４．２．３　有効応力解析(LIQCA)による対策効果の検討

（１）検討概要

格子状改良地盤の格子間隔の設計は、等価線形解析結果から得られる液状化安全率 FL≧1.0 を満足できる格子間隔としている。ここでは、等価線形解析の妥当性を、解析コード LIQCA を用いた有効応力解析によって検討した。また、等価線形解析では L1 相当地震動のみを対象としたが、有効応力解析では L2 地震動に対する検討も行った。

（２）検討ケースと解析モデル

有効応力解析を実施したケースの一覧を表 4.2.3-1 に示す。1 宅地を 1 格子で改良する格子間隔 13m と、4 宅地を 1 格子で改良する格子間隔 26m の 2 パターンを格子状改良の検討ケースとし、比較のために未改良地盤についても検討を行った。

図 4.2.3-1 に示すのは、格子間隔 13m の解析モデルと有効応力解析で使用した液状化強度の設定である。格子状改良地盤のモデル化は、疑似 3 次元解析で行った。疑似 3 次元解析では、地震波の加振方向と平行方向の改良体をモデル化した 2 次元断面と、地震波の加振方向と直交する改良体と未改良地盤をモデル化した 2 次元断面を境界条件によって一体化している。具体的な境界条件は、地震波の加振方向と平行方向の改良体と直交方向の改良体の間に等変位境界を用いている。

地震波の加振方向と直交する改良体と未改良地盤をモデル化した 2 次元断面の側面境界には等変位境界を用い、格子が連続している状態をモデル化した。

図 4.2.3-2 に示しているのは、格子間隔 26m の解析モデルである。格子間隔 13m の解析モデルと同様の方法で疑似 3 次元解析を行った。

解析に用いた入力地震波を図 4.2.3-3、図 4.2.3-4 に、表 4.2.3-2 と表 4.2.3-3 には解析パラメータを示す。

表 4.2.3-1　検討ケース一覧

入力地震動	最大加速度	解析実施ケース 格子間隔
東北地方太平洋沖地震 (夢の島観測波EW成分, M=9.0)	108.7gal	未改良
		13m
		26m
東京湾北部地震NS成分	425.7gal	未改良
		13m
		26m

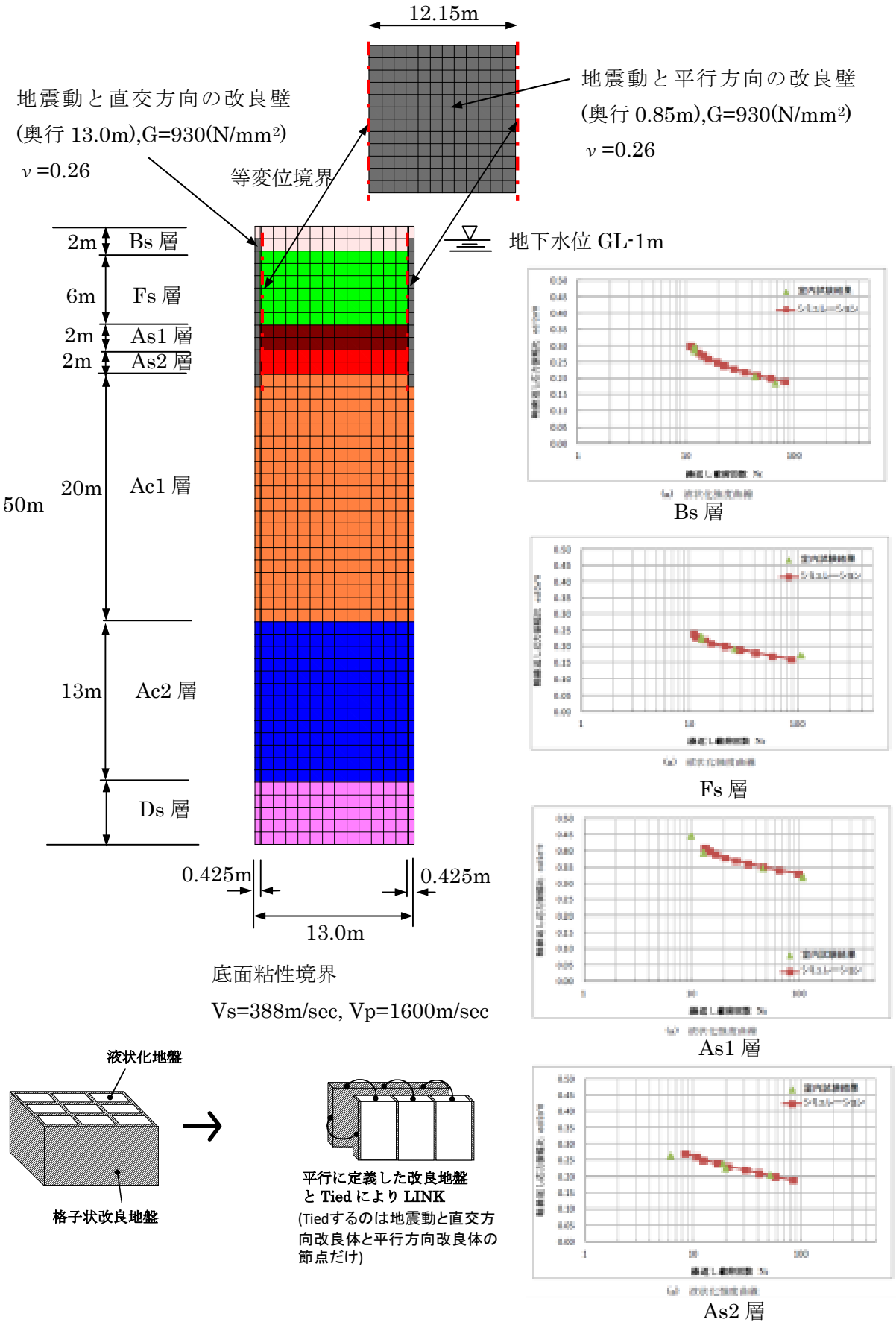


図 4. 2. 3-1　格子間隔 13m の疑似 3 次元解析モデルと液状化強度の設定

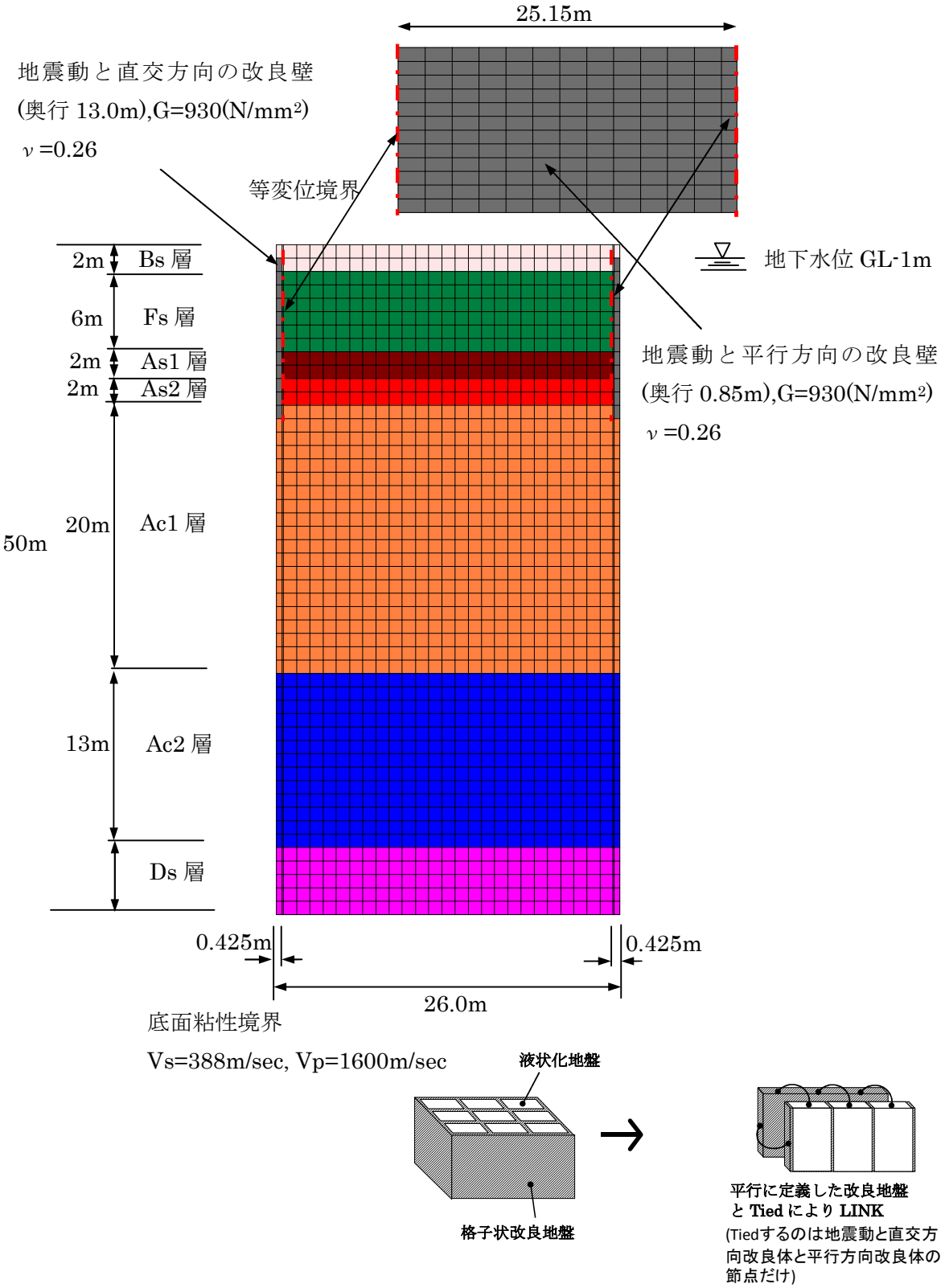


図 4.2.3-2　格子間隔 26m の疑似 3 次元解析モデル

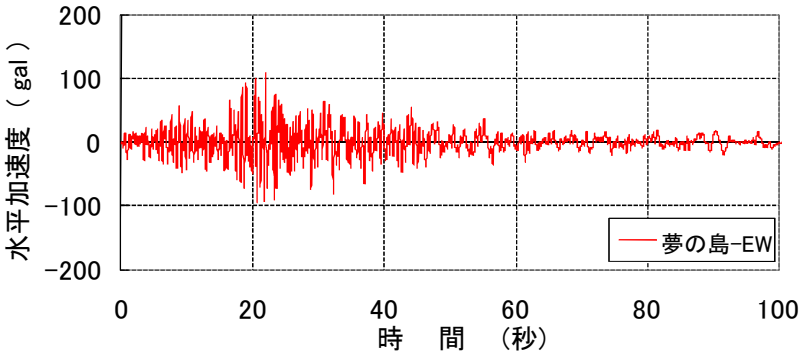


図 4.2.3-2　東北地方太平洋沖地震(夢の島観測波 EW 成分)

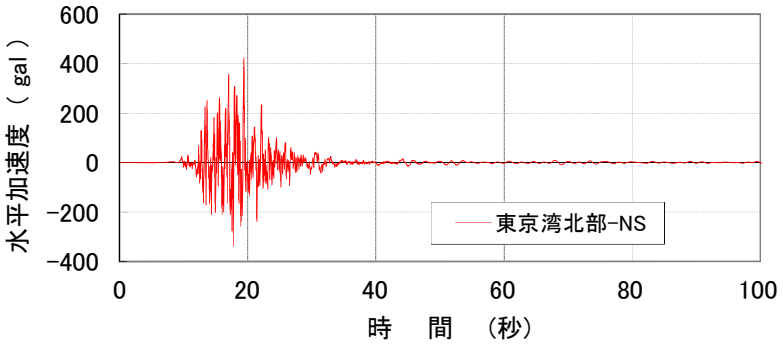


図 4.2.3-3　東京湾北部地震 NS 成分

表 4.2.3-2　土質定数

土質名	N値	層厚 (m)	細粒分含有率 (%)	密度 (t/m3)	せん断波速度(m/s)	初期せん断剛性(kPa)	ポアソン比	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kPa)	間隙比	最大間隙比	最小間隙比	20%粒径 (mm)	透水係数 (cm/s)	構成式
			F_c	ρ	Vs	G_0	ν	ϕ'	c	e_0	e_{max}	e_{min}	D20	k	
Bs(乾燥)	6	1	18	1.80	145	38,038	0.3333	31	0.00	0.79	1.01	0.61	0.090	1.4E-03	EP
Bs(飽和)	6	1	18	1.80	145	38,038	0.3333	31	0.00	0.79	1.01	0.61	0.090	1.4E-03	EP
Fs	4	6	22	1.80	127	29,029	0.3333	30	0.00	1.02	1.47	0.88	0.070	7.7E-04	EP
As1	15	2	21.9	1.80	197	70,067	0.3333	35	0.00	1.03	1.44	0.78	0.069	7.4E-04	EP
As2	7	2	31	1.70	153	39,813	0.3333	30	0.00	1.25	1.76	1.06	0.030	1.1E-04	EP
Ac1	2	20	93.6	1.50	133	26,534	0.3333	0	13.00	2.34	-	-	-	5.1E-06	RO
Ac2	14	13	93.6	1.50	220	72,600	0.3333	0	91.00	2.58	-	-	-	2.8E-06	RO
Ds	74	-	10	2.00	388	301,088	0.3333	38	0.00	0.71	-	-	-	2.2E-03	-

EP：砂の弾塑性構成式(湯岡, 2000)
RO：修正R-Oモデル

表 4.2.3-3　LIQCA のパラメーター一覧

土質名	初期間隙比	圧縮指数	膨潤指数	無次元化初期せん断係数	変相応力比	破壊応力比	硬化関数中のパラメータ			異方性消失のパラメータ	疑似過圧密比	ダイレイタンシー係数		塑性規準ひずみ	弾性規準ひずみ	間隙の体積弾性係数
	e_0	λ	κ	G_0/σ'_{m0}	M^*_m	M^*_f	B^*_0	B^*_1	C_f	C_d	OCR^*	D^*_0	n	γ^{p*}_r	γ^{e*}_r	kf
Bs	0.794	0.00060	0.00025	2,647	0.909	1.025	12,500	120	0	2,000	1.1	1.10	5.2	0.0050	0.0250	∞
Fs	1.019	0.00256	0.00085	889	0.909	0.980	7,000	450	0	2,000	1.1	3.00	5.0	0.0050	0.0250	∞
As1	1.027	0.00100	0.00058	1,308	0.980	1.155	19,000	250	0	2,000	1.2	2.50	13.5	0.0030	0.0150	∞
As2	1.246	0.00402	0.00134	628	0.909	0.997	3,500	350	0	2,000	1.2	1.80	6.0	0.0160	0.0800	∞

