個別対策工法 WG（WG3）における検討内容及び経過報告

１．検討方針

WG3 においては、各種の個別対策工法について施工可能な条件を検討・整理した上で、対策工法の仕様を設定し、コスト試算、メリット・デメリットの整理を行う。

個別対策工法として検討する工法を以下に示す。

(1) 密度増大工法（３工法）

・砂杭・ドライモルタル（固化体）・木杭

(2) 間隙水圧を遮断する工法

・格子状改良との組合せを含む連続地中壁

(3) 地盤を不飽和化させる工法

・地盤内に空気を注入する工法

(4) 従来工法（２工法）

・杭基礎・深層混合処理工法（柱状改良）

(5) 建物側で対策を行う方法

・沈下および傾斜修正システムを組み込む方法（既存及び新築の両方が対象）

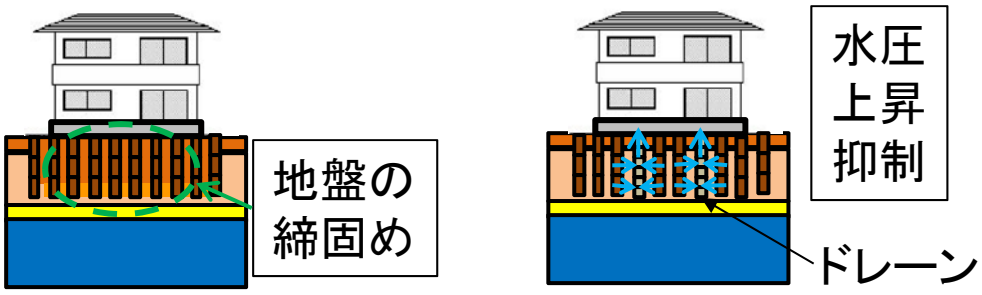
(6) その他

・深層混合処理工法（柱状改良）＋浅層混合処理工法（表層改良）の組合せ

・間隙水圧消散工法（ドレーン）と他の工法の組合せ

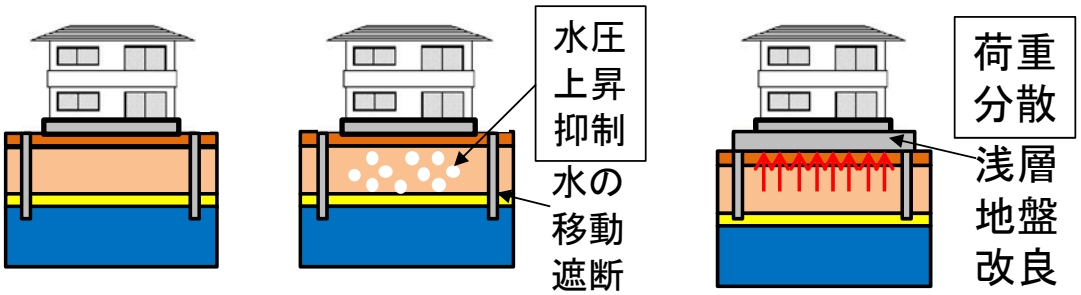
・浮き基礎工法

図 1.1～1.4 に、個別対策工法で選定した各工法のイメージ図を示す。また、WG3 における検討フローを表 1.1 に示す。



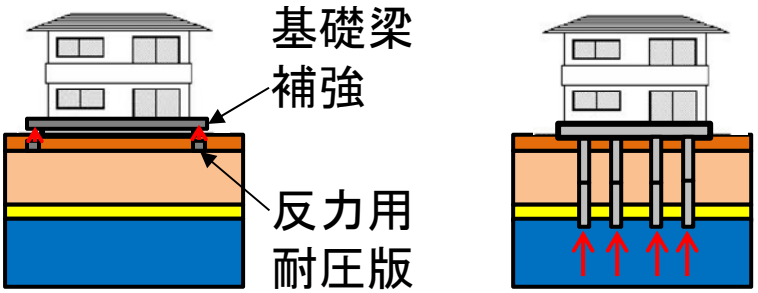
(a)砂杭等による締固め　　(b)ドレーン併用

図 1.1　密度増大工法等：(1)・(6)



(a)改良壁のみ　(b)不飽和化との併用　(c)浅層地盤改良との併用

図 1.2　間隙水圧を遮断する工法等：(2)・(3)・(6)



(a)建物側で対策する方法の一例：(5)　(b)従来工法：(4)

図 1.3　建物側対策と従来工法（杭・柱状地盤改良工法）

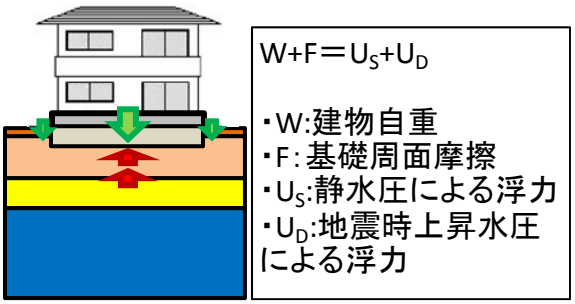
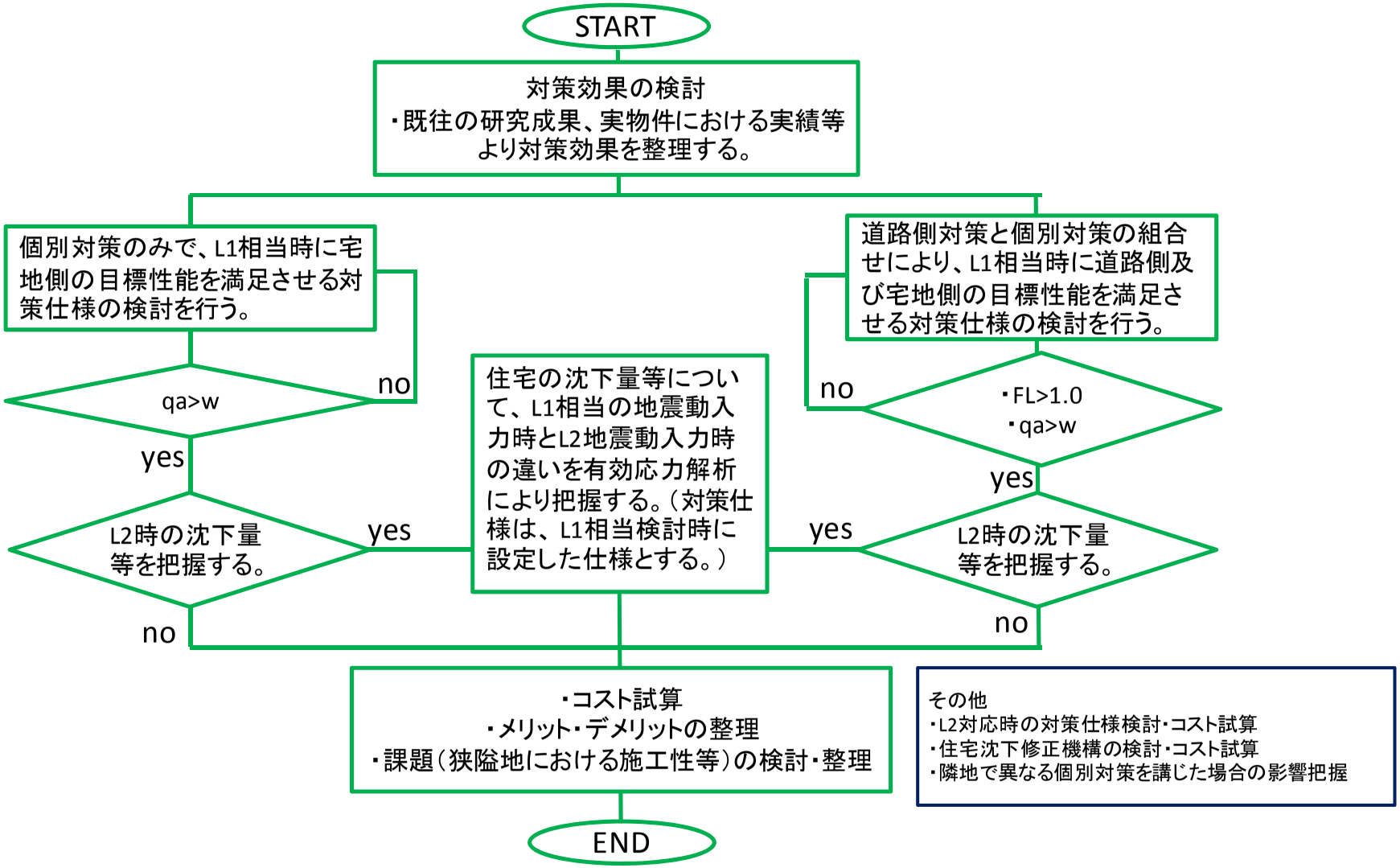


図 1.4　浮き基礎工法：(6)

表 1.1　WG3 における検討フロー



２．液状化対策工法の施工可能条件及び対策仕様の検討

各種の個別対策工法における施工可能条件を検討し、整理したものを表 2.1 に示す。

また、検討対象の個別対策工法のうち、従来工法を代表して深層混合処理（セメント系固化材による柱状地盤改良）工法（以下、柱状改良工法）と、砂杭による締固め工法の場合における対策仕様に関する検討結果を表 2.2~表 2.7 に示す。柱状改良工法は、従来工法の他工法（杭基礎）より、検討対象地盤条件下では安価となると考えられる。砂杭による締固め工法は、密度増大工法の中で最も施工実績が豊富であると考えられる。これらのことから、この２工法を代表例として検討結果を示すこととした。

ここでは、「道路側対策無」の場合を検討している。

表 2.1　個別対策工法における施工可能条件の検討結果整理一覧

住宅			従来工法	密度増大			間隙水圧遮断	不飽和化	その他			
状態		戸数	杭もしくは柱状改良	砂杭	ドライモルタル	木杭			柱状改良＋浅層改良	間隙水圧消散工法＋他工法	浮き基礎	建物側沈下修正システム
既存住宅無し		1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
既存住宅有り	沈下・傾斜無し	1	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△
		4	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△
		20	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△
		100	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△
	沈下・傾斜有り	1	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△
		4	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△
		20	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△
		100	×	○	△	△	△	△	×	×	×	△

○施工可能、△施工可能性の検討中、×施工不可能

なお、個別対策工法で検討対象とした全ての液状化対策工の検討経過等をまとめて、資料末尾の参考表１に WG3 検討経過・検討結果・解析計画（案）概要を示す。

コスト試算、メリット・デメリットの整理については、個別対策工法で検討対象とした全ての液状化対策工の仕様検討（試設計）あるいは数値解析終了後に、仮設工事等の条件を検討して示すことにする。

表 2.2　柱状改良工法検討結果概要①

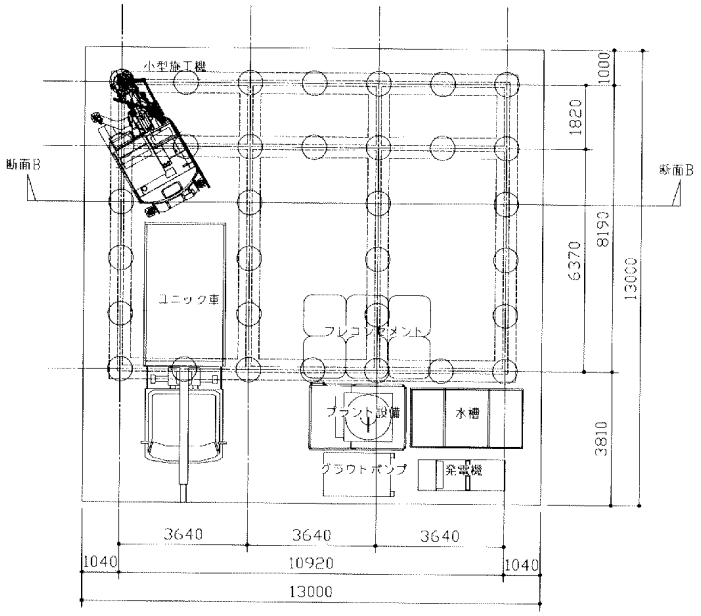
対策方法		柱状改良工法
道路側対策の有無		□有り（地下水位低下・格子状改良）・　■無し
入力地震動		■L1 相当　・　□　L2
建物条件	既存住宅の有無	□有り　・　■　無し（曳家の実施含む）
	既存住宅の状態	□沈下・傾斜無し　・　□沈下・傾斜有り □沈下・傾斜修正済
	沈下・傾斜修正状況	□沈下・傾斜対応　・　□　短期許容応力度の満足
施工条件	施工単位	■1 戸　・■4 戸　・■20 戸（1 街区）・■100 戸（5 街区）
	特記事項	施工日数：5 日／戸
対策仕様		改良径：φ700mm 改良深さ：13.0m 改良本数：33 本 改良体の設計基準強度：600kN/m2 
メリット		従来工法及び類似工法（表層改良との組合せ）より安価となる可能性がある。
デメリット		検討中
コスト		試算中

表 2.3　柱状改良工法検討結果概要②

対策方法	柱状改良工法

液状化判定：判定方法は、建築基礎構造設計指針の F_L 法による。

深度	N値	土質種類	γ	Fc	u	σ'z	rd	Na	ΔNf	N1	CN	R	L	FL	地下水位
*	*	*	kN/m3	%	kN/m2	kN/m2	*	*	*	*	*	*	*	*	
0.5	6	B	17.7	18	0	8.8	0.99	27.6	7.6	20.0	3.3	0.35	0.13	2.72	GL-1.0m
1.5	6	B	17.7	18	4.9	21.6	0.98	20.4	7.6	12.8	2.1	0.23	0.16	1.48	
2.5	4	Fs	17.7	22	14.7	29.4	0.96	15.5	8.2	7.3	1.8	0.17	0.19	0.92	
3.5	4	Fs	17.7	22	24.5	37.3	0.95	14.7	8.2	6.5	1.6	0.17	0.21	0.81	
4.5	4	Fs	17.7	22	34.3	45.1	0.93	14.1	8.2	5.9	1.5	0.16	0.21	0.75	
5.5	4	Fs	17.7	22	44.1	53.0	0.92	13.6	8.2	5.4	1.4	0.16	0.22	0.71	
6.5	4	Fs	17.7	22	53.9	60.8	0.90	13.3	8.2	5.1	1.3	0.15	0.22	0.69	
7.5	4	Fs	17.7	22	63.7	68.7	0.89	13.0	8.2	4.8	1.2	0.15	0.22	0.67	
8.5	15	As1	17.7	21.9	73.5	76.6	0.87	25.2	8.2	17.0	1.1	0.31	0.22	1.37	
9.5	15	As1	17.7	21.9	83.3	84.4	0.86	24.4	8.2	16.2	1.1	0.29	0.22	1.31	
10.5	7	As2	16.7	31	93.1	91.3	0.84	16.4	9.1	7.3	1.0	0.18	0.22	0.82	
11.5	7	As2	16.7	31	102.9	98.2	0.83	16.1	9.1	7.0	1.0	0.18	0.22	0.81	
12.5	2	Ac1	14.7	93.6	112.7	103.1	0.81	17.3	15.4	2.0	1.0	0.19	0.22	-	
13.5	2	Ac1	14.7	93.6	122.5	108.0	0.80	17.3	15.4	1.9	1.0	0.19	0.22	-	
14.5	2	Ac1	14.7	93.6	132.3	112.9	0.78	17.2	15.4	1.9	0.9	0.19	0.22	-	

地盤の許容応力度等に対する検討

①地盤の鉛直支持力算定

・改良体先端断面積　　：A=(700/2)^2×π＝384,845(mm²)≒0.385(m²)

・Ac1 層の一軸圧縮強さ　　：qu=113.9(kN/m²)…既存の調査結果より

・改良体 1 本の先端支持力：Ru=6Cu・A＝6・1/2qu・A＝131.5(kN)…極限

　　Ra＝2/3Ru＝87.7(kN)…短期

・改良体の本数　　：n=33(本)

・改良体による鉛直支持力：Ra・n＝2894.1(kN)

・建物重量　　：ΣW＝801.53(kN)

・判定　　：Ra・n＞ΣW…OK

表 2.4　締固め工法（砂杭工法）結果概要①

対策方法		締固め工法 （砂杭工法）
道路側対策の有無		□有り（地下水位低下・格子状改良）・　■無し
入力地震動		■L1 相当　・　□　L2
建物条件	既存住宅の有無	■有り　・　■　無し（曳家の実施含む）
	既存住宅の状態	■沈下・傾斜無し　・　□沈下・傾斜有り □沈下・傾斜修正済
	沈下・傾斜修正状況	□沈下・傾斜対応　・　□　短期許容応力度の満足
施工条件	施工単位	■1 戸　・■4 戸　・■20 戸（1 街区）・■100 戸（5 街区）
	特記事項	施工単位が 1 戸・4 戸の場合は、小型機（DHJ-12）、ボーリングマシンもしくはロータリーパーカッションにより施工を行う。
対策仕様		改良径：φ700mm（GL-1.0m までは、φ400mm） 改良深さ：12.0m 改良ピッチ：2.3m 改良率：7.3%
メリット		施工単位が 1 街区（20 戸）以上となれば、大型機による施工が可能となるため､1 戸当たりの施工コストを抑制することができる。
デメリット		既存住宅がある場合であっても、前面道路から施工することで対策の実施は物理的に可能であるが、施工費用は相当高額になる。
コスト		試算中

表 2.5　締固め工法（砂杭工法）結果概要②

対策方法	締固め工法 （砂杭工法）

液状化判定（締固め後）

土層	深度	N_0	Fc	σz'	as	e_{max}	e_{min}	Rc	Dr_0	e_0	e_1	Dr_1	改良後	τ_l/σ_z'	τ_d/σ_z'	FL
	(m)		(%)	(kN/m^2)	(%)				(%)			(%)	N1値			
Bs	1.00	6.0	18.0	18.00	7.3	1.360	0.744	0.473	70.47	0.926	0.860	81.22	9.3	0.500	0.129	**3.886**
Bs	2.00	6.0	18.0	26.00	7.3	1.360	0.744	0.473	68.65	0.937	0.870	79.47	9.5	0.500	0.175	**2.850**
Fs	3.00	4.0	22.0	34.00	7.3	1.440	0.776	0.432	61.74	1.030	0.966	71.37	7.0	0.281	0.198	**1.419**
Fs	4.00	4.0	22.0	42.00	7.3	1.440	0.776	0.432	60.75	1.037	0.973	70.40	7.2	0.260	0.210	**1.235**
Fs	5.00	4.0	22.0	50.00	7.3	1.440	0.776	0.432	59.88	1.042	0.978	69.56	7.4	0.247	0.217	**1.135**
Fs	6.00	4.0	22.0	58.00	7.3	1.440	0.776	0.432	59.10	1.048	0.983	68.81	7.6	0.238	0.221	**1.077**
Fs	7.00	4.0	22.0	66.00	7.3	1.440	0.776	0.432	58.41	1.052	0.988	68.14	7.8	0.232	0.223	**1.040**
Fs	8.00	4.0	22.0	74.00	7.3	1.440	0.776	0.432	57.79	1.056	0.992	67.54	8.0	0.228	0.224	**1.017**
As1	9.00	15.0	21.9	82.00	7.3	1.438	0.775	0.433	80.19	0.907	0.846	89.26	20.4	0.500	0.223	**2.240**
As1	10.00	15.0	21.9	90.00	7.3	1.438	0.775	0.433	78.82	0.916	0.855	87.94	20.6	0.500	0.222	**2.252**
As2	11.00	7.0	31.0	97.00	7.3	1.620	0.848	0.364	64.71	1.120	1.064	71.99	10.8	0.276	0.221	**1.248**
As2	12.00	7.0	31.0	104.00	7.3	1.620	0.848	0.364	64.14	1.125	1.069	71.43	10.9	0.270	0.220	**1.227**
Ac1	13.00	2.0	93.6	109.00		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2.0	0.187	0.221	**-----**
Ac1	14.00	2.0	93.6	114.00		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2.0	0.187	0.221	**-----**
Ac1	15.00	2.0	93.6	119.00		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2.0	0.186	0.220	**-----**

