

液状化地盤上に敷設される道路盛土の 天端沈下量に対する数値解析に基づく評価

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

現行の道路盛土設計では、レベル 2 地震時において地震後の盛土変形量に対する性能照査を実施することとされている。しかし、その評価手法については具体的な方法が明記されていないため、設計者の判断に委ねられている部分が多く、個々の評価手法に対する課題の抽出や体系的な整理が求められている。筆者らは、液状化地盤上に敷設される道路盛土に着目し、盛土高、天端幅、盛土勾配と言った盛土形状や締固め条件の違いによる盛土天端の沈下量の変化を 2 次元有限要素法を用いた有効応力動的解析により算出し、液状化時の盛土天端沈下量に影響を与える盛土条件について整理した。その結果、盛土天端沈下量は天端幅に対する盛土高の比と概ね比例関係にあり、この結果を元に、同一地盤上に敷設する道路盛土に対して盛土形状から天端沈下量を簡易的に評価する手法を提案した。

Key Words: *liquefaction, , performance design, road embankment*

1. はじめに

盛土構造物は、施工面や経済面で他の構造物に対して優れており、地震等の災害後においても復旧が容易であることから、道路盛土や鉄道盛土を始め各方面で広く用いられている。

また、近年では盛土構造物に対しても性能設計体系が導入され、設計の自由度が増して個々の現場条件に対して柔軟に対応できるようになり、盛土設計において更なる合理化が期待できる半面、照査基準や照査手法が明確でない中で技術者の判断に委ねられることによる照査の不確実性や、現在の技術では直接的に評価しきれない部分が残っている等課題も残されており¹⁾、個々の条件に対する設計手法や評価手法の体系的な整理が求められている。

特に、レベル 2 地震動に対して、現行の道路盛土構造物の設計指針²⁾では盛土の変形量に対する性能照査を実施することとなっている。ただし、道路盛土の変形量照査において、①盛土変形量の許容値の設定、②盛土変

形量の算出方法の選定、の 2 点が課題として挙げられる。

盛土変形量の許容値については、過去の被災事例³⁾や実車両の段差走行実験結果⁴⁾等から、構造物取り合い部の段差量の許容値として、地震後に要求される道路機能を勘案しながら設定されることが多い。

一方で、現行の設計基準における盛土変形量の算出方法は、安定計算に置き換えて所定の安全率が確保できていることを照査する方法と、残留変形解析等により盛土の変形量を直接算出する方法に大別される。近年では、盛土及び基礎地盤の残留変形解析手法の向上により盛土構造物の地震後の変形量を比較的容易かつ精度よく求めることができるようになったことから、道路盛土においても採用する事例が増加している。

残留変形解析手法としては、盛土そのもののすべり変形についてはニューマーク法⁵⁾、液状化等による基礎地盤の変状を含む盛土の変形については有限要素法を用いた弾塑性解析⁶⁾⁷⁾が一般的に用いられている。しかし、これらの手法は解析や解析に必要な地盤調査に時間と手間を要するため、対象となる路線の地盤条件や盛土

条件から変形量が厳しいと想定される断面を代表断面として設定し、この代表断面における変形量に対して照査を実施するにとどまっている。

ここで、これまでの地震被災後の道路通行実績より、盛土天端の沈下が道路機能に影響を与えるのは、橋台背面や道路横断カルバートとの取り合い部に発生する段差量であることは明らかである。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、代表断面で算出される変形量のみで路線全体を評価することは過度に安全側に評価している可能性が高い。

以上から、レベル2地震時における道路盛土の性能照査を実施する上で、道路縦断方向の盛土変形量の変化を簡便に評価する手法が有効である。

筆者らは、特に液状化地盤上に敷設する道路盛土に着目する。道路盛土の変形量に影響を及ぼす要因としては、①基礎地盤の液状化強度および層厚、②盛土高や締固め度等の盛土条件、の2点が挙げられる。このうち、基礎地盤の液状化強度及び層厚については、既往の解析事例⁸⁾⁹⁾より同一の盛土条件下において盛土天端の沈下量は基礎地盤のPL値¹⁰⁾と概ね比例関係にあることが報告されている。

本報では、もう一つの要因である盛土条件の違いが盛土天端の沈下量に与える影響を評価するため、基礎地盤の条件を一定として盛土条件を様々に変化した数値解析を実施し、地震後に発生する盛土天端の沈下量へ及ぼす影響を評価した。

