

平成27年度 技術講演会
「盛土に関する最近の動向－事例から性能評価まで－」

配布資料

道路土工構造物技術基準を考える

2015. 12. 16

大阪大学大学院
常田賢一

設計条件と施工の概念
① 設計時の強さ 施工時の固さ
② 現場の簡易な強さ試験方法
③ 水圧や圧入の問題
設計時の排水、圧入
→ 圧入試験

話 題

- 道路土工構造物の技術基準化
- 過去の地震被害から学ぶ
- 性能評価の概念
- 性能評価の基準
- すべり変形の予測法
- 性能設計の概念と補強構造の具体
- 天端補強構造の工法例と効果検証
- 性能設計例

近い過去、さらに甚大な被害が発生している事実
盛土でも復旧に時間がかかり、影響が大きいことがあることを認識



道路土工構造物の定義 多種多様！

道路土工物技術基準から

第2章 用語の定義

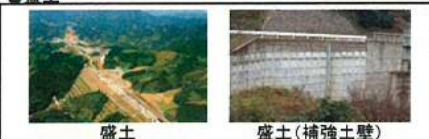
(1) 道路土工構造物

道路を建設するために構築する土砂や岩石等の地盤材料を主材料として構成される構造物及びそれらに附帯する構造物の総称をいい、切土・斜面安定施設、盛土、カルバート及びこれらに類するものをいう。

●切土・斜面安定施設



●盛土



●カルバート



経緯と技術基準の位置づけ

これまで

直轄など：道路土工要綱など。ただし、**参考資料**。義務なし。
震度法が基本。性能の評価は、これから。

NEXCO：要綱でNewmark法などが規定。適用。

↓

平成27年3月：道路土工構造物技術基準の制定

→ 現在新設
762118

↓

今後、新設・改築は、基準が義務化、遵守!

ようやく道路橋と肩を並べた!

しかし、

例えば、特に、直轄は盛土の耐震設計の経験が無い恐れ?

∴ **基準制定の意義、義務化の周知と実行が必要!**

道路土工構造物技術基準の構成

【目次】

第1章 総則	
第2章 用語の定義	4-3 要求性能
第3章 道路土工構造物の基本	4-4 各構造物の設計
第4章 道路土工構造物の設計	4-4-1 切土・斜面安定施設
	4-4-2 盛土
4-1 設計の基本	4-4-3 カルバート
4-2 作用	第5章 道路土工構造物の 施工
	第6章 記録の保存

道路局HP 社会資本整備審議会 道路分科会 第2回 道路技術小委員会

基準のあたりをわかす
#2118

道路土工構造物技術基準から：現時点の私見

1. **新設又は改築の場合：既設構造物の更新も！**
2. **論理的に妥当な方法、実験等により検証された手法、既往の経験・実績から妥当とされる手法・仕様等による設計：性能設計の主旨。土工構造物の特異性。**
論理性、実験等の検証方法、特に、既往の経験・実績による評価の位置づけの明確化が必要。
3. **供用期間中に通常経験する降雨量を考慮：豪雨などの異常降雨は、交通規制などの対応。** — ソフト対策
通常降雨は、レベル1津波、異常降雨はレベル2津波が対応し、異常降雨に対する土工構造物の“粘り強さ（＝損傷するも所要機能を保持）”を考えることは、技術展開の方向。

降雨時には粘り強い構造物
レベル1とレベル2

土工の構造物を CSP 七

4. **レベル1地震動及びレベル2地震動を考慮：**
道路橋における設計地震動と土工構造物のそれとの類似・差異を検証。
5. **要求性能1・2・3は安全性、使用性、修復性：**
性能の評価指標と評価基準の設定が必要。
6. **要求性能は連続する、隣接する構造物の要求性能・影響を勘案：**
道路土工構造物は関連する構造物が多様という特異性。
* 新たな分野にも！
7. **施工は設計条件を満たし、十分な品質を確保：**
土工構造物の特異性！施工管理の重要性。品質の明示が必要。
8. **維持管理に関しては別途規定：**
技術基準の対象外。土工構造物に特異な土質、地下水位、植生などの経年変化により、土工構造物の設計性能が変化する危険。
* 管理の充足・管理を考えた設計！

性能1：道路土工構造物は健全、または、道路土工構造物は損傷するが、当該区間の**道路としての機能に支障を及ぼさない**

性能2：道路土工構造物の損傷が**限定的なものにとどまり**、当該区間の道路の**機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる**

性能3：道路土工構造物の損傷が、当該区間の道路の機能に支障を及ぼすが、**致命的なものとならない**

道路の機能、支障、限定的、すみやか、致命的・・・??

