第19回（令和2年度）技術報告会
北海道土木技術会　土質基礎研究委員会

土質基礎に関する「災害対策に関する我が社の貢献」技術報告会

報　告　集

令和3年2月

主催　北海道土木技術会
　　土質基礎研究委員会

目　　次

セッションa

a-1　近年発生した地震・豪雨による斜面災害と復旧工事について　・・・1
日特建設株式会社事業本部　佐藤 康弘

a-2　超速硬コンクリート/スーパージェットコンクリート　・・・10
小野田ケミコ株式会社　高杉 樹正、吉田 直人、大住 学、久我 比呂氏
竹田 敏彦

a-3　災害対策に関する事例紹介　・・・14
三井化学産資株式会社　小川 亮太

セッションb

b-1　河川防災としての遊水地建設に貢献する真空圧密ドレーン工法の紹介（その２）
― 盛土併用真空圧密工法の自動動態観測システム ―　・・・21
錦城護謨株式会社　日下部　祐基、山戸　勝博、川辺　慶司、畠山　和長
真空圧密ドレーン工法研究会　榊原　司、白神　新一郎、

b-2　多重管高圧噴射攪拌工法の実用化とその施工事例　・・・30
小野田ケミコ株式会社　木下　和徳、立石　光一、吉田　直人、蓮香　朋宏
山根　行弘、竹田　敏彦
株式会社エーティック　工藤　忠

b-3　表土ブロック移植による法面緑化工法　・・・37
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所　佐藤　厚子
国土交通省北海道開発局旭川開発建設部　千葉　隆広
国立大学法人北海道大学北方生物圏フィールド科学センター和歌山研究林
中村 誠宏

近年発生した地震・豪雨による斜面災害と復旧工事について

日特建設株式会社事業本部　　佐藤　康弘[*1]

１．はじめに

過去 20 年程度を振り返ってみると, 2004 年に発生した新潟県中越地震と平成 16 年台風第 23 号, 2011 年には東北地方太平洋沖地震と平成 23 年台風第 12 号（紀伊半島大水害), 2018 年には平成 30 年北海道胆振東部地震と平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨）と，毎年のように地震や豪雨が発生し，これに伴う斜面災害も多発している。

これらの災害発生の原因やメカニズム，調査・設計については研究者やコンサルタントの報告が多数なされているのに対して，実際に施工した工事についての報告事例は比較的少ない。当社は専門工事業者として斜面災害復旧工事に携わることが多いため，最近の対策工法の概要と当社が復旧工事に携わったり，被災調査を行った事例について紹介する。

２．近年、発生した地震・豪雨とそれによる土砂災害

表 1.1～1.2 に近年発生した被害地震と豪雨災害，それによる斜面災害の概要をまとめる。

表 1.1　近年発生した主な被害地震と斜面災害の概要

発生日	地震名	地震の規模	斜面災害の概要
2004.10	平成 16 年新潟県中越地震	M6.8 最大震度 7（新潟県川口町）	表層崩壊・地すべりが多発 河道閉塞による天然ダム 52 ヶ所
2008.6	平成 20 年岩手･宮城内陸地震	Mj7.2 最大加速度 4,022 ガル 最大震度 6 強（宮城県栗原市）	地すべり・がけ崩れ約 3,500 箇所以上 大規模地すべり（荒砥沢ダム）
2011.3	平成 23 年東北地方太平洋沖地震	M9.0　最大加速度 2,933 ガル 最大震度 7（宮城県栗原市）	斜面災害発生地が広範囲に及ぶ 市街地の盛土滑動災害が多発
2016.4	平成 28 年熊本地震	Mj7.3　最大加速度 1,580 ガル 最大震度 7（熊本県益城町）	表層崩壊に加え、大規模斜面崩壊が発生
2018.9	平成 30 年北海道胆振東部地震	Mj6.7　最大加速度 1,505 ガル 最大震度 7（北海道厚真町）	表層崩壊が極めて多発 斜面崩壊面積過去最大

表 1.2　近年発生した主な豪雨と斜面災害の概要

発生日	名　称	降雨の規模	斜面災害の概要
2004.10	平成 16 年台風第 23 号	日降水量 441mm （高知県四国中央市）	京都府土砂災害多発 土砂災害 163 ヶ所（国土交通省）
2011.8 ～9	平成 23 年台風第 12 号 （紀伊半島大水害）	総降雨量 1814.5mm （奈良県上北山）	深層崩壊多発 河道閉塞による天然ダム 17 ヶ所
2013.10	平成 25 年台風第 26 号 （伊豆大島土砂災害）	24 時間降雨量 824mm 1 時間雨量 122.5mm(伊豆大島)	大金沢での表層崩壊多発 流木を含んだ土石流発生
2018.6 ～7	平成 30 年 7 月豪雨 （西日本豪雨）	最大降雨量 1852.5mm （高知県魚梁瀬）	広島県・愛媛県等西日本中心に広域で表層崩壊発生。広島地方で土石流多発
2019.10	令和元年東日本台風	最大降雨量 942.5mm （神奈川県箱根）	関東～東北地方で斜面災害が多発 土砂災害 952 件で台風災害として最高

*1 Yasuhiro Satou　東京都中央区東日本橋 3-10-6　・TEL 03-5645-5062・FAX 03-5645-5066

３．斜面災害復旧工法の分類と特徴

現在、斜面災害復旧工事に使用されている法面保護工法について代表的なものを表 1.3 にまとめる。近年では従来型のコンクリート構造物工や補強土工に加えて，鉄筋挿入工とワイヤーロープや高強度の金網等の 2 次製品を組合せることにより，表層崩壊や落石に対して対処可能な工法が多数開発されている。これらは省力化による工期短縮や，暑中・寒中養生が不要であること，吹付プラント設備が不要となること等によるメリットがある。

表 1.3　斜面災害復旧工事に使用されている法面保護工法の例※

分　類	工　法　名	特　徴	開発会社等
コンクリート構造物工	モルタル・コンクリート吹付工	密閉型法面保護工法	一般工法
	現場打コンクリート枠工	現場打ちコンクリートによる格子枠構造 枠内張工・植生工	一般工法
	プラ枠・鋼製枠工	プラスチックや鋼製枠による格子枠構造 枠内植生工	一般工法
	現場吹付法枠工※ （フリーフレーム工法等）	吹付工法による格子枠構造 □150～600mm（枠内密閉・緑化）	フリー工業株式会社・フリーフレーム協会等
	簡易吹付法枠工 （ソイルクリート工法等）	モルタル吹付によるカマボコ型断面による格子枠構造（枠内密閉・緑化）	各工法協会
補強土工	GT フレーム工法 （補強土植生法枠工）	ジオグリッドと改良土によるカマボコ型断面による格子枠構造（全面緑化）	イビデングリーンテック株式会社
	ジオファイバー工法 （連続繊維補強土工）	ポリエステルと砂質土による補強土構造物（全面緑化）	日特建設株式会社
	ロービングウオール工法 （長繊維混入補強土一体緑化工）	ポリプロピレンと砂質土、安定化材（セメント）による補強土構造物（全面緑化）	ライト工業株式会社
ロープ伏工	**ノンフレーム工法※**	鉄筋挿入工とワイヤーロープ、頭部支圧版による複合補強工法（崩壊対応深度 3m）	日鐵住金建材株式会社・ノンフレーム工法研究会
	ユニットネット工法	鉄筋挿入工とユニット式ネットによる複合補強工法（崩壊対応深度 3m）	株式会社ダイカ
	ES ネット工法	鉄筋挿入工と格子状ワイヤーロープによる複合補強工法（崩壊対応深度 3m）	ライト工業株式会社・神鋼建材株式会社
	ロープネット工法	岩用アンカー・土砂用アンカー（1.0～1.5m）とロープによる落石対策工法	東京製綱株式会社・CCM 協会
	マイティーネット工法※	岩用アンカー・土砂用アンカー（1.0～1.5m）とロープ・特殊金網による落石防止工法	東京製綱株式会社・CCM 協会
	ワイヤーネットワーク工法※	岩用アンカー・土砂用アンカー（1.0～1.5m）と張力維持ロープによる落石対策工法	エース産業株式会社・日本サミコン株式会社
	プレストネット工法	鉄筋挿入工と支圧板、連結鋼棒による複合補強工法（表層崩壊対応）	相建エンジニアリング株式会社
ネット伏工	**クモの巣ネット工法※**	鉄筋挿入工と高強度ネットによる複合補強工法（崩壊対応深度 3m）	東亜グラウト工業株式会社 エコ・パワーネット工法会
	パワーネット工法	鉄筋挿入工と高強度ネットによる複合補強工法（崩壊対応深度 1.5m）	東亜グラウト工業株式会社 エコ・パワーネット工法会
	HD ネット工法	鉄筋挿入工と高強度ネットによる複合補強工法（表層崩壊対応）	弘和産業株式会社
	DC ネット工法	鉄筋挿入工とワイヤー・ネットによる複合補強工法（表層崩壊対応）	ライト工業株式会社・神鋼建材株式会社

※ 擁壁工・補強土擁壁工を除く

※ 太字は本稿で紹介している工法である

４．地震により発生した斜面災害と復旧工事の事例

4.1. 岩手・宮城内陸地震

岩手・宮城内陸地震は，岩手県と宮城県の県境付近を震源とする内陸直下型地震であり，山間部で発生したことより多数の斜面崩壊・土石流・地すべりが発生した。宮城県の荒砥沢ダムにおいては長さ約1,400m，幅約 810m,滑落崖高さ約 140m の大規模地すべりが発生したことでも知られている。

斜面災害の復旧工事は現場吹付法枠工が主体であり，本稿で紹介するのはこのうち山体斜面で発生した表層崩壊に対して施工した事例である。発生した崩壊は，山体の岩盤を被覆する表土層が主体であり，崩壊土砂は長距離を移動して県道を埋没した状態であった（写真 4.1)。

対策工の目的は，地山の風化や表層崩壊の進行を防ぐとともに，植生の回復を図ることであり，枠内は植生基材吹付工が採用された。従来型のコンクリート構造物による災害復旧工事であり，自然環境の回復や景観性が懸念されていた。完成当初はコンクリート構造物が目立つ状態であったものの（写真 4.2)，施工後数年で導入した木本植物や自然侵入種によって自然景観の回復が図られている。

写真 4.1　被災直後（被災調査時）

写真 4.2　完成当初の状況

4.2. 東北地方太平洋沖地震

東北地方太平洋沖地震においては主に岩手・宮城・福島県等で広範囲にわたり多数の斜面崩壊が発生している。採用された復旧工法は従来工法である現場打吹付法枠工に鉄筋挿入工，アンカー工を併用するものが主体であったが（写真 4.3～4.6)，表層崩壊箇所に対する連続繊維補強土工（ジオファイバー工法)，岩盤斜面に対するロープ伏工（ロープネット工法）や、山腹斜面に対するロープ伏工（ノンフレーム工法）も多数採用された。

写真 4.3　宮城県内のモルタル吹付の被災状況

写真 4.4　吹付法枠・鉄筋挿入工による復旧状況

写真 4.5　福島県内の自然斜面の被災状況

写真 4.6　吹付法枠・アンカーによる復旧状況

又、造成宅地の地盤の滑動により多数の民家が被災し、擁壁の変状も多数発生した。対策工の選定にあたっては，固結工・アンカー工・杭工・鉄筋挿入工（垂直補強・斜面補強）等が比較検討された。鉄筋挿入工（垂直補強）については，従来は採用事例が少なかったが，市街地の狭隘な住宅地の中で施工する必要性があることより，多数採用された。図 4.1 に模式図，写真 4.7～4.10 に施工状況を示す。

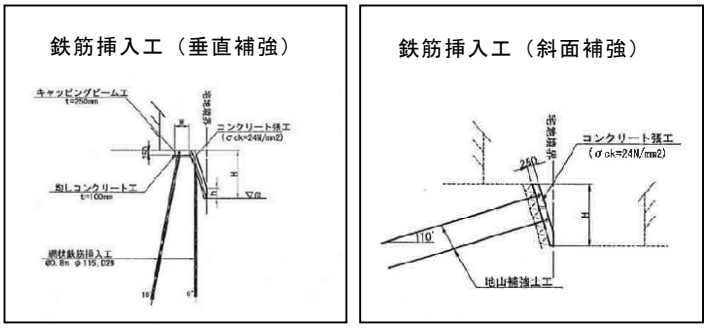


図 4.1　鉄筋挿入工模式図

写真 4.7　対策工事（垂直補強）施工状況

写真 4.8　対策工事（垂直補強）完了状況

写真 4.9　対策工事（斜面補強）施工状況

写真 4.10　対策工事（斜面補強）完了状況

4.3. 阿蘇大橋斜面（平成 28 年熊本地震）

熊本地震は阿蘇地区を中心に多数の斜面崩壊を引き起こした。中でも最大規模は阿蘇大橋地区の大規模斜面崩壊で，崩壊長さ約 700m，幅約 200m，崩壊土量約 50 万 m^3 にも及び，斜面下部に位置する国道 57 号，豊肥本線を寸断した（写真 4.11）。又，崩壊箇所直下を流れる黒川に架かる国道 325 号の阿蘇大橋は、地震時の活断層のずれにより崩落した。

当社は，発災直後の緊急対策工事（阿蘇大橋地区斜面防災対策工事　2016.8～12）から恒久対策工事（阿蘇大橋地区斜面対策工事　2017.10～2018.10）において，大手ゼネコン（熊谷組他）のもとで一連の斜面対策に携わったものであるが，全体面積で約 80,000m^2 を約 3 年の期間で完成させる今までに例を見ない大規模斜面対策工事であった。

本工事の概要を以下にまとめるとともに，図 4.2 に対策工の施工範囲と工種区分を示す。

- ➢ 崩壊後の急勾配の法肩部の安定化のため，無人掘削機によるラウンディングを実施（写真 4.12）
- ➢ 斜面対策工は斜面長が長いため、吹付工によらずにネット伏工（クモの巣ネット工法（図 4.3）・マイティーネット工法(図 4.4)）とロープ伏工（ワイヤーネットワーク工法）を採用
- ➢ 植生工は自然侵入促進工（無播種）とし，耐浸食性能に優れる多機能フィルターをネット伏工と併用
- ➢ 大分側凸部は不安定であったため，切土を行ったうえで植生工（多機能フィルター）を施工
- ➢ 斜面崩壊で発生した流木と土砂の有効活用のため、森林表土利用工（ネッコチップ工法）を林道斜面に施工

ラウンディング工･マイティーネット工法・多機能フィルター

クモの巣ネット工法･多機能フィルター（一部 NINJA パネル）

マイティーネット工法・多機能フィルター

グラウンドアンカー工

ワイヤーネットワーク工法

ネッコチップ工法（林道斜面）

図 4.2　急斜面部の対策工の施工範囲と工種区分

写真 4.11　崩壊時全景

写真 4.12　法肩ラウンディング施工状況

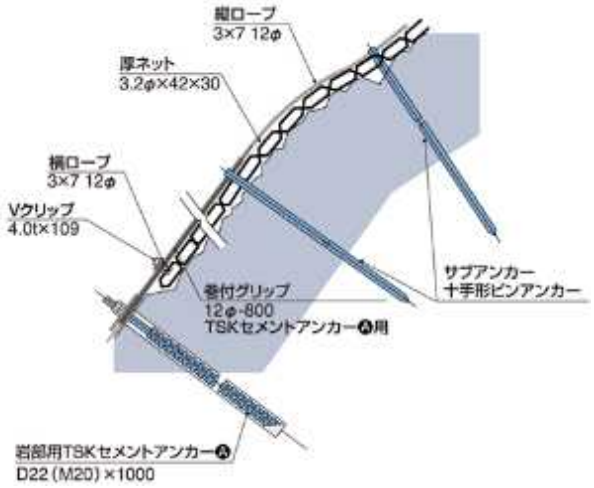


図 4.3　マイティーネット工法構造概要 [1)]

