7	150 gal 〃	90.65	5.20	0.725	73.4	1.531	1.951
8	250 gal 〃	89.90	5.98	0.710	78.1	1.544	1.959



図－3.1.1　実験時の地盤モデル特性図

次に，沈下に伴う密度増加による貫入抵抗の変化を静的コーン貫入試験の実測結果から検討する。この試験の原理は，二重管によって周辺摩擦の影響を無視できる機構を有するロッドを人力で静的に貫入させ反力を測定するものであり，この反力をロッドの先端のコーンの断面積で割った値（q_c 値〔kg／cm²〕）により貫入抵抗値とする。ここでは5cm間隔で反力の測定を行った。なお，このq_c 値は標準貫入試験で得られるN値とN＝q_c／4の関係で結び付けられる。各加振段階毎の測定結果を図－3.1.2に示す。

図中3段階以降の測定値が途中の深さまでしかないのは，人力による押し込みに限界があるからである。同図から次のことが定性的に言える。

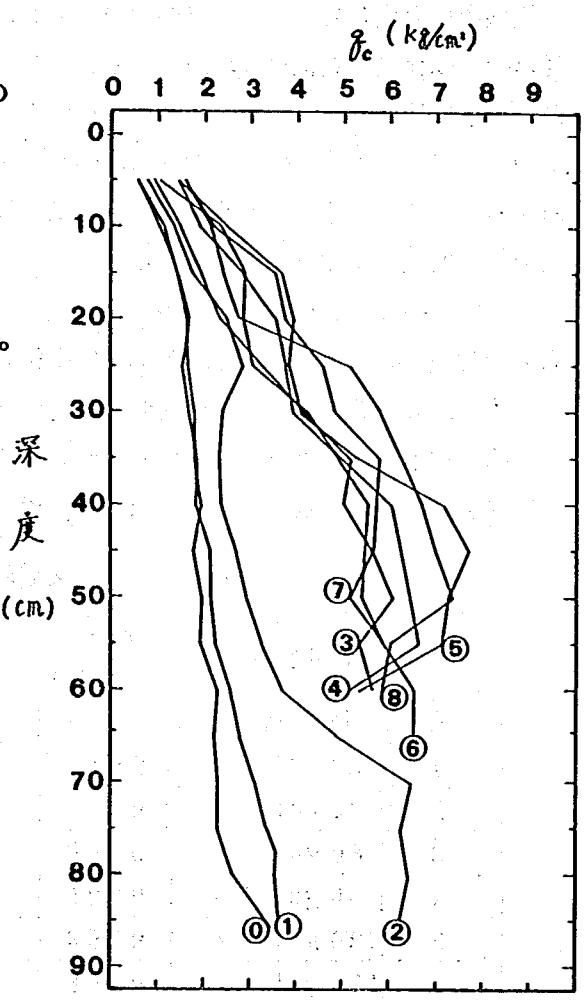
(1)加振前の地盤モデルは深度方向にほぼ一様な貫入抵抗分布を示し，本法による地盤モデル作成法では均一かつゆる詰め状態の地盤モデルが作成されている。

(2)第1加振段階（30gaℓ入力）後では60cm程度以深でやや貫入抵抗値の増加が見られるものの，それ以浅では加振前とほぼ同様であり，加振による影響は僅かである。

(3)第2加振段階（80gaℓ入力）後では全層にわたり貫入抵抗値の増加（層の密度化）がみられるが，60cm程度以深での増加が顕著である。

(4)第3加振段階（2回目80gaℓ入力）後では，30cm程度以深での貫入抵抗の増加が著しい。これは図－3.1.1の間隙比(e)の変化が大きいことと対応付けられる。

(5)第4加振段階以降では特に顕著な貫入抵抗の増加は見られないが，20cm程度以浅では貫入抵抗の変化は少なく常時ゆるい状態であることが知られ，また，第7加振段階（2回目150gaℓ入力）さらに第8加振段階（250gaℓ入力）になるに伴い貫入抵抗の大きい層が上層に広がるのがわかる。



※ 図中の番号は表-3.1.1の加振段階と対応

図－3.1.2　地盤モデルの静的コーン貫入試験結果

(6)以上のことから，実験で作成した均一な飽和砂質地盤においては，流動化が発生しない場合あるいはごく小規模である場合の地盤の強度特性には変化が少ないこと，流動化による過剰間隙水の排出による密度化により強度増加が下層の方から進むこと，再加振の場合は同一レベル加振であれば密度化の進行が大きく，低レベル加振であっても流動化すれば密度化が起こること，入力が増加すれば密度化層の範囲がより浅くまで広がること，流動化が発生した場合の地表面付近の貫入抵抗（強度特性）は，入力加速度に拘わらず顕著な差はないことが定性的に結論付けられる。

なお，貫入試験結果の詳細は付属資料Ⅰ.2)に示す。

3．2　動的応答特性のデータ整理方法

実験で得られたデータの一次的な整理は，各種の実測応答量〔(a)地盤の応答加速度，(b)地盤の過剰間隙水圧，(c)杭頭変位，(d)杭頭加速度倍率〕の時間変化に主眼を置いて行った。これらの結果を基にした2次的なデータ整理は4章で行うことにし，本章では1次的な実験結果について整理した。ここで，杭頭変位とは大型試験土槽と杭頭との相対変位量であり，また，杭頭加速度応答倍率は次式で定義している。

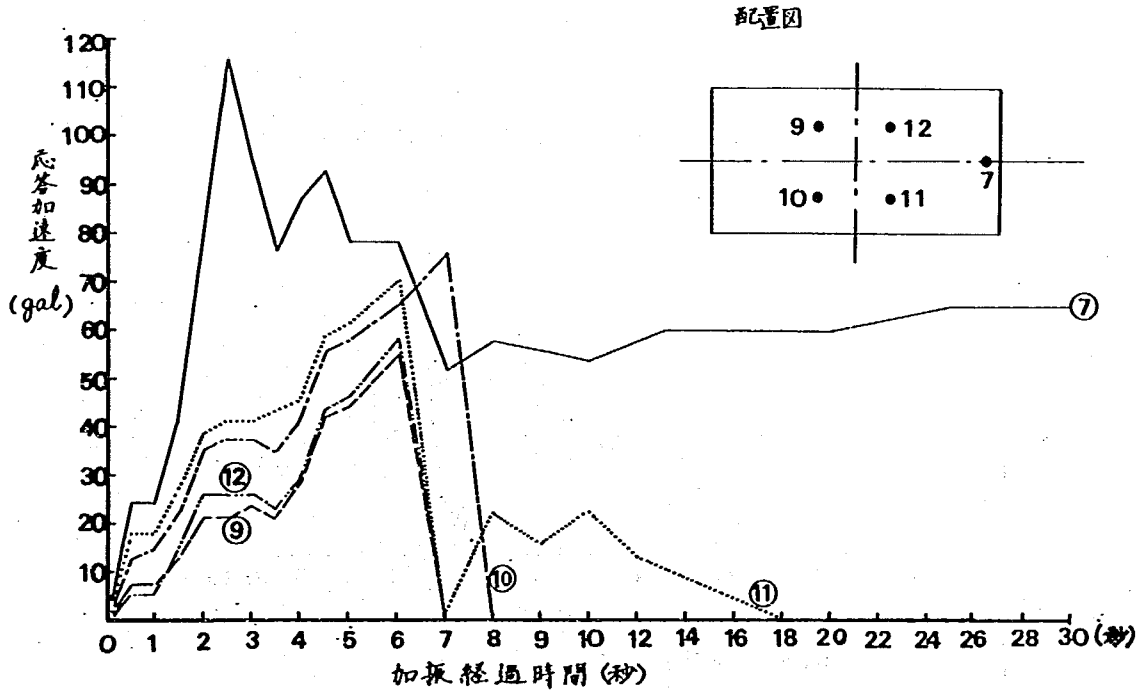
$$\beta = \frac{\alpha_p}{\alpha_B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.1)$$

ここに　β：加速度応答倍率

α_B　：振動台加速度（土槽底面加速度）

α_p　：杭頭加速度

なお，大型試験土槽内の地盤の応答の均一性を調べるために地盤の表面加速度について，地表面の6箇所において加速度（中央1箇所測定不良）の水平分布を調べた。その結果の一例を図―3.2.1に



図―3.2.1　地盤モデルの平面方向の加速度応答特性例
（加振段階2，80gal入力，H＝80cm）

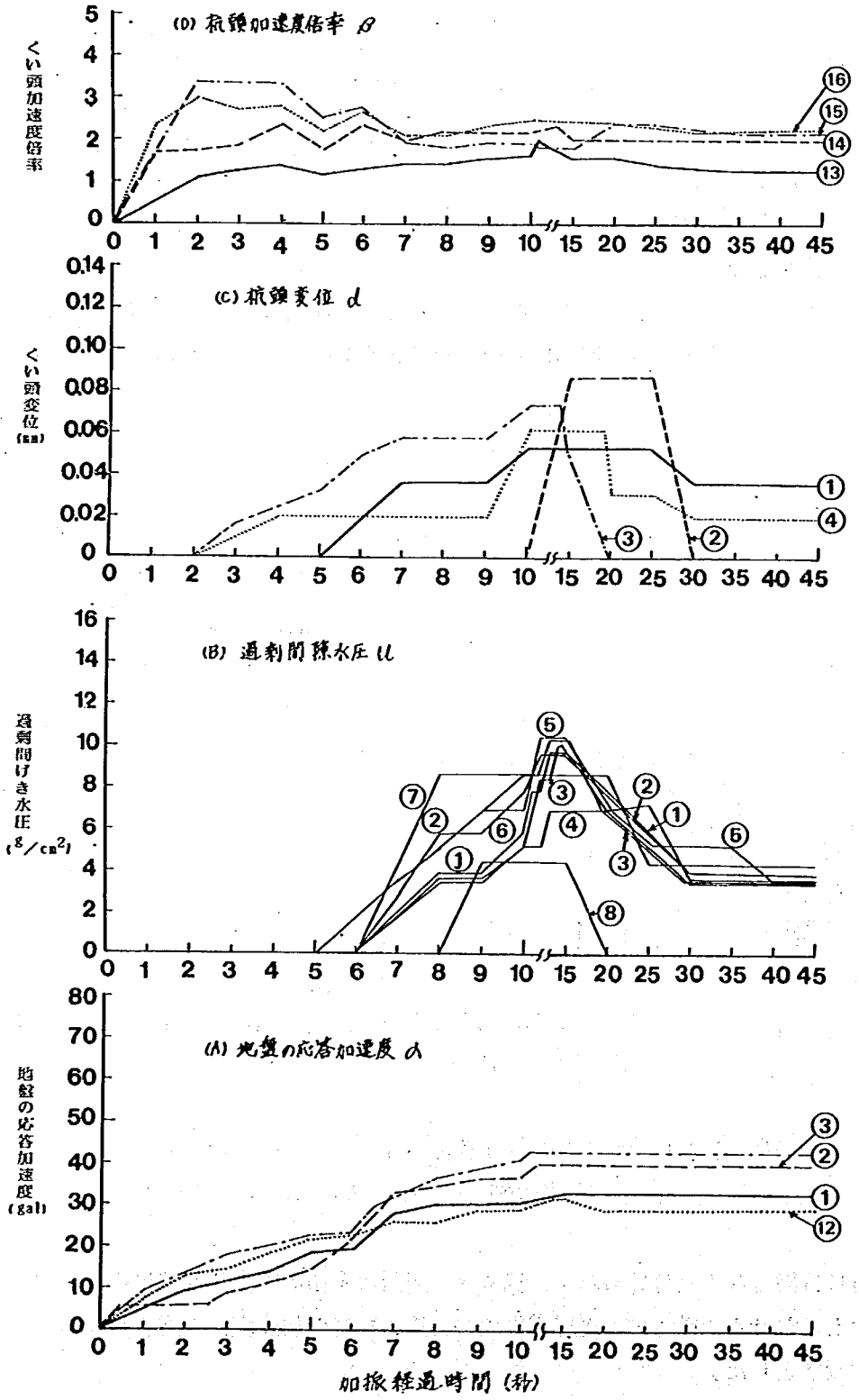
示す。各応答量には顕著な差異は見られず，杭モデル周辺の土槽の中央付近ではほぼ2次元的な応答をしているものとみなせる。従って，表層部中央の付近の12番の加速度計の応答量をもって，砂層高80cmの地盤の加速度とした。

3．3　動的応答特性の実験結果

ここでは，3.2のデータ整理の方法に従った各加振段階における実験結果を示す。

3.3.1　加振段階1〔入力加速度30 gal〕

図－3.3.1は入力加速度が30galの加振段階1での各応答量の時間変化をまとめたものである。



図－3.3.1　実験結果（加振段階1，30gal入力）

同図中で(A), (B), (C)および(D)の各図は，それぞれ，地盤の応答加速度(α)，過剰間隙水圧(u)，杭頭変位(d)および杭頭加速度応答倍率(β)であり，図中の数字は各検出器の計器番号（図－2.4.1参照）と対応する。

(A)図において，①は大型試験土槽底部の加速度であるが，所定の加速度値に達するのに10秒程度経過している。本段階では，入力加速度が小さいため他の地盤内の応答加速度値はほぼ入力加速度値に類似しており，地盤内の深さ方向の加速度分布に大きな変化はない。また地盤内加速度の変化特性としては，加振時間中で一定値を示しており，流動化の発生による応答加速度の低下現象は見られず，加振段階1では流動化が発生していないことがわかる。

(B)図の過剰間隙水圧においても，その発生量は各検出器の埋設深度における有効上載圧（後述；3.3.2）に比較して小さい。また，発生量が有効上載圧の近くまで上昇して，ピークに達した後一定値を示すといった流動化の発生に特有な現象もみられておらず，同結果からも本段階では地盤の流動化が発生していないことがわかる。

(D)図の杭頭の加速度応答倍率では，加振初期の数秒間ではやや倍率値に差があるが，入力加速度が所定の加速度レベルに達してからほぼ同様な倍率値と変化特性を示している。

3.3.2　加振段階2.〔入力加速度80gal〕

地盤が流動化するとせん断抵抗がなくなるため，地盤の応答加速度は小さくなるが，図－3.3.2(A)において地盤の加速度が6秒以降で順次零になっており，加振段階2では加振開始後10秒でほぼ全層にわたり完全流動化している。また，検出器⑫（H＝30cm）→③（H＝60cm）→②（H＝80cm）と上層から順に応答しなくなっており，流動化が上層から進行することがわかる。また，(B)図の過剰間隙水圧の発生は地盤加速度に比べ応答が遅いが，6～7秒以降急激に増加し一定値に達するのがわかる。また，検出器⑧（H＝70cm）→⑦（H＝60cm）→……→②（H＝10cm）→①（H＝0cm）と上層部より順にピークに達しており，過剰間隙水圧の発生特性からも流動化が上層から始まることがわかる。また，過剰間隙水圧の発生量は，各深度とも（3.2）式で推算される有効上載圧にほぼ等しい値を示しており，完全流動化時の有効上載圧が零となることが知られる。さらに間隙水圧検出器⑦と④の深度がそれぞれ地盤加速度検出器②と③の深度に対応しているが，過剰間隙水圧がピークに達する時間は，地盤加速度が急激に低下する時間とほぼ一致している。

$$\sigma'_v = (\gamma - \gamma_w)\,Z \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3.2)$$

ここに　σ'_v；有効上載圧（g/cm²），γ：地盤の湿潤密度（g/cm³）

γ_w：水の単位重量1.0（g/cm³）

Z　：検出器の地表面からの深度（cm）

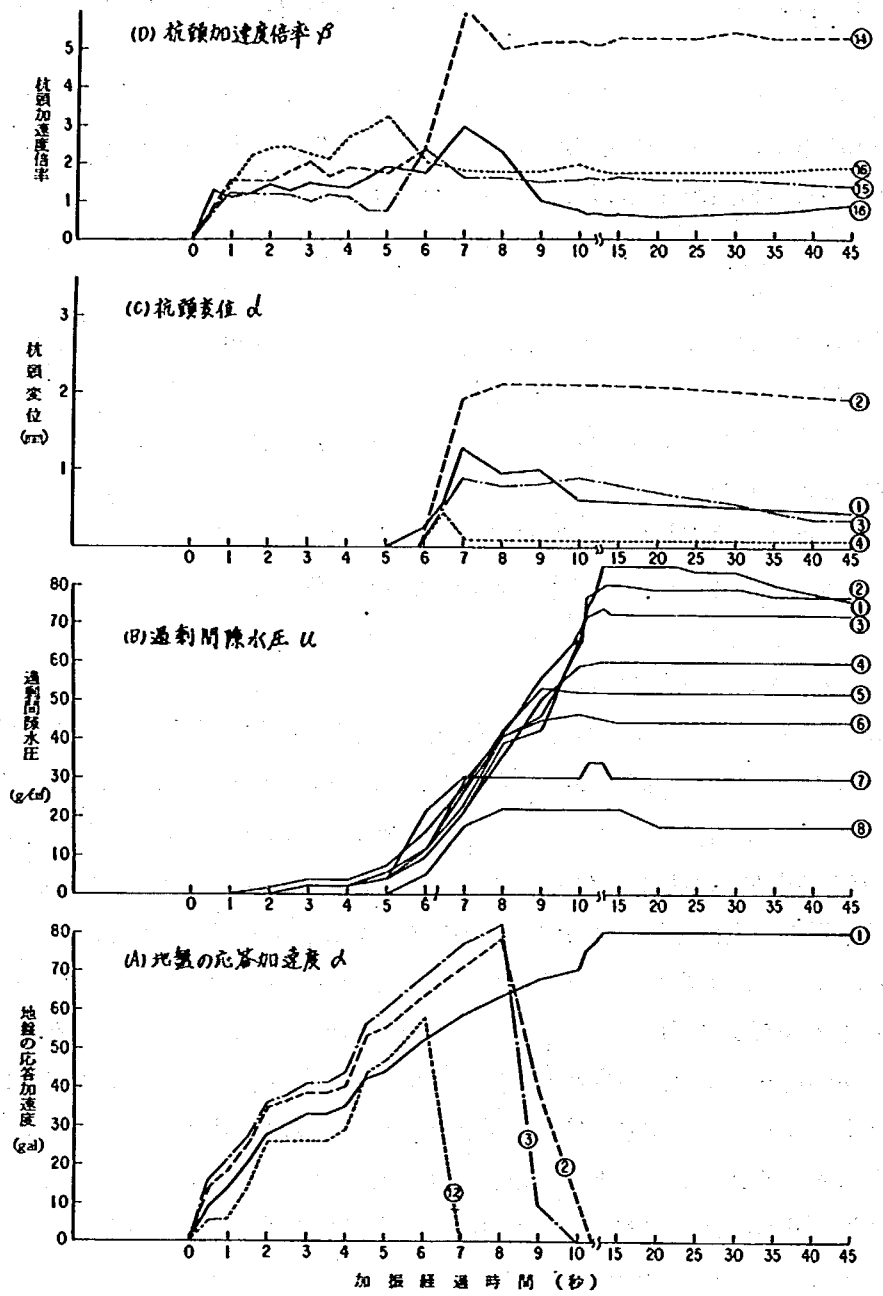
たとえば，過剰間隙水圧検出器⑦および④の深度において段階2の加振前有効上載圧σ'_vは次のように推算できる。

検出器⑦：$\sigma'_v = (\gamma - \gamma_w) \cdot Z = (1.903 - 1.0) \times 33.80 = 30.52$（g／cm²）

検出器④：$\sigma'_v = (\gamma - \gamma_w) \cdot Z = (1.903 - 1.0) \times 62.28 = 56.24$（g／cm²）

これらのσ'_vはそれぞれ図－3.3.2(B)図での間隙水圧検出器⑦および④のピーク応答量にほぼ等しいことがわかる。

(C)図の杭頭変位については，地盤加速度が上層から低下を始めるいわゆる不完全流動化と呼ばれる



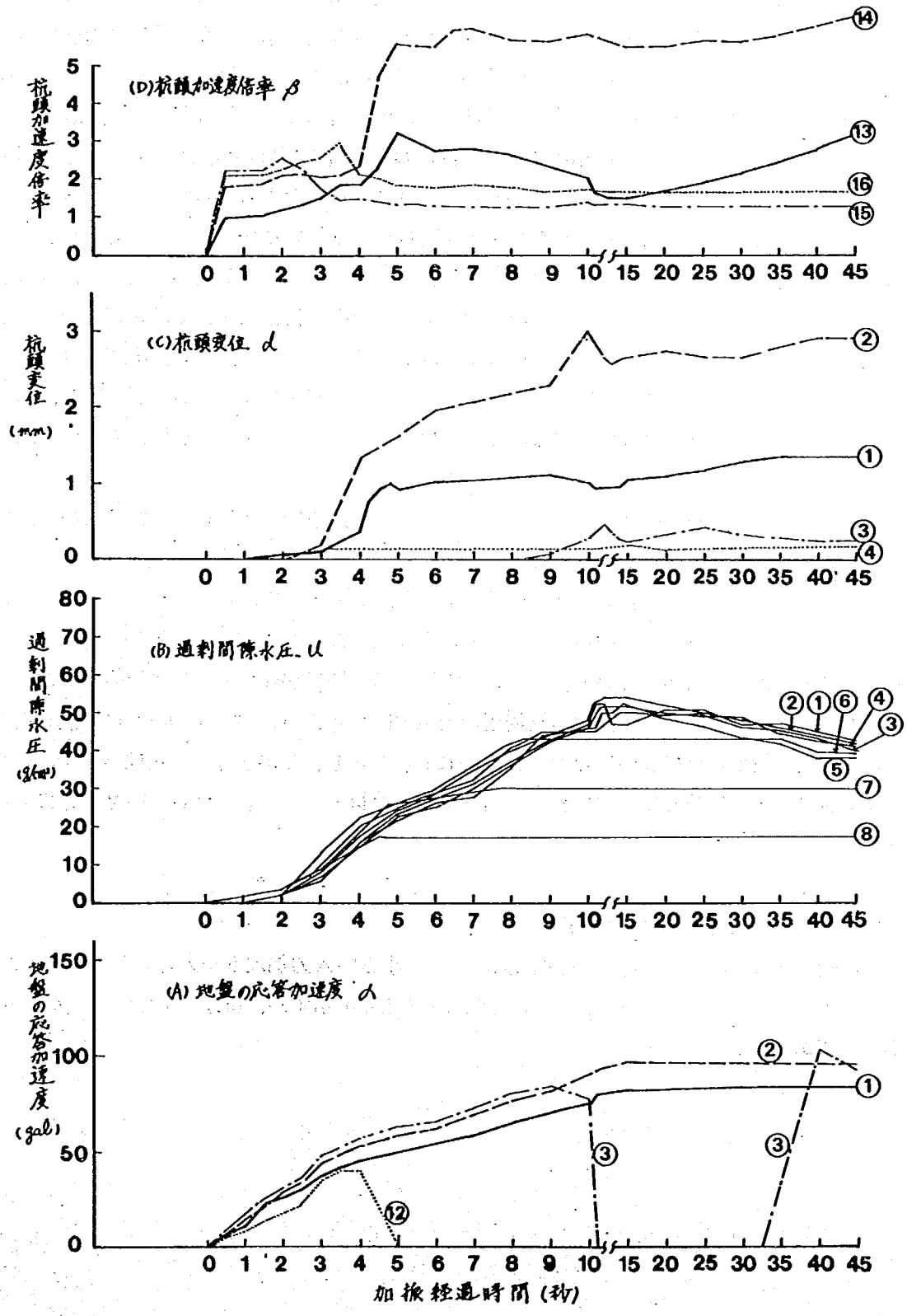
図－3.3.2　実験結果（加振段階2,　80 gal）

期間に応答量が急増する。そして，ピーク値を示すのは固有振動数の最も高いM—4が最も早く,次いでM－1とM－3，M－2という順に続く。応答量はM－2が最も大きくM－1，M－2は同程度でありM－4は最も小さい。この原因としては，M－2の固有振動数fp が入力周波数と等しく完全流動化時に共振現象を起こし，M－4はfp ＝16Hz と剛性が高く，また，M－1，M－3はともにfp ＝4Hz であるため同程度の応答量を示したものと考えられる。

また，(D)図の杭頭加速度応答倍率では，その応答は加振直後から始まり，ピーク値の発生時刻および応答量の大小についても(C)図と類似した結果を示している。また，ピークの応答倍率値は，完全流動化時に共振を起こしたM－2(⑭)が大きい。完全流動化後は一定値を示すが，M－2が最大値を示し，その他の3モデルは同様な応答倍率を示している。

3.3.3　加振段階3〔入力加速度80 gal再入力〕

本段階では前段階2に引続いて80 galの入力加速度で入力し，同一加速度の再入力による影響を調べるようにした。図－3.3.3に結果を示すが，段階2と比較して幾つか特徴のある現象が発生している。



図－3.3.3　実験結果（加振段階3，80 gal再入力）

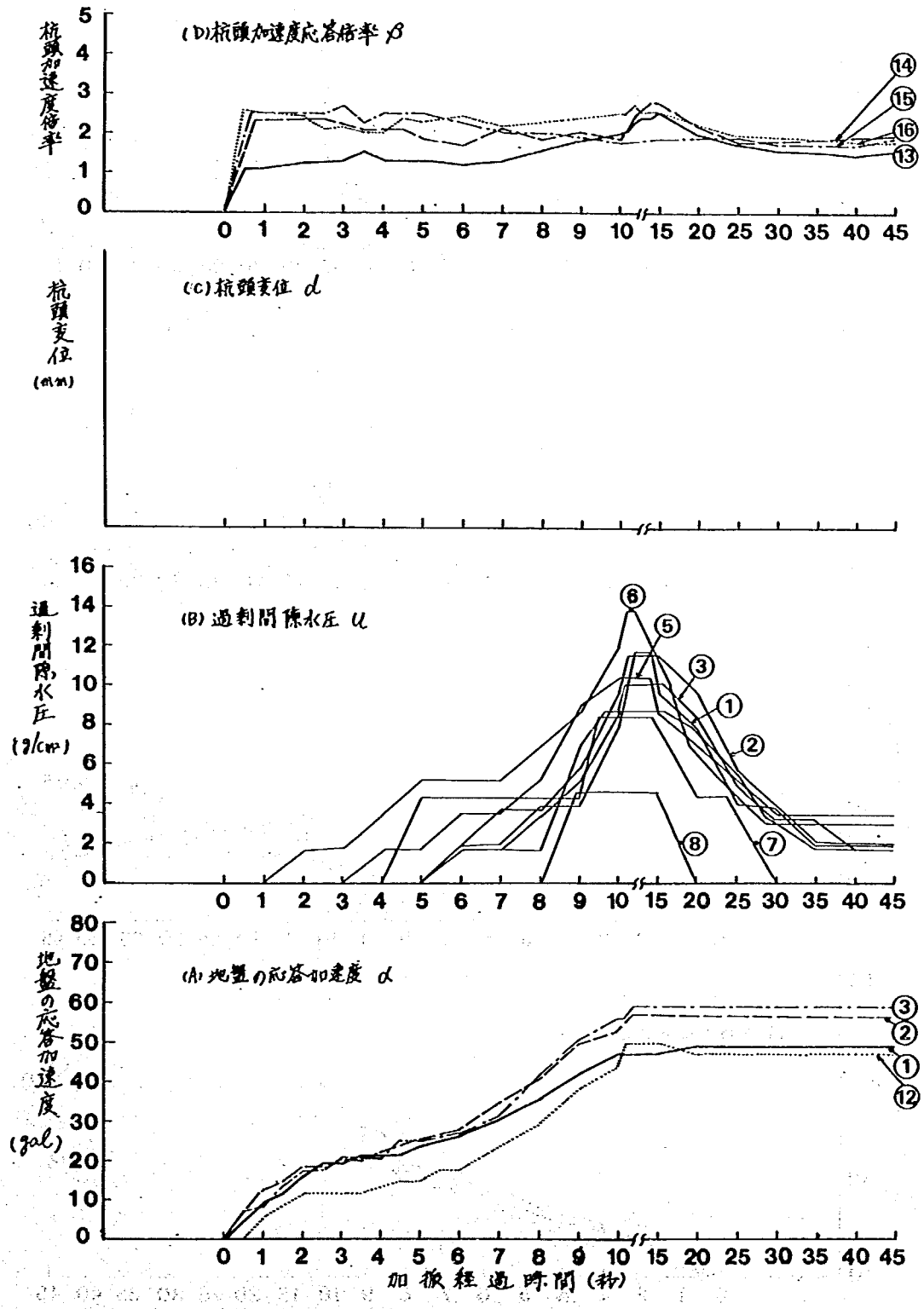
(B)図の間隙水圧発生については，上層部と下層部で発生特性が異なる。つまり，上層部の検出器⑧，⑦では間隙水圧が有効上載圧に近い最大値に達し，加振中に一定値となっている。検出器⑥では⑧，⑦と同様に有効上載圧に近い最大値に達するが，加振終了直前に低下する兆しを見せている。また，検出器⑤では段階２と同一レベルの最大値に達するが，直ぐに低下を始めている。これらの検出器より下層に位置する検出器④～①では段階２のように有効上載圧に相当する最大値に到達しないで，最大応答の後は⑥と同様に低下する傾向を示している。このような間隙水圧の発生特性に深度分布の差異があるのは，図－3.1.2のコーン貫入試験の結果に基づけば次のように推定される。つまり，加振段階１後での貫入抵抗の深度分布には顕著な差はなかったのに対して，加振段階２後では表層から50～60 m（これは間隙水圧検出⑤がほぼ相当する）以深において貫入抵抗が増加しており，砂地盤の動的強度が増加し同一加振入力に対して流動化がしにくい状態となったと考えられる。

以上のような流動化層，非流動化層の存在による影響は他の応答特性結果についてもうかがわれる。まず，(A)図の地盤加速度については，表層（検出器⑫）では加振初期において最大となった後は急激に低下し，以後加振中は零のままである。これに対して，下層部（検出器②）では入力加速度（検出器①）と同様な傾向を示し，段階２のように応答値が低下することはない。また，中間層（検出器③）では一度応答値が零となった後に，再度応答が回復している。これらの現象は表層部が完全流動化をしており，中間層では完全流動化の後に加振中に密度化が進行して加振中に周辺地盤の拘束が回復したためであると思われる。

次に，杭頭変位および杭頭加速度応答倍率についてであるが，段階２に比較して顕著なのは，M－1（⑬）の応答特性である。つまり，段階２と同様にM－２の応答が最大であり，また，M－２，M－３，M－４の応答特性は段階２との差異が僅かであるが，M－１の応答量は段階２に比較して増加している。また，その発生特性も特徴があり，応答倍率は加振後５秒でピークに達しその後低下するが，加振後半に再度応答が増加している。これは，(A)図の③の地盤加速度の特性に類似しており，段階２による下層部の密度化および加振中の杭周辺の拘束の回復により，M－1のみかけの固有振動数が4Hzから入力振動数の7Hzに近づいたためと思われる。しかし，このような周辺地盤の密度化や拘束の増加は上層ににまでは及んでいないため，M－３およびM－４の応答特性は段階２とほぼ同様なのであろう。

3.3.4　加振段階４〔入力加速度50 gaℓ〕

本段階では段階２および３の80 gaℓ入力加振の後に，小さい入力加速度を入力した場合の応答特性を調べるために50 gaℓの入力を行った。結果を図－3.3.4に示すが，杭頭変位は各モデルともに微量な応答値であった。

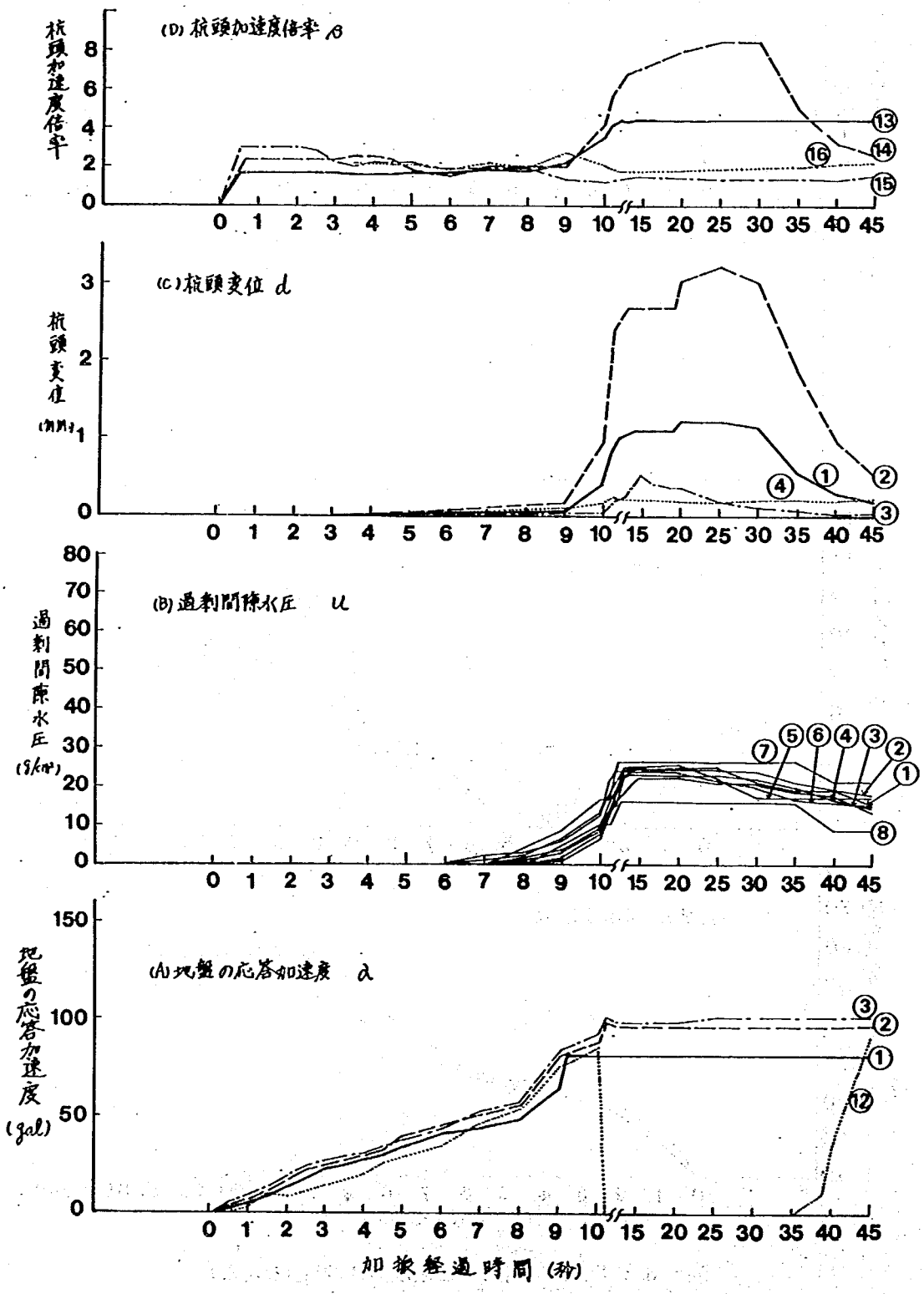


図－3.3.4　実験結果（加振段階 4, 50 gal 入力）

同図より明らかなように，各応答量の変化特性は加振段階 1 の場合とほぼ同様であり，間隙水圧の発生量は 30 gal 入力時より大きいが各深度ともに有効上載圧までは達しておらず流動化は発生していない。

