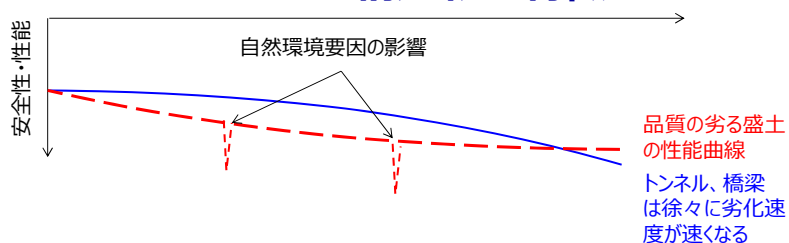


既設構造物の耐震化に関する課題 ～盛土構造物を対象として～

神戸の減災研究会
応用地質(株) 野並 賢

2015年1月22日

■ インフラとしての盛土構造物の特徴



- 時間とともに性能が低下、その速度は個々の盛土により異なり、把握することは困難である。
- 降雨などの自然環境要因の影響が卓越する。

一方...

- 盛土構造物にかけられる**管理コストは、トンネル、橋梁と比べて格段に小さいのが実情。**
- 盛土構造物の維持管理の必要性は認識されているが、管理費用の制約もあり、**経済的、合理的な対応**が望まれる。

■ 盛土構造物の維持管理の方針

盛土構造物が被災するときの外力

・・・降雨と地震

ともに、①盛土内の水位、②締固め不足、③悪質な盛土材料が原因・・・対策は共通している。

一方、盛土の性質は千差万別、**健全性を精度よく評価する手法**を確立する手法が望まれる。

以上から、盛土構造物の耐震化に関する課題は

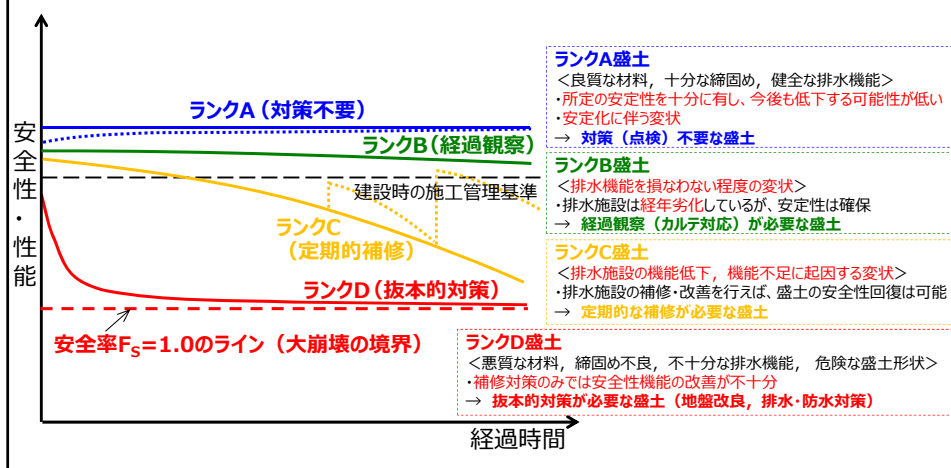
- ①既設の危険盛土の抽出手法の検討
- ②既設盛土の耐震性の評価手法の検討
- ③既設盛土の耐震補強対策の検討

が挙げられる。

①危険盛土の抽出手法の検討

■ 盛土の健全度評価ランクの考え方

- ・所定の安定性が今後も低下する可能性が低い、安定化に伴う変状→**ランクA**
- ・排水機能を損なわない程度（経年劣化）の変状がある。→**ランクB**
- ・排水施設の機能低下、機能不足に起因する変状がある。→**ランクC**
- ・補修対策のみでは安全性の改善が不十分→**ランクD**



■ 危険盛土の抽出手法に関する検討の課題整理（道路盛土を対象に）

- ・危険盛土の抽出・・・建設時の盛土材料、締固め度等が不明であることが一般的であるため、基本的には机上調査と目視観察(カルテ作成)によって行うこととなる。

↓

カルテ作成時の危険盛土の抽出精度を向上させることが重要である。

一方、道路盛土のカルテ作成に際しては、以下の課題が挙げられる。

- ① 目視観察で確認される変状と**安全性評価を構成する要素**の関係整理
- ② **変状内容と変状発生理由**の関係の整理(リスクとポテンシャル)
- ③ 点検時に**着目すべき個別項目**と点検によって得られる**評点と安全性評価**の関係

既往の点検カルテはこれらについての十分な配慮がなされているとは言えず、上記の整理・検討を行うことが、危険盛土の抽出精度向上につながると考えられる。

■ 神戸市の道路盛土台帳の現状

- ・道路盛土台帳に記載されている内容が一般的な緒元や地形地質条件のみであり、**耐震上安全性の低い可能性のある盛土を抽出するのに必要な調査が十分でない。**
- ・耐震上安全性が低い**高盛土や、被災履歴（兵庫県南部地震）がある盛土に対する評価が不十分である。**

道路盛土台帳の例

分 類	点 検 項 目	記 入 欄
(1)共通緒元	①左側歩道幅員	1.00
	②右側歩道幅員	1.00
	③車道幅員	9.50
(2)地形条件	④地形	4
	⑤地山勾配	13.33
	⑥築込地形	3
(3)地盤条件	⑦ボーリング資料の有無	3-3" 0 凡値
	⑧基礎地盤	3
	⑨地下水位	3
(4)盛土条件	⑩盛土高さ	下り線、上り線が同一である場合 上
	上り線、下り線で異なる場合	上 5.50 F 15.40
	⑪盛土材料	2
	⑫のり面勾配	下り線、上り線が同一である場合 上 1 F 1
	上り線、下り線で異なる場合	上
	⑬断面形状	高さ 上 0 F 1.40
	断面勾配	上 33.41 F 35.36
	⑭積算覆土厚	
	⑮状況履歴	0
	⑯対策工法	
(6)点検履歴	⑰調査点検の有無	0

