

豪雨・地震の複合災害に備えた 盛土強靱化技術

株式会社 安藤・間 建設本部 技術研究所 土木研究部

西尾 竜文

1 はじめに

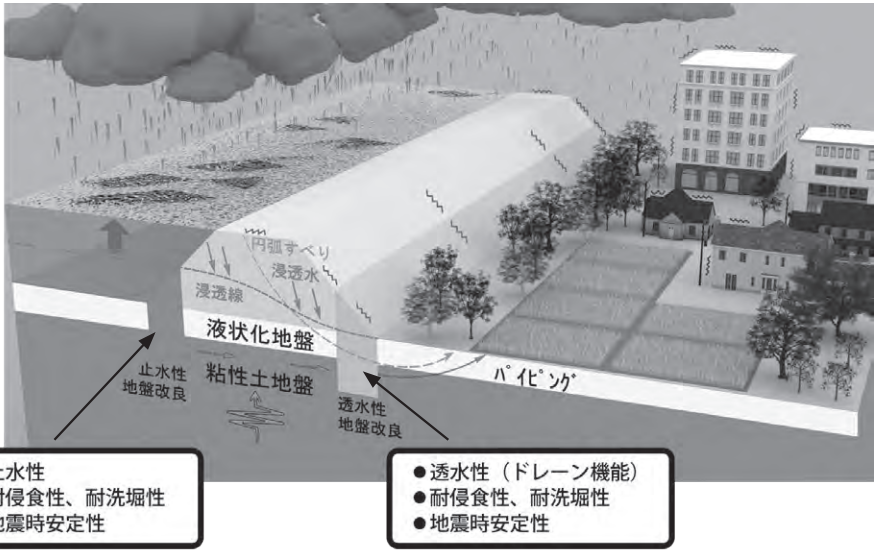
近年、豪雨や地震等の自然災害の大規模化、頻発化による河川堤防やため池など、既設盛土構造物における被害が増加している。豪雨と地震が同時期に発生すれば被害はさらに甚大なものとなることも予想される。このような背景から、既設の堤体盛土を対象に豪雨、地震の複合的な災害に対する合理的な対策工法として「止水性および透水性改良を組み合わせた盛土強靱化技術」を開発した。本稿では、本技術の概要と模型実験及び数値解析による適用効果の検証、施工の高速化や経済性向上など施工の合理化を目的とした中層混合処理工法の改良について紹介する。

2 盛土強靱化技術の概要

図1に新たに開発した盛土強靱化技術の概要図、写真1に透水性改良体を示す。本技術は河川堤防などの堤体盛土を対象に、川表側の法尻付近に止水性改良体を、また川裏側に透水性改良体を構築するものである。止水性改良体は、原地盤とセメントスラリーを混合して造成する一般的なセメント固化改良体である。一方、透水性改良体は、透水性の高い碎石や礫等に少量のセメントスラリーと混和材を添加し、空隙を確保した状態で固化した改良体であり、高い透水性とせん断強度を有している。豪雨により河川水位が上昇した際、川表側の止水性改良体は、堤体内への河川水の浸入や流水による法尻部の侵食を抑制する。一



写真1 透水性改良体



- 止水性
- 耐侵食性、耐洗堀性
- 地震時安定性

- 透水性（ドレーン機能）
- 耐侵食性、耐洗堀性
- 地震時安定性

図1 盛土強靱化技術概要図

方、川裏側の透水性改良体は、堤体内の浸透水を速やかに排水することで、堤体内の水位上昇を抑制する効果がある。また、水位上昇に伴う法尻部のパイピングや越水時の法尻洗堀を防止する効果も期待できる。地震時には、両側の改良体により基礎地盤および堤体盛土の変形を抑制する。本技術は、これらの効果により総合的に盛土の安定性を高め、豪雨・地震の複合的な災害による堤体盛土の不安定化を防止するものである。

3 模型実験による適用効果検証

小型模型に対して遠心力を載荷することで実物スケールの応力状態を再現できる遠心模型実験により、本技術の適用効果の検証を行った。図2に模型概要図を示す。模型は、液状化層上の堤体盛土を想定しており、基礎地盤は、珪砂六号を用いて水中落下法により作製した。堤体盛土は実際の河川堤防を想定し細粒分を含み、締め度も $D_c \parallel 85\%$ と比較的緩い状態とした。対策工として用いた改良体は事前に作製したものを土槽（底部）に設置した後に基礎地盤および堤体盛土を構築した。間隙水は、遠心力場の相似則に基づき、メトロゾブ水溶液（粘性係数 $\eta \parallel 50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ）を使用した。実験は、豪雨による水位上昇後に地震が発生するケースを想定し、①上流側の水位上昇、②堤体内の間隙水圧計の値が一定値を示すまで水位保持、③定常状態を確認した後に加振、の順序で実施した。加振条件は、正弦波（ 250 gal 、 2 Hz 、 20 波 、前後テーパー3波）とした。図3に

