

◆特集：最近の地震災害と耐震技術◆

新潟県中越地震の被害から見た道路盛土の耐震技術の課題

松尾 修* 杉田秀樹** 佐々木哲也***

1. はじめに

2004年10月23日の新潟県中越地震から1年が経過した。この地震において道路については斜面および盛土区間の被害が多発したことが特徴的であった。そこで本報では、道路盛土の地震被害の特徴や今後に取り組むべき技術的課題について述べるものである。

2. 新潟県中越地震における道路盛土の被害

2.1 道路被害の発生形態

図-1は、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合計224箇所¹⁾について、被害形態を分類した結果である。「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(54.8%)、構造物損傷(3.5%)となっている。なお、図中「路面損傷」とは、そのほとんどが盛土部の被害である。いわゆる土工部(斜面崩壊および路面損傷)の被害は96.5%を占めていることがわかる。ちなみに、1995年兵庫県南部地震では土工部の被害は58%であった²⁾ことから、今回の地震では土工部の

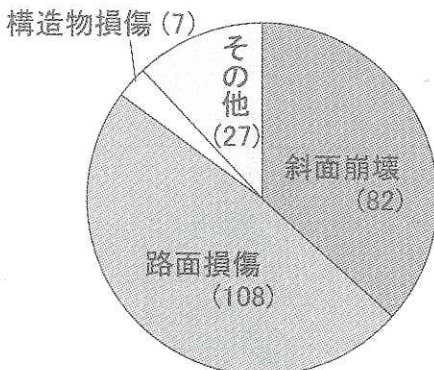


図-1 道路の被災態別箇所数

被害が目立ったことが裏付けられる。この理由として、中越地震の震源域は山岳部にあっており、地形条件の厳しい場所に構築された土工部の占める割合が多かったこと、および、地震前に台風23号を初めとする多量の前期降雨があったことなどがある。

2.2 盛土の被害事例と特徴

中越地震における道路盛土の被害については本誌でも速報として紹介されている³⁾。そこでここでは、既報した以外の特徴的な大規模被害事例を2例紹介する。

・一般県道大沢小国小千谷線(小国町法末)

被害写真をグラビア写真-2に示す。写真-2(a)は航空写真であるが、左上から谷川に沿って走る道路に断続的に4箇所朱色で示した区間が被害を受けた。写真-2(b)はそのうちの1箇所の被害状況を示している。航空写真で、4箇所のいずれにおいても上方の山側に屈曲した道路が見えているが、これらは沢地形に沿って作られた旧道である。被害を受けた4箇所の道路盛土は線形改良のために比較的最近に築造されたものである。特徴的なことは、沢地形に沿って作られた旧道は無被害であったのに対して、沢を埋めて腹付けされた新道が崩壊したことである。なお、旧道と新道に挟まれた部分は、以前から水田などとして利用されて



写真-1 国道117号小千谷市塩殿

Issues on Seismic Stability of Road fills Learnt from the 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake

いたようである。常時より地下水が新道に供給されていた可能性が高い。

・国道117号小千谷市塩殿

被害写真を写真-1に示す。写真に示すように、山腹斜面に腹付け盛土された箇所が盛土が車線全部を含む形ですべり崩壊した。崩壊土は下方の水田を数十m遠方まで覆った。崩壊土は高い含水比状態にあった。山側には明確な沢地形は見られなかったが、斜面から表面水が流れているのが確認された。盛土下の地山は緩い沢地形であったのかもしれない。いずれにしても、山側からの地下水が盛土へ供給されていたと思われる。

上に紹介した2事例および既報の国道17号(川口町天納)³⁾の被害などを含め、中越地震において盛土の大被害が生じた事例のほとんどは、沢あるいは谷部を埋め、ないしは腹付けして築造された盛土であったことがきわめて特徴的であった。

3. 沢埋め盛土はなぜ地震被害を受けやすいか?

沢埋め盛土は地震時に崩壊しやすいこと、特に地下水の影響により流動的な崩壊が生じやすいことは過去の地震の経験から知られている⁴⁾。そこで、土木研究所で以前に検討した結果の一部をここに紹介する⁴⁾。

沢部ないしは傾斜地山に片盛り(腹付け盛土)した道路盛土を想定したモデルを作成し、遠心力載

荷模型実験を行った。図-2を参照して、のり面勾配35°の地山斜面に、天端幅が10m、高さ10m(いずれも実物換算)の腹付け盛土を構築した。

また、地山から浸透水を供給する工夫をほどこし、盛土内に定常浸透状態が形成されたのを待って、模型を水平方向に加振した。浸透水の水位、盛土の締固め度を変えて6ケース行った。加振加速度は実物換算で振幅440gal、周波数1.5Hzの正弦波20波である。盛土にとっては1995年兵庫県南部地震や中越地震よりも厳しい地震動である。

