

研究報告

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



折敷秀雄

調査第一部
河川流域管理室長

研究の背景と目的

平成16年10月23日（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、新潟県の資料によると、以下のような被害が報告されている。

人的被害	死者48人、重軽傷者4,794人
住家被害	120,371棟、129,018世帯
非住家被害	40,368棟
鉄道被害	新幹線および在来線で多数の不通
河川被害	229箇所
道路被害	6,064箇所



図－1 震源・河川位置

この地震で、信濃川でも延長約19kmの堤防の亀裂・沈下や堰、樋門、護岸などの河川管理施設に甚大な被害が発生した。以下、国土交通省信濃川河川事務所の要請を受け、筆者らが実施した堤防被害調査の概要を報告する。

信濃川の堤防被害の主な特徴は、以下のとおりであった。

- ・地震発生直前に小千谷で150mm程度の降雨があり、長岡で危険水位に達する出水があったこと
- ・1日に震度6以上の地震が4回発生したこと
- ・S39年（1964）新潟地震で被災し原形復旧した堤

防のうち、今回、再度被災した区間があったこと

- ・S39年新潟地震で被災して原型復旧し、その後に緩傾斜堤防とした区間が今回無被災であったこと

本稿では、上記被災堤防について調査・研究した以下の事項について記述している。

（本復旧工法の提案に関する事項）

- ・被害発生直後に実施した現地調査
- ・主な被災要因の推定
- ・地盤改良を含む復旧工法の概略検討と提案

（望ましい追加調査・解析の提案に関する事項）

- ・本復旧工事に伴う被災堤防の開削調査
- ・地震時に堤防が有していた諸特性と被災の関係
- ・地震時に緩傾斜堤防が発揮した耐震効果の推定

1 震源地、地震の特徴と堤防被害の発生域

図－1に今回の震源地、1964年新潟地震の震源地、信濃川の位置を示した。信濃川における堤防被害の発生域は、1964年の地震では、信濃川の大河津よりも下流部に、今回は大河津よりも上流部に集中していた。

今回は、発災後の1日間に震度6以上の強い地震が4回も発生し、このことは国内の観測史上初であった。（表－1は発災日における震度5以上の地震）

表－1 最大震度5弱以上の地震一覧表¹⁾

震 源 時	月 日	時 分	マグニ	震源の	最大
			チュード (M)	深さ (km)	
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

2 降雨・出水状況

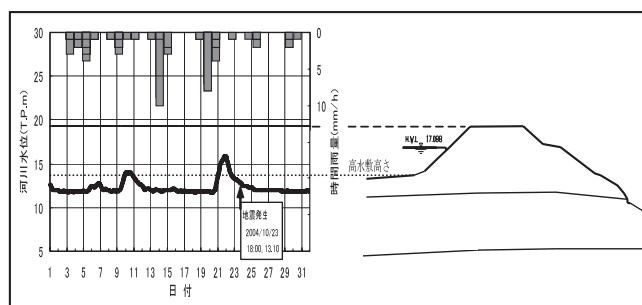


図-2 雨量（大河津観測所）・河川水位経時変化と
被災堤防断面（信濃川右岸2.0km）²⁾に加筆

地震発生前の10月19日から21日にかけて、台風23号の影響により発生した信濃川の降雨・出水の概要は、以下のとおりであった。

（雨量）

・堤防被害が発生した近傍の雨量観測所の累加雨量
小千谷145mm, 長岡129mm, 大河津81mm

（水位）

・長岡、および大河津水位観測所の出水状況
最高水位 両観測所とも、ほぼ2日前に危険水位
発災時水位 指定水位以下

堤体内に浸透した雨水・河川水は、地震時に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して被害を受けた箇所もあったことが推測される。図-2に、大河津での雨量、大河津の水位と与板の水位から内挿法によって求めた信濃川右岸2.0kmの被災堤防断面との関係を示した。

