

## 7.13 新潟・福島豪雨により発生した五十嵐川堤防の破堤について

長岡技術科学大学 正会員 中村 公一  
 長岡技術科学大学 正会員 豊田 浩史  
 明治コンサルタント 正会員 酒井 直樹

## 1. はじめに

停滞していた梅雨前線が活発化し、2004年7月13日に新潟県中越地方を中心とした地域に豪雨が発生した。このため、三条市・見附市・長岡市・中之島町において堤防が破堤し大きな被害をもたらした。本研究では、三条市で破堤した五十嵐川堤防について、土質の力学特性とその結果を用いて浸透流解析と安定解析を行ったので報告する。

五十嵐川は信濃川に流れ込む支流の代表的河川である。破堤は三条市諏訪（曲渚）で左岸が破堤した（図1<sup>1</sup>参照）。川が湾曲しており、水の流れるを考えると水衝部となる外岸に遠心力が作用し水位も上がるはずであるが、内岸が破堤している点が特徴的である。

## 2. 土質試験および解析パラメータ

図2に粒径加積曲線と土粒子密度、図3に三軸試験による水分特性曲線と一面せん断試験から求められた体積含水率-粘着力関係、図4に解析で用いた不飽和透水係数を示す。

五十嵐川試料は堤体土（上流側の破断面、天端からおよそ1m程度下）、基礎（破堤区間の下流部、砂礫層より上部）を得た。粒径加積曲線から、砂分を中心に細粒分も40%ほど含まれていること、基礎の土質は堤体と非常によく似ていることがわかる。

供試体作製時の間隙比選定のため、破堤点の上流側と下流側の未崩壊堤防裏のり面より不攪乱試料を採取したところ、 $e = 1.01 \sim 1.34$ であった。ばらつきがあり、かつ非常にゆるいことがわかる。この理由として、のり面から30~40cmほど掘り下げて試料を採取したが、まだ植物の根が存在しており、これにより間隙比が大きく計算されたと思われる。各試験における供試体作製方法は、含水比を調整した堤体土を $e = 1.00$ となるように静的に締固めることとした。

図3より、空気侵入値は5~10kPaの間であることがわかる。また、粘着力は含水比が小さいほど見かけの粘着力が小さくなっているが、含水比が30%から20%で粘着力が大きく変化しているが、20%から10%ではほとんど変化がないという特徴がある。これは、水が不飽和土に浸透して飽和度が高くなると、強度低下することを示している。

浸透解析で使用した不飽和透水係数は、サンプリングした試料と同等の土質定数をもった土と（解析では、粘性土と表記）、ずっと透水性のよい砂（ $2.1 \times 10^{-2}$  (cm/s)）を用いた。この理由は、浸透破壊を考えたとき透水性のよい材料の方が短時間で破壊に至りやすいことである。また、採取した五十嵐川の堤体試料（ $e = 0.86$ ）を用いて得られた飽和透水係数は、 $3.68 \times 10^{-4}$  (cm/s)であった。

## 3. 浸透解析

解析には市販の解析ソフトを用いた。図5に解析メッシュを示す。左端境界（堤外地）では実測データに基づいて、川の水位を上昇させた。右端境界（堤内地）では、正確には内水位の変化を考慮しなければならないが、本解析では水頭一定とした。土質は解析断面内で均一とし、パラメータは図4に示すように、砂を用いた。また、天端の舗装道路を考慮し、その部分には不透水層を設けた。