土質名	ポアソン比	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 (deg)	パラメータ		せん断弾性係数のパラメータ	
	ν	c	ϕ	α	r	a	b
Ac1	0.333	60.4	0.0	1.20	2.00	26,300	0.0
Ac2	0.333	372.0	0	1.40	2.00	70,300	0.0

※改良体は G=930 (N/mm^2), ν =0.26

（３）解析結果

１）L1 相当地震動に対する検討

図 4.2.3-5 と図 4.2.3-6 に示すのは、L1 相当地震動に相当する夢の島観測波 EW 成分を入力地震動として用いた時の未改良地盤と、格子間隔 13.0m の過剰間隙水圧比時刻歴図である。

未改良地盤では、Fs 層で過剰間隙水圧比が 1.0 に達し液状化が発生しているのに対して、格子間隔 13m の場合には改良効果によって過剰間隙水圧比は 1.0 以下に抑えられており、格子状改良地盤の液状化抑止効果が確認できる。また、格子状改良壁際で過剰間隙水圧が上昇しやすくなっているかを確認するために、格子状改良壁際と格子状改良地盤中央での過剰間隙水圧上昇量の比較を行ったが、両者の間に大きな差は認められなかった。

これらのことは、図 4.2.3-7 に示す過剰間隙水圧比コンター図からも同様の傾向を確認することができる。

図 4.2.3-8 は、格子間隔 26m の過剰間隙水圧比の時刻歴図である。

格子状改良壁際の深度 1.5m 付近で過剰間隙水圧比が 1.0 に近づいているが、それ以外の地点でも液状化の発生は見られない。格子中央と格子状改良壁際で過剰間隙水圧の上昇量を比較すると、深度の浅い格子状改良壁際では水圧の変動成分が大きく出ているが、全体的な水圧上昇の傾向に大きな差は見られなかった。

図 4.2.3-9 に示すのは、格子間隔 26m の場合の過剰間隙水圧比コンター図である。図 4.2.3-8 に示す時刻歴図で認められた格子の右上地表面付近で、一時的に過剰間隙水圧比が 1.0 の液状化に達している部分が見られる。このことは、図 4.2.3-10 に示す過剰間隙水圧比時刻歴図でも確認でき、格子間隔が 26m と広くなると、L1 相当地震動に対しても部分的な液状化が発生することが認められた。

以上より、レベル 1 地震動に対して格子間隔 13m では液状化を抑止することができ、格子間隔 26m では部分的な液状化が発生することは、FLUSH の等価線形解析で得られた液状化安全率 FL 値の傾向と概ね対応している。ただし、有効応力解析では地表面付近で部分的な液状化の発生が認められ、FLUSH の等価線形解析で得られた結果と異なっている。

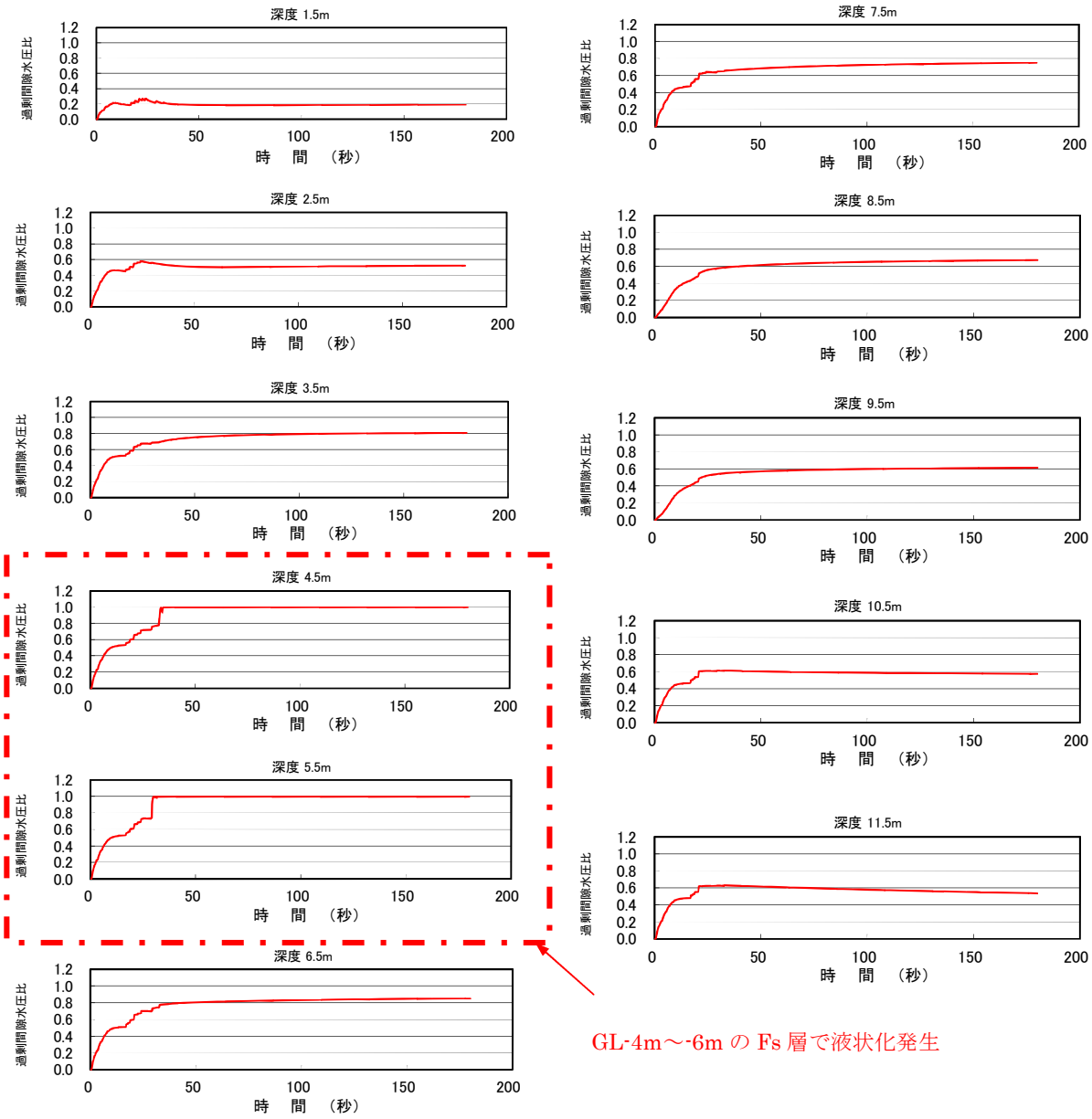


図 4.2.3-5　未改良地盤の過剰間隙水圧比時刻歴比較(入力地震動 ： 夢の島観測波 EW 成分)

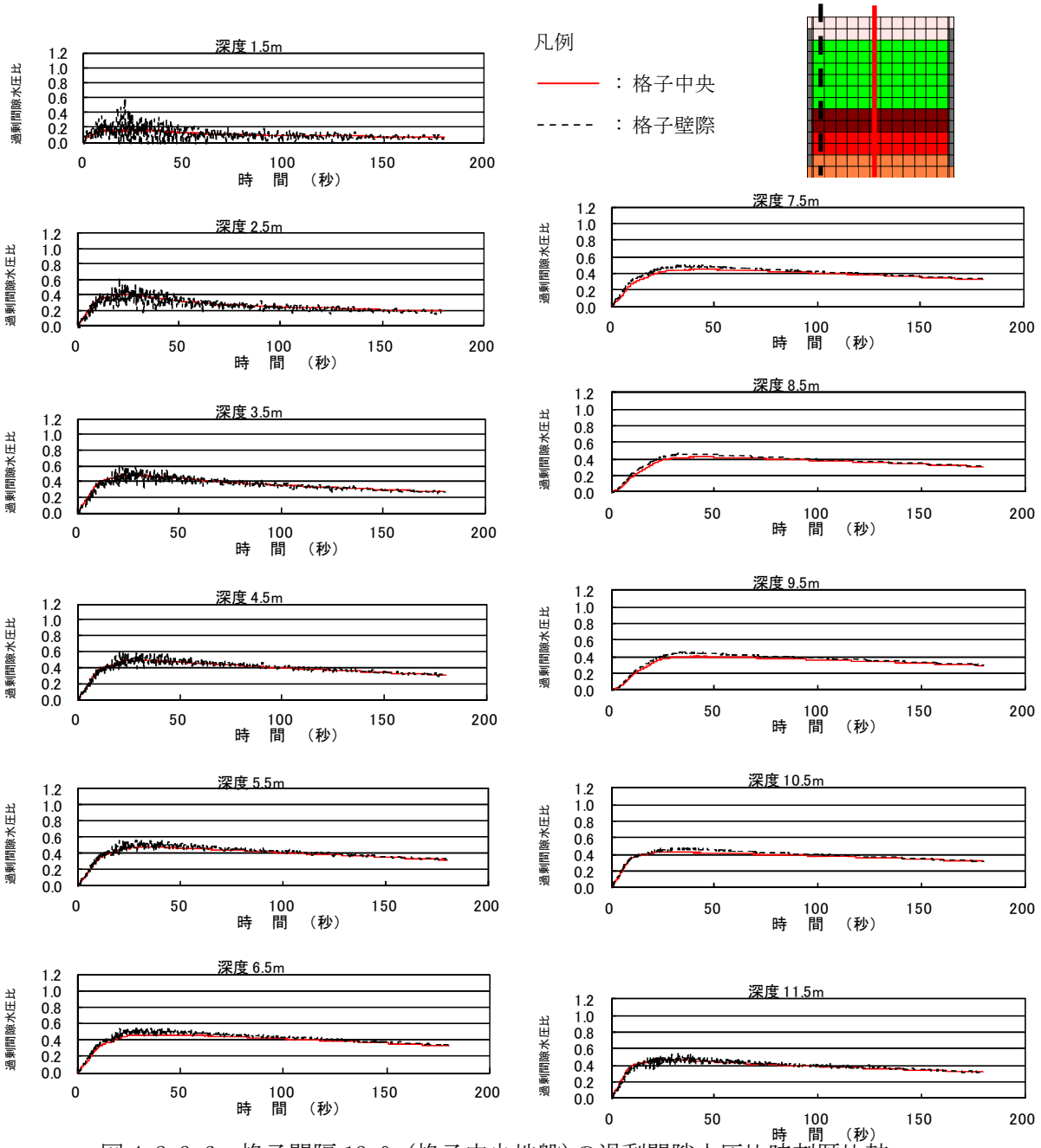
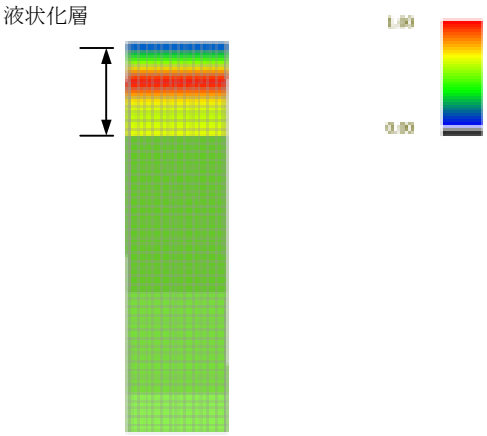
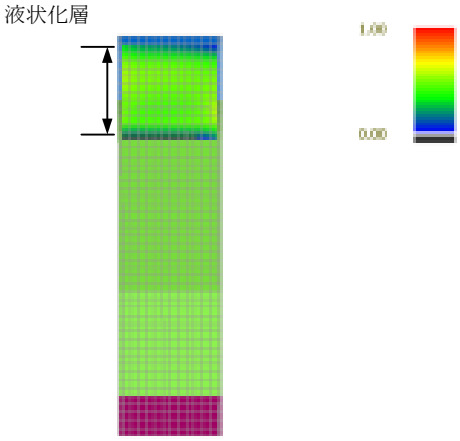


図 4.2.3-6　格子間隔 13.0m(格子中央地盤)の過剰間隙水圧比時刻歴比較

（入力地震動 ： 夢の島観測波 EW 成分）



未改良(40 秒)



格子間隔 13.0m(40 秒)

図 4.2.3-7　過剰間隙水圧比コンター図比較(変形拡大率 10 倍)
(入力地震動 ： 夢の島観測波 EW 成分、地下水位 GL-1m)

