

信濃川中流域における河川堤防の液状化対策の 効果発現事例 ～令和6年能登半島地震を受けて～

半田 歩夢¹・辰 裕矢¹・浅野 保夫¹

¹信濃川河川事務所 管理課 (〒940-0098 住所 新潟県長岡市信濃1丁目5番30号)

平成19年に発生した中越沖地震により長岡市寺泊町軽井周辺において、堤防の液状化被害が発生した。新潟県内では、これまでも大規模地震災害が発生するたびに堤防の液状化被害に見舞われたことから、再度災害防止の復旧を実施してきた。

本論文は主に中越沖地震の地震対策箇所において、令和6年能登半島地震の際に見られた効果事例を基に説明するものである。

キーワード 能登半島地震、堤防、噴砂、液状化現象、耐震対策

1. はじめに

地震時に地盤が液状化する現象は、昭和39年新潟地震を契機として世界的に広く知れわたることとなった¹⁾。信濃川の下流域に広がる越後平野の大部分は、江戸時代以降の河川改修により沼地を乾田化することで形成されており、非常に新しい砂層を主体に地盤が構成されているため、液状化が発生しやすい。特に、当該地で噴砂等が確認されている箇所は、大河津分水建設（大正11年）以前より堆積し続けた粒径の揃った砂層が、層厚5～10m程度分布しているため、液状化が非常に発生しやすい地盤条件となっている²⁾。実際に平成16年中越地震、平成19年中越沖地震の際、信濃川の堤防が液状化により大きな被害を受けたため、委員会や専門家の意見を聞きながら対策が実施されてきた。

令和6年能登半島地震では、中之島付近で震度6弱の大きさの揺れが観測されたが、この地震による信濃川中流域での堤防の被害は軽微であった。これは中越沖地震後に施工した液状化対策の効果によるものと考えられる。

本報告は、長岡市寺泊町軽井地区において、これまでに実施してきた液状化対策の概要を述べた上で、対策の契機となった中越沖地震と同等の震度の揺れが発生した能登半島地震による堤防の変状から液状化対策工の効果について報告するものである。

1.1 地震動の大きさについて

令和6年能登半島地震では、中之島付近で最大震度6弱

が観測された。長岡市寺泊町軽井周辺では中越沖地震時と同等の震度5強程度の揺れが発生したと考えられる。図1に当該地から約12km離れた、長岡市寺泊一里塚で観測された地震波形を示す。最大加速度は同等であるが、継続時間や地震動としてのエネルギー（≒波形で囲まれる面積）は、能登半島地震の方が大きく、液状化が発生しやすい地震であったことが推察される。

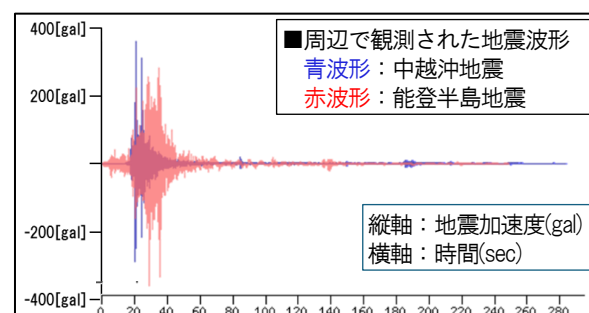


図1 長岡市寺泊一里塚における地震波形(中越沖地震・能登半島地震)の比較³⁾

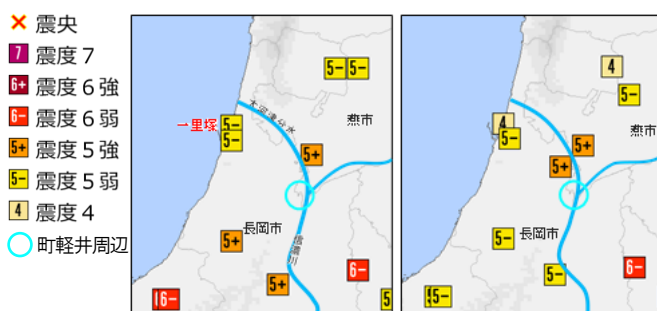


図2 震度分布図(左:中越沖地震 右:能登半島地震)⁴⁾

1.2 地震により発生した変状の概況

図3に信濃川左岸、長岡市寺泊町軽井周辺における中越沖地震および能登半島地震の際に発生した変状の概況を示す。

中越沖地震（液状化対策前）では、亀裂、クラック、噴砂が多数確認され、噴砂が縦断方向に連続して確認されたのに対し、能登半島地震（液状化対策後）では、亀裂、クラック、噴砂が部分的かつ離散的であり、変状は極めて軽微であった。

