

沿岸部に敷設する道路盛土に発生する地震時変形量の特徴と簡易評価手法の提案

栗林 健太郎¹・原 忠²・黒田 修一³

¹正会員 エイト日本技術開発 防災保全部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目 1-21)

E-mail:kuribayashi-ke@ej-hds.co.jp

²正会員 高知大学教授 防災推進センター (〒780-8520 高知県高知市曙町 2-5-1)

E-mail:haratd@kochi-u.ac.jp

³正会員 エイト日本技術開発 防災保全部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目 1-21)

E-mail:kuroda-shu@ej-hds.co.jp

2011年東北地方太平洋沖地震での教訓から、大規模地震における沿岸部の津波抑止対策として盛土構造物が再度注目されている。しかし、沿岸部は河川堆積物や海岸堆積物による沖積層が広く分布していることから、基礎地盤の液状化による盛土被害によって道路機能が阻害されることが想定される。筆者らは、南海トラフ地震において甚大な被害が懸念される高知県内の地域海岸を対象として、地形区分及び既往の粒度試験結果から沿岸部の堆積層の特徴を体系的に整理した。更に、沿岸部に代表される種々の液状化地盤における繰り返し非排水三軸試験結果を用いて、道路盛土及び基礎地盤に対して2次元有限要素法を用いた有効応力動的解析を実施し、地盤の液状化特性と盛土の変形量の関係について整理した。最後に、その結果を元に、液状化地盤上に敷設する道路盛土の天端沈下量の簡易評価手法について、その方法と課題についてまとめた。

Key Words: *liquefaction, , performance design, road embankment, effective stress analysis*

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、沿岸部に敷設された道路盛土構造物が津波抑制効果を発揮し、発災直後の避難や津波浸水地域の迅速な物資の輸送に大きく貢献した。これを受けて、大規模地震時の津波抑止対策として特に沿岸部の高規格道路に対して道路盛土の利活用が検討されている¹⁾。特に南海トラフ巨大地震で甚大な被害が予測される太平洋沿岸部では、高台の被害場所が限られることから、高規格道路への避難を想定した道路配置が計画される地域も見られるなど、耐震・耐津波性に優れた道路盛土が求められる。

大規模地震を受けた盛土構造物の被災事例としては、傾斜地盤や軟弱地盤上に敷設された盛土のすべり崩壊や、基礎地盤および盛土本体の沈下に伴う橋台背面や道路横断カルバートの様な構造物の取り合い部との段差被害が挙げられる。特に、津波被害が懸念される沿岸部は、海岸堆積物や河川堆積物による沖積層が広く分布している

ことから、基礎地盤の液状化による被害が顕著に発生することが想定される。

また、近年では盛土構造物においても性能設計の考え方が取り入れられ、特にレベル2地震動に対しては地震後の盛土変形量に対する照査を実施することとなっている³⁾。液状化地盤上の盛土における変形量の算出には、2次元有限要素法を用いた有効応力動的解析が広く用いられている。しかし、解析やそれに伴う地盤調査に時間と手間を要することから、実際の設計においては盛土変形量が大きいと予想される代表断面を選定し、その断面に対する解析結果を用いて照査を実施している。

ここで、盛土天端の沈下が道路の性能に影響を与えるのは、前述の通り構造物との取り合い部に発生する段差量である。これらの構造物は、選定された代表断面に限らず対象路線内に複数設置されることから、代表断面だけでなく構造物位置における盛土天端の沈下量を適切にかつ簡易な手法で評価することが重要である。

以上を踏まえて、筆者らは沿岸部における道路盛土に

発生する地震時変形量の特徴について整理し、沿岸部に敷設する道路盛土の天端沈下量についての簡易評価手法の提案とその課題について述べる。

る割合を求めている。

$$G = \sum_{i=1}^n \left(G_i \times \frac{t_i}{t} \right) \quad (1a)$$

2. 沿岸部沖積層の堆積状況の整理

沿岸部の地層は、河川より運ばれてくる河川堆積物と潮の満ち引きや海の流れによって堆積する海岸堆積物から形成されるものと、海岸段丘の様な海岸浸食および海水面の低下により形成されるものに大別される。そのうち、前者は広範囲に沖積層を形成することが多く、道路盛土敷設時に圧密による不同沈下やすべり破壊、地震時の液状化等の地盤変状が懸念される。

筆者らは、沿岸部の堆積層の特徴を体系的に整理するため、南海トラフ地震による甚大な被害が予想される高知県内の地域海岸を代表例として、沖積層を形成していると想定される地形区分（氾濫平野、海岸平野・三角洲、自然堤防、埋立地）が見られる地域海岸を地形分類図⁵⁾より選定し、四国地盤情報データベース⁶⁾から粒度分布の情報が得られているボーリングを抽出し、各地域海岸の平均粒度組成についてその傾向を分析した。

各地域海岸の平均粒度組成については、粒度分布が得られているボーリングごとに式 1a を用いて代表粒度組成を算出し、その平均値を採用した。なお、四国地盤情報データベースでは、礫、砂、シルト、粘土の4区分に対する質量百分率のデータのみが公開されているため、各地域海岸の平均粒度組成についてもこの4区分に対す

G：各ボーリングの土質分類ごとの質量百分率(%)

G_i：各層で得られている土質分類ごとの平均質量百分率

t_i：各層の層厚

t：各層の層厚の合計

国土地理院より公開されている土地条件図から沖積層を形成する地形区分を有する地域海岸と、式 1a により算出された平均粒度組成の一覧を表-1に示す。表-1より、沿岸部の堆積層の特徴としては以下の点が挙げられる。

