

新潟地震・中越地震・中越沖地震時の液状化による信濃川堤防被災について

REPORT ON THE EMBANKMENT DAMAGE IN THE SHINANO RIVER FROM THE LIQUEFACTION OF GROUND CAUSED BY THREE BIG EARTHQUAKES OF NIIGATA, CHUETSU AND CHUETSU-OKI

杉本利英¹・天野雄介²・岡野 靖³
Toshihide Sugimoto, Yusuke Amano, Yasushi Okano

¹正会員 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所 (〒948-0098 新潟県長岡市信濃1-5-30)

²正会員 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所 (〒948-0098 新潟県長岡市信濃1-5-30)

³正会員 応用地質株式会社東京本社新潟支店 (〒950-0864 新潟県新潟市東区紫竹7-27-35)

This report describes the embankment damage in the Shinano River caused by the Chuetsu-oki Earthquake, and explains how the embankment was damaged in the liquefaction of ground. In particular it clarifies that, among six dyke sections damaged in the liquefaction caused by the past two big Earthquakes of Niigata and Chuetsu, the only one suffered damage from the Chuetsu-oki Earthquake, and why the only one damaged while another five did not damage. It is concluded that the possibility of the embankment damage from the liquefaction is affected by 1) magnitude of earthquake; 2) geological structure subjacent to the embankment; 3) groundwater level; 4) the saturation fraction of the dyke soil influenced by antecedent precipitation, groundwater level and water level of river; and 5) effect of restraining the lateral fluxion of ground. It also includes some suggestions to identify the weak section of embankment against the earthquake and to improve the resistance to the earthquake.

Key Words : earthquake , liquefaction of ground , river embankment

1. はじめに

平成19年7月16日中越沖の深さ約17kmを震源とするマグニチュード6.8の新潟県中越沖地震が発生した。信濃川河川事務所管内でも震源から約20km離れた燕市大川津地先で計測震度5.6, 最大加速度451galを観測し, 河川管理施設が被災を受けた。

特に長岡市寺泊町軽井地区の信濃川左岸堤防は延長約1.7kmにわたって液状化により堤体が約40cm沈下し, クラックが多数発生, クラックの規模は最大で延長90m深さ約7mで堤防の基礎地盤にまで達していた。

信濃川中流部では, 過去に新潟地震(昭和39年), 中越地震(平成16年)においても液状化により堤防の被災を受けている(図-1参照)。

本報告は, 過去3回の地震による被災場所, 被災状況及びその復旧状況を整理するとともに, 過去に液状化し

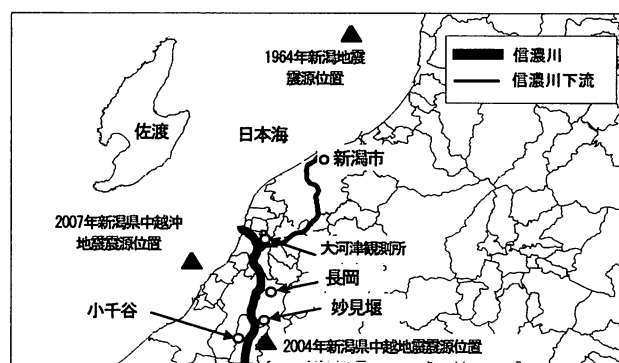
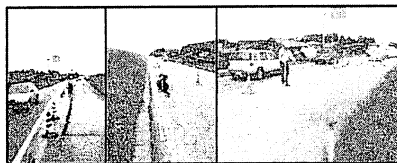


図-1 各地震の震源および信濃川河川位置

たことのある堤体基礎地盤において, その後発生した地震による変状状況及び地震発生時の降雨・地下水位・河川水位・堤体基礎地盤・堤体構造等を整理し, 液状化による被災の要因を分析することにより, 今後の堤防の液状化対策に資するものである。