2. これまでに実施されてきた液状化対策

2.1 平成16年中越地震による堤防の被害とその対策

(a) 中越地震の被害概要

平成16年10月23日に発生した中越地震では、長岡市寺泊町軽井に近い長岡市与板町与板で震度5強の揺れが記録され、長岡市寺泊町軽井周辺では被害が軽微であったが、その対岸にあたる長岡市中之島中条では、堤防天端の道路に亀裂(写真①)が発生した他、堤外地では噴砂(写真②)が確認された。

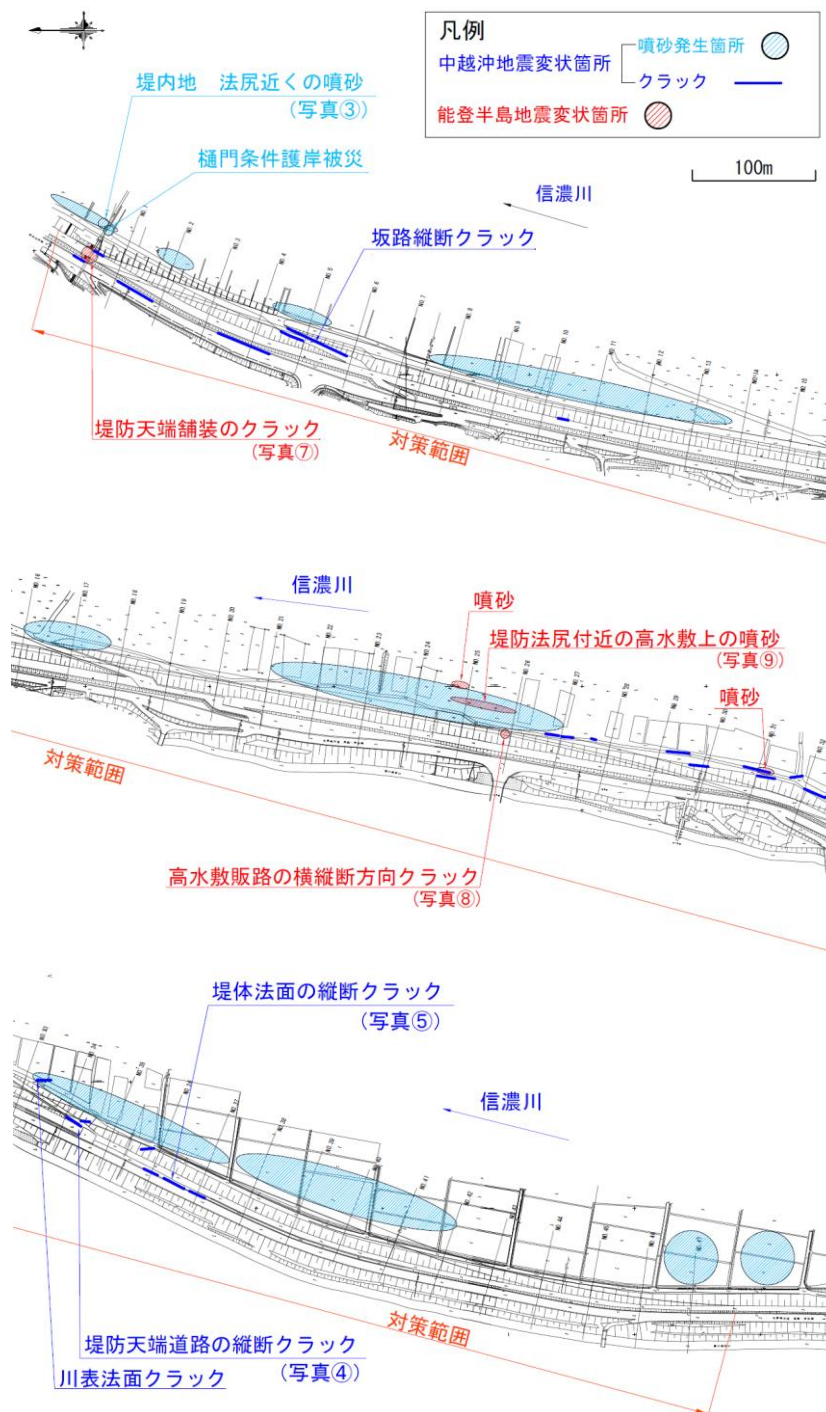


図3 中越沖地震時と能登半島地震時の変状概況（信濃川左岸）



写真⑤ 堤体法面の縦断方向クラック



写真⑥ 堤防天端マンホールの浮き上がり

(b) 対策

これまでの地震災害でも繰返し被災を受けたことで、堤防内が填砂等により乱されている状況にある。堤防に不純物（噴砂）が混在し緩んでいることから、被災は今回以上に及ぶ可能性も高く、堤防決壊に至る可能性もある。そこで、液状化対策工法として、2.1と同様にサンドコンパクションパイル工法が施工された。

