

新潟県中越大震災で液状化により 崩壊した刈谷田川堤防の 復旧工事

低環境負荷型高圧噴射攪拌工法を用いた地盤改良工事

株式会社キタック 技術第一部地盤システム二課副長 佐藤 豊
小野田ケミコ株式会社 常務執行役員東京支店長 鈴木 孝一
小野田ケミコ株式会社 東京支店設計担当部長 猪瀬 淳雄

1 はじめに

2004年10月23日午後5時56分、新潟県中越大震災が発生した。避難者約10万人、住宅損壊約10万棟等甚大な直接被害をもたらすとともに、上越新幹線の脱線、道路や鉄道の交通網は各地で寸断された。被害総額約3兆円を超える大規模災害で県内全域に大きな経済的影響を及ぼした。

新潟県中越大震災により一級河川刈谷田川の堤防が被災し、天端の亀裂・沈下、法面の崩壊による側方流動等の被害を受けた復旧対策として、堤防法尻付近の噴砂跡から地盤の液状化が被災原因と考えられたため、セメント系固着材を用いた深層混合処理工法による基礎地盤の液状化対策が検討された。

まだ余震が続く現場の厳しい被災環境下での適用性を考慮し、低環境負荷型の低変位高圧噴射攪拌工法とトレンチャー式攪拌工法が採用され、無事工事を完了できた。

以下は、発生から復旧工事までの経緯を含めた報告である。

(1) 刈谷田川と地域の概要

本地域は、新潟県のほぼ中央に位置し、信濃川右岸の沖積平野地にあり、信濃川、刈谷田川等によって形成された氾濫平野、自然堤防、後背低地からなる。

刈谷田川は、守門岳（標高1,537.6m）に源を発し、栃尾市の山間地を経て、見附市、

中之島町の中心市街地を貫流し、信濃川に注いでいる。縦断的には山間部を1/500以上の急勾配で流下し、見附市内に入り1/2,200の緩勾配となる。このため幾度も地域に大水害をもたらしていた。新潟県では1964年の大水害を契機に助成事業として抜本的改修を行い、1951年の刈谷田川ダムの完成により整備を終了していた。

北陸・関越自動車道、上越新幹線、国道8号線が通る県内でも恵まれた高速交通体系の中心で、見附市は染色、織物等の総合繊維産業産地として、また中之島町は肥沃な土地による農業が盛んで「大口レンコン」の産地として有名である。

(2) 「7.13新潟豪雨災害」で破堤

2004年7月13日、日本海から北陸地方にかけて停滞した梅雨前線の活発化により、刈谷田川上流域では24時間で400mm以上の雨量を記録し、30mm/hを超える降雨が8時～14時までの6時間継続して降り続いた。新潟地方気象台は、この記録的な豪雨に同日午前6時半に大雨・洪水警報を発令したが、午前中には刈谷田川は警戒水位を超えた。堤防を越え、6箇所で破堤した。この洪水により、見附市および中之島町流域のほぼ全域に泥流が流れ込んだ。

これにより死者3名、湛水面積1,153ha、全半壊家屋361戸、浸水家屋2,197戸の被害をもたらした。新潟県は「越水させない原形復旧」を親災とした災害復旧助成事業を

事業要望し、12月に事業採択を受けた。

(3) 「新潟県中越大震災」の発生

「7.13新潟豪雨災害」からわずか3ヶ月後の10月23日に、新潟県中越地方の深さ13kmでマグニチュード6.8の「新潟県中越大震災」が発生した。川口町で最大震度7の強い揺れが観測され、死者46名、負傷者4,839名、家屋被害117,512棟、公共土木施設では堤防・道路網の崩壊、地すべり、崖崩れ等大規模かつ広範囲にわたる壊滅的な被害を受けるという未曾有の大災害となった。

2 刈谷田川の震災状況

(1) 刈谷田川の堤防崩壊

見附市、中之島町でも震度5強の強い揺れが観測された。市街地を貫流する刈谷田川は、「7.13新潟豪雨災害」により堤防が脆弱化している恐れがあったことから、地震発生直後に緊急点検に入った。その結果、国道8号線～上越新幹線の区間（約2km）の堤防天端に深さ1～2mの数条のクラックと段差が生じていること、堤防法面の側方流動により背後の家屋に土砂が押し寄せられていることおよび法尻付近の噴砂現象を確認した（写真-1、2、3、4）。