堤防道路の777号に縦断クラックが連続し、一部で噴砂跡が見られる。堤防法面では護岸ブロックの変状やはらみ出しが見られ、法尻部では沈下が発生。高水敷の所々には開口クラックが連続し、液状化に伴う噴砂跡が点在。

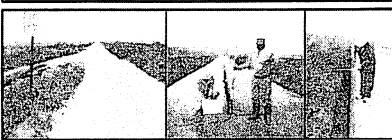
④中条地区

堤防天端の77号門道路面には縦断クラックが無数に伸び、所々で床層部の沈下が発生。

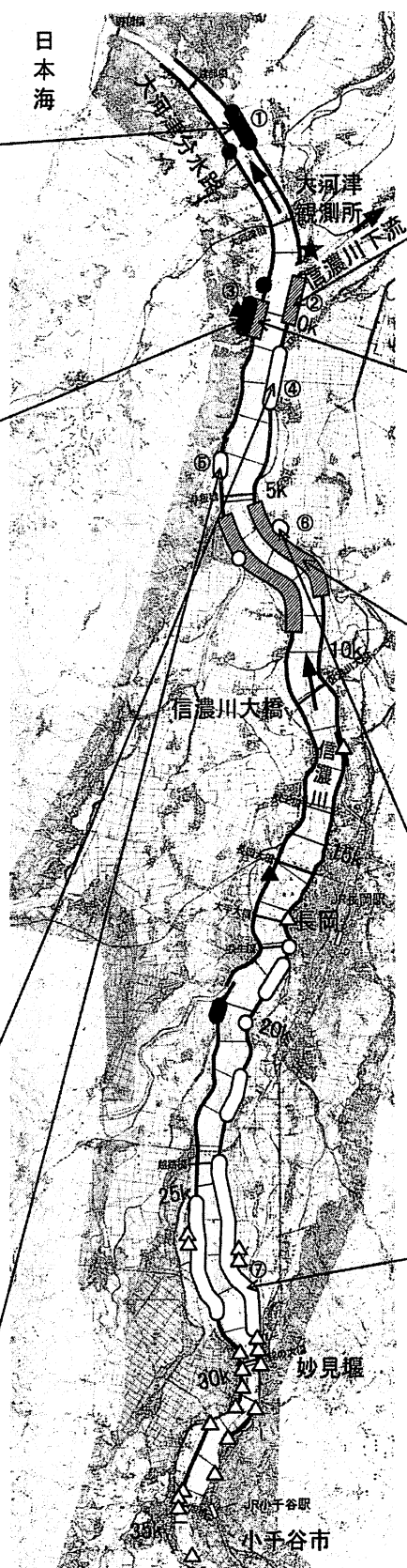
川表側法尻付近には液状化に伴う噴砂跡が連続。

川表側法面では護岸ブロックの折れやはらみ出し。

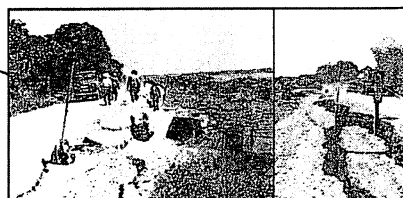
高水敷面は伏在ブロックの開口亀裂や隆起が連続。



堤防天端が沈下し、法肩との段差が発生。
アスファルト路面には縦断クラックが連続。
川表側法尻付近には液状化に伴う噴砂跡が連続。
川表側法面でははみ出しが見られる。



②真野代新田地区
川衰倒堤防小段に縦断ク
ラックが伸び、堤体に沈
下等の変状が発生。



③町軽井地区
堤防天端にクラックが連続し、すべり破壊による堤防
法肩の沈下や、法面のはらみ出しが発生。



⑥長呂地区
堤防天端に縦断ク
ラックが連続。

⑥長呂地区
堤防天端が沈下し、法肩との段差が発生。アスファルト路面には縦断クラックが連続。川表側法面では、はらみ出しが見られ川裏小段に開口亀裂が存在する。



⑦三篠野地区
堤防天端に縦断ク
ラックが連続し、
堤内地側法面の崩
壊が発生。
川表側では法面変
状に伴う護岸プロ
ックの折れが見ら
れる。

堤防被災箇所

新潟地震(S39年) : 
 新潟県中越地震(H16年) : ○ (護岸は△)
 新潟県中越沖地震(H19年) : ● (護岸は▲)

