

第4章 振動台模型実験による浅層盤状改良工法の効果検証

4.1 実験概要

4.1.1 実験の背景・目的

2011年東日本大地震では、広い地域で液状化が発生し、住宅やインフラ施設などに大きな被害や機能損失を及ぼした。これらの液状化被害から、住宅等についても液状化対策の必要性が注目されるようになった。

そこで、今回、住宅等の軽量構造物直下に比較的薄い固化系地盤改良体を構築する液状化対策を対象に、構造物の沈下軽減効果の検証を目的として遠心模型振動実験を実施した。

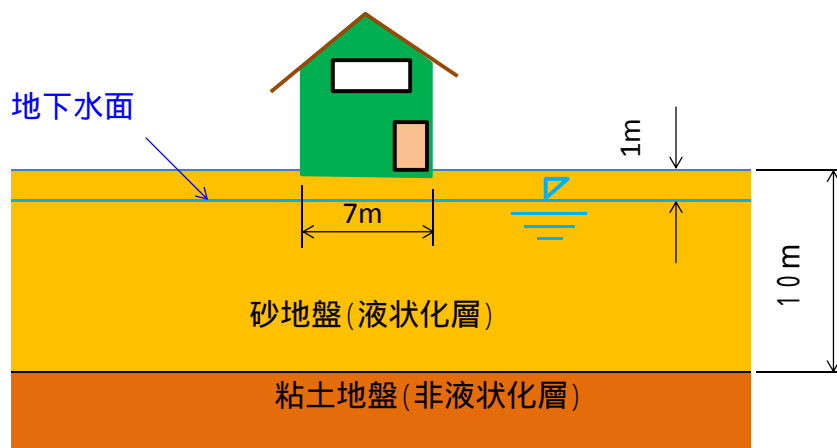
4.1.2 実験ケース

実験は、図 4.1.1 に示す家屋、地盤条件を対象として、建屋直下の盤状地盤改良の厚さを変えた4ケースについて実施した。模型に対する遠心加速度は 25G とし、それぞれのケースについて以下の入力地震動を設定し、それぞれ加振した。

地震動 1：2011年東北地方太平洋沖地震で宅地の液状化被害が多く発生した千葉県浦安市で観測された地震動と同レベルの地震動

地震動 2：地震動 1 の継続時間をそのままに、加速度を 2 倍とした地震動

今回想定した実験の条件を表 4.1.1 にまとめて示す。



砂地盤の厚さ	: 10m
(液状化層の厚さ)	
地下水面	: 地表面から深さ1.0m
建物	: 木造2階建て(建て坪49m ² (7m × 7m))
基礎	: べた基礎

図 4.1.1 遠心模型実験で対象とした住宅および地盤条件

表 4.1.1 実験で想定した条件

敷地	8.5m × 8.5m
建物	戸建2F 7m × 7m 平均接地圧 10kN/m ²
地盤条件	液状化層 GL-0m ~ 10m Dr 50% 地下水位 GL-1.0m
入力地震動	1回目：地震動1（浦安相当 最大加速度 150Gal） 2回目：地震動2（浦安の2倍の加速度 最大加速度 350Gal）
液状化対策	浅層盤状改良 ケース1：地盤改良なし ケース2：改良の範囲の厚さ 1.5m ケース3：改良の範囲の厚さ 3.0m ケース4：改良の範囲の厚さ 4.5m

The diagram illustrates the experimental setup. A green rectangular building with a width of 7m is centered on an 8.5m wide sand layer. The sand layer has a thickness of 10m and a relative density (Dr) of 50%. A dashed red rectangle indicates the zone of shallow disk-shaped improvement (地盤改良) directly beneath the building. The groundwater level (地下水位) is shown at a depth of 1.0m (GL-1.0m) from the ground surface. The ground surface is indicated by a dashed line.

4.2 実験方法

4.2.1 試験体寸法

試験は鋼製の側面アクリル土槽（内寸：幅 2.0×奥行 0.7×深さ 0.65m）を用いて行った。土槽の中央に厚さ 12mm のアルミ製の仕切り板を設け土槽を 2 分割し、1 回の試験で 2 ケースのモデルを作成した。表 4.2.1 に試験体作成の組み合わせを示す。また、図 4.2.1 に試験 1 回目（ケース 1、ケース 2）のモデル図を、図 4.2.2 に試験 2 回目（ケース 3、ケース 4）のモデル図を示す。

表 4.2.1 試験体作成の組み合わせ

試験回数	作成ケース
試験 1 回目	ケース 1（改良無し）
	ケース 2（改良厚 1.5m）
試験 2 回目	ケース 3（改良厚 3.0m）
	ケース 4（改良厚 4.5m）

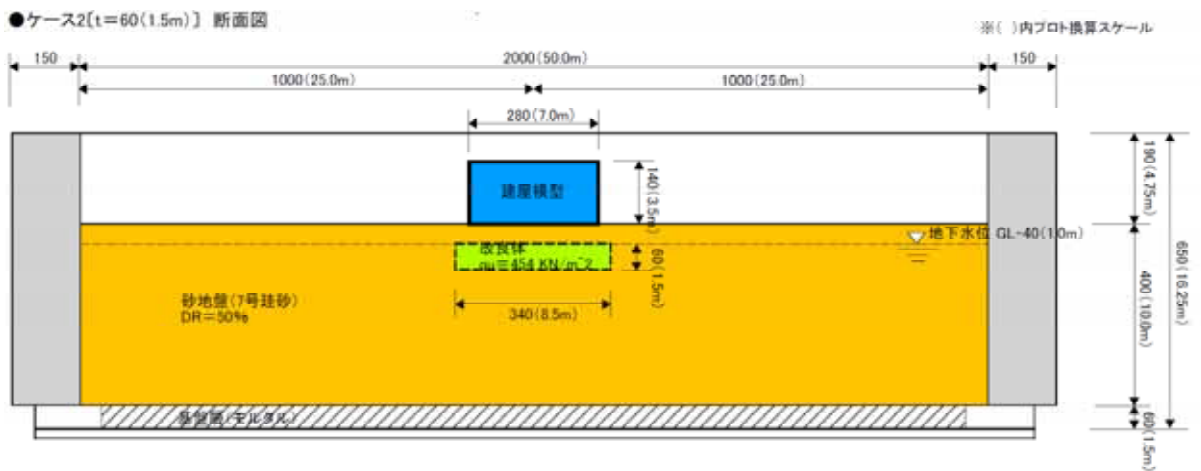
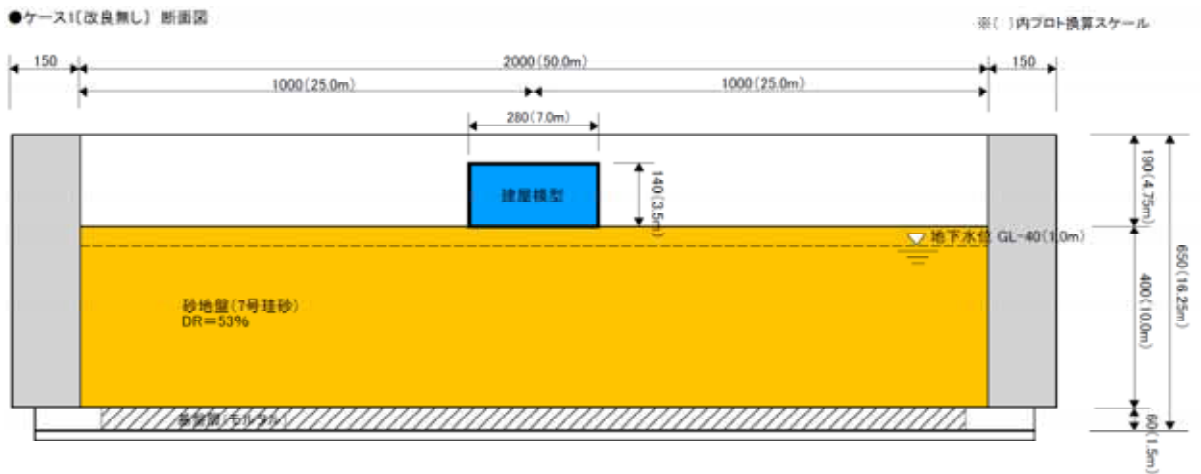
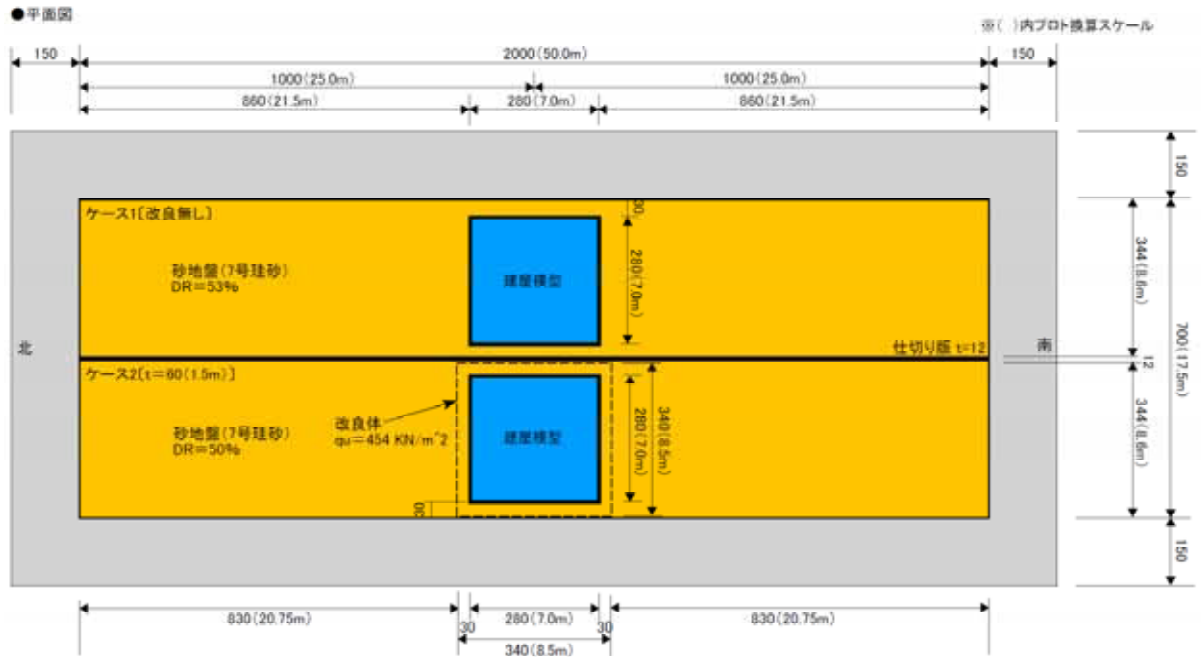


図 4.2.1 試験体モデル(ケース1、ケース2)

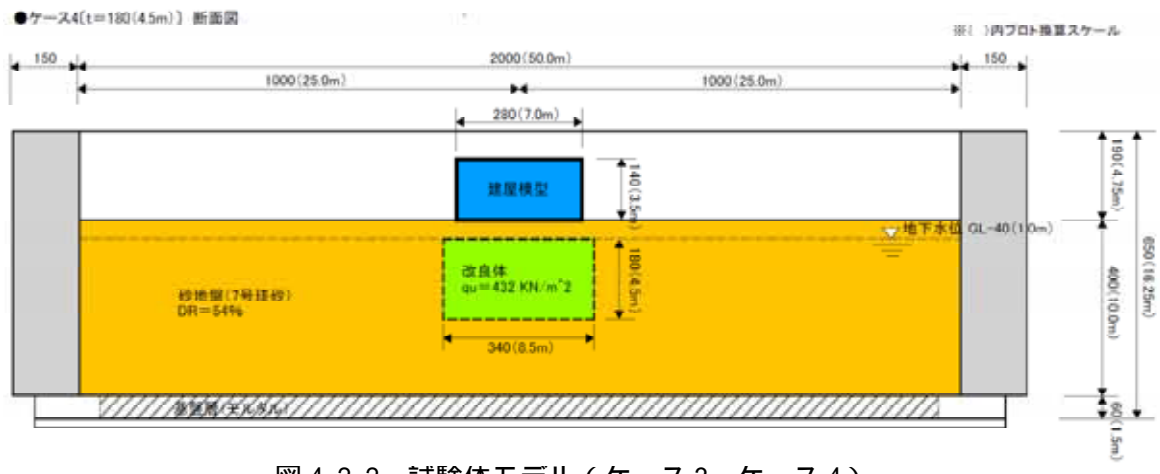
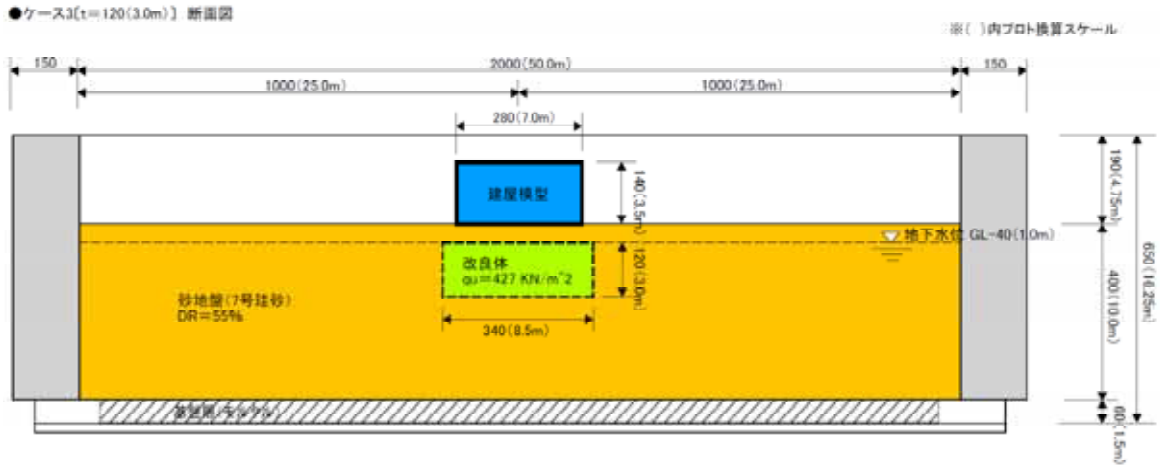
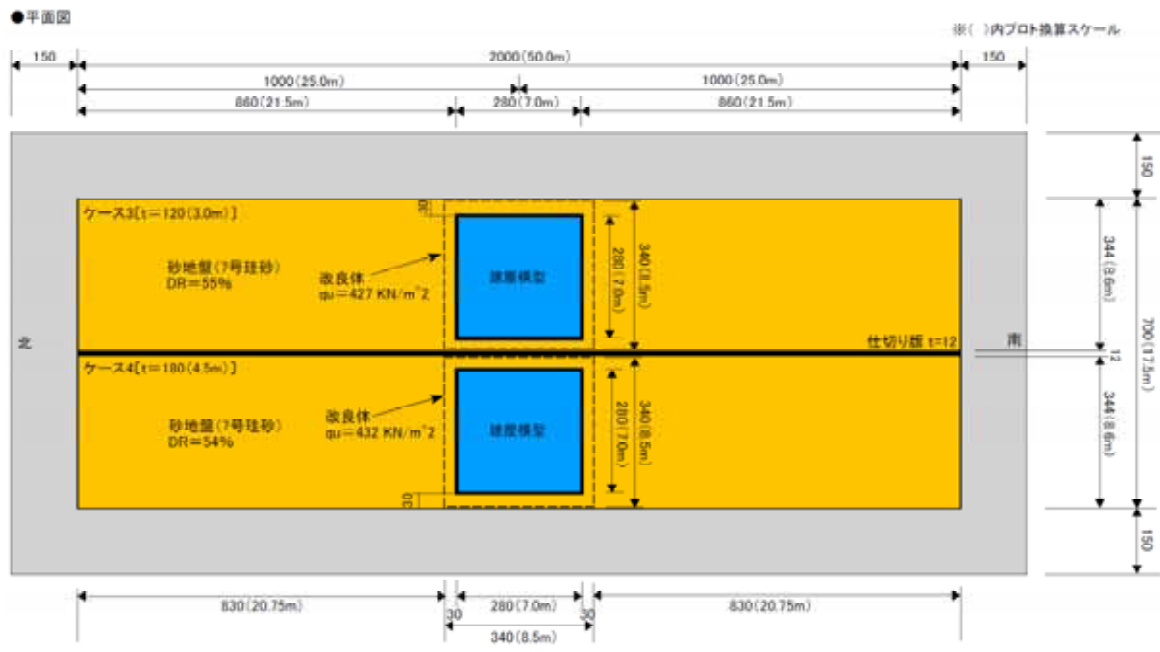


図 4.2.2 試験体モデル (ケース 3、ケース 4)

4.2.2 試験材料の諸元

- ・地盤材料：地盤材料は、岐阜産 7 号珪砂を使用した。以下にその物性値を示す。

土粒子比重 G_s : 2.636 g/cm³

最大間隙比 e_{max} : 1.175

最大間隙比 e_{min} : 0.618

- ・模型地盤の仕上がり状態

表 4.2.2 模型地盤の仕上がり状態

z	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
乾燥密度 d (g/cm ³)	1.40	1.39	1.41	1.41
間隙比 e	0.88	0.90	0.87	0.87
相対密度 D_R (%)	53	50	55	54
湿潤密度 sat (g/cm ³)	1.87	1.86	1.87	1.87

: 飽和度 $SR = 100\%$

- ・改良体：

7 号珪砂に普通ポルトランドセメントと水を混合したものを所定の大きさの型枠で作製した。表 4.2.3 に改良体の仕上がり状態を示す。

表 4.2.3 改良体仕上がり状態

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
形状 (mm)	改良無し	t = 60 面積=340 × 335	t = 120 面積=340 × 335	t = 180 面積=340 × 335
湿潤密度 (g/cm ³)		1.66	1.85	1.85
平均一軸圧縮強度 (kN/m ²)		454	427	432

・粘性流体

遠心場(今回 25G)での間隙水の透水能力を合わせるため、水に水溶性の増粘剤を加え粘度を 25 倍にした粘性流体を作成し、これを間隙水に用いた。表 4.2.4 に粘性流体の仕上がり状態を示す。

水：水道水(粘度 1 mpa 水温 15)

増粘剤：水溶性セルロース(60SH - 50、信越化学製)

表 4.2.4 粘性流体の仕上がり状態

項目	試験 1 回目 (ケース 1、ケース 2)	試験 2 回目 (ケース 3、ケース 4)
作成量 ()	405	405
粘度 (mpa)	26 ~ 28 (水温 10)	23 ~ 25 (水温 15)

4.2.3 試験体作製手順

試験体作製手順を図 4.2.3 に示す。

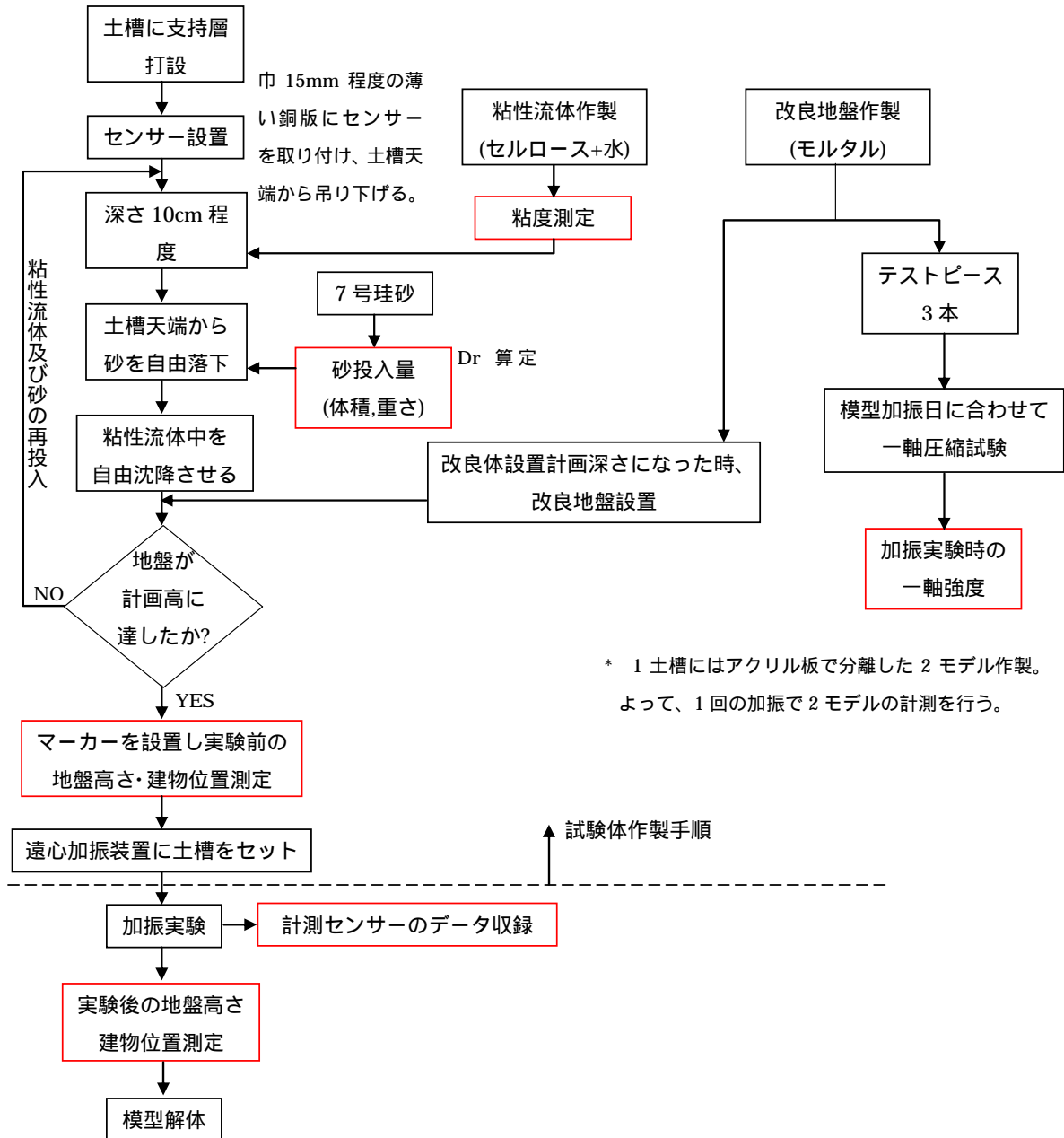


図 4.2.3 試験体作製手順

4.2.4 砂試料の室内試験結果

実験に用いた砂試料について別途室内土質試験を実施した。物理試験結果を表 4.2.5 に、三軸圧縮試験、液状化強度試験、動的変形試験（三軸、中空ねじり）、透水試験の結果の代表値を表 4.2.6 にまとめた。各試験結果の詳細は、データシートとして巻末資料に示した。

表 4.2.5 物理試験結果

試料	土粒子の密度	粒度				最大最小乾燥密度	
		礫分	砂分	細粒分	均等係数	最大密度	最小密度
珪砂 7 号	2.636	0.0%	82.5%	17.5%	-	1.629	1.212

表 4.2.6 三軸・中空ねじり試験結果

項目	Dr=50%相当	Dr=60%相当		Dr=40%相当
三軸圧縮試験	-	圧密非排水三軸試験 (CUb)		-
供試体平均乾燥密度	-	1.455		-
供試体平均 Dr*	-	65%		-
全応力 c	-	160.9kN/m ²		-
全応力 ϕ	-	46.0°		-
有効応力 c'	-	0.6 kN/m ²		-
有効応力 ϕ'	-	36.8°		-
液状化強度試験 (40kN/m ²)	-	繰返し非排水 三軸試験		繰返し非排水 三軸試験
供試体平均乾燥密度	-	1.428		1.354
供試体平均 Dr*	-	59%		41%
繰返し応力振幅比 RL(20)	-	0.379		0.138
動的変形試験 (40kN/m ²)	-	繰返し非排水 三軸試験	繰返し非排水 中空ねじり試験	-
供試体乾燥密度	-	1.423	1.427	-
供試体 Dr*	-	58%	59%	-
初期せん断剛性 G_0	-	64.18 MN/m ²	64.56 MN/m ²	-
基準ひずみ r	-	0.03827%	0.02757%	-
最大減衰率 h_0	-	23.36%	23.8%	-
透水試験	定水位透水試験	定水位透水試験		-
供試体乾燥密度	1.390	1.432		-
供試体 Dr	50%	60%		-
透水係数 k	3.99E-05 m/s	3.31E-05 m/s		-

供試体の Dr*は圧密後の数値（透水試験を除く） 動的変形試験の G_0 , r , h_0 は H-D モデルの数値

4.3 計測方法

遠心模型実験は 25G 場で実施するため、計測データ等は 1G 場に換算する必要がある。1G 場への換算方法を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 1G 場への換算方法
[遠心重力場 NG・今回は NG=25G]

項目		相似率*	25G 場データの 1G 場への換算方法
長さ	l	1/N	25G 場模型での $l \times 25$
密度		1	25G 場模型での $\times 1$
ひずみ		1	25G 場模型での $\times 1$
加速度	a	N	25G 場模型での $a/25$
変位	d	1/N	25G 場模型での $d \times 25$
応力		1	25G 場模型での $\times 1$
時間	t	1/N	25G 場模型での $t \times 25$
振動数	f	N	25G 場模型での $f/25$
透水係数	K	1/N	25G 場模型での $K \times 25$

*相似率は実物（1G 場）に対する NG 場模型の比

計測項目及び計測位置は以下の表・図に整理した。

- ・実験前及び実験後の計測項目…表 4.3.2、図 4.3.1
- ・実験中の計測項目…表 4.3.3
- ・計測点（センサー）一覧表…表 4.3.4～表 4.3.7
- ・計測器仕様一覧…表 4.3.8
- ・計器（センサー）配置図…図 4.3.2～図 4.3.3

表 4.3.2 実験前・実験後の計測項目

測定項目	模型地盤等物性値	建物及び地表面の残留上下・水平変位
実験前	<ul style="list-style-type: none"> ・粘性流体の粘度 ・改良地盤の一軸強さ ・投入砂の重量（Dr 算定用） 	建物頂部 4 点及び地表 変形測量マーカー（54 点）の位置 図 4.3.1 …実験後計測の初期値とする。
実験後		建物頂部 4 点及び地表 変形測量マーカー（54 点）の位置 図 4.3.1

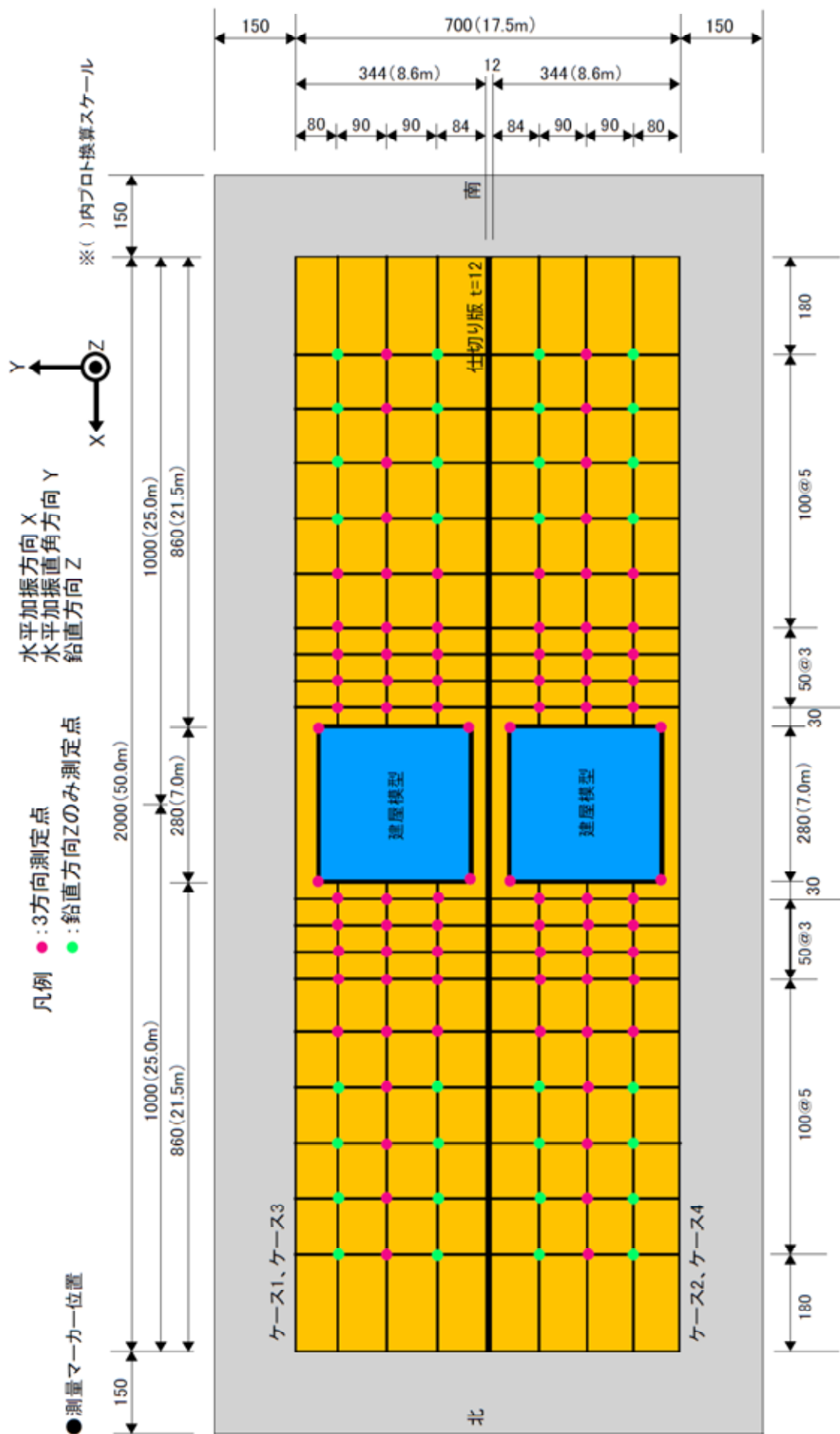


図 4.3.1 変形測量マーカー位置

表 4.3.3 実験中の計測項目と計測地点数

計測項目 計測位置 実験ケース	水平加速度		間隙水圧		変位 (レーザー変位計による)			全計測地点数	
	振動台、建物 および建物直 下地盤	遠方 地盤	建物直 下地盤	遠方 地盤	建物		地表		
					上下 (沈下)	水平	上下 (沈下)		
計測地点数	ケース 1	振動台 1 建物 1 地表 1 地中 3 基盤上 1	地表 1 地中 3 基盤上 1	4	4	4	1	1	加速度：12 間隙水圧：8 変位：6
	ケース 2	振動台 1 建物 1 地表 1 改良体 1 地中 3 基盤上 1	地表 1 地中 3 基盤上 1	3	4	4	1	1	加速度：13 間隙水圧：7 変位：6
	ケース 3	振動台 1 建物 1 地表 1 改良体 1 地中 3 基盤上 1	地表 1 地中 3 基盤上 1	4	4	4	1	1	加速度：13 間隙水圧：8 変位：6
	ケース 4	振動台 1 建物 1 地表 1 改良体 1 地中 3 基盤上 1	地表 1 地中 3 基盤上 1	4	4	4	1	1	加速度：13 間隙水圧：8 変位：6

表 4.3.4 計測点一覧表（ケース 1、改良無し）

測定成分	計測点名	測定位置	測定センサー
加速度 (12)	AT-S	振動台	AS-100HA（共和電業製）
	AC-RA	建屋中央	〃
	AC-1A	建屋下基盤面上〔GL-40cm(-10.0m)〕	〃
	AC-2A	建屋下砂地盤中〔GL-30cm(-7.5m)〕	〃
	AC-3A	建屋下砂地盤中〔GL-20cm(-5.0m)〕	〃
	AC-4A	建屋下砂地盤中〔GL-10cm(-2.5m)〕	〃
	AC-5A	建屋下地表〔GL-0cm(-0.0m)〕	〃
	AS-1A	遠方地盤基盤面上〔GL-40cm(-10.0m)〕	〃
	AS-2A	遠方砂地盤中〔GL-30cm(-7.5m)〕	〃
	AS-3A	遠方砂地盤中〔GL-20cm(-5.0m)〕	〃
	AS-4A	遠方砂地盤中〔GL-10cm(-2.5m)〕	〃
	AS-5A	遠方地表〔GL-0cm(-0.0m)〕	〃
過剰間隙水圧 (8)	PWC-1A	建屋下砂地盤中〔GL-35cm(-8.75m)〕	PS-5KC（共和電業製）
	PWC-2A	建屋下砂地盤中〔GL-25cm(-6.25m)〕	〃
	PWC-3A	建屋下砂地盤中〔GL-15cm(-3.75m)〕	〃
	PWC-4A	建屋下砂地盤中〔GL-5cm(-1.25m)〕	〃
	PWS-1A	遠方砂地盤中〔GL-35cm(-8.75m)〕	〃
	PWS-2A	遠方砂地盤中〔GL-25cm(-6.25m)〕	〃
	PWS-3A	遠方砂地盤中〔GL-15cm(-3.75m)〕	〃
	PWS-4A	遠方砂地盤中〔GL-5cm(-1.25m)〕	〃
変位（沈下） (6)	LHA	建屋水平変位	LKG-500（キーエンス製）
	LVA-NE	建屋沈下（北東角）	LKG-155（キーエンス製）
	LVA-NW	建屋沈下（北西角）	〃
	LVA-SE	建屋沈下（南東角）	〃
	LVA-SW	建屋沈下（南西角）	〃
	LVA-N	遠方地表沈下	LB-300（キーエンス製）

表 4.3.5 計測点一覧表 (ケース 2 改良厚 1.5m)

測定成分	計測点名	測定位置	測定センサー
加速度 (13)	AT-S	振動台	AS-100HA (共和電業製)
	AC-RB	建屋中央	〃
	AC-BB	改良体上面 [GL-4cm (-1.0m)]	〃
	AC-1B	建屋下基盤面上 [GL-40cm (-10.0m)]	〃
	AC-2B	建屋下砂地盤中 [GL-30cm(-7.5m)]	〃
	AC-3B	建屋下砂地盤中 [GL-20cm(-5.0m)]	〃
	AC-4B	改良体近傍砂地盤中 [GL-10cm(-2.5m)]	〃
	AC-5B	建屋下地表 [GL-0cm(-0.0m)]	〃
	AS-1B	遠方地盤基盤面上 [GL-40cm (-10.0m)]	〃
	AS-2B	遠方砂地盤中 [GL-30cm(-7.5m)]	〃
	AS-3B	遠方砂地盤中 [GL-20cm(-5.0m)]	〃
	AS-4B	遠方砂地盤中 [GL-10cm(-2.5m)]	〃
	AS-5B	遠方地表 [GL-0cm(-0.0m)]	〃
過剰間隙水圧 (7)	PWC-1B	建屋下砂地盤中 [GL-35cm(-8.75m)]	PS-5KC (共和電業製)
	PWC-2B	建屋下砂地盤中 [GL-25cm(-6.25m)]	〃
	PWC-3B	建屋下砂地盤中 [GL-15cm(-3.75m)]	〃
	PWS-1B	遠方砂地盤中 [GL-35cm(-8.75m)]	〃
	PWS-2B	遠方砂地盤中 [GL-25cm(-6.25m)]	〃
	PWS-3B	遠方砂地盤中 [GL-15cm(-3.75m)]	〃
	PWS-4B	遠方砂地盤中 [GL-5cm(-1.25m)]	〃
変位 (沈下) (6)	LHB	建屋水平変位	LKG-500 (キーエンス製)
	LVB-NE	建屋沈下 (北東角)	LKG-155 (キーエンス製)
	LVB-NW	建屋沈下 (北西角)	〃
	LVB-SE	建屋沈下 (南東角)	〃
	LVB-SW	建屋沈下 (南西角)	〃
	LVB-N	遠方地表沈下	LB-300 (キーエンス製)

表 4.3.6 計測点一覧表 (ケース 3 改良厚 3.0m)

測定成分	計測点名	測定位置	測定センサー
加速度 (13)	AT-S	振動台	AS-100HA (共和電業製)
	AC-RA	建屋中央	〃
	AC-BA	改良体上面 [GL-4cm (-1.0m)]	〃
	AC-1A	建屋下基盤面上 [GL-40cm (-10.0m)]	〃
	AC-2A	建屋下砂地盤中 [GL-30cm(-7.5m)]	〃
	AC-3A	建屋下砂地盤中 [GL-20cm(-5.0m)]	〃
	AC-4A	建屋下砂地盤中 [GL-10cm(-2.5m)]	〃
	AC-5A	建屋下地表 [GL-0cm(-0.0m)]	〃
	AS-1A	遠方地盤基盤面上 [GL-40cm (-10.0m)]	〃
	AS-2A	遠方砂地盤中 [GL-30cm(-7.5m)]	〃
	AS-3A	遠方砂地盤中 [GL-20cm(-5.0m)]	〃
	AS-4A	遠方砂地盤中 [GL-10cm(-2.5m)]	〃
	AS-5A	遠方地表 [GL-0cm(-0.0m)]	〃
過剰間隙水圧 (8)	PWC-1A	建屋下砂地盤中 [GL-35cm(-8.75m)]	PS-5KC (共和電業製)
	PWC-2A	建屋下砂地盤中 [GL-25cm(-6.25m)]	〃
	PWC-3A	改良体近傍砂地盤中 [GL-15cm(-3.75m)]	〃
	PWC-4A	改良体近傍砂地盤中 [GL-5cm(-1.25m)]	〃
	PWS-1A	遠方砂地盤中 [GL-35cm(-8.75m)]	〃
	PWS-2A	遠方砂地盤中 [GL-25cm(-6.25m)]	〃
	PWS-3A	遠方砂地盤中 [GL-15cm(-3.75m)]	〃
	PWS-4A	遠方砂地盤中 [GL-5cm(-1.25m)]	〃
変位 (沈下) (6)	LHA	建屋水平変位	LKG-500 (キーエンス製)
	LVA-NE	建屋沈下 (北東角)	LKG-155 (キーエンス製)
	LVA-NW	建屋沈下 (北西角)	〃
	LVA-SE	建屋沈下 (南東角)	〃
	LVA-SW	建屋沈下 (南西角)	〃
	LVA-N	遠方地表沈下	LB-300 (キーエンス製)

表 4.3.7 計測点一覧表 (ケース 4 改良厚 4.5m)

測定成分	計測点名	測定位置	測定センサー
加速度 (13)	AT-S	振動台	AS-100HA (共和電業製)
	AC-RB	建屋中央	〃
	AC-BB	改良体上面 [GL-4cm (-1.0m)]	〃
	AC-1B	建屋下基盤面上 [GL-40cm (-10.0m)]	〃
	AC-2B	建屋下砂地盤中 [GL-30cm(-7.5m)]	〃
	AC-3B	改良体近傍砂地盤中 [GL-20cm(-5.0m)]	〃
	AC-4B	改良体近傍砂地盤中 [GL-10cm(-2.5m)]	〃
	AC-5B	建屋下地表 [GL-0cm(-0.0m)]	〃
	AS-1B	遠方地盤基盤面上 [GL-40cm (-10.0m)]	〃
	AS-2B	遠方砂地盤中 [GL-30cm(-7.5m)]	〃
	AS-3B	遠方砂地盤中 [GL-20cm(-5.0m)]	〃
	AS-4B	遠方砂地盤中 [GL-10cm(-2.5m)]	〃
	AS-5B	遠方地表 [GL-0cm(-0.0m)]	〃
過剰間隙水圧 (8)	PWC-1B	建屋下砂地盤中 [GL-35cm(-8.75m)]	PS-5KC (共和電業製)
	PWC-2B	建屋下砂地盤中 [GL-25cm(-6.25m)]	〃
	PWC-3B	改良体近傍砂地盤中 [GL-15cm(-3.75m)]	〃
	PWC-4B	改良体近傍砂地盤中 [GL-5cm(-1.25m)]	〃
	PWS-1B	遠方砂地盤中 [GL-35cm(-8.75m)]	〃
	PWS-2B	遠方砂地盤中 [GL-25cm(-6.25m)]	〃
	PWS-3B	遠方砂地盤中 [GL-15cm(-3.75m)]	〃
	PWS-4B	遠方砂地盤中 [GL-5cm(-1.25m)]	〃
変位 (沈下) (6)	LHB	建屋水平変位	LKG-500 (キーエンス製)
	LVB-NE	建屋沈下 (北東角)	LKG-155 (キーエンス製)
	LVB-NW	建屋沈下 (北西角)	〃
	LVB-SE	建屋沈下 (南東角)	〃
	LVB-SW	建屋沈下 (南西角)	〃
	LVB-N	遠方地表沈下	LB-300 (キーエンス製)

表 4.3.8 使用計測器仕様一覧表

種別	型番	メーカー	仕 様
加速度計	AS-100HA	共和電業	<ul style="list-style-type: none"> ・定格容量：±100G ・応答周波数範囲：DC～2kHz(23)
過剰間隙水圧計	PS-5KC	共和電業	<ul style="list-style-type: none"> ・定格容量：±500kpa
レーザー変位計	LKG-155	キーエンス	<ul style="list-style-type: none"> ・定格容量: ±40mm ・基準距離：150mm ・サンプリング周期：20～1000 μs(6 段階可変)
	LKG-500	キーエンス	<ul style="list-style-type: none"> ・定格容量:-250～+500mm ・基準距離：500mm ・サンプリング周期：20～1000 μs(6 段階可変)
	LB-300	キーエンス	<ul style="list-style-type: none"> ・定格容量: ±100mm ・基準距離：300mm ・分解能：50 μm ・電圧出力：±5V (20mm/V)

- 凡例 ● : 加速度計
 ▲ : 過剰間隙水圧計
 ■ : レーザー変位計

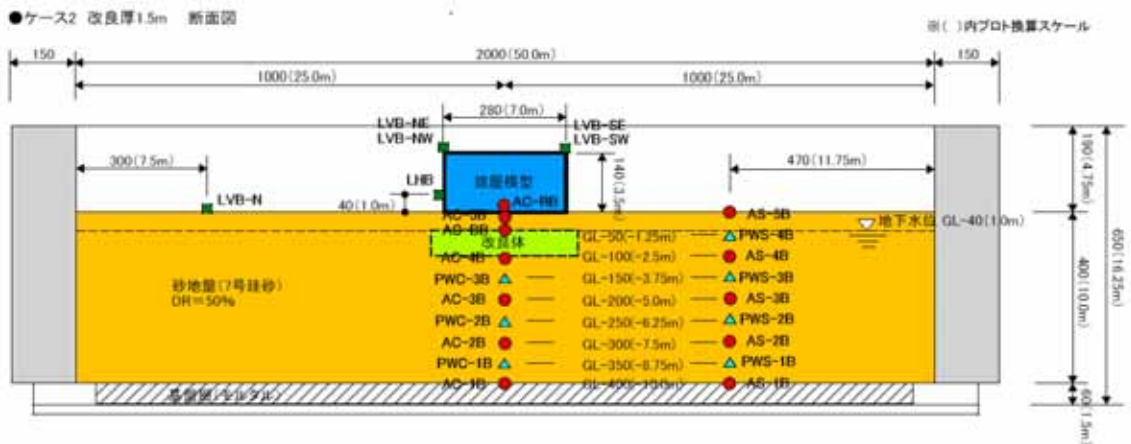
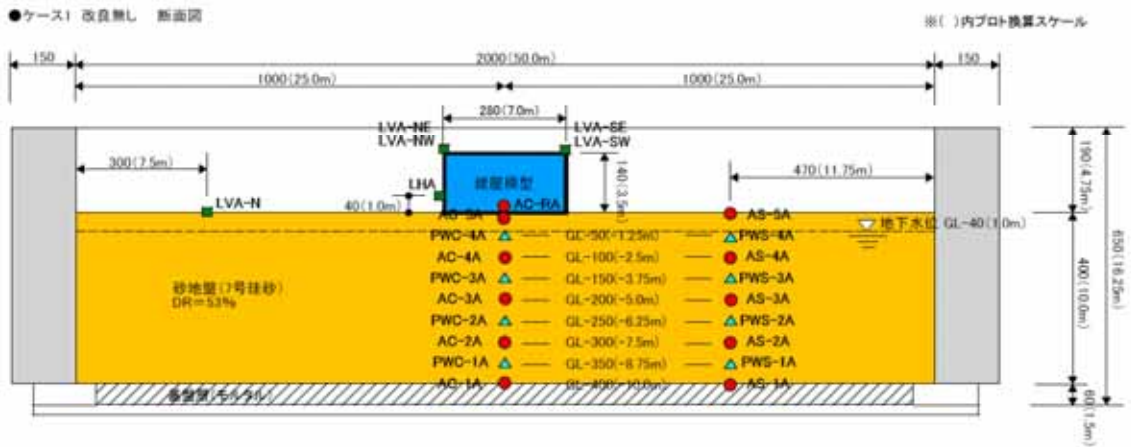
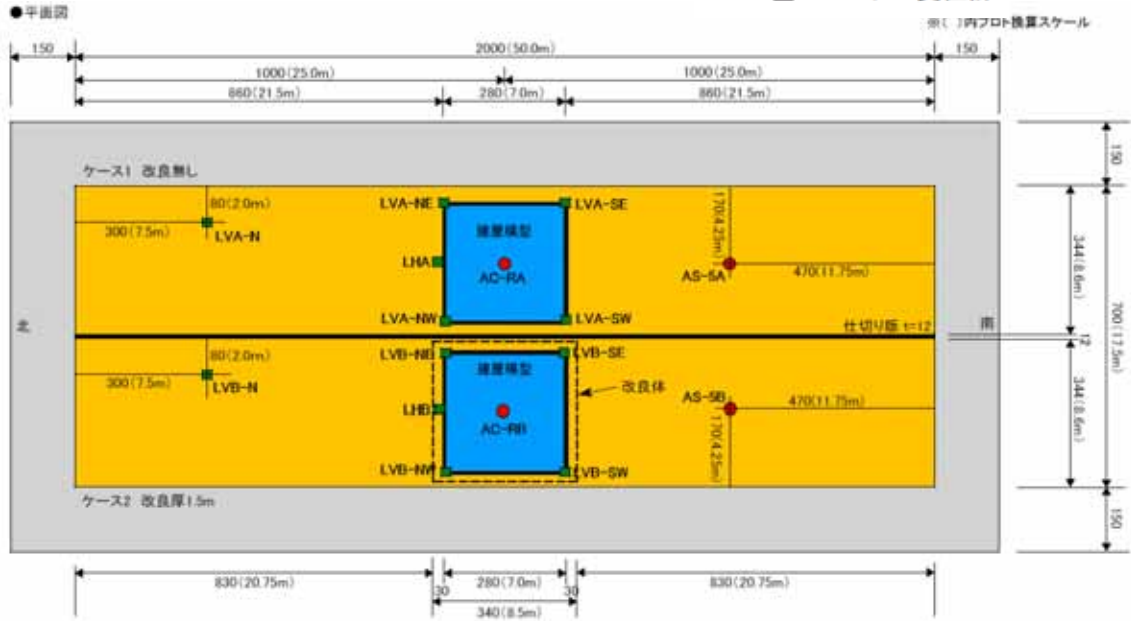


図 4.3.2 計器 (センサー) 配置図 (ケース1 およびケース2)

- 凡例 ● : 加速度計
 ▲ : 過剰間隙水圧計
 ■ : レーザー変位計

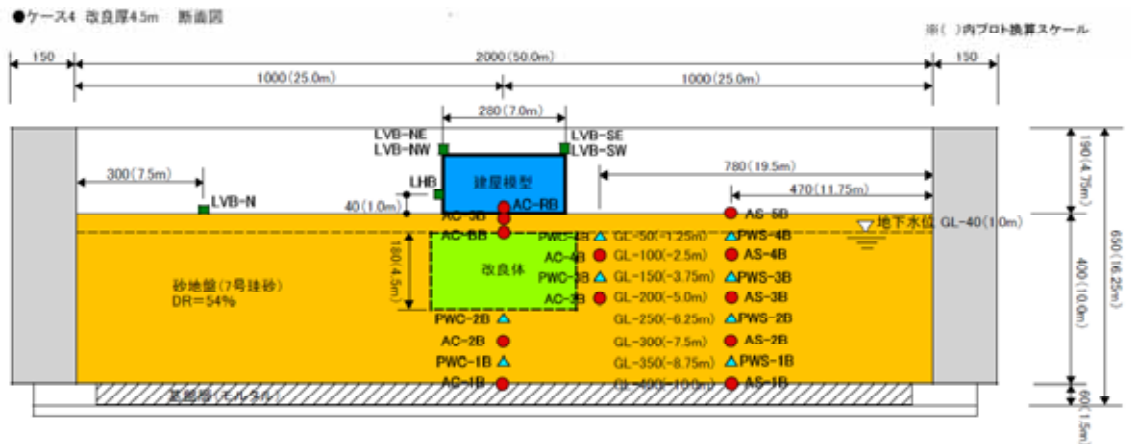
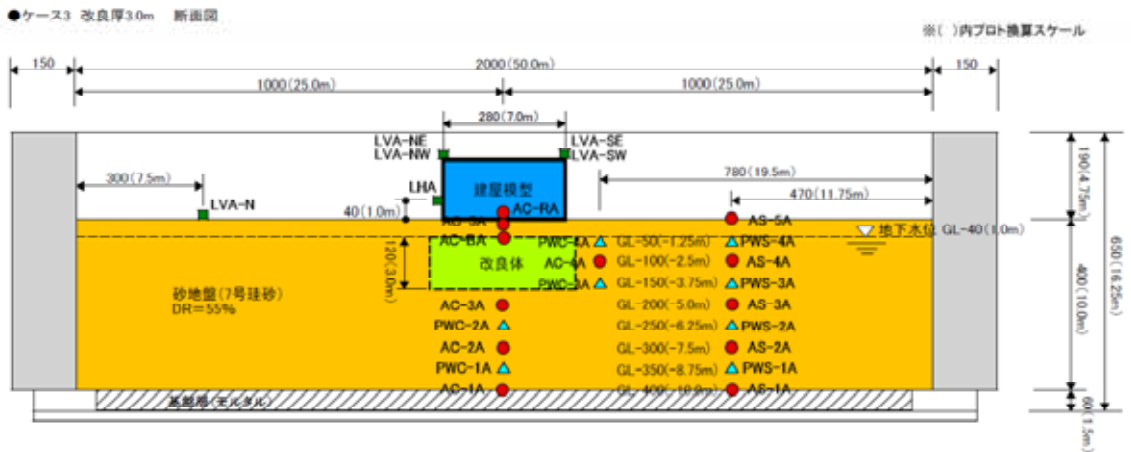
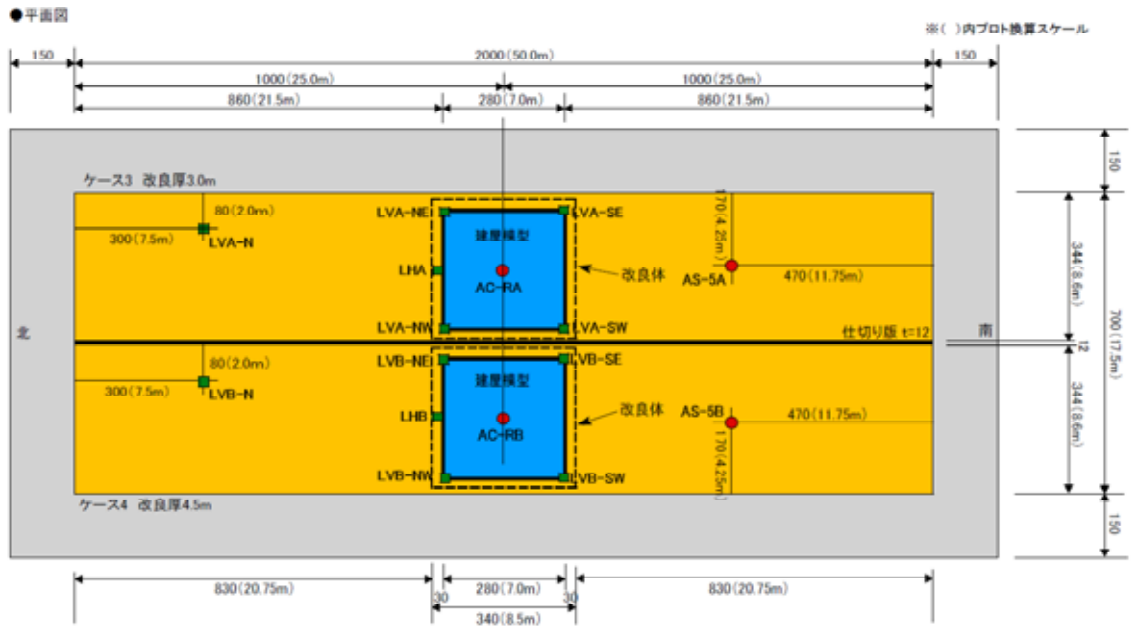


図 4.3.3 計器（センサー）配置図（ケース3およびケース4）

4.4 実験結果

4.4 章では、各ケースの実験データを示す。各ケースの実験データは、以下の手順で整理した。

時刻歴波形は、比較しやすいように各ケース・各加振の振動台の加速度波形が同位相になるように採用データの範囲を定めた。

加振により地中の加速度計が傾く事による加速度波形のドリフト（直流成分）を補正する事と対象最大周波数を 250Hz（1G 場で 10Hz）にするためにバンドフィルター処理を行った。

直流成分として 0.0～5.0Hz（1G 場 0.0～0.2Hz）と高周波のカットとして 250Hz（1G 場 10Hz）以上をフィルター処理の対象範囲とした。

ゼロ線補正は、最初から 100 個分のデータの平均値をゼロとした。

各測定成分の 1G 場への換算値は表 4.4.1 のようにした。

表 4.4.1 1G 場への換算値（遠心回転加速度 25G）

測定項目	1G 場換算値	単位		時間
		遠心場	1G 場	
加速度	/ 25 × 100	m/s ²	gal	× 25
過剰間隙水圧	× 1	kpa	kpa	
変位（沈下）	× 25 / 10	mm	cm	

過剰間隙水圧比は、過剰間隙水圧データを地盤の初期上載圧で除すことにより求めた。なお、データ整理にあたり、初期上載圧に建物荷重の影響は考慮していない。

$$\text{過剰間隙水圧比} = (\text{補正後の過剰間隙水圧データ}) / \sigma_v' \quad \sigma_v' \text{ 有効上載圧}$$

地盤の水平変位は、地盤中の加速度波形（AC および AS）の主要動付近（50～250 秒間）を積分することにより求め、地盤のせん断ひずみは、地盤水平変位計測点の 2 点間の水平相対変位と鉛直距離より求めた。

4.4.1 ケース1（改良無し）

(1) 1回目の加振実験（地震動1：最大加速度 150Gal）の時刻歴

加速度

図4.4.1は応答加速度の時刻歴を示している。建物（建屋）下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-7.5m（AC-2A）の応答加速度は基盤GL-10.0m（AC-1A）のそれに比べて同程度あるいはやや増幅しており、加振中の加速度は概ね伝達されている。しかし、GL-5.0m（AC-3A）、GL-2.5m（AC-4A）、GL-0.0m（AC-5A）および建物（AC-RA）では基盤でのピーク時の加速度はほとんど伝達されていない。地盤中で加速度が伝達されにくくなっているのは地盤が液状化したためであり、遠方地盤（建物が無い場合の地盤に相当すると考える）の応答加速度も、各深度で概ね同様な結果となっている。

過剰間隙水圧

図4.4.2、図4.4.4は過剰間隙水圧の時刻歴を、図4.4.3、図4.4.5は過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。図4.4.2と図4.4.3から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比はいずれも加振とともに、増加し始め、入力加速度（ATS）の増加とともに、増加する傾向を示している。過剰間隙水圧比は加速度がピークを過ぎたあたりで、概ね1.0程度となっており、液状化に達したと推定される。過剰間隙水圧は浅い位置ほどやや遅れて増加する傾向を示しており、過剰間隙水圧比が概ね1.0に達する時刻も浅い位置ほど遅くなっている。なお、GL-8.75m（PWC-1A）の過剰間隙水圧が40kPaを超えた付近で、いったん減少し、その後再び増加しているが、過剰間隙水圧が減少した理由は不明である。一方、GL-3.75m（PWC-3A）とGL-1.25m（PWC-4A）の過剰間隙水圧がピークに達した後、減少したのは地下水の地表面への噴出等による影響と考えられる。また、図4.4.4、図4.4.5から、過剰間隙水圧は加振後も概ね1500秒付近まで残留しており、加振終了後も地盤はしばらくの間液状化状態にあったと推定される。特に、GL-1.25m（PWC-4A）とGL-3.75m（PWC-3A）では1000～1200秒付近まで過剰間隙水圧比0.5以上を示しており、大きな過剰間隙水圧が残留していることが分かる。浅部ほどこの傾向は顕著である。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図4.4.6、図4.4.7は建物の水平変位、建屋や地表面の総沈下量、遠方地盤の総沈下量（建物が無い場合の地盤の総沈下量）および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、建物の平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴ってやや発生しているものの、最大で5.8cm、残留時で3.8cmである。建物の鉛直変位は4点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量（LVA-NEとLVA-NWの平均）が34.6cm程度に対して、南側の残留総沈下量（LVA-SEとLVA-SWの平均）は36.6cmとなっている。一方、遠方地盤では加振直後にやや隆起する結果となっている。このため、建物のめり込み沈下量 S_p は総沈下量 S_t よりも大きくなっており、最終的な建物のめり込み沈下量は29.8cmとなっている。

建物の傾斜角は、加振方向（南北方向）については加振直後にやや大きくなっているが、その後傾斜角は減少し、最終的に残留傾斜角は 2.8/1000 となっている。一方、加振直交方向（東西方向）の建物の傾斜角は加振とともに増加し、最終的な残留傾斜角は 20.4/1000 程度となっている。

図 4.4.7 から、建物の沈下は加振終了後、1200 秒付近まで続いており、図 4.4.4 の過剰間隙水圧と整合する結果となっている。したがって、建物の沈下は過剰間隙水圧が消散するまで続いていたと考えられる。

地盤変位（水平変位）

図 4.4.8 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、GL-5.0m と GL-2.5m での地盤変位の周期は GL-7.5m のそれよりも大きく、建物の変位振幅がほとんど発生しておらず、液状化による影響が認められる。

せん断ひずみ

図 4.4.9 に図 4.4.8 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図から、各深度のせん断ひずみは加振の初期より発生し、加速度の増加とともに大きくなる傾向が見られるものの、加速度が最大となる付近ではむしろせん断ひずみが小さくなっている。また、せん断ひずみの時刻歴の周期は浅い位置ほど大きくなる傾向を示しており、液状化に伴う地盤のせん断剛性の低下が認められる。せん断ひずみの最大値は地表面に近づくほど大きくなっており、GL-2.5m～GL-0.0m（SSC-45）間で最大 0.54% となっている。

(2) 2 回目の加振実験（地震動 2：最大加速度 350Gal）の時刻歴

加速度

図 4.4.10 は応答加速度の時刻歴を示している。建物（建屋）下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-7.5m（AC-2A）の応答加速度は基盤 GL-10.0m（AC-1A）のそれに比べてやや増幅する傾向が認められるものの、基盤の加速度が最大となる時刻付近以降は伝達される加速度が減少している。GL-5.0m（AC-3A）、GL-2.5m（AC-4A）、GL-0.0m（AC-5A）および建物（AC-RA）では 1 回目の加振と同様に地表面に近づくほど伝達される加速度は減少している。また、各深度の伝達される加速度の割合は 1 回目の加振時に比べて小さくなっており、1 回目に比べて 2 回目の加振時の方が液状化の発生する時期が早く、液状化の程度が顕著であったと推察される。遠方地盤（建物がいない場合の地盤に相当すると考える）の応答加速度も、各深度で概ね同様な結果となっている。

過剰間隙水圧

図 4.4.11、図 4.4.13 は過剰間隙水圧の時刻歴を、図 4.4.12、図 4.4.14 は過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。図 4.4.11 と図 4.4.12 から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比はいずれも加振とともに、増加し始め、振動台からの入力加速度（ATS）の増加とともに、大きくなっている。特に、振動台（ATS）の加速度が 100gal を超えた付近から、過剰間隙水圧が急激に増加する傾向が認められる。過剰間隙水圧比は、振動台の加速度がピークを達す

る前に、概ね 1.0 程度となっており、液状化していることが分かる。また、地盤の浅い位置ほど過剰間隙水圧比が 1.0 に達する時期が早くなっており、1 回目の加振時とは逆の結果となっている。なお、GL-1.25m (PWC-4A) や GL-3.75m (PWC-3A) では過剰間隙水圧が上下に変動する部分が見られるが、これは地表面に地下水が噴出したため、一時的に過剰間隙水圧が低下したものと推察される。一方、図 4.4.13、図 4.4.14 から、過剰間隙水圧は加振後も概ね 1200 秒後まで残留しているが、1 回目の加振時に比べて残留する時間は短くなっている。これは 2 回目の加振では、加振開始時刻からの液状化に達するまでの時刻が早いこと、1 回目の加振実験に引き続き 2 回目の加振実験を実施したことにより、地盤が乱れていたこと、および地表面までの水みちが形成されているなどにより過剰間隙水圧の消散が早くなったものと推察される。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図 4.4.15、図 4.4.16 は建物の水平変位、建屋や地表面の総沈下量、遠方地盤の総沈下量（建物がない場合の地盤の総沈下量）および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、建物の平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴って生じており、最大で 11.3cm、残留時で 9.0cm となっている。建物の鉛直変位は 4 点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量（LVA-NE と LVA-NW の平均）が 20.9cm に対して、南側の残留総沈下量（LVA-SE と LVA-SW の平均）は 23.2cm となっている。これらの沈下量はいずれも、1 回目の加振時の 3/5 程度となっている。一方、遠方地盤ではやや隆起しており、建物のめり込み沈下量は総沈下量よりも小さくなっているが、最終的な建物のめり込み沈下量は 16.6cm となっている。

建物の傾斜角は、加振方向（南北方向）については加振中に大きく変動しており、最終的な傾斜角は 3.3/1000 となっている。一方、加振直交方向（東西方向）の建物の傾斜角は加振とともに漸増し、最終的な傾斜角は 15.5/1000 程度となっている。建物の最大傾斜角は 1 回目の加振実験と同程度となっている。

図 4.4.16 から、建物の沈下は加振終了後、900 秒付近まで続いている。1 回目の加振時に比べて、沈下の継続時間が短くなっており、過剰間隙水圧の消散時間と整合する結果となっている。

地盤変位（水平変位）

図 4.4.17 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、いずれも振動台の加速度（ATS）の大きさに関わらず、建物下基盤の変位（AC-1A_D）を除けば概ね一様な振幅で変動している。このことから、地盤は加振初期から液状化し、液状化の影響により、加振中に建物および地盤に変位振幅が小さくなったと考えられる。

せん断ひずみ

図 4.4.18 に図 4.4.17 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図からも、加振中に液状化が発生したため、地表面に近づくほど、せん断ひずみのピークの発生時期が早くなっており、加速度が最大となる付近ではむしろせん断ひずみが小さくな

っている。この傾向は1回目の加振時よりも顕著である。また、せん断ひずみの最大値は深部でやや大きくなっているものの、概ね同様である。2回目の加振実験の最大入力加速度は1回目のその2倍以上となっているにも関わらず、AC-1.2間(SSC-12)を除くと2回目のせん断ひずみは、1回目の加振実験時のそれに比べて小さくなっており、より激しく液状化している様子がうかがわれる。

(3) 分布

最大加速度分布、最大過剰間隙水圧(比)分布、最大せん断ひずみ分布

図4.4.19は1回目および2回目の加振時における最大加速度、最大過剰間隙水圧、最大過剰間隙水圧比および最大せん断ひずみの深度方向の分布図を示している。

これらの結果から、最大加速度は1回目および2回目の加振時とも、地表面ほど小さくなっており、地盤の液状化によって加速度が伝達されにくくなっていることが分かる。この傾向は、1回目の加振時に比べ、2回目の加振時の方が顕著となっている。

最大過剰間隙水圧は1回目、2回目とも深くなるほど線形的に大きくなっており、最大過剰間隙水圧比は0.6~1.0で分布している。したがって、地盤はいずれの実験においても基盤から地表面まで液状化したと推察される。建物直下GL-1.25mで遠方地盤よりも最大過剰間隙水圧比が大きくなっているが、これは建物荷重を考慮していないためである。一方、2回目の最大過剰間隙水圧比はやや地表面付近で小さく、深部で大きくなる傾向が認められるが、これは2回目の加振では深部が早めに液状化したため、浅部に加速度が伝達されず間隙水圧の増加が小さくなったものと考えられる。

最大せん断ひずみは、1回目の加振時における建物直下では浅部ほど大きくなる傾向を示しているのに対して、遠方地盤では逆に浅部ほど小さくなる傾向を示している。これは、遠方地盤では液状化の影響で浅部でのせん断ひずみが小さくなったのに対して、建物直下では建物に作用する慣性力の影響により浅部でのせん断ひずみが大きくなったと考えられる。一方、2回目の加振時におけるせん断ひずみは最深部でやや大きくなる傾向がみられる。

残留変形

図4.4.20に1回目および2回目の加振終了後に計測した地表面と建物の残留総沈下の分布を示す。建物はいずれの断面とも、北側にやや移動し、沈下している。建物の総沈下量は周辺地盤の総沈下に比べて大きくなっており、建物のめり込み沈下を生じていることが分かる。