性能評価について

課題例

1. 技術基準における性能の定義および取り扱い方法。
2. 性能の評価指標と評価基準。
3. 連続する構造物との性能の整合。
4. 性能評価における“見なし”の位置づけと扱い。
5. 性能明示した工法。→ 将来
6. 設計時の性能と施工時の性能、維持管理時の性能。
～WG3、WG4

①性能の定義、取り扱いの明確化が必要

性能1：道路土工構造物は健全、または、道路土工構造物は損傷するが、当該区間の道路としての機能に支障を及ぼさない

性能2：道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり、当該区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる

性能3：道路土工構造物の損傷が、当該区間の道路の機能に支障を及ぼすが、致命的なものとならない

道路の機能、支障、限定的、すみやか、致命的・・・??
→ 今後、明確化、共通化が必要！

課題例

推定地震による強震動による一次すべりの残留変形量は最大3m以上
臨界すべり面は車道部にまで達する →大規模な崩壊・道路交通機能への影響
ただし、すべり面の位置は片側車線に留まり、他方の車線の交通機能は確保
二次すべりを考慮しても、4車線のうち1車線の交通機能は確保

さて、一次すべりの場合、性能をどう考えるか？

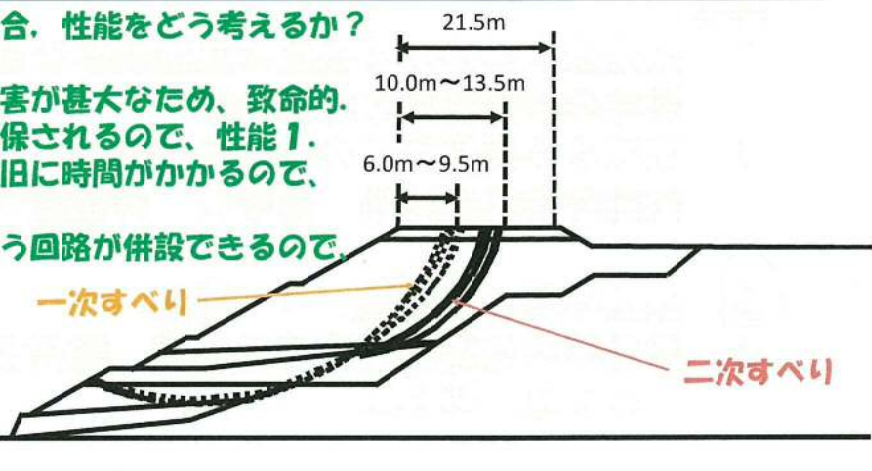
案1：谷側2車線の被害が甚大のため、致命的。

案2：山側2車線が確保されるので、性能1。

案3：谷側2車線の復旧に時間がかかるので、性能3。

案4：速やかに山側にう回路が併設できるので、性能2。

など

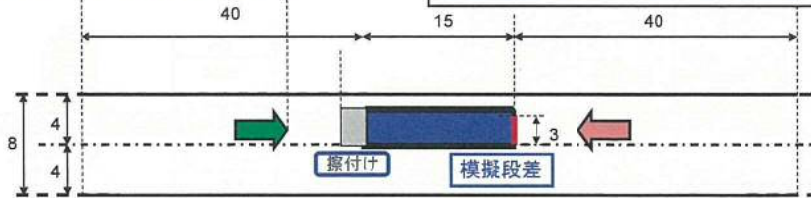


②道路盛土の性能の評価指標と評価基準が必要

→研究・開発の余地

段差走行実験を実施

模擬段差 H=5, 10, 15, 20, 25cm



乗降り走行方向



段差量と走行条件の関係を定量化



乗上げ走行方向

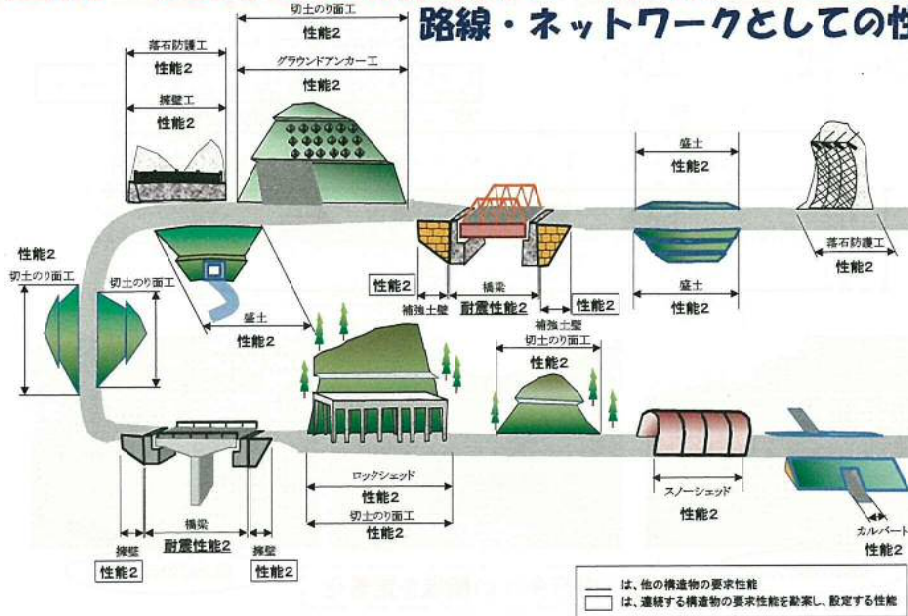
性能の評価指標基準例

ランク	被災直後における常時の通行機能の確保の難易	被害の評価項目			
		車道路面の段差	すべり破壊	天端の沈下	
				横断方向	縦断方向
1	通行機能が確保	段差高が2~3cm以下	すべり面が発生しない	沈下が発生しない	沈下が発生しない
2	通行機能は低下するが、その確保は比較的容易	段差高が2~3cmを超えて、20~25cm以下	すべり面が路肩あるいはのり面内の発生に止まる	小規模で一様に沈下する	小規模で一様に沈下する
3	通行機能が低下し、確保がやや困難	段差高が20~25cmを超えて、50cm以下	すべり面が片側車線に掛かる	小規模だが不均一に沈下する	小規模だが不均一に沈下する
4	通行機能の確保に長期間が必要	段差高が50cmを超える	すべり面が上下方向車線に掛かる	大規模で不均一に沈下する	大規模で不均一に沈下する