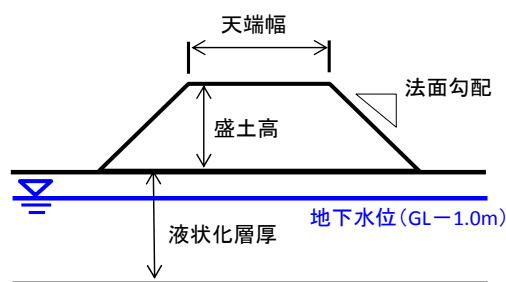


図-1 盛土条件概念図

2. 解析ケース

道路盛土の条件として、道路盛土の形状及び締固め度に着目して解析ケースを設定した。解析ケースの一覧を表-1に示す。各盛土条件の概念図を図-1に示す。盛土直下の基礎地盤には液状化層を設け、基礎地盤の地下水位はGL-1.0mとした。

(1) 盛土高

盛土高は、小段を有しない一般盛土の標準的な高さとして、3m、5m、7mの3種類を対象とした²⁾。

(2) 天端幅

盛土の天端幅は、二車線道路を想定した9mおよび四車線道路を想定した18mの2種類を対象とした¹¹⁾。盛土高は3mおよび5mとし、天端幅の違いが盛土高一天端沈下量の関係に与える影響を評価する。

表-1 検討ケース一覧

検討ケース	形状	盛土高	天端幅	法面勾配	締固め度	液状化層厚	PL値(基礎地盤のみ考慮)	
		(m)	(m)			(m)	タイプⅠ	タイプⅡ
CASE1		3	18	1:1.8	Dc=95%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE2		5	18	1:1.8	Dc=95%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE3		7	18	1:1.8	Dc=95%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE4		3	9	1:1.8	Dc=95%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE5		5	9	1:1.8	Dc=95%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE6		3	18	1:1.5	Dc=95%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE7		5	18	1:1.5	Dc=95%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE8		3	18	1:1.8	Dc=85%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7
CASE9		5	18	1:1.8	Dc=85%	3	12.8	12.5
						8	39.4	38.7

(3) 盛土勾配

盛土勾配は、一般道路盛土の標準値として 1 : 1.8 および 1 : 1.5 の 2 種類を対象とした²⁾。盛土高は 3m および 5m とし、盛土勾配の違いが盛土高一天端沈下量の関係に与える影響を評価する。

(4) 盛土の締固め度

盛土の締固め度 (Dc) は、各種基準によって施工管理値が規定されている。例えば、一般道路盛土の基準としては Dc=90% 以上²⁾、高速道路盛土では Dc=92% 以上¹²⁾ という管理値が設定されている。ただし、実施工においては管理値の下限値を仮に Dc=90% 設定していたとしても実績としては Dc=90%~100% 以上のばらつきを示し、その分布は概ね正規分布となる¹³⁾。よって、施工管理が十分な一般盛土については Dc=95% として材料物性を設定するのが妥当であると言える。

また、比較対象として締固めが不十分な緩い土についても検討する。締固め度が 90% を下回ると、盛土材料の非排水せん断時におけるピーク強度と残留強度の差が見られなくなり、材料に期待できるせん断強度が十分に発揮されないことが既往の実験より指摘されている¹⁴⁾。また、過去の地震で道路盛土に有害な変形や崩壊が生じた盛土材料の締固め度は概ね 85%~90% 程度であり¹⁵⁾、盛土材料を対象とした既往の実験における締固め度の最小値は概ね Dc=85% であった¹⁴⁾。

以上から、盛土の締固め度は Dc=95%、Dc=85% の 2 種類を対象とした。盛土高は 3m および 5m とし、盛土の締固め度の違いが盛土高一天端沈下量の関係に与える影響を評価する。

(5) 基礎地盤

基礎地盤のうち、表層の液状化層が盛土条件一天端沈下量の関係に与える影響を評価するため、全ての盛土条件の検討ケースに対して、盛土直下の液状化層が薄い場合 (液状化層厚 3m) および液状化層が厚い場合 (液状化層厚 8m) の 2 パターンについて解析を実施した。それぞれの液状化層厚に対する PL 値¹⁰⁾ の算定結果も表-1 に示している。PL 値の算出に用いる FL 値は、道路橋示方書¹⁶⁾ に従って I 種地盤および地域区分 A1 における値を算出した。液状化層の液状化強度比 RL は、後述の表-4 に示す繰り返し三軸強度比 RL₂₀ を元に算出した。

3. 解析手法および地盤条件

(1) 解析手法

表層地盤の液状化による盛土天端の沈下量を有効応力動的解析により算定した。有効応力動的解析には、液状

化時の変形および過剰間隙水圧消散時の解析が可能であり、盛土の液状化被害に対する再現解析や新規道路盛土の性能照査に広く利用されている LIQCA⁷⁾ を使用した。

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 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算定した。

