

令和6年能登半島地震に伴う河川堤防の液状化 に対する復旧工事について

松尾 敏和¹・竹内 正広²・池田 真依¹・南 大地¹

¹信濃川下流河川事務所 工務課 (〒951-8153 新潟市中央区文京町14番13号)

²信濃川下流河川事務所 (〒951-8153 新潟市中央区文京町14番13号)

令和6年能登半島地震により信濃川下流における堤防が液状化現象に伴い被災した。本論文では令和6年能登半島地震及び信濃川下流における被災の概要について述べた後、被災した堤防に対する応急復旧工事並びに本復旧工事の概要について報告する。

キーワード 令和6年能登半島地震, 液状化現象, 復旧工事

1. はじめに

信濃川は山梨県、埼玉県、長野県の3県境に位置する甲武信ヶ岳を源流とした一級河川である。長野県では千曲川、新潟県では信濃川と名称を変え、新潟県燕市付近において大河津分水路に分派し、分派点より下流を特に信濃川下流と呼ぶ。その後関屋分水路に分派し、新潟西港を経て日本海を流末とする(図-1)。信濃川下流は幹線に対する流路延長が約20%と微数であるが、下流部に本州日本海側唯一の政令指定都市である新潟市が存在するため、想定氾濫区域における人口は幹川の約70%、資産は約80%と幹川の大部分を占めており、災害が発生した場合は甚大な被災を受けることとなる。

信濃川下流沿いにおける多数の地点が盛土地・埋立地となっている(図-2)。これは大河津分水路の通水に伴い信濃川下流の治水安全度が向上し、大規模であった信濃川下流の河道形状を水理条件に適応する形状まで小規模化することが可能となり、河川の一部を埋め立てたためである。しかし盛土地・埋立地ということは液状化現象が発生する可能性が高い地点ということでもあり、液状化しやすさマップ²⁾によると被災箇所は危険度4もしくは危険度3(盛土造成地)と液状化現象が発生する可能性が高い箇所であった。実際新潟地震では被災箇所周辺で液状化現象が発生していたことが確認されている。なお、信濃川下流では一部区間の堤防に関しては耐震対策工事を実施しているが、被災箇所については耐震対策工事の対象区間ではなかった。これは「河川構造物の耐震性能照査指針」に基づき、被災箇所はレベル2地震動に対する耐震性能を満足する、つまり地震に伴う沈下後の堤防高が照査外水位よりも高くなると評価されたためである。

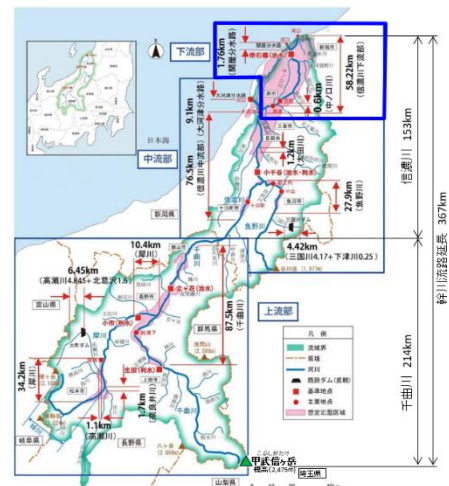


図-1 信濃川水系流域図

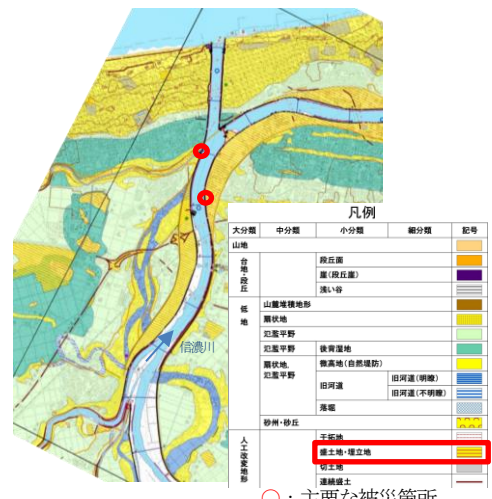


図-2 治水地形分類図¹⁾

○: 主要な被災箇所

2. 令和6年能登半島地震及び信濃川下流における

被災の概要

(1) 令和6年能登半島地震の概要

令和6年能登半島地震は令和6年1月1日16時10分、石川県能登半島地方を震源とする深さ16km、最大震度7の地震である。震源は石川県であるが新潟県も大きな揺れに見舞われ、被災箇所の近傍観測所である新潟市中央区美咲町において震度5強を観測した（図-3）。これは最大震度5を観測した新潟地震と同程度の地震であった。

