

河川堤防における一連堤防としての安全性照査手法に関する研究（その1）

一質的な許容外水位の縦断分布評価手法の検討一

株式会社建設技術研究所 正会員 ○巽 龍太郎 蛭原 雅之 非会員 若杉 耕平
国土交通省関東地方整備局下館河川事務所 非会員 青木 賢治 依田 憲彦 豊原 裕子

1. はじめに

河川堤防の詳細点検や設計では、数百 m～数 km の一連区間に対して、その代表断面で有限要素法断面二次元浸透流解析や円弧すべり計算等の精緻なモデル解析による質的な安全性照査¹⁾が行われる（本論では耐浸透機能を対象とする）。一方、河川改修の優先区間の議論等では、細かい縦断ピッチ（例えば 0.2km 毎の横断面）で流下能力等を量的に評価するものの、質的な安全性の縦断分布はそこまで細かくは考慮していない。また、既存の代表断面モデルを活用しても、代表断面自体の位置付けが一定ではなく、縦断分布や弱点部の抽出に適さない場合がある。

このような背景から、「縦断分析の観点で質的安全性を評価する横断簡略化モデル」、「安全率を満たす限界河川水位（以下、質的な許容外水位と呼ぶ）」等について、小貝川左岸の一部区間を対象に事例検討を行ったものである。

2. 縦断分析のための横断簡略化モデル

(1) 堤防横断面の簡略化モデル

詳細点検等では、代表断面で測量や地質調査を行い、断面・土質形状を精緻に再現した有限要素モデル解析が行われるが、細かい縦断ピッチで同等の解析を行うと多大な手間を要する。そこで、既存柱状図等から「土質想定縦断図（天端川表沿い・裏のり尻沿い）」を作成し、定期横断測量データに重ねて、図-1 のような簡略化モデルを作成した。

(2) 既存詳細モデルとの比較計算

簡略化モデルの実用性と物性条件の与え方を検討するため、既存の安全性照査結果が得られている代表断面を対象に比較計算を行った。既存 11 断面のうち、簡略化モデルでは明らかに安全性を過小評価してしまう 1 断面（14.13km、砂質堤体で裏のり表面が粘性土）を適用不可として除き、10 断面で計算した。

比較は、図-2 に示す「裏のりすべり安全率」「局所動水勾配」「 G/W （被覆土重／揚圧力）」について行い、破堤に直結する可能性が比較的低い「表のりすべり安全率」は対象外とした。

ここで、浸透流解析の透水係数を表-1 の 5 パターンで設定し、円弧すべり計算の物性条件は既存の代表断面における詳細点検時と同じ設定とした。結果の概要を以下に示す。

- ・「裏のりすべり安全率」と「局所動水勾配」はパターン a～e 相互の差異が小さいが、「 G/W 」はパターン d, e の場合に照査基準付近における安全性の過大評価が多数生じた。
- ・パターン a～c は既存詳細モデルとの整合性が良好で、「裏のりすべり安全率」「局所動水勾配」「 G/W 」のいずれも照査基準付近の安全性過大評価は 1 断面のみとなった。ここで判定「NG」が「OK」と変わったのは、「局所動水勾配」の 1 断面（11.75km）であった。
- ・裏のりすべり安全率で 1 断面、判定「OK」が、より厳しい側の「NG」となった。

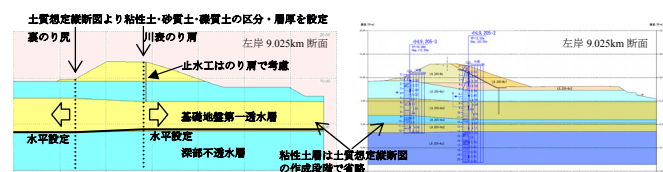


図-1 簡略化モデルの設定仕様および既存モデルとの比較例

表-1 浸透流解析の物性条件の設定パターン

パターン a	堤体・基礎地盤の全層が代表断面の既往設定値と同等
パターン b	深部不透水層のみ一般値を適用
パターン c	深部は一般値とし、基礎地盤第一透水層まで既往設定値
パターン d	基礎地盤全層を一般値とし、堤体のみ既往設定値
パターン e	堤体・基礎地盤の全層を一般値