表-2 堤防被害一覧 ²⁾に加筆

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	長岡市李崎地先	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	三島郡越路町釜ヶ島～小千谷市五辺地先	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 堤防の防災パターン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	被害形態	表-2に示す代表被災パターン		被災パターン別の割合
			箇所数	延長(m)	
A		縦断亀裂 (HWLに達しないもの)	8	6,997	箇所数別割合 ■A ■B □E □F 18% 47% 29% 6%
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	延長別割合 ■A ■B □E □F 15% 37% 46% 2%
F		沈下(基礎地盤)	3	2,871	
計			17	18,976	

3 堤防被害、復旧工法検討の概要等

表-2は、信濃川と支川魚野川の直轄区間において被災した堤防に緊急復旧を実施した箇所で、17箇所、延長約19kmに及んでいる。

表-3は、上記被災堤防を被災パターン別に分類したものを示した。この表から被災パターンA及びBの軽微な縦断亀裂発生箇所、同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、A,B以外に、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と、堤防天端全体が沈下したパターンFの合計が10km以上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た要因としては、今回の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。

4 被災状況、被災要因の推定、復旧工法の提案

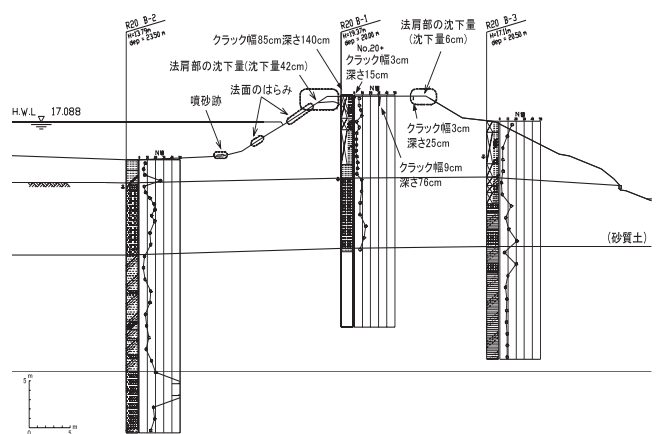
被災堤防の復旧は急を要するため、表-2中の番号1,2,および4の3地区以外は、被害も比較的軽微であり、亀裂部分の土砂を切り返して、再度締め固める原形復旧を提案した。

一方、上記3地区（以下、3地区と言う）の堤防は、亀裂や変形が基礎地盤まで達しており、一旦、被災堤防を撤去して、再築堤する必要がある程度に深刻な被害で、沈下量も大きい状況になっていた。

上記3地区の堤防は、治水地形分類図で見ると、いずれも旧河道上にあり、地震時の地盤の液状化・流動化が被害発生の主な要因である可能性が高いことが確認された。

以下に上記3地区の被害状況、主な被災要因の推定、および提案した復旧工法について、その要点を記す。

(1) 中条地区：信濃川右岸2.0km

図-3 被災断面（中条地区：信濃川右岸2.0km）²⁾に加筆

信濃川右岸2.0km付近の中条地先では、堤外側法肩が大きく陥没して、タイプFの被災が発生した。

天端には縦断亀裂が多数発生し、亀裂深度は、最大で220cmに達している箇所もあった。堤外側法面の変形は顕著で、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た。（図-3）

また、表のり尻付近には、多くの噴砂跡が見られた。

地震時外力は、K-NET、KiK-netの観測記録から本震の震源距離（33km）と、距離減衰により推定地表面最大加速度（ $\alpha S_{max}=400cm/s^2$ ）を推定した。（以下 他の2箇所も同じ）

この地震時外力と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、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、液状化抵抗率 F_L が1.0を下回った。

