

土工構造物分野における 近年の豪雨災害に対する 土研の取組と展望

地質・地盤研究グループ グループ長
金子正洋

1. はじめに
2. 土工構造物分野における豪雨災害に対する取組
 2. 1 土研の災害発生時の対応
 2. 2 災害調査・技術相談を通じた課題の把握
 2. 3 大規模模型実験
3. 取組事例
 3. 1 堤防の浸透による法すべり
 3. 2 異常降雨作用下での補強土壁
 3. 3 土工構造物等の排水性向上技術
4. 今後に向けた展望

1. はじめに

◆ 土工構造物の豪雨災害は、複雑で多種多様

➤ 土工構造物の主な材料である土は、

含水の程度により性状・強度が大きく変化

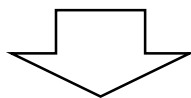
水により浸食されやすい

破壊形態は、土の強度変化や浸食により破壊が一気に進むなど複雑

➤ 土工構造物の構成は、多種多様

堤防、道路盛土の様にほとんど土で構成されるものから、

擁壁、アンカー斜面の様に土と一体となって機能を発揮するもの



◆ 実際に発生した豪雨災害の被害事例に学ぶ

◆ 実大模型実験により検討

2. 1 土研の災害発生時の対応

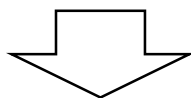
◆災害発生時の土研の重要な役割は、災害現場の技術的支援

土研は

- あらゆる種類の災害発生時には、災害現場の支援を最優先に活動
研究のための災害調査は、現場支援を終えた段階で実施
- 国土交通省等を通じて、全国の災害の発生状況は土研へ
研究機関としての技術的な支援を、行政・現場からの要請を受け実施
- インフラ施設、更に国民・社会に及ぼす影響も考慮して、最適な対応
過去の災害から得られた知見や防災等に関する研究成果
行政・現場と連携して研究を進めることにより得られた知見
- 復興検討委員会への参加等を通じて、復興段階においても支援

2. 2 災害調査・技術相談を通じた課題の把握

- ◆ 複雑で多種多様な土工構造物の豪雨災害の把握のため
現場で起こっている事例を地道に調査、被害状況を把握
 - 国土交通省等を通じて、全国の災害に関する情報は土研へ
災害現場が落ち着いてきた段階で、詳細な被害調査を実施
 - 災害調査は、大きな被害が出た土工構造物を中心に、被害分布の
広がりも対象
 - 災害時のみならず通常時でも、技術相談により、全国の現場におけ
る土工構造物の豪雨の被害について情報を収集



- ◆ できる限りもれなく集めた全国の被害事例から、研究課題を設定
施設の機能や社会に重大な影響を及ぼす事象
これまでに検討されていない事象



平成30年7月豪雨(西日本豪雨)の被害調査

2.3 大規模模型実験

- ◆複雑で多種多様な土工構造物の豪雨災害の把握のため
実大模型実験等により、破壊メカニズム、対策手法を検討

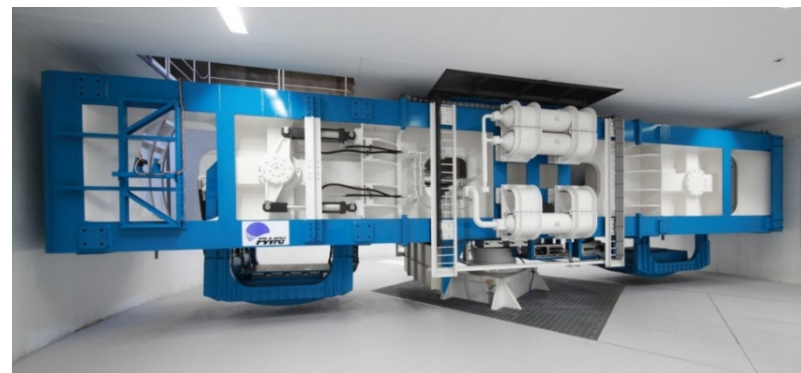
- 土研では、相似則を満足させて、複雑で多種多様な現象を再現するために、実大や実大に近いスケールの模型や遠心力载荷試験装置など特殊な実験装置を用いて実験を実施



土工管理実験場



盛土実験施設



大型動的遠心力载荷試験装置

土研のHPにおいて実験施設の紹介

<https://www.pwri.go.jp/team/smd/facility.html>

<https://www.pwri.go.jp/team/sekou/shisetsu.html>

3. 1 堤防の浸透による法すべり

◆ 最近の浸透決壊事例

2012年 矢部川

2015年 宮城県 渋井川

2015年 茨城県 宮戸川,

西仁連川(4箇所で、状況証拠のみで確定的ではない)

2015年 北海道 女満別川(樋門回り)

2016年 青森県 ニッ森川

(矢部川を除けば、全て県管理区間)

◆ 最近の浸透被災事例(決壊に至らなかった事例)



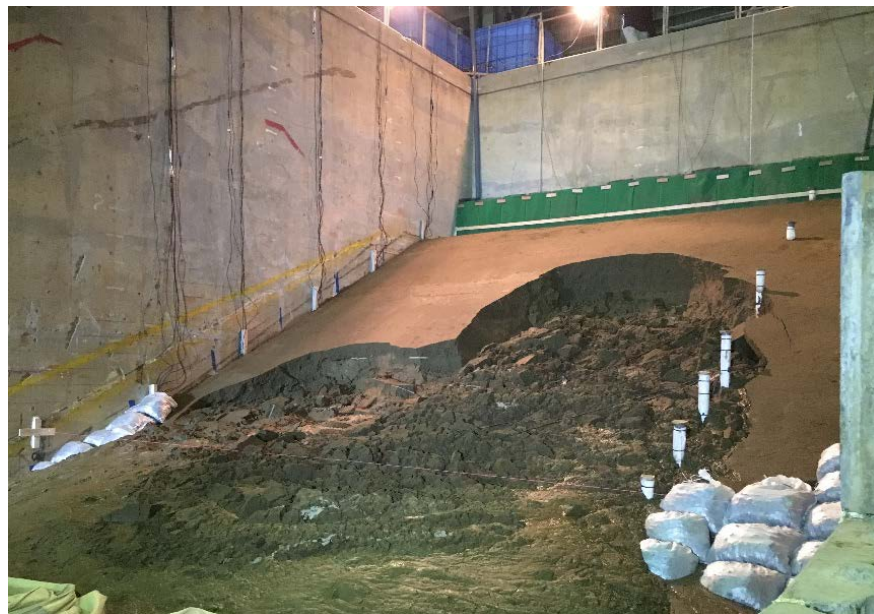
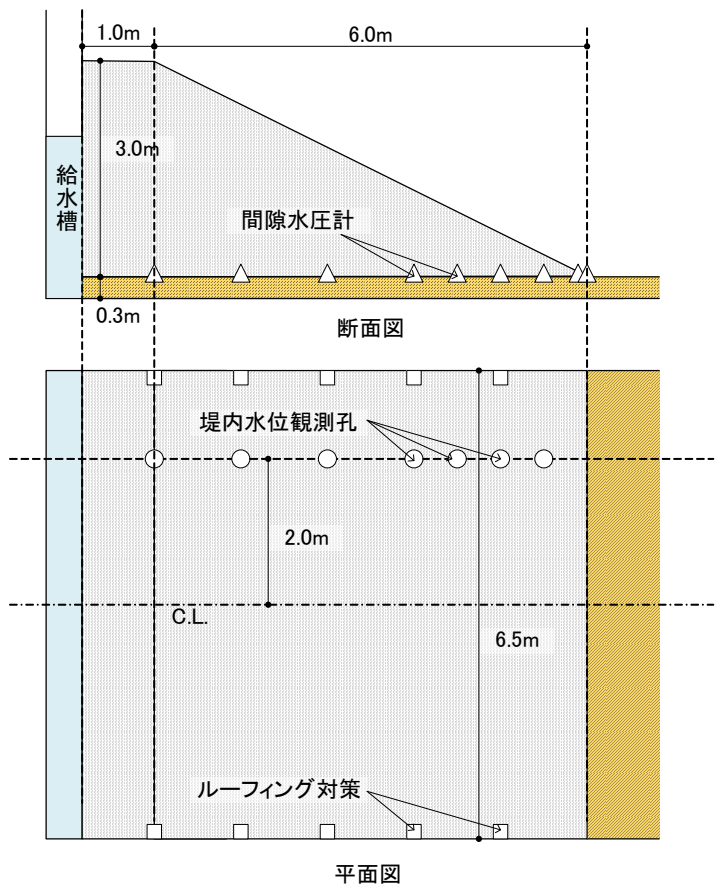
小田川の基盤漏水の痕跡(2018年)



