



地震・越流に強いため池および 道路盛土の構築技術

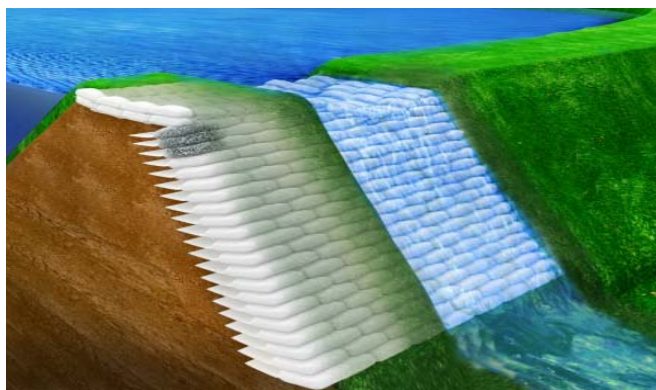
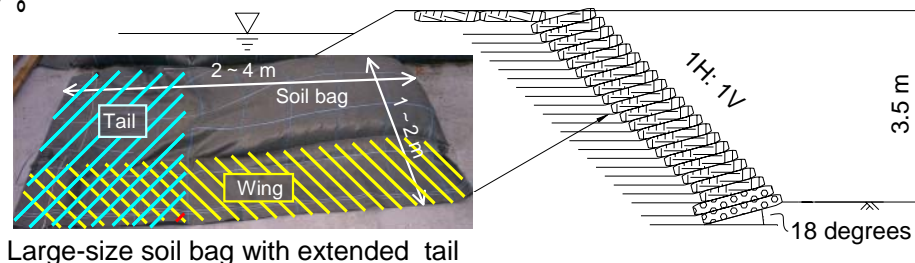
農村工学研究所
施設工学領域 土質担当

本技術は、
津波・洪水時の堤体越流による
決壊の防止
堤体補強による耐震性の向上を図る
ために開発された技術 です。

農林水産省「官民連携新技術研究開発事業(H14～H20)」の認定を受け、(独)農村工学研究所と、三井化学産資(株)、東電設計(株)、(株)クボタで組織された新技術研究開発組合との共同研究により開発したものです。
(特願2004-240318, 特願2005-239074, 特願2005-239056, 特願2006-33232)

Point

堤体表層と堤体内部を
土のうやジオテキスタイル
補強しています。



越流時のイメージ



土のう工法を用いた実証試験

越流による決壊事例

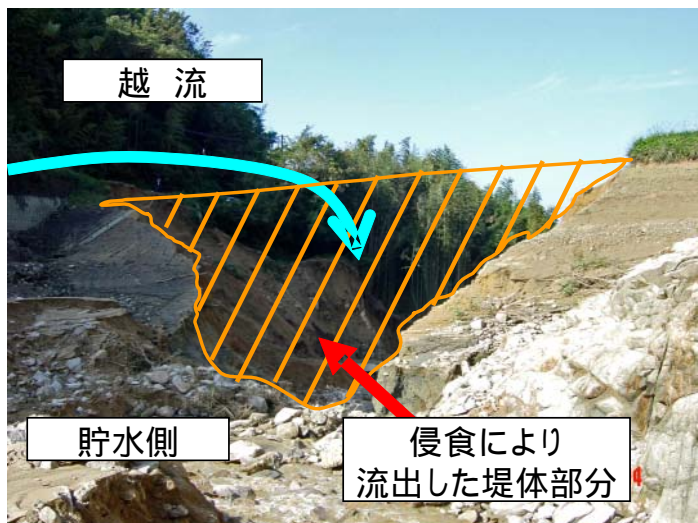


農研機構

豪雨や地震によるため池の決壊が毎年のように発生しています。
厳しい財政状況のもとで、災害リスクを低減させることが求められています。

2004年 台風23号
(決壊ため池212カ所)

2004年 新潟県中越地震
(ため池84カ所17億円)



兵庫県の2004年の水害による総被害額 4250億円

土のみを突き固める従来の築堤工法では、
高い安全性を確保することができない場合があります。

土嚢工法の特徴



農研機構

特徴

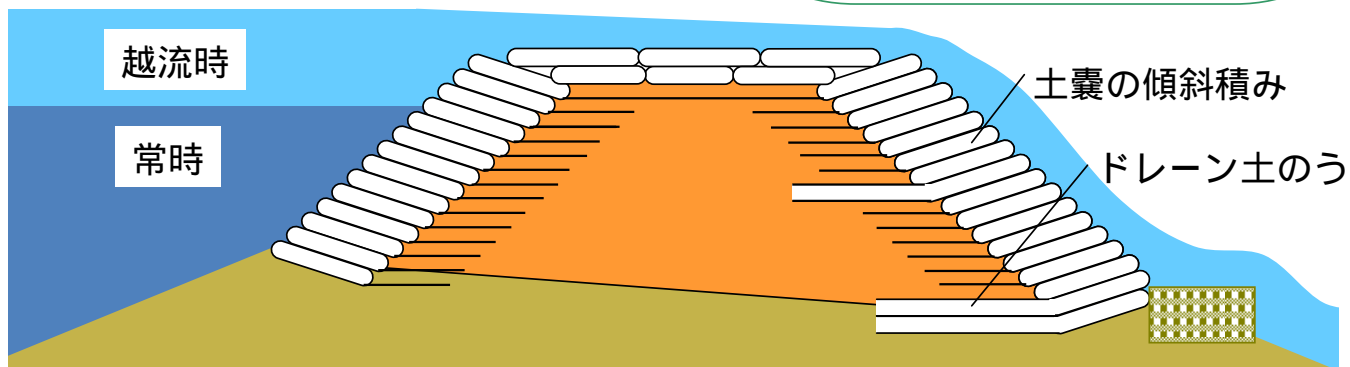
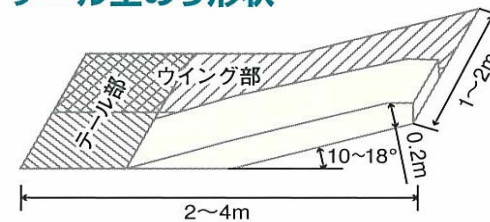
尾ひれ(テール)の付いた扁平状の大型土嚢を堤体斜面に傾斜積層することで、