地盤の許容応力度等に対する検討

1. 土層条件　　*水位で土層を分けること　　過剰水圧考慮した鉛直応力↓

土層名	上端(GL)	下端(GL)	層厚(m)	FL	ru	ρ'(kN/m^3)	ρ"	σz"
Bs	0	-1	1	3.886	0.000	18.0	18.0	18.0
Bs	-1	-2	1	2.850	0.001	8.0	8.0	26.0
Fs	-2	-3	1	1.419	0.086	8.0	7.3	31.1
Fs	-3	-4	1	1.235	0.229	8.0	6.2	30.1
Fs	-4	-5	1	1.135	0.411	8.0	4.7	22.4
Fs	-5	-6	1	1.077	0.597	8.0	3.2	12.3
Fs	-6	-7	1	1.040	0.760	8.0	1.9	4.9
Fs	-7	-8	1	1.017	0.888	8.0	0.9	1.4
As1	-8	-9	1	2.240	0.004	8.0	8.0	9.4
As1	-9	-10	1	2.252	0.003	8.0	8.0	17.4
As2	-10	-11	1	1.248	0.213	7.0	5.5	19.2
As2	-11	-12	1	1.227	0.239	7.0	5.3	19.9

表 2.6　締固め工法（砂杭工法）結果概要③

対策方法	締固め工法 （砂杭工法）

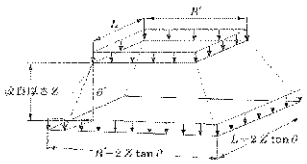
地盤の許容応力度等に対する検討

2. 荷重条件

接地圧（短期）q　35 kN/m^2

奥行きB　9.2 m

幅L　10.9 m



3. 地中応力σz'の計算　（上載荷重はθ=30度の分散を考慮）

施工基面からの深度z	着目GL	Σρ'×h	荷重q	σz'=Σρ'×h+q
0.00	0.00	0.00	35.00	35.00
1.00	−1.00	18.00	28.12	46.12
2.00	−2.00	25.98	23.09	49.07
3.00	−3.00	31.05	19.30	50.35
4.00	−4.00	30.12	16.37	46.49
5.00	−5.00	22.44	14.06	36.51
6.00	−6.00	12.28	12.21	24.49
7.00	−7.00	4.87	10.70	15.58
8.00	−8.00	1.45	9.46	10.91
9.00	−9.00	9.41	8.42	17.83
10.00	−10.00	17.35	7.54	24.90
11.00	−11.00	19.18	6.79	25.97

4. 周辺土被りの土層条件　*水位で土層を分けること

土層名	上端（GL）	下端（GL）	層厚(m)	FL	ru	ρ'(kN/m^3)	σz"
Bs	0	−1	1	3.886	0.000	18.0	18.0
Bs	−1	−2	1	2.850	0.001	8.0	26.0
Fs	−2	−3	1	1.419	0.086	8.0	31.1
Fs	−3	−4	1	1.235	0.229	8.0	30.1
Fs	−4	−5	1	1.135	0.411	8.0	22.4
Fs	−5	−6	1	1.077	0.597	8.0	12.3
Fs	−6	−7	1	1.040	0.760	8.0	4.9
Fs	−7	−8	1	1.017	0.888	8.0	1.4
As1	−8	−9	1	2.240	0.004	8.0	9.4
As1	−9	−10	1	2.252	0.003	8.0	17.4
As2	−10	−11	1	1.248	0.213	7.0	19.2
As2	−11	−12	1	1.227	0.239	7.0	19.9

5. 土被りρ$_2$Dfの計算

地表面からの深度	着目標高	σz"	上載荷重q	ρ$_2$Df=σz"+q
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	−1.00	18.00	0.00	18.00
2.00	−2.00	25.98	0.00	25.98
3.00	−3.00	31.05	0.00	31.05
4.00	−4.00	30.12	0.00	30.12
5.00	−5.00	22.44	0.00	22.44
6.00	−6.00	12.28	0.00	12.28
7.00	−7.00	4.87	0.00	4.87
8.00	−8.00	1.45	0.00	1.45
9.00	−9.00	9.41	0.00	9.41
10.00	−10.00	17.35	0.00	17.35
11.00	−11.00	19.18	0.00	19.18

表 2.7　締固め工法（砂杭工法）結果概要④

対策方法	締固め工法 （砂杭工法）

地盤の許容応力度等に対する検討

6. 許容支持力qaの計算（国交省告示1113号（平成13年7月）を利用）
着目深度での支持力を計算する。

支持力式

$qa = 1/3 \times (i_c \alpha CN_c + i_r \beta \rho_1 BN_r + i_q \rho_2 D_f \times N_q)$

$i_c = i_r = i_q =$ 1.0　（荷重の傾斜0°とした）

$\rho_1 =$ kN/m^3（着目深度より下の土層の単位有効重量：1.土層条件より設定）

	Bs	Fs	As1	As2
ϕ	31	30	35	30
Nc=	33.1	30.1	46.8	30.1
Nq=	21.1	18.4	34.2	18.4
Nγ=	19.3	15.7	38.8	15.7

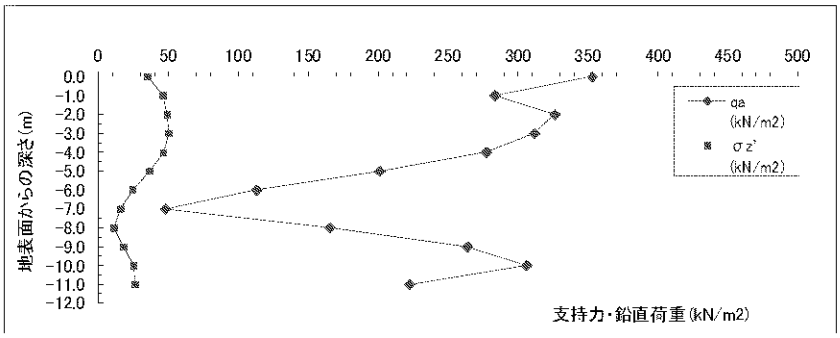
$\alpha =$ 1.169　＝1+0.2B/L　　B：短辺＝B'＋2Ztanθ

$\beta =$ 0.331　＝0.5−0.2B/L　　L：長辺長＝L＋2Ztanθ

支持力算定結果

土層名	着目GL	粘着力 c(kN/m2)	αCNc	$\beta \rho_1$BNr	ρ_2DfNq	qa (kN/m2)	σz' (kN/m2)	判定 (qa>σz')
Bs	0.00	0.0	0.00	1058.44	0.00	352.81	35.00	OK
Bs	−1.00	0.0	0.00	470.14	379.77	283.31	46.12	OK
Fs	−2.00	0.0	0.00	429.87	548.21	326.03	49.07	OK
Fs	−3.00	0.0	0.00	362.83	571.33	311.39	50.35	OK
Fs	−4.00	0.0	0.00	277.02	554.15	277.06	46.49	OK
Fs	−5.00	0.0	0.00	189.77	412.98	200.92	36.51	OK
Fs	−6.00	0.0	0.00	113.05	225.97	113.01	24.49	OK
Fs	−7.00	0.0	0.00	52.88	89.67	47.52	15.58	OK
As1	−8.00	0.0	0.00	468.79	26.62	165.14	10.91	OK
As1	−9.00	0.0	0.00	468.85	321.95	263.60	17.83	OK
As2	−10.00	0.0	0.00	324.11	593.52	305.87	24.90	OK
As2	−11.00	0.0	0.00	313.39	352.82	222.07	25.97	OK

地表面からの各深度における支持力度と鉛直応力の関係を下図に示す。



３．有効応力解析の実施

各種の個別対策を講じた場合における住宅の傾斜及び地表面沈下量等を 2 次元有効応力動的解析（LIQCA）により求める。

また、L1 相当の入力地震動に対して目標性能を満足する条件とした対策仕様を各種工法（方法）で試設計を行い、その仕様の対策効果等を検証するために同解析プログラムを用いて、入力地震動を L1 相当とした場合における地表面沈下量の相対変化等を確認する。この解析結果により対策効果が良好であったもの等は L2 地震動に対する対策効果等を確認する予定である。さらに、隣地で異なる対策を講じた場合（一部、個別対策を講じない住宅も含む）における地表面沈下量についても求める予定としている。

ここでは、入力地震動を L1 相当とし、無対策地盤及び対策方法に地盤の締固め工法(砂杭工法)を採用した場合（試設計結果、表 2.4~表 2.7 参照）について検討した結果を示す。地盤の締固め工法については、既存住宅があるケースと既存住宅がないケースの 2 ケースで検討している。既存住宅の有無で液状化対策範囲が異なっている(詳細は、後述の参考資料参照)。既存住宅がある場合には、敷地内の住宅直下を除いて全面的に対策できることを想定し、既存住宅がない場合には敷地内全面を対策できることを想定している。液状化対策方法の数値解析でのモデル化および材料パラメータは、地盤の締固め工法(砂杭工法)の設計方針に従い決定した。

無対策地盤を含め 3 ケースの解析結果（過剰間隙水圧比、有効応力減少比および地表面沈下量）を表 3.1～表 3.3 に示す。解析結果の出力位置を図 3.1 に示す。

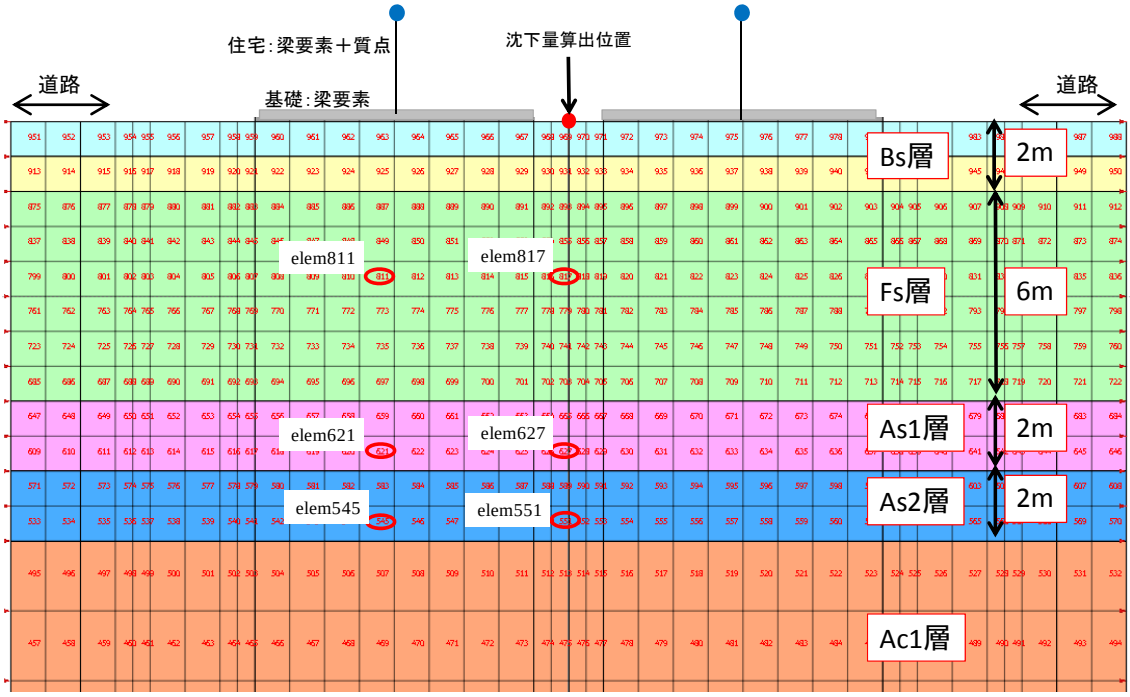


図 3.1　計算結果出力位置

表 3.1　解析結果一覧　無対策

有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)の最大値				過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)の最大値				住宅間の地盤の沈下量(m)	
住宅下の地盤		住宅間の地盤		住宅下の地盤		住宅間の地盤			
Fs層(elem811)	0.99	Fs層(elem817)	0.99	Fs層(elem811)	0.99	Fs層(elem817)	1.05	震動終了後	0.0960
As1層(elem621)	0.41	As1層(elem627)	0.46	As1層(elem621)	0.64	As1層(elem627)	0.66	圧密終了後	0.1519
As2層(elem545)	0.38	As2層(elem551)	0.37	As2層(elem545)	0.64	As2層(elem551)	0.63		

表 3.2　解析結果一覧　締固め工法（砂杭工法）　既存住宅有

有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)の最大値				過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)の最大値				住宅間の地盤の沈下量(m)	
住宅下の地盤		住宅間の地盤		住宅下の地盤		住宅間の地盤			
Fs層(elem811)	0.38	Fs層(elem817)	0.27	Fs層(elem811)	0.60	Fs層(elem817)	0.56	震動終了後	0.0035
As1層(elem621)	0.26	As1層(elem627)	0.17	As1層(elem621)	0.53	As1層(elem627)	0.49	圧密終了後	0.0050
As2層(elem545)	0.35	As2層(elem551)	0.10	As2層(elem545)	0.61	As2層(elem551)	0.47		

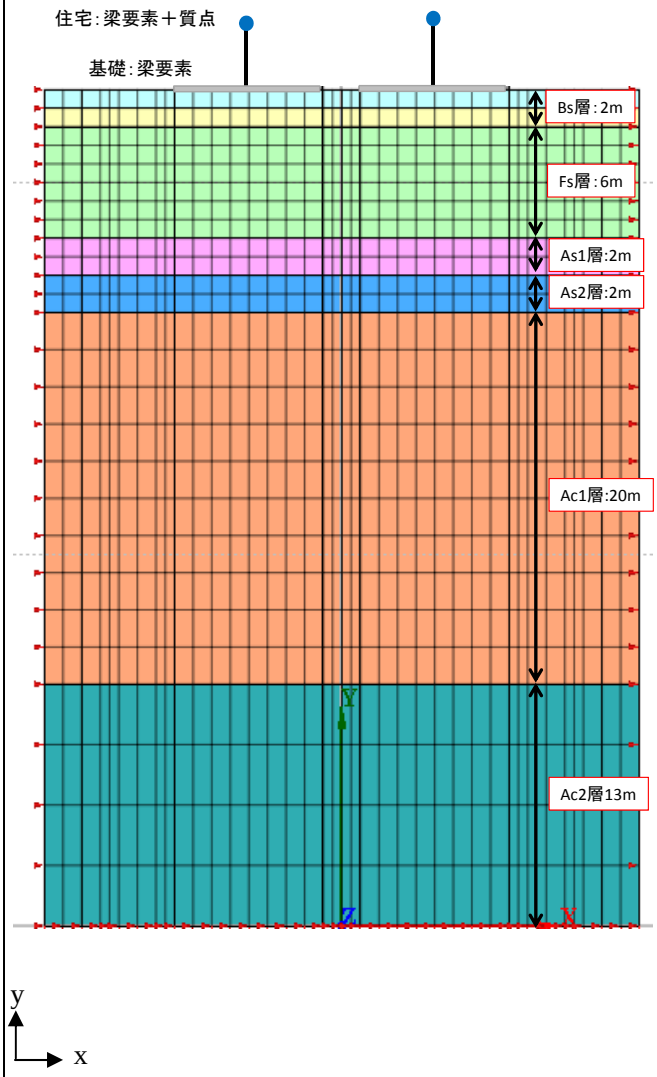
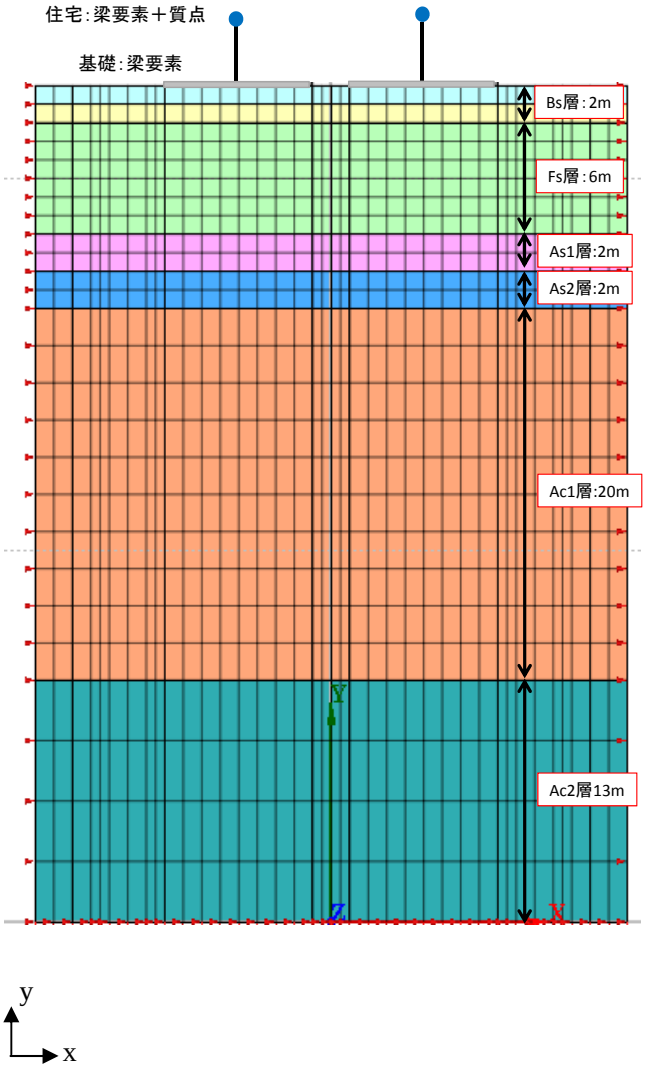
表 3.3　解析結果一覧　締固め工法（砂杭工法）　既存住宅無

有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)の最大値				過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)の最大値				住宅間の地盤の沈下量(m)	
住宅下の地盤		住宅間の地盤		住宅下の地盤		住宅間の地盤			
Fs層(elem811)	0.00	Fs層(elem817)	0.00	Fs層(elem811)	0.35	Fs層(elem817)	0.35	震動終了後	0.0024
As1層(elem621)	0.02	As1層(elem627)	0.02	As1層(elem621)	0.38	As1層(elem627)	0.38	圧密終了後	0.0036
As2層(elem545)	0.00	As2層(elem551)	0.00	As2層(elem545)	0.38	As2層(elem551)	0.38		

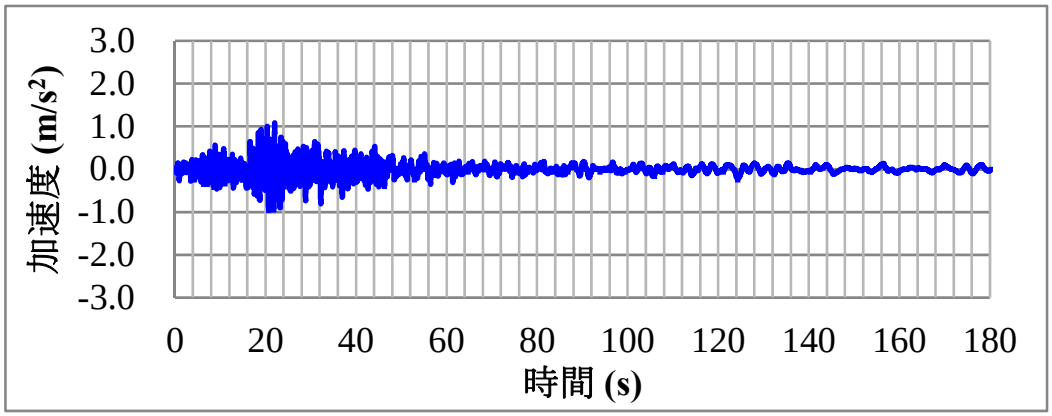
なお、参考資料 1 には「無対策」、参考資料 2 には「締固め工法（砂杭工法）既存住宅有」、参考資料 3 には「締固め工法（砂杭工法）既存住宅無」の代表的な地点における加速度、応力履歴等を示す。参考資料 4 には、本解析で実施したパラメータおよび要素シミュレーション結果を示す。