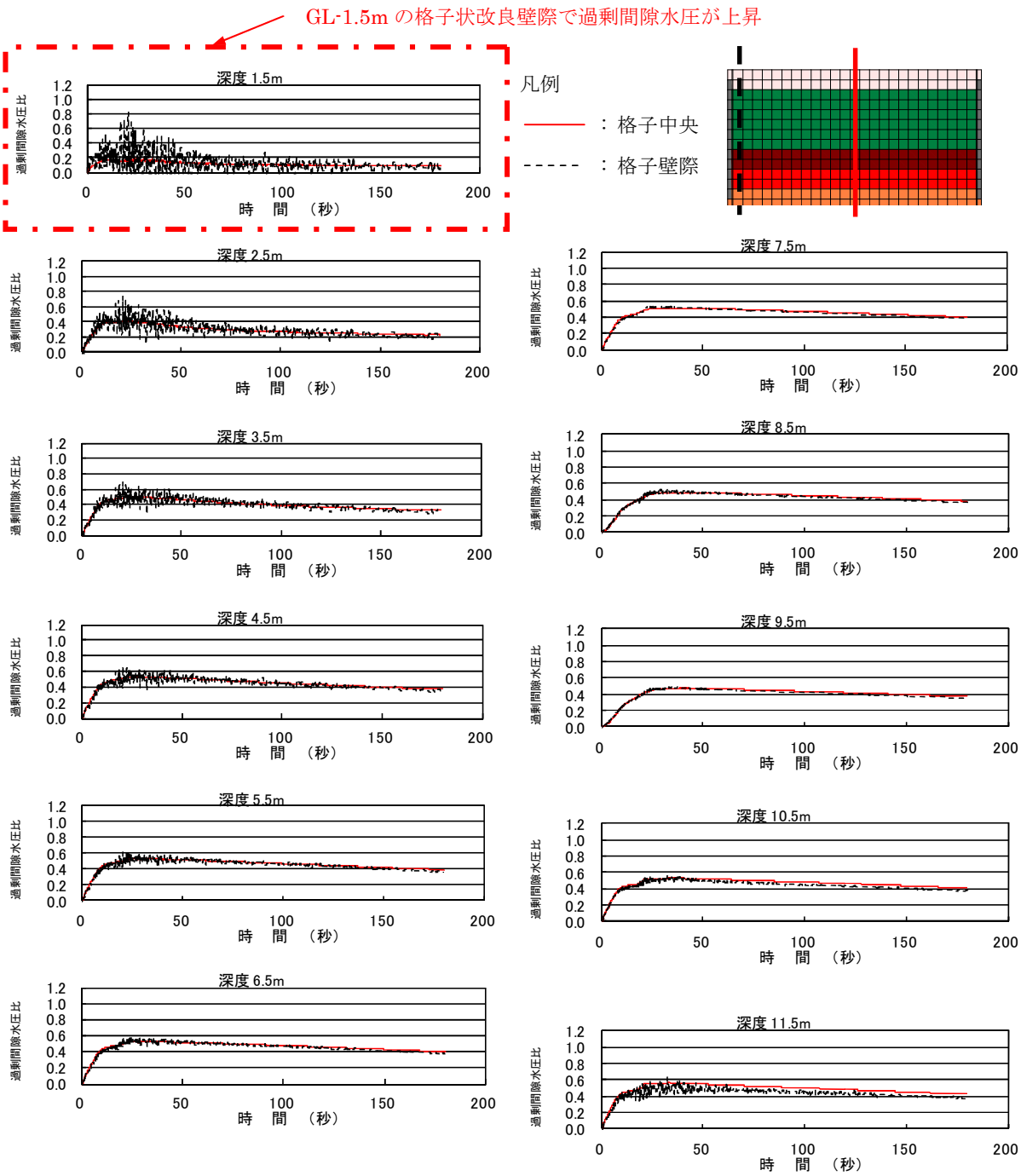
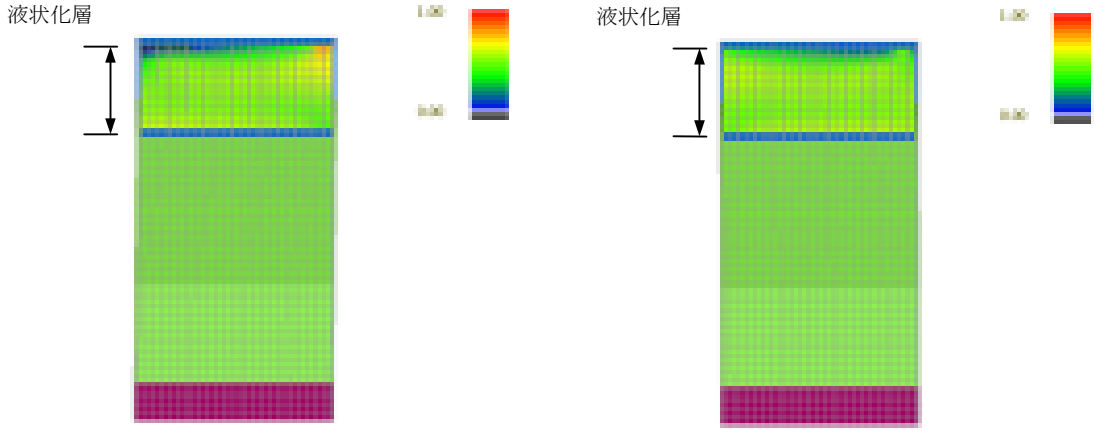


図 4.2.3-8　格子間隔 26.0m(格子中央地盤)の過剰間隙水圧比時刻歴比較

（入力地震動 ： 夢の島観測波 EW 成分）



格子間隔 26m(32.48 秒)　　格子間隔 26m(40 秒)

図 4.2.3-9　過剰間隙水圧比コンター図比較(変形拡大率 10 倍)
(入力地震動 ： 夢の島観測波 EW 成分、地下水位 GL-1m)

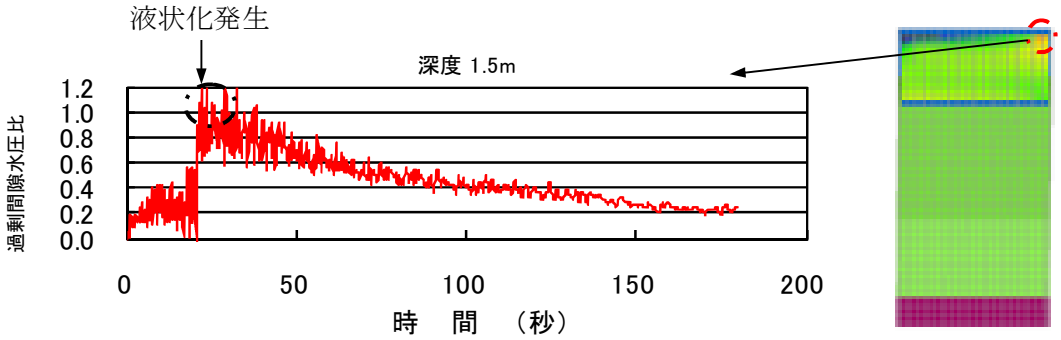


図 4.2.3-10　格子間隔 26m モデルの過剰間隙水圧比時刻歴
(入力地震動 ： 夢の島観測波 EW 成分)

２）L2 地震動に対する検討

図 4.2.3-11～図 4.2.3-13 は、L2 地震動に相当する東京湾北部地震 NS 成分を入力として用いた時の過剰間隙水圧比時刻歴図である。

未改良地盤と比較して格子間隔 13m の場合には、液状化が発生する時刻が遅れていることが認められるが、入力地震動が大きくなると格子状改良地盤でも液状化は発生している。L2 地震動の場合、格子状改良壁際の方が格子状改良地盤中央よりも過剰間隙水圧発生量が大きくなっている。

図 4.2.3-14 と図 4.2.3-15 は、過剰間隙水圧比コンター図である。レベル 2 地震動に対しては、格子間隔 13m でもほぼ全層で過剰間隙水圧比が 1.0 に達し液状化の発生が認められる。