流水に対する堤体表面の保護

土嚢と尾ひれの補強領域の一体化

を図ることができます。

テール土のう形状





土のうの潜在能力とは？

兵庫県南部地震に耐えられるか？

越流に対する耐久性は？

土のうって以外に強いんです！



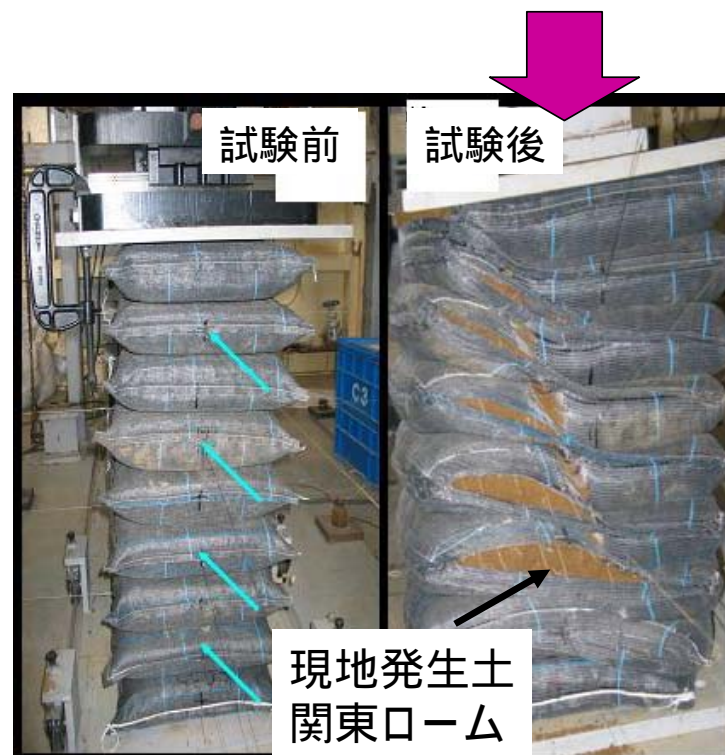
土のう積層システムは災害時の応急復旧として用いられてきました。

恒久的な構造物として使用条件を定めるため、土のう積層体の強度変形特性を調べました。

問題:

右写真の土のう積層体(横40cm×縦50cm)の耐荷重はいくらでしょうか？

- a) 5.0 kN (約 0.51 ton)
- b) 80.0 kN (約 8.2 ton)
- c) 275 kN (約 28 ton)

