

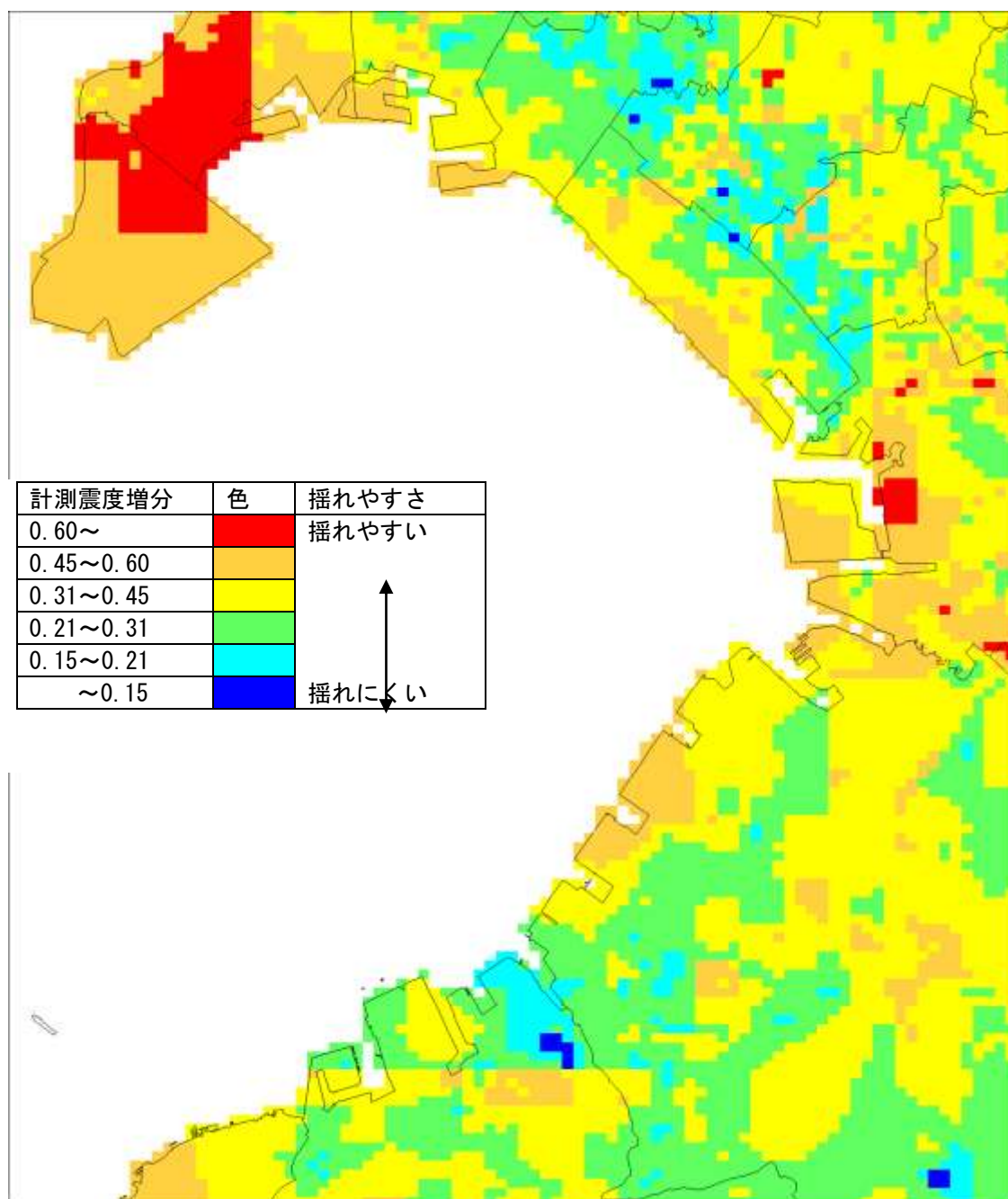


図 7.1-2 揺れやすさマップ（平成 19 年度調査による） 250m メッシュ拡大図

8. 環境研究センターにおける解析について

8.1 概要

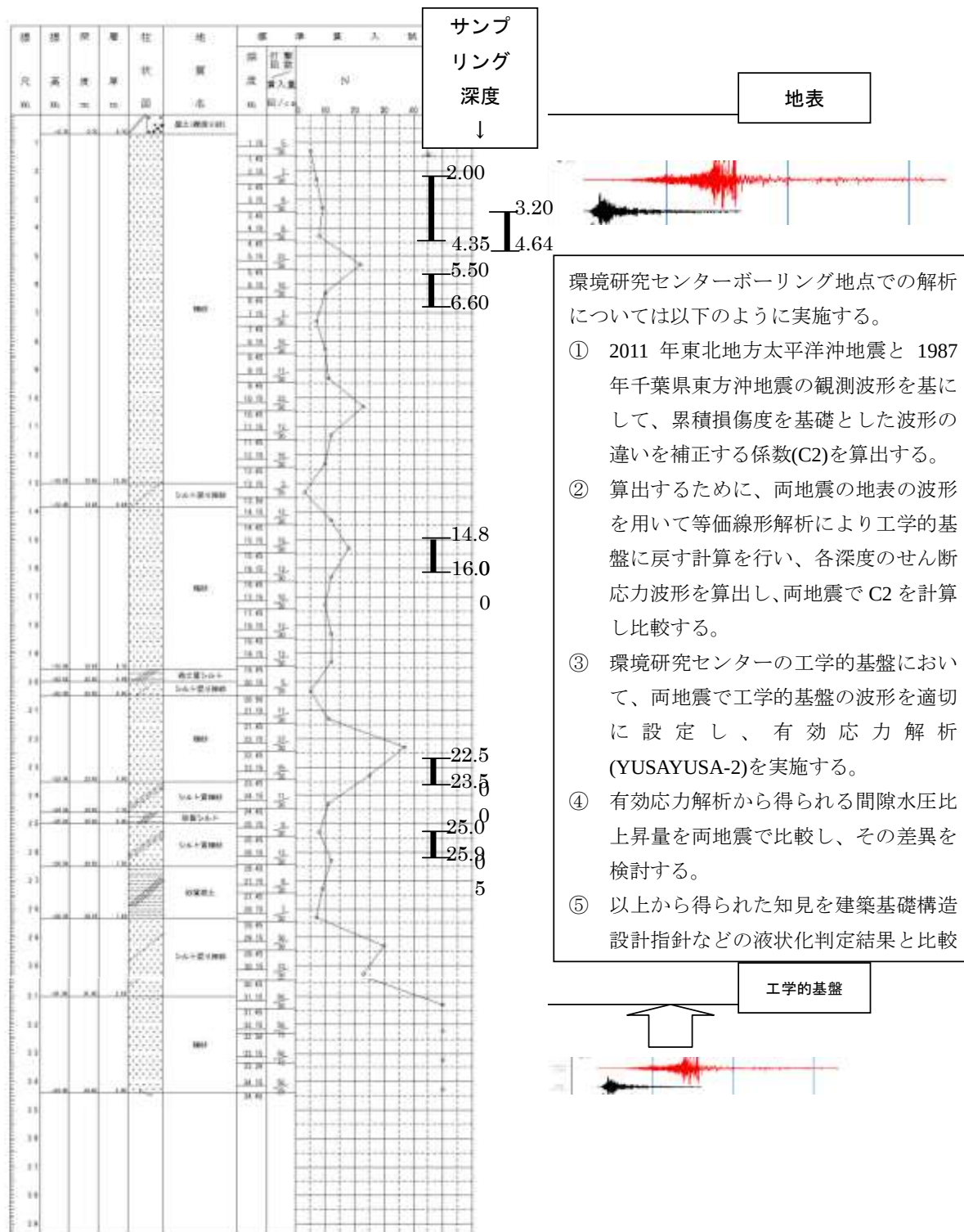


図 8.1-1 環境研究センター地点 (No. 5) 仮柱状図

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。

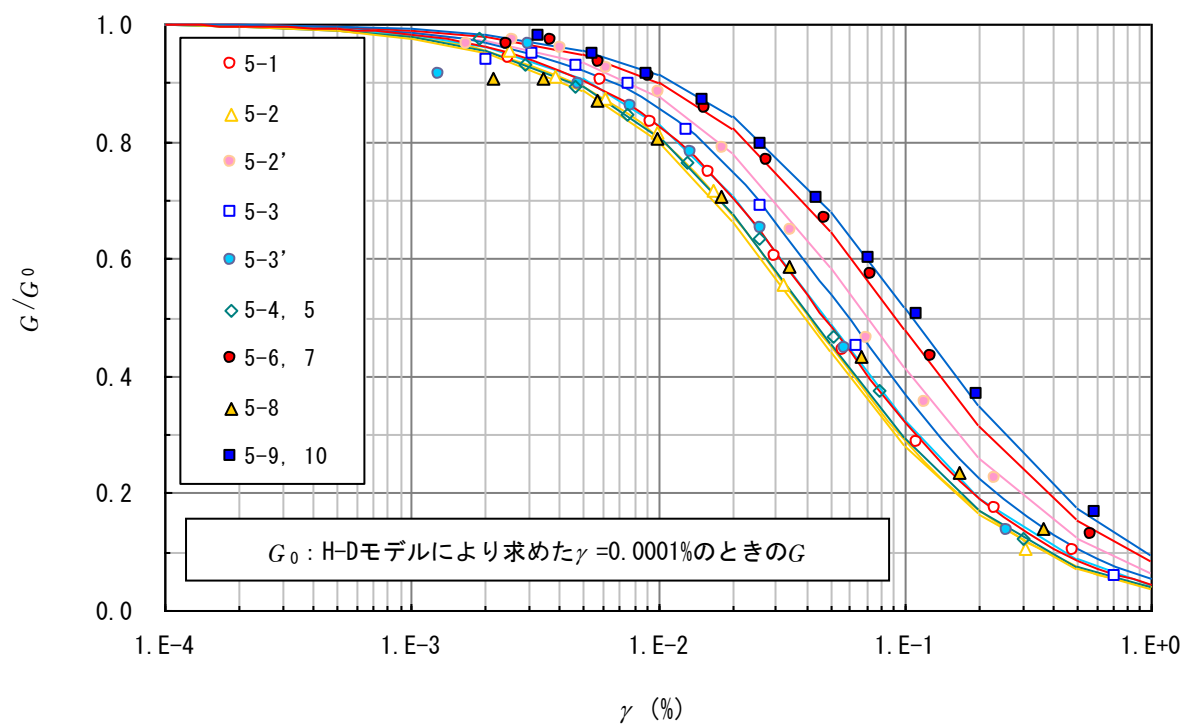


図 $G/G_0 \sim \gamma$ 関係

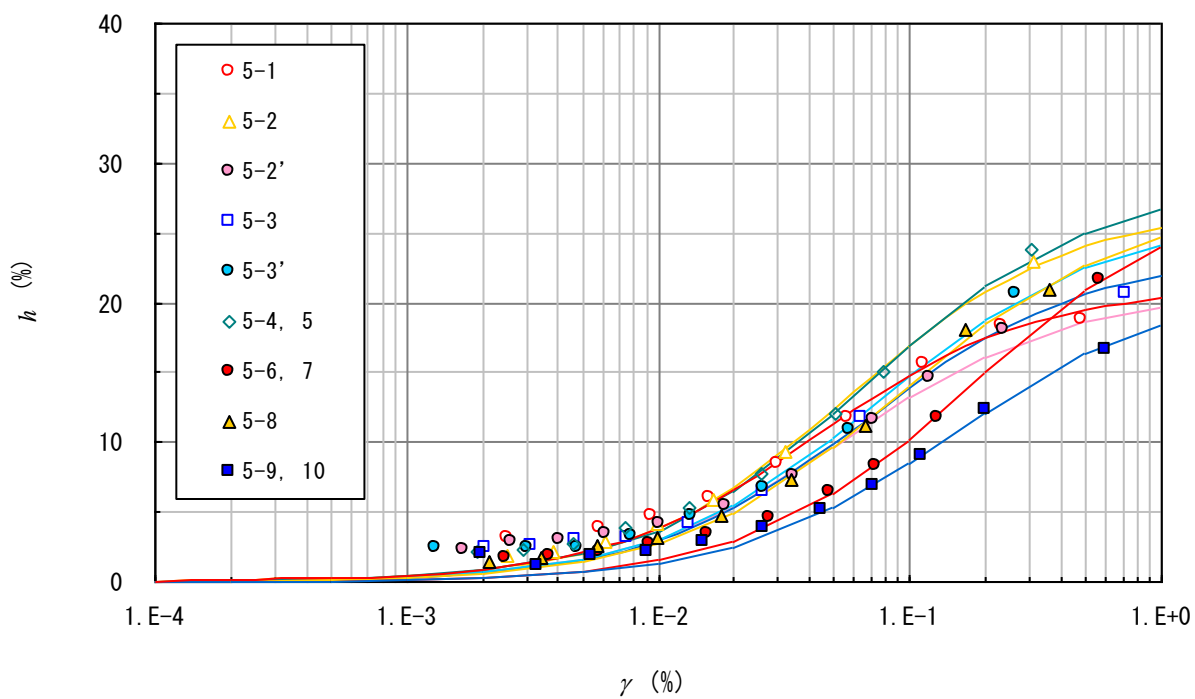


図 $h \sim \gamma$ 関係

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。

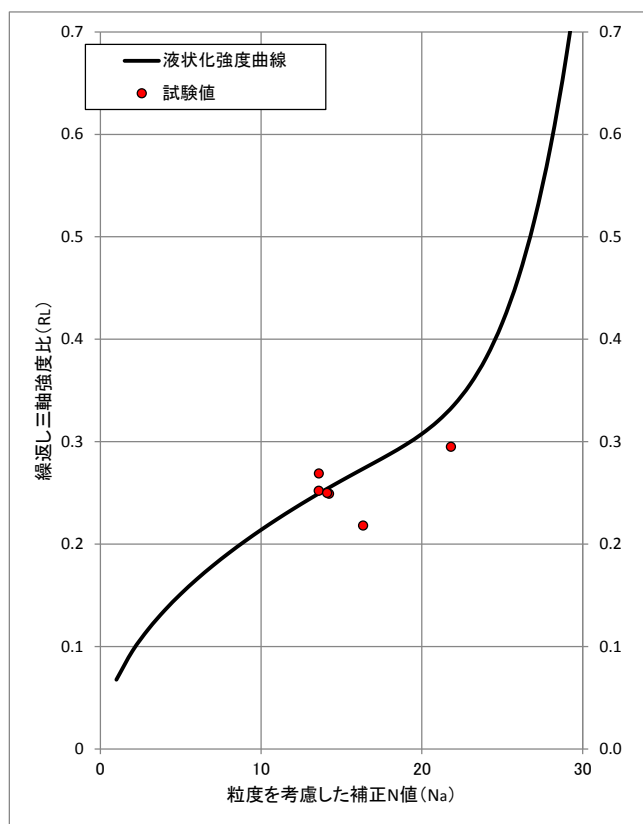