図-2 信濃川被災状況

地震名 地区名			1964年 新潟地震		2004年 中越地震		2007年 中越沖地震
			被災有無	復旧対策	被災有無	復旧対策	被災有無
右岸	真野代新田	②	被災	堤防強化	無被災	-	無被災
	中条	④	無被災	-	被災	液状化対策	無被災
	並木新田	-	被災	切返し	無被災	-	無被災
	長呂	⑥	被災	切返し	被災	液状化対策	無被災
左岸	町軽井	③	被災	切返し	無被災	-	被災
	本与板	⑤	無被災	-	被災	液状化対策	無被災

2. 平成19年中越沖地震の被災状況

過去3回の地震による河川堤防等の被害分布を図-2に示す。そのうち中越沖地震で大きな被害を受けた箇所は、大河津分水路右岸-4k 野中才地区と信濃川左岸0k 町軽井地区の2地区であった。それぞれの被害状況を以下に示す。

(1) 大河津分水路右岸野中才地区の被災状況

大河津分水路右岸-4k 野中才地区の堤防天端道路に多数のクラックが発生した。

クラック規模は、最大で延長約90m、幅約10cm、深さ約2mで、この区間には液状化に起因する噴砂やはらみ出し等の変状は無かった。

(2) 信濃川左岸町軽井地区の被災状況

信濃川左岸0k 町軽井地区堤防裏小段の舗装道路にクラックが多数発生し噴砂が認められた。クラックの規模は、最大で延長約100m、深さ約7mであった。また、町軽井揚水樋管の高水護岸が、高水敷の地盤沈下により約20cmの段差を生じ中折れとなった。

堤外地の法尻部には、多数の液状化に起因する噴砂が生じ、高水敷では、南北方向に向かって延びる開口クラック・噴砂が多数認められ、低水護岸には約500mにわたって護岸の浮き上がりや亀裂が発生した。

当地区は、新潟地震時にも堤体が液状化により大きな被害を受けた場所であった。

3. 信濃川の地形・地質

ボーリング調査の結果、信濃川沿い縦断方向の地質分布は、距離標11k付近に位置する信濃川大橋を境に上流側では砂礫層が卓越し、下流側は粘性土層や砂質土層が厚く分布している。また、地下水位もこの付近を境に下流部では、地表近くの浅い深度より分布する傾向が見られる。

(1) 野中才地区の地盤状況

大河津分水路の基礎地盤はN値2～15の粘性土主体で、信濃川本川とは性状が異なる。治水地形分類は、氾濫平野に分類される。

地震時の地下水位は、堤体土付近の基礎地盤の粘性土内と想定される。

(2) 町軽井地区の地盤状況

町軽井堤防は、自然堤防と氾濫平野の境界に分類される。基礎地盤は、N値2～6の粘性土が約1.5m～5mの層厚で連続して分布し、その下にN値3～12、層厚約7.0mの

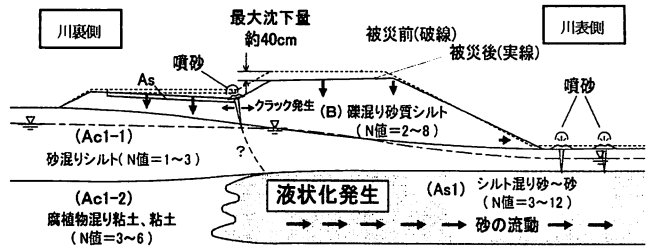


図-3 被災メカニズム

砂質土が堤体中央部から川表側にかけて分布している。

地震時の地下水位は、地震後に実施したボーリング調査より堤体土と地盤の境界付近と想定される。

4. 町軽井地区堤防の被災メカニズム

地震後に実施したボーリング調査より得られたデータをもとに液状化判定を行った結果、堤体中央部から川表側にかけて分布する砂質土層（As1層）が、液状化の可能性が高い土層と判定された。被災のメカニズムは以下のように推定される（図-3参照）。