■ 道路盛土の安全性評価を構成する影響要素

- ・具体的な点検項目の検討・・・道路盛土の安全性がどのような要素により構成されているかを把握し、それに対応した評価項目を設定する必要
- [道路盛土の安全性に与える影響要素の整理](#)

- ・道路盛土の安全性：以下の4つにより構成される

- ①**盛土材料**（粒径や粒度分布、粒子形状、粒子の硬さを指す。「岩砕ずり」や「砂質土」など、土の名称）
- ②**盛土の締固め度合**（密な盛土は強度が大きく、透水性は低い）
- ③**表層水もしくは地下水の状況**：地下水の状況が盛土に与えている影響を評価（のり面表層水、盛土内水位ともに盛土不安定化をもたらす）
- ④**盛土形状**（仕様規定を超える高さ、法勾配は安全性が低い）

盛土の強度や透水性は①～③の要素の組み合わせで決まり、安全性はこれらに④の要素が加わって決まる。

点検時にはこれらの状態を適切に反映することが望ましい。

■ 点検時における影響要素の評価方法

・点検時における安全性各項目の評価・・・

- ①と②は外観からの判断ができない。
- ③の状況は現地で評価可能。
- ④については、現地ではもちろん机上でも整理可能。



災害ポテンシャルと変状発生リスクの概念を導入（詳細は後述）

- ・災害ポテンシャル：盛土材料、締固め度、排水施設の状況など、発生したリスクの原因と考えられ得る要素
- ・変状発生リスク：表層崩壊や湧水など、現場で起きている現象

安全性項目を、上記の概念に当てはめて評価することにより、評価方法を具体化

- ① 盛土材料：本質的にはポテンシャル評価で反映されるものであるが、リスク項目を通じて間接的に評価する。
- ② 盛土の締固め度合：①と同様、リスク項目を通じて間接的に評価する。
（①と②の性状が良好な盛土は、のり面・路面の変状が現れにくい）
- ③ 表層水もしくは地下水の状況：リスク項目・ポテンシャル項目の両方から評価する。
- ④ 盛土形状：ポテンシャル項目から評価する。

■ 盛土の変状発生リスクと災害ポテンシャルの概念

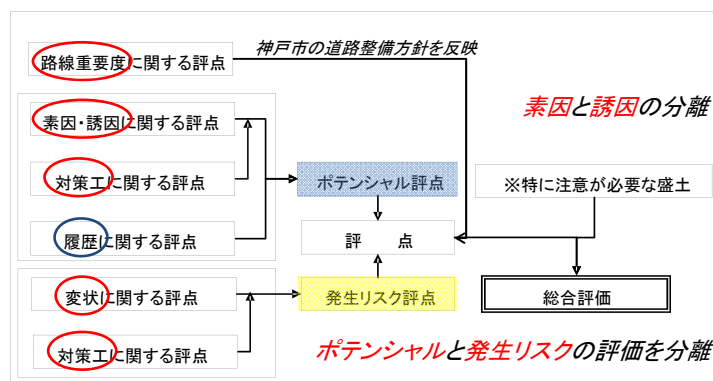
安全性が低い盛土の抽出・・・

机上調査および現地踏査に基づいて設定

その際に、災害ポテンシャルと変状発生リスクを分離することを提案

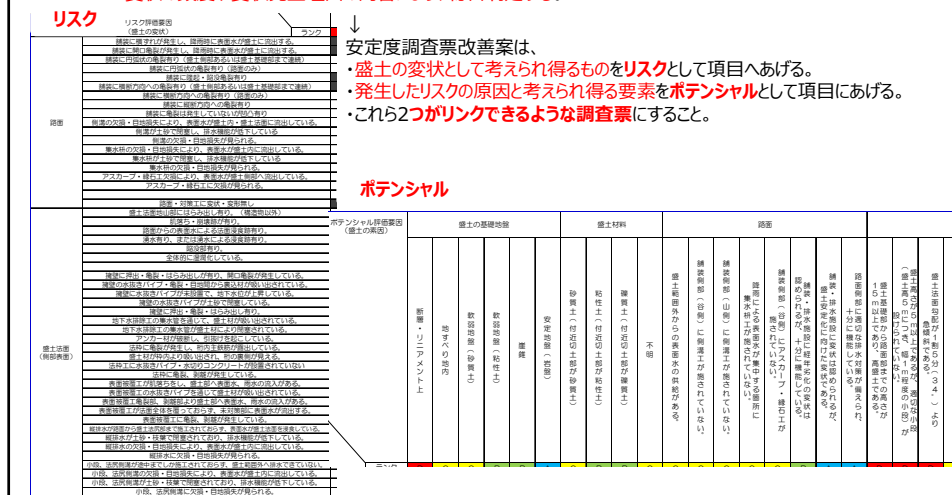
→点検項目を両者に整理することにより、変状原因および対策の合理的な検討につながり、不要な点検項目の排除と重複化を避けることができる