無対策及び対策有の加振後の変形を示し、図中に加振時の堤体天端中央における最終沈下量を示している。無対策時は基礎地盤の液状化に伴い、法尻が外側に変形するとともに、上流側法面も液状化による流動変形が発生した。これに対して、対策時には基礎地盤の側方変位および上流側の流動が抑制され、両側の改良体による変形抑制効果が確認できた。堤体天端中央の沈下量は対策有では、無対策に対して約54%低減した。

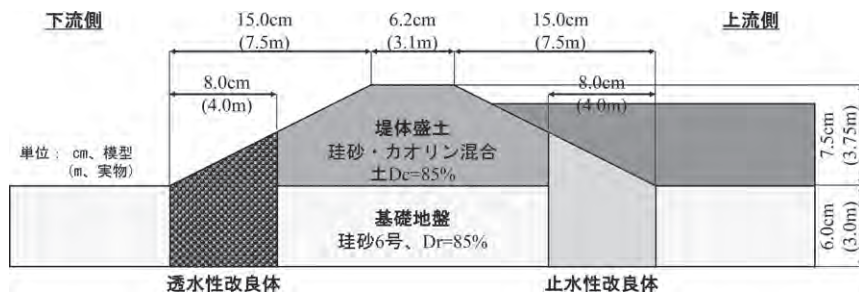


図2 模型概要図

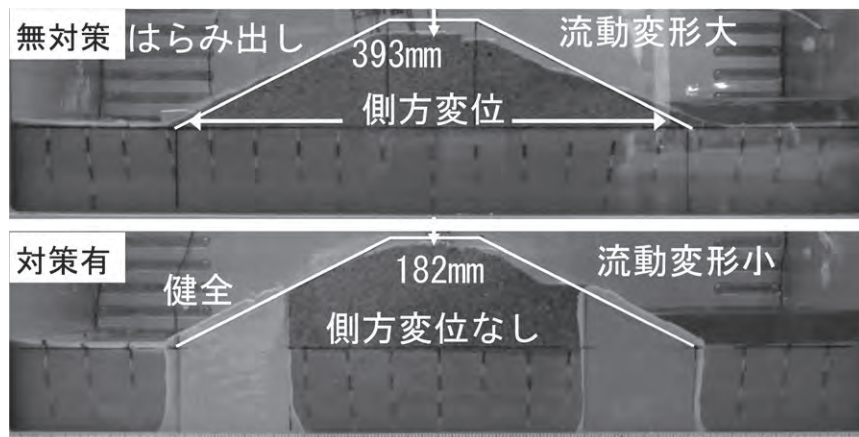


図3 加振後の変形状況

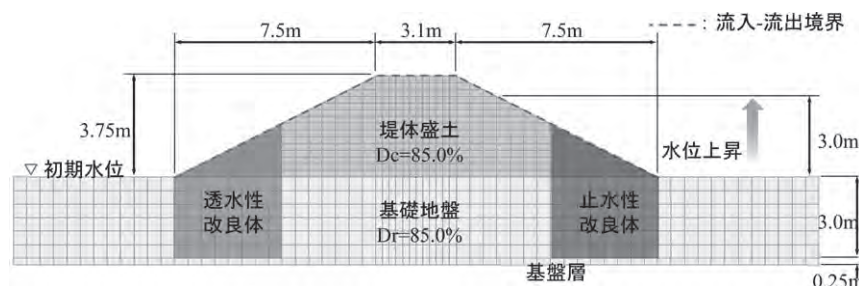


図4 解析モデル

数値解析では、液状化解析プログラムLIQCA2D20を用いて、浸透流解析および動的解析を行い、透水性改良による水位低下および変形抑制効果を確認した。図4に解析モデルを示す。境界条件は、基盤層底面を全方向固定、基盤層および基礎地盤の側面を水平固定・鉛直自由境界とし、基礎地盤天端および堤体盛土の天端、法面に

