

「盛土の性能評価と強化・補強の実務」の出版 ～盛土の性能予測・評価から性能向上に必要な技術まで～

常田賢一・林 健二・中根 淳

1. はじめに

2004年10月の新潟県中越地震（写真-1）、2007年3月の能登半島地震は、地方山間部を中心として道路盛土に多数の被害が発生し、2005年の降雨では第三者災害を伴う高速道路盛土のすべり崩壊が発生し、2011年3月の東北地方太平洋沖地震では宅地造成盛土のすべり崩壊が発生した。このように、近年、盛土の被害が顕在化し、社会的、経済的に甚大な影響がもたらされている。

強い降雨や地震動などの外力に対して、盛土の安定性の確保を効果的かつ経済的に実施するためには、性能規定型の設計法の具体化が緊要である。おりしも、2009年に改定された道路土工要綱、2010年に改定された盛土工指針では性能規定の考え方が取り込まれた。また、2012年改定の道路道示方書下部構造編では、2011年東北地方太平洋沖地震で顕在化した取り付け盛土の段差防止に関して新たに規定が設けられ、橋台背面アプローチ部を含めた設計が行われるようになった。

しかし、盛土の耐震性の確保は、復旧の容易性といった認識により、積極的には取り組まれてきていないのが実情である。また、土木構造物の性能設計への潮流にある現在でも、土工構造物の性能設計の実務の具体化は今後の課題である。

上記の状況において、一般財団法人土木研究センターにより平成26年10月に『盛土の性能評価と強化・補強の実務（一般財団法人災害科学研究所盛土の性能向上技術普及研究会編）』（以下、本書）¹⁾を刊行した。



(a)致命的被害

(b)軽微な被害

写真-1 道路盛土の被害（機能）の差異：北陸地方整備局の写真に加筆

本書は、盛土の性能に着目して、危険度評価から性能の評価基準、性能の予測法および強化・補強の技術に至る、盛土の性能向上に必要な技術の体系化を図り、実務のための参考書を意図している。なお、本書は地震に限らず、降雨も対象とし、また、道路盛土のほか、宅地盛土、鉄道盛土などの類似の盛土構造にも反映できる。

以下に、本書の内容の要点を、技術的な視点として紹介するが、詳細は本書¹⁾を参照されたい。

2. 盛土の性能評価のための視点

盛土の性能評価に必要な視点（課題、要因）は多岐に亘るが、盛土の性能評価の普及、実務化のためには、それぞれの視点の理解および具体化が必要である。本書では、以下の7つの視点を章の構成にして、体系化を図っている。

視点1（1章）盛土の被害から学ぶ

盛土の性能を考慮する上で、既往の地震災害、降雨災害による構造物の被害特性を知ることが原点である。本書では、既往災害の知見を24の項目と解説にまとめている。

視点2（2章）盛土の性能評価と評価基準

盛土の性能設計のためには、性能評価の概念および評価基準を明確にし、類似構造物における性能評価の実情を知り、従来の仕様設計との差異の理解が必要かつ有効である。

本書では、道路盛土、鉄道盛土、河川堤防、宅地などの基準類での性能評価の比較、道路盛土の評価基準の提示、性能評価による盛土の設計概念の提示、仕様設計と性能設計の差異、道路盛土の性能評価の設計例を示している。

視点3（3章）盛土のための地震動の予測

盛土の性能設計では、すべり変位量などの変状を予測するが、そのためには入力地震動の設定が必要である。

本書では、盛土位置の地震動および広域的な地震動分布の予測法を示している。

視点4（4章）道路盛土の地震危険度マクロ評価

広範囲に渡る数多くの盛土に対しては、まず、

危険度を簡易かつマクロに評価してスクリーニングすることが必要かつ有効である。

本書では、道路盛土の地震危険度マクロ評価法を提示し、2009年の駿河湾を震源とする地震後に実施された盛土の緊急点検の方法を取り込んでいる。

視点5 (5章) 盛土の安定性の評価と変形の予測

視点4で抽出された危険度の高い盛土は、さらに安定性の詳細解析、評価を行うが、そのための評価法およびその適用性の理解が必要である。

本書では、現状の安定性の評価法、変形の予測法を概観し、円弧すべり法の適用法、せん断強度低減法・ニューマーク法・FEM（有限要素法）による変形予測を示すとともに、円弧すべり法とニューマーク法の相関化に言及している。

