

図 7.1-2 揺れやすさマップ（平成 19 年度調査による） 250m メッシュ拡大図

8. 環境研究センターにおける解析について

8.1 概要

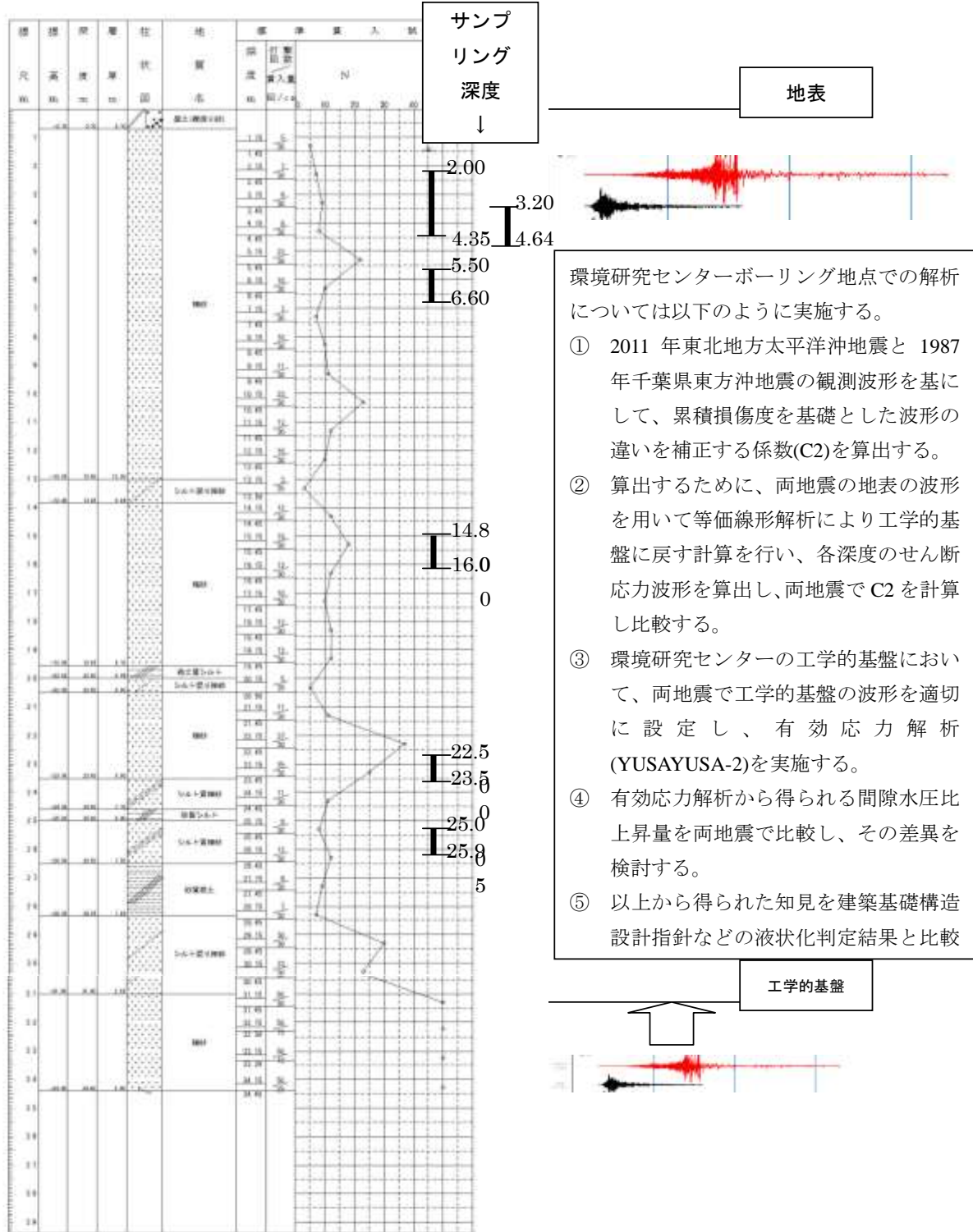


図 8.1-1 環境研究センター地点 (No. 5) 仮柱状図

8.2 変形特性試験結果

図 8.2-1 に今回の変形特性試験結果を示した。

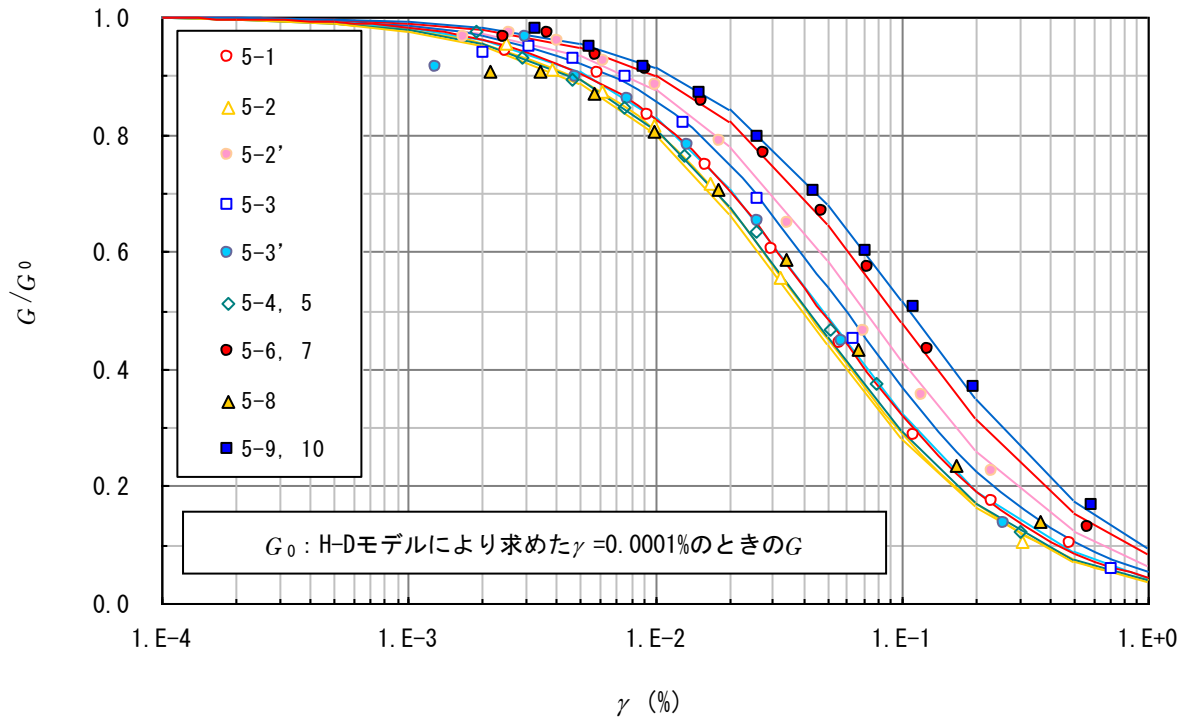


図 $G/G_0 \sim \gamma$ 関係

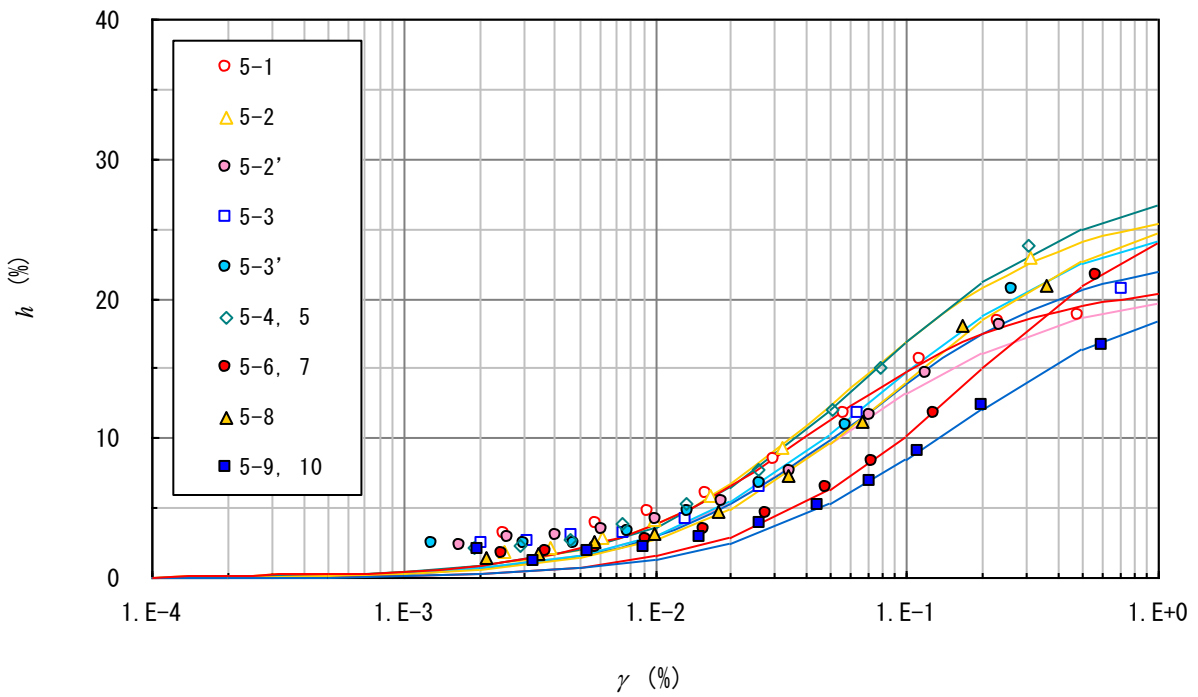


図 $h \sim \gamma$ 関係

図 8.2-1 今回実施した変形特性試験結果

8.3 繰返し非排水三軸試験結果

図 8.3-1 に今回の試験結果の液状化強度比 RL_{20} を、道路橋示方書の液状化強度比曲線上にプロットした。また、図 8.3-1 に建築基礎構造設計指針の液状化強度比曲線上にプロットした。

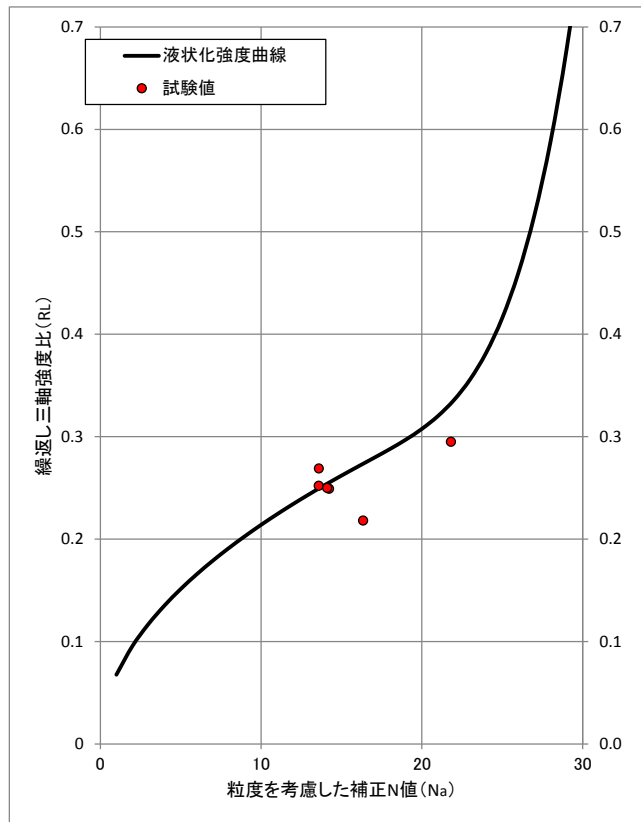


図 8.3-1 道路橋示方書の液状化強度比と今回の試験値

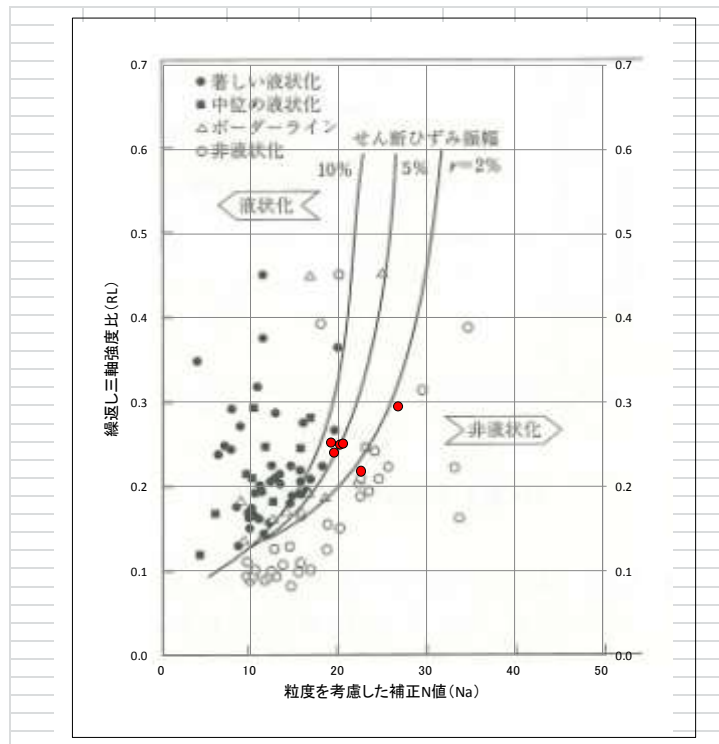


図 8.3-2 建築基礎構造設計指針の液状化強度比と今回の試験値

8.4 地震動の継続時間・繰返し回数の検討

特に地震動の継続時間が非常に長いものになっており、地震動の継続時間・繰返し回数の検討は重要であると考えられる。道路橋示方書及び建築基礎構造設計指針の繰返し回数の補正の方法はよく知られているので、ここでは、C2による補正方法について次に述べる。

動的せん断強度比(R)については、元来は不かく乱試料を用いた液状化試験で得られた繰返し回数20回での液状化強度比 (R_{L20}) に以下の補正を加えて原位置における動的せん断強度比 (R) を算出している。

$$R=R_{L20} \times C1 \times C2 \times C3 \times C4 \times C5$$

ここで、C1～C5は補正係数で、

C1：原位置と室内試験での応力状態に関する補正係数

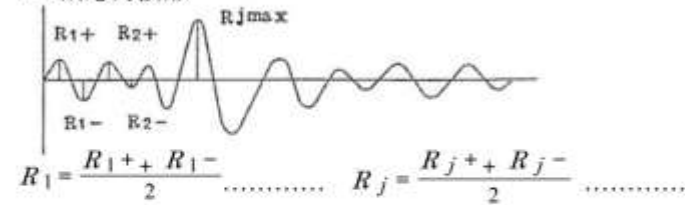
$$C1=(1+2K0)/3 \quad (K0：静土圧係数, K0=0.5 のとき C1=0.67)$$

C2：波形の違いを補正する係数 (資料 7-1 参照)

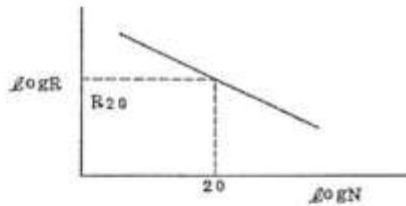
C3～C5：資料の乱れ、密度化、飽和度などに対する補正係数

$$C3 \times C4 \times C5 = 1.0 \quad \text{としている}$$

セン断応力波形



Rj の振巾を有する第 j 波での液状化寄与率を Kj とする。一般に R と N の関係は下図のように $R = aN^b$ で表される。



Rj の振巾で液状化に達する階数 Nj は、 $N_j = \left(\frac{R_j}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$

