

# 地震時の道路盛土の被害予測技術

独立行政法人土木研究所耐震研究グループ 研究員 水橋 正典

## 1 はじめに

兵庫県南部地震や新潟県中越地震などの大規模地震による被害を背景として、橋梁等の重要構造物と同様に盛土等の土構造物についても耐震性の確保が求められてきている。しかし、膨大な延長を有する土構造物では耐震対策には多大な費用が必要なことから、より経済的な耐震対策法が求められている。このためには、盛土等の土構造物について構造系全体で耐震性を向上させる耐震対策技術とともに、道路の機能が低下、あるいは損失する程度に基づいて道路の性能を評価する限界状態設計法の導入が必要となる。本研究では、平地部盛土を対象として、盛土の変形メカニズムの解明、盛土の簡易沈下予測手法の提案、効果的な対策工法の提案を行った。

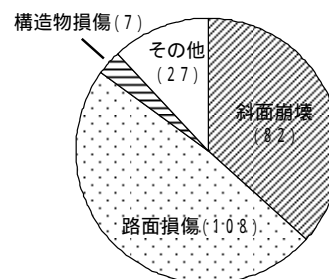


図 - 1 新潟県中越地震での国道・県道における被害形態別の全面通行止め箇所数

## 2 2004年新潟県中越地震における平地部盛土の被害

2004年の新潟県中越地震では道路が大きな被害を受け、集落が孤立するといった深刻な事態を生じさせた。新潟県の管理する国道・県道において、地震発生直後に全面通行止めの措置がとられたのは合計224箇所(補助国道:61箇所、県道:163箇所)であった。これらを被害形態別に集計したものを図-1に示す。「その他」を除く、施設被害による通行止め箇所数197箇所の内訳は、斜面崩壊82箇所(41.6%)、路面損傷108箇所(54.8%)、構造物損傷7箇所(3.5%)となっており、土工部(斜面崩壊および路面損傷)の被害は96.5%を占めている。また、1995年兵庫県南部地震において、土工部の被害が施設被害全体に占める割合は58%であったことから<sup>1)</sup>、地震による道路被害は土工部の被害が大きな割合を占めているということがいえる。

新潟県中越地震における道路土工の被害は山間部で多発していたが、平地部においても被害が発生していた。その一例として、一般国道8号線における見附大橋への取付部盛土の被害事例を示す。写真-1に示すように、取付盛土の沈下により橋梁部との間に40cmもの段差が生じ、交通に大きな障害をもたらした。また、写真-2に示すように、長岡側上り線のり面に崩壊が生じた。図-2に示すこの現場の断面図とボーリングデータより、盛土直下には緩い砂質土層が分布しており、地震動によりこの層が液状化したことが、盛土のり面に大きな変形を引き起こした原因であると



写真 - 1 取付盛土と橋梁部の段差



写真 - 2 のり面の崩壊状況

考えられる<sup>2)</sup>。

このように平地部における道路盛土の被害は、主として基礎地盤が液状化することにより生じており、その形態は沈下、亀裂、すべりがある<sup>3)</sup>。これらの被害と地震時において道路に要求される機能を考慮すると、道路盛土の限界状態は、路面の沈下やすべり、亀裂等の盛土の変形量により定義するのが合理的である。このため、盛土の耐震性の評価および耐震対策工の設計において、盛土の変形状態を精度良く予測することが重要となる。以下では、液状化地盤上の道路盛土を対象として、盛土の変形メカニズムの解明、盛土の簡易沈下予測手法の提案、効果的な対策工法の提案を行った内容を紹介する。