参考資料１

参考１－表１　無対策　解析モデル概要と入力地震動

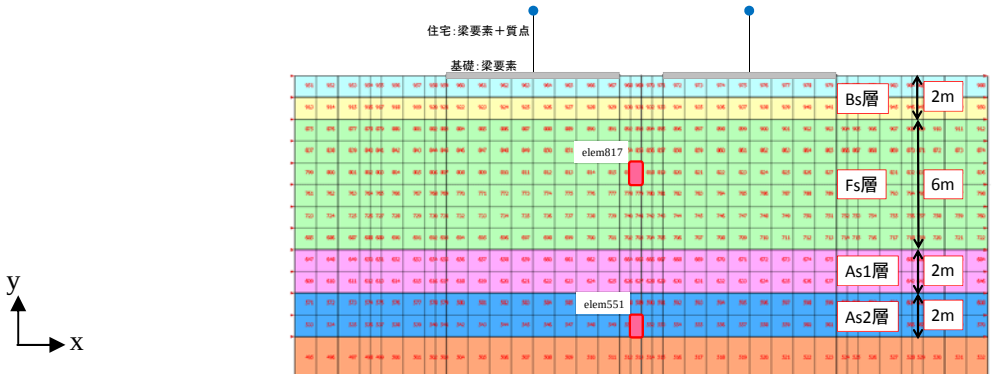
有限要素メッシュ：節点数 1,055、要素数 1,006 ケース名：　5-N-L1	液状化対策：無対策
	

入力地震動：東北地方太平洋沖地震(夢の島観測波形)　　最大加速度　108.7gal　　入力時間 180 秒

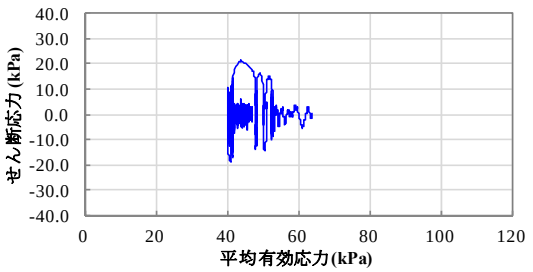


参考 1－表 2　無対策　解析結果概要①

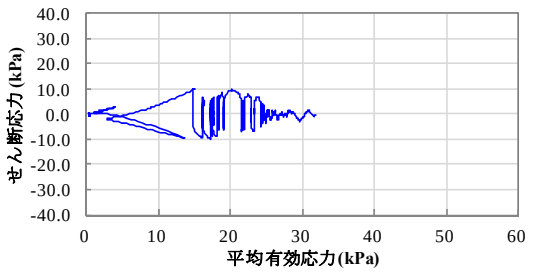
出力要素



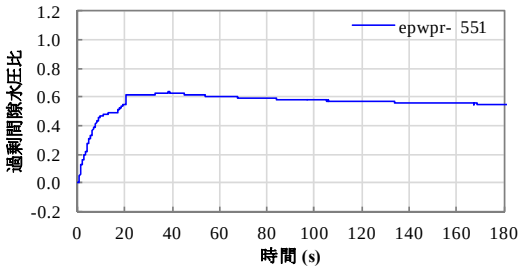
有効応力経路　elem 551　As2 層



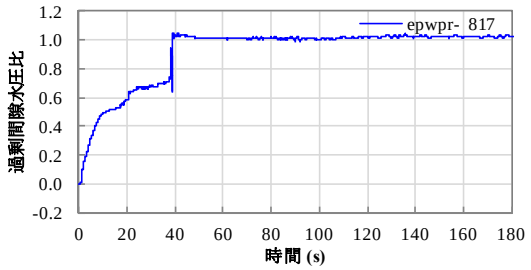
有効応力経路　elem 817　Fs 層



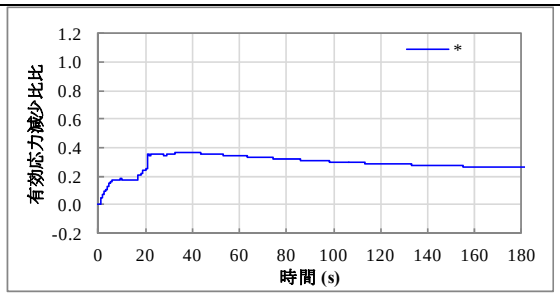
過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)　elem 551　As2 層



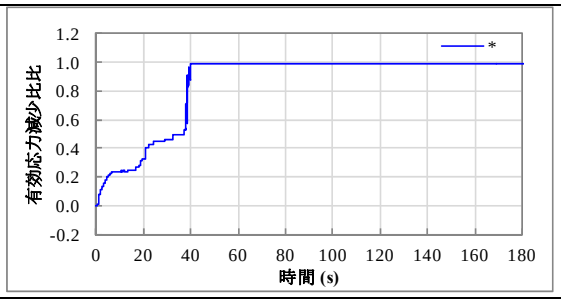
過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)　elem 817　Fs 層



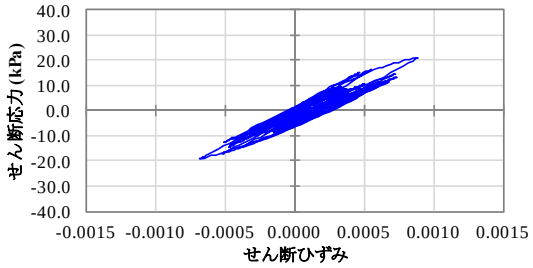
有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)　elem 551　As2 層



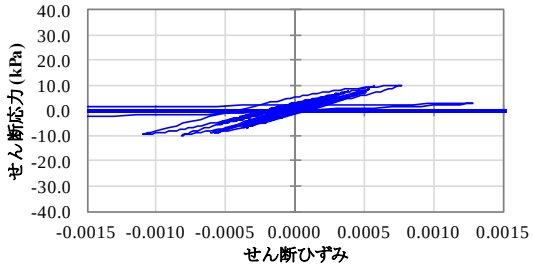
有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)　elem 817　Fs 層



せん断応力～せん断ひずみ関係　elem 551　As2 層

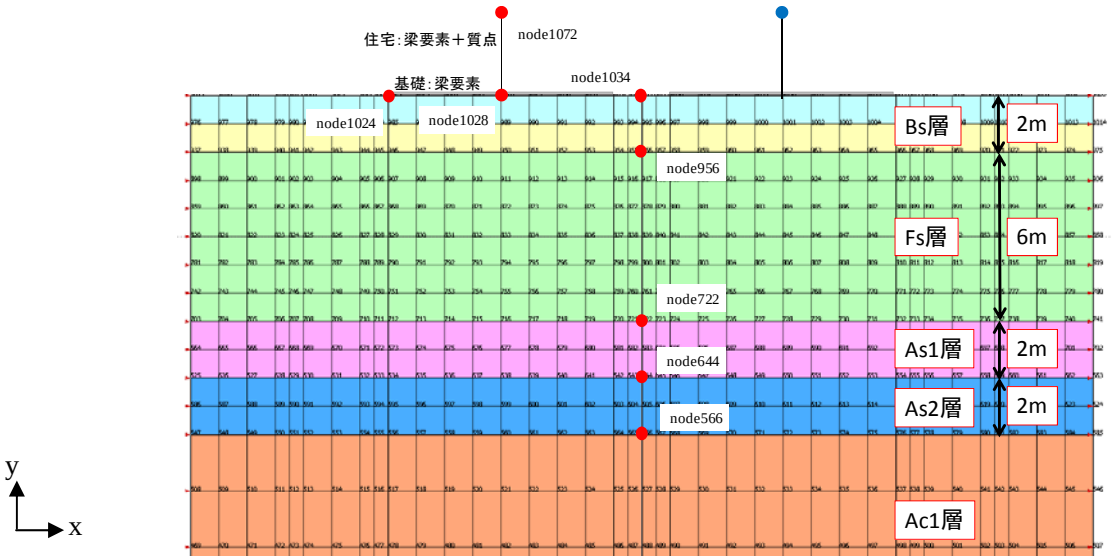


せん断応力～せん断ひずみ関係　elem 817　Fs 層

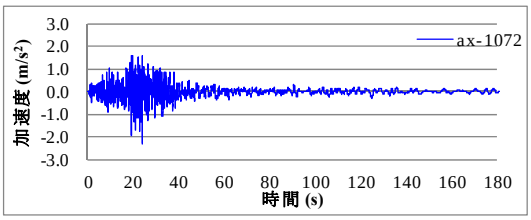


参考 1－表 3　無対策　解析結果概要②

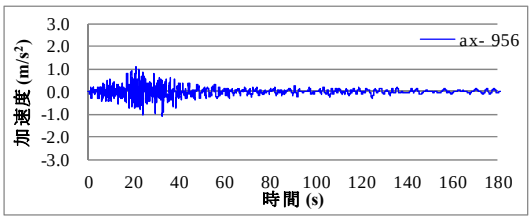
出力節点



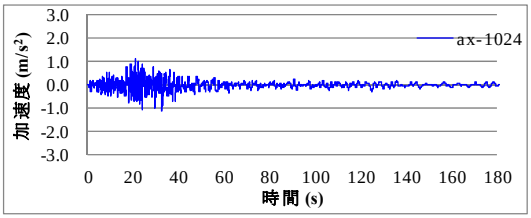
加速度の時刻歴　node1072　住宅の質点



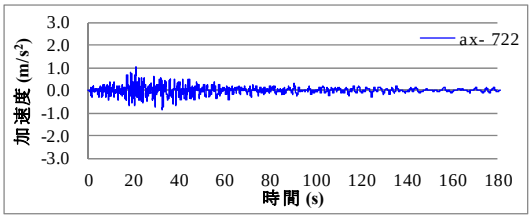
加速度の時刻歴　node956　Fs 層上面



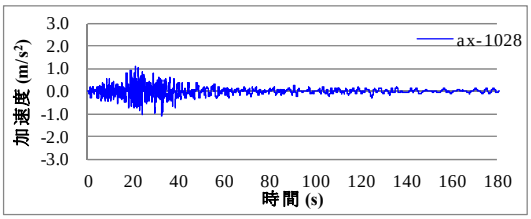
加速度の時刻歴　node1024　住宅基礎



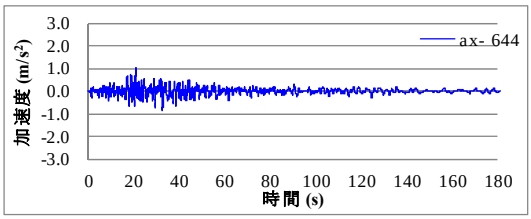
加速度の時刻歴　node722　As1 層上面



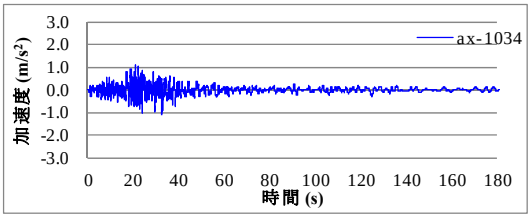
加速度の時刻歴　node1028　住宅基礎中央



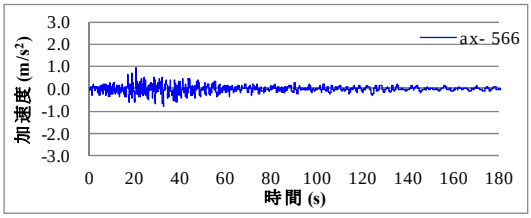
加速度の時刻歴　node644　As2 層上面



加速度の時刻歴　node1034　地表面

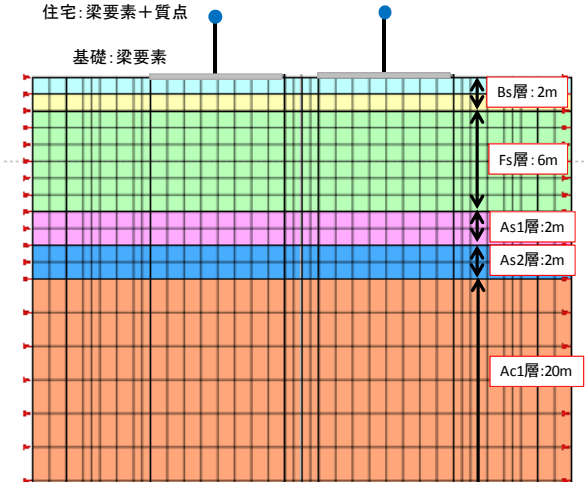


加速度の時刻歴　node566　Ac1 層上面

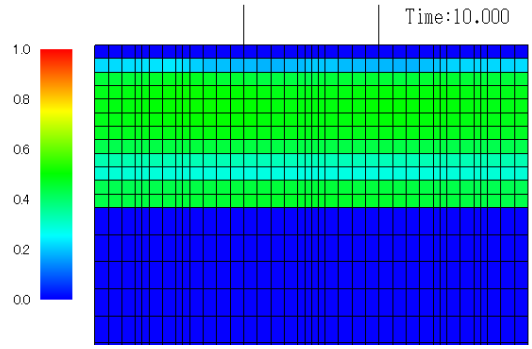
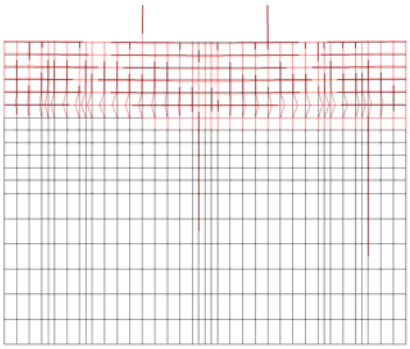
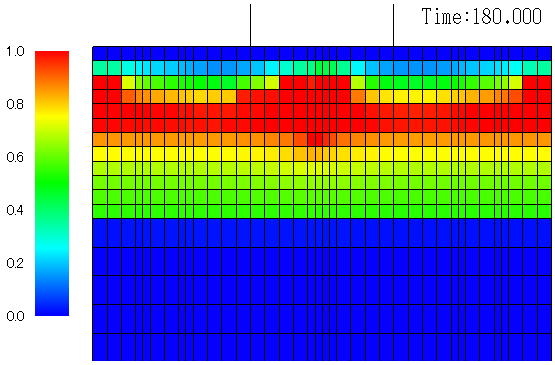
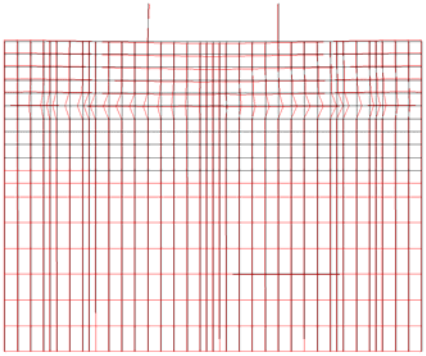


参考 1－表 4　無対策　解析結果概要③

液状化対策範囲：なし

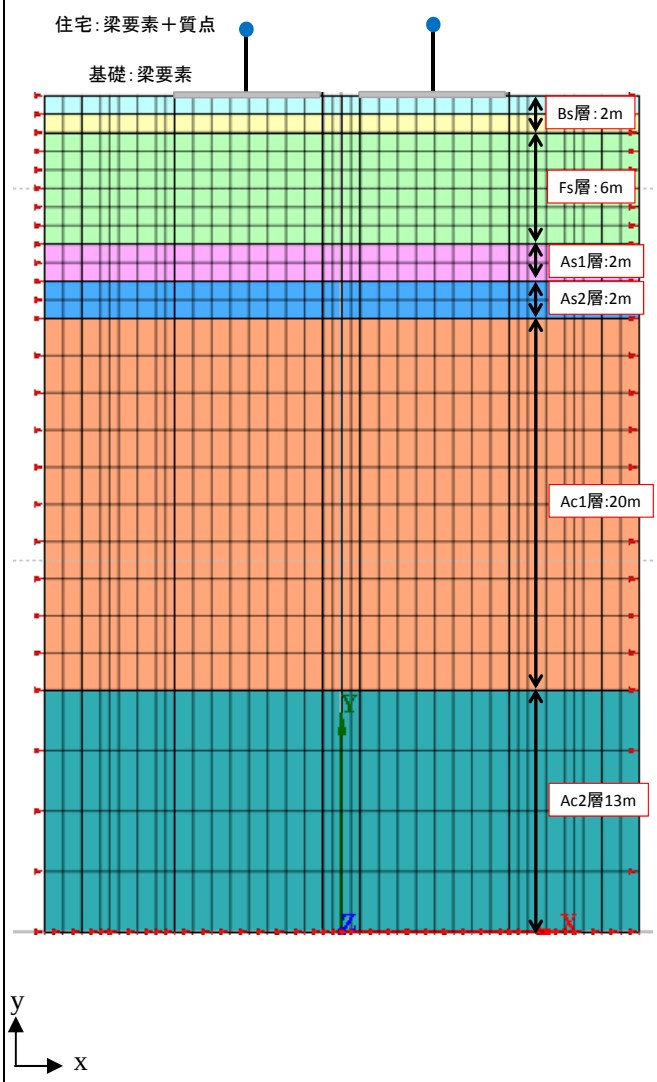
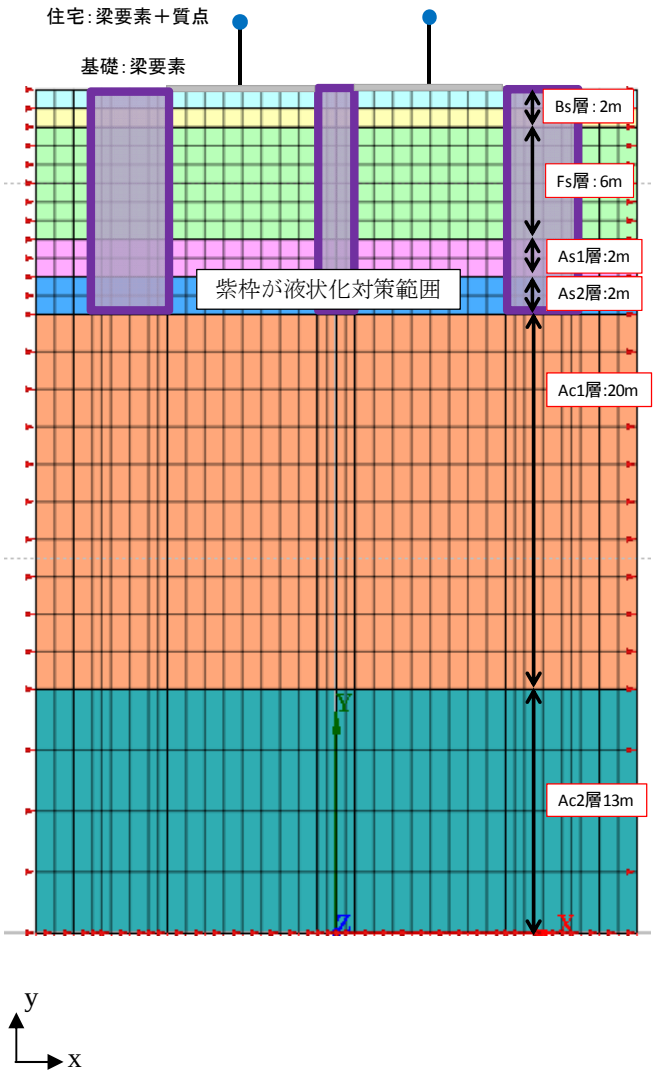


y
x

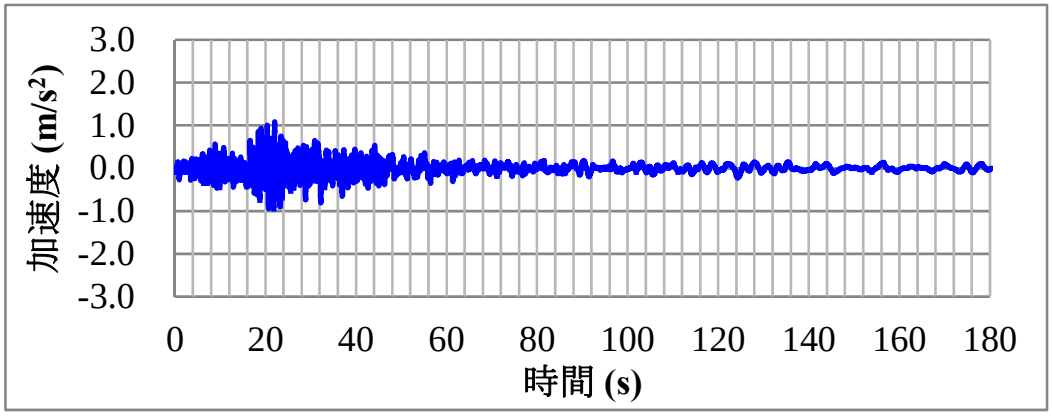
震動開始直後(10 秒)の過剰間隙水圧比のコンター図	地震動終了直後の変形図 (黒：変形前、赤：変形後)
	
