

液状化を考慮した岸壁残留変形量の 簡易評価法の提案

A PROPOSAL OF THE SIMPLE ESTIMATION METHOD OF THE RESIDUAL DEFORMATION OF QUAY WALLS CONSIDERING THE EFFECT OF LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKE

安田将人¹・長尾 毅²
Masato YASUDA and Takashi NAGAO

¹正会員 株式会社エコー (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

²正会員 工博 国土技術政策総合研究所(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

This study aims at proposing the simple estimation method of the residual deformation of quay walls considering the effect of liquefaction during earthquake. We conducted about 4500 cases of two-dimensional earthquake response analyses and studied the correlation among the deformation of quay walls and parameters obtained by the one-dimensional earthquake response analyses. We confirmed that the accuracy by the proposed method was better than that by the other simple estimation method.

Key Words: deformation, quay walls, liquefaction, one-dimensional earthquake response analysis

1. はじめに

港湾施設の代表的な構造である岸壁では、耐震性能が主要な性能照査対象となる。港湾基準¹⁾の改正を契機として、各地方で地震動の評価と既設の岸壁の耐震性能の再評価が行われている。特にレベル2地震動作用時の岸壁の耐震性能評価に対しては、2次元地震応答解析（以下2次元解析と記す）が標準的なツールとなるが、計算負荷の問題が大きく、このことが既設の岸壁の耐震性能を評価するうえで大きな問題となっている。また、レベル1地震動に対しては港湾基準における照査用震度算出式から残留変形量を評価することが可能であるが、適用範囲は地盤が液状化せず、残留変形量20cm以下であることから、これと異なる条件での残留変形量の評価には適用できない。

一方、岸壁の地震時残留変形量を簡易に評価するという研究はこれまでも行われており、Ichiiほか²⁾はパラメトリックスタディによるチャート式での岸壁残留変形量の評価を提案している。チャート式は地震応答解析等を行わずに変形量が評価できるため扱いが容易である反面、対象とする条件がパラメトリックスタディで設定した地盤条件や入力地震動と大きく異なる場合の精度に疑問が残る。

そこで、本研究では2次元解析に比べ計算負荷の小さい1次元地震応答解析（以下1次元解析と記す）

の結果から岸壁の残留変形量を評価する方法を検討する。また、1次元地震応答解析を行わずに残留変形量を評価する方法を合わせて検討し、その推定精度を比較する。本研究では残留変形量が2m以下となるケースのみを対象とし、地盤の液状化に関しても考慮する。なお、本研究では構造部材の断面力が問題となる矢板式岸壁についても、残留変形量にのみ着目して検討を行う。残留変形量が大きくなるケースに関しては、構造部材に降伏が生じる等断面力に関する評価が必要となるが、この点は今後の課題とする。

2. 検討方法

2次元解析では重力式岸壁、矢板式岸壁について、表-1に示す条件で現行設計法¹⁾により断面を設定した。水深は岸壁の標準的な水深の範囲から設定しており、検討モデル断面は図-1に示すとおりである。

地盤条件は砂質地盤を対象とし、地盤固有周期1.2s程度の軟弱な地盤条件をCase1、地盤固有周期0.8s程度のやや締まった地盤条件をCase2とし、S波速度構造を設定した。地震応答解析コードは港湾において実績の多いFLIP³⁾を用い、設定したS波速度構造からFLIPにおける標準的なパラメータ設定方法⁴⁾に従って、表-2に示すように地盤条件を設定した。なお、重力式の石材は見掛けの粘着力を考慮した⁵⁾。

液状化に関するパラメータは原地盤下層以外を対象に簡易設定法⁴⁾により表-3のように設定した。簡易設定法に用いるN値は表-3に示した均質な土層に対するS波速度(以下 V_s と記す)からImai式(式(1))により算定した。また、細粒分含有率 F_c は、算定したN値を用いて亀井ら⁶⁾の式(式(2))により算定した。なお、表-4に示すように液状化層数の違いが残留変形量に与える影響も考慮した。

$$V_s = 80.6N^{0.331} \quad (1)$$

$$F_c = 916/(N + 9.21) - 29.5 \quad (2)$$

表-5に各条件の断面諸元を示す。矢板式岸壁の鋼材は、矢板壁は水深-7.5mではSY295, その他ではSKY490とし、控え工はSHK490Mとした。

解析手法は、矢板式岸壁については標準的な4段階解析法(初期自重解析3段階+動的解析)とし、構造部材のモデル化については、矢板壁及び控え工はトリリニアモデルによる非線形はり要素とした。タイ材は非線形ばね要素として引張には抵抗、圧縮には無抵抗となるように設定し、また軸力のみを負担するように断面2次モーメント、有効せん断面積率は0とした。数値解析上の安定性の観点から与えるレーレー減衰は初期剛性比例係数として与え、全ての検討断面を対象に背後地盤の1次固有周期と1次減衰($\xi_1=0.01$ と仮定)より算出した β の平均値から $\beta=0.002$ と設定した。重力式岸壁は、壁体底面と捨石マウンド上面の間にジョイント要素を用いて、壁体と捨石の間に生じる滑動及び剥離をモデル化している。