上記調査結果より、本地区の堤防被災の主な要因は、基礎地盤の液状化によるものと推定した。

本地区の復旧は、再度災害防止を図ることが必要と考え、工法比較検討の結果、液状化したと推定される厚い

砂質土層をサンドコンパクション・パイル工法によって改良し、復旧することが望ましいとした。

(2) 本与板地区：信濃川左岸4.5km

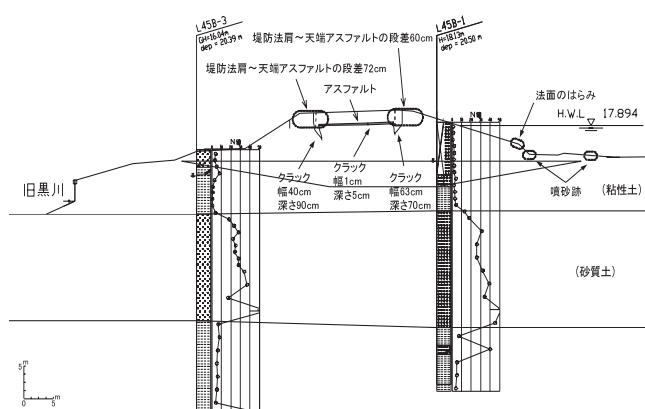


図-4 被災断面(本与板地区：信濃川左岸4.5km) 2) に加筆

信濃川左岸4.5km付近の本与板地区では、両法肩位置に大きな縦断亀裂が入り、堤防天端中央部が陥没したタイプFの被災が発生した。

同地区の中で、被害が顕著な断面では、堤外側法面がはらみ出し、堤脚付近に噴砂跡が見られた。(図-4)

地震後の調査ボーリング結果から、堤体直下の基礎地盤は、軟弱な粘性土が層厚4～5mで分布していた。

既設堤防は、この軟弱な粘性土層上に砂質土を主体とする材料で築堤されていることが判明した。また、砂質土で構成された堤体の下部は、その一部が緩んで基礎地盤の軟弱な粘性土層中に沈み込んで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よりも上にあり、この堤体下部が液状化したと推定された。

上記の軟弱な粘性土層からなる基礎地盤の下位には、層厚約8mの締まった砂質土層が分布しているが、そのN値は20以上となっていたことから、この砂層が液状化する可能性は低いと考えられた。

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

上記調査結果より、本地区における堤防の主な被災要因は、砂質土で構成されている堤体下部の一部が地震時

に液状化して堤体変形した可能性が高いと推定した。

本地区の復旧は、再度災害防止を図ることが必要と考え、工法比較検討の結果、液状化したと推定される堤体底部が沈み込んでいる軟弱粘土層を浅層混合処理により改良し、復旧することが望ましいとした。

(3) 長呂地区：信濃川右岸6.5km

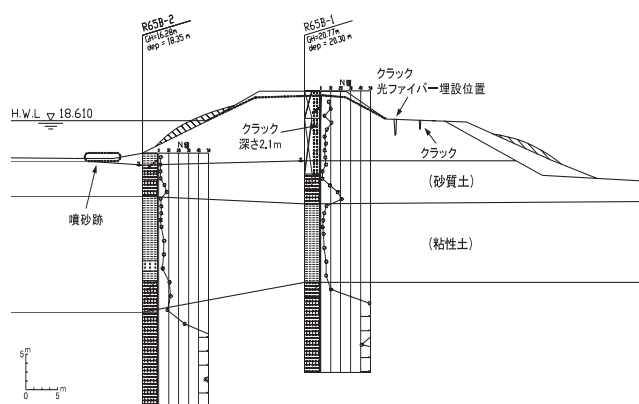


図-5 被災断面(長呂地区：信濃川右岸6.5km) 2) に加筆

信濃川右岸6.5km付近では、堤防天端が沈下し、多数の縦断亀裂が生じたパターンFの被災が発生した。堤外側の法尻付近には噴砂跡も多数確認された。本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枚法で、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た。(図-5)

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、液状化抵抗率 F_L が1.0を下回った。

上記調査結果より、本地区の堤防被災の主な要因は、基礎地盤の液状化によるものと推定した。

本地区の復旧は、再度災害防止を図ることが必要と考え、工法比較検討の結果、液状化したと推定される砂質土層を浅層混合処理によって改良し、復旧することが望ましいとした。

