

「リスク共生から見た地盤工学上の課題」

河川堤防の整備におけるリスク

東京工業大学 大学院理工学研究科 土工学専攻
高橋 章浩

Page 1

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回 2015年7月16日

本日の話題

- 堤防整備の歴史
- 破堤要因
- 堤防の浸透破壊予測の難しさ
- 地震による堤防被害
- 地盤調査の重要性と難しさ
- 堤防の被害リスク低減に向けて

Page 2

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回

堤防が破堤すると...



- 一部の破堤が広範囲の浸水被害をもたらす。
- 堤防には、線状構造物としての止水機能が求められている。

Page 3

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回

堤防整備の歴史 (1)

- 人々の安全と安定した農耕のため、古くより治水・灌漑事業が進められて来た。
- 江戸時代には、河川の付け替え（人工的な河道の変更）といった、大規模な治水事業も行われはじめる。
 - 例えば、江戸湾（東京湾）にそそぐ利根川は、銚子方面に付け替えられた（利根川の東遷）。

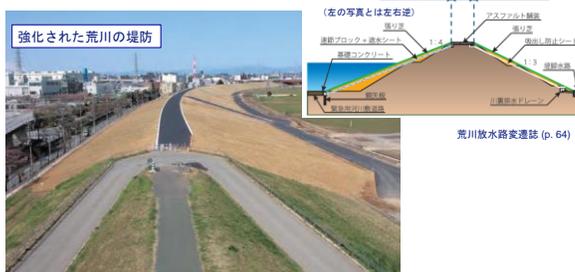


Page 4

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回

堤防整備の歴史 (2)

- 災害の経験を踏まえて、河道の拡幅、堤防のかさ上げや強化などが繰り返されている。



Page 5

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回

堤防整備の歴史 (3)

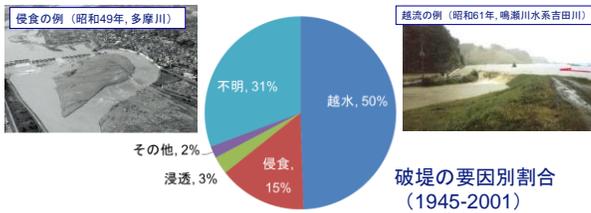


- 河道の拡幅、堤防のかさ上げや強化などにより、以前と比べて、大規模な水災害は著しく減少している。
- 現在は、洪水時の水の堤防への浸透や地震時の揺れ（に伴う地盤の液状化）に対する堤防の安定性を数値解析で調べ、強化の可否を決定。

Page 6

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回

破堤要因と浸透破壊



- 破堤の主たる要因は**越水**や水流による表面からの**侵食**
 - 表面の保護により強化可能。
- 堤防やその基礎地盤における水の**浸透**に起因する破堤
 - 表からは弱点の把握が困難。

Page 7

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



堤防の浸透破壊予測の難しさ (1)

- 堤防整備に伴い、河川の流下能力は向上している（堤防は高く、幅広くなっている）ことから、越水による破堤の危険性は相対的に低下しており、今後、**浸透破壊の割合が増加**していくと考えられる。
- 浸透による破堤は、表からはわからない**土中での水の流れ方**によって決まる。
- 増水により、堤防やその基礎地盤に水が浸透すると、
 - 連続した比較的大きな空隙が存在する場合、**漏水**を引き起こす。
 - 水の浸透は、**土の強さを低下**させ、場合によっては、**水の流れによる土の移動**も発生。
- 上記の拡大は、破堤を引き起こす可能性がある。

Page 8

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



堤防の浸透破壊予測の難しさ (2)

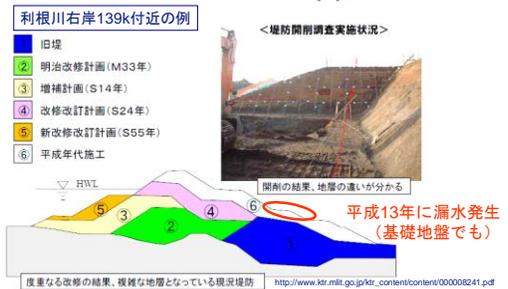
- どのように土中を水が流れるかは、地盤の状況（構成する土の種類、層構成など）に依存するため、**地盤調査やそれに基づく事前予測**が行われる。
 - それを困難にする**堤防特有の問題**がある。
- 複雑な堤防築堤の履歴
- 氾濫域の地盤は土層構成が複雑な上に、河道の拡幅や直線化に伴って構築される新堤は、**旧河道**や**後背湿地**（自然堤防の背後に形成される湿地）上に位置することもままある。
 - 自然にできた土層ではないため、少ない情報から、地盤内の状況を推定することは困難。

