

軟弱地盤上に築造された河川堤防の地震応答解析と鋼管矢板による補強効果の検証

名古屋大学 学生会員 ○加藤健太 尾崎奨
名古屋大学 正会員 中井健太郎 野田利弘

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では河川堤防も甚大な被害を受けた。南海トラフでの巨大地震の発生が危惧されている中、河川堤防の耐震性を適切に評価し、必要な耐震対策を施すことが急務となっている。本報では、深部から洪積層（支持層）、粘性土、砂質土で構成される軟弱地盤上に築造された河川堤防の耐震性を静的／動的水～土連成有限変形計算によって評価するとともに、鋼管矢板による補強効果について検討した。用いた解析コードは、砂から粘土さらに中間土までを同じ理論的枠組みで記述可能な土の弾塑性構成式（SYS カムクレイモデル¹⁾）を搭載した動的/静的水～土骨格連成有限変形解析コード²⁾**GEOASIA**である。

2. 計算条件

地層構成は、深部から洪積層（支持層）、その上部に軟弱な粘性土層、表層に緩い砂質土層が存在している水平成層地盤とした。材料定数は東海地方の河川堤防のボーリング調査で採取された試料を用いて行われた各種力学試験結果を SYS カムクレイモデルで再現することによって決定している。過圧密比、構造の程度、初期応力比、初期異方性の程度は各層で均一とし、比体積を土被り圧に応じて分布させた。この初期地盤に対して堤防高 5m、堤防天端は右岸が 7m、左岸が 14m、法面勾配が 1:1 の河川堤防を築堤した後で、河道部分の掘削を行い、河川の水位を T.P.+1.2m まで上昇させた（図 1 の①を参照）。水理境界は、地表面が地下水位面と一致するように水压ゼロとし、下端及び両側面は非排水条件、堤外地側の要素は水位の高さに応じた水压を要素に与える排水境界としている。解析に用いた入力地震波は、中央防災会議（2004）で策定された名古屋港付近における東海・東南海・南海 3 連動地震波を工学的基盤での V_s を考慮して 2 倍に増幅させたものである（図省略）。地震時は境界両側端で周期境界を設定するとともに、地盤底面の全節点の水平方向に $V_s=300\text{m/s}$ に相当する底面粘性境界を用い、地震波を地盤底面の全節点の水平方向に等しく入力した。

河川堤防の耐震対策としては、液状化による側方流動抑制を目的とした鋼管矢板による補強工法がしばしば用いられる。また、既存の止水矢板が耐震性向上に寄与したという報告もある。本報では、鋼管矢板の根入れ効果についても検証するため、①鋼管矢板が存在しない場合、②根入れが粘性土層と浅い場合、③根入れが洪積層と深い場合の 3 ケースで解析を実施した。

3. 解析結果

鋼管矢板がない場合における、地震発生前～地震発生後までのせん断ひずみ分布の経時変化を図 1 に示す。主要動付近（地震開始から 30 秒経過）では、砂質土層の液状化に伴って堤体が沈下し、法尻付近が側方へ流動し始める。その後、粘性土層の上部にせん断ひずみが発生し、60 秒も経過したころには、この部分を起点として、堤内地・堤外地両方へ進展する滑りが発生する。滑り発生とともに粘性土層でも堤体直下の大きな沈下が発生する。図 2、3 には、左岸堤防における堤体天端の沈

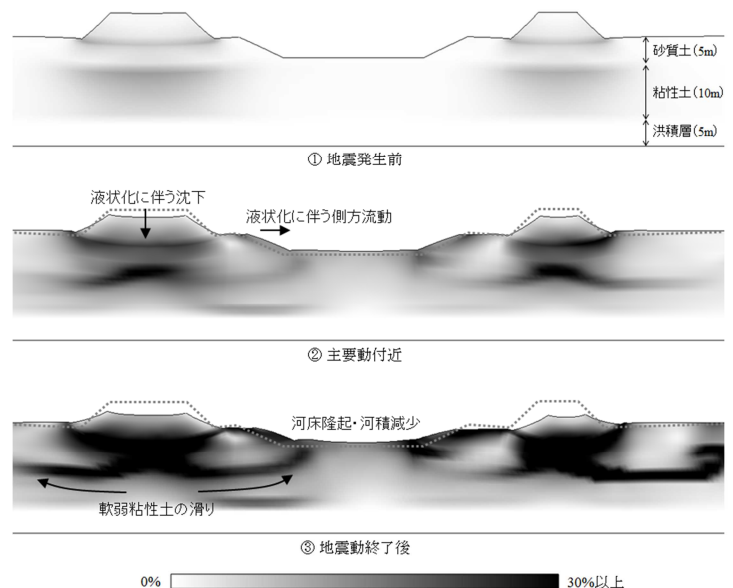


図 1 せん断ひずみの経時変化（①矢板なし）

下量および堤体法尻の水平変位量を示す。堤体は約 2m (約 40%) の沈下とともに、法尻で 3.8m のストレッチング (堤内地側に 2.0m, 堤外地側に 1.8m) を示す。河川堤防の被害としては、砂質土層の液状化による沈下と側方流動に加え、粘性土層から発生した滑りに伴う河床隆起が河積の減少を引き起こし、堤防機能が著しく損なわれてしまう。