- ・ 沿岸部は、主に砂および礫を主体とした層が形成される。これは、河川より運ばれてくる土砂のうち、比較的粒径の大きい礫や砂が河口付近に堆積することに起因すると考えられる。
- ・ 一部の地域海岸では、礫分が少なく、シルトおよび砂が主体とした層が沿岸部に形成されている。これは、平野部を流れる河川の規模が比較的小さく、地形区分も海岸平野が広い範囲を占めていることから、河川堆積物よりも海岸堆積物が主に堆積している地域であると考えられる。
- ・ 浦戸湾周辺は、シルトおよび粘土が主体となる層を形成している。これは、高知県城下町周辺で大

表-1 沖積層を形成する地形区分を有する高知県の地域海岸と平均粒度組成

地域海岸	主な港・漁港	沿岸域に見られる地形区分				粒度試験結果	平均粒度組成(%)			
							礫	砂	シルト	粘土
東洋甲浦①	甲浦港		海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	1地点	27.2	65.8	3.8	3.2
東洋生見		氾濫平野		自然堤防		2地点	71.2	24.2	4.1	0.5
中芸	奈半利港	氾濫平野		自然堤防	埋立地	無し				
安芸①		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	3地点	26.5	51.4	18.2	3.9
安芸②		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防		2地点	25.5	60.7	11.0	2.7
南国香南①		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防		1地点	47.6	48.4	2.3	1.8
南国香南②		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防		8地点	44.3	49.3	3.4	2.9
浦戸湾①	高知港		海岸平野・三角州		埋立地	3地点	58.2	37.8	2.1	1.9
浦戸湾②	高知港		海岸平野・三角州		埋立地	2地点	5.6	16.1	53.1	25.2
浦戸湾③	高知港		海岸平野・三角州		埋立地	9地点	3.7	16.8	44.0	35.5
浦戸湾④	高知港		海岸平野・三角州		埋立地	6地点	7.8	39.8	31.5	20.9
高知中央①			海岸平野・三角州	自然堤防		8地点	39.2	50.9	6.1	3.8
高知中央②		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防		3地点	47.3	45.8	3.7	3.3
宇佐	宇佐漁港		海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	4地点	10.1	82.5	3.9	3.6
浦ノ内湾①		氾濫平野	海岸平野・三角州			1地点	35.8	47.2	10.6	6.4
浦ノ内湾②		氾濫平野	海岸平野・三角州			3地点	40.4	35.2	16.2	8.2
浦ノ内湾③		氾濫平野	海岸平野・三角州			無し				
須崎湾③	須崎港		海岸平野・三角州		埋立地	7地点	20.1	26.6	30.0	23.4
須崎湾④		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	7地点	26.8	48.6	15.9	8.7
中土佐①		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防		4地点	69.2	20.6	5.5	4.7
中土佐②	久礼港	氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	1地点	0.3	21.0	50.4	28.3
中土佐③		氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防		無し				
四万十興津	佐賀港	氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	無し				
幡東②	田野浦漁港	氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	25地点	29.3	52.5	10.6	7.6
足摺東①	下田港	氾濫平野	海岸平野・三角州	自然堤防	埋立地	9地点	33.0	38.7	16.9	11.4
足摺東②		氾濫平野	海岸平野・三角州			無し				
足摺東③		氾濫平野	海岸平野・三角州			無し				
土佐清水三崎①	清水漁港、あしずり港	氾濫平野	海岸平野・三角州		埋立地	無し				
土佐清水三崎②		氾濫平野	海岸平野・三角州			無し				

規模な干拓事業が行われており平野部には広範囲に干拓地が広がっているため⁷⁾、当該地域海岸周辺は主に粒度の細かい海岸堆積物により形成されていることによるものと考えられる。

3. 代表地盤に対する有効応力動的解析

高知県を例として、沿岸部沖積層の粒度組成の特徴を整理した結果、沿岸部は砂もしくは砂礫を主体とした層を形成しているケースが多いことが分かる。このため、沿岸部に道路盛土を敷設する際に影響を与える地盤変状としては、地震時の液状化による影響が特に大きいことが予想される。

この結果を受けて、地震時の液状化によって道路盛土に発生する変形量の傾向を分析するため、沿岸部の代表的な粒度組成を示す不攪乱試料を用いて実施された繰り返し非排水三軸試験結果を元に、基礎地盤及び道路盛土を対象とした2次元有限要素法を用いた有効応力動的解析を実施した。有効応力動的解析のプログラムは、液状化後の排水沈下を考慮でき、砂質地盤や礫質地盤上における盛土構造物の地震時残留変形解析の実績があるLIQCA⁸⁾⁹⁾を用いた。

(1) 代表地盤の選定

解析対象とした代表地盤は、下記に示す3種類の地盤とした。代表地盤で採取された不攪乱試料の粒度分布を図-1に示す。

a) 砂質地盤（高知県黒潮町大方地区）¹⁰⁾

大方地区に広がる海岸平野部で採取されたもので、砂分を多く含む。不攪乱試料は、緩く液状化強度が低いGL-3m付近で採取されたものと、締まっており液状化強度が高いGL-8m付近で採取されたものを採用した。