(2) 地盤条件

盛土および基礎地盤 (液状化層、非液状化層) の解析物性値を表-2 に示す。

盛土は弾塑性要素の Oka モデル⁷⁾ によりモデル化する。盛土材料は砂質土を想定し、締固め度に応じて物性値を変化させた。変化させたパラメータは、初期間隙比、初期せん断弾性係数、せん断強度 (内部摩擦角) とした。初期せん断剛性は、川尻らの実験結果¹⁸⁾ より得られている盛土材料の締固め度 Dc とヤング率の関係から、Dc=85% 時のヤング率は Dc=95% 時の約 65% であることを引用して、Dc=95% 時の初期せん断剛性を 65% 低減させることにより Dc=85% 時の初期せん断剛性とした。Dc=95% 時の初期せん断剛性は、加藤らにより取りまとめられている高速道路盛土における盛土材料のせん断波速度 Vs の目安値¹⁹⁾ より求めた。初期間隙比は、福岡による N 値と間隙比の関係²⁰⁾ より算出した。N 値については、初期せん断剛性算出時と同様に加藤らの目安値

表-2 解析物性値

		弾塑性モデル			R-Oモデル
		盛土 (砂質土 Dc=95%)	盛土 (砂質土 Dc=85%)	液状化層 (過剰2000)	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	19.1	21.0
透水係数	$k(\text{m/s})$	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.3×10^{-5}	2.5×10^{-3}
初期間隙比	e0	0.70	0.75	0.80	0.75
せん断波速度	$V_s(\text{m/s})$	250	200	180	300
初期せん断弾性係数	$G_{\text{max}}(\text{kN/m}^2)$	1.21×10^5	7.88×10^4	4.45×10^4	1.93×10^5
粘着力	$c(\text{kN/m}^2)$	0.0	0.0	0.0	0.0
内部摩擦角	$\Phi(^{\circ})$	40.0	30.0	39.0	40.0
圧縮指数	λ	3.41×10^{-3}	5.39×10^{-3}	2.5×10^{-2}	—
膨潤指数	κ	3.41×10^{-4}	5.39×10^{-4}	2.5×10^{-3}	—
擬似過圧密比	OCR*	1.000	1.000	1.000	—
初期せん断係数比	G_0/cm^2	1913	1244	681	—
変相応力比	Mm	0.909	0.909	0.980	—
破壊応力比	Mf	1.336	0.980	1.300	—
硬化関数パラメータ	B0	4296	3809	2500	—
"	B1	43	38	25	—
"	Cf	—	—	0.00	—
規準ひずみ (塑性)	γP^*r	—	—	0.0020	—
規準ひずみ (弾性)	γE^*r	—	—	0.020	—
ダイラシ係数	D0	—	—	1.000	—
"	n	—	—	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

および川尻らの実験結果から、 $D_c=95\%$ 時で N 値=15、 $D_c=85\%$ 時で N 値=10 とした。せん断強度は、清田らによって取りまとめられている締固めエネルギー IE_c 基準時における締固め度 D_c と最大内部摩擦角 ϕ の関係¹⁴⁾ から、 $D_c=95\%$ 時で $\phi=40^\circ$ 、 $D_c=85\%$ 時で $\phi=30^\circ$ とした。弾塑性パラメータについては、上記の物性値を元に LIQCA における標準的な設定方法²¹⁾ に従い設定した。

液状化層は盛土と同様に弾塑性要素の Oka モデルによりモデル化する。液状化層のパラメータは、過去の地震で液状化により被災した盛土構造物の再現解析時に設定されたものとして、1996 年兵庫県南部地震において被災した淀川河川堤防の再現解析に用いられた、堤防直下砂質土層のパラメータ¹⁷⁾ を用いた。砂質土層の物理特性を表-3 に示す。ただし、繰返し三軸強度比 RL_{20} は試験値が得られていないため、要素シミュレーション結果からの読み取り値である。

非液状化層は Ramberg-Osgood モデルによりモデル化

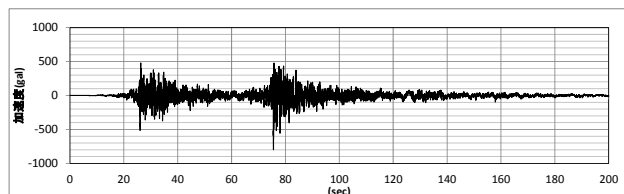
表-3 液状化地盤の物理特性

平均N値	平均粒径	細粒分含有率	繰返し三軸強度比 ($DA=5\%$)
	D_{50} (mm)	Fc (%)	RL_{20}
13	0.246	15	0.22