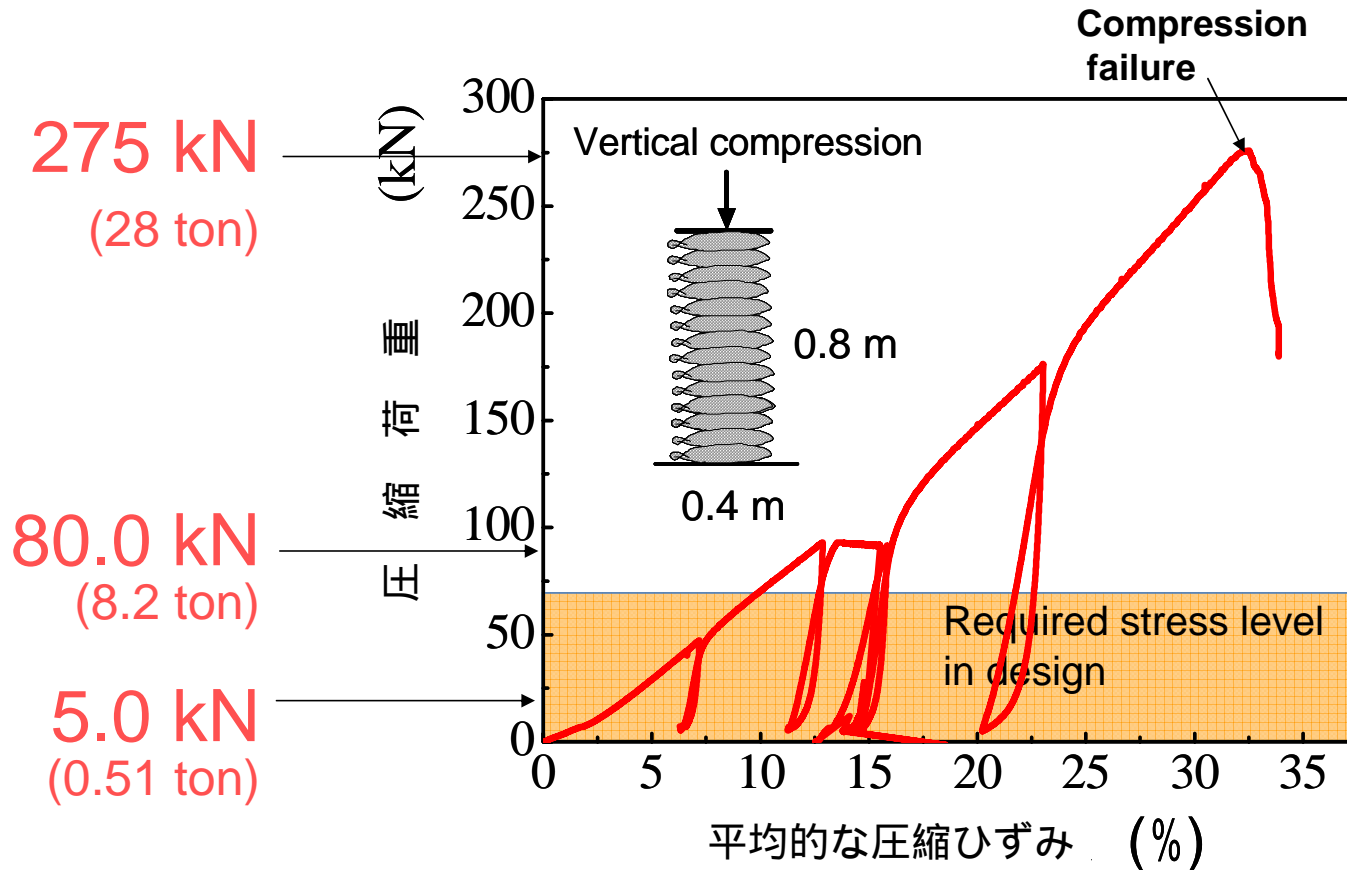


土のう積層体の鉛直圧縮試験

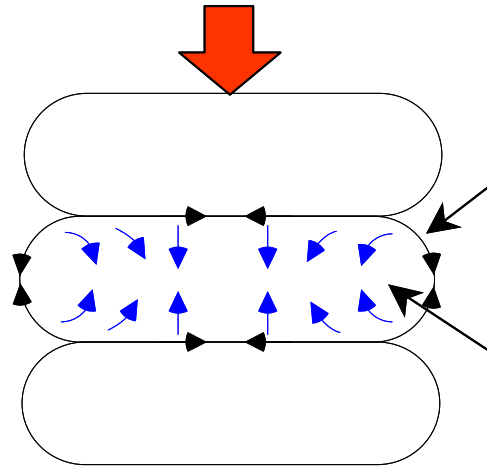
答えは



土のう積層体は極めて高い圧縮強度を発揮することができます。



鉛直圧縮



土嚢材に引っ張り力が発生する。

圧縮変形に伴って中詰め材に作用する拘束力が増加する。

メカニズム

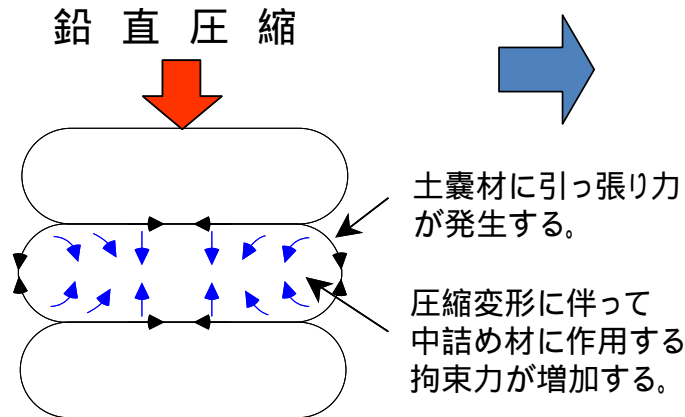
中詰め材の圧縮変形に伴って土嚢材が引き延ばされます。そのため、中詰め材が締め付けられます。その結果、中詰め材の拘束力が増加し、高い圧縮強度を發揮します。

でも、構造的な欠点があります。

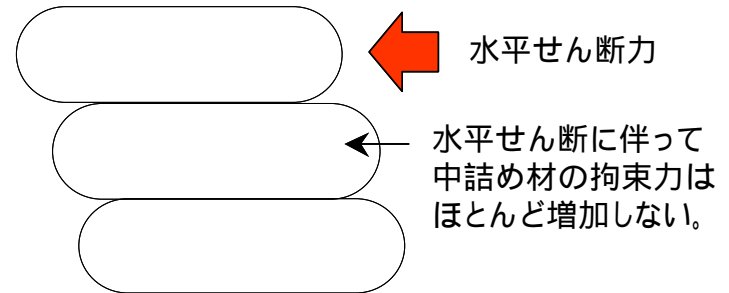


農研機構

その一方で、



鉛直载荷には最適な構造



水平载荷には不適な構造

水平方向にせん断力が働くとき、中詰め材に拘束力はほとんど働きません。この場合、土のう材間に沿って滑動しやすくなります。特に、地震力が作用すると、崩壊を引き起こしてしまいます。土のう積層体の安定性を考える上で、もっともクリティカルな問題の一つです。

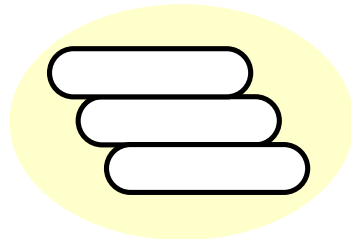
工夫すれば、使えます。



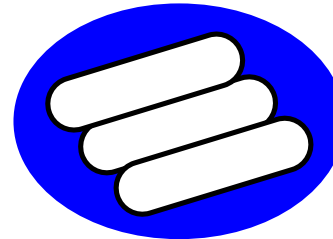
農研機構

古の知恵

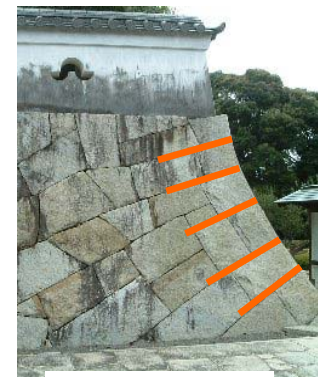
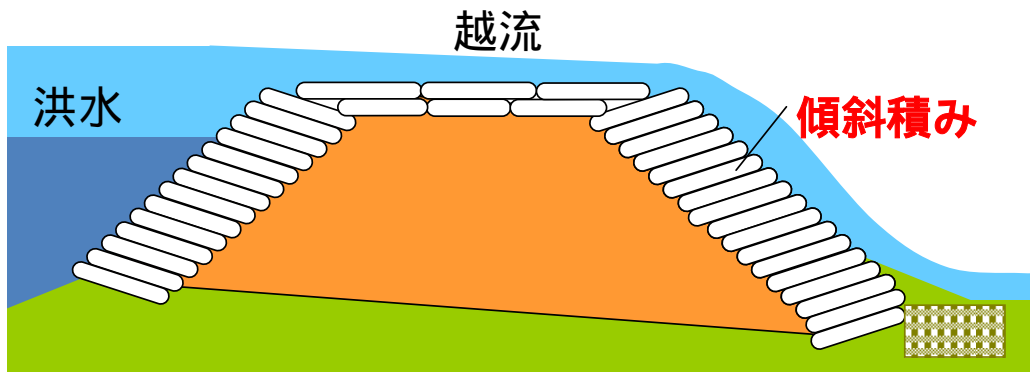
滑動に対する安定性を向上させるため、石積み技術である
傾斜積み工法を採用しました。