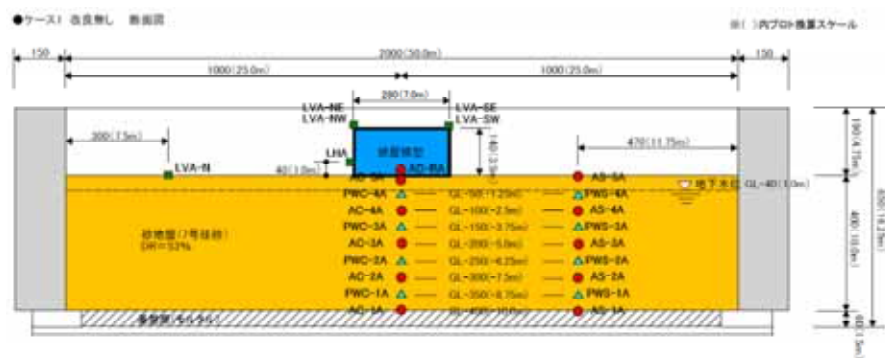
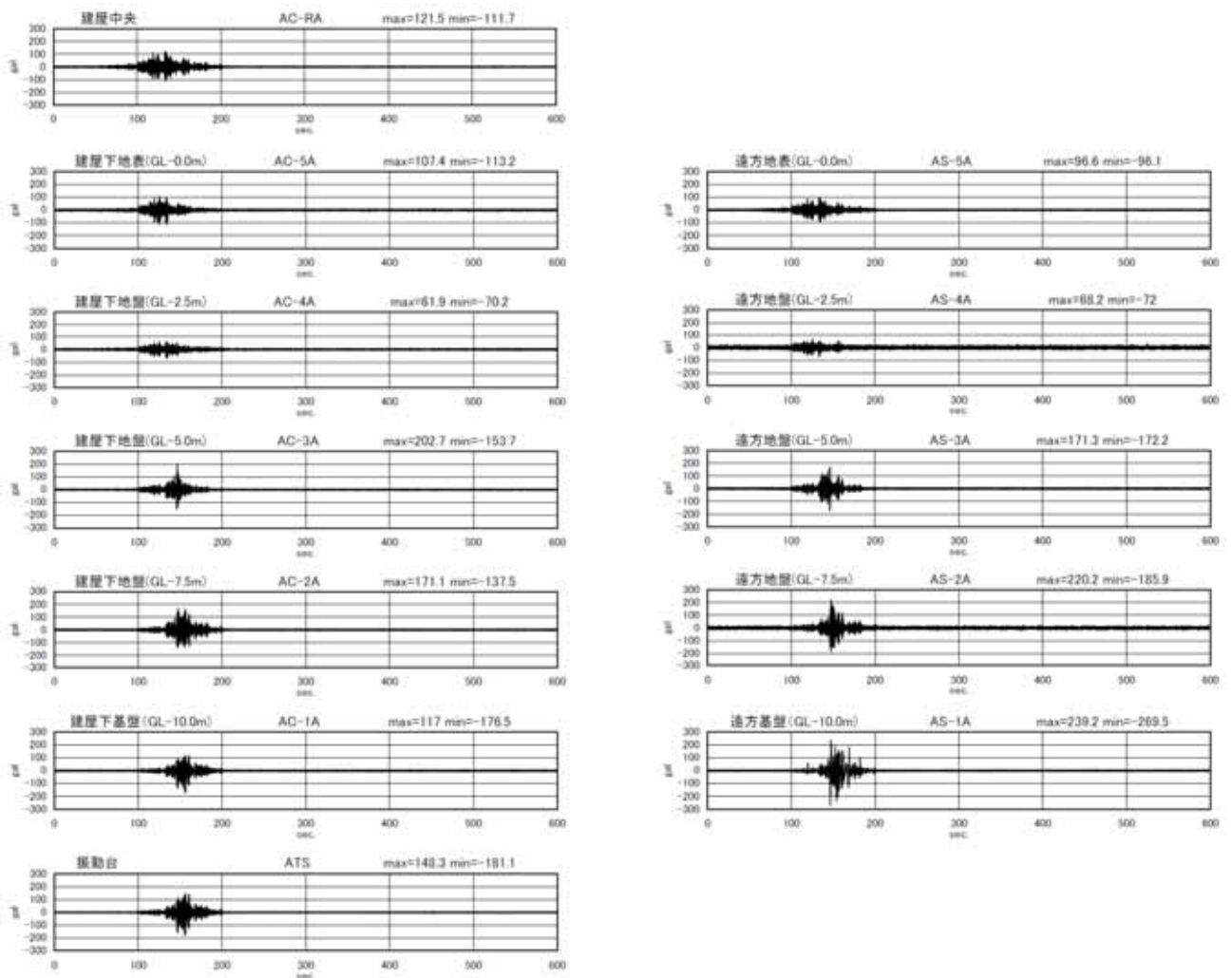


図 4.4.1 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振 1 回目〕

過剰間隙水圧

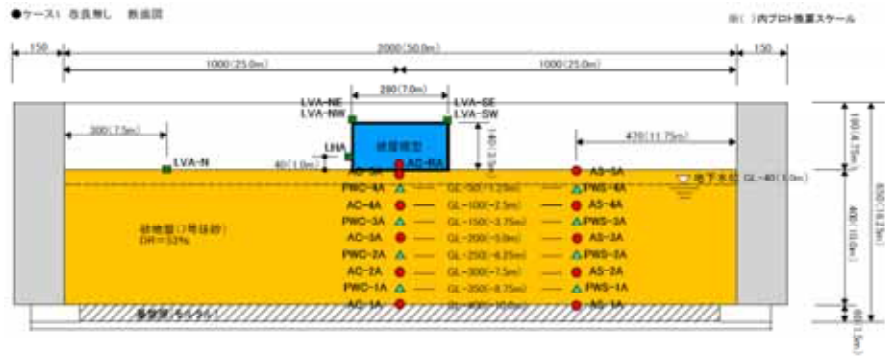
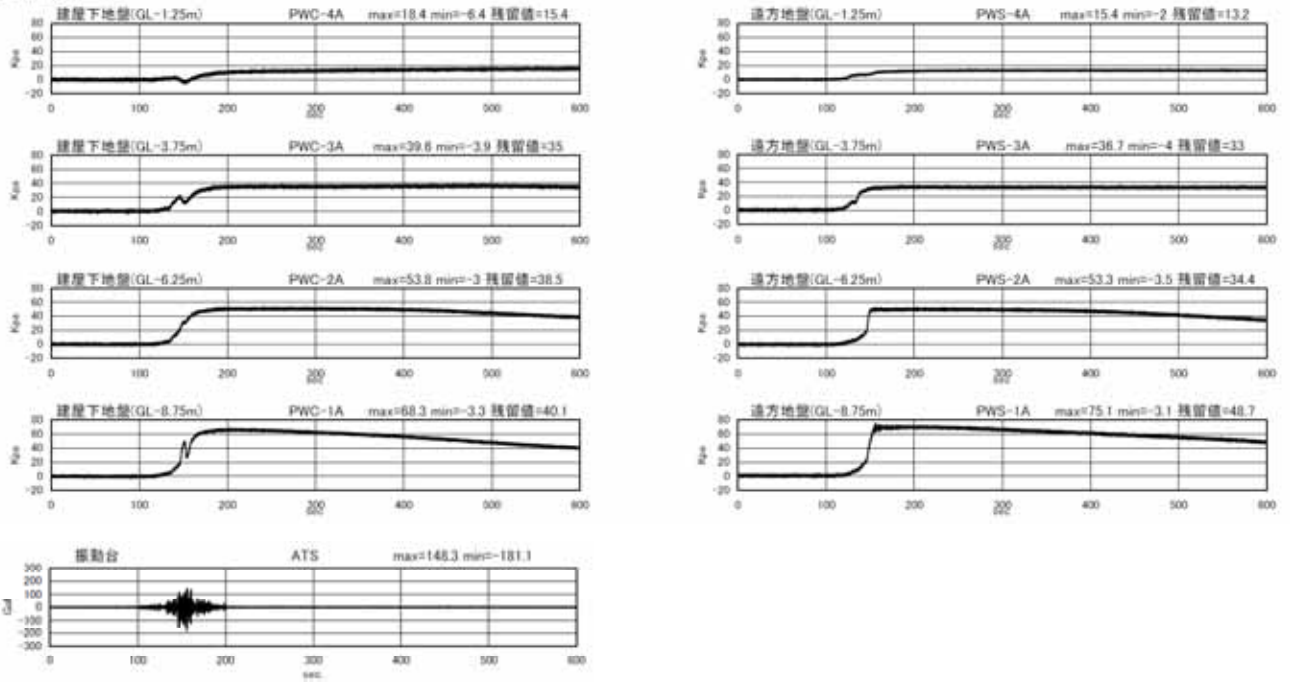


図 4.4.2 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振1回目〕

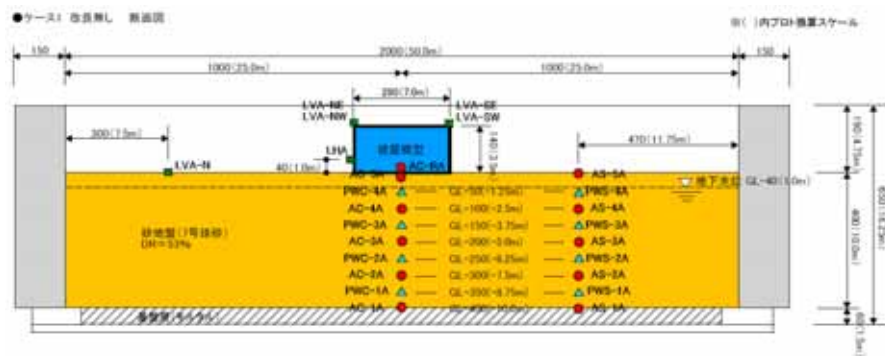
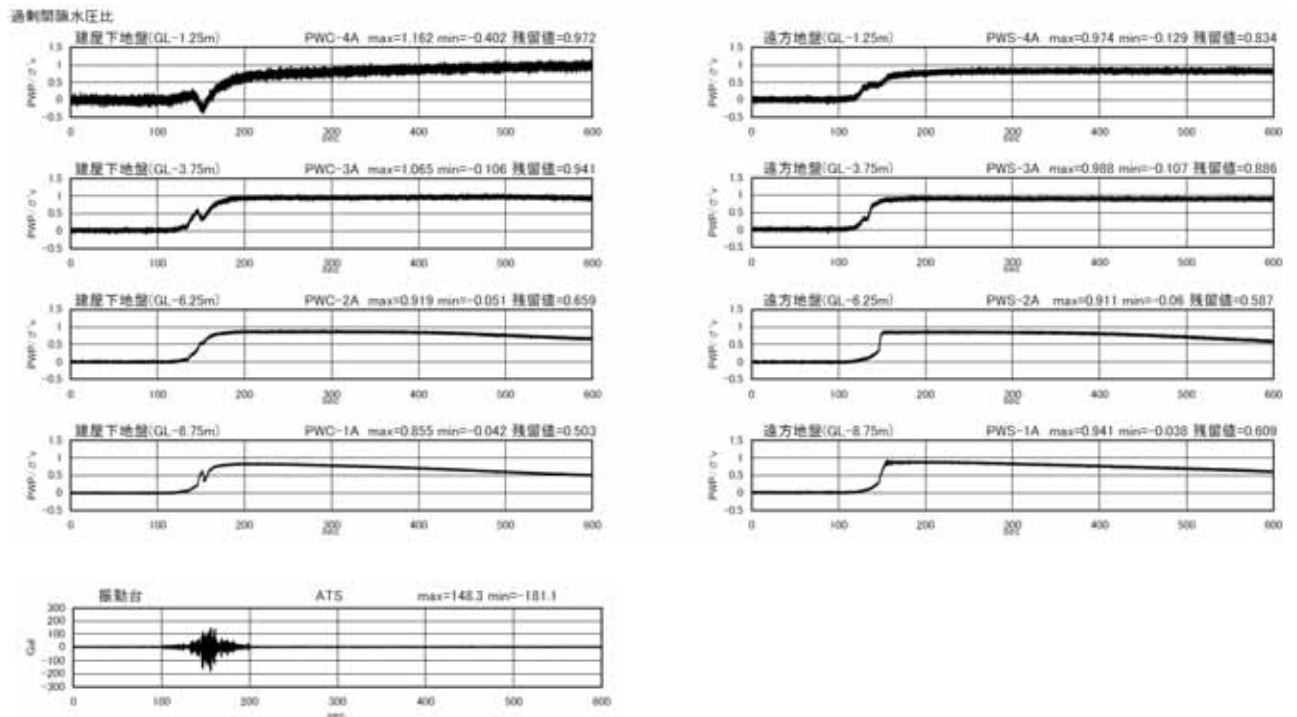


図 4.4.3 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振1回目〕

過剰間隙水圧

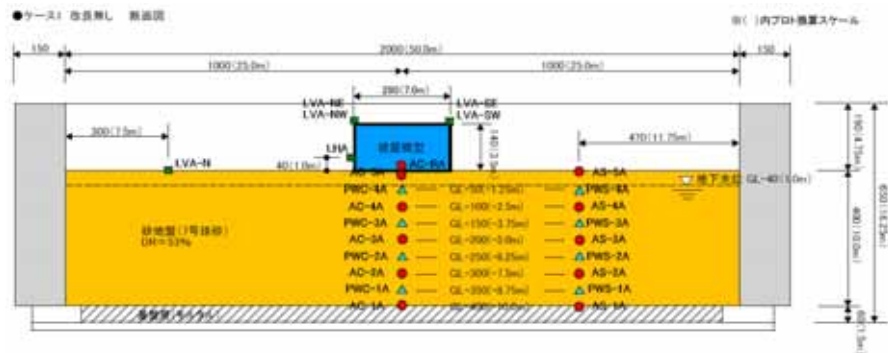
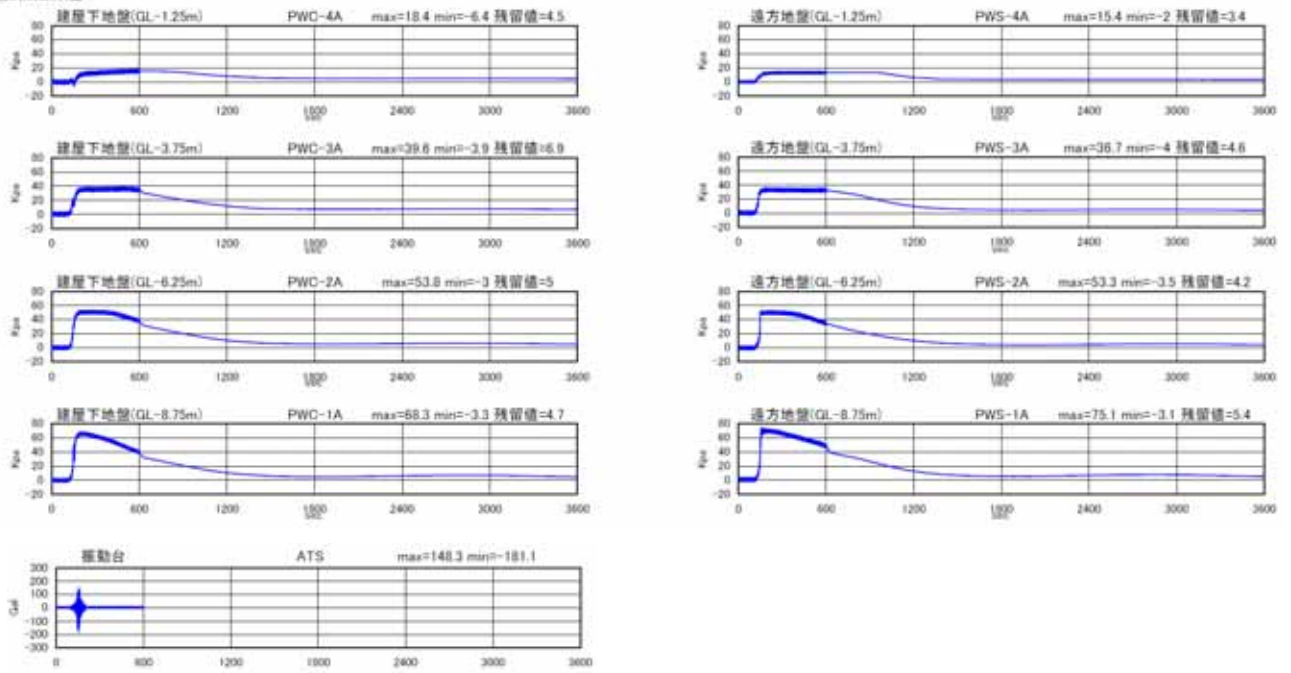


図 4.4.4 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 1 回目〕

過剰間隙水圧比

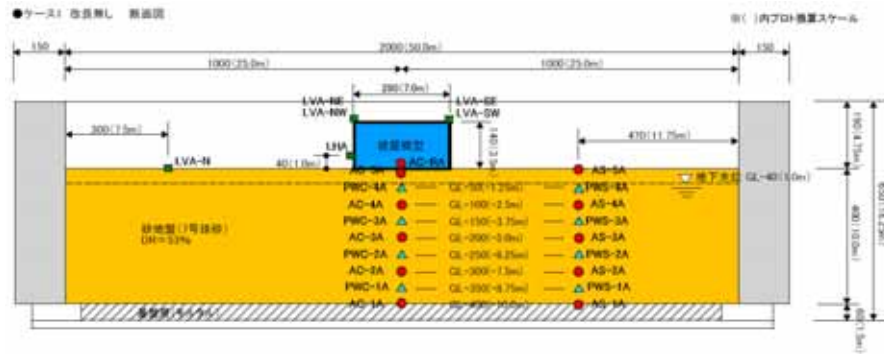
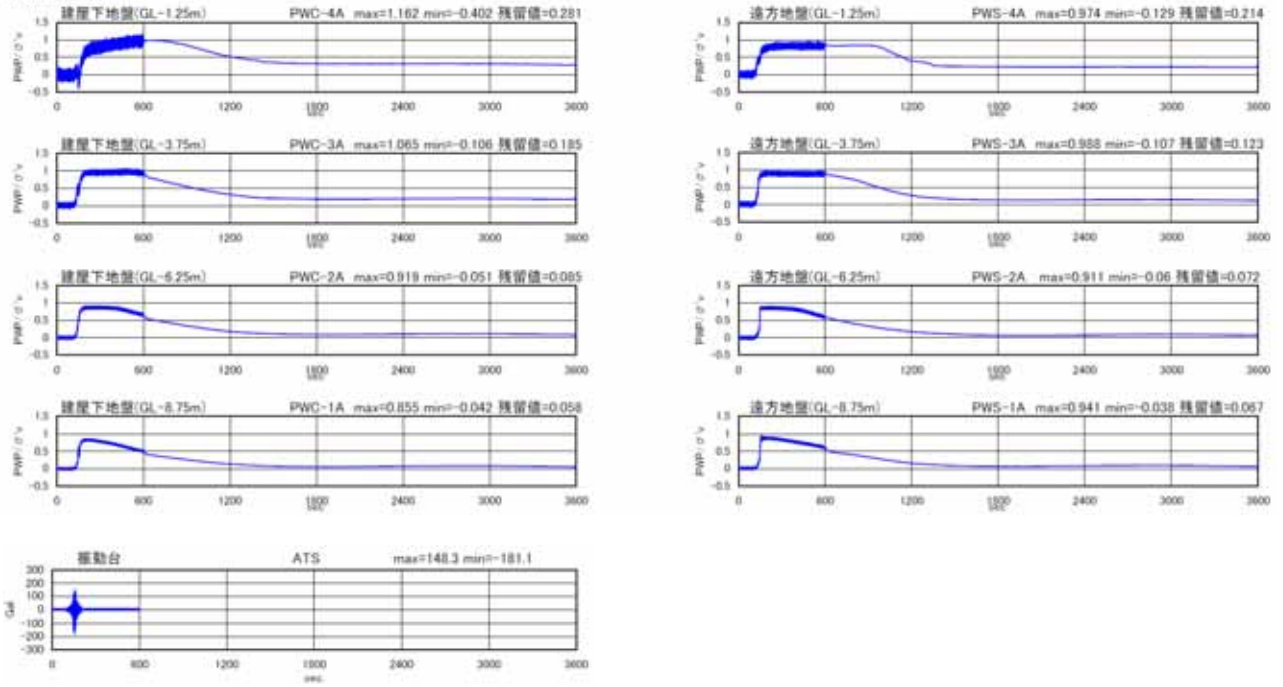


図 4.4.5 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振1回目〕

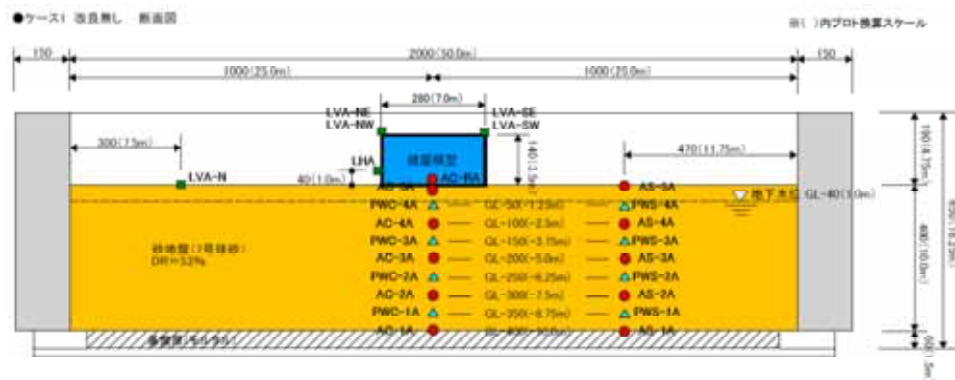
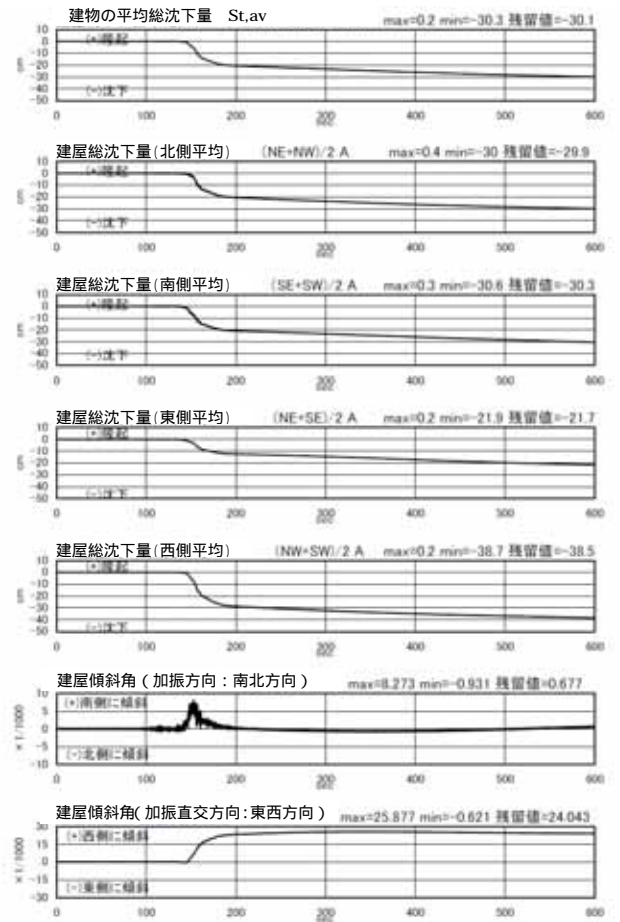
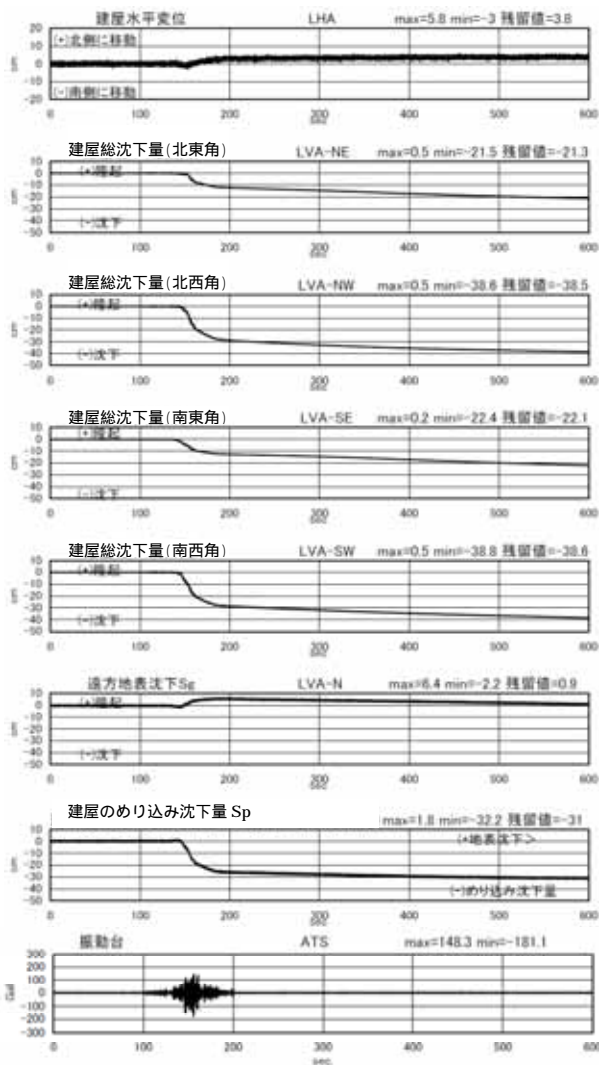


図 4.4.6 変位（沈下）建屋傾斜角（600s まで）
〔ケース 1 改良無し、加振 1 回目〕

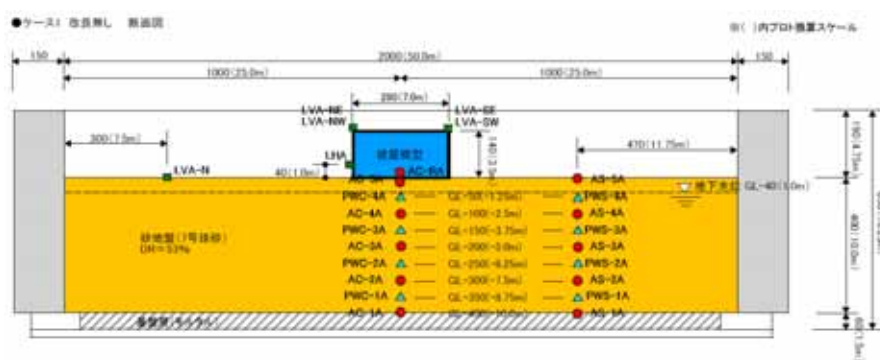
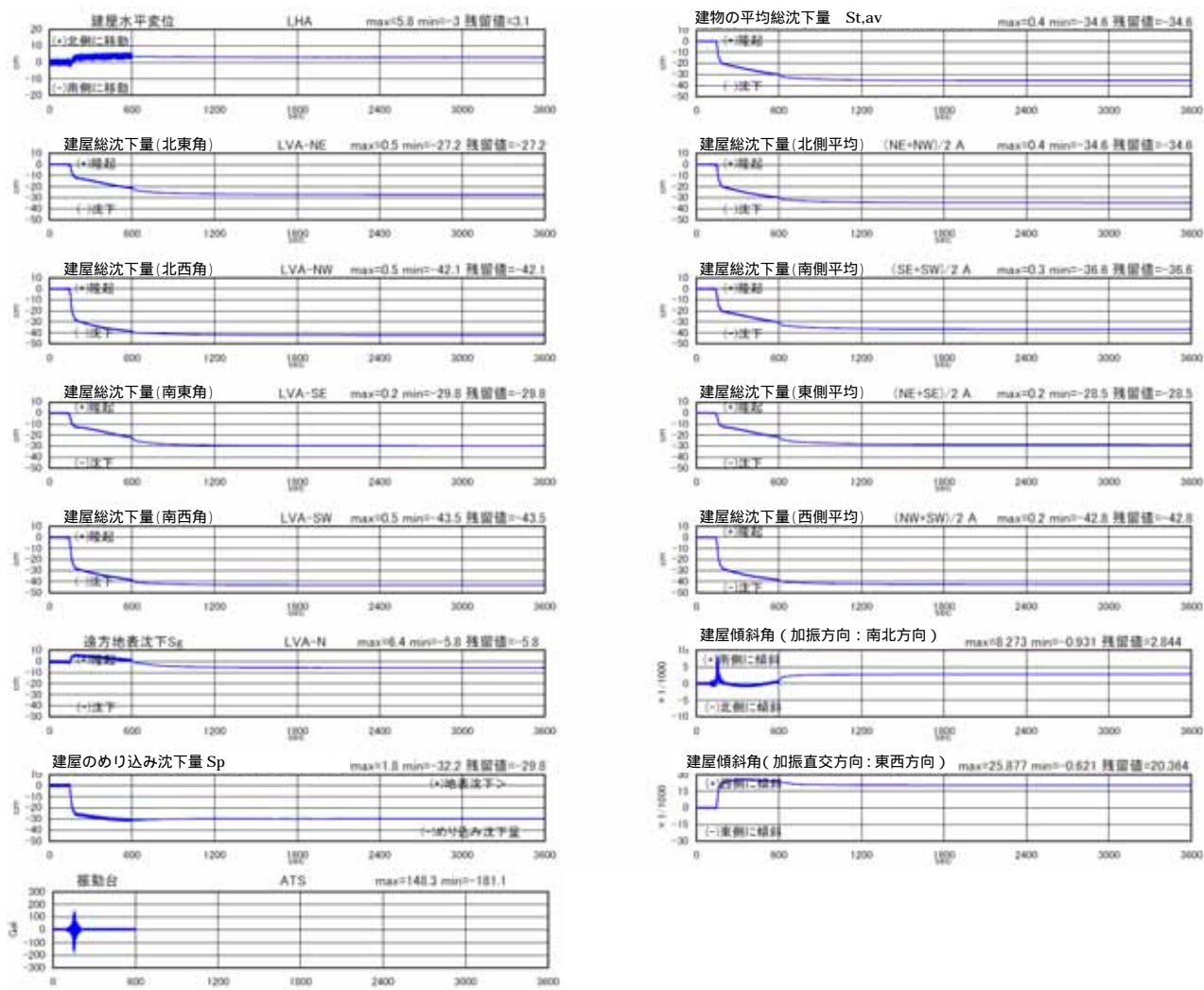


図 4.4.7 変位(沈下) 建屋傾斜角(3600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振1回目〕

地盤変位

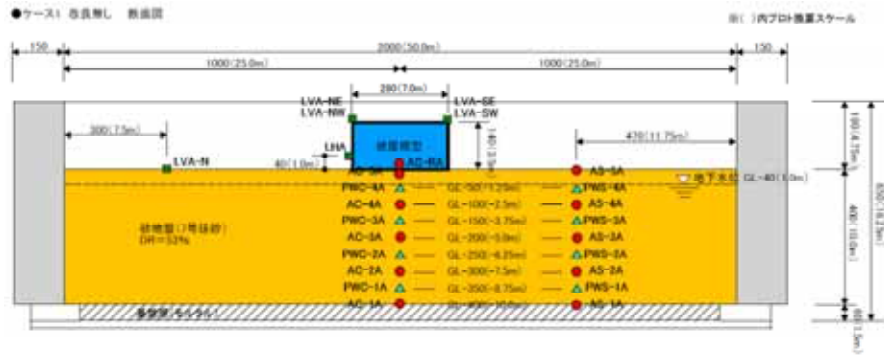
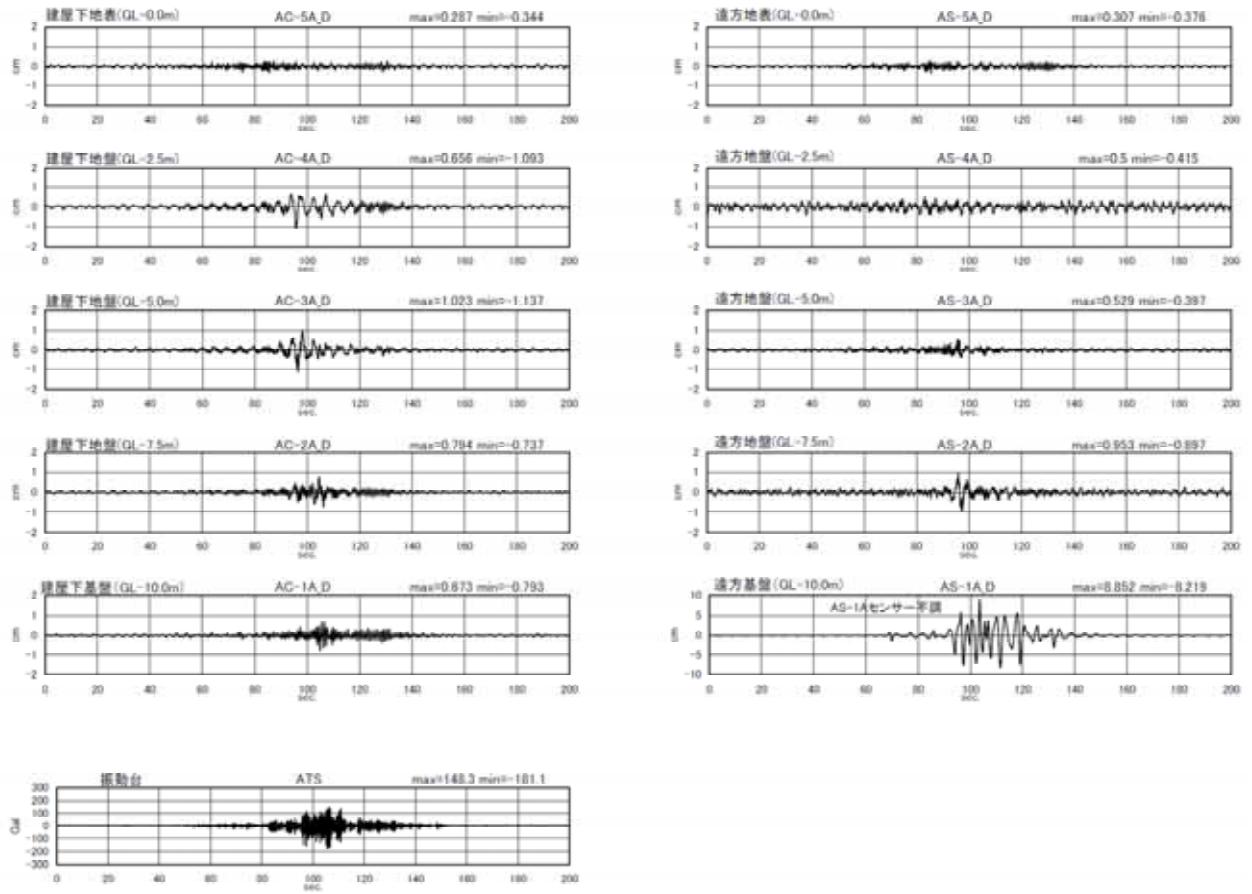


図 4.4.8 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 1 回目〕

地盤せん断ひずみ

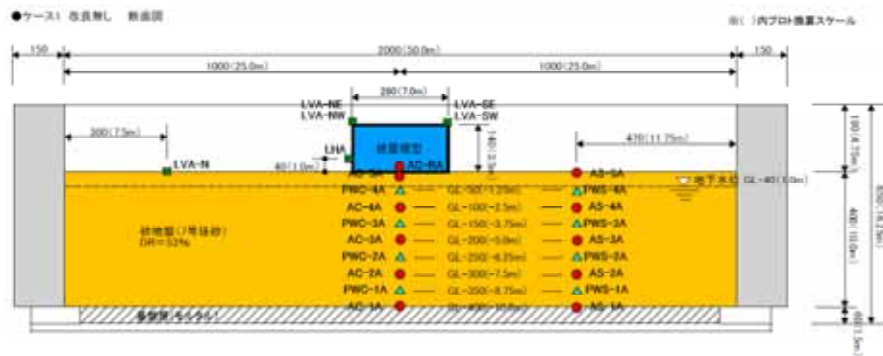
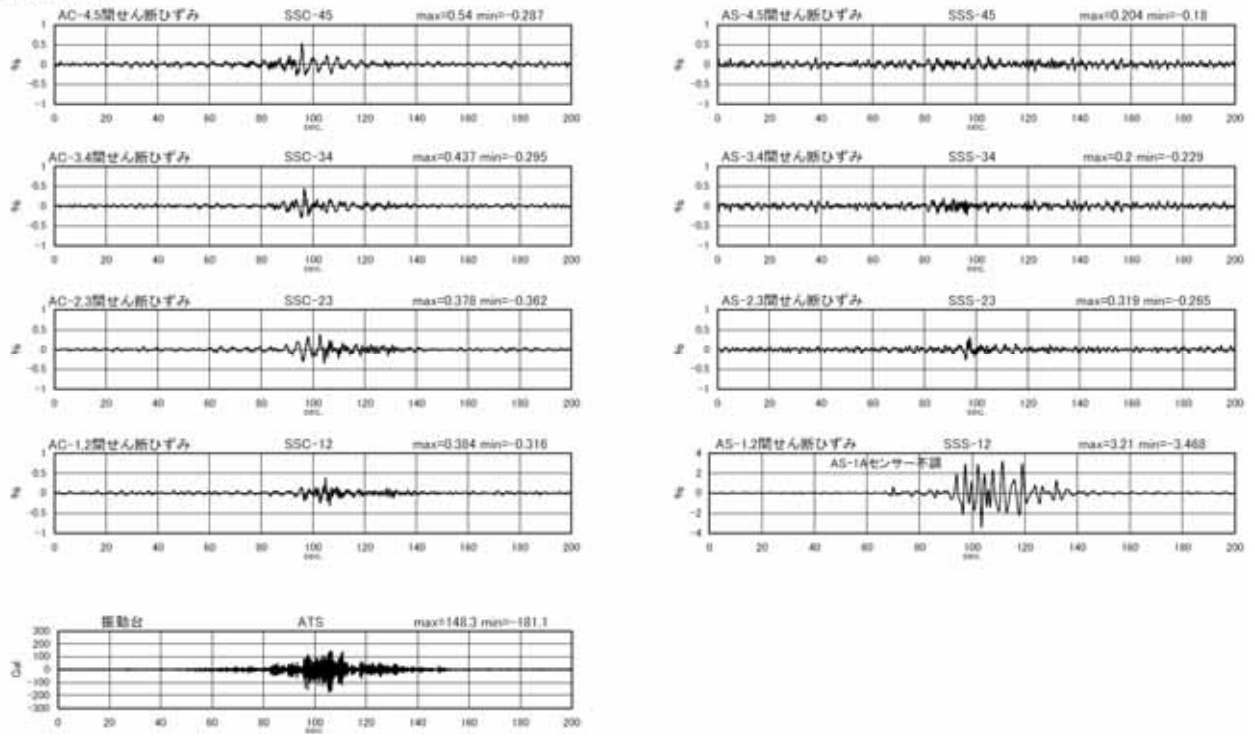


図 4.4.9 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 1 回目〕

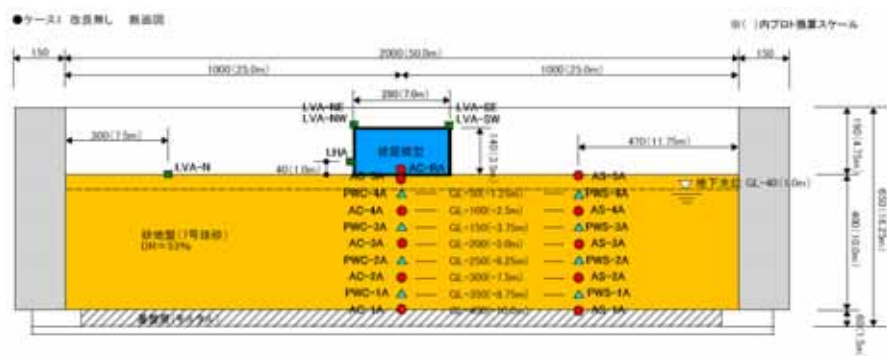
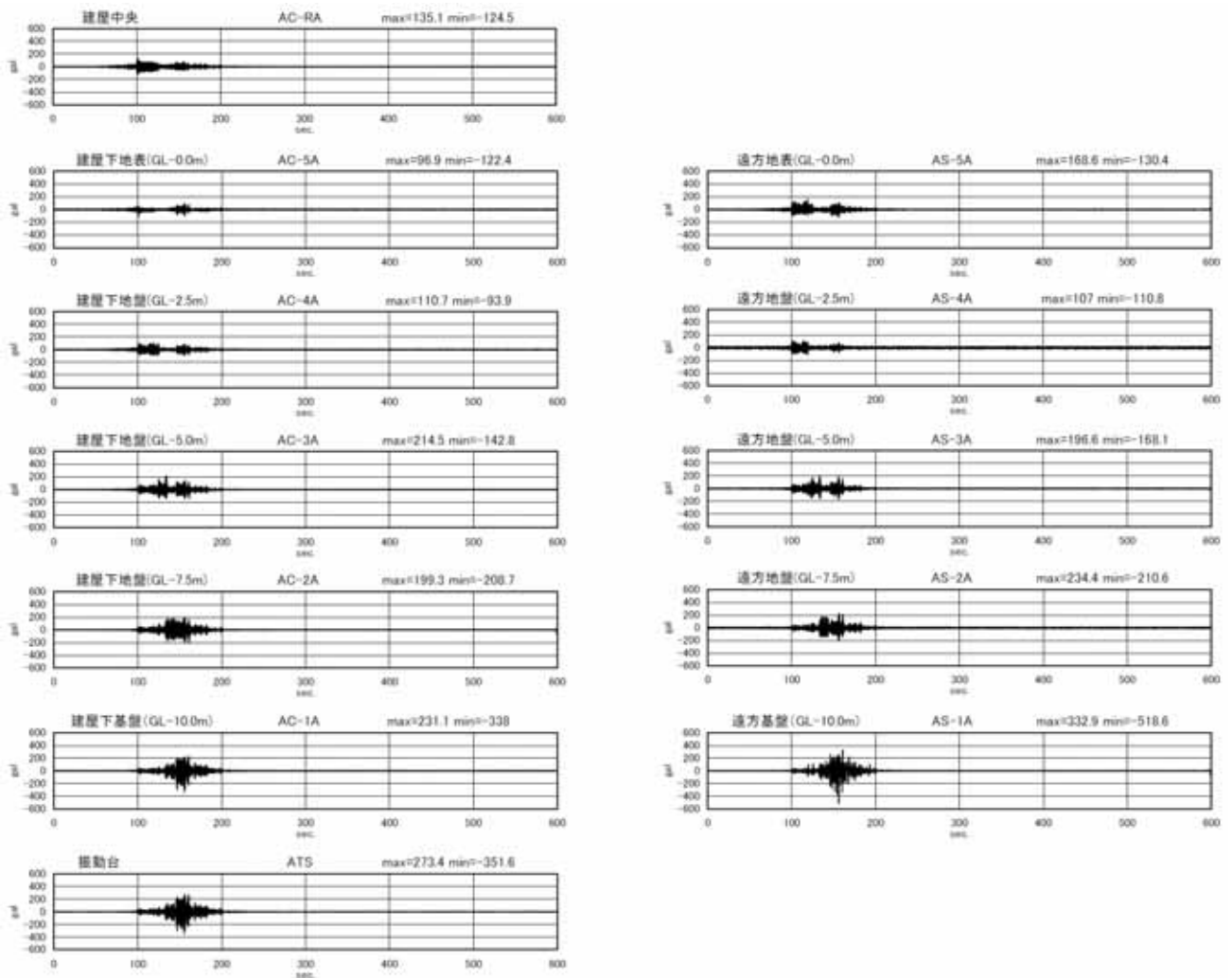


図 4.4.10 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧

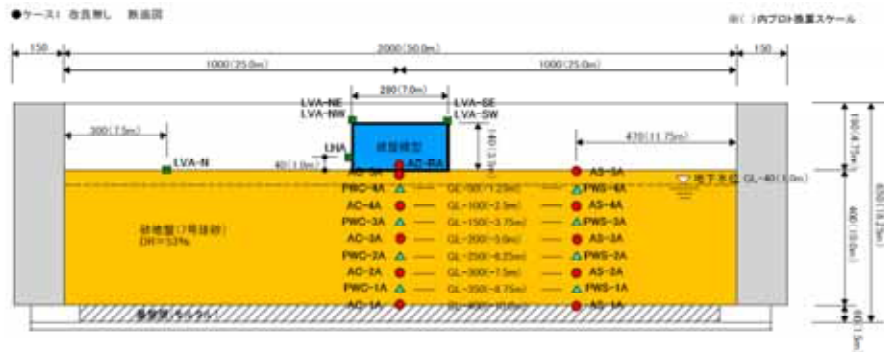
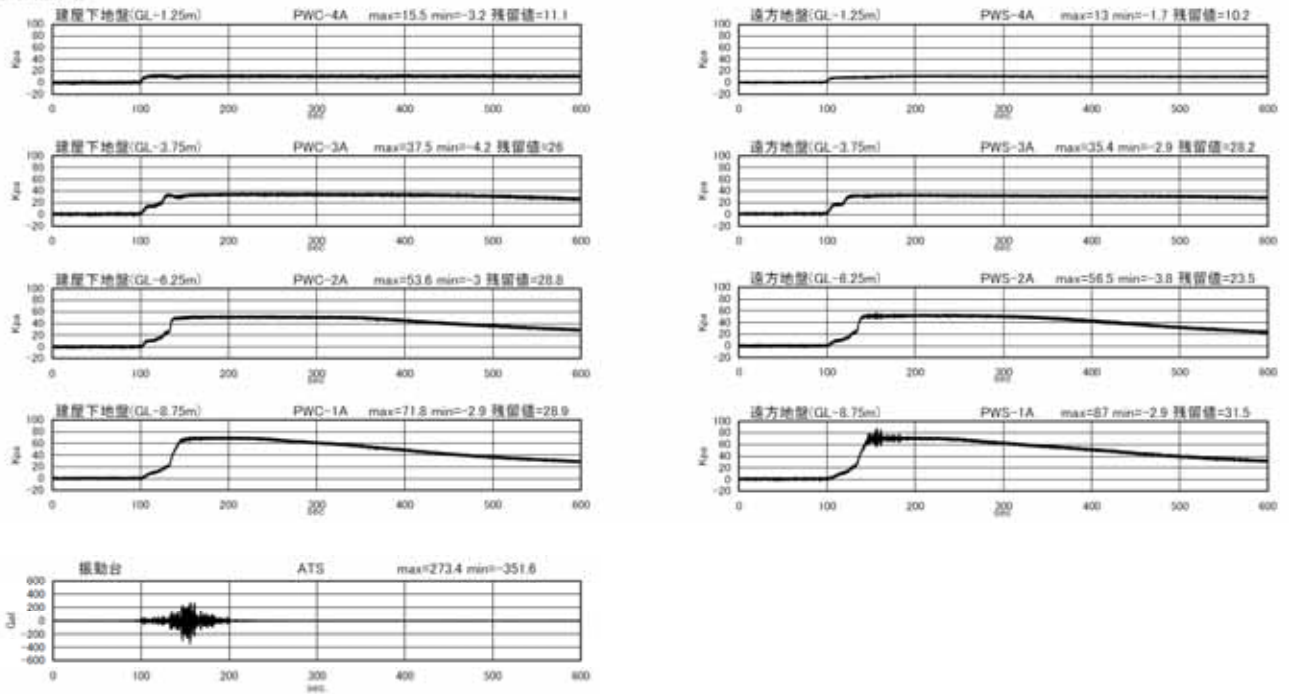


図 4.4.11 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 2 回目〕

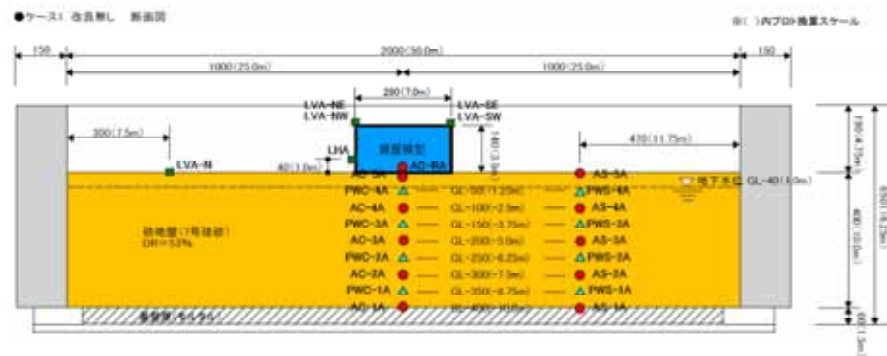
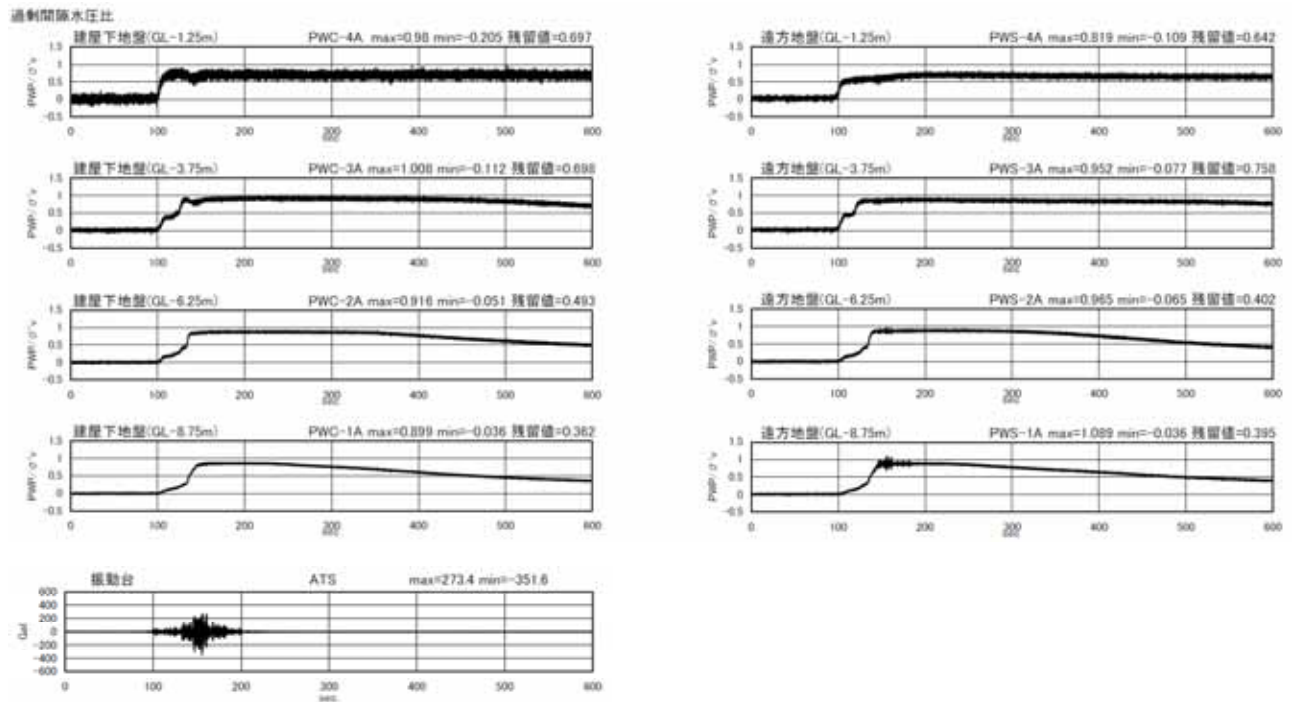


図 4.4.12 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧

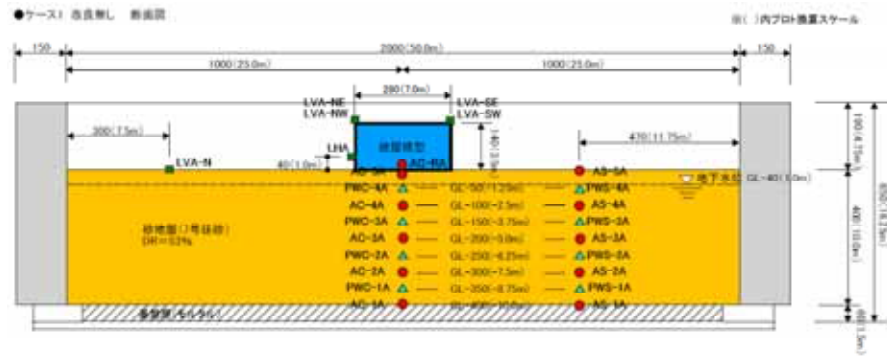
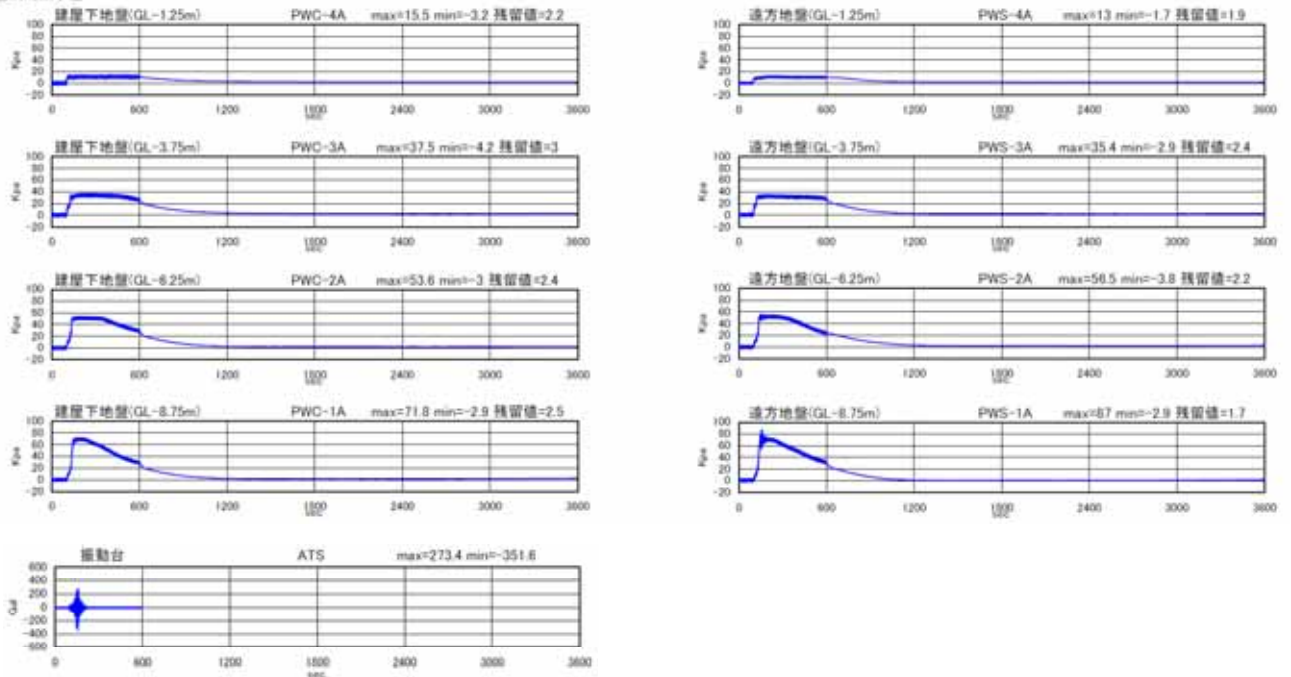


図 4.4.13 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧比

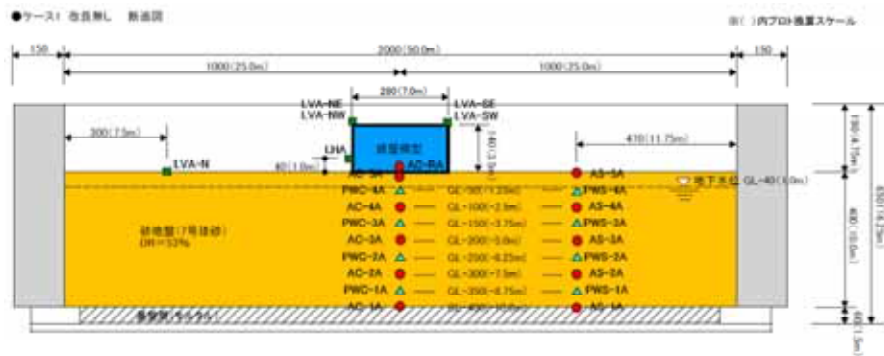
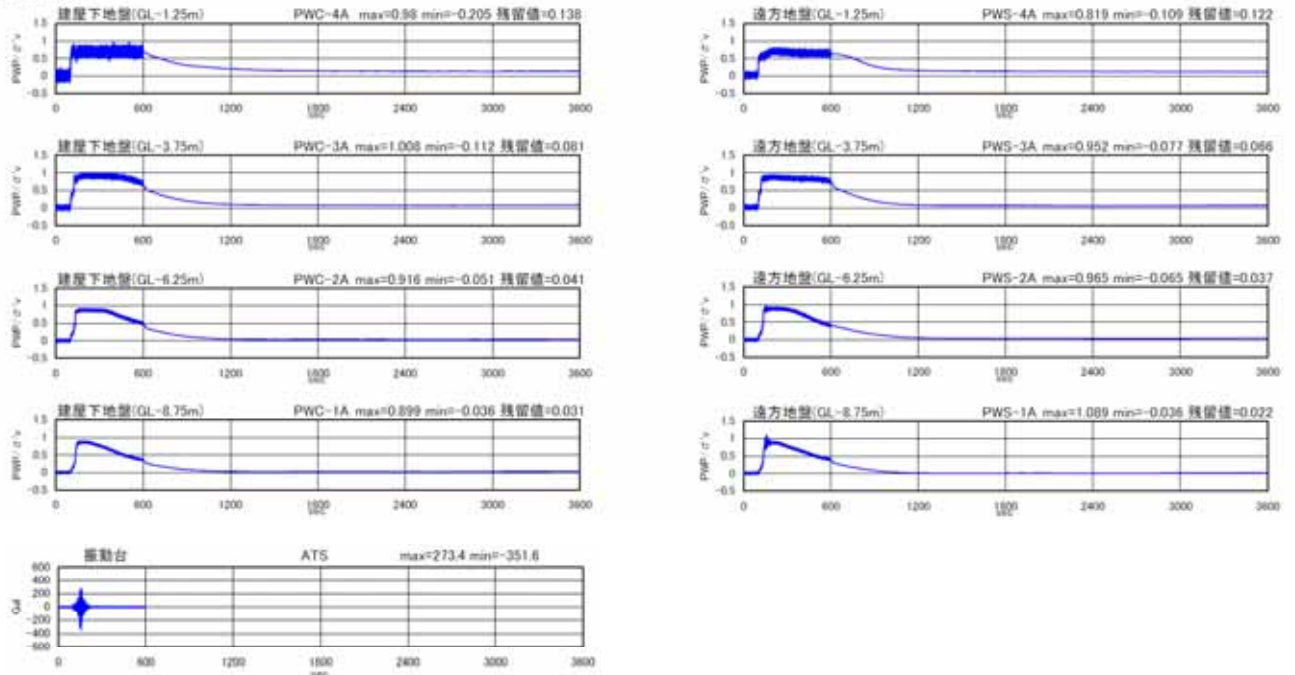


図 4.4.14 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振 2 回目〕

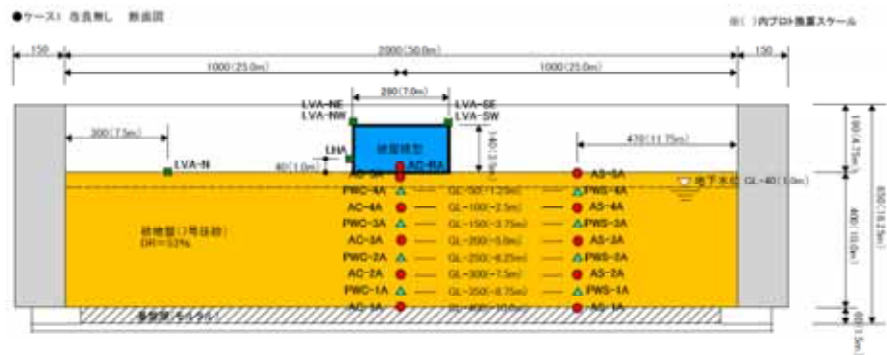
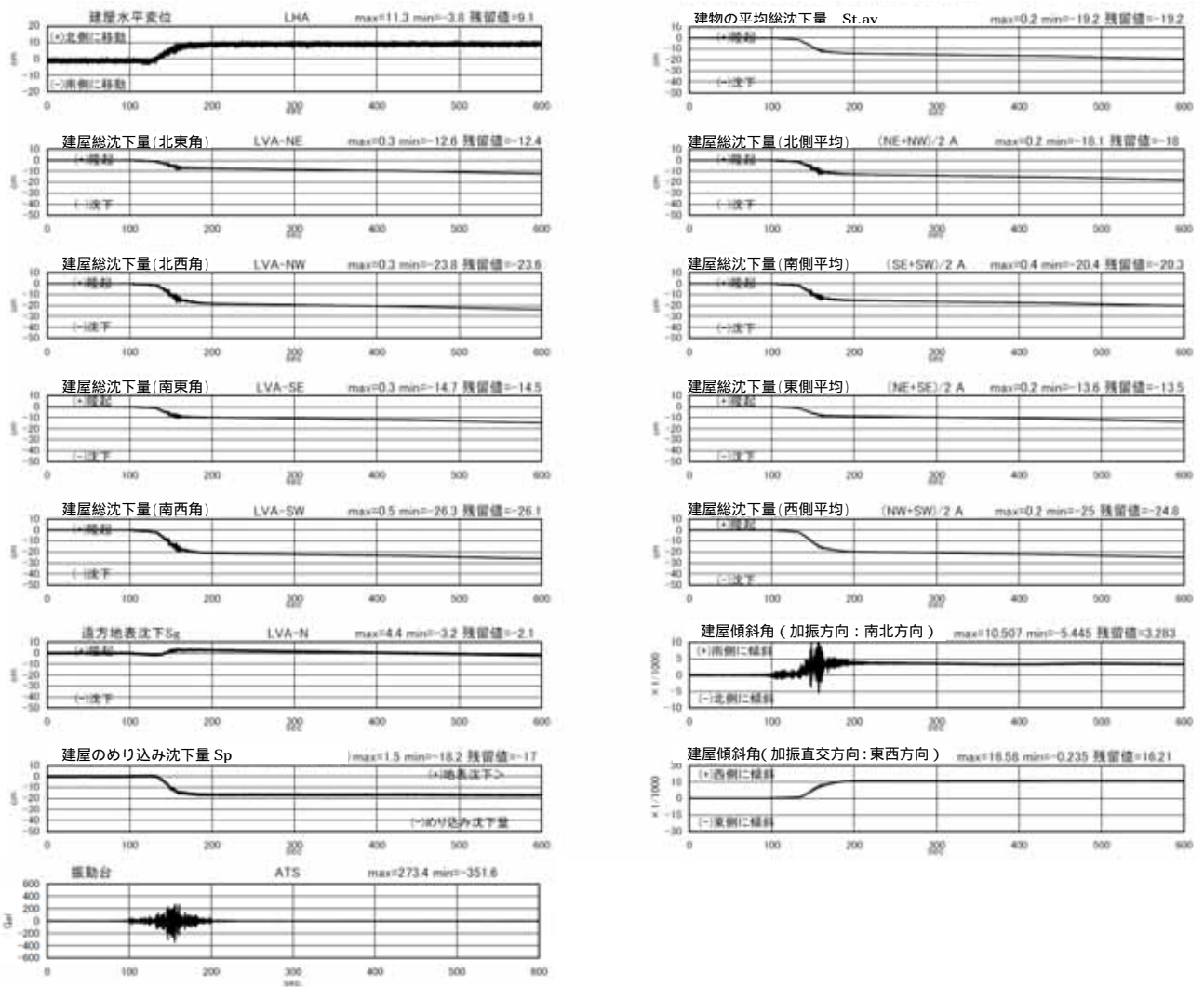


図 4.4.15 変位（沈下）、建屋傾斜角（600s まで）
〔ケース 1 改良無し、加振 2 回目〕

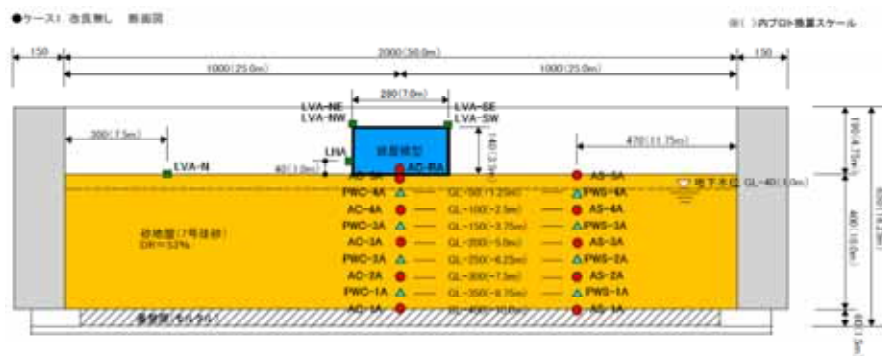
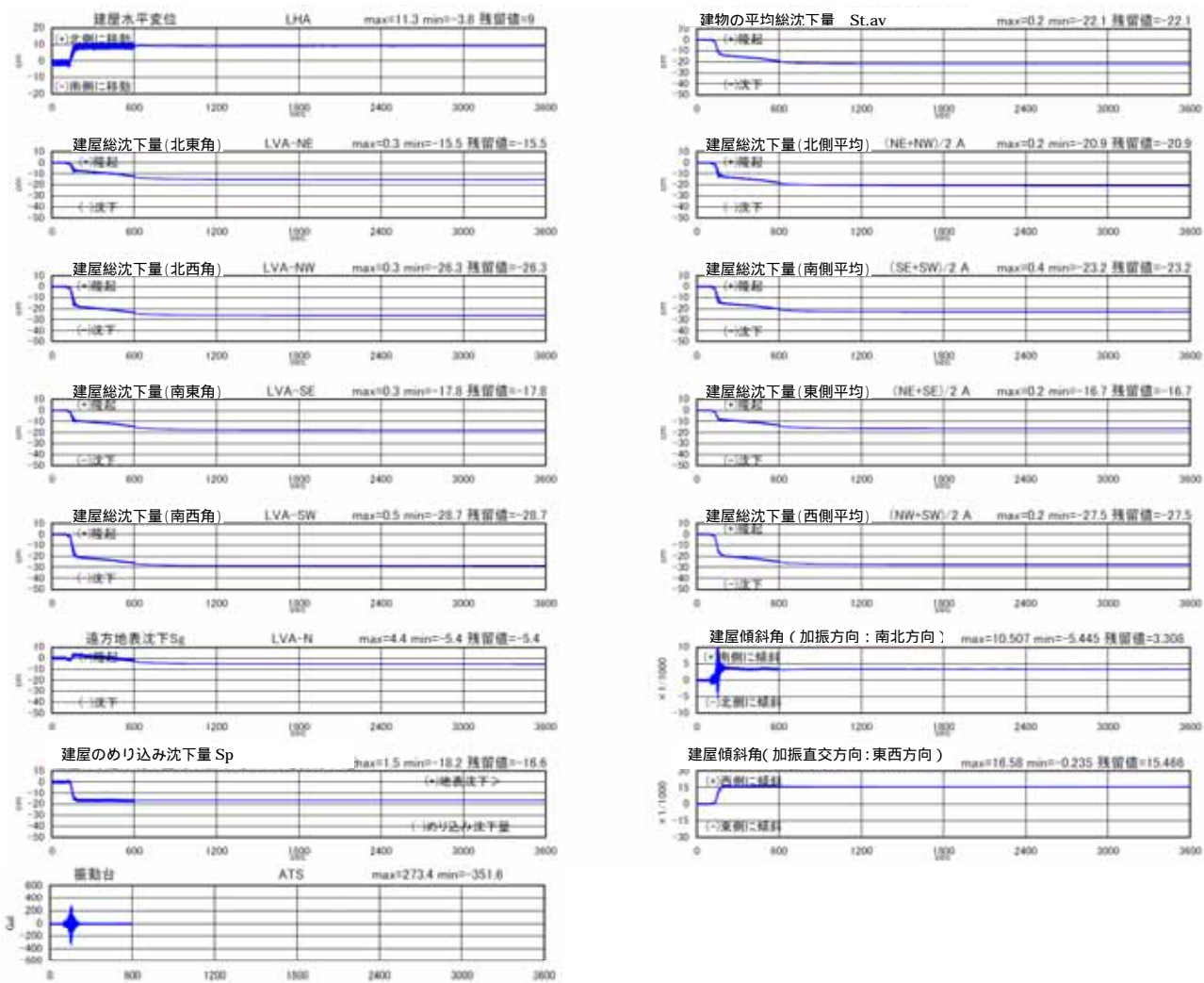


