

# 柱状ドレーンによる液状化対策効果の計測

## 報 告 書

平成 24 年 3 月

国土交通省国土技術政策総合研究所



# 本文目次

<b>1</b>	<b>目的</b> .....	<b>1-1</b>
1.1	業務目的.....	1-1
1.2	業務内容.....	1-1
1.3	主な業務数量.....	1-1
1.4	工期.....	1-1
1.5	加振実験実施日.....	1-1
<b>2</b>	<b>実験計画書の作成</b> .....	<b>2-1</b>
2.1	試験体地盤の設計方針及び管理方法.....	2-2
2.1.1	設計方針.....	2-2
2.1.2	施工管理方法.....	2-2
2.2	ドレーンパイプの規格選定および配置計画.....	2-3
2.2.1	ドレーンパイプの規格設定.....	2-3
2.2.2	ドレーンパイプの配置計画.....	2-4
	(1)プレ実験配置計画.....	2-4
	(2)主実験配置計画.....	2-5
2.3	センサー類の配置.....	2-6
2.3.1	プレ加振実験.....	2-6
2.3.2	主実験.....	2-8
2.4	加振計画および計測計画.....	2-10
2.4.1	加振計画.....	2-10
2.4.2	計測計画.....	2-12
2.5	計測データに関する作図表.....	2-13
2.6	プレ実験の実施方針.....	2-14
<b>3</b>	<b>試験体地盤の作成</b> .....	<b>3-1</b>
3.1	実験装置.....	3-1
3.2	大型せん断土槽.....	3-2
3.3	油圧アクチュエータ.....	3-3
3.4	計測システム.....	3-5
3.5	試験地盤.....	3-6
3.6	地盤材料.....	3-7
3.7	プレ実験試験地盤作成.....	3-12
3.8	主実験試験地盤作成.....	3-17

<b>4 プレ加振実験の実施</b> .....	<b>4-1</b>
4.1 プレ加振実験概要 .....	4-1
4.2 加振条件.....	4-2
4.3 地盤の加速度応答結果.....	4-3
4.4 過剰間隙水圧計測結果.....	4-22
4.5 地表面沈下計測結果.....	4-45
4.6 スウェーデンサウンディング試験結果.....	4-47
4.7 プレ加振実験まとめ.....	4-48
<b>5 初期状態のセット</b> .....	<b>5-1</b>
5.1 ドレーンパイプの埋込み .....	5-1
5.2 住宅基礎模型の設置.....	5-4
5.3 地盤初期状態の測定.....	5-5
<b>6 加振実験の実施</b> .....	<b>6-1</b>
6.1 加振条件.....	6-1
<b>7 計測結果の表示</b> .....	<b>7-1</b>
7.1 応答加速度特性.....	7-1
7.2 過剰間隙水圧計測結果.....	7-42
7.3 地表面および住宅基礎模型沈下計測結果.....	7-78
7.4 スウェーデンサウンディング試験計測結果 .....	7-80
<b>8 まとめ</b> .....	<b>8-1</b>

添付資料-1 打合せ議事録
添付資料-2 スウェーデンサウンディング試験結果
添付資料-3 プレ実験状況写真
添付資料-4 主実験状況写真
添付資料-5 計測 CH 表および時刻歴計測結果
添付資料-6 有効上載圧算定
添付資料-7 気象庁震度階級関連解説表

本報告書の実験は、国土技術政策研究所の業務発注により佐藤工業（株）が請負ったものである。

# 1 目的

## 1.1 業務目的

本業務の目的は、既成市街地における液状化対策の技術基準類の策定に必要な基礎データを整備するため、柱状ドレーンを用いた水抜き工法の液状化抑制効果を実規模振動台実験により定量的に計測するものである。

## 1.2 業務内容

本業務では、実物大規模に近い試験体を構築し、振動実験によって柱状ドレーンの有意性について実験的に検証を行うものである。実験はプレ実験と主実験の2つの振動実験からなり、プレ実験で柱状ドレーンの排水による水圧消散性能を調査した後、主実験にて柱状ドレーンを設置した実規模大地盤の液状化対策効果を調査する。関する主な計測項目は以下の通りである。

## 1.3 主な業務数量

実験計画書の作成業務	1 式
試験体地盤の作成業務	1 式
プレ加振実験の実施業務	1 式
初期状態のセット業務	1 式
加振実験の実施業務	1 式
計測結果の表示業務	1 式
報告書作成業務	1 式
打ち合わせ業務	1 式

## 1.4 工期

工期	自 平成 24 年 1 月 21 日
	至 平成 24 年 3 月 28 日

## 1.5 加振実験実施日

プレ加振実験	平成 24 年 2 月 24 日 (1 回目, 2 回目)
主実験	平成 24 年 3 月 23 日 (1 回目, 2 回目)
	平成 24 年 3 月 27 日 (3 回目)

## 2 実験計画書の作成

業務を行うにあたり，試験計画書の作成を行った。試験計画書を以下に示す。

## 2.1 試験体地盤の設計方針及び管理方法

### 2.1.1 設計方針

本業務は、既成市街地における液状化対策の技術基準類の策定にともなう解析業務に必要な基礎データを整備するものであり、柱状ドレーンを用いた水抜き工法の液状化抑制効果を定量的に計測するものである。

実験はプレ実験と主実験の2つの振動実験からなり、プレ実験は、柱状ドレーンの水圧消散性能を調査することを目的とし、主実験では、柱状ドレーンを設置した実規模地盤の液状化対策効果を調査することを目的とし、試験体地盤を作成する。

### 2.1.2 施工管理方法

施工管理は、計画された地盤条件になるよう、表 2.1.1 に示す調査・試験項目を行うことにより管理を行う。地盤の作成方法は、プレ実験では水中落下法で、主実験は空中落下法にて作成する。

地盤作成時の密度管理は、試験試料（日光珪砂）の重量および含水比、注水量、地盤密度試験を行い、盛土終了後に盛土地盤の地盤強度を確認するためにスウェーデン式サウンディング試験を行う。

表 2.1.1 盛土施工に係わる調査・試験の内容

項目	目的	数量	備考
地盤密度測定	試験地盤の密度を確認し、所定の地盤密度になるように管理する。	【プレ実験】 3点×3層 【主実験】 3点×10層 (@0.5m)	砂重量 注水流量 コア採取
スウェーデン式サウンディング試験	制作した試験地盤の地盤強度(Nsw)を把握する。	【プレ実験】 6箇所 【主実験】 3箇所	

## 2.2 ドレーンパイプの規格選定および配置計画

### 2.2.1 ドレーンパイプの規格設定

人工材料を使った柱状ドレーン工法は、合成樹脂製の細径有孔長尺管を用いるものであり、ドレーン材の透水係数がグラベルドレーンに比べ 100~200 倍と大きく、少ない貫入力で打設施工でき、施工機械も小型で斜め打設などが可能などの特徴がある。但し、ドレーン径が小さいので、打設間隔が狭くなり、打設本数が増加するという短所もある。

本実験で使用する柱状ドレーン材の諸元を表 2.3.1 に示す。柱状ドレーン材は、いくつかの種類のもが実用されているが、実験では、一般的なドレーンパイプとして、観測井戸などでよく使用されている有孔円形パイプ（塩ビ）にフィルター（防虫網）を被せたものと、既設住宅の液状化対策に使用されている樹脂ストリングを不規則にカールさせ中空状に積層したものにフィルターを被せたものの 2 種を使用する。同表中の開口率はドレーンの外周面積に対する開口部の比率を表している。

また、ドレーン材の径に関しては、一般的に外形が 100mm のものが実用的に使用されていることから、外形 100mm と 50mm の 2 種を使用することとする。

表 2.2.1 柱状ドレーン材の諸元<sup>1)</sup>

特性 種類	材質		開口率 (%)	管内透水係数 (cm/s)	型式・外径（内径） (mm)
	パイプ	フィルター			
樹脂ストリングパイプ	ポリプロピレン樹脂 (中空網目管)	ポリプロピレン樹脂 (不織布)	80 以上	900*	NP50 : 50 (0) NP100 : 100 (65)
有孔円形パイプ	塩ビ (VP 管)	ナイロン (防虫網)	10	2000	VP50 : 60 (51) VP100 : 114 (100)

\*導水勾配 0.25 に対する値

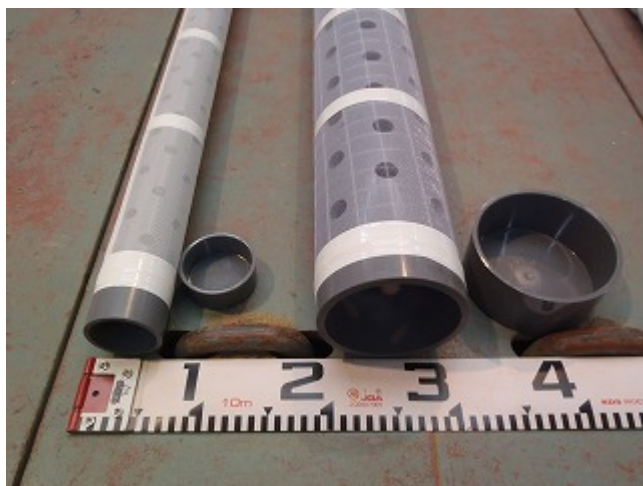


写真 2.2.1 有孔円形パイプ



写真 2.2.2 樹脂ストリングパイプ

1) 地盤工学・実務シリーズ 18 液状化対策工法：社団法人地盤工学会，pp.391，平成 16 年 7 月発行



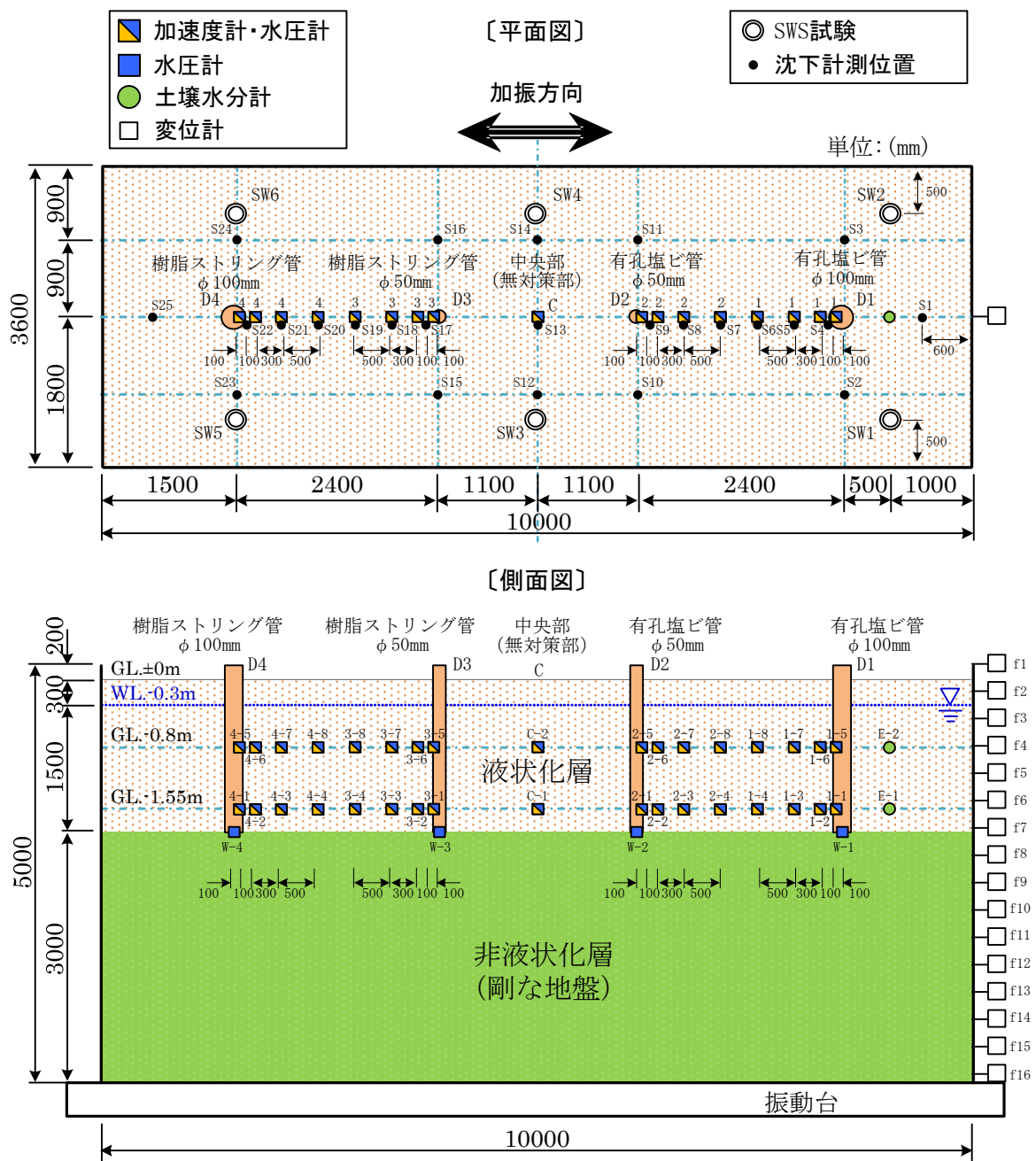
## 2.2.2 ドレーンパイプの配置計画

### (1) プレ実験配置計画

プレ実験では、ドレーン工法の解析に用いる柱状ドレーンのモデル化に必要な排水消散性能の調査を目的とし、柱状ドレーンを有孔管、樹脂ストリングパイプの2種類、直径は、 $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$ の2種類、合計4種の設置を行う。プレ実験における柱状ドレーンの配置計画を図2.2.1に示す。

なお、柱状ドレーンの配置には、プレ実験、主実験を通し以下の項目に留意して計画を行った。

- ① ドレーン同士の透水半径に影響を及ぼさないこと
- ② 土槽の端部の影響を及ぼさない場所にあること
- ③ 地盤作成時に砂の投入ラインと計測ラインと重ならない位置にあること



## (2)主実験配置計画

主実験では、プレ実験の結果をふまえ、実地盤規模の既成住宅のドレーンパイプによる液状化抑制効果が発揮出来る配置を計画する。柱状ドレーンは、排水効果の高い樹脂ストリングパイプの直径φ100mmを使用することとする。

配置は、以下の3つの目的に従い行う。領域①ドレーンパイプ1本の性能調査（右側部）、領域②複数ドレーンの性能調査（中央部）、領域③ドレーンパイプの住宅基礎模型対策調査（地表面に住宅基礎模型（寸法：幅1,300mm×1,300mm、高さ500mm、質量：約2.2tf（22kN）：13kN/m<sup>2</sup>のコンクリート基礎）を設置）（左側部）。

主実験におけるドレーンパイプの配置計画を図2.2.2に示す。

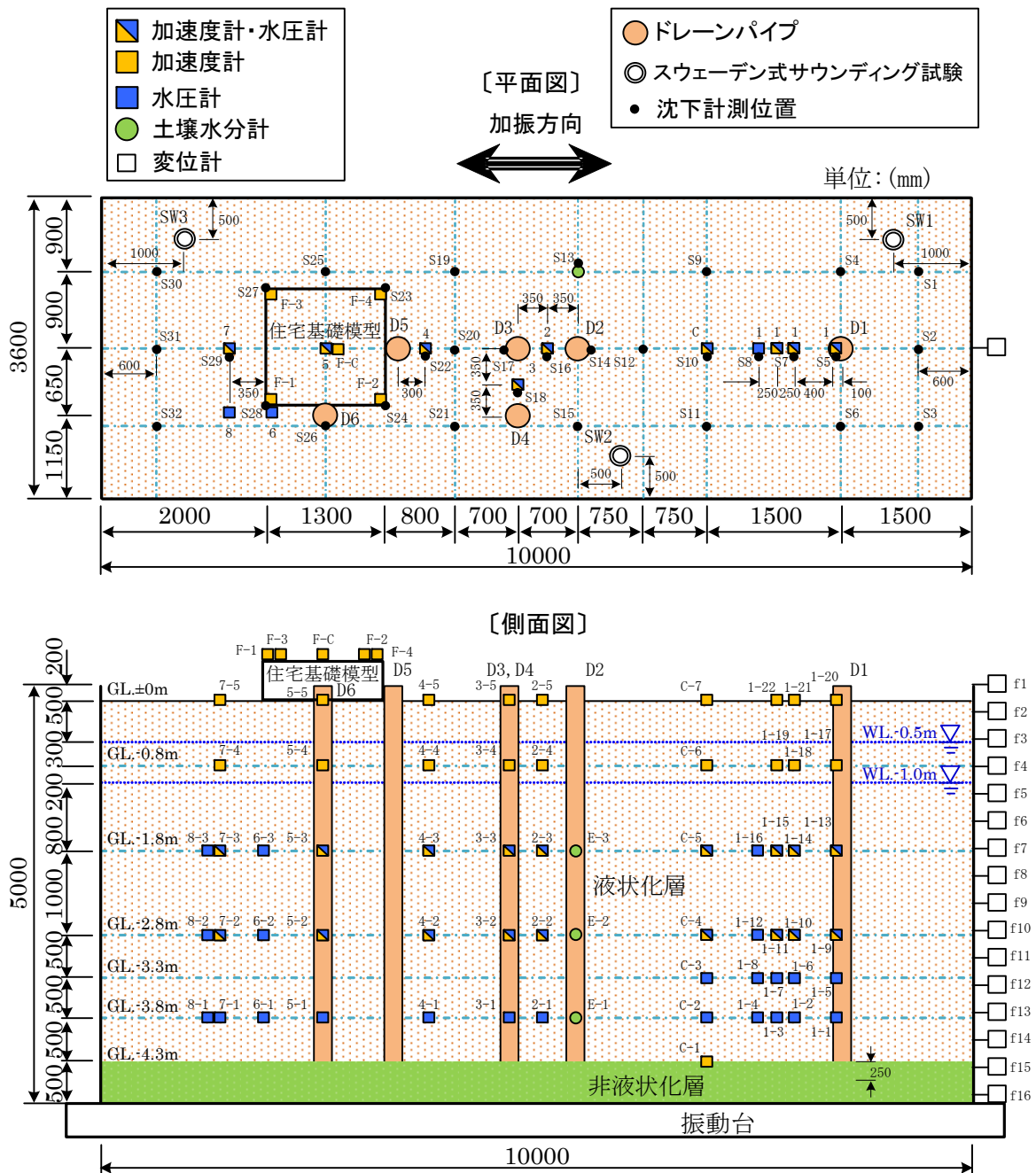


図 2.2.2 主実験配置図

## 2.3 センサー類の配置

センサー類の配置は、電算解析のモデル化に必要な水圧変化が把握できるように、水圧計、間隙水圧計および土壌水分計の設置を行う。

### 2.3.1 プレ加振実験

プレ実験の計測項目を表 2.3.1 に、センサー類配置を図 2.2.1 に示す。

プレ実験では、加速度計、間隙水圧計の配置を、水平方向では柱状ドレーンの中央から、10cm, 20cm, 50cm, 100cm の位置に、深さ方向は GL.-0.8m, GL.-1.55m の 2 深度に設置を行う。また、ドレーンパイプ内の水位は、ドレーンパイプ下部に水圧計を設置し計測する。

設置方法に関しては、所定の位置、深度に配置が出来ることを前提とし、液状化時のセンサーの移動を防ぐ下記の対策を行うものとする。

プレ実験では、水中落下地盤作成時にセンサーの位置がずれないように基盤層に用いられているジオテキスタイル材を帯状に整形したものにセンサーを固定して設置を行う。写真 2.3.1, 写真 2.3.2 に固定状況および設置状況を示す。

表 2.3.1 計測内容および計測数量

計測内容	計測センサー	数量	目的
過剰間隙水圧	間隙水圧計	34	液状化による水圧の上昇や消散の確認
ドレーンパイプ内水位	間隙水圧計	4	ドレーンパイプ内の水位変化の確認
応答加速度	加速度計	34	地盤および基礎模型の応答加速度の確認
地盤飽和度	土壌水分計	2	地盤内飽和度の確認
地表面沈下量 基礎模型沈下量	レベル	25	試験前後の地表面および基礎模型変位の調査



写真 2.3.1 センサー固定状況(加速度計側)

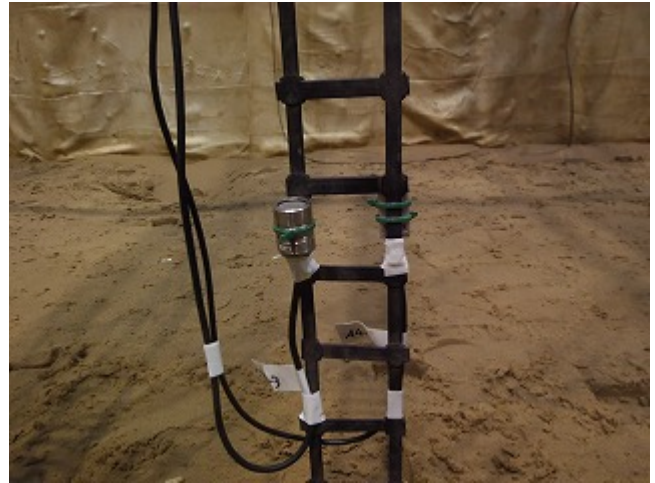


写真 2.3.2 センサー固定状況 (水圧計側)



写真 2.3.3 センサー設置状況 1



写真 2.3.4 センサー固定状況 2



写真 2.3.5 TDR 土壌水分計設置状況

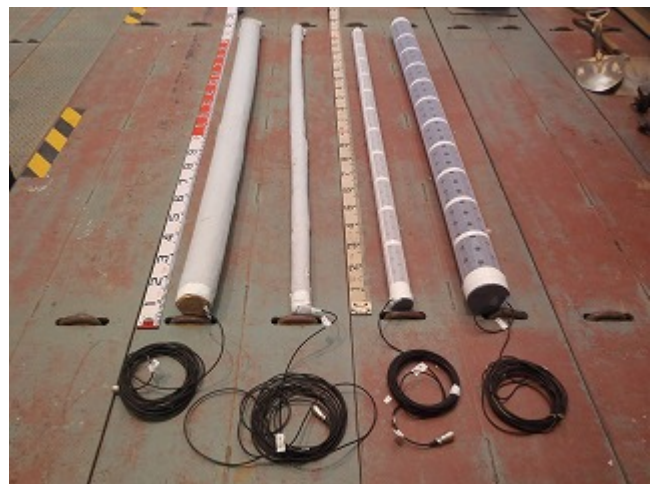


写真 2.3.6 ドレーン内水位計設置状況

### 2.3.2 主実験

主実験の計測項目を表 2.3.2 に、センサー類配置を図 2.2.2 に示す。

領域①（1 本ドレーンパイプ部）においては、加速度計、間隙水圧計の配置を水平方向では柱状ドレーンの中央から、10cm, 50cm, 70cm, 100cm の位置に、深さ方向は、間隙水圧計は、GL.-1.8m, GL.-3.3m, GL.-2.8m, GL.-1.8m の 4 深度、加速度計は、地表面, GL.-0.8m, GL.-1.8m, GL.-2.8m の 4 深度に設置を行う。

領域②（複数ドレーンパイプ部）及び領域③（基礎模型部）では、ドレーンパイプ間、基礎模型部を基本配置とし、深さ方向は、間隙水圧計は、GL.-1.8m, GL.-2.8m, GL.-3.8m の 3 深度、加速度計は、地表面, GL.-0.8m, GL.-1.8m, GL.-2.8m の 5 深度に設置を行う。

また、ドレーンパイプの影響を受けない土槽右側中央部(C)に、間隙水圧計を GL.-1.8m, GL.-3.3m, GL.-2.8m, GL.-1.8m の 4 深度、加速度計は、地表面, GL.-0.8m, GL.-1.8m, GL.-2.8m, GL.-4.8m の 5 深度に設置を行う。

センサーの設置方法に関しては、所定の位置、深度に配置が出来ることを前提とし、液状化時のセンサーの移動を防ぐ下記の対策を行うものとする。

写真 2.3.7～写真 2.3.12 に固定状況および設置状況を示す。主実験では、空中落下法にて地盤を作成するため、所定の箇所にそれぞれ設置するものとし、加速度計はプラスチックプレートに、間隙水圧計はプラスチックのアンクルにそれぞれ固定し設置を行う。

なお、土壌水分計は、水圧計測および加速度計測の影響を及ぼさない位置に設置を行う。

表 2.3.2 計測内容および計測数量

計測内容	計測センサー	数量	目的
過剰間隙水圧	間隙水圧計	37	液状化による水圧の上昇や消散の確認
応答加速度	加速度計	37 5（基礎模型部）	地盤および基礎模型の応答加速度の確認
地盤飽和度	土壌水分計	3	地盤内飽和度の確認
地表面沈下量 基礎模型沈下量	レベル	24	試験前後の地表面および基礎模型変位の調査



写真 2.3.7 加速度計設置状況



写真 2.3.8 間隙水圧計設置状況

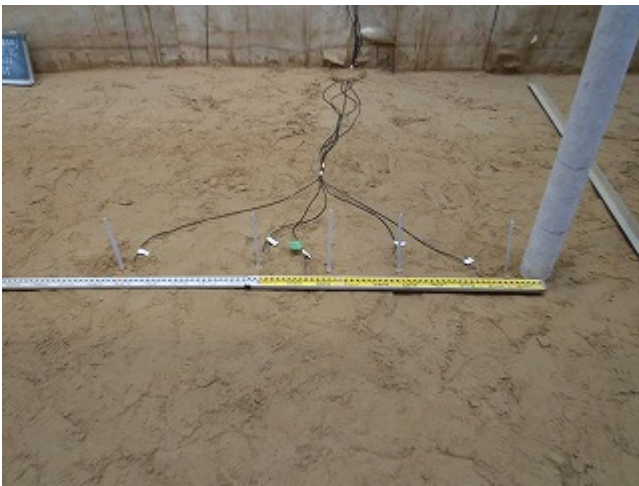


写真 2.3.9 センサー計設置状況

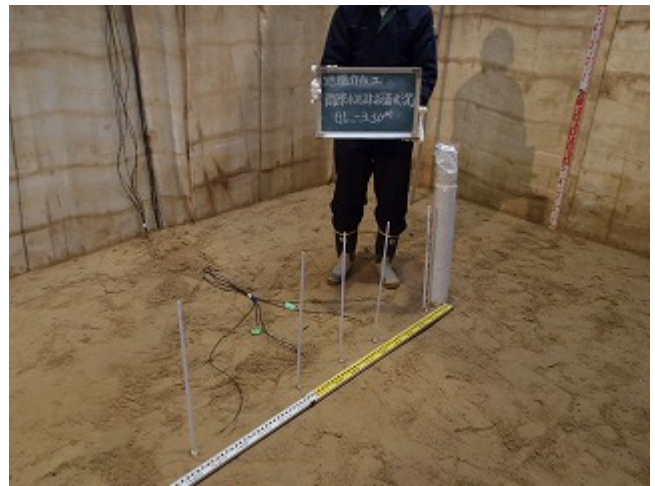


写真 2.3.10 センサー計設置状況



写真 2.3.11 TDR 土壌水分計



写真 2.3.12 TDR 土壌水分計設置状況

## 2.4 加振計画および計測計画

### 2.4.1 加振計画

入力波は、以下の考え方によって選定した。

実験結果で求められたパラメータを電算解析に適用するため、波形は出来るだけシンプルなものとする。また、吉見<sup>1)</sup>を参考に、東日本大震災の東京湾岸の地震波を等価な繰返しせん断波に置換すると、応力比 0.1~0.15 (地表最大加速度 100~150gal) 程度、周波数 1~2Hz 程度、30~60 波程度相当と試算される<sup>2)</sup>。この条件で試験土槽地盤を地震応答解析ツール Shake により等価線形解析を行ったところ表 2.4.1 に示す結果となった。

しかし、本振動台の加振能力 (最大速度 8.5cm/s) の制約から、この等価な繰返しせん断振動を再現することは難しい (図 3.3.1 参照)。そこで、なるべく近い振動状態となる入力条件を検討した結果、表 2.4.1 のうち、最大加速度 75gal, 周波数 2Hz の入力波形であれば地表最大加速度が 100gal を超える程度の応答になることが予想された。

このことから、プレ実験では、入力の最大加速度と周波数を 75gal, 2Hz と決定した。また、波数は、確実に液状化が発生するよう、十分に大きな値 (120 回) とする。また、加振終了後、間隙水圧の収束後、同じ条件の下で 2 回目の加振を行う。

主実験では、プレ実験の結果をふまえ、上記の入力波条件 (最大加速度 75gal, 周波数 2Hz) で加振を行う。2 回目, 3 回目は、試験地盤の液状化の発生状況を観測結果より、入力波条件 (最大加速度 150gal, 周波数 2Hz) で加振を行う。

表 2.4.1 入力波計解析結果

Amax(gal)	T(s)	f(Hz)	Vmax(cm/s)	Dmax(cm)
50	0.50	2.00	4.08	0.33
50	0.75	1.33	6.13	0.76
50	1.00	1.00	8.30	1.36
75	0.50	2.00	6.11	0.50
75	0.75	1.33	9.19	1.14
75	1.00	1.00	12.44	2.04
100	0.50	2.00	8.15	0.67
100	0.75	1.33	12.26	1.53
100	1.00	1.00	16.59	2.73

加振条件を表 2.4.2 に示す。加振は、入力加速度振幅 75gal および 150gal、周波数 2Hz、増幅 5 波+繰り返し 120 波+減衰 5 波の合計 130 波の正弦波で行う。

表 2.4.2 加振条件

加振条件 ケース	加振回数	周波数	入力加速度	波形	波数
プレ実験	1 回目	2.0Hz	75gal	正弦波	120+前後 5 波
	2 回目				
主実験	1 回目	2.0Hz	75gal	正弦波	120+前後 5 波
	2 回目	2.0Hz	150gal	正弦波	120+前後 5 波
	3 回目				

1)吉見吉昭：砂地盤の液化化（第 2 版），技報堂出版株式会社，pp.54~59，1991

2)新井洋：建築学会近畿支部耐震構造研究部会シンポジウム，大阪，pp. 37-50，2011，12



## 2.4.2 計測計画

データ計測は、計測器のデータ容量を考慮し、加振時はサンプリング周波数を 100Hz、収録時間は 5 分とする。加振終了後は、サンプリングのインターバルを 5 分にし、2 時間を目安とし水圧の消散を確認するまで計測を行う。

表 2.4.3 計測条件

加振条件 ケース	加振時		加振加振終了後	
	サンプリング 周波数	計測時間	サンプリング 周期	計測時間
プレ実験 主実験	100Hz	5 分	5 分	2 時間

## 2.5 計測データに関する作図表

計測データは、地盤内におけるドレーンパイプの効果がどの程度まで及んでいるか明確にすることを目的とし、水圧上昇時から消散までの水圧分布をコンターなど用い作図を行う。

表 2.5.1 に作図方法を示す。

表 2.5.1 作図方法

計測内容	計測項目	作図方法
過剰間隙水圧	間隙水圧計	時刻歴グラフ（深度，ドレーン離隔ごと） 過剰間隙水圧比コンター（水圧上昇時，加振後，消散時など） 表（最大値）
ドレーンパイプ内水位	間隙水圧計	時刻歴グラフ
応答加速度	加速度計	時刻歴グラフ 表
地盤飽和度	土壌水分計	表
地表面沈下量	地表面高さ	表 コンター（加振終了後）

## 2.6 プレ実験の実施方針

本業務は、既成市街地における液状化対策の技術基準類の策定にともなう電算解析業務に必要な基礎データを整備するものであり、柱状ドレーンを用いた水抜き工法の液状化抑制効果を定量的に計測するものである。

プレ実験は、柱状ドレーンによる液状化防止効果が及ぶおおむねの範囲を把握するのが目的であり、柱状ドレーンの水圧消散性能を調査することにより、主実験での柱状ドレーンの配置計画などの妥当性を確認するほか、解析に必要な柱状ドレーンの排水パラメータの策定をおこなうものである。

### 3 試験体地盤の作成

#### 3.1 実験装置

実験装置は、独立行政法人築研究所 建築基礎・地盤実験棟屋内ピットに常設されている。本装置は、せん断土槽（17段）、油圧アクチュエータ、土砂自動搬送装置および計測システムからなり、せん断フレーム内に長さ10m、深さ5m、幅3.6mの地盤を作製し、地震時の地盤の振動を再現することができる。また、各種構造物と地盤との地震時の相互作用について最大高さ5mまでの実物大の実験的検証が可能である。本装置の概要を図3.3.1に示す。

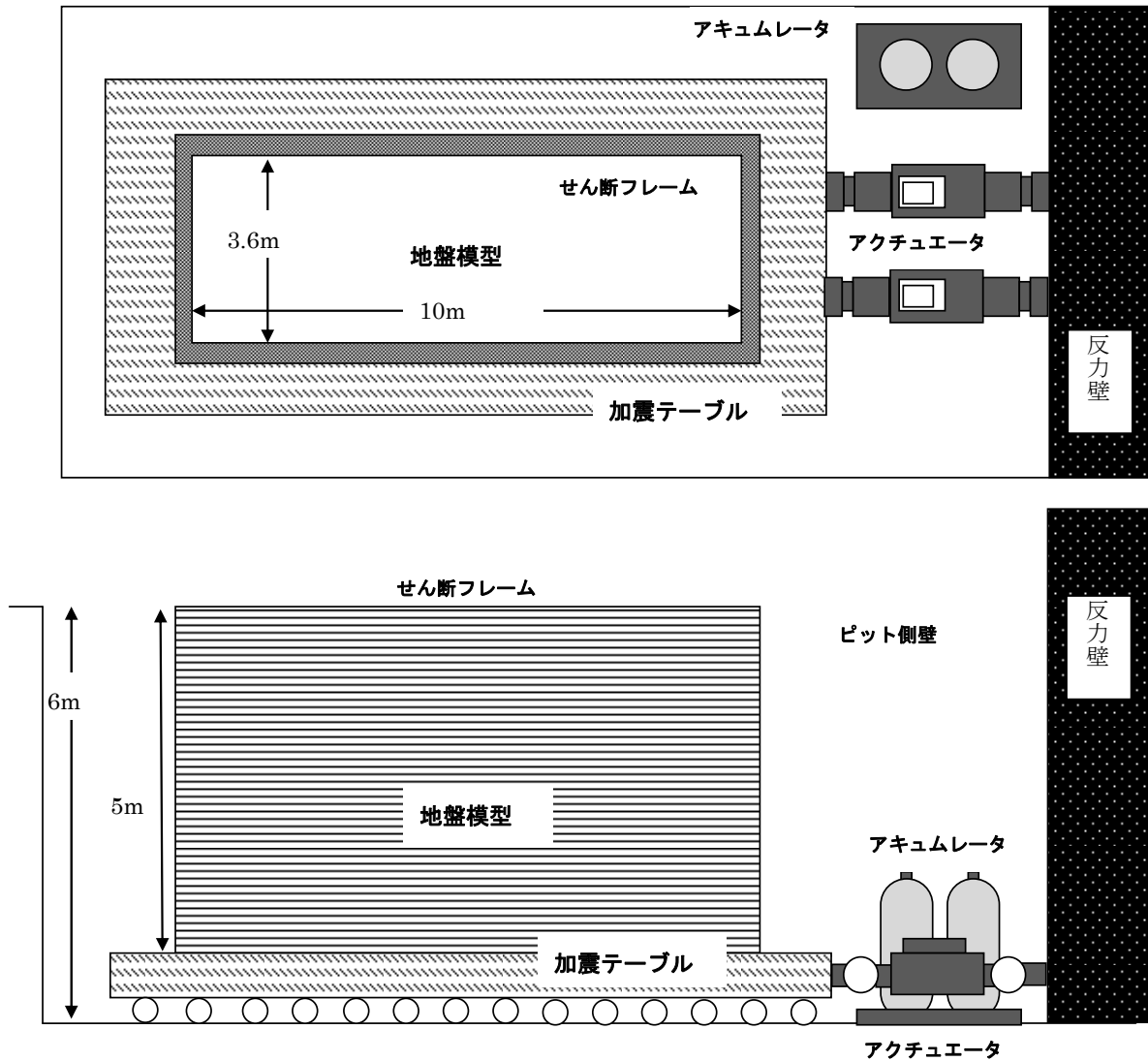


図 3.1.1 大型せん断土槽の概要

## 3.2 大型せん断土槽

せん断土槽は、一段あたりの高さが 300mm のせん断フレームを 17 段積み重ね、その間に摺動ローラを配し、底盤からの層せん断力の载荷に影響を与えないよう設計されている。せん断フレームは地盤への付加重量を小さくするために軽量化が図られており、断面量の低下に伴う側方へのたわみやねじりに対しては、ピット壁面を反力とする摺動型の姿勢保持機構により対処している。せん断フレーム間の遮水部には、水密性の確保とせん断変形に対する柔軟さと耐久性が必要であり、新しく開発したシリコン膜構造を導入している。せん断土槽への給排水は、電動バルブを用いた自動化により集中制御される。また、せん断土槽の内面は、ステンレス鋼による内貼りを施し、遮水部の保護およびフレームの防食に努めている。

主な特徴を以下に示す。

- ① せん断フレーム内の地盤に底盤より入力した層せん断力を载荷できる。
- ② せん断フレーム間はローラ支持され、シリコン膜構造により、遮水性能とせん断変形への追従が図られている。
- ③ 17 段の各せん断フレームは、 $\pm 50\text{mm}$  の相対変位量を許容し、全高 5,000mm に対して最大  $\pm 800\text{mm}$  変位することができる。
- ④ 液状化実験が可能である。
- ⑤ せん断フレームの付加重量は、地盤の重量の 10% 程度以下に抑えられている。
- ⑥ 油圧アクチュエータは、450tf (4,410kN) の慣性負荷に対して、最大 20kine の加振性能を有する。
- ⑦ 土砂搬送装置は、実験地盤の作成、撤去をコンピュータ制御によって行うことができる。
- ⑧ 擁壁に働く水平力と鉛直力を分離して計測できる機構を有する擁壁台が付属している。

### 3.3 油圧アクチュエータ

油圧アクチュエータは、せん断土槽積載時総重量（450tf：4,410kN）の慣性負荷に対して最大速度 20kine の加振性能を有し、コンピュータ指令の油圧自動制御によって、基本波形および実地震波形の入力が可能である。油圧アクチュエータは、変位による自動制御とし、コンピュータ処理により変位、速度、加速度の各入力信号に対応している。油圧アクチュエータの主な仕様は以下に示すとおりであり、本アクチュエータの限界性能曲線を図 3.3.1 に示す。

定格出力：±200tf×2 台（±3920kN）

定格ストローク：±100mm

最大速度：20kine

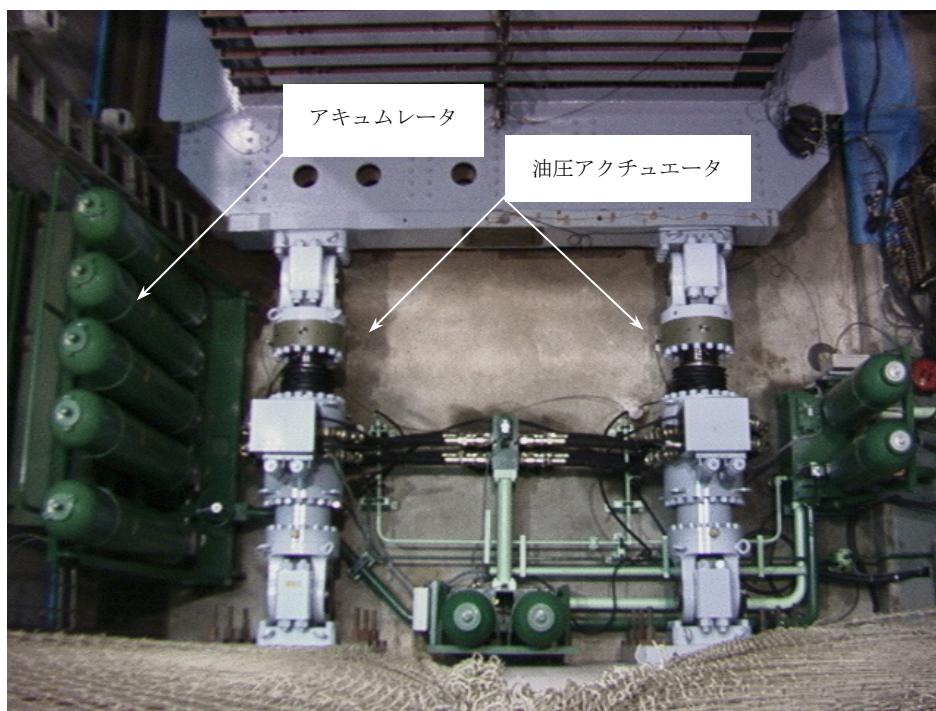


写真 3.3.1 油圧アクチュエータ

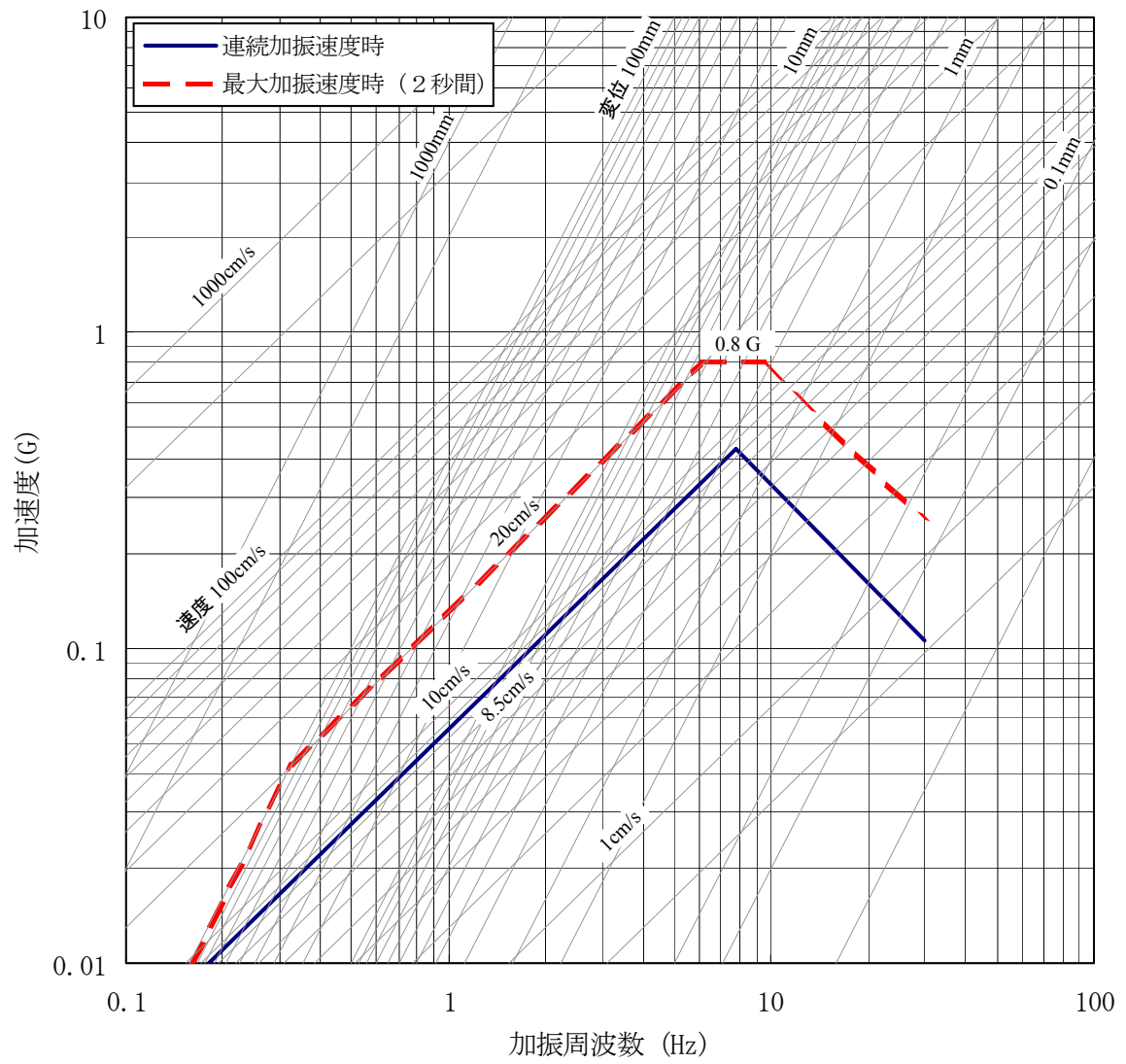


図 3.3.1 油圧アクチュエータの限界性能曲線

### 3.4 計測システム

計測システムは、高速デジタル式ひずみ測定器（各チャンネル、240kw 一部 120kw メモリ内蔵）により 100 点の計測が可能である。計測では、センサーからの出力を自動的に切り替えられる動／静切替器を有しており、長期的な計測も可能としている。各種計測器の設定や操作はパソコンによる対話形式で行い、計測中は画面同時のリアルタイムモニタが可能である。さらに、演算子を兼ね備えた拡張チャンネル機能を有しており、即時に演算値が計測・モニター・が可能である。

また、計測値は即時に処理・解析・出力できる機能を有しており、解析システムとリンクした計測処理システム構成となっている。



写真 3.4.1 計測・処理システム



### 3.5 試験地盤

試験地盤は、プレ実験と主実験の2つの地盤を作成する。各実験の試験地盤概要図を図 3.5.1 および図 3.5.2 に示す。

地盤材料は栃木県産日光珪砂 6号を使用する。材料物性および柱状ドレーンの位置は後章に記す。プレ実験は、工期短縮の為、別の実験の目的で使用された試験地盤を再利用するため、土槽底盤から 3.0m までジオテキスタイルに囲まれた相対密度  $Dr=80\%$  程度の剛な砂地盤となり、試験地盤はその上部に相対密度  $Dr=60\%$ 、層厚 1.8m の砂地盤を作成する。なお、地下水位は  $GL.-0.3m$  とする。

主実験では、土槽底盤から 0.5m までの相対密度  $Dr=80\%$  程度の剛な砂地盤の上に、層厚 4.8m、相対密度  $Dr=60\%$  の試験地盤を作成する。また、地表部には、住宅基礎を模擬した約  $1.3tf/m^2$  のコンクリート基礎を設置する。

なお、地下水位は、地下水位を低下させた場合を想定し  $GL.-1.0m$  としたものと、地下水位  $GL.-0.5m$  としたものとする。

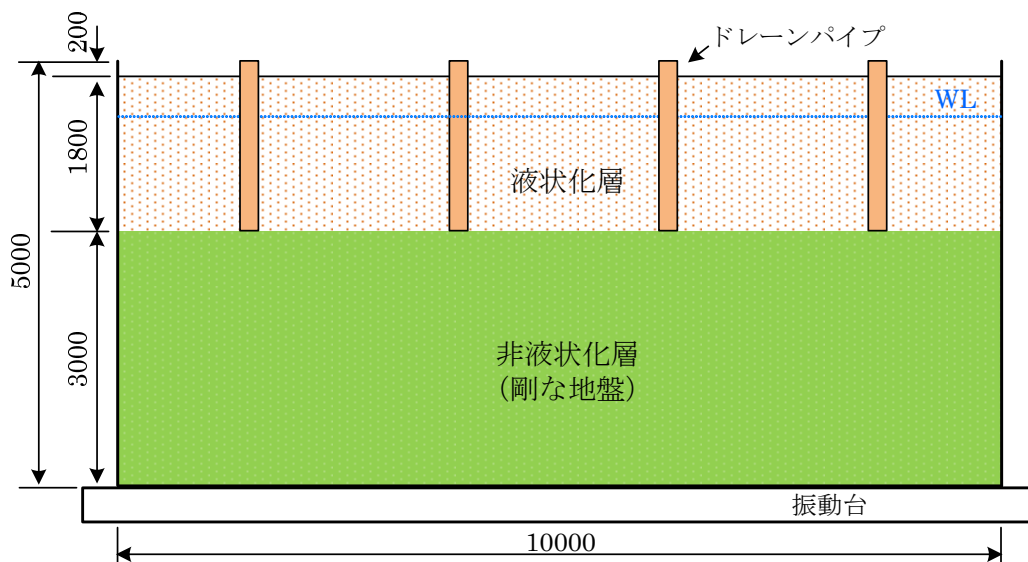


図 3.5.1 プレ実験土槽概要図

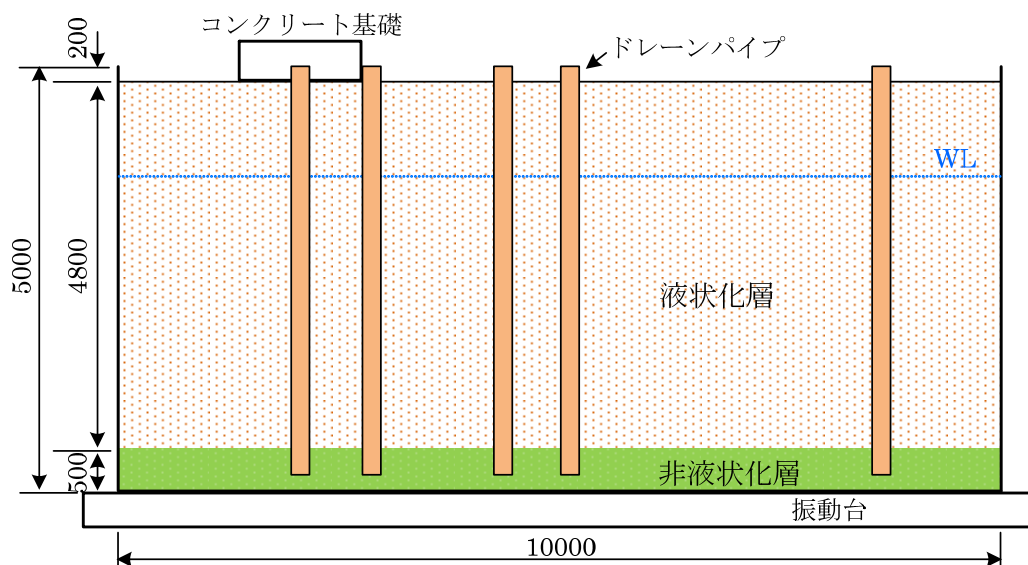


図 3.5.2 主実験土槽概要図

### 3.6 地盤材料

地盤材料は、栃木県産の日光珪砂6号を用いる。本材料は、比較的粒径の揃った砂である。物理および力学的性質を表3.6.1に、粒径加積曲線を図3.6.1に示す。

表 3.6.1 盛土材料（栃木県産日光珪砂6号）の物理・力学的性質

項 目		試験結果		備 考
物理一般	土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.648		
	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.701		
	最小乾燥密度 $\rho_{dmin}$ g/cm <sup>3</sup>	1.339		
粒度特性	礫分 2~75mm %	0		
	砂分 75 $\mu$ m~2mm %	96.4		
	シルト分 5~75 $\mu$ m %	3.6		
	粘土分 5 $\mu$ m未満 %			
	均等係数 $U_c$	2.13		
	曲率係数 $U_c'$	1.00		
	最大粒径 mm	0.850		
分類	分類名	砂		
	分類記号	{S}		
透水係数	$k_{15}$ cm/sec (Dr=30%)	$2.57 \times 10^{-2}$ (e=0.863)		
	$k_{15}$ cm/sec (Dr=60%)	$1.38 \times 10^{-2}$ (e=0.731)		
三軸圧縮特性	供試体密度	Dr=30%	Dr=60%	圧密排水試験
	粘着力 $c_d$ kN/m <sup>2</sup>	2.6	0.3	
	内部摩擦角 $\phi'$ 度	31.9	35.3	

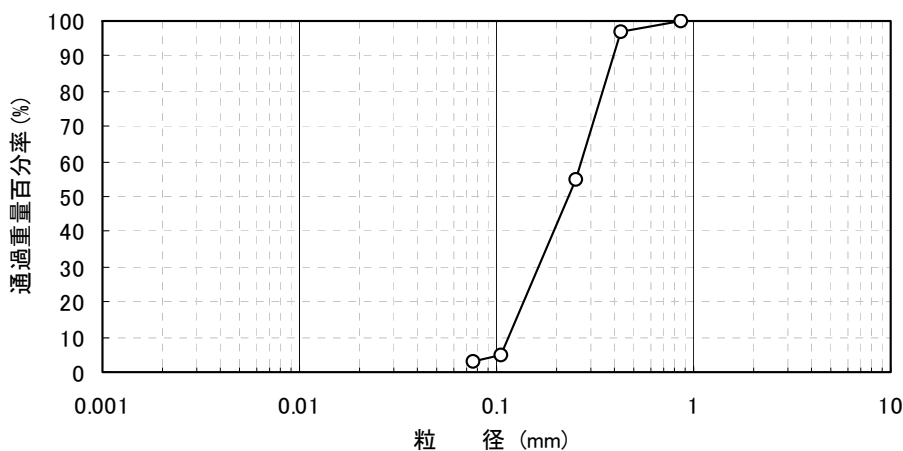


図 3.6.1 盛土材料の粒径加積曲線

【液状化特性】

液状化試験結果を表 3.6.2 および図 3.6.2 に示す。液状化試験は、供試体密度が相対密度  $Dr=30\%$  および  $Dr=60\%$  を対象に地盤工学会規準に準じて実施した。

表 3.6.2 実験砂の液状化試験結果

相対密度 $Dr(\%)$	せん断応力比 R	繰返し回数 (回)				水圧比 100%
		DA=1.0%	DA=2.0%	DA=5.0%	DA=10%	
30	0.200	0.6	0.7	1.0	1.4	2
	0.170	0.5	0.6	0.7	0.9	2
	0.148	1	1.1	1.3	1.6	2
	0.141	12	13	13	13	13
	0.128	35	36	36	37	36
60	0.346	1.1	2.1	4.9	11	4
	0.298	10	12	17	22	13
	0.245	6.4	8	12	18	9
	0.202	28	30	34	40	30
	0.170	300 回以上	300 回以上	300 回以上	300 回以上	300 回以上

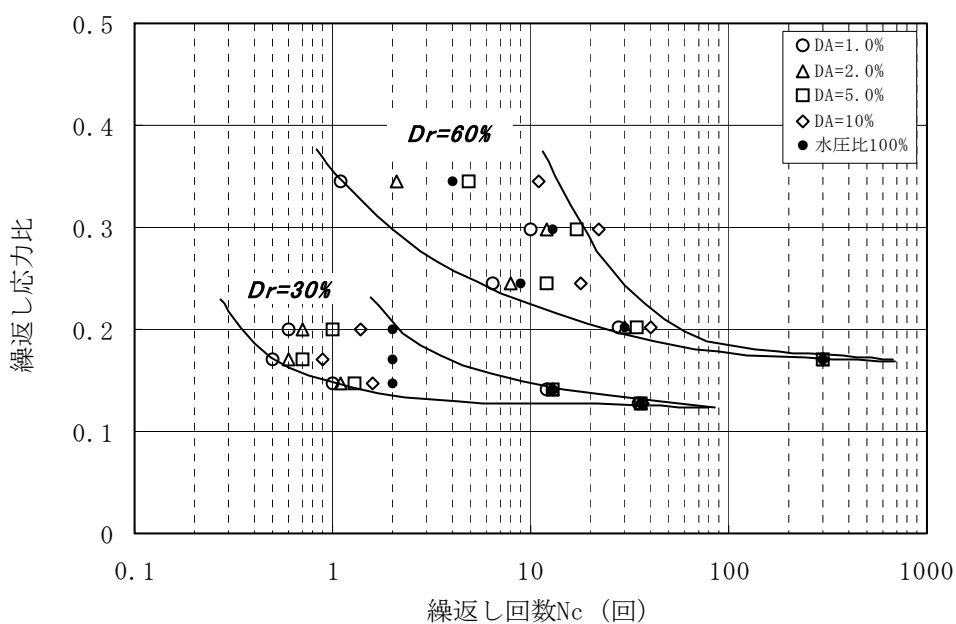


図 3.6.2(1) 実験砂の液状化試験結果

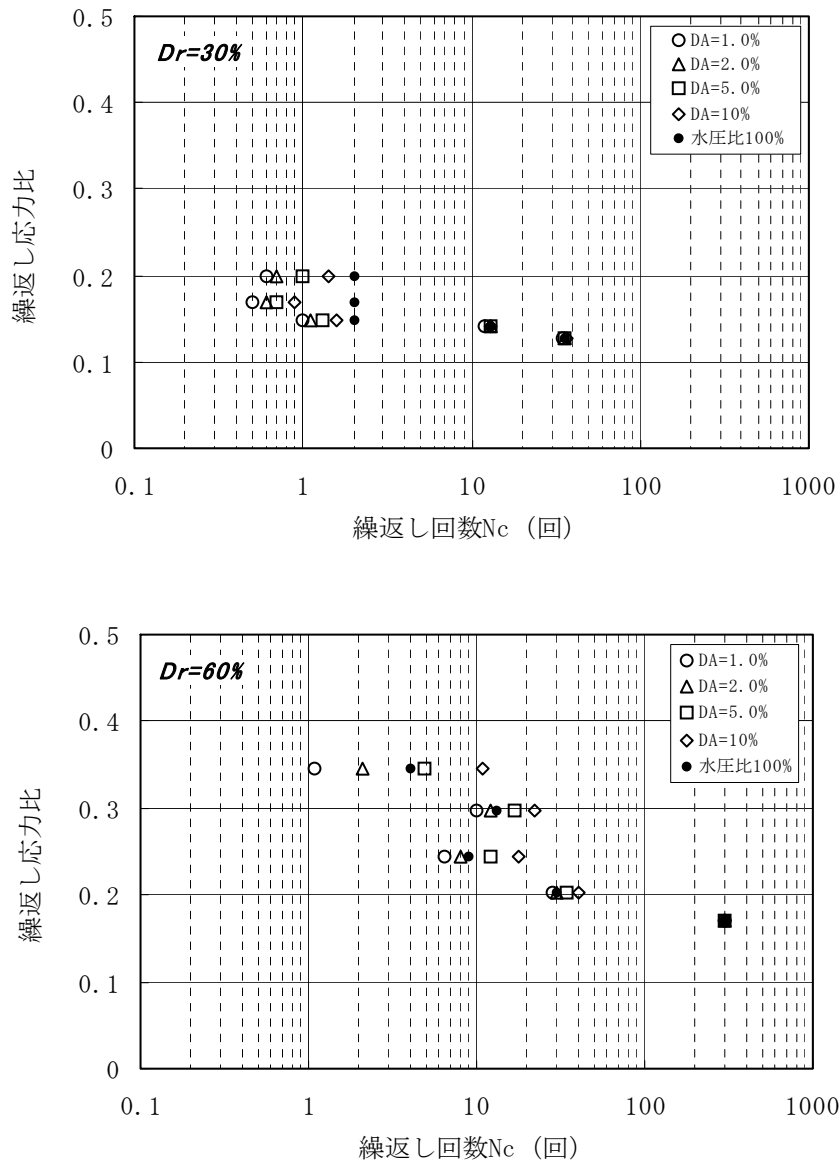


図 3.6.2(2) 実験砂の液状化試験結果

図 3.6.3 は、せん断土槽を対象として室内液状化試験結果に基づき液状化判定を整理した結果である。液状化判定は、最大繰返しせん断応力比  $L_{max}$  と最大繰返し強さ応力比  $R_{max}$  の比をとり算出した。最大繰返しせん断応力比  $L_{max}$  は、地表面加速度  $\alpha_{max}$  を仮定することにより次式を用いて算出した。

$$L_{max} = \frac{\tau_{max}}{\sigma_v'} \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \cdot \gamma_d' \quad (式 3.1)$$

$\gamma_d' = 1 - 0.015z$  ( $z$  : 地表面からの深さ)

$\sigma_v, \sigma_v'$  : 全応力および有効土被り (飽和地盤密度  $18\text{kN/m}^3$ )

また、地盤の最大繰返し強さ応力比  $R_{max}$  は、軸ひずみ両振幅が 5% に達した時を液状化時点をとって液状化試験結果より読み取った。この場合、有効な繰返し回数  $N_e$  はマグニチュード 7.5 を想定し、 $N_e=20$  回とした。

液状化判定によれば相対密度 60% の場合、加振レベル 100gal 程度以上で、また、相対密度 30% では加振レベル 50gal 程度以上で液状化する可能性があることが推察される。

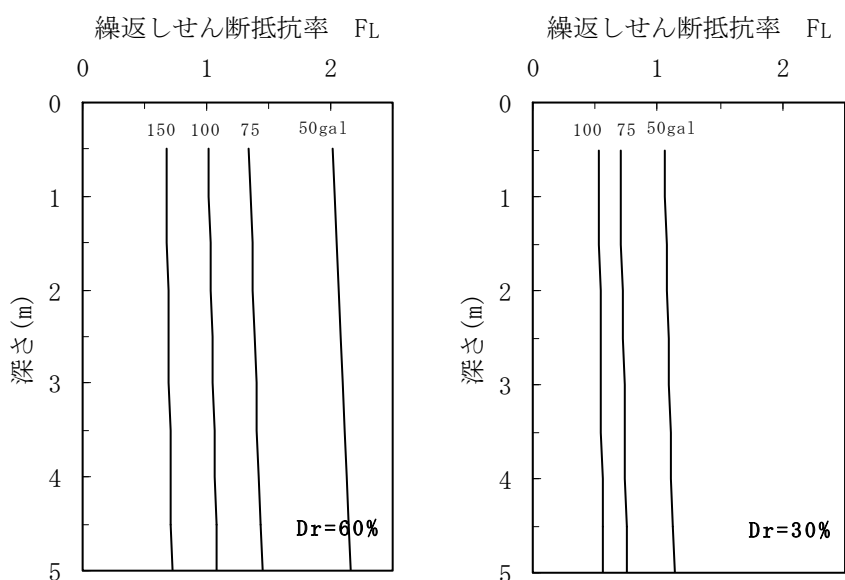
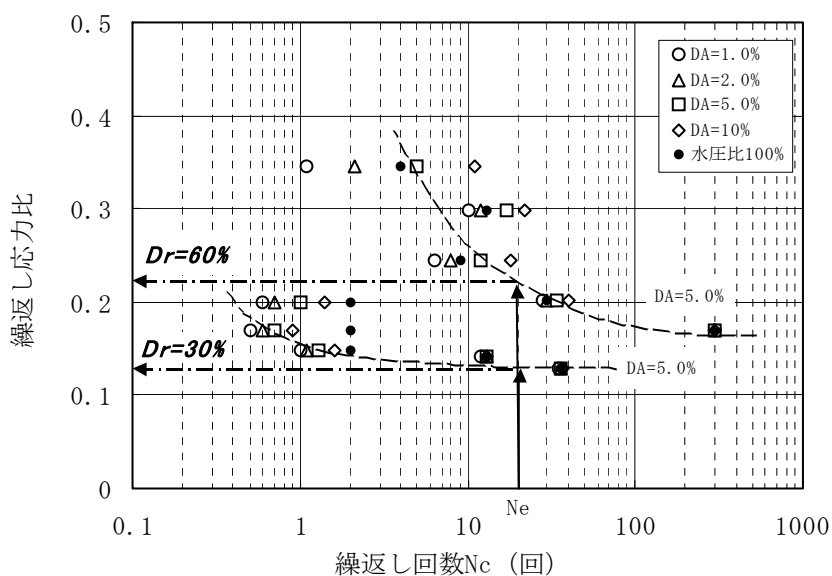
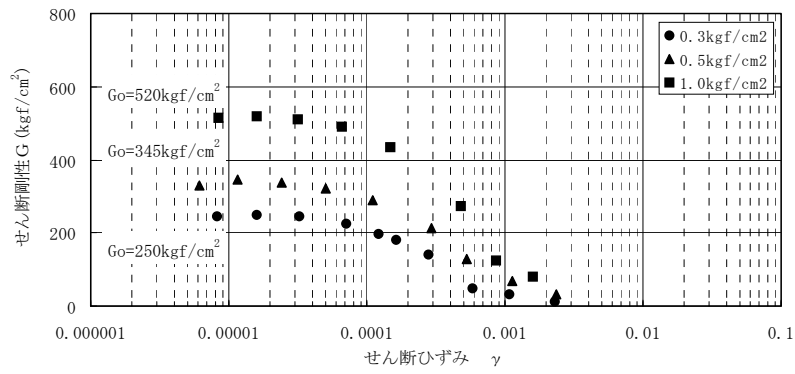
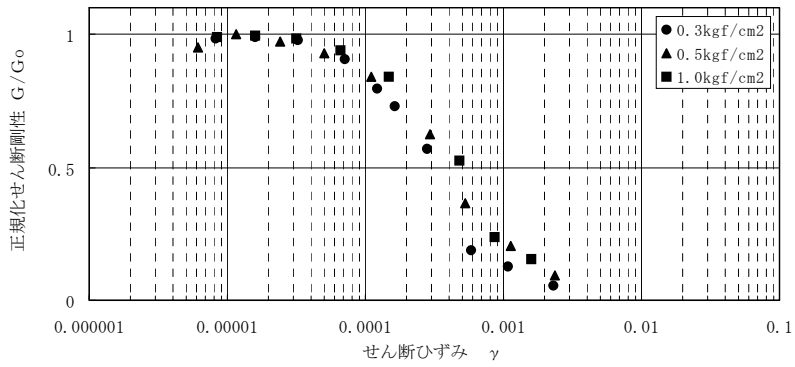


図 3.6.3 室内液状化試験結果に基づいた液状化判定結果

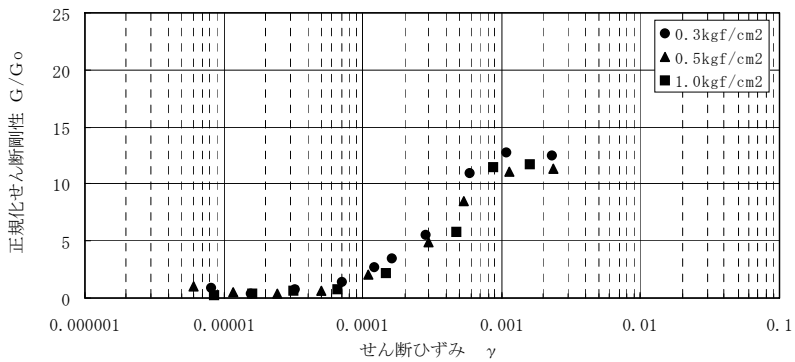
【動的変形特性結果】



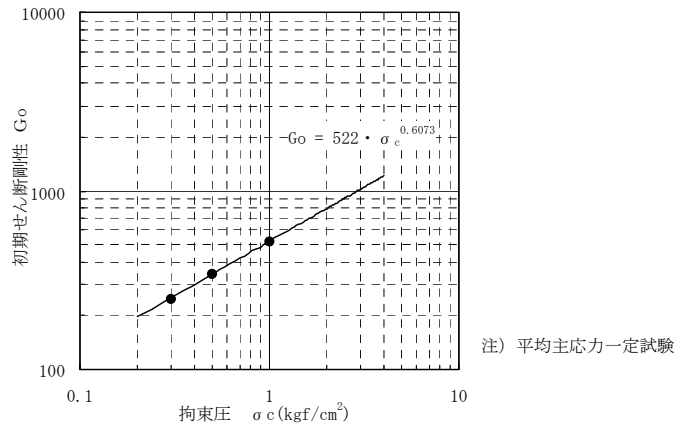
(1) せん断剛性とせん断ひずみの関係



(2) 正規化せん断剛性とせん断ひずみの関係



(3) 減衰率とせん断ひずみの関係



(4) 初期せん断剛性と拘束圧の関係

図 3.6.4 地盤材料の動的変形特性

### 3.7 プレ実験試験地盤作成

プレ実験では、工期の関係から土槽底盤から 3.0m までジオテキスタイルに囲まれた相対密度  $Dr=80\%$  程度の剛な砂地盤上の層厚 1.8m の試験地盤となった。試験地盤は、目標相対密度を  $Dr=50\% \sim 60\%$  程度とし、水中落下法により作成した。水中落下は、水を張った土槽内に砂を投下する方法であり、層厚 25cm 毎に密度計測を行いながら、段階的に盛り立てを行った。

なお、盛り立て時の地盤の密度は、土槽の嵩と水の水量および砂の重量で管理した。注入水量は、注水管に取り付けられた流量メータにより計測し、砂重量は、土砂運搬装置に取り付けられたバケットのロードセルにより計測した。また、投入砂の含水比を計測し、水量の補正を行った。

図 3.7.1 にプレ実験試験地盤作成フローを示す。1 層（層厚 25cm 分）の盛り立ては、水量  $3m^3$  程度の水を注水した後、砂  $9m^3$  程度をバケットで出来るだけ網などを利用し、地盤内に空気が残置しないようにゆっくりと均等に敷きならされるよう投入を行った。また、2 層盛り立て後（層厚 50cm 分）コア採取により、地盤の密度調査を行った。

写真 3.7.1 から写真 3.7.6 に、地盤作成状況写真を示す。

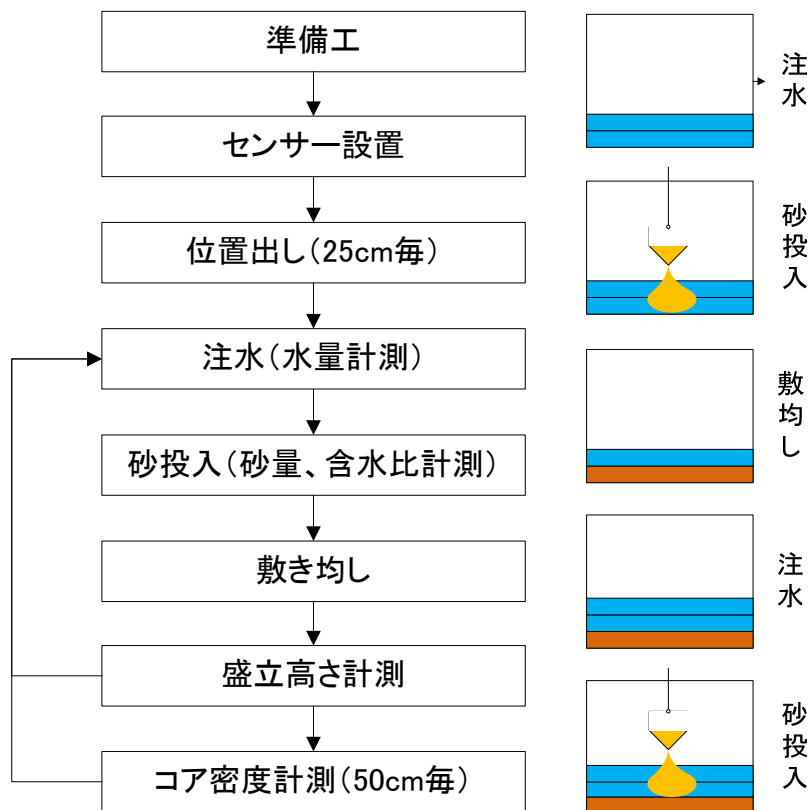


図 3.7.1 プレ実験試験地盤作成フロー



写真 3.7.1 センサー設置状況



写真 3.7.2 位置出し状況



写真 3.7.3 注水状況



写真 3.7.4 砂投入状況



写真 3.7.5 砂敷き均し状況 1



写真 3.7.6 砂敷き均し状況 2



プレ実験試験地盤の密度計測結果を以下に示す。密度管理は、水中落下法で作成を行っているため、一層毎の正確な盛土高さを計測することが困難なため、相対密度  $Dr$  が 50%~60%程度となるよう砂の総投入重量と平均した盛土高により土槽全体の密度の管理を行った。

表 3.7.1 は、投入した湿潤砂の総重量と盛り立てた高さを計測することにより算出したものである。

一方、表 3.7.2 は、土槽内の 3 箇所に予め設置しておいたコアモールド (サミット缶) を砂投入後引き上げ計測したものである。密度は、水中落下法時のバケットの投入個所により変化するため、コアモールドによる計測密度は、ばらついた結果となった。

よって、試験地盤の初期条件は、地盤全体を考慮し、総重量から算定した値 (乾燥密度  $\rho_d$  1.510t/m<sup>3</sup>, 間隙比  $e$  0.754, 相対密度  $Dr$  53.1%) とした。

表 3.7.1 総投入砂重量による密度測定結果

深度	層厚 (m)	総砂投入量 (tf)	含水比 $\omega$ (%)	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	間隙比 $e$	相対密度 $Dr$ (%)
GL.- 1.80m~0.0m	1.80	103.521	3.0	1.510	0.754	53.1
GL.- 1.80m~-0.30m	1.50	84.710	4.7	1.525	0.736	51.8
GL.- 1.80m~-0.55m	1.25	70.846	4.7	1.529	0.731	58.5
GL.- 1.80m~-0.80m	1.00	56.846	4.7	1.540	0.719	61.4
GL.- 1.80m~-1.05m	0.75	42.896	5.1	1.565	0.692	67.9
GL.- 1.80m~-1.30m	0.50	28.476	5.1	1.460	0.815	38.7
GL.-1.80m~-1.55m	0.25	14.200	5.1	1.458	0.816	38.4

表 3.7.2 コア重量による密度測定結果

深度(m)	含水比 $\omega$ (%)	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	平均間隙比 $e$	平均相対密度 $Dr$ (%)
GL.-0.80m~-0.30m	31.3	1.543	0.717	61.9
GL.-1.30m~-0.80m	27.9	1.625	0.630	82.3
GL.-1.80m~-1.30m	33.0	1.498	0.764	49.3

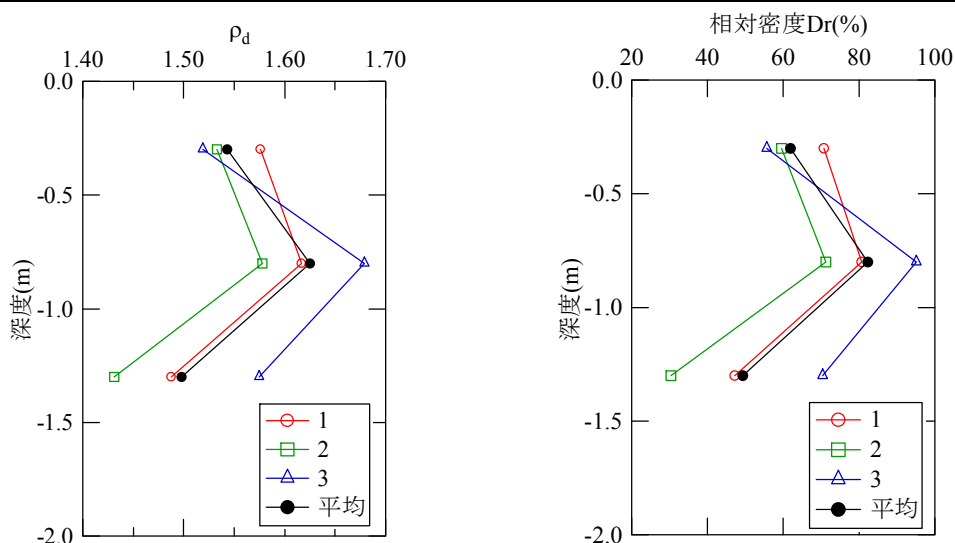


図 3.7.2 プレ実験コアモールド重量による密度測定結果



写真 3.7.7 水量計測



写真 3.7.8 含水比計測



写真 3.7.9 サミット缶採取状況



写真 3.7.10 密度計測状況

一方、表 3.7.3 に試験地盤作成後に TDR 土壤水分計で計測した飽和度  $S_r$  を示す。TDR (Time Domain Reflectometry) 法とは、土粒子の誘電率が 3 前後、空気の誘電率が 1 であるのに対し水の誘電率が 80 と高いことを利用した含水率測定法であり、電磁波の速度が、真空の誘電率ならびに透磁率を用いて以下の式で表されることを利用して地盤の誘電率を求めている。

$$C = \frac{C_0}{(\epsilon_r \mu_r)^{0.5}} \quad (3.2)$$

体積含水率  $\theta$  が誘電率から求められる場合、飽和度  $S_r$  は間隙比  $e$  を用いて以下の式から求められる。

$$S_r = \frac{1+e}{e} \cdot \theta \quad (3.3)$$

表 3.7.3 プレ実験飽和度測定結果

深度 (m)	体積含水率 $\theta$ (%)	平均間隙比 $e$	飽和度 $S_r$ (%)
GL.-0.80m	46.4	0.754	112.6
GL.-1.55m	48.4	0.754	115.2

スウェーデン式サウンディング試験（SWS）の結果を図 3.7.3 に示す。試験地盤は、換算 N 値で 1～2 程度となった。

なお、換算 N 値は以下の式で求めた。

$$N = 0.002W_{SW} + 0.067N_{SW} \quad (3.4)$$

ここで、 $W_{SW}$ ：荷重(N)， $N_{SW}$ ：半回転数（回/m）とする。

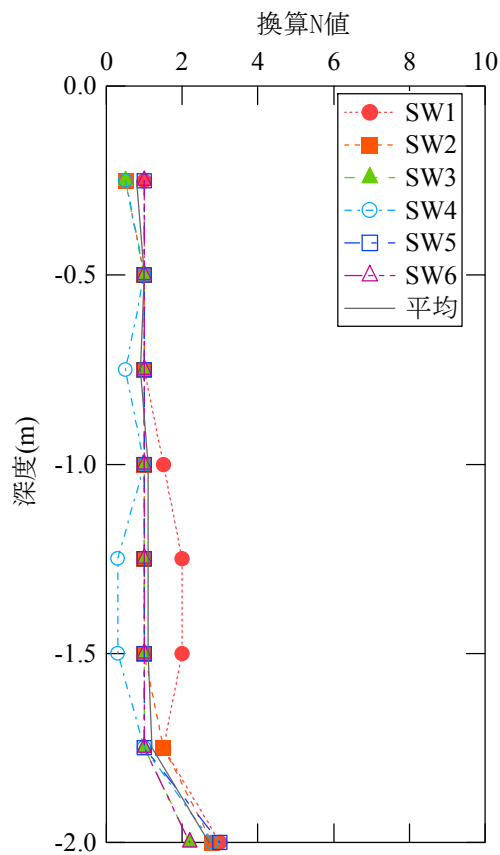


図 3.7.3 スウェーデン式サウンディング試験結果



写真 3.7.11 SWS 試験状況 (SW3)



写真 3.7.10 SWS 試験状況 (SW5)

### 3.8 主実験試験地盤作成

主実験では、プレ実験の結果をふまえ、出来るだけ締め固め均質で密な地盤を作成することとし、空中落下法により作成した。土槽底盤から 0.5m までの相対密度  $Dr=80\%$  程度の剛な砂地盤の上に、層厚 4.8m、目標相対密度  $Dr=60\%$  の試験地盤を作成した。なお、剛な地盤は、工期の短縮と液状化による土槽側面からの地下水の流出（リーク）の防止の目的である。

試験地盤の作成は、大型せん断土槽への砂の投入は、隣接の砂ピットより土砂搬送装置を用い、砂の質量を計測しながら行った。盛り立ては、砂の撒き出し厚さを 25cm とし均一に敷き均し、プレートタンパーにより湿潤砂を 6 回程度締め固めた。また、ドレーンパイプなどの埋設物近傍や土槽フレーム端部は木だこを用いて人力にて締め固めを実施した。主実験試験地盤作成フローを図 3.8.1 に示す。盛土施工時の土の締め固め程度は相対密度 60% を目標管理値とし、土槽の嵩と水の水量および砂の投入重量で管理を行った。砂重量は、土砂搬送装置に取り付けられたバケットのロードセルにより計測し、層厚 25cm 毎に投入砂の含水比を計測し、水量の補正を行った。さらに、コア cutter 法により各層層厚 50cm 毎に密度測定を実施した。

一方、間隙水は、空中落下法で出来るだけ飽和度を高くするため、各層の盛り立て毎に土槽に設置したドレーンパイプの下部より毎時  $0.7\sim 0.8\text{m}^3$  程度で注水を行った。また、地下水位が各盛り立て地表面から 1m 以上下になるように、蛇口よりした。水量は、蛇口に取り付けられた流量メータにより計測した。最終的な、投入した試験試料（日光珪砂）の総乾燥重量は、236.1tf となり、注水および砂に含まれる水分の総水量は、50.6tf となった。

試験地盤作成後、試験地盤の地盤強度を確認するためのスウェーデン式サウンディングの結果を図 3.8.4 に示す。

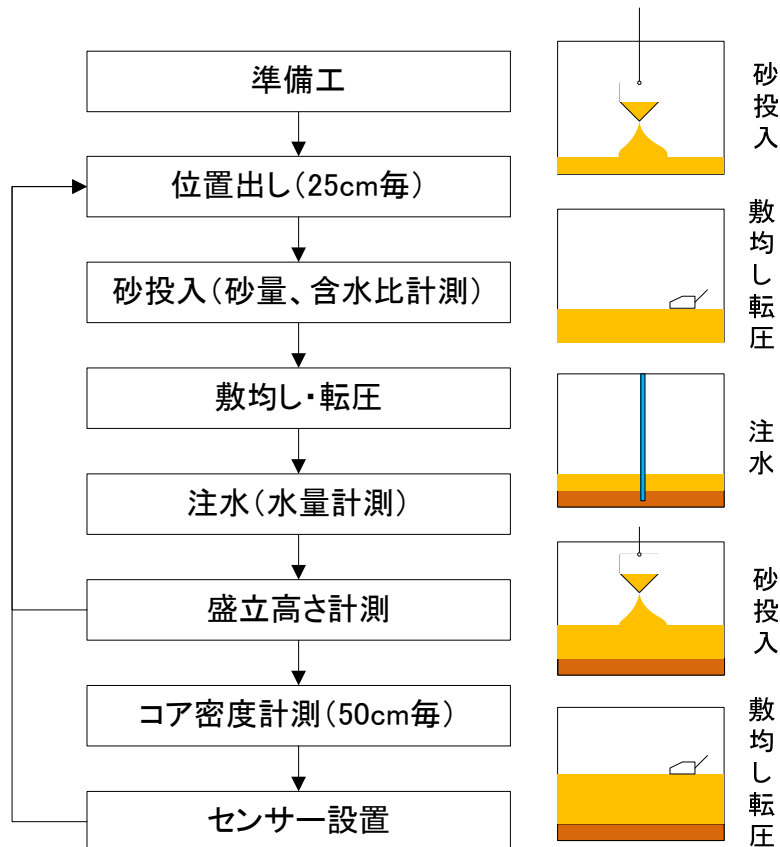


図 3.8.1 主実験試験地盤作成フロー



写真 3.8.1 砂投入状況



写真 3.8.2 敷均し状況

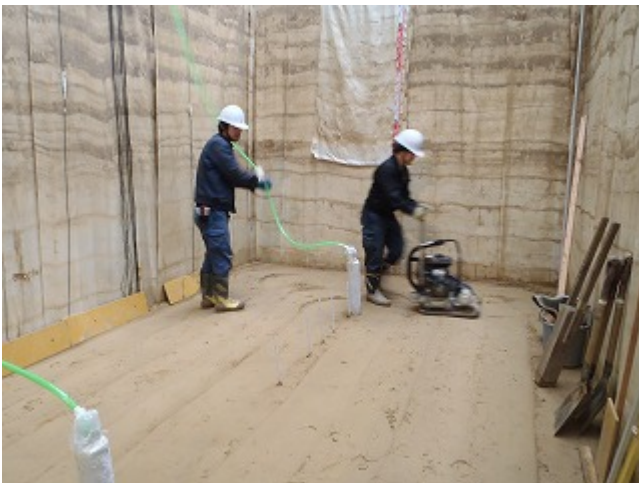


写真 3.8.3 転圧状況



写真 3.8.4 細部転圧状況



写真 3.8.5 注水状況



写真 3.8.6 センサー設置状況

主実験試験地盤の密度計測結果を以下に示す。主実験では、相対密度  $D_r$  が 60%程度となるよう砂の投入重量により土槽全体の密度の管理を行った。表 3.8.1 は、各層毎の投入した湿潤砂の重量と盛り立てた高さを計測することにより算出したものである。盛土重量による方法での主実験試験地盤全体の相対密度  $D_r$  は 56.9%となった。

一方、表 3.8.2 は、土槽内の 3 箇所でもコアカッター法により計測したものである。コアカッター法で求めた相対密度は、GL.-4.80m~GL.-4.30m の基盤部では相対密度  $D_r$  が 85.5%となり、試験地盤は、平均相対密度  $D_r$  が 66.9%の地盤となった。

なお、間隙比  $e$  および相対密度  $D_r$  の算定には以下の式を用いた。

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} \quad (3.5)$$

$$D_r = \frac{\rho_{d\max}(\rho_d - \rho_{d\min})}{\rho_d(\rho_{d\max} - \rho_{d\min})} \quad (3.6)$$

ここで、 $\rho_d$  : 乾燥密度( $t/m^3$ )、 $\rho_s$  : 土粒子の密度( $2.648 t/m^3$ )、 $\rho_{d\max}$  : 最大乾燥密度( $1.701 t/m^3$ )、 $\rho_{d\min}$  : 最小乾燥密度( $1.339 t/m^3$ )とする。

表 3.8.1 投入砂重量による密度測定結果

深度	層厚 (m)	砂投入量 (t)	含水比 $\omega$ (%)	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 $e$	相対密度 $D_r$ (%)
GL.- 4.30m~0.00m	4.30	261.412	9.7	1.524	0.738	56.9
GL.- 0.30m~0.00m	0.30	17.936	8.6	1.463	0.810	39.9
GL.- 0.55m~-0.30m	0.25	15.706	15.2	1.490	0.777	47.7
GL.- 0.80m~-0.55m	0.25	15.826	9.2	1.625	0.629	82.8
GL.- 1.05m~-0.80m	0.25	15.320	8.5	1.504	0.761	51.6
GL.- 1.30m~-1.05m	0.25	14.318	7.7	1.572	0.684	69.7
GL.- 1.55m~-1.30m	0.25	15.072	10.5	1.499	0.767	50.0
GL.-1.80m~-1.55m	0.25	15.308	9.0	1.490	0.777	47.7
GL.-2.05m~-1.80m	0.25	14.398	9.0	1.527	0.734	57.9
GL.- 2.30m~-2.05m	0.25	14.856	9.6	1.498	0.768	49.9
GL.- 2.55m~-2.30m	0.25	15.160	11.3	1.519	0.743	55.6
GL.-2.80m~-2.55m	0.25	15.350	9.6	1.476	0.794	43.7
GL.-3.05m~-2.80m	0.25	14.928	9.0	1.543	0.716	62.2
GL.- 3.30m~-3.05m	0.25	15.166	9.4	1.506	0.758	52.1
GL.- 3.55m~-3.30m	0.25	15.206	10.4	1.536	0.725	60.1
GL.-3.80m~-3.55m	0.25	15.282	8.9	1.528	0.733	58.1
GL.-4.05m~-3.80m	0.25	15.768	9.0	1.556	0.701	65.6
GL.- 4.30m~-4.05m	0.25	15.812	9.8	1.591	0.664	74.4

表 3.8.2 コアカッター法による密度測定結果

深度	含水比 $\omega(\%)$	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	相対密度 Dr(%)
GL.- 0.30m	9.6	1.520	0.742	55.9
GL.- 0.80m	8.5	1.543	0.716	62.1
GL.- 1.30m	9.7	1.509	0.754	53.1
GL.- 1.80m	9.3	1.588	0.667	73.4
GL.- 2.30m	10.7	1.632	0.623	84.3
GL.- 2.80m	10.7	1.543	0.717	62.0
GL.- 3.30m	10.0	1.545	0.714	62.5
GL.- 3.80m	8.7	1.547	0.711	63.2
GL.- 4.30m	17.5	1.638	0.616	85.5

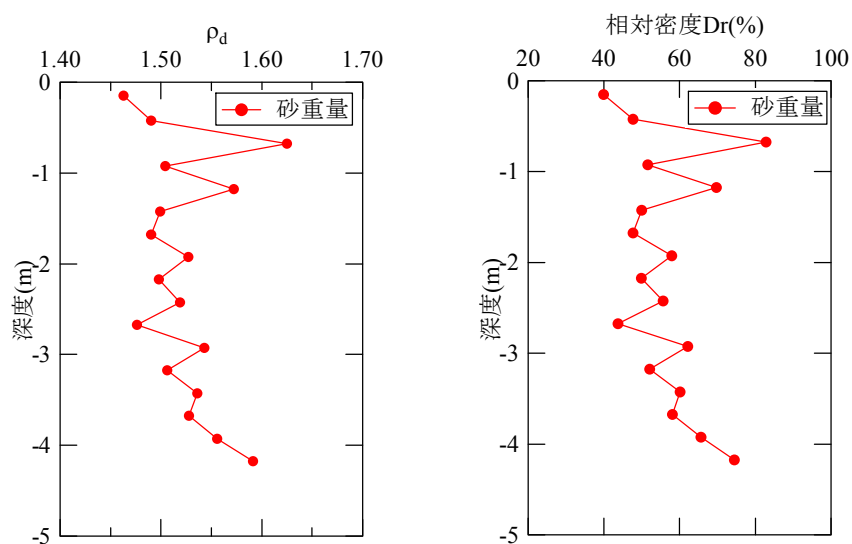


図 3.8.2 砂投入重量による密度測定結果

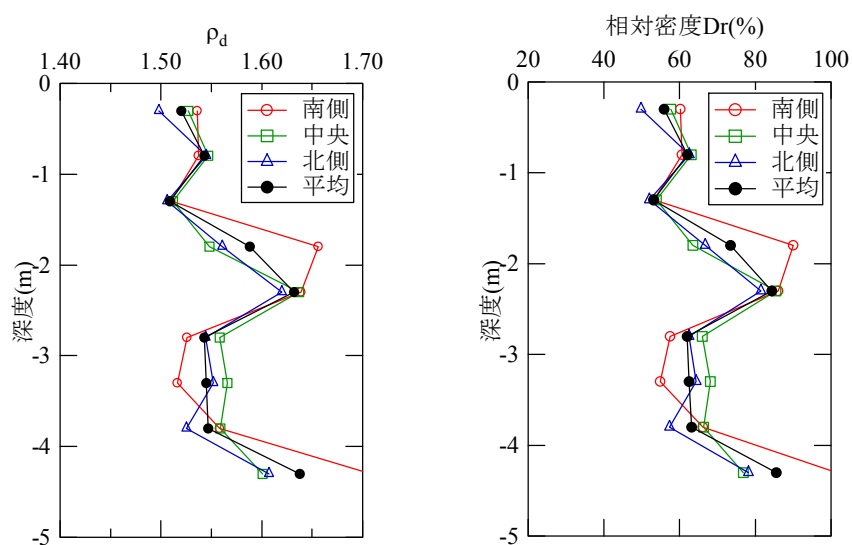


図 3.8.3 コアカッター法による密度測定結果



写真 3.8.7 含水比計測状況



写真 3.8.8 コアカッター密度計測状況



スウェーデン式管入試験の結果を図 3.8.4 に示す。試験地盤は、換算 N 値で平均 11 程度となった。換算 N 値は、3.7 章の式(3.4)より求めた。

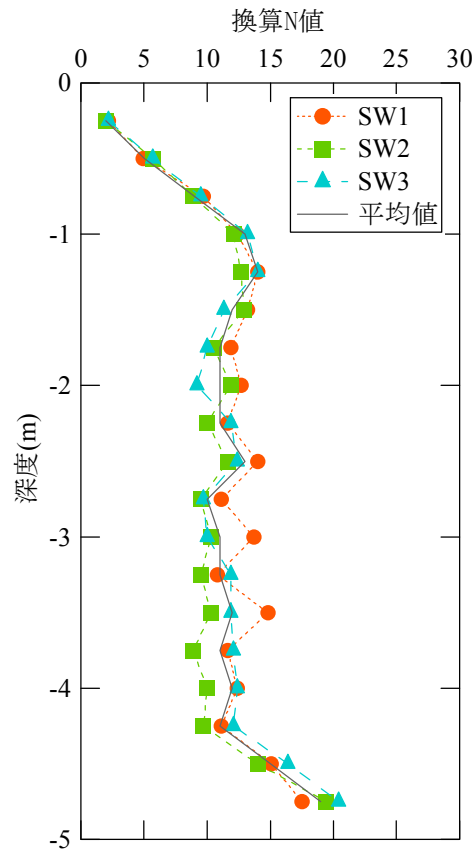


図 3.8.4 スウェーデン式サウンディング試験結果



写真 3.8.9 SWS 試験状況 (SW2)



写真 3.8.10 SWS 試験状況 (SW3)

一方，表 3.8.3 に試験地盤作成後に TDR 土壌水分計で計測した飽和度を示す。飽和度  $S_r$  は，体積含水率 $\theta$ より，3.7 章の式(3.3)より求めた。

表 3.8.3 主実験飽和度測定結果

深度 (m)	体積含水率 $\theta$ (%)	間隙比 e	飽和度 $S_r$ (%)
GL.-1.80m	38.3	0.667	95.7
GL.-2.80m	41.4	0.717	99.1
GL.-3.80m	40.8	0.711	98.1

## 4 プレ加振実験の実施

### 4.1 プレ加振実験概要

プレ加振実験概要図を図1に示す。なお、ドレーンパイプ配置は2.2章、センサー配置は2.3章、地盤条件は3.7章を参照のこと。

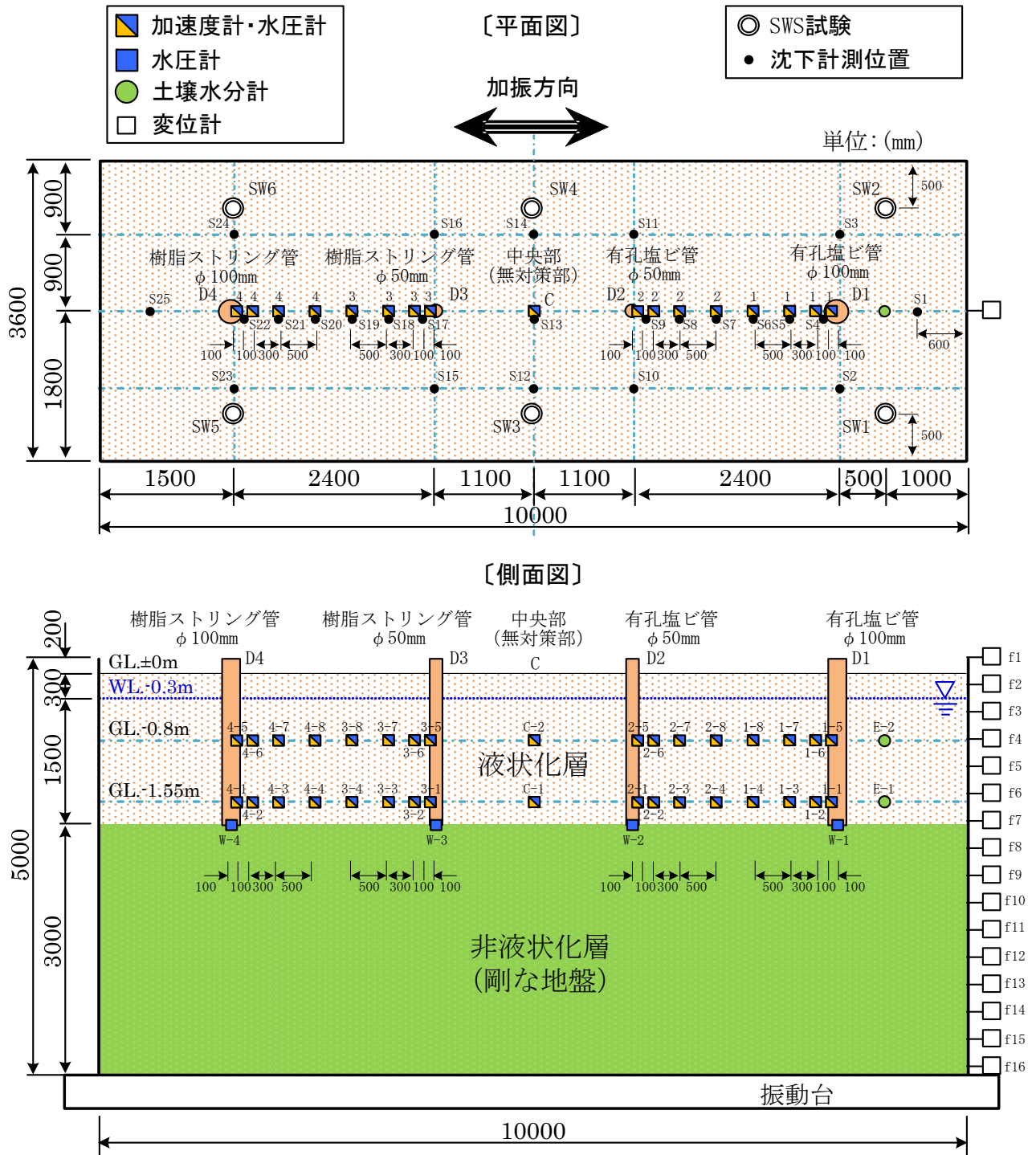


図 4.1.1 プレ実験概要図

## 4.2 加振条件

加振条件および振動台の応答加速度を表 4.2.1 に示す。振動台の応答加速度の時刻歴変化を図 4.2.1 および図 4.2.2 に示す。加振は、入力加速度振幅 75gal, 周波数 2Hz, 増幅 5 波+繰り返し 120 波+減衰 5 波の合計 130 波の正弦波で 2 回行った。なお、2 回目は、1 回目の加振終了後、間隙水圧の消散を確認した後実施した。振動台の応答最大加速度は目標とした加速度と概ね近い値となった。

表 4.2.1 加振条件

加振条件 ケース	周波数	入力加速度	波形	波数	最大応答加速度
1 回目	2.0Hz	75gal	正弦波	120+前後 5 波	90.57gal
2 回目	2.0Hz	75gal	正弦波	120+前後 5 波	82.87gal

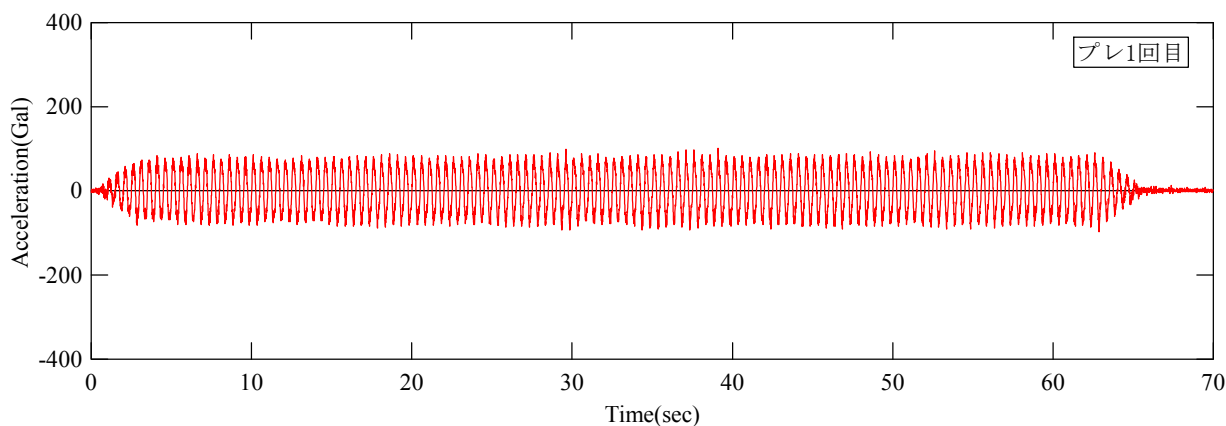


図 4.2.1 振動台の加速度 (1 回目)