従来の積み方



傾斜積み工法



城の石垣

どれほどの効果があるのでしょうか？



農研機構

傾斜積み工法の効果を検証するため、実物大の大型土のうを用いた水平せん断試験を実施しました。

一定の鉛直応力を載荷した状態で、水平方向にせん断を実施しています。傾斜角は18度に設定しています。



通常の水平積み



傾斜積み

傾斜角とせん断強さの関係



農研機構

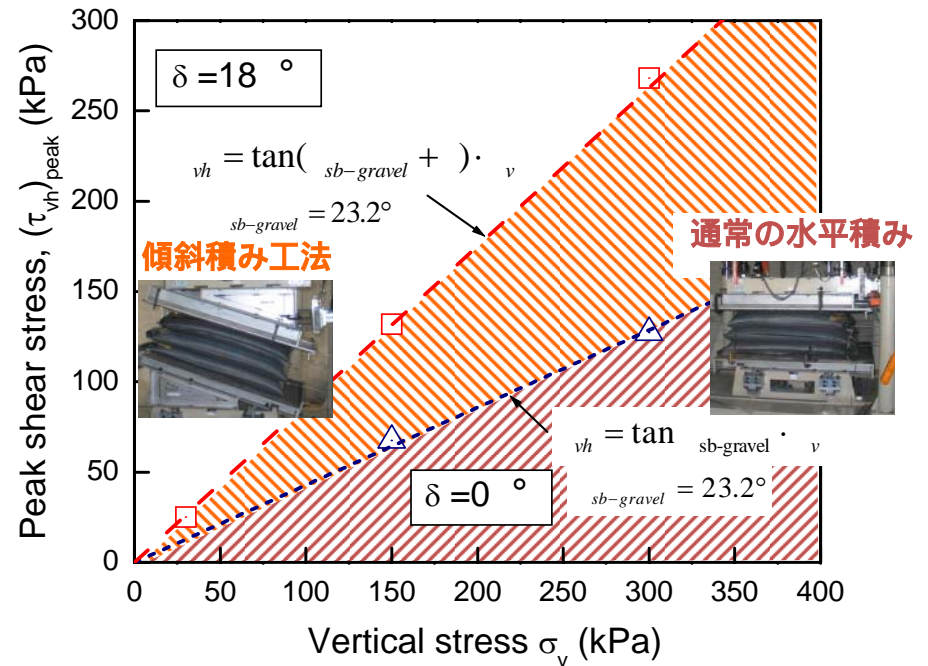
Point

せん断強度は水平積みに
比べて約2倍に増加しました。

上記の効果を設計で考慮して
います。



傾斜積み工法は新幹線のバラスト軌道の耐震化に採用されています。



それぞれの鉛直応力に対するせん断強度の関係



土のうの潜在能力とは？

兵庫県南部地震に耐えられるか？

越流に対する耐久性は？

実物大の耐震実験



農研機構

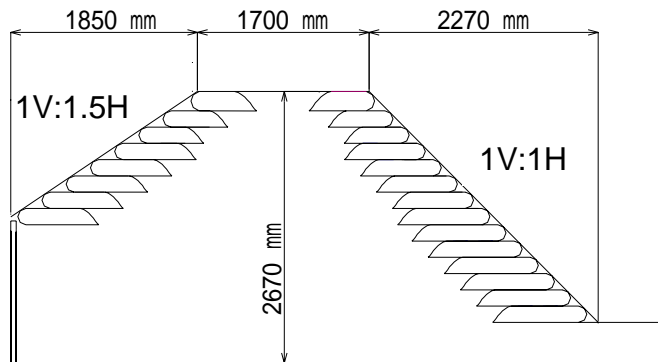
耐震実験で傾斜効果を検証しました。

2つのタイプのモデルを準備しました。

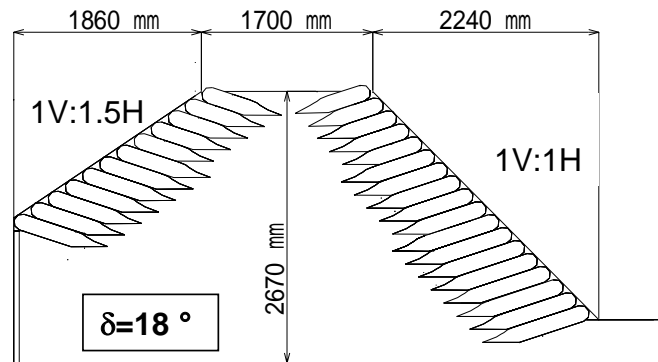
- 通常の水平積みタイプ
- 傾斜積みタイプ（傾斜角 18 度に設定）



実物大の耐震実験の模型



通常（通常）の水平積みタイプ



傾斜積みタイプ

耐震性能を左右する天端沈下量



農研機構

- 入力波: サイン波 3.8 Hz
- 加震継続時間: 4.5 sec
- 最大入力加速度: 300 gal, 500 gal, 700galおよび 1000 gal
- (段階加震) 700 galの加震は兵庫県南部地震を10回分に相当