図 8.3-1 道路橋示方書の液状化強度比と今回の試験値

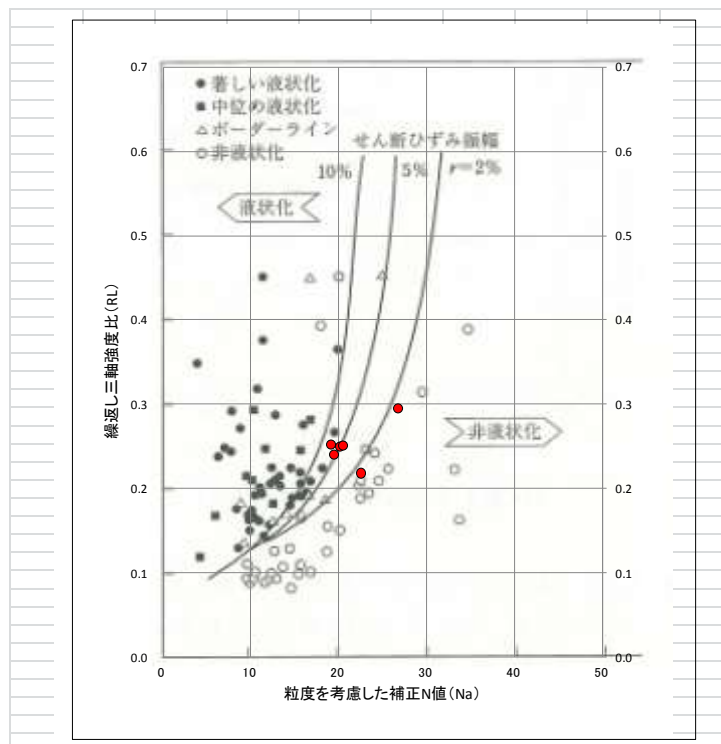


図 8.3-2 建築基礎構造設計指針の液状化強度比と今回の試験値

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

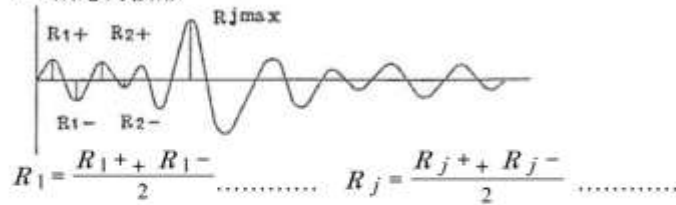
$$C1=(1+2K0)/3 \quad (K0：静止土圧係数, K0=0.5 のとき C1=0.67)$$

C2：波形の違いを補正する係数（資料 7-1 参照）

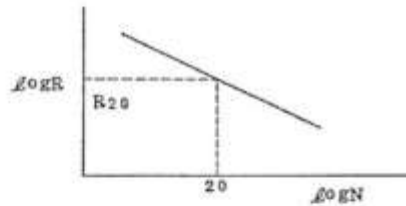
C3～C5：資料の乱れ、密度化、飽和度などに対する補正係数

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

セン断応力波形



R_j の振巾を有する第 j 波での液化化寄与率を K_j 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。



