

平成16年(2004年)新潟県中越地震による農業用水路の被害

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人農業工学研究所 公開日: 2024-08-02 キーワード: 作成者: 浅野, 勇, 向後, 雄二, 林田, 洋一, 井上, 敬資 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/0002001111

平成16年（2004年）新潟県中越地震による農業用水路の被害

浅野 勇*・向後雄二*・林田洋一*・井上敬資**

目 次

I 緒 言	47	VI 調査地点の個別被災状況	50
II 地震による水路被災に関する既往の報告	47	VII 水路の被災要因と損傷の程度	58
III 水路被害の要因	48	VIII 結 言	58
IV 平成16年（2004）年新潟県中越地震の概要	48	参考文献	58
V 農業用水路の調査方法と被災の概要	49	Summary	59

I 緒 言

2004年10月23日（土）17時56分ごろ、 $M_j=6.8$ の地震が新潟県中越地方で発生した。震源近傍の小千谷町及び川口町では、震度7相当の地震動が観測された。今回の地震における新潟県の農地・農業用施設の被害箇所は14,848箇所、そのうちの約30%（4,491箇所）が水路であった（谷, 2004）。本報告では、既往の文献より開水路の被災事例を整理するとともに、地震から半年後が経過した2005年5～6月に、筆者らが小千谷市、長岡市で行った農業用水路の被災調査の結果について述べる。

なお、現地調査では、新潟県農地部、新潟県長岡振興局、信濃川左岸土地改良区、越路原土地改良区、福島江土地改良区、上古志土地改良区、関原土地改良区及び小千谷土地改良区の関係各位より、資料提供及び現地状況の説明を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。また、新潟県中越地震復旧・復興GISプロジェクトの推計震度分布図及び震央までの距離測定GISを使用させて頂いた。ここに記して感謝致します。

II 地震による水路被災に関する既往の報告

以下、水路は開水路を意味するものとする。水路の地震被災に関する文献では、水路の地震被害の大きさと地盤変状との関係が指摘されている。ここでは、これらの水路被害に関する文献を整理し、地震時の水路被害の特徴についてまとめる。

1 昭和58年日本海中部地震による水路被害

1983年5月26日正午、秋田沖の深さ14kmを震源と

するマグニチュード7.7の地震が発生した。この地震により震源に近い秋田市、青森県深浦市では震度5の強震を観測した。また、日本海に面した能代市周辺、大潟村を中心とする旧八郎潟において農地・農業用施設の被害が発生した（秋田県（1985）、渋谷（1987））。

水路被害は、沖積地で軟弱地盤が多い山本、秋田地区に集中した。特に大潟村干拓地の被害は甚大であった。水路の被災形態としては、コンクリート矢板型水路の倒れ込み、コルゲートフルームの浮き上がり等が多く発生した。一方、水路本体が破壊した事例は少なく、地盤の変状が原因となり水路に沈下、傾きが発生し、水路に土砂が流入し、通水断面が確保できなくなる事例が見られた。地震により無損傷であった2次製品水路は、目地材のみを再度充填することにより部材として再利用された。大潟村の小用水路では、不同沈下を防止するために短スパン（長さ1m）の薄肉コンクリート製フリユームが採用されていた。この水路では、地震による水路本体の変位が継目によって吸収され、本体に大きな損傷が発生しなかった（沢井（1970））。地盤の変形が想定される地域では、地震後の補修を考慮した水路の設計が必要である。

2 平成5年（1993年）北海道西南沖地震による水路被害

平成5年（1993年）7月12日22時17分頃、北海道西南沖の深さ34kmを震源とするマグニチュード7.8の地震が発生した。この地震により、北海道の小樽、江差などで震度5の強震を観測した。北海道西南部、特に瀬棚郡北檜山町及び今金町を中心に農地・農業用施設の被害が発生した。（安中他（1996）、土木学会（1997））。この地震では、農地の法面崩壊、パイプライン及びため池の被災事例が多く、農業用水路の被災は比較的少なかった。用水路では、函館市近郊に位置する大野地区幹線水路で、ブロック積み水路の崩落、L型ブロック水路の倒れ込み、目地部における食い違いが生じた。被災が発生した水路の基盤にはゆるい砂層が存在しており、これ

*造構部構造研究室

**造構部広域防災研究室

平成18年2月28日受理

キーワード：農業用水路, 災害調査, 平成16年(2004)年新潟県中越地震

が被災原因の一つと推定された。

3 平成7年兵庫県南部地震における水路被害

平成7年(1995年)1月17日(火)5時46分頃、兵庫県淡路島北部の深さ約16kmを震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、神戸、洲本では震度6の烈震を観測した。この地震による農地・農業用施設の被害は兵庫県に集中し、その中でも淡路島が特に被害が大きかった。被災の特徴としてはため池の被害が大きく、農地・農業用施設の被害総額の75%を占めた。

農業用水路の被害は東播地区と淡路島に集中した。東播地区においては、水路のほとんどが管水路であり、開水路の被害は少なかった。一方、淡路島では、水路近傍の法面崩壊によって多くの開水路が被災した。被災した水路は、山地の法面に隣接するものに多く、平地に設置されたものは被害が少なかった(兵庫県(1996))。

III 水路被害の要因

IIで整理した水路の地震時における被災事例から、地震による水路被害の特徴をまとめれば、以下の3点となる。

- ① 震度5以上の地震では水路に損傷が発生する可能性がある。
- ② 水路の損傷の大きさは地盤条件と密接に関係する。
- ③ 地震による水路の通水機能の低下は、水路本体の破損が直接の原因になることは少なく、周辺地盤の変状(液状化、沈下、隆起)により水路本体が変位し、土砂の流入等が発生し、最終的に通水断面が確保できず、通水機能を損失するが多い。

以上から、地震による水路の損傷要因としては、①地震動の大きさ、②地盤条件、③水路の構造の3つが主なものであると推定できる。以下の現地調査ではこれらの要因に着目し、その結果を整理した。

IV 平成16年(2004年)新潟県中越地震の概要

1 地震の特徴

平成16年(2004年)新潟県中越地震の特徴の一つは、活発な余震活動にある(翠川他(2004))。2004年10月23日の17時56分ごろ M_j 6.8の本震(最大震度7)が発生し、同日18時11分頃に M_j 6.0の地震(最大震度6強)、さらに同日18時34分頃に M_j 6.5(最大震度6強)の最大余震が観測された。このように、本震発生後1時間以内に震度6強の余震が2回も発生した。構造物には短時間の間に繰り返し荷重が数多く作用したと考えられる。

