

レベル2地震に対する盛土の変形性能照査基準に関する事例報告

(株)エイト日本技術開発 正会員 ○片根弘人
同 上 正会員 金 聲漢, 黒田修一
同 上 佐々木秀典, 坂部晃子

1. 目的

平成 22 年の道路土工盛土工指針¹⁾の改定により、盛土の設計においても、レベル2地震に対する耐震性能を考慮することが義務付けられた。しかしながら、その後に発刊された道路土工軟弱地盤対策工指針 (H24)²⁾においても、その具体的な照査基準や照査手法は示されていない。このため、設計実務の現場においては、設計者が、道路管理者とともに、その都度、照査基準や照査手法を定め、設計に反映しているのが実情である。本報告は、このような実態に鑑み、レベル2地震を対象とした盛土の耐震設計における照査基準や照査手法の一事例を報告するものである。

2. 土工指針のレビューと関連基準の状況

表-1 に土工指針^{1, 2)}に示される盛土に求められる性能、照査項目、照査手法の一覧を引用して示す。レベル2地震に対しては、性能2 ないし 3 を求められ、基礎地盤、盛土の変形量により求められる性能が担保されているかどうかを照査することが求められている。この際の照査基準について具体的な数値は示されておらず、基礎地盤に液状化が生じる場合の照査手法として、ALID³⁾、LIQCA⁴⁾、FLIP⁵⁾が参考文献として示されているにとどまっている。一方、NEXCO⁶⁾では、高盛土の設計を対象としてニューマーク法により盛土の滑動変位を求めて、これを照査することを規定しているが、許容値については設定の考え方が示されているのみで具体的な数値までは記載されていない。

表-1 盛土の要求性能に対する限界状態と照査項目

要求性能	盛土の限界状態	構成要素	構成要素の限界状態	照査項目	照査手法
性能1	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が盛土の機能を確保でき得る限界の状態	基礎地盤	基礎地盤の力学特性に大きな変化が生じず、盛土、路面から要求される変位にとどまる限界の状態	変形	変形照査
				安定	安定照査
	盛土	盛土	盛土の力学特性に大きな変化が生じず、かつ路面から要求される変位にとどまる限界の状態	変形	変形照査
				安定	安定照査
性能2	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が修復を容易に行い得る限界の状態	基礎地盤	復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		盛土	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態	変形	変形照査
性能3	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が隣接する施設等への甚大な影響を防止し得る限界の状態	基礎地盤	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		盛土	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査

3. レベル2地震後の道路の性能に関する研究事例のレビューとこれに基づく性能照査基準の設定例

道路盛土のレベル2地震後の性能に関する規定や研究を下表に示す。これら文献を参考に表-2 に示すように照査基準を決定した。

- 1) 道路震災対策便覧（震災復旧編）H19.3 に示される道路盛土の被災パターン⁷⁾
- 2) 常田他：道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開発、ISSN 1883-3594, No. 17-4, 道路新技術会議道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No. 17-4, 平成 20 年 7 月⁸⁾
- 3) 日下, 安倍他：東北地方太平洋沖地震における高速道路盛土の被害のマクロ分析⁹⁾

表-2 性能照査基準と解析手法のまとめ

照査項目			照査基準		解析手法	
			設定値	理由	適用手法	理由
道路盛土(本線及びランプ)	① 基礎地盤	路面の段差変位	沈下量 50cm	・東日本震災におけるNEXCOの24時間以内での復旧実績を安全側に評価して決定。	FLIP	・基礎地盤の液状化に伴う沈下により発生する盛土と構造物との段差を求めるため、液状化による残留変形を精度よく求めることができる手法である。
	② 盛土	路面のすべり段差変位	25cm	・道路新技術会議(H20)での常田らによる報告におけるランク2(走行可能レベル)とした。	ニューマーク法を用いた円弧すべり解析	・盛土のすべりによる変位を求める手法として、NEXCO設計要領I集に示されているものである。鉄道でも本手法を用いており、盛土のすべり変位を求める手法としては一般的である。

なお、設計実務としての簡便さを考慮し、①基礎地盤の液状化に起因する変形量の照査と、②盛土本体の変形量の照査は、別々に行うものとし、過去の被災事例から前者は、主として道路盛土と構造物との接続部における道路の縦断方向の段差変位の照査として、後者は盛土のすべり破壊により道路盛土の縦断方向に連続して