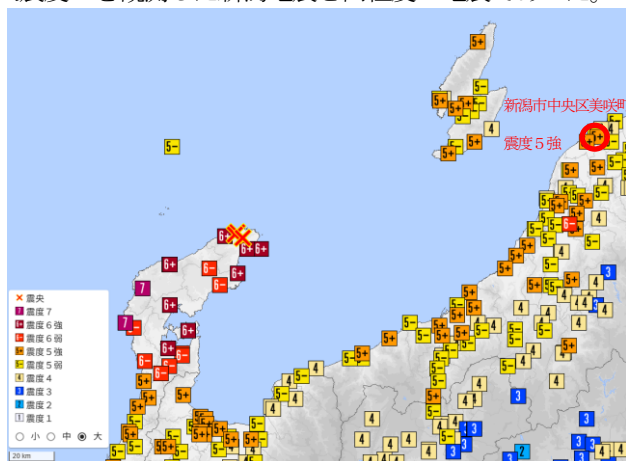


図-3 令和6年能登半島地震における推定震度分布図³⁾

(2) 信濃川下流における被災の概要

a)被災状況

地震発生直後、管内全域の堤防を緊急点検した結果、新潟市中央区及び西区を中心に多数の被災が確認され、特に新潟市西区平島地先（左岸2.0k-37m～2.0k+2m）においては堤防欠損や高水護岸・平張コンクリートの被災、新潟市中央区美咲町地先（右岸2.6k+60m～3.0k+45m）においては堤防天端亀裂や平張工被災等甚大な被災が確認された（図-4）。なお、後述のとおり平島地先において堤防欠損は応急復旧工事時、高水護岸・平張コンクリートは本復旧工事時に復旧させた。



図-4 令和6年能登半島地震に伴う信濃川下流における被災の概要

また、両地先とも堤防には低水護岸（矢板護岸）及び高水護岸、高水敷に平張コンクリートが施工されており、低水護岸（矢板護岸）は鋼矢板とH鋼をタイロッドで連結させている構造であった（図-5）。

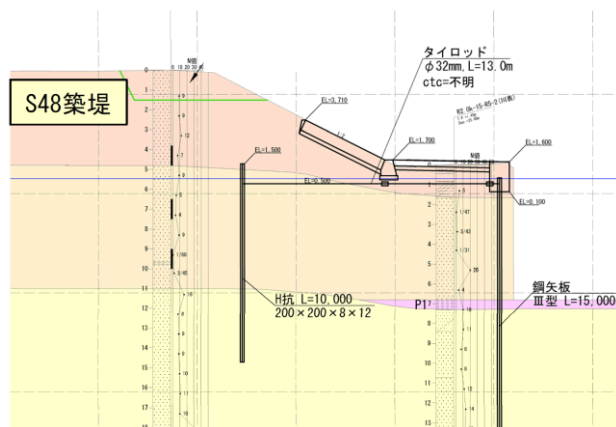


図-5 平島地先を例とした堤防標準断面図

b)想定被災メカニズム

第1章で述べた通り被災箇所は液状化現象が発生する可能性が高く、同章同節前項の被災状況を踏まえた結果、甚大な被災に見舞われた両地先の被災メカニズムは以下のとおりと想定された（図-6）。

1. 液状化は、地震により地下水位の緩い砂層（液状化層）で砂の粒子が沈み込み、堤体の沈下や亀裂、法面の側方流動や噴砂等が発生する現象である。
2. 被災箇所では、今回の地震により堤体の亀裂や法面の沈下、噴砂等の変状が確認されている。
3. 被災箇所の基礎地盤にはN値の低い砂質土層（B2層）が存在し、また高い位置で地下水位が確認されたことから、砂質土層（B2層）が地震により液状化した結果、基礎地盤の強度（すべり抵抗）が低下し、すべり破壊が発生したものと想定される。