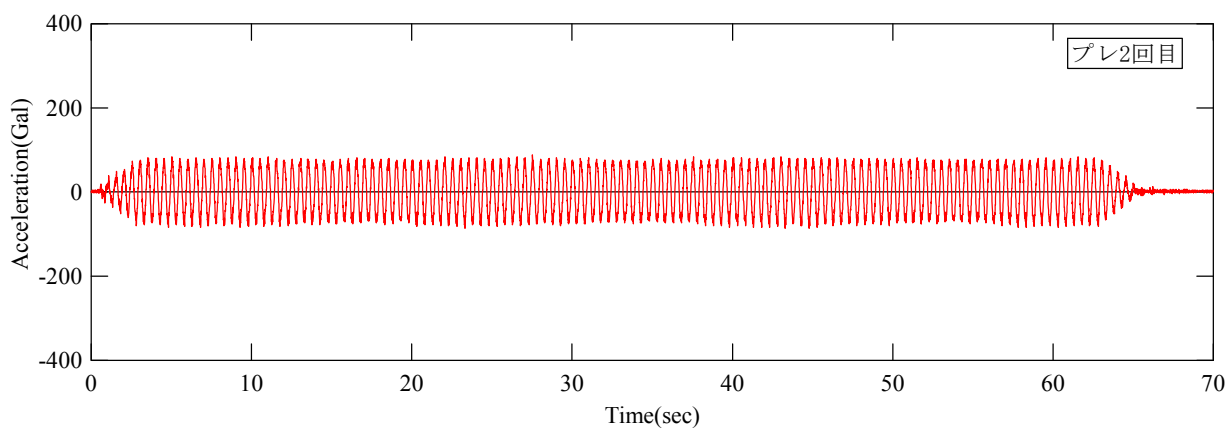


図 4.2.2 振動台の加速度 (2 回目)

### 4.3 地盤の加速度応答結果

各計測地点における最大応答加速度結果を表 4.3.1, 表 4.3.2 に, 1 回目の各深度の応答加速度の時刻歴変化を図 4.3.1 に示す。

これらより, ドレーンパイプ近傍では, 地表面に近いほど加速度は振動台の加速度に比べ増幅傾向にあるが, ドレーンパイプより 50cm より離れた個所では, 入力振動が液状化により急速に減衰している事がわかる。

表 4.3.1 最大応答加速度計測結果 (1 回目)

計測箇所	深度	最大応答加速度(Gal)			
		10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
土槽中央部	GL.-0.80m	89.52			
	GL.-1.55m	150.38			
ドレーンパイプ部		10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
樹脂ストリング管 φ 100mm	GL.-0.80m	195.96	193.92	81.59	79.87
	GL.-1.55m	138.02	147.56	144.21	131.76
樹脂ストリング管 φ 50mm	GL.-0.80m	124.80	136.32	82.84	82.88
	GL.-1.55m	136.62	138.69	150.96	131.53
有孔塩ビ管 φ 100mm	GL.-0.80m	154.82	156.62	79.18	78.70
	GL.-1.55m	131.75	146.97	133.33	148.32
有孔塩ビ管 φ 50mm	GL.-0.80m	87.78	100.47	81.14	80.78
	GL.-1.55m	139.09	138.29	142.07	136.44

表 4.3.2 最大応答加速度計測結果 (2 回目)

計測箇所	深度	最大応答加速度(Gal)			
		10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
土槽中央部	GL.-0.80m	118.72			
	GL.-1.55m	110.30			
ドレーンパイプ部		10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
樹脂ストリング管 φ 100mm	GL.-0.80m	146.97	155.54	83.58	103.53
	GL.-1.55m	115.36	106.33	114.95	118.58
樹脂ストリング管 φ 50mm	GL.-0.80m	142.35	166.14	82.84	97.50
	GL.-1.55m	115.92	120.60	111.00	117.09
有孔塩ビ管 φ 100mm	GL.-0.80m	126.82	134.03	73.21	89.30
	GL.-1.55m	110.30	11.44	113.82	115.36
有孔塩ビ管 φ 50mm	GL.-0.80m	106.26	144.94	95.45	118.79
	GL.-1.55m	118.55	118.96	120.84	117.16

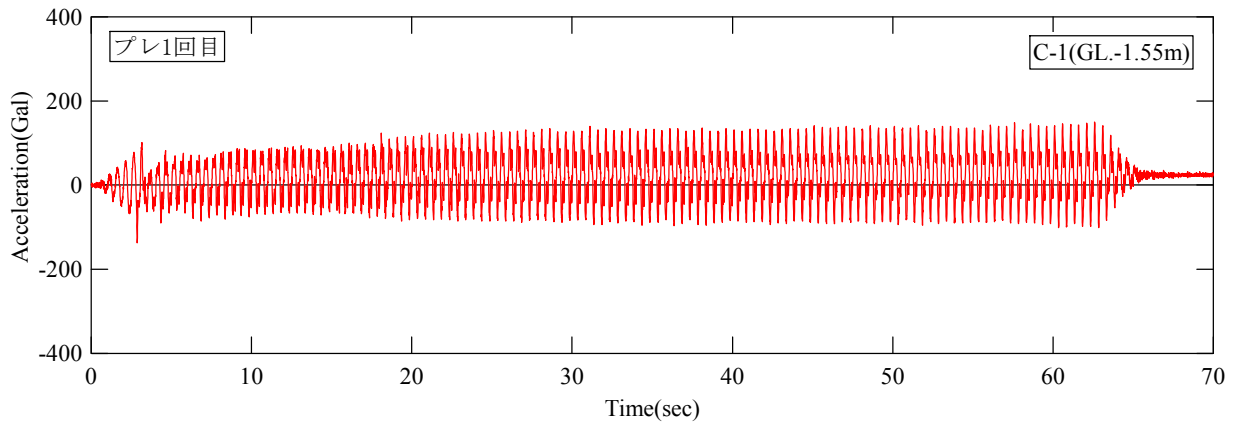
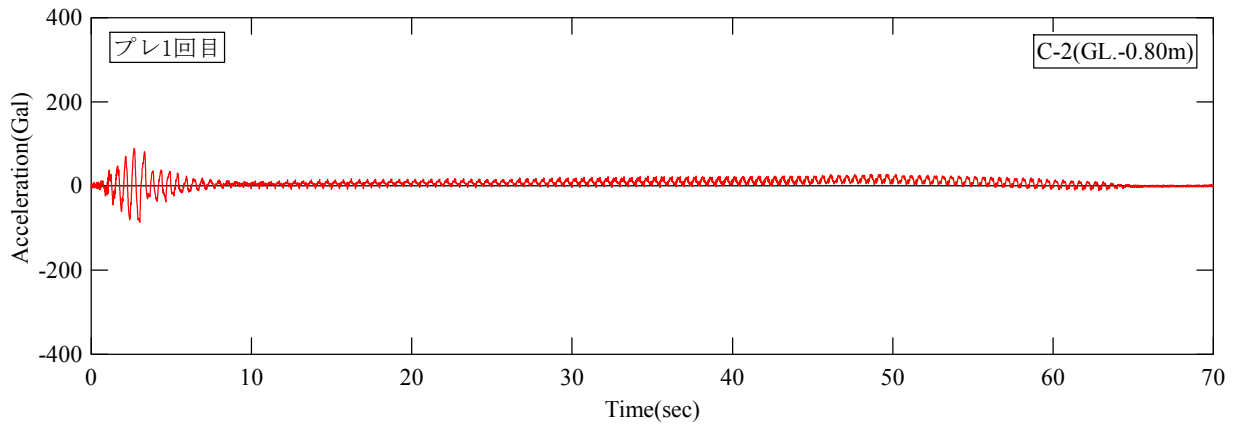


図 4.3.1(1) 1回目加速度応答波形（土槽中央部）

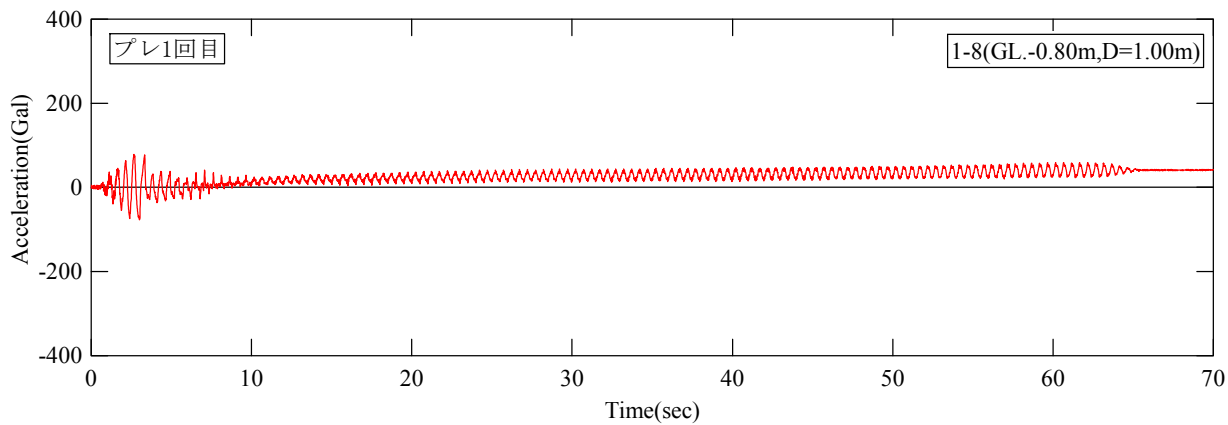
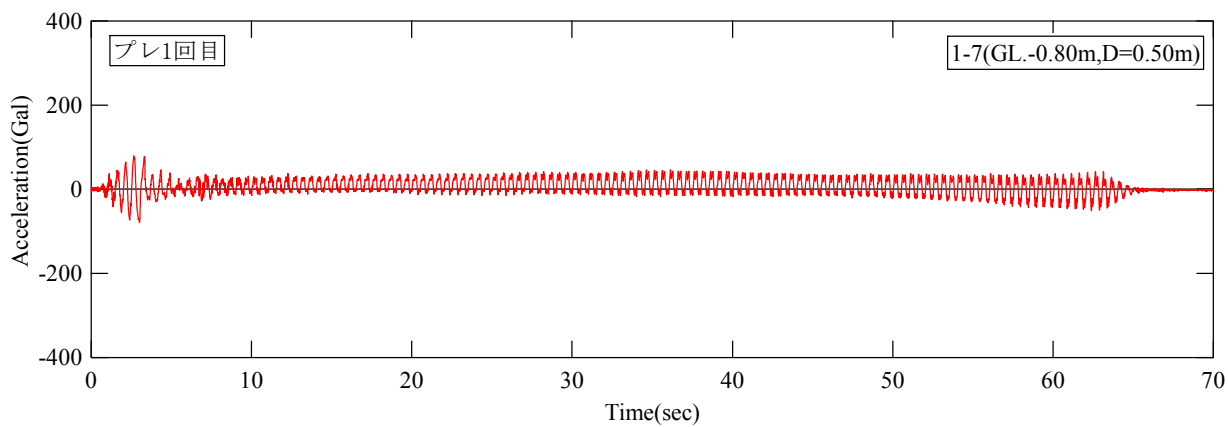
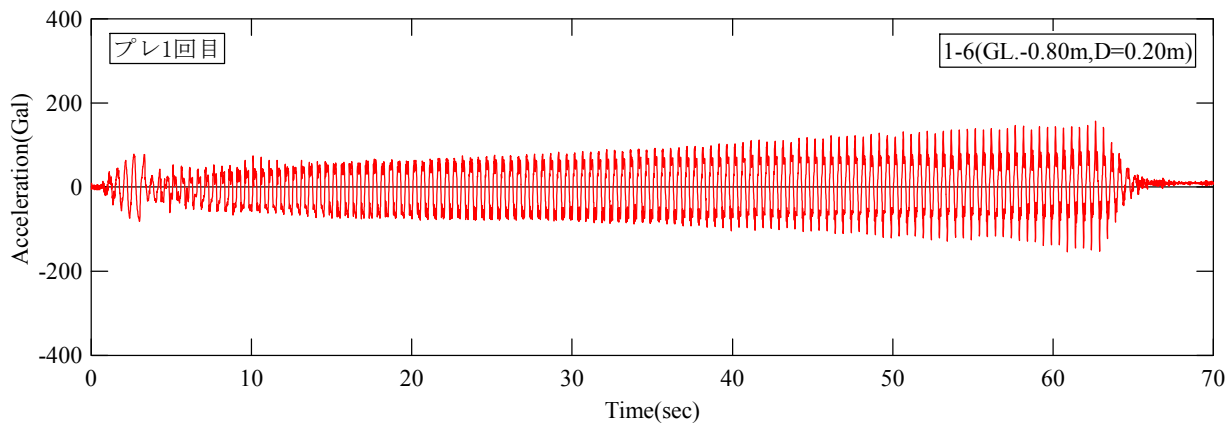
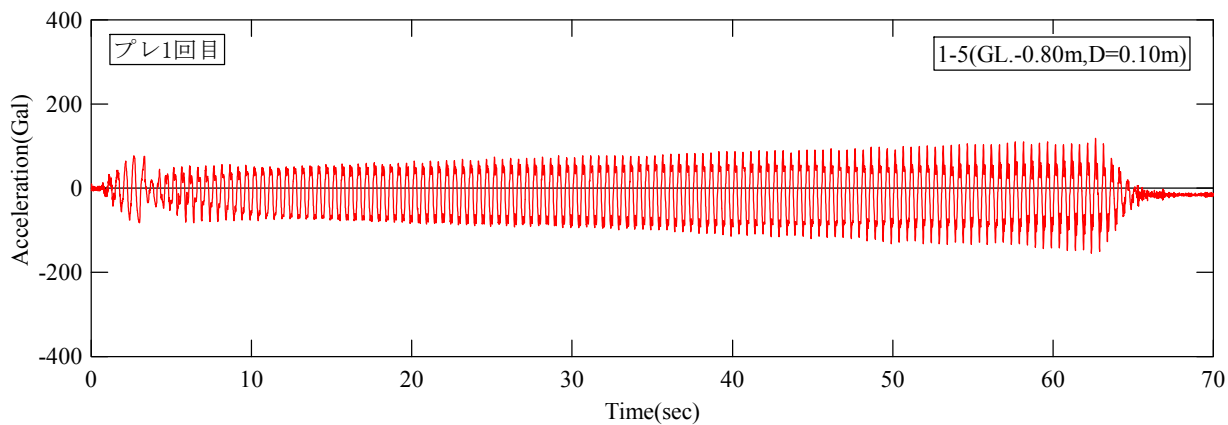


図 4.3.1(2) 1 回目加速度応答波形 (φ100mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)

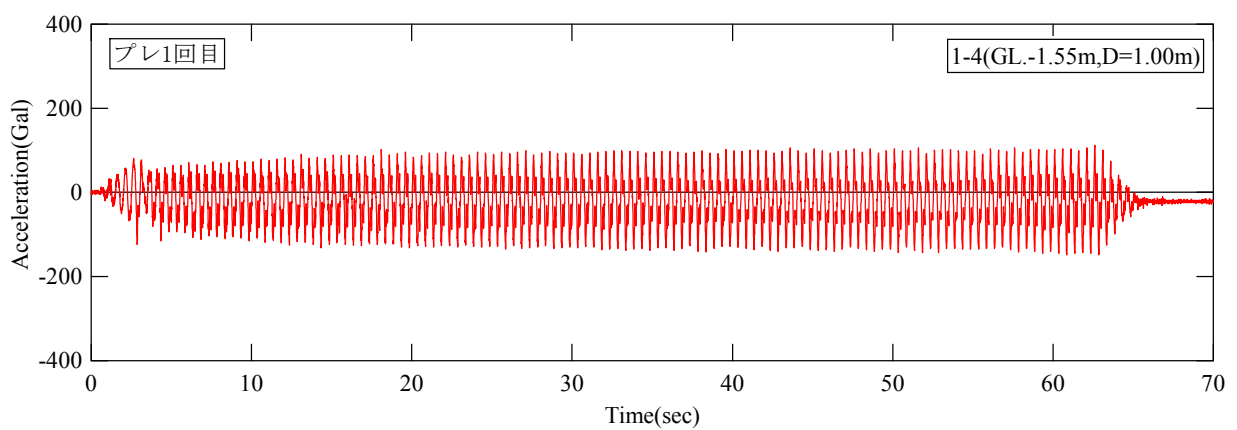
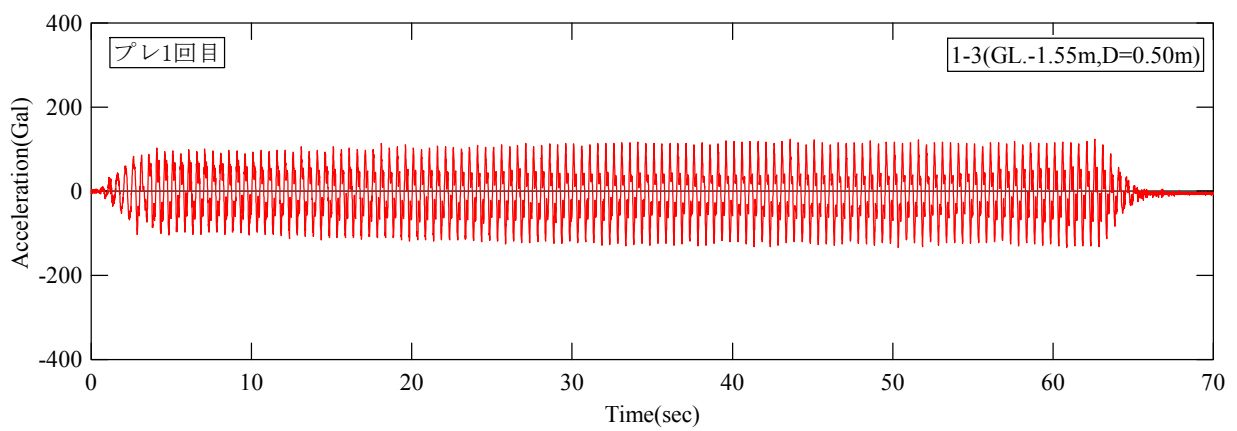
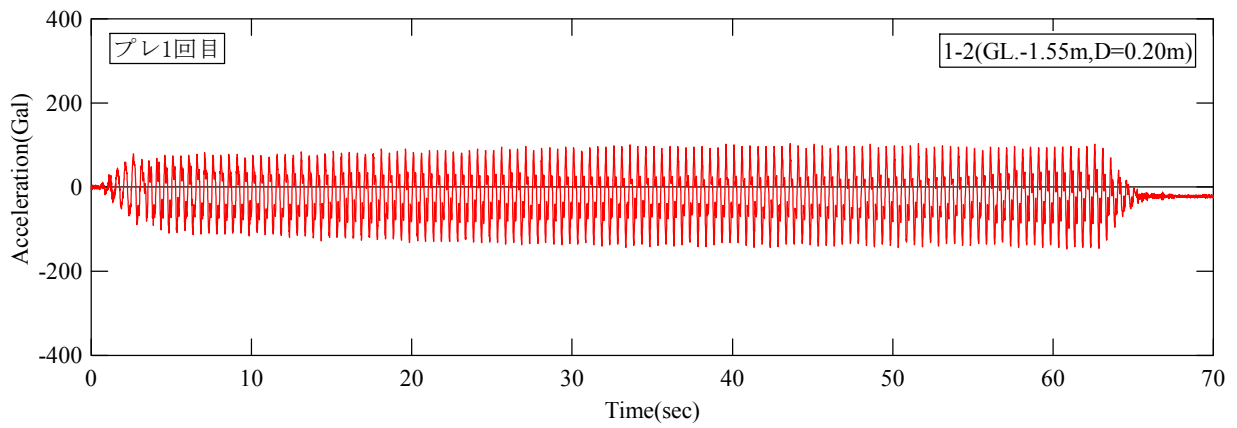
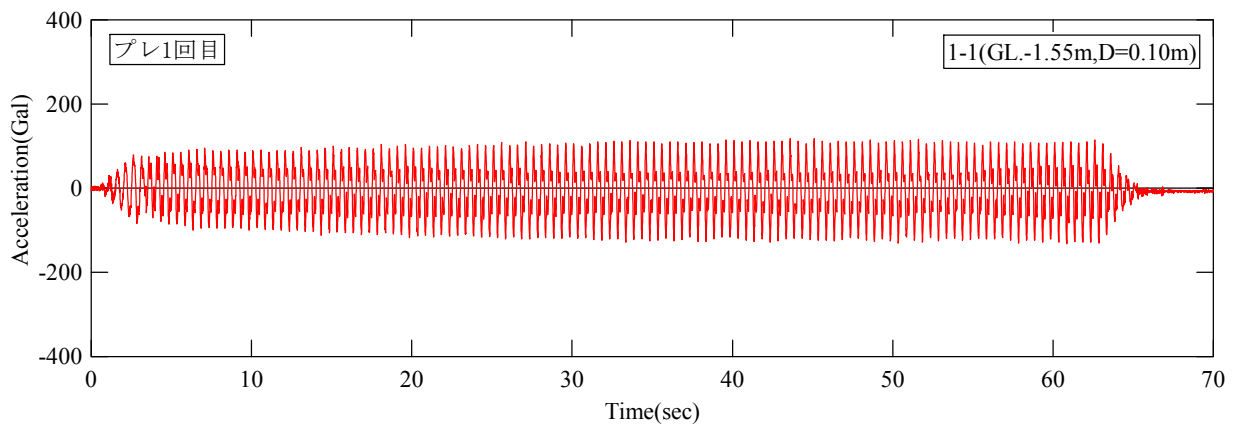


図 4.3.1(3) 1 回目加速度応答波形 (φ 100mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)



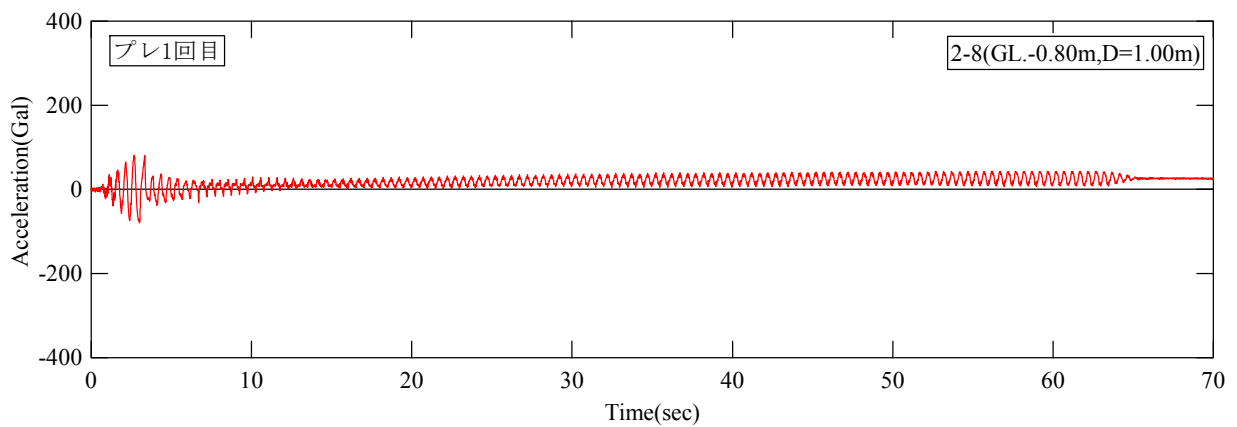
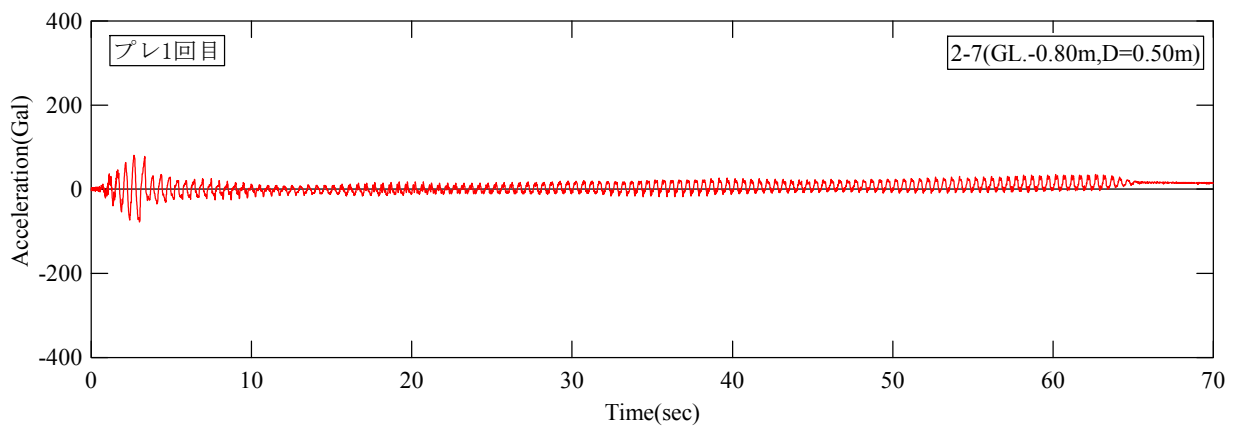
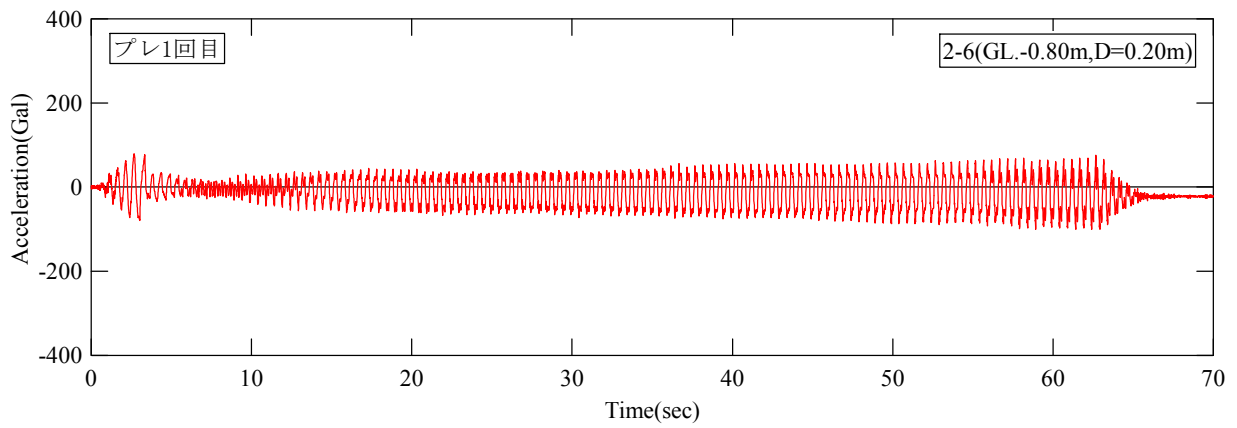
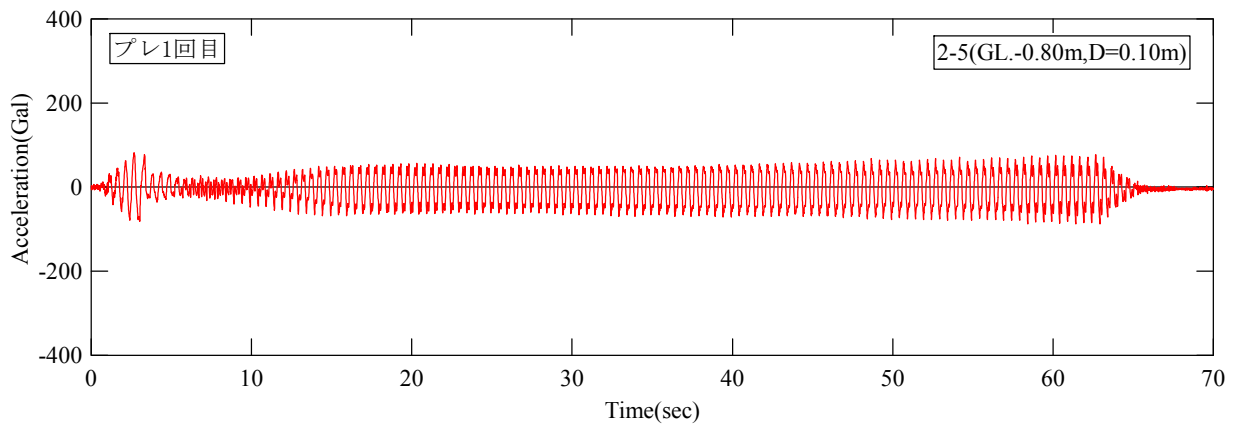


図 4.3.1(4) 1 回目加速度応答波形 (φ 50mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)

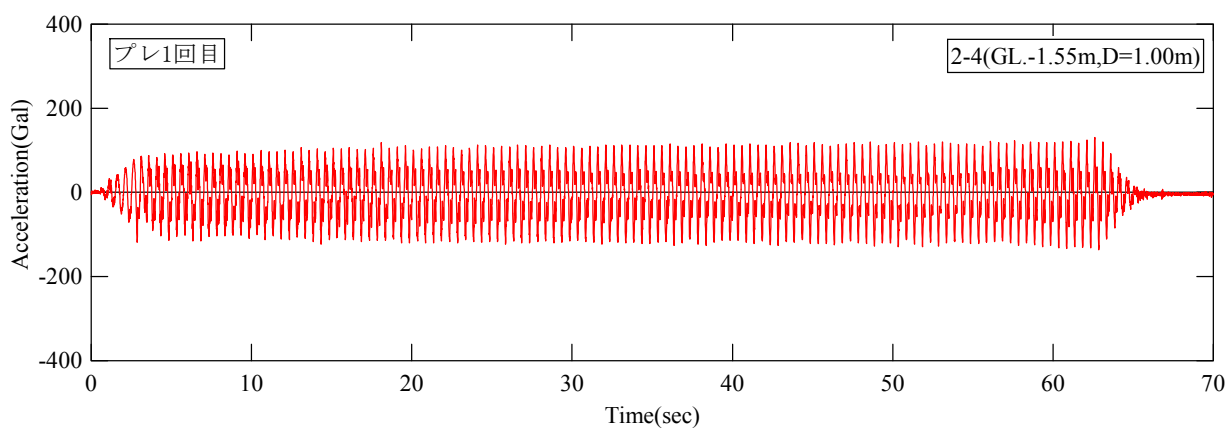
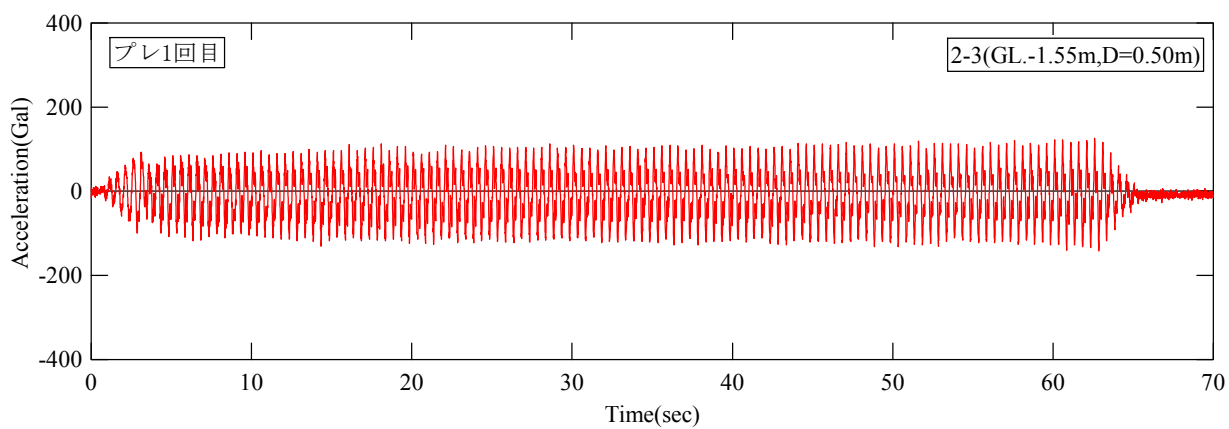
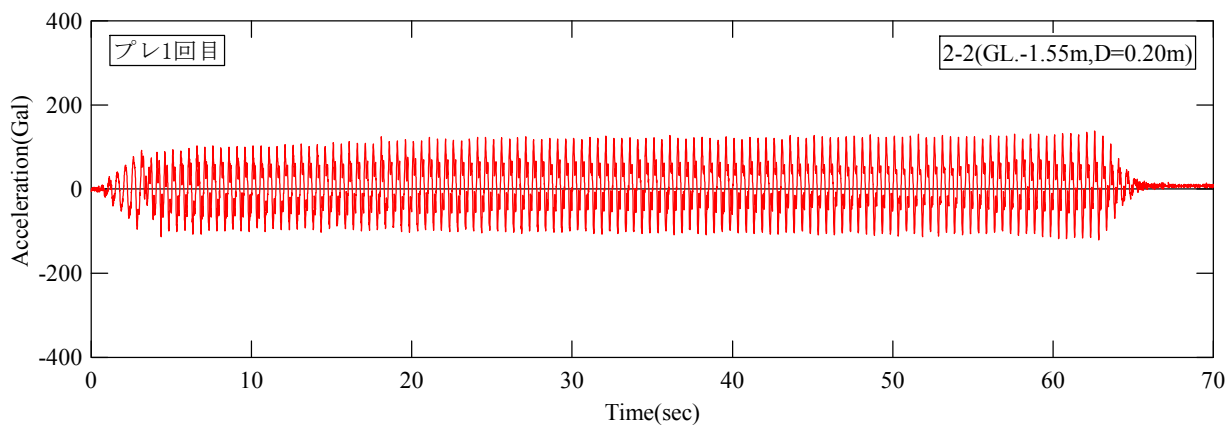
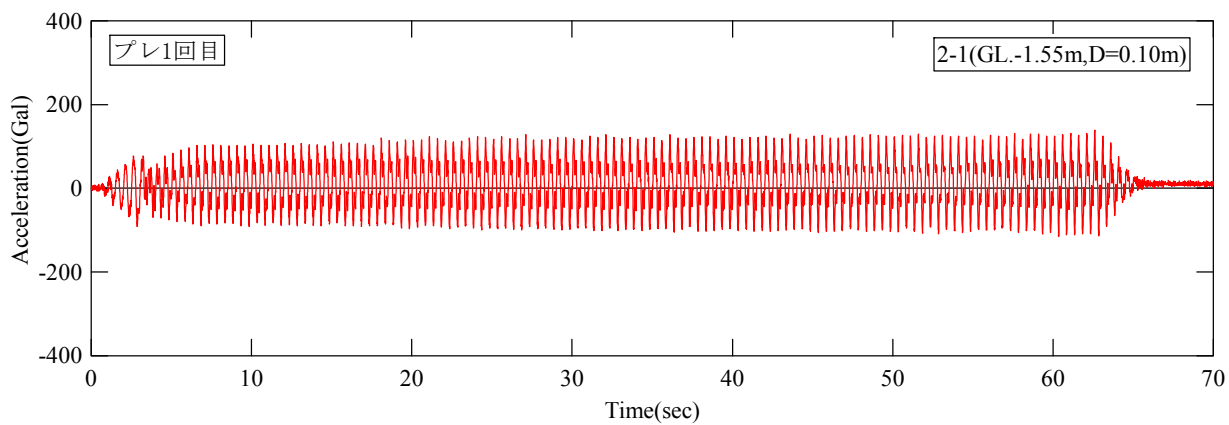


図 4.3.1(5) 1回目加速度応答波形 ( $\phi 50\text{mm}$  有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

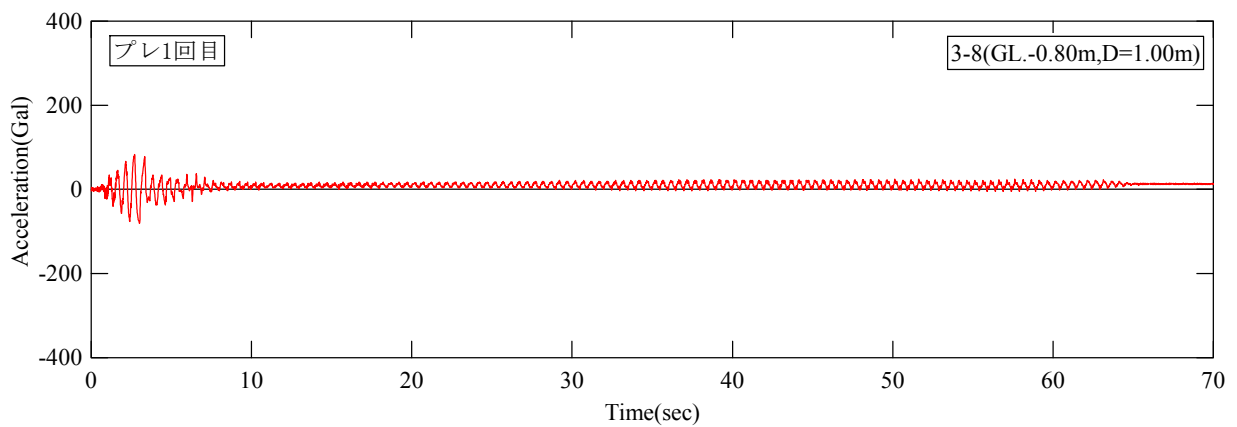
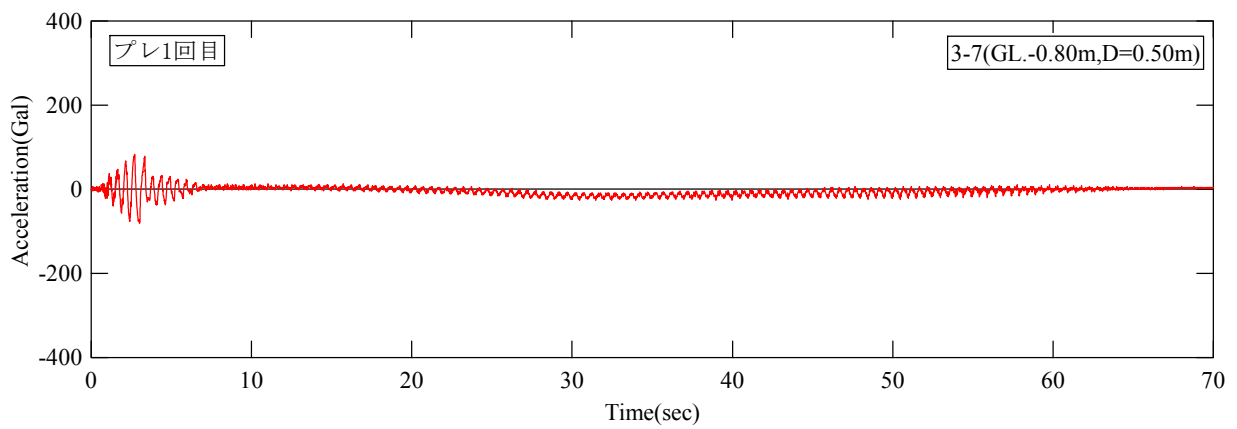
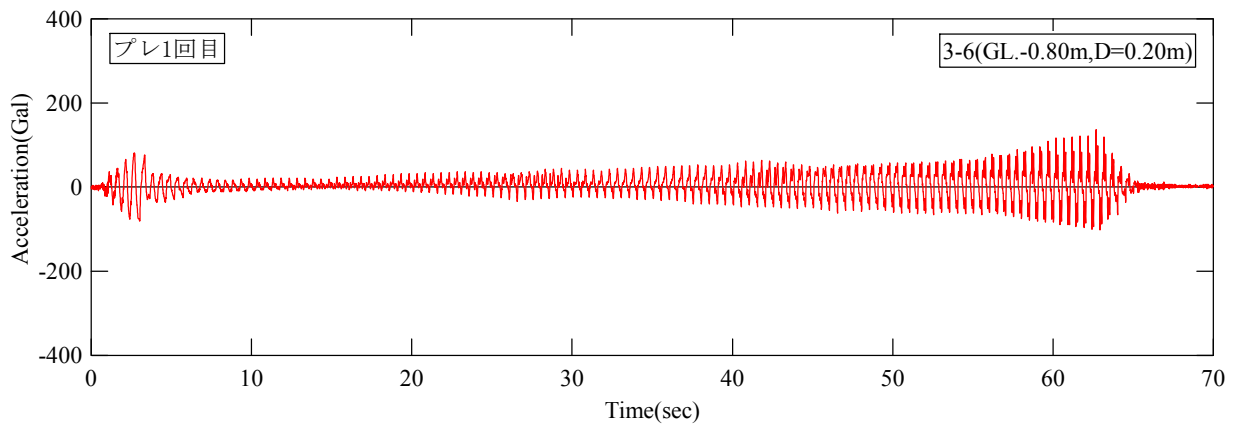
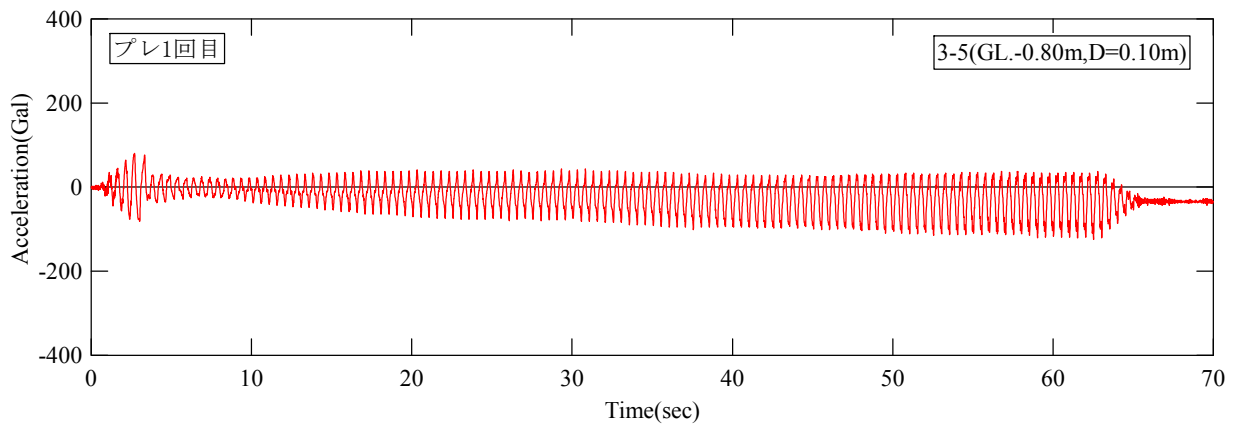


図 4.3.1(6) 1回目加速度応答波形 (φ50mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)

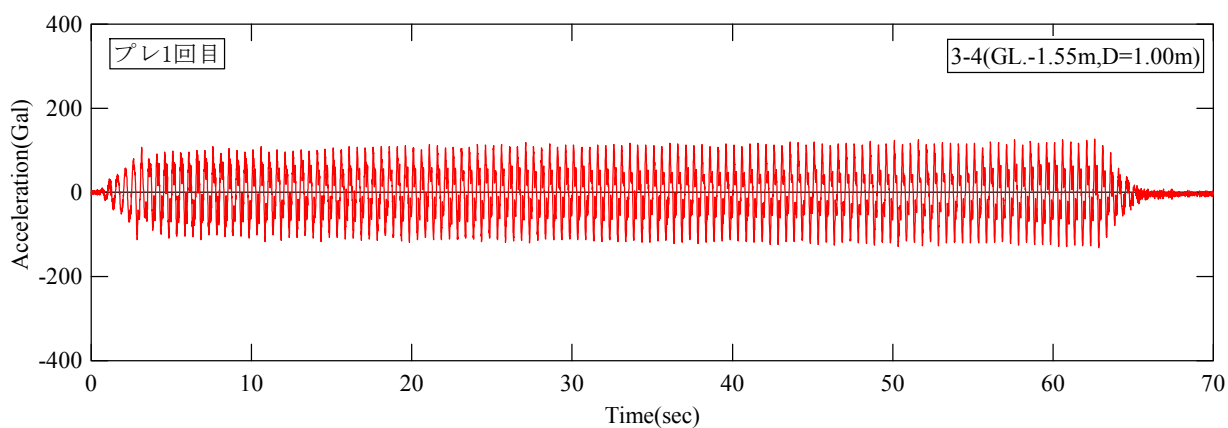
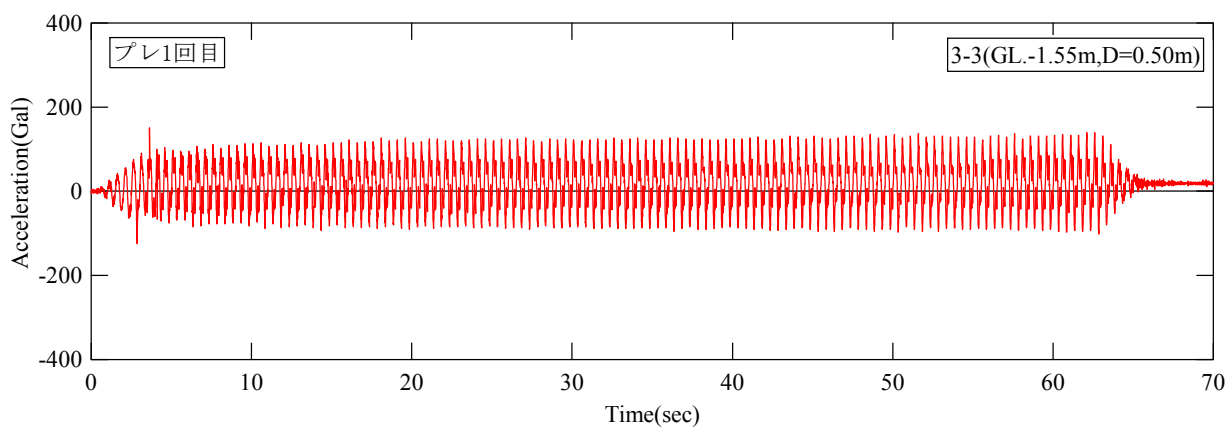
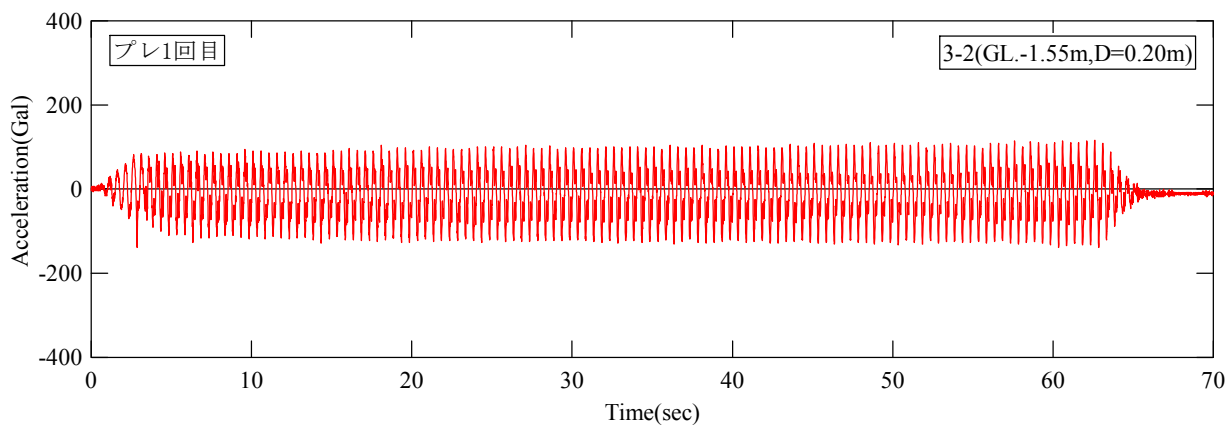
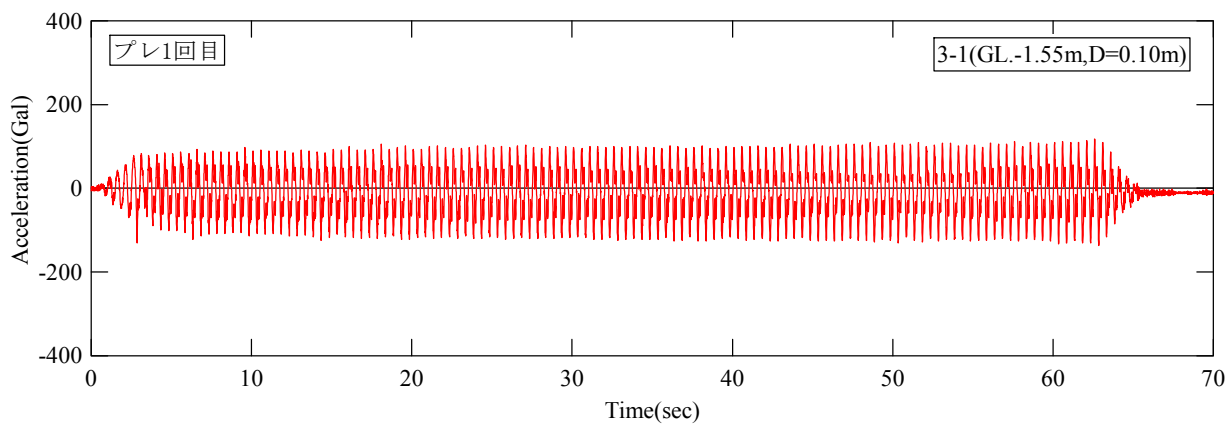


図 4.3.1(7) 1 回目加速度応答波形 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

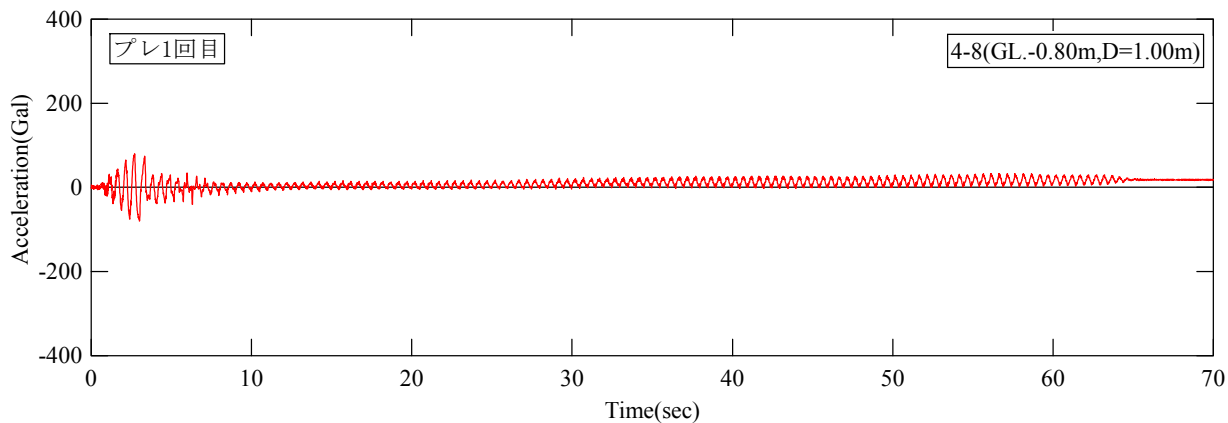
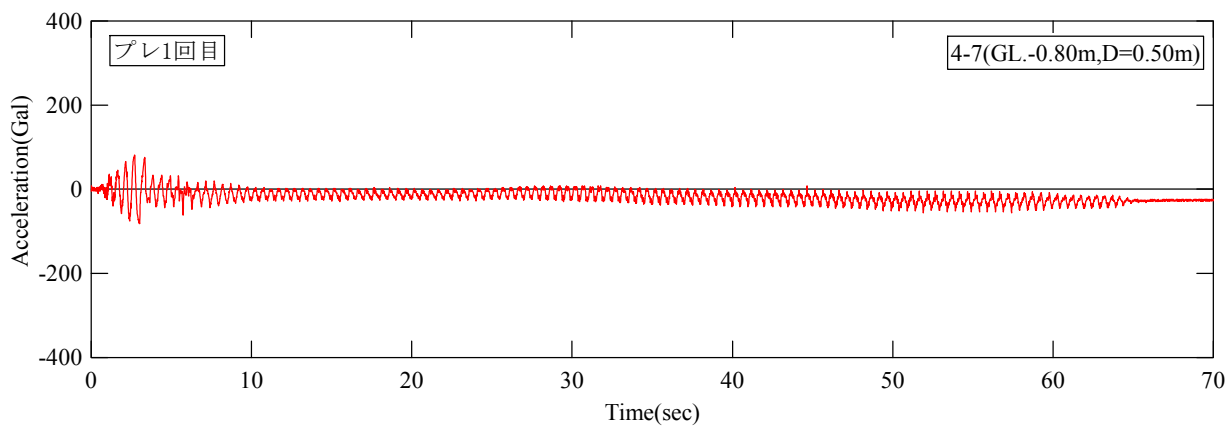
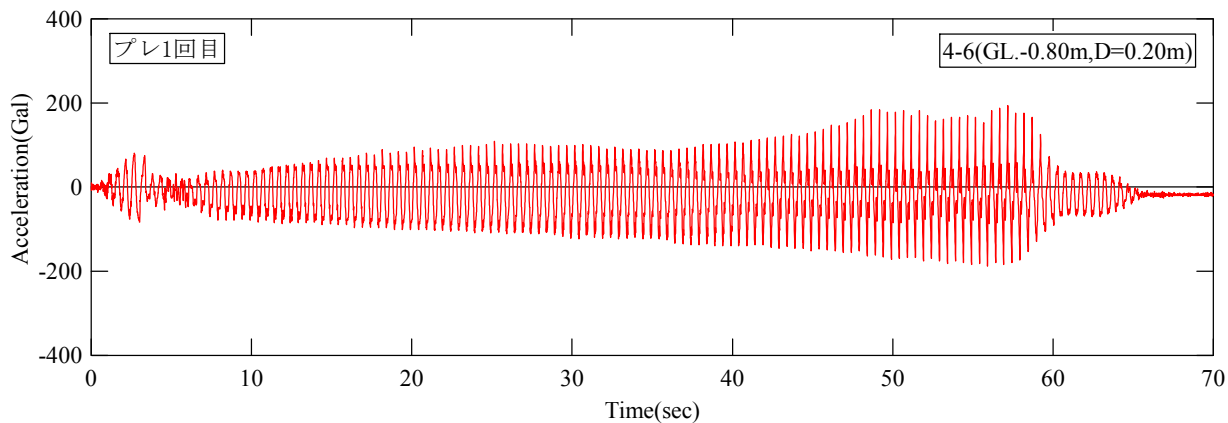
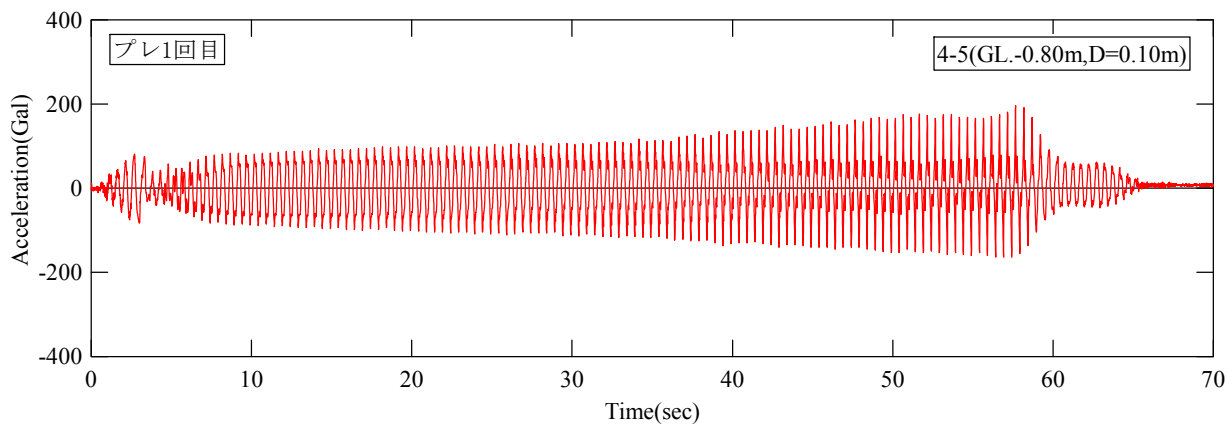


図 4.3.1(8) 1回目加速度応答波形 (φ100mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)

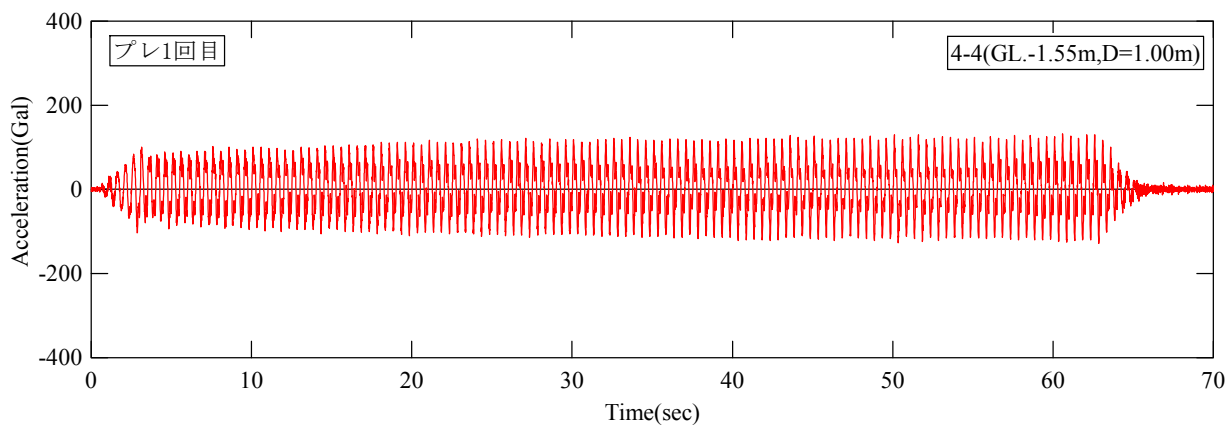
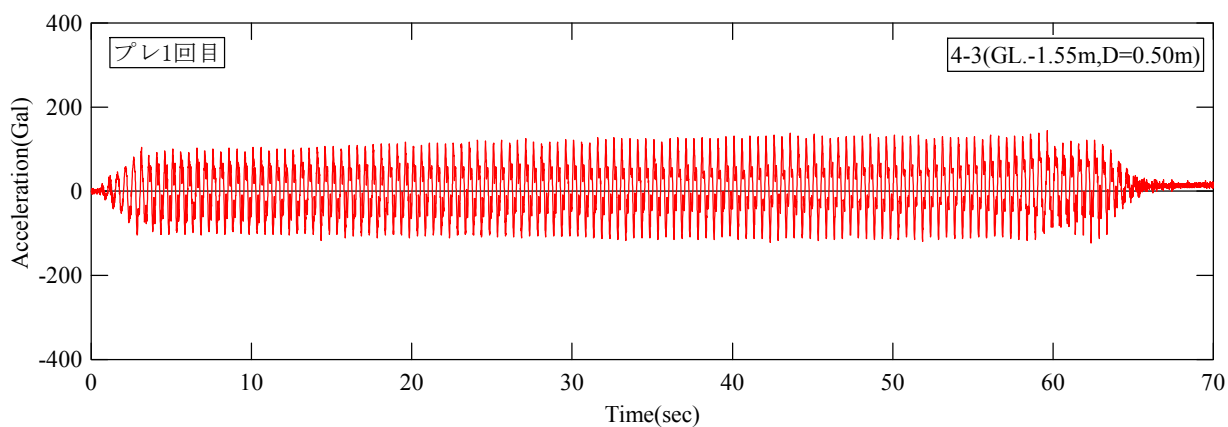
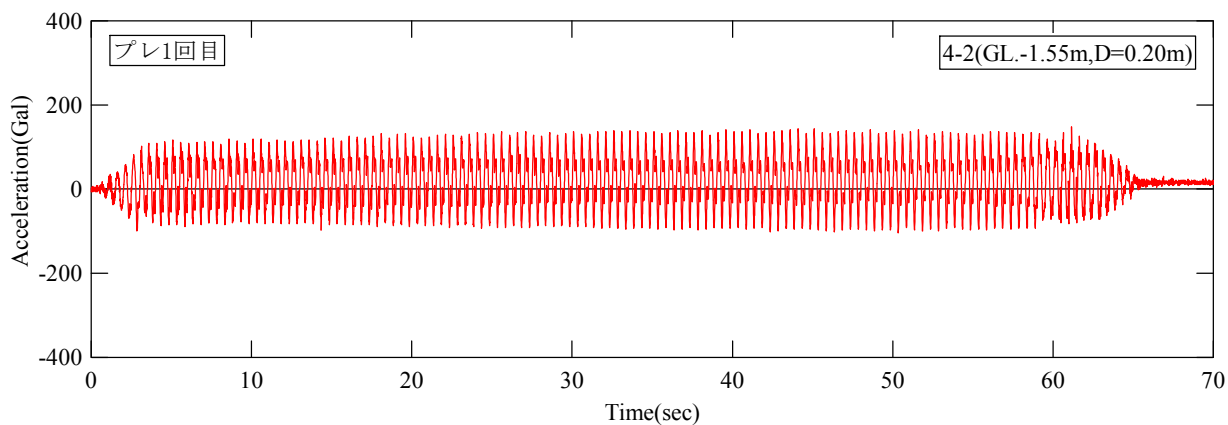
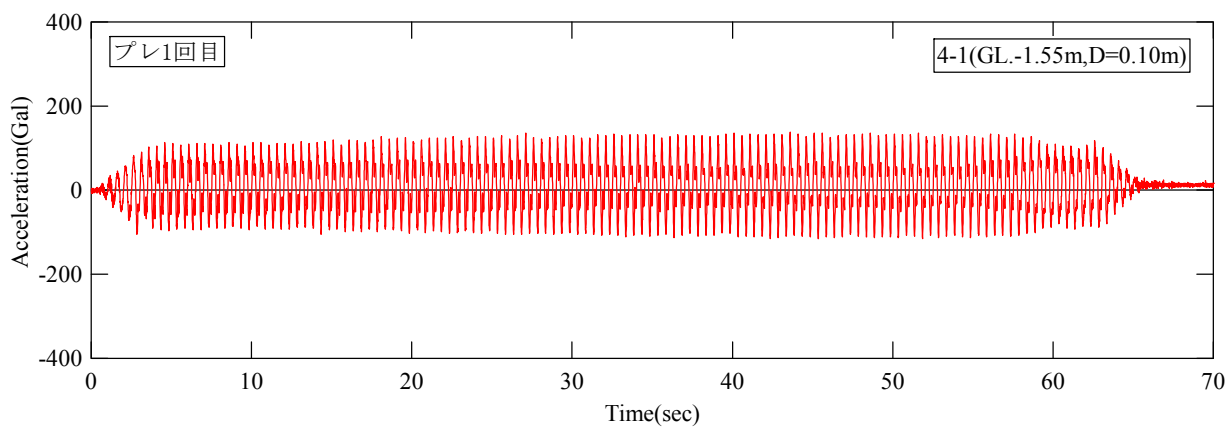


図 4.3.1(9) 1回目加速度応答波形 (φ100mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

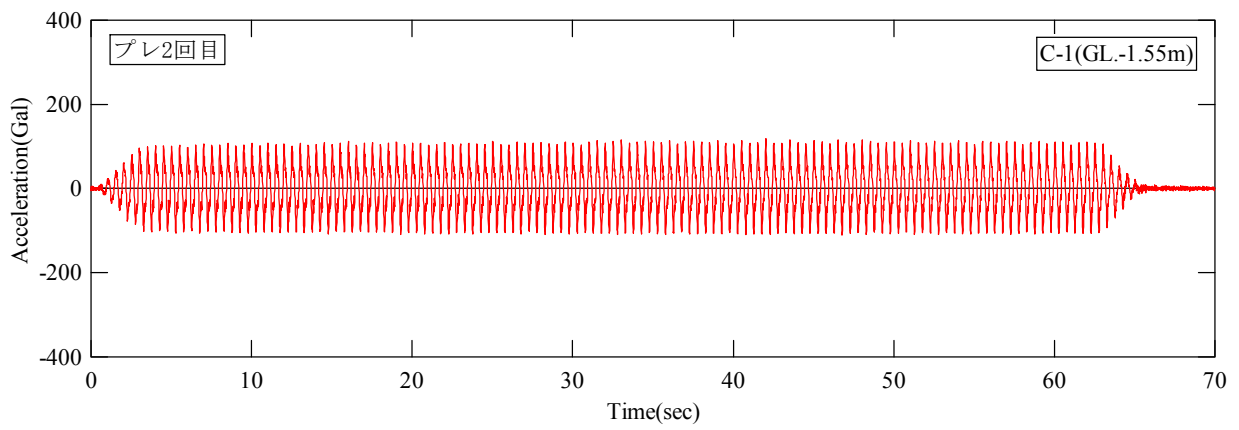
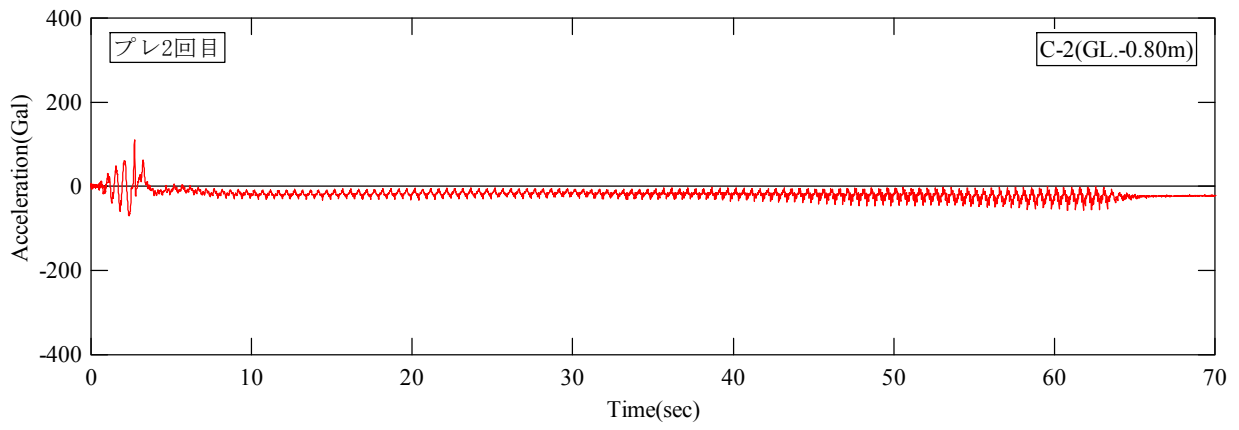


図 4.3.2(1) 2 回目加速度応答波形 (土槽中央部)

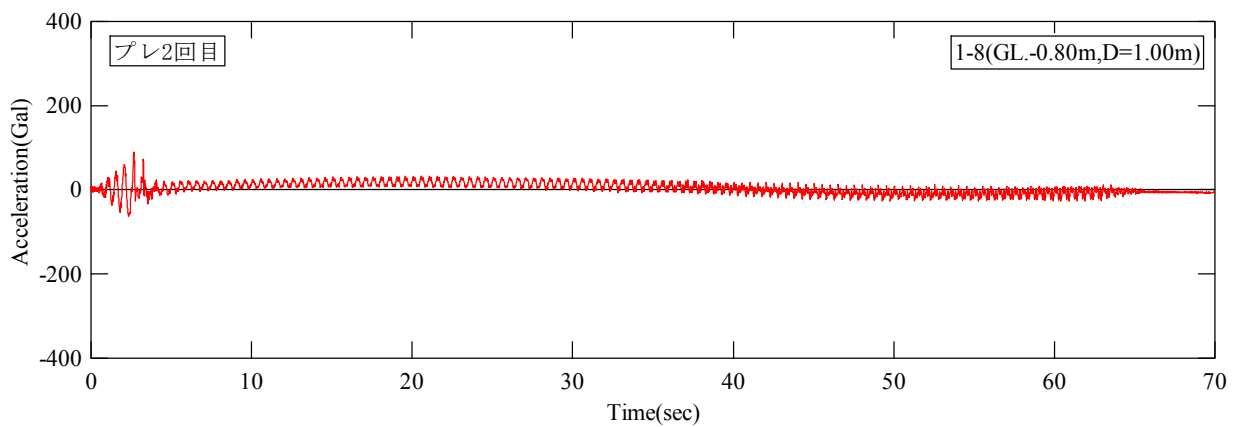
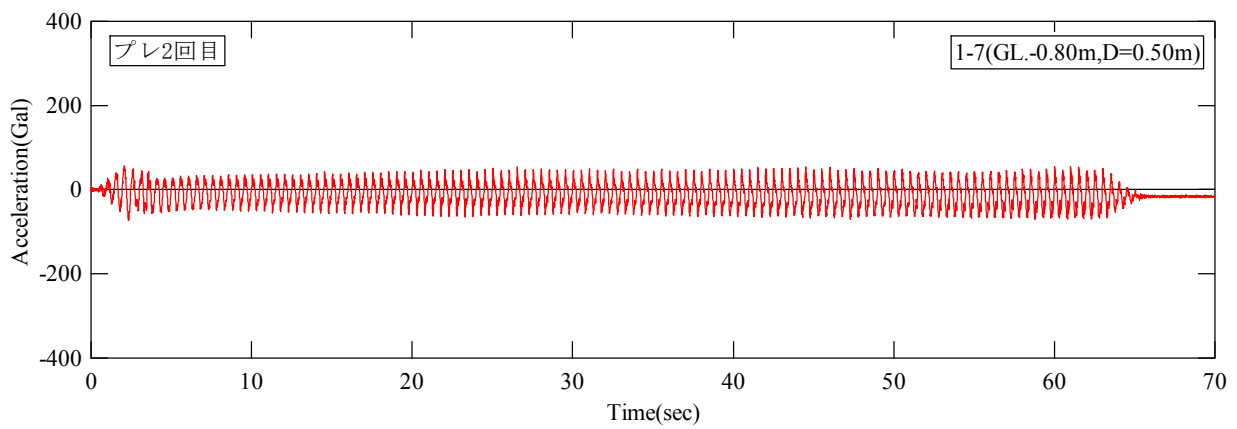
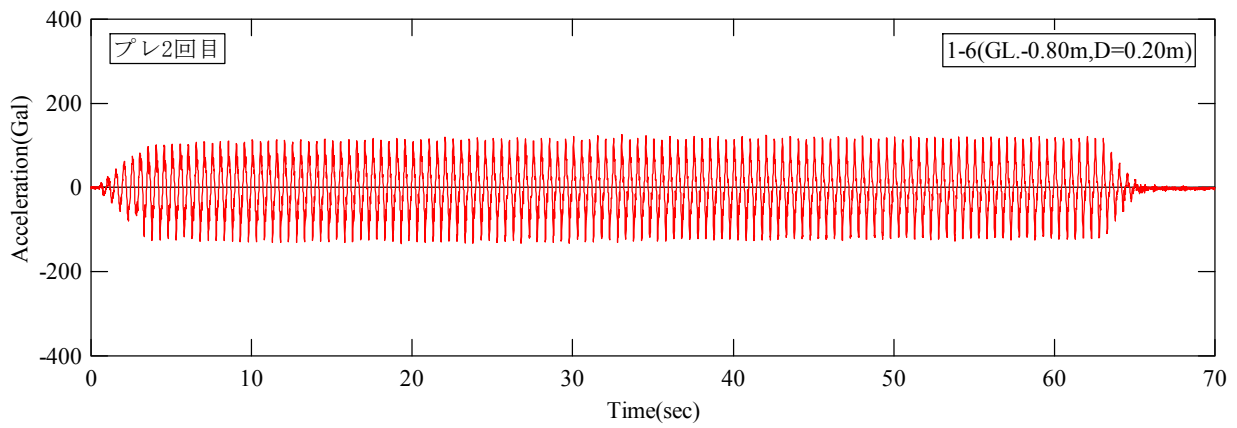
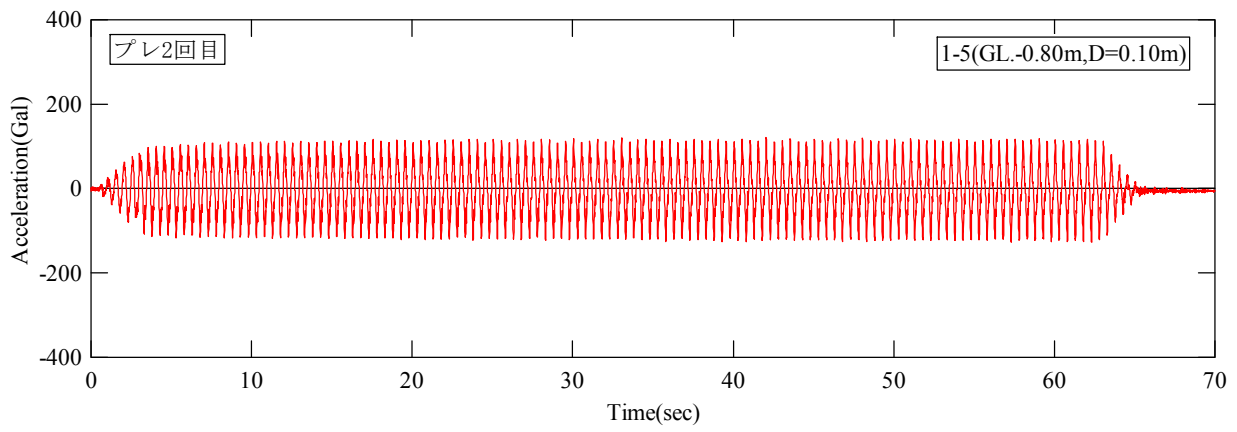


図 4.3.2(2) 2 回目加速度応答波形 (φ100mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)



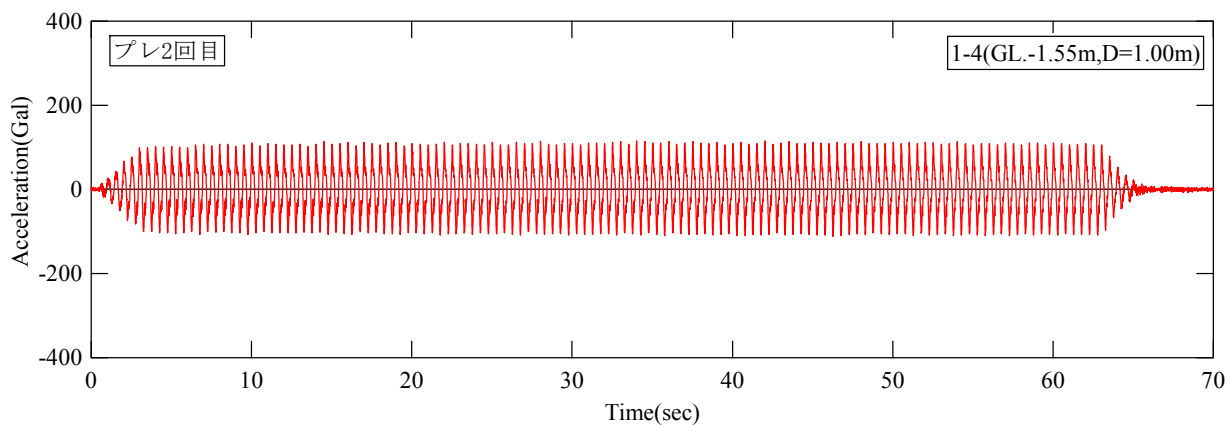
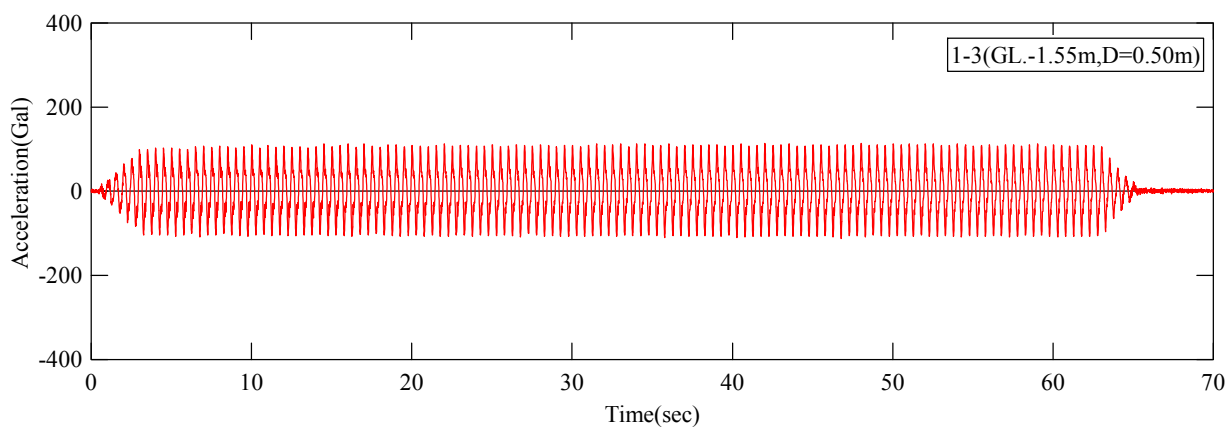
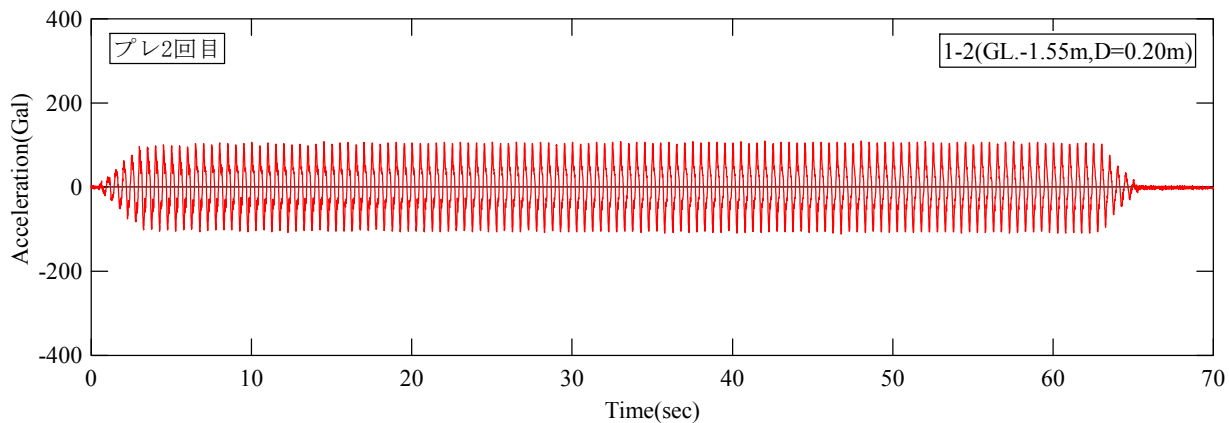
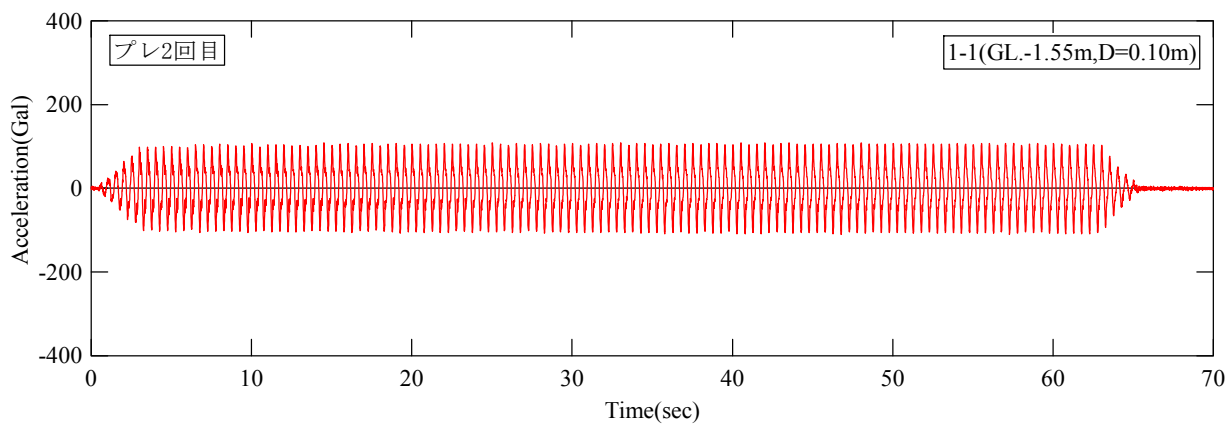


図 4.3.2(3) 2 回目加速度応答波形 (φ100mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

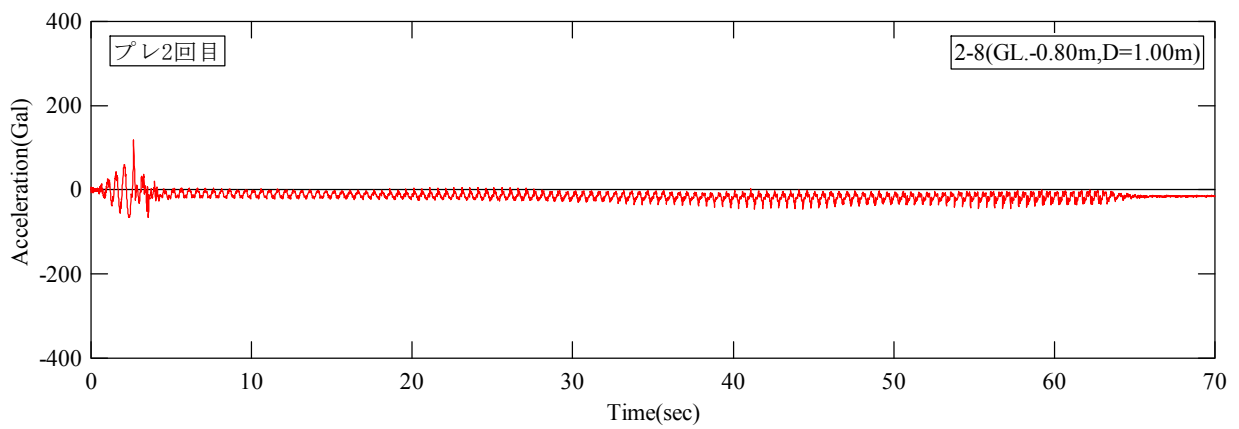
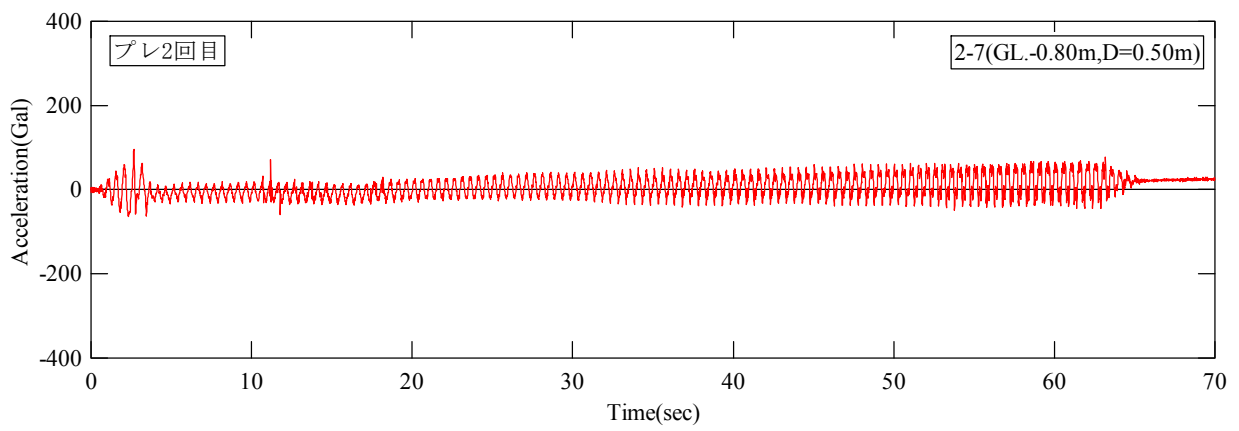
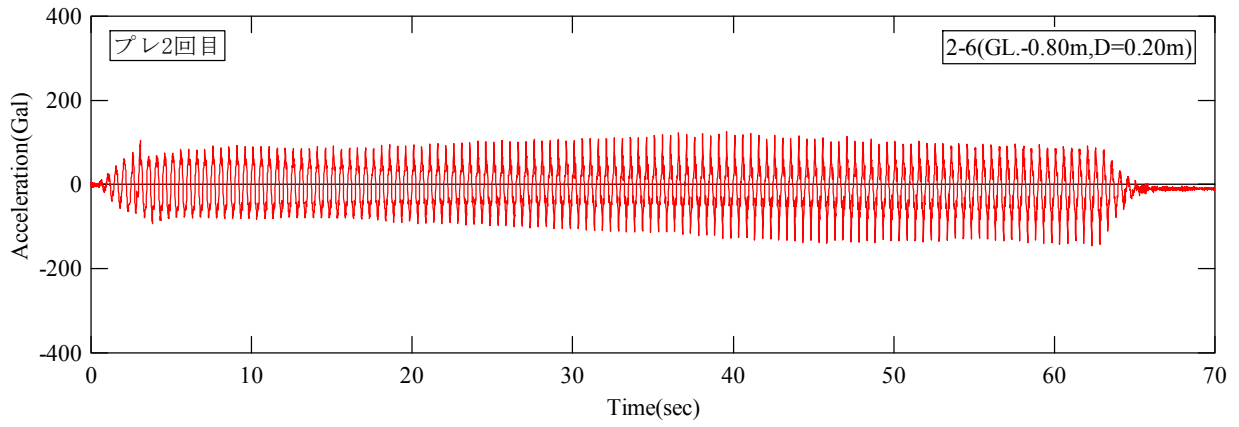
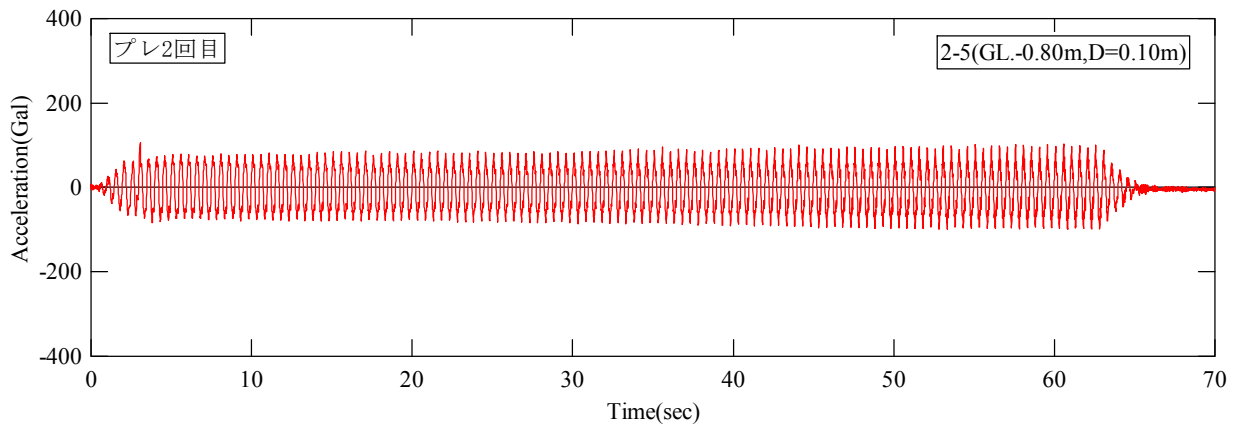


図 4.3.2(4) 2 回目加速度応答波形 (φ 50mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)

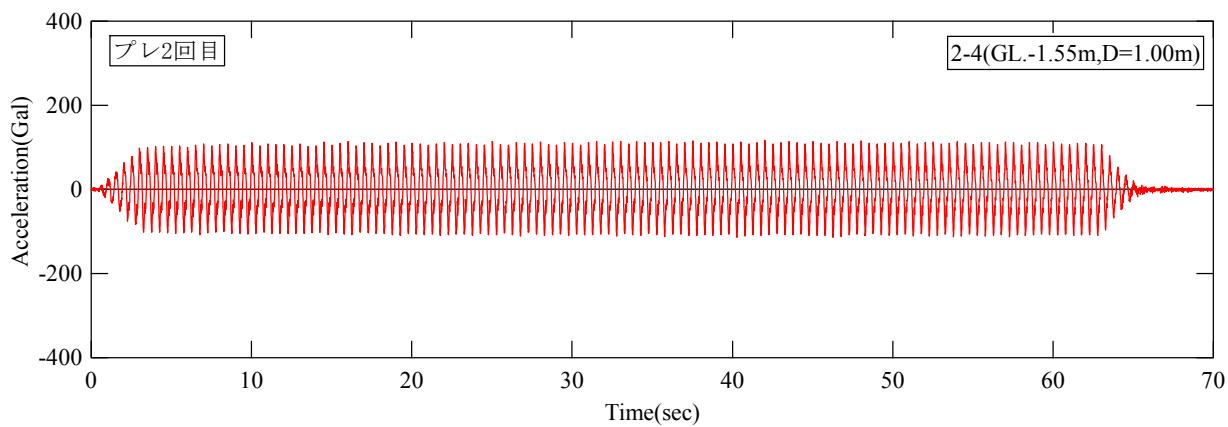
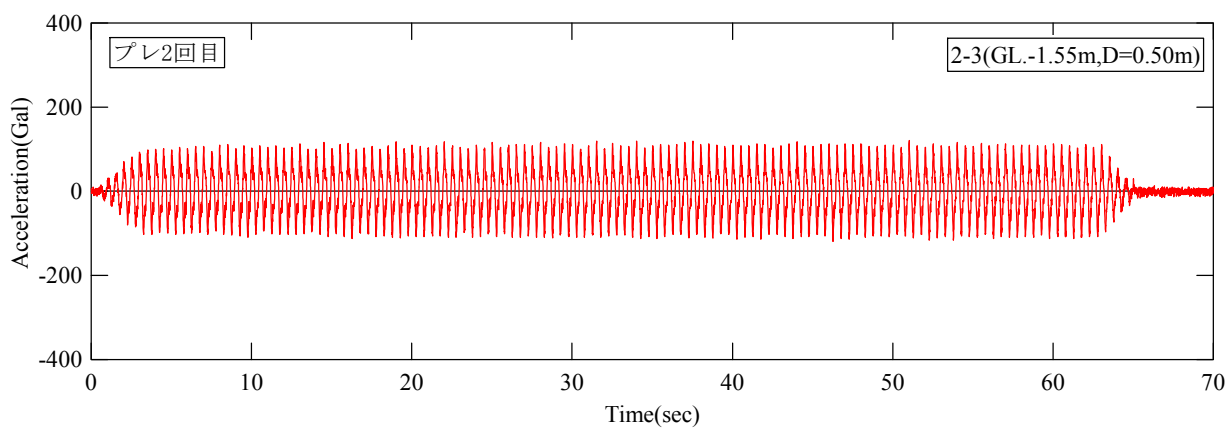
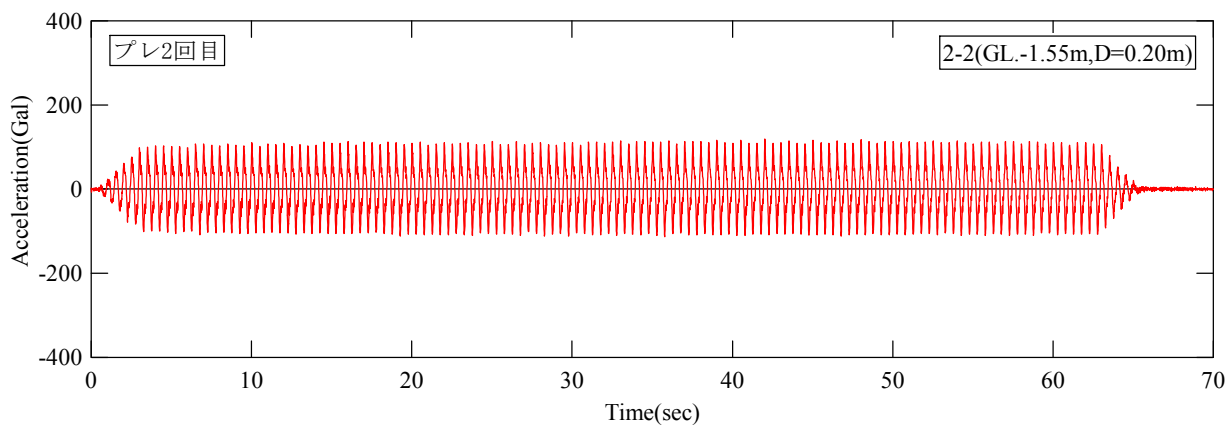
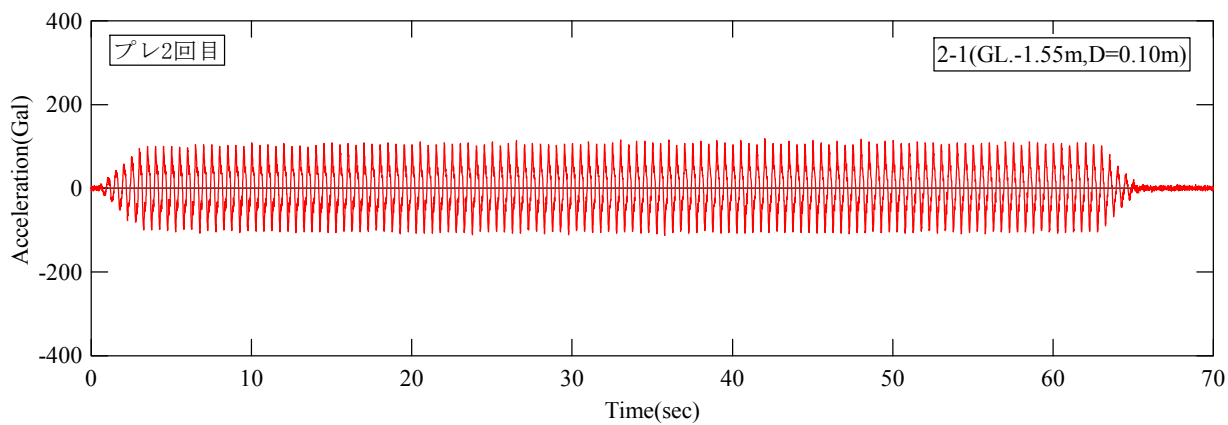


図 4.3.2(5) 2 回目加速度応答波形 (φ 50mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

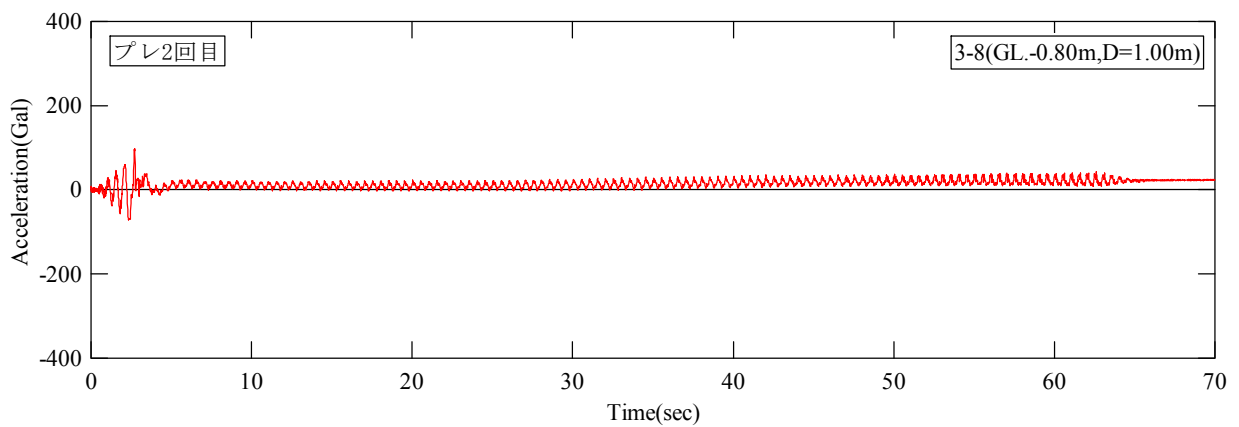
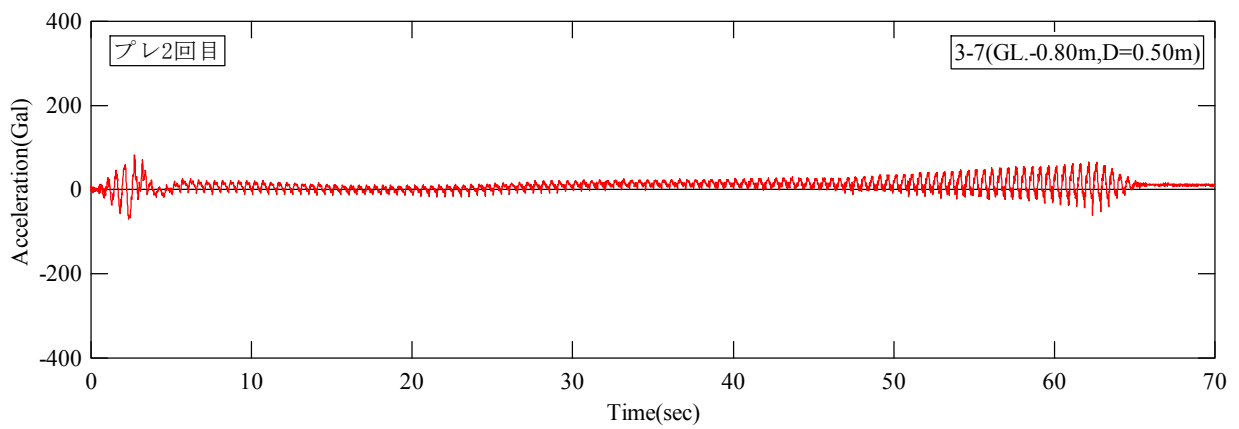
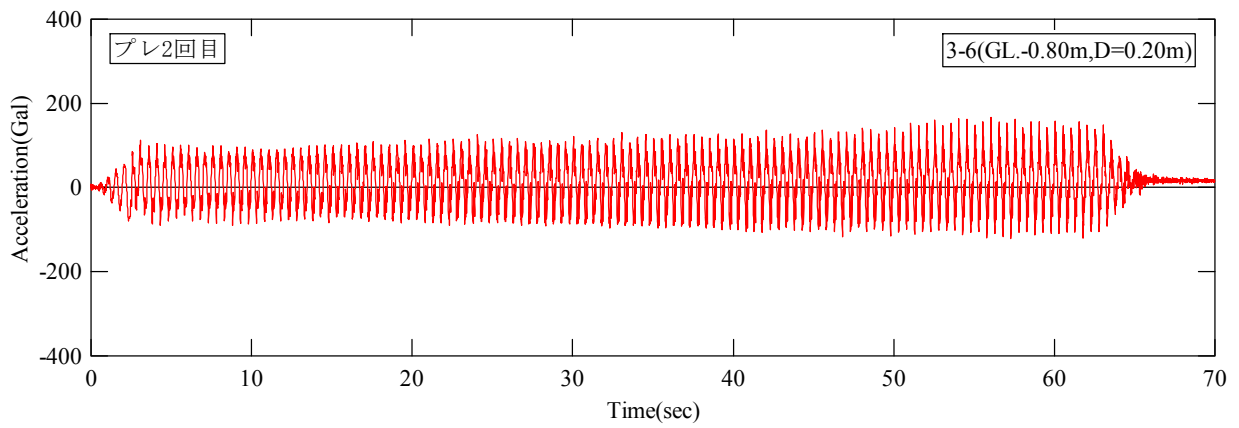
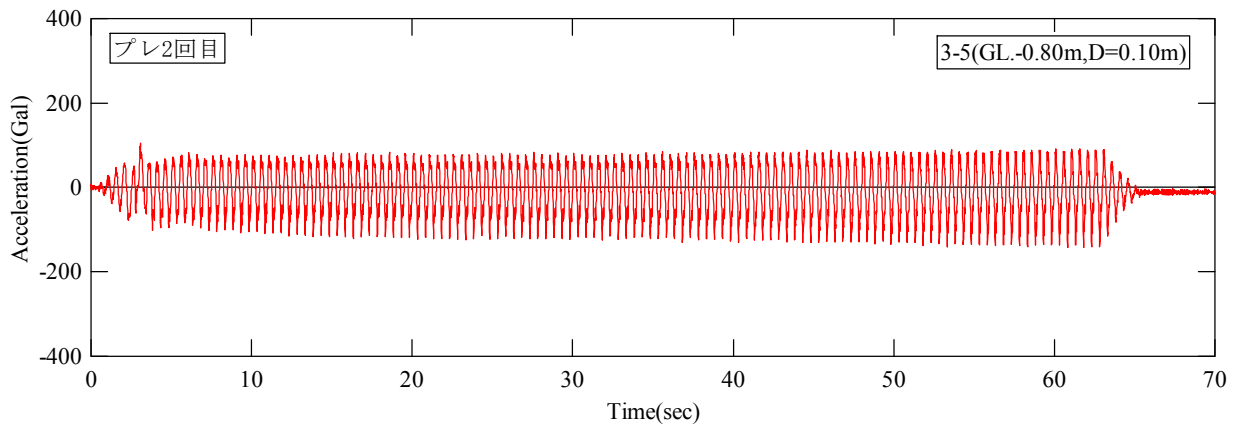