発生したクラックや段差変位（本文ではすべり段差変位と称す）の照査として位置づけるものとした。

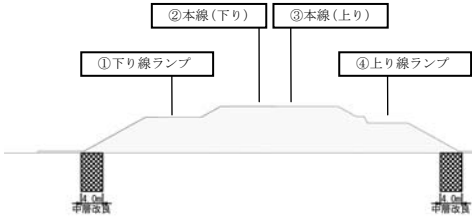
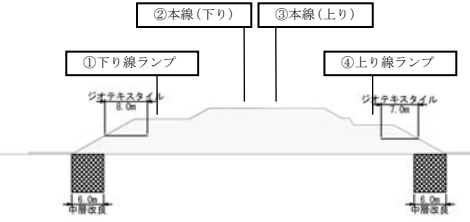
また、これら照査に用いる解析手法としては、路面の縦断方向の段差変位については動的変形解析 FLIP により、路面のすべり段差変位については、NEXCO や鉄道で用いているニューマーク法により行うものとした。

4. 試算事例

液状化の可能性がある基礎地盤上に計画された盛土高さ 9m 程度の道路盛土を対象とした試算例を以下に示す。なお、試算は常時、レベル 1 地震時のみを対象とした場合（ケース 1）と、3. に示した照査基準や照査手法に基づき、レベル 2 地震に対する性能を確保した場合（ケース 2）の 2 つのパターンを示している。ここで、ケース 1 における対策諸元を対策 A、ケース 2 における対策諸元の内、①基礎地盤の液状化に起因する変形量を 50cm に止めるために必要な対策を対策 B、②盛土本体の変形量を 25cm に止めるために必要な対策を対策 C と称す。

ケース 2 のレベル 2 地震までを対象とした場合、対策 A が固化改良幅 4.0m に対し、対策 B では固化改良幅 6.0m、対策 C としてジオテキスタイルの敷設が必要となる。これらの対策増による工事費は、全体で 400 万円程度の増となるが、その金額は全体工事費に対し大きなものではなく、また一方で、レベル 2 地震が発生した際の盛土の変形量は大幅に軽減されることがわかる。

表-3 試算結果

		ケース 1：常時・L1 地震を対象とした場合	ケース 2：L2 地震までを対象とした場合
概念図			
対策概要	盛土	—	対策 C 高強度ジオテキスタイル $\tau=50\text{kN/m}$, $L=7\sim 8\text{m}$
	基礎地盤	対策 A 中層混合処理 $B=4\text{m}$, $D=7\text{m}$, $q_u=200\text{kN/m}^2$, $ap=100\%$	対策 B 中層混合処理 $B=6\text{m}$, $D=7\text{m}$, $q_u=300\text{kN/m}^2$, $ap=67\%$
L2 地震後	縦断段差	104 cm (①下り線ランプ位置)	30 cm $\leq$ 50 cm (①下り線ランプ位置)
	すべり段差	41 cm (①下り線ランプ位置)	22 cm $\leq$ 25 cm (①下り線ランプ位置)
概算工事費 (100m あたり直工)		(地盤改良) $5,600\text{m}^3 \times 3.50 \text{ 千円/m}^3 \approx 19,600 \text{ 千円}$ 小計 19,600 千円 (1.00)	(ジオテキ) $1,500\text{m}^2 \times 0.85 \text{ 千円/m}^2 \approx 1,300 \text{ 千円}$ (地盤改良) $5,600\text{m}^3 \times 4.00 \text{ 千円/m}^3 \approx 22,400 \text{ 千円}$ 小計 23,700 千円 (1.21)

5. まとめ

本報告は、レベル 2 地震に対する照査基準を定め、それに基づく耐震設計を実施した事例を示したものである。本事例で示した照査基準、照査手法を用いた場合のレベル 2 地震を考慮することによる対策諸元の増大は、工事費として 2 割程度であり、限られた事例ではあるものの、本提案が設計実務に用いるものとしては、比較的リーズナブルなものであることを示していると考えられる。なお、本事例では基礎地盤の液状化に起因する盛土の残留変形量を求める手法として ALID を用いた場合も試算したが、この場合には表-3 に示した沈下量を大きく上回る結果が得られた。この一事例を持って結論することは難しいが、ALID を基礎地盤の液状化に起因する解析手法として用いる場合には、照査基準を大き目に設定することで対策諸元のバランスを確保することが必要となる。

参考文献

1) 道路土工 盛土工指針, 平成 22 年 4 月

2) 道路土工 軟弱地盤対策工指針, 平成 24 年 8 月

3) 安田 他: 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文 集 No. 638/III-49, pp. 71-89, 1999, 12

4) Oka, F., Yashima, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S.: A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic strain dependency of the shear modulus, Geotechnique, Vol. 49, No. 5, pp. 661-680, 1999.

5) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and

Foundations, Vol. 32, no. 2, pp. 1-15, 1992

6) 設計要領 第一集 土工編, 平成 25 年 7 月

7) 道路震災対策便覧(震災復旧編) 平成 18 年度改訂版, 平成 19 年 3 月, p. 66-70

8) 常田他: 道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開発, ISSN 1883-3594, No. 17-4, 道路新技術会議道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No. 17-4, 平成 20 年 7 月

9) 日下, 安倍他: 東北地方太平洋沖地震における高速道路盛土の被害のマクロ分析