- ① 地震動により堤体裏小段の道路脇や高水敷にクラックが発生。クラックの発生と同時に堤体直下に分布する緩い砂質土（As1層）において液状化発生。
- ② 液状化したAs1層において川表方向に砂の側方流動発生。それを起因として堤体中央付近を中心に堤防沈下。
- ③ 液状化に伴い間隙水圧が高い状態にあるAs1層の砂がクラックに沿って上昇し、クラック開口部より噴砂が生じた。噴砂現象は、粘性土層（Ac1層）の層厚が薄い高水敷で顕著に現れた。

5. 昭和39年新潟地震災、平成16年中越地震災との比較

(1) 信濃川堤防付近の地震動について

信濃川堤防近傍に位置する「大河津」、「長岡」、「妙見堰」の計測震度と震度階級を地震毎に整理し、図-4に示した。また、50galと100galをしきい値とした地震動継続時間を表-1に示した。これらの図表より、大河津から妙見堰の信濃川堤防に作用した地震動に関して、以下の点が考えられる。

図-4より、堤防被害の大きかった下流域に着目すると、2004年中越地震では震度5弱～5強、2007年中越沖地震では震度5強～6弱と推定される。液状化被害のあった信濃川堤防の距離標7kより下流は、2004年中越地震よりも2007年中越沖地震の方がやや大きな地震動が作用したものと想定される。なお、1964年新潟地震

の計測震度は不明であるが、旧震度階の震度 5 や被害状況から判断すると、震度 5 弱～5 強程度と推察される。

また、表-1 より、50gal 以上の地震動継続時間に着目すると、「大河津」では 2004 年中越地震が約 28 秒、2007 年中越沖地震が約 22 秒である。また、「長岡」では 2004 年中越地震が約 23 秒、2007 年中越沖地震が約 18 秒であり、ともに 2004 年中越地震の方が地震動継続時間は長かった。2004 年中越地震では、震度 5 弱以上の余震が本震から 2 時間以内に 10 回も発生している。これらのことから、2004 年中越地震は、2007 年中越沖地震に比べて地震動が長時間継続し、また繰り返し作用したことが液状化等による土の強度低下を助長させたものと推察される。

(2) 新潟地震における被災及び復旧状況

新潟地震で被害の大きかった信濃川右岸0kの真野代新田地区は、旧河川敷に堤防を築造した箇所である。

また、右岸7.5kの並木新田及び左岸0kの町軽井付近は水衝部に築堤している。ここは低水路が洗掘を受けていた地点であり、ルーズな砂質土が厚く堆積している。

被害は、堤体の縦断亀裂及び沈下で真野代新田は最大約0.8mの沈下、町軽井では最大約2.0m、並木新町では最大約1.8mの沈下が液状化により生じた。

復旧は、亀裂によって空洞化した部分を、切り返し盛土により堤防機能の回復をはかったのみで、地盤改良などの液状化対策は実施していない。

なお、右岸0k 真野代新田地区は、新潟地震による復旧工事後、堤防強化対策事業（H2～H12）において、堤防の拡幅と表層の遮水シート施工が行われている。

(3) 新潟地震被災復旧箇所の中越、中越沖地震後の状況

新潟地震で被災した箇所の中越地震、中越沖地震による堤防状況は以下のとおりである。

- ① 右岸0k 真野代新田地区；両地震後にも、堤防に変状は認められなかった。
- ② 左岸0k 町軽井地区；中越地震時に変状はなかったが、中越沖地震後は多数のクラックが発生し、液状化による噴砂が発生した。試掘を行った結果、堤体の中に古い噴砂跡が多数認められた。この噴砂跡は、新潟地震時に発生したと考えられ、今回の中越沖地震時の噴砂は、その傷跡に沿って生じたものと考えられる。
- ③ 右岸7.5k 並木新田地区；中越地震時に一部区間（長呂地区）で多数の縦断亀裂や堤防沈下が発生した。