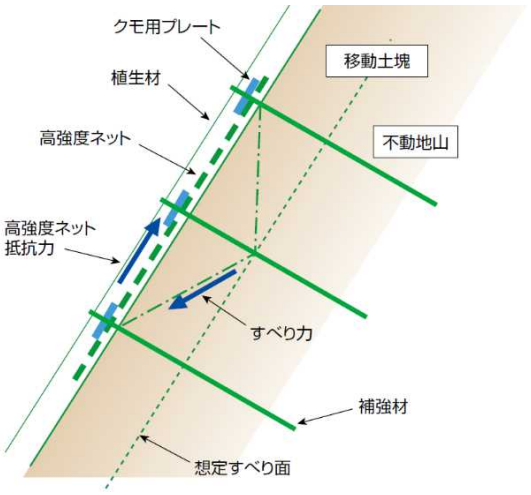


図 4.4　クモの巣ネット工法構造概要 [2)]

写真 4.13～4.14 に施工の進捗状況を示す。熊本側ガリー浸食部・崩壊主部・大分側凸部の各ブロックに対して，上下作業とはならない様にして同時並行で作業をしている。安全性と施工性向上のため，足場を標高 30m（法長約 50m）毎に設置し，索道の荷取り場を兼ねたものとしている。

写真 4.13　急斜面部上部施工状況

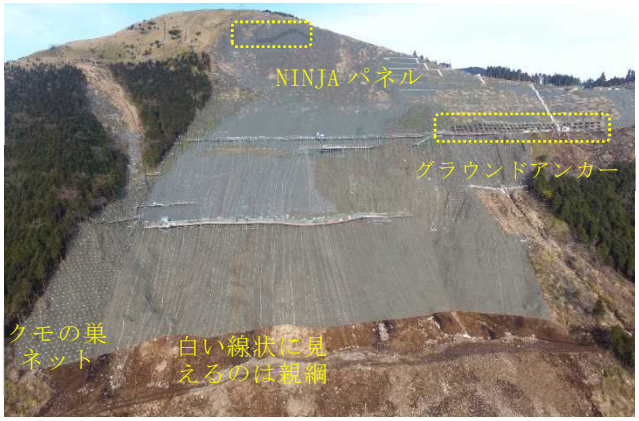


写真 4.14　急斜面部下部施工状況

尚，標高 740～525m 間の急斜面部（写真 4.14）までが当社の担当範囲であり，緩傾斜となる斜面下部は鋼製土留工が施工され，現在では全体斜面の対策が完了している（写真 4.15）。

自然侵入促進工を採用した植生工であるが，法肩ラウンディング部においては周囲に自生していたササ竹が地下茎により旺盛に侵入しているとともに，ススキ等自生種の侵入により高標高部から徐々に植生が回復していることが確認されている（写真 4.16）。

写真 4.15　斜面対策工完了全景

写真 4.16　上部斜面植生回復状況

５．豪雨により発生した斜面災害と復旧工事の事例

5.1. 伊豆大島土砂災害（平成 25 年台風第 26 号）

平成 25 年台風第 26 号により，伊豆大島において 1 時間雨量 122.5mm，24 時間雨量 824mm を記録し，大島町観測史上最大値を更新した。これに伴い大金沢地区の斜面で同時多発的な表層崩壊と（写真 5.1），それによる流木を多量に伴う土石流が発生して下流の元町集落を直撃，36 名の死者を出す惨事となった。

対策工として，応急対策（H25），短期対策（H26～28），中長期対策（H29 以降）が実施され，そのうち短期対策で斜面対策工が施工された。工法区分として，急傾斜部は鉄筋挿入工と植生マット工を併用したロープ伏工（ノンフレーム工法），緩傾斜部は鋼製柵工が採用された。ノンフレーム工法は、鉄筋挿入工を正三角形配置で打設することで表層崩壊を防止するとともに，頭部支圧板とワイヤーロープで鉄筋挿入工頭部を連結することで表層崩壊を防止するものあり，樹木のある自然斜面や，凹凸のある地山に密着して施工することが可能である（図 5.1 ）。吹付プラント設置も不要で，対象箇所が高所・長距離でも軽微な仮設での施工が可能なため，吹付法枠工と比べて工期短縮を図ることができた。

又，本工事の特記すべき点として，鋼製柵工の中詰め材として災害時に発生した流木を島外搬出せず，島内でチップ化したものを有効活用したことがあげられる。

対策工完成箇所の一部を写真 5.2 に示す。法尻には落石防護ネットが設置され，法尻～緩勾配箇所に鋼製柵工（チップ充填），急勾配箇所には植生マット工を併用したノンフレーム工法が施工されている。

写真 5.1　表層崩壊箇所の状況

写真 5.2　復旧状況

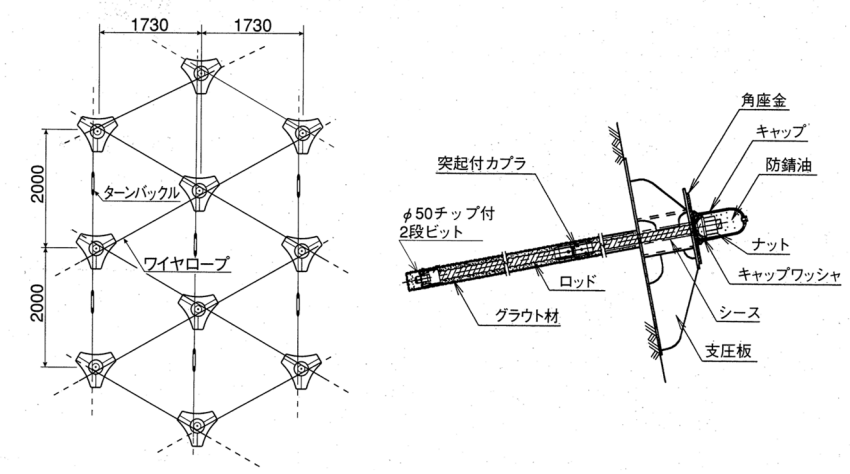


図 5.1　ノンフレーム工法構造概要 [3)]

5.2. 西日本豪雨（平成 30 年 7 月豪雨）

平成 30 年 7 月豪雨により，西日本中心に多くの斜面災害が発生した。特に広島県や愛媛県で多発し、広島県内では崩壊で発生した土砂が土石流となって道路や鉄道などのインフラを切断，愛媛県内では柑橘類を含む樹園地の被災が 299ha に及んだ。

広島県内での対策工の事例を写真 5.3～5.4 に，愛媛県内での事例を写真 5.5～5.6 に示す。従来型の吹付法枠工も多数施工されているが，ネット伏工やワイヤー伏工の採用も増加している。

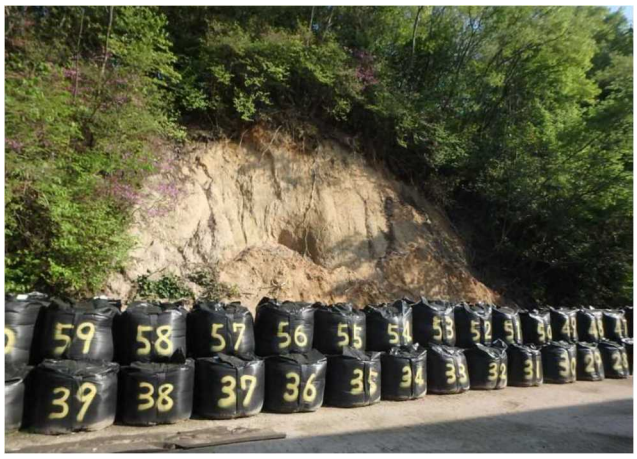


写真 5.3　広島県内の被災箇所

写真 5.4　クモの巣ネット工による復旧状況

写真 5.4　愛媛県内の被災箇所

写真 5.5　現場吹付法枠工による復旧状況

６．まとめ

地震や豪雨による斜面災害が毎年のように発生するなか，迅速な復旧工事が期待されている。しかしながら，少子高齢化の進行に伴い建設業就業者はピーク時から 20%以上減少して 500 万人を切っており，さらに約 3 割が 55 才以上と高齢化が進行している。特に法面工の不足は深刻な状況で，従来のように多数の作業員を集中的に投入して迅速な復旧工事を施工することは難しくなってきている。

従来工法である吹付法枠工は斜面対策として実績が多く機能性も高いものであり，現在も多用されているが，人力作業が主体であり作業性が劣ることは否めない。対策として斜面作業の機械化・省力化を図る必要があり，部材の２次製品化は最も容易な手法である。

斜面対策工法は現在様々な工法が開発されている。設計会社や専門工事施工会社は，斜面状況に合わせた最適な対策工法を提案・施工することで，迅速かつ経済的に災害復旧工事を実施し，社会のニーズにこたえていくことが期待される。当社もこのような見地で今後も引き続き「災害対策」に対して貢献してゆく所存である。

参考資料

1) CCM 協会：「マイティーネット工法」カタログ

2) エコ・パワーネット工法会：「クモの巣ネット工法」カタログ

3) ノンフレーム工法研究会：「ノンフレーム工法　設計施工マニュアル」（平成 30 年 4 月）

超速硬コンクリート/スーパージェットコンクリート

小野田ケミコ株式会社　高杉　樹正*1)　吉田　直人*2)
大住　学　*3)　久我　比呂氏*4)
竹田　敏彦*5)

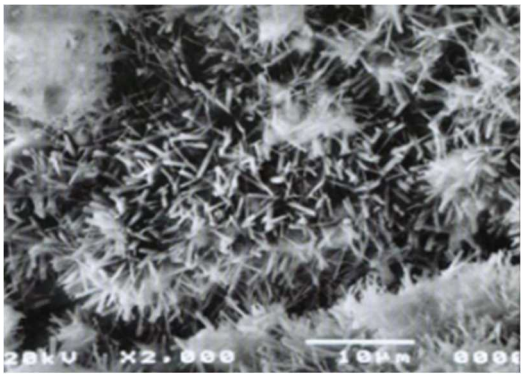
１．はじめに

スーパージェットコンクリートは，3 時間で圧縮強度 24N/mm^2 を発現する超速硬コンクリートであり，その早期強度発現性から規制時間が限られる道路・橋梁・空港・鉄道，早期供用が求められる工場などの補修・補強工事や災害復旧の緊急工事に適用されている。

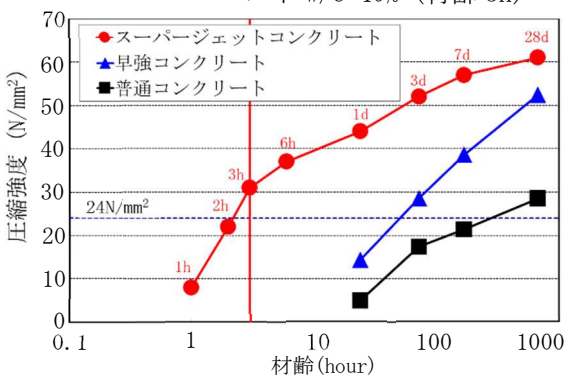
２．スーパージェットコンクリートの特長

スーパージェットコンクリートは，写真－１に示す針状結晶（エトリンガイト）を早期に生成することにより初期に高い強度を発現する。その後は，ポルトランドセメントと同様に水和反応により針状結晶の間を水和生成物が満たしていく。そのため，図－１に示すように長期にわたる安定した強度増進が得られ，普通コンクリート等と同等の耐久性を発揮する。表－１に示す様に材齢 3 時間で 24N/mm^2 の圧縮強度を保証している。

施工条件・環境温度に応じて専用遅延剤ジェットセッターを添加することによりハンドリングタイムの調整（20 分～60 分程度）が可能となり，10℃以下の低温環境下でも優れた強度発現性を有する。



写真－１　スーパージェットセメントペースト W/C=40%（材齢 3h）



図－１　スーパージェットコンクリートの強度特性

３．スーパージェットコンクリートの製造方法

スーパージェットコンクリートは，ハンドリングタイムの関係から生コン工場から出荷は行わず，写真－２に示す専用移動式プラント「バッチャジェットミキサ車」により施工現場の直近で製造を行う。バッチャジェットミキサ車の仕様を表－２に示す。バッチャジェットミキサ車は，セメント，細骨材，粗骨材，水，減水剤，遅延剤等の材料を積載し，コンピュータ集中制御により自動でロードセルにより材料を個別に計量し，水平二軸強制ミキサにてコンクリート混練を行い，ベルトコンベアにて排出を行う。車両 1 台当りの積載量はコンクリートに換算して最大 2.7m^3 程度あり，施工数量に応じて現場での材料補給に対応するほか，複数台による製造によって対応が可能である。車両は，全国の 7 拠点に配備しており，夜間・休日出荷にも対応である。

表－１　スーパージェットコンクリート仕様

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	設計基準強度(3h)(N/mm^2)
20	8, 12	24

※1)Tatsumasa Takasugi　北海道札幌市中央区北 1 条西 13－4　TEL:011-219-6560　FAX:011- 219-7887
※2)Naoto Yoshida　北海道札幌市中央区北 1 条西 13－4　TEL:011-219-6560　FAX:011- 219-7887
※3)Manabu Ohsumi　埼玉県さいたま市中央区上落合 2－4－1　TEL:048-851-5511　FAX:048-851-5514
※4)Hiroshi Kuga　埼玉県さいたま市中央区上落合 2－4－1　TEL:048-851-5511　FAX:048-851-5514
※5)Toshihiko Takeda　東京都千代田区神田錦町 3－21　TEL:03-6386-7036　FAX:03-6386-7022

写真－２　バッチャジェットミキサ車

表－２　バッチャジェットミキサ車仕様

仕様	全長（mm）	10,500
	全幅（mm）	2,490
	全高（mm）	3,250
ミキシング方式		水平二軸強制
１バッチ混合量（m^3）		0.1～0.3
吐出能力（m^3/h）		6～9
配合設定		コンピュータ制御 演算機能付き

４．スーパージェットコンクリートの用途

スーパージェットコンクリートが用いられる主な用途を表－３に示す。早期に供用が求められる補修・補強工事へ使用されることが多く，災害復旧に伴う緊急工事にも適用されている。

表－３　スーパージェットコンクリートの主要用途

分野	用途
道路	舗装補修・打替，歩道切下げ，各種埋設管防護
橋梁	伸縮継手，床版補修・打替，床版増厚補強
工場	土間，機械基礎，場内舗装補修・打替，構内軌道補修，門扉取替
空港	舗装補修・打替，排水溝補修
鉄道	踏切，軌道下補強，枕木取替
港湾	護岸補修・打替，コンテナバース舗装補修・打替

施工事例①光ケーブル移設事例

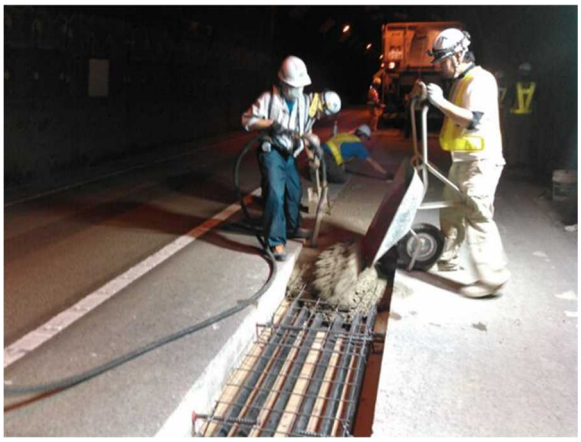
災害時に断線の危険があるため，道路トンネル上部に設置された光ケーブルの通信管を路面下に埋設する移設工事の工事事例である。工事概要を表－４に，施工状況を写真－３，４，５に示す。供用している道路のため，交通量が減少する夜間に日々片側交互通行規制を行うため，交通解放を早期に行うのに適した材料として，スーパージェットコンクリートが採用された。トンネル内の施工箇所直近にバッチャジェットミキサ車を配置して一輪車により施工箇所までコンクリートを運搬し打設した。21:00 から交通規制が行われ，コンクリートの打設は 23:00 から行われ 24:30 に終了。打設後 3 時間で 24N/mm^2 の圧縮強度を確認後に交通規制を解除した。日施工量は，4～8m^3，施工延長 1,230m を全 42 回打設で行った。

