

# 既存宅地の液状化対策工法に関する 3次元 FEM 解析

永井裕之<sup>\*1</sup>・浦野和彦<sup>\*1</sup>・足立有史<sup>\*2</sup>

既存宅地を対象とした道路・宅地一体型液状化対策において選定した対策工法の有効性を確認するため、3次元 FEM 解析 (LIQCA3D11) を実施した。解析対象は、主工法のみで対策する場合は街区全体をモデル化した全体系モデル、主工法と副工法の組合せで対策する場合は街区全体から4宅地を取り出した部分モデルとした。全体系モデルにおける主工法は「地下水低下工法」、「格子状地中壁工法」を選定した。全体系モデルの解析により、主工法である格子状地中壁工法の対策効果が限定的であることを確認し、部分モデルの解析結果により、宅地直下を含む街区全面を対策範囲とすることが最も効果的であることを確認した。

キーワード：液状化，有効応力解析，宅地，地下水位低下，地盤改良

## 1. はじめに

既存宅地を対象とした道路・宅地一体型液状化対策<sup>1)</sup>においては、現地条件を考慮した適切な対策方法の選定が重要である。本研究では、その検討のための基礎資料を得るために、各種対策工法を適用した3次元 FEM 解析 (LIQCA3D11) を実施した。まず、1つの街区全体 (92.0m × 29.5m) を解析対象とし、2種類の入力波を用いて「地下水水位低下工法」、「格子状地中壁工法」の効果を確認した。次に、街区単位の FEM モデルから4宅地部分を抽出した部分モデルを用い、様々な対策工の効果、及びそれらの組合せによる有効性を確認するため、主工法として地下水水位低下工法と4種類の副工法を組み合わせた9パターンの解析を行った。

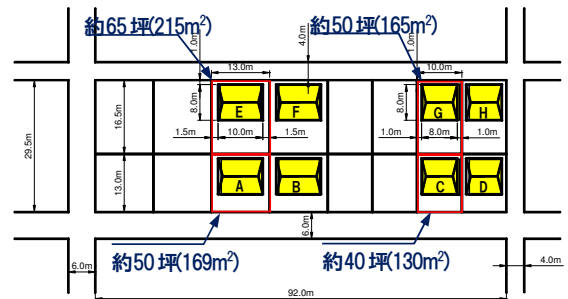


図-1 既存宅地の平面形状

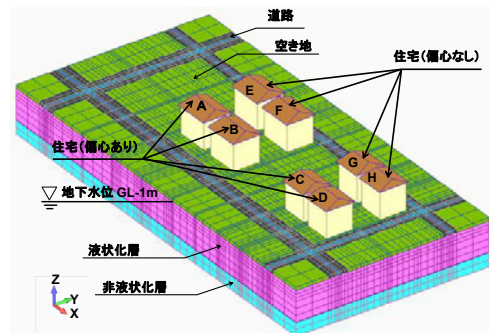


図-2 3次元 FEM 解析モデル

## 2. 解析概要

### 2.1 解析対象と解析モデル

対象とする既存宅地の形状を図-1に示す。区画サイズは、13m × 13m (約 50 坪), 13m × 16.5m (約 65 坪), 10m × 13m (約 40 坪), 10m × 16.5m (約 50 坪) の4種類に区分され、全16区画のうち8区画を空き地、8区画を住宅付きとした。

図-2に FEM メッシュを示す。境界条件は、側面は宅地モデル周囲に幅広要素 100m 程度を設置し、その外周の同一深度節点を等変位境界とした。底面は宅地モデル底面より下方の地盤の半無限性を考慮できるように粘性境界とした。本解析モデルは、液状化対策工法を主工法のみとした場合の解析に用いた。主工法と副工法の組合せによ

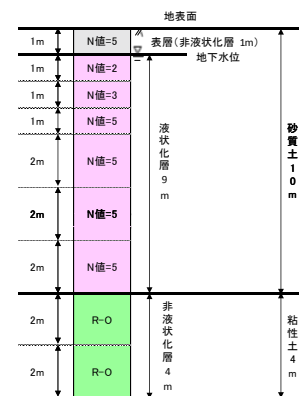


図-3 土層構成

\*1 土木研究部 \*2 技術第二部

る解析には、第4章に示す部分モデルを用いた。

## 2.2 地盤

土層構成は表層（砂）、液状化層（砂）、非液状化層（粘土）の3層構成とした。図-3に解析対象地盤の構成を示す。地下水位は地表面下1mで、液状化層は層厚が9mで、上部ほどN値の小くなる土層を想定した。なお、本解析では、液状化による住宅の沈下や傾きに着目するため、液状化しやすいN値が小さい土質とした。また、地震後の沈下量が実被害と整合するように、無対策時において自由地盤（住宅なし）で30cm程度<sup>2)</sup>の沈下量が発生するようなパラメータを設定した。

## 2.3 住宅

住宅は、図-4に示すように2階建て木造住宅を1質点系モデルでモデル化した。住宅の固有周期については、既往の研究結果<sup>3)</sup>をもとに6Hzに設定した。ここで、住宅の基礎部分については住宅底面の節点間に剛な梁を格子状に配置し、基礎重量に相当する密度を与えて住宅基礎をモデル化した。また、住宅基礎部の偏心重量の有無による2種類のモデル化を行った。偏心重量は全重量の30%<sup>4)</sup>にあたる59.64kNとし、短辺幅の1/4だけ短辺方向（Y方向の正側）にずらした。