小田川の堤防の法すべり(2018年) 7

3. 1 堤防の浸透による法すべり

- ◆大型模型実験により、堤防の浸透による法すべりを再現
- ◆基礎地盤の上面から、約3時間をかけ盛土高さの9割に当たる約2.7mの高さまで給水槽の水位を上昇させ、その後、一定の水位を保つことにより、洪水時の堤防を再現



堤防の浸透による法すべりの再現状況

3. 1 堤防の浸透による法すべり

◆大型模型実験により、堤防の浸透による法すべりを再現

- 4時間目：法尻のごく狭い範囲で泥濘化が発生
- 7時間目：法尻近の堤体内水位の上昇とともに、変状範囲が拡大
- 10時間目：僅かな堤体内水位の上昇とともに、変状範囲が急激に拡大
- 13時間目：ほぼ堤体内の水位は一定、変状範囲はさらに拡大



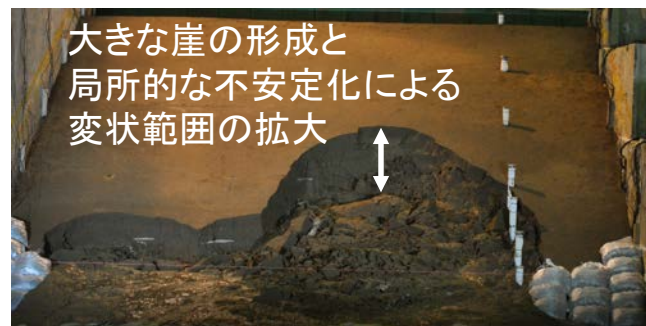
4時間目



7時間目



10時間目



13時間目

大型模型の状態の変化

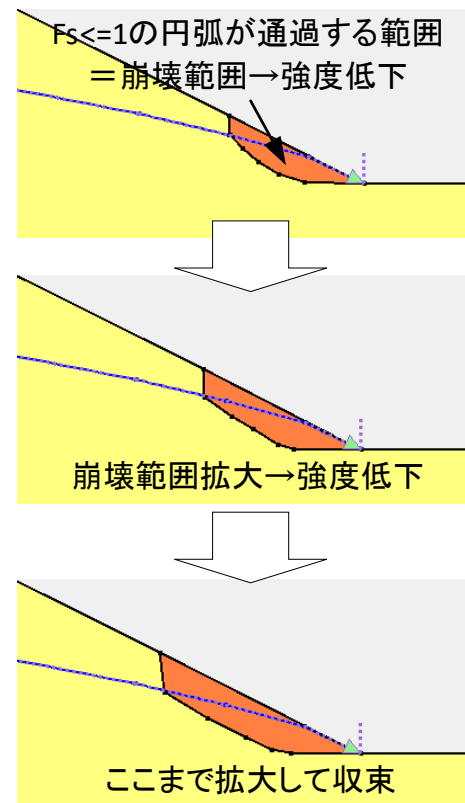
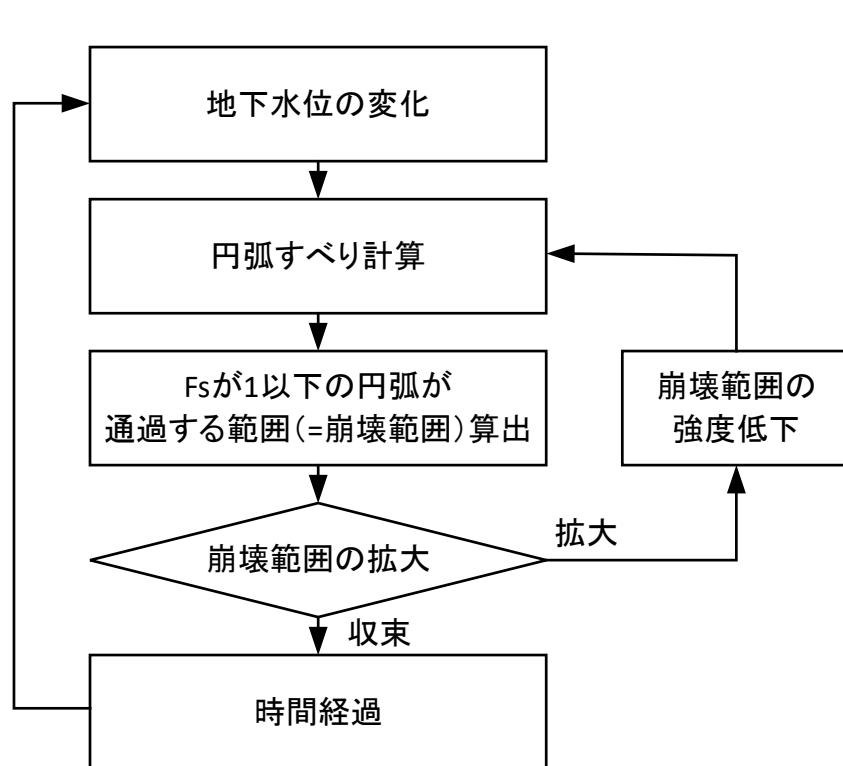
3. 1 堤防の浸透による法すべり

