

重信川で2年連続発生した堤防変状の 要因調査および復旧工事

松山河川国道事務所 河川管理課 河川管理係長 森田 達之

重信川においては、平成27・28年度で堤防天端の変状が連続して発生した。その発生要因を調査したところ、堤体内で空洞やゆるみの弱体化が判明したが、要因の早期特定により早期復旧・開放を行うことができた。また、当河川では堤体内の旧護岸の存在等により、他箇所でも同様の変状が発生する可能性があると考え、危険箇所の早期発見に努める予定としている。

キーワード 陥没・沈下、空洞・ゆるみ、旧護岸、早期復旧

1. はじめに

重信川流域は四国最大の都市である松山市をはじめとした3市2町があり、約64万人の人口(愛媛県全体の約5割)が集中している。下流平野部の重信川は、1600年前後の河道改修によって現在に近いものとなっており、その後、昭和20年に国が河川改修事業に着手し築堤履歴を重ね、堤防整備が完了している。当河川の堤防は地域の安全安心・経済を支える重要な施設であるが、平成27・28年度において変状(陥没・沈下)が連続して発生した。いずれの堤防変状箇所も出水等による二次被害防止は不可欠であり、天端を自転車道として占用されている箇所もあったため、早期復旧が必要であった。

本稿では、これらの堤防変状に関する要因調査や復旧工事の対応状況について報告する。また、その中で判明した重信川の堤防の課題を踏まえ、今後の変状危険箇所の早期発見への取り組み予定を紹介する。

2. 平成27年9月1日発生：船川堤防の陥没

(1) 陥没発生時の応急対応

船川堤防の陥没は、左岸13k/600+25m付近(愛媛県東温市)の排水樋門付近の堤防天端で発生した(図-1)。

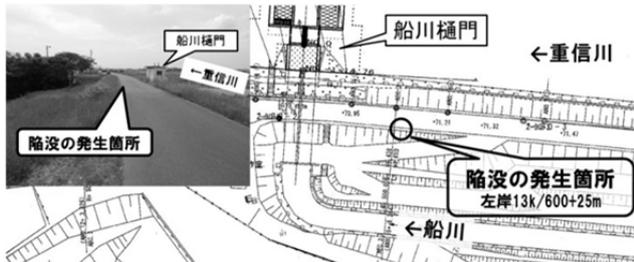


図-1 船川堤防の陥没発生箇所

堤防天端の利用者から陥没がある旨の通報があり、現

地を確認したところ、その規模は直径50cm程度、深さ50cm程度であった(写真-1)。直ちに砕石充填等の応急復旧を行ったが、翌日9月2日の降雨(約20mm/日)により、舗装表面まで充填した砕石が再び20cm程度陥没した。

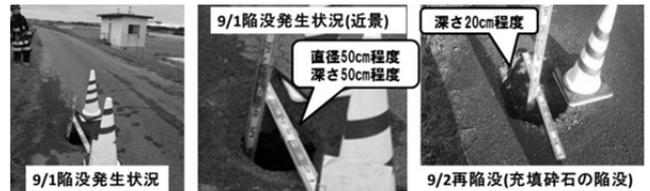


写真-1 陥没の発生状況

陥没発生時は出水期中(6/1~10/20)であったため、堤防断面を大きく侵さない範囲での簡易試掘調査(天端-1.0m)や法面調査を実施したが、その範囲では陥没の要因となる空洞や法面変状は確認できなかった。そのため、陥没箇所の降雨浸透防止対策や沈下量監視の措置を行った上で、非出水期に堤体内の要因調査を実施することとした。

(2) 陥没発生時の要因調査

a) 堤体試掘調査の計画立案

非出水期において迅速に陥没発生要因の特定や復旧工事が着手できるよう、調査計画を立案した。応急対応による調査や既往資料調査を踏まえ、発生要因特定のためには堤体内の空洞・ゆるみ、土質の性状等を確認する必要があると考えた。そのため、大学の学識者とも協議(9月)を行い、陥没箇所にトレース材(消石灰と水の混合)を投入し、堤体内の浸透経路を確認するための堤体試掘調査を実施することとした。

b) 調査結果

堤体試掘調査は11月より開始した。はじめに陥没箇所にトレース材を投入し、その浸透経路を0.5m毎に掘り下げて追跡した。その結果、堤防天端-1.6mで旧堤防の練り石積み護岸(旧護岸)の天端、その背面には10cm程度の空洞が生じておりトレース材の浸透も確認された(写真-

