The Japanese Geotechnical Society

講座

土構造物の耐震性診断と対策

4. 道路盛土の耐震性診断と対策

佐々木 哲也（ささき てつや）
㈱土木研究所 材料地盤研究グループ

横田 聖哉（よこた せいや）
㈱高速道路総合技術研究所 土工研究室

4.1 はじめに

道路土工構造物は過去の地震において被害を受けてきた。特に近年では，平成16年（2004年）新潟県中越地震，平成19年（2007年）能登半島地震，平成21年（2009年）駿河湾を震源とする地震等では道路盛土の崩壊が路線全体の交通機能に大きな影響を与え，大きな社会問題となった。これらの被害は，山岳部の盛土の大規模崩壊に起因するものであり，このような被害の防止が緊急の課題とされている。

本章では，道路盛土を対象として，地震による道路盛土の被害形態，道路盛土の耐震性能，耐震性診断方法，および耐震性を高める対策方法などについて紹介するとともに今後の課題について述べる。なお，既設道路盛土の被災事例，耐震診断手法，耐震補強法について，文献1)にまとめられているので併せて参照されたい。

4.2 道路盛土の被害の実態

盛土の被災事例については**2.**で紹介しているが，ここでは改めて，道路盛土被害の一般的な傾向，および道路盛土の被害程度と道路の交通機能障害との関係を紹介する。

(1) 既往の地震における道路盛土の被害の傾向

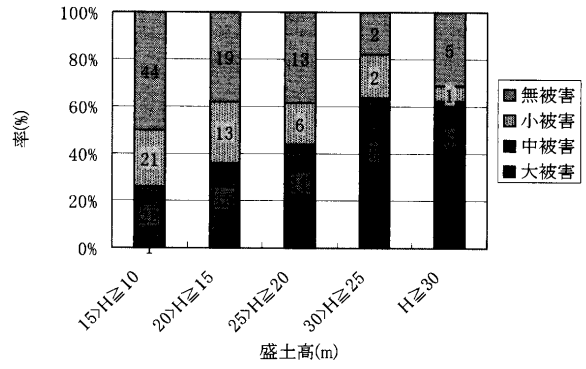
2.において，道路盛土の被害の主な形態として，平地部盛土の基礎地盤の液状化による被害と山岳部盛土における盛土自体の崩壊があることが紹介されているが，ここでは，最近の地震における道路盛土の被害の傾向について整理した結果を紹介する[2]。**図—4.1**は，平成5年（1993年）釧路沖地震，平成6年（1994年）北海道東方沖地震，平成16年（2004年）新潟県中越地震，平成19年（2007年）能登半島地震，平成19年（2007年）新潟県中越沖地震における被害・無被害箇所を対象として，盛土構造や被災状況の項目等について整理した結果の一例である。図中の数値は頻度である。整理対象とした盛土は，法尻から測った盛土高が10 m以上の盛土のうち，大規模な被害が生じた区間の盛土である。

被災程度については，災害査定資料，被害調査報告書をもとに無被害，小被害，中被害，大規模崩落の四つの区分に分類している。無被害は被害が報告されていないもの，小被害は路面クラック等の軽微な被害，中被害は路面段差等の被害，大被害は法面の崩壊が生じた被害である。

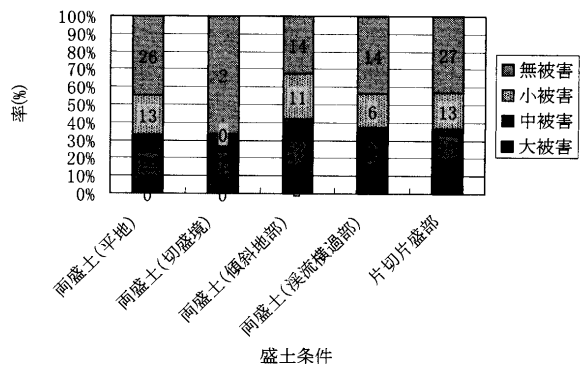
盛土条件は**図—4.2**に示す「平成18年度道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）」[3]における盛土条件の区分に従っている。盛土高は，「平成8年度道路防災総点検要領（地震）」[4]に従い，それぞれ法尻から法肩までの比高として定義している。

図—4.1(1)から，盛土高が高いほど被災程度が高くなる傾向が明らかである。特に，盛土高30 m以上では，大被害が3割程度に及んでいる。

図—4.1(2)に示す盛土条件と被災程度の関係から，両盛土（傾斜地部），両盛土（渓流横下部），片切・片盛部で大被害の割合が高く，両盛土（平地部），両盛土（切盛境）では大被害に至った事例は見られない。既往の被災事例の調査や模型実験において盛土内の浸透水が盛土の被災程度に大きく影響していることが分かっているが[3),4)]，地山から盛土内に水が浸透しやすい地形条件で大被害の割合が高いことがわかる。また，平地部の盛土では大被害に至った事例は見られていないことから，



(1) 盛土高と被災程度の関係

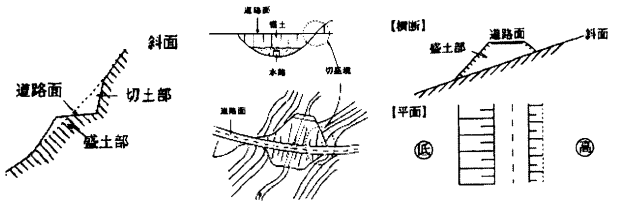


(2) 盛土条件と被災程度の関係

図—4.1 盛土条件と被災程度の関係[2]