従って j 波の液状化寄与率は、 $K_j = \frac{1}{N_j} = \left(\frac{a}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}$ で表わされる。

このようにして、各波の液状化寄与率を求めることが出来る。

j=1 から N 迄の全波形について寄与率の総和を求めると

$$K = \sum_{j=1}^n K_j = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}} = a^{\frac{1}{b}} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}$$

$$K=1 \text{ になるための } a \text{ を逆算すると } a = \left[\frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}} \right]^b$$

従って

$$R = \left[\frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}} \right]^b \cdot N^b = \left[\frac{N}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}} \right]^b$$

N=20 で液状化に達する R_{20} は

$$R_{20} = \left[\frac{20}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}} \right]^b \text{ で表わされる。}$$

定義から

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{R_{j \max}}{R_{20}} = R_{j \max} \cdot \left[\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}}{20} \right]^b = \left[\frac{R_{j \max}^{\frac{1}{b}} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}}{20} \right]^b \\ &= \left[\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_{j \max}}{R_j} \right)^{\frac{1}{b}}}{20} \right]^b = \left[\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j}{R_{j \max}} \right)^{-\frac{1}{b}}}{20} \right]^b = \left[\frac{20}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j}{R_{j \max}} \right)^{-\frac{1}{b}}} \right]^b \end{aligned}$$