◆現状の設計技術の延長線上で

浸透による法尻からの変状の進行を評価可能な方法

◆堤防の浸透安全性の照査に用いられている

浸透流解析と円弧すべり計算の組合せ



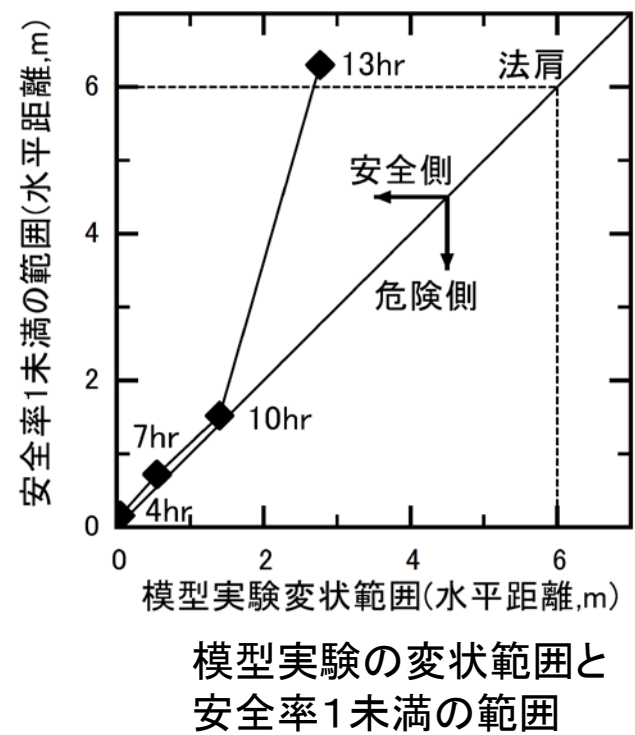
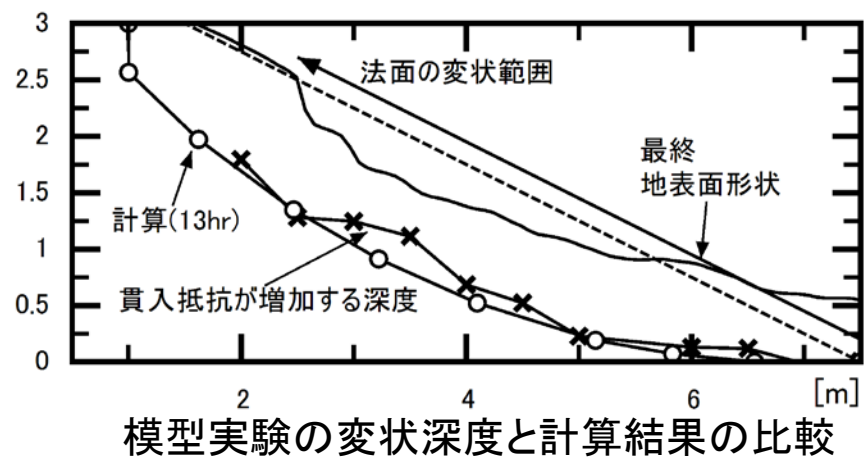
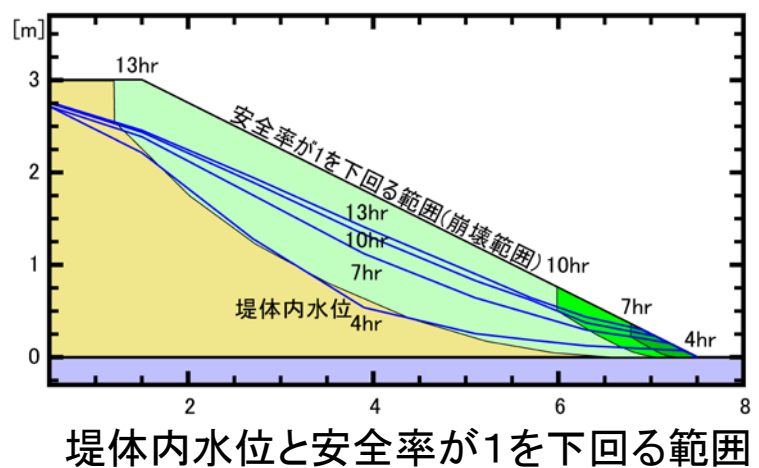
計算フローと崩壊範囲の拡大イメージ

3. 1 堤防の浸透による法すべり

◆ 10～13時間目で変状範囲が急拡大の傾向は、実験と計算で一致
 但し、13時間目の安全率が1を下回る範囲は、実験に比べ広範囲

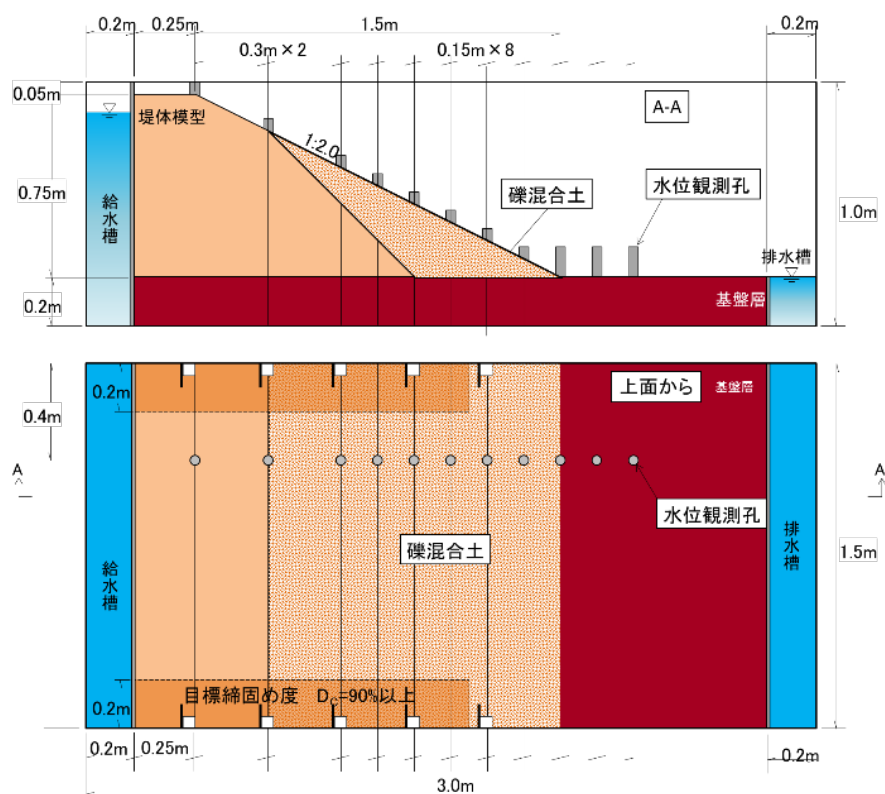
◆ 緩み領域(土層検査棒により調査)と

13時間目の安全率1未満の範囲がほぼ一致



3. 1 堤防の浸透による法すべり

- ◆ 進行性を有するすべりを抑制するためには、
 - 堤体内水位の上昇を抑えること
 - 堤体のせん断強度を増大させること が有効
- ◆ 施工実績の多いドレーン工は、目詰まりなどの経年劣化が短所
- ◆ 礫混合土を用いた安価な対策工の効果を小型の模型実験により確認



対策工に係る小型模型実験の条件一覧

	対策工配合条件 堤体土:3号碎石 :5号碎石	対策工の 締固め度	実験結果概要
Case0 無対策	—	—	4時間で 大規模崩壊
Case1 対策1	礫混合率 35% 13 : 3.5 : 3.5	100%	4時間で 中規模崩壊
Case2 対策2			72時間で 変状なし
Case3 対策3	礫混合率 50% 2 : 1 : 1	90%	4時間で 小規模崩壊

対策工に係る小型模型の概要(初期形状)