Page 9

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



堤防の浸透破壊予測の難しさ (3)



- 堤防を高く・幅広くするため、何度もかさ上げを実施。
 - 堤防内の土の構成は非常に複雑

Page 10

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



堤防の浸透破壊予測の難しさ (4)

矢部川右岸7.3k付近 (平成24年)



http://mainichi.jp/graph/20120714/20120714k000e040138000c038.html

- 河道の拡幅や直線化とそれに合わせた堤防の構築を氾濫域で行うため、**基礎地盤に弱部が形成**されることも。

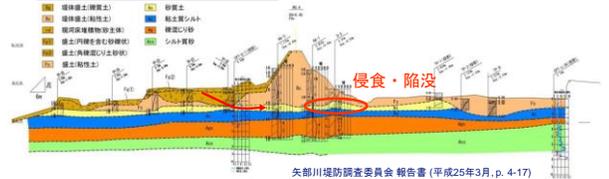
Page 11

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



堤防の浸透破壊予測の難しさ (5)

矢部川右岸7.3k付近 (平成24年)



- この事例では、基礎地盤の透水しやすい砂層での水圧上昇が、その上の薄い粘性土層の破壊と噴砂を引き起こし、これによる**侵食（パイピングと呼ばれる水みちの形成）**が堤防の陥没・決壊を引き起こしたと推定されている。
 - 詳細な地盤調査結果なしには、推定は不可能

Page 12

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



地震による堤防被害 (1)

- 洪水時と異なり、地震による堤防の変形・沈下は、津波の来襲が想定される場合や、堤防上面が重要な道路として利用されている場合などを除けば、適切な期間内（普通は1週間程度）に手当てをすることができれば、大きな問題はない。
- ただし、東北地方太平洋沖地震のように広範囲に被害が発生したり、出水期（川が増水しやすい時期）に多数の被害が発生したりしまうと対処が困難。
 - 地震による堤防の損傷は、水害に直結はしないが、**その修復に時間を要する場合、地震後の浸水の危険性が上昇するため、堤防の地震被害は少ない方がよい。**

Page 13

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



地震による堤防被害 (2)

- 地震による堤防被害のほとんどは、土の**液状化**に起因するものである。
- 浸透に対する**弱部と同様の箇所**や、堤防構築に伴って形成される**堤防下部の液状化しやすい箇所**での土の液状化は、堤防の大被害につながるが多い。
 - その予測は、浸透による堤防破壊予測と同様、**詳細な地盤調査結果なしには困難。**

Page 14

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



地震による堤防被害 (3)

江合川右岸26.8k付近（平成23年）



国土交通省 北上川下流河川事務所（19報）

北上川等堤防復旧技術検討会 報告書（平成23年12月、p. 65）

- 堤防下の旧河道埋立土や堤防下部が液状化。

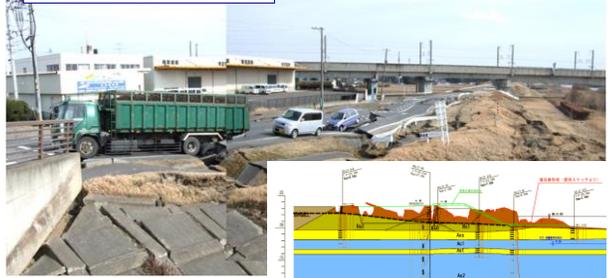
Page 15

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



地震による堤防被害 (4)

江合川左岸27.6k付近（平成23年）



北上川等堤防復旧技術検討会 報告書（平成23年12月、p. 67）

- 堤防下の砂層や堤防下部が液状化。

Page 16

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



地盤調査の重要性と難しさ (1)

- 堤防の中身も、その基礎地盤も、土の構成は複雑。
- 浸透による破壊や地震による堤防の変形・沈下は、堤防下にある薄い（1~2m）土層の有無など、**局所的な差異**で決まることがよくある。
- このような土層は調査で明確にわかるのか？
 - 通常は、ボーリング（穴を掘って土を調べる）調査を、縦断（川の流れ）方向に200m~2km間隔で、横断（堤防を横切る）方向に3か所程度行うのみ。
 - 昔の地図や航空写真と現状の対比も有力な情報（埋め立てた箇所などがわかる）。
- 被災原因となるような土層の発見は困難。**