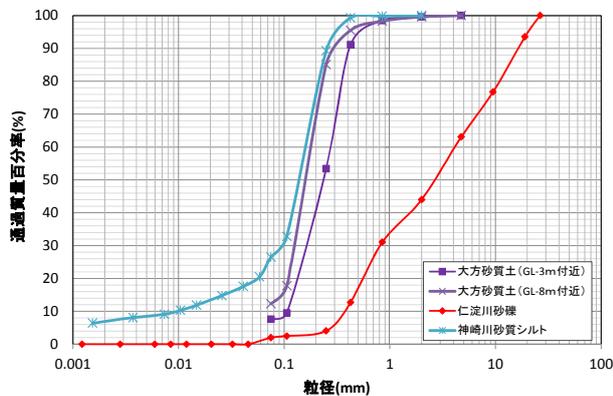


図-1 代表地盤採取試料の粒度分布

b) 砂礫地盤（高知県土佐市仁淀川河口）¹¹⁾

高知県内を流れる一級河川である仁淀川の河口部洪水敷で採取されたもので、礫分を多く含む。

c) 砂質シルト地盤（千葉県香取市神崎川旧河道部）¹²⁾

高知県内で採取されたものではないが、シルト分を多く含む代表地盤として、千葉県内を流れる一級河川である神崎川付近にある旧河道で採取された不攪乱試料の試験結果を採用した。

(2) 地盤条件

代表地盤ごとの解析物性値を表-2に、要素シミュレーションにより得られる液状化強度曲線を図-2に示す。また、比較対象として1995年兵庫県南部地震において被災した淀川の河川堤防盛土に対するLIQCAによる再現解析時に用いられた物性値および要素シミュレーション結果¹³⁾を同図に示す。

盛土および液状化地盤は弾塑性要素のOkaモデル⁸⁾よりモデル化した。盛土の物性値は、締固め度Dc=95%相当の砂質土材料を想定して既往の道路盛土の実験結果より設定した¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾。

非液状化層はRamberg-Osgoodモデルによりモデル化し、道路橋示方書¹⁷⁾における工学的基盤相当であるVs=300m/sの砂礫地盤を想定した。砂礫地盤の剛性および減衰定数のひずみ依存特性は、緒方らの動的変形試験結果¹⁸⁾を参照した。

液状化層の物性値は、それぞれの供試体における室内試験結果を元に設定し、液状化パラメータについては図-2に示す液状化強度曲線が試験値と要素シミュレーション結果とで概ね一致するように、試行錯誤の上設定した。

要素シミュレーション結果より、各液状化地盤材料で試験値が得られている繰り返し強度比RLにおける有効応力経路（軸差応力-平均有効主応力）および応力ひず

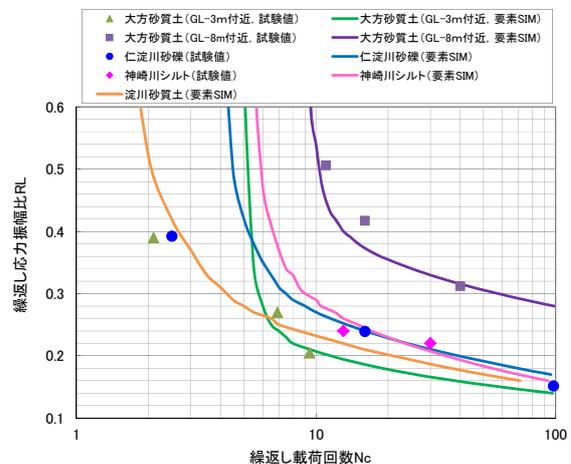


図-2 代表地盤採取試料の液状化強度曲線

表-2 解析物性値一覧

		弾塑性モデル						R-Oモデル
		盛土 (砂質土Dc=95%)	液状化層 (大方砂質土GL-3 m)	液状化層 (大方砂質土GL-8 m)	液状化層 (仁淀川砂礫)	液状化層 (神崎川シルト)	液状化層 (淀川砂質土)	非液状化層 (砂礫層相当)
単位体積重量	$\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	19.0	19.0	19.0	19.6	17.5	19.1	21.0
透水係数	$k(\text{m/s})$	1.0×10^{-5}	3.8×10^{-5}	1.75×10^{-5}	7.5×10^{-4}	1.75×10^{-5}	1.3×10^{-5}	2.5×10^{-3}
初期間隙比	e_0	0.70	1.00	1.04	1.00	0.56	0.80	0.75
せん断波速度	$V_s(\text{m/s})$	250	160	220	250	120	180	300
初期せん断弾性係数	$G_{\text{max}}(\text{kN/m}^2)$	1.21×10^5	4.96×10^4	9.38×10^4	1.25×10^5	2.57×10^4	4.45×10^4	1.93×10^5
粘着力	$c(\text{kN/m}^2)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
内部摩擦角	$\phi(^{\circ})$	40.00	32.60	38.50	33.00	34.00	39.0	40.00
圧縮指数	λ	3.41×10^{-3}	4.72×10^{-3}	7.00×10^{-3}	7.00×10^{-3}	8.00E-03	2.5×10^{-2}	
膨潤指数	κ	3.41×10^{-4}	4.72×10^{-4}	7.00×10^{-4}	7.00×10^{-4}	8.00E-04	2.5×10^{-3}	
擬似過圧密比	OCR*	1.000	1.000	1.800	1.200	1.400	1.000	
初期せん断係数比	G_0/cm^2	1913	1519	1436	1915	787	681	
変相応力比	Mm	0.909	0.909	0.944	0.909	0.838	0.980	
破壊応力比	Mf	1.336	1.072	1.283	1.087	1.122	1.300	
硬化関数パラメータ	B0	4296	4000	4500	5000	3000	2500	
"	Bi	43	20	50	50	30	25	
"	Cf		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
規準ひずみ(塑性)	γ^{P*}_r		0.0070	0.0060	0.0040	0.0060	0.0020	
規準ひずみ(弾性)	γ^{E*}_r		0.024	0.036	0.040	0.060	0.020	
ダイラタン係数	D0		0.800	0.800	0.500	0.500	1.000	
"	n		6.000	7.200	4.000	3.000	4.000	
せん断弾性係数パラメータ	a						-	1.93×10^5
"	b						-	0.0
最大減衰定数	h_{max}						-	0.30
基準ひずみ	$\gamma_{0.5}$						-	9.0×10^{-4}
せん断強度	τ_f						-	72.0
R-Oパラメータ	α						-	0.717
"	γ						-	2.782