(4) 中越地震における被災及び復旧状況

中越地震の被害は震源からの距離と地盤条件により以下のように異なっている。

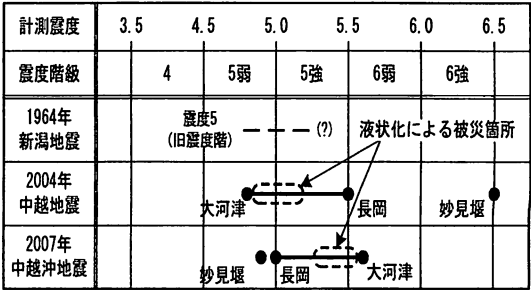


図-4 信濃川堤防近傍における各地震の計測震度と震度階級

表-1 中越地震と中越沖地震の地震動継続時間および最大加速度一覧表

		継続時間(sec)				最大加速度(gal)	
		±50gal超		±100gal超			
		N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W
大河津	2004年中越地震	25.67	28.32	8.22	7.54	128.9	146.6
	2007年中越沖地震	22.21	21.44	13.55	6.06	286.1	385.3
長岡	2004年中越地震	18.37	23.30	11.67	12.99	468.5	369.0
	2007年中越沖地震	14.24	17.71	10.94	12.73	203.2	242.9
妙見堰	2004年中越地震	35.83	62.50	29.12	29.65	1452.7	1517.3
	2007年中越沖地震	16.34	19.25	13.01	13.69	202.2	226.6

*) 大河津、妙見堰は国土交通省データ、長岡はK-NETデータをもとに作成

a) 震源から0km～17km地点の被災状況

信濃川右岸18.0k 長岡市山田地区から30.0k 長岡市妙見堰付近までは、堤防天端の縦断クラックや法面のすべりやはらみだしの被災を受けた。

また、右岸26.5k 長岡市釜が島から左岸36.0k 小千谷市山本地先付近まで、低水護岸の損傷を受けた。

当地区は地表付近より密に締まった砂礫が分布し、地下水位はこの砂礫層中に分布するため、液状化が生じる可能性が低い。震源に近いと、強い地震動に伴う慣性力の作用によって被災が発生したと推定される。

b) 震源から27km～40km地点の被災状況

信濃川右岸2.0k 長岡市中条地区、左岸4.0k 長岡市本与板地区、右岸7.0k 長岡市長呂地区では、震源から離れるが堤体直下に分布する緩い砂層の液状化に伴う流動化現象により、堤防の沈下やすべり破壊の被害が生じたと考えられる。

復旧は、堤体を撤去し基礎地盤の改良を行ってから再度築堤し法面保護のために連接ブロック張を行った。基礎地盤改良は、下記のとおりである。

- ・本与板、長呂地区…液状化層が3m程度と薄いため、浅層地盤改良工法（パワーブレンダー工法）を採用。
- ・中条地区…液状化層が7m程度と厚いため、サンドコンパクションパイル工法（φ700）を採用。

