(一社)静岡県地質調査業協会
第16 回 地盤技術講習会2022.7.22
盛土災害の現状と今後について法整備～力学特性評価

河川堤防・盛土の力学特性の評価

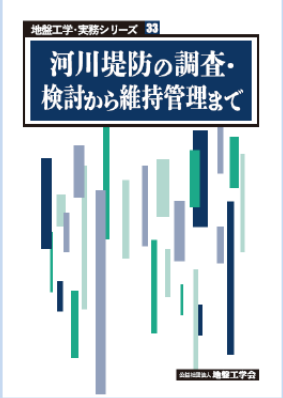
名城大学　小髙 猛司

名城大学

―河川堤防のこれまでの歴史・浸透／地震の設計・対策の考え方はコレだ―

実務シリーズ 33.

河川堤防の調査・検討から維持管理まで



◎我が国の河川堤防の実務や研究に携わる秀逸な技術者と研究者が執筆し、地盤工学分野から初めて扱う河川堤防の必読書！

◎平成 9（1997）年の河川砂防技術基準（案）設計編以降の河川堤防に対する地盤工学上の課題を整理

◎地盤工学会と土木学会との協働による被災河川堤防の調査・検討時の活発な議論が各章に息吹く

◎従前の浸透や地震に対する河川堤防の設計・対策工・維持管理の考え方に加え、近年激甚化する豪雨や切迫する巨大地震に対する河川堤防のあり方を考えるためのヒントを得る「参考書」としても！

A4 判　149 ページ
令和 2 年 3 月 31 日発行
ISBN：978-4-88644-932-0
価格：本体 6,000 円＋税
送料：800 円＋税
発行：公益社団法人地盤工学会

■主な内容：多くの事例に関する図や写真に基づいて河川堤防を詳しく解説！

<変遷> 歴史・種類・特性・要求性能と整備ほか
<調査／試験> 物理試験・透水試験・不飽和特性・原位置調査ほか
<浸透> 被災事例・浸透流／円弧すべり計算・パイピング調査・設計・対策工ほか
<地震> 被災事例・性能照査解析手法・液状化・設計・対策工ほか
<維持管理> 法令・点検と巡視・新技術の活用・モニタリング・今後の展望ほか

書籍のお申し込み・お問い合わせは、
地盤工学会のショッピングカートまでお願いします。
http://www.jgs-shopping.net/

目　次

第１章　河川堤防の変遷
1.1　河川堤防の歴史
1.1.1　我が国の河川堤防の特徴と河川改修の基本
1.1.2　明治時代以前の堤防
1.1.3　明治時代以降の堤防整備
1.1.4　形状規定方式による河川堤防の整備
1.1.5　性能規定方式の導入
1.2　河川堤防の種類
1.3　河川堤防の特性
1.3.1　複雑な基礎地盤地形および土質構造
1.3.2　不均一な堤体土質構造
1.3.3　線状の長い構造物
1.3.4　整備途上での供用（リスクを抱えての管理）
1.4　河川堤防に求められる性能と整備の現状
1.4.1　堤防形状の整備
1.4.2　安全性照査による質的整備
1.5　堤防の被災と維持管理
1.5.1　堤防決壊等の事例
1.5.2　堤防の維持管理

第２章　河川堤防における地盤調査・土質試験
2.1　物理試験
2.1.1　体積，重量に係る物理量
2.1.2　粒度分布
2.1.3　液性限界・塑性限界
2.1.4　地盤材料の工学的分類と土質名
2.2　透水試験
2.2.1　粒度分布等からの推定
2.2.2　室内透水試験
2.2.3　現場透水試験
2.3　不飽和特性
2.3.1　不飽和土の水分特性曲線と不飽和透水係数
2.4　強度特性
2.4.1　円弧すべり解析に用いる強度定数の試験条件
2.4.2　適切な強度定数設定法
2.5　原位置調査
2.5.1　概要
2.5.2　サウンディング
2.5.3　サンプリング
2.5.4　開削調査
2.5.5　液状化に関する調査における留意事項
2.5.6　物理探査

第３章　浸透に対する検討
3.1　被災事例
3.1.1　すべり破壊による被災
3.1.2　パイピングによる被災
3.1.3　パイピングとすべりの複合被災
3.1.4　越流による裏法侵食・洗掘に起因する破堤
3.2　飽和－不飽和浸透流解析
3.2.1　概要
3.2.2　解析手法
3.2.3　解析モデルと土質定数の設定
3.2.4　飽和－不飽和浸透流解析の特徴
3.3　円弧すべり計算
3.3.1　概要
3.3.2　計算方法
3.3.3　土層区分と土質定数の設定
3.3.4　円弧すべり計算の特徴
3.4　パイピング照査
3.4.1　概要
3.4.2　パイピング照査の特徴
3.5　課題と最近の研究動向
3.5.1　概要
3.5.2　ねばりの確保と性能照査に関する課題
3.5.3　性能設計と信頼性解析
3.5.4　パイピング実験に見られる進展性の破壊の研究例
3.5.5　最近の数値解析の研究
3.5.6　総論（まとめ）

第４章　地震に対する検討
4.1　被災事例
4.1.1　被災事例の概要
4.1.2　液状化による河川堤防の変状タイプ
4.1.3　東日本大震災における関東地方の河川堤防被害
4.1.4　東日本大震災における東北地方の河川堤防被害
4.2　耐震性能照査指針および点検
4.2.1　1995 年兵庫県南部地震以降の河川堤防の耐震診断
4.2.2　変形解析手法の導入検討
4.2.3　レベル 2 地震動を考慮した河川堤防の耐震性能照査(L2 指針)
4.2.4　堤体の液状化
4.3　静的照査法による耐震性能照査
4.3.1　円弧すべり法
4.3.2　有限要素法を用いた自重変形解析法
4.3.3　流体力学に基づく永久変形解析法
4.3.4　静的照査法による計算例
4.4　動的解析（有効応力解析）の現状と課題
4.4.1　概要
4.4.2　2011 年東北地方太平洋沖地震の事例
4.4.3　実河川堤防のレベル 2 地震解析事例
4.5　課題と最新の研究動向
4.5.1　概要
4.5.2　複雑な土層構成の堤防沈下への影響
4.5.3　堤体内液状化判定

第５章　浸透に対する対策工とモニタリング
5.1　浸透に対する対策工
5.1.1　対策工の基本的考え方
5.1.2　強化工法の設計手順
5.1.3　すべり対策工の構造と設計における留意事項
5.1.4　パイピング対策工の構造と設計における留意事項
5.2　対策工のモニタリング
5.2.1　概要
5.2.2　モニタリング方法
5.2.3　モニタリング結果と三次元浸透流解析
5.3　今後の展望
5.3.1　事前調査の精度向上
5.3.2　浸透対策工法の改良
5.3.3　おわりに

第６章　地震に対する対策工とモニタリング
6.1　対策の種類とメカニズム
6.1.1　基礎地盤の液状化対策
6.1.2　堤体内液状化対策
6.1.3　設計法
6.1.4　耐震対策工の効果
6.1.5　耐震対策工以外の効果
6.1.6　鳴瀬川における SCP 改良の効果の事例
6.1.7　信濃川下流堤防での格子状深層混合処理工法の改良効果
6.2　設計施工事例
6.2.1　設計施工事例の概要
6.2.2　釧路川の被災と復旧工事の事例
6.2.3　淀川の被災と復旧事例
6.2.4　東北の復旧事例
6.2.5　利根川の復旧事例
6.2.6　庄内川，木曽三川下流部の対策事例
6.2.7　堤防直下地盤改良の事例

第７章　維持管理
7.1　法令
7.1.1　関連法令等
7.1.2　河川法
7.1.3　河川砂防技術基準維持管理編（河川編）
7.1.4　堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領
7.1.5　河川管理施設の点検結果評価要領
7.1.6　河川巡視規定
7.2　点検および巡視
7.2.1　点検内容
7.2.2　発見された変状の分析
7.2.3　変状による健全性の減少
7.2.4　補修事例
7.3　新技術の活用
7.3.1　河川維持管理データベース
7.3.2　モービルマッピングシステム（MMS）
7.4　今後の展望
7.4.1　点検および巡視の高度化
7.4.2　維持管理に関するデータの活用
7.4.3　まとめ