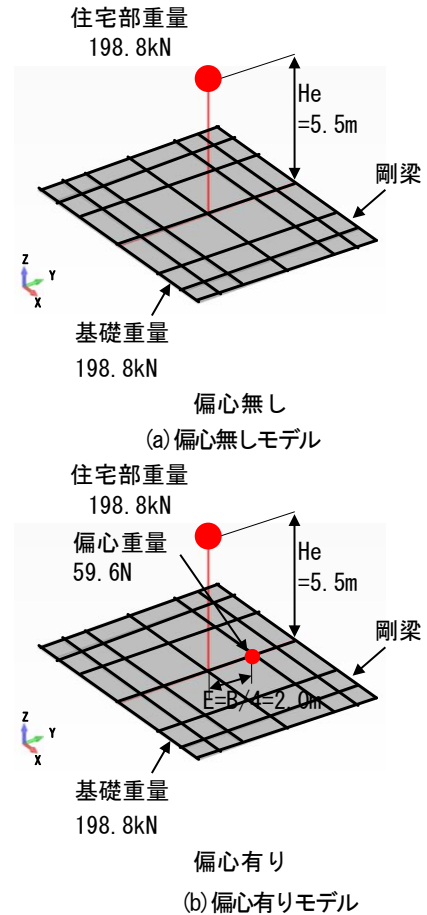


図-4 住宅のモデル化

## 2.4 メッシュ分割

平面的には構造物変化点、着目点は細かく（0.5～1.0m）メッシュ分割を行った。また、深度方向についてはせん断波の伝播を表現できるように、1～2mで分割を行った。原則、メッシュ分割は全解析ケース同一とし、メッシュサイズによる影響は排除した（事前に対策工を考慮したメッシュ分割を行う）。なお、格子状地中壁は表-3の（※）格子状地中壁のモデル化に示す通りであり、土と壁の間に10cmの薄層要素を設定した。図-5に格子状地中壁のメッシュ図を示す。

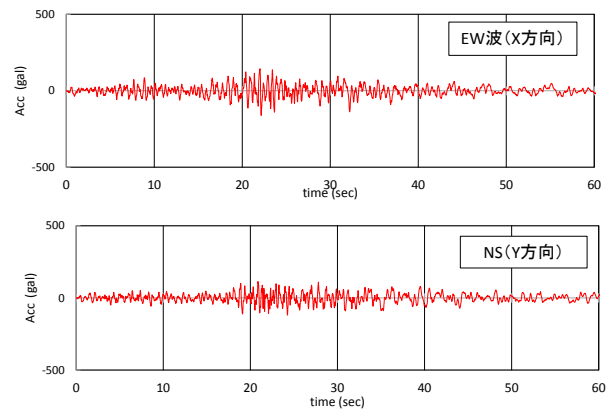


図-5 入力地震動（夢の島波）

## 2.5 入力地震動

入力地震動は、図-5、図-6に示すプレート境界型地震である平成23年東北地方太平洋沖地震における夢の島観測波の引戻し波の1.5倍波（M9.0、地表面想定加速度200gal）と、内陸直下型地震である中央防災会議による東京湾北部地震波（M7.3、地表面想定加速度350gal）の特性が異なる2つの地震波を用いた。加震方向は水平2方向同時とし、加速度振幅の大きい地震波が解析モデル長手方向（X方向）になるように設定した。

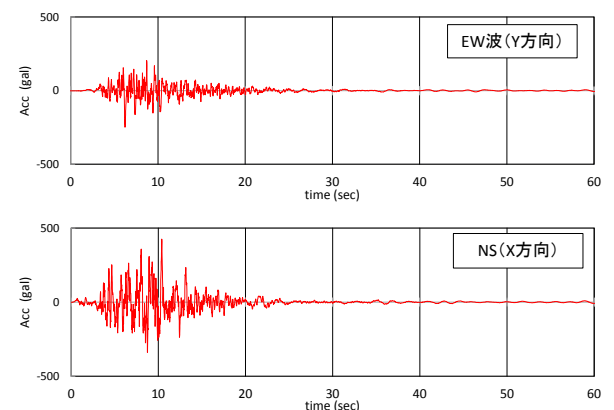


図-6 入力地震動（東京湾北部地震波）

表-1 解析のモデルパラメータ

パラメータ名	非液化化層 [As]		液化化層 [As]			非液化化層 [Ac]	
		繰返し弾塑性	繰返し弾塑性			R-O	
N値	N	-	5	2	3	5	-
相対密度(Meyerhof) <sup>2)</sup>	Dr	[%]	42	24	31	42	-
単位堆積重量	$\gamma t$	[kN・m <sup>-3</sup> ]	18	18			17
透水係数	k	[m・s <sup>-1</sup> ]	5.0E-05	5.0E-05			3.8E-11
せん断弾性波速度	$V_s$	[m・s <sup>-1</sup> ]	130	89	105	130	200
せん断弾性係数	$G_0$	[kN・m <sup>-2</sup> ]	31009	14534	20229	31009	68000
初期間隙比 <sup>1)</sup>	$e_0$	-	0.80	0.83	0.82	0.80	1.410
繰返し強度比	$R_{L20}$ (t/sv)	-	0.18	0.11	0.15	0.18	-
繰返し弾塑性モデル							
圧縮指数	$\lambda$	-	0.025	0.033	0.029	0.025	-
膨潤指数	$\kappa$	-	0.0025	0.0025			-
擬似過圧密比	OCR*	-	1.0	1.0			-
有効土被り圧	$s_m'$	[kN・m <sup>-2</sup> ]	54.0	30.0	30.0	54.0	-
静止土圧係数	$K_0$	-	1.0	1.0			-
無次元化初期せん断係数	$G_0/s_{m0}'$	-	574.2	484.5	674.3	574.2	-
内部摩擦角 <sup>2)</sup>	$\phi'$	[deg.]	35.0	35.0			-
変相角 <sup>3)</sup>	$\phi_m$	[deg.]	28.0	28.0			-
破壊応力比	$M_f^*$	-	1.16	1.16			-
変相応力比	$M_m^*$	-	0.91	0.91			-
液化化強度 <sup>4)</sup>	$R_{L20}$	-	0.18	0.11	0.15	0.18	-
硬化パラメータ	$B_0^*$	-	1800	900	1350	1800	-
	$B_1^*$	-	50	30	30	50	-
	$C_f$	-	0	0			-
異方性消失パラメータ	$C_d$	-	2000	2000			-
ダライタシ係数	$D_0^*$	-	1.00	1.70	2.00	1.00	-
	n	-	4.00	2.90	4.00	4.00	-
塑性規準ひずみ	$\gamma_{ref}^{P*}$	-	1000	0.005	0.009	0.005	-
弾性規準ひずみ	$\gamma_{ref}^{E*}$	-	1000	0.010	0.050	0.100	-
R-Oモデル							
ポアソン比	$\nu$	-	-	-	-	-	0.35
粘着力 <sup>5)</sup>	c	[kN/m <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	100
内部摩擦角	$\phi$	[deg.]	-	-	-	-	0
せん断弾性係数のパラメータ	a	-	-	-	-	-	1.00
	r	-	-	-	-	-	0.00
	a	-	-	-	-	-	1.9
R-Oパラメータ <sup>6)</sup>	b	-	-	-	-	-	1.9
	hmax	-	-	-	-	-	-
	$\epsilon_{0.5}$	-	-	-	-	-	-