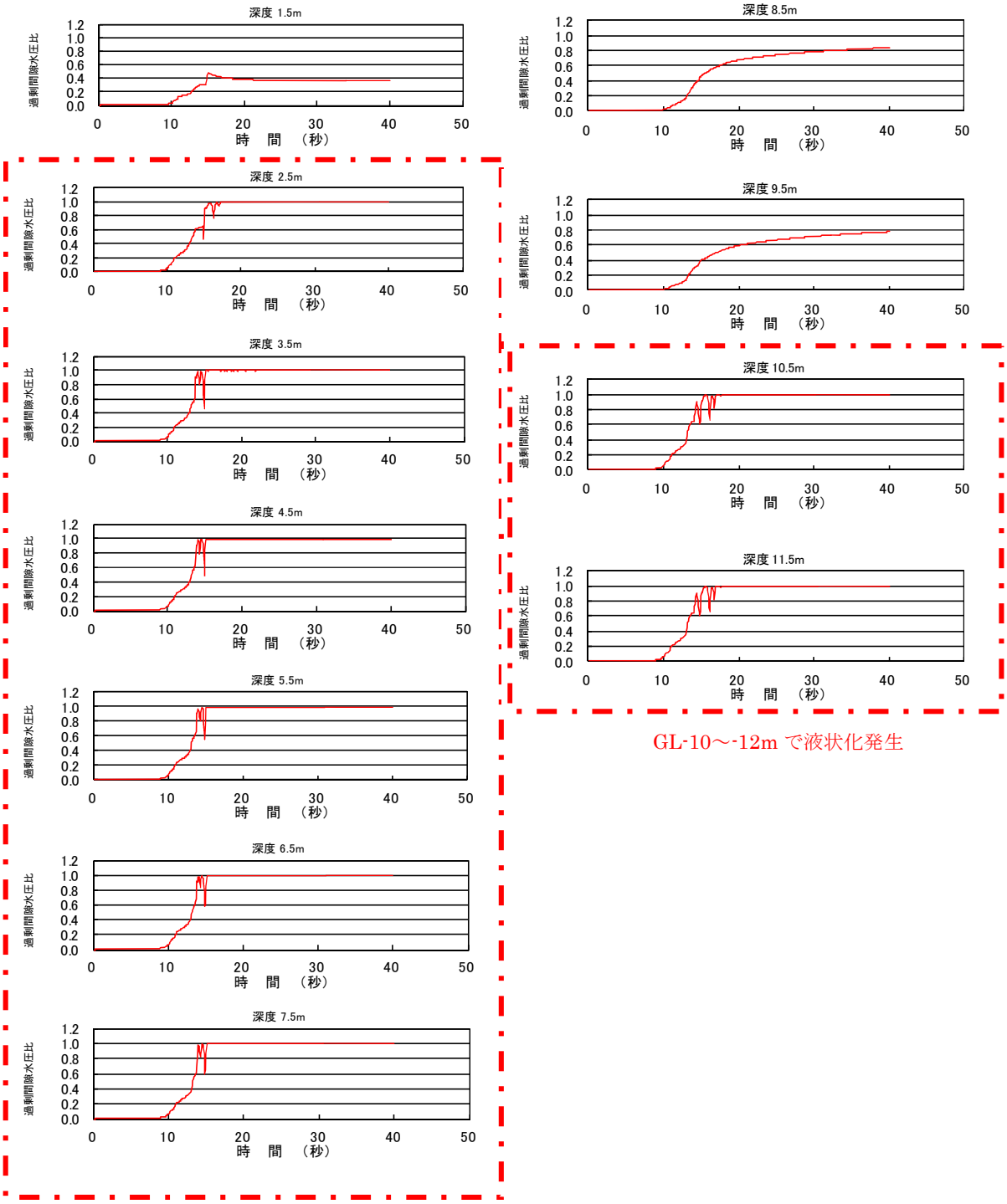


図 4.2.3-11　未改良の過剰間隙水圧比時刻歴比較（入力地震動 ： 東京湾北部地震 NS 成分）

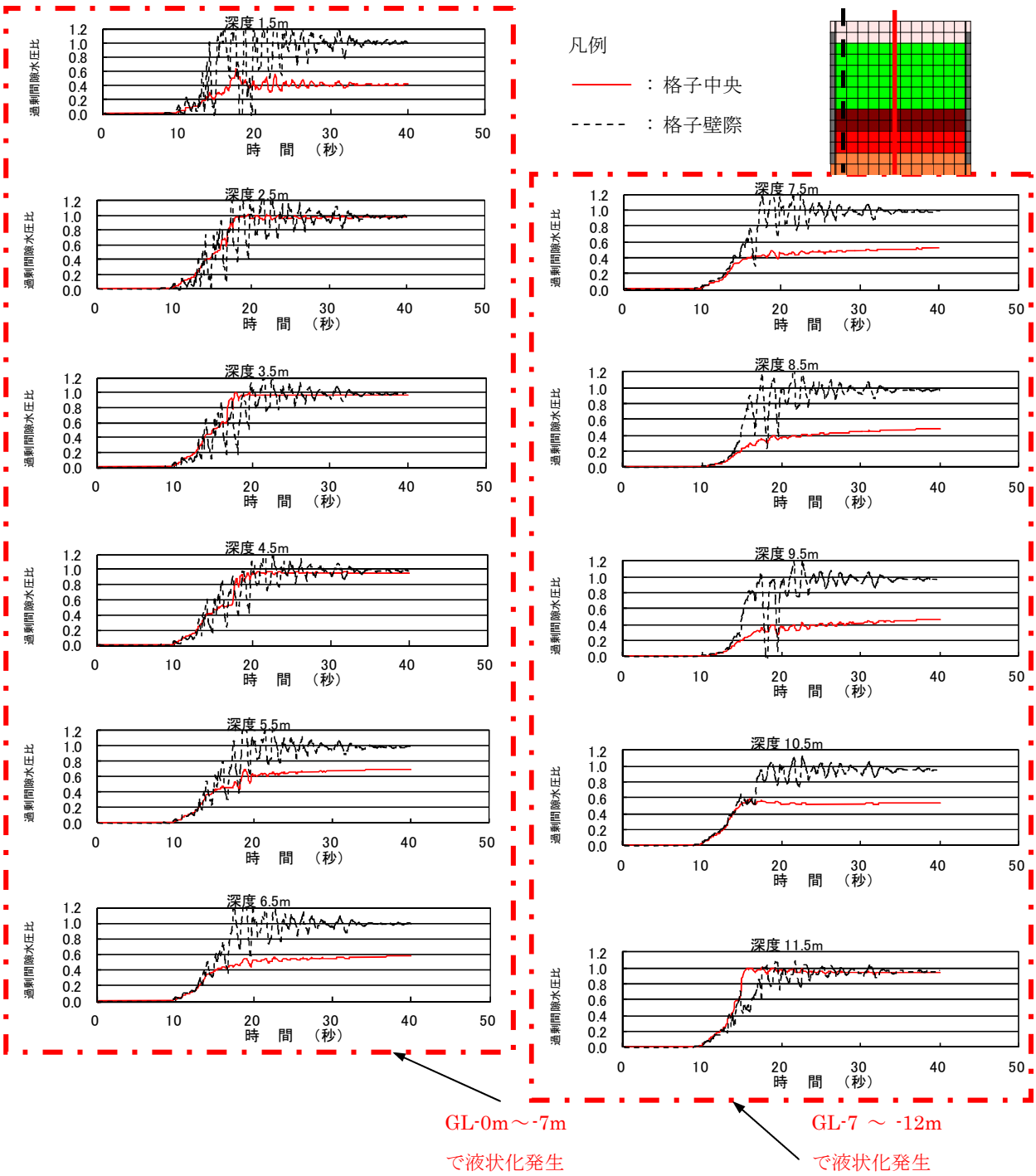


図 4.2.3-12　格子間隔 13.0m(格子中央地盤)の過剰間隙水圧比時刻歴比較
（入力地震動 ： 東京湾北部地震 NS 成分）

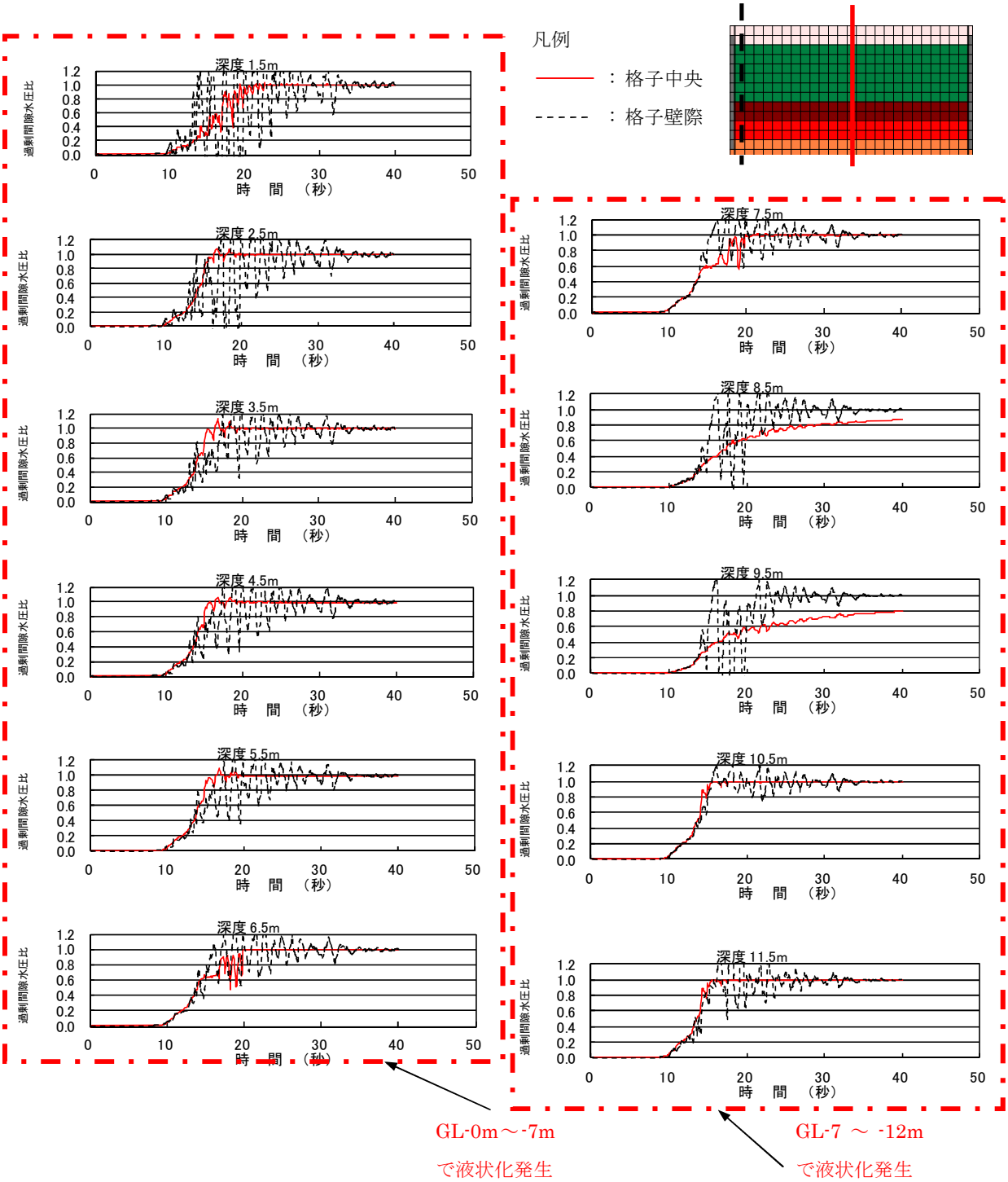
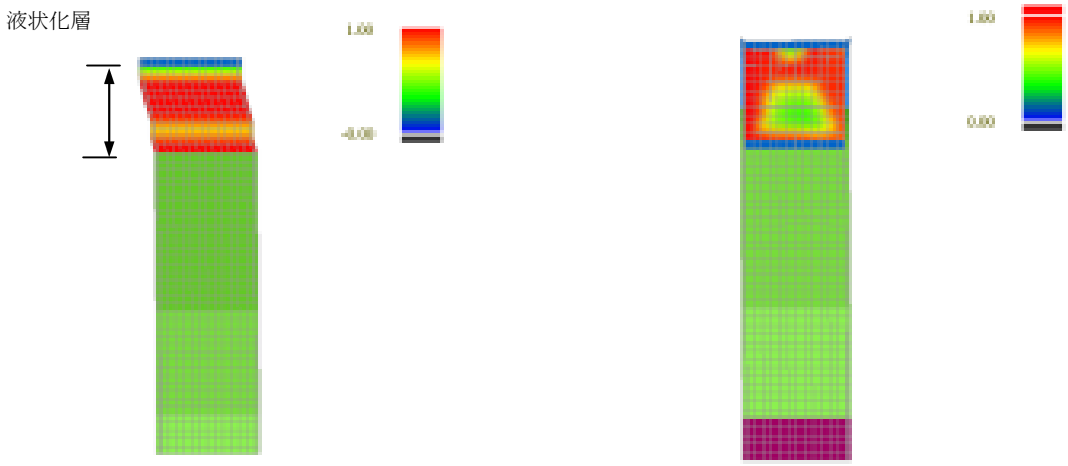
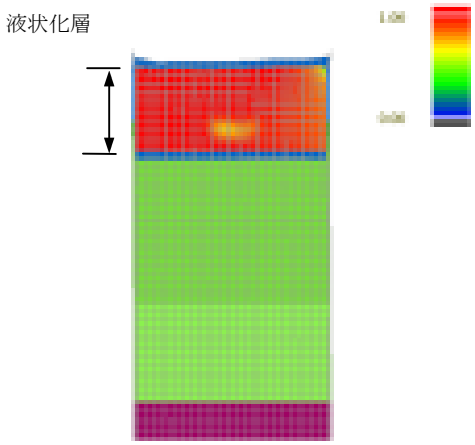


図 4.2.3-13　格子間隔 26.0m(格子中央地盤)の過剰間隙水圧比時刻歴比較
（入力地震動 ： 東京湾北部地震 NS 成分）



未改良(25 秒)　　格子間隔 13.0m(25 秒)

図 4.2.3-14　繰返しモデルの過剰間隙水圧比コンター図比較(変形拡大率 10 倍)
(入力地震動 ： 東京湾北部地震 NS 成分、地下水位 GL-1m)



格子間隔 26m(25 秒)

図 4.2.3-15　繰返しモデルの過剰間隙水圧比コンター図比較(変形拡大率 10 倍)
(入力地震動 ： 東京湾北部地震 NS 成分、地下水位 GL-1m)

（4）地表面沈下量の検討

有効応力解析で得られたせん断ひずみを用いて、地震後の地盤沈下量を算定した。図 4.2.3-16 は、レベル 1 地震動を用いた解析で得られた水平応答加速度最大値とせん断ひずみ γ xy の最大値深度分布の比較図である。未改良地盤と格子状改良地盤で水平方向応答加速度の最大値に大きな差は見られないが、せん断ひずみ γ xy の最大値は未改良地盤の深度 4m～6m で液状化の発生で大きくなっているのに対して、格子状改良地盤でのせん断ひずみ γ xy の最大値は、液状化が殆ど発生していないこともあり小さな値となっている。

図 4.2.3-17 は L2 地震動を用いた解析で得られたせん断ひずみ γ xy の最大値と水平応答加速度最大値深度分布の比較図である。未改良地盤では液状化の発生による免振効果で、液状化層での水平方向応答加速度の最大値は小さくなっている。また、13m 格子と 26m 格子でも未改良地盤と同様に液状化は発生しているが、未改良地盤に比べてせん断ひずみ γ xy の最大値は低減されている。

図 4.2.3-18 は、せん断ひずみの最大値と体積ひずみの関係図である。横軸のせん断ひずみの最大値に有効応力解析結果から得られた値をあてはめて体積ひずみを求め、地表面沈下量を求めた結果を示しているのが表 4.2.3-4.2.3-4 である。

L1 相当地震動に対して未改良地盤では 30.6mm の地表面沈下量が発生しているのに対して、液状化が発生していない 13m 格子地盤では、地表面沈下量が 2mm 程度しか発生しておらず、格子状改良地盤の効果によって地表面沈下量を大幅に低減できている。

L2 地震動に対して格子状改良地盤でも液状化が発生しているが、未改良地盤の地表面沈下量 228.1mm に対して、13m 格子状改良地盤の地表面沈下量は 40mm 以下、26m 格子状改良地盤でも地表面沈下量 90mm 以下と小さくなっている。

未改良地盤の地表面沈下量の値が東北地方太平洋沖地震時観測値に比べて小さいのは、余震の影響や図 4.2.3-18 が細粒分のない砂の結果であることも一因として考えられる。しかし、格子状改良地盤の地表面沈下量抑止の定性的傾向は解析結果から認められる。

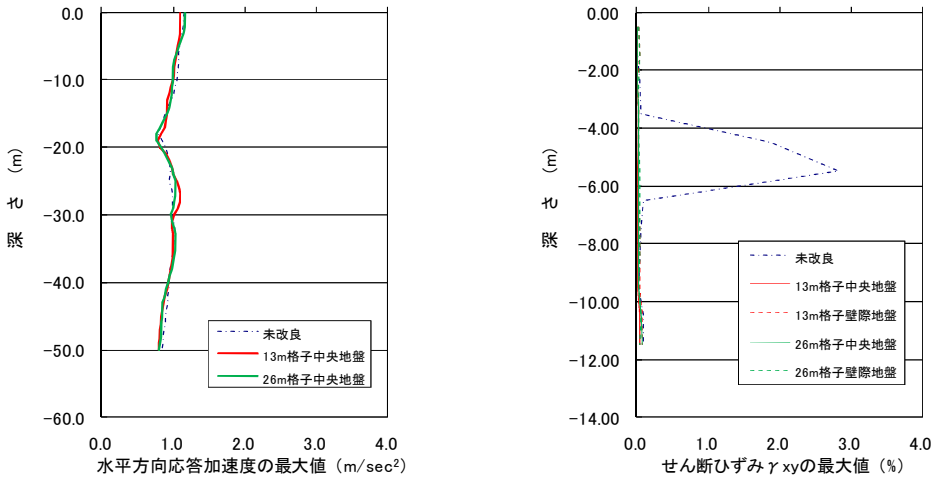


図 4.2.3-16　γ_{xy} の最大値と水平方向応答加速度最大値の深度分布（夢の島観測波 EW 成分）

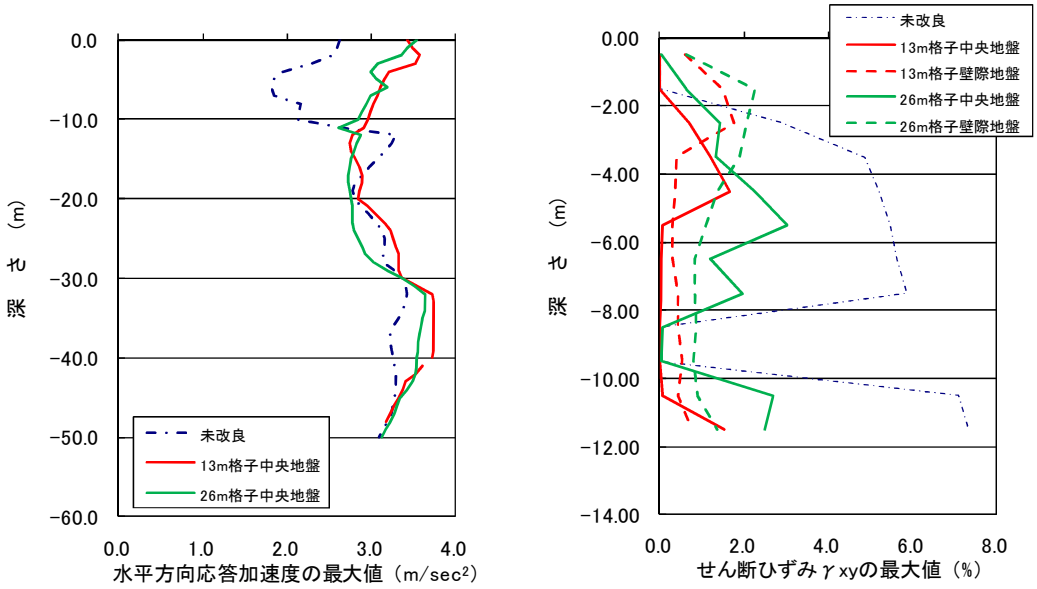


図4.2.3-17　γ_{xy}の最大値と水平方向応答加速度最大値の深度分布(東京湾北部地震NS成分)

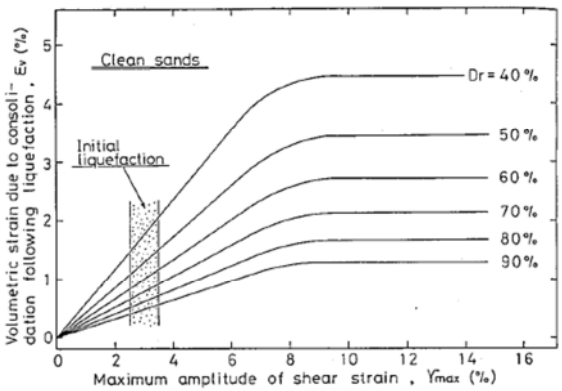


図 1　砂の体積ひずみ－最大せん断ひずみ関係

	N値	想定Dr
Bs層	6	50%
Fs層	4	40%
As1層	15	70%
As2層	7	60%

図4.2.3-18　LIQCAのせん断ひずみ最大値から体積ひずみを算出した関係図[10)]

表 4.2.3-4　図 4.2.3-18 の関係から算出した地表面沈下量一覧

入力地震動	最大加速度	地表面沈下量(mm)				
		未改良	13m格子 壁際地盤	13m格子 中央地盤	26m格子 壁際地盤	26m格子 中央地盤
夢の島観測波 EW成分	108.7gal	30.6	2.1	1.0	2.1	1.6
東京湾北部地震 NS成分	425.7gal	228.1	39.6	27.8	77.0	88.7

（５）まとめ

LIQCA を用いた有効応力解析によって以下の事項が分かった。

①入力地震動に L1 相当地震動である夢の島観測波 EW 成分を用いた場合、対策を行わない未改良地盤では Fs 層で過剰間隙水圧比が１に達して液状化状態となるが、格子間隔 13m の格子状改良地盤では液状化の発生を防ぐことができ、格子間隔 26m の格子状改良地盤でも部分的な液状化の発生にとどめる効果がある。L1 相当地震動に対する液状化発生程度に対する傾向は、等価線形解析(FLUSH)の結果と概ね整合することが確認できた。ただし、等価線形解析(FLUSH)と有効応力解析では、液状化の危険性が高くなる深度が異なることもわかった。

②入力地震動に L2 地震動である東京湾北部地震 NS 成分を用いた場合、未改良地盤・格子間隔 13m と格子間隔 26m の全てのケースで液状化が発生する結果となった。しかし、液状化後の地盤沈下量に着目すると、格子状改良地盤では、未改良地盤よりも地表面沈下量を抑制できることがわかった。特に、格子間隔 13m の格子状改良地盤では未改良地盤に比べて１オーダー小さい沈下量となることが予想される。

４．２．４　施工性に関する検討

（１）改良仕様

想定される液状化対策の改良仕様は、解析に基づき設定される。以下に格子間隔以外の共通部分の仕様を示す。

表 4.2.4-1　検討用改良仕様

対象部分	改良仕様	改良深度	改良強度
道路部	ソイルセメント壁 有効壁厚 0.85m	13.0m	Fc=1.5N/mm²
宅地部	ソイルセメント壁 有効壁厚 0.85m	13.0m	Fc=1.5N/mm²
	ソイルセメント壁 有効壁厚 0.5m		Fc=3.0N/mm²