（公社）地盤工学会HPより

地盤工学会編「河川堤防の調査・検討から維持管理まで」

2章 河川堤防における地盤調査・土質試験

2.4 強度特性

2.4.1　円弧すべり解析に用いる強度定数の試験条件

三軸圧縮試験には，試験時の排水条件や手順の違いなどによって，以下の4つの試験条件が存在する。

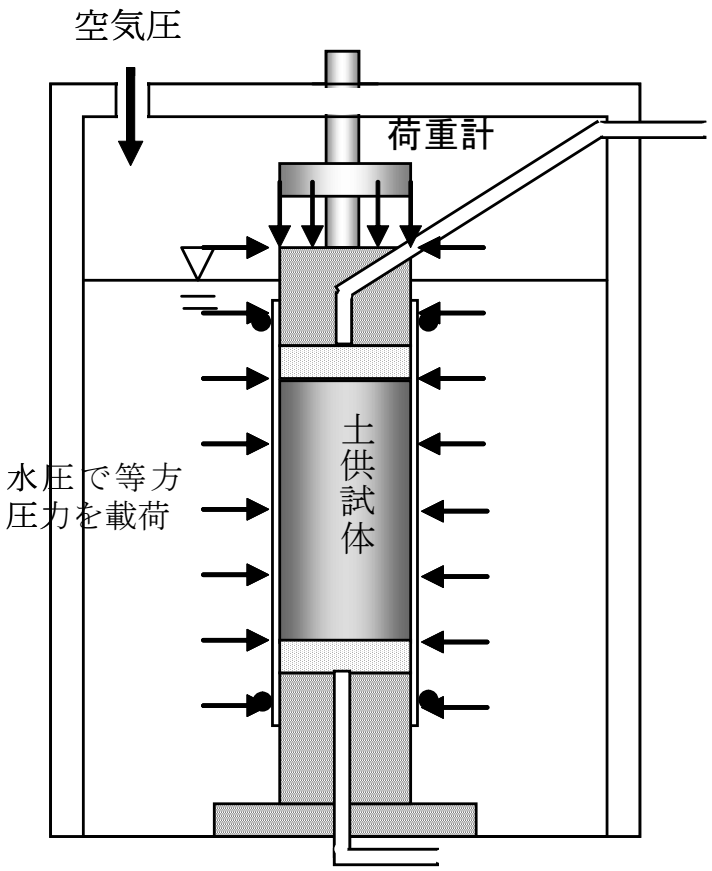
① UU試験（非圧密非排水せん断試験）

② CU試験（圧密非排水せん断試験）

③ $\overline{\mathrm{CU}}$試験（圧密非排水せん断試験）

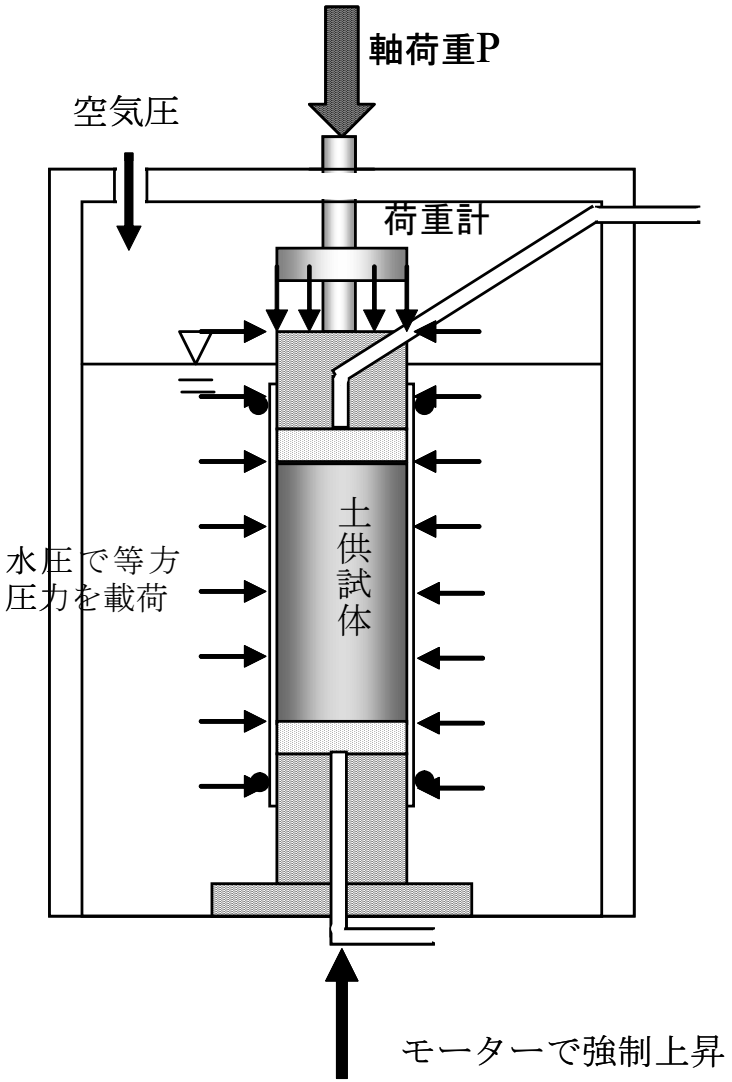
④ CD試験（圧密排水せん断試験）

三軸圧縮試験



圧密過程

水圧を増加させて供試体に
等方的な圧力を載荷する



せん断過程

軸圧を増加させて土が
破壊するまで載荷する

三軸圧縮試験の種類（主に3種類）

今後の土の状態（有効応力状態）が検討の範囲では変化しない場合
ex. 粘土の短期問題

	等方圧力による圧密過程	軸圧縮によるせん断過程
UU試験	非圧密	非排水せん断
CU試験	圧密	非排水せん断
CD試験	圧密	排水せん断

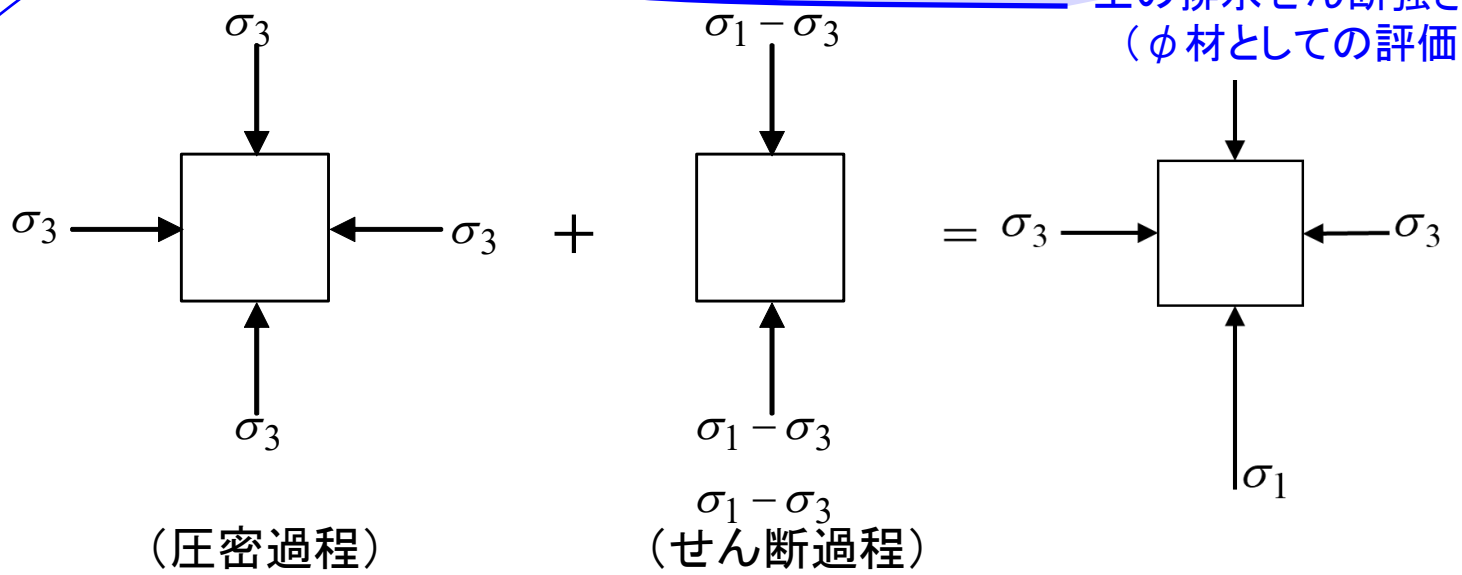
粘土の非排水せん断強さ（c材としての評価）

CU

$\overline{\text{CU}}$

土の排水せん断強さ（ϕ 材としての評価）

今後の土の状態（有効応力状態）を再現する
ex.圧密・浸透



（圧密過程）　（せん断過程）

コスト面で$\overline{\text{CU}}$とCUでは大きな違いがある。 →煩雑な手順と載荷速度＝コスト
それだけではなく，試験の意味に大きな差がある。
$\overline{\text{CU}}$は全応力で整理することによりCUとしての整理も可能

参考：河川堤防の現行照査（基準）

「河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）（2012）」

表 3.2.3　堤防横断方向の土質試験の項目（力学試験用試料）

土質試験の項目			礫質土	砂質土	粘性土	得られる定数等
物理試験	土粒子の密度試験		○	○	○	土粒子の密度 ρ_s
	含水量試験		○	○	○	
	粒度試験		○	○	○	
			注3）	注3）	○	
			○	○	○	湿潤密
力学試験	透水試験		○	○		飽 水係数 k_s
	三軸圧縮試験もしくは一面せん断試験注4）	UU 試験			○	粘着力 c_U（内部摩擦角 ϕ_U）
		CU 試験	○	○	◎	粘着力 c_{CU}，内部摩擦角 ϕ_{CU}
		CUB 試験	◎	◎	○	粘着力 c，c’ 内部摩擦角 ϕ，ϕ’
		CD 試験	◎	◎		粘着力 c_d，内部摩擦角 ϕ_d
材料試験（堤防新設の場合）			○	○	○	最大乾燥密度 ρ_{dmax} 等