2 震度分布と震源メカニズム

Fig.1に各地の震動から推定した推計震度分布を示す

(気象庁(2005))。震度が大きな範囲は北北東-南南西方向を長軸とする楕円状の範囲に分布した。中山(2004)によれば、本震の断層の走行は北北東-南南西で、北西傾斜の逆断層タイプ、断層面積は 24×8 km程度、震源の深さは約13kmと浅く、すべりの破壊は震源から浅い方向に向かって進んだといわれている。Fig.1から中山の想定する断層面と推計震度の分布はほぼ一致することがわかる。Fig.2は長谷川他(2005)が示した断層の3次元モデルに筆者が加筆した図である。今回の本震では、断層面を境に小千谷側の上盤が小出側の下盤に対してずり上がるように移動したことがわかる。計測震度分布は、断層の上盤に相当する小千谷市、越路町の推計震度が下盤側より大きくなる傾向にあった。

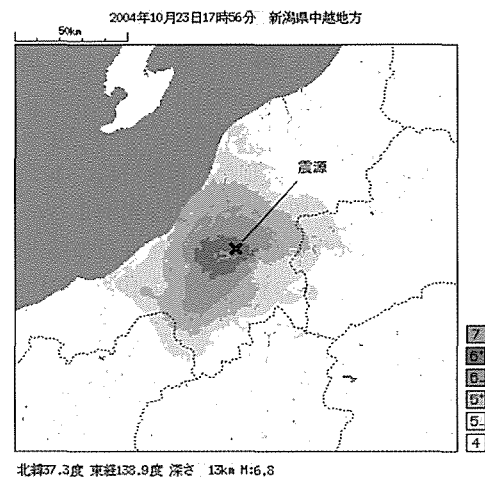


Fig.1 本震の推計震度分布(気象庁)

Estimation seismic intensity distribution of main shock (JMA)

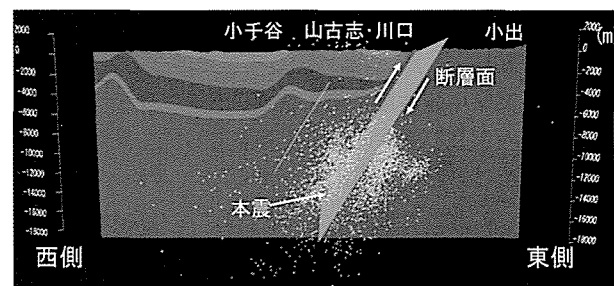


Fig.2 地震の断層モデル

Model of earthquake source faults

3 地震動の特徴

境(2004)は今回の地震波の弾性加速度応答スペクトルを求めている(Fig.3, 4)。Fig.3, 4では、水平2方向の加速度ベクトルを合成した波を入力波とし、減衰定数5%で加速度応答を求めている。Fig.3は、小千谷市、長岡市、小出町、十日町、川口町及び旧山古志村に設置された強震記録の弾性加速度応答スペクトルを比較した図である。Fig.4は、今回の地震応答と1995年兵庫県南部地震などの過去の地震応答を比較した図である。2つの図から、今回の地震動の特徴をまとめれば、以下の2点となる。

① Fig.3から、長岡，小出，十日町では0.5秒以下，小千谷では0.5秒程度の短周期の波が卓越している。一方，川口町及び旧山古志村では1~2秒の長周期の波が卓越している。

② Fig.4から，川口町の地震波は建物に大きな被害をもたらすと言われている1~2秒の周期帯の波が多く，1995年兵庫県南部地震のJR鷹取や葺合の地震波と似た特徴を有する。

地震動による構造物の損傷は，地震動の卓越周波数と構造物の固有周期の関係に影響を受ける。構造物の固有周期に近い周波数帯の加速度応答が大きな地震動は構造物に大きな損傷を与える可能性がある。川口町及び旧山古志村で観測された地震動には1~2秒の周期帯の加速度応答成分が多くふくまれており，このことが，この地域で大きな地盤災害及び家屋の被害が生じた理由と推定される。一方，長岡，小出，十日町の地震動は0.5秒以下の短周期成分が卓越しており，計測された加速度及び震度に較べてこの地域の被害が少なかった理由の一つと推測される。なお，翠川（2004）が指摘しているように，地震動は地盤条件に影響を受け局所的に変化する。このようなローカルサイトエフェクトの問題も現地における

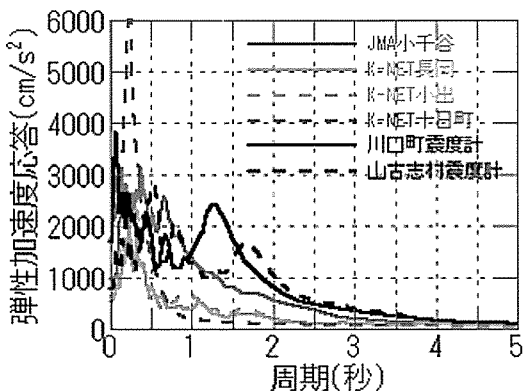


Fig.3 弾性加速度応答スペクトル(小千谷，長岡，小出，十日町，川口，山古志)
Response acceleration (Ojiya, Nagaoka, Koide, Tokamachi, Kawaguchi, Yamakoshi)

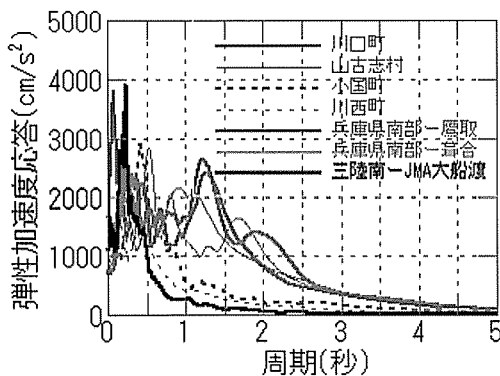


Fig.4 弾性加速度応答スペクトル(川口，山古志，小国，川西，鷹取，葺合)
Response acceleration (Kawaguchi, Yamakoshi, Oguni, Kawanishi, Takatori, Fukiai)

被災状況を考える上で重要である。

V 農業用水路の調査方法と被災の概要

1 調査時期と調査箇所

地震発生から約半年が経過した2005年5月11~14日，5月22日，6月1~3日に，信濃川上流の川口町を起点に，小千谷市，長岡市及び与板町までの水路及び農地の被災状況を調査した。現地では，田植えを目前に復旧工事が急がれていた。なお，調査対象は平地部を中心とした。今回の地震で特に大きな被害を受けた旧山古志村等の山地部は調査の対象外とした。