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

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

このようにして、各波の液化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

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

$N=20$ で液化化に達する 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

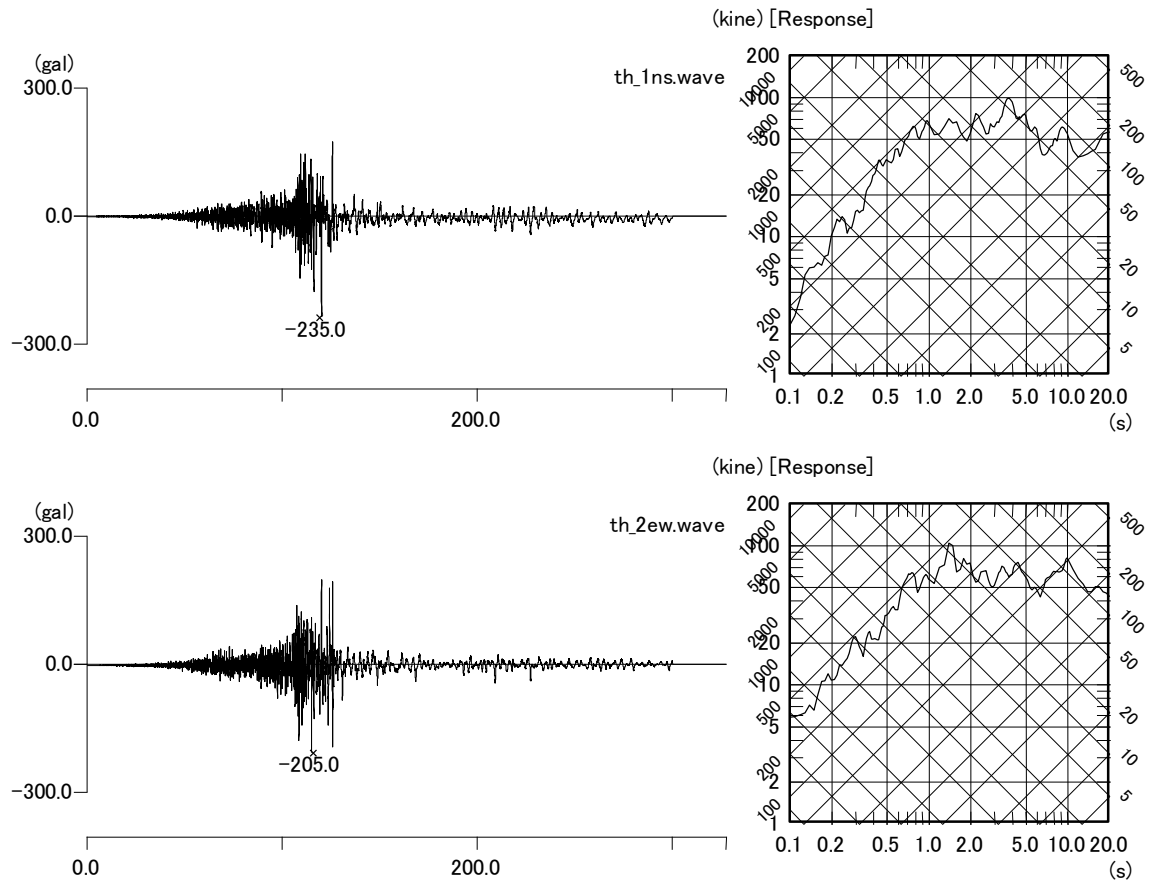


