

H23補正建設技術研究開発助成制度研究進捗報告会

周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラ
の液状化対策として薄壁改良が可能な自由
形状・大口徑高圧噴射攪拌工法による効果的
な改良形状および簡易設計手法の開発

平成24年10月26日

前田建設工業株式会社

研究内容

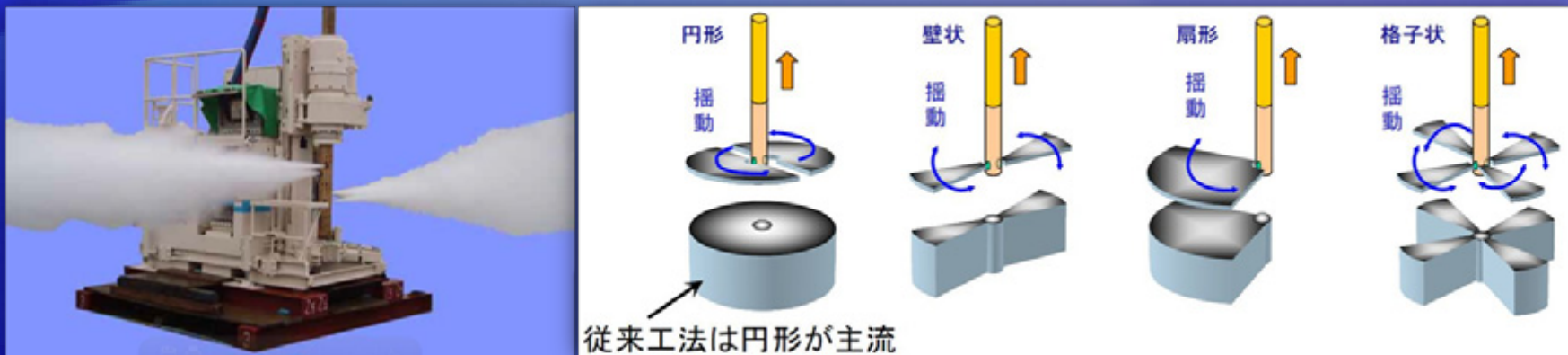
- 概要:
マルチジェット工法を用いて、液状化対策効果が高い合理的な改良形状と簡易設計手法を開発し、その施工性の検証を行う。
- 技術開発目標:
従来の改良率を低減できる合理的な改良形状により大幅なコストダウンを図り、さらに諸条件に応じた改良体の設計が速やかにできる簡易設計手法により、普及のスピードを早める。

【研究代表者】前田建設工業(株) 清水英樹

【助成金額】16,380千円

マルチジェット工法とは

① 高圧噴射攪拌工法の一様



② 自由形状(高精度の揺動改良)

③ 大口径改良(最大半径4.0m)



壁状改良



扇状改良

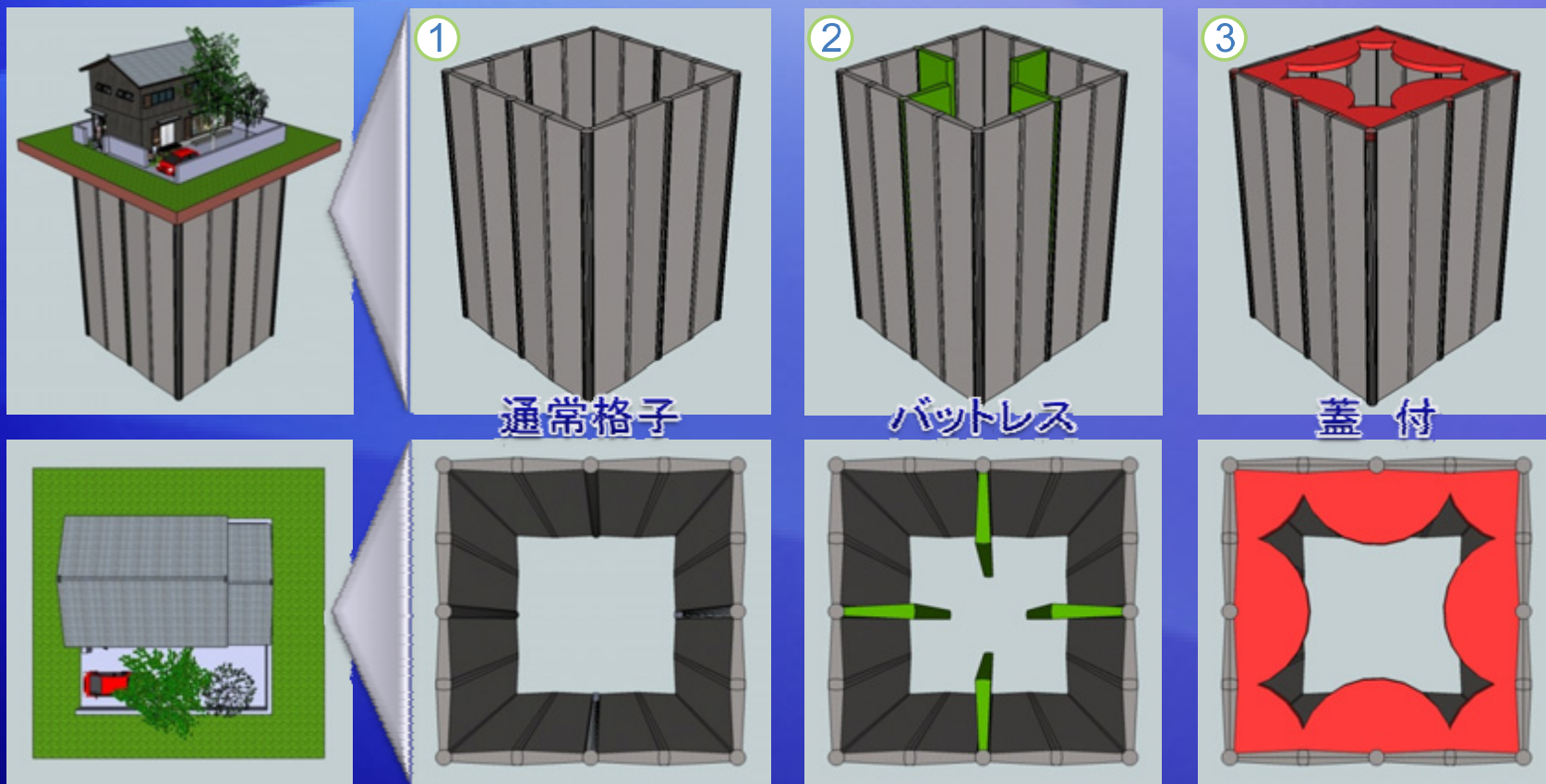


格子状改良

『周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液状化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発』