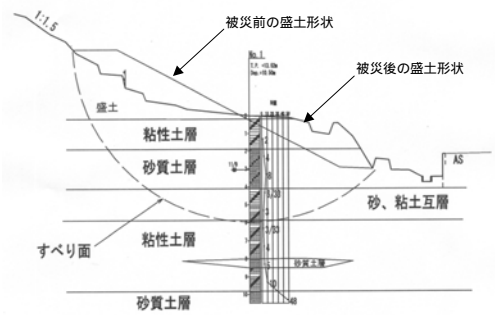


図-2 のり面崩壊箇所断面図と地盤柱状図

## 2 液状化地盤上の道路盛土の変形メカニズムおよび沈下予測手法に関する検討

### 2.1 液状化地盤上の道路盛土の変形メカニズムに関する検討

基礎地盤の液状化による盛土の変形メカニズムを把握するため、無対策盛土の動的遠心模型実験を行った。実験は、動的遠心力載荷試験装置を用い、液状化層厚、盛土高、盛土幅、地下水位、液状化層相対密度、入力地震動（最大加速度）を実験パラメータとして各ケースを行い、これらの要因が盛土の変状に与える影響を調べた。

写真-3に代表的な実験後の模型の変形状態を示す。実験模型の変形状況の観察により、実験模型では(1)液状化層体積圧縮、(2)液状化層側方変形、(3)盛土体積圧縮、(4)盛土ストレッチング（盛土のせん断変形に伴う盛土の水平方向拡幅）が生じていると考えられる<sup>4)</sup>。これらの変形成分の模式図を図-3に示す。

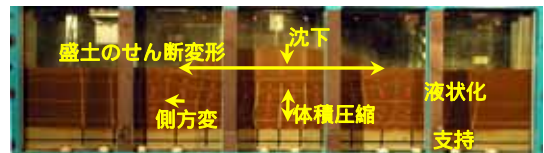


写真-3 遠心模型実験結果の例

実験結果の解析により、盛土沈下の主な要因は液状化層の側方変形と盛土のストレッチングであり、この2つで全体の50~80%を占めていることが分かった。したがって、盛土の沈下抑制には液状化層側方変位と盛土ストレッチングを抑制する対策法が有効と考えられる。

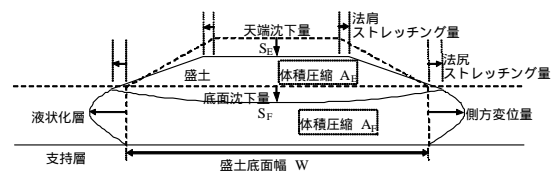


図-3 液状化地盤上の盛土の変形

盛土および液状化層の各変形量には、各実験パラメータとの関係性が見られ、盛土高が高い場合や幅が狭い場合、液状化層が厚い場合や緩い場合、地下水位が高い場合、地震動が大きい場合に、盛土天端の沈下量が大きくなり、被害が大きくなる傾向が見られた。

### 2.2 盛土沈下予測手法に関する検討

ここでは、遠心模型実験の結果に基づき、盛土天端の簡易沈下予測手法について検討

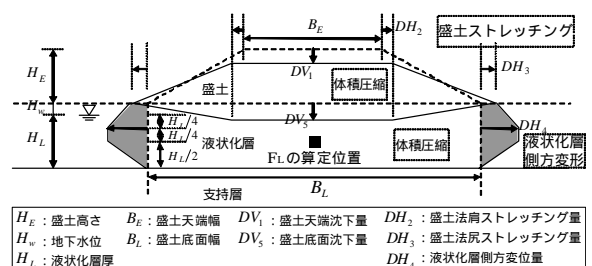


図-4 液状化地盤上の盛土の変形

した。盛土の沈下は、図 - 3 に示したように、(1)基礎地盤体積圧縮、(2)基礎地盤側方変形、(3)盛土ストレッチング、(4)盛土体積圧縮が要因となって生じる。2.2 に示したように、盛土の主な沈下要因は基礎地盤側方変位と盛土ストレッチングであった。

そこで、検討にあたり盛土の変形を表すパラメータを図 - 4 に示したとおりに定義した。盛土の体積圧縮による沈下量は無視できるほど小さいことから、液状化地盤上の盛土の沈下量( $s$ )を、液状化層側方変形、盛土ストレッチングおよび液状化層体積圧縮に起因する沈下量(それぞれ  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$  とする)の和で表現した。