表－４　工事概要

工 事 名	一般国道５号仁木町稲穂トンネル補修工事
施工場所	北海道　仁木町
施工時期	2015 年度～2016 年度
発 注 者	小樽開発建設部

写真－３　施工前

写真－４　打設前状況



写真－５　施工状況（夜間施工）

施工事例②橋梁緊急補修事例

地震により損傷した橋梁の橋脚補修の緊急工事の施工事例である。工事概要を表－５に，施工状況を写真－６，７に示す。

表－５　工事概要

工 事 名	温湯橋(震災補修工事)
施工場所	宮城県栗原市花山山本地内(温湯橋)
施工時期	2008 年 7 月 23 日
発 注 者	宮城県　北部土木事務所

2008 年 6 月 14 日に岩手県内陸南部の深さ約 10km でマグニチュード 7.2 の地震が発生し，この地震で岩手県奥州市と宮城県栗原市で震度 6 強が観測された。この地震により上流部で崩落した土砂が土石流となって温湯橋の橋脚が損傷し通行不能となった。早期に供用が必要なため，補修コンクリートとして早期に強度発現される材料であるスーパージェットコンクリートが採用された。橋梁上部にバッチャジェットミキサ車を配置し，ラフタークレーンを用いてコンクリートホッパーとシュートにより補修箇所を打設した。

写真－６　災害復旧　橋梁補修状況

写真－７　災害復旧　橋梁補修状況

施工事例③水道管防護事例

地震による水道管の逸脱防止を目的としたコンクリート打設の施工事例である。水道管防護の工事概要を表－６に，施工状況を写真－８に示す。札幌市水道局の『給水装置工事設計施工指針　施工編』に給水装置の防護の項目があり，『水圧等により管が逸脱するおそれがある場合は，必ず逸脱防止を施すものとし，必要に応じてコンクリート等で防護すること』とあり、他の水道局も同様な記述がある。2018 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震の際も，

表－６　工事概要

工 事 名	豊平区平岸地区配水管整備工事(改良)No.7-0134
施工時期	2019 年 7 月
発 注 者	札幌市水道局

この地震が原因と考えられる逸脱が多く確認され，この対策としてコンクリートで防護する工事が増加傾向にある。本工事は，コンクリートで防護した後，早期に交通開放が必要なため，これに適した材料としてスーパージェットコンクリートが採用された。

５．プレミックスタイプ超速硬コンクリート

大型車両が入れない場所や小規模補修用，緊急工事に対応するため写真－９に示すプレミックスタイプの超速硬コンクリート「スーパージェットコンクリート・セット」があります。スーパージェットコンクリート・セットの仕様を表－７に示す。オールシーズンタイプで，専用凝結遅延剤ジェットセッターHの添加量により作業時間（20～60 分）が調整可能，打設後 3 時間で圧縮強度 24N/㎟を発現する。写真－１０，１１に示す左官用モルタルミキサや傾胴式ミキサを使用し，水を加えて練混ぜるだけで，簡単に超速硬コンクリートが製造可能である。

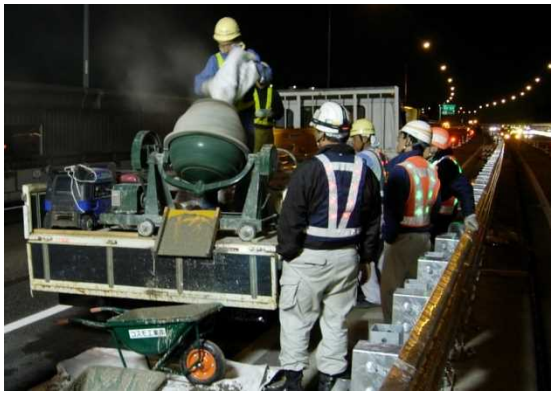
写真－８　水道管防護

写真－９　スーパージェットコンクリート・セット

表－７　スーパージェットコンクリート・セット仕様

名　称	構成	荷姿
ユニット－１	モルタル	20kg/袋
ユニット－２	砕石 2005	15kg/袋
ジェットセッターH	専用遅延剤	30g/袋
標準水量	2.2～2.5 ﾘｯﾄﾙ/ｾｯﾄ	
標準練上り量	15.5 ﾘｯﾄﾙ/ｾｯﾄ，1m³≒65 ｾｯﾄ	

写真－１０　左官モルタルミキサによる
スーパージェットコンクリート・セット製造状況



写真－１１　傾胴式ミキサによる
スーパージェットコンクリート・セット製造状況

６．まとめ

スーパージェットコンクリートは，材齢 3 時間で圧縮強度 24N/㎟を発現する超速硬コンクリートで早期に供用が求められる各種工事や災害復旧など緊急工事の際に適用が可能で持続可能な社会基盤維持に有効に活用できる。

災害対策に関する事例紹介

三井化学産資株式会社　　小川　亮太*1)

1. はじめに

近年、日本国内において大雨(ゲリラ豪雨)、台風といった異常気象を起因とする様々な自然災害が増加している。こうした中で災害対策、災害復旧として多用途に当社製品および工法が適用されている。そこで本報告では災害対策、災害復旧に関する当社事例について紹介する。

2. 製品、工法紹介

2.1 テンサー

テンサーは耐薬品性に優れるポリオレフィンを原料とする格子状のジオグリッドであり、連続成形により製造されるために品質は均一で、強固な結節点を有している。一軸または二軸方向に延伸することにより必要な強度が付与されている。力が一方向にかかるときは一軸延伸タイプ(RE)、力が一方向でないときには二軸延伸タイプ(SS)をそれぞれ使い分けることが可能である。テンサーは以下の特徴を有している。

・土、砕石と良く馴染み、強固な拘束力を発揮する。
・土の最大歪とほぼ同等の伸び率を持ち、効果的に補強する。
・軽量かつ切断、接続などの加工も容易なため、施工性に優れる。
・耐酸性、耐アルカリ性、耐候性、耐久性に優れる。
・補強土壁や補強盛土、土地形状など幅広い用途や条件に対応する。

テンサーを用いた工法としてテンサーFWM 工法(以下 FWM 工法)、RRR 工法、マキセル多段積み工法等が挙げられる。

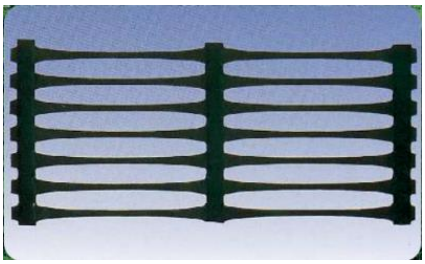


図-1 テンサー一軸延伸タイプ(RE)

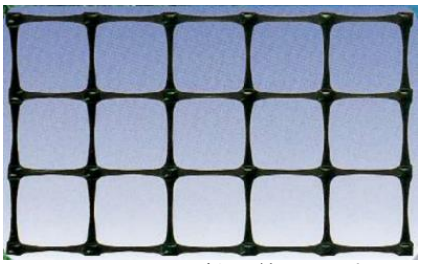


図-2 テンサー二軸延伸タイプ(SS)

2.2 FWM 工法(NETIS 登録番号 QS-170002-A)

2.2.1 概要

FWM 工法はテンサーと溶接金網製軽量壁面材を基本部材とした補強土壁工法であり、壁面材はクリッパー等を使用して現場で自由に切断できるためコーナーやカーブ、縦断勾配にも対応可能である。FWM 工法は以下の特徴を有している。

・使用資材が軽量のため、大型重機が不要である。
・FWM 枠は上下左右に連結された構造で一体化した美しいのり面となる。
・上下壁面材がかみ合わせ構造であり中間アンカーを用いることで、のり面近傍の転圧作業が容易に行える。(最上段部は中間アンカーを斜タイ材に使用)

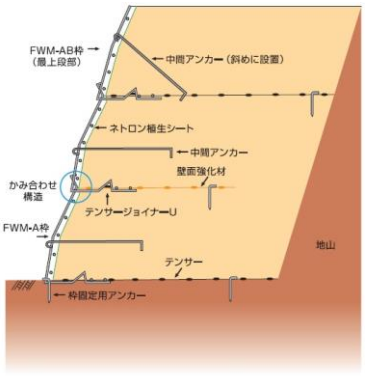


図-3 FWM 工法概略図

*1)Ryota OGAWA 埼玉県久喜市河原井町 9 番地 TEL:0480-28-2071 FAX:0480-28-2072

2.2.2 事例紹介

<事例①>

施工場所：新潟県

2004 年新潟県中越地震(最大震度 6 弱)により地すべりが発生した現場において、災害復旧として FWM 工法が採用された。

(勾配 1:0.8、壁面高さ 13m)

図-4 事例①施工現場

<事例②>

施工場所：宮城県

2011 年東日本大震災(最大震度 6 強)による本施工現場の変状は確認されなかった。隣接していた無補強部については地震によって崩壊したため FWM 工法により災害復旧を行った。

(勾配 1:0.3、壁面高さ 9.8m)

図-5 事例②施工現場

<事例③>

施工場所：宮城県

2011 年東日本大震災(最大震度 6 強)および津波による本施工現場の変状は確認されなかった。本施工現場では FWM 工法の天端付近まで津波が到達していたが変状は確認されなかった。

(勾配 1:0.3、壁面高さ 5.0m)

図-6 事例③施工現場

<事例④>

施工場所：熊本県

2016 年熊本地震(最大震度 6 強)による本施工現場の壁面部および道路面部の変状は確認されなかった。周辺のコンクリートブロック区間部の道路面部ではクラックが確認された。

(勾配 1:0.3、壁面高さ 6.7m)

図-7 事例④施工現場

2.3 マキセル多段積み工法(NETIS 登録番号 QS-150013-A)

2.3.1 概要

マキセル多段積み工法は筒状にしたテンサーをテンサージョイナーで接続し、現地発生土を充填した構造体(マキセル)を切土面に設置する工法である。資材が軽量のため現場合わせが容易で工期短縮が図れる。従来工では設置困難な箇所、土壌の酸性度で錆等の耐久性に懸念がある箇所に特に適している。マキセル多段積み工法は以下の特徴を有している。

・のり面緑化が可能である。

・フレキシブルな構造体のため折れ点や曲線に柔軟に対応可能である。

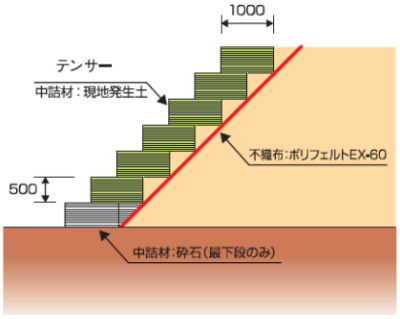


図-8 マキセル多段積み工法概略図

2.3.2 事例紹介

<事例⑤>

施工場所：長崎県

2009 年中国、九州北部豪雨により地すべりが発生した現場において、早期復旧の観点からマキセル多段積み工法が採用された。マキセル施工後、緑化していることを確認した。(勾配 1:1.0、施工高さ 5.0m)

図-9 事例⑤施工現場

2.4 RRR 工法(NETIS 登録番号 KK-980030-V)

2.4.1 概要

RRR 工法は面状補強材(テンサー)と剛壁面を用いて盛土のり面を鉛直に構築する盛土補強土擁壁工法である。曲げ剛性を有する一体の壁面工と面状補強材を用いて安定性が高く、変形が小さい急勾配または鉛直の盛土のり面を構築している。一般に鉄道盛土ほか重要構造物に適用可能である。RRR 工法は以下の特徴を有している。

・短い補強長で高い安定を得ることが可能である。

・補強材が格子状の面状補強材なので、土との摩擦、かみ合わせ効果が得られやすく、補強材の敷設長を短くすることが可能である。

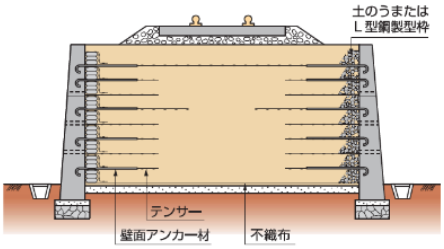


図-10 RRR 工法概略図

2.4.2 事例紹介

<事例⑥>

施工場所：新潟県

2004 年新潟県中越地震(最大震度 6 弱)により地すべりが発生した鉄道現場において、震災復旧として RRR 工法が採用された。(壁面高さ 2.8m、L=80m)

図-11 事例⑥施工現場

<事例⑦>

施工場所：新潟県

2011 年新潟県福島県豪雨により地すべりが発生した鉄道現場において、豪雨災害復旧として RRR 工法が採用された。(壁面高さ 4.6m、L=13m)

図-12 事例⑦施工現場

<事例⑧>

施工場所：熊本県

2012年九州北部豪雨により地すべりが発生した鉄道現場において、豪雨災害復旧としてRRR工法が採用された。その後2016年熊本地震(最大震度5弱)において変状は確認されなかった。

(勾配1：0.5、壁面高さ8.4m、L=45m)

図-13 事例⑧施工現場

2.5 テンサーTX(テンサー三軸延伸タイプ)

2.5.1 概要

テンサーTX はインターロッキングによる荷重分散効果を効率的に発揮させる特殊な目合形状をしたジオグリッドである。従来のジオグリッドは一軸、または二軸方向だけに引張剛性が発揮されるのに対し、テンサーTXは三軸方向に引張剛性が発揮されるため粒状材の変形を拘束し、荷重を全方位へ広く分散させることが期待可能である。テンサーTX は以下の特徴を有している。

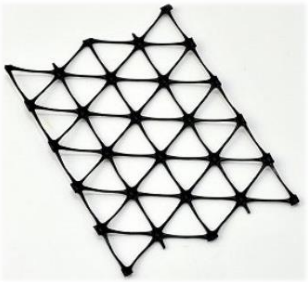


図-14 テンサー三軸延伸タイプ(TX)

・舗装厚を低減できるため工期の短縮が期待可能である。
・工期が短縮されることで道路利用者や地域住民への影響が軽減される。
・建設発生土や埋戻し材料も軽減でき、環境の保全にも貢献可能である。
・全面敷設することで舗装面の局所的なひび割れや轍掘れの抑制、平坦性の維持が期待可能である。
・分割施工(片側車線開放)が可能である。

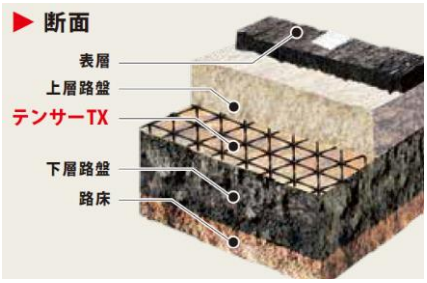


図-15 テンサーTX 概略図

2.5.2 事例紹介

<事例⑨>

施工実績：沖縄県

運動場であった場所を倉庫として利用するため舗装を施す際、路床の改良をする時間と費用がないことに加え、施工後のひび割れ、轍掘れの予防措置としてテンサーTX が採用された。

