

V. 宅地技術部門

V-1. 「宅地技術部門」の研究内容と研究成果の概要

1. 研究の目的と概要

1) 宅地関連技術研究の全体的目標

多世代利用型超長期住宅にかかる「宅地・街区に関する要求性能」の基準化に向けて、必要な技術の開発と技術的知見の提示を試みる。

2) 研究の着眼点

すでに都市拡大の旺盛な時期を終えたわが国において、これからの良質住宅ストック形成のほとんどは既往の市街地の中において行われることになる。このため、宅地にかかる研究の焦点は、新規造成ではなく、既開発地（既成市街地）の問題に絞り込むことが妥当とした。

3) 研究事項の選定

研究対象は、宅地・街区の超長期性能という観点から、想定される性能項目の全体像を俯瞰し（表2）、技術基準類の整備を進める視点に立って、技術的な知見が不足している事項から選ぶこととした。その結果、本総合技術開発プロジェクトにおける宅地関連の研究対象は、次の3つとした。

【防災性能関連事項】

- A) 既存の宅地擁壁の耐久性にかかる実態データの取得と分析
- B) 既造成の宅地に適した地盤液状化対策技術の開発

【居住性能関連事項】

- C) 住宅価値の持続性のための相隣環境規範にかかる実験データの取得と分析

2. 研究成果の概要

1) 既存の宅地擁壁の耐久性

築造時期が明らかな宅地擁壁について、約100か所の目視判定と、45か所の表面波探査（目では見えない擁壁の内部の劣化や地山の状態を確かめる非破壊の探査法）を実施した。

その結果、築造後20年を超えると危険度「中」判定が約3割となり、築造後40年を超えると危険度「大」判定が顕著に見られることがわかり、目視診断を実施すべき時期の目安を示した。また、目視調査では危険度「中」判定の擁壁の4分の1が表面波探査では危険度「大」判定であったことから、簡易調査の結果から詳細調査を行うべき対象の目安を提示した。

2) 住宅が建ったまま行える宅地地盤の液状化対策技術

液状化による住宅の被害は、人命には滅多に関係しないものの、財産的には継続使用のできない全壊被害となることが多く、超長期住宅特有の問題である。しかしながら、現状で普及している対策工法はほとんどが新規造成時や建替え時に行う地盤改良であり、基準化以前に、現存する住宅が建ったまま稠密な市街地の中で容易かつ安価に実施可能な工法を開発・普及させることが急務と考

えられる。そこで、ここでは宅地地盤内に空気を注入し、空気の圧縮性を利用して液状化を防止する対策工法の有効性を示すことを技術研究の目標とした。

研究方法は、1) 実大サイズのせん断土槽を用いた加振実験、2) 遠心力載荷試験装置を用いた加振実験、3) 実地盤への空気注入による不飽和状態の実現状況と持続性の計測、の3段階の実証実験を行い、超長期住宅が遭遇する可能性の高い大地震動に対する有効性の検証と、マイクロバブル水を用いた空気注入工法の実用化可能性の検討を、並行して進めた。

この結果、N値≒16程度の砂質地盤（沖積層や埋立地によく見られる液状化地盤）において、阪神大地震相当の入力に対し、空気注入法の有効性が認められ、これにより、既存の液状化危険市街地に建つ超長期住宅ストックの被災回避に有望な工法の存在を提示することができた。

3) 住宅価値の持続性のための相隣環境規範

多世代居住型超長期住宅が存続する長期間には、周囲の建築物が順次建替わり、相隣環境が変化することとなるが、この周囲の変化が超長期住宅の住宅価値を損なうと、住宅そのものの存続を危ぶむことになる。このため、超長期住宅の立地場所には、良好な相隣環境の長期持続性を担保する一定の建築規制が存在することが必要であるが、この建築規制をどういう項目についてどの程度の水準で設定すべきかについて、現状では根拠となるバックデータが不足している。

そこで、住宅市街地のVR画像を用いた環境心理学手法による被験者実験を行い、住宅周囲の建築環境をVR上で自在に変化させ、被験者の反応からデータを構築・分析することとした。

この実験は現在継続中であるが、これまでの取得データから、例えば、低層独立住宅の両側の敷地が共同住宅に建て替わるとした場合、隣接地が5階建てになると被験者のほぼ全員が明らかな不満を感じ、約6割の者が耐え難いとの回答し、隣接地が3階建ての場合に比べて住宅価格が1,000万円以上減ると回答した者が約7割に達するといったデータが得られている。

表 1.1 宅地・街区の超長期性能に関するパースペクティブと本研究対象の位置

	項目	超長期に特有の性能事項	技術基準類の整備状況	本研究
防災性能	擁壁の安全	長期劣化の対策の確立	「宅地擁壁老朽化判定マニュアル(案)」、「わが家の擁壁チェックシート(案)」が整備済みだが、老朽化と経過年数の関係を実態調査したデータがなく、適用の目安が明らかでない。	○
	地盤の安定	大地震時の地盤の滑動防止	「宅地防災マニュアル」の改定(2006)、「大規模盛土造成地の変動予測ガイドライン」(2007)が近年整備されたところ。	—
		大地震時の液状化防止	新規造成に関しては一定の技術基準類が存在するものの、既存の宅地に関して基準の整備を行うには、住宅が建ったままでも安価に実行可能な対策の提示とあわせて行う技術開発が必要。	○
	土壌汚染	—	土壌汚染対策法の基準による。	—
	水害・土砂災害	—	危険区域の提示、土砂災害特別警戒区域内における居室を有する建築物の構造基準がある。	—
供給処理性能	上下水道・ガス	管路の維持保全の容易さ	—	—
	電力・通信	電線類の収容システム	—	—
	家庭ごみ	—	—	—
居住性能 (相隣環境性能)	日照・採光	周囲の建物更新に伴う住環境の悪化(住宅の市場価値の低下)の防止	斜線制限、日影規制	別途
	街並み環境		高度地区・地区計画など規範策定のツールはあるが、住宅価値の長期持続性の観点に立った数値基準の目安が提示されていない。	○
	プライバシー		—	○
	静穏性		用途規制、環境基準	—
利便性能	交通アクセス	—	—	—
	生活サービス	—	—	—

V-2. 既存造成宅地擁壁の耐久性実態調査

1. 目的と方法

1) 目的

既存造成宅地における宅地擁壁について、超長期住宅を支えるストックとしての安全性を適切に維持する必要から宅地擁壁にかかるヘルスマonitoring基準の確立に向けて、既存宅地擁壁の耐久性の実態を把握するとともに、簡易な非破壊検査技術の有効性を検証する。

2) 調査サンプル

高さ概ね2 m以上の宅地擁壁で、築造後20年以上を経過したものを中心に、構造種別、築造時期等の分布を考慮してサンプルを選定。目視調査102擁壁、表面波探査45擁壁。

※ 築造時期は、宅地造成等規制法の許可または建築基準法の確認の台帳を参照。これらの申請がないもの（昭和30年代以前のもの）については旧地形図から年代を推定。

⇒ 築造後の経過年数を把握した上での劣化状態の診断調査は、本調査が初めて。

2. 目視調査

2.1 目視調査の方法

調査票は、国土交通省「宅地擁壁老朽化判定マニュアル（案）」に基づき、構造別に、①練石積み・コンクリートブロック積み擁壁、②空石積み・大谷石積み擁壁、③重力式コンクリート擁壁、④鉄筋コンクリート擁壁、の4種類を作成（表2.1に例）。

また、調査の統一性確保と調査員の訓練のため、スライドマニュアル「目視点検調査要領」を独自に作成。

2.2 目視調査の結果のポイント

宅地擁壁の耐久性は、全体的な傾向として、①築後20年を超えると危険度「中」が約3割となり、②築後30年を超えると危険度「中」が半数を上回り、③築後40年を超えると危険度「大」が見られるようになる。

⇒ 【擁壁ヘルスマonitoring基準その1】：築後概ね20年を超えたら目視による劣化調査を実施することが望ましく、40年を超えたものは必ず行うべきである。

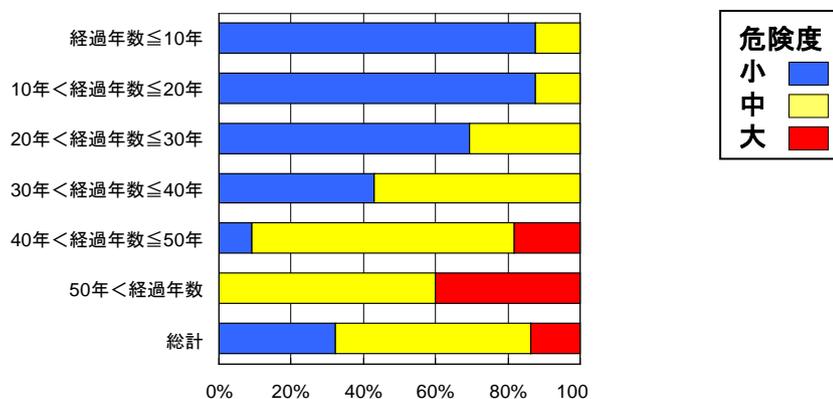


図 2.1 築造後年数による既存宅地擁壁の危険度評価結果

表 2.1 目視調査の調査票の例

擁壁チェックシート【練石積み・コンクリートブロック積み擁壁】

整理番号		所在地			
調査年月日		緯度	経度		
設置時期		壁面の高さ	建物との離隔		
地形区分		擁壁の勾配	建物の階数		
調査者		壁面の方角	建物の構造		
区分	項目	チェック*	評価基準	配点	
基礎点	環境条件	湧水	擁壁表面が乾いている。	0.0	-
			常に擁壁表面が湿っている。 擁壁背後が湿潤状態で目地や水抜き穴から湿気が感じられる。	0.5	
			水がしみ出し、流出している。 水抜き孔はあるが、天端付近で水が浸透しやすい状況にあり、かつ湧水がみられる。	1.0	
	構造諸元	排水施設等	3m ² に1ヶ所以上、内径75mm以上の水抜き穴及び排水施設がある。または、天端付近で雨水が地盤に浸透しない状況にある。	0.0	-
			水抜き穴はあるが、天端付近で雨水が地盤に浸透し、水抜き穴が詰まっている。	1.0	
		擁壁高さ(H)	水抜き穴が設置されていない。または、水抜き穴が3m ² に1ヶ所以上、内径75mm以上を満たしていない。	2.0	
			1m < H ≤ 3m	0.0	
	3m < H ≤ 4m		1.0		
	障害状況	排水施設の障害	4m < H ≤ 5m	1.5	-
			5m < H	2.0	
			異常なし。	0.0	
			天端排水溝に土砂が堆積し、雑草が繁茂している。さらに、天端排水溝にずれ、欠損がある。または、天端背後にクラックがみられる。	0.5	
		劣化障害	上記に加え、擁壁のクラックまたは目地からの湧水があり、天端には小陥没もみられる。	1.0	-
			上記に加え、排水溝に破損、沈下、ずれなどがみられる。	1.5	
			異常なし。	0.0	
白色生成物障害		表面が風化により磨耗し、ざらざらになっている。	0.5	-	
		上記に加え、合わせ目の破損が目立ち、目地モルタルが剥落している。	1.0		
		表面が剥離したり、欠損などが目立ち、抜け石もみられる。	1.5		
変状点	擁壁の変状	横クラック	異常なし。	0.0	-
			積石の一部から裏込めコンクリートの白色生成物が析出している。	0.5	
			積石の数箇所から白色生成物が析出しており、その高さが一定である。	1.0	
		縦クラック	積石の全面に白色生成物が析出し、漏水もみられる。	1.5	
			横クラックなし。	0.0	
			擁壁中央付近の積石の目地部分に沿って水平方向のクラックがある。	3.5	
	コーナー部クラック	擁壁中央付近の積石の目地部分および積石自体にも水平方向のクラックがある。	5.0	-	
		擁壁中央付近の積石の目地部分および積石に水平方向のクラックがあり、さらにクラックが開いている。	6.5		
		縦・斜めクラックなし。	0.0		
	水平移動	擁壁前面の積み石に沿って縦・斜めクラックがある。	2.0	-	
		積み石に沿った縦・斜めクラックの幅が大きく、隙間ができている。	3.5		
		擁壁が縦・斜めクラックを境に前後または上下にずれている。	5.0		
		コーナー部にクラックなし。	0.0		
	不同沈下(目地の開き)	コーナー部に斜め方向にクラックがある。	2.5	-	
		コーナー部に斜め方向にクラックがあり、水のしみ出し跡がある。	4.0		
コーナー部に斜め方向にクラックがあり、ずれが生じている。		5.5			
ふくらみ	水平移動なし	0.0	-		
	擁壁の目地部に5mm未満の前後のずれがある。	3.0			
	擁壁の目地部に5mm以上2cm未満の前後のずれがある。	4.5			
傾斜・折損	擁壁の目地部に2cm以上の前後のずれがある。	6.0	-		
	不同沈下(目地の開き)なし。	0.0			
	擁壁の目地部に5mm未満の上下のずれ、または左右の開きがある。	4.0			
傾斜・折損	擁壁の目地部に5mm以上2cm未満の上下のずれ、または左右の開きがある。	5.5	-		
	擁壁の目地部に5mm以上の上下のずれ、または左右の開きがある。	7.0			
	ふくらみなし。	0.0			
	擁壁全体が前方へふくらんでいる。	4.5			
傾斜・折損	ふくらみがさらに大きくなり途中の積石に抜け落ちがみられる。	6.0	-		
	全面へのふくらみが大きく、途中の積石に抜け落ちがみられる。	8.0			
	傾斜・折損なし。	0.0			
傾斜・折損	擁壁がわずかに前傾(後傾)している。	5.0	-		
	擁壁全体が明らかに前傾(後傾)している。	6.5			
	擁壁全体が明らかに前傾(後傾)し、かつ途中に折損がみられる。	9.0			

基礎点	0.0
変状点	0.0
合計	0.0
目視による危険度評価区分	小

※基礎点＝環境条件の最大配点値＋障害状況の最大配点値、変状点＝擁壁変状の最大配点値

3. 表面波探査

3.1 表面波探査の方法

擁壁の表面を木づちでたたき、伝わる波の速さを周波数ごとに測定。擁壁の内部にひび割れが生じたり、地山がゆるむとS波速度が遅くなったりするという性質を利用して測定値を解析することにより、擁壁の壁体及び地山の強度を推定する。

⇒ 目では見えない擁壁の内部の劣化や地山の状態を、非破壊の探査法により確かめる。

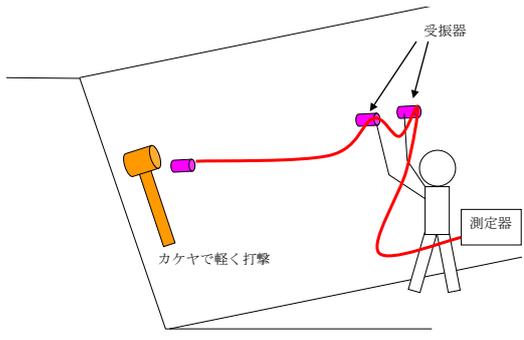


図 2.2 表面波探査の方法

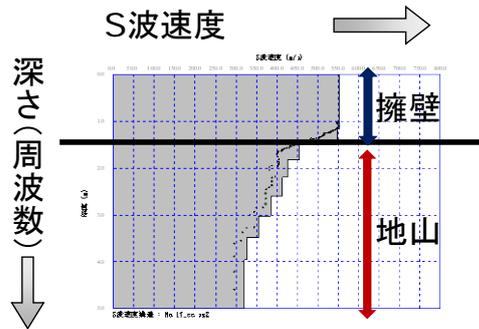


図 2.3 分析のイメージ

表 2.2 表面波探査の判定基準

S波速度 (m/s)		危険度区分
壁体	背後の地盤	
1000以上	かつ100以上	小
500~1000	かつ100以上	中
500未満	又は100未満	大

3.2 表面波探査の結果のポイント

同じ擁壁サンプルについての目視調査と表面波探査の結果は全体として一致する傾向にあるが、目視では危険度は大きくない擁壁であっても、表面波探査を行うと壁体や背後地盤の剛性が著しく低下しているものが見られた。

⇒ 【ヘルスマニタリング基準その2】: 目視調査により危険度中程度と診断された擁壁については、表面波探査(非破壊検査)等を行って、壁体及び背後地盤の剛性を確認することが望ましい。

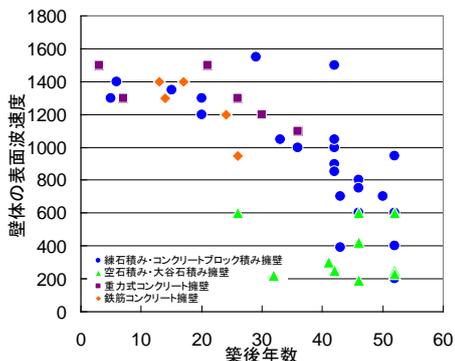


図 2.4 表面波探査の結果

表 2.3 目視調査と表面波探査の結果の比較

		表面波探査による評価			計
		小	中	大	
目視調査による評価	小	11	1	0	12
	中	8	11	6	25
	大	0	2	4	6
	計	19	14	10	43

4. 目視点検調査要領

危険度判定評価の基本的な考え方は、擁壁の種類に応じて、1) 基礎点（環境条件・障害状況）と2) 変状点の組み合わせ（合計点）によって、総合的に評価するものである。

4.1 擁壁の種類

擁壁の種類は、以下に分類される。

1) 練石積み・コンクリートブロック積み擁壁

モルタルやコンクリートを接着剤や固定材に用いて、石又はコンクリートブロックを積み上げた擁壁で、ガンタ積みや間知ブロック積みなど古い擁壁も見られる。



図 2.5 練石積み



図 2.6 ガンタ積み



図 2.7 間知ブロック積み

2) 空石積み・大谷石積み擁壁

一般に施工時期が古く、石の表面が風化していることが多い。クラックや抜け石がみられることもある。



図 2.8 玉石積み

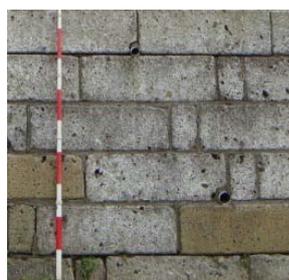


図 2.9 大谷石積み

3) 重力式コンクリート擁壁

変状が進むとクラックが開口したり、クラックのズレが発生したりするとともに、粗骨材の露出（ジャンカ）や打設面の露出（コールドジョイント）が顕在化する。



図 2.10 重力式コンクリート擁壁

4) 鉄筋コンクリート擁壁

変状が進むとクラックが開口したり、クラックのズレが発生するとともに、粗骨材の露出（ジャンカ）や打設面の露出（コールドジョイント）の頭在化や、鉄筋の腐食に伴うコンクリートの剥離などが認められることがある。



図 2.11 鉄筋コンクリート擁壁

4.2 基礎点（環境条件・障害状況）

【環境条件】

- ◆ 湧水（湿潤、しみ出し、流出など）の確認。湧水量と擁壁の危険性は相関が高い。
- ◆ 水抜き穴の変状・不具合の確認。地下水位の上昇は擁壁の劣化に対する影響が大きい。
- ◆ 擁壁の最大地上高さを確認。高いほど変状が起こりやすい。

【障害状況】

- ◆ 擁壁天端の排水施設の変状・不具合を確認する。擁壁天端付近で雨水が地下に浸透しやすい状態にある場合、擁壁の崩壊につながる危険性が高い。
- ◆ 劣化障害。擁壁表面の積石の風化、破損やひび割れの状況の確認。
- ◆ コンクリート擁壁の白色生成物障害（エフロレッセンス）の有無を確認することが重要で、クラックや漏水を伴う場合、擁壁の危険性が高い。

1) 湧水状況の着眼点

- ・ 擁壁表面が乾いている

擁壁の崩壊の素因となる地下水の排水が良好で、安全な状態である。



図 2.12



図 2.13

常に擁壁表面が湿っている。擁壁背後が湿潤状態で、目地や水抜き穴から湿気が感じられる。



図 2.14

擁壁表面が湿っている



図 2.15

水抜き穴にコケが生育



図 2.16

水抜き穴に草本が生育

- ・水がしみ出し流出している。水抜き孔はあるが、天端付近で水が浸透しやすい状況にあり、かつ湧水がみられる。
- ・水抜き穴から水が流れ出している場合や、最近流出した痕跡が残っている場合も、水がしみ出している状態として判断する。



図 2.17
水抜き穴からの流出



図 2.18
最近水が流出した痕跡



図 2.19
水の流出跡にコケが生育

2) 排水施設の着眼点

- ・ 3m^2 に1ヶ所以上、内径75mm以上の水抜き穴及び排水施設がある。または、天端付近で雨水が地盤に浸透しない状況にある。
- ・水抜き穴の配置に関して技術基準を満たし、背面水圧が除去されやすい状態にある。



図 2.20



図 2.21

3m^2 に1ヶ所、内径75mm以上の水抜き穴が設置されている擁壁

- ・水抜き穴はあるが、天端付近で雨水が地盤に浸透し、水抜き穴が詰まっている。
- ・上記のほか、盛土内部の材料等で水抜き穴が詰まっている場合もある。



図 2.22
水の浸透しやすい擁壁天端と詰まった水抜き穴



図 2.23
細粒土砂で詰まった水抜き穴

- ・水抜き穴が設置されていない。または、水抜き穴が 3m^2 1ヶ所以上、内径75mm以上を満たしていない。

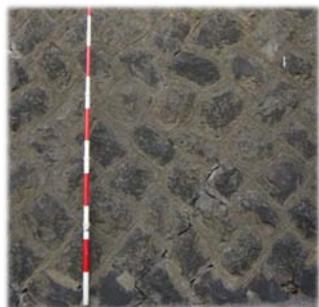


図 2.24
水抜き穴が設置されていない



図 2.25
径の小さい水抜き穴

3) 擁壁の高さ

- ・擁壁の地上最高点を計測する。



図 2.26 擁壁の地上最高点の計測

4.3 排水施設の障害

土砂堆積状況や雑草、排水溝のずれやクラック、沈下、破損等の変状から、排水機能障害の状況を確認する。

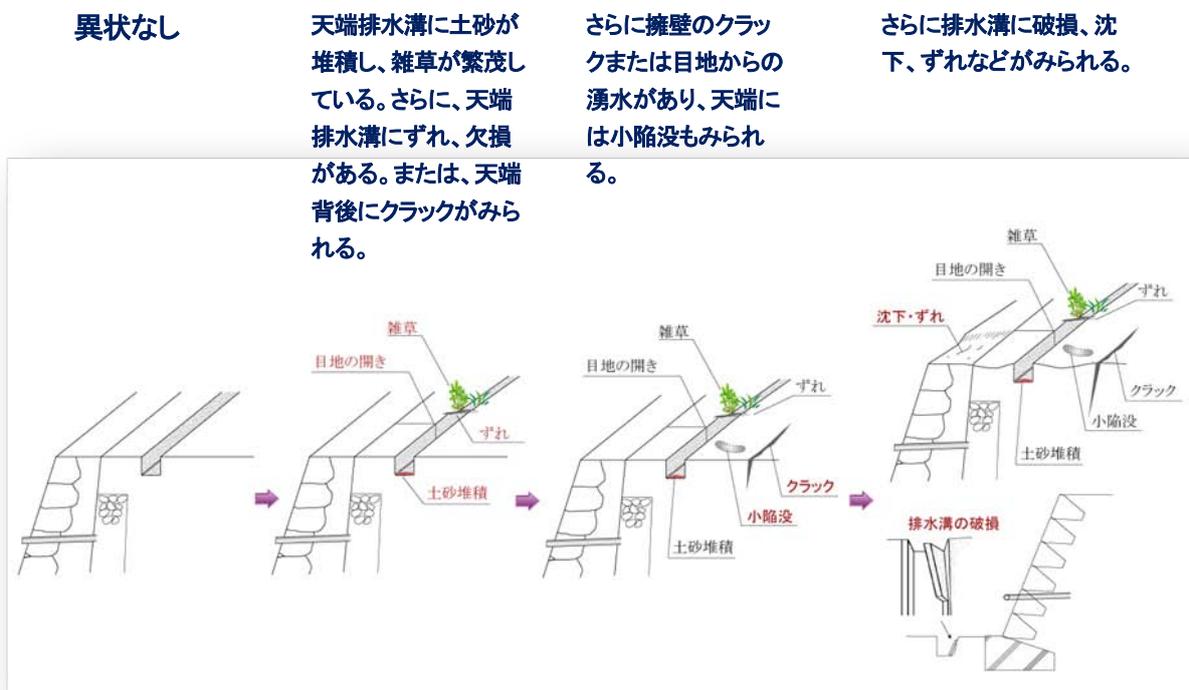


図 2.27 排水機能障害の状況の確認

1) 劣化障害

練石積み・コンクリートブロック積み擁壁は、風化・湧水等による劣化。重力及び鉄筋コンクリート擁壁は、コンクリートの塩分濃度やアルカリ骨材反応による剥離などに注目するとともに、コンクリート表面全体の風化状況に着目する。

(1) 練石積み・コンクリート、ブロック積み擁壁



図 2.28

表面が風化により磨耗し、ざらざらになっている。



図 2.29

さらに合わせ目の破損や表面の剥離等も目立つようになる。

(2) 重力式コンクリート擁壁・鉄筋コンクリート擁壁

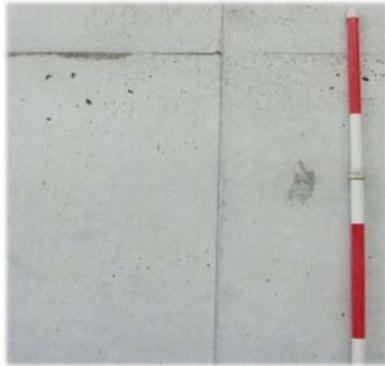


図 2.30 新しく健全なコンクリート擁壁

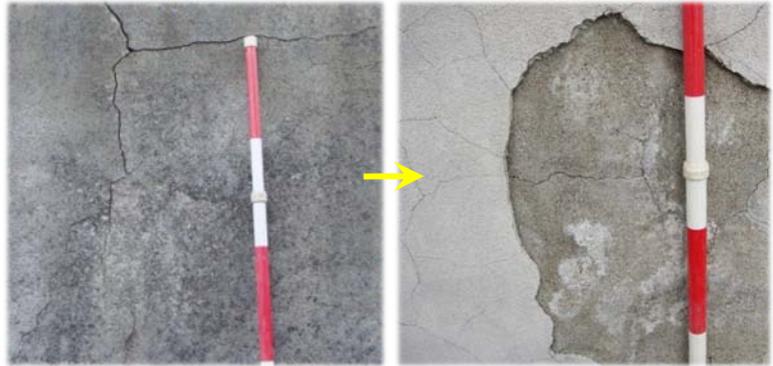


図 2.31 擁壁に不規則なクラックが散見される



図 2.32
微細なヘアクラックが散見される程度は異常なし

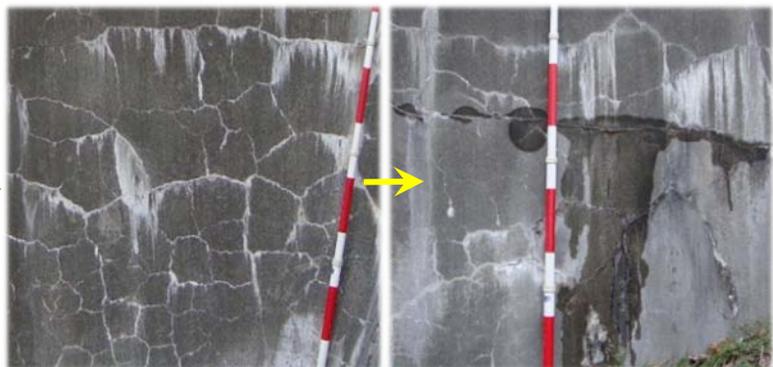


図 2.33
アルカリ骨材反応により亀甲状のクラックが発生。さらに、クラック幅は大きい場合は危険である

2) 白色生成物障害

練石積み・コンクリートブロック積み擁壁は、主に裏込めコンクリートのクラックによる白色生成物。重力及び鉄筋コンクリート擁壁は、コンクリート背面からのクラックによる白色生成物の折出状況に着目する。