図 4.4.16 変位 (沈下) 建屋傾斜角 (3600s まで)
〔ケース1 改良無し、加振 2 回目〕

地盤変位

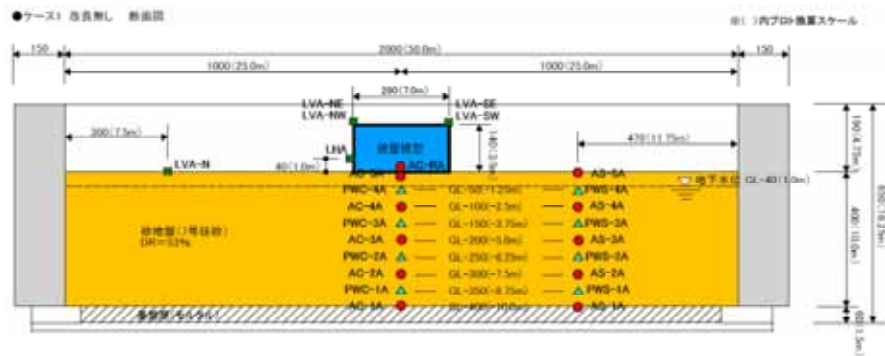
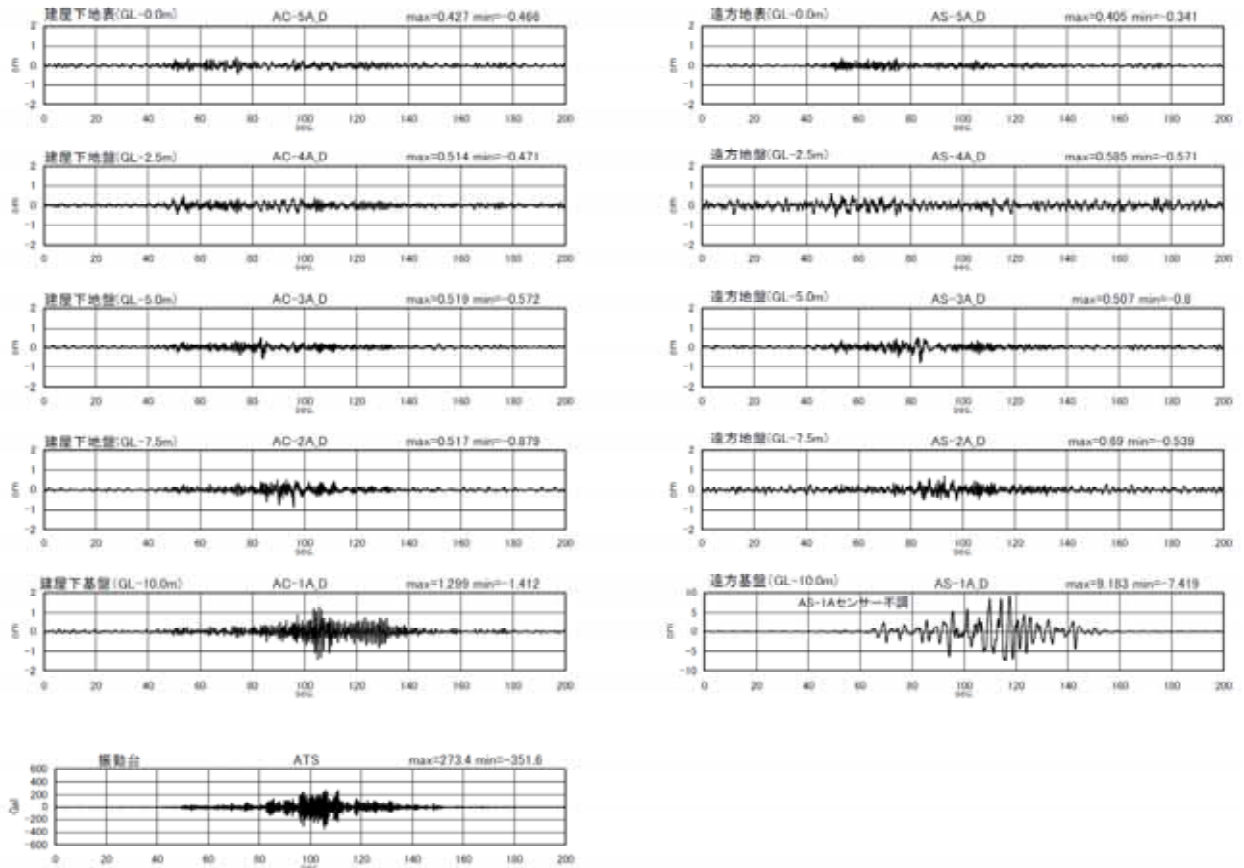


図 4.4.17 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 2 回目〕

地盤せん断ひずみ

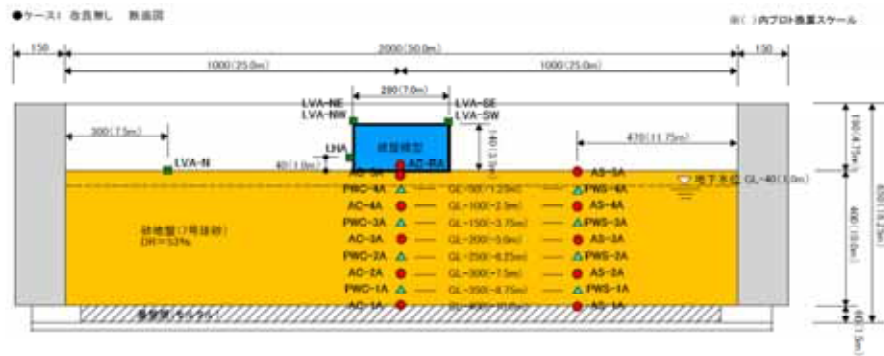
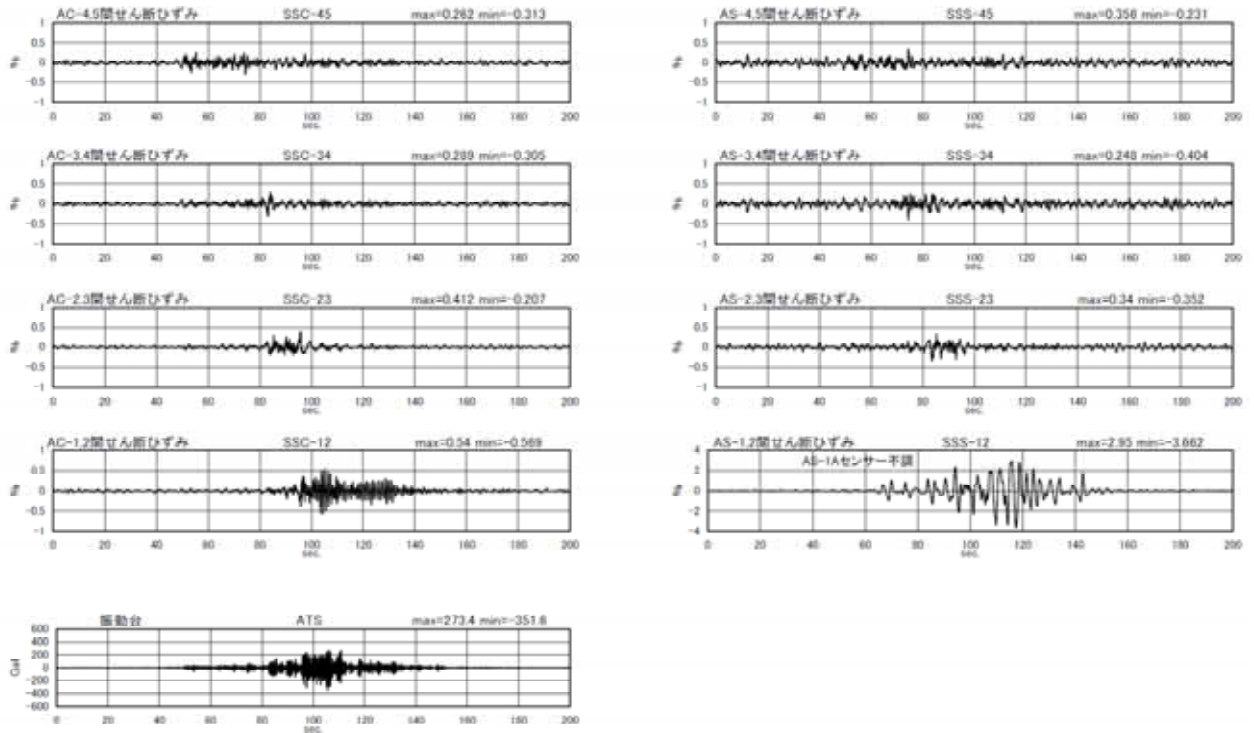


図 4.4.18 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 1 改良無し、加振 2 回目〕

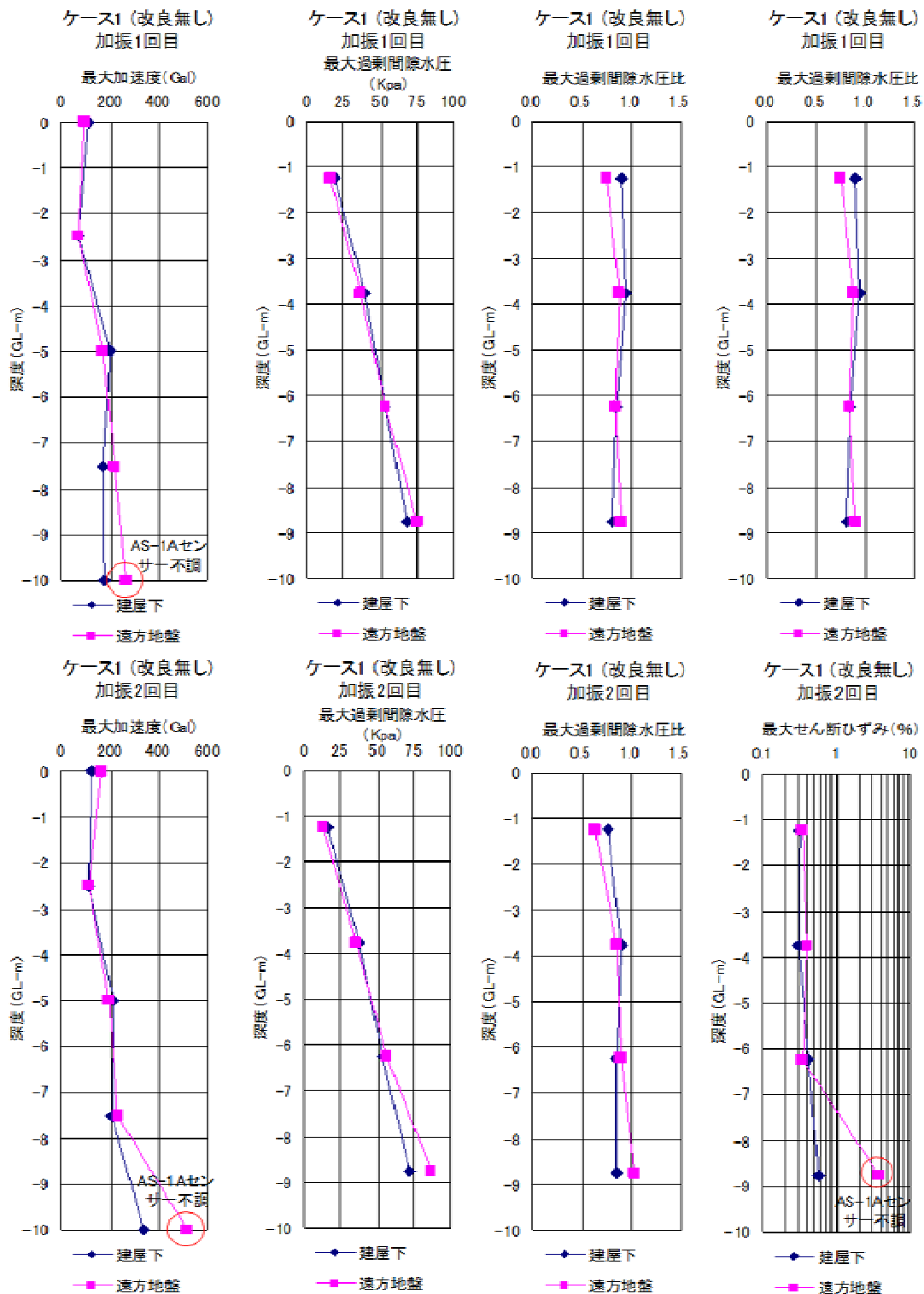


図 4.4.19 最大値震度分布〔ケース1、無改良〕

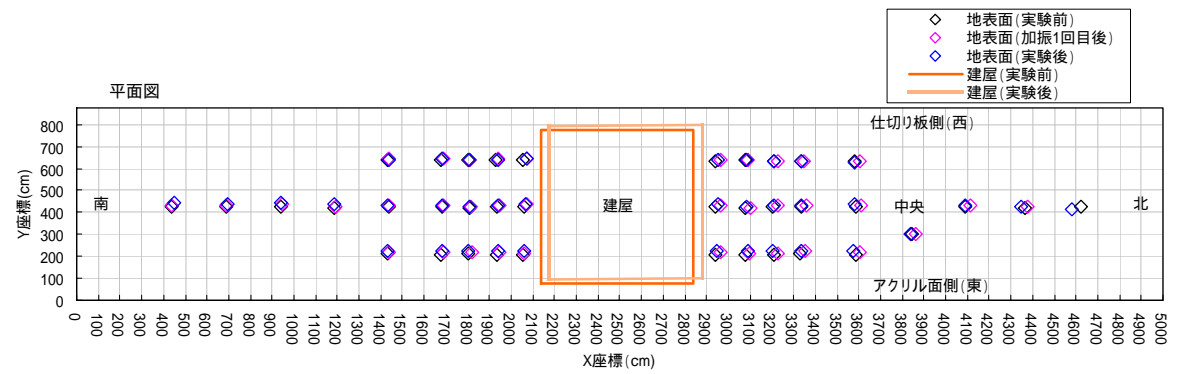
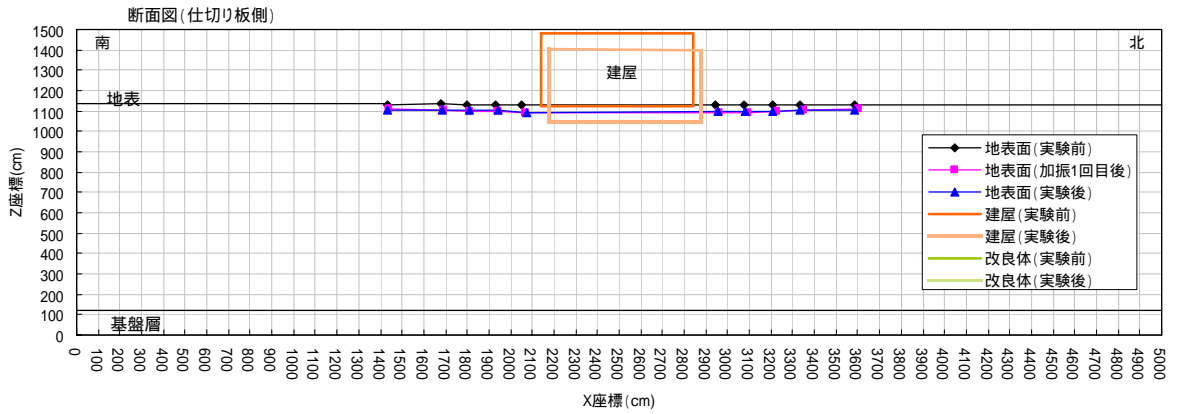
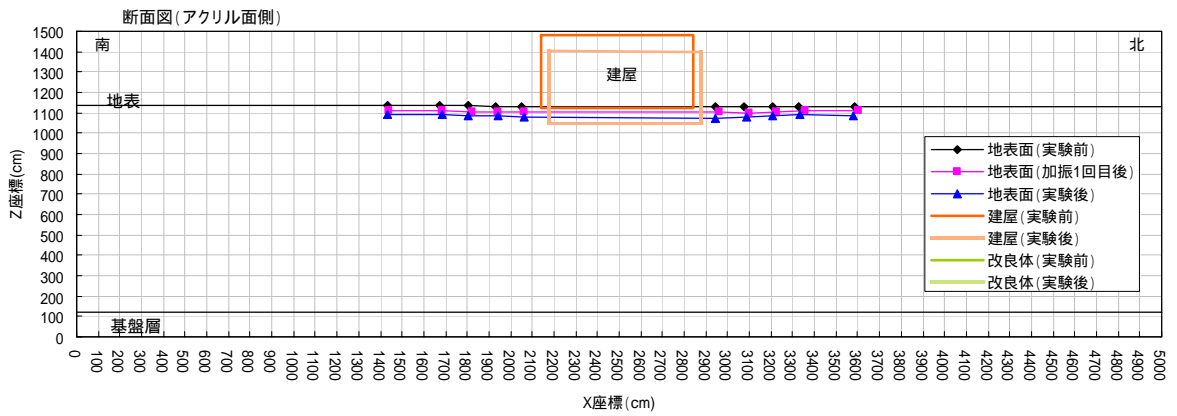
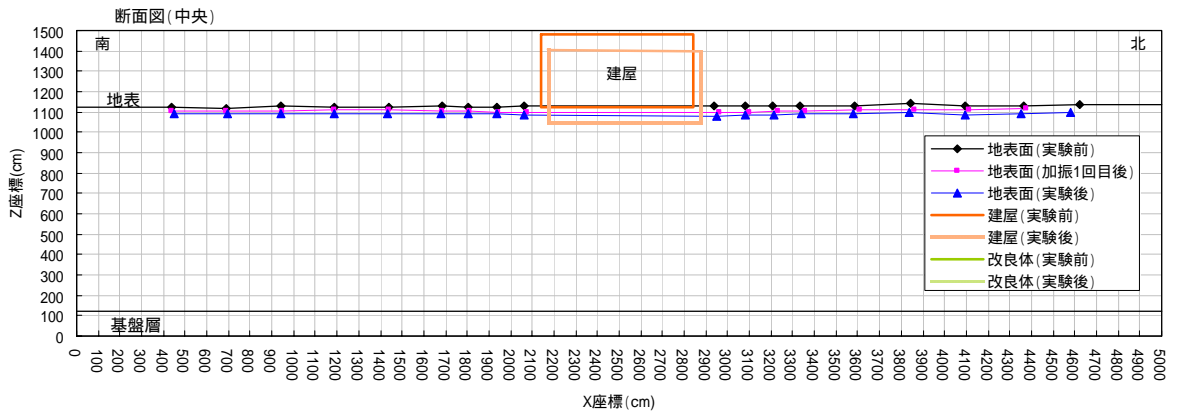


図 4.4.20 残留变形図〔ケース1、無改良〕

4.4.2 ケース2 (改良厚 1.5m)

(1) 1 回目の加振実験 (地震動 1 : 最大加速度 150Gal) の時刻歴

加速度

図 4.4.21 はケース 2 における加振 1 回目の応答加速度の時刻歴を示している。建物 (建屋) 下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-5.0m (AC-3B) と GL-7.5m (AC-2B) の応答加速度は基盤 GL-10.0m (AC-1B) のそれに比べて最大の入力加速度付近まではやや増幅し、加振中の加速度は概ね伝達されているが、最大の入力加速度以降の応答加速度はやや減少しており、加速度の伝達が低下している。一方、GL-2.5m (AC-4B)、GL-0.0m (AC-5B) および建物 (AC-RB) では浅部ほど基盤でのピーク時の加速度が伝達されていない。これはケース 1 と同様に、加振中に地盤が液状化したためであり、遠方地盤 (建物がない場合の地盤に相当すると考える) の応答加速度も、各深度で概ね同様な結果となっている。

過剰間隙水圧

図 4.4.22、図 4.4.24 は過剰間隙水圧の時刻歴を、図 4.4.23、図 4.4.25 は過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。図 4.4.22 と図 4.4.23 から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比はいずれも加振とともに、増加し始め、入力加速度 (ATS) の増加とともに、増加する傾向を示している。過剰間隙水圧比は加速度がピークを過ぎたあたりで、概ね 1.0 程度となり、低下した後再び 1.0 程度まで増加しており、最大の加速度が入力された時点で液状化したと考えられる。過剰間隙水圧はいずれの深度とも概ね同時に増加する傾向を示しており、過剰間隙水圧比が概ね 1.0 に達する時刻もほぼ同時である。なお、過剰間隙水圧比がピークに達した後、減少したのは地下水の地表面への噴出等による影響と考えられる。また、遠方地盤についても深度が同じであれば、概ね同様な過剰間隙水圧の増加傾向を示している。一方、図 4.4.24、図 4.4.25 から、過剰間隙水圧は加振後も概ね 1500 秒付近まで残留しており、加振終了後も地盤はしばらくの間液状化状態にあったと推定される。特に、GL-3.75m (PWC-3B) では 700 秒付近まで過剰間隙水圧比 0.5 以上を示しており、大きな過剰間隙水圧が残留していることが分かる。浅部ほどこの傾向は顕著である。概ね、過剰間隙水圧の消散傾向はケース 1 と同様な結果となっており、改良体の有無による影響は明確には認められない。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図 4.4.26、図 4.4.27 は建物の水平変位、建屋や地表面の総沈下量、遠方地盤の総沈下量 (建物がない場合の地盤の総沈下量) および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴ってやや発生しているものの、最大で 8.5cm、残留時で 5.4cm である。建物の鉛直変位は 4 点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量 (LVB-NE と LVB-NW の平均) が 14.9cm に対して、南側の残留総沈下量 (LVB-SE と LVB-SW) は 11.7cm となっている。したがって、建物総沈下量はケース 1 のその 1/2 ~ 1/3 程度に抑制される

結果となっている。一方、遠方地盤では加振直後に同様に沈下する結果となっており、建物のめり込み沈下量はほとんど発生しておらず、最終的な建物のめり込み沈下量は 1.1cm となっている。厚さ 1.5m 浅層盤状改良することで大幅に建物のめり込み沈下量が改善されたとと言える。

建物の傾斜角は、加振方向(南北方向)については加振直後に振動しながら徐々に増加し、最終的に残留傾斜角は 5.0/1000 となっている。一方、加振直交方向(東西方向)の建物の傾斜角は加振直後に増加し、その後徐々に低下し、残留に至っている。最終的な東西方向の建物の残留傾斜角は 0.7/1000 程度となっている。

図 4.4.27 から、建物の沈下は加振終了後、すぐに残留状態に達しており、ケース 1 にみられる加振後の継続的な沈下は見られない。これらのことから、厚さ 1.5m 浅層地盤改良を実施した場合、図 4.4.24 に示すように過剰間隙水圧は残留するものの、それと整合する継続的な沈下は発生しないと推定される。

地盤変位(水平変位)

図 4.4.28 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、建屋下基礎(GL-10m)(AC-1B_D)を除くといずれの深度においても加振直後より地盤変位を生じているが、加速度が大きくなると地盤変位は小さく、建物の変位振幅がほとんど発生しておらず、液状化による影響が認められる。

せん断ひずみ

図 4.4.29 に図 4.4.28 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図から、各深度のせん断ひずみは加振の初期より発生し、加速度の増加とともにやや大きくなる傾向が見られるものの、加速度が最大となる付近ではむしろせん断ひずみが小さくなっている。また、せん断ひずみの時刻歴の周期は浅い位置ほど大きくなる傾向を示しており、液状化に伴う地盤のせん断剛性の低下が認められる。せん断ひずみの最大値に顕著な傾向は認められない。せん断ひずみの最大値は GL-10.0m ~ GL-7.5m 間で最大 0.405% となっている。

(2) 2 回目の加振実験(地震動 2 : 最大加速度 350Gal)の時刻歴

加速度

図 4.4.30 は応答加速度の時刻歴を示している。建物(建屋)下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-7.5m(AC-2B)の応答加速度は基盤 GL-10.0m(AC-1B)のそれに比べてやや減衰しているものの、基盤の加速度が概ね伝達されている。しかし、GL-5.0m(AC-3B)、GL-2.5m(AC-4B)、GL-0.0m(AC-5B)および建物(AC-RB)では 1 回目の加振と同様に地表面に近づくほど伝達される加速度は減少している。また、各深度の伝達される加速度の割合は 1 回目の加振時に比べて小さくなっており、1 回目に比べて 2 回目の加振時の方が液状化の発生する時期が早く、液状化の程度が顕著であったと推察される。遠方地盤(建物がない場合の地盤に相当すると考える)の応答加速度も、各深度で概ね同様な結果となっている。

過剰間隙水圧

図 4.4.31、図 4.4.33 は過剰間隙水圧の時刻歴を、図 4.4.32、図 4.4.34 は過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。図 4.4.31 と図 4.4.32 から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比はいずれも加振とともに、増加し始め、振動台からの入力加速度（ATS）の増加とともに、大きくなっている。特に、振動台（ATS）の加速度が 100gal を超えた付近から、過剰間隙水圧が急激に増加する傾向が認められる。過剰間隙水圧比は、振動台の加速度がピークを達する前に、概ね 1.0 程度となっており、液状化していることが分かる。また、地盤の浅い位置ほど過剰間隙水圧比が 1.0 に達する時期がやや早くなっており、1 回目の加振時とは異なる結果となっている。なお、いずれの深度においても過剰間隙水圧が上下に変動する部分が見られるが、これは地表面に地下水が噴出したため、一時的に過剰間隙水圧が低下したものと推察される。一方、図 4.4.33、図 4.4.34 から、過剰間隙水圧は加振後も概ね 1200 秒後まで残留している。特に、GL-3.75m（PWC-3B）では 600 秒付近まで過剰間隙水圧比 0.5 以上を示しており、大きな過剰間隙水圧が残留していることが分かる。浅部ほどこの傾向は顕著である。ケース 1 と比較すると、過剰間隙水圧の消散傾向は概ね同様な結果となっており、改良体の有無による影響は明確には認められない。なお、残留間隙水圧は、1 回目の加振時に比べて残留する時間は短くなっている。これはケース 1 で述べたように、2 回目の加振では加振開始時刻からの液状化に達するまでの時刻が早いこと、1 回目の加振実験に引き続き 2 回目の加振実験を実施したことにより、地盤が乱れていたこと、および地表面までの水みちが形成されているなどにより過剰間隙水圧の消散が早くなったものと推察される。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図 4.4.35、図 4.4.36 は建物の水平変位、建屋や地表面の総沈下量、遠方地盤の総沈下量（建物がない場合の地盤の総沈下量）および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、建物の平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴って生じており、最大で 12.4cm、残留時で 9.4cm となっている。建物の鉛直変位は 4 点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量（LVB-NE と LVB-NW の平均）が 14.8cm に対して、南側の残留総沈下量（LVB-SNE と LVB-SW の平均）は 19.3cm となっている。北側の残留総沈下量は 1 回目の加振時の沈下量とほぼ同程度で南側の残留総沈下量は 1 回目の加振時より大きくなっている。一方、遠方地盤では加振直後に同様に沈下する結果となっており、建物のめり込み沈下量はほとんど発生しておらず、最終的な建物のめり込み沈下量は 2.2cm となっている。厚さ 1.5m 浅層盤状改良することで大幅に建物のめり込み沈下量が改善されたと言える。

建物の傾斜角は、南北方向については加振中に大きく変動しており、最終的な傾斜角は 6.3/1000 となっている。一方、東西方向の建物の傾斜角は加振とともに漸増し、最終的な傾斜角は 0.65/1000 となっている。建物の最大傾斜角は 1 回目の加振実験に比べて大きくなっている。

図 4.4.36 から、建物の沈下は加振終了後、すぐに残留状態に達しており、ケース 1 にみ

られる加振後の継続的な沈下増分は見られない。これらのことから、浅層地盤改良を実施した場合、図 4.4.24 に示すように過剰間隙水圧は残留するものの、それと整合する継続的な沈下は発生しないと推定される。

地盤変位（水平変位）

図 4.4.37 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、いずれも振動台の加速度(ATS)の大きさに関わらず、地盤変位は建屋下基礎(GL-10m)(AC-1B_D)を除くと、概ね様な振幅で変動している。このことから、地盤は加振初期から液状化し、液状化の影響により、加振中に建物および地盤に変位振幅が小さくなったと考えられる。

せん断ひずみ

図 4.4.38 に図 4.4.37 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図からも、GL-10.0m～GL-7.5mにおいて最大のせん断ひずみ 1.45%が発生しているが、加振中に液状化が発生したため、地表面に近づくほど、せん断ひずみのピークの発生時期が早くなっており、加速度が最大となる付近ではむしろせん断ひずみが小さくなっている。2 回目の加振実験の最大入力加速度は 1 回目のその 2 倍以上となっているにもかかわらず、せん断ひずみは GL-7.5m(SSC-12)以深で大きくなっているものの、GL-7.5m 以浅での最大せん断ひずみは 0.258%であり、1 回目の加振実験時のそれに比べて小さくなっている。

(2) 分布

最大加速度分布、最大過剰間隙水圧（比）分布、最大せん断ひずみ分布

図 4.4.39 は 1 回目および 2 回目の加振時における最大加速度、最大過剰間隙水圧、最大過剰間隙水圧比および最大せん断ひずみの深度方向の分布図を示している。

これらの結果から、最大加速度は 1 回目および 2 回目の加振時とも、地表面ほど小さくなっており、地盤の液状化によって加速度が伝達しなくなっていることが分かる。この傾向は、1 回目の加振時に比べ、2 回目の加振時の方が顕著となっている。

最大過剰間隙水圧は 1 回目、2 回目とも深くなるほど線形的に大きくなっており、最大過剰間隙水圧比は 0.6～1.0 で分布している。したがって、地盤はいずれの実験においても基盤から地表面まで液状化したと推察される。一方、2 回目の遠方地盤での最大過剰間隙水圧比はやや地表面付近で小さく、深部で大きくなる傾向が認められるが、これは 2 回目の加振では深部が早めに液状化したため、浅部に加速度が伝達されず間隙水圧の増加が小さくなったものと推察される。改良体の直下では過剰間隙水圧比が 0.9～1.0 となっており、深度方向にほぼ一様に液状化していると判断される。

最大せん断ひずみは、1 回目の加振時における建物直下および遠方地盤とも概ね深度方向に一様な分布を示しているのに対して、2 回目の加振時における建物直下および遠方地盤とも深度方向にやや大きくなる傾向が見られる。

残留変形

図 4.4.40 に 1 回目および 2 回目の加振終了後に計測した地表面と建物の総沈下量の分布を示す。建物はいずれの断面とも、北側にやや移動し、沈下している。建物の総沈下は周辺地盤の総沈下に比べて大きくなっており、めり込み沈下を生じていることが分かる。なお、改良体の総沈下量は建物の総沈下量に比べて小さくなっており、建物のめり込み沈下は改良体との間に存在する地盤の圧縮によって発生していることが分かる。

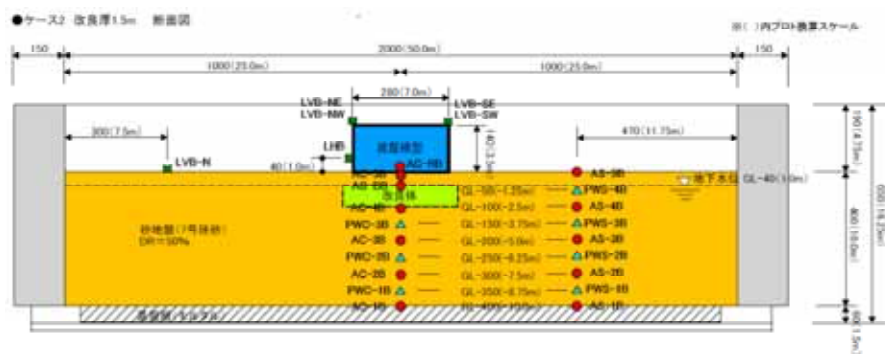
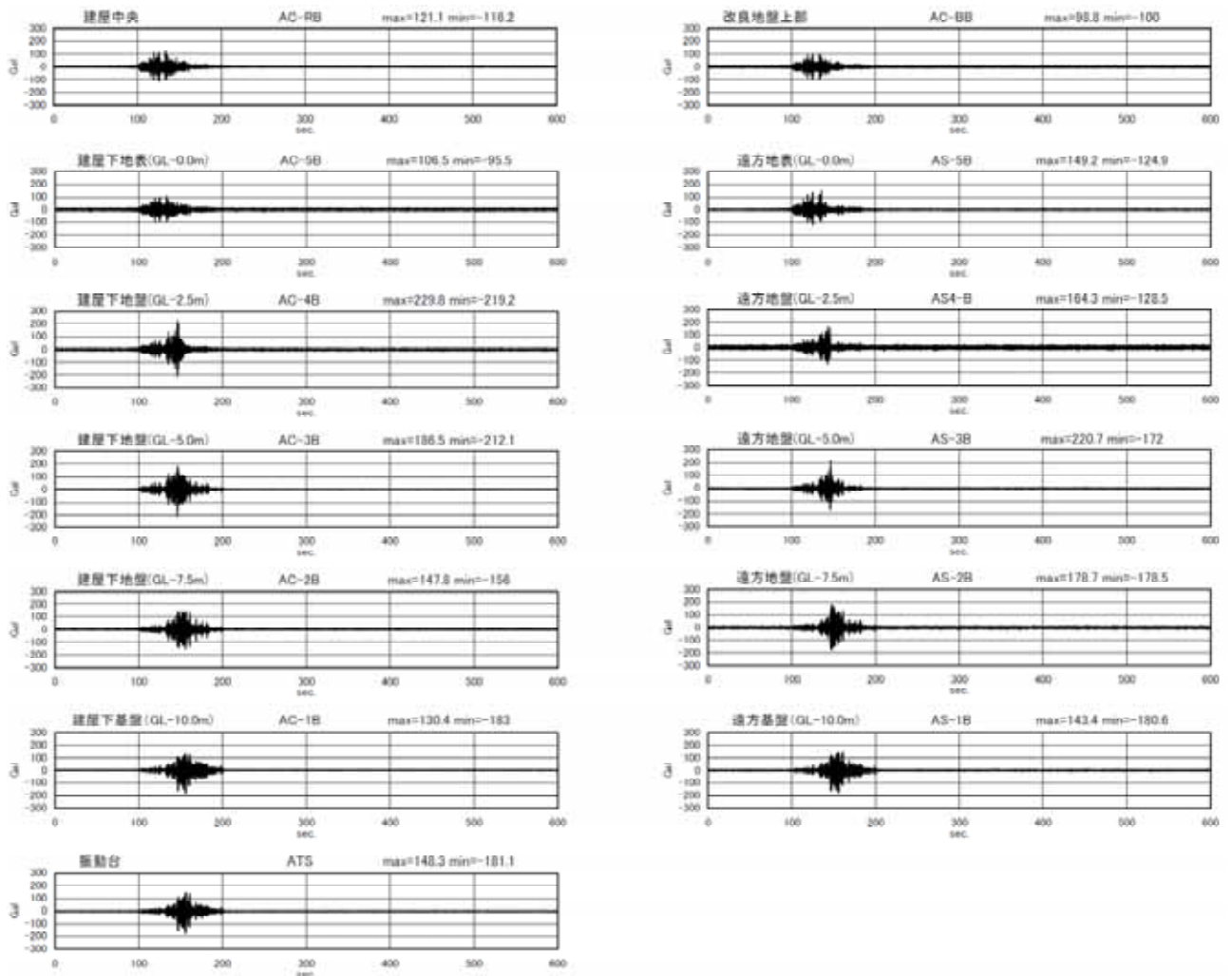
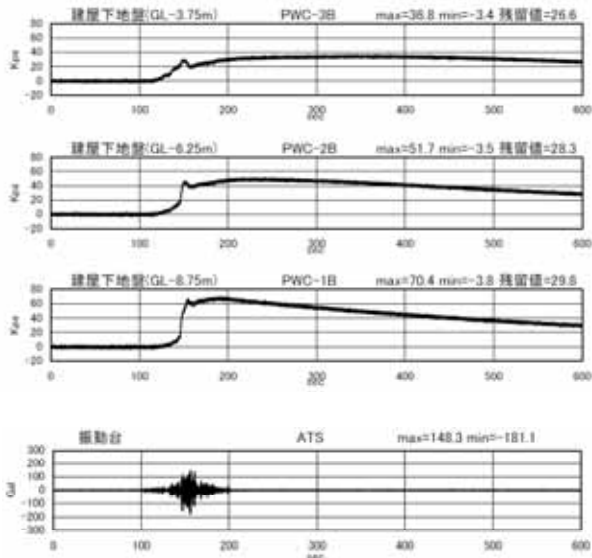


図 4.4.21 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

過剰間隙水圧



過剰間隙水圧

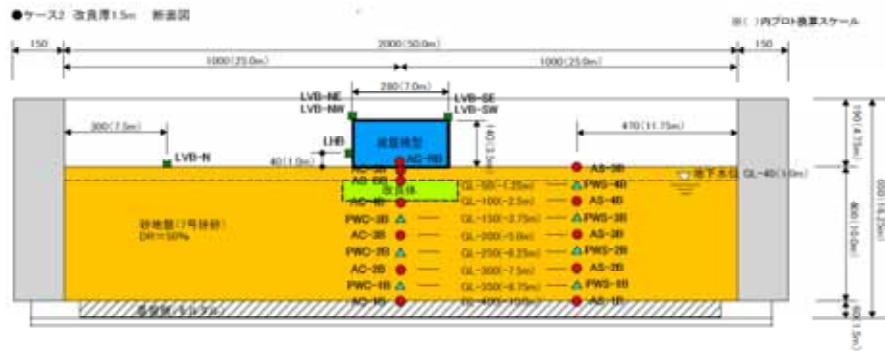
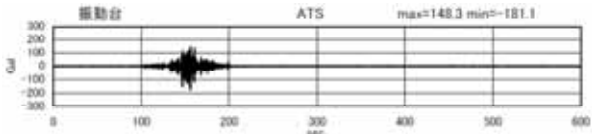
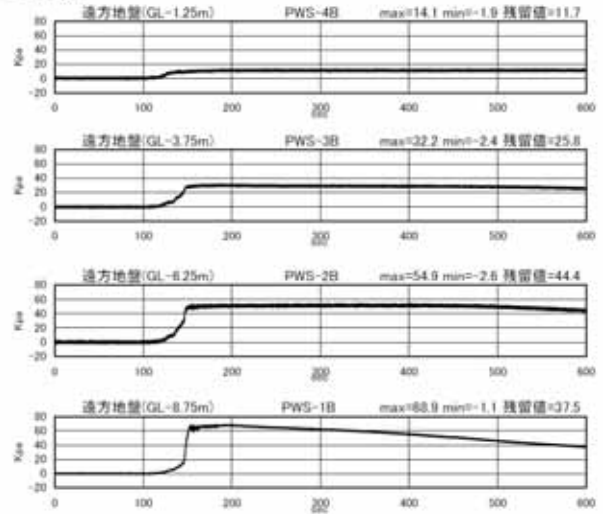
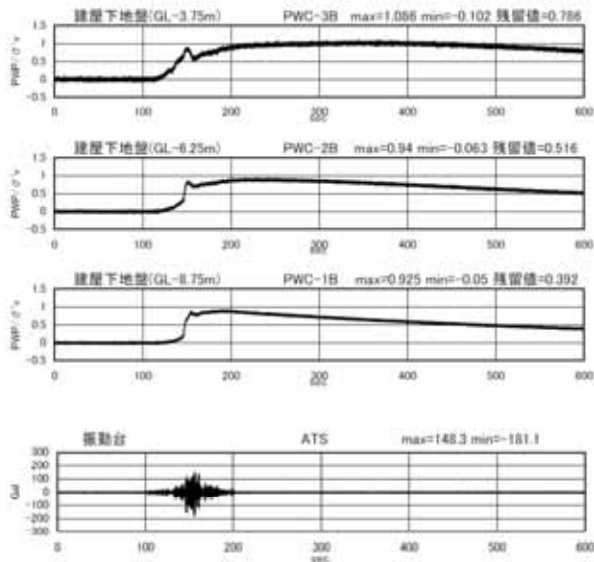


図 4.4.22 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

過剰間隙水圧比



過剰間隙水圧比

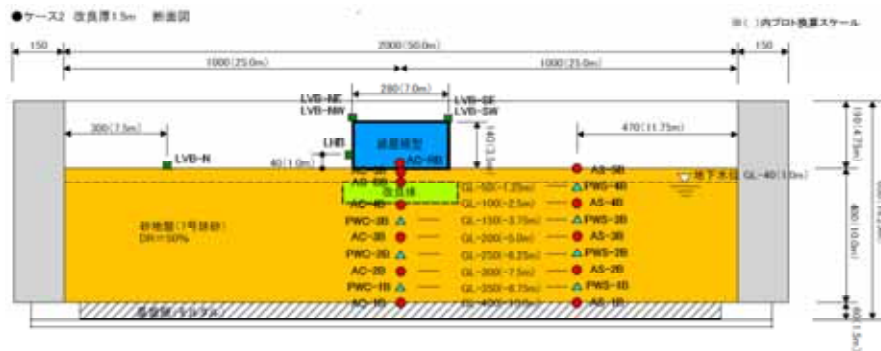
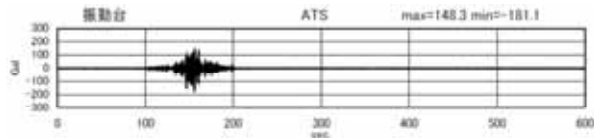
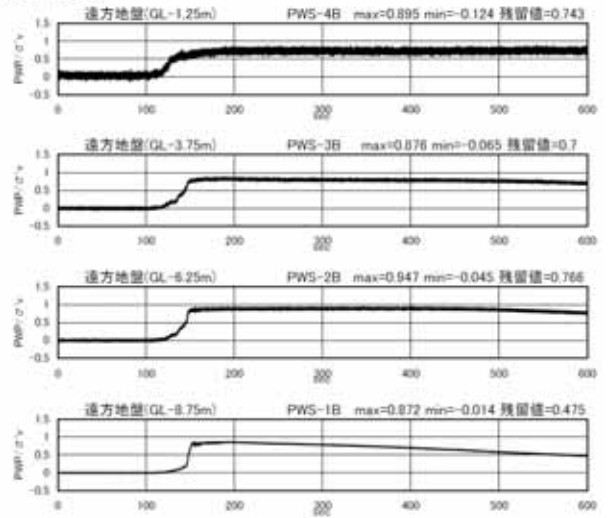
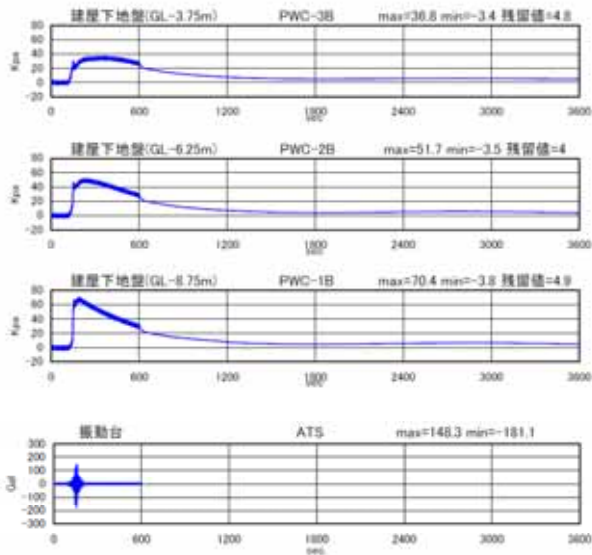


図 4.4.23 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

過剰間隙水圧



過剰間隙水圧

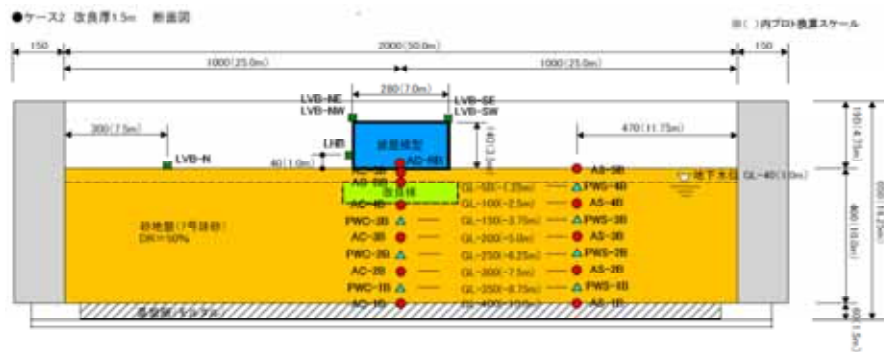
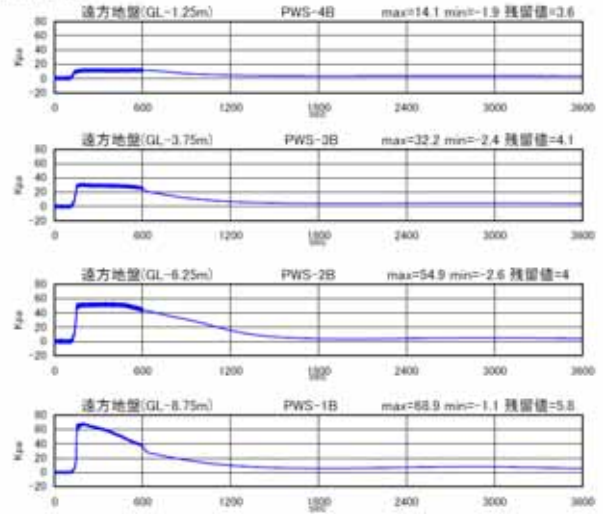
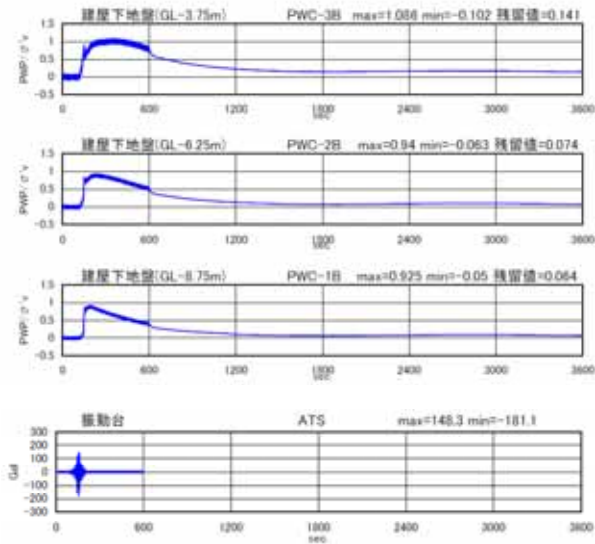


図 4.4.24 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

過剰間隙水圧比



過剰間隙水圧比

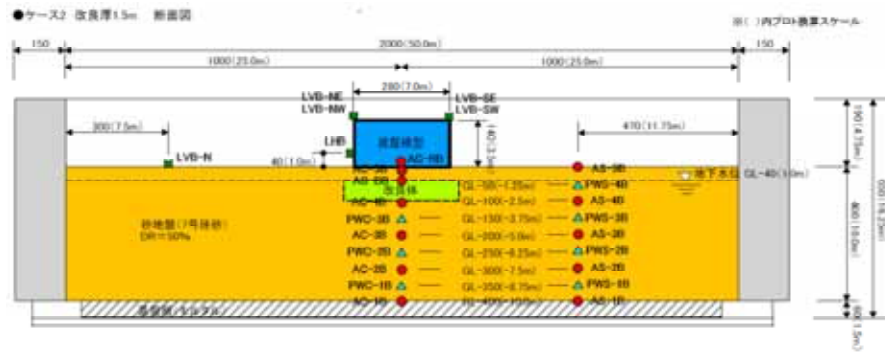
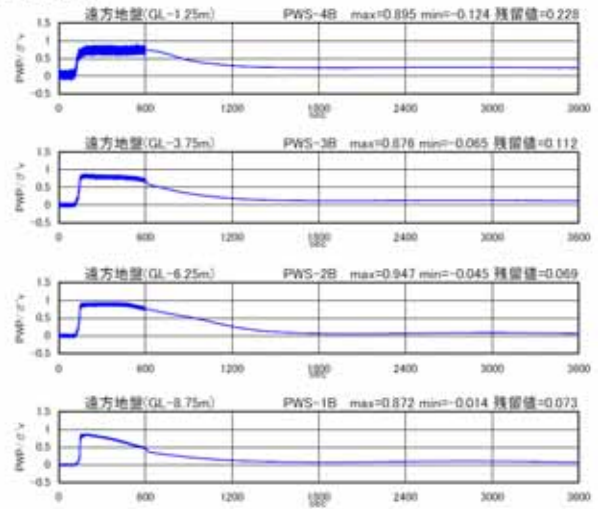


図 4.4.25 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
 [ケース 2 改良厚 1.5m、加振 1 回目]

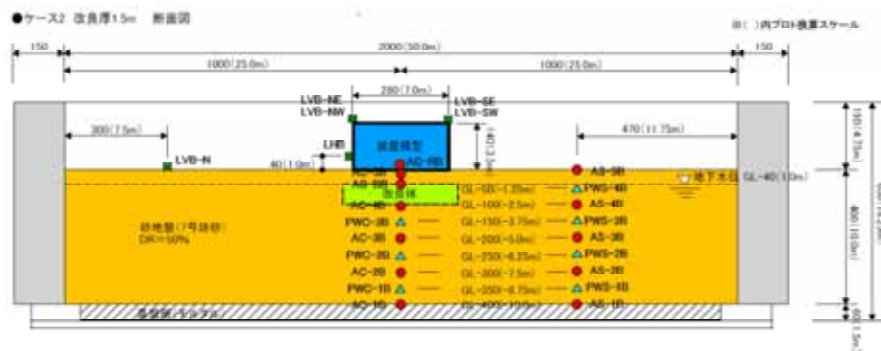
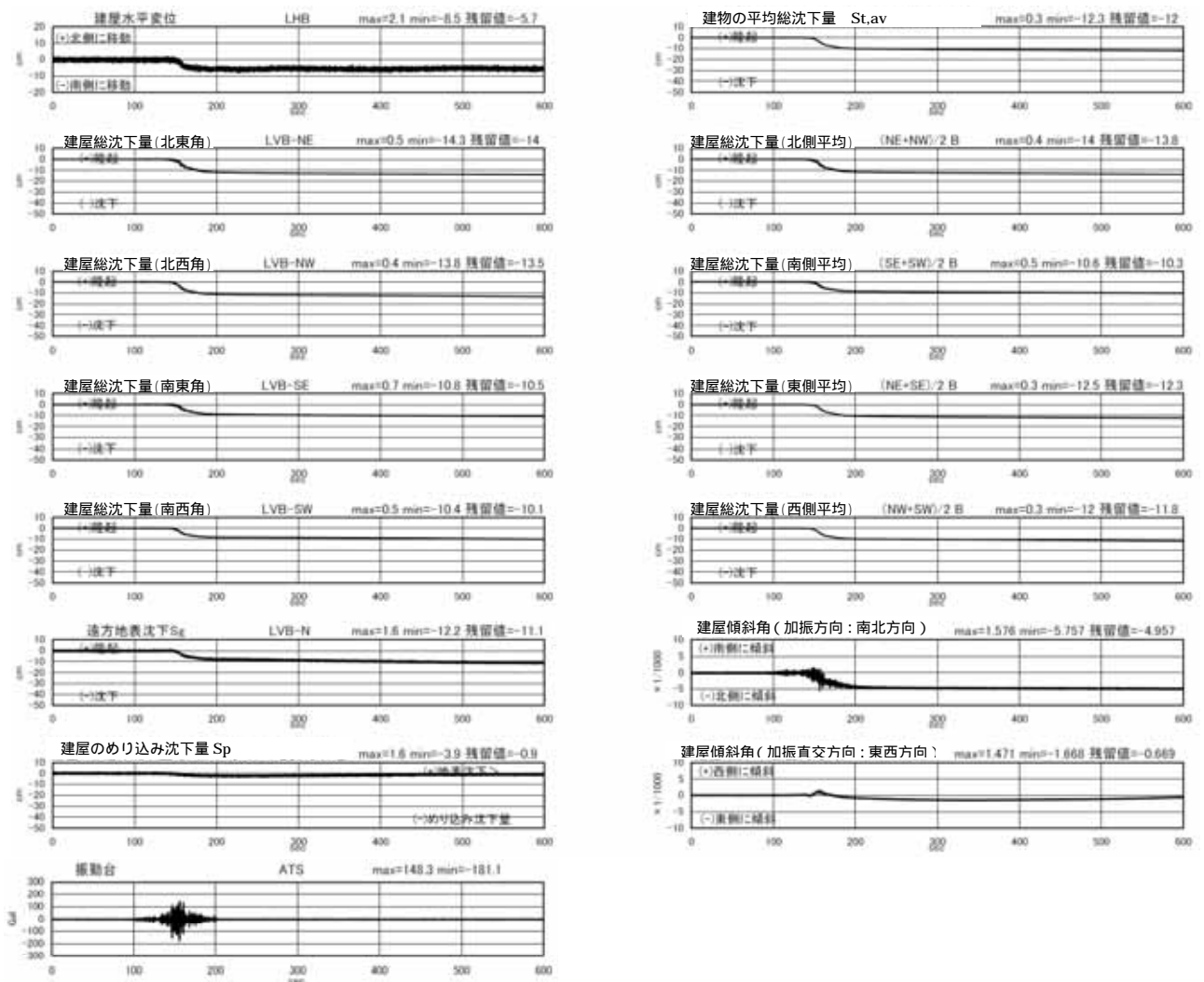


図 4.4.26 変位（沈下）建屋傾斜角（600s まで）
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

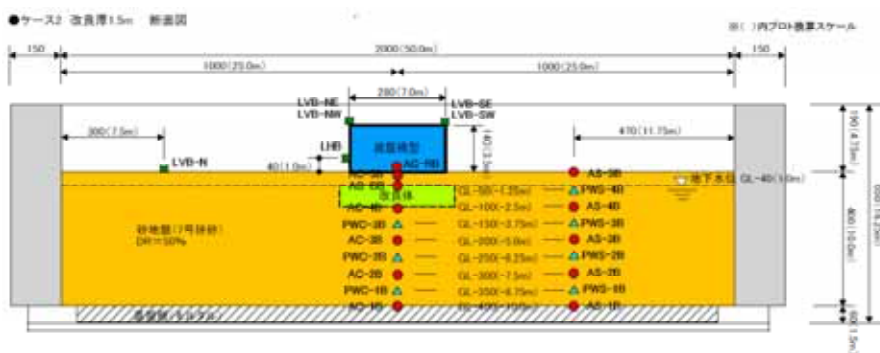
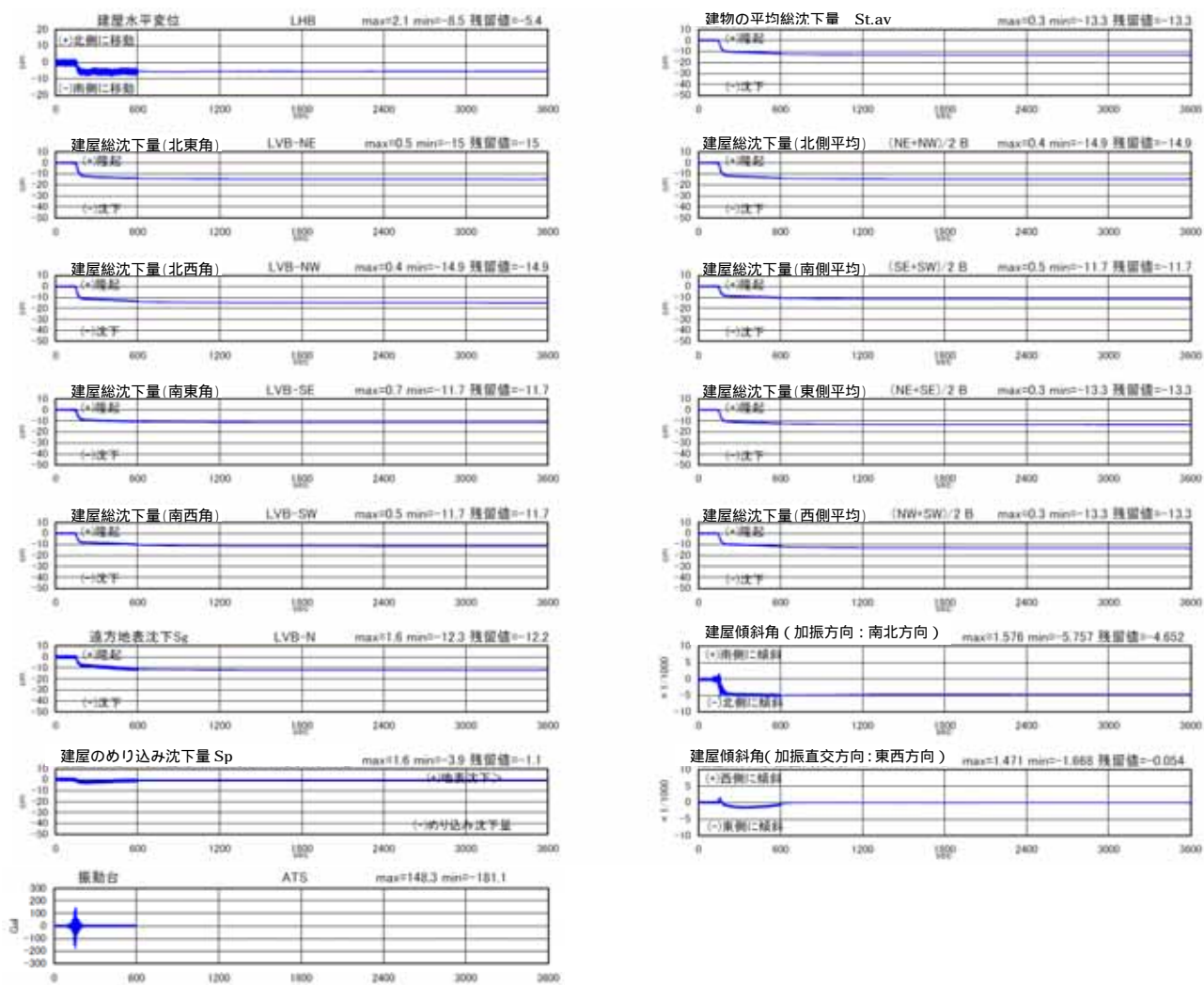


図 4.4.27 変位 (沈下) 建屋傾斜角 (3600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

地盤変位

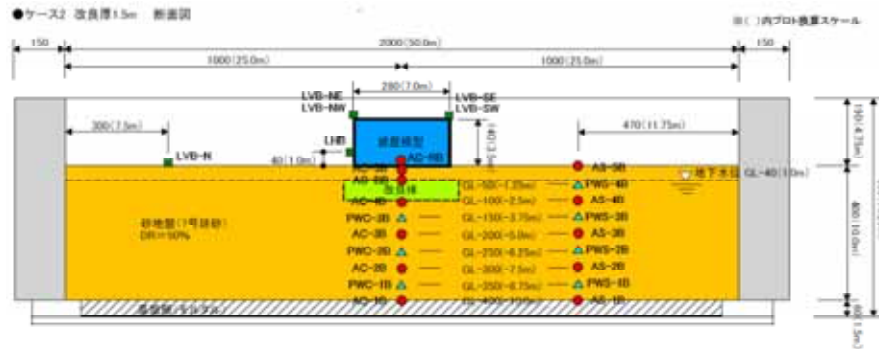
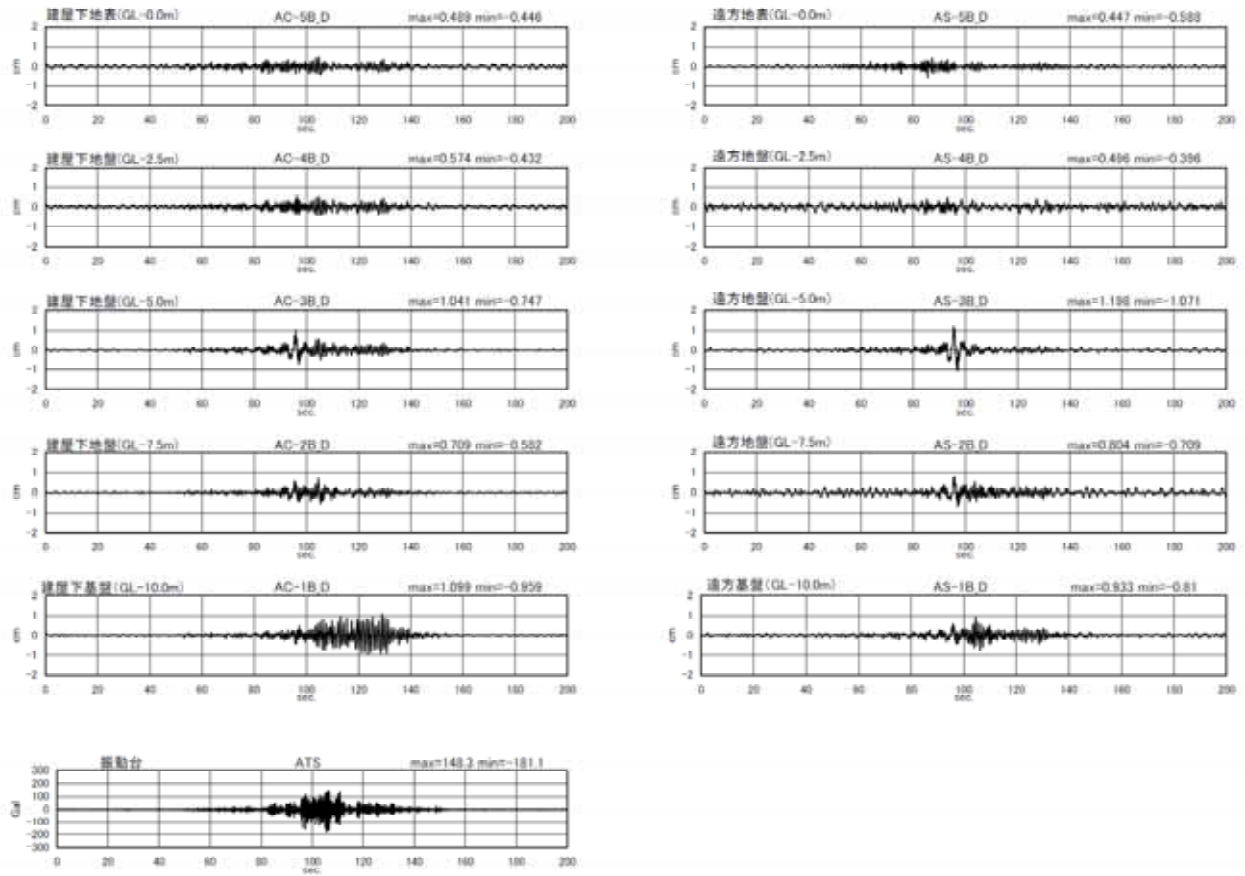