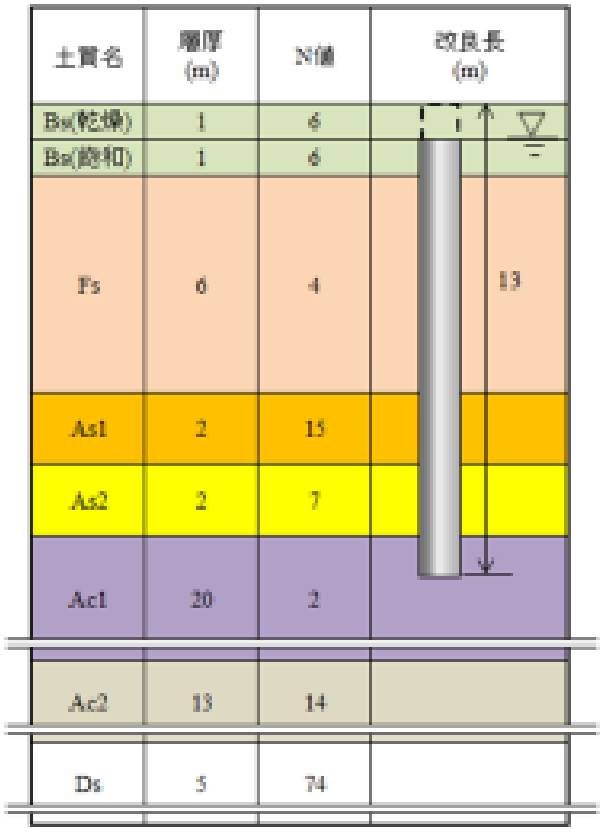


図 4.2.4-1　検討地盤

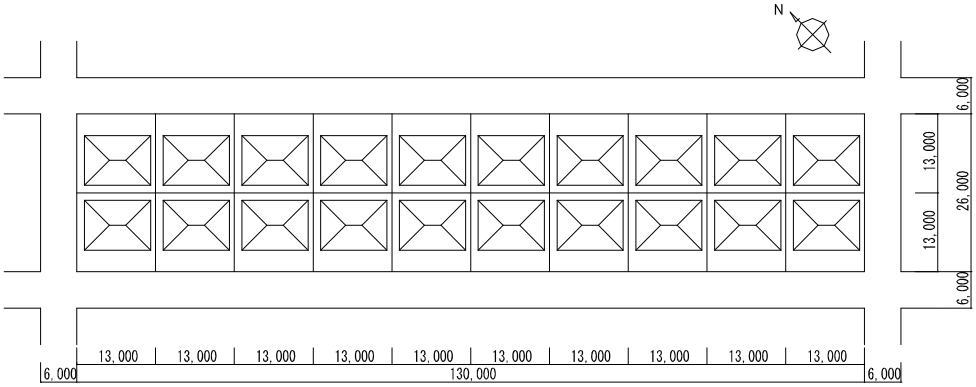


図 4.2.4-2　施工検討街区モデル

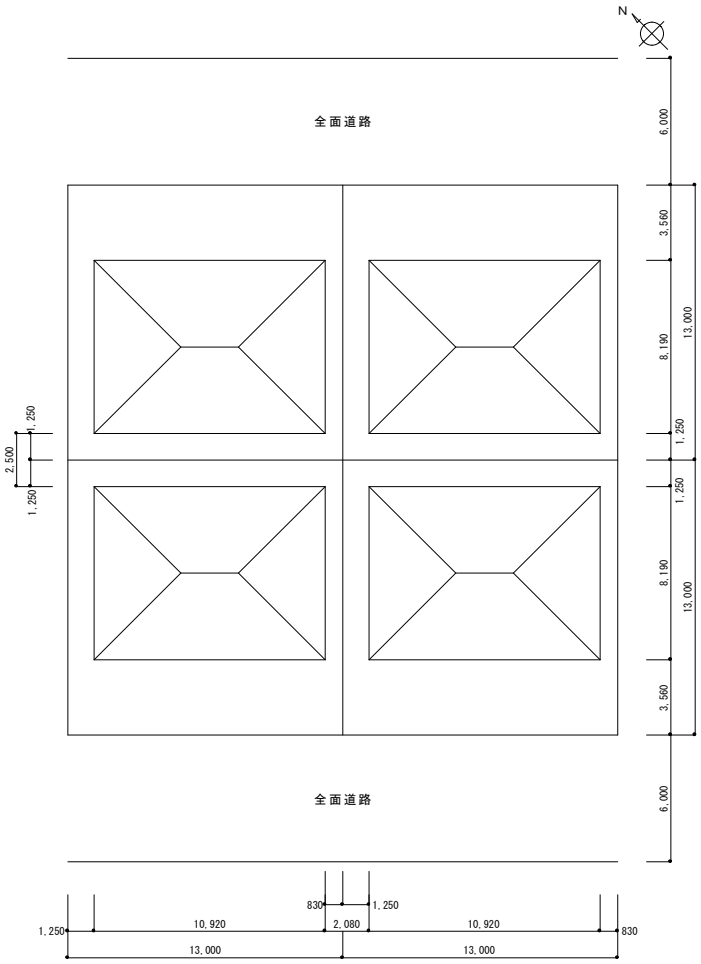


図 4.2.4.-3　4 棟配置計画例

（２）想定される施工パターン(既設、新設)による施工条件の整理

試験施工を計画するにあたり、格子状地盤改良の工事を想定した施工条件を設定する。

対策を実施する条件としては、既存の住宅が存在する「既設の場合」と、全くの新築若しくは建替えのため住宅を撤去した「新設の場合」に分けられる。

表 4.2.4-2 にそれぞれに対応する施工条件を示す。

表 4.2.4-2　既設・新設における施工条件

＜既設の場合＞

対象部分	作業エリア寸法	空頭制限	埋設物	その他
宅　地	隣棟間隔(壁間、軒間) 長辺方向: 2.3, 1.6m 短辺方向: 1.8, 1.1m	軒高 6.0m	宅内配管 深さ 1.0m 以浅	植栽、土間コン 擁壁等の存在
道　路	幅員 6.0m	架空線部 4.5m	上下水道、ガス などの埋設管 深さ 3.0m 以浅	舗装、側溝、縁石

＜新設の場合＞

対象部分	作業エリア寸法	空頭制限	埋設物	その他
宅　地	13.0×13.0m	無し	無し	建替えの場合 表層にガラ混入 擁壁等の存在など
道　路	幅員 6.0m	無し	無し	無し
道　路 (既設)	幅員 6.0m	架空線部 4.5m	上下水道、ガス などの埋設管 深さ 3.0m 以浅	舗装、側溝、縁石

（３）選択工法の概要

既往の格子状地盤改良工法（TOFT 工法）は、液状化対象地盤を囲むように、改良径φ1000㎜ のソイルセメント改良杭を柱列状に配置し、格子状の改良壁を造成する工法である。施工に際しては、通常は写真 4.2.4-1 に示すような大型の深層混合処理工法用の機械攪拌式地盤改良機を用いるのが一般的であるが、今回のような戸建て住宅地においては、機械の大きさゆえ、適用が困難となる。したがって今回の施工検討では、戸建て住宅地用の格子状地盤改良に適用可能と考えられる工法を選択し、その施工機による施工検討を行うこととする。

写真 4.2.4-1 大型地盤改良機械

選択した工法は、

ａ）小型機械攪拌工法

ｂ）超小型機械攪拌工法

ｃ）超小型高圧噴射工法

ｄ）自由形状高圧噴射工法

であり、その有用性について検討することとした。

以下に選択工法の特徴を述べると共に、表 4.2.4-3 にその概要を記す。

ａ）小型機械攪拌工法 A,B

自走可能なクローラ―タイプのベースマシンに単～複数軸の掘削・攪拌ロッドを装備し、セメントスラリーを吐出しながら掘削・攪拌することで、原地盤を柱状に地盤改良する工法であり、施工実績は豊富で施工品質の信頼性が高い。現存する宅地向け小型機の大きさは、幅 1.9～2.5m、長さ 4.5m～7m、高さ 8m～10m程度である。施工上のポイントは、打設杭の鉛直精度（ラップ精度）確保となるが、現存機の中には鉛直精度を確保する工夫がなされた機械も存在する。既設の場合は、小型機械攪拌工法 A を、基本的に道路部での施工に適用し、また小型機械攪拌工法 B については、掘削能力の点で一部の改造ならびに確認が必要であるが、2.3m以上離隔のある隣棟間への適用が期待される。

ｂ）超小型機械攪拌工法 A,B

本工法は、前述の小型機械攪拌工法 A,B では その施工機械の大きさから適用が困難である隣棟間隔が狭い部分に対し、より機械の小型化を図ることで、機械攪拌による施工を可能とすることを想定した工法である。現在、実在機は無く新規製作（現存機械の改造や部品の組み合わせなど）が必要となる。機械の特徴としてはクローラ―式ベースマシンを持たず、レール等を利用して施

工位置にセットするタイプ A（機械攪拌工法のオーガーを流用）とクローラーによる自走が可能なタイプ B（鋼管杭回転埋め込み工法など他工法に用いるマシンの改造）について検討した。マシンの大きさは、幅 0.7～2.5m、長さ 3m～4m、高さ 4m～6m程度を想定。留意点として、機械攪拌式であるため基本的な品質管理手法は小型機械攪拌工法に準拠できるが、機械の形態が新規開発型（A）もしくは、他工法の流用型（B）であるため、機械の安定性や掘削反力の確保、また品質および施工効率などの検討および確認が必要となる。また現時点では機械が実在しないため製作費によるコスト増が見込まれる。

ｃ）超小型高圧噴射工法

本工法は、通常の高圧噴射工法より更なる機械の小型化を図り、狭小地における対応力を高めた高圧噴射攪拌工法である。

家屋内での使用も想定しているため、設置寸法は 0.6×0.4m、高さ 1.2m と非常にコンパクトであり、機械搬入は人力でも可能である。また排泥は必要に応じてバキュームにて回収する。本工法は既設宅地内で隣棟間隔の狭い部分での施工や、埋設管など地中障害物に対応した施工に適する。また、改良径も 1.0m～2.5mと自由度が高く、施工条件に適した設定が可能である(一方向の改良径を長くした楕円改良なども可能性あり)。ただし、機械攪拌式に比べ排泥量が多いため、コストは割高となる。

本工法は土木工事での実績は多いものの建築での実績は少なく、建築基礎を視点とした品質管理においては、改良径ならびにラップ部の一体性の確認、ならびに、それらの品質を担保する品質管理手法の確立がポイントとなる。

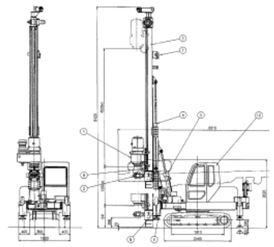
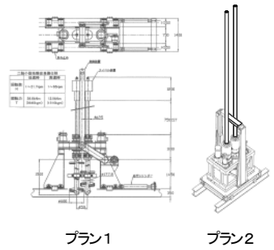
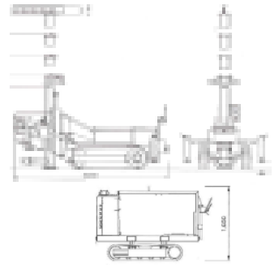
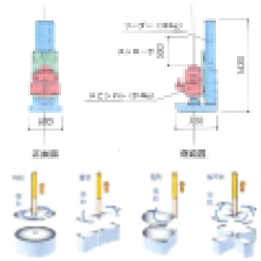
ｄ）自由形状高圧噴射工法

通常の高圧噴射工法が円柱状の改良体を造成するのに対し、本工法は揺動式の改良を行うことで、壁状の改良体を造成可能とした工法である。本来必要な部分のみを改良できることから改良ボリュームを大幅に削減でき、排泥量も通常の高圧噴射工法に比べ少ないことから、コスト的な優位性は高いと考える。また、最新機械の設置寸法は 0.6×0.75m、高さ 1.63mと超小型であり、現在、工法完成に向けた取り組みがなされている。

ただし、建築基礎を目的とした格子状地盤改良工法として適用した実績が少なく、建築の視点から見た要求品質の確認（改良強度・ばらつきの確認、有効壁厚の確保、ラップ部の一体性確認）および、それらを確保するための品質管理手法の確立が必要である。

また、造成される改良体の形状がかなりの薄壁形状であることから、現状の施工法では、設計上の有効壁厚を満足しない部分が一部発生する。改良壁の剛性を確保するための設計・施工の両側面からの検討が必要である。