振動三軸試験の結果から b を求めると $b = -0.090$

$$\therefore C_2 = \left[\frac{20}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j}{R_{j \max}} \right)^{0.090}} \right]^{0.090}$$

図 8.4-1 累積損傷度の考え方に基づく C_2 の設定方法

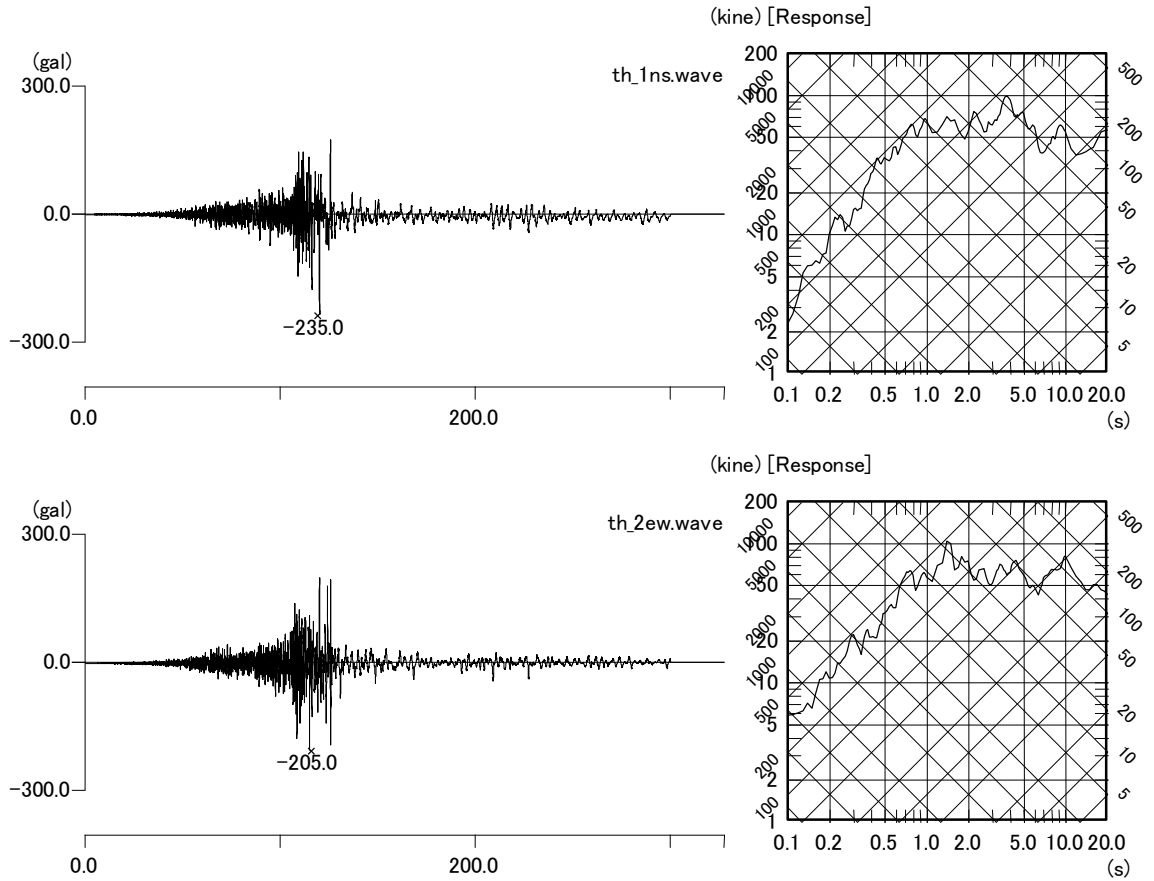


图 8.4-2 2011 年東北地方太平洋沖地震 千葉県環境研 地表波形

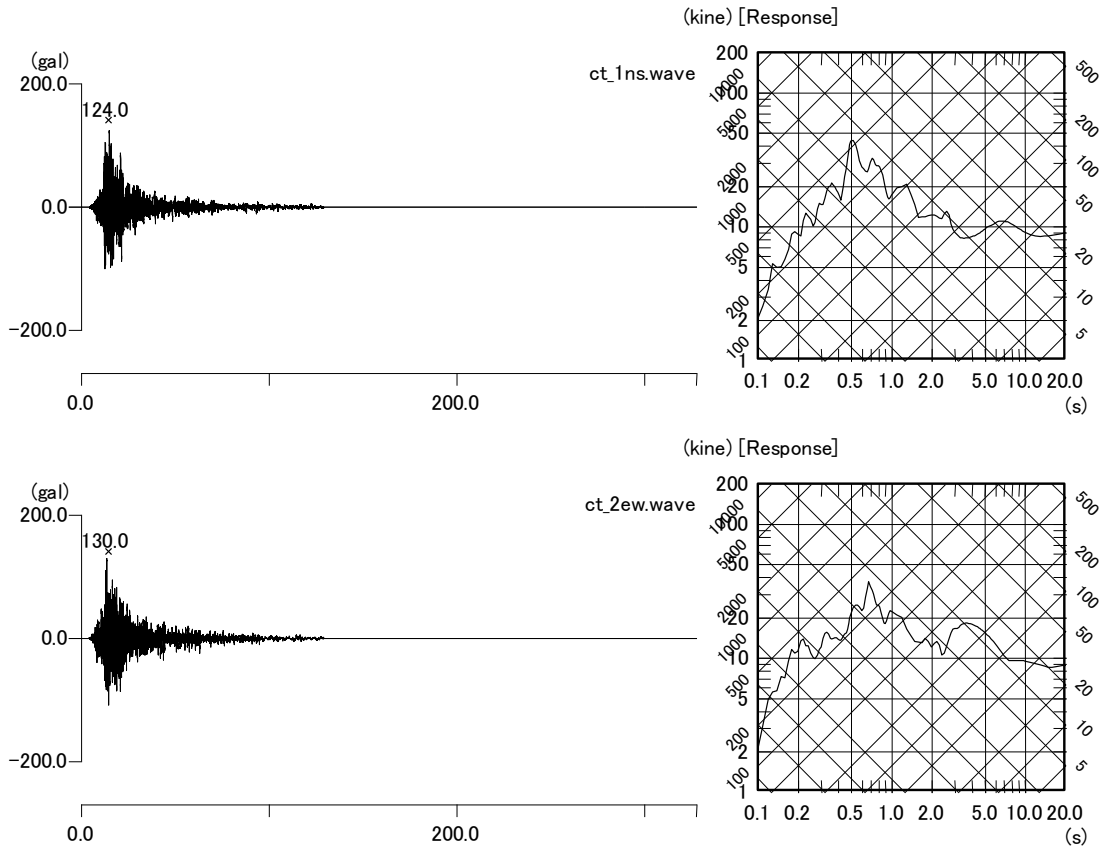


图 8.4-3 1987 年千葉県東方沖地震 千葉県環境研 地表波形