2.6 解析方法

解析に使用したプログラムは、LIQCA3D11<sup>5)</sup>である。解析に用いたモデルパラメータを表-1に示す。

減衰はRayleigh減衰を採用し、初期剛性比例型で地盤の一次固有周期で減衰定数1%となるように設定した。ただし、格子状地中壁については、遠心載荷試験のシミュレーション解析結果より、Rayleigh減衰を5%とした。モデルパラメータを表-1、計算時間増分とRayleigh減衰の設定を表-2、解析ケースを表-3に示す。なお、格子状地中壁工法は、セメント改良による地中壁の造成を想定し<sup>6)</sup>、設計基準強度Fc=1.5MPa、1住宅1格子、壁厚1m、深さ9mに設定した。

地震応答解析後に約5.5時間の圧密解析を実施した。初期応力は、液状化解析に使用する地盤モデルを用いた初期応力解析により別途算定した。

3. 解析結果

図-7に無対策時における加震終了時の過剰間隙水圧比のコンター図を示す。図-7は、1街区全体のFEMモデル

表-2 計算時間増分とRayleigh減衰

計算時間増分 $\Delta t$ (sec)	Rayleigh減衰		
	%	初期剛性比例型減衰定数	
夢の島波	0.005	1	0.00126
東京湾 北部地震 波	0.002	5	0.00628
	0.005 (ドレーンのみ)		※Rayleigh減衰5%は格子状地中壁の時のみ

表-3 解析ケース一覧

ケース番号	工法	仕様
1	無対策	-
2	地下水位低下工法1m	地下水位GL-1m
3	地下水位低下工法2m	地下水位GL-2m
4	格子状地中壁工法(※)	設計基準強度Fc=1.5MPa, 1住宅1格子, 壁厚1m, 深さ9m(GL-1~10m)