図 4.4.28 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

地盤せん断ひずみ

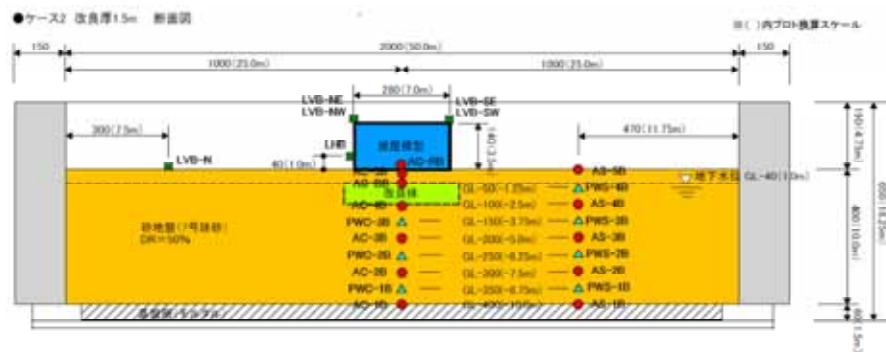
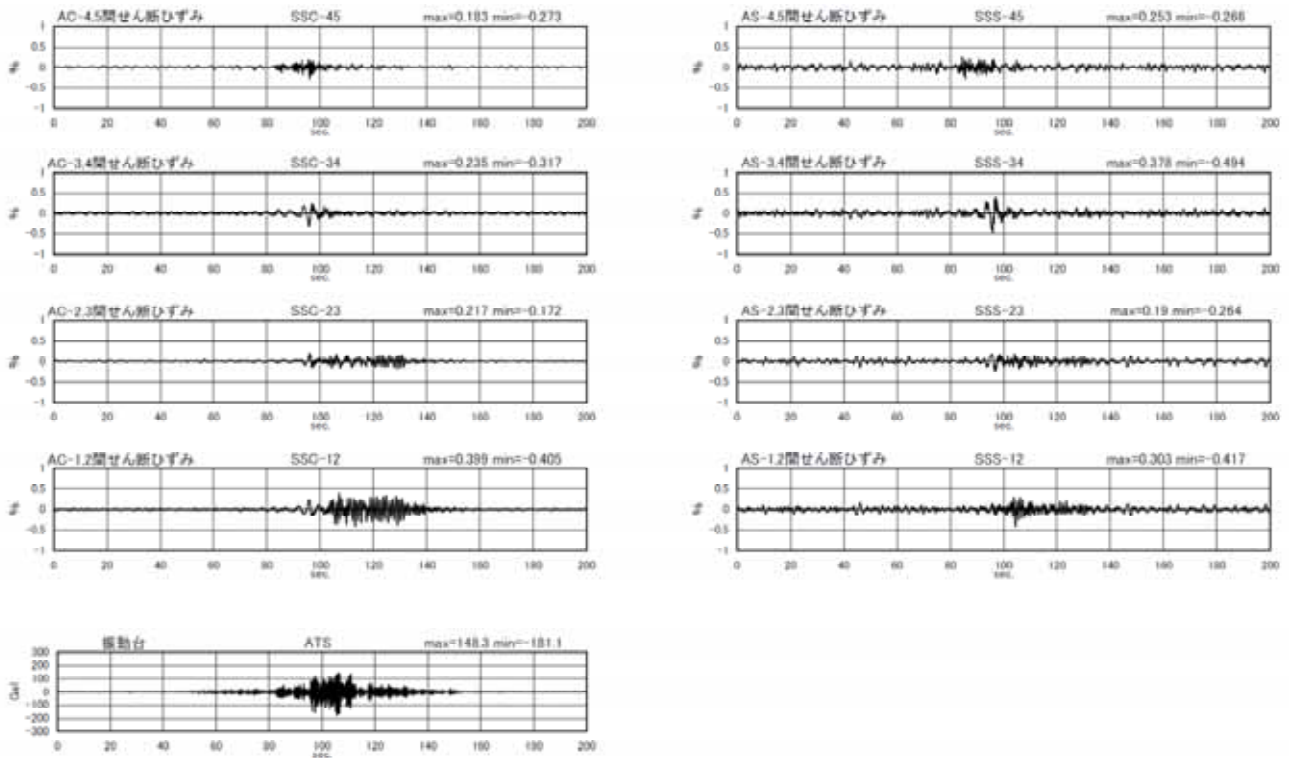


図 4.4.29 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 1 回目〕

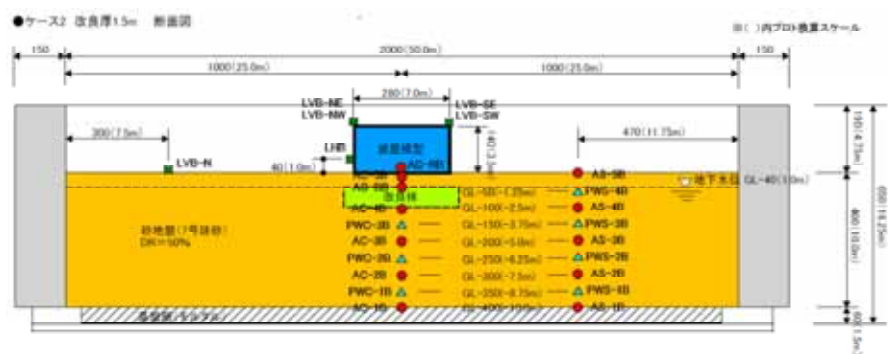
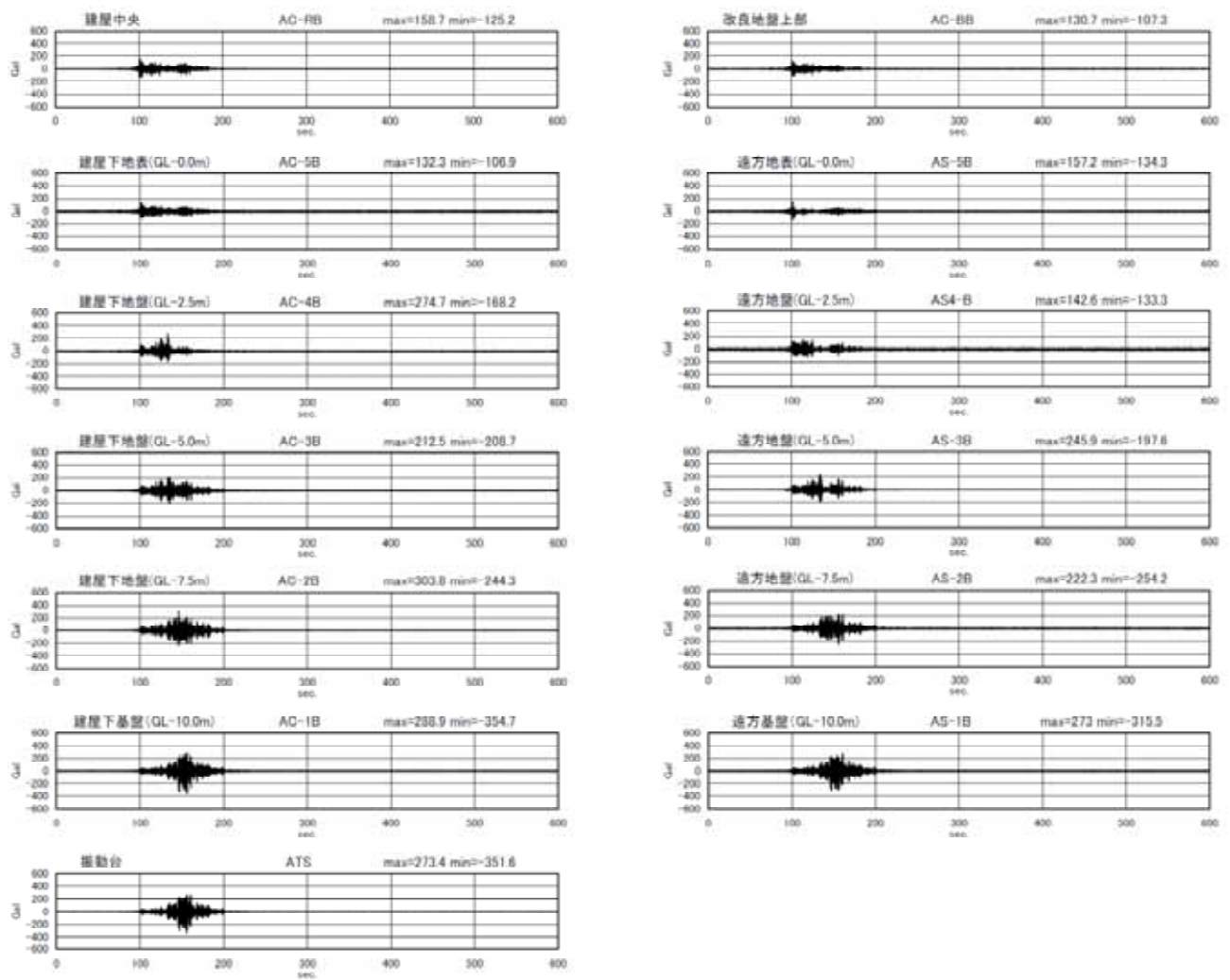
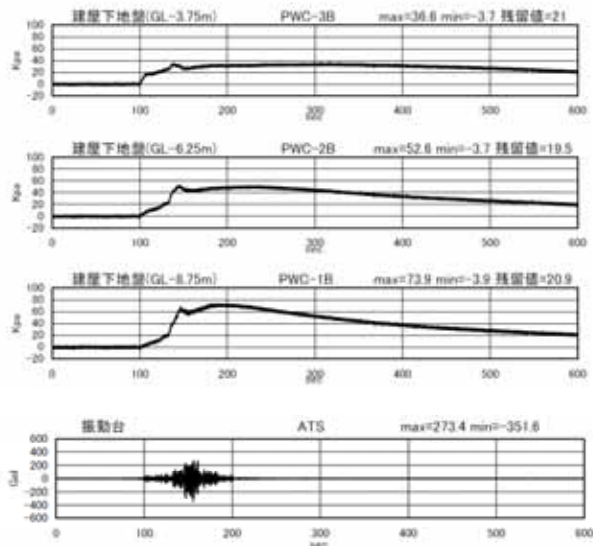


図 4.4.30 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧



過剰間隙水圧

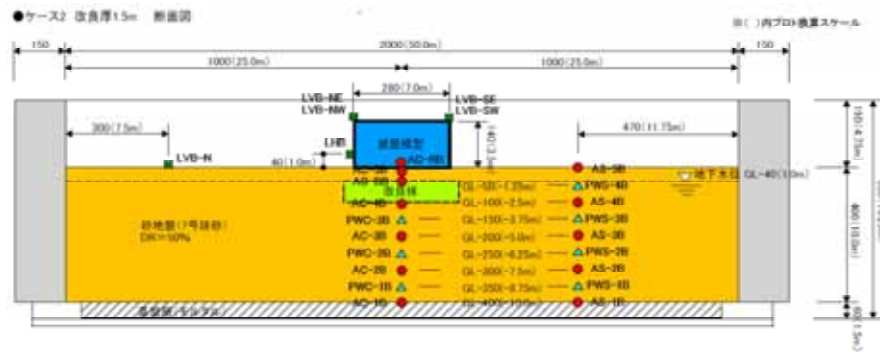
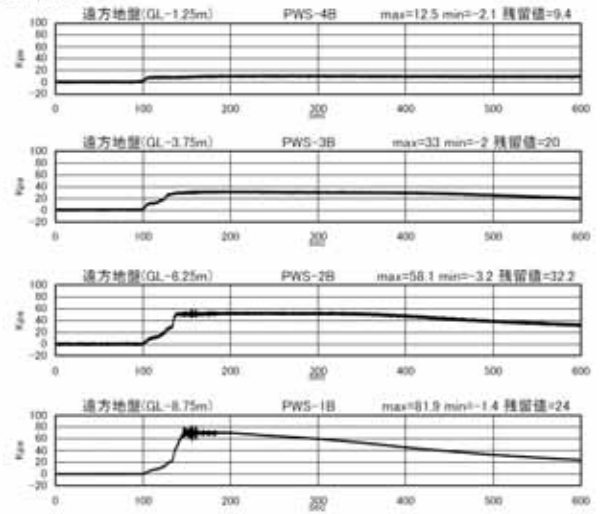
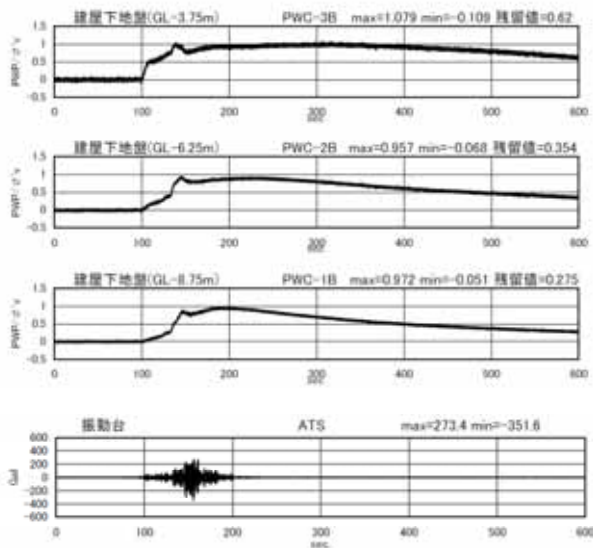


図 4.4.31 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧比



過剰間隙水圧比

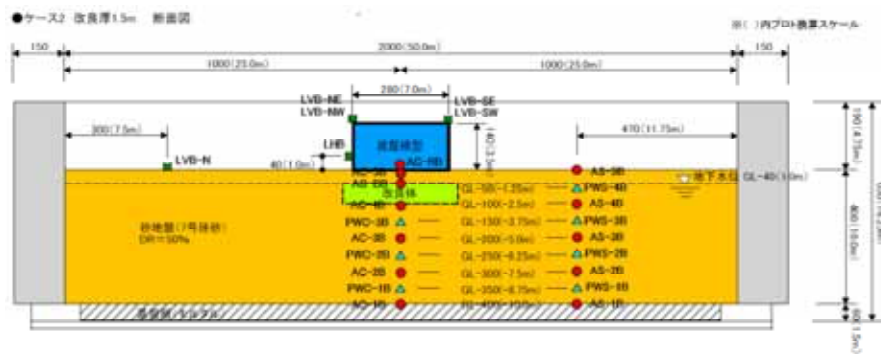
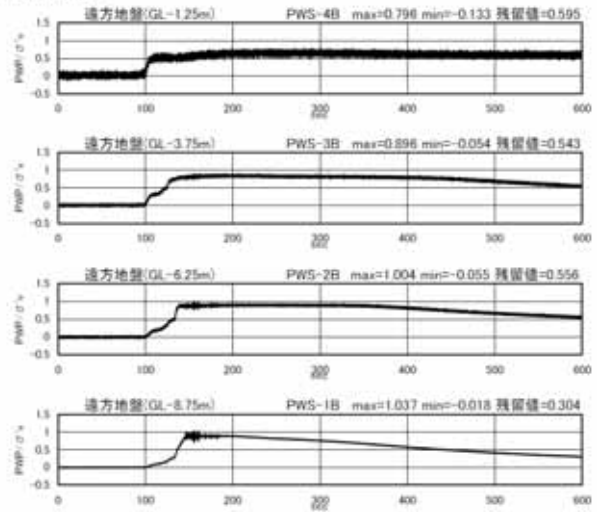
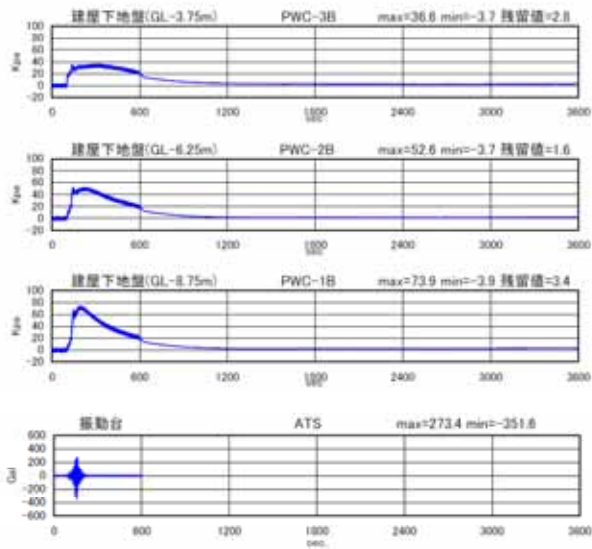


図 4.4.32 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧



過剰間隙水圧

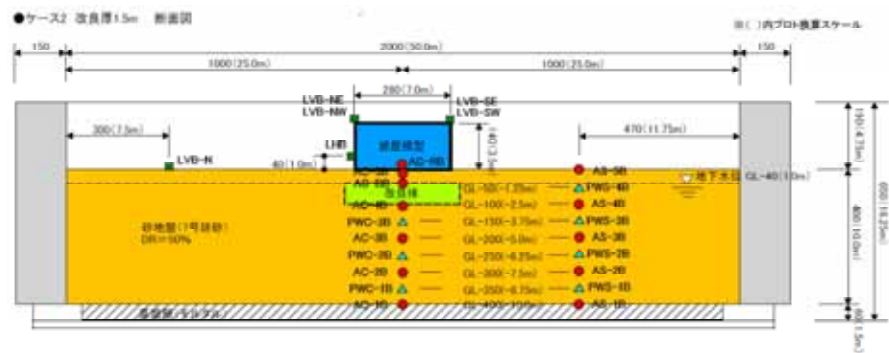
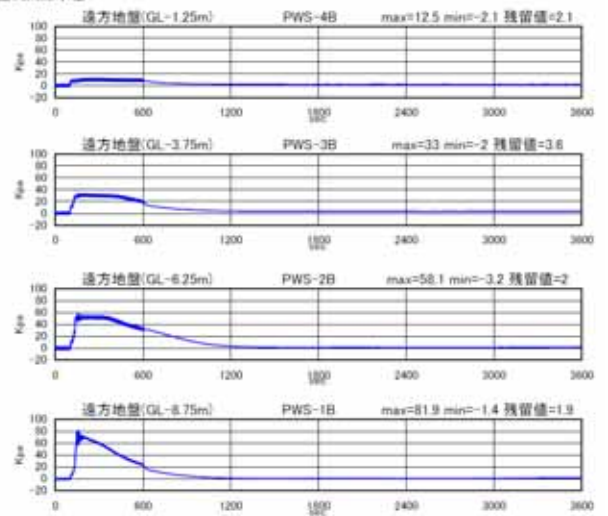
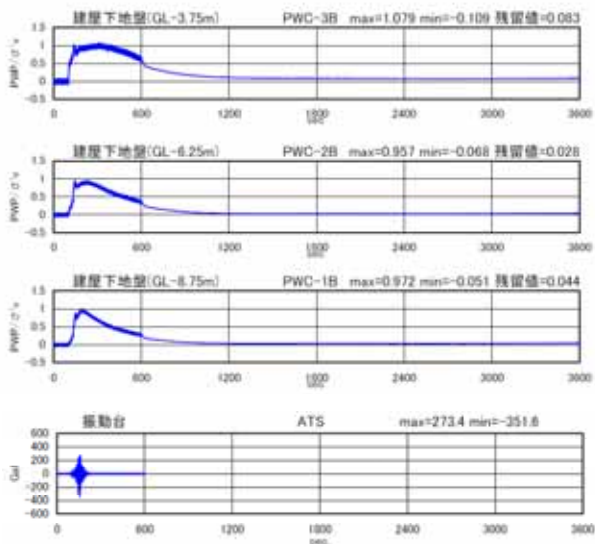


図 4.4.33 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧比



過剰間隙水圧比

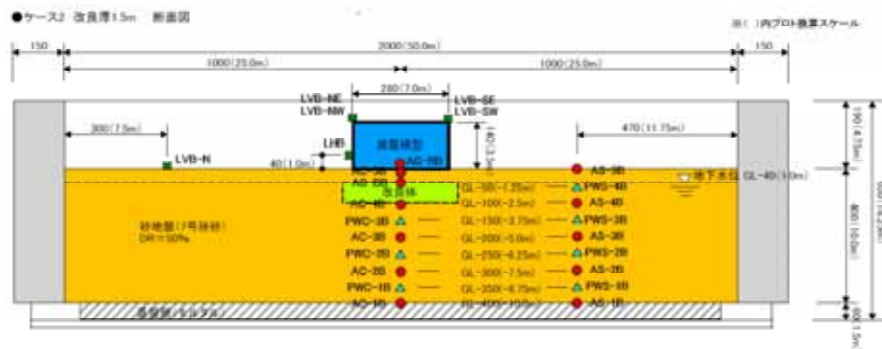
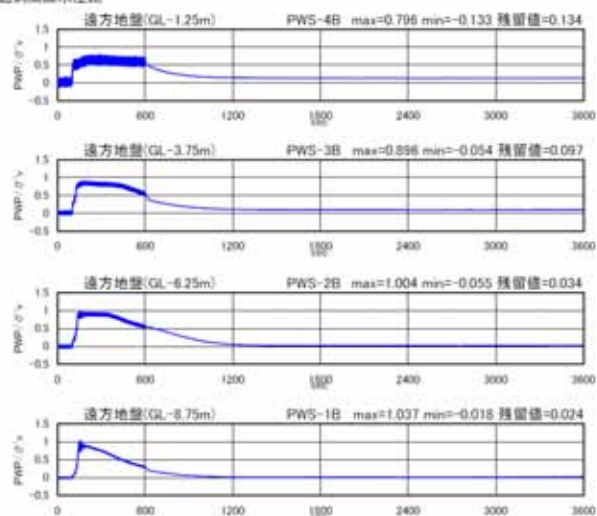


図 4.4.34 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

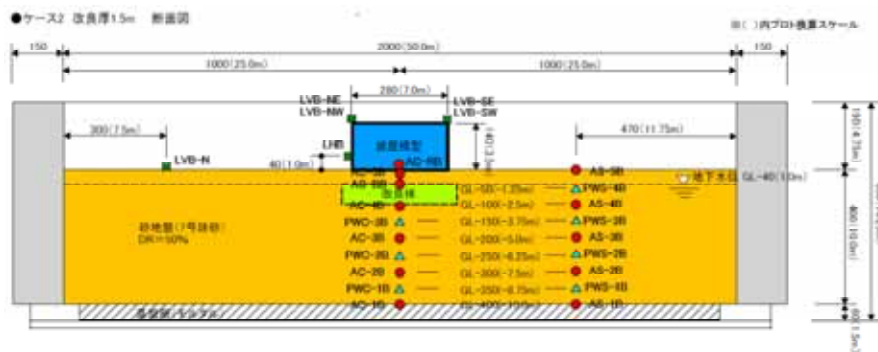
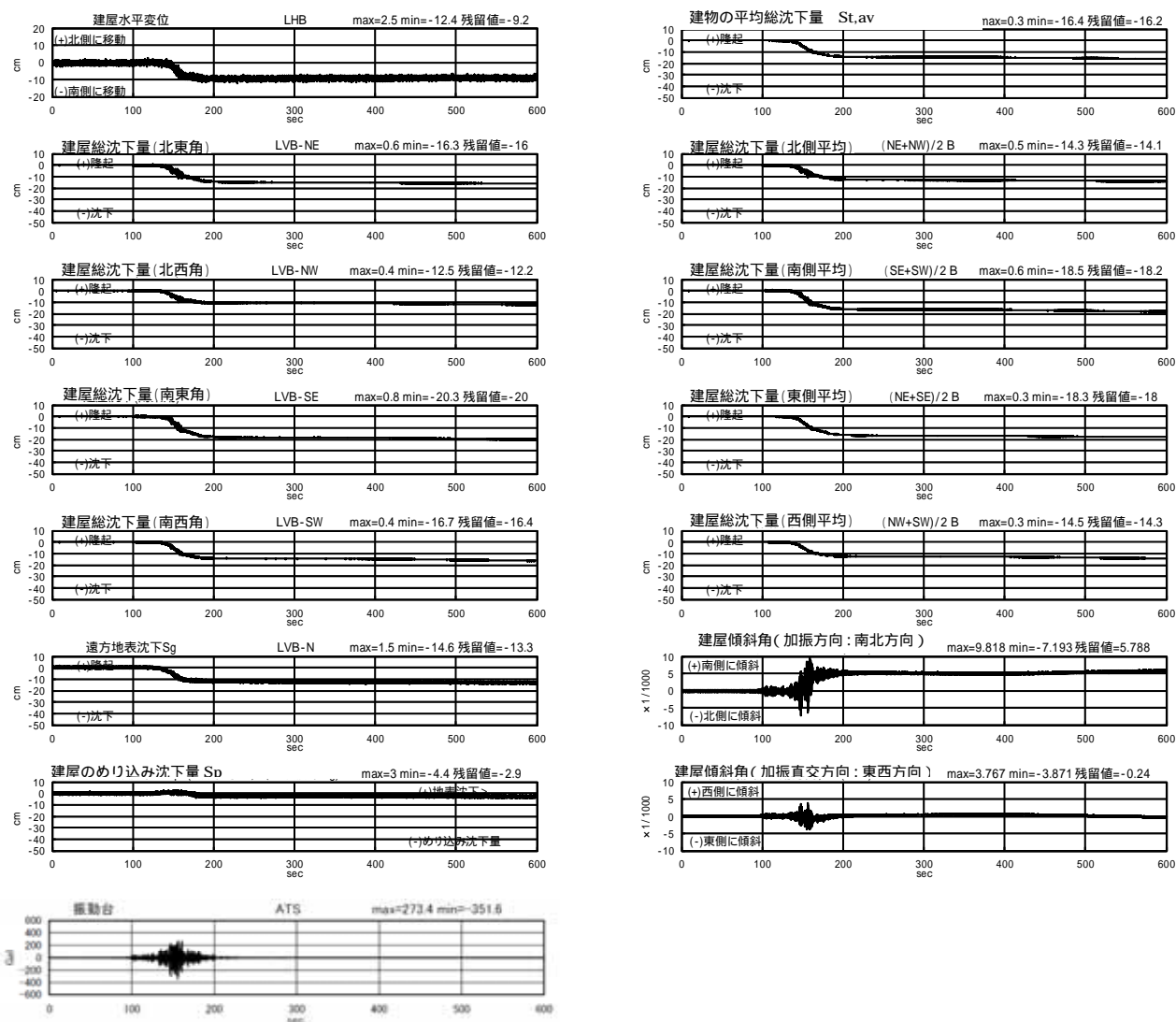


図 4.4.35 変位 (沈下) 建屋傾斜角 (600s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

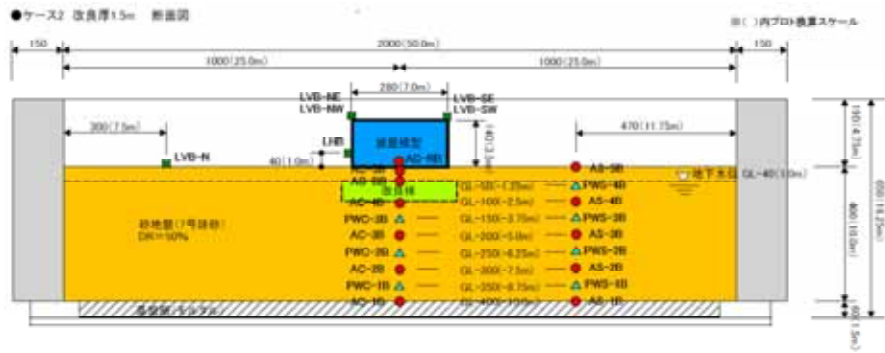
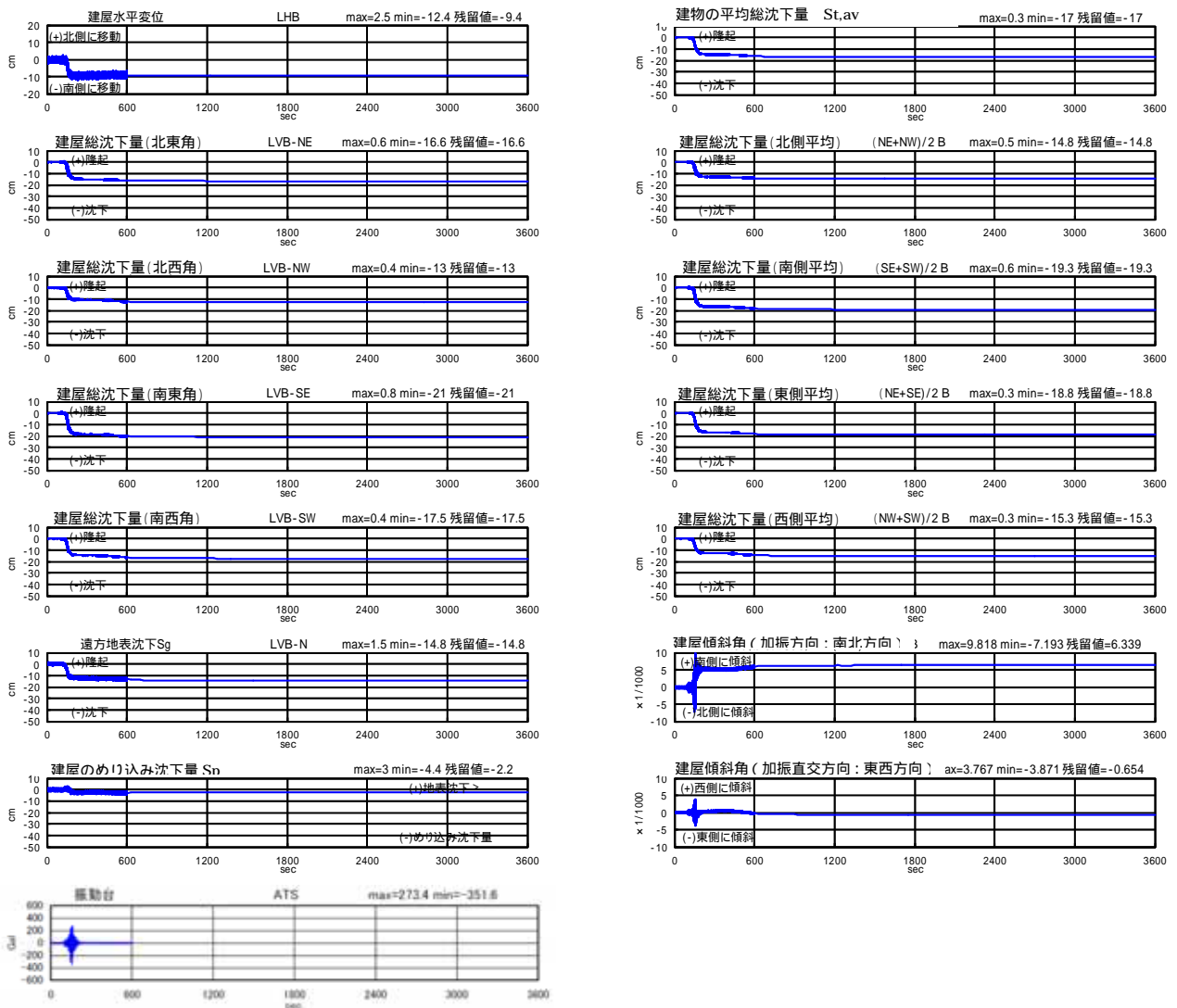


図 4.4.36 変位 (沈下) 建屋傾斜角 (3600s まで)
 [ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目]

地盤変位

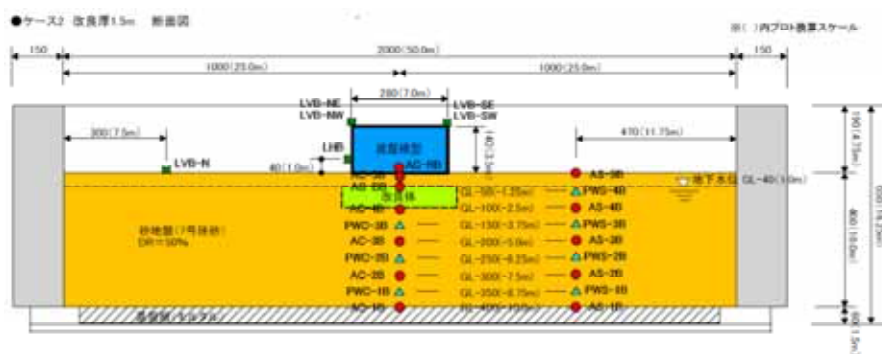
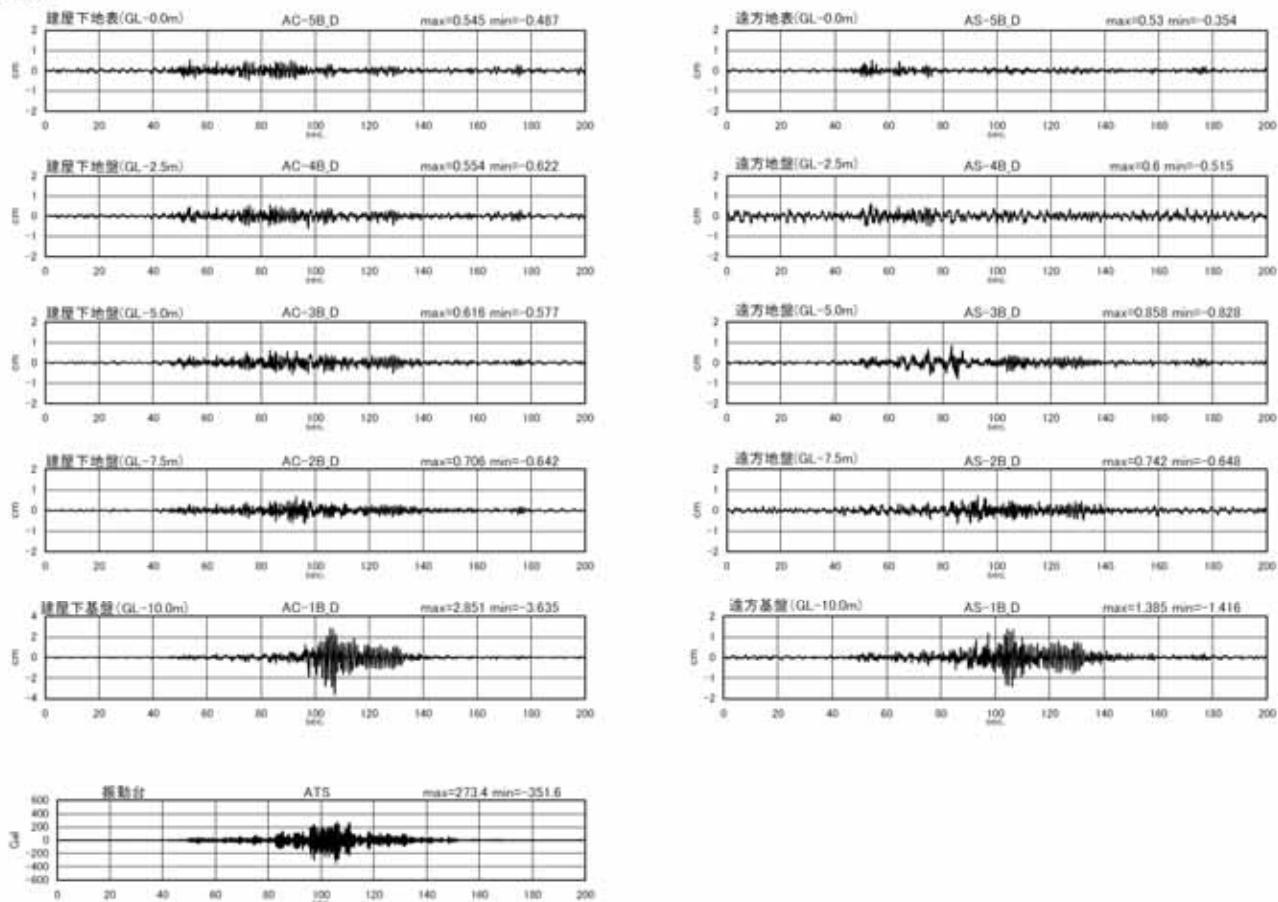


図 4.4.37 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

地盤せん断ひずみ

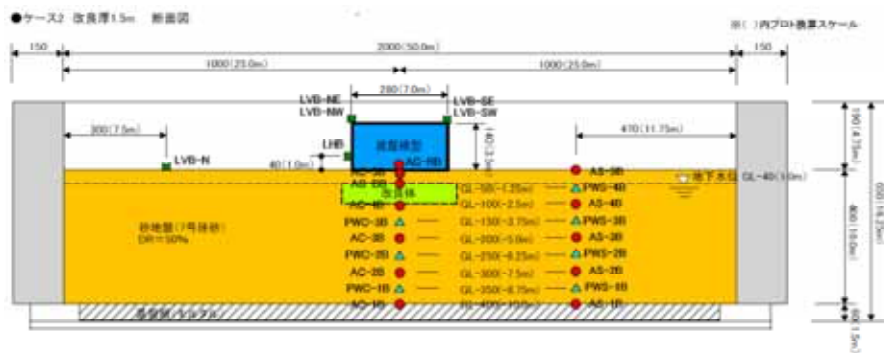
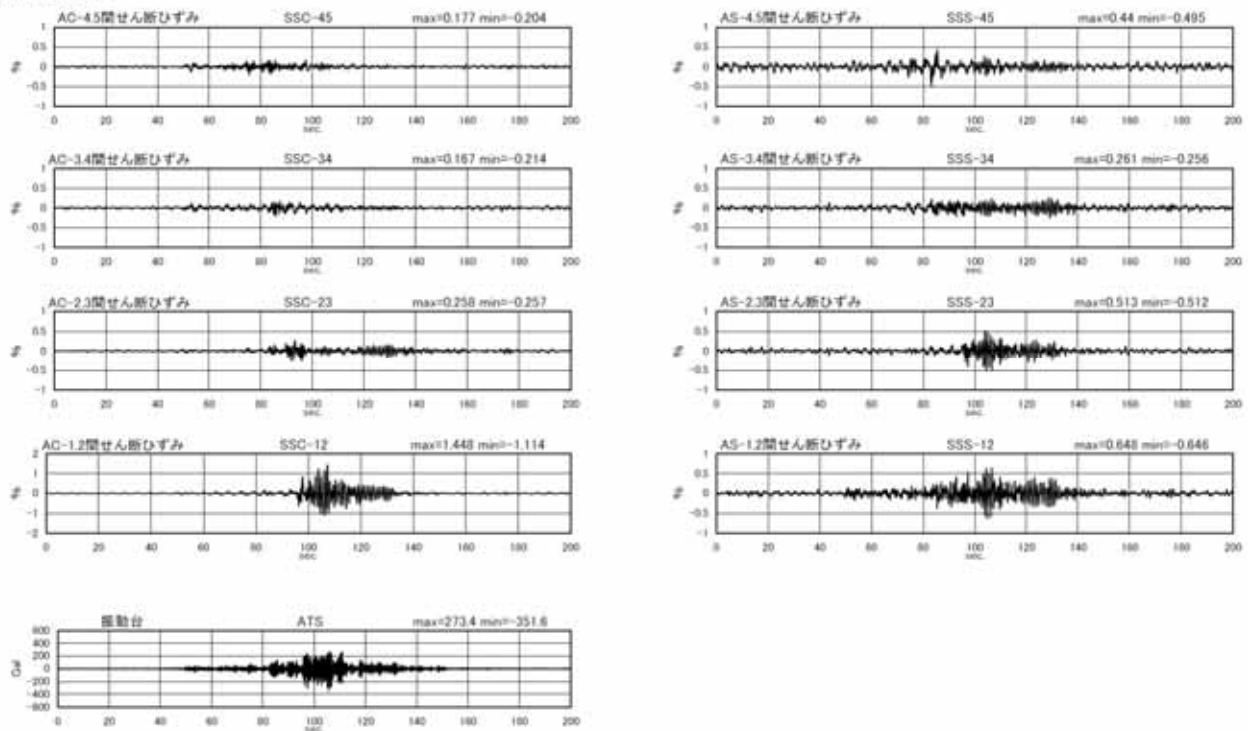


図 4.4.38 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 2 改良厚 1.5m、加振 2 回目〕

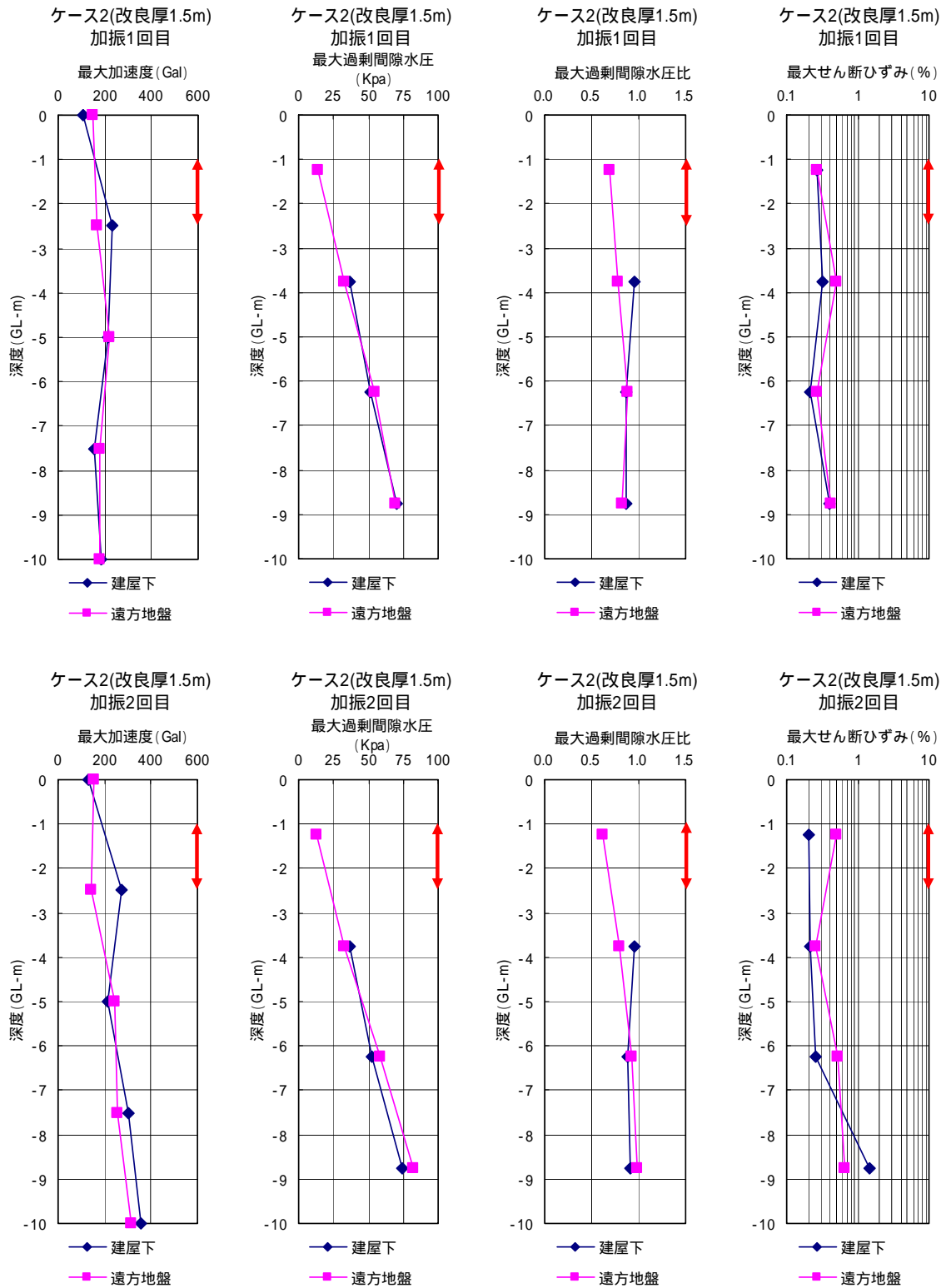


図 4.4.39 最大値震度分布〔ケース 2 改良厚 1.5m〕

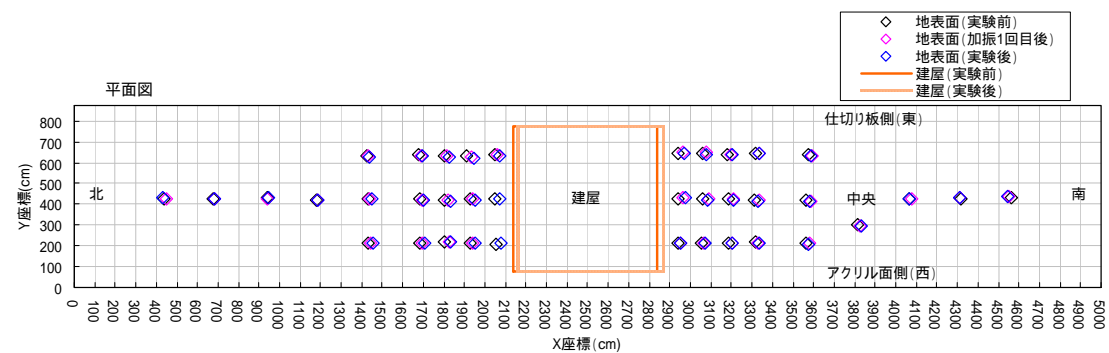
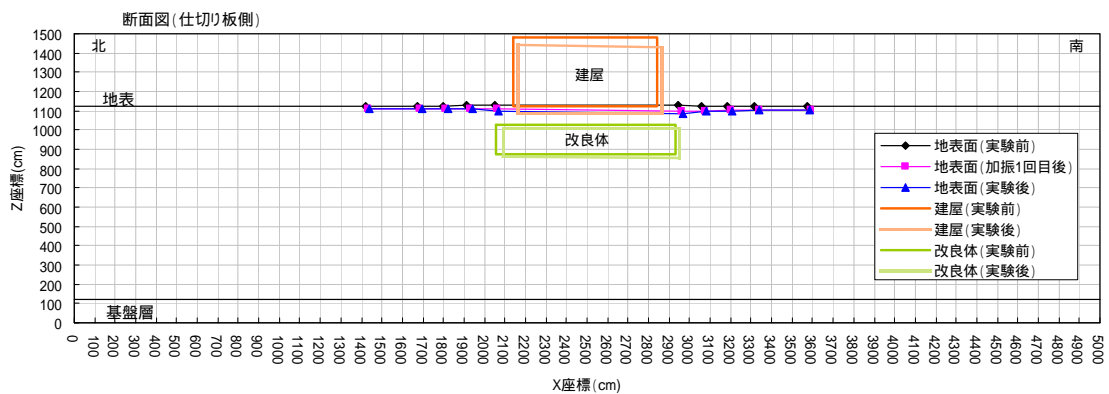
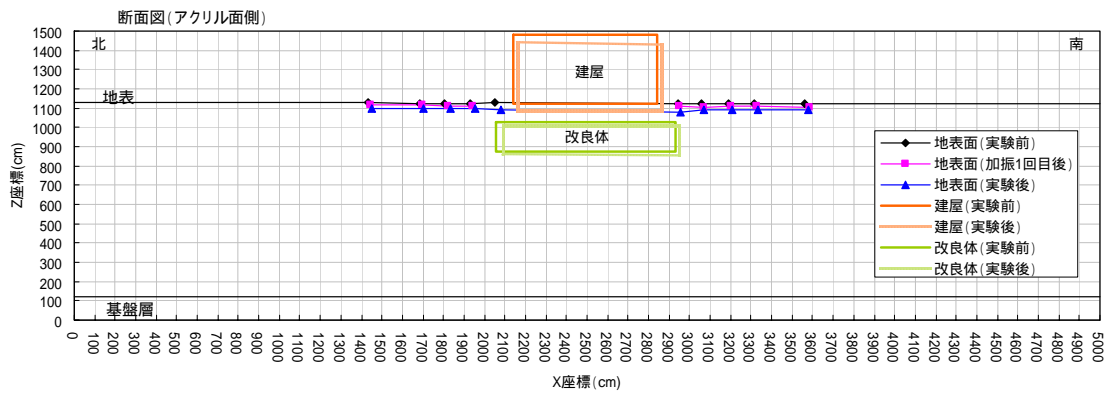
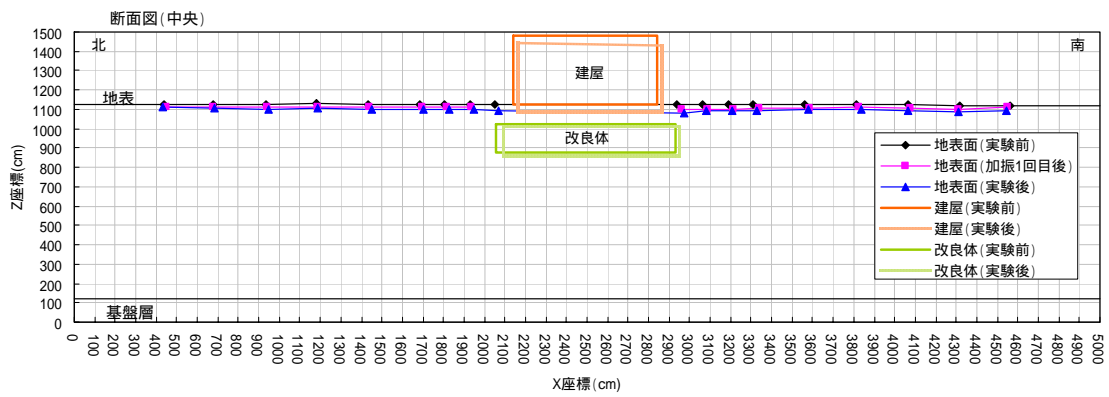


図 4.4-40 残留変形図〔ケース 2 改良厚 1.5m〕

4.4.3 ケース3 (改良厚 3.0m)

(1) 1 回目の加振実験 (地震動 1 : 最大加速度 150Gal) の時刻歴

加速度

図 4.4.41 は応答加速度の時刻歴を示している。建物 (建屋) 下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-5.0m (AC-3A) と GL-7.5m (AC-2A) の応答加速度は基盤 GL-10.0m (AC-1A) のそれに比べて加速度は増幅しており、加振中の加速度は概ね伝達されている。一方、GL-2.5m (AC-4A)、GL-0.0m (AC-5A) および建物 (AC-RA) では基盤でのピーク時の加速度が伝達されておらず、これらの深度では概ねケース 1 と同様である。遠方地盤 (建物が無い場合の地盤に相当すると考える) の応答加速度も、各深度で概ねケース 1 と同様な結果となっている。

過剰間隙水圧

図 4.4.42、図 4.4.44 は過剰間隙水圧の時刻歴を、図 4.4.43、図 4.4.45 は過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。図 4.4.42 と図 4.4.43 から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比はいずれも加振とともに、増加し始め、入力加速度 (ATS) の増加とともに、大きくなる傾向を示している。過剰間隙水圧比は加速度がピークに達する前に、概ね 1.0 程度となり、GL-6.25m (PWC-2A) では低下した後再び 1.0 程度まで増加している。過剰間隙水圧比が到達する時間は浅部ほど早くなる傾向が認められる。なお、過剰間隙水圧比がピークに達した後、減少したのは地下水の地表面への噴出等による影響と考えられる。また、遠方地盤についても浅部ほど過剰間隙水圧比が 1.0 に達する時刻が早くなる傾向を示している。一方、図 4.4.44、図 4.4.45 から、過剰間隙水圧は加振後も概ね 2400 秒付近まで残留しており、加振終了後も地盤はしばらくの間液状化状態にあったと推定される。特に、改良体の直下である GL-6.25m (PWC-2A) では 800 秒付近まで過剰間隙水圧比 0.5 以上を示しており、大きな過剰間隙水圧が残留していることが分かる。浅部ほどこの傾向は顕著である。過剰間隙水圧の消散時間はケース 1 に比べて長くなっているものの、遠方地盤との顕著な差異が認められないことから、改良体による影響はないと考えられる。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図 4.4.46、図 4.4.47 は建物の水平変位、建屋や地表面の総沈下量、遠方地盤の総沈下量 (建物が無い場合の地盤の総沈下量) および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴ってやや発生しているものの、最大で 6.6cm、残留時で 3.1cm である。建物の鉛直変位は 4 点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量 (LVA-NE と LVA-NW の平均) が 8.2cm に対して、南側の残留総沈下量 (LVA-SE と LVA-SW の平均) は 11.5cm となっている。したがって、建物総沈下量はケース 1 のその 1/3 ~ 1/4 程度に抑制される結果となっている。一方、遠方地盤では加振直後に隆起した後沈下する結果となっており、最終的な建物のめり込み沈下量は 11.5cm となっている。建物のめり込み残留沈下量

はケース 1 の 1/3 程度となっており、厚さ 3m 浅層盤状改良することで大幅に建物のめり込み沈下量が改善されたと言える。なお、ケース 2 に比べて建物のめり込み沈下量は大きくなっている。

建物の傾斜角は、加振方向(南北方向)については加振直後に振動しながら徐々に増加し、最終的に残留傾斜角は 4.8/1000 となっている。一方、加振直交方向(東西方向)の建物の傾斜角は加振直後に増加し、最終的な東西方向の建物の残留傾斜角は 1.1/1000 程度となっている。

図 4.4.47 から、建物の沈下は加振終了後、すぐに残留状態に達しており、ケース 1 にみられる加振後の継続的な沈下は認められない。これらのことから、厚さ 3m 浅層地盤改良を実施した場合、図 4.4.44 に示すように過剰間隙水圧は残留するものの、それと整合する継続的な沈下は発生しないと推定される。

地盤変位(水平変位)

図 4.4.48 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、GL-7.5m(AC-2A_D)および GL-5.0m(AC-3A_D)では加速度のピーク後に比較的大きな地盤変位を生じているが、改良体部分や建物の変位振幅はほとんど発生しておらず、液状化による影響が認められる。

せん断ひずみ

図 4.4.49 に図 4.4.48 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図から、改良体の下部境界部分を含む GL-2.5m ~ GL-5.0m の間のせん断ひずみ(SSC-23)は小さくなっている。一方、その上部地盤(SSC-34)およびその下部地盤(SSC-12)のせん断ひずみはそれに比べて大きくなっている。これらのことから、改良体直下の地盤において液状化が発生し、地盤のせん断剛性の低下しているものと推察される。せん断ひずみの最大値は GL-10.0m ~ GL-7.5m 間(SSC-12)で 0.525% となっている。

(2) 2 回目の加振実験(地震動 2 : 最大加速度 350Gal)の時刻歴

加速度

図 4.4.50 は応答加速度の時刻歴を示している。建物(建屋)下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-7.5m(AC-2A)の応答加速度は基盤 GL-10.0m(AC-1A)のそれに比べてやや増幅しており、基盤の加速度が概ね伝達されている。しかし、GL-5.0m(AC-3A)、GL-2.5m(AC-4A)、GL-0.0m(AC-5A)および建物(AC-RA)では地表面に近づくほど伝達される加速度は減少している。また、各深度の伝達される加速度の割合は 1 回目の加振時に比べて小さくなっており、液状化の発生する時期が早く、液状化の程度が顕著であったと推察される。遠方地盤(建物がない場合の地盤に相当すると考える)の応答加速度も、各深度で概ね同様な結果となっている。

過剰間隙水圧

図 4.4.51、図 4.4.53 は過剰間隙水圧の時刻歴を、図 4.4.52、図 4.4.54 は過剰間隙水圧

比の時刻歴を示している。図 4.4.51 と図 4.4.52 から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比はいずれも加振とともに、増加し始め、振動台からの入力加速度（ATS）の増加とともに、大きくなっている。また、地盤の浅い位置ほど過剰間隙水圧比が 1.0 に達する時期がやや早くなっており、1 回目の加振時と同様な結果となっている。特に、GL-1.25m（PWC-4A）は加振直後に大きく増加している。遠方地盤においても同様な傾向を示していることから、この傾向は改良体による影響ではないと判断される。なお、GL-6.25m（PWC-2A）において過剰間隙水圧が上下に変動する部分が見られるが、これは地表面に地下水が噴出したため、一時的に過剰間隙水圧が低下したものと推察される。一方、図 4.4.53、図 4.4.54 から、過剰間隙水圧は加振後も概ね 2400 秒後まで残留している。特に、改良体直下の GL-6.25m（PWC-2A）では 900 秒付近まで過剰間隙水圧比 0.5 以上を示しており、大きな過剰間隙水圧が残留していることが分かる。浅部ほどこの傾向は顕著である。GL-6.25m（PWC-2A）の過剰間隙水圧は、ケース 1 に比べて消散時間が長くなっているものの、遠方地盤の過剰間隙水圧の消散も概ね同様な結果となっていることから、改良体の有無による影響はないと考えられる。なお、2 回目の加振時の過剰間隙水圧の消散に要する時間は概ね 1 回目の加振時と同様である。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図 4.4.55、図 4.4.56 は建物の水平変位、建屋や地表面の沈下総沈下量、遠方地盤の総沈下量（建物がない場合の地盤の総沈下量）および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、建物の平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴って生じており、最大で 8.3cm、残留時で 5.8cm となっている。建物の鉛直変位は 4 点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量（LVA-NE と LVA-NW の平均）が 19.2cm に対して、南側の残留総沈下量（LVA-SNE と LVA-SW の平均）は 19.9cm となっている。これらの沈下量はいずれも、1 回目の加振時の沈下量の 1.5～2 倍程度となっている。一方、遠方地盤では加振直後にやや増加し、その後ほとんど沈下していないことから、最終的な建物のめり込み沈下量は 22.8cm となっている。建物のめり込み沈下量は 1 回目の加振時に比べて 2 倍程度となっている。また、ケース 1 に比べて建物のめり込み沈下量はやや大きくなっている。

建物の傾斜角は、加振方向（南北方向）については加振中に大きく変動しており、最終的な傾斜角は 0.87/1000 となっている。一方、加振直交方向（東西方向）の建物の傾斜角は加振とともに漸増し、最終的な傾斜角は 1.03/1000 となっている。建物の最大傾斜角は 1 回目の加振実験に比べて小さくなっている。

図 4.4.56 から、建物の沈下は加振終了後、すぐに残留状態に達しており、ケース 1 にみられる加振後の継続的な沈下増分は見られない。これらのことから、浅層地盤改良を実施した場合、図 4.4.54 に示すように過剰間隙水圧は残留するものの、それと整合する継続的な沈下は発生しないと推定される。

地盤変位（水平変位）

図 4.4.57 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、GL-7.5m (AC-2A_D) および GL-5.0m (AC-3A_D) では加速度のピーク後に比較的大きな地盤変位を生じているが、改良体部分や建物の変位振幅はほとんど発生しておらず、液状化による影響が認められる。

せん断ひずみ

図 4.4.58 に図 4.4.57 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図から、GL-2.5m ~ GL-5.0m (SSC-34) および GL-7.5m ~ GL-10.0m (SSC-12) のせん断ひずみは大きくなっているが、改良体の下部境界部分を含む GL-5.0m ~ GL-7.5m の間 (SSC-23) のせん断ひずみは小さくなっている。これらのことから、改良体直下の地盤において液状化が発生し、地盤のせん断剛性の低下しているものと推察される。せん断ひずみの最大値は GL-10.0m ~ GL-7.5m 間 (SSC-12) で最大 1.256% となっている。

(3) 分布

最大加速度分布、最大過剰間隙水圧（比）分布、最大せん断ひずみ分布

図 4.4.59 は 1 回目および 2 回目の加振時における最大加速度、最大過剰間隙水圧、最大過剰間隙水圧比および最大せん断ひずみの深度方向の分布図を示している。

これらの結果から、1 回目の加振時の最大加速度は深度によらず概ね一様であるのに対して、2 回目の加振時のそれは地表面ほど小さくなっており、地盤の液状化によって加速度が伝達されにくくなっていることが分かる。

最大過剰間隙水圧は 1 回目、2 回目とも深くなるほど線形的に大きくなっており、最大過剰間隙水圧比は 0.6 ~ 1.0 で分布している。したがって、地盤はいずれの実験においても基盤から地表面まで液状化したと推察される。

1 回目の加振時における最大せん断ひずみは深度方向にやや大きくなる傾向を示している。一方、2 回目の加振時における最大せん断ひずみは、建物直下および遠方地盤とも明らかに深度方向に大きくなる傾向を示す。

残留変形

図 4.4.60 に 2 回目加振終了後に計測した建物の総沈下量と、1 回目、2 回目の実験終了後に計測した地表面の総沈下の分布を示す。建物はいずれの断面とも、南側にやや移動し、沈下している。建物の総沈下量は周辺地盤の総沈下量とほぼ同様であり、めり込み沈下はほとんど生じていない。なお、改良体の総沈下量は建物の総沈下量に比べてやや大きくなっている。

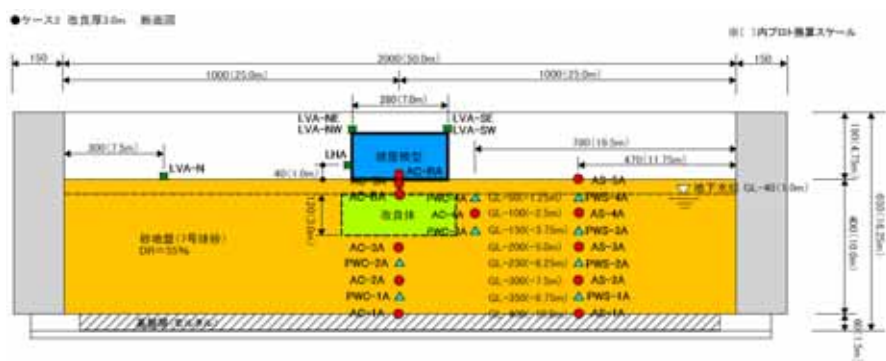
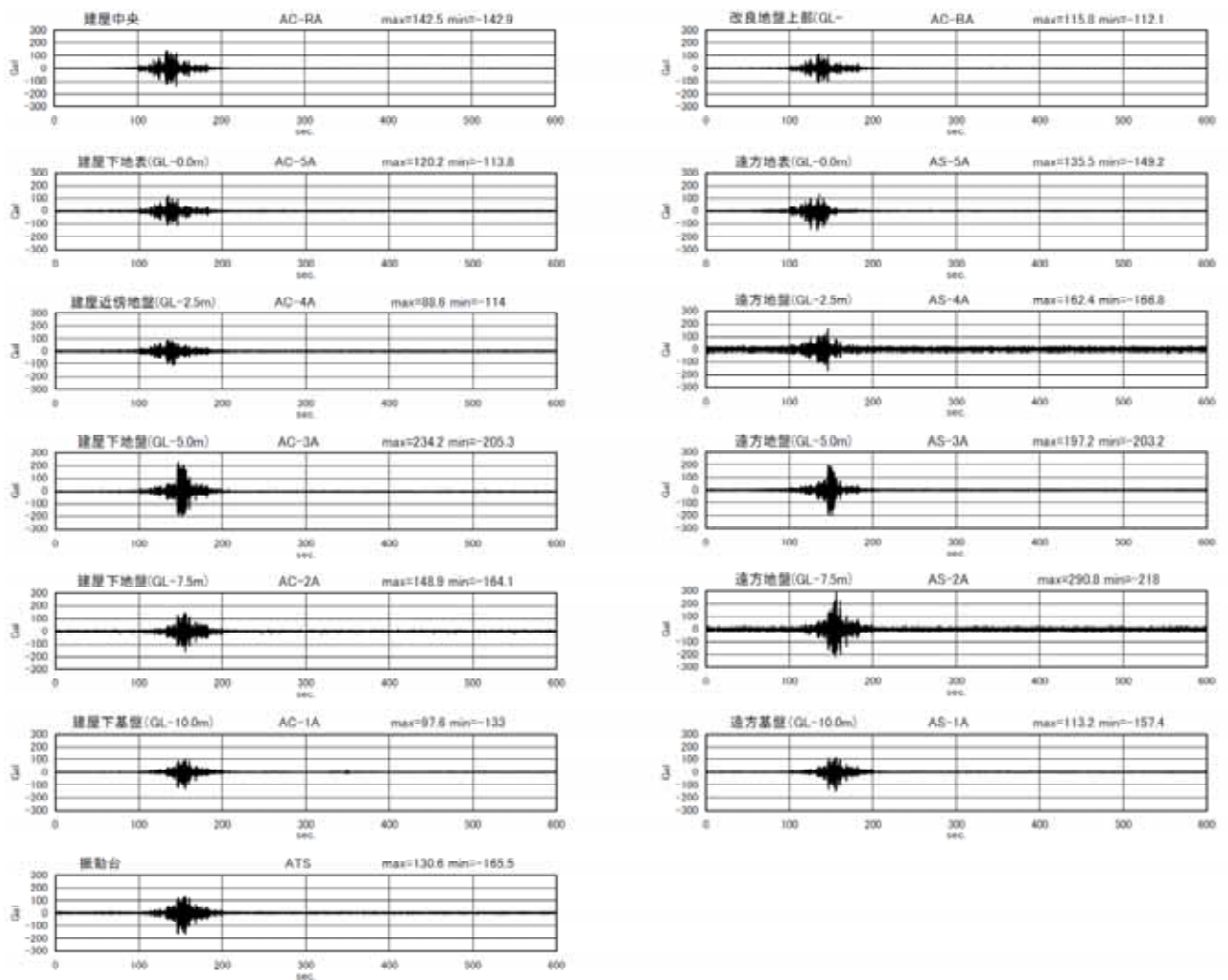