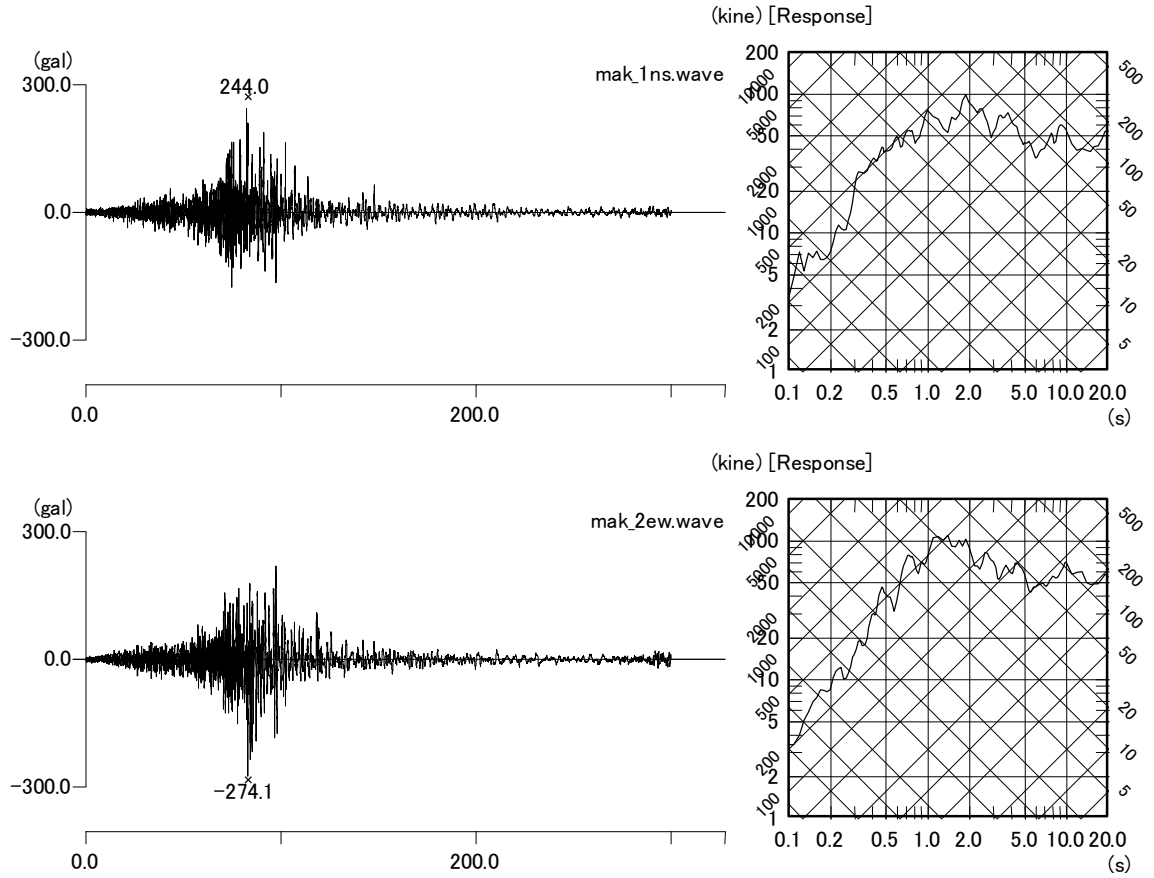


图 8.4-3 2011 年東北地方太平洋沖地震 幕張地点 (中井研) 地表波形

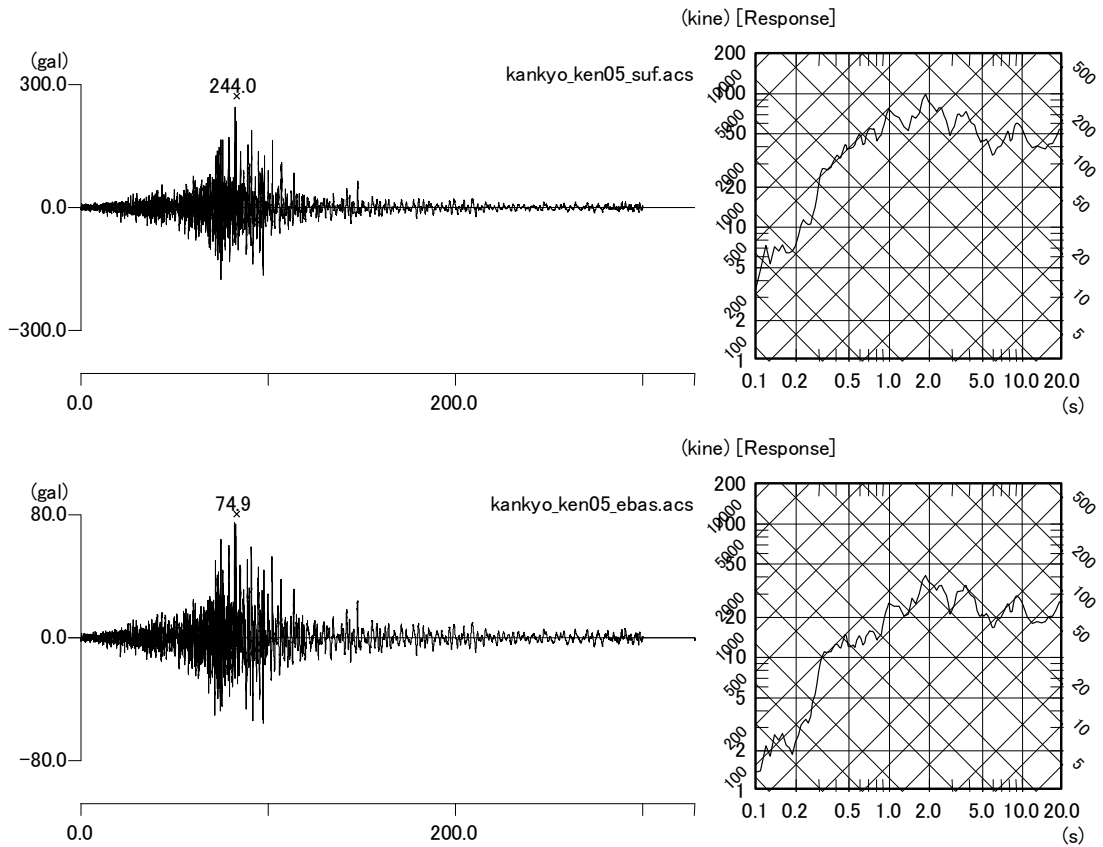


图 8.4-4 2011 年東北地方太平洋沖地震 幕張 NS 成分 応答計算結果 (下図入射波形)

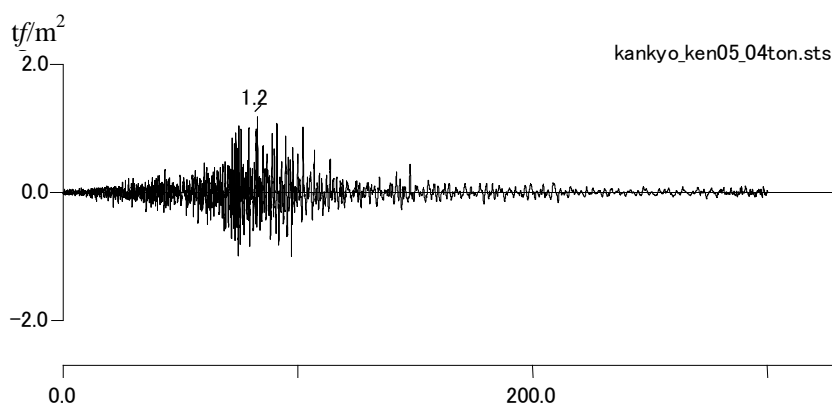
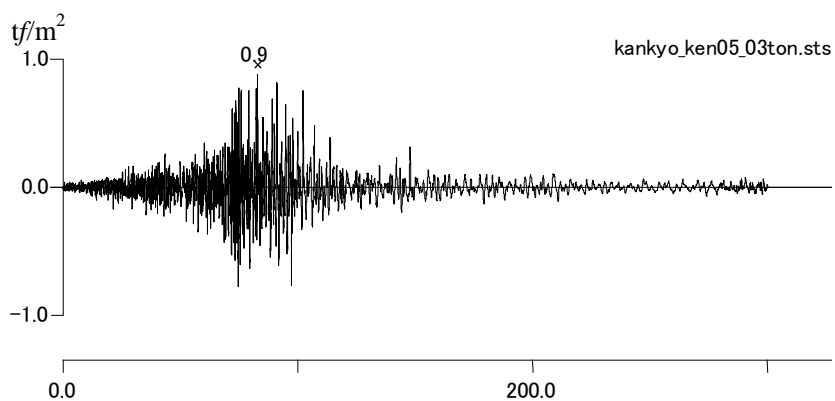


图 8.4-5 2011 年東北地方太平洋沖地震 幕張 NS 成分 応答計算せん断応力波形
(上図：中心深度 2.75m、下図：中心深度 3.85m)