特に、写真-2のコンクリート製電柱の弓なり変状にその側方流動の大きいことが見てとれる。



写真-1 堤防天端の亀裂 (左岸:見附市山吉町)



写真-2 堤防法面の側方流動 (右岸:見附市山吉町)



写真-3 崩壊した堤防と近接する家屋

(2) 液状化と堤防変状

刈谷田川は、かつて暴れ川として知られ蛇行河川であった。1945年代に線形整理の河川改修が行われた。その後、1961年、1964年の水害後に流過断面を増大させるため堤内側に引堤の改修が行われた。

堤防変状箇所は、地下水位が浅く、旧河道位置におおむね一致していることが震災後の調査によって判明した。

旧河道上には、地表部に緩い埋土や砂質土層が分布していた。このことから、液状化により、基礎地盤の変状が発生しているものと考えた。また、明治・大

正時代の地形図を用いた検証からも、当該河川全域にわたり旧河道と考えられる堤内地で液状化による噴砂現象が数多く見られた(写真-4)。このうち堤防本体が液状化により損傷した箇所は4箇所、総延長841mにのぼった。



写真-4 堤防法尻付近の噴砂跡

3 復旧工法の検討

(1) 被災形態別対策の実施

新潟県中越地方は日本有数の豪雪地帯であり、この冬の積雪は19年ぶりといわれる豪雪に見舞われた。このことから、春先の融雪出水により甚大な被害の発生が懸念されるため、限られた期間内での復旧が余儀なくされた。

復旧計画の立案にあたっては、既存のボーリングデータと液状化により堤防破壊を復旧した事例を参考に、堤防の被災状況を類型化し、それぞれの被災形態別に表-1に示す復旧工法を検討した。

なお、本報告では、この区分⑤に相当するすべり崩壊に伴う基礎処理としての地盤改良工事について、以下に述べる。

表-1 堤防の被災形態別復旧工法

区分	復旧工法		応急復旧				本復旧			
	被災形態	シート張	模式図	切返し開削	川表護岸	基礎処理	事前着工	模式図		
①	縦断亀裂	亀裂深がH.W.L以上		○			△			
		亀裂深がH.W.L以下		○	○		○			
③	横断亀裂	亀裂深がH.W.L以上		○			△			
		亀裂深がH.W.L以下		○	○		○			
⑤	すべり崩壊(堤体沈下)	○		○	○	○	○			

※被災の確認

●切返す深さは、石灰注入等により亀裂深さを確認する

本復旧の留意点 ●切返しの小段は転圧できる最小幅(1m)を確保して行う
●②③④については仮締切りを行う
●⑤の基礎処理については、地質調査を行い実施を検討
●事前着工の△については必要性に応じて着工する

(2) 液状化対策の必要性

堤防被災区間では、液状化により基礎地盤破壊が発生していた。当該地は、被災家屋等が近接しており、堤防崩壊が発生した場合、崩壊土砂が家屋へ影響を及ぼす危険性がある。また、崩壊による河川の閉塞、河積（河川における流過断面積）の減少による水位上昇、堤内地側への二次被害への影響も予想され、家屋が近接することから被害が甚大となることが予想される（図-1）。したがって、基礎地盤を液状化させないための対策工法が必要と考えた。

(3) 復旧工法の選定

① 施工条件

液状化により堤防が大きく変状している不安定な地盤環境下での施工となる。このため、復旧工法は堤内地家屋等への影響や河川の閉塞を及ぼさないようにすることが必要である。堤防の沈下変状によって河積の減少も懸念されるため、河積を確保したままでの施工が可能であり、基礎地盤を液状化させないための対策ができる復旧工が必要である。

刈谷田川の被災復旧現場での主な施工条件は、以下のとおりである。

- 災害復旧の意味から早急に堤体機能の回復が必要である。
- 基礎地盤対策は後工法となる。
- 左岸右岸とも対策が必要であり、出水期に河積を大きく狭めることは不可能である。
- 改良対象深度は、地表面から液状化している砂質土層までの2～9mである。
- 周辺に被災家屋があり、低振動・低騒音タイプの工法とする。
- 施工スペースが狭く大型機械の搬入は困難である。
- 基礎地盤に透水性の砂層が分布し、基盤漏水に対しても十分な対応が必要であり、水みちを形成する工法は不適である。

