研究報告 地震被災堤防の機能評価に関する一考察

修



柳畑 亨 河川政策グループ 上席主任研究員



研究の背景と目的

平成19年3月に国土交通省河川局が策定した「河川 構造物の耐震性照査指針(案)・同解説」では、河川堤防 については、地震(レベル2地震動)による沈下後の堤 防高が緊急復旧期間中に発生する外水位を下回らないこと について照査することを原則としており、下回ることが想 定される場合には堤防機能が発揮できないとして事前の耐 震対策を優先的に実施することとしている。

しかしながら、過去の多くの地震被災状況に見られるよ うに、河川堤防は地震時に沈下変形の他、側方変形、亀裂 発生(クラック)等の変状を呈しており、このような堤 防断面変状が発生すると、変形箇所およびクラック周辺で は堤体土の締固め度が低下し、緩んだ状態になっているこ とが予想される。緩みの生じた堤体は、透水係数が非常に 大きくなり、かつ堤体土の強度も低下することから、耐浸 透性能が著しく損なわれた状態にあり、耐洪水機能の面か ら堤防断面が減少していることと同様な状態にあるといえ る。

そこで筆者らは、過去の地震被災状況から河川堤防にお ける天端沈下暈とクラック深さの関係を明らかにするとと もに、地震によって変状を呈した堤防の耐浸透性能がどの 程度低下するかについて検討するための第1ステップとし て、被災形状をモデル化し、飽和-不飽和浸透流解析を行 った。



過去の地震被災事例より、沈下が発生した堤防にどの程 度のクラックが発生しているかについて確認することを目



佐々木 康 JICE 技術顧問 広島大学名誉教授

的として、以下に示した6つの地震を対象に、河川堤防天 端における堤防高さとクラック深さの関係及び堤防天端沈 下量とクラック深さの関係についてそれぞれ整理した。整 理に用いた事例は194事例である。なお、クラック深さ については、図一1に示すように、被災報告書等 "にス ケッチされている被災前後の堤防断面をもとに被災(沈下) 後の堤防天端からクラック最深部までの深さとした。また、 複数のクラックが発生している箇所については、最も深い クラックの深さを採用している。

- ① 明治24年(1891年) 濃尾地震
- ② 昭和 39 年(1964 年) 新潟地震
- ③ 昭和53年(1978年) 宮城県沖地震
- ④ 昭和58年(1983年) 日本海中部地震
- ⑤ 平成5年 (1993年) 釧路沖地震
- ⑥ 平成5年 (1993年) 北海道南西沖地震



堤防沈下量とクラック深さの関係 図— 1

既往地震被災事例における天端部の(1)クラック深さ と堤防高さの関係及び(2)クラック深さと堤防沈下量の 関係を図-2に示す。図-2(1)から、地震被災時に発 生するクラックの深さは、被災前の堤防高さの高低に係わ らず堤防高さ程度のものがあることがわかる。また、図-2(2)から、クラック深さはばらつきの範囲が大きいも のの、被災時の堤防沈下量とほぼ同程度のものがあること がわかる。なお、上記の関係は、被災箇所での地震外力(最 大加速度、地震動継続時間)、液状化の程度、堤体土質構 成等により差異があるものと考えられるが、十分な基礎資 料が得られていないため本稿では検討していない。



堤防高さ H_d (m)

図-2(1) クラック深さと堤防高さの関係(天端部)



堤防沈下量 S_d (m)

図一2(2) クラック深さと堤防沈下量の関係(天端部)

耐浸透性能の検討

検討条件の設定

地震によって発生した堤体の緩み、クラック等により耐 浸透性能がどの程度低下するかについて二次元の堤防モデ ル断面を用いて飽和-不飽和浸透流解析により検討した。 なお、飽和-不飽和浸透流解析は「河川堤防の構造検討の 手引き H14.7 財団法人 国土技術研究センター」に示さ れた手法に準拠している。

1-1 モデル形状

堤防のモデル化は堤体及び基礎地盤について行った。地 震によるクラックは、堤防天端部やのり面に発生している ことが観察されているが、本稿ではケーススタディとして、 図ー3に示す北海道南西沖地震での後志利別川堤防被災 に見られるような、堤防全体が大規模に沈下・変形し、か つ堤体のり肩より堤体底面までクラックが生じているよう な被災パターンを念頭に、クラックを水径(みずみち)と して堤体へ降雨や河川水が浸透しやすくするために幅1m と設定し、表裏のり面下の堤体が緩んでいるために透水係 数が大きくなるものとしてモデル化した。堤体形状は簡素 化し、一枚のりの台形として設定した。なお、基礎地盤は 表層に非液状化層が分布している場合と表層から液状化層 が分布している場合の2ケースを設定した。解析に用い たモデルを図ー4に示す。





図ー4 耐浸透性能評価モデル (基礎地盤表層に非液状化層が分布する場合の例)

