

阿賀野川における特殊堤の耐震対策

石川俊之・南雲克彦

1. はじめに

阿賀野川下流部は、信濃川や阿賀野川が運んだ土砂により形成された沖積平野にあり、堤防下の地盤には地震により液状化しやすい層が存在している。図-1は、阿賀野川下流域の標高について青色系が低い地域、赤色系が高い地域として示したものである。流域はもともと低平地であったところに地盤沈下による影響も加わり、ゼロメートル地帯が広く分布している。

このため、液状化現象により堤防が沈下・破壊した場合には、津波や洪水が居住地側へ流入し、大きな浸水被害が発生する恐れがあり、市街地をこうした被害から守るためには堤防等の耐震対策が急務となっていた。

このような中、阿賀野川河川事務所では、平成23年度より、地震・津波対策事業に本格着手し、平成27年3月に完了している。

本稿では、地震・津波対策事業の概要を紹介するとともに、特に施工条件が厳しかった特殊堤区間の対策について報告する。

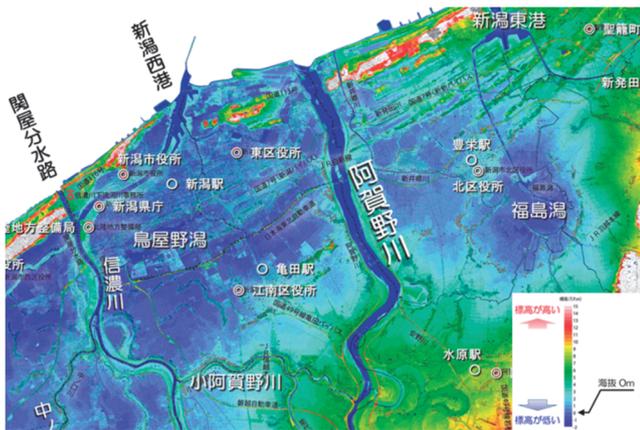


図-1 阿賀野川下流域の段彩図

2. 液状化しやすい阿賀野川沿川

阿賀野川は、海岸線にほぼ直角に流下し、河口まで約35kmの区間に扇状地、氾濫原、砂丘・砂

丘間低地と連続的に変化している。図-2は、阿賀野川下流域の液状化しやすさ傾向を5段階で示したものであり、赤色系が液状化しやすい地域を表す。阿賀野川河口部付近には液状化しやすい地域が広範囲に広がっている。

砂丘本体部分は、液状化の可能性は低い、湿地に面した砂丘斜面末端部、砂州、砂丘間低地、旧河道は、液状化の可能性が高いと言える。

耐震対策を行う当該地区の堤防の土質縦断図を図-3に示す。砂丘、砂丘間低地を主体とし、表層部は自然堤防を形成する砂層や旧河道を埋める粘土層が分布し、いずれもN値10以下を示す軟弱な地層で深度は10m程度である。

これより下層は、細～中砂を主体とした砂層が分布し、比較的均一な地層であるが部分的に薄い粘土層を挟み、粘土部分ではN値10以下となるが、全体としては、深度の増加に伴いN値10～30と増加する傾向にある。

3. 新潟地震による阿賀野川の被害状況

昭和39年6月16日、新潟県粟島南方沖40kmの日本海で深さ34km、マグニチュード7.5の地震が発生し、死者26名、家屋全壊:1,960棟、家屋半壊:6,640棟、家屋浸水:15,298棟の被害が生じた。

この地震により、阿賀野川中流部から下流部では、液状化現象が発生し、堤防5.75km、護岸

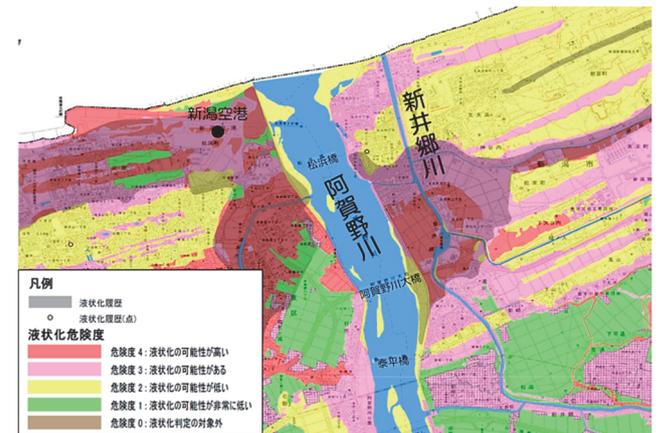


図-2 阿賀野川下流域の液状化しやすさマップ
(作成: 北陸地方整備局、(公社)地盤工学会北陸支部)

