

地震による堤防被害と基礎地盤との関係 —震災対策の留意点—

Relationship between Earthquake Damage of Embankment and their Foundation

杉 本 利 英 (すぎもと としひで)

国土交通省北陸地方整備局 河川部地域河川課 課長

1. はじめに

平成16年10月23日に発生した平成16年(2004年)新潟県中越地震(以下、中越地震)は、新潟県中越地方を震源として発生したM6.8、震源の深さ13 kmの内陸直下型地震であった。最大震度は、長岡市東川口で7を記録し、震度5弱以上の余震が22回も発生した。

そのため震源地周辺の地域では家屋の倒壊や道路、造成地等の盛土被害、山間部の自然斜面崩壊など多数の被害が発生した。特に、旧山古志村(現長岡市)およびその周辺では、大規模な土砂災害が多発し、崩壊した土砂により河道閉塞が発生するなど多大な被害を被った。

中越地震では、このような山間部の土砂災害や盛土被害が注目を集めたが、河川堤防においても亀裂やはらみ出しなどの地震による災害が多数発生した。

中越地震により被害が集中した堤防箇所について、治水地形分類図やボーリング調査結果をもとに堤防基礎地盤構成について調査したところ、被害が集中した箇所の地盤構成にいくつかの共通点があることが明らかになった。本稿では地震による堤防被害(護岸を含む)と基礎地盤の関係について報告する。

2. 調査地周辺の地形・地質と地盤構成

2.1 地形・地質概要

本稿で検討した信濃川中流域と魚野川流域の地形は、魚野川と破間川を境に東西で大きく異なっており、東側が標高1500~2000 mの急峻な山岳地域(越後山脈)であるのに対し、西側は魚沼丘陵や東山丘陵、東頸城丘陵などのなだらかな丘陵とその間の盆地からなっている。また、西側の丘陵の稜線や盆地の伸長方向は、北北東-南南西方向の顕著な方向性を示している。

調査地域の特徴として、約300万年前の鮮新世から始まり現在も続いている東西方向の圧縮運動が挙げられる。この運動により、小千谷から小出付近の魚沼丘陵や東山丘陵でも、北北東-南南西方向の褶曲構造が発達している。

信濃川中流域と魚野川周辺の河川の堆積物に着目すると、河川の堆積物の基盤である新生代第四紀下部更新世までの地層が形成する谷の形状により、形状と堆積物の性状が異なっている。図-1(A)に示すように谷の幅と形状から、谷幅が広く直線的な氾濫原地域(A地区:信濃川18 km地点から下流)、谷幅がやや広く下流側に

広がる形状の扇状地地域(B地区:18~30 km)、谷が狭く屈曲する信濃川合流点下流から魚野川間の穿入蛇行地域(C地区:30 km~魚野川6 km、隆起域)、谷幅がやや狭く直線的な魚野川の扇状地地域(D地区:魚野川6 km地点から上流)の四つに区分される。

2.2 地盤構成による区分

信濃川の地盤構成は、図-1(B)に示すように信濃川18 km付近を境に上下流で大きく異なる傾向が認められる。氾濫原地域の下流部にあたる信濃川0~11 km付近は、主に粘性土層(Ac1, Ac2)と砂質土層(As1, As2)が厚く分布する。一方、氾濫原地域上流部の信濃川11~18 kmまでの間は、18 km付近で「基盤層」である砂礫層(Pg)が下流側に急傾斜し「谷」が深くなり、薄く分布する粘性土層(Ac1, Ac2)、砂質土層(As1, As2)や厚く礫質土層(Ag1, Ag2)などが分布する複雑な地質構成を示す。この区間は、礫質土層主体から粘性土層・砂質土層主体地域への漸移帯と考えられる。信濃川18 kmより上流の扇状地地域は主に礫質土層からなり、地表付近に粘性土層や砂質土層の薄層がわずかに分布している。18~30 km間の基盤層の深さは、堤防基礎面から12~8 mと上流に向かって徐々に浅くなる傾向を示す。

以上より、0~18 kmは、0~11 kmまでの粘性土や砂質土が厚く堆積する地域と11~18 kmまでの砂礫層(Ag1, Ag2)の上部に粘性土や砂質土が薄く分布する地域に大きく2分される。また、18~30 kmは基盤層である砂礫層(Pg)が比較的浅い深度より分布する区域とすることができる。

