

新潟県中越地震による 信濃川の河川堤防被害調査について

SURVEY AND RESEARCH ON DAMAGED SHINANO RIVER EMBANKMENTS CAUSED BY NIIGATAKEN CHUETSU EARTHQUAKE

宮川勇二¹・西 修¹・小川正淳¹、折敷秀雄²・鈴木善友³

Yuuji Miyakawa, Osamu Nishi, Shoujun Ogawa, Hideo Oshiki & Yositemo Suzuki

¹国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所（〒940-0098 新潟県長岡市信濃 1-5-30）

²正会員 工博 （財）国土技術研究センター（〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-12-1）

³（財）国土技術研究センター（同上）

This paper presents the results of investigations of the damages at Shinano River embankments caused by the Niigataken Chuetsu Earthquake on October 23, 2004. A series of the geotechnical investigations carried to find out the mechanism of damage of river embankment. The sand boils were observed near the toe of embankment along the river at the almost damaged site. The results showed that the sandy soils under the embankment would have been liquefied. Based on the geotechnical investigation results, the major damages of embankments of Shinano River were caused by liquefaction-induced deformation.

Keywords: earthquake damage, liquefaction, river embankment

1. はじめに

(1) 地震の概要

平成 16 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃、新潟県中越地方の深さ約 10km でマグニチュード（ M ）6.8 の地震が発生し、最大震度 7 を観測した。平成 15 年の宮城県北部地震においても 1 日に震度 6 以上を 3 回観測しているが、今回の地震は震度 6 強以上が 1 日に 4 回発生し、国内の地震観測史上初であった。（表-1 は発災日の震度 5 以上の地震）

図-1 に今回の震源、1964 年新潟地震の震源、信濃川の位置を示した。震源からの距離の差によって、1964 年は、信濃川大河津よりも下流部に、今回は大河津よりも上流部に被害が集中している。

(2) 地震による河川管理施設被害の特徴

河川管理施設の被害の多くは、堤防天端の亀裂程度であったが、なかには堤体直下の基礎地盤の液状化に起因する堤防の沈下被害もあった。本稿では、河川管理施設の被害として、これまでの地震では確

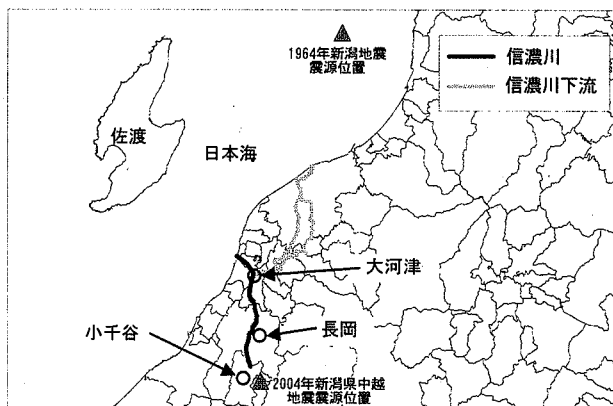


図-1 震源・河川位置

認されていない堰の管理所の建物が大きく傾斜したり、堰（妙見堰）の門柱に被害が生じた点を、今後の地震対策上、付記しておきたい。その他、樋門、護岸等にも被害が発生したが、これらの河川構造物の被害調査結果は別の機会にゆずることとし、本稿では、河川堤防の被害に限定して報告する。