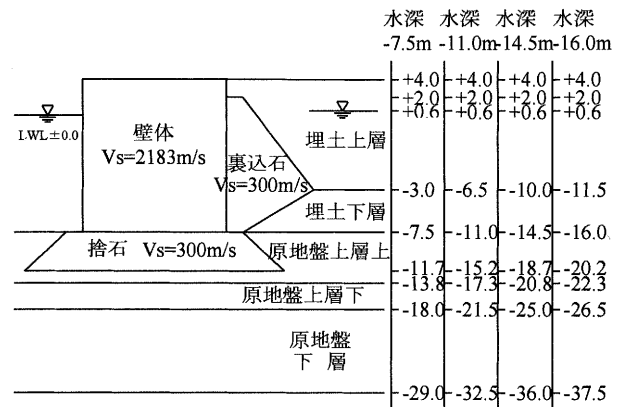
入力地震動は、港湾において設定されている地震動から加速度最大値及び卓越周波数の異なる5港について、確率論的地震動(以下Pと記す)及びシナリオ地震動(レベル2地震動, 以下Sと記す)を対象とした。確率論的地震動は、再現期間を50,75,100,150,200,500年と変化させたものを用いた。用いた波形の加速度最大値(以下PGAと記す)を表-6に、卓越周波数を表-7に、清水港②のP(再現期間75年)及びSの時刻歴波形を図-2示す。再現期間の長いPの地震動の中にはSのPGAを超える地震波形もある。

表-1 検討条件

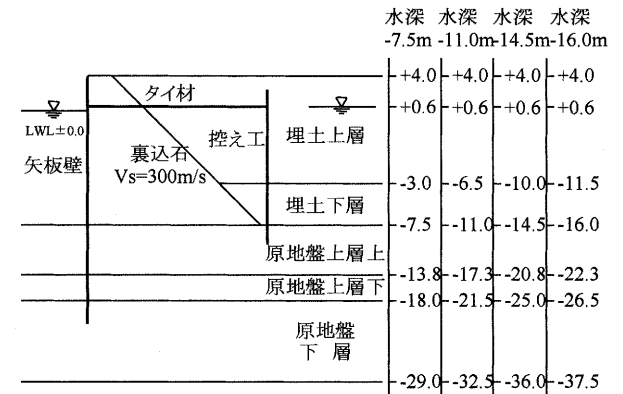
水深 震度	-7.5m	-11.0m	-14.5m	-16.0m
0.10	○	○		
0.15	○	○		
0.20		○	○	
0.25			○	○

表-2 地盤条件

地盤	土層区分 構造形式	土層区分	湿潤 密度 (ν/m^3)	基準有効 拘束圧 (kN/m^2)	基準初期 せん断剛性 (kN/m^2)	基準初期 体積剛性 (kN/m^2)	粘着力 (kN/m^2)	内部 摩擦角 ($^\circ$)	S波 速度 (m/s)
Case1	埋土	上層(水面上)	1.8	89.8	25920	67595	0	37	120
		上層(水面下)	2.0						
	原地盤	下層	2.0	239.8	45000	117353	0	38	150
		上層	2.0						
Case2	埋土	上層(水面上)	1.8	89.8	58320	152089	0	38	180
		上層(水面下)	2.0						
	原地盤	下層	2.0	198.5	72200	188286	0	38	190
		上層	2.0						
共通 材料	重力式	基礎捨石	2.0	98.0	180000	469412	20	35	300
	矢板式	裏込石	2.0	98.0	180000	469412	0	40	300