图 8.4-2 2011 年東北地方太平洋沖地震 千葉県環境研 地表波形

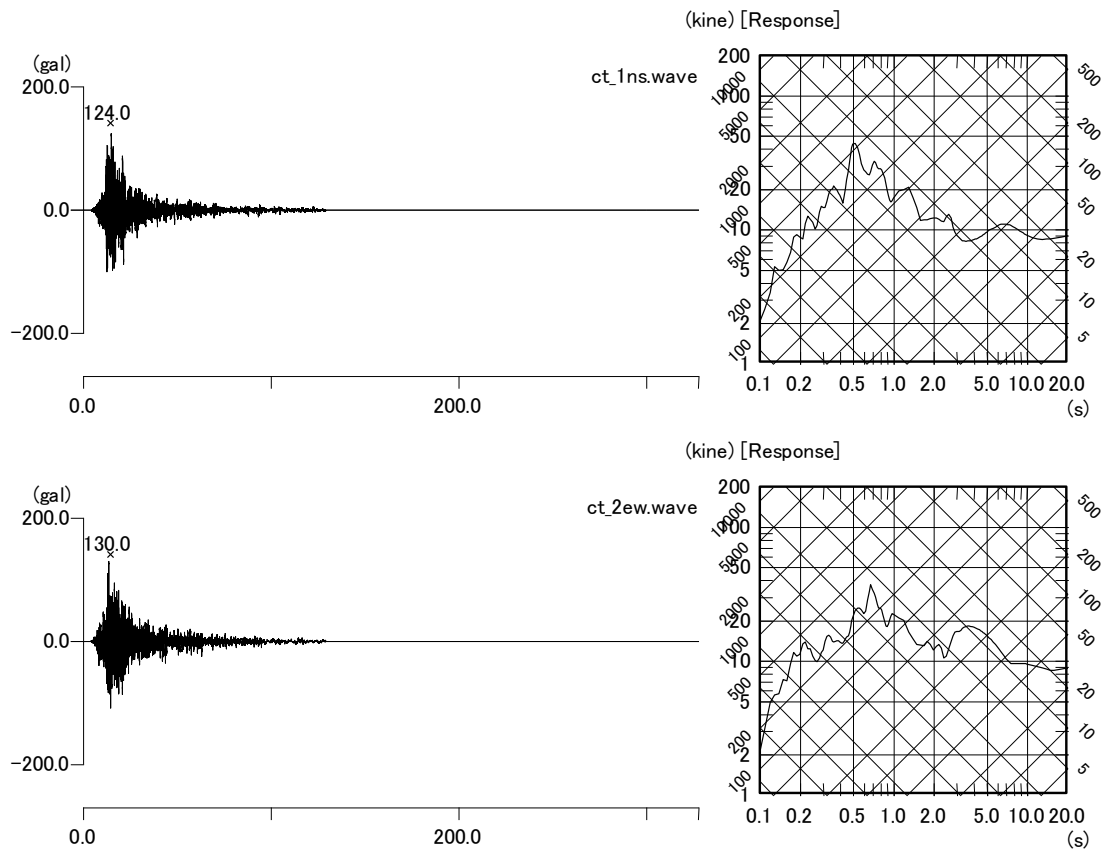


图 8.4-3 1987 年千葉県東方沖地震 千葉県環境研 地表波形

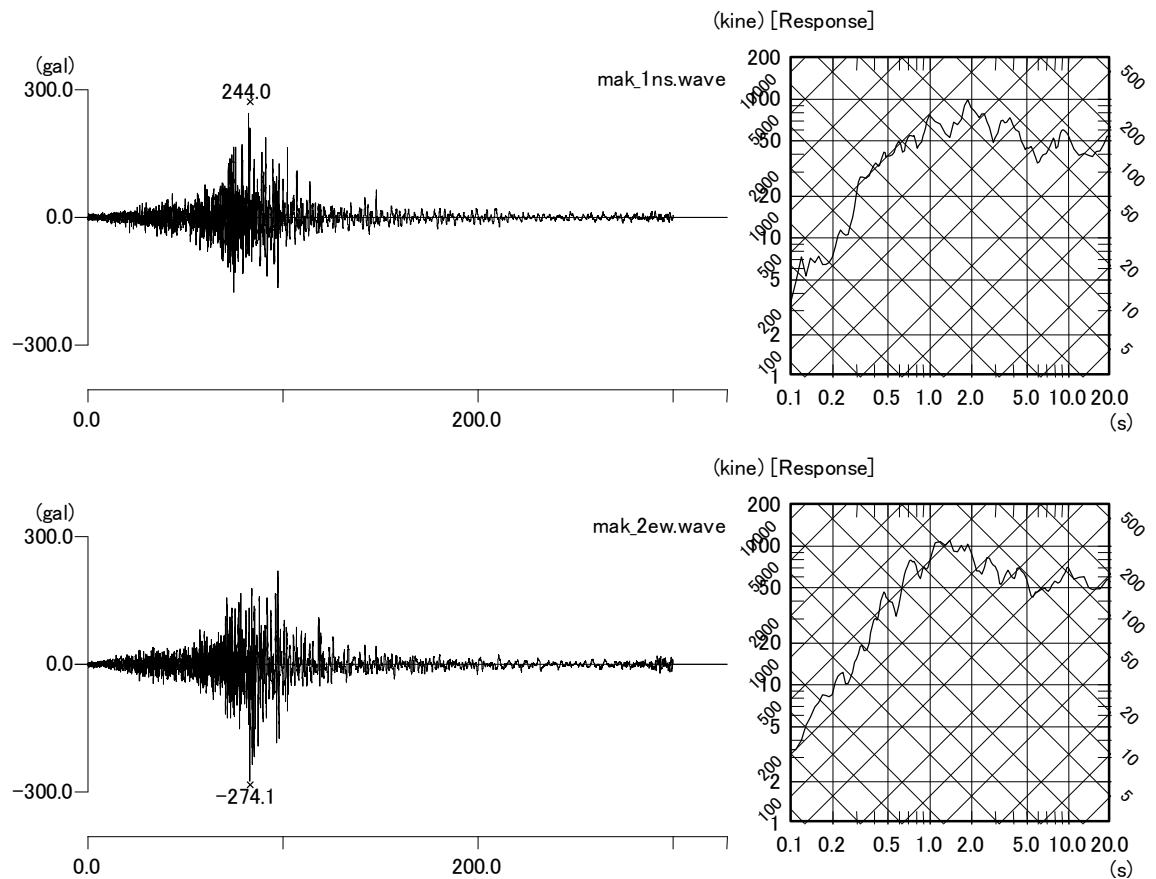


図 8.4-3 2011 年東北地方太平洋沖地震 幕張地点（中井研） 地表波形

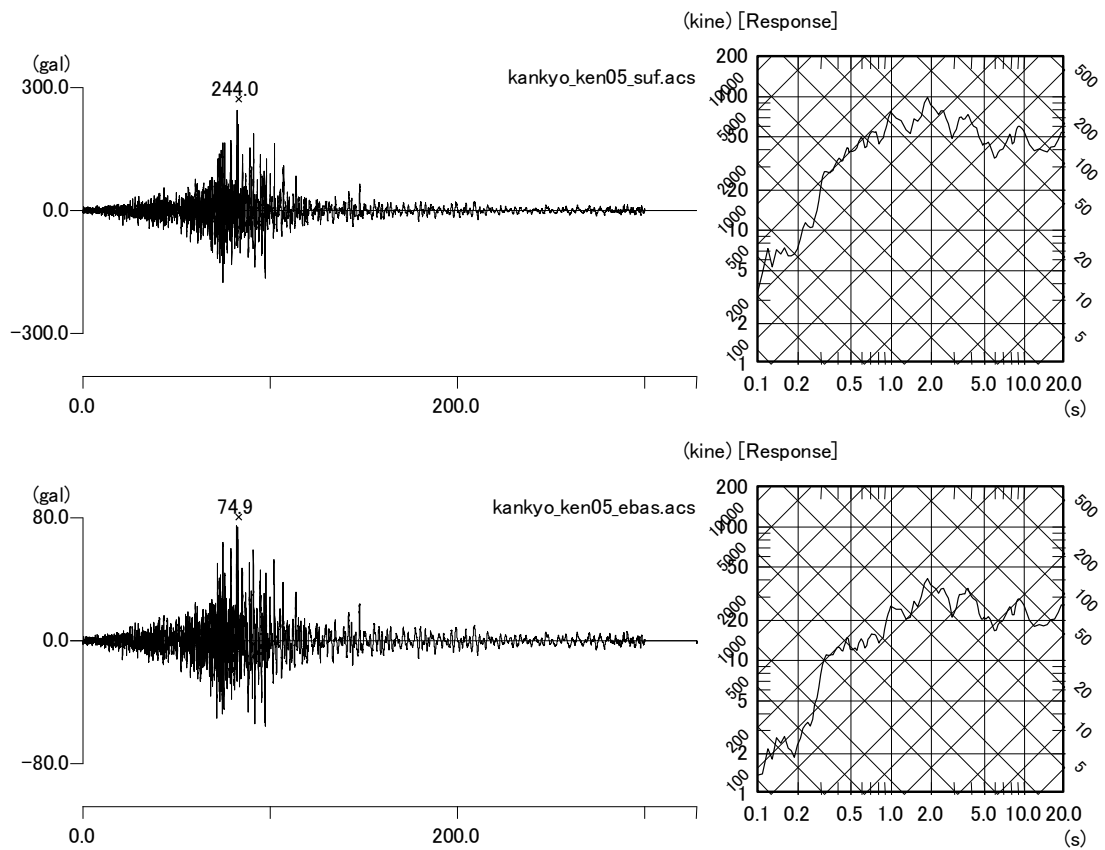


図 8.4-4 2011 年東北地方太平洋沖地震 幕張 NS 成分 応答計算結果（下図入射波形）

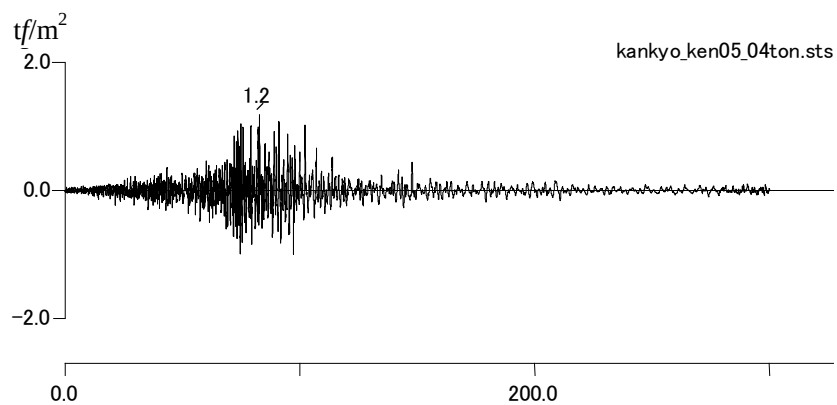