図 2.34 クラックからの白色生成物が多く見られる擁壁



図 2.35

積石の数箇所から白色生成物が析出しており、その高さが一定である



図 2.36

コンクリート擁壁に発生した白華現象



図 2.37

擁壁の目地から析出した白色生成物



図 2.38

クラックから白色生成物が析出し、漏水もみられる。

4.4 変状点

変状点については、クラックや擁壁内部の変状、はらみだしや傾斜・折損など危険性に関する構造的要因の状況を確認する。

1) クラックの状況

クラックがある場合、開口や積石のずれ、湧水（跡）も確認する。

【横クラック】



図 2.39

積石の目地部分に沿った横クラック



図 2.40

積石自体にもクラックが及んでいる



図 2.41

開口部や湧水がみられる場合、危険性が高い

【コーナー部クラック】



図 2.42

コーナー部の斜め方向にクラックがある。補修跡がある場合も、同様に評価する



図 2.43

コーナー部の斜め方向にクラックがあり、水の滲み出し跡がある

【縦クラック】



図 2.44

擁壁前面の積み石に沿って、縦・斜めクラックがある



図 2.45

積み石に沿った縦・斜めクラックの幅が大きく隙間ができています



図 2.46

擁壁が縦・斜めクラックを境に上下にずれている

2) 水平移動

練石積み・コンクリートブロック積み擁壁、重力及び鉄筋コンクリート擁壁については、擁壁の目地部における前後のずれの規模（5 mm未満，5 mm～2 cm，2 cm以上）を確認する。

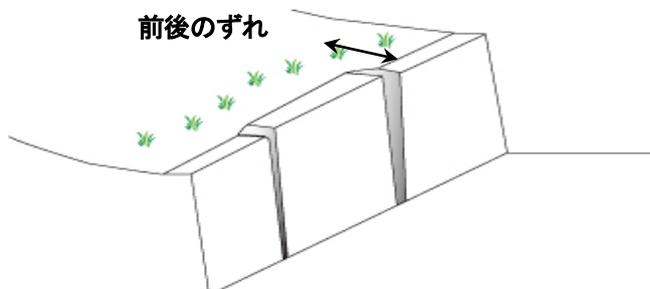


図 2.47 擁壁の目地部における前後のずれの規模の確認



図 2.48

1.5 cm程度の水平移動が認められる擁壁



図 2.49

10 cm程度の大規模な水平移動が認められるコンクリート擁壁

3) 不同沈下（目地の開き）

練石積み・コンクリートブロック積み擁壁、重力式及び鉄筋コンクリート擁壁については、目地の開きの幅（5 mm未満，5 mm～2 cm，2 cm以上）を確認する。

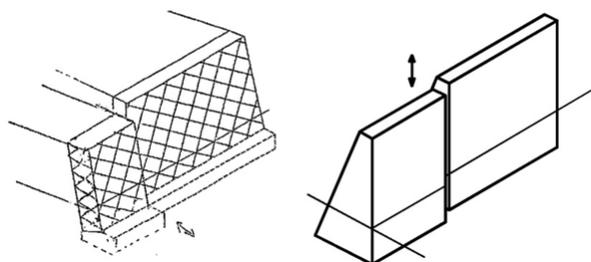


図 2.50 目地の開きの幅の確認



図 2.51 目地の開きの幅の確認



図 2.52 目地の開きの補修跡

4) ふくらみ

練石積み・コンクリートブロック積み擁壁については、擁壁のふくらみやそれに伴う積石の変状（浮き、抜け落ちなど）を確認する。

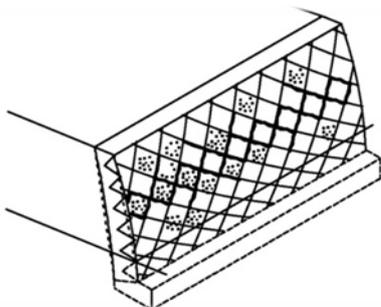


図 2.53 擁壁のふくらみやそれに伴う積石の変状の確認



図 2.54 積石の浮きや抜け落ち



図 2.55 積石の浮きや抜け落ち



図 2.56 目地の部分がふくらんでいる練石積み擁壁

5) ジャンカ（豆板）・コールドジョイント

重力式及び鉄筋コンクリート擁壁については、ジャンカ（豆板）やコールドジョイントの状況を確認する。

- ・ジャンカ（豆板）：表面に粗骨材が露出。劣化が進むと、大きな空隙や鉄筋が露出することもある。



図 2.57 ジャンカの認められるコンクリート擁壁

- ・コールドジョイント：前に打設されたコンクリートの上に、後から重ねて打設打ち込まれたコンクリートが一体化しなかったことによって発生した不連続面。この不連続面にそってクラックが認められる場合、より危険性が高い。



図 2.58 コールドジョイントの認められるコンクリート擁壁

6) 傾斜・折損

練石積み・コンクリートブロック積み擁壁、重力式及び鉄筋コンクリート擁壁については、傾斜・折損の状態を確認する。

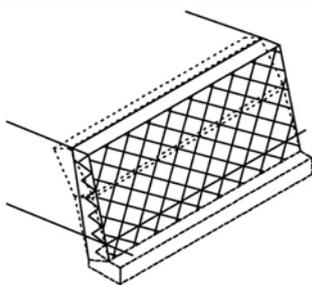


図 2.59
練石積み・コンクリート
ブロック積み擁壁

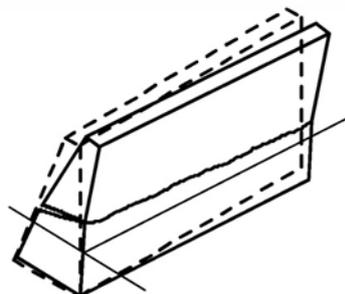


図 2.60
重力式コンクリート擁壁

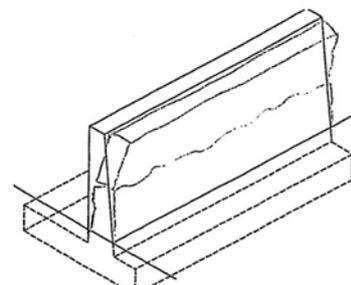


図 2.61
鉄筋コンクリート擁壁



図 2.62

写真左側の間知ブロック積み擁壁は明らかに後傾しており、
写真右側の練石積み擁壁は、やや後傾している事例



図 2.63 明らかに前傾しているコンクリート擁壁

7) 空石積み・大谷石積み擁壁の変状

空石積み・大谷石積み擁壁は、表面の風化・摩耗、クラックの状況、擁壁のふくらみの状況を確認する。



図 2.64

石の表面が風化している
空石積み擁壁



図 2.65

比較的新しく健全な大谷石積み擁壁



図 2.66



図 2.67



図 2.68

開口クラックや石積みのふくらみなどの変状が顕著で、危険な状態にある擁壁

4.5 平面図・横断面図（スケッチ）記入シートの作成例

- ・写真撮影位と対応する写真番号をスケッチに記入する。
- ・スケッチは、建物や擁壁、変状箇所の全体的な位置関係がひとめでわかるような表現を工夫する。
- ・クラックや沈下など、劣化に関わる現象が目立つように記入する。
- ・断面スケッチは、地上と擁壁の最大比高地点を基本として、必要に応じ変状箇所等で作成する。

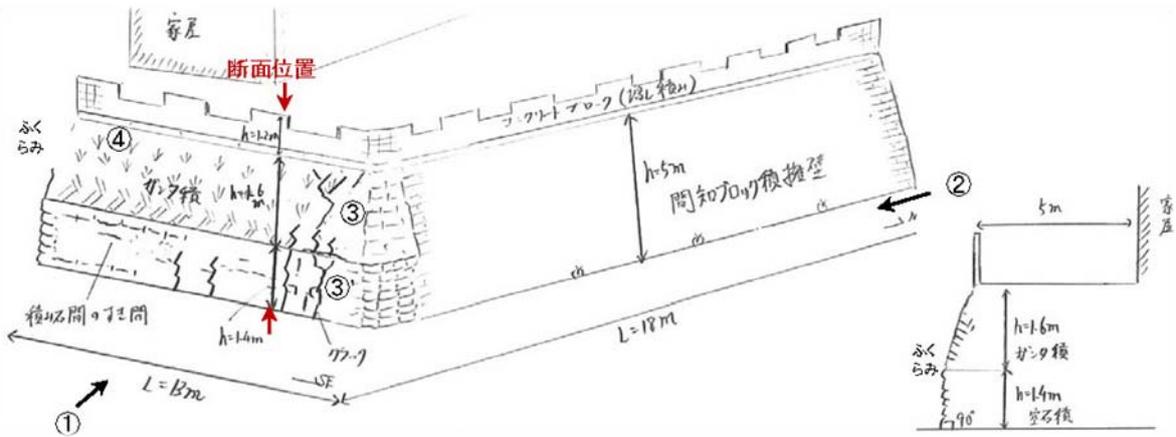


図 2.69 スケッチの事例（その1）

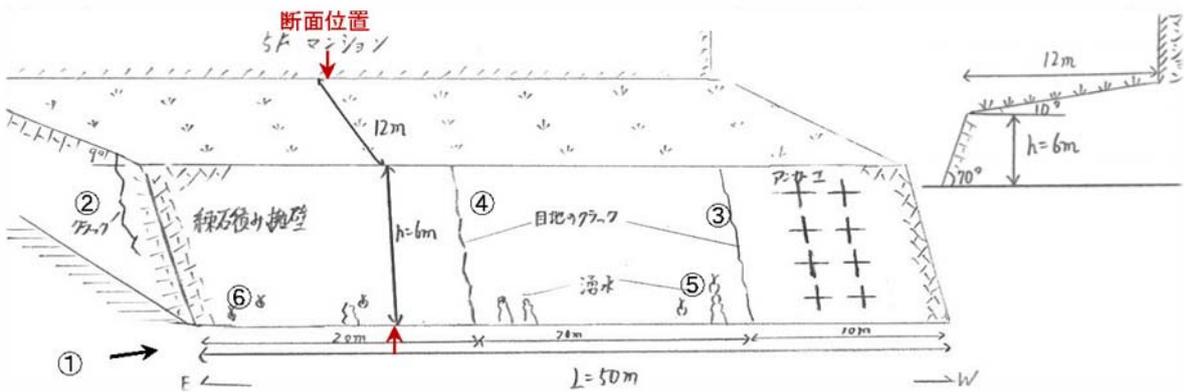
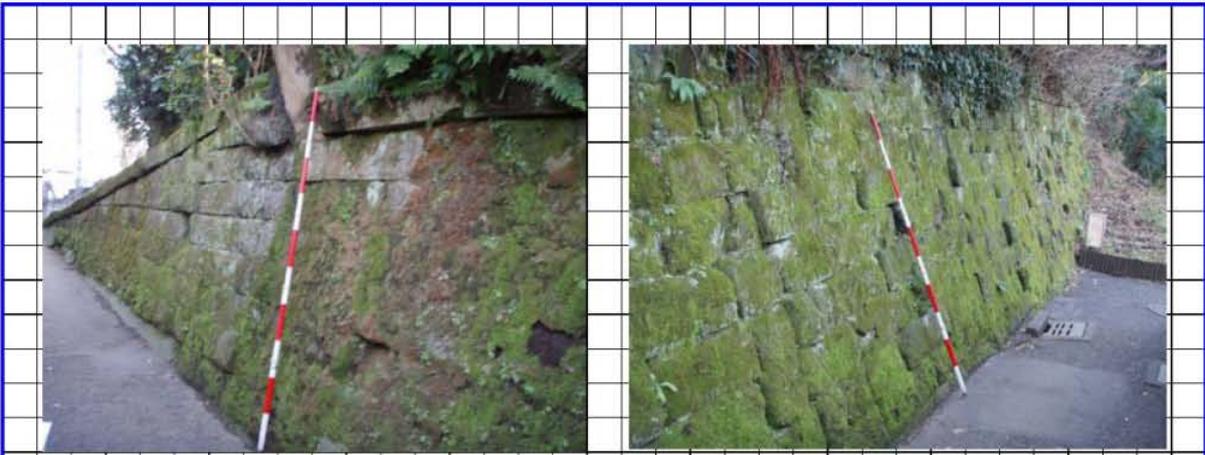


図 2.69 スケッチの事例（その2）

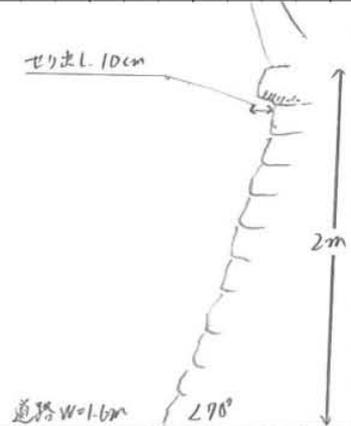
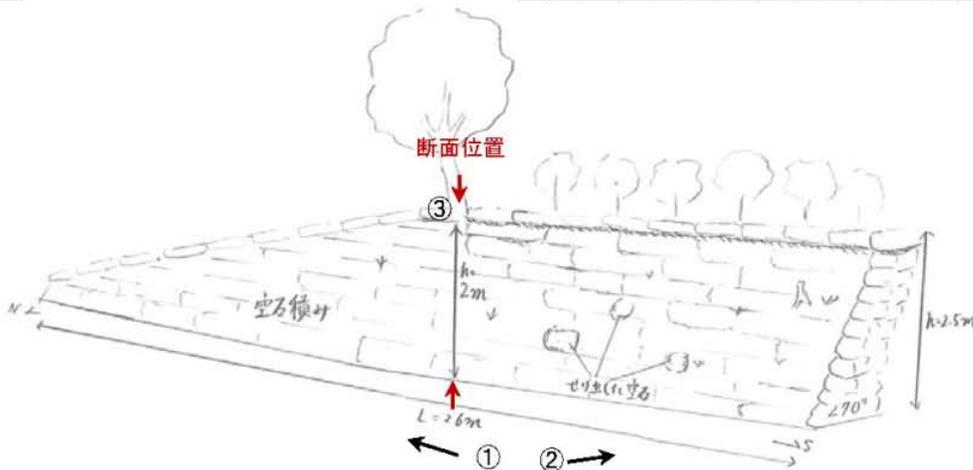
表 2.4 平面図・横断図（スケッチ）の例（その1）

平面図・横断図（スケッチ）・その他



① 対象箇所全景。全体として老朽化し、やや膨らんでいる。

② 積石がせり出している箇所が多く認められる。



③ 樹木の根系が発達し、擁壁上部のブロックが10cm程度前方にせり出している。

備考

延長25m、高さは最大で2.5mの大谷石積みに擁壁である。擁壁上部には積石が6cm程度せり出している箇所や、積石の隙間なども多い。また、根系の発達に伴う変状も認められるなど、全体として崩壊する危険の高い擁壁である。

表 2.5 平面図・横断図（スケッチ）の例（その2）

平面図・横断図(スケッチ)・その他

<p>① 対象箇所全景。北側から望む</p>	<p>② 対象箇所全景。南側から望む</p>	
<p>③ 中央部の目地は上部では1cm程度の開き、下部には白色生成物が認められる。</p>	<p>④ コンクリート表面の白色折出物</p>	<p>⑤ 隣接するブロック積み擁壁の間に2cm程度の隙間が認められる。</p>
<p>備考</p>	<p>延長6m、高さ3mのコンクリート擁壁である。中央部の目地には1cm程度の開きが認められる。また、クラック下部や擁壁南側には白色折出物が多く認められる。</p>	

表 2.6 平面図・横断図（スケッチ）の例（その3）

平面図・横断図（スケッチ）・その他

<p>① 対象箇所を東側から望む。西側にはアンカー工が施工。</p>	<p>② 東側側部のクラックの補修跡</p>		
<p>目地開口部の補修跡</p>	<p>目地開口部の補修跡。草本が侵入している。</p>	<p>水抜き穴からの湧水のしみ出し。しみ出し跡に苔が密生している箇所も散見される。</p>	<p>擁壁下部の水抜き穴からの湧水の状況。</p>
<p>備考</p>	<p>延長50m、高さ6mのブロック積み擁壁である。西側に施工されているアンカー工が1970年頃の施工で、もとの擁壁工は50年程度前の施工と判断される。水抜き穴や積石間からの湧水が多い。中央部の目地及びコーナー部には補修跡がみられ、2~3mmの開口部が連続する。</p>		

表 2.7 平面図・横断図（スケッチ）の例（その4）

平面図・横断図（スケッチ）・その他

<p>① 対象箇所全景（南西側から望む）。表面の風化やクラックなど、劣化が顕著である。</p>	<p>② 対象箇所全景（北東から望む）。擁壁下部の水抜きから湧水がしみ出している。</p>	
<p>縦クラックが顕著で雁行している箇所も認められる。開口幅は3～5cmで、風化も進行している。</p>	<p>擁壁がやや前方にはらんでいる。</p>	
<p>備考</p>	<p>延長15m、高さ1.8mの空石積み擁壁の上に、高さ2mの練石積み擁壁が増積みしてある。道路側では空石積み擁壁から練石積み擁壁に連続する縦クラック（開口幅3～5cm）が認められ、積石の摩耗も進んでいる。また、縦クラックの分布箇所は前方に若干の膨らみが認められる。</p>	

V-3. 住宅が建ったまま行える宅地地盤の液状化対策技術の開発

1. 目的

超長期住宅を支えるストックとしての宅地地盤の技術的基準の確立に向けて、現に住宅が存する市街地内の宅地地盤に対して実用的に普及可能な液状化対策技術を早急に開発する必要から、地盤内空気注入法に着目して、その有効性を実証するとともに、実用化に向けた技術的課題を提示する。

2. 技術開発の緊急性

- ① 既に都市拡大の時代を過ぎたわが国において、多世代利用型超長期住宅が建つ場所は、大部分が既存の宅地となる。既存宅地の地盤条件は多様であるが、超長期間に存続する住宅の宅地としては、その耐震性能が、住宅の存続期間に遭遇するレベルの地震強度に対応して、住宅に機能障害を生じさせないものであることが必要である。
- ② 宅地地盤の液状化は、中程度の地震（震度5弱以下）では滅多に発生することはないが、大規模な地震（震度5強～6以上）になると地盤条件によって発生し、いったん発生すると住宅に修復が困難又は著しく費用を要する被害をもたらす。このため、超長期住宅を支える宅地地盤の性能基準は、大規模な地震に遭遇しても少なくとも表層地盤において液状化を生じないレベルで設定する必要がある。
- ③ 現状において、液状化被害が想定される住宅・宅地は、決して少なくない。例えば、中央防災会議首都圏直下地震対策専門調査会報告においては、全壊棟数が約33,000棟と推計されているが、これは火災焼失を除く建物被害の約17%を占める。また、東京都調査では都区部の約46%が液状化危険度A地域とされており、被害推計では火災を除く約3分の1が液状化によるとされている。政府の「新成長戦略（基本方針）」（閣議決定）では「耐震性が不十分な住宅の割合を5%に下げる」とされており、既存宅地の液状化対策は喫緊の課題である。
- ④ 宅地地盤の液状化対策工法は各種あるが、一般的な工法はいずれも造成時や建替時など建物がない状態での施工を必要とする。しかし、既存宅地における液状化防止のための耐震改修は、建物が密に建てこんだ市街地においても、住宅が建ったまま、安全、静穏かつ安価に行うことができることが求められる。
- ⑤ このため、本総合技術開発プロジェクトでは、既存宅地に適した液状化対策において、有望な技術を実証的に提示することを目指すこととした。これによる成果は、主として戸建て形式の長期優良住宅の宅地地盤に関する認定基準の整備に反映することを想定しているとともに、都市の防災においてこれまで行政施策に着手できていない既成市街地の液状化対策に対して技術的打開の可能性を示唆するものとなる。

3. 実証実験のステップと成果のポイント

3.1 大型せん断土層を用いた実験

1) 目標

既造成の宅地の液状化対策に有効な技術的方法の存在を実証する。

2) 方法

住宅が建て込んだ市街地中でも比較的静穏かつ安価に施工できる可能性のある液状化対策として、地盤内にマイクロバブル水を注入する方法を選択し、実大サイズの砂地盤試験体を不飽和化して、加振実験により効果を検証する。

- ・**実験装置:** 大型せん断土槽 (10m×3.6m×深さ 5m、(独) 建築研究所所有)
- ・**試験体:** 砂地盤; N値 6~7 程度、地下水位位置; -0.3m、中央部に重さ約 1.5 t/m²の住宅に立てたおもりを置き沈下量を可視化
- ・**入力振動:** 加速度; 50gal (ガル)、100gal、150gal、周波数; 2Hz、回数: 20回
- ・**空気注入の方法:** 土槽最下部からマイクロバブル水を注入 (この方法は静かで場所をとらず、材料も安価で安全なため、実用化に優れると期待できることから選択)

(注) マイクロバブル: 直径数十マイクロメートルの微小な気泡。水と混合した時、長時間水中に滞在し続ける性質がある。

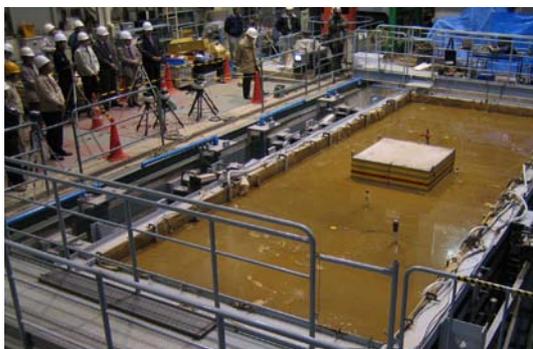


図 3.1 実験風景

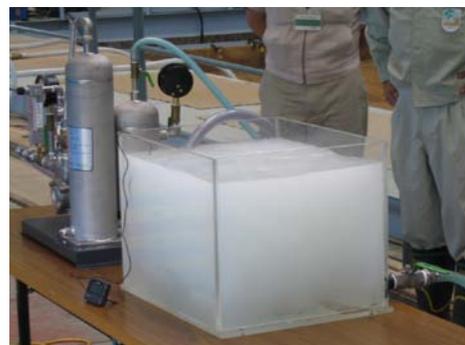


図 3.2 マイクロバブル水

3) 実験計画と予測

- ・**検証実験の方法:** ゆるい砂地盤の大規模な試験体 (N値 6~7 程度、深さ 5 m弱) をつくり、この同じ条件の地盤に下部約 -5 m から「マイクロバブル水 (ケース A)」と「脱気水 (ケース B)」を注入し、加振して 2 つのケースを比較。
- ・**予測:** 加振の加速度を強くしていくと (50gal→100gal→150gal)、ケース B が先に液状化を起こし、ケース A は耐えるはずである。
- ・**外形的な実験結果:** 予測に反し、外形的にはほぼ同じ結果が観察された。すなわち、マイクロバブル水と脱気水のどちらも、入力 (土槽下部) 50gal 及び 100gal では地表面が液状化せず、150gal で液状化が見られた。このため、計測値からその理由を追求した。

	マイクロバブル水注入地盤			脱気水注入地盤		
地盤剛性	N値6～7程度			N値6～7程度		
推定飽和度 (地表付近)	78%			84%		
入力加速度 (アクチュエーター)	50gal	100gal	150gal	50gal	100gal	150gal
地表付近の 最大加速度	80gal	180gal	300gal	80gal	200gal	160gal
液状化の状況 (地表付近)	せず	せず	液状化	せず	せず	せず
(深い層)	せず	せず	せず	せず	液状化	液状化

図 3.3 外形的観察における実験結果

4) 計測値からの考察

- 脱気水注入地盤の表面が液状化しなかった理由: 地盤下部の飽和度の高い層が瞬時に液状化し、上部に地震動を伝えなくなった。⇒地盤自体が「免振」化。

表 3.1 地盤の深さごとの過剰間隙水圧比 (最大値)

深さ	σ'_z Kgf/cm ²	マイクロバブル水注入地盤		脱気水注入地盤	
		100gal	150gal	100gal	150gal
-0.8m	0.10	0.26	1.23	0.15	0.40
-1.8m	0.18	0.31	0.85	0.20	0.30
-3.8m	0.36	0.25	0.22	0.40	0.37
-4.8m	0.45	0.16	0.18	0.92	0.98
液状化	なし	地盤上部 で発生	深い箇所 で急速に発生		

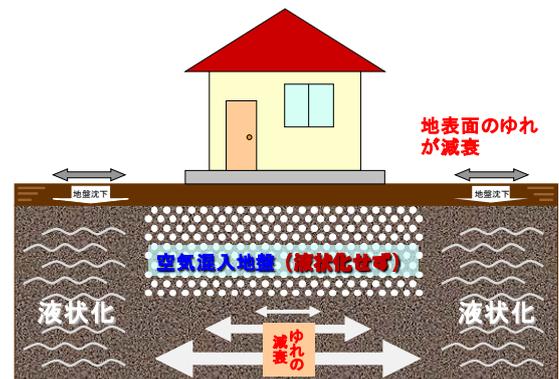


図 3.4 「液状化免振地盤」の概念図

5) 実験成果のポイント

- 比較的緩い砂地盤 (N値6～7程度) でも、空気を多く含む層 (飽和度 80%程度) では最大加速度 200gal 程度の揺れに対して液状化を発生しなかった。これにより、少なくとも震度5弱相当の地震には有効であることが示された。
- 一方、無対策の地盤 (マイクロバブル水を注入しなかった試験体) では、土槽下部の加振により深い層において小さな地震動でも液状化が発生したが、それにより逆に浅い層への地震入力が減少して建物沈下が小さくなるという実験結果が得られた。
- 既往研究により表層の非液状化層が3m程度あれば200galの入力に対し、6m程度あれば300galの入力に対し、深層部が液状化しても地表に液状化が達しないことが示されており、こうしたこととあわせて考察すると、表層数メートルのみを不飽和化し、深層を液状化層とすることで、大きな地震動に対しても建物被害を軽減できる方法 (液状化免震技術) の可能性が示唆された。

3.2 遠心力裁可試験装置を用いた実験

1) 目標

多世代利用型超長期住宅を支える宅地が備える必要のある耐震性能（遭遇する可能性の高いレベルの地震（震度6相当を想定）に対して継続使用が困難な被害を建物に与えない）の確保について、空気注入法によって達し得る宅地地盤の存在を実証する。