図 4.4.41 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

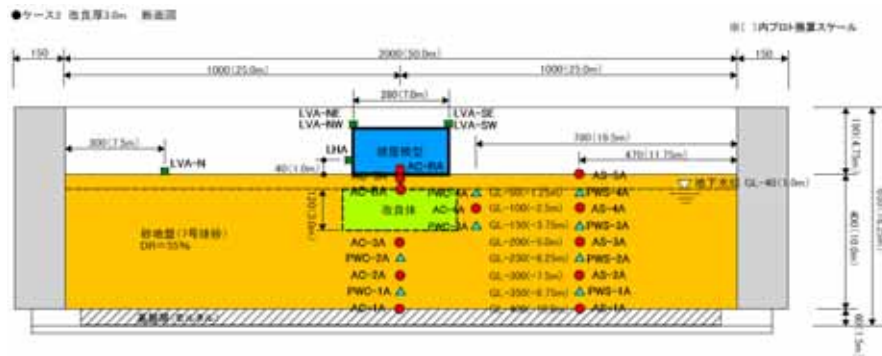
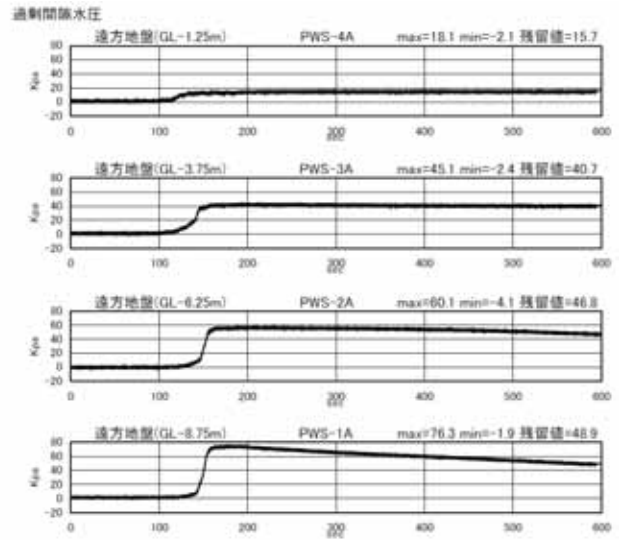
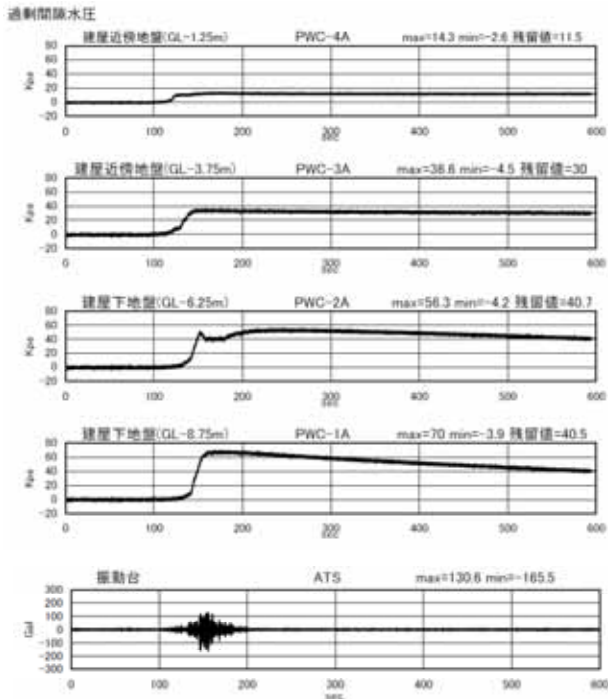


図 4.4.42 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

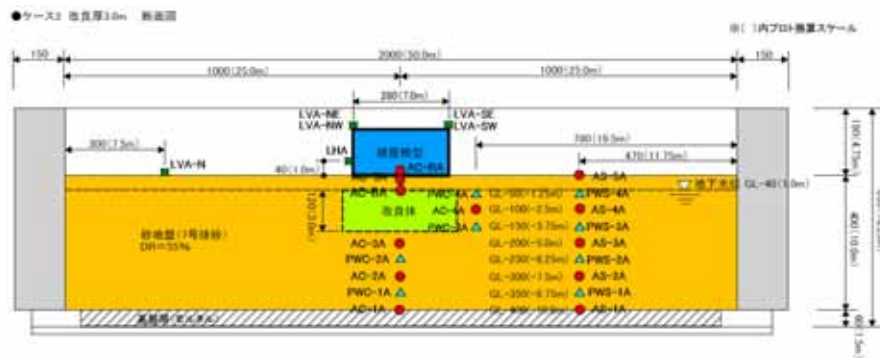
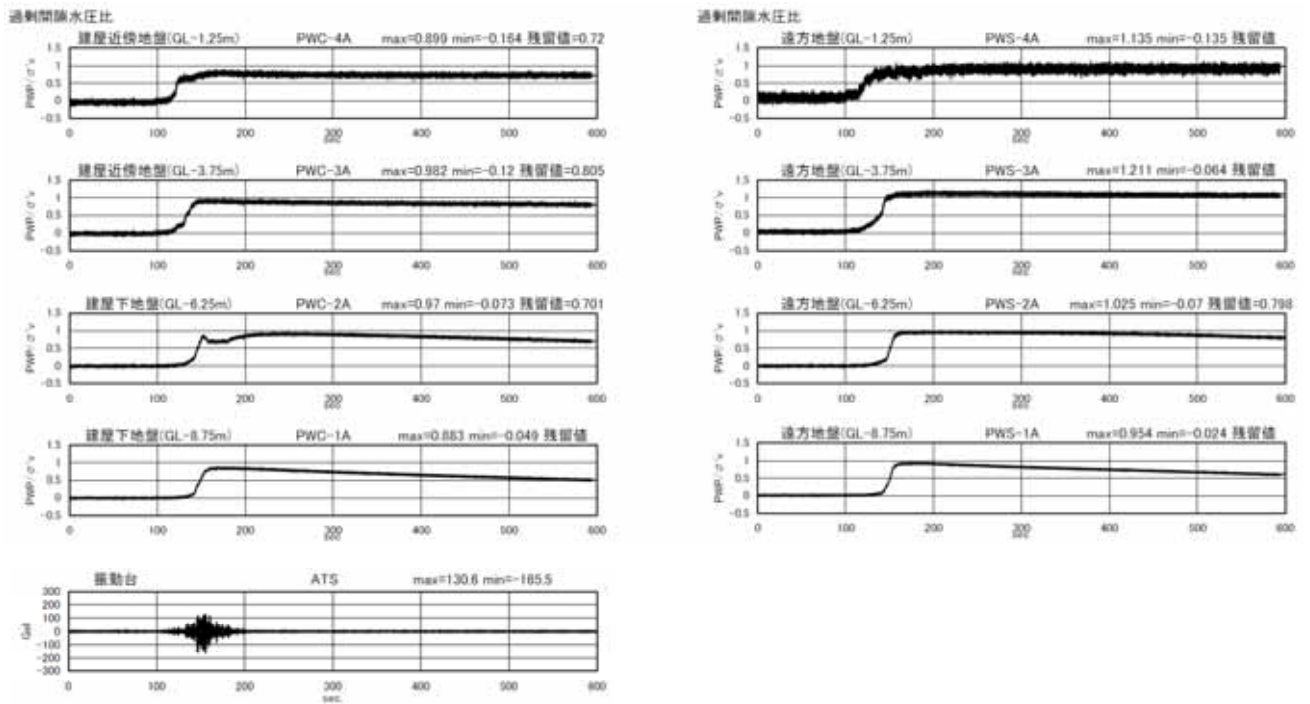


図 4.4.43 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

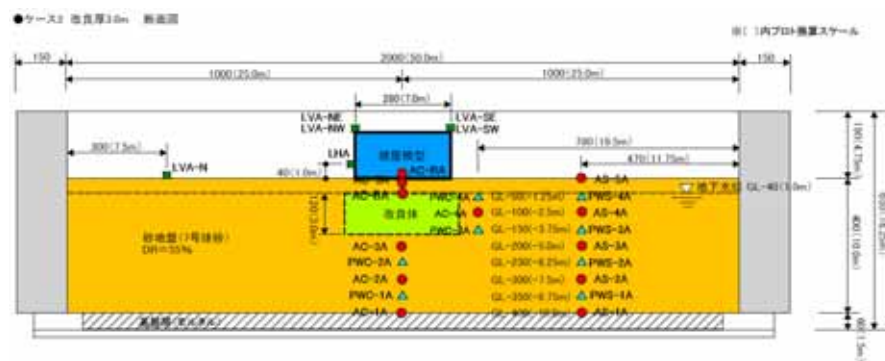
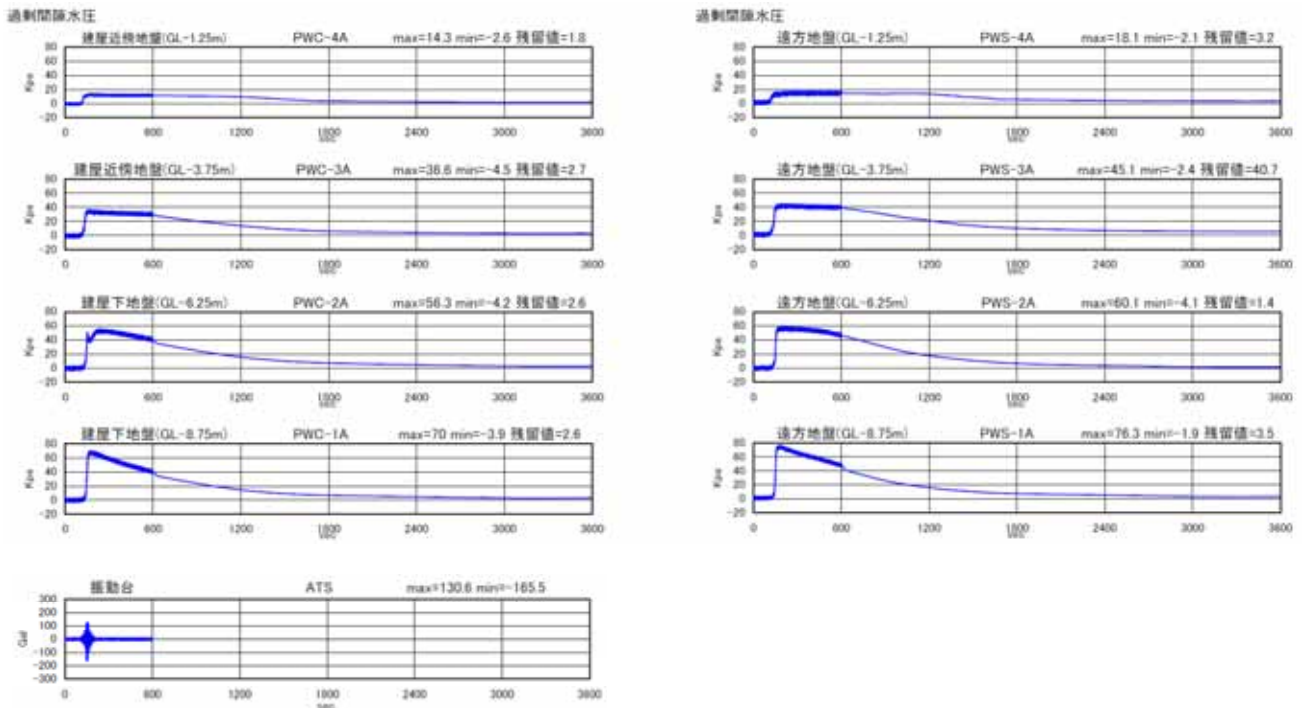


図 4.4.44 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

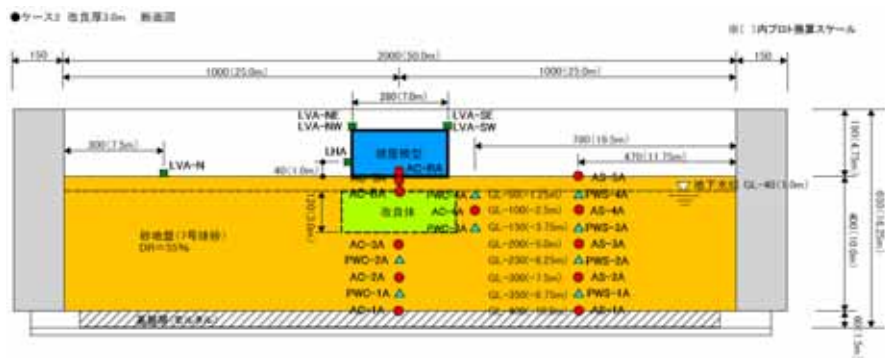
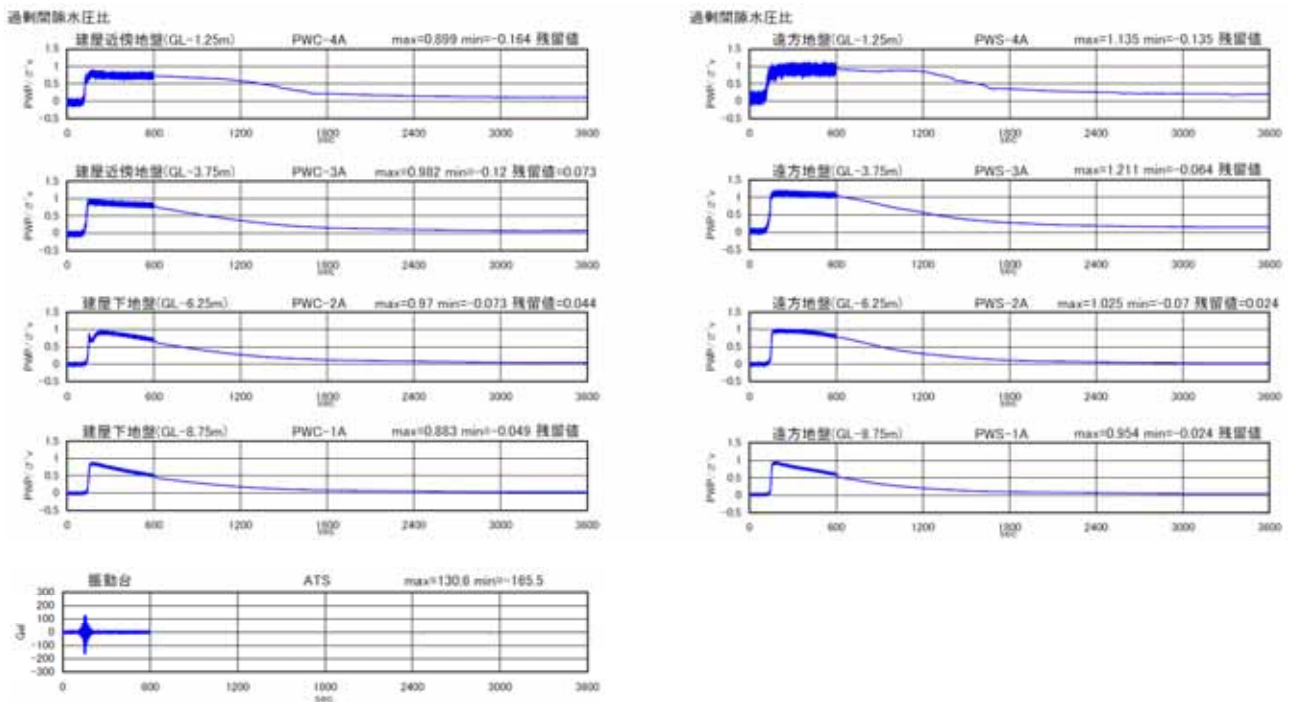


図 4.4.45 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

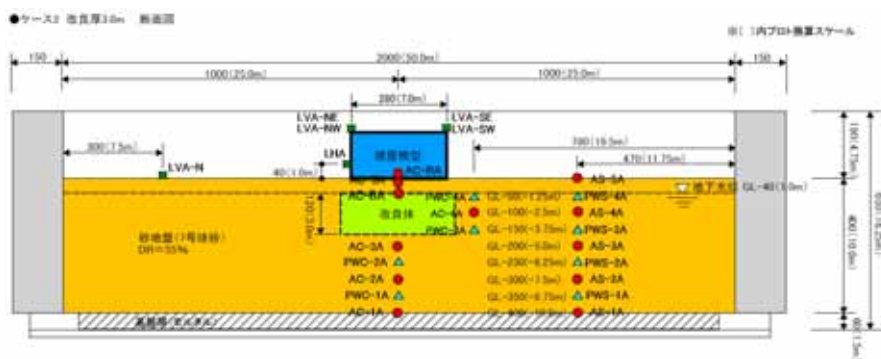
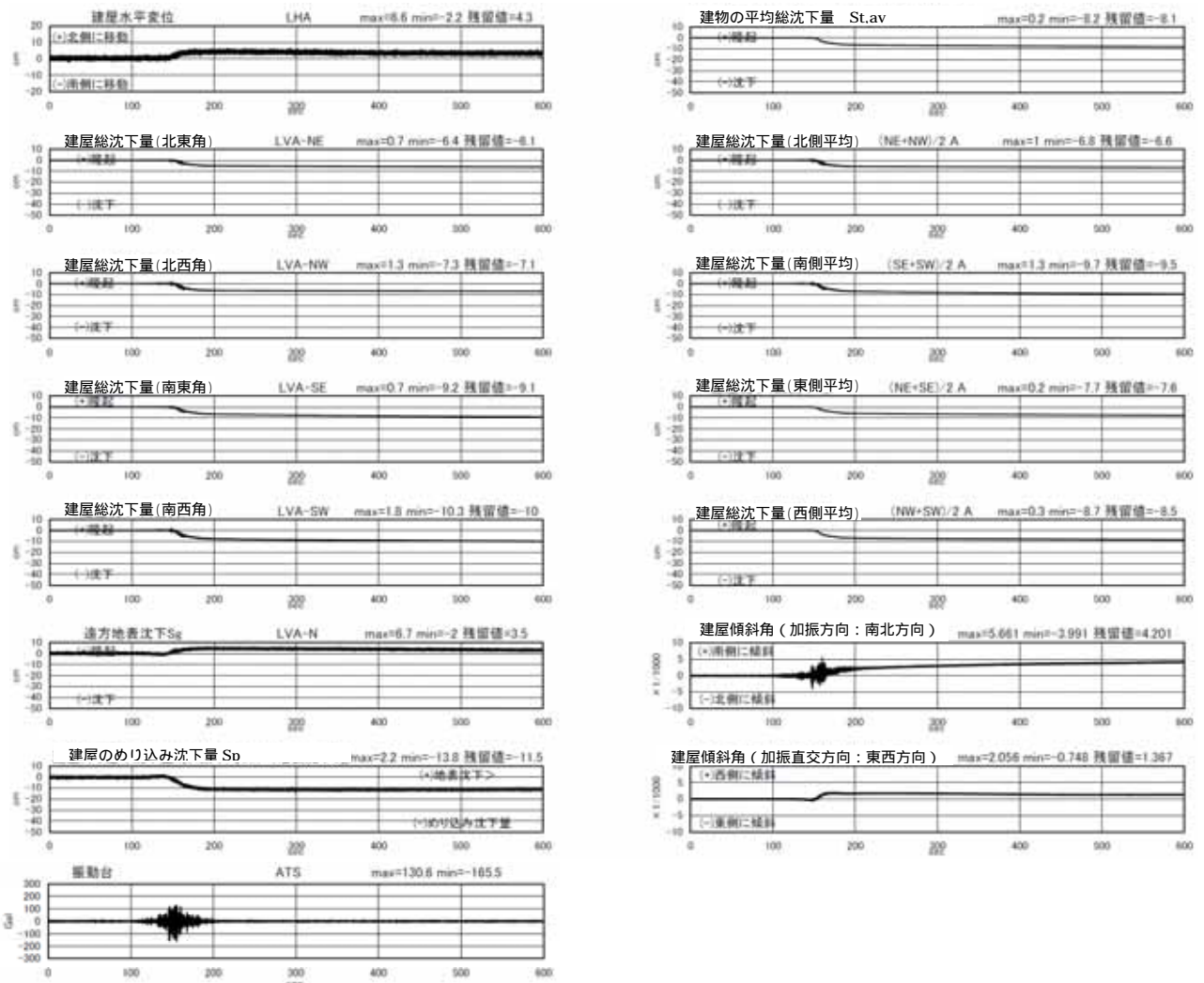


図 4.4.46 変位（沈下）、建屋傾斜角（600s まで）
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

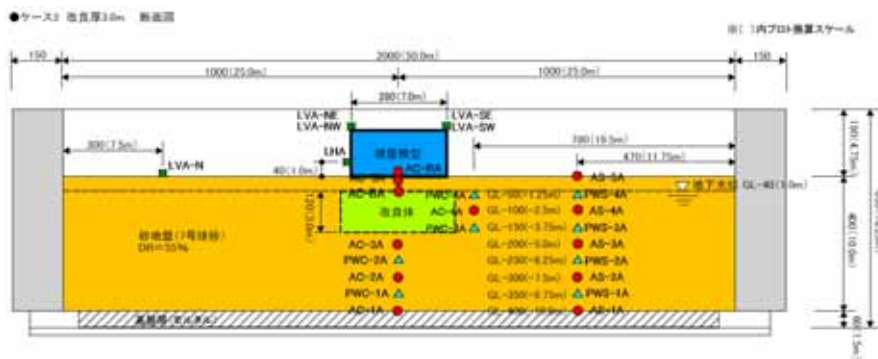
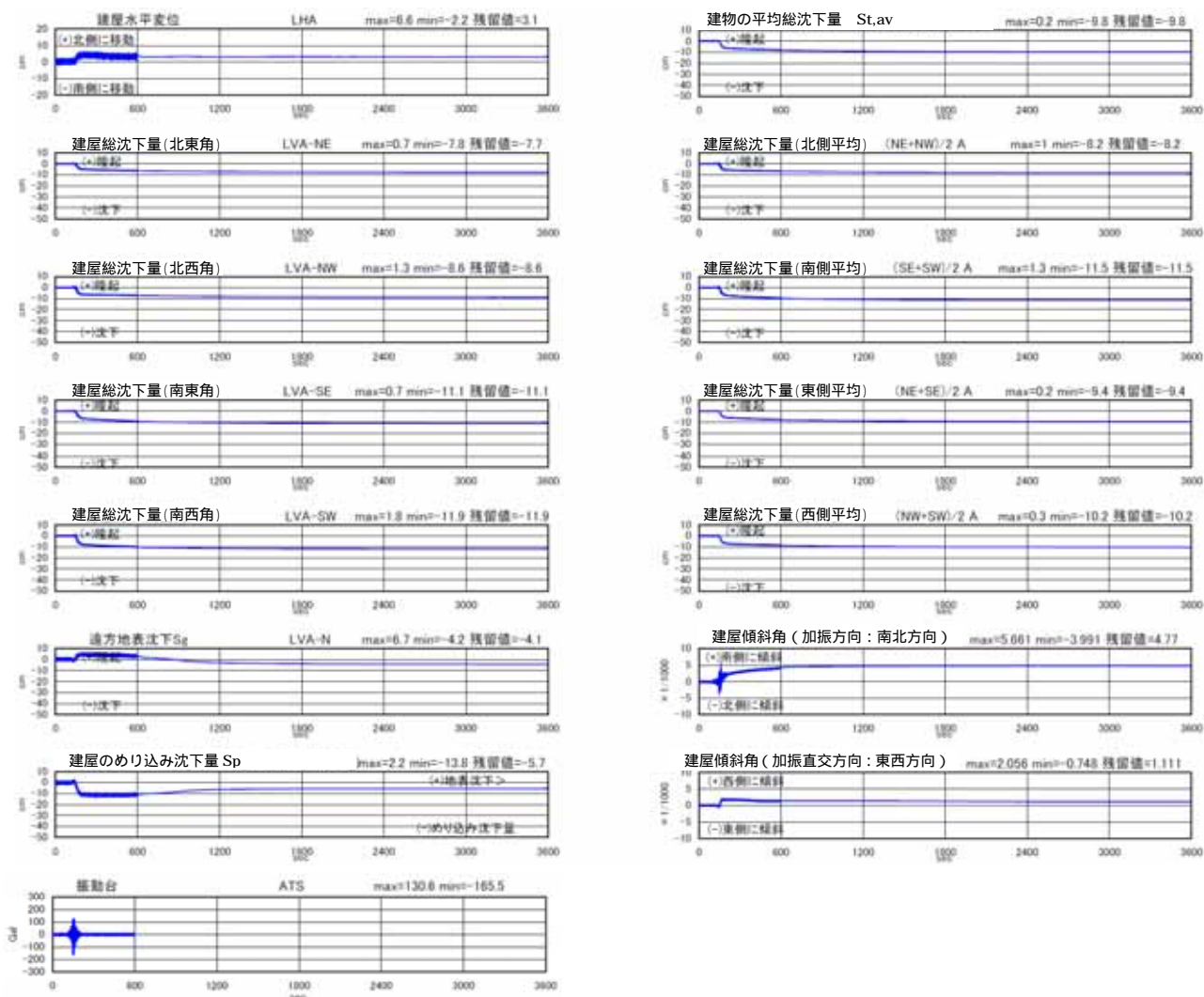


図 4.4.47 変位（沈下）建屋傾斜角（3600s まで）
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

地盤変位

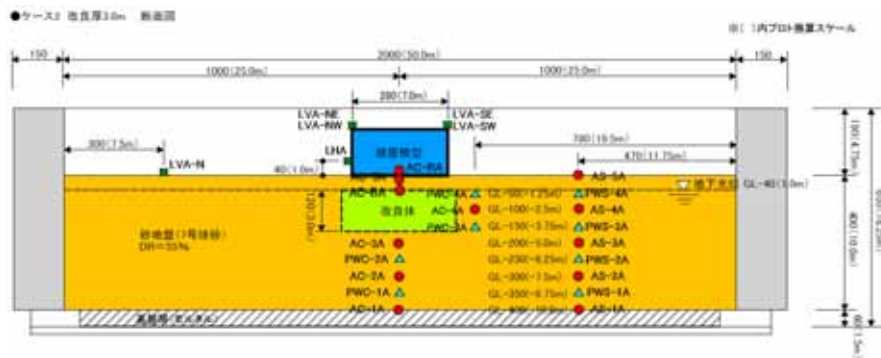
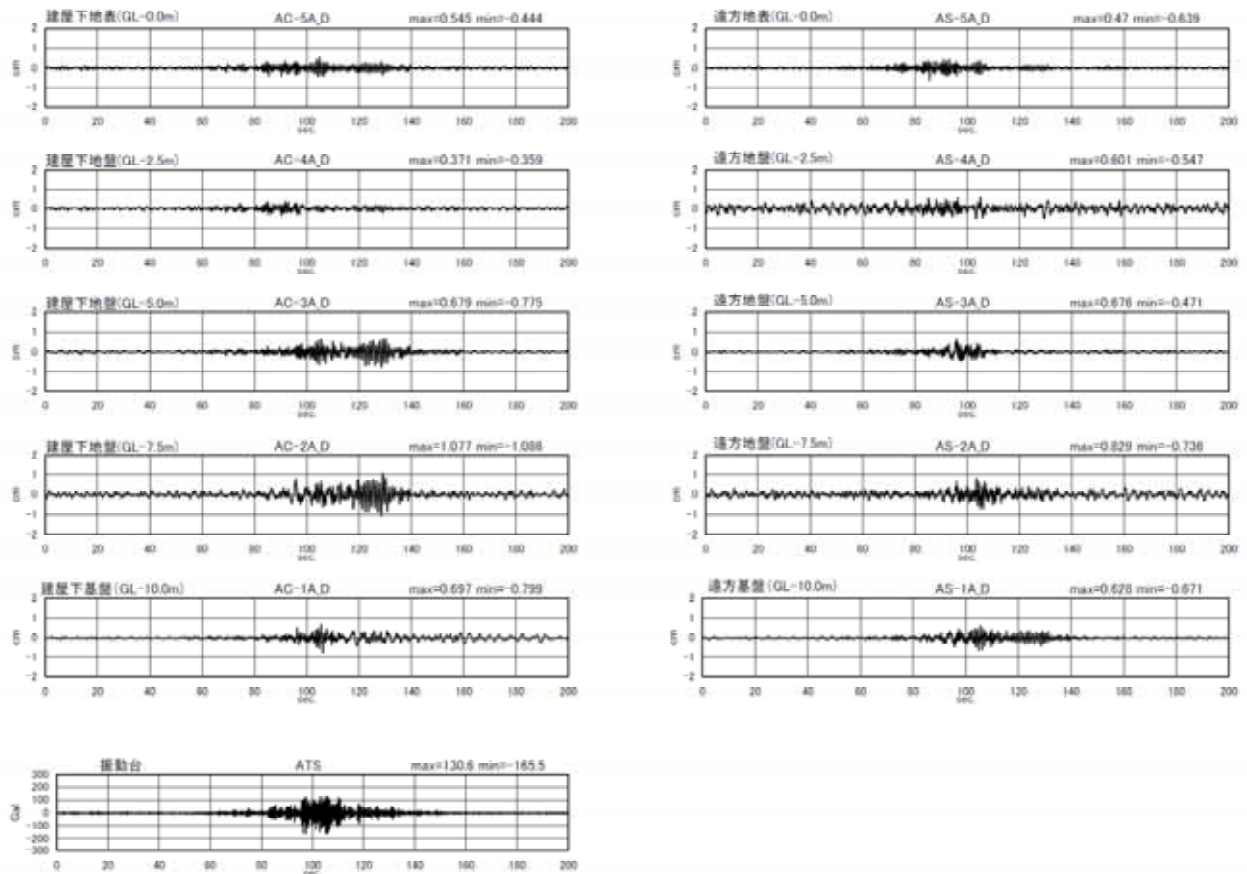


図 4.4.48 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

地盤せん断ひずみ

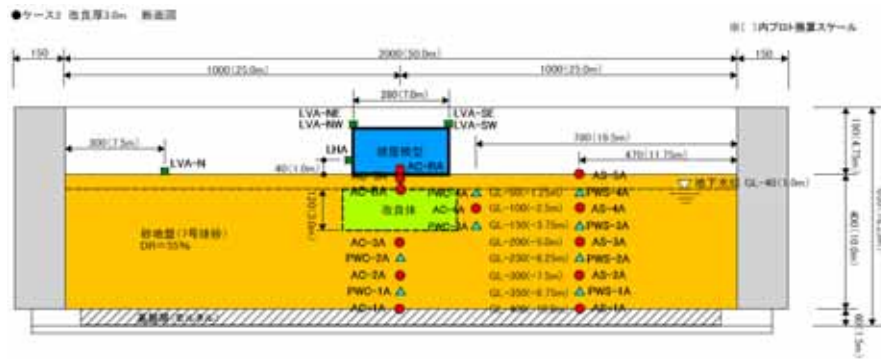
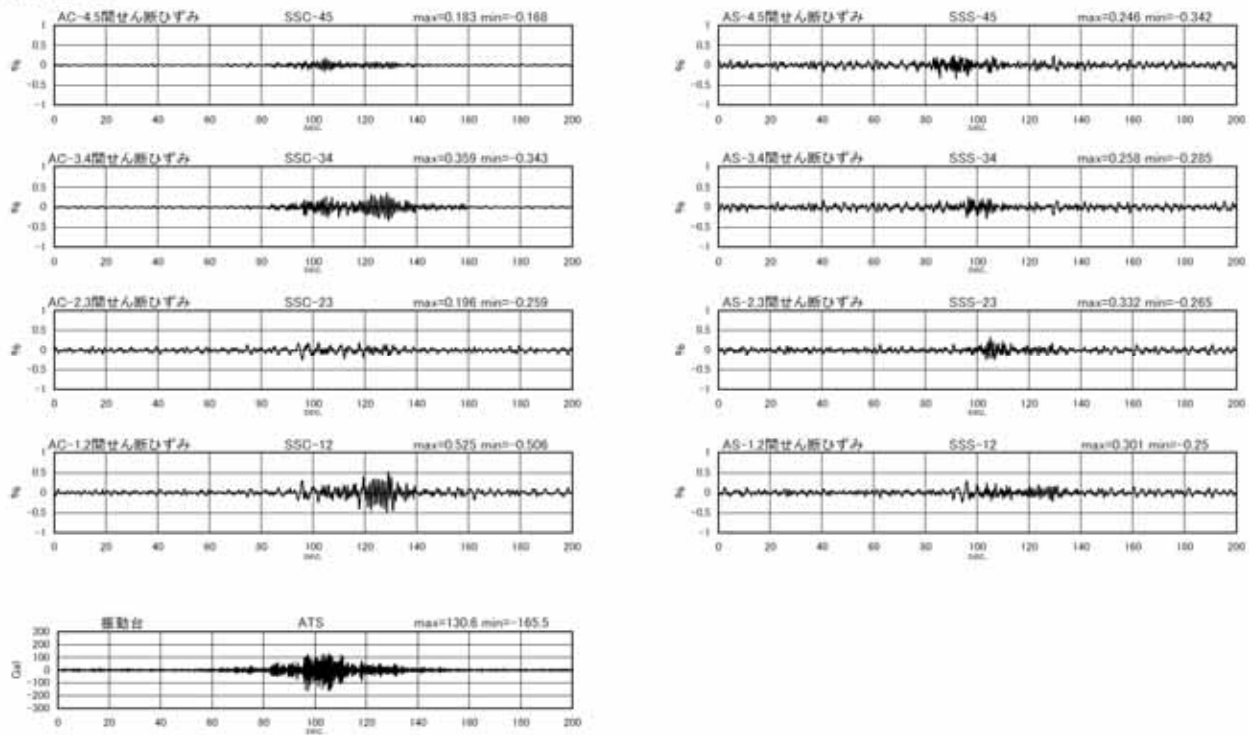


図 4.4.49 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 1 回目〕

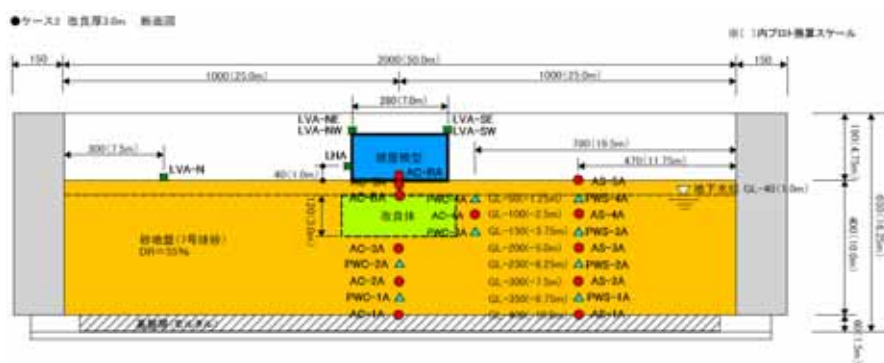
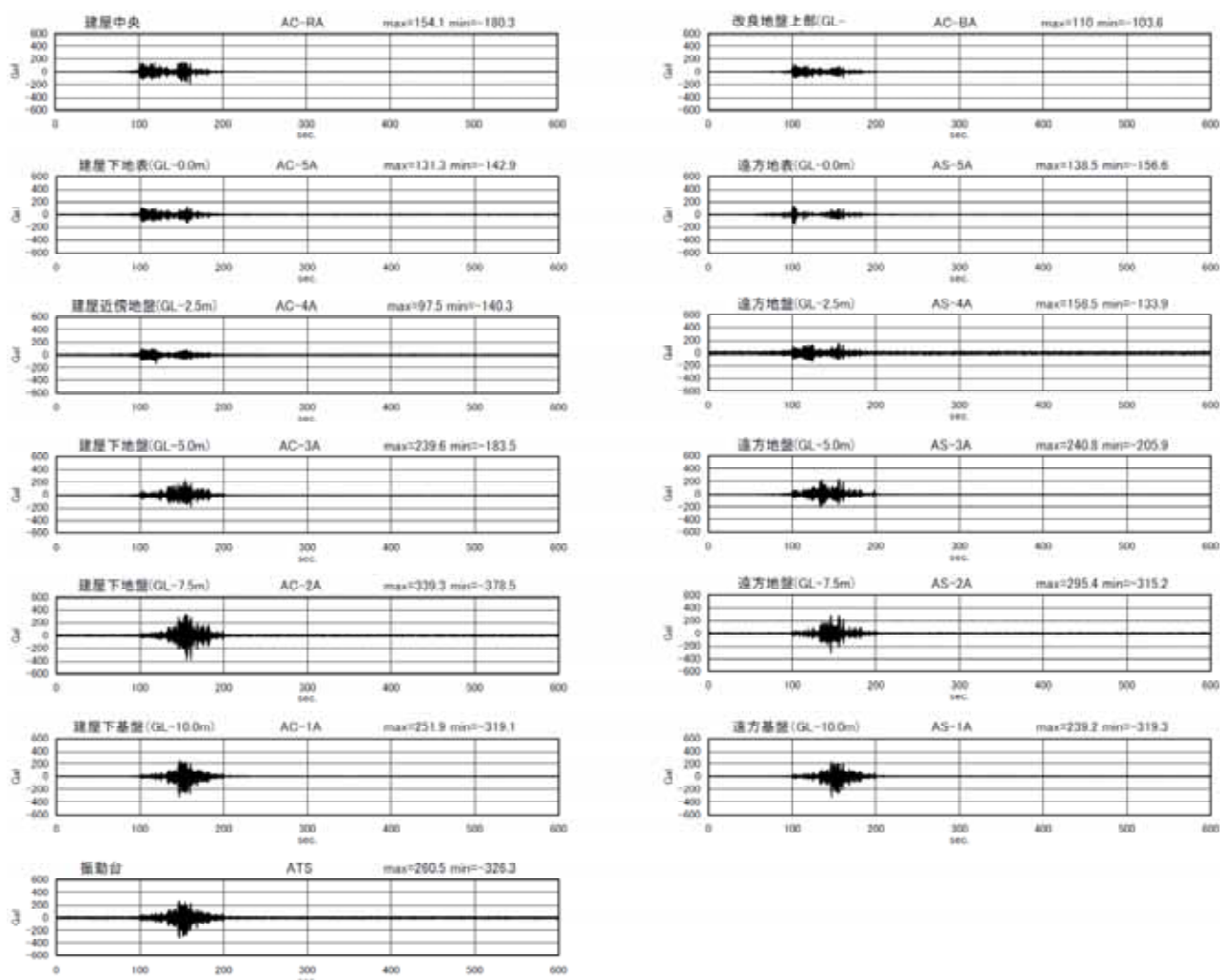


図 4.4.50 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

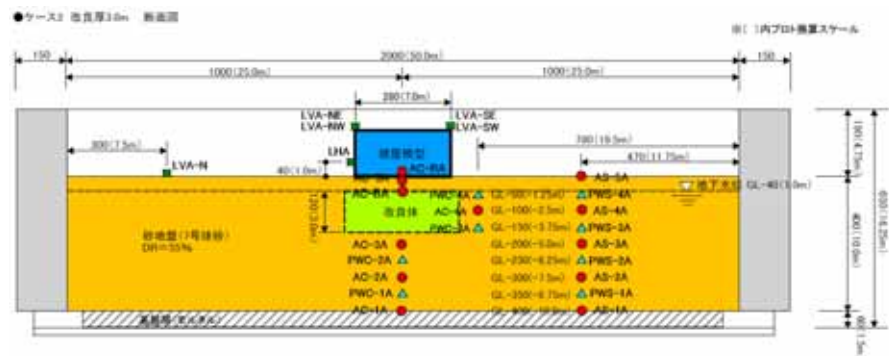
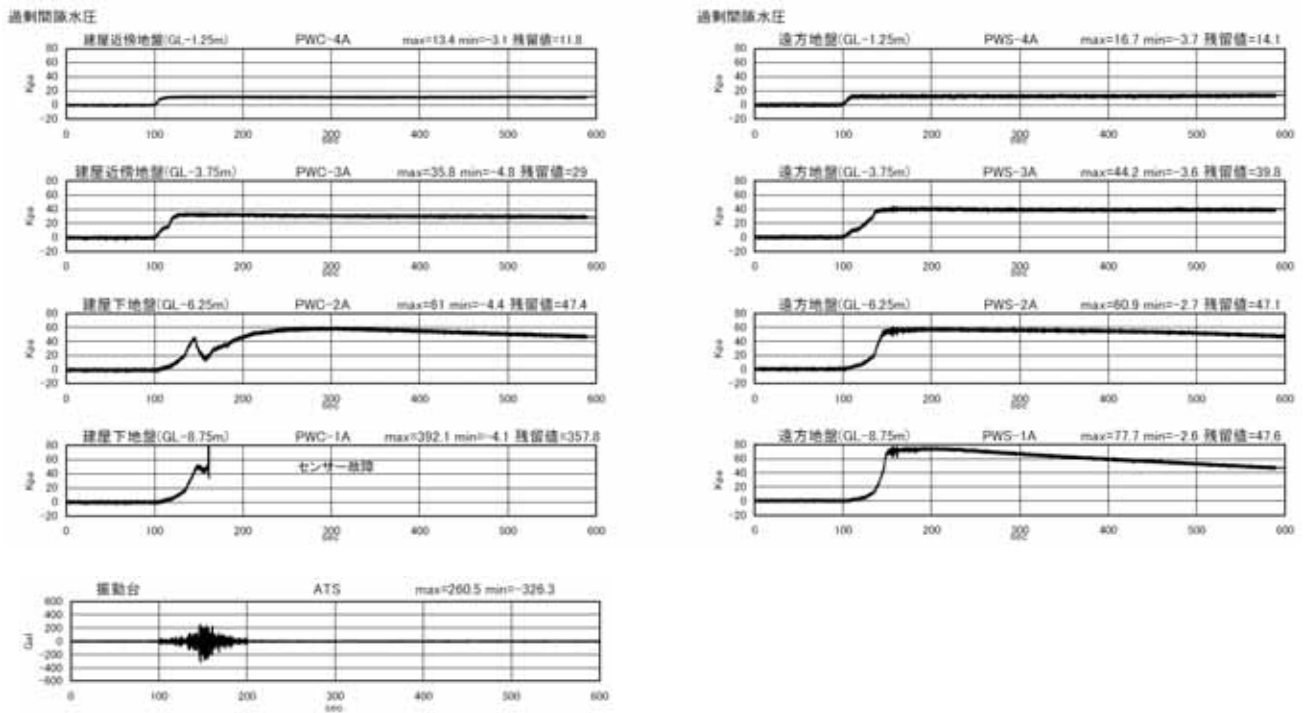


図 4.4.51 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

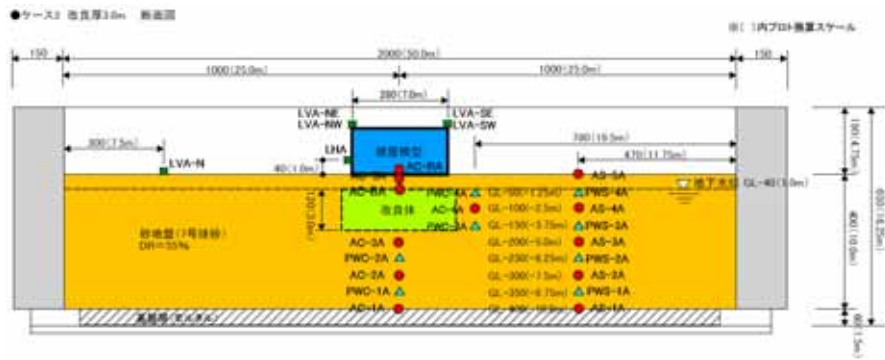
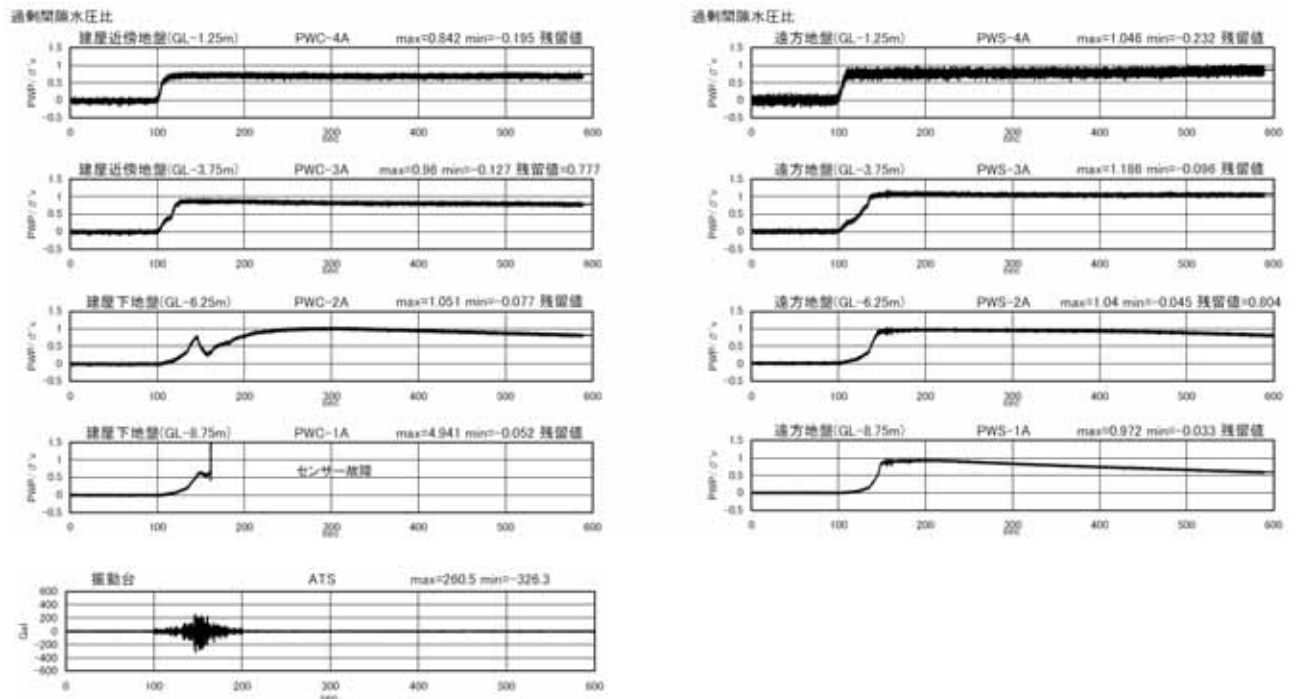


図 4.4.52 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

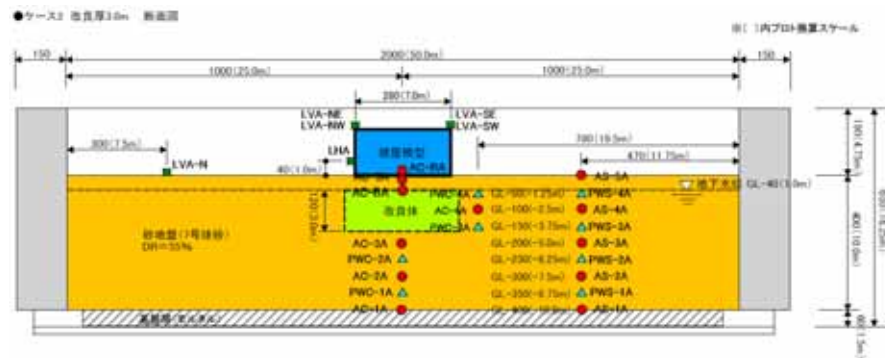
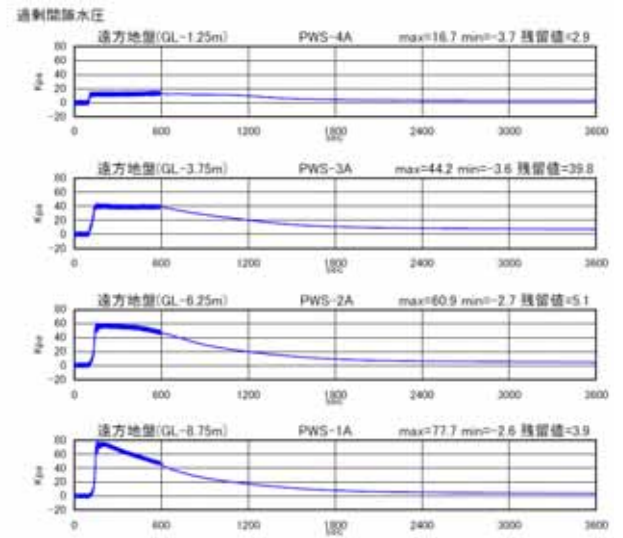
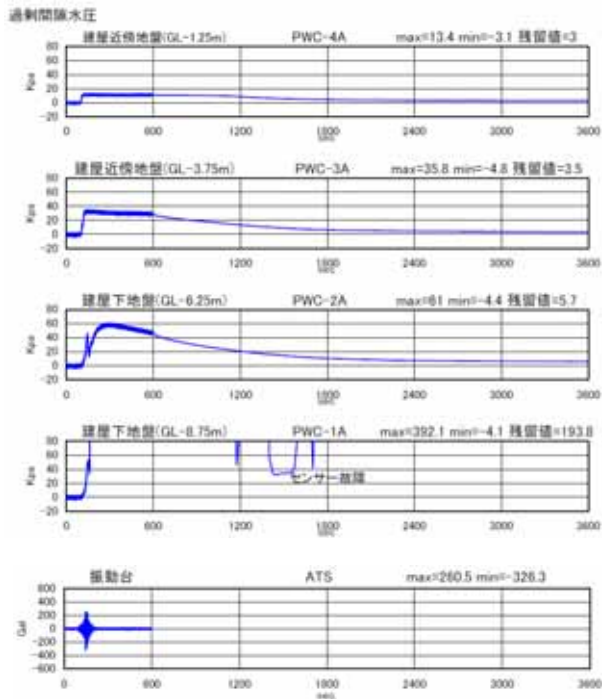
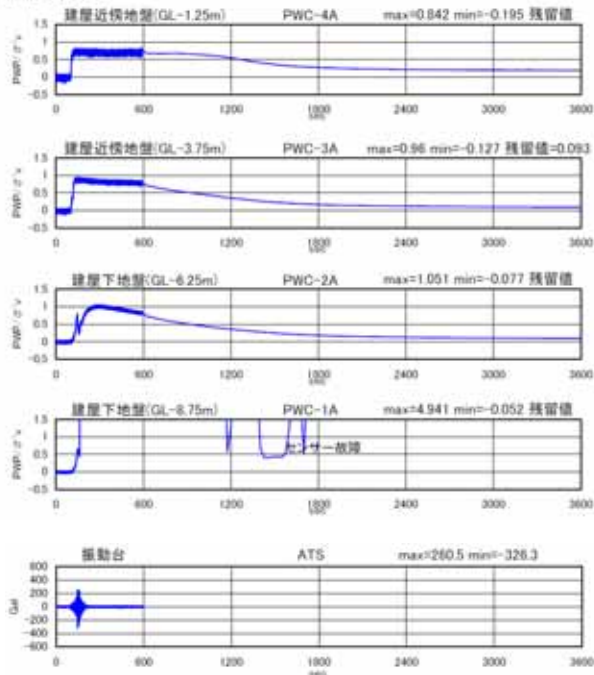


図 4.4.53 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

過剰間隙水圧比



過剰間隙水圧比

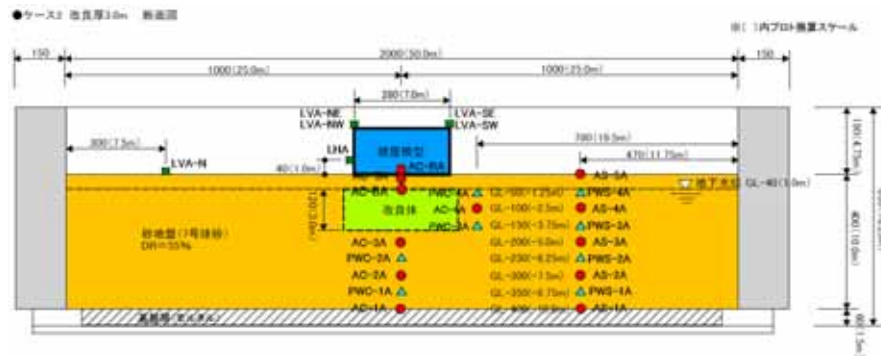
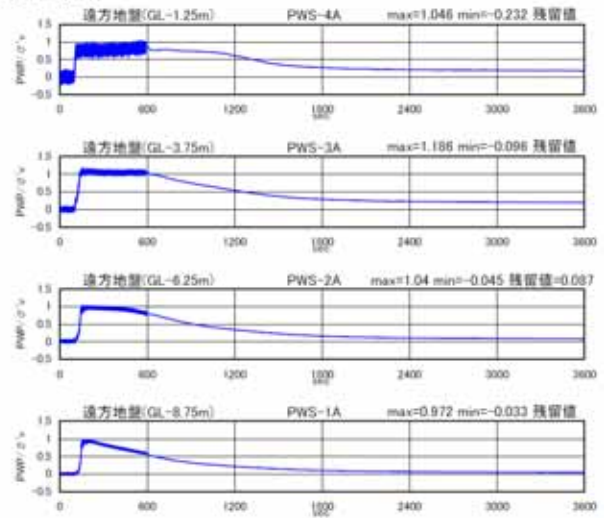


図 4.4.54 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

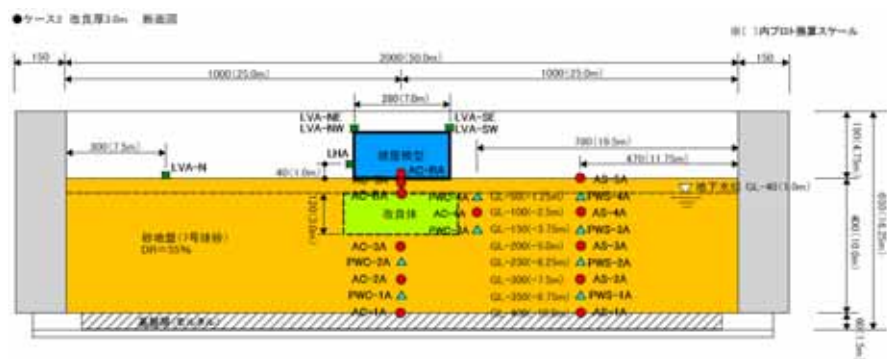
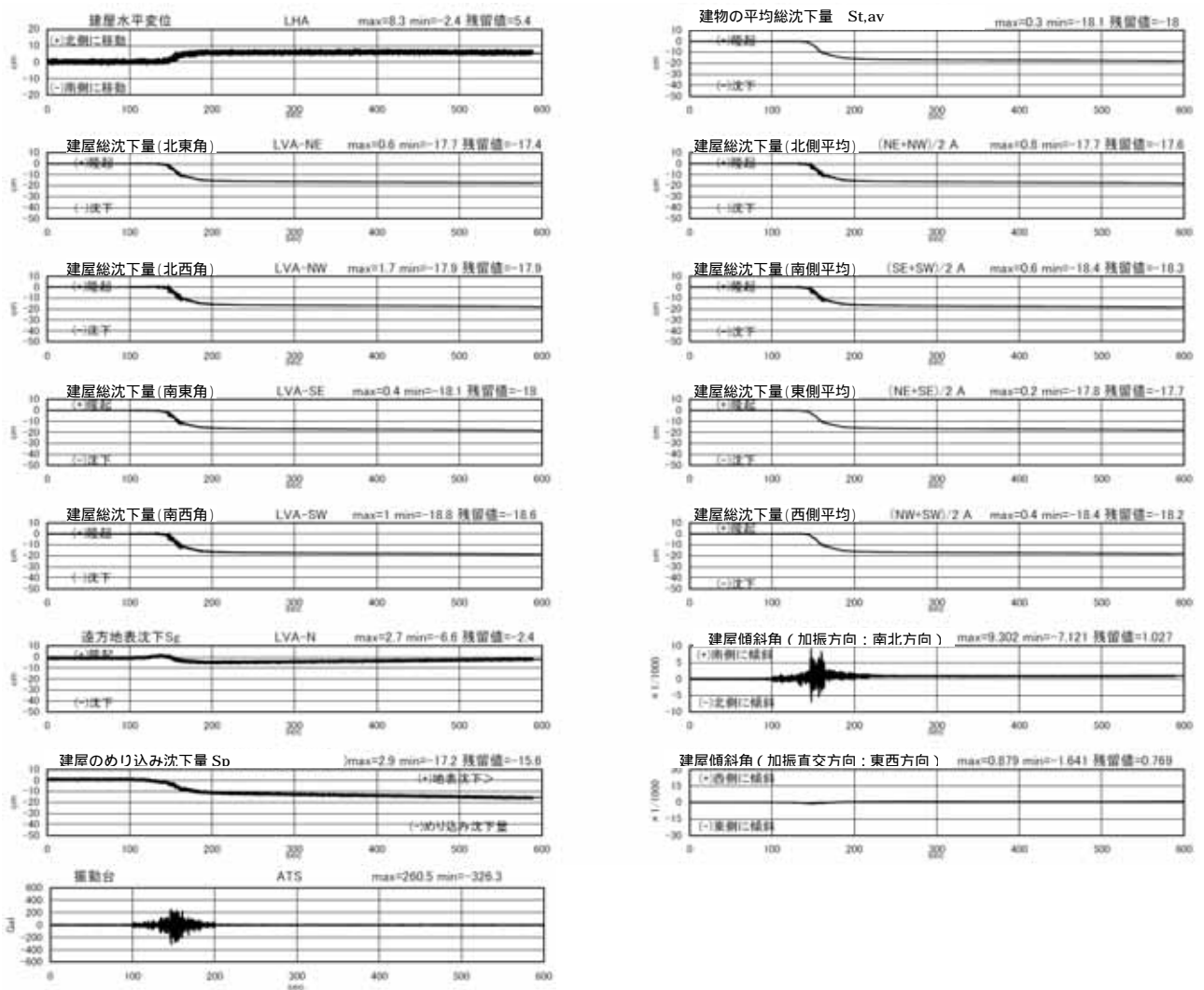


図 4.4.55 変位 (沈下) 建屋傾斜角 (600s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

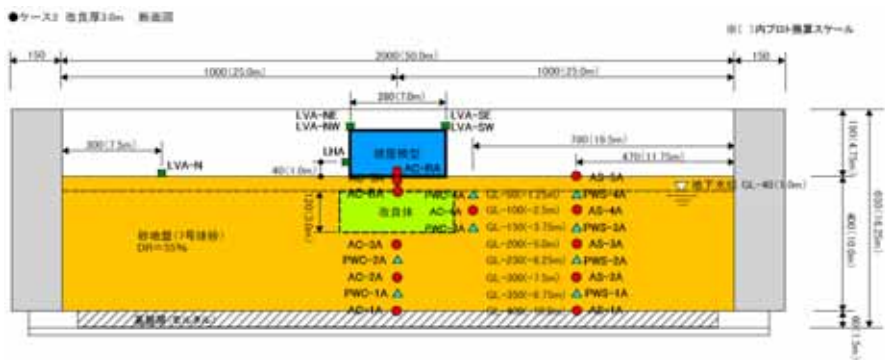
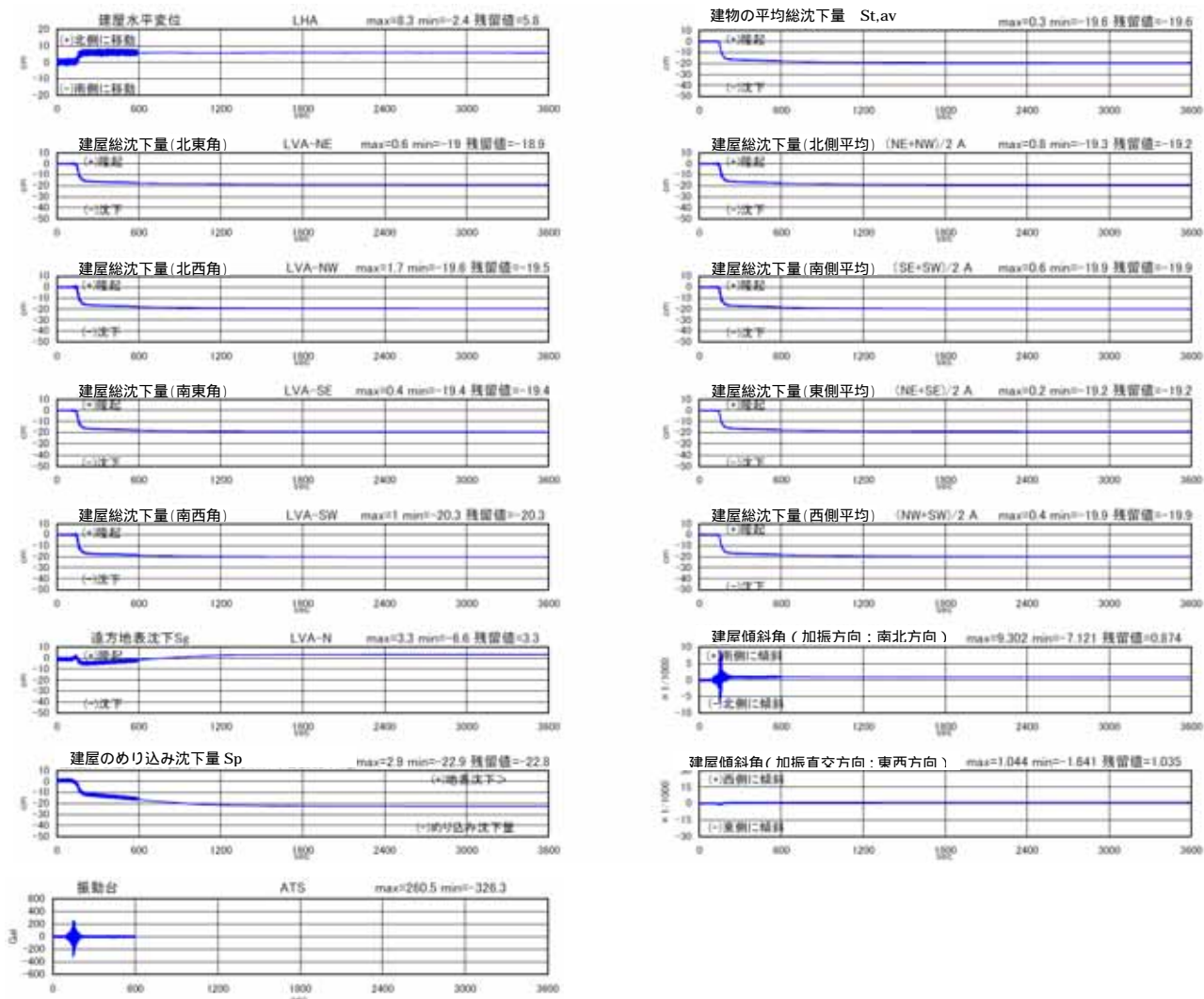


図 4.4.56 変位（沈下）建屋傾斜角（3600s まで）
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

地盤変位

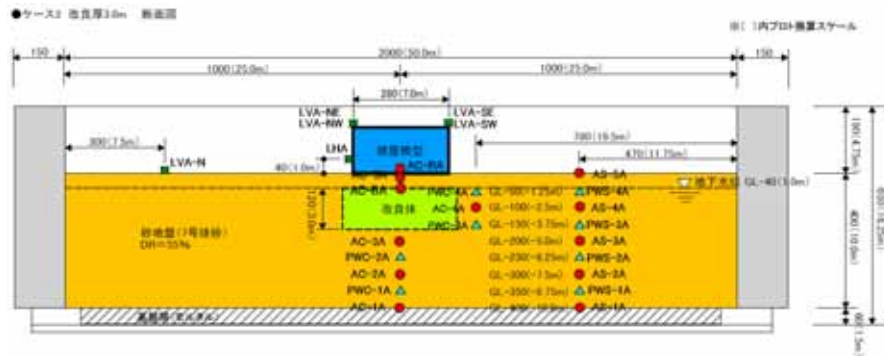
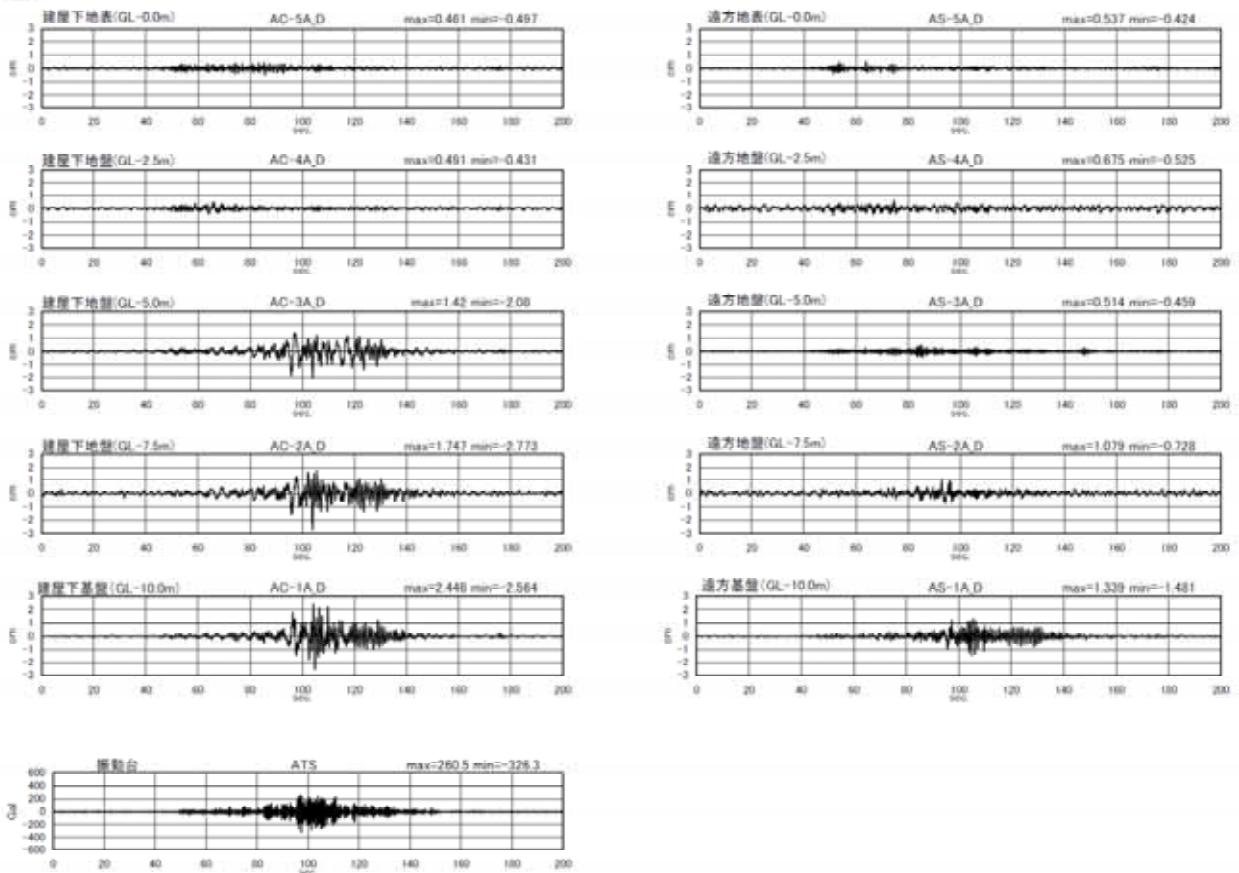