※一般値は、砂質土層を $1E-5(m/s)$ 、粘性土層を $1E-7(m/s)$ と設定

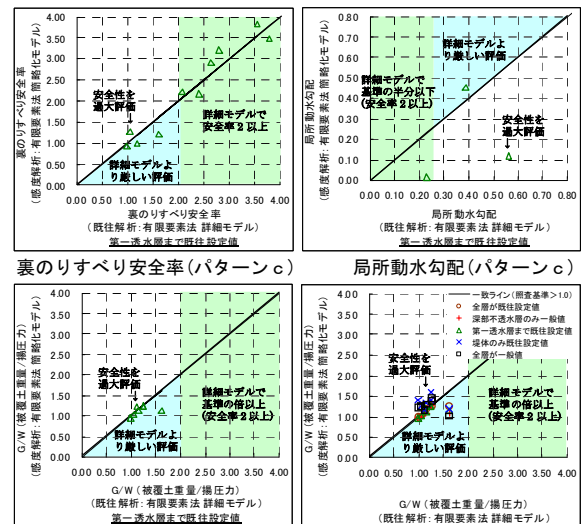


図-2 既存詳細モデルと簡略化モデルの比較

キーワード 河川堤防, 安全性照査, 質的な許容外水位, 縦断分布, 代表断面

連絡先 〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1 株式会社建設技術研究所 TEL03-3668-4507

ここで「局所動水勾配」で1断面の判定「NG」が「OK」となったが、砂質基礎地盤の表面に薄く被覆している「基礎地盤より1オーダー透水性の低い砂質土層」を土質想定縦断面図作成時に省略したのが原因であった。

このような適用不可断面や判定変化要因等は、事例検討の蓄積により、簡略化モデルの作成段階で抽出可能になると考え、そのような留意点に配慮した上で、基礎地盤第一透水層まで既往調査値等を考慮（パターンc）すれば、「縦断面分析の観点で質的安全性を評価する横断簡略化モデル」として適用可能と判断した。

3. 質的な許容外水位の縦断面分析で考慮する外力および指標

質的な許容外水位の分析を行うためには、降雨による影響と河川水位による影響を区別する必要がある。そこで、「照査項目により結果を左右する外力は異なる」、また、「当地域に多い図-1右のような止水対策工の老朽化による機能喪失を想定するか否かにもよる」と考え、表-2の感度分析を行った。各照査項目毎の結果を図-3に示す。

本対象区間では、裏のりすべり安全率は、「堤体が砂質土」では降雨に影響され、「堤体が粘性土で基礎地盤も粘性土」では降雨・河川水位いずれの影響も受けず、「堤体が粘性土で基礎地盤が砂質土」では河川水位の影響を受けるが安全率は2.0を超えて十分に安全な水準となった。また、局所動水勾配は、「堤体が砂質土」では降雨に影響され、「堤体が粘性土で基礎地盤が砂質土」では河川水位に影響された。一方G/Wは河川水位に影響される。

以上より、「河川堤防構造検討の手引き¹⁾」に準拠する洪水時河川水位波形を外力、「局所動水勾配」と「G/W」を指標とし、河川水位の影響を受けると想定される土質構成（堤体が粘性土で基礎地盤表層が砂質土層、または基礎地盤が表層から順に粘性土層・砂質土層）の区間を対象とした。

なお、感度分析より、代表断面の多くは実質的に「既往止水対策の機能を前提とした安全性確認」となっており、表-2で老朽化時に許容外水位が低下する断面（ex.12.93km）では、堤体内水位モニタリング等による止水機能の確認が望ましいことが示唆された。

