

1. はじめに

近年、地震や降雨による道路盛土の被害が社会的・経済的に大きな影響を与えている。2011年東北地方太平洋沖地震では、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震のような顕著な道路盛土の被害は少なかったと思われるが、常磐高速道路の那珂 IC 付近における盛土被害が比較的規模が大きく、特筆できる。筆者らは、被害形態の特徴として、比較的層厚が薄いものの、軟弱な基礎地盤上の斜面先破壊であることに着目している。この原因が明らかになれば、今後の道路盛土の耐震性の評価あるいは耐震対策の参考にすることができる。本文は、上記の特徴の原因を明らかにすることを目的としており、震度法に基づいて、堤体の強度特性、基礎地盤の強度特性、周辺状況などの諸要因を変化させて、その影響を比較、検証することにより、斜面先破壊の再現を行うものである。本検討により、軟弱基礎地盤上の斜面先破壊の再現に基づき、関係する要因を考察した結果を報告する。

2. 対象高速道路盛土の被害状況

常磐自動車道は東京と東北地方を接続する主要な幹線道路であるが、被害箇所は茨城県内の那珂 IC の東京方面 1km 付近であり、上下 4 車線のうち、上り車線の盛土が崩壊した。写真-1 は直後に公開された被害状況¹⁾であるが、延長約 150m の区間において、最大 1.5m 程のすべりが発生した。同写真から、すべりは天端の外側車線と路肩の境で大きいすべりが、2つの車線の境界でやや小規模のすべりが発生していることが分かる。したがって、内側の 1 車線および下り 2 車線が無被害であり、震後の復旧などに使用できているので、道路の交通機能の評価からは、中規模な被害と見なせる。



写真-1 被害状況

3. 斜面先破壊の再現

崩壊盛土のモデル化に際して、盛土の形状や規模は、図-2²⁾の平面図および横断面図から読み取った。そのモデルを図-3 に示す。次に、盛土下の基礎地盤(基本モデル：第 1~3 層)の土質定数は、崩壊地から約 60m 近傍の



写真-2 天端舗装部

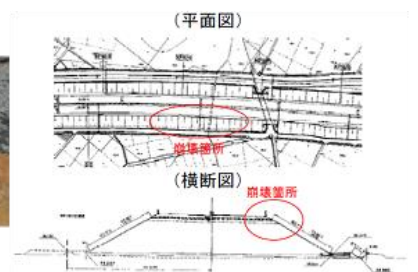


図-2 対象盛土(平面図・断面図)

ボーリングデータ(図-4 参照)の土質分類および N 値に基づいて、(社)日本道路協会：道路土工擁壁工指針³⁾により、間接的に設定した。また、盛土部(基本モデル：第 4 層)の土質定数は 3 月 13 日に崩落部の土塊部における盛土材の一軸圧縮試験の結果²⁾を基に設定した。舗装部(基本モデル：第 5~7 層)は、写真-2²⁾より第 7 層の厚さ

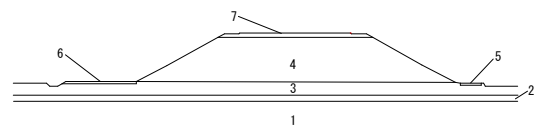


図-3 基本モデル

0.6m を設定し、第 5, 6 層はその半分の厚さを想定した。舗装の土質定数は、表層と基層の土質定数を考慮せず路床と路盤材の主な材料である砂礫を想定し設定した。表-1 に土質定数を示す。図-3 と表-1 を用いた円弧すべり解析の結果を図-5 に示す。常時の最小安全率が 1.0 を大幅に下回り、最小安全率は $F_s=0.56$ である。また、設計震度 $k=0.1$ による破壊形態は盛土下の基礎地盤の粘性土層である第 3 層を含む底部破壊である。

| 土質性状 | 層厚(m) | 深度(m) | S波速度(m/s) | N値 |
|-------|-------|-------|-----------|------|
| 表土 | 0.45 | 0.45 | 86 | 0.64 |
| 粘性土 | 2.05 | 2.50 | 86 | 0.64 |
| 粘性土 | 1.15 | 3.65 | 123 | 1.88 |
| 砂礫 | 5.80 | 9.45 | 246 | 29.0 |
| 工学的基盤 | | | 330 | |

図-4 ボーリングデータ

ここで、崩壊場所とボーリング試験が行われた場所が約 60m 離れていること、さらに地下水を設定していなかったことを考慮し、基本モデルを見直すことにより、軟弱地盤上に存在しているが斜面先破壊を起こした要因を検討する。崩壊盛土の断面によれば、上部が礫まじり細粒分質砂層 (5.3m) ,

下部がローム(3.3m)であるので、盛土内の土質である第4層を2層に区分し、第4層と第8層とした。さらに、地下水は下り車線側の側道脇の溝の底の位置を地表から0.59mの地点とした。修正後のモデルを図-6に示す。土質定数は設計要領第一集土工編⁴⁾に基づき修正した。修正後の土質定数を表-2(着色が変更箇所、以下同じ)に示す。図-6と表-2を用いた円弧すべり解析の結果、常時の最小安全率は1.13であり破壊形態は斜面先破壊となった。しかし、設計震度0.1~0.3における破壊形態は底部破壊を示した。そのため、常時の最小安全率1.0以上を維持したまま、常時と設計震度0.1~0.3における破壊形態を斜面先破壊となるよう土質定数へ再度修正する。設計要領第一集土工編⁴⁾