表 4.2.4-3　選択工法の概要

工法名	機械攪拌工法				高圧噴射工法	
	小型機械攪拌工法A	小型機械攪拌工法B	超小型機械攪拌工法A	超小型機械攪拌工法B	超小型高圧噴射工法	超小型自由形状高圧噴射工法
概要図			 プラン1　プラン2			
機械寸法	全長5.0～7.0m×幅2.4～2.5m×高さ9.0～10.0m	全長 4.5m ×幅 1.88m × 高さ 8.4m	全長 3.0～4.0m×幅1.4～2.5m×高さ4.0～6.0m	全長 3.8m×幅0.8～1.8m×高さ2.0～3.9m	全長 0.6m ×幅0.4m × 高さ1.2m	全長 0.7m ×幅0.6m × 高さ1.6m
改良径	単軸：Φ800～1600mm、2軸：Φ800～1000mm	単軸：Φ600～800mm	2軸：Φ600～800mm	単軸：～Φ800mm	単軸：Φ1000～2500mm	φ5000～8000mm　改良角度10～30度
改良深度	13m（最大掘削可能深度 15～20m）	13m（目標）	13m（目標）	13m（目標）	13m（最大掘削可能深度 20m以上）	20m
工法完成度	実在工法	一部改造が必要	大幅な改造が必要	大幅な改造が必要	実在工法	実在工法
適用位置 （狭所対応）	新設宅盤、 新設、既設道路（空頭制限なし） △	既設宅盤（隣棟間隔≧2.3m） 既設道路（空頭制限なし） ○	既設宅盤（隣棟間隔≧2.0m） 既設道路（空頭制限あり） 要確認	既設宅盤（隣棟間隔≧2.0m） 既設道路（空頭制限あり） 要確認	既設宅盤(隣棟間隔＜2.0m) 既設道路、埋設管廻り ◎	既設宅盤(隣棟間隔＜2.0m) 既設道路、埋設管廻り ◎
品　質	TOFT工法としての実績は豊富であり、大型機と同等の品質管理手法は確立されている。 ◎	TOFT工法としての実績は豊富であり、品質管理手法は確立されているが、小型機械により同様の管理ができるかがポイントとなる。 ○	TOFT工法としての実績は豊富であり、管理手法は確立されているが、新形式の機械につき同様の管理ができるかがポイントとなる。 要確認	鋼管杭回転埋め込み工法などの施工機を地盤改良機に改造。他工法の機械の転用であるため、TOFT工法と同様の管理ができるかがポイントとなる。 要確認	土木工事では実績は豊富。 機械攪拌式と同レベルの施工プロセス管理システムの搭載は可能。 建築物への適用に際しては品質並びに管理手法の確認が必要。 ○	近年実績が増えつつある。 機械攪拌式と同レベルの施工プロセス管理システムを装備。 ただし建築物への適用に際しては品質並びに管理手法の確認が必要。とくに、改良形状が非常に薄型となるため噴射部とラップ部における品質の確認がポイントとなる。 要確認
排泥量	改良体積の20～30% ◎	改良体積の20～30% ◎	改良体積の20～30% ◎	改良体積の20～30% ◎	改良体積の50～100% △	改良体積の50～100% 要確認
コスト	◎	○	未定	未定	△	要確認
その他設備	プラント設備（6t～10tトラック2台）が必要	プラント設備（6t～10tトラック2台）が必要	プラント設備（6t～10tトラック2台）が必要	プラント設備が必要	プラント設備（4tトラック2台）が必要	プラント設備（6t～10tトラック5台）が必要
留意点	・排泥量が少ないためコスト的優位性は高い。 ・特殊掘削翌の装備により所定の掘削精度を確保することが可能となる。 ・機械の大きさから適用箇所に制限あり。 ・埋設管など地中障害物に留意する必要あり	・排泥量が少ないため高圧噴射に比べコスト的優位性は高い。 ・在来機を改造することで実現可能。 ・特殊掘削翌の装備により所定の掘削精度を確保することが可能となる。 ・隣棟間隔2m以上の部分への適用を検討。 ・埋設管など地中障害物に留意する必要あり	・排泥量が少ないため高圧噴射に比べコスト的優位性は高い？（施工効率による）。 ・在来機の部品を組み合わせることで実現は可能であるが、施工時の機械の安定性や反力、施工効率の問題など、クリアすべき課題は多い。 ・改良品質についても確認が必要である。 ・レール等の移動設備が必要となる。 ・改造費による施工費へのコスト増が見込まれる。	・機械幅が小さいため隣棟間隔が狭い場所への適用に期待される(動力源分離式)。 ・排泥量が少ないため高圧噴射に比べコスト的優位性は高い？（施工効率による）。 ・他工法の在来機を改造することで実現は可能であるが、施工時の機械の安定性や反力、施工効率の問題など、クリアすべき課題は多い。 ・改良品質においても確認が必要である。 ・改造費による施工費へのコスト増が見込まれる。	・排泥量が多くコストに影響大。処理方法に工夫が必要となる。 ・ラップ部の強度並びに出来形の確認が必要である。 ・施工に伴う周辺への影響を確認する必要あり。 ・施工に伴うクレーンは不要である。	・高圧噴射による壁状の改良が可能で、改良範囲を限定できるので排泥量を抑えることが可能であり、コスト的優位性は高い。 ・音波による出来形確認など独自計測技術あり。 ・現状の改良壁厚は、設計上必要な有効壁厚を確保していないため、設計・施工の両面から検討が必要になる。 ・噴射中心部やラップ部について、強度ならびに出来形の確認が必要である。 ・施工に伴う周辺への影響を確認する必要あり。 ・施工に伴うクレーンは不要である。
実現性	外周道路部への適用が推奨される。 ◎	小型機械攪拌工法Aと高圧噴射工法の間を補完する工法として有用である。 ○	新規機械の製作が伴うため、他工法にくらべ多めの初期投資(資金、時間)が必要となる。 要確認	新規機械の製作が伴うため、他工法にくらべ多めの初期投資(資金、時間)が必要となる。 要確認	コスト的には割高であるが、隣棟間隔が狭い場所（2.0m未満）への適用には、実在工法の中では最も適していると考えられる。 ○	改良体形状が、かなりの薄型形状となるため、設計面と品質面の両側面による安全性の担保がポイントとなる。 要確認

（４）周辺への影響検討

ａ）機械攪拌式地盤改良工法

機械攪拌式の場合、通常スラリーと呼ばれるセメントミルクを、原地盤に注入、攪拌することで、改良体の柱列壁を地中に造成する。したがって施工に伴う周辺地盤への影響についても確認しておく必要がある。実際には当該地盤条件下における試験施工にて確認し、対策を講じることとなるが、ここでは、それに先立ち通常の深層混合処理工法における近接施工に関する留意点について記す。

近接施工時の各種構造物の許容変位量は、管理者がそれぞれの構造物の特性に応じて基準化しており、家屋においては絶対沈下量：2～3cm、変形角(1～2)×10^{-3}rad、相対沈下量 2.25cm と規定されている(表 4.2.4-4)。

また、図 4.2.4-4 に、舞浜地区で格子状地盤改良を施工し、変位計測を行った事例について示す[13) 14)]。その報告よれば当該地盤における通常施工時の地表面変位の最大値は 3cm 弱と、管理者が定める基準値相当以下であり、施工条件の違いはあるものの、本工法による近接対応は十分可能であると考える。

仮に、さらに厳しい管理値を要求された場合であっても、参考文献[11) 12)]に示す方法などで対応することは可能である。

ｂ）高圧噴射攪拌工法

今回採用を検討している高圧噴射工法は、原地盤を圧縮空気と高圧スラリーにより切削し、柱状にセメントミルクで置き換える工法である。切削したときに発生する排泥は基本的にはバキュームで吸い上げるため、理論上、側方に変位は起こさない。

浦安地区にて既存住宅に対する試験施工も行われているが、基礎直下まで改良を施した事例においても、家屋調査の結果、既存住宅に対する変状等は認められなかった。

ただし、これはバキュームによる排泥がスムーズに行えることが前提であり、いったん配管の詰まりなどのトラブルが発生すると、周辺地盤の隆起などの問題を引き起こす可能性があるので、土被り厚の検討や排泥の抜き方など、詳細の検討が必要であると考えられる。

表 4.2.4-4　近接施工による各管理者の許容値、管理値の実績[13)]

既設構造物 用途	既設構造物 企業者	既設構造物 形式	許容量	管理値
鉄道	国鉄	新幹線高架橋	相対鉛直変位 5 mm	± 3 ～ 5 mm
		新幹線高架橋	水平変位 3 mm	
軌道			鉛直変位 3 mm	
		高架橋	柱沈下量 3 mm	2.4mm
		高架橋	柱相対沈下 2.3mm	
		高架橋橋台		水平変位 5 mm
		架道橋橋台・橋脚	沈下 10mm	
			傾斜 3分20秒	
		橋台・橋脚	鉛直変位	鉛直変位 ± 20mm 傾斜 1度
		軌道	沈下・隆起 ±10mm	沈下・隆起 ± 20mm/日
		〃		鉛道 9 mm/day、5 mm/h
		〃		水平 7 mm/day、4 mm/h
		トンネル	沈下 10mm	
		渠道橋	〃 〃	
		(杭基礎)		
	営団地下鉄	ずい道	鉛直変位 ± 5 mm	
	大阪市	地下鉄	沈下 9 mm	沈下 8 mm
	交通局	地中構造物		傾斜 80秒
	名古屋市	地下鉄		沈下 5 mm
	交通局	地中構造物		傾斜 180秒
道路	建設省	陸橋	水平変位 10mm	
		(杭基礎)	鉛直変位 30mm	
		橋脚	沈下 13mm	
		(杭基礎)		
		橋脚	不等沈下 8.7mm	
		(杭基礎)		
		アーチ橋橋台	鉛直変位 ±50mm	
			水平変位 ±37mm	
		橋脚	傾斜 ±160秒	
		(杭基礎)	沈下 ±17mm	± 120秒
			変位 ±25mm	± 15mm
建築物		鉄骨鉄筋コンクリート5F	沈下 5 mm	± 20mm
		RCベタ基礎地上9F	沈下 5 mm	
		地下3F		
		RC直接基礎	フーチング部材角 1/300～1/500	
		ビルRCF3F・4F	傾斜 ±160秒	
		貨物ビルRC・8F	標準値 15mm	± 120秒
			最大値 30mm	
		家屋	絶対沈下量 2～3 cm	
			変形角 (1～2)×10^{-3}rad	
			相対沈下量 2.25cm	
その他	東電	放水路トンネル	鉛直変位 +2.0～−40mm	
	東京ガス	ガス管	沈下 20mm	沈下 4 mm

＊過去10年間（1972年～1982年）の文献（専門誌・機関誌）を対象に調査。

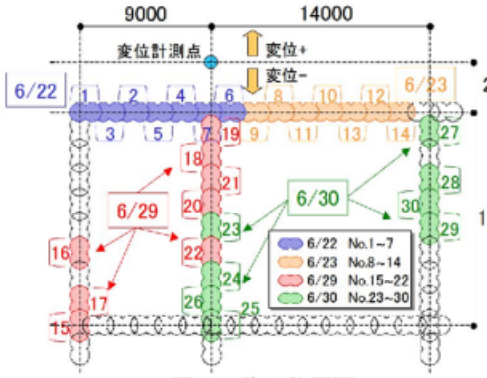


図-1　施工位置図

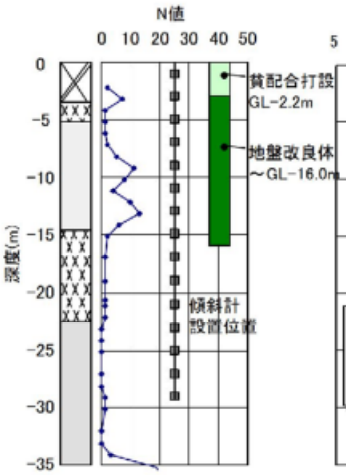


図-2　土質柱状図

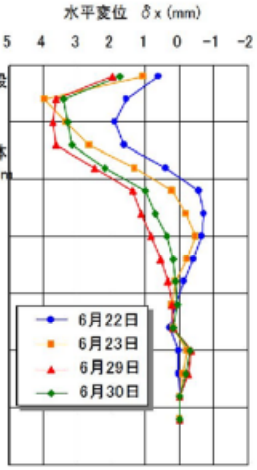


図-3　地盤変位分布

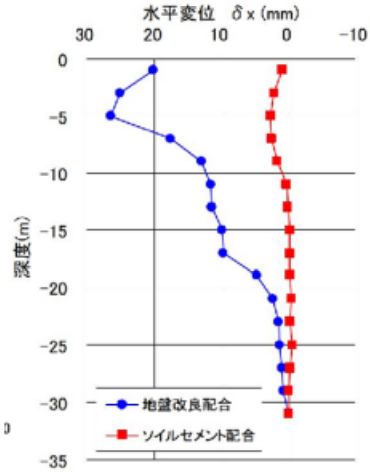


図-5　配合による地盤変位の比較

図 4.2.4-4　深層混合処理工法施工に伴う変位計測例

写真 4.2.4-2　格子状地盤改良の施工イメージ（直接基礎の場合）

写真 4.2.4-3　狭小地用高圧噴射攪拌工法施工機

写真-4.2.4-4　狭小地用高圧噴射攪拌工法による改良体

（５）施工上の確認項目

１）施工管理および品質管理

改良壁や改良地盤の性能については、地盤のばらつきや施工品質が大きく影響するため、施工管理および品質管理方法を適切に設定することが重要である。

したがって、格子状改良工法による液状化対策効果を十分に引き出すための前提条件である「施工管理方法」および「品質管理方法」については、機械攪拌については既往の機械攪拌式TOFT工法の管理方法に準拠することで管理項目を設定する。加えて、壁の一体性に対する各工法の基本的な適用性を確認する目的で、試験施工などにより基本的な改良杭の鉛直精度や改良径およびラップ部の密着性などについて確認しておく必要がある。高圧噴射工法を含む工法の選定当たっては、実績が豊富で施工管理手法が確立した技術か、もしくは事前にラップ部の強度性能や、改良杭の鉛直精度など、改良体の各種品質を確認したうえで、その出来形の確認が可能な施工プロセス管理が行える技術である必要がある。

特に、高圧噴射工法においては、壁状に改良する場合の施工管理手法が確立されておらずより一層の強化が望まれる。一方、機械攪拌式深層混合処理工法については、これまでの多くの工事実績や研究開発から、改良の出来形と施工プロセス管理との関連付けがなされており、現在の施工管理手法が構築されている。

表4.2.4-5に従来の機械攪拌式格子状地盤改良工法（TOFT工法）の施工管理項目の一例を示す。

２）品質・施工性ならびに周辺への影響確認

今回選択する工法を一般的な土木構造物や建築物に適用する場合、前章で述べたように周辺への影響は少ないと考えるが、今回の対象物が戸建て住宅やそれに伴う埋設物などということもあって、事前の試験施工などにより、狭隘なスペースでの施工性や、改良による周辺への影響を確認しておく必要がある。また、品質面においては、機械攪拌と高圧噴射のように他工種による改良体の一体性が求められることから、ラップ接合部の密着性などの確認も必要となってくる。従って今後工法を選定するに当たり、試験施工の実施も視野に入れ検討を進める必要があると考える。

表4.2.4-6に試験施工の検討項目例を示す。

表4.2.4-5　TOFT工法における施工管理項目の例

管理対象	管理項目	管理方法
材　料	材料の計量	自動計量器によるバッチ毎の計量
スラリーの配合	密　度	比重計による測定
	吐出量	流量計と処理機貫入速度による単位体積当たりのスラリー吐出量の測定
貫入・引上げ速度	貫入･引上げ速度	処理機深度計による貫入・引上げ速度
混合度合	羽根切り回数	処理機深度計による処理機貫入、引き上げ速度と軸回転計による羽根切り回数の測定
コラムの打設位置	杭芯位置	目杭による
処理機の鉛直度	処理機リーダーの鉛直度	トランシット又は処理機リーダーに取り付けた傾斜計
コラムの着底	着底深度	処理機深度計・速度計・電流計

表4.2.4-6　試験施工で検討すべき項目の例

確認事項	計測する項目
改良品質の確認 ・改良壁の一体性 他	鉛直精度（傾斜計）、 改良径（掘出し調査、鉛直ボーリング） ラップ性能（掘出し調査、斜めボーリング）
施工性の確認 ・狭隘なスペースにおける施工性 他	作業効率の確認、排泥処理の方法
施工による影響確認 ・周辺地盤の変位 ・家屋の変位 ・埋設管の変位 ・騒音・振動 ・植栽への影響 他	地表面の水平・鉛直変位(レベル・トランシット) 〃 地中変位（傾斜計） 騒音・振動測定（騒音・振動計） 周辺土壌のｐＨ測定

（6）まとめ

格子状改良工法の住宅地への適用について、施工法の観点から実現の可能性を検討した。

1）現時点で実施可能な施工法を模索した場合、道路部においては小型機械攪拌工法、宅地部は超小型高圧噴射工法を基本とした計画が最も現実的と考える。

2）コスト的観点からは、宅地部のコスト削減がポイントとなる。超小型高圧噴射工法に比べコスト的優位性の高い、超小型機械攪拌工法ならびに超小型自由形状高圧噴射工法について早期の開発（工法の確立）が望まれる。