調査地点の位置の概略図をFig.5に示す。また，調査地点での推計震度，水路構造，損傷の程度等をTable 1に示す。なお，Fig.5に示した調査地点は，特徴的な水路損傷が観察された地点であり，必ずしも水路被害が集中した地点とは一致しない。水路被害は散発的に発生していた。Fig.5の被災地点の中で水路被災が広域的であり，その被害が大きかったのはD，E，I地点であった。

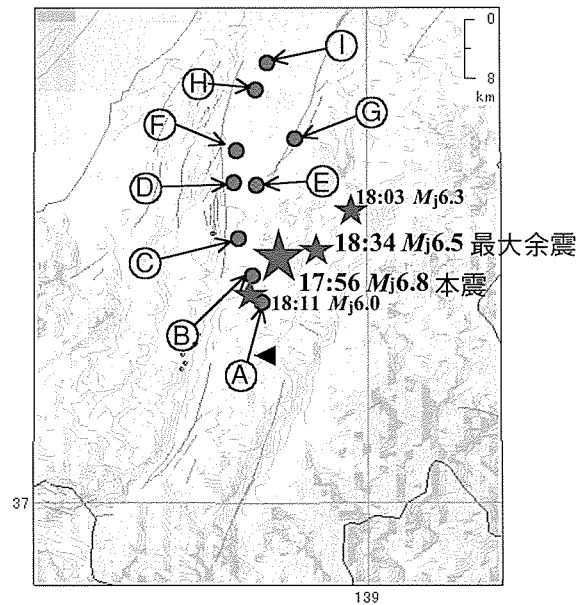


Fig.5 水路の被害調査箇所
Damage investigation points of canals

Table 1 被害調査箇所諸元
Conditions of damage investigation points

記号	場所	推計震度	水路構造	損傷	土地改良区
A	川口町川井新田	震度6強以上	BF, 橋梁	A	川井土地改良区
B	小千谷市上片貝	震度6強以上	BF, 擁壁型	A	不明
C	小千谷市三洋電機前	震度6強以上	現場打フルーム	B	信濃川左岸土地改良区
D	越路町岩野	震度6弱	BF, 橋梁	A	信濃川左岸土地改良区
E	長岡市釜ヶ島	震度6弱	BF, 橋梁	A	山古志土地改良区
F	長岡市深沢町	震度6弱	矢板型	B	信濃川左岸土地改良区
G	長岡市高畑町	震度6弱	擁壁型	B	山古志土地改良区
H	長岡市花井町	震度5弱	矢板型	B	信濃川左岸土地改良区
I	与板町新中島	震度5弱	BF, 橋梁	A	信濃川左岸土地改良区

注1) BF:ベンチフレーム
注2) 損傷 A: 重大損失(通水機能の喪失) B: 中程度の損失(応急修理により通水は確保できるが後に新設が必要) C: 軽微な損失(補修により機能を回復) D: 損傷無し

2 水路被災と地盤の関係

平野部における水路被災の特徴は、地盤の変状が大きな地域に水路被災が集中したことにある。Fig.6は農地・農業施設の被災箇所を地質図の上にプロットした図である。山地部を除けば、被災箇所は、信濃川及び渋海川の河道、後背湿地堆積物が存在する領域に存在した。Fig.6に示した与板町、渋海川及び岩野・高島町は、若松他(2004)の航空写真及び現地調査において、地盤の液状化が顕著であると報告された地域と一致する。

信濃川流域の地盤は、蔵王橋(Fig.6)を境に砂質地盤から、砂礫地盤に移行するといわれている(若松他, 2004)。砂礫地盤である岩野・釜ヶ島地区は、本来ならば、液状化が発生しにくい地域である。それにもかかわらず、液状化が発生した理由として、若松他(2004)は、過去にこれらの地域で行われた砂利の採掘とその埋め戻しに用いた山砂の存在を挙げている。一方、与板町の液状化は、地表から7m付近まで緩い砂が存在していること、過去に液状化の発生の記録があることから、自然堆積した砂を液状化の原因と推定している。

長岡市の東部の山沿いでは、北北東方向に向い線状に被災が集中した(Fig.6)。この地域は、長岡高専、高町など盛土部分の崩壊及び住宅被害が目立った地域である。久田(2005)は、その要因として地震動の局所的な増幅の可能性を指摘している。高町近傍では幹線水路も被災を受けており、この地域における水路の被災と地盤の変状の間には調和的な関係が見られた。

以上から、水路の被災と地盤の変状は密接に関係しており、基本的には、地盤の変状が大きな地域では水路の

被害も大きくなる傾向にあると推定できる。すなわち、地盤及び住宅等の建造物の被害と水路の被害は調和的であり、水路のみが選択的に被災することは少ないと考えられる。

VI 調査地点の個別被災状況

1 川口町川井新田(A地点)

被災地点は、信濃川と魚野川の合流点から3kmほど信濃川を遡った信濃川右岸扇状地段丘の水田である。震央からの距離は約6km、推計震度は震度6強以上と、強い地震動を受けた地域である。被災地点が属する地形区分である扇状地段丘は、この地域の中でも特に被害が集中した地形区分である(久田, 2005)。久田は、扇状地段丘地形に被害が集中した理由として、後背地の地すべり性斜面から供給された軟弱な風化物の堆積層により地震動が増幅された可能性を示唆している。

Photo 1~2に水路の被災状況を示す。水田の法面(点線で囲んだ部分)が一部崩壊し、その土砂が排水路(柵渠)に流入し、柵渠が損傷していた(Photo 1)。法面に設置されていたベンチフリューム水路も押し流され柵渠に流れ込んでいた。Photo 2は、Photo 1の点線で囲んだ部分を拡大した写真である。ベンチフリュームが押し流された様子が分かる。被災地点の周辺では、同時に水田の法面崩壊(Photo 3)、田面の憤砂(Photo 4)

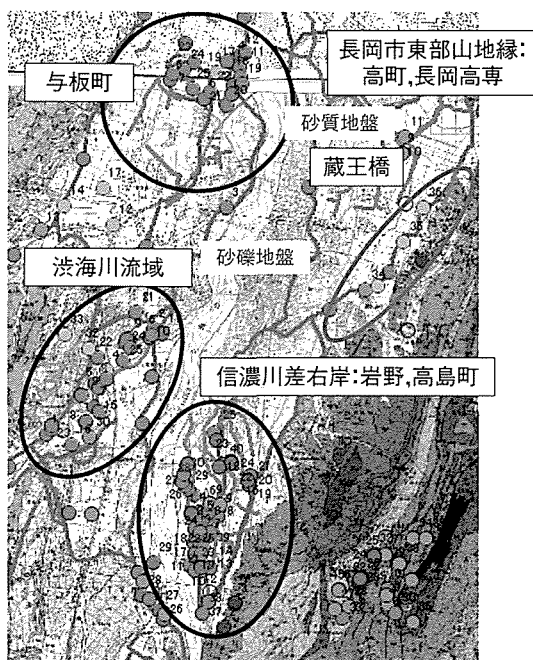


Fig.6 農地・農業用施設の被災点と地質の関係(5万分の1地質図幅「長岡」に加筆)