3.3.5　加振段階5〔入力加速度　80 gal　3回目〕

本段階は加振段階4の後に，段階2および3と同レベルの80 galの入力を行い，同一レベルの再々加振の影響を調べようとしたものである。図－3.3.5は段階5の結果を示すが，段階3の結果



図－3.3.5　実験結果（加振段階5，80 gal再入力）

（図－3.3.3）と比較して，応答特性に差異のあるのがわかる。

まず，過剰間隙水圧であるが，上層部の検出器⑦および⑧においてのみ段階3と同様に各深度の有効上載圧に近いレベルまで上昇している。ただし，段階3と異なり，本段階では段階3での検出器⑥あるいは⑦のように加振中に間隙水圧の低下現象がある。他の深度での検出器においても有効上載圧に近い発生量がないのはもちろんのこと，応答量が加振中に低下する傾向を示している。

次に，地盤の応答加速度であるが，入力加速度の上昇傾向が段階3に類似しているにも拘わらず，地盤内の加速度の応答特性が変化している。つまり，段階3では表層（⑫）で完全流動化，下層（②）で不完全流動化をしており中間層（③）では完全流動化の後に回復する傾向を示したが，段階5ではこの傾向が上層に移行している。換言すれば，中間層（③）まで不完全流動化層が拡大し，中間層以深（②，①）では不完全流動化層となり，表層（⑫）でも完全流動化はするものの段階3での③のように加振中に応答が回復するようになる。

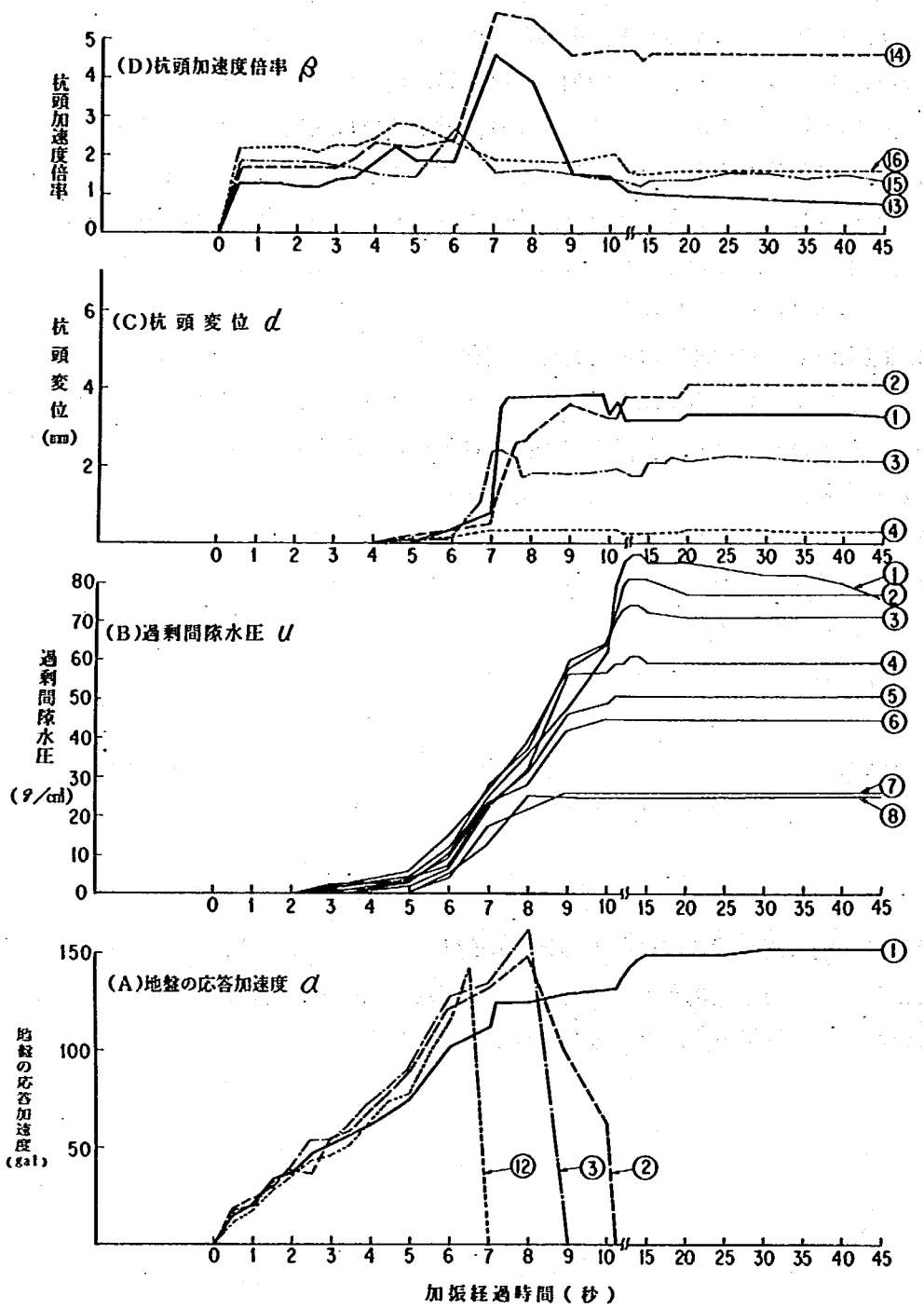
このように間隙水圧や地盤加速度の応答特性が変化したのは，図－3.1.2の貫入試験結果にも示されるように，加振段階4（あるいは加振段階3）の後に深さ20～30㎝（検出器③が相当する）以深で貫入抵抗が増加しているためであり，この範囲では地盤の動的強度が増加して80 gaℓの同一レベルの加振に対して流動化しにくくなったものと考えられる。

他方，杭頭変位および杭頭加速度応答倍率にも段階3では異なる傾向がみられる。つまり，全般的にいずれの応答量も段階3に比べて小さくなっている。そしてM－3（⑮）およびM－4（⑯）では段階3と大差はないが，M－1（⑬）とM－2（⑭）ではその発生特性にも変化があり，段階3とほぼ同一入力の条件にも拘わらず，入力加速度の上昇中は小さく，それが最大値（ここでは80 gaℓ）に達してから急増している。

さらに，M－1およびM－2では最大応答後低下する傾向を示しているのが特徴である。この低下傾向は，上層部での過剰間隙水圧の低下および上層部での地盤加速度の回復と対応している。

3.3.6　加振段階6〔入力加速度150 gaℓ〕

この加振段階では既に流動化の履歴のある地盤に対して，より大きな加振入力が付加された場合の応答性を明らかにすることを目的としている。前段階の80 gaℓの入力に対して本段階では150 gaℓの入力を行ったが，その結果を図－3.3.6に示す。



図－3.3.6　実験結果（加振段階 6, 150 gal入力）

各応答量のうち，杭頭加速度倍率，過剰間隙水圧および地盤加速度の発生特性は加振段階２の傾向とほぼ類似している。つまり過剰間隙水圧の発生量は各深度ともに，有効上載圧に近いピーク値に達して加振中一定値を示しており，全層にわたって完全流動化しているのがわかる。また，地盤加速度においても検出器⑫→③→②の順で，その応答値が零となっている。さらに，杭頭加速度応答倍率特性においてもM－２が最大値を示し，M－１がそれに次ぐが，M－３およびM－４ではともに応答倍率が低くほぼ一定値を示すのは段階２と同様である。ただし，M－１の応答倍率のピーク値が段階２より大きくなっており，これはこれまでの加振履歴により段階３および段階５で見られたように周辺地盤を含めた杭基礎の固有振動数が入力振動数に近づいているためと思われる。

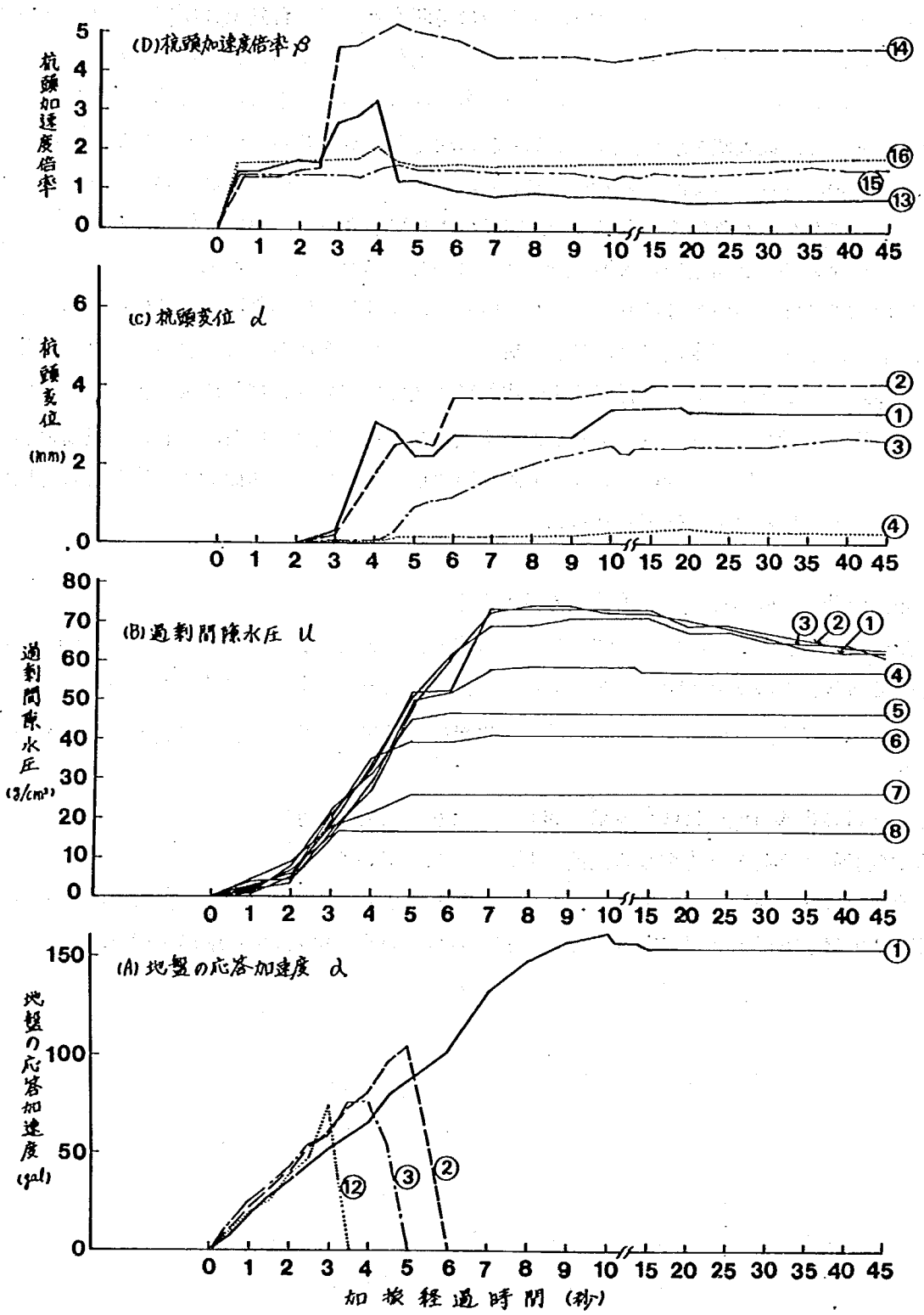
杭頭変位の応答特性については各モデルともに段階２に比較して応答変位量が２倍程度に大きくなっている。また，応答の時間変化についても，M－１およびM－３において，段階２とは異なる挙動を呈している。つまり段階２では全層では流動化前後に変位量が最大となり以後減少しているが，本段階では最大応答を示してからも減少することなく大きな応答を続けている。これは本段階の加振前の地盤がこれまでに加振履歴を受けており，流動化時の杭モデルの固有振動数が上昇して入力振動数に近いものとなっているためと推定される。

3.3.7　加振段階７〔入力加速度　150 gal 再入力〕

本段階２に対する段階３と同様に，同一レベルの再入力の影響を調べるために段階６と同一加振を行ったものである。その結果を図－3.3.7に示すが，本段階でも流動化が発生している。しかし，下層部での間隙水圧（検出器①および②）の最大発生量は前段階より小さく，完全流動化には到っていない。

ここで，諸量の応答特性はほぼ前段階と同じであるが，入力加速度の時間変化がほぼ同一であるにも拘わらず全般的に応答の立上がりの開始時間が早くなっている。

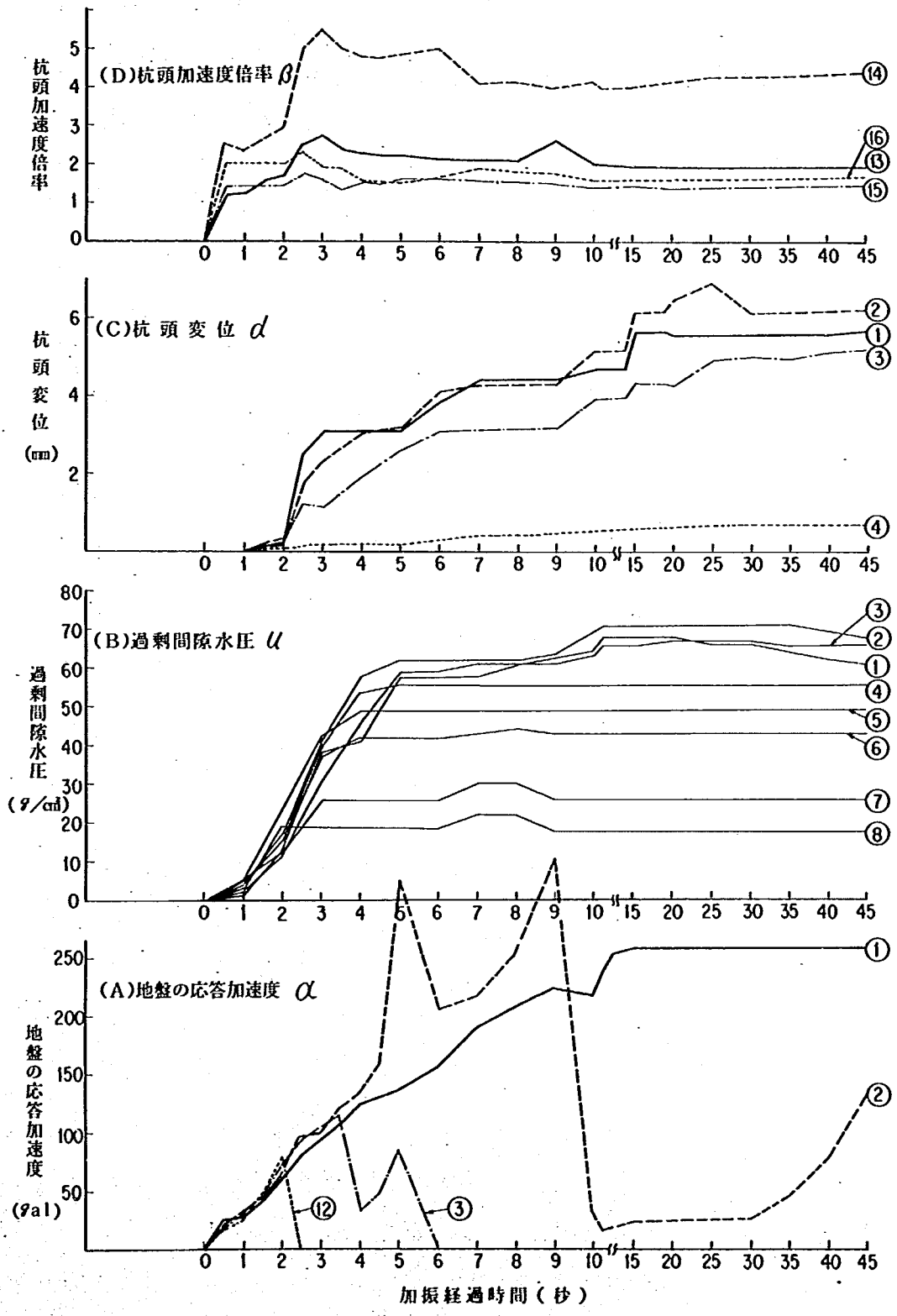
また，地盤の応答加速度の最大値は前段階に比較して小さい。このように，同一レベルの再入力の影響が段階２に対する段階３ほど顕著でなく，どちらかというと再入力の段階７の応答が敏感になっている。



図－3.3.7　実験結果（加振段階 7, 150 gal 再入力）

3.3.8 加振段階8〔入力加速度 250 gaℓ〕

本段階では段階6と同様に，既に流動化の履歴のある地盤に対して，さらに大きな振動レベルが入力された場合の挙動を明らかにすることを目的としている。前段階の150 gaℓの入力に対して250 gaℓの入力を行ったが，その結果を図—3.3.8に示す。



図—3.3.8 実験結果（加振段階8，250 gal 入力）

地盤の応答加速度の結果によれば，検出器⑫→③の順に表層の方から応答量が零となり，流動化しているのがわかる。しかしながら，本段階では下層部（②）において流動化により応答量が低下するが，完全に零とはならず，段階3あるいは段階5の場合と同様に，加振中に応答が回復してくるのが特徴である。

これは間隙水圧の測定結果によれば，下層部（検出器①，②）においては完全な流動化には到っておらず，(A)図の検出器②の地盤の応答加速度の応答性に関与しているものと思われる。これより上層では全層に渡り流動化が発生しているのがわかる。

また，杭頭変位の応答性に関しては，各モデル間の応答量の大小関係は段階6および段階7と同様であるが，絶対変位量は本段階の方が大きく，変位の増加の度合は緩漫となっている。また，杭頭の加速度応答倍率の発生は段階7とほぼ同様な傾向を示している。

4．地盤の耐震性と杭基礎構造物の応答特性に関する検討

4．1　概　要

前節においては実験結果の整理をしたが，本節ではその結果を踏まえて地盤および杭基礎構造物の流動化時の応答特性について詳細な検討を行うことにする。

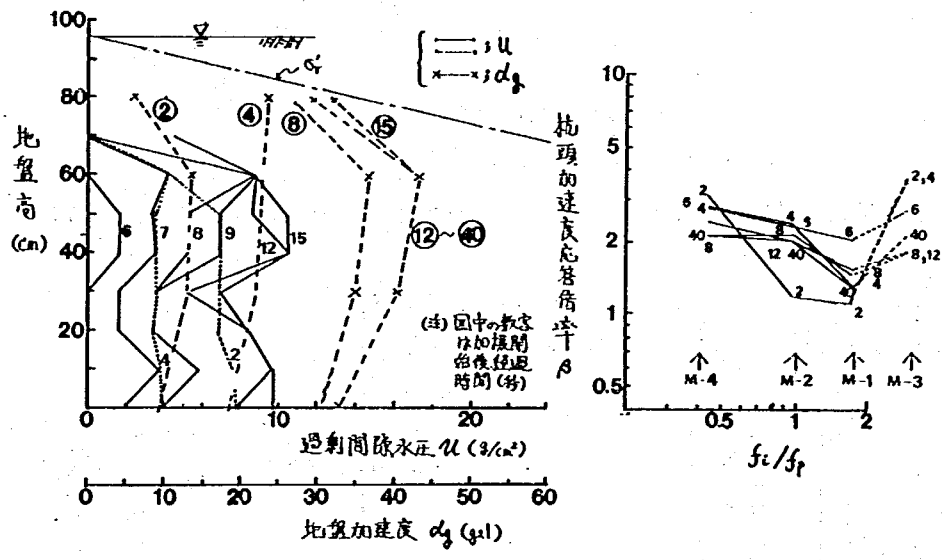
まず，4.2においては地盤の応答加速度および過剰間隙水圧の深度分布・時間変化と杭頭加速度応答倍率の時間変化との関係，地盤の流動化の範囲と杭基礎構造物の応答変位との関係，地盤の強度（静的コーン貫入抵抗値）と流動化発生のための地盤加速度との関係および地盤内に発生するせん断歪分布特性について検討を行う。

次に，4.3においては「道路橋示方書V耐震設計編」[10]で規定されている地盤流動化の判定指標(F_L：流動化に対する抵抗率）の妥当性を室内振動実験により検証し，あわせて判定指標の位置付けを明らかにしている。

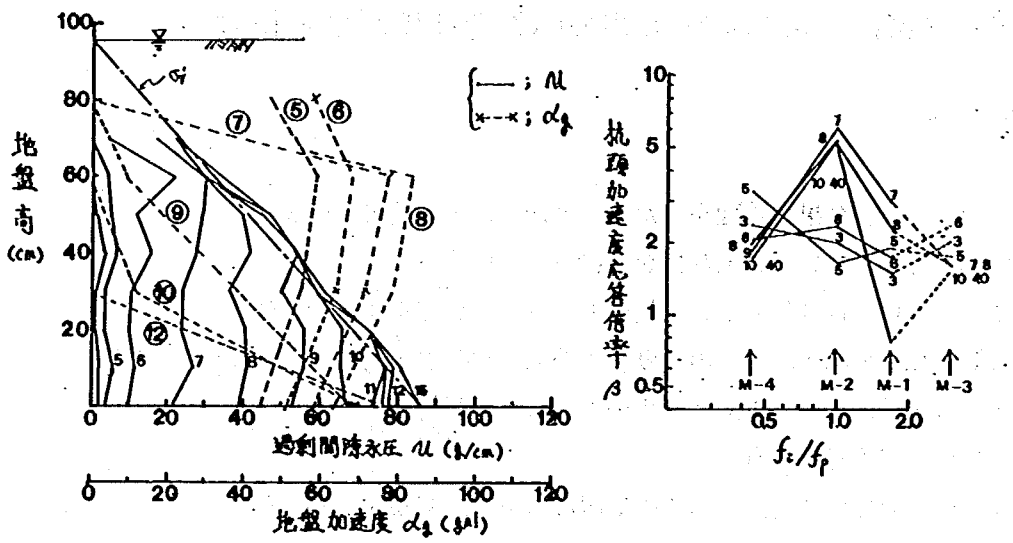
4．2　地盤と杭基礎構造物の応答特性

4.2.1　地盤の応答加速度・過剰間隙水圧と杭頭加速度応答倍率の関係

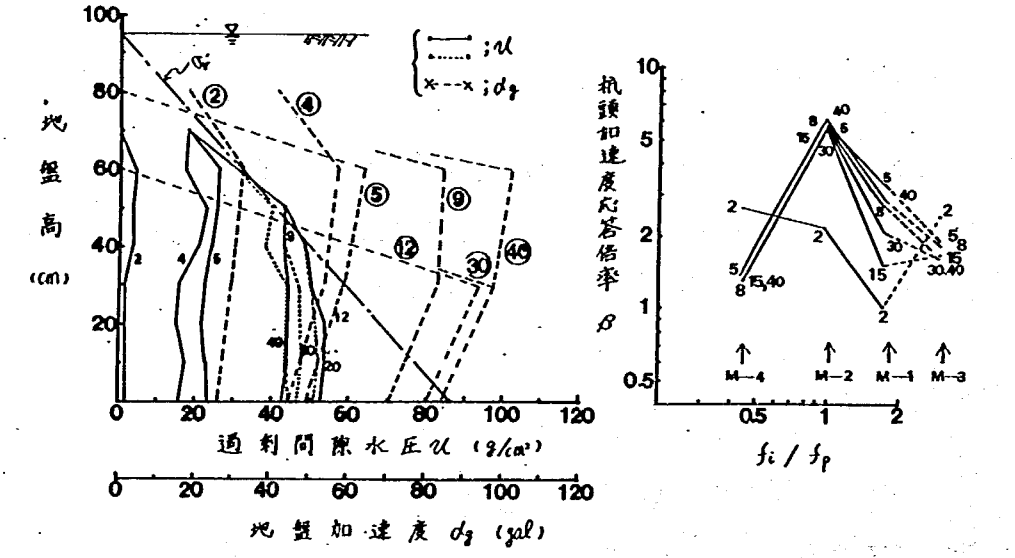
図－4.2.1～4.2.8は地盤の応答加速度（αg）と発生過剰間隙水圧(u)の深度分布と杭模型の杭頭加速度応答倍率(β)の時間変化を各加振段階毎にまとめたものである。



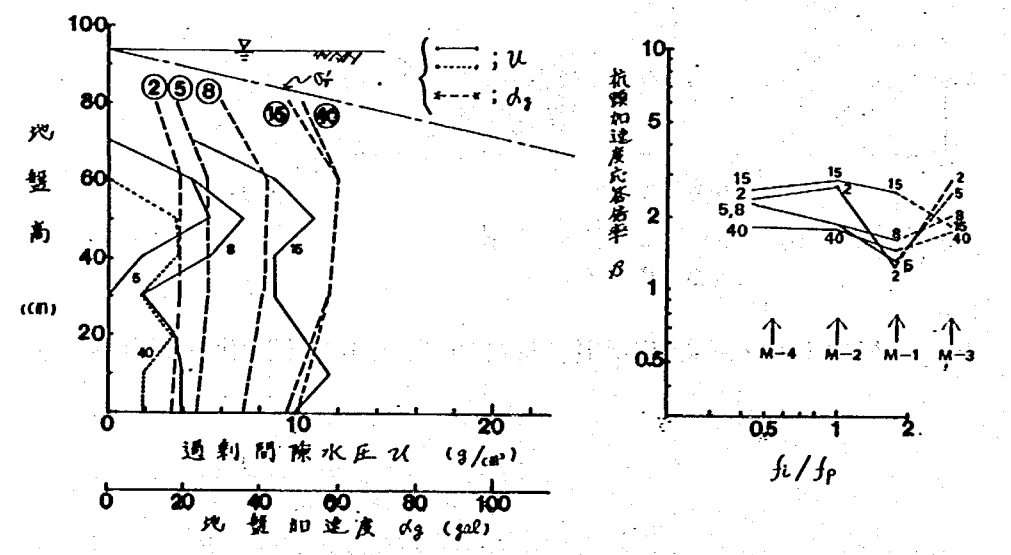
図－4.2.1　地盤加速度・過剰間隙水圧，杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階1）



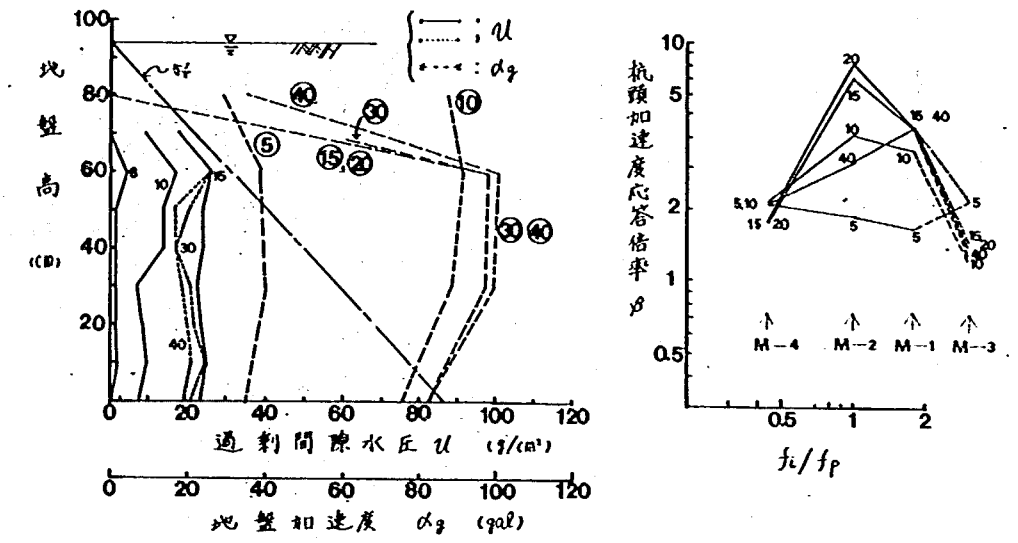
図－4.2.2　地盤加速度・過剰間隙水圧，杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階２）



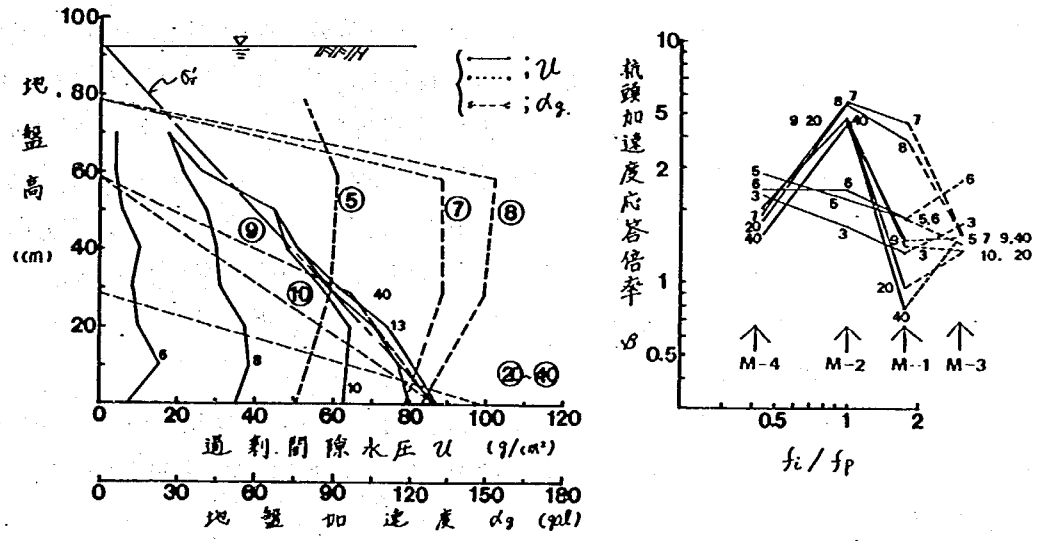
図－4.2.3　地盤加速度・過剰間隙水圧，杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階３）



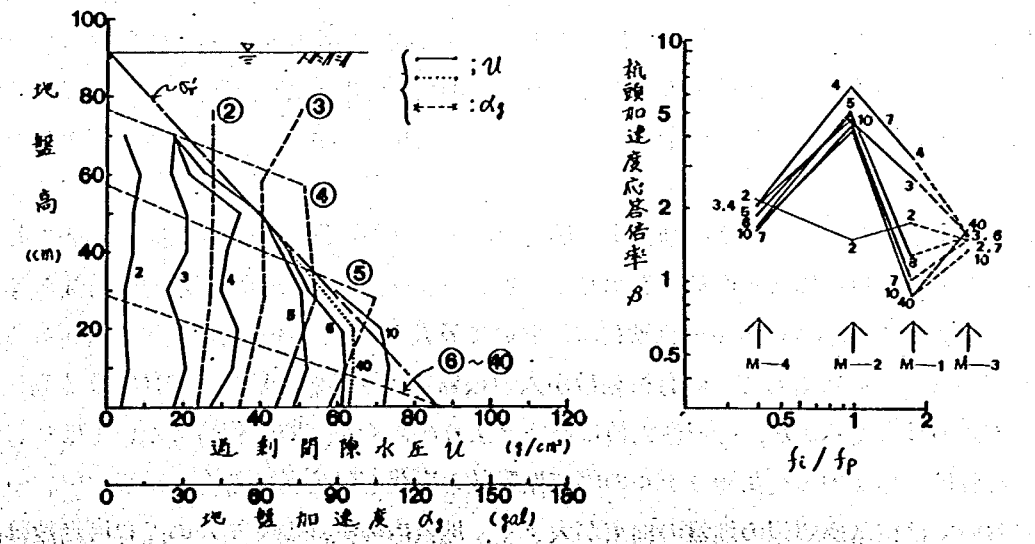
図－4.2.4　地盤加速度・過剰間隙水圧，杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階４）