信濃川30 km地点(小千谷上流)から魚野川6 km(八郎場)付近の穿入蛇行地域は、谷幅が極端に狭く土質構成は、礫質土層(Ag1)を主体とし、局所的浅部に砂質土層(As1)が薄くわずかに堆積している。基礎岩盤は浅く堤防基礎面から10 m程度に分布している。

魚野川扇状地地域の土質構成は、礫質土層(Ag1)を主体とし、地表付近に砂質土や粘性土といった細粒の堆積物が分布している。基礎岩盤は、破間川合流点下流では深度が浅く堤防基礎面から5~10 mに分布するが、合流点上流側ではやや深く、深度15 m程度となる。

3. 中越地震と堤防被害

3.1 中越地震による河川被害概要¹⁾

中越地震による河川での主な被害として、堤防の亀裂

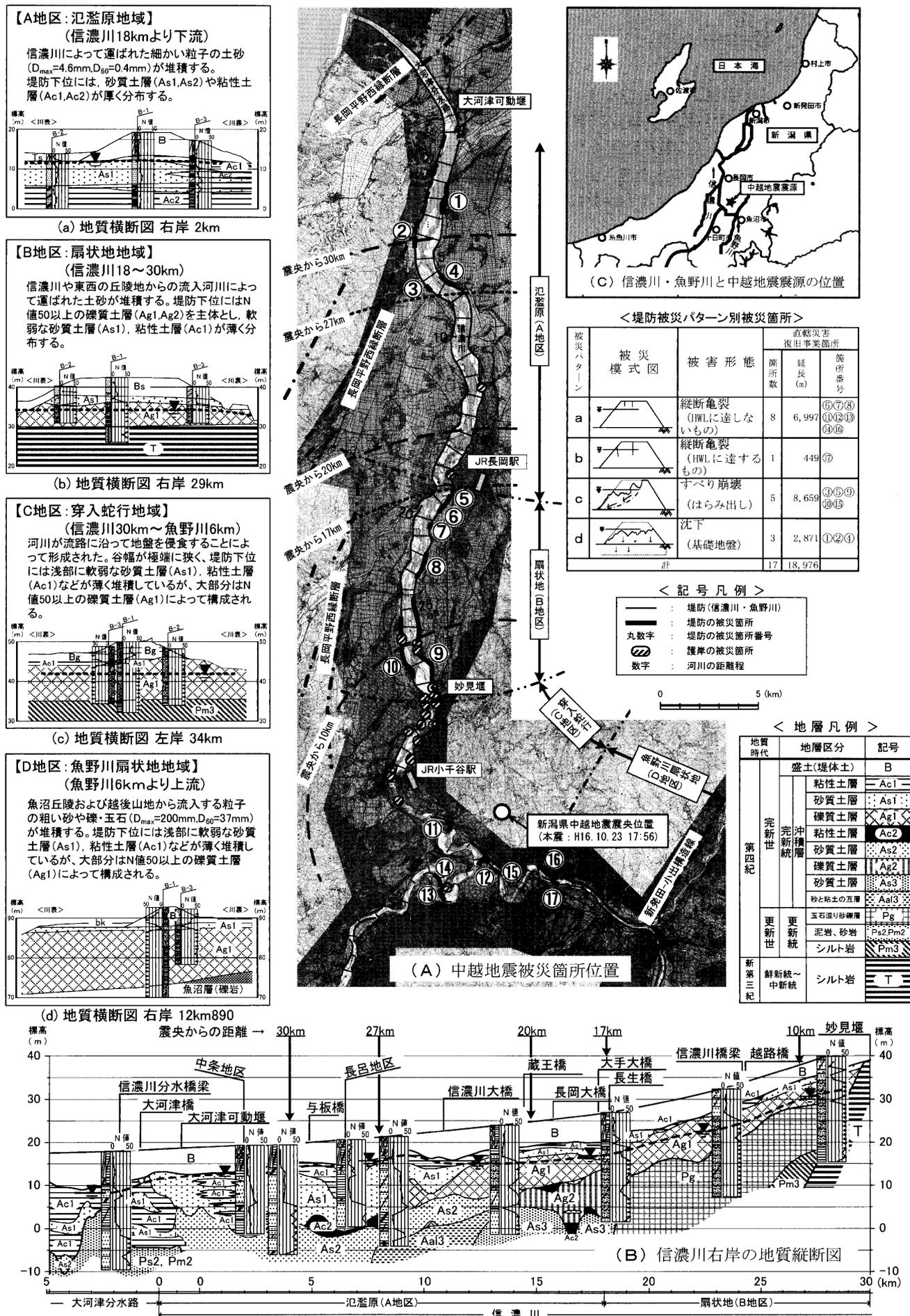


図-1 信濃川・魚野川の地盤構成と中越地震の被災箇所

報 告

や法面崩壊、沈下、護岸、堰、水門等の施設の損傷、河道閉塞があった。被害箇所は、北は大河津分水路、南は十日町市や南魚沼市までの地域にわたり185箇所（直轄）に及んだが、その内、被害が甚大な直轄災害復旧事業対象箇所は、42箇所（堤防17箇所、護岸25箇所）であった。図—1(A)に中越地震被災箇所位置を示す。

震源地に近い穿入蛇行区域から上流（小千谷市から十日町市や魚沼市）の被害は143箇所と件数は多いものの、その被害程度は比較的軽微なものが主であり、堤防亀裂が120箇所と圧倒的に多かった。そのため、地震発生直後に亀裂部を切り返して盛土で復旧された。また、護岸の被害は、図—1(A)に示すように震源に近い穿入蛇行地域下流部30~36 km（小千谷から妙見堰）に被害が集中しているが、堤防被害は震源から約30 km 離れた氾濫原地域（大河津可動堰付近）まで、被害がばらついている。

3.2 震央からの距離と堤防被害

震央からの距離と堤防被災率の関係を整理すると表—1に示すように、震源に最も近い0~10 km 区間が被災率（被災延長/堤防延長）が最も高く54.6%を示す。ついで、10~20 km 区間が31.6%、20~30 km 区間が5.5%を示し、震源から離れるに従い被災率が低下する傾向にあるが、震央から最も離れた30~40 km 区間の被災率は16.3%を示し、20~30 km 区間と比べて被災率が逆に高くなっている。