Relationship between damage points of agricultural land and facilities and geological plan

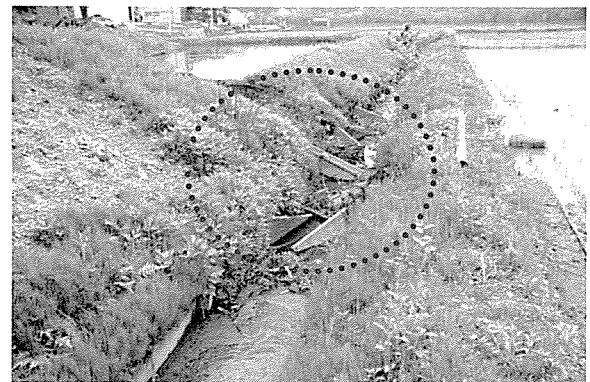


Photo 1 柵渠の倒れ込み
Inclining of the drainage canals



Photo 2 ベンチフリュームの損傷
Damage of concrete bench flumes

が観察された。現地では、積砂が発生した水田に対して広範囲に復旧工事が行われていた。川井田新田では農地法面の崩壊が多いとの印象を受けた。



Photo 3 水田法面の崩壊
Collapse of the paddy field slope

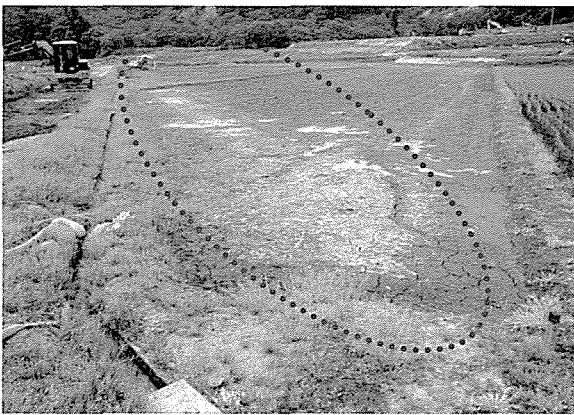


Photo 4 水田に発生した積砂
Sand gushing on the paddy field

2 小千谷市上片貝 (B地点)

被災地点は、越後川口ICから1.5kmほど信濃川を下った左岸河岸段丘に位置する階段状の水田である。震央からの距離は約4km、推計震度は震度6強以上である。Photo 5に被災した水田地帯を遠望した写真を示す。この地区は小千谷市の中でも農地・農業施設の被害が集中した地域である。特徴的な被災形態は、水田法面の崩壊であった。現地調査時点では、被災した法面の多くが復旧されていたが、復旧箇所が多さから地震による法面崩壊の多さを伺うことができた。未復旧の法面崩壊の一例をPhoto 6に示す。

Photo 7に水路被災の状況を示す。法面の崩壊によりベンチフリューム水路が完全に埋没していた。農業用水を確保するための応急復旧対策として、Photo 7に示すように田面に土水路が掘削されていた。このような農業用水確保の工夫は至る所で見られた。開水路は、管水路に較べると応急処置により通水機能を回復することが容易な構造物と考えられる。地震後の水路の通水機能を確保するためには、水路の応急復旧方法の検討が重要であり、今後、特に重点的に研究が必要な分野である。



Photo 5 上片貝地区の水田
A view of paddy field in Kamikatagai area



Photo 6 水田法面の崩壊
Collapse of the paddy field slope



Photo 7 埋没したBF水路と水路の応急復旧
Buried bench flume canals and recovery works

3 小千谷市上三洋電子付近 (C地点)

a 三洋電子前1号幹線水路

被災地点は、小千谷大橋から約1km上流の三洋電子前に位置する信濃川左岸幹線水路である。水路は国道117号線に沿って延びており、水路の両側は盛土であった。盛土標高は、左岸側(国道側)が高かった。震央から被災点までの距離は約6km、推計震度は6強以上である。地盤は、地表面から約3mまでは非常に硬い礫混じりのシルト質粘土が分布し、3m以深にはN値50以上の砂礫層が存在する。水路は、鉄筋コンクリートフルー

ム型水路である。水路横断面図をFig.7に示す。解体工事の記録から、鉄筋はD16@250のダブル配筋と推定される。この幹線は、昭和54年度から平成7年度に実施された国営信濃川左岸二期農業水利事業により、コンクリート3面張水路から鉄筋コンクリートフルーム型水路に改修されており、水路建設からの経過年数は20~25年と思われる。

Photo 8に水路の被災状況を示す。国道側の水路側壁にはインパト表面から約0.9mの高さに水平ひび割れが発生していた。この水平ひび割れは、国道側の水路側壁のみに発生し、その延長は最大で45mに達した。盛土が水路に近接しかつ盛土標高が高い区間に水平ひび割れが集中していることから、盛土による土圧が原因となり、側壁に曲げひび割れが発生したと推定できる。

曲げひび割れ発生後の水路の応急処置としては、Photo 9に示すように丸太を用いた切梁で水路側壁の倒れ込みを防止した。丸太は後にH鋼に交換された。以上の応急復旧により、平年より1ヶ月遅れの2005年5月から農業用水の通水が再開された。通水機能の面では、水路の損傷は修復可能な範囲に収まっていたと考えられる。水路の本格復旧工法としては、側壁背面に鋼矢板を打込み、側壁を取り壊した後に、新たな側壁をコンクリートで打ち直す鋼矢板土留め工が採用された。旧側壁は、水平ひび割れの下部をコンクリートカッターで切断し、

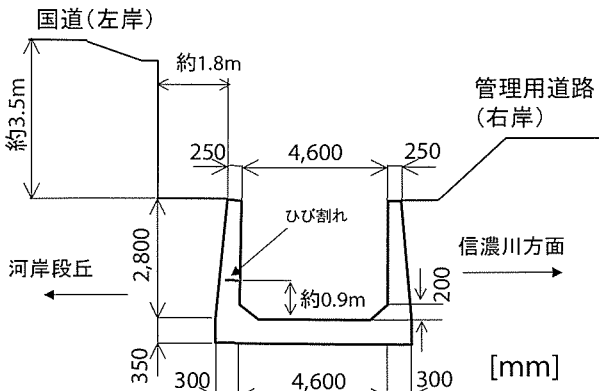


Fig.7 水路横断面図
Cross section of the canals



Photo 8 1号幹線水路(三洋電子前)