図 4.4.57 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

地盤せん断ひずみ

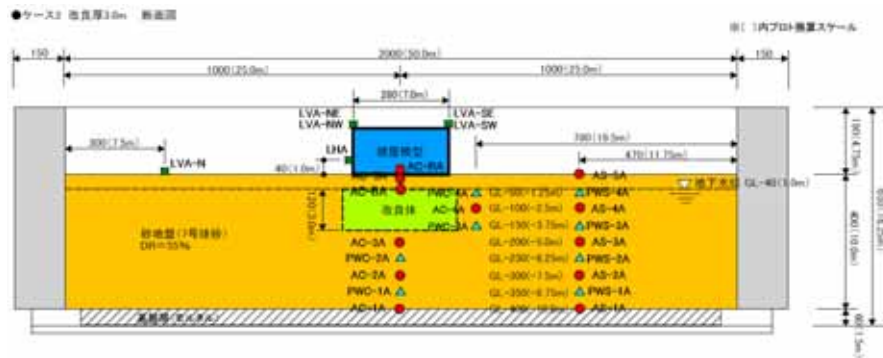
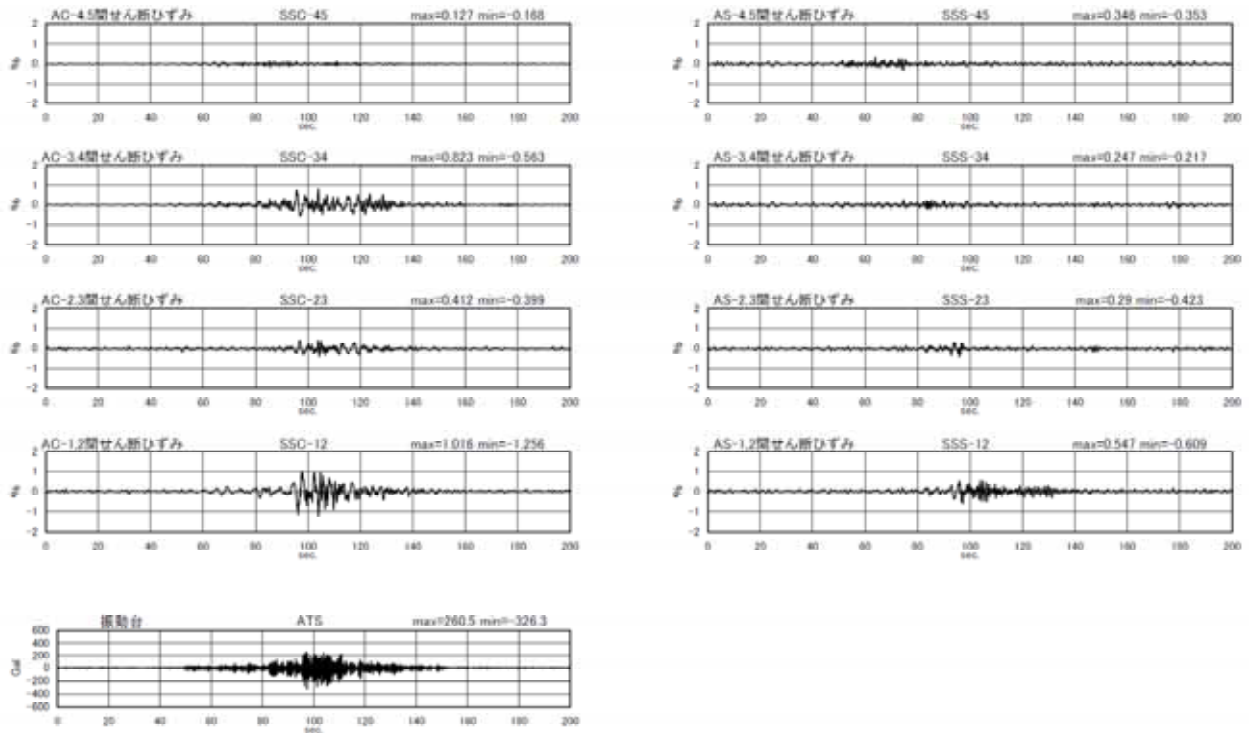


図 4.4.58 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 3 改良厚 3.0m、加振 2 回目〕

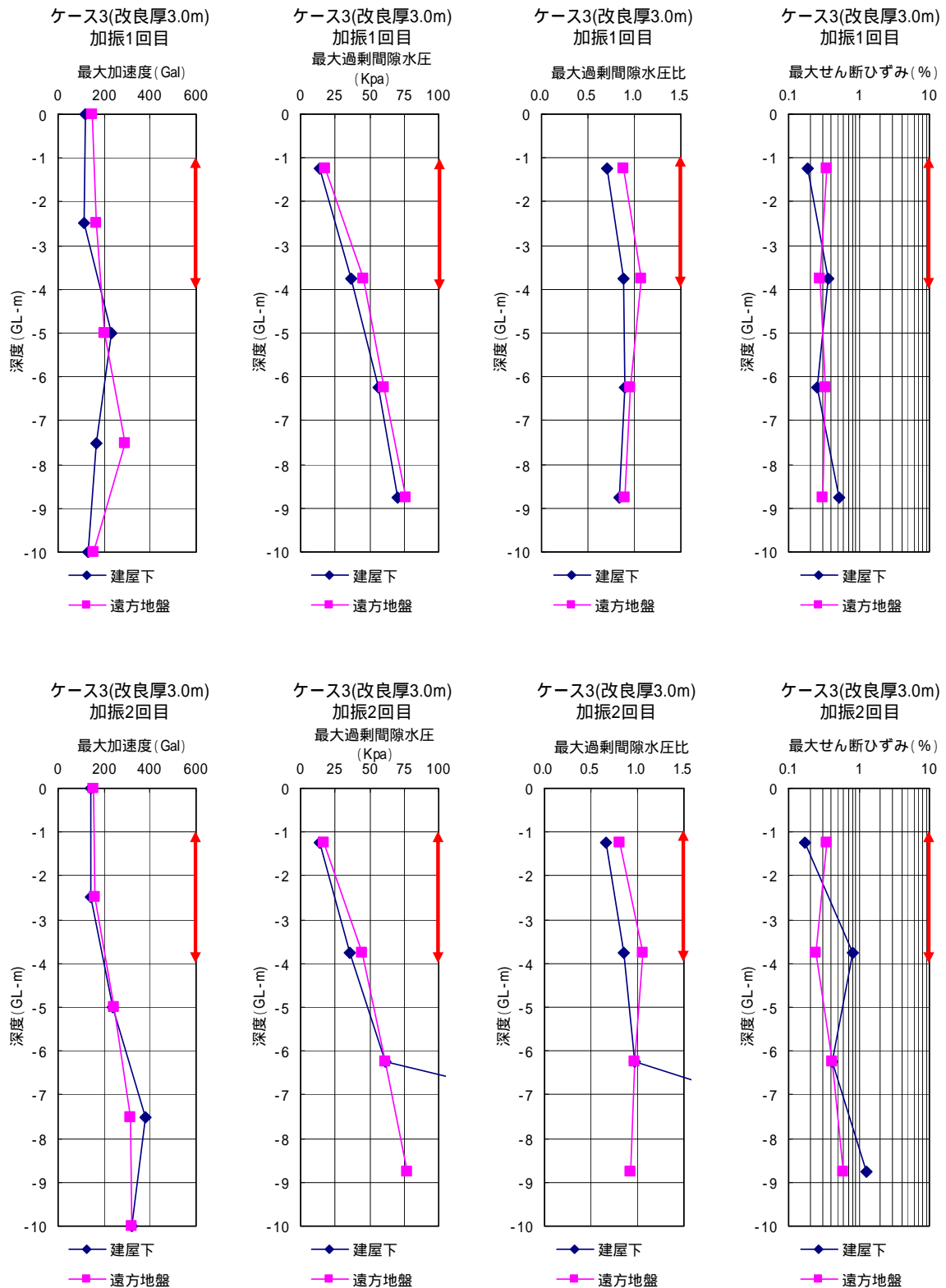


図 4.4.59 最大値震度分布〔ケース3 改良厚 3.0m〕

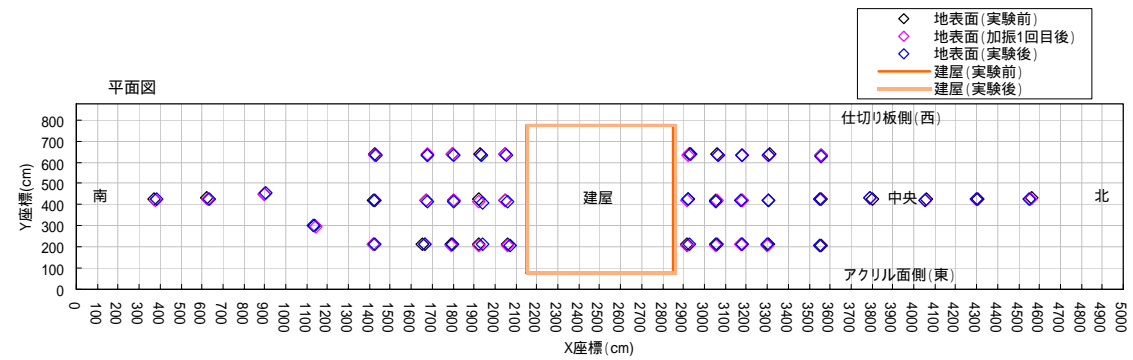
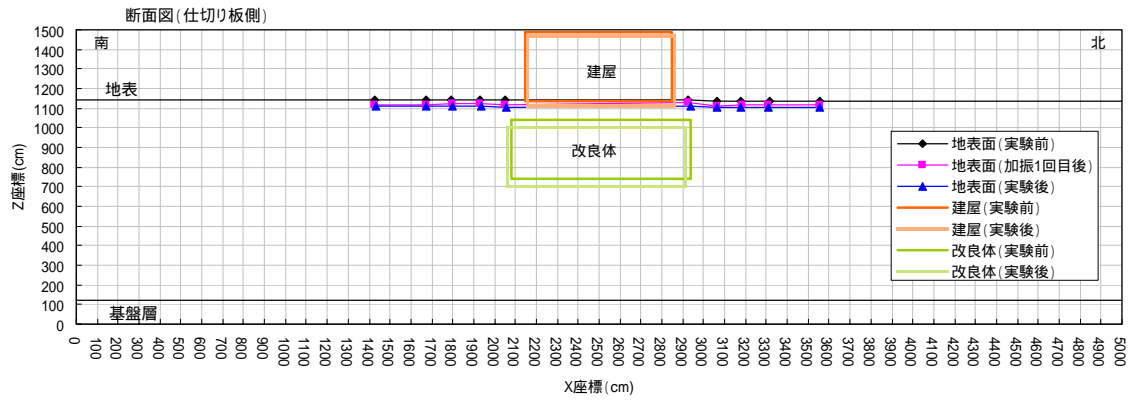
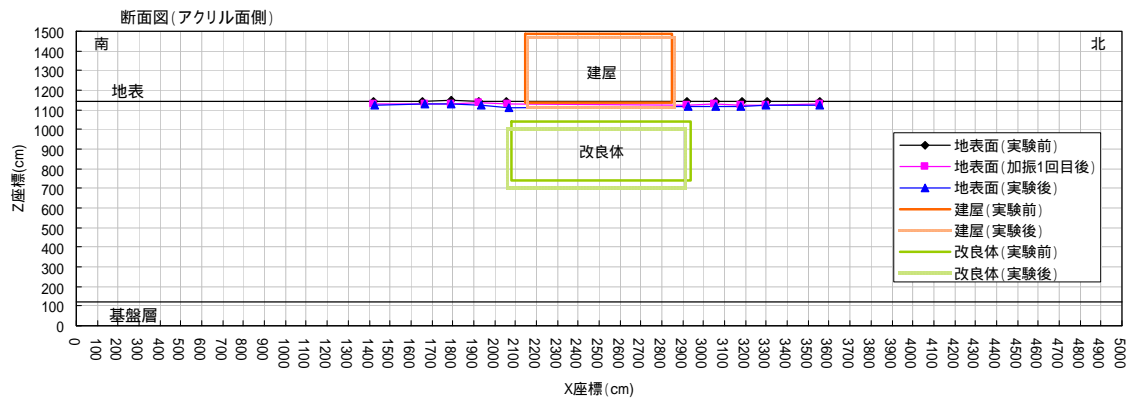
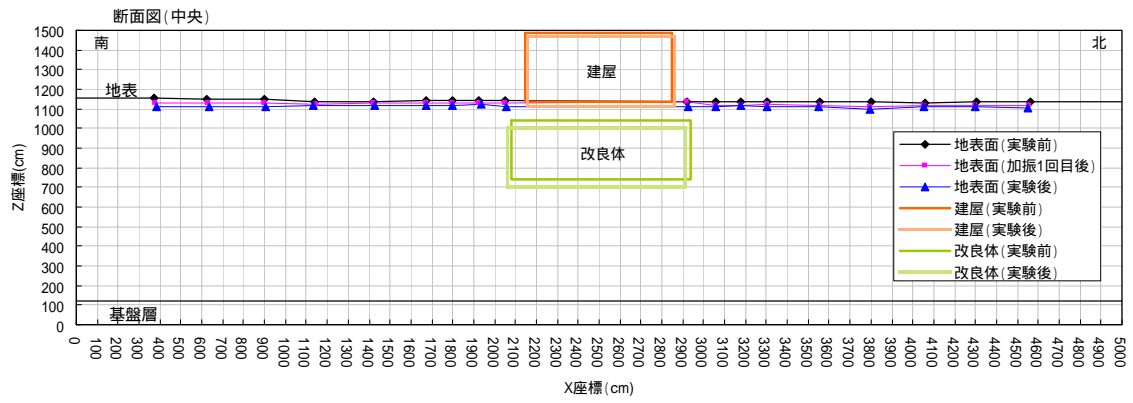


図 4.4.60 残留変形図〔ケース 3 改良厚 3.0m〕

4.4.4 ケース4(改良厚4.5m)

(1) 1回目の加振実験(地震動1:最大加速度150Gal)の時刻歴

加速度

図4.4.61は応答加速度の時刻歴を示している。建物(建屋)下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-7.5m(AC-2B)の応答加速度は基盤GL-10.0m(AC-1B)のそれに比べて最大の入力加速度付近まではやや増幅し、加振中の加速度は概ね伝達されているが、最大の入力加速度以降の応答加速度はやや低下しており、加速度の伝達が低下している。一方、GL-5.0m(AC-3B)、GL-2.5m(AC-4B)、GL-0.0m(AC-5B)および建物(AC-RB)では基盤でのピーク時の加速度が伝達されていない。これはケース1と同様に、加振中に地盤が液状化したためであり、遠方地盤(建物がない場合の地盤に相当すると考える)の応答加速度も、各深度で概ね同様な結果となっている。

過剰間隙水圧

図4.4.62、図4.4.64は過剰間隙水圧の時刻歴を、図4.4.63、図4.4.65は過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。図4.4.62と図4.4.63から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧比はいずれも加振とともに、増加し始め、入力加速度(ATS)の増加とともに、大きくなる傾向を示している。過剰間隙水圧比は加速度がピークに達する前に、概ね1.0程度となり、GL-6.25m(PWC-2B)では一時的に低下した後再び1.0程度まで増加している。過剰間隙水圧は浅部ほど早く増加する傾向を示しており、過剰間隙水圧比が概ね1.0に達する時刻も浅部ほど早くなっている。なお、GL-6.25m(PWC-2B)の過剰間隙水圧がピークに達した後、減少したのは地下水の地表面への噴出等による影響と考えられる。また、遠方地盤についても深度が同じであれば、概ね同様な過剰間隙水圧の増加傾向を示している。一方、図4.4.64、図4.4.65から、過剰間隙水圧は加振後も概ね2400秒付近まで残留しており、加振終了後も地盤はしばらくの間液状化状態にあったと推定される。特に、改良体の直下にあるGL-6.25m(PWC-3B)では900秒過ぎまで過剰間隙水圧比0.5以上を示しており、大きな過剰間隙水圧が残留していることが分かる。過剰間隙水圧の消散時間はケース1に比べて長くなっているものの、遠方地盤との顕著な差異が認められないことから、改良体による影響はないと考えられる。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図4.4.66、図4.4.67は建物の水平変位、建屋や地表面の総沈下量、遠方地盤の総沈下量(建物がない場合の地盤の総沈下量)および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴ってやや発生しているものの、最大で4cm、残留時で0.1cmである。建物の鉛直変位は4点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量(LVB-NEとLVB-NWの平均)が8.4cmに対して、南側の残留総沈下量(LVB-SEとLVB-SWの平均)は10.3cmとなっている。したがって、建物沈下量はケース1のその1/3~1/4程度に抑

制される結果となっている。一方、遠方地盤では加振直後に同様に沈下する結果となっており、建物のめり込み沈下量はほとんど発生しておらず、最終的な建物のめり込み沈下量は 6.5cm となっている。厚さ 4.5m 浅層盤状改良することで大幅に建物のめり込み沈下量が改善されたと言える。

建物の傾斜角は、加振方向（南北方向）については加振直後に振動しながら徐々に増加し、最終的に残留傾斜角は 2.7/1000 となっている。一方、加振直交方向（東西方向）の建物の傾斜角は加振直後に増加し、その後徐々に低下し、残留に至っている。最終的な東西方向の建物の残留傾斜角は 0.8/1000 程度となっている。

図 4.4.67 から、建物の沈下は加振終了後、すぐに残留状態に達しており、ケース 1 にみられる加振後の継続的な沈下は見られない。これらのことから、厚さ 4.5m 浅層地盤改良を実施した場合、図 4.4.64 に示すように過剰間隙水圧は残留するものの、それと整合する継続的な沈下は発生しないと推定される。なお、遠方地盤において、1200 秒後に沈下が計測されているが原因は不明である。

地盤変位（水平変位）

図 4.4.68 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、いずれの深度においても加振直後より地盤変位を生じているが、加速度の増加に対して変位の増加は小さく、建物の変位振幅も小さいことから、液状化による影響が認められる。

せん断ひずみ

図 4.4.69 に図 4.4.68 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図から、各深度のせん断ひずみは加振の初期より発生し、加速度の増加とともにやや大きくなる傾向が見られるものの、加速度が最大となる付近ではむしろせん断ひずみが小さくなっている。特に、浅部ほどこの傾向は顕著である。せん断ひずみの最大値は GL-10.0m ~ GL-7.5m 間で最大 0.428% となっている。

(2) 2 回目の加振実験（地震動 2：最大加速度 350Gal）の時刻歴

加速度

図 4.4.70 は応答加速度の時刻歴を示している。建物下における各深度の応答加速度の時刻歴波形に着目すると、GL-7.5m（AC-2B）の応答加速度は基盤 GL-10.0m（AC-1B）のそれに比べて増幅しており、基盤の加速度が概ね伝達されている。しかし、GL-5.0m（AC-3B）\ GL-2.5m（AC-4B）の加速度は小さく、ほとんど伝達されていない。GL-0.0m（AC-5B）および建物（AC-RB）では加振初期に大きく増幅し、その後加速度が低下し、入力加速度がピークとなる段階で再び加速度が増幅している。

過剰間隙水圧

図 4.4.71、図 4.4.73 は過剰間隙水圧の時刻歴を、図 4.4.72、図 4.4.74 は過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。図 4.4.71 と図 4.4.72 から、過剰間隙水圧および過剰間隙水圧

比はいずれも加振とともに、増加し始め、振動台からの入力加速度（ATS）の増加とともに、大きくなっている。特に、振動台（ATS）の加速度が 100gal を超えた付近から、過剰間隙水圧が急激に増加する傾向が認められる。過剰間隙水圧比は、振動台の加速度がピークを達する前に、概ね 1.0 程度となっており、液状化していることが分かる。また、地盤の浅い位置ほど過剰間隙水圧比が 1.0 に達する時期がやや早くなっており、1 回目の加振時と同様な結果となっている。なお、GL-6.25m（PWC-2B）と GL-8.75m（PWC-1B）において過剰間隙水圧が上下に変動する部分が見られるが、これは地表面に地下水が噴出したため、一時的に過剰間隙水圧が低下したものと推察される。一方、図 4.4.4.13、図 4.4.4.14 から、過剰間隙水圧は加振後も概ね 1800 秒後まで残留している。特に、GL-6.25m（PWC-2B）では 800 秒付近まで過剰間隙水圧比 0.5 以上を示しており、大きな過剰間隙水圧が残留していることが分かる。浅部ほどこの傾向は顕著である。ケース 1 に比べて過剰間隙水圧の消散時間が長くなっているものの、遠方地盤の過剰間隙水圧の消散も概ね同様な結果となっていることから、改良体の有無による影響はないと考えられる。なお、1 回目の加振と 2 回目の加振で残留間隙水圧の消散時間は概ね同様である。

建物の水平・鉛直変位、地表面変位

図 4.4.75、図 4.4.76 は建物の水平変位、建屋や地表面の総沈下量、遠方地盤の総沈下量（建物がない場合の地盤の総沈下量）および計測結果から求めた建物のめり込み沈下量、建物の平均総沈下量、建物の傾斜角を示している。建物の水平変位は加振に伴って生じており、最大で 5.7cm、残留時で 3cm となっている。建物の鉛直変位は 4 点計測しているが、いずれも加振とともに大きく沈下している。建物の沈下は北側の残留総沈下量（LVB-NE と LVB-NW の平均）が 19.7cm に対して、南側の残留総沈下量（LVB-SNE と LVB-SW の平均）は 23.1cm となっている。これらの沈下量はいずれも、1 回目の加振時の沈下量の 3 倍程度となっている。一方、遠方地盤での沈下が小さく、最終的な建物のめり込み沈下量は 11.6cm となっている。

建物の傾斜角は、南北方向については加振中に大きく変動しており、最終的な傾斜角は 4.9/1000 となっている。一方、東西方向の建物の傾斜角は加振とともに漸増し、最終的な傾斜角は 0.7/1000 程度となっている。建物の最大傾斜角は 1 回目の加振実験とほぼ同様である。

図 4.4.76 から、建物の沈下は加振終了後、すぐに残留状態に達しており、ケース 1 にみられる加振後の継続的な沈下増分は見られない。これらのことから、浅層地盤改良を実施した場合、図 4.4.64 に示すように過剰間隙水圧は残留するものの、それと整合する継続的な沈下は発生しないと推定される。

地盤変位（水平変位）

図 4.4.77 は計測した加速度を 2 回積分して求めた地盤変位を示している。これらの図から、GL-10m（AC-1B_D）と GL-7.5m（AC-2B_D）は地盤変位が大きく、建物の変位は加振時を通じて一様な振幅となっている。

せん断ひずみ

図 4.4.78 に図 4.4.77 の地盤変位から算定した地盤中のせん断ひずみの時刻歴を示す。この図からも、GL-10.0m～GL-7.5m (SSC-12) において最大のせん断ひずみ 1.088% が発生しているが、加振中に液状化が発生したため、GL-7.5m～5.0m (SSC-23) のせん断ひずみはその 1/2 程度まで低下している。

(3) 分布

最大加速度分布、最大過剰間隙水圧(比)分布、最大せん断ひずみ分布

図 4.4.79 は 1 回目および 2 回目の加振時における最大加速度、最大過剰間隙水圧、最大過剰間隙水圧比および最大せん断ひずみの深度方向の分布図を示している。

これらの結果から、1 回目の最大加速度は深度方向に概ね一様であるが、2 回目の最大加速度は地表面ほど小さくなっており、地盤の液状化によって加速度が伝達されにくくなっていることが分かる。

最大過剰間隙水圧は 1 回目、2 回目とも深くなるほど線形的に大きくなっており、最大過剰間隙水圧比は 0.6～1.0 で分布している。したがって、地盤はいずれの実験においても基盤から地表面まで液状化したと推察される。改良体の直下では過剰間隙水圧比が 0.9～1.0 となっており、深度方向にほぼ一様に液状化していると考えられる。

1 回目の加振時における最大せん断ひずみは、建物直下および遠方地盤とも概ね深度方向に一様な分布を示しているが、2 回目の加振時における最大せん断ひずみは深度方向に大きくなる傾向を示している。

残留変形

図 4.4.80 に 1 回目および 2 回目の加振終了後に計測した地表面と建物の総沈下の分布を示す。建物はいずれの断面とも、北側にやや移動し、沈下している。建物の沈下は周辺地盤の沈下と概ね同様であり、建物のめり込み沈下は小さいことが分かる。なお、改良体の総沈下量は建物の総沈下量と概ね同様である。

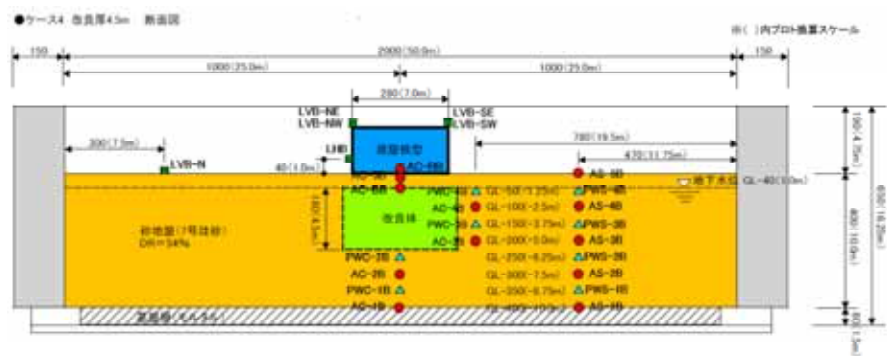
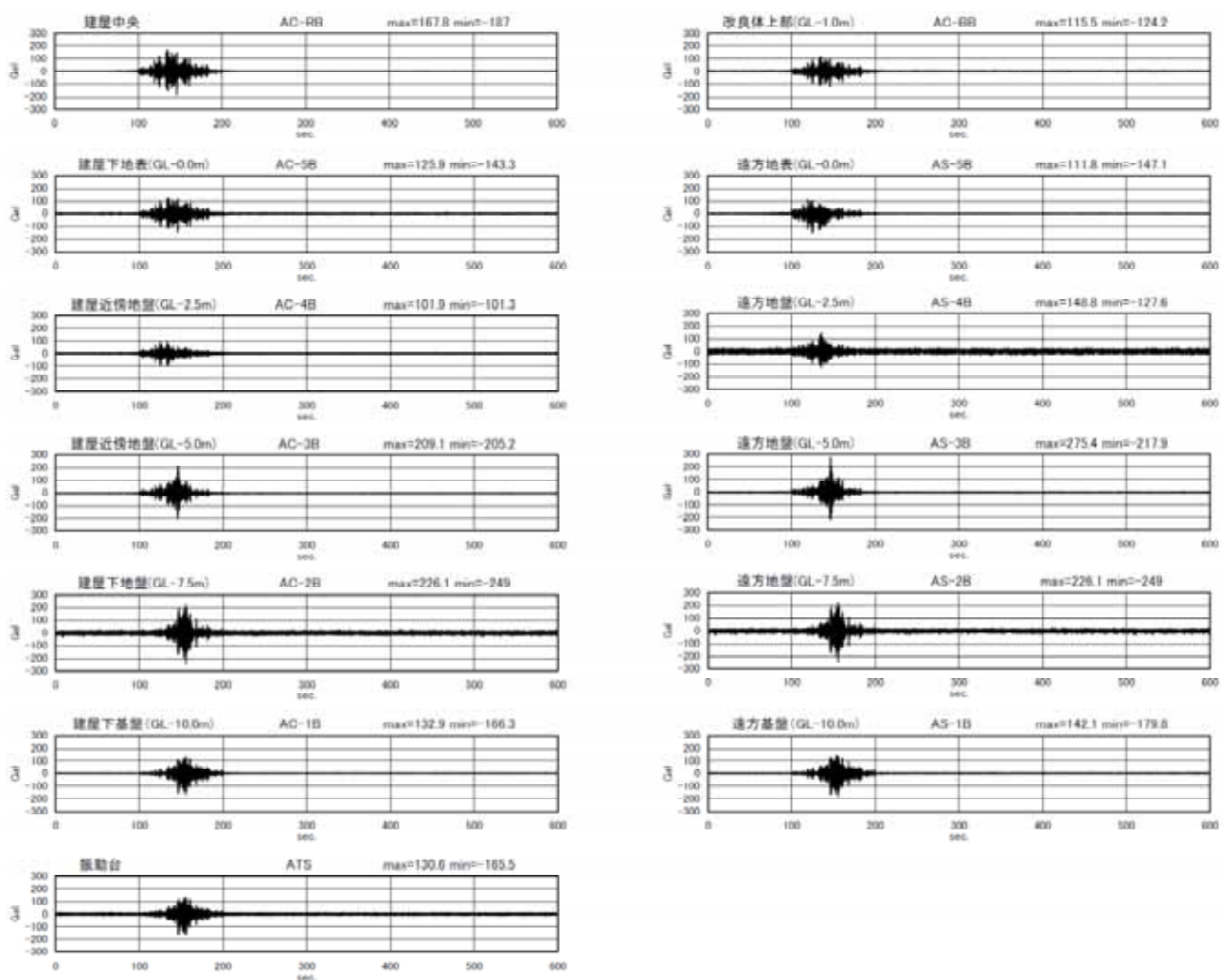


図 4.4.61 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

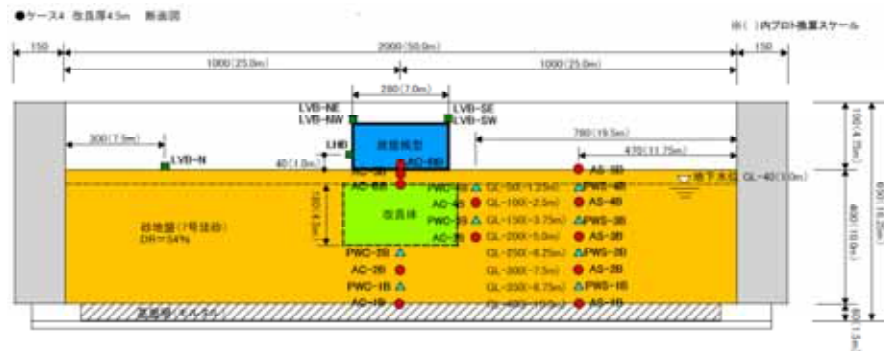
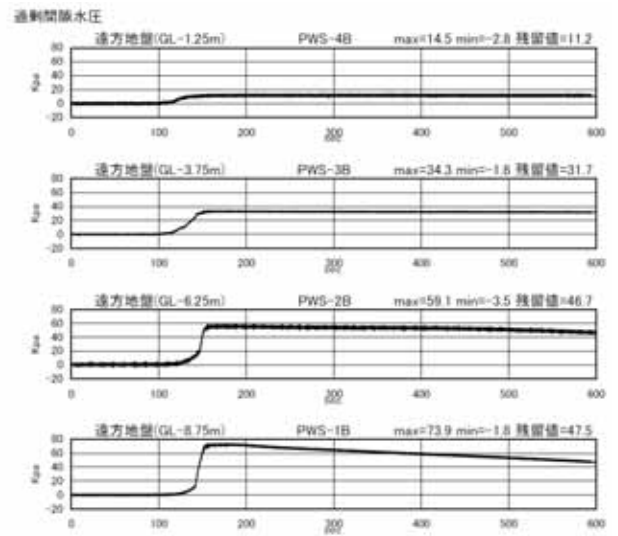
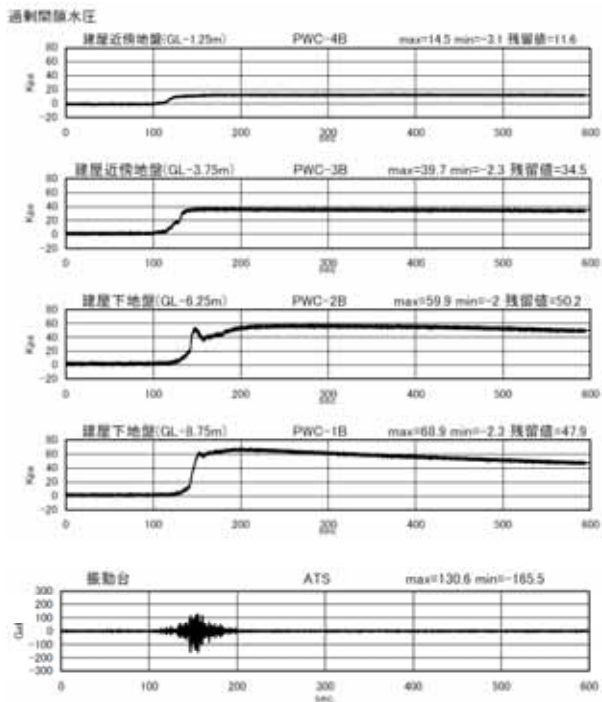


図 4.4.62 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

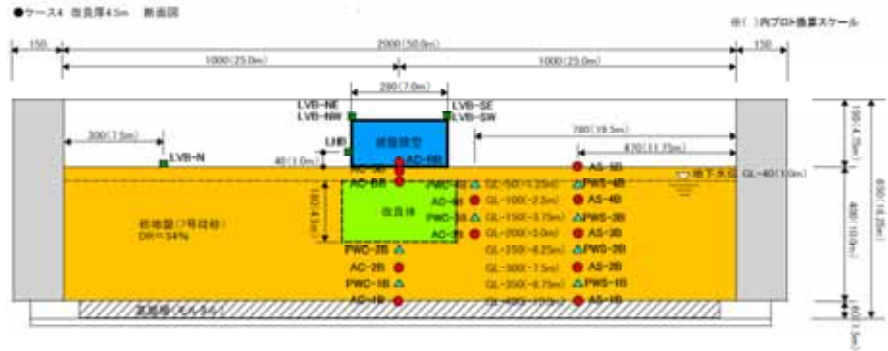
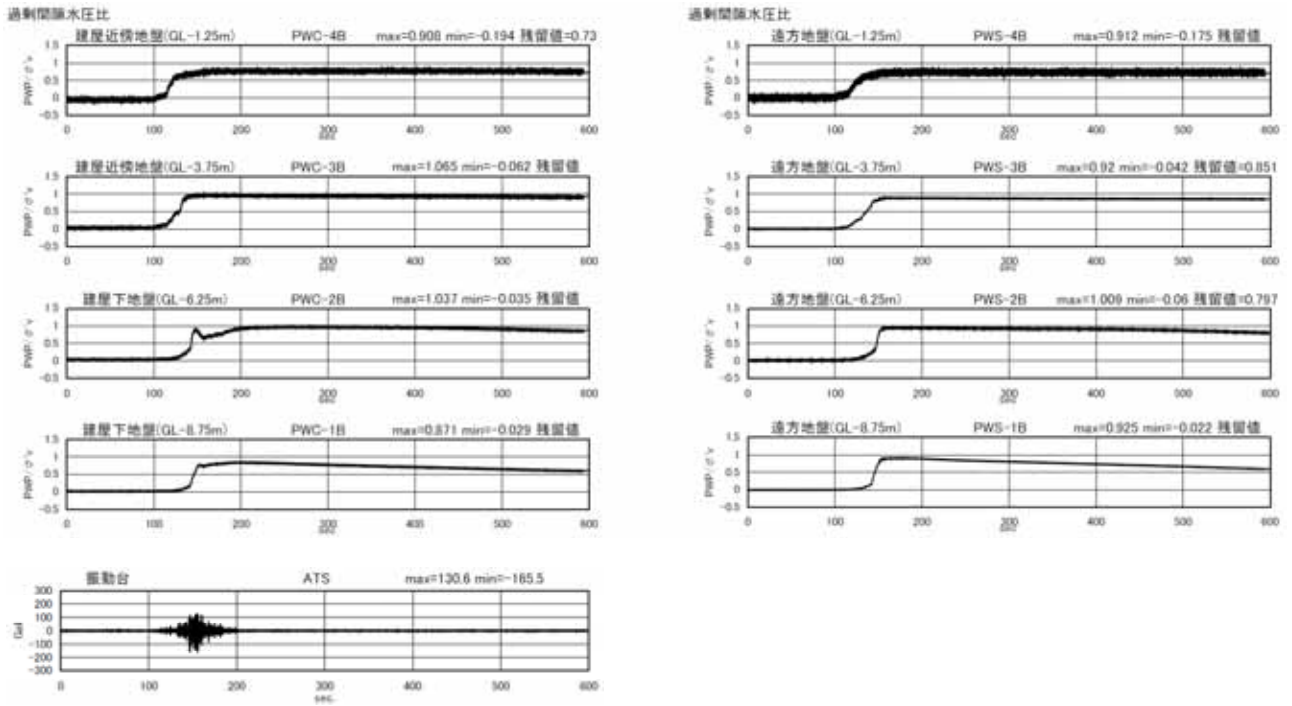


図 4.4.63 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

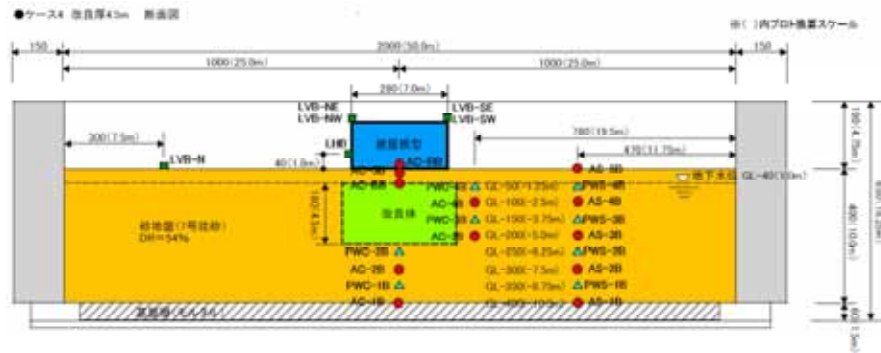
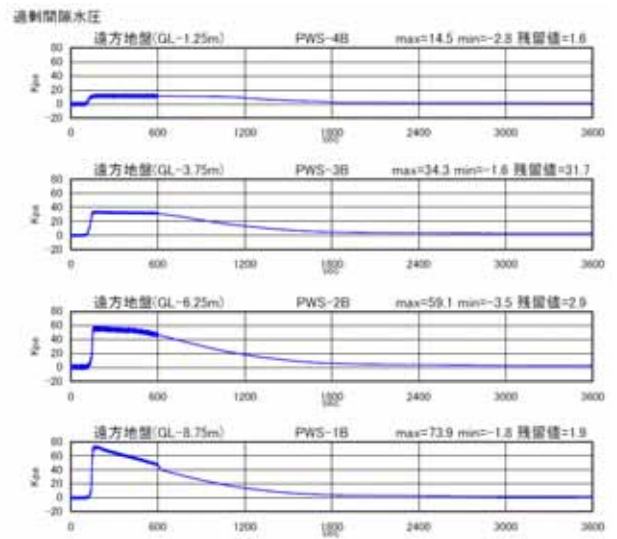
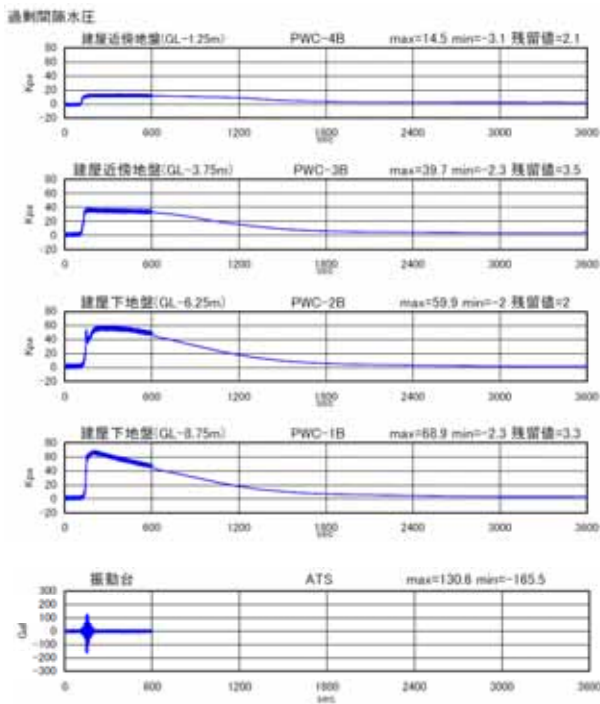


図 4.4.64 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

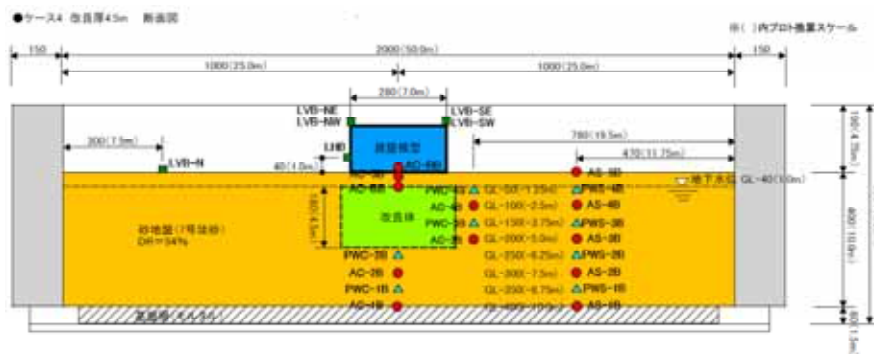
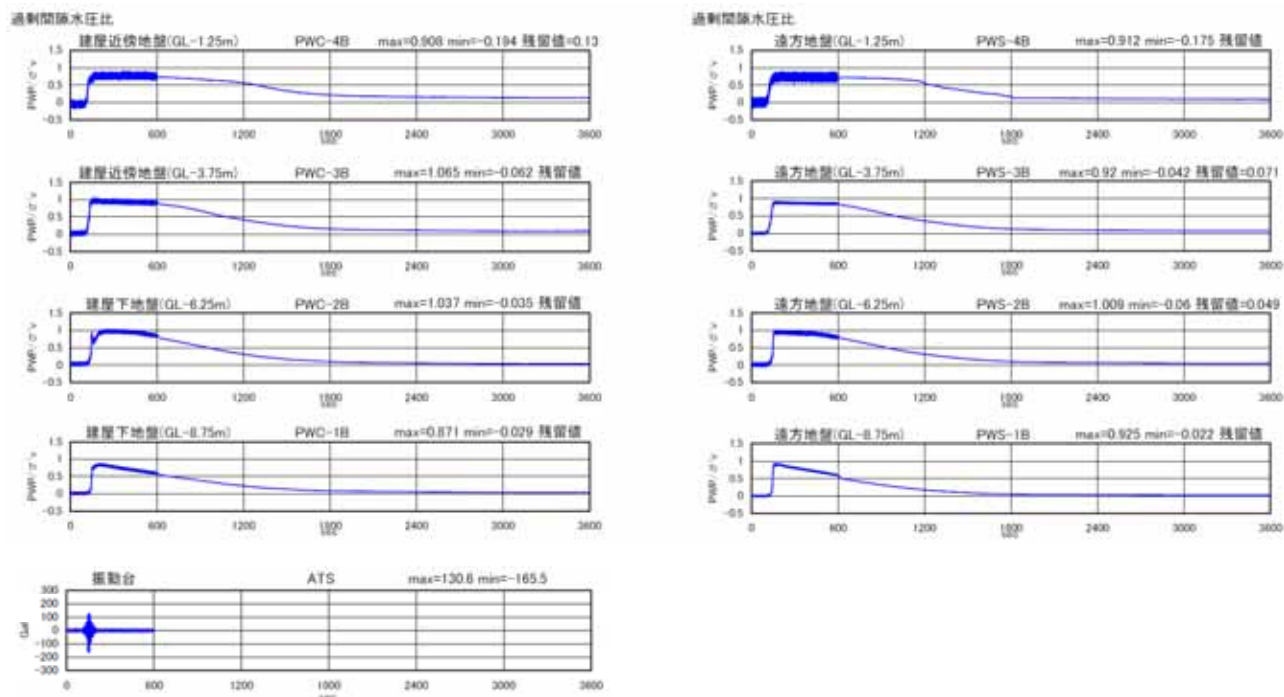


図 4.4.65 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
〔ケース4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

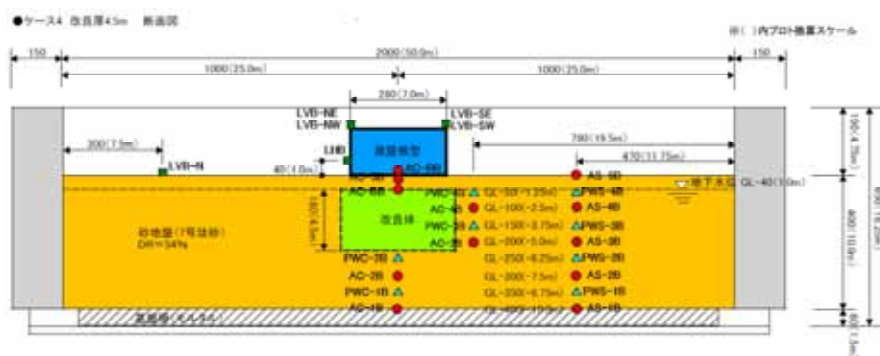
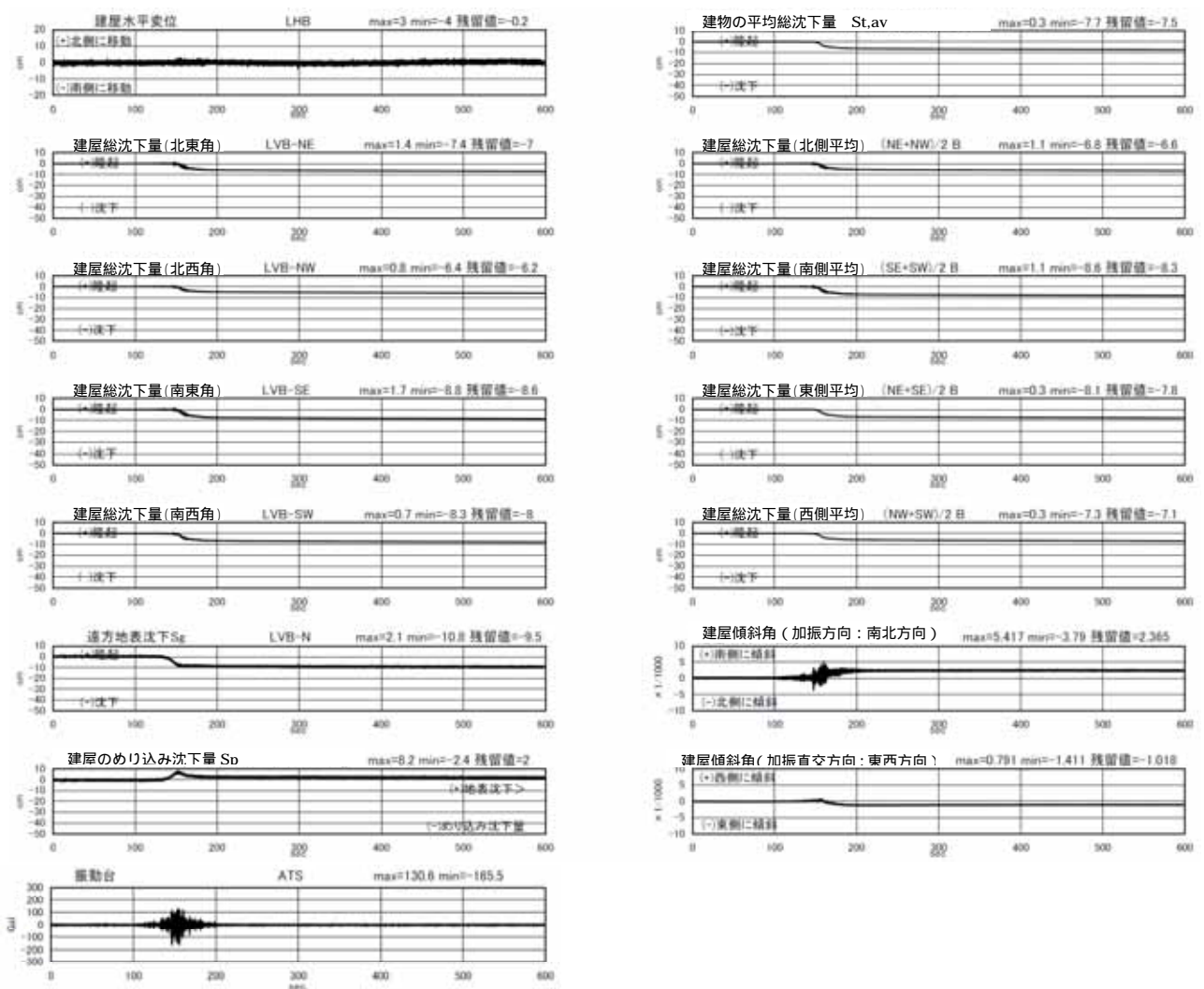


図 4.4.66 変位(沈下) 建屋傾斜角(600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

地盤変位

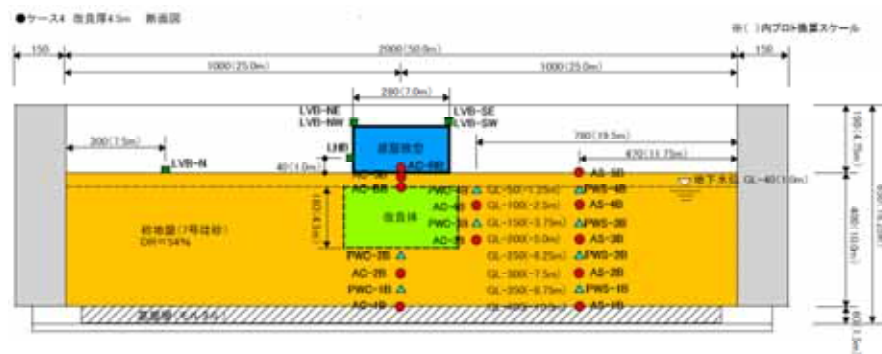
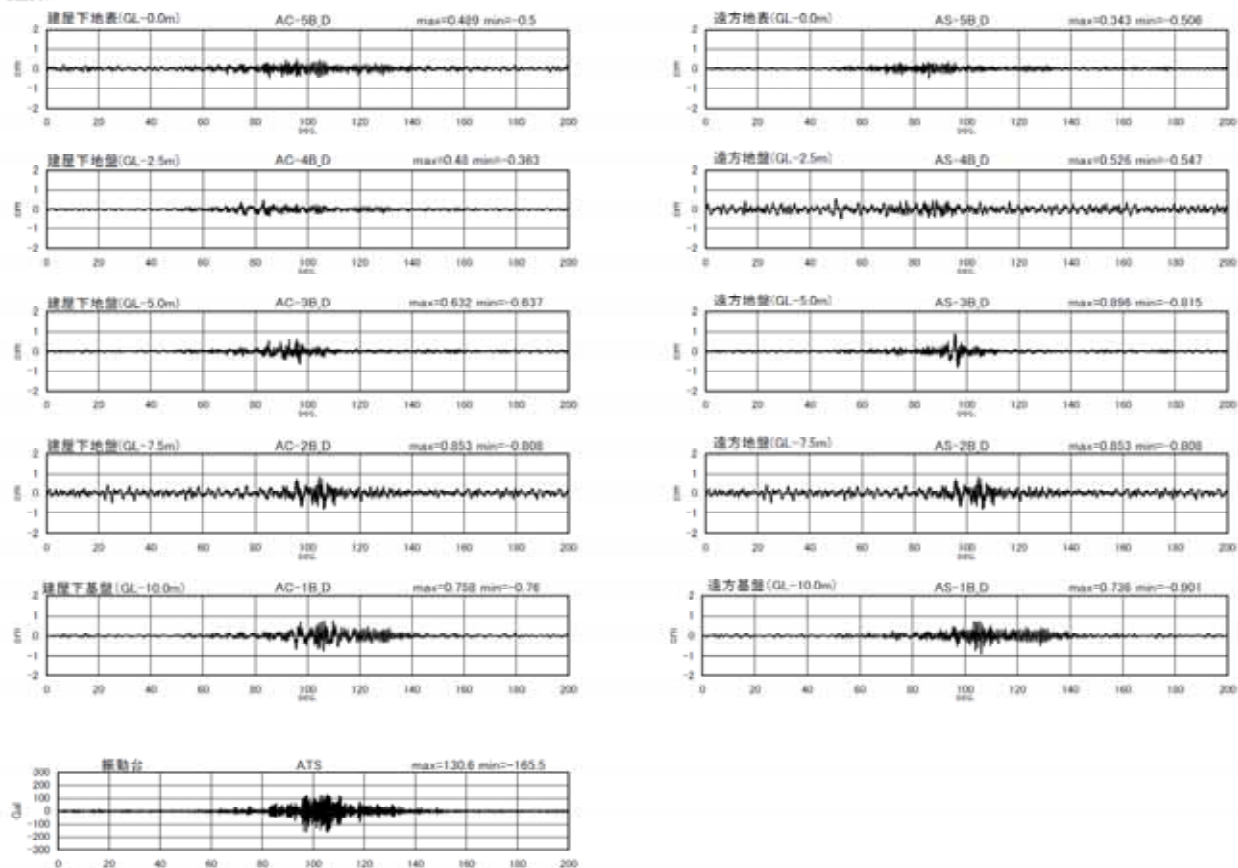


図 4.4.68 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

地盤せん断ひずみ

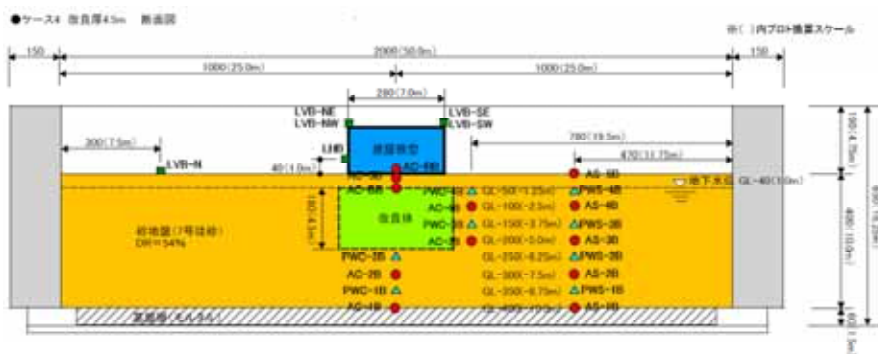
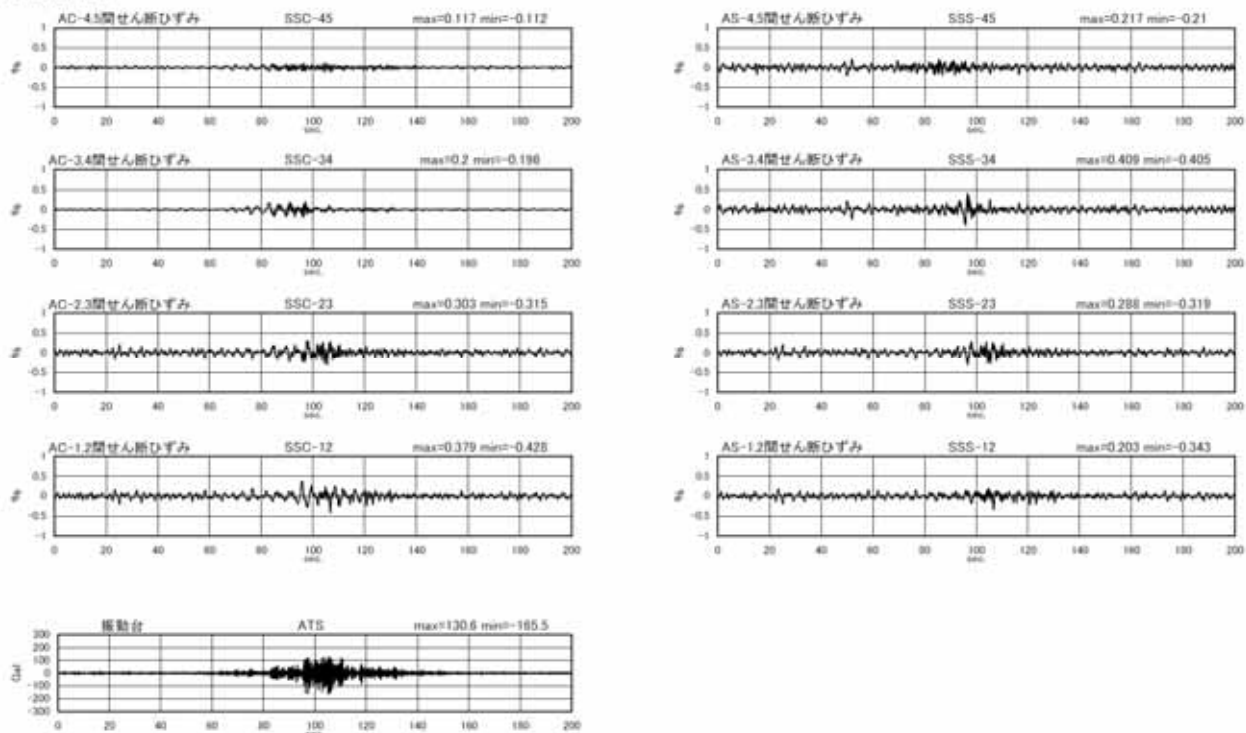


図 4.4.69 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 1 回目〕

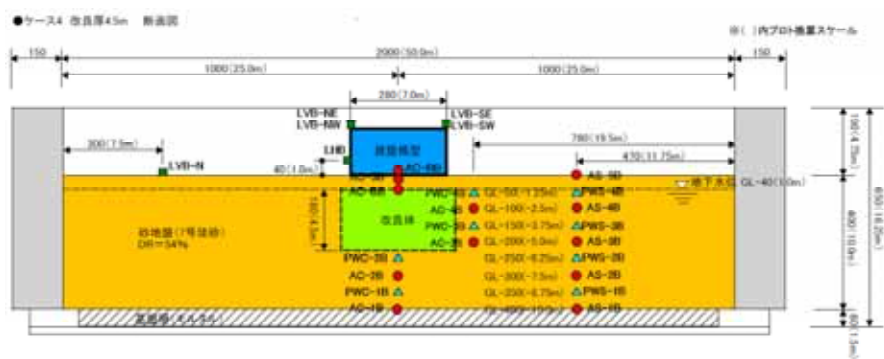
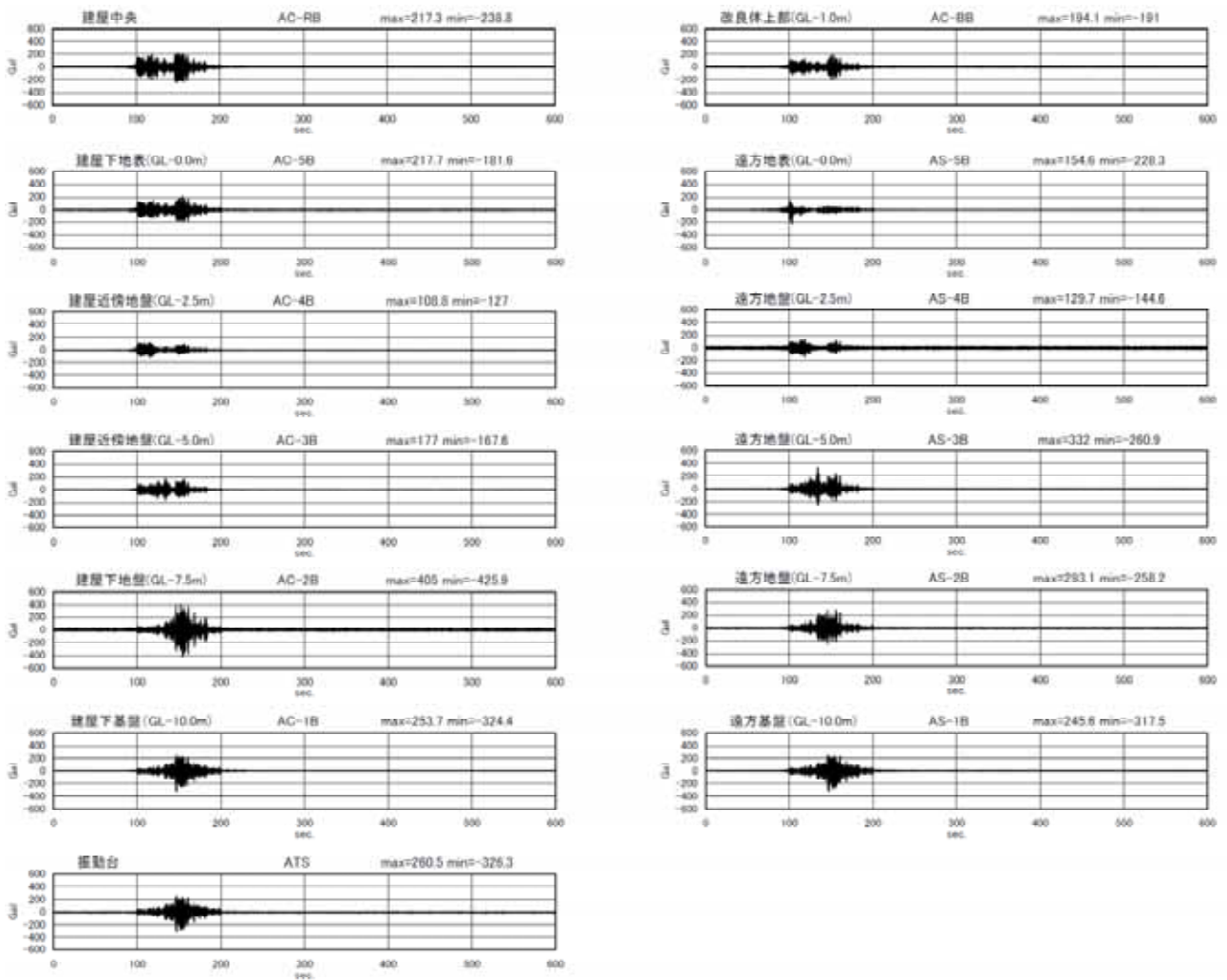


図 4.4.70 加速度応答波形 (600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

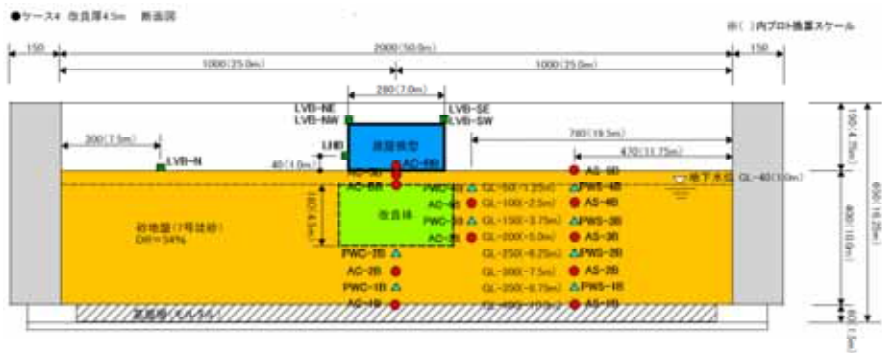
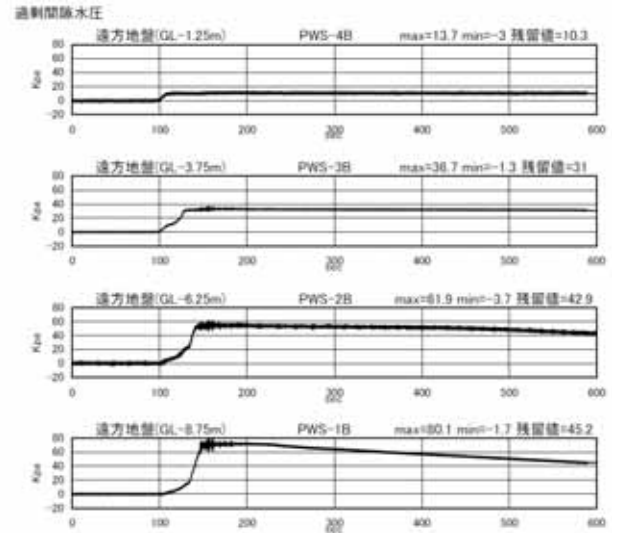
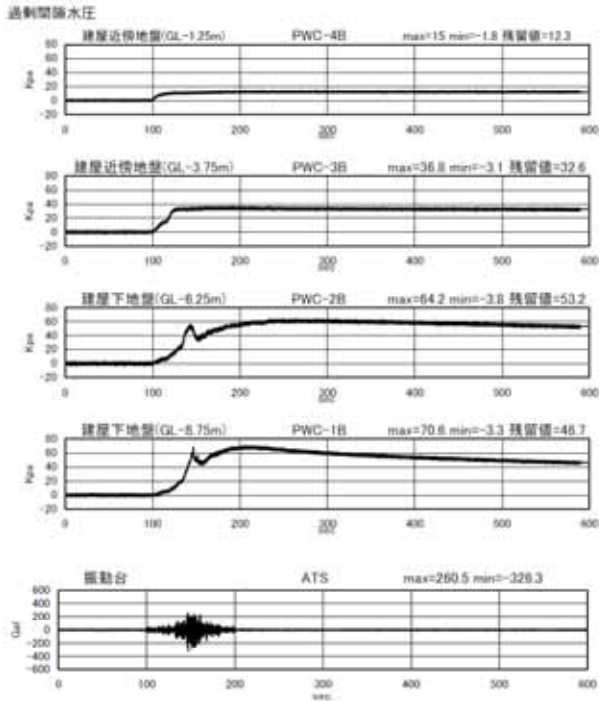