み履歴図(軸差応力-せん断ひずみ)のグラフを図3~図6に示す。

大方砂質土(GL-3m供試体)は、せん断波速度 $V_s=160\text{m/s}$ と緩く、繰り返し三軸強度比 $RL_{20} \approx 0.18$ と小さい材料であり、対象としている液状化地盤の中では最も液状化しやすい材料である。 $RL=0.205$ 時の試験結果より、繰り返し回数がおおよそ 7~8 回で平均有効主応力は原点に向かい、その後はせん断ひずみの増分がおおよそ 1% 程度の間隔で剛性回復が確認できる。要素シミュレーション結果においても、概ね同様の傾向が再現できていると言える。

大方砂質土(GL-8m供試体)は、GL-3m供試体に比べてせん断波速度 $V_s=220\text{m/s}$ と締まっており、繰り返し三軸強度比も $RL_{20} \approx 0.36$ と高い。 $RL=0.312$ 時の試験結果より、繰り返し载荷によって徐々に平均有効主応力が減少し、繰り返し回数が概ね 30 回あたりで原点に到達する。軸差応力-せん断ひずみ履歴図を見ても、サイクリックモビリティの傾向が強く、繰り返し载荷によるひずみ増分は非常に小さい。要素シミュレーション結果は、試験値に比べて有効応力が変相域に到達するまでの繰り返し回数が多く、変相域到達後のせん断ひずみの増分も試験値に比べて大きい。有効応力が原点に到達するまでの繰り返し回数と、図-2 に示す液状化強度曲線は概ね合致している。

仁淀川砂礫は、せん断波速度 $V_s=250\text{m/s}$ と対象地盤の中で最もせん断剛性が高い材料であるが、繰り返し三軸強度比は $RL_{20} \approx 0.23$ と大方砂質土(GL-8m供試体)と比べると低い値を示す。 $RL=0.205$ 時の試験結果より、繰り返し

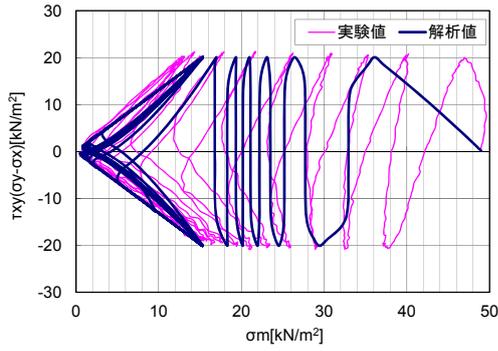
返し回数がおおよそ 15~16 回で平均有効主応力は原点に向かい、その後はせん断ひずみがおおよそ 1~2% 程度の間隔で剛性回復が確認できる。要素シミュレーション結果でも概ね同様の傾向が再現できていると言える。

神崎川シルトは、せん断波速度 $V_s=120\text{m/s}$ と対象地盤の中では最もせん断剛性が小さいにも関わらず、繰り返し三軸強度比 $RL_{20} \approx 0.23$ と仁淀川砂礫とほぼ同程度の液状化強度を示す。有効応力経路を見ると、繰り返し回数が概ね 20 回程度で平均有効主応力は原点に向かうが、他の地盤に比べて徐々に有効応力が減少していく傾向が強く、せん断ひずみも急激な増加は無く一定の間隔で徐々に増加している傾向が見られる。要素シミュレーションでは、上記に示すような軸差応力の増分に対して軸差応力の緩やかな減少やせん断ひずみの緩やかな増加については再現が困難であったが、平均有効主応力が原点に向かうまでの繰り返し回数や変相域での応力経路、図-2 に示す液状化強度曲線は概ね整合している。

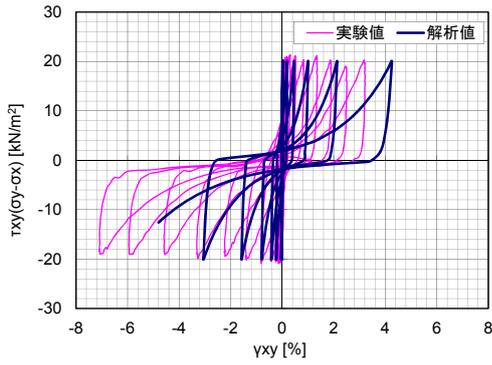
(3) 解析モデル

解析モデルは、盛土および基礎地盤(液状化層、非液状化層)で構成する。液状化層の厚さは 3m, 5m, 8m と変更し、液状化層厚と道路盛土天端の沈下量の関係について分析する。液状化地盤上の道路盛土は、盛土高 5m, 天端幅 18m, 法面勾配 1:1.8 とし、地下水位は GL-1.0m で一律とした。

基礎地盤のモデル範囲は全てのケースで一律とし、モデル幅は盛土法尻幅の約 5 倍以上を確保するため 116m, モデル高は液状化層厚の約 3 倍以上を確保するため 30m