No.1 main canal (Along the front of SANYO Electric Co.,Ltd)

撤去された。本格復旧工事は2006年4月に完了予定である。復旧工事の概要をPhoto 10~11に示す。

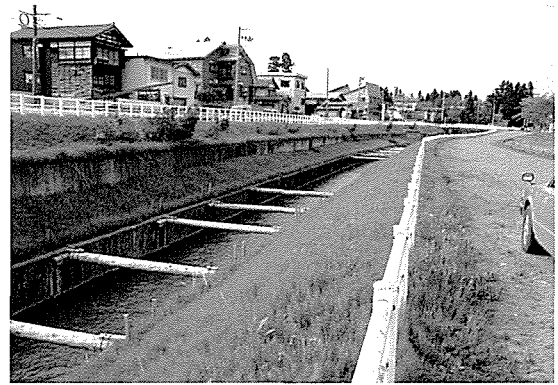


Photo 9 切梁による応急復旧
Urgent repair of canals used struts

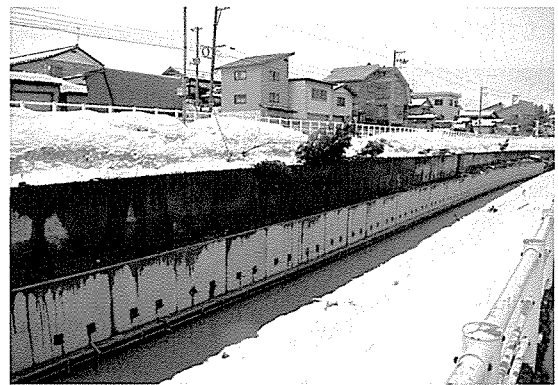


Photo 10 復旧工事
Restoration works



Photo 11 鋼矢板土留め工による復旧工事
Restoration works with steel sheet piles

b 千谷放流工付近

千谷放流工は、三洋電子前から600m程下流に位置し、農業用水を信濃川へ放流するための調整ゲートが設置されている。千谷放流工付近の水路被災としては、水路側壁の倒れ込み、継目部におけるコンクリートの剥離、側壁の斜めひび割れが観察された。放流工周辺において積砂が多く見られたこと、地盤の隆起・沈下が顕著であったことから、放流工周辺では液状化が発生していたと推定できる。放流工周辺と積砂の状況をPhoto 12に示す。水路の損傷はこの地盤の液状化と関係すると考えられ

る。

水路損傷の特徴としては、水路継目部におけるコンクリートの剥離箇所が多いことが挙げられる。継目部で発生したコンクリートの剥離の状況をPhoto 13に示す。この現象は、地盤の液状化の影響を受け、水路本体が剛体的に変位し、継目部分で互いに衝突したため、継目周辺のコンクリートが局所的に破壊し発生したものと推測される。また、剥離箇所がゲート部コンクリートと隣接する水路側壁の継目に集中していることから、ゲート部と水路側壁の地震応答の差により両者が逆位相の挙動を示し、継目部に損傷が発生した可能性も否定できない。



Photo 12 千谷放流工と積砂
Sand gushing in the near Chiya waterway

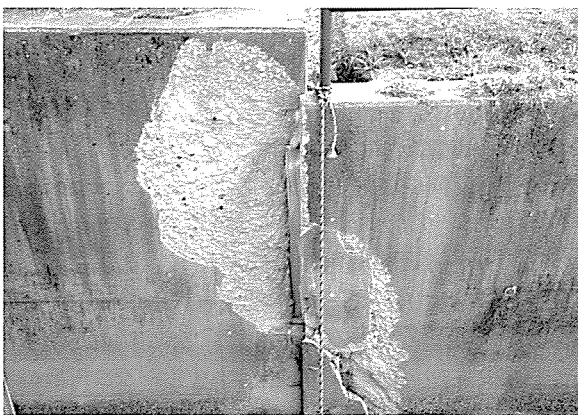


Photo 13 継目部のコンクリートの剥離
Stripping of concrete at a joint of canal

4 越路町岩野 (D地点) 及び長岡市釜ヶ島 (E地点)

両被災地区は、越の大橋と越路橋のほぼ中間の信濃川左右岸に広がる水田地帯に位置する。震央からの距離は約10km、推計震度は6弱であった。この地区では、水路だけではなく、農地・農業用施設全般に大きな被害が発生した。被害が集中した原因の一つは、地区内の水田で液状化が広範囲に生じたことにある。若松他 (2004) の示す液状化の発生範囲とこの地区における農地・農業用施設の被災点がほぼ一致することがそれを裏付ける。

Fig.8に釜ヶ島に隣接する大河原町における土質柱状図を示す (若松他 (2004))。土質柱状図からは広域的な液状化の原因となる砂層は確認できない。若松他

(2004) は、本来、広範囲な液状化が発生し難い地盤であるこの地区で液状化が発生したのは、地区の水田で過去に砂利採取が行われ、その埋め戻し材料として用いられた山砂の存在が原因であると述べている。筆者らの調査においても、砂利の採取を確認した。また、この地域の地盤の変状、液状化の程度は近傍の水田に比較すると明らかに著しく、この点も考えれば、若松の仮説は信頼性が高いと考えられる。釜ヶ島地区の外縁に沿って走る国道17号線より東側の水田、岩野地区に隣接する国道351号より西側の水田では、広域的な積砂は発生しておらず、水路を含めた農地・農業施設はほぼ無被害であった。

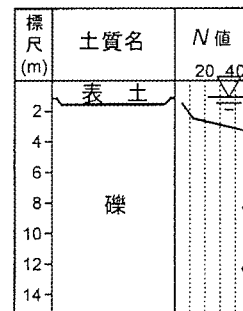


Fig.8 大河原町における土質柱状図(若松, 2004)
Geological column in Ookawahara town

a 越路町岩野地区 (D地点)