CUは妥当？
CDとCUBの使い分けは？

粘性土とは？
細粒分含有率だけで粘性土としてよいか？
堤防のどの部分？

注 1）UU 試験は非圧密非排水条件、CU 試験は圧密非排水条件、CUB 試験は圧密非排水条件（間隙水圧測定）、CD 試験は圧密排水条件である

注 2）土質分類（礫質土、砂質土、粘性土）は表 3.2.1 に同じである

浸透時のすべり破壊の安定性評価の現状

・現行評価法：浸透解析と円弧すべり解析を組み合わせた全応力解析
・強度定数　：適切な試験条件を選択

河川堤防の構造検討の手引き

三軸圧縮試験時の試験条件

砂や砂礫→CU，CUB，CD　（平成24年2月改訂）

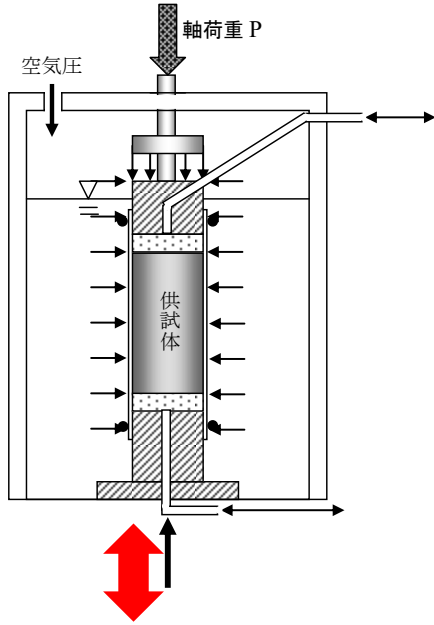
非排水せん断　排水せん断

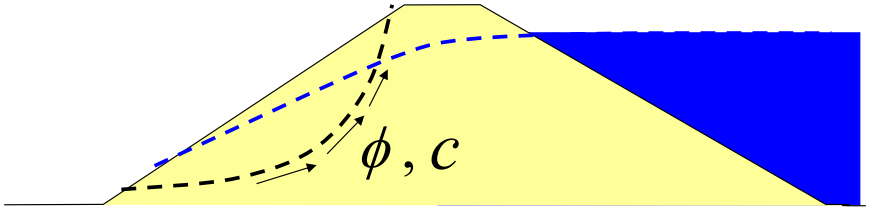
粘性土　→UU，CU　（平成24年2月改訂）

非圧密　圧密

三軸試験の特殊性

・比較的簡単で普及している
・完全非排水条件，完全排水条件の「理想（非現実）」条件が実現可能
・せん断状態が対象とする土構造物の破壊状態と必ずしも一致しない





一般全応力法の円弧すべり解析

・河川堤防の浸透すべり破壊の実現象（圧力レベル，ひずみレベル）に即した試験条件を選択すべき
・あくまで代表断面の強度定数であることにも注意

現実の砂質・砂礫系堤防

CU条件→完全非排水せん断条件は非現実的
（多少の排水は許容される）

CD条件→有効応力，ひずみレベルが増大し続ける三軸試験の排水せん断条件は，有効応力が減少しつつ破壊に至る浸透すべり破壊とは大きく異なる
（過大評価する可能性）

検討対象としている問題は？

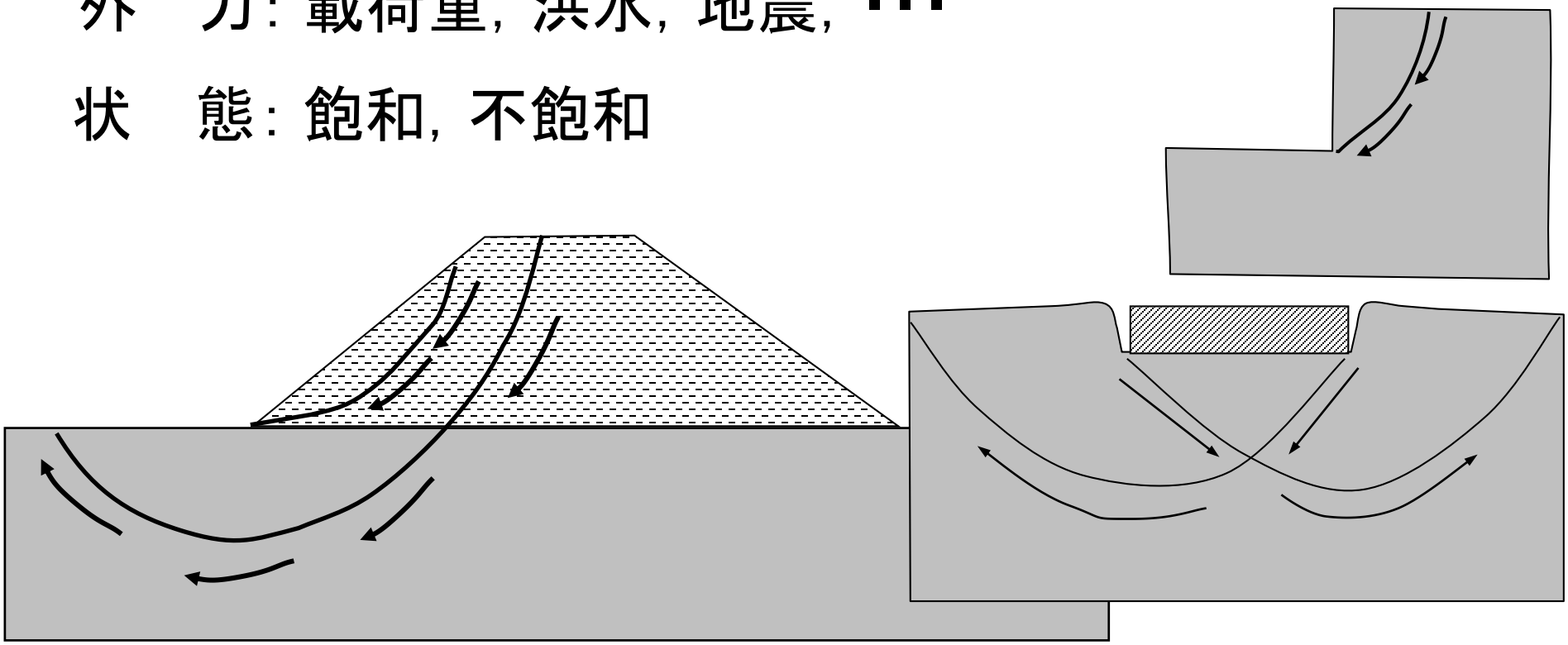
構造物：盛土，切土，基礎地盤・・・

土　質：砂，中間土，粘土，・・・

時　間：短期，長期

外　力：載荷重，洪水，地震，・・・

状　態：飽和，不飽和



検討対

人工地盤は「粘土」ではなく「粘土もどき細粒土」と考えた方がよい

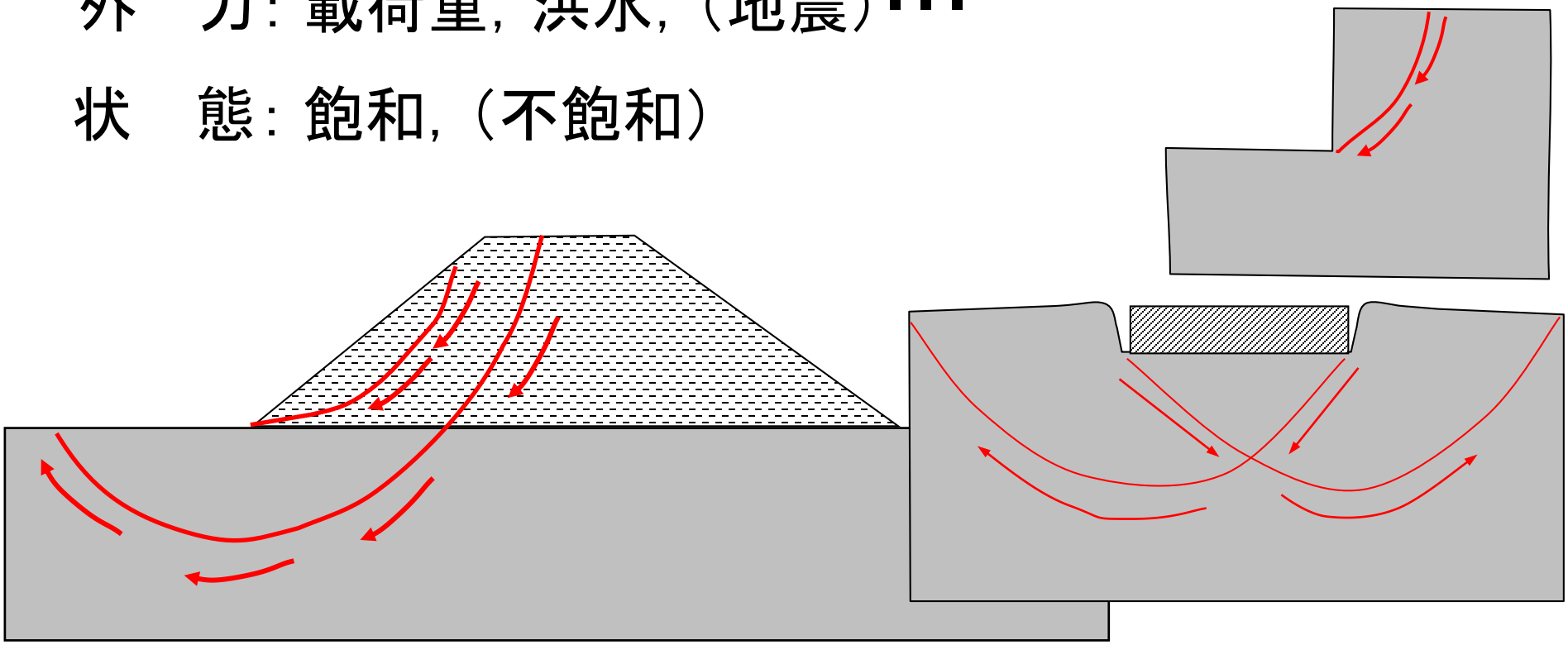
構造物：~~盛土~~，切土，基礎地盤・・・

土　質：砂，中間土，粘土，・・・　UU，一軸圧縮試験

時　間：短期，長期

外　力：載荷重，洪水，（地震）・・・

状　態：飽和，（不飽和）



検討対象としている問題は？

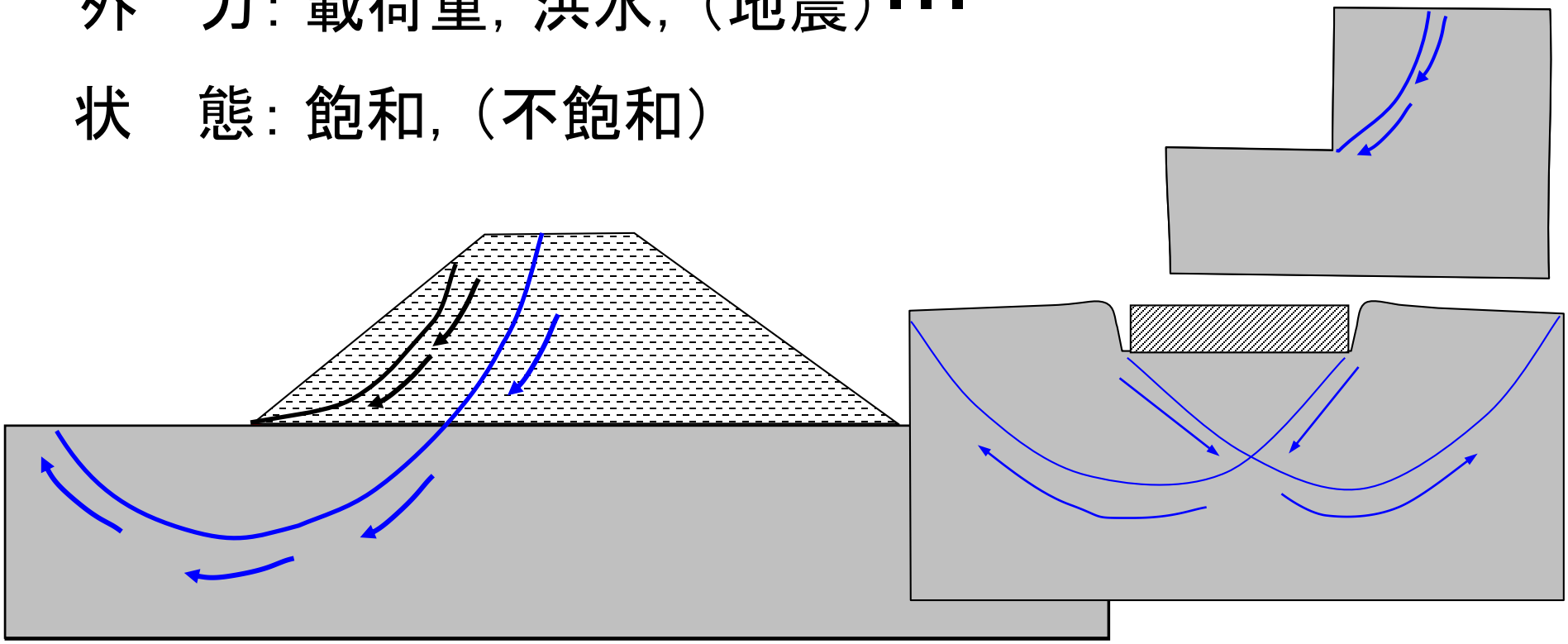
構造物：~~盛土~~，切土，基礎地盤・・・

土　質：砂，中間土，粘土，・・・

時　間：短期，長期　　CU

外　力：載荷重，洪水，（地震）・・・

状　態：飽和，（不飽和）



検討対象としている問題は？

ただし，低ひずみレベルにおける排水せん断強度

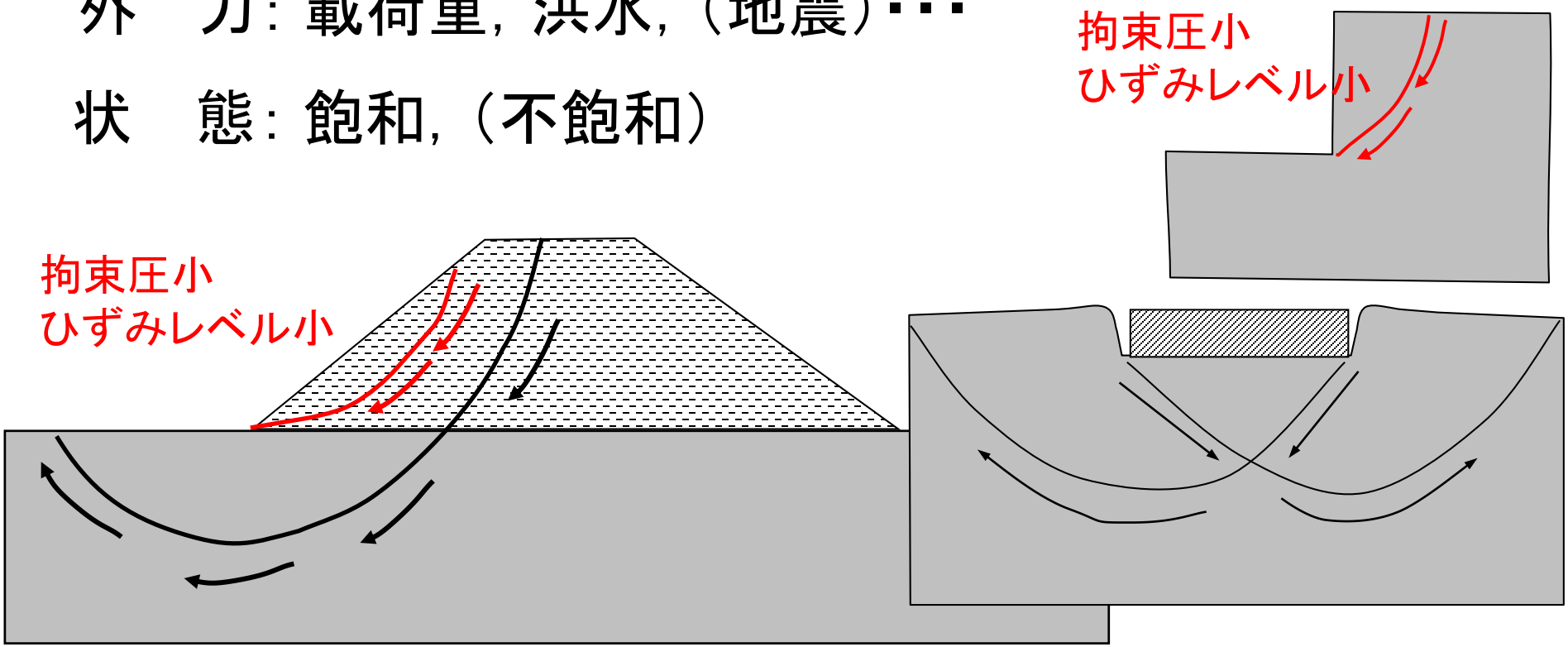
構造物：盛土，切土，基礎地盤・・・

土　質：砂，中間土，粘土，・・・　　$\overline{CU}$

時　間：短期＝長期（検討時の地盤内有効応力状態が明確）

外　力：載荷重，洪水，（地震）・・・

状　態：飽和，（不飽和）



検討対象としている問題は？

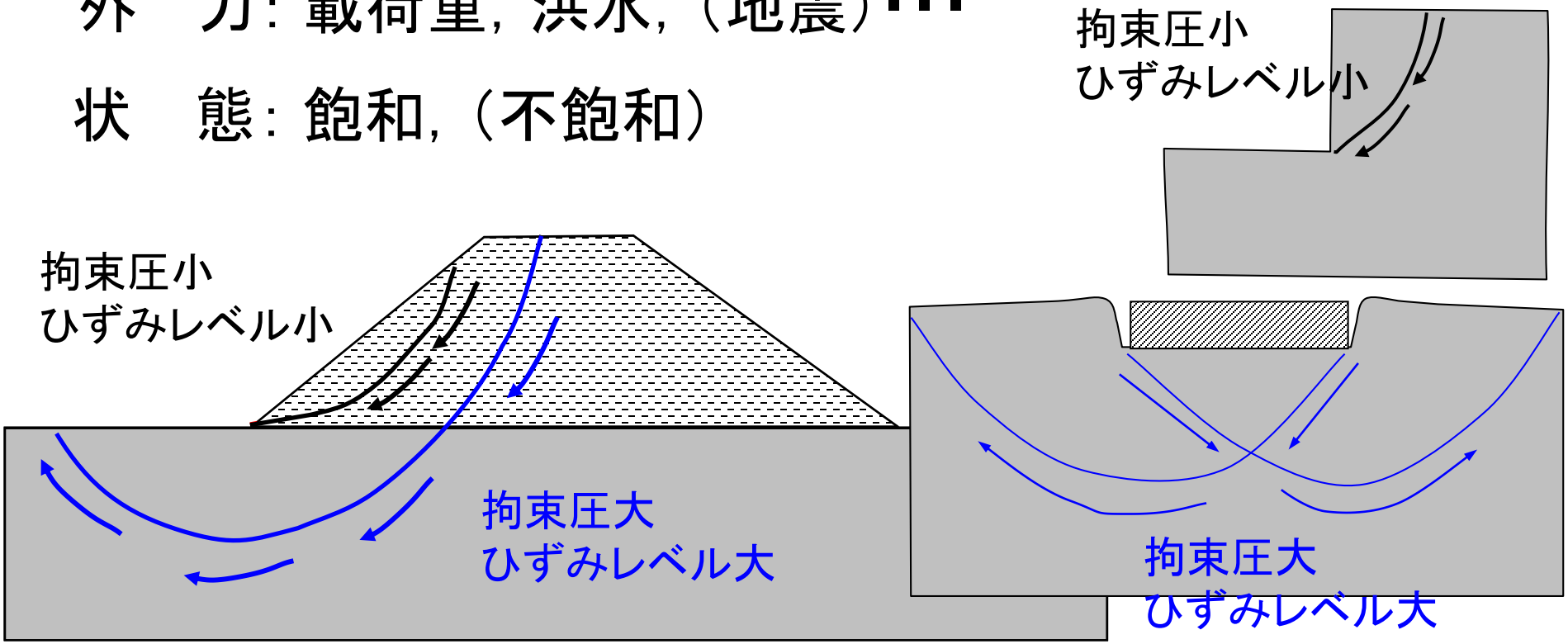
構造物：盛土，切土，基礎地盤・・・

土　質：砂，中間土，粘土，・・・

時　間：短期＝長期（検討時の地盤内有効応力状態が明確）　CD

外　力：載荷重，洪水，（地震）・・・

状　態：飽和，（不飽和）



地盤工学会編「河川堤防の調査・検討から維持管理まで」

2章 河川堤防における地盤調査・土質試験

2.4 強度特性

2.4.2 適切な強度定数設定法

地盤工学会で基準化されている4つの試験条件に限定すれば，

河川堤防のすべり破壊の安全率を求めるための円弧すべり解析に

用いる強度定数は，以下の試験条件で求めることが適切である。

堤体土　：全ての土質　$\overline{\mathrm{CU}}$試験

基礎地盤：粘性土　CU試験

透水性の高い砂質土，礫質土　CD試験

透水性が高くない砂質土　$\overline{\mathrm{CU}}$試験

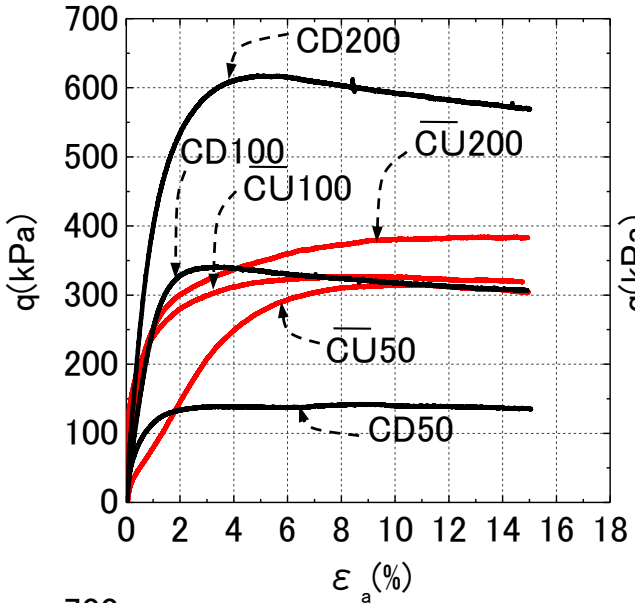
ひずみレベルベースで考える
透水性の高い砂質土でもCD
ではなく$\overline{\mathrm{CU}}$

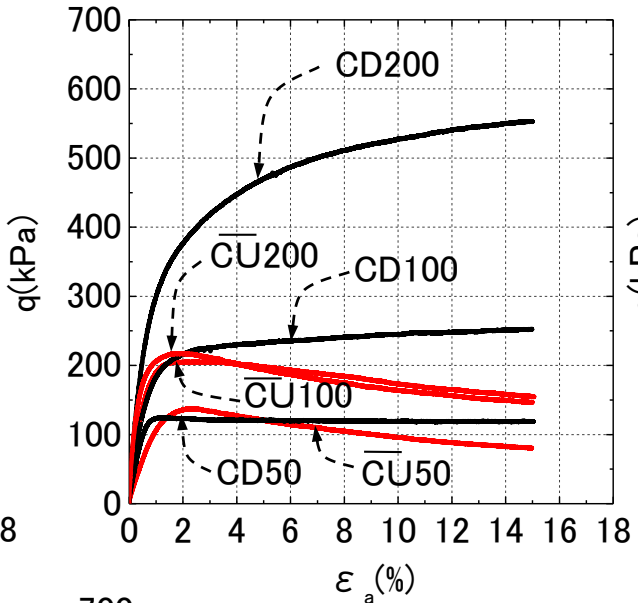
河川堤防土の地盤調査と室内土質試験

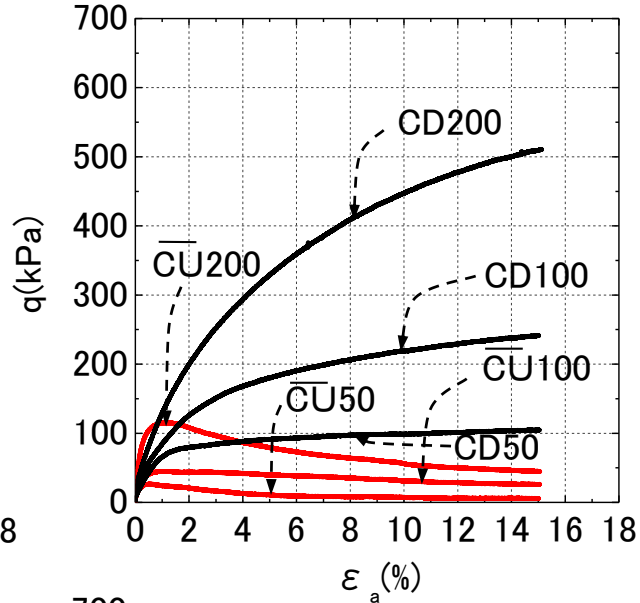
・様々な堤防土の力学特性の把握と強度定数設定法の検討（実行あるのみ！　データは自ら収集）
・室内試験用の高品質な試料の簡易な採取法の検討
・物理探査による堤防構造の評価　・現場透水試験による透水性の評価

