

神戸の減災研究会

土構造物分科会

既設盛土の耐震補強に関する研究

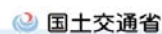
2015.8.5

復建調査設計株式会社
中西 典明



国土交通省 道路土工構造物技術基準 の制定について

1. 道路土工構造物の位置づけ（法・政令）



○道路法

○第29条（道路の構造の原則）

道路の構造は、当該道路の存する地域の地形、地質、気象その他の状況及び当該道路の交通状況を考慮し、通常の衝突に対して安全なものであるとともに、安全かつ円滑な交通を確保することができるものでなければならない。

○第30条（道路の構造の基準）

高速自動車国道及び国道の構造の技術的基準は、次に掲げる事項について政令で定める。

八 排水施設

十一 横断歩道橋、さくその他安全な交通を確保するための施設

○道路構造令

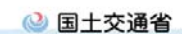
○第26条（排水施設）

道路には、排水のため必要がある場合においては、側溝、街渠、集水ますその他の適当な排水施設を設けるものとする。

○第33条（防雪施設その他の防護施設）

2（前略）落石、崩壊、波浪等により交通に支障を及ぼし、又は道路の構造に損傷を与えるおそれがある箇所には、さく、擁壁その他の適当な防護施設を設けるものとする。

1. 道路土工構造物の位置づけ（通達）



○道路の主要構造物についての新設・改築の基準（通達）は、道路土工構造物以外は既に制定

新設・改築に関する基準	
橋梁	橋、高架の道路等の技術基準【H24】
トンネル	道路トンネル技術基準【H元】
	道路トンネル非常用施設設置基準【S56】
舗装	舗装の構造に関する技術基準【H13】
	電線等の埋設物に関する設置基準【H11】
土工	道路協会図書を準用
附属物等	立体横断施設技術基準【S53】※
	道路標識設置基準【S61】※
	道路照明施設設置基準【H19】※
	道路緑化技術基準【S63】※

今回、基準案を検討

※新設、改築の基準に一般的な内容として一部点検、維持管理に係る記述有り
【 】は制定年

2. 道路技術小委員会における指摘

- 盛土と橋梁など、連続・隣接する構造物の性能の連続性に配慮する必要がある。

(具体の発言)

- ・カルバートと橋など、複合した分野については、専門分野で分かれて議論するだけでなく、横の分野の連絡を緊密にできるような仕組みが必要。
- ・埋設物の問題も、上と下でそれぞれの構造体に影響が出る。複合性を考えることが必要。
- ・植栽が土工を壊すなど、個々で議論していて全体で見るとおかしいとなつてはいけな。それぞれの専門部会が緊密に連絡を取ったほうがいい。
- ・事務局でも、それぞれの分野に偏らず、横の連携について注意を払ってほしい。
- ・盛土とカルバートの相互作用、抗口壁と補強土の関係など、(複合性から)単品で決めることは難しい。

-7-

3. 道路土工構造物技術基準の構成

【目次】

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

-8-

4. 基準のポイント① 道路土工構造物を定義

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



道路土工構造物を定義することにより、基準の対象を明確化

-9-

4. 基準のポイント② 作用を明確化

第4章 道路土工構造物の設計

4-2 作用

(1) 常時の作用

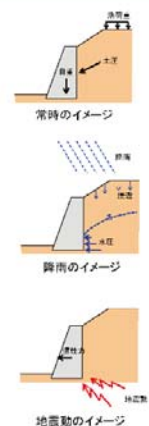
常に道路土工構造物に影響する作用とする。

(2) 降雨の作用

地域の降雨特性、道路土工構造物の立地条件、路線の重要性を勘案して設定される供用期間中に通常経験する降雨に基づく作用とする。

(3) 地震動の作用

- 1) レベル1地震動
供用期間中に発生する確率が高い地震動
- 2) レベル2地震動
供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動