なお、設計にあたり、地盤が地震波にどのように振動するかシミュレーションを行う地震応答解析を行った。解析を踏まえ、一般的には設計水平震度 $KH=0.15$ あるが、被災状況に合うよう、 $KH=0.18$ とし、より強い地震が作用した場合にも液状化被害を防げるよう設計した。また、震度法および ΔU 法におけるすべりに対する安全率 ≥ 1.0 にできるようにした。

その結果、延長約1.5km区間を、図5のように間隔1.6～2.7m（改良率5～15%）、深さ5.1～11.7mで改良した。なお、図5は間隔2.0m、深さ5.1mの図面である。

3. 能登半島地震を受けての点検結果

3.1 点検の実施状況

堤体および堤体周辺を点検対象として、目視による点検を実施した。

3.2 確認された主な変状

以下に示すような液状化に起因した変状が確認されたが、いずれも軽微であり、中越沖地震の際に発生した変状に比べると、発生範囲はごく限られたものであった。

町軽井樋管直近上で堤防天端の舗装に横断方向のクラックが確認された(写真⑦)。開口は微小で浅く(最大幅2mm、深さ10mm程度)、段差は確認されなかった。

また、高水敷側の取付坂路上に横断方向のクラックが確認された(写真⑧)。開口は微小で浅く(最大幅3mm、深さ20mm程度)、坂路が高水敷側にずれたことに起因したクラックと推察した。