2・3)。その他、陥没箇所直下の旧護岸天端付近には直径20cm程度の腐食した木片が80cm程度の厚さで確認され、トレース材の浸透も確認された。旧護岸は縦断方向に延びていた他、陥没箇所直下は横断方向にも確認できた。

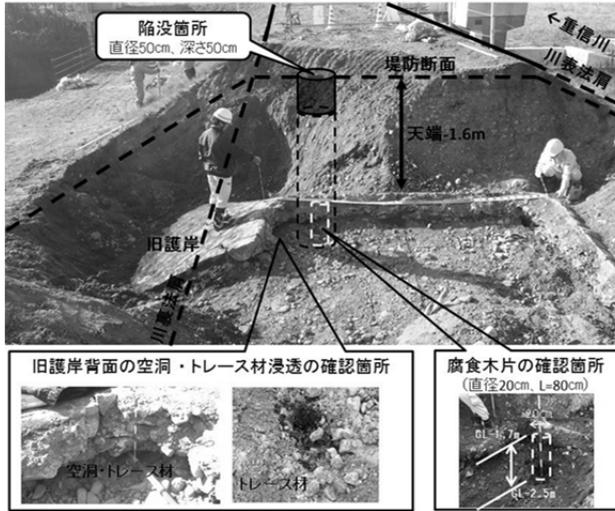


写真-2 堤体試掘状況



写真-3 旧護岸背面の空洞

また、旧護岸以深(天端-2m程度より以深)の堤体盛土の相対強度を把握するため簡易動的コーン貫入試験を実施したが、堤体盛土は基礎地盤と比較してコーン貫入抵抗が低く、空洞や腐食木片の存在により強度が低い状態になっていることが確認できた。

c) 陥没の発生要因・メカニズム

調査結果を基に、船川堤防陥没の発生要因(素因・誘因)を以下のとおり推定した。

【素因】 陥没発生に関わる堤体内の性質

- ・旧護岸背面の水みちによる空洞の発生
- ・腐食木片による堤体のゆるみ
- ・透水性の高い堤体土質(玉石混じり砂礫主体)

【誘因】 陥没発生の引き金となる自然的・人為的要素

- ・降雨の堤体への浸透
- ・車両通行による振動

これらの要因が考えられる中、陥没発生のメカニズムとしては、透水性の高い堤体土が降雨浸透・車両通行により空洞・ゆるみ域への土砂移動が生じ、比較的強度が高い表層(舗装・路盤付近)が経年変化により落下したものと推定した(図-2)。

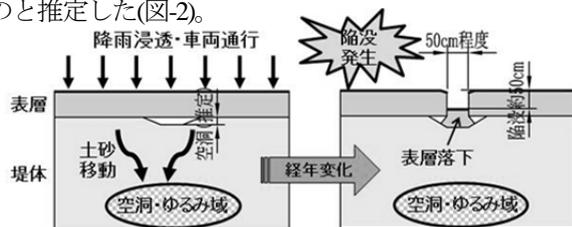


図-2 陥没発生メカニズム(イメージ)

(3) 復旧工事計画の検討

a) 旧護岸の撤去方針

旧護岸は、既往図面によると縦断方向に35m程度及んでいる可能性があった(図-3)。学識者とも堤防掘削箇所にて現地協議(1月)を行い、旧護岸の取扱いとしては、埋設深度が深いことやその延長も長いことから、堤防の安全性に留意した段階的な撤去を行うよう計画した。

【縦断方向の旧護岸】 陥没箇所より上流では旧護岸背面の空洞が発生していないことを確認した。また、浸透・法すべりの安定性照査も実施し、安定性を満たしていることを確認した。そのため、直ちに陥没に結びつくものではないと考え、巡視・点検を重点化していくこととした。

【横断方向の旧護岸】 陥没箇所直下の旧護岸背面は空洞となっており、横断方向の旧護岸の存在により横断方向の有害な水みちとなると判断した。そのため、当復旧工事において撤去することとした。