3. 1 堤防の浸透による法すべり

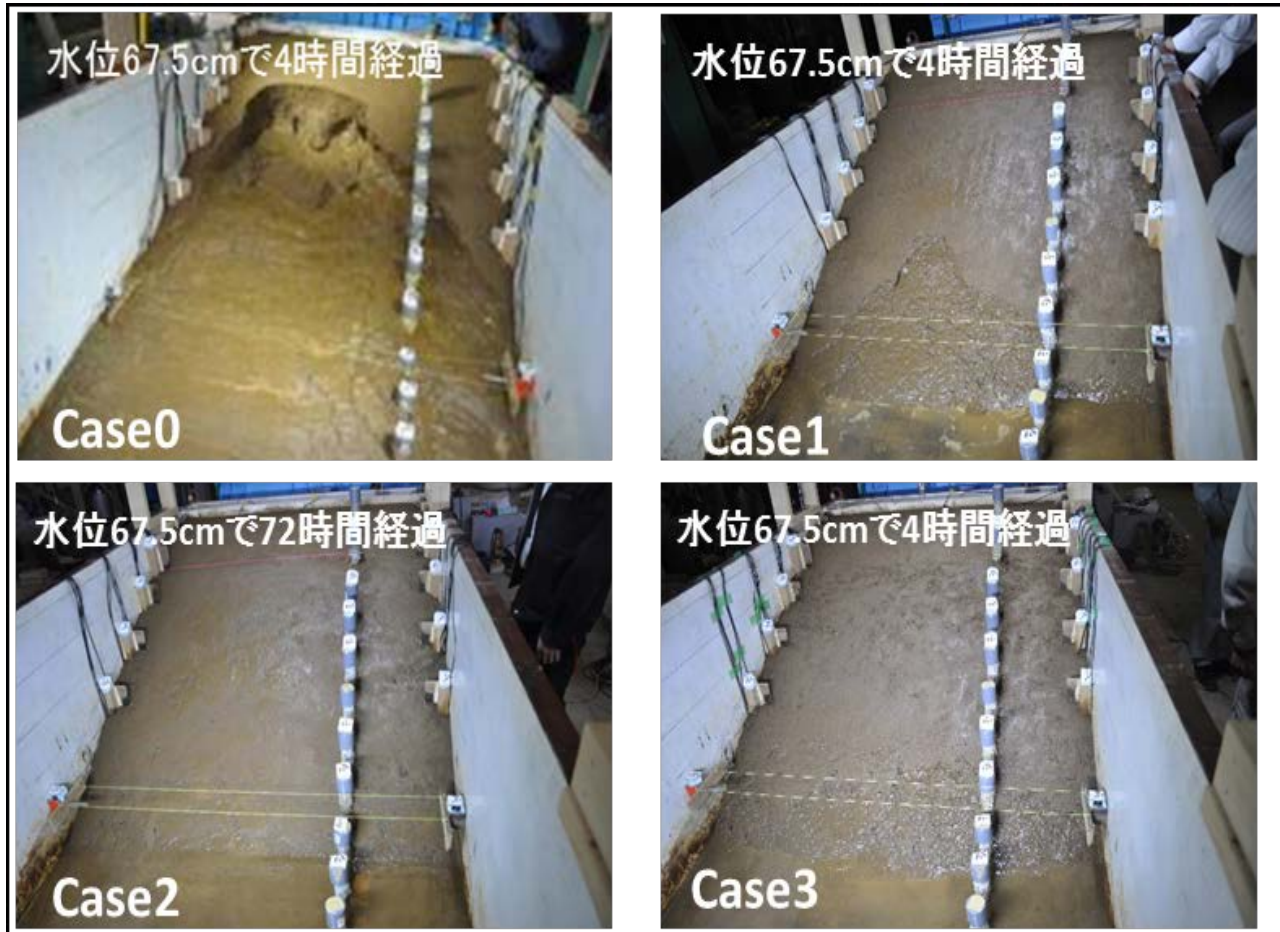
◆Case2において、混合礫土を用いた対策の効果を確認

Case0: 4時間で大規模崩壊

Case1: 4時間で中規模崩壊

Case2: 72時間変状無し

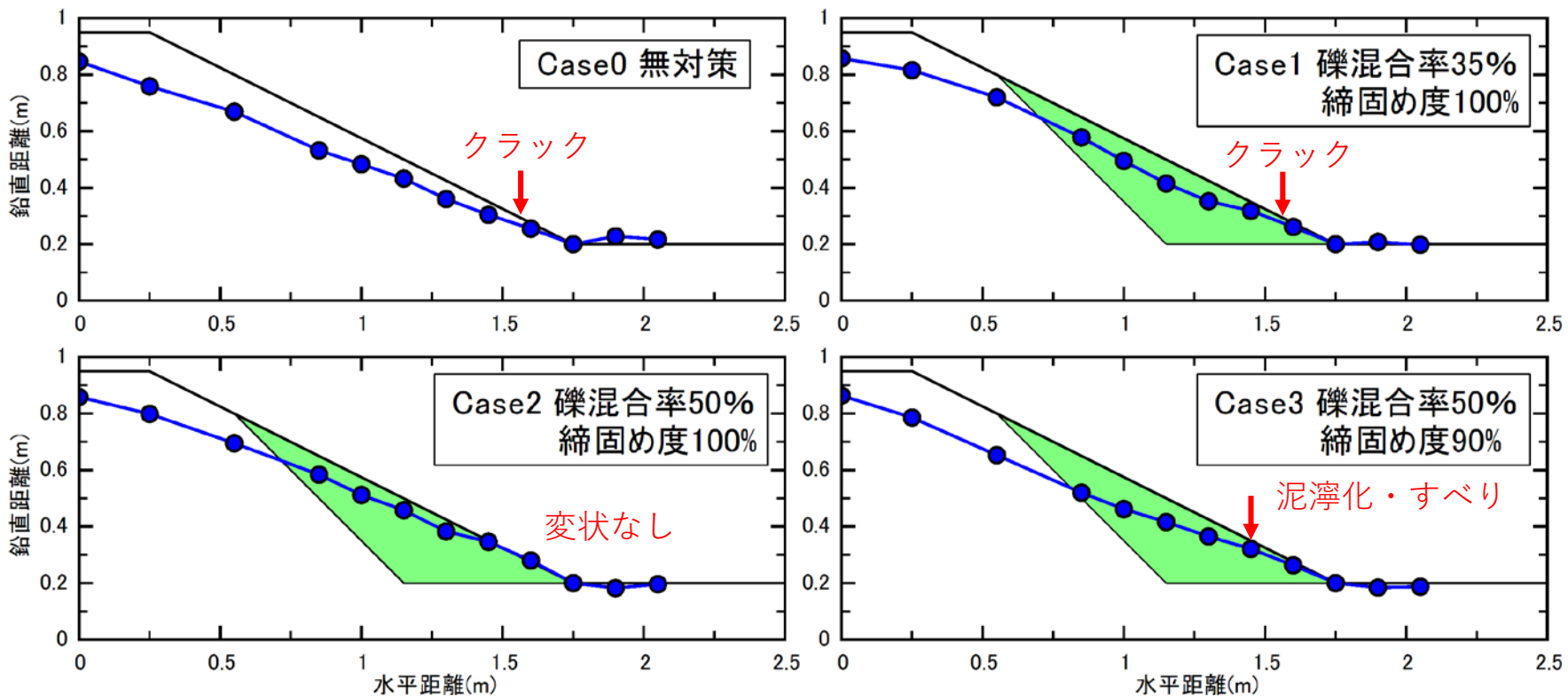
Case3: 4時間で小規模崩壊



模型の状況 (Case2以外は実験開始から4時間後)

3. 1 堤防の浸透による法すべり

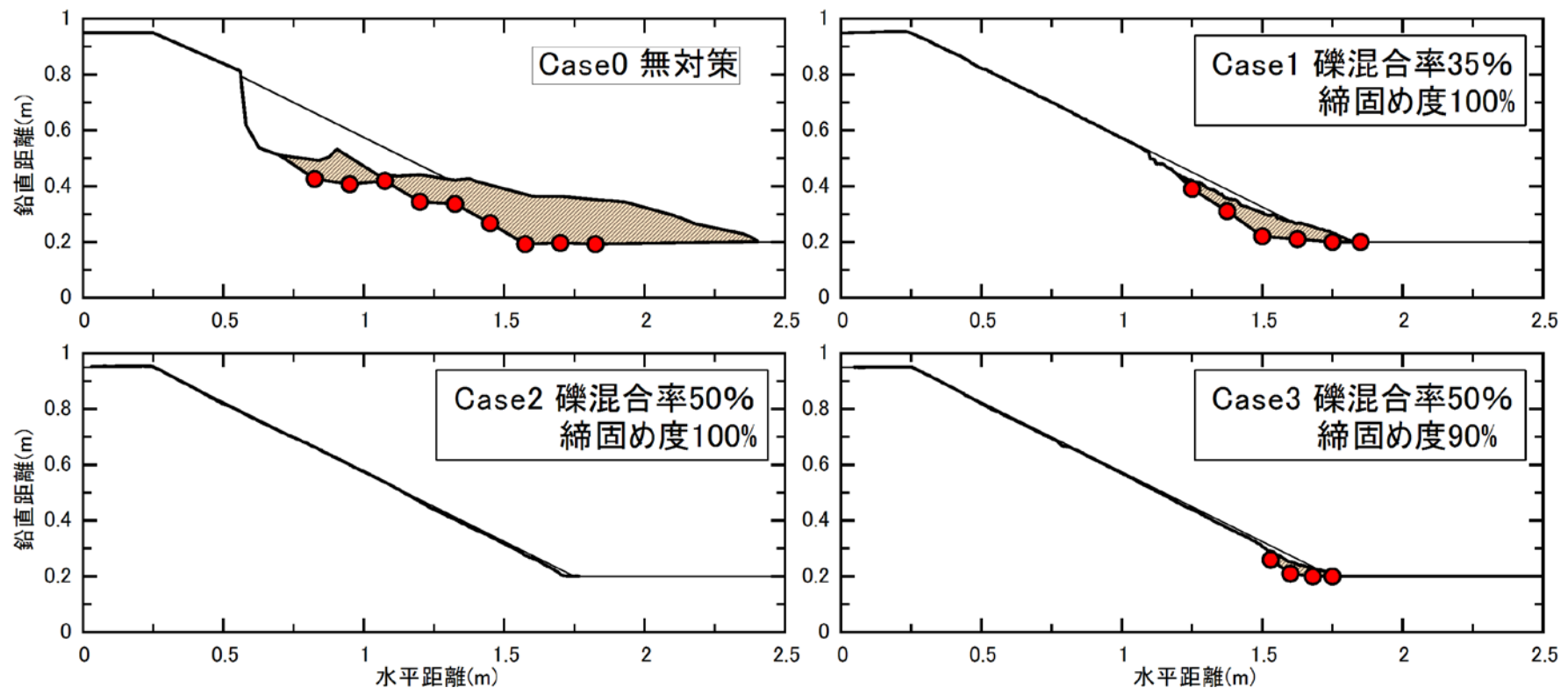
- ◆ Case0に比べて礫混合土による対策を実施したCase1～3の水位が高い
- ◆ Case1、3では水位がより高い状態で変状が生じ始めたり、Case2では水位がかなり高くなっても変状が生じないことから、礫混合によるせん断強度の増大が推定される