図 4.3.2(6) 2 回目加速度応答波形 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)

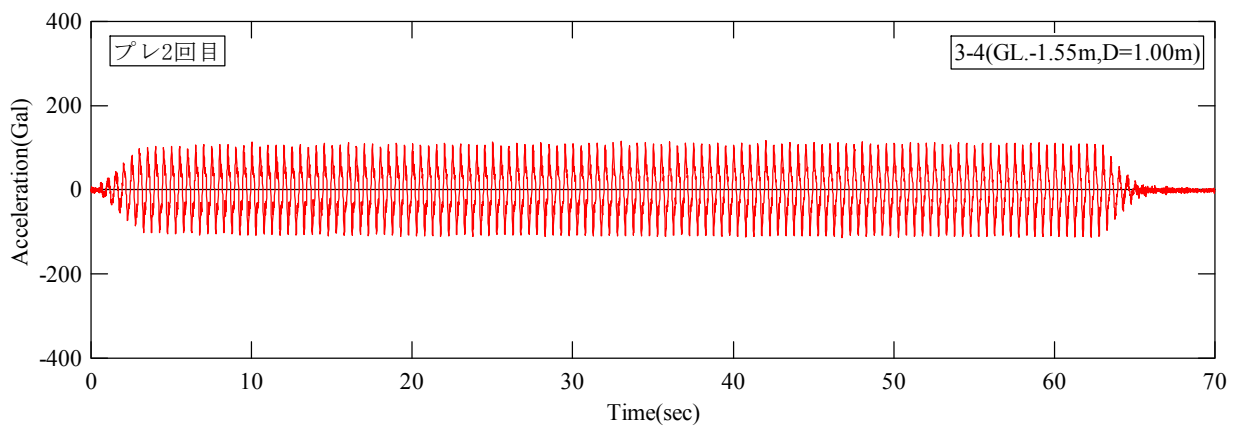
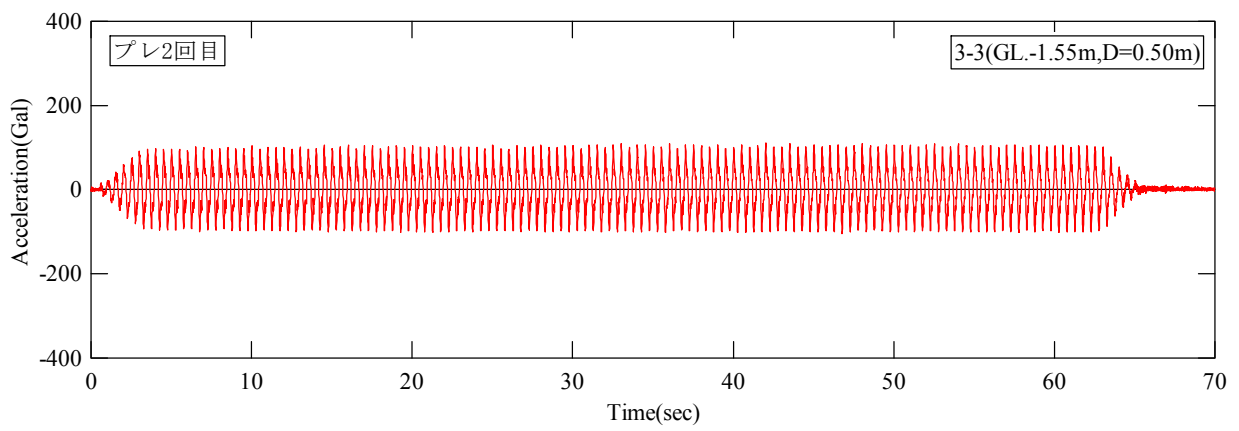
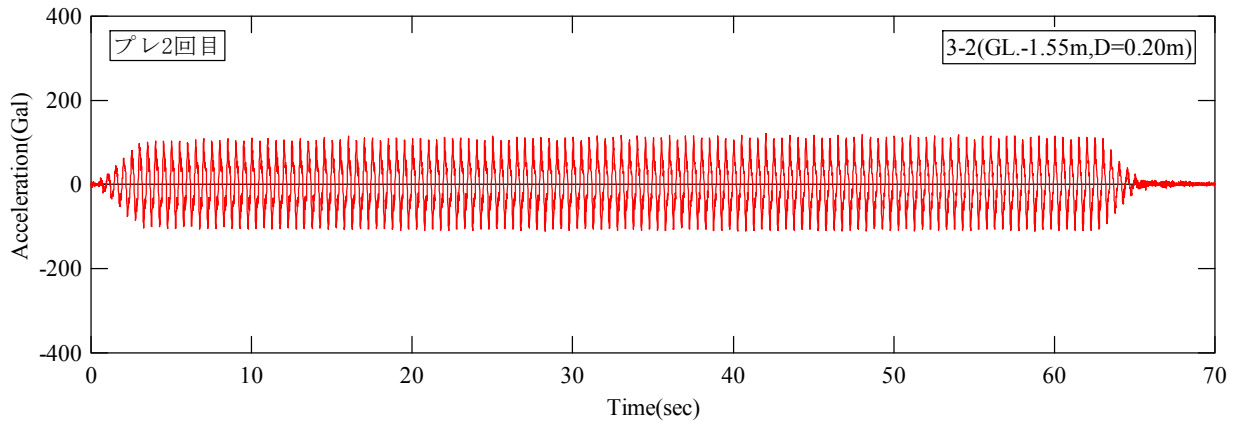
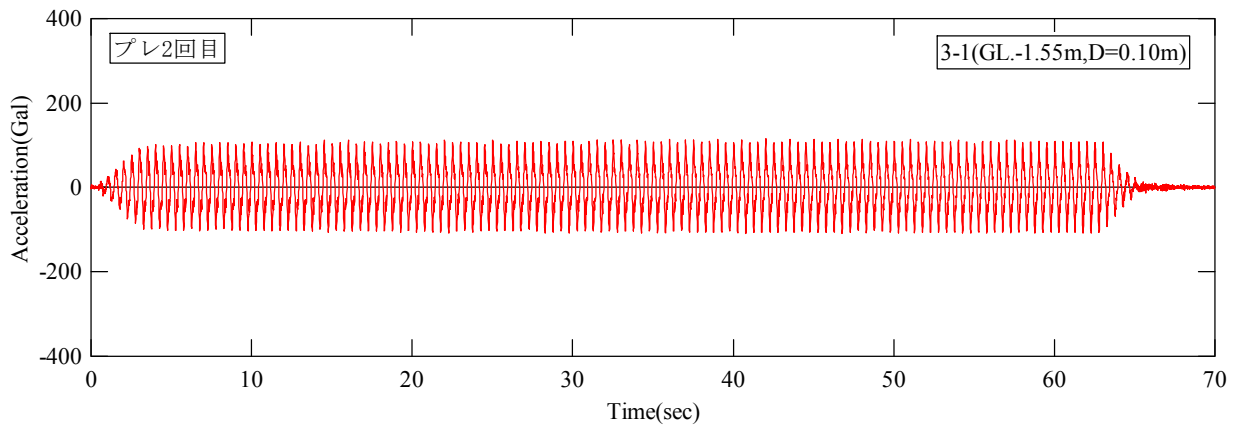


図 4.3.2(7) 2 回目加速度応答波形 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

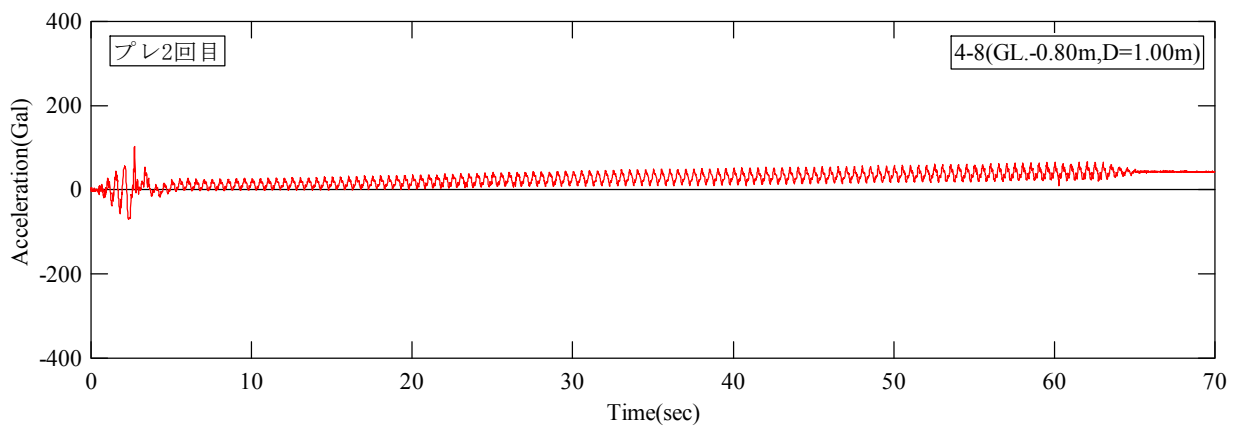
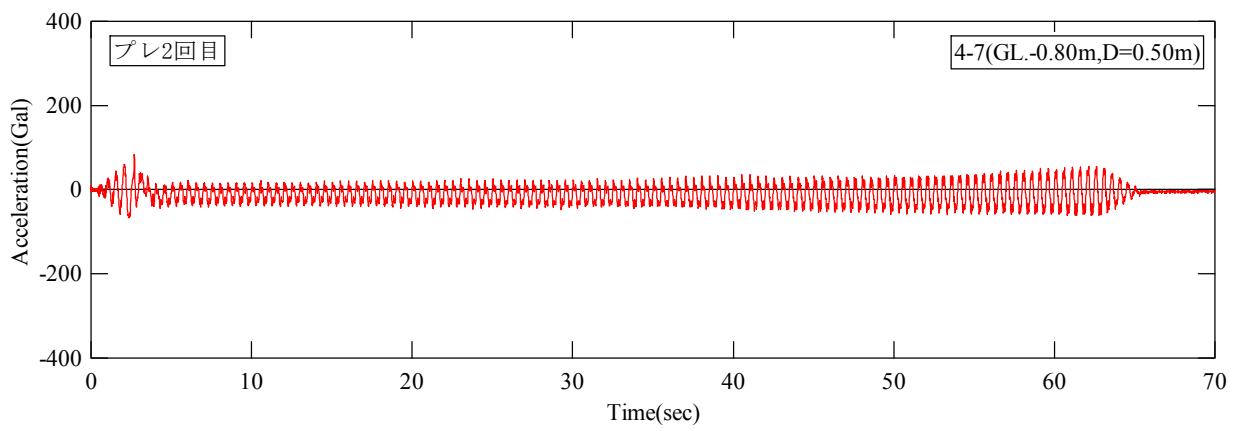
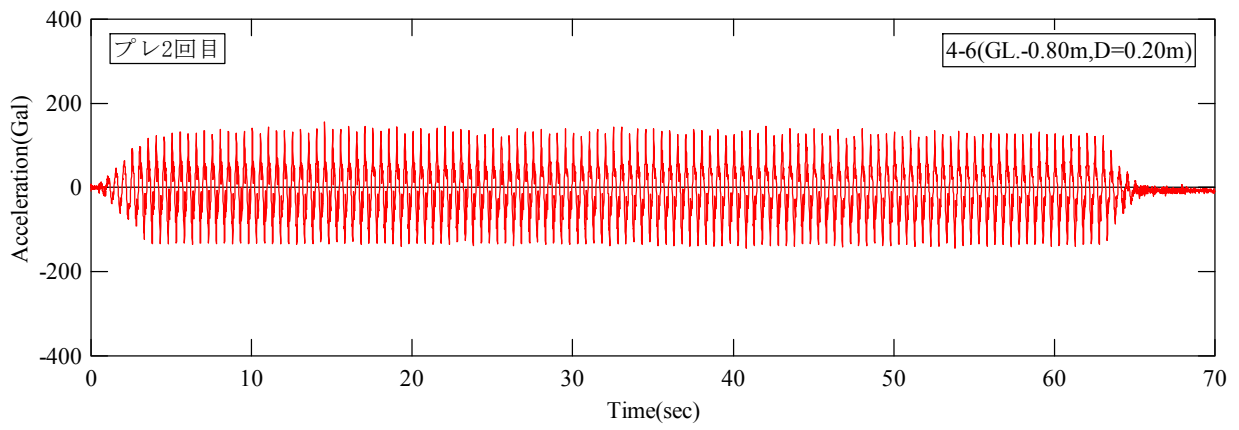
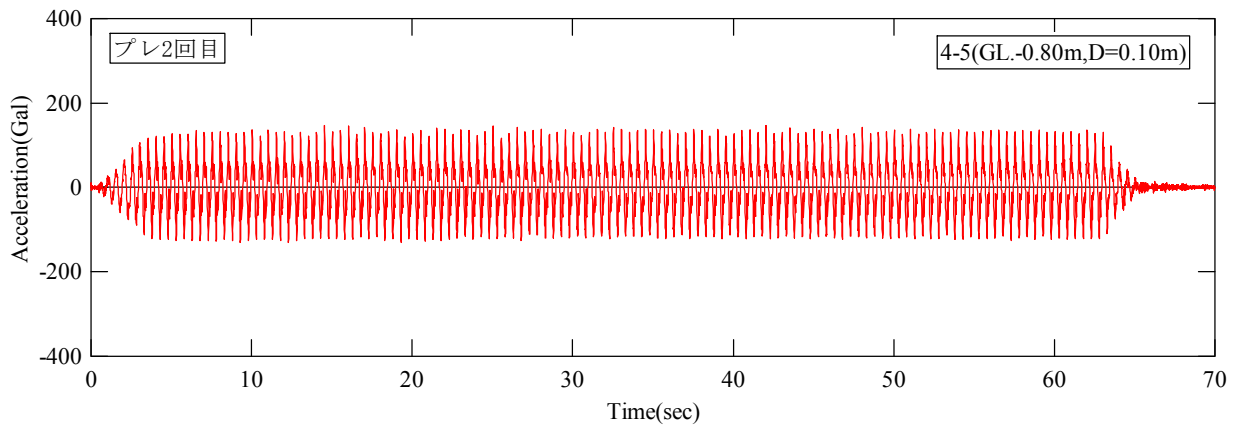


図 4.3.2(8) 2 回目加速度応答波形 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)

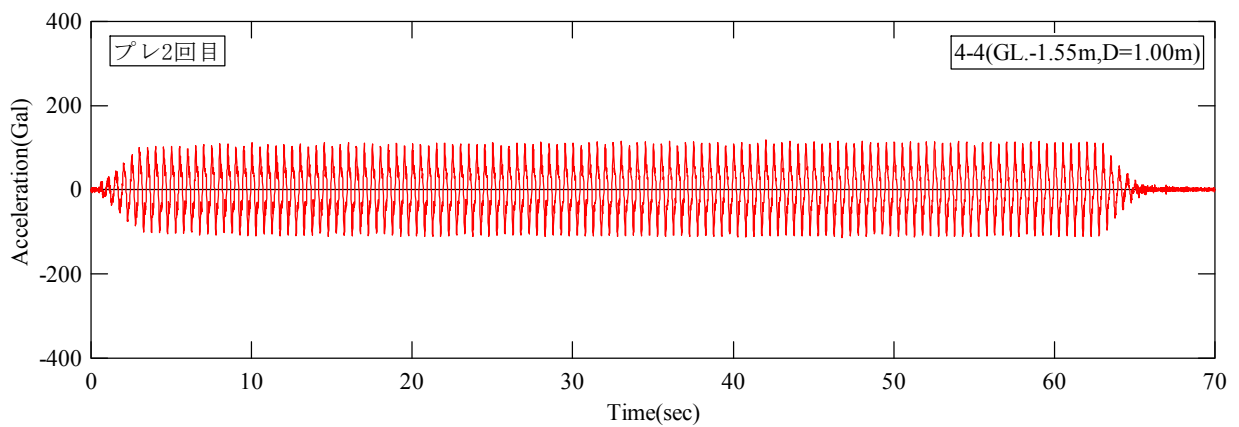
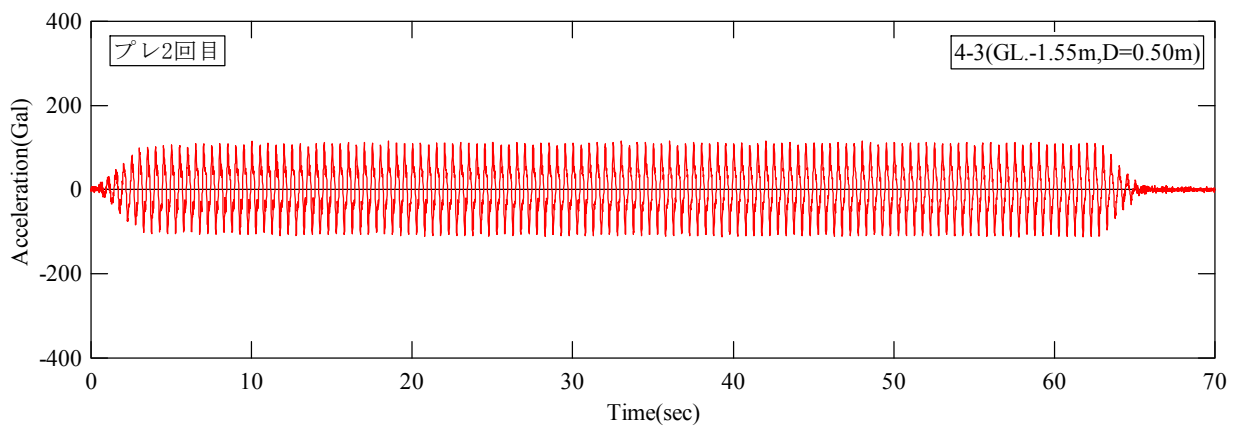
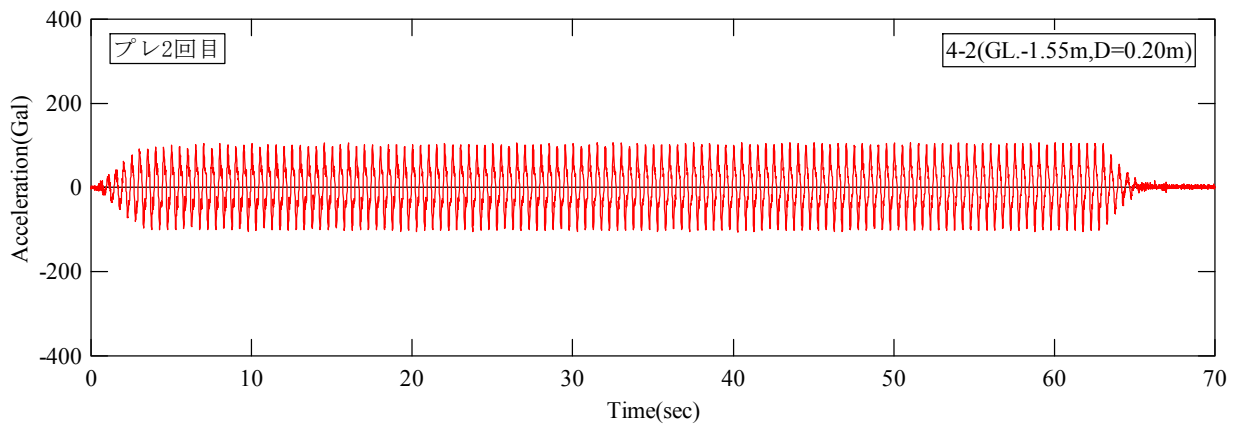
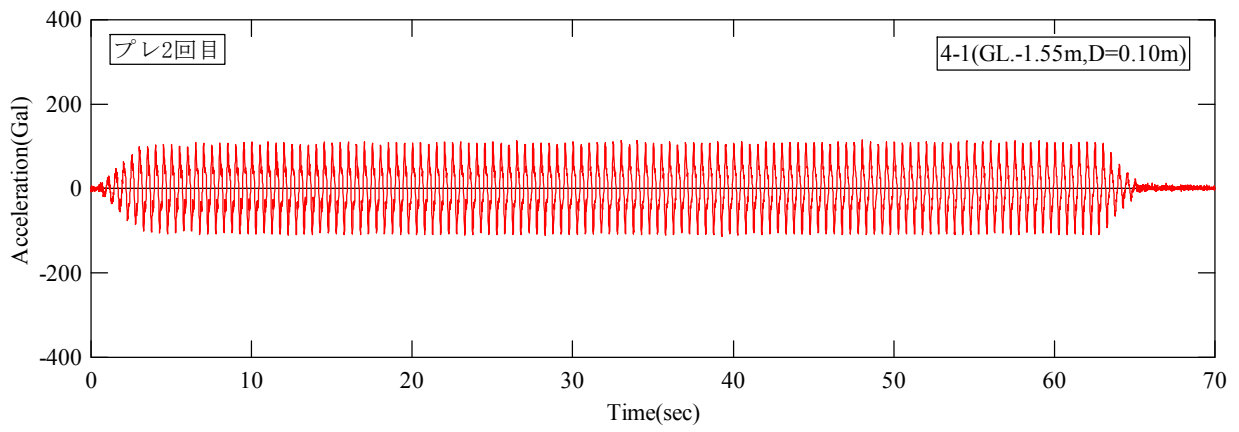


図 4.3.2(9) 2 回目加速度応答波形 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

#### 4.4 過剰間隙水圧計測結果

計測した過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比の最大値を表 4.4.2, 表 4.4.3 に示す。1 回目の各深度の過剰間隙水圧の時刻歴変化を図 4.4.1, 図 4.4.2 に示す。

なお、過剰間隙水圧比の値は、過剰間隙水圧計測値の変動を補正するため、前後 50 個の隣接平均値を取り、下記の初期有効上載圧 $\sigma_{v0}'$ で除して求めた。

初期有効上載圧  $\sigma_{v0}'$  (kPa)は、湿潤単位体積重量  $\gamma_t$  を一定、地下水位以下の地盤飽和度  $S_r$  を 100%と仮定し下記の式より算定した。

$$\sigma_{v0}' = \{\gamma_{t1} \cdot H_1 / 1000 + (\gamma_{t2} - \gamma_w) \cdot H_2 / 1000\} \times 98 \quad (4.1)$$

ここで、 $\gamma_t$ : 湿潤単位体積重量(gf/cm<sup>3</sup>),  $\gamma_w$ : 水の単位体積重量(gf/cm<sup>3</sup>),  $H_1$ : 地下水位深度(cm),  $H_2$ : 地下水位から計測位置までの深度(cm)とする。

表 4.4.1 に初期有効上載圧および算定に用いた定数を示す。

表 4.4.1 初期有効上載圧および算定使用定数

地下水位深度 $H_1$		30 cm
地下水位から計測位置までの深度 $H_2$	上段 GL.-0.80m	50 cm
	下段 GL.-1.55m	125 cm
地下水位以浅の含水比 $\omega$		3 %
湿潤単位体積重量 $\gamma_t$	地下水位以浅 $\gamma_{t1}$	1.555 gf/cm <sup>3</sup>
	地下水位以深 $\gamma_{t2}$	1.940 gf/cm <sup>3</sup>
初期有効上載圧 $\sigma_{v0}'$	上段 GL.-0.80m	9.2 kPa
	下段 GL.-1.55m	16.1 kPa

なお、過剰間隙水圧の最大値が、初期有効上載圧  $\sigma_{v0}'$  よりも大きい計測値も見られた。この原因として以下ことが考えられる。

- ① 地下水位以浅の地盤は、試験地盤作成時の砂の含水比より湿潤単位体積重量を求めており、試験地盤作成後の地盤は、砂の毛管現象により水分を吸収するため、重量が大きくなっている可能性がある。
- ② 試験地盤の密度のばらつき。
- ③ 地下水位以下の飽和度。

各ドレーンパイプ間中央部（無対策部）の過剰間隙水圧は、加振開始直後から急激に増加し、有効上載圧に達した。また、加振中は水圧が低下せず一定となり、加振終了後水圧が徐々に消散した。

一方、ドレーンパイプ近傍では、ドレーンパイプに近いほど水圧の上昇が抑制され、加振中においても水圧の低下が観測された。また、加振終了後もドレーンパイプに近いほど水圧の消散が速くなった。特に、 $\phi 100\text{mm}$  の樹脂ストリング管近傍ではこの効果が明確に確認された。



表 4.4.2(1) 最大過剰間隙水圧結果 (1 回目)

計測箇所	深度	最大過剰間隙水圧 (kPa)			
土槽中央部 (無対策部)	GL.-0.80m	9.9			
	GL.-1.55m	16.7			
ドレーンパイプ部		10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
樹脂ストリング管 φ 100mm*	GL.-0.80m	9.3	8.8	10.2	10.4
	GL.-1.55m*	8.7	12.5	14.0	17.0
樹脂ストリング管 φ 50mm	GL.-0.80m	9.7	10.4	10.2	10.2
	GL.-1.55m	15.5	16.5	16.6	17.0
有孔塩ビ管 φ 100mm	GL.-0.80m	8.4	10.2	10.3	10.1
	GL.-1.55m	15.3	16.5	16.8	16.9
有孔塩ビ管 φ 50mm	GL.-0.80m	9.2	10.2	10.1	10.5
	GL.-1.55m	13.7	16.8	16.6	16.7

表 4.4.2(2) 最大過剰間隙水圧比結果 (1 回目)

計測箇所	深度	$\sigma_{v0}'$ (kPa)	最大過剰間隙水圧比			
土槽中央部 (無対策部)	GL.-0.80m	9.2	1.08			
	GL.-1.55m	16.1	1.04			
ドレーンパイプ部			10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
樹脂ストリング管 φ 100mm*	GL.-0.80m	9.2	1.01	0.95	1.11	1.14
	GL.-1.55m	16.1	0.54	0.77	0.87	1.06
樹脂ストリング管 φ 50mm	GL.-0.80m	9.2	1.06	1.13	1.12	1.11
	GL.-1.55m	16.1	0.96	1.03	1.03	1.06
有孔塩ビ管 φ 100mm	GL.-0.80m	9.2	0.91	1.11	1.12	1.10
	GL.-1.55m	16.1	0.95	1.02	1.05	1.05
有孔塩ビ管 φ 50mm	GL.-0.80m	9.2	1.01	1.11	1.10	1.14
	GL.-1.55m	16.1	0.85	1.05	1.03	1.04

\*樹脂ストリング管 φ 100mm (GL.-1.55m) は、加振 60 秒後付近に計測上の異常が認められることから、加振 40 秒までのデータを用い、最大値を算定した。

表 4.4.3(1) 最大過剰間隙水圧結果 (2 回目)

計測箇所	深度	最大過剰間隙水圧 (kPa)			
		10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
土槽中央部 (無対策部)	GL.-0.80m	10.0			
	GL.-1.55m	10.1			
ドレーンパイプ部		10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
樹脂ストリング管 φ 100mm	GL.-0.80m	9.1	10.0	10.2	10.7
	GL.-1.55m	7.1	8.2	9.4	10.0
樹脂ストリング管 φ 50mm	GL.-0.80m	7.3	7.9	10.1	10.7
	GL.-1.55m	4.7	6.4	8.4	12.9
有孔塩ビ管 φ 100mm	GL.-0.80m	6.2	8.8	10.3	10.7
	GL.-1.55m	5.7	6.7	9.2	10.3
有孔塩ビ管 φ 50mm	GL.-0.80m	9.1	10.0	10.1	10.9
	GL.-1.55m	5.5	7.6	9.1	9.8

表 4.4.3(2) 最大過剰間隙水圧比結果 (2 回目)

計測箇所	深度	$\sigma_{v0}'$ (kPa)	最大過剰間隙水圧比			
			10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
土槽中央部 (無対策部)	GL.-0.80m	9.2	1.09			
	GL.-1.55m	16.1	0.63			
ドレーンパイプ部			10cm 離れ	20cm 離れ	50cm 離れ	100cm 離れ
樹脂ストリング管 φ 100mm	GL.-0.80m	9.2	0.99	1.09	1.11	1.17
	GL.-1.55m	16.1	0.44	0.51	0.58	0.62
樹脂ストリング管 φ 50mm	GL.-0.80m	9.2	0.80	0.86	1.10	1.17
	GL.-1.55m	16.1	0.29	0.40	0.52	0.80
有孔塩ビ管 φ 100mm	GL.-0.80m	9.2	0.68	0.96	1.12	1.17
	GL.-1.55m	16.1	0.35	0.42	0.57	0.64
有孔塩ビ管 φ 50mm	GL.-0.80m	9.2	0.99	1.09	1.10	1.19
	GL.-1.55m	16.1	0.34	0.47	0.57	0.61

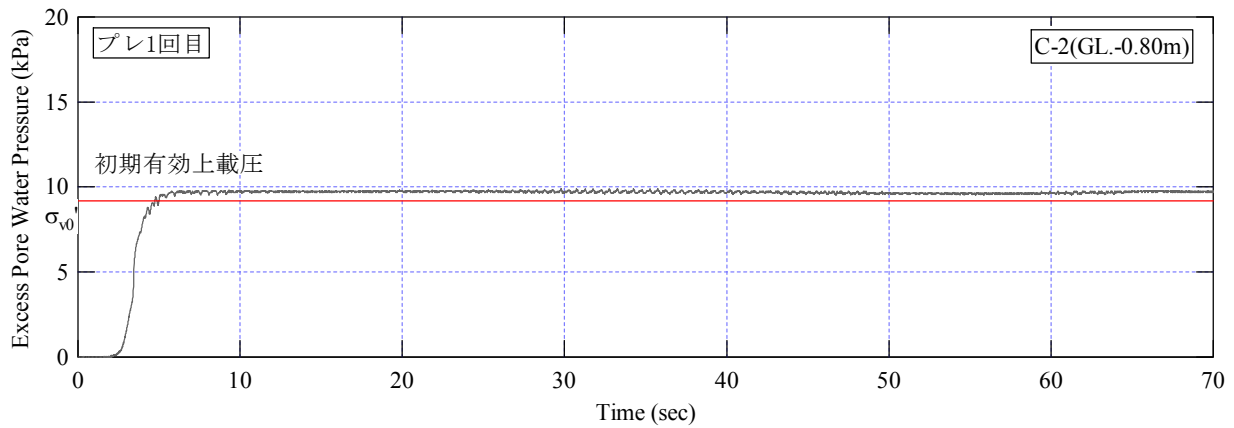


図 4.4.1(1) 1 回目過剰間隙水圧 (土槽中央部, GL.-0.8m)

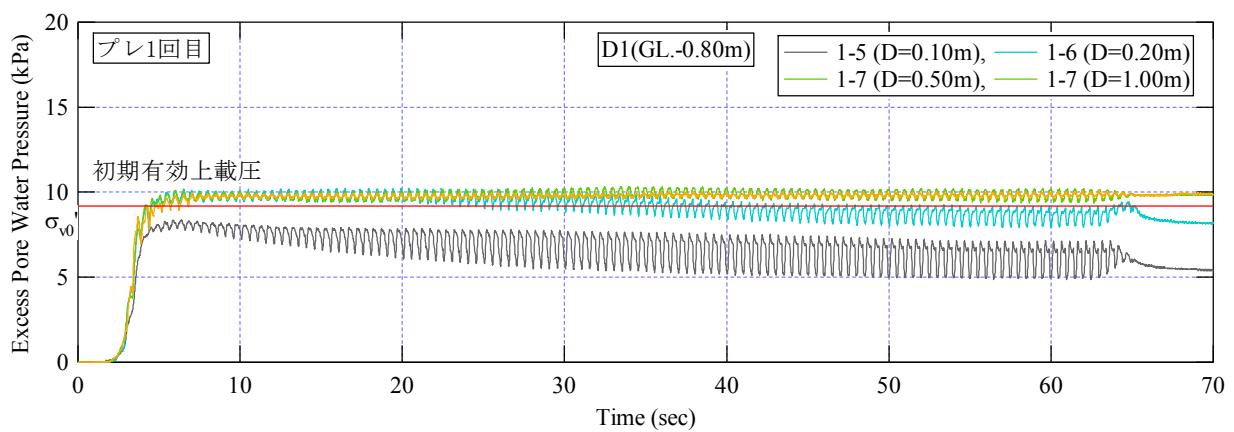


図 4.4.1(2) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 100mm 有孔塩ビ管, GL.-0.8m)

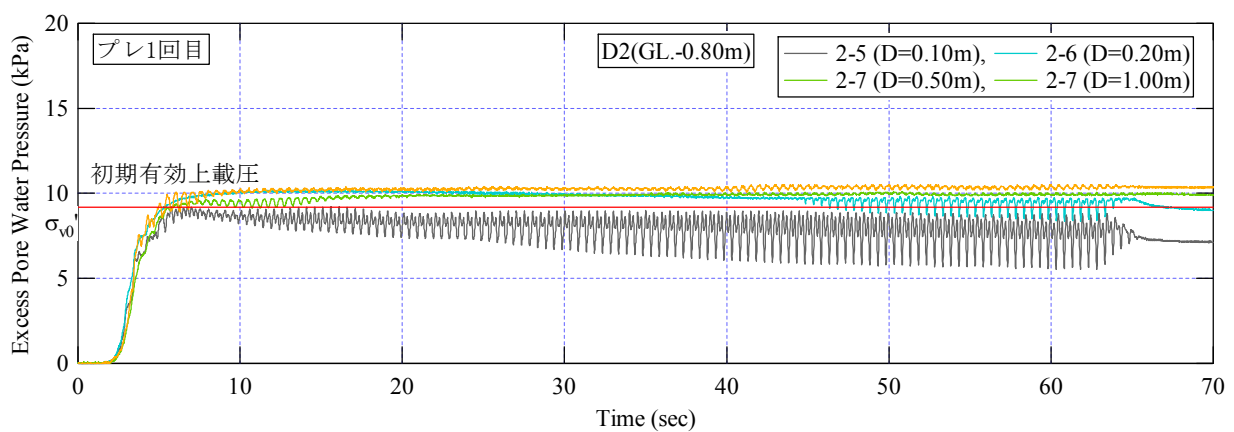


図 4.4.1(3) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 50mm 有孔塩ビ管, GL.-0.8m)

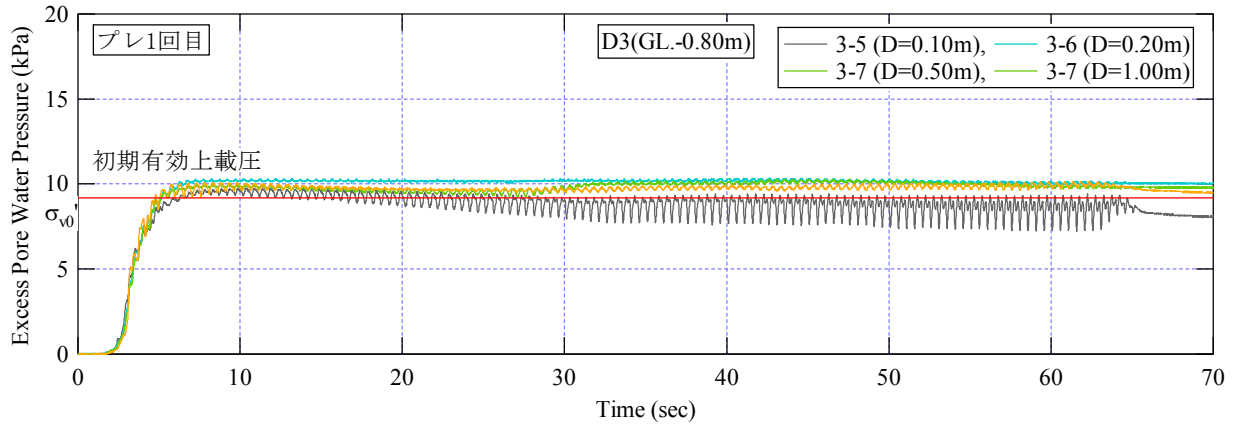


図 4.4.1(4) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-0.8m)

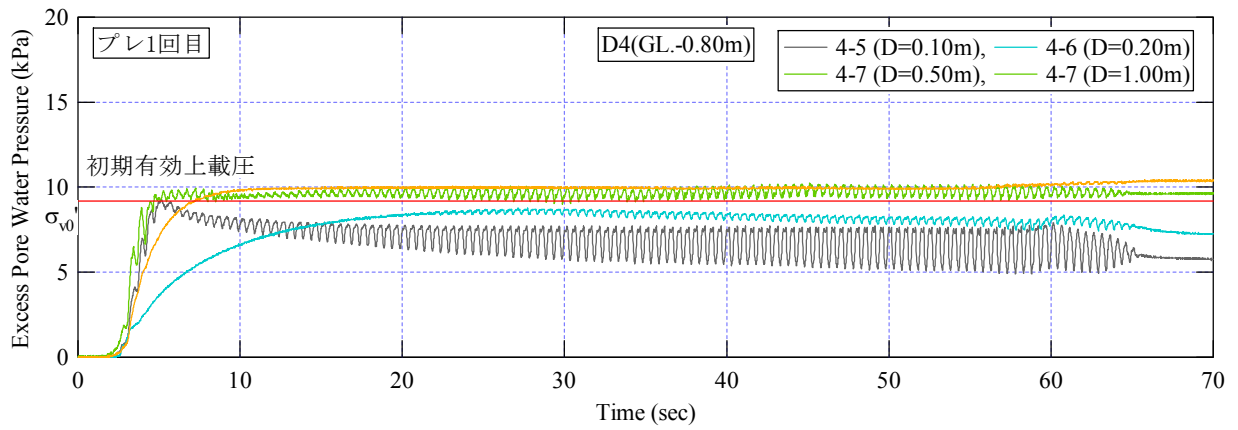


図 4.4.1(5) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-0.8m)

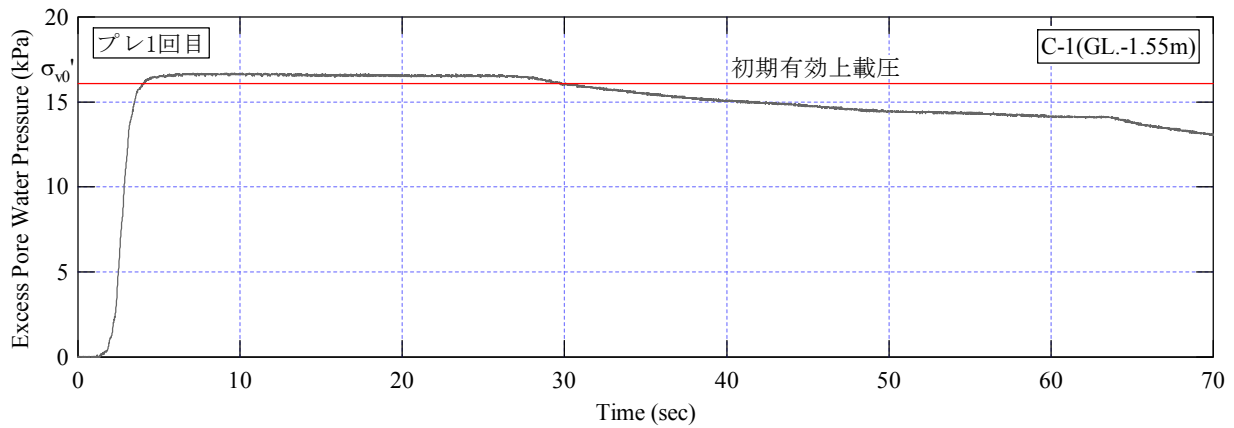


図 4.4.1(6) 1 回目過剰間隙水圧 (土槽中央, GL.-1.55m)

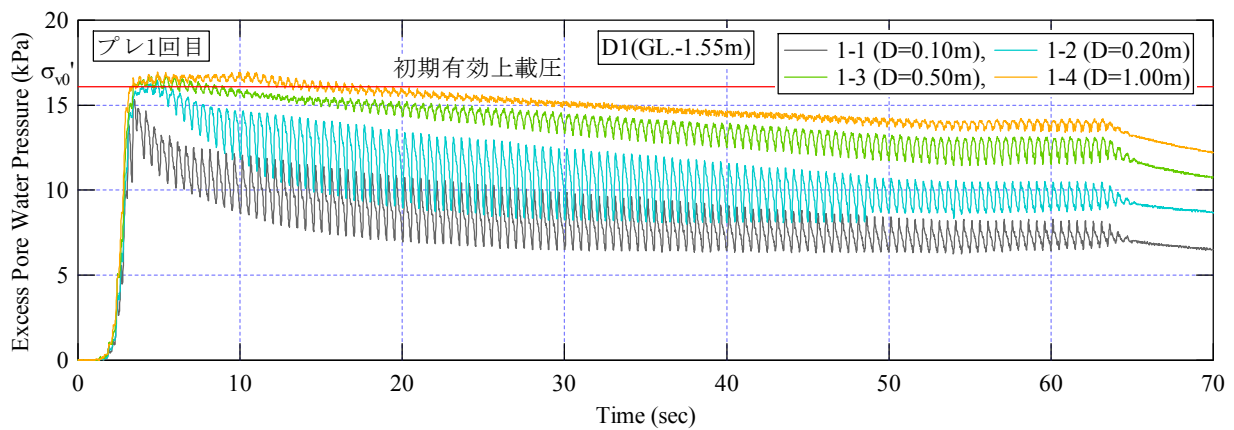


図 4.4.1(7) 1 回目過剰間隙水圧 ( $\phi$  100mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

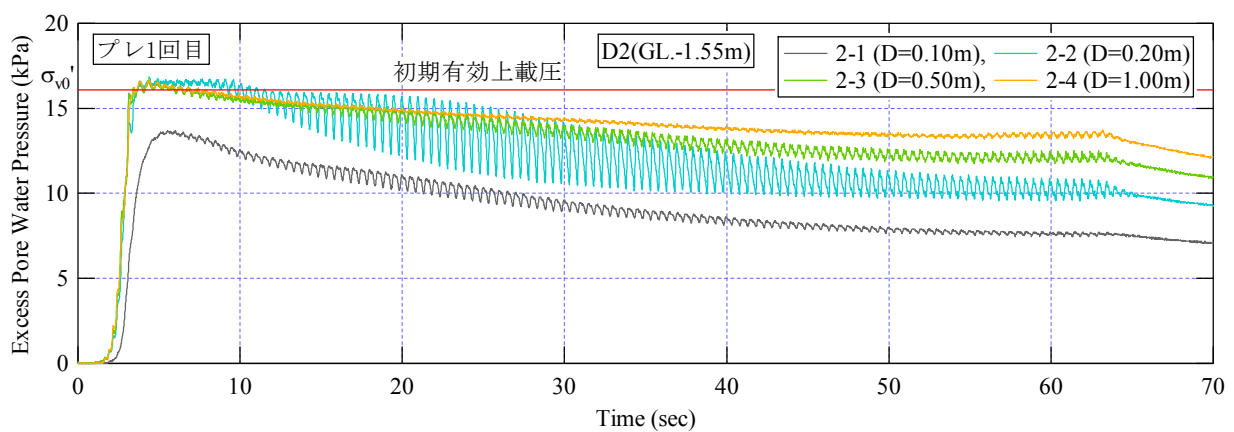


図 4.4.1(8) 1 回目過剰間隙水圧 ( $\phi$  50mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

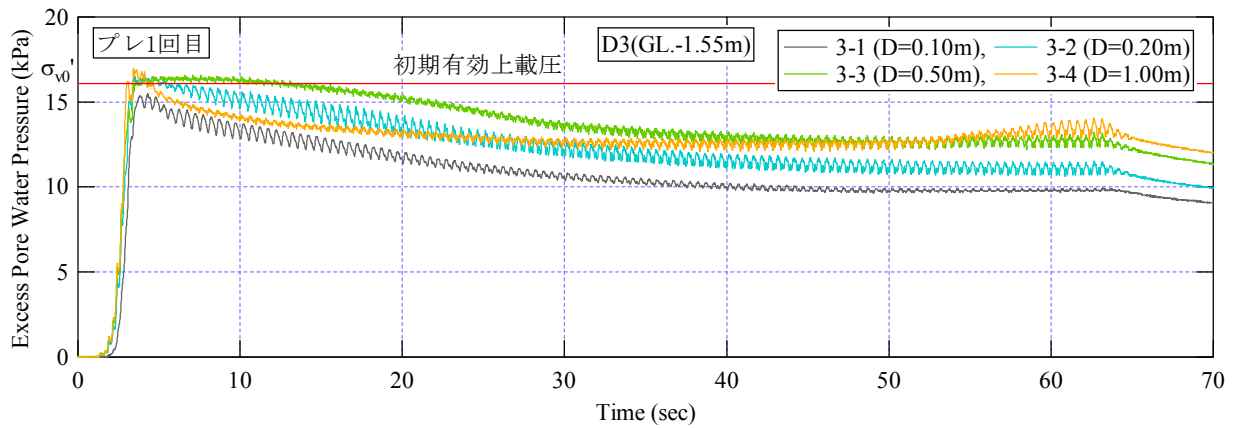


図 4.4.1(9) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

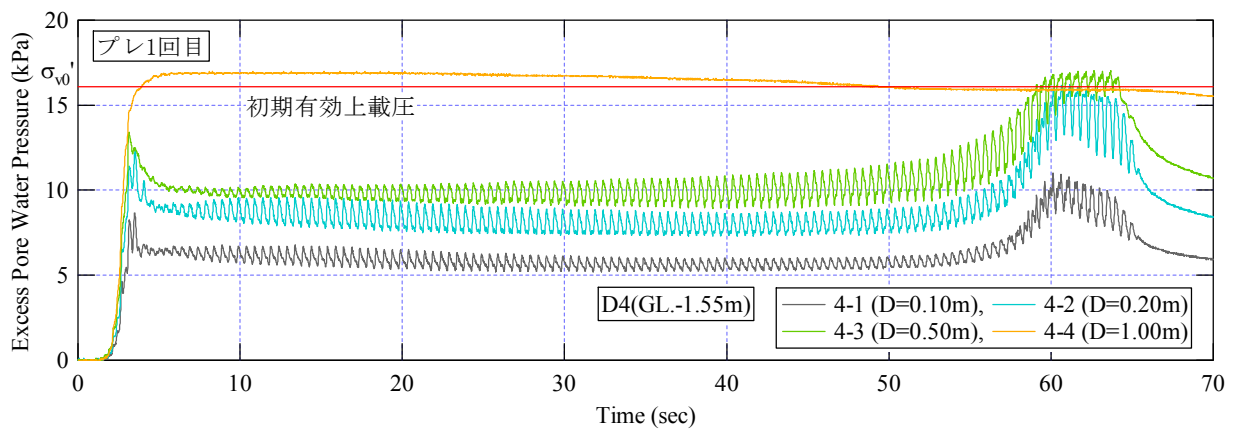


図 4.4.1(10) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

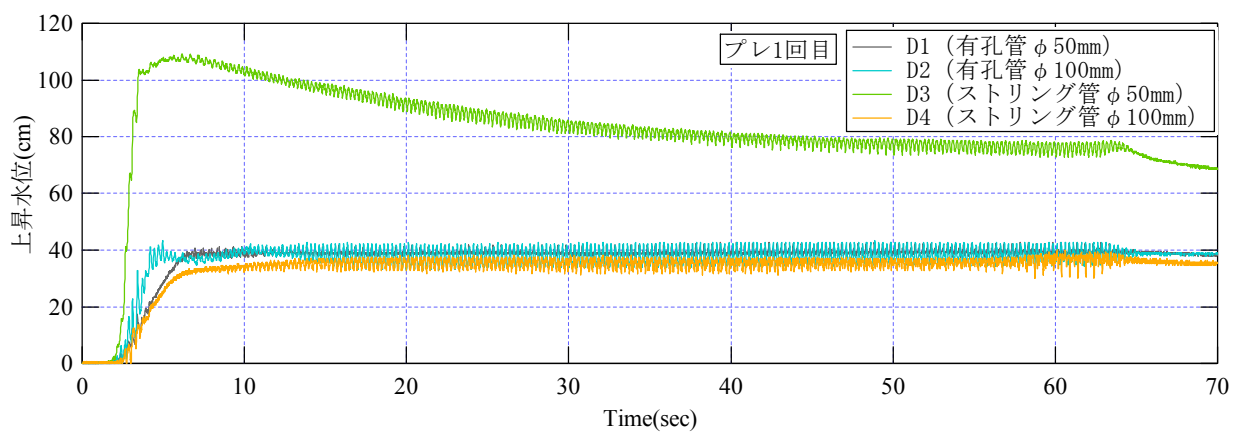


図 4.4.1(11) 1 回目ドレーンパイプ内水位

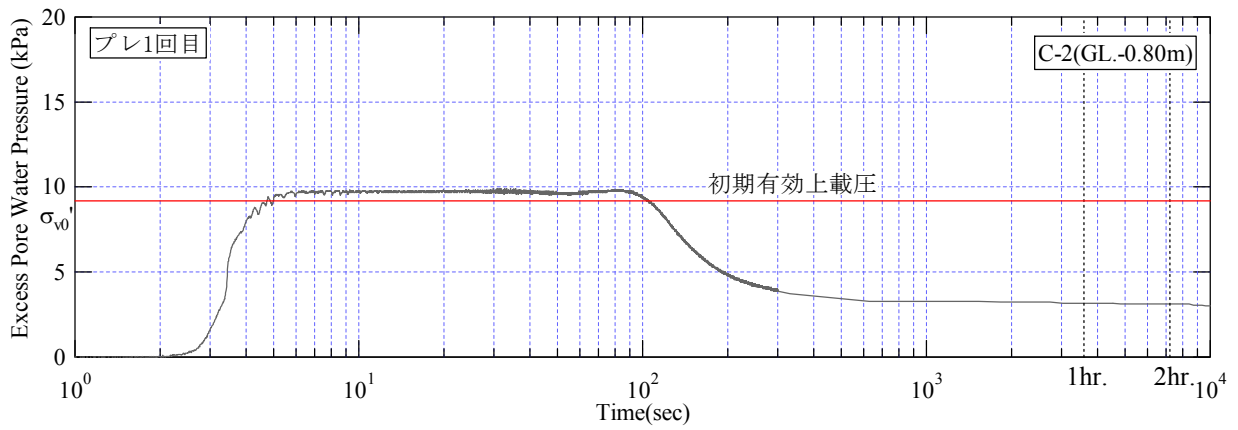


図 4.4.1(12) 1 回目過剰間隙水圧 (土槽中央部, GL.-0.80m)

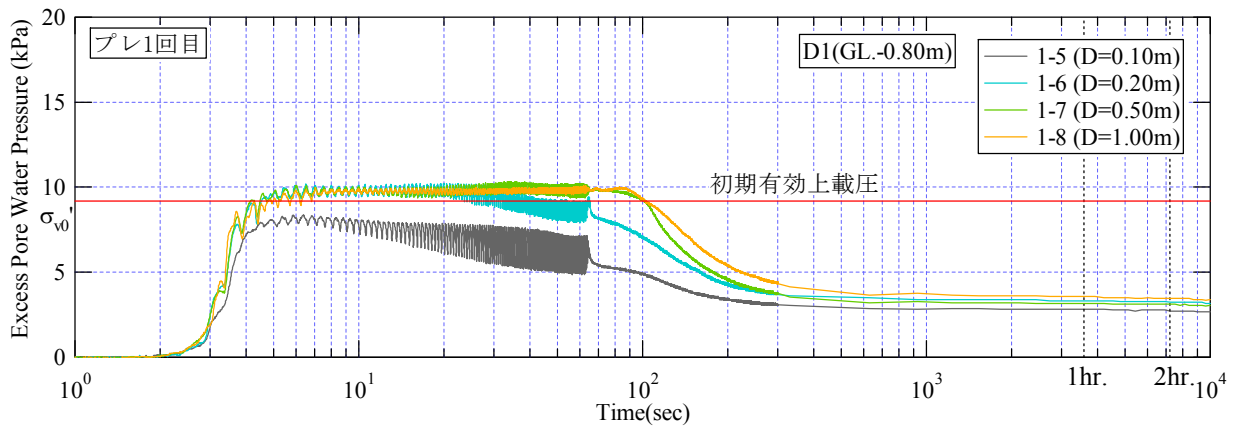


図 4.4.1(13) 1 回目過剰間隙水圧 ( $\phi$  100mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)

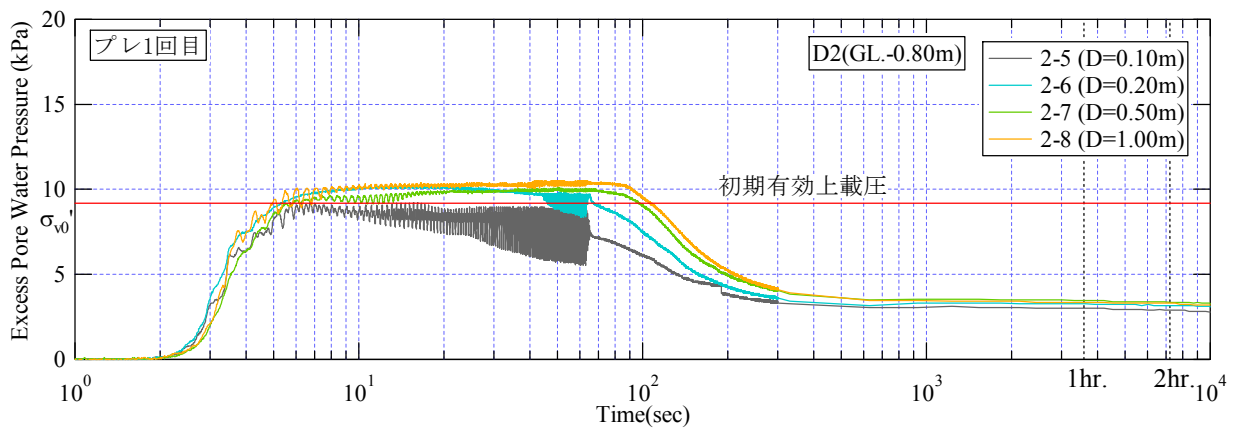


図 4.4.1(14) 1 回目過剰間隙水圧 ( $\phi$  50mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)

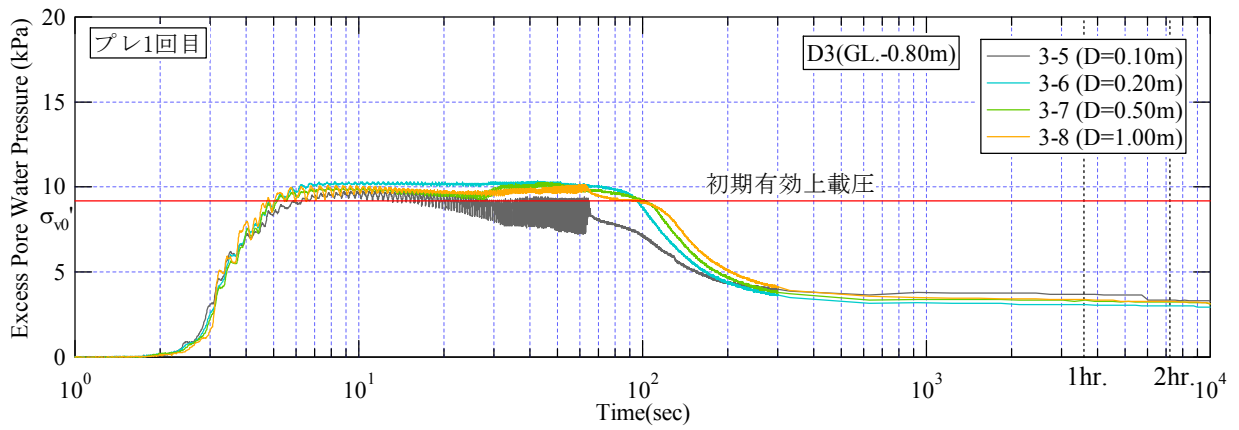


図 4.4.1(15) 1回目過剰間隙水圧 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)

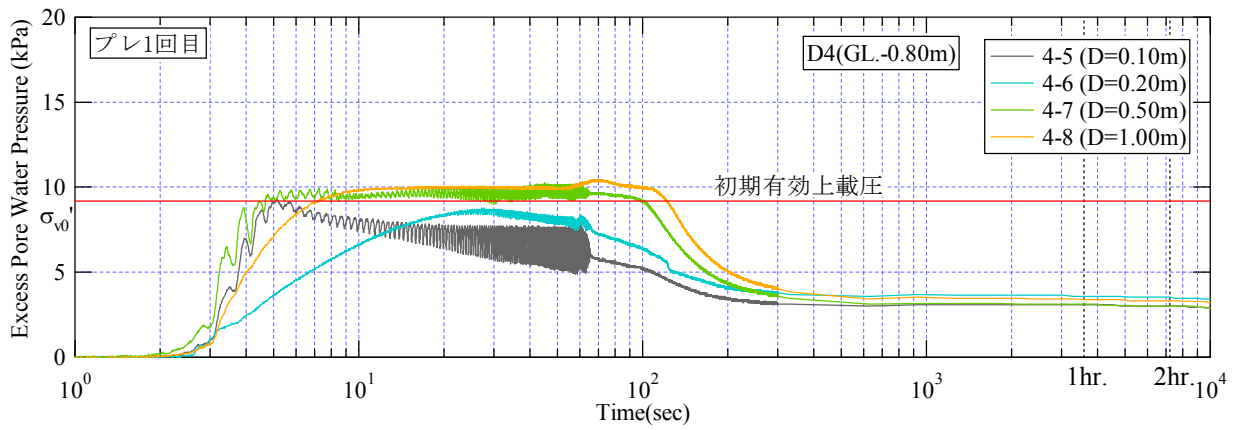


図 4.4.1(16) 1回目過剰間隙水圧 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)



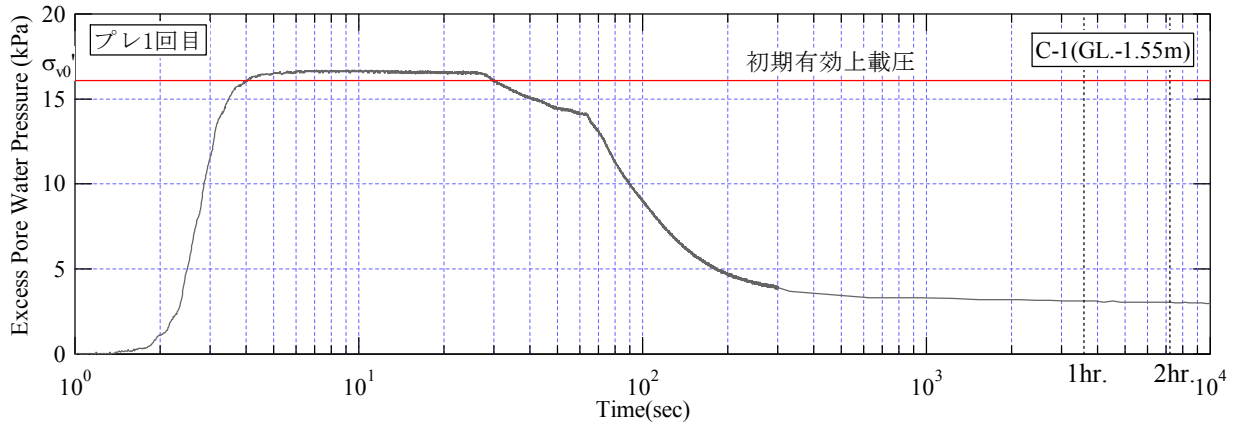


図 4.4.1(17) 1 回目過剰間隙水圧 (土槽中央部, GL.-1.55m)

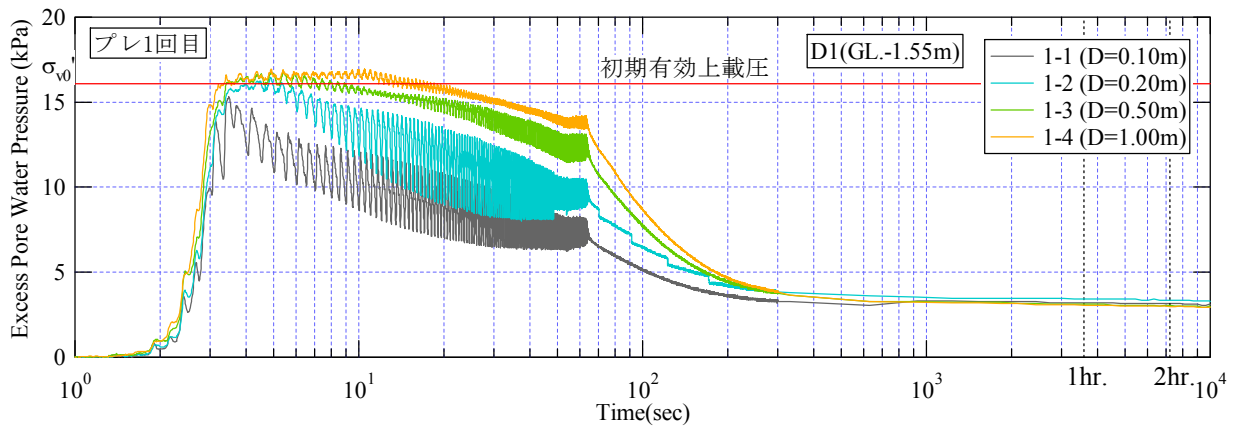


図 4.4.1(18) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 100mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

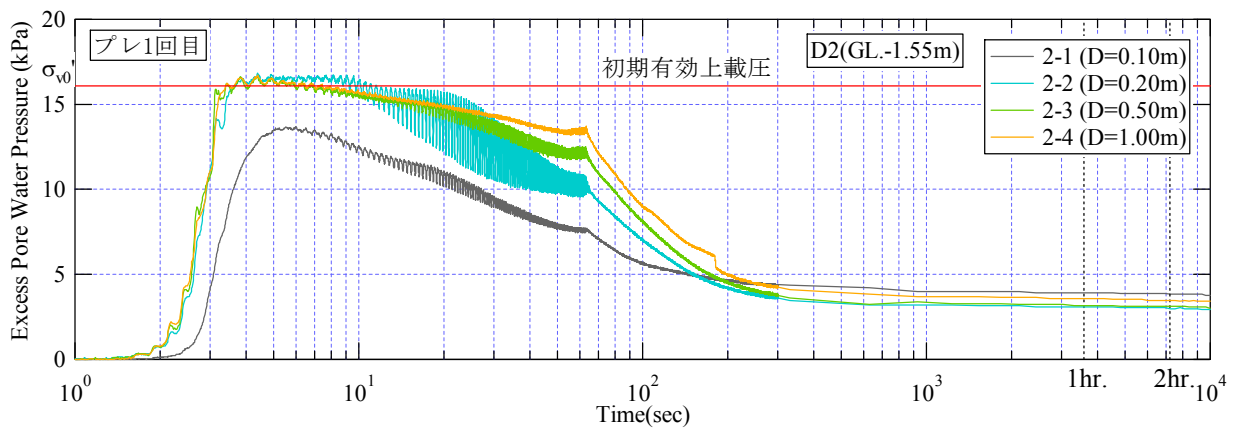


図 4.4.1(19) 1 回目過剰間隙水圧 (φ 50mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

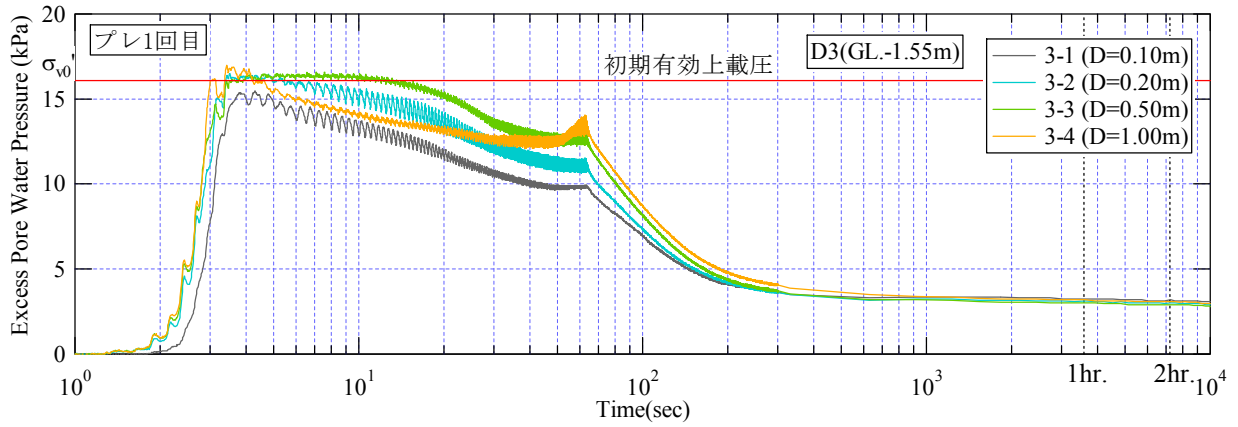


図 4.4.1(20) 1回目過剰間隙水圧 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

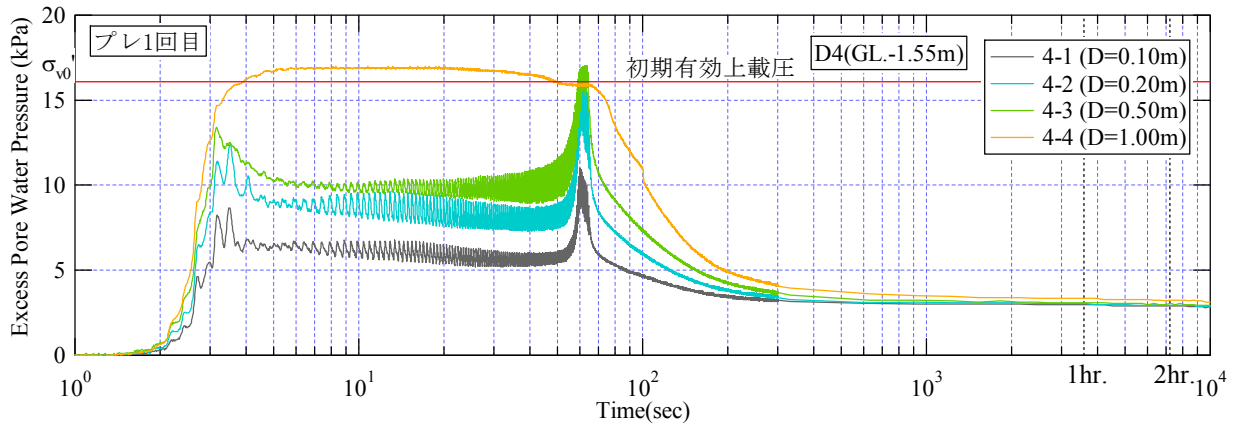


図 4.4.1(21) 1回目過剰間隙水圧 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

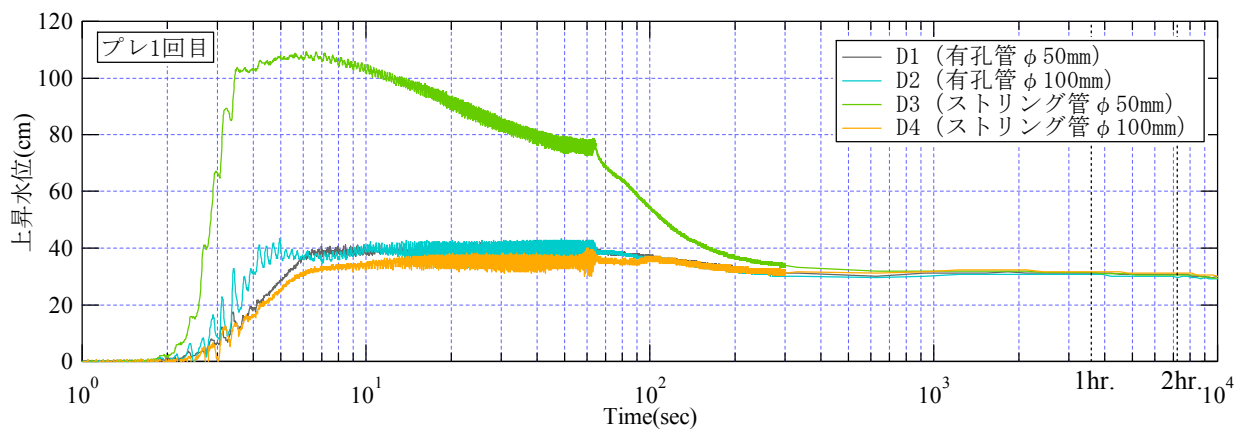


図 4.4.1(22) 1回目ドレーンパイプ内水位

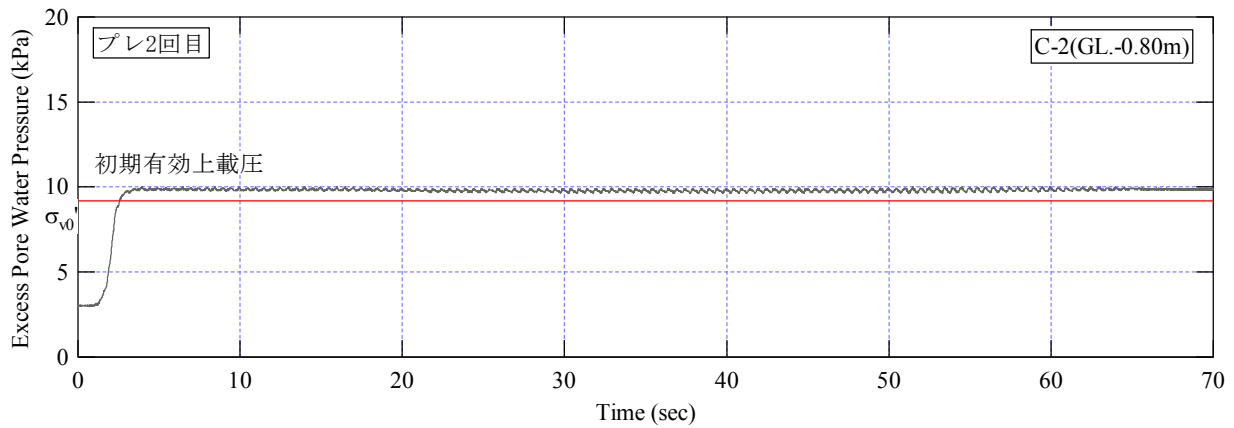


図 4.4.2(1) 2 回目過剰間隙水圧比 (土槽中央部, GL.-0.80m)

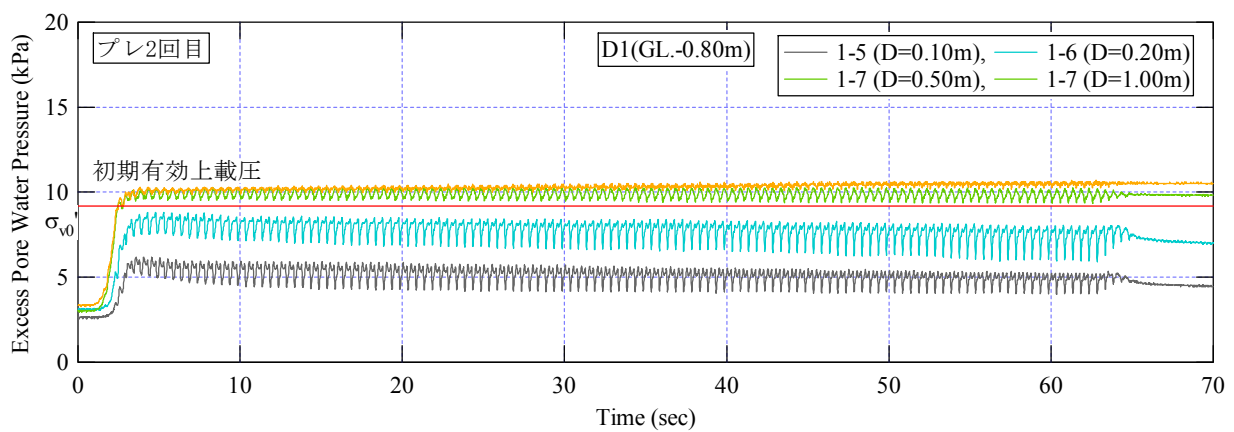


図 4.4.2(2) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 100mm 有孔塩ビ管, GL.-0.8m)

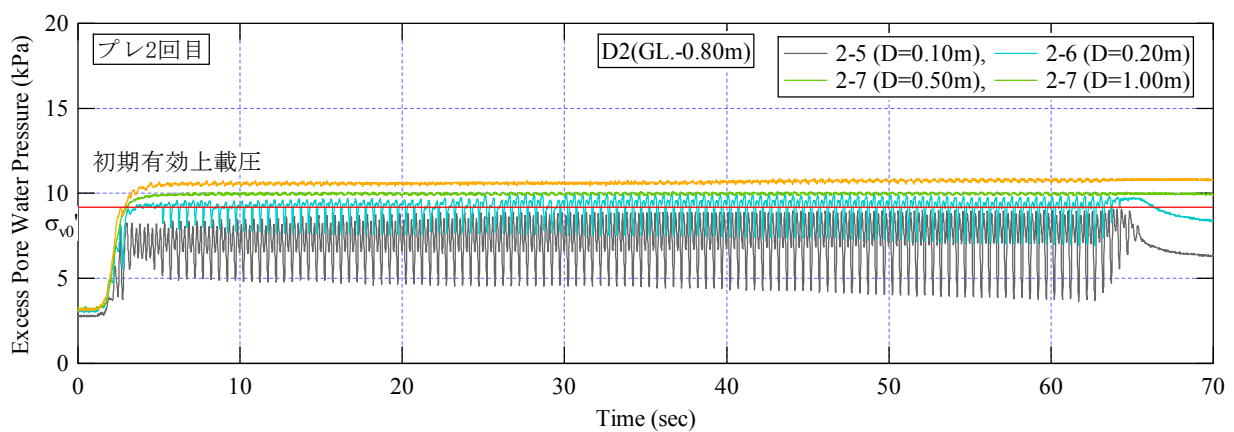


図 4.4.2(3) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 50mm 有孔塩ビ管, GL.-0.8m)

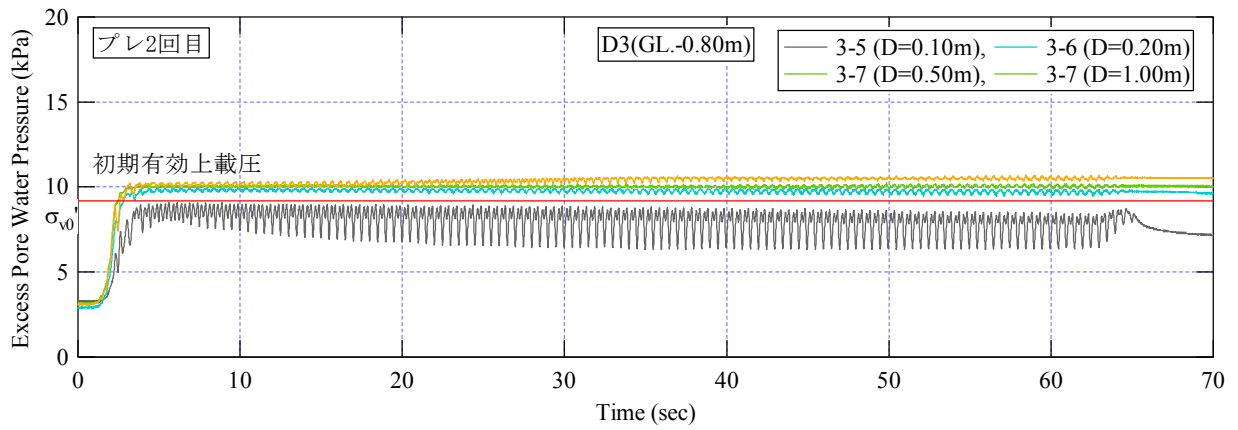


図 4.4.2(4) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)

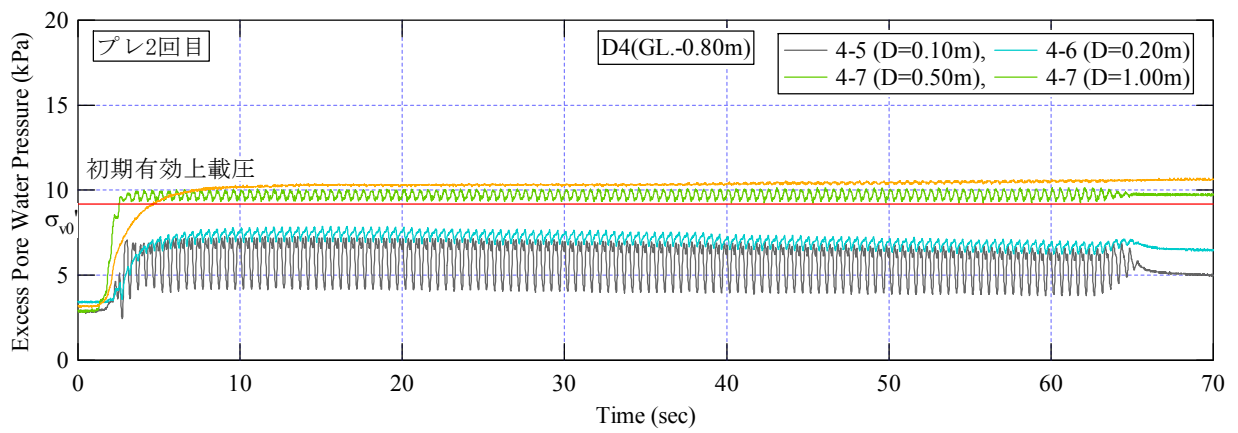


図 4.4.2(5) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-0.8m)

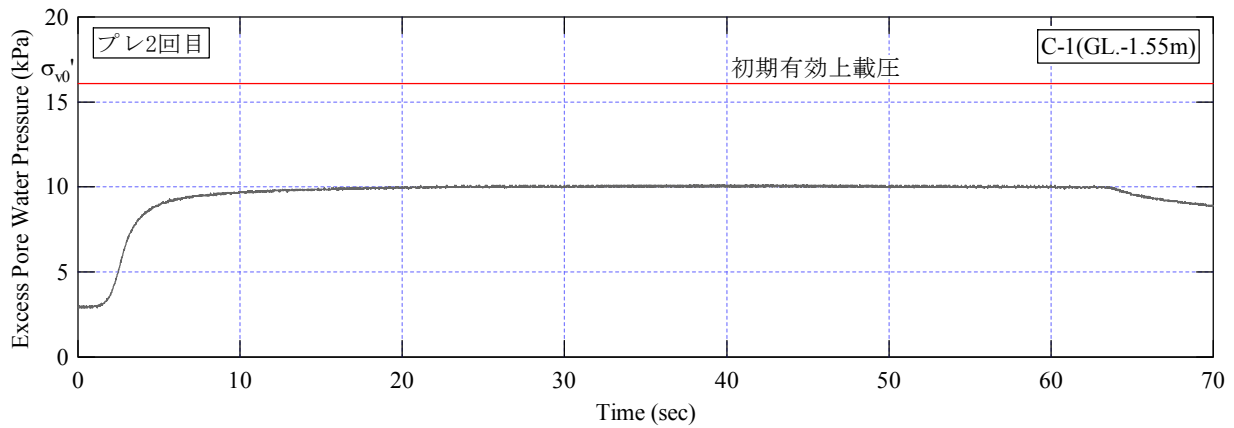


図 4.4.2(6) 2 回目過剰間隙水圧比 (土槽中央部, GL.-1.55m)

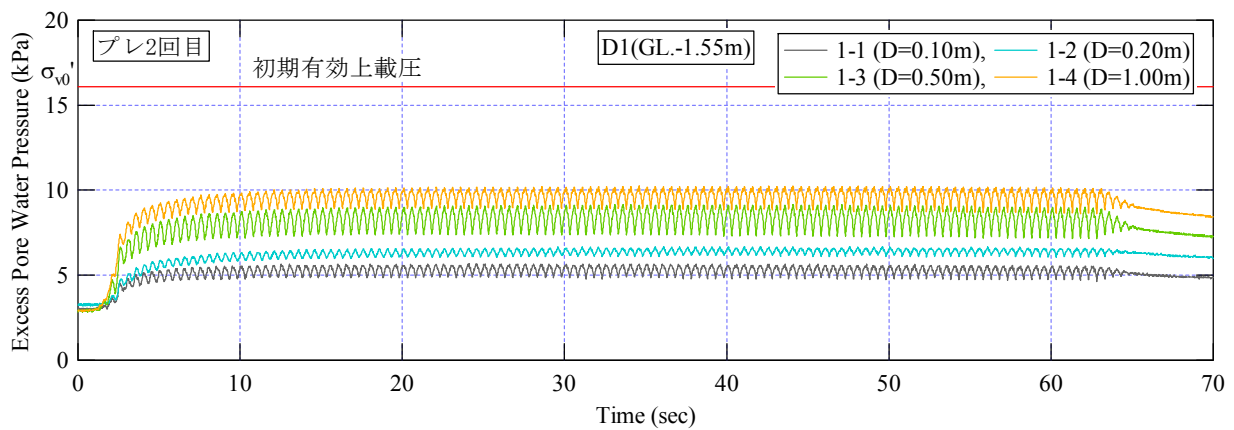


図 4.4.2(7) 2 回目過剰間隙水圧比 ( $\phi$  100mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

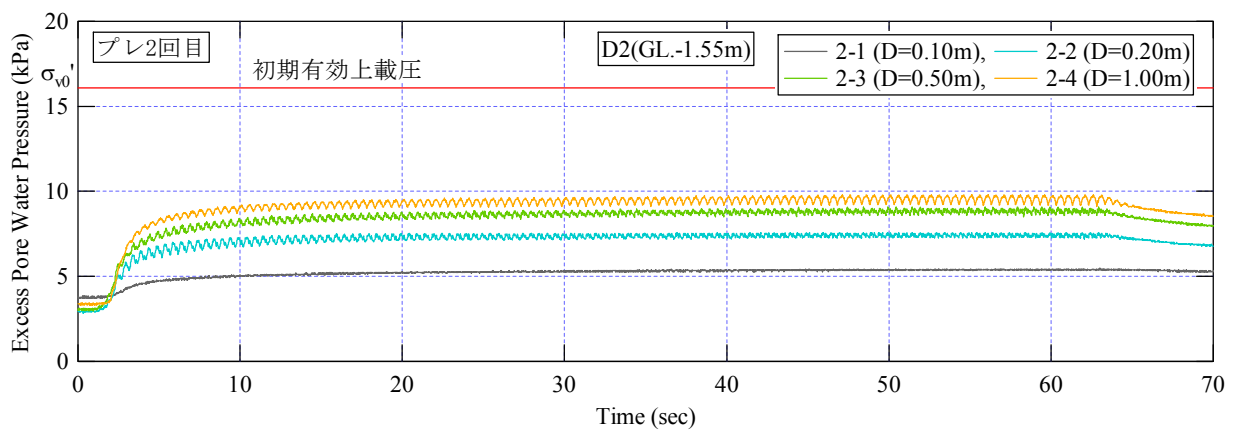


図 4.4.2(8) 2 回目過剰間隙水圧比 ( $\phi$  50mm 有孔塩ビ管, GL.-0.8m)

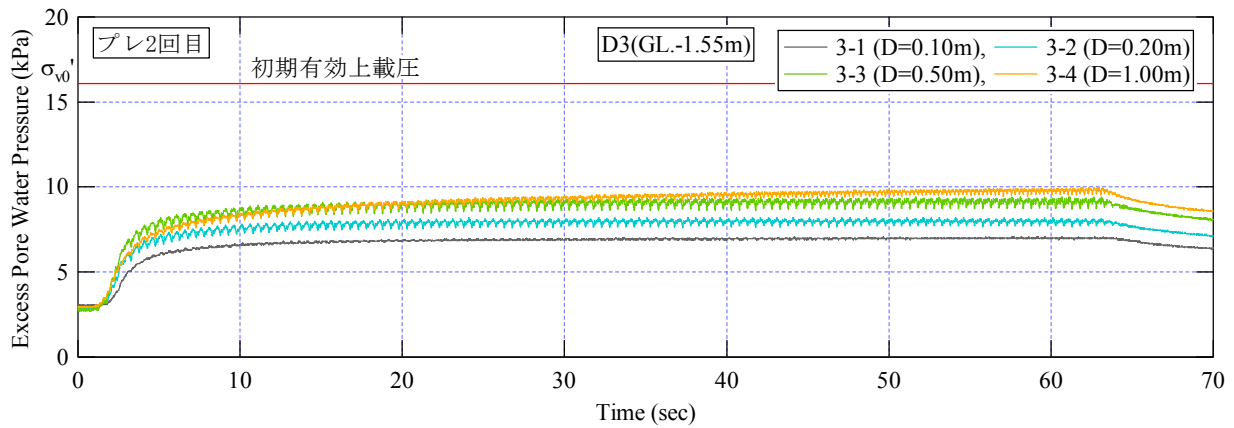


図 4.4.2(9) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

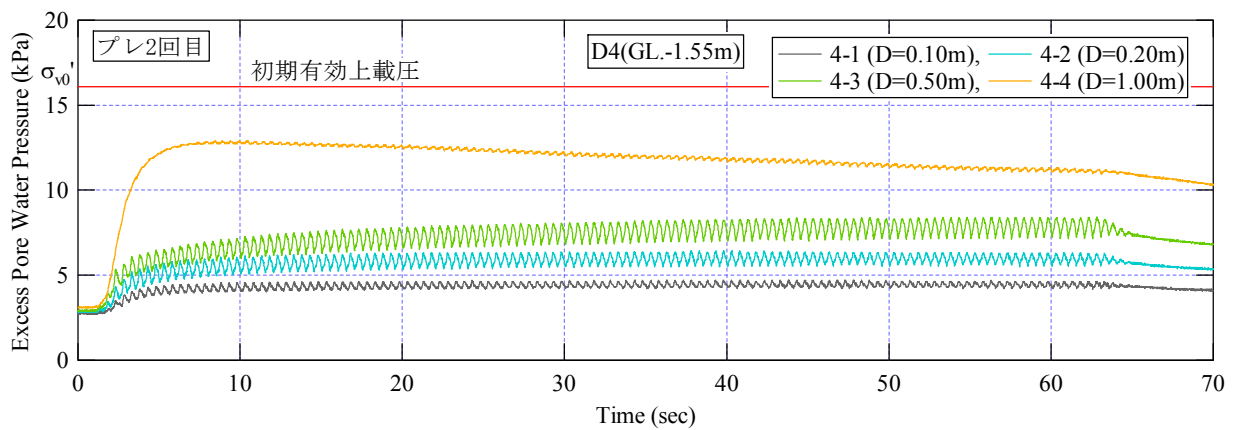


図 4.4.2(10) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

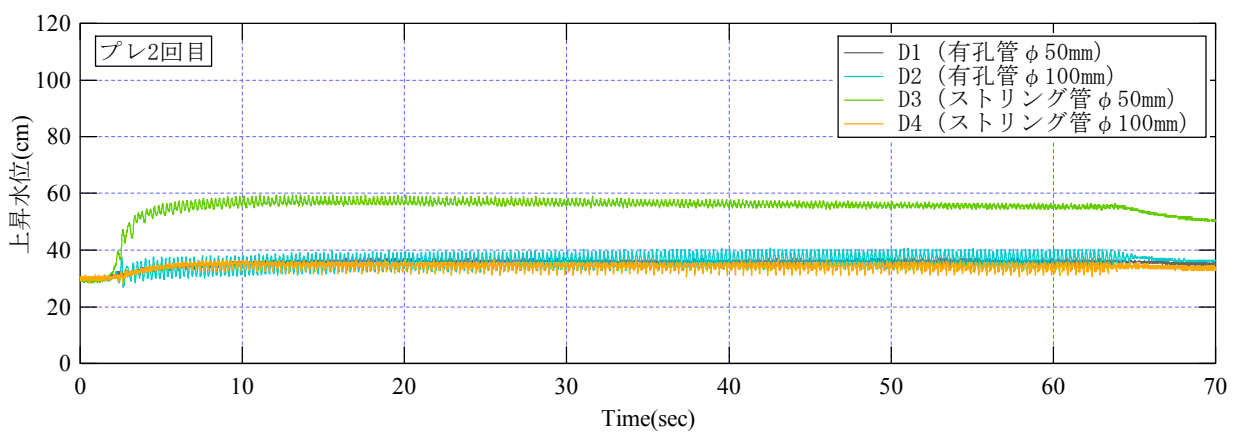


図 4.4.2(11) 2 回目ドレーンパイプ内水位

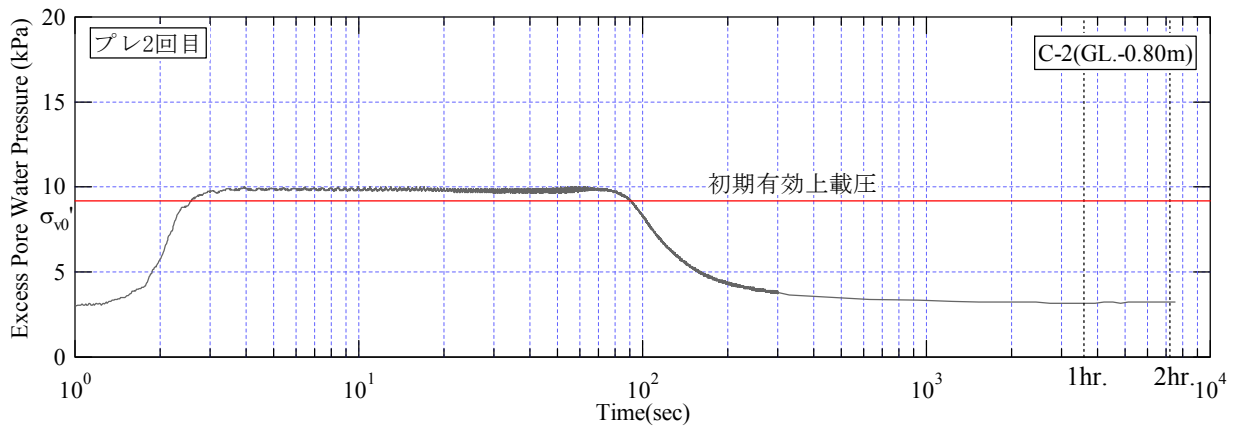


図 4.4.2(12) 2 回目過剰間隙水圧比 (土槽中央部, GL.-0.80m)

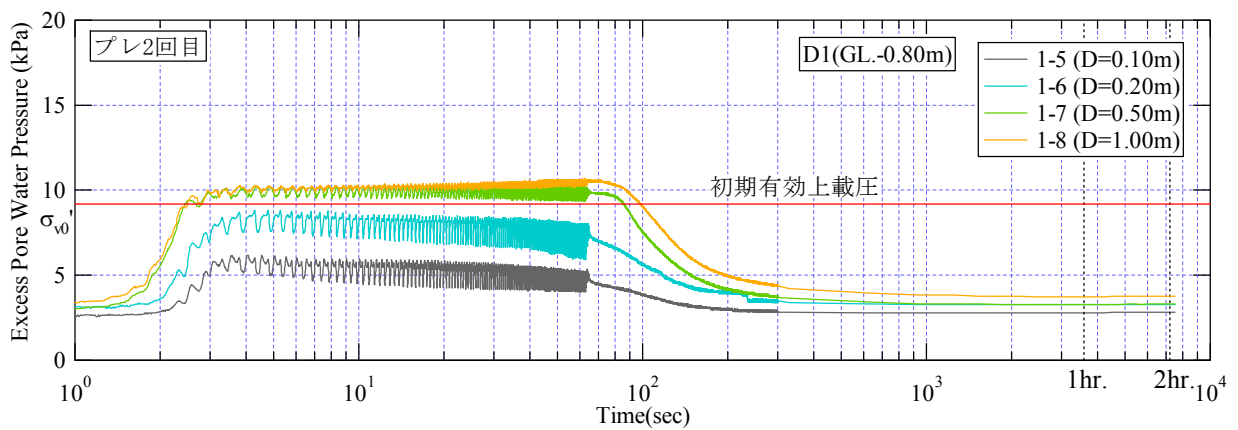


図 4.4.2(13) 2 回目過剰間隙水圧比 ( $\phi$  100mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)

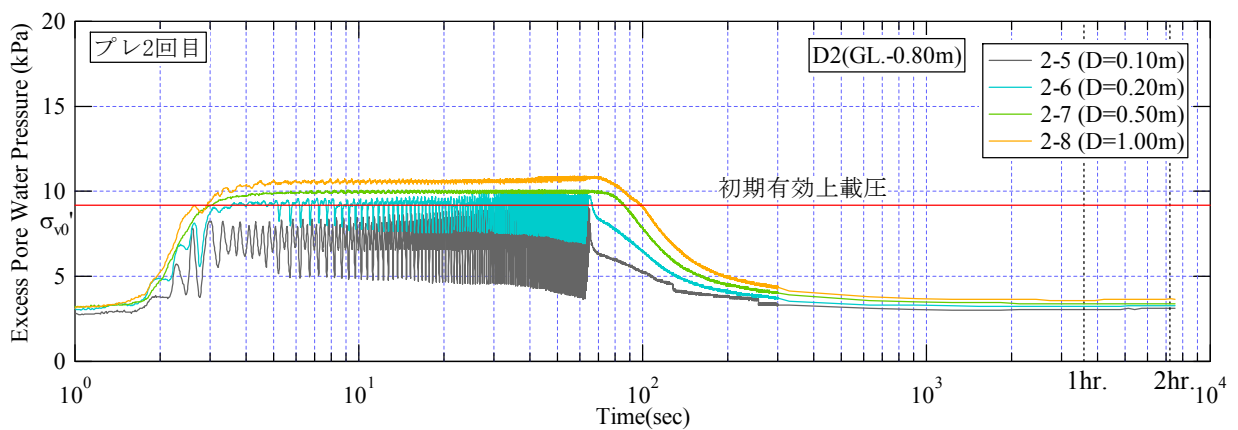


図 4.4.2(14) 2 回目過剰間隙水圧比 ( $\phi$  50mm 有孔塩ビ管, GL.-0.80m)

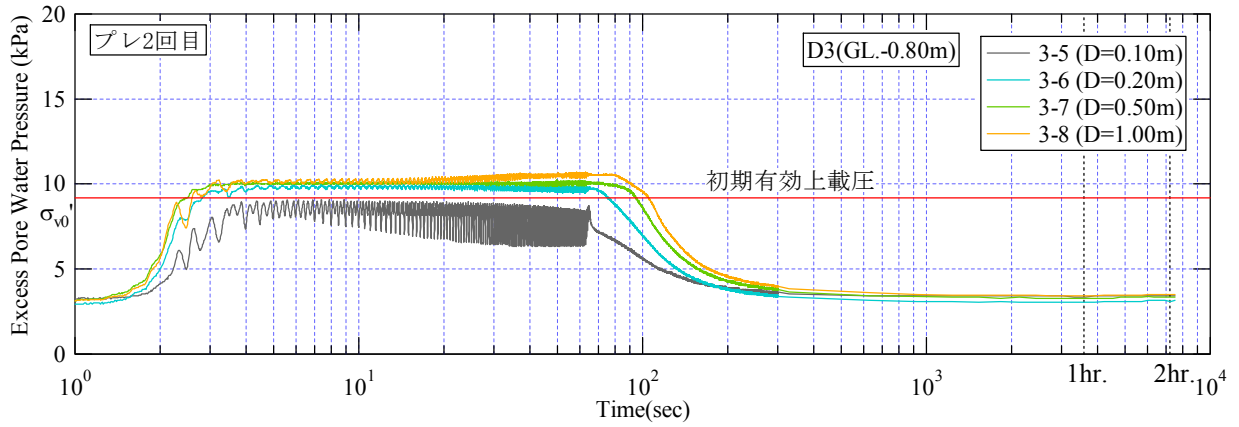


図 4.4.2(15) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-0.8m)

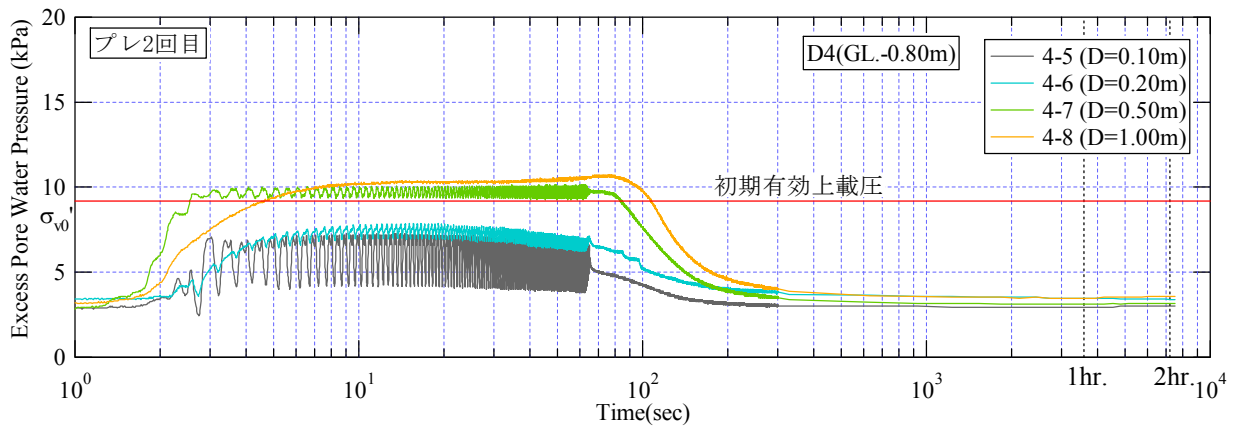


図 4.4.2(16) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-0.80m)



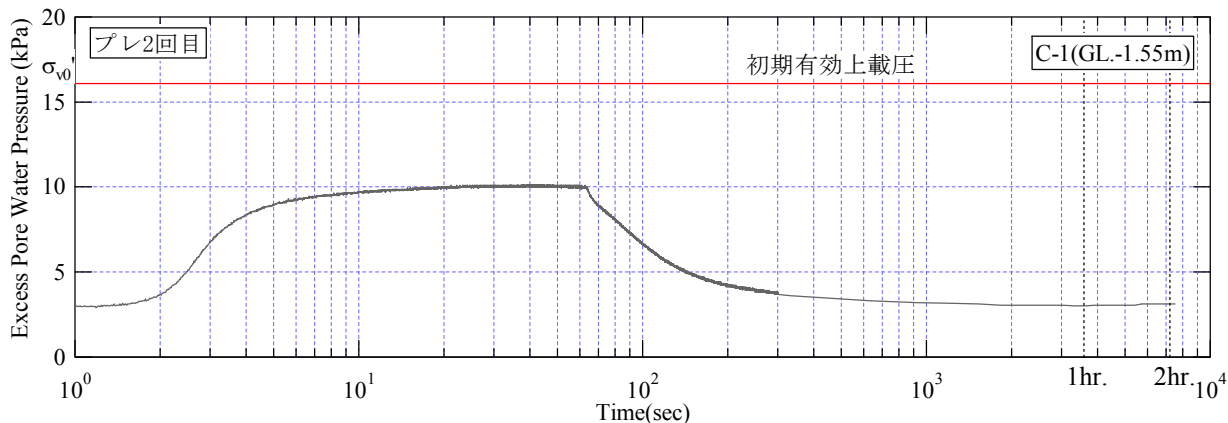


図 4.4.2(17) 2 回目過剰間隙水圧比 (土槽中央部, GL.-1.55m)

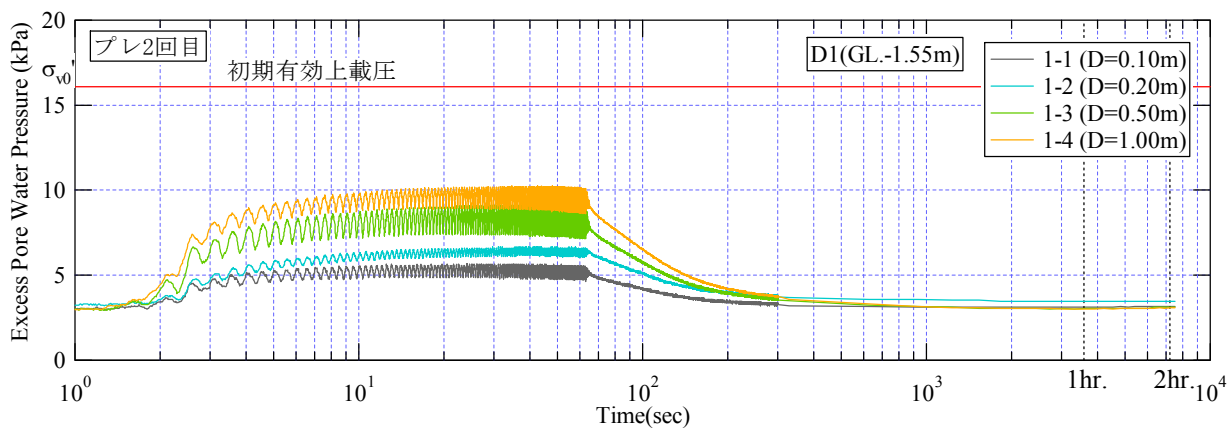


図 4.4.2(18) 2 回目過剰間隙水圧比 ( $\phi$  100mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