➤ 500 gal加震後

水平積みの場合

天端沈下量は 212 mm 発生した。

傾斜積みの場合

天端沈下量は 23 mm 発生した。

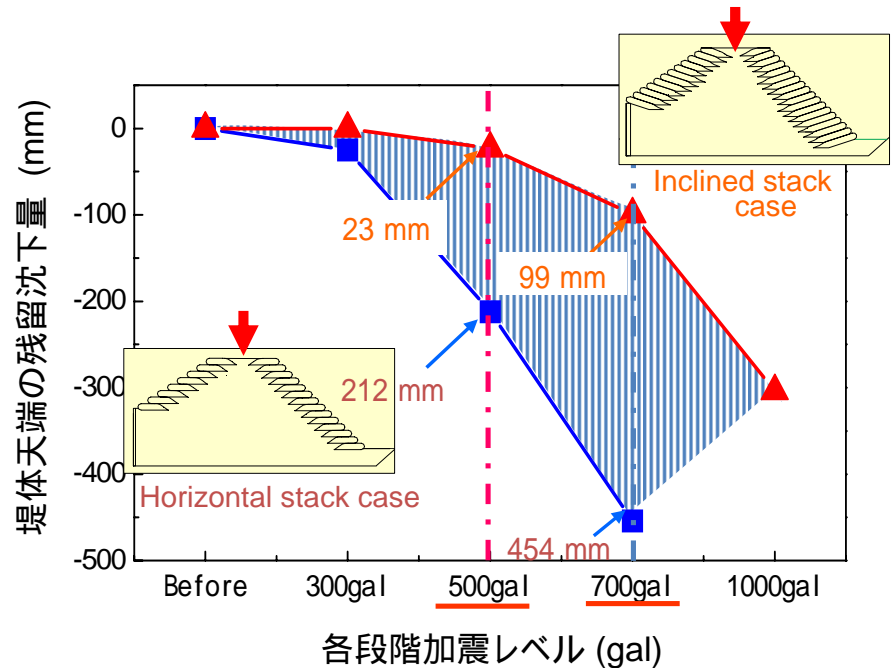
➤ 700 gal加震後

水平積みの場合

完全に崩壊した。

傾斜積みの場合

天端沈下量は 99 mm 発生した。



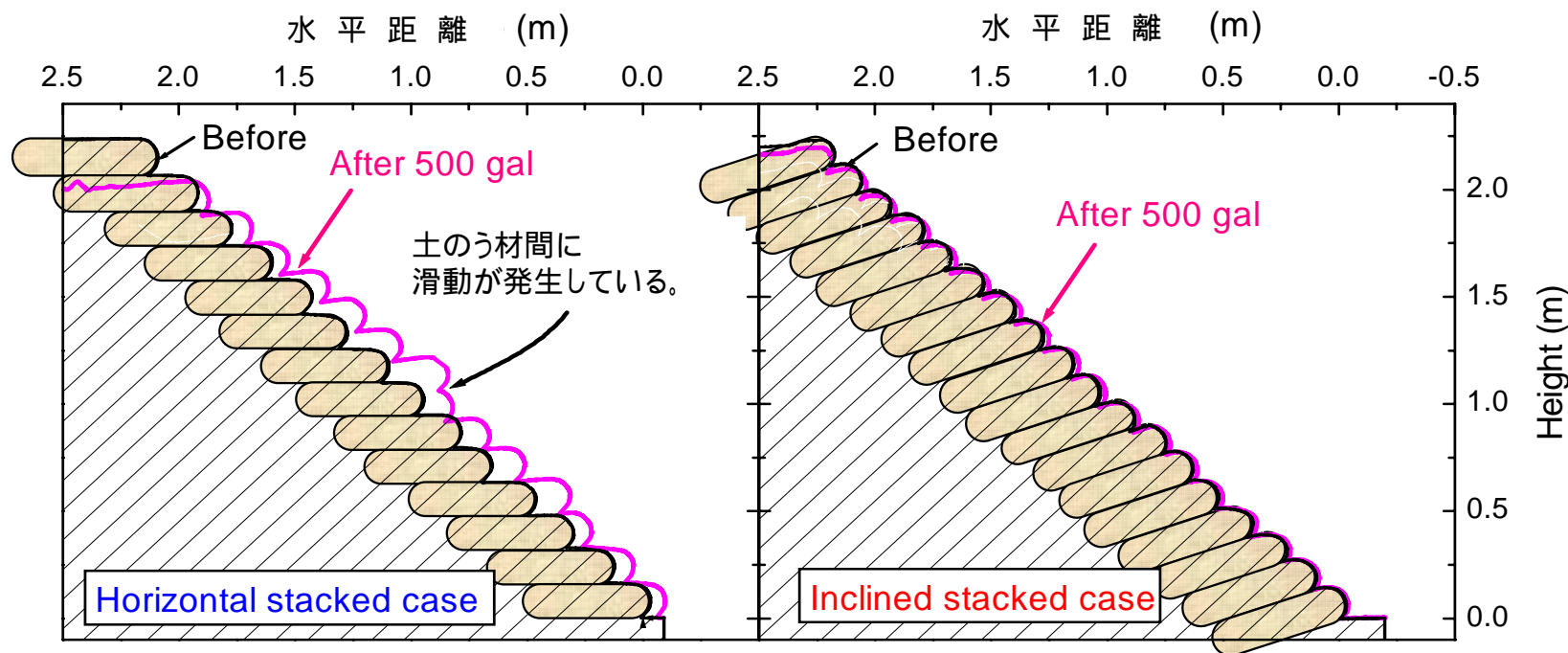
各段階加震後の天端沈下量

堤体斜面の地表面変位分布



After 500 gal

水平積みの場合、土のうが前方に押し出されているのがわかります。
一方、傾斜積みの場合、揺すり込みによる沈下は発生しますが、斜面の安定性が完全に保たれています。



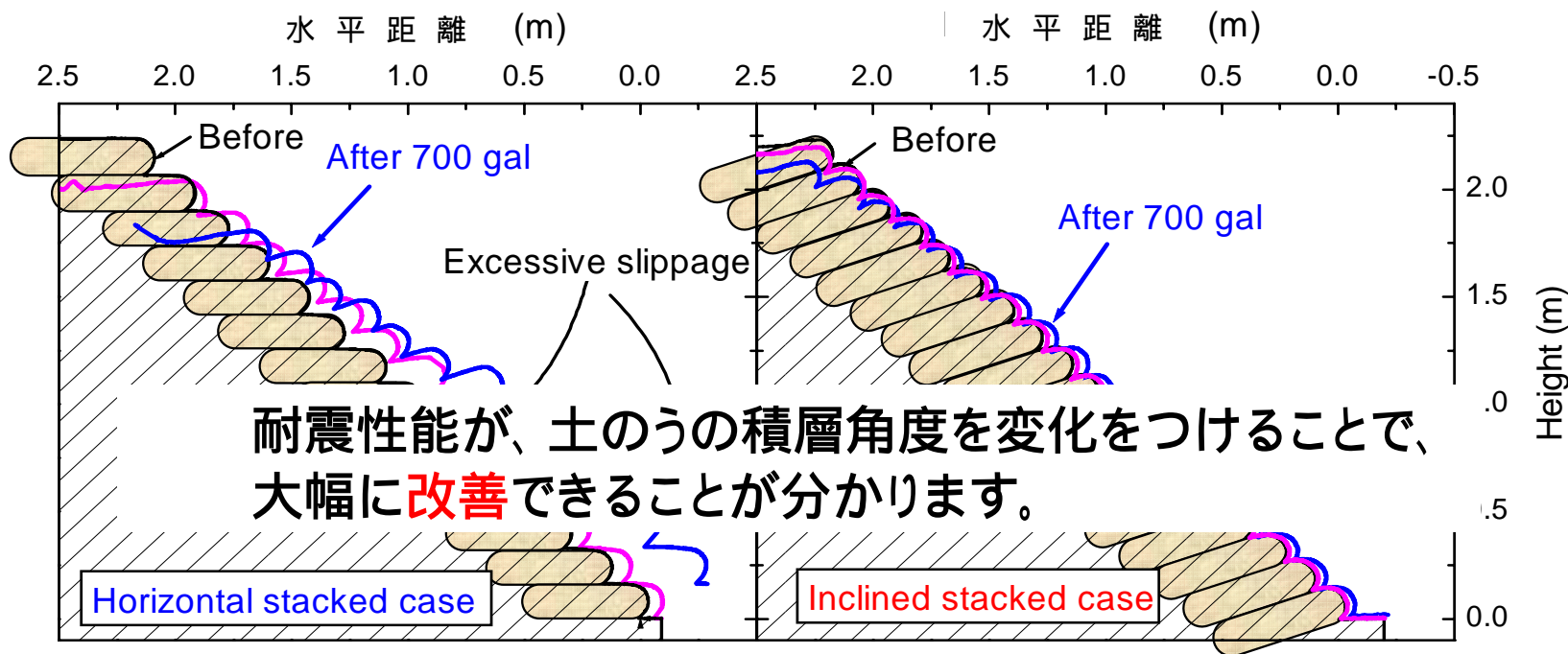
500gal加震後の堤体下流斜面の地表面分布

堤体斜面の地表面変位分布



After 700 gal

水平積みの場合、土嚢材間の滑動が著しく増加しました。
一方、傾斜積みの場合、若干の揺すり込み・孕みだしによる変形が生じましたが、土のう積層構造は完全に保たれていることがわかります。