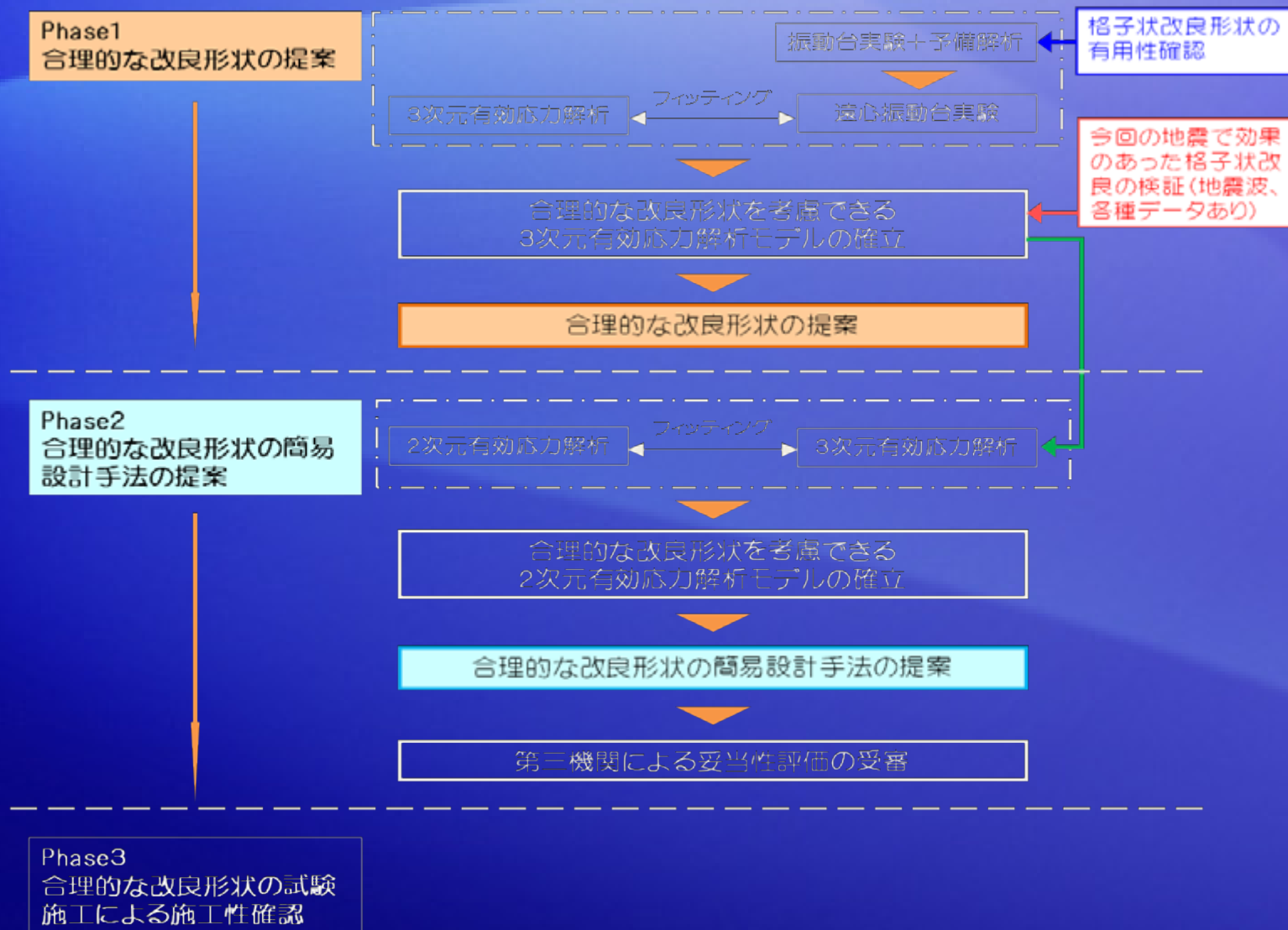
平成23年度補正 建設技術研究開発助成制度 研究進捗報告会

想定した改良形状(比較検討ケース)



マルチジェット工法の特徴を活かし、「改良率(コスト)の低減」と「改良効果(品質)の確保」をバランスさせる形状を特定する.

研究開発フロー



『周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液状化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発』

実施項目とスケジュール

項目	目的	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
予備	3次元動的有効応力解析	■								
Phase 1	振動台実験			■						
	3次元動的有効応力解析 (遠心载荷実験ケース検討)		■							
	遠心载荷実験(その1)				■					
	3次元動的有効応力解析 (遠心载荷実験検証)					■				
	3次元動的有効応力解析 (パラメトリックスタディ)					■				
Phase 2	2次元動的有効応力解析 (簡易設計図表の確立)							■		
Phase 3	浦安市実証実験					■				
	成果取りまとめ (設計マニュアル作成)								■	
委員会			■			■		■		■

『周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液状化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発』

Phase 1

振動台実験

遠心載荷実験

3次元有効応力解析

振動台実験の概要

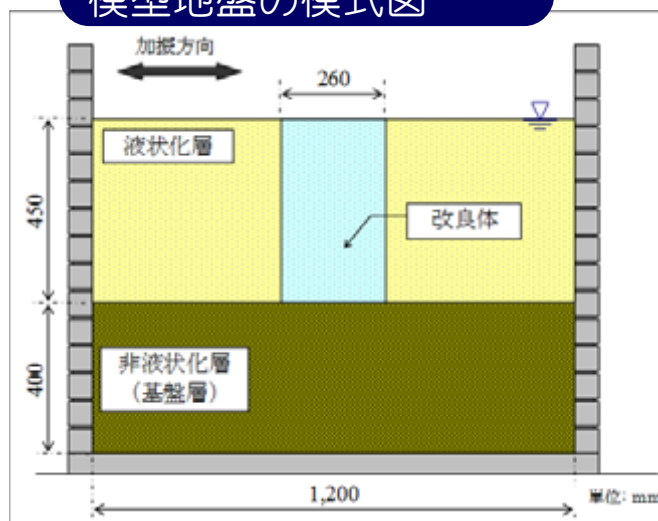
■ 模型地盤の概要

- ◆ 実験では、幅1.2m、高さ1.0m、奥行き0.8mのせん断土槽を使用
- ◆ 模型地盤は、**豊浦標準砂**で作製
(液状化層:**相対密度50%**, 非液状化層:**相対密度90%**)
- ◆ 地盤中央に改良体模型を設置
- ◆ 模型地盤は**1/50スケール**を想定, 地下水位は地表面