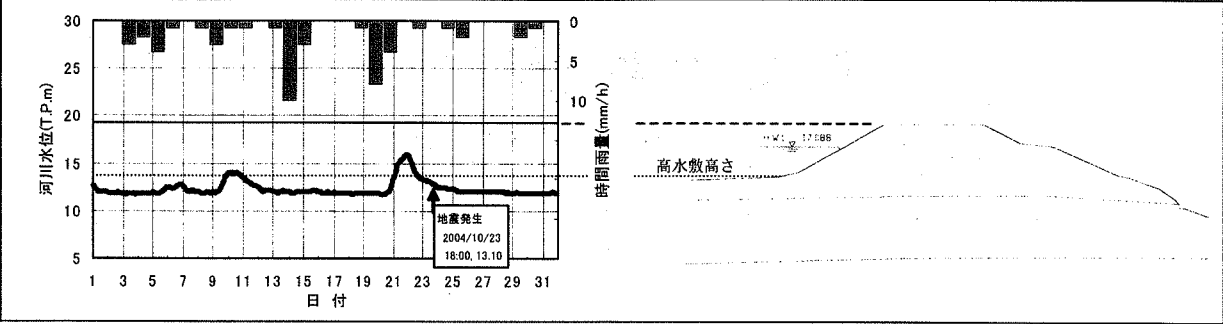


図-2 雨量(大河津観測所)・河川水位経時変化と被災堤防断面(信濃川右岸 2.0km)²⁾に加筆

表-1 最大震度 5 弱以上の地震一覧表¹⁾

震 源 時		マグニ チュード (M)	震源の 深さ (km)	最大 震度
月 日	時 分			
10 月 23 日	17:56	6.8	13	7
	17:59	5.3	16	5 強
	18:03	6.3	9	5 強
	18:07	5.7	15	5 強
	18:11	6.0	12	6 強
	18:34	6.5	14	6 強
	18:36	5.1	7	5 弱
	18:57	5.3	8	5 強
	19:36	5.3	11	5 弱
	19:45	5.7	12	6 弱
	19:48	4.4	14	5 弱

(3) 降雨・出水、連続地震動と堤防被害の関係

地震発生前の降雨・出水状況、地震動との関係から見た今回の堤防被害には次の特徴がある。

まず、地震発生前の降雨・出水状況である。地震発生時には指定水位以下にまで低下はしていたものの、大河津水位観測所(-1.3k)、長岡水位観測所(17.5k)では台風 23 号の出水により、地震発生 2 日前に警戒水位を超え、危険水位に達する水位が観測されている。堤体内に浸透した雨水・河川水は、平時よりも高い堤体内水位として残存していた可能性があり、地震時に地盤のみならず堤体の一部も液状化することにより被害を助長したことが推測される。図-2 に、大河津雨量観測所、前掲の大河津水位観測所と同、与板水位観測所の河川水位から内挿法によって推定した河川水位に対する被災堤防断面(信濃川右岸 2.0km)との関係を示した。

次に連続地震動についてであるが、本震発生後 1 時間以内に大きな余震が数度発生した点である。本震により発生した液状化層中の過剰間隙水圧が消散しない内に次の地震作用を受けた可能性がある。液状化層内の過剰間隙水圧が高い状況下で、再度の地震作用があり、比較的小さな地震時せん断応力でも堤防の変形量が大きくなったことが推察される。

2. 河川堤防の被害と調査概要

表-2 は、信濃川河川事務所管内で緊急復旧を実施した個所で、信濃川と支川魚野川で 17 箇所、延長 19km に及んでいる。

表-3 に河川堤防の被災パターン別の箇所数・延長を示した。被災パターン A 及び B の縦断亀裂発生箇所・延長が大きな割合を占めているのは、他の地震災害とほぼ同じである。しかしながら、今回の被害では、上記 2 パターンのほかに、堤内側もしくは堤外側の片側がすべり崩壊をしたパターン E の延長が 8,659m、堤防天端全体が沈下した被災パターン F が 2,871m に及んでいることが特徴的である。

この E 及び F パターンの堤防被災を発生させる要因としては、地震時の慣性力の強さ、および堤体下の基礎地盤の液状化に伴う流動化が考えられる。

以下に、被害要因照査および復旧工法の選定を目的として、被害が特に顕著であった表-2 中の番号 1,2、および 4 の 3 地区の被害状況と地震後に実施した調査結果について、その概要を記述する。

- a) 真野代地区(中条地区)：信濃川右岸 2.0km(表-2 の番号 1)
- b) 本与板地区：信濃川左岸 4.5km(表-2 の番号 2)
- c) 長呂地区：信濃川右岸 6.5km(表-2 の番号 4)

治水地形分類図から上記 3 地区は、いずれも旧河道に位置しており、地震時には地盤の液状化に伴う流動化により被害が発生する可能性の高い場所であることが確認された。各地区の被災、調査結果概要は以下のとおりである。

(1) 真野代地区（中条地区）：信濃川右岸 2.0km ている箇所もある。堤外側法面の変形が顕著で、堤脚付近では、護岸に亀裂が入り、目地が開いたり、はらみ出すように折れて変形している。