4 今後の信濃川堤防の耐震対策の高度化に向けた調査・検討について

上記3では、早期復旧を旨に極めて厳しい時間的制約の下に、限られた調査データと概略検討によって復旧工法を提案した。被害軽微な区間には原形復旧を、また被害深刻な3地区には、今回と同規模の外力では液状化が発生しない程度の地盤改良を含む復旧工法を提案した。本復旧の実施により、3地区における再度災害防止は可能と考えられる。

一方、同川では2度目の被災堤防、3地区にやや近似的な被災堤防、被害軽微でも3地区と類似の地形上にある堤防もあった。これらは、わずかな条件変化で3地区と同様な被害になることも考えられる。当地方では、一定期間ごとに強い地震発生が予想されており、次の災害に備えて以下の調査・解析を行い、検討手法をさらに充実させた上で3地区以外の堤防の耐震対策を進めておくことが望まれる。

望ましい追加調査・検討事項は、以下のとおりである。

(1) 既設の緩傾斜堤防が今回の災害で発揮した耐震上の効果(真野代地区)

図-6に信濃川0～7k区間における1964年新潟地震及び2004年新潟県中越地震の堤防被害箇所を示した。同図で右岸6.5kmの長呂地区(図中3')では上記の2つの地震によって同箇所と同様な被害が発生した。また、今回、右岸2km付近の中条地区(図中1')でも深刻な被害が発生した。

この2つの地区の下流に位置する真野代地区（図中1）では、1964年の地震で亀裂・沈下などの顕著な被害が発生し、原形復旧工事が行われた。その後、同地区では、平成2年度に耐浸透性強化を主な目的に法面勾配を緩く、大断面化し、堤体表層に遮水シートを挿入した“緩傾斜化工事”が実施された。そして、当区間は今回の地震で無被害であった。（図-7）