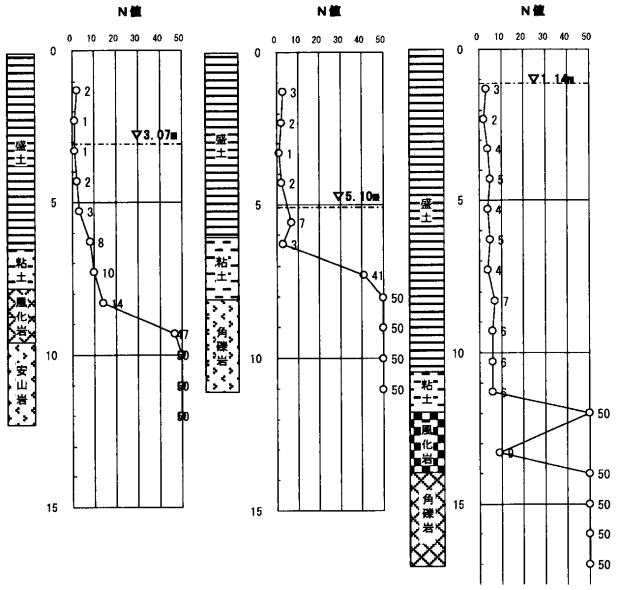
NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



(1)片切・片盛部　(2)両盛土部（渓流沢横過）　(3) 両盛土部（傾斜地部）

図—4.2　盛土条件の区分[3)]



(a)縦 26(1)　(b)縦 22(2)　(c)縦 38
無被害　中被害　大規模崩落

図—4.3　能登有料道路における盛土法尻付近の地盤柱状図[5)]

最近の事例からは，基礎地盤の液状化よりも盛土内の浸透水が大きく影響すると山岳部盛土の被害が多いことがわかる。

既往の谷部を埋めた盛土の大規模な崩壊は盛土内の水が要因と考えられているが，一例として平成19年（2007年）能登半島地震で被災した能登有料道路における地盤調査の結果を示す[5)]。平成19年（2007年）能登半島地震では，能登有料道路において11箇所で大規模な盛土崩壊が生じた。地震後に異なる被災程度の異なる地点で実施した盛土法尻部におけるボーリング柱状図を**図—4.3**に示す。ここで，被害程度は，「大規模崩落」は盛土がすべり崩壊したもの，「中被害」はおおむね法面の変状や路面のクラック等が路床まで達しているもの，「無被害」は被害が報告されていない箇所である。なお，縦38（大規模崩落）については，同一盛土内の未崩落箇所で実施されたものである。これらより，被害程度によらず盛土内のN値はいずれも5以下と低い傾向にあり，盛土内の水位については，無被害および中被害箇所では比較的低い一方で，大規模崩落箇所では非常に高く，表層付近にあることがわかる。以上から，地山からの浸透水等により盛土内の含水比が高かったことが被害を拡大させた大きな要因であることが考えられる。

(2)　既往の地震における盛土被害と機能障害の関係

道路盛土の被害は道路全体としての機能の低下につながる。特に，切り盛り境やカルバート，橋台等の盛土横断構造物取付部に生じる段差が交通機能に影響を与えることが多い。盛土の被災程度と道路の機能障害の程度，その復旧期間等の関係は，震後の応急復旧体制，盛土と構造物の取付部の構造等に大きく依存すると考えられるため，既往の被災程度と復旧関係について整理しておくことが重要である。

既往の地震における道路の段差と交通解放までに要する復旧日数については，文献6）で整理されている。ここでは，一例として，2004年新潟県中越地震で被災した関越自動車道の復旧過程および路面の被害量と復旧日数などの関係を既往の報告書[7),8)]をもとに整理された結果について紹介する。

平成16年（2004年）新潟県中越地震における関越自動車道の復旧は以下の5段階で実施されている。被災地の復旧支援のため早期に通行止めを解除する必要があることから，まずは緊急車両の走行路面確保を目的として緊急措置（19時間）がなされた。その次に，緊急車両の通行車線確保を目的として緊急復旧（100時間）がなされている。崩壊した盛土断面の回復や簡易舗装による段差すり付けが実施されている。その後，1次応急復旧を経て約13日後に2車線が一般開放され，さらに2次応急復旧を経て約34日後に4車線が一般開放されている。

図—4.4に段差量と応急復旧所要日数の関係を示す。この図は，道路盛土の変形量として段差量および盛土崩壊による沈下量に着目し，対象区間のうち変状がみられた102地点について，段差量とIC間の区間毎の復旧レベル（緊急措置～2次応急復旧）に要した復旧日数を整理したものである。なお，盛土が大きく崩壊し沈下量の計測が困難な地点（5地点）については段差量を100 cmとしている。

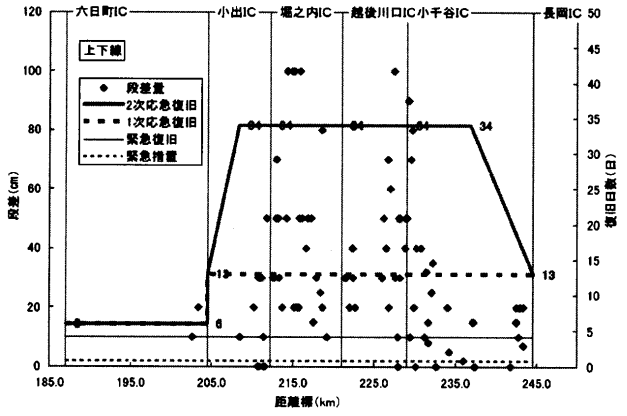
本事例では，盛土が崩壊するような大きな変形が発生した場合でも，段差が最大90 cm程度であれば「24時間以内の緊急車両の路面確保」は可能といえる。また，一般車両については，2車線の一般開放（1次応急復旧）に要する日数は13日，4車線一般開放（2次応急復旧）に要する日数は，段差量が20 cm程度未満なら13日，それ以上の段差量なら34日であった。

これらの所要日数は，被災程度だけでなく，被災箇所数，復旧資機材等の調達やアクセス性などに依存するものであるが，設計における盛土の許容変位や復旧体制を検討する際の参考事例となる。