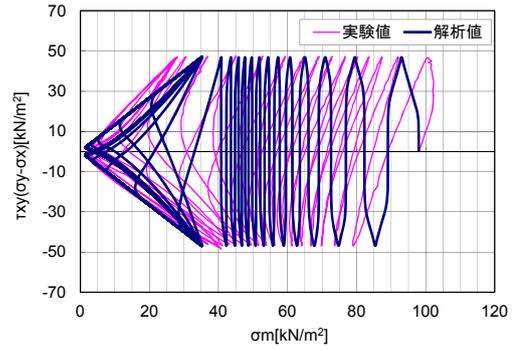


(a)有効応力経路(RL=0.205)

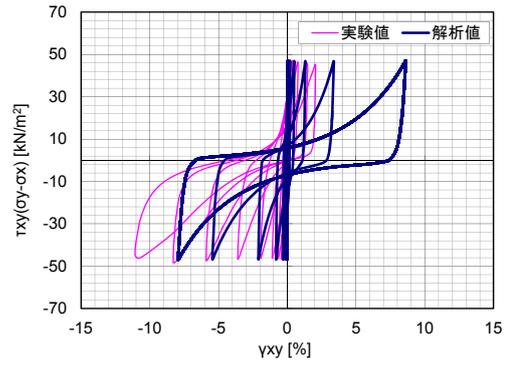


(b)軸差応力-せん断ひずみ履歴(RL=0.205)

図-3 要素シミュレーション結果 (大方砂質土, GL-3m)

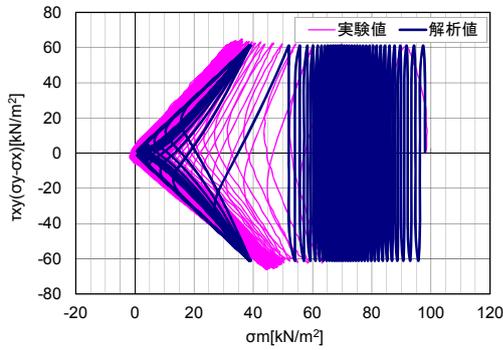


(a)有効応力経路(RL=0.239)

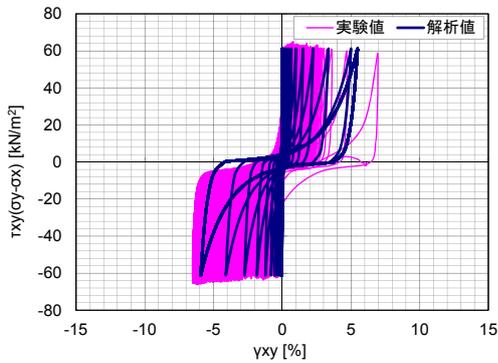


(b)軸差応力-せん断ひずみ履歴(RL=0.239)

図-5 要素シミュレーション結果 (仁徳川砂礫)

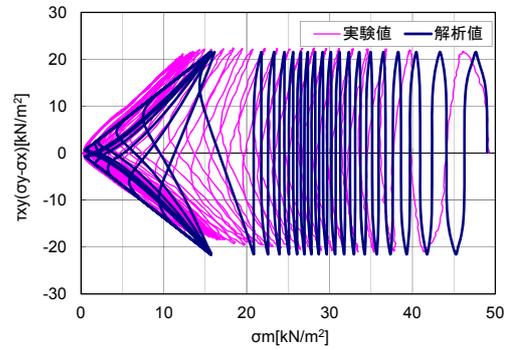


(a)有効応力経路(RL=0.312)

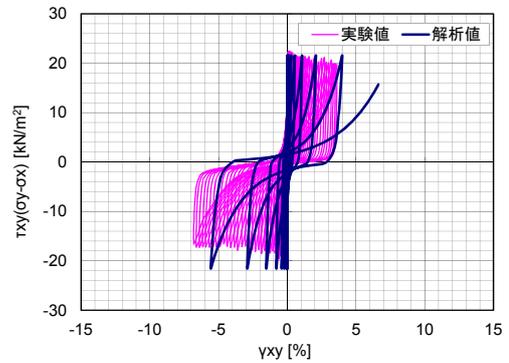


(b)軸差応力-せん断ひずみ履歴(RL=0.312)

図-4 要素シミュレーション結果 (大方砂質土, GL-8m)



(a)有効応力経路(RL=0.22)



(b)軸差応力-せん断ひずみ履歴(RL=0.22)

図-6 要素シミュレーション結果 (神崎川シルト)

とした。解析モデルの境界条件は、底面境界には粘性境界、側方境界には等変位境界を用い、モデル側面に自由地盤を設け、個別に計算された自由地盤の応答水平変位をモデル側面に引き継いでいる。

更に、動的解析に加えて地震時終了後の圧密消散解析を実施した。圧密計算時間は約 52 時間とし、液状化層に発生する過剰間隙水圧が十分に低下した段階での盛土の残留変形量を確認した。

4. 基礎地盤の液状化特性と天端沈下量の関係

代表地盤として選定した 4 種類に加え、実被害再現解析が実施されている淀川砂質土の合計 5 種類の地盤に対して、液状化層厚と解析結果より得られる盛土天端沈下量の関係を図-7～図-11 に示す。