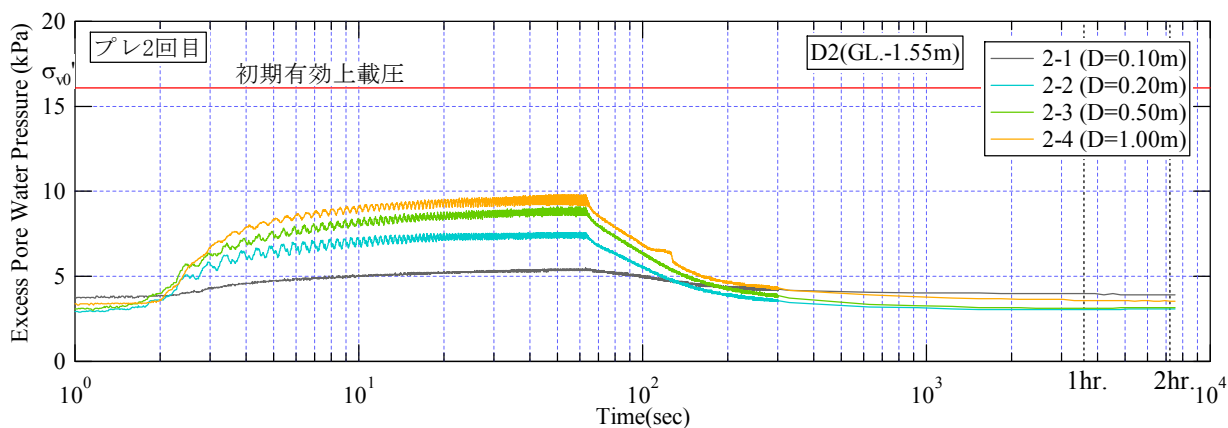


図 4.4.2(19) 2 回目過剰間隙水圧比 ( $\phi$  50mm 有孔塩ビ管, GL.-1.55m)

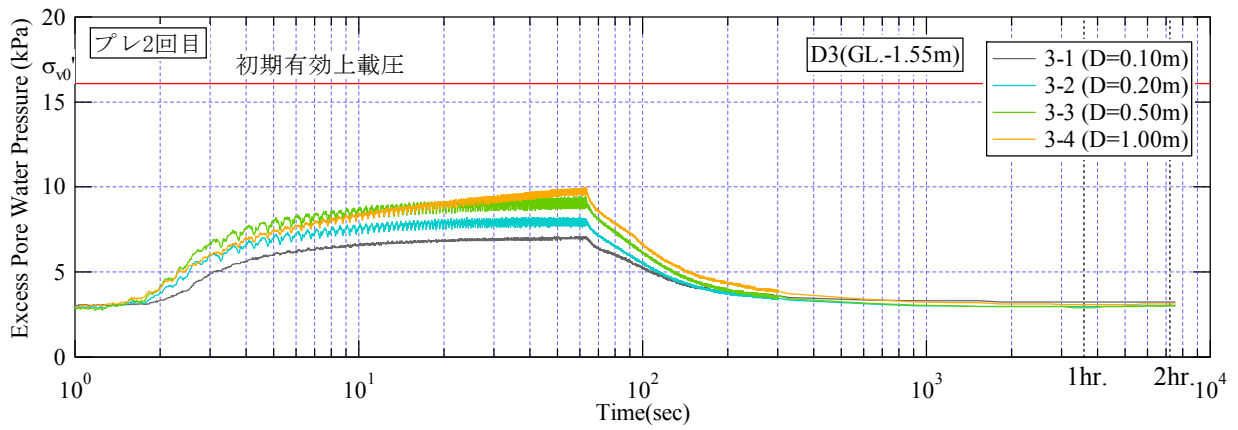


図 4.4.2(20) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 50mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

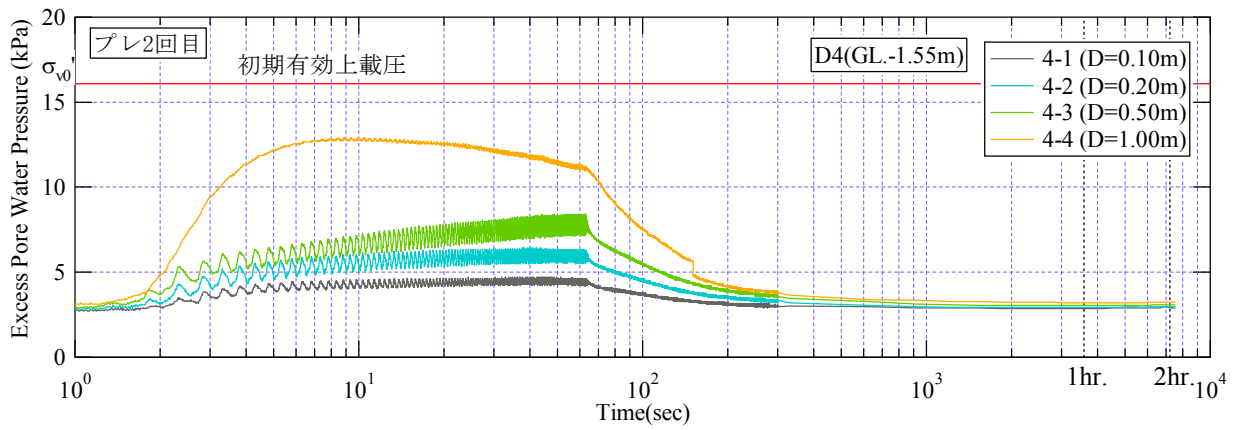


図 4.4.2(21) 2 回目過剰間隙水圧比 (φ 100mm 樹脂ストリング管, GL.-1.55m)

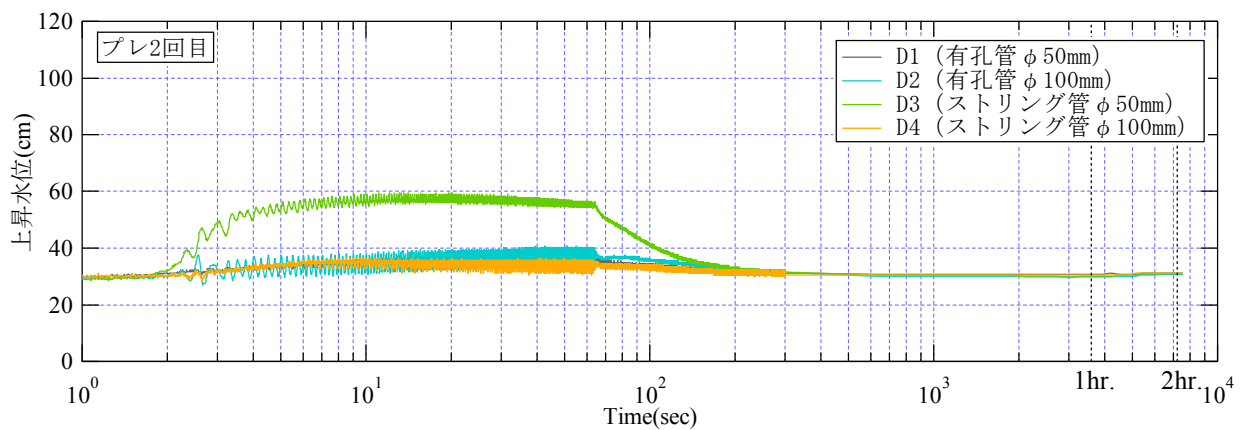


図 4.4.2(22) 2 回目ドレーンパイプ内水位

各加振実験の過剰間隙水圧比の最大値分布を図 4.4.3 に、1 回目の加振時の分布を図 4.4.4、2 回目の加振時の分布を図 4.4.5 に示す。

なお、過剰間隙水圧比の値は、過剰間隙水圧の加振時の変動値を補正するため、前後 50 個の隣接平均を取り、前述の初期有効上載圧 $\sigma_{v0}'$ で除して求めた。

過剰間隙水圧比最大値分布から、ドレーンパイプ近傍では、水圧比は 1 には達していないものの、ドレーンパイプ間中央の領域（無対策部）では、水圧比が 1 に達し、液状化したことがわかる。

また、1 回目加振時の分布より、無対策部では、GL.-1.55m の土槽下部より地表面方向に、過剰間隙水圧が上昇し、やがて地表面まで過剰間隙水圧比が 1 に達し、液状化の発生状況が確認された。

ドレーンパイプ近傍では、加振開始後から、水圧上昇が抑制され、加振時においても深さ GL.-1.55m の下部を中心に水圧が低減されることがわかる。

一方、2 回目の加振時分布では、無対策部の GL.-0.8m の上部を中心に水圧が上昇し、液状化が発生した。これは、地下水位が 1 回目の加振実験により地表面まで達しており、拘束圧の低い地表面部から液状化したものと考えられる。

ドレーンパイプ近傍では、1 回目と同様に GL.-1.55m の下部を中心に水圧が低減されていることが確認された。

これらの結果より、推定したドレーンパイプの効果範囲を表 4.4.4 に示す。

表 4.4.4 各種ドレーンパイプの水圧低減効果範囲

ドレーンパイプ種類		効果範囲	
		浅層部	深層部
D1	塩ビ有孔管（ $\phi$ 100mm）	10cm	20cm
D2	塩ビ有孔管（ $\phi$ 50mm）	0cm	10cm
D3	樹脂ストリング管（ $\phi$ 50mm）	0cm	20cm
D4	樹脂ストリング管（ $\phi$ 100mm）	20cm	50cm

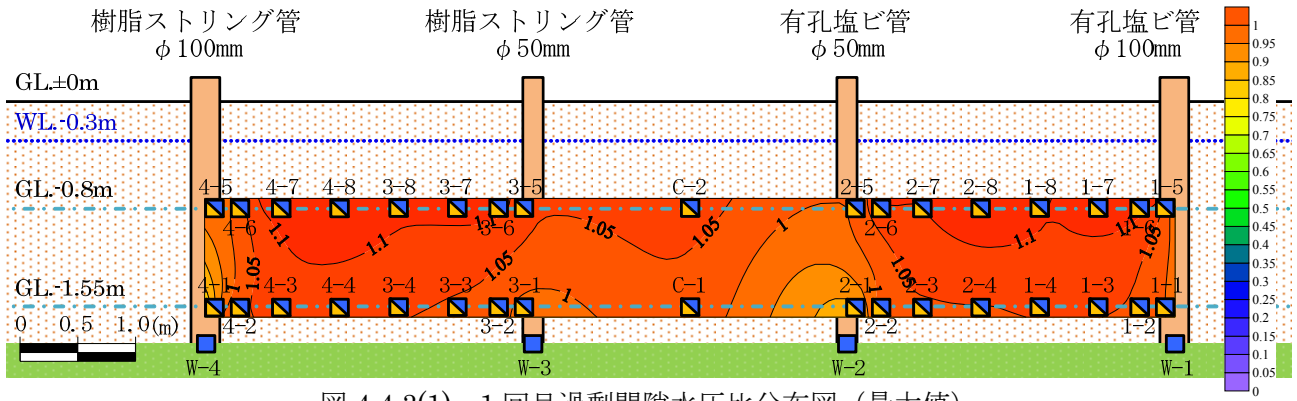


図 4.4.3(1) 1 回目過剰間隙水圧比分布図 (最大値)

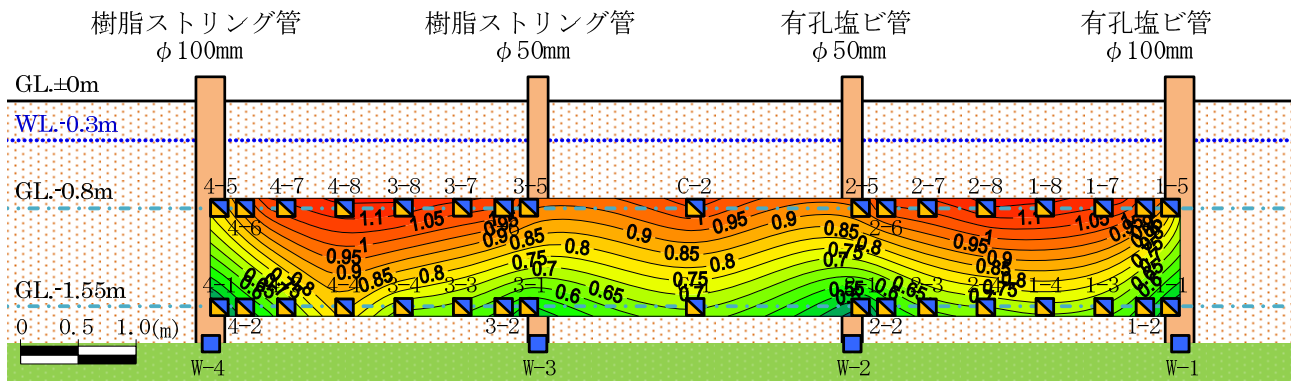


図 4.4.3(2) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (最大値)

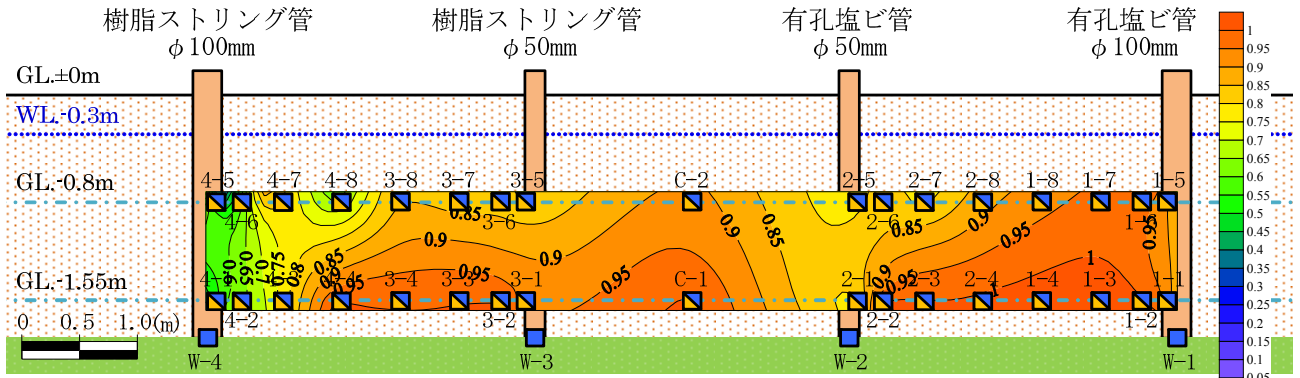


図 4.4.4(1) 1 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 4 秒後)

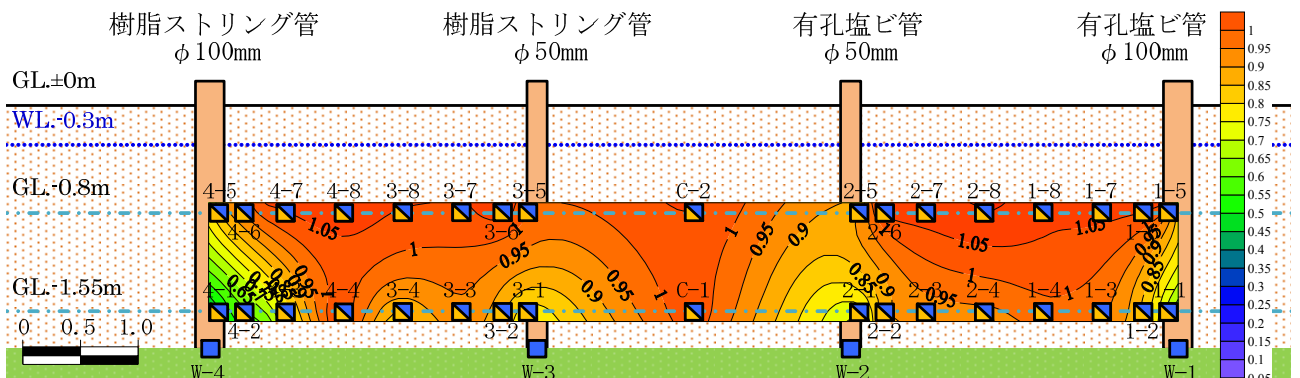


図 4.4.4(2) 1 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 20 秒後)

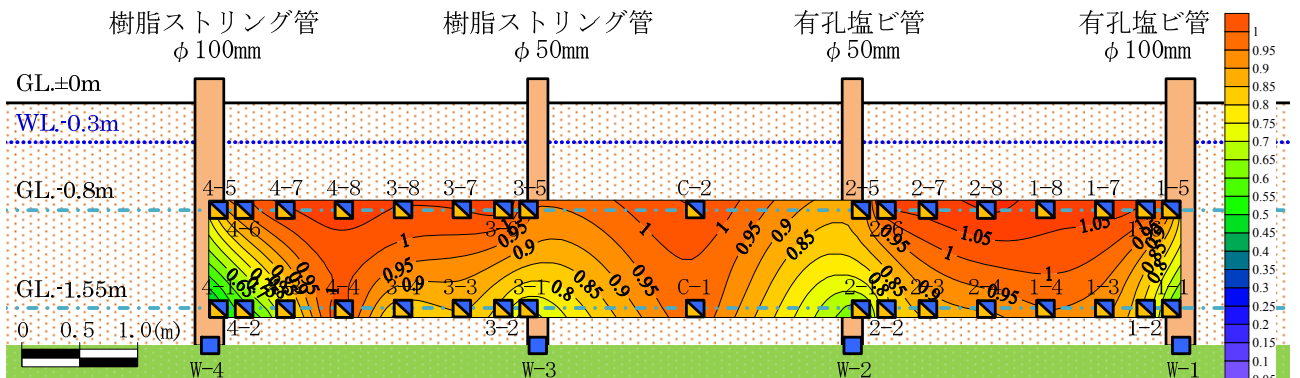


図 4.4.4(3) 1 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 30 秒後)

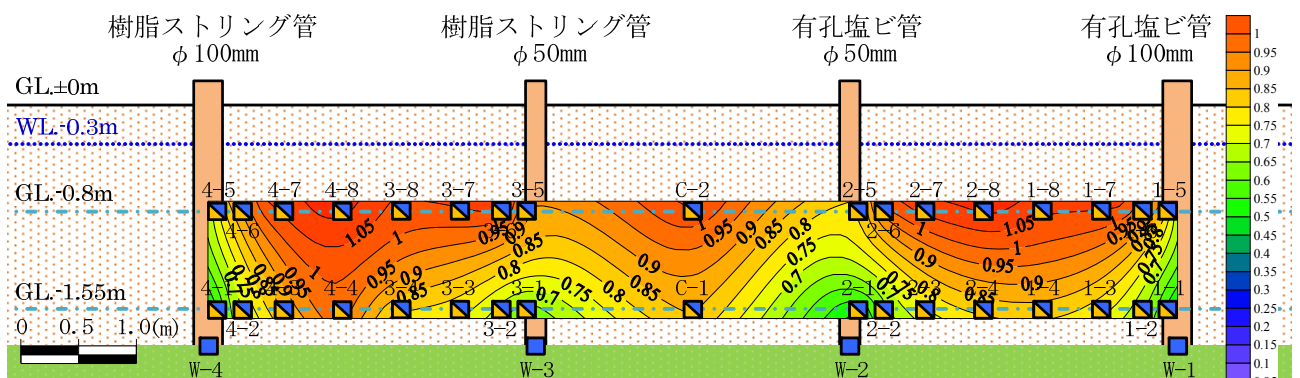


図 4.4.4(4) 1 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振終了後 ; 加振 66 秒後)

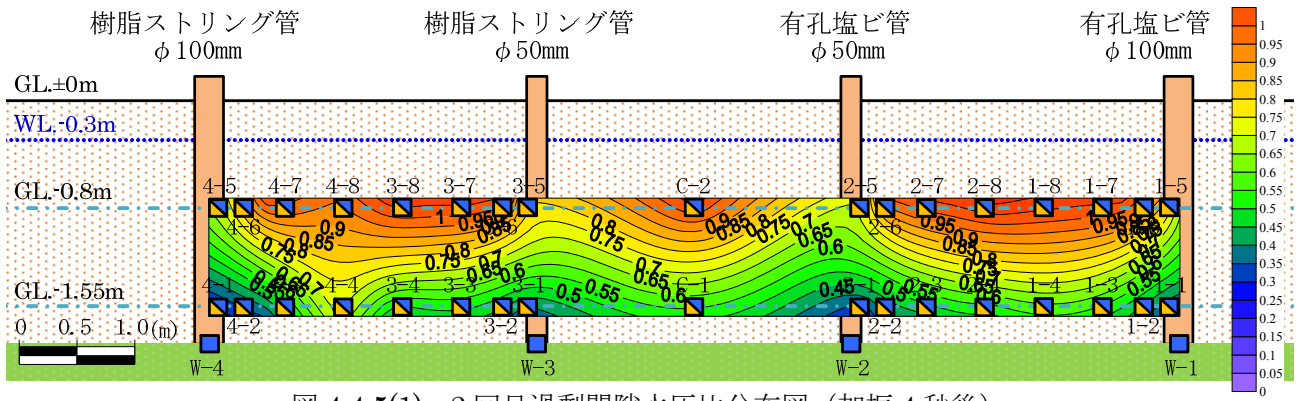


図 4.4.5(1) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 4 秒後)

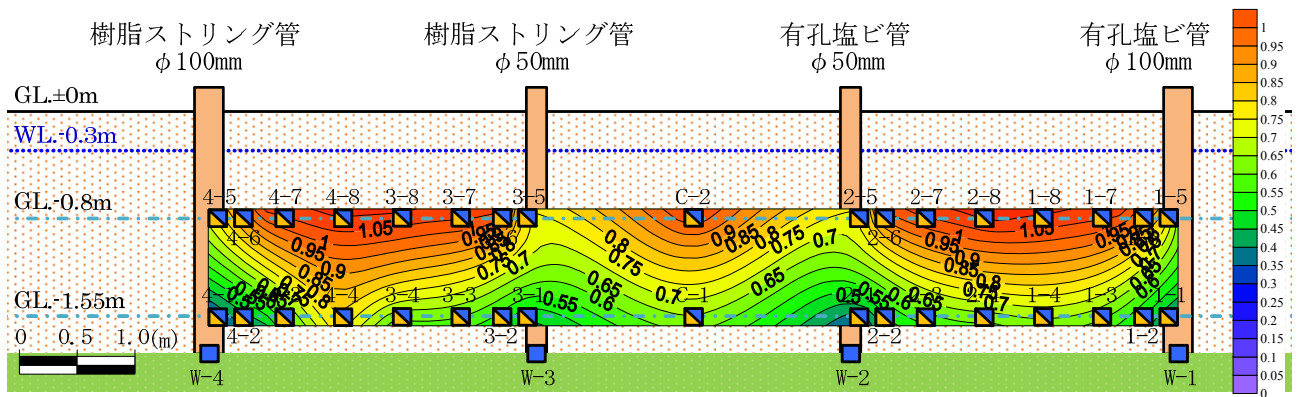


図 4.4.5(2) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 20 秒後)

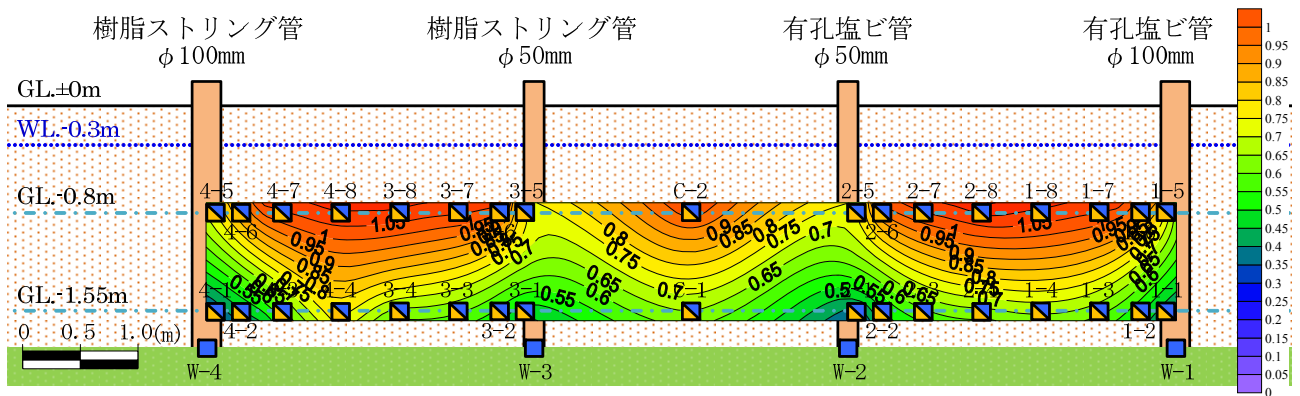


図 4.4.5(3) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 30 秒後)

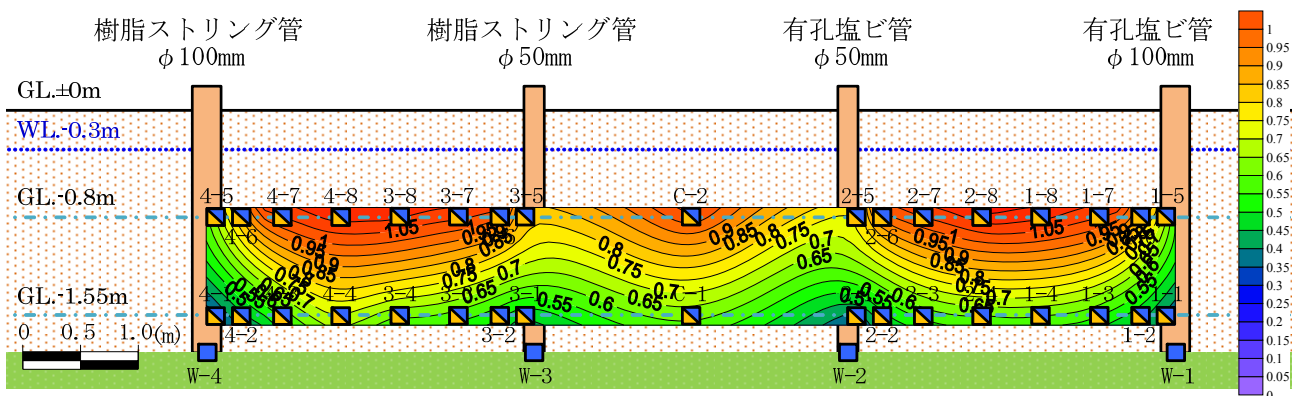


図 4.4.5(4) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振終了後 ; 加振 66 秒後)

#### 4.5 地表面沈下計測結果

加振後の地表面の沈下計測結果を表 4.5.1 に、沈下分布図を図 4.5.1 に示す。沈下の最大値は、1 回目、2 回目ともにφ100mm 樹脂ストリング管近傍で、1 回目 61mm、2 回目 116mm となった。沈下は、パイプドレーン間の領域で大きくなる傾向となった。

但し、ドレーンパイプ付近は、激しく噴砂が起きており、噴砂の影響により沈下が少なくなった可能性がある。

表 4.5.1 沈下計測結果 (単位 : mm, 沈下-, 隆起+)

計測位置	1 回目	2 回目	計測位置	1 回目	2 回目
1	-51	-88	14	-49	-81
2	-30	-57	15	-43	-74
3	-18	-65	16	-18	-45
4	-8	-63	17	-24	-70
5	-31	-73	18	-35	-86
6	-39	-93	19	-50	-98
7	-25	-83	20	-51	-104
8	-39	-95	21	-55	-116
9	-41	-63	22	-36	-83
10	-25	-61	23	-50	-81
11	-22	-56	24	-39	-59
12	-34	-74	25	-61	-78
13	-41	-97	-	-	-

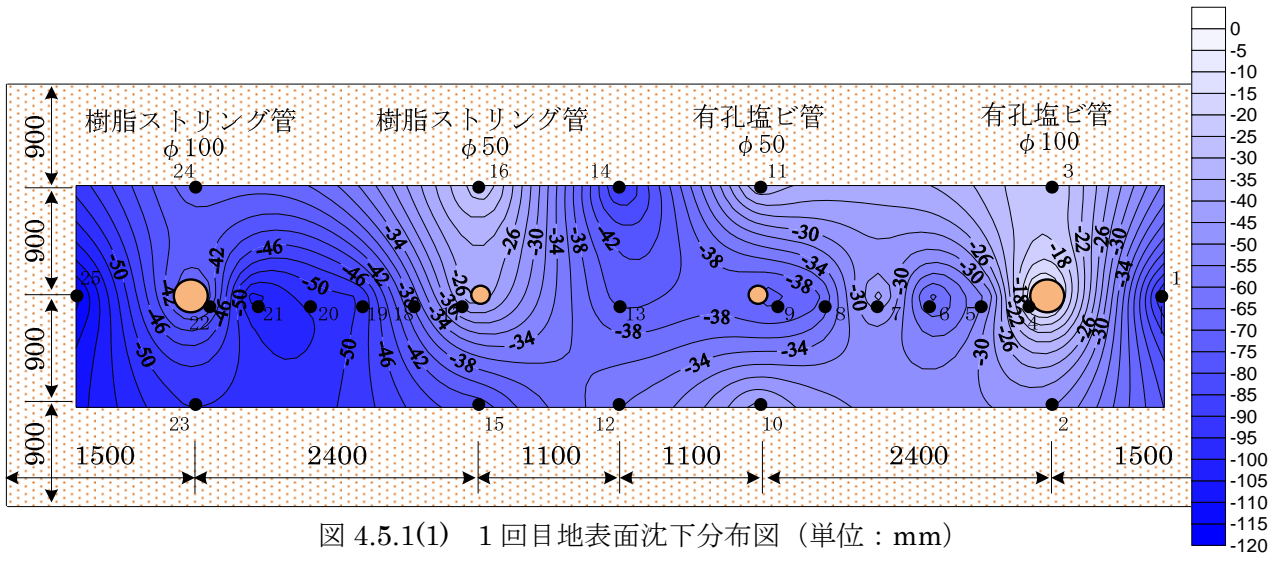


図 4.5.1(1) 1 回目地表面沈下分布図 (単位 : mm)

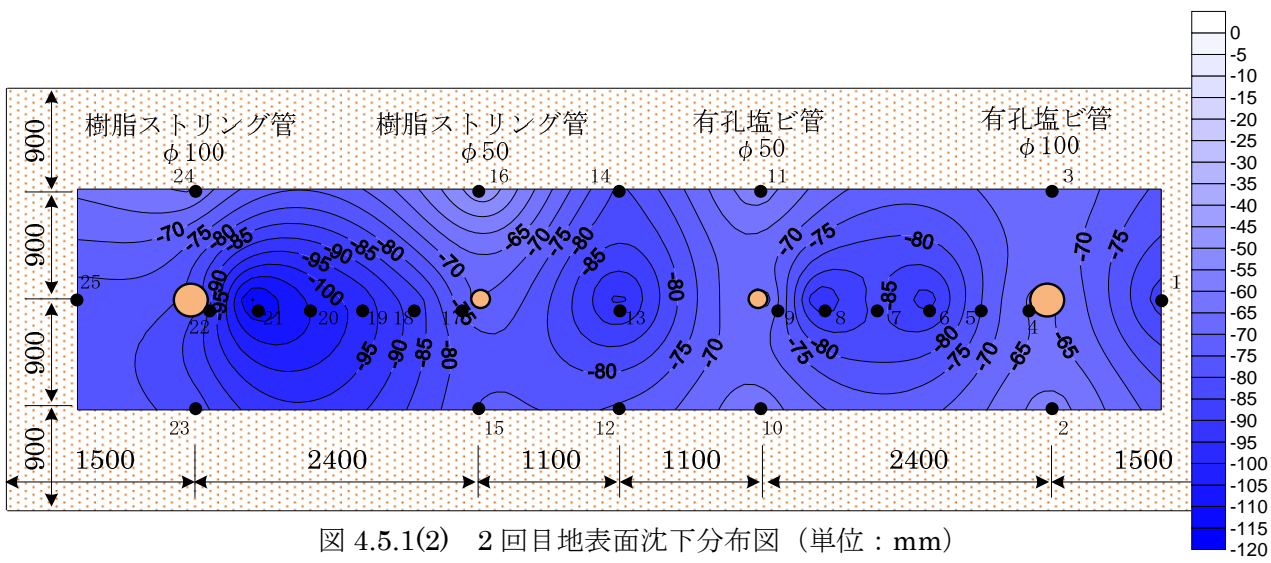


図 4.5.1(2) 2 回目地表面沈下分布図 (単位 : mm)



#### 4.6 スウェーデンサウンディング試験結果

スウェーデンサウンディング試験の結果を表 4.6.1 に示す。加振前，加振後でほとんど変化はみられないが，若干換算 N 値の値が，液状化後の砂地盤の再構築により，深度の浅いところでやや小さく，深いところでやや大きくなる傾向が見られた。

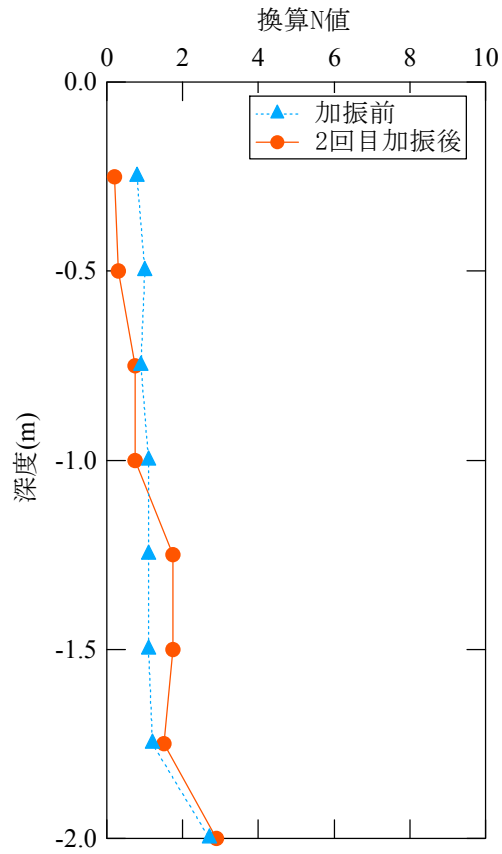


図 4.6.1 スウェーデンサウンディング試験結果

## 4.7 プレ加振実験まとめ

### 実験結果

- ・ プレ実験 1 回目（地盤条件：Dr=53%，スウェーデンサウンディング試験換算 N 値 1 程度，地下水水位 GL.-0.3m，入力動：最大加速度 75gal，sin 波，2Hz，120 波）は，加振直後からドレーンパイプより噴水が発生した後，試験地盤周辺からも噴砂が発生し，地盤の液状化現象が観測された。加振後の地表面沈下量は，平均 37mm，土槽端部付近で最大 61mm となった。
- ・ プレ加振 2 回目（地盤条件：不明，但し，地下水水位は地表面付近，入力動：1 回目と同じ）では，1 回目と同様に加振直後から地表面から噴砂が観測され，地盤の液状化現象が見られた。加振後の地表面沈下は，平均 78mm（1，2 回目積算値），直径 100mm の樹脂ストリングパイプ近傍で最大 116mm（1，2 回目積算値）となった。

### ドレーンパイプの効果

- ・ 図 4.4.1，図 4.4.2 より，ドレーンパイプ近傍の過剰間隙水圧は，無対策部と比較すると，同じ深度では，ドレーンパイプに近いほど過剰間隙水圧が小さくなり，水圧が上昇しにくい傾向が見られた。また，ドレーンパイプの仕様により，その値に差が生じることが確認された。
- ・ 加速度波形結果から，地盤の液状化により地盤が軟化し，液状化層より浅部では地盤の応答か速度が小さくなる現象が観測された。また，ドレーンパイプ近傍箇所は時間の経過とともに加速度が大きくなっており，これはドレーンパイプの排水により地盤のせん断剛性が回復したためと考えられる。
- ・ 地表面沈下は，ドレーンパイプの近傍で大きくなる傾向が見られた。
- ・ 図 4.4.4 および図 4.4.5 より，下記の範囲でドレーンパイプによる過剰間隙水圧の抑制効果があった。

表 4.7.1 各種ドレーンパイプ過剰間隙水圧抑制効果範囲

ドレーンパイプ種類	液状化層浅部	液状化層深部
	GL.-0.8m	GL-1.55m
樹脂ストリング管（φ 50mm）	0cm	20cm
樹脂ストリング管（φ 100mm）	20cm	50cm
塩ビ有孔管（φ 50mm）	0cm	10cm
塩ビ有孔管（φ 100mm）	10cm	20cm

## 5 初期状態のセット

### 5.1 ドレーンパイプの埋込み

図 5.1.1 に、主実験の概要図を示す。

主実験では、柱状ドレーンを用いた水抜き工法の液状化抑制効果を実規模振動台実験により定量的に計測し、その効果を確認することを目的とし、実験では実物大規模の試験体を構築し、下記の 3 領域の排水効果について、ドレーンパイプによる液状化対策効果の調査を行った。

【領域①】 ドレーンパイプ 1 本の性能調査

【領域②】 複数ドレーンパイプの性能調査

【領域③】 ドレーンパイプの住宅基礎模型対策調査

なお、ドレーンパイプの規格選定および配置計画は、2.2 章を参照のこと。主実験のドレーンパイプは、プレ加振実験の排水効果の結果をふまえ直径 100mm の樹脂ストリング管を用いた。

写真 5.1.1 から写真 5.1.6 に、ドレーンパイプの埋め込み状況を示す。ドレーンパイプは、所定の位置に、25cm 根入れし設置を行った。ドレーンパイプの底は専用の底蓋を使用し、ドレーンパイプの継足しは、専用のジョイントを使用した。また、地盤作成時は、ドレーンパイプの位置がずれるのを防ぐため、端部を木だこを用いて締め固めを行いながら地盤の盛り立てを行った。

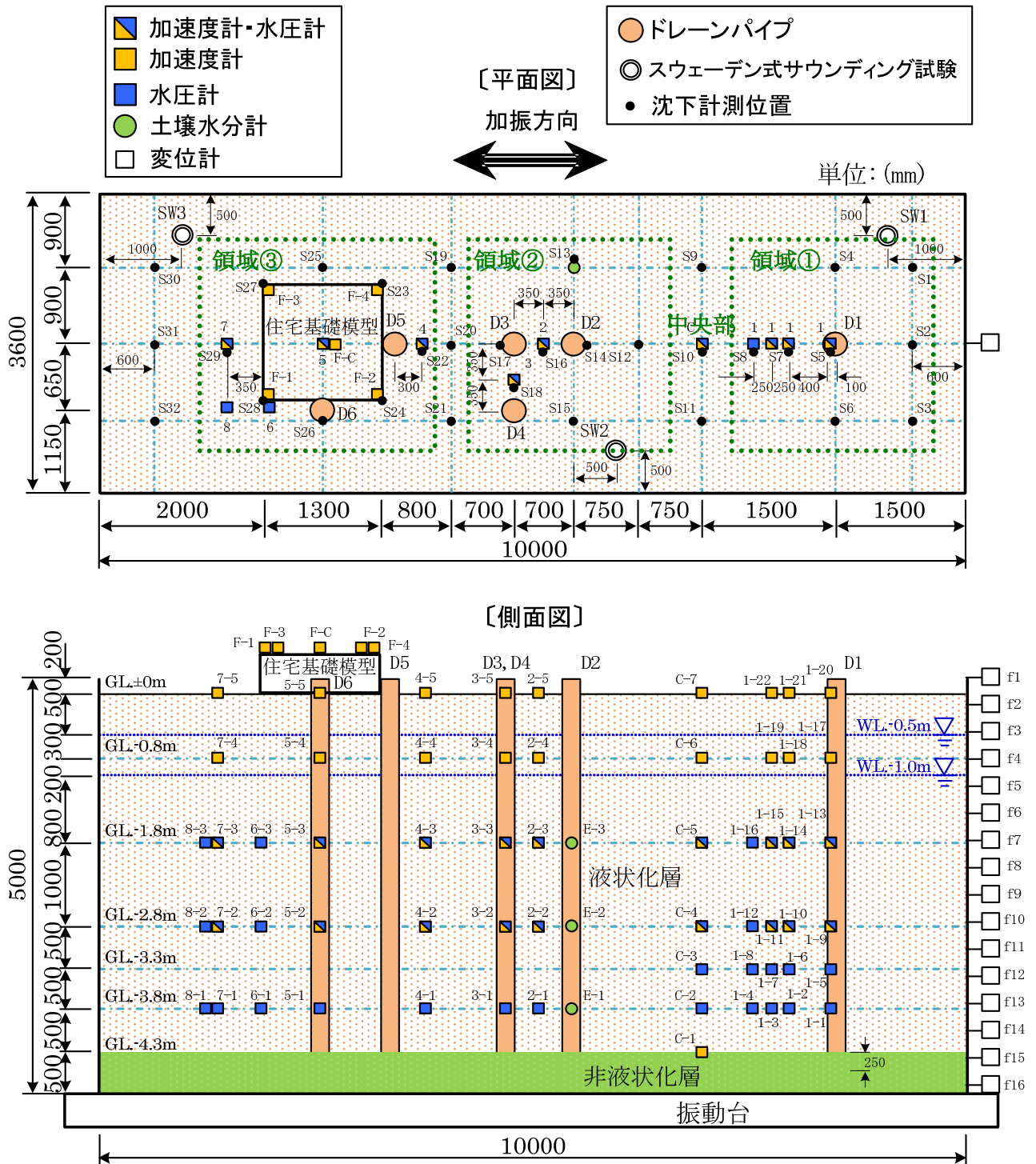


図 5.1.1 主実験概要図



写真 5.1.1 位置出し根入れ掘削状況



写真 5.1.2 埋め込み状況



写真 5.1.3 埋め込み完了状況 1



写真 5.1.4 埋め込み完了状況 2



写真 5.1.5 ドレインパイプ底蓋



写真 5.1.6 ドレインパイプジョイント

## 5.2 住宅基礎模型の設置

主実験では、ドレーンパイプの住宅対策効果を調べるため、コンクリート製の住宅基礎模型（寸法：幅 1,300mm×1,300mm，高さ 500mm，重量：約 2.2tf（22kN，13kN/m<sup>2</sup>）の設置を行った。

住宅基礎模型には、沈下の量が一目でわかるよう、5cm 毎に水平に標を設けた。

設置にあたっては、基礎の傾きがないよう、締め固めた地表面地盤をこてで水平に整形し、ドレーンパイプに沿う様に、クレーンでゆっくりと水平に設置を行った。

図 5.1.1 に、基礎配置位置を、2.3 章にセンサー配置を示す。なお、住宅基礎模型には、四隅に容量 2G の加振方向の加速度を設置したほか、中央部にも 3 成分の容量 2G の加速度計を設置した。また、設置後、基礎の高さ（初期値）の計測を行った。

写真 5.2.1 から写真 5.2.4 に、住宅基礎模型の設置状況を示す。

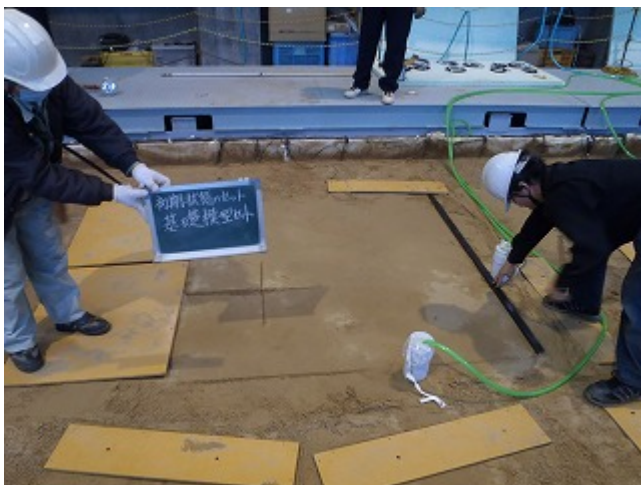


写真 5.2.1 地表面整形位置出し状況



写真 5.2.2 住宅基礎設置状況

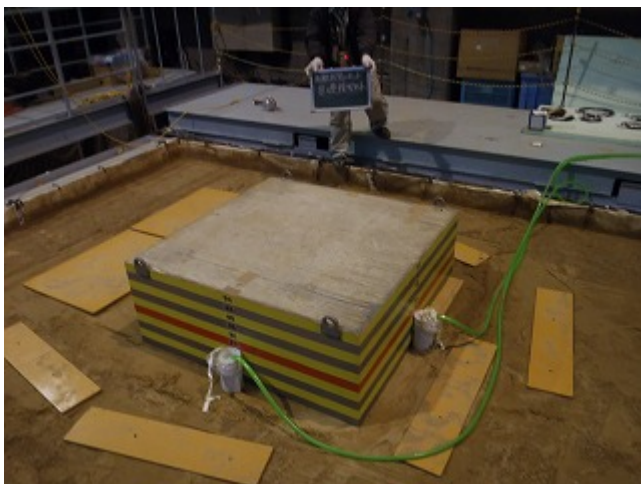


写真 5.2.3 住宅基礎設置完了状況

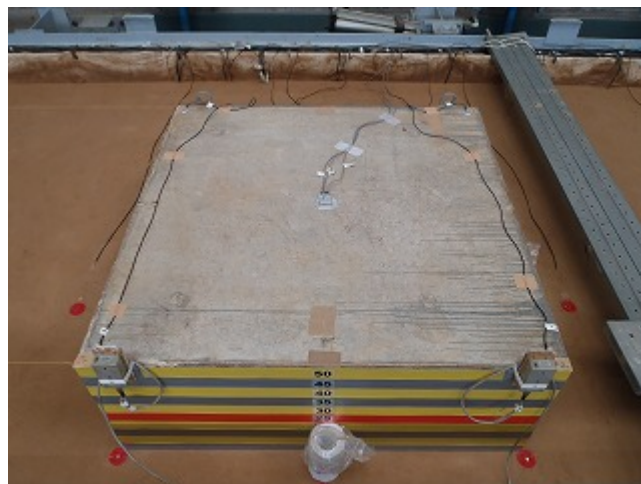


写真 5.2.4 センサー設置状況

### 5.3 地盤初期状態の測定

主実験試験地盤の密度は、各層毎の投入した湿潤砂の重量と盛り立てた高さを計測する方法、および盛り立て高さ 50cm 毎に 3 箇所コアカッター法にて計測した。

表 5.3.1 に計測した密度の計測結果を示す。詳細は 3.8 章を参照のこと。コアカッター法による方法では、GL.-4.30m 以下の基盤部相対密度  $D_r$  が 85.5%，試験地盤平均相対密度  $D_r$  が 66.9%の地盤となった。なお、盛土重量による主実験試験地盤全体の相対密度  $D_r$  は 56.9%，地盤密度 $\gamma_d$  は 1.524(t/m<sup>3</sup>)となった。

また、飽和度  $S_r$  は、TDR 土壌水分計で平均 97.6%であった。

表 5.3.2 に、加振前に計測したドレーンパイプ内で計測した地下水位を示す。地下水位は 1 回目 1.0m，2 回目 0.85m，3 回目 0.5m となった。

一方、スウェーデン式サウンディング試験の結果を図 5.3.1 に示す。試験地盤は、1 回目加振前で換算 N 値平均 11 程度，3 回目加振前で平均 9 程度となった。

初期状態のセット完了後の状況を写真 5.3.1～写真 5.3.2 に示す。

表 5.3.1 試験地盤密度測定結果

計測手法	深度	相対密度 $D_r$ (%)	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	飽和度 (%)	SWS 換算 N 値
コアカッター法	GL.- 0.30m	55.9	1.520	-	2
	GL.- 0.80m	62.1	1.543	-	9
	GL.- 1.30m	53.1	1.509	-	14
	GL.- 1.80m	73.4	1.588	95.7	11
	GL.- 2.30m	84.3	1.632	-	11
	GL.- 2.80m	62.0	1.543	99.1	10
	GL.- 3.30m	62.5	1.545	-	11
	GL.- 3.80m	63.2	1.547	98.1	11
	GL.- 4.30m	85.5	1.638	-	11
	平均	66.9	1.563	-	11

表 5.3.2 地下水位計測結果

	地下水位 (GL.-m)
1 回目加振前	0.992
2 回目加振前	0.837
3 回目加振前	0.490

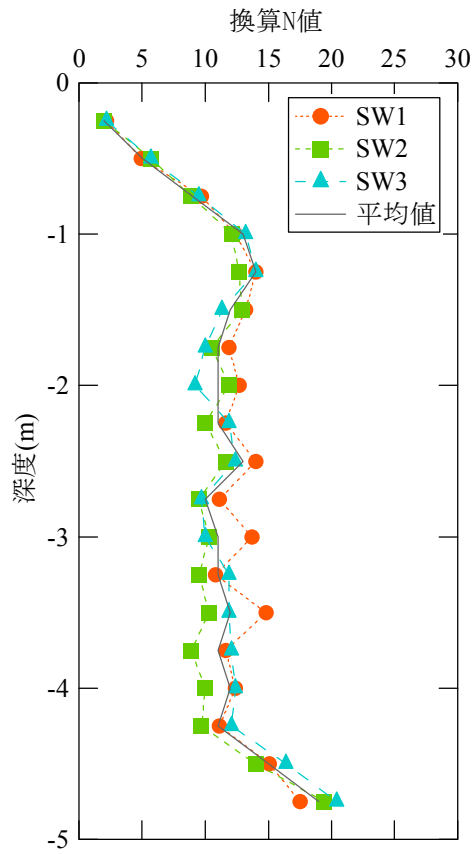


図 5.3.1 スウェーデンサウンディング試験結果





写真 5.3.1 初期状態セット 1

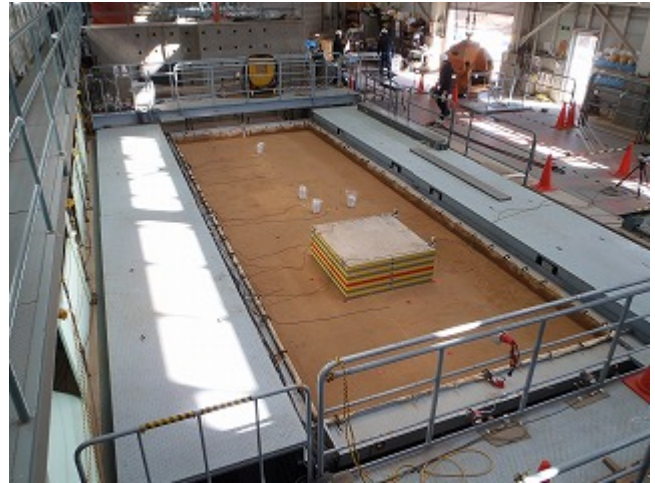


写真 5.3.2 初期状態セット 2



写真 5.3.3 初期状態セット 3



写真 5.3.4 初期状態セット 4

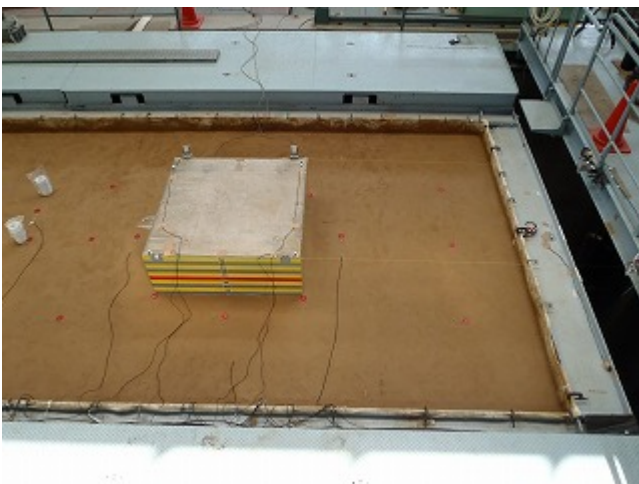


写真 5.3.5 初期状態セット 5

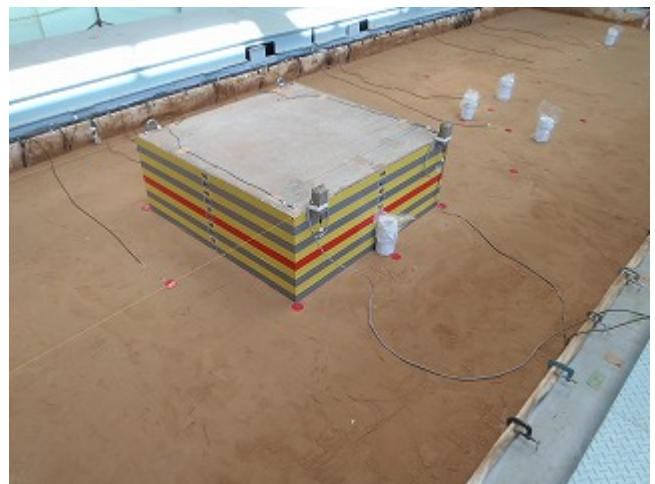


写真 5.3.6 初期状態セット 6

## 6 加振実験の実施

主実験はドレーンパイプの効果確認目的のもと、同一地盤を用い、3回の加振を行った。  
なお、3回目は、水位低下の効果を調べるために、地下水位を50cm上昇させ実験を行った。  
以下に加振実験の結果を記す。

### 6.1 加振条件

入力波は、東日本大震災の東京湾岸の地震波を想定し、電算解析使用を目的として等価な繰返しせん断波に設定した。同地震波の置換の試算結果、応力比0.10~0.15(地表最大加速度100~150Gal)程度、周波数1~2Hz程度、30~60波程度相当となった。さらに、本振動台の加振能力(最大速度8.5cm/s)の制約を考慮した結果、75Gal, 2Hz入力の場合に地表最大加速度が100Galを超える程度の応答となると予想されたことから、上記入力波形とした。なお、入力の波数は、最大120波とするが、解析に使用するデータ取得を目的としているため、モニターで観察による液状化の発生状況によって途中で加振を調整した。

加振条件および振動台と地表面の最大応答加速度を表6.1.1に示す。振動台の応答加速度の時刻歴変化を図6.1.1および図6.1.2に示す。加振は、1回目入力加速度振幅75Gal、2回目および3回目入力加速度振幅150Galとした。振動台の応答最大加速度は目標とした加速度と概ね近い値となった。

表 6.1.1 加振条件

加振条件 ケース	周波数	入力加速度	波形	波数	振動台最大 応答加速度	地表面最大 応答加速度	計測震度*
1回目	2.0Hz	75Gal	正弦波	120+前後5波	92.8Gal	128.9Gal	4.6(震度4弱)
2回目	2.0Hz	150Gal	正弦波	120+前後5波	189.9Gal	299.1Gal	5.4(震度5弱)
3回目	2.0Hz	150Gal	正弦波	120+前後5波	170.5Gal	302.5Gal	5.3(震度5弱)

\*計測震度は、気象庁の計算方法<sup>1)</sup>において水平1成分のみから算定した相当値である。

なお、震度階級(相当値)については、添付資料の気象庁震度階級関連解説表の使用にあたっての留意事項を参照のこと。

1)気象庁ホームページ：[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/calc\\_sindo.htm](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm)

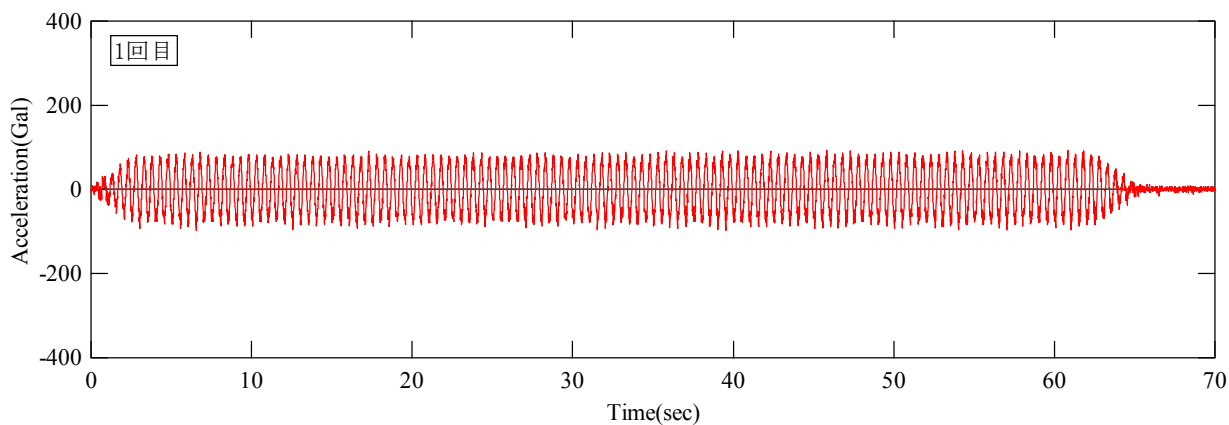


図 6.1.1 振動台の加速度 (1 回目)

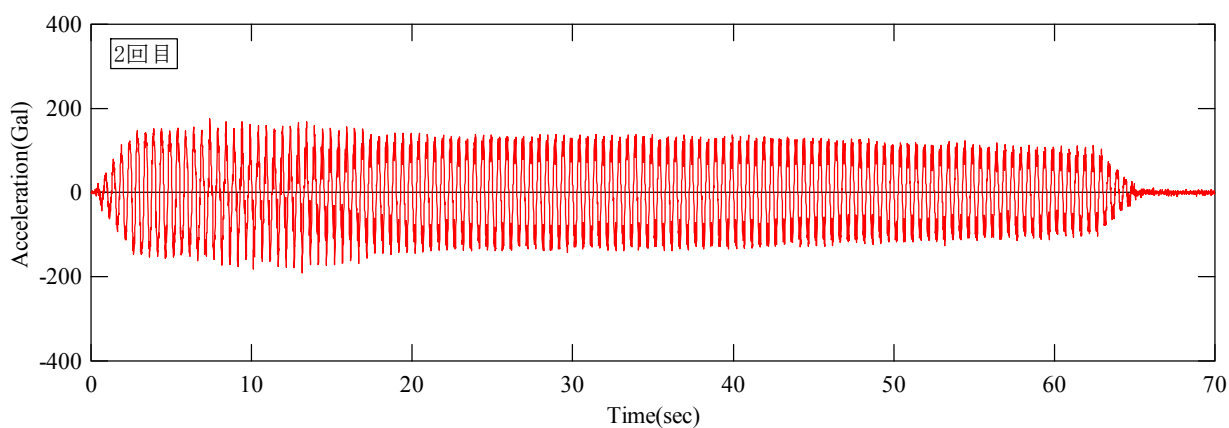


図 6.1.2 振動台の加速度 (2 回目)

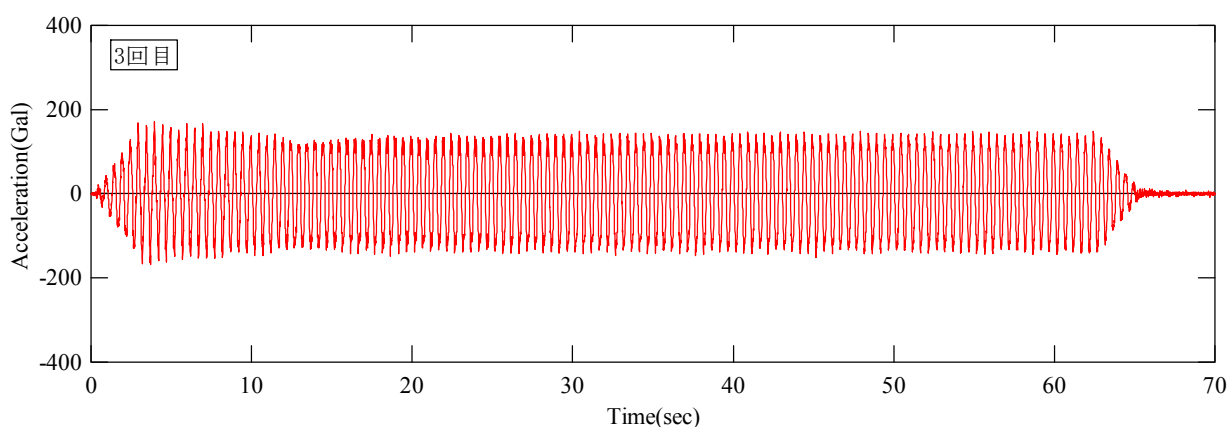


図 6.1.3 振動台の加速度 (3 回目)

## 7 計測結果の表示

### 7.1 応答加速度特性

各計測地点における最大応答加速度結果を表 7.1.1 に、各深度の応答加速度の時刻歴変化を図 7.1.1 に示す。

表 7.1.1(1) 最大応答加速度計測結果 (1 回目)

計測箇所			最大応答加速度(Gal)				
領域	計測番号・計測位置		GL.-0.00m	GL.-0.80m	GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-4.30m
中央部	C	センター	121.45	112.40	110.72	105.51	93.40
領域①	1	10cm 離れ	123.54	115.36	113.10	111.78	-
	1	50cm 離れ	123.22	115.01	115.02	110.55	-
	1	75cm 離れ	123.38	114.95	111.18	109.45	-
領域②	2	加振方向	115.36	118.70	111.44	108.77	-
	3	交差方向	116.54	112.05	111.44	120.23	-
領域③	4	ドレーン側	118.64	114.31	111.53	110.64	-
	5	基礎模型下	123.54	120.91	113.64	109.34	-
	7	無対策側	128.93	113.64	112.13	109.07	-

表 7.1.1(2) 最大応答加速度計測結果 (2 回目)

計測箇所			最大応答加速度(Gal)				
領域	計測番号・計測位置		GL.-0.00m	GL.-0.80m	GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-4.30m
中央部	C	センター	286.28	282.49	274.07	430.02	210.54
領域①	1	10cm 離れ	287.55	282.22	273.00	233.91	-
	1	50cm 離れ	284.82	279.93	270.51	329.64	-
	1	75cm 離れ	282.58	280.06	272.50	392.03	-
領域②	2	加振方向	285.10	286.18	264.86	211.42	-
	3	交差方向	278.48	277.88	263.55	227.29	-
領域③	4	ドレーン側	289.19	282.51	264.69	233.93	-
	5	基礎模型下	291.44	299.09	266.81	708.40	-
	7	無対策側	299.11	281.64	268.13	388.17	-

表 7.1.1(3) 最大応答加速度計測結果 (3回目)

計測箇所			最大応答加速度(Gal)				
領域	計測番号・計測位置		GL.-0.00m	GL.-0.80m	GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-4.30m
中央部	C	センター	277.60	773.52	528.16	193.43	174.13
領域①	1	10cm 離れ	291.81	267.80	286.65	215.28	-
	1	50cm 離れ	286.84	444.85	562.32	217.08	-
	1	75cm 離れ	280.59	430.54	606.04	222.88	-
領域②	2	加振方向	280.16	265.04	237.41	168.52	-
	3	交差方向	266.38	262.94	311.74	182.82	-
領域③	4	ドレーン側	286.22	262.91	307.81	189.67	-
	5	基礎模型下	291.44	1969.53	304.69	218.68	-
	7	無対策側	302.54	359.05	320.13	229.37	-

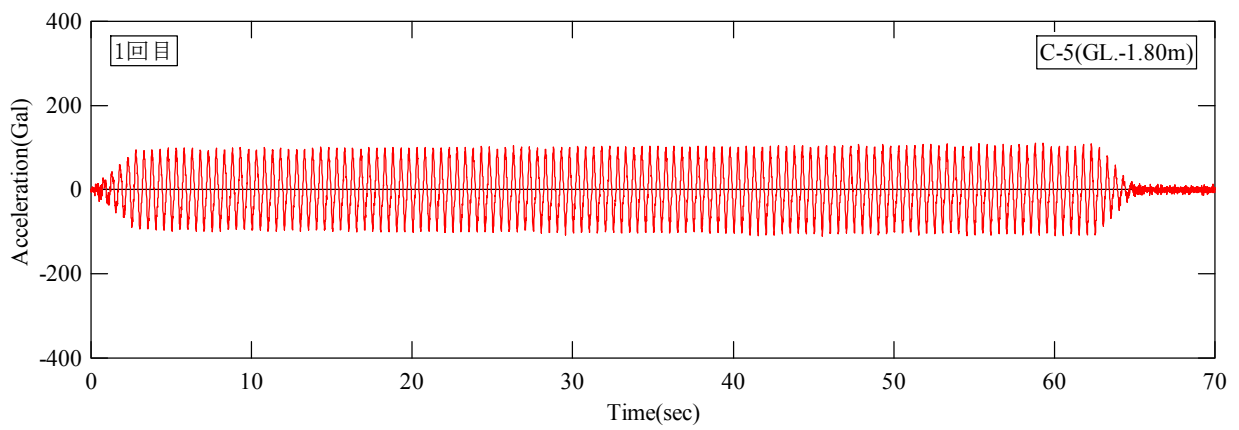
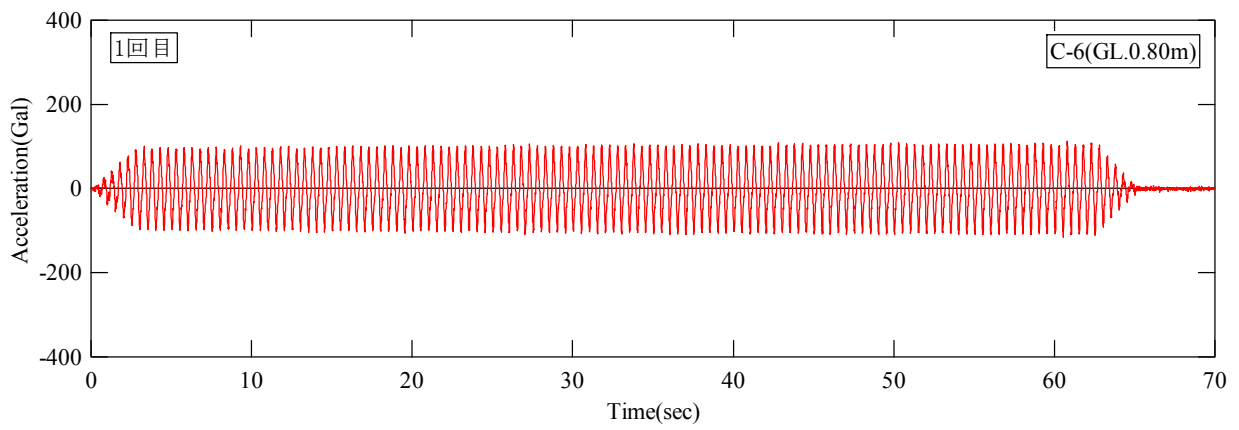
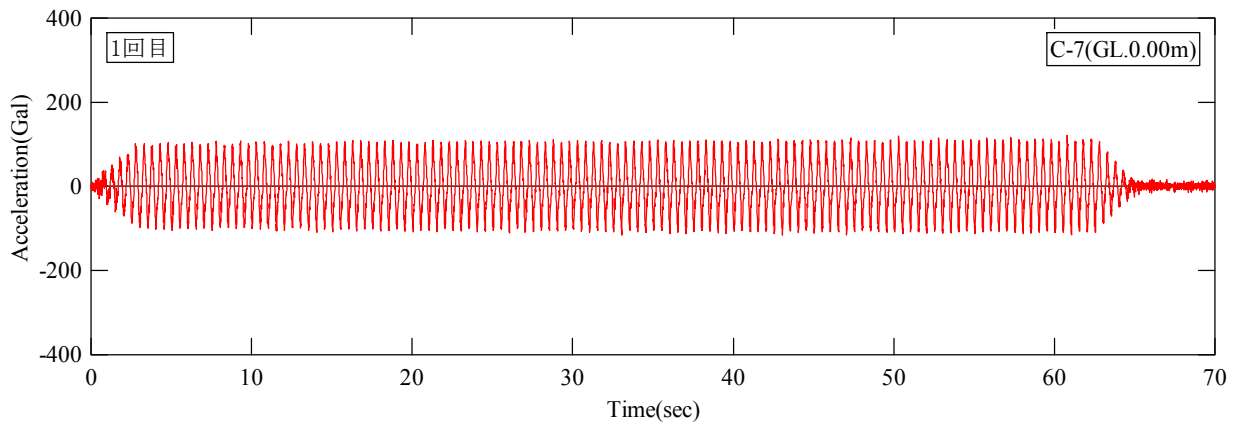


図 7.1.1(1) 1 回目加速度応答波形 (中央部)

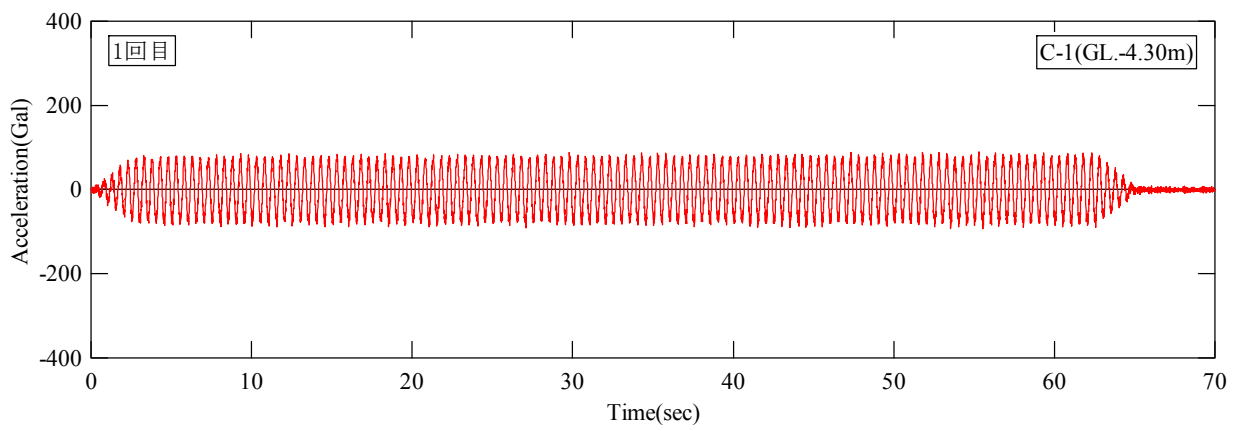
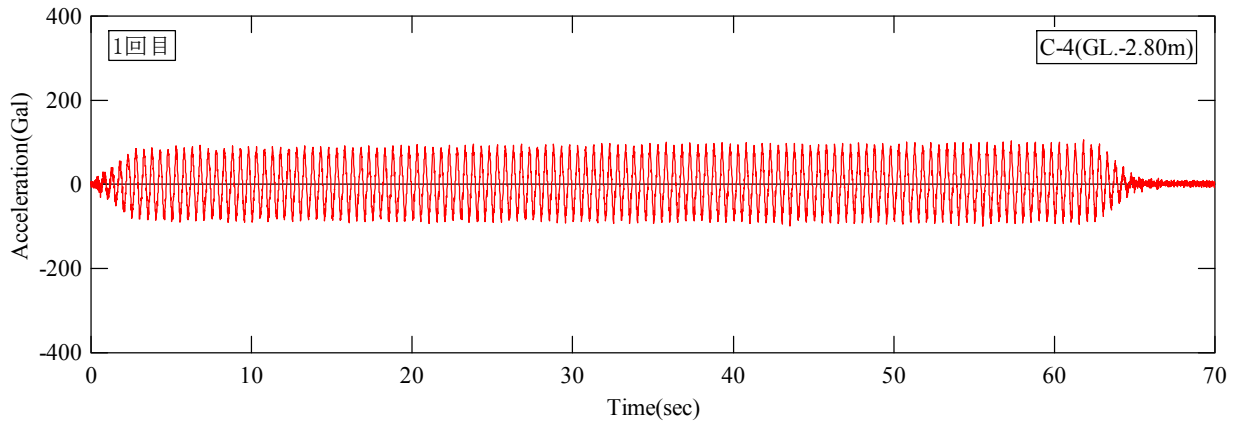


图 7.1.1(2) 1 回目加速度応答波形 (中央部)

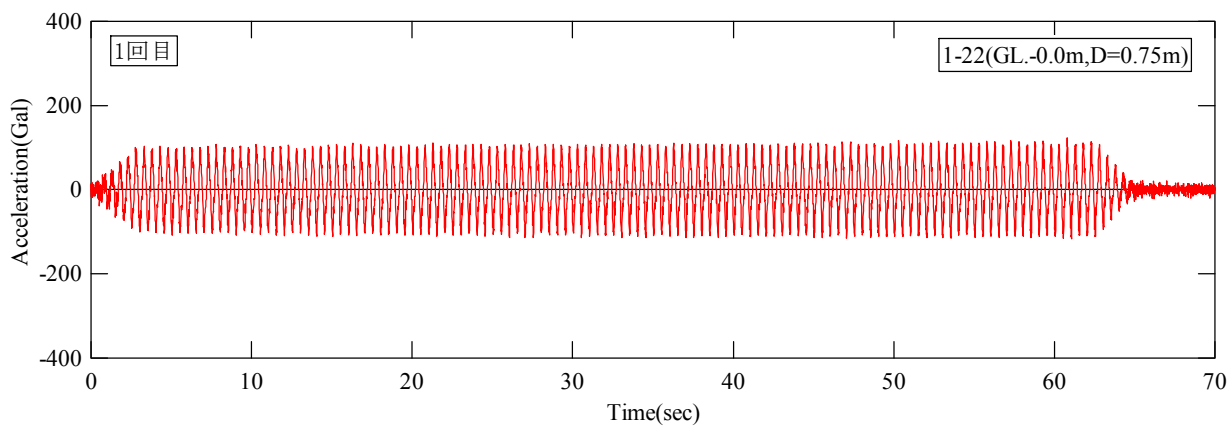
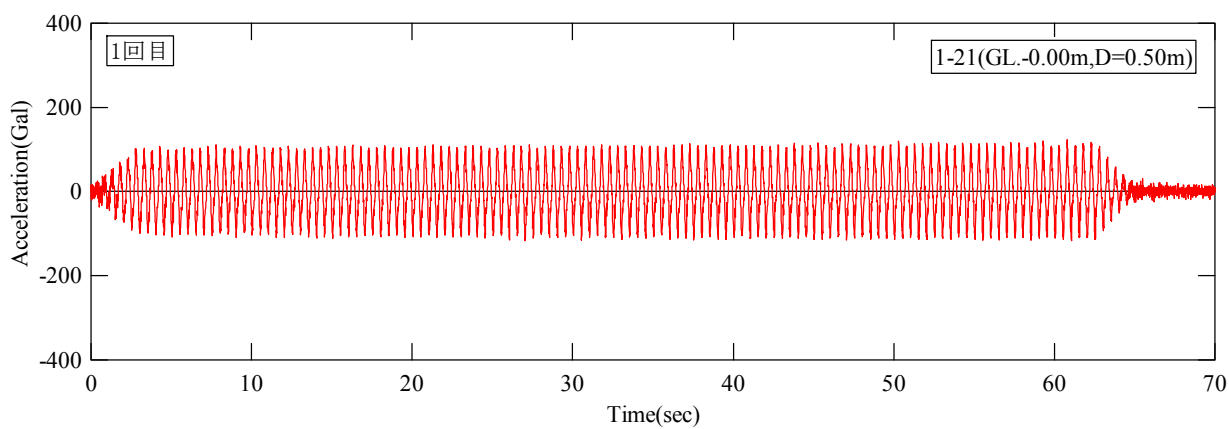
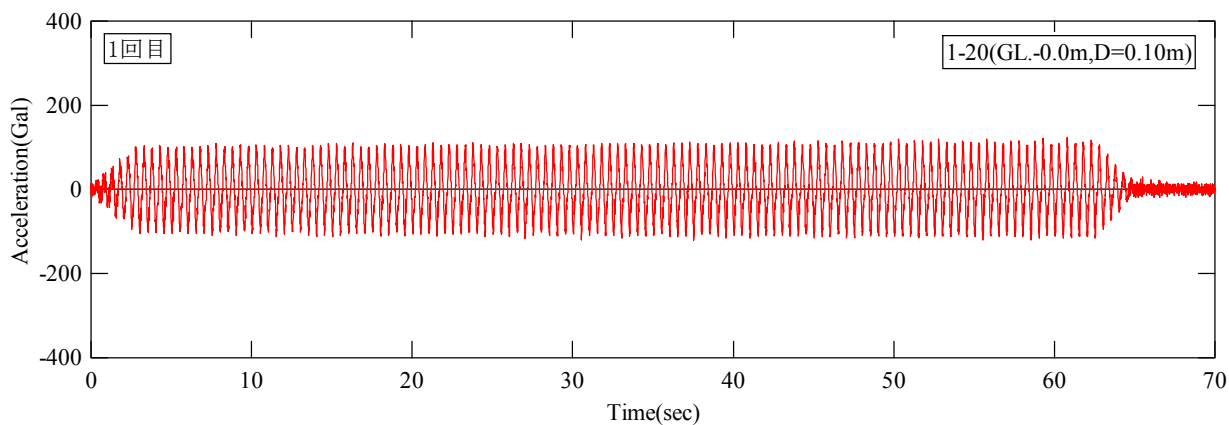


図 7.1.1(3) 1 回目加速度応答波形 (領域①, GL.0.0m)



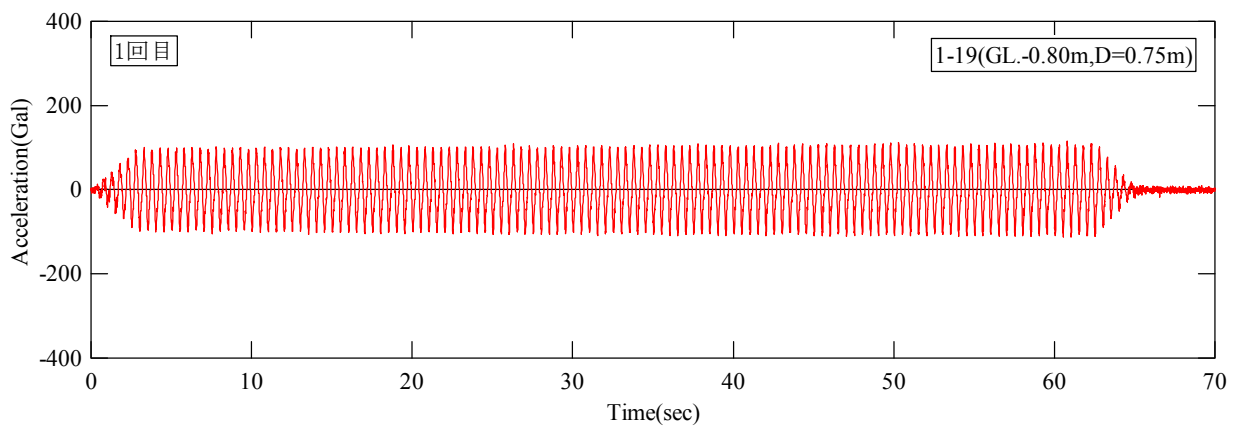
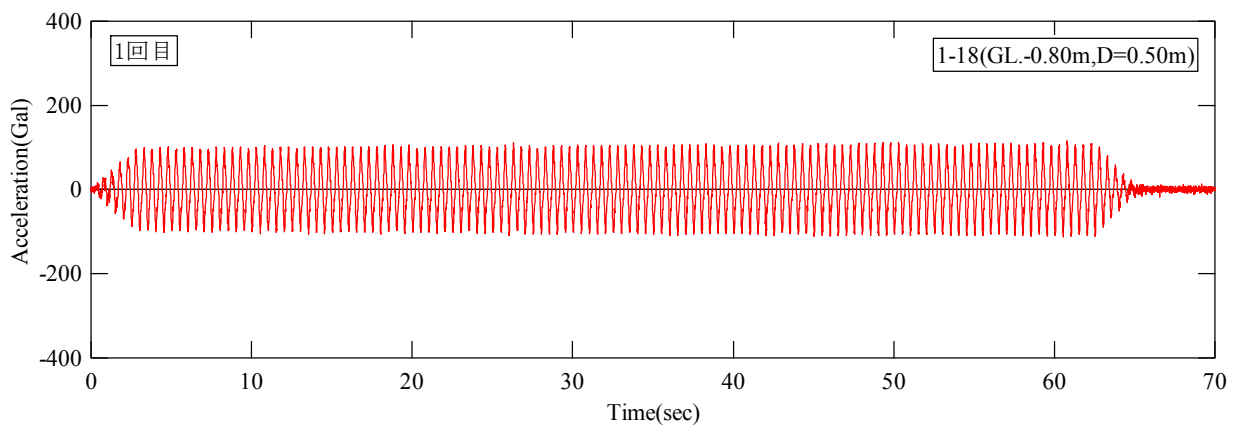
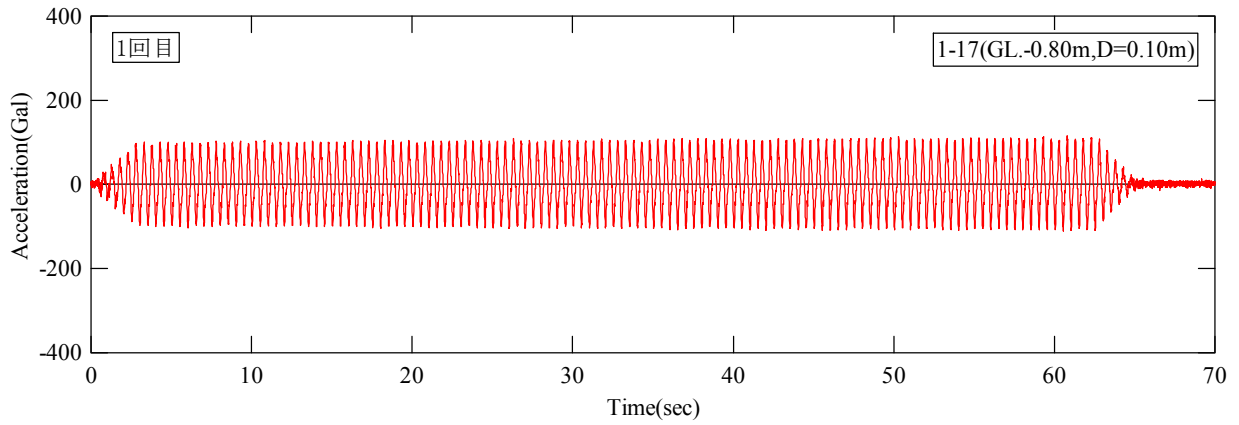


図 7.1.1(4) 1 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-0.80m)

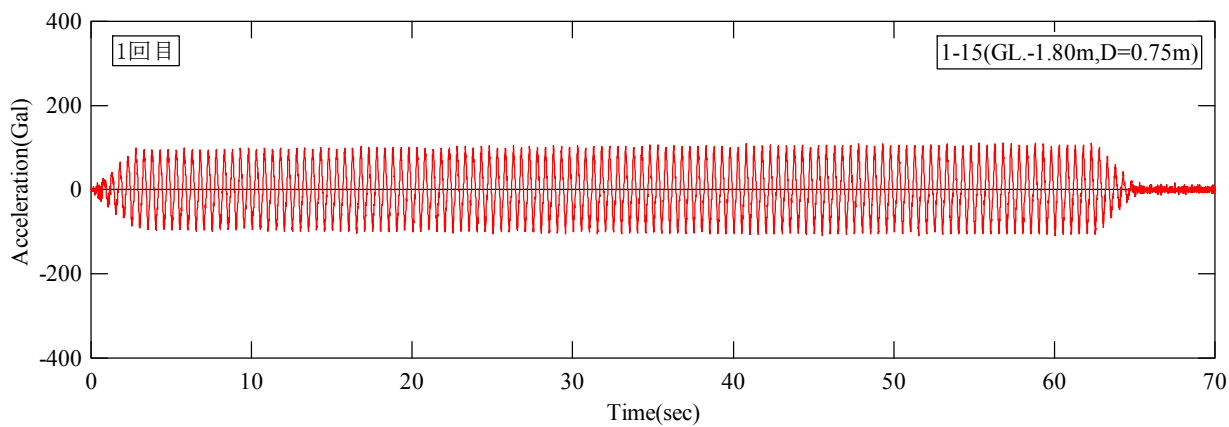
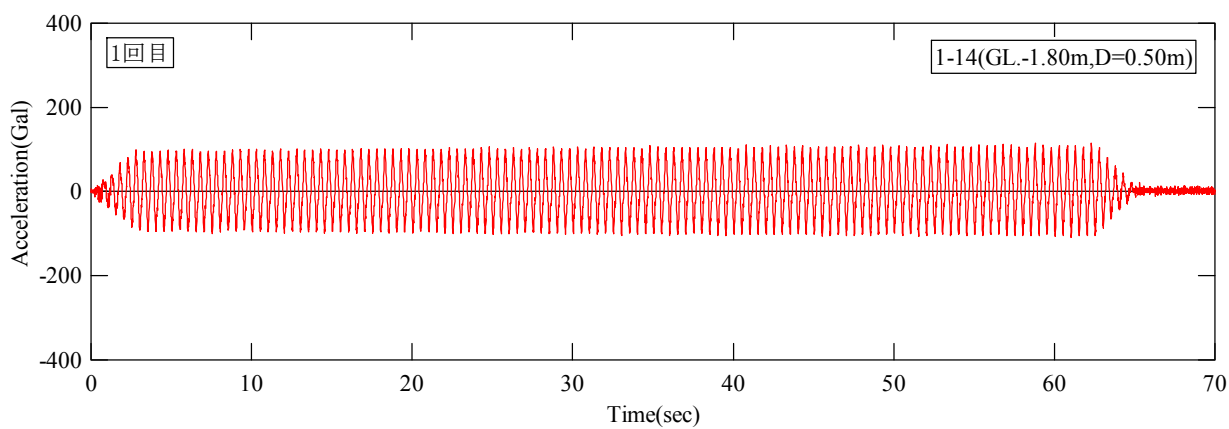
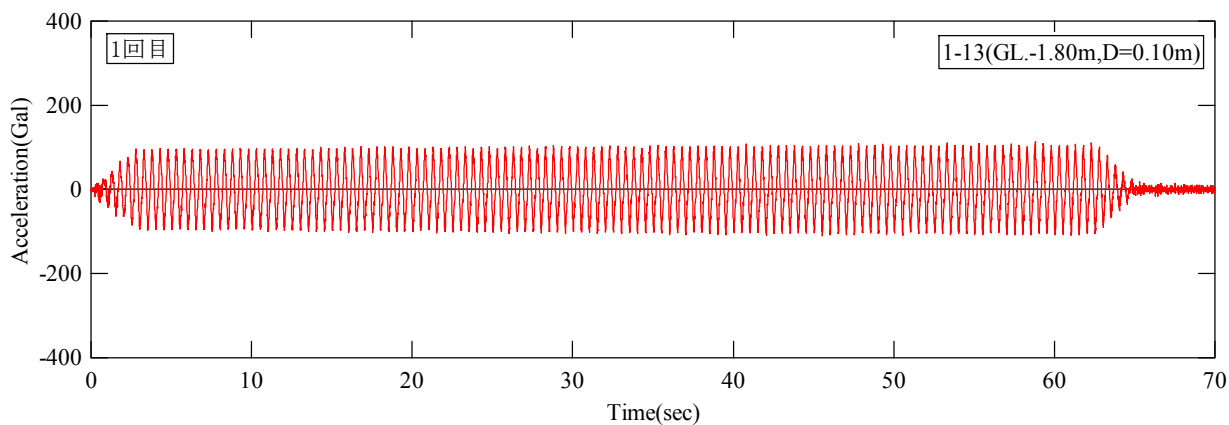


図 7.1.1(5) 1 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-1.80m)

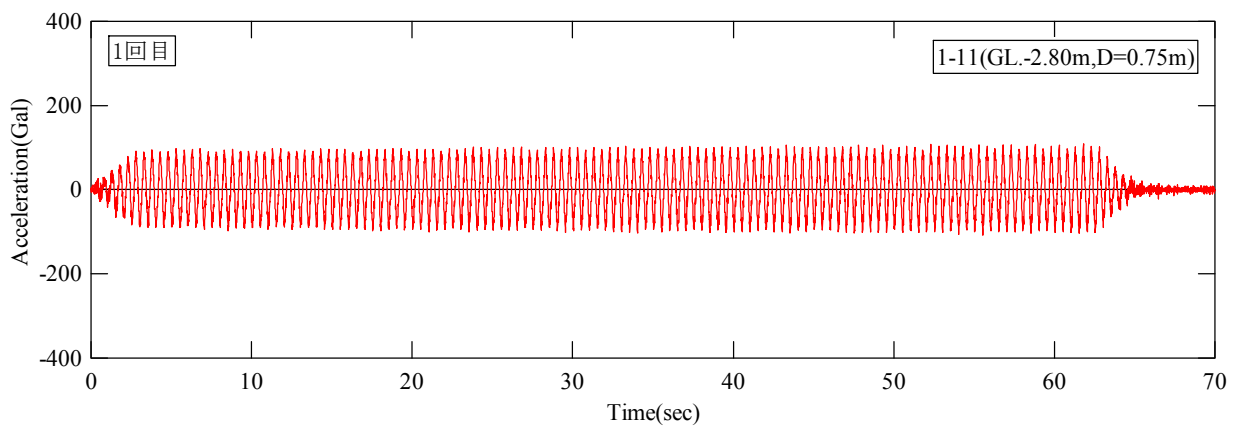
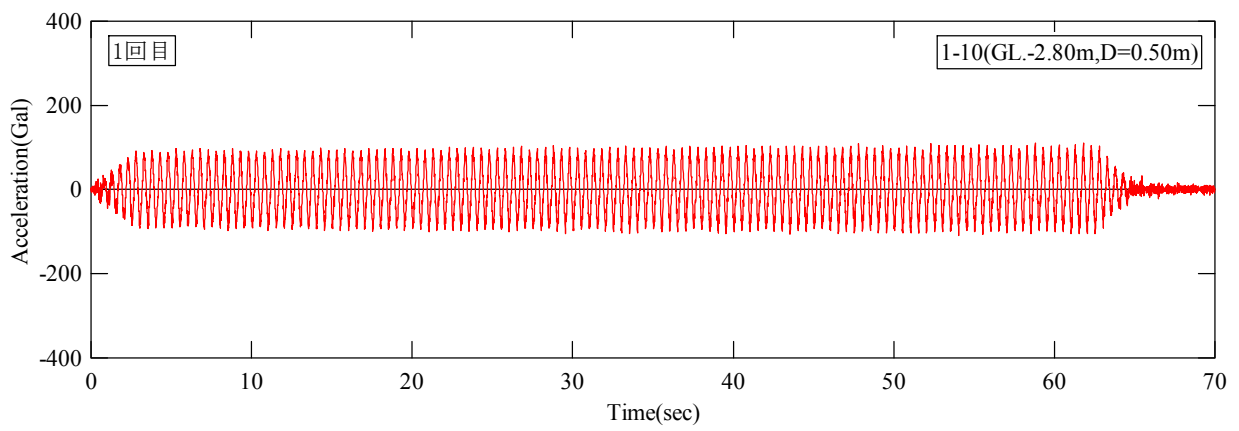
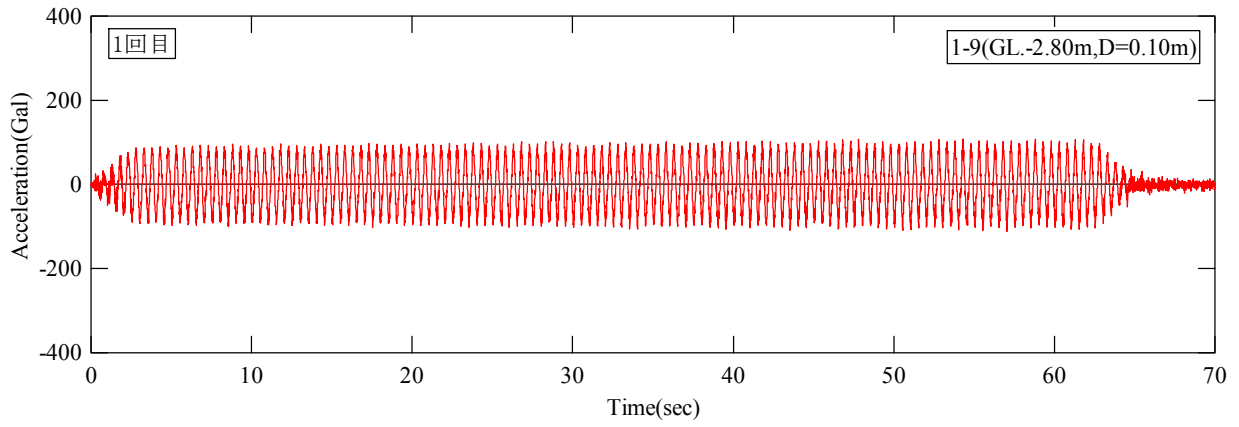


図 7.1.1(6) 1 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-2.80m)

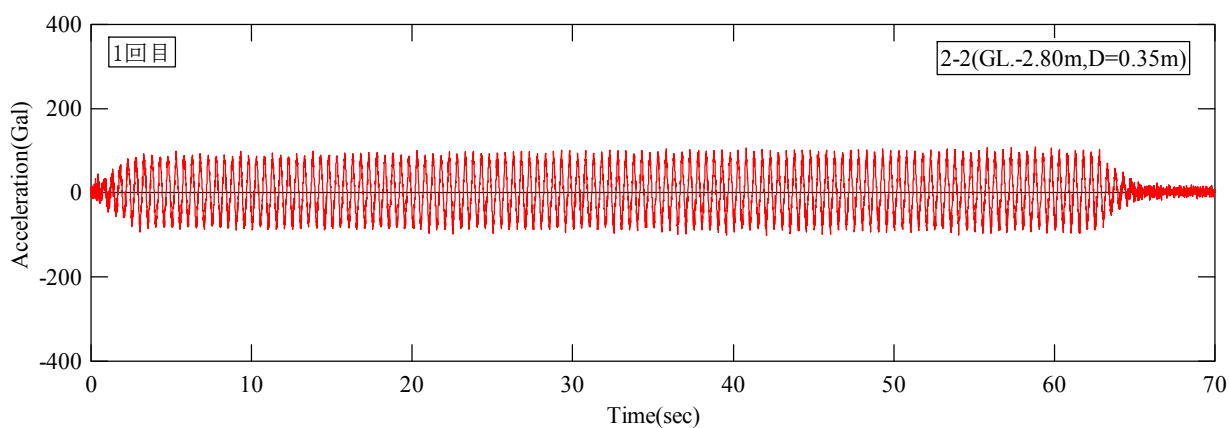
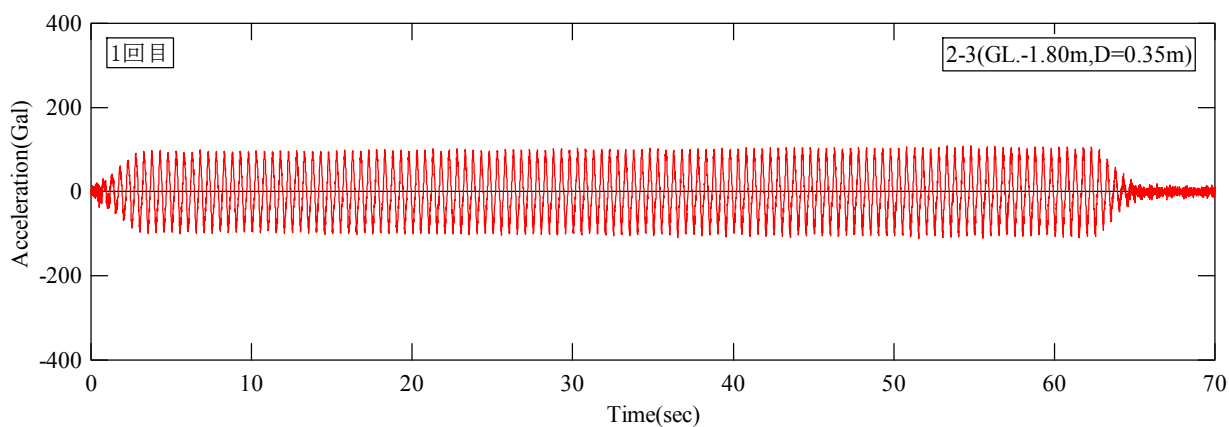
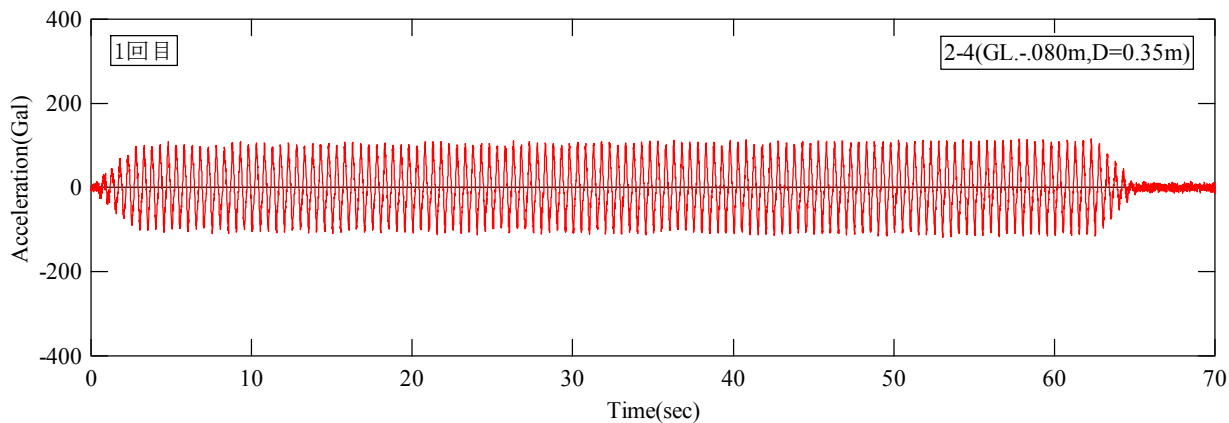
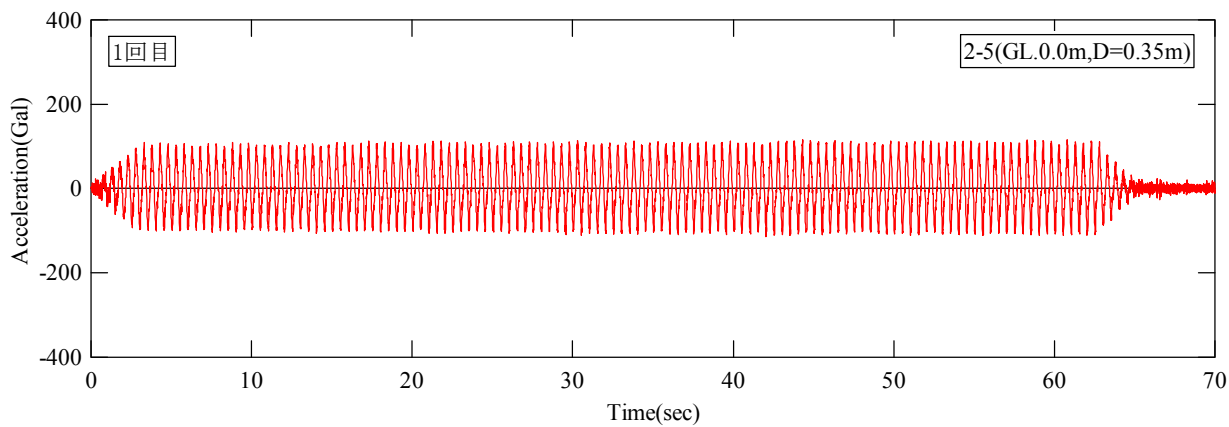


図 7.1.1(7) 1回目加速度応答波形 (領域②, 加振方向)