3）格子状地盤改良の品質管理の観点からは、改良壁の強度ならびにラップ部の一体性の確保が最も重要であり、また施工に伴う周辺への影響についても確認しておく必要がある。特に、高圧噴射工法では、格子状改良の壁の構築という視点に立った施工管理手法の早急な強化（構築）が望まれる。

4）いずれの工法を選択する場合においても、格子状地盤改良を住宅地に適用した例は少ないことから、実際の計画に先立ち、試験施工等により機械の適用性や周辺宅地および埋設管などへの影響を確認しておく必要がある。

４．２．５　概算費用に関する検討

（１）コスト試算

コスト検討は、既設施工を想定した条件で行うものとし、解析で検証された改良パターンに対し、道路部および宅地内部それぞれの格子壁造成に適した工法を想定して、コストの検討を進めてゆくこととする。

実際の施工を考慮した場合、基本的に道路部ではコスト及び品質の観点から小型機械攪拌工法の使用が望ましく、宅地内では隣棟間隔の関係から、超小型高圧噴射工法や小型機械攪拌工法を使用することになると考える。ただし道路部であっても、埋設管等の関係から高圧噴射工法を選択せざるを得ない部分もあり、計画に当たっては詳細に検討する必要がある。

そこで今回解析で検討を行ったすべてのケースについてコスト検討を行った。

表 4.2.5-1 に、液状化対策としての効果が高く、かつコスト的優位性が高いと考えられる Case1-2 について、コスト検討結果を示す。

なお、改良形態によるコスト面から見た比較検討が出来るよう、他のケースについても Case1-2 に対するコスト比率の形で示した。算出したコストには、概算の直接工事費、機械の組立・解体費ならびに調査・試験費が含まれている。外周道路部の工事費は、隣り合う街区との折半とし 1/2 計上としている。その他、住宅敷地内の塀や植栽などの施工に支障となる外構の撤去・復旧費や、道路部の舗装の撤去・復旧費ならびに埋設管および電柱の移設・復旧費用などの付帯工事費についても想定に基づき見込んでいる。ただし植栽関係の費用は含まれていない。

Case1 は道路部縦断方向に小型機械攪拌工法（φ1000mm)、横断方向は埋設管を考慮し高圧噴射工法（φ1500mm)、宅地部には超小型高圧噴射工法(φ1500mm)を用いた場合と、超小型機械攪拌工法（φ800mm）の使用を想定した場合についてコスト算出を行った。改良形態としては改良深度 13m、格子寸法として道路部が２枚壁、宅地部を１戸１格子とした最も基本的でかつ液状化抑止効果が最も高いパターンである。またそれらから派生した道路部が１枚壁のパターン（Case1-2)、加えて宅地内の改良深度を浅くしたパターン（Case1-3）についても検討した。施工的には現存機により施工可能ではあるが、全体のボリュームが大きいことや、実際には高圧噴射工法の占める割合が多くなる可能性が高く、コスト的には不利な状況となっている。

Case2 は、道路部のみ Case1 と同様に小型機械攪拌工法と高圧噴射工法にて施工したパターンである。道路部の液状化対策としては効果的であるが、宅地部が未対策のため、コスト的にはかなりの低く抑えられるものの、解析結果からは宅地部の液状化抑止効果は認められず、また、東日本大震災の被害事例でも報告されているように、宅地部の液状化により、宅地桝から道路部の下水本管に液状化した土砂が流入する恐れがあり、宅地内に別途液状化を抑止する対策が必要となる。

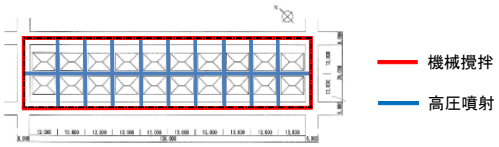
Case3 は、Case2 の宅地部を４戸１格子で囲ったパターンであり、道路部は２枚壁（Case3-1）と１枚壁（Case3-2）の２パターンの検討を行った。また宅地部は Case1 と同様、超小型高圧噴射工法または超小型機械攪拌工法での施工を想定している。宅地内部に壁を施工することで、Case1 ほどではないが液状化対策としての効果が期待でき、道路内の下水本管への土砂の流入は防げるものと考える。ただし、宅地内の対策として完全ではない為、別途対策を追加することが望まれる。たとえば、解析の検討結果によると、地下水位を想定より 1m 下げることで液状化対策としての効果が改善されることから、例えば、もともと地下水位が低いなど現地の条件が適合する場合には、コスト的にも Case1 より安価であることから、現実的な対策パターンの一つであると考えられる。

実際の適用するにあたって、今後解決すべきコスト低減に関する課題を以下に示す。

・コスト負担の大きい高圧噴射工法使用率の低減（機械撹工法の使用率のアップ）
・高圧噴射工法の施工品質の確保ならびに施工管理手法の確立
・改良により発生する排泥の処理方法
・格子寸法の拡大や改良長の短尺化など設計的検討による改良体積の削減

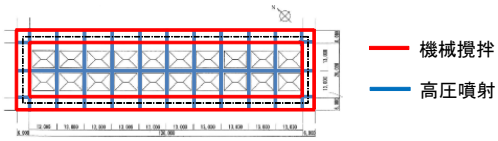
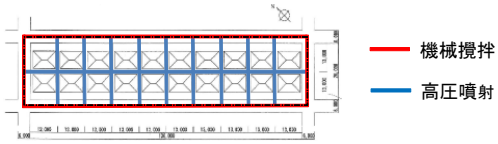
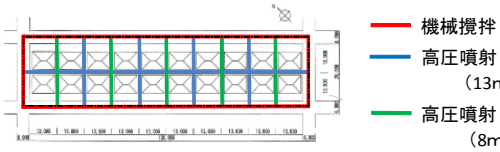
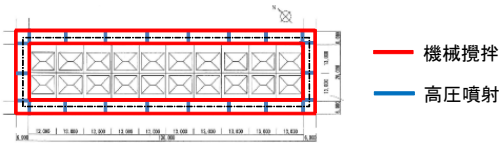
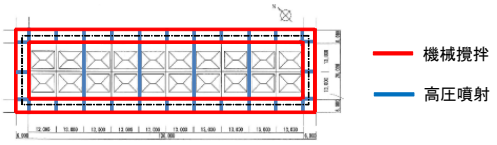
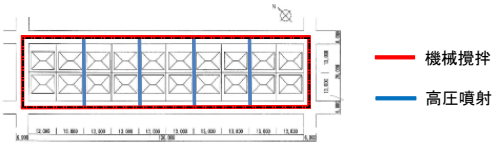
表 4.2.5-1　コスト検討

Case1-2における概算コスト検討

検討ケース		概算コスト（百万円）	概算工期（月）
Case1-2 道路1重 住戸毎		400 ～500	7.0

※ 宅地内の施工は機械攪拌と高圧噴射の2種類で検討し、コストを幅で示している。
※ 概算コストには、想定数量に基づく地盤改良費、付帯工事費および間接工事費を含む。

各検討ケースにおける概算コスト比率

検討ケース		Case1-2に対する概算比率	
		コスト	工期
Case1 道路2重 住戸毎		1.1	1.0
Case1-2 道路1重 住戸毎		1.0	1.0
Case1-3 道路1重 住戸毎 一部深度8m		0.9	0.85
Case2 道路のみ		0.35	0.85
Case3-1 道路2重 4住戸毎		0.6	0.85
Case3-2 道路1重 4住戸毎		0.5	0.7

・コストには事前・事後調査費用ならびに排泥処理費を含む。ただし、植栽費用は別途。
・工期は付帯工事の工期も含む。

（2）コストに影響する諸要因

道路内の工法としては、基本的に障害の有無により機械攪拌工法と高圧噴射工法を使い分けることが必要となる。コストを正確に算定するには、埋設管などの既存の道路施設の位置を正確に把握し、その撤去復旧費や切り回し費用と高圧噴射工法による施工費との比較により決定することとなる。

前項では、想定に基づき概略の工事費を算出したが、正確な事業費の算定にあたり、以下の項目に対し詳細に検討する。

表 4.2.5-2 事業費算定にあたり必要な項目

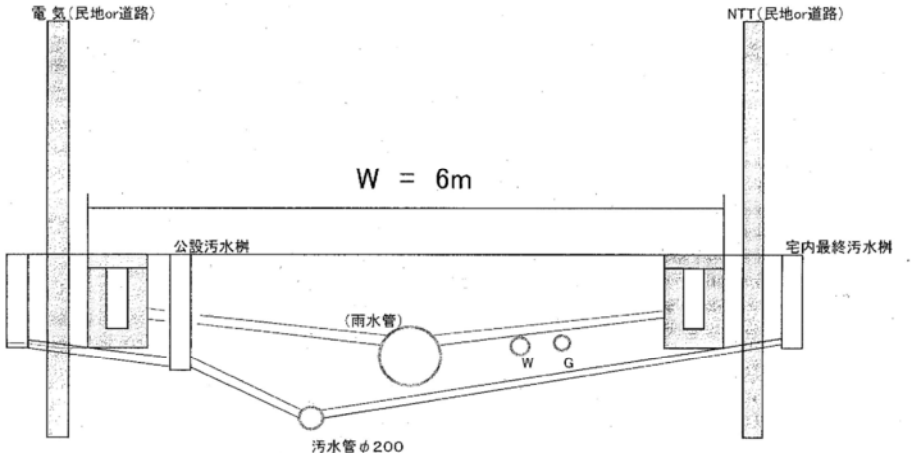
項　　目		留意点
直接工事費関係	・直接工事費	改良形状、選定工法により設定
	・間接経費	直接工事費により変動
	・家屋調査費	必須
	・家屋保障関係経費　　など	必須
付帯工事関係	【道路部】	
	・道路舗装費、路盤路床の撤去復旧費	必須
	・電柱移設費用	必須
	・埋設管（ガス、水道、雨水管、汚水管、最終公設桝、マンホール）の切り回し、敷設替費用	道路部の選定工法（機械、高圧）の工事費との比較により選択計上
	・LU側溝の撤去復旧費用	道路部の選定工法（機械、高圧）の工事費との比較により選択計上
	など	
	【宅地部】	
	・土間コンクリート撤去復旧費	必須
	・既存塀撤去復旧費	必須
	・宅地内配管切り回し、敷設替費用	必須
	・植栽撤去・復旧費	
	など	

特に道路部においては、埋設管の切り回し、敷設替え費用、LU 側溝の撤去・復旧費用の大小が、基本的な機械攪拌工法と高圧噴射工法の選択条件となることから、実際の計画にあたっては、正確な埋設位置と数量の把握が必要となる。

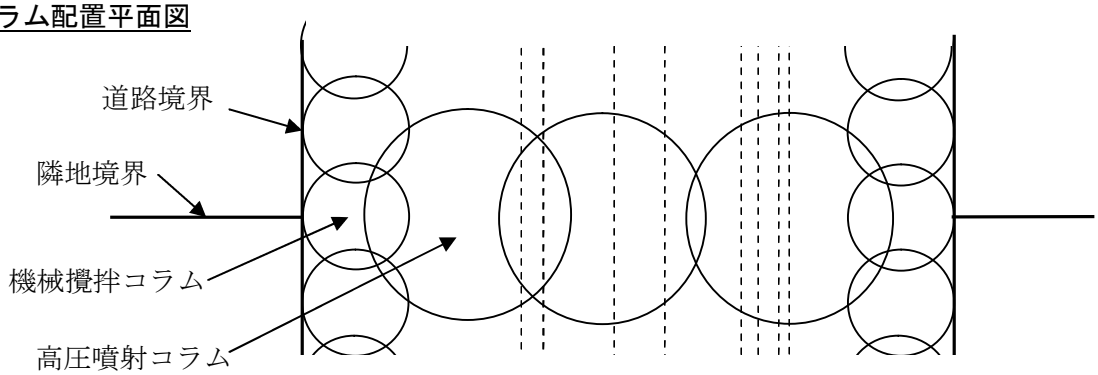
図 4.2.5-1 に LU 側溝を撤去・復旧を前提とした場合の機械攪拌および高圧噴射によるコラム配置イメージを示す。

道路断面図

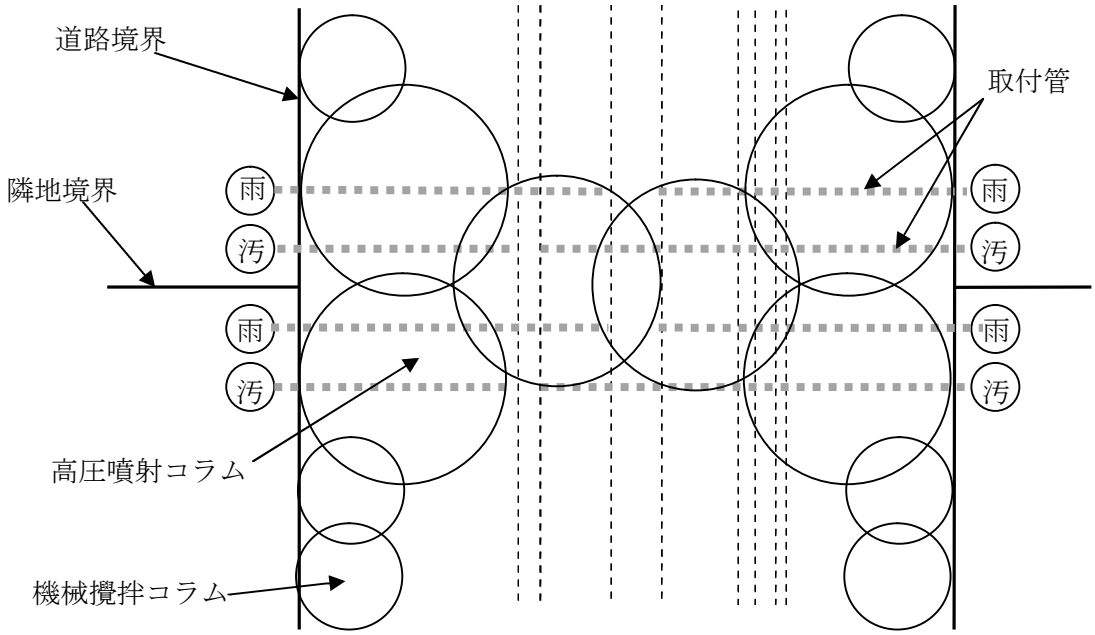
（イメージ）



コラム配置平面図



宅地桝がない場合（取付管を切り回す場合を含む）



宅地桝がある場合

図 4.2.5-1　コラム配置検討例

４．３　格子状改良工法実施上の課題

４．３．１　設計上の課題

格子状改良工法を適用する場合の設計上の課題について述べる。

（１）格子状改良の適用範囲

今回の検討では住宅を 1 戸ずつ改良壁で囲うケースと 4 戸ずつ囲うケースを検討した。しかし、今までの格子状改良工法として実地震で液状化防止効果が確認された格子間隔の最大は神戸市のホテルで適用された 24m である。本検討結果において L1 相当地震に対して 1 戸ずつ囲うケース(格子間隔 13～16m)では液状化防止を図れる可能性が高いものの、4 戸ずつ囲うケース（格子間隔 26～32m）は検討条件によって液状化防止効果が確保できるという結果であった。解析上は 4 戸ずつ囲う格子間隔でも成立するという結果であったが、これらの格子間隔は過去の実績より大きい。したがって、過去の実績を超える格子間隔を適用する際には、振動実験などによる液状化防止効果確認が必要と考えられる。