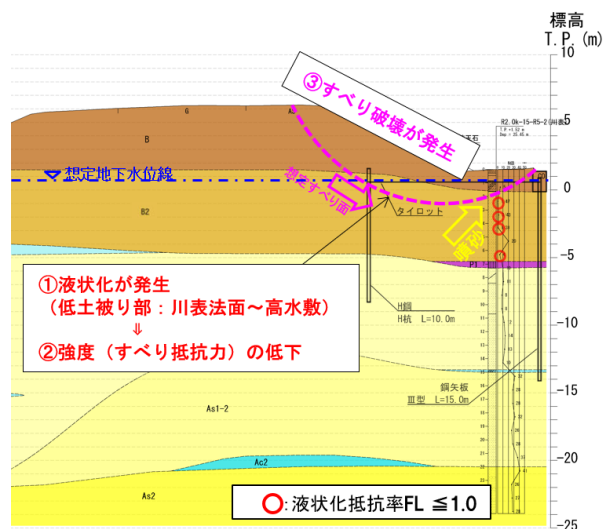


図-6 平島地先を例とした想定被災メカニズム

なお、以後については被災が最も甚大であった平島地先を例に復旧工事の概要について述べる。

3. 応急復旧工事の概要

(1) 平島地先の概要

平島地先における被災箇所は、直上流には西川水門という大規模河川管理施設が存在し、また西川と信濃川の合流点でもあり、さらに背後地が住宅地という河川管理上重要な箇所である（図-7）。



図-7 平島地先平面図

(2) 応急復旧方針及び応急復旧内容

第2章第2節第a項で述べたとおり平島地先は甚大な被災を受けたため、次期災害に備え早期に復旧させる必要がある。しかし被災直後のため、復旧にあたり必要となる測量や地質、設計等を実施する時間がなく、また被災の程度も不明瞭な状態であった。そのような状態の中、応急復旧工事における復旧方針は以下3点とし、復旧内容は早期復旧が可能な堤防欠損を対象に堤防天端及び法面の切り返し、並びに川表法面保護とした（図-8）。

- (1) 再度災害防止の観点より「同等の地震を受けたとしても中規模被災以下に止まる」ものとする。
- (2) 被災箇所は支川合流部および樋門等構造物周辺部という堤防弱部であり、地震による堤体全体の緩み・見えない亀裂が発生している可能性がある。洪水時において浸透による堤防決壊の恐れもあることから、全断面切り返し（掘削・盛土）を行う。
- (3) 工事費縮減および土砂リサイクルの観点から、信濃川下流河川事務所における事業の1つである河

道掘削事業にて発生した土砂を築堤材料とする。

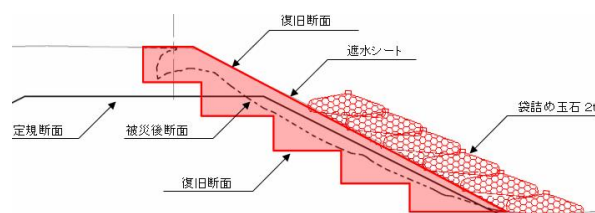


図-8 応急復旧工事標準断面図

応急復旧工事は具体的に以下4ステップにて実施した（写真-1～4）。なお、応急復旧工事は被災が確認された1月2日の当日から24時間体制で施工し、2日後の4日には施工を完了させた（写真-5）。

- ① 損傷した構造物の撤去（写真-1）
- ② 崩壊した土砂（高水護岸含む）の撤去（写真-2）
- ③ 堤防の全断面切り返し（掘削・盛土）（写真-3）
- ④ 法面の保護（シート張り・袋詰め玉石）（写真-4）



写真-1 構造物撤去状況



写真-2 土砂撤去状況



写真-3 盛土状況



写真-4 袋詰め玉石据付状況



写真-5 応急復旧工事着手前（左）及び応急復旧工事完了後（右）状況

4. 本復旧工事の概要

(1) 本復旧方針

第1章で述べた通り平島地先については耐震対策は不要の箇所である。しかし、国土交通省内部運用資料において「災害復旧時の液状化対策の必要性は、再び同様の被災が起きることを防止すべきかどうかで判断すべきであって、「河川構造物の耐震性能照査指針」における液状化対策の必要性とは異なる。」と記載されている。このため、本復旧工事については同様の地震があった場合の再度災害を防止する必要があると考えられるため、「河川構造物の耐震性能照査指針」に基づく対策ではなく、今回の地震における被災要因の除去も実施することとした。なお、今回の被災要因は第2章第2節第b項で述べたとおり液状化であるため、液状化対策を実施する必要があるが、液状化対策には複数対策工法が存在する。今回は災害復旧工事という早期の施工完了が求められ、また矮小な現場という条件を踏まえた上で、費用が比較的安価である圧入締固め工法（砂圧入式静的締固め工法）を採用した（図-9）。