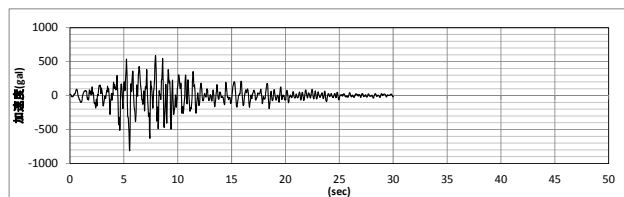
し、道路橋示方書¹⁶⁾ における工学的基盤相当である $V_s=300\text{m/s}$ の砂礫地盤を想定した。砂礫地盤の剛性および減衰定数のひずみ依存特性は、緒方らの動的変形試験結果²²⁾ を参照した。

(3) 入力地震動

道路橋示方書¹⁶⁾ より、I 種地盤におけるタイプ I (海溝型) 地震動から平成 23 年東北地方太平洋沖地震における開北橋周辺地盤上観測波 EW 成分を、タイプ II (内陸型) 地震動から平成 7 年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台地盤上観測波 NS 成分を入力地震動として用いた。入力地震動の加速度時刻歴を図-2 に示す。



(a)タイプ I 地震動



(b)タイプ II 地震動

図-2 入力地震動

4. 各盛土条件に対する盛土天端沈下量への影響

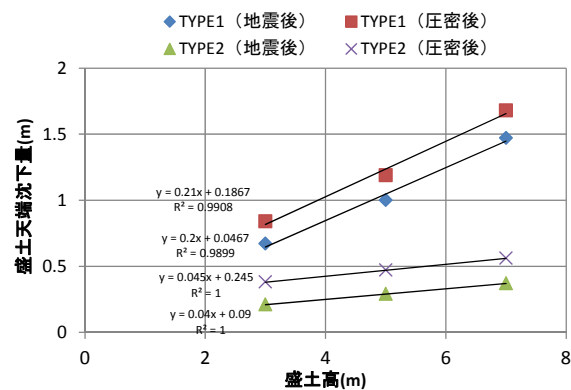
各ケースの解析結果を元に、それぞれ設定した盛土条件が盛土天端沈下量に及ぼす影響について整理する。盛土天端沈下量は、左右法肩および盛土中央の 3 点の沈下量の平均値とした。

(1) 盛土高の影響 (CASE1~3)

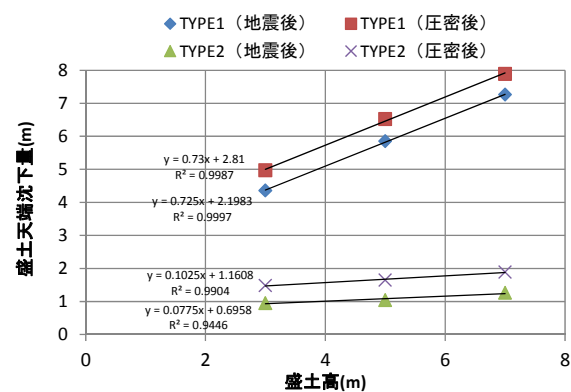
盛土高と盛土天端沈下量の相関図を図-3 に示す。図-3 より盛土高と盛土天端沈下量の関係について以下の特徴が挙げられる。

- ・盛土天端沈下量は、地震時終了時および圧密完了時共に液状化層の厚さに関わらず盛土高と概ね比例関係にある。
- ・地震終了時と圧密完了時の盛土天端沈下量の差は、盛土高によらず概ね一定である。
- ・タイプ 2 地震動に比べて、タイプ 1 地震動の方が盛土高に対する盛土天端沈下量および沈下量の増分が大きい。