点検項目を点数化し、耐震化に関する優先順位を設定

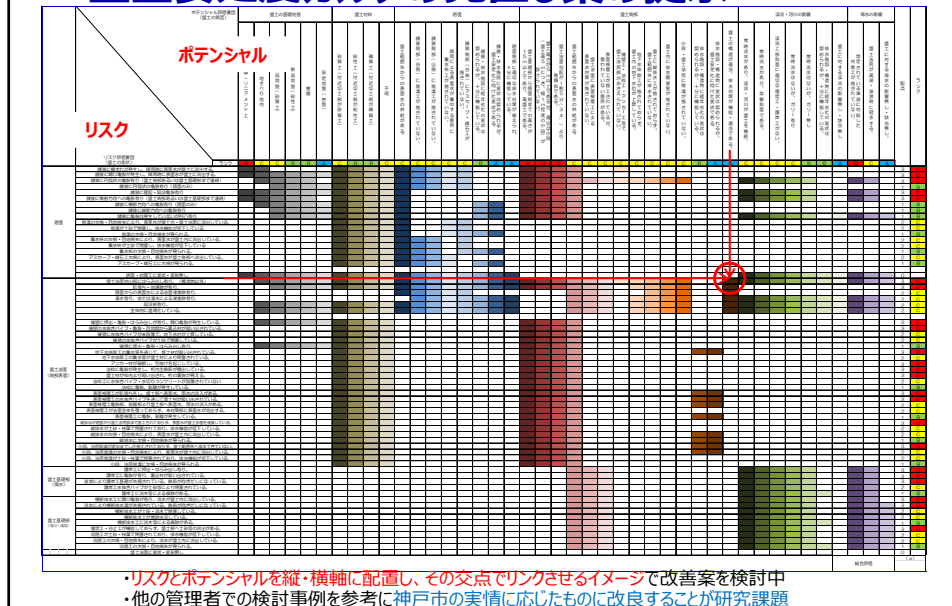


■ 盛土安定度カルテの見直し案の提示

- 盛土の調査を行う場合、点検者はまず何を見て、最終的にどう判定するか？
- 路面、排水施設等の**変状を探す**。→ **リスク**
- 見つけた変状が**どういう理由で発生したか**の理由を探る。→ **ポテンシャル**
- **変状の頻度や変状発生理由の内容により、総合判定する。**