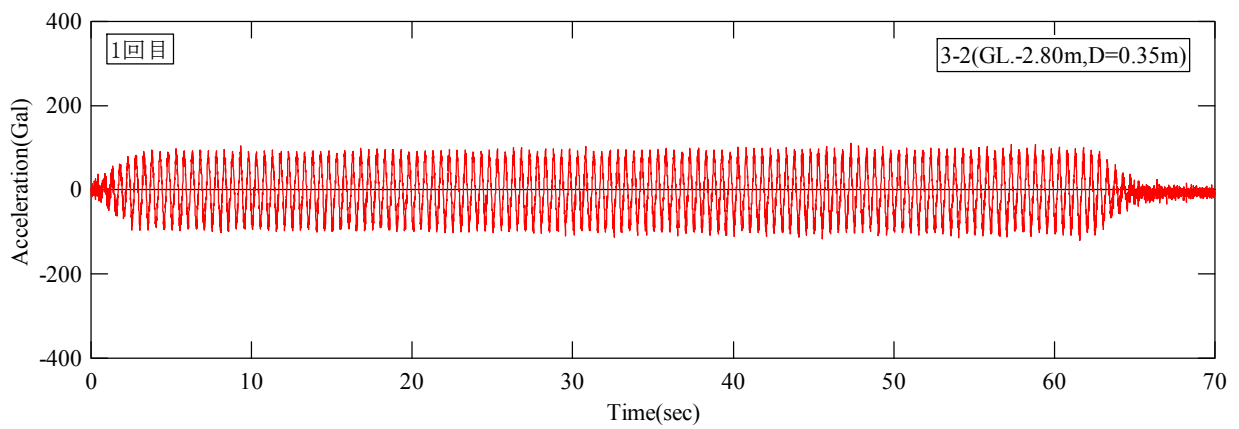
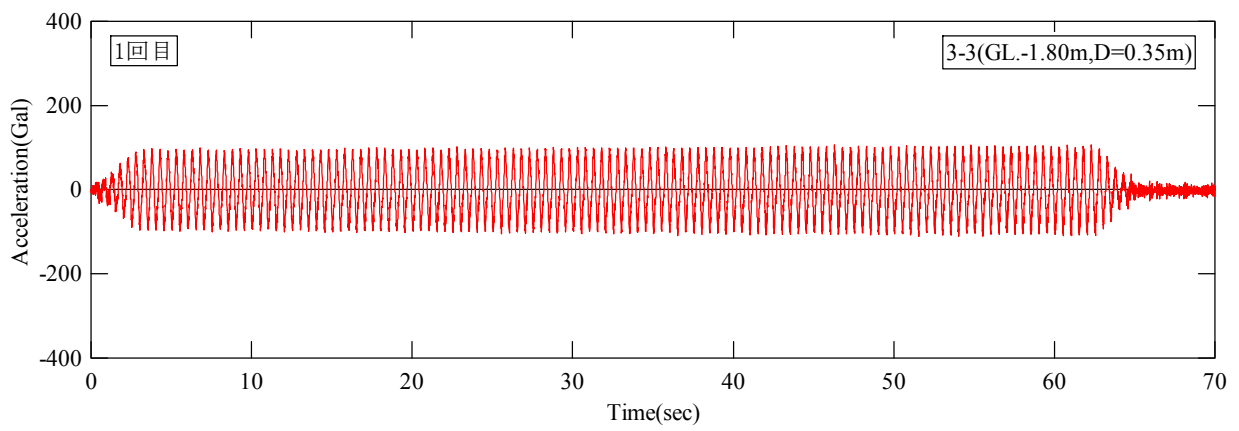
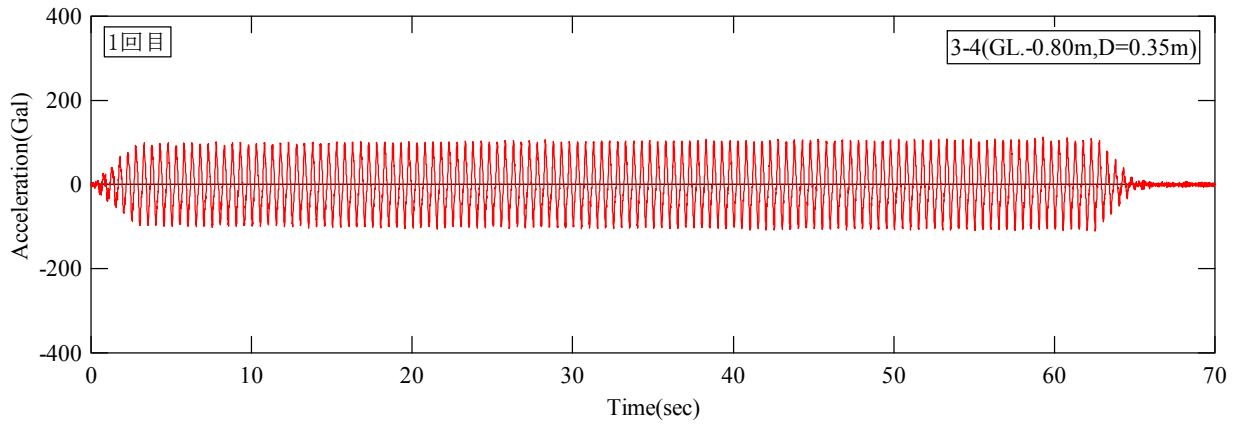
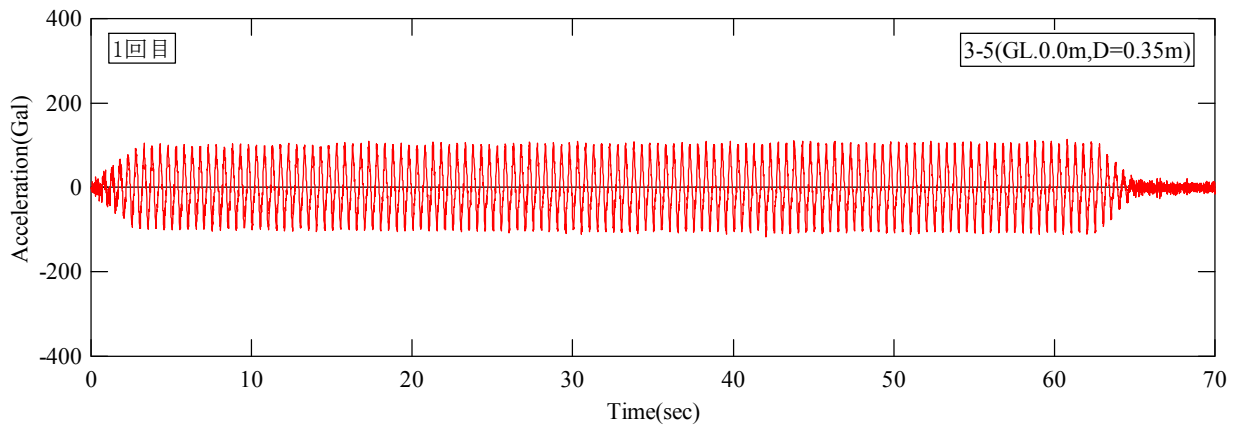


図 7.1.1(8) 1回目加速度応答波形 (領域②, 交差方向)

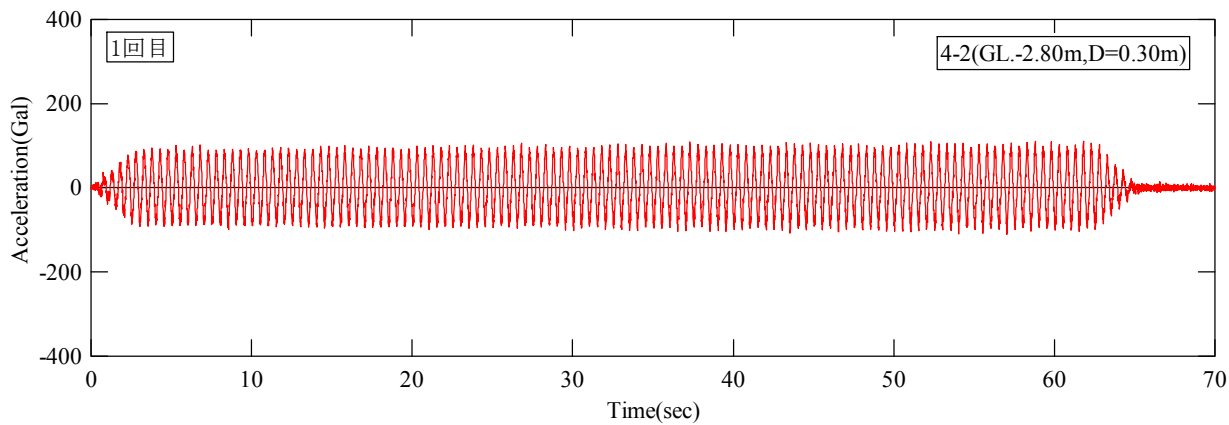
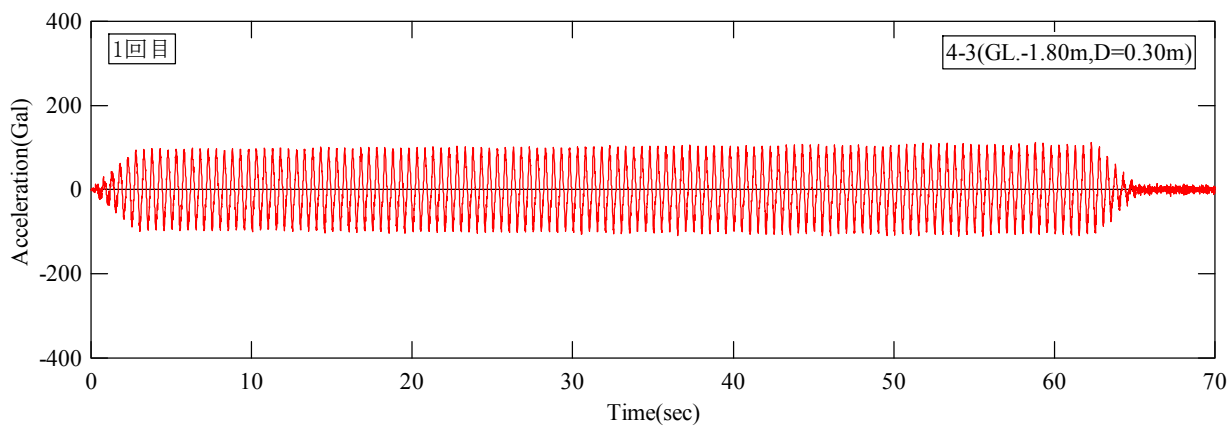
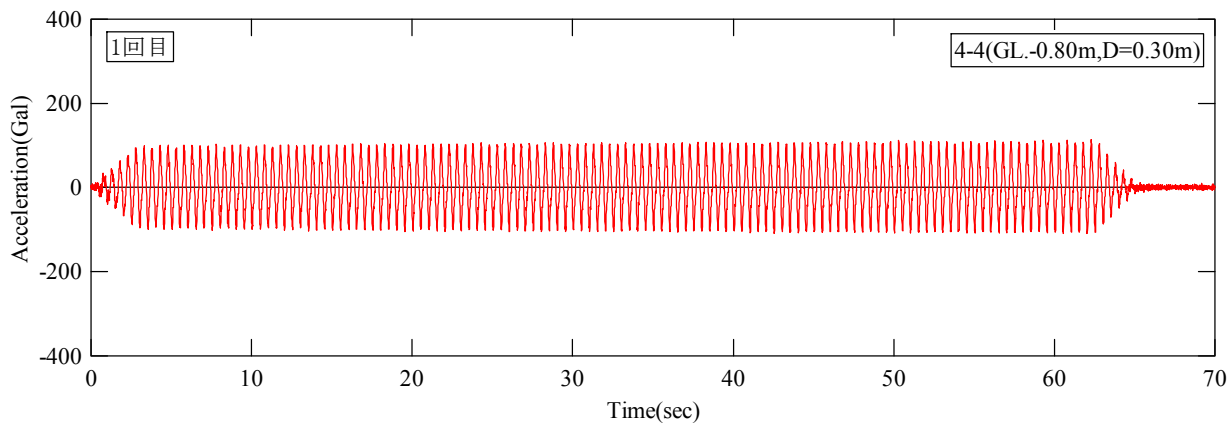
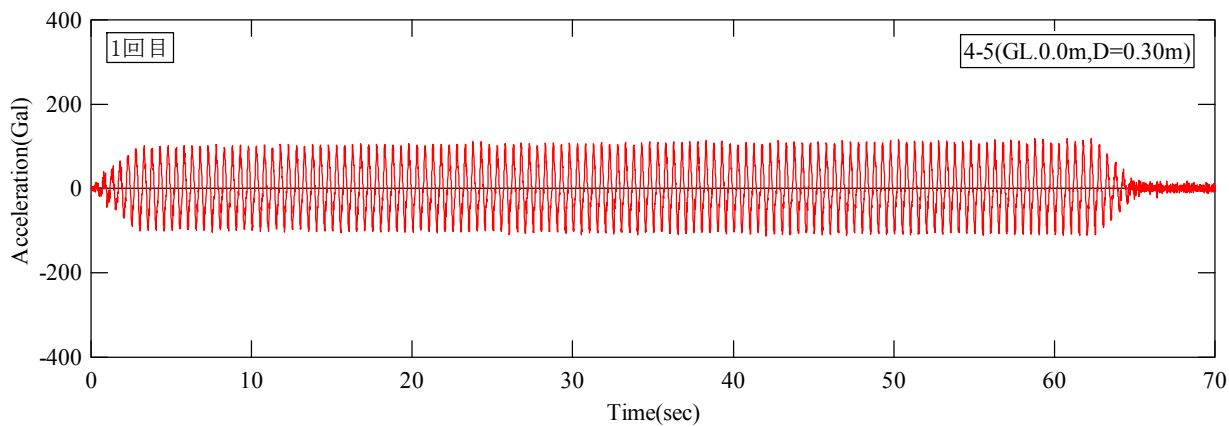


図 7.1.1(9) 1 回目加速度応答波形 (領域③, ドレーンパイプ側)

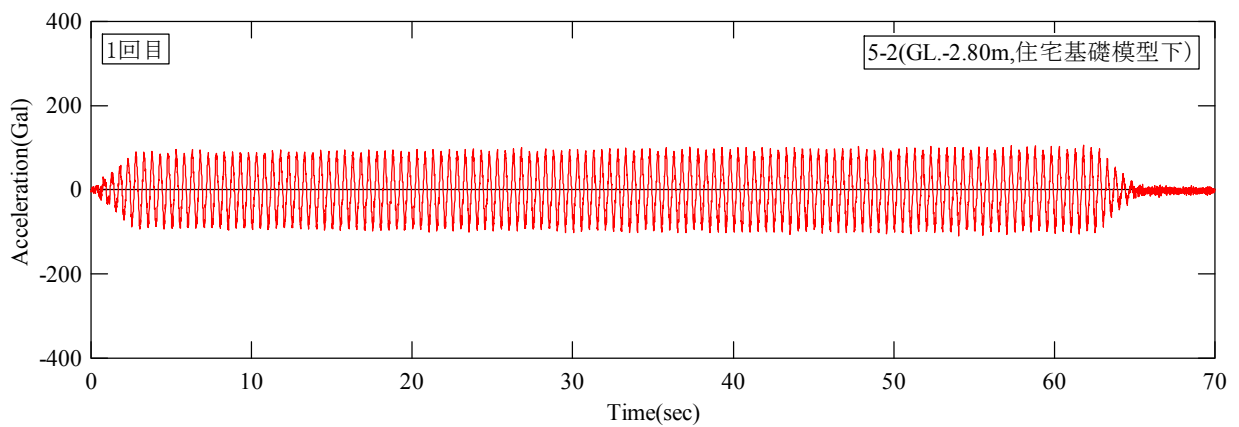
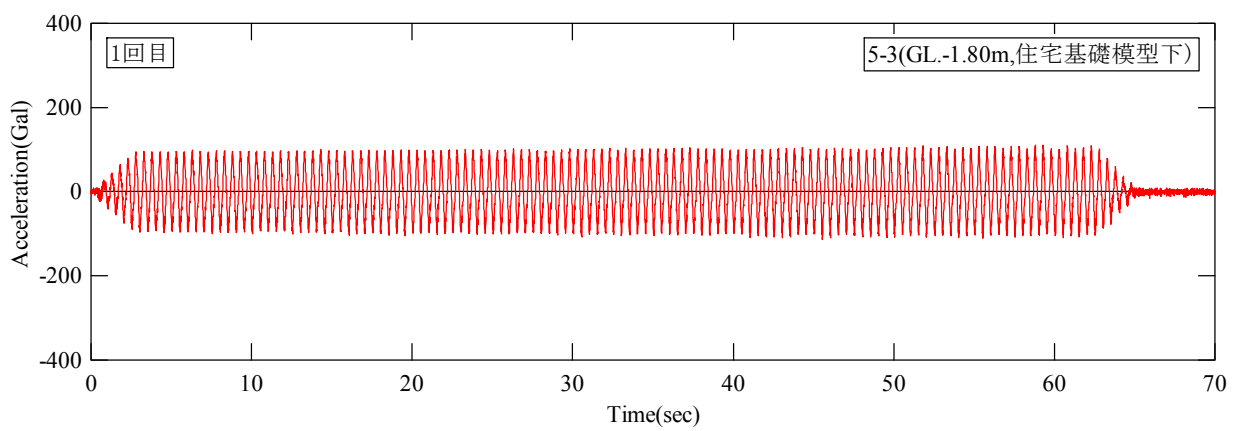
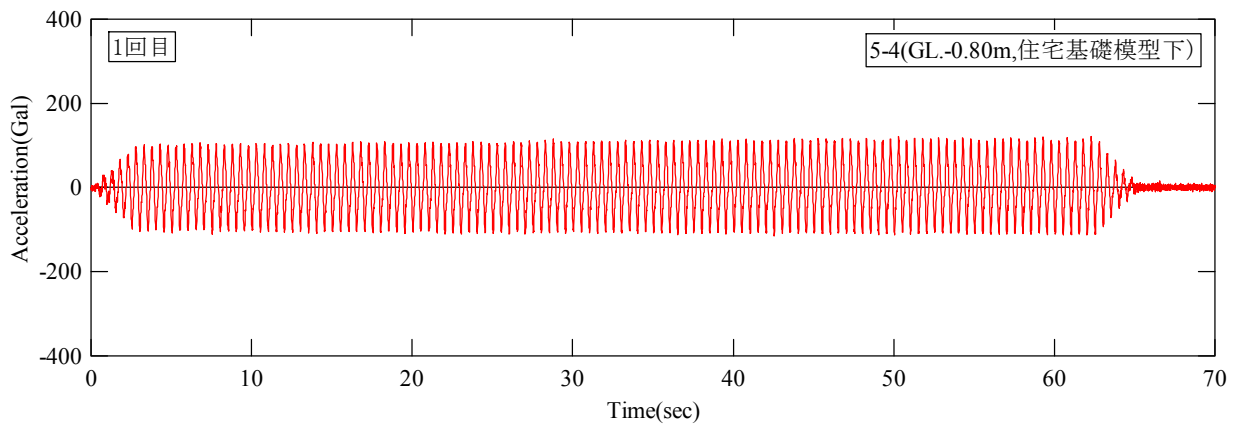
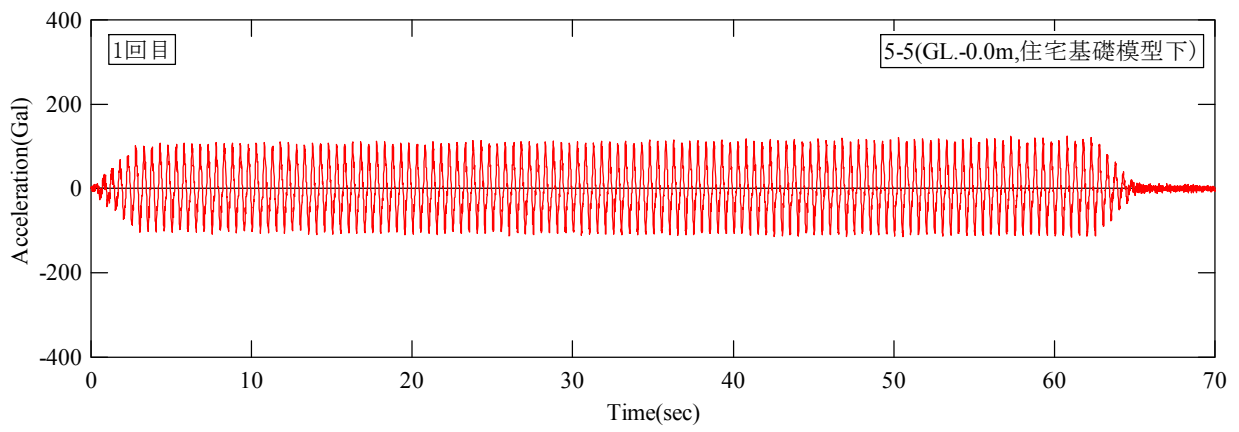


図 7.1.1(10) 1 回目加速度応答波形 (領域③, 住宅基礎模型下)

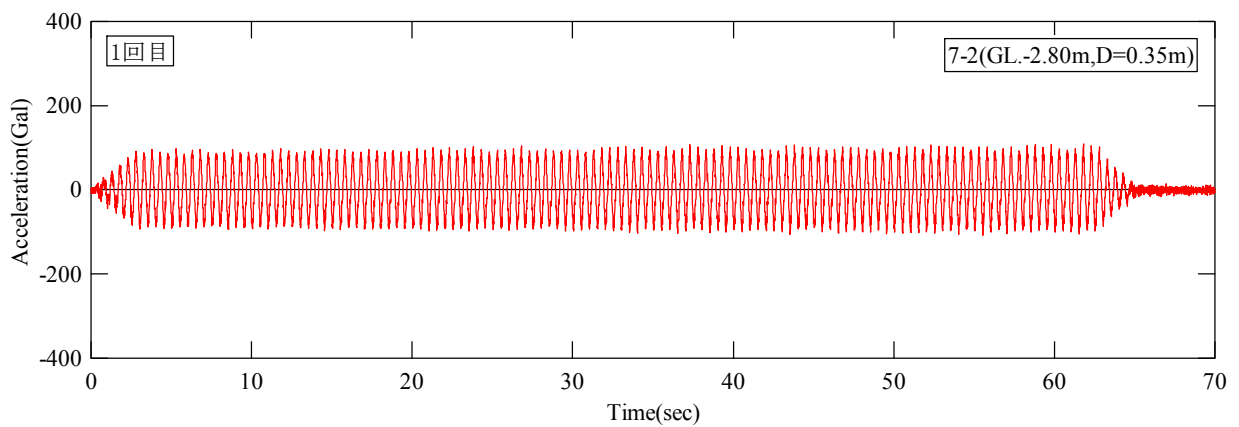
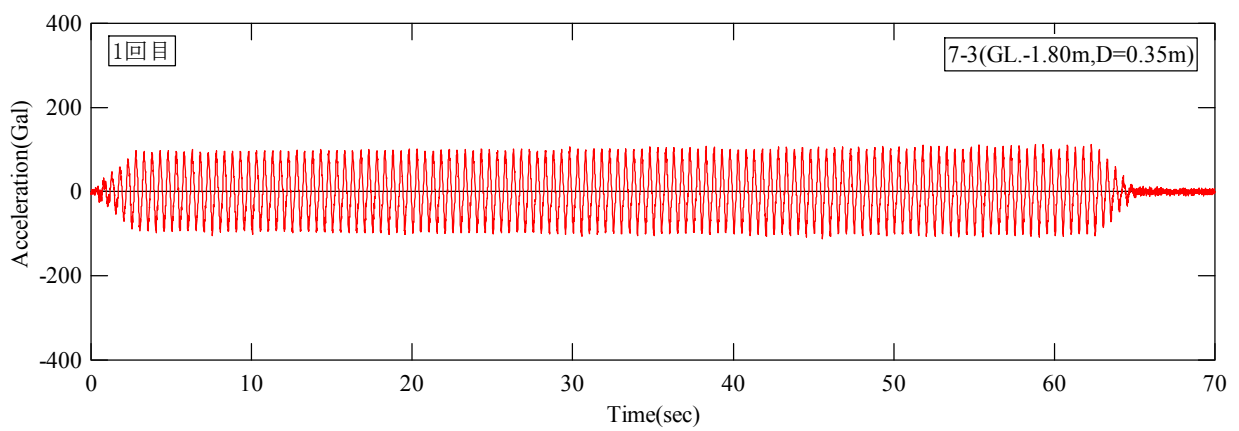
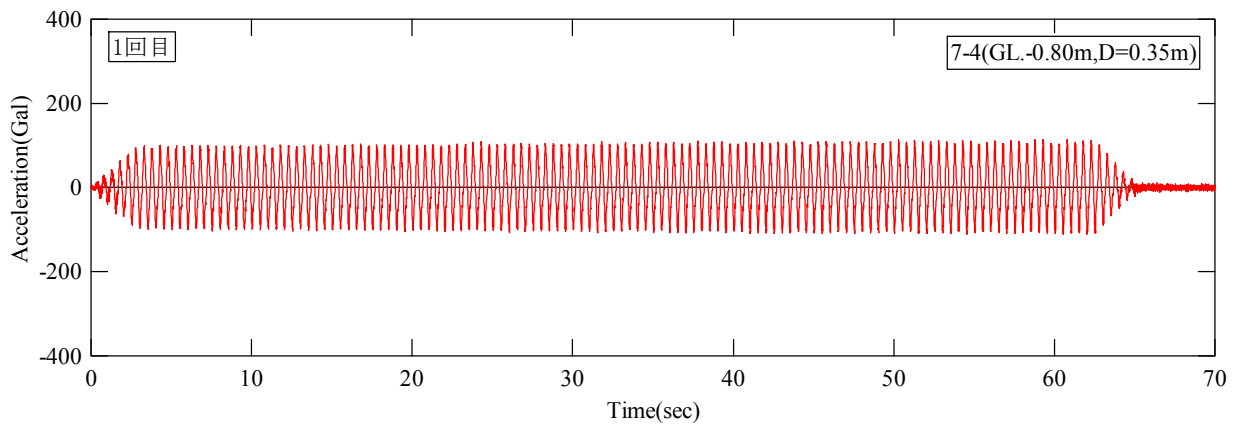
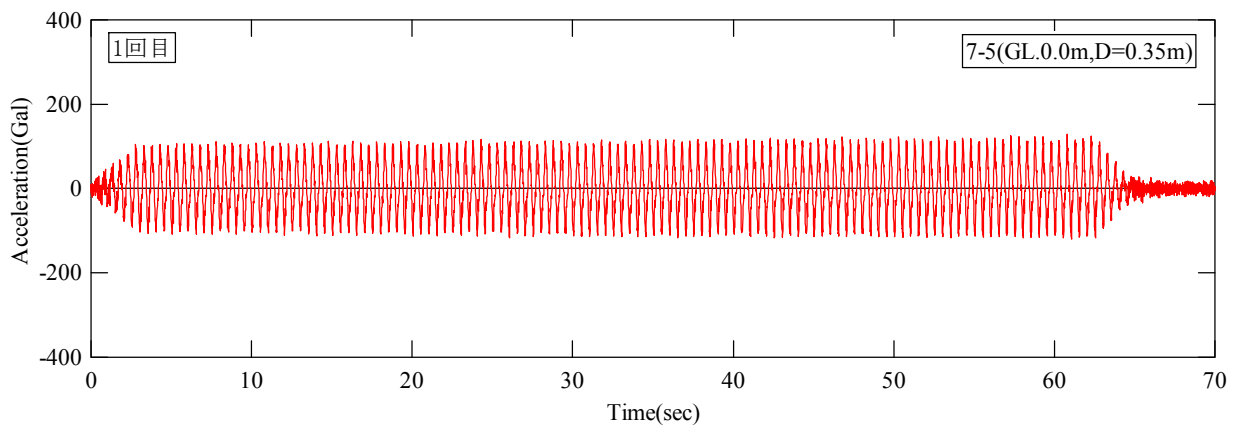


図 7.1.1(11) 1回目加速度応答波形（領域③，無対策側）



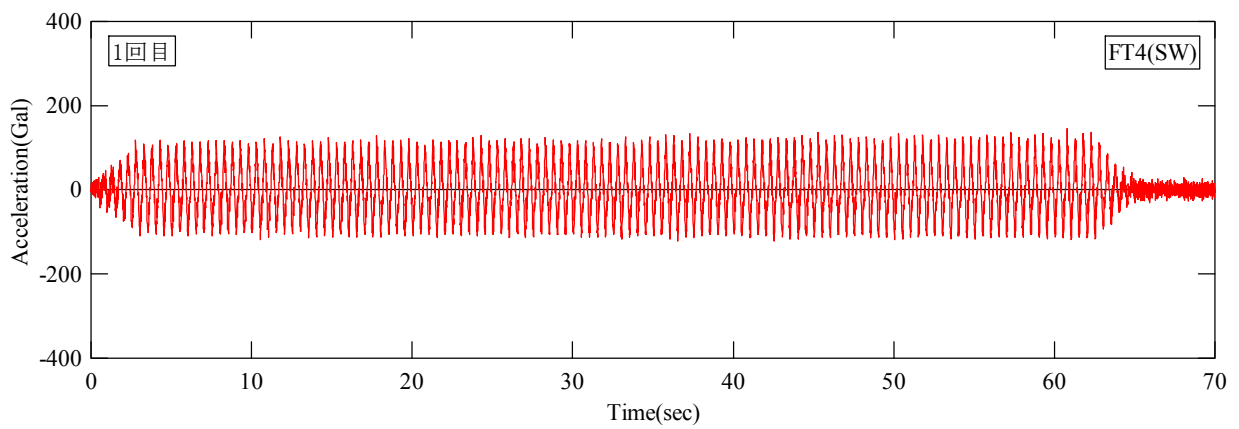
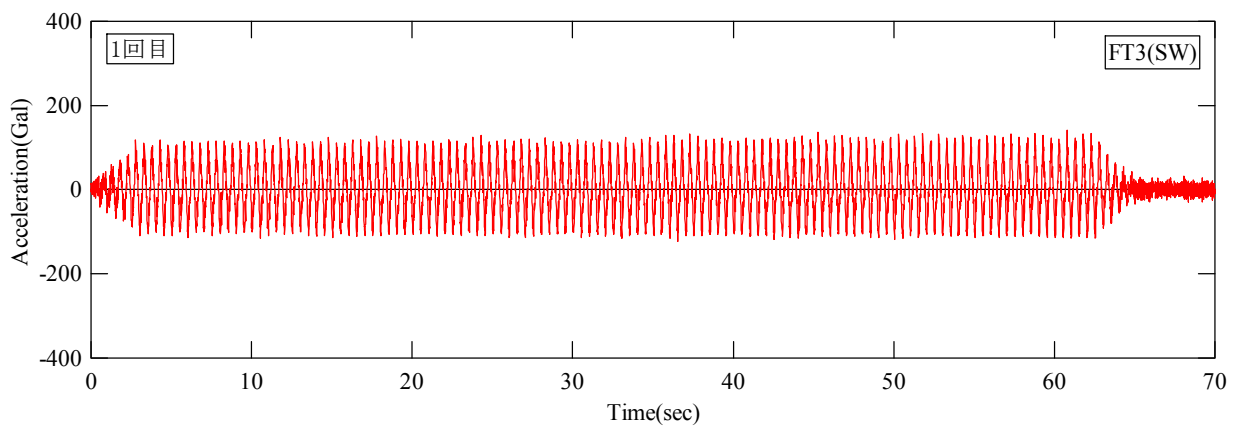
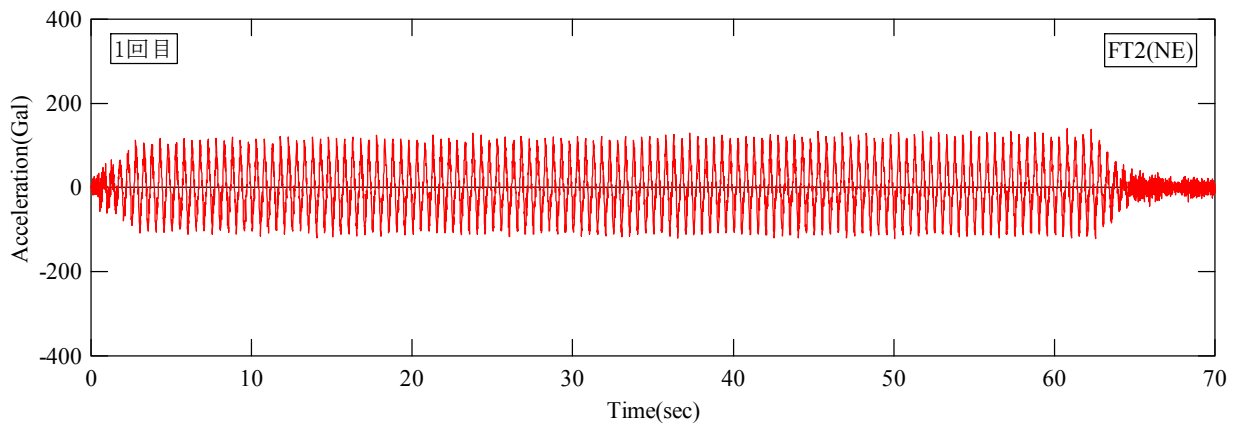
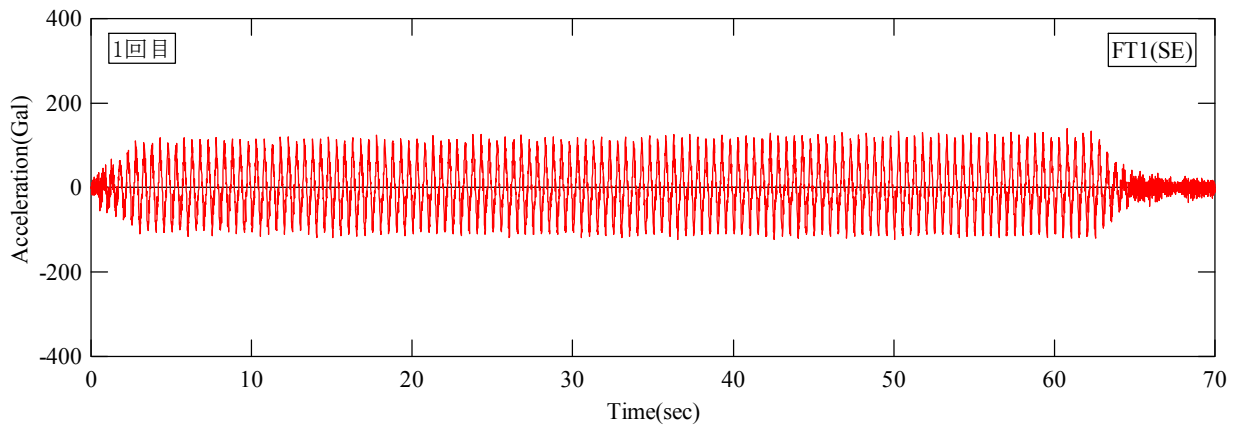


图 7.1.1(12) 1 回目加速度応答波形 (住宅基礎模型)

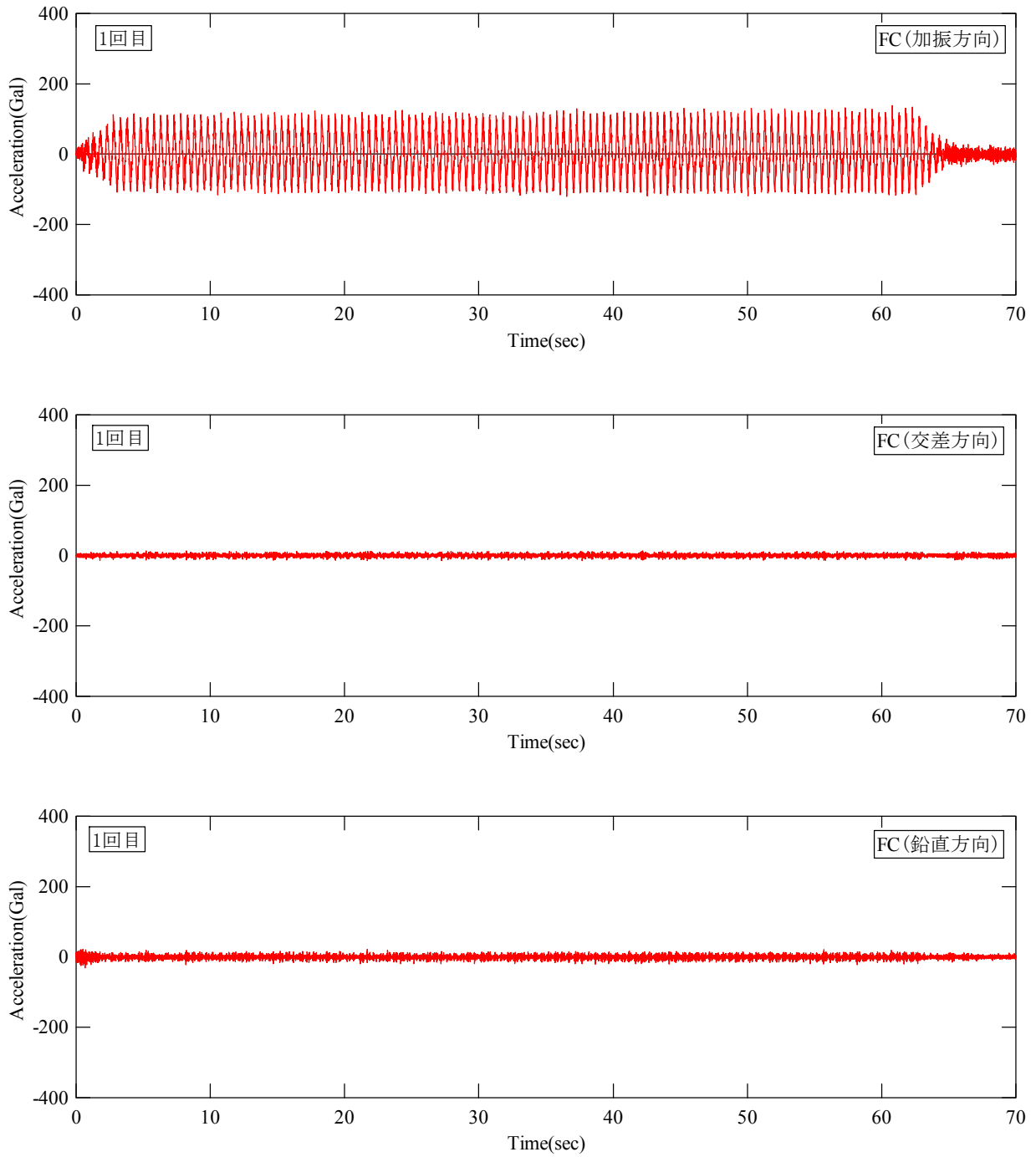


图 7.1.1(13) 1 回目加速度応答波形 (住宅基礎模型中央)

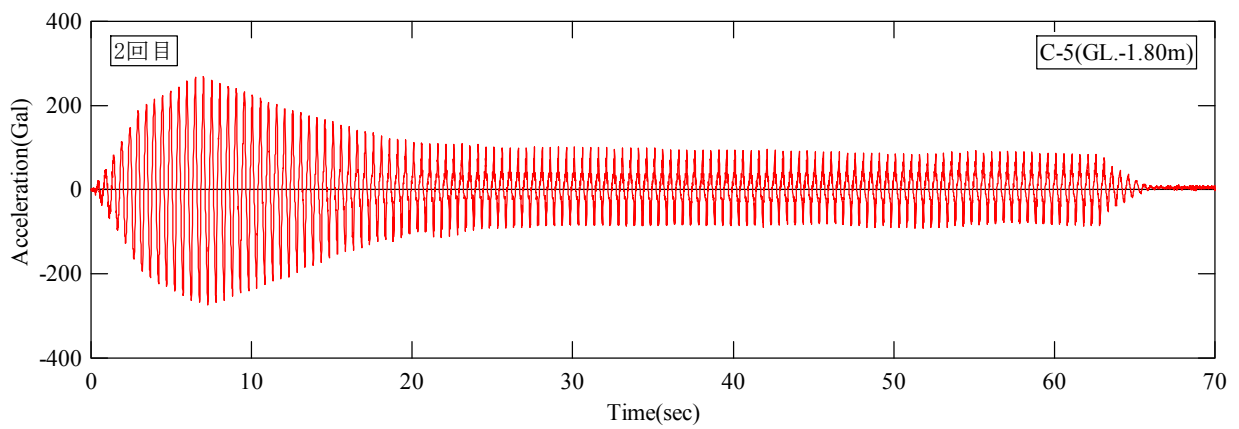
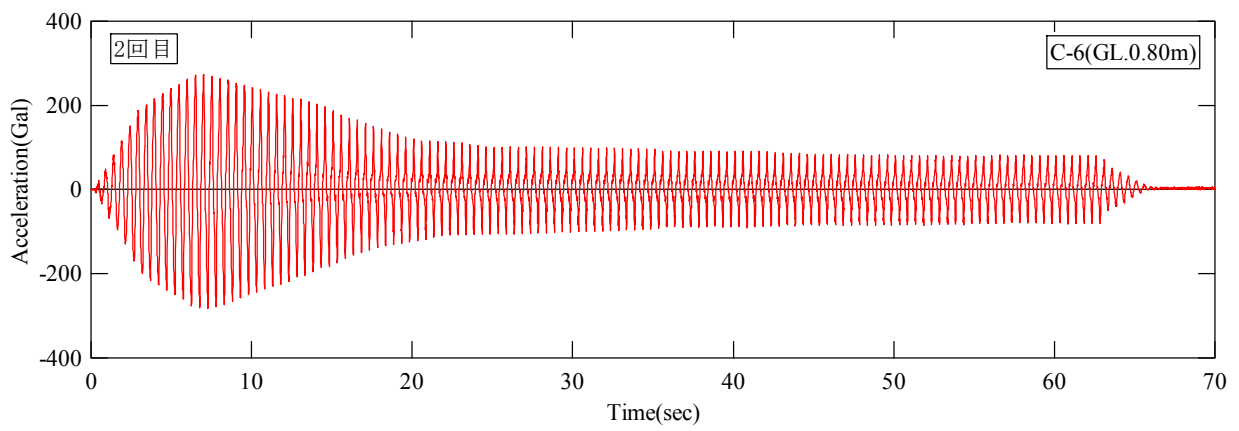
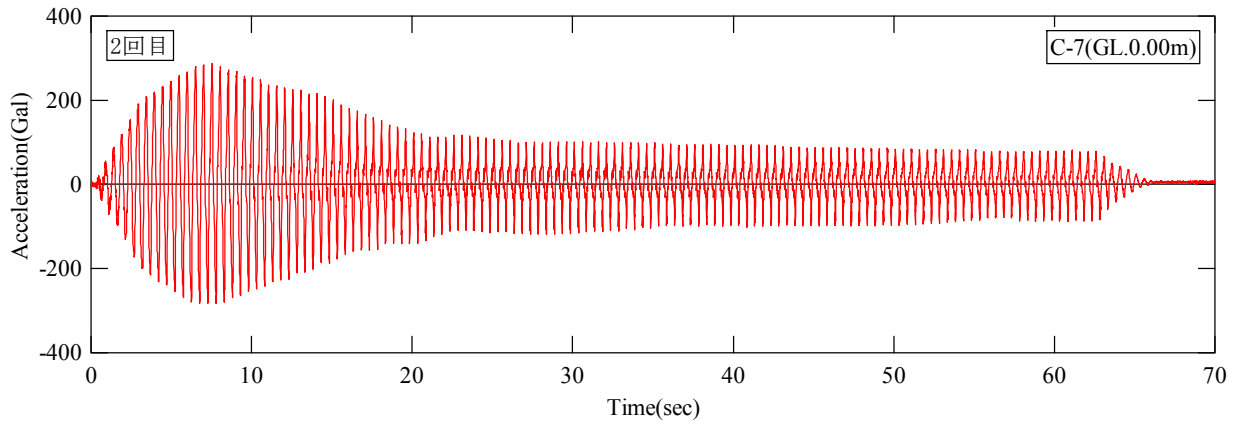


图 7.1.2(1) 2 回目加速度応答波形 (中央部)

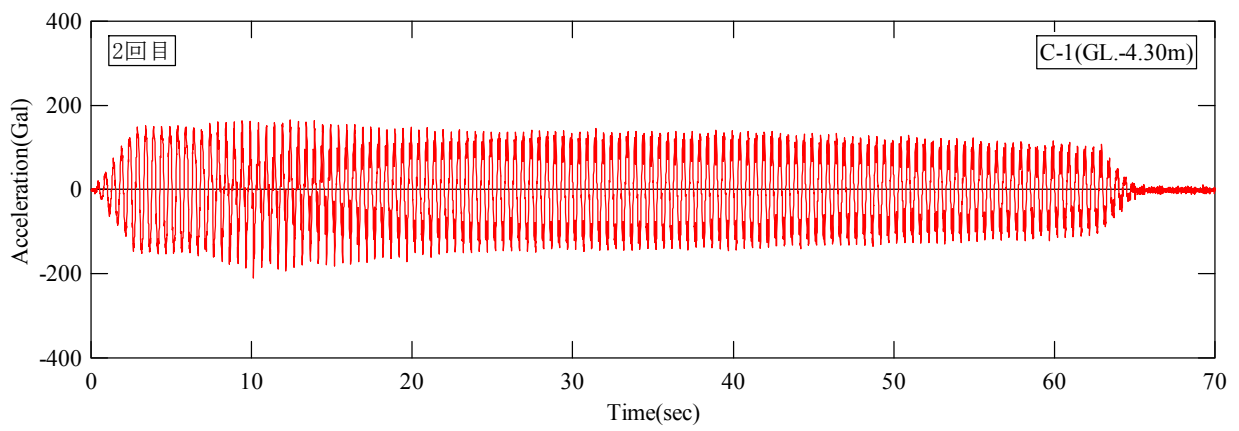
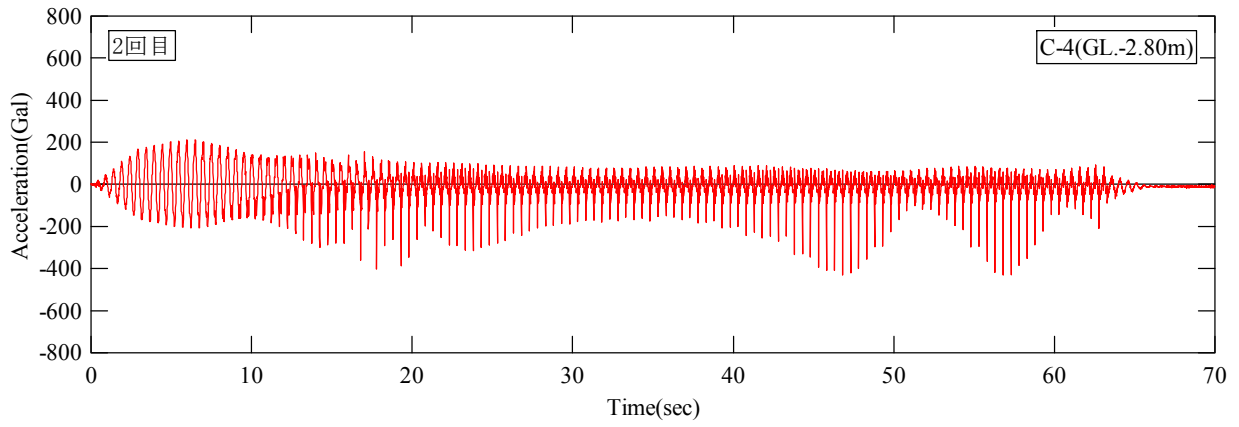


图 7.1.2(2) 2 回目加速度応答波形 (中央部)

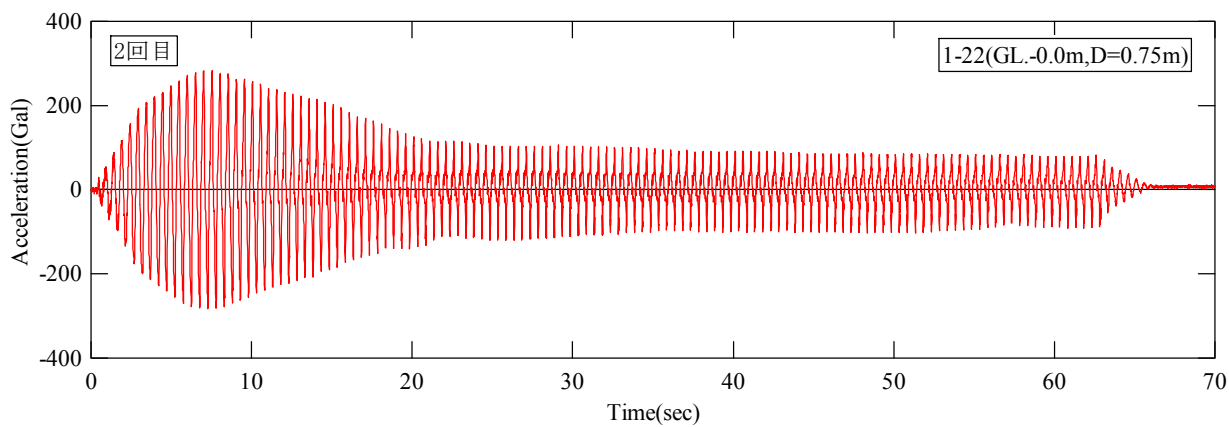
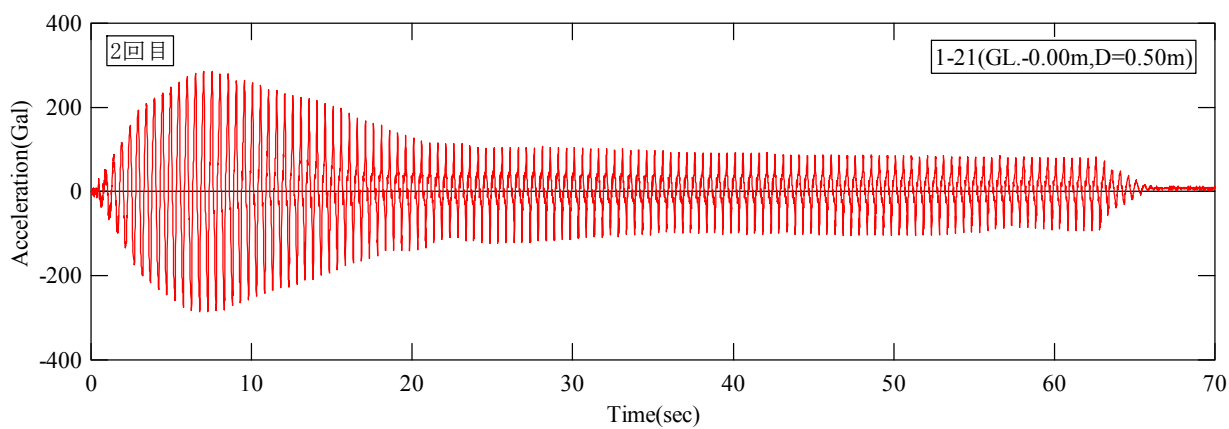
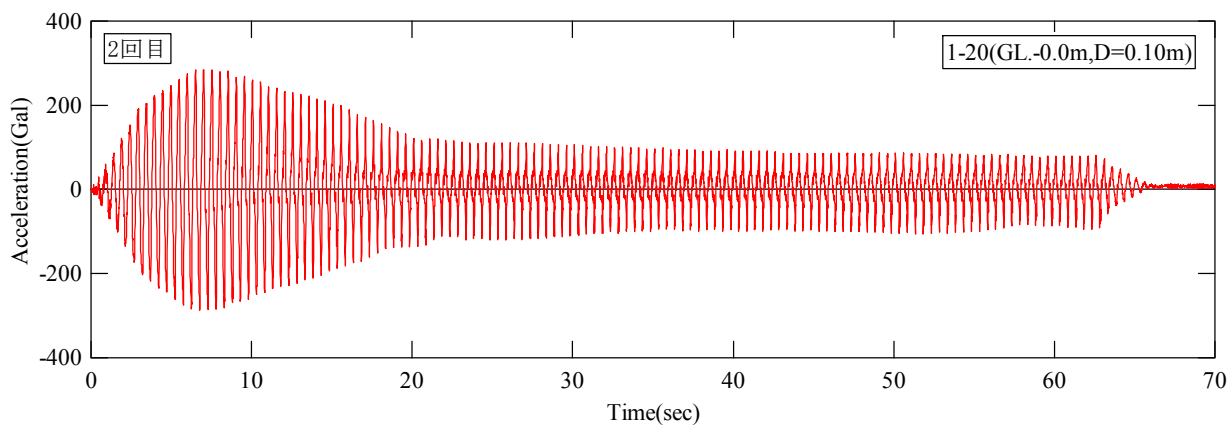


図 7.1.2(3) 2 回目加速度応答波形 (領域①, GL.0.0m)

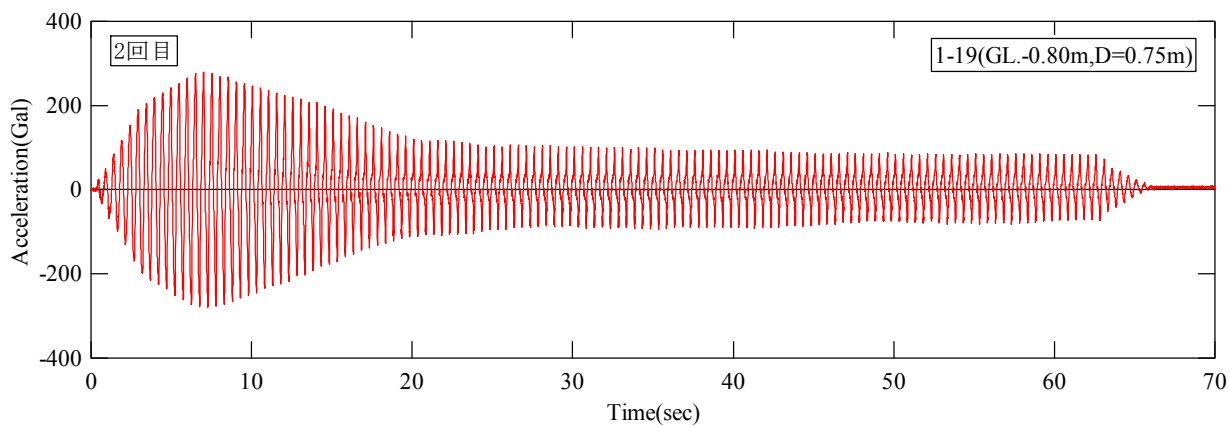
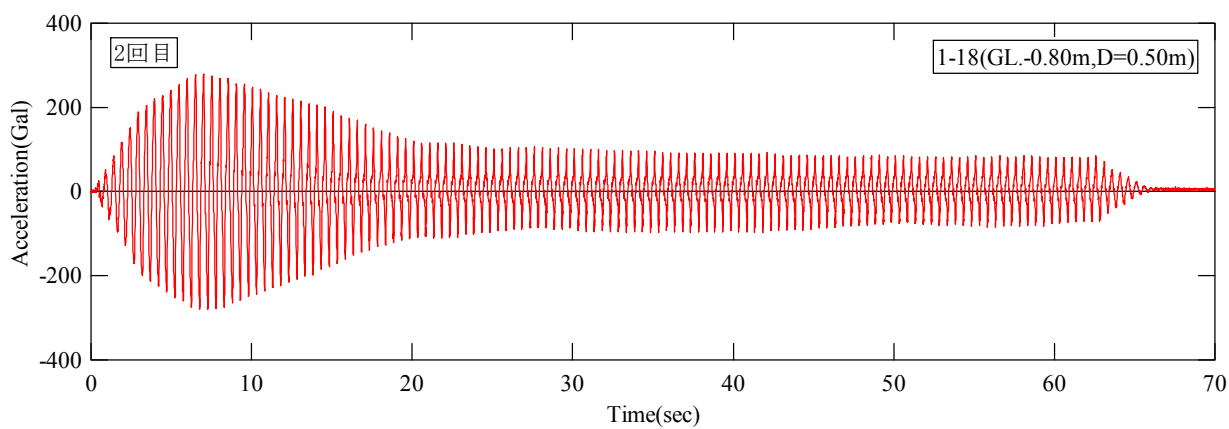
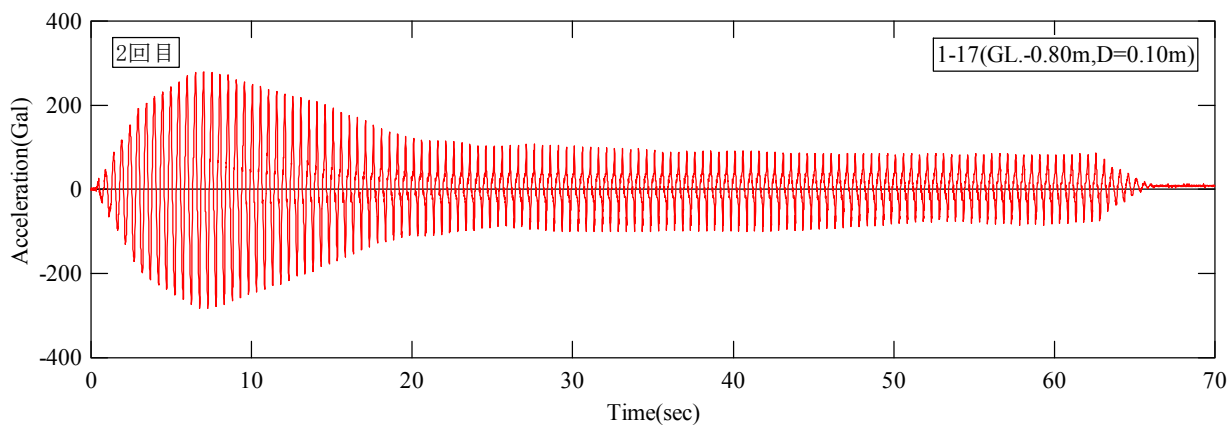


図 7.1.2(4) 2 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-0.80m)

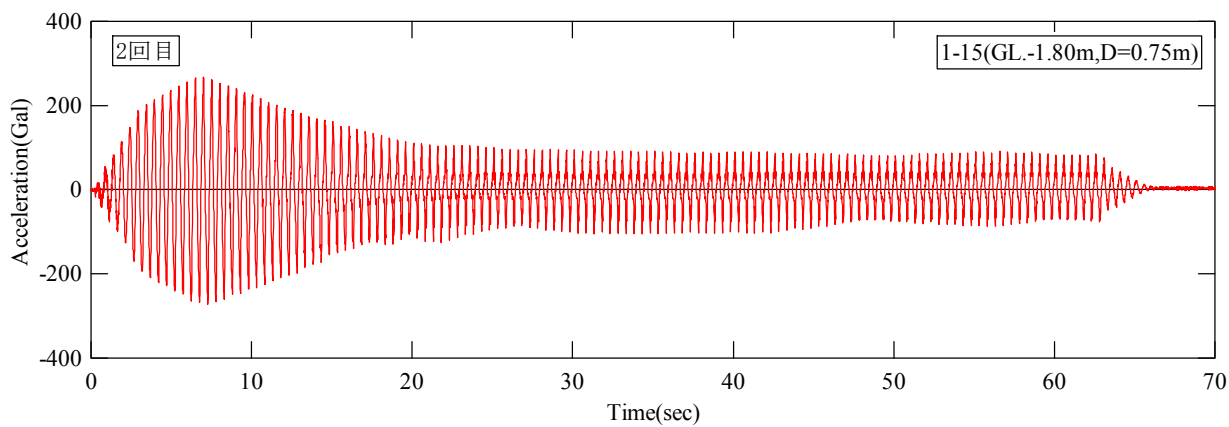
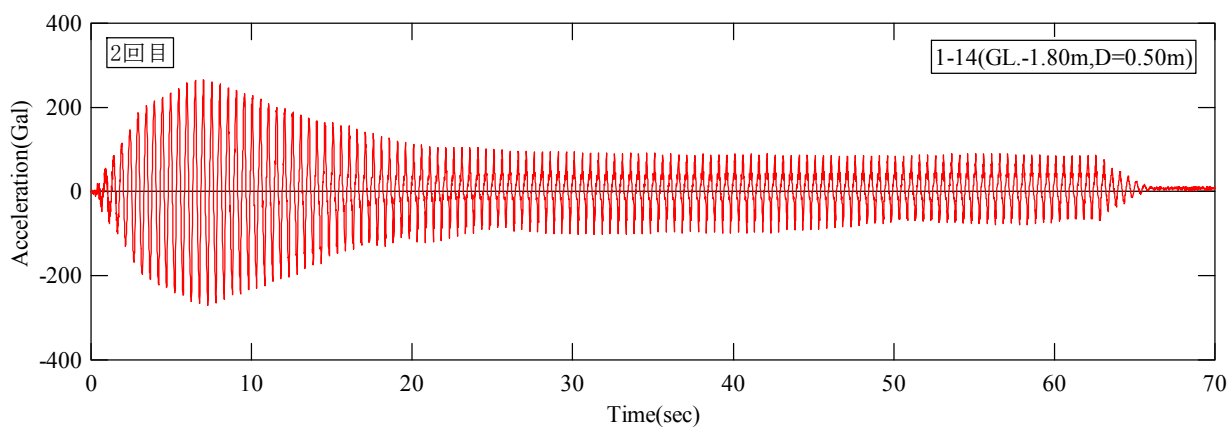
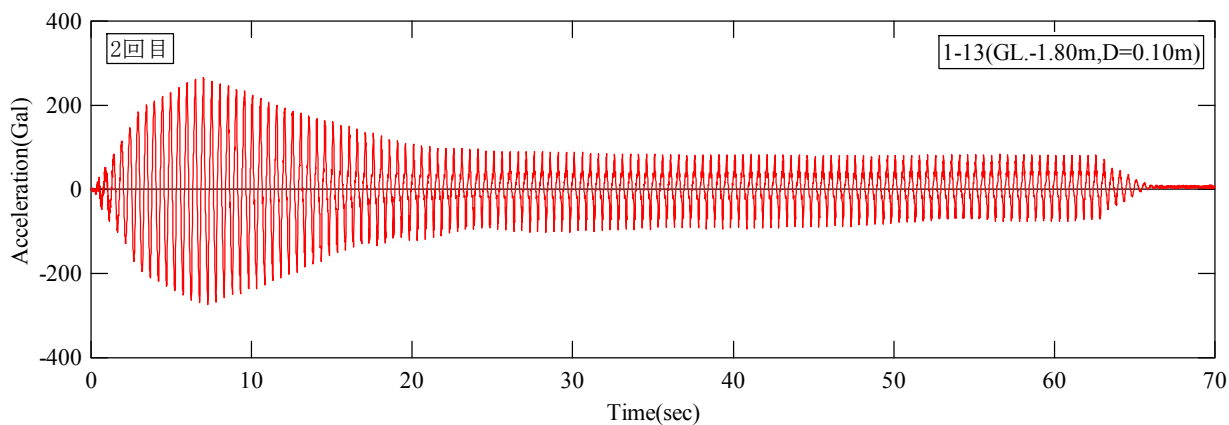


図 7.1.2(5) 2 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-1.80m)

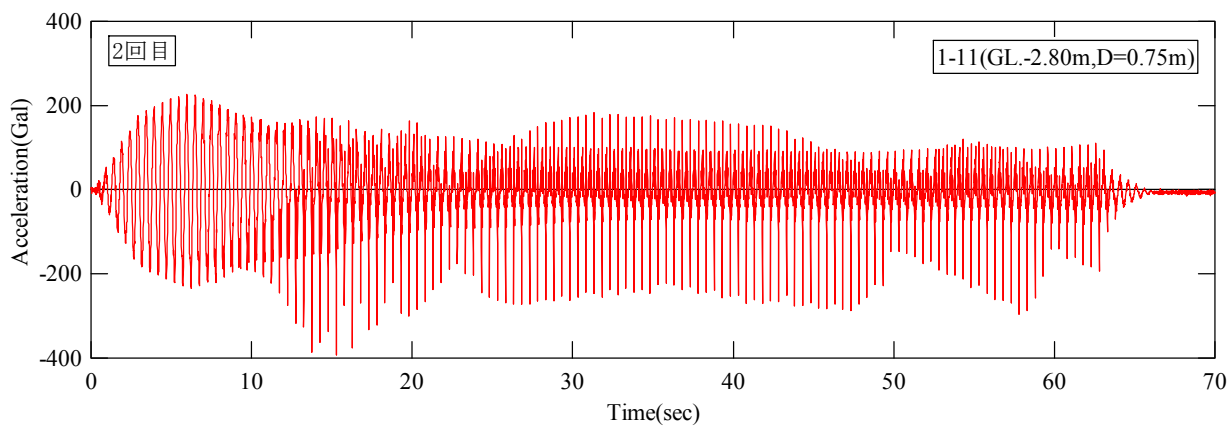
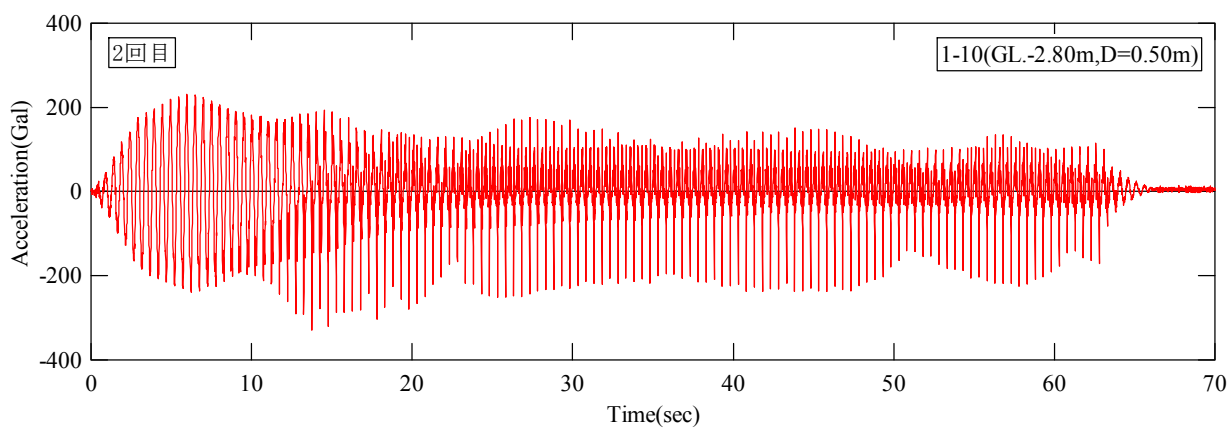
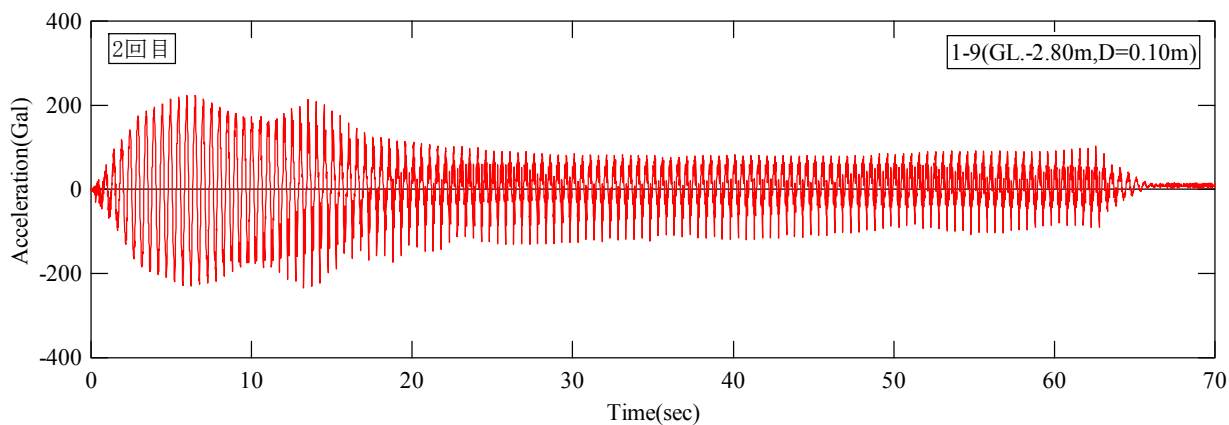


図 7.1.2(6) 2 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-2.80m)



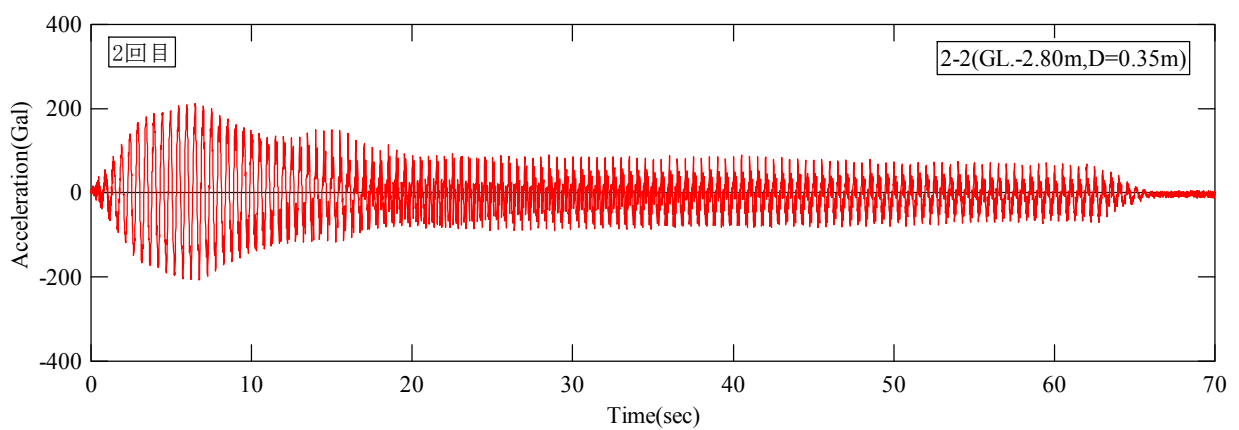
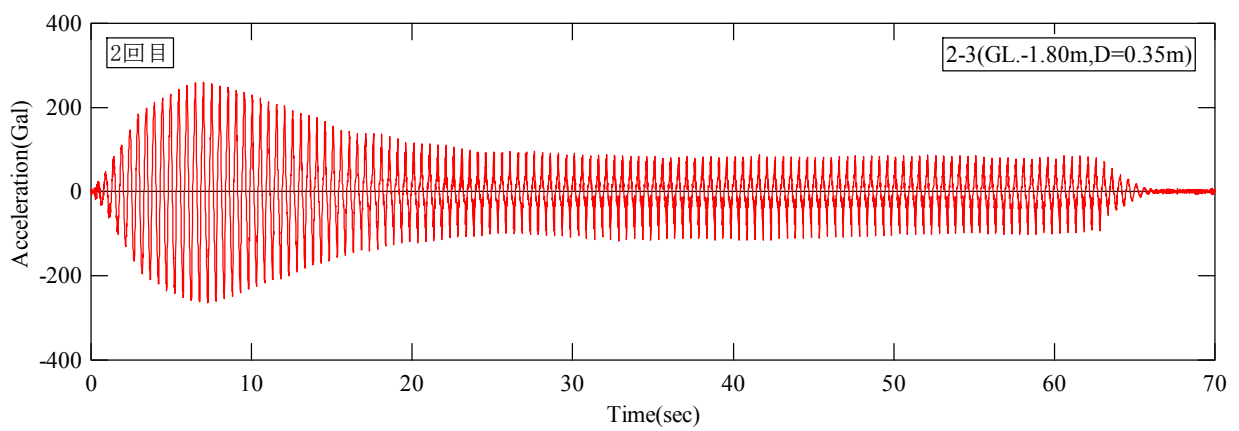
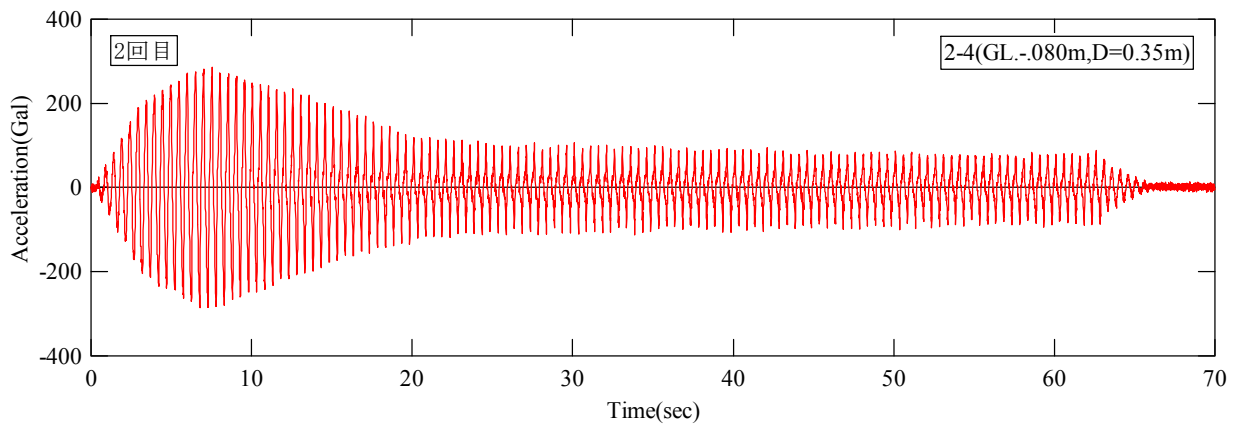
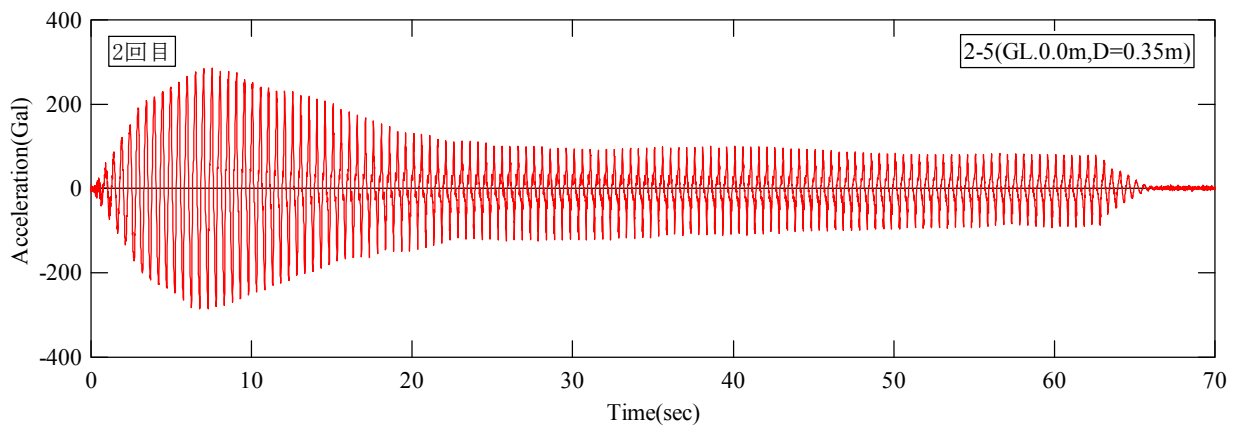


図 7.1.2(7) 2 回目加速度応答波形 (領域②, 加振方向)

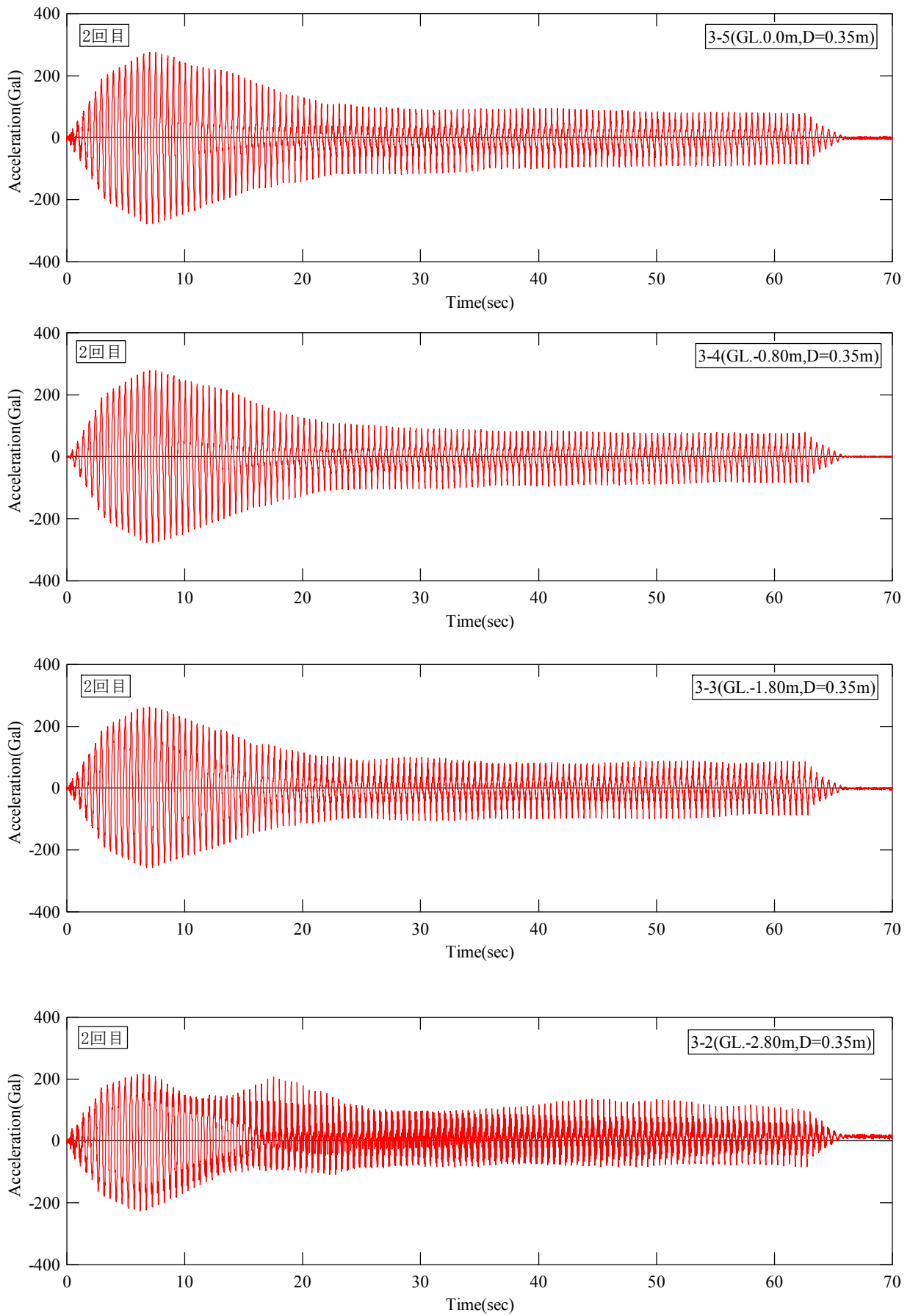


図 7.1.2(8) 2 回目加速度応答波形 (領域②, 交差方向)

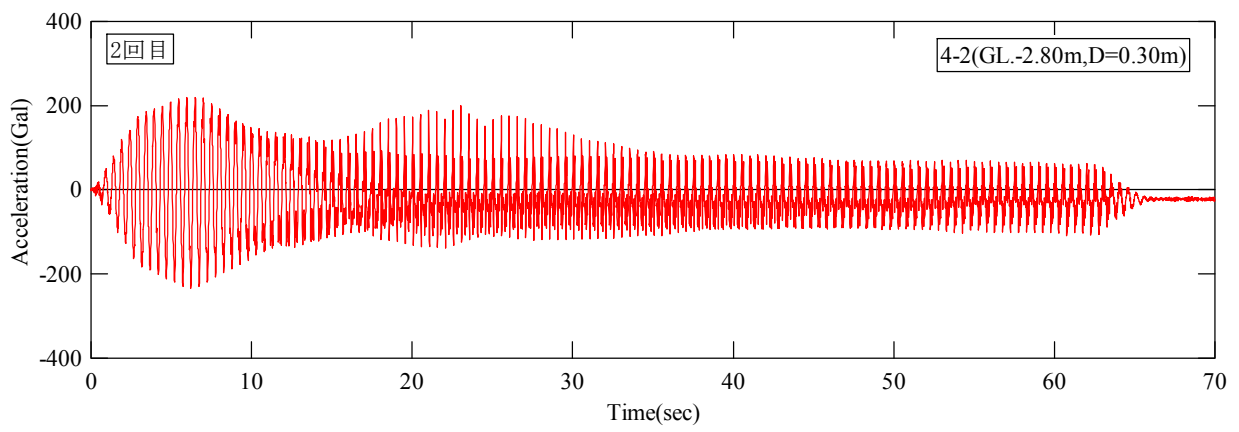
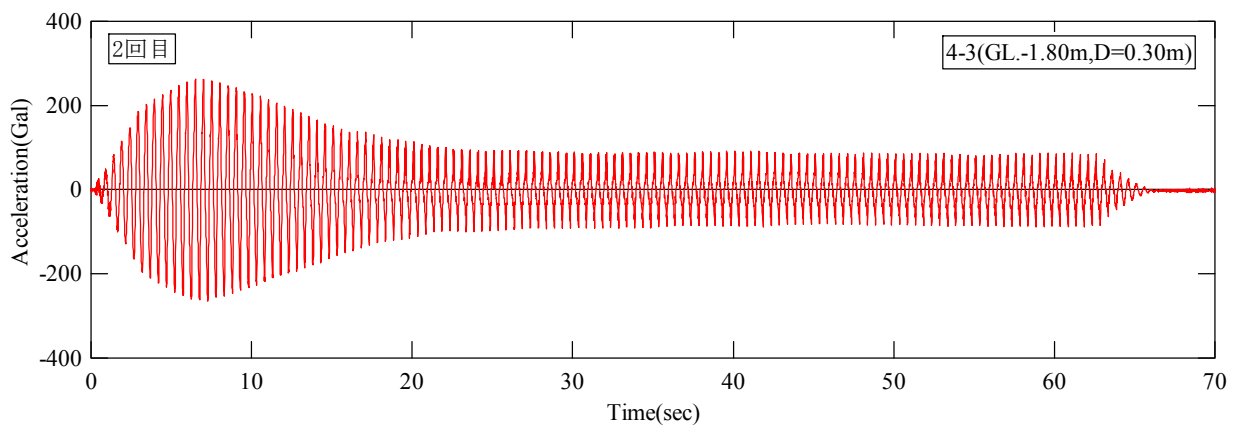
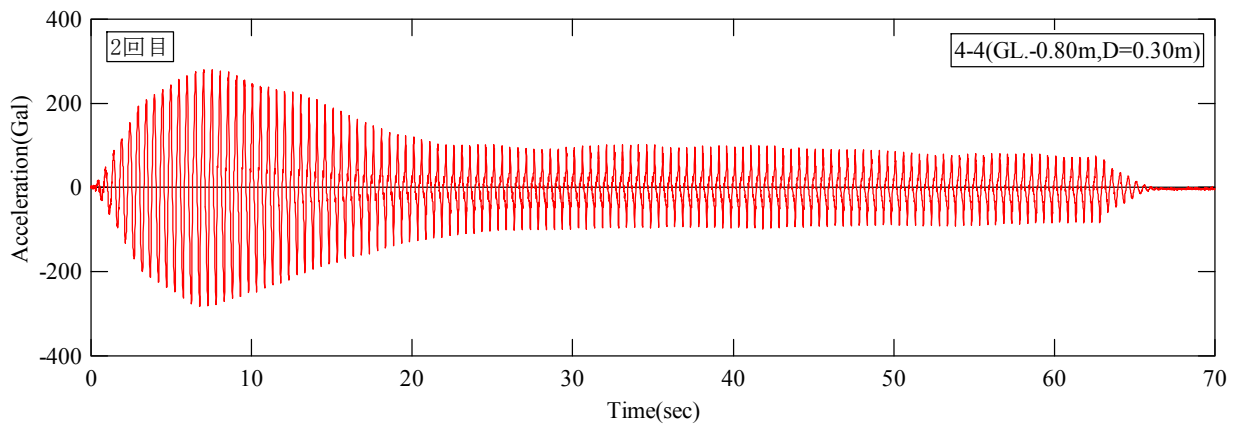
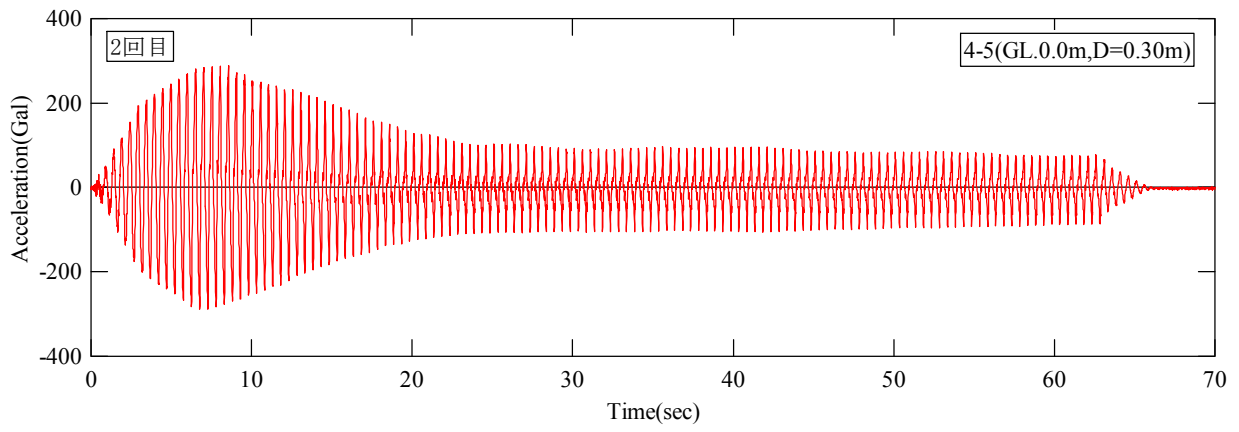


図 7.1.2(9) 2 回目加速度応答波形 (領域③, ドレーンパイプ側)

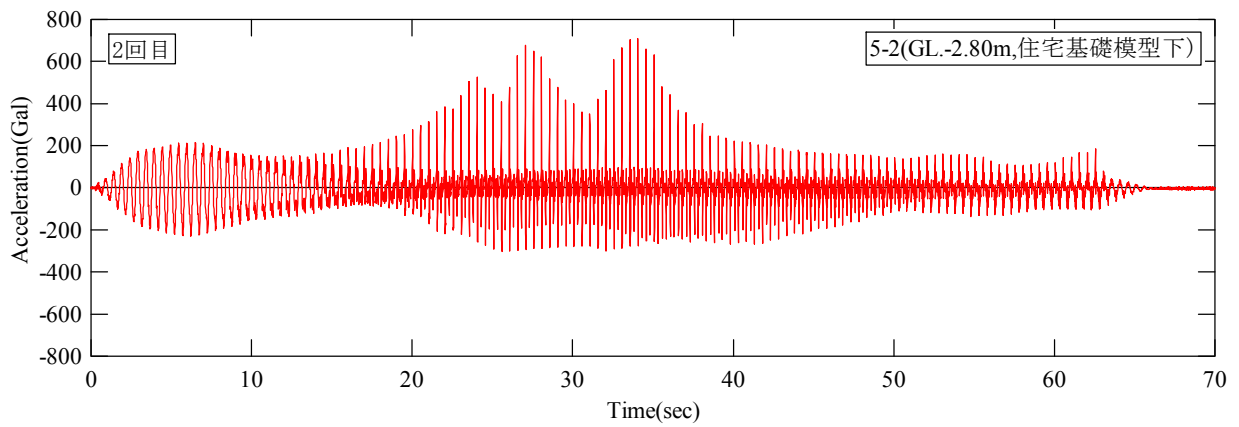
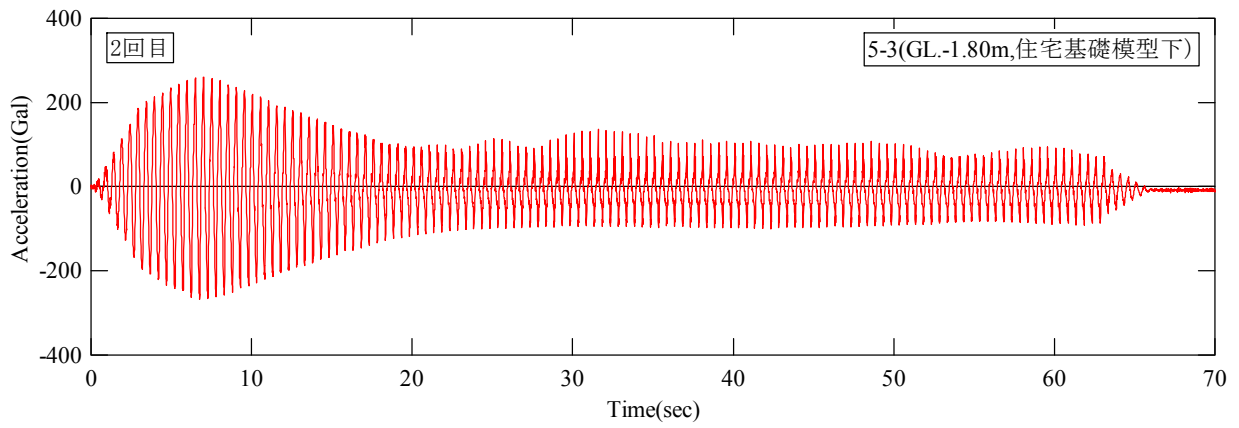
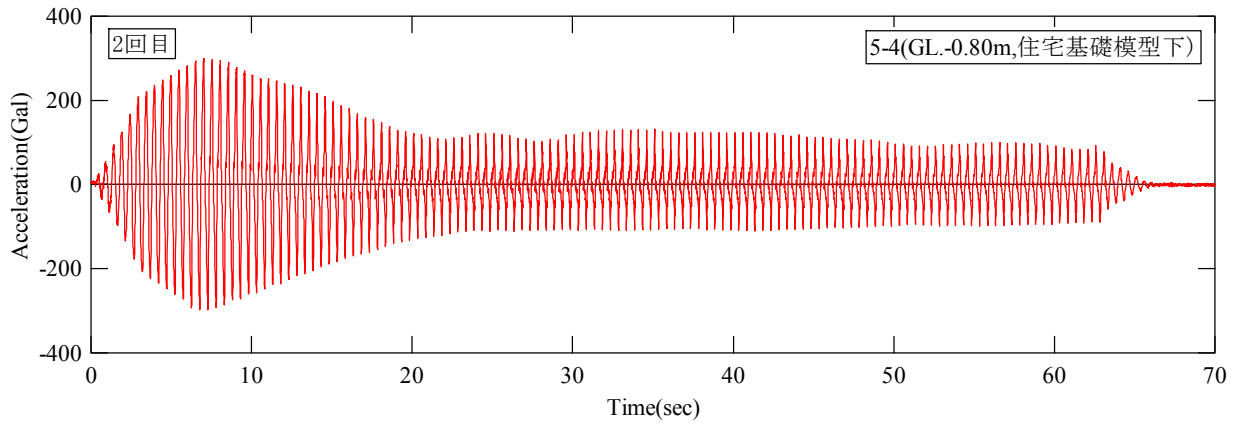
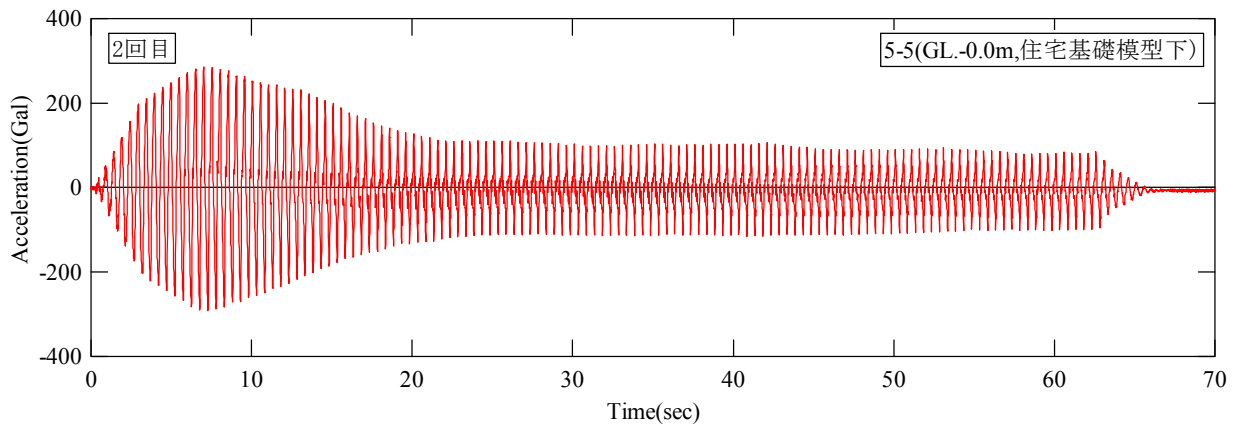


図 7.1.2(10) 2 回目加速度応答波形 (領域③, 住宅基礎模型下)

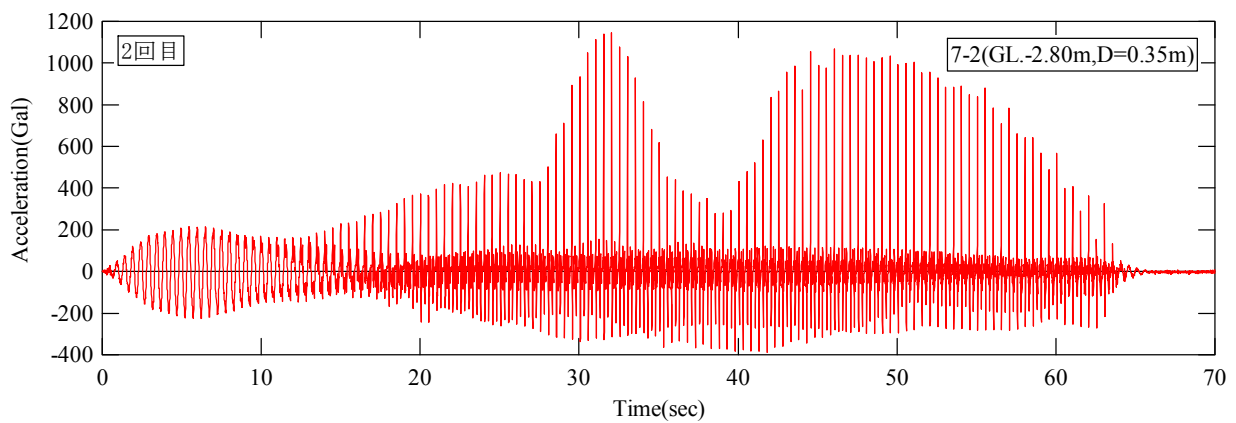
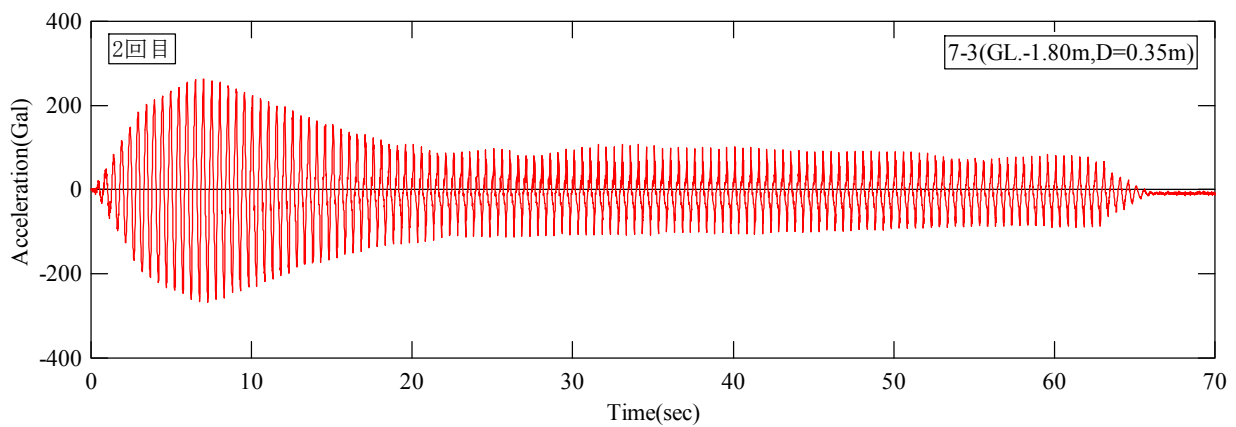
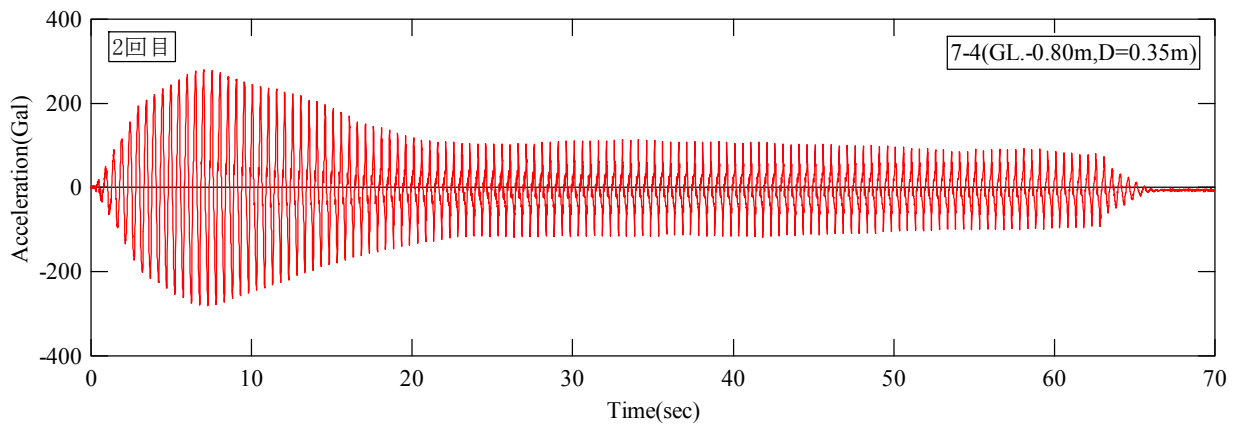
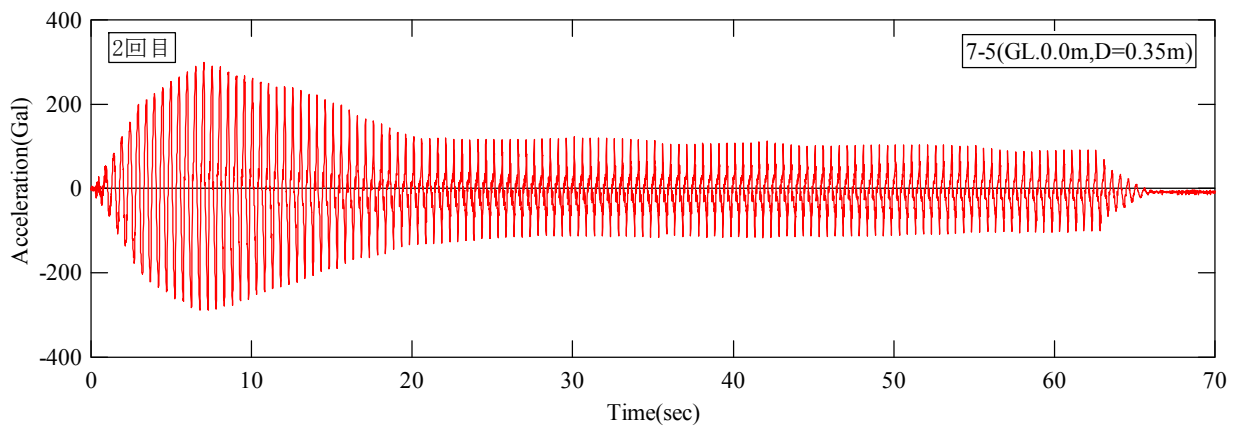


図 7.1.2(11) 2 回目加速度応答波形 (領域③, 無対策側)