② 工法選定

地盤改良工法の選定にあたっては、上記の施工条件および経済性等を考慮し、セメント系固化材を用いた施工中の地盤変位が少ない低変位高圧噴射攪拌工法のLDIS工法（エルディス工法：Low Displacement Jet Column Method）を採用した。

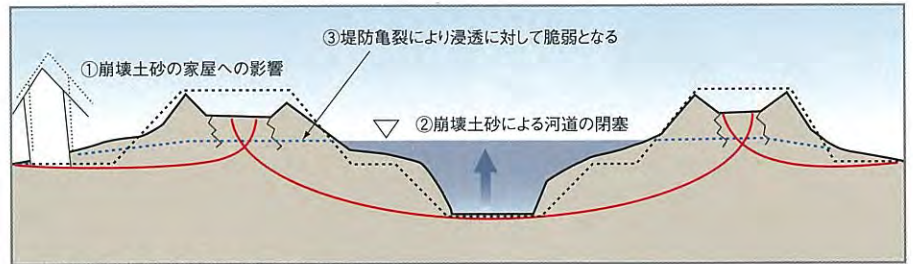


図-1 被災堤防の二次被害の模式図

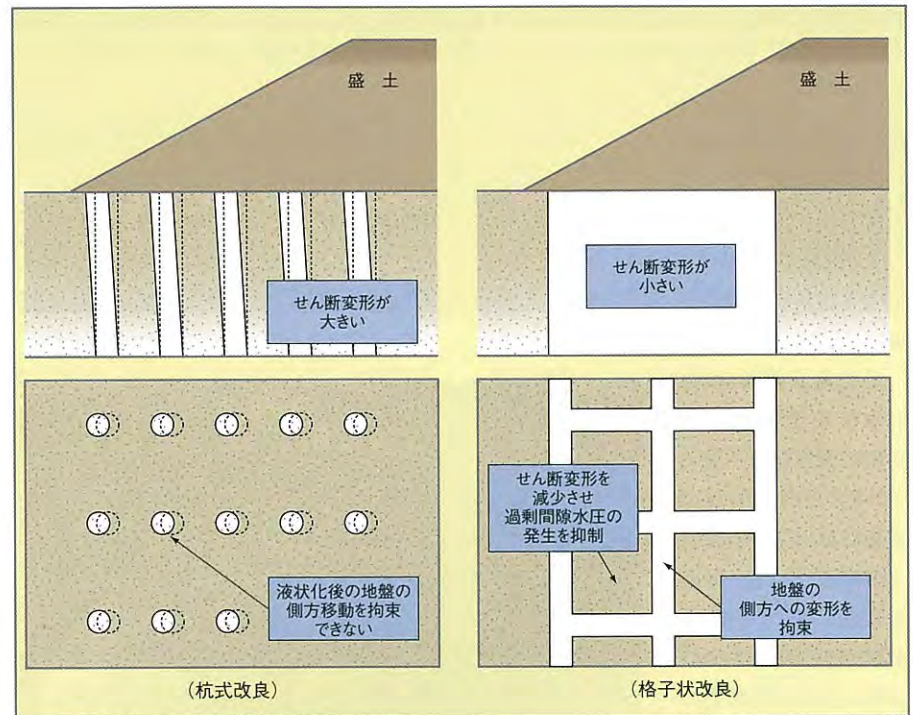


図-2 格子状改良による液状化防止

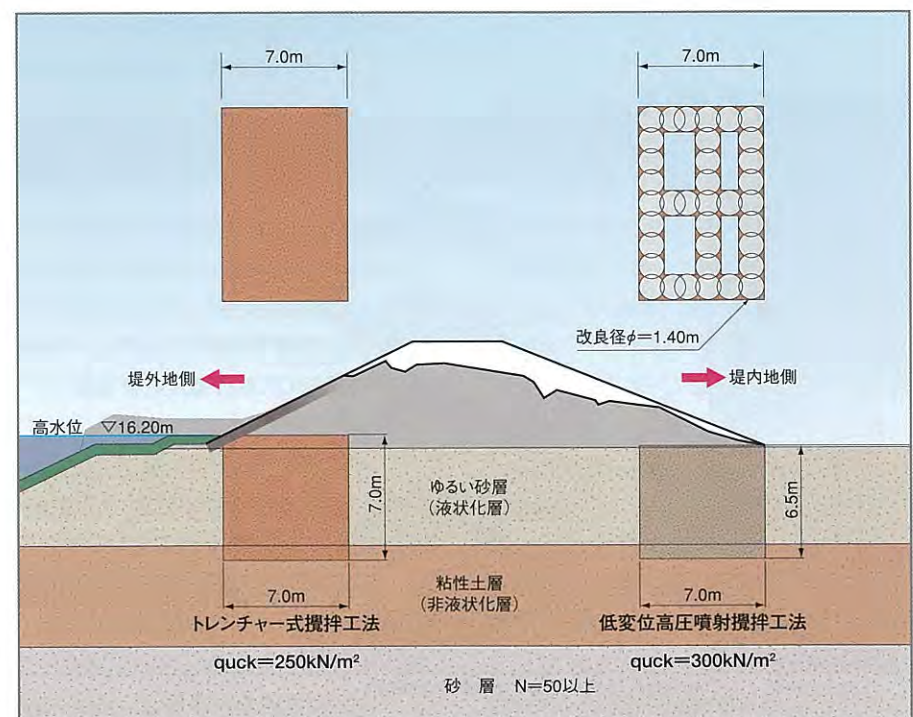


図-3 堤防と改良範囲

施工機械は小型・軽量であり、簡易なH鋼足場仮設で施工できるため斜面上での改良も対応可能であり、必要台数の投入による工期短縮が図れる等の被災現場での適用性に優れる点が挙げられる。

一方、堤外側や被災家屋が近接しない箇所では、トレンチャー攪拌工法を適用した。

(4) 地盤改良工の設計

① 液状化の判定と改良範囲

当該地区で、液状化抵抗値 $F_L < 1.0$ となり液状化すると結果から、液状化対策としての地盤改良を行うことを決定した。なお、地盤改良の範囲は F_L 値による液状化判定および改良体の安定計算により決定し、土被り荷重が小さい法尻付近を改良することとした(図-3)。

また、堤防の再築堤については施工時期が冬季降雪時期となるため、石灰を添加し含水比を下げるにより施工性を確保した。

② 改良様式

i. LDis工法による格子状改良