に基づき修正した土質定数を表-3に示す。図-6と表-3を用いた円弧すべり解析の結果、常時の最小安全率は1.085であり斜面先破壊であった。さらに、設計震度0.1~0.3における破壊形態は斜面先破壊を示した。

以上の結果より、盛土の土質構造、土質特性さらに基礎地盤の土質特性が明確でない状況において、盛土モデルの修正により斜面先崩壊の再現を試みたが、盛土と基礎地盤の土質特性の相互関係により、斜面先崩壊の発生の可能性が明らかになった。

4. 道路舗装のすべり抑制効果の検討

対象の盛土は両側に側道が隣接しており、この側道の強度が破壊形態にどれほどの影響を及ぼすのか検討することにする。つまり、破壊の起こった上り側車線に隣接する第5層(c=0, φ=30)の強度を変化させることにより、底部破壊が斜面先破壊に変わる強度を確かめる。このとき使用するモデルは図-6と表-2であり、設計震度0.1~0.3で底部破壊となる組み合わせである。この組み合わせによると常時の場合は斜面先破壊となるため、常時は検討の対象としない。これらの円弧すべり解析により検討した結果を表-4に示す。第5層が、表-4の土質定数であれば斜面先破壊になるが、これは道路舗装の強度、つまり内部摩擦角および粘着力を高めることにより、底部破壊を斜面先破壊に変える、つまりすべり破壊を制御することの可能性が示唆されている。

5. まとめ

常磐自動車道における特徴的な破壊を再現することにより、以下の知見を得た。一つ目に、崩壊盛土付近より得られたボーリングデータ等を用い、震度法により斜面先破壊の再現を試みた結果、実データでは再現が出来なかったが、盛土材または基礎地盤の強度特性を変化させることで、再現が可能であることを明らかにした。二つ目に、高速道路盛土に隣接する側道と盛土の破壊形態の関係に着目し、震度法により舗装の強度による盛土のすべり抑制効果を検討し、その可能性を明らかにした。これにより、盛土の安定性の評価において、側道の影響を考慮する必要性、さらに対策の一要素としての活用の可能性が示唆される。

参考文献：1) (株)東日本高速道路 関東支社：(6報)地震による高速道路の通行止・被害などの状況、2) (株)高速道路総合技術研究所の資料より、平成23年3月11日、20時00分現在、3) (社)日本道路協会：道路土工 擁壁工指針、pp.19, 1999、4) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社 編著 NEXCO 中央研究所 発行：設計要領第一集土工編、pp.1-44, 2006。

表-1 土質定数

| 層番号 | 湿潤重量(kN/m ³) | 内部摩擦角(度) | 粘着力(kN/m ²) |
|-----|--------------------------|----------|-------------------------|
| 1 | 20.00 | 35.86 | 0.00 |
| 2 | 16.00 | 0.00 | 18.75 |
| 3 | 16.00 | 0.00 | 6.40 |
| 4 | 19.00 | 33.70 | 0.00 |
| 5 | 20.00 | 30.00 | 0.00 |
| 6 | 20.00 | 35.00 | 0.00 |
| 7 | 20.00 | 40.00 | 0.00 |

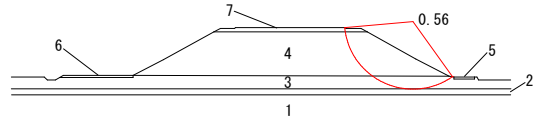


図-5 基本モデル 解析結果(常時)

表-3 修正土質定数2

| 層番号 | 湿潤重量(kN/m ³) | 内部摩擦角(度) | 粘着力(kN/m ²) |
|-----|--------------------------|----------|-------------------------|
| 1 | 20.00 | 35.86 | 0.00 |
| 2 | 16.00 | 20.00 | 18.75 |
| 3 | 16.00 | 15.00 | 13.00 |
| 4 | 14.00 | 20.00 | 5.00 |
| 5 | 20.00 | 30.00 | 0.00 |
| 6 | 20.00 | 35.00 | 0.00 |
| 7 | 20.00 | 40.00 | 0.00 |
| 8 | 19.00 | 20.00 | 10.00 |

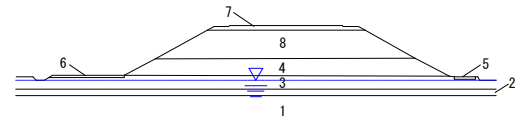


図-6 修正モデル

表-4 斜面先破壊になる道路舗装の

強度と最小安全率

| | 内部摩擦角(°) | 粘着力(kN/m ²) | 安全率 |
|-------|----------|-------------------------|-------|
| k=0.1 | 30 | 0.0 | 0.924 |
| | 30 | 10.0 | 0.933 |
| | 40 | 8.0 | 0.933 |
| k=0.2 | 30 | 0.0 | 0.769 |
| | 30 | 16.0 | 0.783 |
| | 40 | 15.5 | 0.783 |
| k=0.3 | 30 | 0.0 | 0.651 |
| | 30 | 22.0 | 0.667 |
| | 40 | 21.0 | 0.667 |