(a)重力式岸壁



(b)矢板式岸壁

図-1 検討断面

表-3 液状化パラメータ

水深 (m)	地盤	土層区分	変相角 ϕ_p ($^\circ$)	液状化パラメータ (改訂版)	S_1	w_1	p_1	p_2	c_1
-7.5	Case1	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	5.862	0.500	0.995	1.479	
		下層	28.0	0.005	5.535	0.500	1.008	1.352	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	5.179	0.500	1.019	1.321	
		上層 (下)	28.0	0.005	4.835	0.500	1.033	1.217	
	Case2	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	6.259	0.500	0.939	2.870	
		下層	28.0	0.005	5.938	0.500	0.941	2.859	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	5.369	0.500	0.977	2.341	
		上層 (下)	28.0	0.005	5.249	0.500	0.990	2.128	
-11.0	Case1	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	5.700	0.500	1.001	1.417	
		下層	28.0	0.005	5.254	0.500	1.018	1.265	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	4.962	0.500	1.028	1.250	
		上層 (下)	28.0	0.005	4.688	0.500	1.038	1.167	
	Case2	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	6.068	0.500	0.940	2.878	
		下層	28.0	0.005	5.867	0.500	0.952	2.588	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	5.277	0.500	0.987	2.182	
		上層 (下)	28.0	0.005	5.155	0.500	1.001	1.970	
-14.5	Case1	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	5.548	0.500	1.007	1.363	
		下層	28.0	0.005	5.042	0.500	1.026	1.198	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	4.760	0.500	1.036	1.191	
		上層 (下)	28.0	0.005	4.501	0.500	1.046	1.122	
	Case2	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	5.931	0.500	0.940	2.891	
		下層	28.0	0.005	5.811	0.500	0.961	2.357	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	5.186	0.500	0.997	2.023	
		上層 (下)	28.0	0.005	4.326	0.500	1.028	1.809	
-16.0	Case1	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	5.502	0.500	1.009	1.363	
		下層	28.0	0.005	4.931	0.500	1.030	1.181	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	4.700	0.500	1.038	1.178	
		上層 (下)	28.0	0.005	4.476	0.500	1.047	1.099	
	Case2	埋土 (水面下) 上層	28.0	0.005	5.939	0.500	0.941	2.860	
		下層	28.0	0.005	5.156	0.500	0.981	2.265	
		原地盤 上層 (上)	28.0	0.005	5.155	0.500	1.001	1.970	
		上層 (下)	28.0	0.005	3.575	0.500	1.048	1.756	

表-4 液状化対象層

液状化 層数	液状化層
0	—
1	埋土上層
2	埋土上層, 原地盤上層上
3	埋土上層, 埋土下層, 原地盤上層

表-5 断面諸元

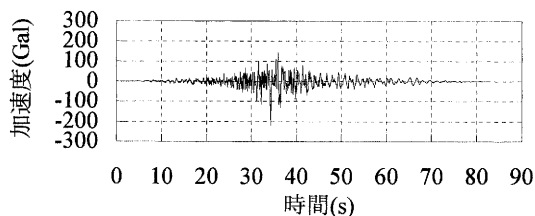
照査用震度	水深(m)	地盤	重力式 堤体幅(m)	矢板		矢板式		控工
				断面2次モーメント (m^4/m)	根入れ長(m)	鋼種	断面2次モーメント (m^4/m)	
0.10	-7.5	Case1	3.2	2.66E-04	7.1	SS400	1.92E-03	16.3
		Case2		2.59E-04	6.9		3.32E-04	13.9
	-11.0	Case1	5.4	1.41E-03	10.9	SS400	2.84E-03	19.4
		Case2		7.83E-04	9.1		2.51E-03	16.2
0.15	-7.5	Case1	4.6	3.27E-04	7.5	SS400	5.28E-04	17.3
		Case2		3.18E-04	7.3		4.22E-04	14.7
	-11.0	Case1	7.4	2.15E-03	12.1	NHT-490	1.14E-03	21.1
		Case2		2.08E-03	11.8		9.07E-04	17.8
0.20	-11.0	Case1	11.4	3.27E-03	13.4	SS400	3.54E-03	22.2
		Case2		3.16E-03	13.1	NHT-590	2.21E-03	19.2
	-14.5	Case1	15.4	5.32E-03	15.0	NHT-740	2.86E-03	25.1
		Case2		4.52E-03	14.1		2.29E-03	21.3
0.25	-14.5	Case1	20.4	8.06E-03	16.6	NHT-740	2.84E-03	28.0
		Case2		6.31E-03	15.3	NHT-690	3.18E-03	23.4
	-16.0	Case1		1.02E-02	17.6	NHT-740	3.18E-03	29.4
		Case2	22.8	8.88E-03	16.7		2.84E-03	24.9

表-6 入力地震動のPGA (単位:Gal)

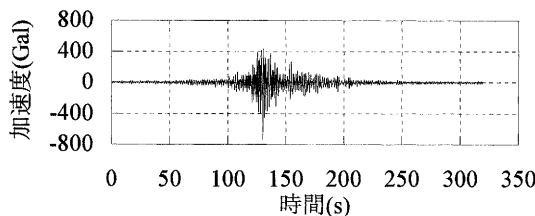
No.	名称	P						S
		50年	75年	100年	150年	200年	500年	
1	清水港②	171.1	221.1	284.6	473.0	658.9	1297.0	734.2
2	大阪港②	214.6	257.3	291.1	190.3	214.5	309.4	301.9
3	広島港	252.1	335.9	415.7	396.8	475.7	938.6	356.9
4	境港	155.3	192.5	226.0	279.6	332.4	559.8	308.8
5	博多港	142.8	166.1	183.4	210.3	231.5	308.5	687.4