700gal加震後の堤体下流斜面の地表面分布



土のうの潜在能力とは？

兵庫県南部地震に耐えられるか？

越流に対する耐久性は？

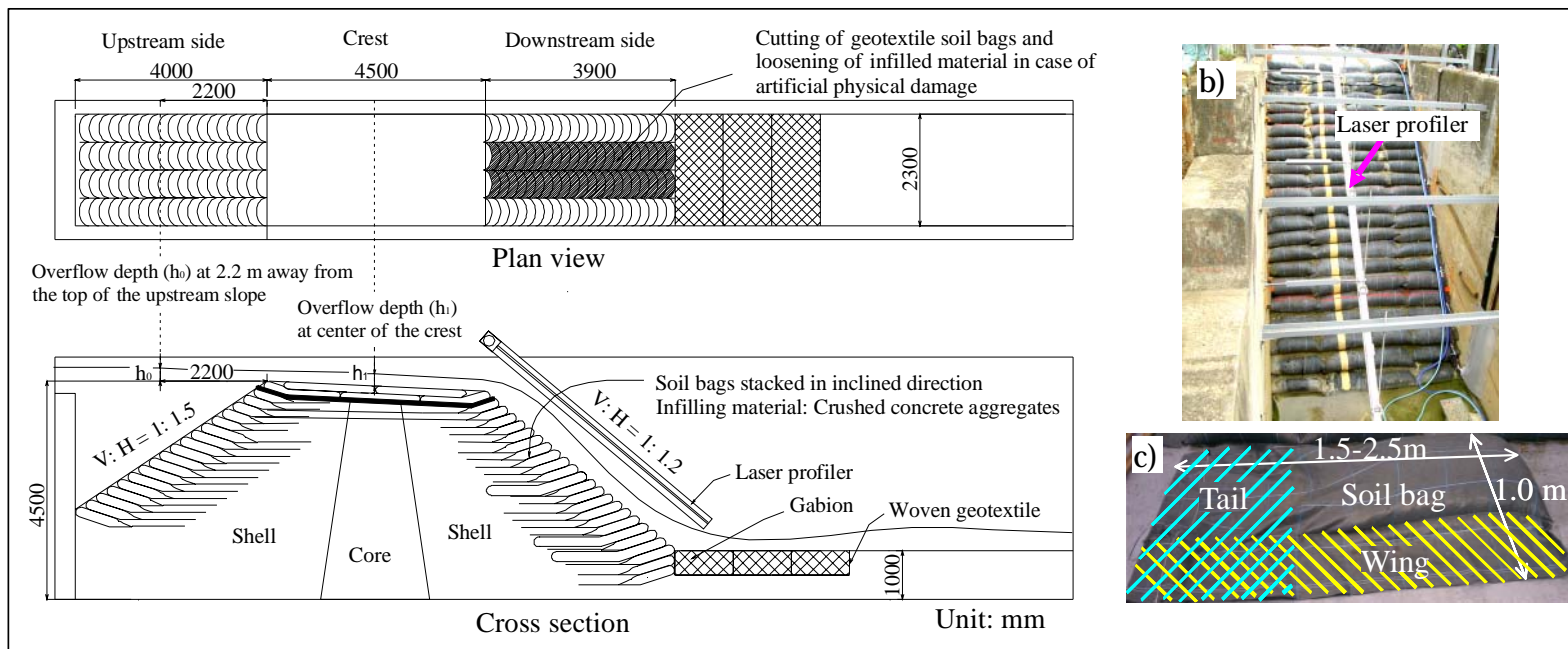
実物大の越流破堤実験



農研機構

越流に対する耐久性を実験で検証しました。

堤高3.5 m、幅 2.3 m 下流勾配 1V: 1.2Hである
実物大の補強堤体を用いた越流破堤実験を準備しました。

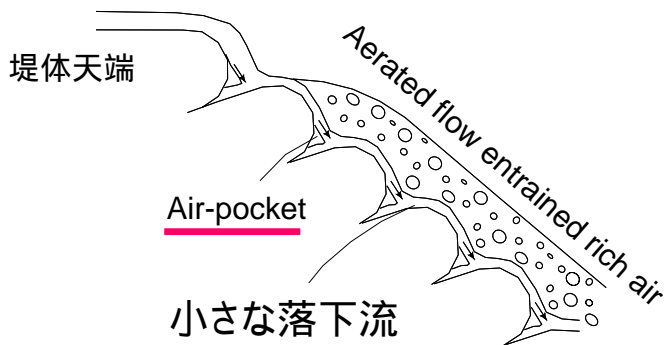


越流水深が24cm以下



比較的小さな越流に対しては、侵食されません。

また、水流が階段状の土のう積層斜面を落差を繰り返して流下するので、減勢効果が高く、負圧が発生しないため、吸い出しが生じません。



土のうの段差で小さな落下流が繰り返して発生する流況

下流堤体斜面の法肩



越流水深 24 cm時の流況

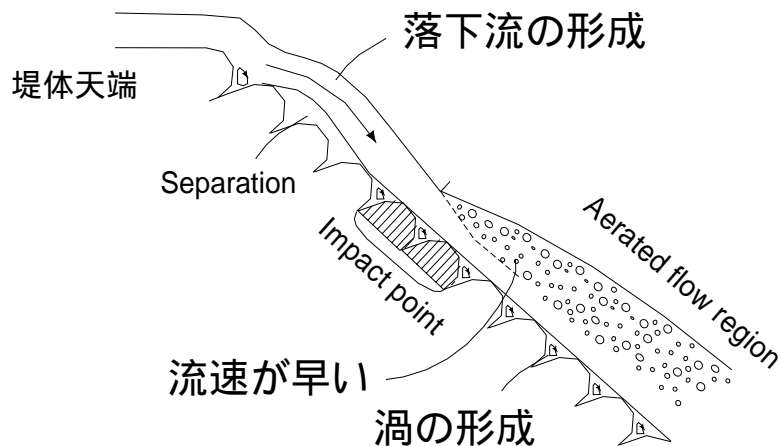
越流水深が32cm以下



農研機構

水脈が厚いため、法肩に落下流が発生します。落下流は限定的な土のうに衝突します。

また、境界水面が形成され、土のう間の隅には、局所的な渦が発生します。この渦は、負圧を発生するため、裏込め材が吸い出されます。《軽微な損傷》



境界水面を形成する流れ

下流堤体斜面の法肩



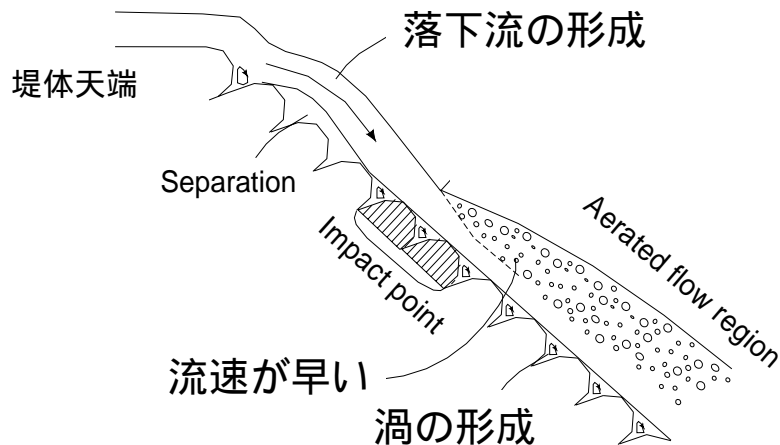