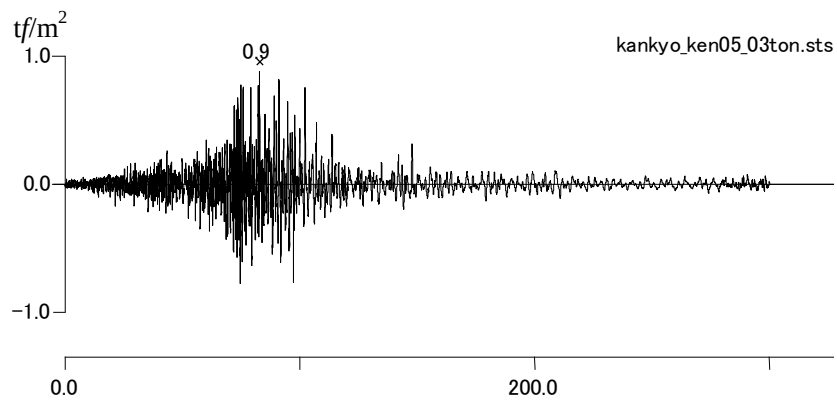


図 8. 4-5 2011 年東北地方太平洋沖地震 幕張 NS 成分 応答計算せん断応力波形
(上図：中心深度 2.75m、下図：中心深度 3.85m)

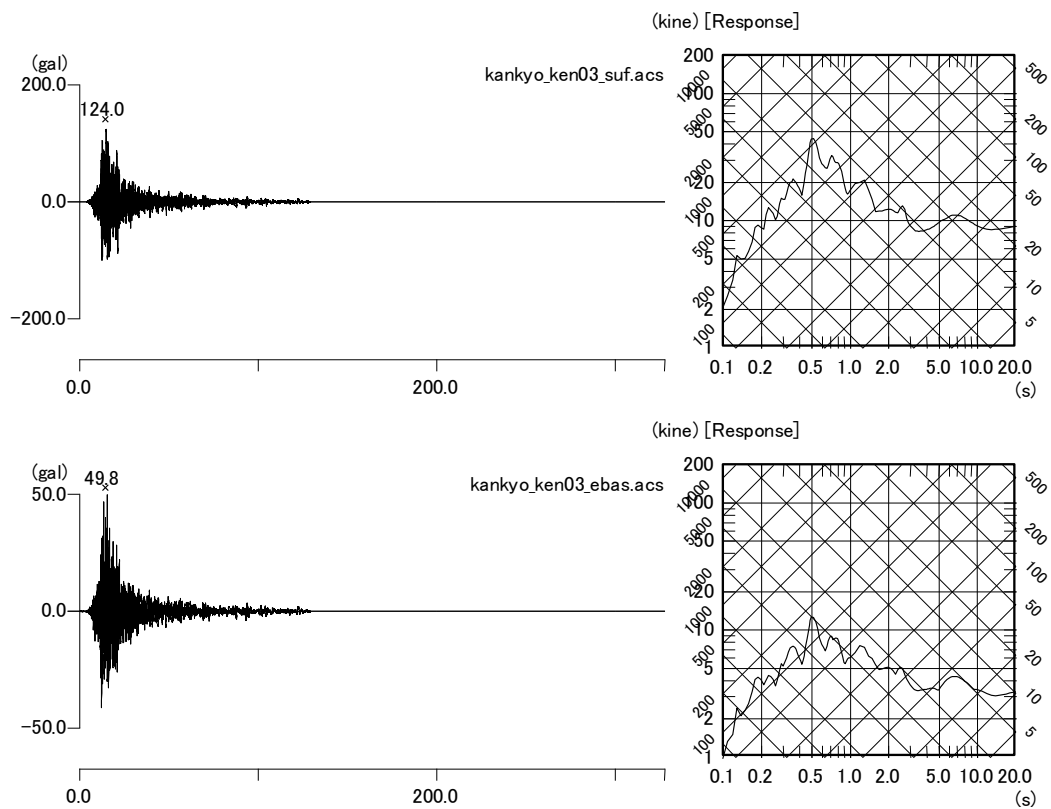


図 8. 4-6 1987 年千葉県東方沖地震 千葉県環境研 NS 成分 応答計算結果 (下図入射波形)

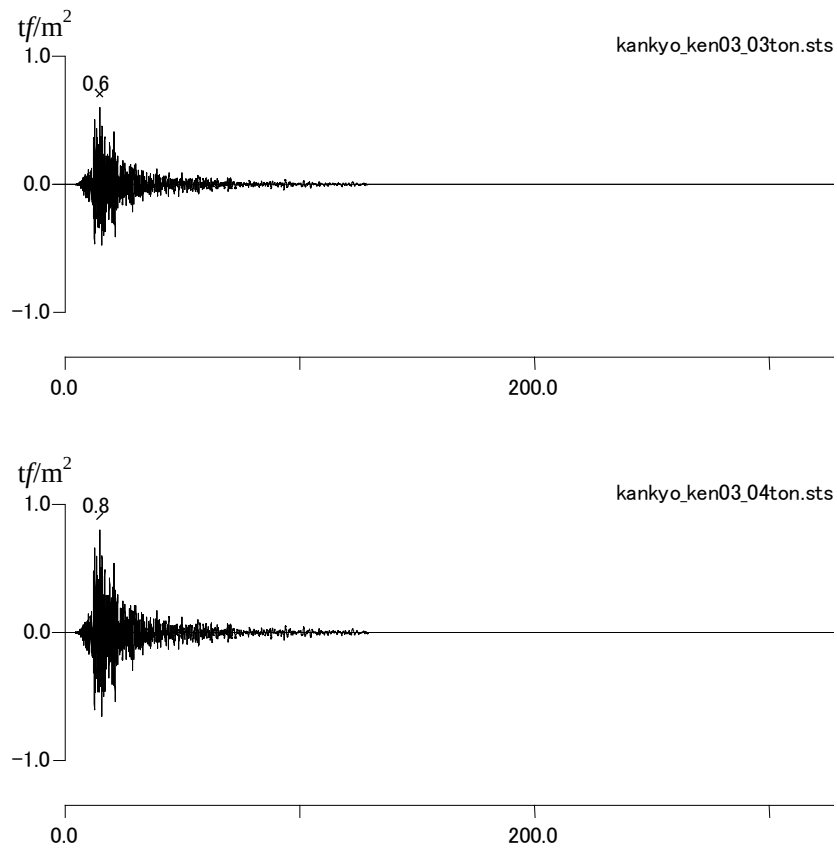


図 8.4-7 1987 年千葉県東方沖地震 千葉県環境研 NS 成分 応答計算せん断応力波形
(上図：中心深度 2.75m、下図：中心深度 3.85m)