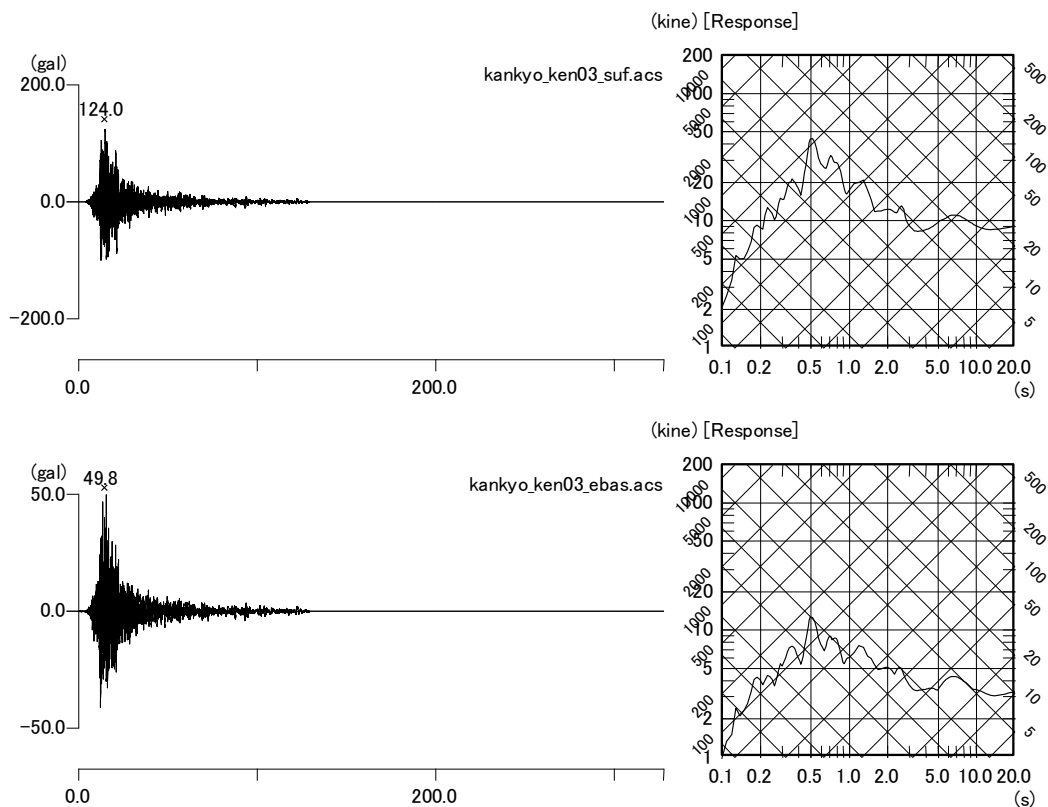


图 8.4-6 1987 年千葉県東方沖地震 千葉県環境研 NS 成分 応答計算結果 (下図入射波形)

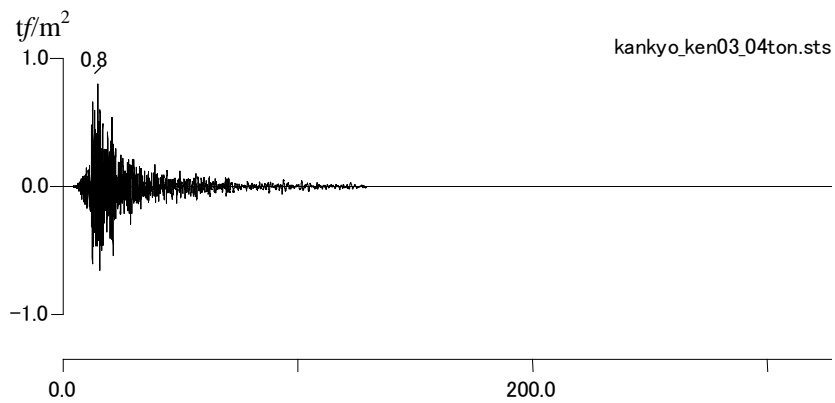
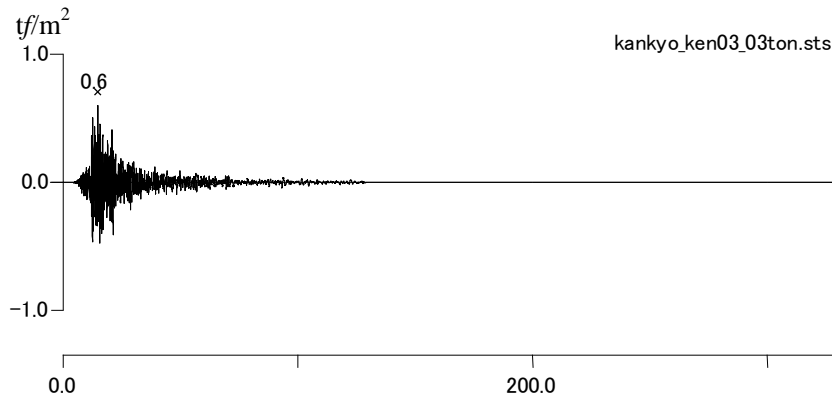


図 8.4-7 1987 年千葉県東方沖地震 千葉県環境研 NS 成分 応答計算せん断応力波形
(上図：中心深度 2.75m、下図：中心深度 3.85m)