表-7 入力地震動の卓越周波数 (単位:Hz)

No.	名称	P						S
		50年	75年	100年	150年	200年	500年	
1	清水港②	0.928	0.934	0.940	0.952	0.952	0.946	0.708
2	大阪港②	2.185	2.179	2.179	0.476	0.470	0.464	0.421
3	広島港	1.807	1.807	1.807	1.807	1.807	1.807	0.827
4	境港	0.623	0.623	0.616	0.616	0.616	0.616	0.598
5	博多港	2.307	2.307	2.307	2.307	2.307	2.313	0.449



(a)P (再現期間75年)



(b)S

図-2 入力地震動の時刻歴波形 (No.1)

なお、Pはオリジナルの地震波形に対して、地震波形の主要動の前後にテーパー処理をしたものである。テーパー処理は、各波形の加速度最大値の1/4と1/2の加速度が初めて現れる時刻間の加速度データにサイン状のテーパーをかけ、最後に加速度最大値の1/2と1/4の加速度が現れる時刻間の加速度データにコサイン状のテーパーをかける。本研究では、各波形の加速度最大値の1/4の加速度が初めて現れた時刻と最後に現れた時刻までの加速度データを使用することで解析時間の短縮を図った。

以上により本研究の解析ケース数は4480である。

3. 地震応答解析結果の整理

2次元解析から得られた残留変形量(以下残留変形量と記す)と各変数の関係を整理する。残留変形量は、岸壁法線での天端残留水平変位と、底面粘性境界での残留水平変位の差とする。また、本研究は1次元解析結果から残留変形量を推定することを目的としており、2次元解析時の自由地盤部の解析結果も合わせて整理する。

(1) 2次元解析結果の整理

a) 入力加速度最大値

PGAと残留変形量の関係を図-3に示す。図中に示す線はPGAと残留変形量の関係を最小自乗法で累乗近似した結果である。凡例中の R^2 は決定係数である。両者の関係は、液状化0層でも相関が非常に低く、また液状化層が増えるに従いさらに相関が低くなることが分かる。

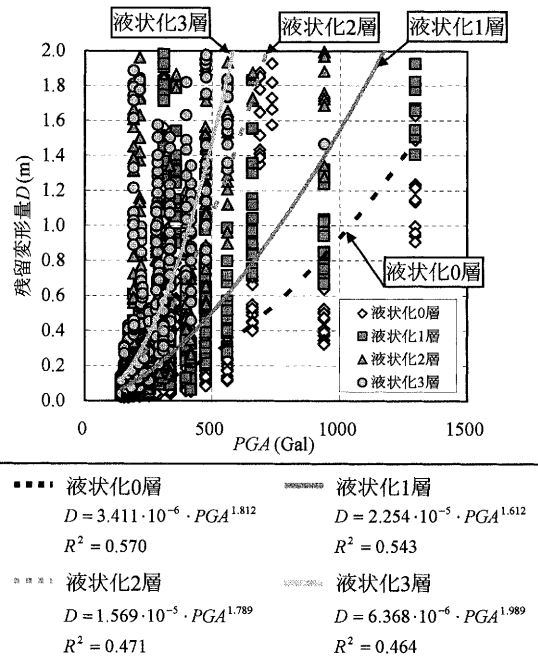


図-3 PGAと残留変形量の関係(重力式岸壁)

b) 照査用震度

照査用震度と残留変形量の関係について、境港波、P再現期間75年、水深-11.0m、地盤Case1を対象に整理した結果を図-4に示す。照査用震度の増加に伴い、岸壁の構造諸元が大きくなるとともに矢板式岸壁では矢板控え間距離も長くなるため、残留変形量は小さくなる傾向がある⁷⁾が、液状化の影響等によりその傾向は一定ではない。例えば、矢板式岸壁液状化2層では $k_{hk}=0.15$ と 0.20 を比較すると、 $k_{hk}=0.20$ で残留変形量が大きくなる。これは照査用震度が増加することで矢板壁及び控え工の根入れ長が長くなり、地盤の変形の影響をより大きく受けるようになったためであると考えられる。なお、本研究は残留変形量の簡易評価方法の検討を目的としており、詳細な考察は今後の課題とする。