越流水深 32 cm時の流況

越流水深が32cm以下



水脈が厚いため、法肩に落下流が発生します。落下流は限定的な土のうのように衝突します。

また、境界水面が形成され、土のう間の隅には、局所的な渦が発生します。この渦は、負圧を発生するため、裏込め材が吸い出されます。《**軽微な損傷**》



境界水面を形成する流れ



境界水面を形成する流れの状態における被害パターン

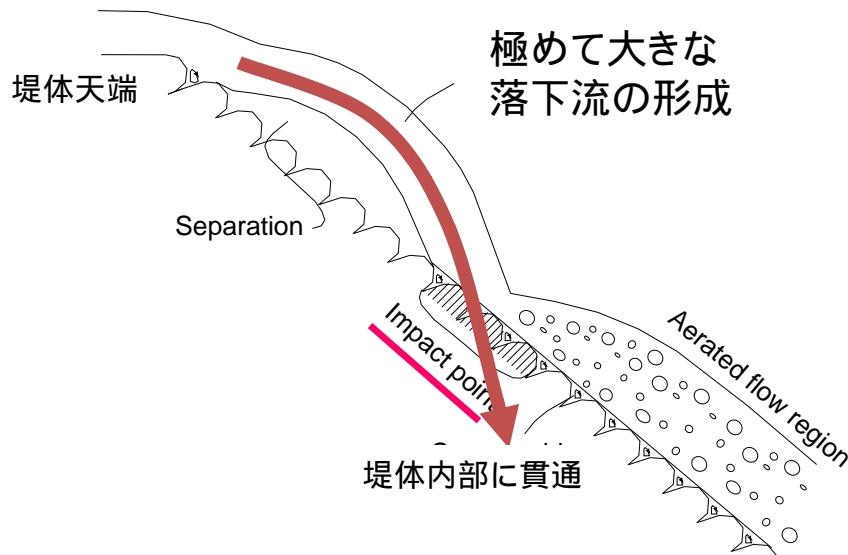
越流水深が58cm



農研機構

《重大な損傷》

極めて厚い水脈が形成され、大きな落下流が限定された土のうに衝突し、堤体内部に進行的に貫通していきます。



大きな落下流の形成

下流堤体斜面の法肩



越流水深 58 cm時の流況

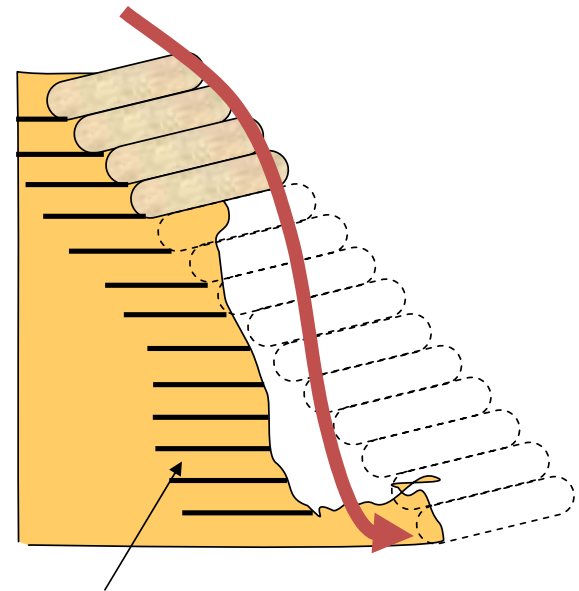
貫通に要する時間と崩壊



農研機構

右図は貫通開始から 90 分後の状態を示しています。土のうを貫通するのに十分な力が作用していることがわかります。

しかしながら、極めて深刻な浸食が発生した後も、堤体内部がジオシンセティックスで補強されているため、二次的な崩壊が起こりませんでした。結果的に堤体天端の沈下量は発生しませんでした。



堤体内部に残存する補強材

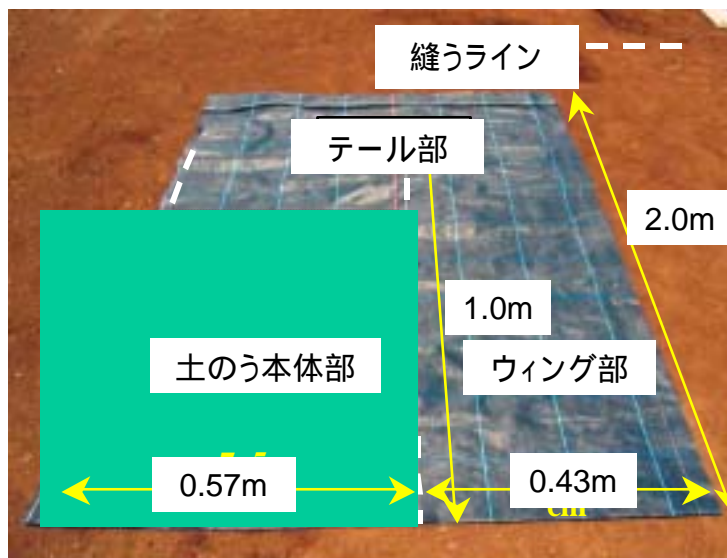
《製造が簡単なシンプルな土のう袋》



農研機構