構造物取付部の沈下と交通機能への影響は，構造物取付部の構造によっても大きく異なる。**表—4.1**は平成19年（2007年）新潟県中越沖地震における，一般道の橋梁取付部における踏掛版の有無と交通開放のための地震後の段差補修の状況毎に橋数を整理したものである[9)]。調査はすべての橋梁について調べられたものではないが，

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図―4.4　平成16年（2004年）新潟県中越地震における段差量と応急復旧所要日数の関係(関越自動車道)[5]

表―4.1　踏掛版の設置と段差被害の関係（文献9）に加筆）

踏掛版の設置状況と段差の補修状況	橋数	
1)踏掛版が無く沈下が生じた橋・段差補修がなされた橋	12	13
2)踏掛版が無く影響のある沈下が生じていない橋・段差補修がなされていない橋	1	
3)踏掛版があり段差補修がなされた橋 （ただし，橋台背面ではなく踏掛版先端部での傾斜すりつけのための補修）	2	8
4)踏掛版があり影響のある沈下が生じていない橋・段差補修がなされていない橋	6	

調査された範囲では，通行規制を伴う沈下のあった橋はすべて踏掛版が無く，踏掛版があった橋では傾斜のすり付けのための補修がなされた橋梁もあるが，段差による機能障害が抑制されていることがわかる。これより，常時のみならず地震後の交通機能確保の観点からも踏掛版の設置が有効であることがわかる。

4.3　道路盛土の耐震性能

(1)　耐震性確保の基本的な考え方

「道路土工要綱」[10]が平成21年６月に改訂され続いて「道路土工−盛土工指針」[11]が平成22年４月に発行された。今回の土工指針の改訂により，道路盛土の設計においても，従来の経験に基づいた標準仕様設計の方法を維持しつつ，性能規定型設計の枠組みが導入された。また，高速道路においても，平成21年７月に「設計要領第１集土工編」[12]が改訂され，高盛土・大規模盛土については新たにその設計の考え方が示された。

「道路土工−盛土工指針」においては，道路盛土の耐震設計にあたっては，想定する地震動のレベルと土工構造物の重要度に応じて要求性能を設定し，想定する地震動に対する構造物の状態が要求性能を満足することを照査することにより行うことを原則としている。

以下では，「道路土工−盛土工指針」における地震動の作用に対する照査の基本的な考え方を紹介する。

(2)　想定する地震動

地震動としては，レベル１地震動およびレベル２地震動の２種類の地震動を想定している。ここに，レベル１地震動とは供用期間中に発生する確率が高い地震動，また，レベル２地震動とは供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動をいう。さらに，レベル２地震動としては，プレート境界型の大規模な地震を想定したタイプⅠの地震動，および，内陸直下型地震を想定したタイプⅡの地震動の２種類を考慮する。

表―4.2　地震動の作用に対する要求性能の例[11]

想定する作用＼重要度		重要度１	重要度２
地震動の作用	レベル１地震動	性能１	性能２
	レベル２地震動	性能２	性能３

(3)　地震動の作用に対する要求性能

要求性能は，安全性，供用性，修復性の観点から，想定する地震動レベルと重要度に応じて設定することとしている。

ここで，要求性能の水準は以下を基本としている。

性能１：想定する作用によって土工構造物としての健全性を損なわない性能

性能２：想定する作用による損傷が限定的なものにとどまり，土工構造物としての機能の回復が速やかに行いうる性能

性能３：想定する作用に対する損傷が土工構造物として致命的とならない性能

重要度の区分は以下のとおりとし，土工構造物が損傷した場合の土工構造物および道路の交通機能への影響と，隣接する施設等に及ぼす影響の重要性を総合的に勘案して定めることとしている。

重要度１：万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合，あるいは，隣接する施設に重大な影響を与える場合

重要度２：上記以外の場合

土工構造物の要求性能は，想定する地震動レベルと重要度に応じて上記の要求性能の水準から適切に選定することとし，その目安として**表―4.2**を例示している。

重要度１の土工構造物についてはレベル２地震動に対して性能２を要求している。一般に盛土等の土工構造物は橋梁・トンネル等の他の道路構造物と比較して修復性に優れているが，山岳部の高盛土等の早期の復旧が困難な盛土，緊急輸送道路等に設置された盛土のうち構造物取付け部の盛土等の応急復旧により迂回路等の確保が困難な盛土等では，レベル２地震動に対して早期の復旧が可能となる範囲の損傷に留めることが要求されている。

(4)　性能の照査

土工構造物の設計に当たっては，原則として要求性能に応じて限界状態を設定し，想定する作用に対する土工構造物の状態が限界状態を超えないことを照査することとしている。土工構造物の限界状態は構造物の条件，施工条件，維持管理の容易性等の諸条件によって様々な考え方があるが，指針では一般的な条件を対象とした限界状態の考え方が示されている。また，土工構造物の安定性，耐久性は，設計のみならず施工の良し悪し，維持管理の程度により大きく依存する。このため，設計に当たっては，前提とする施工，品質管理，維持管理の条件を定める必要があるとしている。例えば，盛土材料の力学特性は盛土材料の土質，締固めの程度に強く依存するため，設計に当たっては前提とする強度が発揮されるよう，

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

使用する盛土材料の土質，締固め管理基準値，品質管理の方法と頻度等を定める必要があるとしている。

(5)　照査方法

照査は，論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証された手法，これまでの経験・実績から妥当と見なせる手法等，適切な知見に基づいて行うことを基本としているが，地震時の安定性の照査手法としては円弧すべり面を仮定した震度法，あるいはニューマーク法等による残留変形解析による手法が示されている。一方で，標準法面勾配等の既往の経験・実績に基づく仕様に基づいた構造の盛土については，基礎地盤等に問題がなく十分な排水処理および入念な締固めが行われた場合には，過去において被害が限定的であり，ある程度の降雨・地震に耐え得ることが認められている。このため，標準法面勾配等の既往の経験・実績に基づく仕様に基づいた構造については，その範囲内にあればこれまでの経験により所定の性能を確保していると見なせるものとしている。