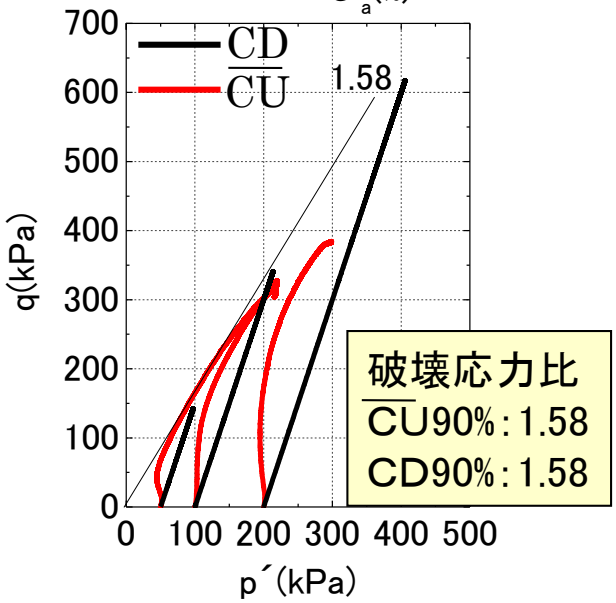
○	島根県・高津川（2007.9）	礫・砂
○	島根県・江の川（2007.9）	礫・砂
○	鳥取県・小鴨川（2008.9）	礫・砂
	・大阪府・淀川（2012.2）	砂・シルト
	・高知県・仁淀川（2013.9）	礫
○	北海道・千歳川（2013.12）	砂・シルト
○	愛知県・庄内川（2014.1）	砂・シルト・粘土
○	島根県・斐伊川（2014.3）	砂
	・和歌山県・紀の川（2014.4）	礫
○	大阪府・大和川（2014.8）	砂・シルト
	・新潟県・信濃川（2014.9）	礫
○	京都府・木津川（2014.11）	砂
	・山梨県・釜無川（2014.12）	礫
○	○ 鹿児島県・川内川（2015.1）	砂（シラス）
○	宮城県・渋井川（2015.11）	砂・シルト
○	秋田県・子吉川（2016.1）	礫・砂・シルト
○	○ ○ 石川県・梯川（2016.6）	砂・シルト
○	岡山県・小田川（2016.9）	礫・砂
○	○ ○ 熊本県・緑川，白川（2016.11）	砂・シルト
○	○ 高知県・物部川（2017.2）	礫
○	○ ○ 青森県・二ツ森川（2017.2）	砂・シルト
○	○ ○ 岐阜県・犀川（2018.2）	シルト
○	○ ○ 岡山県・小田川（2018.11,12,2019.3）	砂・シルト
○	島根県・国府川（2020.2）	礫
○	○ 鹿児島県・川内川（2020.11）	砂（シラス）
○	○ 静岡県・狩野川（2020.12）	シルト・砂
○	○ 岐阜県・揖斐川（2022.1）	砂・礫
○	○ 福井県・九頭竜川（2022.5）	シルト・砂

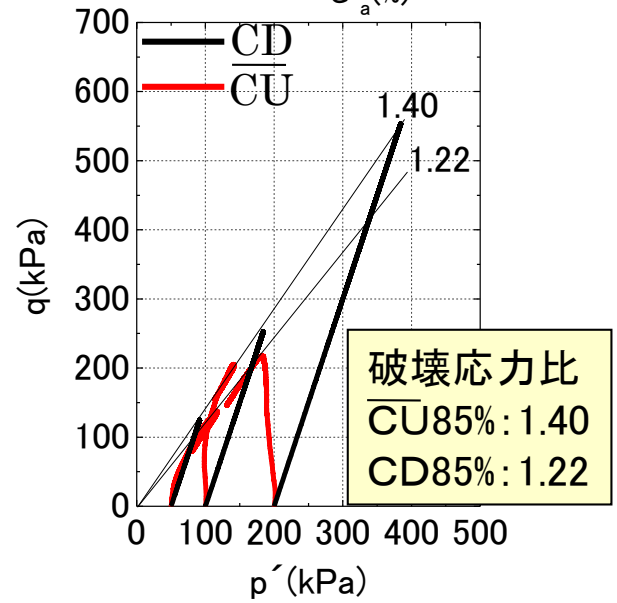
試験結果例（礫混じり砂試料：応力～ひずみ関係と有効応力経路）

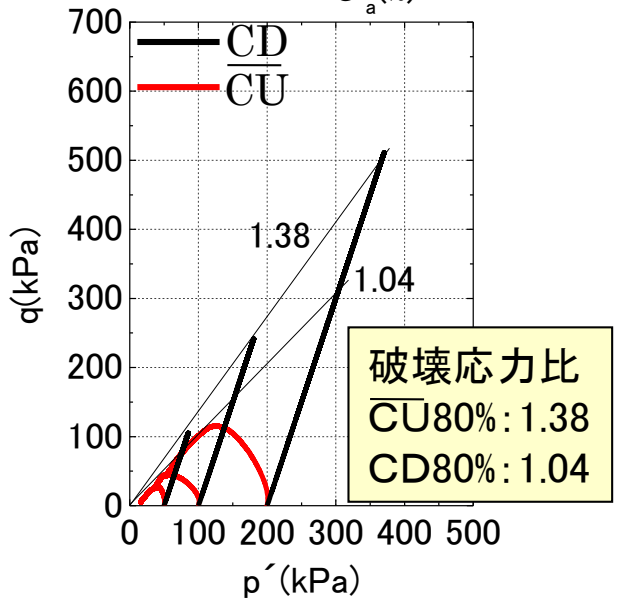






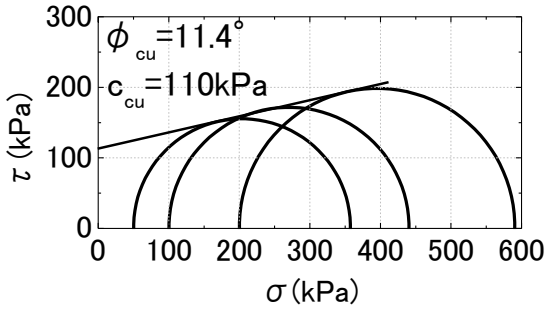




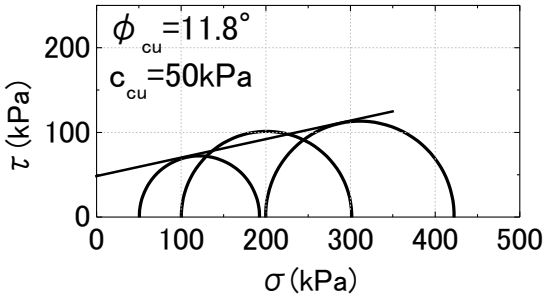


締固め度90%　　締固め度85%　　締固め度80%

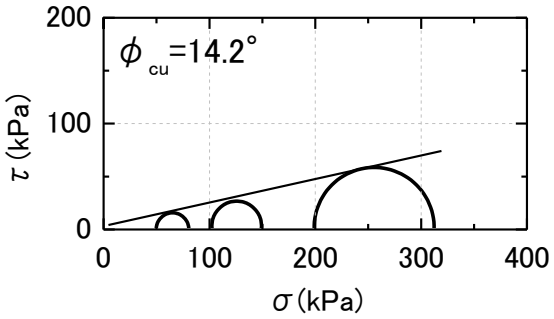
試験条件による強度定数の違い（礫混じり砂）



締固め度90%



締固め度85%



締固め度80%

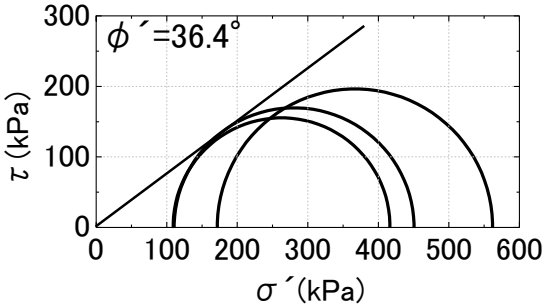
$\overline{CU}$（全応力）＝CU

CU試験は最大軸差応力を使ってc材としての「非排水せん断強さ」を評価

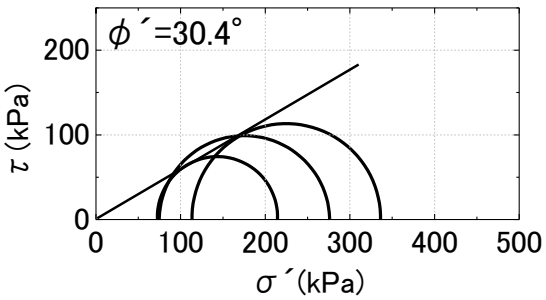
実験の種類	ϕ_{cu}(°)	c_{cu}(kPa)	ϕ'(°)	ϕ_d(°)
締固め度90%	11.4	110	36.4	38.8
締固め度85%	11.8	50	30.4	35.3
締固め度80%	14.2	0	23.1	34.3

※粗粒分が多い試料は締固め度90%でも密詰めとなるが，細粒分が多い試料では90%では全く不十分であり，95%は必要であることに注意する。

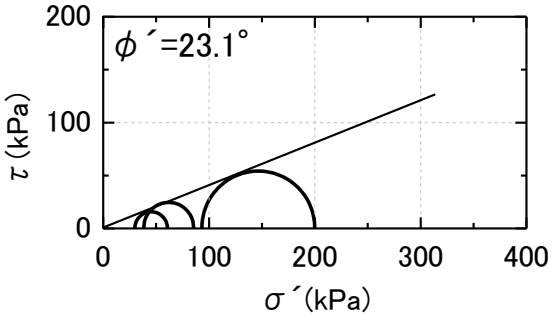
試験条件による強度定数の違い（礫混じり砂）



締固め度90%



締固め度85%



締固め度80%

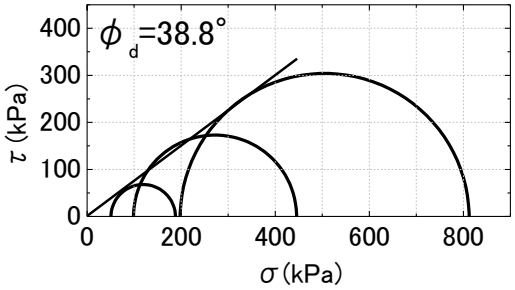
$\overline{CU}$（有効応力）

$\overline{CU}$試験は破壊時の応力比を使ってφ材としての摩擦角を評価

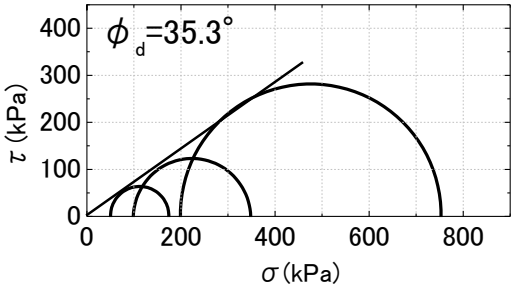
実験の種類	ϕ_{cu}(°)	c_{cu}(kPa)	φ'(°)	ϕ_d(°)
締固め度90%	11.4	110	36.4	38.8
締固め度85%	11.8	50	30.4	35.3
締固め度80%	14.2	0	23.1	34.3

※粗粒分が多い試料は締固め度90%でも密詰めとなるが，細粒分が多い試料では90%では全く不十分であり，95%は必要であることに注意する。

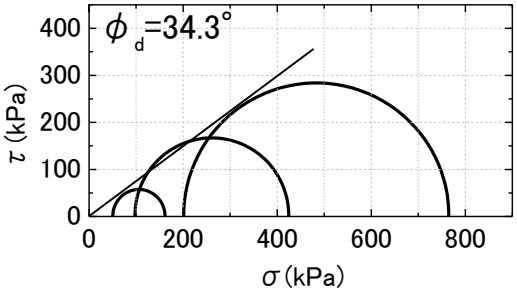
試験条件による強度定数の違い（礫混じり砂）



締固め度90%



締固め度85%



締固め度80%

CD

CD試験は破壊の終局状態の応力比を使ってφ材としての摩擦角を評価

実験の種類	ϕ_{cu}(°)	c_{cu}(kPa)	φ'(°)	ϕ_d(°)
締固め度90%	11.4	110	36.4	38.8
締固め度85%	11.8	50	30.4	35.3
締固め度80%	14.2	0	23.1	34.3