視点6 (6章) 経年による盛土の状態と安定性の変化

従来、盛土は経年により安定すると言われているが、盛土内の含水状態の変化により、当初の設計条件から変わり不安定化している場合があるので、その理解と注意が必要である。

本書では、盛土の安定に深く関係する湧水の実態（写真-2）、含水状態の変化による強度変化、地下水位の変化の影響、さらに地下水状況を把握するための盛土の地下水探査法を示している。

視点7 (7章) 盛土の強化・補強の技術と性能向上の効果

経済的かつ設計の自由度が得られる性能評価の意義を実証し、普及を図るためには、性能評価型の盛土の強化・補強の具体的な方法およびその効果の提示が必要である。

本書では、NETISおよび建設技術審査証明事業における盛土の強化技術・補強技術を示し、性能向上のための技術を3分類（すべりに対する強化・補強、沈下・段差の防止・抑制、排水に関す

る強化・補強）している。さらに、盛土の強化・補強による性能向上の効果を、盛土天端の補強、法面の補強、法尻の補強、人工基盤によるすべり面の位置制御、沈下・段差の防止・抑制、排水性の向上に6区分し、それぞれ強化・補強の考え方と効果の検証結果を示している。

3. 主な性能評価の視点

3.1 盛土の被害の実態把握

2004年新潟県中越地震、2006年能登半島地震、2009年駿河湾を震源とする地震による盛土被害は、被害水準（崩壊や変形の規模、形態など）がそれぞれ大きく異っていた。したがって、これらの盛土の被害は、その被害水準とともに、盛土に求められる機能、例えば、道路盛土では交通機能に与える影響の度合いによって、評価されるべきものである。このため、盛土の性能評価は、盛土被害と、その社会的な被害の影響を認識することが前提になる。

前記の写真-1(a)は2車線が崩壊して致命的な影響を受けたが、写真-1(b)は路肩から法面部に至る部分的なすべりであり、ある程度の交通機能が確保できており、軽微な被害水準であった。このように、性能評価では被害と影響の程度の明確化が必要である。

3.2 地震危険度マクロ評価

評価すべき構造物が多数である場合、まず、優先順位、危険度のマクロ的な区分が有効で、適切な評価項目の選択と項目間の重みづけによる評価の定量化が必要である。このような視点から、本書では盛土の地震危険度マクロ評価法を提示している²⁾。同法では、上記の既往地震被害から盛土の被害に関する要因および2009年の駿河湾を震源とする地震の教訓を踏まえて実施された緊急点検の方法を考慮し、地山地形の形状・方向、排水処理の状況、盛土の土質と施工状況、盛土構造（横断方向）、盛土の高さ、のり面の勾配、補強構造の有無、湧水・変状履歴の8項目を設定して、重み付けし、危険度評価点を算出している。

危険度評価点は0～100点にあり、点数が大きいほど危険度が高いと評価する。このマクロ評価は、盛土間の相対的な危険度評価が可能であるので、優先度を判断する多様な場面で適用できる。



写真-2 盛土法尻部の湧水例

土研センター

3.3 性能評価の実務

盛土の性能評価の具体化のためには、評価指標と評価基準、さらに、具体的な強化・補強の技術が目標とする設計概念を明確にすることが必要である。以下に、それらの概要を示す。