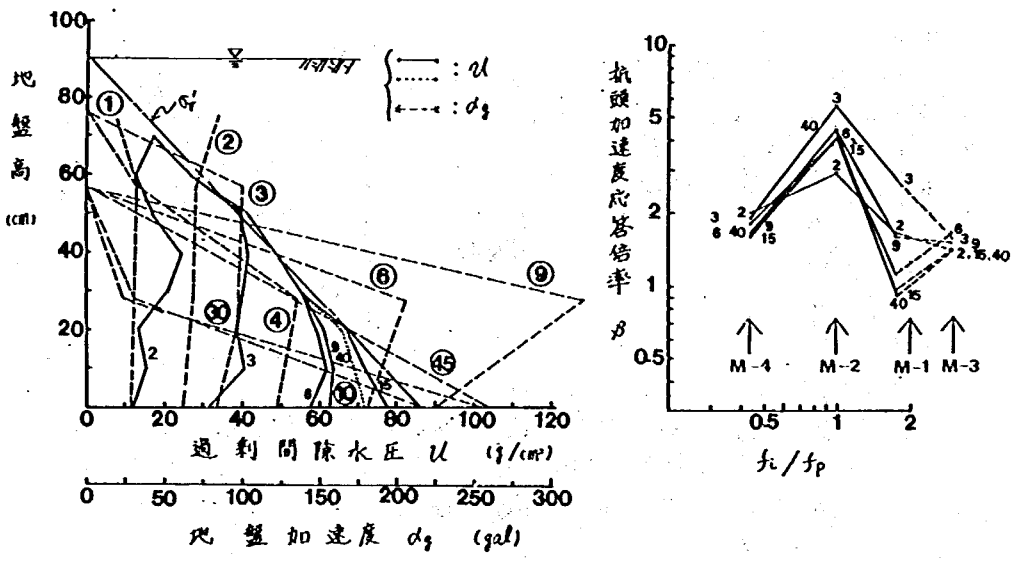
図－4.2.5　地盤加速度・過剰間隙水圧，杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階５）



図－4.2.6　地盤加速度・過剰間隙水圧，杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階６）



図－4.2.7　地盤加速度・過剰間隙水圧，杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階７）



図－4.2.8　地盤加速度・過剰間隙水圧・杭頭加速度倍率の時間変化（加振段階８）

これらの図の左図は地盤の応答加速度と発生過剰間隙水圧の深度分布を加振開始後の経過時間で追跡したものである。同図には参考のために加振前における有効上載圧（σ'_v）の深度分布を示しているが，全段階を通じて完全流動化をしている深度での発生過剰間隙水圧はこの有効上載圧付近まで上昇しており，地盤内の有効上載圧（σ'_v）と発生間隙水圧(u)の比較により流動化の判断をするのが適当であることがわかる。また，過剰間隙水圧の上昇量の分布は時間経過に拘わらず，深度方向に一様であり漸時その絶対量が増加してゆく。従って，過剰間隙水圧が加振前の有効上載圧に到達した土層が完全流動化となるわけであるが，上層程有効上載圧が小さいため完全流動化に至るのが早く，上層から下層に向けて完全流動化が進行することになる。

また，地盤内加速度については測点数が少ないものの過剰間隙水圧の発生程度つまり，流動化の進行程度に対応して応答が変化しているのがわかる。つまり，完全流動化に到った砂層では地盤の応答加速度が零となっている。

次に右図については，横軸に入力振動数f_i（＝７Ｈｚ）と各杭基礎モデルの固有振動数fp（Ｍ－１；４Ｈｚ，Ｍ－２；７Ｈｚ，Ｍ－３；４Ｈｚ，Ｍ－４；16Ｈｚ）の比をとり，杭頭加速度応答倍率(β)の時間変化を追跡したものである。図中，Ｍ－１とＭ－３は同一横座標であるが，理解しやすいようにずらして作図している。各加振段階の結果をみると，地盤が全層で完全流動化に到っていない場合（図－4.2.1および図－4.2.4）では全時間においてβの変化は小さく，また，各モデル間の差異も小さい。

他方，地盤が全層にわたって完全流動化する場合（図－4.2.2，図－4.2.6，図－4.2 7および図－4.2.8）は杭モデル毎に異なる応答性を示している。つまり，固有振動数が入力振動数と等しいＭ－２では加振直後のβは小さいが完全流動化時において最大を示し，完全流動化が維持される間はピークを呈している。これに対して，固有振動数が入力振動数より小さいＭ－１では完全流動化に到る以前においてβの最大を示すが，その最大値はＭ－２より小さく完全流動化時においてはむしろβは低下する。これは，地盤内の杭基礎モデルの固有振動数の変化と対応付けると考えやすい。つまり，加振直後においては杭基礎周辺の地盤の拘束が大きく，地盤内の杭基礎モデルの固有振動数は高い（これは入力振動数より高いと推定される）が，地盤の上方からの流動化に伴いその固有振動数が低

下し，完全流動化以前のある時点で入力振動数に近い状態となり杭の応答倍率が増加する。しかし，完全流動化時点においては杭の固有振動数が入力振動数より小さいため応答倍率は低下するのであろう。また，M－1と同一固有振動数を持つが脚長の短かいM－3では，全加振時間においてM－1よりもβのピーク値は小さく，その変化も小さい。さらに，固有振動数が入力振動数より大きく，脚長の短いM－4ではβの値も小さく，またその変化も小さい。そして，全時間を通しては加振直後にβの最大を示す傾向が見られる。

また，地盤が部分的（つまり上層部）に完全流動化する場合（図－4.2.3，図－4.2.5）では，全層で完全流動化する場合と同様な傾向を示すが，M－1の応答特性に若干の差異がみられる。つまり全層完全流動化の場合は完全流動化以前に最大β値を示し，それ以後は低下するが，部分完全流動化の場合にはそれ以上は下方に完全流動化が進行しないため最大値が継続されている。この理由は，先と同様に地盤内の杭基礎モデルの固有振動数の変化から説明されるものである。

4.2.2　地盤の流動化の範囲と杭基礎構造物の応答変位の関係

前項において完全流動化時の過剰間隙水圧が有効上載圧に近いことが確認されたが，ここでは地盤流動化の程度を（4.2.1）式で定義し，同定義に基づいて地盤流動化の範囲を求め，杭基礎構造物の杭頭変位に及ぼす地盤流動化の範囲の影響を調べることにする。

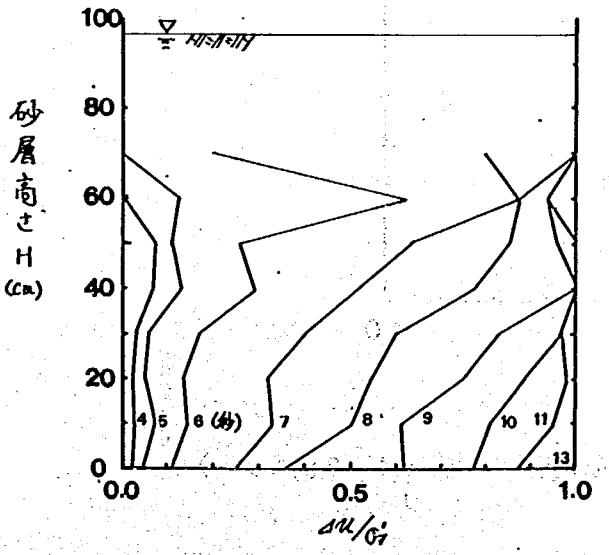
$$L_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_v} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.1)$$

ここに　L_u　：間隙水圧の発生量による地盤流動化の程度

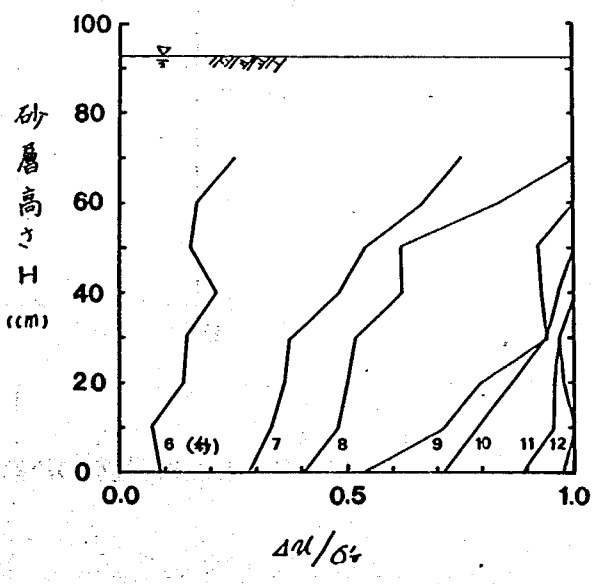
Δu：過剰間隙水圧（kg/cm²，g/cm²）

σ'_v：有効上載圧　（kg/cm²，g/cm²）

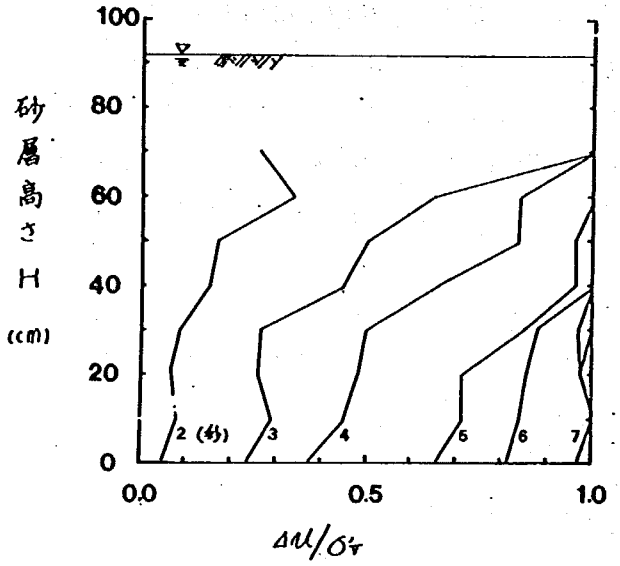
図－4.2.9～4.2.12は全層にわたり完全流動化した加振段階2,6,7および8について，L_uの深度分布の時間変化を示したものである。なお，ここではσ'_vとして過剰間隙水圧の実測最大値を用いて



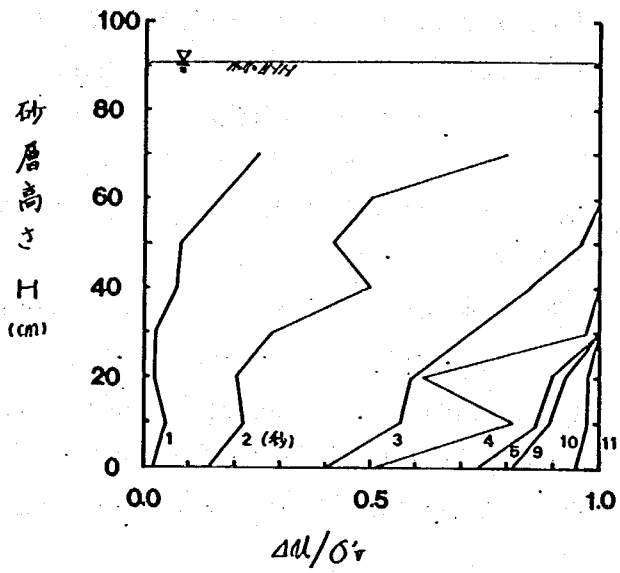
図－4.2.9　地盤流動化の時間変化（加振段階2）



図－4.2.10　地盤流動化の時間変化（加振段階6）



図－4.2.11 地盤流動化の時間変化（加振段階７）

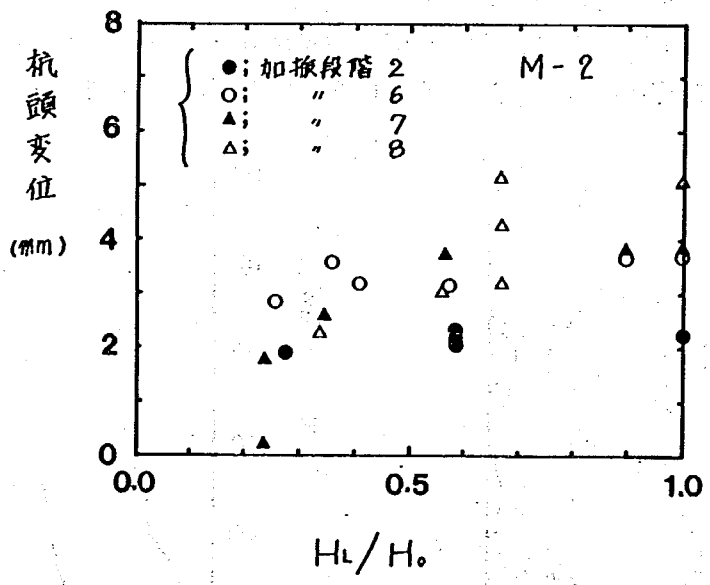


図－4.2.12 地盤流動化の時間変化（加振段階８）

いる。同図において，$L_u = 1.0$ の砂層を完全流動化層とすると，完全流動化層が上層から下層に向かって進行するのがわかるが，ここでは，地表面より $L_u = 1.0$ の層の最下面までを完全流動化層の範囲とした。

このようにして，流動化層の範囲とその時刻における杭頭の応答変位との関係をＭ－２について示したのが図－4.2.13 である。同図では加振前の全層厚（H_0）に対する完全流動化層厚（H_L）で流動化範囲を示した。同図によれば，H_L/H_0 が増加するに伴い，杭頭変位が増加することがわかる。

また，全層が完全流動化した場合（$H_L/H_0 = 1.0$）であっても急激な応答量の増加は見られていない。



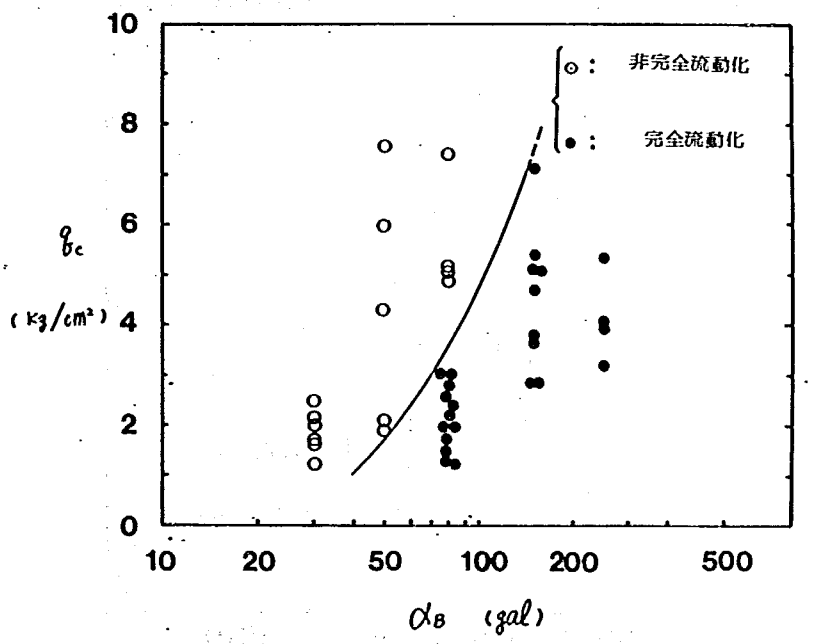
図－4.2.13 地盤の流動化範囲と杭頭変位の関係（Ｍ－２杭モデル）

4.2.3　地盤の強度と流動化発生地盤加速度の関係

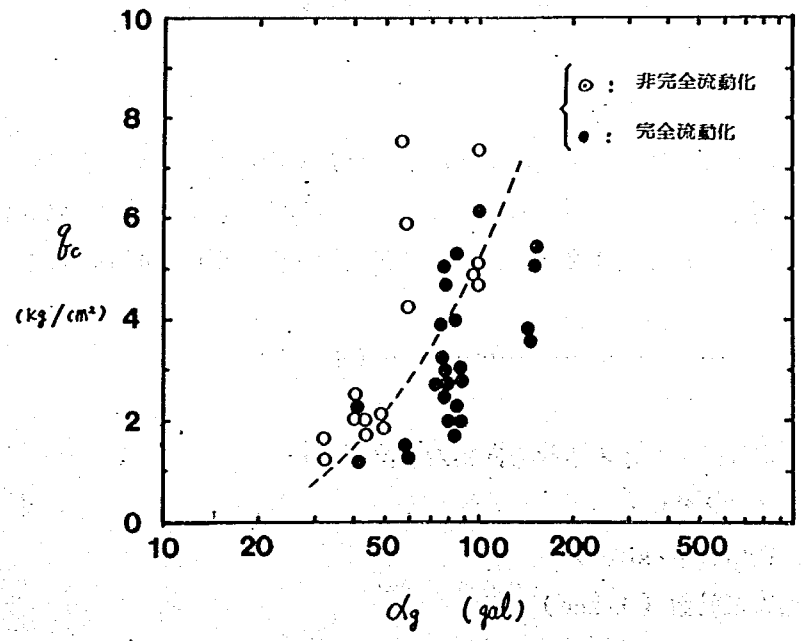
同一地盤であっても入力地震動により，また，同一地震動であっても地盤の強度特性によって流動化発生の有無は異なるものである。ここでは，地盤流動化の有無について入力地震動と地盤の強度との関係を実験的に明らかにすることを試みた。

図－4.2.14は入力加速度（α_B）と加振前の地盤のコーン貫入抵抗値（q_c）との関係を示すが，図中では実験時の完全流動化層と非完全流動化層を区別している。同図によれば，同一q_cであってもα_Bにより完全流動化の有無が生ずることがわかる。

図－4.2.14に対して地震動として各地盤応答加速度（α_g）をとったのが図－4.2.15であるが，図－4.2.14に比較して完全流動化層と非完全流動化層の境界がやや不明確となっている。



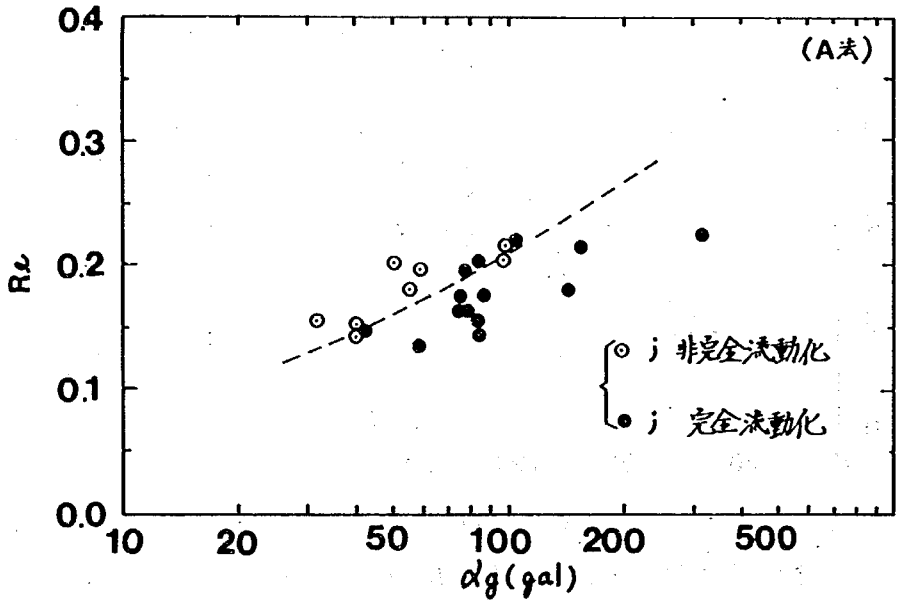
図－4.2.14　q_c～α_B（入力加速度）の関係



図－4.2.15　q_c～α_g（地盤加速度）の関係

しかし，個々の土層の諸条件の差異を考えるならば図－4.2.15による関係の方が実際的である。強いて，完全流動化の境界を設定すれば図中の破線のようになる。同図によればq_cとα_gにより完全流動化あるいは非完全流動化の判断をすることが可能となる。ここで，$q_c=4N$なる関係が示すように図－4.2.15の関係はN値が小さい領域でのものとなり，N値が大きな領域での関係を得るためにはq_cの大きな地盤模型による実験を行うなどの配慮が必要である。

図－4.2.16は図－4.2.15においてq_cの代わりに地盤の動的せん断強度R_ℓに着目して，地盤応答加速度（α_g）との関係を描いたものである。ここで，R_ℓは4.3.1で紹介する地盤の流動化の簡易推定法（A法）により算定した地盤の動的せん断強度である。同図においてもR_ℓとα_gの関係に対して完全流動化と非完全流動化の区分を行うことができるように思われる。ちなみに区分したのが図中の破線であり，これにより下の領域では完全流動化が発生すると推定されることになる。



図－4.2.16　R_ℓ～α_gの関係

4.2.4　地盤流動化と地盤せん断歪の関係

地盤が流動化するためには地震動により地盤内にせん断歪が発生することが必要となるが，発生せん断歪量と地盤の流動化の関係について検討する。ここでは各加速度応答量が入力振動数の正弦波振動をすることから，せん断歪（γ）は（4.2.2）式により実測加速度を用いて間接的に推算した。

$$\gamma=\frac{\triangle H}{H} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.2)$$

ここに　$\triangle H$：加速度測定位置における水平方向相対変位（cm）

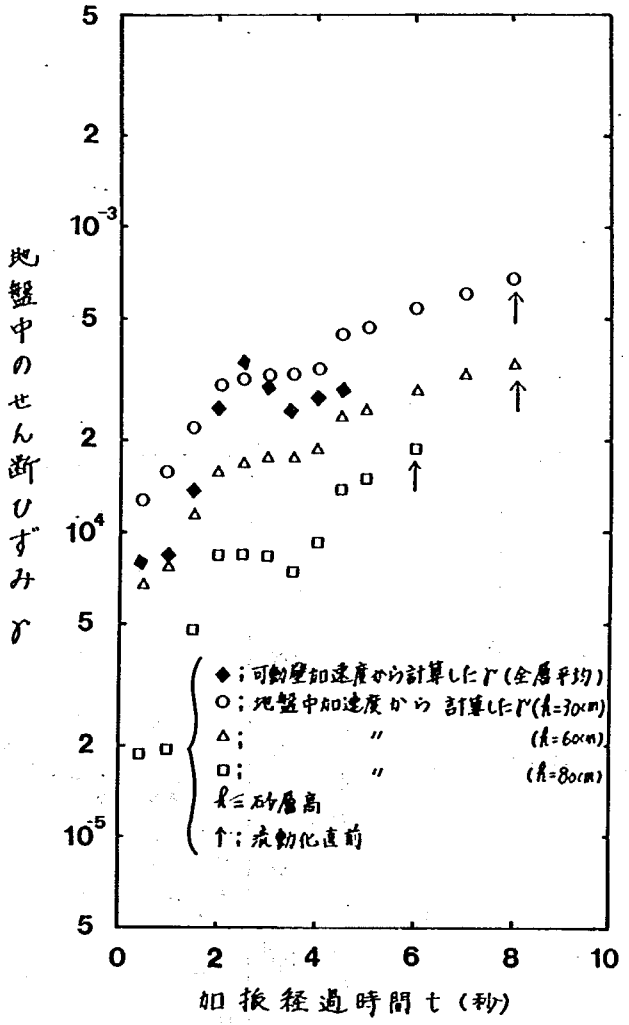
$\triangle H=\alpha/(2\pi f)^2$

α　：　加振度の振巾（cm/sec^2）

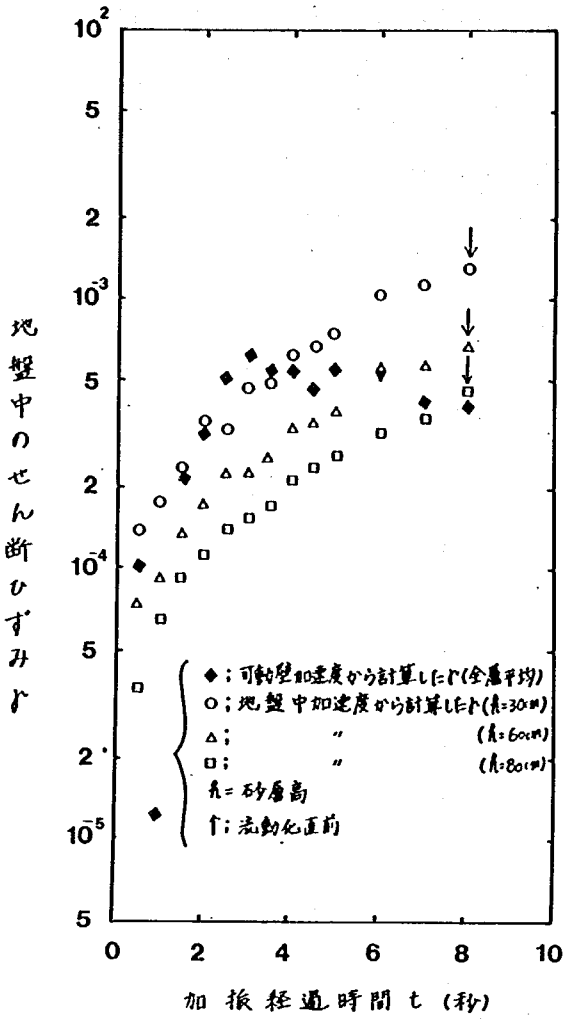
f　：　加速度応答振動数（1/sec）

H　：　加速度測定位置の土槽底面からの高さ（cm）

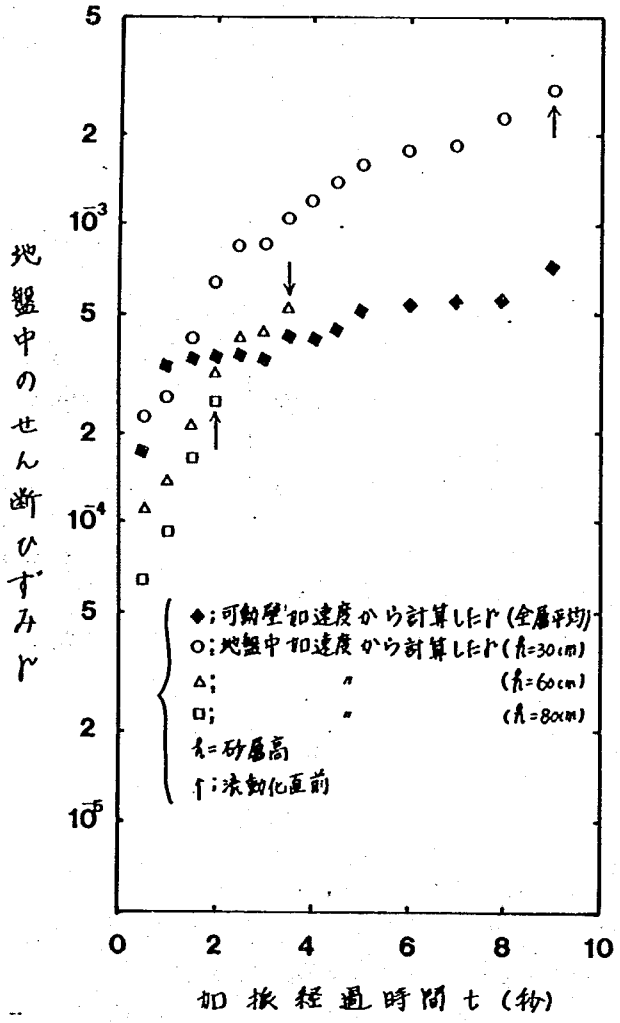
図－4.2.17～4.2.19は全層で完全流動化した加振段階2,6および8について地盤中および可動壁におけるせん断歪量の時間変化を示したものである。同図より地盤の各深度においてせん断歪が増加するのがわかる。また，可動壁も振動しており地盤モデルがせん断変形をするよう機能しているのがわかる。ただし，可動壁に取付けた加速度計と同一高さにおける地盤（H＝80㎝）でのせん断歪量は可動壁のそれと同程度以下となっている。さらに，地盤内の3深度でのせん断歪量を比較すると下



図－4.2.17 せん断歪の時間変化（加振段階2）



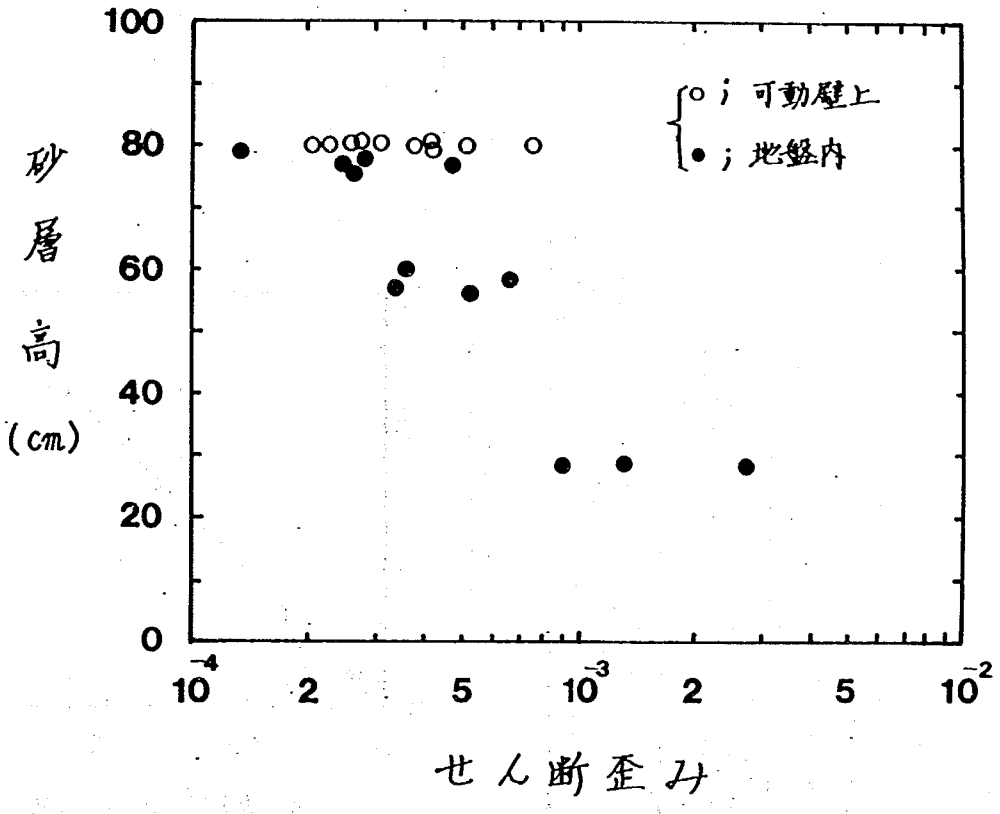
図－4.2.18 せん断歪の時間変化（加振段階6）



図－4.2.19 せん断歪の時間変化（加振段階8）

層程発生量が大きくなっている。これは，（4.2.2）式によるせん断歪が層厚による平均的なものであり，下層程層厚が小さくなることによること，あるいは上層において発生する地盤加速度が下層と比較してその程著しい増加を示さないことなどによると思われる。

図－4.2.20は全加振段階においてせん断歪の算定を行い，その内から完全流動化直前のせん断歪量を抜き出し，深度分布を示したものである。同図においても地盤の下層程大きなせん断歪量を示すが，本実験においては完全流動化直前の平均せん断歪は 2×10^{-4} ～ 2×10^{-3} 程度であったものと推定される。



図－4.2.20 完全流動化直前のせん断歪の深度分布

4.2.5 地盤流動化と地盤沈下の関係

地盤流動化の影響の一つとして地盤の沈下があるが，構造物の耐震安定性を正確に評価するためには，事前に流動化による沈下量を推定できることも要求される。ここでは流動化による沈下量の推定を試み，実測データとの比較・検討を行う。

まず，地盤の沈下量は加振前および加振後の間隙比から推定するようにした。その推定式は（4.2.3）式で表わされる〔詳細は付属資料Ⅰ・8）を参照〕。

$$\Delta H = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.3)$$

ここに　ΔH：沈下量（cm）　　e_1：加振前間隙比

H：砂層厚（cm）　　e_2：加振後間隙比

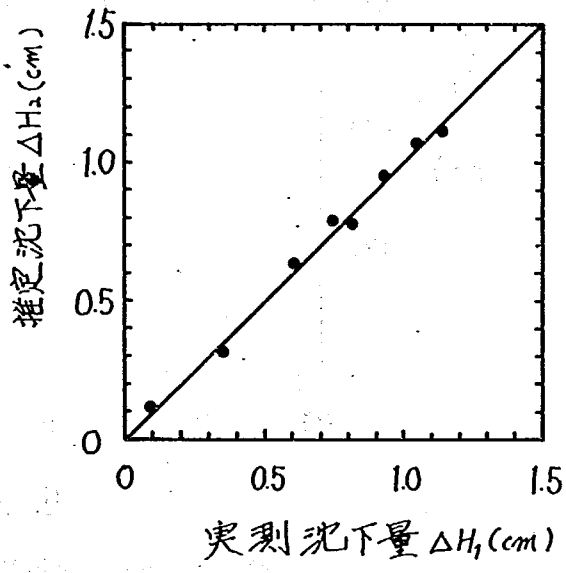
（2.4.3）式は飽和土を対象として，一次元方向（深さ方向）にのみ体積変化するとして導かれたものである。また，（2.4.3）式を適用するためには加振前と加振後の間隙比が必要である。

本実験での沈下量の変化は表－3.1.1のように測定されているが，（4.2.3）式により推定した沈下量と実測沈下量を比較すると図－4.2.21のようになる。この場合，実測沈下量と間隙比は砂層全体の平均的な値であるが，実測値と推定値は極めて良い一致を示している。

例えば（4.2.3）式を用いると，実験の対象とした飽和砂質地盤の最大沈下量（収れん沈下量）は，最小間隙地（e_{min}）を用いて次のように推算される。

$$\Delta H_{max} = \frac{0.820 - 0.64}{1 + 0.820} \times 95.62 = 9.46\ (cm)$$

加振段階	砂層高 H (cm)	実測沈下量 ΔH (cm)	間隙比 e	推定沈下量 ΔH₂ (cm)
0	95.62	0.09	0.820	0.11
1	95.53	0.81	0.818	0.79
2	94.72	1.13	0.803	1.16
3	93.59	0.34	0.781	0.32
4	93.25	0.61	0.775	0.63
5	92.64	1.06	0.763	1.05
6	91.58	0.93	0.743	0.95
7	90.65	0.75	0.725	0.79
8	89.9		0.710	