岩野地区の水田では液状化が広範囲に発生し、排水路に大きな被害が生じた。この地区では、水路以外にも田面への積砂、田面の沈下・隆起、農道の損傷、陶製暗渠の浮上・損傷等の被災が多数発生した。Photo 14に岩野地区を遠望した写真を示す。田面では、積砂の撤去及び整地が行われていた。Photo 15に被災した排水路の復旧状況を示す。排水路にはベンチフリューム水路が多く用いられていた。液状化により地盤の支持力が低下したために、至る所でフリューム本体の傾斜、沈下・浮上が観察された (Fig.9)。また、フリューム本体が移動・変形したため、周辺地盤から土砂がフリューム内に流入し、水路断面を閉塞し、排水機能が大きく低下した箇所が多く見られた (Photo 16)。土砂が流入したフリューム本体の多くは無損傷であり、損傷度の小さなフリュームは、復旧工事において再利用された。一方、側壁あるいはインバート部に土圧が原因と推定される曲げひび割れが発生したフリュームも少数であるが見受けられた。曲げひび割れの発生状況をPhoto 17~18に示す。ひび割れが発生した部分は、水路の構造上曲げモーメントが最も大きくなる領域と一致した。すなわち、地震による水路の破壊形態は、ほぼ現在の設計法の想定範囲内であった。また、現地調査では、せん断破壊したベンチフリューム水路を見いだすことはできなかった。以上の現場における水路の破壊モードから判断すると、フリューム型水路の地震による破壊モードは曲げ破壊先行型であり、曲げ破壊先行破壊モードを仮定した現状の水路の設計法はほぼ妥当であるとの印象を受けた。



Photo 14 岩野地区の状況
A view of Iwano area

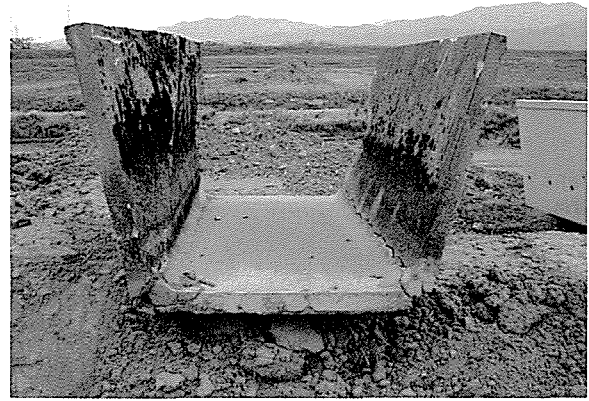


Photo 17 側壁の曲げ破壊(BF1000)
Bending failure of sidewall(BF1000)



Photo 15 排水路の復旧状況
Restoration of drainage canals



Photo 18 インパートの曲げ破壊(BF600)
Bending failure of invert

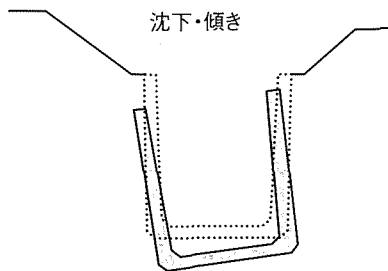


Fig.9 損傷の概要

Schematic diagram of displacements of drainage canal

b 長岡市釜ヶ島地区 (E地点)

岩野地区と同様に釜ヶ島地区の水田においても液状化が広範囲に発生したものと推測される。そのため、被災状況も岩野地区とほぼ同様であった。すなわち、排水路の損傷、田面への積砂、田面の沈下・隆起、農道の損傷、陶製暗渠の浮上・損傷等が生じていた。Photo 19に農道の損傷を、Photo 20にベンチフリュームの復旧の様子を示す。



Photo 16 排水路への土砂の進入
Deposit influx into drainage canals



Photo 19 農道に発生したひび割れ
Cracks on the farm road due to settlement

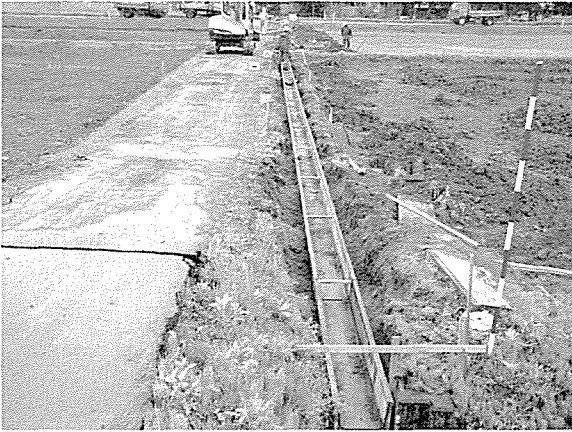


Photo 20 ベンチフリュームの復旧工事
Restoration of bench flume canals

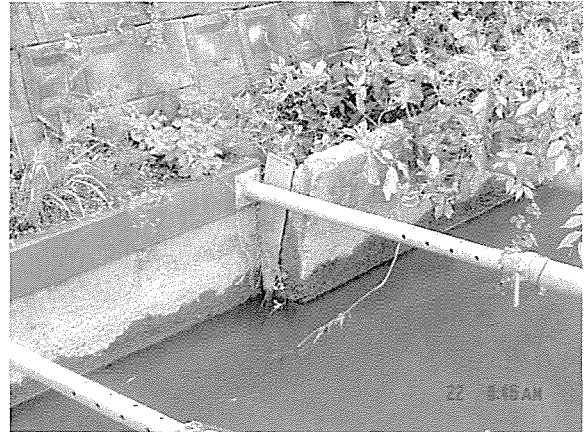


Photo 22 水路の倒れ込み
Inclining of sidewall

5 長岡市高畑町 (G地点)

被災した水路は、長岡市東南の高畑町越後長岡温泉付近に位置する東大新江用水幹線水路である。水路は丘陵部に沿って長岡市方面に延びている。水路に隣接する丘陵の頂上部には、今回の地震で住宅地の盛土部分において大規模な地すべり被害が発生した高畑団地が位置する。震央からの距離は約13km、推計震度は6弱であったが、岩野及び釜ヶ島地区に較べると、水路周辺の住宅被害は甚大であった。高町における住宅被害の大きさを考えれば、局所的に増幅された地震動を受けた可能性も否定できない。

復旧工事における観察から、水路は切り土に設置されており、周辺の土質は礫混じり粘土と思われる。水路の形式は、鉄筋コンクリート3面張水路である。配筋及び寸法の詳細は不明である。現地での聞き取りから、水路建設からの経過年数は30年以上と推定される。復旧工事において取り壊し中の水路断面をPhoto 21に示す。水路の主な損傷は側壁の倒れ込みであった (Photo 22)。応急処置として水路に切梁を設置し、通水断面を確保していた (Photo 23)。損傷の程度が大きな場所では、側