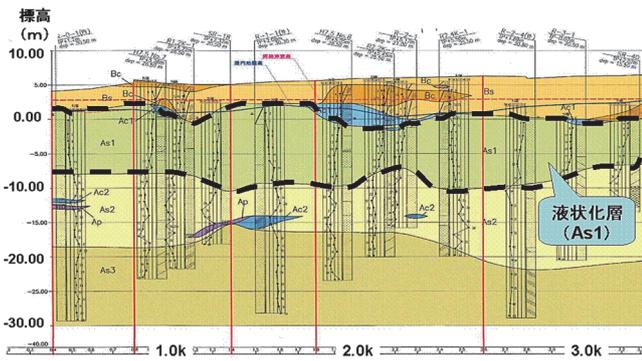


図-3 右岸0.0～3.0k付近の堤防土質縦断面
7.7km、特殊堤0.9km、水制11ヶ所・樋管1ヶ所、水門2ヶ所等の河川構造物に陥没・沈下・亀裂が生じ、津波が阿賀野川を遡上したこともあり、それら本来の機能を失った。



写真-1 新潟地震における土堤の被災状況



写真-2 新潟地震における特殊堤の被災状況



写真-3 阿賀野川を遡上する津波

4. 堤防耐震対策の概要

4.1 土堤区間の対策

4.1.1 耐震性能の照査

土堤の耐震性能の照査については、計画断面を対象に液状化の影響を考慮した、自重変形解析により算定した沈下量から求めた堤防高と照査外水位の関係から二次災害の可能性を判定した。なお、照査外水位については、距離標No.0.0k地点において、新潟地震時に観測された遡上津波痕跡最大高さTP+2.809mをもとに設定した。

この結果、照査外水位が沈下後の堤防高を上まわる左岸1.5km、右岸2.7kmの区間が要対策区間として判定された。

4.1.2 対策工法の選定

要対策区間と判定された区間について、対策工の検討を行った。

対策工の選定にあたっては区間毎に堤防周辺の土地利用状況や地盤状況等の制約条件やコストを考慮して決定した。主な条件としては以下のとおりである。

- (1) 近接する住宅等への影響
- (2) 作業スペースの有無
- (3) 航空制限部（新潟空港滑走路前）での対応
- (4) 堤内地の地盤

4.2 特殊堤区間の対策

4.2.1 耐震性能の照査

阿賀野川の右岸河口部の堤防は、図-4に示すように、新潟地震による災害復旧事業で施工した既存特殊堤を包み込む形で復旧された鉄筋コンクリート杭基礎による重力式特殊堤である。