図－4.2.21　沈下量の実測値と推定値の比較

4．3　地盤流動化の判定

4.3.1　判 定 方 法

飽和砂質地盤の流動化を事前に予測し，構造物の耐震設計に反映させるためには，適切な地盤流動化の判定法が必要である。現在，構造物の耐震設計のための基準としては，道路橋示方書V耐震設計編・同解説（日本道路協会）[10]，建築基礎構造設計基準・同解説（日本建築学会）[11]，建造物設計標準解説（日本国有鉄道）[12]，港湾構造物設計基準（日本港湾協会）[13]等がある。ここでは，室内模型振動実験の結果に対して道路橋示方書V耐震設計編に規定された流動化の判定法を適用し，模型地盤の耐震性を検討するとともに，判定法の妥当性についても実験的な検討を行うことにする。

道路橋示方書V耐震設計編では，「3.7.1流動化する砂質土層」として飽和砂質地盤の流動化に関する規定を設けている。その条文は図－4.3.1に示すようであり，(1)項において流動化の判定を行う

(1) 流動化の判定を行う必要がある土層

地下水位面が現地盤面から10m以内にある沖積層で，かつ現地盤面から20m以内の範囲における平均粒径 D_{50} が0.02mm以上2.0mm以下である飽和砂質土層は地震時に流動化の可能性があるため，(2)項によって流動化の判定を行うものとする。

(2) 流動化の判定

流動化の判定を行う必要のある土層に対しては，式(3.7.1)で定義される流動化に対する抵抗率 F_L を求め，この値が1.0以下の土層については流動化するものとする。流動化すると判定された土層の耐震設計上の取扱いは，3.7.3の規定によるものとする。

$$F_L = R/L \quad \cdots\cdots (3.7.1)$$

$$R = R_1 + R_2 \quad \cdots\cdots (3.7.2)$$

$$L = r_d \cdot k_h \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad \cdots\cdots (3.7.3)$$

$$r_d = 1.0 - 0.015x \quad \cdots\cdots (3.7.4)$$

$$k_h = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot k_{hg} \quad \cdots\cdots (3.7.5)$$

$$\sigma_v = \{\gamma_{t1} h_w + \gamma_{t2}(x - h_w)\}/10 \quad \cdots\cdots (3.7.6)$$

$$\sigma'_v = \{\gamma_{t1} h_w + \gamma'_{t2}(x - h_w)\}/10 \quad \cdots\cdots (3.7.7)$$

ここに，

F_L：流動化に対する抵抗率

R：動的せん断強度比

L：地震時せん断応力比

r_d：地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

k_h：流動化の判定に用いる地表面での水平震度

σ_v：全上載圧 (kg/cm²)

σ'_v：有効上載圧 (kg/cm²)

R_1：N 値と有効上載圧 σ'_v の関数で表わされる動的せん断強度比の第1項であり，図-3.7.1によるものとする。

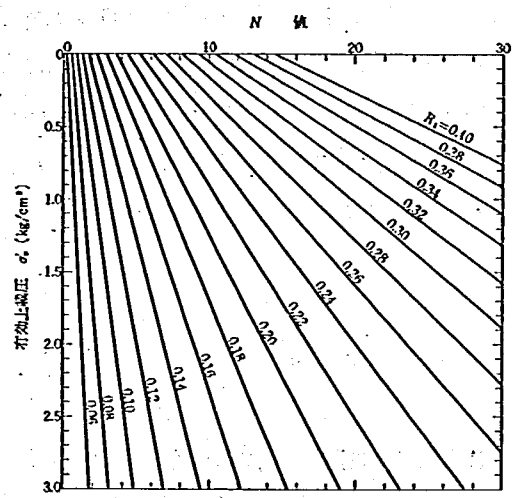


図-3.7.1 N 値，有効上載圧 σ'_v と動的せん断強度比の第1項 R_1 の関係

R_2：平均粒径 D_{50} の関数で表わされる動的せん断強度比の第2項であり，図-3.7.2によるものとする。

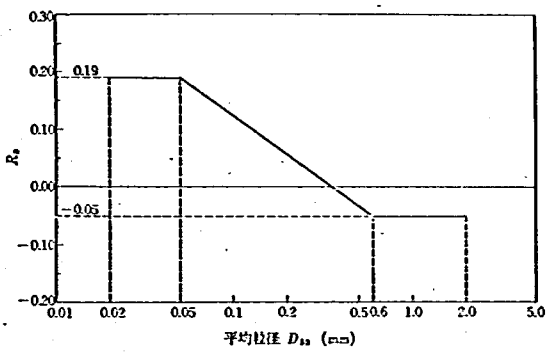


図-3.7.2 平均粒径 D_{50} と動的せん断強度比の第2項 R_2 の関係

x：地表面からの深さ (m)

ν_1：4.3に規定する地域別補正係数

ν_2：4.3に規定する地盤別補正係数

ν_3：4.3に規定する重要度別補正係数

k_{hg}：流動化の判定に用いる標準設計水平震度 (0.15とする)

γ_{t1}：地下水位面より浅い位置での土の単位重量 (t/m³)
砂質地盤の場合は，おおよそ1.6～1.8 t/m³ である。

γ_{t2}：地下水位面より深い位置での土の単位重量 (t/m³)
砂質地盤の場合は，おおよそ1.8～2.0 t/m³ である。

γ'_{t2}：地下水位面より深い位置での土の有効単位重量 (t/m³)
砂質地盤の場合は，おおよそ0.8～1.0 t/m³ である。

h_w：地表面から地下水位面までの深さ (m)

図－4.3.1　道路橋示方書V耐震設計編による地盤流動化の判定法[10)]

必要のある土層の判定を行い，(2)項において（4.3.1）式で定義する流動化に対する抵抗率（F_L）により，各土層の流動化の判定を行うものとしている。

$$F_L = R/L \quad \cdots\cdots (4.3.1)$$

ここに　R：動的せん断強度化

L：地震時せん断応力比

ここでは，前章の実験結果に基づいて（4.3.1）式によるF_Lの推算を行い，模型地盤の流動化に対する判定を行うことにする。ただし，（4.3.1）式中のRおよびLについては室内振動実験の条件を考慮して以下の方法により推算した。

1） 動的せん断強度比の算定法

耐震設計編では動的せん断強度（R）の推定は（4.3.2）式を用いて簡易的に推算するのを原則としている。

$0.02mm \leqq D_{50} \leqq 0.05mm$の場合

$$R=0.0882\sqrt{\frac{N}{\sigma'_v+0.7}}+0.19 \quad \cdots\cdots (4.3.2)_1$$

$0.05mm \leqq D_{50} \leqq 0.6mm$の場合

$$R=0.0882\sqrt{\frac{N}{\sigma'_v+0.7}}+0.225\log_{10}\left(\frac{0.35}{D_{50}}\right) \quad \cdots\cdots (4.3.2)_2$$

$0.6mm \leqq D_{50} \leqq 2.0mm$の場合

$$R=0.0882\sqrt{\frac{N}{\sigma'_v+0.7}}-0.05 \quad \cdots\cdots (4.3.2)_3$$

ここに　N：N値，σ'_v：有効上載圧（kg/cm²）

D_{50}：平均粒径（mm）

（4.3.2）式を用いて推算するためには，N値，有効上載圧（kg/cm²）および平均粒径（D_{50}）が必要である。ここで，平均粒径は地盤材料が豊浦標準砂であることから明らかであり，$D_{50}=0.162$（mm）である。また，N値および有効上載圧は，それぞれコーン貫入試験（図－3.1.2）および単位体積重量（表－3.1.1）の測定結果を用いて，（4.3.3）式および（4.3.4）式で推算することとした。

$$\sigma'_v=\gamma'\cdot x \quad \cdots\cdots (4.3.3)$$

ここに　γ'：有効単位体積重量（t/m³，kg/cm³）

x　：地表面から深度（m，cm）

$$N=4\cdot q_c \quad \cdots\cdots (4.3.4)$$

ここに　q_c：静的コーン貫入抵抗値（kg/cm²）

室内模型振動実験での模型地盤では，有効上載圧およびN値が原地盤と比較してかなり小さく，（4.3.2）式による推定が妥当であるかは疑問のあるところである。そこで，他の推定法として，（4.3.5）式を用いた推定も行うこととした。

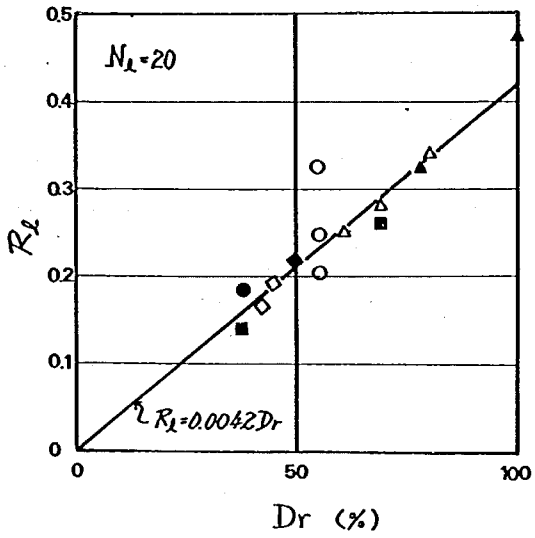
$$R_\ell=0.0042\,Dr \quad \cdots\cdots (4.3.5)$$

ここに　Dr：相対密度（$=\dfrac{e_{max}-e}{e_{max}-e_{min}}$）

（4.3.5）式の関係は図―4.3.2に示すように，いわゆるきれいな砂について実験的に確認されているも

のであり[14] 豊浦標準砂を用いた模型地盤については適用の妥当性があるものと思われる。（4.3.5）式の相対密度を求めるためには最大間隙比（e_{max}）最小間隙比（e_{min}）および間隙比（e）が必要であるが，豊浦標準砂で $e_{max}=0.96$，$e_{min}=0.64$ であり，間隙比（e）は表－3.1.1のように各加振段階毎に得られている。計算に際しては，各加振段階の開始前の地盤状態での物理特性を用いている。

このように，動的せん断強度比（R)は（4.3.2）式および（4.3.5）式の2方法により推算することとした。



図－4.3.2　乱したきれいな砂のR_ℓ ～Dr 関係[14]

2）　地震時せん断応力比の算定法

耐震設計編では地震時せん断応力比を（4.3.6）式を用いて簡易的に推算するよう規定している。

$$L = r_d \cdot k_s \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \quad \cdots\cdots (4.3.6)$$

ここに　r_d：地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

k_s：流動化の判定に用いる地表面での水平震度（$= \dfrac{\alpha_{s\,max}}{g}$）

σ_v：全上載圧（kg/cm²）

g　：重力加速度（980 gaℓ）

$\alpha_{s\,max}$：地表面最大加速度（g aℓ）

室内模型振動実験では地表面での水平震度（あるいは最大加速度）が測定されておらず，図－2.4.1に示すように試験土槽の底面から30cm，60cm および80cmの3深度の地盤中に加速度計が埋設されて，加速度の測定値が得られている。従って，ここでは（4.3.6）式を（4.3.7）式のようにみなして，地震時せん断応力比を求めることとした。

$$L = r_d \cdot k_s \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} = r_d \cdot \frac{\alpha_{s\,max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} = \frac{(r_d \cdot \alpha_{s\,max})}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$$

$$= \frac{\alpha_{sx}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \quad \cdots\cdots (4.3.7)$$

ここに　α_{sx}：深度xでの地盤加速度（gaℓ）

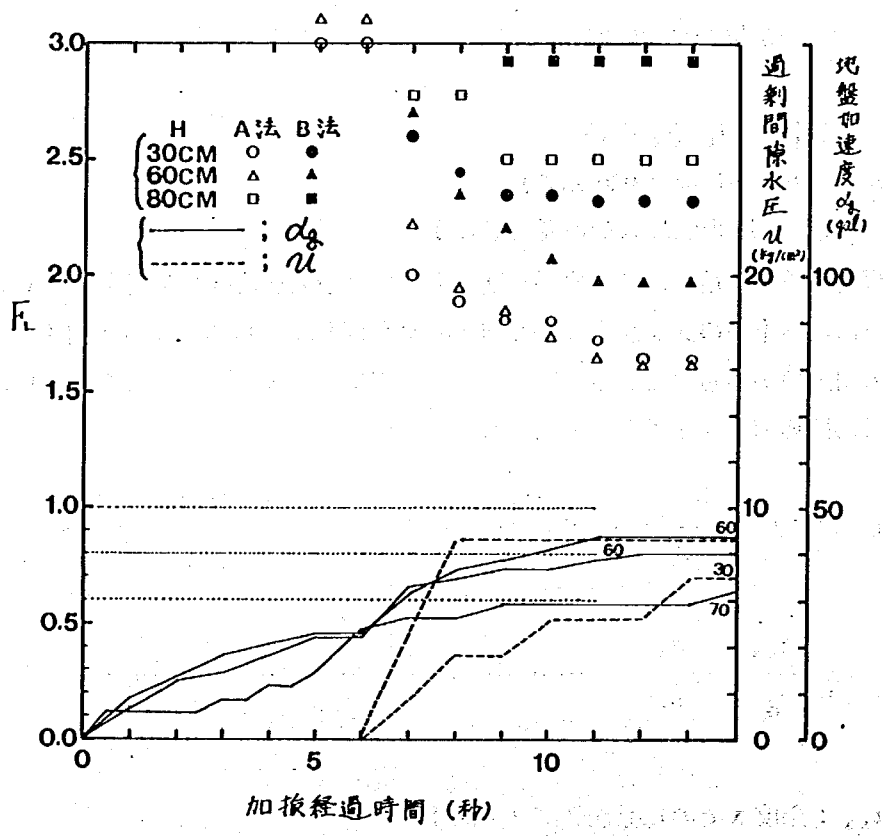
（4.3.7）式によれば，地盤内の測定加測度値（α_{sx}）を用いて深度xにおける地震時せん断応力比（L）が推算される。

以上のように，地震時せん断応力比（L）は（4.3.7）式を用いて推算し，また，動的せん断強度比（R）は（4.3.2）式および（4.3.5）式により推算し，これらの推算値に基づいて（4.3.1）式の流動化抵抗係数を（初期）砂層高30㎝，60㎝，および80㎝の3深度において求めた。そして，表－3.1.1に示すように各加振段階終了毎に地盤の状態は変化しているがF_Lの推算に必要な諸量は各段階の加振前の地盤において計算されたものを用いている。

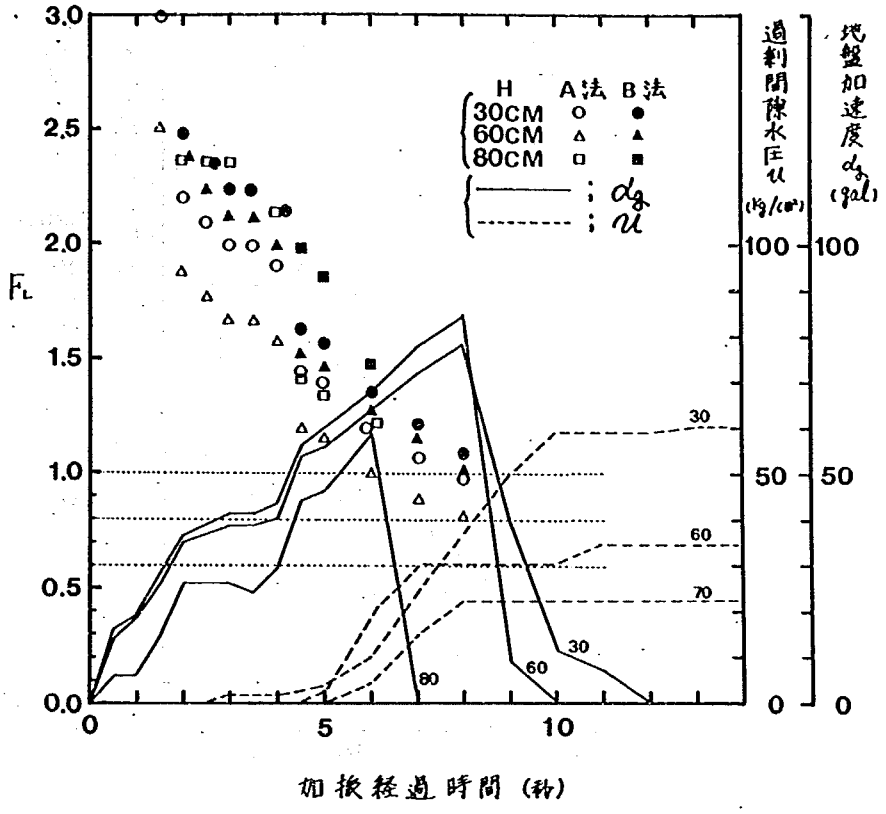
ここで，（4.3.2）式によりRを求める場合をA法とし，（4.3.5）式による場合をB法と呼ぶことにする。A法とB法の差異はA法では静的コーン貫入抵抗値の深度分布が得られているので動的せん断強度比（R）も深度分布として得られるのに対して，B法では相対密度（Dr）を全地盤を対象とした平均的な間隙比から求めているため模型地盤の動的せん断強度も全深度に対して平均的な強度が1つ得られることである。

4.3.2 判 定 結 果

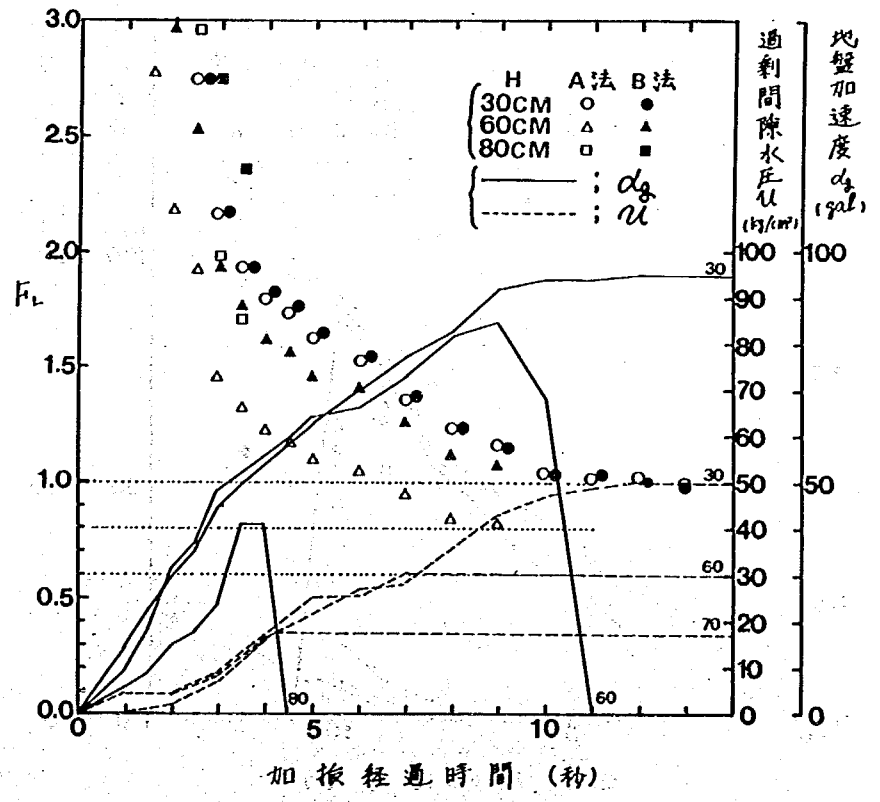
図－4.3.3～図－4.3.10は各加振段階毎のF_Lの計算結果および地盤内の発生間隙水圧と地盤加速度の時間変化を対比したものである。図中のF_Lの分布は地盤加速度計を埋設した底面からの砂層高で30，60，および80㎝の3深度で得られており，それに対して間隙水圧は砂層高で30，60，および70㎝（80㎝の位置では欠測）の位置の測定結果を併記した。



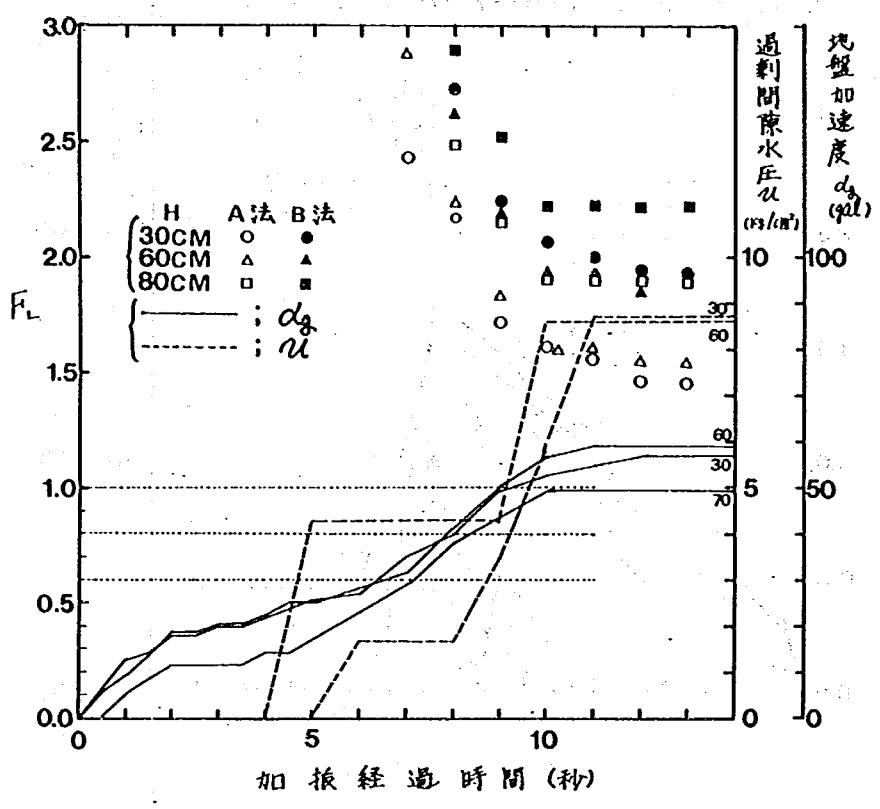
図－4.3.3 F_Lと過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階1）



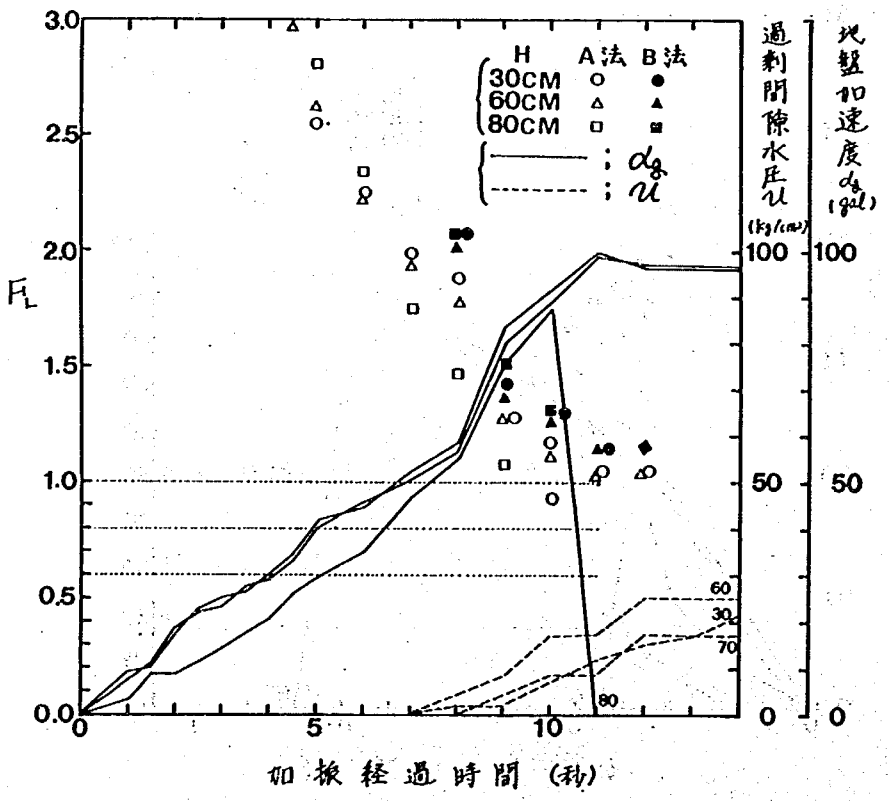
図－4.3.4　F_L と過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階２）



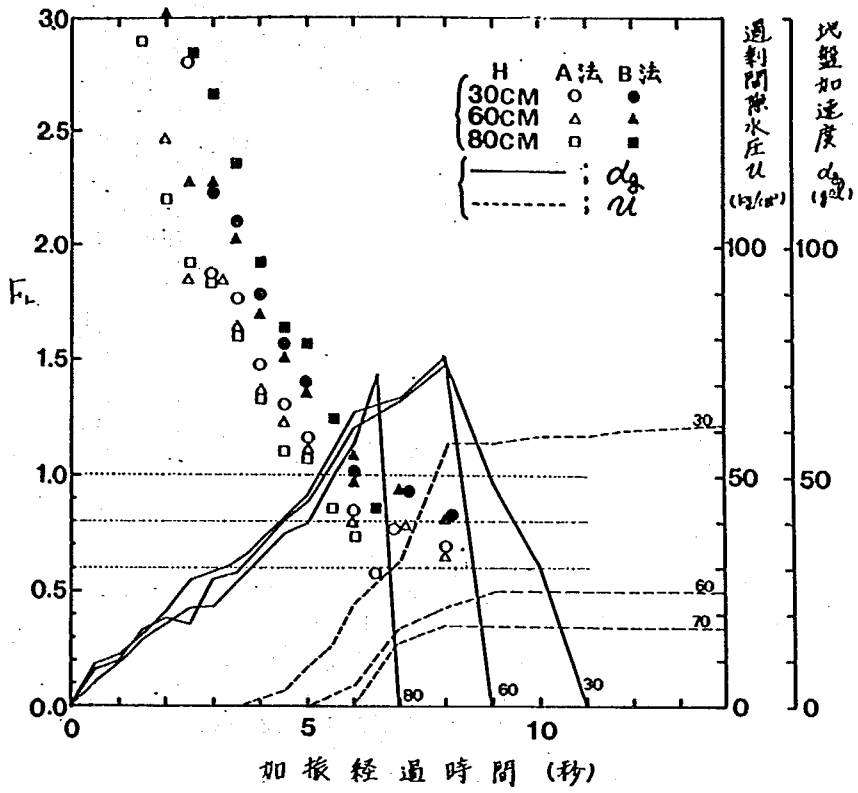
図－4.3.5　F_L と過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階３）



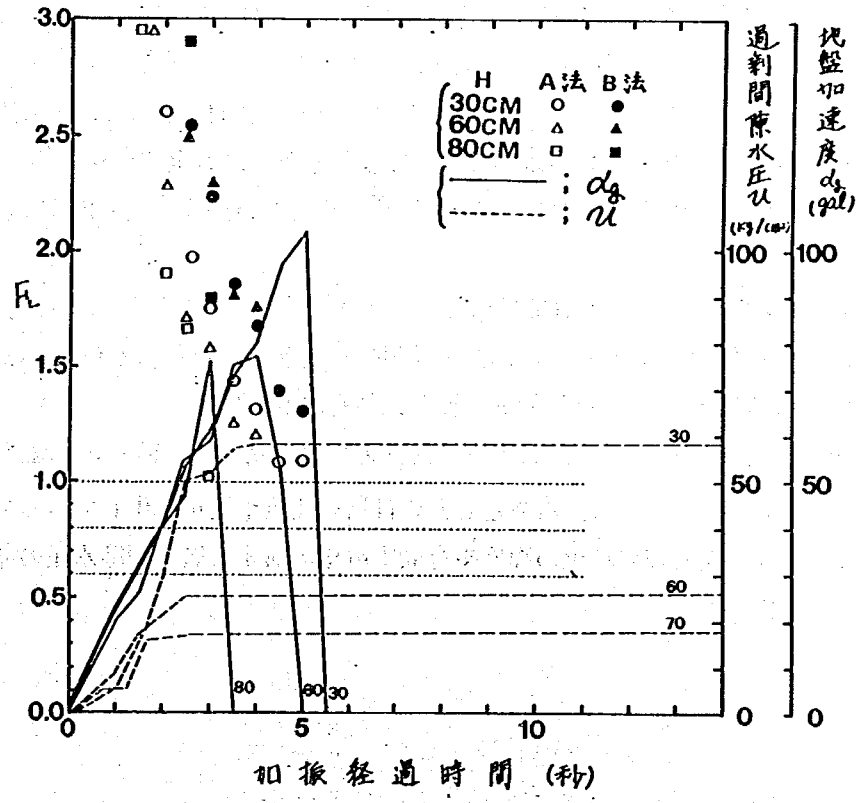
図－4.3.6　F_L と過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階４）



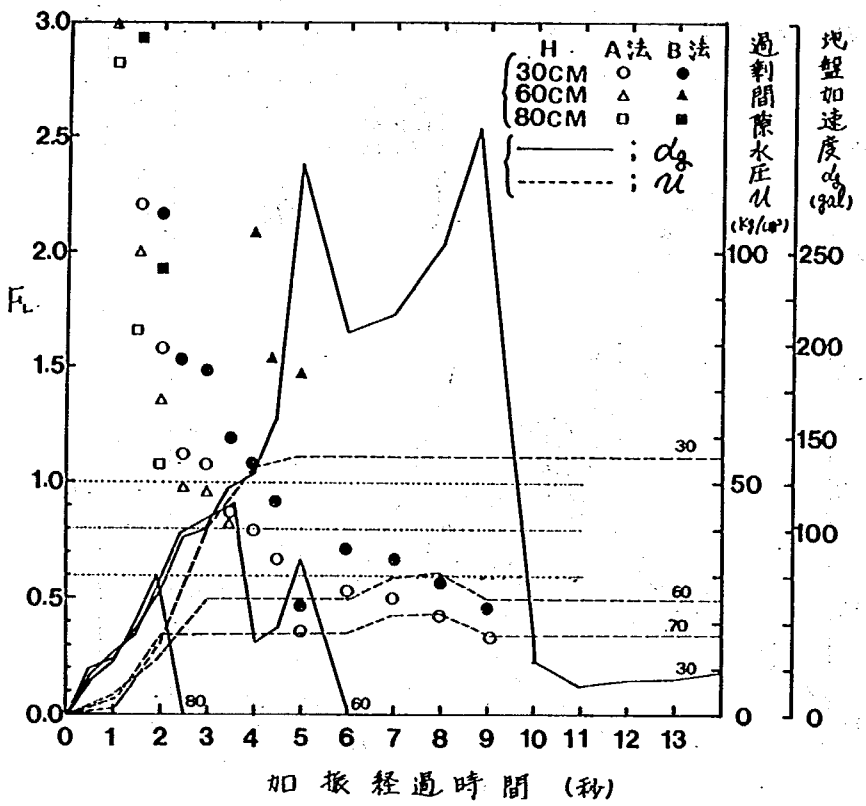
図－4.3.7　F_L と過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階５）



図－4.3.8　F_L と過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階６）



図－4.3.9　F_L と過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階７）

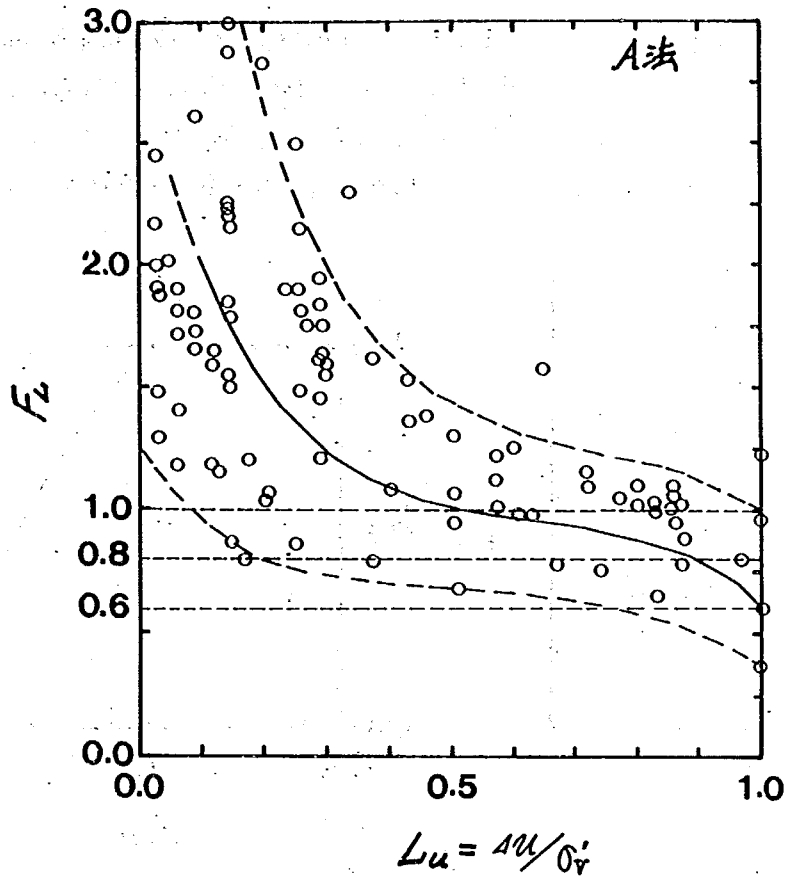


図－4.3.10 F_Lと過剰間隙水圧・地盤内加速度の関係（加振段階8）

これらの図から流動化の程度とF_Lの値が比較的良く対応付けられていることがわかる。つまり，流動化が発生していない段階1および段階4でのF_L値は1.0より大きく，それに対して流動化の発生している他の段階（2,4,6,7および8）のF_L値は1.0以下であり，両種の段階間には明確な差異がある。また，流動化が一部の砂層で発生している段階3および段階5でも，完全流動化に到る砂層部では流動化の進行に伴いF_Lの値は1.0以下となり，完全流動化に到らない砂層部でのF_Lの値は1.0より大きくなっている。

さらに，A法およびB法によるF_Lの計算値の比較をすると，全般的にB法によるF_L値の方がA法によるものより大きい傾向がある。しかし，両法の結果に特別著しい差があるわけではなく，F_Lの値が1.0付近あるいは1.0以下の領域では比較的近似した値を示している。