盛土の耐震性能ランク区分が可能に

課題: 評価基準としての活用

③連続・近接する構造物との性能の整合が必要 路線・ネットワークとしての性能評価



事例

①橋梁アフロー千盛土の段差に対する設計
→ 3.11地震・段差発生 → 道路橋示芳書下部構造編改訂

②盛土と舗装の構造連続性
背景：舗装の損傷の深層化
→ 土木研究所：土工と舗装の一体型設計・施工管理
メリット：コスト縮減＋長寿命化
* 第31回日本道路会議 参照

③斜面崩壊による原田橋の落橋
斜面崩壊 → 吊り橋の落橋



③ 1月31日午後5時10分ごろ、浜松市天竜区佐久間町川合の国道473号のつり橋「原田橋」付近で土砂崩れが発生、天竜川に崩れ落ちた。個別設計 → 連続する構造物の性能の整合が必要

④ 性能評価における見做しの再確認が必要

見做し = 言い訳？ 逃げ？ そこで、思考停止！
研究・技術開発の可能性を削ぐ！
経験学から工学的・力学的裏付け に進化を。

どうする？

- ・ 標準仕様の妥当性の検証
- ・ みなしの適用範囲の明確化
- ・ 強度と締固め度の相関性の確認
- ・ 施工管理の方法の見直し・開発
- ・

設計の強化 - 施工管理の強化

見做しとは？ 例えば、

主旨：実現、達成、保障される**構造機能**あるいは発生する**損傷・被害規模・影響**が、**同等（以上）**であるので、特に**検証しなくとも**、**同じ扱い**をしてよい

前提：相互に機能の同等性が、**然るべき機関**などにより、**検証、確認**されていること

検証・確認方法：論理的に**妥当な方法**、**実験等**により**検証された手法**、**既往の経験・実績**から**妥当とされる手法・仕様等**

検証者：技術的・専門的な**第三者機関**、**個別委員会**・・・

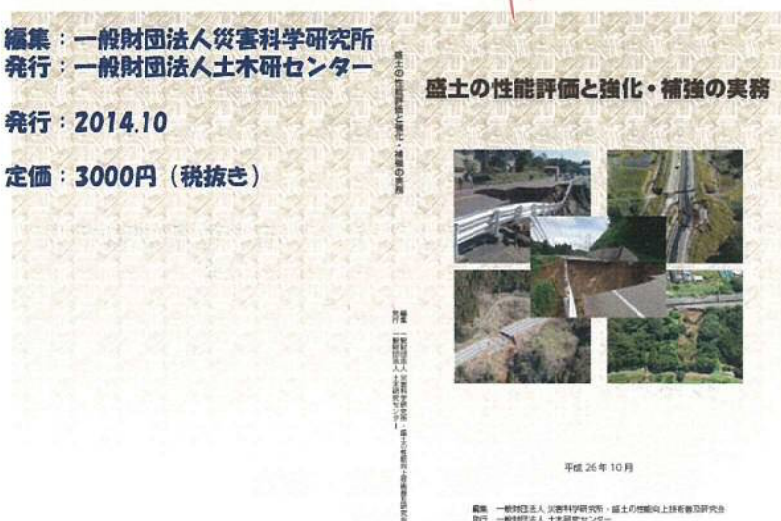
研究成果の紹介 申し込みは土木研究センター

編集：一般財団法人災害科学研究所
発行：一般財団法人土木研センター

発行：2014.10

定価：3000円（税抜き）

中越地震以降



目次構成

第1章 盛土の被害から学ぶ

- 1.1 概要
- 1.2 被害の発生位置
- 1.3 被害の発生形態
- 1.4 すべり特性
- 1.5 経年変化
- 1.6 被害の影響と対策
- 1.7 津波被害

第2章 盛土の性能と評価

- 2.1 性能評価の概念
- 2.2 現行の基準類による要求性能
- 2.3 道路盛土の評価基準
- 2.4 性能評価による盛土の設計概念
- 2.5 仕様設計と性能設計の関係
- 2.6 性能評価による道路盛土の設計例

第3章 盛土のための地震動の予測

- 3.1 概要
- 3.2 盛土位置における地震動の予測法
- 3.3 広域な地震動分布の予測法

第4章 道路盛土の地震危険度のマクロ評価

- 4.1 被害からの知見
- 4.2 マクロ評価の流れ
- 4.3 マクロ評価法の推移
- 4.4 緊急点検法
- 4.5 地震危険度マクロ評価法2010とその活用法
- 4.6 緊急点検への適用
- 4.7 評価基準
- 4.8 地震動を考慮したマクロ評価

第5章 盛土の安定性の評価と変形の予測

- 5.1 概要
- 5.2 安定性の評価法
- 5.3 変形量の評価法

第6章 経年による盛土の状態と安定性の変化

- 6.1 盛土の安定性の経年変化とその要因
- 6.2 盛土表面の湧水
- 6.3 地下水位の変動
- 6.4 盛土内の含水状態と強度
- 6.5 飽和度と強度の関係
- 6.6 地下水位の変化と安定性
- 6.7 盛土の地下水位探査法
- 6.8 水の影響に対する安定対策