図-3 旧護岸の埋設範囲(指定)

b) 盛土復旧の方針

堤体の土質は直径10~15cm以上の玉石の含有(盛土締め固めに支障)や細粒分含有率の低さ(盛土の透水性が高い)により、堤体材料として望ましくない。また、復旧箇所の上流下流の境界面で急激な土質変化をもたらすと境界面の水みち・弱部の発生となる恐れがあると考えた。

以上より、堤体の盛土復旧にあたっては、「堤体土質の縦断的な連続性を可能な限り確保すること」を観点に、発生土と購入土を配合することとした。配合比率は「堤体材料として望ましい土質に改良する」ため、発生土：購入土=1:0.3とした。施工にあたっては、発生土の玉石を除去した上で、ストックパイル工法を採用し、配合の効率性を図った(図-4)。

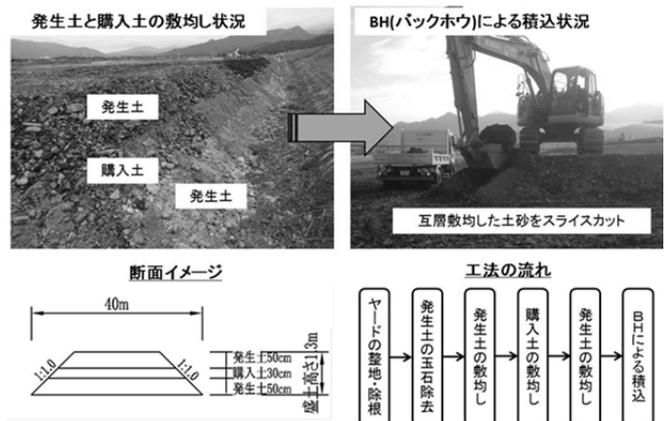


図-4 盛土復旧で採用したストックパイル工法

(4) 陥没箇所の早期復旧

平成27年9月1日に発生した船川堤防の陥没については、迅速な応急対応や大学の学識者との協議により、非出水期早々に要因調査を実施することができた。その結果、要因特定や復旧工事の早期着手にも繋がり、平成27年度中に復旧工事を完了させ、堤防天端開放を行うことができた(図-5)。

		平成27年				平成28年		
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
表状箇所の現地状況		×9/1陥没発生 ×9/2陥没(再)発生			★実状策定	★復旧工事着手		★復旧工事完了
関係機関との対応		○9/2東温市・松山市へ通行止め連絡						
応急対応	安全対策	○9/1砕石充填など	堤防天端の通行止め(9/2~3月末)					
	現地調査	○9/2簡易試験調査・体面調査		旧護岸背面の空洞確認		旧護岸の撤去方針決定		
大学の学識者との対応		◆9/16協議(要因調査の方針)		◆11/11現地協議(試験箇所)		◆12/2現地協議(復旧箇所)		
要因調査	既往資料調査	※水地形分欄、地理調査データ、工事履歴など						
	堤体試験調査			●11/11トレス材投入 ●11/11~12堤体試験				
復旧工事								掘削、盛土、覆岸、表面整砂、舗装、張定

図-5 船川堤防の陥没対応の流れ(概要)

3. 平成29年1月18日発生：田窪堤防の沈下

(1) 沈下発生時の応急対応

田窪堤防の沈下は、右岸15k/600+126m付近(愛媛県東温市)の堤防天端で発生した(図-6)。河川維持工事担当者が沈下を発見し、その規模は60cm×60cmの範囲で段差10cm程度の窪みが舗装表面に生じていた。なお、沈下発生までの約2週間の間で、別途工事(盛土工事)のダンプトラック延べ680台程度が当該堤防の天端を通行していた。また、堤防天端は愛媛県の自転車道として占用されているため、愛媛県・東温市と調整の上、即日通行止めの措置を行った。

また、堤体表層の内部を確認するため、アスファルト舗装を撤去し、鉄棒を貫入させた。その結果、鉄棒が150cm程度容易に貫入する程のゆるみが発生していた(写真-4)。