図-16 事例⑨施工現場

2.6 長尺マットレス工法：ジオシェルトン(NETIS 登録番号 QS-140008-A)

2.6.1 概要

ジオシェルトンはテンサーをマットレス状に組立て、中に砕石(中詰め材)を詰めた構造体を河川の低水位、高水位護岸の侵食防止や海岸の洗掘防止として用いる工法である。ジオシェルトンは以下の特徴を有している。

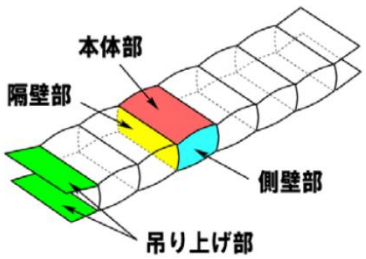


図-17 ジオシェルトン概略図

・吊り上げて施工出来るため、水中施工が可能である。
・重機による短期施工が可能である。
・腐食しないため河川や海近傍でも備蓄が可能である。
・フレキシブルな構造のため河床や海底地盤の地面形状の変形にも追従可能である。

2.6.2 施工方法

①中詰め材充填用架台の製作

②中詰め材の充填

③蓋の縫合(ロープ結束)

④吊り管の挿入

⑤備蓄(必要に応じて)

⑥吊り上げ、設置

図-18 ジオシェルトン施工方法

2.6.3 事例紹介

<事例⑩>

施工場所：福岡県

2012 年九州北部豪雨により決壊した堤防において、当初復旧工法としては鋼矢板による二重締切りも考えられたが、足場の施工や材料調達に時間を要すると考えられることから防災ステーションに備蓄されていたジオシェルトンが使用された。

図-19 事例⑩施工現場

<事例⑪>

施工場所：和歌山県

河道掘削を行うため低水護岸を施工する必要があり、設計当初はブロック張護岸の計画であったが、水位が高く仮設締切りによる水替工が困難なことから水中施工で工期短縮が図れる代替工法としてジオシェルトンが採用された。

図-20 事例⑪施工現場

2.7 浜崖後退抑止工法：ジオチューブ DS(NETIS 登録番号 QS-190033-A)

2.7.1 概要

浜崖後退抑止工法は、サンドパックとその背後に行う養浜盛土が一体となって、砂丘が崖状に侵食する浜崖の後退を抑止する工法である。当社のサンドパック「ジオチューブ DS」は高強度のポリプロピレン製織布を基布としたチューブ状の袋材と、袋材を摩耗や紫外線から守る外側シートの二重構造となっている。ジオチューブ DS は以下の特徴を有している。

・外側シートを現地の砂色に近い色とすることで景観を損なわない。
・現地の海浜材料や養浜材を中詰め材として用いるため、コンクリート護岸と比較して施工が迅速である。
・大型土のうに比べて耐久性が高く、波浪安定性も大幅に向上する。

2.7.2 施工方法

①床掘り、整地、洗堀対策

②袋材(ジオチューブ DS)敷設

③中詰め材充填(1)

④中詰め材充填(2)

⑤充填完了

⑥埋戻し、養浜

図-21 ジオチューブ DS 施工方法

2.7.3 事例紹介

<事例⑫>

施工場所：宮崎県

本施工現場は台風等の高波浪により浜崖の後退が問題となっていた。護岸は地域住民の要望等を考慮し、コンクリートを使用しない、ウミガメの産卵や景観性を考慮したもの、サーファーなど利用者の安全を考慮した工法としてジオチューブ DS が採用された。

図-22 事例⑫施工現場

<事例⑬>

施工場所：鹿児島県

本施工現場は台風等の高波浪により浜崖の後退が問題となっていた。ウミガメの産卵や景観性等を考慮しジオチューブ DS が採用された。施工後、台風によりジオチューブ DS が露出する場合もあるが、浜崖の後退は抑止されている。

図-23 事例⑬施工現場

2.8 タフネスコート

2.8.1 製品概要

タフネスコートは瞬間硬化型のポリウレア樹脂である。コンクリート構造物の表面に吹き付けることにより、構造物が必要とする 4 つの機能(剥落防止、保水性、耐久性、耐衝撃性)を保持、向上させ長寿命化を図ることが可能である。タフネスコートは以下の特徴を有している。

・吹き付け後のゲルタイム、硬化時間が短いため天井面、壁面に対しダレることなく連続的に施工可能である。
・耐薬品性、耐候性、クラック追従性に優れる。
・衝撃力に対して粘り強さを発揮するため部材断面が破壊された後でも形状および耐荷力を保持可能である。

2.8.2 事例紹介

<事例⑭>

施工場所：東京都

鉄道高架橋において施工の簡便さ、コンクリートの剥落防止、耐久性確保の観点からタフネスコートが採用された。

図-24 事例⑭施工現場

<事例⑮>

施工場所：長野県

車両衝突により発生した覆工の剥落現場において、剥落防止効果の観点からタフネスコートが採用された。

図-25 事例⑮施工現場

3. まとめ

災害対策、災害復旧事例として本報告では 8 種類の製品、工法および 15 の事例を紹介した。テンサーは主に山間部や道路、ジオシェルトンは河川、ジオチューブ DS は海岸、タフネスコートはトンネルや橋梁といった様々な土木構造物に適用可能な製品である。当社は引き続き様々な災害対策で有効な材料提供を行うことで社会貢献していく所存である。

河川防災としての遊水地建設に貢献する真空圧密ドレーン工法の紹介（その２）

―　盛土併用真空圧密工法の自動動態観測システム　―

錦城護謨株式会社○日下部祐基　山戸勝博
同　　上　　川辺慶司　　畠山和長
真空圧密ドレーン工法研究会　榊原司　　白神新一郎

１．はじめに

前報[1)]では、石狩川の洪水対策としての遊水地建設において、堤防盛土地盤の軟弱地盤対策に真空圧密ドレーン工法が用いられている[2)3)]ことを報告し、本工法に関する調査・設計・施工等の特徴や留意点を紹介した。本報告では、真空圧密ドレーン工法を用いた堤防盛土の施工管理に用いる、自動動態観測システムを開発したので報告する。本システムは、本年度（令和２年度）にNETIS登録（新技術名称：盛土併用真空圧密工法の自動動態観測システム、NETIS登録番号：HK-200012-A）されている。

本システムは、自動追尾型トータルステーション（TS）を用いて動態観測を自動化するとともに、真空圧密工法の圧力管理と合わせて一元管理することにより、従来の盛土の安定管理（変位杭や沈下板を手動測量し、安定管理図を作成）の高度化を図る技術である。本システムを用いて、動態観測データを自動取得し、かつスピーディーに施工へフィードバックすることで、盛土の安全な施工および品質管理に寄与する。

本システムにより期待される効果としては、以下のことがあげられる。

・変位杭や沈下板の測量および安定管理図の作成を自動化することにより、省人化が図られる。
・従来の方法と比べて１日の測定回数を増やすことができることから、盛土の安定性の確認頻度が向上する。
・土中の間隙水圧の変動もあわせた総合的な評価ができるため、盛土の安定管理の精度向上が期待される。

２．システムの概要

本システムは、軟弱地盤上の盛土の安定管理を行う技術で、従来は変位杭と沈下板を人力測量により計測管理していた。本システムの活用により自動追尾型計測による省人化が図られ、1日の測定回数が増えることにより盛土安定管理の精度が向上する。**表-2.1**にシステムの概要を示す。

表-2.1　システム概要

計測対象	計測方法	計測項目	管理方法
沈下板 変位杭	自動追尾型トータルステーション（TS）による自動計測 ※沈下板・変位杭にプリズム取付	３次元変位	得られた計測データをもとに、 ・⊿δ/⊿t ～ t管理図（栗原らの法） ・S ～ δ/S管理図（松尾・川村の法） ・沈下分布図 ・各経時グラフ　など を作成し、Web閲覧管理。 管理値超過時は、警報メール発信。
土中の間隙水圧	間隙水圧計の自動計測	土中間隙水圧	

Yuki KUSAKABE, Katsuhiro YAMATO, Keiji KAWABE, Kazunaga HATAKEYAMA, Tsukasa SAKAKIBARA,
Shin`ichiro SHIRAGA ： 札幌市中央区北１条西15丁目１番地３　TEL 011-631-2220　FAX 011-631-1300

図-2.1に計測システムの概念図を示す。自動追尾型トータルステーションの概要を表-2.2に示す。

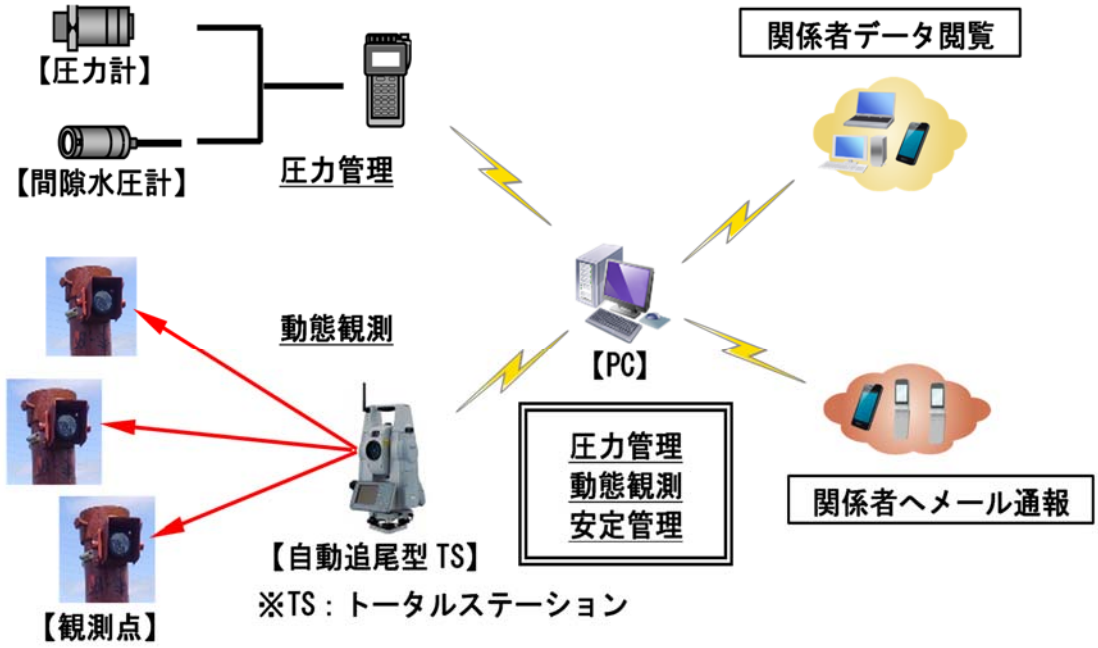


図-2.1　システム概念図

表-2.2　計測器概要

計測器	型式 (ﾒｰｶｰ)	仕　様	備考
自動追尾型 トータルステーション　(TS)	NET05AXⅡ (ｿｷｱ)	測角精度:0.5″ 測距精度(0.8+1ppm×D)mm ※条件:反射ﾌﾟﾘｽﾞﾑ使用, 降雨･曇り･靄･陽炎が無い環境	射出量は、クラス1相当 =JIS C 6802:2011（取扱説明書より）

３．システムの計画

システム計画時の留意事項としては、以下の事項が挙げられる。

・トータルステーションと観測点間の視通が可能であること。(視通間距離は70m～120m以内を原則とする。)

・トータルステーションを安定かつ強固な箇所に設置できること。(特に風上に位置するTSは、強固な固定が必要である。)

・観測範囲内の強固な箇所に観測基準点(バック点)を確保可能であること。(不動点となるように強固な設置とする。)

・現場条件に応じた防水・防塵機能（IP65に準拠）を有した測量器を選定すること。

４．システムの設置および計測

設置イメージを図-4.1に示す。

図-4.1　設置イメージ

システムの設置および計測時の留意事項としては、以下の事項が挙げられる。

・設計で留意した事項について、計測間隔、計測位置等の確認が必要である。

・観測点や観測基準点に設置するプリズムおよびトータルステーションのレンズなどの破損、汚れなどは精度に影響するため、定期的な確認が必要である。

・動作確認済みOS = Windows7/10

・動作必須環境 = 送信側のPCにメールアカウントが必要である。

・管理表出力にMicrisoft Excel 2013以上が必要である。

・測量器内蔵の記憶媒体に観測データを保存できることが必要である。

・観測結果は、システム上で自動で取りまとめられた状態で取得できることが必要である。

・常時の観測要員は必要としない。

・制御用PCについては、動作環境を-10℃～50℃の範囲とする。

・動態観測用の計器の測定頻度および期間は、軟弱地盤の程度、工事の重要性および工程等によって頻度を決められることが必要である。

・測量器操作および観測用ソストウェアの操作知識が必要になる。

５．本システムを用いた動態観測事例

5.1　対象工事と動態観測概要

当該計測現場[4]は、北海道にある千歳川の治水対策として建設が進められている遊水地の周囲堤盛土の施工現場である。**図-5.1** に計測現場の標準定規と地層断面を、**表-5.1** に対象地層の物理力学特性を示す。地層は上層に高含水比の泥炭層（層厚 Z≒3.0m）が分布しその下に粘土層（Z≒6.5m）が堆積している。

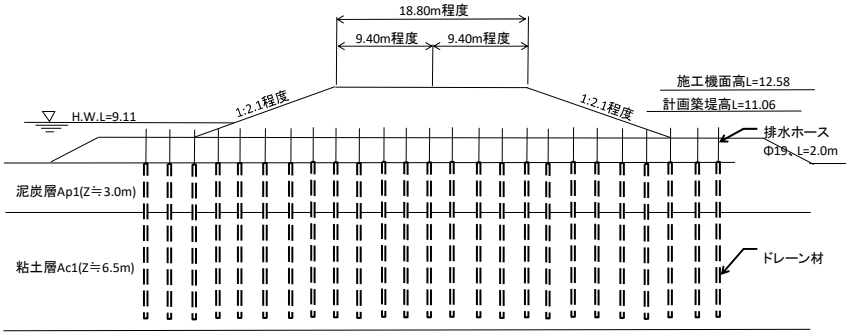


図-5.1　計測現場の標準定規と地層断面概略図

表-5.1　対象地層の物理力学特性

	泥炭層(Ap1)	粘性土層(Ac1)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	1.606	2.678
自然含水比 ω_0 (%)	423.6	56.8
液性限界 ω_L (%)	-	56.6
塑性限界 ω_p (%)	-	22.6
湿潤密度 ρ_s (g/cm^3)	1.018	1.671
一軸圧縮強さ qu (kN/m^2)	112	52

盛土施工は、大きく分けて真空圧密ドレーン工法による地盤改良工と盛土の安定管理となり、①真空圧密ドレーン工法における負圧管理、②動態観測（盛土安定管理）、③動態観測（圧密沈下による基礎地盤の強度増加）それぞれの管理が必要となる。ここでは、①真空圧密ドレーン工法における負圧管理、②動態観測（盛土安定管理）を採用のうえ一元管理することにより、真空圧密ドレーン工法における品質管理はもとより、盛土のより安全な施工を期待することとした。

表-5.2 に動態観測の計測項目と計測頻度を示す。このうち自動追尾型 TS による計測対象は地表面沈下板（沈下パイプ）および側方変位杭であり、**図-5.2** に示すように設置した。周囲提は、幅（法尻間）約 50 m、延長約 400 m であり、延長方向に約 40 m 間隔で計測線を設けた。計測点数は沈下パイプが 56 点、側方変位杭が 71 点となった。また自動追尾型 TS は、