※粗粒分が多い試料は締固め度90%でも密詰めとなるが，細粒分が多い試料では90%では全く不十分であり，95%は必要であることに注意する。

地盤工学会編「河川堤防の調査・検討から維持管理まで」

2章 河川堤防における地盤調査・土質試験

2.4 強度特性

2.4.2 適切な強度定数設定法

地盤工学会で基準化されている4つの試験条件に限定すれば，

河川堤防のすべり破壊の安全率を求めるための円弧すべり解析に

用いる強度定数は，以下の試験条件で求めることが適切である。

堤体土　：全ての土質　$\overline{\mathrm{CU}}$試験

基礎地盤：粘性土　CU試験

透水性の高い砂質土，礫質土　CD試験

透水性が高くない砂質土　$\overline{\mathrm{CU}}$試験

「粘性土」を含めてφ材として評価
「粘性土」＝「粘土もどき細粒土」

河川堤防の事例から考える

「粘性土」盛土の設計定数

盛土＝人工地盤

細粒分含有率Fcだけでは地盤特性は判断できない

「粘性土」≠「粘土」

「粘性土」＝「粘土もどき細粒土」≒「砂質土」

「粘土もどき細粒土」 犀川堤防の法すべり被災事例

被災箇所状況※

- 被災時の水位から降雨によるすべり破壊と考えられる
- 被災箇所は緩やかな湾曲部で下流に比べると急勾配

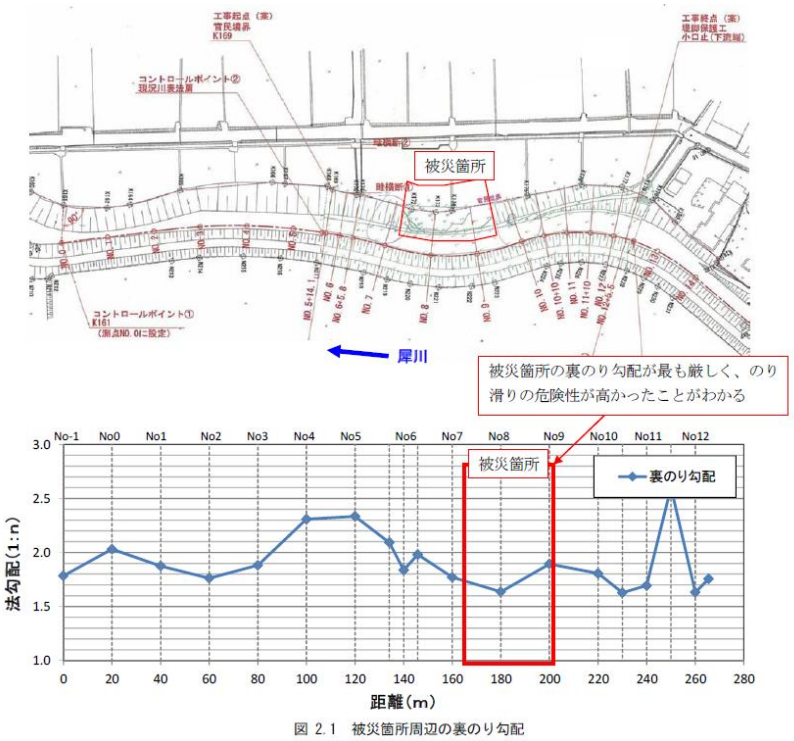
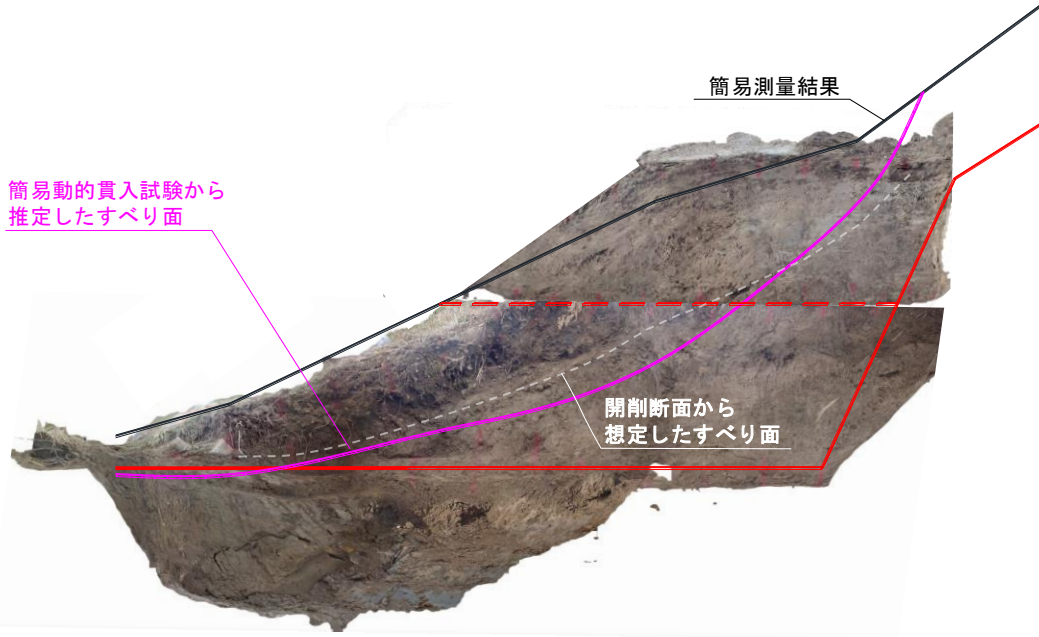


図 2.1 被災箇所周辺の裏のり勾配

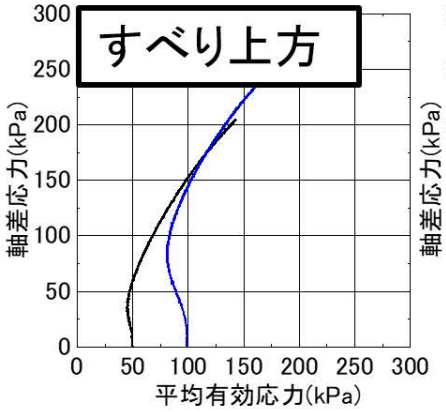
被災箇所平面図



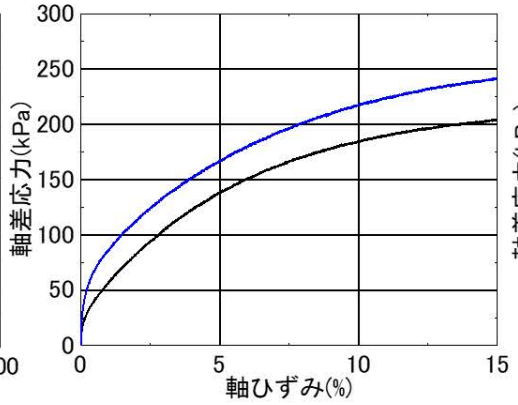
開削調査で確認されたすべり面※

※石原ら，法すべりが生じた犀川堤防における崩壊範囲に係る調査，第54回地盤工学会研究発表

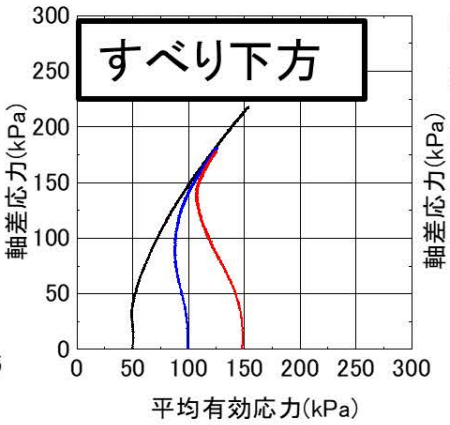
犀川堤防の法すべり被災事例（三軸圧縮試験と一軸圧縮試験）



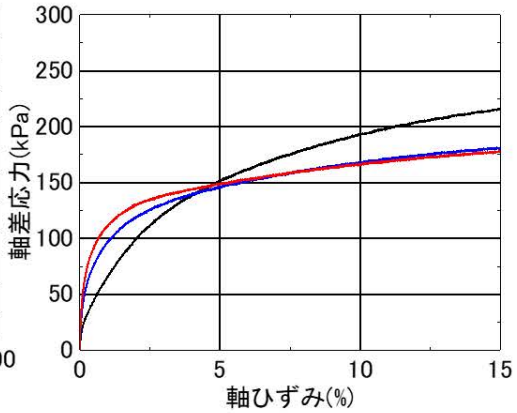
有効応力経路



軸差応力～
軸ひずみ関係

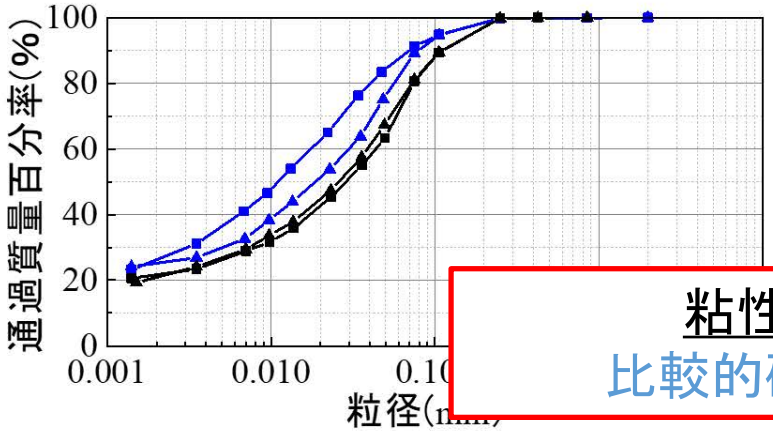


有効応力経路



軸差応力 ～
軸ひずみ関係

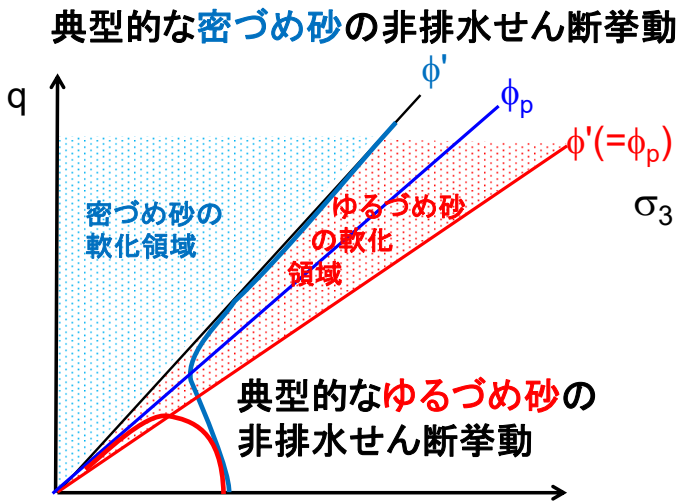
- 変相後に軸差応力が増加し続ける過圧密粘土な傾向
- 塑性膨張を伴う硬化に転じる変相時の軸ひずみは1~2%と小さい

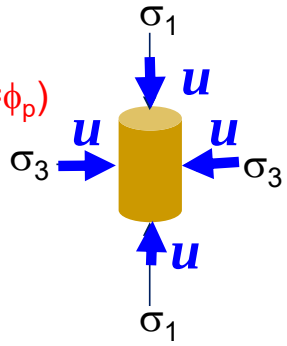


粘性土として扱うなら
比較的硬質で過圧密な傾向

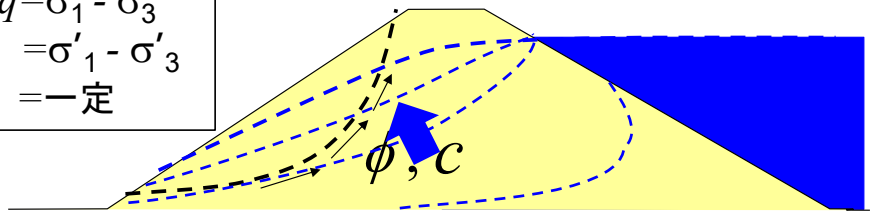
【試験基準外での提案】吸水軟化試験による土質定数の設定法

堤防の浸透破壊を模擬した小ひずみレベル，小拘束圧，排水条件でのせん断強度の評価

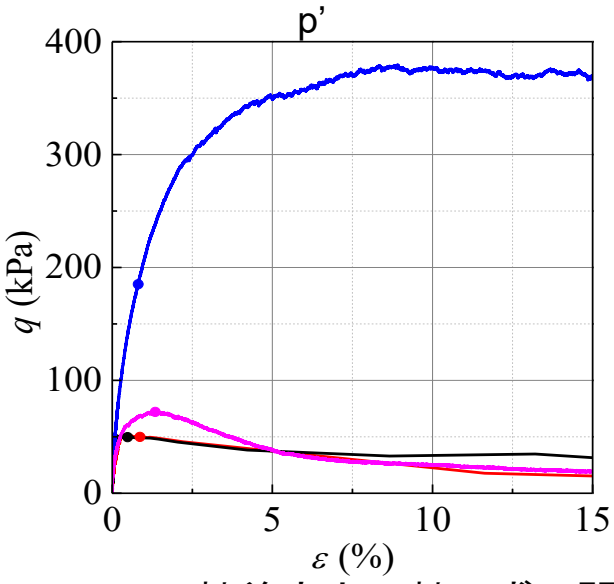




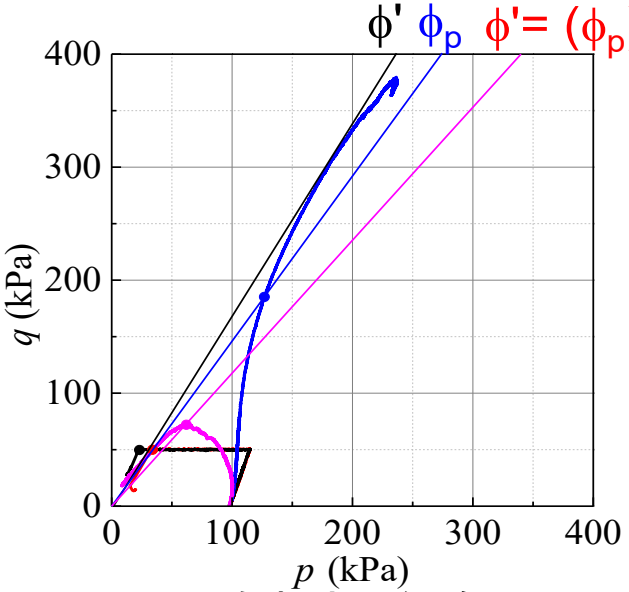
$q=\sigma_1-\sigma_3$
$=\sigma'_1-\sigma'_3$
$=$一定