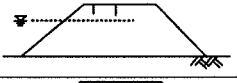
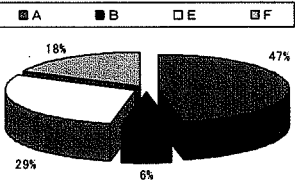
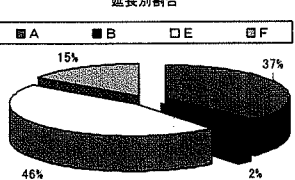
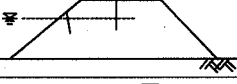
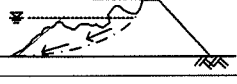
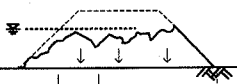
信濃川右岸 2.0k 付近の真野代新田～中条地先では、タイプ F の被災が発生した。図-3 に示すように、堤外側法肩が大きく陥没した。また、天端には縦断亀裂が多数発生し、亀裂深度は、最大で 220cm に達し

さらに、表のり尻付近には、多くの噴砂跡が見られる。

表-2 堤防被害一覧²⁾

番号	種別 (河川名又は路線名)	被災箇所	左右の別・距離	被災概要	代表被災パターン			
					A	B	E	F
1	信濃川水系信濃川	南蒲原郡中之島町真野代新田～中条地先	右岸 NO.10k+0～NO.2.5k+27m	堤防天端に縦断クラック(HWL以下) 1,462m 法面のすべり、はらみだし				○
2	信濃川水系信濃川	三島郡与板町本与板地先	左岸 NO.4.0k+20～NO.4.5k+334m	堤防天端・法面に縦断クラック(HWL以上・以下) 天端の沈下(はらみだし) 889m				○
3	信濃川水系信濃川	長岡市幸崎地先	左岸 NO.6.0k+380～NO.6.5k+70m	縦断クラック、すべり(HWL以上) 310m			○	
4	信濃川水系信濃川	南蒲原郡中之島町長呂地先	右岸 NO.6.0k+215～NO.7.0k+100m	堤防天端に縦断クラック(HWL以下) 520m 法面のすべり、はらみだし				○
5	信濃川水系信濃川	長岡市山田町地先	右岸 NO.18.0k+100～NO.18.0k+150m	堤防法面のすべり 50m			○	
6	信濃川水系信濃川	長岡市草生津～大宮地先	右岸 NO.18.25k+80～NO.19.5k+40m	堤防天端に縦断クラック 1,530m	○			
7	信濃川水系信濃川	長岡市水梨地先	右岸 NO.20.5k+50～NO.20.75k+80m	堤防天端に縦断クラック 240m	○			
8	信濃川水系信濃川	長岡市南陽～前島地先	右岸 NO.22.0k+120～NO.23.25k+90m	堤防天端に縦断クラック 1,470m	○			
9	信濃川水系信濃川	三島郡越路町～長岡市三穂野地先	右岸 NO.24.5k+50～NO.29.5k+53m	堤防天端に縦断クラック(HWL以下) 5,050m 法面のすべり、はらみだし			○	
10	信濃川水系信濃川	三島郡越路町釜ヶ島～小千谷市五辺地先	左岸 NO.25.5k+95～NO.28.5k+198m	堤防天端に縦断クラック(HWL以下) 3,055m 法面のすべり、はらみだし			○	
11	信濃川水系信濃川	小千谷市上片貝地先	左岸 NO.38.5k+165～NO.39.0k+108m	堤防天端の縦断亀裂 379m	○			
12	信濃川水系信濃川	北魚沼郡川口町西川口地先	魚野川左岸 NO.0.75k+99～NO.42.5k+385m	堤防天端の縦断亀裂 707m	○			
13	信濃川水系信濃川	小千谷市川井(下流)地先	右岸 NO.45.0k+70～NO.45.0k+425m	堤防天端に縦断クラック(HWL以上) 495m 護岸のすべり破壊 290m	○			
14	信濃川水系信濃川	小千谷市川井(上流)地先	右岸 NO.45.5k+180～NO.46.5k+260m	堤防天端の縦断亀裂 1,340m	○			
15	信濃川水系魚野川	北魚沼郡川口町西川口地先	左岸 NO.1.5k+65～NO.1.75k+55m	縦断亀裂、すべり 194m			○	
16	信濃川水系魚野川	魚沼市新道島地先	右岸 NO.6.0k+348～NO.7k+96m	堤防天端に縦断クラック(HWL以上) 836m 護岸のすべり破壊 655m(1200m)	○			
17	信濃川水系魚野川	魚沼市下島地先	左岸 NO.6.75k+5～NO.7.0k+200m	堤防天端に縦断クラック(HWL以上) 449m		○		