2) 方法

一定の締固め度の砂質地盤模型に震度6相当の地震動を入力し、空気注入の有無によって、液状化の発生の違いを確認する。実験には、遠心力裁可試験装置を用いる。

- ・**実験装置**: 遠心力裁可試験装置（土木研究所所有、回転半径 6.6m）により、小型剛土槽（150cm×30cm×深さ 50cm）を 50G 場にして加振
- ・**試験体**: 江戸崎砂（少量の細粒分を含む）、値≒9.2%（N値≒1.6に相当、通常の沖積平野又は埋立地を想定）、初期状態は真空室内で水を注入し完全飽和状態とする
- ・**入力振動**: 正弦波 250gal（震度6弱相当）、正弦波 400gal（震度6強相当）、神戸波の3種類
- ・**空気注入の方法**: 遠心場（20G）において、土槽最下部から初期設定の飽和水を抜き、マイクロバブル水を注入

（注）D値（締固め度）≒9.2%は、3軸試験による6供試体（D値（85%、90%、95%）×（飽和、不飽和））の結果及び5.0G場における試加振の結果（D値88%と92%を比較）から設定した。



図 3.5 実験装置（遠心力裁可試験装置）



図 3.6 試験体土槽

3) 実験ケースと液状化の状況

実験目的	試験体	設定飽和度	入力地震動	液状化
液状化抑制効果の確認	Case1	100%	250gal（震度6弱）、400gal（震度6強）、正弦波、1Hz、20波	発生
	Case2'	平均 94%		抑制
液状化免振地盤の挙動と効果	Case3	上層 90%、下層 100%	神戸波	上層なし、下層発生
阪神大震災級における防災効果	Case4-1	左半分: 100% 右: 上層 90%、下層 100%		左: 発生、右: 上層なし、下層発生
	Case4-2	左: 100%、右: 平均 87% (マイクロバブル水注入)	左: 発生、右: なし	

4) 実験成果のポイント

阪神大震災相当の地震動の入力に対して、N値16程度の砂質地盤において、地下水層の飽和度を90%程度とすることにより、液状化の発生が防がれることを確認した。このことは、平坦な沖積平野や埋立地に広くみられる地盤条件における空気注入法の有効性を示している。

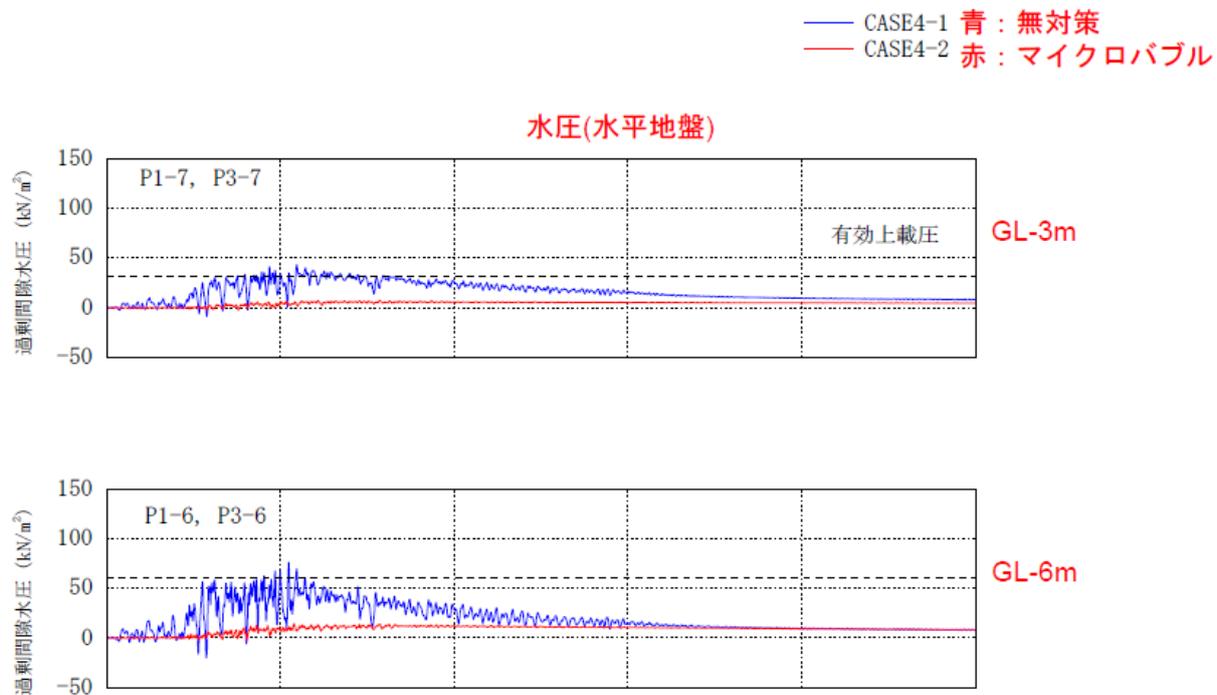


図 3.7 阪神大震災相当の地震波の入力による液状化発生の違い

5) 実験の詳細

5) - 1 実験方法

(1) 地盤材料

液状化層の材料には、江戸崎砂を用いた。実験には、5mm のふるいを通して使用した。支持層には7号硅砂を使用した。

(2) 地盤作製方法及び計測器

模型地盤は幅 1500mm、高さ 500mm、奥行き 300mm の土槽内に、厚さ 100mm の支持層（7号硅砂）と厚さ 300mm の液状化層（江戸崎砂）を作製した。地盤密度の管理は、所定の高さまで作製した時の地盤材料の乾燥質量と土槽上端からの高さを測定して得られる各土層の体積から、乾燥密度を求めることを行った。相対密度や締固め度は、各土層の乾燥密度から算定した。以下に、地盤作製方法及び計測器の設置について詳細を示す。

①地盤作製方法及び計測器の設置

A) 支持層

支持層は、気乾状態の7号硅砂を木製の突固め棒によりできるだけ締固めて作製した。作製層厚は20mm ピッチとした。支持層の相対密度は概ね100%程度である。非液状化層を図3.8に示す。

B) 液状化層

液状化層の作製状況を、図3.9～図3.13に示す。作製は木製の突固め棒により締固めて行った。締固め含水比は、最適含水比付近の約15%である。作製層厚は20mm ピッチとした。作製した層の表面は上層と馴染み易くするため釘で引っかき傷をつけた。(図3.11及び図3.12参照) 所定位置に計測器(加速度計、過剰間隙水圧計、土壌水分計)を埋設した。(図3.11及び図3.12参照)。

C) メッシュ作製及び標点の設置

加振前後における地盤の変形状況を観察するため、土槽前後面のガラス面に水平方向と鉛直方向のメッシュを作製した。メッシュ材料には白色の7号硅砂を用いた。

水平方向のメッシュは、へら等を用いて作製した。一方鉛直方向のメッシュ作製は、ガラス面内側の所定の位置に凹型アルミ棒を垂直に設置し、この中に硅砂を入れ、所定の高さまで地盤を作製した後それを順次引き抜くことを行った。標点には、直径8mmのアルミ製リベットを用いた。この標点は、加振中の地盤や盛土の変形を高速度カメラで追跡するためのもので、上端面は地盤の色と対照的なピンク色で着色した。リベット表面には、グリースを塗布してガラス面との摩擦を出来るだけ低減させた。(図3.13参照)



図 3.8 非液状化層



図 3.9 地盤材料の撒き出し状況

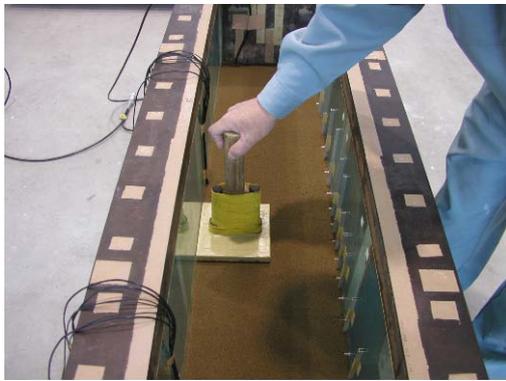


図 3.10 液状化層の締固め状況



図 3.11 加速度計と水圧計の設置



図 3.12 土壌水分計の設置状況

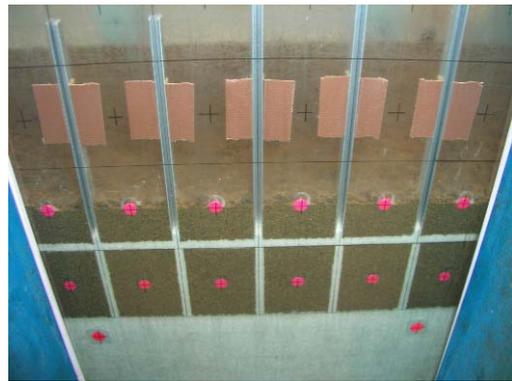


図 3.13 メッシュ作製と標点の設置状況

②地盤の飽和方法

A) 液状化層及び支持層の飽和

地盤の完全な飽和は、地盤作製後に図 3. 14 の脱気槽を用いて負圧法により行った。この脱気槽は、実験土槽をそのまま収容する事ができる。間隙流体には水道水を用いた。

飽和方法は、まず土槽全体を脱気槽に入れ、真空ポンプで約 98kN/m^2 の負圧を与え、脱気槽がほぼ真空状態になるまで放置する。次に、ほぼ真空状態になった事を確認してから、真空土槽と間隙流体の入った注水タンクの間 $9.8\sim 13.7\text{ kN/m}^2$ の差圧をかける。この差圧によって、間隙流体が地盤表面に滴下し地盤を飽和させる。地盤の飽和には、夜間を利用して約 12 時間を要した。

B) 不飽和液状化層の作製

不飽和液状化層の作製は、遠心重力場で行なった。一度完全飽和した地盤の間隙水を遠心力により抜き、注水タンクに圧力を $30\sim 100\text{kN/m}^2$ かけ再注水することで行った。間隙水の注排水は、土槽底面に取り付電動式バルブ計測室にて開閉することで行った。今回の実験で使用した電動式バルブの仕様を以下に示す通りである。(図 3. 15 参照)

地盤の間隙流体には水道水を用いたが、CASE3 STEP3 及び CASE4-2 STEP2 については、水道水に微細な気泡を混入したマイクロバブル水を使用した。マイクロバブル水の作製状況は巻末の写真記録集に示す。

液状化層の不飽和作業は、最終的に地盤内水位が 1cm/min. になるように注水タンクにかかる圧力を調整した。

<小型電動バルブ>

- ・型式：株式会社 キッツ (KITZ) 社製 EA 100-2
- ・仕様：定格電流 100mA 、最大消費電力 10W 、開閉時間 (90°) 約 1 秒
最大出力トルク $9.8\text{N}\cdot\text{m}$ 電源 AC100V



図 3. 14 地盤の飽和に用いた脱気槽と注水タンク



図 3. 15 電動式の排水弁

試加振の CASE0 (試加振) 及び CASE2 においては、排水弁の不具合により遠心重力場で弁を閉じることができなかった。そこで遠心重力場で排水した後、一旦遠心加速度を重力場に戻してから排水弁を閉め、遠心重力場で再注水し不飽和地盤を作製した。

CASE2 では、地盤の過圧密を避けるため、遠心加速度 50G における土層底面の有効上載圧に相当する 20G の遠心加速度において注水を行なって不飽和地盤を作製した。

CASE2 の遠心加速度 20G における不飽和化作業で地盤飽和度を下げられる事が確認できた為、CASE3 での不飽和化作業は遠心加速度 20G で行うこととした。不飽和化作業終了後、所定の 50G まで遠心加速度を上昇させ加振を行なった。

CASE4-1 は飽和地盤の地下水位調整は、重力場で実施した。地盤飽和後に土槽底面から所定位置 (G. L. -40mm) に排水パイプを立ち上げ一晩放置した。サクシオン等で間隙水は、遠心場より重力場の方が土中に留まりやすいため、遠心重力場で確認した地下水位は、予定していた水位より高く G. L. -10mm となった。

CASE4-2 での不飽和化作業も CASE3 と同様遠心加速度 20G で行った。STEP2 のマイクロバブルによる不飽和化作業では、1 回の注排水で飽和度の低下が小さかった為、遠心加速度をさらに 10G に下げて注排水を行った。

C) 地下水位の調整

地盤が完全飽和である CASE1 での地下水位は、土槽底面の排水弁に繋がったシンフレックスチューブ先端を、土槽背面の所定位置まで立ち上げることで調整した。この方法では、遠心重力場においても水位調整が可能である。

一方、遠心重力場で地盤に注排水して作製する不飽和地盤ケースでの地下水位調整は、所定の地下水位に到達したら実験ピット外に設置した注水タンク弁を閉める方法で行った。地下水位位置は、CCD カメラの他、実験土槽底面に固定した間隙水圧計で確認した。

③住宅模型

住宅模型を図 3.16 及び図 3.17 に示す。住宅模型は、セメントペーストを用いて製作しており、曲げ破壊を防ぐため中には金網を敷設した。加振を行う遠心重力場での模型設地圧が実際の住宅と同じ 15kN/m^2 程度 (2 階建て在来木造住宅のベタ基礎) 及び 45kN/m^2 程度 (2 階建て壁式 RC 造住宅のベタ基礎) を目標に密度調整をした。RC 造を想定した住宅模型において、接地圧の目標を 45kN/m^2 に設定したが、実際に作製した住宅模型の接地圧は 38kN/m^2 であった。

住宅模型には、鉛直・水平変位とともに応答加速度を設置した。また、模型側面と土槽ガラス面の間は標点とすき間テープを貼り付けた。このうち、すき間テープはわずかにガラス面が接触しているだけなので、両者の摩擦は無視できると考えられる。

各ケースの模型仕様は、次の通りである。

- CASE0～3

模型仕様：幅 200mm、奥行き 296mm、厚さ 13mm、質量 1755g

実物換算：幅 10m、奥行き 14.8m、質量 2152kN、接地圧 15kN/m^2

- CASE4

模型仕様：幅 200mm、奥行き 296mm、厚さ 39mm、質量 4540g

実物換算：幅 10m、奥行き 14.8m、質量 5565kN、接地圧 38kN/m^2



図 3.16 住宅模型の全景



図 3.17 住宅模型の正面

5) - 2 飽和度測定方法

(1) 初期飽和度測定方法

重力場において飽和させた地盤について、飽和度の測定を行った。測定方法は、飽和後の地盤をそのまま脱気槽内に残す。それから脱気槽全体に 20kPa 程度の負圧をかけ、その圧力変化と水面変化量から飽和度を求めるものである(図 3.18 参照)。飽和度は不飽和土中に存在する空気を理想気体で間隙水を圧縮と仮定して、ボイルの法則から算定される*)。

水面変化は、レーザ変位計(定格容量±15mm)を用いて測定しており、水面に浮かべるターゲットには発砲スチロールを用いた。なおターゲットは変位測定時に動かないよう、塩ビパイプ内に設置した。

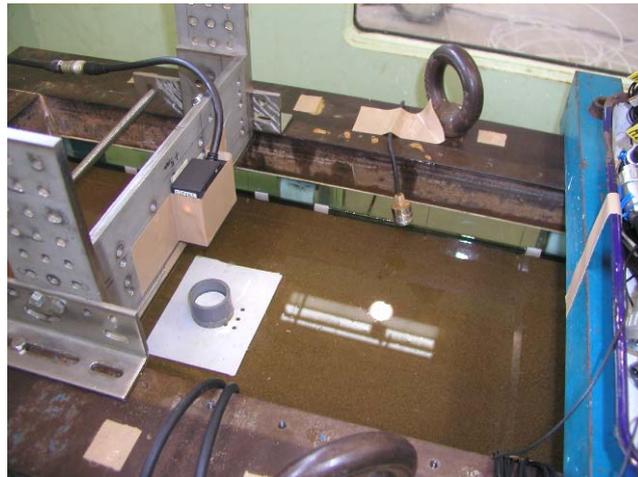


図 3.18 地盤飽和度の測定状況

*) 参考文献

岡村未対・来山博昭：遠心加速度を利用した飽和模型地盤の作製法と飽和度計測法に関する研究、土木学会論文集 C Vol. 64 No. 3, 662-771, 2008. 8.

(2) 加振に至るまでの飽和度測定方法

重力場から加振終了後までの飽和度の測定には、TDR(Time Domain Refractometer) 土壌水分計を使用して実施した。TDR 土壌水分計を図 3.19 及び図 3.20 に示す。このセンサーは本体部から発振された電磁波が 2 本のステンレスロッド間を伝わり、その時の伝播時間から土壌水分を計測するものである。今回の実験では以下に示す 2 種類の土壌水分計を使用した。

このうち土壌水分計(CS-616)は予めキャリブレーションを行っており、伝播時間、出力電圧と体積含水率及び飽和度の関係を図 3.21 に示す。

キャリブレーションは幅 800cm, 高さ 30cm 奥行き 20cm 小型剛土槽を用いて実施した。含水調整をした江戸崎で所定飽和度を有する地盤を作製する。地盤層厚は 100mm とし、その中心深度に水分計を埋設した。締固め度は実験時と同じ $D=88\%$, 92% とした。図 3.21 に示したように、2 種類の締固め度におけるキャリブレーションカーブは、ほとんど同じであった。なお土壌水分計(Trime)でもキャリブレーションを行ったが、測定生データ(電圧)にノイズ成分が多く見られ、正確なキャリブレーションカーブが求められなかった。

①土壌水分計 CS-616 (図 3.19 参照)

- ・名称：CS-616
- ・データロガー：CR-800 サポートソフトウェア PC400
- ・仕様：本体寸法 長さ 110mm, 幅 63mm, 厚さ 20mm
ステンレスロッド長さ 30mm, 間隔 32mm、消費電力 25mA、供給電源 12VDC
- ・製造元：CABELL SCIENTIFIC, INC. (アメリカ製)
- ・代理店：(株) フィールドプロ

②土壌水分計 TRIME (図 3.20 参照)

- ・名称：TRIME-ES P2 タイプ
- ・仕様：本体寸法 直径 32mm, 長さ 65mm, t=20mm
ステンレスロッド長さ 110mm, 間隔 32mm、供給電源 12VDC
- ・製造元：IMKO MICROMODULTECHNIK GMBH
- ・代理店：東北電子産業株式会社

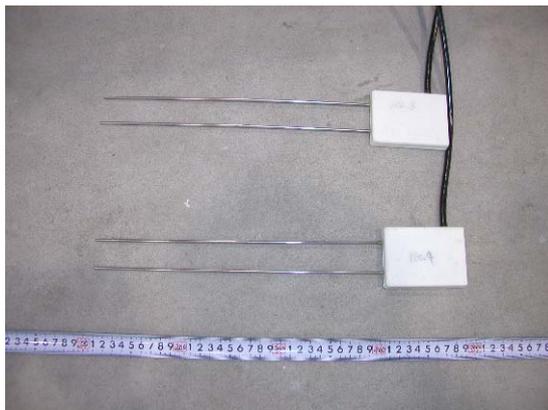


図 3.19 TDR 式土壌水分計 (CS616)



図 3.20 TDR 式土壌水分計 (TRIME)

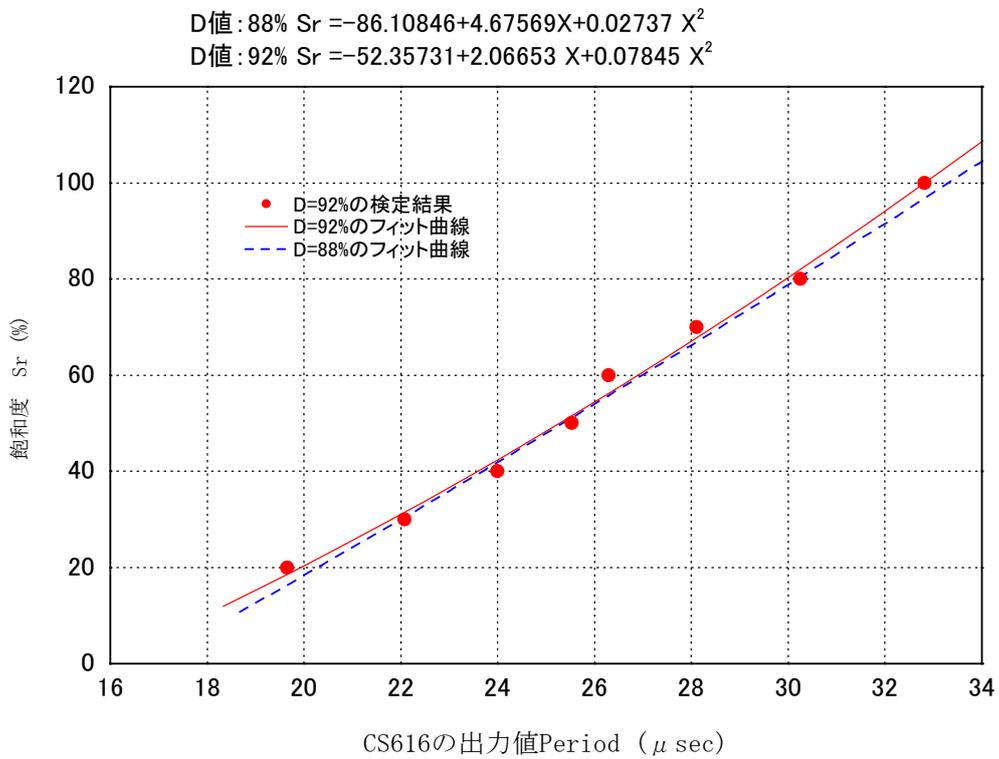
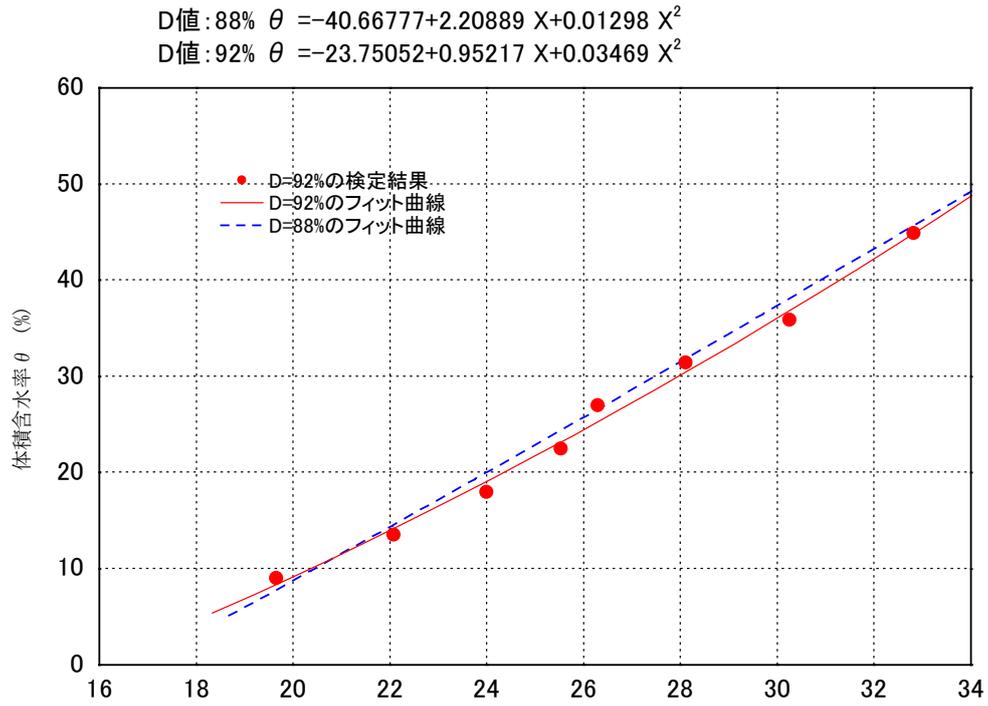


図 3.21 土壤水分計 (TDR CS-616) の検定結果

【加振方法】

遠心加速度は、上昇・下降は 5G/min. の割合で行った。遠心重力場で地盤を不飽和化させてから、加振までの手順を以下に示す。

- ①実験土槽を揺動架台にセットし、写真撮影と地表面標点座標の計測を行う。
- ②遠心加速度を所定の 20G あるいは 50G にて土槽に注排水し、不飽和地盤を作製する。
- ③加振を行う遠心加速度 50G に上昇させ、模型沈下や過剰間隙水圧が定常状態になるのを確認する。
- ④加振装置暖気のための予備加振を行った後、微小レベルのインパルス波を入力する。
- ⑤データ収録と高速度カメラを外部トリガーモードにし、ビデオをスタートさせてから、本加振 (STEP1) を開始する。
- ⑥加振データ収録が終了したら、2 回目 (STEP2) の加振を行う。
- ⑦遠心加速度を重力場に戻し、地盤変形後の写真撮影と地表面標点座標の計測を行って地盤を解体する。

本実験で使用した入力加速度の時刻歴波形を図 3.22 及び図 3.23 に示す。入力加速度の時刻歴波形は、図 3.22 及び図 3.23 に示す様に sin 波 (周波数 50Hz、主要動 20 波) 及び道路橋示方書によるタイプ I の I 種地盤の加速度波形 I-I-3 波と土木研究所暫定提案の露頭基盤面における加速度応答スペクトルにフィッティングされた神戸海洋気象台記録波形の振幅を加振能力により 0.85 倍に調整した波である。

本実験で使用した sin 波の入力波形は、CASE0 (試加振) によりレベル調整をして決定した。表 3.2 に加振条件一覧を示す。

表 3.2 加振条件一覧

CASE	STEP	加振条件	
		入力波形	目標加速度 (gal)
0	1	sin波 20波 (50Hz)	270
	2		400
1	1	sin波 20波 (50Hz)	270
	2		400
2	1	sin波 20波 (50Hz)	270
	2		400
2'	1	sin波 20波 (50Hz)	270
	2		400
3	1	sin波 20波 (50Hz)	270
	2		400
	3		400
4	1	神戸波 (JMA 基盤波)	
	2		