設計にあたり考慮すべき作用を明確化するとともに統一

-10-

4. 基準のポイント③ 要求性能を明確化

第4章 道路土工構造物の設計 4-3 要求性能

- (1) 道路土工構造物の要求性能は、(3)に示す重要度の区分を勘案し、かつ、当該道路土工構造物に連続あるいは隣接する構造物等の要求性能・影響を勘案して、4-2の作用及びこれらの組合せに対して(2)から選定する。
- (2) 道路土工構造物の要求性能は、安全性、使用性、修復性の観点から次のとおりとする。
- 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
- (3) 道路土工構造物の重要度の区分は、次のとおりとする。
- 重要度1: 下記(ア)、(イ)に示す道路土工構造物
- (ア) 下記のうち、損傷すると道路の機能に著しい影響を与える道路土工構造物
- ・高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡道路、一般国道に設置される道路土工構造物
 - ・都道府県道、市町村道のうち、地域の防災計画上の位置づけや利用状況等から、特に重要な道路に設置される道路土工構造物
- (イ) 損傷すると隣接する施設に著しい影響を与える道路土工構造物
- 重要度2: 上記以外の道路土工構造物

性能を、道路土工構造物の損傷による、道路の機能への支障及び修復性に応じ、3段階に明確化

4. 基準のポイント③ 要求性能を明確化

○要求性能のイメージ

斜面安定施設		(参考) 橋梁	
性能	損傷イメージ	耐震性能	損傷イメージ
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	防落施設が崩落土砂を捕獲、道路の通行機能に支障なし	耐震性能1 地震によって健全性を損なわない性能	健全性に問題なし
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	片側交互規制を行うが、道路の通行機能は確保、容易な復旧により通行機能を回復	耐震性能2 地震による損傷が限定的で、機能の回復が速やかに進行し得る性能	一時通行規制を行うが、容易な復旧により通行機能を回復
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	全面通行止めを行うが、復旧工事により通行機能を回復	耐震性能3 地震による損傷が致命的なものとならない性能	全面通行止めを行うが、復旧工事により通行機能を回復

-12-

4. 基準のポイント④ 連続する構造物等との整合

第3章 道路土工構造物の基本

- (3) 道路土工構造物の調査、計画にあたっては、当該地域及びその周辺の地形、地質、環境、気象、水理、景観、過去の点検、維持修繕及び災害履歴、個々の道路土工構造物の特性、使用する材料、対象とする災害、連続あるいは隣接する構造物等がある場合はその特性、維持管理の方法を考慮しなければならない。

第4章 道路土工構造物の設計

4-3 要求性能

- (1) 道路土工構造物の要求性能は、(3)に示す重要度の区分を勘案し、かつ、当該道路土工構造物に連続あるいは隣接する構造物等の要求性能・影響を勘案して、4-2の作用及びこれらの組合せに対して(2)から選定する。

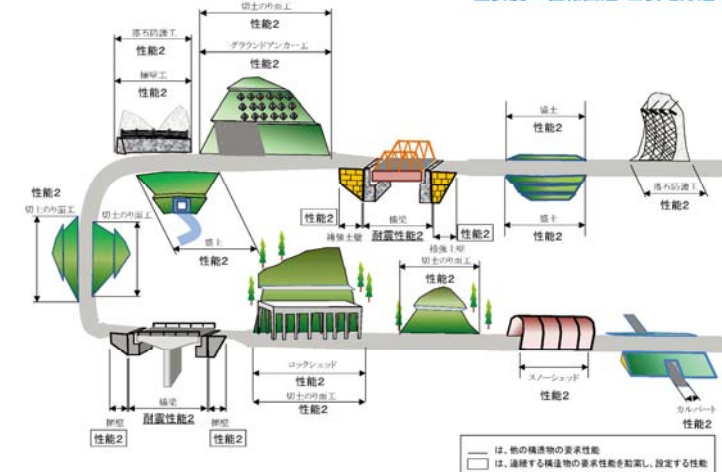
調査、計画、設計における要求性能の設定にあたっては、橋梁と盛土等、連続あるいは隣接する構造物との整合を義務化