改良は格子状改良とし、格子状内の液状化層を拘束させるため、非液状化層に確実に根入れさせる設計とした(図-3)。

耐液状化のための格子状改良は、セメント系固化材を用いた地盤改良工法による液状化対象地盤を格子状に囲み、地震時の砂地盤のせん断破壊を防止することにより、耐震性の向上を図る設計仕様である。ラップ接合した改良体で格子状に囲い込んだ改良壁は、液状化した地盤からの動液土圧の進入を防ぐとともに、格子という剛な構造形式がせん断変形を防止することにより格子内が液状化することを防ぐ機能をもつ。

本改良形式は、河川堤防の耐震対策としての実績も多く、全面改良に比べて経済性で有利である。

ii. トレンチャー攪拌工法は全面改良

トレンチャー攪拌工法での格子状改良は施工実績がほとんどないことと、全面改良でも経済性が確保できることから格子状改良ではなく全面改良とした(表-2)。

表-2 選定結果一覧表

民家状況	近接施工でない(堤外地側)	近接施工である(堤内地側)
対策工名	中層混合処理(トレンチャー攪拌工法)	低変位高圧噴射攪拌改良径 $\phi 1.4\text{m}$
施工パターン	全面改良	格子状改良

4 LDis工法(エルディス工法)

(1) 工法の概要

本工法は、ボーリングマシンを用いた低変位高圧噴射攪拌工法である。排泥土の縮減と施工変位の低減を目的に、スラリーの供給を必要最小限に抑えるとともに、改良時に原土の一部を地表に排土することにより、地盤へのスラリーの供給に伴う体積増加をできるだけ少なくした低環境負荷型の地盤改良工法である。