特に、震央からの距離が17~27 km 区間は、左右岸ともに、軽微な被害はあるものの、災害復旧事業の対象となるような被災を受けていない。

なお、信濃川近傍の観測地点における震度・最大加速度は、震源より離れるに従って、表—2に示すように小さくなる傾向が得られている。

3.3 地震による地盤の隆起と堤防被害

中越地震の震源の深さは5~15 km ときわめて浅く、地震断層の走向は北東-南西方向で、東南東-西北西方向の圧縮により西側が東側に向かって約1.8 m 乗り上げる逆断層変位と解析されている²⁾。地震発生前後の河川縦

表—1 震央距離と堤防被災率

震央距離 (km)	堤防延長 (km)			被災延長 (km)	被災率 (%)
	総延長	左岸	右岸		
0~10	6.7	3.2	3.5	3.655	54.6
10~20	24.5	12.4	12.1	7.740	31.6
20~30	23.2	11.1	12.1	1.275	5.5
30~40	11.7	6.1	5.6	1.906	16.3
0~40	66.1	32.8	33.3	14.576	22.1

※1：堤防被害の大きかった妙見堰30km地点より下流を対象に調査

※2：被災率=被災延長/堤防延長

表—2 震央距離と地震動

震央距離 km	観測地点名	震度	最大加速度 gal	卓越周期 sec
7	妙見堰観測地点	6.5	1,728	0.2
19	長岡観測地点	5.5	544	0.3
35	大河津観測地点	4.7	151	0.6

断測量データの比較による堤防の隆起・沈降状況は、穿入蛇行地域の信濃川30~50 km 間および魚野川0~6 km 間の小千谷・川口地区において30 cm 以上、最大73 cm（上片貝地区41 km 地点）隆起し、氾濫原や扇状地の0~30 km 間および魚野川扇状地地域の魚野川7 km 上流では10 cm 前後沈下した。特に、扇状地扇頂部の岩野地区27 km 周辺では最大40 cm 沈下している。