以上から、盛土高と盛土天端沈下量には明確な相関が見られた。後述する盛土条件 (天端幅、盛土勾配、締固



(a)液状化層厚 3m



(b)液状化層厚 8m

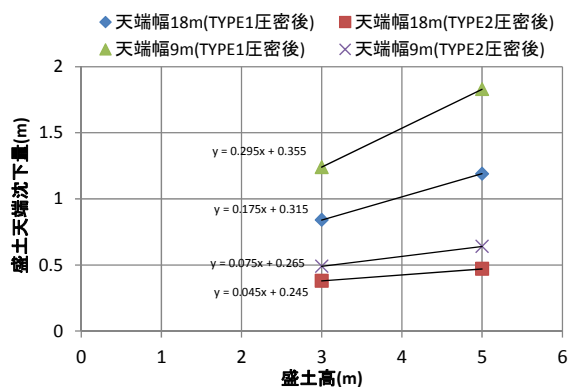
図-3 盛土高—天端沈下量の相関

め度) については、盛土高と圧密完了時における盛土天端沈下量の相関図を基本とし、盛土条件の違いによる相関関係の変化を確認する。

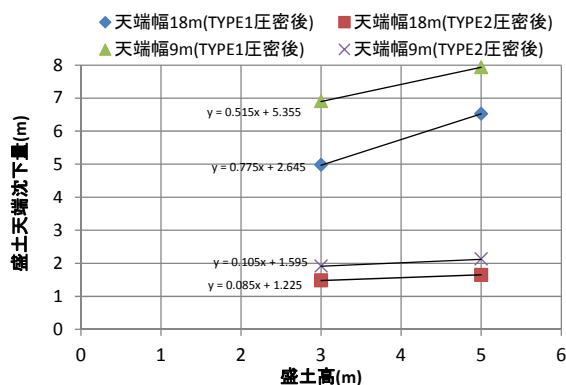
(2) 天端幅の影響 (CASE1, 2, 4, 5)

天端幅の違いに着目した盛土高と盛土天端沈下量の相関図を図-4に示す。

天端幅が広いほど、盛土天端沈下量は小さくなる。これは、同じ盛土高であっても天端幅が広い方が、盛土直下地盤の平均有効主応力が大きくなることが要因であると考えられる。



(a)液状化層厚 3m



(b)液状化層厚 8m

図-4 天端幅の違いによる盛土高一天端沈下量の相関

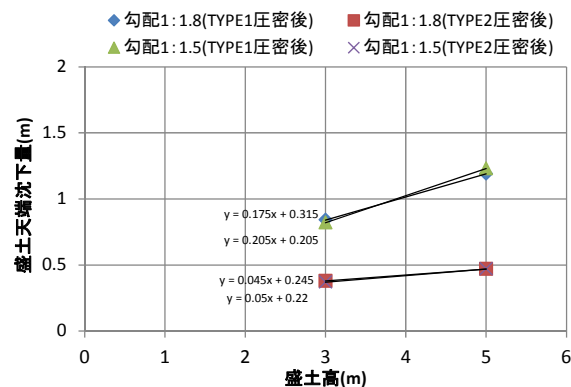
(3) 盛土勾配の影響 (CASE1, 2, 6, 7)

盛土勾配の違いに着目した盛土高と盛土天端沈下量の相関図を図-5に示す。

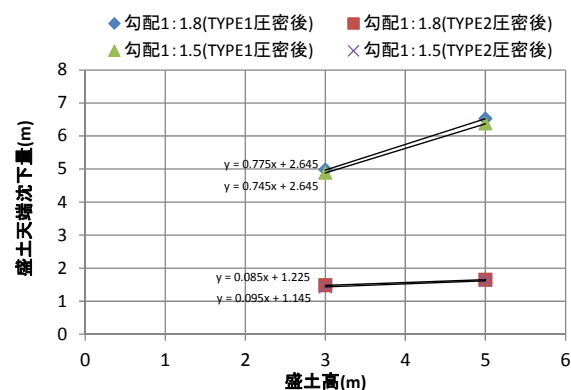
盛土勾配の違いでは、盛土天端沈下量には大きな差は見られなかった。これは、盛土勾配の変化は盛土高や天端幅に比べて盛土全体の大きさにあまり変化は無く、盛土直下地盤へ与える影響が小さいことによるものと考えられる。

(4) 締固めの影響 (CASE1, 2, 8, 9)