使用したせん断土槽



模型地盤の模式図



振動台実験の概要

■ 改良体形状と実験ケース

Case-01	Case-02	Case-03	Case-04	Case-05
未改良	バットレス格子(着底型) 	蓋付きバットレス格子(着底型) 	通常格子(着底型) 	蓋付き通常格子(着底型)
	Case-06	Case-07	Case-08	Case-09
	バットレス格子(浮き型) 	蓋付きバットレス格子(浮き型) 	通常格子(浮き型) 	蓋付き通常格子(浮き型)

- ◆ 4種類の改良体形状に対して、「着底型」と「浮き型」を考慮
- ◆ 未改良ケース(Case-01)を含め、合計9ケースの実験を実施

代表的な改良体模型



バットレス格子(着底型)



通常格子(着底型)



蓋付き通常格子(着底型)

振動台実験の概要

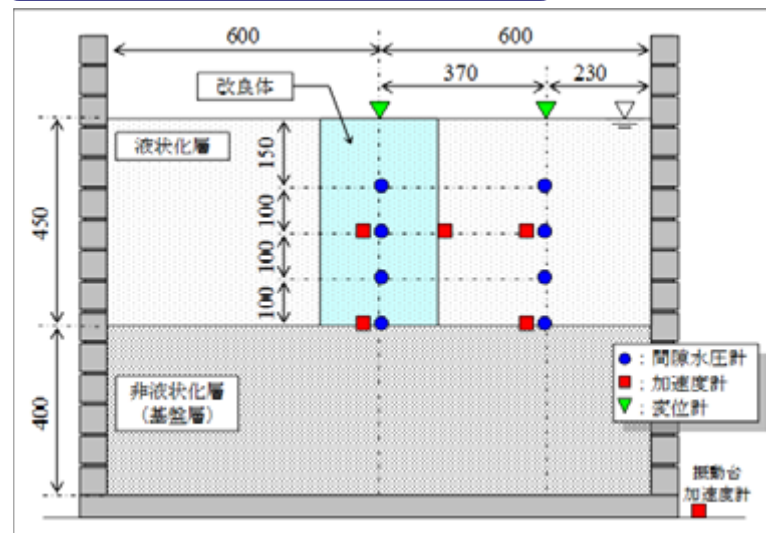
計測項目と位置

- ◆ 間隙水圧計: 地盤中央 (改良体内部) と地盤右側 (改良体外部) の2測線に4深度, 計8箇所設置
- ◆ 加速度計: 2測線に2深度, 計4箇所設置. また, 改良体を考慮したケースでは, 改良体模型にも加速度計を設置

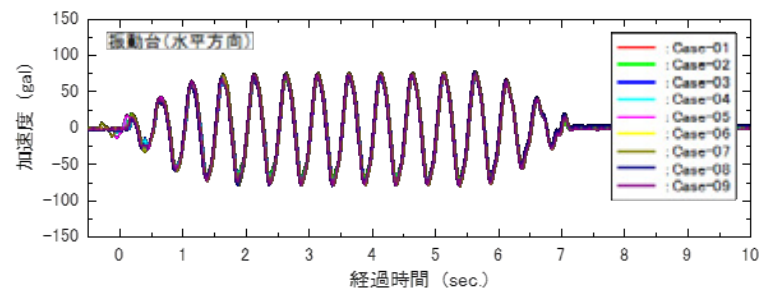
入力地震波

- ◆ 周期2Hz, 加速度80galの正弦波
- ◆ 加振時間は振動台の始動・停止を含め10秒 (有効加振時間7秒程度, およそ14波)

計器設置位置の模式図



振動台の加速度応答結果



振動台実験のまとめ

- 地盤内に設置した間隙水圧計および加速度計の測定結果より、非液状化層まで改良を実施し根入れする「着底型」の改良形状が、液状化の抑制に効果があることがわかった。
- また、格子状改良体の上端に扇状改良による「蓋」を取り付けることで、地表面付近の液状化抑制に効果があることもわかった。
- 振動台実験では、バットレス格子形状の改良効果は確認できていないが、1G場における1/50スケールの模型実験であるため、実際の格子状改良の間隔や地盤内の土圧を考慮した場合には、バットレス格子形状の効果が見られることも考えられる。

遠心載荷実験の概要

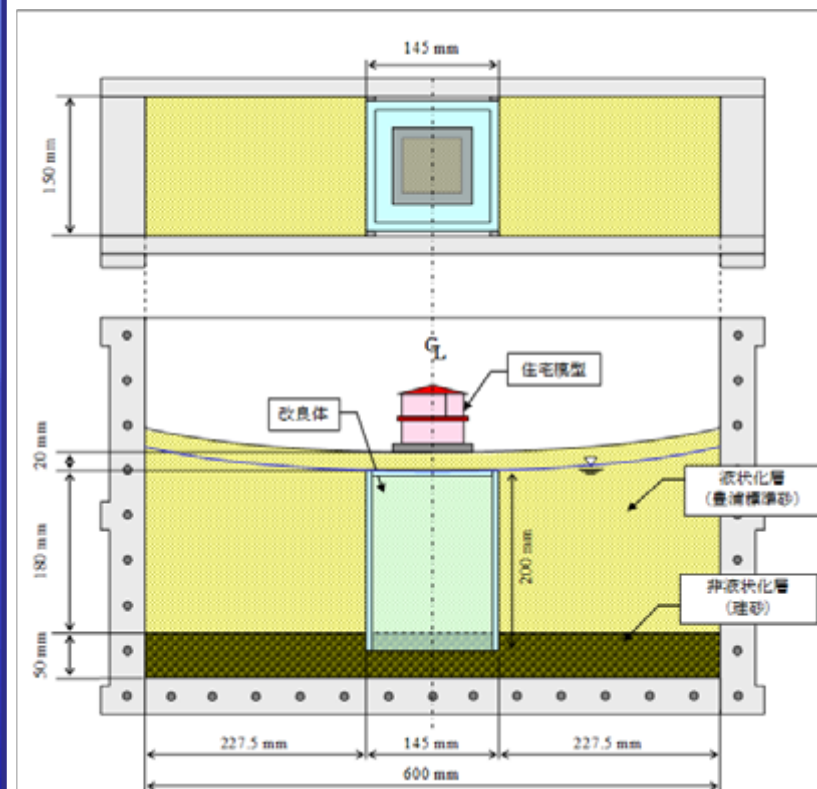
■ 模型地盤の概要

- ◆ 幅60cm, 奥行15cmの剛性容器
- ◆ 液状化層(豊浦標準砂): $Dr=40\%$
- ◆ 非液状化層(珪砂): $Dr=95\%$
- ◆ 遠心加速度80G
- ◆ セルロース系の粘性流体を使用
- ◆ 表層に2cmの不飽和層(地下水位G.L.-2cm)