震動終了直後(180 秒)の過剰間隙水圧比のコンター図	圧密終了後の変形図 (黒：変形前、赤：変形後)
	

参考資料２

参考２－表１　地盤の締固め工法　既存住宅有　(砂杭工法)　解析モデル概要と入力地震動

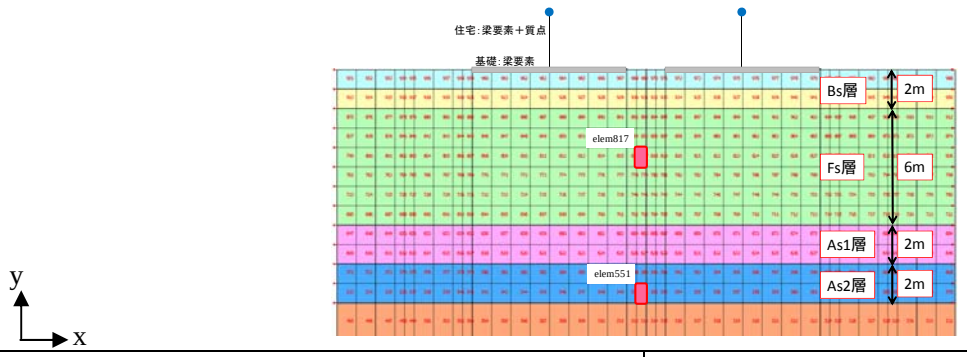
有限要素メッシュ：節点数 1,055、要素数 1,006 ケース名：5-D-2-L1	液状化対策：地盤の締固め工法　既存住宅あり (砂杭工法)
	

入力地震動：東北地方太平洋沖地震(夢の島観測波形)　　最大加速度　108.7gal　　入力時間 180 秒

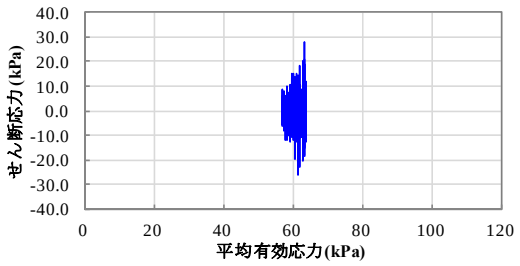


参考 2－表 2　地盤の締固め工法(砂杭工法)　既存住宅有　解析結果概要①

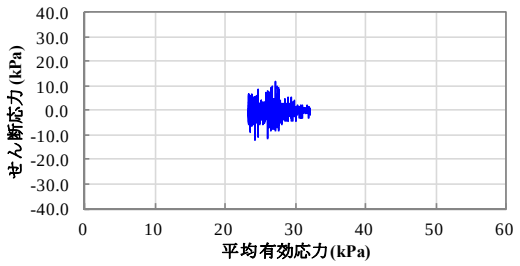
出力要素



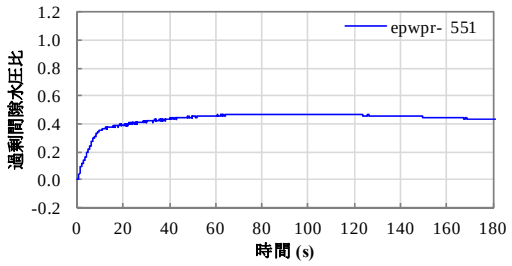
有効応力経路　elem 551　As2 層



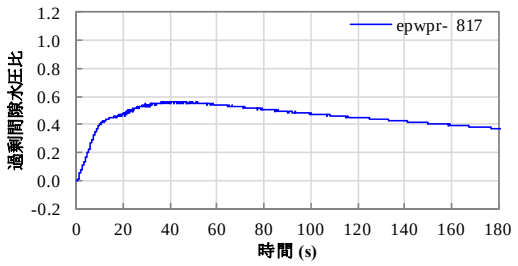
有効応力経路　elem 817　Fs 層



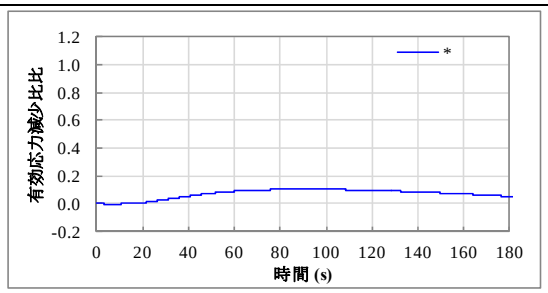
過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)　elem 551　As2 層



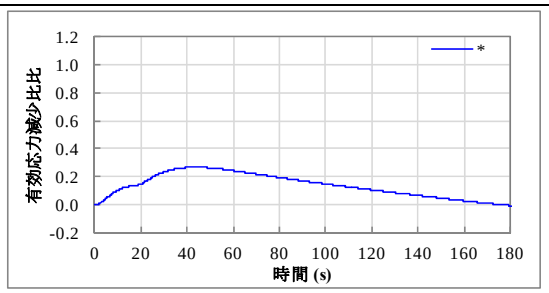
過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)　elem 817　Fs 層



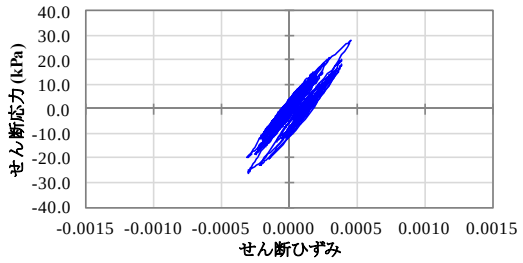
有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)　elem 551　As2 層



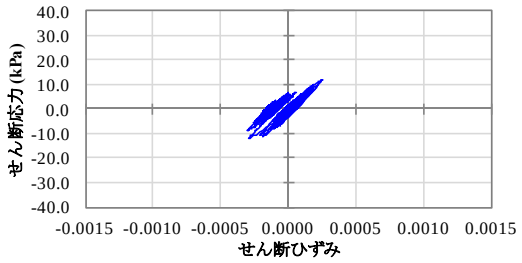
有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)　elem 817　Fs 層



せん断応力～せん断ひずみ関係　elem 551　As2 層

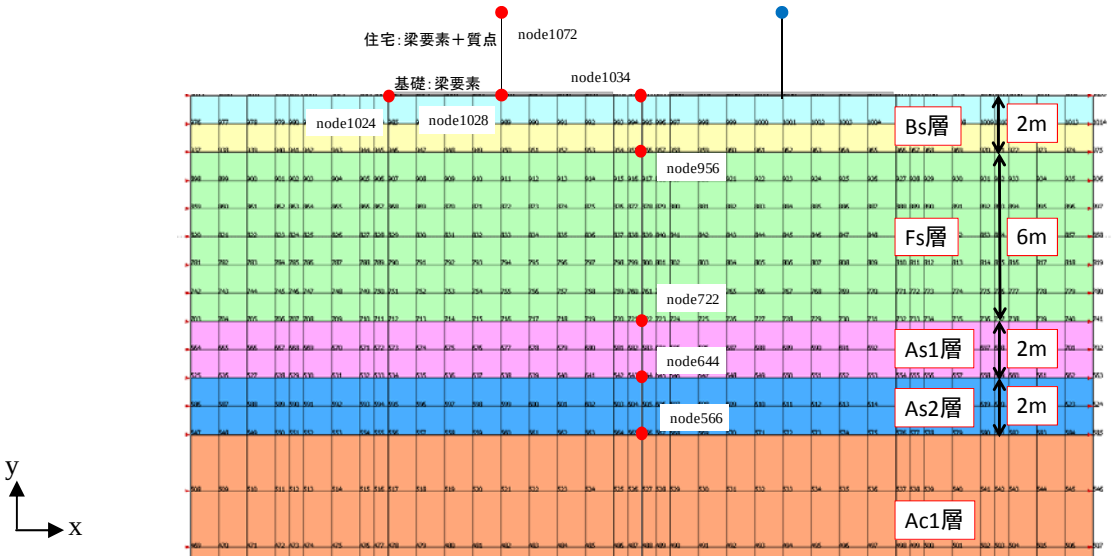


せん断応力～せん断ひずみ関係　elem 817　Fs 層

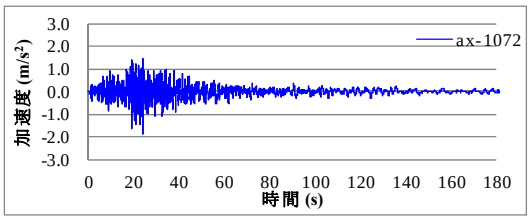


参考２－表３　地盤の締固め工法(砂杭工法)　既存住宅有　解析結果概要②

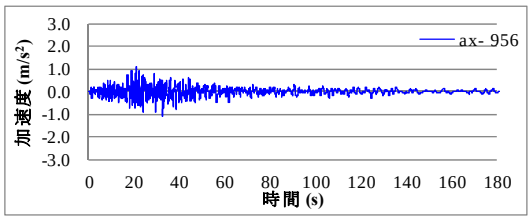
出力節点



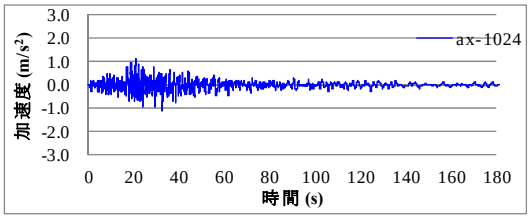
加速度の時刻歴　node1072　住宅の質点



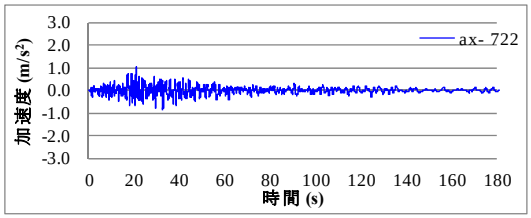
加速度の時刻歴　node956　Fs 層上面



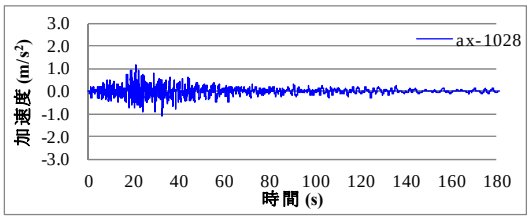
加速度の時刻歴　node1024　住宅基礎



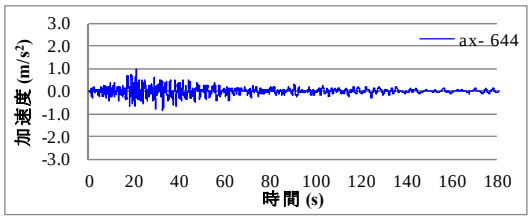
加速度の時刻歴　node722　As1 層上面



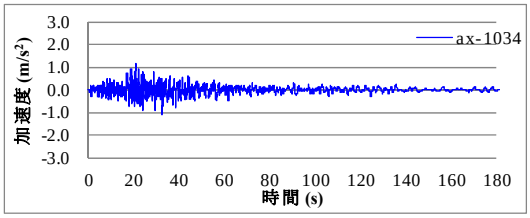
加速度の時刻歴　node1028　住宅基礎中央



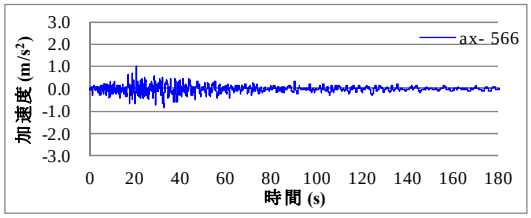
加速度の時刻歴　node644　As2 層上面



加速度の時刻歴　node1034　地表面

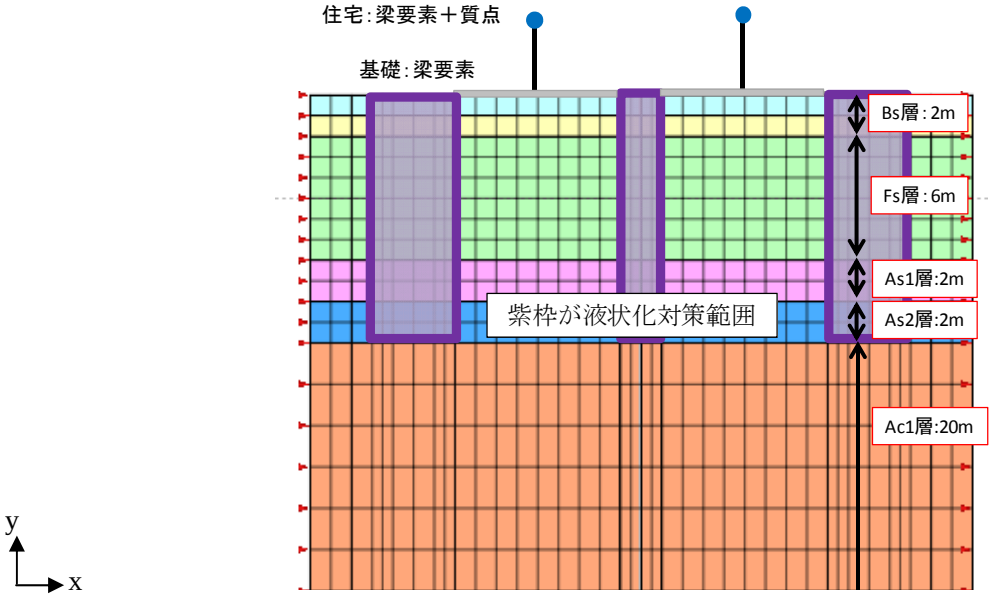


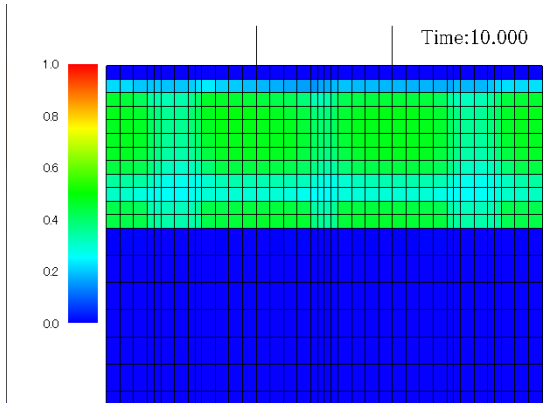
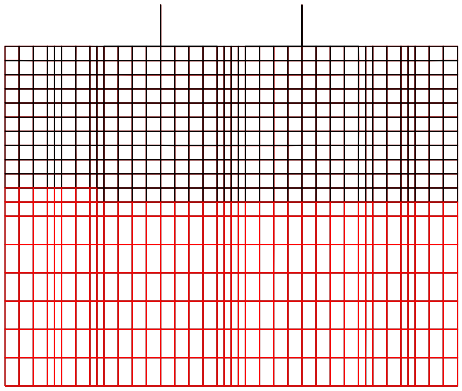
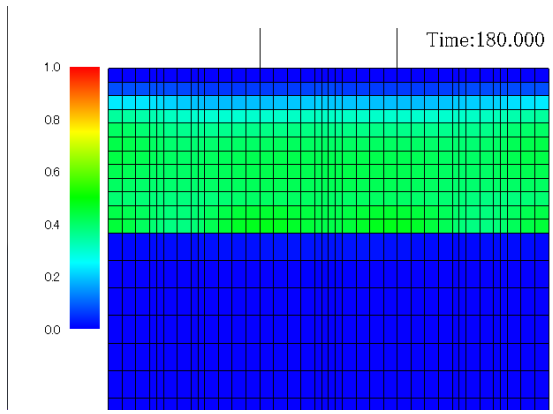
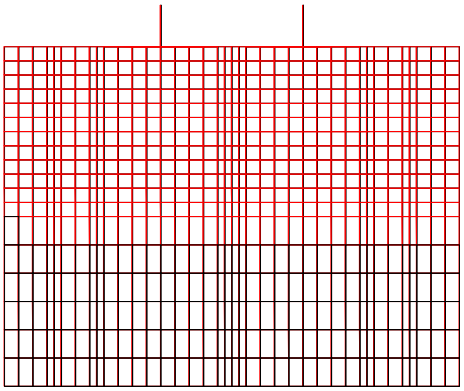
加速度の時刻歴　node566　Ac1 層上面



参考 2－表 4　地盤の締固め工法(砂杭工法)　既存住宅有　解析結果概要③

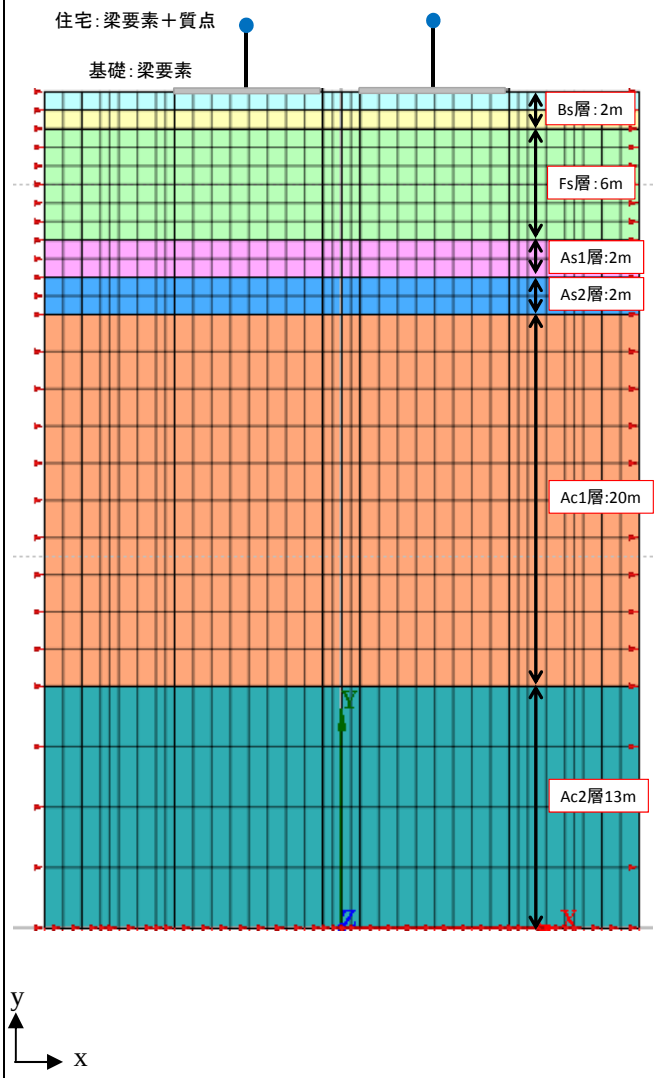
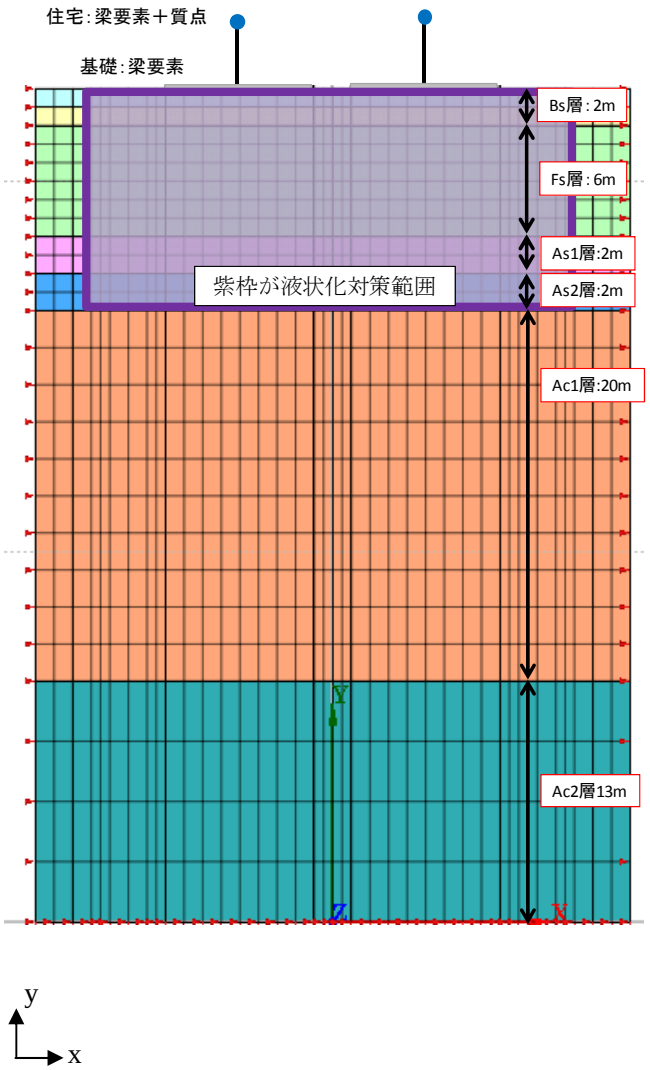
液状化対策範囲