図1 破堤箇所

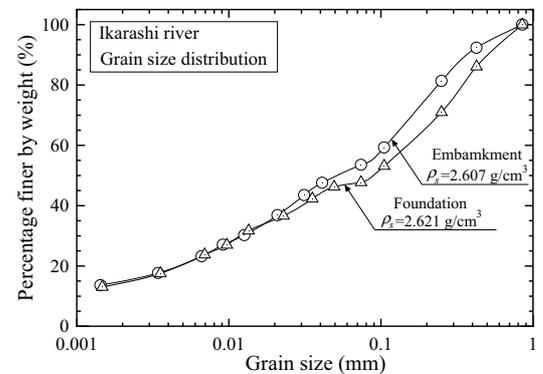


図2 粒径加積曲線

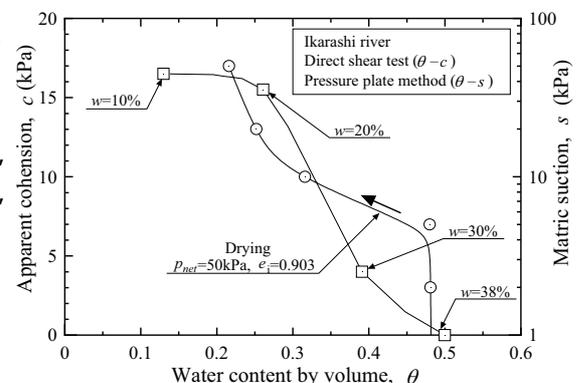


図3 体積含水率-サクシオン, 粘着力関係

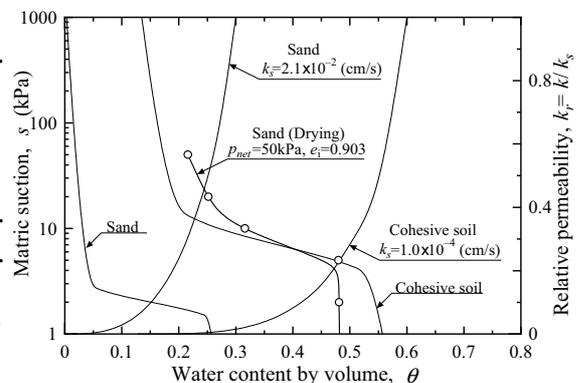


図4 解析で用いた不飽和透水係数と水分特性曲線

キーワード: サクシオン, 粘着力, 安定解析

連絡先: 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 環境・建設系, E-Mail: toyota@vos.nagaokaut.ac.jp, Tel: 0258-47-9619

図6に、7月13日の五十嵐川破堤点付近の河川水位変化と、五十嵐川上流に位置する下田村の雨量を示す。横軸は7月13日の24時間表記である。また、下田村の5時、6時のデータは欠測になっている。図に示してあるように、この二度目のピークの

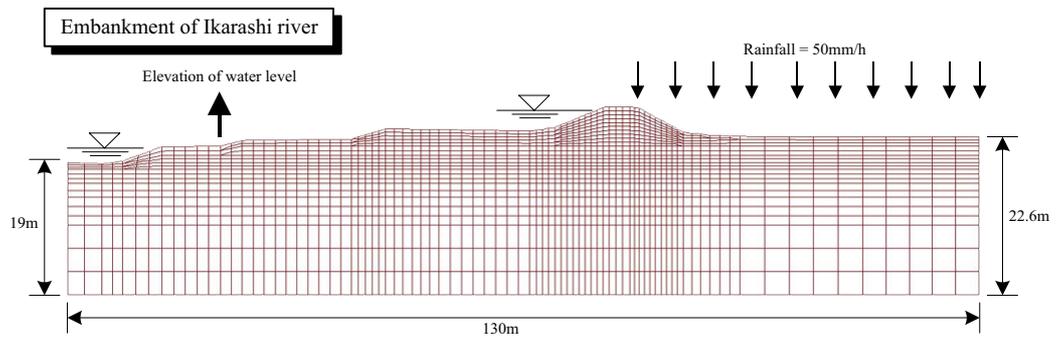


図5 五十嵐川解析メッシュ

時に破堤したといわれている。解析は、水位変化はこの実測データより破堤時刻以降は最大水位を維持させ、降雨強度は50mm/hを一定値として行った。また、基礎地盤に関しては、複雑な地層構造が考えられるが、ここでは堤体土と同じ土質とした。

図6より、上流の雨量変化より4時間程度遅れて、河川の水位が変化していることがわかる。解析は、13時間後まで河川水位を変化させ、以降はその水位を保持して100時間後まで行った。ここで示す結果は、砂の土質定数を用いた結果である。破堤した時間と思われる13時間後の解析結果を示す(図7)。雨量自体は、地表面からごく浅いところのみ影響しており、全体的にはそれほど大きく影響していないことがわかる。河川水位上昇において、粘性土では地表面しか水が浸透しないことがわかった。砂であっても、破堤時刻には全く裏のり尻まで湿潤面は到達していない。また、13時間後以降の解析結果より、30時間後によく湿潤面が裏のり尻に達し、50時間後に裏のり尻に動水勾配が発生して危険な状態になった。