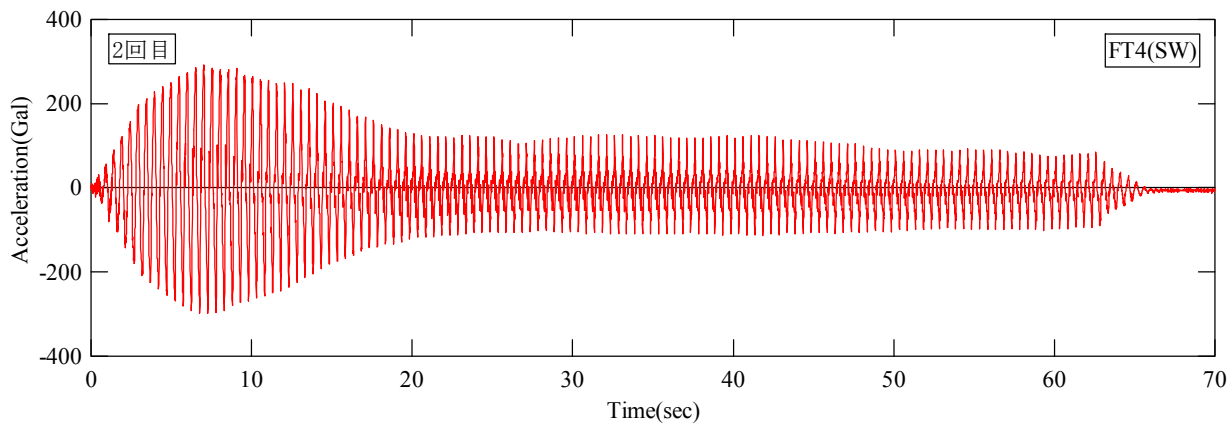
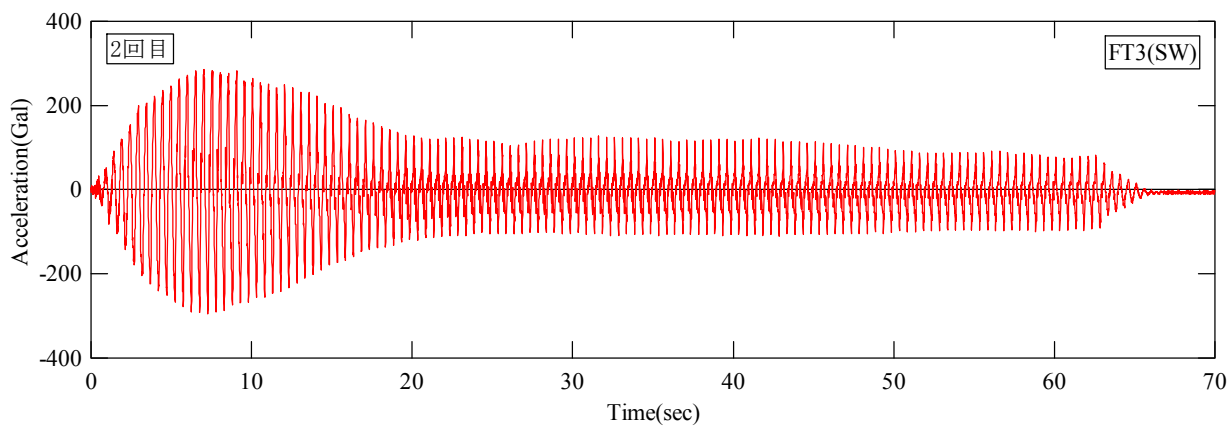
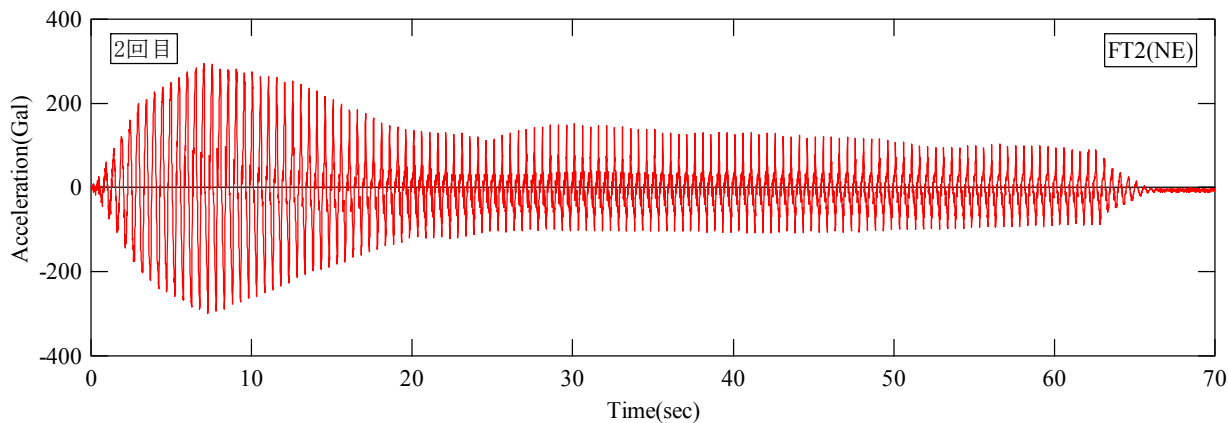
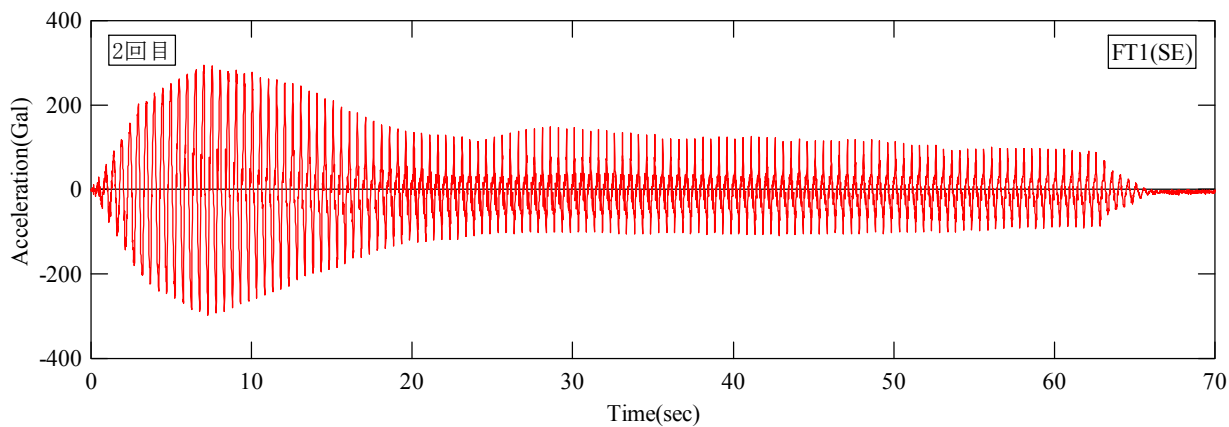


图 7.1.2(12) 2 回目加速度応答波形 (住宅基礎模型)

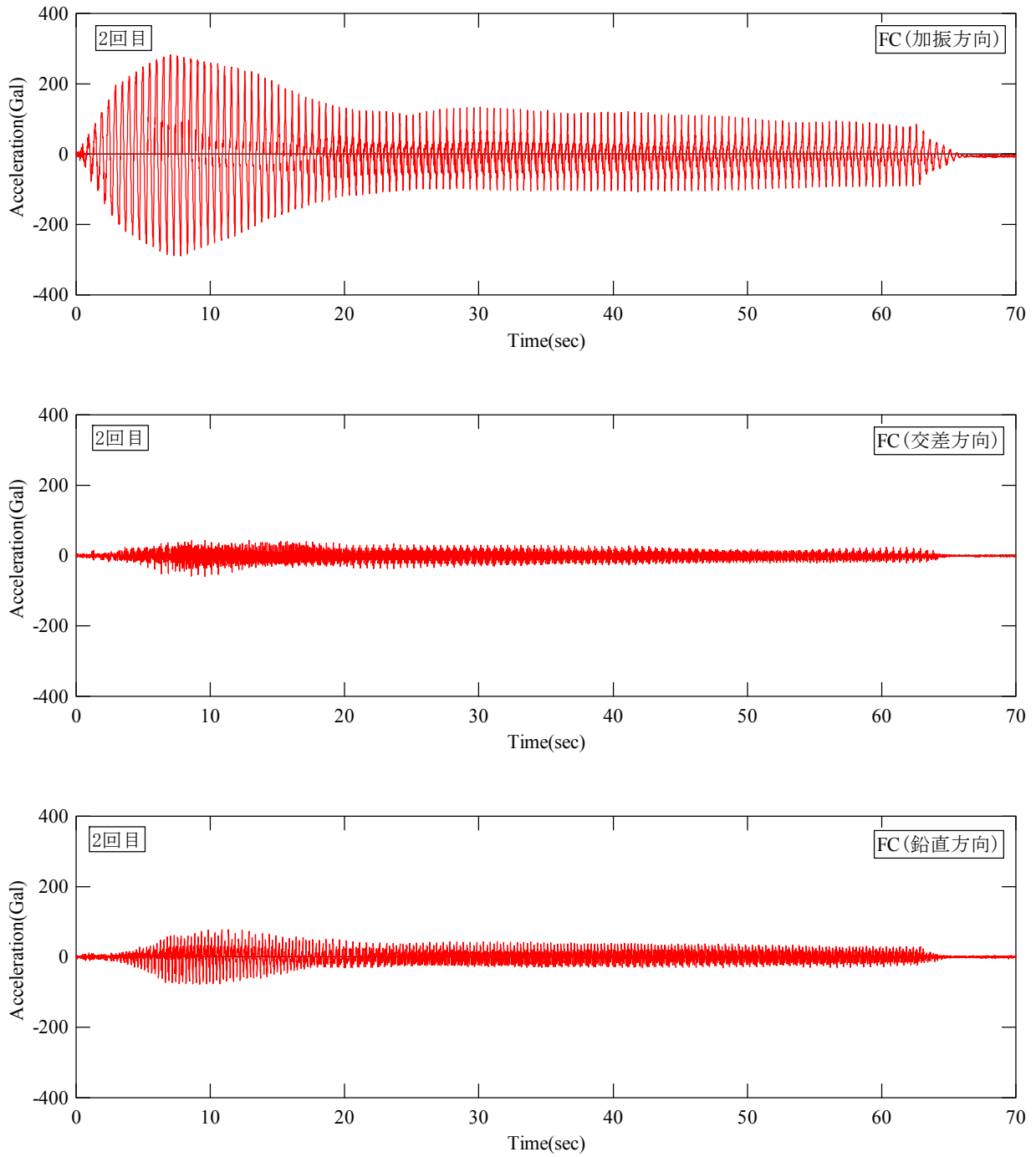


图 7.1.2(13) 2 回目加速度応答波形 (住宅基礎模型中央)

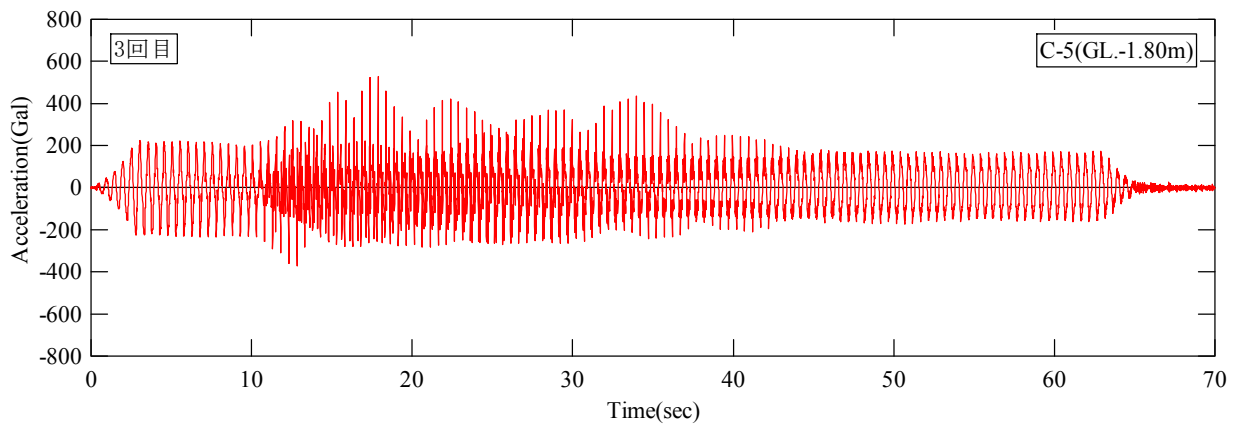
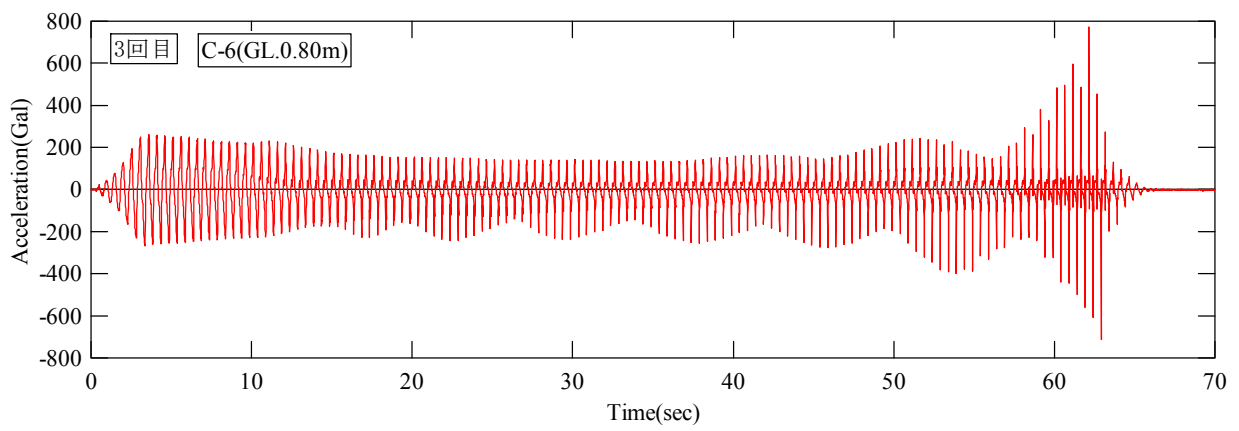
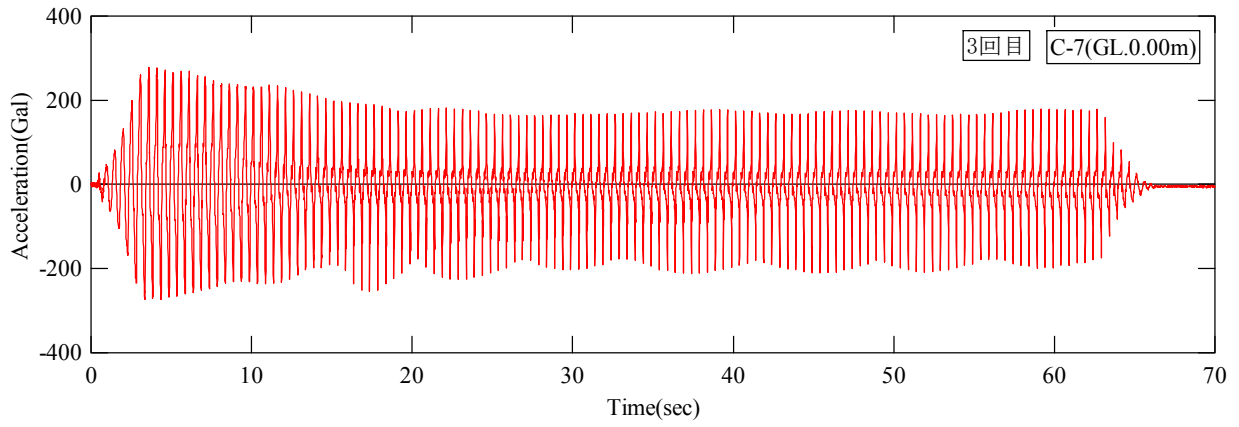


図 7.1.3(1) 3 回目加速度応答波形 (中央部)



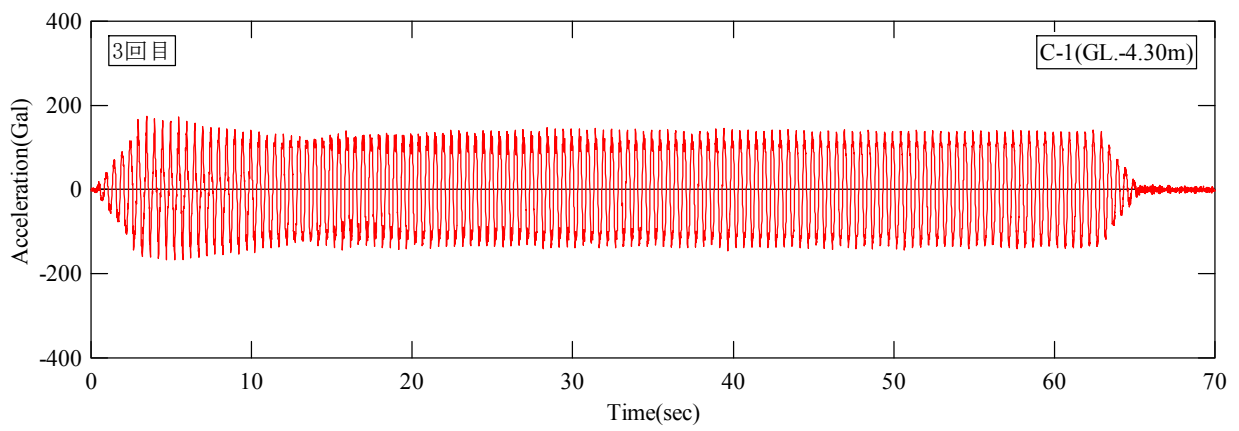
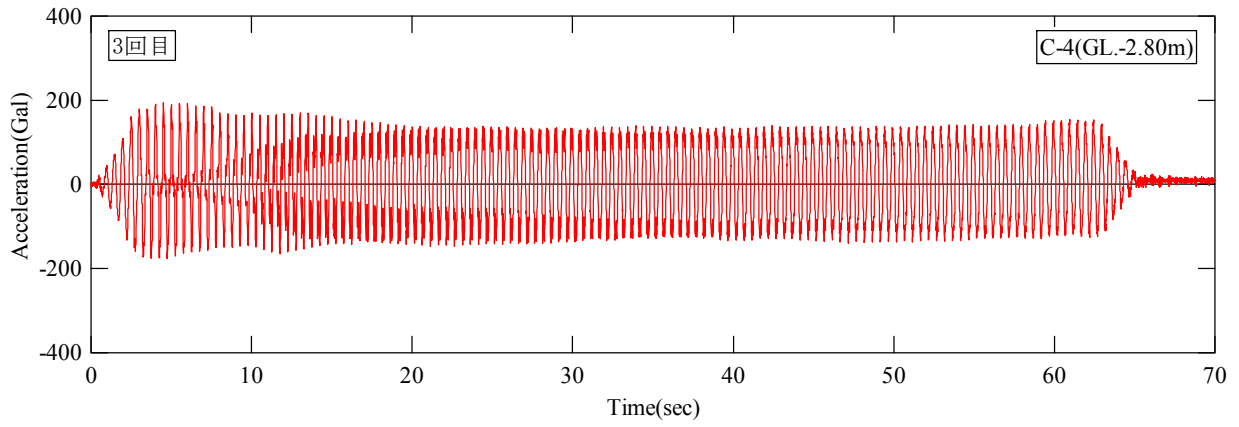


图 7.1.3(2) 3 回目加速度応答波形 (中央部)

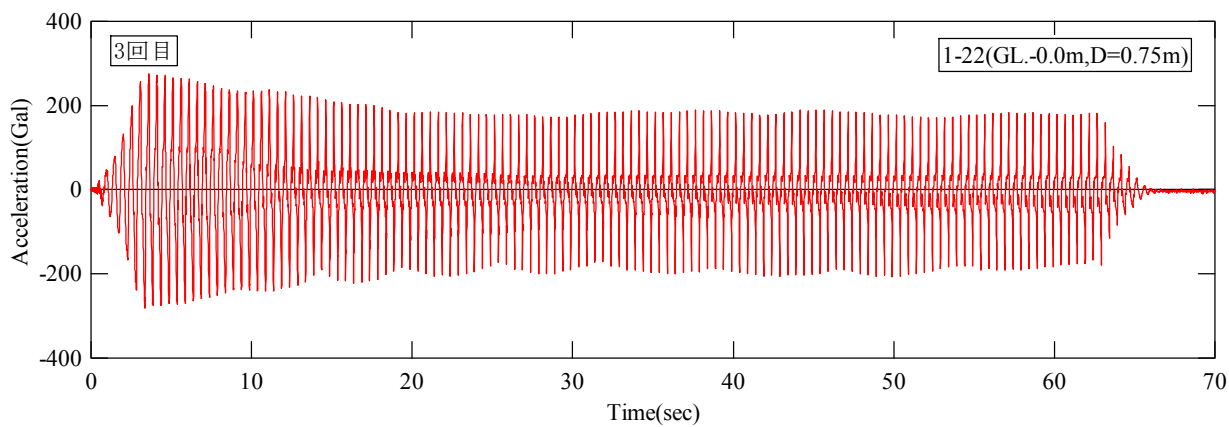
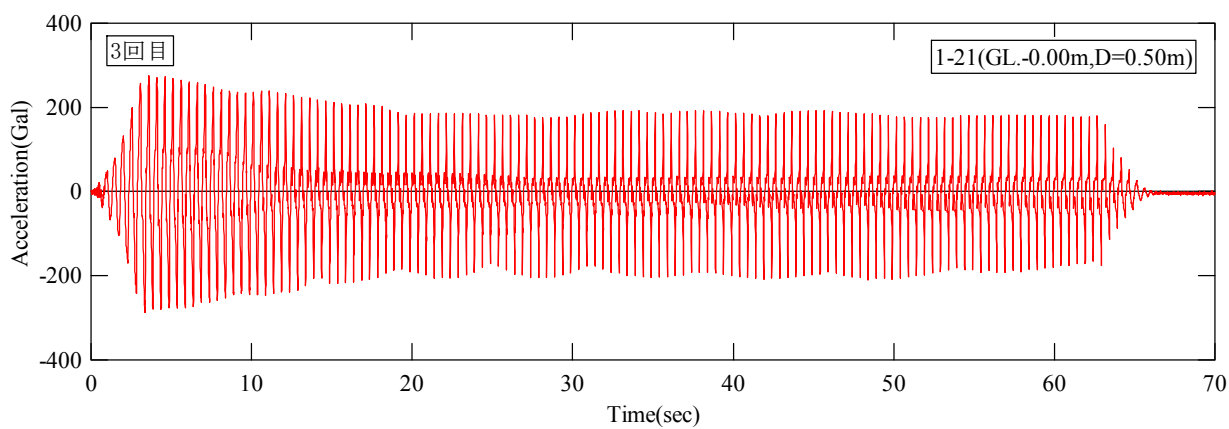
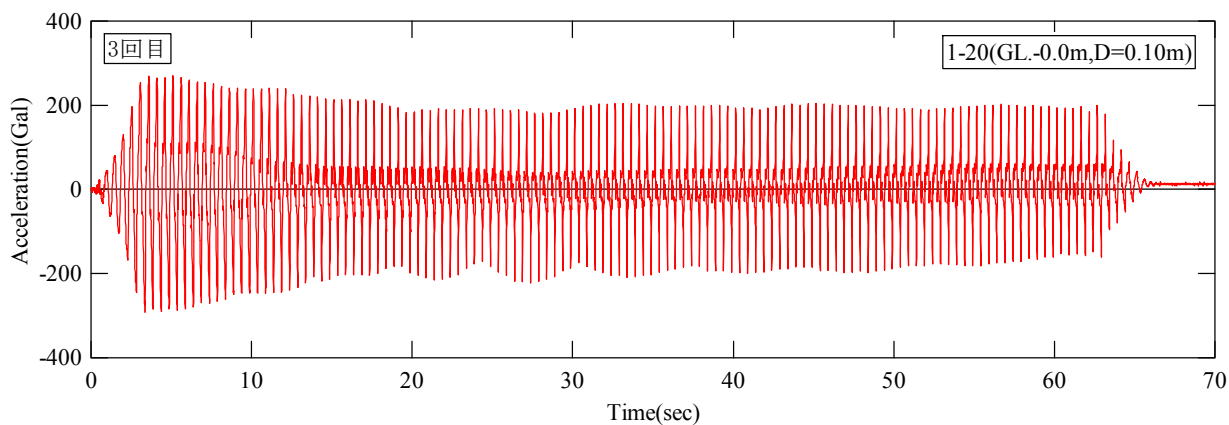


図 7.1.3(3) 3 回目加速度応答波形 (領域①, GL.0.0m)

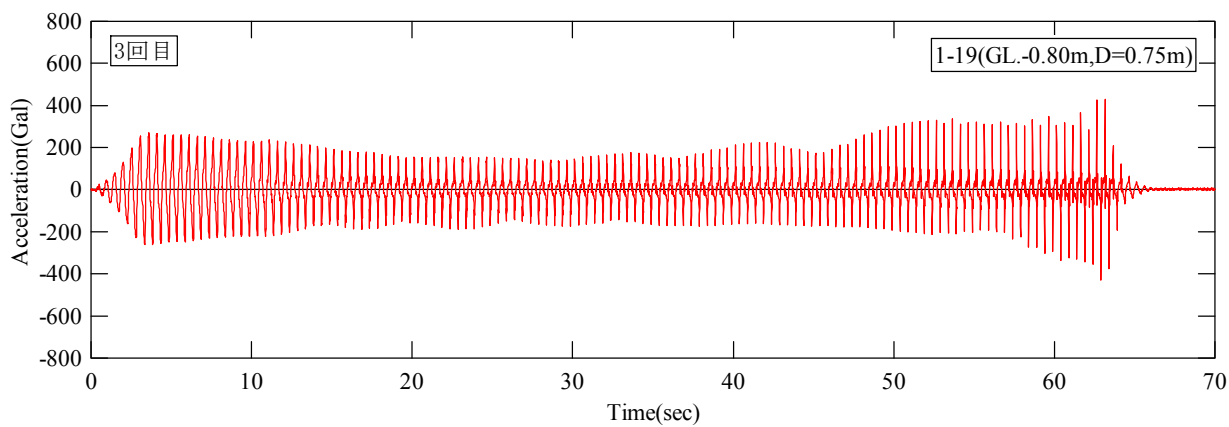
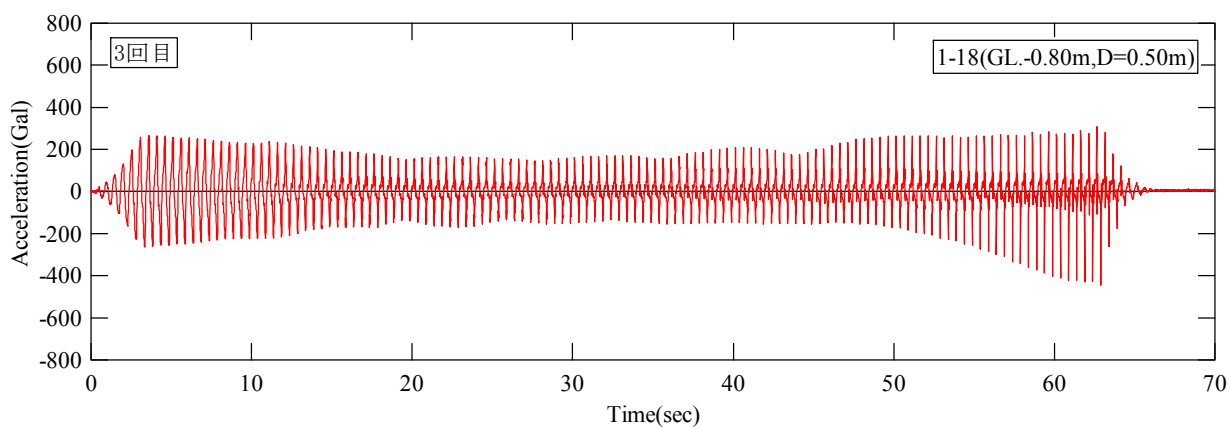
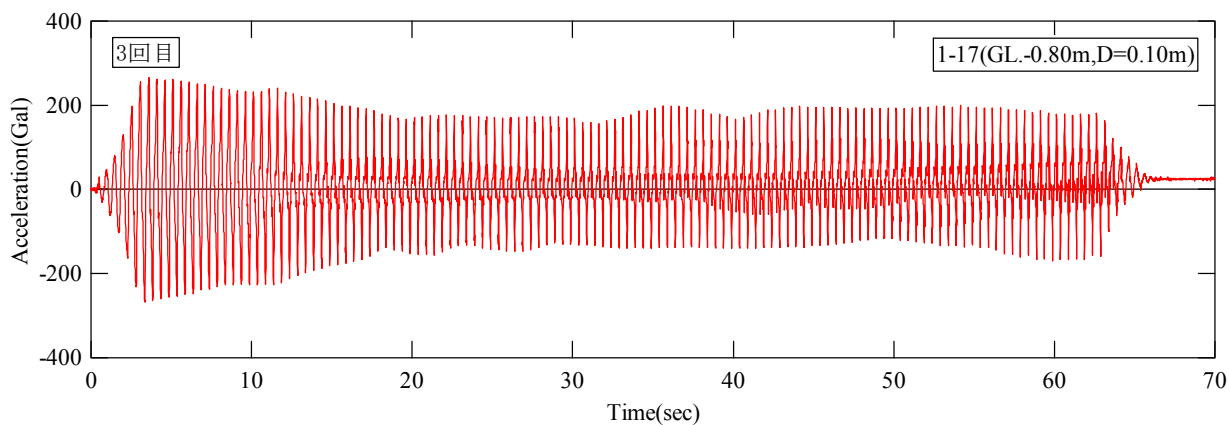


図 7.1.3(4) 3 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-0.80m)

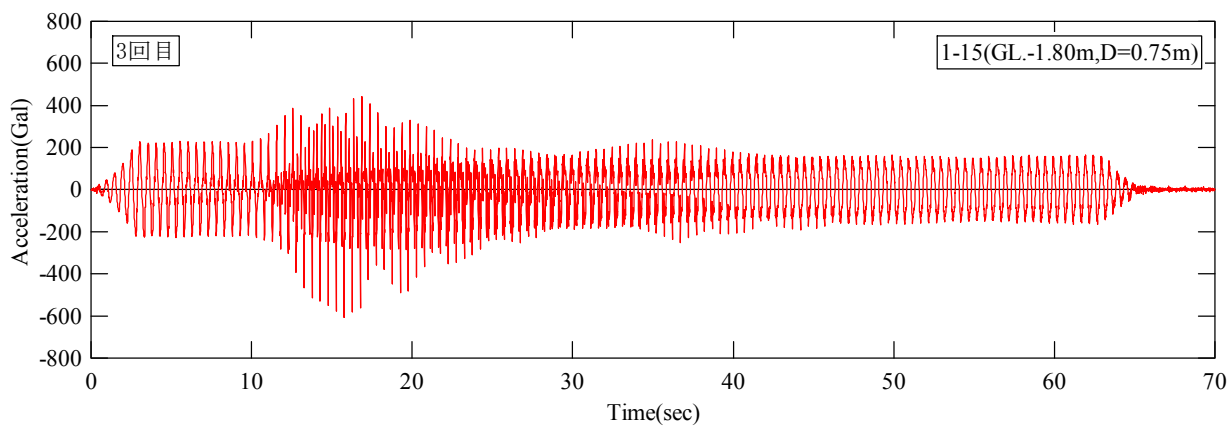
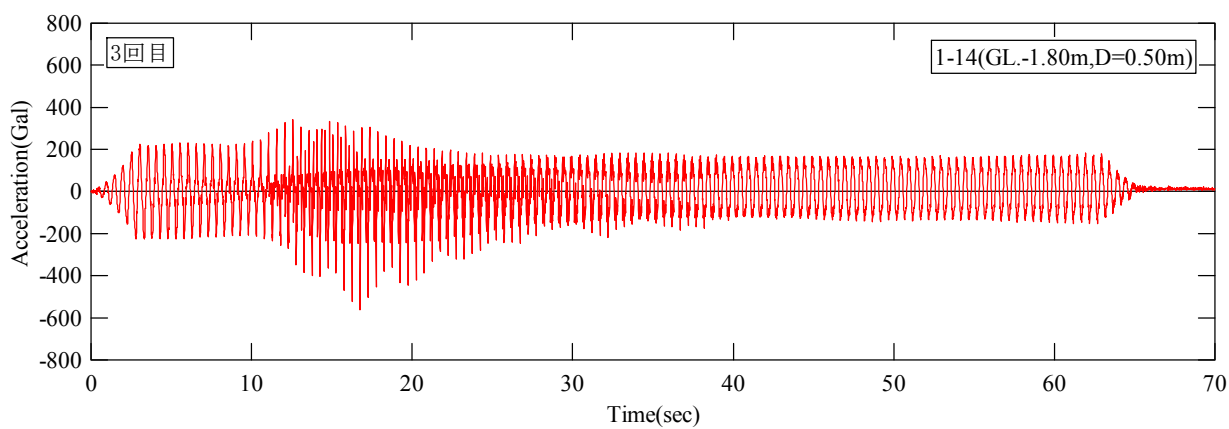
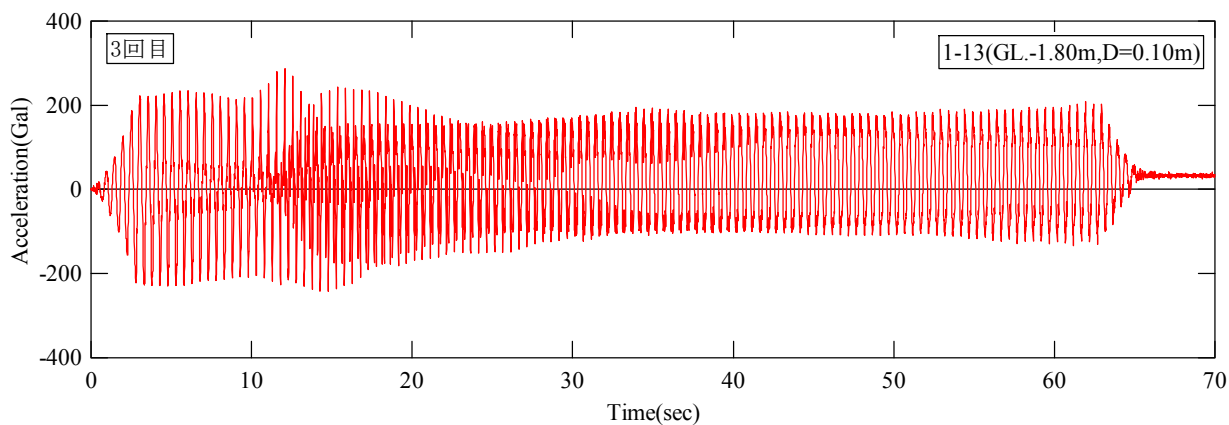


図 7.1.3(5) 3 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-1.80m)

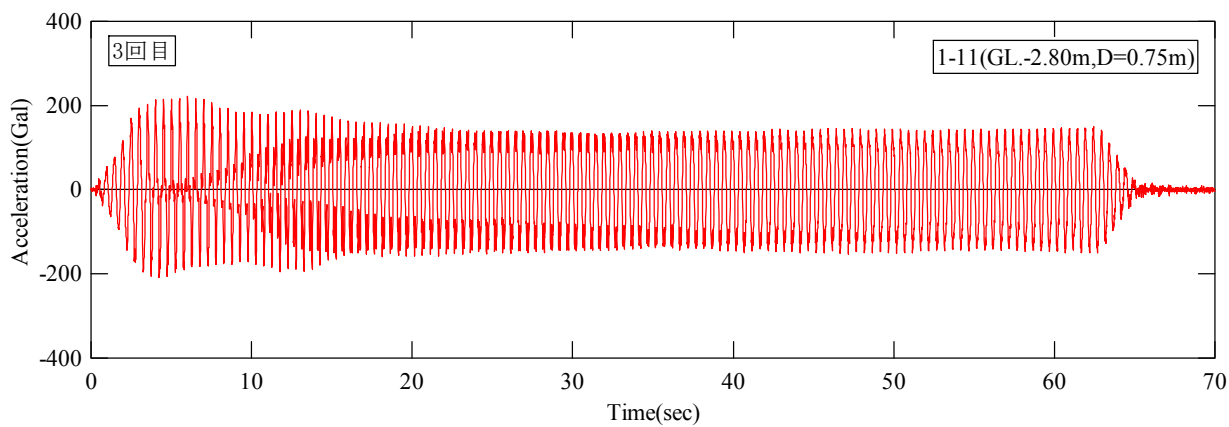
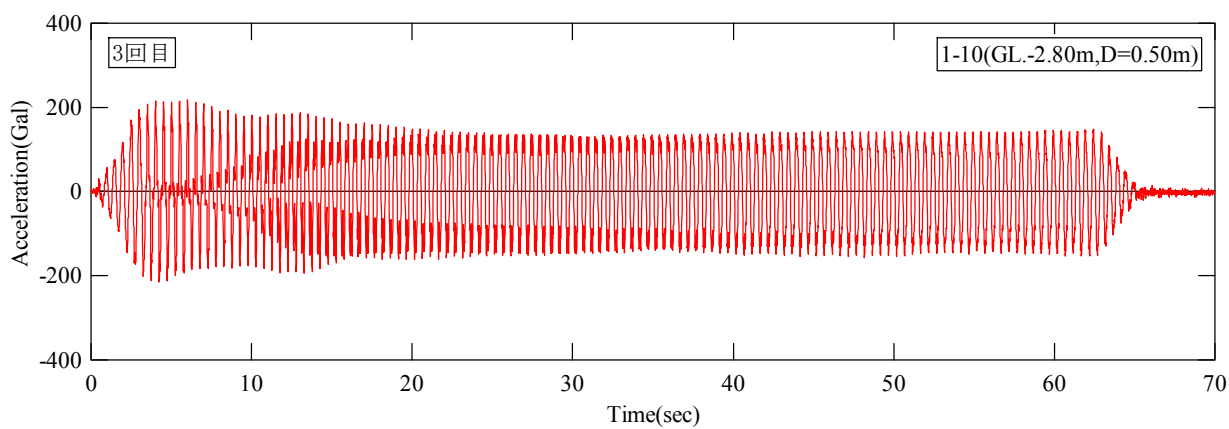
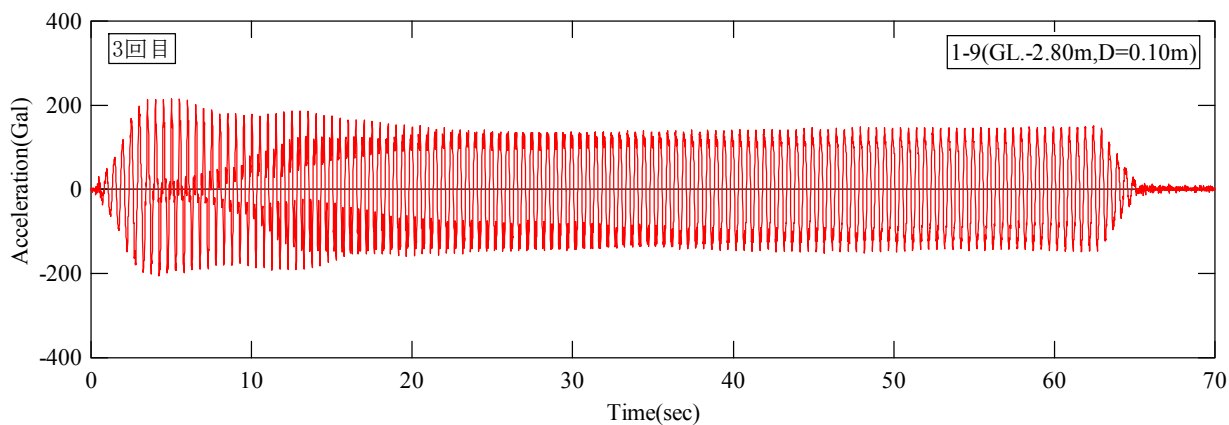


図 7.1.3(6) 3 回目加速度応答波形 (領域①, GL.-2.80m)

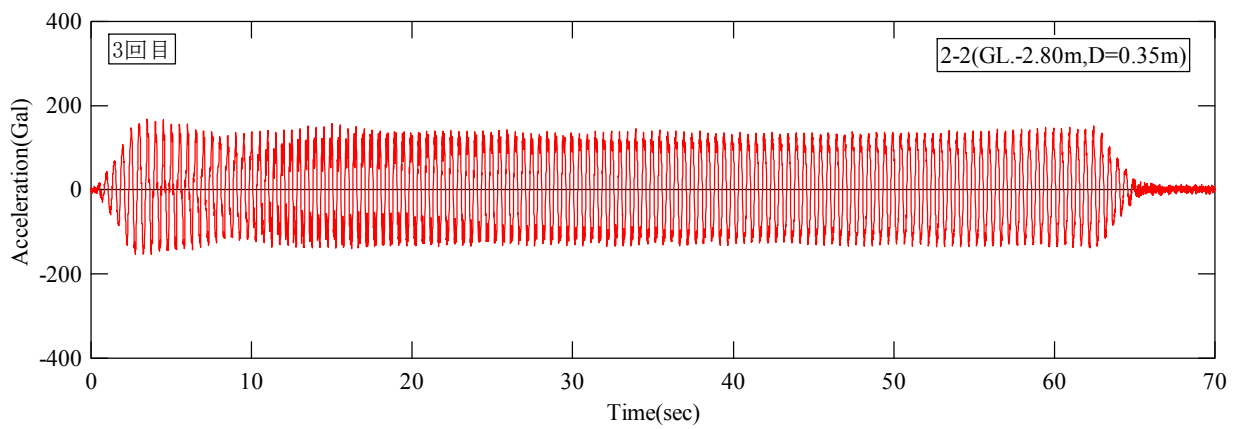
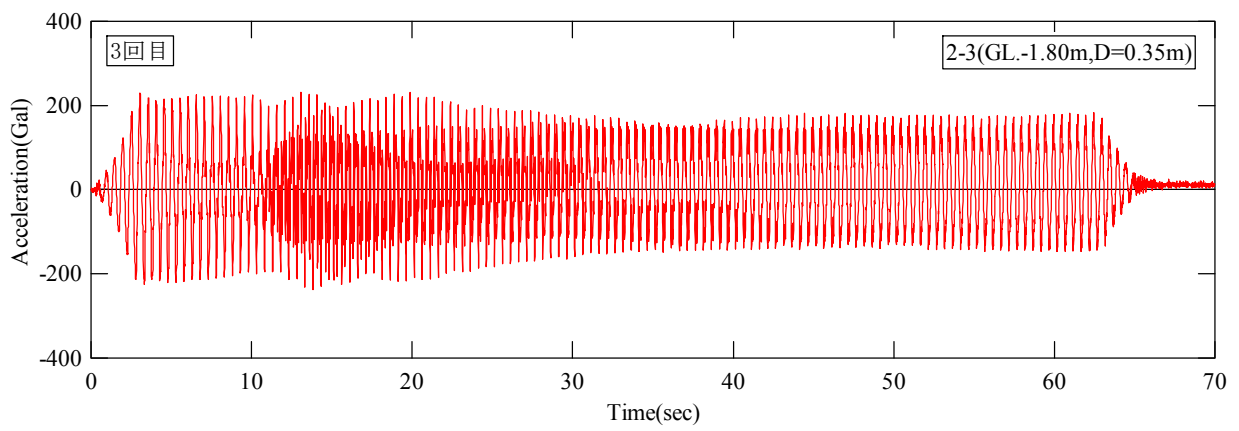
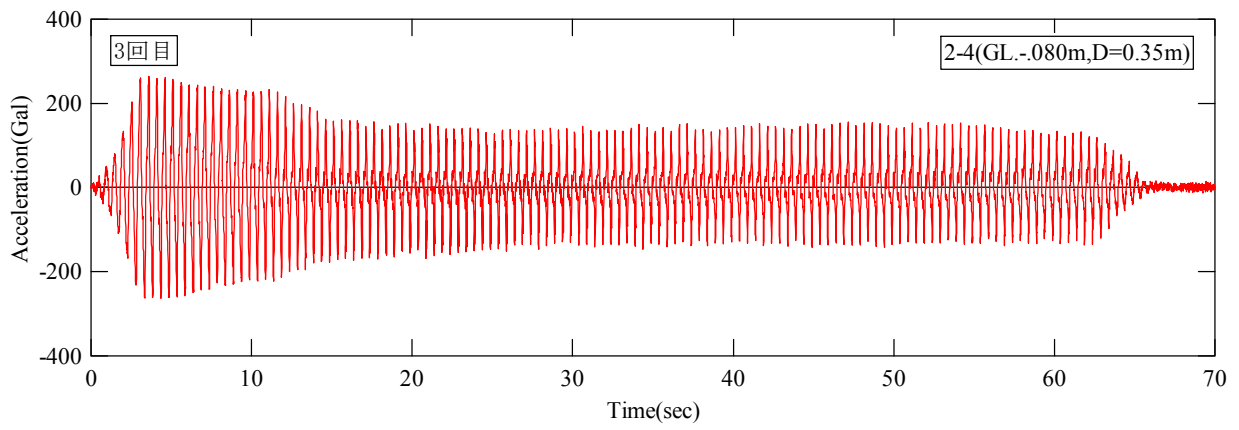
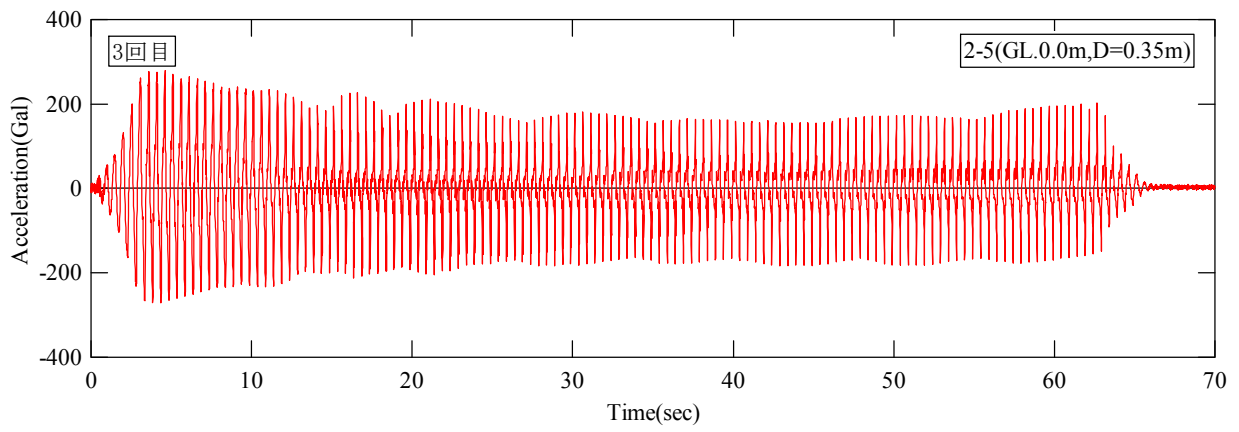


図 7.1.3(7) 3回目加速度応答波形 (領域②, 加振方向)

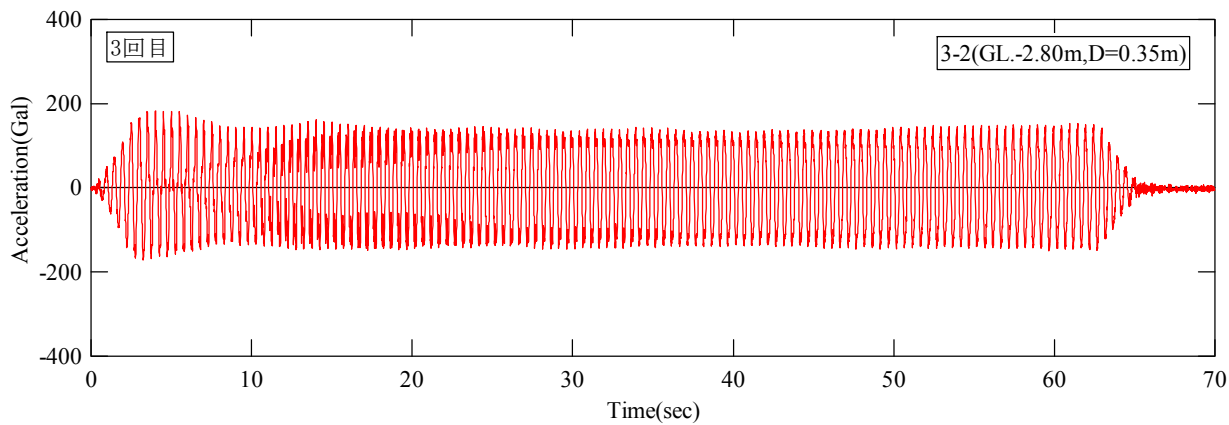
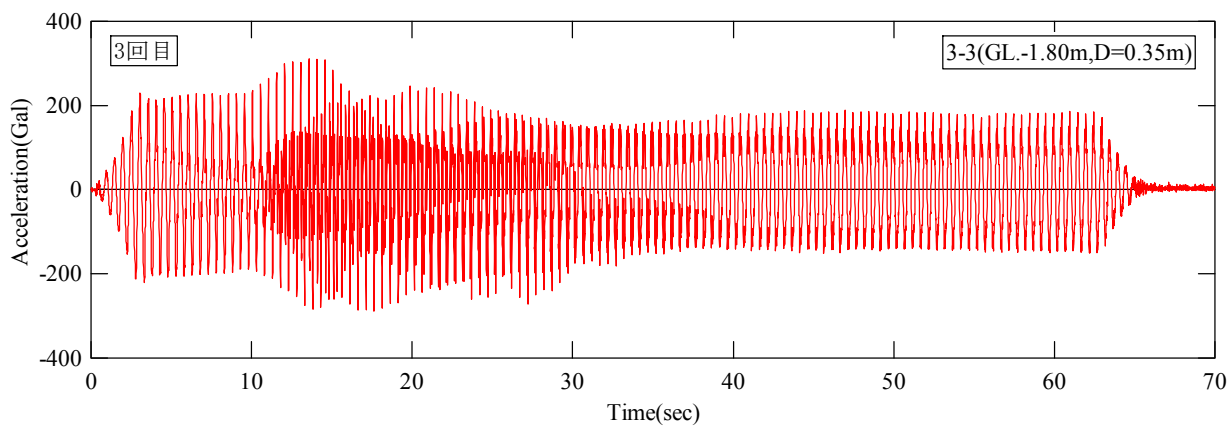
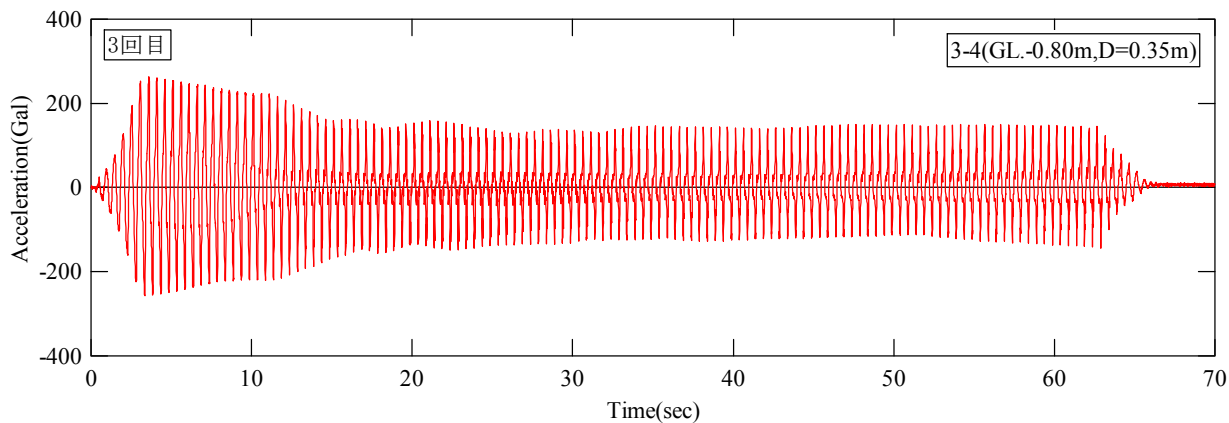
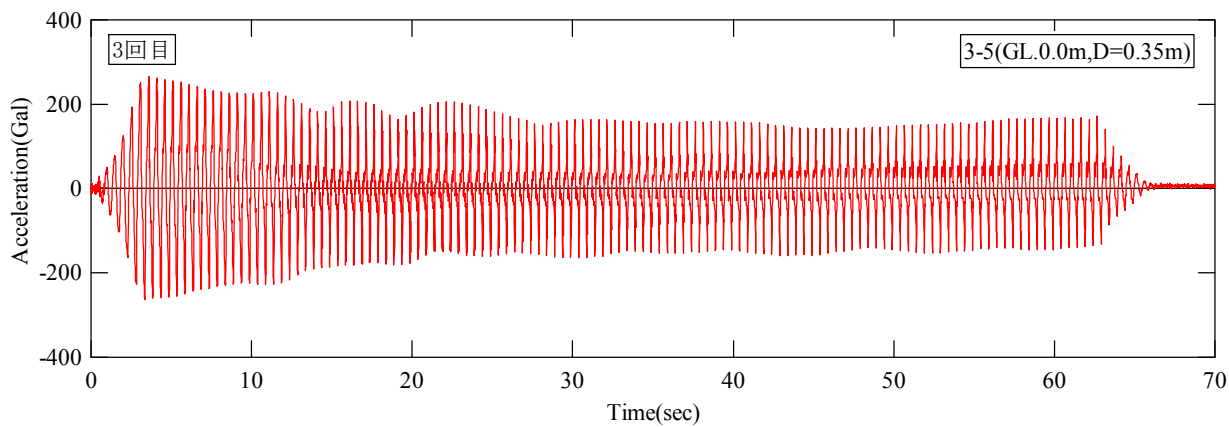


図 7.1.3(8) 3 回目加速度応答波形 (領域②, 交差方向)

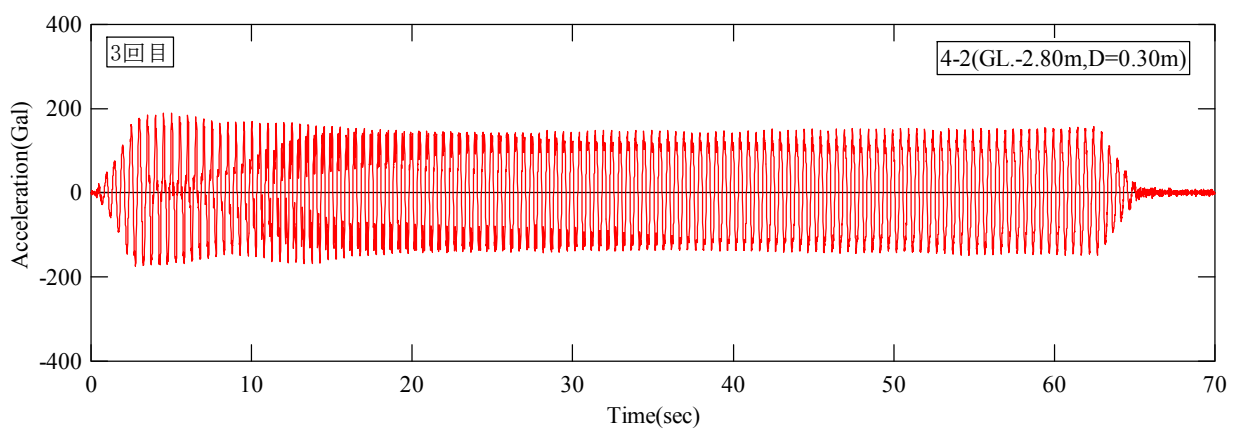
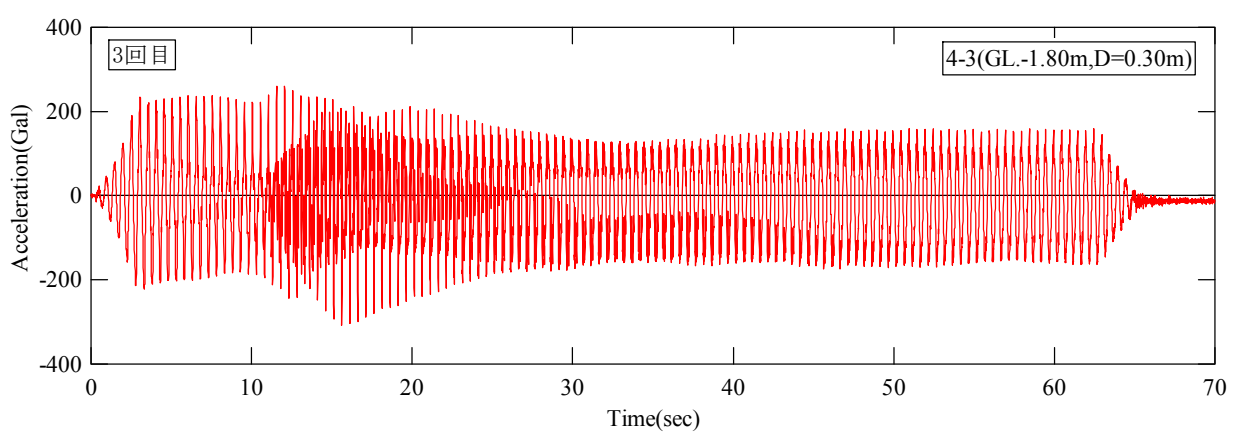
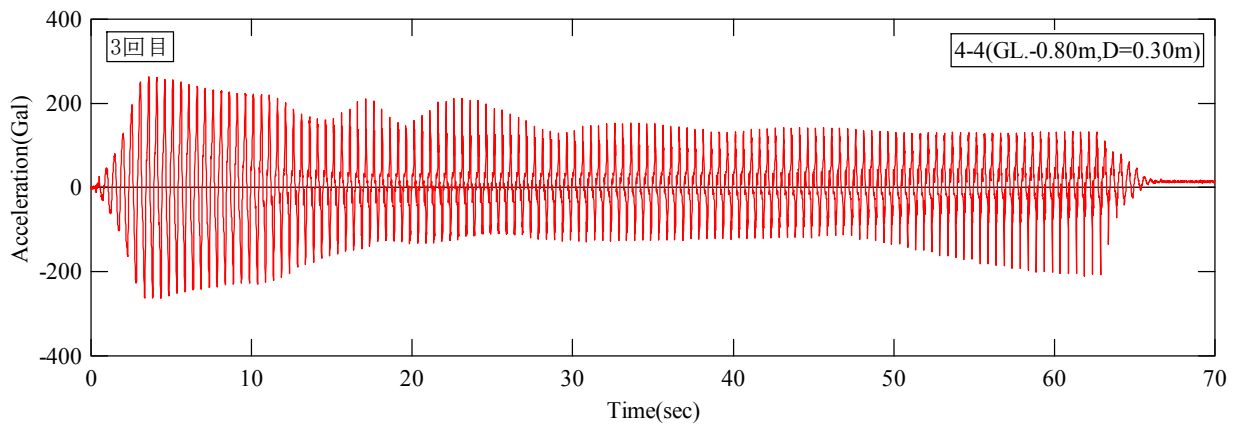
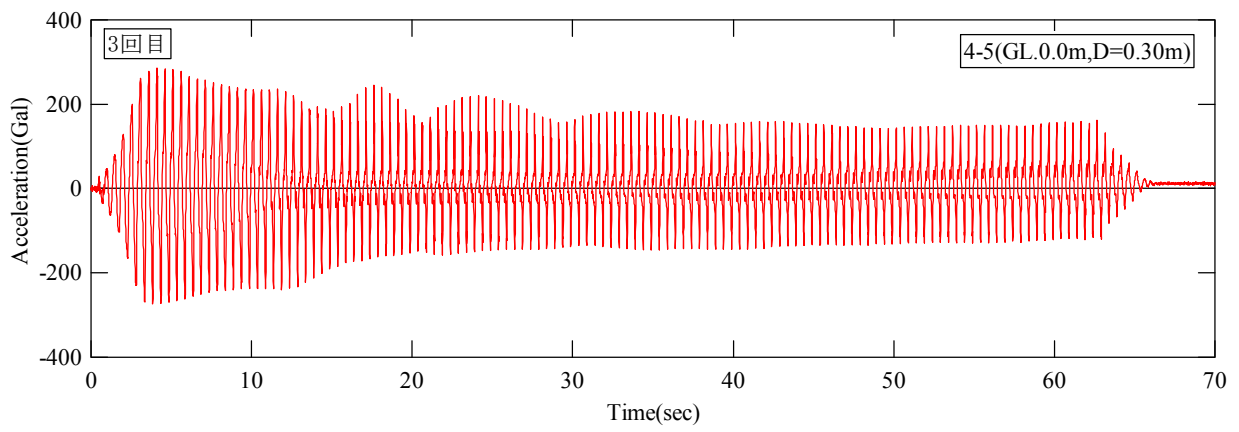


図 7.1.3(9) 3回目加速度応答波形 (領域③, ドレーンパイプ側)



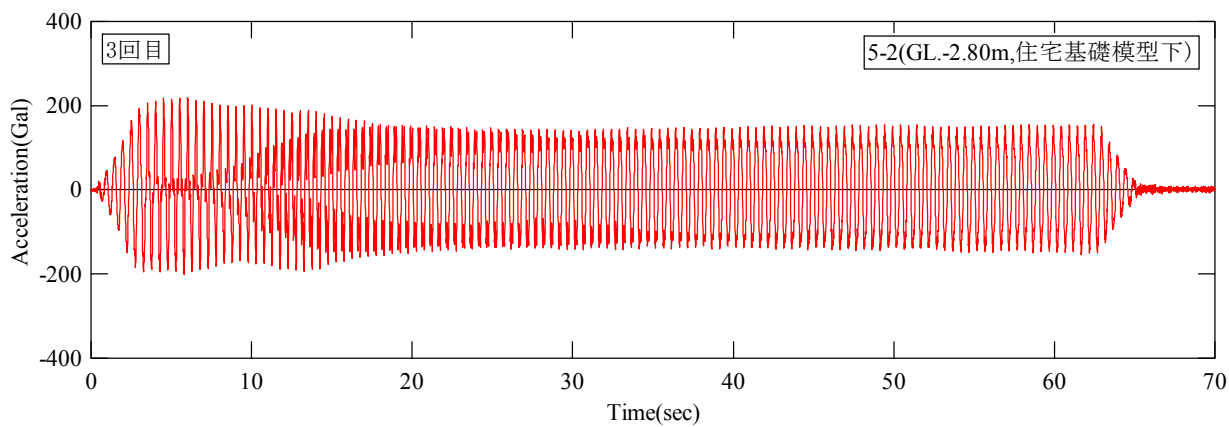
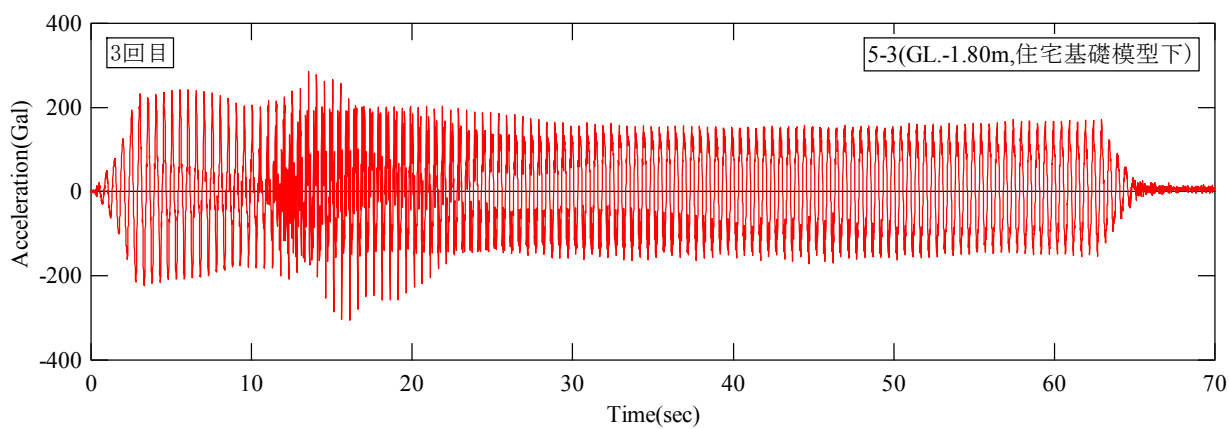
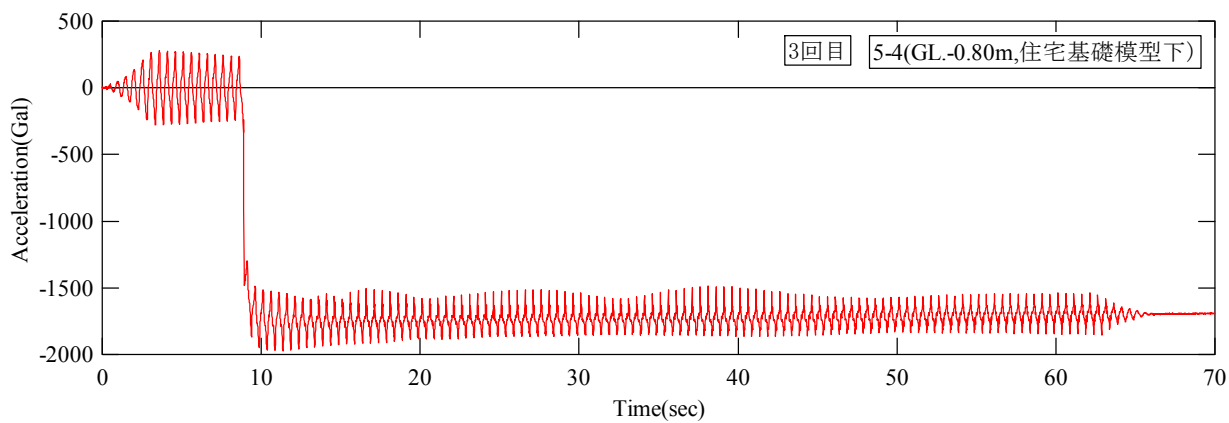
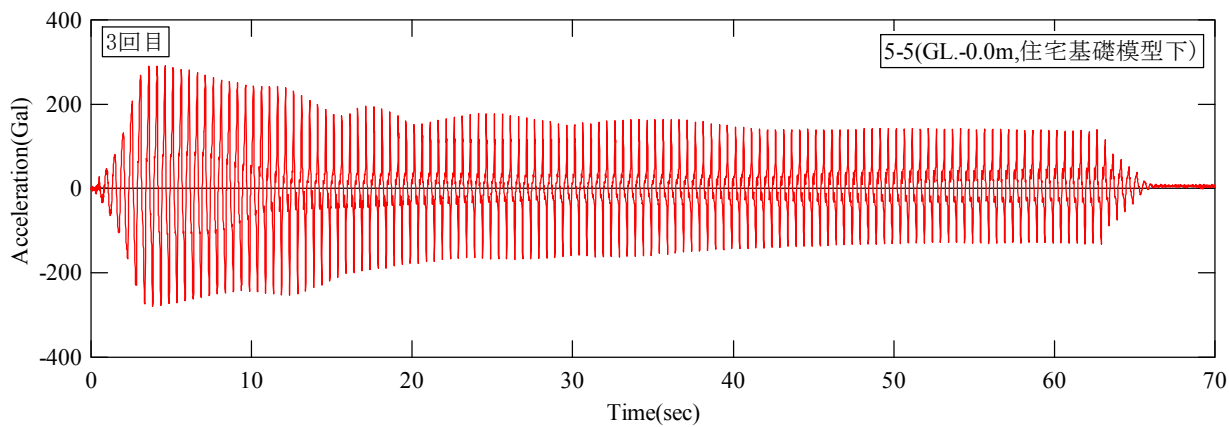


図 7.1.3(10) 3 回目加速度応答波形 (領域③, 住宅基礎模型下)

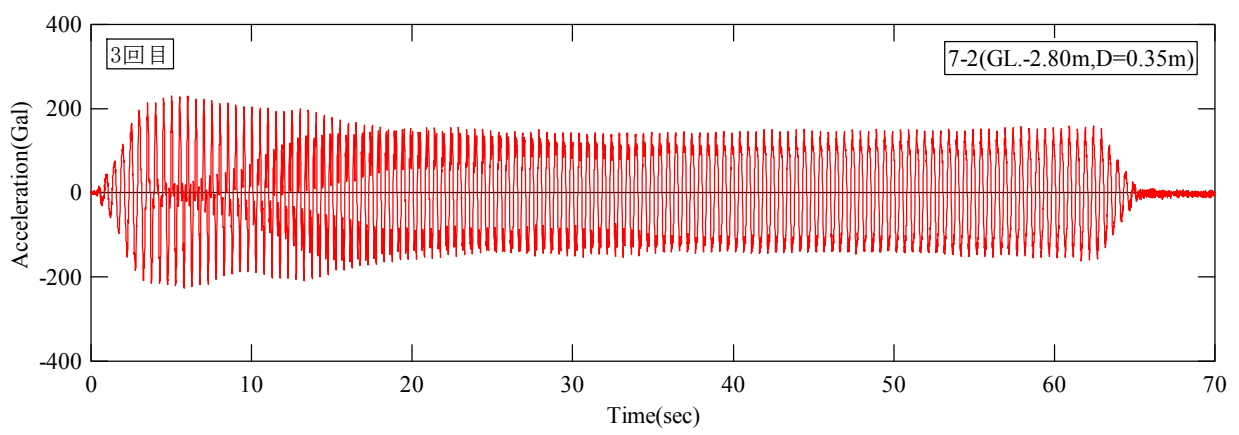
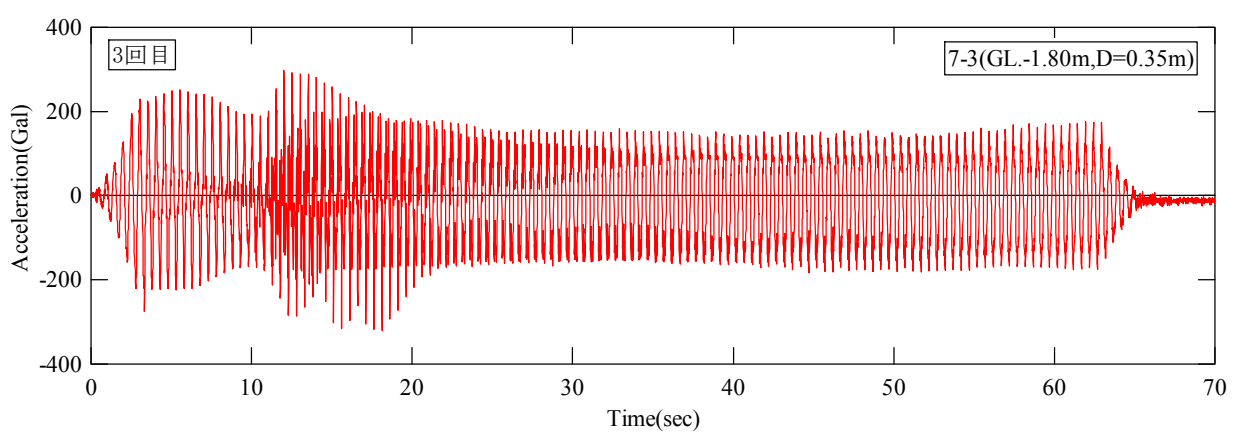
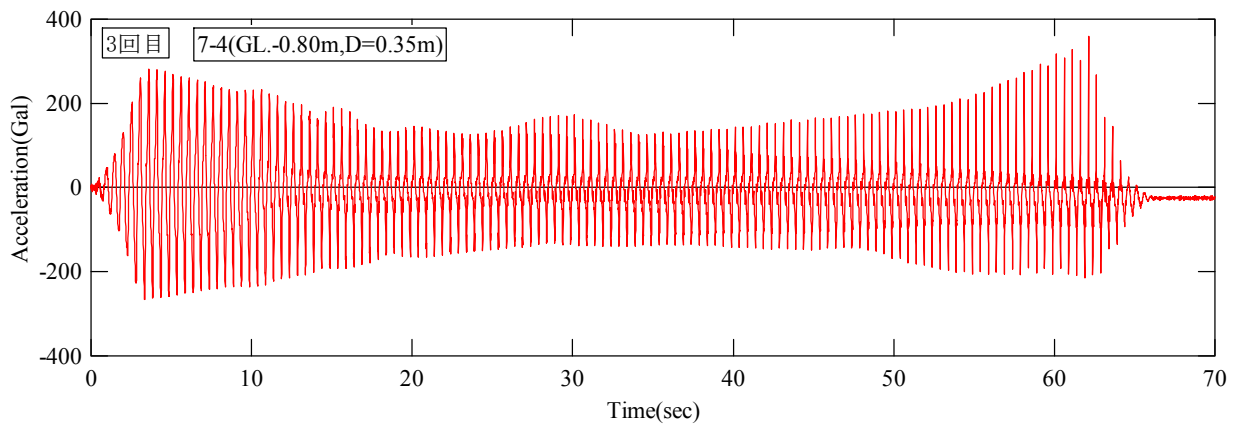
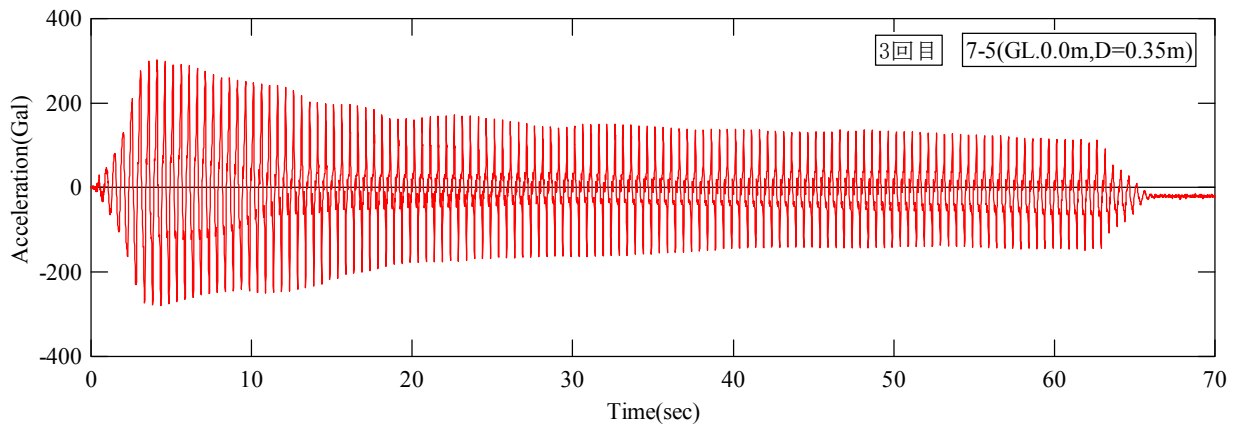


図 7.1.3(11) 3 回目加速度応答波形 (領域③, 無対策側)

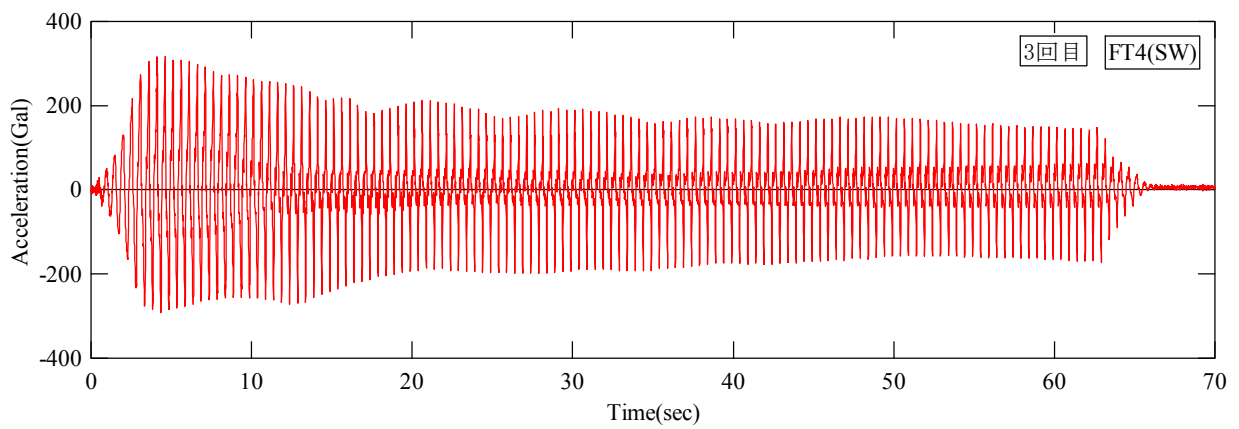
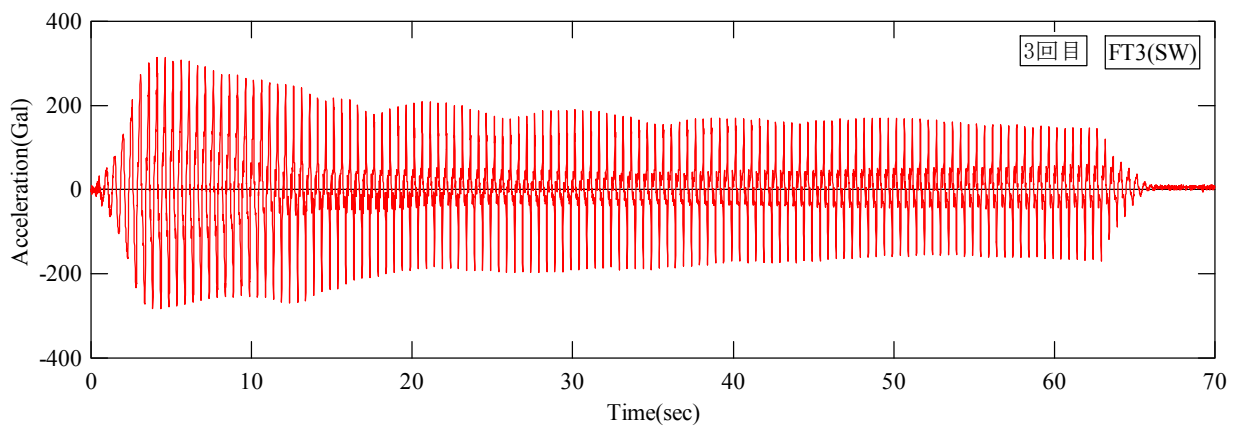
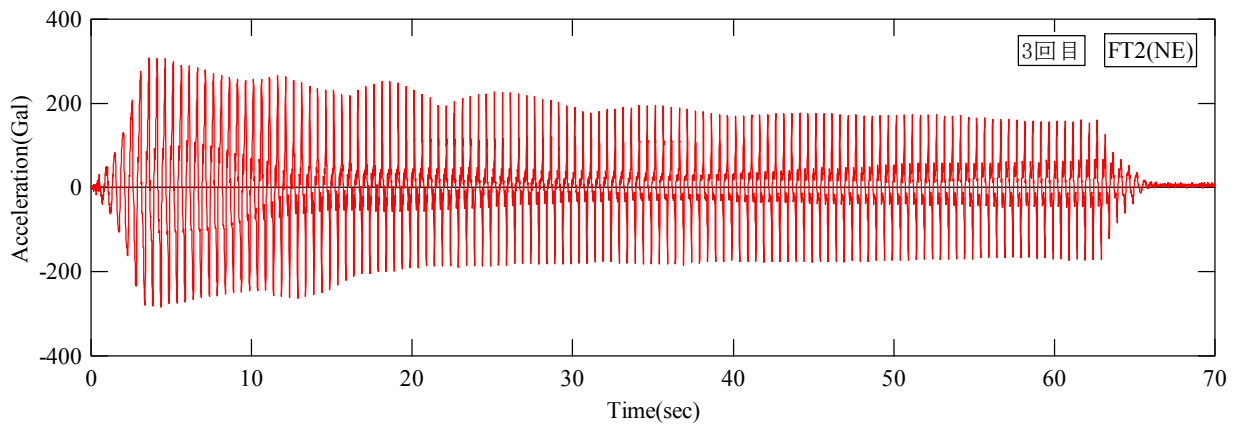
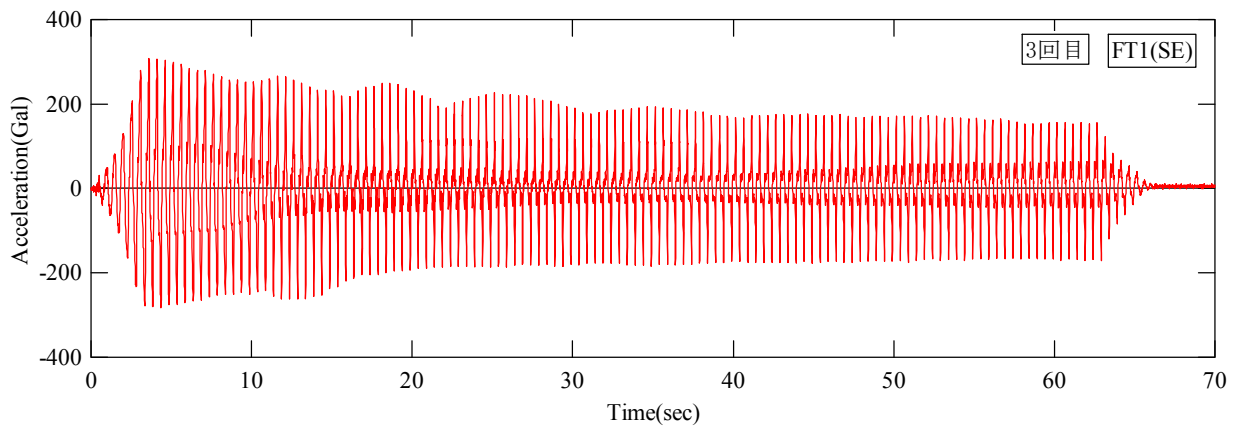


図 7.1.3(12) 3 回目加速度応答波形 (住宅基礎模型)

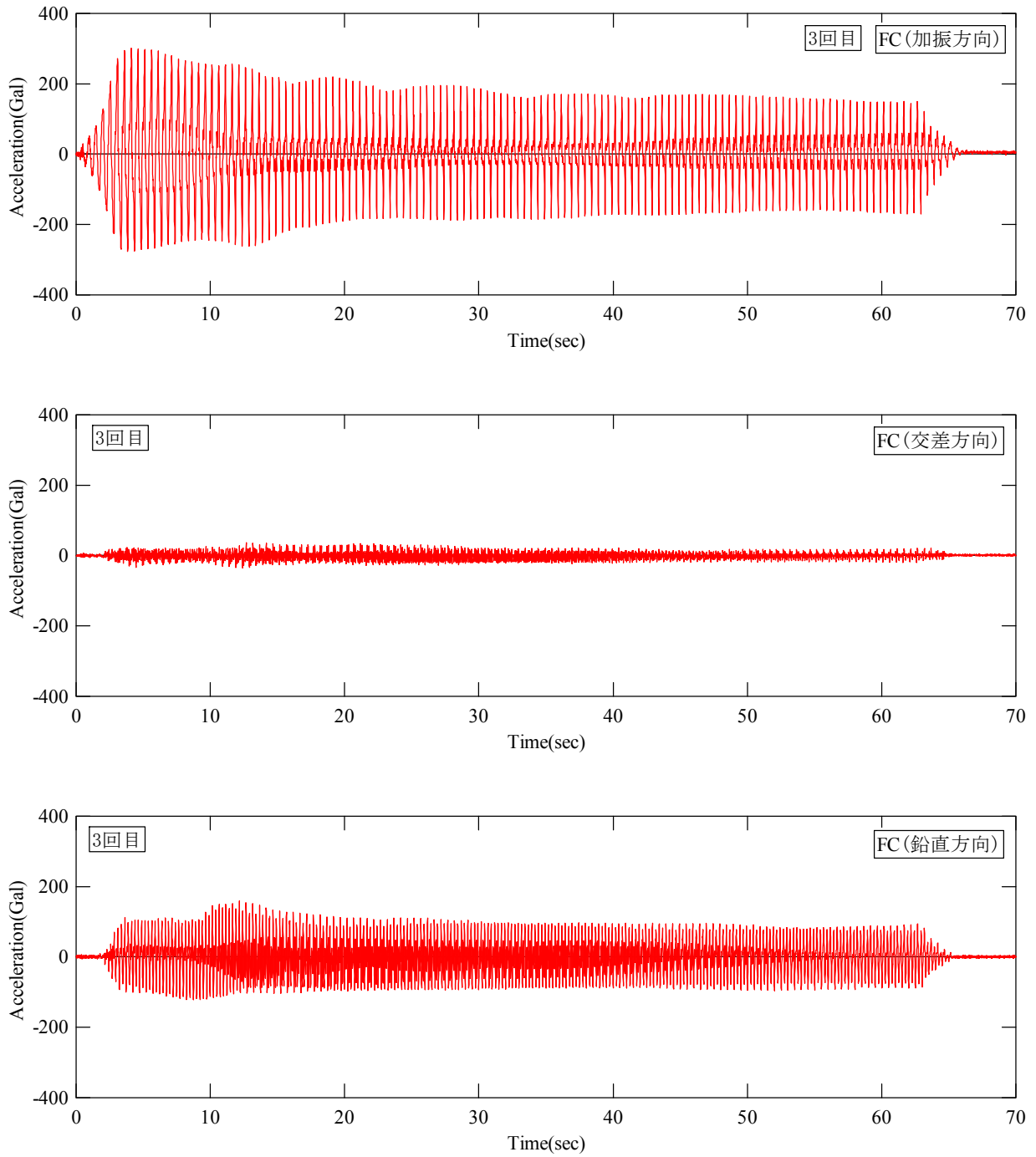


图 7.1.3(13) 3 回目加速度応答波形 (住宅基礎模型中央)

## 7.2 過剰間隙水圧計測結果

各深度の過剰間隙水圧の時刻歴変化を図 7.2.1～図 7.2.3 に示す。また、計測した過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比の最大値を表 7.2.3～表 7.2.5 に示す。

なお、過剰間隙水圧比の値は、過剰間隙水圧計測値の変動を補正するため、前後 50 個の隣接平均値を取り、初期有効上載圧 $\sigma_{v0}'$ で除して求めた。初期有効上載圧  $\sigma_{v0}'$  (kPa)は、湿潤単位体積重量  $\gamma_t$  を一定、地下水位以下の地盤飽和度  $S_r$  を 100%と仮定し下記の式より算定した。

$$\sigma_{v0}' = \{\gamma_{t1} \cdot H_1 / 1000 + (\gamma_{t2} - \gamma_w) \cdot H_2 / 1000\} \times 98 \quad (7.1)$$

ここで、 $\gamma_t$  : 湿潤単位体積重量(gf/cm<sup>3</sup>)、 $\gamma_w$  : 水の単位体積重量(gf/cm<sup>3</sup>)、 $H_1$  : 地下水位深度(cm)、 $H_2$  : 地下水位から計測位置までの深度(cm)とする。

表 7.2.1 に算定に用いた定数を示し、各深度の有効上載圧を表 7.2.2 に示す。

1 回目は、過剰間隙水圧の上昇はほとんど見られなかった。2 回目では、土槽内の過剰間隙水圧は、加振後上昇し、中層から下層を中心に大きくなった。

一方、3 回目は、表層を中心に水圧は大きくなる傾向を示した。以下に結果を示す。

表 7.2.1 初期有効上載圧算定使用定数

地下水位深度 $H_1$		1 回目	100 cm
		2 回目	
		3 回目	
地下水位から計測位置までの深度 $H_2$	1 回目	GL.-1.8m	80 cm
		GL.-2.8m	180 cm
	2 回目	GL.-3.3m	230 cm
		GL.-3.8m	280 cm
	3 回目	GL.-1.8m	130 cm
		GL.-2.8m	230 cm
		GL.-3.3m	280 cm
		GL.-3.8m	330 cm
湿潤単位体積重量 $\gamma_t$	地下水位以浅 $\gamma_{t1}$		1.677 gf/cm <sup>3</sup>
	地下水位以深 $\gamma_{t2}$		1.968 gf/cm <sup>3</sup>

表 7.2.2 初期有効上載圧 $\sigma_{v0}'$

計測深度	1 回目(kPa)	2 回目(kPa)	3 回目(kPa)
GL.-1.80m	24.0	24.0	22.4
GL.-2.80m	33.5	33.5	31.9
GL.-3.30m	38.3	38.3	36.7
GL.-3.80m	43.0	43.0	41.4

表 7.2.3(1) 最大過剰間隙水圧計測結果 (1 回目)

計測箇所			最大過剰間隙水圧(kPa)			
領域	計測番号・計測位置		GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-3.30m	GL.-3.80m
中央部	C	センター	0.2	0.2	0.3	0.2
領域①	1	10cm 離れ	0.3	0.2	0.5	0.5
	1	50cm 離れ	0.1	0.3	0.3	0.4
	1	75cm 離れ	0.1	0.3	0.3	0.4
	1	100cm 離れ	0.2	0.2	0.2	0.3
領域②	2	加振方向	0.3	0.6	-	0.7
	3	交差方向	0.3	0.8	-	1.0
領域④	4	ドレーン側	0.2	0.2	-	0.2
	5	住宅基礎模型下	0.2	0.3	-	0.2
	6	住宅基礎模型角	0.2	0.3	-	0.2
	7	無対策側	0.1	0.2	-	0.4
	8	角 35cm 離れ	0.1	0.2	-	0.4

表 7.2.3(2) 最大過剰間隙水圧比計測結果 (1 回目)

計測箇所			最大過剰間隙水圧比			
領域	計測番号・計測位置		GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-3.30m	GL.-3.80m
	初期有効上載圧 $\sigma_{v0}$ (kPa)		24.0	33.5	38.3	43.0
中央部	C	センター	0.01	0.01	0.01	0.00
領域①	1	10cm 離れ	0.01	0.01	0.01	0.01
	1	50cm 離れ	0.00	0.01	0.01	0.01
	1	75cm 離れ	0.01	0.01	0.01	0.01
	1	100cm 離れ	0.01	0.01	0.01	0.01
領域②	2	加振方向	0.01	0.02	-	0.02
	3	交差方向	0.01	0.02	-	0.02
領域④	4	ドレーン側	0.01	0.00	-	0.01
	5	住宅基礎模型下	0.01	0.01	-	0.00
	6	住宅基礎模型角	0.01	0.01	-	0.00
	7	無対策側	0.01	0.01	-	0.01
	8	角 35cm 離れ	0.01	0.01	-	0.01

表 7.2.4(1) 最大過剰間隙水圧計測結果 (2 回目)

計測箇所			最大過剰間隙水圧(kPa)			
領域	計測番号・計測位置		GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-3.30m	GL.-3.80m
中央部	C	センター	6.6	18.3	8.7	18.4
領域①	1	10cm 離れ	6.9	10.1	19.1	10.7
	1	50cm 離れ	6.1	18.8	23.0	20.3
	1	75cm 離れ	6.4	18.0	23.6	20.2
	1	100cm 離れ	6.6	17.4	24.2	19.7
領域②	2	加振方向	7.3	20.8	-	20.4
	3	交差方向	7.1	19.6	-	20.5
領域④	4	ドレーン側	7.4	17.6	-	16.5
	5	住宅基礎模型下	7.1	19.8	-	21.6
	6	住宅基礎模型角	6.6	19.6	-	23.2
	7	無対策側	6.2	19.7	-	20.6
	8	角 35cm 離れ	6.3	18.7	-	23.4

表 7.2.4(2) 最大過剰間隙水圧比計測結果 (2 回目)

計測箇所			最大過剰間隙水圧比			
領域	計測番号・計測位置		GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-3.30m	GL.-3.80m
	初期有効上載圧 $\sigma_{v0}$ (kPa)		24.0	33.5	38.3	43.0
中央部	C	センター	0.28	0.54	0.23	0.43
領域①	1	10cm 離れ	0.29	0.30	0.50	0.25
	1	50cm 離れ	0.25	0.56	0.60	0.47
	1	75cm 離れ	0.27	0.54	0.62	0.47
	1	100cm 離れ	0.27	0.52	0.63	0.46
領域②	2	加振方向	0.30	0.62	-	0.47
	3	交差方向	0.29	0.59	-	0.48
領域④	4	ドレーン側	0.31	0.52	-	0.38
	5	住宅基礎模型下	0.29	0.59	-	0.50
	6	住宅基礎模型角	0.27	0.59	-	0.54
	7	無対策側	0.26	0.59	-	0.48
	8	角 35cm 離れ	0.26	0.56	-	0.54

表 7.2.5(1) 最大過剰間隙水圧計測結果 (3回目)

計測箇所			最大過剰間隙水圧(kPa)			
領域	計測番号・計測位置		GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-3.30m	GL.-3.80m
中央部	C	センター	17.8	12.7	6.7	6.7
領域①	1	10cm 離れ	14.1	5.9	5.6	5.5
	1	50cm 離れ	16.2	13.4	10.8	6.0
	1	75cm 離れ	15.9	14.1	11.9	6.3
	1	100cm 離れ	17.5	13.0	11.7	6.7
領域②	2	加振方向	16.7	9.2	-	4.7
	3	交差方向	15.2	7.9	-	4.9
領域④	4	ドレーン側	17.3	9.1	-	5.1
	5	住宅基礎模型下	16.8	15.5	-	5.7
	6	住宅基礎模型角	17.0	17.5	-	7.0
	7	無対策側	16.0	17.9	-	6.3
	8	角 35cm 離れ	16.5	15.2	-	6.9

表 7.2.5(2) 最大過剰間隙水圧比計測結果 (3回目)

計測箇所			最大過剰間隙水圧比			
領域	計測番号・計測位置		GL.-1.80m	GL.-2.80m	GL.-3.30m	GL.-3.80m
	初期有効上載圧 $\sigma_{v0}$ (kPa)		22.4	31.9	36.7	41.4
中央部	C	センター	0.79	0.40	0.18	0.16
領域①	1	10cm 離れ	0.63	0.18	0.15	0.13
	1	50cm 離れ	0.72	0.42	0.29	0.14
	1	75cm 離れ	0.71	0.44	0.32	0.15
	1	100cm 離れ	0.78	0.41	0.32	0.16
領域②	2	加振方向	0.75	0.29	-	0.11
	3	交差方向	0.68	0.25	-	0.12
領域④	4	ドレーン側	0.77	0.29	-	0.12
	5	住宅基礎模型下	0.75	0.49	-	0.14
	6	住宅基礎模型角	0.76	0.55	-	0.17
	7	無対策側	0.71	0.56	-	0.15
	8	角 35cm 離れ	0.73	0.48	-	0.17



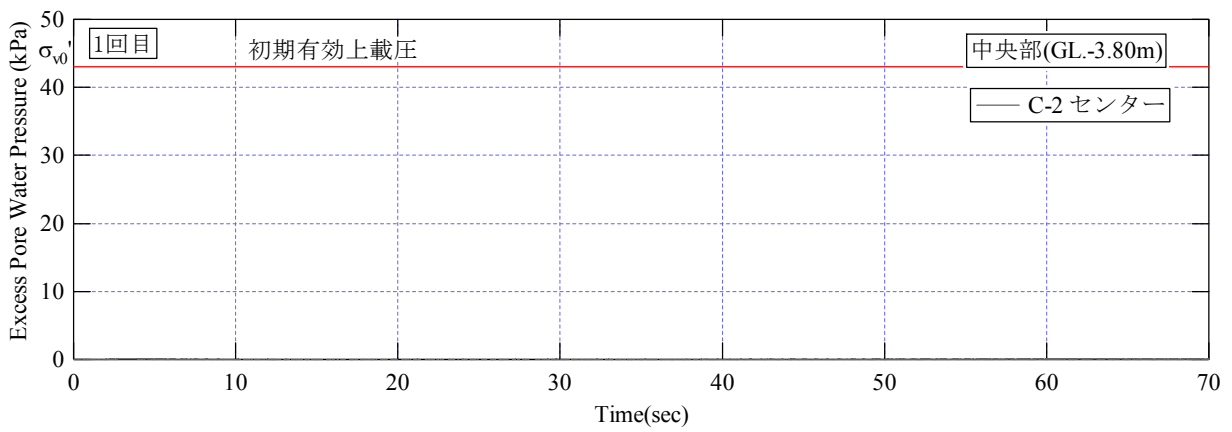
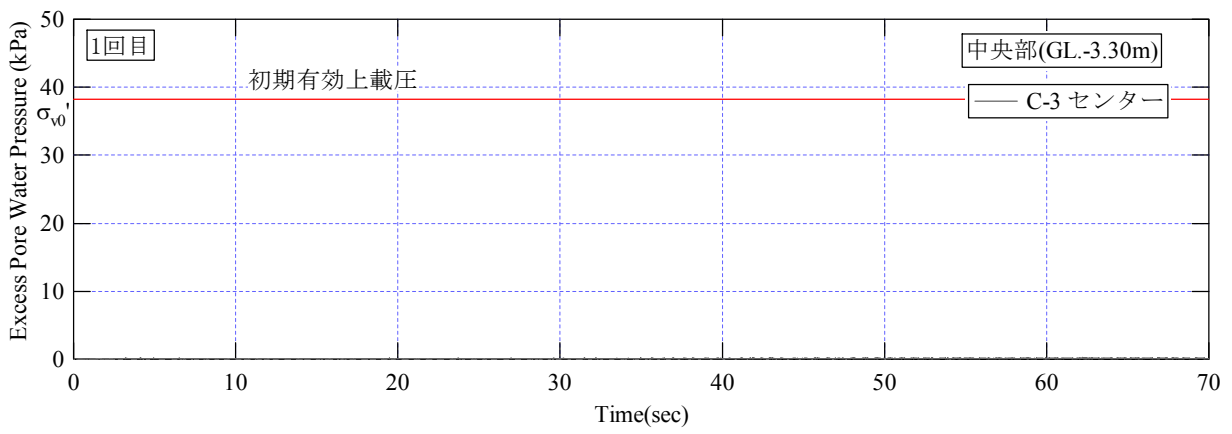
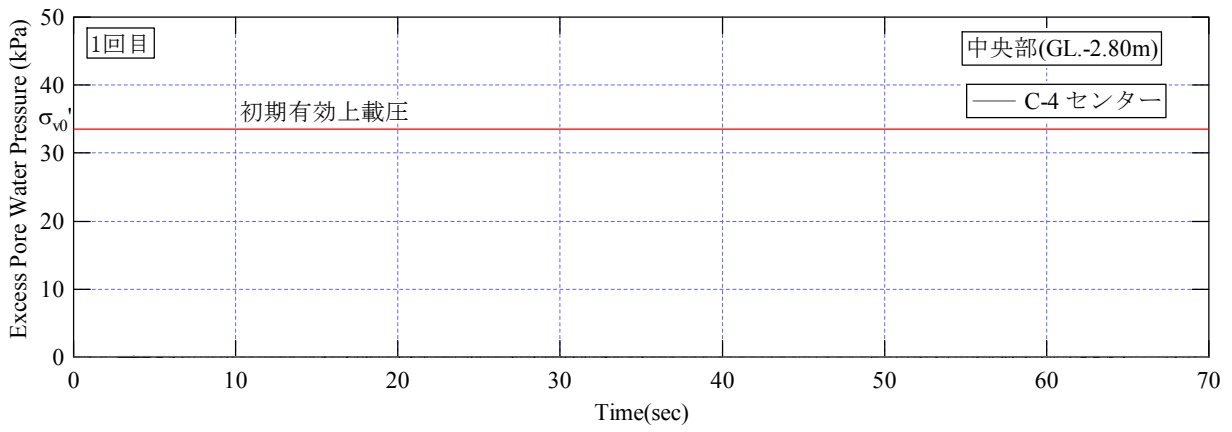
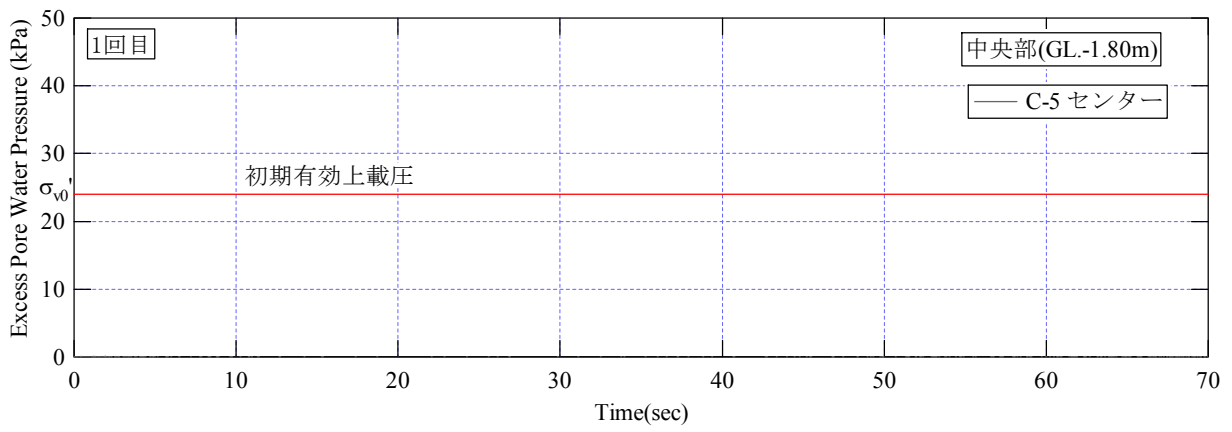