変状発生時の堤体内水位
 (Case2は堤体内水位が定常となった時点での水位)

3. 1 堤防の浸透による法すべり

- ◆ 実験終了後に貫入試験により調べた緩み範囲により、対策効果を評価
 - ◆ 礫混合率が高いほど、締固め度が高いほど、高い効果
- 礫混合率50%であれば、締固め度90%でも十分な効果



実験終了時の変状範囲・緩み範囲

3. 2 異常降雨作用下での補強土壁

- ◆補強土壁は、橋台等の他の構造物と隣接する箇所での施工実績増加
- ◆補強土壁においては、強い地震の影響を受けた場合に、いくつかの現場で盛土材のこぼれ出しを確認。こぼれ出しは、補強土壁のメカニズムの前提に影響を及ぼす恐れがあることから、その状況によっては致命的となる重大事象
- ◆50mm/h以上の短時間豪雨の発生件数は、1970年代に比べて、2000年代は約1.3倍に増加→豪雨によるこぼれ出しの進展のおそれ
- ◆補強土壁の補修方法の確立のために、こぼれ出しの詳細の進行過程の解明と補修方法の要否の判定及び効果の確認が必要



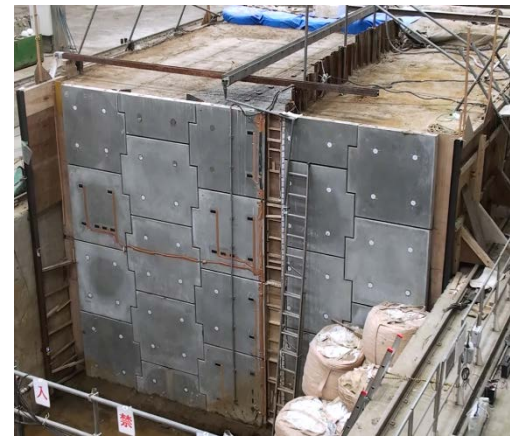
補強土壁の盛土材のこぼれ出し



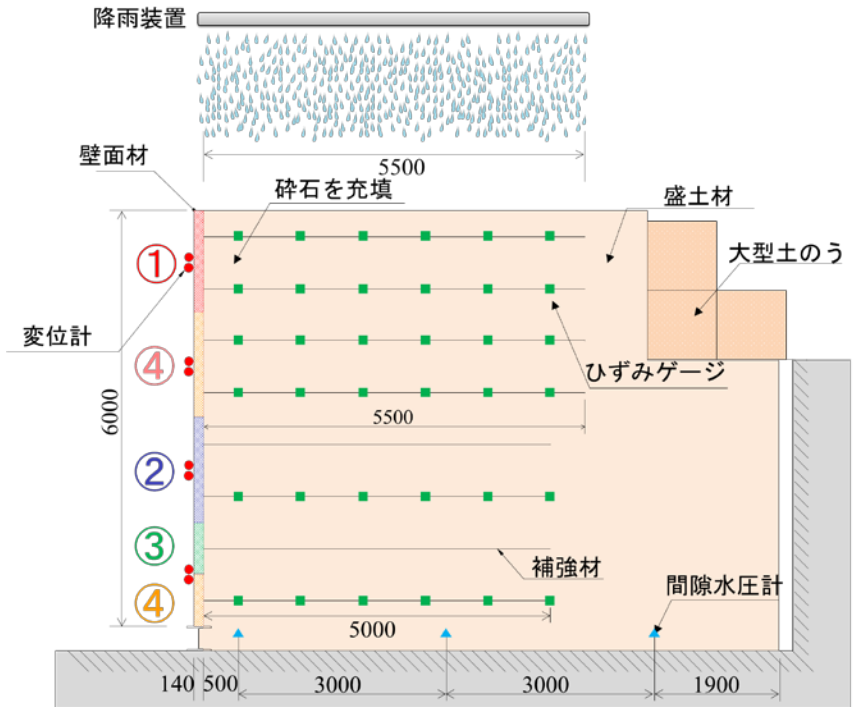
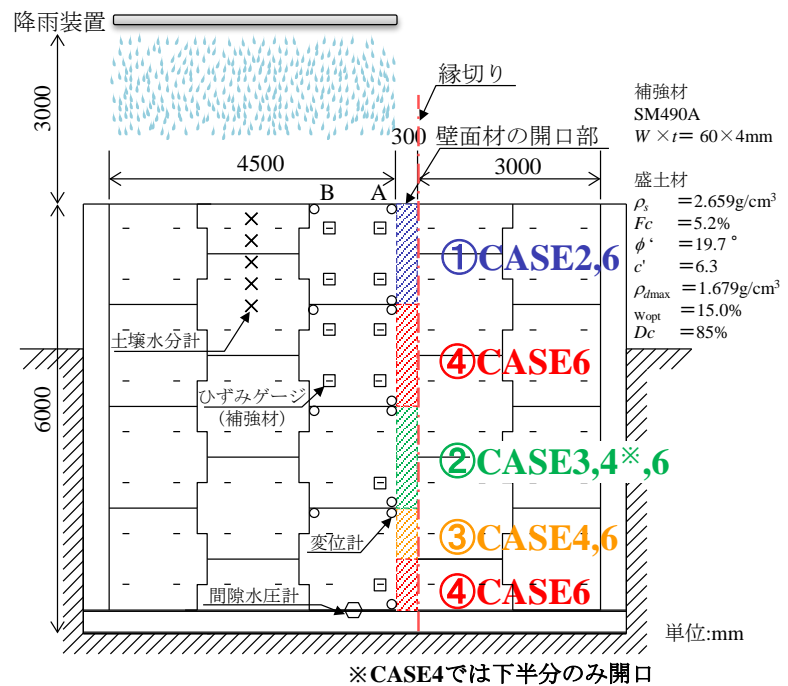
橋台背面の段差の発生

3. 2 異常降雨作用下での補強土壁

- ◆ 実大模型実験により、異常降雨作用下での盛土材のこぼれ出しを再現
- ◆ 補強土壁に隣接する構造物との取合い部の相対変位による目地開きを模擬した開口部を設置
- ◆ 降雨により補強土壁情報から盛土内に水を浸透