■ ビーム型遠心載荷装置



模型地盤の模式図



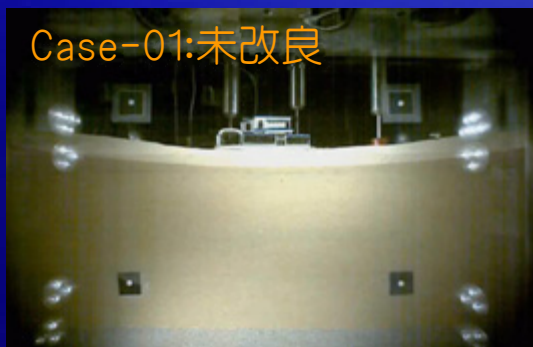
遠心載荷実験の概要

■ 遠心模型実験の実施ケース

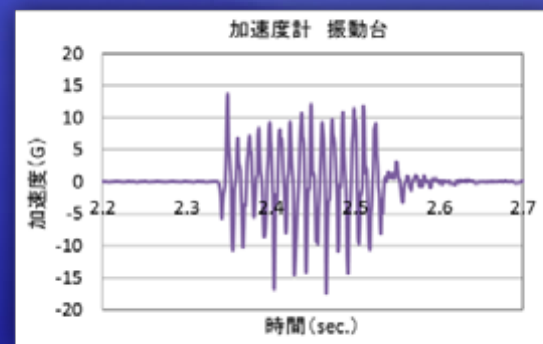
- ◆ 未改良ケース, 改良体3ケース(通常格子改良, バットレス改良, 蓋付き通常格子改良)の計5ケース
- ◆ 内陸直下型地震(東京湾北部地震, L2)相当の規則波(正弦波, 1Hz, 200gal)
- ◆ 地盤内の間隙水圧, 加速度, 地表面(住宅基礎)の沈下を計測

ケースNo.	改良体形状	
Case-01	未改良	—
Case-02	通常格子 着底型	
Case-03	バットレス格子 着底型	
Case-04	蓋付き通常格子 着底型	
Case-05	蓋付き通常格子 一部着底型	

模型地盤の例



振動台加速度の応答例

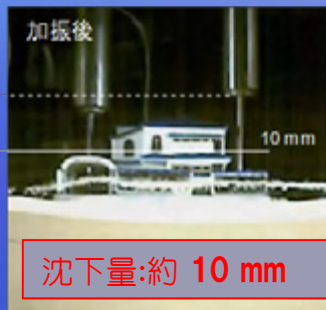
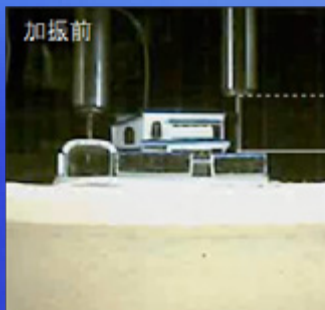


『周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液状化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発』

遠心載荷実験のまとめ

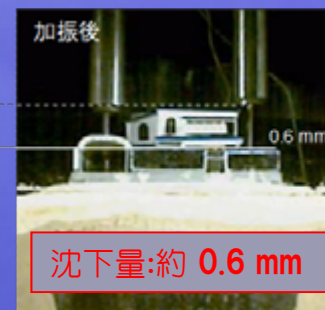
■ 実験結果～住宅基礎の沈下量比較

Case-01
未改良



沈下量:約 10 mm

Case-04
蓋付き格子改良
(着底型)



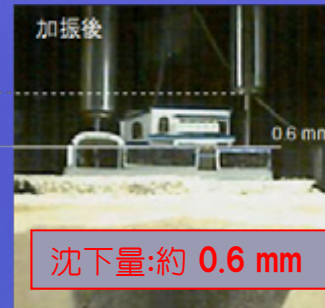
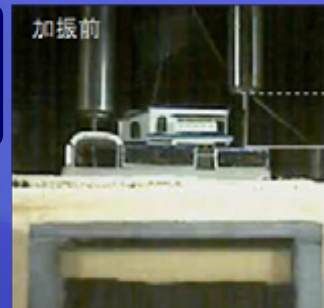
沈下量:約 0.6 mm

Case-02
通常格子改良
(着底型)



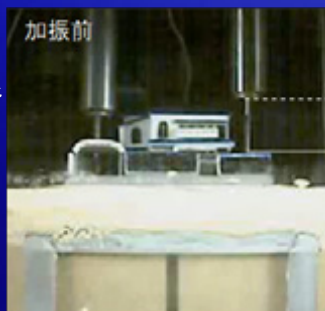
沈下量:約 6 mm

Case-05
蓋付き格子改良
(一部着底型)



沈下量:約 0.6 mm

Case-03
バットレス格子改良
(着底型)



沈下量:約 5 mm

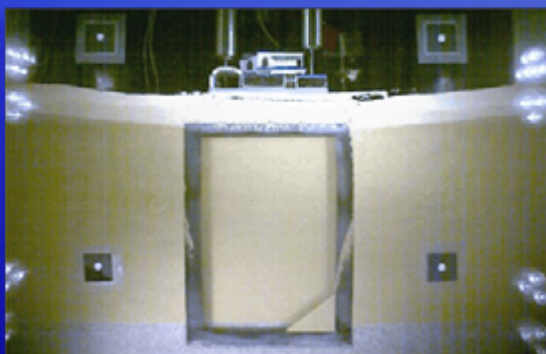
遠心載荷実験のまとめ

- 格子状改良体の上端に扇状改良による「蓋」を取り付ける「蓋付格子改良」が、地表面沈下量を最小化する効果を発揮することが確認された。
- 官費負担となる道路部を「着底型」、民費負担となる宅地部を「浮き型」とする「一部着底型改良」は、過剰間隙水圧挙動・加速度応答挙動ともに液状化の発生を抑制する効果ならびに、地表面沈下量を抑制する効果も保持できることが確認された。

3次元有効応力解析の概要

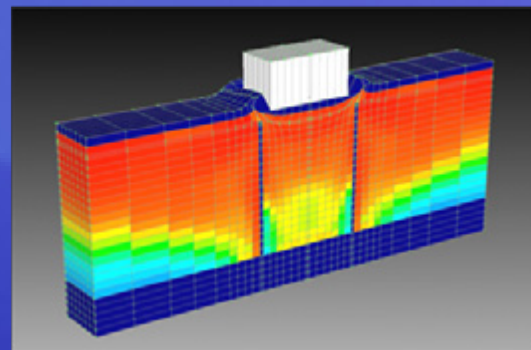
■ 解析概要

- ◆ **3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)** を用いて格子状改良の耐震性能評価を行うにあたり、遠心載荷実験の再現解析を行うことで、地盤物性値や境界条件等のモデル化手法を確立する。
- ◆ また、液状化対策効果の確認のため、宅地の沈下や傾斜といった指標の評価方法について検討を行う。