第7章 盛土の強化・補強の技術と性能向上

- 7.1 概要
- 7.2 NETISにおける盛土強化技術・補強技術
- 7.3 技術審査における盛土強化技術・補強技術
- 7.4 性能向上のための技術
- 7.5 盛土の強化・補強による性能向上
 - 7.5.1 盛土天端の補強効果
 - 7.5.2 法面の補強効果
 - 7.5.3 法尻の補強効果
 - 7.5.4 人工基盤によるすべり面の位置制御効果
 - 7.5.5 沈下・段差の防止・抑制効果
 - 7.5.6 排水機能の向上効果

あとがき

技術資料

研究会委員および執筆者

【対象】盛土：道路・鉄道・宅地
外力：地震・降雨

個別技術例：付属資料（技術資料）

- 7.5.1 盛土天端の補強効果
技術（1）KABUTO工法 前田工機(株)
- 7.5.2 法面の補強効果
技術（2）ミニアンカー工法 岡三リビック(株)・大日本土木(株)
- 7.5.3 法尻の補強効果
技術（3）大型ふとんかご工法 共和ハーモテック(株)
技術（4）テラメッシュ工法-ギャビオン補強土壁-
エターナルフレザーズ(株)
- 7.5.5 沈下・段差の防止・抑制効果
技術（5）コンスパン工法-アーチ型フレキャストカルバート-
ヒロセ(株)
技術（6）アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法
前田工機(株)・(株)NIPPO
- 7.5.6 排水機能の向上効果
技術（7）恒久排水補強パイプ 千代田器材(株)・岡三リビック(株)

過去の地震被害から学ぶ

- 東名道路盛土の被害は、将来の警鐘である
 - 過去には、更に甚大な被害が発生している
 - 道路盛土でも事前対策が必要である
 - 既往地震被害から得られる有益な知見、ヒントを逃さず、活かす
- 道路土工構造物技術基準を遵守して強化

2009年

8月11日

駿河湾を震源とする地震

国交省・NEXCO

緊急点検中



国際航業(株)・(株)パスコ

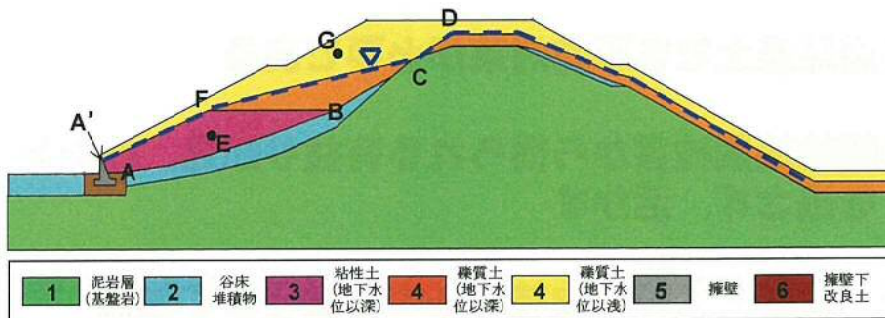


NEXCO中日本

原因

* 経年変化

- ①集水地形上の盛土
- ②盛土材のスレーキング：劣化／透水性の低下
→ 堤内に地下水位が形成 → 強度低下
- ③高盛土 $H \geq 10m$



東名高速道路盛土の被害からの教訓は

震度6弱、高速道路で1個所の被害は、
今後の大地震の警鐘

1個所の被害で復旧に5日は、盛土の影響も大の示唆

類似被害の検証と対応の必要性 → 緊急点検

現地、盛土条件に応じた迅速、
効果的な復旧技術の確立

高規格な道路への安全性の期待

迂回路への影響、迂回路の信頼性など、迂回路の吟味



排水層設置

ふとんかご
による復旧
地点1

20150307

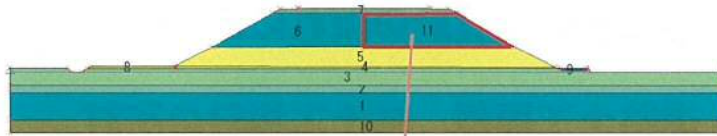


ふとんかごによる復旧 地点2 のり戻3段:1.5m
のり面横断方向:トレンチ状排水碎石層
幅0.75m 間隔3m? 20150307

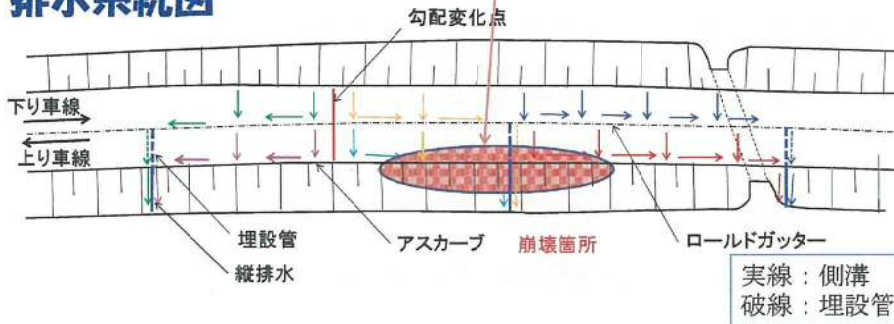


特長: 排水層を奥まで、大規模に入れる 設計法は未確立?