1-2 検討ケース

表-1に検討ケースの一覧を示す。ケース1とケース2の違いは、基礎地盤表面における非液状化層(層厚 1m)の有無である。

検討ケース	被災状況		基礎地盤 表層の	堤体の 透水係数	緩みゾーンの 透水係数
	状況	モデル化	非液状化層	(cm/sec)	(cm/sec)
ケース1-0	被災前	ー様な堤体	あり	1 × 10 ⁻⁴	-
ケース1-1	①堤体全体の大規模な沈下・ 変形を伴う被災	緩みゾーン +クラック 2箇所			1 × 10 ⁻⁴
ケース1-2					1 × 10 ⁻³
ケース1-3					1 × 10 ⁻²
ケース2-0	被災前	ー様な堤体	なし	1 × 10 ⁻⁴	-
ケース2-1		緩みゾーン +クラック 2箇所			1 × 10 ⁻⁴
ケース2-2	①堤体全体の大規模な沈下・ 変形を伴う被災				1 × 10 ⁻³
ケース2-3					1 × 10 ⁻²

表一1 検討ケース一覧

1-3 土質定数(飽和透水係数)

堤防の土質定数については、透水係数のみを取り扱う。 堤体は締まった砂質土を想定し、 $k = 1.0 \times 10^4$ cm/sec とした。

礫混じり粘性土の締固め度と透水係数の関係²⁾から、 締固め度が小さいほど透水係数は大きくなり、その増加率 は小さく見積もっても締固度が10%減少すれば透水係数 は10倍に増加している。このことから、堤体変状によっ て緩みが発生すると透水係数は大きくなるものと想定され る。「緩みゾーン」の透水係数についてのデータが得られ ていないため、本稿では透水係数を1オーダーずつ変化 させて感度分析を行った。さらに、「クラック」については、 水径であると考えてk=1.0×10° cm/secとした。

検討に使用した土質定数の一覧を表一2に示す。

表一2 設定土質定数一覧

地層名		地層 記号	土質定数			
			飽和 透水係数 ks (cm/sec)	※不飽和 浸透特性	設定根拠	
	堤体		1.0×10 ⁻⁴	砂質土	締まった砂質土を想定して設定	
盛土	緩みゾーン	В	1.0×10 ⁻⁴	砂質土	透水係数を変化させて検討	
			1.0×10^{-3}	砂質土		
			1.0×10 ⁻²	砂質土		
	クラック		1.0×10 ⁰	礫質土	非常に大きい値を設定	
沖積	砂質土層	As	3. 0 × 10 ⁻³	砂質土	一般的な値を設定	
層	粘性土層	Ac	1.0×10 ⁻⁶	粘性土	一般的な値を設定	

1-4 外力波形

浸透流解析に用いた外力は河川水位及び降雨である。河 川水位波形は、堤防高さの半分程度の洪水を想定し、高水 継続時間を100時間、ピーク水位継続時間を50時間の 台形波形を設定した。また、降雨は、事前降雨量として梅 雨時期の月平均降水量程度の200mm、洪水時降雨量と して300mm(10mm/時間)とした。

2 結果と考察

図-5に断面積比の定義図を示す。断面積比とは、堤 体面積に占める浸潤線以下の割合と定義する。図-6に 検討ケース毎の断面積比を示し、図-7に裏側のり尻部 の最大流速 V_{max}を、それぞれ示す。

本検討によって、以下に示す事柄が明らかとなった。

- 発生したクラック部より降雨が供給され、堤体内浸潤 線が上昇する。
- ② さらに緩みゾーンの透水係数が10倍大きくなると浸 潤線はさらに上昇し、裏のり尻部の流速も速くなる。
- ③ 上記の傾向は、液状化層上部に非液状化層が分布している方が顕著である。
- ④ 緩みゾーンの透水係数が100倍大きくなると堤体の 排水性が向上するために浸潤線は低下するが、裏のり 尻部の流速はさらに速くなる。







「緩みゾーン」の透水係数 k



図ー6 検討ケース毎の断面積比

図ー7 検討ケース毎の裏側のり尻部の最大流速 V_{max}

おわりに

地震により変形した河川堤防の耐浸透性能の評価を目的 として、堤体変状に伴う緩みやクラックを考慮して、飽和 -不飽和浸透流解析を実施した。その結果、沈下後の堤防 高さと河川水位との関係より定まる耐越水性能のみだけで なく、地震による被災変状も考慮に入れた耐浸透性能の評 価が必要であることがわかった。

なお、地震による堤体の緩みを観測した詳細なデータは なく、クラックや緩みの実状を把握し、これらを如何にモ デル化し、堤防機能への影響を評価するかについては、今 後とも調査研究が必要な事項と考える。

従前の災害復旧では、地震被災後の復旧は原形復旧に重 点が置かれていたが、堤体内部の状態を把握し、堤体の耐 浸透性能を損なうことのないように復旧することが重要で あると考えられる。なお、原形復旧により復旧されている 古い被災堤防の一部には、クラックあるいは緩み等が残さ れていることも考えられ、これらに対する調査方法の開発 や評価方法の確立も今後重要な事項となろう。

参考文献

1) 例えば、

佐伯敦崇:岐阜三重両県土木工事震害及び復旧工事報告、震災予防調査会報告 第3号、1895.

2) 久楽勝行、三木博史、関一雄:締固め度がレキ混り粘性土の工学 的性質に及ぼす影響(第2報)、土木技術資料24-3、1982.