4 数値解析による効果検証

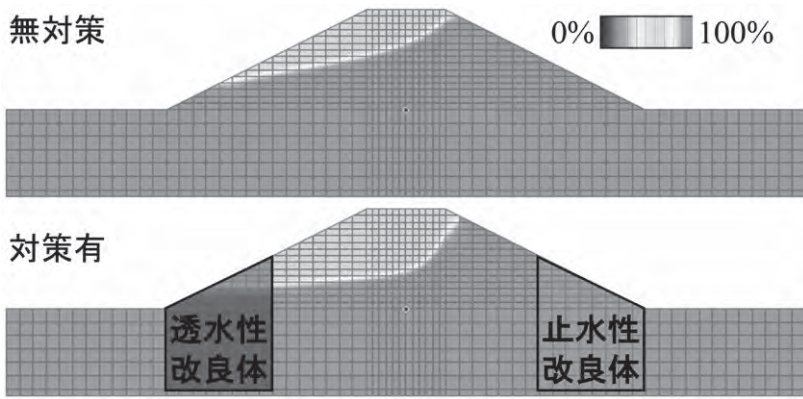


図5 浸透流解析後の飽和度分布

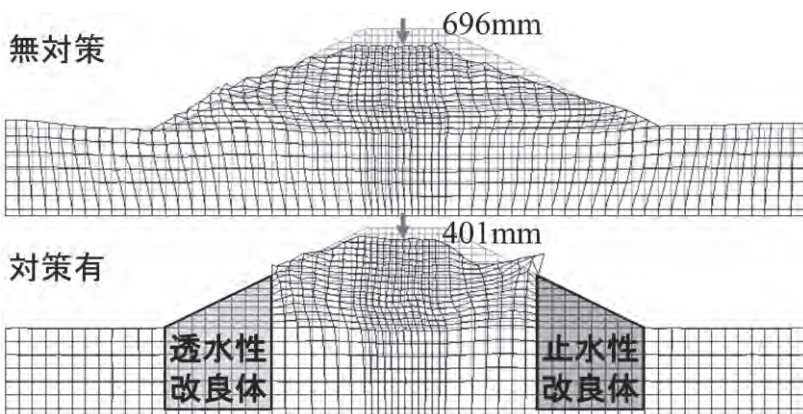


図6 加振後の変形状況

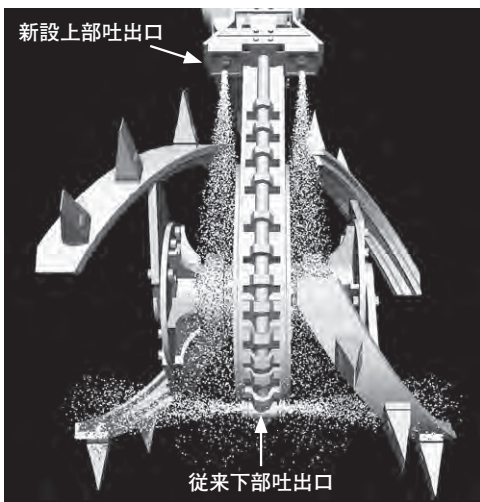


図7 WILL-m工法攪拌翼



写真2 WILL-m工法施工機械全景

流入・流出境界を設定した。解析モデルは、基礎地盤および堤体盛土を繰返し弾塑性モデルとし、模型材料の物性試験および繰返し三軸試験よりパラメータを設定した。改良体は弾性モデルとし、一軸圧縮試験結果からパラメータを設定した。模型実験にて計測した上流側水位の時刻歴をもとに浸透流解析を行った後、実験と同様の加振条件下で動的解析を実施した。図5に浸透流解析後の飽和度分布を示す。解析では、対策工の効果により堤体内の飽和領域が縮小しており、透水性改良体の

5 中層混合処理工法の施工の合理化 (WILL-m工法の開発)

排水効果が確認できた。図6に加振後の変形状況と堤体天端中央の最終沈下量を示す。無対策時の堤体上下流方向へのはらみ出しや流動変形、対策時の堤体変形抑制効果を再現できている。最終沈下量は実験値に対して解析値が最大2.0倍程度大きな値を示したが、沈下挙動や沈下低減効果は、実験と解析で概ね一致する結果を示している。

これまでに示した盛土強靱化技術の合理的な施工を目的として、中層混合処理工法のWILL工法を改良した写真2に示すWILL-m工法を開発した。WILL-m工法は図7に示すように従来型WILL工法の下部吐出口に加えて、上部高圧吐出機構を新設することで時間当たり吐出量の増加と高圧噴射エネルギーにより早期に均質な改良体を造成することを可能としたものである。これにより、止水性改良体の施工は従来型WILL工法と比較して、改良速度が40%向上し、それに伴い工事費を20%、CO₂排出量を10%低減できることを確認した。

6 まとめ

近年、増加する豪雨や地震に対する堤体盛土の安定化対策として、新たに開発した止水性および透水性改良体による盛土強靱化を紹介した。豪雨や地震が同時に発生する条件においても効果が期待でき、施工の効率化にも対応している。今後は、本技術を広く展開し、国土強靱化の推進に貢献できるように開発を進める。