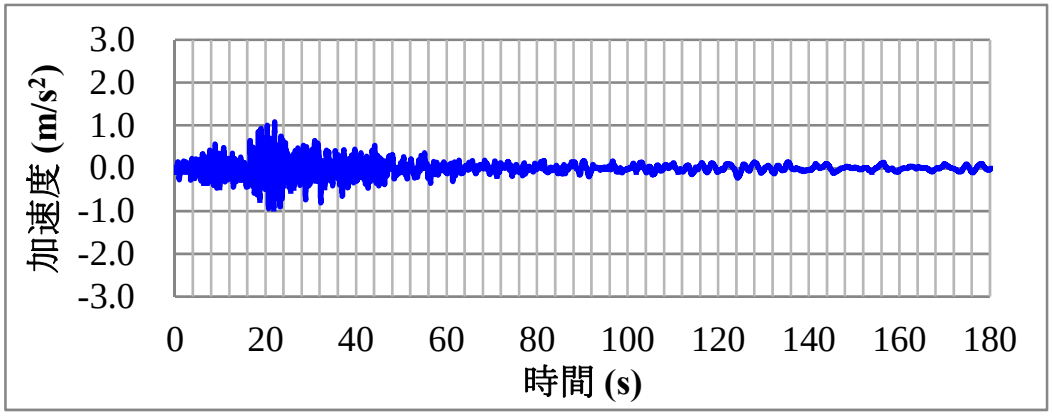
震動開始直後(10 秒)の過剰間隙水圧比のコンター図	地震動終了直後の変形図 (黒：変形前、赤：変形後)
	
震動終了直後(180 秒)の過剰間隙水圧比のコンター図	圧密終了後の変形図 (黒：変形前、赤：変形後)
	

参考資料３

参考３－表１　地盤の締固め工法　既存住宅無　解析モデル概要と入力地震動

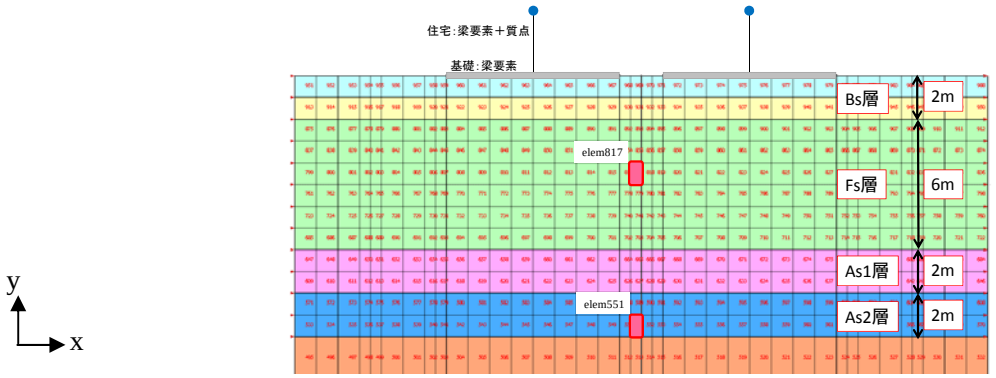
有限要素メッシュ：節点数 1,055、要素数 1,006 ケース名：5-K-2-L1	液状化対策：地盤の締固め工法　既存住宅無 (砂杭工法)
	

入力地震動：東北地方太平洋沖地震(夢の島観測波形)　　最大加速度　108.7gal　　入力時間 180 秒

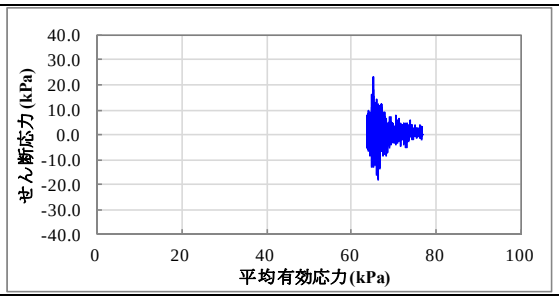


参考 3－表 2　地盤の締固め工法(砂杭工法)　既存住宅無　解析結果概要①

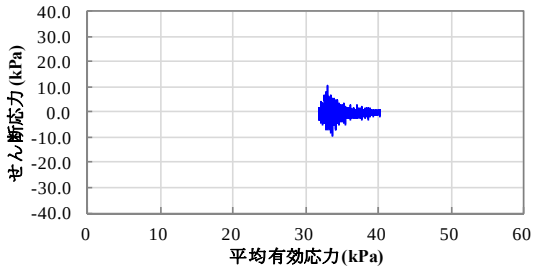
出力要素



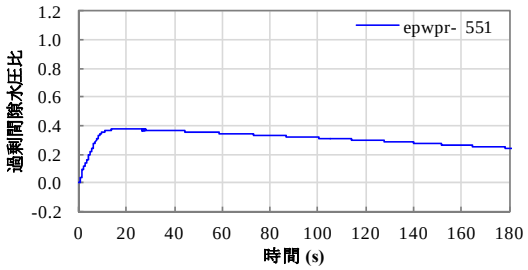
有効応力経路　elem 551　As2 層



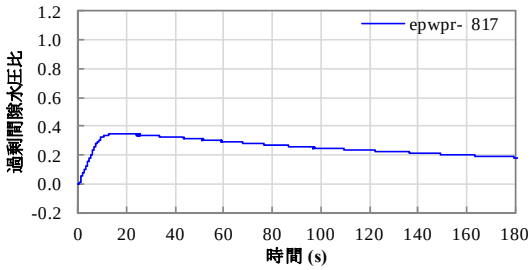
有効応力経路　elem 817　Fs 層



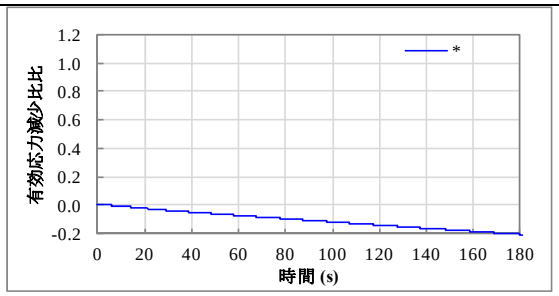
過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)　elem 551　As2 層



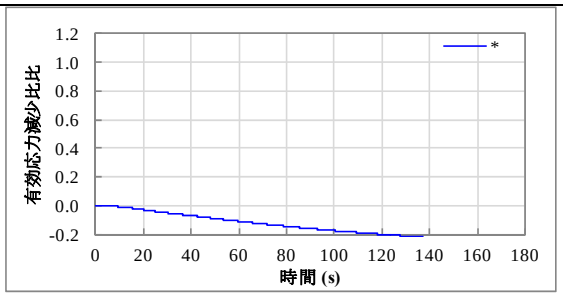
過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)　elem 817　Fs 層



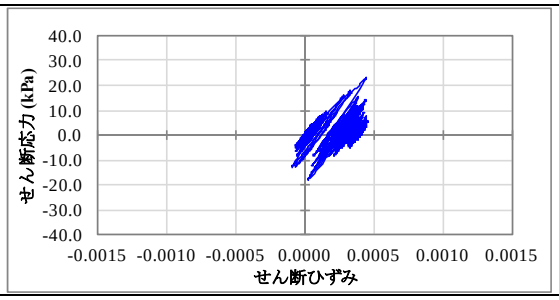
有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)　elem 551　As2 層



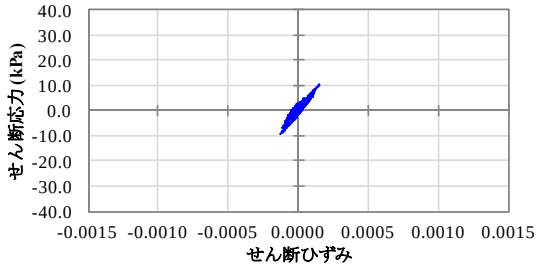
有効応力減少比($1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)　elem 817　Fs 層



せん断応力～せん断ひずみ関係　elem 551　As2 層

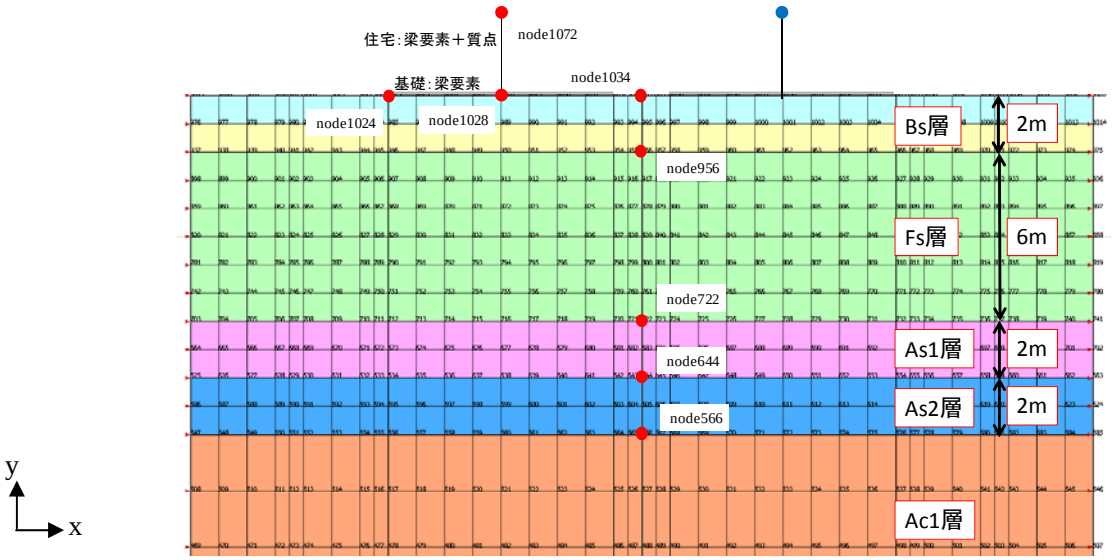


せん断応力～せん断ひずみ関係　elem 817　Fs 層

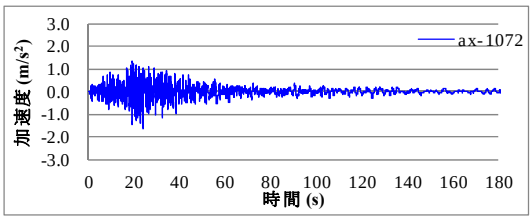


参考 3－表 3　地盤の締固め工法(砂杭工法)　既存住宅無　解析結果概要②

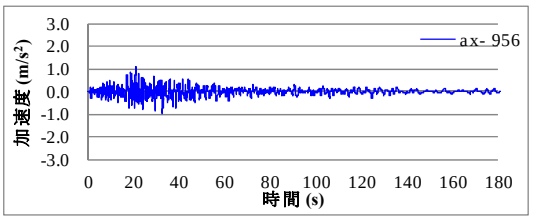
出力節点



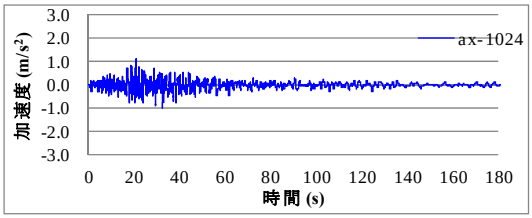
加速度の時刻歴　node1072　住宅の質点



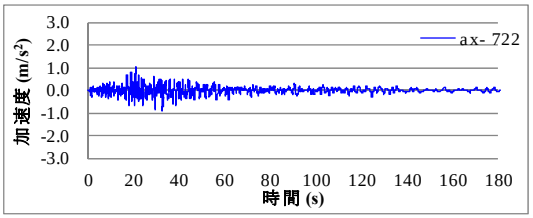
加速度の時刻歴　node956　Fs 層上面



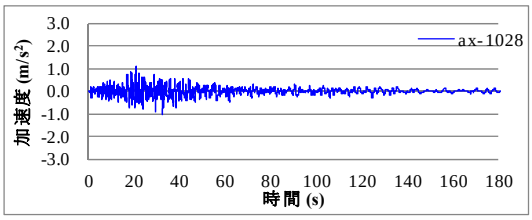
加速度の時刻歴　node1024　住宅基礎



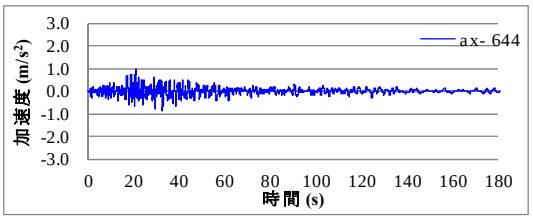
加速度の時刻歴　node722　As1 層上面



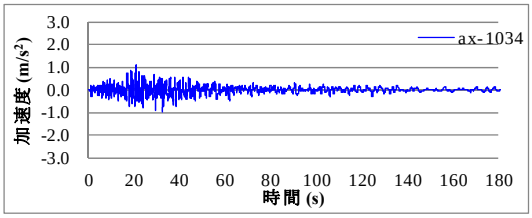
加速度の時刻歴　node1028　住宅基礎中央



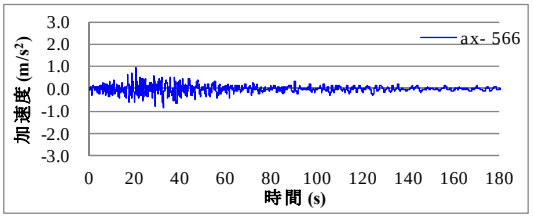
加速度の時刻歴　node644　As2 層上面



加速度の時刻歴　node1034　地表面

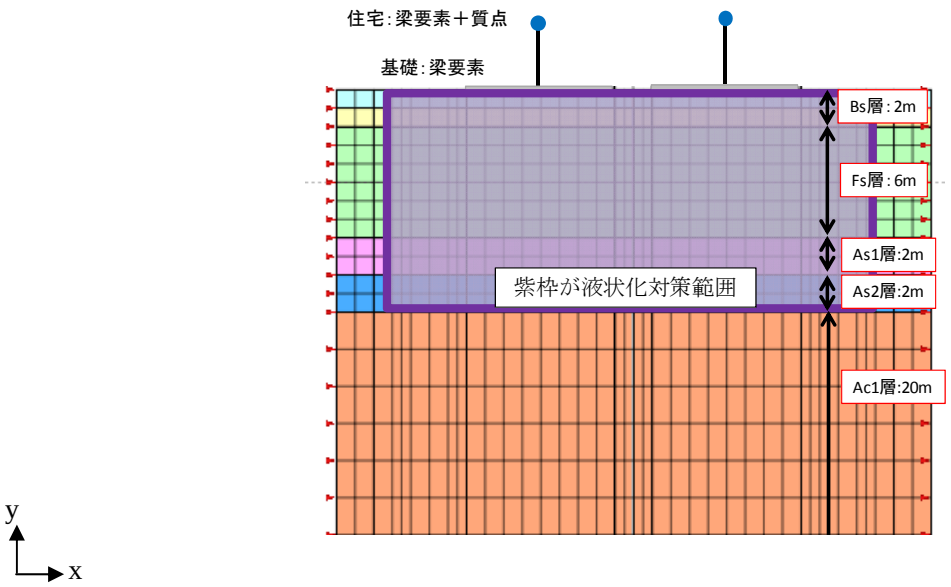


加速度の時刻歴　node566　Ac1 層上面

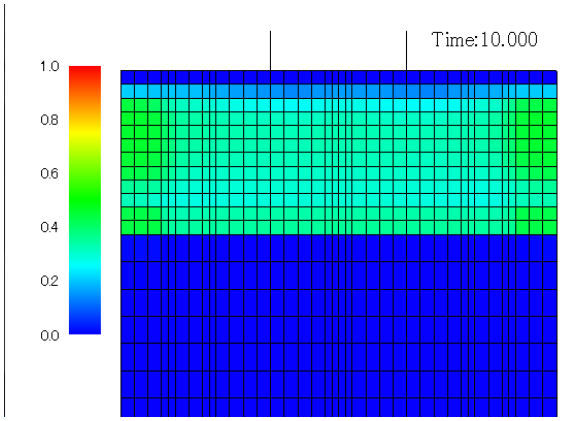


参考 3－表 4　地盤の締固め工法(砂杭工法)　既存住宅無　解析結果概要③

液状化対策範囲

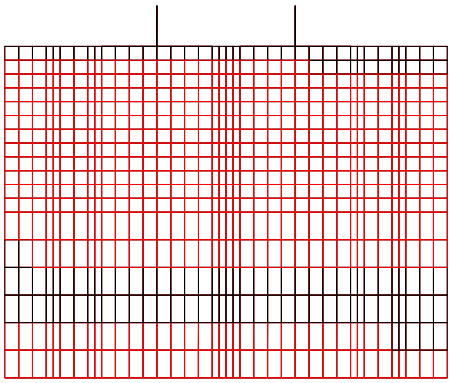


震動開始直後(10 秒)の過剰間隙水圧比のコンター図

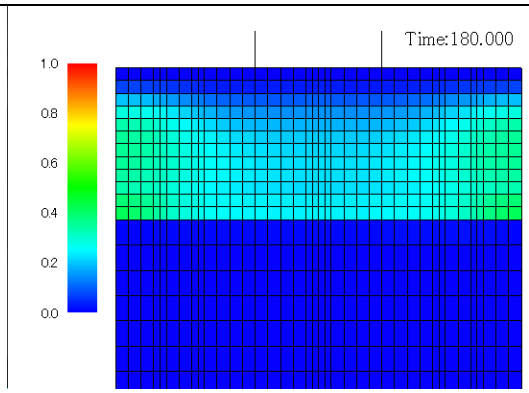


地震動終了直後の変形図

(黒：変形前、赤：変形後)　住宅の傾斜：

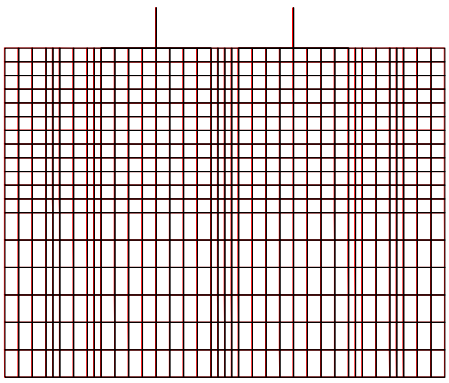


震動終了直後(180 秒)の過剰間隙水圧比のコンター図



圧密終了後の変形図

(黒：変形前、赤：変形後)　住宅の傾斜：



参考資料４

参考 4―表１　材料パラメーター一覧(無対策)