■ 盛土安定度カルテの見直し案の提示



■ 現地調査-ランクA盛土の例



路面に変状無し



盛土基礎護岸工に変状無し

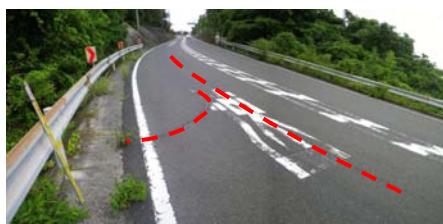


縦排水工に変状無し



盛土法面に変状無し

■ 現地調査-ランクC・D盛土の例（1）



路面に円弧状の亀裂有り



盛土側部に崩壊が発生



縦排水工が途中までしか施工されていない



法面被覆工裏側の盛土材の吸い出し

■ 現地調査-ランクC・D盛土の例（2）



路面に亀裂有り



盛土側部-法面被覆工に開口亀裂が発生



護岸工に押出発生

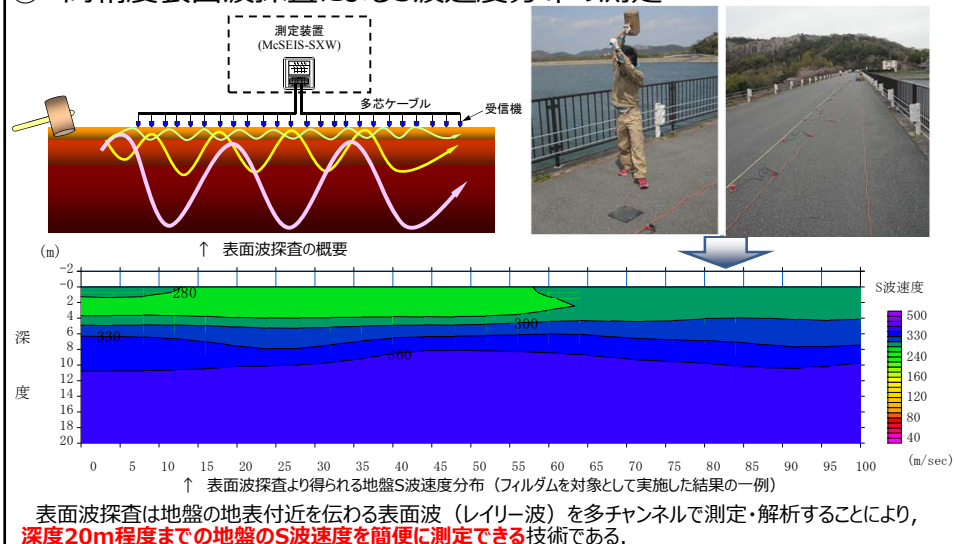


横断排水工が土砂で閉塞しかけている

②既設盛土の耐震性の評価手法の検討

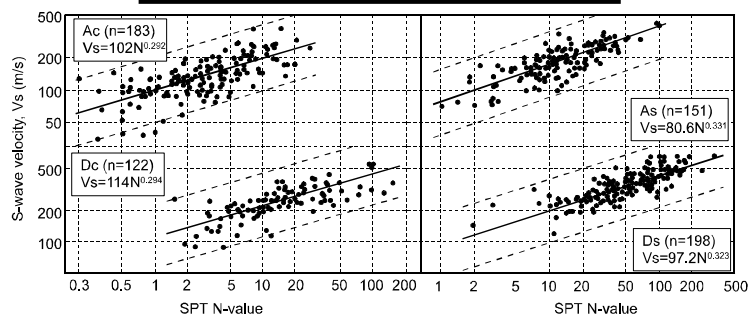
■ 既存盛土の評価（物性評価～震度法による安定解析）

① 高精度表面波探査によるS波速度分布の測定



$$V_s = a N^b$$

※ a, b : 地盤材料によって異なる係数



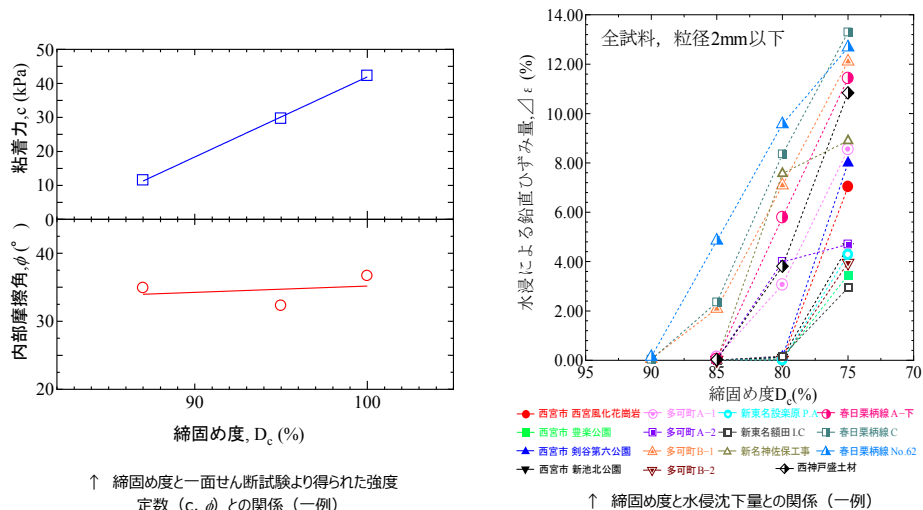
例えば...道路橋示方書

粘性土 $V_s = 100 N^{1/3}$ ($1 < N < 25$)

砂質土 $V_s = 80 N^{1/3}$ ($1 < N < 50$)

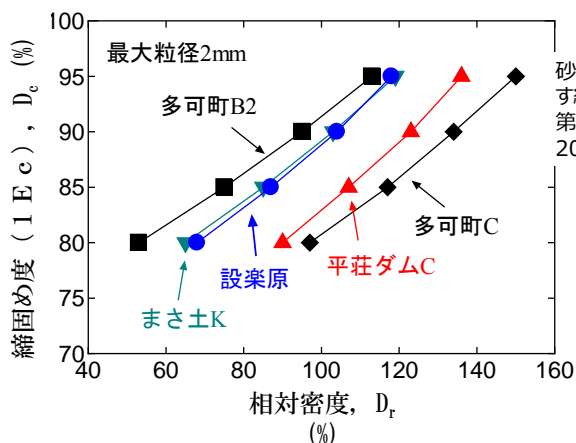
S波速度とN値との関係が確認されているので、地盤材料等を考慮することで**表面波探査より測定したS波速度から地盤のN値を推定することが可能**である。

② 採取土を用いた各種室内試験による土質特性の検証（案）



対象とする盛土の性能把握のためのパラメーターを得るために、室内試験（各種物理試験、締固め試験、一面せん断試験、水浸試験等）を実施し、**物性とパラメーターとの関係性**を検討する。

■ 相対密度 D_r ~ 締固め度 D_c の関係



砂礫盛土材の動的強度に及ぼす締固め度の影響について、第49回地盤工学研究発表会、2014.より

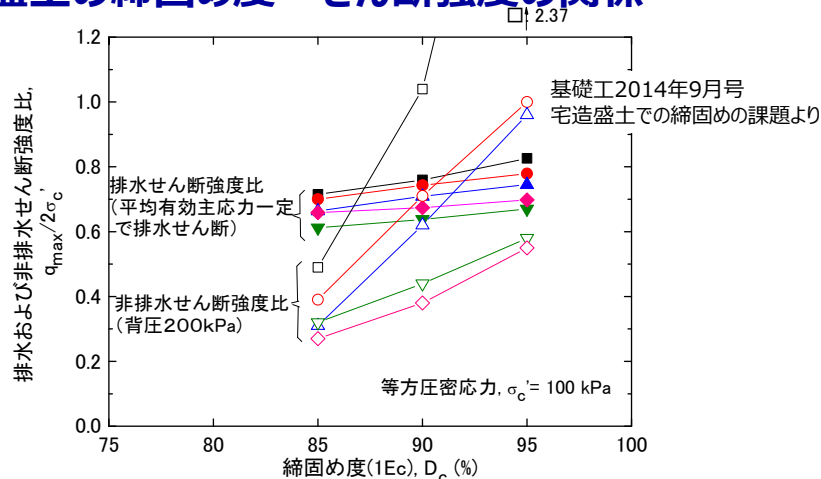
同一の締固め度であっても相対密度はばらつきが見られる。

相対密度による最大乾燥密度：気乾状態の試料を無拘束で振動を加えて求める

締固め度による最大乾燥密度：加圧湿潤状態で動的エネルギーを与える締固めで得られる

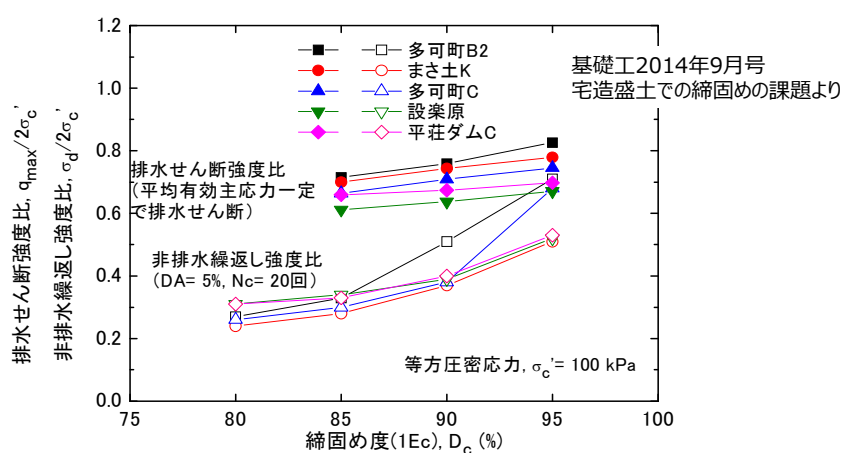
→ 細粒分が多くなるほど、前者は後者よりもかなり高くなり、現場状況を適切に評価できない。

■ 盛土の締固め度～せん断強度の関係



- 排水せん断強度比の異なる盛土材での関係は、狭い範囲に収まる
- 非排水せん断強度に対する D_c の影響：排水せん断強度に対する影響よりも大きい
 緩い場合は非排水せん断強度は排水せん断強度よりもかなり小さくなる。
 → 地下水位低下は地震被害の防止に有効
 良く締固めることが地震被害の防止に最も効果的