原因：崩壊箇所はカーブの内側に位置し、水が溜まっており、その結果、強度が低下して、地震前から、下り側より、上り側が崩壊し易かった！



排水系統図



盛土の被害規模と影響 (=機能) レベルの関係

性能は？



路肩のすべり: 無補修で緊急車両走行



国際航空機・船バスコ

4車線の上り1車線にかかる崩壊



4車線のうち、2車線崩壊



新潟日報社

4車線の4車線崩壊

性能設計の潮流と基本

○道路盛土も性能設計の流れにある

* 道路土工要綱, 盛土工指針の改訂

○性能設計のためには、性能（変位量・・・）の 評価方法と評価基準が必要である

○性能設計と従来設計の差異を理解する

* 道路土工構造物の技術基準の制定 2015. 3

道路土工要綱(平成21年度版)

想定される作用は、(1)常時の作用、(2)降雨の作用、(3)地震動の作用、(4)その他があり、・・・諸条件により適宜選定する。

要求性能は、安全性、供用性、修復性の観点から、想定する作用と重要度に応じて設定する。

想定する作用 \ 重要度		重要度1	重要度2
		自重・交通荷重	性能1
降雨の作用		性能1	性能1
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

性能1: 想定する作用によって土工構造物として健全性を損なわない性能

性能2: 想定する作用によって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すみやかに行いうる性能

性能3: 想定する作用によ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

→ 盛土工指針(H22改訂)

性能評価による地震対策

強い地震動・レベル2地震動
機能合理性&経済性の視点

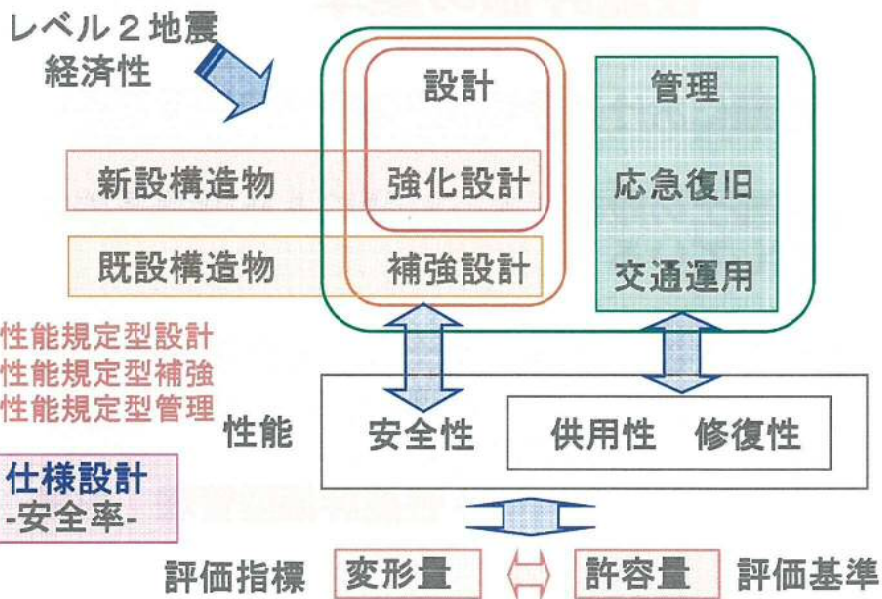


南海トラフ巨大地震と3.11地震の差異
震源が近い→ 強い地震動、早い津波の到達



性能評価による**盛土**の**経済的な耐震性向上**

道路盛土の性能規定化の視点



性能を考えるためには！

被害レベルの認識を！

被害レベルとは、構造の損傷レベル、

さらに、機能の低下の度合い

∴ 機能レベル = 被害レベル

どの被害レベルにするか！

地震に限らず、被害には程度（レベル）があることを認識

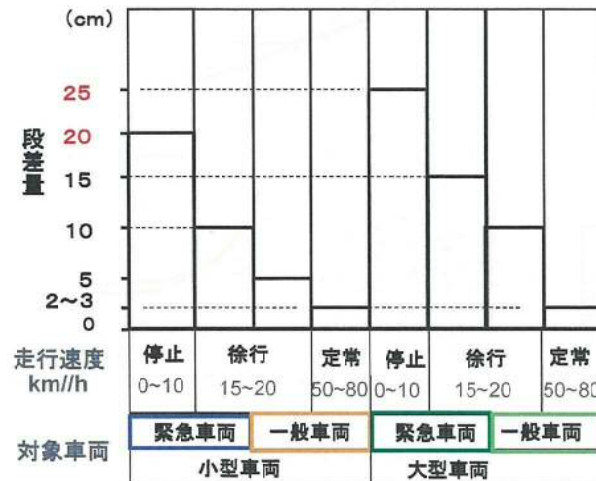
被害レベルを知ると、機能レベルがイメージしやすい

性能評価の基準

- **基準類における評価基準の整備が必要である**
- **道路盛土の段差・すべり量による評価基準を提案している**
- **上記の評価基準は、盛土の性能設計の判断基準として使え、さらに道路啓開（を早めるための）の判断基準としても使える**