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	∞

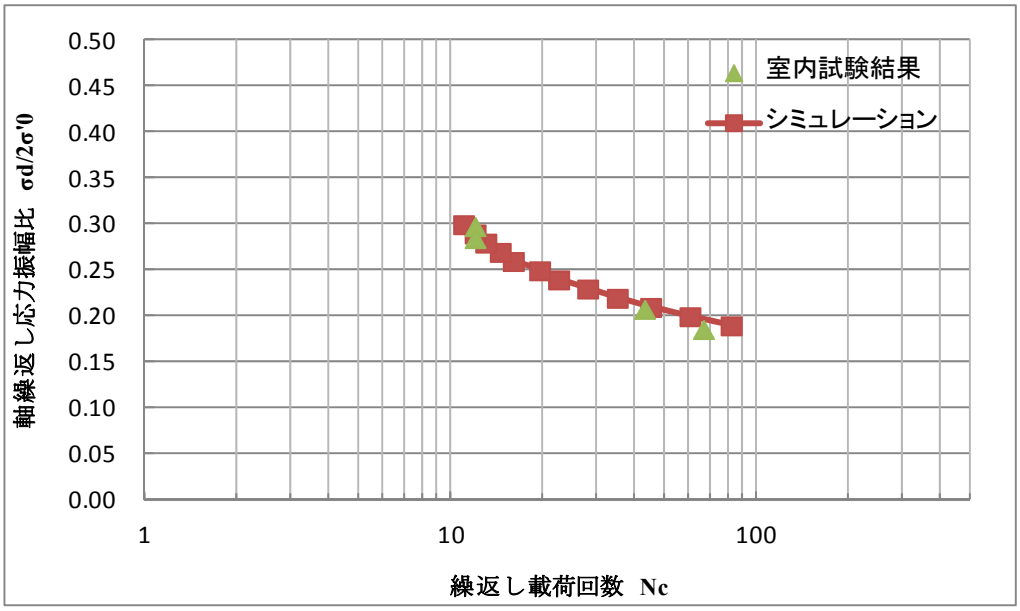
土質名	ポアソン比	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 (deg)	パラメータ		せん断弾性係数のパラメータ	
	ν	c	ϕ	α	r	a	b
Ac1	0.333	60.4	0.0	1.20	2.00	26,300	0.0
Ac2	0.333	372.0	0	1.40	2.00	70,300	0.0

参考 4―表２　材料パラメーター一覧(砂杭工法)

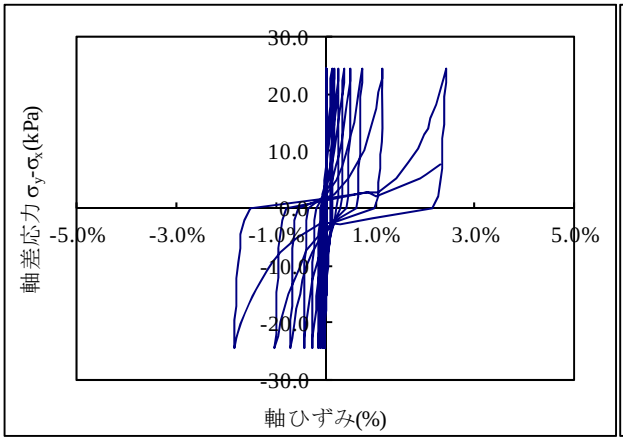
土質名	初期間隙比	圧縮指数	膨潤指数	無次元化初期せん断係数	変相応力比	破壊応力比	硬化関数中のパラメータ			異方性消失のパラメータ	疑似過圧密比	ダイレイタンシー係数		塑性規準ひずみ	弾性規準ひずみ	間隙の体積弾性係数
	e_0	λ	κ	G_0/σ'_{m0}	M^*_m	M^*_f	B^*_0	B^*_1	C_f	C_d	OCR^*	D^*_0	n	γ^{P*}_r	γ^{E*}_r	kf
Bs	0.74	0.00113	0.00038	2,122	0.909	0.956	18,000	200	0	2,000	1.4	1.50	3.0	0.0060	0.0300	∞
Fs	0.97	0.00128	0.00043	2,128	0.909	1.169	7,500	150	0	2,000	2.5	1.70	28.0	0.0045	0.0225	∞
As1	0.98	0.00262	0.00087	1,046	0.909	1.071	8,000	250	0	2,000	1.8	2.00	12.0	0.0070	0.0350	∞
As2	1.2	0.00259	0.00086	1,175	0.909	1.138	3,500	100	0	2,000	2.5	0.80	20.0	0.0100	0.0500	∞

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

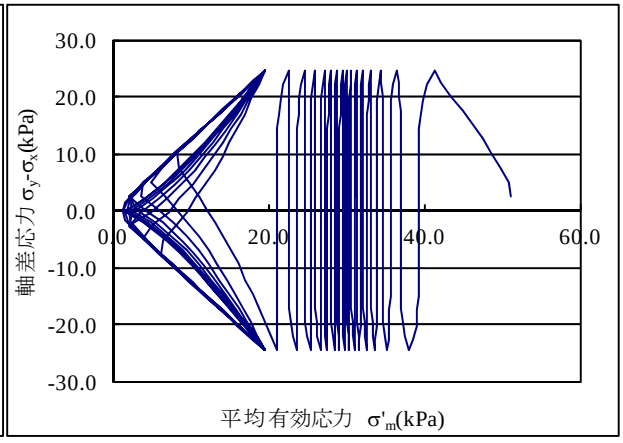
要素シミュレーション結果



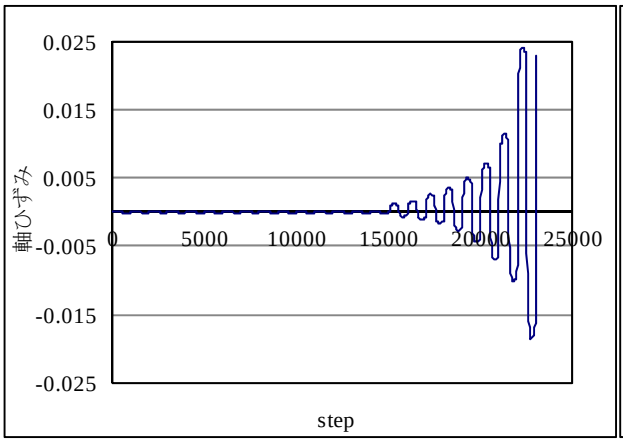
(a) 液状化強度曲線



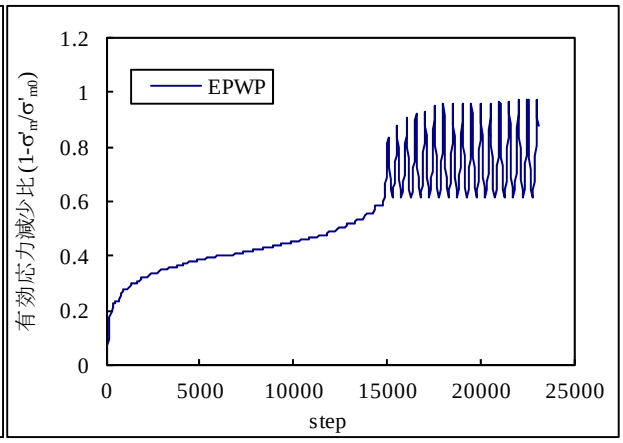
(b) 応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路

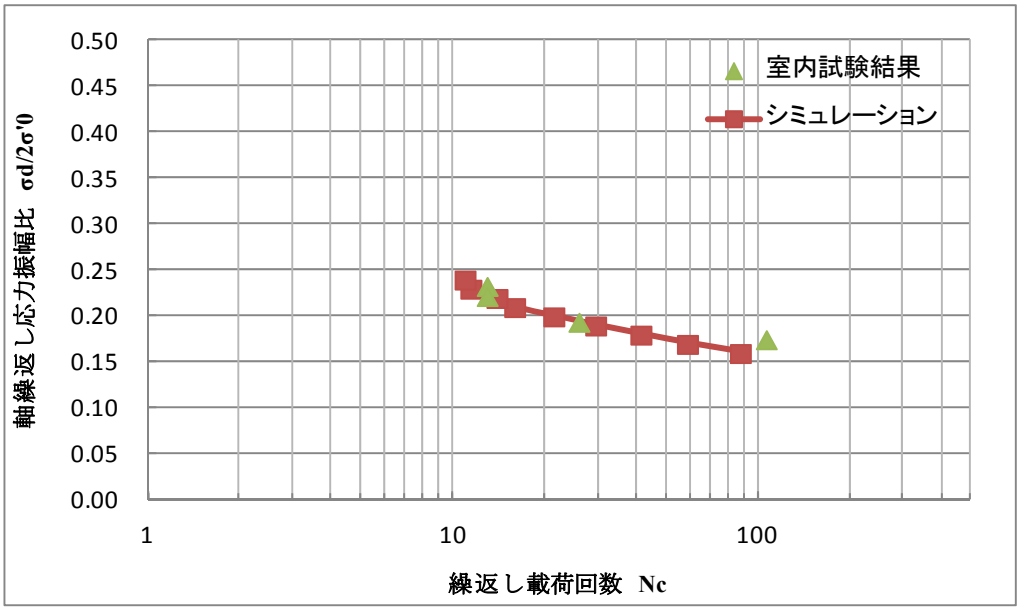


(d)ひずみの時刻歴

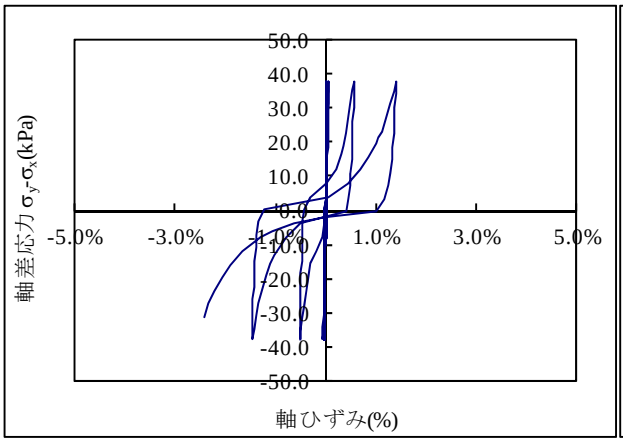


(e)有効応力減少比の時刻歴

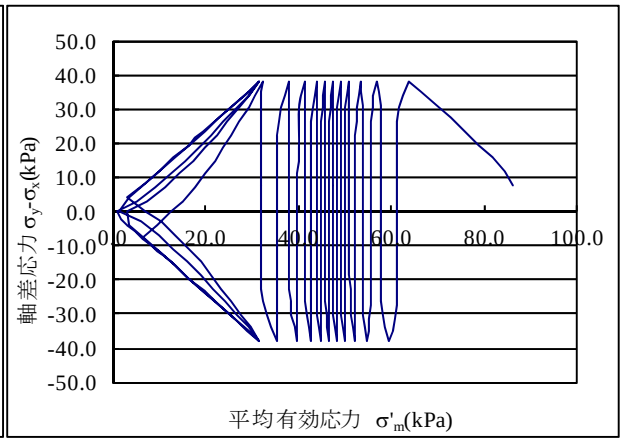
参考 4―図 1 無対策 Bs 層の要素シミュレーション結果



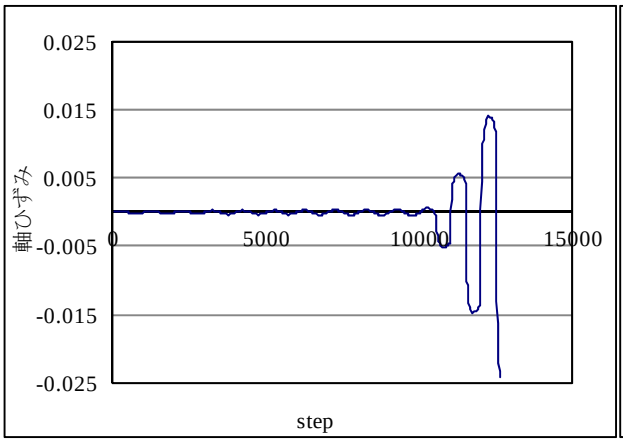
(a)　液状化強度曲線



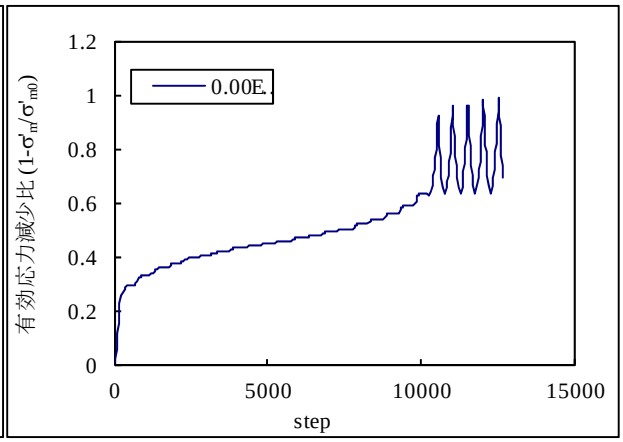
(b)　応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路

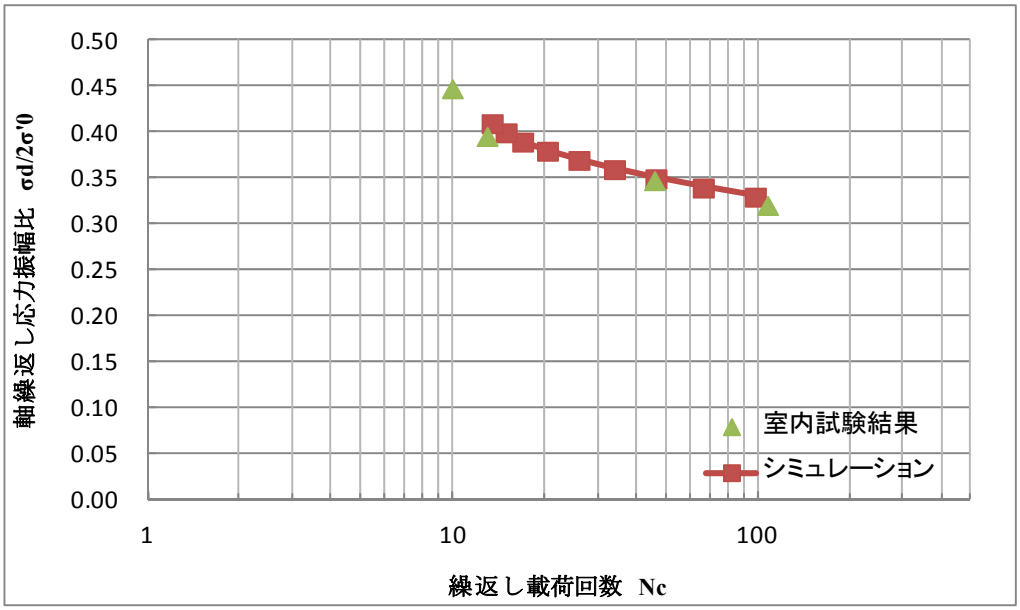


(d)ひずみの時刻歴

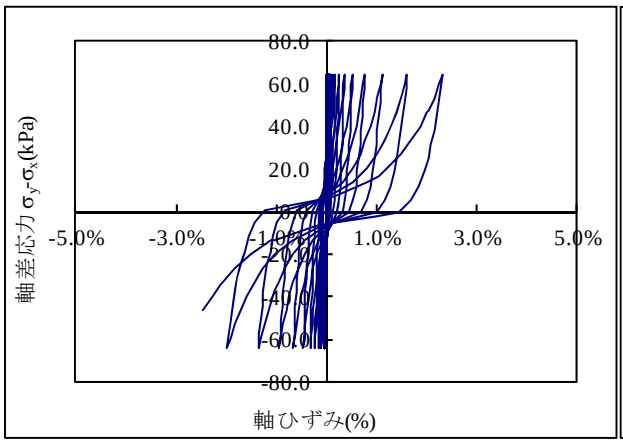


(e)有効応力減少比の時刻歴

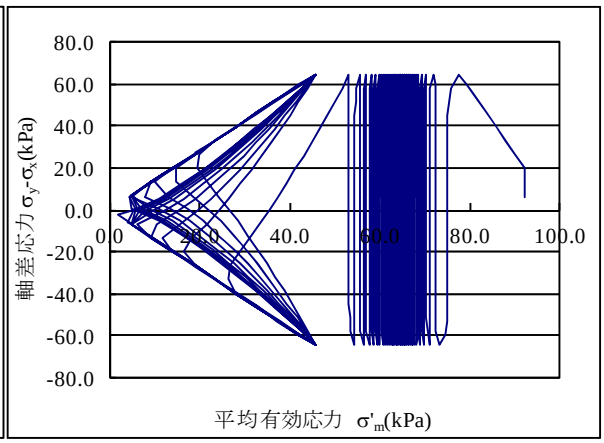
参考 4―図２　無対策　Fs 層の要素シミュレーション結果



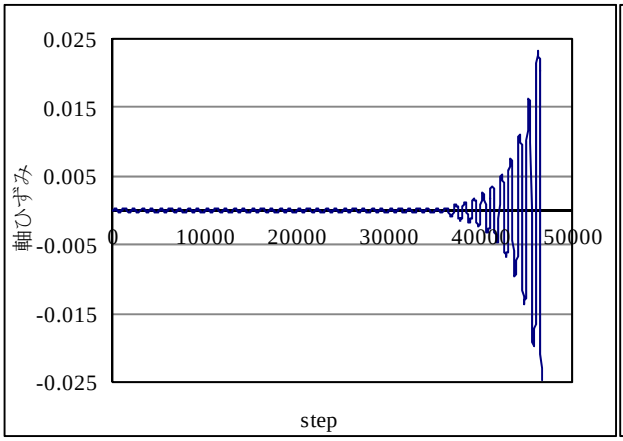
(a)　液状化強度曲線



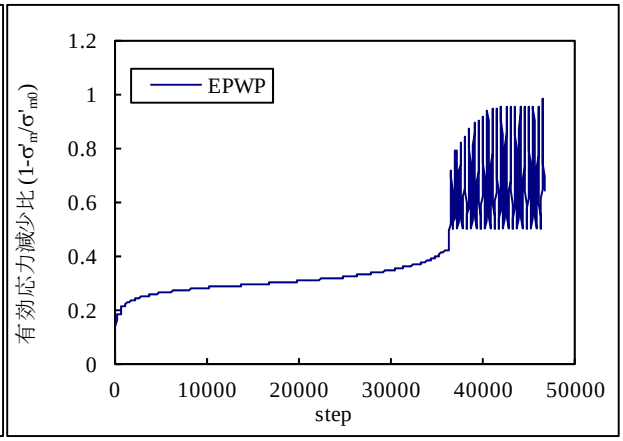
(b)　応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路