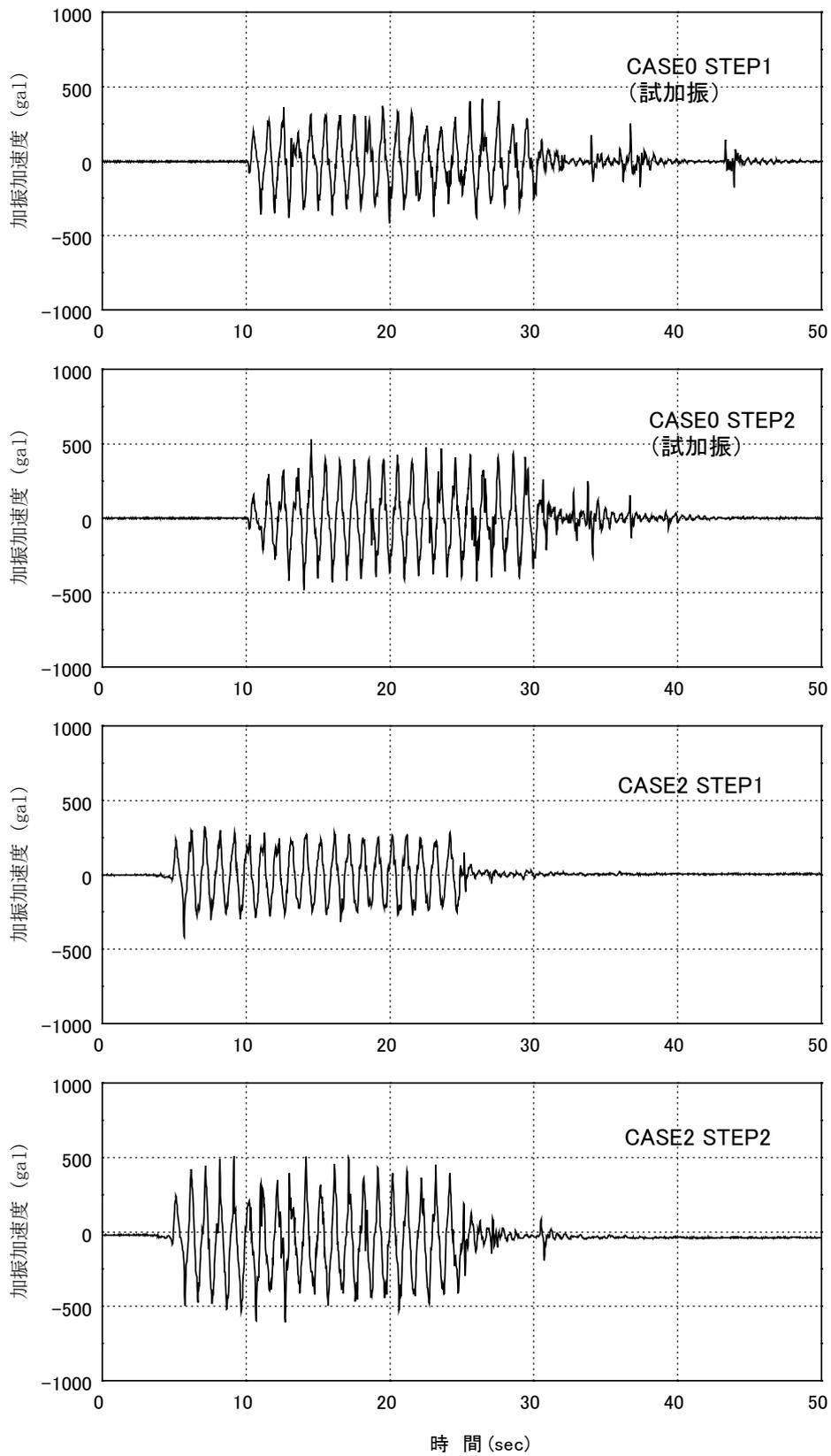
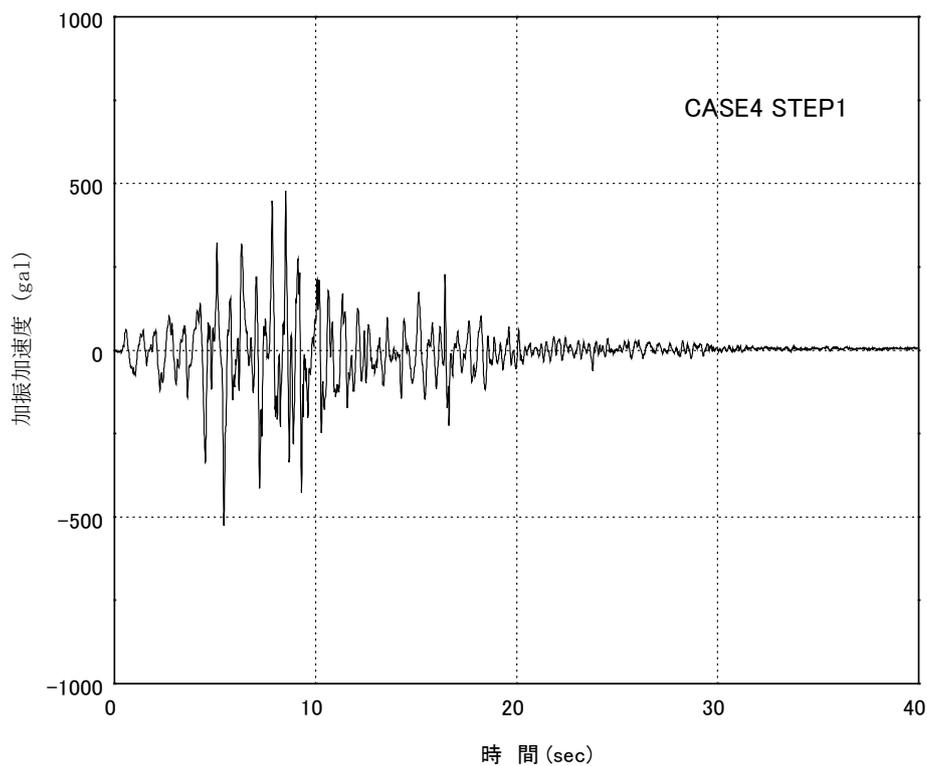


図 3.22 本実験で使用した入力加速度の時刻歴波形 (CASE0~3)



<入力加速度波形>

- ①使用実績:平成21年度河川堤防の動的遠心模型実験業務(CASE2)
- ②波形の種類:土木研究所暫定提案の露頭基盤面における加速度応答スペクトルにフィッティングされた神戸海洋気象台記録波形の振幅を加振能力により0.85倍に調整した波形。
- ③参考資料:国土交通省土木研究所 耐震技術研究センター 振動研究室
大規模地震を考慮した地中構造物の耐震設計法に関する試験調査
平成12年度振動研究室調査試験研究成果概要報告書
振動研究室資料第22号、pp.19-20、2001.3

図 3. 23 本実験で使用した入力加速度の時刻歴波形 (CASE4)

5) - 3 測定項目とデータの収録

(1) 測定項目

地盤及び模型の計測器及びメッシュ・標点位置を試験体ケース毎に図 3.24～図 3.28 に示す。

(2) データの収録

データの収録方法と測定データの極性をそれぞれ表 3.3 及び表 3.4 に示す。初期値計測（ゼロバランス）は、遠心加速度を上昇させる前と加振直前に実施した。

表 3.3 データの収録方法

実験過程	サンプリング周波数	計測時間
①遠心加速度上昇時	0.25Hz	任意
②不飽和液状化層通水時	0.25Hz	任意
③パルス波入力	20,000Hz	1.0 秒
④加振	2,000Hz	30 秒
⑤遠心加速度下降時	1.0Hz	任意

表 3.4 測定データの極性

沈下計	水平変位計 (レーザー変位計)	加速度計	水圧計
沈下方向が負	土槽右方向の 変位が正	土槽右方向への 加速を正	圧縮方向が正

(3) 盛土及び水平地盤の変形状況の観察

盛土及び水平地盤の変形状況の観察は、重力場で撮影したデジタル画像を拡大し、それから標点やメッシュの座標位置を読み取ってその座標を加振前後で比較することにより行った。その他地表面にも標点を配置しており、地盤作製時・地下水位調整時・加振終了時に重力場においてメジャーにより標点座標を計測した。

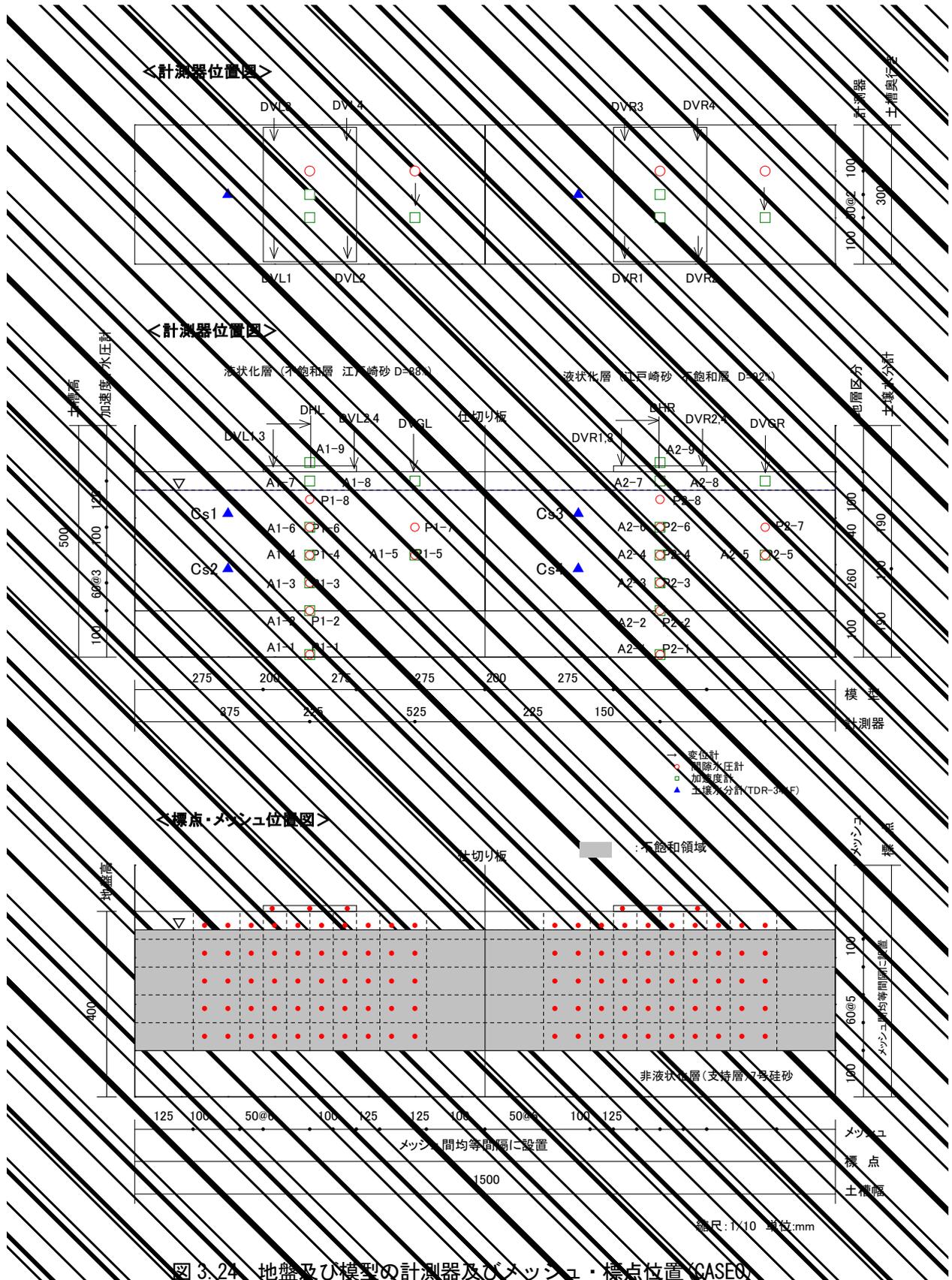


図 3.24 地盤及び模型の計測器及びメッシュ・標点位置 (CASE0)

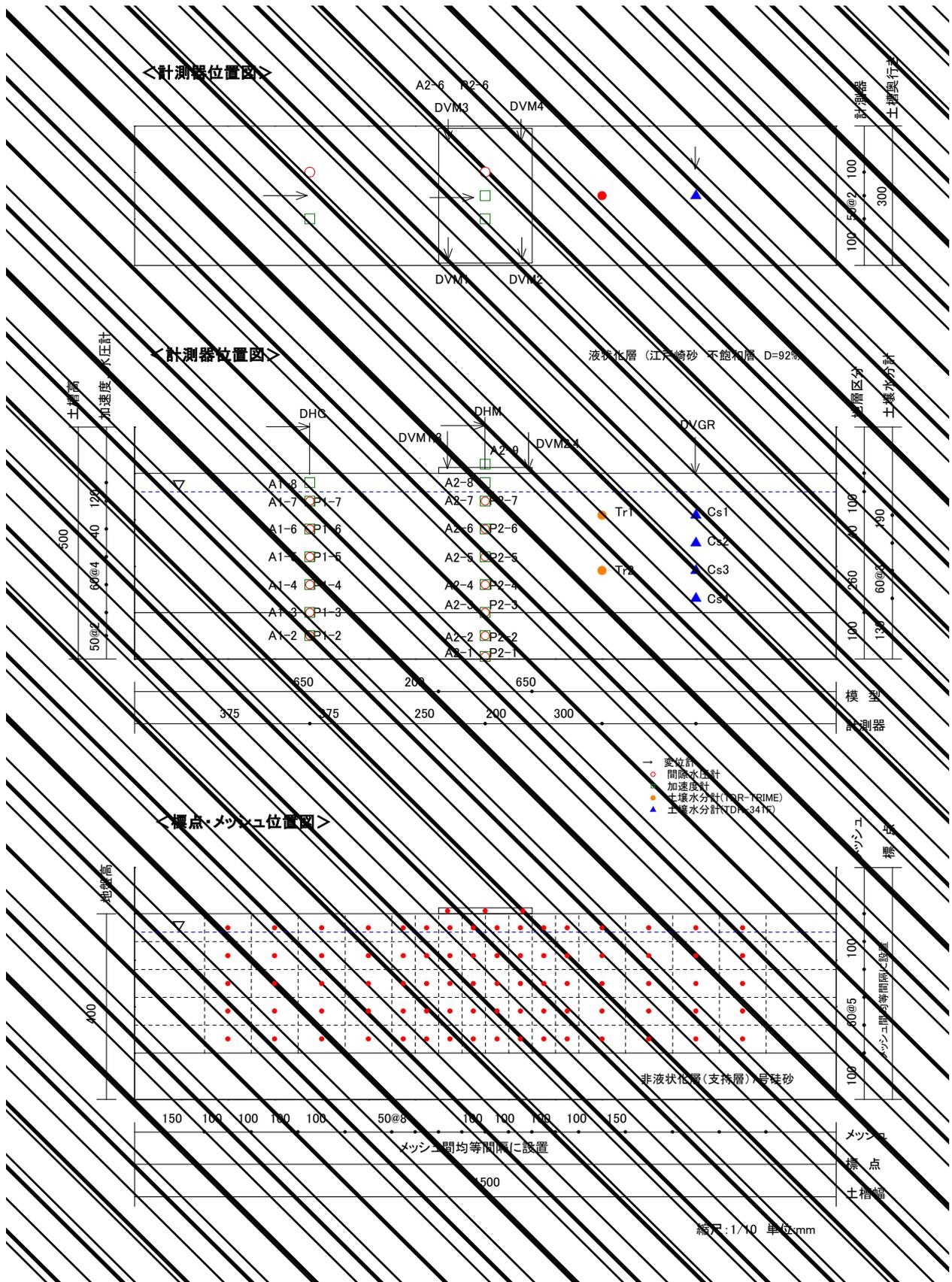


図 3.25 地盤及び模型の計測器及びメッシュ・標点位置 (CASE1)

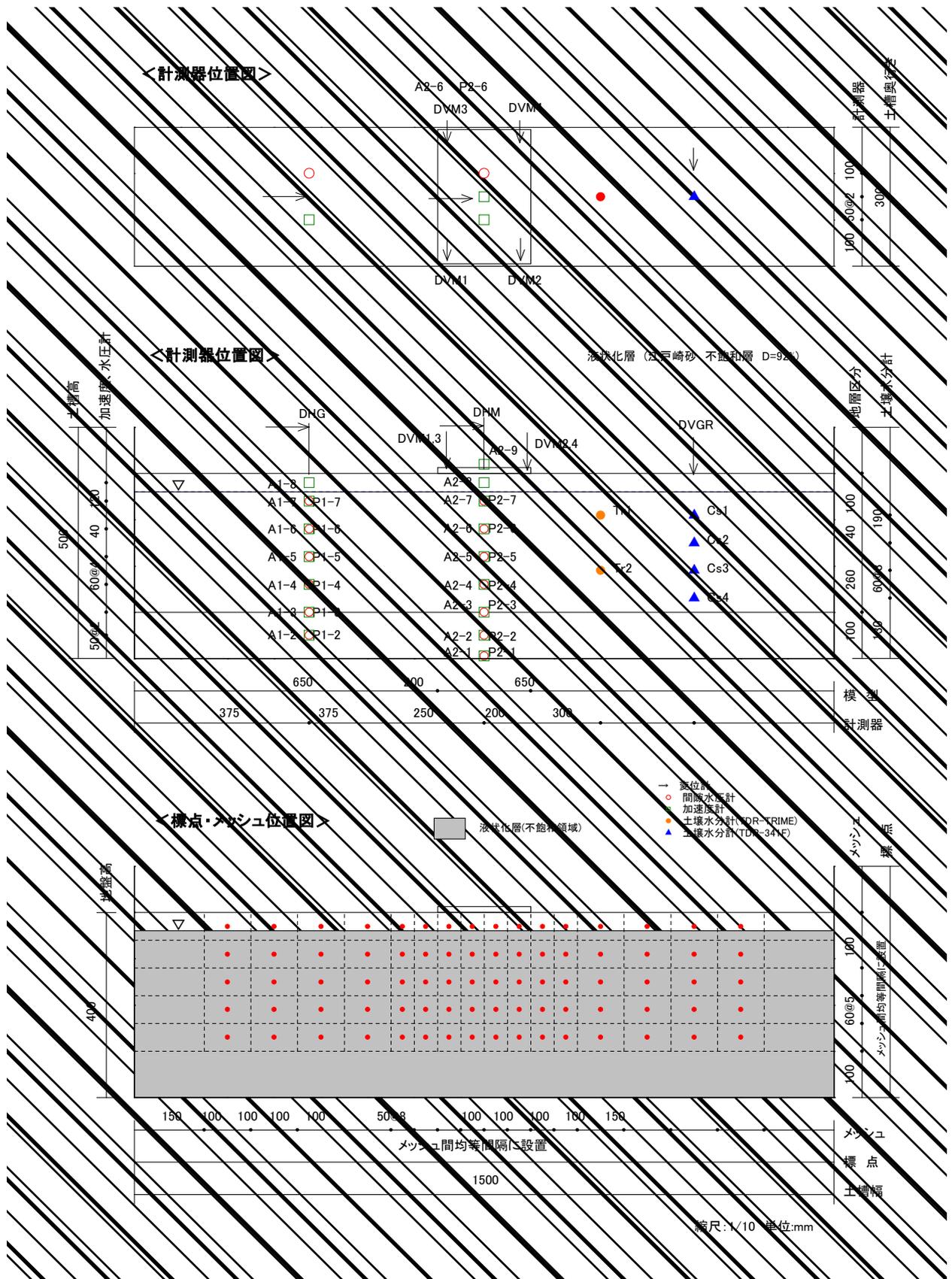


図 3.26 地盤及び模型の計測器及びメッシュ・標点位置 (CASE2 及び 2')

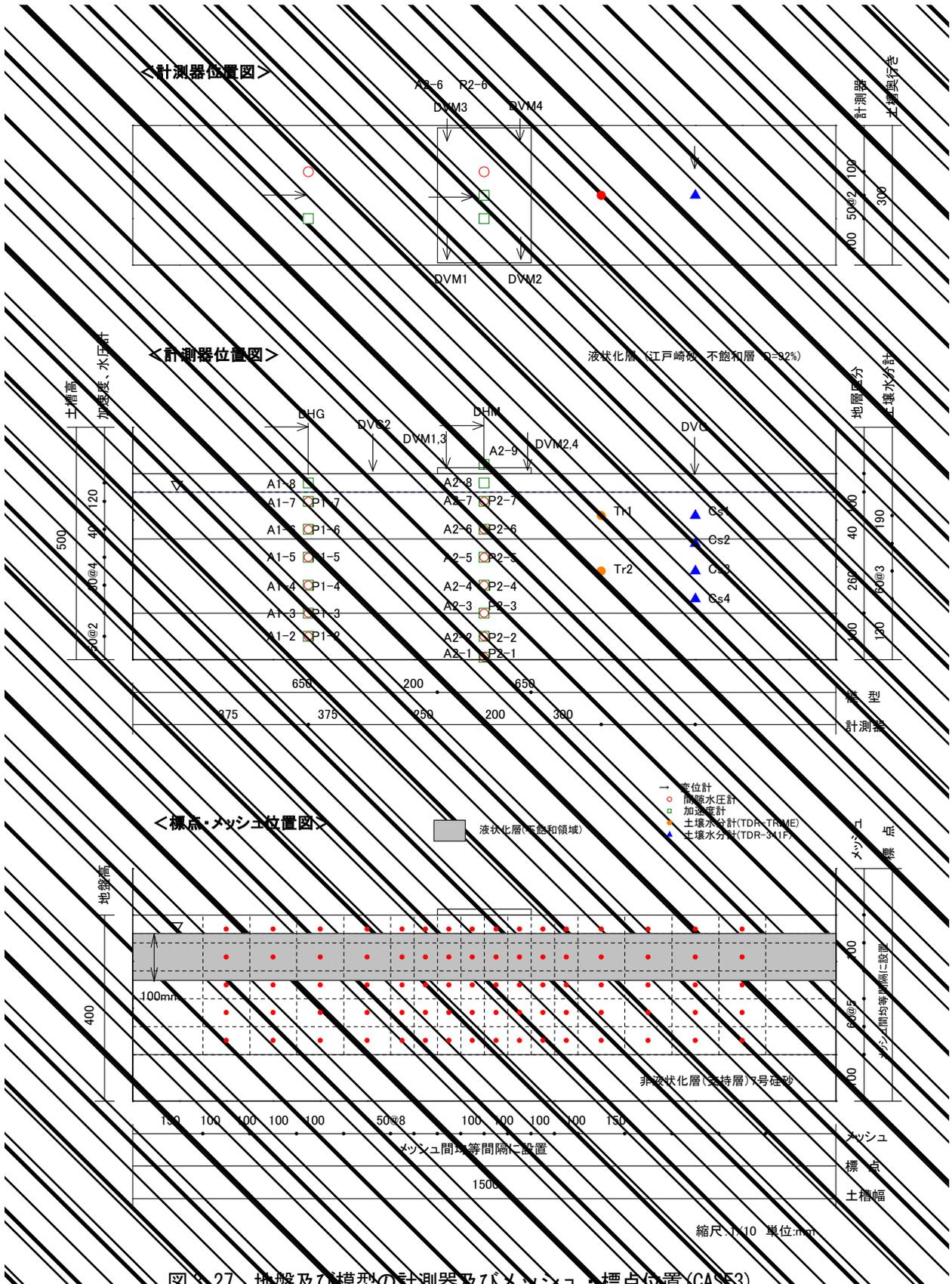


図 3-27 地盤及び模型の計測器及びメッシュ・標点位置 (CASE3)

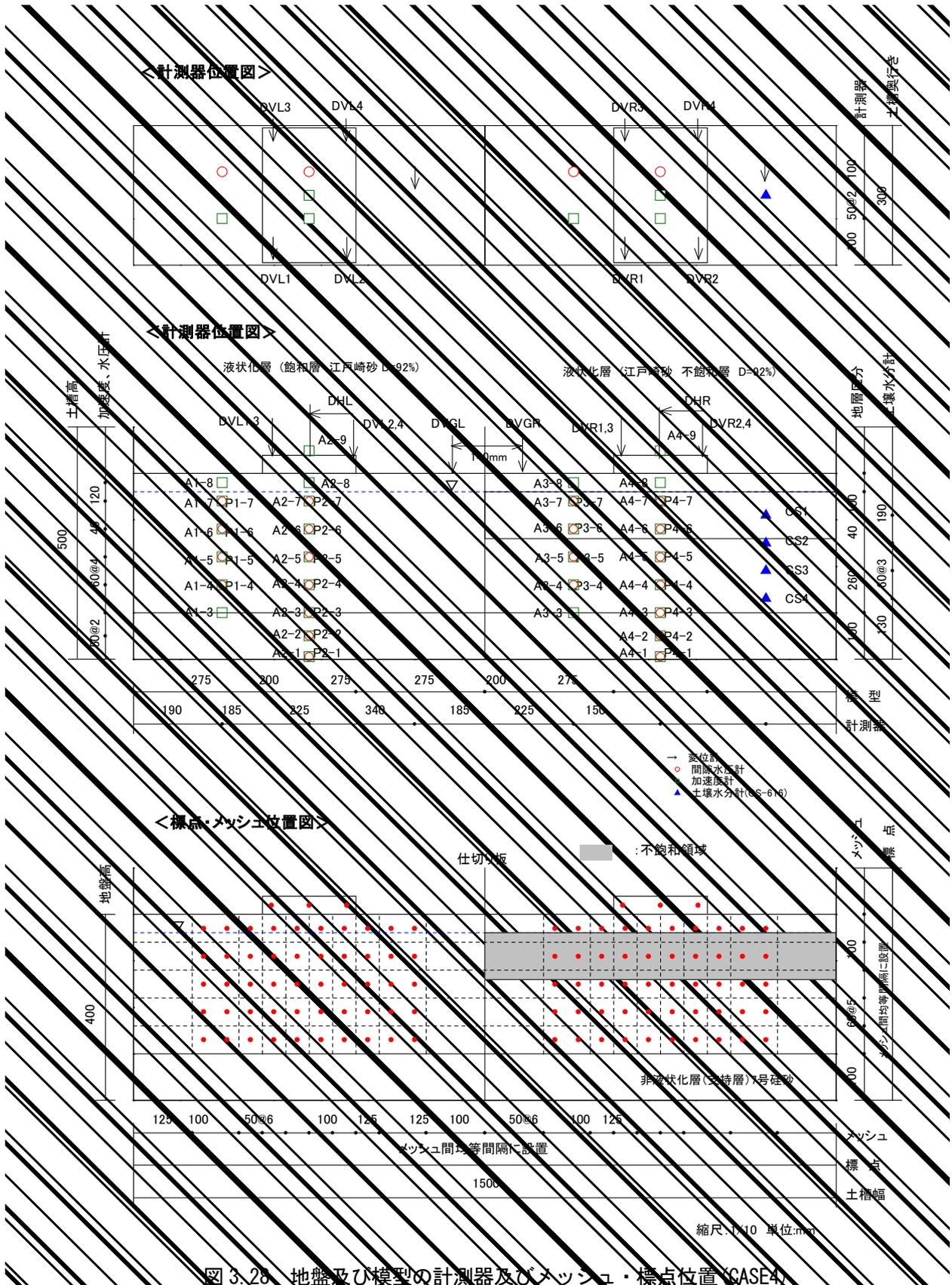


図 3.28 地盤及び模型の計測器及びメッシュ・標点位置 (CASE4)

5) - 4 加振結果

(1) 地盤及び住宅模型の変位量

加振時に測定した地盤及び住宅模型の水平変位量測定結果一覧を表 3.5 に、沈下量測定結果一覧を表 3.6 に示す。

表 3.5 水平変位量測定結果一覧

CASE	STEP	地盤条件		模型の水平変位量 (重力場)			地盤の水平変位量 (重力場)		
		締固め度 D (%)	飽和度 Sr (%)	DHM (m)			DHG (m)		
				最小値	最大値	残留値	最小値	最大値	残留値
0-1	1	87.7	93.0	-0.103	1.582	0.011	-	-	-
	2			-0.114	1.582	-0.154	-	-	-
0-2	1	91.6	91.7	-0.315	1.198	-0.022	-	-	-
	2			-0.267	1.288	-0.032	-	-	-
1	1	92.0	100.0	-0.119	0.110	0.036	-0.184	-0.245	0.015
	2			-0.121	0.247	0.096	-0.410	-	0.105
2	1	90.3	92.1	-0.110	0.091	-0.028	-0.117	0.393	-0.024
	2			-	-	-	-	-	-
2'	1	91.9	94.0	-0.115	0.096	-0.038	-0.105	-	0.015
	2			-0.153	-	-	-0.168	-	0.048
3	1	92.0	上部 89.9 下部 99.9	-0.102	0.097	-0.004	-0.345	-	0.034
	2			-0.133	0.175	0.446	-0.322	-	0.122
	3			-	-	-	-	-	0.047
4-1	1	92.0	100.0	-0.104	0.046	0.009	-	-	-
	2			-0.090	0.053	0.001	-	-	-
4-2	1	92.1	上部 91.5 下部 99.6	-	-	-0.021	-	-	-
	2			-	-	-0.018	-	-	-