■ 盛土の締固め度～せん断強度の関係 (2)



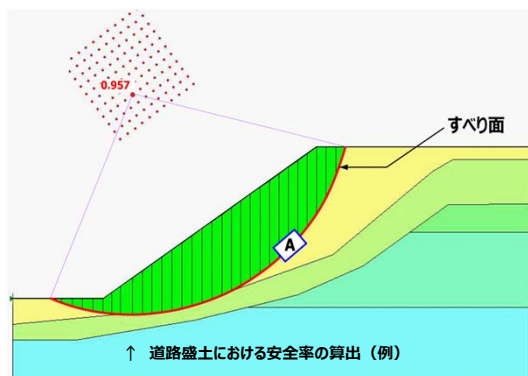
- D_c の増加による R_L の増加率は排水せん断強度の増加率よりもかなり大きく、 R_L は D_c が90%を越えると急激に大きくなる
 → 地下水位低下は地震被害の防止に有効
 良く締固めることが地震被害の防止に最も効果的

③ 静的・動的安定解析による常時、地震時の安定性評価（案）

対象とする既設盛土に関して、測量・原位置調査により断面形状、地下水位、密度等、さらには各種室内試験から物性値、強度定数等を求める



設計震度を検討したうえで、解析プログラムを用いて極限つりあい法により安全率を算出し、安定性を検討

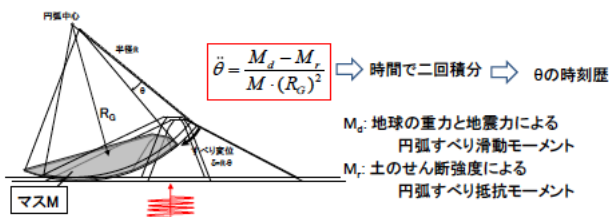


各種室内試験より得られた物性値や強度定数を用いて極限つりあい法による常時、および地震時（レベルⅠ，Ⅱ）における対象盛土の安定解析を実施することで、**既存盛土の総合的な安定性評価**を検討する。

■ 修正Newmark法による評価

従来のNewmark法

・地震時に生じる円弧すべりに探索し、残留すべり変形量を求める



・盛土材料のせん断強度として安全側の排水残留せん断強度を用いる

・地震中、せん断強度は一定

Newmark-D法

⇒ 時間で二回積分 ⇒ θ の時刻歴

M_d : 地球の重力と地震力による円弧すべり滑動モーメント
 M_r : 土のせん断強度による円弧すべり抵抗モーメント

・より現実的なせん断強度として、非排水せん断強度を用いる

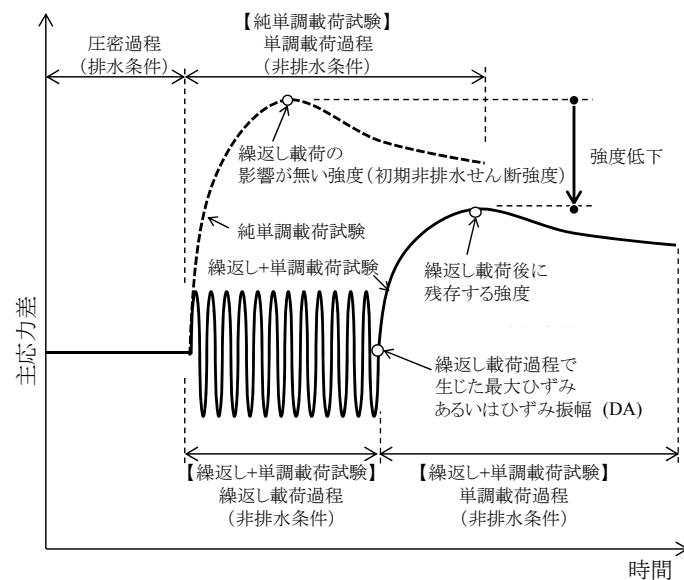
・地震動による非排水繰返し載荷によって盛土材料の非排水強度は継続的に低下（最終的に液化状態を達すると、強度はゼロになる）

Duttine, A., 龍岡文夫・堀井克巳・矢崎達雄・毛利栄征 (2013): ひずみ軟化と非排水繰返し載荷による強度低下を考慮したニューマーク法による地震時斜面変位推定、地盤工学研究発表会(富山)
 矢崎達雄・Duttine, A., 龍岡文夫・毛利栄征 (2013): 載荷中の強度低下を考慮したニューマーク法による地震時斜面変位の解析例、地盤工学研究発表会(富山)