また，高速道路の高盛土の地震時安定計算についても，盛土条件や地形・地質等を考慮し，変位・変形量（残留変位量）を算出することを基本とされた。高盛土のレベル2地震動に対する変位・変形量（残留変位量）は，すべり土塊の滑動変位量を対象とし，ニューマーク法によって算定することを基本としている。特に，高さ30m程度以上の高盛土や不整形地盤上の盛土等においては，盛土や地盤の地震時挙動が複雑となり，応答加速度の局部的な増幅や，法肩や法尻で応答加速度が大きく異なる場合があるため，二次元FEMなどの地震応答解析を行い，残留変位量を算定することが望ましいとしている。

また，**2.** で紹介したように，盛土内の水の存在が地震による被害の程度に大きく影響し，適切な締固めと排水処理により盛土の耐震性は大きく向上する。このため，道路土工指針，高速道路ともに，特に，地下排水溝，基盤排水層，各小段の水平排水層等の地下排水工を原則設置することとし，これにより盛土の耐震性の向上が図られている。また，盛土と構造物の取付部の段差が問題となるが，地震後の交通機能の確保する観点から盛土と橋台の取付部には踏掛版を設置することが望ましいとしている。

4.4　耐震診断手法

膨大なストックを有する道路盛土の耐震性を効果的かつ効率的に向上させるためには，危険箇所を適切に抽出したうえで，それらの安定性を評価する必要がある。ここでは，これまで既設盛土を対象に実施されてきた道路防災点検の手法，平成21年（2009年）駿河湾を震源とする地震による東名高速道路の盛土法面崩壊を踏まえた緊急点検の考え方を紹介する。

道路構造物に対する耐震点検は**表—4.3**に示すように昭和46年から実施されているが，盛土については昭和61年の第4回点検から耐震点検の対象となっている[4]。

既設道路盛土の耐震診断法として「平成8年度道路防災総点検（地震）要領」[2]がある。本手法では，①地形条件（地山勾配，集水地形），②地盤条件（基礎地盤の軟弱性，地下水位の状況），③盛土条件，④変状履歴を基に盛土の危険度を判定するものである。これに基づき，平成8・9年に盛土を含む各種の道路構造物を対象にした総点検（「道路防災総点検」）が実施されている。

表—4.3　道路における耐震点検の経緯[4]

回数	実施時期	対象道路	点検対象施設	点検の主な要因・契機
第1回	昭和46年4月	直轄国道以上(全区間) その他道路(一部区間)	橋梁，トンネル	ロサンゼルス地震(昭和46年2月)
第2回	昭和51年7月	直轄国道以上(全区間) その他道路(一部区間)	橋梁，トンネル，横断歩道橋	昭和51年の防災点検に併せて震災対策の一層の推進
第3回	昭和54年4月	主要地方道以上(全区間) その他道路(一部区間)	橋梁，トンネル，横断歩道橋	伊豆大島近海地震(昭和53年1月) 宮城県沖地震(昭和53年6月)
第4回	昭和61年4月	主要地方道以上(全区間) その他道路(一部区間)	橋梁，トンネル，横断歩道橋 盛土	浦賀沖地震(昭和57年3月) 日本海中部地震(昭和58年5月) 長野県西部地震(昭和59年9月)の各地震と震災対策への要望の高まり
第5回	平成3年5月	主要地方道以上(全区間) 一般県道(下記の区間) DID地区内 東海地震対策強化地域 南関東地域 市町村道(一部区間)	橋梁，トンネル，横断歩道橋 盛土，共同溝	道路耐震性の一層の向上
第6回(「道路防災総点検」として実施)	平成8・9年	高速自動車道・首都高速道路・阪神高速道路 本州四国連絡道路および有料道路を含む一般国道 都道府県道 主要な市町村道	橋梁，トンネル，横断歩道橋 盛土，共同溝 掘割道路 開削トンネル 擁壁 ロックシェッド スノーシェッド	兵庫県南部地震(平成7年1月) 防災カルテの導入

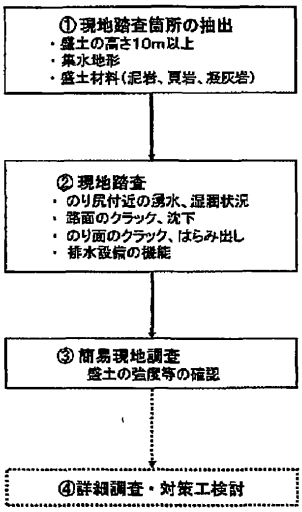
また，盛土の点検については耐震点検の他，豪雨等に対する防災点検が昭和43年の第1回点検から平成18年までに計10回行われている。山岳部の盛土の地震時の大規模崩壊は，盛土内の水の存在が被害の大きな要因と考えられるが，豪雨等に対する盛土の点検においては，盛土周辺および盛土内の排水状況，盛土の変状等に着目した点検が行われている[4]。

地震，豪雨等に対する点検のいずれについても，点検結果に基づき，「対策が必要と判断される」，「防災カルテを作成し対応する」，「特に新たな対応を必要としない」の3段階に判定されている。「防災カルテを作成し対応する」と判定された箇所および「対策が必要と判断される」とされた箇所のうち対策実施までに日数を要する箇所については，防災カルテを作成し，変状等の進行状況等について定期的に点検がなされている。