また、独自の施工管理システムにより深度・吐出圧力・吐出量・回転数等を総合的に管理し、高い工品質が確保できることを特長としている。

なお、本工法は国土交通省のNETIS(新技術情報提供システム)に登録されている。

(2) 改良原理

① 噴射攪拌装置

機械排土型噴射モニターは(写真-5)、機械攪拌翼形状の排土機能を持つ噴射攪拌装置で、その直線部に整流域を設けていることから、シャープで強力な切削性



写真-5 機械排土型噴射モニター

能を持つ超高压ジェット噴流を吐出でき、より大きい径の改良体が造成できる工夫がされている。

② 複合混合攪拌機構

噴射モニターの先端ノズルから水平方向に固化材スラリーを超高压で噴射吐出し、回転引上げ施工で円柱状の改良体を造成する(写真-6)。



写真-6 LDis工法の改良体

直径約 $\phi 3\text{mm}$ の噴射ノズルから $p=30\sim 40\text{MPa}$ で加圧・噴射されるスラリーの吐出速度は、マッハ0.6前後と高速で、きわめて高い切削力を有する。噴流周辺部に発生する負圧域によって、周辺土塊も巻き込み混合攪拌される。同時に、回転に伴い噴射モニターの背面および下部に生じた間隙あるいは負圧部に、これらの切削土とスラリーとの混合物が瞬時に流入・充填される。さらにステップ引上げ機構により、連続引上げと異なり、機械翼が同一位置で繰返し攪拌混合し、高圧噴射攪拌と機械攪拌との複合混合攪拌機構による均一なソイルセメント柱が造成される。

③ 排土原理と施工変位の抑制

施工に伴う地盤変位の防止するため、混入固化材スラリーはセメント系固化材を利用してできるだけ少なくし、かつスラリー量に相当する量だけ原土を排土する。

また、排泥にセメント系固化材が混入することを避けるため、加圧空気によるリフトアップ効果をとらず、機械的排土式を採用した。

この排土機構の特長は、排泥土が地表に上がりやすい力学的環境をあらかじめ加水乱し工程を加えることで造っておくことにある。削孔外周部を少量の削孔水により土の鋭敏性を高めておき、排土盤を上下させながら削孔する乱し工程で、周辺部に薄い低強度の滑動層を形成する。これにより、排土盤の押し上げ作用と併せて、注入に伴う地中内の圧力増加をそのまま利用し、注入スラリー量に見合う原土をところてんのようにスムーズに地表部へ機械的に排出できる。