密詰め砂の吸水軟化破壊



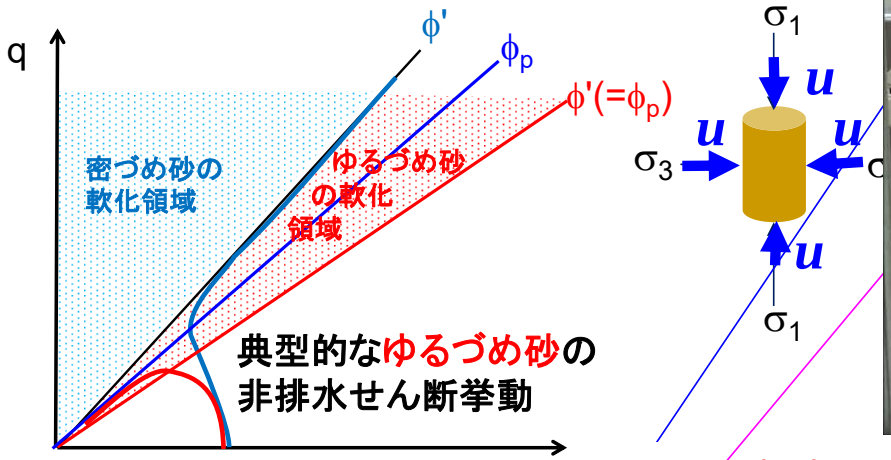
軸差応力～軸ひずみ関係

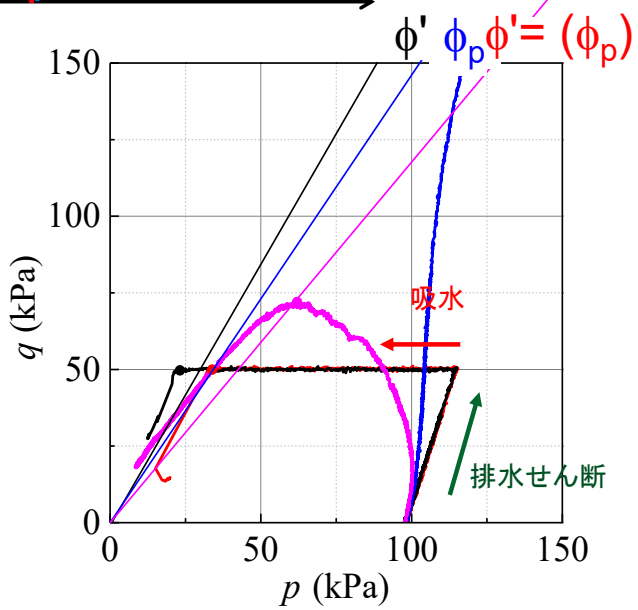


有効応力経路

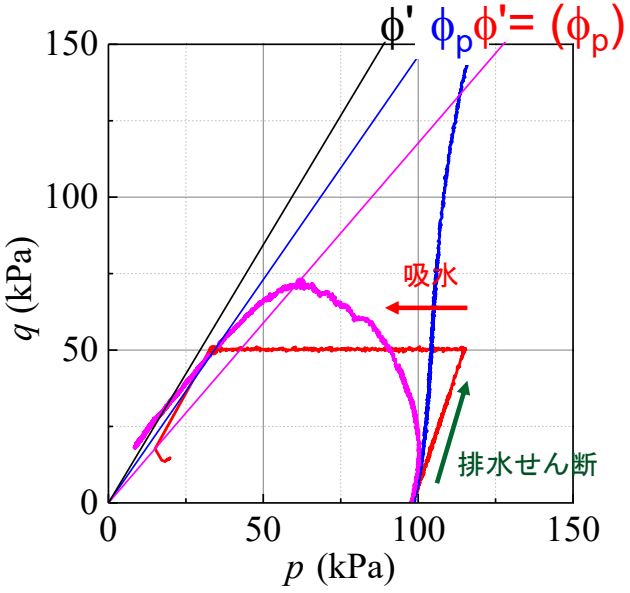
【試験基準外での提案】吸水軟化試験による土質定数の設定法

堤防の浸透破壊を模擬した小ひずみレベル，小拘束圧，排水条件でのせん断強度の評価





有効応力経路



有効応力経路（ゆる詰め砂のみ）

吸水軟化試験の概要

CU試験有効応力経路

異方応力状態にするために排水条件で所定の軸差応力まで上げる

軸差応力を一定に保ちながら間隙水圧を1kPaずつ上昇させる

低拘束圧，低ひずみ条件下で破壊に到達する有効応力を高精度で探索する

軸差応力

平均有効応力

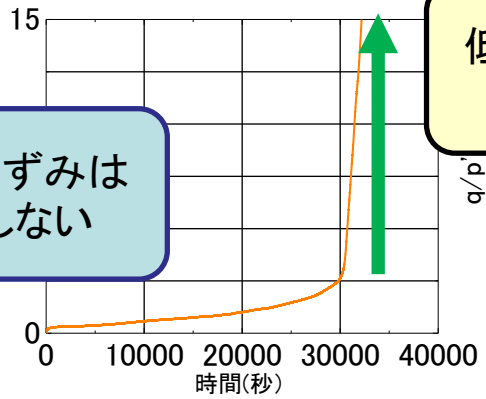
平均有効応力(kPa)

初期せん断力を与える

間隙水圧を上昇させる

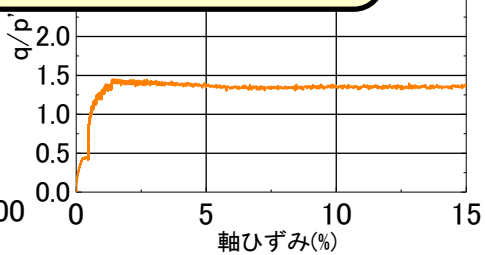
軸ひずみ体積ひずみはほとんど変化しない

供試体内の有効応力が低下



時間～軸ひずみ関係

低ひずみで破壊時の応力に到達



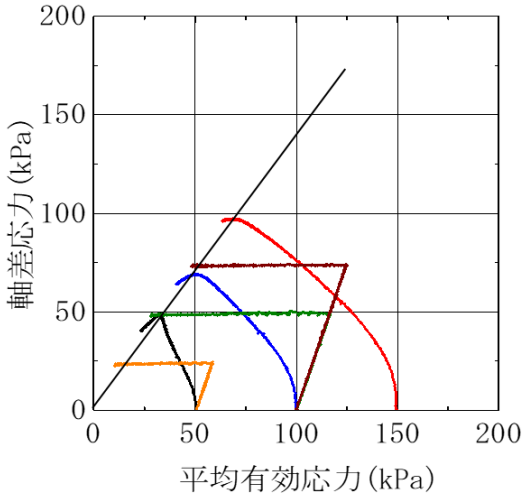
軸ひずみ～ q/p' 関係

骨格構造が急激に変化する有効応力状態が決定

細粒土堤体の浸透すべり耐性のパターンの分類

- - - - - - $\overline{\mathrm{CU}}$試験限界応力線
———— 吸水軟化試験破壊応力線

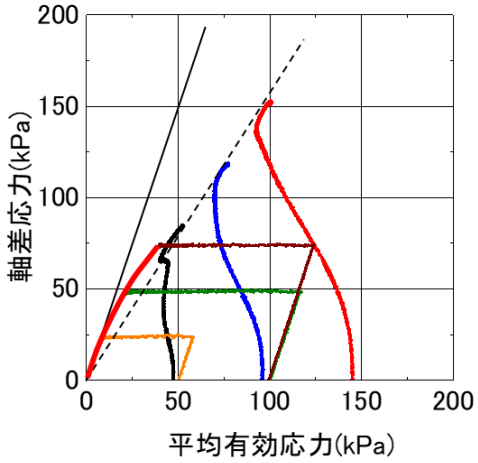
パターン(1)



有効応力経路

浸透条件下で<u>摩擦抵抗のみしか期待できない</u>
砂質土に近い性質

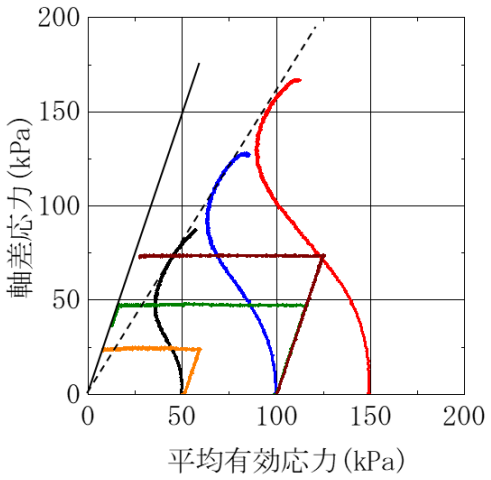
パターン(2)



有効応力経路

低有効拘束圧条件下においてに摩擦力より大きなせん断強度を発揮

パターン(3)



有効応力経路

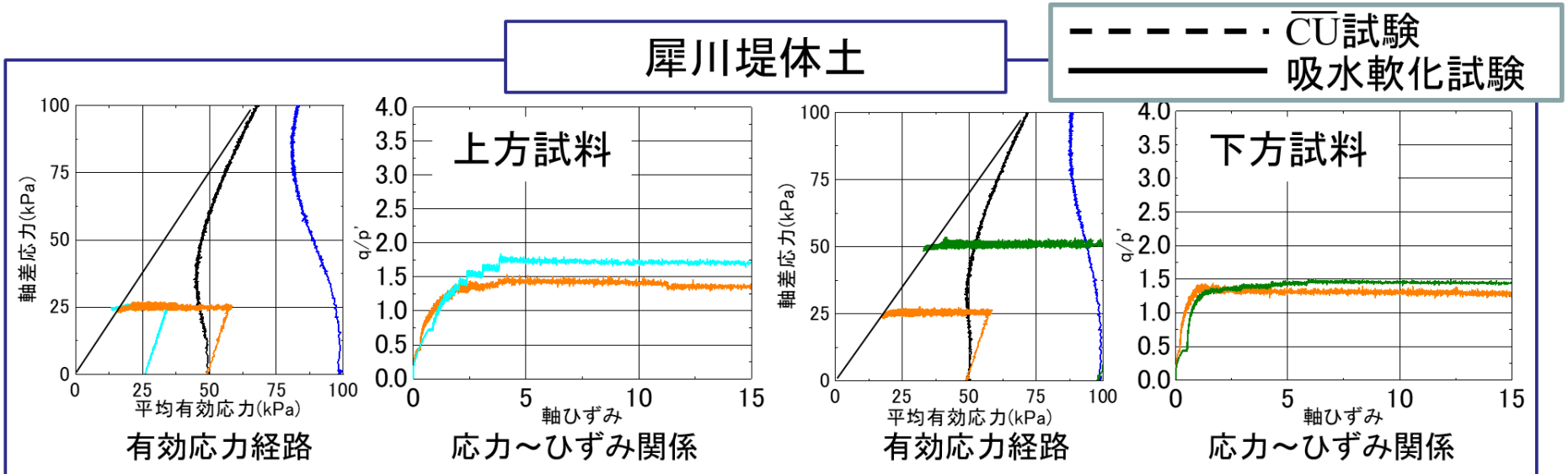
浸透時の低有効応力条件下においても<u>粘着力に相当する</u>高いせん断強度を発揮