3.3.1 性能の評価指標と評価基準

「道路土工—盛土工指針（2010年）」では、盛土の限界状態は盛土条件、施工条件、維持管理の容易性などの諸条件によって様々であるとし、一般的な盛土の限界状態では、要求性能別の取り扱い方法が記述されている。しかし、“生じる変形・損傷は適切に定める”といった記述に止まり、設計に必要な定量化には至っていないのが現状である。一方、「鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計（1999年）」では、盛土の損害程度と沈下量の目安を規定している。

そのため、本書では道路盛土を想定した段差走行実験などに基づいた表-1の性能評価区分を提示している。同表では、車道路面の段差高を性能の評価指標、2～3cm、20～25cm、50cmを評価基準として、要求性能を4ランクに分けている。

3.3.2 性能設計の概念

2004年新潟県中越地震の被害（写真-1など）から、性能設計の姿勢として、盛土の横断方向で“すべり破壊制御”、縦断方向で“縦断線形円滑化”が着想できる。これらに“排水確保”を加えると、以下のように、すべりに対する強化・補強、沈下・段差の防止・抑制および排水に関する強化・補強の3つの性能設計の概念が提示できる。

(1)すべりに対する強化・補強

すべり面の発生位置およびすべり量を制御することにより、盛土を強化・補強する。具体的な対策としては、図-1のように、天端補強構造、法面補強構造、のり尻補強構造、人工基盤補強構造

および遮断補強構造の5つが考えられる。

(2)沈下・段差の防止・抑制

縦断方向に路面を連続沈下させるように盛土を強化・補強する。その方策としては図-2のように、盛土材補強構造、補強土補強構造、構造体補強構造および変断面補強構造の4つが考えられる。

(3)排水に関する強化・補強

盛土の安定性を確保、向上させるように排水し、盛土を強化・補強する。そのための技術は、図-3のように、地下水探査技術、排水補強技術およびボーリング技術の3つが考えられる。

本書では、上記の3つの強化・補強に関して、現時点で研究開発されている技術・工法を提示しているが、さらなる具体化が今後の課題である。

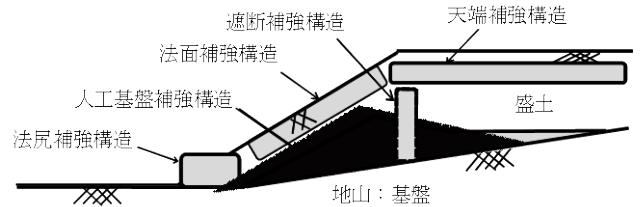


図-1 すべりに対する強化・補強

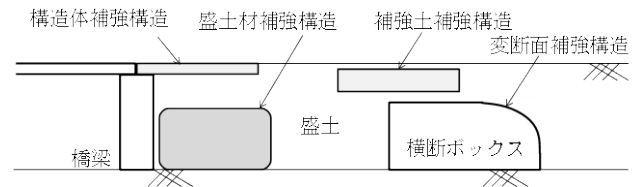


図-2 沈下・段差の防止・抑制

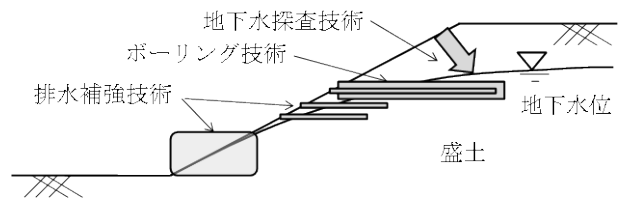


図-3 排水に関する強化・補強

表-1 道路盛土の性能評価区分例

ランク	被災直後における常時の交通機能の確保の難易	被害の評価指標
		車道路面の段差高
1	交通機能は確保される	段差規模が2～3cm以下
2	交通量は低下するが、その確保は容易であり、比較的短時間で実施できる	段差規模が2～3cmを超えて、20～25cm以下
3	交通機能が低下し、その確保はやや容易であり、やや期間を要する	段差規模が20～25cmを超えて、50cm以下
4	交通機能が喪失し、その確保は困難であり、長期間を要する	段差規模が50cmを超える