遠心振動台実験

解析により
再現



3次元動的有効応力解析 (FLIP3D)

浦安現地モデルで効果検証


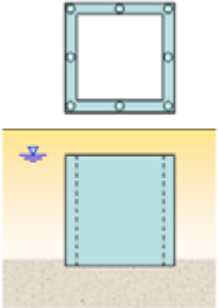
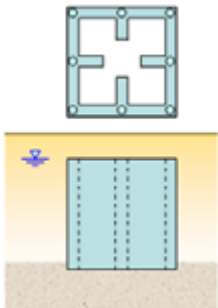
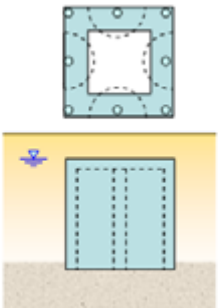
3次元モデル化手法の確立
対策効果 (沈下・傾斜) 評価手法の確立

3次元有効応力解析の概要

■ 検討ケース

- ◆ まず、**無対策ケース**の再現解析を行い、**地盤パラメータのフィッティング**を行った後、**単純格子・バットレス・蓋付き格子**の解析を実施し、各改良形状に対する実験結果を再現可能なモデル化方法を検討する。

検討ケースの一覧表

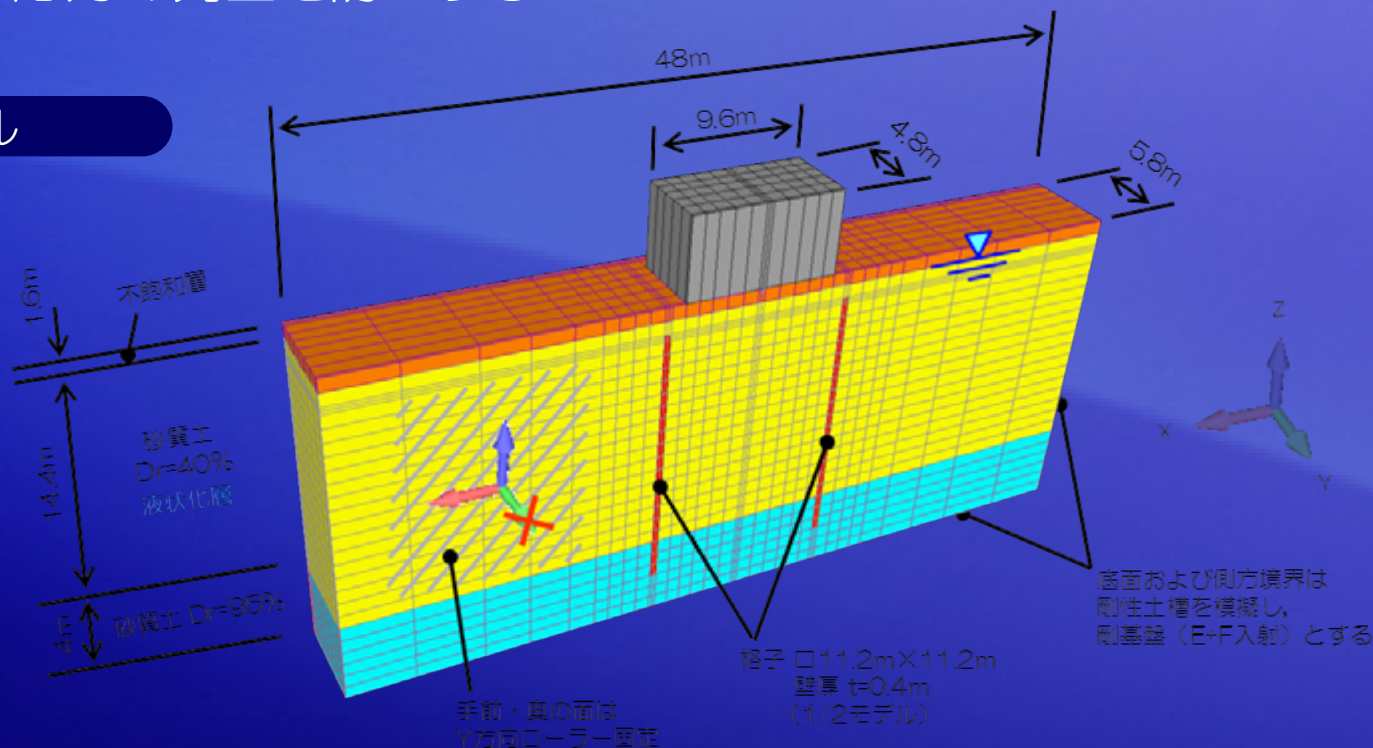
CASE1 無対策		CASE2 単純格子	
CASE3 バットレス		CASE4 蓋付き格子	

3次元有効応力解析の概要

■ 解析条件

- ◆ 解析モデルは、解析時間短縮のため1/2格子モデルとし、手前・奥(Y方向)の面をローラー固定とする(下図)。
- ◆ 初期応力解析では、地盤～格子間は2重節点により鉛直スライドさせ、局所的な応力の発生を防止する。

解析モデル



3次元有効応力解析の概要

■ 解析用物性値

- ◆ 各ケースの検討に先立ち、**無対策ケース(CASE1)**について、遠心載荷実験結果を再現可能な地盤物性値のフィッティングを実施

地盤物性値

土層	密度	規準せん断弾性係数	ポアソン比	粘着力	内部摩擦角	細粒分含有率	履歴減衰の上限値	液状化パラメータ					
	ρ (t/m ³)	G _{ma} (kPa)	ν (-)	c (kN/m ²)	ϕ (度)	F _c (%)	h _{max} (-)	ϕ_p	S1	W1	P1	P2	C1
不飽和層	1.91	52290	0.33	0	38.3	10	0.24	-	-	-	-	-	-
液状化層	1.91	52290	0.33	0	38.3	10	0.24	28.0	0.005	6.057	0.5	1.025	1.6
基盤層	1.91	126220	0.33	0	41.2	10	0.24	-	-	-	-	-	-