図 7.2.1(1) 1 回目過剰間隙水圧 (中央部)

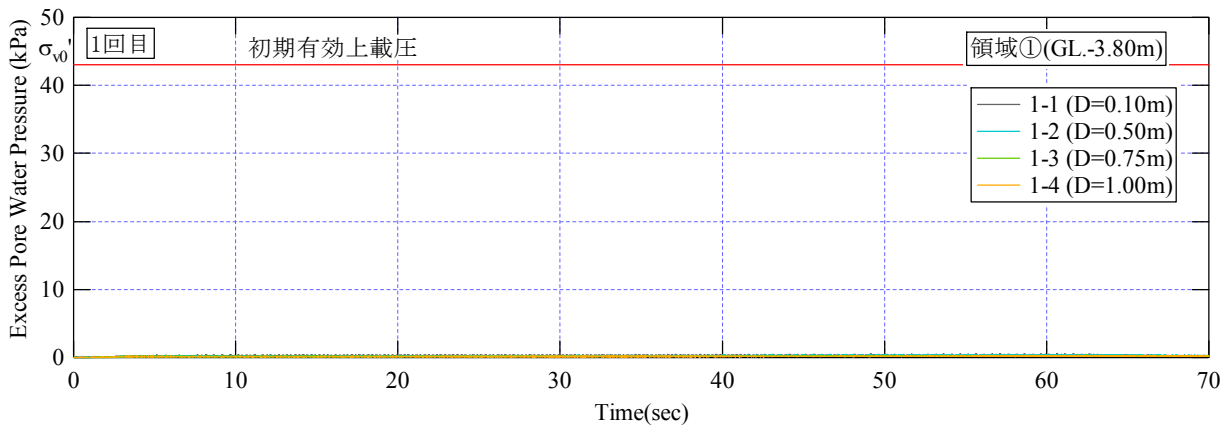
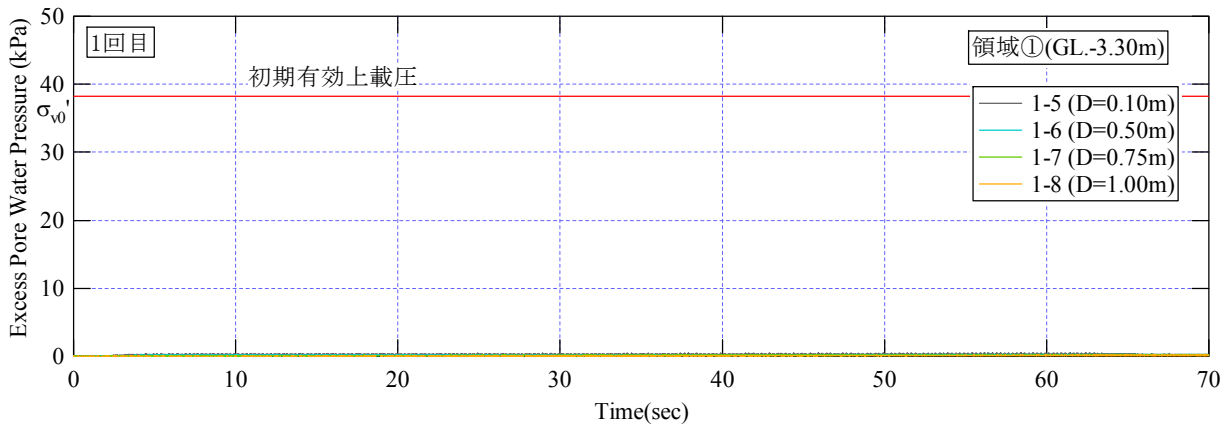
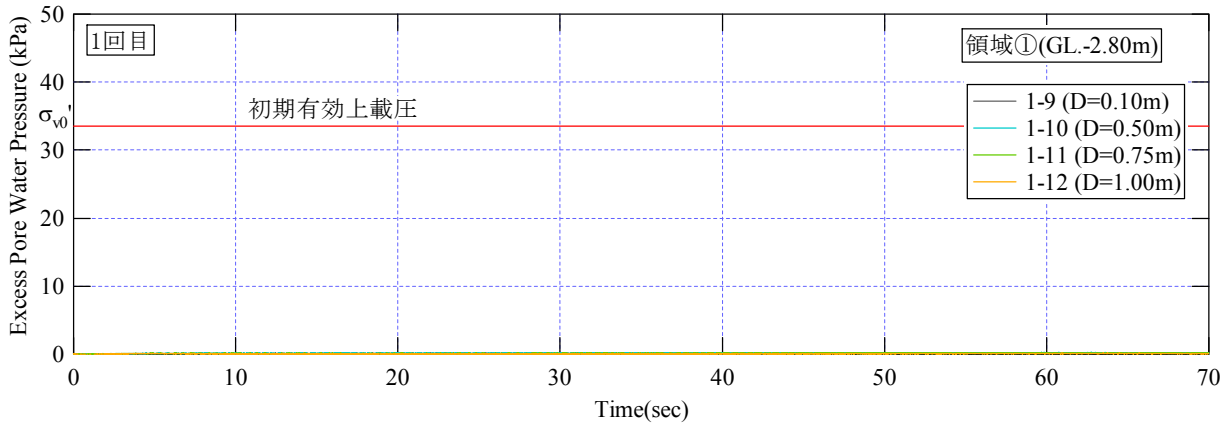
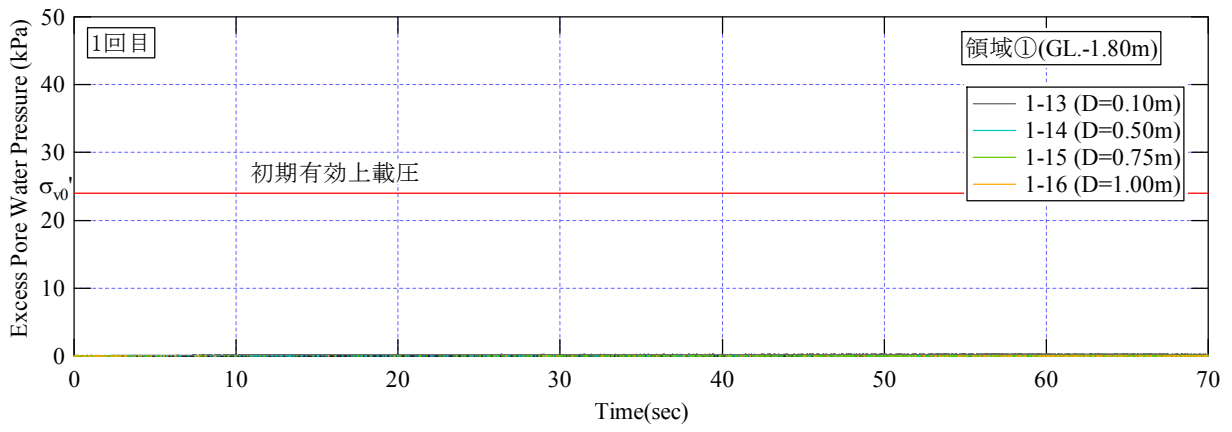


図 7.2.1(2) 1 回目過剰間隙水圧 (領域①)

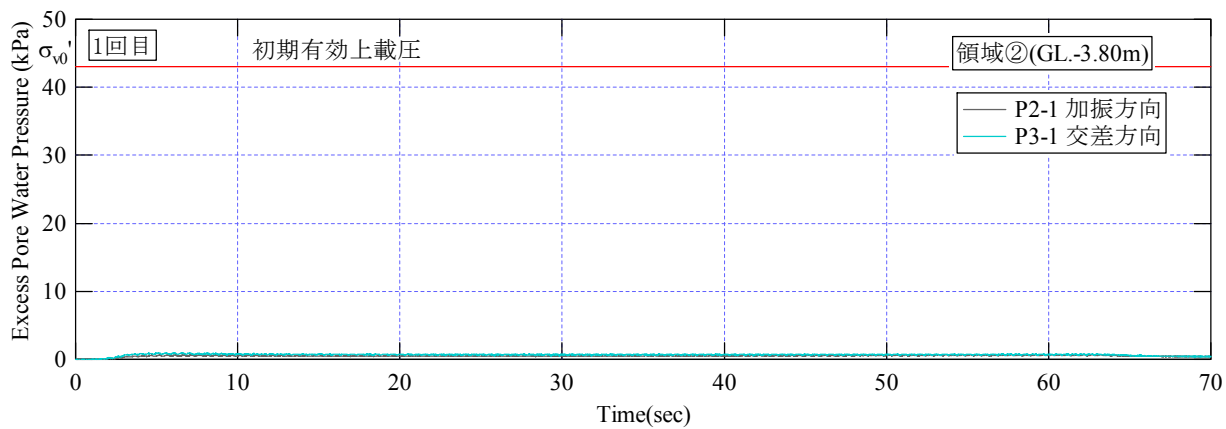
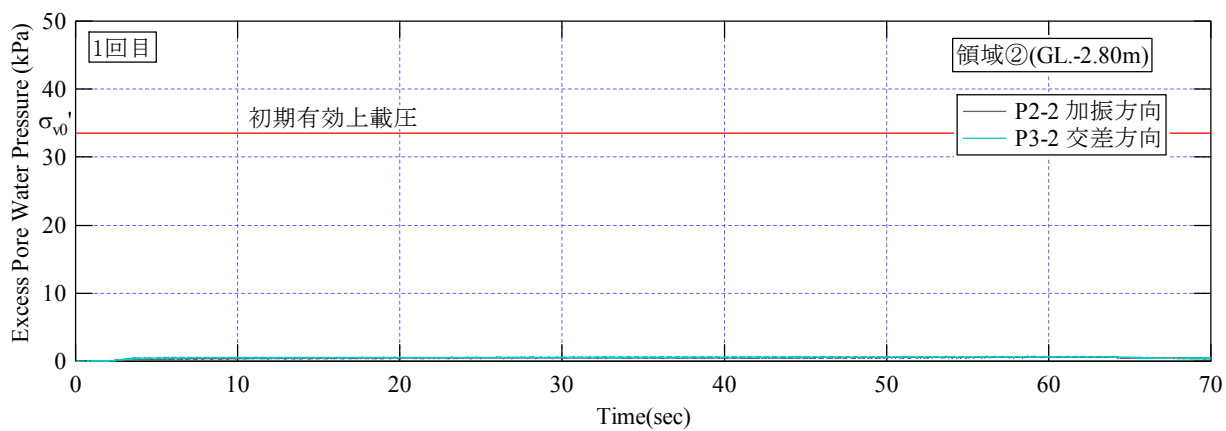
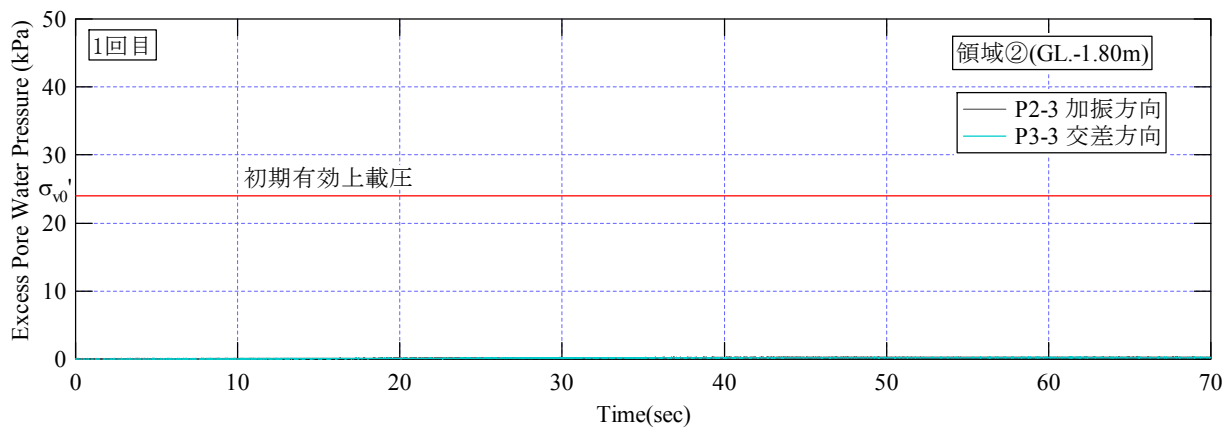


図 7.2.1(3) 1 回目過剰間隙水圧 (領域②)

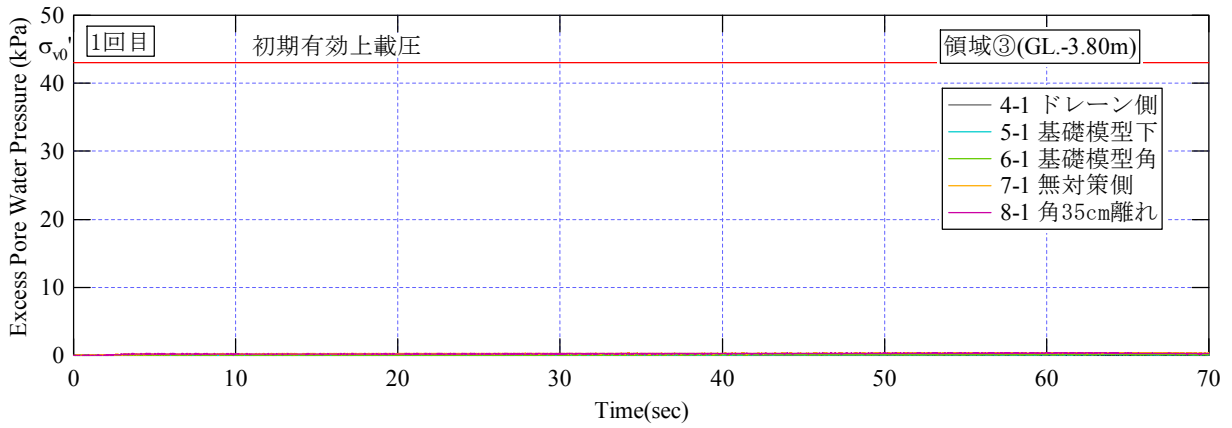
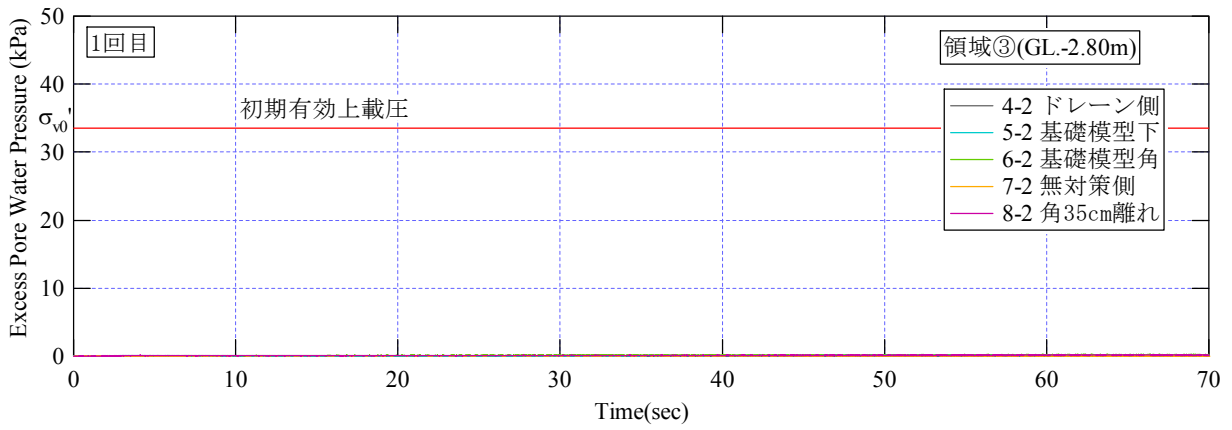
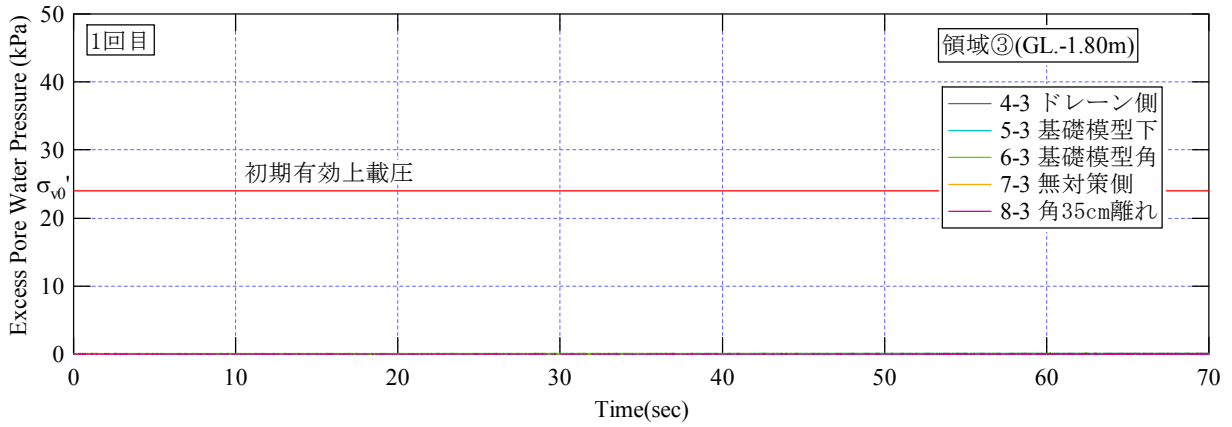


図 7.2.1(4) 1 回目過剰間隙水圧 (領域③)

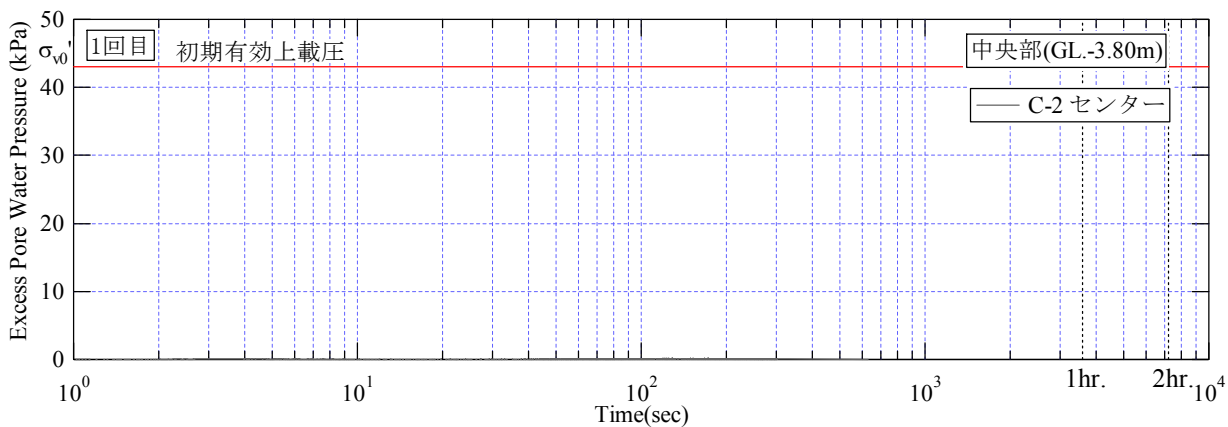
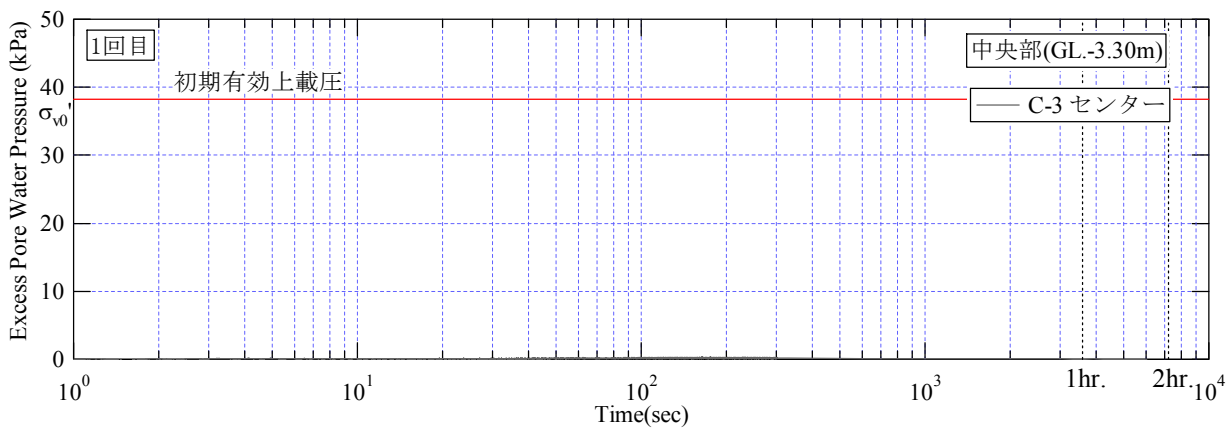
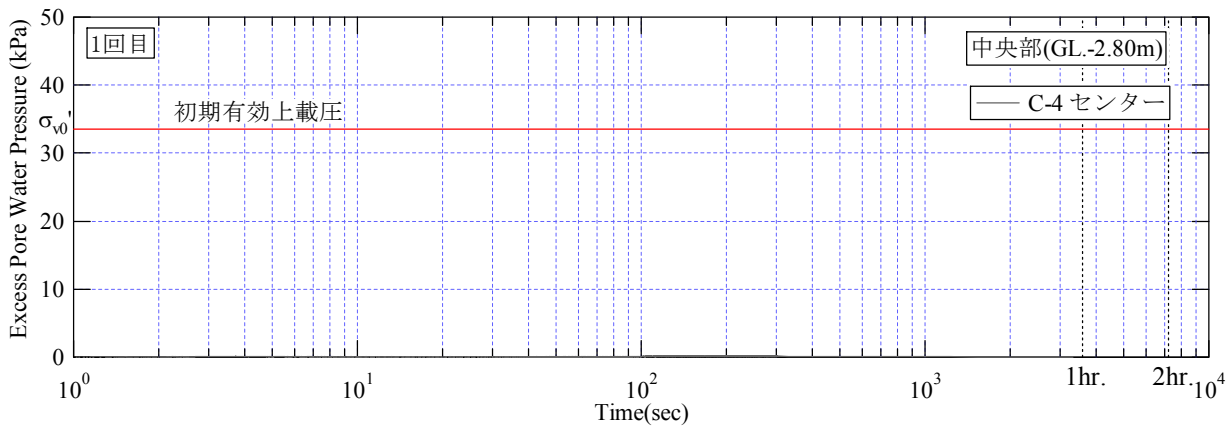
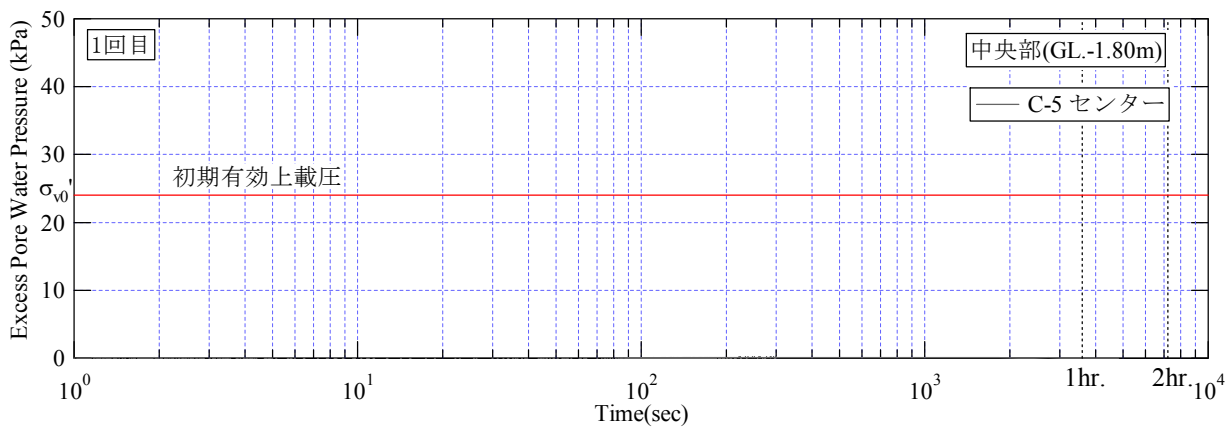


図 7.2.1(5) 1 回目過剰間隙水圧 (中央部)

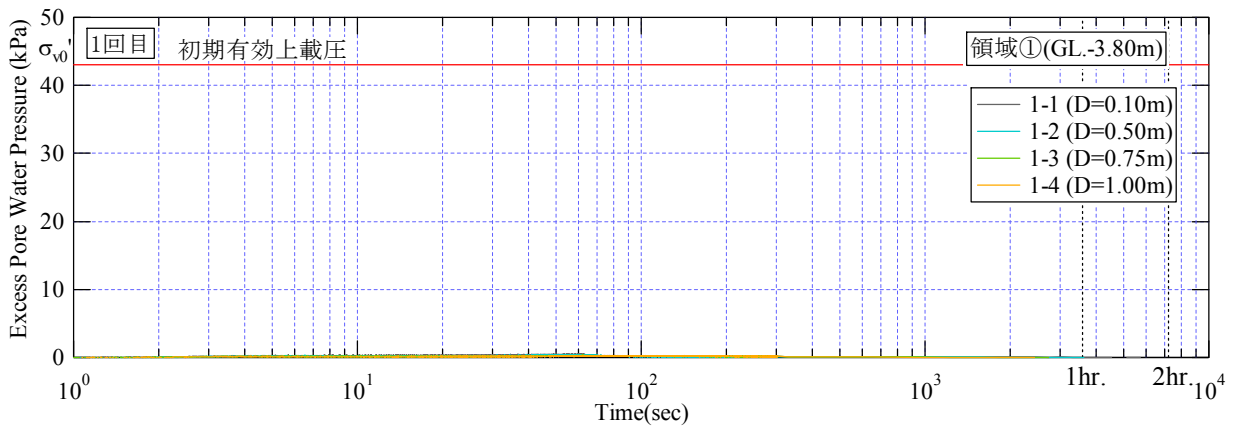
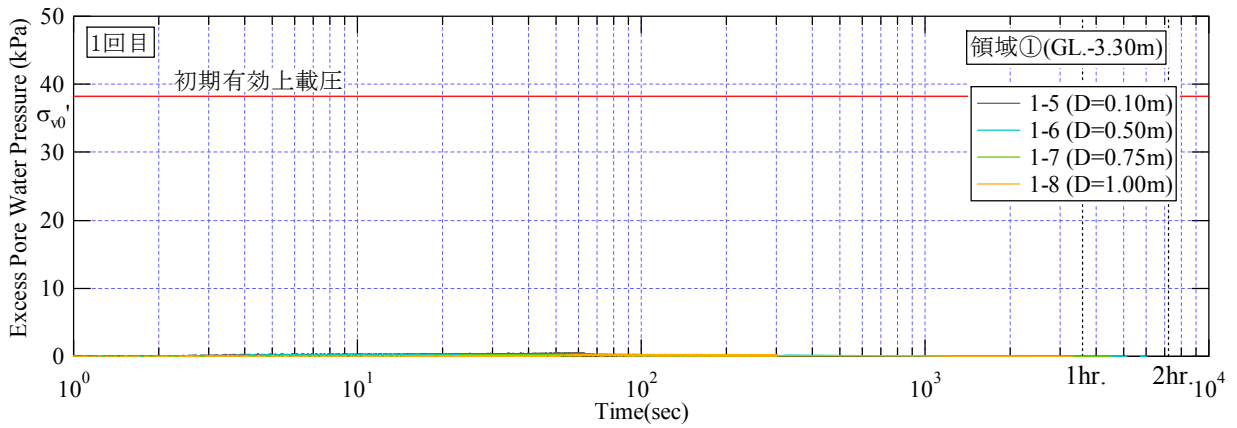
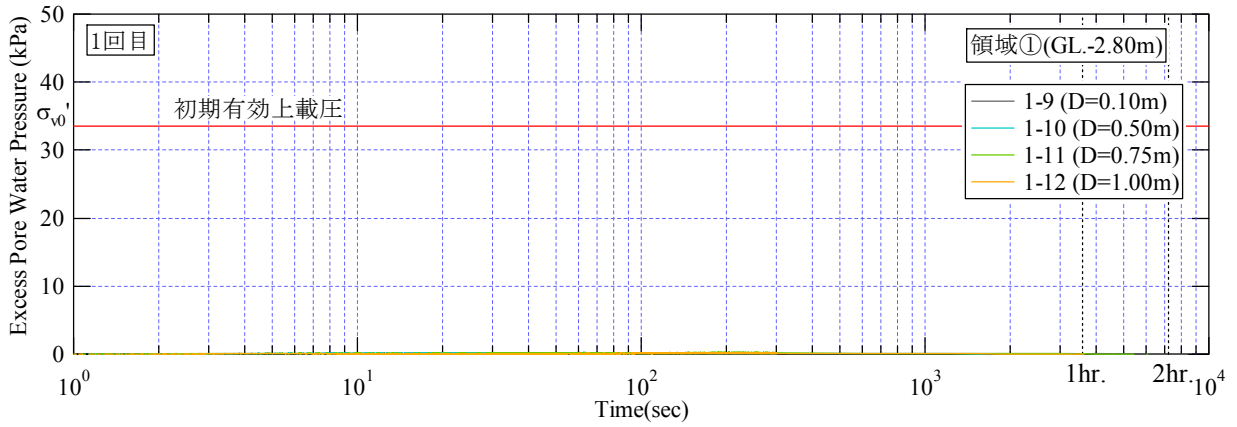
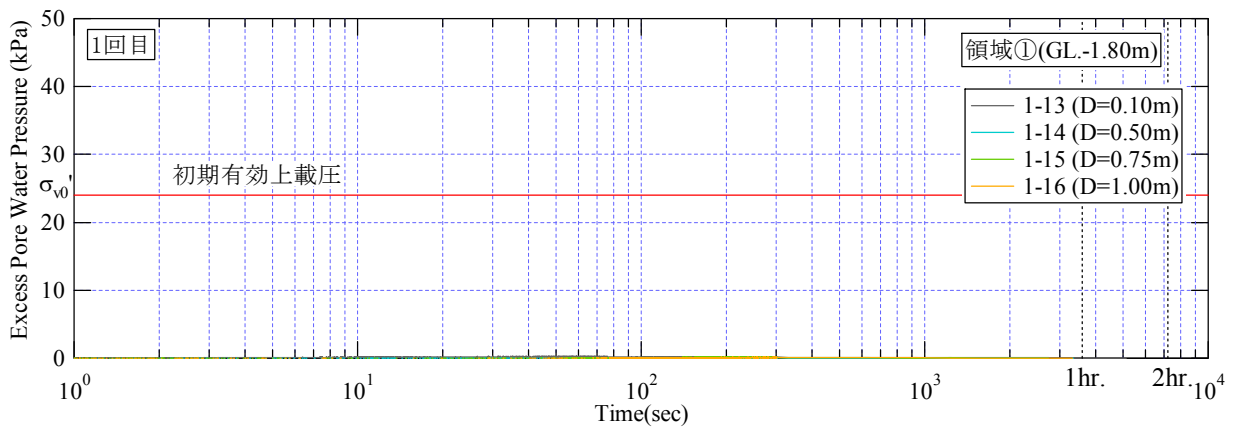


図 7.2.1(6) 1 回目過剰間隙水圧 (領域①)

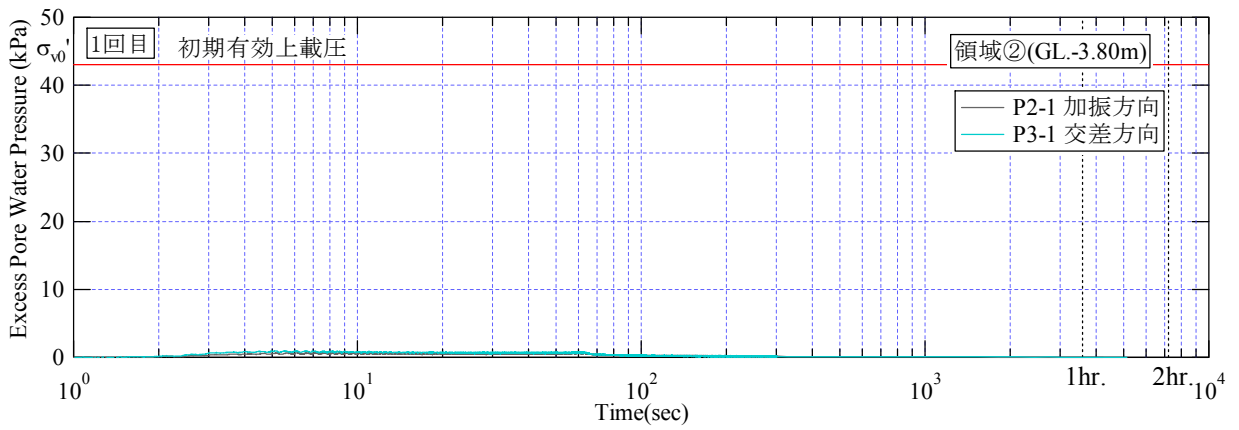
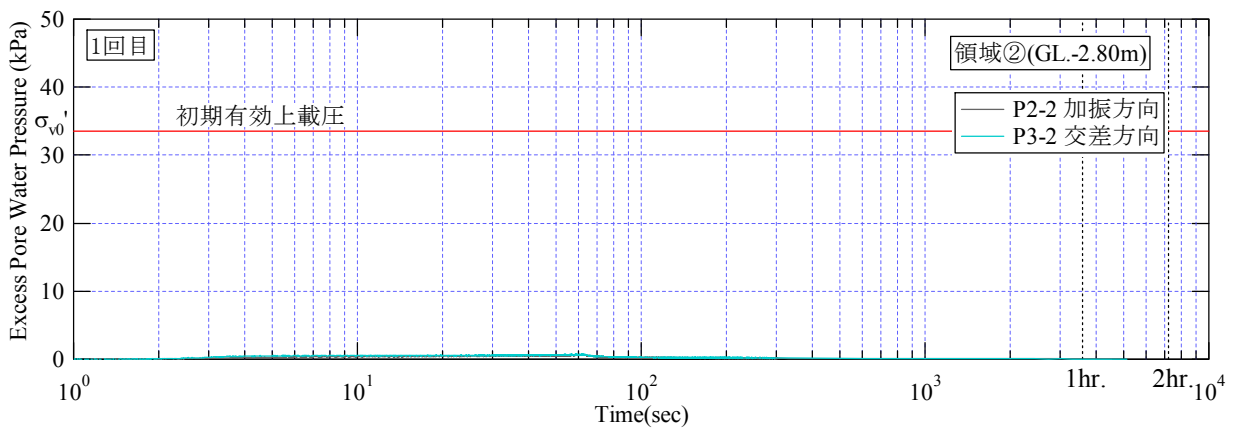
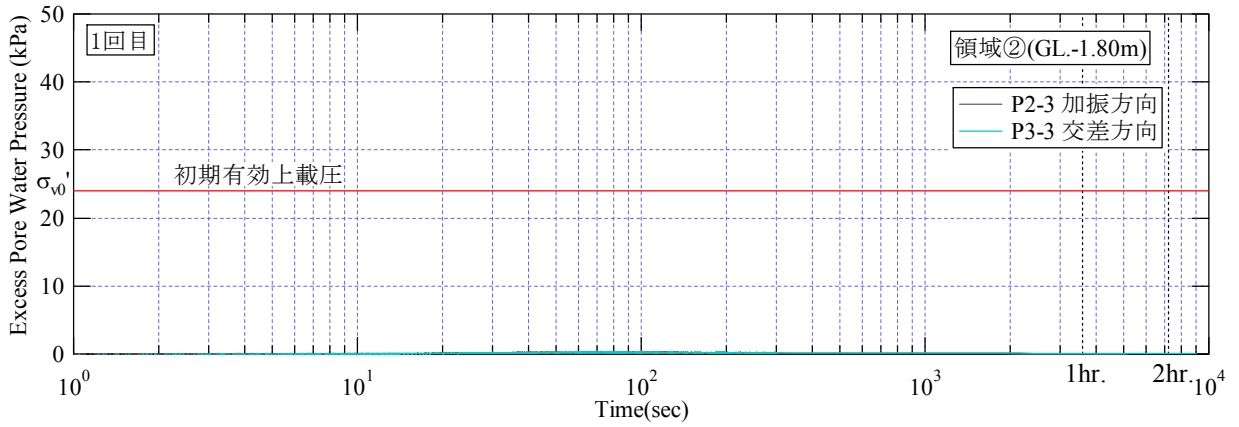


図 7.2.1(7) 1 回目過剰間隙水圧 (領域②)

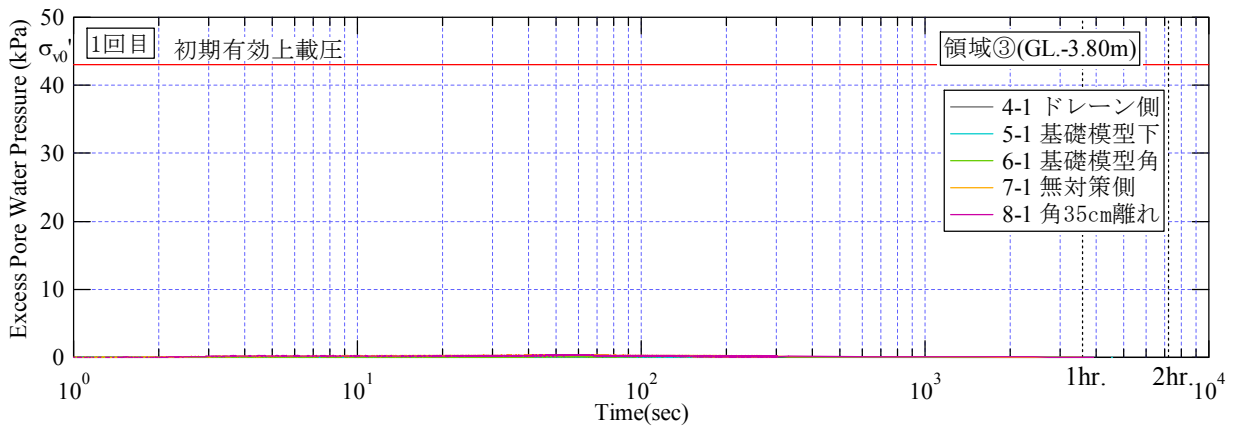
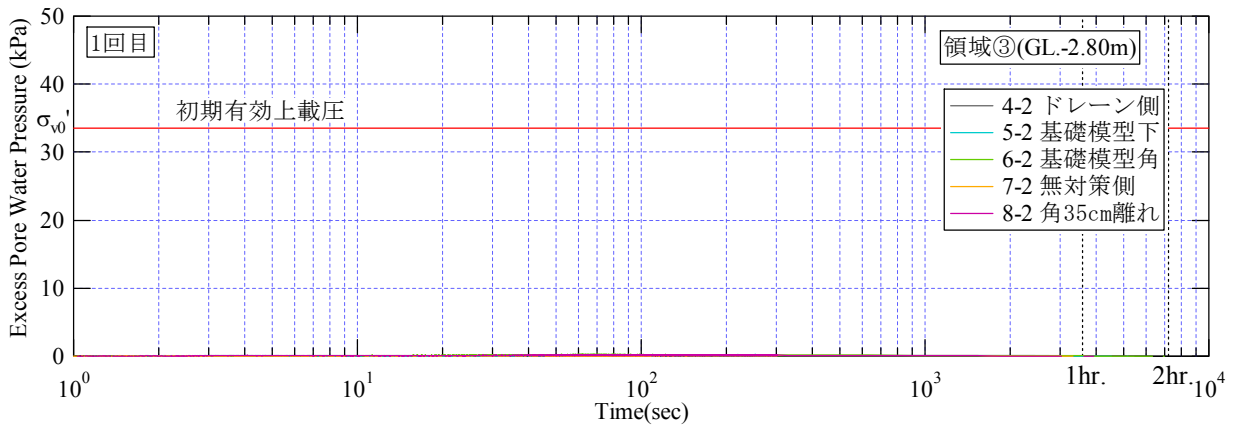
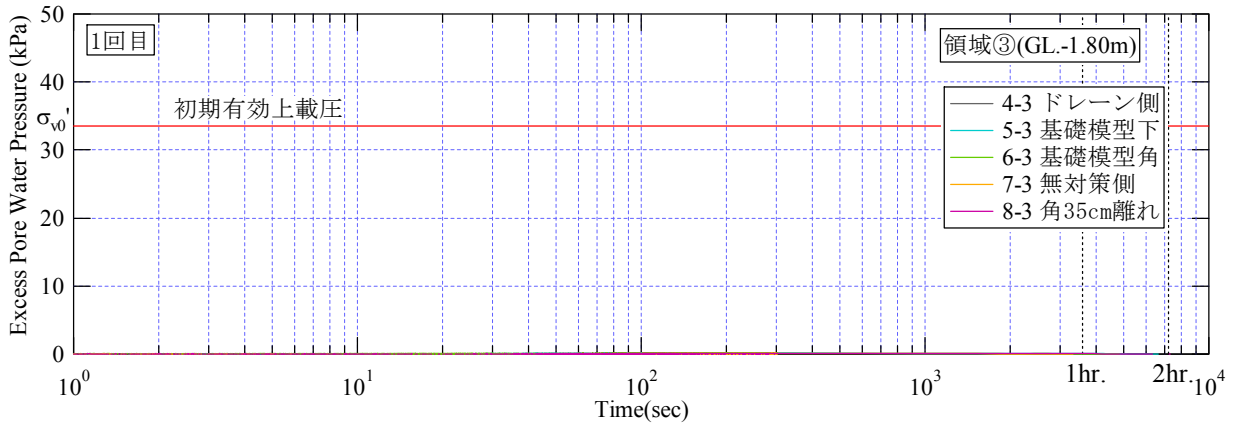


図 7.2.1(8) 1 回目過剰間隙水圧 (領域③)



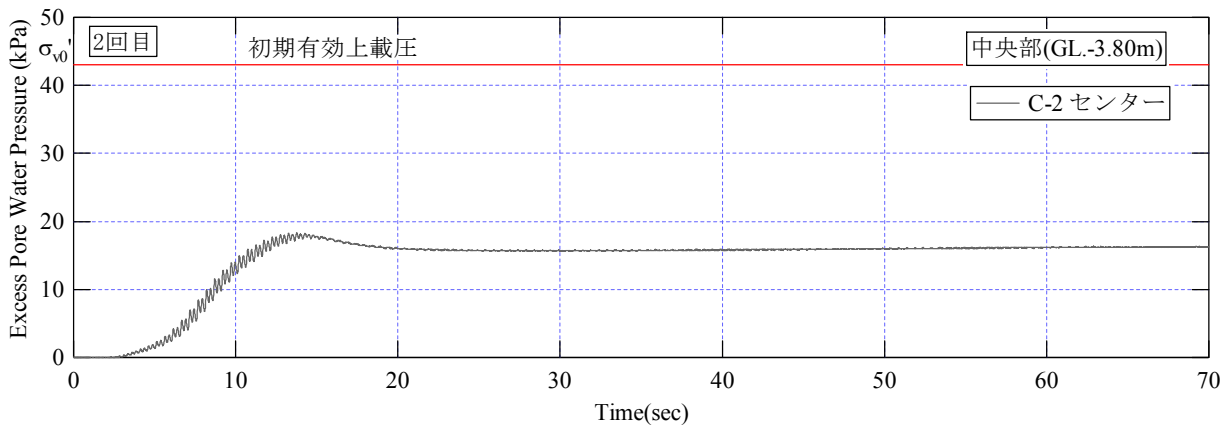
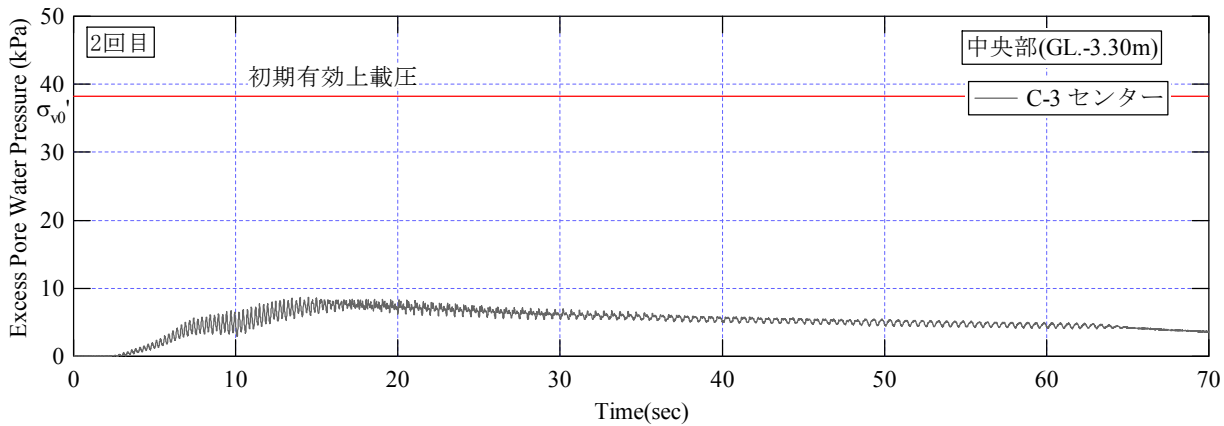
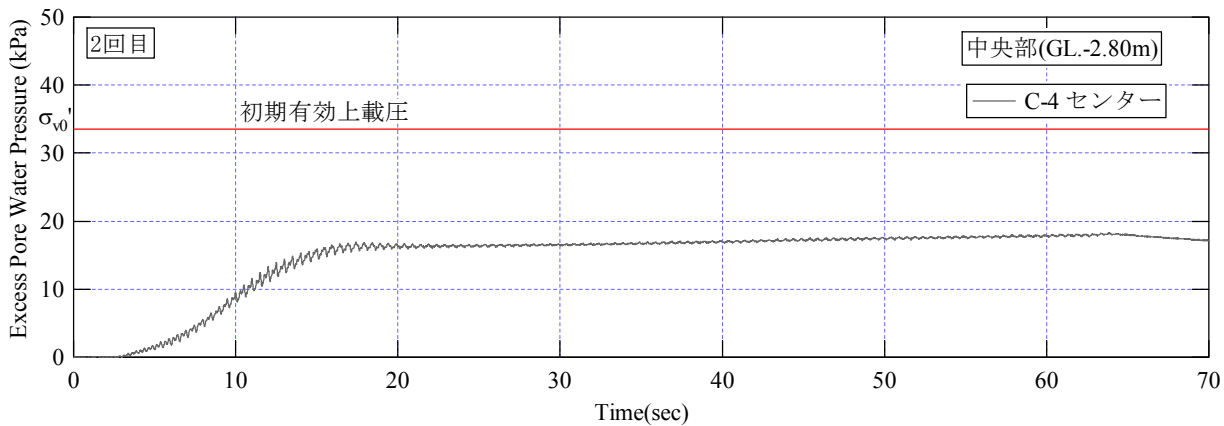
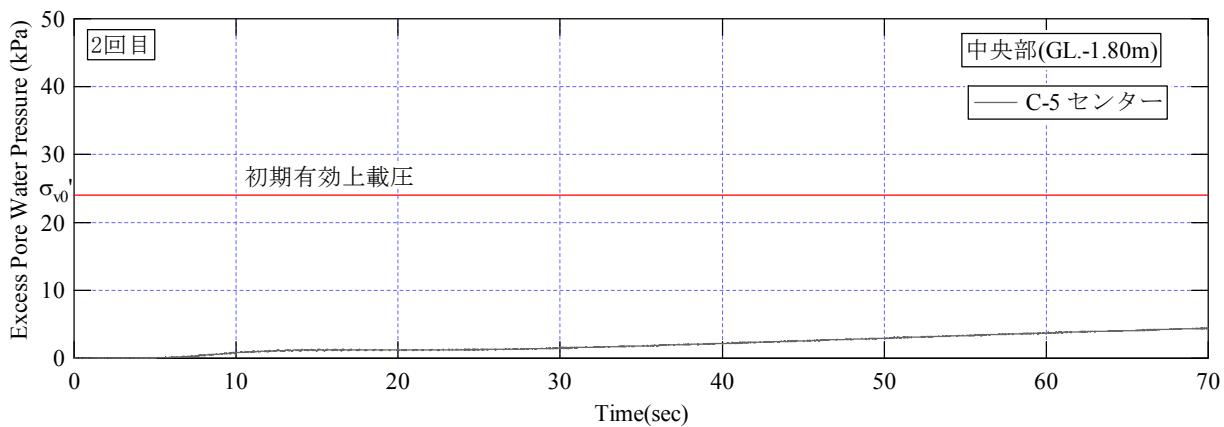


図 7.2.2(1) 2 回目過剰間隙水圧 (中央部)

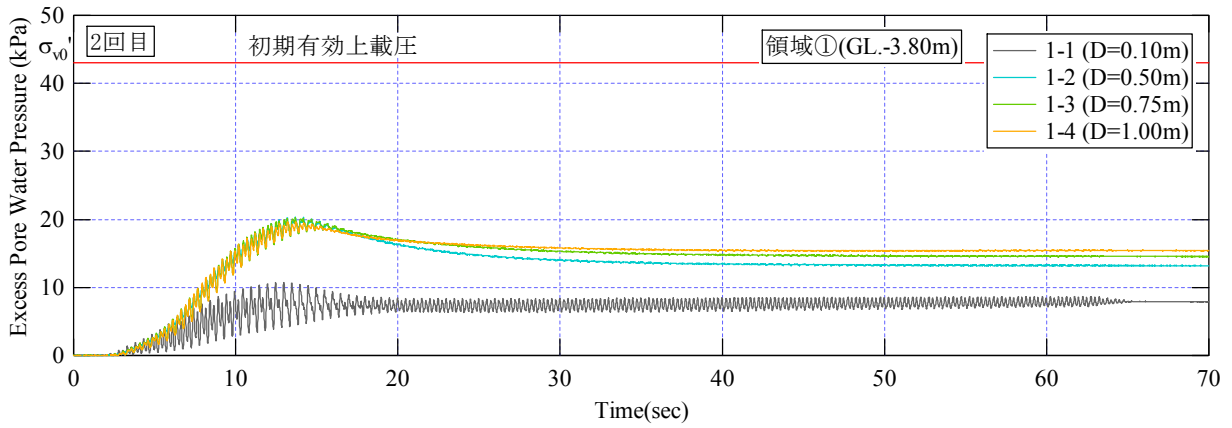
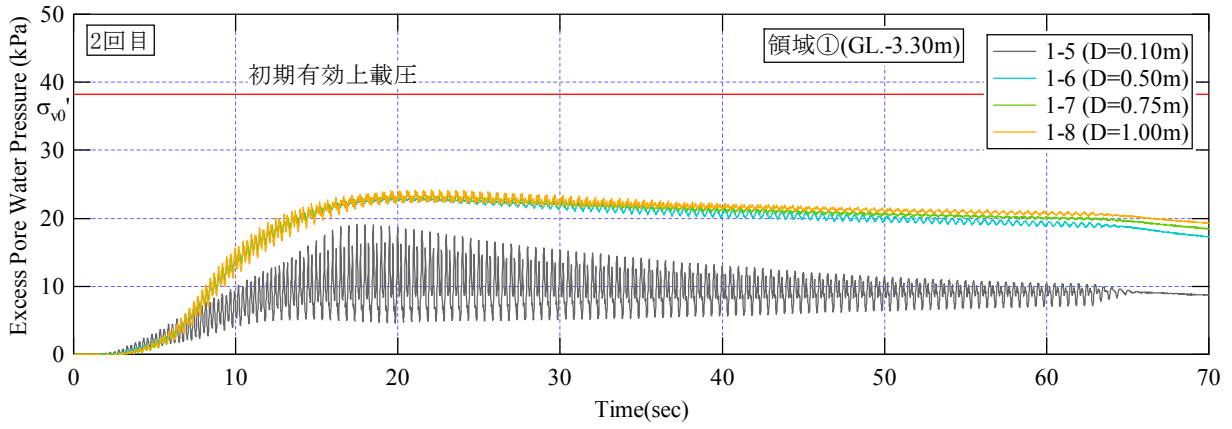
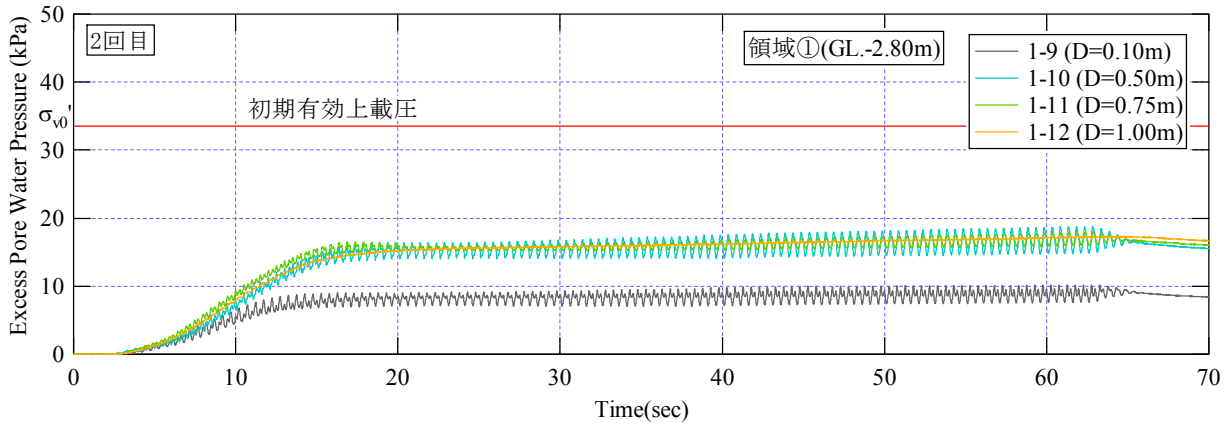
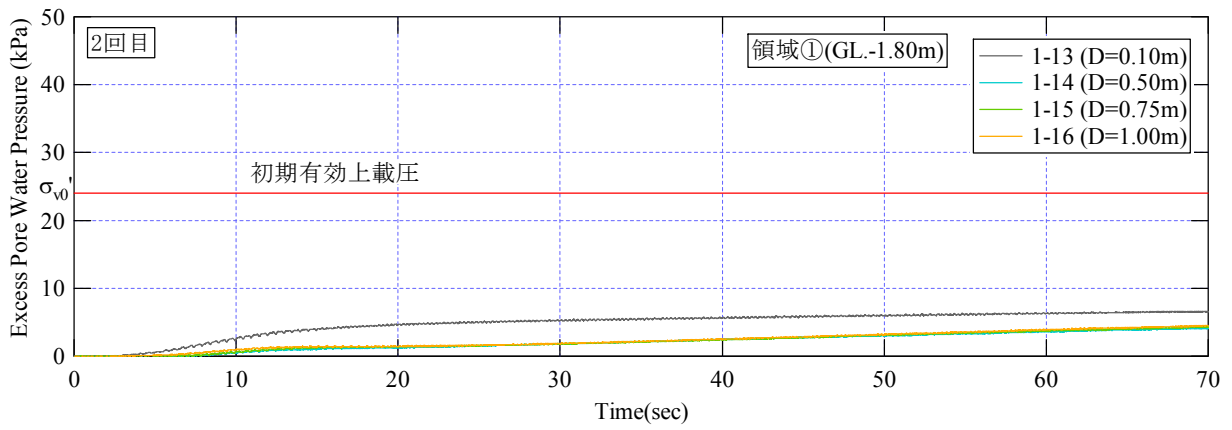


図 7.2.2(2) 2 回目過剰間隙水圧 (領域①)

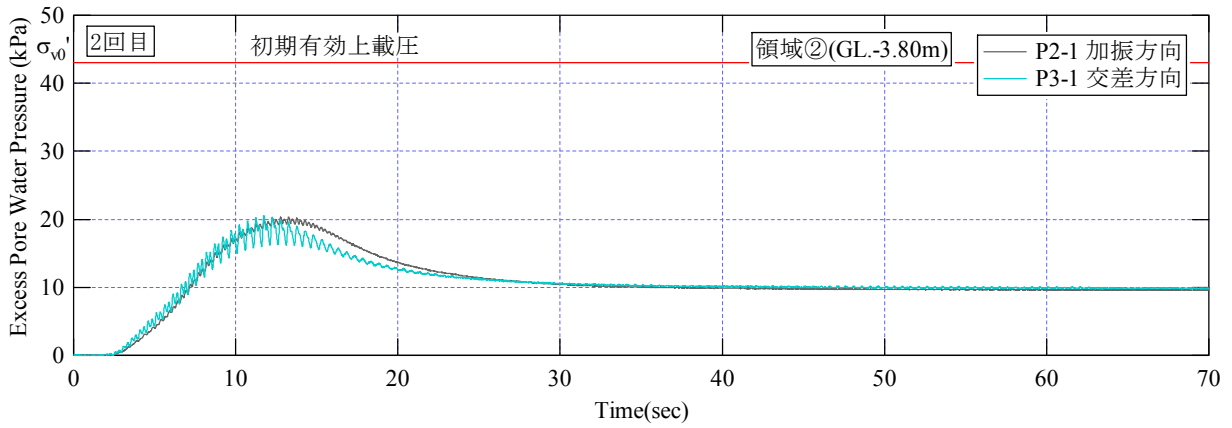
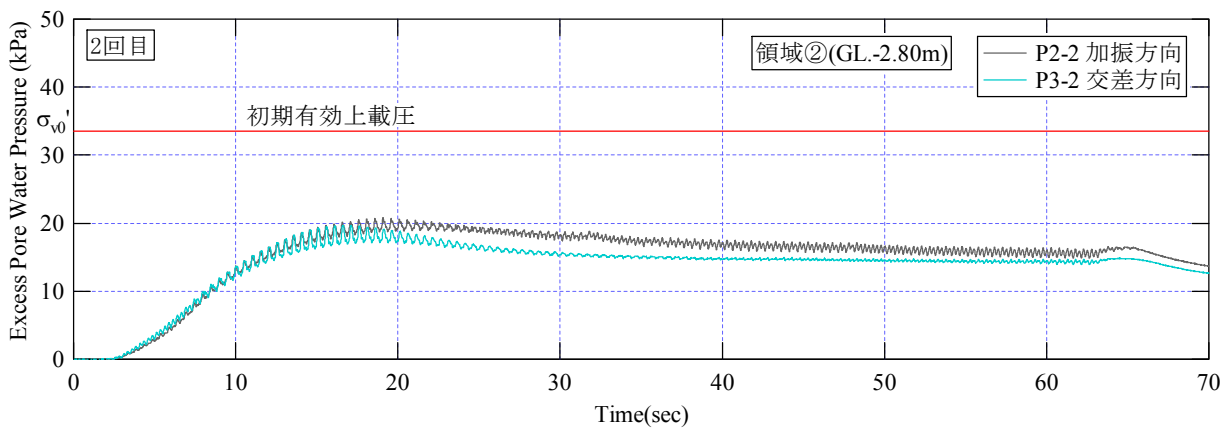
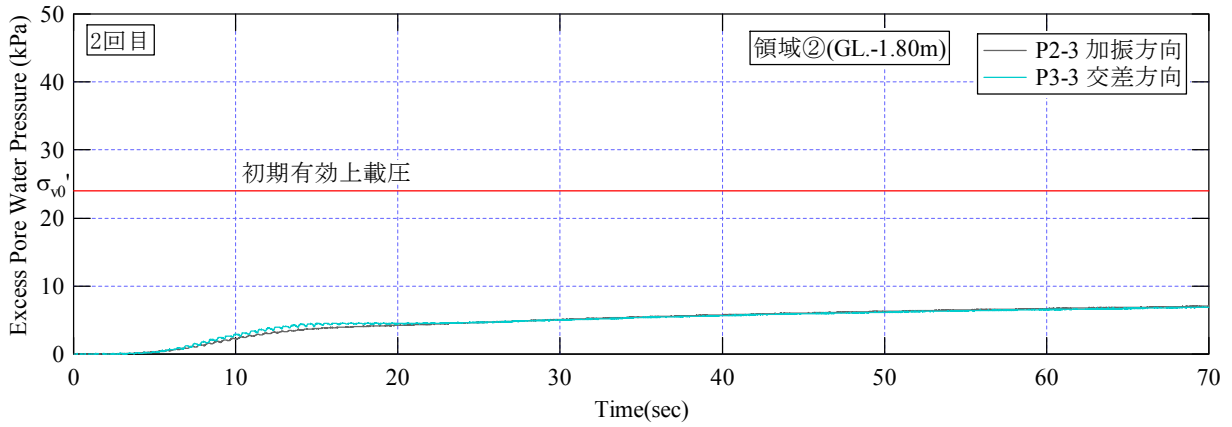


図 7.2.2(3) 2 回目過剰間隙水圧 (領域②)

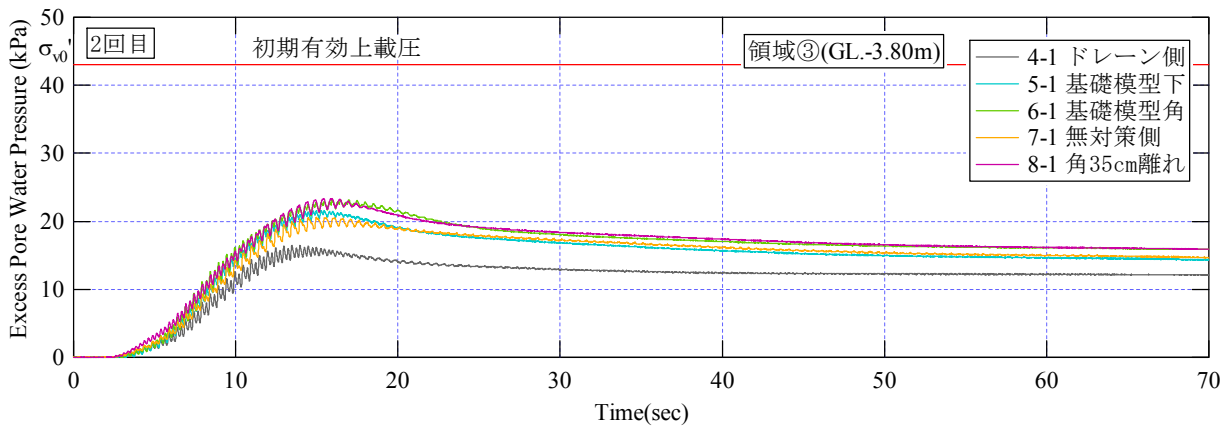
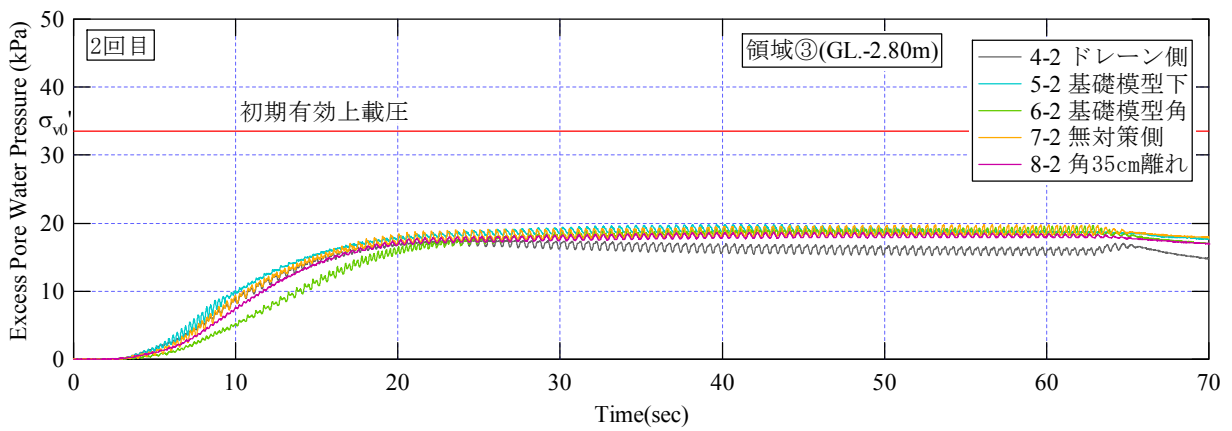
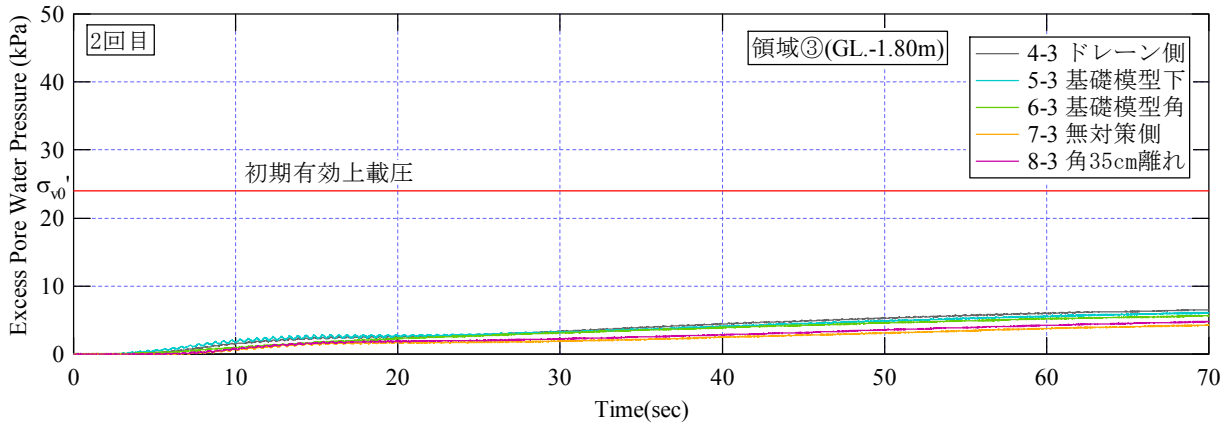


図 7.2.2(4) 2 回目過剰間隙水圧 (領域③)

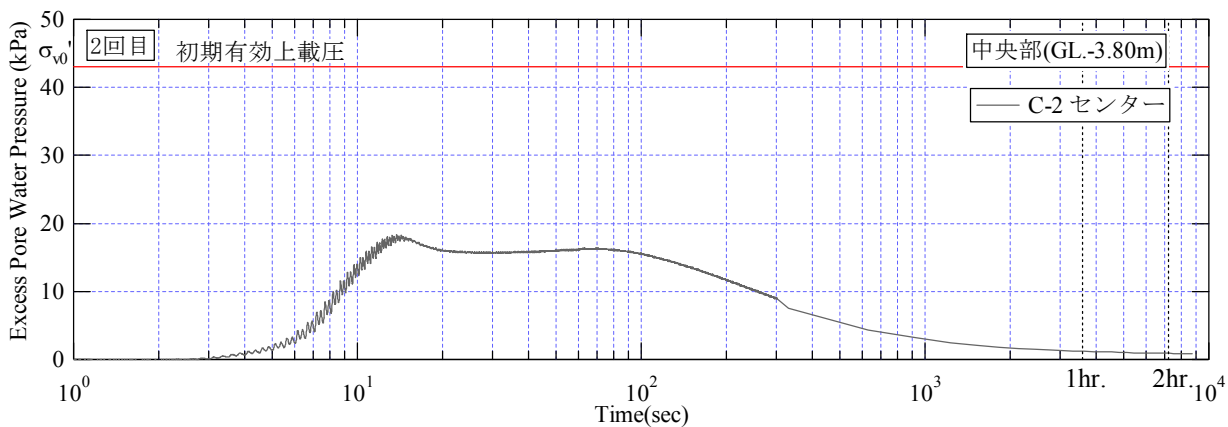
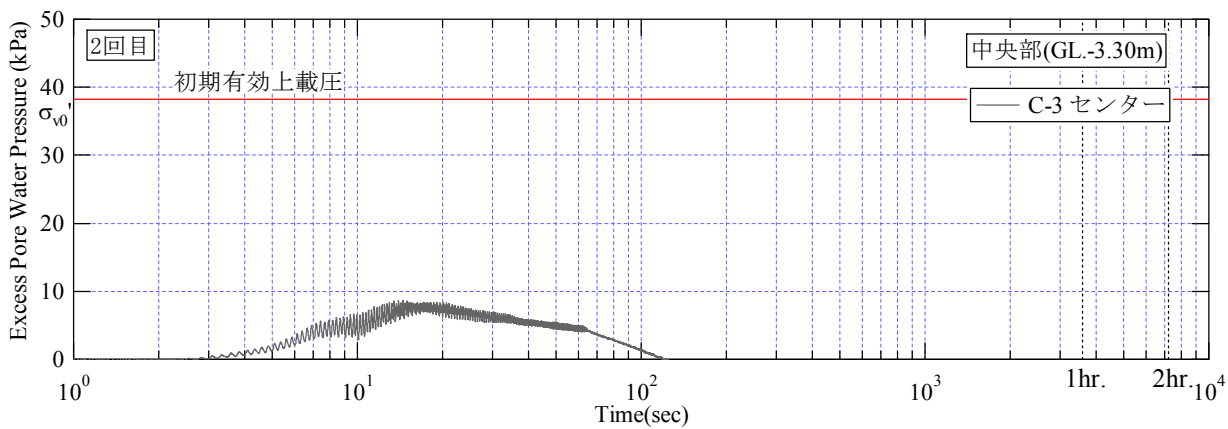
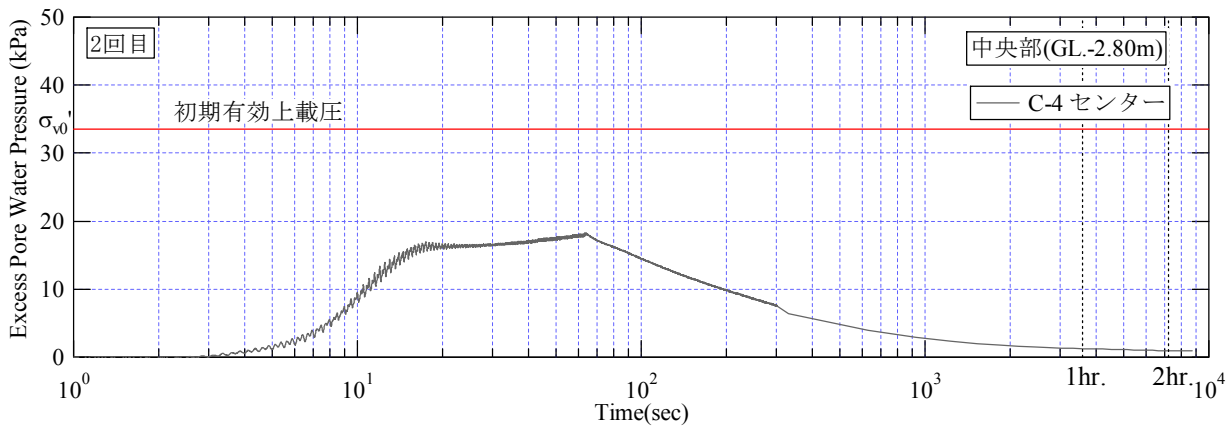
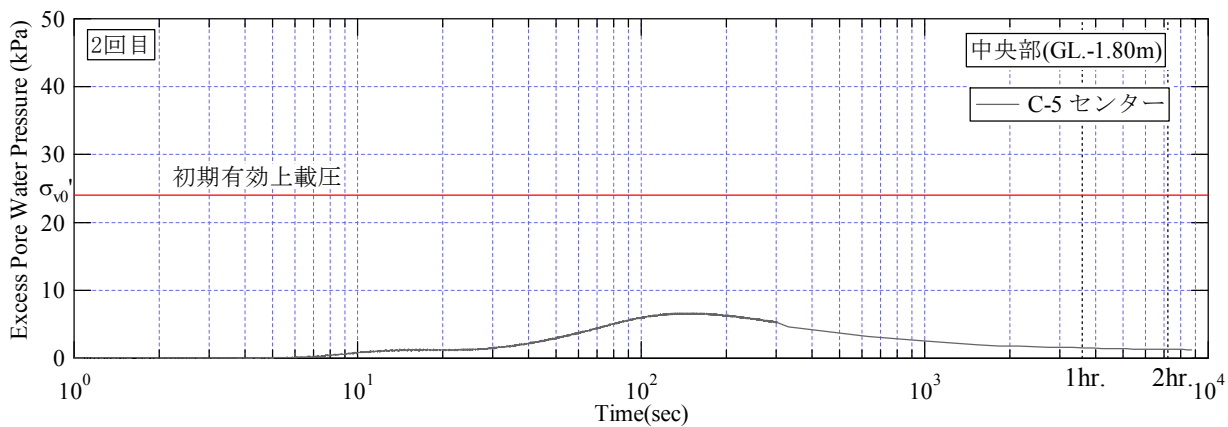


図 7.2.2(5) 2 回目過剰間隙水圧 (中央部)

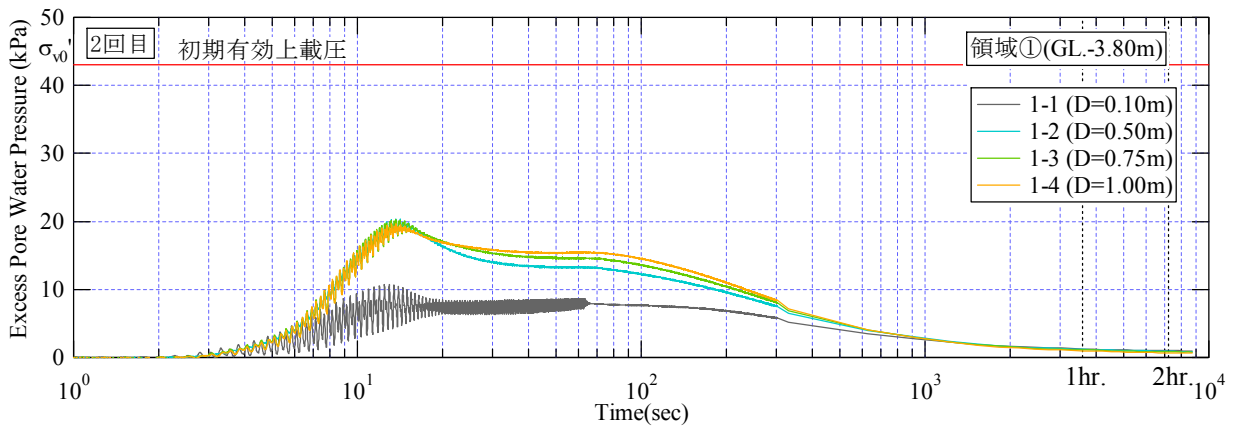
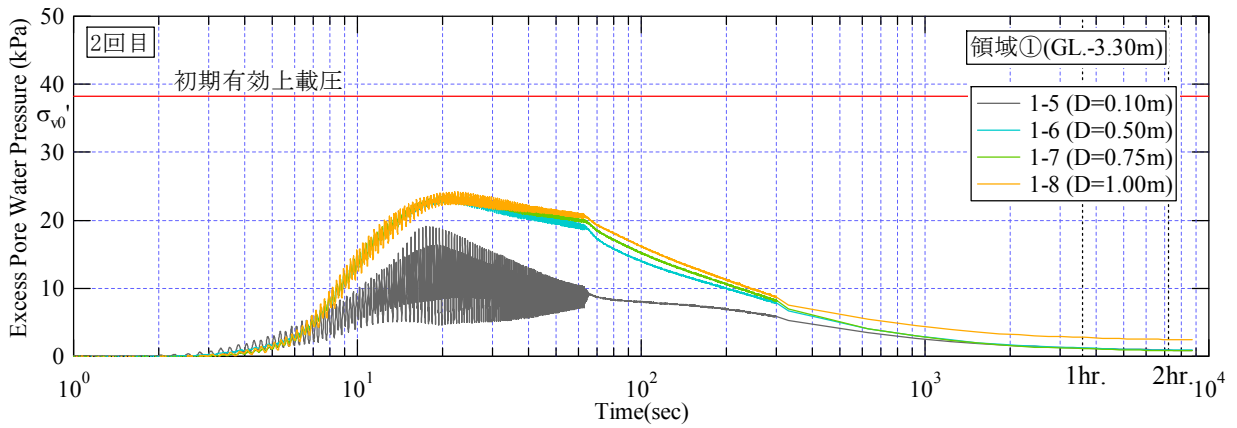
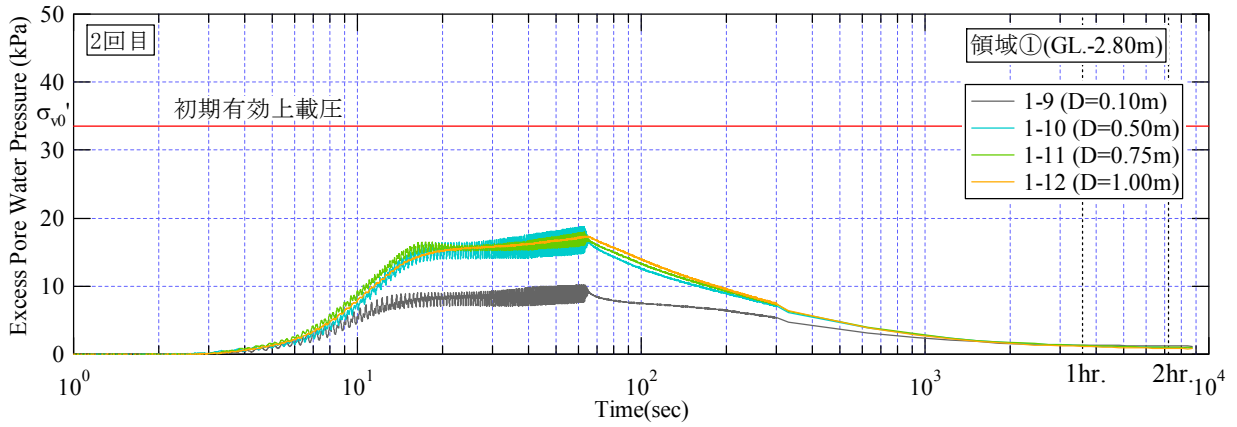
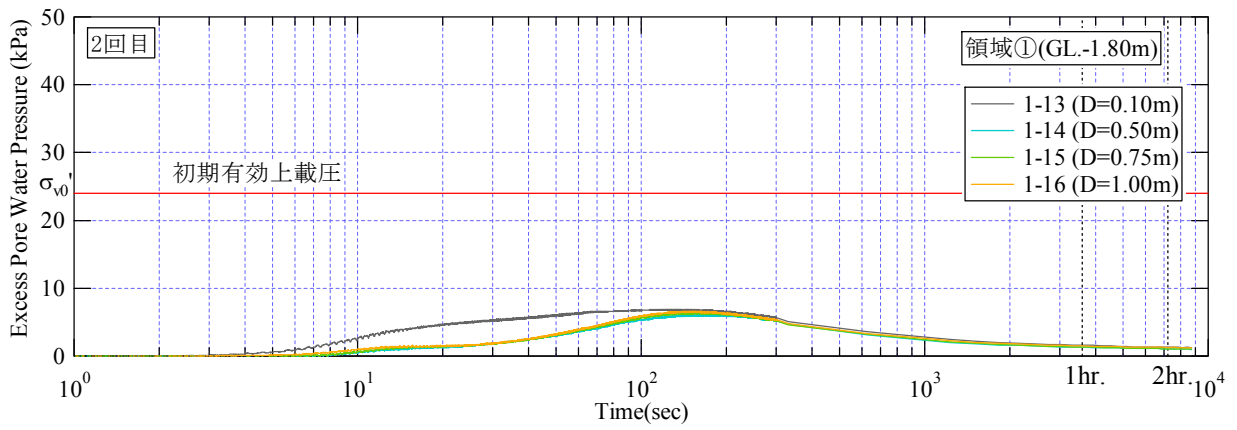


図 7.2.2(6) 2 回目過剰間隙水圧 (領域①)

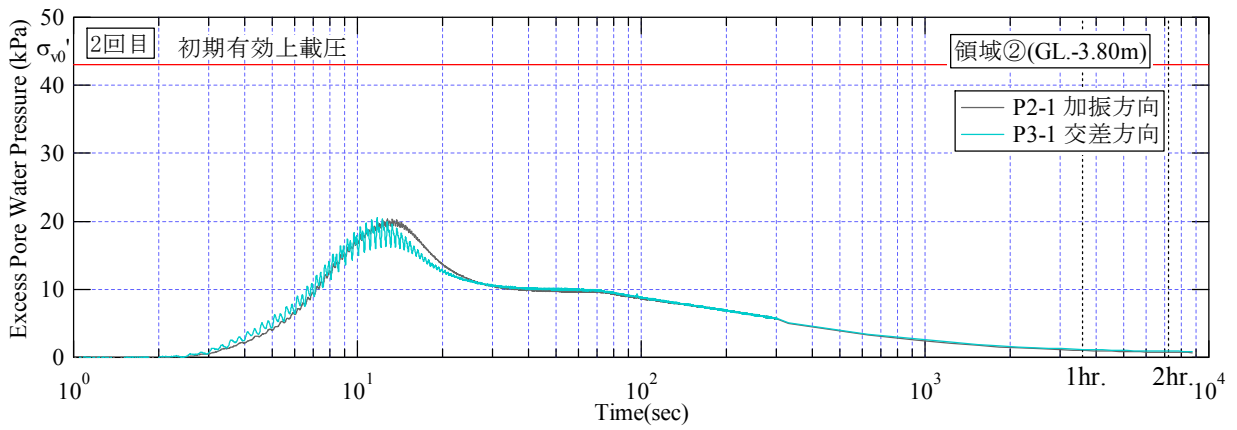
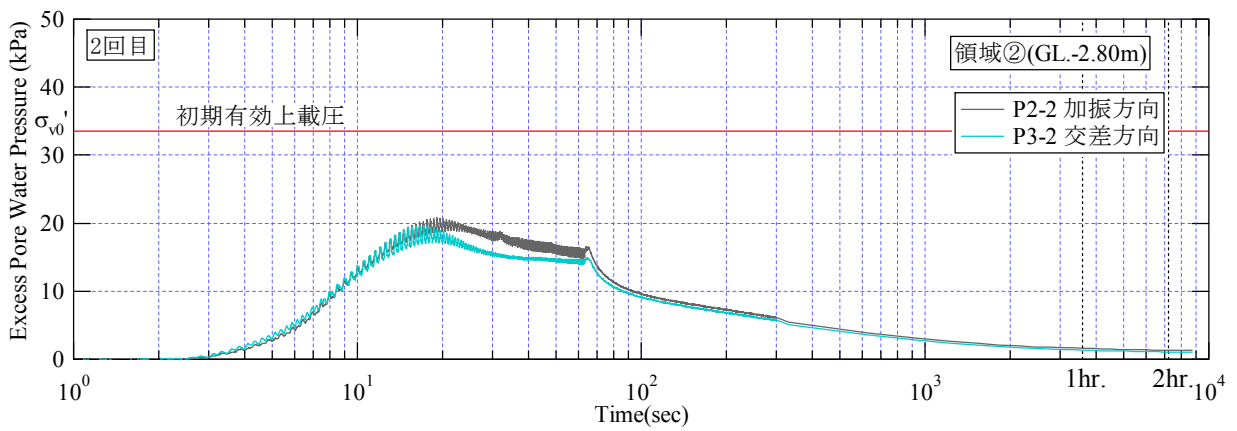
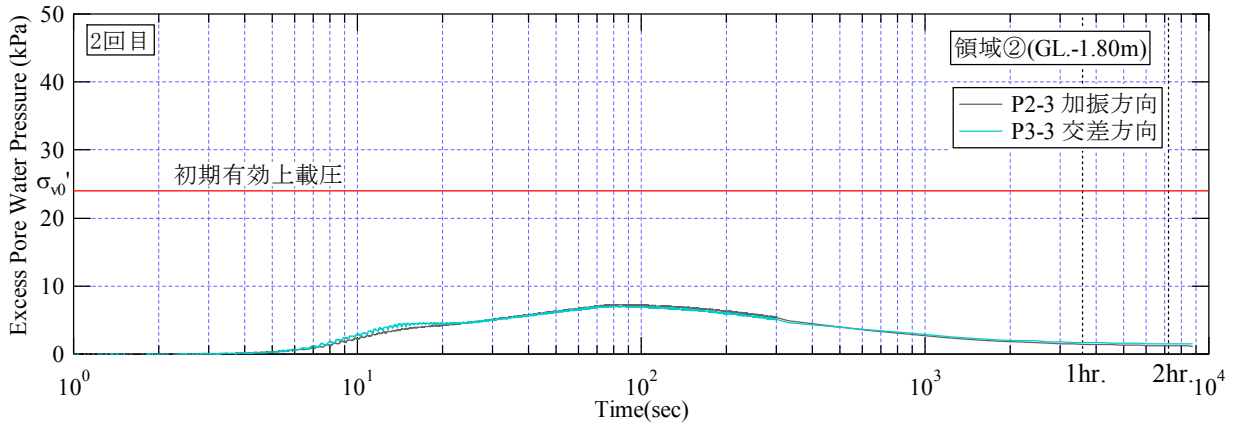


図 7.2.2(7) 2 回目過剰間隙水圧 (領域②)

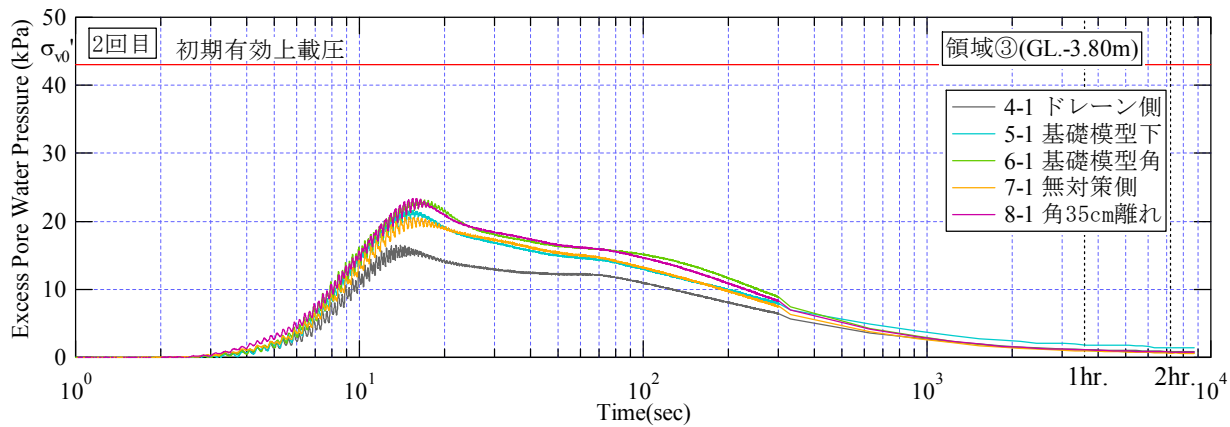
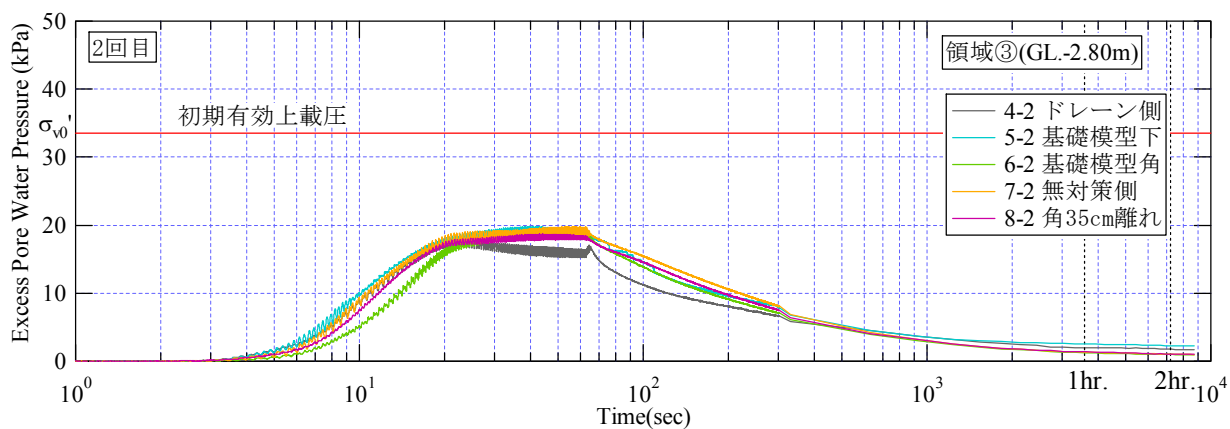
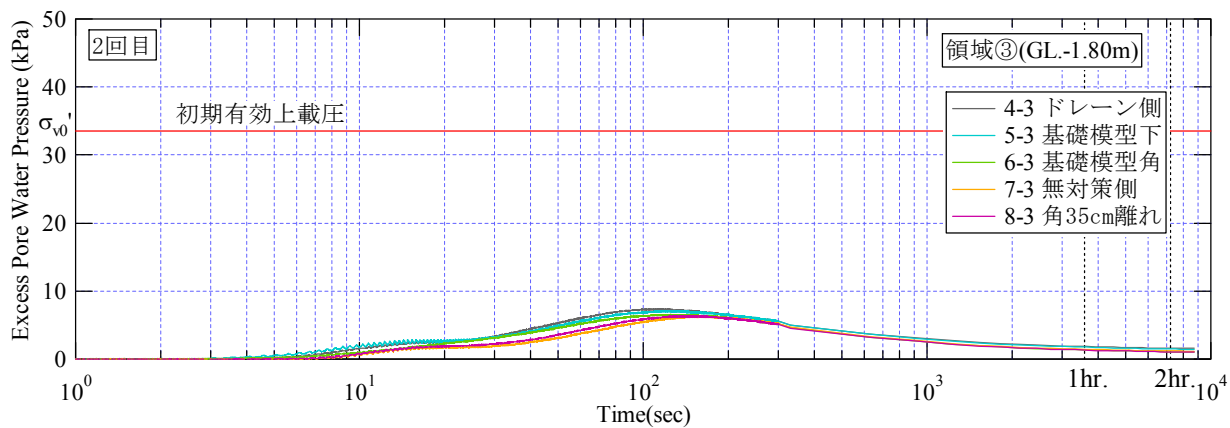


図 7.2.2(8) 2 回目過剰間隙水圧 (領域③)



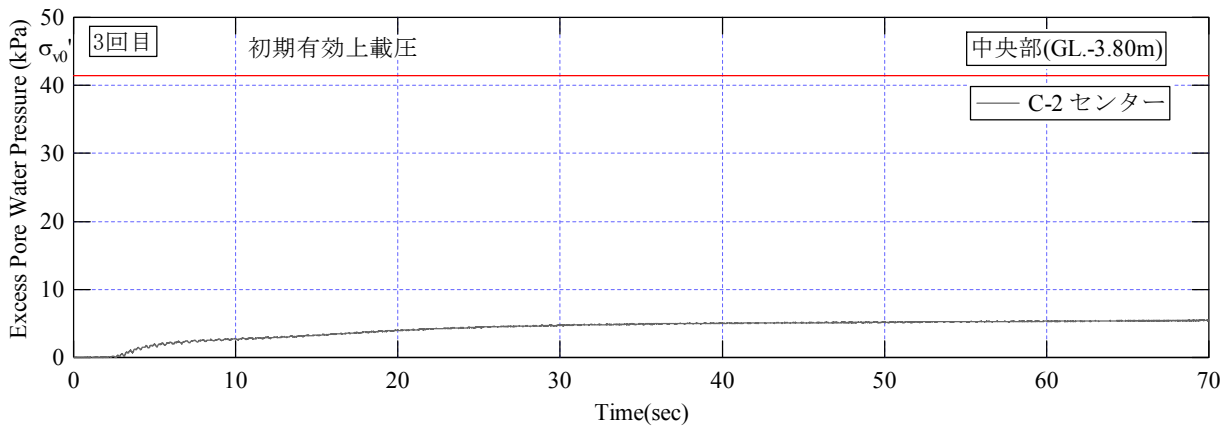
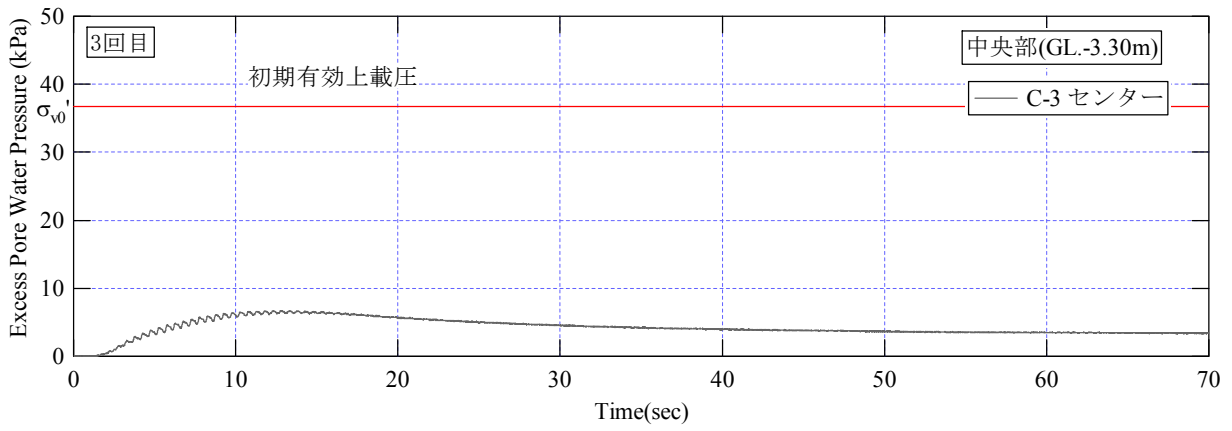
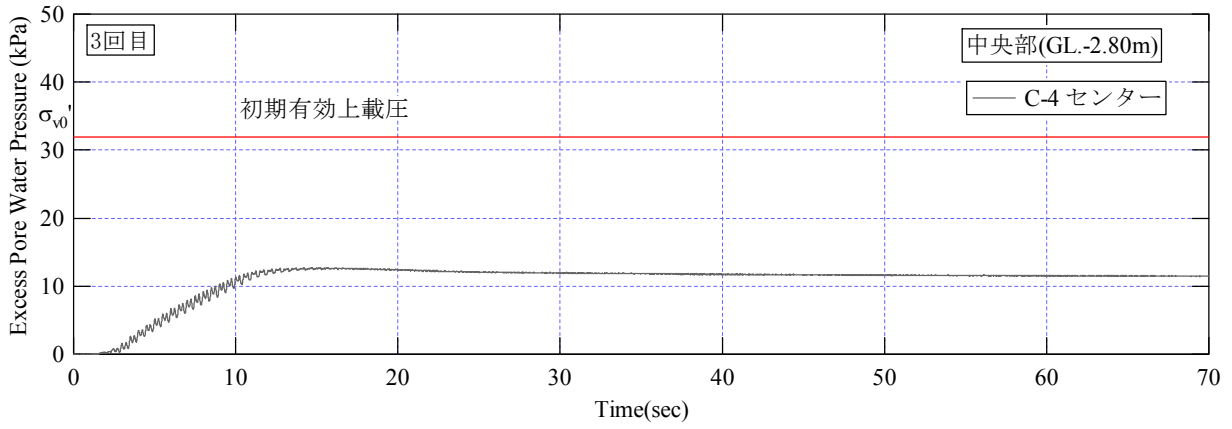
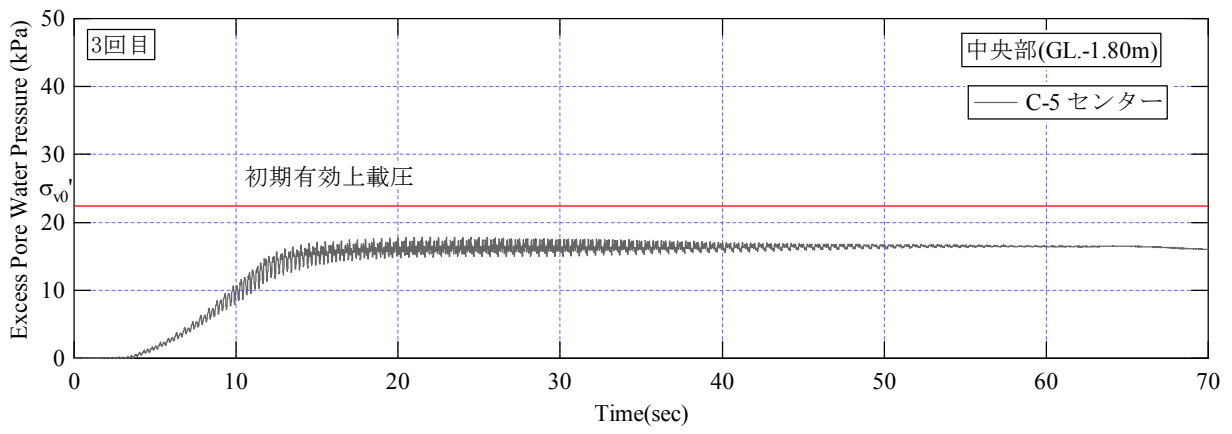


図 7.2.3(1) 3 回目過剰間隙水圧 (中央部)