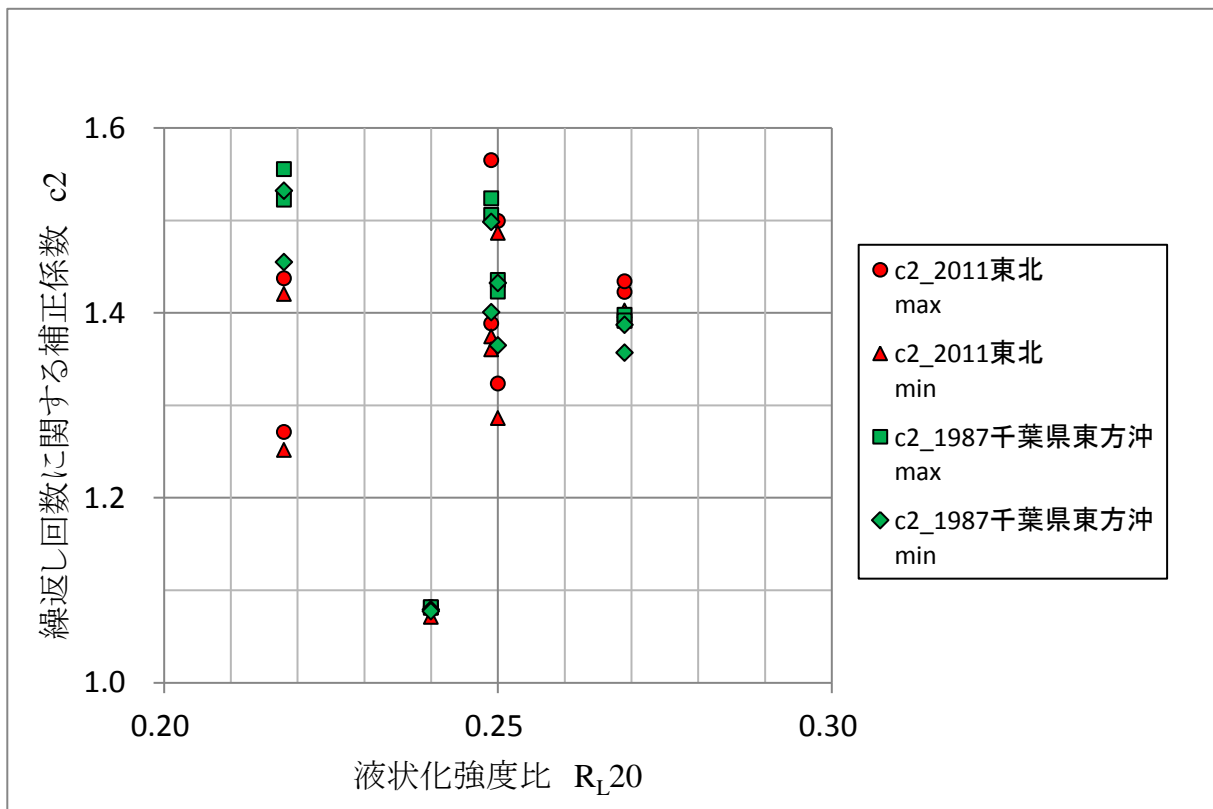


図 8.4-8 繰返し回数に関する補正係数 c_2 の算出結果

表 8.4-1 繰返し回数に関する補正係数 C2 計算結果一覧表

No.	case	中心深度 dep=2.75m					中心深度 dep=3.85m				
		c2+	c2-	繰返し回数	max	min	c2+	c2-	繰返し回数	max	min
1	2011年東北地方太平洋沖地震 幕張(中井研) NS波	1.3886	1.3746	389	1.3886	1.3746	1.2863	1.3234	367	1.3234	1.2863
2	2011年東北地方太平洋沖地震 幕張(中井研) EW波	1.3605	1.5651	394	1.5651	1.3605	1.4994	1.4863	373	1.4994	1.4863
3	1987年千葉県東方沖地震 千葉環境研 NS波	1.4982	1.5059	245	1.5059	1.4982	1.4321	1.4354	245	1.4354	1.4321
4	1987年千葉県東方沖地震 千葉環境研 EW波	1.4007	1.5239	253	1.5239	1.4007	1.4228	1.3648	238	1.4228	1.3648
No	case	中心深度 dep=4.95m					中心深度 dep=6.75m				
		c2+	c2-	繰返し回数	max	min	c2+	c2-	繰返し回数	max	min
1	2011年東北地方太平洋沖地震 幕張(中井研) NS波	1.4225	1.3912	345	1.4225	1.3912	1.0816	1.0812	328	1.0816	1.0812
2	2011年東北地方太平洋沖地震 幕張(中井研) EW波	1.4026	1.4341	341	1.4341	1.4026	1.0814	1.0712	322	1.0814	1.0712
3	1987年千葉県東方沖地震 千葉環境研 NS波	1.3978	1.3570	223	1.3978	1.3570	1.0791	1.0810	207	1.0810	1.0791
4	1987年千葉県東方沖地震 千葉環境研 EW波	1.3918	1.3870	214	1.3918	1.3870	1.0771	1.0816	201	1.0816	1.0771
No	case	中心深度 dep=15.75m									
		c2+	c2-	繰返し回数	max	min					
1	2011年東北地方太平洋沖地震 幕張(中井研) NS波	1.2710	1.2518	274	1.2710	1.2518					
2	2011年東北地方太平洋沖地震 幕張(中井研) EW波	1.4374	1.4205	276	1.4374	1.4205					
3	1987年千葉県東方沖地震 千葉環境研 NS波	1.4547	1.5222	179	1.5222	1.4547					
4	1987年千葉県東方沖地震 千葉環境研 EW波	1.5319	1.5552	183	1.5552	1.5319					

国土交通省・液状化対策技術検討会議¹⁾では、地震動継続時間を考慮する係数 C_w について検討されている。

その報告によると、3.11 本震の加速度記録 32 観測記録より C_w を算出したところ、**図-8.4.9** となった。

図-8.4.9 によると、液状化強度 $R_L \leq 0.4$ 程度の土では、 $C_w=1.0$ となり、既往の研究とほぼ整合する結果と言える。

しかしながら、地震動継続時間と繰り返し回数が液状化に及ぼす影響について、地盤の変形量等を用いた定量的な評価をするための検討が必要と、検討会議で報告されている。

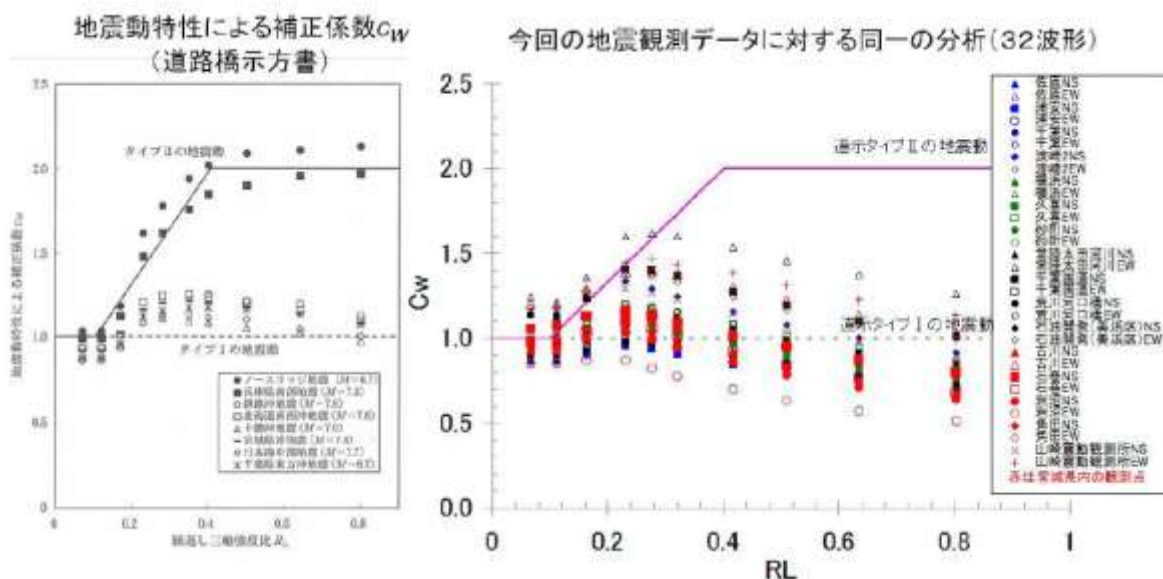


図-8.4.9 地震動特性による補正係数 C_w の算出結果

1)国土交通省・液状化対策技術検討会議：液状化対策技術検討会議検討成果 資料 3, 2011.