Photo 23 切梁による応急復旧
Urgent repair of canals with sturts



Photo 21 取り壊し中の水路断面

A picture of the cross section of canal during removal



Photo 24 土嚢による応急復旧
Urgent repair of canals with soilbags

壁を撤去し土嚢を設置することで通水断面を確保していた (Photo 24)。調査時点では、このような応急復旧を行うことで、通水が再開されていた。これは、開水路の修復性の高さを表す良い事例と言える。2005年の通水終了後、2005年9月から水路の本格復旧が行われ、2006年3月現在、フルーム型水路の新設が行われている (Photo 25)。



Photo 25 フルームによる本格復旧
Restoration works with concrete flume canals



Photo 27 鋼矢板水路の損傷(花井)
Inclining of steel sheet pile canals(Hanai)

6 長岡市深沢町 (F地点) 及び長岡市花井町 (H地点)
両地点では、鋼矢板型排水路が被災した。深沢町の被災地点は渋海川と信濃川の合流点から3kmほど渋海川を遡った左岸水田に位置する。震央からの距離は約14km、推計震度は6弱である。花井町の被災地点は蔵王橋下流の信濃川左岸の水田に位置する。震央からの距離は約25km、推計震度は5強である。地盤の詳細は不明である。両地点とも液状化が原因と思われる慣砂が周辺の水田に散見されたが、その規模は小さかった。

鋼矢板水路の損傷の様子をPhoto 26~27に示す。排水路の水面付近の矢板が排水路側に座屈し、損傷していた。現地では、応急復旧処置として切梁が設置されていた。水路断面をFig.10に示す。鋼矢板の上端には土留めのために笠コンクリートが打設されていた。矢板の上端に質量が集中する構造が、地震による矢板の応答変位を大きくし、そのため鋼矢板が座屈したと推定できる。鋼矢板水路の損傷は、深沢町から南の地域で多く見られた。これらの地域は、震央からの距離が15km以上離れ、推計震度も6弱及び5強であり、それほど強い地震動が作用した地域ではない。被災地点周辺の鋼矢板水路以外の形式の水路・排水路はほぼ無損傷であったことを考えれば、鋼矢板型水路は他の水路形式に比べ耐震性が低い構造であると推定することができる。

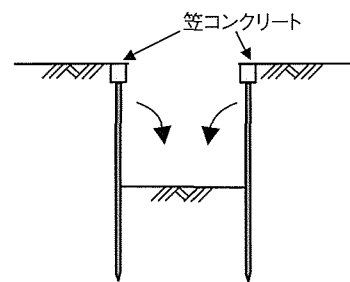


Fig.10 鋼矢板水路の概要
Schematic diagram of damage of steel sheet pile canal

7 与板町新中島

被災地点は、信濃川と黒川の合流点上流の信濃川左岸水田地区に位置する。震央からの距離は約30km、推計震度は5強である。地区の水田では、地震動がそれほど大きくなかったにもかかわらず多くの慣砂が確認され、道路の変状、電柱の傾斜などが発生していた。これは、この地区に広域的な液状化が発生したためである。新中島地区近傍で液状化が発生した与板高校の土質柱状図をFig.11に示す(若松他(2004))。若松他(2004)によれば、地表7m付近まで信濃川の河成堆積物と推定される緩い砂が堆積しており、この地盤条件のため、この地区で広範囲に液状化が発生したといわれている。



Photo 26 鋼矢板水路の損傷(深沢)
Inclining of steel sheet pile canals(Fukasawa)

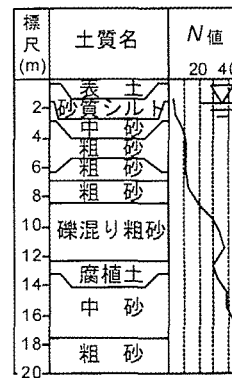


Fig.11 与板高校土質柱状図(若松, 2004)
Geological column at Yoita High School

Photo 28に被災地点を遠望した写真を示す。調査時点では農地復旧がほぼ完了していた。整地された水田の多さから、岩野・釜ヶ島地区と同じく、広い範囲で農地・農業施設に被害が発生したことが伺えた。被災直後の災害査定調査によれば、水路被災の主なもの、ベンチフリーム排水路の沈下、傾き、柵渠損傷及び土砂の流入であったと報告されている。現地調査時点では、多くの水路はすでに復旧が終了していたが、数カ所復旧途中のものが存在した。Photo 29は柵渠に土砂が流入した状況を示す。Photo 30はインバートが曲げ破壊した柵渠の損傷状況を示す。現場では、損傷したインバート部分を撤去し、インバート部分に新たにコンクリートが打設されていた。その際、無損傷であった柵及び柵板は再利用されていた (Photo 31)。



Photo 29 柵渠の埋没
Drainage canals buried by deposits



Photo 28 新中島地区
A view of Shinnakajima area



Photo 30 インバートの曲げ破壊
Bending failure of invert

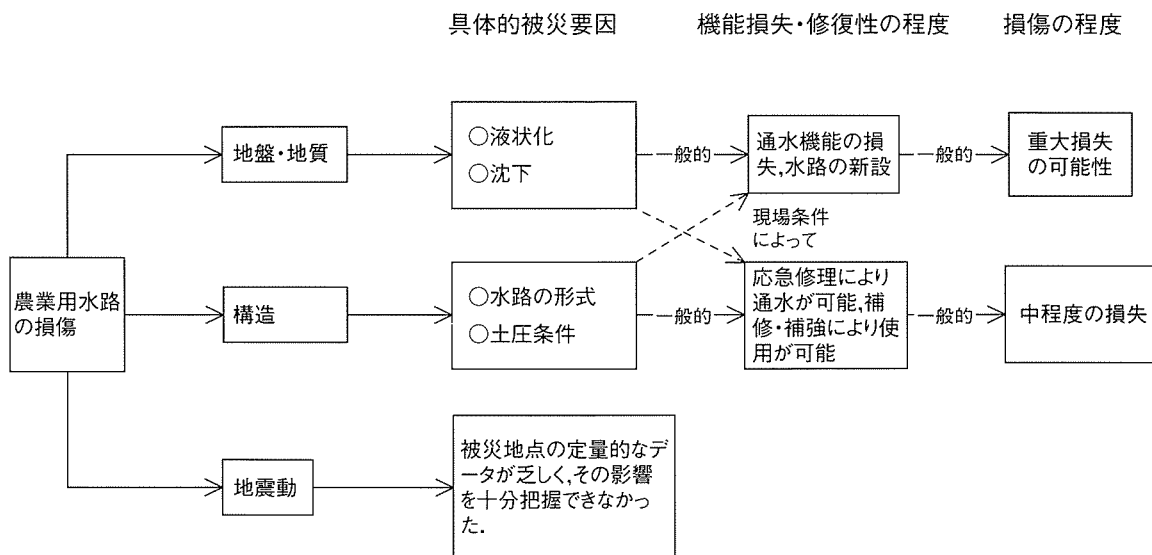


Fig.12 水路の被災要因と損傷の程度
Relationship between damages of canals and their factors due to earthquake