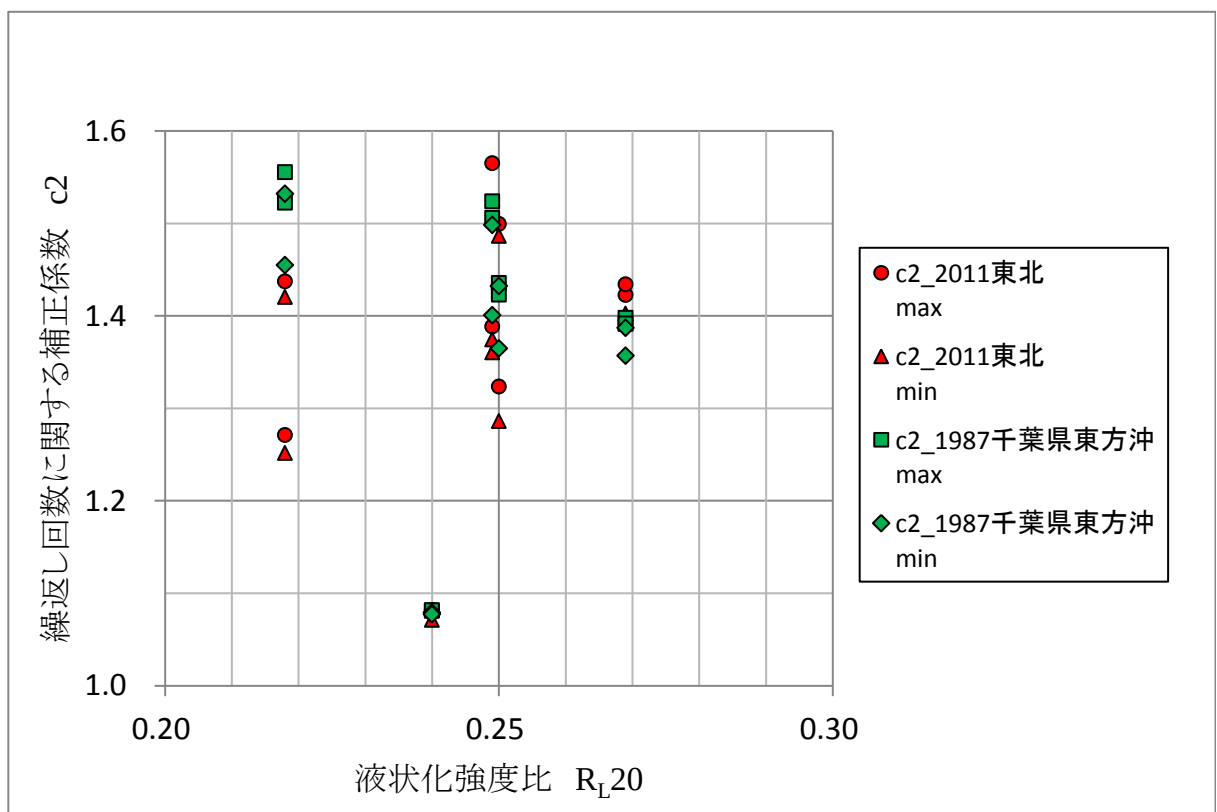


図 8.4-8 繰返し回数に関する補正係数 c_2 の算出結果

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。

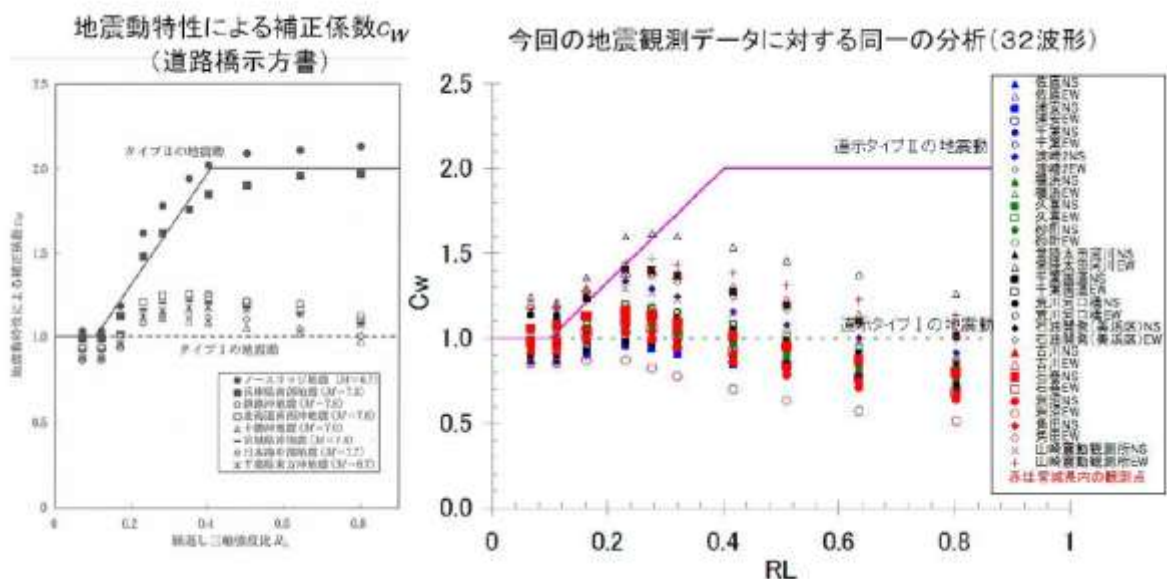


図-8.4.9 地震動特性による補正係数 C_w の算出結果

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。

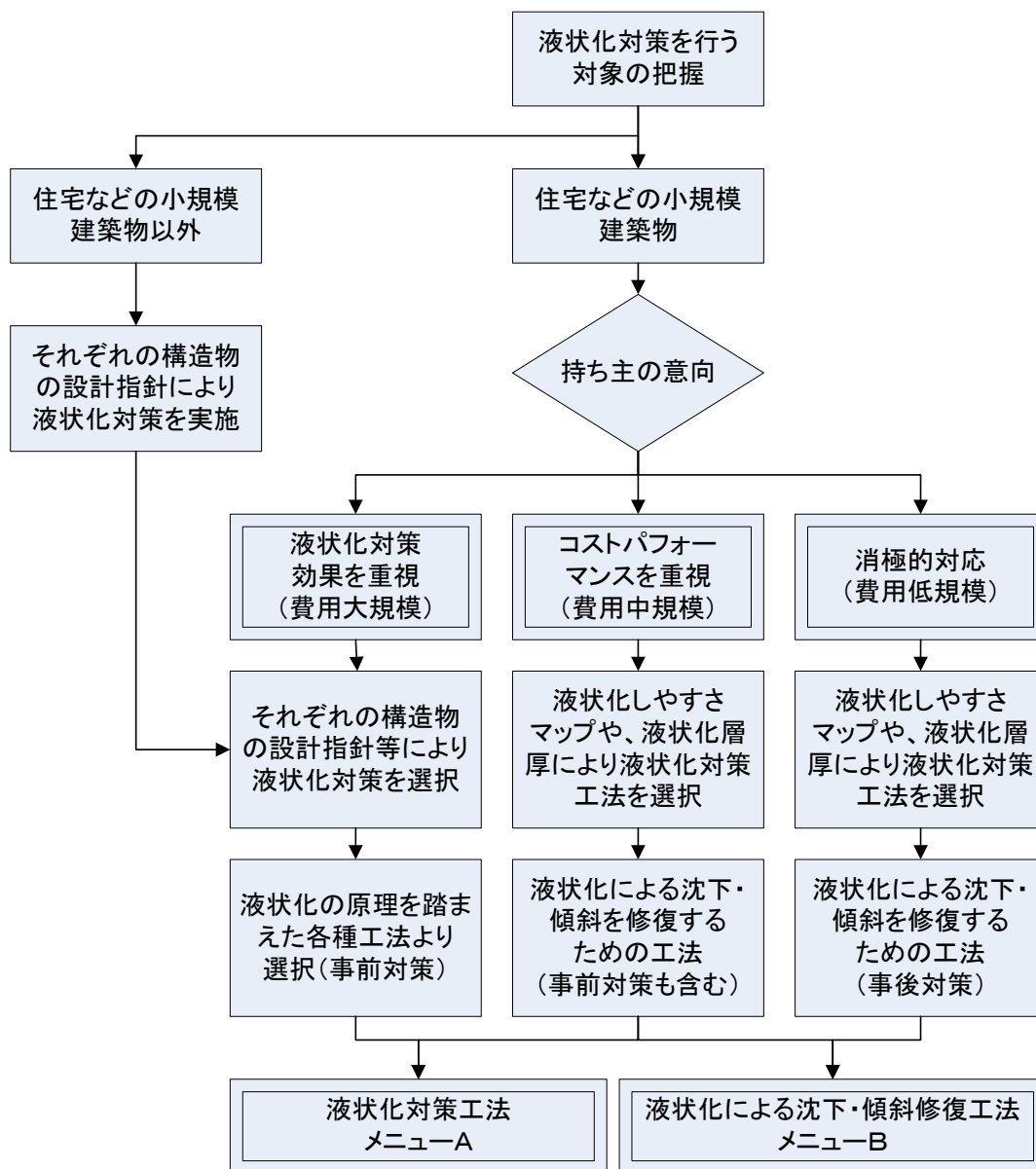


図 9.1-1 液状化対策工法の考え方(案)

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)

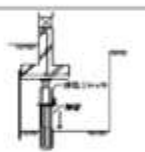
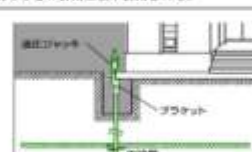
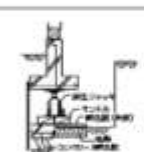
出典：
第3回浦安市液状化対策技術
検討調査委員会資料



※JGS関東「造成宅地の耐震対策に関する研究員会」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

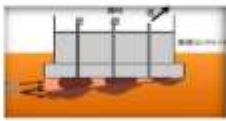
出典：
第2回浦安市液状化対策技術
検討調査委員会資料

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					
基上げ方法		基礎下から			
沈下傾斜修復の考え方		杭を反力にジャッキアップ		新設掘・コンクリートブロックなどを反力にジャッキアップ	集荷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	限圧器工法	集荷の注入圧によるリフトアップ
工法の概要					
工法の特徴・沈下修正の考え方		杭を反力にジャッキアップ	杭を反力にジャッキアップ	限圧器・コンクリートブロックなどを反力にジャッキアップ	集荷の注入圧による地盤改良と、その注入圧によるリフトアップ
施工条件	単基礎	○	○	○	X
	ベタ基礎	○	○	○	○
	平均度歪率	条件なし	条件なし	条件なし	2.0%程度以下
	埋込地盤深さ	1m程度(耐間距離狭くても可)	0.5m程度	1m程度(耐間距離狭くても可)	1m程度以上
	床・壁の腐蝕の有無	床・壁の腐蝕・窪みがある場合もあり	なし	床の腐蝕・窪みがある場合もあり	あり
居住者の必要経費	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	1～3週間*
工事費 基準延床面積約20坪の家型		600～1000万円	単独で開けることは、まれなため非算定	500～700万円	500～700万円
内訳・ポイント・留意点		傾斜の修正量、杭の支持層の深さにより変動	杭の支持層の深さにより変動	傾斜の修正量、支持層地耐力により変動	地盤改良深度、リフトアップ高さにより変動。建物および地盤改良などの使用費用が別途必要