9. 液状化対策工法の考え方

9.1 液状化対策工法について

液状化対策工法については、その選定に係わるフロー(案)を図 8.1-1 に示した。

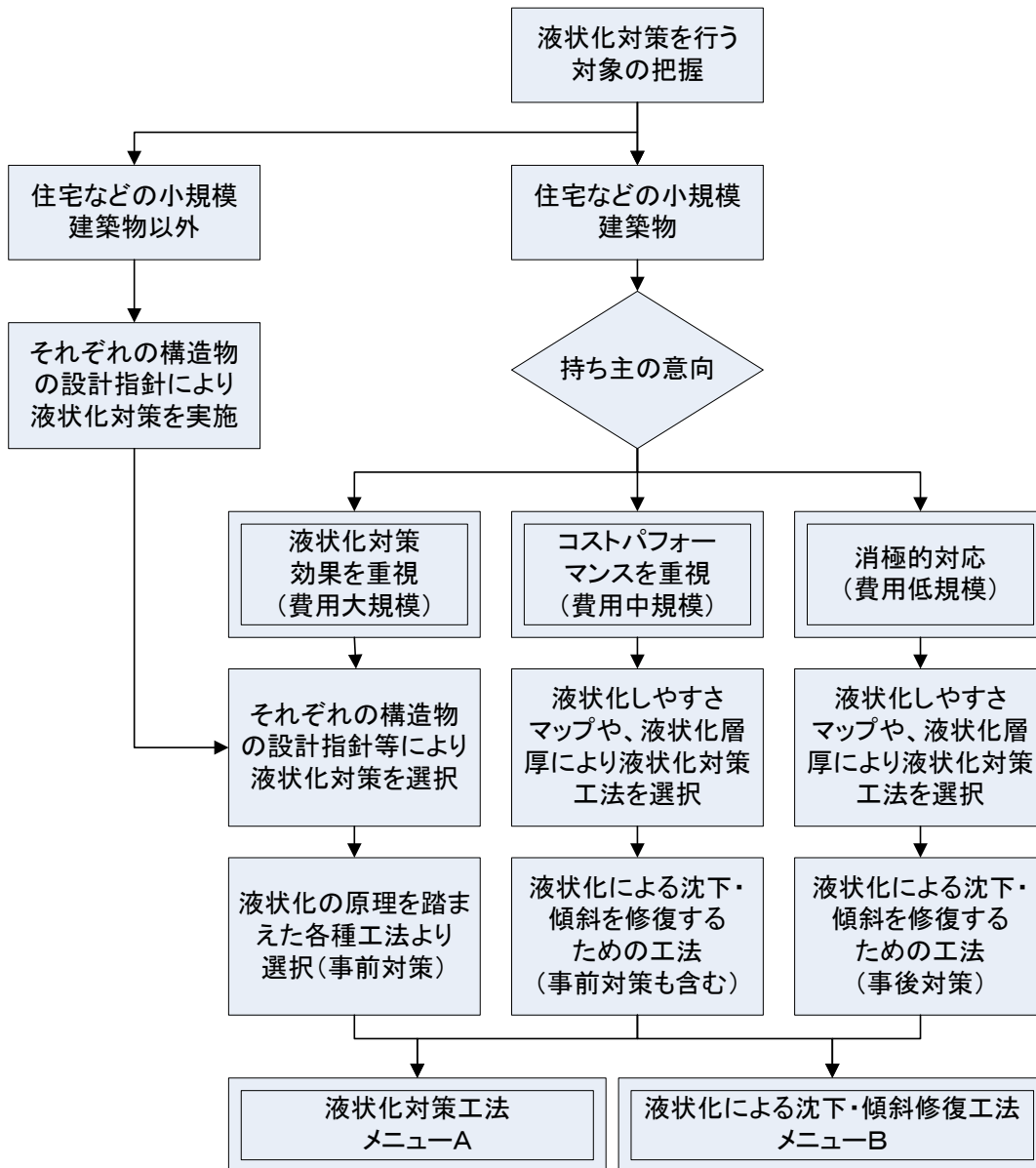
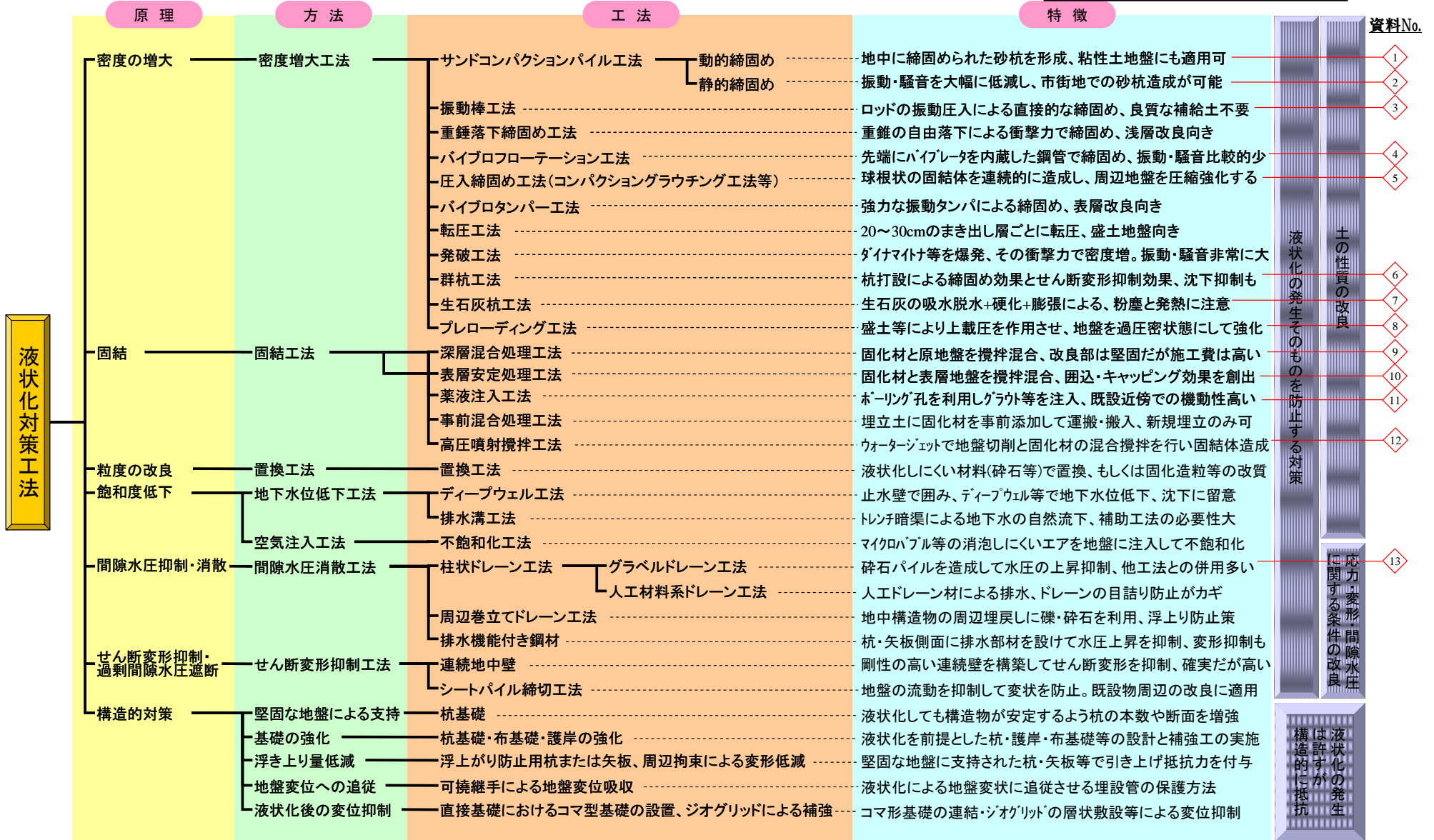


図 9.1-1 液状化対策工法の考え方(案)

9.2 液状化対策工法メニュー

1) 一般的液状化対策工法(メニューA)

出典：
第3回浦安市液状化対策技術
検討調査委員会資料



※JGS関東「造成宅地の耐震対策に関する研究会」メディア懇談会資料、液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)、TF4メンバーからの意見に基づき再構成

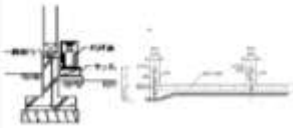

出典：
第2回浦安市液状化対策技術
検討調査委員会資料

1) 液状化による沈下・傾斜修復工法(メニューB)