-13-

4. 基準のポイント④ 連続する構造物等との整合

○連続・隣接する構造物との要求性能の整合のイメージ 作用: 地震動(レベル2)

重要度1: 直轄国道・主要地方道イメージ



-14-

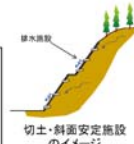
4. 基準のポイント⑤ 排水設計を義務化

第4章 道路土工構造物の設計

4-4 各道路土工構造物の設計

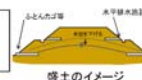
4-4-1 切土・斜面安定施設

- (4)切土は、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。
(5)斜面安定施設は、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。



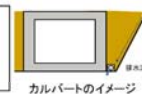
4-4-2 盛土

- (3)盛土は、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。



4-4-3 カルバート

- (2)カルバート裏込め部は、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう設計する。



排水設計を義務化し、土中の水が原因となる損傷や災害の発生を防止

-15-

4. 基準のポイント⑥ 設計条件の適合、記録保存を規定

第5章 道路土工構造物の施工

- (1)道路土工構造物の施工は、設計において前提とした条件が満たされるよう行わなければならない。

第6章 記録の保存

道路土工構造物の維持管理に必要となる記録は、当該道路の機能を踏まえ、適切に保存するものとする。



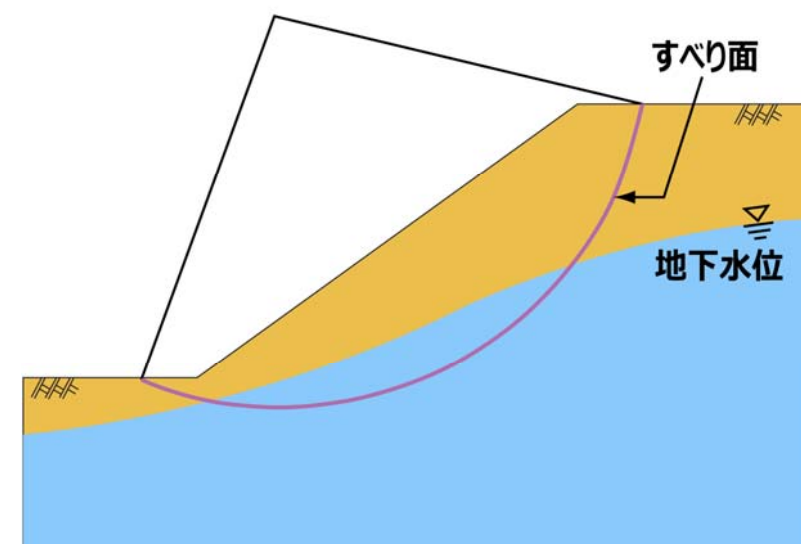
設計条件と施工条件の適合を義務づけるとともに、維持管理に必要となる設計・施工時の記録の保存を義務づけ、損傷や災害が発生した場合における補修設計等に反映