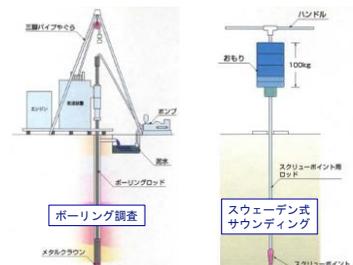
Page 17

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



地盤調査の重要性と難しさ (2)

- ボーリング調査は確実だが密に実施することは困難。
- 他の方法も併用して、調査精度を向上させる試みがなされている。
 - サウンディング（棒の貫入抵抗）
 - 物理探査（表面波探査、比抵抗探査、地中レーダー）



http://www.kanto-geo.or.jp/variouse/technology/room/TR1_05-3.html

Page 18

横浜国立大学先端科学高等研究院シンポジウム・シリーズ第7回



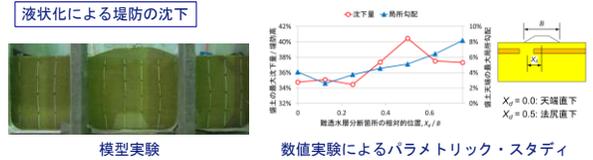
地盤調査の重要性と難しさ (3)

- サウンディング
 - 土の抵抗はわかるが、土を見ることはできない。
 - 浅い領域にのみ適用可。
- 物理探査
 - 比較的広範囲を短時間に実施可能だが、欲しい情報の精度・範囲を必ずしもカバーしているとは言えない：
 - 表面波探査や比抵抗探査の精度は1m以上。
 - 地中レーダーは高精度だが、浅い領域にのみ適用可。
- いずれの方法も万能ではないが、複数の方法で多面的に見ることで、情報の精度は向上するはず。

堤防の被害リスク低減に向けて (1)

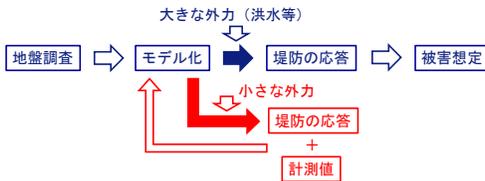
- 大きな被害発生の有無は、ちょっとした土層構成の違いに左右される。
- 堤防も、その基礎地盤も、中身の調査は容易ではない。

1. どの程度の「ちょっとした土層構成の違い」が堤防被害程度に影響するのかを知っておく。



堤防の被害リスク低減に向けて (2)

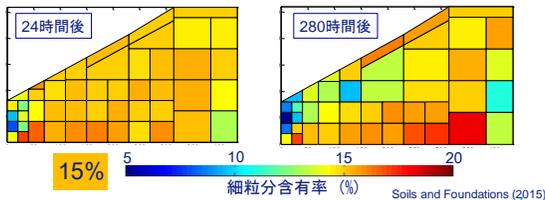
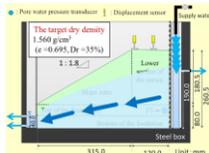
- 大きな被害発生の有無は、ちょっとした土層構成の違いに左右される。
 - 堤防も、その基礎地盤も、中身の調査は容易ではない。
2. (普段の) 小さな負荷時の堤防の応答から中身を推定し、情報を随時、更新する。



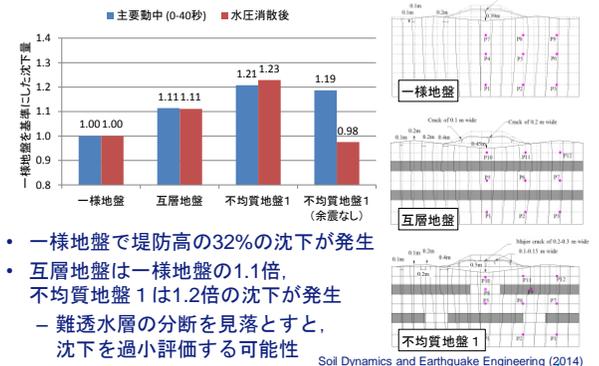
参 考

関連研究 (1) 浸透による堤防内部侵食の進展

- 浸透流による盛土内の土の移動 (侵食の過程) を詳細に観察。
- 浸潤面付近での侵食進展と共に、盛土下部では細粒分が増加。
 - 浸潤面付近での侵食を助長。



関連研究 (2) 不均質地盤の液状化と堤防沈下



- 一様地盤で堤防高の32%の沈下が発生
- 互層地盤は一様地盤の1.1倍
- 不均質地盤1は1.2倍の沈下が発生
 - 難透水層の分断を見落とすと、沈下を過小評価する可能性