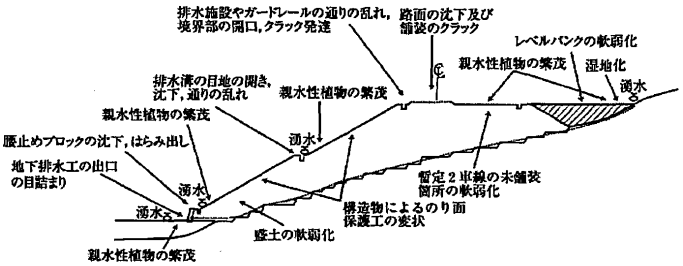
また，平成21年（2009年）駿河湾を震源とする地震における東名高速道路の盛土崩壊をうけて，高速道路株式会社6社が管理する有料道路および直轄国道の盛土を対象として盛土法面の緊急点検が行われている[13]。東名高速道路の被害の詳細については文献14)を参考にされたいが，被災原因として，盛土下部に使用された泥岩のスレーキングによる強度低下と透水性の低下により，盛土内の水位が上昇し，今回の地震が誘因となって崩壊が発生したと推定されている。これらの被災要因を踏まえて，今回の被災箇所と類似の盛土箇所について緊急点検が実施されている。点検対象は，①スレーキングしやすい岩質材料が用いられている可能性のある盛土，②沢埋め部等の水の集まりやすい地形条件に造成された盛土，

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図―4.5　緊急点検の流れ[13)]



図―4.6　盛土法面点検の着眼点

③盛土法尻から測った盛土高が10ｍを上回る盛土，のすべての条件をすべて満足する盛土とされている。点検は図―4.5に示すとおり，①現地踏査箇所の抽出，②現地踏査，③簡易現地調査の３段階で実施することとしている。

現地踏査は平常時および降雨時に実施し，湧水の存在や湧水のおそれの確認，変状等の確認が行われる（図―4.6参照）。湧水のおそれがある場合には，盛土法尻付近で簡易動的コーン貫入試験等のサウンディングを実施し，盛土材料の強度の確認を行うとともに，貫入孔を利用した水位観測を行うこととしている。この結果水位が高い場合には，詳細な調査と必要に応じて対策を検討することとしている。

4.5　盛土の耐震補強

既設の道路盛土に耐震対策として補強を行った例は，現在までのところわずかであるが，ここでは，「道路震災対策便覧（震前対策編）」[15)]に示されている，既設盛土の耐震補強法とその選定の考え方について紹介する。

(1)　耐震補強の基本的な考え方

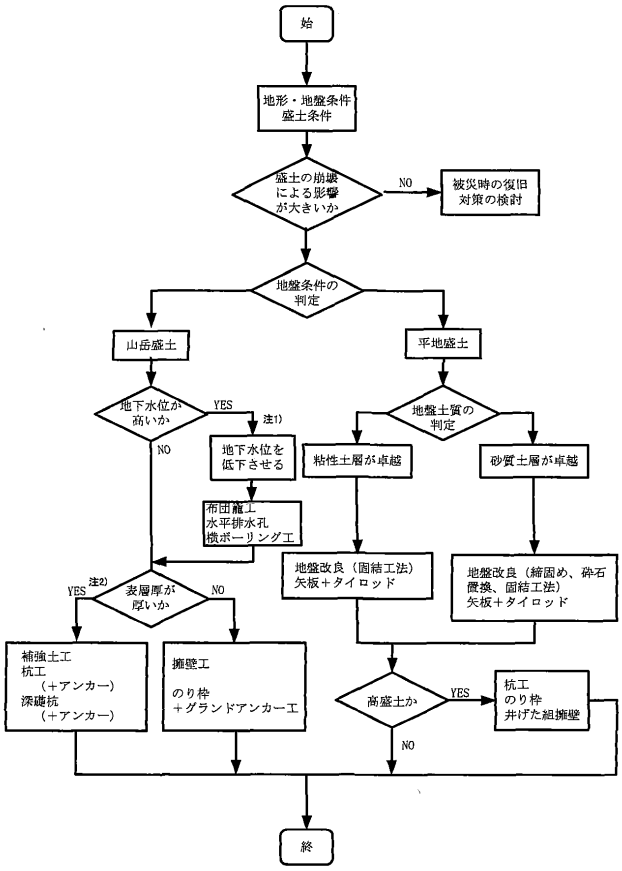
「道路震災対策便覧（震前対策編）」では，盛土の震災における被害の特徴や広義の耐震対策事例を考慮し，既設盛土における耐震対策工法の選定上の一般的な目安として以下を示している。

①　地盤が軟弱，特にゆるい砂質地盤の場合には地盤破壊が生じないように地盤対策を行う。このためには，締固めなどの地盤改良により地盤破壊を防止するか，または矢板＋タイロッドのように地盤破壊による変形を拘束することが考えられる。

②　地下水が盛土または地盤に浸透・集水しやすいところでは，地下排水工等により地下水位を低下させる。また，法先にじゃかご（ふとんかご）を設置することも効果的である。

③　傾斜が急な地盤では，大規模な崩壊を避けるための土圧に抵抗することのできる構造物形式の土留め対策を施す。このようなものとして，コンクリート擁壁，井げた組擁壁，杭（深礎杭）＋アンカー工，法枠工＋アンカー工等が考えられる。また，補強土盛土，補強土壁を構築することにより盛土全体として耐震性を確保することができる。なお，このような対策の場合にも排水施設を適切に設置し，盛土中の水位はできるだけ低下させておく必要がある。

さらに，参考として盛土における耐震対策工法の選定の目安を図―4.7のフローで示している。



注１）　山岳盛土において地下水位が高い場合には盛土含水比の増加や有効応力の低下により安全率は低下する。また，一旦すべり破壊が生じた場合には，土塊の流動性が増加し，影響が遠方にまで及ぶことがあるので，盛土中の地下水位はできる限り低下させる必要がある。

注２）　山岳道路盛土が建設される傾斜面には，表面に風化された土や崩積土が堆積した，強度が低く崩壊しやすい土層があるのが通常であり，このような土層は擁壁等の構造物の支持層としては詳細な検討が必要とされ，直接基礎を採用するのが不適当な場合がある。

図―4.7　耐震対策工の選定の目安[15)]