表-5.2　本工事の動態観測項目と計測頻度

目　的	計測項目	計測器	数量	測定方法	計測頻度
真空圧密工の負圧管理	真空ポンプ元圧	圧力計	7	自動	1時間に1回
	集水管端部圧	圧力計	7	自動	〃
	ドレーン先端作用負圧	間隙水圧計	7	自動	〃
	排水流量	積算流量計	7	自動	〃
動態観測	地表面沈下	沈下パイプ	56	自動追尾型TS	3時間に1回
	改良域周辺の変位	側方変位杭	71	自動追尾型TS	〃
	層別沈下	層別沈下計	1箇所3深度	自動	1時間に1回
	地盤内間隙水圧	間隙水圧計	1箇所3深度	自動	〃
	盛土法尻部の地中変位	孔内傾斜計	1	手動	1週間に1回
	改良域周辺の水位	水位孔	1	手動	1日に1回

盛土の左右に 1 基ずつ配置し、計 2 基とした。計測頻度は、1 回当たりの計測時間が 2 時間程度であることから、3 時間間隔とした。本システムは、1 日当たりの計測回数に関わらず同じ費用で自動計測を行うことができる。**表-5.2** に示す計測器のうち、孔内傾斜計と水位孔以外の計測とデータ処理を自動で行い一元管理することで、真空圧密ドレーン工法における品質管理はもとより、盛土のより安全な施工を期待することとした。**表-5.3** に管理基準を示す。自動追尾型 TS による基礎地盤の安定管理は、3 時間毎に計測されたデータをもとに、Δδ / Δt ～ t 管理図、S ～ Δδ / S 管理図（S：盛土中央の沈下量、δ：盛土法尻部の水平変位、t：時間）をリアルタイムに自動作成することで行った。安定管理値を超過した場合は、直ちに関係職員に警報メールが送信される。併せて各計測位置の沈下・変位の経時変化図、各断面の沈下形状図も出力される。これらはスマートフォンやタブレットなどで Web 閲覧を可能とした。

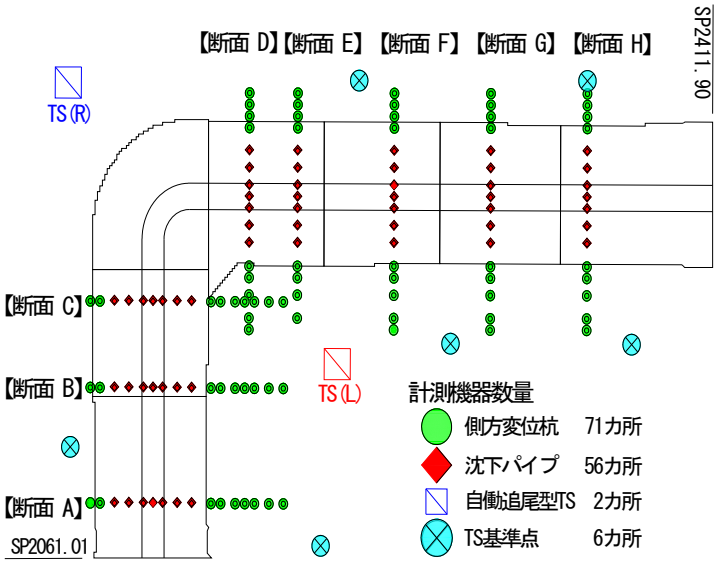


図-5.2　自動追尾型 TS 計測位置平面図

表-5.3　管理基準

目　的	管理項目	計測項目	管理基準値	自主管理基準値	基準値を超えた時の対策	計測器	測定方法	計測頻度
真空圧密工の負圧管理	作用負圧	真空ポンプ元圧	-60 kPa 以上	-60 kPa 以上	担当者に警報メールを送信 真空ポンプの点検、 配管の漏気チェック	圧力計	自動	1回/1時間
		集水管端部圧				圧力計		
		ドレーン先端作用負圧				間隙水圧計		
基礎地盤の安定	*S* - *δ*/*S* 管理図	地表面沈下	1.0 未満	0.9 未満	職員による再測定 →NGの場合は盛土の停止	沈下パイプ	自動追尾型TS	1回/3時間
		改良域周辺の変位				側方変位杭		
	Δδ/*Δt* - *t* 管理図	改良域周辺の変位	2.0cm/日 未満	1.5cm/日 未満	職員による再測定 →NGの場合は盛土の停止	側方変位杭	自動追尾型TS	1回/3時間
	地盤内の間隙水圧	地盤内の間隙水圧	盛土荷重 未満	盛土荷重 未満	職員による再測定 →NGの場合は盛土の停止	間隙水圧計	自動	1回/1時間

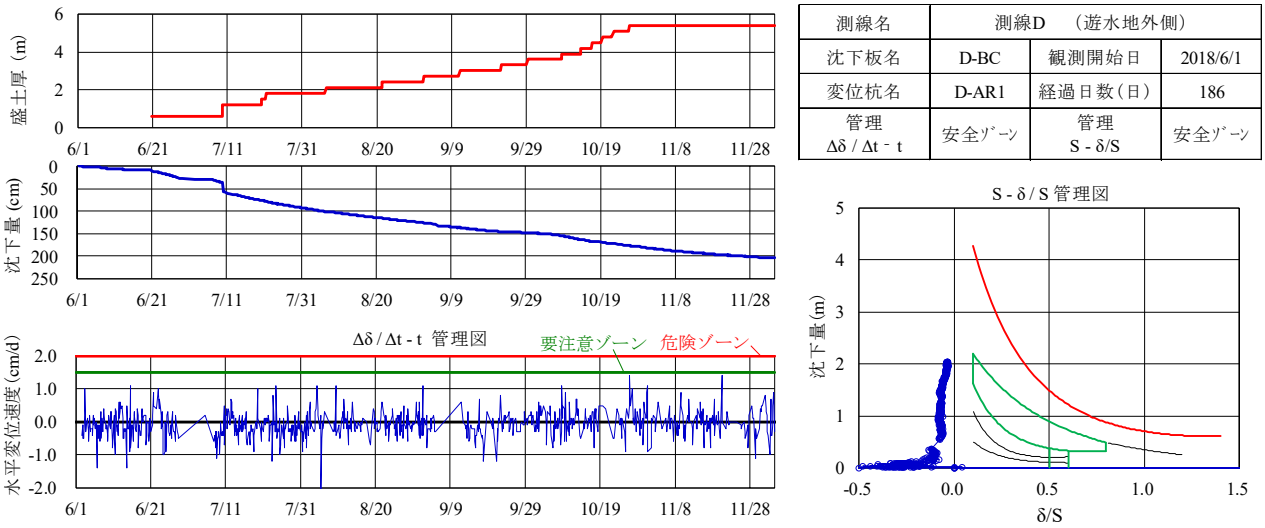
5.2　施工管理結果 [5)]

図-5.3 に断面 D における盛土安定管理図を示す。盛土の施工厚は 5.4 m、施工速度は平均 4.2 cm/day、沈下量は約 2 m であったが、期間を通して安定的な盛土施工が実施できたことが確認される。本システムによる施工管理結果より検証した従来方法（計測員による計測とデータ整理）に対する優位点を**表-5.4** に示す。

5.3　計測結果の考察 [6)]

(1)　盛土安定管理の精度

自動追尾型計測では、3 時間ごとに計測を実施した。**図-5.4** は、日中の 15 時および深夜 0 時の水平変位速度の計測データを示したものである。10 月末以降の盛土終了時点の 15 時計測データに、要注意ゾーンに近接するデータがみられる。



測線名	測線D （遊水地外側）		
沈下板名	D-BC	観測開始日	2018/6/1
変位杭名	D-AR1	経過日数（日）	186
管理 Δδ / Δt - t	安全ｿﾞｰﾝ	管理 S - δ/S	安全ｿﾞｰﾝ

図-5.3　盛土安定管理図（断面 D）

現場状況の観察では、盛土の変状等が確認されていないことから、これは盛土締固めの重機の走行等が影響したものと想定される。深夜 0 時計測データは安定している。基礎地盤が破壊に向かうと、新たな荷重を加えていない夜間にも変位が進行することから、夜間の計測データを含めた管理を行うことで、安定管理の精度が向上するものと考えられる。

図-5.5 は、真空圧密ドレーン工法の負圧管理に用いられるドレーン中間（P1）、ドレーン先端シール層（P2）およびシール層以深の基盤層（P3）の間隙水圧経時変化を示したものである。前掲した**図-5.3** の盛土厚の施工履歴をみると、10 月初旬から盛土速度が速くなっていることがわかる。間隙水圧は、盛土速度が速くなる 10/19 前後以降から上昇が認められ、両現象が連動していることが推察される。この現象を施工管理に組込むことにより、より精度の高い管理が可能になることが示唆される。

(2)　TS の設置間隔の考察

図-5.6、**図-5.7** に盛土法尻部における水平変位計測値（2018/6/1～2018/9/4 の期間）の標準偏差を示す。**図 5.7** の縦軸は標準偏差、横軸は計測システムに用いた TS からの水平距離を表している。

本現場の条件では、TS からの距離が 70m 程度以内の変位杭の標準偏差は 0.4 以下であることから、本現場の計測値に必要な標準偏差は 0.4 程度以下で

表-5.4　本システムの従来方法に対する優位点

優位点	従来方法	自働追尾型 TS を用いた動態観測システム
早朝の測量が不要	盛土施工前の早朝に実施してデータを整理	早朝を含む 3 時間間隔で計測とデータ整理を実施
盛土安定管理の迅速化	当日の早朝に計測したデータを整理してその日の安定度（盛土施工の可否）を判断	3 時間ごとに計測と整理を自動で行い安定度は web 上で確認が可能→盛土施工の可否を直ちに判断できる
盛土安定管理の高精度化	計測は 1 日 1 回，24 時間間隔での安定管理のため施工時や夜間の変位は不明	3 時間間隔での安定管理のため施工時や夜間の変位を用いた管理が可能
休日作業の低減	盛土期間中は日曜・祝日も計測を実施→休日作業が発生	自動計測のため休日作業は不要
計測頻度が増えてもコストが一定	計測頻度が増えるとコストが増加	計測頻度が増えてもコストは一定（計測期間の機器損料が一定のため）
計測精度の向上	計測ミス，入力ミス，プリズム設置位置の誤差などが発生	計測，入力ミス，プリズム設置位置の誤差は発生しない
人員削減	人員は，計測 2 人，データ整理 1 人	計測，データ整理の人員が不要

あると考えられる。TS からの距離が 76m を超えると標準偏差が 0.4 を上回る測点が確認され、距離の増加に伴い大きくなる傾向を示している。

以上の結果から、今回の条件では TS の計測半径は 70m 程度、すなわち TS の設置間隔は 140m 程度で設定することが適当であると考えらえる。

(3)欠損データの傾向

図-5.8 に一例として L 側の時間ごとの側方変位杭（各断面 8 箇所）のデータ欠損回数を示す。欠損回数が多いのは L 側、R 側とも、午前 3 時～午前 9 時の間であった。このことから明け方の霧の発生やプリズムに結露が付着した影響が大きいものと考えられる。

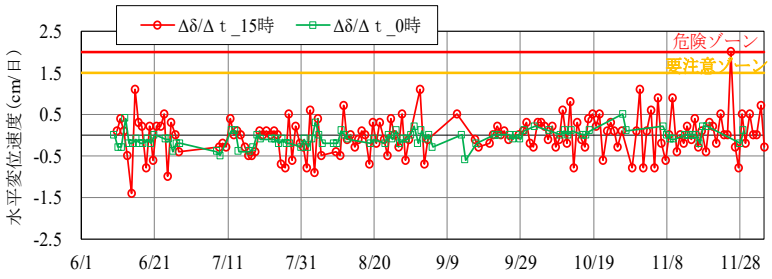


図-5.4　1 日 1 回計測（15 時と 0 時）の比較

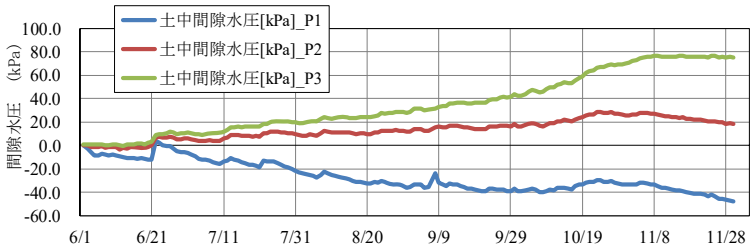


図-5.5　ドレーン施工管理用の間隙水圧経時変化

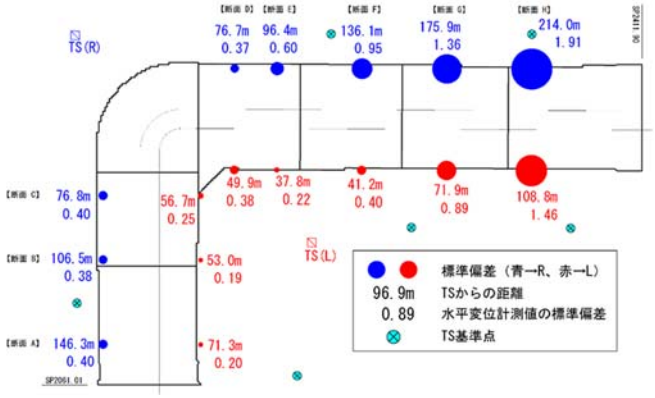


図-5.6　盛土法尻部における水平変位の標準偏差

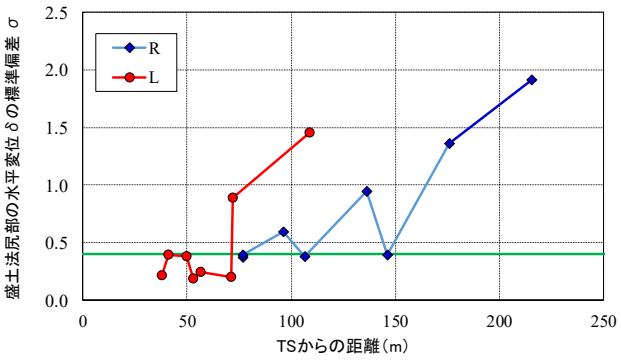


図-5.7　TS からの距離と水平変位標準偏差

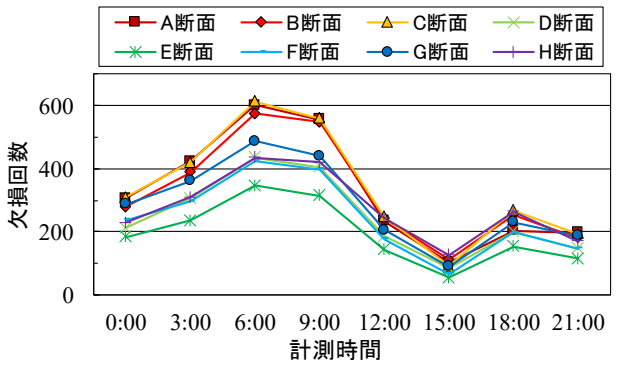


図-5.8　データ欠損回数　L 側

表-5.5　法尻部変位杭におけるデータ欠損日数

断面	データ欠損日（日）							
	A	B	C	D	E	F	G	H
L	0	0	0	0	0	0	0	0
R	4	4	5	4	3	3	3	5

表-5.6　データ欠損日と当日の気象条件および欠損要因

R側法尻変位杭のデータ欠損日								天候	気温		最大瞬間風速(m/s)	欠損要因
A	B	C	D	E	F	G	H		最低	最高		
			6/29					雨/曇	16.5	21.1	12.3	雑草によりプリズムが隠れる
6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	晴	18.6	27.3	12.3	TSの動作不良→TS交換
7/1	7/1	7/1	7/1	7/1	7/1	7/1	7/1	雨	18.3	23.7	9.2	
8/7	8/7						8/7	晴	13.9	22.8	13.1	8/7の強風の影響
8/8	8/8						8/8	晴	14.5	27.3	7.8	
		8/16						雨	13.5	18.5	17.5	不明→8/16の大雨による影響と推定される
		8/18						雨	9.5	19.9	11.8	
		8/19						曇	13.5	19.6	8.6	
			11/23	11/23	11/23	11/23	11/23	雨	-6.4	4.7	13.4	強風の影響