補強土壁の実大模型



補強土壁の実大模型の概要

3. 2 異常降雨作用下での補強土壁

- ◆降雨条件、開口長、開口位置の条件をかえ実験を実施
- ◆盛土施工不良を想定して、締固め度は管理基準値の目安より低い85%に設定
- ◆排水施設の不足・不良を想定して、壁背面排水層は未設置

実験ケース

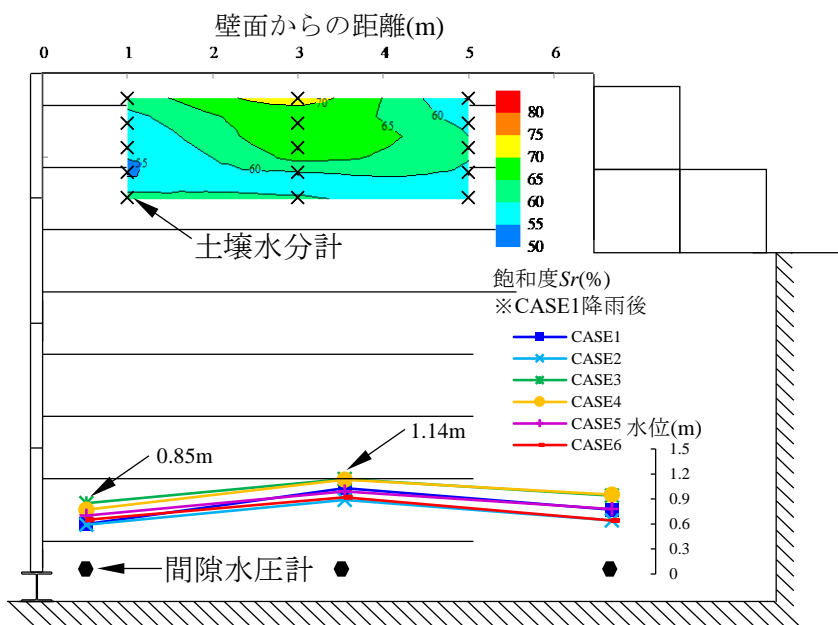
ケース名	時間雨量 (mm/hr)	総雨量 (mm)	開口長 (m)	開口位置
CASE1	26.3	約1,700	0	—
CASE2	27.6	約1,500	1.5	①
CASE3	27.6	約2,000	1.5	②
CASE4	29.7	約2,000	2.25	②③
CASE5	34.1	約2,500	0(閉塞)	—
CASE6	33.2	約1,600	6.0	①～④



各ケースにおける開口位置(開口位置は赤破線部)

3. 2 異常降雨作用下での補強土壁

- ◆CASE1(開口長0m)の飽和度分布(深度1.5mまで)は、降雨開始後12時間(累積雨量 約315mm)までにすべて頭打ち
- ◆各ケースの水位は、壁面から3.5m内部で最大1.14m、壁面から0.5m内部において最大0.85mで頭打ち
- ◆分割壁面材による補強土壁は、盛土内に浸透した水が壁面材目地からも排水されるため、降雨作用による盛土内の水位が漸増しにくい構造であると推測



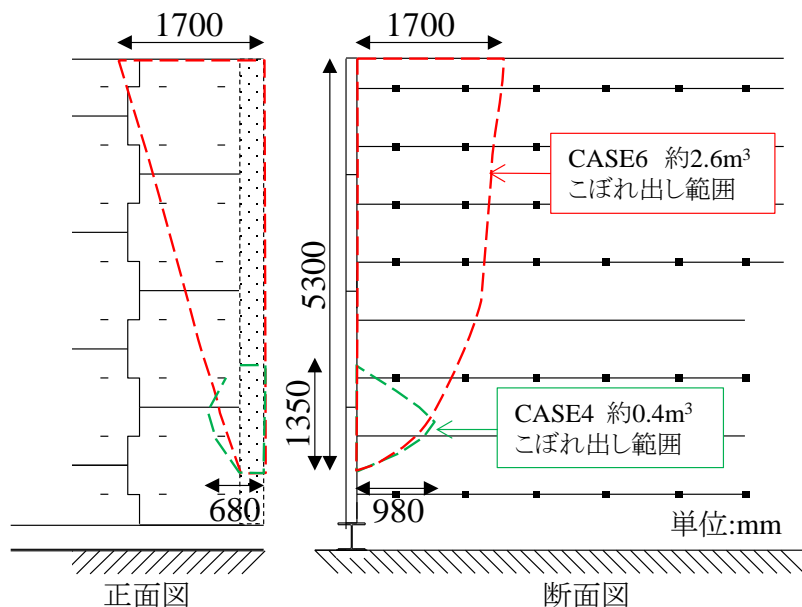
水位と飽和度(CASE1)の状況



Case1での目地部からの排水状況(最下段)

3. 2 異常降雨作用下での補強土壁

- ◆ 盛土材のこぼれ出しは、CASE4とCASE6で発生
- ◆ CASE4、CASE6ともに、盛土内の水位が開口部下端位置まで達した時点あたりから、盛土材のこぼれ出しが発生。その後、含水比が高くなった盛土材は、流動化して急速にこぼれ出す
- ◆ CASE6においては、こぼれ出しの進行の後、突如大規模なこぼれ出しが起こり盛土天端が陥没するに至った



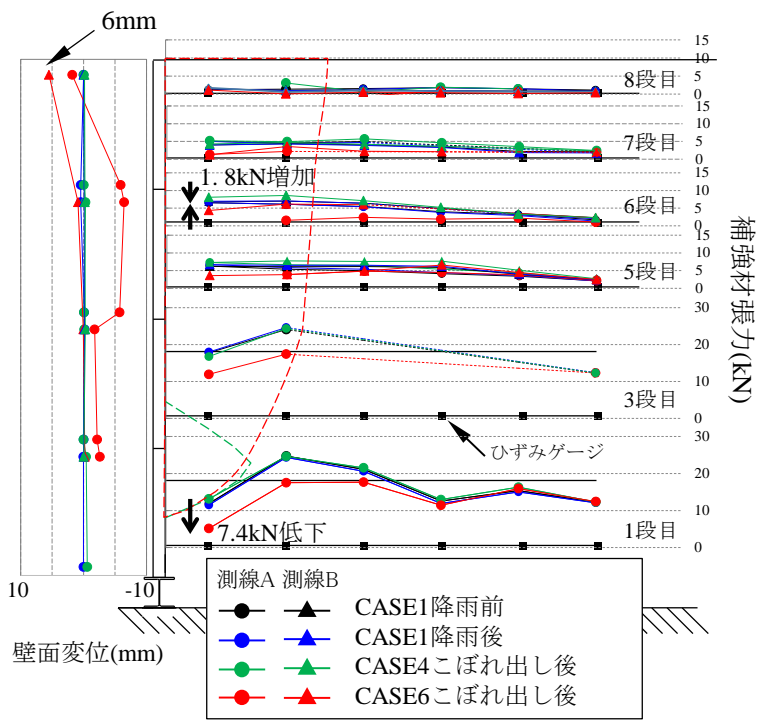
CASE4、CASE6におけるこぼれ出し範囲



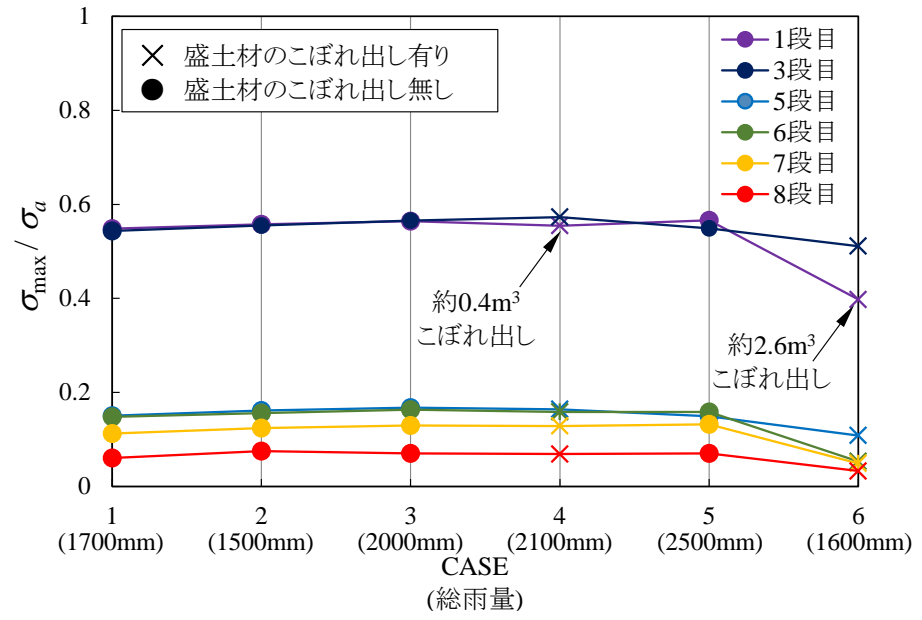
こぼれ出し状況 (CASE6)