消震の地盤特性による考慮		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。地盤を揺らすため、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。地盤を揺らすため、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。地盤を揺らすため、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。	過剰な、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。地盤改良を行うために、比較的大きな機材が必要となり、床の被害などを作る。同時に、1階または2階建ての注入のため、リフトアップ、レベル調整には労務を要する。収束する程度まで施工する場合、真鍮管が固定となる場合がある。
将来の地震に対する沈下傾斜の可能性と再度出た際の工費		杭基礎が良好な支持層として有効に働き、なおかつ液状化後の水平変位の影響を免れた場合は、周辺地盤との間に隙間が生じる可能性が高い。それ以外の場合は、建築物の沈下・傾斜の可能性はある。	杭基礎が良好な支持層として有効に働き、なおかつ液状化後の水平変位の影響を免れた場合は、周辺地盤との間に隙間が生じる可能性が高い。それ以外の場合は、建築物の沈下・傾斜の可能性はある。	あり	あり(現状を全面的に補正の要はなし)
地盤の再沈下化の可能性		あり	あり	あり	あり(現状を全面的に補正の要はなし)
契約時・施工時のチェック点、ブランド用地・資料置き場		原則主・杭、ジャッキなどの資材置き場が必要	原則主・杭、ジャッキなどの資材置き場が必要	原則主・杭、ジャッキなどの資材置き場が必要	注入側、注入用プラント、機材などのスペース
備考		支持層が深くならず越えやすい面が多くなるため、継ぎ目の品質や杭密度、資材等々などに注意が必要。 ※トンネル式に傾斜することにより可。但し地盤条件による。	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、再沈下に対しては注意が必要。 ※トンネル式に傾斜することにより可。但し地盤条件による。		*地盤改良とリフトアップが連続して行える工法は1～3週間程度。地盤改良による応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		・沈下修正工法の選定や設計のために、地盤調査が必要。 ・ベタ基礎の場合は、従来構造物の間の空隙を充填する。一見、床スラブがありベタ基礎のようにも、設置のために厚さ50cm程度のコンクリート打設しているだけで、構造上には、布基礎である場合があるので注意が必要。 ・いずれも、接合部で、両側または連続施工することで、若干のコスト削減が可能と思われる。 ・近隣建物の沈下・傾斜などを軽減しない工法。今後の近隣建物の沈下・傾斜修正工事に影響を受けない工法を選定する必要がある。 ・いずれの工法も相当な地盤力が必要とするが、同様の工法でも業者間で、地盤力に大きな差があることがある。			

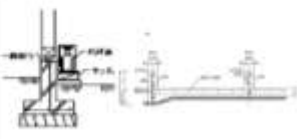
表一冊の図、写真は、民間企業のパンフレット・ホームページより転載させて頂きました。