盛土の締固め度の違いに着目した盛土高と盛土天端沈下量の相関図を図-6に示す。

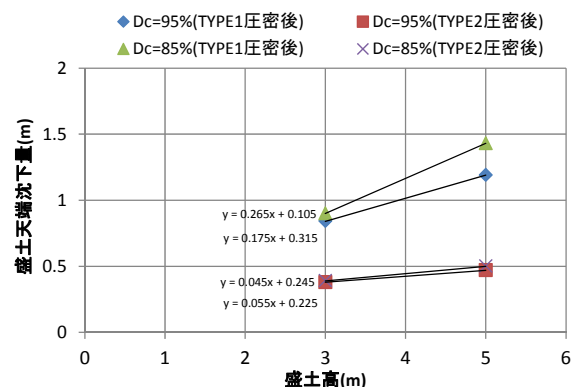


(a)液状化層厚 3m

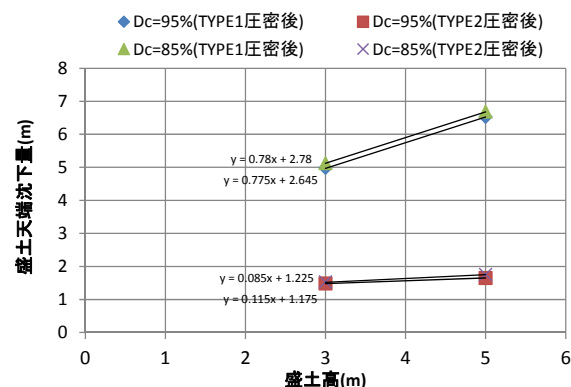


(b)液状化層厚 8m

図-5 盛土勾配の違いによる盛土高一天端沈下量の相関



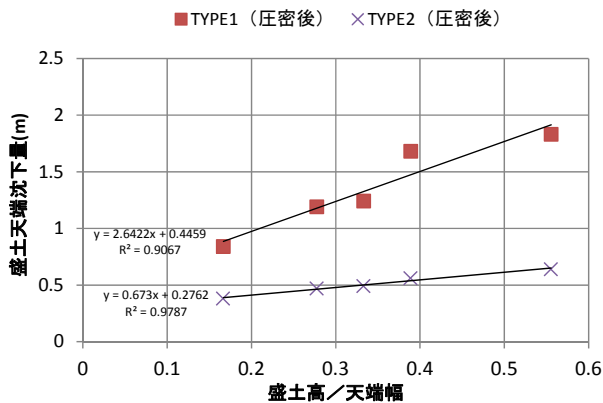
(a)液状化層厚 3m



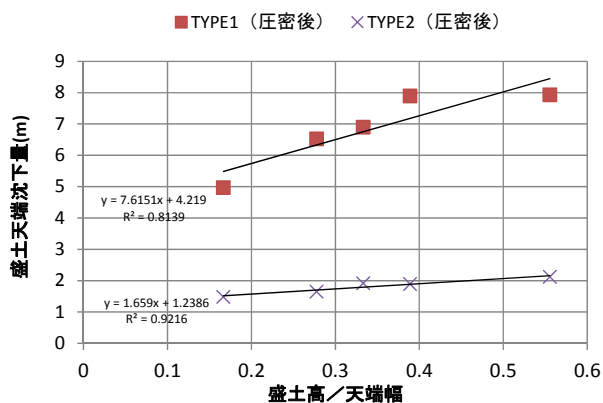
(b)液状化層厚 8m

図-6 締固め度の違いによる盛土高一天端沈下量の相関

締固め度が緩い（ $D_c=85\%$ ）盛土の方が、盛土天端沈下量は大きくなった。しかし、液状化層が薄くなると盛土高と盛土天端沈下量の相関が確認できるが、盛土の締固め度が盛土天端沈下量に与える影響は盛土高や天端幅に比べると小さい。これは、液状化地盤上の盛土における地震時の天端沈下量は、盛土そのものの強度や剛性よりも直下の液状化層の挙動に強く支配されることを示していると考えられる。



(a)液状化層厚 3m



(b)液状化層厚 8m

図-7 盛土高/天端幅—天端沈下量の相関

5. 液状化地盤上の道路盛土の耐震性能設計における盛土条件の評価

盛土条件の異なるモデルによる有効応力動的解析の結果、盛土天端沈下量に与える影響が大きい因子としては盛土高および天端幅が挙げられ、盛土勾配や盛土材料の締固め度にはあまり影響しないことが分かった。これは、液状化地盤上の盛土に生じる地震時の変形量は、盛土そのものの条件では無く、液状化地盤に与える影響、特に盛土による上載荷重の大きさおよび作用範囲と強い関係が有ることを示している。