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (1)$$

式(1)の各項は、実験結果の回帰分析等により得られた以下の式(2)～式(9)により表すことができる。

$$q'_E = \gamma_{E,t} \cdot A_E / (\gamma_{L,sat} \cdot B_L) \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - \beta \cdot H_w / B_L \quad (3)$$

$$DH_4 = 0.199 \cdot \alpha \cdot q'_E / F_L \quad (4)$$

$$DH_3 / DH_4 = 1.48 \cdot (1 - H_L / B_L)^{3.36} \cdot (1 - H_w / B_L)^{8.51} \quad (5)$$

$$DH_2 / H_E = 0.491 \cdot DH_3 / H_E \quad (6)$$

$$s_1 = A_L / B_L \quad (7)$$

$$s_2 = H_E \cdot (DH_2 + DH_3) / (B_E + B_L + DH_2 + DH_3) \quad (8)$$

$$s_3 = 0.038 \cdot H_L \quad (9)$$

ここに、 $F_L$ ：液状化に対する抵抗率、 $\gamma_{E,t}$ ：盛土の湿潤単位体積重量、 $\gamma_{L,sat}$ ：液状化地盤の飽和単位体積重量、 $A_E$ ：盛土断面積、 $A_L$ ：液状化層の側方変形面積である。

上記の予測式による盛土天端沈下量の予測値と実験値の比較を図 - 5 に示す。同図において、予測値は実験値よりも大きめであるが実験結果の傾向を表していることが分かる。

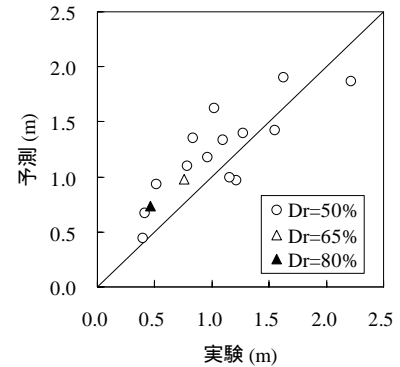


図 - 5  $DV_1$  の実験値と予測値の比較

### 3 盛土本体および盛土直下基礎地盤の耐震対策組み合わせによる耐震対策工の効果に関する検討

#### 3.1 対策盛土の遠心模型実験

基礎地盤および盛土本体への耐震対策工の効果を把握するため、対策盛土の動的遠心模型実験を行った。実験ケースは、盛土直下の基礎地盤の対策、盛土の対策および両者の併用を考えたケースとした。基礎地盤の対策工法には、締固め工法、固結工法および矢板締切り工法を選定した。盛土の対策工法には、ジオテキスタイル工法およびアンカー工法<sup>5)</sup>を選定した。

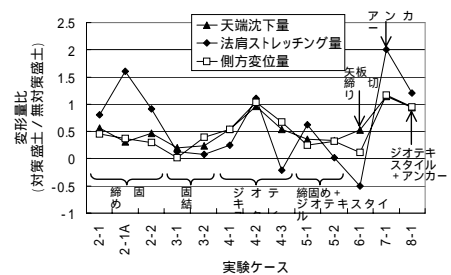


図 - 6 各対策ケースの変形抑制効果

#### 3.2 盛土沈下抑制効果

対策ケースごとの盛土の天端沈下量、法肩ストレッチング量および液状化層の側方変位量の無対策盛土の場合に対する変形量の比を図 - 6 に示す。同図において、基礎地盤の液状化層を対策する締固め工法、固結工法、矢板締切り工法、および固結工法とジオテキスタイル工法を併用した工法では、盛土天端沈下量比が 0.2～0.5 となっており、盛土沈下の抑制効果が見られる。また、側方変位量比の比較でも、ほぼ同傾向であることから、盛土天端沈下を抑制するには、液状化層の側方変形を抑制する対策工法が有効と考えられる。