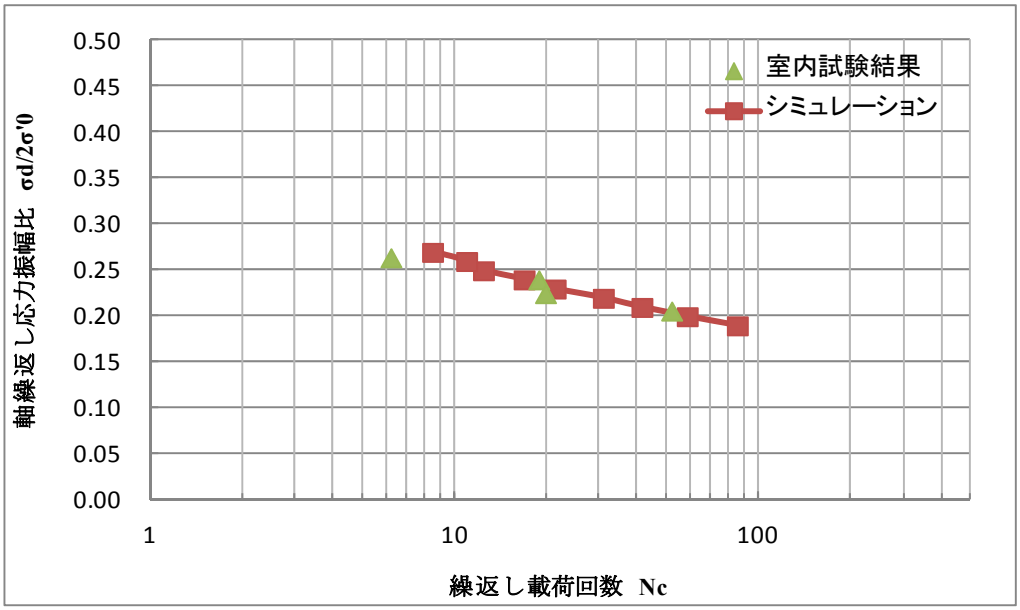


(d)ひずみの時刻歴

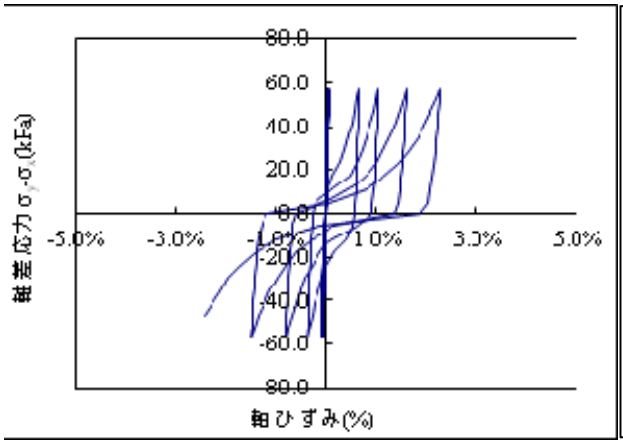


(e)有効応力減少比の時刻歴

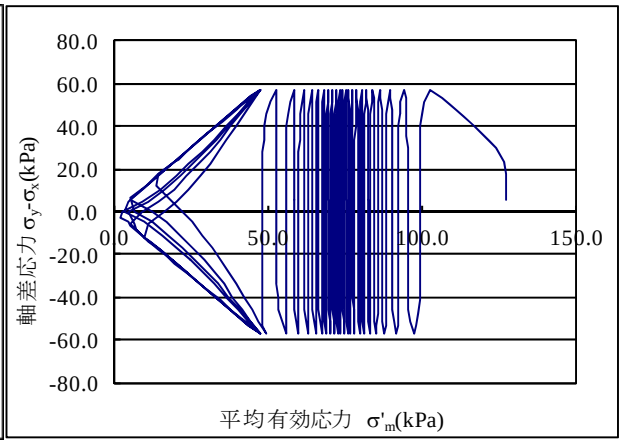
参考 4―図３　無対策　As1 層の要素シミュレーション結果



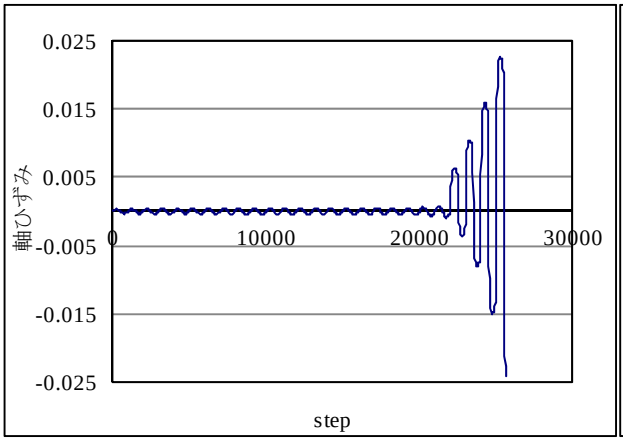
(a)　液状化強度曲線



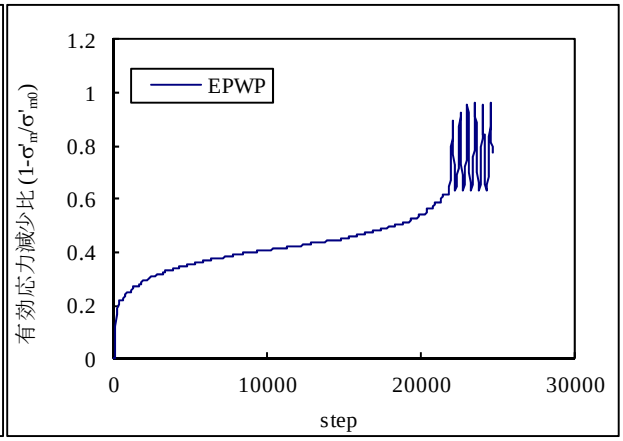
(b)　応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路

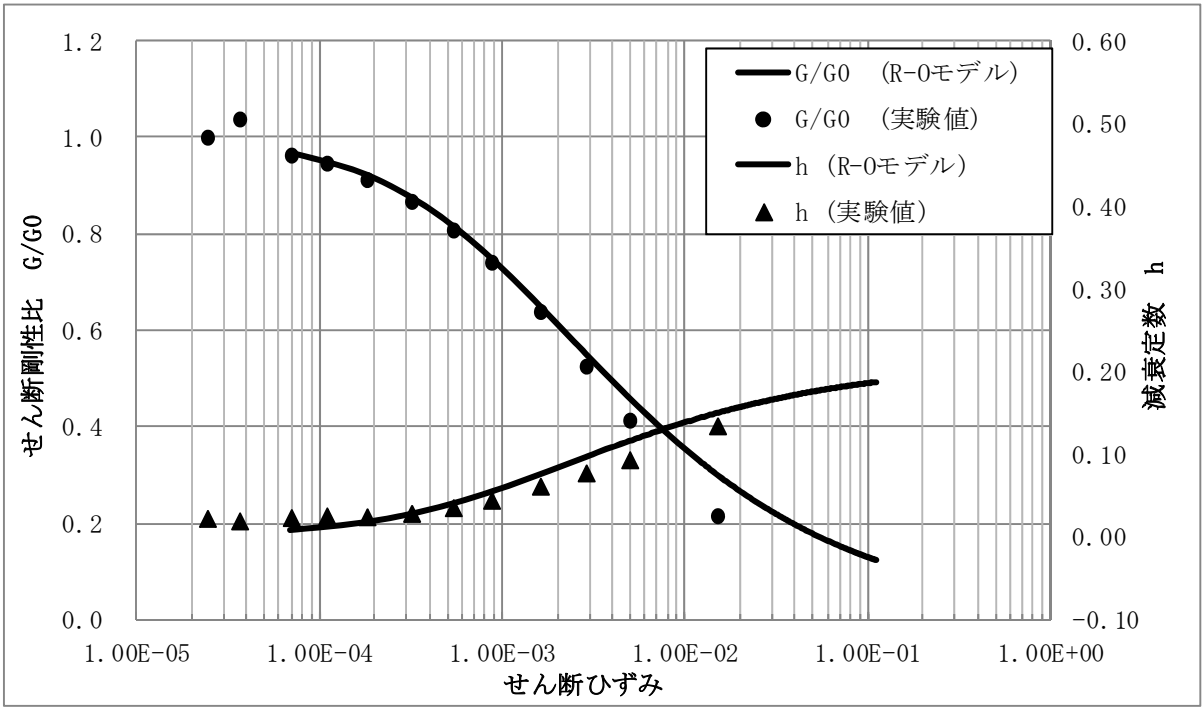


(d)ひずみの時刻歴

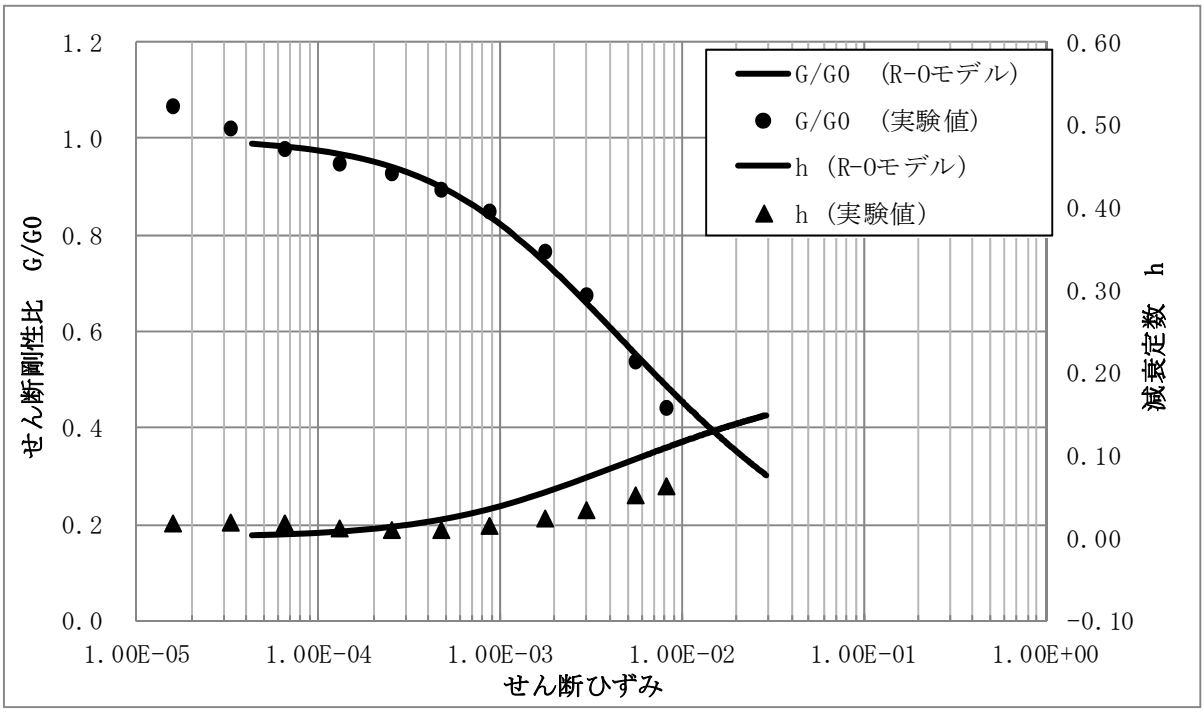


(e)有効応力減少比の時刻歴

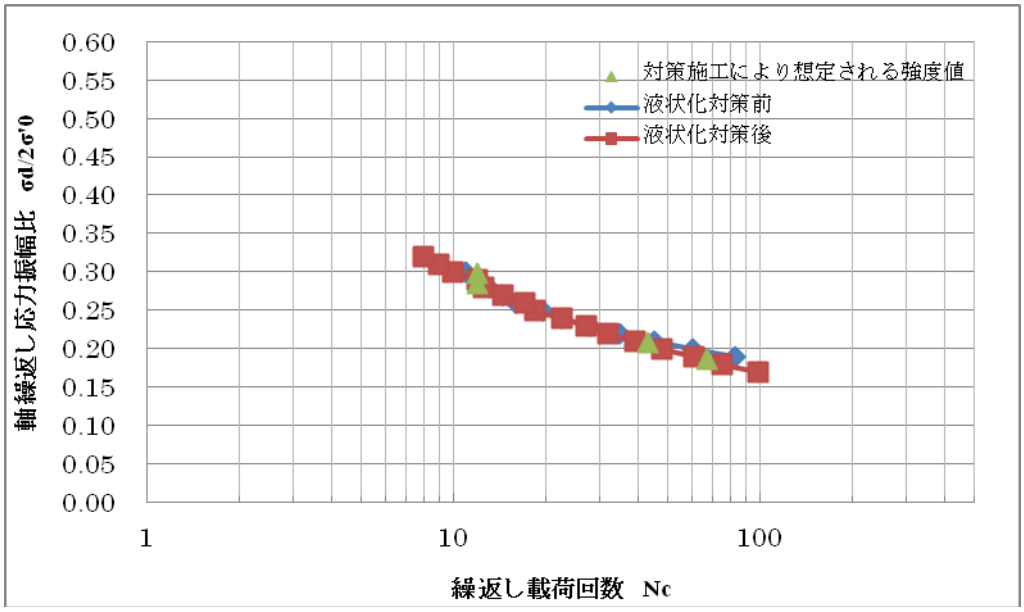
参考 4―図 4　無対策　As2 層の要素シミュレーション結果



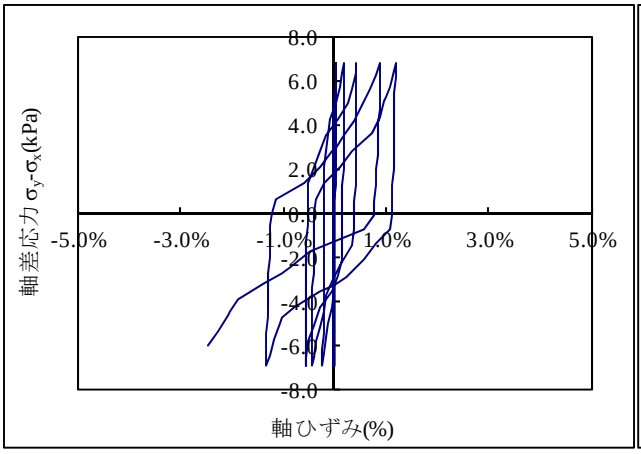
参考 4―図５　無対策　Ac1 層の要素シミュレーション結果



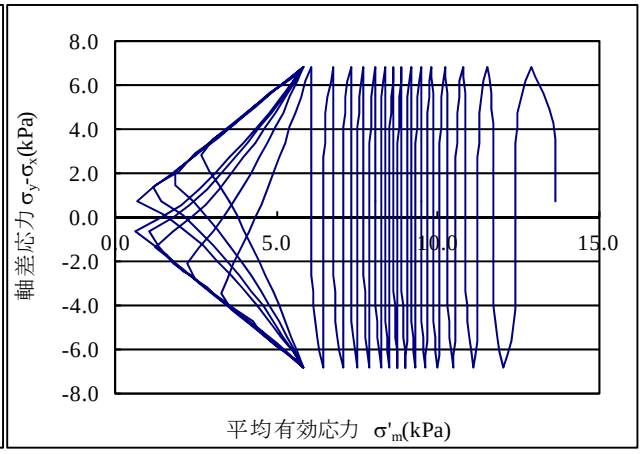
参考 4―図６　無対策　Ac2 層の要素シミュレーション結果



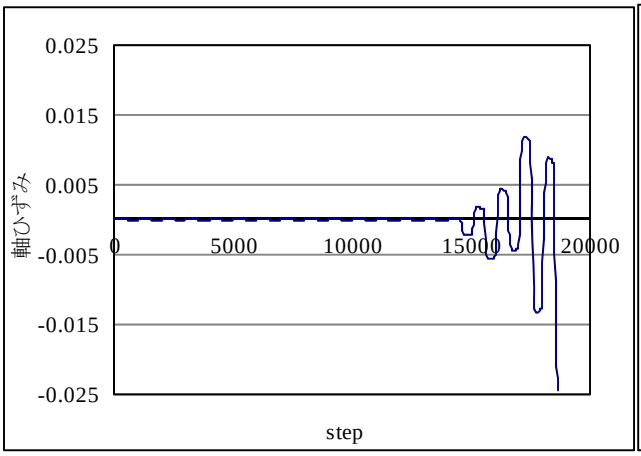
(a) 液状化強度曲線



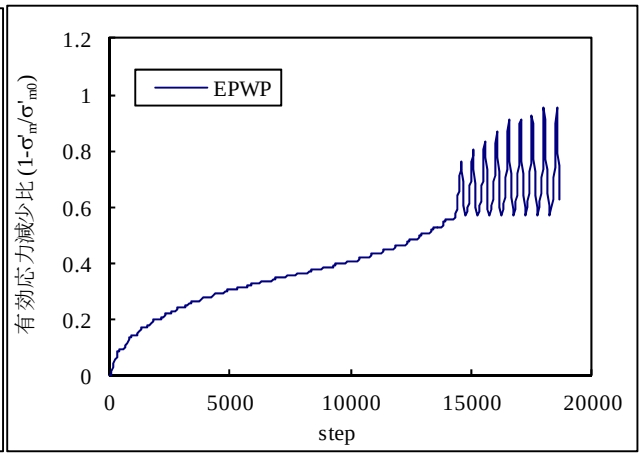
(b) 応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路

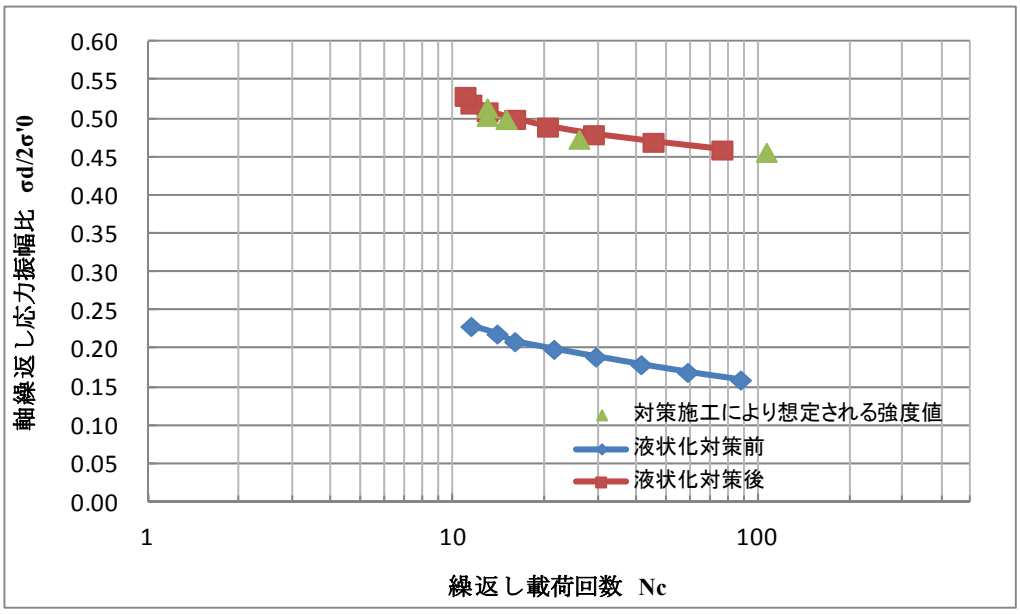


(d)ひずみの時刻歴

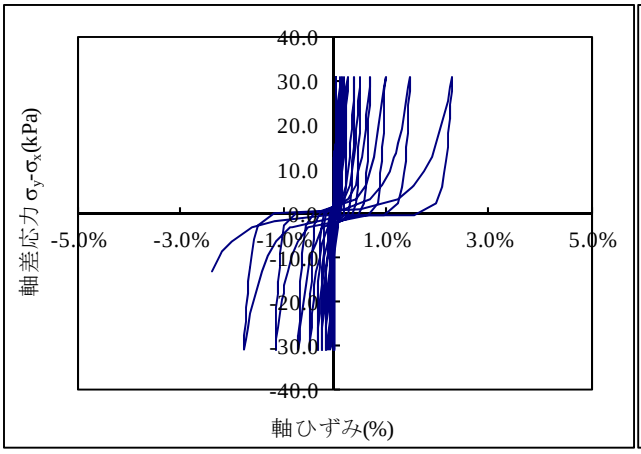


(e)有効応力減少比の時刻歴

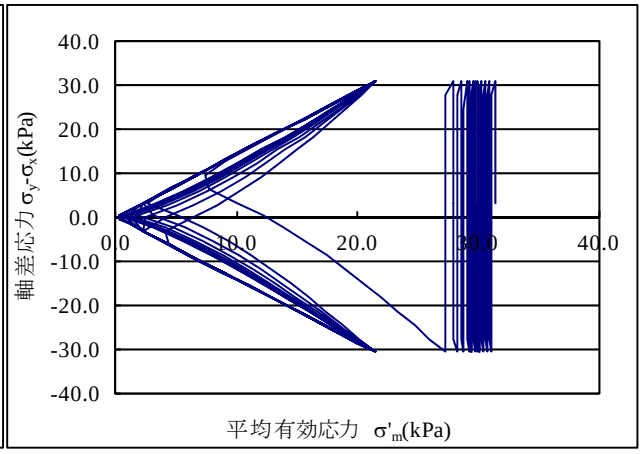
参考 4―図 7 締固め工法（砂杭工法） Bs 層の要素シミュレーション結果



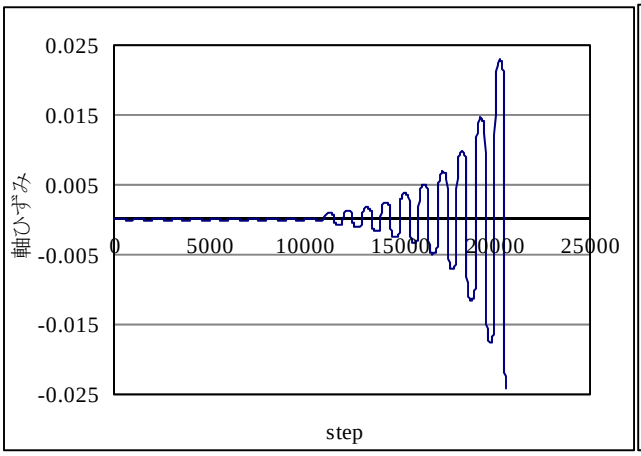
(a)　液状化強度曲線



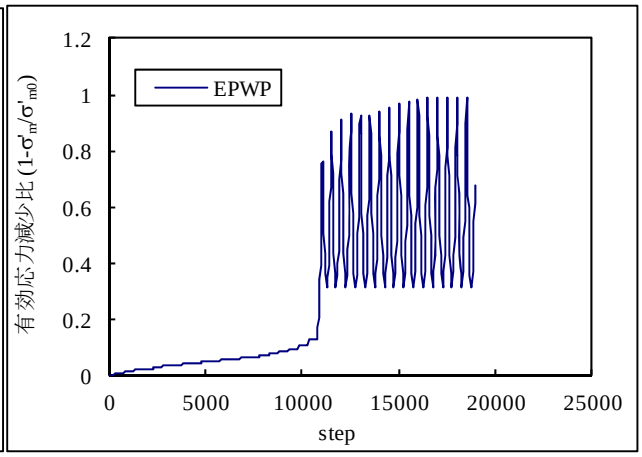
(b)　応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路