さらに、堤防法尻の高水敷通路及び周辺に複数箇所クラックや液状化による噴砂痕が見られたが、堤防本体のクラック等は確認されなかった(写真⑨)。



写真⑦ 堤防天端舗装の横断方向クラック

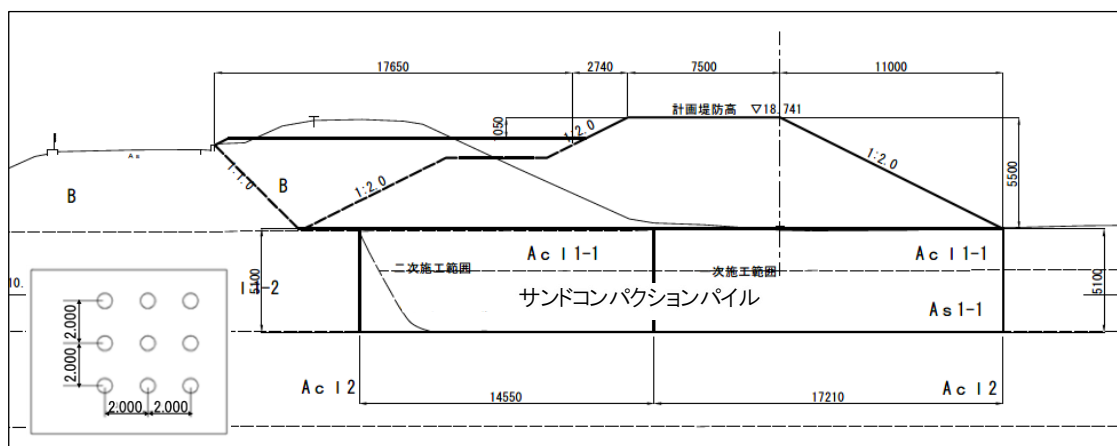


図5 中越沖地震後の対策概要（長岡市寺泊町軽井）



写真⑧ 高水敷坂路の横断方向クラック



写真⑨ 堤防法尻付近の高水敷上の噴砂

4. 能登半島地震で生じた堤防の変状に関する考察

4.1 堤防天端のクラックについて

中越沖地震の際には堤防縦断方向のクラックが複数確認されたのに対し、能登半島地震では全く確認されなかった。横断クラックについては、樋管や坂路などの周辺で軽微なクラックが数ヶ所で確認されたが、舗装部分のみに生じたクラックであり、クラックの両側で段差のない軽微な変状であった。樋管周りでのクラックが確認されており、構造物周辺での抜けあがりも懸念されたが、そのような大規模な変状ではないと推察した。

4.2 法面及び法尻付近の噴砂について

中越沖地震の際には法尻付近に噴砂が連続して発生したのに対して、能登半島地震では樋管や坂路などの周辺で主に確認された。これは、4.1の横断クラックの位置とほぼ一致していた。

4.3 対策の効果について

図6に示すように堤体直下のサンドコンパクションパイルが相対的に透水性の高い排水層として機能し、地震動による堤体周辺の過剰間隙水圧の上昇を抑制した結果、堤防天端の沈下は確認されなかった。基礎地盤の液状化が抑制され、堤体が沈下しなかったこと、沈下に伴い横断方向に引き伸ばされることがなかったことから、縦断クラックも発生しなかったものと考えられる。

寺泊町軽井で実施した液状化対策によって、基礎地盤の液状化が抑制され、その結果として堤体が不安定化す

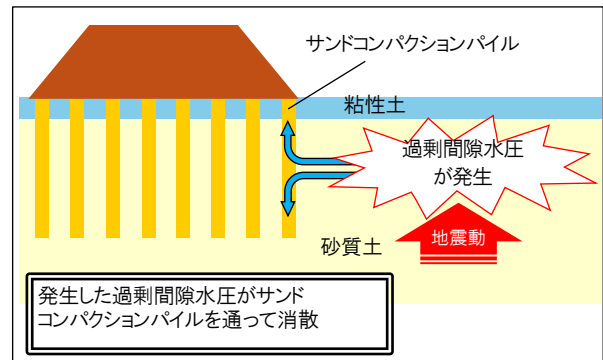


図6 噴砂が減ったことの推定メカニズム

ることなく、軽微な横断クラックと小規模な噴砂の発生に留まったものと考えられる。

5. おわりに

堤防の液状化対策として町軽井地区において施工したサンドコンパクションパイル工法は、中越沖地震の際に確認された堤防縦断方向のクラックが発生していないこと等から判断すれば、有効に機能したと考えられる。

本報告は、液状化対策としてのサンドコンパクションの有効性を報告したものであるが、液状化対策としては、この他に深層混合処理工法等の様々な工法があり、地盤条件に適した工法を検討する必要がある。液状化対策工の効果検証は、大規模な地震が発生しなければ明確にならないという課題はあるが、今後も観測を継続し、対策の有効性を検証していく必要がある。

本報告が、今後の地震対策検討の際の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省 1964年新潟地震の事例
(<https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001466321.pdf>)
- 2) 日本工営 (株) 平成19年度町軽井堤防液状化対策検討及び堤防詳細設計業務委託報告書
- 3) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 強震観測網
(<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/data/>)
- 4) 気象庁 震度データベース検索 (一部改変)
(<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>)