### 3.3 盛土の亀裂およびすべりへの対策効果

加振後に盛土上方から撮影した様子を写真-4に示す。右上写真は、中上写真に対し盛土全体にジオテキスタイルを敷設したケースであり、盛土内のひずみが小さくなっており、ジオテキスタイルの盛土本体のすべり抑制効果が見られた。アンカーとジオテキスタイルを施した右下写真はジオテキスタイルのみの左下写真およびアンカーのみの中下写真よりも亀裂発生が軽減されている状況が見られた。これらから、異なる対策工法の組み合わせにより盛土の亀裂発生を軽減できることが分かった。

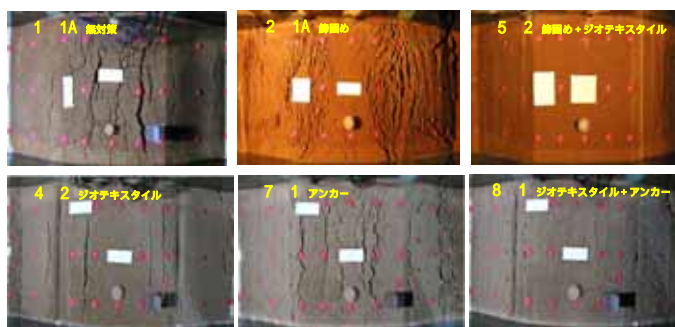


写真-4 各対策ケースの盛土天端における亀裂の発生状況

## 4 まとめ

- (1) 盛土の沈下は主に液状化層の側方変形と盛土のストレッチングにより生じていることが分かった。また、盛土の寸法が大きい場合、液状化層が厚い場合や緩い場合、地下水位が高い場合に、盛土の被害が大きくなる傾向があり、注意が必要である。
- (2) 液状化地盤上の道路盛土の動的遠心模型実験の結果をもとに、盛土の簡易沈下予測手法を提案した。
- (3) 盛土天端沈下を抑制するには、液状化層の側方変形を抑制する対策工法が有効である。また、盛土への対策工を併用することにより、より効果的に盛土への被害を軽減できると考えられる。

## 5 今後の課題

今後は、実際の道路盛土の地震による被害事例と本研究で提案した予測手法との比較が必要である。また、実際に耐震対策を行うために、膨大な延長を有する土構造物において効率的に危険箇所を抽出する手法を開発することが必要となると考えられる。

### 参考文献

- 1) 建設省土木研究所：占用施設・沿道施設の耐震性評価に関する調査（その1）平成7年兵庫県南部地震における被災調査、土木研究所資料第3557号、1990
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所：平成16年（2004年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告、国総研研究報告第27号、土木研究所報告第203号、2006
- 3) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編） pp.53-56、2002.
- 4) 岡村未対、田本修一、松尾修：地盤の液状化による盛土沈下対策工（締固め工法）の効果、第36回地盤工学研究発表会、pp.1343-1344、2001.
- 5) 館山勝、木村英樹、小島謙一、矢崎澄雄、古関潤一、龍岡文夫：大径補強体で補強した既設橋台の模型振動実験、第34回地盤工学研究発表会、pp.1985-1986、1999.
- 6) 黒瀬浩公、田村敬一、佐々木哲也：液状化地盤上の対策盛土の動的遠心模型実験、第58回土木学会年次学術講演会、pp.305-306、2003.
- 7) 豊田耕一、杉田秀樹、石原雅規、佐々木哲也：液状化地盤上の対策盛土の動的遠心模型実験（その2）、第40回地盤工学研究発表会、pp.1401-1402、2005.
- 8) 古賀泰之、松尾修、古関潤一、高橋晃浩、山根行弘：盛土のある地盤の液状化時の挙動に関する実験的検討、土木研究所資料第3264号、2004.
- 9) 建設省土木研究所他：液状対策工法設計・施工マニュアル(案)、共同研究報告書第186号、1999.