これら一連の作業によって、改良地盤内の体積収支はバランスし、地盤変位の発生を最小限に抑えることができる新しい排土機構を採用している(図-4)。

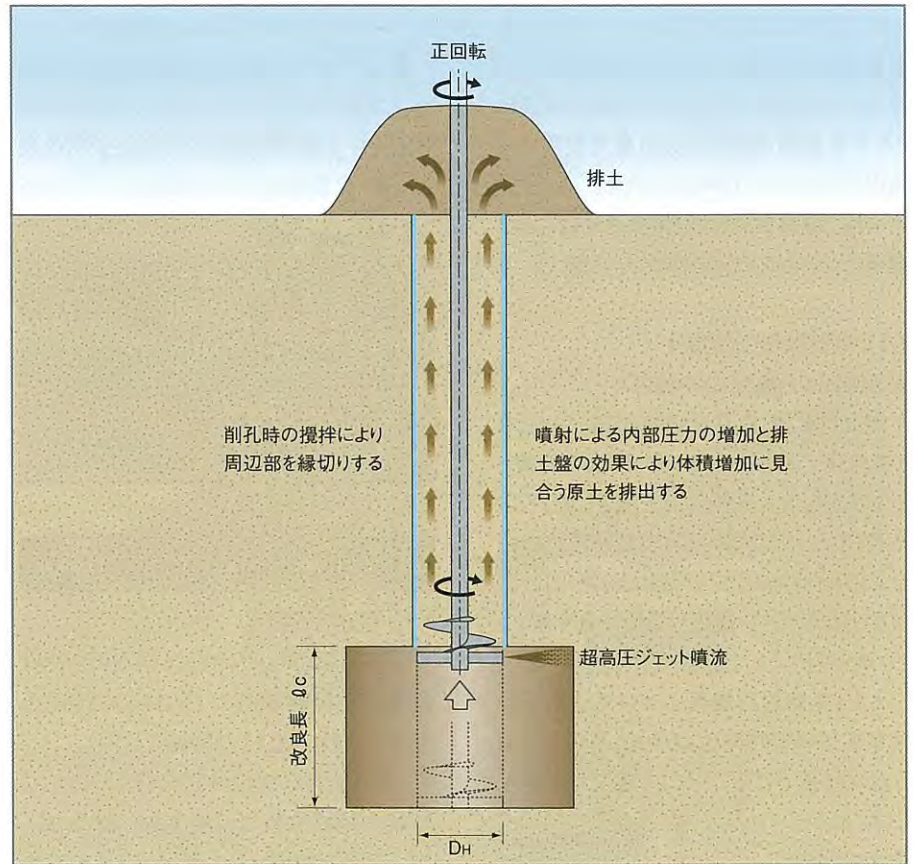


図-4 LDis工法の排土原理

(3) 施工方法

現場調査および室内配合試験から固化材混入量を決定の上、固化材および練混水の必要量を計量し、ミキサで十分混合して調製する。スラリーは調合タンクに貯え、超高压ポンプでホースを経て高压噴射攪拌装置に圧送する。

施工精度の確保が容易で、安定性に優れた台車レール走行方式により、次の図-5に示した手順で施工する。

- ① 施工マシンを施工位置に移動・セットする。
- ② 機械的排土型噴射モニターで計画深度まで乱し貫入させる。
- ③④ 一旦地上まで引抜き、再度、計画深度まで貫入させる。
- ⑤ 固化材スラリーを超高压大容量ポンプで施工マシンに圧送する。所定吐出圧力を確認後、定速回転のステップ引上げで噴射攪拌し、排土しながら円柱状の改良体を造成する。
- ⑥ 施工管理室では、施工マシンおよび固化材スラリー調製プラントから伝送される施工データを集中品質管理装置により確認・指示・記録する。