表-2 外力条件等による感度分析の概要

簡略化モデルによる感度分析(代表10断面)		評価が河川水位波形に左右される断面および許容外水位
外力条件 a. 外力なし b. 河川水位 c. 降雨 d. 河川水位+降雨	現況	安全率: 2/10断面 動水勾配: 2/10断面 G/W: 7/10断面 ※HWLでNGは13.5kmのG/Wのみで、許容外水位12.84m(c.d.同じ)
	老朽化の条件 止水対策機能喪失	安全率: 2/7断面 動水勾配: 1/7断面 G/W: 6/7断面 ※HWLでNGは12.93kmのG/Wのみで許容外水位12.67m(c.d.同じ)

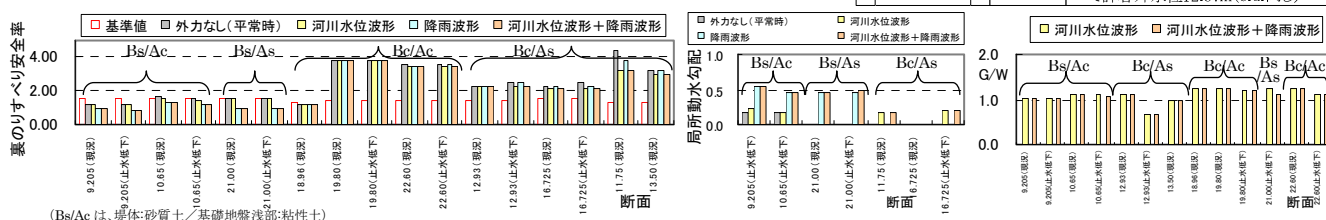


図-3 外力条件および老朽化(止水機能喪失)有無による感度分析の結果

4. 自動モデル化ツール作成および縦断面分析

簡略化モデルであっても細かい縦断ピッチ(ここでは0.2km毎)で有限要素法の断面メッシュモデルを多数構築する作業負荷はなお大きい。そこで、「定期横断測量データ」「川表のり肩と裏のり尻部の土層区分・層厚」「洪水時河川水位波形」の数値入力のみで、自動的に格子モデル(堤体付近格子幅20cm)を生成して浸透流解析を行う有限差分法コードを作成して用いた。縦断面分析の結果、以下の新たな知見が得られた。

- ・既存の代表断面照査で「浸透破壊に対する安全性」が基準値を満たさなかったのは13.5km断面のみだが、本検討から、9.4kmと17.2kmの付近も、水防活動等で地盤漏水やパイピング等にご注意することが望ましいと示唆される。

5. おわりに

本稿は、下館河川事務所から資料協力をいただき縦断面分析の試行検討を行ったものである。今後は、個々の断面詳細解析との整合性や土質縦断面図の精度向上等、事例検討を重ねて汎用性を高め、また、局所的な弱堤部等も考慮するため、LPデータやCIM情報等から、より細かい縦断ピッチや三次元モデルにも対応したい。なお本対象区間では、河川水位上昇に伴う浸透破壊に対する安全性について検討したが、今後は堤体内含水状態(降雨条件)やすべり破壊に関しても考慮し、現場条件・破堤可能性も含めた区間・要因毎の整理が必要と考えている。

参考文献 1) 財団法人国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），2012。

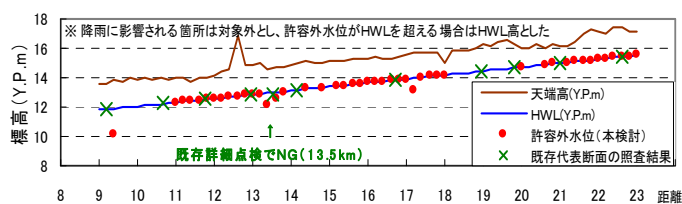


図-4 浸透破壊に対する質的な許容外水位の縦断面分布