*** 性能評価型管理：啓開**

車両・速度別 通過可能段差量



無補修でも、或る条件下で、車両が通過できることが確認できた段差の上限値

規制または管理の対象区分

すべり変位量の予測法は？

Newmark法：盛土のすべり変形量の簡易な実用的方法

鉄道構造物等設計基準・同解説 土構造物では、**規定**

盛土工指針では、予測法の例として解説

Newmark法も多様！ 適用に際して、留意。

従来型：地表面入力波形による 例：鉄道基準

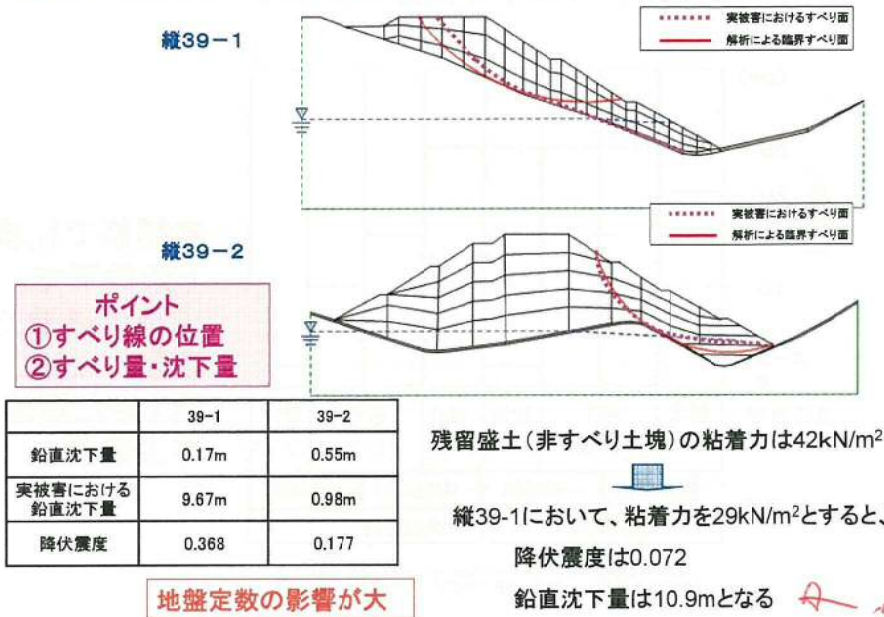
応答型1：盛土のすべり重心の応答波形による

例：改良0型ニューマーク法

応答型2：盛土の等価な応答波形による 例：NEXCO方式

課題：盛土用の標準的地震動が必要！ 検討中

能登有料道路の被害盛土へ適用



身障りなるとして突被害の鉛直沈下量は10.9m

性能設計の概念と補強構造の具体

- 中越地震、能登半島地震の被害盛土をヒントにして、すべり破壊制御工法の設計概念を提示
- 4つの補強構造の設計理念：
 【天端補強構造】 【法尻補強構造】
 【遮断補強構造】 【人工基盤構造】を提示

新潟県中越地震の盛土被害からのヒント

すべり破壊による被害

道路機能の低下 大

道路機能の低下 小



致命的な被害

2車線に及んだすべり崩壊事例



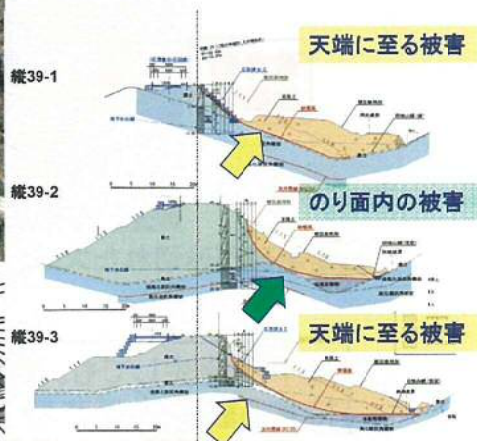
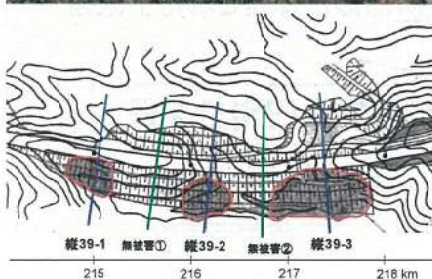
軽微な被害

法肩付近に止まったすべり破壊事例

すべり面の位置および変位量を制御し、車道部における損傷を限定的に止める設計法が有効！

すべり破壊制御工法 と呼ぶ 変形を許容

能登半島地震の盛土被害からのヒント



自然基盤の位置・形状

身地取

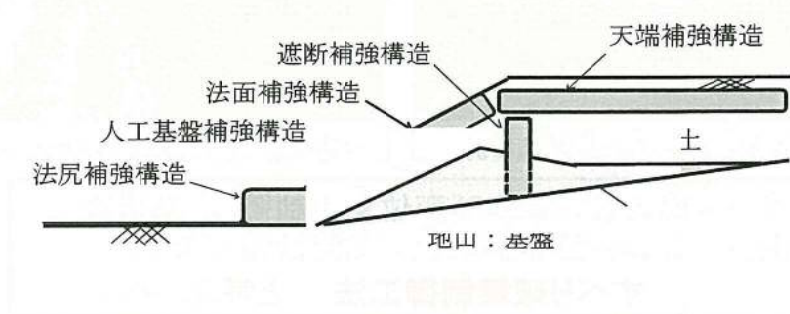
基礎の形に依る

人工的基礎でも可

設計理念 1 : 盛土横断方向の強化・補強

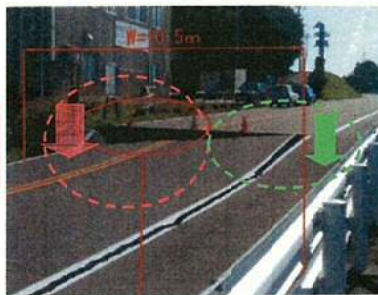
盛土の天端、法面、法尻および盛土内の基盤の部分的な強・補強により、すべり面の発生位置あるいはすべり量を制御