表-3 堤防の被災パターンと被災形態ごとの箇所と延長^{2),3)}に加筆

被災 パターン	被災模式図	被災形態	表-2 に示す代表被災パターン		
			箇所数	延長(m)	被災パターン別の割合
A		縦断亀裂 (HWL に達しないもの)	8	6,997	箇所数別割合  延長別割合 
B		縦断亀裂 (HWL に達するもの)	1	449	
C		横断亀裂 (HWL に達しないもの)	—	—	
D		横断亀裂 (HWL に達するもの)	—	—	
E		すべり崩壊 (はらみ出し)	5	8,659	
F		沈下 (基礎地盤)	3	2,871	
計			17	18,976	

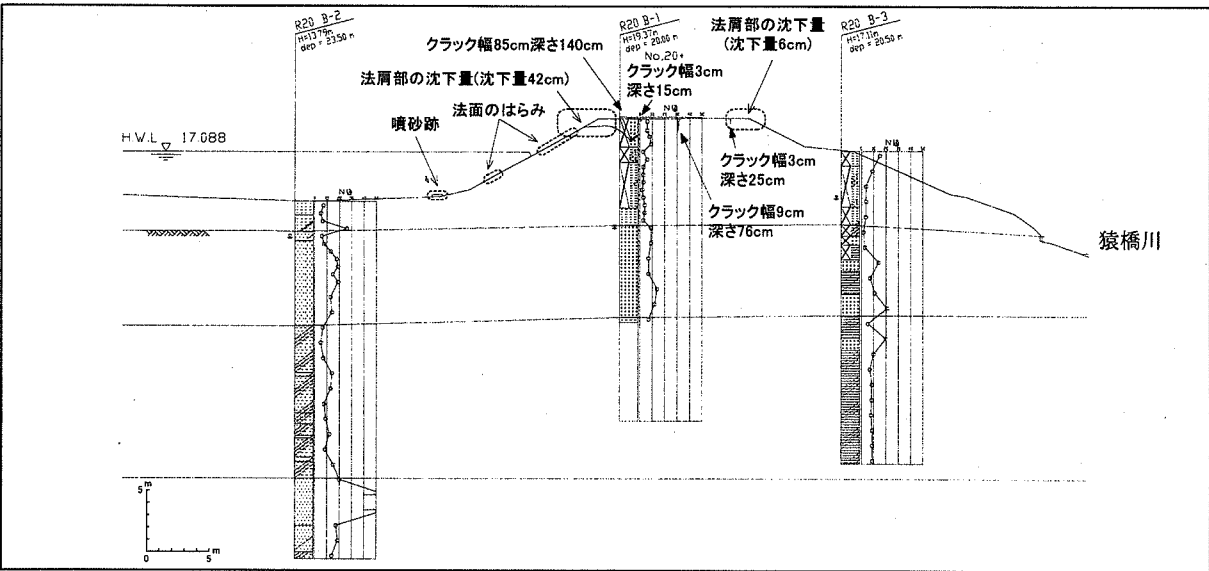


図-3 被災断面（真野代地区【中条地区】：信濃川右岸 2.0km） 2)に加筆

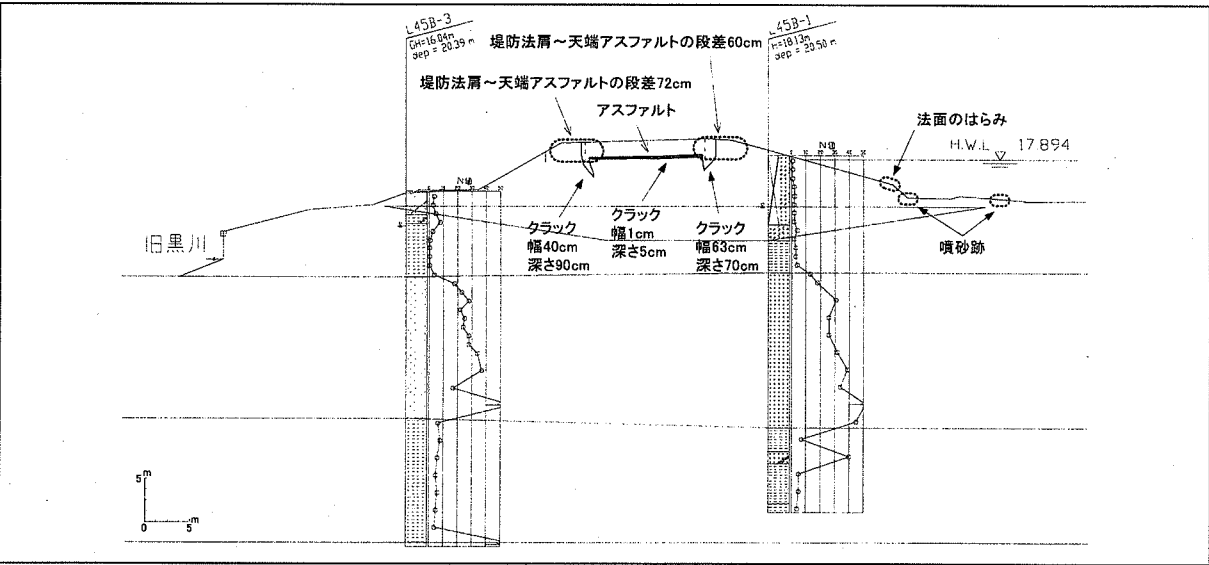


図-4 被災断面（本与板地区【馬越地区】：信濃川左岸 4.5km） 2)に加筆

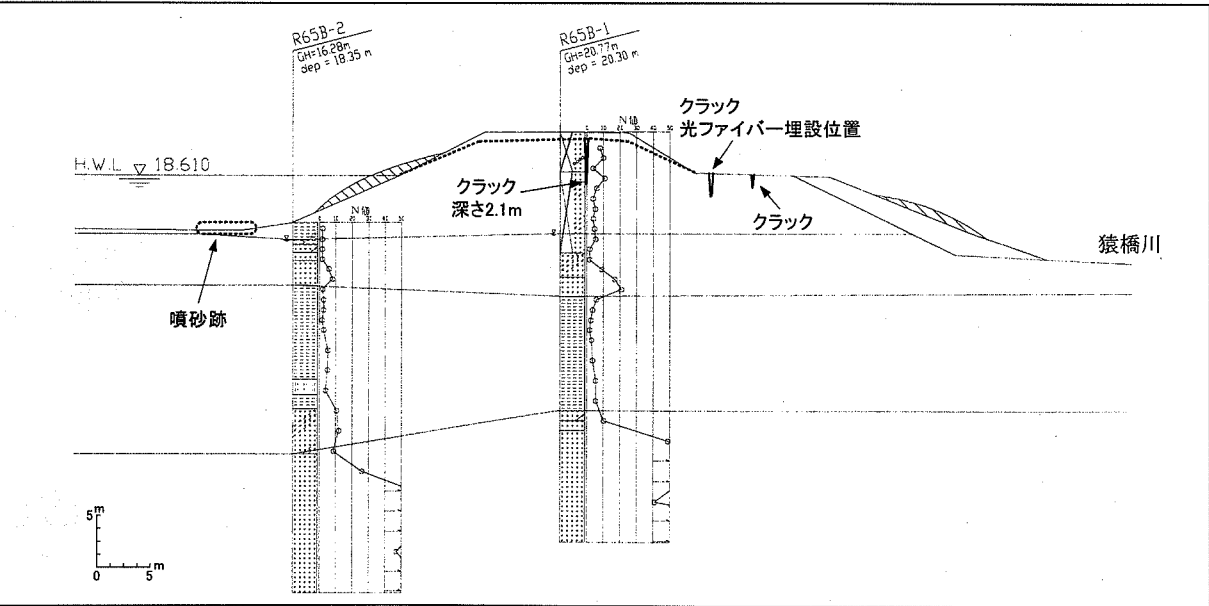


図-5 被災断面（長呂地区：信濃川右岸 6.5km） 2)に加筆

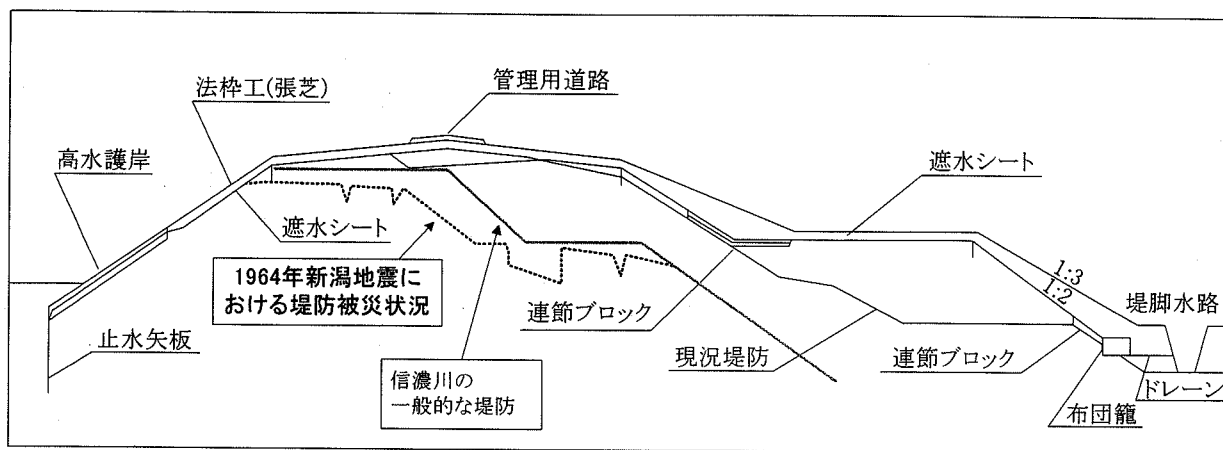