(5) 中越地震被災復旧箇所の中越沖地震後の状況

中越地震で被災し、堤防敷幅全体に液状化対策を実施した中条、本与板、長呂の3地区の中越沖地震による堤

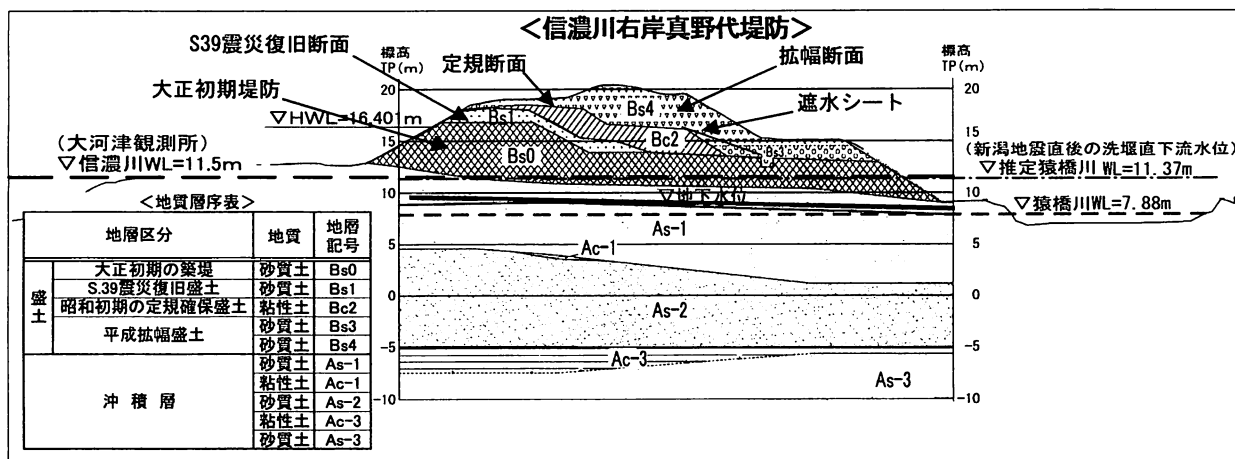


図-5 真野代新田地区堤防断面図 (右岸-0.5k)

防状況は以下のとおりである。

- ① 中条地区：対策区間の高水敷でクラック（幅3mm，延長50m）と小規模な噴砂が認められたが，改良地盤上の堤防に変状は認められなかった。
- ② 本与板地区：対策区間の堤防に変状は認められなかったが，川表側法尻では噴砂群が確認された。
- ③ 長呂地区：変状は認められなかった。

対策範囲周辺の未改良地盤では，小規模な噴砂やクラックが確認されているため，液状化現象が生じていた。もし，液状化対策を実施していなければ，今回の中越沖地震において，再度堤防が被災していたと考えられ，堤防地震対策の効果が十分に発揮されたといえる。

(6) 新潟地震，中越地震，中越沖地震の被災との比較

堤防の被災要因を整理すると次の5要素に大別できる。

- ① 地震力（タイプ，最大加速度，継続時間等）
- ② 地盤構成（液状化・非液状化層の厚さ，N値）
- ③ 地下水位・・・河川水位，降雨量堤脚排水施設の有無などによって変化
- ④ 堤体飽和度・・・降雨量，透水性，遮水シートの有無などによって変化
- ⑤ 変形抑制効果（矢板，堤体強度）

次に，現地調査に基づき，地震毎に被災有り・無し の要因を詳述する。

新潟地震時に被害が大きかった真野代新田地区の堤防は，中越地震で大きな被害が認められなかった。（要因③⑤）

図-5に示す真野代新田地区堤防の堤体部地下水位は，背後を流れる猿橋川の水位と連動し上下している。中越地震時は当地区の下流に位置する洗堰の下流側の河床低下に伴い，猿橋川の水位が新潟地震時に比べて約3.5m低下していたことが液状化の発生しなかった大きな要因であると考えられる。

また，真野代新田地区の堤防は，新潟地震時は大正初期に砂質土で築堤され変状し易い構造であったが，中越

地震時には堤体を粘性土・砂質土により拡幅補強し，法枠・連節ブロック・遮水シートで覆っていた。堤体構造の安定化が，液状化による堤体変状を軽減した一因と考えられる。

また，中越地震時に無被災であった左岸0k 町軽井地区は，新潟地震で被災した場所とほぼ同じ場所が中越沖地震時に被災した。（要因①）

これは震源からの距離が中越地震では約33kmと離れたのに対し，中越沖地震は約20kmと近く，地震動の大きさが違うこと，図-6に示す家屋被災比較図から長岡平野西縁断層や河川の位置により地震動の伝わり方に差異があることなどが考えられる。町軽井地区の住民は「中越地震時には揺れなかったが，中越沖地震は新潟地震の時と同じくらいひどく揺れた。」と証言している。

