

## 盛土の地震時残留変位に及ぼす地震動の影響について

西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 正会員 ○三好 忠和  
大阪大学 正会員 常田 賢一

### 1. はじめに

2009年に発生した駿河湾を震源とする地震により東名高速道路において盛土のり面が崩壊した。これを契機として被災盛土と類似の盛土に対する盛土のり面緊急点検が実施され、特に危険性の高い盛土については詳細調査・耐震性評価を行っている。その際、残留変位量による耐震性評価はニューマーク法によっているが、一般的には安全側とみなされる設計地震動が用いられている<sup>1)</sup>。しかし、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震を受けて設計地震動が見直され、地震動は継続時間が長く最大加速度も大きくなった。そのため、見直された地震動を用いると、従来は安全側とみなされていた地震動よりも残留変位量が大きく算定されることが懸念される。以上のことから、道路および関連施設の盛土のり面を対象に、タイプの異なる地震動について、地震応答解析およびニューマーク法により耐震性評価を行い、残留変位量に与える影響要因について検討し、従来の設計条件の課題・問題点についての知見を得たので報告する。

### 2. 対象盛土と検討条件

検討対象となった盛土の断面図を図-1に、各盛土の地盤定数を表-1に示す。レベル2地震動を考慮した地震時安定計算に用いる設計地震動については、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編(平成24年3月)」にプレート境界型地震を想定したタイプIと、内陸直下型地震を想定したタイプIIが示されている。従来の設計では、タイプIIの地震動を用いた方が残留変位量は大きくなるとされており、設計地震動としてタイプIIの標準加速度波形が用いられている<sup>1)</sup>。しかし、2011年の東北地方太平洋沖地震を受け、タイプIの標準加速度波形が、旧波形に比べて継続時間が長く、最大加速度も大きくなり、従来のタイプIの地震動よりも、残留変位量が増大することが想定される。図-2に地震応答解析および残留変位量算定(ニューマーク法)に用いた入力地震動波形の一例を示す。高さ30m程度以上の高盛土や傾斜地盤など不整形地盤上の盛土は、地表面とは異なる応答が予想されることから、すべり土塊の加重平均加速度の地震動である等価加速度波形を地震応答解析により算出し、ニューマーク法を行う際の地震動波形として用いた<sup>2)</sup>。

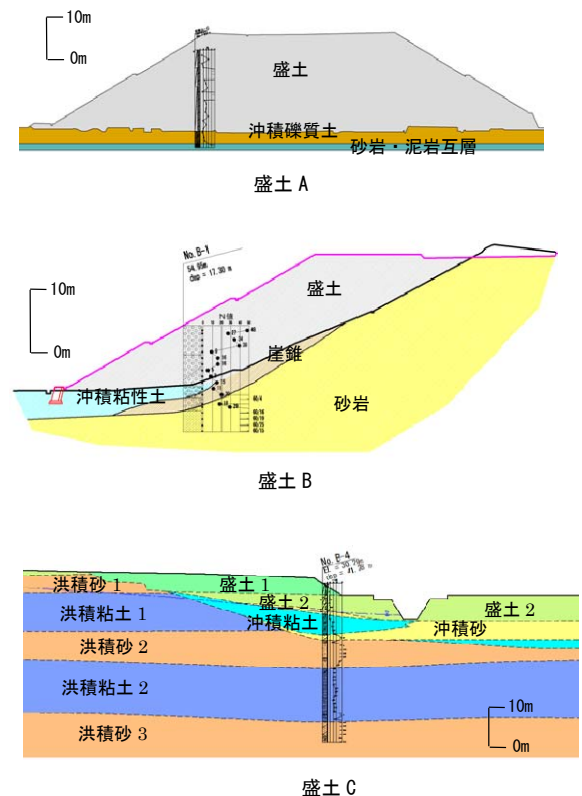


図-1 対象盛土断面図

### 3. 残留変位量と影響要因との相関

降伏震度  $k_y$  と残留変位量  $\delta$  との相関性について、地震動のタイプ別にまとめた。図-3に降伏震度  $k_y$  と残留変位量  $\delta$  との関係を示す。図-3には、許容変位量として100cmと50cmの2例を示した。地震災害の事例では、1m程度の変位であれば概ね1日以内に緊急車両が通行可能となるまでに復旧されたことが報告されており<sup>3)</sup>、盛土の要求性能として残留変位量100cmまで許容した。旧タイプIの地震動では降伏震度が0.1以下の場合(残留変位量が過大な場合)を除いて、タイプIIの地震動より残留変位量は小さく、従来の設計で問題はなかった。

キーワード 道路盛土, 地震動, 地震応答解析, ニューマーク法, 残留変位量

連絡先 〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町 5-26 西日本高速道路エンジニアリング関西(株) TEL072-658-2420

表-1 対象盛土の地盤定数一覧

|     |                  | 湿潤単位<br>体積重量<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | 粘着力<br>( $\text{kN/m}^2$ ) | 内部摩擦角<br>( $^{\circ}$ ) | 備考      |
|-----|------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|
| 盛土A | 盛土<br>(砂混じり礫質粘土) | 20.7                                | 22.9                       | 13.2                    | Sr=100% |
|     |                  |                                     | 90.9                       | 14.4                    | Sr=87%  |
|     | 沖積礫質土            | 19.0                                | 0.0                        | 35.0                    |         |
|     | 砂岩・泥岩互層          | 21.0                                | 500.0                      | 0.0                     |         |
| 盛土B | 盛土<br>(粘性土質礫質砂)  | 18.3                                | 3.7                        | 30.9                    | Sr=100% |
|     |                  |                                     | 7.6                        | 34.9                    | Sr=65%  |
|     | 崖錐               | 20.9                                | 0.0                        | 32.0                    |         |
|     | 沖積粘性土            | 20.3                                | 0.0                        | 32.0                    |         |
| 盛土C | 盛土1<br>(粘性土質礫質砂) | 18.8                                | 3.2                        | 26.5                    | Sr=100% |
|     |                  |                                     | 3.9                        | 31.1                    | Sr=50%  |
|     | 盛土2<br>(玉石混じり砂礫) | 19.1                                | 0.0                        | 30.4                    | Sr=100% |
|     |                  |                                     | 3.8                        | 33.4                    | Sr=50%  |
|     | 沖積砂              | 19.2                                | 0.0                        | 30.0                    |         |
|     | 粘土               | 19.0                                | 90.0                       | 0.0                     |         |