※気象状況は「気象庁HP，江別市の過去の天気」を参照

表-5.5 に法尻部の側方変位杭について、1 日 8 回の計測全てでデータ欠損となった日の日数を示す。ただし地震の影響で停電となった 9/6～9/9 は除外している。L 側は全て 1 日 1 回以上の計測が実施されている一方、R 側は 1 日 1 回の計測が実施されていない日が 3～5 日あった。計測が実施されていない日については、職員による計測を実施した。

表-5.6 にデータ欠損が発生した日付と当日の気象条件およびデータ欠損となった要因を示す。TS の動作不良によるものが 2 日、雑草が障害となったものが 1 日、強風や大雨など気象条件によるものと推定されたものを含め 6 日であり、気象条件の影響が大きいことが確認された。

６．まとめ

以上をまとめると次のとおりである。

1) 自動追尾型 TS を用いた盛土の安定管理は、計測一式当たりのコストは一定のため、観測点、観測回数が多くなるほど経済性で優位になる。
2) 計測人員とデータ整理人員が不要となるため、休工日に交代制で観測を行う必要がなく、本工事では週休 2 日が実現できた。
3) 自動追尾型計測データによる夜間の計測データを含めた管理を行うことで、安定管理の精度が向上するものと考えられた。また、真空圧密ドレーン工法の負圧管理に用いる間隙水圧の経時変化を組込むことで、さらに精度向上が期待できることが推察された。
4) 今回の条件では TS の計測半径は 70m 程度、すなわち TS の設置間隔は 140m 程度に設定することが適当であると考えられた。
5) データ欠損となった原因には、気象条件の影響が大きいことが確認された。

７．あとがき

今後は、本システムの使用実績が少ないことから、真空圧密ドレーン工法を採用した盛土に対する安定管理の検証が必要である。該当する現場で採用していただければ幸いである。

なお、（株）計測リサーチコンサルタント　古賀将太氏及び梅本秀二氏にはデータ取りまとめにご尽力いただいた。また、国土交通省北海道開発局の関係各位には、データ収集等にご協力いただいた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 日下部祐基，山戸勝博，川辺慶司，榊原司，白神新一郎，高橋秀彰：河川防災としての遊水地建設に貢献する真空圧密ドレーン工法の紹介，北海道土木技術会土質基礎研究委員会，第 17 回技術報告会，pp47-56，2019.
2) 林宏親，西川純一，澤井健吾，菅藤善之：真空圧密工法で改良された泥炭性軟弱地盤の強度・変形特性，地盤工学会，第 38 回地盤工学研究発表会論文集，C-08，pp1087-1088，2003.
3) 千葉俊文，佐々木努，石谷隆始：泥炭性軟弱地盤における真空圧密ドレーンについて，平成 26 年度北海道開発局技術研究発表会，2014.
4) 盛内政孝，岡田昌俊，山中誠也：泥炭性軟弱地盤における自動追尾型 TS を用いた安定管理について，第 62 回北海道開発技術研究発表会，国土交通省北海道開発局，産 7（治），2019.2.
5) 榊原司，日下部祐基，白神新一郎，山中誠也，盛内政孝，佃秀樹，木田穣啓，古賀将太：自動追尾型計測システムによる真空圧密工法を用いた泥炭性軟弱地盤の盛土施工管理（その 1），第 54 回地盤工学会研究

発表会，公益社団法人地盤工学会，pp935-936，2019.7
6）日下部祐基，白神新一郎，川辺慶司，山中誠也，盛内政孝，佃秀樹，木田穣啓，古賀将太：自動追尾型計測システムによる真空圧密工法を用いた泥炭性軟弱地盤の盛土施工管理 （その 2），第 54 回地盤工学研究発表会，公益社団法人地盤工学会，pp937-938，2019.7.

参考資料（経済比較）

ここでは、従来の手法（以下、従来技術）と新システム（以下、新技術）との概略の経済比較を示す。基準条件は、観測日数を 150 日、観測点数が沈下板 50 点と側方変位杭 50 点の計 100 点、トータルステーション TS を盛土の左右に各 1 基の計 2 基設置するものとする。

変動条件としては、観測日数と観測点数の 2 条件を用いて、観測日数の変動については 50 日、100 日、200 日として観測点数が 100 点で一定値、観測点数の変動については 50 点（沈下板 25 点、側方変位杭 25 点）、150 点（沈下板 75 点、側方変位杭 75 点）、200 点（沈下板 100 点、側方変位杭 100 点）として観測日数が 150 日で一定とした。

図-参.1 は、変動条件を観測日数とした場合の関係を示したものである。おおよそ観測日数 125 日を境に新技術が従来技術より安価になることがわかる。**図-参.2** は、同様に変動条件を観測点数にした場合の関係を示したものである。おおよそ観測点数 90 点を境に新技術が安価に推移する傾向がみられる。これらのことから、観測日数、観測点数が多くなるほど新技術が経済性で優位になることが明らかである。

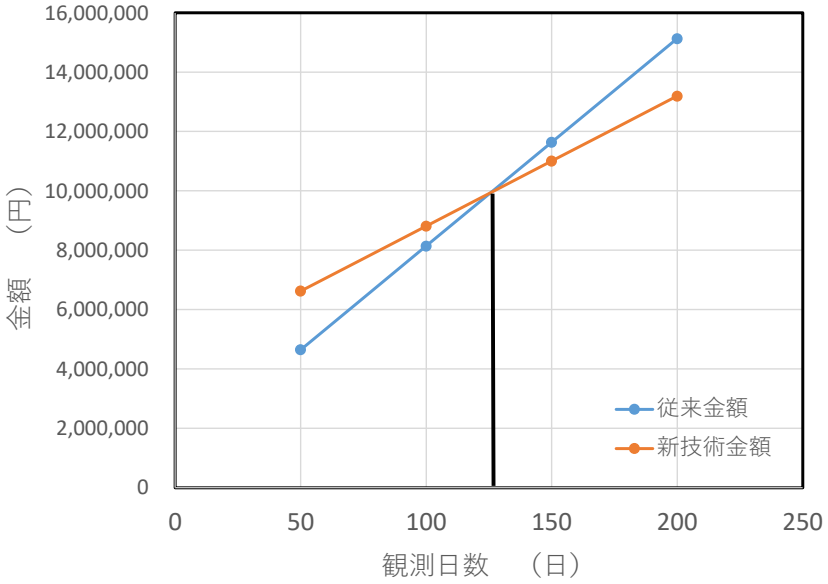


図-参.1 観測日数と金額の関係

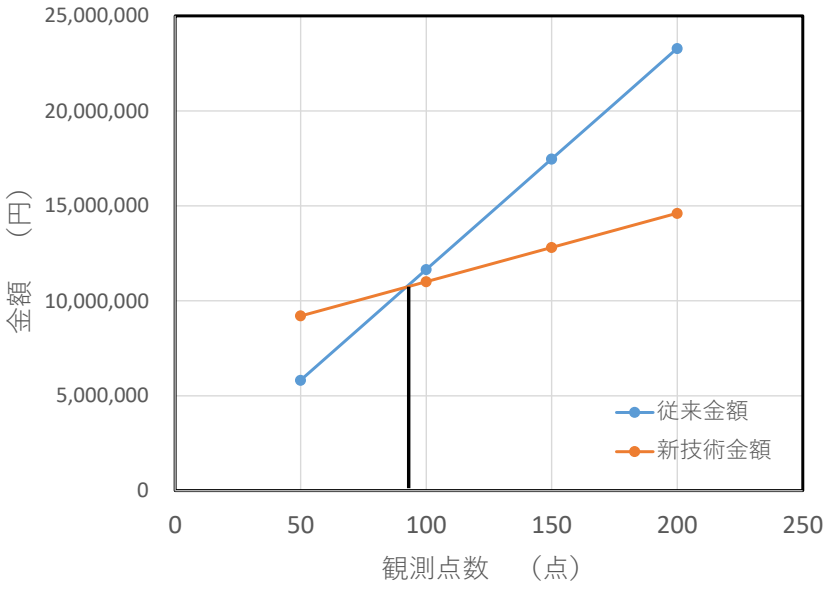


図-参.2 観測点数と金額の関係

多重管高圧噴射攪拌工法の実用化とその施工事例

小野田ケミコ株式会社　木下　和徳[*1]，立石　光一[*2]
吉田　直人[*3]，蓮香　朋宏[*4]
山根　行弘[*5]，竹田　敏彦[*6]
株式会社エーティック　工藤　忠[*7]

１．はじめに

高圧噴射攪拌工法のうち二重管や三重管ロッドを用いる多重管工法は，小型の施工機械で大口径の改良体が造成可能であり，既設防潮堤や既設構造物下の耐震補強や液状化防止に用いられている。また改良体相互の密着性に優れていることから，掘削工事の受働土圧の増加や盤膨れ防止を目的として用いられるなど数多くの工事で活用されている[1)]。

本稿の多重管高圧噴射攪拌工法(NJP 工法シリーズ)は，従来工法に比べ短時間で大口径の改良体を造成することが可能な工法であり，排泥量の低減や工期短縮が図れる特徴を有する。NJP 工法シリーズは、主として砂質土地盤を対象に開発された NJP-Dy 工法および独自に開発した特殊モニターで水平方向に左右対称に噴射する NJP-2way 工法がある。両工法には各々，吐出量を変えた造成仕様があり，現場に応じて最適な改良仕様が選定可能で，従来の技術と比較して現場状況に対応した大口径の改良径を選定することにより，経済的な地盤改良計画が可能である。

ここでは，胆振東部地震や東日本大震災で被災した箇所に適用した災害復旧対策事例及び大規模海溝型地震を想定した東京東部低地帯の内部河川護岸の狭隘部での防潮堤耐震化工事例を報告する。

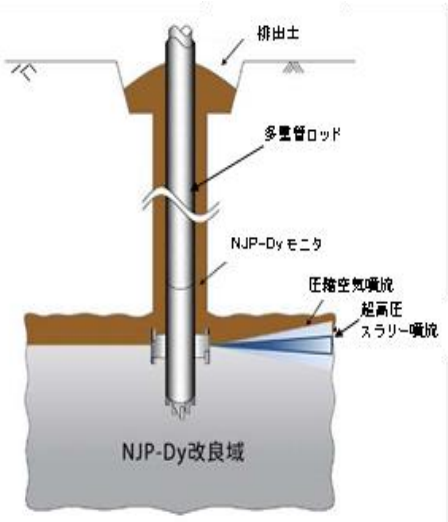
２．工法の概要と特徴

NJP 工法シリーズは多重管ロッドに装着した特殊モニターから，圧縮空気を連行させた固化材スラリーを超高圧で噴射し，原土と攪拌・混合させることで，短時間に大口径の改良体を造成する工法である。また，改良時には連行した圧縮空気により，地盤内を切削した排泥が安定的かつ確実に地上に排出されるため，施工時の地盤変位等を抑制し，低変位な施工が可能である。

２．１ NJP-Dy 工法

NJP-Dy 工法は，主として砂質土地盤を対象にして開発された工法で，都市部における液状化対策や既設護岸・防潮堤の耐震補強工事などに活用されている。図−１に NJP-Dy 工法の概念図を示す。

吐出量を変えた３タイプがあり，更にタイプ毎に数種類の改良径を



図−１　NJP-Dy 工法概念図

*1 Kazunori KINOSHITA　北海道札幌市中央区北 1 条西 13-4　TEL:011-219-6560　FAX:011-219-7887
*2 Koichi TATEISHI　北海道札幌市中央区北 1 条西 13-4　TEL:011-219-6560　FAX:011-219-7887
*3 Naoto YOSHIDA　北海道札幌市中央区北 1 条西 13-4　TEL:011-219-6560　FAX:011-219-7887
*4 Tomohiro HASUKA　宮城県仙台市青葉区本町 1-13-22　TEL:022-706-4067　FAX:022-706-4070
*5 Yukihiro YAMANE　東京都千代田区神田錦町 3-21　TEL:03-6386-7044　FAX:03-6386-7023
*6 Toshihiko TAKEDA　東京都千代田区神田錦町 3-21　TEL:03-6386-7036　FAX:03-6386-7022
*7 Tadashi KUDO　北海道札幌市西区二十四軒1条 5-6-1　TEL:011-644-2803　FAX:011-644-2890

選定することが可能なことから，施工タイプと改良径を選定することにより，現場状況に合わせた最適な改良仕様を選定できる。表−１に NJP-Dy 工法の標準改良径を示す。

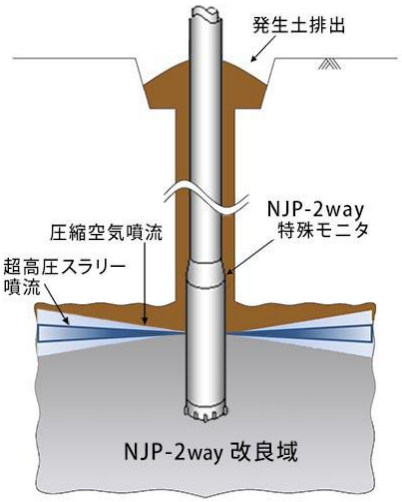
表−１　NJP-Dy 標準改良径Ｄ（m）

タイプ	砂質土	改良径（m）
NJP-Dy Ⅰ	$N \leqq 30$	1.8～2.6
NJP-Dy Ⅱ	$N \leqq 30$	2.6～3.3
NJP-Dy Ⅲ	$N \leqq 50$	2.4～4.5

２．２ NJP-2way 工法

NJP-Dy 工法が一方向噴射であるのに対し，NJP-2way 工法は独自に開発した特殊モニターにより，圧縮空気を連行させた固化材スラリーを二方向に同時に噴射するため，より造成時間を短縮した施工が可能である。図−２に NJP-2way 工法の概念図を示す。また NJP-Dy 工法と同様に，吐出量を変えたタイプ毎に改良径を選定することができる。さらに従来からの噴射機構を改善し，ジェット噴流による切削能力を高めることで改良径の拡大を実現した。表−２に NJP-2way 工法の標準改良径を示す。

NJP 工法シリーズでは，改良目的，地盤状況，現場状況により，最適な工法と施工仕様の選定が可能である。



図−２　NJP-2way 工法概念図

表−２　NJP-2way 標準改良径Ｄ（m）

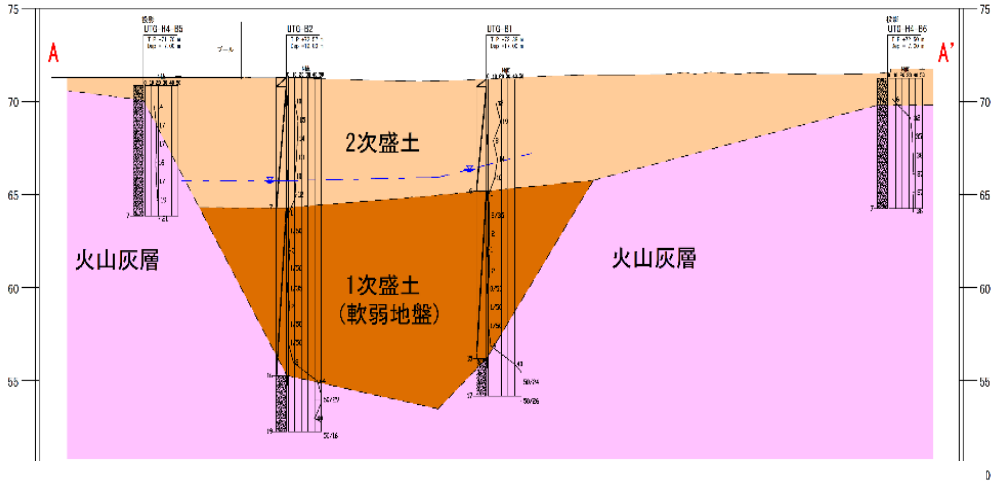
施工仕様	砂質土	改良径（m）	粘性土（kN/m^2）	改良径（m）
Ａタイプ	$N \leqq 30$	2.7～4.0	$Cu \leqq 70$	1.8～2.8
Ｂタイプ	$N \leqq 30$	1.8～3.1	$Cu \leqq 70$	2.7～3.6