図－4.3.11は図－4.3.3～図－4.3.10におけるA法の結果に基づいて砂地盤の流動化の程度とF_Lの関係をまとめたものである。ただし，対象としたのは過剰間隙水圧が発生している時間段階の応答量としている。ここでは，地盤の流動化の程度を有効上載圧に対する過剰間隙水圧の発生量の割合として（4.2.1）式で定義した。



図－4.3.11　F_L～L_u ＝$\Delta u/\sigma'_v$ の関係

図－4.3.11によれば，データの分布に幅があるものの，流動化の程度が進行するに従ってF_L値が減少する。そして，このデータにおいてはその変化特性を図中の実線で代表させることができる。ここで，L_u＝1.0においてF_L＝0.6を代表させたのはデータの許容する範囲で道路橋示方書V耐震設計編を考慮したためである。これによると，流動化の程度が50％（L_u＝0.5）付近においてF_L＝1.0となり，これ以上（L_u＞0.5）になるとF_Lが1.0以下となる。そして，完全流動化状態（L_u＝1.0）でのF_Lは0.6以下となる。

換言すれば，F_L＞1.0においても最大で有効上載圧に対して50％程度の過剰間隙水圧が発生しており，F_Lを用いた判定法では50％程度の過剰間隙水圧の発生は地盤の耐震性（流動化に対する抵抗）に対して影響しないものとみなしていることになる。そして，50％以上の過剰間隙水圧の発生がある状態で流動化に対する地盤の耐震性が低下することになる。

道路橋示方書V耐震設計編によれば表－4.3.1に示すようにF_Lの値により地盤の定数を低減するように配慮しているが，表－4.3.1のF_Lの区分に図－4.3.11の流動化の程度を対応させると次のようになる。

$1.0 < F_L$ ，$0 \leq L_u < 0.5$

$0.8 < F_L \leq 1.0$ ，$0.5 \leq L_u < 0.9$

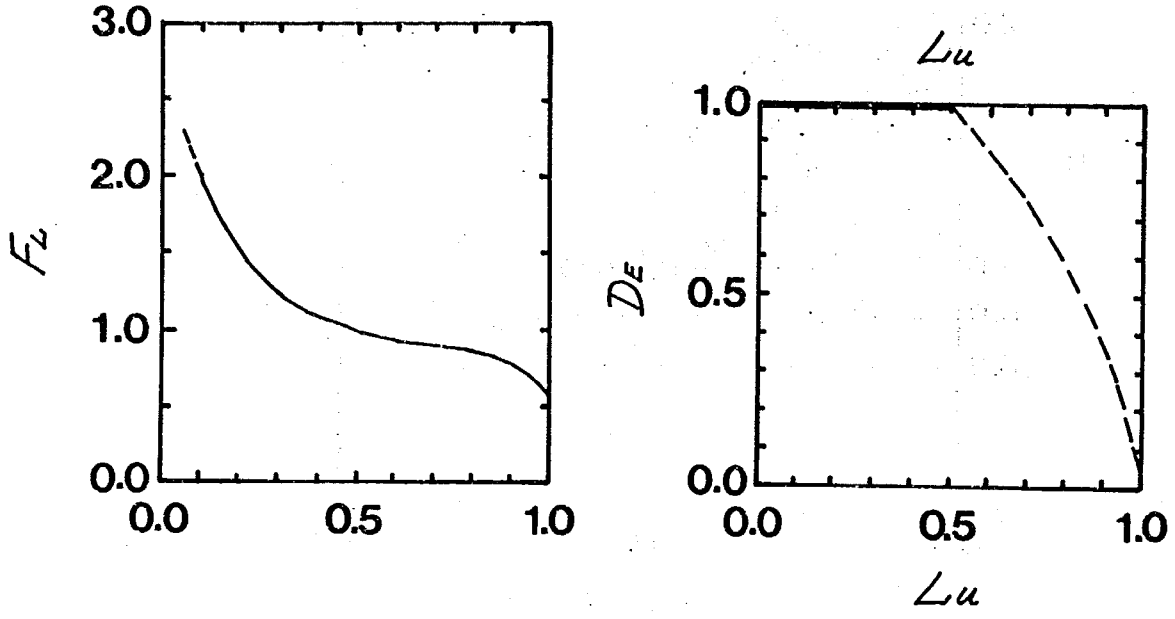
$0.6 < F_L \leq 0.8$ ，$0.9 \leq L_u < 1.0$

$F_L \leq 0.6$ ，$L_u = 1.0$

表－4.3.1　土質定数に乗じる定数[10)]

F_L の範囲	現地盤面からの深度 x (m)	土質定数に乗じる係数 D_E
$F_L \leq 0.6$	$0 \leq x \leq 10$	0
	$10 < x \leq 20$	$\frac{1}{3}$
$0.6 < F_L \leq 0.8$	$0 \leq x \leq 10$	$\frac{1}{3}$
	$10 < x \leq 20$	$\frac{2}{3}$
$0.8 < F_L \leq 1.0$	$0 \leq x \leq 10$	$\frac{2}{3}$
	$10 < x \leq 20$	1

ここで，表—4.3.1では土質定数に乗じる係数D_EをF_Lの値に応じて4段階に不連続的に設定しているが，仮に流動化の程度（L_u）とD_Eとの関係が明らかとなれば，F_Lの値に対応してD_Eを決めることができる。現在のところではL_u～D_Eの関係は明らかでないが，例えば図－4.3.11の結果を踏えた場合のL_u～D_Eの関係を模式的に描くと，図－4.3.12のようになるものと推察される。



図—4.3.12　地盤流動化の程度と地盤反力係数の低減に関する模式図

5. まとめ

流動化する砂質地盤および流動化砂層中の杭基礎構造物の動的応答特性に関する室内模型振動実験の結果から次の知見を得た。

1） 地盤の完全流動化時に発生する過剰間隙水圧の最大値は，上層の単位体積重量と深度から算出した有効上載圧（σ'_v）にほぼ等しい値となる。

2） 一様な砂質地盤モデルでの地盤の完全流動化は，表層部から下層部へ進行する。

3） 流動化を経験した地盤であっても，入力地震動の規模あるいは地盤の強度特性により再度流動化する可能性がある。本実験では同程度の地震動の再入力の場合は，強度の増加した下層部において完全流動化に到っていないが，それ以浅の砂層では完全流動化する。また，以前入力した地震動より大きな地震動の再入力によって，完全流動化に到る層が拡大する。

4） 地盤加速度（α_g）と静的コーン貫入抵抗値（q_c）の関係においては，図－4.2.15に示すように完全流動化層と非完全流動化層とを区別できることが実験的に確かめられた。同図によれば，$q_c \leqq 8.0$ (kg／cm²)〔N≦2〕程度の極く軟弱な地盤に対して，完全流動化発生のための地盤加速度あるいは静的コーン貫入抵抗値を推定することができる。

5） 地盤加速度（α_g）と地盤の推定動的強度（$R\ell$）の関係においても，図－4.2.16に示すように完全流動化層と非完全流動化層とを区分できることが実験的に確かめられた。同図によれば，完全流動化発生のための地盤加速度あるいは地盤の動的強度を推定することができる。

6） 地盤の全層厚（Ho）に対する表層からの完全流動化層（H_L）の割合（H_L／Ho）が増加するに伴ない，杭基礎の杭頭変位が増加する。ただし，本実験ではH_L／Hoが小さい（＜0.2）領域での特性は捕えきれなかったが，全層にわたり完全流動化が発生した場合であっても杭頭変位が急増するような傾向はみられていない。

7） 模型地盤における完全流動化直前の発生最大せん断歪は $2 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-3}$ 程度であると推定される。

8） 流動化前および流動化後の間隙比が明らかな場合の流動化による地盤の沈下量は（4.2.3）式で推定できることが実験的に確かめられた。

9） 流動化砂層中の杭基礎構造物の応答は，入力振動数（入力の周波数特性）および流動化する周辺地盤を含めた基礎構造物の固有振動数に影響される。

10） 地盤の流動化現象と推算に基づく流動化に対する抵抗率（F_L）の値とは，良く対応することが実験的に確認された。つまり，地盤流動化の進行（過剰間隙水圧の上昇）に伴なってF_L値は低下し，完全流動化に到らない場合のF_L値はほぼ1.0より大きいが，完全流動化に到る場合は1.0以下となる傾向を示す。

11） 過剰間隙水圧の発生量（Δu）と有効上載圧（σ'_v）から定義した地盤流動化の程度（$\Delta u / \sigma'_v$）と流動化に対する抵抗率（F_L）との間には，図－4.3.11の関係があることが実験的に確かめられた。同図によれば，流動化に対する抵抗率から流動化の程度を推定することができる。

あ と が き

大型振動台を用いた地盤流動化に関する模型振動実験としては，筑波研究学園都市へ移転後の最初の実験であったが，従来の実験の経験を生かして特別支障もなく実験を終了することができたと思っている。今後は本実験で解明しきれなかった事項あるいはより詳細に検討する必要のある事項に関する実験を進めるとともに，より広汎な地盤条件あるいは構造物条件下における模型振動実験をも実施し，地盤流動化に対する構造物の合理的な耐震設計に反映させてゆく予定である。

参 考 文 献

1）建設省土木研究所：新潟地震調査報告，土木研究所報告　第125号，昭和40年6月

2）岩崎，常田：1978年宮城県沖地震における地盤の流動化に関する調査，土木技術資料　Vol. 21 No. 12　1979. 12.

3）岩崎，常田：関上大橋における地盤の耐震性調査，土木技術資料　Vol. 22　No. 7, 1980.

4）岩崎，常田：地盤の流動化を考慮した河川堤防の耐震解析，土木技術資料　Vol. 22　No. 10, 1980.

5）岩崎，常田：昭和大橋における地盤の耐震性調査，第15回土質工学研究発表会，1980. 6

6）岩崎，常田：1978年宮城県沖地震における被災地点の周辺地盤の耐震性調査，第15回土質工学研究発表会，1980. 6

7）岩崎，龍岡，常田：地盤流動化の判定方法，土木技術資料　Vol. 20　No. 4, 1978. 4

8）岩崎，龍岡：流動化する地盤内の杭基礎の動的挙動に関する模型実験，土木技術資料　Vol. 18 No. 9，1976. 9

9）岩崎，龍岡，常田，吉田：流動化砂層中の杭の地震時挙動，土木技術資料　Vol. 21　No. 1，1979. 1

10）日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編，昭和55年5月

11）日本建築学会：建築基礎構造物設計基準・同解説，昭和49年11月

12）日本国有鉄道：建造物標準設計解説　基礎構造物及び杭土圧構造物，昭和49年6月

13）日本港湾協会：港湾構造物設計基準，昭和46年4月

14）大橋，岩崎，龍岡，宮田：東京湾岸道路の曙橋および新辰巳橋における地盤耐震性調査，土木研究所資料　第1170号，昭和51年9月

付属資料

Ⅰ．地盤モデルおよび杭基礎モデルの応答特性値一覧

1）地盤モデル砂層高

2）静的コーン貫入試験結果

3）加速度

4）過剰間隙水圧

5）杭頭応答変位

6）杭頭加速度応答倍率

7）せん断歪

8）沈下量の推定

Ⅱ．地盤の耐震性に関する解析結果

I. 地盤モデルおよび杭基礎モデルの応答特性値一覧

1) 地盤モデル砂層高

計測段階	表面変位量（10測点）ΔH (cm)										$\overline{\Delta H}$ (cm)	砂層厚 H (cm)	e
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩			
試験前	4.8	5.7	5.2	4.8	4.8	4.7	4.6	4.4	4.4	4.4	4.78	95.62	0.820
30 gal 加振後	5.2	5.0	4.7	4.7	5.2	5.0	4.7	4.7	4.7	4.8	4.87	95.53	0.818
80 gal 加振後	6.2	6.0	6.3	6.3	6.6	5.2	4.9	5.3	5.1	4.9	5.68	94.72	0.803
80 gal 加振後	7.2	6.9	6.9	7.2	7.5	7.2	6.2	6.6	6.2	6.2	6.81	93.59	0.7812
50 gal 加振後	7.3	7.3	7.4	7.4	7.9	7.3	6.8	6.8	6.4	6.9	7.15	93.25	0.775
80 gal 加振後	8.0	8.1	8.1	7.9	8.2	7.3	7.4	7.5	7.5	7.7	7.76	92.64	0.763
150 gal 加振後	8.7	8.5	9.2	9.1	9.3	8.8	8.7	8.7	8.5	8.7	8.82	91.58	0.743
150 gal 加振後	9.9	9.6	10.0	10.0	10.2	9.7	9.7	9.7	9.3	9.4	9.75	90.65	0.725
250 gal 加振後	10.5	10.3	10.7	10.9	10.9	10.7	10.2	10.3	10.2	10.3	10.50	89.90	0.710

2) 静的コーン貫入試験結果　　d：ダイアルゲージ読取値（1/100 mm），q_c（kg/cm²），N：N値

NO	1						2						3						4						5					
測定時	試験前						30gal 加振後						80gal 加振後						80gal 加振後						50gal 加振後					
深度	①			②			①			②			①			②			①			②			①			②		
	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N
5cm	25	0.668	0.167	5.0	0.445	0.111	8.0	0.712	0.178	4.5	0.401	0.100	8.0	0.712	0.178	8.0	0.712	0.178	9.0	0.801	0.200	11.0	0.979	0.245	12.0	1.068	0.267	10.0	0.890	0.223
10	9.6	0.854	0.214	13.5	1.202	0.301	13.0	1.157	0.289	12.0	1.068	0.267	12.0	1.068	0.267	18.0	1.602	0.401	16.0	1.424	0.356	17.0	1.513	0.378	23.0	2.047	0.512	20.0	1.780	0.445
15	13.8	1.228	0.307	18.5	1.647	0.412	15.0	1.337	0.334	16.0	1.424	0.355	14.0	1.246	0.312	25.0	2.225	0.556	21.0	1.869	0.467	23.0	2.047	0.512	31.0	2.759	0.690	34.0	3.026	0.757
20	15.0	1.335	0.334	22.0	1.958	0.490	16.5	1.469	0.367	17.0	1.513	0.378	15.0	1.335	0.334	29.0	2.581	0.645	24.0	2.136	0.534	29.0	2.581	0.645	38.0	3.382	0.846	42.0	3.738	0.935
25	16.0	1.424	0.355	18.0	1.602	0.401	19.5	1.736	0.434	18.0	1.602	0.401	16.0	1.424	0.355	32.0	2.848	0.712	30.0	2.670	0.668	41.0	3.649	0.912	42.0	3.738	0.935	52.0	4.717	1.179
30	19.5	1.736	0.434	18.0	1.602	0.401	22.0	1.958	0.490	18.0	1.602	0.401	18.0	1.602	0.401	27.0	2.403	0.601	42.0	3.738	0.935	52.0	4.628	1.157	44.0	3.916	0.979	72.0	6.408	1.602
35	22.0	1.958	0.490	19.0	1.691	0.423	22.0	1.958	0.490	19.0	1.691	0.423	22.0	1.958	0.490	26.0	2.314	0.579	48.0	4.272	1.068	67.0	5.963	1.491	57.0	5.073	1.268	83.0	7.387	1.847
40	22.0	1.958	0.490	21.0	1.869	0.467	22.0	1.958	0.490	19.5	1.736	0.434	26.5	2.359	0.590	26.0	2.314	0.579	57.0	5.073	1.268				68.0	6.052	1.513	98.0	8.722	2.181
45	20.0	1.780	0.445	20.0	1.780	0.445	19.0	1.691	0.423	21.0	1.869	0.467	32.0	2.848	0.712	28.0	2.492	0.623	63.0	5.607	1.402				82.0		1.825	92.0	8.188	2.047
50	21.0	1.869	0.467	22.0	1.958	0.490	25.5	2.270	0.568	23.0	2.047	0.512	35.0	3.115	0.779	30.0	2.670	0.668	69.0	6.141	1.535				83.0		1.847	92.0	8.188	2.047
55	23.0	2.047	0.512	31.0	2.759	0.690	23.0	2.047	0.512	28.0	2.492	0.623	38.0	3.382	0.846	35.0	3.115	0.779	60.0	5.340	1.335				75.0	6.675	1.669	75.0	6.675	1.669
60	23.0	2.047	0.512	28.5	2.537	0.634	27.0	2.403	0.601	31.0	2.759	0.690	48.0	4.272	1.068	35.0	3.115	0.779	63.0	5.607	1.402				63.0	5.607	1.402			
65	23.0	2.047	0.512	27.0	2.403	0.601	29.0	2.581	0.645	33.5	2.982	0.746	55.0	4.895	1.224	54.0	4.806	1.202	85.0	7.565	1.891									
70	22.5	2.003	0.501	29.0	2.581	0.645	30.0	2.670	0.668	40.0	3.560	0.890	62.0	5.518	1.380	83.0	7.387	1.847												
75	24.5	2.181	0.545	27.0	2.403	0.601	36.0	3.204	0.801	39.5	3.516	0.879	70.0	6.230	1.558															
80	31.5	2.804	0.701	28.0	2.492	0.623	39.0	3.471	0.868	41.0	3.649	0.912	72.0	6.408	1.602															
85	38.0	3.382	0.846	38.0	3.382	0.846	41.0	3.649	0.912	40.0	3.560	0.890	70.0	6.230	1.558															

NO	6						7						8						9					
測定時	80gal 加振後						150gal 加振後						150gal 加振後						250gal 加振後					
深度	①			②			①			②			①			②			①			②		
	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N	d	qc	N
5cm	18.0	1.602	0.401	14.0	1.246	0.312	13.0	1.157	0.289	10.0	0.890	0.223	10.0	0.890	0.223	13.0	1.157	0.289	18.0	1.602	0.401	15.0	1.335	0.334
10	31.0	2.759	0.690	25.0	2.225	0.556	27.0	2.403	0.601	26.0	2.314	0.579	22.0	1.958	0.490	27.0	2.403	0.601	28.0	2.492	0.623	27.0	2.403	0.601
15	41.0	3.649	0.912	42.0	3.738	0.935	32.0	2.848	0.712	32.0	2.848	0.712	36.0	3.204	0.801	44.0	3.916	0.979	29.0	2.581	0.645	37.0	3.293	0.823
20	49.0	4.361	1.090	37.0	3.471	0.868	31.0	2.759	0.690	33.0	2.937	0.734	41.0	3.649	0.912	43.0	3.827	0.957	40.0	3.560	0.890	44.0	3.916	0.979
25	48.0	4.272	1.068	39.0	3.471	0.868	30.0	2.670	0.668	38.0	3.382	0.846	42.0	3.738	0.935				57.0	5.073	1.268	60.0	5.340	1.335
30	51.0	4.539	1.135	41.0	3.649	0.912	44.0	3.916	0.979	50.0	4.450	1.113	48.0	4.272	1.068	55.0	4.895	1.224	65.0	5.785	1.446			
35	61.0	5.429	1.357	57.0	5.073	1.268	53.0	4.717	1.179	57.0	5.073	1.268	58.0	5.162	1.291	72.0	6.408	1.602						
40	82.0	7.298	1.825	80.0	7.120	1.780	65.0	5.785	1.446	60.0	5.340	1.335							75.0	6.675	1.669	75.0	6.675	1.669
45	95.0	8.455	2.114	85.0	7.565	1.891							45.0	4.005	1.00	60.0	5.340	1.335	78.0	6.942	1.736			
50	95.0	8.455	2.114	62.0	5.518	1.380	60.0	5.340	1.335	60.0	5.340	1.335	54.0	4.806	1.202	62.0	5.518	1.380	81.0	7.209	1.802	82.0	7.298	1.825
55	・	・		65.0	5.785	1.446	56.0		1.246	66.0	5.874	1.469	66.0	5.874	1.469									
60	・	・	1.335	70.0	6.230	1.558	69.0	6.141	1.535	78.0	6.942	1.736	・											
65							80.0	7.120	1.780															
70																								
75																								
80																								
85																								

3) 加速度

3.1 加振段階 1

加速度計 NO / GAL	1 砂層底	2 砂層中1	3 砂層中2	4 杭中1	加速度計 NO / GAL	5 杭中2	6 杭基礎3	7 可動壁	8 表層中心	加速度計 NO / GAL	9 表層南面	10 表層南東	11 表層北東	12 表層北面	加速度計 NO / GAL	13 杭頭1	14 杭頭2	15 杭頭3	16 杭頭4
	LC=2.35cm	LC=2.4cm	LC=2.4cm	LC=2.35cm		LC=1.3cm	LC=2.35cm	LC=2.4cm	LC=		LC=2.3cm	LC=2.1cm	LC=2.4cm	LC 2.0cm		LC=2.5cm	LC=2.4cm	LC=1.4cm	LC=3.15mm
	A (gal)	A (gal)	A (gal)	A (gal)		A (gal)	A (gal)	A (gal)	A (gal)		A (gal)	A (gal)	A (gal)	A (gal)		A (gal)	A (gal)	A (gal)	A (gal)
1	4.707	7.336	9.107	9.595	1	9.462	4.707	14.504		0.5	5.251	10.078	13.646	5.841	0.5	6.932	2.212	23.600	21.707
2	9.414	12.837	13.661	11.994	2	14.192	9.414	18.647		1	5.251	10.078	13.646	〃	1	6.932	〃	31.466	27.133
3	11.768	14.671	18.215	16.791	3	14.192	14.122	22.791		1.5	5.251	10.078	15.921	〃	1.5	8.666	〃	〃	〃
4	14.122	18.339	20.492	21.588	4	18.923	18.829	31.079		2	5.251	13.598	18.195	〃	2	10.399	〃	〃	28.942
5	18.829	22.007	22.769	23.987	5	23.654	23.536	39.367		2.5	7.876	15.117	18.195	〃	2.5	10.399	〃	35.400	〃
6	18.829	22.007	22.769	23.987	6	23.654	28.243	45.588		3	7.876	17.637	20.462	8.762	3	15.598	4.423	39.333	32.560
6.5	23.536	27.509	22.600	31.183	6.5	28.385	32.950	70.446		3.5	10.502	20.156	22.744	8.762	3.5	19.064	4.423	43.266	37.987
7	28.243	33.011	31.876	35.981	7	37.847	11.768	41.439		4	10.502	20.156	22.744	11.682	4	19.064	6.635	47.199	39.796
8	30.597	34.844	36.430	40.778	8	37.847	0	31.079		4.5	10.502	20.156	22.744	〃	4.5	19.064	〃	〃	〃
9	30.597	36.678	38.707	43.177	9	37.847	〃	31.079		5	13.127	25.195	27.293	14.603	5	22.530	〃	〃	41.604
10	30.597	36.678	40.984	43.177	10	42.577	〃	29.007		6	18.378	32.754	36.390	23.364	6	38.128	8.846	51.13	52.458
11	32.950	38.512	43.260	45.576	11	〃	↓	29.007		7	21.004	35.273	38.644	26.285	7	39.861	11.058	55.066	59.693
12	32.950	40.346	〃	〃	12	〃		29.007		8	21.004	37.793	40.939	26.285	8	45.061	13.270	〃	65.120
13	32.950	40.346	〃	〃	13	〃		29.007		9	26.255	37.793	40.939	29.206	9	48.527	〃	59.000	72.356
14	〃	〃	〃	〃	14	〃		31.079		10	26.255	40.312	43.213	〃	10	50.260	〃	〃	75.973
15	〃	〃	〃	〃	15	〃		31.079		11	26.255	〃	43.213	〃	11	50.260	〃	〃	79.591
20	〃	〃	〃	〃	20	〃		37.295		12	26.255	〃	45.488	〃	12	51.993	〃	〃	〃
25	〃	〃	〃	〃	25	〃		43.511		13	28.880	42.832	〃	〃	13	〃	15.481	〃	〃
30	〃	〃	〃	〃	30	〃		47.655		14	〃	〃	〃	32.136	14	〃	〃	62.933	81.400
35	〃	〃	〃	〃	35	〃		53.870		15	〃	〃	〃	32.136	15	〃	13.270	62.933	〃
40	〃	〃	〃	〃	40	〃		58.014		20	〃	40.312	〃	29.206	20	〃	〃	78.666	79.591
45	〃	〃	〃	〃	45	〃		60.086		25	26.255	37.793	43.213	〃	25	46.794	〃	〃	75.973
50	〃	〃	〃	〃	50	〃		65.158		30	〃	40.312	〃	〃	30	45.061	〃	74.733	72.356
55	〃	〃	〃	〃	55	〃		70.446		35	〃	〃	〃	〃	35	43.328	〃	70.800	70.547
										40	〃	〃	〃	〃	40	〃	〃	〃	〃
55.5	28.243	25.675	29.600	28.785	55.5	28.385		62.158		45	〃	〃	〃	〃	45	〃	〃	〃	72.356
										50	〃	〃	〃	〃	50	〃	〃	〃	70.547
56	0	0	0	0	56	0		10.360		54	〃	〃	〃	〃	54	〃	〃	〃	〃
					56.5			0		54.5	0	0	0	0	55	0	0	0	0

3.2　加振段階 2

加速度計 NO / GAL	1 砂層底 LC=2.35cm A (gal)	2 砂層中1 LC=2.4cm A (gal)	3 砂層中2 LC=2.4cm A (gal)	4 杭中1 LC=2.35cm A (gal)
0.5	9.414	14.671	15.938	16.791
1	14.122	18.339	18.315	19.190
1.5	21.182	25.675	27.322	26.386
2	28.243	34.844	36.430	38.379
2.5	30.597	36.678	38.707	40.774
3	32.950	38.512	40.984	43.177
3.5	32.950	38.512	40.984	43.177
4	35.304	40.346	43.260	47.974
4.5	42.365	53.184	56.922	59.968
5	44.719	55.018	59.199	62.367
6	51.779	64.187	68.306	74.360
7	58.840	71.523	77.413	85.981
8	63.547	78.859	84.244	88.379
9	68.254	88.512	9.107	43.177
10	70.608	11.004	0	33.582
11	75.315	7.336	↓	35.981
12	77.699	0		35.981
13	80.033	↓		38.379
14				〃
15				〃
20				〃
25	〃			〃
30	〃			40.778
35	〃			43.177
40	〃			45.576
45	〃			〃
50	〃			43.177
53	〃			40.778
53.5	54.133			38.785
54	21.182			14.392
54.5	0			0

加速度計 NO / GAL	5 杭中2 LC=1.3cm A (gal)	6 杭基礎3 LC=2.35cm A (gal)	7 可動壁 LC=2.4cm A (gal)	8 表層中心 LC= A (gal)
0.5	14.192	9.414	24.863	
1	18.923	14.122	24.863	
1.5	23.654	23.536	43.511	
2	33.116	35.304	80.806	
2.5	37.847	44.719	116.03	
3	42.577	47.072	95.309	
3.5	37.847	37.658	76.662	
4	42.577	42.365	87.021	
4.5	56.770	54.133	93.237	
5	61.501	33.536	78.234	
6	70.962	0	〃	
7	52.039	↓	51.798	
8	42.577		58.014	
9	42.577		55.942	
10	47.308		53.870	
11	〃		55.942	
12	〃		58.014	
13	〃		60.086	
14	〃		〃	
15	〃		〃	
20	〃		〃	
25	〃		65.158	
30	〃		〃	
35	〃		〃	
40	52.039		〃	
45	〃		64.230	
50	〃		〃	
53	42.577		41.439	
53.5	23.654		20.719	
54				
54.5				

加速度計 NO / GAL	9 表層南面 LC=2.3cm A (gal)	10 表層南東 LC=2.1cm A (gal)	11 表層北東 LC=2.4cm A (gal)	12 表層北面 LC 2.0cm A (gal)
0.5	7.876	15.098	18.195	5.841
1	7.876	15.117	18.195	5.841
1.5	13.127	22.676	27.293	14.603
2	21.004	35.273	38.664	26.285
2.5	〃	37.793	40.939	〃
3	33.639	37.793	40.939	〃
3.5	21.004	35.273	36.390	33.364
4	28.880	42.832	45.488	39.206
4.5	42.008	55.430	59.134	42.808
5	44.633	57.950	61.408	46.729
6	55.135	65.508	70.506	58.411
7	0	75.586	0	0
8	↓	0	22.744	↓
9		↓	15.921	
10			22.744	
11			18.195	
12			13.646	
13			11.372	
14			9.098	
15			6.823	
20			0	
30			↓	
35				
40				
45				
50				
53				
53.5				

加速度計 NO / GAL	13 杭頭1 LC=2.5cm A (gal)	14 杭頭2 LC=2.4cm A (gal)	15 杭頭3 LC=1.4cm A (gal)	16 杭頭4 LC=2.15cm A (gal)
0.5	12.132	4.423	31.466	22.560
1	15.598	4.423	43.266	41.604
1.5	25.997	6.635	59.000	47.031
2	41.594	8.846	62.933	68.738
2.5	39.861	11.058	66.866	75.893
3	50.260	13.270	66.866	77.782
3.5	46.794	11.058	70.8	72.356
4	48.527	13.270	74.733	95.871
4.5	69.324	15.481	〃	133.0
5	84.922	15.481	78.666	146.52
6	90.121	24.328	121.93	106.72
7	173.31	70.771	94.399	〃
8	145.58	64.137	103.27	110.34
9	67.591	70.771	〃	121.2
10	55.459	72.983	110.13	137.48
11	55.459	77.406	121.93	141.09
12	53.726	79.618	125.87	〃
13	53.726	81.829	〃	〃
14	51.993	〃	133.73	〃
15	51.993	84.041	〃	〃
20	48.527	〃	125.87	139.28
25	50.260	〃	〃	〃
30	55.459	86.253	121.93	〃
35	60.657	88.464	118.0	142.7
40	65.855	〃	114.07	148.33
45	72.790	〃	110.13	〃
50	79.723	〃	〃	151.95
53	83.189	〃	〃	〃
54	0	0	0	0

3.3 加振段階3

加速度計 NO / GAL	1 砂層底 LC=2.35 cm A (gal)	2 砂層中1 LC=2.4 cm A (gal)	3 砂層中2 LC=2.4 cm A (gal)	4 杭中1 LC=2.35 cm A (gal)
0.5	7.061	7.336	9.107	9.595
1	11.768	14.671	18.215	14.392
1.5	23.536	22.007	25.046	28.785
2	25.890	29.343	31.876	33.582
2.5	30.597	34.844	36.430	40.778
3	37.658	44.014	47.814	50.373
3.5	42.365	49.516	52.368	57.569
4	44.719	53.184	56.922	59.968
4.5	47.072	55.018	59.199	64.765
5	49.426	58.685	62.252	50.373
6	54.133	62.353	66.029	31.183
7	58.840	69.689	72.860	38.379
8	65.901	77.025	81.967	43.177
9	70.608	82.526	84.244	"
10	75.315	91.696	68.306	45.576
11	80.023	93.530	0	"
12	"	"	"	"
13	"	95.364	"	"
14	"	"	"	"
15	82.376	"	"	"
20	"	97.198	"	"
25	"	"	"	"
30	84.730	"	"	"
35			34.154	47.976
40	"	"	104.74	50.373
45	"	"	95.628	57.569
47.5	"	"	"	59.968
48	25.315	89.862	91.075	62.772
48.5	23.536	25.675	27.322	17.190
49			0	0

加速度計 NO / GAL	5 杭中2 LC=1.3 cm A (gal)	6 杭基礎3 LC=2.35 cm A (gal)	7 可動壁 LC=2.4 cm A (gal)	8 表層中心 LC= A (gal)
0.5	9.462	7.061	14.504	
1	18.923	16.475	24.863	
1.5	28.385	28.243	51.798	
2	33.116	0	72.518	
2.5	37.847	↓	49.727	
3	47.308		53.870	
3.5	56.770		58.014	
4	61.501		65.158	
4.5	56.770		60.086	
5	47.308		"	
6	52.039		62.158	
7	56.770		66.302	
8	"		70.446	
9	"		"	
10	61.501		74.590	
11	"			
12	56.770			
13	"			
14	"			
15	"			
20	"		76.662	
25	61.501		80.806	
30			82.878	
35	66.231		87.021	
40	70.962		89.093	
45	75.693		93.237	
47.5			97.381	
48	80.424		99.453	
48.5	42.577		35.233	
49	0		0	

加速度計 NO / GAL	9 表層南西 LC=2.3 cm A (gal)	10 表層南東 LC=2.1 cm A (gal)	11 表層北東 LC=2.4 cm A (gal)	12 表層北西 LC 2.0 cm A (gal)
0.5	5.251	4.559	11.372	5.841
1	7.876	12.598	18.195	8.762
1.5	13.127	22.676	29.567	14.603
2	15.753	27.715	31.841	17.523
2.5	23.629	35.273	38.664	23.364
3	34.131	45.351	50.036	35.046
3.5	0	55.430	54.585	40.888
4	↓	"	59.134	"
4.5		62.988	68.231	0
5		57.949	75.055	↓
6		78.105	0	
7		0	↓	
8		↓		
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
48				
50				

加速度計 NO / GAL	13 杭頭1 LC=2.5 cm A (gal)	14 杭頭2 LC=2.4 cm A (gal)	15 杭頭3 LC=1.4 cm A (gal)	16 杭頭4 LC=3.15 cm A (gal)
0.5	6.932	4.423	39.333	21.707
1	12.132	"	53.078	37.987
1.5	24.263	8.846	"	50.649
2	31.196	11.058	66.866	59.693
2.5	39.861	13.270	70.80	75.973
3	57.192	15.481	66.866	97.680
3.5	79.723	17.693	62.933	126.62
4	81.456	24.328	66.866	97.680
4.5	109.19	44.332	"	"
5	161.18	55.290	"	92.253
6	149.05	59.713	70.80	97.680
7	166.38	70.771	78.666	108.53
8	175.04	75.195	86.532	119.39
9	164.64	79.618	90.466	"
10	155.98	88.464	106.20	133.86
11	133.45	"	110.13	"
12	128.25	"	"	"
13	119.58	"	"	135.67
14	121.32	"	"	"
15	124.78	"	"	137.48
20	142.11	90.676	106.20	"
25	162.91	92.887	114.07	"
30	183.71	95.099	"	"
35	209.71	97.311	"	"
40	227.44	101.73	"	"
45	272.10	106.16	"	"
48	294.63	108.37	0	0
50	0	0		