3. 2 異常降雨作用下での補強土壁

- ◆CASE6後の張力は、こぼれ出しにより最大7.4kN程度低下し補強効果(抵抗力)が損なわれたが、一方、壁面に作用する土圧(作用力)も低下したものと推察
- ◆その結果、補強材が引き抜ける、壁面材が脱落するなど、補強土壁が脆性的に崩壊することもなかったと推察
- ◆各ケースの補強材に作用した最大応力度は、許容応力度に達するような大きな作用は発生しなかった



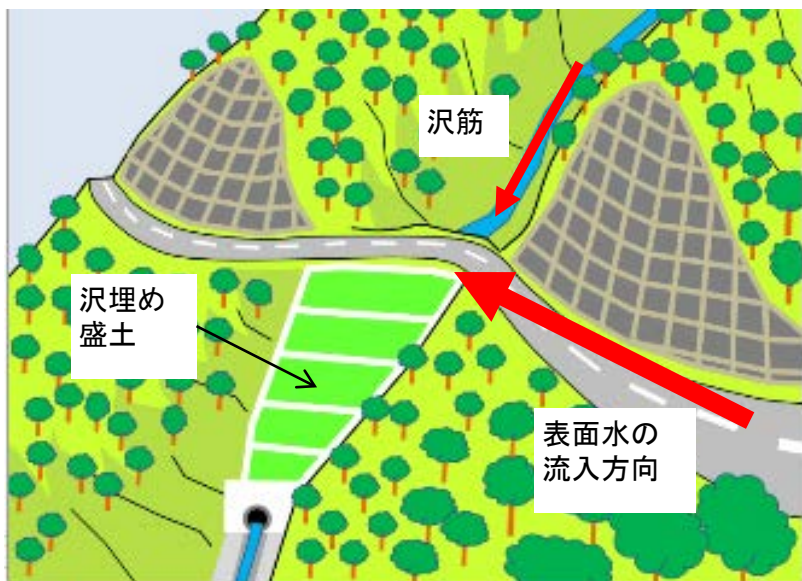
壁面変位及び補強材の張力分布



総雨量と補強材張力の変化

3. 3 土工構造物等の排水性向上技術

- ◆ 近年、台風等による豪雨を誘因とする土工構造物等の被害が頻発
- ◆ 平成28年8月の台風10号では、土石流により排水施設(地下横断管)が詰まり、溢れた表面水が路面を伝い流下し、道路本体を侵食し、盛土が崩壊
- ◆ 他の災害調査も踏まえ、被害の誘因として、
 - 土工構造物等の背後の集水地形
 - 路面等から多量の表面水が集まったこと



表面水の流入に起因した土工構造物の崩壊事例



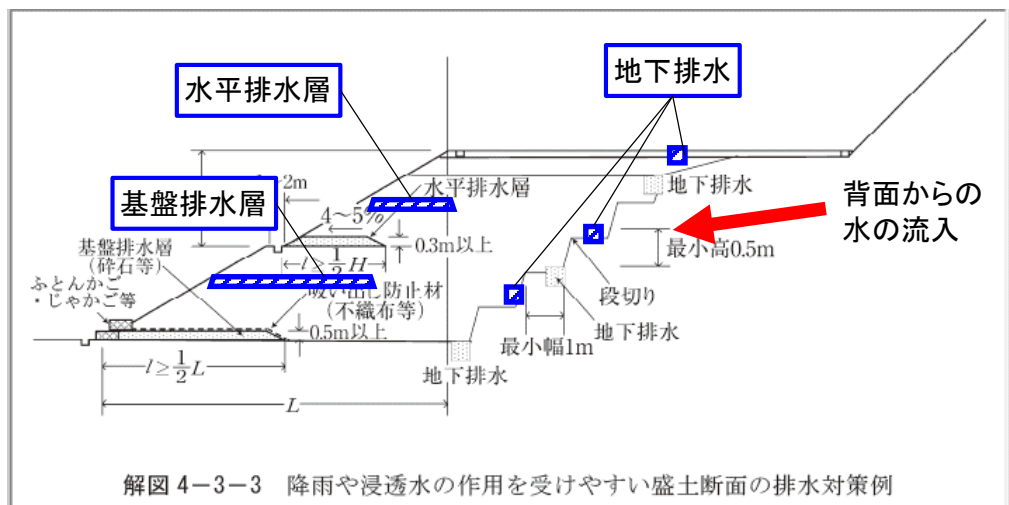
写真-5 H28年台風10号での盛土崩壊
(国土交通省 北海道開発局 帯広開発建設部HPより)

3. 3 土工構造物等の排水性向上技術

- ◆盛土工指針(H22改訂)で、背面からの浸透水に対する標準的な排水仕様を規定
- ◆山側からに加えて表面水も流入する複雑な地形における表面水も含めた排水対策手法は未確立であり、地形の影響を考慮した排水対策手法の開発が望まれる



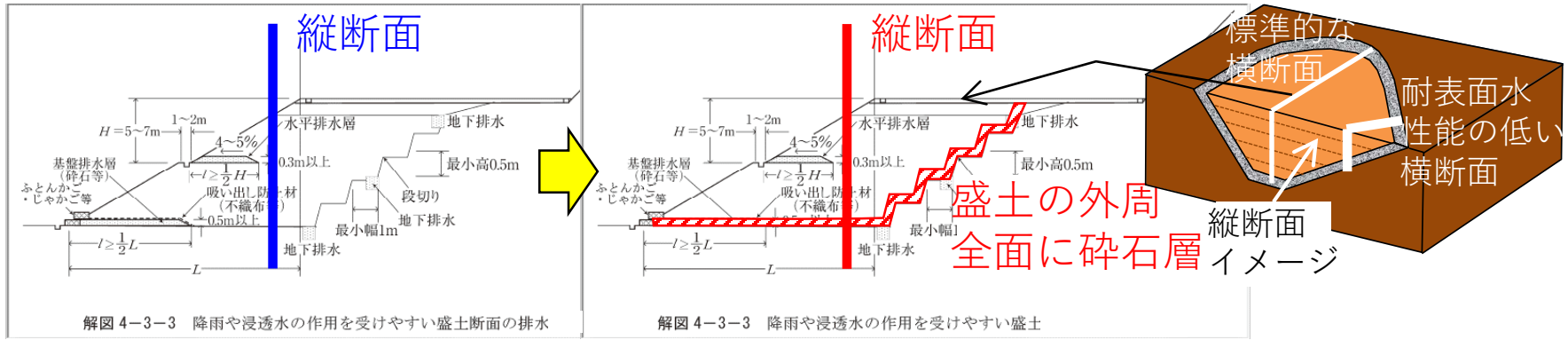
能登有料道路
(のと里山海道) (2007. 3)