地山面での地下水位を5mとし、盛土の締固め度を変化させた3ケースについて、加振後の盛土の変形状況を図-2に示す。図中には、盛土模型表面に予め等間隔に配置した鉛直メッシュの変形、および加振直前の浸透水面を併せて示している。盛土の締固め度が低いほど変形量は大きく、逆に締固め度が91%と高い場合には盛土はほぼ健全な状態にあることがわかる。紙数の制約のためここには示さないが、地下水面以下の飽和部では地震動により過剰間隙水圧が発生した。浸透水の存在する盛土の地震時被害は主に飽和部の液状化によるものと言える。

図-3は6ケースの結果をまとめたものである。盛土の締固め度を横軸に、盛土の沈下量を縦軸に、浸透流水位をパラメータに、それぞれとっている。これより、浸透流水位が高いほど、また、盛土の締固め度が低いほど、被害が大きくなることがわかる。

以上をまとめるとつぎのようになる。

・沢部盛土の被害には地下水の存在が関与してお

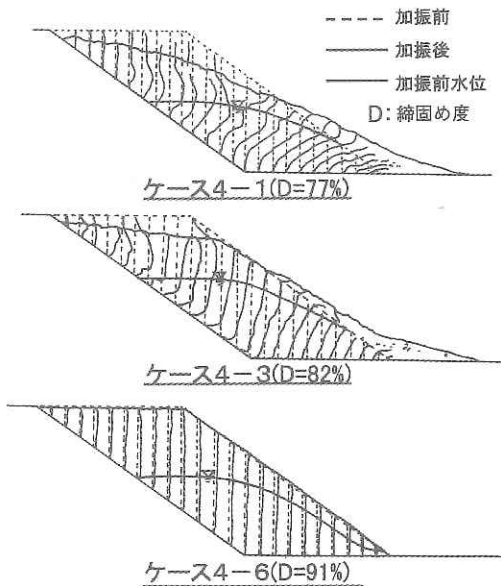


図-2 加振後の模型の変形

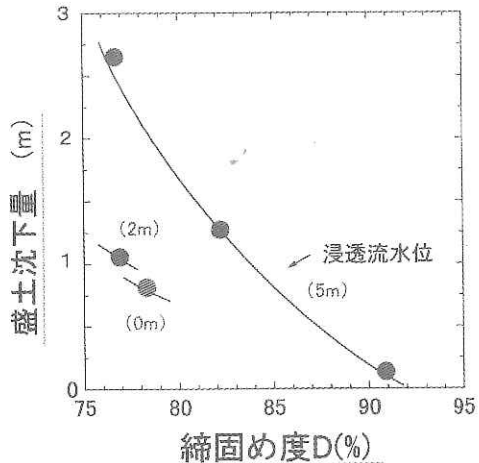


図-3 盛土の締固め度・浸透流水位と盛土沈下量の関係

り、飽和部の地震時液状化が第一の被災原因である。

- ・盛土の締固め度が低いほど、また、浸透水位が高いほど被害が大きい。盛土の締固め度が低いと流動的な崩壊に至る事がある。反対に、盛土を十分に締め固めていればこのような被害を防止することができる。

4. 沢部盛土の耐震対策について

2004年新潟県中越地震を含む既往の地震災害の経験および既往の研究の結果から、沢部盛土の地震被害は大規模なものになりやすいこと、また、このような被害を防止・軽減するためには盛土の締固めおよび水（表面水および地下水）の処理に意を尽くすことがきわめて大切であることが明らかである。これらは道路土工の基本であり、地震時のみならず常時・豪雨時の安定のためにも必要不可欠な措置である。

そこで、山岳部盛土を新設する場合と、既設の場合に分けて、耐震性向上のための方策と技術的課題を整理してみる。

4.1 沢部盛土の建設にあたって

沢部は表面水・地下水が集中する箇所である。したがって、これらの水を容易に盛土に浸透させないようにすることがまず大切である。図-4を参照して、盛土に浸透する可能性のある表面水には以下のようなものがある。それぞれに対策工を記す。

沢部を流下してくる水：横断排水工（カルバート）、
路面およびのり面に降る水：アスカーブや側溝、
小段排水溝、

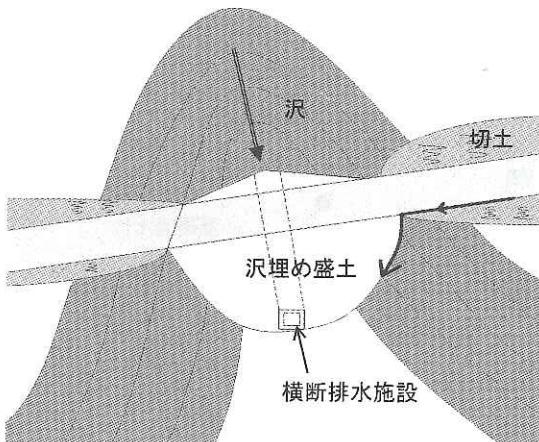


図-4 沢埋め盛土（模式図）

縦排水溝

隣接する切土部からの水：アスカーブや側溝、
縦排水溝

また、地下水は地山から浸透してくるものである。これを排除するためには地下排水溝が用いられる。地山条件により浸透水の量は左右されると考えられるが、調査設計施工の段階でそれを定量的に把握するのは必ずしも容易でない。地下水の湧出程度により地下排水溝の設置密度を決めるのが基本的な考え方であると思われるが、実務的な対処として、地下排水溝の材料単価はかなり安いことを考慮すれば、沢部盛土においては、ほぼ一律に十分すぎると思われる程度の密度で設置するのがよいのではないかと考える。