注記) ・マイクロバブル水を用いたCASE3 STEP3及びCASE4-1,4-2 STEP2については加振前に初期値補正(ゼロクリア)を実施。

表 3.6 地盤及び住宅模型の沈下量測定結果一覧

CASE / STEP	地盤条件		模型沈下量 (DVM1)		模型沈下量 (DVM2)		模型沈下量 (DVM3)		模型沈下量 (DVM4)		地盤沈下量 (DVG)		地盤沈下量 (DVG2)		平均沈下量 (m)		
	締固め度 D (%)	飽和度 Sr (%)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)	最大値 (m)	残留値 (m)			
0-1	1	87.7	93.0	0.396	0.401	0.408	0.417	0.379	0.382	0.381	0.387	0.295	0.320	-	-	0.320	
	2			0.734	0.745	0.725	0.740	0.709	0.721	0.687	0.699	0.530	0.547	-	-		0.547
0-2	1	91.6	91.7	0.272	0.269	0.280	0.280	0.203	0.204	0.211	0.211	0.156	0.158	-	-	0.158	
	2			0.472	0.473	0.483	0.486	0.420	0.421	0.423	0.424	0.315	0.388	-	-		0.388
1	1	92.0	100.0	0.342	0.342	0.317	0.315	0.254	0.255	0.235	0.234	0.228	0.230	-	-	0.230	
	2			0.651	0.691	0.607	0.652	0.563	0.602	0.540	0.582	0.337	0.438	-	-		0.438
2	1	90.3	92.1	0.416	0.425	0.460	0.465	0.401	0.409	0.462	0.470	0.183	0.181	-	-	0.181	
	2			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
2'	1	91.9	94.0	0.299	0.303	0.306	0.308	0.224	0.229	0.238	0.241	0.162	0.169	0.210	0.218	0.194	
	2			0.699	0.721	0.689	0.709	0.588	0.610	0.589	0.604	0.388	0.423	0.393	0.442		0.433
3	1	92.0	上部 89.9 下部 99.9	0.259	0.273	0.250	0.265	0.227	0.239	0.219	0.231	0.200	0.214	0.183	0.191	0.203	
	2			0.501	0.572	11.52	0.564	0.475	0.548	0.469	0.537	0.348	0.423	0.330	0.380		0.402
	3			0.197	0.203	0.199	0.203	0.168	0.174	0.174	0.179	0.179	0.158	0.167	0.145		0.146
4-1	1	92.0	100.0	0.164	0.164	0.177	0.179	0.165	0.165	0.163	0.128	0.088	0.089	-	-	-	
	2			0.080	0.079	0.078	0.078	0.086	0.085	0.082	0.080	0.053	0.051	-	-		
4-2	1	92.1	上部 91.5 下部 99.6	0.147	0.148	0.161	0.163	0.122	0.123	0.132	0.131	0.083	0.084	-	-	-	
	2			0.066	0.064	0.072	0.071	0.059	0.057	0.069	0.067	0.044	0.040	-	-		

注記) ・測定データとは異なり便宜上、沈下方向を正で定義。

・マイクログラブル水を用いたCASE3 STEP3及びCASE4-1,4-2 STEP2については加振前に初期値補正(ゼロクリア)を実施。

(2) 過剰間隙水圧特性

図 3. 28 及び図 3. 29 に過剰間隙水圧の時刻歴の比較(CASE1、CASE2'、CASE3)を示す。過剰間隙水圧は、CASE1 及び CASE3 の下層部(G1-15m)において急激に水圧が上昇したのに対し、CASE2 上層部(GL-9m) 及び CASE3 の不飽和地盤の水圧は緩やかな上昇であった。しかし、CASE2 の GL-9m では初期の水圧の上昇は小さいものの加振後半になるに従い上昇が大きくなり、最大値も CASE1 と同程度となった。一方、CASE3 においては水圧の上昇変化も少なく最大値も小さくなった。

地震波で加振を実施した CASE4 の過剰間隙水圧時刻歴として、図 3. 30 に STEP1(飽和と部分不飽和の比較)の結果を、図 3. 31 に STEP2(飽和とマイクロバブルの比較)を示す。

図 3. 32～図 3. 36 に最大過剰間隙水圧及び最大応答加速度の深度分布を示す。これより、STEP1 においては CASE1 で GL-9m 付近から表層にかけて最大過剰間隙水圧が有効上載圧 σ_z' と等しくなり液状化したが、CASE2 及び CASE3 では全層で σ_z' に達しなかったことが分かる。一方、STEP2 では CASE1 において GL-15m の液状化層底盤部から最大過剰間隙水圧が σ_z' に達して液状化が発生し、CASE2 においても土槽下部層では水圧は小さく液状化を抑止しているものの GL-7m 付近から表層にかけ水圧が σ_z' に達しており液状化に至ったものと考えられる。一方、CASE3 においては土槽下部で水圧が σ_z' に達しているものの GL-7m 以浅の不飽和層では有効上載圧まで達しておらず基礎底盤部の液状化を抑止したものと考えられる。

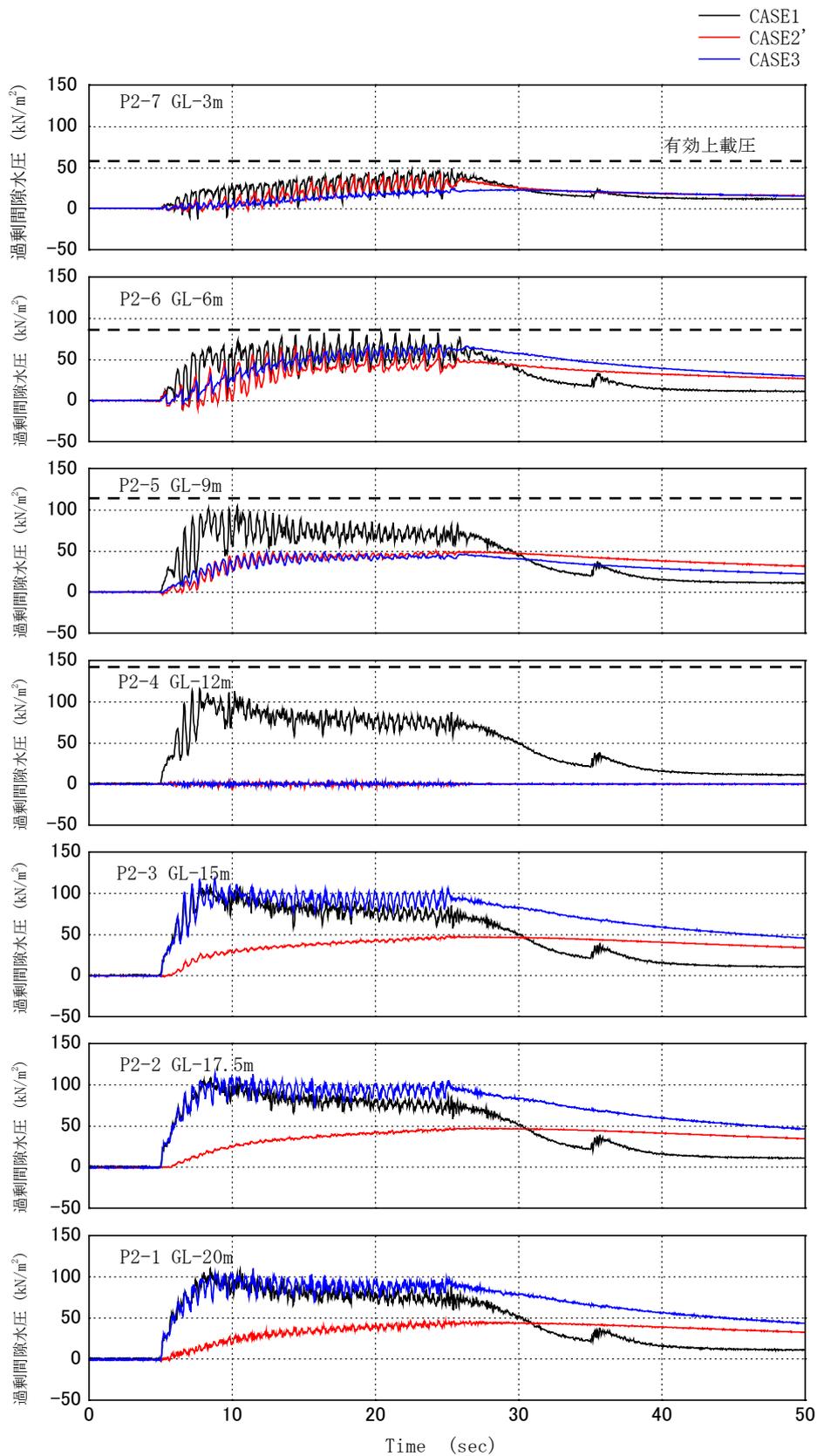


図 3.28 過剰間隙水圧の時刻歴の比較 (CASE1、CASE2'、CASE3)

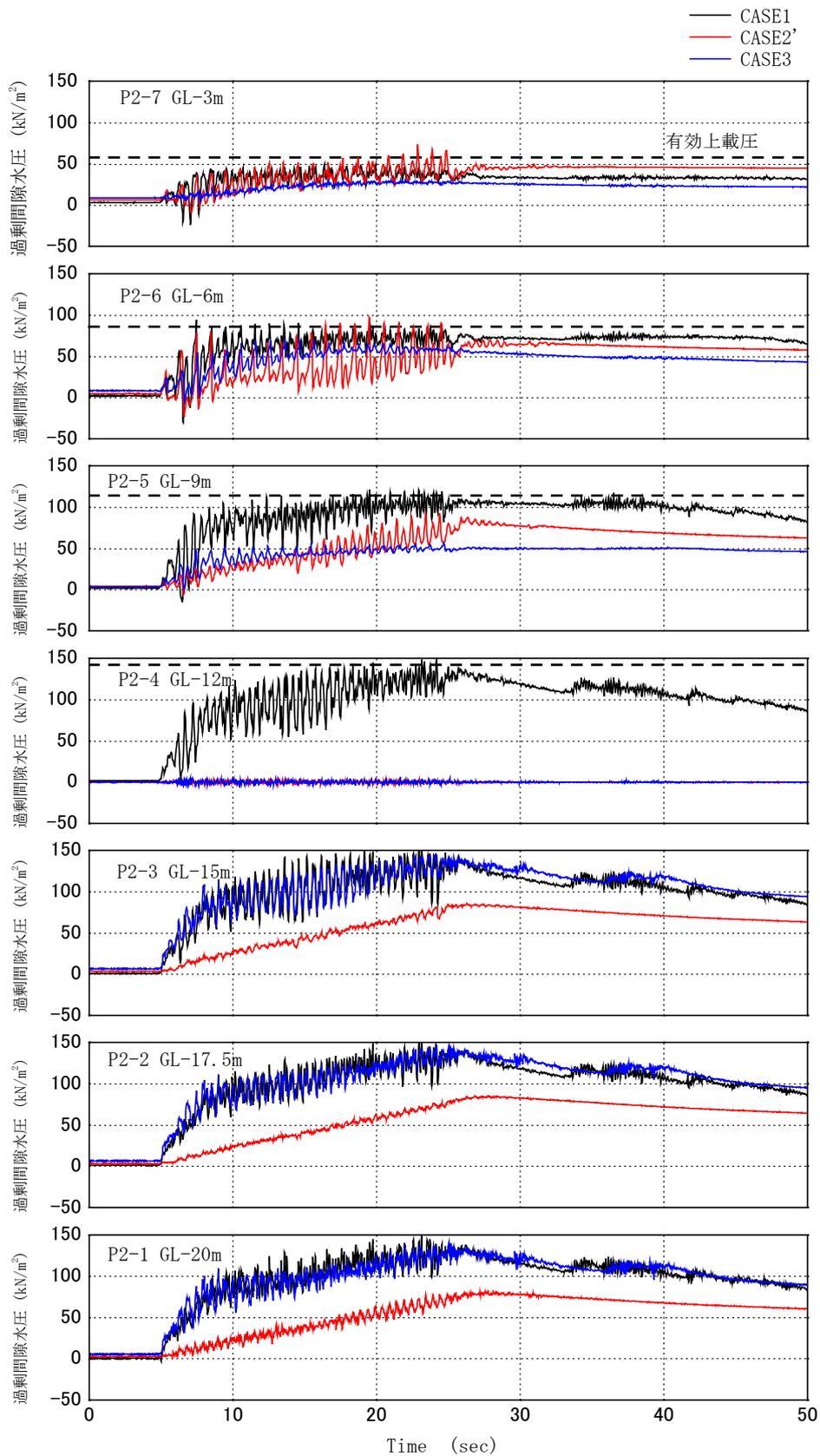


図 3.29 過剰間隙水圧の時刻歴の比較 (CASE1、CASE2'、CASE3) STEP2

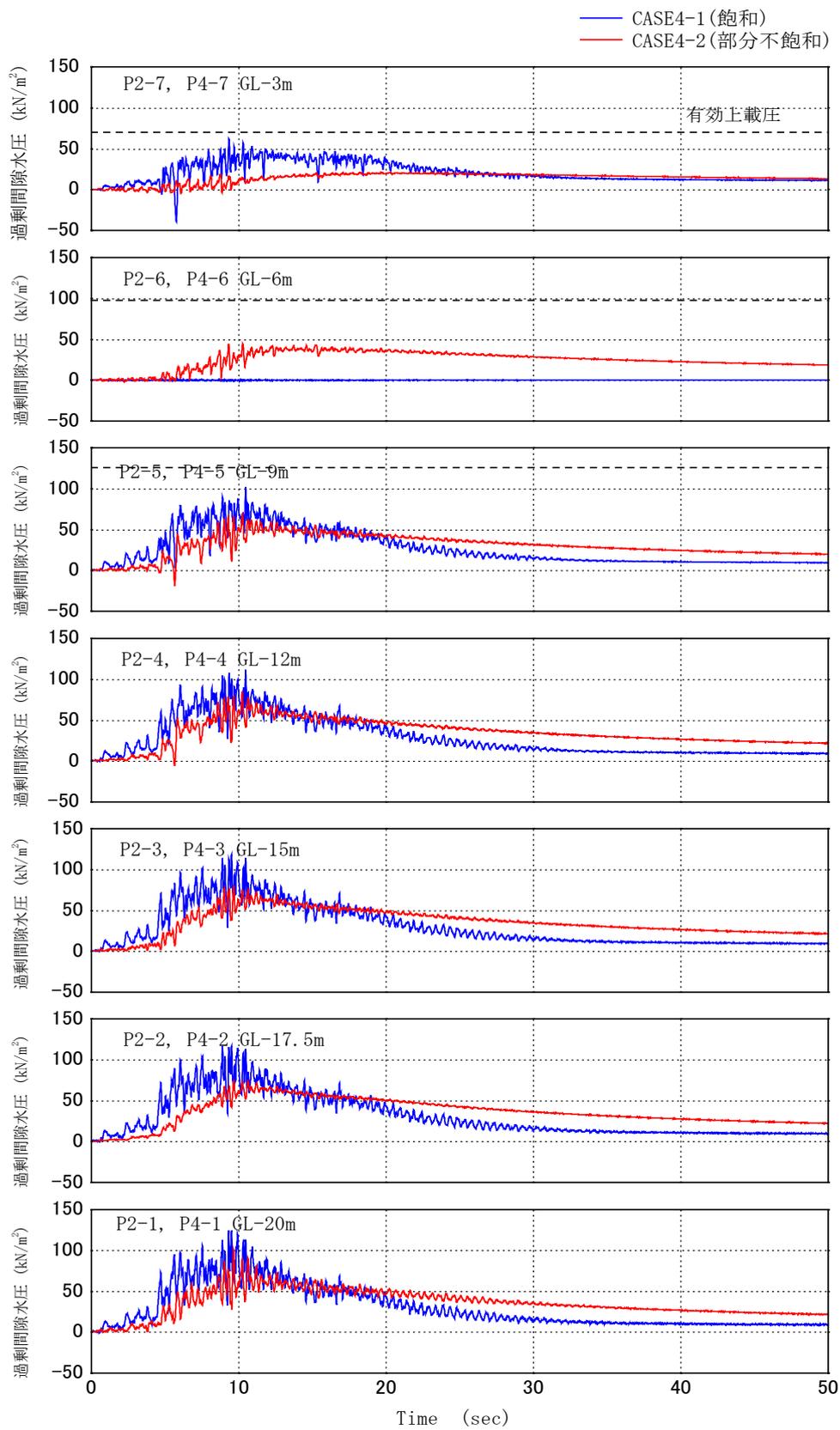
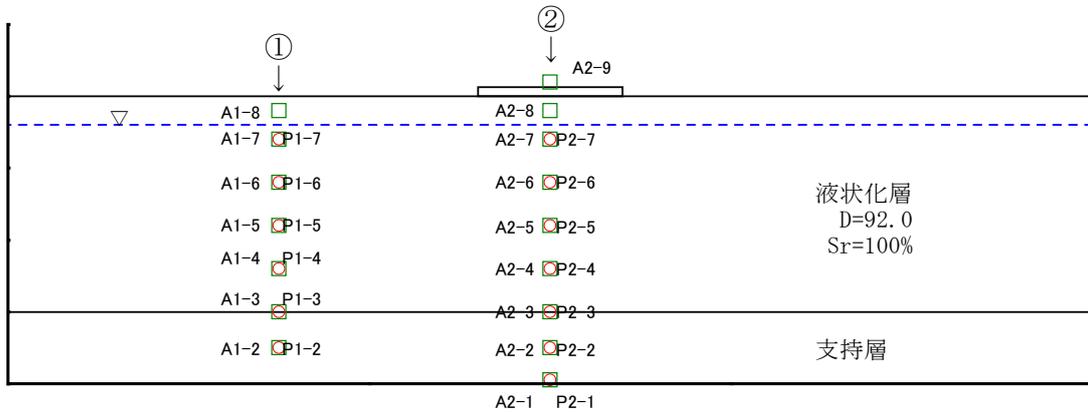


図 3.30 CASE4 STEP1 過剰間隙水圧時刻歴(飽和と部分不飽和の比較)

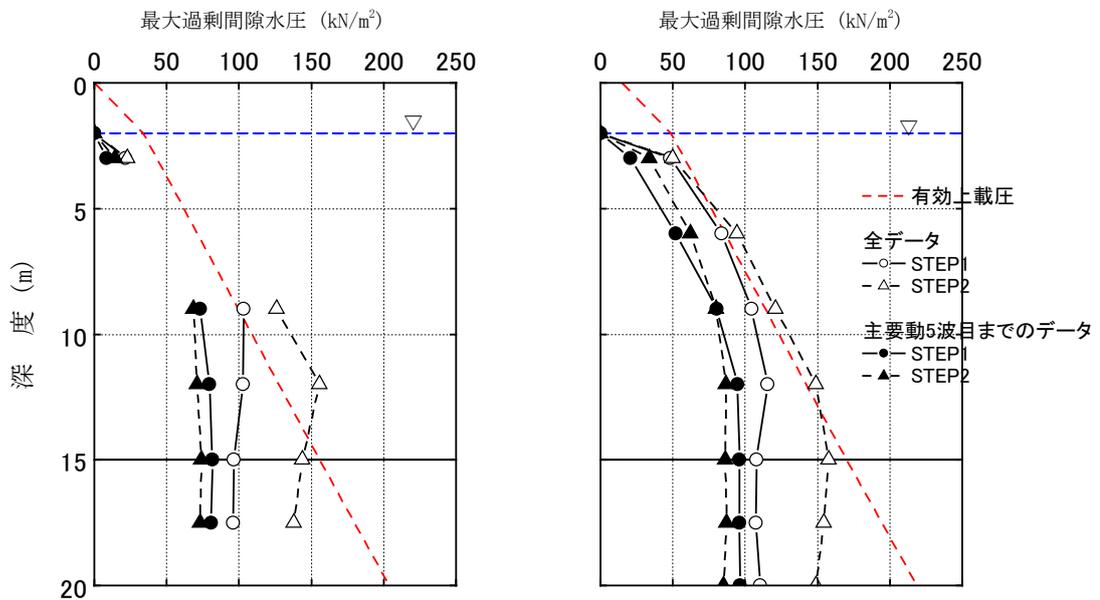
○ 間隙水圧計
□ 加速度計

CASE1



① P1-2~P1-7

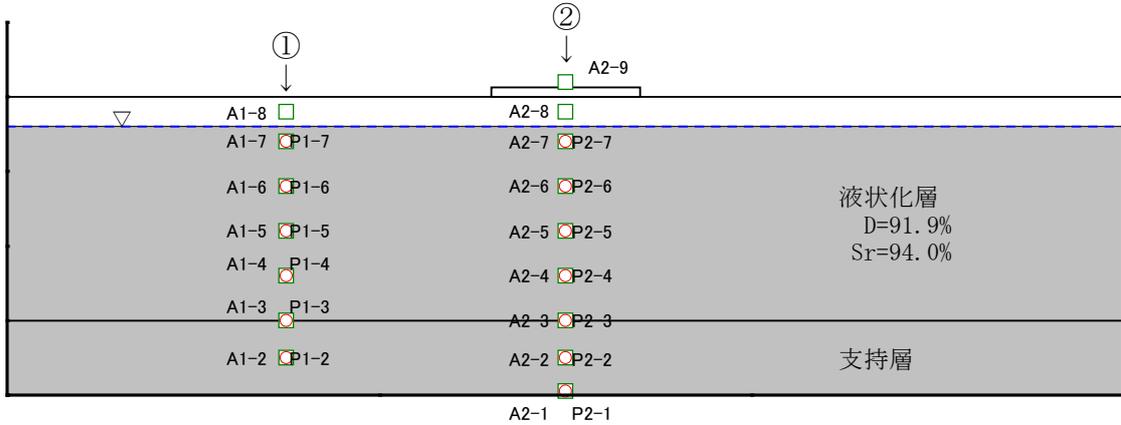
① P2-1~P2-7



主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出。

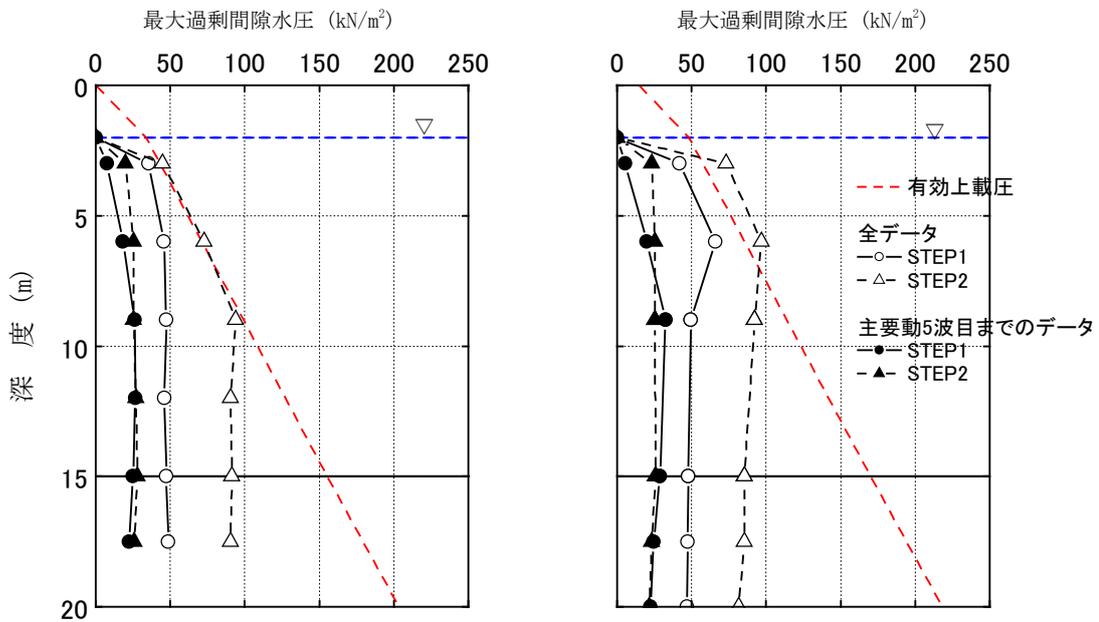
図 3.32 最大過剰間隙水圧及び最大応答加速度の深度分布

□ 加速度計
○ 間隙水圧計



① P1-2～P1-7

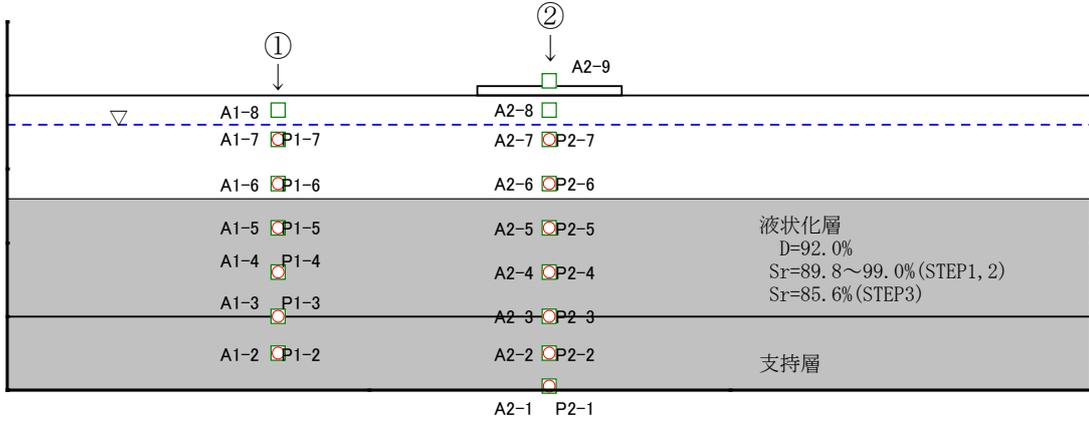
② P2-1～P2-7



主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出。

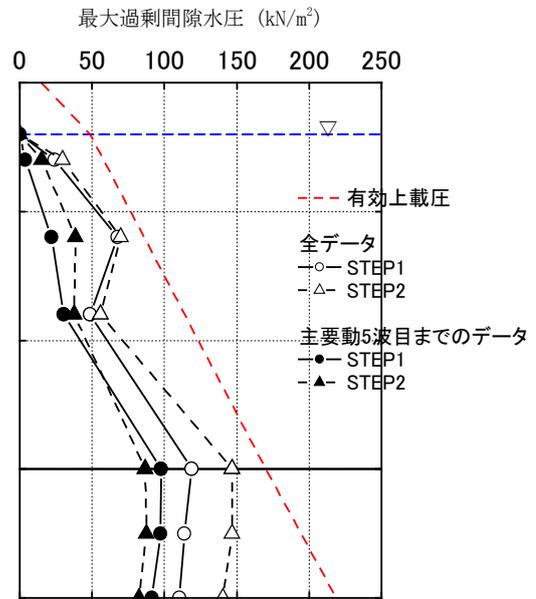
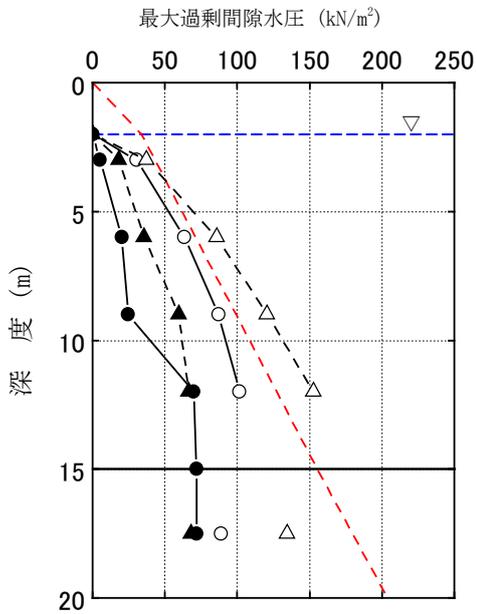
図 3.33 最大過剰間隙水圧及び最大応答加速度の深度分布