今回の検討では、許容変位量 100cm 付近で地震動タイプによる残留変位量の大きさが逆転している。タイプ I の地震動とタイプ II の地震動で同じ残留変位量となる時の降伏震度を  $k_{yc}$ 、その残留変位量を  $\delta_{yc}$  と定義すると、 $k_{yc}$  は 0.1694、 $\delta_{yc}$  は 100.8cm と推定される。残留変位量が  $\delta_{yc}$  より大きい(降伏震度が  $k_{yc}$  より小さい)範囲ではタイプ I、逆の範囲ではタイプ II の地震動で残留変位量が大きく算定される。

許容変位量が  $\delta_{yc}$  より小さい値に設定された場合は、タイプ II の地震動による残留変位量が大きく、従来の設計条件でも問題はない。しかし、許容変位量が  $\delta_{yc}$  より大きい値に設定された場合は、タイプ I の地震動による残留変位量が大きくなり、従来の設計条件とは異なるため注意が必要である。許容変位量が 1m より小さい値(例えば 50cm)に設定される場合は、残留変位量はタイプ II の地震動の方が大きく算定される(従来の設計条件)。

#### 4. まとめ

本検討においては、 $k_{yc}$  は 0.1694、 $\delta_{yc}$  は 100.8cm と推定され、 $\delta_{yc}$  は許容変位量(100cm)に近い結果となり、 $k_{yc}$  を境界としてタイプ I とタイプ II の地震動による残留変位量の大小関係は逆転する。そのため、 $k_{yc}$  によってはタイプ I の地震動を考慮することが必要である。

$\delta_{yc}$  に関しては、盛土の要求性能として設定する許容変位量との大小関係が、タイプ I とタイプ II の地震動の適用の可否に関係するため、特に許容変位量以下の領域において、タイプ I とタイプ II の地震動による残留変位量の大小関係に留意が必要である。

**謝辞** 本研究の実施に際し、実盛土の各種データを提供頂いた西日本高速道路株式会社 関西支社の関係者の皆様には、多大なるご協力を頂きました。ここに関係各位に感謝を申し上げます。

**参考文献** 1)東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株):設計要領 第一集 土工編, p.622, 2012. 2)三好忠和, 常田賢一:盛土の地震時残留変位に及ぼす地震動の影響に関する一考察, 第33回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, 2013. 3)金田和男, 長尾和之, 横田聖哉:高速道路における地震災害の復旧事例, 地盤工学会誌 Vol.59-No.11, pp.14-17, 2011.

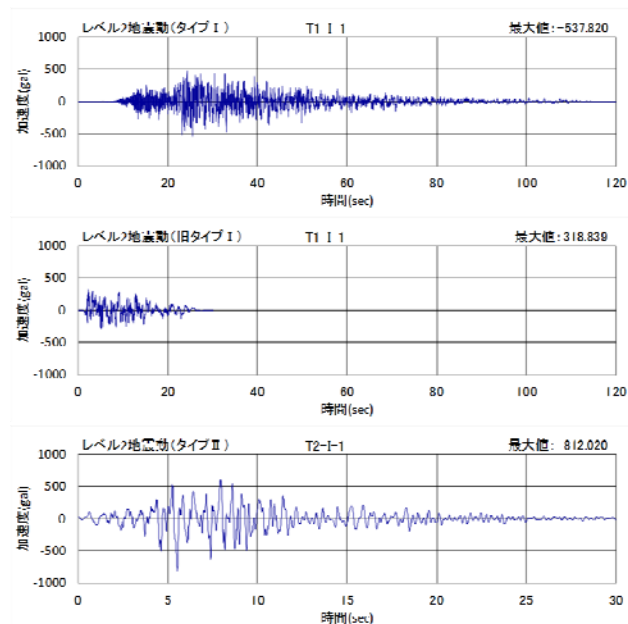


図-2 入力地震動波形の一例

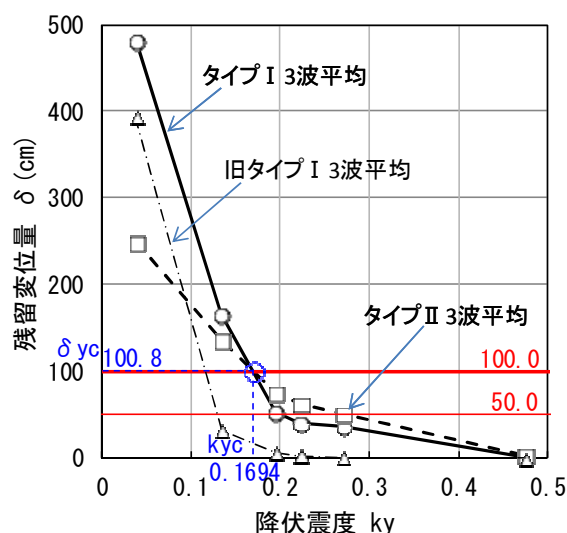


図-3 降伏震度と残留変位量の関係