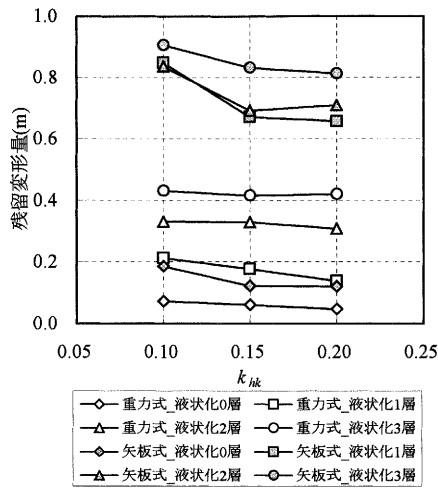


図-4 k_{hk} と残留変形量の関係

c) 地盤の固有周期

地盤の固有周期と残留変形量の関係について、境港波、液状化0層、P再現期間75年を対象に整理した結果を図-5に示す。多層地盤の固有周期は、厳密には解析的な評価が必要となるが、ここでは各層内での波動伝播時間の和として式(3)で簡易に評価する。

$$T_g = \sum \frac{4H_i}{V_{Si}} \quad (3)$$

$$G_{ma} = \rho V S^2 \quad (4)$$

ここで、 T_g ：地盤の固有周期、 H_i ： i 層における層厚、 G_{ma} ：基準初期せん断剛性、 ρ ：質量密度である。 T_g が短いケースでは残留変形量が小さく、 T_g が長くなるに伴い残留変形量が大きくなる傾向を示す。 T_g は式(3)で表され、地盤のS波速度と地盤のせん断剛性は式(4)で表されることから、地盤のせん断剛性と T_g の増減は逆の傾向を示す。そのため、地盤のせん断剛性が高く T_g が短いケースは、地盤のせん断剛性が低く、地盤の固有周期が長いケースに比べ、残留変形量が小さくなる。

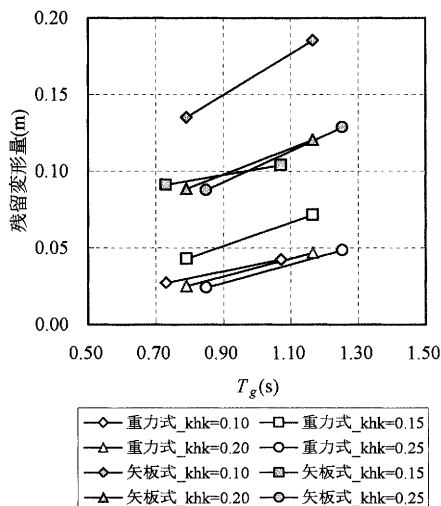


図-5 T_g と残留変形量の関係

(2) 1次元解析結果の整理

a) フィルター処理後の加速度最大値

1次元解析によって得られた地表面加速度時刻歴をフーリエ変換し、岸壁の変形量に対応したフィルター処理を施した後に、フーリエ逆変換して得る加速度時刻歴の最大値 α_f ⁸⁾と残留変形量の関係を整理する。なお、フィルターは非液状化断面を対象とした地震応答解析結果を基に設定されているが、地盤の液状化を考慮した場合にも岸壁の変形に寄与する地震動の周波数成分は大きく変わらないものとし、本研究では地盤の液状化を考慮する場合にも適用する。重力式岸壁を対象に α_f と残留変形量の関係を整理した結果を図-6に示す。なお、照査用震度算出式では変形量は α_f の累乗で表されるため⁸⁾、最小自乗法で累乗近似した曲線を図中に示す。両者の関係は液状化層数が少ないほど相関が高く、液状化層数の増加とともに両者の相関は低くなる。ただし、PGAで整理した場合に比べると α_f と残留変形量の相関が高いことが分かる。

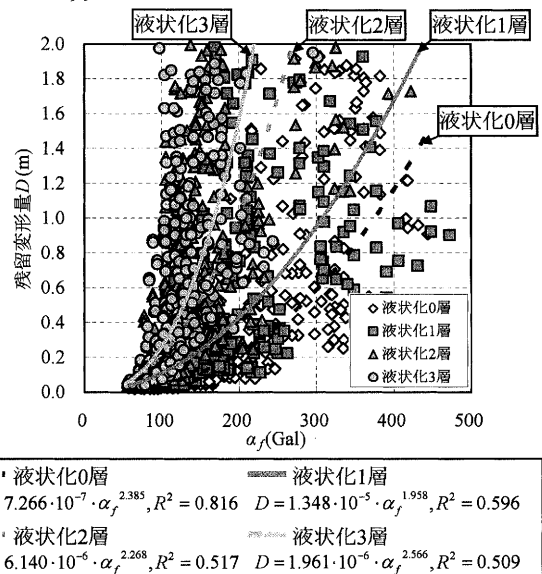


図-6 α_f と残留変形量（重力式岸壁）

b) せん断変形量

岸壁の変形は一般に地盤のせん断変形の影響が大きいことが確認されている⁷⁾。そこで、以下に1次元解析のせん断変形量と残留変形量の関係を整理する。まず、重力式岸壁、境港波、水深-11.0m、震度0.15、地盤Case1の2次元解析の壁体下の原地盤要素と1次元解析の同じ標高の要素におけるせん断応力 τ_{xy} -せん断ひずみ γ_{xy} の履歴曲線を比較する（図-7）。2次元解析では初期からせん断応力が作用するためせん断ひずみが生じているのに比べ、1次元解析では水平成層地盤を模擬しているため、初期ではせん断応力、せん断ひずみとも0であり、またせん断応力とせん断ひずみの残留値はほぼ初期と一致する。そのため、1次元解析のせん断ひずみの残留値では2次元解析での残留変形量を評価できないが、ここでは γ_{xy} 最大時のせん断ひずみに着目し、残留変形量と