□ 加速度計
○ 間隙水圧計



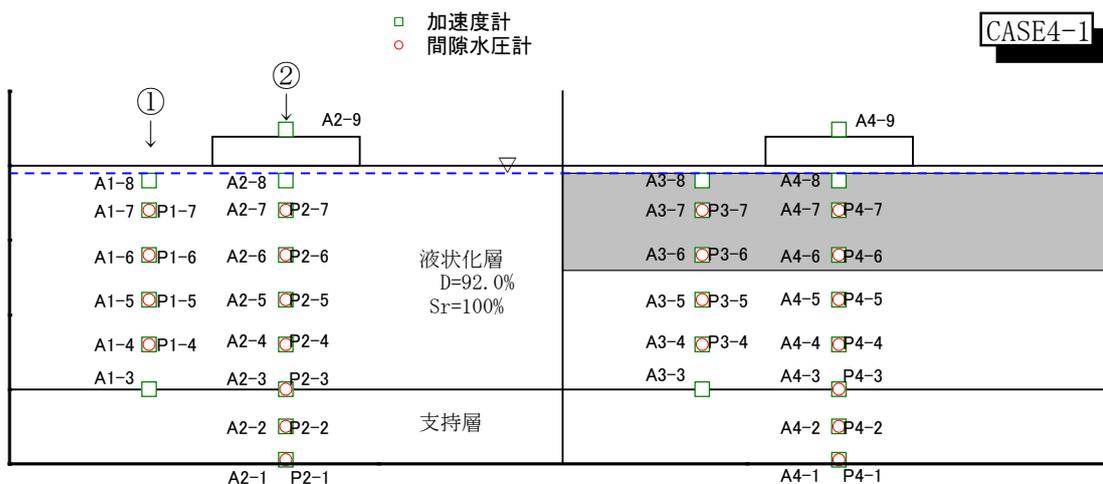
① P1-2~P1-7

② P2-1~P2-7



主要動5波目までの最大過剰間隙水圧は、スムージング処理を施したデータより算出。

図 3.34 最大過剰間隙水圧及び最大応答加速度の深度分布



① P1-4～P1-7

② P2-1～P2-7

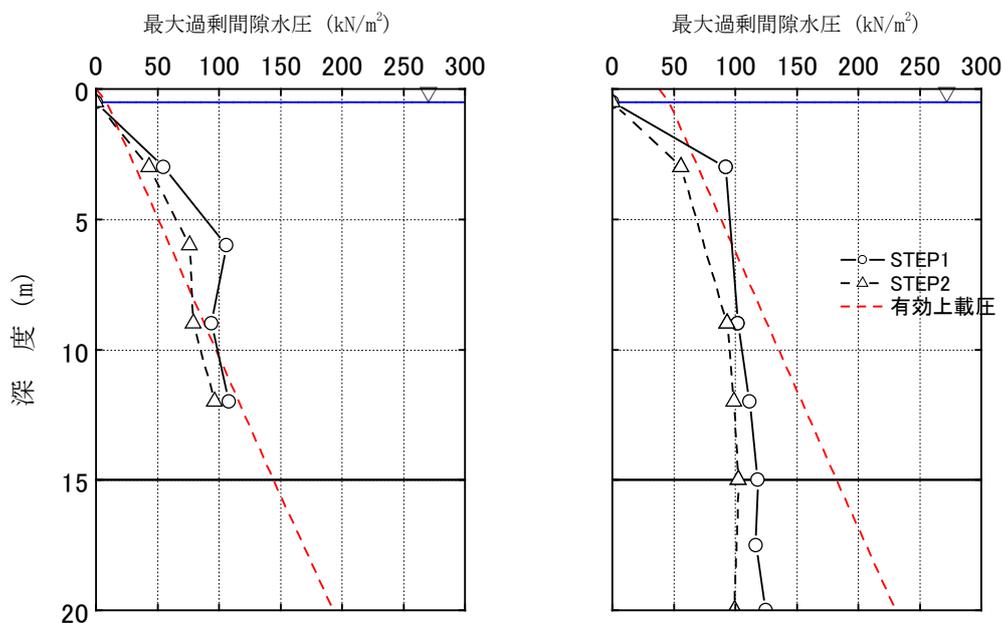
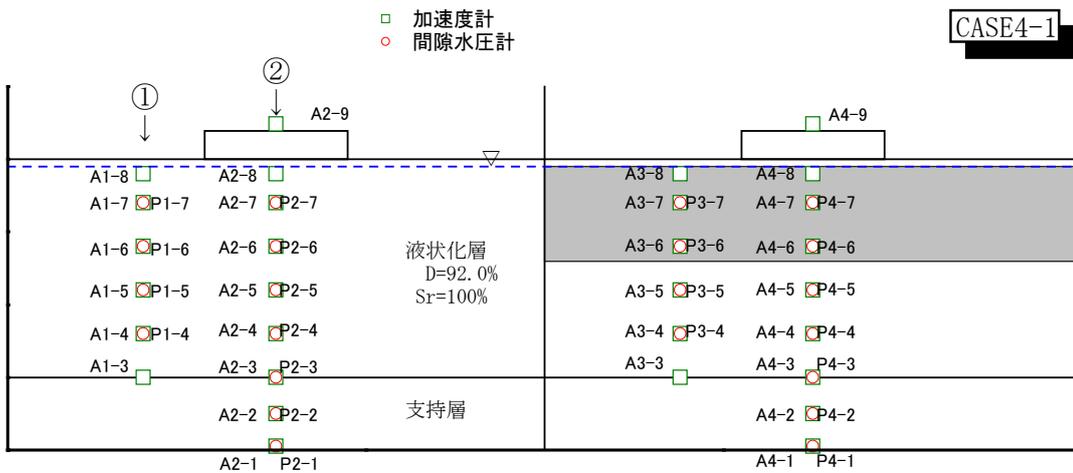


図 3.35 最大過剰間隙水圧及び最大応答加速度の深度分布



① P1-4～P1-7

② P2-1～P2-7

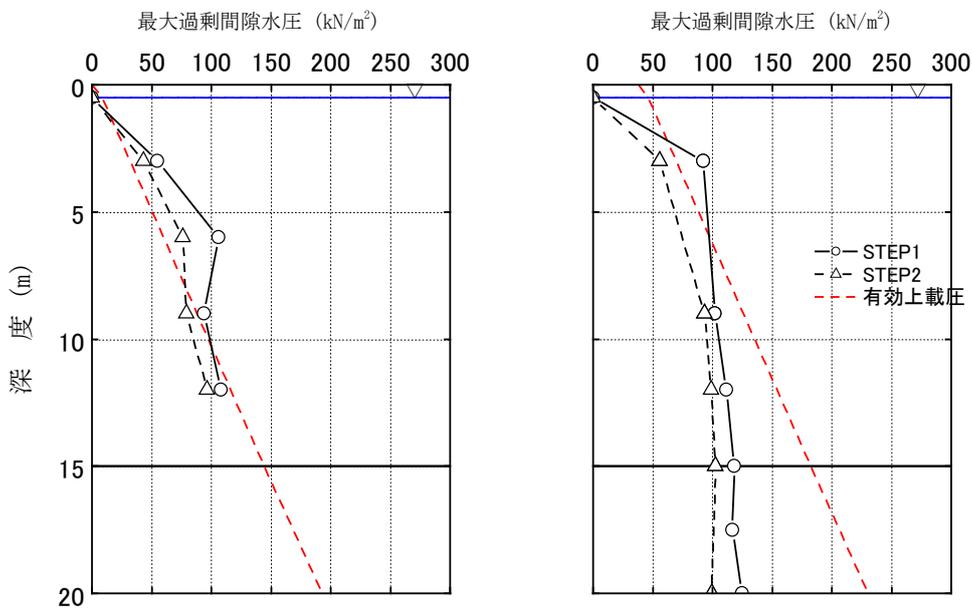


図 3.36 最大過剰間隙水圧及び最大応答加速度の深度分布

(3) 応答加速度特性

図 3. 37 及び図 3. 38 に加速度の時刻歴波形 (CASE1、CASE2' 及び CASE3 の比較) を示す。図 3. 39 及び図 3. 40 に加速度の時刻歴波形 (CASE4) を示す。

図 3. 37 及び図 3. 38 より、水平加速度は GL-9m において CASE1、CASE3 とともに加振後すぐに急激に上昇し液状化時に見られるスパイク状の波形が現れたが、CASE2 でも加振後半では加速度増加が見られた。地表面の基礎上の加速度は加振直後では 3 ケース共に同様の挙動を示しているが、加振後半では CASE1 と CASE3 の値は CASE2 のそれよりも小さくなっていることが分かる。これは土槽下部が液状化により軟化して土槽上部に振動が伝わらなくなった結果と考えられる。

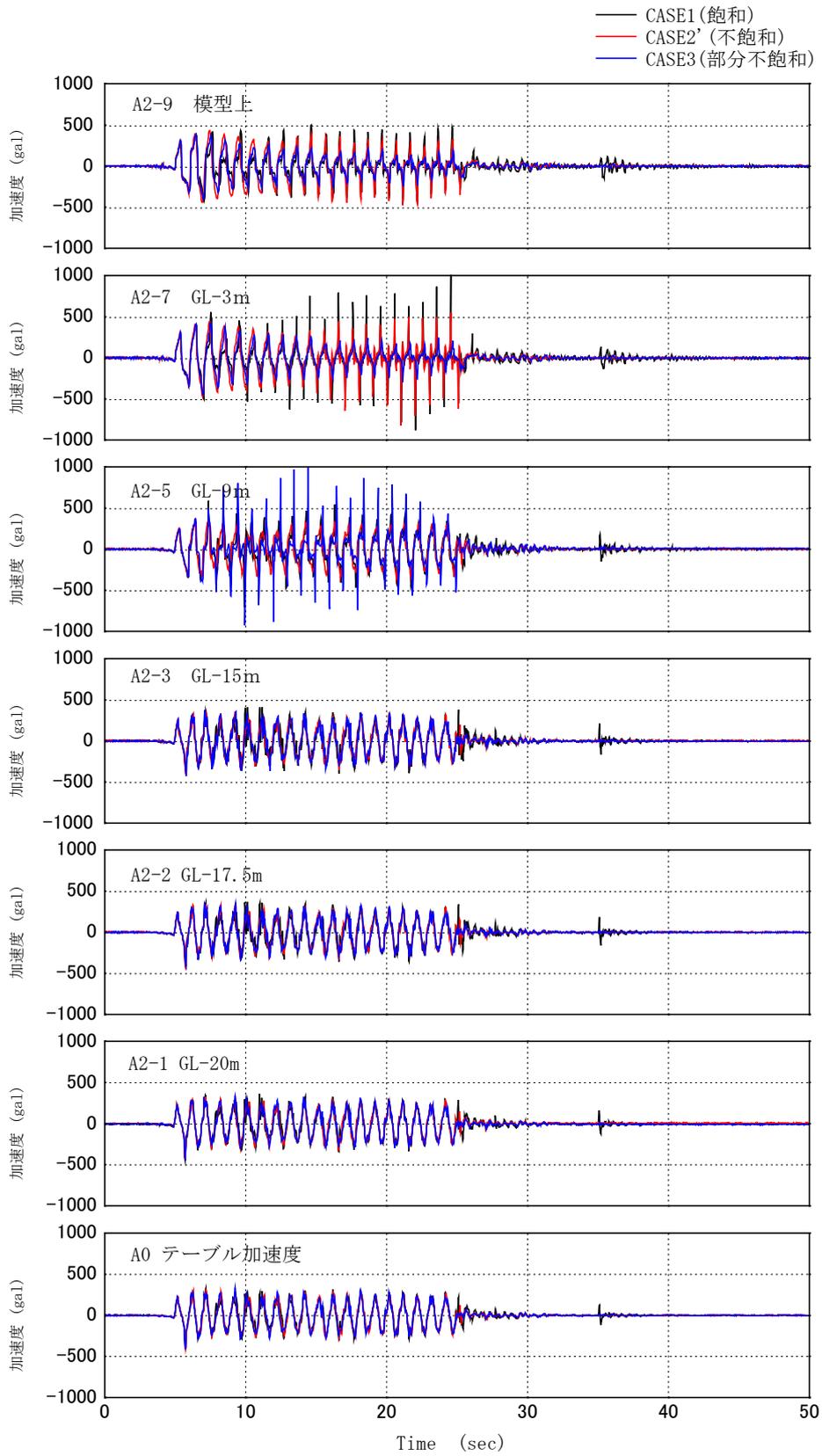


図 3.37 加速度時刻波形 (CASE1、CASE2'、及び CASE3 の比較) STEP1

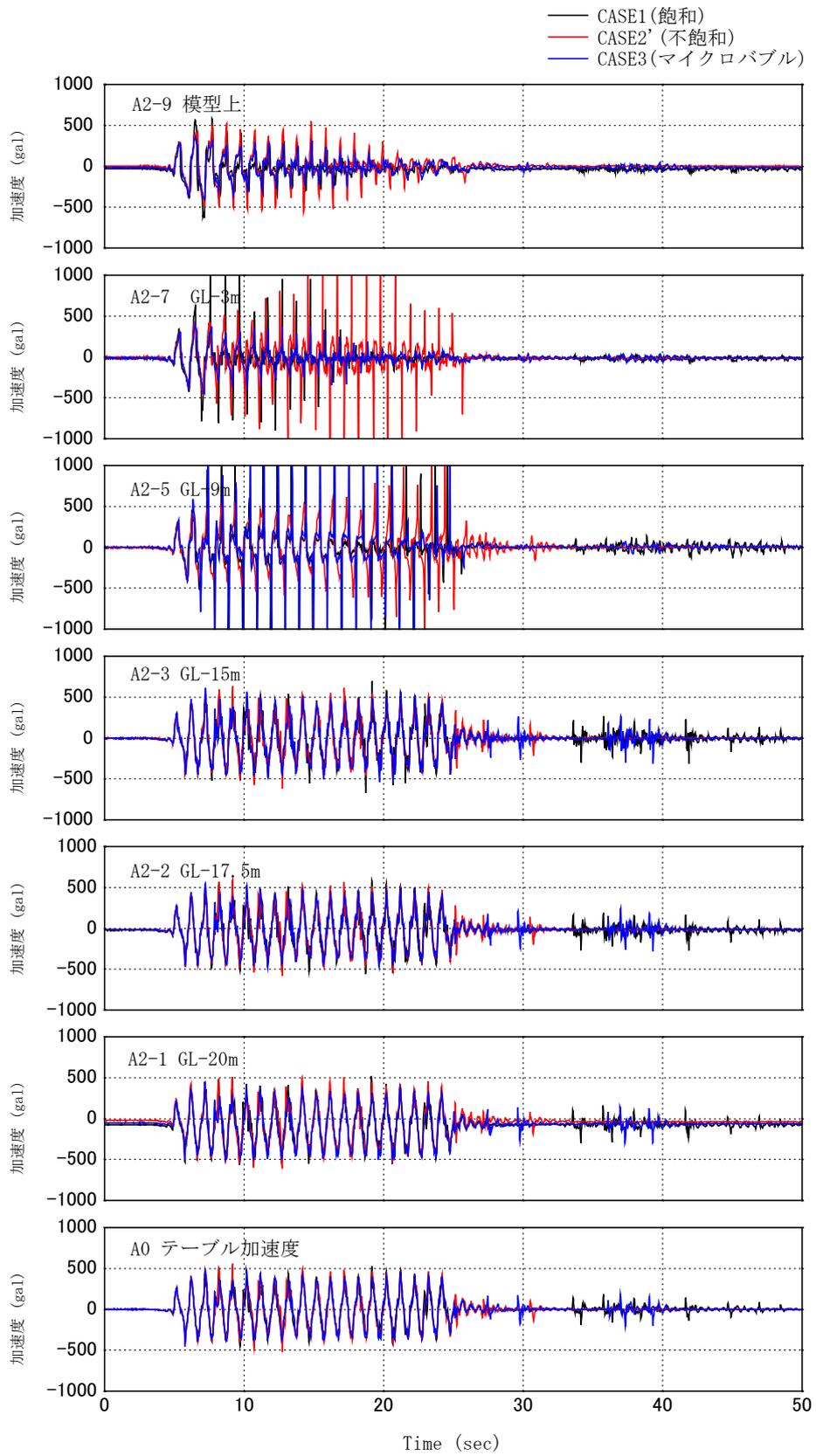


図 3.38 加速度時刻波形 (CASE1、CASE2'、及び CASE3 の比較) STEP2

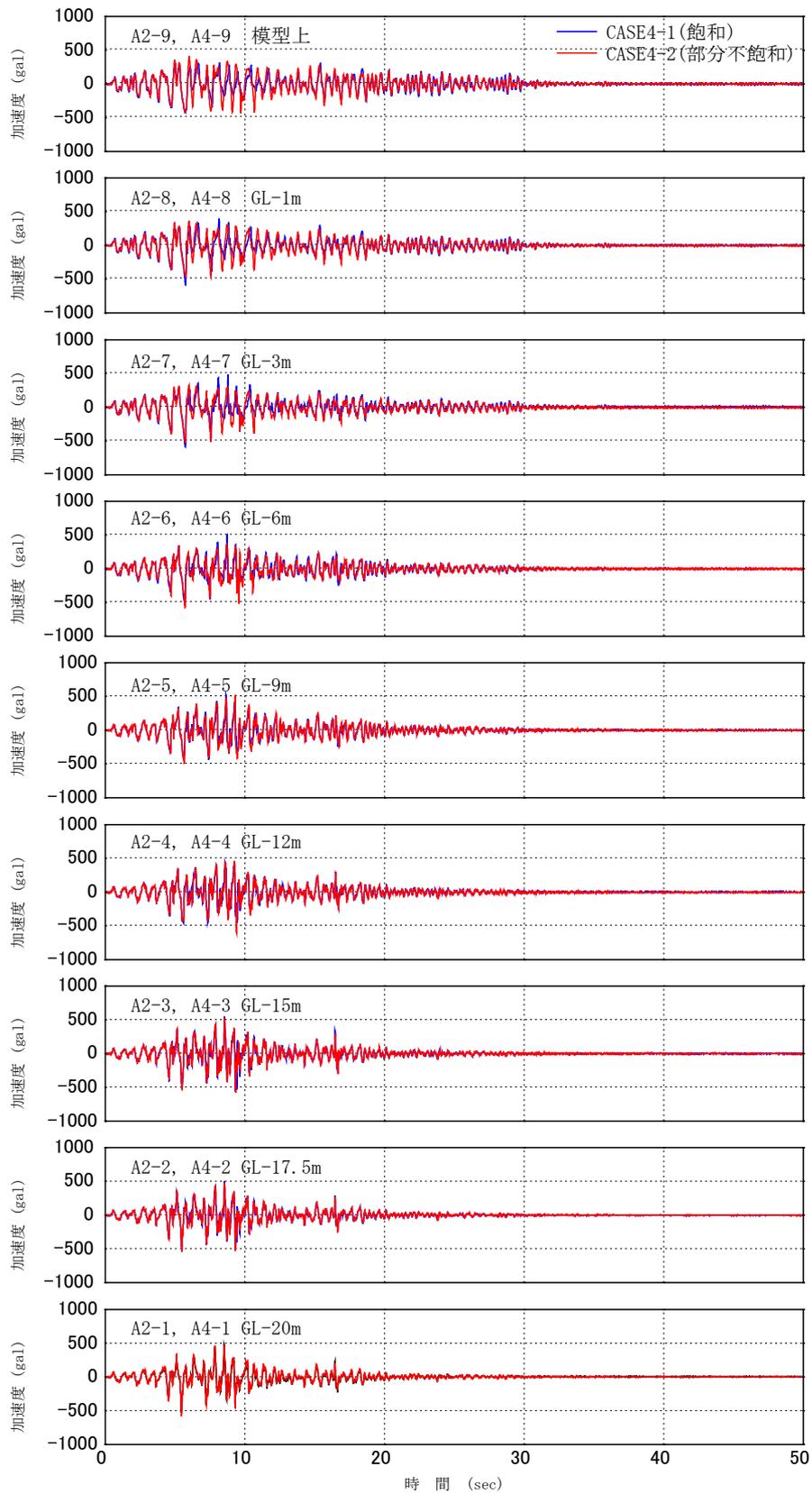


図 3.39 加速度の時刻波形 (CASE4) STEP1 (飽和と部分不飽和の比較)

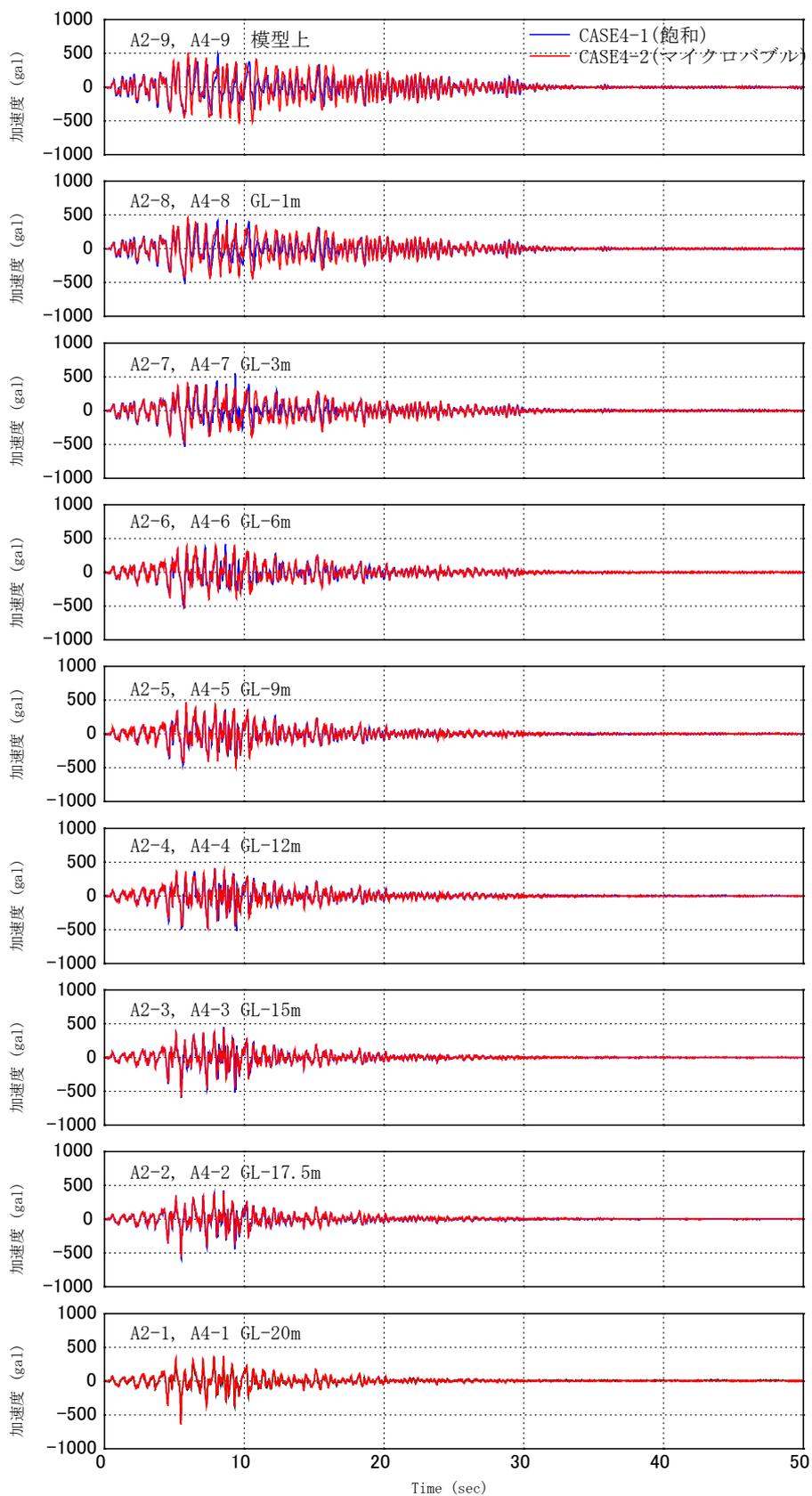


図 3.40 加速度の時刻波形 (CASE4) STEP2 (飽和とマイクロバブルの比較)

3.3 実証実験

1) 目標

実地盤において、空気注入の実用性及び注入した空気の耐用性を確認する。

2) 方法

実地盤の液状化層にマイクロバブル水を注入し、不飽和地盤をつくとともに、飽和度の時間経過による変化を計測

- ・**実験サイト:** 江戸川河川敷（埼玉県三郷市）、深さ GL-4m 付近に N 値≒15 前後の砂層
- ・**注入実験A:** 垂直ボーリング孔で深さ GL-4.35m の位置からマイクロバブル水を注入。この孔から水平距離 0.5m、1.5m、4.0m の地点に可動式 TDR の計測孔を設け、不飽和化の拡がりを測定
- ・**注入実験B:** 住宅に覆われた部分として地表に 6 m 角の四角形を想定し、その周囲からマイクロバブル水を注入して住宅下の不飽和化を測定。実用化工法に向けて、注入には簡易なミニラム孔と角度 60° の斜め孔を使用
- ・**注入空気の耐用性測定:** 注入後 120 日以上の間、飽和度の変化を観測