3.4　加振段階 4

加速度計NO / GAL	1 砂層底 LC=2.35 cm A (gal)	2 砂層中1 LC=2.4 cm A (gal)	3 砂層中2 LC=2.4 cm A (gal)	4 杭中1 LC=2.35 cm A (gal)	加速度計NO / GAL	5 杭中2 LC=1.3 cm A (gal)	6 杭基礎3 LC=2.35 cm A (gal)	7 可動壁 LC=2.4 cm A (gal)	8 表層中心 LC= A (gal)
0.5	4.707	7.336	6.831	7.196	0.5	4.731	4.707	8.288	
1	9.414	12.837	9.107	9.595	1	9.462	7.061	14.504	
1.5	11.768	14.671	13.661	14.392	1.5	14.192	14.122	24.863	
2	16.475	18.339	18.215	19.190	2	18.923	18.829	33.151	
2.5	18.829	"	"	21.588	2.5	"	21.182	37.295	
3	18.829	20.173	20.492	"	3	23.654	23.536	41.439	
3.5	21.182	"	"	23.987	3.5	"	25.890	43.511	
4	"	22.007	22.769	"	4	"	28.243	47.655	
4.5	"	23.841	25.046	26.386	4.5	"	"	49.727	
5	22.536	25.675	"	28.785	5	28.385	32.950	60.086	
6	25.890	27.509	27.322	31.183	6	33.116	0	89.453	
7	30.597	34.844	31.876	35.981	7	37.847	↓	84.949	
8	35.304	40.346	40.984	45.576	8	42.577		74.590	
9	42.365	49.516	50.091	55.170	9	52.039		66.302	
10	47.072	53.184	56.922	59.968	10	56.770		64.158	
11	"	55.018	"	"	11	"		"	
12	"	56.852	59.199	62.367	12	"		"	
13	"	"	"	"	13	61.501		66.302	
14	"	"	"	"	14	"		"	
15	"	"	"	"	15	"		"	
20	49.426	"	"	64.765	20	"		"	
25	"	"	"	"	25	"		74.590	
30	"	"	"	"	30	"		80.806	
35	"	"	"	62.367	35	"		89.093	
40	"	"	"	"	40	52.039		99.453	
45	44.719	47.682	50.091	52.772	45	0		103.60	
46	0	0	0	0	46			24.863	
					46.5			0	

加速度計NO / GAL	9 表層南西 LC=2.3 cm A (gal)	10 表層南東 LC=2.1 cm A (gal)	11 表層北東 LC=2.4 cm A (gal)	12 表層北西 LC 2.0 cm A (gal)	加速度計NO / GAL	13 杭頭1 LC=2.5 cm A (gal)	14 杭頭2 LC=2.4 cm A (gal)	15 杭頭3 LC=1.4 cm A (gal)	16 杭頭4 LC=3.15 cm A (gal)
0.5	2.625	5.039	9.098	0	0.5	6.932	4.423	31.466	18.089
1	5.251	10.078	13.646	5.841	1	10.399	6.635	43.266	28.942
1.5	7.876	15.117	18.195	8.762	1.5	13.865	8.846	"	37.987
2	10.502	17.637	22.744	11.682	2	20.797	"	47.199	39.796
2.5	"	"	"	"	2.5	24.263	"	"	"
3	"	20.156	25.018	"	3	"	"	51.133	41.604
3.5	13.127	"	"	"	3.5	"	"	47.199	43.413
4	"	"	27.293	14.603	4	27.730	"	53.072	"
4.5	"	22.676	"	"	4.5	"	"	"	50.649
5	15.753	27.715	31.841	17.523	5	31.196	"	59.0	54.267
6	"	"	"	"	6	"	"	"	50.649
7	18.378	32.754	36.390	23.364	7	46.794	13.270	62.933	65.120
8	26.255	40.312	45.488	29.206	8	57.192	"	70.8	81.4
9	36.757	50.391	56.860	37.967	9	77.990	17.693	78.666	103.11
10	39.382	55.430	59.134	43.808	10	97.054	"	"	119.39
11	13.129	"	"	49.650	11	100.52	19.904	"	"
12	34.131	"	61.408	"	12	110.92	22.116	"	128.43
13	44.633	60.469	63.643	"	13	114.38	24.328	82.599	130.24
14	"	"	"	"	14	"	26.539	86.532	133.0
15	"	"	"	"	15	121.32	"	"	121.2
20	"	57.949	"	46.729	20	100.52	22.116	94.399	110.34
25	"	"	"	"	25	86.655	17.693	"	103.11
30	"	55.430	"	"	30	79.723	"	90.466	97.680
35	36.757	57.949	"	"	35	77.990	"	86.532	94.062
40	39.382	52.910	59.134	"	40	72.790	"	"	90.445
45	"	50.391	54.585	40.888	45	"	"	"	88.636
47	0	0	0	0	47	0	0	0	0

3.5 加振段階5

加速度計 NO / GAL	1 砂層底 LC=2.35cm A(gal)	2 砂層中1 LC=2.4cm A(gal)	3 砂層中2 LC=2.4cm A(gal)	4 杭中1 LC=2.35cm A(gal)	加速度計 NO / GAL	5 杭中2 LC=1.3cm A(gal)	6 杭基礎3 LC=2.35cm A(gal)	7 可動壁 LC=2.4cm A(gal)	8 表層中心 LC= A(gal)
0.5	2.354	3.668	4.554	7.196	0.5	4.731	2.354	12.432	
1	4.707	7.336	9.107	11.994	1	9.462	4.707	16.576	
1.5	9.414	11.004	11.384	14.392	1.5	14.192	9.44	20.719	
2	14.122	18.339	18.215	21.588	2	18.923	16.475	26.935	
2.5	18.829	22.007	22.769	23.987	2.5	23.654	23.536	35.223	
3	23.536	23.841	25.046	28.785	3	28.385	28.243	43.511	
3.5	25.890	27.509	27.322	31.183	3.5	"	30.597	49.707	
4	28.243	29.343	29.6	33.582	4	33.116	32.950	53.87	
4.5	30.597	33.011	34.153	38.379	4.5	37.847	37.658	66.302	
5	35.304	40.346	38.707	43.177	5	42.577	44.719	76.662	
6	42.365	45.848	45.537	50.373	6	47.308	54.133	99.453	
7	44.719	51.350	52.368	57.569	7	56.77	65.901	128.46	
8	49.426	55.018	56.922	62.367	8	66.231	61.194	198.91	
9	65.901	80.692	84.244	93.55	9	89.886	44.719	136.25	
10	75.315	88.028	91.075	95.949	10	94.616	32.950	126.39	
11	82.376	99.032	100.18	91.151	11	113.54	35.304	"	
12	"	97.198	97.905	95.949	12	108.27	32.950	122.24	
13	"	"	"	100.25	13	"	16.475	118.1	
14	"	"	"	105.54	14	129.0	4.707	"	
15	"	"	"	"	15	"	0	120.17	
20	"	"	"	124.73	20	165.58		124.32	
25	"	"	100.18	146.32	25	179.77		126.39	
30	"	99.032	"	167.91	30	203.43		130.53	
35 40	"	"	"	127.13 112.74	35 40	151.57 118.27		136.75 142.96	
45 49	"	"	"	110.34	45 49	113.54 108.81		149.68 153.32	
50 51	21.182 0	22.007 0	22.769 0	23.987 0	50 51	14.192		37.295 0	

加速度計 NO / GAL	9 表層南西 LC=2.3cm A(gal)	10 表層南東 LC=2.1cm A(gal)	11 表層北東 LC=2.4cm A(gal)	12 表層北西 LC 2.8cm A(gal)
0.5	0	2.520	9.098	0
1	5.251	5.039	"	2.921
1.5	7.876	10.078	15.921	8.762
2	"	17.637	22.744	"
2.5	13.127	20.156	25.018	11.682
3	"	25.195	27.293	14.603
3.5	18.378	"	31.841	17.523
4	"	30.234	34.116	20.444
4.5	23.629	35.273	40.939	26.285
5	28.88	40.312	45.488	29.206
6	34.131	45.351	50.036	35.047
7	42.008	55.43	63.682	46.729
8	52.510	68.027	70.506	55.491
9	76.139	90.703	81.878	75.935
10	0	115.90	"	87.617
11 12	↓	110.86 115.9	0	0
13 14		70.567 5.889	↓	↓
15 20		0 10.078		
35 30		63.986 98.105		
35 37.5	0	98.263 199.04		0 11.682
40	26.355	"	0	35.046
42.5	65.637	"	4.549	61.332
45	86.641	"	9.098	90.537
47.5	89.267	"	56.860	84.686
50	10.502	20.156	22.744	11.682
50.5	0	0	0	

加速度計 NO / GAL	13 杭頭1 LC=2.5cm A(gal)	14 杭頭2 LC=2.4cm A(gal)	15 杭頭3 LC=1.4cm A(gal)	16 杭頭4 LC=2.15cm A(gal)
0.5		2.2	31.466	31.767
1		4.4	35.4	25.324
1.5	オーバー	6.6	39.333	36.178
2	スケール	8.8	43.266	47.031
2.5		"	53.078	"
3		11.1	"	54.267
3.5		13.3	"	57.885
4		"	62.933	63.311
4.5		"	70.8	65.120
5		"	78.666	77.782
6		"	82.599	83.209
7		17.7	86.532	104.92
8		19.9	94.399	97.68
9		26.5	86.532	175.46 191.74
10		61.9	94.399	160.98
11		92.9	106.2	159.18
12		103.9	110.13	144.71
13		112.8	118.0	"
14		115.0	125.87	"
15		117.2	121.93	"
20		133.7	118.0	150.14
25		139.3	110.13	155.56
30		"	"	162.8
35		90.7	"	166.42
40 45		53.1 0.4	106.2 114.07	177.27 188.12
50 51		13.3 0	90.466 0	209.83 0

3.6 加振段階 6

加速度計 NO / GAL	1 砂層底 LC=2.35 cm A (gal)	2 砂層中1 LC=2.4 cm A (gal)	3 砂層中2 LC=2.4 cm A (gal)	4 杭中1 LC=2.35 cm A (gal)	加速度計 NO / GAL	5 杭中2 LC=1.3 cm A (gal)	6 杭基礎3 LC=2.35 cm A (gal)	7 可動壁 LC=2.4 cm A (gal)	8 表層中心 LC= A (gal)
0.5	16.475	16.505	18.215	19.190	0.5	14.192	18.839	33.151	
1	21.182	20.173	22.769	23.987	1	18.923	21.182	39.367	
1.5	32.95	33.011	31.876	38.379	1.5	37.847	40.011	74.390	
2	37.658	38.512	40.984	43.177	2	42.577	51.779	103.60	
2.5	47.072	36.678	54.645	57.569	2.5	56.770	54.138 / 127.09	159.54	
3	51.779	55.018	〃	62.367	3	61.501	103.56	200.98	
3.5	56.487	58.685	61.48	67.164	3.5	〃	51.779	167.83	
4	61.194	69.689	72.860	74.360	4	75.693	44.719	169.90	
4.5	68.355	78.859	81.967	81.354	4.5	80.424	42.365	157.47	
5	75.315	88.028	91.075	95.949	5	94.616	44.719	174.44	
6	105.91	121.04	127.50	134.33	6	132.46	70.608	165.76	
7	117.68	132.04	132.06	143.92	7	170.31	84.730	124.68	
8	134.7	148.55	152.55	163.14	8	123.0	56.489	130.53	
9	129.45	97.198	0	69.56	9	61.501	21.182	124.32	
10	131.80	62.353	↓	62.367	10	66.231	16.475	118.1	
11	〃	0		67.164	11	〃	28.243	113.96	
12	138.86	↓		〃	12	〃	33.536	〃	
13	143.57			〃	13	〃	〃	120.17	
14	145.92			〃	14	70.962	〃	〃	
15	148.28			〃	15	〃	25.89	116.03	
20	〃			62.367	20	〃	32.950	〃	
25	〃			57.569	25	〃	〃	〃	
30	150.63			55.170	30	75.693	〃	〃	
35	〃			57.569	35	〃	〃	〃	
40	〃			62.367	45	80.424	〃	〃	
45	〃			64.765	49	〃	〃	〃	
50	89.44			33.582	50	70.962	23.536	66.302	
53	0			0	53	0	0	0	

加速度計 NO / GAL	9 表層南面 LC=2.3 cm A (gal)	10 表層南東 LC=2.1 cm A (gal)	11 表層北東 LC=2.4 cm A (gal)	12 表層北面 LC 2.0 cm A (gal)
0.5	10.502	15.117	22.744	11.682
1	21.004	30.234	31.841	20.444
1.5	28.880	37.793	40.939	29.206
2	36.757	45.351	50.036	35.046
2.5	47.259	55.430	59.134	43.808
3	〃	57.950	63.683	46.729
3.5	52.510	65.508	70.506	52.570
4	65.637	75.586	79.603	64.252
4.5	78.765	85.664	88.701	75.935
5	89.267	95.742	95.524	78.855
5.5	110.27	118.42	113.72	99.299
6	231.04	128.50	150.11	113.90
6.5	0	116.29	177.40	143.11
7	↓	0	13.646	0
7.5		↓	9.098	↓
8			〃	
9			0	
10			↓	

加速度計 NO / GAL	13 杭頭1 LC=1.35 cm A (gal)	14 杭頭2 LC=2.4 cm A (gal)	15 杭頭3 LC=1.4 cm A (gal)	16 杭頭4 LC=1.6 cm A (gal)
0.5	34.662	13.3	62.933	49.858
1	38.128	〃	70.8	71.225
1.5	41.594	15.5	86.532	78.348
2	45.061	17.7	82.599	85.470
2.5	55.459	〃	86.532	99.715
3	69.324	〃	90.466	117.52
3.5	79.723	22.116	94.399	128.21
4	110.92	28.751	〃	149.57
4.5	152.51	30.962	98.332	192.31
5	138.65	33.174	110.13	210.11
5.5	159.45	44.232	141.60	267.09
6	194.11	50.867	283.20	256.41
6.5	346.62	101.73	145.53	405.98
7	540.73	132.7	180.93	220.80
7.5	502.60	〃	196.66	231.48
8	485.27	137.12	〃	227.92
8.5	260.0	〃	〃	224.36
9	194.11	119.43	〃	235.04
9.5	169.84	121.64	〃	256.41
10	187.18	123.85	180.93	263.53
12	149.05	130.48	〃	220.80
15	145.58	137.12	196.66	235.04
20	138.65	〃	204.53	〃
25	131.72	〃	228.13	〃
30	124.78	139.33	〃	〃
35	121.32	〃	212.40	〃
40	117.85	〃	228.13	〃
45	114.38	〃	200.60	〃
50	97.054	141.54	212.40	〃
53	0	0	0	0

3.7　加振段階 7

加速度計NO / GAL	1 砂層底 LC=2.35cm A (gal)	2 砂層中1 LC=2.4cm A (gal)	3 砂層中2 LC=2.4cm A (gal)	4 杭中1 LC=2.35cm A (gal)	加速度計NO / GAL	5 杭中2 LC=1.3cm A (gal)	6 杭基礎3 LC=2.35cm A (gal)	7 可動壁 LC=2.4cm A (gal)	8 表層中心 LC= A (gal)
0.5	7.061	11.004	11.384	11.994	0.5	9.462	9.414	14.504	
1	18.829	22.007	22.769	23.987	1	18.923	21.182	41.439	
1.5	28.243	31.177	31.876	33.582	1.5	33.116	42.365	95.309	
2	35.304	40.346	40.984	43.177	2	43.577	18.829	78.734	
2.5	44.719	53.184	54.645	57.569	2.5	52.039	7.061	82.878	
3	51.778	60.519	59.199	64.765	3	66.231	0	78.734	
3.5	63.547	73.357	75.137	67.164	3.5	85.155	0	82.878	
4	65.901	80.692	77.413	47.974	4	89.886	0	80.806	
4.5	80.023	97.198	52.368	28.785	4.5	70.962	7.061	89.093	
5	87.083	104.53	0	47.974	5	52.039	9.414	91.165	
6	101.21	0	↓	55.170	6	56.770	16.475	101.525	
7	131.80	↓		59.968	7	75.693	23.536	118.1	
8	148.28			64.765	8	80.424	25.890	124.32	
9	157.69			67.164	9	85.155	28.243	128.46	
10	162.40			"	10	"	"	"	
11	157.69			"	11	"	"	"	
12	"			"	12	"	"	"	
13	"			"	13	"	"	"	
14	"			"	14	"	"	"	
15	155.34			"	15	"	"	"	
20	"			69.560	20	"	"	"	
25	"			"	25	"	"	"	
30	"			71.961	30	"	"	"	
35	"			74.360	35	"	"	130.53	
40	"			76.759	40	"	"	"	
45	"			79.158	45	"	"	133.60	
47	"			81.556	47	"	"	"	
48	77.699			38.379	48	47.308	14.112	68.374	
49	0			0	49	0	0	0	

加速度計NO / GAL	9 表層南面 LC=2.3cm A (gal)	10 表層南東 LC=2.1cm A (gal)	11 表層北東 LC=2.4cm A (gal)	12 表層北面 LC 2.2cm A (gal)
N				
0.5	10.502	15.117	20.469	11.682
1	15.753	30.234	34.116	20.444
1.5	23.629	35.273	40.939	26.285
2	39.382	50.391	54.585	40.888
2.5	0	20.156	77.329	46.729
3	↓	27.715	38.664	25.935
3.5		"	0	0
4		35.273	↓	↓
4.5		0		
5		↓		
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
47				
48				
49				

加速度計NO / GAL	13 杭頭1 LC=1.25cm A (gal)	14 杭頭2 LC=2.4cm A (gal)	15 杭頭3 LC=1.4cm A (gal)	16 杭頭4 LC=1.6cm A (gal)
0.5	31.196	11.1	59.0	53.419
1	27.730	13.270	"	64.103
1.5	45.061	"	"	89.031
2	62.392	17.693	53.078	113.96
2.5	76.256	22.116	66.866	99.715
3	142.11	48.655	78.666	110.40
3.5	183.71	72.983	86.532	117.52
4	218.37	84.041	102.27	142.45
4.5	97.054	"	133.73	"
5	110.92	88.464	"	146.01
6	103.99	99.522	157.33	170.94
7	114.38	117.2	196.66	217.24
8	138.65	130.48	224.20	249.29
9	142.11	141.54	236.0	270.66
10	"	"	220.26	"
11	138.65	"	228.13	"
12	135.18	"	"	"
13	"	"	220.26	"
14	"	"	228.13	"
15	128.25	"	236.0	274.22
20	117.85	"	228.13	"
25	121.32	"	236.0	281.34
30	128.25	"	247.80	292.02
35	"	"	267.46	"
40	131.72	"	251.73	"
45	138.65	"	255.66	295.58
47	142.11	"	247.80	292.02
48	0	0	0	0

3.8　加振段階 8

加速度計 NO / GAL	1 砂層底 LC=2.35 cm A (gal)	2 砂層中1 LC=2.4 cm A (gal)	3 砂層中2 LC=2.4 cm A (gal)	4 杭中1 LC=2.35 A (gal)	加速度計 NO / GAL	5 杭中2 LC=1.3 cm A (gal)	6 杭基礎3 LC=2.35 cm A (gal)	7 可動壁 LC=2.4 cm A (gal)	8 表層中心 LC= A (gal)
0.5	25.890	25.675	25.046	28.785	0.5	23.654	28.243	51.798	
1	28.243	31.177	31.876	33.582	1	33.116	35.304	103.60	
1.5	42.365	47.682	47.814	52.772	1.5	52.039	44.719	107.74	
2	61.194	67.855	70.583	74.360	2	70.962	9.414	111.88	
2.5	80.023	95.364	97.905	91.151	2.5	94.616	0	116.03	
3	84.730	99.032	100.18	64.265	3	70.962	0	109.81	
3.5	108.27	122.87	116.12	52.772	3.5	〃	9.414	126.39	
4	122.39	135.71	31.876	69.560	4	75.693	11.768	128.46	
4.5	136.51	157.55	47.814	79.158	4.5	〃	14.122	140.89	
5	157.69	200.76	84.244	76.759	5	85.155	16.475	153.32	
6	181.23	205.40	0	95.949	6	94.616	21.182	165.76	
7	190.64	216.40	↓	105.54	7	99.347	25.890	167.83	
8	209.47	254.91		113.94	8	108.81	28.243	178.19	
9	223.59	319.10		177.50	9	123.0	47.072	223.77	
10	218.89	31.177		95.949	10	113.54	44.719	161.61	
11	235.36	16.505		105.54	11	123.0	47.072	178.19	
12	254.19	18.339		112.74	12	132.46	54.133	190.62	
13	258.90	20.173		〃	13	〃	58.840	〃	
14	〃	〃		〃	14	〃	63.547	〃	
15	〃	22.007		〃	15	〃	56.487	〃	
20	〃	22.007		115.14	20	141.92	54.133	182.33	
25	〃	〃		117.54	25	〃	61.194	178.19	
30	〃	〃		〃	30	151.39	70.608	171.97	
35	〃	44.014		119.94	35	〃	〃	〃	
40	〃	72.859		124.73	40	156.12	〃	〃	
45	〃	135.71		134.33	45	〃	〃	〃	
50	195.35	207.33		127.13	50	146.66	51.779	14.504	
51	51.779	0		23.987	51	37.847	14.122	37.295	
52	0	0		0	52	0	0	0	

加速度計 NO / GAL	9 表層南西 LC= Ai (gal)	10 表層南東 LC= Ai (gal)	11 表層北東 LC= A (gal)	12 表層北西 LC A (gal)	加速度計 NO / GAL	13 杭頭1 LC= Ai (gal)	14 杭頭2 LC= Ai (gal)	15 杭頭3 LC= A (gal)	16 杭頭4 LC= A (gal)
N					N				

4) 過剰間隙水圧

1回目 20gal									2回目 40gal								3回目 80gal								4回目 50gal								30gal 1	80 2	90 3	50 4
間隙水圧計	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9	9
GAL値	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.45	LC0.45	LC0.45	LC0.45
土(砂)	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al
1																	0	0	0	0	1.7	1.7	4.3													
2													1.7				1.7	1.9	1.7	1.7	3.5	3.4	"	4.4						1.7					4.7	
3									1.9	1.9	1.7	1.7	3.5	1.7			5.8	7.7	6.8	6.9	12.1	12.0	8.6	8.7						"					"	
4									"	"	"	"	"	3.4			15.6	17.3	15.2	15.4	20.8	20.4	17.1	17.4					1.7	3.4					9.3	
5					0				3.9	5.8	3.4	3.6	6.9	5.2	4.3		22.4	23.1	21.9	22.5	34.2	25.8	25.7	"	0				"	5.2	4.3	"			"	
6					1.7	1.7			9.7	11.5	10.1	10.4	15.6	12.0	21.4	4.4	27.2	26.9	25.3	26.0	27.7	29.2	"	"	1.9	1.9	1.7	1.7	3.5	"	"			4.7	"	
7	1.9	3.8	1.7	1.7	3.5	3.4	4.3		21.4	26.9	23.6	24.3	27.7	29.2	30.0	17.4	31.2	31.8	30.4	27.7	32.9	34.4	30.0	"	"	3.8	"	"	"	"	"			9.3	"	
8	3.9	5.8	3.4	3.6	5.2	5.2	8.6		39.0	40.4	40.5	38.3	41.5	39.6	34.3	21.8	37.0	40.4	37.1	36.3	39.8	41.2	"	"	3.9	"	3.4	"	5.2	6.9	"	0		14.0	"	
9	"	"	"	"	6.9	6.9	"	4.4	42.6	55.7	55.7	50.3	53.6	44.7	"	"	43.9	44.2	43.9	43.3	43.3	43.0	"	"	"	5.8	5.1	3.6	6.9	8.6	"	4.4		"	"	
10	5.8	7.7	5.1	5.2	"	8.6	"	"	66.3	65.4	66.8	58.8	"	46.4	"	"	46.8	48.1	47.3	46.7	45.0	"	"	"	7.8	9.6	8.4	6.9	10.4	12.0	8.6	"	4.7	"	"	4.7
11	7.8	"	6.8	"	8.6	"	"	"	74.1	76.9	72.6	"	"	"	30.0	"	48.7	51.9	50.6	48.5	48.4	44.7	"	"	9.7	11.5	10.1	8.7	"	12.8	"	"	"	"	"	"
12	"	9.6	8.4	"	10.4	"	"	"	77.9	78.8	"	"	"	"	"	"	52.6	53.8	54.0	50.2	"	43.0	"	"	11.7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
13	9.7	"	"	6.9	"	10.3	"	"	85.7	80.7	74.3	60.6	51.9	"	"	"	"	"	"	"	50.3	"	"	"	"	"	"	"	"	12.0	"	"	"	9.3	"	"
14	"	"	10.1	"	"	"	"	"	"	"	72.6	"	"	"	"	"	46.8	"	"	51.9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0
15	"	"	8.4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	44.7	"		"	"	"	"	"	"	"	"	9.7	"	"	"	8.6	10.3	"	"	"	"	"	
20	7.8	7.7	6.8	"	6.9	6.9	4.3	0	"	78.8	"	"	"	"	"	17.4	50.2	51.9	50.6	50.3	48.4	"	"	"	7.8	9.6	8.4	6.9	6.9	6.9	4.3	0	0	"	"	
25	5.8	5.8	5.1	5.2	5.2	5.2	"		33.3	"	"	"	"	"	"	"	"	40.0	48.9	"	46.7	"	"	"	3.9	5.8	5.1	5.2	5.2	5.2	"			"	"	
30	3.9	3.8	3.4	3.6	"	3.5	"		"	"	"	"	"	"	"	"	46.8	48.1	47.3	46.7	43.3	"	"	"	"	3.8	3.4	3.6	3.5	3.4	0			"	"	
35	"	"	"	"	"	"	"		29.9	26.9	"	"	"	"	"	"	"	46.1	45.6	45.0	41.5	"	"	"	1.9	1.9	"	1.7	"	"				"	"	
40	"	"	"	"	3.5	"	"		27.9	"	"	"	"	"	"	"	44.8	44.2	43.9	43.3	38.1	39.6	"	"	"	"	1.7	"	"	"				"	"	
45	"	"	"	"	"	"	"		26.0	"	"	"	"	"	"	"	43.9	43.3	40.5	41.5	"	"	"	"	"	"	"	"	1.7	1.7				"	"	
55	1.9	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	"		22.1	21.1	20.9	22.1	"	"	"	"	37.0	36.5	37.1	36.3	34.6	36.1	"	"	0	0	0	0	"	"				"	"

5回目 80gal									6回目 150gal								7回目 150gal								8回目 250gal								5	6	7	8
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9	9
GAL値	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.6	LC0.7	LC0.3	LC0.5	LC0.6	LC0.5	LC0.45	LC0.35	LC0.45	LC0.45	LC0.45	LC0.45
土(砂)	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al
1																	1.9	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	4.3	4.4	1.9	3.8	1.7	1.7	3.5	3.4	4.3	4.4				
2																	3.9	5.8	5.1	5.2	6.9	6.9	8.6	"	11.7	15.4	13.5	15.6	24.3	17.3	12.9	17.4				4.7
3									0	1.9	1.7	0	1.7				17.5	21.1	18.6	15.6	20.8	20.6	17.1	17.4	21.2	40.4	36.8	39.8	41.5	29.6	25.7	"				9.3
4									1.9	3.8	"	1.7	"	1.7			27.3	25.7	22.8	24.4	31.1	26.4	21.4	"	41.8	47.7	40.5	43.7	42.4	41.2	"	"			4.7	"
5									3.9	5.8	3.4	3.6	3.5	3.4		0	42.7	51.9	50.6	50.3	45.0	39.6	25.7	"	57.4	61.5	49.1	55.4	"	"	"	"		4.7	"	"
6					0				7.8	15.4	10.1	8.7	10.4	6.9	4.3	4.4	60.4	61.5	60.8	51.9	46.7	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"			"	"
7	0	0	0	0	1.7	1.7			25.3	26.9	27.0	22.5	24.3	24.1	17.1	13.1	72.1	73.0	69.2	69.1	"	41.3	"	"	"	"	40.8	"	"	42.0	30.0	21.8		"	9.3	"
8	0	1.9	1.7	1.7	"	"	4.3		35.1	38.4	37.1	31.3	31.1	27.5	21.4	17.4	74.1	73.0	"	68.8	"	"	"	"	60.4	"	"	"	44.7	"	"	"	9.3	"	"
9	1.9	3.8	3.4	"	6.9	6.9	8.6	4.4	46.8	57.7	59.1	57.1	46.7	41.2	25.7	"	"	73.0	70.9	"	"	"	"	"	63.4	63.4	"	"	"	43.0	25.7	17.4	4.7	"	"	"
10	7.8	9.6	8.4	6.9	13.8	13.8	17.1	8.7	62.4	63.4	66.1	"	48.4	44.7	"	"	72.1	"	"	"	"	"	"	"	74.1	69.2	64.1	"	"	"	"	"	"	14.0	"	"
11	13.6	15.4	13.5	12.1	17.3	20.6	"	"	77.9	76.9	70.9	58.8	50.3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	77.9	71.1	65.8	"	"	"	"	"	9.3	"	"	"
12	15.6	19.2	18.6	15.6	20.8	24.1	25.7	17.4	85.7	80.7	72.6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
13	21.4	24.5	21.9	17.3	24.3	"	"	"	77.7	"	74.3	60.6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
14	23.4	25.0	23.6	20.8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	57.1	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
15	"	"	"	22.5	"	"	"	"	85.7	"	72.6	58.8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
20	"	"	"	"	"	"	"	"	"	76.9	70.9	"	"	"	"	"	70.2	69.2	67.5	"	"	"	"	"	"	"	62.5	"	"	"	"	"	14.0	"	"	"
25	"	"	"	20.8	22.5	22.4	"	"	83.3	"	"	"	"	"	"	"	62.2	69.2	"	"	"	"	"	"	74.0	"	"	"	"	"	"	"	9.3	"	"	"
30	21.4	24.5	21.9	"	17.3	20.6	"	"	81.8	"	"	"	"	"	"	"	66.3	67.3	65.8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
35	19.5	21.1	20.3	19.0	"	17.2	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	12.1	65.4	64.1	"	"	"	"	"	74.1	"	65.8	"	"	"	"	"	"	"	"	"
40	"	19.2	16.9	17.3	"	"	21.4	8.7	77.9	"	"	"	"	"	"	"	62.4	62.4	"	"	"	"	"	"	72.1	67.3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
45	15.6	18.4	15.2	13.8	"	15.5	"	"	77.7	"	"	"	"	"	"	"	"	61.5	62.4	"	"	"	"	"	70.2	67.3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
50	"	15.4	13.5	"	13.8	13.8	"	"	76.0	75.0	"	"	"	"	"	"	57.4	59.6	60.8	"	"	"	"	"	66.3	"	64.1	"	"	"	"	"	"	"	"	"

5) 杭頭応答変位

1回目 30gal

変位計 / t(分)	1 (LC=12.2cm) Ai	2 (LC=28cm) Ai	3 (LC=26.6cm) Ai	4 (LC=10.9cm) Ai
2				
3			0.016	0.010
4			0.024	↓
5			0.033	
6	0.018		0.049	0.020
7	0.036		0.052	
8	↓			↓
9			↓	
10	0.053		0.072	0.072
	↓		↓	↓
15	0.053	0.087	0.041	0.061
20	↓	↓	↓	0.031
				↓
25				
				0.031
30				0.020
				↓

2回目 80gal

t(分)	1 (1/5 LC=12.2cm) Ai[mm]	2 (1/10 500μ LC=2.8cm) Ai[mm]	3 (1/5 1000μ LC=26.6cm) Ai	4 (1/5 500μ LC=10.9cm) Ai
		0.178		
		0.346	0.179	0.082
	0.249	0.346	0.490	0.164
	0.267	0.519	0.330	0.246
	0.291	0.865	1.061	0.450
	0.569	1.211	0.889	0.225
	0.918	1.730	0.840	0.082
7	1.28	1.903	0.884	↓
	1.35		1.044	
	1.12	-	0.881	
	0.98		0.848	
	0.95		0.800	
	0.98		0.783	
	0.97		0.751	
8	0.96	1.903	0.733	
	·			
	·			
	·			
	·			
	1.03			
	1.01			
9	1.03	1.990	0.800	
	0.85			
	0.57			
	·			
	·			
	·			
	·			
10	0.60	2.076	0.816	
11		2.249	0.930	
12		-	0.912	
20		2.076	0.718	
45	0.46	1.903	0.33	

3回目 再 80gal

t	1 (1/5 1000μ LC=12.2cm) Ai mm	2 (1/10 500μ LC=2.8cm) Ai mm	3 (1/2 1000μ LC=26.6cm) Ai mm	4 (1/5 500μ LC=10.9cm) Ai mm
2sec	0.054			0.041
3sec	0.187	0.178		0.143
4sec	0.373	1.335		0.154
	0.765			·
	0.843			·
	0.996			·
5sec	0.925	1.602		0.154
6sec	1.027	1.958		·
9sec	1.120	2.314	0.083	·
10sec	1.033	2.026	0.294	·
12sec	0.925	2.670	0.473	·
14sec	0.961	2.581	0.294	·
15	1.068	2.698	0.265	0.195
20	1.086	2.759	0.343	0.154
25	1.125	2.670	0.433	0.164
30	1.281	"	0.355	0.175
35	1.353	2.888	0.294	0.114
40	1.542	2.937	0.253	