テールを付帯した土のう袋はシンプルな構造を採用することにより、製造コスト低減を図っています。

1. 縫う箇所はたった2ライン
2. 中詰め材の投入口は堤体内に埋設するので、縛らなくても構いません。



テールが付帯したジオシンセティックバッグ

シンプルな施工方法



農研機構

土嚢工法は特別な施工技術が不要で、わかりやすい施工技術です。

次のような施工手順です。

Step1: 土のうを傾斜したベースに設置する。

Step2: テールの上に裏込め材を撒き出す。

Step3: 裏込め材を転圧する。

Step4: 土のうを転圧する。

Step5: 上記の工程を所定の堤高まで繰り返す。

Step6: 紫外線劣化を防止するため、土のうを覆土(ソイルセメントや植生)する。



Step6 植生による紫外線保護対策

施工事例



農研機構



兵庫県加古川市峠池



石川県志賀町平田池

ため池堤体の設計図の例



農研機構

従来工法

メリット

- ・ 伝統工法であり、膨大な実績がある。

デメリット

- ・ 大量の搬入土が必要であり、傾斜地ではその傾向が大きい。
- ・ 越流が発生すると決壊する可能性が極めて高い。

土嚢工法

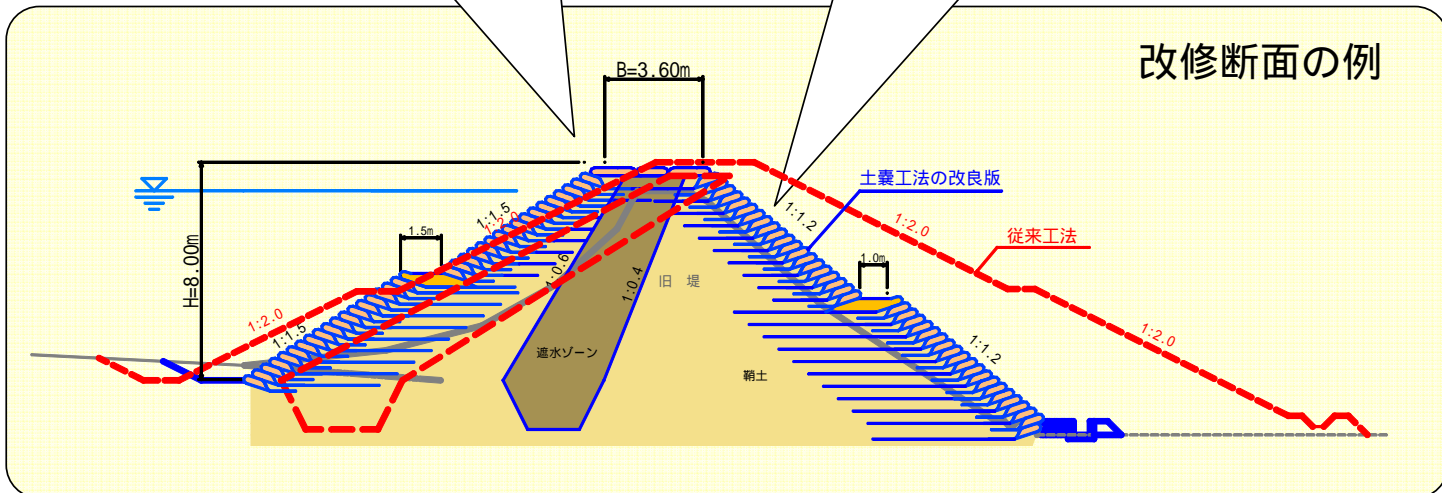
メリット

- ・ 土地条件の制約を受けにくい。
- ・ 洪水や土石流に対する安全性が高まる。

デメリット

- ・ 20～30年毎にメンテナンス(覆土)が必要である。

改修断面の例



さらなるコスト縮減が可能