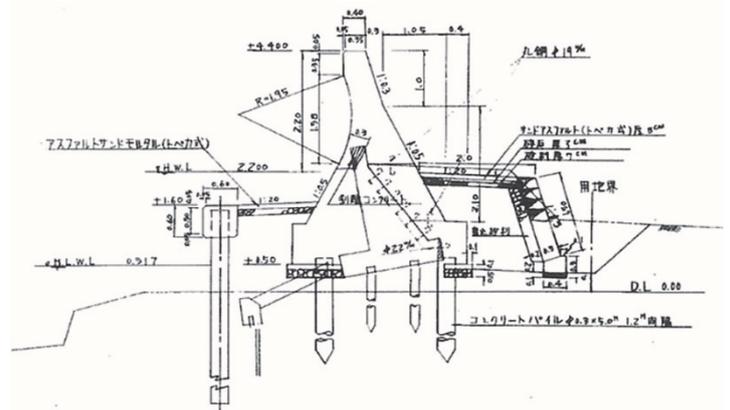


図-4 新潟地震の災害復旧断面図

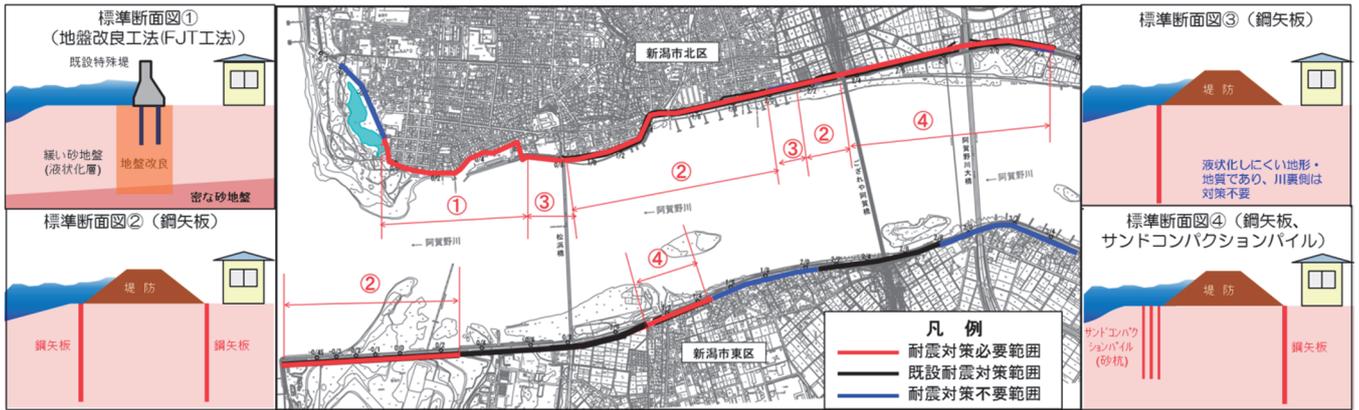


図-5 耐震対策工法の概要（※区間に示す数字は標準断面図を示す）

当該施設の耐震性能の照査によると、重力式構造物の躯体については、基礎杭が降伏しないという条件ではレベル2地震動に対して耐力を有しているが、基礎杭については常時及びL1地震力において特殊堤0.6km全区間（図-5の①の区間）にわたり、基礎杭が降伏すると判断された。

4.2.2 対策工法の選定

工法の選定にあたっては、一次選定として、地盤改良工法（高圧噴射攪拌工法）、増杭工法（ロータリー方式）、特殊堤前面の鋼管矢板工法、土堤新設等の工法を抽出し、現地への適合性やコスト面等から比較検討した結果、地盤改良工法（高圧噴射攪拌工法）と増杭工法（ロータリー方式）が抽出された。

さらに、二次選定として、堤外地側から躯体下部の既設杭を含む地盤を改良する必要性を考慮し、当時、NETIS(新技術情報提供システム)に登録されていた技術の中で、唯一現場に適用可能な工法であったFTJ-FAN工法を採用し、基礎杭が降伏しないように基礎地盤を補強をすることで、耐震性能を確保することにした。

図-5は、耐震性能の照査結果に基づく対策の必要範囲と耐震対策工法の概要をまとめたものである。

5. 特殊堤における耐震対策

5.1 FTJ-FAN工法の概要

FTJ-FAN工法は、図-6に示すように攪拌翼の正面にほぼ水平に取り付けた複数の噴射ノズルから高圧かつ大流量の固化材スラリーを揺動噴射させることで、高速施工及び大口径施工を可能とした他、任意の角度の扇形の改良体の造成を可能としたものである。

また、用いる施工機は、自走式の小型施工機やボーリングマシンが適用可能であるため、狭隘地での施工性に優れる。

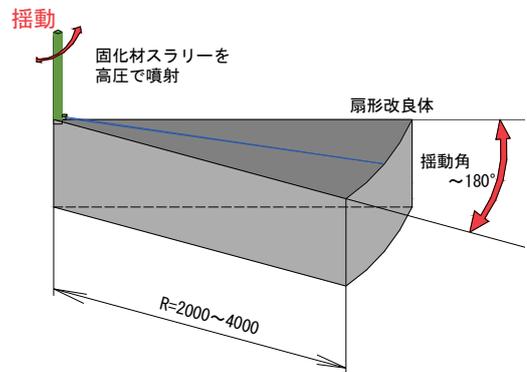


図-6 FTJ-FAN工法による改良体模式図

5.2 地盤改良体の設計

地盤改良の範囲については、安定計算の結果、図-7に示すように、改良幅4.8m、深度工法は液状化層の下端+0.5mまでとした（-7.30m～-4.80m）。また、地盤改良は必要な範囲を100%カバーする必要があるため、FTJ-FAN工法と標準タイプのFTJ-NA工法との組み合わせとし、