図-6 真野代地区の堤防強化標準断面 4), 5) に加筆

地震後の調査ボーリングにより得られた地下水位・柱状図・粒度特性等により液状化判定を行った結果、本震の推定地表面最大加速度($\alpha S_{max}=400cm/s^2$)においては、堤体直下の基礎地盤(N 値 10 前後の砂質土層が堤内から堤外に一様に約 6m の層厚で分布)で、液状化指数 F_L が 1.0 を下回った。

上記調査結果より、本地区の河川堤防の被害要因は基礎地盤の液状化による可能性が高いと判断した。

(2) 本与板地区(馬越地区)：信濃川左岸 4.5km

信濃川左岸 4.5km 付近の本与板地区(馬越)では、堤防天端中央部の陥没と、ともに両法肩位置に縦断亀裂が入った、タイプ F の被災が発生した。

被災区間の中で、被害が顕著な中央部の延長 225m には、堤外側法面のはらみ出し、堤脚付近に墳砂痕が生じている。図-4 に代表被災断面を示す。

地震後の調査ボーリング結果から、堤体直下には軟弱な粘性土が層厚 4~5m で分布している。また、既設堤防は、この軟弱な粘土層上に砂質土を主体とする材料で築堤されており、緩んだ砂質の堤体下部の一部が軟弱な粘性土層中にめり込む様に沈下しているのが確認された。地下水位は、この緩んで沈み込んだ砂質の堤体下部の上にあり、築堤材料の一部が液状化したことが懸念される状況である。