4回目 50gal

t(分)	1 (1/5 1000μ LC=12.2) Ai	2 (1/10 500μ LC=2.8) Ai	3 (1/5 1000μ LC=26.6) Ai	4 (1/5 500μ LC=10.9) Ai
0			0	
5	0.036		↓	0.0307
10	0.0890	0.142		0.0614
15	0.125	"		0.102
20	0.107			0.082
30		0		
40				
45				

5回目 80gal

t(秒)	1 (1/5 100μ LC=39.25) Ai	2 (1/10 500μ LC=2.8) Ai	3 (1/5 1000μ LC=26.6) Ai	4 (1/5 500μ LC=10.9) Ai
8	0.011	0.0	0.0	0.020
9	0.055	0.178	0.024	0.123
10	0.441	0.979	0.033	0.184
11	0.844	2.136	0.163	0.246
11.5	0.938	2.403	0.188	·
12	1.004	2.492	·	·
13	1.071	2.670	0.294	0.195
14	1.104	↓	0.449	↓
15			0.522	
16	↓		0.449	
17			0.400	
18			0.383	
19			0.343	
20	11.1	3.026	0.326	
25	11.45	3.204	0.187	
30	10.65	3.028	0.114	0.205
35	5.2	1.869	0.057	0.226
40	3.75	0.98	0.024	0.205
45	2.0	0.534		0.220

6回目 150gal

t(分)	1 (1/5 500μ LC=1.57) Ai	2 (1/10 500μ LC=2.8) Ai	3 (1/5 1000μ LC=26.6) Ai	4 (1/5 500μ LC=10.9) Ai
	0	0.178	0.0326	0.112
6	0.385	0.356	0.0571	0.143
			0.261	
			0.555	
			1.142	
7	0.759	0.534	2.316	0.369
	3.450	5.434	2.496	
	3.726	2.587	2.195	
	5.295	2.620	1.730	
8	6.209	2.868	1.827	0.328
9	6.347	2.500	1.795	
10	3.313	2.204	1.827	"
11	3.528	·	1.909	0.348
12	3.124	2.738	1.730	0.287
13	3.124	↓		
14	↓			
15				
16				
17			2.056	0.287
18	↓		2.203	"
19		↓		
20	3.311	4.094	2.138	0.348
25	↓		2.252	0.328
30			2.203	0.307
35			2.154	0.3
40	3.311	↓	2.138	"
45	3.243			"

7回目 再150gal

t(分)	1 (1/5 500μ LC=1.57) Ai	2 (1/10 500μ LC=2.8) Ai	3 (1/2 1000μ LC=26.6) Ai	4 (1/5 500μ LC=10.9) Ai
3	0.276	0.178	0.0326	0.133
4	3.036	1.78	0.0408	0.154
4.5	2.898	2.492	0.343	0.164
5.0	2.208	2.521	0.730	"
5.5		2.472	1.028	0.185
6.0	2.760	3.738	1.158	0.205
7.0	↓	↓	1.697	↓
8			2.023	
9			2.317	
10	3.450	3.976	2.571	0.332
11	↓	↓	2.366	↓
12			2.301	
13			2.415	
14			2.480	
15		4.094	↓	0.357
16		↓		0.389
17				
18				↓
19				
20	3.312	4.094	2.448	0.389
25			2.48	0.359
30	↓	↓		
35			2.61	
40			2.69	↓
45			2.63	

8回目 250gal

t(分)	1 (1/5 500μ LC=1.57) Ai	2 (1/5 1000μ LC=2.8) Ai	3 (1/5 1000μ LC=10.64) Ai	4 (1/5 500μ LC=10.9) Ai
0				
1				
2	0.207	0.172	0.366	0.062
2.5	2.415	1.691	1.242	0.225
3.0	3.036	2.314	1.121	0.225
4		3.026	1.414	0.225
5		3.204	2.606	0.246
6	3.864	4.183	3.012	0.369
7	4.416	4.272	3.126	0.451
8	↓	↓	↓	↓
9				
10	4.691	5.162	3.907	0.512
11	↓	↓	↓	↓
12				
13				
14				
15	5.657	6.230	4.716	0.574
16	↓	↓	↓	↓
17				
18				
19				
20	5.522	6.408	4.276	0.570
25		6.42	4.37	
30	↓	6.15	5.00	
35			4.95	0.57
40		6.23	5.15	
45	5.651		5.17	0.60

6) 杭頭加速度応答倍率

6.1 加振段階 1

NO. 13			杭頭 1	NO. 14			杭頭 2	NO. 15			杭頭 3	NO. 16			杭頭 4
	2.5 cm		30 gal	1/2で24cm(1/1で48cm)			gal		cm		gal		cm		gal
	4	5	6		4	5	6		4	5	6		4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	6.932			0.5	11.5			0.5	23.600			0.5	21.707		
1	6.932	4.707	1.473	1	〃	4.707		1	31.466	4.707		1	27.133	4.707	
1.5	8.666			1.5	〃			1.2	〃			1.5	〃		
2	10.399	9.414	1.105	2	〃	9.414	1.176	2	〃	9.414	3.342	2	28.942	9.414	3.074
2.5	10.399			2.5	〃			2.5	35.400			2.5	〃		〃
3	15.598	11.768	1.325	3	22	11.768	1.87	3	39.333	11.768	3.342	3	32.560	11.768	2.767
3.5	19.064			3.5	〃			3.5	43.266			3.5	37.987		
4	19.064	14.122	1.350	4	33	14.122	2.37	4	47.199	14.122	3.342	4	39.796	14.122	2.818
4.5	19.064			4.5	〃			4.5	〃			4.5	〃		
5	22.530	18.829	1.197	5	〃	18.829	1.76	5	〃	18.829	2.507	5	41.604	18.829	2.210
6	38.128	〃	2.025	6	44.2	〃		6	51.130	〃	2.715	6	52.458	〃	2.786
7	39.861	28.243	1.411	7	55.3	28.243	2.35	7	55.066	28.243	1.950	7	59.693	28.243	2.114
8	45.061	30.597	1.473	8	66.3	30.597	1.96	8	〃	30.597	1.800	8	65.120	30.597	2.128
9	48.527	〃	1.586	9	〃	〃	2.17	9	59.000	〃	1.928	9	72.356	〃	2.365
10	50.260	〃	1.643	10	〃	〃	〃	10	〃	〃	〃	10	75.973	〃	2.483
11	50.260	32.950	1.525	11	〃	32.950	〃	11	〃	32.950	1.791	11	79.591	32.950	2.416
12	51.993	〃	1.578	12	〃	〃	2.013	12	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃
13	〃	〃	〃	13	77.4	〃	2.35	13	〃	〃	〃	13	〃	〃	〃
14	〃	〃	〃	14	〃	〃	〃	14	62.933	〃	1.910	14	81.400	〃	2.470
15	〃	〃	〃	15	66.3	〃	2.013	15	〃	〃	〃	15	〃	〃	〃
20	〃	〃	〃	20	〃	〃	〃	20	78.666	32.950	2.387	20	79.591	32.950	2.416
25	46.794	〃	1.420	25	〃	〃	〃	25	〃	〃	〃	25	75.973	〃	2.306
30	45.061	〃	1.368	30	〃	〃	〃	30	74.733	〃	2.268	30	72.356	〃	2.196
35	43.328	〃	1.315	35	〃	〃	〃	35	70.800	〃	2.147	35	70.547	〃	2.141
40	〃	〃	〃	40	〃	〃	〃	40	〃	〃	〃	40	〃	〃	〃
45	〃	〃	〃	45	〃	〃	〃	45	〃	〃	〃	45	72.356	〃	2.196
50	〃	〃	〃	50	〃	〃	〃	50	〃	〃	〃	50	70.547	〃	2.141
55	0	0	0	55	0	0	0	55	0	0	0	55	0	0	0

6.2　加振段階2

NO.13			杭頭 1	NO.14			杭頭 2	NO.15			杭頭 3	NO.16			杭頭 4
2.5 1/2 cm			80 gal	0.48 cm			80 gal	cm			80 gal	cm			80 gal
	4	5	6		4	5	6		4	5	6		4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	12.132	9.414	1.289	0.5	22.1	9.414	2.349	0.5	31.466	9.414	3.343	0.5	32.560	9.414	
1	15.598	14.122	1.105	1	〃	14.122	1.566	1	43.266	14.122	3.064	1	41.604	14.122	2.946
1.5	25.997	21.182	1.227	1.5	33.17	21.182	1.566	1.5	59.000	21.182	2.785	1.5	47.031	21.182	2.220
2	41.594	28.243	1.473	2	44.232	28.243	1.566	2	62.933	28.243	2.228	2	68.738	28.243	2.434
2.5	39.861	30.597	1.303	2.5	55.290	30.597	1.807	2.5	66.866	30.597	2.185	2.5	75.973	30.597	2.483
3	50.260	32.950	1.525	3	66.3	32.950	2.014	3	〃	32.950	2.029	3	77.782	32.950	2.361
3.5	46.794	〃	1.420	3.5	55.29	〃	1.678	3.5	70.8	〃	2.149	3.5	72.356	〃	2.196
4	48.527	35.304	1.375	4	66.35	35.304	1.879	4	74.733	35.304	2.117	4	95.871	35.304	2.716
4.5	69.324	42.365	1.636	4.5	77.4	42.365	1.827	4.5	〃	42.365	1.764	4.5	123.0	42.365	2.903
5	84.922	44.719	1.899	5	〃	44.719	1.731	5	78.666	44.719	1.759	5	146.52	44.719	3.276
6	90.121	51.779	1.740	6	121.6	51.779	2.349	6	121.93	51.779	2.355	6	106.72	51.779	2.061
7	173.31	58.840	2.945	7	353.86	58.840	6.01	7	94.399	58.840	1.604	7	〃	58.840	1.814
8	145.59	63.547	2.291	8	320.7	63.547	5.05	8	102.27	63.547	1.609	8	110.34	63.547	1.736
9	67.591	68.255	0.990	9	353.9	68.255	5.18	9	〃	68.255	1.498	9	121.2	68.255	1.776
10	55.459	70.608	0.785	10	364.9	70.608	5.17	10	110.13	70.608	1.560	10	137.48	70.608	1.947
11	55.459	75.315	0.736	11	380.7	75.315	5.139	11	121.93	75.315	1.619	11	141.09	75.315	1.873
12	53.726	77.669	0.692	12	398.1	77.669	5.125	12	125.87	77.669	1.621	12	〃	77.669	1.817
13	53.726	80.023	0.671	13	409.1	80.023	5.11	13	〃	80.023	1.573	13	〃	80.023	1.763
14	51.993	〃	0.650	14	〃	〃	〃	14	133.73	〃	1.671	14	〃	〃	〃
15	〃	〃	〃	15	420.9	〃	5.25	15	〃	〃	〃	15	〃	〃	〃
20	48.527	80.023	0.606	20	〃	〃	〃	20	125.87	〃	1.573	20			
25	50.260	〃	0.628	25	〃	〃	〃	25	〃	〃	〃	25			
30	55.459	〃	0.693	30	431.3	〃	5.39	30	121.93	〃	1.524	30			
35	60.659	〃	0.758	35	442.3	〃	5.527	35	118.0	〃	1.475	35			
40	65.858	〃	0.823	40	〃	〃	〃	40	114.07	〃	1.425	40			
45	72.790	〃	0.910	45	〃	〃	〃	45	110.13	〃	1.376	45			
50	79.723	〃	0.996	50	〃	〃	〃	50	〃	〃	〃	50			
55	0	0	0	55	0	0	0	55	0	0	0	55			

6.3 加振段階3

NO. 13			杭頭1	NO. 14			杭頭2	NO. 15			杭頭3	NO. 16			杭頭4
	25 cm		80 gal		0.48 cm		80 gal		cm		80 gal		cm		80 gal
	4	5	6		4	5	6		4	5	6		4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β	t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	6.932	7.061	0.982	0.5	22.1	7.061		0.5	39.333	7.061		0.5	21.707	7.061	
1	12.132	11.768	1.031	1	"	11.768	1.88	1	53.078	11.768		1	37.987	11.768	
1.5	24.263	23.536	1.031	1.5	44.2	23.536	1.879	1.5	"	23.536	2.255	1.5	50.649	23.536	2.152
2	31.196	25.890	1.205	2	55.3	25.890	2.135	2	66.866	25.890	2.583	2	59.693	25.890	2.306
2.5	39.861	30.597	1.303	2.5	66.3	30.597	2.136	2.5	70.800	30.597	2.314	2.5	75.973	30.597	2.483
3	47.192	37.658	1.519	3	77.4	37.658	2.06	3	66.866	37.658	1.776	3	97.680	37.658	2.594
3.5	79.323	42.365	1.882	3.5	88.5	42.365	2.09	3.5	62.933	42.365	1.485	3.5	126.62	42.365	2.989
4	81.456	44.719	1.822	4	121.63	44.719	2.72	4	66.866	44.719	1.495	4	97.680	44.719	2.184
4.5	109.19	47.072	2.320	4.5	221.2	47.072	4.70	4.5	"	47.072	1.421	4.5	"	47.072	2.075
5	161.18	49.426	3.261	5	276.5	49.426	5.59	5	"	49.426	1.353	5	92.253	49.426	1.866
6	149.05	54.133	2.753	6	298.6	54.133	5.52	6	70.800	54.133	1.308	6	97.680	54.133	1.804
7	166.38	58.840	2.828	7	353.9	58.840	6.01	7	78.666	58.840	1.337	7	108.53	58.840	1.844
8	175.04	65.901	2.656	8	376.0	65.901	5.7	8	86.533	65.901	1.313	8	119.39	65.901	1.812
9	164.64	70.608	2.332	9	398.1	70.608	5.64	9	90.466	70.608	1.281	9	"	70.608	1.691
10	155.98	75.315	2.071	10	442.3	75.315	5.87	10	106.20	75.315	1.410	10	133.86	75.315	1.777
11	133.45	80.023	1.668	11	"	80.023	5.53	11	110.13	80.023	1.376	11	"	80.023	1.673
12	128.25	"	1.603	12	"	"	"	12	"	"	"	12	"	"	"
13	119.58	"	1.494	13	"	"	"	13	"	"	"	13	135.67	"	1.695
14	121.32	"	1.516	14	"	"	"	14	"	"	"	14	"	"	"
15	124.78	82.376	1.515	15	453.4	82.376	5.50	15	"	82.376	1.337	15	137.48	82.376	1.669
20	142.15	"	1.725	20	"	"	5.51	20	106.20	82.376	1.289	20	137.49	"	"
25	162.91	"	1.923	25	464.4	"	5.64	25	114.07	"	1.385	25	"	"	"
30	183.71	84.730	2.168	30	475.5	84.730	5.62	30	"	84.730	1.346	30	"	84.730	1.623
35	209.71	"	2.472	35	486.6	"	5.74	35	"	"	"	35	"	"	"
40	237.44	"	2.802	40	508.7	"	6.00	40	"	"	"	40	"	"	"
45	272.10	"	3.211	45	530.8	"	6.26	45	"	"	"	45	"	"	"
50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0

6.4 加振段階4

NO.13			杭頭1.
	cm		50 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	6.932	4.7	1.475
1	10.4	9.4	1.106
1.5	13.9	11.8	1.178
2	20.8	16.5	1.261
2.5	24.3	18.8	1.293
3	〃	〃	〃
3.5	〃	21.1	1.152
4	27.7	〃	1.313
4.5	〃	〃	〃
5	31.2	23.5	1.328
6	〃	25.9	1.205
7	46.2	30.6	1.529
8	52.2	35.3	1.620
9	78.0	42.4	1.840
10	97.1	47.1	2.062
11	100.5	〃	2.134
12	110.9	〃	2.355
13	114.4	〃	2.429
14	〃	〃	〃
15	121.3	〃	2.575
20	100.5	49.4	2.034
25	86.7	〃	1.755
30	79.7	〃	1.613
35	78.0	〃	1.579
40	72.8	〃	1.474
45	〃	44.7	1.629
47	0		

NO.14			杭頭2
	0.48 cm		50 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	0	4.7	0
1	22.1	9.4	2.353
1.5	33.1	11.8	2.81
2.0	44.2	16.5	2.68
2.5	〃	18.8	2.353
3	〃	〃	〃
3.5	〃	21.2	2.09
4	〃	〃	〃
4.5	〃	〃	〃
5	〃	23.5	1.882
6	〃	25.9	1.708
7	66.3	30.6	2.168
8	〃	35.3	1.880
9	88.5	42.4	2.08
10	〃	47.1	1.878
11	99.5	〃	2.113
12	110.6	〃	2.348
13	121.6	〃	2.583
14	132.6	〃	2.817
15	〃	〃	〃
20	110.6	49.4	2.238
25	88.5	〃	1.791
30	〃	〃	〃
35	〃	〃	〃
40	〃	〃	〃
45	〃	44.7	1.979
46	〃	0	0

NO.15			杭頭3
	1.4 cm		50 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	31.5	4.7	6.702
1	43.8	9.4	4.606
1.5	〃	11.8	3.669
2	47.2	16.5	2.861
2.5	〃	18.8	2.511
3.0	51.1	〃	2.718
3.5	47.2	21.2	2.226
4.0	53.1	〃	2.505
4.5	〃	〃	〃
5	59.0	23.5	2.511
6	〃	25.9	2.278
7	62.9	30.6	2.056
8	70.8	35.3	2.006
9	78.7	42.4	1.856
10	〃	47.1	1.671
11	〃	〃	〃
12	〃	〃	〃
13	82.6	〃	1.754
14	86.5	〃	1.837
15	〃	〃	〃
20	94.4	49.4	1.911
25	〃	〃	〃
30	90.5	〃	1.832
35	86.5	〃	1.751
40	〃	〃	〃
45	〃	44.7	1.935
46	0	〃	〃

NO.16			杭頭4
	cm		50 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	18.1	4.7	3.851
1	28.9	9.4	3.075
1.5	38.0	11.8	3.220
2	39.8	16.5	2.412
2.5	〃	18.8	2.117
3	41.6	〃	2.213
3.5	43.4	21.2	2.047
4	〃	〃	〃
4.5	50.6	〃	2.387
5	54.3	23.5	2.311
6	50.6	25.9	1.954
7	65.1	30.6	2.163
8	81.4	35.3	2.306
9	103.1	42.4	2.432
10	119.4	47.1	2.535
11	〃	〃	〃
12	128.4	〃	2.726
13	130.2	〃	2.764
14	128.0	〃	2.611
15	121.2	〃	2.573
20	110.3	49.4	2.232
25	103.1	〃	2.087
30	97.7	〃	1.978
35	94.1	〃	1.905
40	90.4	〃	1.830
45	88.0	44.7	1.969
46	0	0	0

6.5 加振段階5

NO. 13			杭頭 1
2.5 cm			80 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	20.8	2.4	8.67
1	27.7	4.7	5.90
1.5	〃	9.4	2.95
2	41.6	14.1	2.95
2.5	34.7	18.8	1.843
3	41.6	23.5	1.77
3.5	〃	25.9	1.61
4	〃	28.2	1.47
4.5	48.5	30.6	1.59
5	48.9	35.3	1.67
6	69.3	42.4	1.64
7	83.2	44.7	1.861
8	86.7	49.4	1.75
9	149.1	65.9	2.26
10	266.9	75.3	3.54
11	343.15	82.4	4.16
12	357.0	〃	4.33
13	360.5	〃	4.37
14	364.0	〃	4.42
15	〃	〃	〃
20	364.0	82.4	〃
25	〃	〃	〃
30	〃	〃	〃
35	〃	〃	〃
40	〃	〃	〃
45	〃	〃	〃
49	〃	〃	〃
50	〃	21.2	〃
51	0	0	0

NO. 14			杭頭 2
0.48 cm			80 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	11.1	2.4	4.61
1	22.2	4.7	4.71
1.5	33.2	9.4	3.53
2	44.2	14.1	3.137
2.5	〃	18.8	2.353
3	55.3	23.5	〃
3.5	66.3	25.9	2.56
4	〃	28.2	2.35
4.5	〃	30.6	2.17
5	〃	35.3	1.88
6	〃	42.4	1.56
7	88.5	44.7	1.90
8	99.5	49.4	2.01
9	132.7	65.9	2.01
10	309.6	75.3	4.11
11	464.4	82.4	5.64
12	49.7	〃	6.31
13	564.0	〃	6.844
14	575.0	〃	6.98
15	586.0	〃	7.11
20	663.4	〃	8.05
25	696.7	〃	8.45
30	〃	〃	〃
35	453.4	〃	5.50
40	265.4	〃	3.22
45	221.2	〃	2.68
49	〃	〃	〃
50	66.3	21.2	3.13
51	0	0	0

NO. 15			杭頭 3
cm			80 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	31.5	2.4	13.1
1	35.4	4.7	7.53
1.5	39.3	9.4	4.18
2	43.3	14.1	3.07
2.5	53.1	18.8	2.82
3	〃	23.5	2.26
3.5	〃	25.9	2.05
4	62.9	28.2	2.23
4.5	70.8	30.6	2.31
5	78.7	35.3	2.23
6	82.6	42.4	1.95
7	86.5	44.7	1.94
8	94.4	49.4	1.91
9	86.5	65.9	1.31
10	94.4	75.3	1.25
11	106.2	82.4	1.29
12	110.13	〃	1.34
13	118.0	〃	1.43
14	125.9	〃	1.53
15	121.9	〃	1.48
20	118.0	〃	1.43
25	110.1	〃	1.34
30	〃	〃	〃
35	〃	〃	〃
40	106.2	〃	1.29
45	114.1	〃	1.38
49	〃	〃	1.29
50	90.5	21.2	4.27
51	0	0	0

NO. 16			杭頭 4
cm			80 gal
	4	5	6
t (秒)	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	21.7	2.4	9.04
1	25.3	4.7	5.38
1.5	36.2	9.4	3.85
2.0	47.0	14.1	3.33
2.5	〃	18.8	2.5
3	54.3	23.5	2.31
3.5	57.9	25.9	2.24
4.0	63.3	28.2	〃
4.5	65.1	30.6	2.1
5	77.8	35.3	2.13
6	83.2	42.4	1.96
7	104.9	44.7	2.35
8	97.7	49.4	1.98
9	183.6	65.9	2.78
10	161.0	75.3	2.14
11	159.2	82.4	1.93
12	144.7	〃	1.76
13	〃	〃	〃
14	〃	〃	〃
15	〃	〃	〃
20	150.1	〃	1.82
25	155.6	〃	1.89
30	162.8	〃	1.98
35	166.4	〃	2.02
40	177.3	〃	2.16
45	188.1	〃	2.28
49	〃	〃	〃
50	209.83	21.2	9.9
51	0	0	0

6.6　加振段階 6

NO. 13			杭頭 1	NO. 14			杭頭 2	NO. 15			杭頭 3	NO. 16			杭頭
	1.25 cm		150 gal		0.48 cm		150 gal		cm		150. gal		1.6 cm		150 gal
	4	5	6		4	5	6		4	5	6		4	5	6
	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	34.7	16.5	2.10	0.5	66.3	16.5	4.02	0.5	62.9	16.5	3.81	0.5	49.9	16.5	3.02
1	38.1	21.2	1.79	1	〃	21.2	3.13	1	70.8	21.2	3.34	1	71.2	21.2	3.36
1.5	41.6	33.0	1.26	1.5	77.4	33.0	2.35	1.5	86.4	33.0	2.62	1.5	78.3	33.0	2.37
2	45.1	37.7	1.20	2	88.5	37.7	〃	2	82.6	37.7	2.19	2	85.5	37.7	2.27
2.5	55.5	47.1	1.18	2.5	〃	47.1	1.88	2.5	86.5	47.1	1.84	2.5	99.7	47.1	2.12
3	69.3	51.8	1.34	3	〃	51.8	1.71	3	90.5	51.8	1.75	3	117.5	51.8	2.27
3.5	79.7	56.5	1.41	3.5	110.6	56.5	1.96	3.5	94.4	56.5	1.67	3.5	128.2	56.5	2.27
4	110.9	61.2	1.81	4	143.8	61.2	2.35	4	〃	61.2	1.54	4	149.6	61.2	2.44
4.5	152.5	68.3	2.23	4.5	154.8	68.3	2.27	4.5	98.3	68.3	1.44	4.5	192.3	68.3	2.82
5	138.7	75.3	1.84	5	191.7	75.4	2.20	5	110.1	75.3	1.46	5	210.1	75.3	2.79
6	194.1	105.9	1.83	6	254.3	105.9	2.40	6	283.2	105.9	2.67	6	256.4	105.9	2.42
7	540.7	117.7	4.59	7	663.5	117.7	5.637	7	180.9	117.7	1.54	7	220.8	117.7	1.88
8	485.3	124.7	3.89	8	685.6	124.7	5.50	8	196.7	124.7	1.58	8	227.9	124.7	1.83
9	194.11	129.5	1.50	9	597.1	129.5	4.61	9	〃	129.5	1.52	9	235.0	129.5	1.82
10	187.18	131.8	1.42	10	619.2	131.8	4.70	10	180.9	131.8	1.37	10	263.5	131.8	2.00
11	〃	〃	〃	11	〃	〃	〃	11	〃	〃	〃	11	〃	〃	〃
12	149.1	138.9	1.07	12	652.4	138.9	〃	12	〃	138.86	1.31	12	220.8	138.9	1.59
13	〃	143.6	〃	13	〃	143.6	4.54	13	〃	143.57	1.26	13	〃	143.6	1.54
14	〃	145.9	〃	14	〃	145.9	4.47	14	〃	145.92	1.224	14	〃	145.9	1.51
15	145.6	148.3	0.98	15	685.6	148.3	4.62	15	196.7	148.28	1.33	15	225.0	148.3	1.51
20	138.7	〃	0.94	20	〃	〃	〃	20	204.5	148.3	1.38	20	235.0	〃	1.58
25	131.7	〃	0.89	25	〃	〃	〃	25	228.1	〃	1.54	25	〃	〃	〃
30	124.8	〃	0.84	30	696.7	150.6	4.63	30	〃	150.6	1.52	30	〃	150.6	〃
35	121.3	150.6	0.81	35	〃	〃	〃	35	212.4	〃	1.41	35	〃	〃	〃
40	117.9	〃	0.78	40	〃	〃	〃	40	228.1	〃	1.51	40	〃	〃	〃
45	114.4	〃	0.76	45	〃	〃	〃	45	200.6	〃	1.33	45	〃	〃	〃
49	〃	〃	〃	49	〃	〃	〃	49	〃	〃	〃	49	〃	〃	〃
50	97.1	89.4	1.09	50	707.7	89.4	7.92	50	212.4	89.4	2.38	50	〃	89.4	2.62
51	0	0	0	51	0	0	0	51	0	0	0	51	0	0	0

6.7 加振段階7

NO. 13			杭頭 1	NO. 14			杭頭 2	NO. 15			杭頭 3	NO. 16			杭頭 4
1.25 cm			150 gal	0.48 cm			150 gal	1.4 cm			150 gal	1.6 cm			150 gal
	4	5	6		4	5	6		4	5	6		4	5	6
時間	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	31.2	7.1	4.39	0.5	55.3	7.1	7.79	0.5	59.0	7.1	8.31	0.5	53.4	7.1	7.52
1	27.7	18.8	1.47	1	66.3	18.8	3.53	1	〃	18.8	3.14	1	64.1	18.8	3.41
1.5	45.1	28.2	1.60	1.5	〃	28.2	2.35	1.5	〃	28.2	2.09	1.5	89.0	28.2	3.16
2	62.4	35.3	1.77	2	88.5	35.3	2.51	2	53.1	35.3	1.50	2	113.4	35.3	3.21
2.5	76.3	44.7	1.70	2.5	110.6	44.7	2.47	2.5	66.9	44.7	1.50	2.5	99.7	44.7	2.23
3	142.1	51.8	2.74	3	243.3	51.8	4.70	3	78.7	51.8	1.52	3	110.4	51.8	2.13
3.5	183.7	63.5	2.89	3.5	364.9	63.5	5.75	3.5	86.5	63.5	1.36	3.5	117.5	63.5	1.85
4	218.4	65.9	3.31	4	420.2	65.9	6.38	4	102.3	65.9	1.55	4	142.5	65.9	2.16
4.5	97.1	80.0	1.21	4.5	〃	80.0	5.25	4.5	133.7	80.0	1.67	4.5	〃	80.0	1.78
5	110.9	87.1	1.27	5	442.3	87.0	5.08	5	〃	87.1	1.54	5	146.0	87.1	1.68
6	104.0	101.2	1.03	6	497.6	101.2	4.92	6	157.3	101.2	1.55	6	170.9	101.2	1.69
7	114.4	131.8	0.87	7	586.1	131.8	4.45	7	196.7	131.8	1.49	7	217.2	131.8	1.65
8	138.7	148.3	0.94	8	652.4	148.3	4.40	8	224.2	148.3	1.52	8	249.3	148.3	1.68
9	142.1	157.7	0.90	9	707.7	157.7	4.49	9	236.0	157.7	1.50	9	270.7	157.7	1.72
10	〃	162.4	0.88	10	〃	162.4	4.36	10	220.3	162.4	1.36	10	〃	162.4	1.67
11	138.7	157.7	〃	11	〃	157.7	4.49	11	228.13	157.7	1.45	11	〃	157.7	1.72
12	135.1	〃	0.86	12	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃	12	〃	〃	〃
13	〃	〃	〃	13	〃	〃	〃	13	220.3	〃	1.40	13	〃	〃	〃
14	〃	〃	〃	14	〃	〃	〃	14	228.13	〃	1.45	14	〃	〃	〃
15	128.3	155.3	0.824	15	〃	155.3	4.56	15	236.0	155.3	1.52	15	274.2	155.3	1.77
20	117.9	〃	0.76	20	729.8	〃	4.70	20	228.1	155.2	1.47	20	〃	〃	〃
25	121.3	〃	0.78	25	〃	〃	〃	25	236.0	155.3	1.52	25	281.3	〃	1.81
30	128.3	〃	0.83	30	〃	〃	〃	30	247.8	154.9	1.60	30	292.0	〃	1.88
35	〃	〃	〃	35	〃	〃	〃	35	267.5	155.5	1.72	35	〃	〃	〃
40	131.7	〃	0.85	40	〃	〃	〃	40	251.7	155.4	1.62	40	〃	〃	〃
45	138.7	〃	0.89	45	〃	〃	〃	45	255.7	155.0	1.65	45	295.6	〃	1.90
47	142.1	77.7	0.92	47	〃	〃	〃	47	247.8	154.9	1.60	47	292.0	〃	1.88
48	0	〃	0	48	364.9	77.7	〃	48	0	0	0	48	292.2	77.7	3.76
49	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0	0	49	0	0	0

6.8　加振段階8

NO. 13			杭頭 1	NO. 14			杭頭 2	NO. 15			杭頭 3	NO. 16			杭頭 4
1.25 cm		250 gal		0.48 cm		250 gal		cm		250 gal		cm		250 gal	
	4	5	6		4	5	6		4	5	6		4	5	6
	応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β		応答加速度 [gals]	入力加速度 [gal]	応答倍率 β
0.5	31.2	25.9	1.20	0.5	66.3	25.9	2.56	0.5	53.1	25.9	2.05	0.5	64.1	25.9	2.47
1	34.7	28.2	1.23	1	〃	28.2	2.85	1	〃	28.2	1.88	1	71.2	28.2	2.52
1.5	65.9	42.4	1.55	1.5	110.6	42.4	2.61	1.5	59.0	42.4	1.39	1.5	85.5	42.4	2.02
2	100.5	61.1	1.64	2	176.9	61.2	2.89	2	86.6	61.2	1.42	2	121.1	61.2	1.98
2.5	201.0	80.0	2.51	2.5	398.1	80.0	4.98	2.5	137.7	80.0	1.72	2.5	185.2	80.0	2.32
3	232.4	84.7	2.74	3	464.4	84.7	5.48	3	133.7	84.7	1.58	3	160.3	84.7	1.89
3.5	149.1	108.3	1.38	3.5	530.8	108.3	4.90	3.5	141.6	108.3	1.31	3.5	199.4	108.3	1.84
4	156.0	122.4	1.27	4	552.9	122.4	4.52	4	180.9	122.4	1.48	4	195.9	122.4	1.60
4.5	166.4	136.5	1.22	4.5	619.2	136.5	4.54	4.5	196.7	136.5	1.44	4.5	202.0	136.5	1.49
5	187.2	157.7	1.19	5	685.6	157.7	4.35	5	251.7	157.7	1.60	5	231.5	157.7	1.47
6	201.0	181.2	1.11	6	729.8	181.2	4.03	6	291.1	181.2	1.61	6	302.7	181.2	1.63
7	208.0	190.6	1.09	7	785.1	190.6	4.11	7	〃	190.6	1.53	7	349.0	190.6	1.83
8	228.8	209.5	1.09	8	862.5	209.5	4.12	8	318.6	209.47	1.52	8	370.4	209.5	1.77
9	357.0	223.6	1.60	9	895.7	223.6	4.01	9	338.3	223.6	1.51	9	395.3	223.6	1.77
10	214.5	218.9	0.98	10	906.8	218.9	4.14	10	298.9	218.9	1.37	10	363.3	218.9	1.66
11	235.7	235.4	1.00	11	951.0	235.4	4.04	11	346.1	235.4	1.47	11	377.5	235.4	1.60
12	249.6	254.2	0.98	12	1017.3	254.2	3.99	12	369.7	254.2	1.45	12	402.4	254.2	1.58
13	〃	258.9	0.96	13	1028.4	258.9	3.97	13	365.8	258.90	1.41	13	413.1	258.9	1.60
14	246.1	〃	0.95	14	〃	〃	〃	14	373.7	〃	1.44	14	416.7	〃	1.61
15	〃	〃	〃	15	1039.5	〃	4.01	15	〃	〃	〃	15	〃	〃	〃
20	〃	〃	〃	20	1072.6	〃	4.14	20	354.0	〃	1.37	20	〃	〃	〃
25	249.6	〃	0.96	25	1105.8	〃	4.27	25	〃	〃	〃	25	420.3	〃	1.62
30	246.1	〃	0.95	30	〃	〃	〃	30	369.7	〃	1.43	30	423.8	〃	1.64
35	242.6	〃	0.94	35	1116.9	〃	4.31	35	〃	〃	〃	35	〃	〃	〃
40	239.2	〃	0.92	40	1127.9	〃	4.36	40	377.6	〃	1.46	40	〃	〃	〃
45	242.6	〃	0.94	45	1139.0	〃	4.40	45	〃	195.4	1.93	45	438.0	〃	1.69
50	249.6	195.4	1.28	50	1172.2	195.4	6.00	50	〃	51.8	7.29	50	441.6	195.4	2.26
51	0	51.8	0	51	0	51.8	0	52	0	0	0	51	〃	51.8	8.53
52	0	0	0	52	0	〃	0					52	0	0	0