- 地盤の違いによらず、液状化層厚と盛土天端沈下量は概ね比例関係にある。
- 淀川砂質土と大方砂質土(GL-3m)を比較すると、淀川砂質土の方が同一盛土高に対する盛土天端沈下量は小さい。図-2 より、繰り返し回数が 7 回未満の少ない所では大方砂質土の方が液状化強度は明らかに高いが、繰り返し回数 10 回以上の多い所では淀川砂質土の方が液状化強度が高いことから、液状化地盤上の盛土天端沈下量においても繰り返し回数が概ね 10 回以上の範囲での液状化強度に大きく影響することが言える。
- 仁淀川砂礫と神崎川シルトは、液状化強度は類似しているが、仁淀川砂礫地盤上の盛土天端沈下量は、神崎川シルトの約 1/2～1/3 程度である。これは、液状化地盤の透水係数が約 40 倍異なるため、地震作用動作用中における間隙水圧の消散のしやすさに起因するものと考えられる。図-10 を見ると、地震時終了後と圧密終了後の盛土天端沈下量が他の地盤に比べてほぼ変化していないことから同様のことが言える。

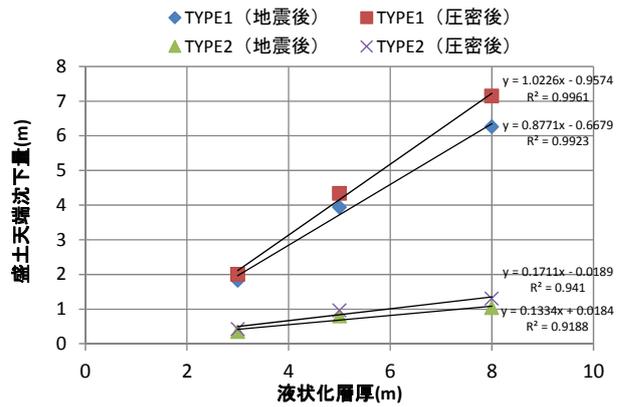


図-8 液状化層厚-盛土天端沈下量(大方砂質土 GL-3m)

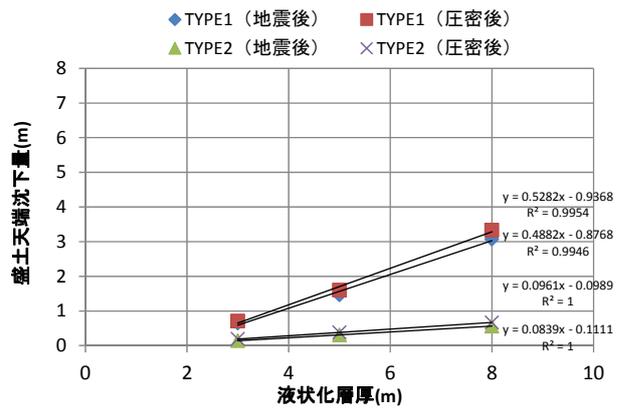


図-9 液状化層厚-盛土天端沈下量(大方砂質土 GL-8m)

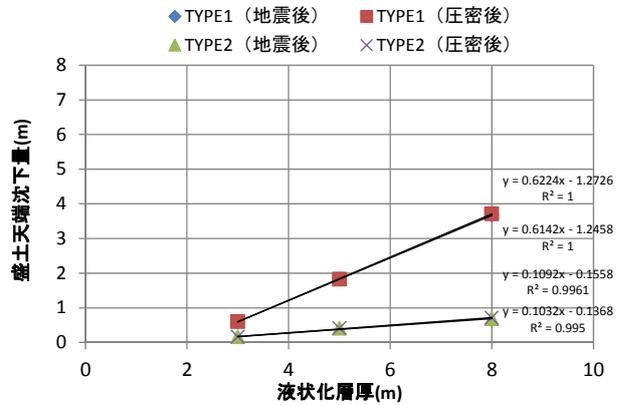


図-10 液状化層厚-盛土天端沈下量(仁淀川砂礫)

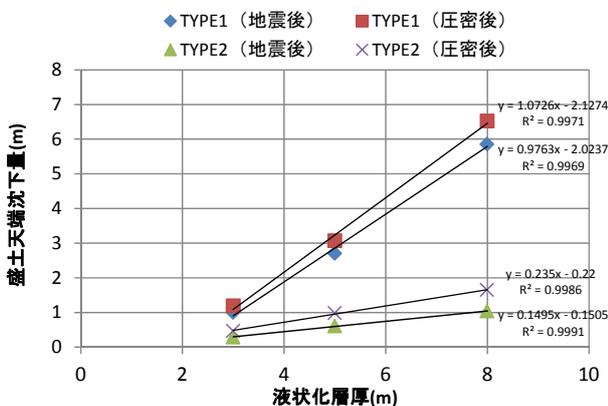


図-7 液状化層厚-盛土天端沈下量(淀川砂質土)

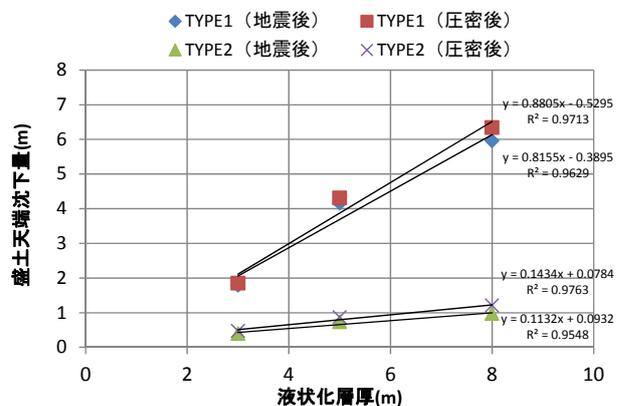


図-11 液状化層厚-盛土天端沈下量(神崎川シルト)

5. 基礎地盤の違いによる盛土天端沈下量の簡易予測手法の提案

液状化地盤および液状化層厚の違いによる盛土天端沈下量の関係から、液状化地盤上に敷設する道路盛土の天端沈下量を簡易的に予測する手法について検討し、課題も含めて整理した。