部分・ミニマム補強による経済性



新潟県中越地震の盛土被害からのヒント

致命的な被害



軽微な被害

縦断線形が途切れた大段 縦断線形が保持された小段差

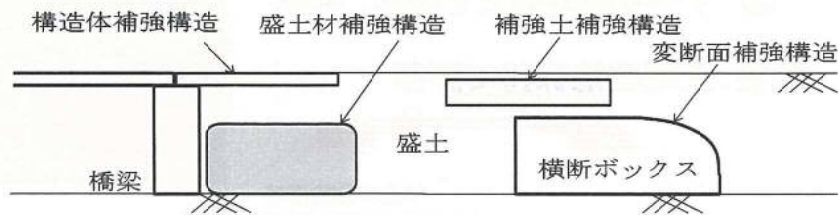
沈下が発生しても、縦断線形の円滑性を保持する設計法が有効！

縦断線形円滑化(工法) と呼ぶ

沈下を許容

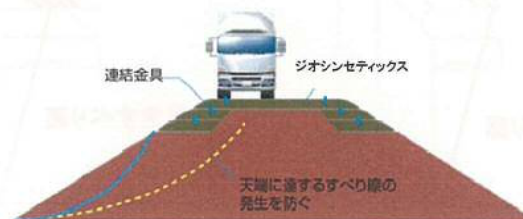
設計理念2：盛土縦断方向の強化・補強

構造物近傍における路面沈下を連続化するため、
構造変化部の部分的な強化・補強により、**段差の発生を制御**



天端補強構造の工法例と効果検証

- 【天端補強構造】の一つとして、ジオテキスタイルを用いた天端一体化工法の適用性を、野外実大実験、動的遠心載荷実験により検証
- 能越自動車道の工事用道路の改良道路盛土(常時の補強)で、初めて天端一体化工法が適用
- 3.11地震による国道6号の盛土において、強化復旧で適用

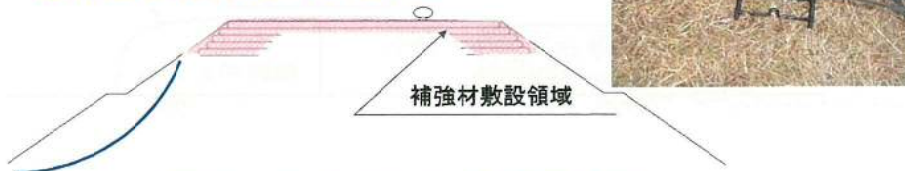


—天端補強構造— 実現の可能性
天端一体化工法の提案

天端付近をジオテキスタイルで補強

- ① ジオテキスタイルと土との一体化効果
- ② 法肩部の補強領域の側圧効果による盛土内部の土塊の変形の拘束効果
- ③ すべり線の発生を防止, 抑制

性能: 天端機能保持で評価



天端一体化工法の効果模式図

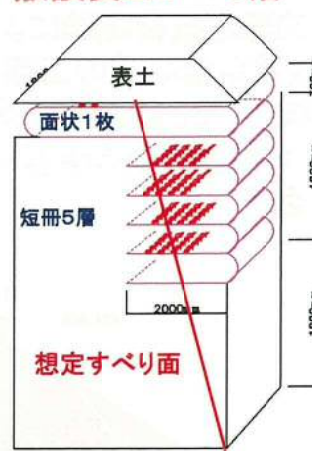
補強パターン2

ジオテキスタイル
敷設長1m 5層



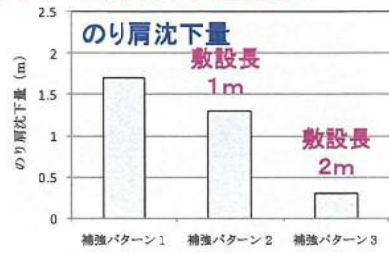
補強パターン3

ジオテキスタイル
敷設長2m 5層





天端の保持の有無、程度は！



面状1層+短冊5層
敷設長1m
敷設長2m

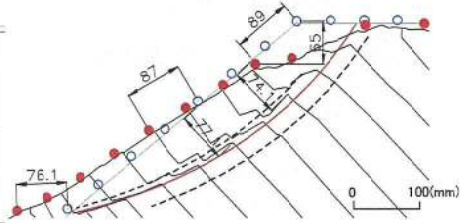
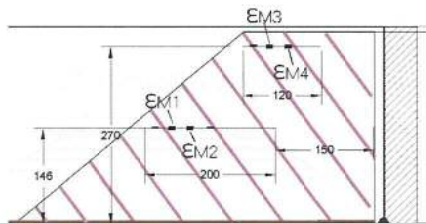
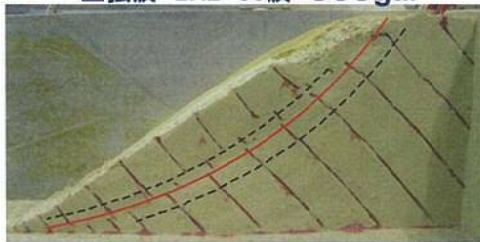