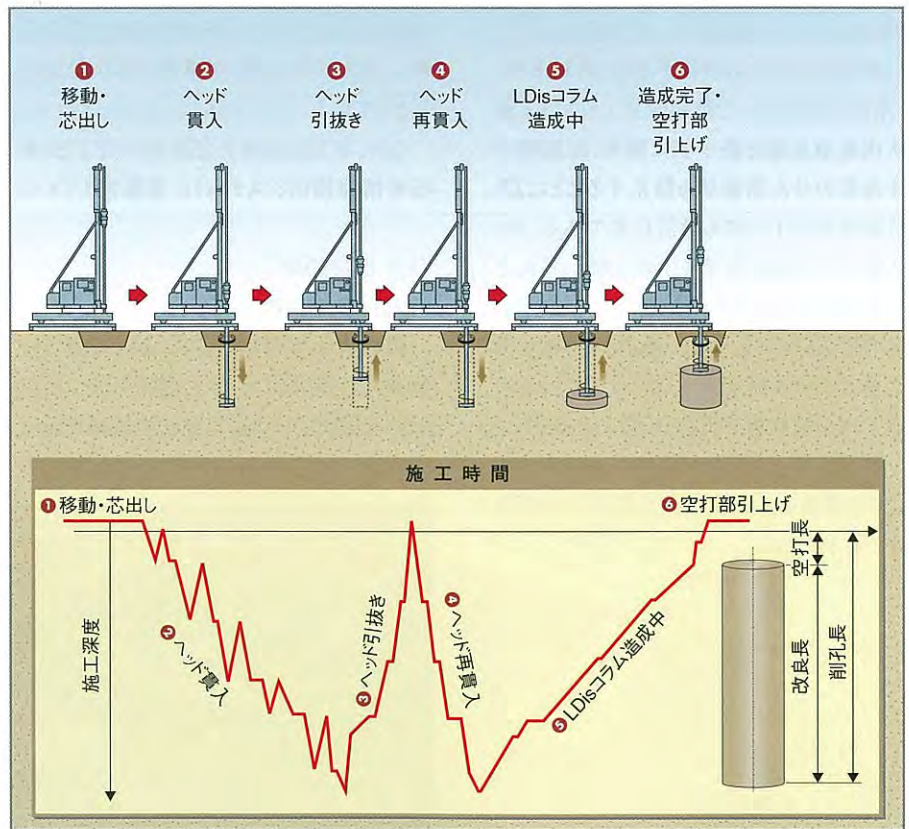


図-5 施工手順

(4) 施工機械

施工機械は大別すると、

- ① 固化材スラリー調製装置
- ② 高圧ジェット発生装置
- ③ 高圧噴射・移動装置
- ④ 集中品質管理装置

に分けられ、その他これらを連結する各種ホース、キャブタイヤ、管理装置および発電機等からなる。

特に、高圧噴射攪拌施工機は噴射モニターの地盤中への貫入およびロッドの継切りを容易にする等専用機として作業しやすい工夫がされている。

また、表-3に主な施工機械設備を示す。

施工現場は、積雪もあり軟弱な地盤条件であったが、レール足場に総重量が10t未満と軽量の台車走行式の施工機(写真-7)を用いているため、安定処理等の前処理を必要とすることなく、低振動・低騒音の施工ができた。

表-3 主要な施工機械設備

機 械 名	仕 様	寸 法 B×W×H(m)	重 量 (kg)
集中自動プラント	ミキサ 1.5m ³	2.3× 1.0× 2.2	4,500
	アジテータ 2m ³		
	水・固化材自動計量		
固化材サイロ	30t コンベアー装備	2.6× 7.0× 3.3	4,500
超高圧ポンプ	p=30~40MPa	2.1× 3.5× 1.8	5,000
	q=100~1200/min.		
水タンク	v=10m ³	1.5× 4.0× 1.5	1,400
流量計	q=0~2000/min.	1.0× 0.5× 0.7	130
噴射攪拌施工機	3mストローク	1.5× 3.2× 10.4	3,700
	R=3~60rpm		
	T=0~400kg・m		
スライドベース	自動走行式	3.5× 10.0× 0.5	4,500
集中品質管理装置	噴射圧、流量管理他	—	—



写真-7 台車走行式の移動装置と施工機



写真-8 排土状況

5 施工結果

(1) 排土状況

排出された土は、写真-8に示すように、従来の低変位高圧噴射攪拌工法の排泥水とは異なり、泥水状態ではなく柔らかい原土である。

リトマス試験紙によるアルカリ反応の結果、排出された土はアルカリ反応を示さず中性であった。目視観察でも、注入時に固化材スラリーのリークは観察されなかった。また、排出した土塊を放置しても固化状況が確認されず、固化材の混入はほとんどなかったものと考えられる。

(2) 施工時の発生変位量

施工時にLDis杭に接するように仮設矢板の地表部での水平変位を測定した。測定位置は、矢板番号1、24、48、72、95および115である(図-6)。

施工中の発生変位の測定結果は、矢板番号1と48で堤内方向に押し変位で2mm、その他の矢板位置ではいずれも押し変位で1mmと低変位施工が確認できた。

(3) 振動と騒音の測定結果

騒音規制法で「特定建設作業に伴って発生する騒音規制基準として、作業場所

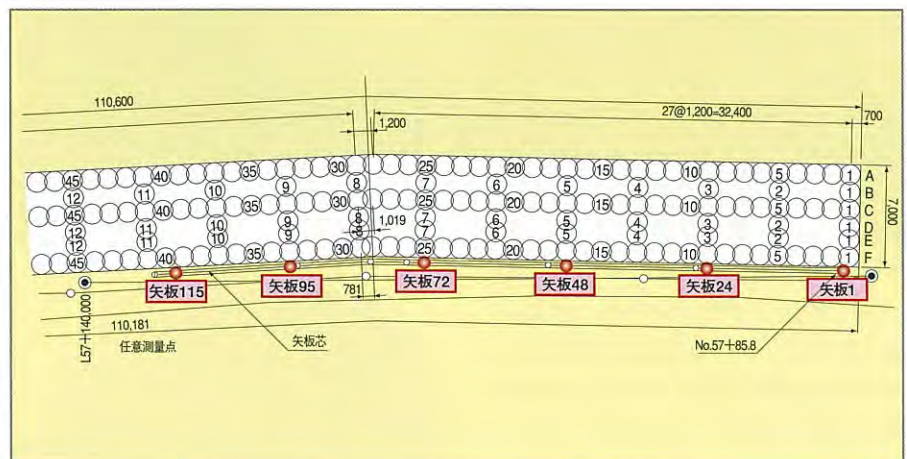


図-6 施工時の変位測定位置(矢板部)