つぎに大切と思われるのが地山の基礎処理である。沢部には崩積土（崖錐）が堆積していることも少なくない。うすく堆積している場合には掘削除去するのがよいであろう。厚く堆積している場合には、少なくとも流れ方向に溝状に掘削して地下排水溝を設置すること、軟弱な場合には何らかの安定化の処理をすることが必要であろう。また、固結した地山が露出している場合には段切り施工をして盛土するのがよい。

盛土の盛立てにおいては、丁寧な締固めを行うことである。山岳部盛土では地山が傾斜していることから一般に締固め施工が容易でない。現場条件にもよるであろうが、たとえばジオテキスタイルを用いた補強盛土にすればすべりに対する抵抗が高まるとともに、締固めもしやすくなるので、有効な方法と思われる。さらに、盛土の脚部に蛇籠（ふとん籠）を設けるのは盛土施工、排水、のり面安定の面で効果的である。

4.2 既設の沢部盛土の耐震対策について

既設道路盛土の耐震診断・補強対策を行う必要が生じたとき、沢部盛土は要注意の盛土になる。まず、耐震診断において、多くの盛土区間の中から弱点箇所を見つけることが必要になる。この際、建設年代が古い盛土では（特に盛土に限らないが）、建設時の図面などが残されていないことも多いことに留意せざるを得ない。ましてや、土質地質情報はそれ以上に期待できないことが多い。このような条件下で実施する耐震診断は一般につきのような手順に従うのが適当であろうと考える。（一次スクリーニング）

- ・地形判読により（沢部）盛土を把握する。

・日常点検により何らかの異常・変状（盛土のり尻からの湧水が多い、盛土のはらみだし、路面やのり肩にきれつ、など）のある箇所を抽出する。

（二次スクリーニング）

・現地踏査により排水（施設）の状況を調べる。
 ・何らかの簡易なサウンディングにより、盛土の土質や盛土内の浸透水位を調べる。
 ・判定図表などにより、地震時崩壊の危険性を判断する。

このうち、特に二次スクリーニングにおけるサウンディング手法や判定図表については未整備の状況であり、今後開発していく必要があると考えているところである。

以上に述べた耐震診断により、地震時に崩壊する危険性が高いと判断された沢部盛土については耐震対策を施すことが必要となる。費用や交通確保などを度外視すれば多様な工法があり得るが、実際には、地下排水孔（パイプ）をのり尻より打設する方法や、のり尻に蛇籠（ふとん籠）を設けるなどの方法が現実に採用され得る工法ではないかと考える。これらの工法の有効性を定量的に実証していくことも今後必要ではないかと考えている。

5. まとめ

以上をまとめるとつぎのとおりである。

- (1) 2004年新潟県中越地震での道路施設被害では斜面、盛土などのいわゆる「土工部」の被害が目立った。そして、道路盛土の被害の中では、沢（谷）部盛土の被害が目立った。
- (2) 沢部盛土の大崩壊は、盛土内に浸透水が存在しており、盛土の締固め度が十分でない場合に、地震動によりいわゆる液状化現象による

強度低下を起こすことにより生じることを模型実験の結果から示した。

- (3) したがって、沢部盛土の大被害を防止するためには、排水と盛土の締固めが基本的に大切であることを述べた。
- (4) 沢部盛土の地震対策のあり方を新設盛土と既設盛土に分けて述べ、併せて今後の技術課題を示した。

6. おわりに

今回の地震では沖積地盤における、基礎地盤の液状化による道路盛土の被害が少なかったのこれには触れなかった。過去の地震ではしばしば大被害に至る被害形態である。これについては別の機会に回したい。今後、切迫した地震による被害を防止・軽減するため、それぞれの課題の解決に向けて調査・研究を進めて行きたい。その際、関係の機関のご協力をあらためてお願いするところである。

謝 辞

新潟県よりグラビア写真-2を提供していただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 新潟県：県管理道路通行規制情報、新潟県庁HP。
- 2) 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課：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、1998年3月。
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所・土木研究所合同緊急調査団：平成16年新潟県中越地震の緊急調査報告、土木技術資料46-12, pp. 10-15、2004年12月。
- 4) 松尾 修、斎藤由紀子、佐々木哲也、古関潤一、堤達也、近藤浩市：山岳盛土の地震時流動破壊現象に関する実験的研究報告書、土木研究所資料、第3807号、2001.3。

松尾 修*



独立行政法人土木研究所耐震研究グループ長
Osamu MATSUO

杉田秀樹**



独立行政法人土木研究所耐震研究グループ振動チーム首席研究員、工博
Dr. Hideki SUGITA

佐々木哲也***



独立行政法人土木研究所耐震研究グループ振動チーム主任研究員
Tetsuya SASAKI