パターン1:面状1層

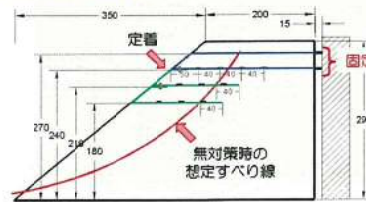
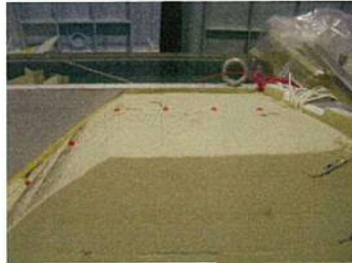


遠心(30G) 載荷実験—動的載荷— 無補強

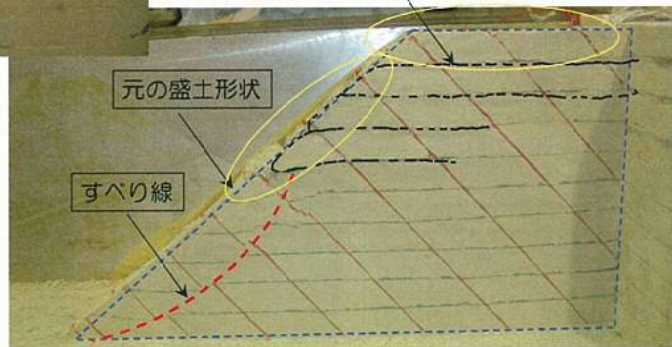
正弦波 2Hz 30波 500gal



ケース2 面状補強1層＋短冊補強2層
500Gal加振後



ジオテキスタイル

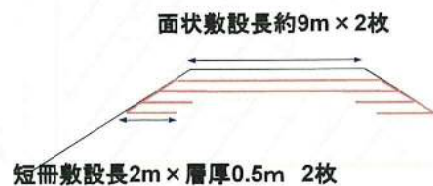


2011年東北地方太平洋沖地震
現道の復旧 実道路 本邦初
仙台河川国道事務所



19m24 施工

2011年
国道6号 復旧
宮城県山元町
天端補強
KABUTO工法



被害

直後



▲④山元町浅生原字日向地内



応急復旧後



完成



性能評価による道路盛土の設計例

阪神高速大和川線三宝JCT

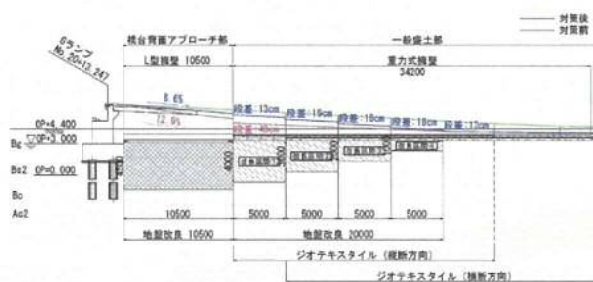
- 昭和30年代までに埋立てられた軟弱地盤
- 大地震時には液状化の発生が懸念
- 環境的条件や近年の擁壁・盛土区間の耐震性能への要求
- 盛土工指針の耐震性能2を満たすべく検討
- レベル2地震に対する性能規定型の設計を試行

- 無対策：橋台背面アプローチ区間で大きな沈下
- 橋台背面アプローチ区間と一般盛土区間の境界の段差は40cm 縦断勾配は踏掛版上で12.9%
- 設定した性能を満足する対策工を検討

区間	橋台背面アプローチ区間		一般盛土区間		許容値
	最大	最小	最大	最小	
盛土高さ					
沈下量(cm)	— ※	82	122	62	
段差(cm)	— ※	40		—	25
縦断勾配(%)	12.9		2.9		12
※踏掛版設置のため沈下量なし					

対策工

- 性能を満足する範囲で沈下を許容 → 液状化もすべて抑制は必要はない
- 影響が大きくないAs2層の液状化は許容し、残る層の改良範囲を検討
- 橋台背面アフローチ部で全層改良し、一般盛土区間では改良区間境界で25cm以上の段差を生じさせないよう、改良厚を段階的に小さく
- 横断方向のすべり安定性の確保および縦断方向の盛土体の連続性確保
→ 両方向にジオテキスタイルを敷設
- 段差および縦断勾配が許容値以内を収める
- 路面段差の許容により、改良数量は1割強で、大幅なコスト削減



従来、道路土工構造物の特異性から、盛土の耐震設計・補強に対する理解は得られ難く、具体化は遅れている。

しかし、**技術基準化**を契機に、特異性（見なしなど）に流されずに目標性能を実現する技術の研究開発に取り組むことが、道路土工構造物分野の技術展開に繋がり、技術基準の意義が高まる。

なお、南海トラフ巨大地震は、3.11東日本大震災より、厳しい
* 大きい地震動と早い津波の来襲



参考

鬼怒川の堤防決壊に関する調査報告

常田賢一：平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川の破堤箇所の現地調査による知見と考察，
一般財団法人 災害科学研究所平成27年度災害等緊急調査報告書，
平成27年10月13日。 (<http://csi.or.jp/>) * 災害科学研究所HP

常田賢一：平成27年9月関東・東北豪雨による破堤に伴う落堀に関する現地調査からの考察，
第3回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム，Ⅱ-1，pp.1-4，2015.12