項目	固結工法
断面図	第1案 高圧噴射攪拌工法
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> ボーリング孔を利用し、先端ノズルよりセメントグラウトなどを高圧噴射させ、地盤を固結する。 改良範囲は地震時の許容安全率を満足しないすべり範囲（液状化層B1, 2層）を対象とする。
長所	<ul style="list-style-type: none"> 改良は噴射攪拌工法であるため、タイロッドを避けた位置からの施工が可能となる。 施工機械が小さく、大きな切土を実施せずに施工が可能となる。 矢板の土留土圧が低減され、安定度は向上する。 埋込構造物（矢板）への影響が少ない。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 固結工法の液状化対策ではブロック式改良が必要となり、標準的な設計手法では改良体の支持力阻害が顕著となるが、As1層、As2-1層における地震時の支持力確保は難しい状況にある。 埋込構造物（矢板）への影響が大きい。 高圧噴射攪拌工法の改良単価が高いことから工事費が高額となる。
対策仕様	縦断直工事業（延長340m当り）
対策内容	改良径（1箇所）：1.8m 改良長：約7m 改良幅：6.4m 約1,000百万円（諸経費込）
工期	約100日

項目	圧入締固め工法
断面図	第2案 砂圧入式静的締固め工法
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> 流動性を付与した砂やソイルモルタルをポンプで圧入し、小型施工機のロッドを通じて地盤内に圧入することで緩い砂地盤の締固めを行う。なお、矢板への影響が少なくなるように矢板の天端から45度（影響範囲）外した位置を改良下端とする。 改良範囲は地震時の許容安全率を満足しないすべり範囲（液状化層：B1, 2層）を対象とする。
長所	<ul style="list-style-type: none"> 改良は砂圧入であるため、タイロッドを避けた位置からの施工が可能となる。 施工機械が小さく、切土を実施せずに施工が可能となる。 地下水流動に影響がない。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 矢板への影響を考慮し矢板天端から45度外した位置を改良位置とするが、圧入締固め工法であるため、矢板壁に影響が出る可能性があり、施工範囲を拡大して砂杭の施工順序などを工夫する必要がある。
対策仕様	縦断直工事業（延長340m当り）
対策内容	改良径（1箇所）：0.7m 改良長：約5m （+盛土部3m） 改良幅：約4m（3列） 約300百万円（諸経費込）
工期	約50日

図-9 液状化対策工法比較図

(2) 本復旧内容

同章前節で選定した圧入締固め工法（砂圧入式静的締固め工法）について、「河川堤防の液状化対策の手引き」及び「SAVE-SP工法設計・施工マニュアル」を参考に地盤改良範囲を決定した上で（図-10）、本復旧工事では応急復旧工事で復旧出来なかった箇所（平張コンクリート及び高水護岸）の原形復旧に加え、液状化対策として地盤改良を実施することとした（図-11）。