Shibuya, Koseki & Kawaguchi (2003)
 IS-Lyon, Keynote Lecture

極限つりあい法による安定解析の結果、必要安全率を満足しない場合・・・
 変形解析に基づく**残留変位量による照査**を実施（修正Newmark法による評価）

地震動による非排水強度の評価変化

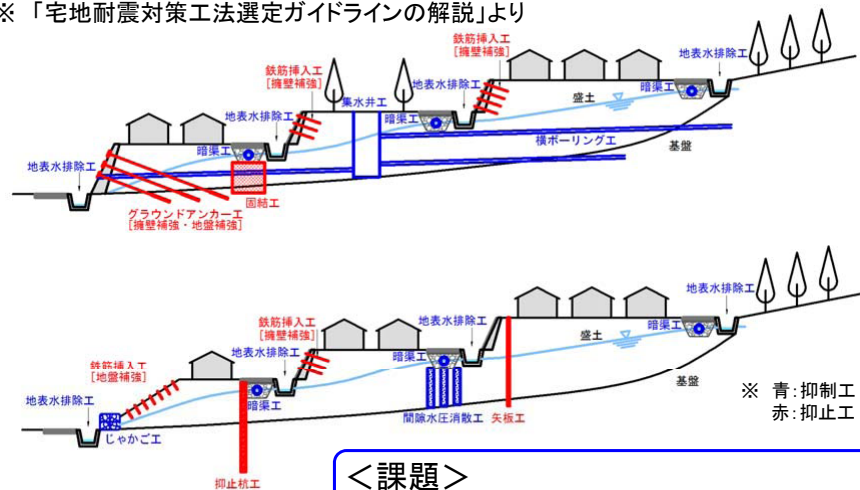


②既設盛土の補強対策に関する検討

第7回災害対策セミナー in 神戸

■ 一般的な既設盛土耐震対策として・・・

※ 「宅地耐震対策工法選定ガイドラインの解説」より



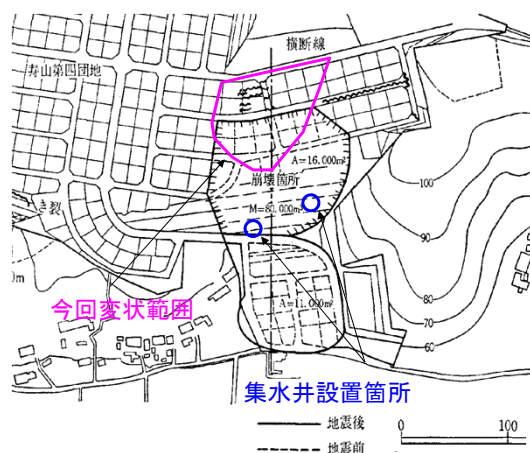
<課題>

- ・ 対策用地を必要とする場合がある
- ・ **比較的高価な対策**となる

第7回災害対策セミナー in 神戸

■ 既設盛土耐震化の事例（集水井の効果）

- ・ 1978年宮城県沖地震で被災し、集水井が設置された白石市緑が丘
 ……集水井付近は変状なし
 やや離れた盛土上部で浅いすべり、表面にクラック多数



変状箇所のクラック
(雨水がたまっている)

- 対策時の集水井付近の効果は大
- × 適用範囲が限定的 (低透水材料の場合) 対策コストが高い

第7回災害対策セミナー in 神戸

■ 既設盛土耐震化の事例（抑止杭の効果）

・1978年宮城県沖地震で被災し、抑止杭が設置された太白区緑ヶ丘3丁目



抑止杭等の変形(D-D' 断面)

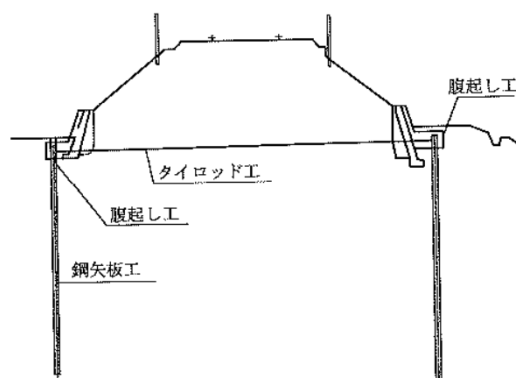


抑止杭上部の変状(D-D' 断面)

- 抑止杭に変形抑制効果を確認
- × 変形を完全に抑えられていない

■ 既設盛土耐震化の事例
(シートパイル締切工による補強)

地震時に基底破壊（地盤を含む円弧すべり）が生じると考える盛土に適用
東海道新幹線の盛土に採用



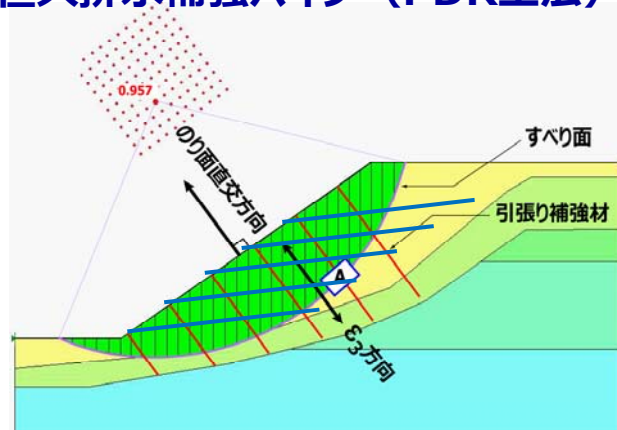
■ 既設盛土耐震化の事例 (恒久排水補強パイプ (PDR工法) の紹介)

高耐食性メッキ加工されたストレーナ付き鋼管パイプを盛土に挿入

- ・打撃貫入による地盤の締固め効果
- ・パイプの剛性によるすべり抑止効果
- ・排水機能による抑制効果



■ 既設盛土耐震化の事例 (恒久排水補強パイプ (PDR工法) の紹介)