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

4.6　道路盛土の補強事例

ここでは，盛土の補強事例として，耐震対策としての効果も期待して高速道路盛土の排水対策が行われた事例を紹介する。

(1)　盛土の概要

今回紹介する盛土は丘陵性台地～山地地形の尾根地形に挟まれた狭窄沢部に位置しており，盛土高さは約17 m で3～4段の法面が形成されている。この盛土箇所は平成15年（2003年）十勝沖地震により路面の陥没・段差が生じ，翌年の融雪期には地震により緩んだと思われる法面変状の経緯のある箇所である（図―4.8参照）。

地震による復旧工事は，上下線の舗装路面陥没箇所は舗装を撤去し，亀裂を埋め舗装を再施工し本復旧としている。また，縦断補正のためオーバーレイ工を実施している。翌年に起きた融雪期の災害に対しては，変状部の砂利置換え工や小段部にふとんかご工などを施工している。

今回平成21年（2009年）9月に当該箇所の近傍で再び1 200 m^3 の盛土崩壊が生じた。この年は春から夏にかけて例年の1.5倍の降雨量を記録しており，崩壊直後の盛土内部は相当緩んだ状態になっていたものと考えられる。なお小段部にふとんかごを設置した箇所は崩壊しておらず，そのすぐ直近の無対策法面が崩壊した。

今回3度目の災害をうけて，詳細な土質地質調査を行い，盛土の耐久性向上のため盛土内の水抜き工事を中心に対策工事を実施している。

(2)　崩壊した盛土の現状

ボーリング結果を基に作成した崩落箇所の土質断面図を図―4.9に示し，以下に崩落箇所および盛土法面の地質状況について記述する。

1)　法面崩落の原因

①　周辺地形の影響として，盛土部は沢埋め部で水を集水しやすい地形条件である。

②　沢部両側の尾根を構成する地質は固結度の低い礫質土層と火山灰質粘性土層で構成され，礫質土層は地下水の流路となる可能性が高い。そのため，この部分を介して盛土内に地下水が流入する可能性があった。

実際の崩土掘削工事において，左側掘削面から多量の湧水が認められた。この湧水が盛土内に浸透して，盛土内が常に軟質・湿潤状態にあったとすれば，不安定な状態になっていた可能性がある。

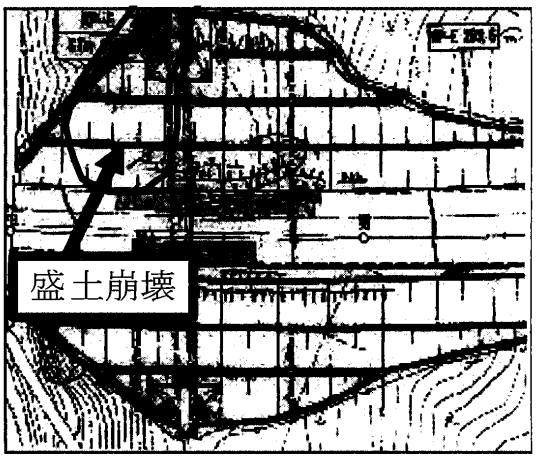
2)　盛土材料

①　盛土の層厚は，路肩部で17 m 程度である。盛土を構成する土質は，礫混じりシルト，火山灰質シルト，火山灰，亜炭などの粘性土が主体となる。N 値は2～50以上を記録するが，全体的には10前後の中位の硬さ状態にある。なお，この盛土材は，単独層では締固め強度が出にくい材料であることが知られていた。更に，建設段階から融雪期や降雨時に表層小崩落を繰り返していたことから，浸水による抵抗性が低い材料であったと考えられる。

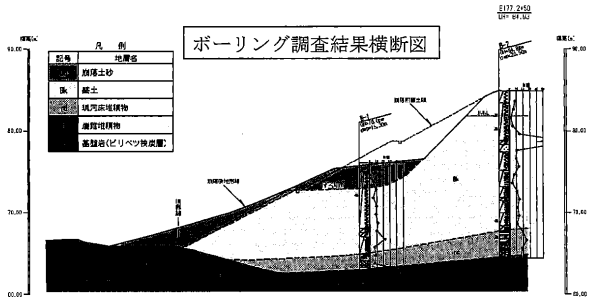
②　盛土材料の性質は，透水性材料（礫質土）と難透水性材料（火山灰質粘性土など）の混在により，透水性の良い箇所では特定の位置に水みちが形成され，その周辺の難透水性材料の箇所では水が抜けづらい性状にあった。

3)　地下水位

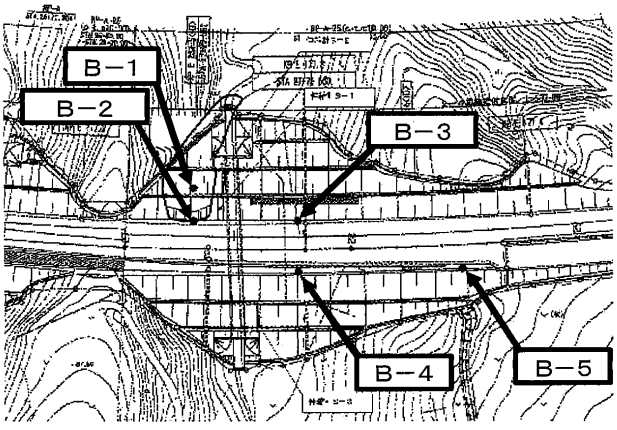
盛土材を調査したボーリング孔を利用して図―4.10に示すように地下水位の観測を行っている。