軟弱な粘土層下位には層厚約 8m の砂質土層が分布しているものの、その N 値は 20 以上で、液状化する可能性の低い締まった層となっている。

本震の推定地表面最大加速度($\alpha S_{max}=400 cm/s^2$)を用いて液状化指数 F_L を算出すると、基礎地盤にめり込んだ堤体の砂質土は、液状化指数 F_L が 1.0 以下となった。

上記調査結果より、本地区の堤防の被害要因は、堤体を構成する砂質土の一部が地震時に液状化して堤体変形した可能性が高いと判断した。



図-7 信濃川 0~7km 区間における被害箇所 2), 4)

(3) 長呂地区：信濃川右岸 6.5km

信濃川右岸 6.5km 付近では、堤防天端が沈下すると、ともに多数の縦断亀裂が入った、パターン F の被災が発生した。堤外側の法尻付近には噴砂痕も確認されている。長呂地区の堤防形状は堤高約 7m、天端幅 7m、法面は堤外側が 1 枚法、堤内側には小段を有する 2 枚法となっており、この堤内側小段には光ファイバーが埋設されている。光ファイバー埋設位置での縦断亀裂は、規模が大きく、堤内側を流れる猿橋川に向かってすべり崩壊の形態を呈している。図-5 に代表被災断面を示す。