赤色：のり面直交方向に打設した補強材

・・・引っ張り補強材として作用

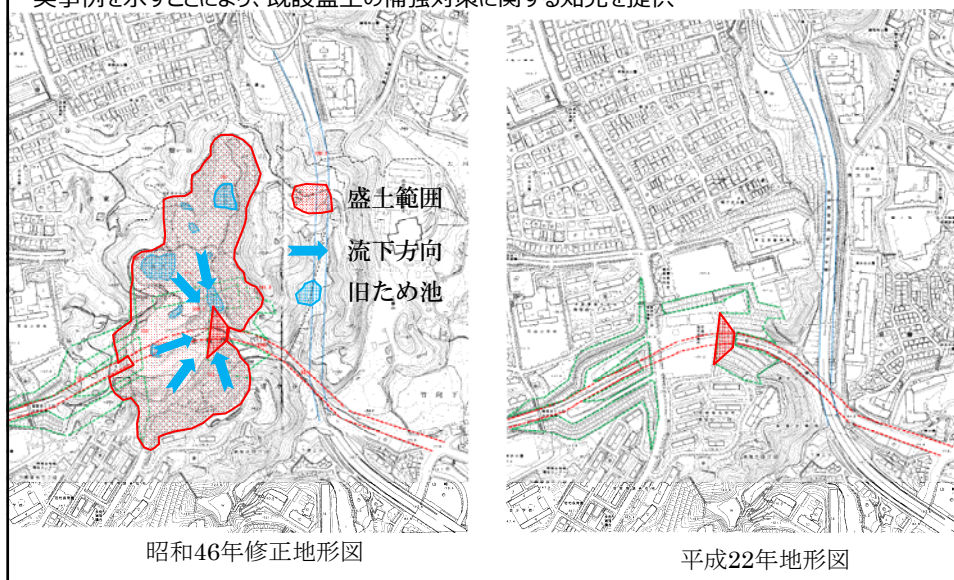
青色：排水補強パイプを打設する方向

・・・すべり面との角度がつかず、引っ張り補強効果は小さい

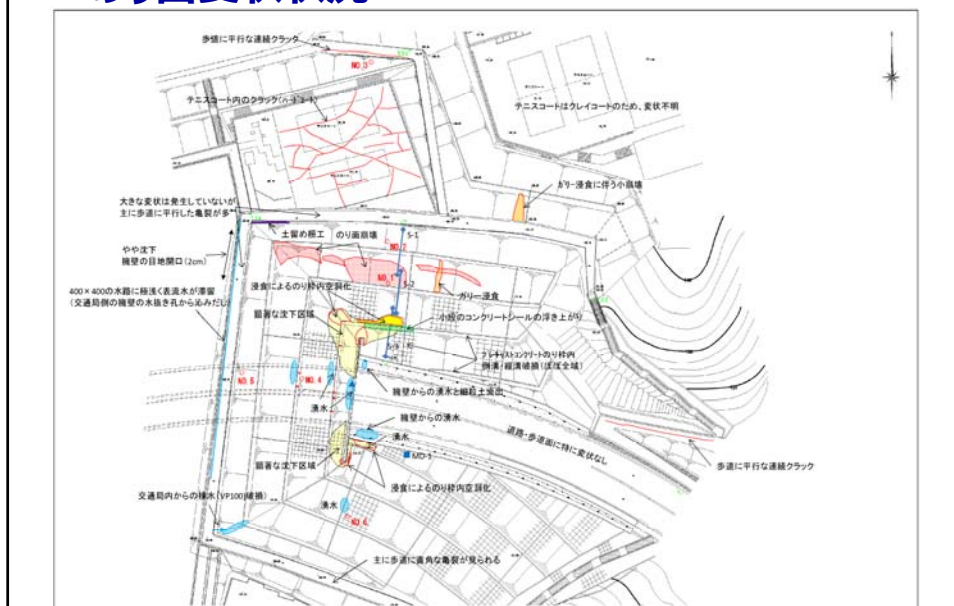
せん断補強効果は、盛土の剛性がなければ、発揮されない

■ 既設盛土の補強対策に関する検討

実事例を示すことにより、既設盛土の補強対策に関する知見を提供



■ のり面変状状況



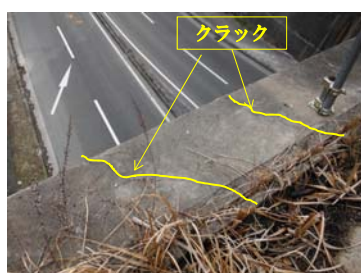
■ 変状状況写真(1)



坑口全景（クラック、浸出水状況）



パラペットクラック、浸出水、道路側へ傾斜



パラペットのひび割れ（貫通）



法面上部舗装ひび割れ、防護柵変形

■ 変状状況写真(2)