粘土もどき細粒土

本当の粘土（人工盛土ではほとんどない）

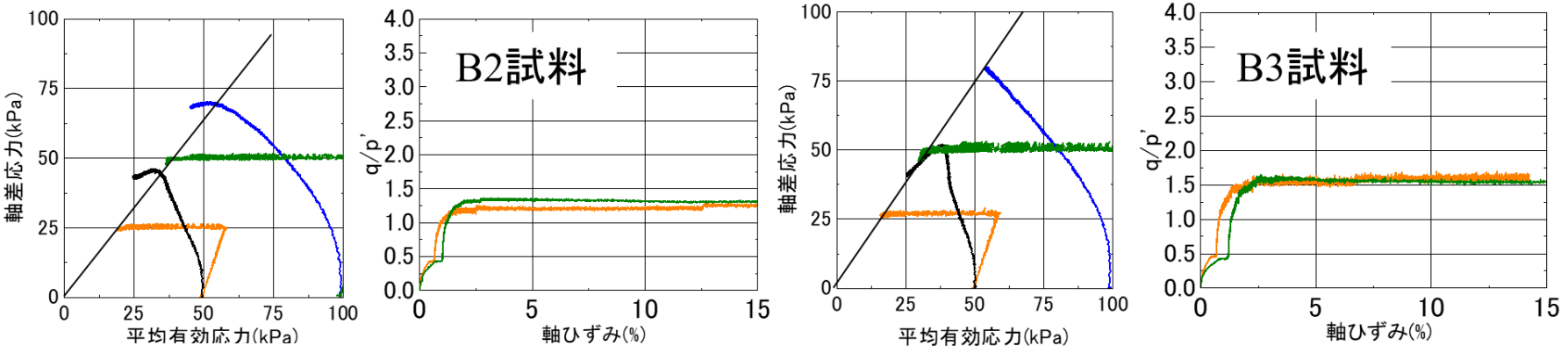
犀川堤防の法すべり被災事例（吸水軟化試験）＋二ツ森川堤防

犀川堤体土



- 硬質な粘性土と分類されるが，浸透条件下で**砂質土に近い性状**の堤体土

二ツ森川堤体土



- 浸透条件下で**脆弱な堤体材料**であり，浸透破壊を裏付ける結果となった

築堤材料　関東某河川の堤防整備に使用された築堤材料

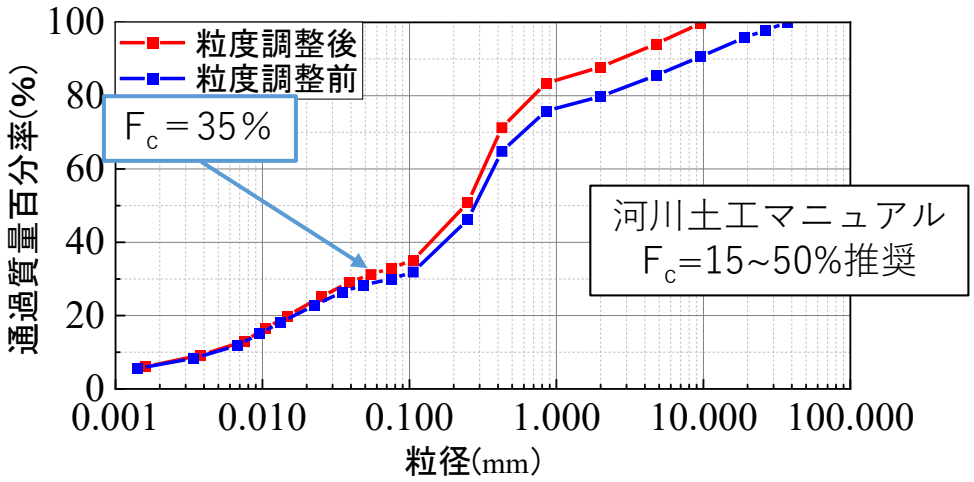
堤体材料として望ましい土

◆粒度分布のよい土
◆細粒分が土質材料の15%以上

締固め度の規定

・平均締固め度：$\overline{D_c}$＝90%以上
・締固め度品質下限値：D_c＝ 80%

※河川土工マニュアル



◆締固め度の比較
締固め度：90%，95%
（平均締固め度＝90%以上：河川土工マニュアル）
◆骨格構造の比較
初期含水比：5，10，14%（最適含水比）

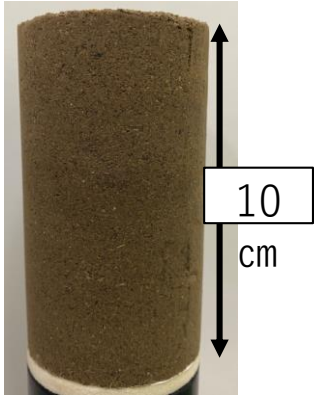
粒度調整の際に適度な細粒分を混入させる

理由：締固めやすくするため
透水性を低下させるため

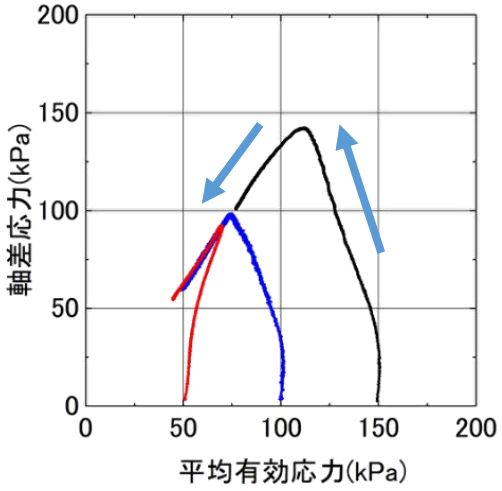
粒度調整前

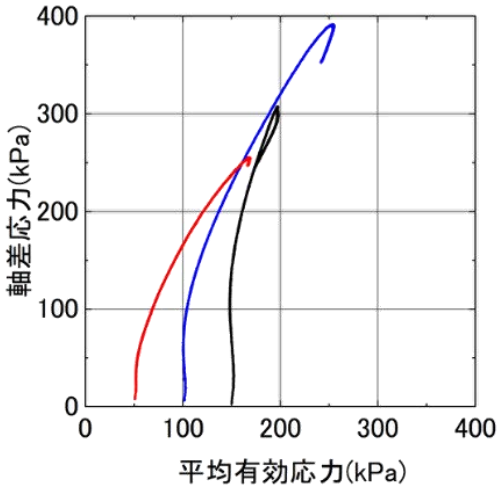
粒度調整後

粒径9.5㎜超を除外

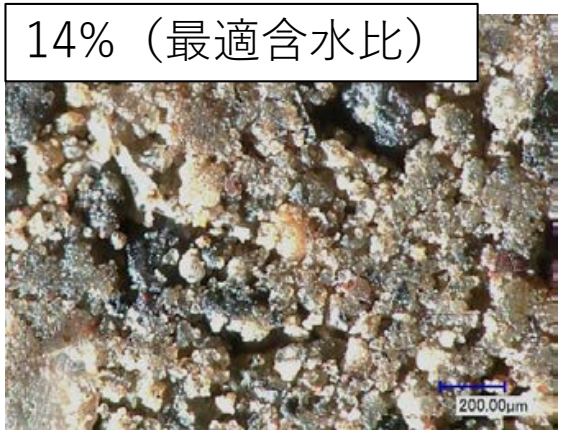


$\overline{\text{CU}}$三軸試験結果



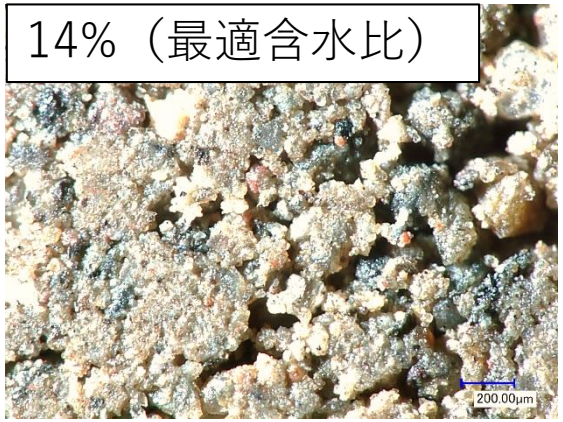


14%（最適含水比）



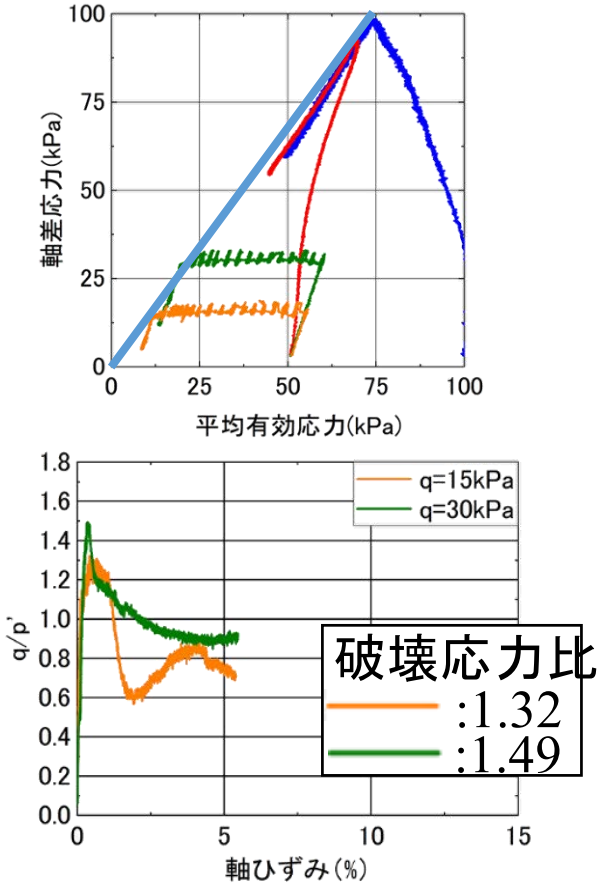
（D_c=90%）

14%（最適含水比）

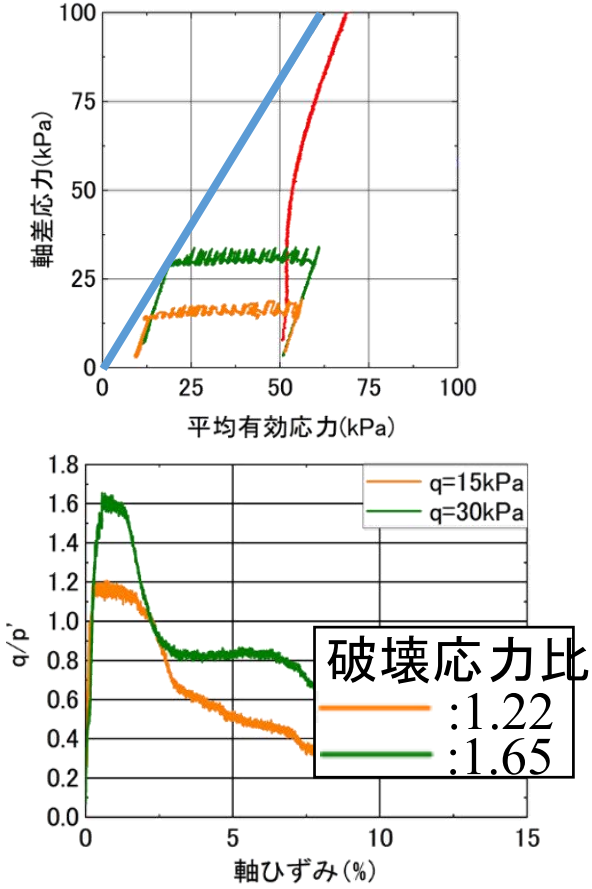


（D_c=95%）

吸水軟化試験結果



（ D_c=90%）

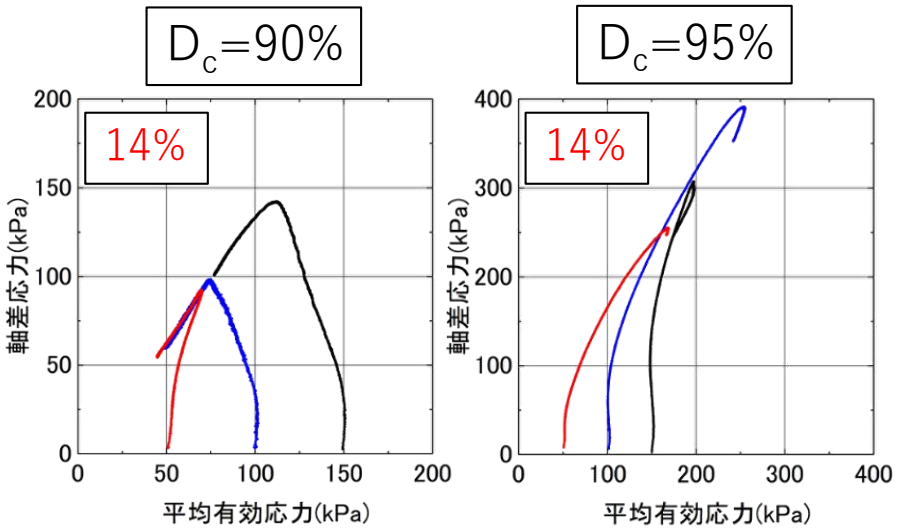


（ D_c=95%）

CUB三軸試験結果と吸水軟化試験結果の破壊応力比がほぼ同じ値

低応力下においても浸透すべり耐性は期待できない

細粒土堤防の締固め管理



土質定数

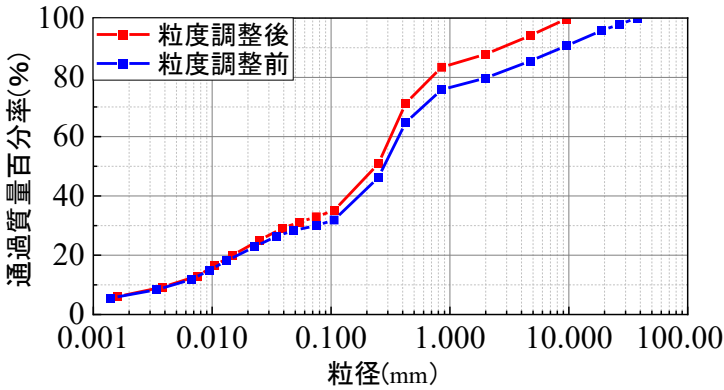
Dc （%）	w （%）	ϕ（°）	c (kPa)
90	5	29.1	0
	10	29.7	
	14	31.3	
95	5	37.5	
	10	39.0	
	14	39.0	