図 4 には、同じ地盤条件のもとで鋼管矢板による補強効果を検証した結果 (地震動終了後のせん断ひずみ分布) である。また、図 2, 3 中には鋼管矢板がある場合の変位も示している。天端の沈下量およびストレッチング量は矢板の有無によらず大きな差異はない。根入れが浅いと、側方流動を抑えることができないばかりか、粘土層から発生する滑りが矢板先端の地盤深部で発生してしまい、河床隆起量が大きくなってしまう。一方、根入れを洪積層まで深くすると、堤体前面での変形抑止には多大な効果を得ることができるが、逆に住居のある堤体背面側 (堤内地) の水平変位や隆起を促進し、補強が逆効果となっている。「地震は最も弱いところを探して被害を与える」とはまさにこのことであり、対策の際は注意が必要である。

4. おわりに

砂・粘土互層の軟弱地盤上の河川堤防では、地震中に砂質土層の液状化だけでなく、粘性土層に生じるすべりによって河床の隆起や堤体の沈下が引き起こされ、堤防の機能が著しく損なわれることから、粘性土層も適切にモデル化した上で数値解析を行い、耐震性を評価することが重要である。また、河川堤防に設置された鋼管矢板は支持層までしっかり根入れすることで補強効果が発揮される。しかし、堤防の片側にしか支持層まで根入れした鋼管矢板が設置されていない場合には、その反対側の変状が大きくなり、かえって大きな被害が発生する可能性があるため、対策の際に注意が必要である。本研究は JSPS 科研費 (20126012, 25249064) および南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト (文部科学省) の助成を受けたものである。

参考文献 1) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002) : An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanics of soils, *Soils and Foundations*, 42 (5), pp.45-57. 2) Asaoka, A. and Noda, T. (2007): All soils all states all round geo-analysis integration, *International Workshop on Constitutive Modeling - Development, Implementation, Evaluation, and Application*, Hong Kong, China, pp.11-27. 3) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, 48 (6), pp.771-790.

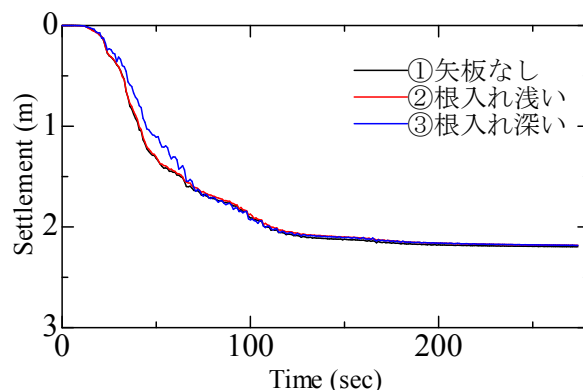


図 2 左岸堤防天端における沈下量

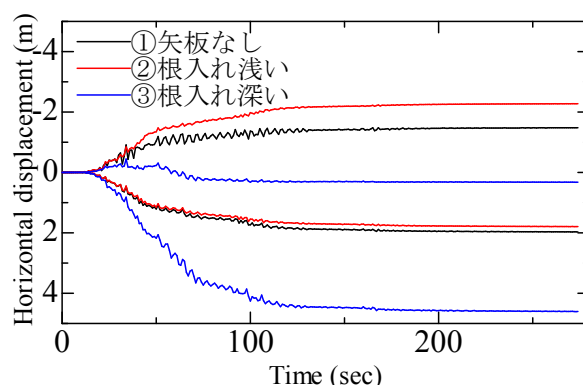


図 3 左岸堤防法尻におけるストレッチング量

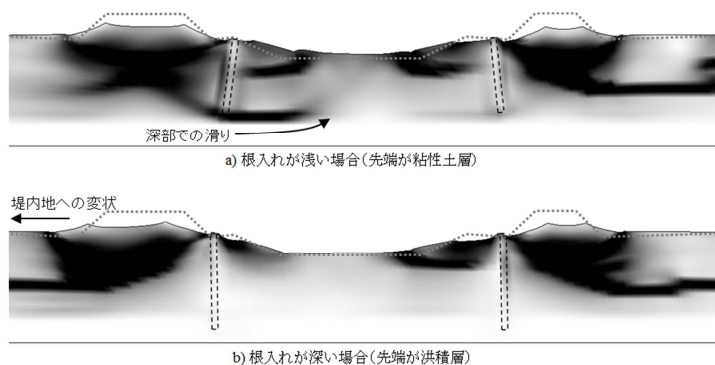


図 4 矢板による補強効果 (地震終了後のせん断ひずみ)