法面への排水流入



排水施設損壊



のり枠工空洞化



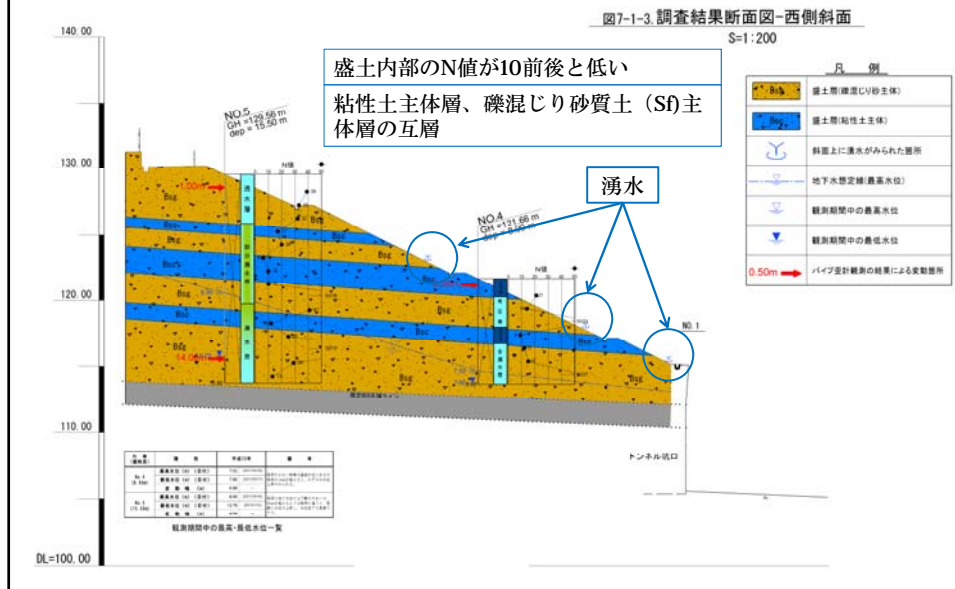
パラペット背面排水溝の破損



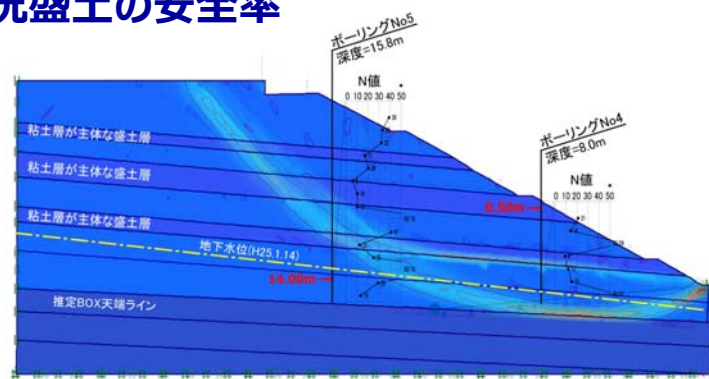
パラペット端部排水溝の破損

Dランクの盛土に相当

■ 地盤調査結果



■ 現況盛土の安全率



地質調査から得られた土質定数

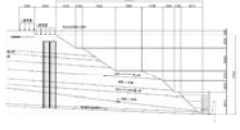
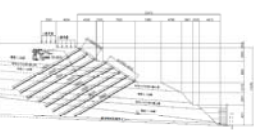
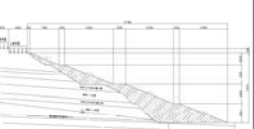
区分	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	弾性係数 E (MPa)	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 ϕ (°)	ポアソン比
粘土層が主体の盛土層	17.0	25.0	15	5	0.33
一般の盛土層	17.0	30.0	0	25	0.30

カルバート上部の盛土の安全率は $F_s=1.003$

順解析でも盛土が不安定であることを確認した。

■ 法面補強対策の工法選定

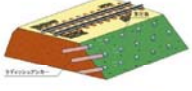

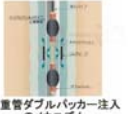
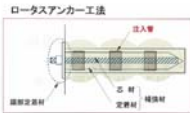
玉坂トンネル法面補強工法選定表

工 法	地盤改良による抑止	補強土構壁+ロータスアンカー	ボックス延伸+盛土安定勾配
一般図			
盛土内排水	△	◎	○
対策効果	○	○	○
施工性	△	○	×
経済性	△	○	—
総合評価	△	○	—

盛土内の排水性能確保、施工性、経済性の比較結果よりのり面補強対策としてロータスアンカーを採用

■ 法面補強対策 地山補強工法の詳細選定

地山補強工法選定表

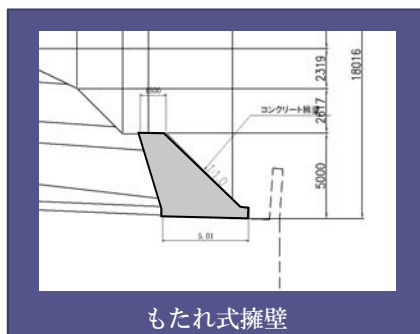
施工条件		ラディッシュアンカー	ロータスアンカー
		アンカー仕様 1～2段 13.5m 3～5段 14.0m 6段 13.0m 7～8段 12.5m 地盤条件 N値 6～50	
概要		  φ150～400mmの改良体に心材を設置し引っぱり抵抗に加えせん断抵抗で地山を補強する。改良体は攪拌杭工法を改良したもの。	 二重管ダブルバクカー注入のメカニズム  ロータスアンカー工法 二重管ダブルバクカー注入の技術を用いて中継（φ150～200mm）の補強体を構築し引っぱりおよびせん断抵抗で地山を補強する
	適用範囲	砂質土: N値<20 粘性土: N値<50 最大径 100mm程度 最大長さ 8m	適用土質に制限はない 1.5m
適用性		適用できない	適用可

☆必要アンカー長が10mを越える
☆N値が砂質土で50を越える

ラディッシュアンカー適用外

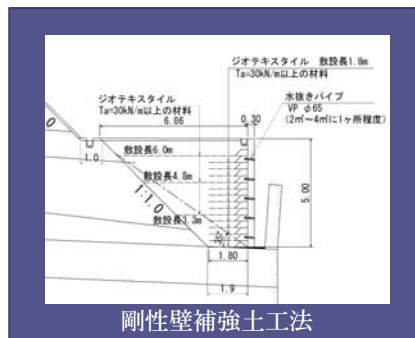
ロータスアンカー工法採用

■ のり先補強工法の選定



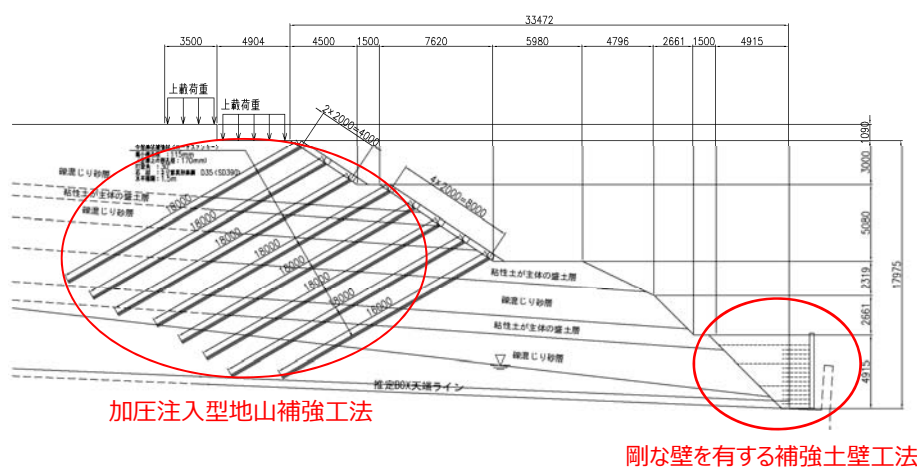
排水性能に劣る
施工時の擁壁背面地山が不安定

×



排水性能に優れる
施工時の擁壁背面地山安定

■ 対策案標準断面



剛な壁を有する補強土壁工法

■ まとめ

既設低品質盛土に対する「加圧注入型地山補強工法」および「剛な壁を有する補強土壁工法」適用の成果

- 集水地形にある既設低品質盛土の盛土強度、排水性能を向上させ、不安定盛土を安定化させた
- 幹線道路が直下を通過する重要度Ⅰ盛土をレベルⅡ地震動に対して安定を確保した。