次に，中越地震で大きな被害を受けた右岸1k 中条地区，左岸4k 本与板地区は，新潟地震時に無被害であった。この原因として地震時の地下水位が高かったこと，地震前に多くの降雨があったことがあげられる。（要因③④）

堤防の地下水位は，河川水位よりも下位に位置する場合は河川水位の影響を強く受け，河川水位を上回る場合は降雨量に強く影響を受けると考えられる。液状化被害が集中した信濃川0k～10kは，河川水位より地下水位が2～3m程度高い傾向にあることから地震発生前の降雨が強く影響したと考えられる。表-2に示す大河津観測所における雨量データによると新潟地震時の雨量が最も少なく，地震発生30日前までの合計雨量26.5mm，中越地震発生30日前合計雨量305mmであり新潟地震の10倍以上の雨量を記録している。なお，中越沖地震発生30日前までの合計雨量284mmであり，中越地震について多い状態である。

また，大河津観測所の信濃川水位は，新潟地震直後TP+11.52m，中越地震直後TP+12.25m，中越沖地震直後TP+12.10mで最大73cmの差であった。さらに，中越地震時では，地震発生2日前の出水により，ピーク時の水位は危険水位に達しており，地震発生32～33時間前までは高水敷よりも上に河川水位があったものと推定され，堤