の敷地の境界線において、85dBを超えないこと」と定められている。また、振動規制法で「特定建設作業に伴って発生する振動規制基準として、作業場所の敷地の境界線において、75dBを超えないこと」と定められている。

本工法の騒音は、プラントから10m離れで66dBと「静かな街頭」相当であることが

わかった。また、振動も地盤に伝搬される振動(鉛直振動)の距離減衰を測定した結果、5m離れで50dBを下回り、「人体に感じない振動レベル」であることが確認された。

これにより、本工法が、工事の騒音や振動により施工現場周辺の生活環境に対し低環境負荷型の施工ができることが確認できた。

「7.13新潟豪雨災害」の記憶もさめやらぬ時期の地震発生で、住民の刈谷田川の堤防に対する不安は最高潮に達しており、新潟県はその不安を少しでも払拭するため、数回にわたり地元説明会を実施しながら、10月25日から緊急堤防復旧工事と現堤防前面の仮堤防工事を24時間態勢で計画・実施した。現堤防撤去→地盤改良工事→堤防再築堤の間は仮堤防だけになるため、3～4月の融雪期間の出水が懸念されたが、近接施工にかかわらず低変位で低振動・低騒音の低環境負荷型の施工ができ、計画した工事工程どおりの施工により乗り切ることができた。現在、地震災害復旧工事は順調に進み、3月下旬には地盤改良が終了し、4月初旬には築堤が完了した(写真-9)。工事実施にあたっては、「融雪期までに

復旧しなければならない」との時間的な制約がある一方で、一年に満たない短期間に豪雨水害と大震災が発生するという稀有な大災害で心身ともに疲弊している地元住民に対しても細心の注意を払う必要があった工事である。被災現場での低環境負荷型の工事事例として参考になれば幸いである。

最後になりましたが、本稿は新潟県長岡地域振興局のご好意により貴重な被災状況写真また災害発生から応急措置および復旧方針、設計・施工に関する資料の提供を受け、発生災害採択事例からの引用許可等、多大なご支援とご指導を賜りまとめたものです。ご指導をいただいた災害復旧部の方々、また不眠不休で復旧工事に尽力いただいた工事関係者の方々にこの場をお借りして深く御礼申し上げます。



写真-9 復旧された堤防

【参考文献】

- 1) 新潟県:刈谷田川河川災害-液状化により崩壊した堤防の復旧-,平成16年発生災害採択事例集,社団法人全国防災協会,平成17年5月
- 2) 鈴木孝一,西尾経:機械排土式低変位高圧噴射攪拌工法-SDM工法とLDis工法の設計・施工-,軟弱地盤の改良⑩,1999.1
- 3) 植木博,柿沼章夫,山口勝,鈴木孝一:周辺地盤への影響が少ない地盤改良工法(LDis工法)の開発と施工,建設の機械化,1995.5



さとう・ゆたか

【著者略歴】

- 1987年 3月 新潟大学農学部
農業工学科卒業
1988年 4月 北日本技術コンサルタント株式会社
(現 株式会社キタック)入社
現 在 株式会社キタック技術第一部
地盤システム二課副長 技術士補(建設部門)



すずき・こういち

【著者略歴】

- 1977年 3月 中央大学大学院
理工学研究科土木工学専攻修士課程修了
同 年 4月 小野田セメント株式会社
(現 太平洋セメント株式会社)入社
現 在 小野田ケミコ株式会社常務執行役員東京支店長
技術士(総合技術監理部門・建設部門)
コンクリート主任技士



いのせ・あつお

【著者略歴】

- 1979年 3月 東海大学工学部土木学科
卒業
同 年 4月 小野田セメント株式会社
(現 太平洋セメント株式会社)入社
現 在 小野田ケミコ株式会社東京支店
設計担当部長