改良体および住宅物性値

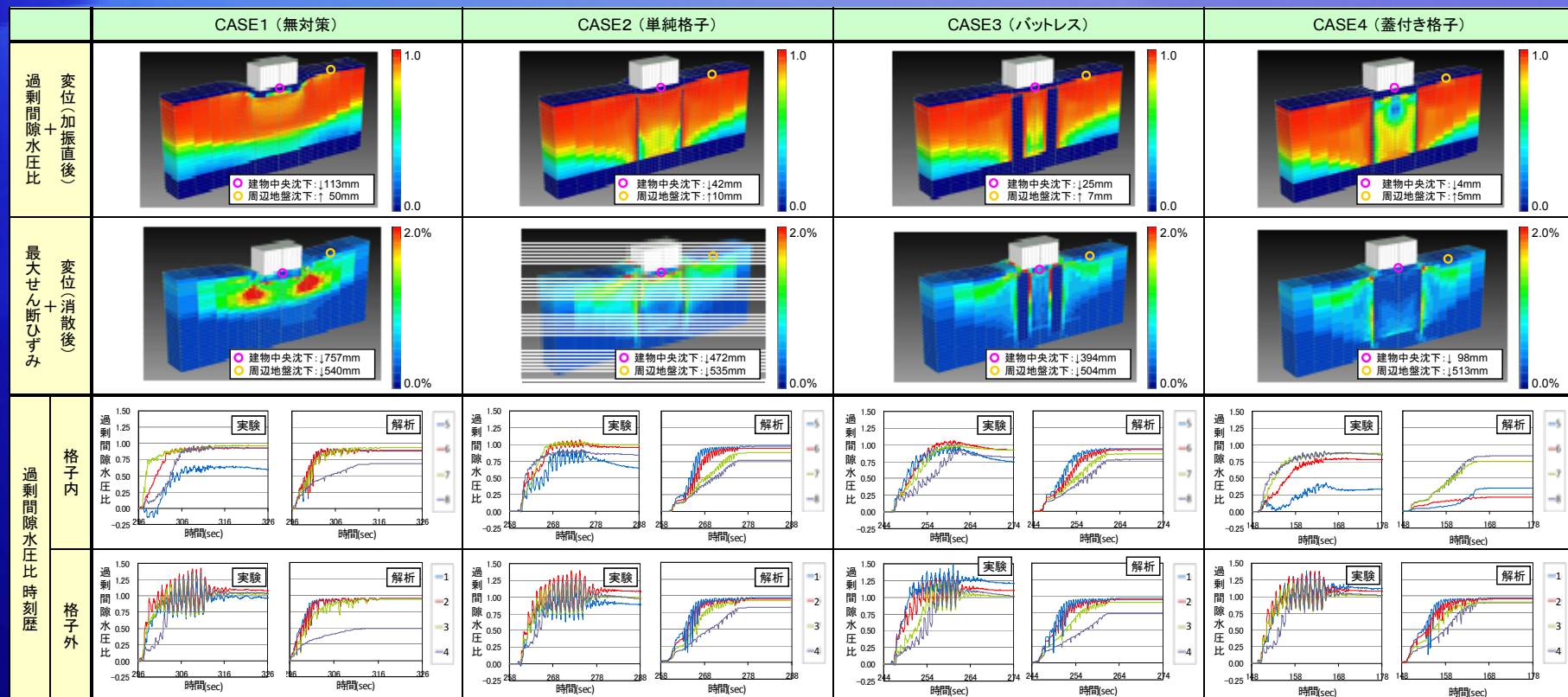
材料	密度	変形係数	ポアソン比
	ρ (t/m ³)	E (kN/m ²)	ν (-)
改良体	1.84	3000000	0.38

入力地震動

- ◆ **入力地震動**は、遠心載荷実験において、振動台に設置した加速度計で計測された各ケースごとの波形(概ね**150Gal, 1Hz**のSin波×15波)を使用する。