図 4.4.71 過剰間隙水圧 (600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

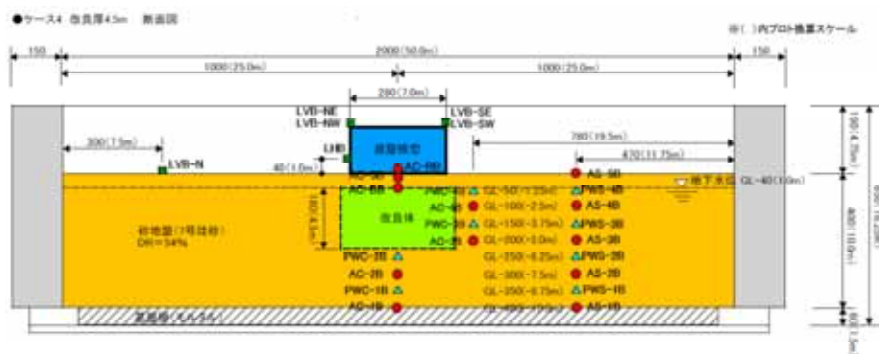
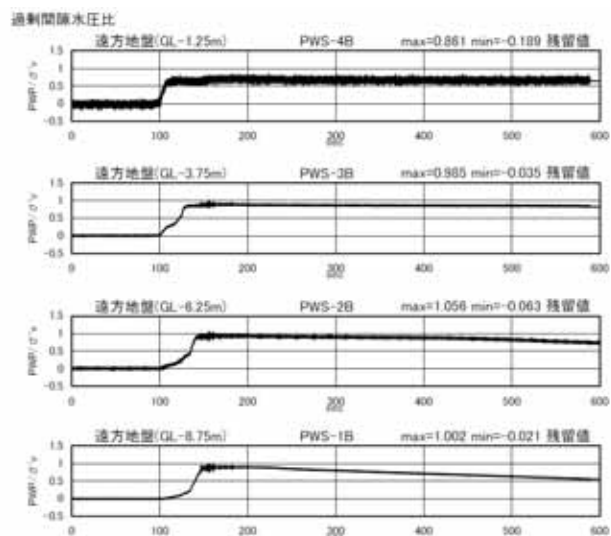
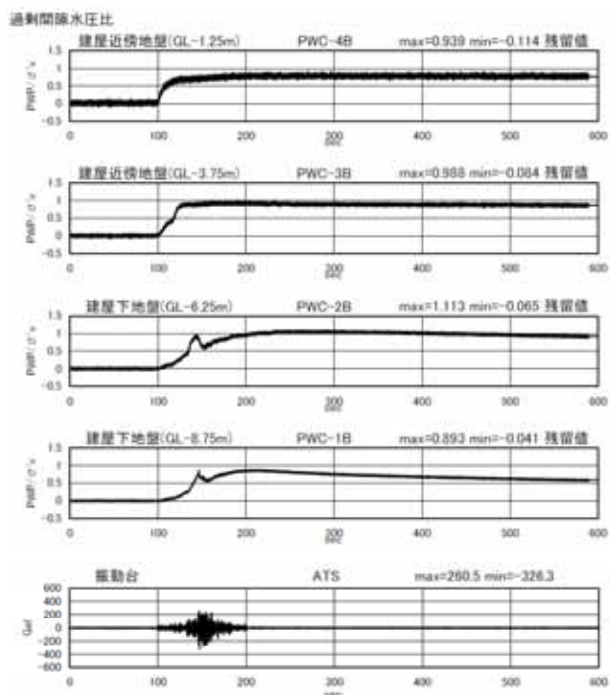


図 4.4.72 過剰間隙水圧比 (600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

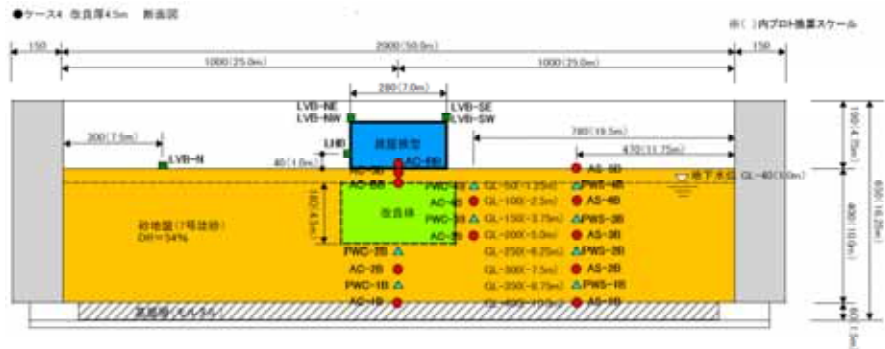
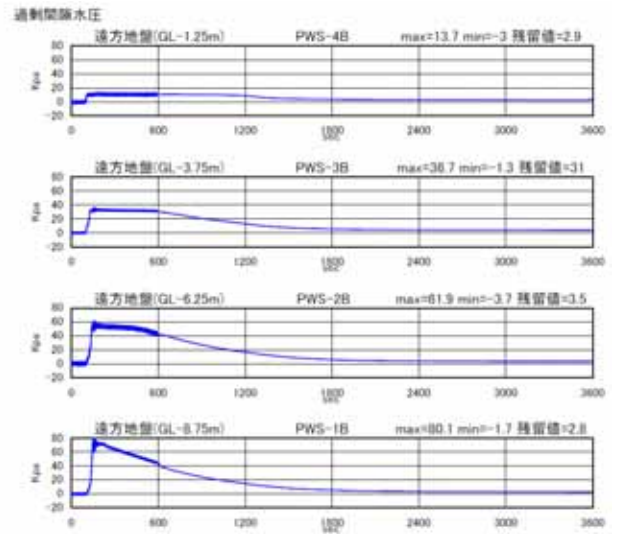
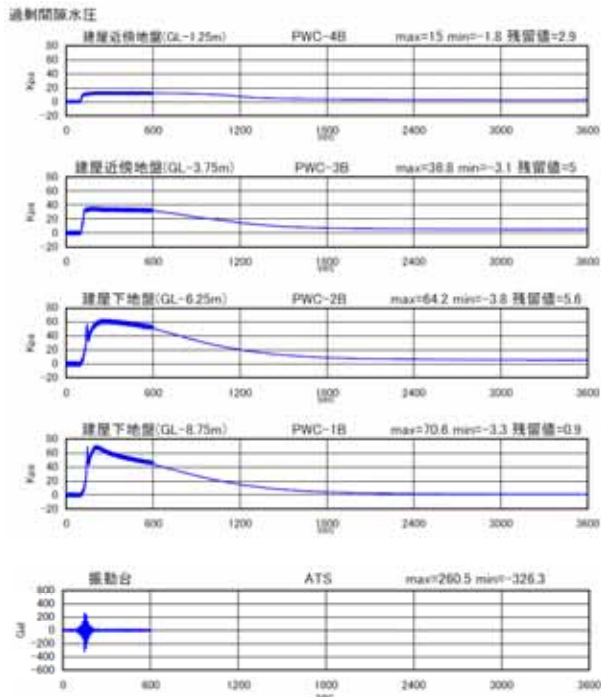


図 4.4.73 過剰間隙水圧 (3600s まで)
〔ケース4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

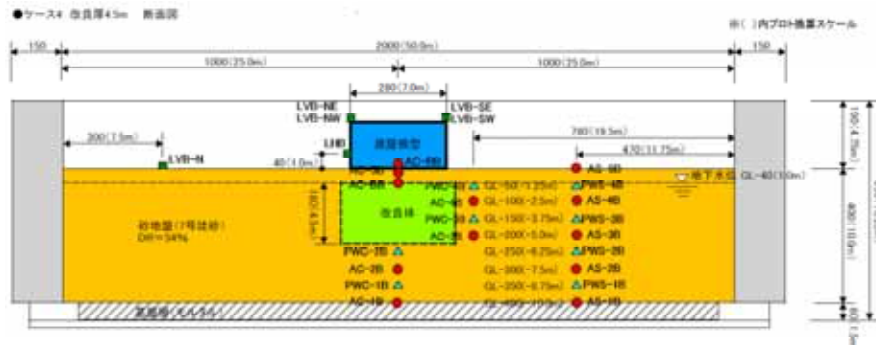
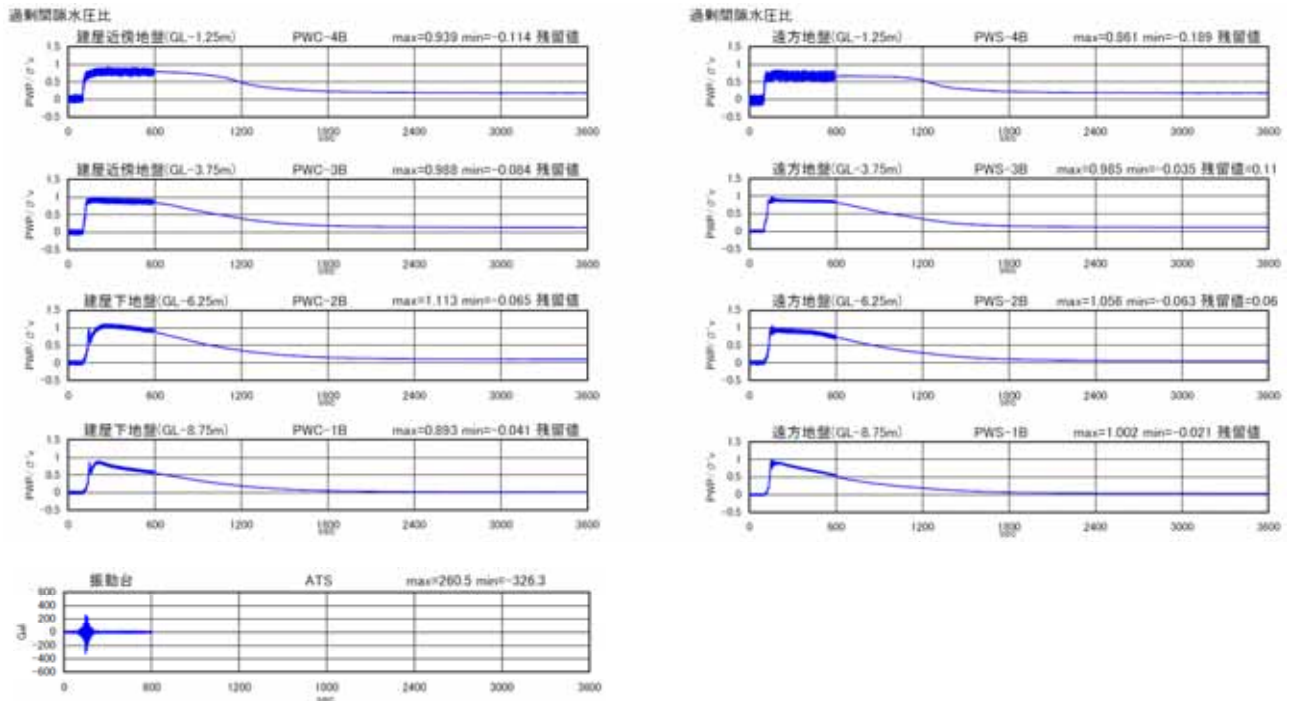


図 4.4.74 過剰間隙水圧比 (3600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

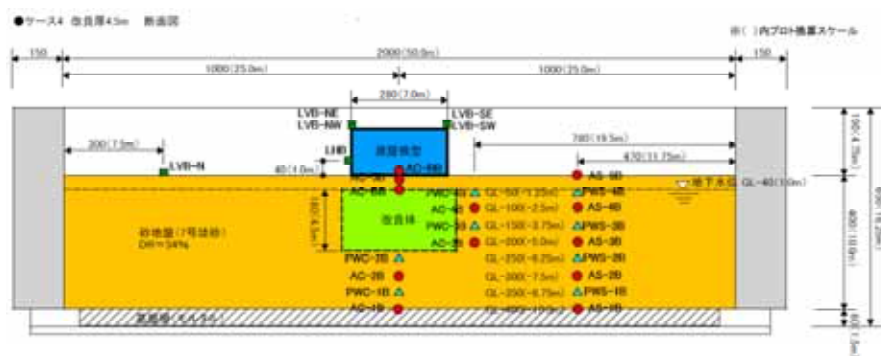
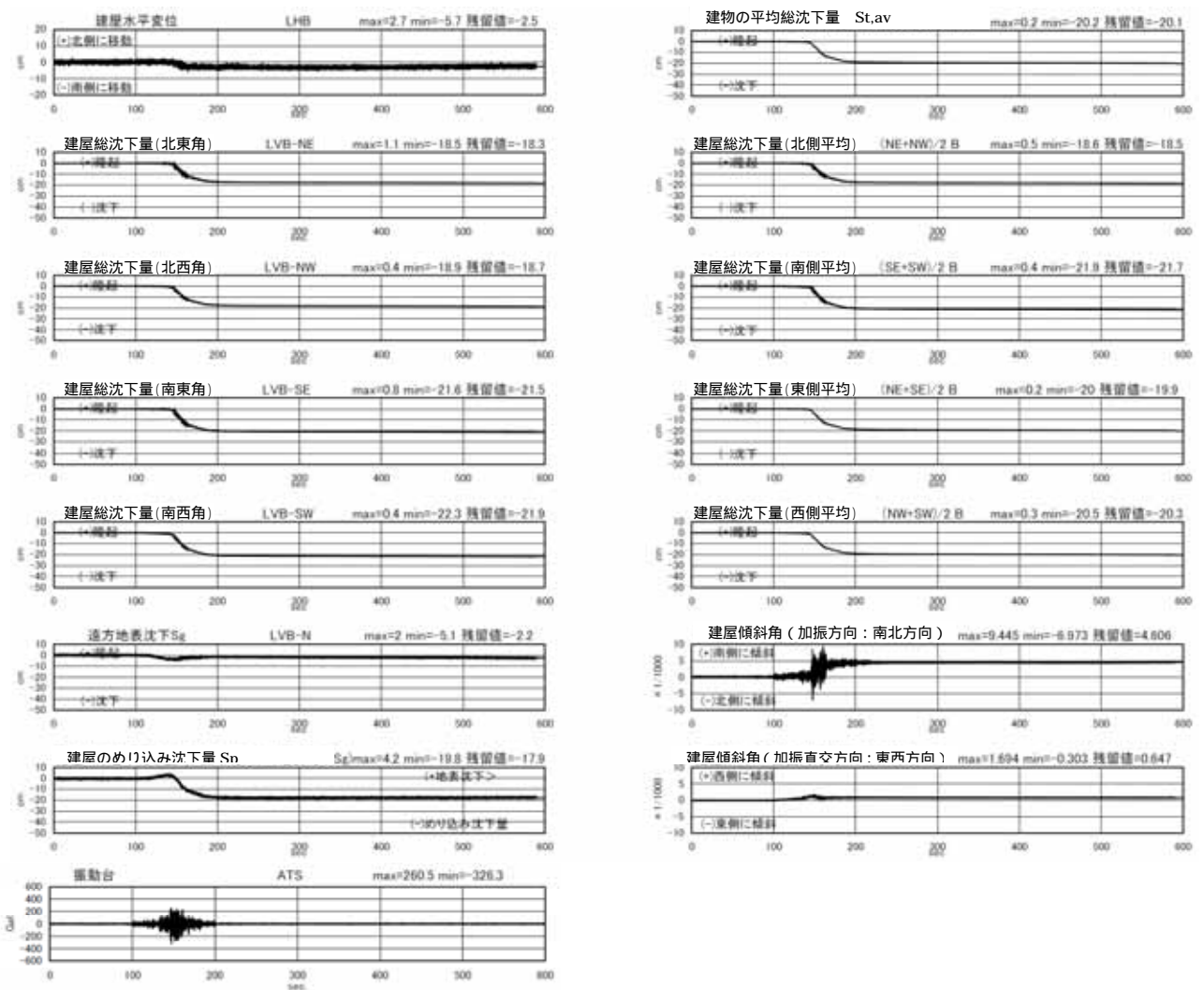


図 4.4.75 変位(沈下) 建屋傾斜角(600s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

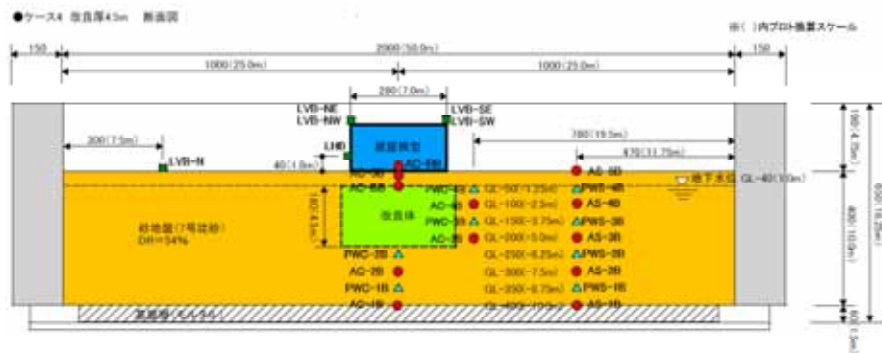
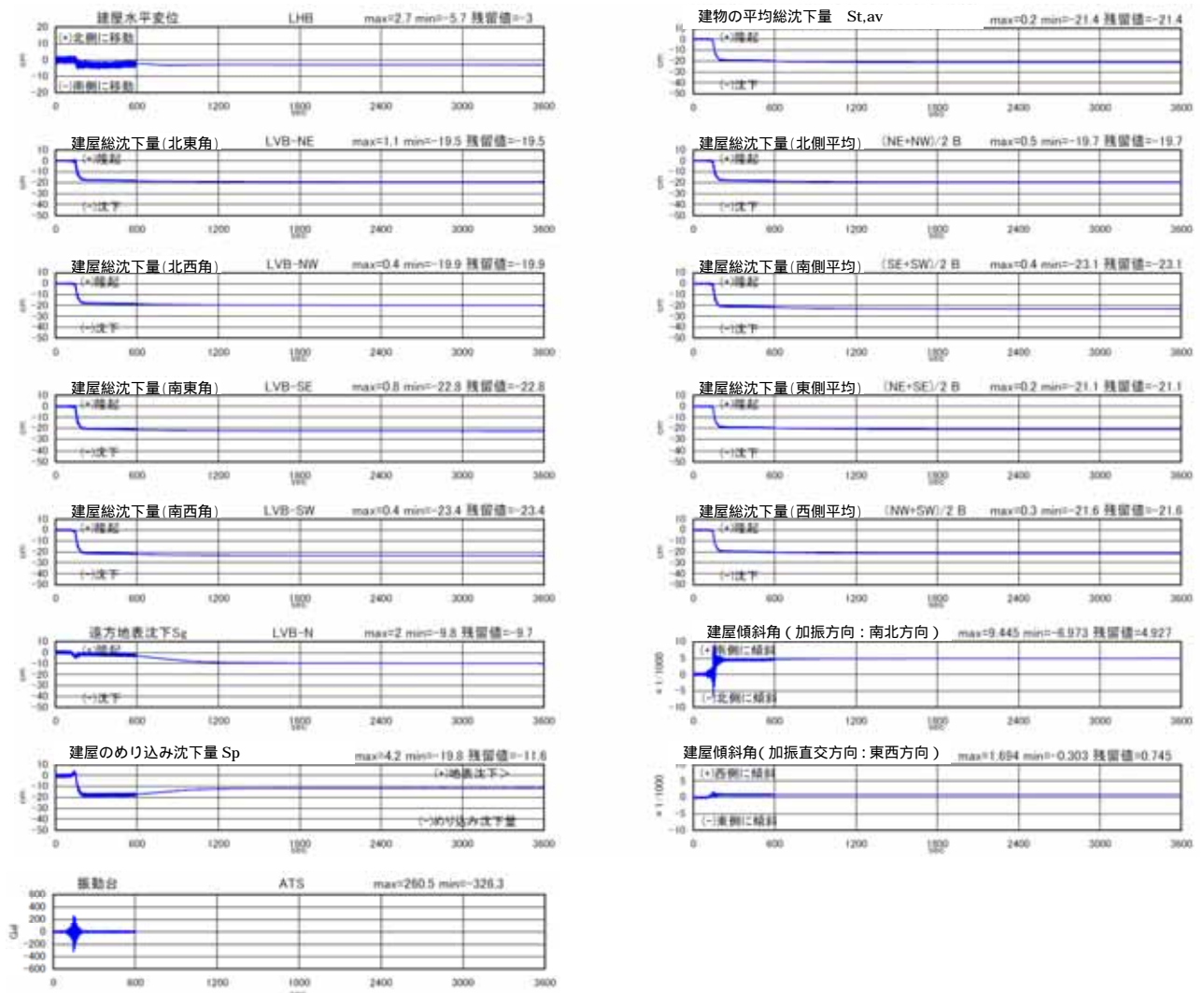


図 4.4.76 変位（沈下）建屋傾斜角（3600s まで）
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

地盤変位

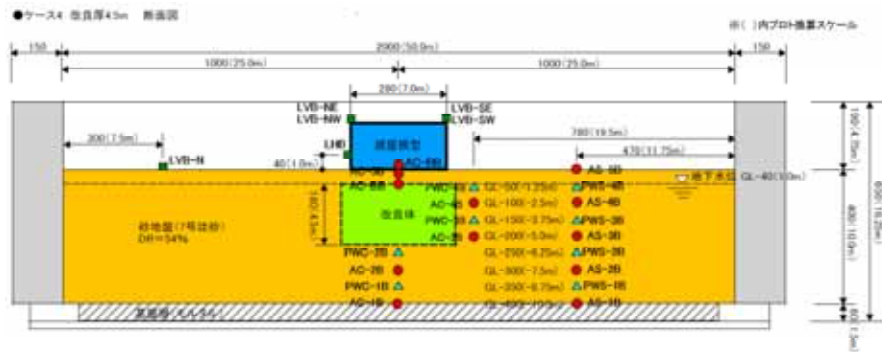
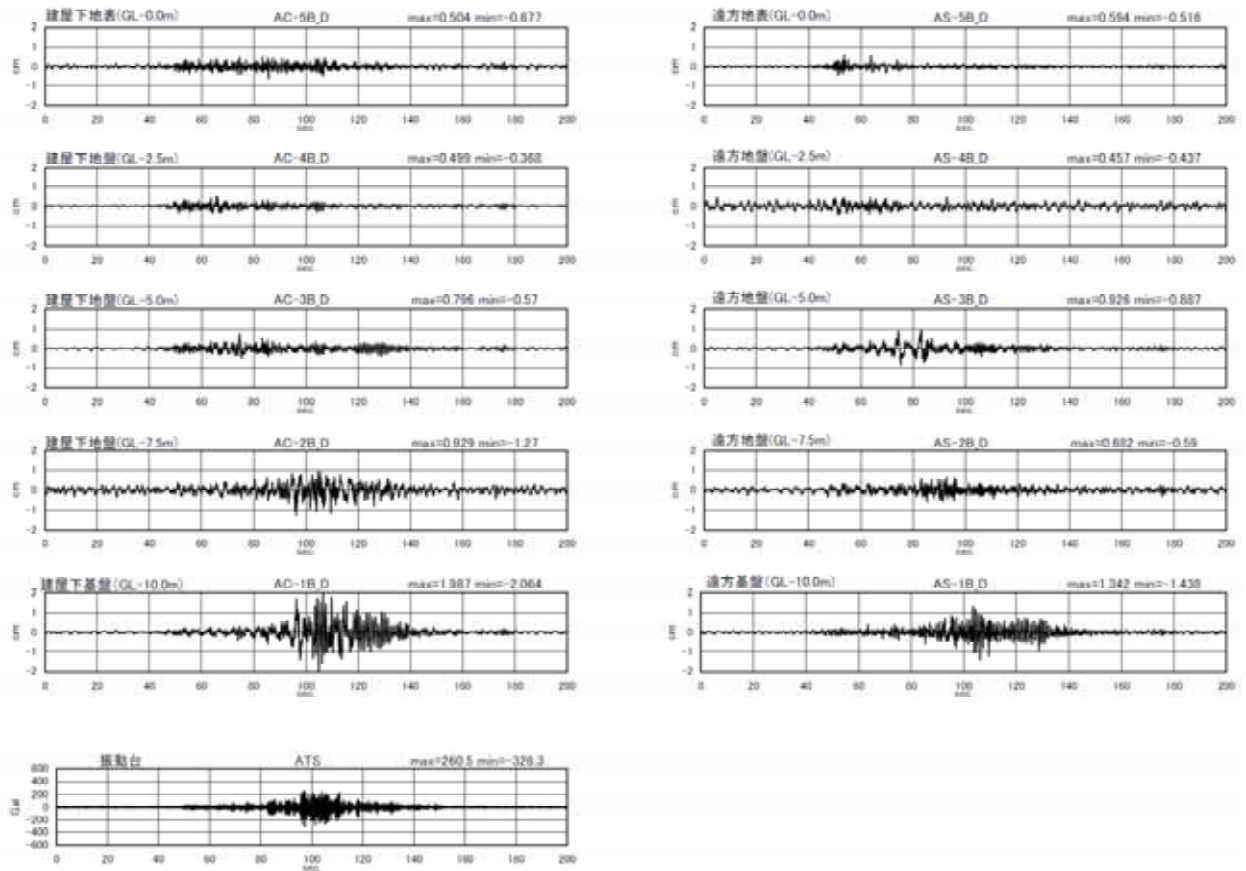


図 4.4.77 地盤変位 (加速度 2 重積分) (200s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

地盤せん断ひずみ

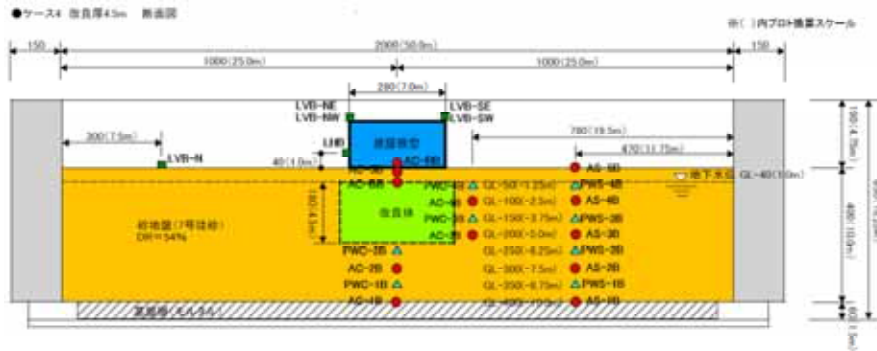
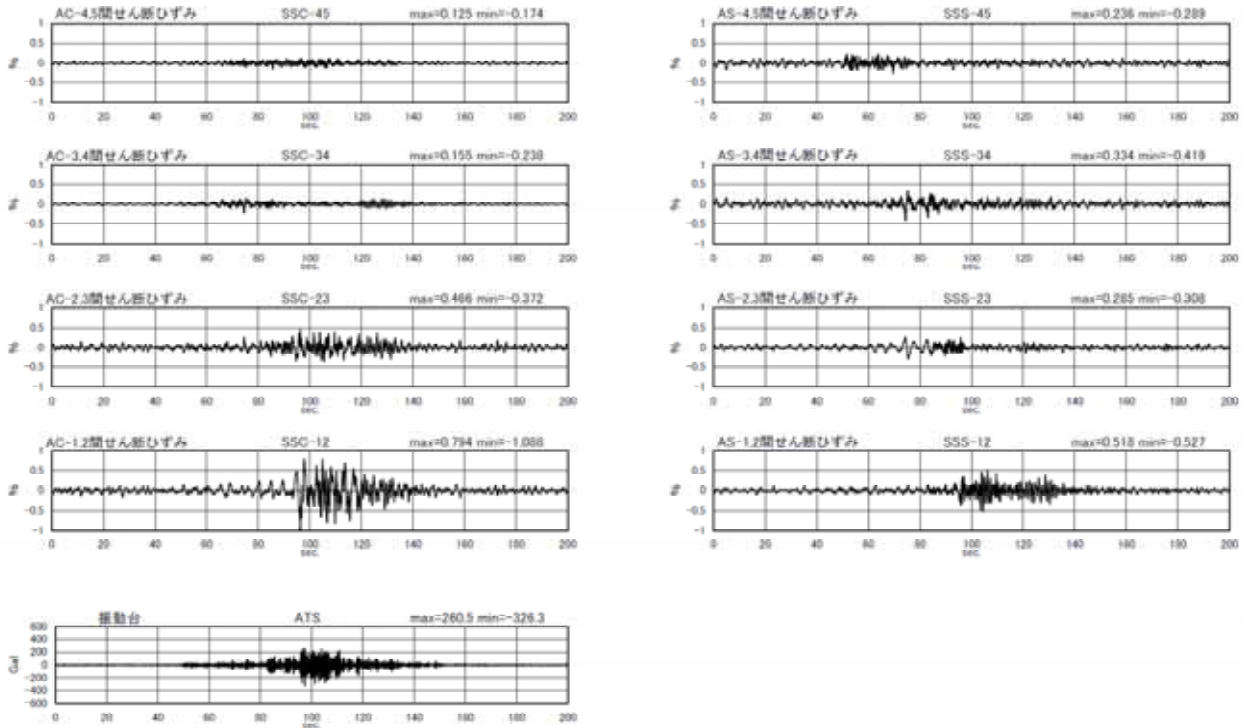


図 4.4.78 地盤せん断ひずみ (200s まで)
〔ケース 4 改良厚 4.5m、加振 2 回目〕

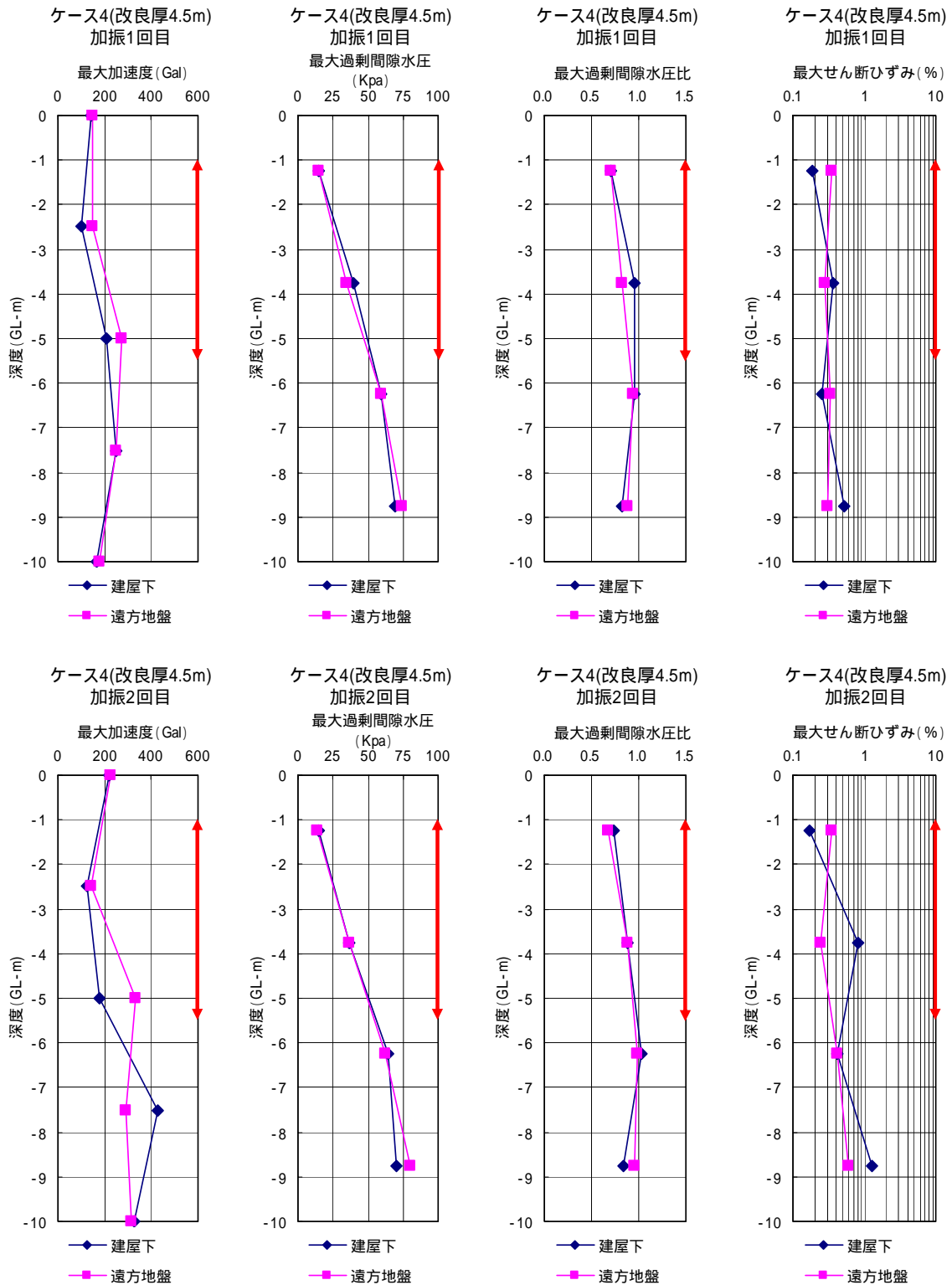


図 4.4.79 最大値震度分布〔ケース 4 改良厚 4.5m〕

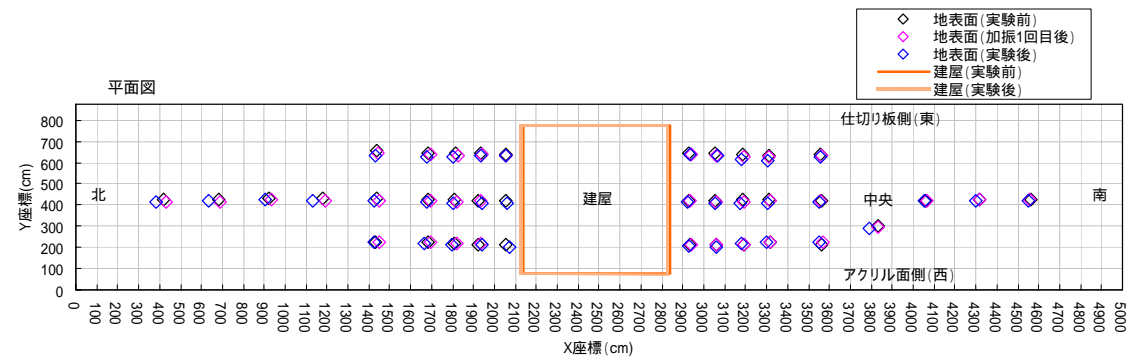
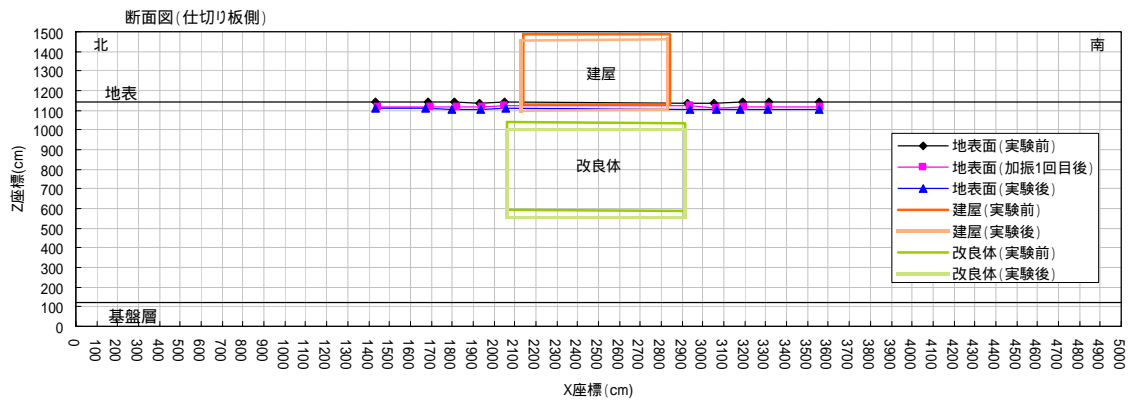
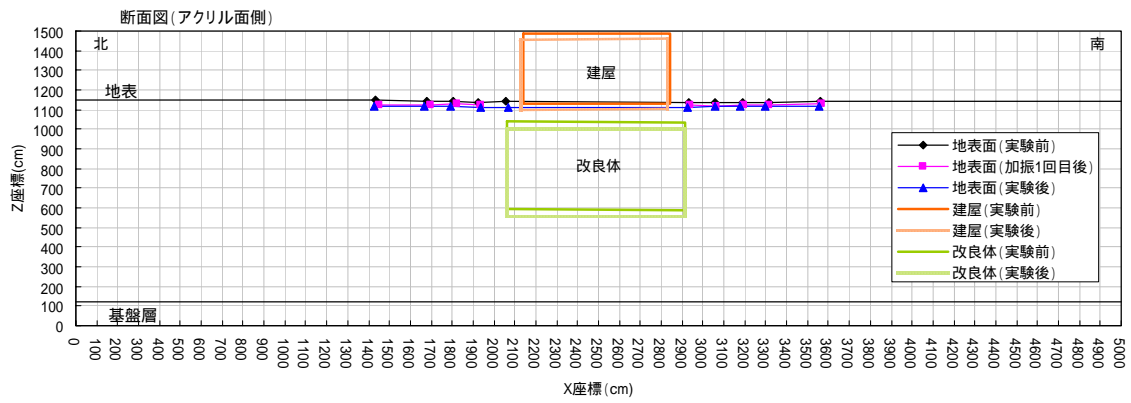
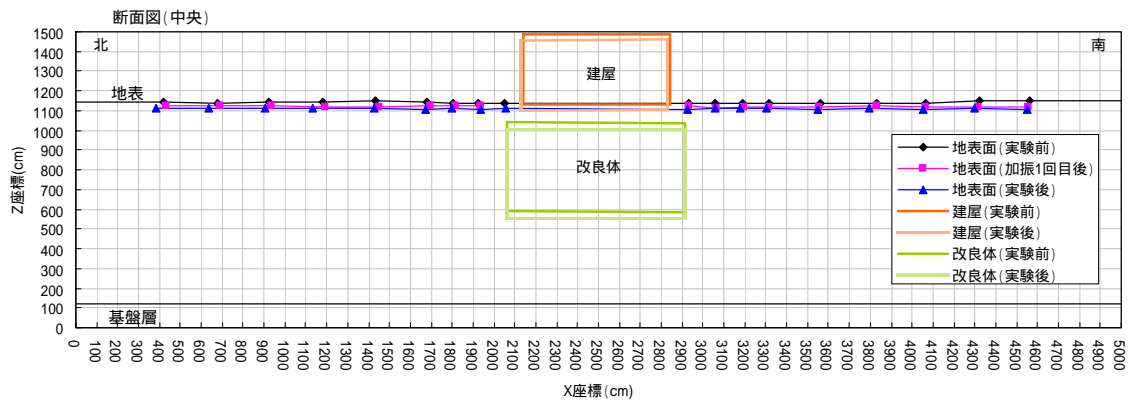


図 4.4.80 残留変形図〔ケース 4 改良厚 4.5m〕

4.4.5 実験結果の比較

(1) 建屋の沈下量と水平移動量および地表沈下量

建屋の変位測定波形（レーザー変位計）より加振後の残留値を讀取り表 4.4.2 にまとめて示す。建屋の総沈下量を図 4.4.81 に水平移動量を図 4.4.82 に示す。また、各加振後毎の地表面の総沈下量の分布図を図 4.4.83 に示す。図 4.4.83 から、ケース1では建物の総沈下量が周辺地盤に比べて大きく、大きな建物のめり込み沈下量が発生しているのに対して、ケース2～4では建物の総沈下量は周辺地盤と同様であり、建物のめり込み沈下量はほとんど発生していない。

表 4.4.2 建屋残留変位

建屋残留沈下量		単位:cm	(-)沈下、(+)隆起			(累積) = (1回目)+(2回目)		
測定位置	測定点名	ケース1 無改良			ケース2 改良厚1.5m			
		レーザー変位計			レーザー変位計			
		加振1回目後	加振2回目後	累積	加振1回目後	加振2回目後	累積	
測定値	建屋沈下(北東角)	LVA(B)-NE	-27.2	-15.5	-42.7	-15	-16.6	-31.6
	建屋沈下(北西角)	LVA(B)-NW	-42.1	-26.3	-68.4	-14.9	-13	-27.9
	建屋沈下(南東角)	LVA(B)-SE	-29.8	-17.8	-47.6	-11.7	-21	-32.7
	建屋沈下(南西角)	LVA(B)-SW	-43.5	-28.7	-72.2	-11.7	-17.5	-29.2
平均値	建屋沈下(北側平均)	(NE+NW)/2	-34.6	-20.9	-55.6	-14.9	-14.8	-29.8
	建屋沈下(南側平均)	(SE+SW)/2	-36.6	-23.2	-59.9	-11.7	-19.3	-31.0
	建屋沈下(東側平均)	(NE+SE)/2	-28.5	-16.7	-45.2	-13.3	-18.8	-32.2
	建屋沈下(西側平均)	(NW+SW)/2	-42.8	-27.5	-70.3	-13.3	-15.3	-28.6
	建屋沈下(4点平均)	(NE+NW+SE+SW)/4	-35.6	-22.1	-57.7	-13.3	-17	-30.4
測定位置	測定点名	ケース3 改良厚3.0m			ケース4 改良厚4.5m			
		レーザー変位計			レーザー変位計			
		加振1回目後	加振2回目後	累積	加振1回目後	加振2回目後	累積	
測定値	建屋沈下(北東角)	LVA(B)-NE	-7.7	-18.9	-26.6	-8.7	-19.5	-28.2
	建屋沈下(北西角)	LVA(B)-NW	-8.6	-19.5	-28.1	-8	-19.9	-27.9
	建屋沈下(南東角)	LVA(B)-SE	-11.1	-19.4	-30.5	-10.5	-22.8	-33.3
	建屋沈下(南西角)	LVA(B)-SW	-11.9	-20.3	-32.2	-10.1	-23.4	-33.5
平均値	建屋沈下(北側平均)	(NE+NW)/2	-8.2	-19.2	-27.4	-8.4	-19.7	-28.1
	建屋沈下(南側平均)	(SE+SW)/2	-11.5	-19.9	-31.4	-10.3	-23.1	-33.4
	建屋沈下(東側平均)	(NE+SE)/2	-9.4	-19.2	-28.6	-9.6	-21.1	-30.8
	建屋沈下(西側平均)	(NW+SW)/2	-10.2	-19.9	-30.2	-9	-21.6	-30.7
	建屋沈下(4点平均)	(NE+NW+SE+SW)/4	-9.8	-19.6	-29.4	-9.3	-21.4	-30.7

建屋残留水平移動量		単位:cm	(+)北に移動、(-)南に移動			(累積) = (1回目)+(2回目)		
測定位置	測定点名	ケース1、無改良			ケース2、t = 60(1.5m)			
		レーザー変位計			レーザー変位計			
		加振1回目後	加振2回目後	累積	加振1回目後	加振2回目後	累積	
建屋下部(北面中央)	LHA(B)	3.1	9	12.1	-5.4	-9.4	-14.8	
測定位置	測定点名	ケース3、t = 120(3.0m)			ケース4、t = 180(4.5m)			
		レーザー変位計			レーザー変位計			
		加振1回目後	加振2回目後	累積	加振1回目後	加振2回目後	累積	
建屋下部(北面中央)	LHA(B)	3.1	5.8	8.9	-0.1	-3	-3.1	

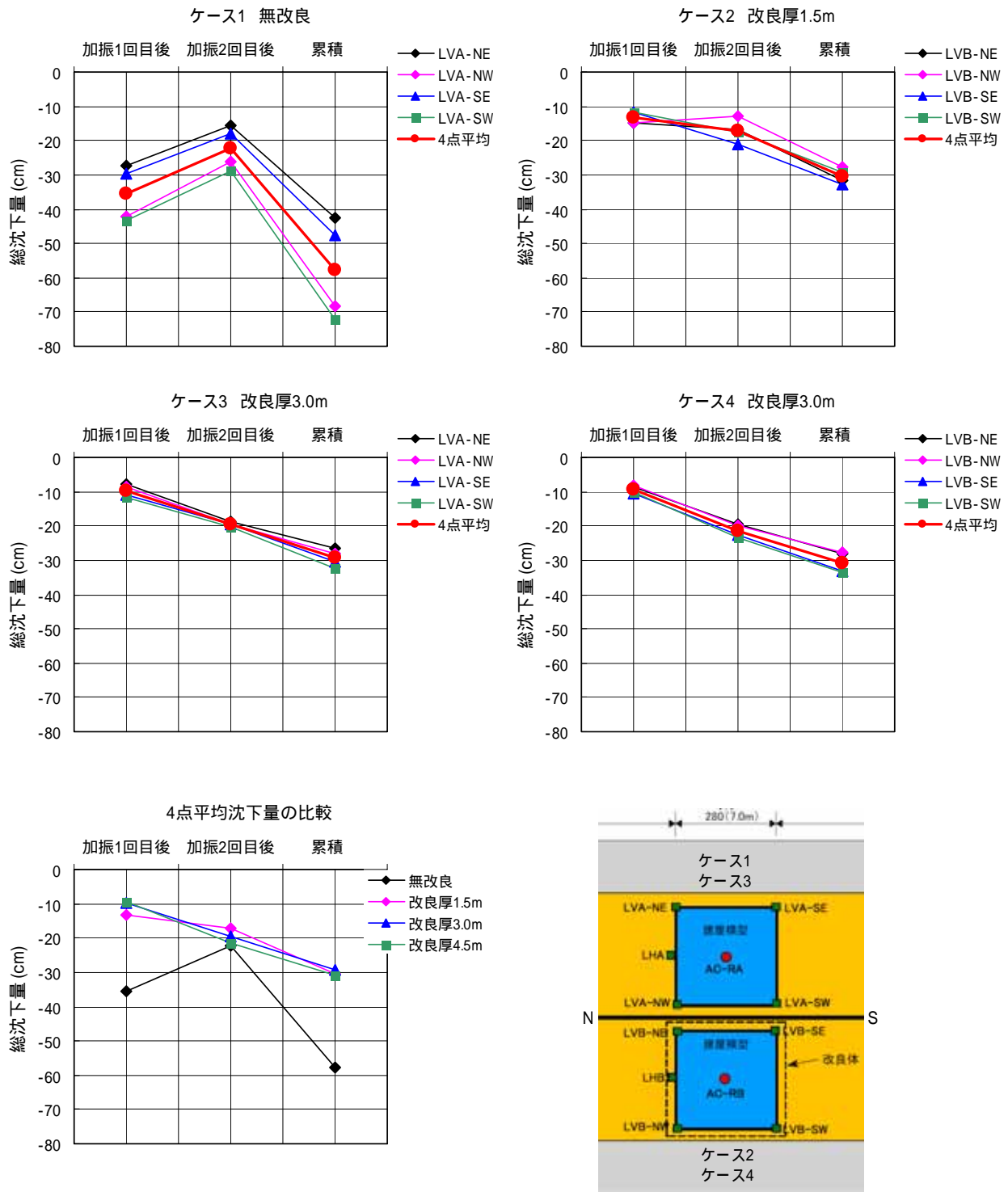


図 4.4.81 建屋の総沈下量

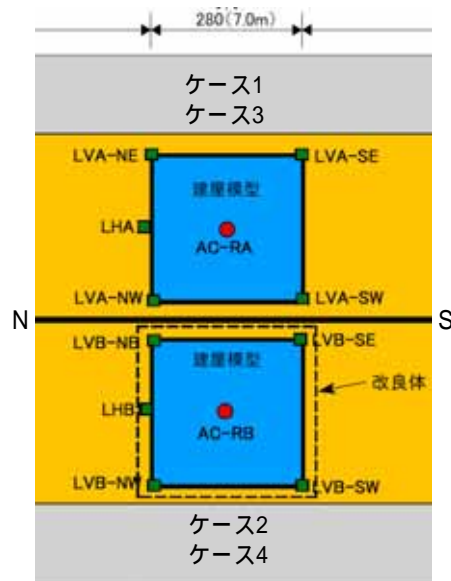
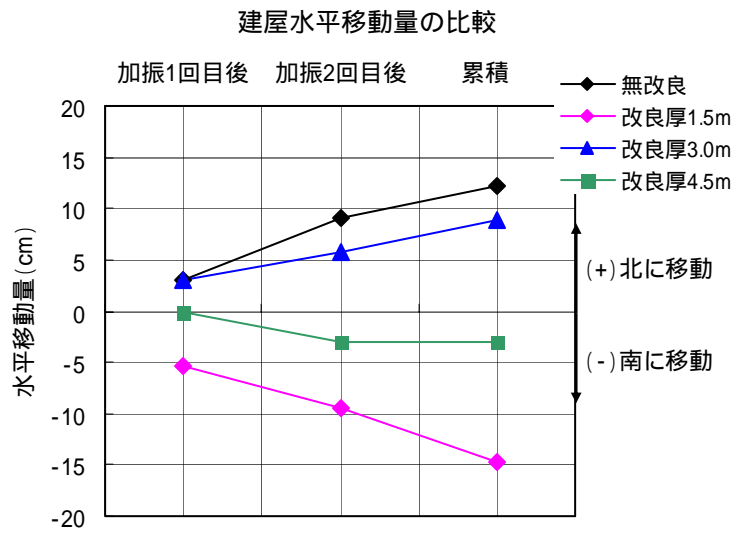


図 4.4.82 建屋水平移動量

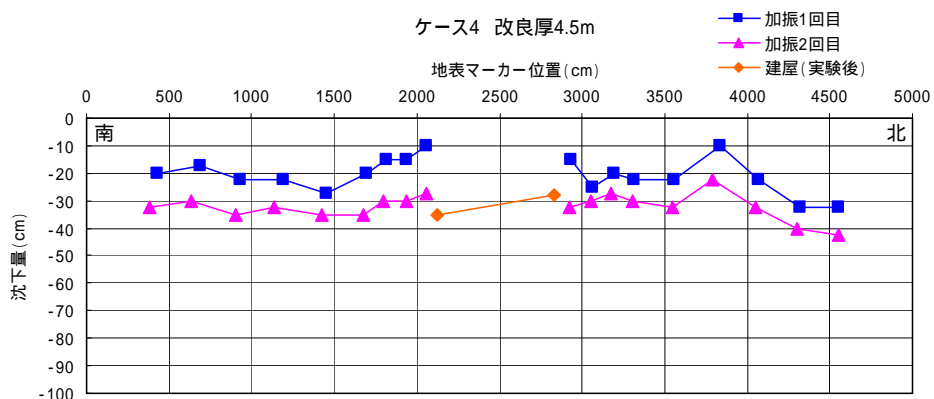
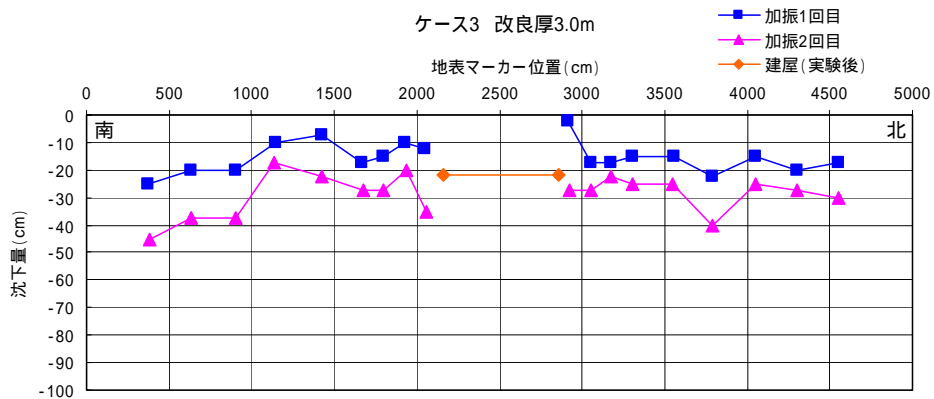
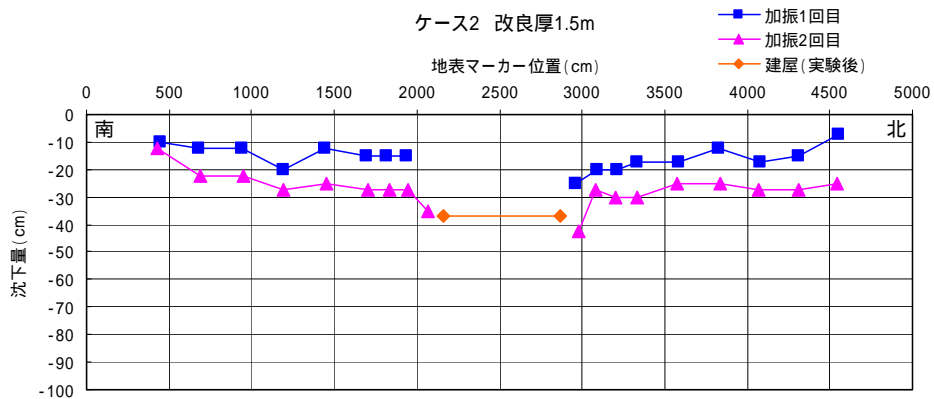
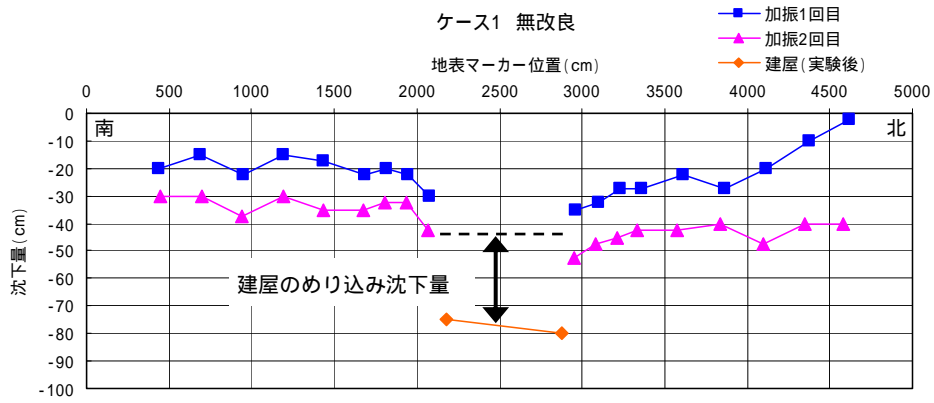


図 4.4.83 建屋周辺地表面の総沈下量 (断面中央)

(2) 最大過剰間隙水圧比の比較

過剰間隙水圧および水圧比の波形より最大値および残留値(消散過程)を読み取り表 4.4.3 と表 4.4.4 にまとめて示す。波形の読み取り例を図 4.4.84 に示す。

各実験ケースとの比較をした最大過剰間隙水圧と最大過剰間隙水圧比の深度分布図を図 4.4.85、図 4.4.86 示す。

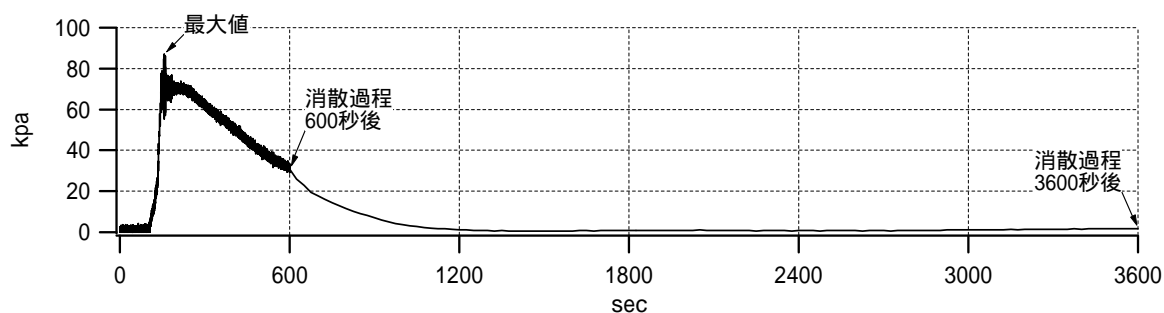


図 4.4.84 過剰間隙水圧波形の読み取り例

表 4.4.3 過剰間隙水圧および水圧比最大値一覧（加振 1 回目）

加振1回目 建屋下地盤

測定点名	深度 (GL-m)	ケース1 無改良					ケース2 改良厚1.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWC-4A(B)	-1.25	18.4	15.4	4.5	15.862	1.160	-	-	-	-	-
PWC-3A(B)	-3.75	39.6	35	6.9	37.190	1.065	36.8	26.6	4.8	33.882	1.086
PWC-2A(B)	-6.25	53.8	38.5	5	58.518	0.919	51.7	28.3	4	54.965	0.941
PWC-1A(B)	-8.75	68.3	40.1	4.7	79.846	0.855	70.4	29.8	4.9	76.048	0.926
測定点名	深度 (GL-m)	ケース3 改良厚3.0m					ケース4 改良厚4.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWC-4A(B)	-1.25	14.3	11.5	1.8	15.960	0.896	14.5	11.6	2.1	15.960	0.909
PWC-3A(B)	-3.75	36.6	30	2.7	37.288	0.982	39.7	34.5	3.5	37.288	1.065
PWC-2A(B)	-6.25	56.3	40.7	2.6	58.029	0.970	59.9	50.2	2	57.735	1.037
PWC-1A(B)	-8.75	70.0	40.5	2.6	79.357	0.882	68.9	47.9	3.3	79.063	0.871

加振1回目 遠方地盤

測定点名	深度 (GL-m)	ケース1 無改良					ケース2 改良厚1.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWS-4A(B)	-1.25	15.4	13.2	3.4	15.862	0.971	14.1	11.7	3.6	15.739	0.896
PWS-3A(B)	-3.75	36.7	33	4.6	37.190	0.987	32.2	25.8	4.1	36.822	0.874
PWS-2A(B)	-6.25	53.3	34.4	4.2	58.518	0.911	54.9	44.4	4	57.905	0.948
PWS-1A(B)	-8.75	75.1	48.7	5.4	79.846	0.941	68.9	37.5	5.8	78.988	0.872
測定点名	深度 (GL-m)	ケース3 改良厚3.0m					ケース4 改良厚4.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 'v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWS-4A(B)	-1.25	18.1	15.7	3.2	15.960	1.134	14.5	11.2	1.6	15.960	0.909
PWS-3A(B)	-3.75	45.1	40.7	5.3	37.288	1.210	34.3	31.7	2.7	37.288	0.920
PWS-2A(B)	-6.25	60.1	46.8	1.4	58.616	1.025	59.1	46.7	2.9	58.616	1.008
PWS-1A(B)	-8.75	76.3	48.9	3.5	79.944	0.954	73.9	47.5	1.9	79.944	0.924

表 4.4.4 過剰間隙水圧および水圧比最大値一覧（加振 2 回目）

加振2回目 建屋下地盤

測定点名	深度 (GL-m)	ケース1 無改良					ケース2 改良厚1.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWC-4A(B)	-1.25	15.5	11.1	2.2	15.862	0.977	-	-	-	-	-
PWC-3A(B)	-3.75	37.5	26	3	37.190	1.008	36.6	21	2.8	33.882	1.080
PWC-2A(B)	-6.25	53.6	28.8	2.4	58.518	0.916	52.6	19.5	1.6	54.965	0.957
PWC-1A(B)	-8.75	71.8	28.9	2.5	79.846	0.899	73.9	20.9	3.4	76.048	0.972
測定点名	深度 (GL-m)	ケース3 改良厚3.0m					ケース4 改良厚4.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWC-4A(B)	-1.25	13.4	11.8	3	15.960	0.840	15	12.3	2.9	15.960	0.940
PWC-3A(B)	-3.75	35.8	29	3.5	37.288	0.960	36.8	32.6	5	37.288	0.987
PWC-2A(B)	-6.25	61	47.4	5.7	58.029	1.051	64.2	53.2	5.6	57.735	1.112
PWC-1A(B)	-8.75	392.4	357.8	493.8	79.357	4.944	70.6	46.7	0.9	79.063	0.893

ケース3、加振2回目時にPWC-1Aはセンサー故障となった。

加振2回目 遠方地盤

測定点名	深度 (GL-m)	ケース1 無改良					ケース2 改良厚1.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWS-4A(B)	-1.25	13	10.2	1.9	15.862	0.820	12.5	9.4	2.1	15.739	0.794
PWS-3A(B)	-3.75	35.4	28.2	2.4	37.190	0.952	33	20	3.6	36.822	0.896
PWS-2A(B)	-6.25	56.5	23.5	2.2	58.518	0.966	58.1	32.2	2	57.905	1.003
PWS-1A(B)	-8.75	87	31.5	1.7	79.846	1.090	81.9	24	1.9	78.988	1.037
測定点名	深度 (GL-m)	ケース3 改良厚3.0m					ケース4 改良厚4.5m				
		過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比	過剰間隙水圧 (kpa)			初期有効 応力 σ_v (kpa)	最大過剰間 隙水圧比
		最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後			最大値	消散過程 600秒後	消散過程 3600秒後		
PWS-4A(B)	-1.25	16.7	14.1	2.9	15.960	1.046	13.7	10.3	2.9	15.960	0.858
PWS-3A(B)	-3.75	44.2	39.8	7.3	37.288	1.185	36.7	31	4.1	37.288	0.984
PWS-2A(B)	-6.25	60.9	47.1	5.1	58.616	1.039	61.9	42.9	3.5	58.616	1.056
PWS-1A(B)	-8.75	77.7	47.6	3.9	79.944	0.972	80.1	45.2	2.8	79.944	1.002

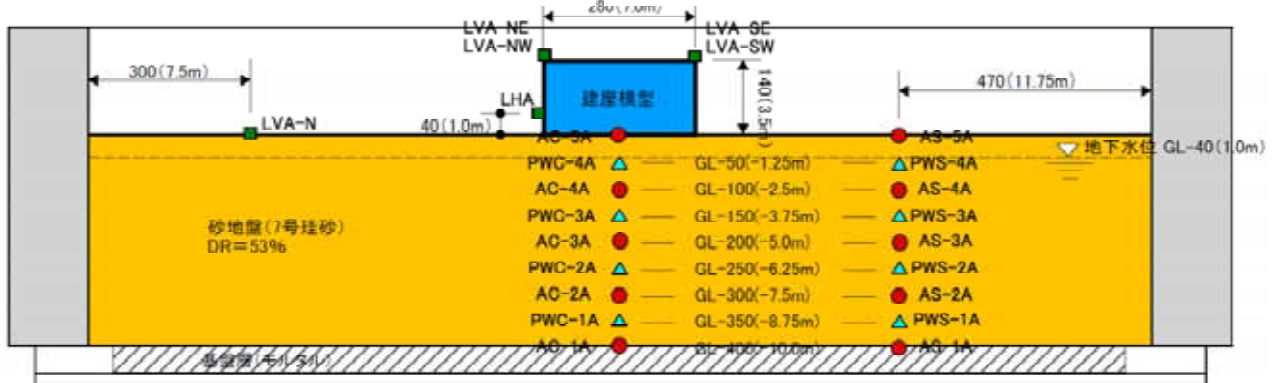
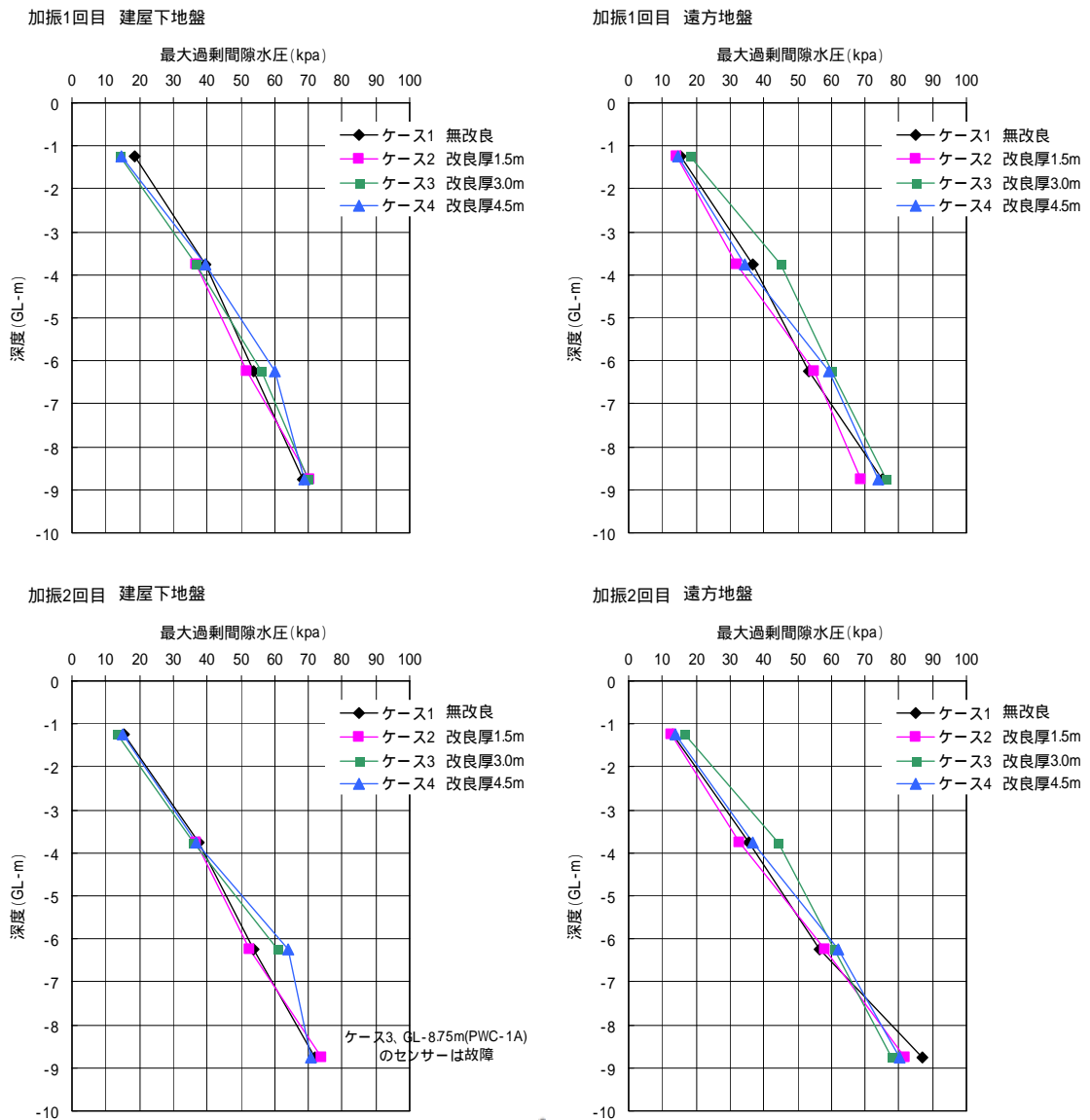
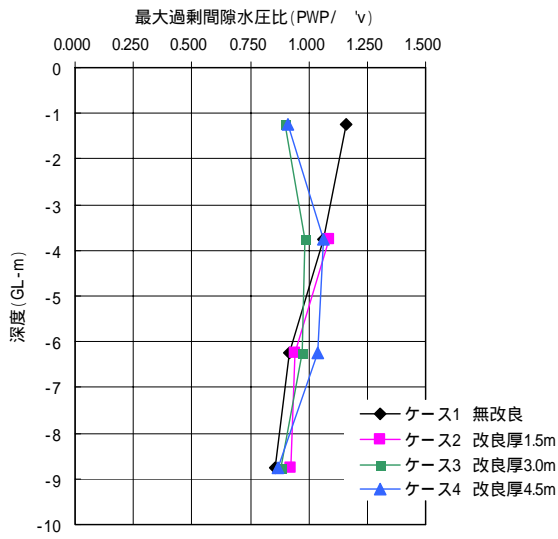
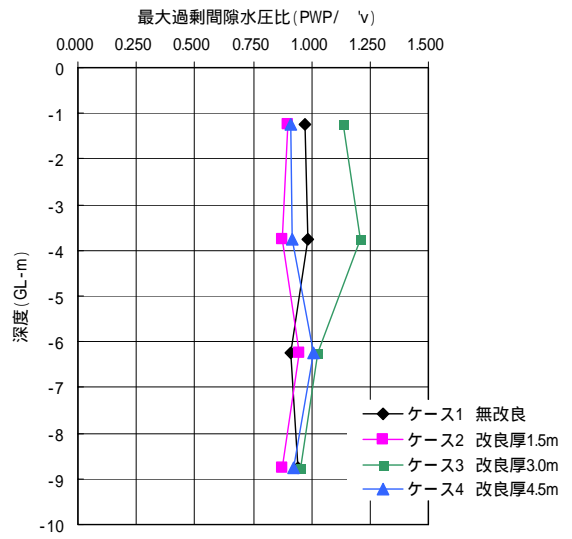