ここで、盛土高および天端幅を複合的な要因と見立て

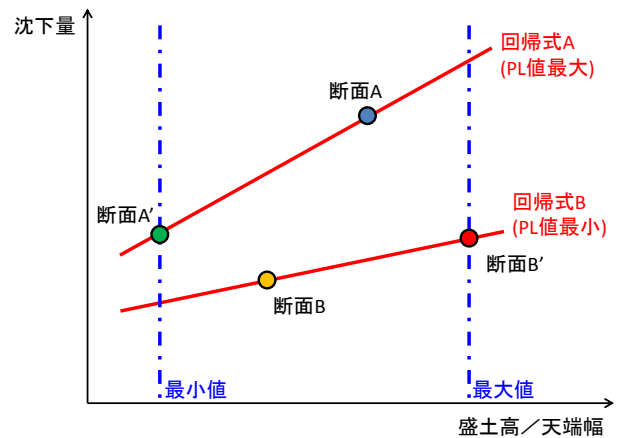


図-8 盛土天端沈下量の簡易評価手法概念図

て、天端幅に対する盛土高の比と盛土天端沈下量の相関図を図-7に示す。図-7より、盛土天端沈下量は天端幅に対する盛土高の比と概ね比例関係にあることが分かる。

以上から、道路盛土の天端沈下量は、盛土高、盛土天端幅、基礎地盤の3つの因子により簡易的に評価が可能であると考えられる。

筆者らは、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として、以下に示す手法を提案する。また、簡易評価手法の概念図を図-8に示す。

- ① 液状化が懸念される対象区間において、液状化による変状が最も大きい（PL 値が大きい）と考えられる代表断面 A、最も小さい（PL 値が小さい）と考えられる代表断面 B を選定する。
- ② 代表断面 A、B に対して、有効応力動的解析等により盛土天端沈下量を算出する。
- ③ 代表断面 A、B の盛土高/天端幅、および対象区間における盛土高/天端幅の最大値と最小値を算出する。
- ④ 代表断面 A、B について、基礎地盤の条件はそのままに、盛土高/天端幅が最大となる断面か最小となる断面のうち、当初断面の盛土高/天端幅との差が大きい断面に変更したケース（断面 A'、B'）について、②と同様に盛土天端沈下量を算出する。
- ⑤ ②および④で算出した盛土天端沈下量と盛土高/天端幅の関係をプロットし、基礎地盤条件（PL 値）ごとに結んだ回帰式を求める。
- ⑥ ⑤で求めた回帰式を用いて、任意の盛土高/天端幅に対する盛土天端沈下量を算出する。また、PL 値と盛土天端沈下量にも比例関係が成立する⁸⁾⁹⁾ことから、PL 値が異なる場合は回帰式の線形補間により盛土天端沈下量を求める。

ここで、タイプ I 地震動の解析結果において、液状化

層厚が厚いケースで盛土高以上の盛土天端沈下量が発生している。代表的なケースとして、CASE3 の盛土形状で液状化層厚 8mにおけるタイプⅠ地震動とタイプⅡ地震動の残留変形図を示す。タイプⅠ地震動は、盛土直下の液状化地盤が大きく変形し、盛土が液状化地盤内に減り込む様な変形モードとなっている。

この点について、吉澤ら²³⁾は継続時間の長い地震動において過剰間隙水圧上昇後の応力-ひずみ関係を十分に評価できておらず、有効応力解析の精度にバラつきがあることを指摘している。よって、タイプⅠ地震動における有効応力動的解析を用いた盛土天端沈下量については、その妥当性について注意する必要がある。

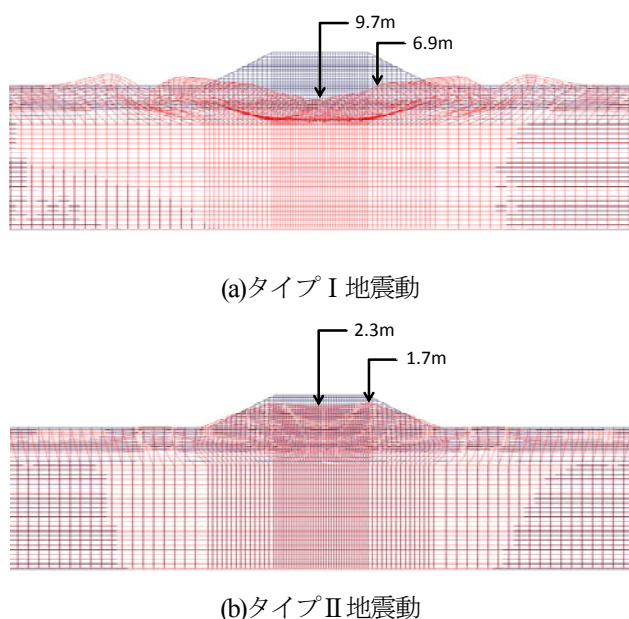


図-9 残留変形図の例 (CASE3, 圧密終了時)

5. まとめ

一連の解析結果より、液状化地盤上に敷設する道路盛土の天端沈下量に対する評価について、以下の知見が得られた。

- ・ 盛土天端沈下量に影響を与える盛土条件は、盛土高と天端幅である。これらは、盛土による上載荷重の大きさおよび作用範囲に結びつく因子であり、盛土そのものの状態よりも盛土直下地盤の液状化の程度が天端沈下量と強い関係が有ることを示している。
- ・ 天端幅に対する盛土高の比と盛土天端沈下量は概ね比例関係にあり、この関係を元に盛土天端沈下量の簡易評価を行うことができる。
- ・ 盛土の各条件に比べて、液状化地盤の特性（液状