人為的に細粒分を混入させた砂質土（F_c=35%）

- Dc=90%では十分なせん断強度が得られない
- Dc=95%程度の締固め度が必要

- Dc=95%であっても，細粒分の効果（粘着力）は，豪雨時のような浸透条件下では全く期待出来ない。所詮は砂質土であり粘性土ではない。

- CD試験ではDcの違いによる強度定数の違いは評価できないので，注意すべき。



実際の堤防土　―　狩野川堤防土（乱れの少ない試料）

乱れの少ない試料（不攪乱試料）を採取

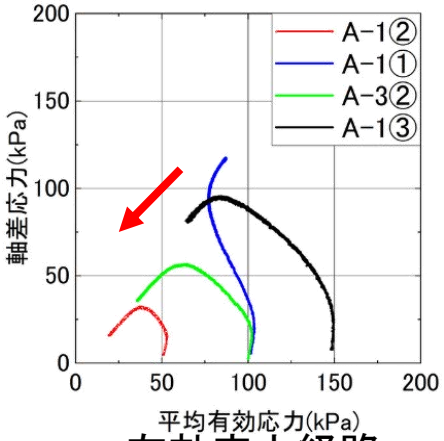
↓

現場の構造を維持するために凍結

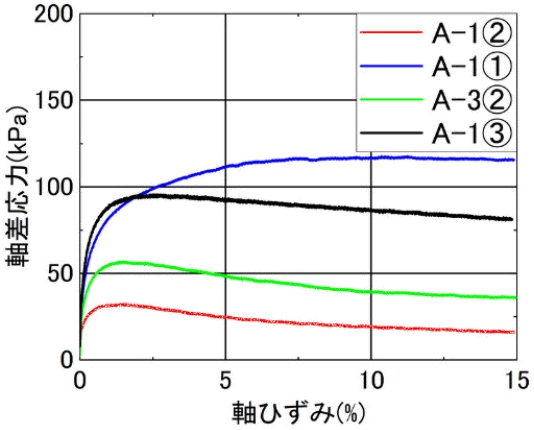
↓

$\overline{\mathrm{CU}}$三軸試験を実施

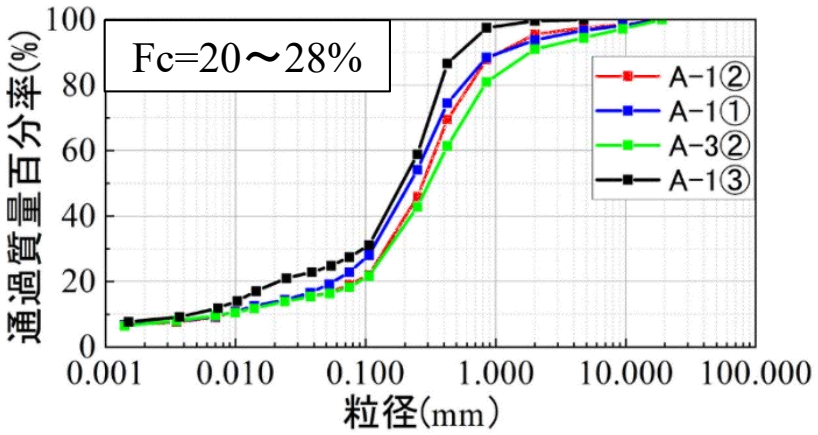
試験結果

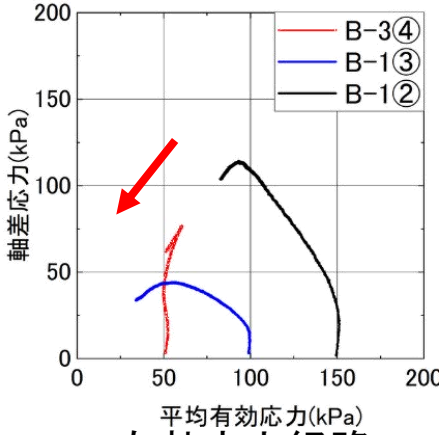


有効応力経路

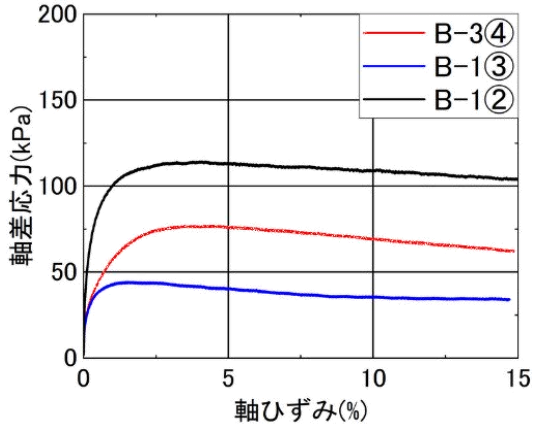


軸差応力～軸ひずみ

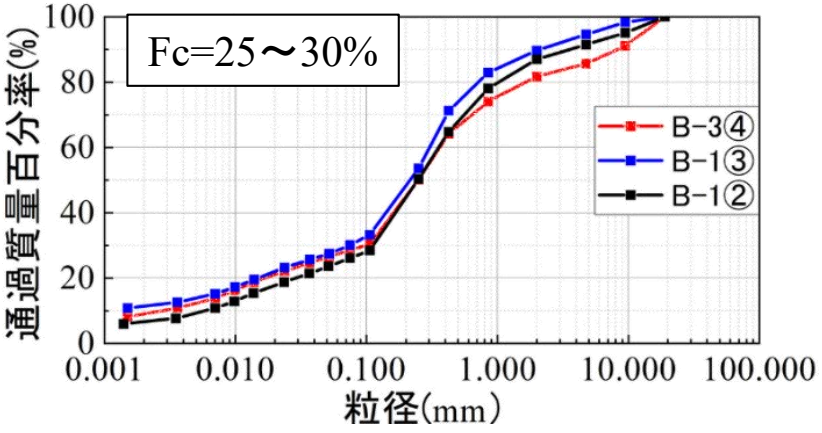




有効応力経路

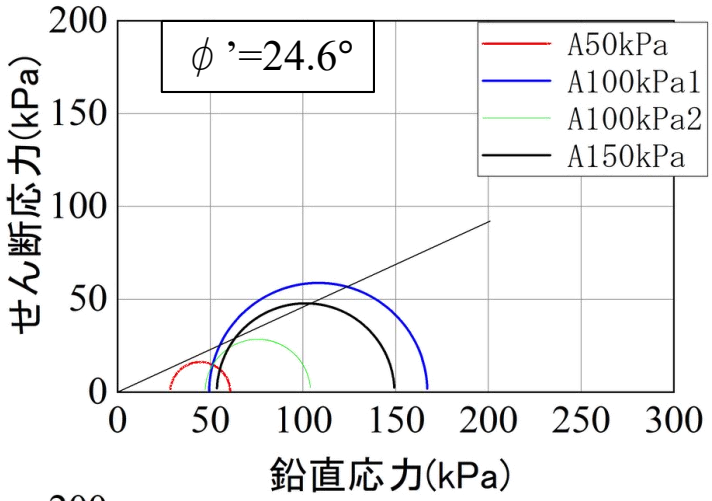


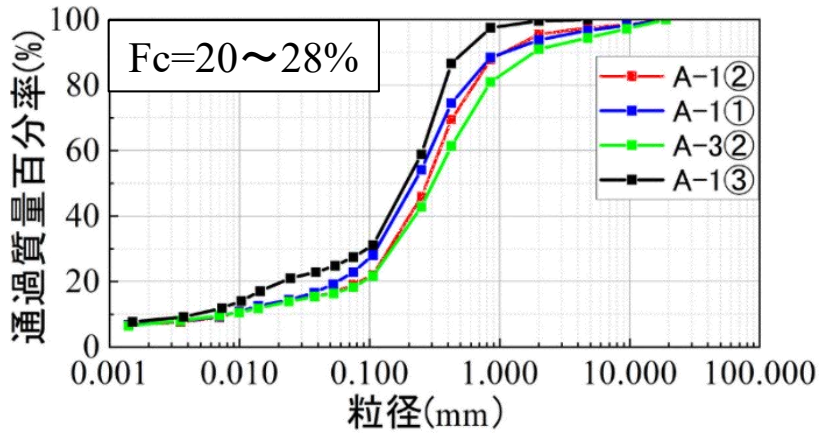
軸差応力～軸ひずみ

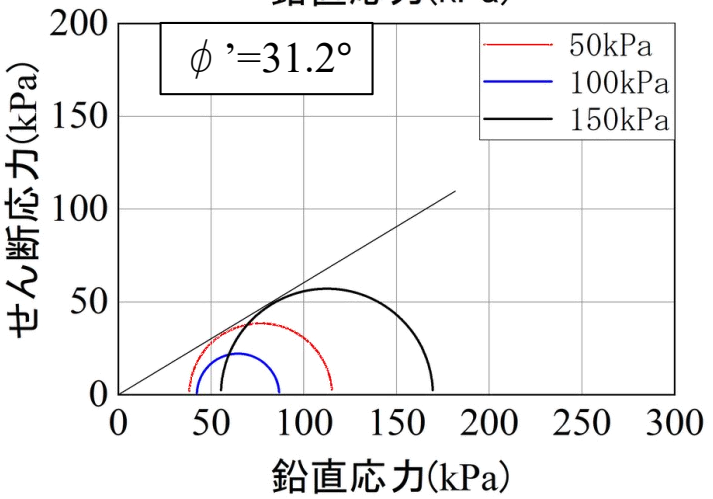


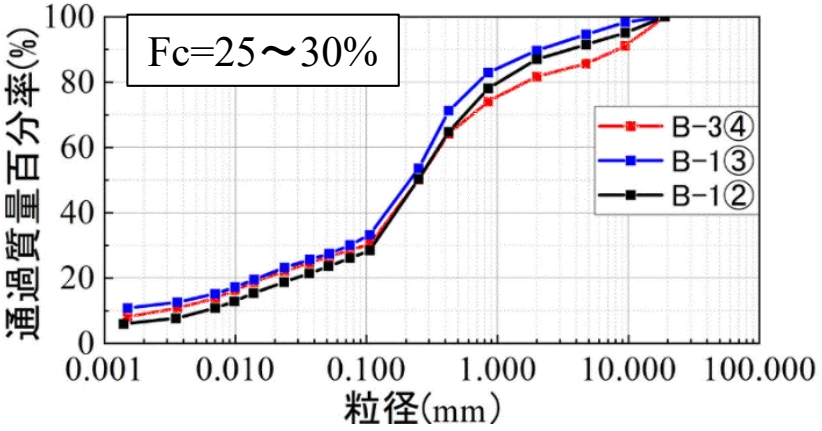
ピーク値を示した後に軸差応力が減少：軟化挙動

試験結果





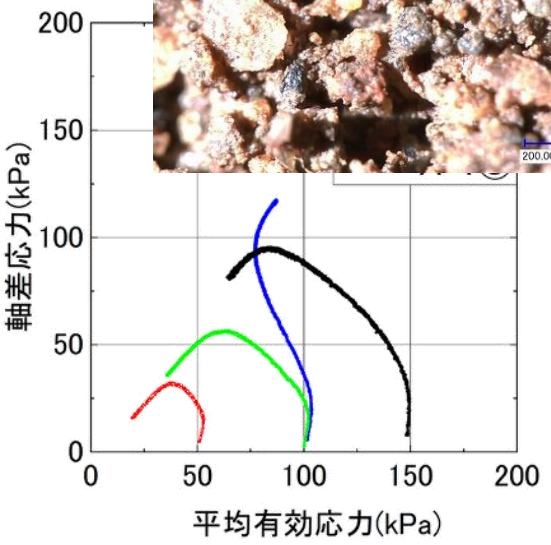


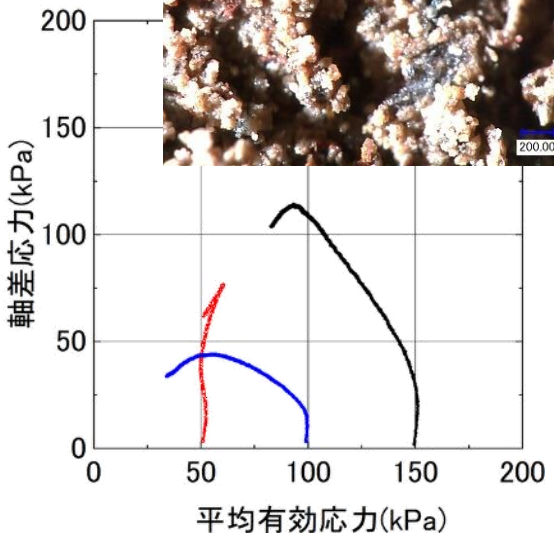


ピーク値を示した後に軸差応力が減少：軟化挙動

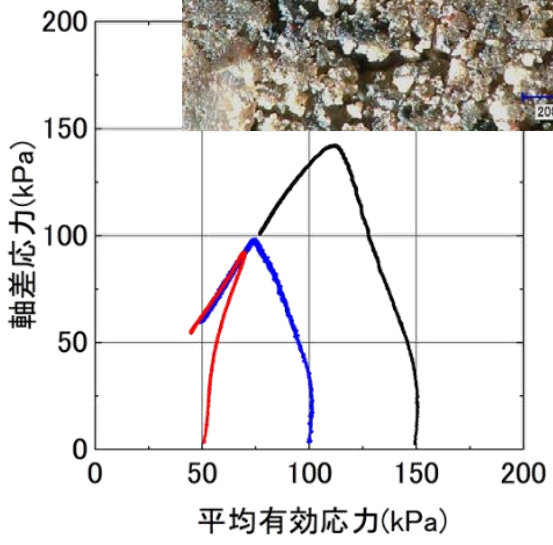
細粒分をある程度含んでいるが，緩詰めの砂質土挙動

試験結果





狩野川堤防土
締固め度 91%



某河川堤防築堤材料
締固め度90%

河川土工マニュアル：平均締固め度90%以上

両堤防土の性質は緩詰め及び中密な砂質土
1級河川であるが堤防としての強度に不安が残る結果

地盤工学会編「河川堤防の調査・検討から維持管理まで」

2章 河川堤防における地盤調査・土質試験

2.4 強度特性

2.4.2　適切な強度定数設定法

地盤工学会で基準化されている4つの試験条件に限定すれば，

河川堤防のすべり破壊の安全率を求めるための円弧すべり解析に

用いる強度定数は，以下の試験条件で求めることが適切である。

堤体土　：全ての土質　$\overline{\text{CU}}$試験

基礎地盤：粘性土　CU試験

透水性の高い砂質土，礫質土　CD試験

透水性が高くない砂質土　　$\overline{\text{CU}}$試験

「粘性土」を含めてφ材として評価
「粘性土」＝「粘土もどき細粒土」

地盤工学会編「河川堤防の調査・検討から維持管理まで」

2章 河川堤防における地盤調査・土質試験

2.4 強度特性

2.4.2 適切な強度定数設定法

地盤工学会で基準化されている4つの試験条件に限定しなければ

堤体土 ：全ての土質 $\overline{\text{CU}}$試験

変相状態での強度定数の評価も検討する

細粒土では吸水軟化試験も検討する

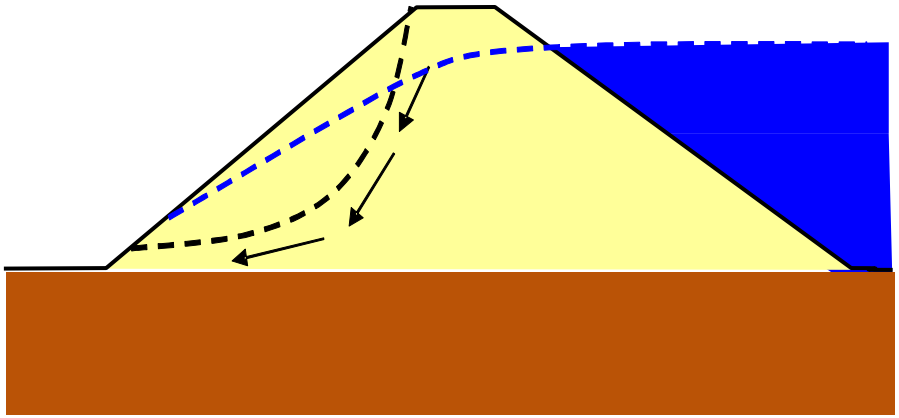
基礎地盤：粘性土 CU試験

透水性の高い砂質土，礫質土 CD試験

透水性が高くない砂質土 $\overline{\text{CU}}$試験

2.4 強度特性　　2.4.2　適切な強度定数設定法

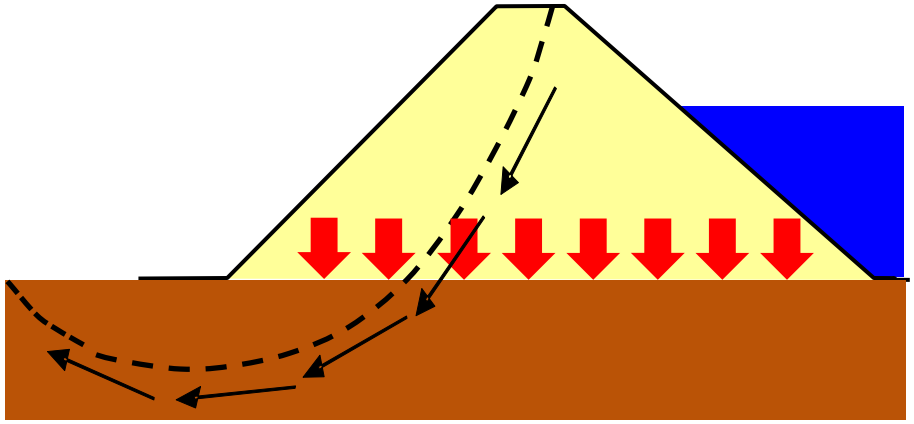
堤体のすべり破壊



・堤体部分は洪水時，有効応力の低下に伴い，比較的小さなひずみレベルで破壊につながる。

・骨格構造が大きく変化する直前の状態で強度を評価したいためCU試験（出来れば変相状態で評価）が現実的な試験条件である。可能であれば吸水軟化試験が望ましい。

基礎地盤の破壊過程



・基礎地盤では，上載荷重の増加による有効応力の上昇に伴って，比較的大きなひずみレベルで破壊する。

・堤体と異なり，ひずみレベルが増加した状態を想定する必要がある。さらに透水性の高い礫質土を対象とする場合，CD試験が現実的な試験条件だと考えられる。

盛土の締固め管理について
～河川堤防の様々な築堤材料の浸透すべり耐性の評価から～

細粒土が多く含まれる盛土材料の場合には，締固め度90%程度の施工管理では，豪雨・浸透時のすべり耐性を満足する盛土は構築できない。

ましてや，仮置きと称してまともに締固め施工管理がなされず，積み上げられて放置された状態の残土盛土は，豪雨・浸透時のすべり耐性は全く期待できない。

河川堤防と同様に構築材料を自由に選べない残土盛土であっても，安全な土構造物として設計・施工する方法を提示する必要がある。

ご清聴ありがとうございました。

名城大学