堤防被害状況は穿入蛇行地域25.6~36 km においては護岸が多数被災したが、堤防被害は軽微（天端部の縦断亀裂のみ）であった。

また、穿入蛇行地域の隆起区間から沈降（あるいは隆起しなかった）区間へと変化する扇状地地域28 km 周辺の三俣野地区、および魚野川6 km 周辺の新道島・下島地区では、堤防が法面のすべり破壊や基盤に達するような縦断亀裂が発生する大きな被災を受けた（口絵写真—11）。

なお、魚野川扇状地地域では、新発田-小出構造線を境に魚野川15 km 周辺（小出地区）の堤防被害は無かった。

4. 堤防基礎地盤と堤防被害との関係

信濃川・魚野川沿いを氾濫原、扇状地、穿入蛇行、魚野川扇状地の4地域に分け、各地域に分布する地質や地下水位の状況、液状化痕跡、地盤隆起等の調査結果から堤防の基礎地盤と堤防被害の関係をまとめると次のとおりである。

① 氾濫原地域（A地区：信濃川18 km より下流）

図—1(a)に示すように、粒子が均一の緩い（ N 値=10前後）砂質土（As1）や軟弱（ N 値=1~4）な粘性土層（Ac1）が分布する地下水位の高い区間で、液状化の痕跡が連続して多数確認された。

特に、液状化による堤防被災箇所は氾濫原地域の信濃川0~8 km の範囲に集中しており、右岸2.0 km 中条、左岸4.0 km 本与板、右岸7.0 km 長呂地区の合計2,871 m の3地区堤防が液状化により被災した。この3地区が被災した原因は、長岡平野西縁断層や河川の有無による地震動伝播の違い、堤防直下の土質構成の違い、地下水位の高さや堤体の飽和度・強度・形状（幅）の違い、矢板施工等による変形抑制効果などが関係していると考えられる³⁾。

信濃川8~13 km 付近は、下流部と同様地下水位が高く、緩い砂質土層（As1）が液状化する可能性はあるが、表層には粘性土層（Ac1）が2~3 m 程度分布しており、信濃川11~13 km のAs1は薄く1~2 m 程度であるため噴砂が生じにくかったものと考えられる。また、信濃川13~18 km 付近は、地下水位が緩い砂質土層（As1）よりも低くなるため液状化は生じなかったと考えられる。

② 扇状地地域（B地区：信濃川18~30 km）

長岡市街地より上流は地下水位がA地区よりも低く、地表付近より砂礫層（Ag1）が分布する。そのため液状化の痕跡が少なく、液状化による堤防被害は無かったが、振動が原因により多くの箇所が被害が発生した。特に三

俵野地区の信濃川右岸28 km 周辺では、縦断クラックが連続し、堤内地側法面が天端の半分を残して崩壊する大きな被害が生じた。図一 1 (b) に示すように、この地区の基盤層であるシルト岩 (T) の出現深度は浅く、堤体基礎面から深度 6 m に位置する。シルト岩の上位には砂礫層 (Ag1, N 値50以上) と砂質土層 (As1, N 値=4~12) が堆積している。堤体は主に N 値10前後の礫混じり砂であった。

③ 穿入蛇行地域 (C 地区: 信濃川30 km~魚野川6 km)

震源地に近いものの、液状化の痕跡は認められない。堤防被害は比較的軽微であり、堤防天端に HWL 以上の縦断亀裂が発生した程度である。

また、信濃川30 km 長岡市妙見地先周辺から信濃川36 km 小千谷市山本地先付近までは、低水護岸が損傷した。図一 1 (c) に示すように、この地区の基盤層である泥岩 (Pm3) や礫岩 (Pg3) の出現深度は浅く、堤防基礎面から深度10 m 程に位置する。その上位には砂礫層 (Ag1) が堆積している。

④ 魚野川扇状地地域 (D 地区: 魚野川6 km より上流)

液状化の痕跡は少なく、魚野川6 km (新道島, 下島地区) 周辺を除き、堤防被害は軽微な堤防天端の縦断亀裂のみであった。図一 1 (d) に地質横断図を示す。

基盤層が浅く密な礫質土層が堆積している穿入蛇行地域や魚野川扇状地地域の被害は、護岸の亀裂が主体で、堤防被害は一部区間を除き軽微な縦断亀裂であった。

基盤層が深く砂や粘土が堆積している氾濫原地域は、震源地から約30 km も離れているにもかかわらず、堤体直下に分布する砂層 (As1, $D_{50}=0.15\sim0.52$ mm) の液状化に伴う流動化現象により、堤体の沈下やすべり破壊など比較的大きな被害を生じた箇所が多かった。