7) せん断歪

(1) 加振段階 2

加振経過時間 (Sec)	加動壁 H=80.0 cm		30 cm / H = 29.972 cm		60 cm / H = 59.944 cm		80 cm / H = 79.925 cm	
	α_s (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ
0.5	24.9	7.89×10^{-5}	14.7	1.24×10^{-4}	15.9	6.72×10^{-5}	5.8	1.84×10^{-5}
1.0	〃	〃	18.3	1.55	18.2	7.69	〃	〃
1.5	43.5	1.38×10^{-4}	25.7	2.17	27.3	1.15×10^{-4}	14.6	4.63
2.0	80.8	2.56	34.8	2.95	36.4	1.54	26.3	8.33
2.5	116.0	3.68	36.7	3.10	38.7	1.64	〃	〃
3.0	95.3	3.02	38.5	3.25	41.0	1.73	〃	〃
3.5	76.7	2.43	〃	〃	〃	〃	23.4	7.42
4.0	87.0	2.76	40.3	3.40	43.3	1.83	29.2	9.25
4.5	93.2	2.95	53.2	4.50	56.9	2.40	43.8	1.39×10^{-4}
5.0	78.7	2.49	55.0	4.65	59.2	2.50	46.7	1.48
6.0	〃	〃	64.2	5.42	68.3	2.89	58.4	1.85
7.0	51.8	1.64	71.5	6.04	77.4	3.27		
8.0	58.0	1.84	78.9	6.67	84.2	3.56		
9.0	55.9	1.77	38.5	3.25	9.1	3.85×10^{-5}		
10.0	53.9	1.71	11.0	9.30				
11.0	55.9	1.77	7.3	6.17				
12.0								
13.0								
14.0								
15.0								
16.0								
17.0								
18.0								
19.0								
20.0								

(2) 加振段階 3

加振経過時間 (Sec)	加動壁 H=80.0 cm		30 cm / H = 29.718 cm		60 cm / H = 59.435 cm		80 cm / H = 79.247 cm	
	α_s (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ
0.5	14.5	4.63×10^{5}	7.3	6.22×10^{-5}	9.1	3.88×10^{-5}	5.8	1.85×10^{-5}
1.0	24.9	7.95	14.7	1.25×10^{-4}	18.2	7.76	8.8	2.81
1.5	51.8	1.65×10^{4}	22.0	1.88	25.0	1.07×10^{-4}	14.6	4.67
2.0	72.5	2.31	29.3	2.50	31.9	1.36	17.5	5.59
2.5	49.7	1.58	34.8	2.97	36.4	1.55	23.4	7.48
3.0	53.9	1.72	44.0	3.75	47.8	2.04	35.0	1.12×10^{-4}
3.5	58.0	1.85	49.5	4.22	52.4	2.23	40.9	1.31
4.0	65.2	2.08	53.2	4.53	56.9	2.42	〃	〃
4.5	60.1	1.92	55.0	4.69	59.2	2.52	0	
5.0	〃	〃	58.7	5.00	63.8	2.72		
6.0	62.2	1.98	62.4	5.32	66.0	2.81		
7.0	66.3	2.11	69.7	5.94	72.9	3.10		
8.0	70.4	2.25	77.0	6.56	82.0	3.49		
9.0	〃	〃	82.5	7.03	84.2	3.59		
10.0	74.6	2.38	91.7	7.82	68.3	2.91		
11.0	〃	〃	93.5	7.97	0			
12.0	〃	〃	〃	〃	0			
13.0	〃	〃	95.4	8.13	0			
14.0	〃	〃	〃	〃	0			
15.0	〃	〃	〃	〃	0			
16.0	76.7	2.45	97.2	8.28	0			
17.0	80.8	2.58	〃	〃	0			
18.0	82.9	2.64	〃	〃	0			
19.0	87.0	2.78	〃	〃	34.2	1.46		
20.0	89.1	2.84	〃	〃	104.7	4.46		

(3) 加振段階5

加振経過時間 (Sec)	加動壁 H=80.0 cm		30 cm / H = 29.256 cm		60 cm / H = 58.513 cm		80 cm / H = 78.017 cm	
	αs (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ
0.5	12.4	4.025 ×10⁻⁵	3.7	3.20 ×10⁻⁵	4.6	1.99 ×10⁻⁵	0	
1.0	16.6	5.389	7.3	6.32	9.1	3.94	2.9	9.42 ×10⁻⁶
1.5	20.7	6.720	11.0	9.52	11.4	4.93	8.8	2.86 ×10⁻⁵
2.0	26.9	8.733	18.3	1.58 ×10⁻⁴	18.2	7.88	〃	〃
2.5	35.2	1.142 ×10⁻⁴	22.0	1.90	22.8	9.87	11.7	3.80
3.0	43.5	1.412	23.8	2.06	25.0	1.08 ×10⁻⁴	14.6	4.74
3.5	49.7	1.613	27.5	2.38	27.3	1.18	17.5	5.68
4.0	53.9	1.749	29.3	2.54	29.6	1.28	20.4	6.62
4.5	66.3	2.152	33.0	2.86	34.2	1.48	26.3	8.54
5.0	76.3	2.490	40.3	3.49	38.7	1.68	29.2	9.48
6.0	99.5	3.230	45.8	3.97	45.5	1.97	35.0	1.14 ×10⁻⁴
7.0	128.5	4.171	51.4	4.45	52.4	2.27	46.7	1.52
8.0	198.9	6.457	55.0	4.76	56.9	2.46	55.5	1.80
9.0	136.8	4.441	80.7	6.99	84.2	3.64	75.9	2.46
10.0	126.4	4.103	88.0	7.62	91.1	3.94	87.6	2.84
11.0	〃	〃	99.0	8.57	100.0	4.34	0	
12.0	122.2	3.967	97.2	8.42	97.9	4.24	0	
13.0	118.1	3.834	〃	〃	〃	〃	0	
14.0	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0	
15.0	120.2	3.902	〃	〃	〃	〃	0	
16.0	124.3	4.035	〃	〃	〃	〃	0	
17.0	126.4	4.103	〃	〃	100.2	4.34	0	
18.0	130.5	4.236	99.0	8.57	〃		0	
19.0	136.8	4.441	〃	〃	〃		0	
20.0	143.0	4.642	〃	〃	〃		11.7	3.80 ×10⁻⁵

(4) 加振段階6

加振経過時間 (Sec)	加動壁 H=80.0 cm		30 cm / H = 29.065 cm		60 cm / H = 58.130 cm		80 cm / H = 77.507 cm	
	αs (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ
0.5	33.2	1.05 ×10⁻⁴	16.5	1.44 ×10⁻⁴	18.2	7.93 ×10⁻⁵	11.7	3.82 ×10⁻⁵
1.0	39.4	1.24 ×10⁻⁵	20.2	1.76	22.8	9.93	20.4	6.67
1.5	74.6	2.36 ×10⁻⁴	33.0	2.88	31.9	1.39 ×10⁻⁴	29.2	9.54
2.0	103.6	3.28	38.5	3.36	41.0	1.79	35.0	1.14 ×10⁻⁴
2.5	159.5	5.05	36.7	3.20	54.6	2.38	43.8	1.43
3.0	261.0	6.36	55.0	4.79	〃	〃	46.7	1.53
3.5	167.8	5.31	58.7	5.12	61.5	2.68	52.6	1.72
4.0	169.9	5.38	69.7	6.07	72.9	3.18	64.3	2.10
4.5	157.5	4.99	78.9	6.88	82.0	3.57	76.0	2.48
5.0	174.0	5.51	88.0	7.67	91.1	3.97	78.9	2.58
6.0	165.8	5.25	121.0	1.05 ×10⁻³	127.5	5.56	99.3	3.25
7.0	134.7	4.26	132.0	1.15	132.1	5.76	113.9	3.72
8.0	130.5	4.13	148.6	1.30	152.6	6.65	143.1	4.68
9.0	124.3	3.93	97.2	8.47 ×10⁻⁴	0		0	
10.0	118.1	3.74	62.4	5.44				
11.0	114.0	3.61	0					
12.0	〃	〃						
13.0	120.2	3.80						
14.0	〃	〃						
15.0	116.0	3.67						
16.0	〃	〃						
17.0	〃	〃						
18.0	〃	〃						
19.0	〃	〃						
20.0	〃	〃						

(5) 加振段階 7

加振経過時間 (Sec)	加動壁 H = 80.0 cm		30 cm / H = 28.732 cm		60 cm / H = 57.465 cm		80 cm / H = 76.620 cm	
	α_S (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ
0.5	14.5	4.793×10^{-5}	11.0	9.70×10^{-5}	11.4	5.02×10^{-5}	11.7	3.87×10^{-5}
1.0	41.4	1.368×10^{-4}	22.0	1.94×10^{-4}	22.8	1.00×10^{-4}	20.4	6.74
1.5	95.3	3.150	31.2	2.75	31.9	1.41	26.3	8.69
2.0	78.7	2.601	40.3	3.55	41.0	1.81	40.9	1.35×10^{-4}
2.5	82.9	2.740	53.2	4.69	54.6	2.41	46.7	1.54
3.0	78.7	2.601	60.5	5.33	59.2	2.61	75.9	2.51
3.5	82.9	2.740	73.4	6.47	75.1	3.31	0	
4.0	80.8	2.671	80.7	7.11	77.4	3.41		
4.5	89.1	2.945	97.2	8.57	52.4	2.31		
5.0	91.2	3.014	104.5	9.21				
6.0	101.5	3.355	0					
7.0	118.1	3.904						
8.0	124.3	4.109						
9.0	128.5	4.247						
10.0	〃	〃						
11.0	〃	〃						
12.0	〃	〃						
13.0	〃	〃						
14.0	〃	〃						
15.0	〃	〃						
16.0	〃	〃						
17.0	〃	〃						
18.0	〃	〃						
19.0	130.5	4.314						
20.0	〃							

(6) 加振段階 8

加振経過時間 (Sec)	加動壁 H = 80.0 cm		30 cm / H = 28.441 cm		60 cm / H = 56.881 cm		80 cm / H = 75.842 cm	
	α_S (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ	α (gal)	γ
0.5	51.8	1.729×10^{-4}	25.7	2.29×10^{-4}	25.0	1.11×10^{-4}	20.4	6.81×10^{-5}
1.0	103.6	3.459	31.2	2.78	31.9	1.42	29.2	9.75
1.5	107.7	3.596	47.7	4.25	47.8	2.13	49.7	1.66×10^{-4}
2.0	111.9	3.737	67.9	6.05	70.6	3.14	75.9	2.53
2.5	116.0	3.874	95.4	8.50	97.9	4.36	0	
3.0	109.8	3.667	99.0	8.82	100.2	4.46		
3.5	126.4	4.221	122.9	1.09×10^{-3}	116.1	5.17		
4.0	128.5	4.291	135.7	1.21	31.9	1.42		
4.5	140.9	4.705	159.6	1.42	47.8	2.13		
5.0	153.3	5.119	300.8	2.68	84.2	3.75		
6.0	165.8	5.537	205.4	1.83	0			
7.0	167.8	5.604	216.4	1.93				
8.0	178.2	5.951	254.9	2.27				
9.0	223.8	7.474	319.1	2.84				
10.0	161.6	5.397	31.2	2.78×10^{-4}				
11.0	178.2	5.951	16.5	1.47				
12.0	190.6	6.365	18.3	1.63				
13.0	〃	〃	20.2	1.80				
14.0	〃	〃	〃	〃				
15.0	〃	〃	22.0	1.96				
16.0	182.3	6.088	〃	〃				
17.0	178.2	5.744	〃	〃				
18.0	172.0	〃	〃	〃				
19.0	〃	〃	44.0	3.92				
20.0	〃	〃	78.9	7.03				

8) 沈下量の推定

図-1のように断面積が1である長さH（体積V）の飽和土要素を考え，これが上下方向の排水（排水量ΔV）により，断面積を変えずに上下方向にΔHだけ体積変化（変化量ΔV）したとする．

排水前および後の間隙比をそれぞれe_1およびe_2とすると(1)式および(2)式が成り立つ．

$$e_1 = \frac{V_w}{V_s} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$e_2 = \frac{V_w - \Delta V}{V_s} \quad \cdots\cdots (2)$$

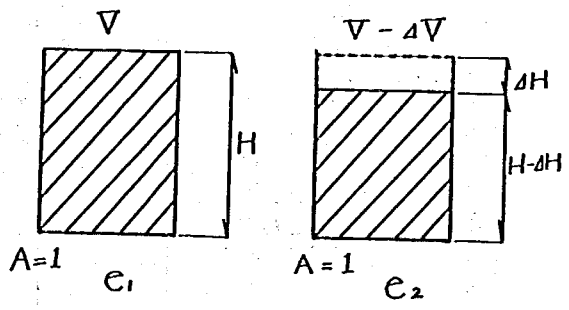


図-1

凡例 V_s：土粒子体積
V_w：間隙水 〃

(1),(2)式より

$$e_2 = \frac{V_w}{V_s} - \frac{\Delta V}{V_s} = e_1 - \frac{\Delta V}{V_s}$$

$$\therefore e_1 - e_2 = \frac{\Delta V}{V_s} \quad \cdots\cdots (3)$$

また，

$$e_1 = \frac{V_w}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1$$

$$\therefore 1 + e_1 = \frac{V}{V_s} \quad \cdots\cdots (4)$$

(3)式／(4)式から

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \quad \cdots\cdots (5)$$

ここで$V = H$，$\Delta V = \Delta H$であるから(5)式は次のようになる．

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}$$

$$\therefore \Delta H = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot H \quad \cdots\cdots (6)$$

間隙比の分布が深度方向に一様でない場合（図-2参照）は(7)式で推算できる．

$$\Delta H = \sum_{i=1}^{n} \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} \cdot H_i \quad \cdots\cdots (7)$$

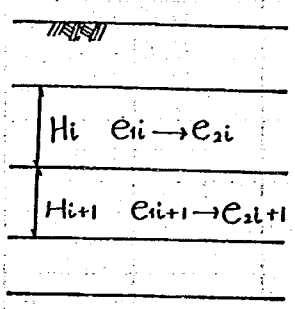


図-2

II. 地盤の耐震性に関する解析結果

(1) 加振段階 1

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z)	cm 30.000	cm 60.000	cm 80.000
	N値	0.4175	0.573	0.662
	σ_v	(kg/cm²) 0.0571	(kg/cm²) 0.114	(kg/cm²) 0.152
	σ'_v	(kg/cm²) 0.0271	(kg/cm²) 0.0541	(kg/cm²) 0.07216
	σ_v/σ'_v	2.107	2.107	2.105
	R	0.1421	0.1522	0.1570
B法	R	0.18396		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
60秒経過時間(Sec)	$\alpha_{s(gal)}$	L	A法 F_L	B法 F_L	$\alpha_{s(gal)}$	L	A法 F_L	B法 F_L	$\alpha_{s(gal)}$	L	A法 F_L	B法 F_L
0.5												
1.0	7.34	0.01578	9.004	11.66	9.1	0.01578	9.66	11.66	5.84	0.0125	12.62	14.67
1.5												
2.0	12.84	0.0276	5.15	6.66	13.66	0.02937	5.182	6.264	〃	〃	〃	〃
2.5												
3.0	14.67	0.0315	4.51	5.83	18.22	0.0392	3.885	4.696	8.76	0.0188	8.344	9.779
3.5												
4.0	18.34	0.0394	3.60	4.665	20.49	0.0441	3.455	4.176	11.68	0.0251	6.258	7.334
4.5												
5.0	22.01	0.0473	3.00	3.888	22.77	0.0496	3.109	3.758	14.60	0.0314	5.006	5.867
6.0		〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	23.36	0.0501	3.129	3.667
7.0	33.01	0.071	2.00	2.592	31.88	0.0685	2.221	2.684	26.29	0.0565	2.780	3.258
8.0	34.84	0.0749	1.897	2.456	36.43	0.0783	1.943	2.349	〃	〃	〃	〃
9.0	36.68	0.0778	1.802	2.337	38.71	0.0832	1.829	2.210	29.21	0.0627	2.502	2.933
10	〃	〃	〃	〃	40.98	0.0881	1.727	2.088	〃	〃	〃	〃
11	38.51	0.0828	1.716	2.222	43.26	0.093	1.636	1.978	〃	〃	〃	〃
12	40.35	0.0868	1.637	2.121	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
13	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
14	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	32.13	0.0690	2.275	2.666
15	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

(2) 加振段階 2

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z)	cm 62.28	cm 33.80	cm 14.82
	N値	0.78	0.46	0.37
	σ_v	(kg/cm²) 0.1185	(kg/cm²) 0.06432	(kg/cm²) 0.0282
	σ'_v	(kg/cm²) 0.05624	(kg/cm²) 0.00305	(kg/cm²) 0.01338
	σ_v/σ'_v	2.107	2.109	2.108
	R	0.165	0.1466	0.1338
B法	R	0.186		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
60秒経過時間(Sec)	$\alpha_{s(gal)}$	L	A法 F_L	B法 F_L	$\alpha_{s(gal)}$	L	A法 F_L	B法 F_L	$\alpha_{s(gal)}$	L	A法 F_L	B法 F_L
0.5	14.67	0.0315	5.231	5.897	15.94	0.0343	4.274	5.422	5.84	0.0126	10.65	14.806
1.0	18.34	0.0394	4.185	4.717	18.22	0.0392	3.739	4.744	〃	〃	〃	〃
1.5	25.67	0.0552	2.989	3.370	27.32	0.0588	2.493	3.164	14.60	0.0314	4.260	5.922
2.0	34.84	0.0749	2.202	2.483	36.43	0.0784	1.870	2.372	26.29	0.05655	2.366	3.289
2.5	36.68	0.0778	2.092	2.358	38.71	0.0833	1.760	2.233	〃	〃	〃	〃
3.0	38.51	0.0828	1.993	2.246	40.98	0.0882	1.662	2.109	〃	〃	〃	〃
3.5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	23.36	0.0502	2.663	3.702
4.0	40.35	0.0868	1.902	2.144	43.26	0.0931	1.575	1.998	29.21	0.0628	2.130	2.960
4.5	53.18	0.1143	1.443	1.627	56.92	0.122	1.197	1.518	43.81	0.0942	1.419	1.974
5.0	55.02	0.1183	1.395	1.572	59.20	0.1274	1.151	1.460	46.73	0.1005	1.331	1.850
6.0	64.19	0.138	1.196	1.348	68.31	0.1470	0.997	1.266	58.41	0.1256	1.063	1.480
7.0	71.52	0.1538	1.073	1.210	77.41	0.1667	0.880	1.117				
8.0	78.86	0.1695	0.9731	1.097	84.24	0.1813	0.809	1.026				
9.0												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

(3) 加振段階 3

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z) 項目	61.75 cm	33.52 cm	14.698 cm
	N値	1.61	0.585	0.49
	σ_v	0.1179 (kg/cm²)	0.064 (kg/cm²)	0.028 (kg/cm²)
	σ'_v	0.0562 (kg/cm²)	0.0305 (kg/cm²)	0.0134 (kg/cm²)
	σ_v/σ'_v	2.098	2.098	2.090
	R	0.2040	0.155	0.1483
B法	R	0.206		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
加振経過時間(Sec)	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L
0.5	7.34	0.0157	12.98	13.110	9.1	0.0194	7.642	10.156	5.84	0.0125	11.91	16.539
1.0	14.67	0.0314	6.496	6.559	18.22	0.0389	3.817	5.072	8.76	0.0187	7.938	11.020
1.5	22.01	0.0471	4.329	4.371	25.05	0.0534	2.976	3.689	14.60	0.0311	4.763	6.616
2.0	29.34	0.0628	3.248	3.280	31.88	0.0680	2.181	2.899	17.52	0.0375	3.962	5.513
2.5	34.84	0.0746	2.735	2.762	36.43	0.0777	1.909	2.537	23.36	0.0488	2.977	4.134
3.0	44.01	0.0942	2.165	2.186	47.81	0.1020	1.454	1.933	35.05	0.0747	1.984	2.756
3.5	49.52	0.106	1.924	1.943	52.37	0.1116	1.328	1.765	40.89	0.0873	1.701	2.362
4.0	53.18	0.1138	1.792	1.809	56.92	0.1214	1.227	1.624				
4.5	55.02	0.1178	1.732	1.749	59.20	0.1263	1.175	1.561				
5.0	58.69	0.1256	1.624	1.640	63.75	0.1360	1.091	1.450				
6.0	62.35	0.1134	1.528	1.543	66.03	0.1408	1.053	1.400				
7.0	69.69	0.149	1.367	1.381	72.86	0.1554	0.954	1.268				
8.0	77.03	0.1649	1.237	1.249	81.97	0.1748	0.848	1.127				
9.0	82.53	0.1767	1.155	1.166	84.24	0.1797	0.8255	1.097				
10	91.70	0.1963	1.039	1.049								
11	93.53	0.2002	1.019	1.029								
12	〃	〃	〃	〃								
13	95.36	0.2041	0.999	1.009								
14	97.20	0.2081	0.980	0.99								
15	〃	〃	〃	〃								

(4) 加振段階 4

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z) 項目	29.36 cm	58.726 cm	78.302 cm
	N値	1.046	1.406	1.552
	σ_v	0.0564 (kg/cm²)	0.113 (kg/cm²)	0.150 (kg/cm²)
	σ'_v	0.0270 (kg/cm²)	0.0541 (kg/cm²)	0.0721 (kg/cm²)
	σ_v/σ'_v	2.088	2.089	2.080
	R	0.1811	0.1957	0.2003
B法	R	0.2348		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
加振経過時間(Sec)	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L
0.5	7.34	0.01564	11.58	15.0	6.83	0.0146	13.44	16.13				
1.0	12.84	0.0273	6.62	8.58	9.11	0.0194	10.08	12.09	58.41	0.1240	1.616	18.94
1.5	14.67	0.0312	5.794	7.51	13.66	0.0291	6.72	8.06	8.76	0.0186	10.77	12.63
2.0	18.34	0.0391	4.635	6.00	18.22	0.0388	5.04	6.05	11.68	0.0248	8.08	9.47
2.5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
3.0	20.17	0.0430	4.21	5.46	20.49	0.0437	4.48	5.38	〃	〃	〃	〃
3.5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
4.0	22.01	0.0467	3.862	3.86	22.77	0.0486	4.03	4.84	14.60	0.0309	6.46	7.58
4.5	23.84	0.0507	3.565	4.622	25.05	0.0534	3.665	4.397	〃	〃	〃	〃
5.0	25.68	0.0547	3.31	4.291	〃	〃	〃	〃	17.52	0.0372	5.39	6.31
6.0	27.51	0.0586	3.09	4.005	27.32	0.0582	3.360	4.032	23.36	0.0496	4.04	4.74
7.0	34.84	0.0743	2.44	3.163	31.88	0.0680	2.88	3.455	29.2	0.0620	3.23	3.79
8.0	40.35	0.0860	2.107	2.731	40.98		2.24	2.688	37.97	0.0805	2.485	2.91
9.0	49.52	0.1055	1.716	2.225	50.09	0.1068	1.833	2.200	43.81	0.0929	2.15	2.525
10	53.18	0.1133	1.598	2.072	56.92	0.1213	1.613	1.935	49.65	0.105	1.901	2.228
11	55.02	0.117	1.545	2.002	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
12	56.85	0.1211	1.495	1.938	59.20	0.1262	1.551	1.86	〃	〃	〃	〃
13	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
14	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
15	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

(5) 加振段階5

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z) 項目	60.698 cm	32.949 cm	14.449 cm
	N値	2.0	1.85	0.89
	σ_v	0.1168 (kg/cm²)	0.0634 (kg/cm²)	0.0278 (kg/cm²)
	σ'_v	0.0562 (kg/cm²)	0.0305 (kg/cm²)	0.0134 (kg/cm²)
	σ_v/σ'_v	2.078	2.079	2.075
	R	0.2187	0.2157	0.1738
B法	R	0.243		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
加振経過時間(Sec)	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L
0.5	3.67	0.0078	28.10	31.20	4.55	0.0097	22.35	25.18				
1.0	7.34	0.0155	14.05	15.61	9.11	0.0193	11.16	12.573	2.92	0.0062	28.11	39.3
1.5	11.00	0.02325	9.326	10.36	11.38	0.0241	8.934	10.065	8.76	0.0185	9.37	13.10
2.0	18.34	0.0389	5.624	6.25	18.22	0.0386	5.581	6.287	〃	〃	〃	〃
2.5	22.01	0.0467	4.686	5.207	22.77	0.0483	4.465	5.031	11.68	0.0247	7.027	9.826
3.0	23.84	0.0506	4.326	4.807	25.05	0.0531	4.059	4.573	14.60	0.0309	5.622	7.861
3.5	27.51	0.0583	3.149	4.166	27.32	0.058	3.722	4.193	17.52	0.0371	4.685	6.551
4.0	29.34	0.0622	3.515	3.906	29.60	0.063	3.435	3.870	20.44	0.0433	4.016	5.615
4.5	33.01	0.0700	3.125	3.472	34.15	0.0724	2.977	3.354	26.29	0.0557	3.122	4.366
5.0	40.35	0.0856	2.556	2.840	38.71	0.0821	2.627	2.959	29.21	0.0618	2.810	3.929
6.0	45.85	0.097	2.250	2.499	45.54	0.0967	2.233	2.515	35.05	0.0742	2.342	3.274
7.0	51.35	0.1089	2.008	2.232	52.37	0.111	1.942	2.187	46.73	0.0989	1.757	2.456
8.0	55.02	0.1167	1.875	2.083	56.92	0.1208	1.786	2.012	55.49	0.1175	1.479	2.068
9.0	80.69	0.1711	1.278	1.420	84.24	0.1787	1.207	1.360	75.94	0.1608	1.081	1.511
10	88.03	0.1867	1.172	1.302	91.08	0.1932	1.116	1.258	87.62	0.1855	0.9368	1.310
11	99.03	0.2099	1.042	1.157	100.18	0.2122	1.015	1.144				
12	〃	〃	〃	〃	97.9	0.2078	1.039	1.170				
13												
14												
15												

(6) 加振段階6

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z) 項目	60.305 cm	32.734 cm	14.355 cm
	N値	2.0	1.80	0.98
	σ_v	0.1164 (kg/cm²)	0.0632 (kg/cm²)	0.0277 (kg/cm²)
	σ'_v	0.0561 (kg/cm²)	0.0305 (kg/cm²)	0.0134 (kg/cm²)
	σ_v/σ'_v	2.075	2.072	2.067
	R	0.2187	0.2138	0.1787
B法	R	0.2625		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
加振経過時間(Sec)	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L	α_s(gal)	L	A法F_L	B法F_L
0.5	16.51	0.0350	6.256	7.507	18.22	0.0386	5.550	6.814	11.68	0.0246	7.254	10.655
1.0	20.17	0.0427	5.121	6.145	22.77	0.0481	4.441	5.453	20.44	0.0431	4.145	6.089
1.5	33.01	0.0699	3.129	3.755	31.88	0.0674	3.172	3.895	29.21	0.0616	2.901	4.261
2.0	38.51	0.0815	2.683	3.219	40.98	0.0866	2.476	3.0297	35.05	0.07392	2.417	3.551
2.5	36.68	0.0777	2.816	3.379	54.64	0.1155	1.851	2.273	43.81	0.0924	1.934	2.841
3.0	55.02	0.1165	1.877	2.253	〃	〃	〃	〃	46.73	0.0986	1.813	2.663
3.5	58.69	0.1243	1.766	2.112	61.48	0.1300	1.645	2.020	52.73	0.113	1.607	2.360
4.0	69.69	0.1474	1.484	1.781	72.86	0.1540	1.388	1.704	64.25	0.1355	1.319	1.937
4.5	78.86	0.1668	1.311	1.573	81.97	0.1733	1.234	1.5147	75.94	0.1602	1.116	1.639
5.0	88.03	0.1863	1.173	1.408	91.08	0.1926	1.110	1.363	78.86	0.1663	1.074	1.578
6.0	121.04	0.2563	0.854	1.025	127.60	0.2696	0.793	0.9738	99.30	0.209	0.853	1.253
7.0	132.04	0.2796	0.783	0.939	132.06	0.2792	0.7657	0.940	113.9	0.240	0.744	1.093
8.0	148.55	0.3145	0.695	0.834	152.55	0.3225	0.6629	0.8139	143.11	0.3018	0.592	0.870
9.0												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

(8) 加振段階 8

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z)	cm 58.927	cm 31.987	cm 14.027
	N値	2.2	1.45	0.89
	σ_v	(kg/cm²) 0.1150	(kg/cm²) 0.0624	(kg/cm²) 0.0274
	σ'_v	(kg/cm²) 0.0560	(kg/cm²) 0.0304	(kg/cm²) 0.0133
	σ_v/σ'_v	2.054	2.053	2.060
	R	0.2258	0.1996	0.1738
B法	R	0.3083		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
加振経過時間(Sec)	α_s(gal)	L	A法 F_L	B法 F_L	α_s(gal)	L	A法 F_L	B法 F_L	α_s(gal)	L	A法 F_L	B法 F_L
0.5	25.68	0.0538	4.195	5.726	25.05	0.0524	3.811	5.888	20.44	0.0429	4.045	7.176
1.0	31.18	0.0654	3.455	4.716	31.88	0.0606	2.996	4.629	29.21	0.0614	2.831	5.021
1.5	47.68	0.0999	2.265	3.084	47.81	0.1001	1.993	3.078	49.65	0.1043	1.665	2.954
2.0	67.86	0.1422	1.688	2.167	70.58	0.1479	1.350	2.086	75.94	0.1596	1.088	1.932
2.5	95.36	0.1999	1.1298	1.542	97.91	0.2051	0.9731	1.503				
3.0	99.03	0.2076	1.088	1.485	100.18	0.2099	0.951	1.469				
3.5	122.87	0.258	0.877	1.197	116.12	0.243	0.821	1.268				
4.0	135.71	0.284	0.794	1.084	31.88	0.0668	2.989	4.618				
4.5	159.55	0.334	0.675	0.922	47.82	0.1002	1.992	3.018				
5.0	300.76	0.630	0.358	0.489	84.24	0.1764	1.131	1.747				
6.0	205.4	0.431	0.525	0.716								
7.0	215.4	0.451	0.500	0.683								
8.0	254.91	0.534	0.423	0.577								
9.0	317.0	0.669	0.338	0.461								
10												
11												
12												
13												
14												
15												

(7) 加振段階 7

	砂層高	30cm	60cm	80cm
A法	深度(Z)	cm 59.583	cm 32.342	cm 14.183
	N値	2.1	1.391	0.71
	σ_v	(kg/cm²) 0.1157	(kg/cm²) 0.0628	(kg/cm²) 0.0275
	σ'_v	(kg/cm²) 0.0561	(kg/cm²) 0.0305	(kg/cm²) 0.01336
	σ_v/σ'_v	2.062	2.059	2.058
	R	0.2222	0.197	0.1632
B法	R	0.2848		

砂層高	30 cm				60 cm				80 cm			
加振経過時間(Sec)	α_s(gal)	L	A法 F_L	B法 F_L	α_s(gal)	L	A法 F_L	B法 F_L	α_s(gal)	L	A法 F_L	B法 F_L
0.5	11.0	0.0231	9.592	12.294	11.38	0.0239	8.239	11.91	11.68	0.02453	6.654	11.611
1.0	22.01	0.0463	4.794	6.144	22.77	0.0478	4.118	5.954	20.44	0.04293	3.801	6.633
1.5	31.18	0.0656	3.384	4.337	31.88	0.0670	2.941	4.253	26.29	0.0552	2.956	5.158
2.0	40.35	0.0849	2.615	3.351	40.98	0.0861	2.288	3.309	40.89	0.0858	1.901	3.316
2.5	53.18	0.1118	1.984	2.543	54.65	0.1148	1.716	2.481	46.73	0.0981	1.663	2.903
3.0	60.52	0.1273	1.743	2.234	59.20	0.1244	1.584	2.290	75.94	0.1595	1.023	1.786
3.5	73.36	0.1543	1.438	1.843	75.14	0.1578	1.248	1.804				
4.0	80.69	0.1698	1.308	1.676	77.40	0.1626	1.211	1.752				
4.5	97.20	0.2045	1.085	1.391								
5.0	104.53	0.220	1.009	1.294								
6.0												
7.0												
8.0												
9.0												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

砂質地盤の流動化および
杭基礎構造物の動的応答
特性に関する模型振動実験

土研資料第1605号
昭和55年8月(1980)

振動研究室　岩崎敏男，常田賢一
吉田精一，後藤勝志

模型振動実験，砂質地盤，流動化，杭基礎構造物，
流動化に対する抵抗率 F_L，地盤の耐震性

本報告は地盤および杭基礎構造物の流動化時の動的応答特性を明らかにするために実施した室内模型振動実験の結果をとりまとめたものである。同実験は当研究室が筑波研究学園都市内の土木研究所に設置された大型振動台を用いて実施した最初の実験である。内容としては，まず，振動実験施設の概要を紹介し，次に実験の方法および実験結果を報告する。そして，これらの実験結果に基づいて地盤の耐震性に関する詳細な検討を行っている。

郵便はがき

二十円切手をはって下さい

3 0 5 - □□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

建設省土木研究所

振動研究室　御中

No. 191

No. 191

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1605号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印