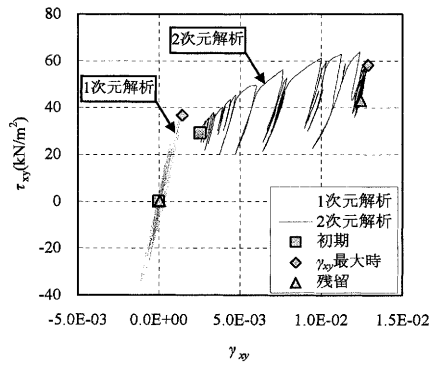


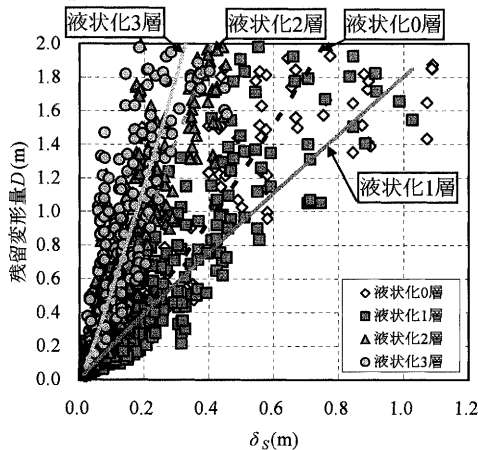
図-7 セン断応力-せん断ひずみ履歴曲線

の関係を調べる。

各要素の γ_{xy} （加振中のせん断ひずみ最大値）と要素高さ Δy の積を鉛直方向で合算した δ_s をせん断変形量に対応する指標とし（式(5)），図-8に重力式岸壁を対象にせん断変形量と残留変形量の関係を示す。

$$\delta_s = \sum (\gamma_{xy} \cdot \Delta y) \quad (5)$$

両者には高い相関があることが分かる。よって，式(5)による変形量をせん断変形量に対応する指標として扱うことが可能であると考えられる。なお，液状化層厚の増加とともに，残留変形量とせん断変形量の割合が変化する。特に埋土と現地盤ではせん断変形量が大きく異なることから，後述する残留変形量推定式の検討ではせん断変形量を埋土と原地盤で分けて取り扱う。

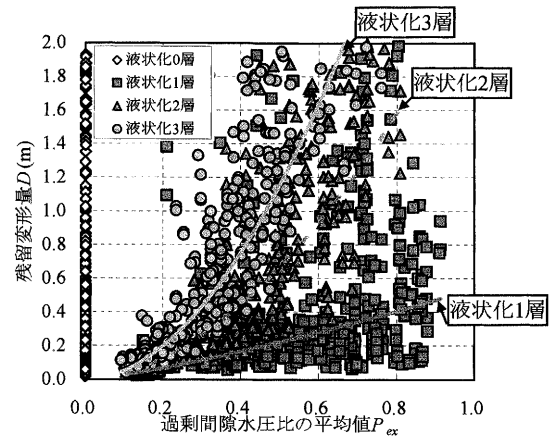


液状化0層 $D = 2.766 \cdot \delta_s^{1.181}, R^2 = 0.900$	液状化1層 $D = 1.805 \cdot \delta_s^{0.948}, R^2 = 0.823$
液状化2層 $D = 5.456 \cdot \delta_s^{1.117}, R^2 = 0.876$	液状化3層 $D = 6.892 \cdot \delta_s^{1.113}, R^2 = 0.812$

図-8 δ_s と残留変形量の関係（重力式岸壁）

c) 過剰間隙水圧比

地震動レベルが大きくなると，過剰間隙水圧比は上昇し，地盤の剛性は低下する。そこで，1次元解析での過剰間隙水圧比と残留変形量の関係を図-9に示す。両者には高い相関があることが分かる。なお，過剰間隙水圧比（ P_{ex} ）は各要素の γ_{xy} 最大時の値とし，各要素の値を液状化層で平均した値を指標とした。



液状化1層 $D = 0.540 \cdot P_{ex}^{1.284}, R^2 = 0.418$	液状化2層 $D = 2.385 \cdot P_{ex}^{1.842}, R^2 = 0.802$
液状化3層 $D = 4.372 \cdot P_{ex}^{1.919}, R^2 = 0.827$	