液状化の痕跡は、砂やシルトが厚く分布する氾濫原地域や旧河道で多く見られ、地表付近より礫が分布する扇状地や穿入蛇行地域は局所的でごくわずかである。これらのことから、堤防の被害程度は、震源地からの距離の他に、基礎岩盤の深さや地下水位の高さ、緩い砂層の厚さと位置が関与しているものと考えられる。

なお、液状化による被災以外で堤防に大きな被害があった扇状地地区28 km 周辺 (三俵野地区) および魚野川6 km 周辺 (新道島・下島地区) は、東南東-西北西方向の圧縮による隆起と沈降 (あるいは隆起しなかった) が生じた境界付近に位置するため、他地区より強い地震動による慣性力により顕著な被害が発生した可能性がある。

5. 今後の課題

中越地震によって被災した堤防のメカニズムを分析した結果、地震に対して留意すべき堤防とその対策について以下に示す。

① 基盤層が深く砂や粘土が厚く堆積し地下水位の高い氾濫原地域の堤防

基礎地盤の液状化層の流動や震動により堤防に大きな

被害が発生する恐れがある。また、普段は地下水位が低いところでも、降雨や出水により地下水位が高くなることにより液状化の恐れもあることから、堤体直下に液状化層となりうる砂質土層がある場合は、地下水位・堤体飽和度を低下させるために、ドレーンによる基礎地盤および堤体の排水促進や遮水シート施工などによる雨水浸透対策が有効と考える。

② 液状化層が厚い地域の堤防

堤体のせん断変形が生じる恐れがあるため、変状被害を抑制する観点から、堤防法尻部の矢板打設、液状化層の地盤改良、堤防の拡幅補強、補強マット工法⁴⁾などの対策が有効と考える。

③ 基礎岩盤が浅く川幅も狭く礫が堆積している穿入蛇行地域の堤防

穿入蛇行区間に分布する軟弱層は薄いため、震動や液状化による大規模な堤防被災は発生しないと考えられる。しかし、護岸などの剛な構造物については、強い震動を受けた場合、堤防の変形に追従できず被災を受ける可能性が高いことから、変位が許容できるフレキシブルな構造を適用することが被害軽減に有効と考えられる。

6. まとめ

中越地震により信濃川中流域から魚野川で甚大な被害を受けた直轄災害復旧事業箇所を対象に、地震による堤防 (護岸を含む) 被害と基礎地盤状況との関係について検討を行った。

その結果、堤防被害の有無は、地震動の大きさが重要な要因であるものの、地震動のみでは推定できず、堤体の性状や形状、地下水位の高さ、地形、基礎地盤の地質 (断層の有無を含む)、護岸矢板なども影響を与えていることが示唆された。

近年、大河津分水路左岸0.5 km 付近の五千石遺跡の発掘現場内において縄文時代後期以降に堆積した複数の地層から液状化現象に伴う噴砂礫が発見された。この発見は、この地域一帯が文献資料に残る地震記録以前に無数の地震に見舞われていたことを証明している。

同規模の地震は、今後も発生すると考えられることから、従来の地震情報や技術に加え、中越地震により得た知見も取り入れ、今後、堤防被害の軽減や防止対策を計画的に実施することが必要と考える。

参 考 文 献

- 1) 信濃川河川事務所: 新潟県中越地震による信濃川堤防被災に関するとりまとめ, 2007.
- 2) 今給黎哲郎・西村卓也: 地殻変動観測から見た新潟県中越地震の断層モデル, 月刊地球, 号外53, pp. 76~81, 2005.
- 3) 杉本利英・天野雄介・岡野 靖: 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, 河川技術論文集, 第14巻, pp. 65~70, 2008.
- 4) 規矩大義・五十嵐正之・柴田 東・山口恵美: コニカルマットを用いた河川堤防の耐震対策について, 地盤工学研究発表会, pp. 1453~1454, 2010.

(原稿受理 2010.11.1)