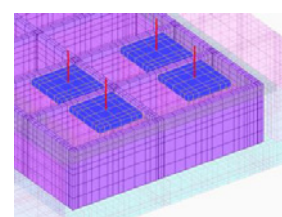


図-5 格子状地中壁のメッシュ図

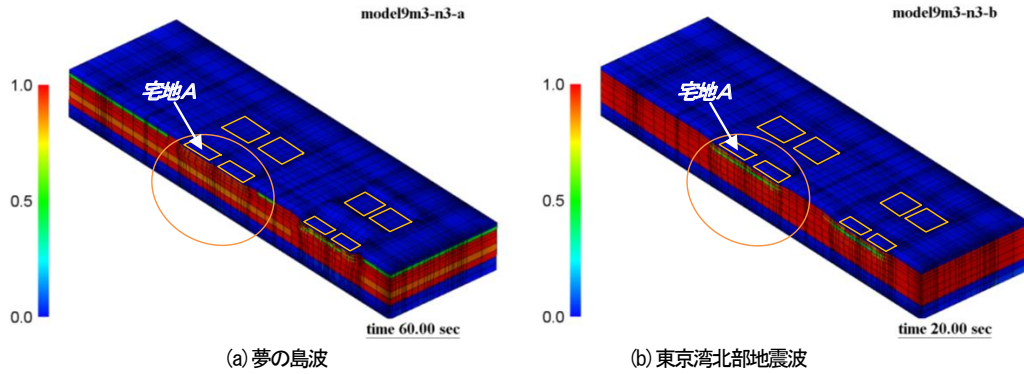


図-7 解析結果（加震終了時，無対策）過剰間隙水圧比のコンター図

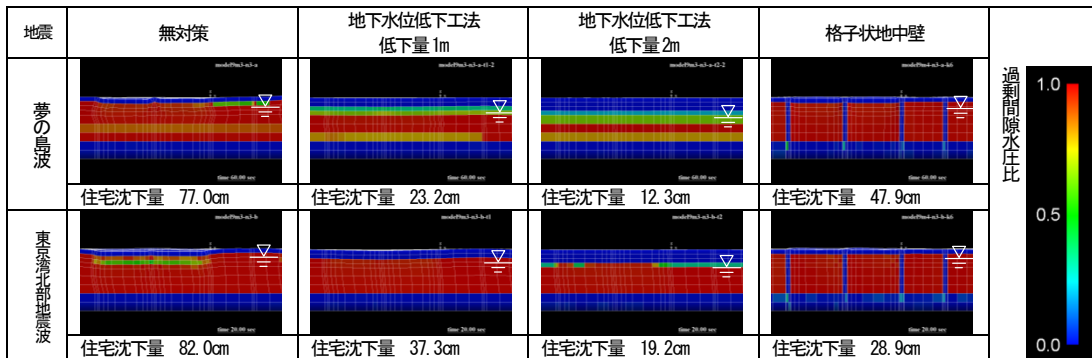


図-8 解析結果（加震終了時）過剰間隙水圧比のコンター図，住宅沈下量（宅地A中心）

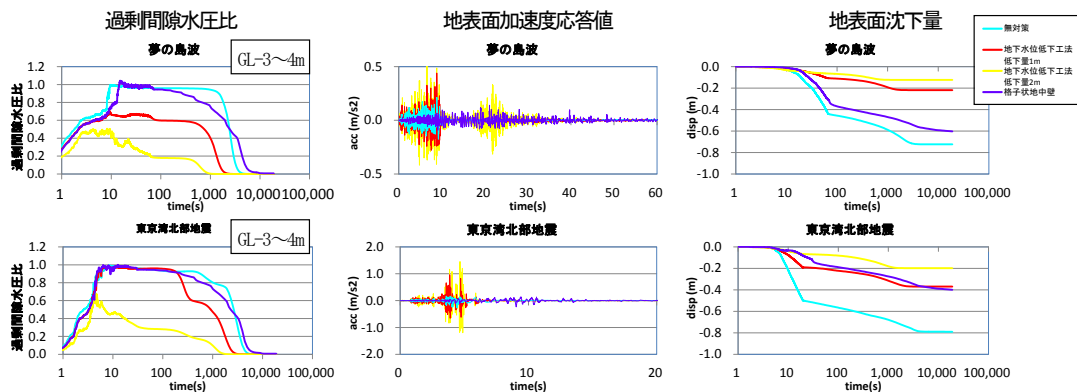


図-9 解析結果（宅地A, B, C, D中心）

ルのうち，住宅直下の断面を見易くしたコンター図である。図-7より，無対策時において液状化層が全て液状化していることが確認された。図中の丸枠（橙色）で囲んだ住宅周辺の拡大断面図を図-8に示す。各工法の宅地A（図-2参照）におけるGL-3～4mの層の過剰間隙水圧比の時刻歴，住宅部の加速度応答値の時刻歴，住宅直下の沈下量の比較図を図-9に示す。また，住宅中心位置の沈下量を図-10に示す。

図-8に示すように，無対策の場合には液状化した住宅直下地盤が側方にはらみだし，住宅直下において70cmを超える大きな沈下が発生している。一方，表層の非液状化層H1=3mを確保できる地下水位低下工法の低下量2mを適用した場合には，住宅直下の液状化発生範囲の減少に伴

い住宅沈下量も20cm以下に大きく減少しており，対策工の効果を確認された。

図-9より，GL-3～4m層の過剰間隙水圧比の時刻歴より，地下水位を低下させることにより液状化抑制および沈下低減効果が増加することが確認された。一方，加速度応答値は，無対策に比べて地下水位を低下することで値が増加することが確認された。これは，地下水位低下工法により地盤の液状化が抑制されたため，住宅直下地盤の振動を減衰する効果が小さくなることに起因すると考えられる。無対策と比較した沈下低減量は，夢の島波において地下水位低下量1mで70%程度，地下水位低下量2mで80%程度であったのに対し，格子状地中壁工法では38%程度となった。

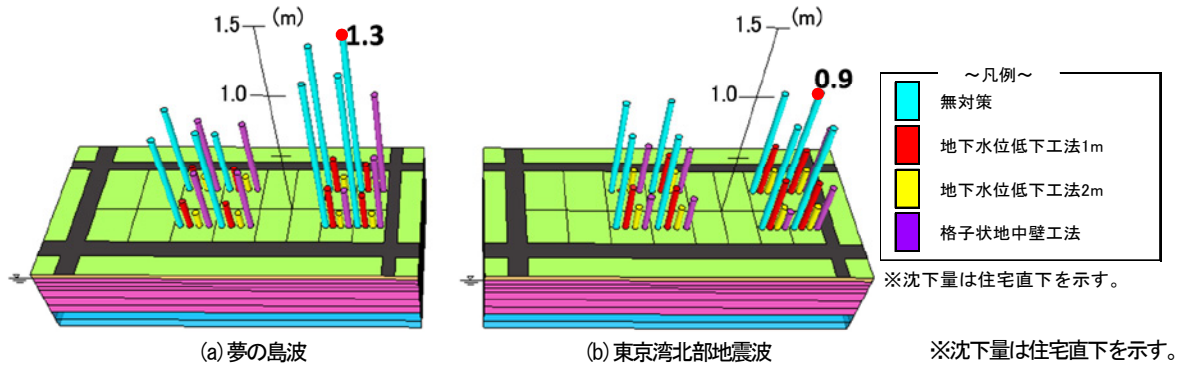


図-10 住宅沈下量の比較

表-4 解析ケース一覧表 (4住戸モデル)

入力地震動	主工法	副工法	パターン数	内容
夢の島波 または 東京湾北部地震波	地下水位 低下工法 低下量 1m	不飽和化	1	街区全面 (GL-3~6m)
		浅層盤状改良	2	街区全面 (GL-2~3m) 住宅直下除く街区全面 (道路含む) (GL-2~3m)
		柱状ドレーン	2	住宅直下除く敷地全面 (GL-2~6m) 住宅外周 1m の範囲のみ (GL-2~6m)
		部分締め固め (住宅周辺のみ)	2	住宅直下除く敷地全面 (GL0~6m) 住宅直下除く敷地全面 (GL0~3m)
		部分締め固め (住宅直下一部含む)	2	住宅直下含む敷地全面 (住宅外壁から 1m 内側の範囲も含む) (GL-2~3m) 住宅直下含む敷地全面 (住宅外壁から 1m 内側の範囲も含む) (GL-2~6m)
		合計	9	

表-5 対策工一覧表

工法名	地下水位低下工法のみ	不飽和化工法	浅層盤状改良工法	柱状ドレーン工法
概要図				
ケース番号	[a-1, b-1] 無対策 [a-2, b-2] 地下水位1m [a-3, b-3] 地下水位2m	[a-4, b-4] 不飽和化	[a-5, b-5] 街区全面 (道路含む) [a-6, b-6] 住宅直下除く街区全面 (道路含む)	[a-7, b-7] 住宅直下除く敷地全面 [a-8, b-8] 住宅外周 1m の範囲のみ
工法名	部分締め固め工法①	部分締め固め工法②	部分締め固め工法③	部分締め固め工法④
概要図				
ケース番号	[a-9, b-9] 住宅直下除く敷地全面	[a-10, b-10] 住宅直下除く敷地全面	[a-11, b-11] 住宅直下除く敷地全面 (住宅外壁から 1m 内側の範囲も含む)	[a-12, b-12] 住宅直下除く敷地全面 (住宅外壁から 1m 内側の範囲も含む)