図―4.8　対象盛土箇所



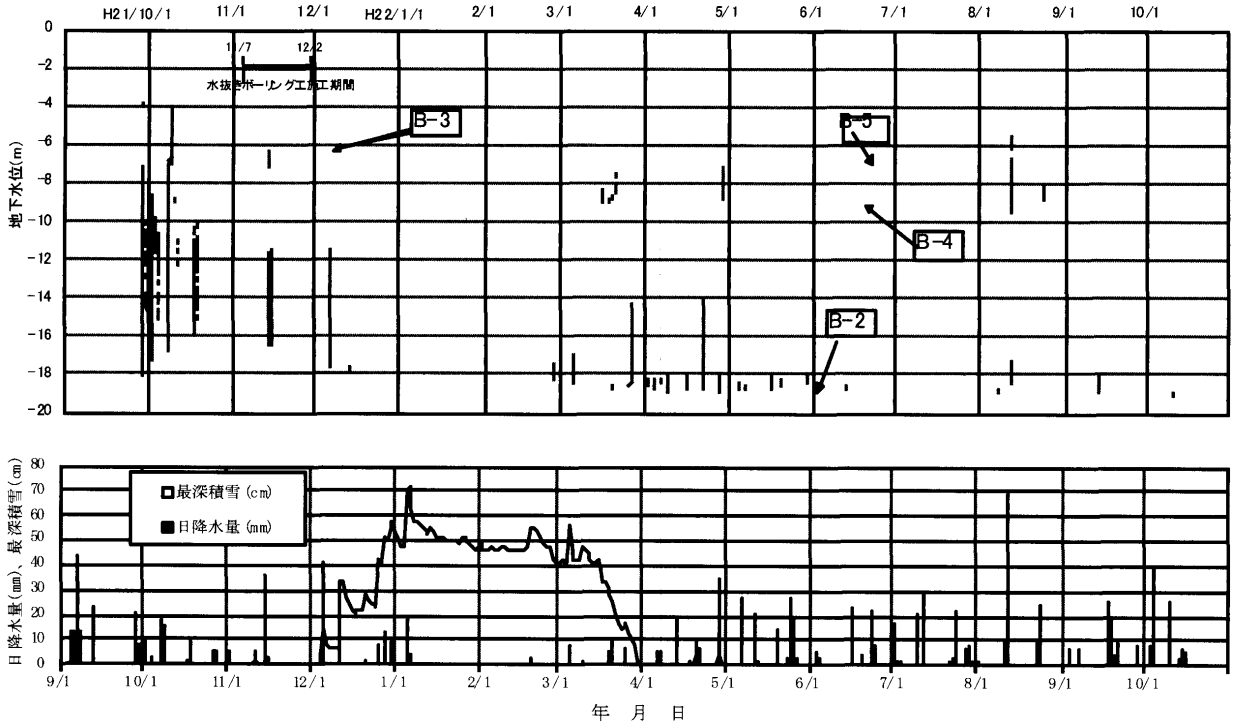
図―4.9　対象盛土箇所



図―4.10　地下水位調査位置図

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—4.11　地下水位の観測結果

なお，崩壊した法面部のB-1孔が深度4.0 m，法肩のB-2孔が深度3.1 mの初期水位が確認されていた。

図—4.11にその結果を示す。地下水位は，いずれの孔においても深度2.5～4.0 m付近にて初期水位が確認されている。

B-2孔の水位は，比較的降雨量が多くなるとGL-17～－18 m付近にあった水位が，GL-4～－10 m程度まで急激に上昇する傾向が認められる。B-2孔のボーリング調査時に確認された初期水位はGL-3.1 mであったが，これは盛土を構成する特定の土層に限られる宙水（溜り水）と考えられる。

B-3～B-5孔の地下水位は，深度4～8 mの盛土内に分布している。降雨による水位上昇は10月中旬までは1 m程度の水位上昇が認められていたが，11月中旬以降は1 m以下の水位上昇で収まっているとともに，徐々に水位低下の傾向を示している。これは渇水期に入ったこともあるが，災害復旧対策工で実施した盛土内の水抜きボーリング工が効果を発揮しているともいえる。

(3)　未崩落法面の対策工設計

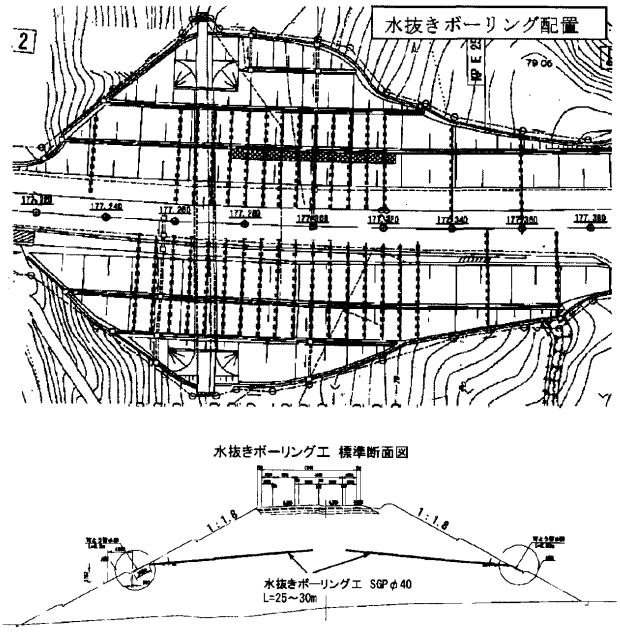
ここでは崩壊を免れた箇所への対策について述べる。

崩落未崩落法面の対策工設計は，盛土内に分布する地下水対策および法面表層部の変状抑制など，現況法面の安定度を向上させることを基本として次の2項目に対して行っている。

1)　水抜きボーリング工

水抜きボーリング工は，盛土の安定に関与する地下水排除・地下水位低下を目的として計画している。設計計画は以下のとおりとしている。

①　現在，盛土内の地下水位は，GL-5～GL-6 m付近に分布することから，施工位置より低い位置とし，原則的に第2法面の下方部を孔口位置とする。施工法面は均一的な低下効果を図るために，上下線法面双方から計画する。