３．施工事例

３．１　胆振東部地震での災害復旧工事における適用事例

（１）工事概要

本工事は，胆振東部地震の液状化により変状した小学校の高尺グラウンドフェンスの災害復旧工事である。復旧にあたりフェンス基礎の変状部分を撤去し，地盤改良による液状化対策を計画した。今回の被害範囲は，元々は沢地を火山灰で埋め立てた谷埋め型の造成地である。図−３の地質概要に示すように造成は２段階で施工されている。１次盛土は，10m程度の層厚で，N 値 0～2 の軟弱かつ高含水比の火山灰質砂である。２次盛土は，10m程度の層厚で，N 値 10～15 の比較的締まった火山灰質砂である。



図−３　地質概要と想定される沢埋め土範囲　（A-A'断面）[2)]

小学校のグラウンドでは，図-４に示す通り，地震で大きな地割れと長い亀裂が生じており，亀裂の位置は沢筋に集中して発生している。この延長にあるグラウンドフェンスの基礎が写真-１に示すように変状した。また，小学校北側では道路の沈下や路盤の陥没が生じていた。

施工箇所は，生活道路を挟んで住宅が近接しており，大型機械の施工が困難なことから，低変位型の高圧噴射攪拌工法としてNJP-Dy Ⅰ工法が採用された。

NJP-Dy Ⅰ工法の改良断面図および平面配置図を図-５に示す。また，当現場のNJP-Dy Ⅰ工法の改良仕様を表-３に，その施工状況を写真-２に示す。

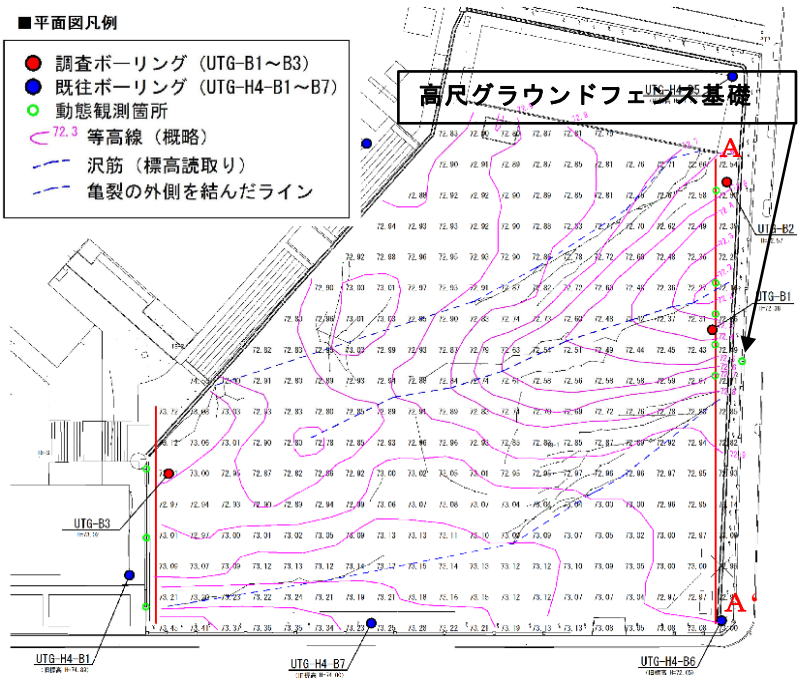


図-４　グラウンド地表面等高線と亀裂線 [2)]

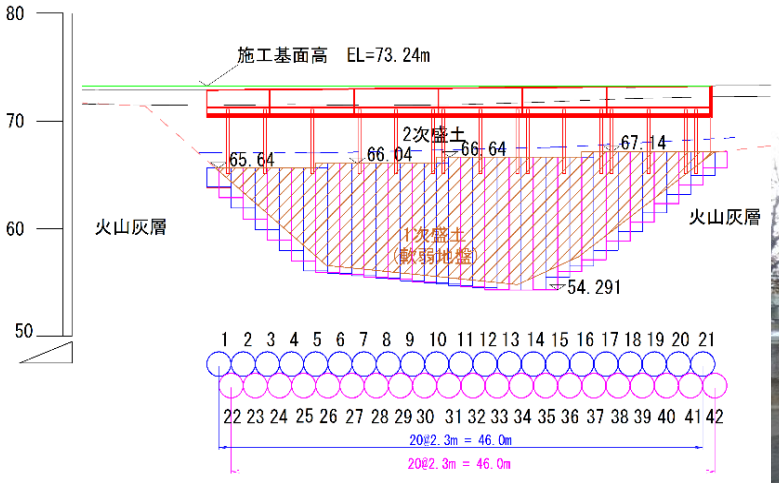


図-５　NJP-Dｙ I工法　改良断面図および平面配置図

写真-１　液状化で変状したグラウンドフェンス基礎の状況
（小学校北側の道路では，噴砂を伴う路盤陥没が生じた）

表－３　NJP-Dｙ I工法改良仕様

項　　目	仕様
NJP-Dy工法タイプ	NJP-Dy Ⅰ
改良径φ（m）	2.3
打設長　L（m）	6.4～17.7
改良長 Lc（m）	1.5～12.4

写真-２　NJP-DyI工法施工状況

（２）改良体品質

改良体の品質確認は，オールコアサンプリングを 3 箇所行い，一軸圧縮試験にて改良体の強度確認を実施した。

表-４に示す通り，設計強度 q_{uck}=1,500kN/m^2 に対して，現場平均強度は $\overline{q_{uf}}$=1,921kN/m^2 であり，設計強度を満足する結果が得られた。また，バラツキの指標となる変動係数は，CV=18.5%と良好な結果であった。

表-４　改良体の一軸圧縮強さ

設計基準強度 q_{uck}(kN/m^2)	1,500
現場平均強度 $\overline{q_{uf}}$(kN/m^2)	1,921
変動係数　CV（%）	18.5

３．２　東日本大震災の震災復興工事における適用例

（１）工事概要

本工事は東日本大震災で被災した岩手県大船渡市の二級河川盛川の河口に架かる川口橋の復旧工事である。復旧計画は，図-６に示すように，被災した旧川口橋の上流側に桁高を高くして新設されるため，橋台背面盛土を補強土擁壁としたことから，補強土擁壁の支持力増加および液状化対策として地盤改良を計画した。

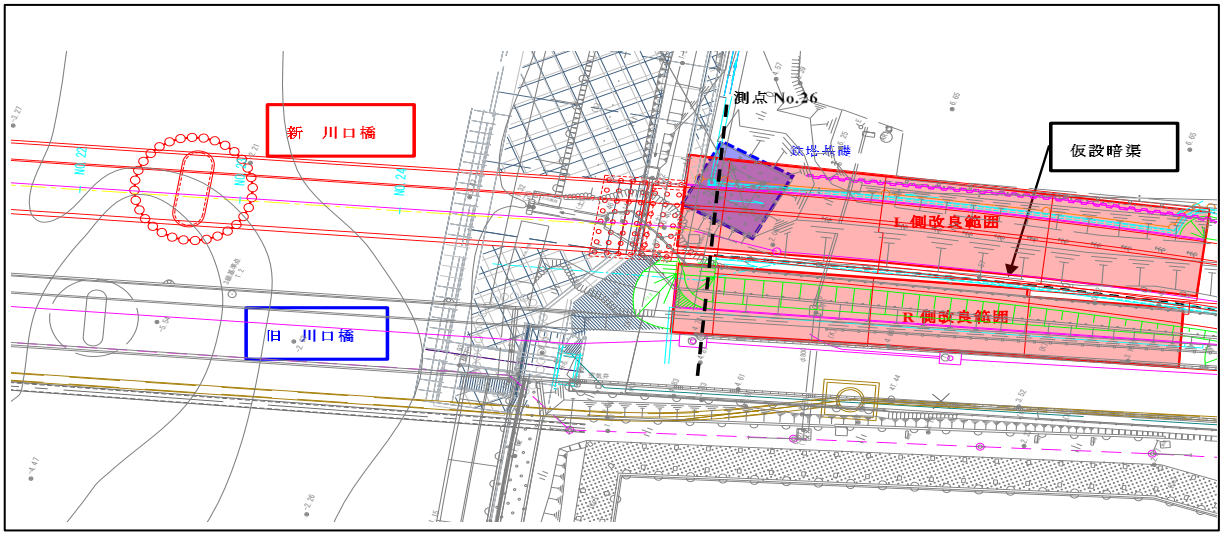


図-６　地盤改良計画平面図

当初計画では，地盤改良工法として大型機械を用いる変位低減型のスラリー系機械攪拌工法が計画されていたが，図-７に示す L 側改良範囲に旧鉄塔の基礎が厚さ約 1.5m で残置されていたため，コアドリル削孔穴を設けて大口径の改良体の造成が可能な NJP-Dy シリーズ工法が採用された。改良体は，図-８に示すように，設計で計画されている格子間隔を確保しながら，現場形状に対応し，基礎のコアドリル削孔数が少なくなるように基礎に沿った配置計画とした。

本工事での改良仕様としては，削孔長

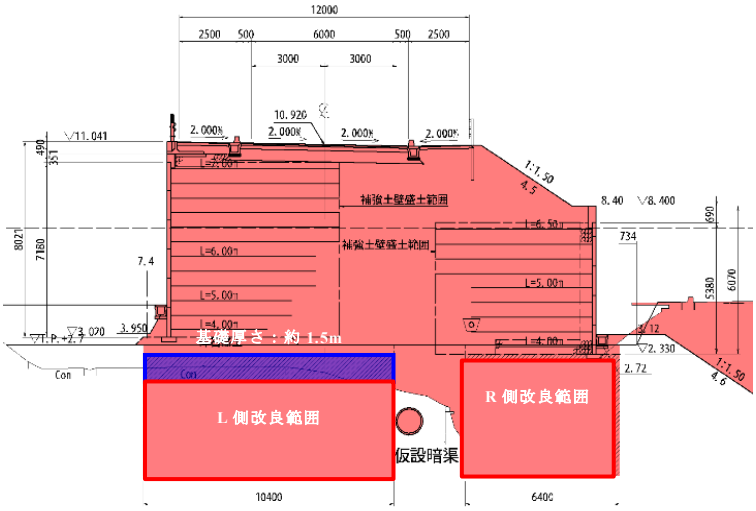
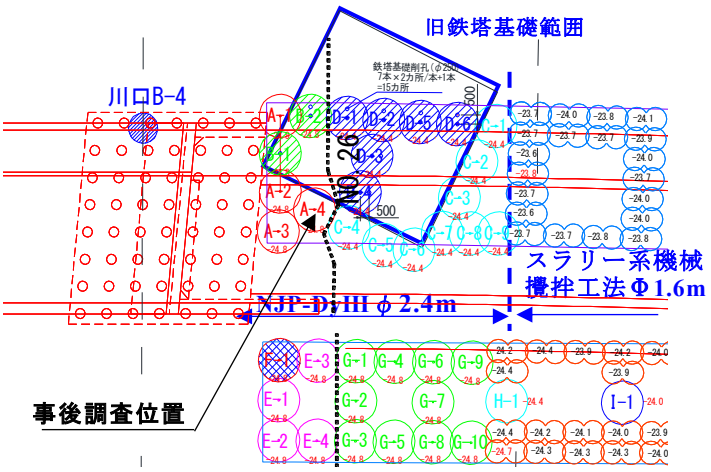


図-７　No.26 改良断面図

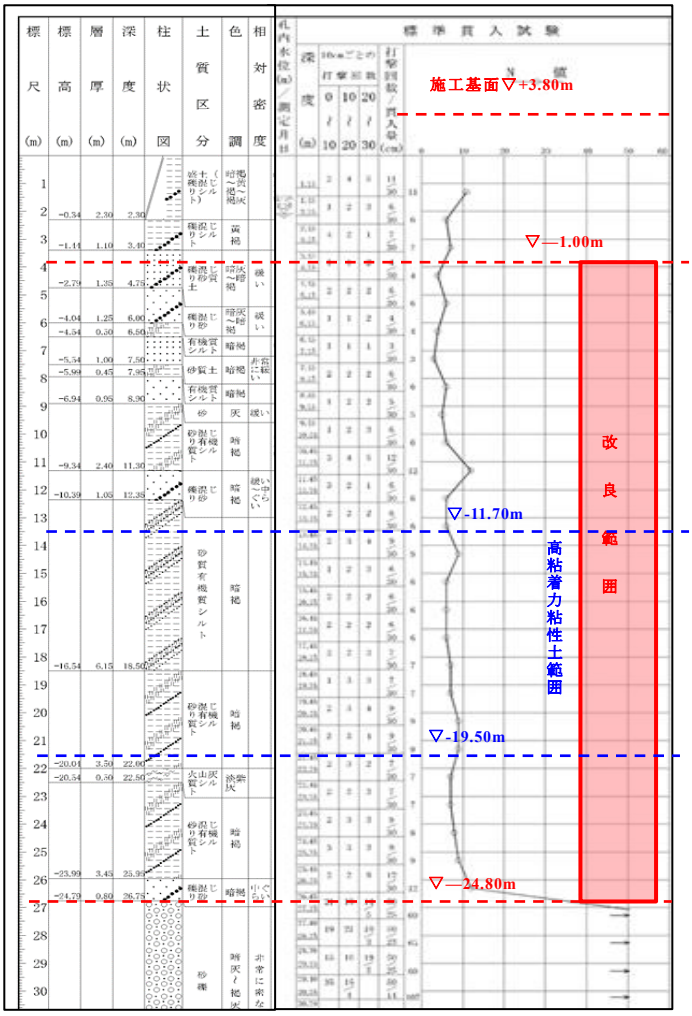
L=28.6m，改良長 Lc=23.8m であるが，図－９に示す地盤概要図の TP-11.7m～TP-19.5m の範囲には，粘着力 C≧50kN/m^2 の高粘着力な粘性土が含まれていることから，高粘着力粘性土でも大口径の改良体が造成可能な DyIII 仕様（改良径φ2.4m）を適用した。高粘着力粘性土層の施工については，造成前に水切削噴射撹拌を併用することによって排泥の排出効率が向上したことから，排泥による閉塞が発生せず，周辺構造物に影響を与えずに施工を完了することができた。

また，本工事の施工機械は，写真-３に示すように，改良体端部に設置された H 鋼の走行レールを自走するスライドベース上に搭載した専用マシンを使用した。専用マシンは，ロッドの脱着が可能なウインチ機能を有しているため，ラフタークレーンを使用することなく効率的で機動性の高い施工が可能である。