※【】はケース番号を示す。a: 夢の島波, b: 東京湾北部波

図-10の無対策の結果では、建築面積が小さいほど沈下量が大きくなっていることが確認された。これは、全住宅の重量が同一であるため、住宅サイズが小さい(建築面積の小さい)ほど単位面積当たりの荷重が大きくなることに起因すると思われる。しかし、格子状地中壁工法の結果を確認すると、敷地面積が小さいほど対策効果が大きくなっていることがわかる。これは、格子間隔が液状化の程度や住宅の変形に影響を及ぼすことを示しており、住宅サイズ、格子サイズに十分な配慮が必要であると考えられる。

#### 4. 液状化対策工法の組合せの検討

圧密沈下が懸念される地盤では、地下水位の沈下量が制限される場所が想定される。そこで、地下水位の低下が1mだけでは十分な効果が発揮されない場合に、地下水位低下工法(主工法)に他の対策工法(副工法)を組み合わせた解析結果を示す。なお、主工法だけのケースでは、地下水位低下工法 1m, 2m の2ケースの解析を実施した。



### 4.1 解析モデル

解析モデルは、図-2に示す全体系モデル<sup>5)</sup>から2×2の4住戸を取り出したモデル(以下、部分モデルと呼ぶ)を使用した。これは、計算の効率を考慮したためである。なお、部分モデルの妥当性については、同条件での全体系モデルの解析結果と比較し、整合性が確保されていることを確認した。

境界条件については、全体系モデルと同様に、側面はモデル周囲に幅広要素100m程度を設置し、その外周の同一深度節点を等変位境界とした。底面はモデル底面より下方の地盤の半無限性を考慮できるように粘性境界とした。

### 4.2 解析ケースの選定

地下水位低下工法1mを主工法とし、副工法には、施工実績のある工法のうち、既存宅地に適応可能と思われる工法を表-4のように選定した。表-5に各対策工の仕様を示す。全体系モデルと同じ2波形を対象に、対策仕様9パターンの、計18ケースの解析を実施した。

### 4.3 副工法のモデル化

#### (1) 不飽和化工法

本解析において不飽和化の対象となる土層はN値=3および5(地表面より深さ2mから6m)とし、飽和度を95%に設定した。不飽和地盤は、繰返し弾塑性モデルでモデル化した。飽和度の低下による液状化強度の増加率は図-11に示す間隙水の体積弾性係数は2次元平面ひずみモデル単純せん断試験のシミュレーション解析により表-6のように設定した。

#### (2) 浅層盤状改良工法

浅層盤状改良は、地下水位以下に非液状化層を構築し、液状化による住宅の変形を抑制することを目的とした。浅層盤状改良は、恒久性薬液による浸透注入固化工法を想定しており、液状化発生を考慮しないパラメータを設定した。浅層盤状改良の対象とする土層はN値=3(地

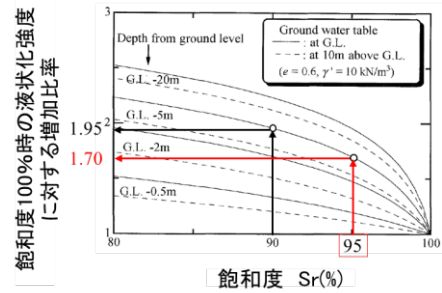


図-11 液状化強度と飽和度の関係(8)

表-6 体積弾性係数と飽和の関係

飽和度	体積弾性係数 K(kN/m <sup>2</sup> )	
100%	2,000,000	
95%	N値3	1,707
	N値5	1,193

表-7 解析ケース一覧表

パラメータ名		改良前 (N値=3)	改良後 (N値=3)
ダイラタンシー係数	D <sub>n</sub> <sup>*</sup>	2	0
	n	4	0
塑性規準ひずみ	γ <sup>p*</sup> <sub>ref</sub>	0.009	1000
弾性規準ひずみ	γ <sup>E*</sup> <sub>ref</sub>	0.05	1000
透水係数	K (m/s)	5.00E-05	5.00E-07

表-8 ドレーン工法の透水係数の選定

パラメータ名	ドレーン工法	無対策
透水係数 k(m/s)	4.75E-03	5.00E-05

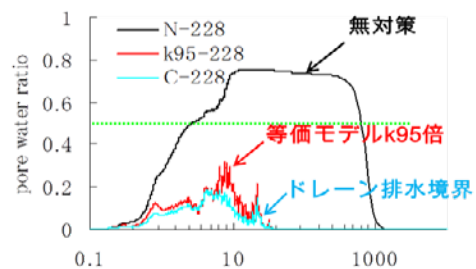


図-12 透水係数の比較

表-9 モデルパラメータの設定 (N値15)

N値	相対密度 (Meyerhof)	せん断弾性波速度	せん断弾性係数	液状化強度	単位体積重量	初期間隙比	透水係数	圧縮指数	膨潤指数	擬似過圧比	有効土被り圧	静止土圧係数
-	Dr [%]	Vs [m・s <sup>-1</sup> ]	G <sub>0</sub> [kN・m <sup>-2</sup> ]	-	γ <sub>t</sub> [kN・m <sup>-3</sup> ]	e <sub>0</sub>	k [m・s <sup>-1</sup> ]	λ	κ	OCR <sup>*</sup>	σ <sub>m0'</sub> [kN・m <sup>-2</sup> ]	K <sub>0</sub>
15	73	160	46972	0.31	18	0.7	5.00E-05	0.003	0.0025	1.0	54.0	1.0
無次元化初期せん断係数	内部摩擦角	変相角	破壊応力比	変相応力比	硬化パラメータ			異方性消失パラメータ	ダイラタンシー係数		塑性規準ひずみ	弾性規準ひずみ
G <sub>0</sub> /σ <sub>m0'</sub>	φ' [deg.]	φ <sub>m</sub> [deg.]	M <sub>f</sub> <sup>*</sup>	M <sub>m</sub> <sup>*</sup>	B <sub>0</sub> <sup>*</sup>	B <sub>1</sub> <sup>*</sup>	C <sub>f</sub>	C <sub>d</sub>	D <sub>0</sub> <sup>*</sup>	n	γ <sup>p*</sup> <sub>ref</sub>	γ <sup>E*</sup> <sub>ref</sub>
869.9	35.0	28.0	1.16	0.91	11500	110	0	2000	1.20	8.00	0.006	0.5