図-9 P_{ex} と残留変形量の関係（重力式岸壁）

4. 残留変形量簡易推定式の検討

(1) 推定方法 1

2次元解析での残留変形量を目的関数とし，照査用震度及び1次元解析結果の α_f ， P_{ex} ， δ_s を説明変数として重回帰分析を行い，残留変形量推定式（以下推定方法1と記す）を作成した。なお，せん断変形量と同様に，過剰間隙水圧比の平均も埋土と原地盤を分けるとともに，液状化層厚も説明変数に加えた。また，地震動の継続時間の影響を評価するため，低減率 p^8 を説明変数に加えた。

重回帰分析は以下に述べる推定方法2とともに残留変形量が2m以下のケース（重力式1814ケース，矢板式1608ケース，計3422ケース）を対象とした。重回帰分析により式(6)，(7)が得られた。

a) 重力式岸壁

$$D_{est} = 10^{-0.469} \cdot k_{hk}^{-0.581} \cdot \left(\frac{\alpha_f}{g} \right)^{0.708} \cdot p^{1.610} \cdot (1 + h_{liq1}/h_{liqR})^{0.470} \cdot (1 + h_{liq2}/h_{liqR})^{0.421} \cdot (1 + P_{ex1})^{0.753} \cdot (1 + P_{ex2})^{1.161} \cdot (\delta_{s1}/\delta_{SR})^{0.281} \cdot (\delta_{s2}/\delta_{SR})^{0.514} \quad (6)$$

b) 矢板式岸壁

$$D_{est} = 10^{-0.204} \cdot k_{hk}^{-0.497} \cdot \left(\frac{\alpha_f}{g} \right)^{0.762} \cdot p^{1.684} \cdot (1 + h_{liq1}/h_{liqR})^{0.202} \cdot (1 + h_{liq2}/h_{liqR})^{0.121} \cdot (1 + P_{ex1})^{1.930} \cdot (1 + P_{ex2})^{0.037} \cdot (\delta_{s1}/\delta_{SR})^{0.128} \cdot (\delta_{s2}/\delta_{SR})^{0.433} \quad (7)$$

ここに， D_{est} ：推定残留変形量(m)， h_{liqi} ：液状化の発生を考慮する土層厚(m)($i=1$ ：埋土， $i=2$ ：原地盤)， h_{liqR} ：基準液状化層厚(5m)， P_{exi} ：過剰間隙水圧比の平均値， δ_{Si} ：せん断変形量(m)， δ_{SR} ：基準せん断変形量(0.05m)

(2) 推定方法 2

チャート式²⁾での入力項目を参考にPGA及び断面諸元を説明変数とした重回帰分析を行い，残留変形量推定式（以下推定方法2と記す）を作成した。

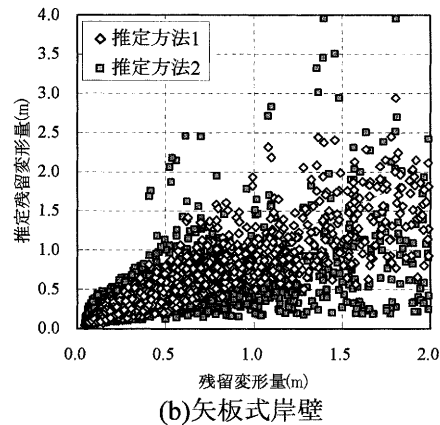
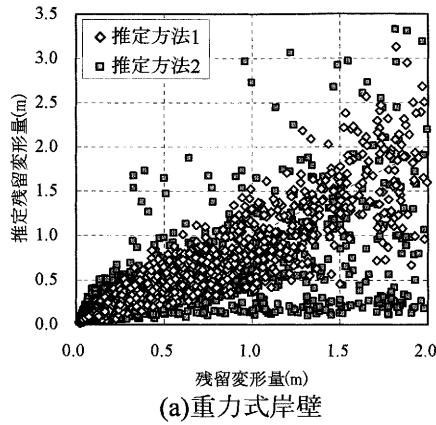


図-10 残留変形量と推定残留変形量

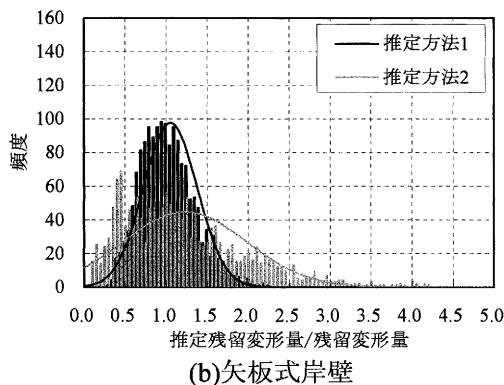
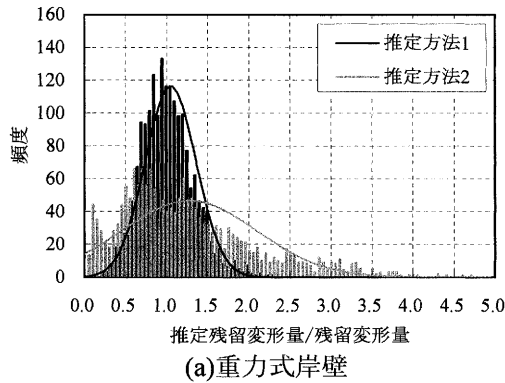