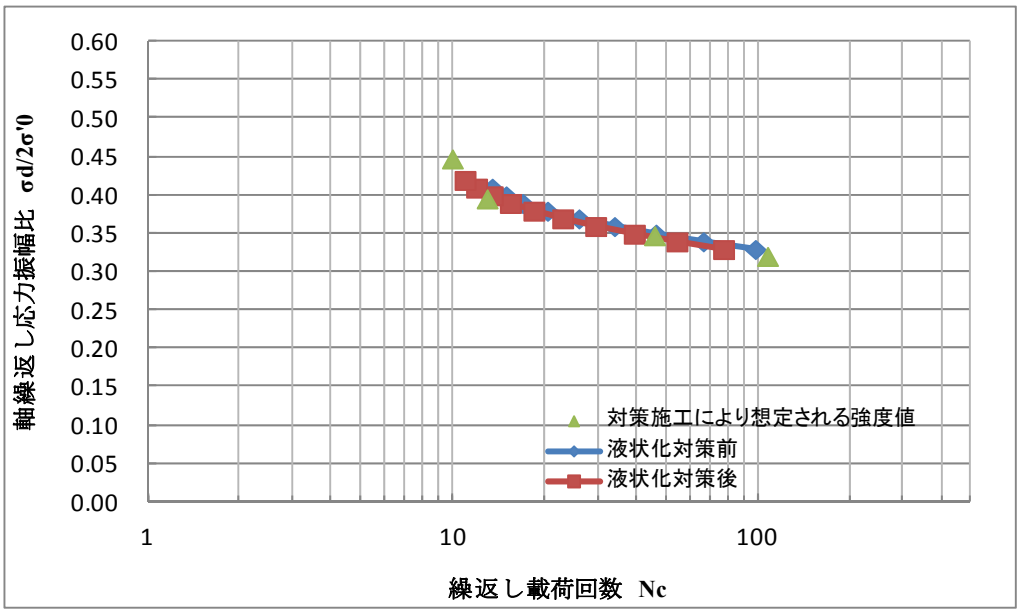


(d)ひずみの時刻歴

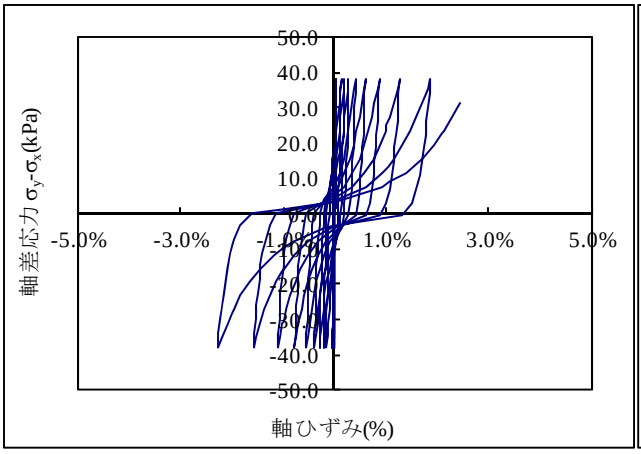


(e)有効応力減少比の時刻歴

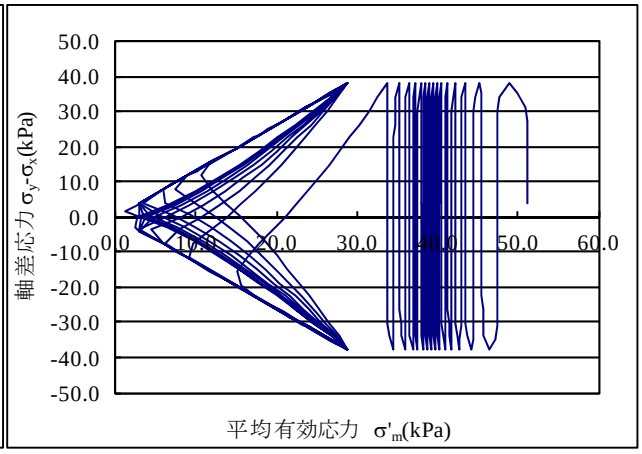
参考 4―図８　締固め工法（砂杭工法）　Fs 層の要素シミュレーション結果



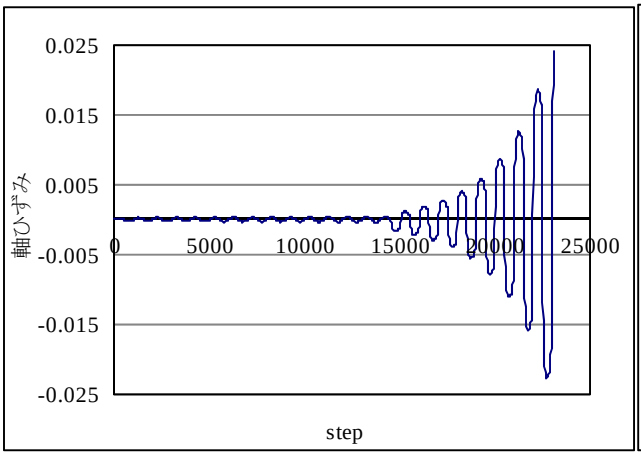
(a)　液状化強度曲線



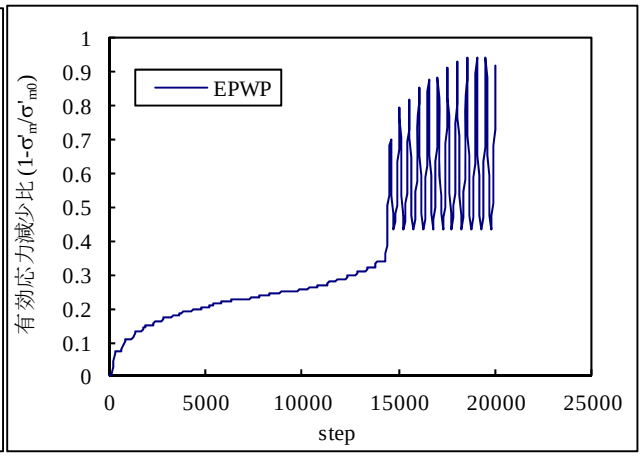
(b)　応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路

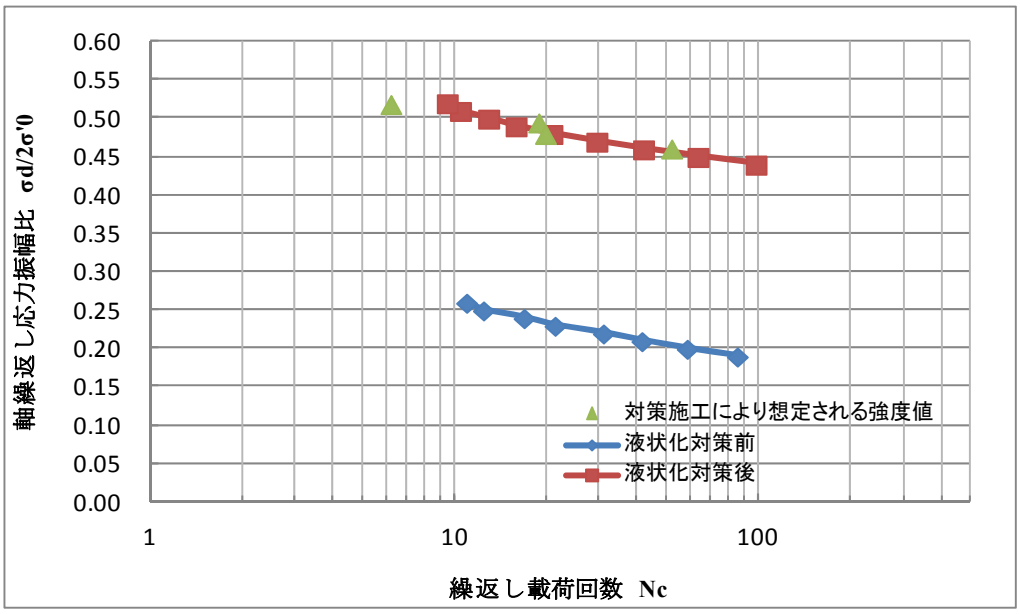


(d)ひずみの時刻歴

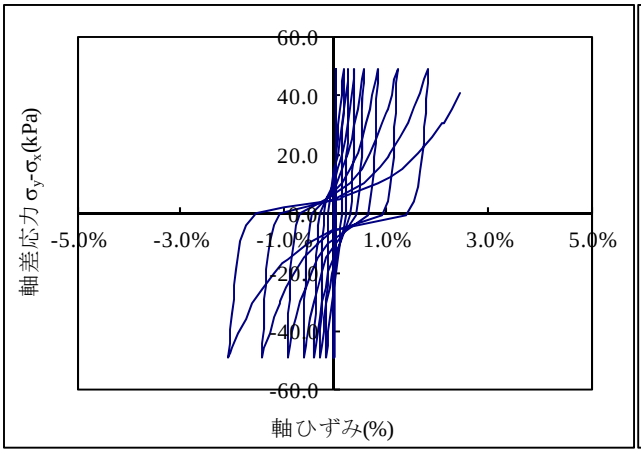


(e)有効応力減少比の時刻歴

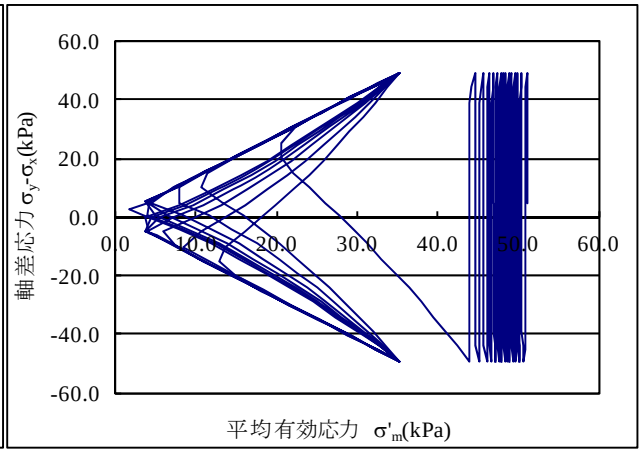
参考 4―図 9　締固め工法（砂杭工法）　As1 層の要素シミュレーション結果



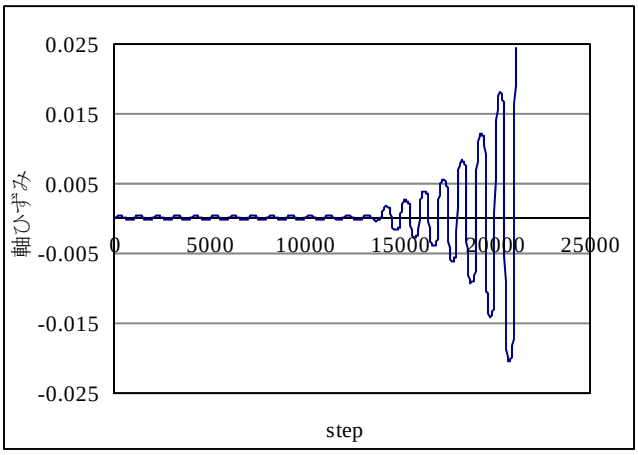
(a)　液状化強度曲線



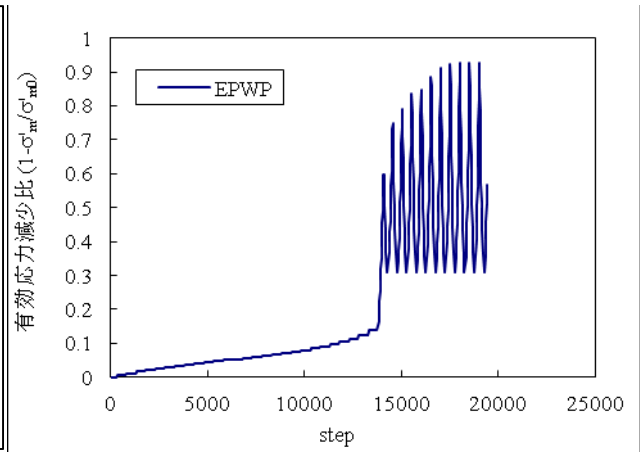
(b)　応力-ひずみ関係



(c)有効応力経路



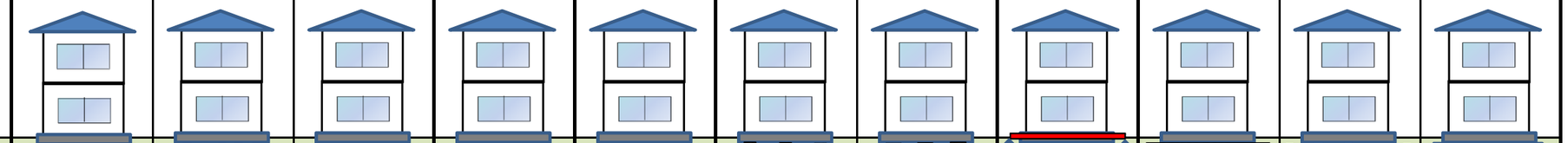
(d)ひずみの時刻歴



(e)有効応力減少比の時刻歴

参考 4―図１０　締固め工法（砂杭工法）　As2 層の要素シミュレーション結果

参考表1　WG3検討経過・検討結果・解析計画（案）概要



地盤モデル概要						密度増大工法			間隙水圧遮断工法	地盤不飽和化工法	従来工法		建物側対策	その他		
						砂杭 杭長12m，杭径700φ， 杭間隔2.5mピッチ	木杭：杭長7.5m，杭径16cm（末口平均），杭間隔64cmピッチ	ドライモルタル固化体	格子状改良（地中壁）	空気注入工法 飽和度Sr=90%（目標）	杭基礎	柱状改良 改良長13m 改良径700φ，33本	建物側沈下修正	柱状改良＋表層改良	間隙水圧消散工法 長さ12m，直径500φ， 透水係数10cm/s	浮き基礎
土質名	層厚（m）	深さ GL－（m）	N値	細粒分含有率 *Fc*（%）	無対策簡易液状化判定 FL値											
Bs(乾燥)	1	▽1	6	18	対象外											
Bs(飽和)	1	▽2	6	18	1.58											
Fs	6	▽8	4	22	0.98 0.88 0.80 0.76 0.73 0.72			検討中	WG2で検討中							
As1	2	▽10	15	21.9	1.46 1.40											
As2	2	▽12	7	31	0.87 0.86		液状化検討			液状化検討	工法検討中			工法検討中		
Ac1	20 Non Scale	▽32	2	93.6	対象外											
Ac2	13 Non Scale	▽45	14	93.6	対象外											
Ds	5 Non Scale	▽50	74	10	－											
備考（試設計及び施工試験で確認した事項など）						通常仕様の設計可能、As2層が液状化した場合の仕様も検討する予定	施工試験により地盤の密度増大効果を採用予定 設計法の検証が必要	施工試験により地盤の密度増大効果を検証中	WG2で検討中 他工法との組合せ検討中	施工試験により空気注入による飽和度を検証中 設計法の検証が必要	支持杭とする場合、杭長が32m以上になり、柱状改良よりコストが高い（要検討）	木造2階建の住宅の支持は、可能である	既存、新築ともに設計可能、補強の検討と詳細設計検討中	類似工法（表層改良無）より、コストが高い（要検討）	グラベルマットと併用で、設計可能	L1相当、L2地震動ともに、対応可能、設計方法等検討中
施工性検討結果及び試設計可能条件	L1相当 地震動 対応	道路対策無	住宅無（更地）	新築 解体 曳家	1棟 4棟 20棟 100棟 500棟	□ 一部小型機対応試設計実施済 ○ 施工可能 試設計実施済	□ 施工可能 試設計実施済 設計方法検証中	□ 施工可能 試設計準備中	○ 施工可能 試設計一部実施済	○ 施工可能 試設計実施済 施工試験実施中	□ 施工可能 試設計実施済 仕様再検討中	○ 施工可能 試設計実施済	○ 施工可能 試設計実施済 詳細部設計中	□ 施工可能 概算実施済 仕様再検討中	□ 一部小型機対応試設計実施済 ○ 施工可能 試設計実施済	○ 施工可能 試設計準備中
			住宅有	残留傾斜及び残留沈下無	1棟 4棟 20棟 100棟 500棟	□ 小型機対応 試設計準備中	△ 施工方法検討中 施工機械改良等検討中	△ 施工方法検討中 施工機械改良等検討中	□ 施工方法検討中 施工機械改良等検討中 施工試験検討中	○ 施工可能 試設計実施済 施工方法検討中	× 施工不可	× 施工不可	○ 施工可能 試設計実施済 詳細部設計中 施工方法検討中	× 施工不可	× 施工不可	○ 施工可能 試設計準備中
				残留傾斜及び残留沈下有	1棟 4棟 20棟 100棟 500棟											
		道路対策有	住宅無（更地）住宅有共通	上記対応	1棟 4棟 20棟 100棟 500棟	道路対策無と同様、WG1,WG2の検討結果確認後に試設計予定			道路対策無と同様 WG1,WG2の検討結果確認後に試設計予定	道路対策無と同様 WG1,WG2の検討結果確認後に試設計予定	道路対策無と同様 WG1,WG2の検討結果確認後に試設計予定		道路対策無と同様 WG1,WG2の検討結果確認後に試設計予定	道路対策無と同様、WG1,WG2の検討結果確認後に試設計予定		
数値解析計画(案)住宅無（更地）（全体数値解析計画は別途検討中）						L1相当実施予定 L2実施予定	L1相当実施予定 L2実施予定	L1相当実施検討中 L2実施検討中	L1相当実施予定 L2実施予定	L1相当実施予定 L2実施検討中 格子状改良と組合せも検討中	従来工法設計法のみとし、数値解析実施の予定なし		数値解析対象外	L1相当実施検討中 L2実施検討中	L1相当実施予定 L2実施検討中	L1相当実施検討中 L2実施検討中