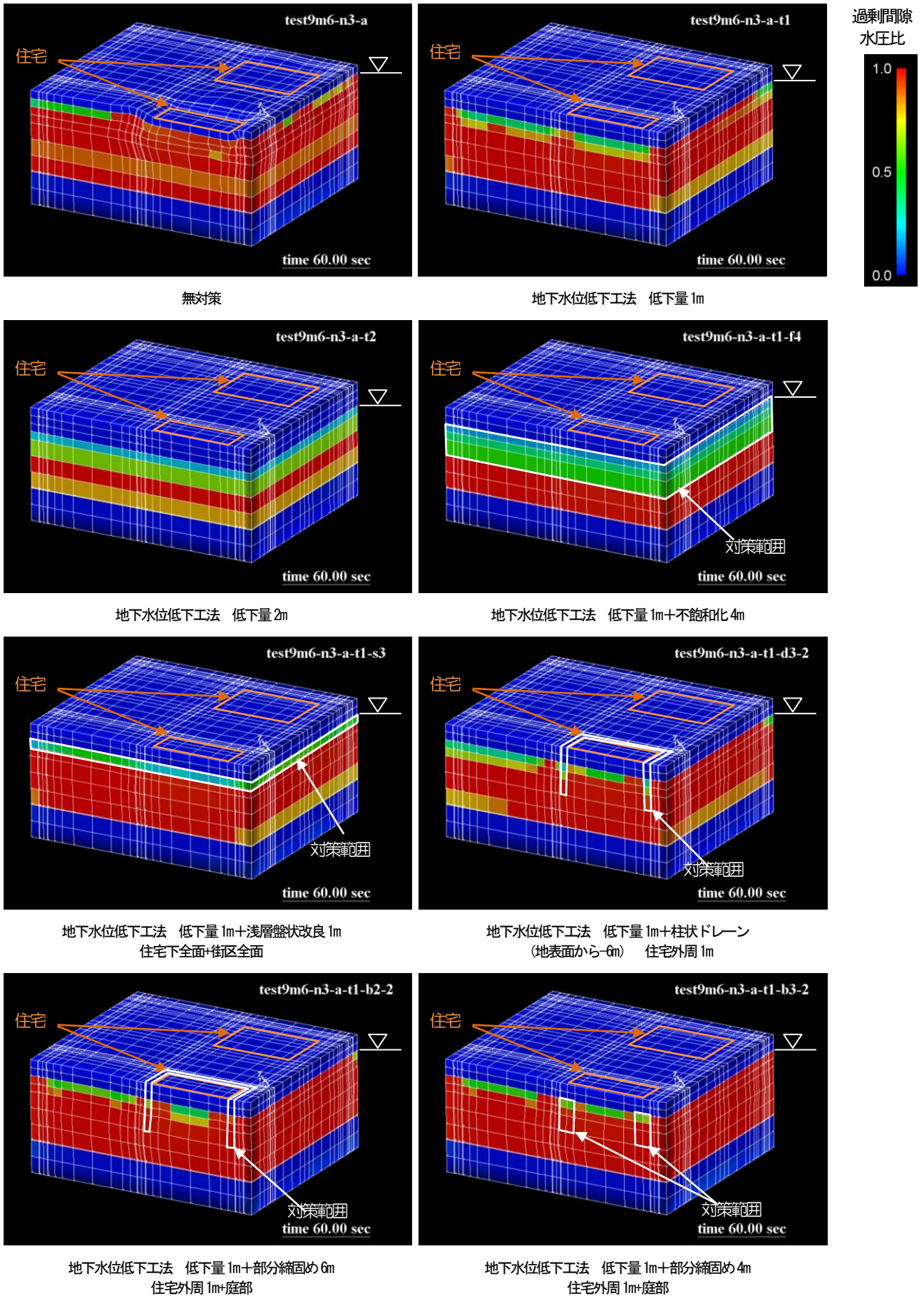


図-13 夢の島波 解析結果 (加震終了時) 過剰間隙水圧比のコンター図



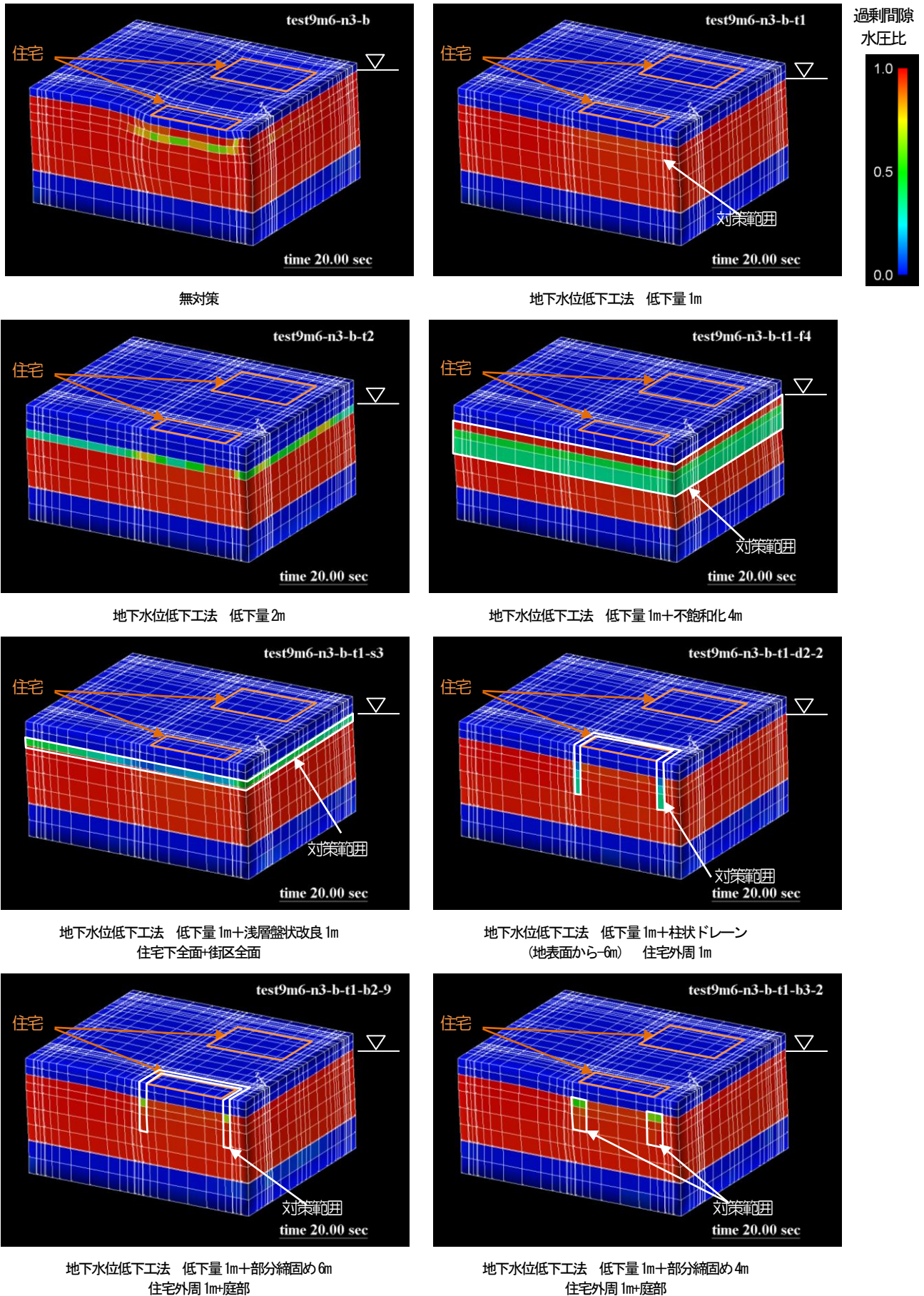


図-14 東京湾北部地震波 解析結果 (加震終了時) 過剰間隙水圧比のコンター図



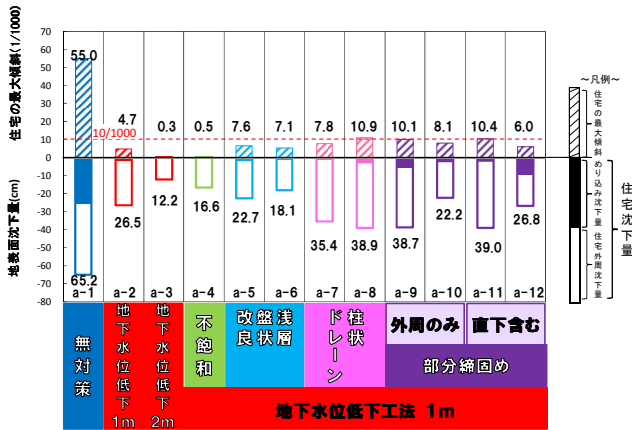