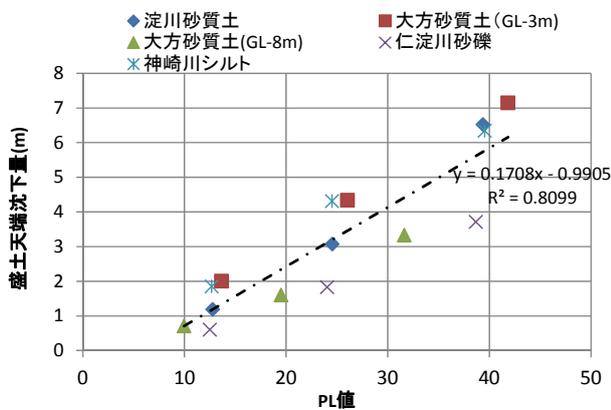
簡易予測手法のための液状化地盤の指標は、液状化危険度の判定指標としても広く用いられており、ボーリング調査や標準貫入試験結果からも算出が可能である PL 値¹⁹⁾とした。PL 値と盛土天端沈下量の相関を図-12 に示す。図-12 より、タイプ I、タイプ II 地震動共に仁淀川砂礫地盤における同一 PL 値での盛土天端沈下量が他の地盤に比べて小さい傾向が見られる。これは、前述の通り仁淀川砂礫地盤の透水係数が他の地盤に比べて高いことから、天端沈下量が液状化強度の割に小さいことに起因すると考えられる。

この傾向を踏まえて、天端沈下量の簡易予測をする際は、透水係数のオーダーが異なる砂礫地盤と砂質地盤で評価手法を変えることが、実務上有効であると考えられる。

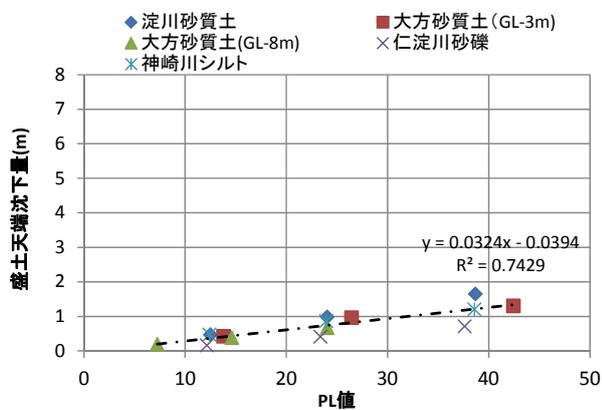
簡易予測手法の改善案として、仁淀川砂礫の PL 値を

0.65 倍に低減させて盛土天端沈下量との相関を取ったものを図-13 に示す。タイプ I、タイプ II 両地震動共に、回帰直線の R²値が 0.9 以上となり、全ての地盤において概ね精度の良い評価式の算定が可能となる。ただし、この低減率はあくまでも仁淀川砂礫のみの検討結果より算出されたものであるため、特に砂礫地盤を評価する際には簡易予測手法の適用に注意が必要である。

また、タイプ I 地震動とタイプ II 地震動で、同一 PL 値における盛土天端沈下量に大きな差が有ることも特徴の一つである。これは、東北地方太平洋沖地震のような非常に長い継続時間の地震動による影響が PL 値や FL 値に十分反映されていないことや、継続時間の長い地震動に対する有効応力解析の精度にバラつきがある²⁰⁾ことが原因と考えられる。よって、現段階では PL 値を基準とした評価式はタイプ I 地震動とタイプ II 地震動それぞれに設定しておくのが妥当であろう。

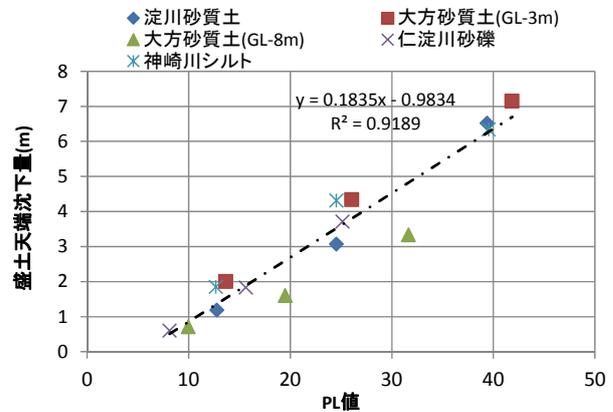


(a)タイプ I 地震動

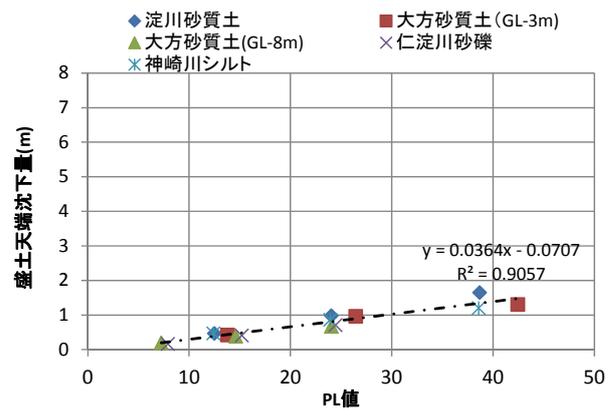


(b)タイプ II 地震動

図-12 PL 値-盛土天端沈下量



(a)タイプ I 地震動



(b)タイプ II 地震動

図-13 PL 値-盛土天端沈下量(仁淀川砂礫 PL 値補正後)