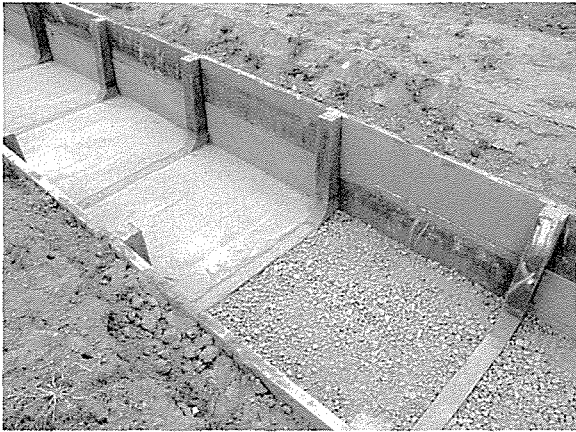


Photo 31 欄渠の復旧状態
Restoration of drainage canals

VII 水路の被災要因と損傷の程度

今回の現地調査の結果からは、水路の損傷に最も影響を及ぼす要因は地盤・地質条件であると推定できる。液状化等により地盤支持力が低下すると、水路本体の損傷が軽微あっても、周辺からの土砂の流入により水路が埋没し、通水性能が低下する場合が多いと想定される。一方、地盤の変状が小さい場合にも、水路の構造上（土圧等を含む）の問題から水路側壁の曲げひび割れ、鋼矢板水路の座屈等の損傷が発生したが、その損傷の程度は応急復旧により通水可能なレベルに収まる事例が多かった。水路の被災要因と想定される損傷の関係をFig.12に示す。

VIII 結 言

本報告では、平成16年（2004年）新潟中越地震における震央から4～30km離れた9箇所の水路被災点について調査を行い、その被災状況を整理した。液状化の発生により地盤の変状が大きかった岩野、釜ヶ島、新中島地区では、水路の通水機能が損失するほどの大きな被害が生じた。一方、比較的地盤の変状が少なかった他の地点では、フルーム型水路では側壁の曲げひび割れ、コンクリート三面張り水路では側壁の倒れ込み、鋼矢板型水路では矢板の座屈などが発生したが、どの水路も応急処置により通水機能を回復することが可能であった。すなわち、通常的地盤条件においては、農業用水路は通水機能の確保という面では、地震に対して高い修復性を有すると考えられる。今後は、水路が線構造物であることを良く理解し、水路システムの中で耐震性が低くかつ被災時にリスクが多い部分の抽出と耐震補強が重要な課題になる。

参考文献

- 1) 谷 茂 (2004) : 平成16年新潟県中越地震による農業施設の被害概要, 平成16年新潟中越地震被害調査報告梗概集, 日本地震工学会, pp.81-86
- 2) 秋田県 (1985) : 昭和58年日本海中部地震—農地・農業用施設の災害と復旧—
- 3) 渋谷 公晟 (1987) : 日本海中部地震—農地・農業用施設の災害と復旧—, 水と土, No.71, pp.82-85
- 4) 沢井 亮治 (1970) : コルゲートU字型水路の施工—軟弱地盤の用水路工法として—, 農土誌38 (6)
- 5) 安中 正実, 谷 茂, 毛利 栄征 (1996) : 平成5年 (1993年) 北海道南西沖地震による農地・農業用施設の被害調査報告, 農業工学研究所報告, No.35, pp.111-142
- 6) 土木学会 (1997) : 1993年北海道南西沖地震 震害調査報告 pp.244-260
- 7) 兵庫県南部地震技術検討委員会 (1996) : 平成7年兵庫県南部地震 農地・農業用施設に係る技術検討報告書, pp.119-123
- 8) 翠川 三郎他 (2004) : 2004年新潟中越地震の地震動について, 第92回工学地震学・地震工学談話会 (2004年新潟県中越地震地震調査速報会)
- 9) 気象庁 (2005) : 平成16年 (2004年) 新潟中越地震に関する各種資料, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/event.html
- 10) 中山 佳子 : EIC地震学ノート No.154+ (Nov 11, 04), 10月新潟県中越地方の地震 http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC154a.html
- 11) 長谷川 功他 (2005) : 中越地震震源域の3次元地質構造モデルと震源との関係, 独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センターHP <http://unit.aist.go.jp/igg/rg/seisprocess-rg/tyu-uetu.htm>
- 12) 境 有紀他 : 新潟県中越地震で発生した地震動と被害速報 <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/ngc.htm>
- 13) 若松 加寿江, 吉田 望, 規矩大義 (2004) : 液状化とその特徴, 日本地震工学会・土木学会・日本建築学会・地盤工学会・日本地震学会・日本機会学会・震災予防協会 共催 平成16年新潟県中越地震被害調査報告会梗概集, pp.53-60
- 14) 久田 嘉章 (2005) : 2004年新潟県中越地震—地盤と地震被害—, 日本建築学会, 第32回地震振動シンポジウム, pp.21-32
- 15) 小林 巖雄, 立石雅昭, 吉岡敏和, 島津光夫 (1991) : 5万分1地質図幅「長岡」

Damages of Irrigation and Drainage Canals due to the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004

ASANO Isamu, KOHGO Yuji, HAYASHIDA Yoichi and INOUE Keisuke

Summary

More than 4,000 places in irrigation and drainage canals were subjected light and heavy damages due to 2004 Mid Niigata Prefecture Earthquake. Some places, which were located within 4 – 30 km far from the epicenter of the main earthquake, were surveyed. The damages typically seen were as follows: (1) Some canals were subjected to heavy damages due to large ground displacements that may raise from liquefactions, (2) Bending failures of concrete flumes could be sometimes seen, (3) Strips of concretes were occurred at some joints of canals, (4) A steel sheet pile canal, which was located more than 20 km far from the epicenter, was subjected to serious damages due to buckling, and (5) In most of damaged places, irrigation and drainage functions were restored in several weeks by emergency measurements. It found from this field survey that the canals had generally a high earthquake resistance performance.

Keywords : earthquake, field survey, irrigation and drainage canals, damages of canals due to earthquakes