3.3.3 性能設計と仕様設計の差異

性能設計が従来の仕様設計と比較されることがある。本文では詳細を割愛するが、両者は入力地震動、評価方法が異なるので、単純には比較ができないことの認識が必要である。

3.3.4 道路盛土の性能設計例

道路盛土の性能設計の実務化の先進事例として、阪神高速道路・大和川線三宝JCTの設計例³⁾が特筆できるので紹介している。同例では、基礎地盤の液状化は許容し、橋台背面アプローチ部で全層改良し、一般盛土区間で路面段差を許容するが、改良区境界で25cm以上の段差を発生させないように改良厚を段階的に小さくしている。その結果、地盤改良数量が1割強で済み、大幅なコスト削減が可能となった。

3.4 盛土の経年変化

経年による盛土構造の変化として、盛土内への浸透あるいは盛土材の劣化に起因する地下水の上昇、盛土内の滞水が想定されるが、それにより盛土は不安定化状態にあることが懸念される。

3.4.1 地下水位・含水状態の変化

図-4は2011年東北地方太平洋沖地震による盛土被害箇所であるが、路面排水システムによると側溝からの漏水などによる盛土内への浸透、滞水が盛土の不安定化に関係あることが推察された。

3.4.2 強度の変化

盛土内の地下水位の上昇などにより、盛土材の強度低下が懸念される。「鉄道構造物設計標準・同解説 土構造物編（2007年）」では、降雨時の盛土の安定性照査で、盛土の湿潤状態（飽和度）に応じて粘着力を使い分けているが、今後は、道路盛土でも考慮が必要である。

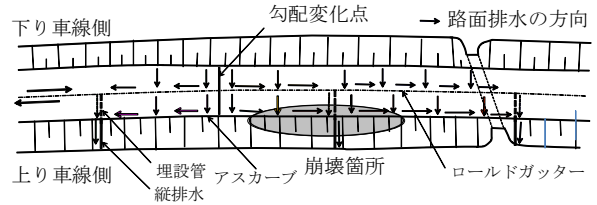


図-4 路面排水システムとすべり崩壊箇所

4. まとめ

新たに発行した本書を基に盛土の性能評価のための視点から紹介したが、性能評価に対する理解が深められ、性能評価型の設計、施工の実務への発展が望まれる。なお、本書は性能評価の実務化の足掛かりであり、今後の道路土工要綱などの基準類の発展に合わせた充実が必要である。

謝 辞

本書の道路盛土の研究は、2005～2007年の国土交通省道路局・道路新技術会議の委託研究⁴⁾を契機とし、(一財)災害科学研究所の“盛土の性能向上技術普及研究会”に至っている。これまでの研究の推進、普及に際して、御指導、御協力を頂いた関係機関、各位に深く感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 一般財団法人災害科学研究所、盛土の性能向上技術普及研究会：盛土の性能評価と強化・補強の実務、228p、一般財団法人土木研究センター、2014
- 2) 林 健二、常田賢一、上出定幸：道路盛土の現地点検における地震時危険度マクロ評価法の適用性、第46回地盤工学研究発表会、No.890、2011
- 3) 山村 清、小林 寛、佐藤彰紀：三宝JCT土工部の性能に基づくレベル2地震対策、阪神高速道路株式会社技報第26号、2013
- 4) 常田賢一ほか：道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開発、道路新技術会議道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート、No.17-4、2008

常田賢一



国立大学法人大阪大学大学院
工学研究科教授、工博
Dr.Ken-ichi TOKIDA

林 健二



(株)フォレストエンジニアリング
代表取締役、工博
Dr.Kenji HAYASHI

中根 淳



(一財)土木研究センター技術
研究所地盤・施工研究部部长
代理
Jun NAKANE