図-15 地震後の沈下量  
夢の島波（過剰間隙水圧比消散後）

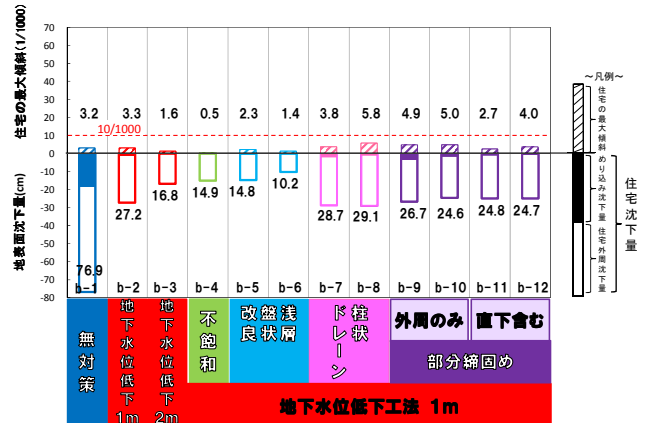


図-16 地震後の沈下量  
東京湾北部地震（過剰間隙水圧比消散後）

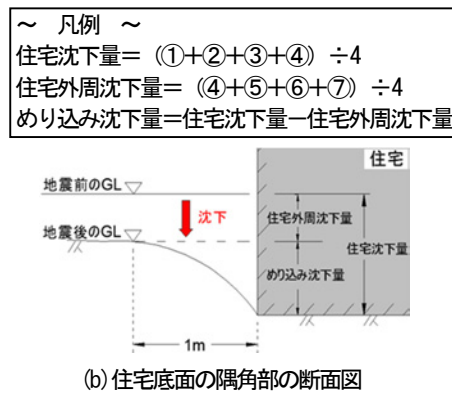
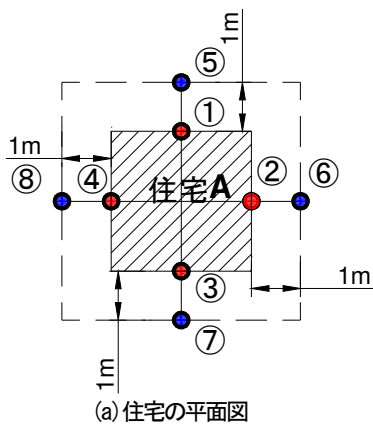