图 4.4.85 最大過剰間隙水圧分布

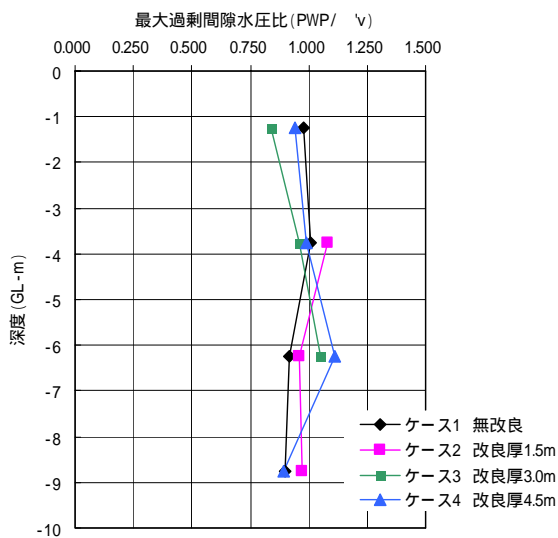
加振1回目 建屋下地盤



加振1回目 遠方地盤



加振2回目 建屋下地盤



加振2回目 遠方地盤

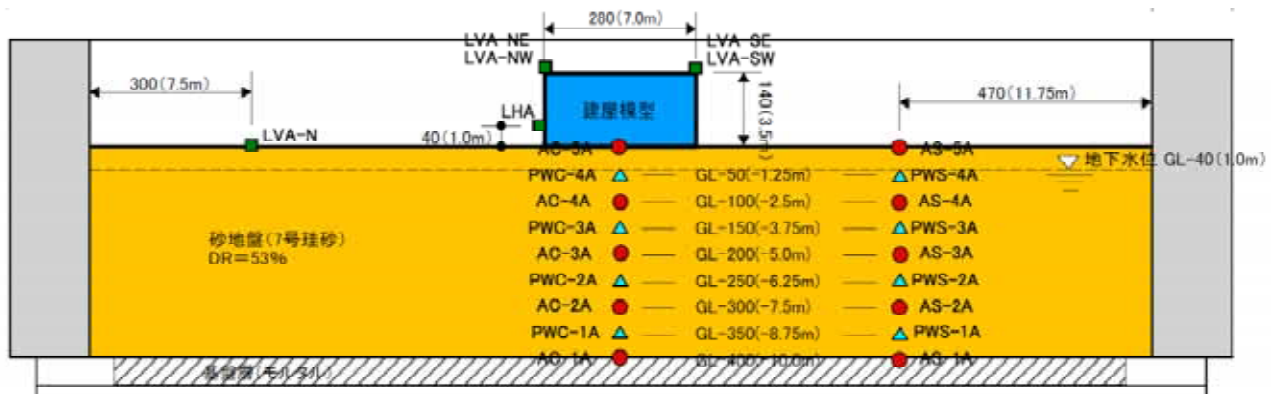
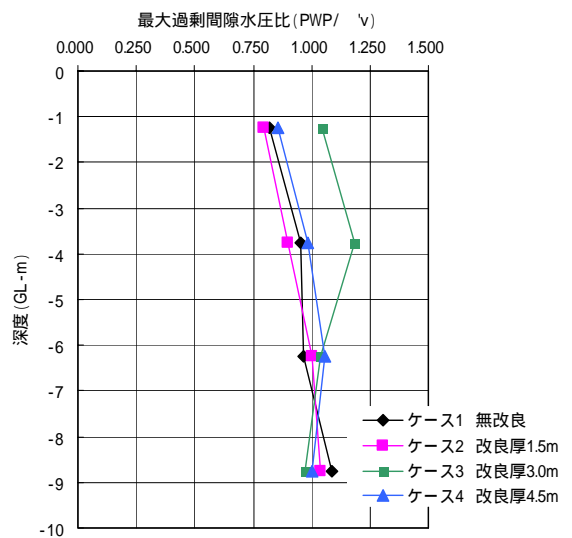


图 4.4.86 最大過剰間隙水圧比分布

(3) 最大加速度分布の比較

加速度応答波形より最大加速度を讀取り表 4.4.5 にまとめて示す。最大加速度は最大(+)と最小(-)の絶対値のうち大きい方を最大加速度とした。

各実験ケースで比較をした最大加速度の深度分布図を図 4.4.87 に示す。

表 4.4.5 最大加速度一覧表

加振1回目

測定点	深度 (GL-m)	ケース1 改良無し		ケース2 改良厚1.5m		ケース3 改良厚3.0m		ケース4 改良厚4.5m	
		建屋下	遠方地盤	建屋下	遠方地盤	建屋下	遠方地盤	建屋下	遠方地盤
		AC-Line	AS-Line	AC-Line	AS-Line	AC-Line	AS-Line	AC-Line	AS-Line
AC(S)-5	0	113.2	96.6	106.5	149.2	120.2	149.2	143.3	147.1
AC(S)-4	-2.5	70.2	72	229.8	164.3	114	166.8	101.9	148.8
AC(S)-3	-5	202.7	172.2	212.1	220.7	234.2	203.2	209.1	275.4
AC(S)-2	-7.5	171.1	220.2	156	178.7	164.1	290.8	249	249
AC(S)-1	-10	176.5	269.5	183	180.6	133	157.4	166.3	179.8

ケース1のAS-1はセンサー不調

加振2回目

測定点	深度 (GL-m)	ケース1 改良無し		ケース2 改良厚1.5m		ケース3 改良厚3.0m		ケース4 改良厚4.5m	
		建屋下	遠方地盤	建屋下	遠方地盤	建屋下	遠方地盤	建屋下	遠方地盤
		AC-Line	AS-Line	AC-Line	AS-Line	AC-Line	AS-Line	AC-Line	AS-Line
AC(S)-5	0	122.4	168.6	132.3	157.2	142.9	156.6	217.7	228.3
AC(S)-4	-2.5	110.7	110.8	274.7	142.6	140.3	158.5	127	144.6
AC(S)-3	-5	214.5	196.6	212.5	245.9	239.6	240.8	177	332
AC(S)-2	-7.5	208.7	234.4	303.8	254.2	378.5	315.2	425.9	293.1
AC(S)-1	-10	338	548.6	354.7	315.5	319.1	319.3	324.4	317.5

ケース1のAS-1はセンサー不調

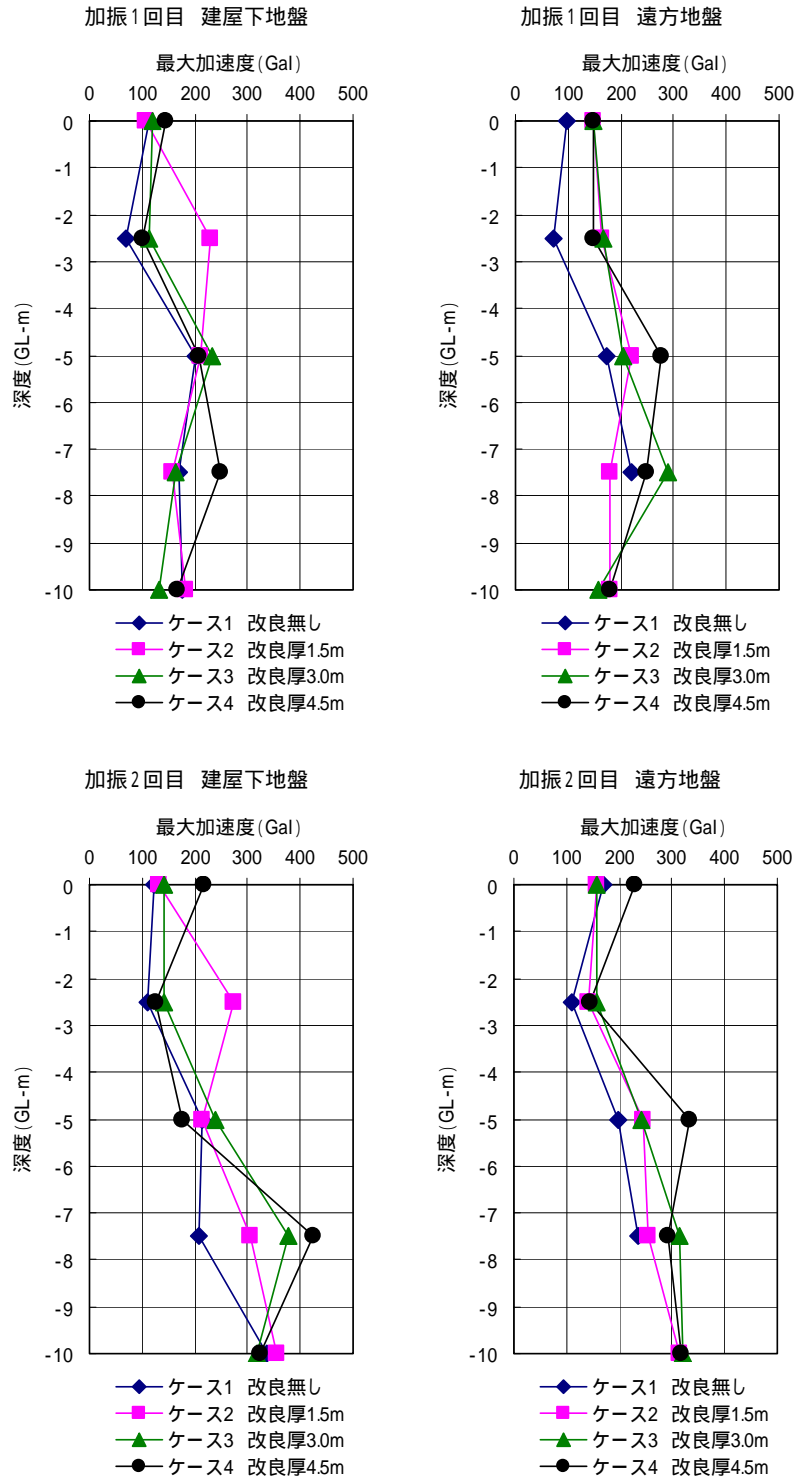


図 4.4.87 最大加速度分布

(4) 時刻歴波形の比較

建屋中央の加速度波形

図 4.4.88 は 1 回目の加振時における建屋中央加速度波形〔AC-RA(B)〕の比較を示している。また、図 4.4.89 は 2 回目の加振時における建屋中央加速度波形〔AC-RA(B)〕の比較を示している。これらの図から、いずれも、浅層地盤改良層厚が厚いほど、応答加速が大きくなっており、地盤改良することでせん断剛性が増加するため、加速度が伝達しやすくなることが分かる。また、2 回目の加振時の応答加速度波形では、2 つのピークを持つ波形となっている。1 度目の加速度の増加は加振の初期段階であり、地盤が液状化するまでの段階と考えられる。一方、2 度目のピークは入力加速度が最大となる付近であり、地盤が液状化していたとしても入力加速度が大きくなると、建物まで加速度が伝達されることを表わしている。

建屋の平均総沈下量の比較

図 4.4.90、図 4.4.91 は 1 回目の加振時における建屋平均総沈下量の時刻歴を、図 4.4.92、図 4.4.93 は 2 回目の加振時における建屋平均総沈下量の時刻歴を示している。図 4.4.90 から、地盤改良なしの場合の建屋の平均総沈下量は、改良した場合のそれに比べて 2.5～4 倍となっており、長時間にわたって沈下することが分かる。一方、地盤改良したケース 2～4 の平均総沈下量は改良層厚が厚いほど沈下が小さくなる傾向を示すものの、その差は比較的小さい。また、改良したケース 2～4 の沈下は加振後、すぐに収束し、加振終了後、沈下の進行はほとんど見られない。

建屋の傾斜角

図 4.4.94、図 4.4.95 は 1 回目の加振時の建屋傾斜角(加振方向)の時刻歴を示しており、図 4.4.96、図 4.4.97 は 2 回目の加振時の建屋傾斜角(加振方向)の時刻歴を示している。建物荷重の分布が均一であることから、本来建屋は傾斜しないと考えられるが、加振方向等の影響から傾斜が発生したと考えられる。

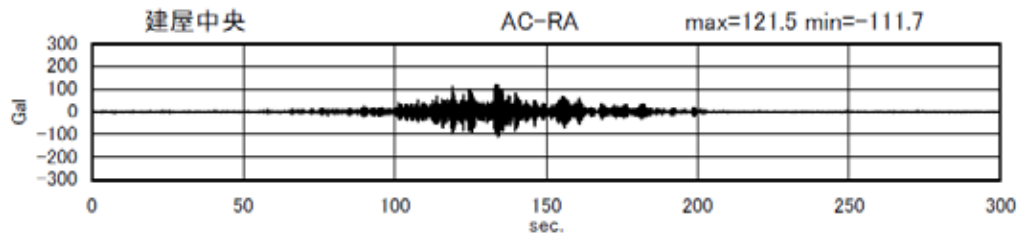
遠方地盤の地表面沈下量(建物がない場合の地盤の総沈下量)

図 4.4.98、図 4.4.99 は 1 回目の加振時における遠方地盤地表面沈下量を、図 4.4.100、図 4.4.101 は 2 回目の加振時における遠方地盤地表面沈下量の時刻歴を示している。遠方地盤は実験ケースによって沈下したケースと隆起したケースがある。

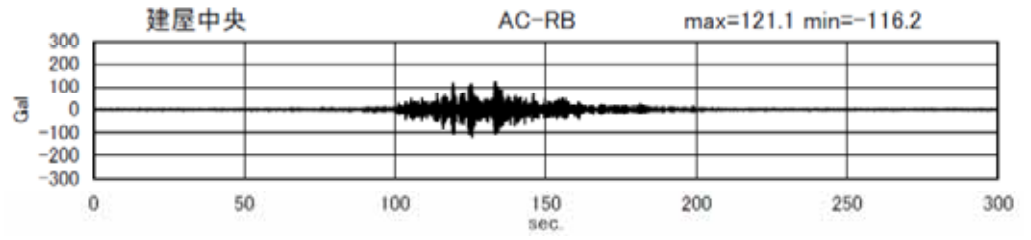
建屋のめり込み沈下

図 4.4.102、図 4.4.103 は、1 回目の加振時における建屋めり込み沈下量(建屋平均総沈下量 - 遠方地表面沈下量)、図 4.4.104、図 4.4.105 は 2 回目の加振時における建屋めり込み沈下量を示している。1 回目の加振時における地盤改良した場合のめり込み沈下量は改良なしの場合の 1/3～1/10 となっており、浅層地盤改良することで、建屋のめり込み沈下量は抑制できることが分かる。なお、改良厚による違いは明確でない。また、2 回目の加振時における建屋のめり込み沈下量は改良した方が改良なしの場合に比べてやや小さくなる傾向は見られるが明確ではない。

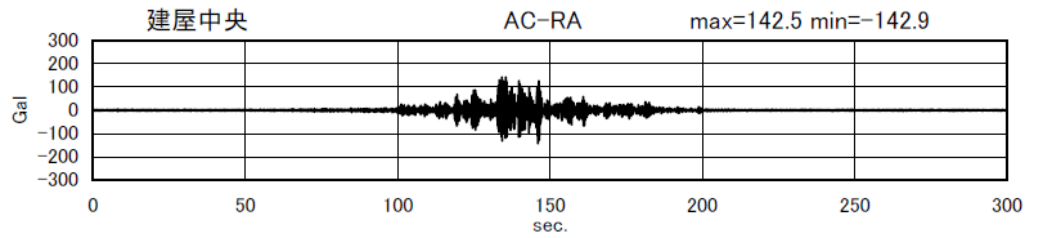
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

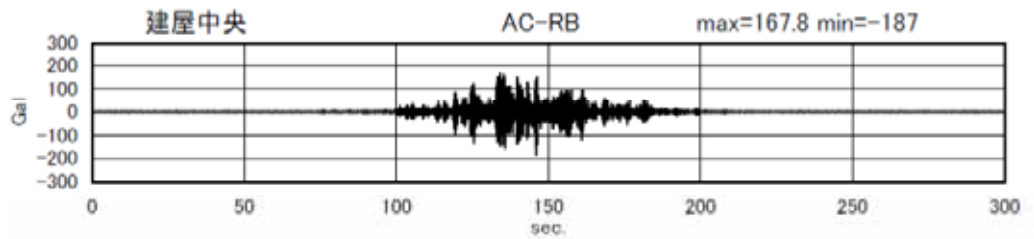


図 4.4.88 建屋中央加速度波形〔AC-RA(B)〕の比較 加振 1 回目

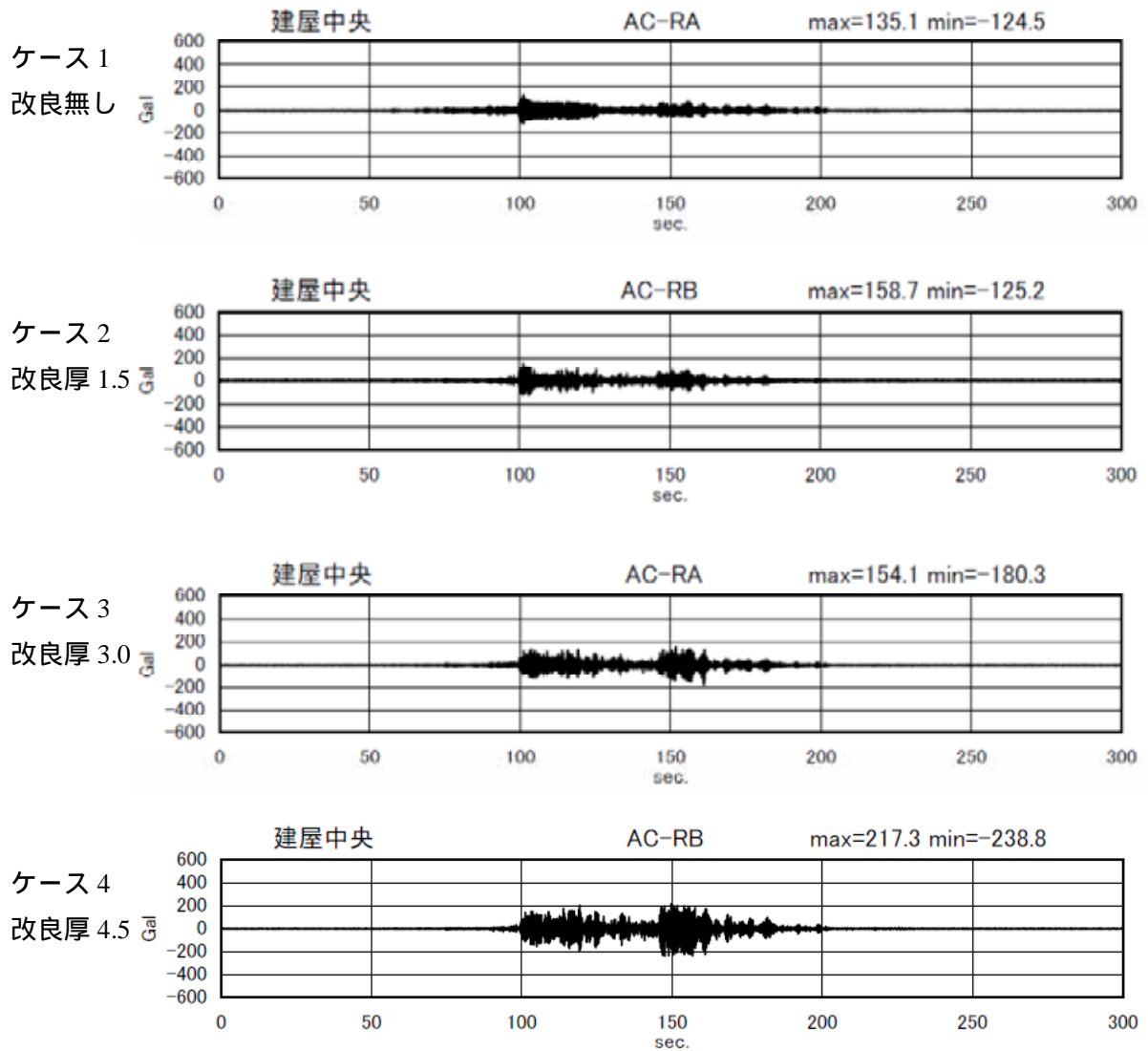
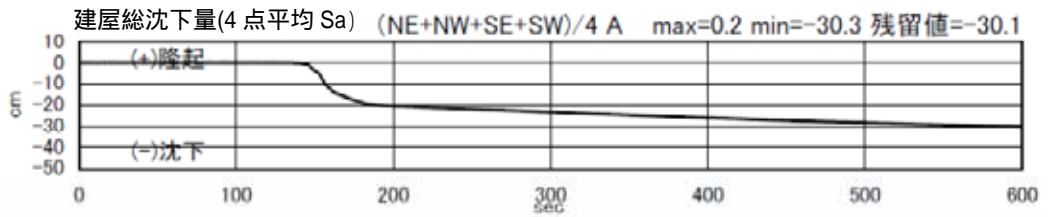


図 4.4.89 建屋中央加速度波形〔AC-RA(B)〕の比較 加振 2 回目

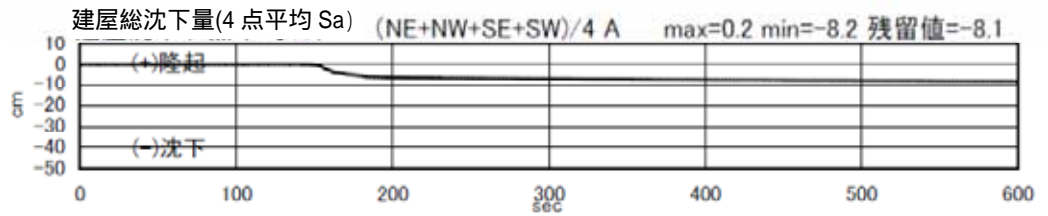
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m

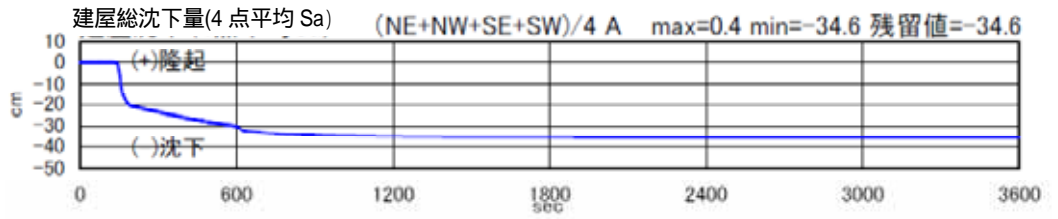


ケース 4
改良厚 4.5m

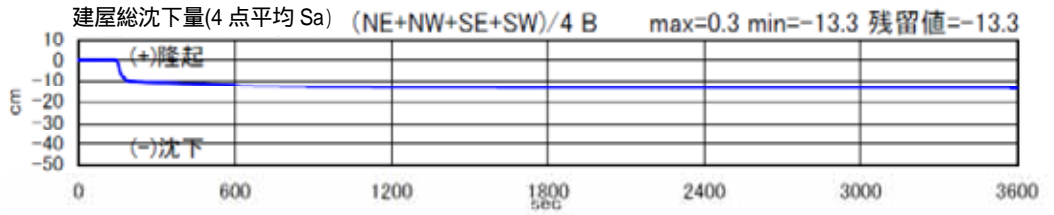


図 4.4.90 建屋平均総沈下量の比較 加振 1 回目 (600 秒)

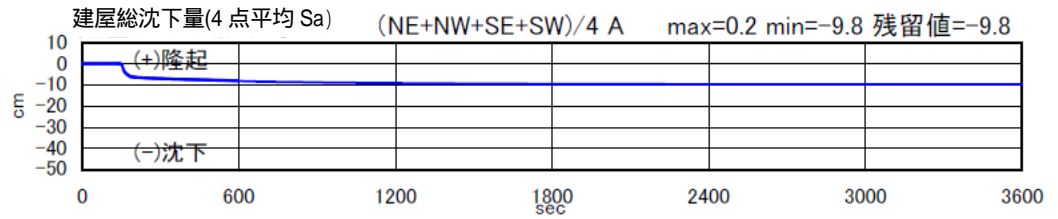
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

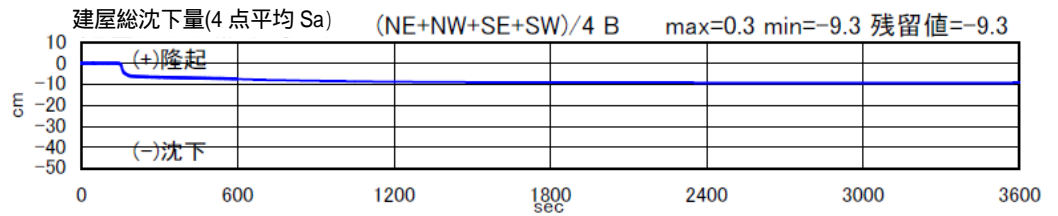


図 4.4.91 建屋平均総沈下量の比較 加振 1 回目 (3600 秒)

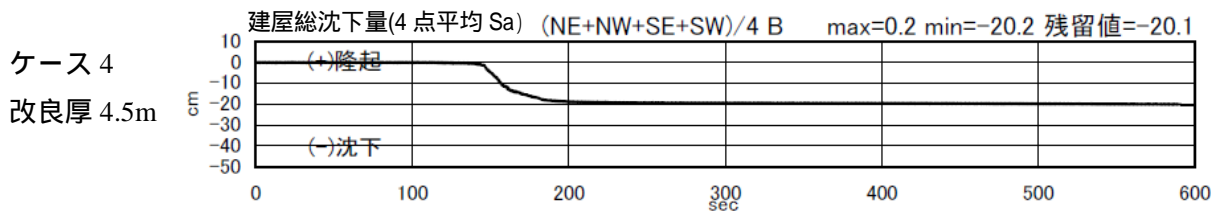
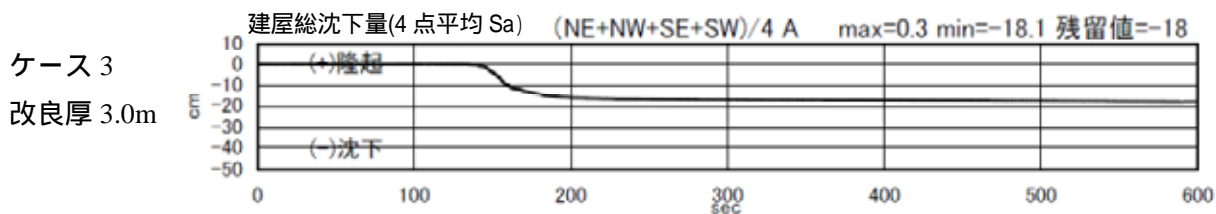
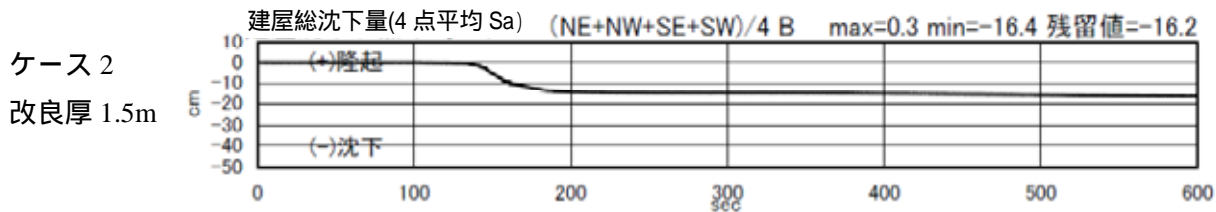
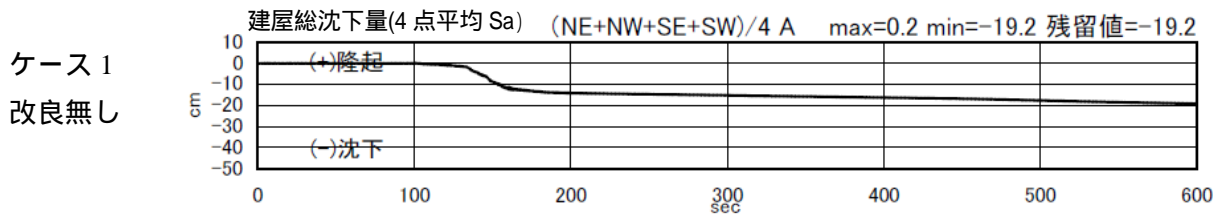
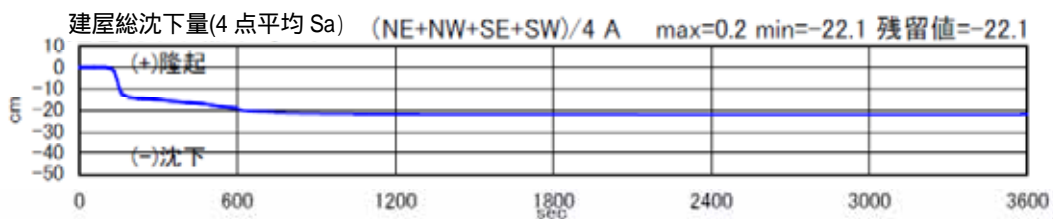
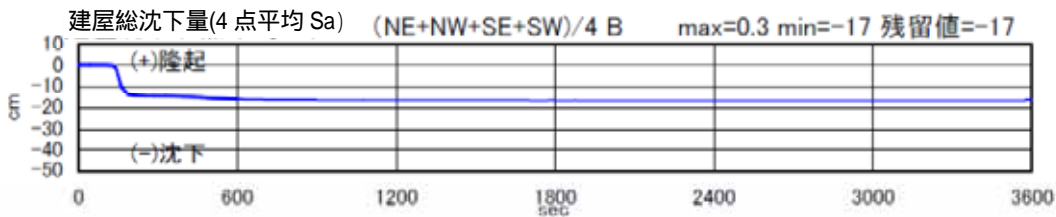


図 4.4.92 建屋平均総沈下量の比較 加振 2 回目 (600 秒)

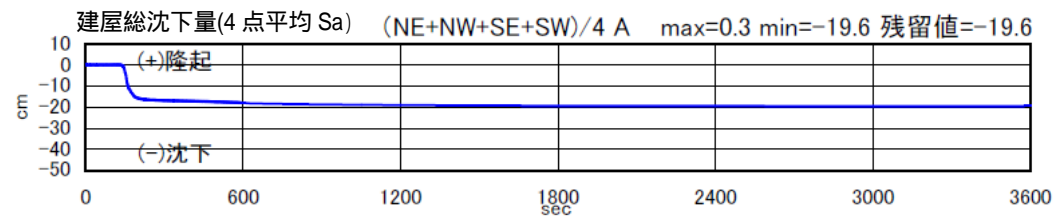
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

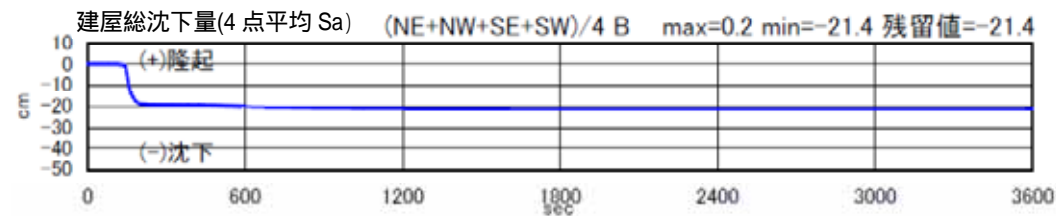
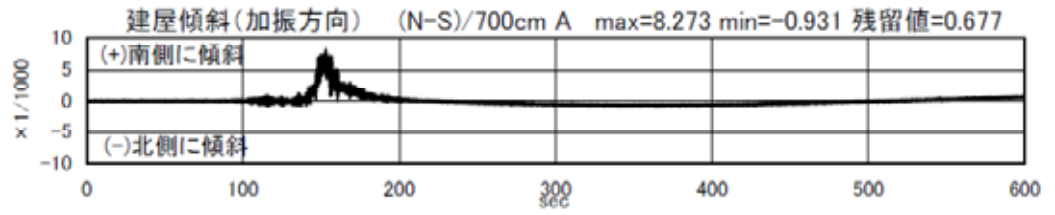
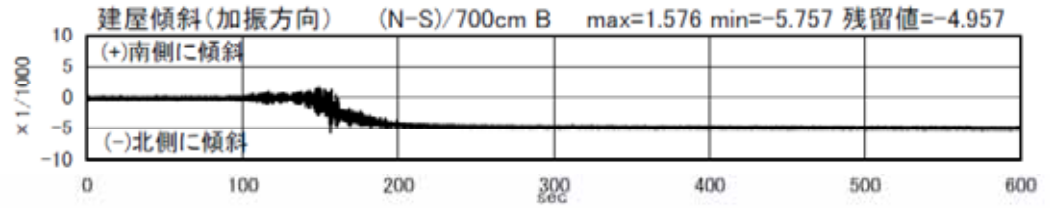


図 4.4.93 建屋平均総沈下量の比較 加振 2 回目 (3600 秒)

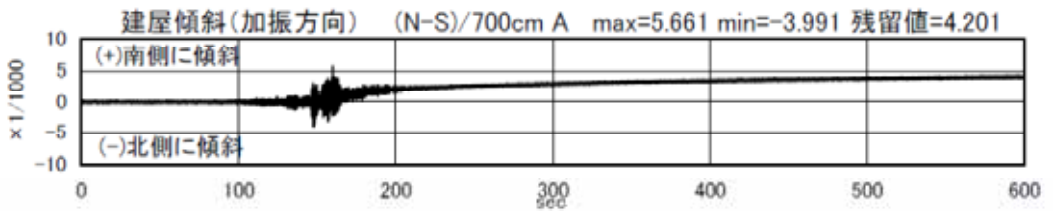
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

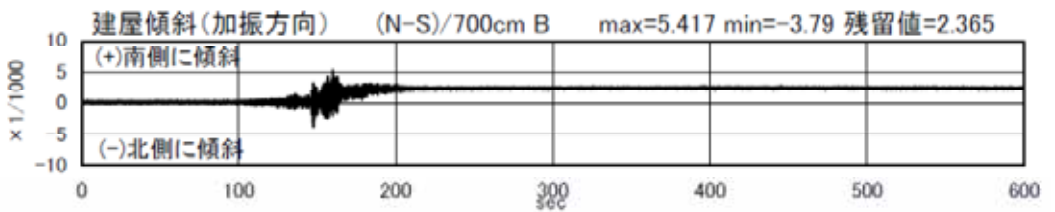
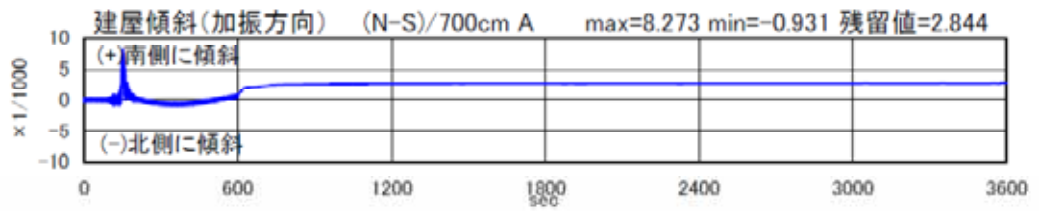
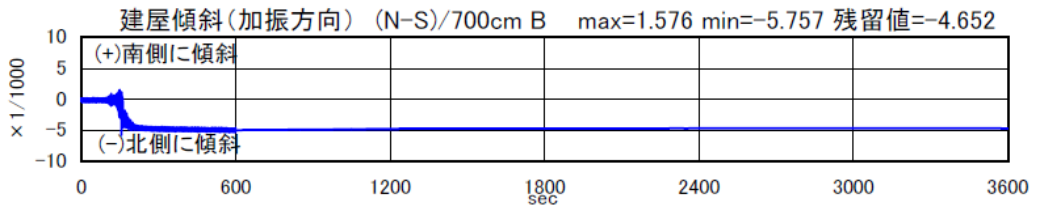


図 4.4.94 建屋傾斜角（加振方向）の比較 加振 1 回目（600 秒）

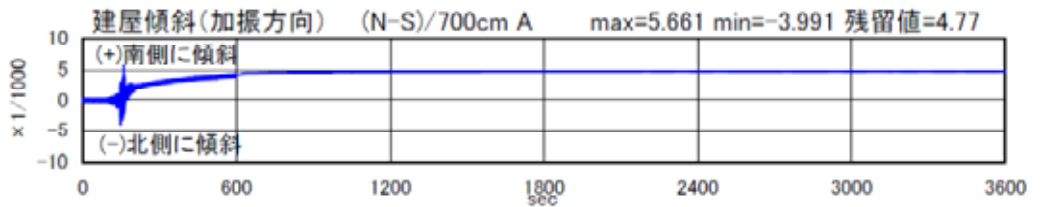
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

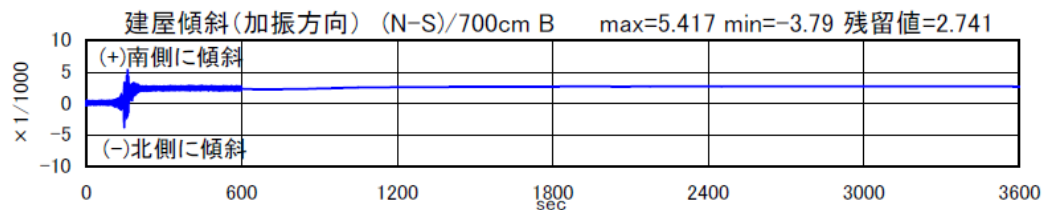
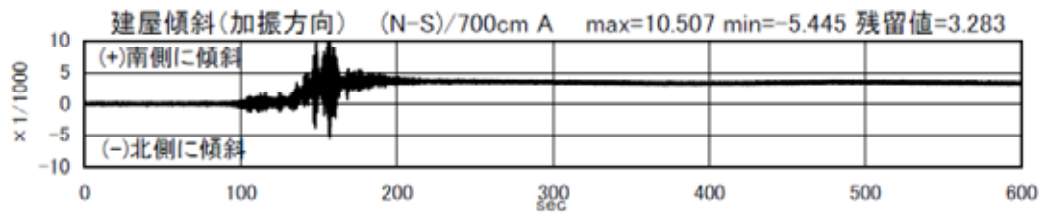
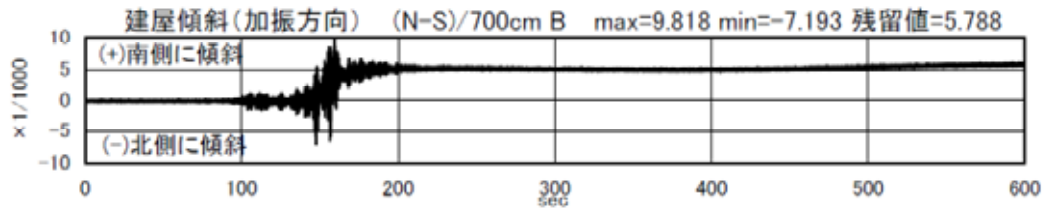


図 4.4.95 建屋傾斜角（加振方向）の比較 加振 1 回目（3600 秒）

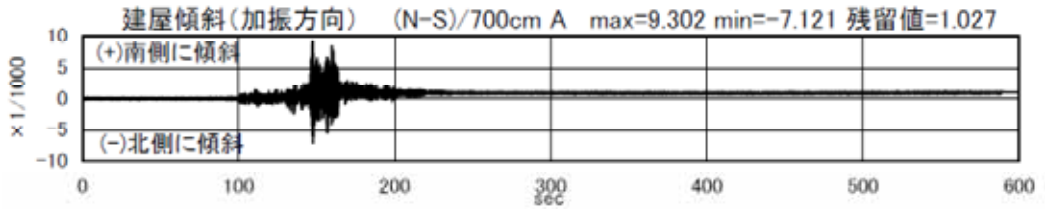
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

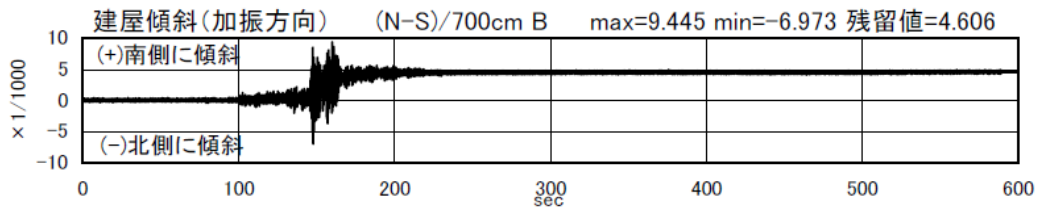
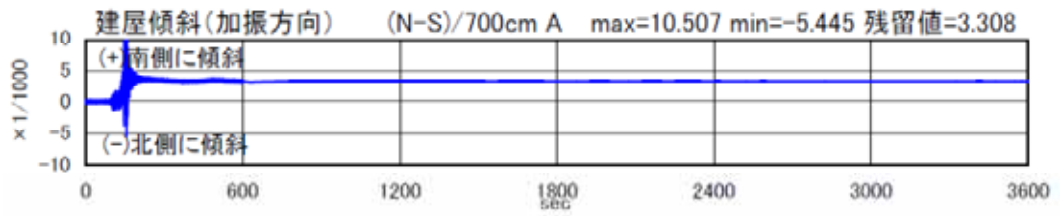
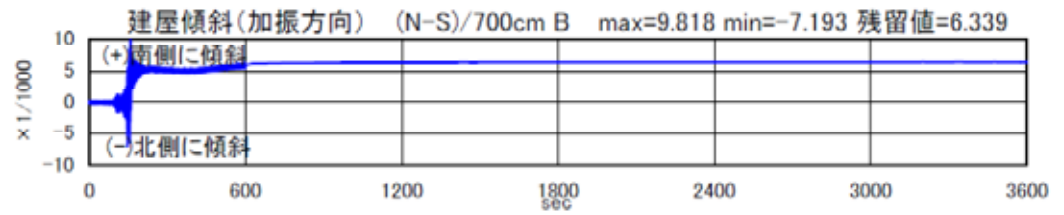


図 4.4.96 建屋傾斜角(加振方向)の比較 加振 2 回目(600 秒)

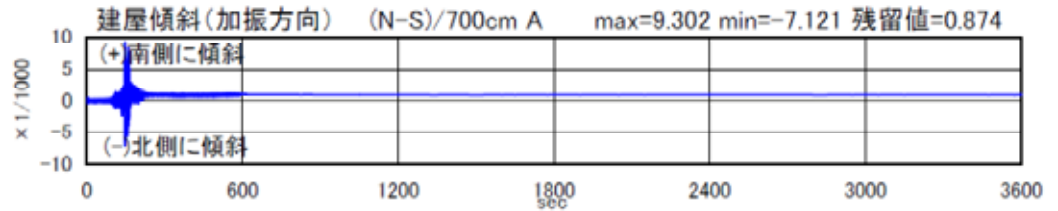
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

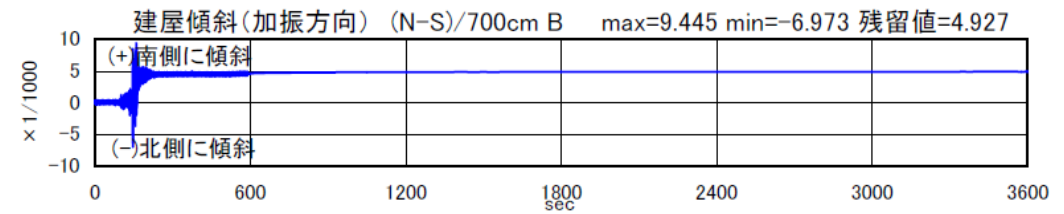
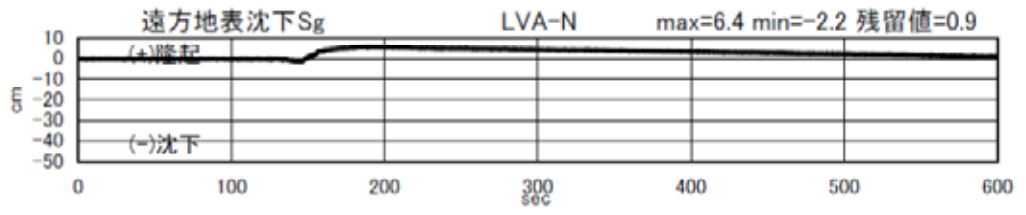
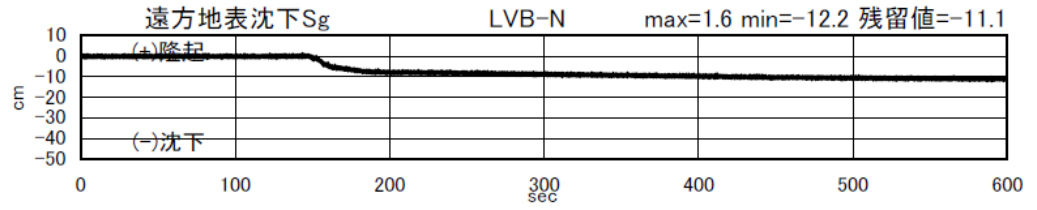


図 4.4.97 建屋傾斜角(加振方向)の比較 加振 2 回目(3600 秒)

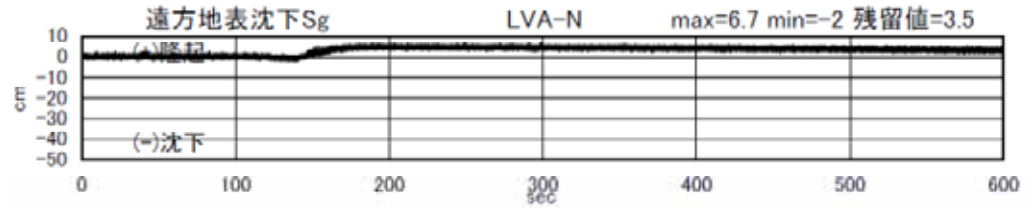
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

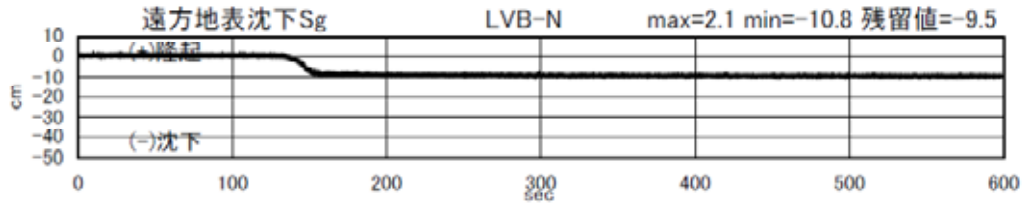
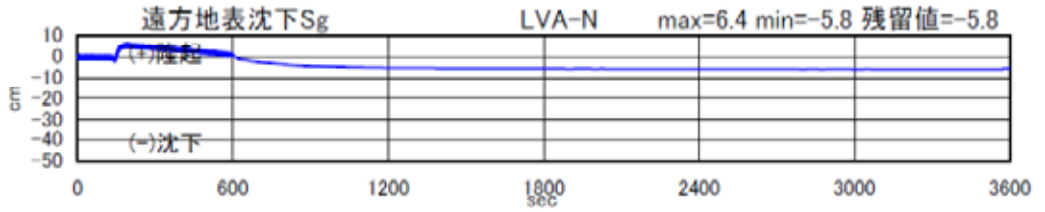
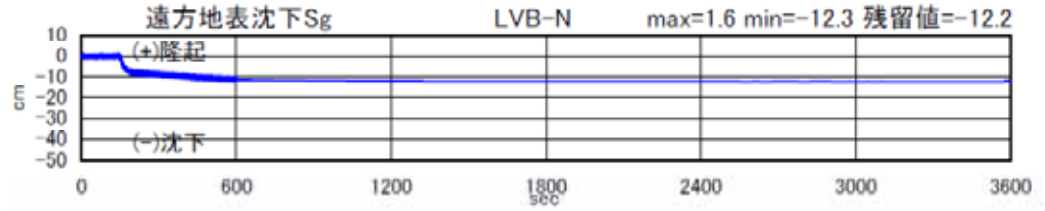


図 4.4.98 遠方地盤地表面沈下量の比較 加振 1 回目 (600 秒)

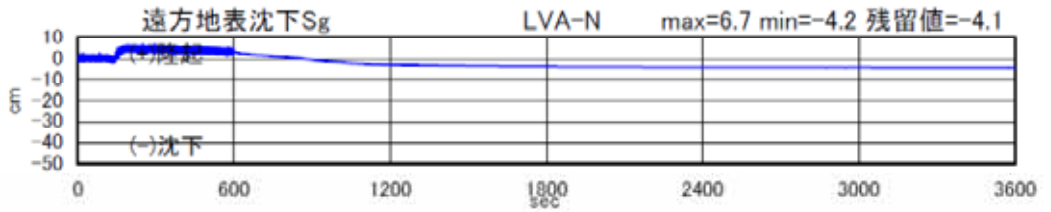
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

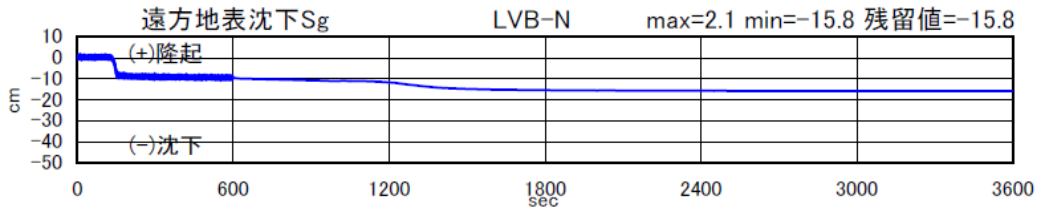
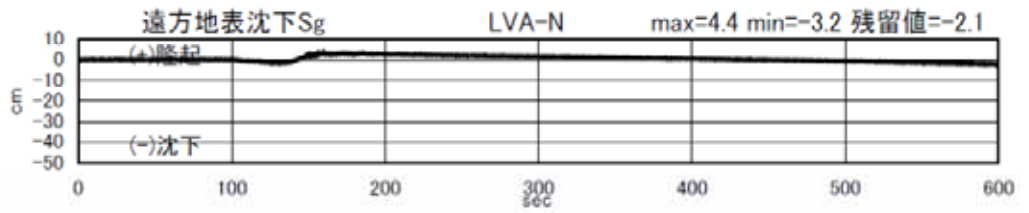
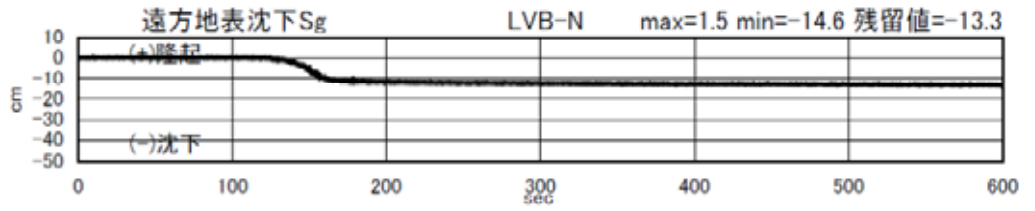


図 4.4.99 遠方地盤地表面沈下量の比較 加振 1 回目 (3600 秒)

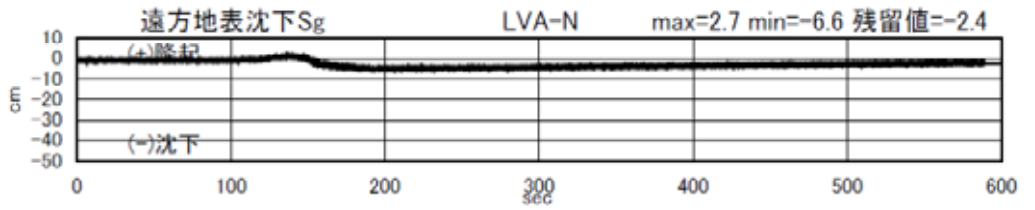
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

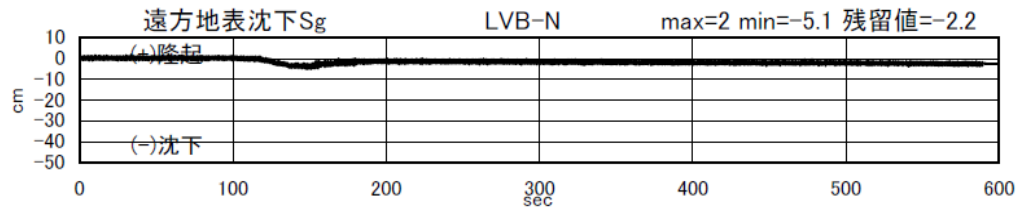
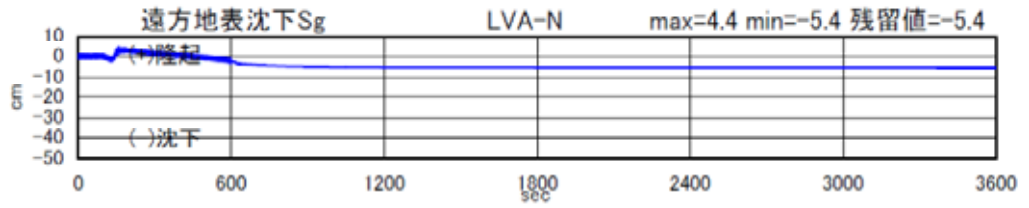
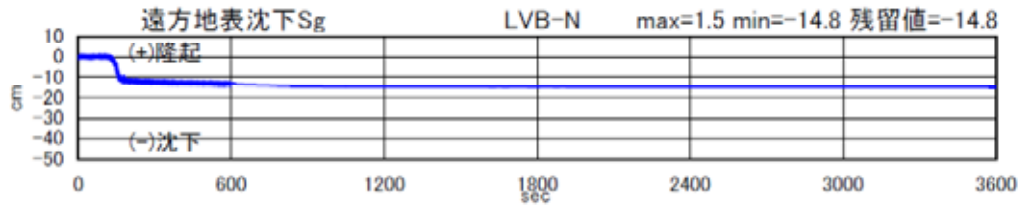


図 4.4.100 遠方地盤地表面沈下量の比較 加振 2 回目 (600 秒)

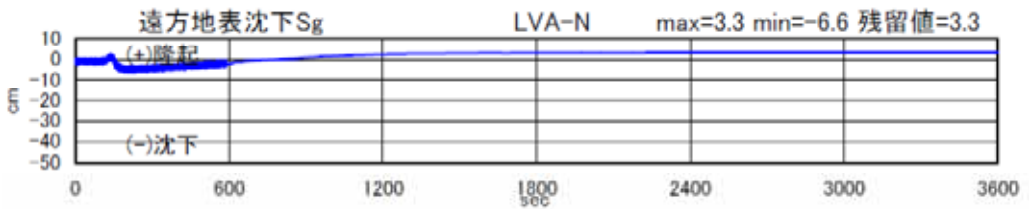
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

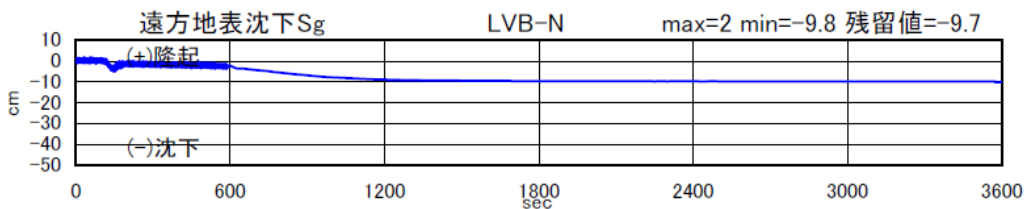
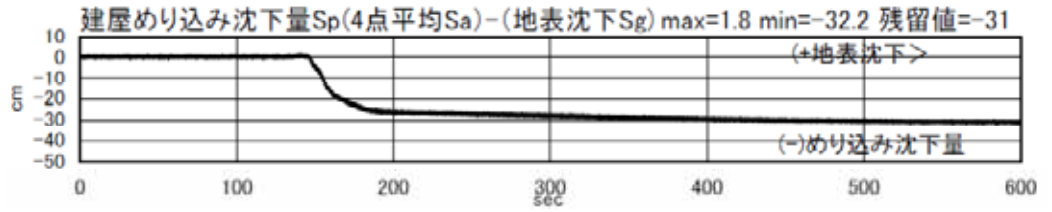
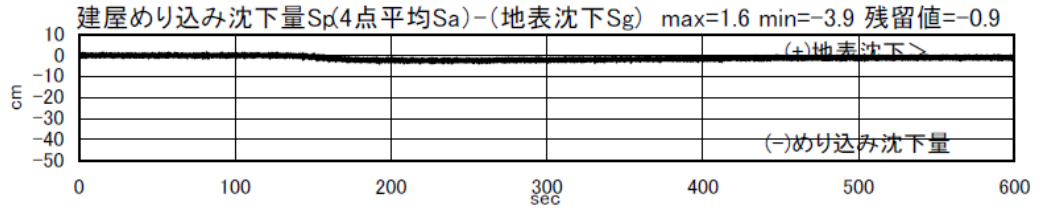


図 4.4.101 遠方地盤地表面沈下量の比較 加振 2 回目 (3600 秒)

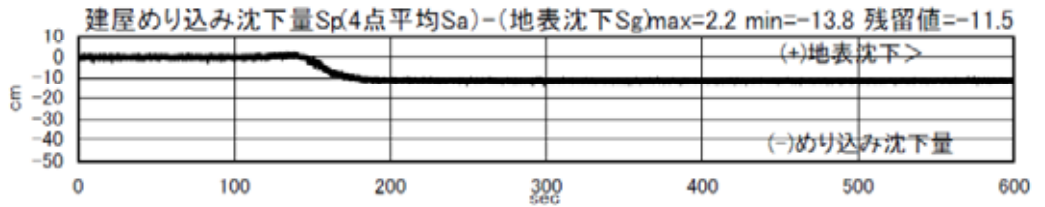
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

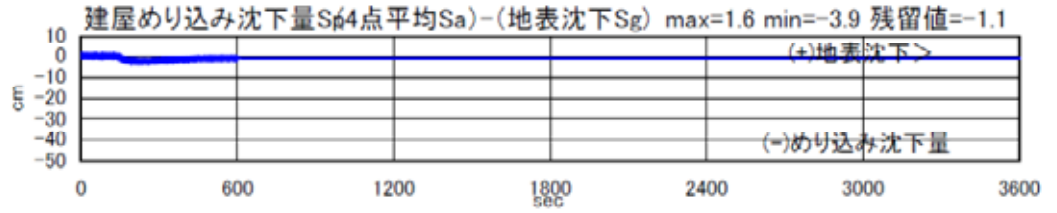


図 4.4.102 建屋めり込み沈下量（建屋平均総沈下量 - 遠方地表面沈下量）の比較
加振 1 回目（600 秒）

ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

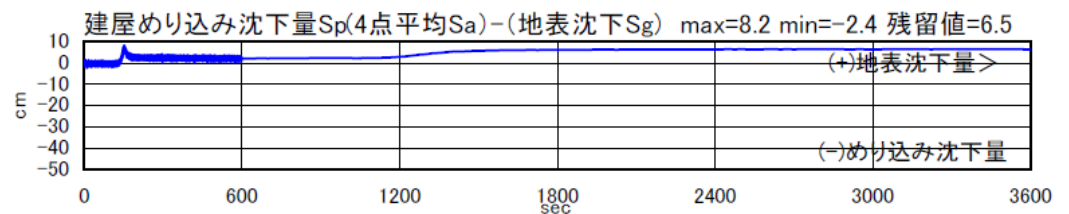
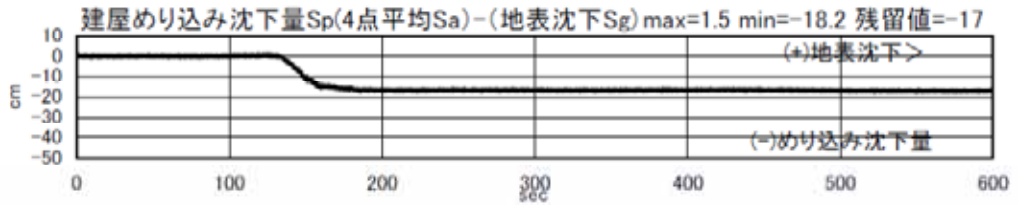
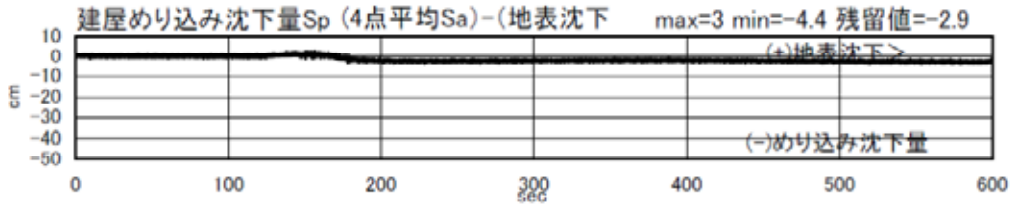


図 4.4.103 建屋めり込み沈下量（建屋平均総沈下量 - 遠方地表面沈下量）の比較
加振 1 回目（3600 秒）

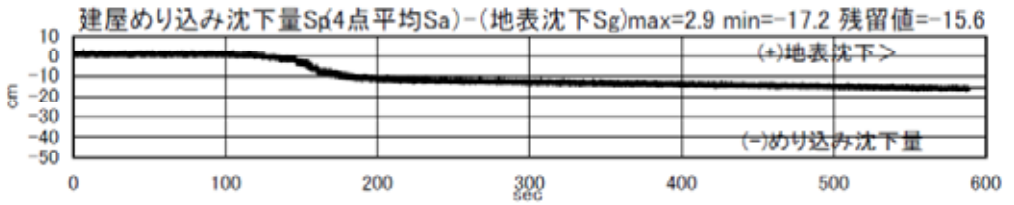
ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m

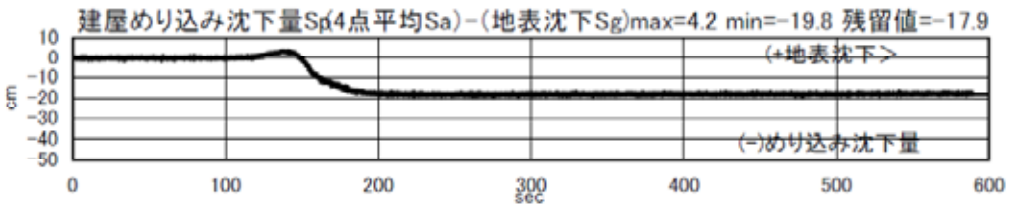
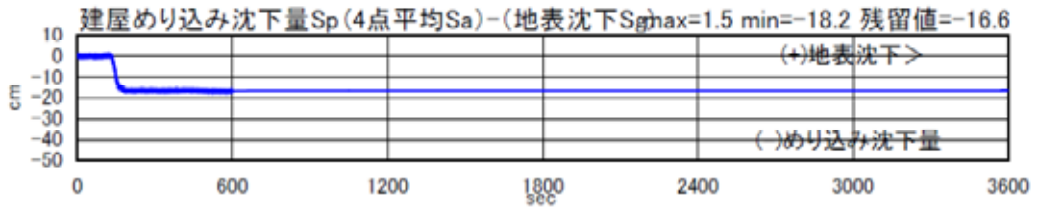
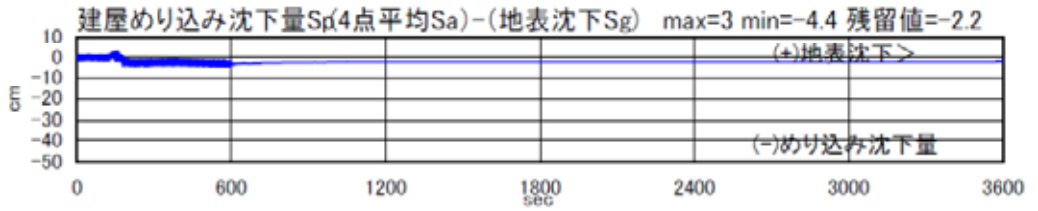


図 4.4.104 建屋めり込み沈下量（建屋平均総沈下量 - 遠方地表面沈下量）の比較
加振 2 回目（600 秒）

ケース 1
改良無し



ケース 2
改良厚 1.5m



ケース 3
改良厚 3.0m



ケース 4
改良厚 4.5m



図 4.4.105 建屋めり込み沈下量（建屋平均総沈下量 - 遠方地表面沈下量）の比較
加振 2 回目（3600 秒）