化層厚）の方が、盛土天端沈下量に与える影響が大きい。

- ・ PL 値が同程度であるにも関わらず、タイプⅠ地震動の方がタイプⅡ地震動に比べて盛土天端沈下量が明らかに大きい。これは、継続時間の長い地震動に対する有効応力解析の精度が原因の一つにあり、今後解決すべき課題であるとともに、タイプⅠ地震動に対する盛土天端沈下量については、その妥当性について十分検討する必要がある。

なお、今回提案した簡易評価手法は、道路縦断方向に連続的に盛土天端沈下量を推定できる点で効果的であるが、ベースとなる変形量を求めるために代表断面に対する有効応力解析が必要となってくる等、作業量としては従来の評価手法とあまり変わらない。今後、種々の液状化地盤に対する天端沈下量の傾向を分析することにより、ボーリング柱状図等の地盤情報のみで天端沈下量を推定できるような簡易評価手法が作成されることを期待する。

参考文献

- 1) 地盤工学委員会・土構造物の性能評価に関する研究小委員会 WG(1): 盛土構造物の性能規定化における課題と展望, 土木学会論文集, Vol.63, No.4, pp.993-1000, 2007.
- 2) 日本道路協会: 道路土工盛土工指針, 2010.
- 3) 日本道路協会: 道路震災対策便覧 (震災復旧編), 2007.
- 4) 依藤光代, 常田賢一: 地震時の段差被害に対する補修と交通開放の管理・運用方法について, 平成 19 年度近畿地方整備局研究発表会, 防災・保全部門 No.16, 2007.
- 5) 東日本高速道路, 西日本高速道路, 中日本高速道路: 設計要領第一集 土工編, 2009.
- 6) 安田進, 吉田望, 安達健司, 規矩大義, 五瀬伸吾, 増田民夫: 液状化に伴う流動の簡易評価手法, 土木学会論文集, No.638/III-49, pp.71-89, 1999.
- 7) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M., and Uzuoka, R.: FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elastoplastic model, Applied Scientific Research, Vol. 52, pp. 209-245, 1994.
- 8) 原 忠, 品川大地, 栗林健太郎, 黒田修一: 海岸平野部における道路盛土の耐震性能評価, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.1141-1142, 2016.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2015.
- 12) 東日本高速道路, 西日本高速道路, 中日本高速道路: 土工施工管理要領, 2016.

- 13) 龍岡文夫：盛土の締固め管理と設計の協働の必要性，基礎工，Vol.37，No.7，pp.2-9，2009.
- 14) 清田隆，原大地，清田健司，望月一宏，望月勝紀，永井裕之，龍岡文夫，：砂・礫質土系盛土材の変形強度特性に及ぼす締固め度の影響，基礎工，Vol.37，No.7，pp.27-35，2009.
- 15) 松尾修：道路盛土・河川堤防の設計と締固め，基礎工，Vol.37，No.7，pp.36-39，2009.
- 16) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2012.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) LIQCA 液状化地盤研究所：LIQCA2D16・LIQCA3D16（2016 年公開版）資料 第Ⅱ編実践編，2016.
- 22) 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.
- 23) 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.

EVALUATION BASED ON THE NUMERICAL ANALYSIS FOR THE SETTLEMENT OF THE ROAD EMBANKMENT LAID ON THE LIQUEFACTION GROUND

Kentaro KURIBAYASHI, Tadashi HARA, Shuichi KURODA

In the current design of road embankment, the performance design which paid its attention to embankment deformation after the earthquake at the time of the level 2 earthquake is conducted. However, there is much segment entrusted to a judgment of the designer because concrete means is not specified about the estimate method. Therefore, the extraction of the problem for each estimate method and systematical rearranging are demanded. We paid our attention to a road embankment laid on the liquefaction ground. Using effective stress dynamic analysis based on the two-dimensional finite element method, we calculated the settlement of the embankment by the difference of embankment height, crown width, gradient and the degree of compaction and arranged it about the parameter of the embankment which affected the deformation of the embankment by the liquefaction. As a result, the settlement of the embankment was almost proportion to ratio of the embankment height for the crown width. Using this result, we suggested method to calculate the settlement of the embankment from the shape of the road embankment which laid it on the same ground easily.