3次元有効応力解析の結果

3次元FLIPによる遠心载荷実験の再現解析結果



遠心载荷実験の結果を3次元FLIPにてトレース解析することを試みた結果、過剰間隙水圧挙動および地表面沈下量ともに再現可能であることが確認された。

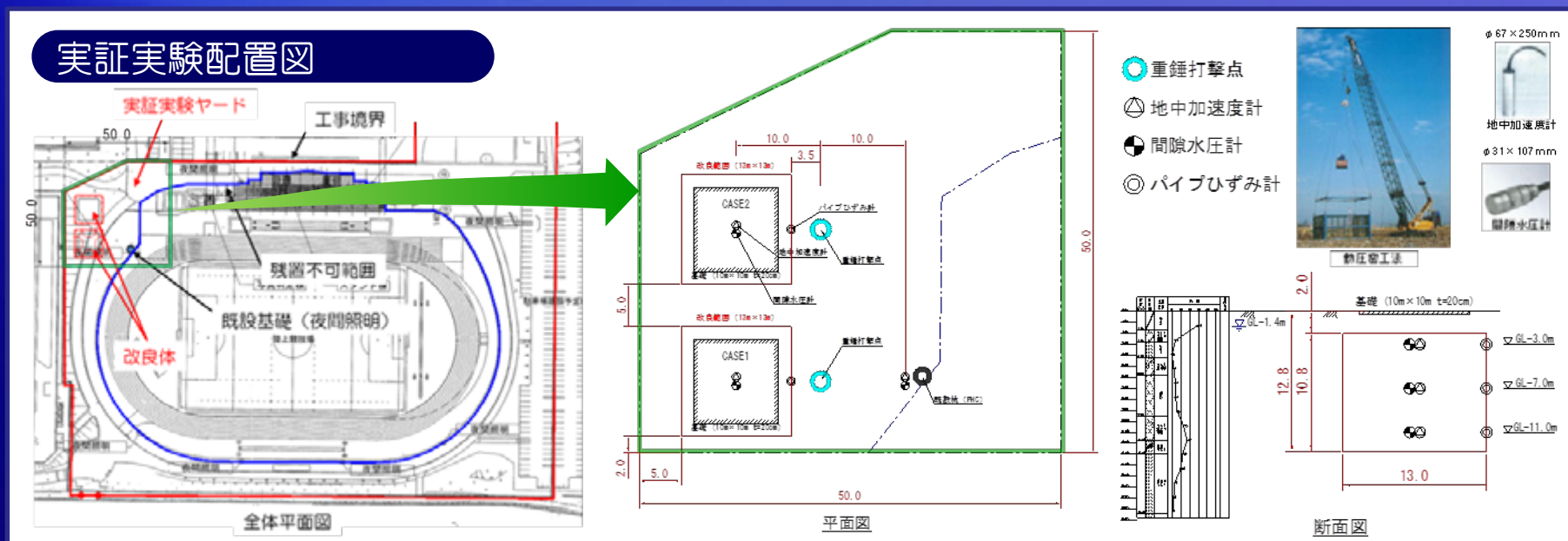
Phase3

浦安実証実験

浦安実証実験の概要

■ 実施の目的

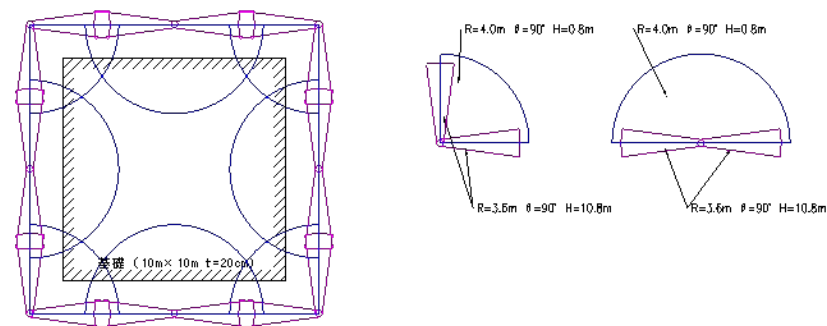
- ◆ **マルチジェット工法**による既設宅地の液状化対策として、効果的な薄壁改良形状を特定するための実証実験を行なう。
- ◆ 実証実験では、施工性・品質・周辺への影響・改良効果を確認し、設計・解析にフィードバックすることで、浦安の既設宅地を対象とした効果的な液状化対策の確立を目指す。



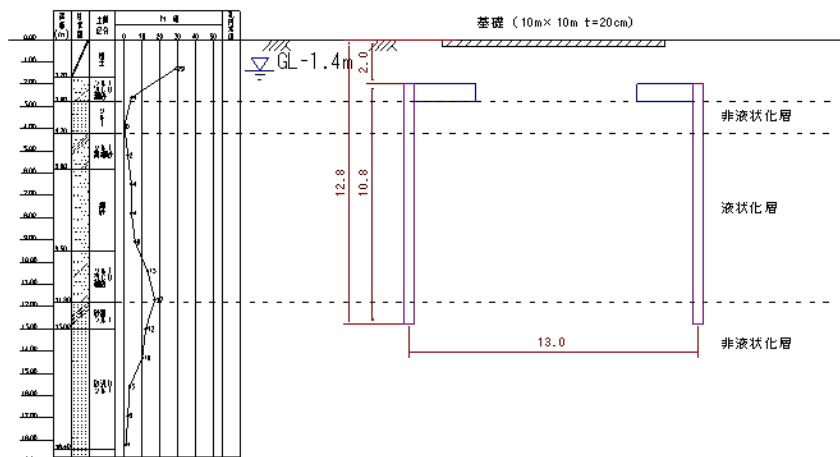
『周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液状化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口徑高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発』

浦安実証実験の概要

改良配置図 — CASE1

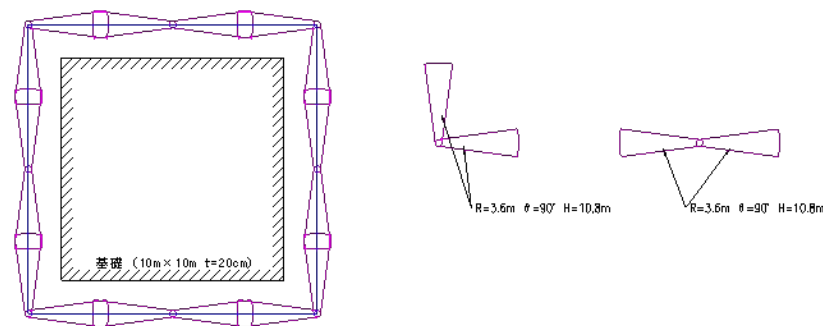


平面図

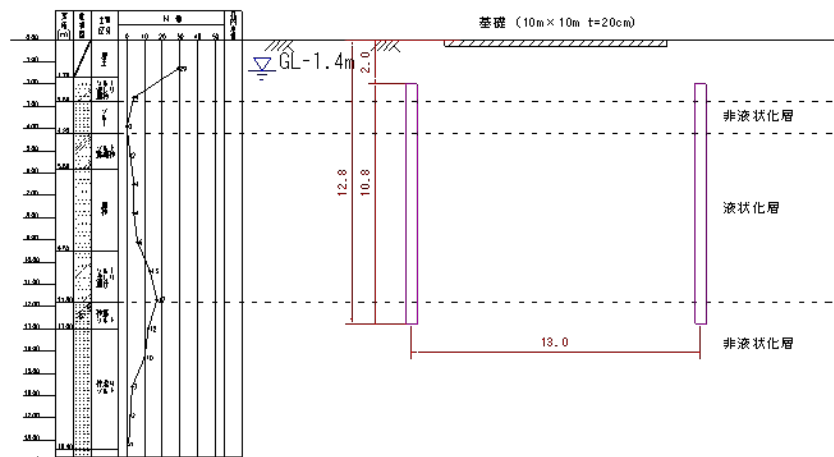


断面図

改良配置図 — CASE2



平面図



断面図

『周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液化化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発』

平成23年度補正 建設技術研究開発助成制度 研究進捗報告会

既設宅地向け超小型マシンの概要

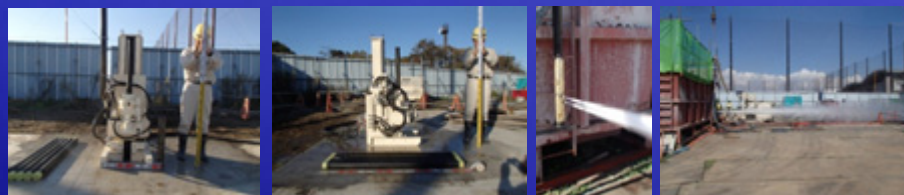
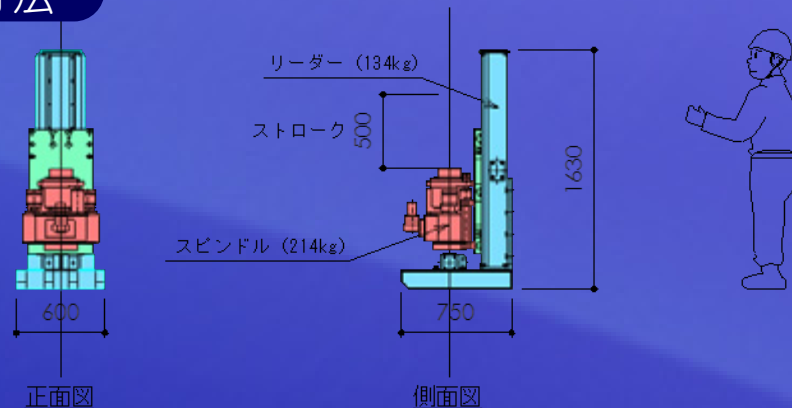
■ 開発コンセプト

- ◆ 従来の施工マシンで宅地に適用した場合、外構の大半を撤去して施工する必要があり、撤去・復旧費用の増大により対策コストが増大する。
- ◆ そこで、既設宅地向け液状化対策の低コスト化を実現するため、既設宅地向け超小型マシンを開発した。