図-17 沈下量の算出方法

表面より深さ 2m から 3m) の層であり、表-7 のようにパラメータを設定した。

(3) 柱状ドレーン工法

ドレーン柱は人工材料 (φ 10cm) を想定し、別途柱状モデル解析を実施してパラメータを設定した。液状化対策工法としては地震時の過剰間隙水圧比を 0.5 以下程度に抑えることを目安に、ドレーン間隔 55cm (正方形配置) を想定した。解析では、一本一本のドレーンをモデル化するのではなく、55cm ピッチのドレーンと同等な過剰間隙水圧消散効果が得られるように、柱状モデルの解析を実施し、図-12 に示すように無対策時の透水係数の 95 倍に決定した。表-8 にドレーンを打設する地盤の透水係数を示す。

(4) 部分締固め工法

締固め後の N 値を 15 に設定した。液状化層と同様に繰返し弾塑性モデルとして、モデルパラメータは表-9 のように設定した。

4.4 解析結果

(1) 地盤挙動

加震終了時の変形及び過剰間隙水圧比のコンター図を

図-13、図-14 に示す。無対策では、液状化層が全層液状化し、宅地直下の土が左右へはらみ出していることが確認された。地下水位低下工法では、非液状化層厚の増加と有効上載圧の増加による液状化抑制効果が確認され、地下水低下 2m では対策効果が最も大きくなった。浅層盤状改良と不飽和化工法は、液状化強度の増加により沈下が抑制された。柱状ドレーン工法と部分締固め工法は、住宅直下の液状化が抑制された。これらの傾向は、入力地震動によらず同様であった。

(2) 住宅挙動

図-15、図-16 に、住宅 (図-2 の住宅 A) の沈下量、めり込み沈下量、住宅の最大傾斜角の結果を示す。なお、図-17 に示すように、住宅沈下量とは住宅外周の 4 点の平均値、住宅外周沈下量とは住宅外周から 1m 離れた敷地角部分の 4 点の平均値、めり込み沈下量とは住宅外周沈下量と住宅沈下量の差である。

無対策では、沈下量、傾斜角とも大きな値を示したのに対し、主工法、副工法の組合せでは、全てのパターンで対策効果が認められ、地下水位低下工法 2m (副工法なし) が最も効果的であった。浅層盤状改良工法と不飽和化工法は、柱状ドレーン工法や部分締固め工法に比べて沈下

抑制効果が大きかった。これは、柱状ドレーン工法や部分締固め工法は部分的な対策（住宅外周など）を行ったのに対し、浅層盤状改良工法と不飽和化工法は住宅直下を含む街区全面に対策を行ったため効果が大きかったと思われる。

部分締固め工法では、改良深度の増加に伴い対策効果は小さくなった。これは、地盤中に剛性の高い材料が部分的に存在することにより、地盤の加速度応答値が無対策に比べ大きくなったことが影響している可能性がある。これらの傾向は入力地震動によらず同様であった。

## 5. まとめ

本研究では、道路・宅地一体型液状化対策効果を確認するため、有効応力法に基づく3次元FEM解析を実施した。得られた知見を下記にまとめる。

### ①主工法のみ（全体系モデル）

地下水位低下工法と格子状地中壁工法は、無対策に比べて液状化の抑制および沈下量低減効果を確認することができた。特に、地下水位低下工法2m（非液状化層厚3m）では最も大きな沈下量低減効果を確認した。一方、格子状地中壁工法では、住宅の沈下低減効果は認められたが、液状化の抑制効果は限定的であった。これは、格子間隔や格子位置の影響が大きいと考えられるため、実際の対策工事に適用する場合には詳細な検討が必要であると思われる。

### ②主工法と副工法の組合せ

住宅直下を含む街区全面を対策範囲とする地下水位低

下工法、不飽和化工法、浅層盤状改良工法などでは大きな沈下抑制効果を確認したが、部分締固め工法やドレーン柱工法のように住宅外周を部分的に対策するケースでは沈下抑制効果が限定的であった。実設計を行う際にはこれらの内容に留意することが必要であると考えられる。用いました。

謝辞：最後に、入力地震動には防災科学技術研究所のK-NET強震記録を使記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 浦安市：市街地液状化対策事業自治会説明会資料，p. 5, 2013.
- 2) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告共通編3 地盤災害，地盤工学会，p. 23, 2014.
- 3) 浦安市：第2回液状化対策実現可能性技術検討委員会資料，2012.
- 4) 時松孝次，遠山和嗣，鈴木比呂子，鈴木康嗣：地下水位低下工法および排水工法を用いた既存戸建て住宅に対する液状化対策の実験的検討，第48回地盤工学研究発表会，pp. 1799-1800，2013.
- 5) 液状化解析手法LIQCA開発グループ：LIQCA2D11（2011年公開版）資料，2011.
- 6) 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—セメント系固化工法を用いた深層・浅層混合処理工法，2004.
- 7) (財)沿岸技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル（2010版），2010.
- 8) Okamura et al. : EFFECTS OF PORE FLUID COMPRESSIBILITY ON LIQUEFACTION RESISTANCE OF PARTIALLY SATURATED SAND, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 46, No. 5, pp. 695-700, 2006, .

---

## Three-dimensional FEM Analysis for Liquefaction Countermeasure

Hiroyuki NAGAI, Kazuhiko URANO and Yuji ADACHI

In order to confirm the validity of liquefaction countermeasures selected for the integration of roads and housing in an existing housing area, three dimensional FEM analyses (LIQCA3D11) were conducted.

The entire model in which all blocks are modeled is used when taking measures using main construction methods only. The partial model in which four housing areas are selected from all blocks is used when taking measures by a combination of main and sub construction methods.

The dewatering method and the grid-form deep mixing wells method were selected as the main construction methods in the entire model.

It was confirmed that the effects of the countermeasures of the grid-form deep mixing wells method are limited by the analysis of the entire model and it is most effective to set all blocks including those just below the housing in the countermeasure region by analytical results of the partial model.

---