出典：
第2回浦安市液状化対策技術
検討調査委員会資料

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		基礎下から		
沈下傾斜修復の考え方		液状の注入圧によるリフトアップ	液状の膨張圧によるリフトアップ	併用工法
工法名		リフトアップ型注入工法	発泡ウレタン工法	セメント系薬液注入工法と射圧工法との併用工法
工法の概要	説明	基礎スラブに開けた開口部の穴から、基礎下へ流動性のセメント系・水ガラス系薬液等を注入し、固めた後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。	基礎下へウレタン等を注入し膨張圧により基礎をアップすることで、沈下傾斜を修復する。	まず、建物下の地盤をセメント系薬液などにより地盤改良して、次に、これを基力にジャッキアップ工法(射圧工法)を用いて、沈下傾斜を修復する。
	概要図			
工法の特徴・沈下修正の考え方		薬液の多量(20~25点)インターバル注入による、注入圧によるリフトアップ。リフトアップ状況を管理しながら複数箇所に分けて少量ずつ注入する。	薬液の多量注入による膨張圧によるリフトアップ。	地盤でジャッキアップ反力が取れない場合に用いられることがある。液状化層を全体的に改良すれば、液状化対策としての効果が期待できる。
施工条件	布基礎	×	×	○
	ベタ基礎	○	○	○
	不同沈下量	30cm程度以下	5~30cm(薬剤の発泡特性に依存)	30cm以上でも可
	周辺境界距離	1m程度以上市	1m程度以上市	30cm以上でも可
	地・壁の傾斜の有無	なし	なし	なし、あり(工法による)
	居住まいの必要性	なし	なし	なし
工期		3日~1週間	2日~4日	3~5週間
工事費 基準建物面積約20坪の目安		200~700万円 リフトアップ高さにより変動(200~400万、500~700万)、配管などの復旧費用が別途必要	100~300万円 リフトアップ高さにより変動(100~200万、100~300~250万)、配管などの復旧費用が別途必要	400~600万円 リフトアップ高さにより変動、配管などの復旧費用が別途必要
メーカ・メーカーによる		通常、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。また、工法中に用いる薬液によって、リフトアップ高さ、荷重が異なり、阻害建物10層程度を押し上げられる工法もある。リフトアップ高さが高い場合は、コスト増になるため併用工法等の方法も含めて検討。	通常、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。リフトアップ可能な高さがあり、各工法で用いるウレタンの発泡特性などにより異なる。リフトアップ高さが大きい場合は、併用工法等、他の方法も含めて検討。断面の単位体積重量が極めて軽いため、注入による重量増加が押さえられる。	沈下が大きい場合にも、建物下の大規模な箇所を伴わずにリフトアップが可能で工法であり、経済的では比較的短期間に施工できる。
液状の地盤特性による考察		液状化層が厚いため、全体的に改良することは難しい。	射圧断層が建物直下に限られ、液状化層が薄いため、液状化地盤を全体的に改良することは難しい。	液状化層を全体的に改良するにはコスト高となる。
特定の地盤に対する沈下傾斜の可能性と修復のための工法		あり。ベタ基礎に穴をあけ再利用でき、基礎と地盤の間に注入した薬液が2割目以降は少なくてすむ。	あり。ベタ基礎に穴をあけ再利用でき、基礎と地盤の間に注入した薬液が2割目以降は少なくてすむ。	あり(液状化層を全体的に改良すればなし)。改良地盤を反力とすることが可能。
地盤の再液状化の可能性		あり	あり	あり(液状化層を全体的に改良すればなし)
契約時・施工時のチェック点、プラント用地・資材置き場		注入剤、注入用プラント、機材などのスペース	注入剤、注入用プラント、機材などのスペース	注入剤、注入用プラント、機材などのスペース
備考		※基礎直下への注入工法では狭い空間でも可	※基礎直下への注入工法では極めて狭い空間でも可	
注意事項		・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 建築確認申請の際の図面を確認する。一見、床スラブがありベタ基礎のようでも、鉄筋のために厚さ8cm程度のコンクリートを打設しているだけで、構造上には、布基礎である場合があるので注意が必要。 ・いずれも、補助軒で、同時または連続施工することで、若干のコスト削減が可能と思われる。 ・近隣建物の沈下・傾斜などを誘発しない工法、今後の近隣建物の沈下・傾斜修復工事に影響を受けない工法を慎重に選択する必要がある。 ・いずれの工法も相当な技術力を必要とするが、同様の工法でも業者間で、諸費用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。

出典：
第2回浦安市液状化対策技術
検討調査委員会資料

		基礎上から		
家上げ方法		基礎の高増築		基礎の再構築
沈下傾斜修復の考え方		基礎を流しにジャッキアップ		
主施工者		ポイントジャッキ工法		無層工法
工法の概要	説明	基礎を一箇所に掘削し、掘削床面の土台下に支承用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高位置とする場合が多い。	土台下に傾斜などの板がらみ材を入れ、一皿、基礎と建物とを分離し、建物に付きジャッキアップした後に、基礎の高直工と地盤改良のいずれかあるいは両方を行う。基礎に固定する。	土台下に傾斜などの板がらみ材を入れ、基礎から建物を水平方向に移動するとともに、基礎の高直工と地盤改良のいずれかあるいは両方を行う。
	断面図			
工法の特徴・沈下修正の考え方		傾斜した基礎を流しにして土台から上部をジャッキアップする。	基礎の床面工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が、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約される可能性がある。	基礎の再施工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	市道線	○	○	○
	バリア環境	○	○	○
	平均沈下量	10cm程度以下	実体無し	実体無し
	周辺建物距離	0.5m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	床と壁の一部解体・復旧あり	床と壁の一部解体・復旧あり	床と壁の一部解体・復旧あり
	保証の必要性	なし	ある場合もある	ある場合もある
工期		ユース通関	ユース通関	ユース通関
工事費 基準価格(新築時)20坪の目安		200～300万円 床・壁の復旧費用が別途必要	設置物の構造により費用に大きな差がある 床・壁の復旧費用が別途必要	800～1000万円 床・壁の復旧費用が別途必要
メリット・デメリット・留意点		掘削や養生注入を伴わないので、被害は比較的安く抑えられる。	根本的な液状化対策のための地盤改良には、構造物などのためジャッキアップ高さを制限する必要がある。	根本的な液状化対策のための地盤改良が可能。作業を平行移動して実施できるスペースが必要で、コスト高となる。
建築の地盤特性による影響			液状化地盤を全範囲に改良するにはコスト高となる。	液状化地盤を全範囲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と再発防止のための工夫		あり	あり（液状化地盤を全範囲に改良すればなし）	あり（液状化地盤を全範囲に改良すればなし）
地盤の再度収束の可能性		あり	あり（液状化地盤を全範囲に改良すればなし）	あり（液状化地盤を全範囲に改良すればなし）
資材貯蔵・施工時のアクセス、プラント利用・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	建物外周部までのスペース。仮置き場まで移動する経路のスペース
備考		アンカーボルトを切断してジャッキアップするため、修復後の基礎と土留め杭にも注意が必要。		
注意事項		・地下修理工法の選定や設計のために、地盤調査が必要です。 ・べた基礎の注意点：無層埋戻中継の際の調査を確認する。一見、非スラブがありベタ基礎のようなでも、防湿のために厚さ8cm程度のコンクリートが打設されているだけで、構造上は、有層埋戻である場合があるので注意が必要。 ・いずれも、機材軒平、材料または運搬路を確保すること、着床のコスト削減が可能と思われる。 ・近隣建物の沈下・傾斜などを誘発しない工夫。今後の近隣建物の沈下・傾斜修理工事に影響を及ぼさない工夫を慎重に選択する必要があります。 ・いづれの工法も相当な技術力が必要なため、修繕の工法でも事前調査、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