-16-

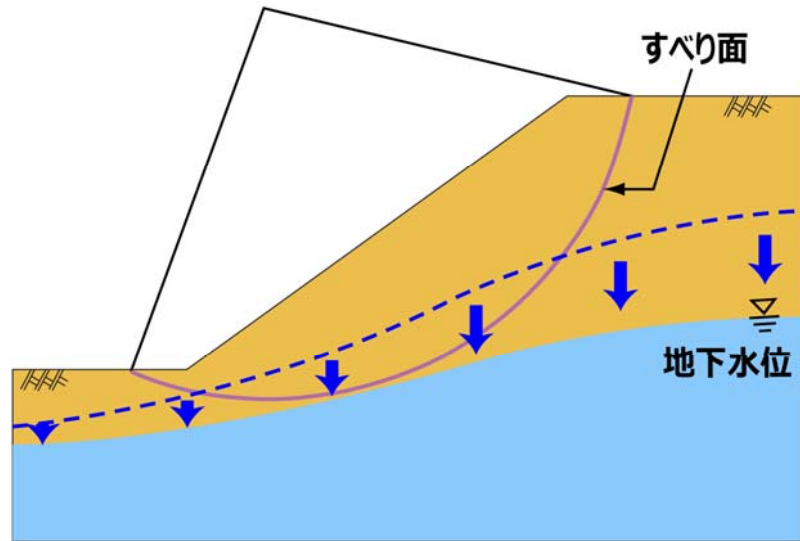
3. 既設道路盛土の耐震補強の概念



道路盛土耐震化工法の概念

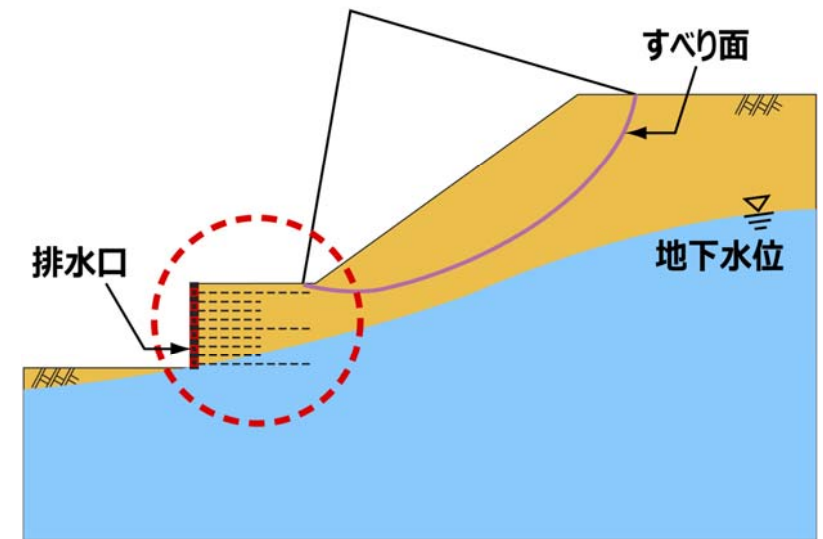


①盛土内の地下水位低下



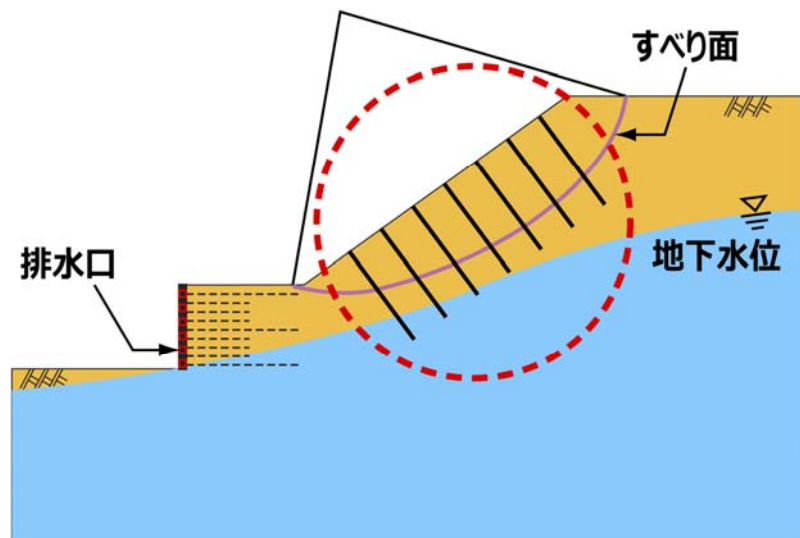
17

②のり尻補強(剛な一体化構造物)



18

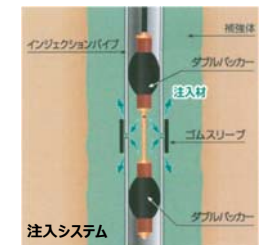
③地山補強(大口径アンカー工による引張り補強)