図-11 残留変形量の推定精度

a) 重力式岸壁

$$D_{est} = 10^{-0.093} \cdot \left(\frac{\alpha}{g}\right)^{1.767} \cdot \left(\frac{W}{H}\right)^{-0.411} \cdot (1 + h_{liq2}/H)^{2.479} \cdot (T_{g1}/T_{gR})^{0.346} \cdot (T_{g2}/T_{gR})^{-0.135} \quad (8)$$

b) 控え矢板式岸壁

$$D_{est} = 10^{-0.691} \cdot \left(\frac{\alpha}{g}\right)^{1.477} \cdot k_h^{-0.341} \cdot \left(\frac{H}{B_R}\right)^{1.178} \cdot \left(\frac{B}{B_R}\right)^{0.251} \cdot (1 + h_{liq2}/h_{liqR})^{-0.014} \cdot (1 + L_1/L_R)^{0.812} \cdot (1 + L_2/L_R)^{-1.049} \cdot (T_{g1}/T_{gR})^{1.514} \cdot (T_{g2}/T_{gR})^{-3.432} \quad (9)$$

ここに、 α : $PGA(Gal)$, W : 壁体幅, H : 壁高, H_R : 基準壁高(5m), B : 控え工距離, B_R : 基準控え工距離(5m), $L_{1,2}$: 原地盤非液状化層への矢板壁, 控え工の根入れ長, L_R : 基準根入れ長(5m), T_{gi} : 地盤の固有周期(s), T_{gR} : 基準固有周期(0.4s)である。

(3) 推定精度の比較

推定方法 1 及び 2 により推定した残留変形量 D_{est1} , D_{est2} と残留変形量の比較を行い, 推定式の精度を確認した。図-10に結果を示す。重力式岸壁では推定方法 1 で-1.24~1.31m(-73~131%), 推定方法 2 で-1.80~2.01m(-94~413%)の誤差, 矢板式岸壁では, 推定方法 1 で-1.27~1.23m(-66~126%), 推定方法 2 で-1.74~2.56m(-89~323%)の誤差がある。また図-11から推定方法 2 に比べ, 推定方法 1 のばらつきが小さいことが分かる。よって, より精度の高い推定のためには推定方法 1 によるべきであるといえる。

5. まとめ

本研究では, 液状化を考慮した重力式及び控え矢板式岸壁の残留変形量を, 1 次元解析から推定する簡易評価方法について検討を行った。この簡易評価法は, 1 次元解析を行うため PGA と断面諸元を基に残留変形量を推定する場合に比べ計算負荷が増加するが, 1 回の動的解析も行わないチャート式等の方法と比較すると推定誤差が小さいと考えられることが分かった。なお 2m 以上の残留変形量が生じるようなケースについては変形量の精度が問題になることはほとんどないと考えられることから, 本研究では残留変形量 2m までのケースを対象にしていることに注意が必要である。

参考文献

- 国土交通省港湾局監修, 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.
- Ichii, K., Iai, S., Sato, Y. and Liu, H.: Seismic performance evaluation charts for gravity type quay walls, *Structural Eng./Earthquake Eng.*, JSCE, Vol.19, No.1, 21s-31s, 2002.
- Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, *Report of The Port and Harbour Research Institute*, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990.
- 森田年一, 井合 進, Liu Hanlong, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法, 港湾技研資料, No.869, 1997.
- 小堤 治, 塩崎禎朗, 一井康二, 井合 進, 森 玄: 二次元有効応力解析法の解析精度向上に関する検討, 海洋開発論文集, 第 20 巻, pp.443-448, 2004.
- 亀井祐聡, 森本 巖, 安田 進, 清水喜久, 小金丸健一, 石田栄介: 東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.4, pp.101-110, 2002.
- 宮下健一郎, 長尾毅: 控え直杭式矢板岸壁の変形量に寄与するパラメータに関する研究, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.841-846, 2007.
- 長尾 毅, 岩田直樹: 重力式及び矢板式岸壁のレベル 1 地震動に対する耐震性能照査用震度の設定方法, 構造工学論文集 Vol.53A, pp.339-350, 2007.