図—4.12　ボーリング工施工図

②　平面配置は，上下線法面において5～20 m間隔で配置する。

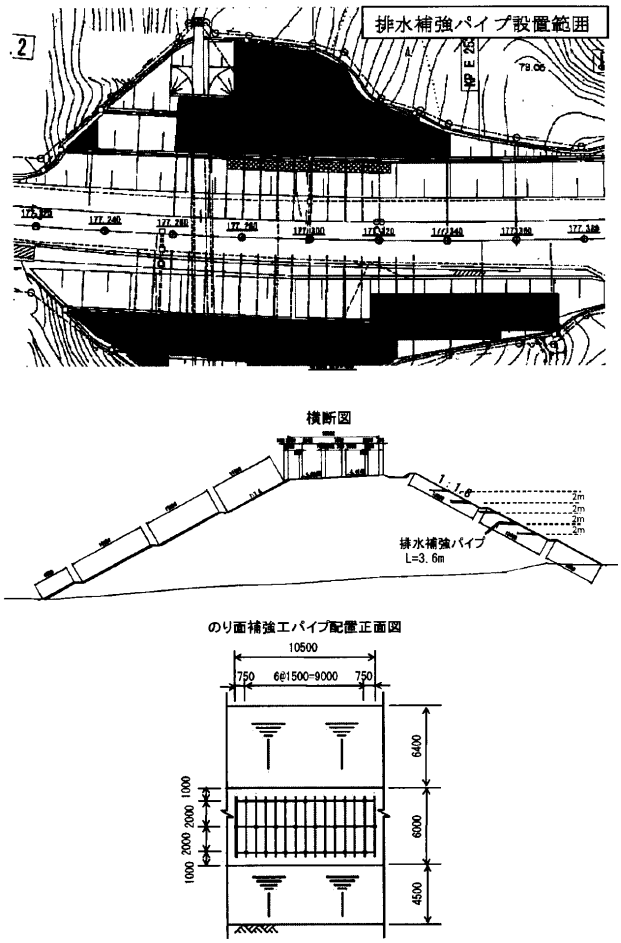
③　ボーリング延長は，道路中心付近まで計画し，延長25～30 m程度とする。

④　水抜きパイプは，盛土の圧縮沈下によってパイプ変形が生じない材料とし，ガス管（SGPφ40）を採用する。

⑤　パイプの水抜き穴位置は，パイプの全周に配置すると，下方向きの水抜き孔より集水された地下水は盛土内に漏水することも考えられた。そこで，全周

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図―4.13　排水補強パイプ工の設計図

の約1/3は無孔とし，無孔部を下側に設置することを基本とする。

⑥　孔口からの排水は，可とう管φ50を孔口に接続し，第2小段排水溝に排水させるものとする。

図―4.12に対策工の横断図等を示す。

2)　排水補強パイプ工

排水補強パイプ工は，法面表層部の地下水排除と盛土地盤補強を目的として計画している。

①　施工位置は，**図―4.13**に示す約160 mの上下線法面を対象とする。

②　設置間隔は，水平間隔1.5 m，鉛直間隔2 mを標準とし，1段の法面に2～3段を計画する。

図―4.13に排水補強パイプ工の設計図を示す。

3)　効果の検証

水抜きボーリング等の補強工事は11月から12月にかけて行った。先に示した**図―4.11**に示すように1年間にわたって水位観測を行った。これによると降雨直後に水位は一時的に増加するものの，対策工を実施したB-3, B-4孔の水位が4 m近く下がっており，水位低下の効果が発揮されている。

(4)　まとめ

現時点で当該箇所は健全な盛土を保っており，盛土の耐久性向上を十分発揮していると考えられる。

4.7　まとめと今後の課題

道路盛土を対象として，地震による道路盛土の災害形態，道路盛土の耐震性能，耐震性診断方法，および耐震性を高める対策方法などについて紹介した。これまで優先的に進められてきた橋梁の耐震補強対策事業と比較すると，既設道路盛土・既設擁壁に対する耐震補強の実施事例は未だ少ない。震後の緊急輸送ルート確保の観点から，既設の道路盛土についても耐震補強が求められている。一方で，限られた予算の中で膨大な延長を有する道路盛土の耐震補強を行うためには，弱点箇所を効率的に把握し，より合理的な対策手法の開発が求められる。特に，盛土の安定性の評価には盛土の強度と盛土内の水位の評価が重要であるが，これらを適切に評価するため，調査手法の開発およびその適用性の検証が引き続き必要である。

参　考　文　献

1)　既設盛土の耐震性に関する検討委員会：既設盛土の耐震性に関する検討委員会報告書―既設盛土の耐震性に関する現状と課題―，2009.

2)　佐々木哲也・榎本忠夫：道路盛土の地震被害事例に基づく被災要因分析，地盤工学研究発表会，2010.

3)　㈶道路保全技術センター：平成8年度道路防災総点検（地震）要領，1996.

4)　㈶道路保全技術センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等），2007.

5)　佐々木哲也・杉田秀樹・大川　寛・水橋正典：2007年能登半島地震で被災した盛土における地盤調査，第63回年次学術講演会，2008.

6)　地盤工学会 土構造物の地震時における許容変形と性能設計に関する研究委員会編：土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム発表論文集，pp. 19～46, 2007.

7)　日本道路公団北陸支社：平成16年（2004年）新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況および復旧概要【第3報】《被災～4車線一般開放までの取り組み》，2004.

8)　望月秀次・吉村雅宏・諫山武歳：高速道路の被害と復旧の考え方，基礎工，2005.

9)　国土技術政策総合研究所，㈱土木研究所，㈱建築研究所：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震被害調査報告，国総研資料第439号，土研資料第4086号，建築研資料第112号，2008.

10)　㈳日本道路協会：道路土工要綱，2009.

11)　㈳日本道路協会：道路土工-盛土工指針，2010.

12)　東日本・中日本・西日本高速道路㈱：設計要領第1集土工編，2009.

13)　国道交通省道路局国道防災課：盛土のり面の緊急点検について，道路，No. 4, pp. 22～25, 2009.

14)　高木宗男・横田聖哉・菅　浩一・安田　進：東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態，第55回　地盤工学シンポジウム論文集，pp 193～196, 2010.

15)　㈳日本道路協会：道路震災対策便覧（震前対策編），2006.

NII-Electronic Library Service