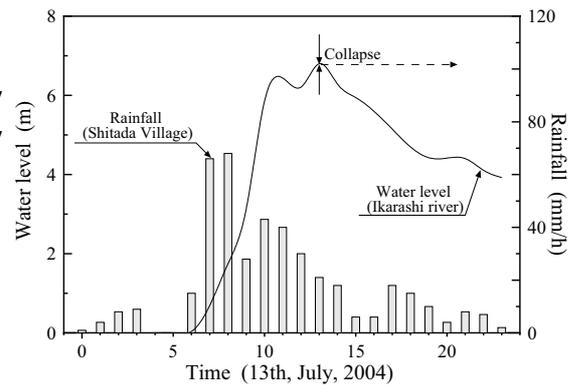


図6 五十嵐川水位上昇と三条市と下田村の雨量

4. 安定解析

浸透流解析と土質試験結果を用いて安定解析を行った。安定解析には、スライス法による円弧すべりを用い、解法はスペンサー法を用いた。解析断面は次のようにして求めた。また、試験結果より内部摩擦角は含水状態によらず、 $\phi = 36^\circ$ 一定である。

- 1) 浸透流解析より水頭(サクシオン)のコンターを得る
- 2) サクシオンのコンターを図3より体積含水率のコンターにする
- 3) 体積含水率のコンターを図3より粘着力のコンターにする(図8)

13時間後の浸透流解析結果を用いて行った安定解析結果を図8に示す。破堤時刻である13時間後の安全率は大きく1を上回っており、安定であると言える。

5. まとめ

五十嵐川の破堤のメカニズムを検討した。現地調査の結果、表のり面の浸食により破堤が起こった可能性は低いと考えられる。基礎地盤のパイピングは発生したようであるが、破堤を引き起こすほど重要なパイピングがあったかについては、そのような目撃証言もなく、堤体や基礎地盤も流されてしまっているため不明確である。一様均質地盤を仮定した解析の結果、浸透による破壊は起こさないことが明らかになった。以上のことを総合的に考えれば、越流が破堤の引き金となった可能性が最も高い。

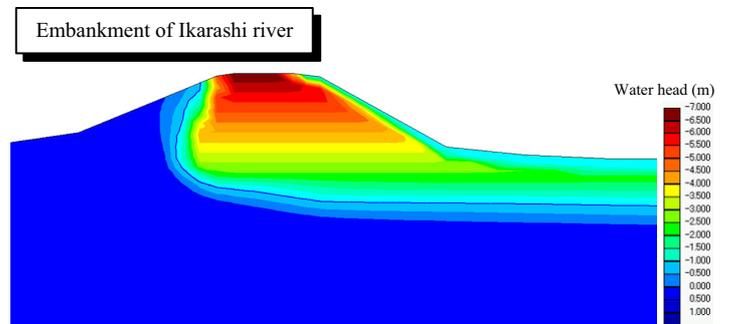


図7 五十嵐川堤防浸透解析結果(13時間後)

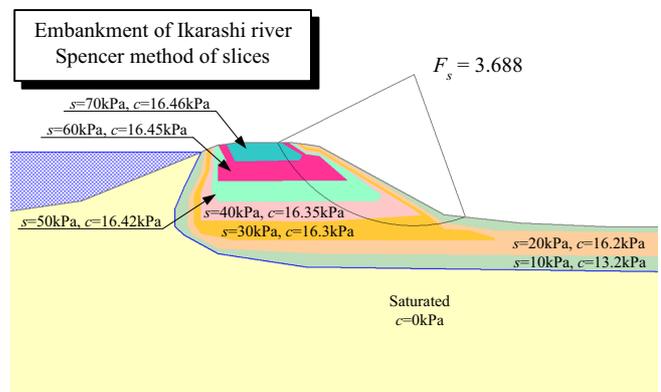


図8 安定解析結果(13時間後)

参考文献

- 1) 北陸地方土木地質図解説書, 北陸地方土木地質図編集委員会, 1990.
- 2) 平成16年7月新潟・福島豪雨(第2報), 国土交通省北陸地方整備局・新潟県, pp. 4-5, 2004.