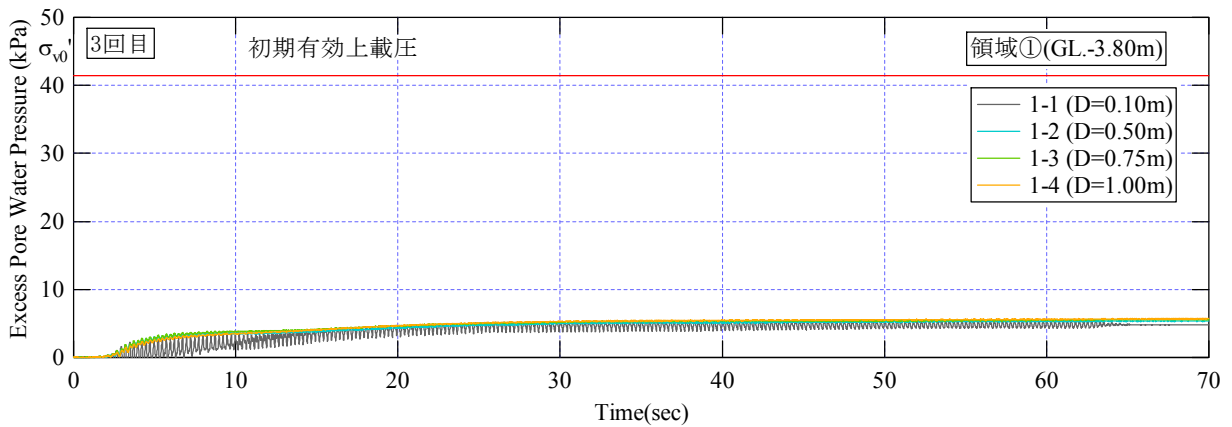
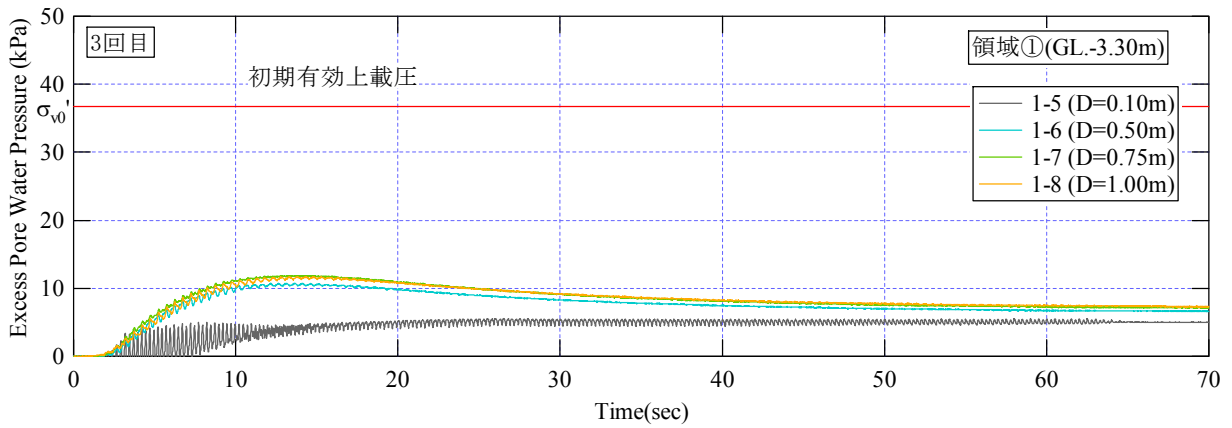
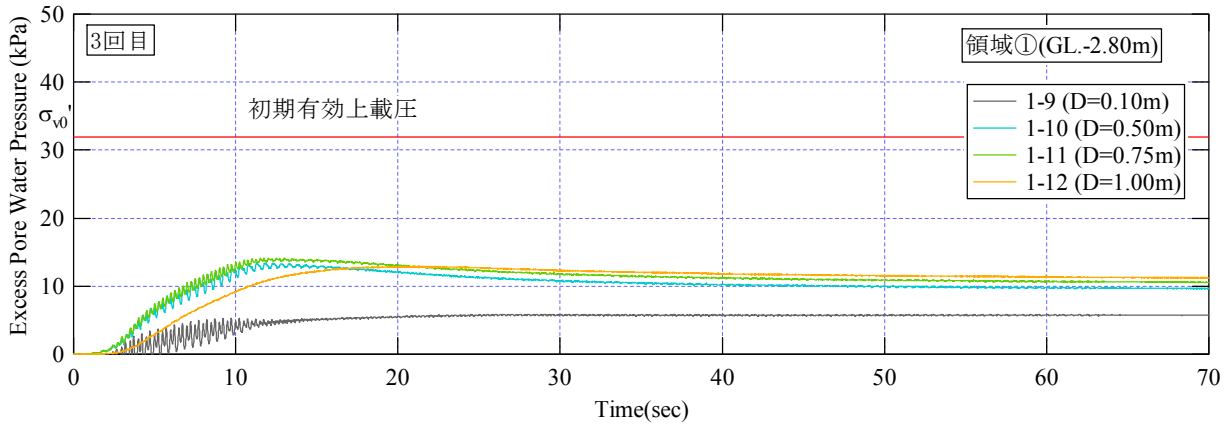
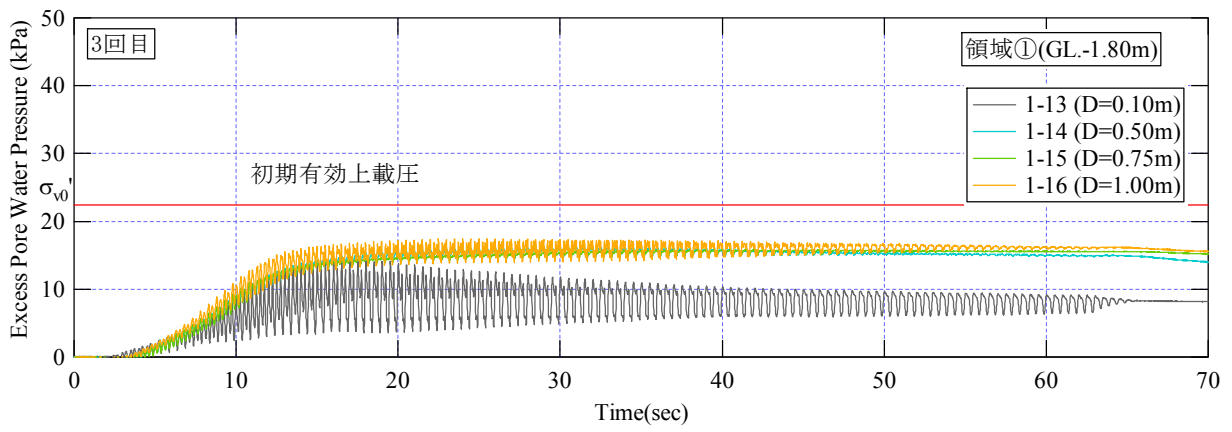


図 7.2.3(2) 3 回目過剰間隙水圧 (領域①)

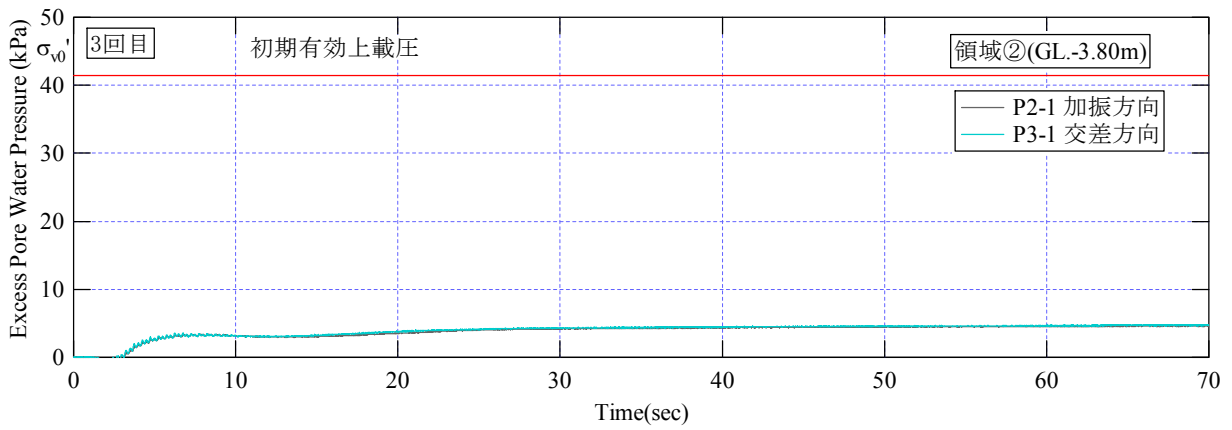
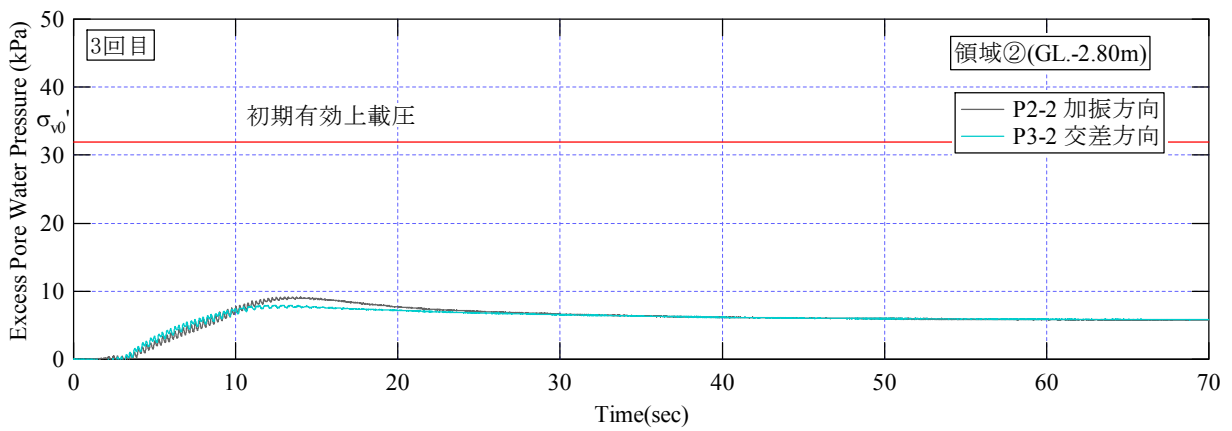
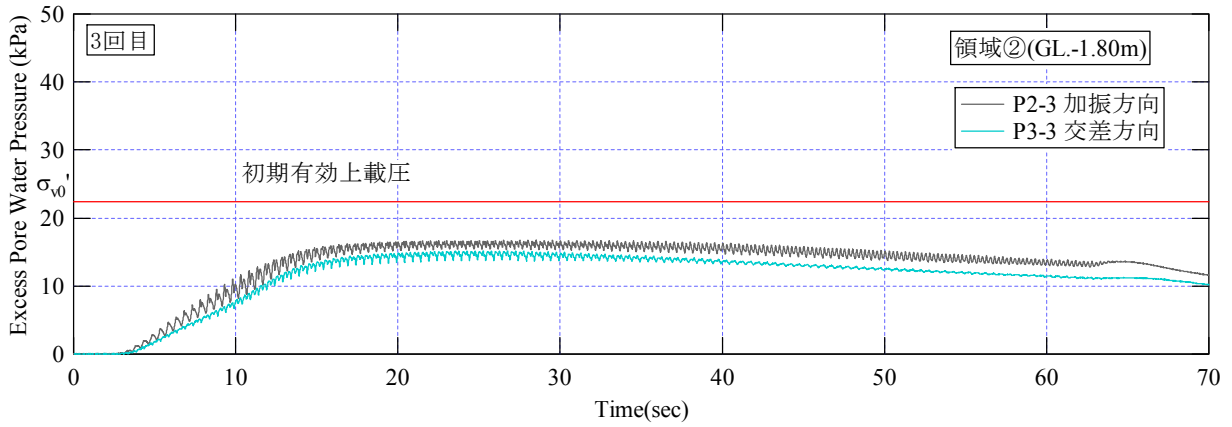


図 7.2.3(3) 3 回目過剰間隙水圧 (領域②)

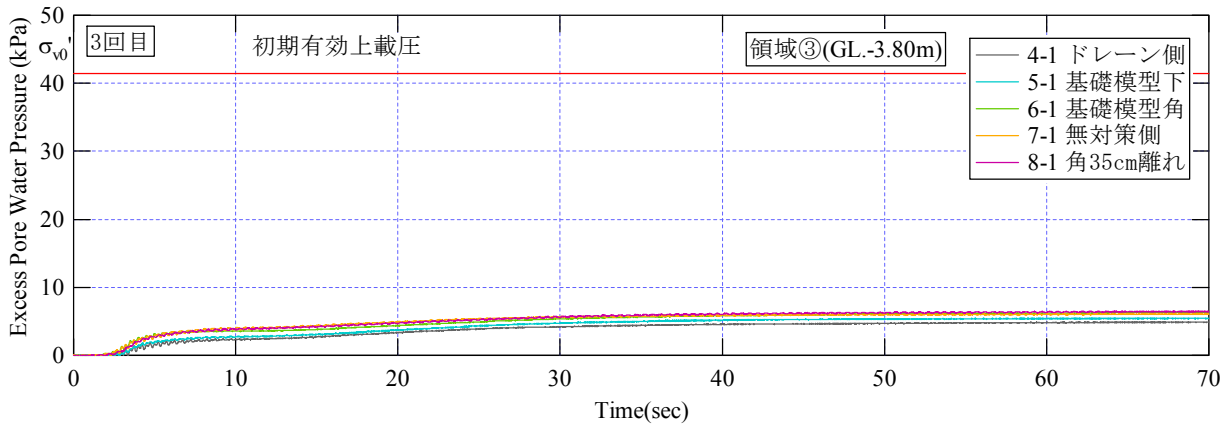
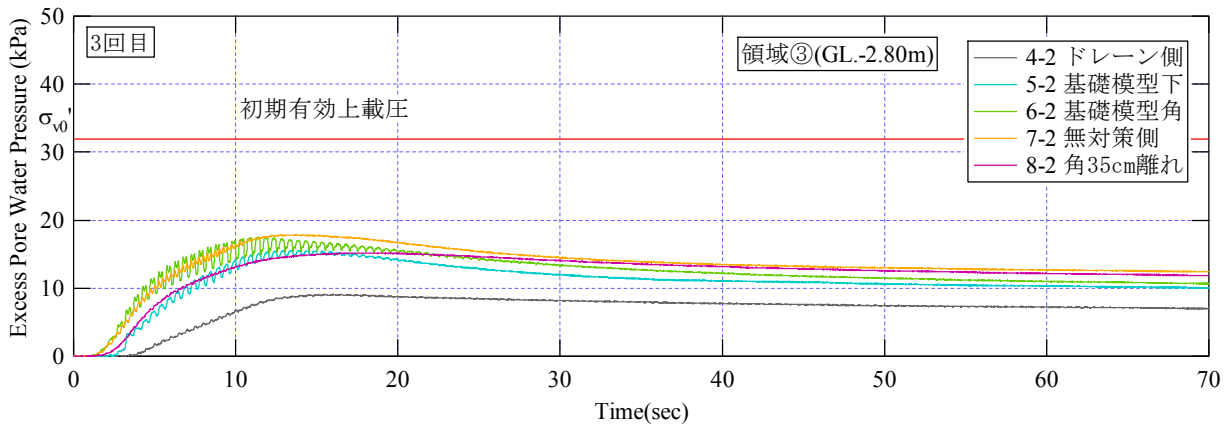
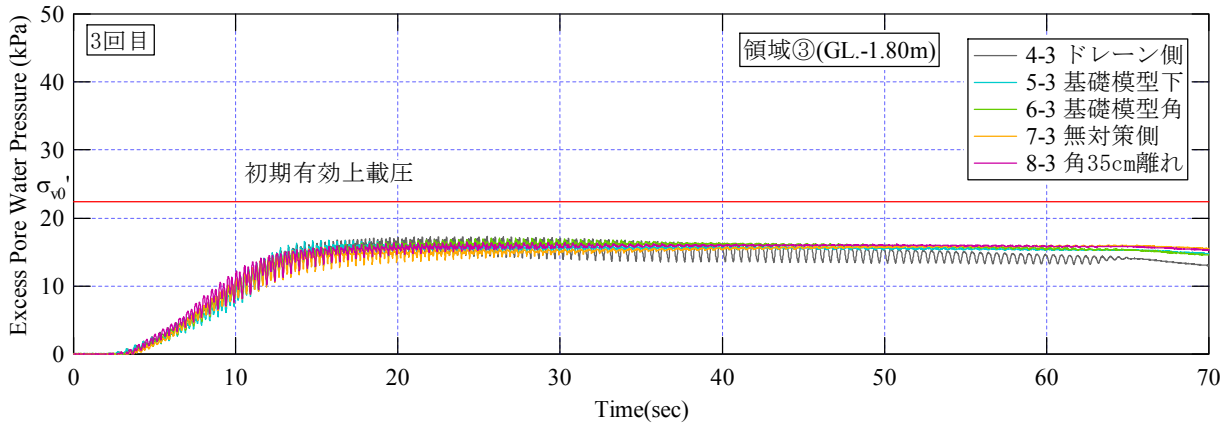


図 7.2.3(4) 3 回目過剰間隙水圧 (領域③)

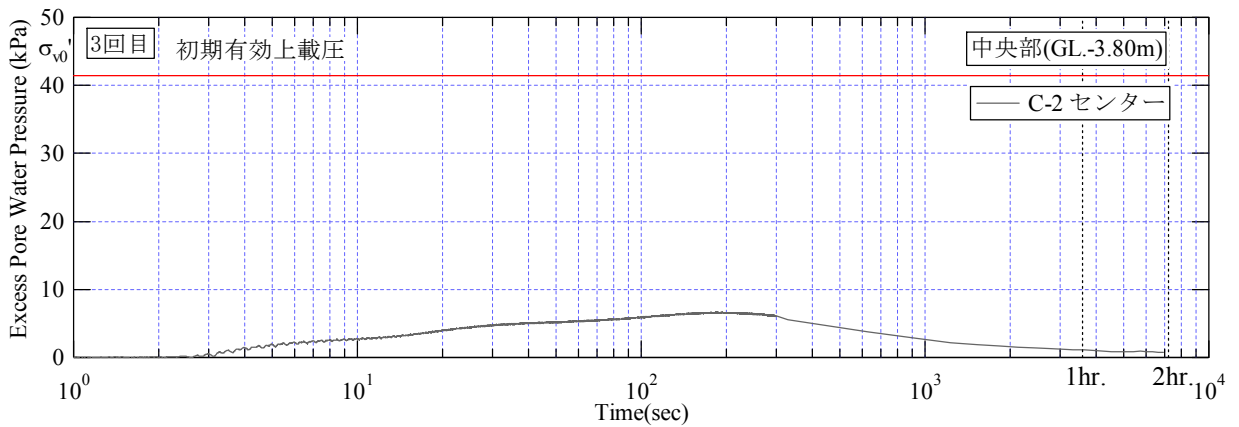
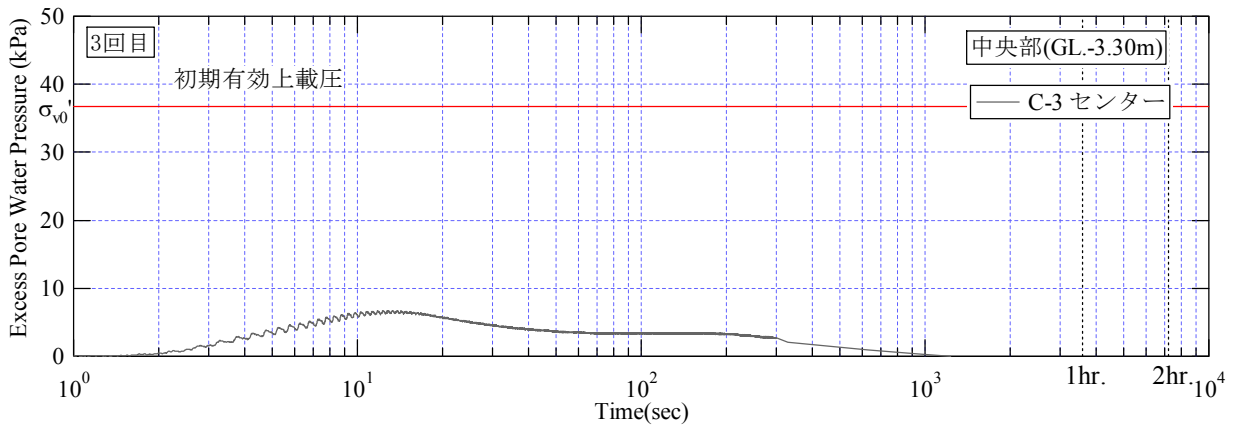
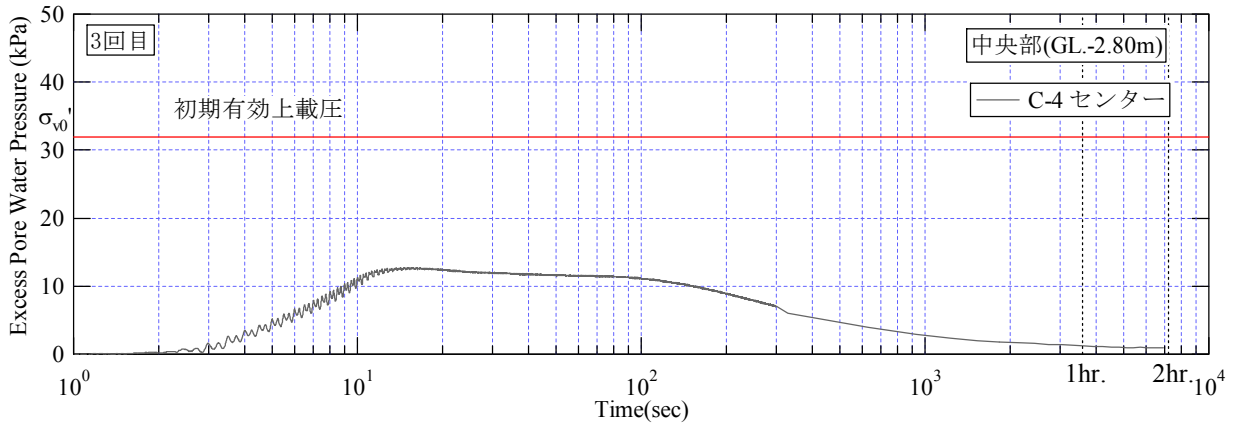
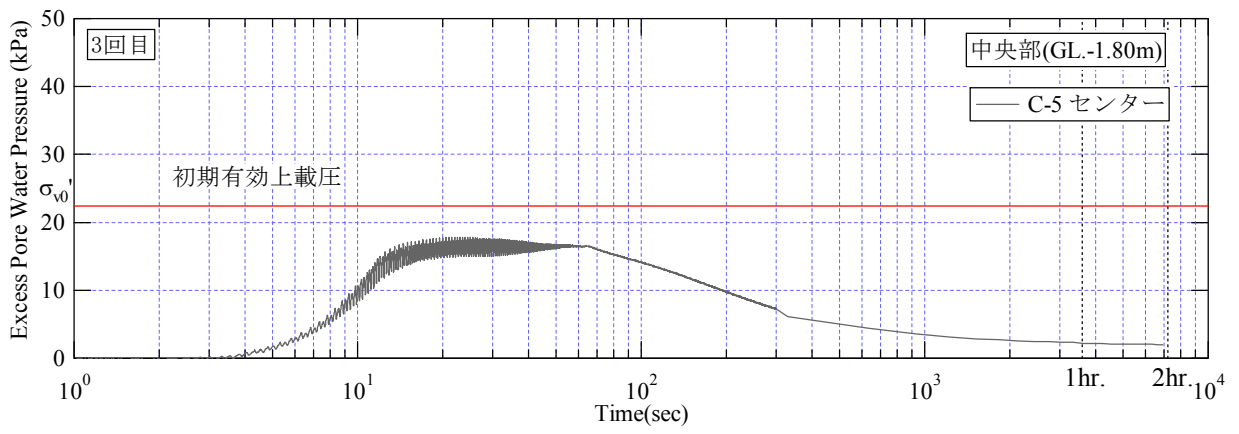


図 7.2.3(5) 3 回目過剰間隙水圧 (中央部)

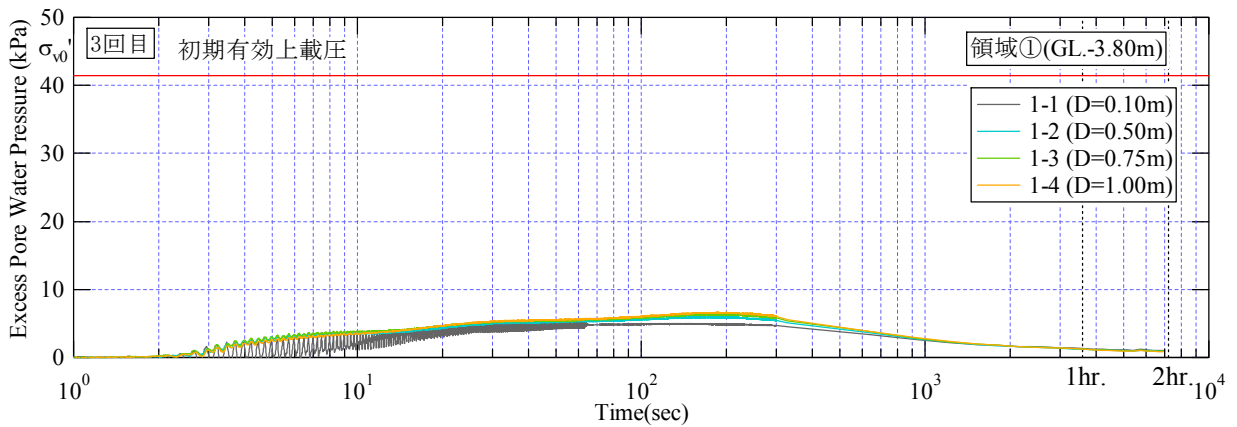
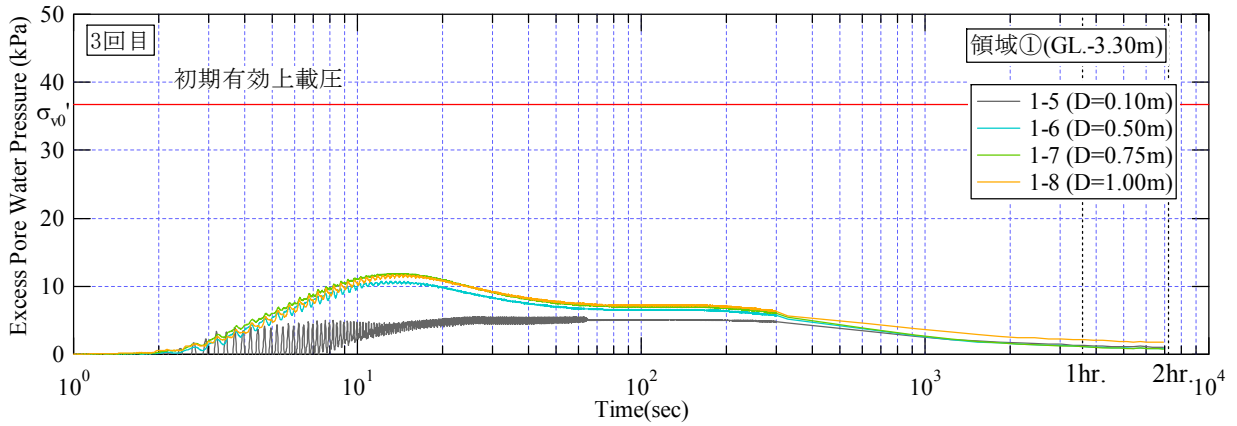
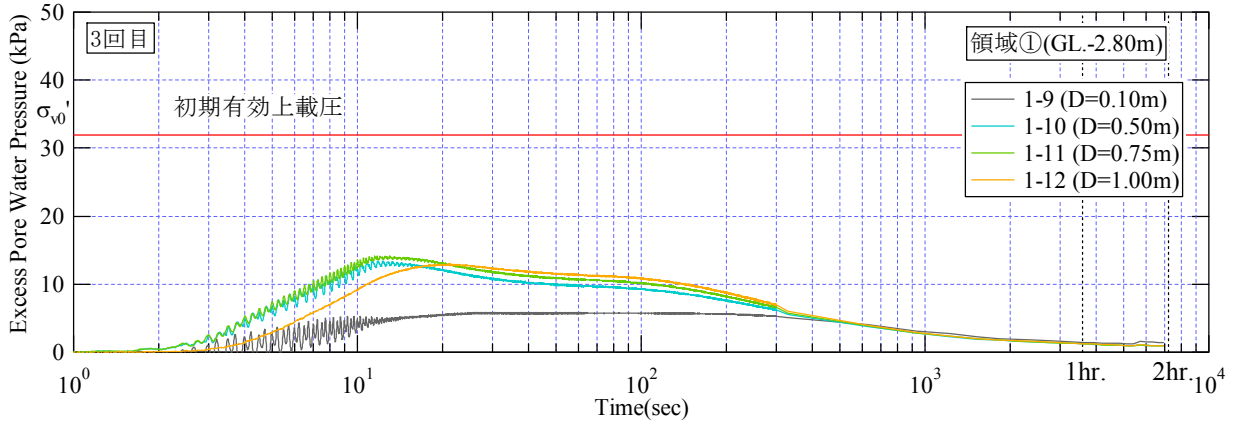
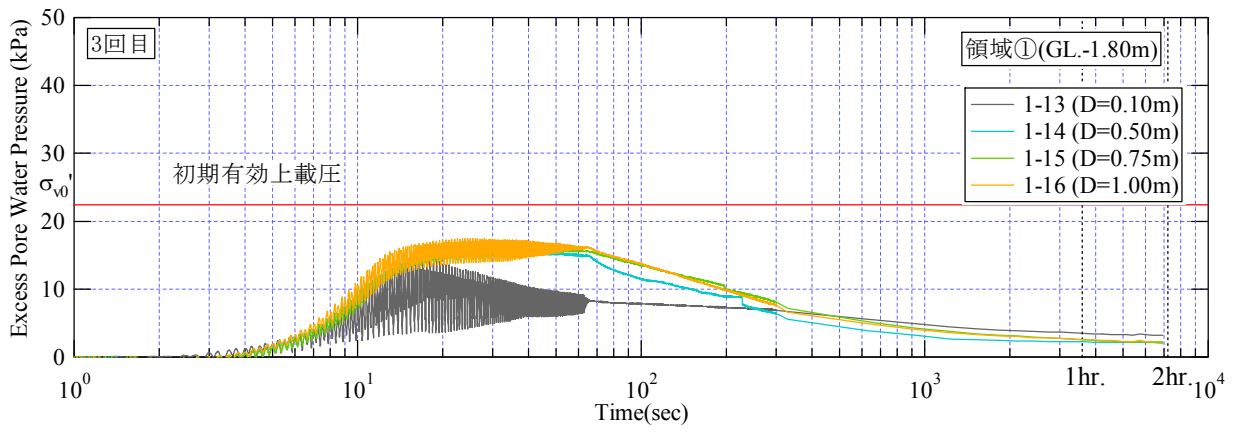


図 7.2.3(6) 3 回目過剰間隙水圧 (領域①)

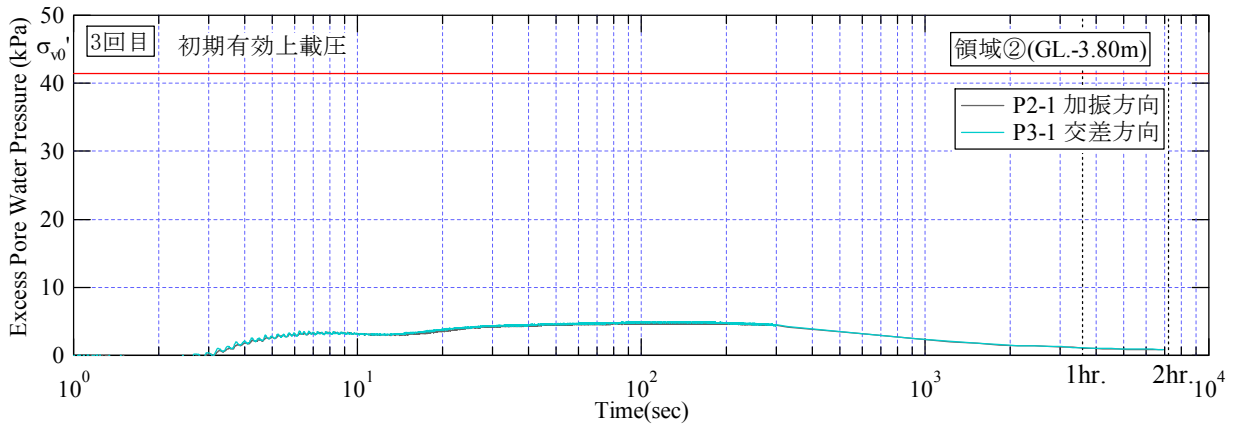
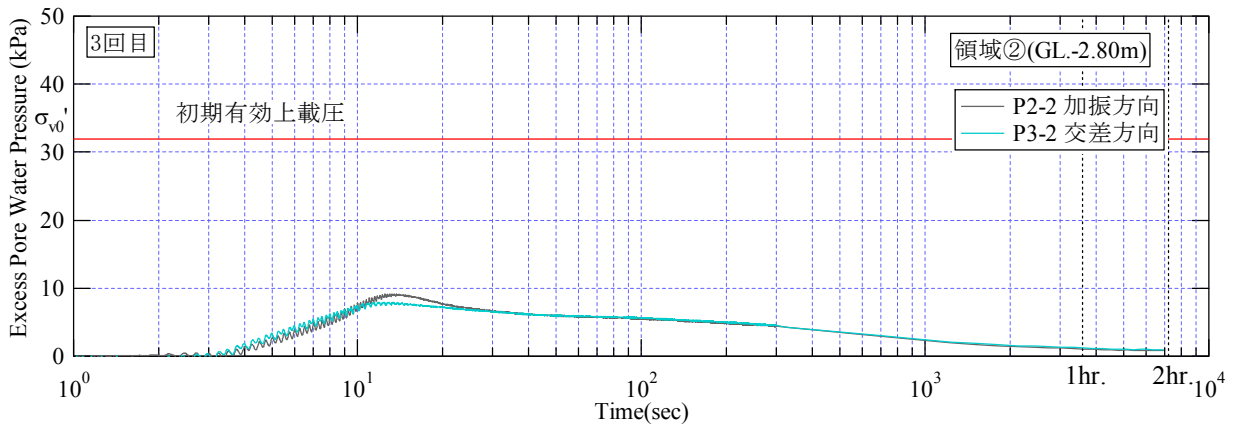
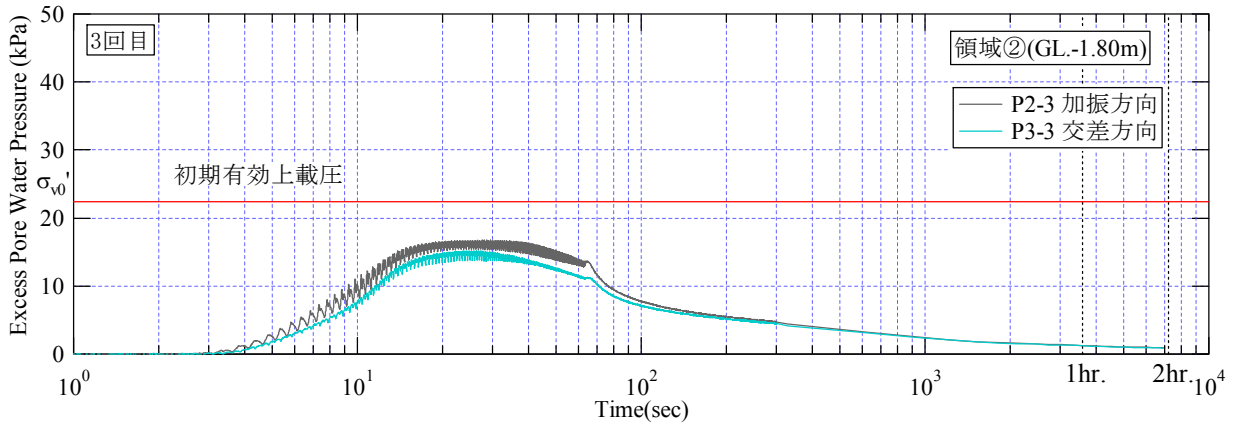


図 7.2.3(7) 3 回目過剰間隙水圧 (領域②)

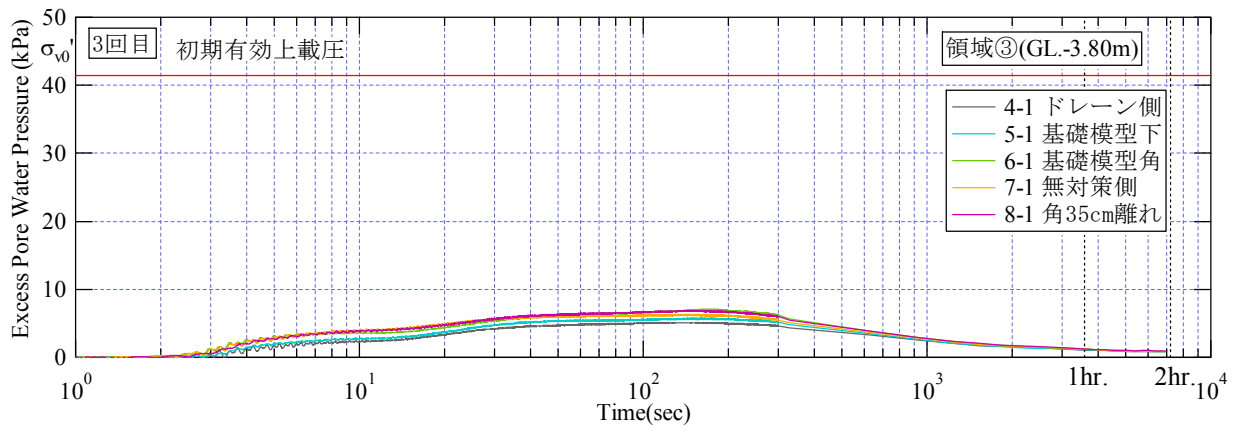
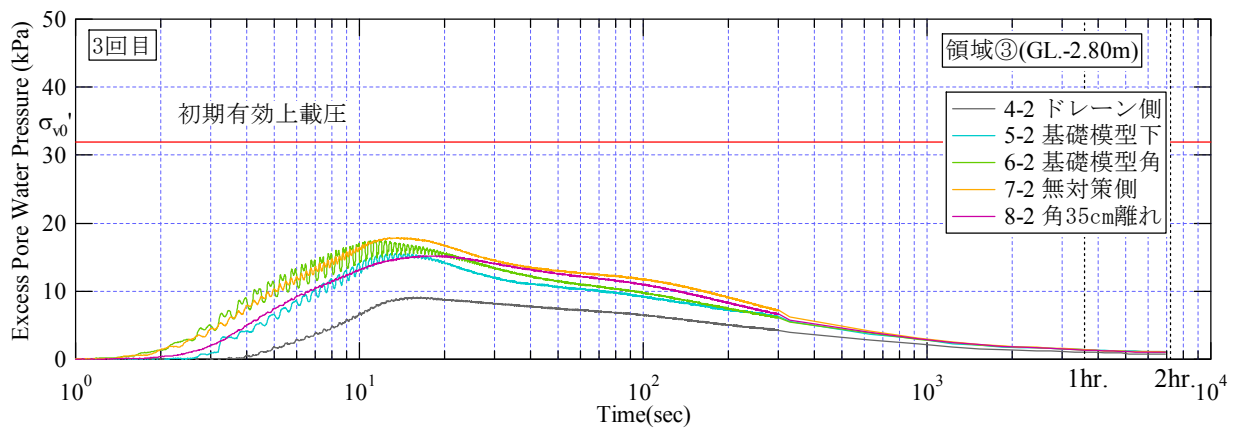
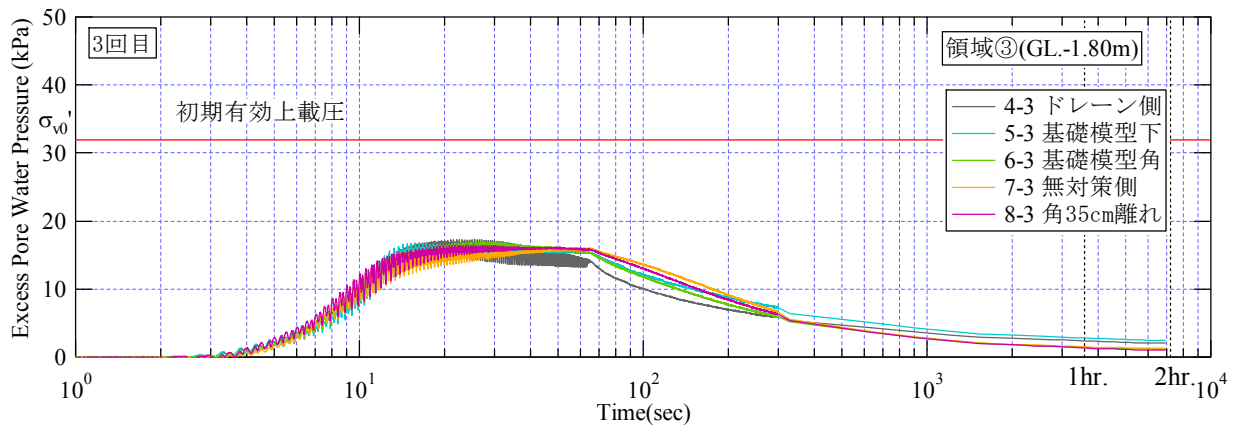


図 7.2.3(8) 3 回目過剰間隙水圧 (領域③)



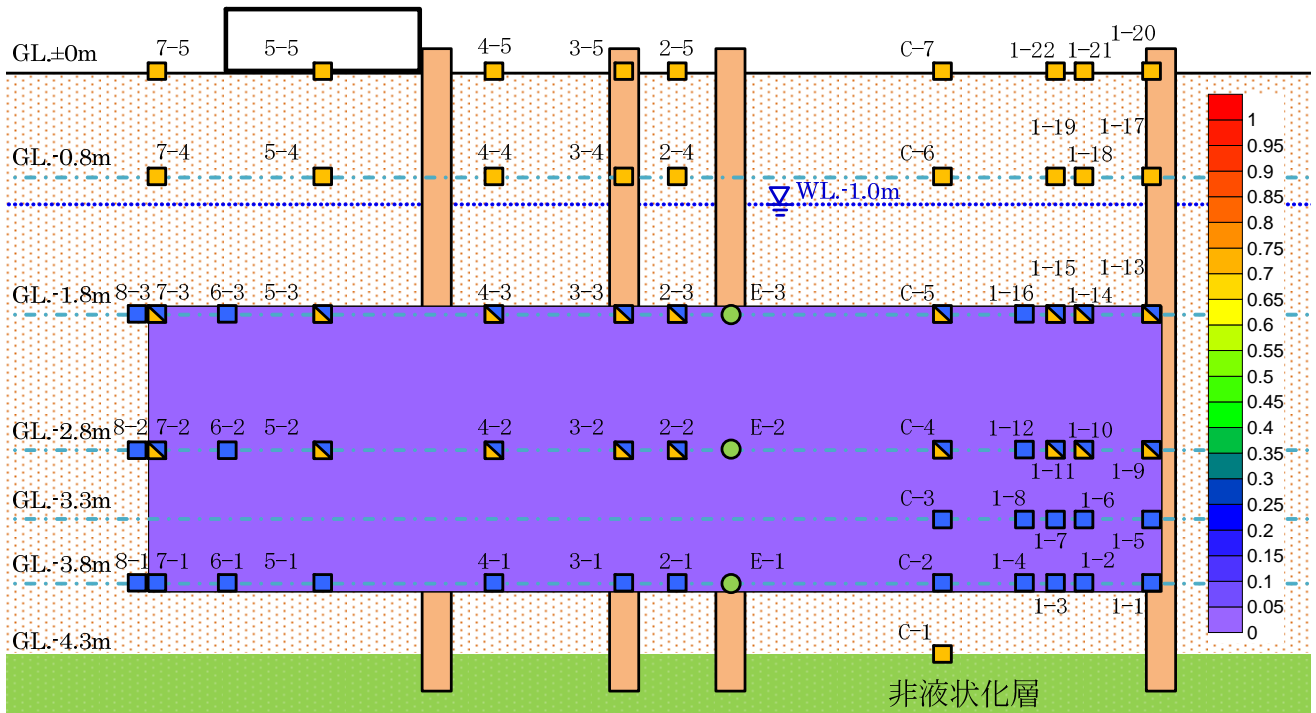


图 7.2.4(1) 1 回目过剩間隙水圧比分布图 (最大值)

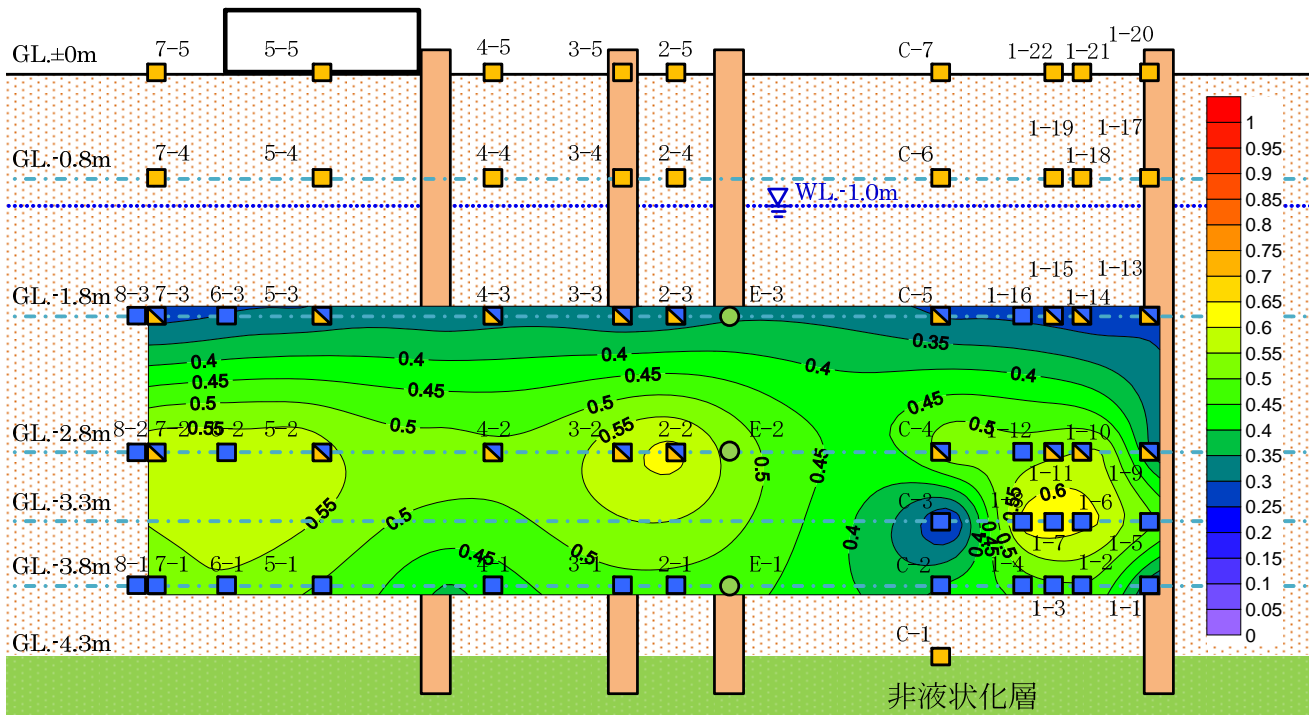


图 7.2.4(2) 2 回目过剩間隙水圧比分布图 (最大值)

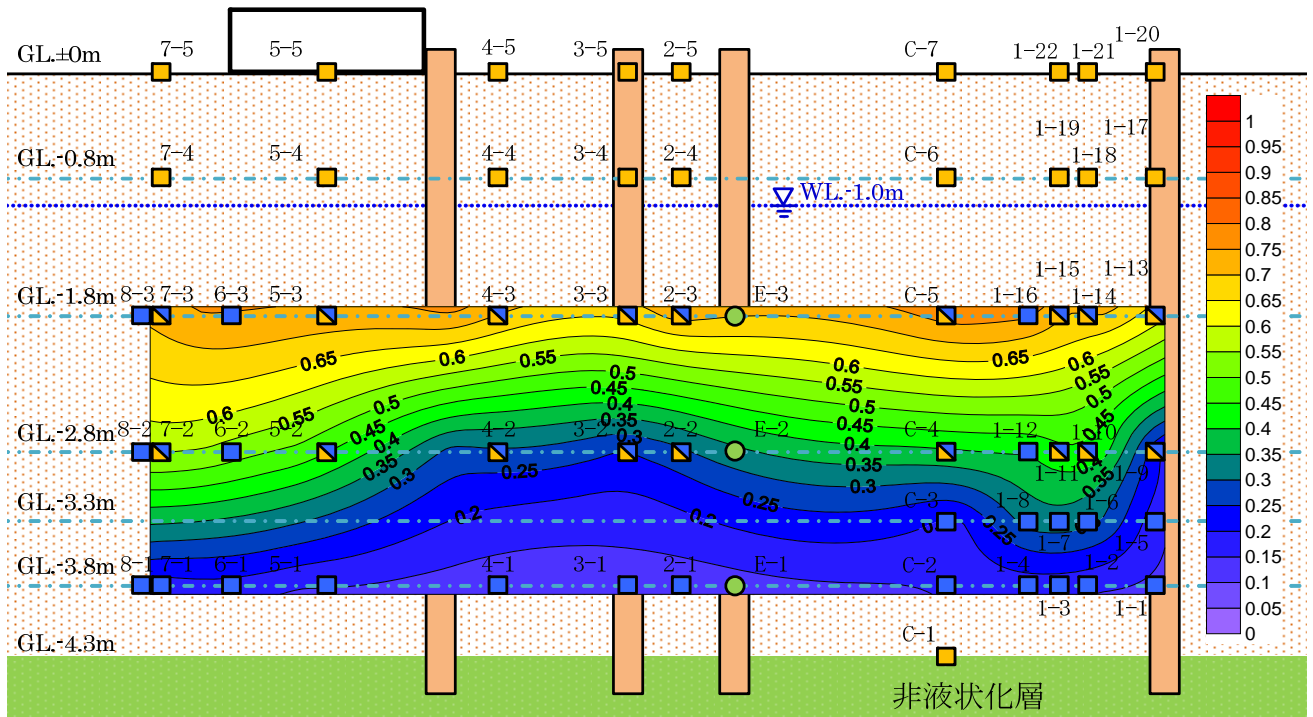


図 7.2.4(3) 3 回目過剰間隙水圧比分布図 (最大値)

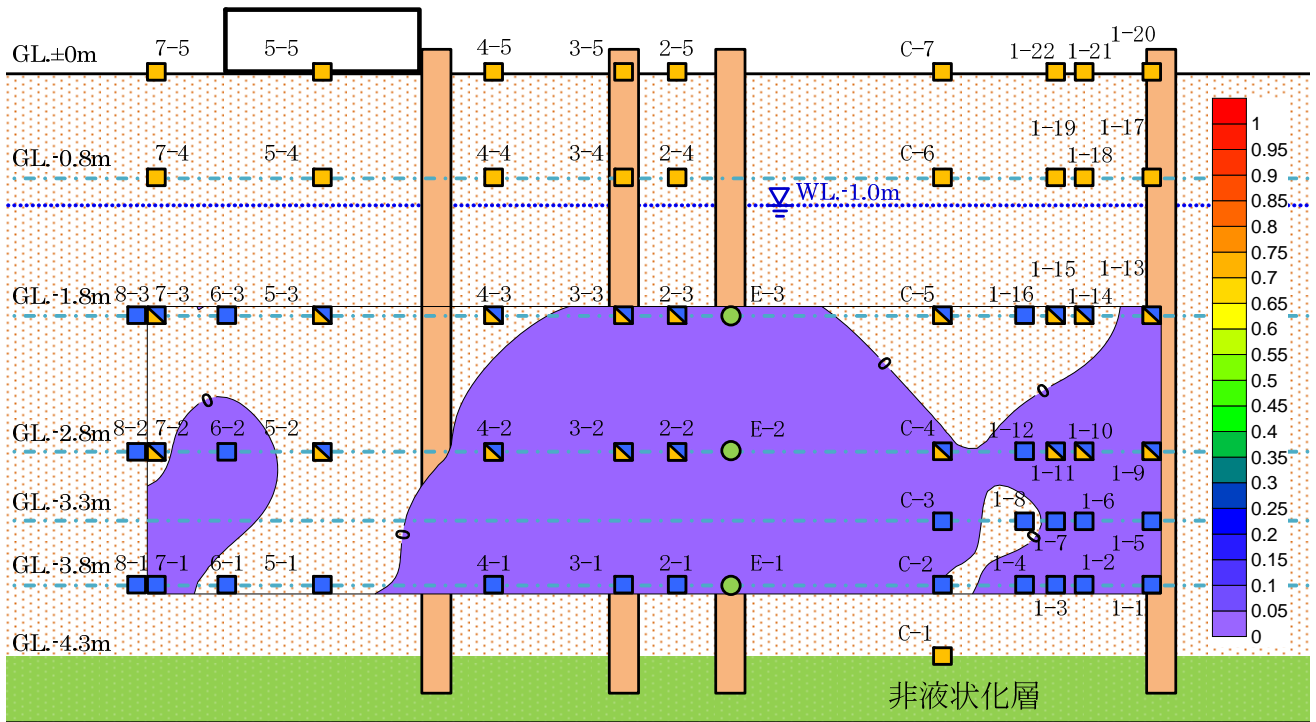


图 7.2.5(1) 1 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 10 秒後)

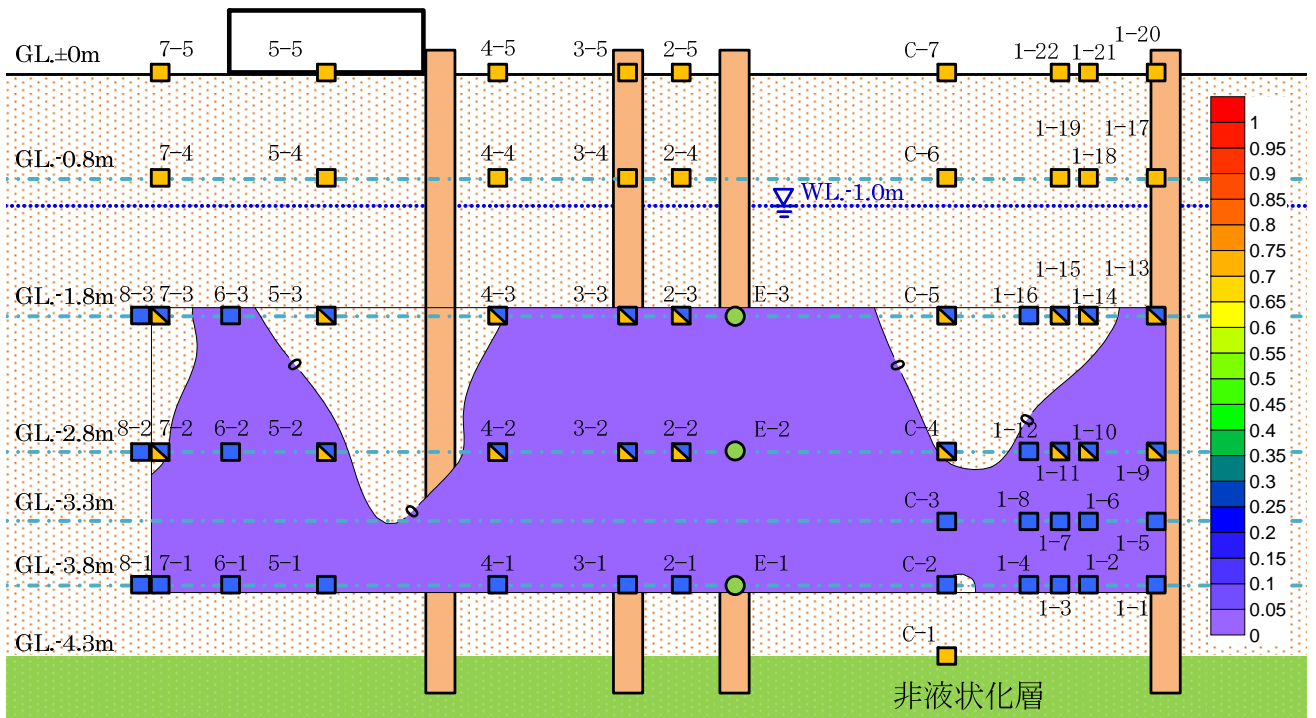


图 7.2.5(2) 1 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 30 秒後)

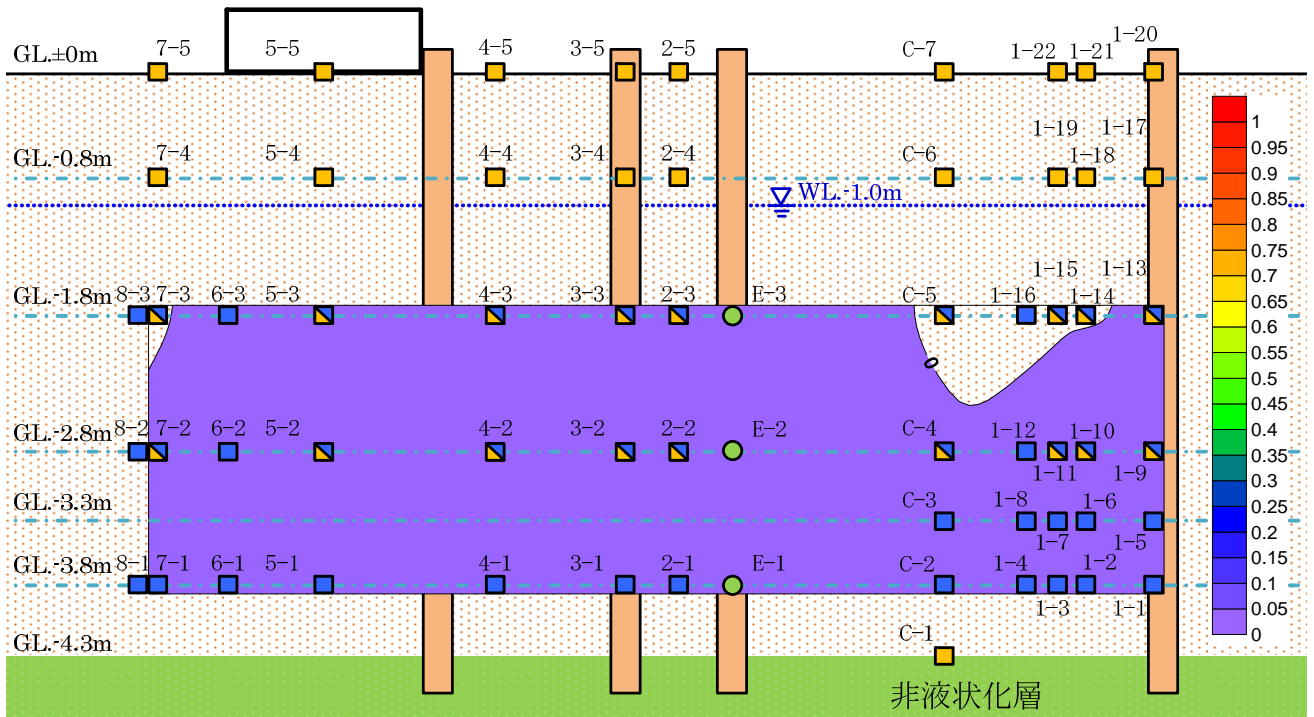


图 7.2.5(3) 1 回目過剩間隙水圧比分布図 (加振 70 秒後)

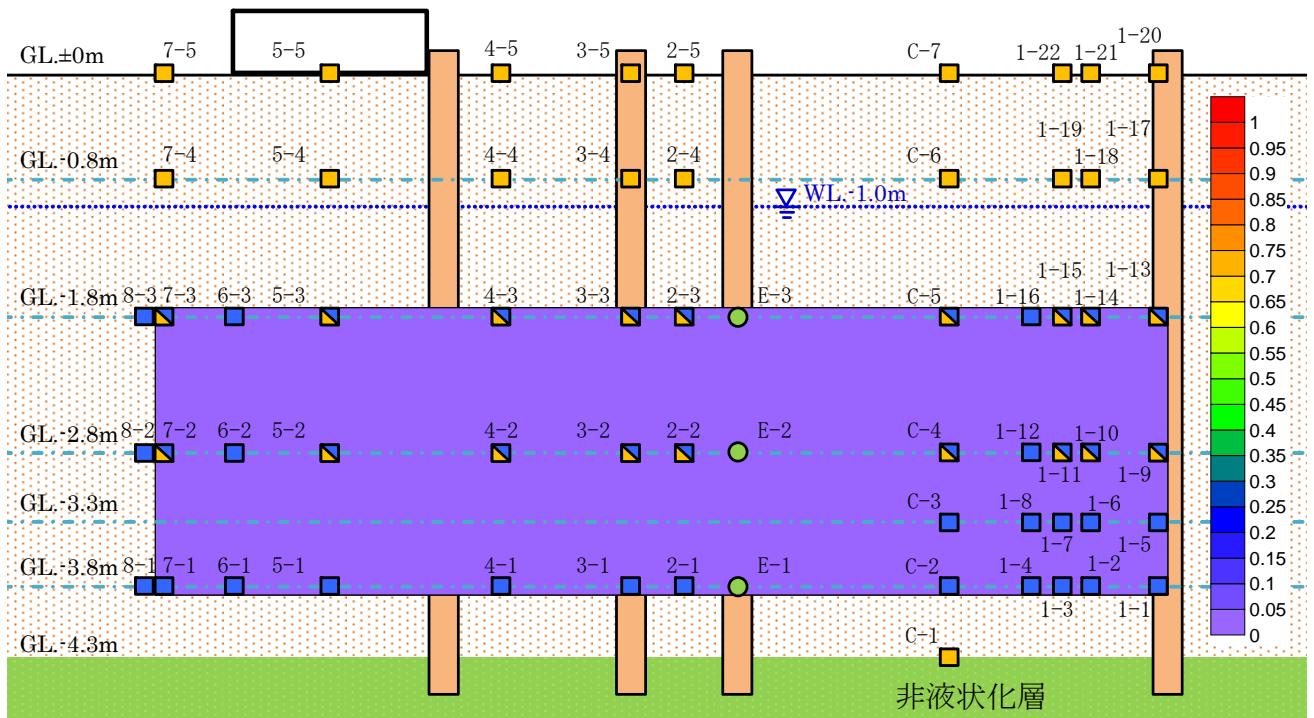


图 7.2.5(4) 1 回目過剩間隙水圧比分布図 (加振 200 秒後)

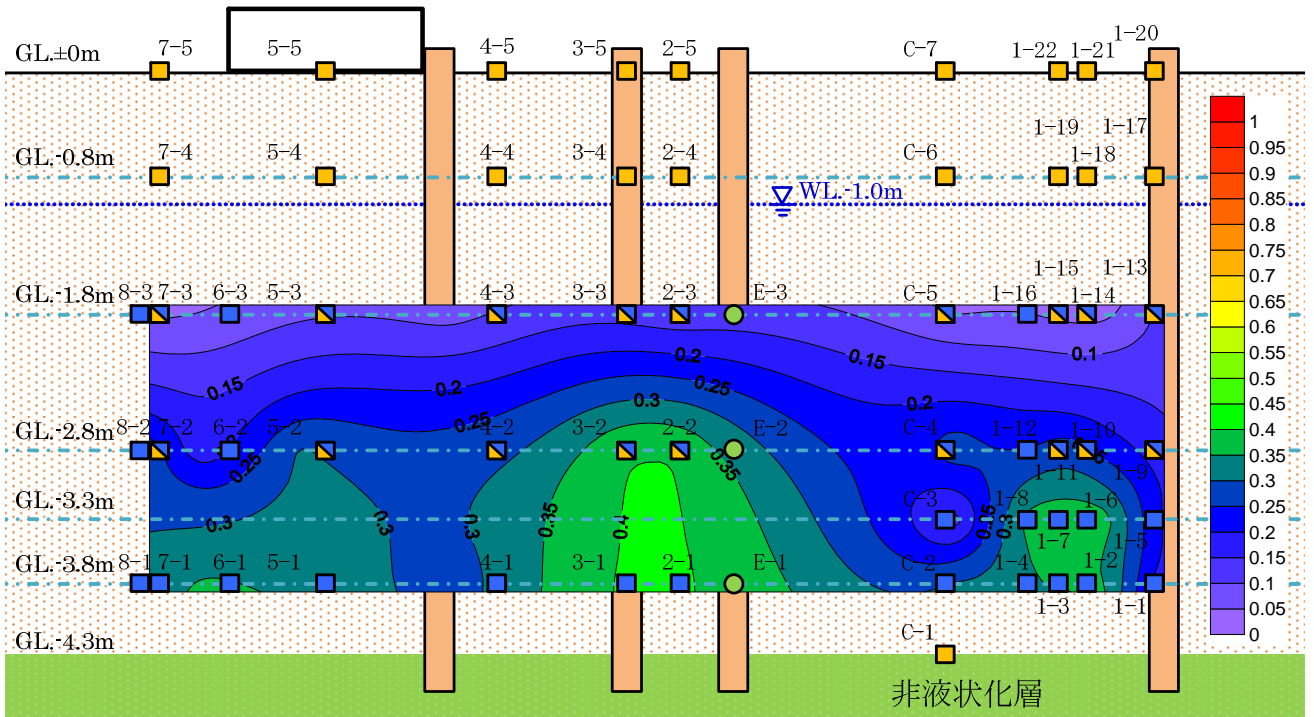


图 7.2.6(1) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 10 秒後)

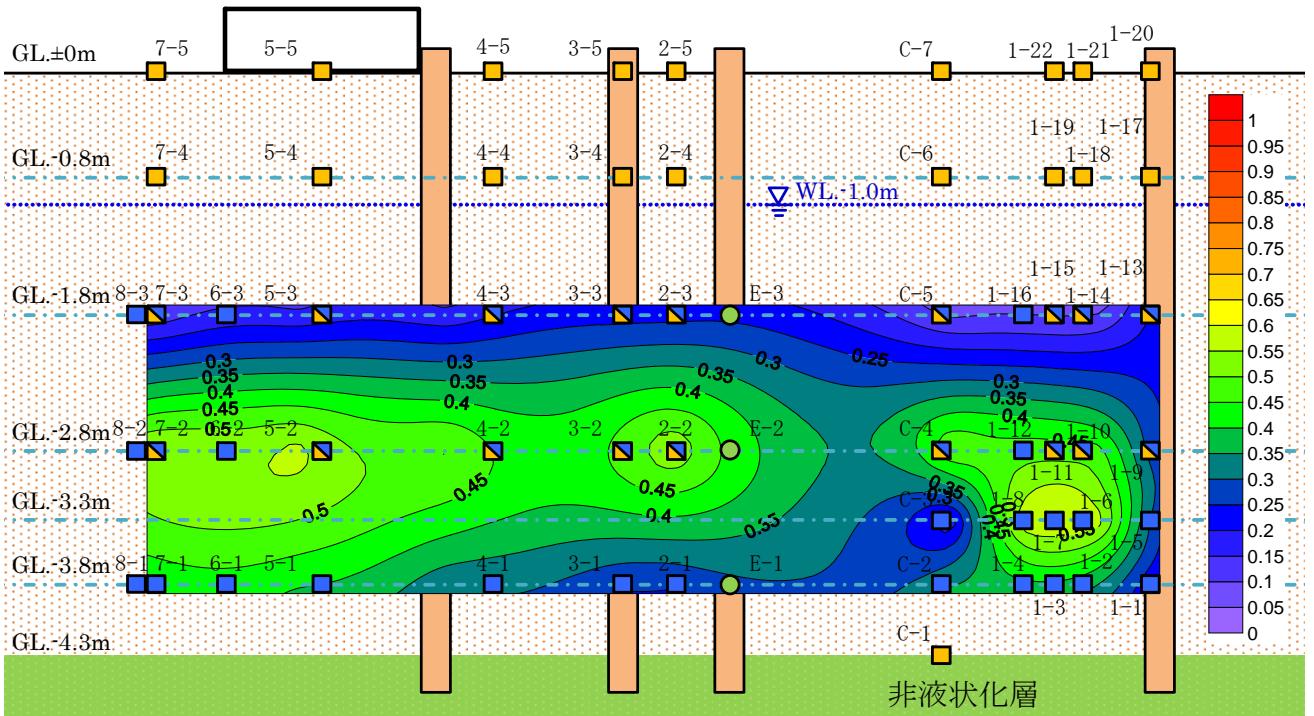


图 7.2.6(2) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 30 秒後)

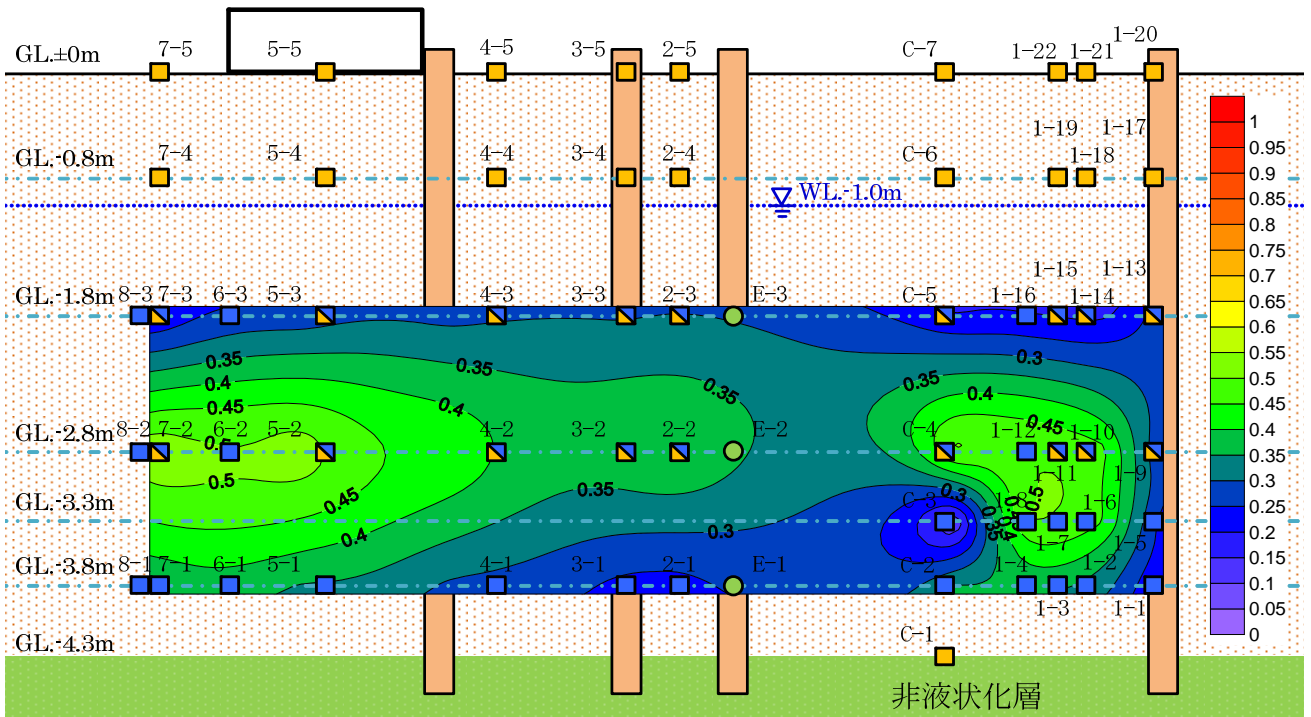


図 7.2.6(3) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 70 秒後)

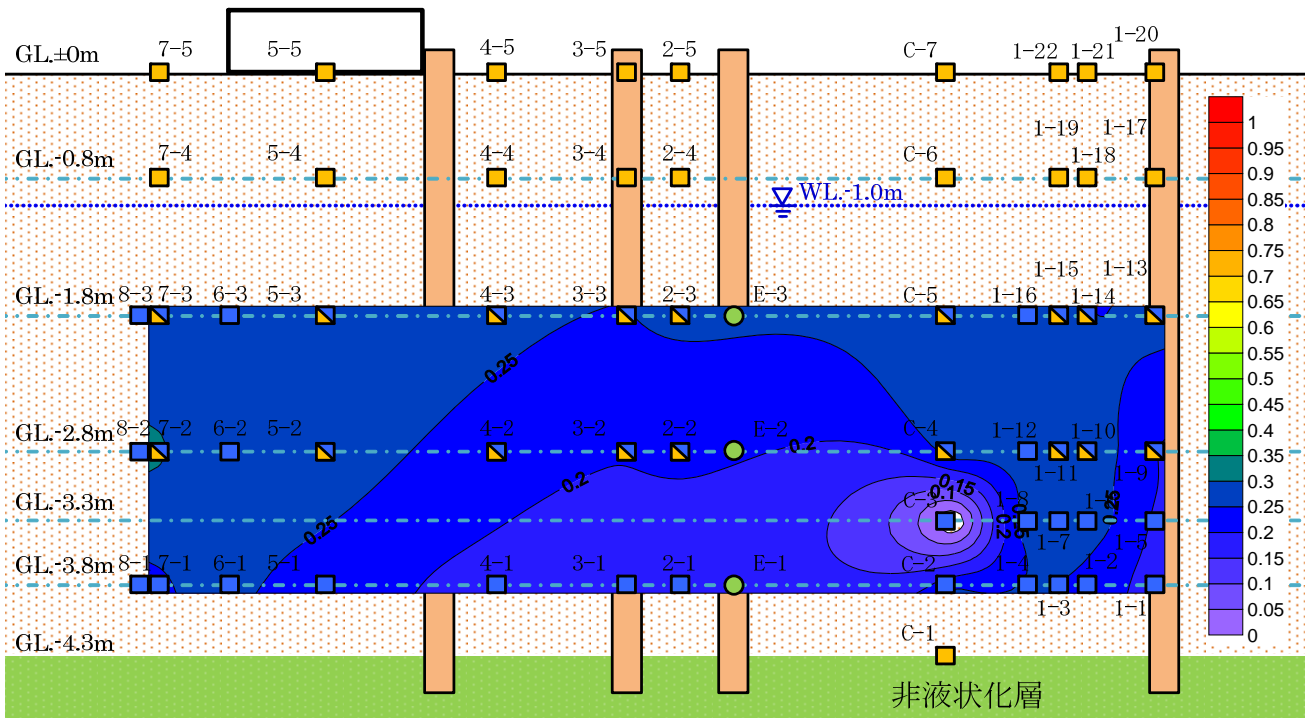


図 7.2.6(4) 2 回目過剰間隙水圧比分布図 (加振 200 秒後)

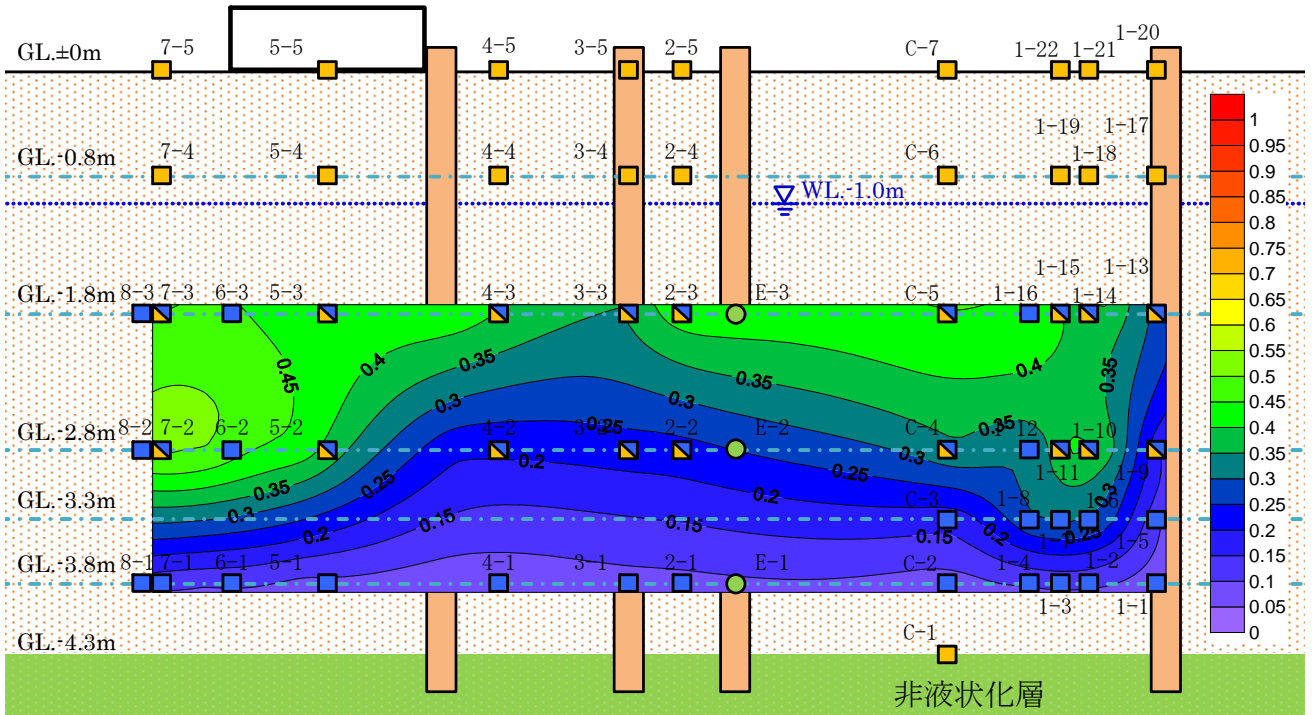


图 7.2.7(1) 3 回目過剩間隙水压比分布図 (加振 10 秒後)

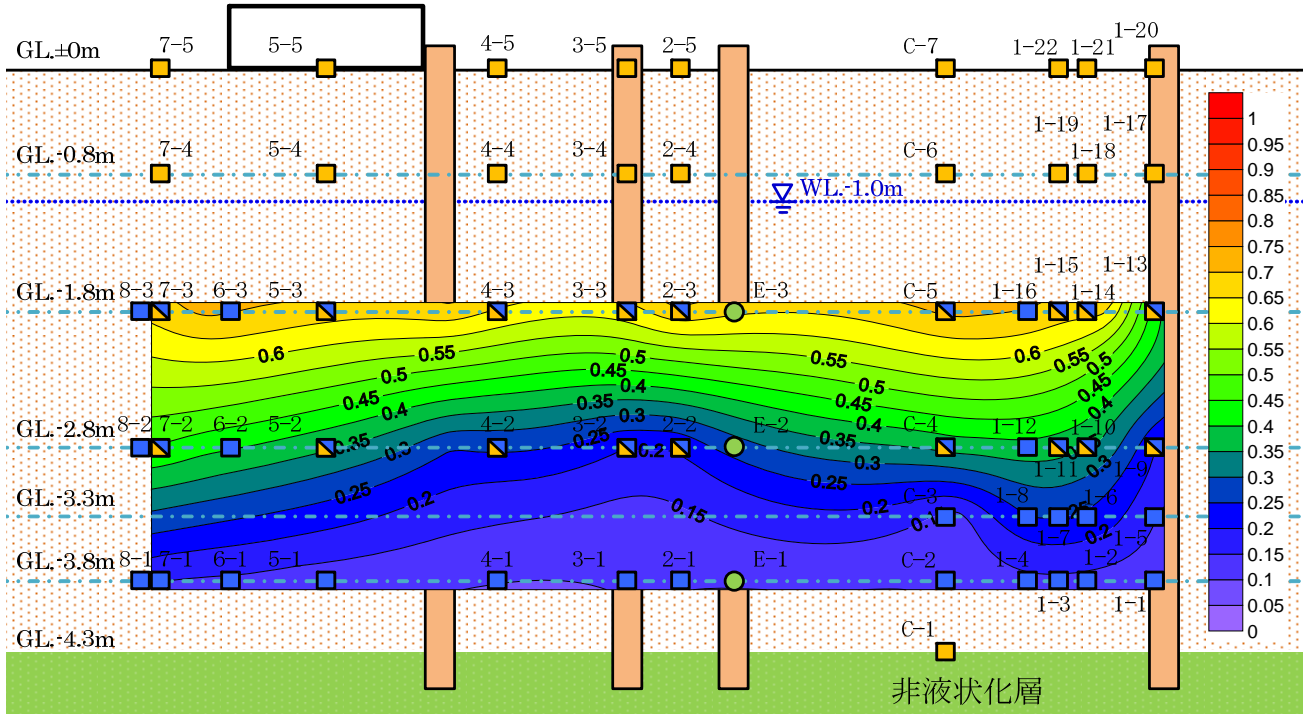


图 7.2.7(2) 3 回目過剩間隙水压比分布図 (加振 30 秒後)

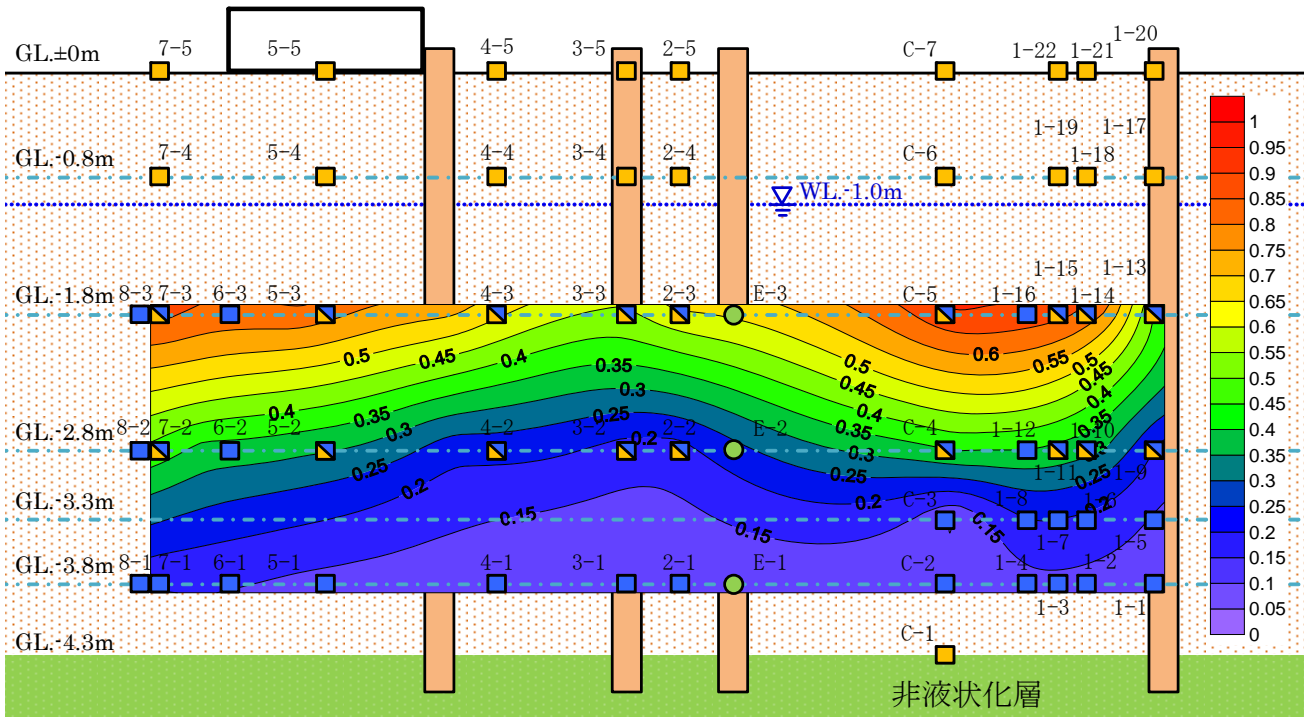


图 7.2.7(3) 3 回目過剩間隙水压比分布图 (加振 70 秒後)

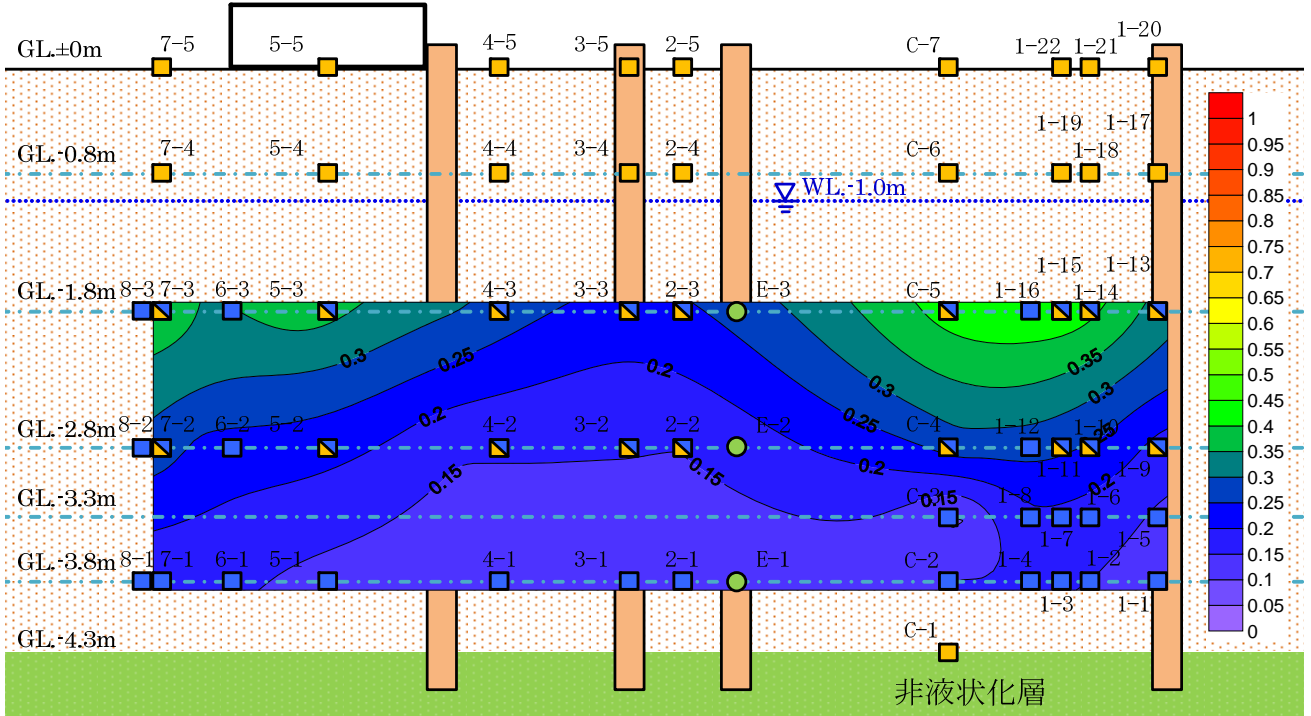


图 7.2.7(4) 3 回目過剩間隙水压比分布图 (加振 200 秒後)



### 7.3 地表面および住宅基礎模型沈下計測結果

加振後の地表面および住宅基礎模型の沈下計測結果を表 7.3.1, 表 7.3.2 に, 沈下分布を図 7.3.1 ~ 図 7.3.3 に示す。

1 回目加振後の地表面沈下量は, 平均 1mm 程度で, 変形はほとんど見られず, 住宅基礎模型側近においても 3mm 程度であった。住宅基礎模型も同様に沈下は見られなかった。

2 回目加振後の地表面沈下量は, 平均で 34mm (1, 2 回目の積算値) であった。試験地盤中央部を中心として大きくなる傾向となり, 領域②と領域③の間で最大 44mm の沈下となった。住宅基礎模型は, 最大 5cm 沈下し, ドレーンパイプ設置側が 1cm ほど大きくなった。

3 回目加振後の地表面沈下量は, 平均 77mm (1~3 回目積算値) であった。2 回目と同様に領域②, 領域③を中心に大きくなる傾向となり, 住宅基礎模型側近で最大 99mm の沈下となった。住宅基礎模型は, 最大 106mm の沈下が生じたが, ドレーン側と無対策側の差は見られなかった。

表 7.3.1 地表面沈下計測結果 (単位: mm, 沈下-, 隆起+)

計測点	1 回目	2 回目	3 回目	計測点	1 回目	2 回目	3 回目
S1	-1	-19	-56	S17	0	-44	-79
S2	-6	-20	-58	S18	1	-43	-82
S3	-2	-18	-50	S19	0	-43	-85
S4	-2	-26	-74	S20	0	-44	-87
S5	0	-27	-68	S21	0	-44	-82
S6	-2	-27	-64	S22	-1	-45	-95
S7	2	-29	-71	S23	0	-43	-99
S8	0	-35	-77	S24	2	-41	-97
S9	-1	-38	-79	S25	1	-37	-95
S10	-2	-39	-79	S26	0	-40	-95
S11	-1	-37	-72	S27	-3	-37	-98
S12	0	-40	-79	S28	-1	-35	-97
S13	-1	-43	-79	S29	1	-31	-87
S14	-1	-43	-78	S30	0	-19	-52
S15	1	-42	-72	S31	-1	-21	-56
S16	1	-43	-77	S32	0	-21	-49

表 7.3.1 住宅基礎模型沈下計測結果 (単位: mm, 沈下-, 隆起+)

計測位置	1 回目	2 回目	3 回目
F-1	1	38	106
F-2	1	50	106
F-3	1	37	105
F-4	0	48	103
平均値	1	43	105

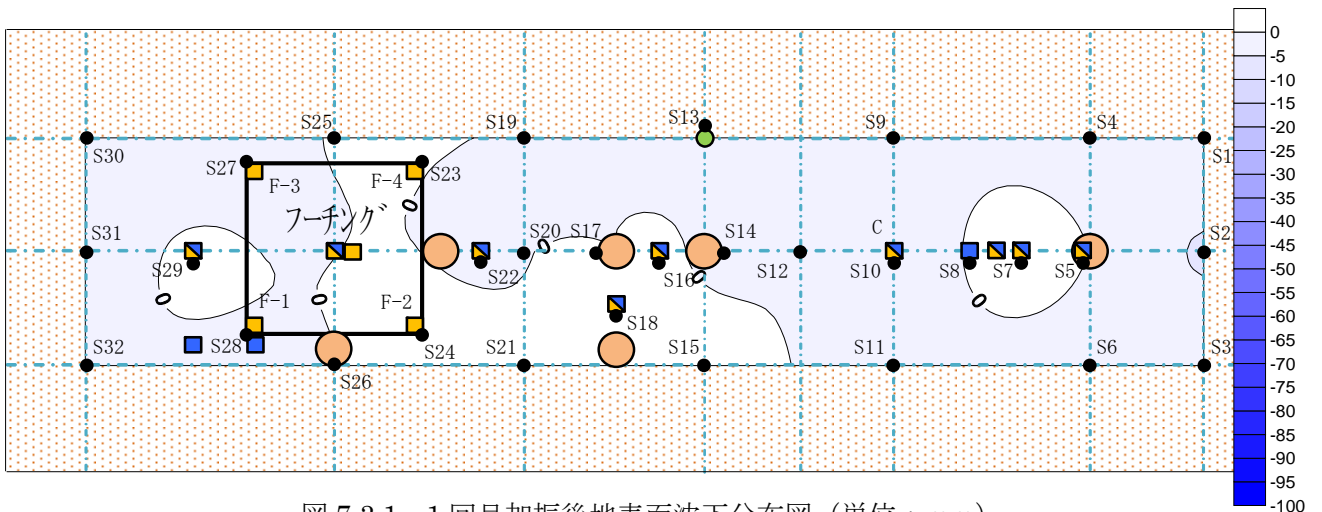


図 7.3.1 1 回目加振後地表面沈下分布図 (単位 : mm)

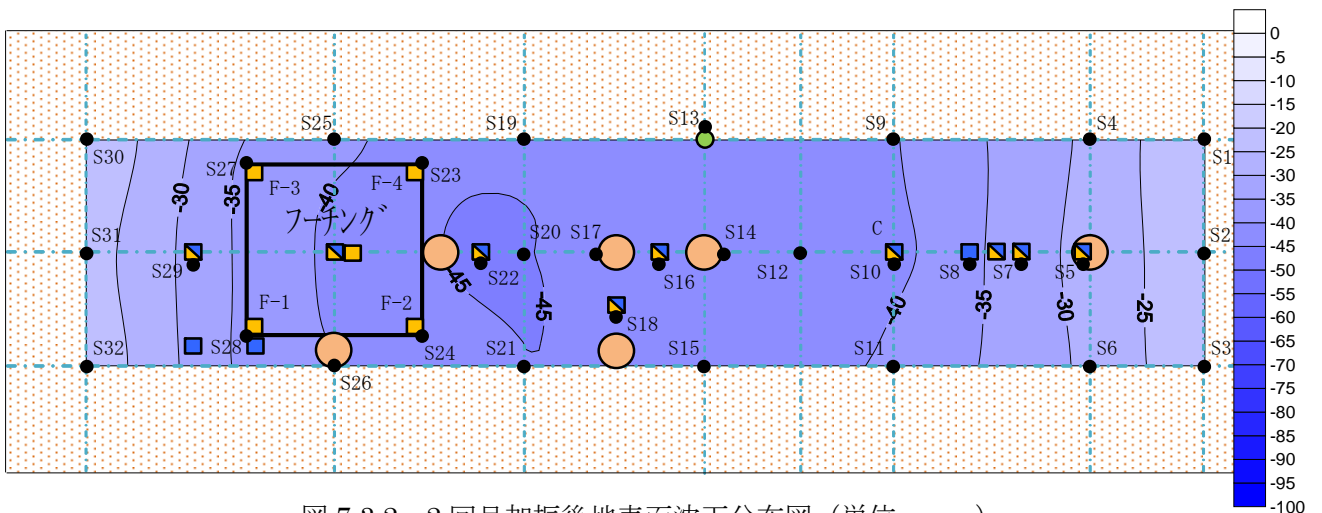


図 7.3.2 2 回目加振後地表面沈下分布図 (単位 : mm)

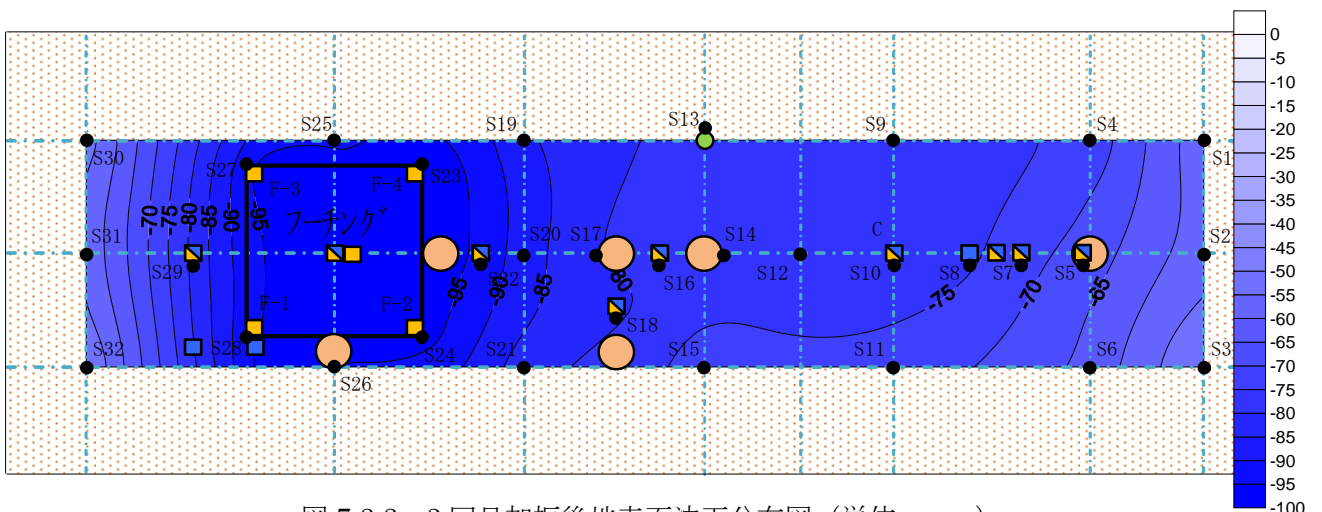


図 7.3.3 3 回目加振後地表面沈下分布図 (単位 : mm)

#### 7.4 スウェーデンサウンディング試験計測結果

スウェーデンサウンディング試験の結果を表 7.4.1 に示す。事前と 2 回目加振後では、換算 N 値にあまり差はみられなかった。これは 1 回目加振および 2 回目加振による間隙水圧の上昇が小さく、地盤の骨格構造が保たれていると想定される。

3 回目加振後では、換算 N 値の値が、深度の浅いところでやや小さく、深いところでやや大きくなる傾向が見られた。これは、地盤が液状化したことにより砂が再構築したと考えられる。

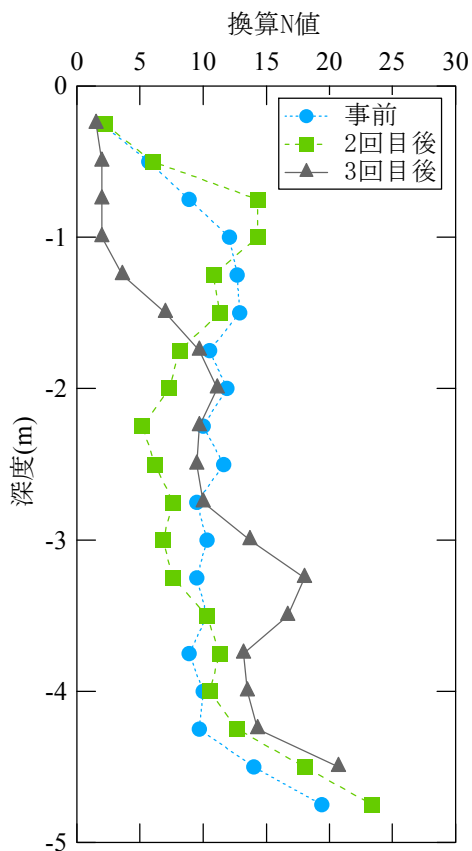


図 7.4.1 スウェーデンサウンディング試験結果

## 8 まとめ

### 実験結果

- ・ 1 回目（地盤条件：Dr=67%，スウェーデンサウンディング試験換算 N 値 11 程度，地下水位 GL.-1.0m，入力動：最大加速度 75gal，正弦波，2Hz，120 波）は，過剰間隙水圧の上昇は認められず，液状化は発生せず，地表面沈下もほとんど認められなかった（基礎模型沈下 1mm）。
- ・ 2 回目（地盤条件：1 回目と同じ，入力動：最大加速度 150gal，正弦波，2Hz，120 波）では，水圧は無対策部で過剰間隙水圧比 0.6 程度まで上昇し，地表面沈下も平均で 34mm（1，2 回目の積算値）発生したが，地表面において噴砂などの液状化現象は認められなかった（基礎模型沈下 43mm）。
- ・ 3 回目（地盤条件：不明，地下水位 GL.-0.5m，入力動：2 回目と同じ）では，水圧は無対策部で過剰間隙水圧比 0.7 程度上昇し，地表面沈下も平均 77mm（1～3 回目積算値）発生した。地表面では，ドレーンパイプ部より，噴水が観測され液状化が発生したと思われる（基礎模型沈下 105mm）。

#### ・領域①：ドレーンパイプ 1 本の性能調査

- ・ 中央部（無対策部）（図 7.2.2(5)）とドレーンパイプ近傍（図 7.2.2(6)）の過剰間隙水圧を比較すると，深度 GL.-2.8m，GL.-3.3m，GL.-3.8m において，加振開始直後から 10 秒までは，ドレーンパイプ近傍は無対策部より水圧の上昇が抑制され，加振 10 秒から 65 秒までの加振中においても上昇した水圧が低減されるのが認められた。また，加振終了後もドレーンパイプに近いほど水圧が消散されやすい傾向が見られた。

#### ・領域②：複数ドレーンパイプの性能調査

- ・ 図 7.1.2 の加速度結果，図 7.2.2(3)の深度 GL.-1.8m，GL.-2.8m，GL.-3.8m の過剰間隙水圧結果及び地表面沈下計測結果において，加振方向配置と加振交差方向配置で大きな差はなかった。

#### ・領域③：ドレーンパイプの住宅基礎模型対策調査

- ・ 図 7.2.2(8)の過剰間隙水圧の深度 GL.-2.8m の計測結果より，住宅基礎模型側部に設置したドレーンパイプ近傍の過剰間隙水圧は，加振直後から上昇する水圧の値が小さくなる抑制効果が認められ，加振中においても上昇した水圧の消散が見られた。
- ・ 今回の実験条件では，ドレーンパイプによる住宅基礎模型の沈下抑制効果は認められなかった。

#### ・中央部（無対策部）

- ・ 2 回目では深度 GL.-2.8m～3.8m の液状化層中層から深部を中心に，水圧の上昇が見られ，3 回目では，GL.-1.8m の液状化層浅部を中心に水圧の上昇が確認された。
- ・ 地表面沈下量は，2 回目加振により 4cm 程度発生したが，地表面に影響は見られなかった。一方，3 回目加振では 2 回目より 4cm 程度の沈下であったが，地表面にクラックが確認された。

### 考察

- ・ 地下水位以深の地盤の過剰間隙水圧は，加振により上昇するが，ある程度上昇したところで収束し初期有効上載圧まで達することなく停滞し，加振終了後消散した。この原因として，以下のことが考えられる。

① 今回の実験では，地下水位を 1 回目および 2 回目 GL.-1.0m，3 回目 GL.-0.5m と地表面よ

り低くしたため、振動中に地下水位が上昇したこと。

② 試験地盤の相対密度が平均 67%と密にしたため、水圧上昇が発生しにくかったこと。

- ドレーンパイプ側近では、排水により過剰間隙水圧低減効果があり、液状化時には、水圧の上昇により、より排水性が高まりその後の消散も早い。
- 3回目の加振時では、2回目に比べ地表面の変形が顕著に表れた。地表面の観測からこれは地表面付近の浅層で液状化が発生したためと考えられる。両ケースで地盤条件の違いがある実験の範囲ではあるが、地下水位を低くすることにより、地表面に近い浅層の不飽和（非液状化層）化と、残る液状化層における初期有効拘束圧の増大すなわち液状化抵抗の上昇によって、地表での液状化被害を低減できる可能性のあることが示唆される。