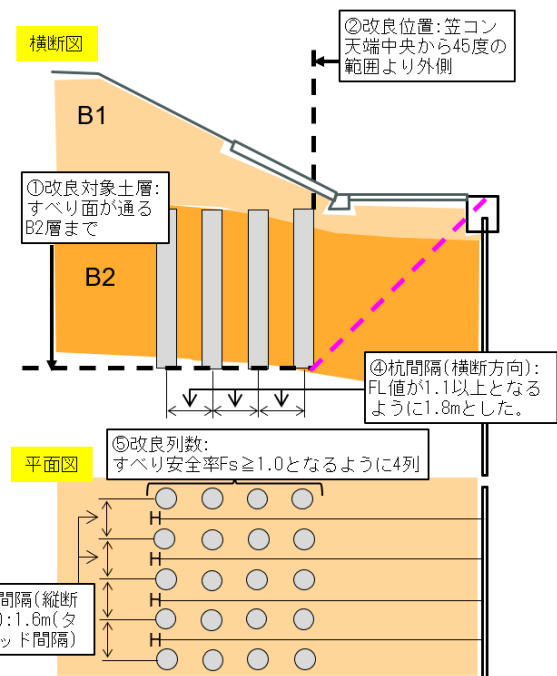
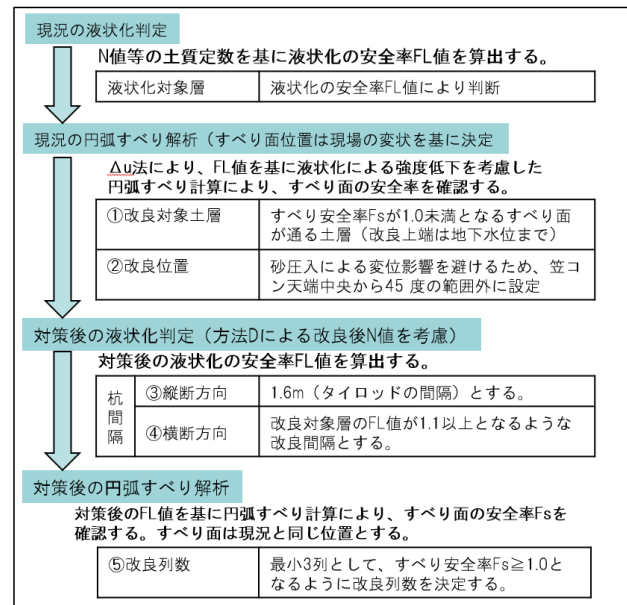


図-10 地盤改良範囲検討フロー

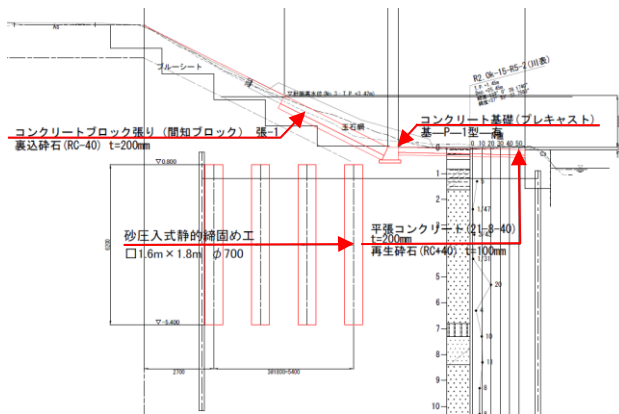


図-11 本復旧工事標準断面図

本復旧工事は具体的に以下4ステップにて実施した (写真-6～9)。なお、本復旧工事は令和6年10月より着手し、令和7年6月に施工が完了した (写真-10)。

- ① 被災構造物 (平張コンクリート) 撤去 (写真-6)
- ② 地盤改良 (写真-7)
- ③ 平張コンクリート、高水護岸新設 (写真-8)
- ④ 法面の保護 (植生工) (写真-9)



写真-6 被災構造物撤去状況



写真-7 地盤改良状況



写真-8 高水護岸施工状況



写真-9 植生工施工状況



写真-10 本復旧工事着手前 (左) 及び本復旧工事完了後 (右) 状況

5. まとめ

本論文では地震に伴う河川堤防の液状化に対する応急復旧工事並びに本復旧工事について報告した。近年災害が激甚化・頻発化しており、日本全国いつ被災してもおかしくない状態である。そのためいざ被災した際に適切な復旧対応が取れるよう、本論文がその一助になれば幸いである。

謝辞: 本論文の執筆にあたり、ご指導を賜った関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：治水地形分類図 (一部改変)
<https://maps.gsi.go.jp/#11/37.602808/138.920746/&base=std&ls=std%7Clcmfc2%7Chillshademap&blend=01&disp=111&lcd=hills&hademap&vs=c1g1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f1&d=m>
- 2) 国土交通省北陸地方整備局・公益社団法人地盤工学会北陸支部：液状化しやすさマップ
https://www.hrr.mlit.go.jp/eki.joka/niigata/hi/h_niigata.pdf
- 3) 国土交通省気象庁：震度データベース検索
<https://www.data.jma.go.jp/eqdb/data/shindo/index.html#20240101161022>
- 4) 信濃川下流河川事務所：R 5 信濃川下流堤防復旧詳細設計他業務報告書
- 5) 信濃川下流河川事務所：信濃川下流西川水門下流堤防緊急復旧工事報告書
- 6) 信濃川下流河川事務所：平島地区堤防災害復旧工事報告書