一般に、耐浸透性に問題がある堤防と耐震性に問題がある堤防は、類似の地形上に築堤されている事例が多い。信濃川においても、今後、耐浸透性強化対策工事が鋭意

推進される予定であり、上記緩傾斜化工事が今回の地震時に果たした効果の検証は、今後の同川の堤防整備上で有益な技術的資料になると考えられる。

具体的には、既設の緩傾斜化工事の有無が堤防の耐震性能向上に果たした効果を確認して、耐浸透性、耐震性両面に効果的な対策工の整備に資することが望まれる。

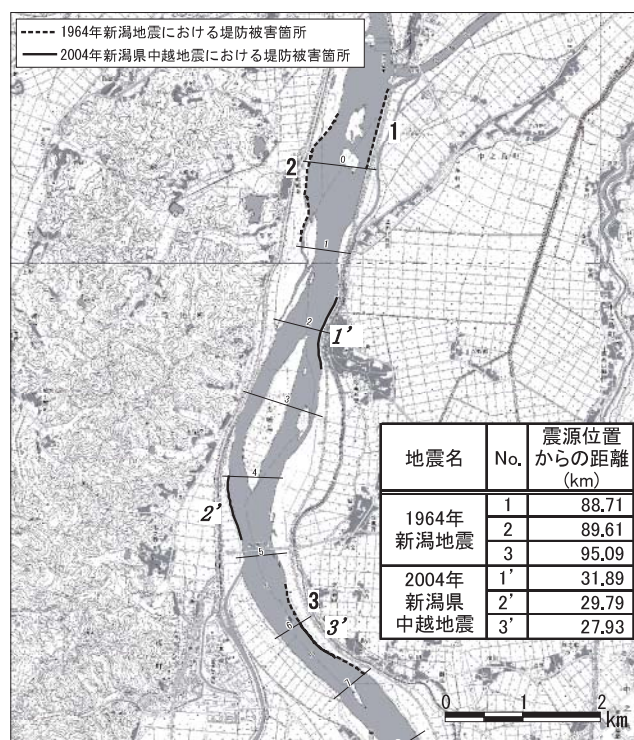


図-6 信濃川0～7k区間における被害箇所^{2),4)}に加筆

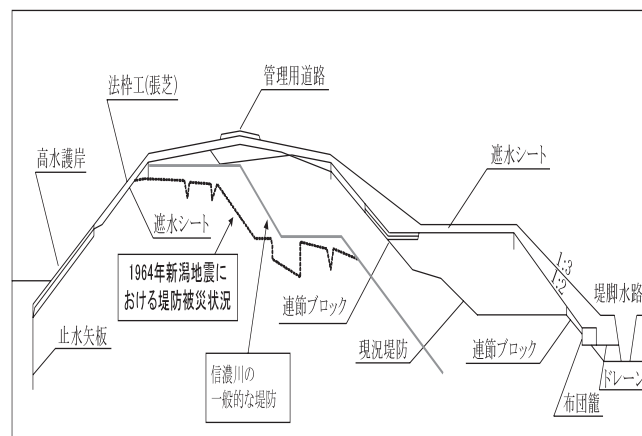


図-7 真野代地区の堤防強化標準断面^{4),5)}に加筆

(2) 事前降雨・出水、および繰り返し地震動と堤防変形

本件の堤防被災は、いくつかの特異な条件下で発生していて、多くの貴重なデータも記録・保存されていることから、以下の事項につき追加調査・解析しておくことが、今後、3地区以外における堤防の耐震対策検討、次の災害に備えた危機管理上で有益な技術的資料になると考えられる。

- ・ 今回の被害は、直前の降雨・出水の後に発生した。この点に関し、地震時の堤体内の湿潤状態と地下水位が堤防変形に及ぼした影響
- ・ 本災害では、発災後の1日間で震度6以上が4回発生した。この点に関し、繰り返し地震動と液状化層間の間隙水圧の昇降状態、および堤体変形との関係の検証

(3) 被災堤防の開削調査、被災堤防と無被災堤防の地盤条件

被害甚大であった3地区および、その隣接の無被災区間について、以下の事項につき調査・検討しておくことが、今後、3地区以外における堤防の耐震対策、次の災害に備えた危機管理上で有益な技術的資料になると考えられる。

- ・ 3地区の被災断面を開削して、築堤履歴、地下水位、地層境界線、各層の土質特性などを把握し、被災直後に推定した被災要因・被災メカニズムを確認
- ・ 3地区に、それぞれ隣接していながら無被災であった堤防の基礎地盤の特性を把握し、被災が深刻であった3地区の堤防と隣接する無被災堤防との基礎地盤の違いを確認・整理

おわりに

信濃川では、新潟県中越地震により延長19kmもの堤防被災をはじめ、多くの河川管理施設が被災した。

本稿は堤防被害調査に限定して、以下の事項を記述した。

- ・ 被害発生後の現地調査から復旧工法の概略検討と提案に至る調査・検討の要点
- ・ 当地方では、一定期間ごとに強い地震が繰り返し発生するとされており、同川の3地区以外の堤防に関する今後の耐震対策、次の災害に備えた技術検討上で有益と考えられる調査・解析の要点

信濃川における災害復旧が無事故で早期に完了することを祈念するとともに今回の災害において得られた貴重なデータと技術的知見が整理され、次の災害に備えて3地区以外の堤防に関する耐震対策の向上に活用されることが望まれる。

また、紙面制約上、本稿では詳述できないが、今回は、一般災を含む大災害が日曜日の夕方に突然発生した。以降、直後の緊急参集、職員の安否確認、初動対応、管理施設・庁舎・宿舍の点検、緊急復旧、各種調査・試験、調整、本復旧などの各段階において、多くの関係者が難題に懸命に取り組み、解決されてきた経緯を生きた教訓・事例として取纏め、次の災害時の迅速、かつ適切な対応に生かされることは防災対策の基本であると考ええる。

おわりに、本調査は、北陸地方整備局本局、同 信濃川河川事務所の方々のご指導・ご協力の下に実施してきたものであり、ここに記して謝意を表します。

また、JICEにおける本件の調査・検討は、筆者が前調査第一部の鈴木善友主任研究員とともに実施してきたことを記し、併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：2004年、新潟県中越地震について（第18報）、報道発表資料、2004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、2005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、1965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）
- 6) 土木学会水工学委員会河川部会：2005年6月、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、2005年度 河川技術に関するシンポジウム論文集。