図-6 田窪堤防の沈下発生箇所

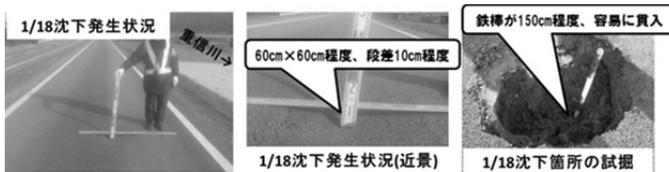


写真-4 沈下の発生状況

(2) 沈下発生の要因調査

a) 堤体試験調査の計画立案

堤防天端は比較的用户の多い自転車道であり、早期の要因特定や復旧が不可欠となり、早急に調査計画を立案した。応急対応による調査や既往資料調査を踏まえ、発生要因特定のためには堤体内の空洞・ゆるみ、土質の性状・強度を確認する必要があると考え、大学の学識者とも協議(2月初旬)を行い、堤体試験調査を実施することとした。

b) 調査結果

試験掘を堤防天端-1.5mまで実施した結果、その付近で旧堤表層部と思われる土層変化や、腐食した木片を確認することができた(写真-5)。さらに、天端-3.0m(基礎地盤高相当)では、その付近で玉石の塊を確認し、旧護岸の根固めが残置されていると推定した(写真-6)。また、堤体盛土の相対強度を把握するため土層強度検査棒貫入試験を実施したが、腐食木片・旧護岸の根固め箇所で強度低下が確認された。

その他、室内土質試験も実施したが、堤体部の粒度特性は全体的に礫分主体であった。その中で、腐食木片や旧護岸の根固め部周辺は、砂分・細粒分が多かった。



写真-5 腐食木片による堤体のゆるみ



写真-6 旧根固めと思われる玉石の塊

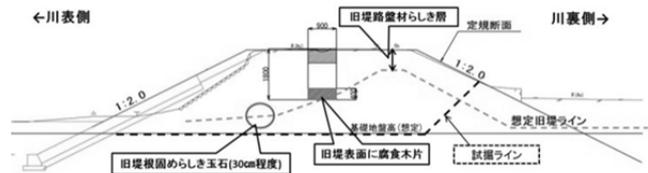


図-7 堤体試験調査結果

d) 沈下の発生要因・メカニズム

調査結果を基に、田窪堤防沈下の発生要因(素因・誘因)を以下のとおり推定した。

【素因】沈下発生に関わる堤体内の性状

- ・堤体は内部侵食(土粒子が水の浸透により流出する現象)を受けやすい材料で構成
- ・旧堤表層の腐食木片による堤体のゆるみ
- ・旧根固めと思われる玉石塊の残置

【誘因】沈下発生の引き金となる自然的・人為的要素

- ・降雨の堤体への浸透
- ・重機通行による振動

これらの要因が考えられる中、沈下発生メカニズムとしては、内部侵食を受けやすい堤体土が降雨浸透によりゆるみ・空隙へ土砂移動が生じたもの推定した。その結果、ゆるみ域が表層まで到達し、堤防天端の変状(沈下)に現れたものと推定した(図-8)。

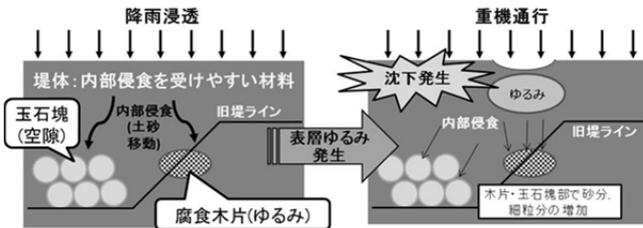


図-8 沈下発生メカニズム(イメージ)

(3) 復旧工事計画の検討(盛土復旧の方針)

堤体の土質は玉石混じり砂礫が主体である。試掘箇所でも大学の学識者と現地調査(2月中旬)を行い、堤体の土質は内部侵食を受けやすい特性にあることが判明したため、既往研究による「内部侵食挙動の判定」を活用した(図-9)。また、復旧箇所の上下流での「急激な土質変化を避ける」ことに考慮し、「堤体材料として望ましい状態(細粒分含有率の改善)」にするよう検討した。