図 3.41 実験サイトの風景

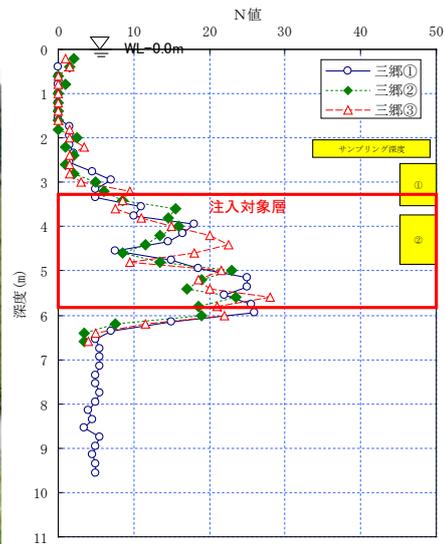


図 3.42 実験サイトのボーリング結果

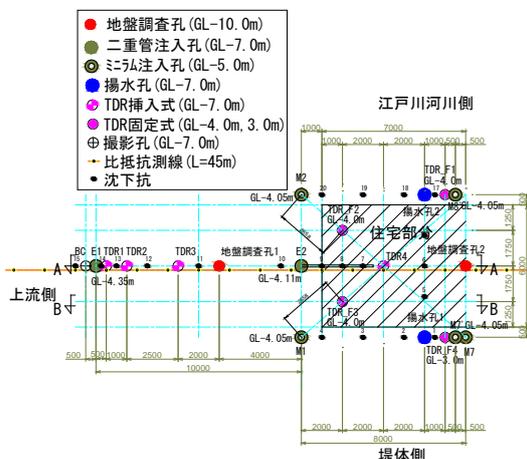


図 3.43 実験サイトプラン（平面図）

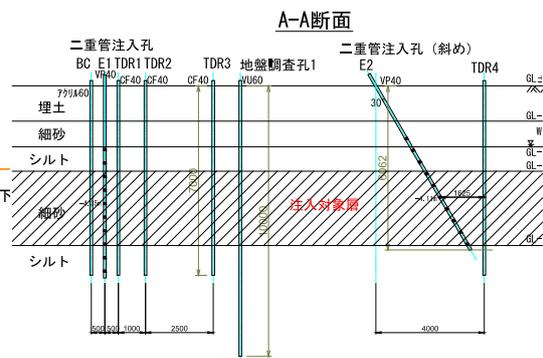


図 3.44 実験サイトプラン（地下断面図）

3) 実験結果のポイント

- ①地盤面下の飽和度は、マイクロバブル水の注入開始後速やかに低下し、安定する。実測では、約6 l/分の注入速度でおよそ8時間後には十分安定域に達しており、実用化段階において1～2日の短期間の工期とできる可能性がある。
- ②注入空気の流れは、水平方向には1.5m程度が限界。垂直方向には注入深度より上方向に動き、下方向の飽和度低下には余り寄与しない。
- ③残留空気の耐用性については、飽和度が注入停止直後に数パーセント上昇し、その後はほぼ横ばいとなる傾向がみられた。

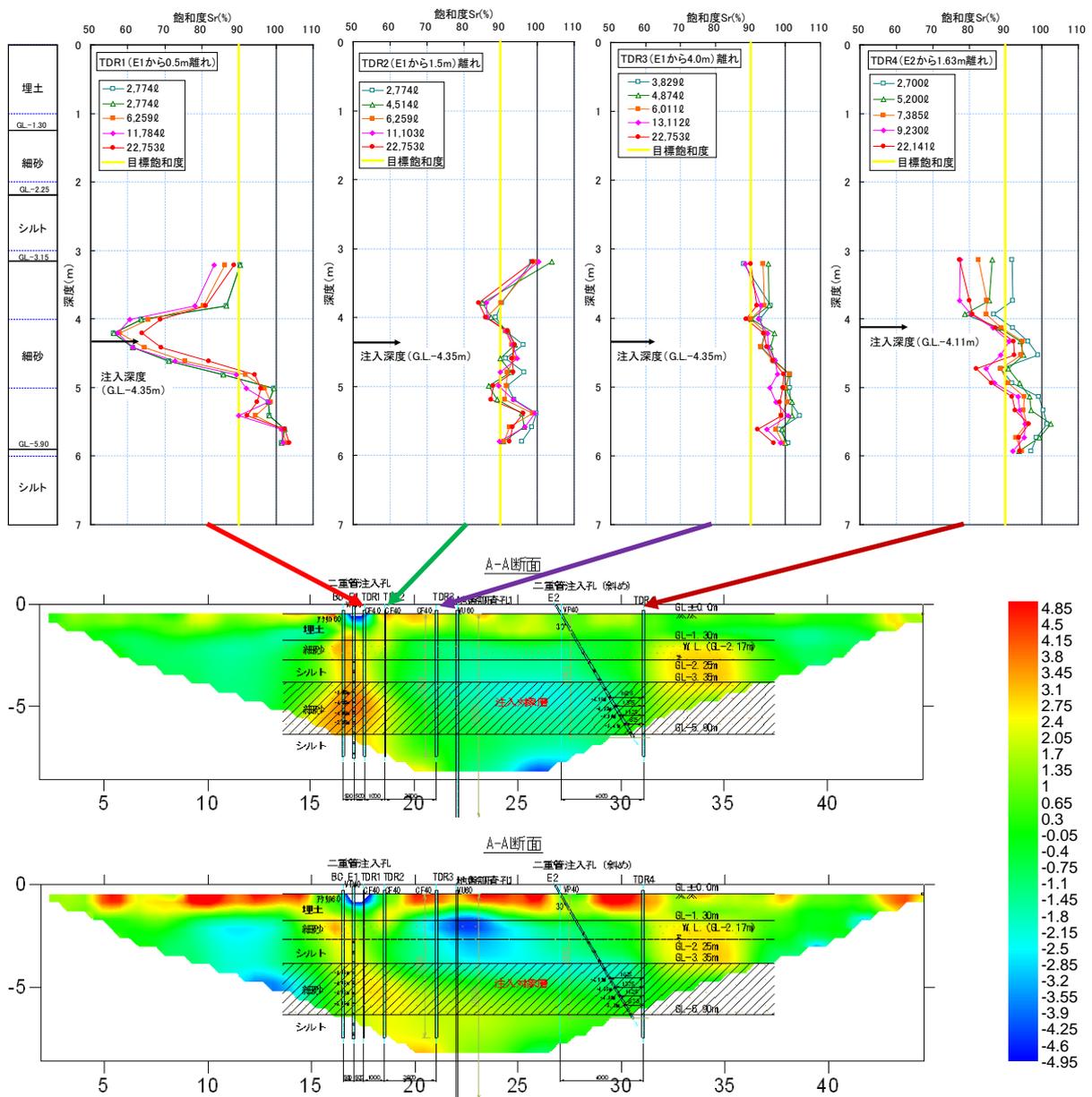


図 3.45(上) マイクロバブル水注入による飽和度の変化（断面深さ方向、注入量別）

図 3.46(下) 比抵抗測定による地盤内の空気の分布（上は注入初日、下は2日目）

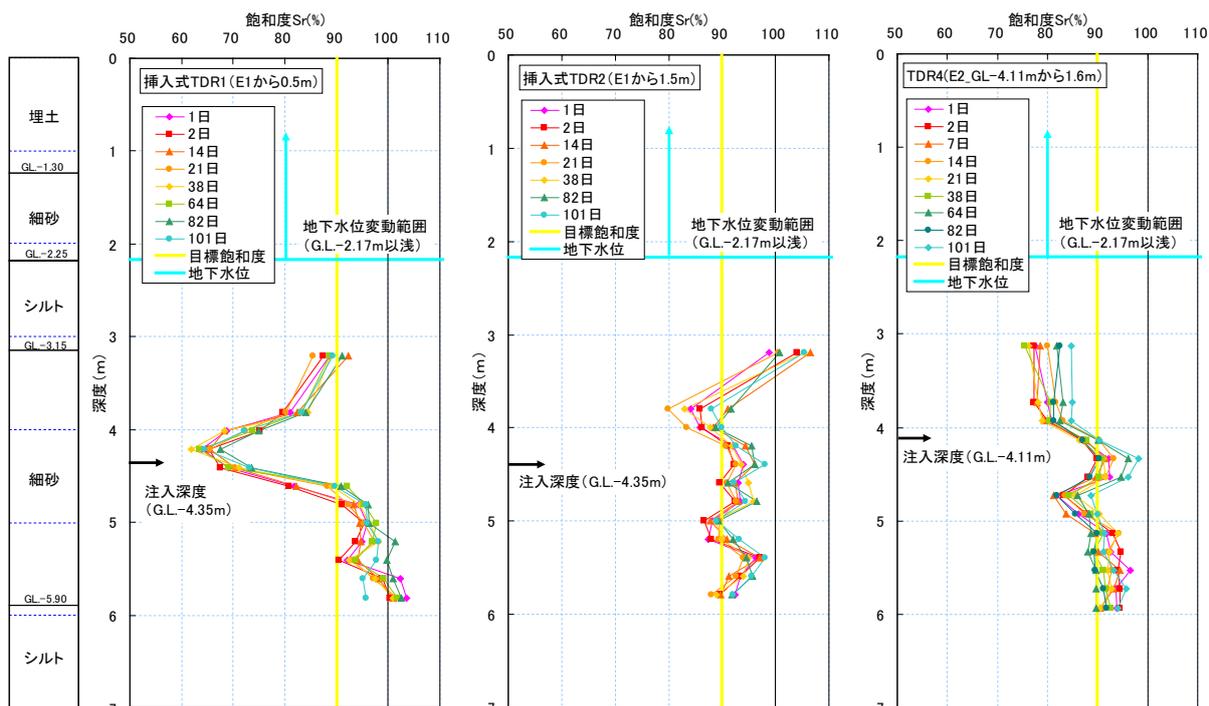


図 3.47 飽和度の時系列変化（可動式 TDR 計による断面深さ方向、注入後経過日数別）

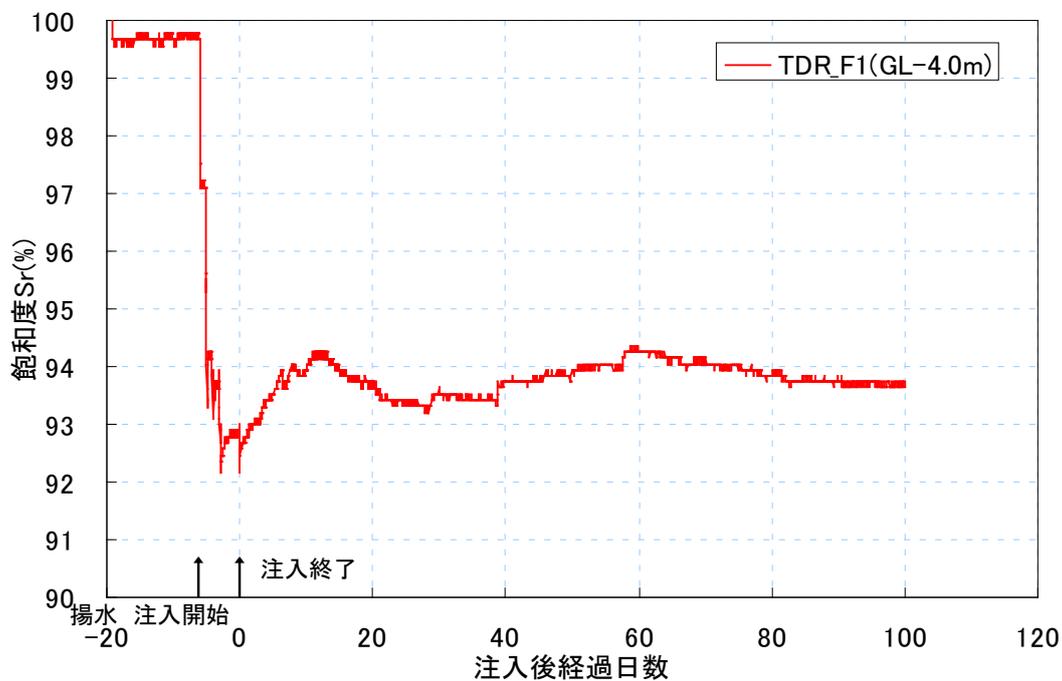


図 3.48 飽和度の時系列変化（埋込み固定式 TDR 計）

4) 成果活用の方向

- ① 地盤の液状化は、中規模地震での発生は稀だが大規模地震では広範に発生し、人命の損失に至ることは稀だが建物を全壊被害に至らしめるという性質がある。これをかんがみると、液状化は、いわゆる建築基準法のメルクマール（中程度の地震では建物被害を受けず、大地震では建物が損傷することはあるが人命は守られる）には入らないが、長期に使用する建物が被ってはならない被害であると言ってよい。
- ② 現行の長期優良住宅認定基準（長期使用構造等とするための措置及び維持保全の方法の基準）は、耐震性の基準に地盤に関する事項を含んでいないが、「極めて稀に発生する地震に対して継続利用のための改修が容易」であることをメルクマールとするならば、宅地地盤の要件として「地表面において液状化を発生しないこと」を要件に追加することが必要である。
- ③ 既存住宅については、これまで住宅が建ったまま市街地の中で比較的容易に講じることのできる液状化対策技術がなかったが、本総合技術開発プロジェクトにより空気注入法によって実用性のある技術の不在を打開できる見通しを得ることができた。
- ④ この工法は、圧力を受けると縮む性質を持つ空気が、地震動による水圧の上昇を抑えるクッションの役割をすることにより液状化の発生を抑制するものである。この方法によれば、戸建て住宅などが既に建っている宅地においても、住宅が経ったままの状態、地盤液状化対策を簡単、安価かつ環境にやさしい方法で行えることが期待できる。また、この工法には、他の地盤改良工法と異なり空気が混入する以外に地盤そのものを変化させないので、その後宅地地盤に何らかの手を加える必要が生じた場合にも何の障害も残さないという大きな利点もある。
- ⑤ この研究の成果及び既往の知見を踏まえて、既存住宅にかかる長期優良住宅認定基準においても、宅地地盤の液状化防止措置を要件に含めることの検討が必要と考えられる。

V-4. 住宅価値の持続性のための相隣環境規範について

1. 観点と目的

多世代居住型超長期住宅が存続する長期間には、周囲の建築物が順次建替わり、相隣環境が変化することとなるが、この周囲の変化が超長期住宅の住宅価値を損なうと、住宅そのものの存続を危ぶむことになる。このため、超長期住宅の立地場所には、良好な相隣環境の長期持続性を担保する一定の建築規制が存在することが必要であるが、この建築規制をどういう項目についてどの程度の水準で設定すべきかについて、現状では根拠となるバックデータが不足している。

そこで、住宅市街地の VR 画像を用いた環境心理学手法による被験者実験を行い、住宅周囲の建築環境を VR 上で自在に変化させ、被験者の反応データを解析することにより、多世代居住型超長期住宅に求められる要件のうち、立地する街区の要件となるべき具体的な基準値等の提示に向けて、根拠となるデータを得る。

2. 実験方法の概要

住宅市街地の VR 画像を用い、住宅の周囲の敷地に建つ建築物の状況（建て方、階数、隣棟間隔、規模など）を自在に変化させ、被験者の心理的インパクトを計測する。

空間の中にいる感覚を高めるとともに、とくに建物の高層化の影響を見るために上方の視野角の確保を考慮して、装置には背面投影型傾斜スクリーンを用いている。



図 4.1 実験風景

実験は、被験者約 25 名ずつ 5 ラウンドで実施する方法とし、各ラウンドの質問回答結果を速報で分析しながら質問方法に改良を加えていく方式をとった。

被験者は、ネットアンケートによる募集した多様な属性の一般市民とした。これに当たり、ネットアンケート時の質問により、住環境に対する関心が薄いと目される者を除く措置をとった。

3. 質問項目と分析結果

以下に、被験者実験に用いた質問項目と分析結果を述べる。

Recommendations

住宅価値の長期持続性のため、以下の内容を相隣環境確保の要件に盛り込むべきである。

1. 低層独立住宅(3階建て以下)の場合、周囲の建築物の建替えによって生じるおそれのある住環境の著しい悪化と住宅の市場価値の著しい減少を回避するため、建物高さを制限する規範が、近接する建物に対して少なくとも5階建て相当を上限とする水準で確保されていることを、多世代利用型超長期住宅の要件とする必要がある。
2. 居室の窓に関する視環境を健全な状態に保持するため、隣接住戸との距離(窓間)は、少なくとも6m以上、望ましくは11m以上離隔されるよう、措置されていることが望ましい。ただし、隣棟間に高木を植樹するなどにより視線を隠す等の措置は、影響の緩和に有効な場合がある。
3. また、周囲の住宅地環境の変動から多世代利用型超長期住宅の市場価値を保全するため、当該住宅の周囲における敷地の狭小化と狭小アパートの立地に関して、これらを適切に制限する規範が存在していることが望ましい。

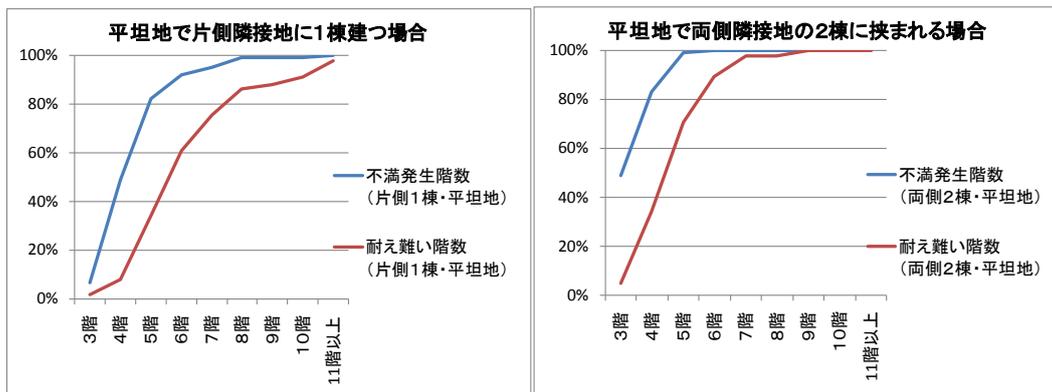


図 4.2.3 低層独立住宅の自宅の隣地に建つマンションの階数に対する心理影響(隣棟距離5m)

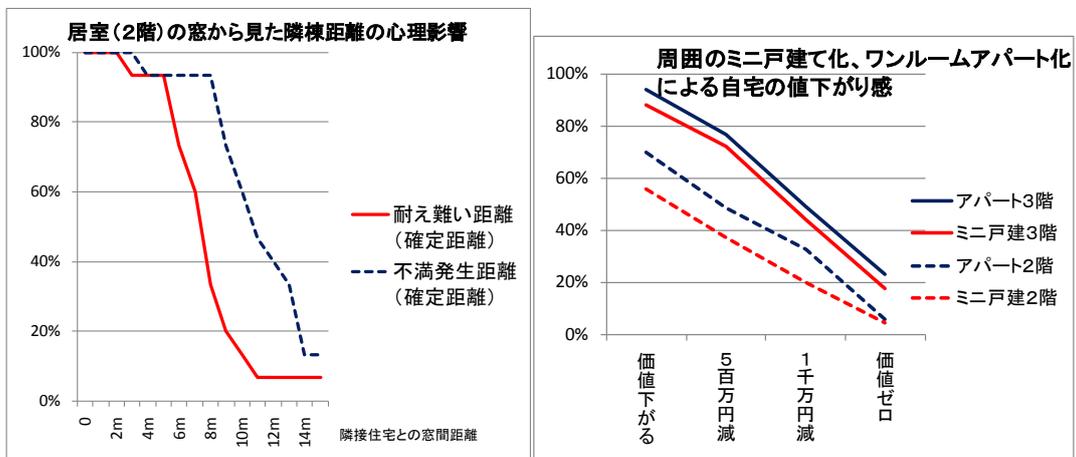


図 4.4 隣接住宅の窓に対する感覚と隣棟距離 図 4.5 向かい敷地の変化が及ぼす住宅価値への影響

4. 被験者実験の内容

被験者に対する質問項目一覧を以下に示す。



図 4.6 自宅前前面道

プレQ1

- **まず、街の中を歩いて空間に慣れていただきます。**

⇒ 街路を100m程度歩き、目的地(被験者に自宅を建ててもらふ敷地)に到達。



図 4.7 和風2階建て



図 4.8 洋風2階建て



図 4.9 モダン3階建て

プレQ2

- **次の3つの家の中から、あなたが住む家を選んでください。どれにしますか？**
- **選んだら、この家に値段をつけてください。いくらで買うことにしますか？(被験者が悩んだら相場は5千万円と伝える)**

⇒ 家は、和風2階建て、洋風2階建て、モダン3階建ての3種類。いずれも2階居室の隣地側の窓の大きさが同じにしてある。

⇒ 敷地は約 100 m² (道路側 8m × 隣地側 12.5m)。当初より手前側隣地にマンション(3階建て)、後ろ側敷地に2階の戸建て住宅がある。

⇒ 空は薄く曇天で直射日光はない状態。方位の質問には「ない」と答え、さらに求められれば手前側を東と考えてもらう。



図 4.10 隣棟(窓)間距離 15m



図 4.11 隣棟(窓)間距離 5m



図 4.12 隣棟(窓)間距離2m



図 4.13 雁行化_30度



図 4.14 樹木による目隠し

Q1. 隣棟間距離

- 2階の部屋です。(部屋の中を見回した後、)窓から隣のマンションを見てください。
- マンションが近づいてきます。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。
- 逆に、マンションを近くから遠ざけていきます。「耐え難くなくなった」ら赤色札を降ろし、「不満がなくなった」ら黄色札を降ろしてください。
- マンションを近づけた時と、遠ざけた時で、赤色・黄色札の位置が異なりました。改めてマンションを前後に動かして見ていただきますので、それぞれの位置を確定してください。

- ⇒ 窓間距離10m又は15mの位置から、1m刻みでマンションを近づける。回答の前に、遠く、近くの状態をあらかじめ被験者に見てもらってから質問を始める。
- ⇒ 近づけた場合と、遠ざけた場合で、赤・黄の位置が異なった場合は、改めて質問し、位置を確定してもらう。
- ⇒ 自宅窓の大きさは横 180cm×縦 180cm。バルコニーに腰壁高さ 110cm。マンションの窓は2つの窓で見かけ総面積〇m²。
- ⇒ 被験者の視点場は、自宅2階居室の窓の前。眼の高さ 150cm、自宅窓中心から2m離れた位置。

Q2. 雁行化による緩和効果

- マンションが少しずつ斜めに向いて行きます。「不満が和らぐ効果をはっきり感じた」ら、「効果あり」とお答えください。
- ⇒ 隣棟間隔5mの位置で、隣地マンションの住戸の角度を10°、15°、20°、30°と振る。

Q3. 樹木の目隠しによる緩和効果

- 窓の外に木を植えました。マンションの窓が少しずつ隠れます。「不満が和らぐ効果をはっきり感じた」ら、「効果あり」とお答えください。
- ⇒ 隣棟間隔5mの位置で、間に高木を植え、隣地マンションの窓を約1/4、1/2、3/4と隠す。



図 4.15 隣地のマンション 4階



図 4.16 隣地のマンション 8階



図 4.17 両側隣地にマンション 3階



図 4.18 両側隣地にマンション 5階

Q4. 片側1棟の高層化

- 外に出て、自宅の玄関前の道路に立ちます。隣のマンションを見てください。
- マンションの階数を、高くしていきます。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

Q5.

- (被験者が黄色、赤色を掲げた階数において、)この状況で改めてこの住宅をあなたが買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況だと住む気になれなければゼロ円とお答えください。)

- ⇒ 被験者は、マンションの階数が増しても2階の窓から見た景色に変化がないことは理解済み。
- ⇒ 棟間距離5mに設定。隣地のマンションの階数を当初の3階建てから1階ずつ増していく。階高は3m。
- ⇒ 被験者の視点場は、自宅前面道路(幅員4m)の反対側の端。適宜見上げ・見下ろしたり見回したりしながら回答。

Q6. 両側2棟の高層化

- 今度は、もう一方の側の隣の敷地にも同じようにマンションが建つとします。自宅は、マンション2棟に挟まれる形になりました。
- 両側のマンションの階数を同時に高くしていきます。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

Q7.

- (被験者が黄色、赤色を掲げた階数において、)この状況で改めてこの住宅をあなたが買うとしたら、今度は値段をいくらにしますか？(安くてもこの状況だと住む気になれなければゼロ円とお答えください。)

- ⇒ 両側とも棟間距離5m。両側のマンションの高さを当初3階建てから両方同時に1階ずつ増す。
- ⇒ 被験者の視点場は、自宅前面道路(幅員4m)の反対側の端。見上げ・見下ろしたり見回したりしながら回答。



図 4.19 8階、隣棟距離5m



図 4.20 8階、隣棟距離5m(見上げ)



図 4.21 8階、隣棟距離10m



図 4.22 8階、隣棟距離20m

Q8. 隣地マンションとの距離

- 自宅の玄関前の道路に立ちます。隣のマンションを見てください。8階建てが建っています。(この状態は、赤色札(耐え難い)でしたね。)
- マンションを遠ざけていきます。「耐え難くなくなった」ら赤色札を降ろし、「不満がなくなった」ら黄色札を降ろしてください。
- 逆に、マンションを近づけていきます。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。
- マンションを遠ざけた時と、近づけた時で、赤色・黄色札の位置が異なりました。改めてマンションを前後に動かして見ていただきますので、それぞれの位置を確定してください。

- ⇒ ほとんどの被験者は、Q4において、8階建てマンションが隣棟距離5mで建つ状態に赤色札(耐え難い)と回答済み。
- ⇒ 窓間距離5mの位置から、1m刻みでマンションを遠ざける。回答の前に、近く、遠くの状態をあらかじめ被験者に見てもらってから質問を始める。
- ⇒ 遠ざけた場合と、近づけた場合で、赤・黄の位置が異なった場合は、改めて質問し、位置を確定してもらおう。
- ⇒ 被験者の視点場は、自宅前面道路(幅員4m)の反対側の端。適宜見上げ・見下ろしたり見回したりしながら回答。



図 4.23 敷地100m² 戸建て2階



図 4.24 敷地65m² 戸建て2階



図 4.25 敷地50m² 戸建て2階



図 4.26 敷地50m² 戸建て3階

Q9. 向かいの敷地細分化

- 今度は、自宅の玄関前の道路を挟んで向かいにある住宅の様子が変わります。現在は、比較的大きな戸建て住宅が2軒建っていますね。
- それでは、戸建て住宅の敷地の間口が小さくなって、向かいの家がだんだん小さくなり、それにつれて戸数が増えます。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

⇒ 当初は、敷地面積約 150 m² (間口約 12m) に延べ床面積約 125 m² の2階の戸建て住宅が2軒。これが、敷地面積約 100 m² (間口約 8m) で3軒、約 65 m² (間口約 5m) で5軒、約 50 m² (間口約 4m) で6軒と変化。

Q10. ミニ戸建ての3階化

- 次に、向かいの小さな2階家が3階になります。このことで、「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。



図 4.27
ワンルームアパート間口 4.5m 2階



図 4.28
ワンルームアパート間口 4.0m 2階



図 4.29
ワンルームアパート間口 4.5m 3階



図 4.30
ワンルームアパート間口 4.0m 3階

Q11-1. 2. 向かいのワンルームアパート

- では、向かいの小さな一戸建て住宅を、2階建てのアパートに変えます。このことで、「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。
- 次に、このアパートの1戸当たりの大きさを小さくして、棟の中の戸数を増やします(5戸×2階→6戸×2階になる)。このことで、「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

⇒ アパートは道路に正面バルコニーを向けて配置。

Q12-1. 2. アパートの3階化

- さて、最初のアパートを3階建てにします。このことで、「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。
- さらに、3階建てアパートの1戸当たりの大きさを小さくして、棟の中の戸数を増やします(5戸×3階→6戸×3階になる)。このことで、「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

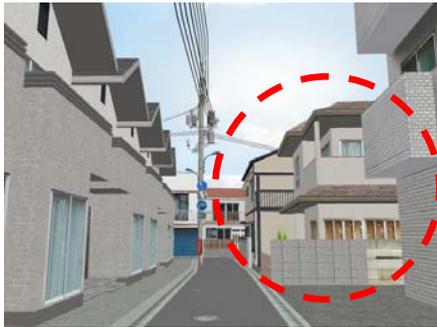


図 4.31 敷地50㎡、2階建て

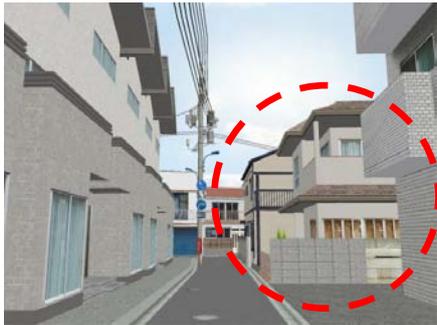


図 4.32 敷地50㎡、3階建て



図 4.33 ワンルームアパート、2階建て



図 4.34 ワンルームアパート、3階建て



図 4.35 自宅を3階建て

Q13-1. 2. 向かいの敷地細分化の影響

- ご自宅の様子を道路に立って改めて見てみましょう。向かいの1戸建て住宅(2階建て)が当初より小さくなって、戸数も増えてしまいましたね。
- この状況であなたが改めて住宅を買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況だと住む気になれなければゼロ円とお答えください。)
- 向かいの1戸建て住宅が3階建てになりました。さて、この状況であなたが改めて住宅を買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況だと住む気になれなければゼロ円とお答えください。)

- ⇒ 被験者の視点場は、自宅前面道路(幅員4m)の中心に立って自宅と向かいの建物が両方よく見える位置。
- ⇒ 最初は、敷地面積50㎡、2階建て6戸の状況で質問。
- ⇒ 次に、そのまま3階建てに変えて質問。

Q14-1. 2. 向かいのアパート化の影響

- 次に、向かいの1戸建て住宅が、2階建てのアパートになりました。
- この状況であなたが改めて住宅を買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況だと住む気になれなければゼロ円とお答えください。)
- 向かいのアパートが3階建てになりました。さあ、この状況であなたが改めて住宅を買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況だと住む気になれなければゼロ円とお答えください。)

- ⇒ 被験者の視点場は、前問と同じ位置。
- ⇒ 最初は、間口 3.5m、2階建て×6戸(=12戸)で質問。
- ⇒ 次に、そのまま3階建て(18戸)に変えて質問。

Q15. 自宅を3階にすることによる緩和効果

- 向かいの住宅が3階建てです。ここで、自分の家を2階から3階に建替えます。「不満が和らぐ効果をはっきり感じた」ら、「効果あり」とお答えください。

- ⇒ 最初に3階建ての自宅を選んだ被験者には、この質問はしない。



図 4.36 自宅へ向かう坂道



図 4.37 自宅と下側隣地のマンション



図 4.38 下側隣地の高層化 4階



図 4.39 下側隣地の高層化 8階

【斜面地の場合】

- 場所が変わります。今度は坂道のまちです。まちの様子に慣れるため、少し歩きましょう。

⇒ 坂道を〇m程度登っていく。

- 右手に先程と同じ建物が見えてきました。ここに先程と同じあなたの家を建てます。隣り合うマンションと戸建て住宅も同じですが、違うのは、傾斜地なので隣の敷地とは段差があることです。

⇒ 下側敷地には最初から3階建てマンションが建っているので、初期状態で眺望は見えない。

プレQ4

- この家に、もう一度値段をつけてください。いくらで買うことにしますか？(被験者が悩んだら相場は先程と同じく5千万円と伝える)

Q16. 下側1棟の高層化

- 自宅の玄関前の道路に立ちます。まず、下側の隣接敷地のマンションの階数が高くなります。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

Q17.