小規模建築物(戸建)の液状化による沈下傾斜修復工法一覧		基礎下から				
沈下傾斜修復の考え方		杭を反方にジャッキアップ		新基礎・コンクリートブロックなどを反方にジャッキアップ	基準の注入圧によるリフトアップ	基準の注入圧によるリフトアップ
工法名		アンダーピニング工法	サイドピニング工法	側圧工法	枠内圧入締め込工法 (IP工法)	地盤改良型注入工法
工法の概要	目的	基礎下を掘削して掘削面により1m程度の杭杭を斜向きしながらジャッキで地中に注入する。充填できると深さまで貫入後、速にこれを反方にジャッキアップする。	基礎まわりに側管杭を注入または掘削貫入させ、これを反方にジャッキアップする。基礎剛性が落ちて高い場合は、鋼杭で用いられることは少なく、同時に、基礎内部のリフトアップを基準注入により行うなどの併用工法が採用される。	基礎下を掘削して側管杭と側管杭を斜向きして高圧な地盤層に一定の側圧を標準し、側圧を反方に基礎をジャッキアップするとともに傾斜を修復する。	基礎下へ流動性モルタルを注入し地盤を圧縮締めするとともに、注入圧により基礎をリフトアップすることで、沈下傾斜を修復する。	建物内側から基礎下へ、さらには基礎下へ、セメント系・水ガラス系標準等を注入し、基礎地盤を地盤改良するとともに、注入圧により基礎をリフトアップすることで、沈下傾斜を修復する。
	地盤改良					
工法の特徴・沈下修正の考え方		杭を反方にジャッキアップ	杭を反方にジャッキアップ	側圧機・コンクリートブロックなどを反方にジャッキアップ	モルタルなどの注入による地盤締め込み、その注入圧によるリフトアップ	基準の注入圧による地盤改良（固結）と基準の注入圧によるリフトアップ
施工条件	新基礎	○	基礎剛性が低い場合のみ（鋼杭で用いられることは少ない）	○	×	×
	ベタ基礎	○	基礎剛性が低い場合のみ（鋼杭で用いられることは少ない）	○	○	○
	不規則な面	条件なし	条件なし	条件なし	200mm程度以下	200mm程度以下
	地盤掘削面	1m程度（掘削面が狭くても可）	0.5m程度	1m程度（掘削面が狭くても可）	1m程度以上	1m程度以上
	床・壁の傾斜の有無	床の傾斜・床面がある場合はあり	なし	床の傾斜・床面がある場合はあり	あり	なし、あり（工法による）
傾斜まひの必要性	ある場合もあり	なし	ある場合もあり	ある場合もあり	なし、ある場合もあり（工法による）	
工期	3～6週間	—	3～6週間	1～2週間	1～3週間*	
工事費 基準建物面積約20坪の目安	600～1000万円	単独で用いることは、まれなため非算定	600～700万円	600～700万円	600～600万円	
リフトアップの注意	掘削の傾斜度、杭の支持層の深さにより要否	掘削の傾斜度、杭の支持層の深さにより要否	掘削の傾斜度、支持層の傾斜により要否	地盤改良深度、リフトアップ高さにより要否、地盤改良深度、リフトアップ高さにより要否	地盤改良深度、リフトアップ高さにより要否、地盤改良深度、リフトアップ高さにより要否	
	ジャッキアップの際、基礎に過度な変位、応力をかけ、基礎を壊さない慎重な施工が必要である。掘削を伴うため、地下水位が極めて高い場合は、施工が難しくなる場合がある。	ジャッキアップの際、基礎に過度な変位、応力をかけ、基礎を壊さない慎重な施工が必要である。掘削を伴うため、地下水位が極めて高い場合は、施工が難しくなる場合がある。	ジャッキアップの際、基礎に過度な変位、応力をかけ、基礎を壊さない慎重な施工が必要である。掘削を伴うため、地下水位が極めて高い場合は、施工が難しくなる場合がある。	ジャッキアップの際、基礎に過度な変位、応力をかけ、基礎を壊さない慎重な施工が必要である。掘削を伴うため、地下水位が極めて高い場合は、施工が難しくなる場合がある。	注入によるリフトアップの際、基礎に過度な変位、応力をかけ、基礎を壊さない慎重な施工が必要である。掘削を伴うため、地下水位が極めて高い場合は、施工が難しくなる場合がある。	掘削、ベタ基礎に対してのみ有効である。注入によるリフトアップの際、基礎に過度な変位、応力をかけ、基礎を壊さない慎重な施工が必要である。掘削を伴うため、地下水位が極めて高い場合は、施工が難しくなる場合がある。
液状化の発生特性による考慮	傾斜度が深いため、杭長が長くなり、掘削の方向性が多くなる。地盤条件と建物荷重によって、押し込み杭深度が定まる。	傾斜度が深いため、杭長が長くなり、掘削の方向性が多くなる。地盤条件と建物荷重によって、押し込み杭深度が定まる。	ジャッキアップのための反力を確保する地盤が液状化などのため強度低下している可能性があるため、地盤改良などを含めて、反力が十分に確保できる慎重な取組が必要となる。	傾斜度が深いため、基礎にわたって地盤改良を行うとコスト高となる。	傾斜度が深いため、傾斜を全面的に改良するにはコスト高となる。	
将来の地震に対する沈下傾斜の可能性があるため	杭基礎が高剛支持層として有効に働き、なおかつ液状化の際の水平変位の影響を免れた場合は、震害発生との間に被害が生じる可能性が高い。それ以外の場合は、建物の沈下・傾斜の可能性が高い。	杭基礎が高剛支持層として有効に働き、なおかつ液状化の際の水平変位の影響を免れた場合は、震害発生との間に被害が生じる可能性が高い。それ以外の場合は、建物の沈下・傾斜の可能性が高い。	あり	あり（傾斜を全面的に締め込めばなし）	あり（傾斜を全面的にグラウトすればなし）	
地盤の再液状化の可能性	あり	あり	あり	あり（傾斜を全面的に締め込めばなし）	あり（傾斜を全面的にグラウトすればなし）	
掘削時・施工時のチェック点、プラン用地・資材置き場	掘削土、杭、ジャッキなどの資材置き場が必要	掘削土、杭、ジャッキなどの資材置き場が必要	掘削土、杭、ジャッキなどの資材置き場が必要	注入機、注入用プラント、機材などのスペース	注入機、注入用プラント、機材などのスペース	
備考	支持層が深くなるに越えて掘削面が多くなるため、掘削の掘削面を和緩な、資材置き場などに注意が必要。※トンネル式に掘削することにより可。掘削地盤条件による。	支持層が深い場合や沈下が懸念しているときに採用される工法であるため、掘削時に注意が必要。※トンネル式に掘削することにより可。掘削地盤条件による。	支持層が深い場合や沈下が懸念しているときに採用される工法であるため、掘削時に注意が必要。※トンネル式に掘削することにより可。掘削地盤条件による。		*地盤改良とリフトアップが連続して行える工法は1～2週間程度、地盤改良による反力増加を持ってリフトアップを行う工法は、3週間程度。	
注意事項	<p>沈下修正工法の選定や設計のために、地盤調査が必要です。</p> <p>ベタ基礎の場合は、建築確認申請の際の図面を参照する。一度、床スラブがありベタ基礎のようでも、掘削のために厚さ50mm程度のコンクリート層を打設しているだけで、構造上は、有基礎である場合があるので注意が必要。</p> <p>いずれも、掘削時、掘削または連続掘削することで、費半のコスト削減が可能と思われる。</p> <p>高層建物の沈下・傾斜などを軽減しない工法。今後の高層建物の沈下・傾斜修復工事に影響を及ぼさない工法を慎重に選択する必要がある。</p> <p>いずれの工法も相違ない技術力が必要とするが、掘削の工法でも業者間で、技術力に大きな差があることがある。</p>					

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

出典：
第2回浦安市液状化対策技術
検討調査委員会資料

4.1.1 小規模建築物(戸建)の液状化による沈下傾斜修復工法一覧				
工法名		基礎上がり		
沈下傾斜修復の考え方		基礎を真上にジャッキアップ	基礎の高増築	基礎の高増築
工法名		ポイントジャッキ工法	抬り込み工法	風車工法
工法の概要	説明	基礎を一段削り建物本体の工台下に圧着ジャッキを挿入してジャッキアップする。傾斜等を行い既存基礎を再活用する場合が多い。	土台下に鋼材などの地がらみ材を入れ、一旦、基礎と建物とを分離し、建物だけをジャッキアップした後に、基礎の高増築と地盤改良のいずれかあるいは両方を行う。基礎に傾斜する。	土台下に鋼材などの地がらみ材を入れ、基礎から建物まで水平方向に移動するとともに、基礎の高増築と地盤改良のいずれかあるいは両方を行う。
	概要図			
工法の簡便・沈下修正の考え方		傾斜した基礎を真直にして土台から工事をジャッキアップする。	基礎の高増築と地盤改良の両方を行うことで、根本的な液状化対策と沈下傾斜修復が行える可能性がある。ジャッキアップの高さや方法により、地盤改良の方法が制限される可能性がある。	基礎の高増築と地盤改良の両方を行うことで、根本的な液状化対策と沈下傾斜修復が行える。
施工条件	市道幅	○	○	○
	ベタ基礎	○	○	○
	平陸沈下量	100mm程度以下	実数無し	実数無し
	傾斜係数(%)	0.5%程度以上	数メートル以上	数メートル以上
	床・壁の解体の有無	床・壁の一部解体・撤去あり	床・壁の一部解体・撤去あり	床・壁の一部解体・撤去あり
保証料の必要性	なし	ある場合もある	ある場合もある	
工期	3ヶ月程度	3ヶ月程度	3ヶ月程度	
工事費 基準建物面積約20坪の目安	200～300万円 床・壁の撤去費用が別途必要	建築物の構造により費用に大きな差がある 床・壁の撤去費用が別途必要	800～1000万円 床・壁の撤去費用が別途必要	
応用・メリット・デメリット	床面や基礎注入を伴わないので、傾斜は比較的早く直えられる。	根本的な液状化対策のための地盤改良には、構材挿入などのためジャッキアップ高さを含めにする必要。	根本的な液状化対策のための地盤改良が可能。後述を参照して設置するスペースが必要で、コスト高となる。	
傾斜の地盤特性による影響		液状化地盤を全面的に改良するにはコスト高となる。	液状化地盤を全面的に改良するにはコスト高となる。	
傾斜の地盤に対する沈下傾斜の可能性と修復のための工夫	あり	あり(液状化地盤を全面的に改良すればなし)	あり(液状化地盤を全面的に改良すればなし)	
地盤の高増築の可能性	あり	あり(液状化地盤を全面的に改良すればなし)	あり(液状化地盤を全面的に改良すればなし)	
傾斜時・高増築時のシロウト、プッシュ用圧入機・資材置き場	ジャッキ等の資材置き場などのスペース	ジャッキ等の資材置き場などのスペース	傾斜を保護するスペース。傾斜を積み重ねる傾斜のスペース	
備考	アンカーボルトを切離してジャッキアップするため、修復後の基礎と土台の繋がりにも注意が必要。			
注意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・沈下修正工法の選定や設計のために、地盤調査が必要です。 ・ベタ基礎の注意点：基礎確認中継の部の調査を確認する。一旦、床スラブがベタ基礎のようでも、傾斜のために厚さ6cm程度のコンクリートを打設しているだけで、構造的には、有基礎である場合があるので注意が必要。 ・いずれも、傾斜材で、傾斜材は傾斜修正することで、若干のコスト削減が可能とされる。 ・店舗建物の沈下・傾斜などは鉄骨しない工法。今後の店舗建物の沈下・傾斜修復工事に影響を及ぼさない工法を優先的に選択する必要がある。 ・いずれの工法も傾斜修正技術が必要とするが、従来の工法でも業者間で、技術的に大きな差があることがある。 			

※一部の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

沈下修復工法の選定フロー