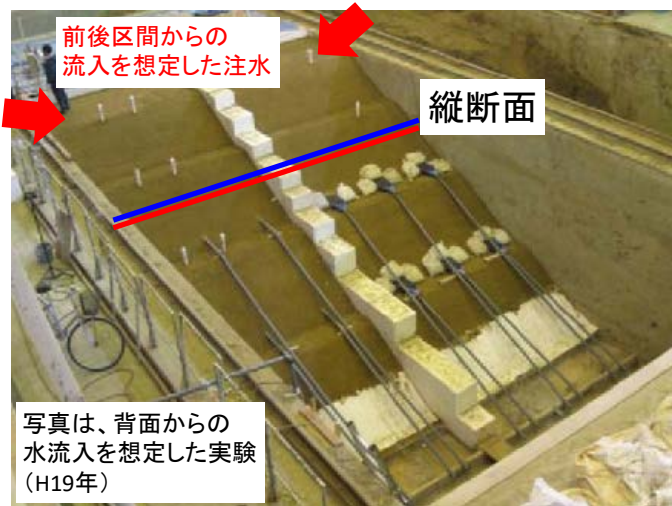
降雨や浸透水の作用を受けやすい
盛土横断面の排水対策
(盛土工指針、平成22年改訂)

3.3 土工構造物等の排水性向上技術

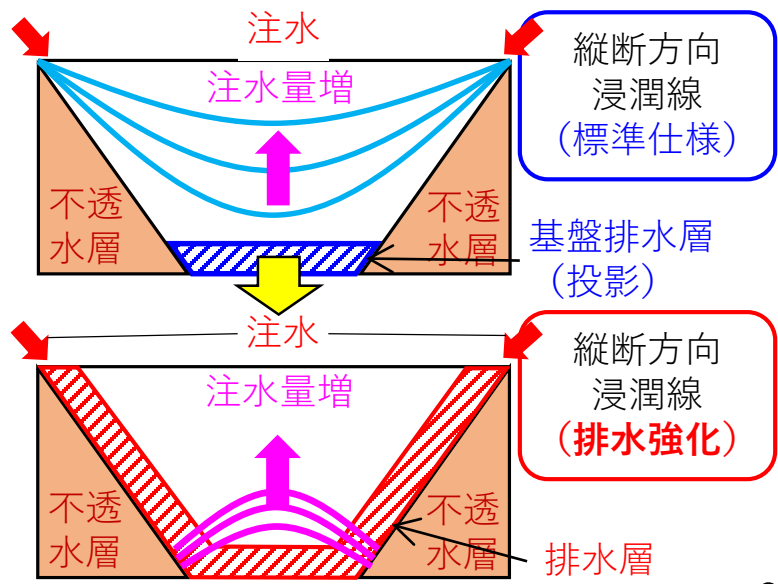
◆三次元的な水の浸透による盛土の崩壊メカニズムを解明するために、従来の背面からに加え、道路縦断方向からの水の流入を想定した大規模盛土実験を実施予定



降雨や浸透水の作用を受けやすい盛土横断面の排水対策(現行)



三次元的な水の流入に対する排水強化イメージ



大規模盛土実験での排水性の検討イメージ

4. 今後に向けた展望

◆気候変動による豪雨災害の作用の増大・頻発化

➤既に極端な雨の降り方が顕在化

- 時間雨量50ミリ以上の発生件数が約30年間で約1.4倍¹⁾
- H24.7 九州北部豪雨 矢部川水系において、基本高水のピーク流量を上回る観測史上最大の流量となり、計画高水位を5時間以上超過¹⁾
- H27.9 関東・東北豪雨 多数の線状降水帯が発生し、宮城県、茨城県、栃木県では多くの地点で24時間降水量が観測史上1位を更新した²⁾
- H28.8 気象庁の統計開始以降初めてとなる、北海道へ年間3個の台風上陸や東北地方への太平洋側からの台風上陸が発生²⁾
- H30.7 西日本豪雨 長時間の降水量が記録的な大雨となり、48時間降水量は125地点、72時間降水量は123地点で観測史上1位を更新した²⁾

➤将来予測(21世紀末)

- 大雨による降水量(日降水量)が全国平均で10.3~25.5%増加¹⁾
- 全国の一級水系において、施設計画の規模を上回る洪水の発生頻度が約1.8~4.4倍に増加¹⁾

1)水災害分野における気候変動適応策のあり方について

～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～ (平成27年8月)

2)気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言(案) (令和元年7月)

4. 今後に向けた展望

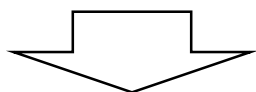
◆気候変動により豪雨災害の作用が増大・頻発化に対応

- 土工構造物の豪雨災害被害への対応においては、
「全国の被害事例の調査」、「課題の把握」、「実大模型実験による検討」
を継続していくことが基本
- 豪雨災害発生時の作用の増大化の状況を把握しつつ
特に、豪雨災害による土工構造物の破壊・変状の発生メカニズムと
土工構造物の変状の機能への影響 を明らかにすることが重要
さらに、安全性のより合理的な評価や対策工の提案の検討が重要
- 本日紹介した事例でも、実大模型実験等により、以下を把握
洪水波形に対する堤防の変状の進行性や程度
異常降雨下での盛土材のこぼれ出し状況と補強材張力と壁面変位

4. 今後に向けた展望

◆近年の水害や土砂災害における課題を踏まえて、国土交通省において強化されているハード・ソフトの対策の動向を踏まえ研究を進めることを重要

▶ 例えば、Cバンドレーダ雨量計を高性能化し、XバンドMPLレーダ雨量計と組み合わせることにより、高分解能、高頻度で、リアルタイムな雨量情報(XRAIN:エックスレイン)の配信エリアを全国に順次拡大³⁾



土工構造物に関する安全性確保に活用

- ・事前通行規制での運用
- ・被災事例の調査、評価時に

豪雨災害の作用の増大程度を把握

リアルタイム雨量情報の配信エリア拡大

高分解能・高頻度で、リアルタイムな雨量情報を提供

【Cバンドレーダ】

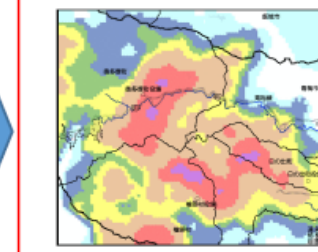
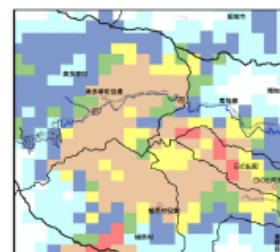
空間解像度:1kmメッシュ

配信間隔:5分

【XRAIN】

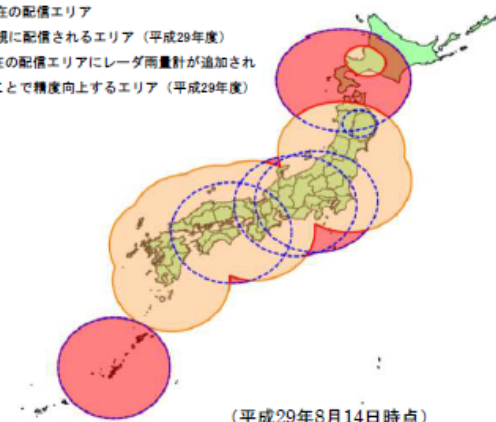
空間解像度:250mメッシュ

配信間隔:1分



○平成29年度、新たに高性能化した6基のレーダ雨量計を追加

- 現在の配信エリア
- 新規に配信されるエリア (平成29年度)
- 現在の配信エリアにレーダ雨量計が追加されることで精度向上するエリア (平成29年度)



(平成29年8月14日時点)

配信エリアを全国に順次拡大

※上図のエリア内であっても、山岳遮蔽等により観測できないことがあります。

3)国土交通省 水災害に関する防災・減災対策本部:平成30年度の重点対策

ご清聴
ありがとうございました