地震後の調査ボーリングにより得られた地下水位・柱状図・粒度特性等により液状化判定を行った結果、本震の推定地表面最大加速度($\alpha S_{max}=400cm/s^2$)においては、堤体直下の基礎地盤(N 値 10 前後の砂

質土層が堤内から堤外に一様に約3mの層厚で分布)で、液状化指数 F_L が1.0以下となった。

上記調査結果より、本地区の河川堤防の被害要因は基礎地盤の液状化による可能性が高いと判断した。

3. 堤防強化対策事業の効果（真野代地区）

図-7は、信濃川0～7k区間における1964年新潟地震及び2004年新潟県中越地震にける堤防被害箇所を示したものである。

この図で信濃川右岸6.5kmの長呂地区では上記の2つの地震で同箇所での被害が確認されている。

今回の地震で顕著な被害が発生した上述(1)の下流に位置する真野代地区では、1964年の新潟地震において、図-6に示すように河川堤防に顕著な被害が発生し、復旧工事が行われた。その後、本地区では、同図に示すように、平成2年度に洗掘、越水、浸透、地震に対する強化を目的とした堤防強化対策事業で法面勾配を緩くした堤防大断面化、さらに堤体表層に遮水シートを入れた堤防のアーマーレビー化が施されている。この強化対策箇所では、今回の地震による堤防の被害は発生しなかった。今回の地震による堤防被害は、この強化対策が実施された区間のすぐ上流で発生しており、強化対策工事の有無により被害・無被害の差が生じたことも考えられる。この強化対策事業の効果の詳細は現時点で定かではないが、今後の河川堤防の質的整備に向けても検証が必要である。

4. まとめ

平成16年10月23日、新潟県中越地方を震源とする震度7.6強の連続地震により、信濃川の堤防には、17箇所、延長約19kmにわたって亀裂、沈下が発生する甚大な被害を受けた。今回の地震では地震発生前に降雨・出水があったこと、約40分という短時間のうちに震度6以上の地震が3回連続発生している点が特徴的である。

本稿は、当該地震で被災した信濃川の堤防について、復旧工法策定のため実施した諸調査及び検討結果の概要を報告したものである。

被災した堤防について、現地踏査、ボーリング調査及び測量などの結果を基に被災形態の分類を行うとともに、大規模な被災箇所について、被災要因の分析検討を行った。

今回の調査から得られた成果には以下の点が挙げられる。

- a) 本文には詳述していないが、堤防の沈下や亀裂発生などの被害が集中する区域は、震源との距

離や旧地形、堤防の設置条件などに関連していることが把握できた。

- b) 本地震の発生前には台風による出水があり、降雨・河川水位および地下水位が堤防被災に及ぼした影響、連続発生地震による影響などについて、現時点までの資料範囲で考察し、概要を整理した。
- c) 被災箇所の一部では、1964年に発生した新潟地震によって基礎地盤の液状化による被災が確認されたものと同一区間において、再び液状化による被災が発生したものが確認された。
- d) 上記の諸点については、被害が顕著であった3地区において、本復旧工事に先立って行われる仮締切堤防設置後に、被災断面を開削し、より詳細な調査と追加解析による確認が必要である。
- e) 1964年新潟地震で被災した区間で、その後実施された堤防強化対策事業については、この区間が今回は無被害であり、大断面化及びアーマーレビー化された強化対策堤防が地震時にどのような効果を発揮したのかについて、追加調査・解析を実施して検証しておく必要がある。このことは、今後の河川堤防の耐震対策上のみならず、耐浸透性機能強化対策上も有益であると考えられる。

参考文献

- 1) 気象庁：平成16年(2004年)新潟県中越地震について(第18報)、報道発表資料、平成16年10月30日15時00分。
- 2) (財)国土技術研究センター：信濃川堤防の地震被災に関する検討業務委託報告書、平成17年3月。
- 3) 建設省河川局治水課監修：震後対応の手引き。
- 4) 建設省土木研究所：新潟地震調査報告、土木研究所報告、第125号、昭和40年6月。
- 5) 建設省北陸地方建設局信濃川工事事務所：真野代地区堤防強化対策事業(パンフレット)。

(2005. 4. 7 受付)