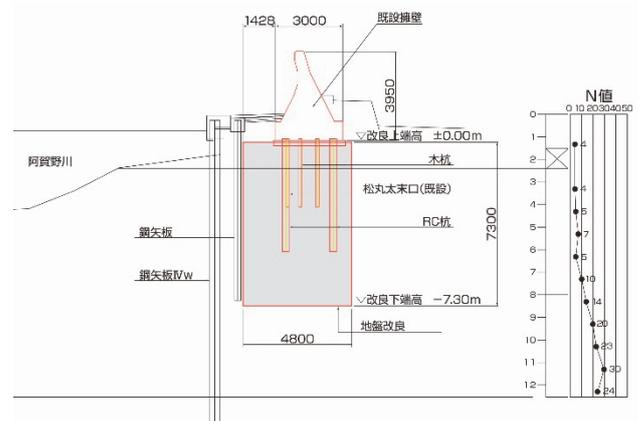


図-7 改良体の標準断面図

このことによって、堤外地からすべて施工できることとなり近隣住宅地等への影響を極力抑えることが可能となった。図-8は、両工法による改良体の標準配置図を示したものである。

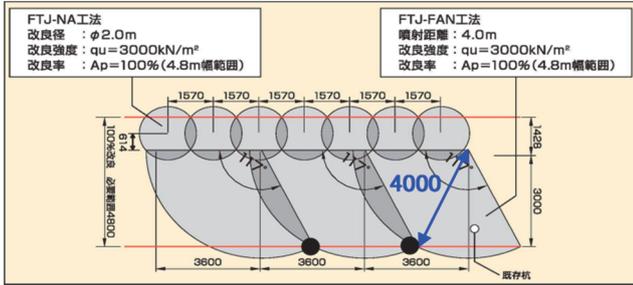


図-8 改良体の標準配置図

5.3 試験施工の実施

FTJ-FAN工法による施工については、土質や礫の混入等の地盤性状の違いが改良品質に大きく影響を与えることから、写真-4に示すように、施工に先立ち現地（特殊堤の堤外地）にて試験施工を実施し、固化材スラリー噴射量及び噴射時間等の施工仕様を決定・確認した。

試験施工の結果等を踏まえ施工仕様については、噴射量300 l/分、造成速度75分/mとした。



写真-4 試験施工の実施状況

5.4 施工状況

工事施工において、漁港周辺では作業スペースが幅3.0m程度しかないところでは、施工は幅2.3mの施工機を使用する必要があった。このため、写真-5に示すように、資材等をフロート式台船に搭載することにより厳しい施工条件を克服した。



写真-5 フロート式台船を使用した施工状況

また、本工事区間全体にわたり堤内地側に民家が近接している条件であったが、大きな問題が生じることなく施工を終えることができた。

5.5 出来型及び品質

工事における出来型については、図-8に示す●の位置において鉛直ボーリング及び斜めボーリングを実施し確認した。写真-6は、確認のために採取された改良体のコアを示したものである。

この結果、調査箇所全体として、確実に改良されていることが確認できた。

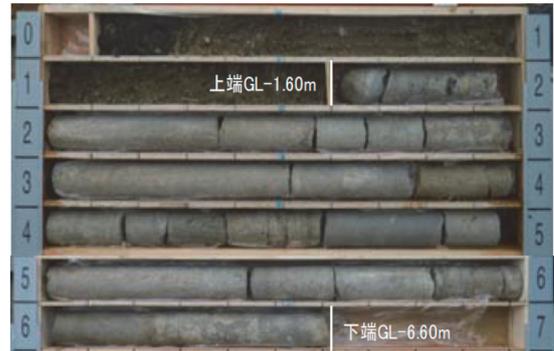


写真-6 採取された改良体

6. おわりに

新潟地震が発生してから50年余になるが、液状化現象については新潟地震を契機に全国的に注目された被災形態である。この新潟から液状化を克服するための取り組みについて発信できたことは非常に意義深いものと感じている。

謝 辞

平成27年11月に本事業の完成式典を実施し、事業の完成を多く市民にから祝福していただいた。

本事業を実施するにあたり、ご指導並びにご協力頂いた(独)土木研究所の皆様をはじめ関係者の皆様、また、ご苦勞頂いた工事関係者の皆様にご場を借りて感謝申し上げます。

石川俊之



国土交通省北陸地方整備局
阿賀野川河川事務所長
Toshiyuki ISHIKAWA

南雲克彦



国土交通省北陸地方整備局
阿賀野川河川事務所副所長
Katsuhiko NAGUMO