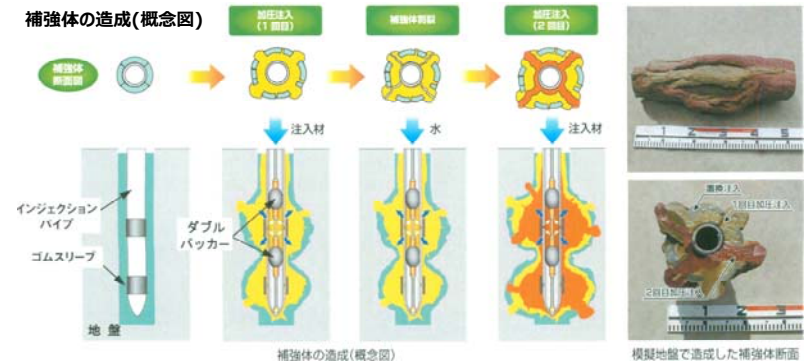
19

ロータスアンカー工法(繰返し注入型地山補強土工法)

- 持長
 - ① 繰返し注入により補強体を拡大
→ **大きな引抜き抵抗**
 - ② 小型で打撃機能を有する削孔機を使用
→ **硬質地盤や狭路な場所での施工が可能**
 - ③ 繰返し注入は別工程で施工可能
→ **作業時間の短い現場でも効率的な施工**