上記を総合的に勘案した結果、発生土と購入土を配合することとし、内部侵食への安定性が最も高い配合比率(発生土:購入土=1:0.3)を選定した。

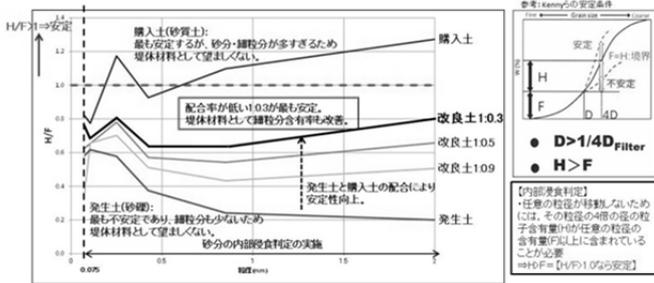


図-9 内部侵食挙動の判定

(3) 沈下箇所の早期復旧・自転車道の開放

平成29年1月18日に発生した田窪堤防の沈下については、船川堤防と同様、迅速な応急対応や大学の学識者との協議や現地調査により、早々に要因調査や特定を行うことができた(写真-7)。その結果、平成29年度出水期までに復旧工事を完了させ、自転車道の早期開放も行うことができた(図-10)。



写真-7 関係者(学識者等)との現地調査状況

	平成29年				
	1月	2月	3月	4月	5月
変状箇所の現地状況	×1/18沈下発生	★変状原因特定	★復旧工事着手	★復旧工事完成	
関係機関との対応	◇1/18 関係県・東運市へ通行止め依頼				
応急対応	安全対策	堤防天端の通行止め(1/18~5月末)			
	現地調査	○1/18~2/7 簡易試験調査(堤体・市道)			内部侵食の挙動判定等
大学の学識者との対応		◆2/15 協議(要因調査等の方針)	◆2/15 現地試験(試験箇所)	◆3月中旬 協議(復旧方針)	
既往資料調査	治水地形分類図、地質調査データ、工事履歴など		発生要因(内部侵食等)の確定		
要因調査			●2/15~3月中旬		
復旧工事					掘削、盛土、護岸、法面整形、舗装、築造

図-10 田窪堤防の沈下対応の流れ(概要)

4. 重信川の堤防の課題

(1) 堤体内の旧護岸の存在

今回発生した2件の堤防変状は、堤体内の空洞化やゆるみ等の弱体化が要因と推定した。船川堤防(陥没箇所)においては、旧護岸の存在により、水みち・空洞が発生したものと推定している。当河川は築堤履歴を重ねて堤防が完成しているが、過去の平面図を調査したところ、旧護岸が約15km残置されている可能性があり、管理区間(約34km)の約半分を占めている(図-11)。そのため、旧護岸の存在により弱体化が内在している可能性がある。

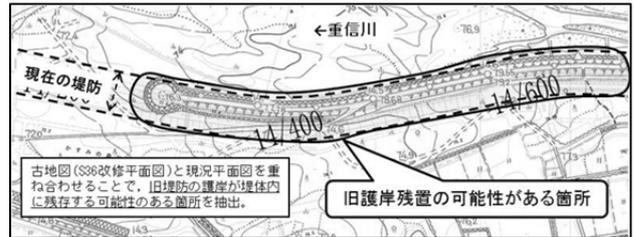


図-11 旧護岸残置の可能性がある箇所(例)

(2) 堤防変状の早期発見への取り組み

今後同様の堤防変状が発生する可能性があるため、重信川では他箇所の変状の早期発見に取り組む予定である。平成29年度においては、堤防表面の3次元計測により表面形状を把握し、堤防変状の有無を確認する。その結果を踏まえ、危険箇所の絞り込みを行い、堤体内調査(試験掘、試験、探査等)にも展開できるよう検討を進めていく予定である。

5. おわりに

平成27・28年度の2年連続で同一河川において堤防変状が発生したが、その度に大学の学識者をはじめ各関係者の方々に助言・協力を頂き、発生要因の特定を行うことができた。その結果、変状箇所の早期復旧や、堤防天端の早期開放を実現することができた。

また、旧護岸存在の可能性により、今後同様の堤防変状の発生する恐れがあることが判明した。そのため、重信川では管理区間全川に対して、変状危険箇所の早期発見に努めていく予定としており、その取り組みが今後の堤防変状に関する知見の蓄積になればと考えている。