- (被験者が黄色、赤色を掲げた階数において、)この状況で改めてこの住宅をあなたが買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況では住む気になれなければゼロ円とお答えください。)

Q18. 補償金

- (被験者が赤色・黄色を掲げた階数で)ところで、マンションの開発事業者が、あなたに補償金を支払ってもいいと言ったとします。あなたはこの住宅に住み続けるとして、補償金をいくらもらえば納得しますか。

⇒ 下側敷地とは約2mの段差。平坦地と同様の画像操作を行う。



図 4.40 上側敷地の高層化 4階



図 4.41 上側敷地の高層化 6階



図 4.42 上下両敷地の高層化 3階



図 4.43 上下両敷地の高層化 5階

Q19. 上側1棟の高層化

- 次に、上側の隣接敷地のマンションの階数が高くなります。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

Q20.

- (被験者が黄色、赤色を掲げた階数において、)この状況で改めてこの住宅をあなたが買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況では住む気になれなければゼロ円とお答えください。)

⇒ 上側敷地とは約2mの段差。平坦地と同様の画像操作を行う。

Q21. 上下両側2棟の高層化

- 次に、上下両側の隣接敷地のマンションの階数が同時に高くなります。「耐えられなくはないが、明らかに不満を感じた」ら黄色、「耐え難いと感じた」ら赤色の札をあげてください。

Q22.

- (被験者が黄色、赤色を掲げた階数において、)この状況で改めてこの住宅をあなたが買うとしたら、今度は値段をいくらとしますか？(安くてもこの状況では住む気になれなければゼロ円とお答えください。)

⇒ 平坦地と同様の画像操作を行う。

5. 被験者実験の結果

5.1 隣接共同住宅の階数による影響

1) 住宅の居住環境

低層独立住宅について、隣接建築物が建て替わることによって生じる居住性の変化を調べるため、画像により被験者(102名)に隣接敷地に建つマンションの階数が変化の様子を見てもらい、「不満が明らかに発生する階数」と「耐え難いと感じる階数」の回答を求めた。

結果は、被験者の8割以上となったレベルで見ると、「耐え難い」の回答が8割を超えたのは、高低差のない平坦な土地で、片側隣接地1棟のみ建設の場合に8階、両側隣接地2棟に挟まれた場合に6階であった(「耐えられる」ぎりぎりのレベルとするとそれぞれ7階と5階までとなる)。また、「不満発生」の回答が8割を超えたのは、片側隣接地1棟の場合に5階、両側隣接地2棟に挟まれた場合に4階であった。

斜面地のひな壇型敷地においても、ほぼ同じ結果となった。

また、回答分布は、自宅を2階建てで選択者と3階建てで選択者の間で、ほとんど違いが見られなかった。

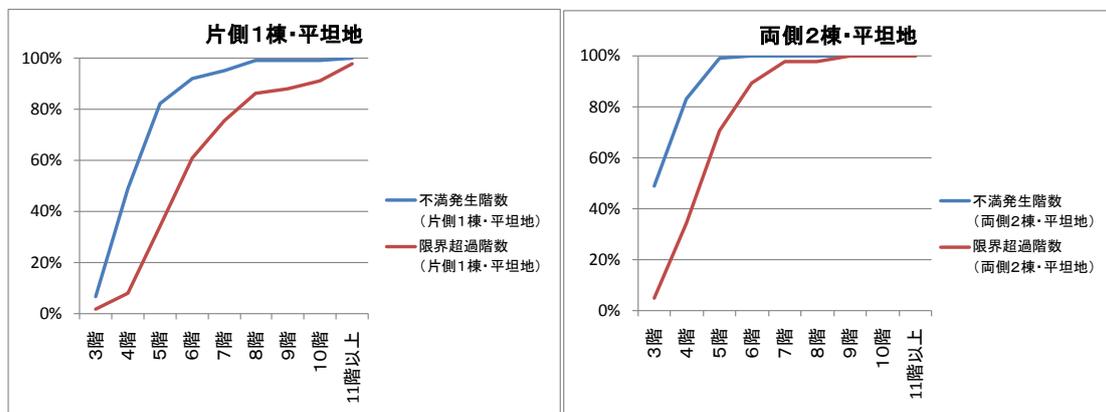


図 4.44 高低差のない平坦な土地の場合

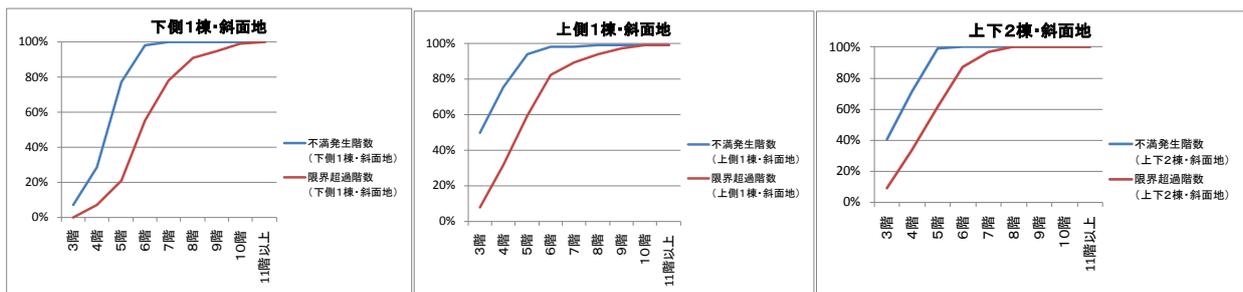


図 4.45 斜面地のひな壇状宅地の場合 (敷地間の高低差=約 2m)

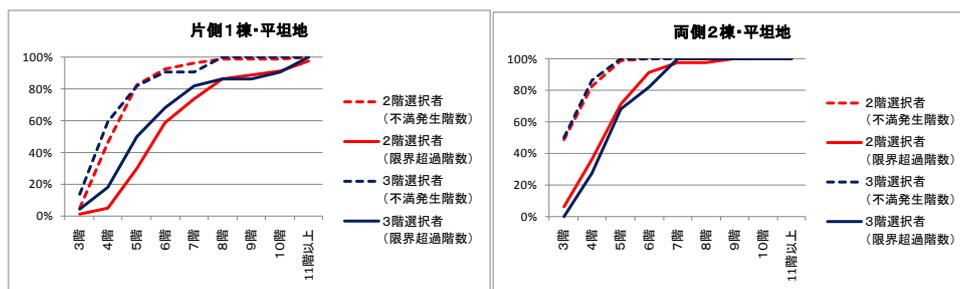


図 4.46 2階建ての自宅を選択した者と3階建てを選択した者の違い

2) 住宅の市場価値

隣接建築物の階数変化が住宅の市場価値に及ぼす影響を仮想的に調べることで、画像の初期状態で被験者が値付けした「自宅」について、隣接敷地に建つマンションの階数を変化させた後、変化後の空間環境で同じ住宅を購入するとした場合の再値付けを求め、当初の値付けとの違いを調べた。

その結果、高低差のない平坦な土地の場合、価格が1,000万円以上の減となる回答者が、片側隣接地に1棟のみ高層化の場合には8階建てでようやく4割を超えたが、両側隣接地の2棟に挟まれる場合には4階建てで既に6割を超えた。

また、無価値(もう買わない)とする回答は、平坦地の場合に両側6階建てで約4割であったが、斜面地の場合には約8割に達した。

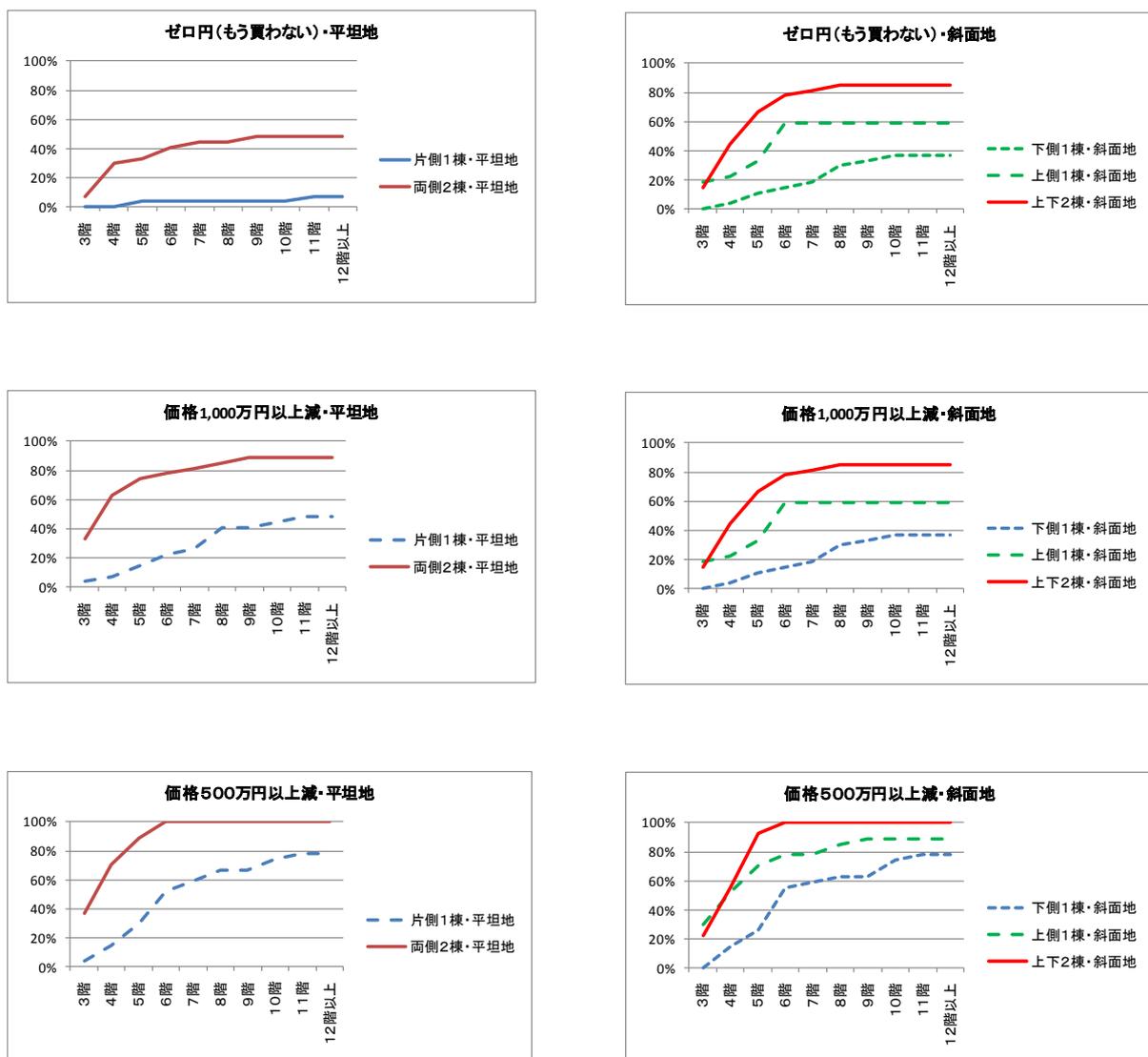


図 4.47 2階建ての自宅を選択した者と3階建てを選択した者の違い

5.2 隣接敷地の住宅との距離

1) クリティカルとなる距離

住宅の隣棟距離について、居室の居住性における視覚的な心理環境の観点から必要な離隔距離を調べるため、2階居室の主たる窓から隣接地に建つ共同住宅の居室の窓が見える画像を被験者に見てもらい、住宅間の離隔距離を変化させて「不満が明らかに発生する距離」と「耐え難いと感じる距離」の回答を求めた。

実験は、最初にVR画像を動かして、隣接住宅が遠くにある状態から近くにある状態までの一連の変化をあらかじめ見てもらった後に、質問を開始する方法をとった。しかしながら、被験者の回答を分析してみると、初期状態(画像を動かす最初の景色)によって、回答する距離に違いが出るのが判明した。そこで、同一の被験者に対して、まず、非常に近い距離(窓間隔=1m)から隣接住棟を遠ざける方法と、十分に離れた距離(窓間隔=15m)から隣接住棟を近づける方法の2つのやり方で回答してもらい、回答距離に違いがあることを指摘した上で、さらに隣接住棟を動かしながら距離を確定してもらう方法をとることにした。

その結果、窓間距離が8mで9割以上の者が「明らかな不満」を感じ、5mで9割以上の者が「耐え難い」と感じるという結果を得た。

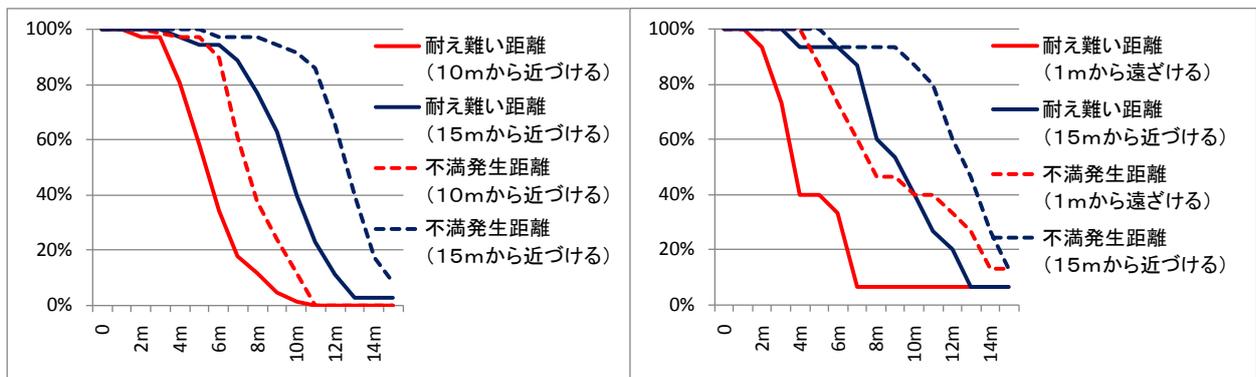


図 4.48 実験方法による回答傾向の違い

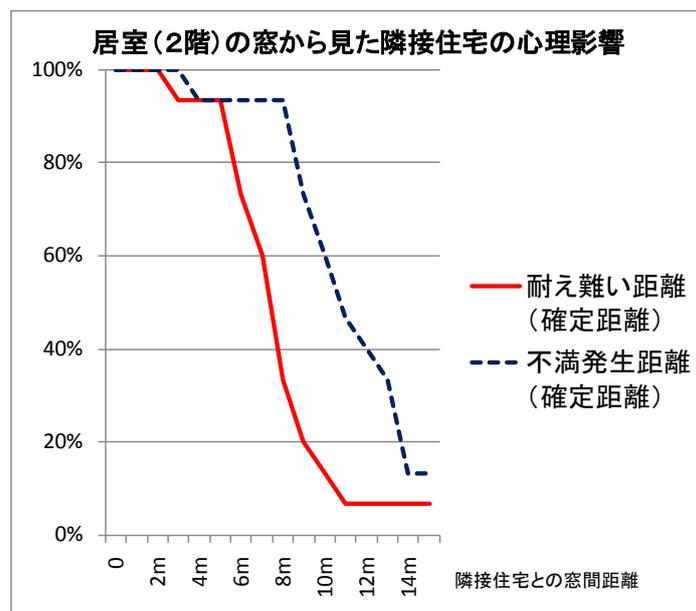


図 4.49 回答距離を3段階で確定する方法による結果

2) 植樹・雁行化による緩和効果

隣接住棟の窓との見合いによる心理影響の緩和策の有効性を確かめるため、①窓間の植樹(窓間に高木を植樹して相手側の窓の一部を覆い隠す)による方法と、②雁行化(隣接住戸の窓の向きを振り視線方向に角度をつける)による方法の効果の有無を尋ねた。

その結果、植樹により相手方住戸の主たる窓の一部を覆い隠す方法については、窓面積の2分の1程度が覆われると8割以上の者が「効果あり」と回答した。一方、雁行化については、角度を30度まで振ると6割以上の者が「効果あり」と回答したが、わずかだが逆に悪化したと回答した者もあった。

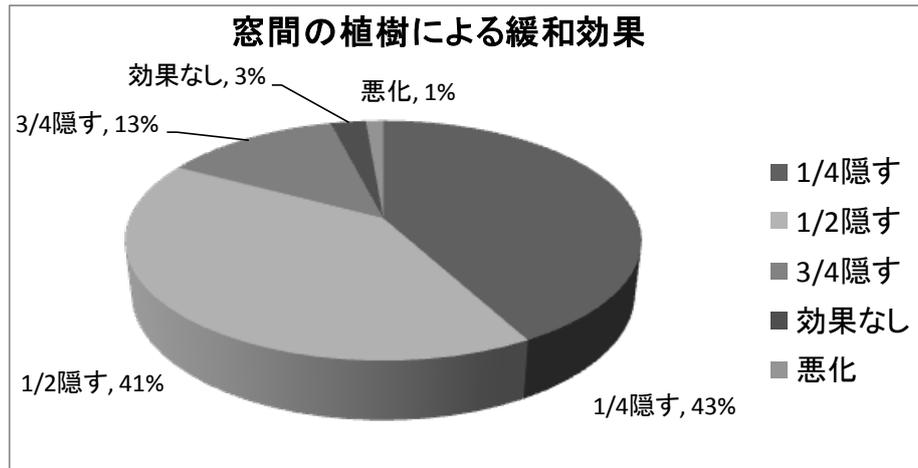


図 4.50 窓間の植樹による緩和効果

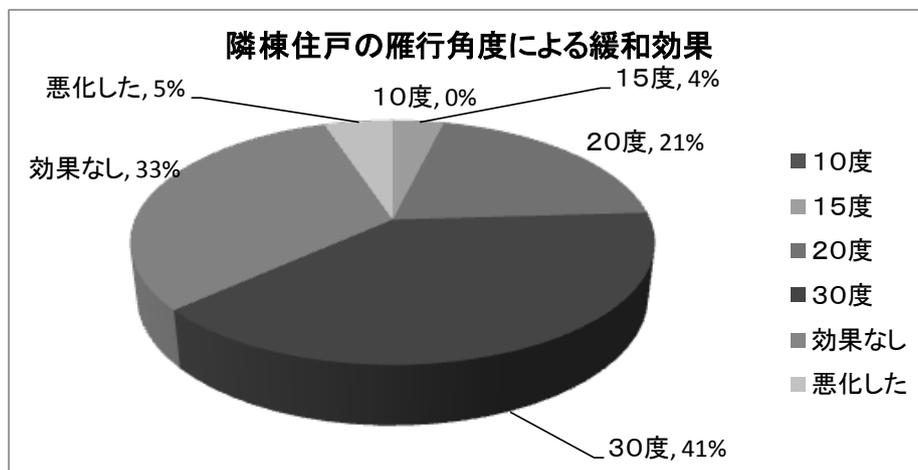


図 4.51 隣接住戸の雁行角度による緩和効果

5.3 敷地細分化とワンルームアパート化

周囲の状況が敷地細分化によるミニ戸建てやワンルームアパートに変わると、住宅価値にマイナスの影響を及ぼすという指摘がある。このことを心理実験で確かめるため、VRの住宅地において被験者が自宅とする低層独立住宅の向かいの敷地における建築状態を変化させ、回答を求めた(被験者数75名)。

実験方法は、①敷地細分化については、敷地面積を150㎡×2戸→100㎡×3戸→60㎡×5戸→50㎡×6戸の順で変化させ、それぞれ同様のデザインの2階建ての戸建てとした後、60㎡と50㎡について3階化、②ワンルームアパートについては、道路に住棟正面を向けた配置で、間口4.5mの5戸連×2階、間口4.0mの6戸連×2階、続いて5戸連×3階、6戸連×3階の順で向かいの建築状況を変化させ、「不満が明らかに発生」するかと「耐え難いと感じる」かの回答を求めた。また、住宅の市場価値に及ぼす影響を仮想的に調べるため、初期状態で被験者が値付けした「自宅」について、変化後の空間環境で同じ住宅を購入するとした場合の再値付けを求め、当初の値付けとの違いを調べた。

結果をみると、「不満の発生」については、2階建てでは敷地50㎡のミニ戸建て及び間口4.0mのアパートの場合に8割超の被験者が不満と回答し、3階建てではいずれも不満がほぼ9割に達したが、「耐え難い」の回答は3階建てかつ最も規模の小さいケースのみ約7割となった。なお、向かいの3階化に対し、自宅を2階建てから3階建てに変えると「改善された」と回答した者の割合は、3分の2であった。

値下がり感では、「再値付けで価格を下げた」者が3階ミニ戸建てと3階アパートのいずれも約9割に達し、2階アパートで約7割、2階ミニ戸建てで過半となったことから、住宅価値低減の影響があることが示された。ただし、「ゼロ円」(住むに値しない)とした者は1~2割程度に止まった。

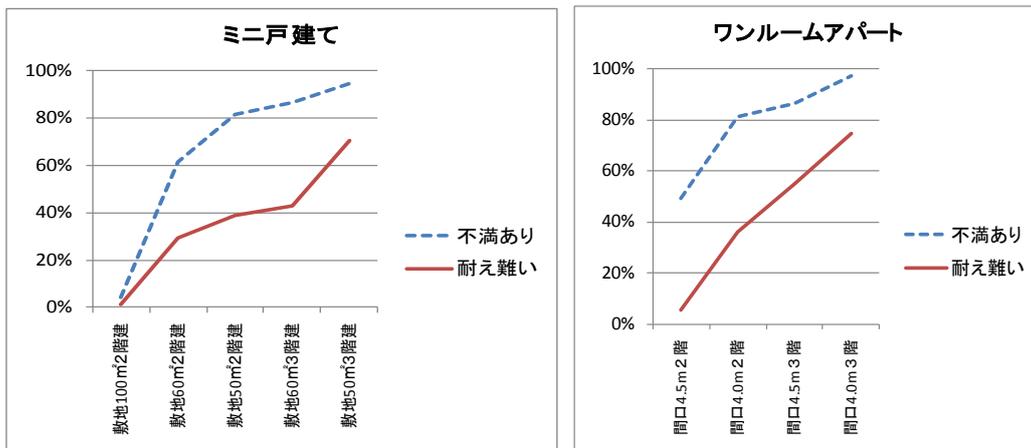


図 4.52 自宅周囲の状況変化に関する心理影響

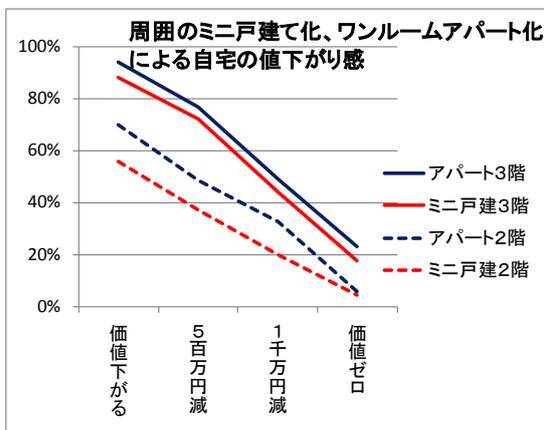


図 4.53 周囲の状況変化による自宅の値下がり感

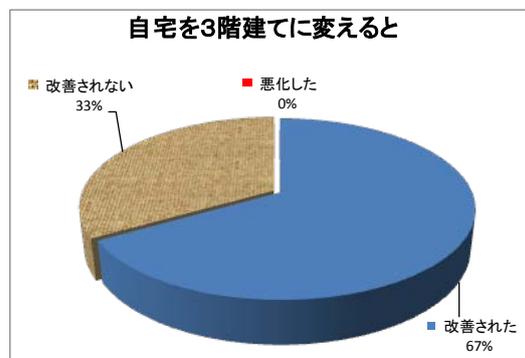


図 4.54 自宅を3階建てに変えた場合の心理影響