● 繰返し注入のメカニズム



模擬地盤で造成した補強体断面

出典：ライト工業株式会社

20

変状状況写真（１）



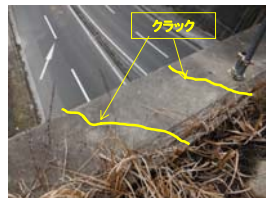
坑口全景（クラック、浸出水状況）



パラペットクラック、浸出水、道路側へ傾斜



法面上部舗装ひび割れ、防護柵変形



パラペットのひび割れ（貫通）



パラペットのひび割れ、漏水

変状状況写真（２）



法面への排水流入



排水施設損壊



のり砕工空洞化



縦排水溝の破損（圧壊）



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

パラペット変動量動態観測

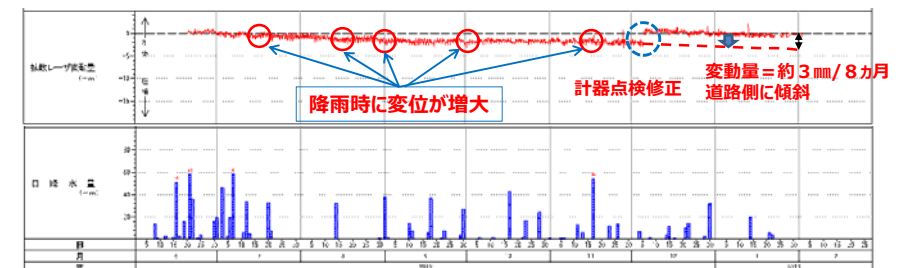


反射板設置状況



拡散レーザー変位計設置状況

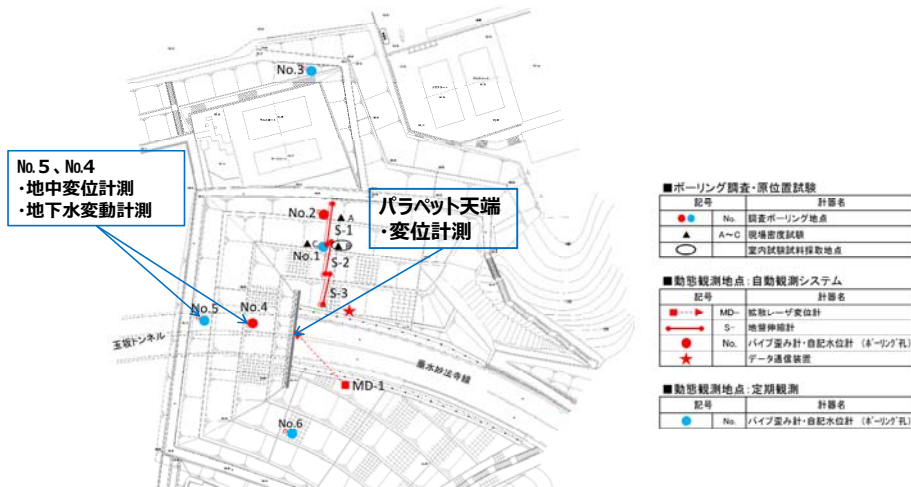
盛土変状（擁壁天端変動量モニタリング結果）



パラペット天端が継続的に道路側へ変位している。3mm/8ヶ月
降雨後に変位が増大する傾向にある。

調査計画

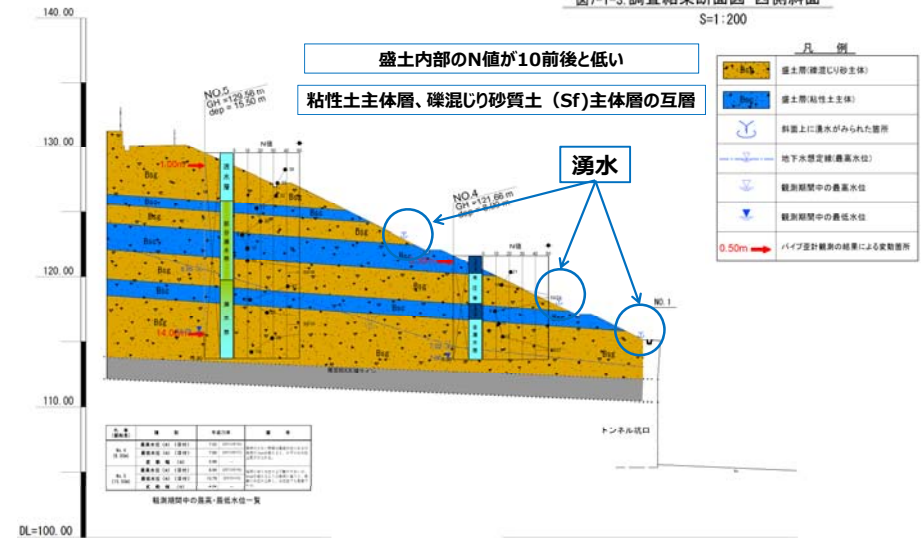
玉坂トンネル調査位置図



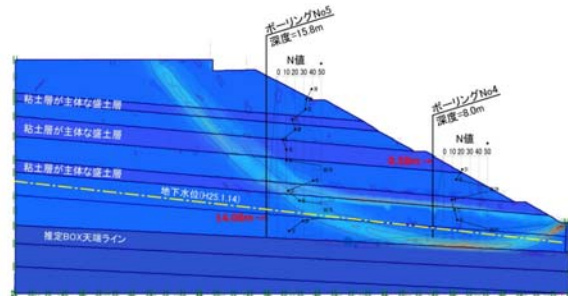
地盤調査結果

図7-1-3. 調査結果断面図-西側斜面

S=1:200



現況盛土の安全率



地質調査から得られた土質定数

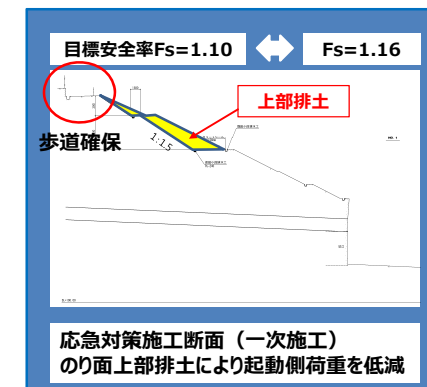
区分	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	弾性係数 E (MPa)	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 ϕ (°)	ポアソン比
粘土層が主体の盛土層	17.0	25.0	15	5	0.33
砂質土系盛土層	17.0	30.0	0	25	0.30