（２）地盤のばらつき

今回の検討では浦安市の平均的なモデル地盤を設定し、格子状改良の液状化防止効果を検討した。解析検討ではモデル地盤の地下水位を 2m とした条件での検討も行った。その結果、FL 値は地下水位が 1m 低下したことで 4 戸ずつ囲うケースが成立する場合があるなど、地盤定数が変化すると格子状改良の適用範囲が変わることがわかった。今回設定したモデル地盤はあくまでも浦安市の平均的なものであり、実際の地盤はばらつきもあるため、本検討結果がそのまま浦安市内の全ての地盤に適用できるとは限らない。実際の適用に際しては、対象地盤の地盤調査結果に基づき格子状改良の可否を検討する必要がある。

（３）改良端部での局部的な液状化

改良壁を設けることにより、壁の近傍では地震動によって水平方向応力だけでなく、鉛直方向応力が発生する可能性がある。今回の等価線形解析での検討では水平せん断応力 τ_{xy} によって FL 値を算定したため、これに鉛直成分が加わるとせん断応力がさらに大きくなることが予想される。補足資料（別添資料４-１、４－３）に示すように、地下水位 1m のケースで格子間隔が狭い道路部分では鉛直成分を考慮した τ_{max} で検討した FL が τ_{xy} による値よりやや小さくなる場合があることが分かった。また、有効応力解析では改良壁近傍での過剰間隙水圧の上昇が改良壁中央部より大きくなる傾向が認められた。

地下水位が 0m や 1m と浅い場合は、液状化層の上部で鉛直方向の土の動きによって液状化が発生する可能性がある。それを抑制するために改良体の端部に「ふた」となる改良体や砕石を設けるなどの対策に関する意見があった。また、地下水位を 1m 程度低下させることも液状化の抑制に効果があるという解析結果が得られた。このことは補足資料（別添資料４-２）に示す既往の研究でも示されている。ただし、「ふた」などの対策についての効果やその設計法について

未解明な部分があり、今後の課題である。

４．３．２　施工上の課題

（１）施工機械の選定

本検討では、機械攪拌工法と高圧噴射工法を中心として機械選定を行った。

現状存在する工法（機械）として、道路部は小型機械攪拌工法、宅地部は超小型高圧噴射工法を基本とした対策工事の計画は可能である。ただし、更なるコスト削減を考慮しようとする場合には、本論でも述べたように、宅地部における工法選定が鍵となり、超小型機械攪拌工法や、超小型自由形状高圧噴射工法の適用が望まれる。しかし現時点では両工法とも宅地での実施例がほとんどなく、これらを適用するためには、超小型機械攪拌では機械の完成と施工性、また超小型自由形状高圧噴射では品質面と施工管理方法に主眼を置いた確認・検証を引き続き行っていく必要がある。

（２）格子状改良としての改良壁の一体性の確保

格子状地盤改良工法における液状化対策では、格子の剛性を確保することによって液状化抑止効果を発揮する。また、壁状の改良体の場合ブロック状の改良体とは違い、寸法的な余裕を有さないため、壁厚など改良体の出来形の確保が設計上での前提条件とも言える。従って改良体の出来形・強度ならびに一体性を確保することが、施工において極めて重要な条件の一つとなる。工法選定を行うにあたり、改良杭単体における改良杭の品質確保は勿論のこと、隣り合う改良杭どうしの一体化（ラップ部分）の担保として、打設時の鉛直精度や、ラップ部分の強度確認などを検証した工法である必要がある。

また、機械攪拌工法と高圧噴射工法のように異なる改良形式による改良体の接合部分についても、掘出し調査やボーリングコアによる強度確認など、隣り合う改良体の一体性を確認しておく必要がある。

（３）排泥処理

地盤改良工事における排泥処理は、周辺の施工環境ならびにコスト削減の点において、重要な検討項目の一つである。施工環境面において、発生した排泥の集積方法などについて各工法により基本的に確立はされているが、狭小地施工条件下においても適用が可能かどうかの確認が必要である。また、発生する排泥の減容化や再利用の方法など、コスト削減に向けた更なる検討は、今後の課題である。

（４）地中埋設物や住宅への影響

道路部や宅地内の建物周りには、様々な地中埋設管が存在する。今回の対策工事では既設の

配管位置を考慮しながらの計画となり、かなりの近接施工が予測されるため、予め改良による配管への影響を確認しておく必要がある。

また宅地内の施工において、平面的に住宅基礎の下部に改良体の一部が食い込むような配置となった場合、改良体打設後、一時的に支持地盤の地耐力が低下する。逆に打設により地盤が隆起するなどの問題も発生する可能性がある。

埋設配管や上部の建物に影響を及ぼさない杭配置や施工手順など、試験施工などにより事前に検討しておくことが重要である。

４．３．３　その他の課題

（１）周辺への影響

格子状改良を実施した場合、街区の端部では改良エリアと未改良エリアの境界部ができるところがある。境界部に設けた改良壁の未改良側では格子状改良を設けたことによる影響が懸念される。つまり、改良壁を設けたことにより地盤の剛性が増加することで未改良エリアに何らかの影響が及ぶことが考えられる。Case1 の解析結果において改良エリアの外側における応力分布を補足資料-3 に示した。その結果によると、改良壁から 3m 程度外側までは改良壁を設けたことにより、せん断応力に影響が出ていることがわかる。解析は改良壁と地盤が接点を共有した連続体として実施しているため、剛性の高い改良壁の影響が未改良地盤に出やすい条件であるが、改良壁の近傍では未改良エリアにおいても改良による影響が発生する可能性が考えられる。従って、未改良エリアとの境界部では改良壁の外側に緩衝領域を設けるなど未改良エリアに液状化が生じても問題がないようにしておく必要がある。

（２）植栽への影響

格子状地盤改良の改良深さは地下水位以深を基本としているが、地盤改良にはセメントを用いるため地下水位が浅い場所ではアルカリによる植栽への影響が懸念される。地盤改良が完全に固結すればコンクリートと同様にアルカリが溶出する可能性は低いことから、改良部の上に表土を入れることで植栽への影響を抑えることはできる。しかし、根が深くまで到達する植栽がある場合は、根の浅い植栽に置き換えるか改良深度を下げるなどの対応が必要になると考えられる。

４．４　まとめ（格子状改良工法）

道路・宅地一体化対策として格子状地盤改良工法を採用した場合の実現可能性について検討した結果は次の通りである。

①施工可能な範囲（道路側、宅地側）に応じて、目標性能を満足する格子状改良壁の仕様を設定することができた。

②道路・宅地内における格子状改良壁の施工が可能な小型の施工機械を選定した。特に宅地内においては施工実績が少ないことから、実際の計画にあたっては施工性の確認や住宅への影響など確認すべき課題が残された。

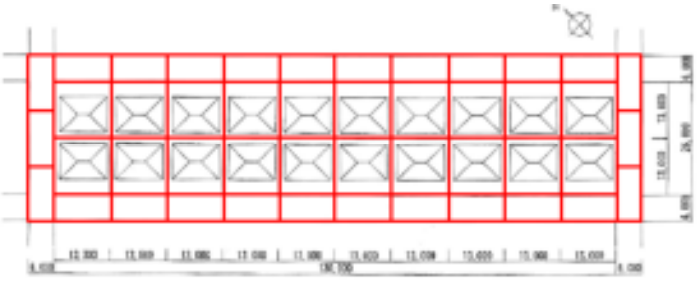
以下に検討ケースごとのまとめを示す。

（１）道路側及び宅地側に施工する場合：case1～1-3

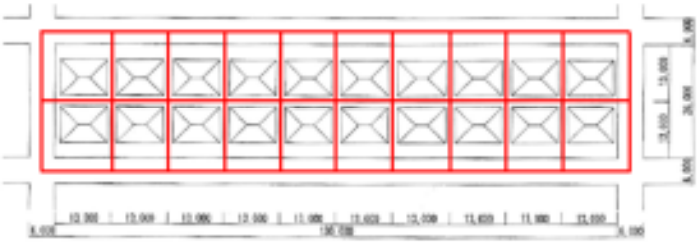
①道路側も宅地側も目標性能を満足する仕様を設定することができた。

②1 街区（20 戸）当たりの総施工費は、3 億 8,000 万～5 億 5,000 万円であり、5 街区（100 戸）当たりの総施工費は、18 億 5,000 万～26 億 8,000 万円であった。

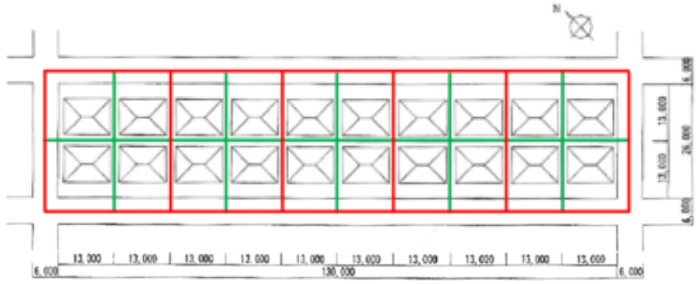
③宅地内における格子壁築造にあたっては、小型施工機の改良により狭隘地における施工性向上及び小型施工機による施工品質の確保が課題である。



Case1-1



Case1-2



Case1-3

（赤）：壁厚 85cm

（青）：壁厚 85cm（改良体下端 GL-8m）

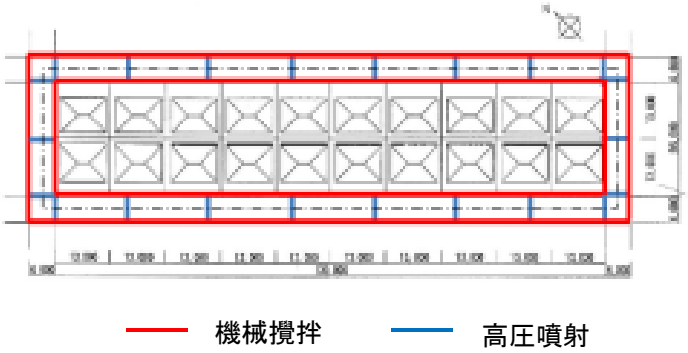
（２）道路側のみに施工する場合：case2

①道路側の目標性能を満足する仕様を設定することができた。

②住宅側の目標性能を満足するためには、個別対策との組み合わせ等を検討する必要がある。

③1 街区（20 戸）当たりの総施工費は、1 億 8,000 万円であった。

Case2

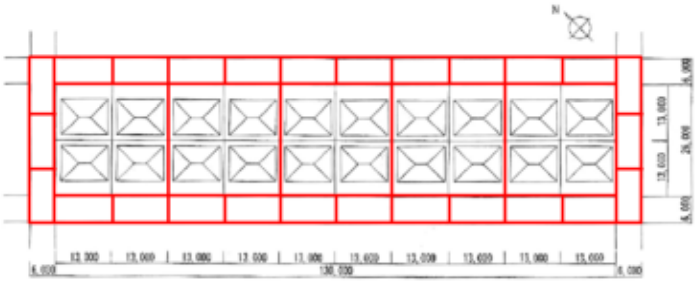


（３）道路と一部の宅地側に施工する場合：case3-1、3-2

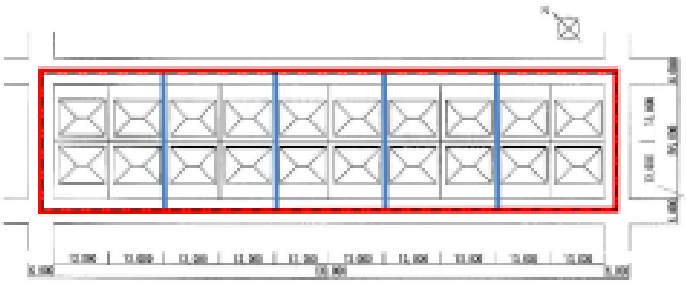
①道路側の目標性能を満足する仕様を設定することができた。

②住宅側の目標性能については、一部満足しない領域があるため、地下水低下（地下水位 GL-2.0m）工法や個別対策との組み合わせ等を検討する必要がある。

③1 街区（20 戸）当たりの総施工費は、2 億～3 億 1,000 万円であった。



Case3-1



Case3-2

機械攪拌　高圧噴射

＜４の参考文献＞

1) 古賀泰之，松尾修，榎田実，伊藤浩二，鈴木吉夫：深層混合工法による砂地盤の液状化対策に関する模型振動実験(その 2)-格子状改良地盤の液状化抑制効果について-，第 23 回土質工学研究発表会，pp.1019-1020，1988.6.
2) 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案，2006.
3) 津國正一，塩見忠彦：格子状改良地盤の過剰間隙水圧発生量を予測できる解析法の検討，土木学会年次講演会，pp.172-173，2001.10.
4) 鈴木吉夫，斉藤聰，木村玄，木林長仁，細見尚史：格子状地盤改良による液状化対策を施した建築基礎の調査報告，基礎工，vol.23，No.10，pp.54-58，1995.10.
5) 内田明彦，山田毅，小田島暢之，山下清：格子状地盤改良を施したパイルド・ラフと基礎の地震前後の挙動，第 47 回地盤工学研究発表会，pp.1405-1406，2012.7.
6) 土木研究センター:陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル 改訂版,pp.118～164，平成 16 年 3 月
7) 地盤工学会：液状化対策工法，第 2 章，pp.299～317，2004
8) 日本建築センター：改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針，pp.349－355，2002
9) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針,2001
10) 石原・吉嶺:地震時の液状化に伴う砂地盤の沈下量予測,土質工学研究発表会,pp.767-pp.770，1991.
11) 南　大造 他：深層混合処理工法施工に伴う周辺地盤変位の評価－その１：施工に伴う周辺地盤変位の実測－、第 42 回地盤工学研究発表会、地盤工学会、2007.7
12) 佐藤英二 他：深層混合処理工法施工に伴う周辺地盤変位の評価－その２：変位抑止施工法の効果－、第 42 回地盤工学研究発表会、地盤工学会、2007.7
13) CDM 研究会,CDM Q&A 集,p149，2005.