6. まとめ

一連の検討結果より、沿岸部に敷設する道路盛土の天端沈下量の評価手法について、以下の知見が得られた。

- ・ 高知県を例として、沿岸部沖積層の堆積状況の傾向を分析すると、①礫主体、②砂主体、③シルト主体の三種類に分類され、その中でも特に礫や砂主体の地盤が広く堆積している。
- ・ 上記に示す堆積状況を代表する地盤について、不攪乱試料による繰り返し非排水三軸試験を反映させた有効応力解析を実施し、液状化時の盛土天端沈下量を算定した。その結果、液状化層厚と盛土天端沈下量は地盤の種類によらず概ね比例関係にあることが分かった。
- ・ 有効応力解析結果を元に、PL 値を用いた盛土天端沈下量の簡易評価手法を提案した。ただし、礫質土地盤については同一の液状化強度を有する砂質土地盤に比べて沈下量が小さくなる傾向に有ることから、これを評価に反映させる必要がある。

また、本報で示した簡易評価式は液状化地盤の特性を広く反映したものであるが、更に異なる地盤に対する結果を集積することにより、評価式の精度は上がるものと考えられる。また、本評価式には盛土高や盛土形状と言った盛土条件の条件の違いが反映されていないため、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 南海トラフ地震対策中部圏戦略会議：中部圏地震防災基本戦略【第一次改訂】，2014。
- 2) 地盤工学会：地震時における地盤災害の課題と対策 2011 年東日本大震災の教訓と提言，2011。
- 3) 日本道路協会：道路土工盛土工指針，pp.83-90，2010。
- 4) 高知県：第 3 回高知県地震・津波防災技術検討委員会資料，2013。
- 5) 国土地理院：地理院地図
- 6) 全国地質調査業協会連合会：四国地盤情報データベース
- 7) 松田誠祐，玉井佐一：浦戸湾地域の開発と防災の歴史的变化，自然災害科学，13(3)，pp.271-285，1995。

- 8) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M., and Uzuoka, R.: FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, *Applied Scientific Research*, Vol. 52, pp.209-245, 1994.
- 9) 岡二三生，小高猛司，小谷優佳：地震時の河川堤防の動的変形解析，第 37 回地盤工学研究発表会，pp.1291-1292，2002。
- 10) 原 忠，坂部晃子，黒田修一，栗林健太郎，平口正雄：液状化後の過剰間隙水圧消散に伴う変形特性に及ぼす影響因子の分析，平成 26 年度土木学会四国支部技術講演発表会梗概集，pp.157-158，2014。
- 11) 栗林健太郎，原 忠，品川大地，黒田修一：沿岸部に敷設する道路盛土の耐震性能設計に関する一考察，第 19 回性能に基づく橋梁等の性能設計に関するシンポジウム，pp.313-318，2016。
- 12) 原 忠，坂部晃子，沼田淳紀，三村佳織：三軸試験による丸太打設後の浅層地盤の液状化検討，第 49 回地盤工学研究発表会，pp.1603-1604，2014。
- 13) 渦岡良介：地盤の液状化発生から流動までを予測対象とする解析手法に関する研究，2001。
- 14) 川尻峻三，三浦みなみ，高橋正和，鳥居宣之，川口貴之，渋谷啓：締固めた細粒分質礫質砂の広範囲のひずみレベルにおける変形・強度特性，応用力学論文集，Vol.13，pp.355-362，2010。
- 15) 加藤喜則，長尾和之，北村佳則，藤岡一類，三嶋信雄，黛 廣志，山辺 晋：原位置から推定される高速道路盛土の力学性能～N 値と Vs～，第 39 回地盤工学研究発表会，pp.1313-1314，2004。
- 16) 福岡保：標準打ち込み試験の実用性拡張の問題，土と基礎，Vol.4，No.2，pp.11-17，1956。
- 17) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012。
- 18) 緒方健治，安田進：礫を含んだ不攪乱土の動的変形特性，第 17 回土質工学研究発表会，pp.1609-1612，1982。
- 19) 吉澤睦博，酒井久和，渦岡良介：河川堤防の耐震性評価における継続時間の長い地震動に対する有効応力解析の適用性の検討，土木学会構造工学論文集，Vol.55A，pp.415-420，2009。
- 20) 岩崎敏男，龍岡文夫，常田賢一，安田進：地震時の地盤液状化の程度の予測について，土と基礎，Vol.28，No.4，pp.23-29，1980。

SUGGESTION OF A CHARACTERISTIC OF THE SEISMIC DEFORMATION AND THE SIMPLE EVALUATION METHOD IN A ROAD EMBANKMENT LAYING IN THE COAST

Kentaro KURIBAYASHI, Tadashi HARA, Shuichi KURODA

Based on a lesson by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, an embankment attracts attention as tsunami restraint measures of the coast for the large-scale earthquake again. However, road function is more likely to be inhibited by embankment damage by the liquefaction of the foundation ground because alluvion by a stream deposit and the coastal sediment is distributed over the coast widely. We arranged a characteristic of the sedimentary layer of the coast from landform division and grain size analysis result for local coast in Kochi where serious damage was concerned about in Nankai Trough earthquake systematically. Furthermore, we conducted effective stress dynamic analysis based on the two

dimensions finite element method using the result of the cyclic undrained triaxial test in various liquefaction ground represented in the coast and arranged it about liquefaction characteristic of the ground and concern of the deformation of the embankment. In reference to the result, we suggested simple evaluation method of the settlement of the road embankment which laid it on the liquefaction ground and gathered up the problem.