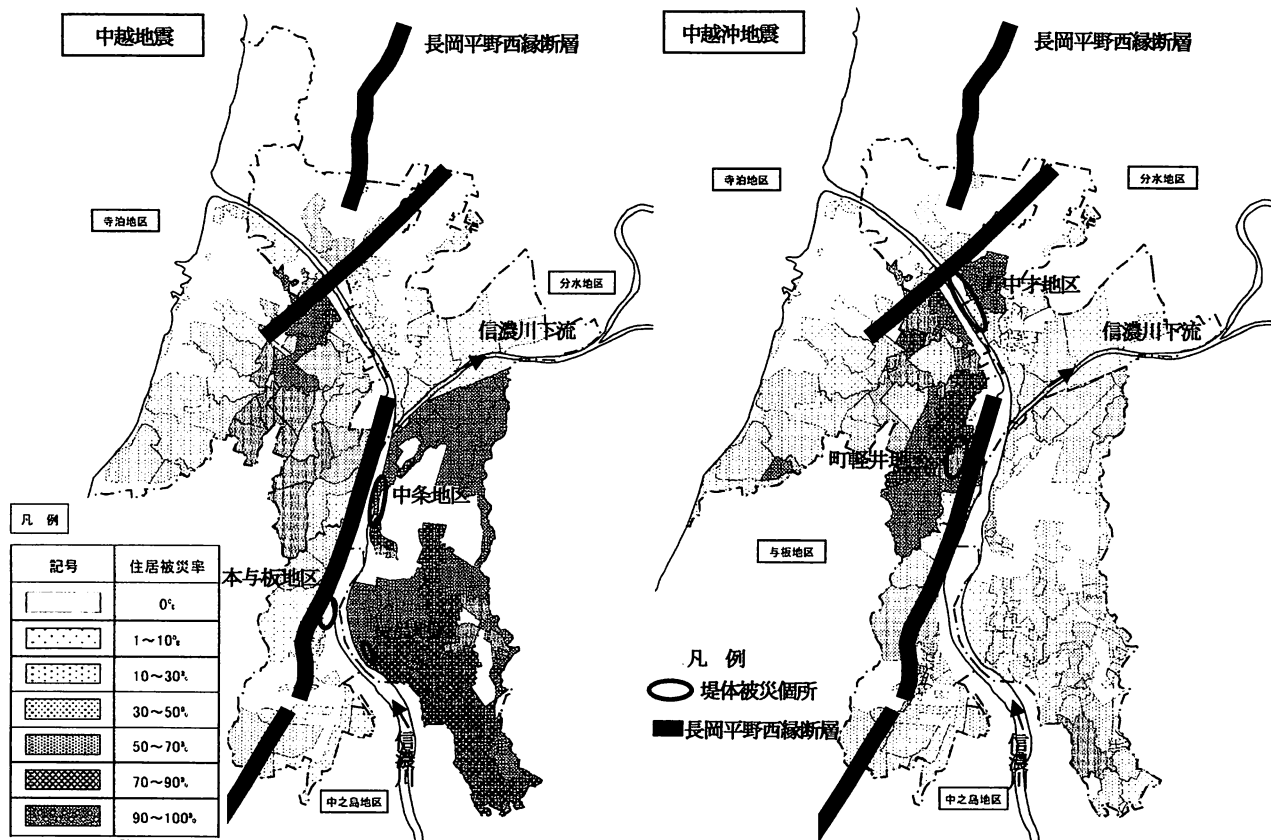


図-6 中越地震・中越沖地震被災家屋比較図

体内の飽和度が上昇していたと考えられる。

左岸4kの本与板地区の変状原因は、基礎地盤に約1mめり込んだ堤体砂質土の液状化と考えられるが、地下水位が約1m低かったとすれば、基礎地盤は粘性土であるため液状化は発生することなく、降雨が無ければ堤防の変状は生じなかった可能性がある。

6. おわりに

信濃川中流域の堤防は、新潟地震、中越地震、中越沖地震において液状化による被災を受けた。著者らは、これら3地震による被災状況を整理し、被災要因を分析した。その結果、液状化による堤防の被災には、地震力や基礎地盤状況だけでなく、地震発生時の地下水位や堤体飽和度、堤防幅等による変形抑制効果が関係することが分かった。

多くの活断層が存在している日本列島においては今後も大規模地震の発生が考えられる。本報告で得られた知見を踏まえ、全国で現在実施中の堤防詳細点検データを利用し、液状化により堤防が被災する箇所を抽出する手法を確立すべきである。また、抽出された箇所では、基礎地盤及び堤体内の地質状況、河川の平水時・増水時の地下水位変化把握や降雨時の堤体の飽和度の把握が重要である。今後、液状化発生危険箇所では、堤体の地下水

表-2 中越地震と中越沖地震時の雨量比較表

地震名	新潟地震	中越地震	中越沖地震
雨量区分	1964/6/16 13時01分頃地震発生	2004/10/23 17時56分頃地震発生	2007/7/16 10時13分頃地震発生
地震直後観測～ 1日前までの雨量合計	15.5mm	2.0mm	7.0mm
地震直後観測～ 7日前までの雨量合計	18.5mm	83.0mm	51.0mm
地震直後観測～ 14日前までの雨量合計	18.5mm	125.0mm	68.0mm
地震直後観測～ 21日前までの雨量合計	19.0mm	211.0mm	161.0mm
地震直後観測～ 30日前までの雨量合計	26.5mm	305.0mm	284.0mm

位連続観測によるデータの蓄積が望まれる。

液状化による堤防被災への対策としては、液状化層の改良以外に、地下水位・堤体飽和度を低下させる手法とせん断変形を抑制させる手法が考えられる。基礎地盤及び堤体の排水促進は費用対効果が一般に高いと考えられるが、液状化層が深い場合は採り得ない。堤体のせん断変形を抑制する観点から、堤防を拡幅補強する手法も考え得ることに留意すべきである。信濃川中流0k～12kの堤防基盤は緩い砂質土層が厚く分布しており、その大部分は地下水位以下にあるため、地震時に液状化が生じる危険性がある。今後、被災箇所の詳細調査を踏まえ液状化の抑止対策を検討していくことが望ましい。

参考文献

- 1) 信濃川河川事務所：管内液状化調査等業務委託，2008

(2008. 4. 3受付)