特徴

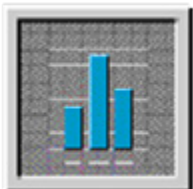
- ① マルチジェット工法標準機と同等の改良性能を確保(自由形状+大口径改良[最大φ8.0m])
- ② 幅60cm,長さ75cm,高さ163cmまで小型化
- ③ 施工機は人力移動が可能(機械を分解して人力持ち運びが可能)
- ④ 施工時に相番のクレーンが不要
- ⑤ 宅地専用の排泥システムにより,周辺を排泥で汚さず施工が可能

機械寸法

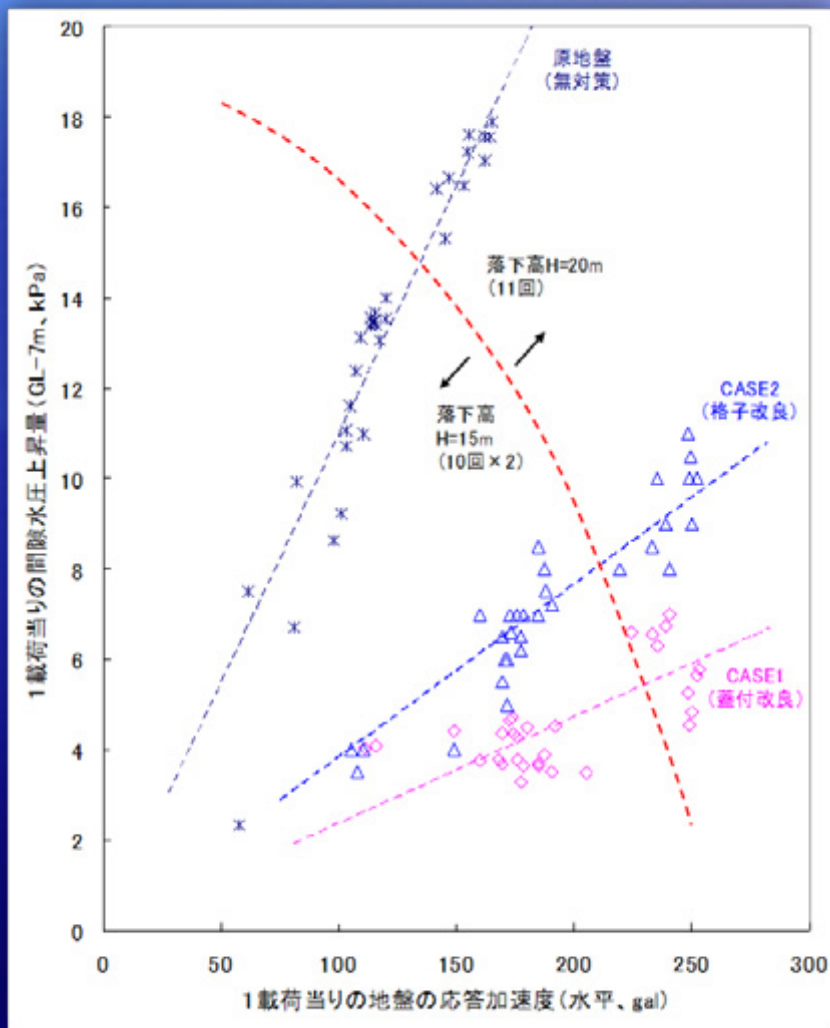


『周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液状化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発』

改良効果の確認



動的載荷試験(チェック加振)の結果



- 改良体内の地盤は全体の剛性が上がるため、改良効果が高いほど応答加速度が大きくなる
- 地盤の加速度と間隙水圧上昇の直線比例関係で相関性が高い
- 間隙水圧上昇の抑制効果として、CASE1(蓋付改良)が最も高い

中間報告まとめ

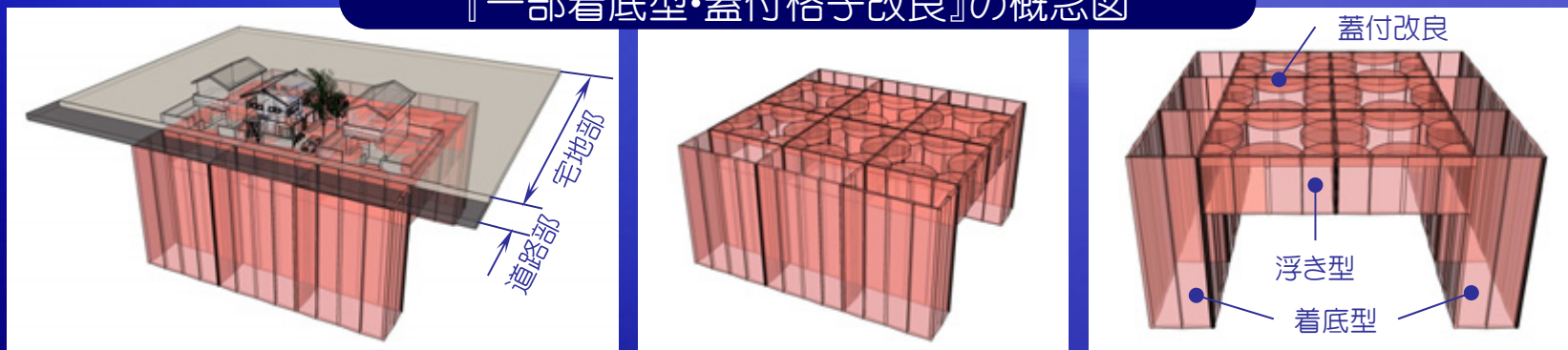
これまでの成果と今後の課題

中間報告のまとめ

■ 得られた成果

- ◆ マルチジェット工法の特徴である自由形状の改良体構築技術を活かした「一部着底型・蓋付格子改良」は、「改良率(コスト)の低減」と「改良効果(品質)の確保」をバランスさせる既設宅地の液状化対策として、有望な改良形状である。
- ◆ 室内実験・原位置実証試験・数値解析といった一連の検証結果を関連付けることにより、考察の確からしさを高めるとともに、今後の解析によるパラメトリックなアプローチを可能とした。

『一部着底型・蓋付格子改良』の概念図



道路部(官費):着底型
宅地部(民費):浮き型

改良率を低減させた浮き型改良を補完
するために蓋付改良を併用する

中間報告のまとめ

■ 今後の課題

- ◆ 3次元から2次元動的有効応力解析への落とし込み, および簡易設計図表の確立を行う『Phase2』の遂行
- ◆ 『一部着底型・蓋付格子改良』のコスト検証ならびに実現性の向上に向けた残課題の抽出と克服