カルバート上部の盛土の安全率は $F_s = 1.003$

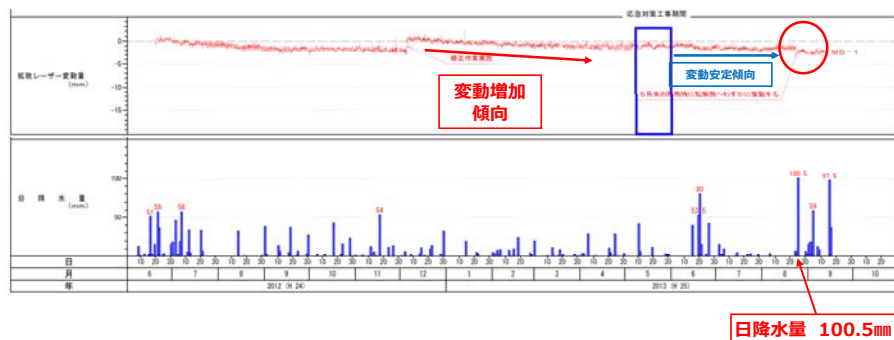
順解析でも盛土が不安定であることを確認した。

応急対策

目的：降雨時期前に盛土のり面の当面の安定を向上させる
目標安全率は本対策実施後の安全率1.2に対し、応急対策実施後の安全率を1.1に設定。

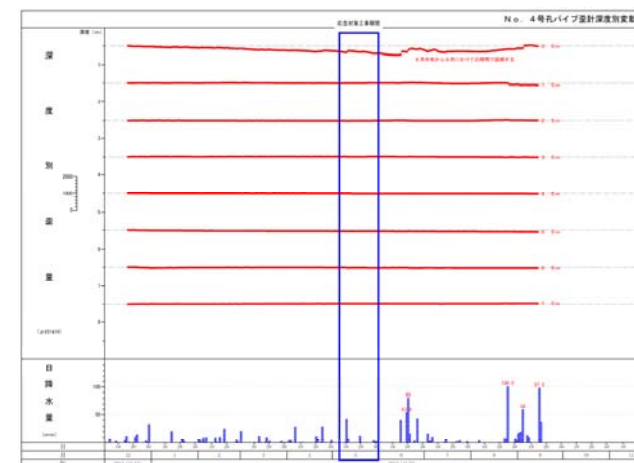


応急対策の効果（動態観測）



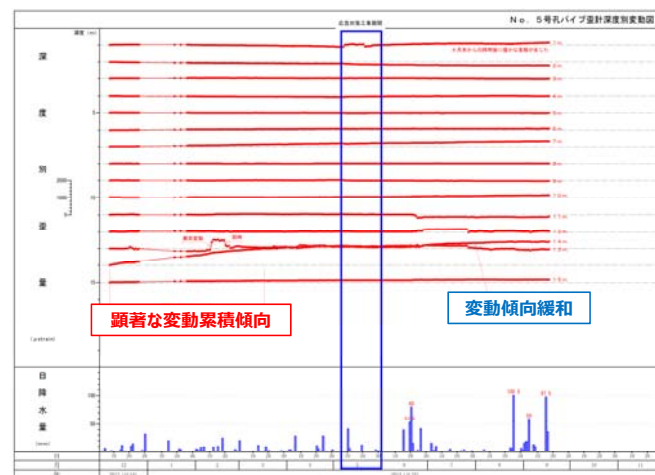
- ・応急対策で**変位増加傾向は低減**されたが、停止には至っていない。
- ・**降雨時に変位が増加**する傾向は継続

応急対策の効果(パイプ歪計動態観測No. 4)



No. 4 ボーリング孔で地表近くで動きが見られるが深部での明らかな動きは見られない

応急対策の効果(パイプ歪計動態観測No. 5)



No. 5 ボーリング孔では深部での明らかな動きが見られ、
応急対策後に変動増加が緩和されている

恒久対策

- ☆ 応急対策では上部排土による**常時安全率 $F_s = 1.2$** 満足していない。
- ☆ 排土後の**盛土変動速度は低減**されたが**緩やかな増加傾向、降雨時の変動は継続**。
- ☆ **のり面直下の幹線道路**に対し、**地震時においても安定確保が必要**

のり面補強

のり面補強対策

・盛土全体の安定対策

対策レベルの決定

直下に幹線道路があり、損傷すると第三者および交通機能に重大な影響を与える。

盛土土質が砂質土（SF）、粘性土（C）の低品質盛土

重要度 I

照査
レベル 2 地震動

地震動を考慮した円弧すべり法

解表 4-3-3 設計水平震度の標準値 (k_{h0})

	地盤種別		
	I 種	II 種	III 種
レベル 1 地震動	0.08	0.10	0.12
レベル 2 地震動	0.16	0.20	0.24

対策案の抽出

対策工
①すべりを抑止する対策工
or
②地盤強度を上げる対策工

対策案

①抑止杭
②法面アンカー工法

③地盤改良
④地山補強土工法
⑤安定盛土勾配での再盛土

比較検討

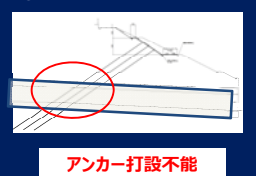
適用不可

①抑止杭



起動力に対抗する根入確保不能

②法面アンカー工法



アンカー打設不能

工法選定

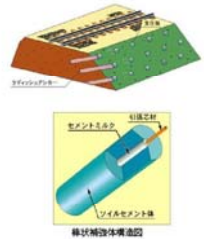
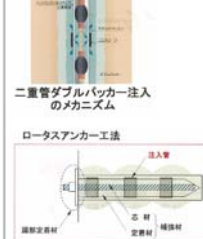
玉板トンネル法面補強工法選定表

工 法	地盤改良による抑止	補強土擁壁+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

地山補強土工法の選定

地山補強土工法選定表

		ラディッシュアンカー	ロータスアンカー
施工条件	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		 <p>φ150～400mmの改良体に心材を設置し、引っ張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。</p>	 <p>二重管ダブルバッ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張りおよびせん断抵抗で地山を補強する。</p>
適用範囲	適用土質	砂質土 N値<20 粘性土 N値<50 最大礫径 100mm程度	適用土質に制限はない
	最大長さ	8m	15m
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

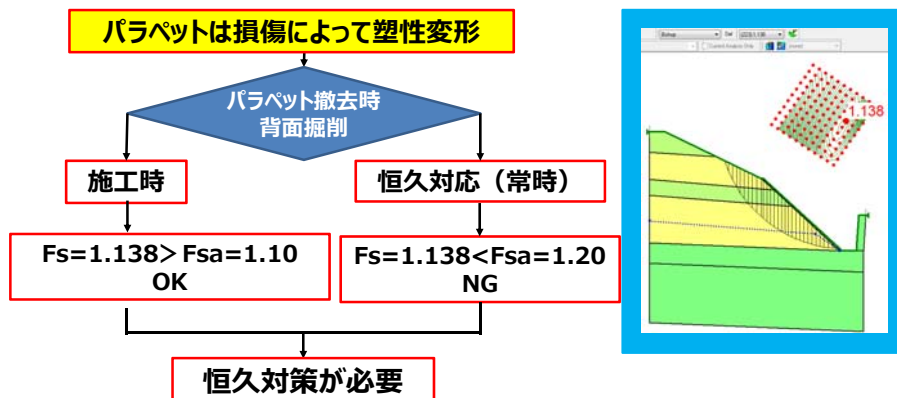
ラディッシュアンカー適用外

ロータスアンカー工法採用

のり先補強対策

・盛土のり先の安定対策

のり先の安定検討結果



のり先補強に求められる性能

・破壊モード

破壊時に直下の通行車両に被害を与えない
部分的な破壊が全体に波及しない
土のこぼれ出しを許容しない

・排水性能

高い排水性能によって盛土内の地下水上昇を抑制する

・補強性能

地山補強アンカーと併用し、レベル2地震動に対し安定である