図－８　NJP-DyIII工法改良配置図

写真－３　NJP-DyIII工法施工状況



図－９　工事計画と地盤概要

（２）改良体品質

施工後の品質管理は，図-８に示した改良配置図の杭 No.A-4 にてボーリングによるオールコアサンプリングを行った。写真-４に示した全長コアの採取状況から分かるように均一性の高い良質な改良体の造成が確認できた。また，改良体の一軸圧縮試験の結果を表-５に示す。水切削噴射撹拌を併用した高粘着力粘性土においても，設計基準強度 q_{uck}=1,000kN/m^2 に対して，現場平均強度は $\overline{q_{uf}}$=3,674kN/m^2 と十分に満足する結果であったが，地層が互層を呈していたことなどから変動係数は CV=36.6%とバラツキがみられた。

写真－４　採取コアの状況（TP−12.7m～15.7m）

表－５改良体の一軸圧縮強さ

設計基準強度 q_{uck}(kN/m^2)	1,000
現場平均強度 $\overline{q_{uf}}$(kN/m^2)	3,674
変動係数　CV（%）	36.6

３．３ 小型機械による隅田川護岸耐震化工事例

（１）工事概要

本工事は既設防潮堤フーチング基礎直下の既設杭の耐震補強を目的として，基礎フーチングと杭基礎結合部の周辺地盤を改良する工事である。当該工事は防潮堤フーチング基礎を足場として施工を行うため，足元のフーチング幅が 1.5m 程度という極めて狭隘な個所での施工事例である。

改良対象層は，N 値=0～１の砂混じりシルト層で、図－１０に代表的な工事計画の断面図と地盤概要を示す。

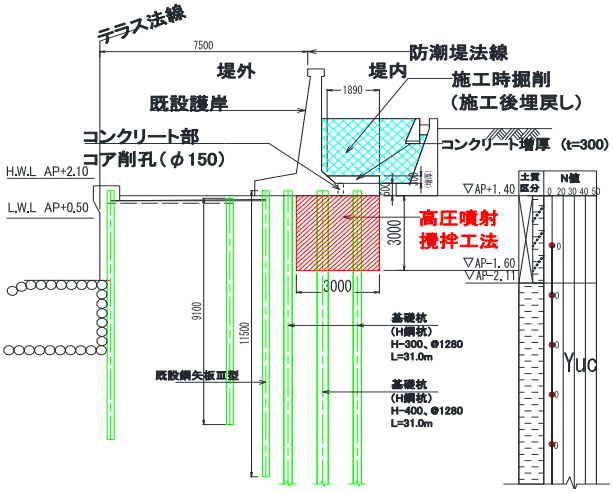
施工手順としては既設フーチング基礎の主鉄筋の位置を外した計画位置で，コアドリル削孔（φ150mm）後，その直上に施工機を設置し，NJP-2way 工法 A タイプで改良体を造成した。施工状況を写真－５に示す。

改良体の配置は，図－１１に示すように設計上必要な改良幅 3m に対して平面改良率 65%以上を確保し，基礎杭を改良体で覆うことができるように改良径φ3.5m の改良体を単列配置とした。また造成時に発生する排泥は狭隘な施工空間であるため，コンクリートコアリング削孔した穿孔箇所からポンプで回収して処理した。

NJP-2way 工法と従来工法の排泥量[3)]を比較してみると，改良土量 1,000m^3 当たりにおいて，従来工法との比較で４割程度の低減が可能であることが確認できた。

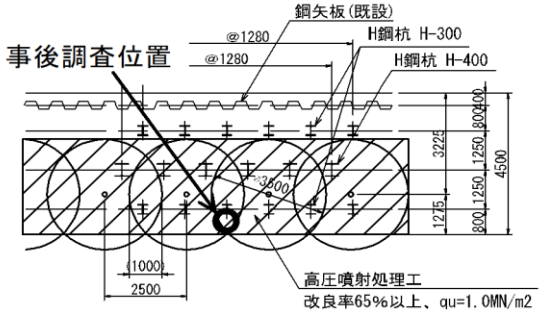
（２）改良体品質

施工後の品質管理については，図－１１に示す改良体ラップ端部で，ボーリングによるオールコアサンプリングを行った。写真－６に示した採取した全長コア状況から分かるよう



図－１０　工事計画と地盤概要

写真－５　NJP-2way 工法施工状況



図－１１　NJP-2way 工法改良配置図

に均一性の高い良質な改良品質が確認できた。改良体の一軸圧縮試験の結果を表-６に示す。改良対象層は軟弱な砂混じりシルトであり，改良品質の確保しやすい土質ではあるが，設計基準強度 q_{uck}=1,000kN/m^2 に対して，現場平均強度は $\overline{q_{uf}}$=3,472kN/m^2 と十分に満足する結果であり，変動係数も CV=20.9%と比較的バラツキの少ない良好な結果であった。

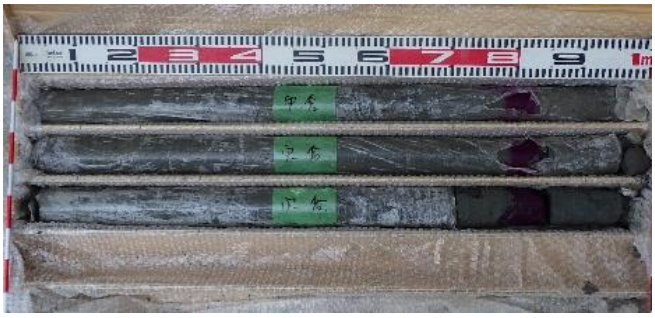


写真-６　採取したコアの状況

表-６　改良体の一軸圧縮強さ

設計基準強度 q_{uck}(kN/m^2)	1,000
現場平均強度 $\overline{q_{uf}}$(kN/m^2)	3,472
変動係数　CV（%）	20.9

４．まとめ

多重管高圧噴射攪拌工法(NJP 工法シリーズ)の特徴について説明し，その特徴を生かした適切かつ経済的な改良径配置による災害復旧対策事例および防潮堤耐震化工事例を報告した。また，無駄のない地盤改良計画により造成時に発生する排泥量が低減できるため環境負荷が極めて少ないことを確認した。

土木・建築の分野では，これまで以上に信頼性の高い効率的な施工や環境負荷の低減が求められている。本工法が対策工法の参考になれば幸いである。

参考文献

１）山崎泰自，古谷武司，山根行弘，竹田敏彦，第 54 回地盤工学研究発表会，pp.717-718，2019.7
２）札幌市下水道河川局，㈱エーテック，2018 年度「西岡中学校ほか３校校地整備災害復旧検討委託業務」
３）日本ジェトグラウト協会，ジェットグラウト工法技術資料，積算資料，2019.9

表土ブロック移植による法面緑化工法

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所　佐藤　厚子[*1]
国土交通省北海道開発局旭川開発建設部　千葉　隆広[*2]
国立大学法人北海道大学北方生物圏フィールド科学センター和歌山研究林　中村　誠宏[*3]

１．はじめに

道路建設工事により発生した法面は、湧水、風化、降雨などにより浸食されるため、法面を被覆する方法により安定化を確保しなければならない。その方法のひとつとして、植物により法面を緑化する方法があり、安価で大量に安定した種子が確保できることから、外来種による緑化が一般的である。しかし、国立公園や自然公園などを対象とする法面緑化工事では、消失、撹乱された自然環境を地域性在来種により緑化し、法面の安定性を確保するとともに地域生態系の保全を確保しなければならない [1)]。これまで、このような箇所では、現地で採取した種子を法面に播種する方法が採用されてきた。しかし、この方法では、種子の生育までに時間を要することから、植物が生育するまでの期間は法面保護ができないこと、地域性の在来種は、使用種子の播種量の算出に必要な吹きつけ厚さ、施工時期、使用種子の純度などの補正率の調査例が少ないため、種子の採取量が確定できないなど、この方法の適用にはいくつかの課題がある。

そこで、高速道路および大学移転にともなう施工事例 [2) 3)]を参考として、施工箇所周辺の森林より昆虫、木本類、草本類などの動植物を含めた表土をブロック状に採取して対象箇所に移植すること [4) 5)]で、法面の森林への早期の復元と、播種量を考慮しない緑化を可能とした。本報告は、表土ブロック移植方法を適用した一般国道 40 号音威子府バイパスでの施工技術 [6) 7) 8)]を紹介するものである。

２．表土ブロック移植による法面工法の流れ

表土ブロック移植工法の流れを**図-1** に示す。表土ブロック移植工法は、採取地からブロック状に切り取った表土を緑化対象箇所に運搬して、貼り付け作業を行うものである。この一連の作業を行うため、重機や根切り作業を行うための根切り用鋼製枠、表土ブロックを運搬するための定置用型枠、積み込んで移動するためのパレットを用意する。

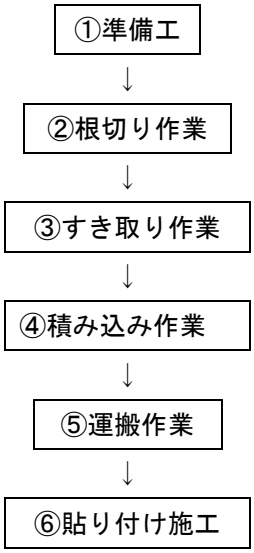


図-1　表土ブロック移植工法の流れ

2-1　準備工

2-1-1　作業のための重機および用具

①　重機

作業を行うための重機はバックホウが一般的で、法面成形用バケットを装着する。表土ブロックの運搬は小型クレーン付きトラック（ユニック車）である。表土ブロックの貼り付けにはロングアーム装着のバックホウを用いる。

②　根切り用鋼製枠

採取地に生育している植物の根を表土ブロックの大きさに切り取るた

*1 Atsuko Sato　札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目　TEL 011-841-1709　FAX 011-841-7333
*2 Takahiro Chiba　旭川市宮前 1 条 3 丁目 3 番 15 号　TEL 0166-32-4454　FAX 0166-32-1406
*3 Masahiro Nakamura　和歌山県東牟婁郡古座川町平井 559 番地　TEL 0735-77-0321　FAX 0735-77-0301

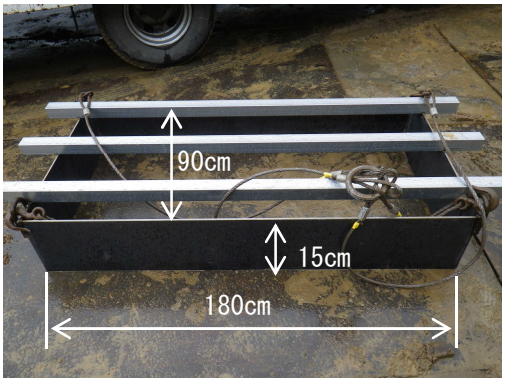


写真-1　根切り用鋼製枠

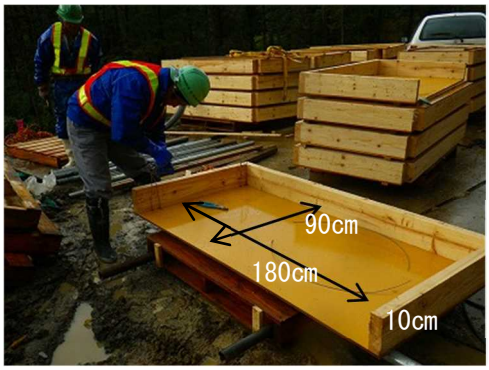


写真-2　定置用型枠

めに、根切り用鋼製型枠を用意する。根切り用鋼製枠の例を**写真-1** に示す。1t クラスのバックホウに装着する場合のサイズは、長さ 180cm、幅 90cm、深さ 15cm 程度である。鋼製枠は地面に垂直に押し込むため、さらに枠を地面から引き抜くために上部に角パイプを 3 本溶接している。法面成形用バケットを用いて鋼製枠ごと表土ブロックを採取することから、鋼製枠は法面成形用バケットの底面と同じ大きさとする。

③　運搬・定置用型枠

鋼製枠により採取した表土ブロックの運搬は、定置用型枠に移し替えて行う。定置用型枠の例を**写真-2** に示す。定置用型枠は、根切り用鋼製枠と同じ底面の大きさであり、長さ 180cm、幅 90cm、深さ 10cm で根切り用鋼製枠よりも浅い。運搬のための重量を低減するため、定置用型枠は木製であり、表土ブロックは定置用型枠から滑らせて施工することから、四方のうちの一辺の枠がない。また、定置用型枠の内側の表面は、滑り落ちやすいようにバネコート（表面がウレタン塗装でコーティングされている合板）を使用している。

④　積み込んで移動するためのパレット

定置用型枠は、**写真-3** に示す幅 120 cm、長さ 90 cm、高さ 6 cm のパレットに載せて施工箇所に運搬する。パレットは、補強のため単管パイプを差し込んでいる。

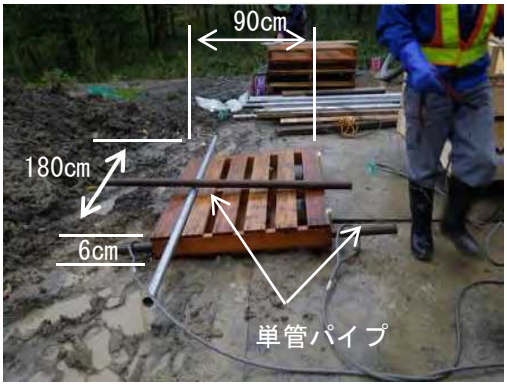


写真-3　パレット

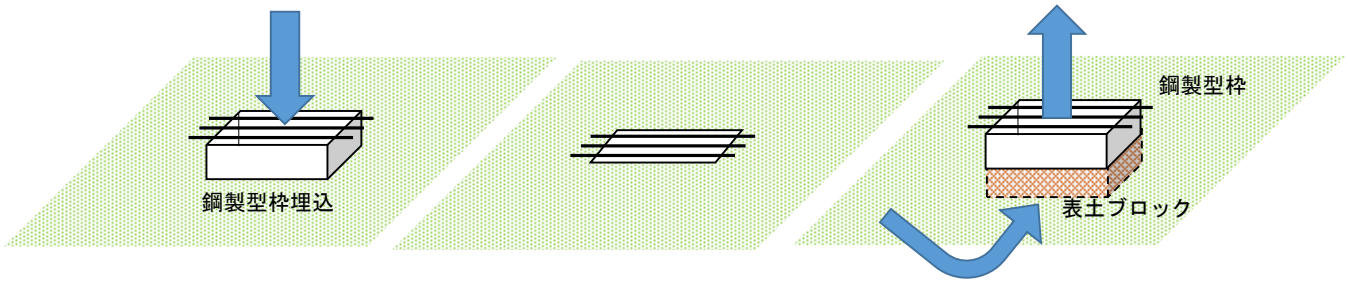
2-1-2　表土ブロック採取地の選定

表土ブロック採取地を選定する。このとき、**写真-4** に示すように施工対象の法面を被覆できる面積 A よりも表土ブロック採取面積 A_0 が大きくなるような箇所を工区内で選定する。

写真-4　表土ブロック施工および採取箇所

2-2　根切り作業

表土ブロックの根切り作業は、**図-2** に示すように根切り用鋼製枠を採取地に設置し、バックホウのバケットで枠の上から押さえて地面に埋め込むことにより、所定の大きさに植物の根を切り取る（**写真-5** a.）。さらに枠と地面の間にバケットを差し込んで枠の下の植物の根を切り取る（**写真-5** b.）。



a. 鋼製枠の埋込　　b. 鋼製枠を埋込んだ状態　　c. 鋼製枠引き抜き

図-2　根切り作業

a.　深さ方向　　b. 鋼製枠の下の根切り

写真-5　根切り状況

2-3　すき取り作業

バックホウの法面成形用バケットを通常とは逆方向に取り付け、根切り用鋼製枠で根切りした表土ブロックを採取する（**写真-6**）。すき取り厚さは 15cm 程度である。音威子府バイパスの表土採取地では笹が繁茂していたが、鋼製枠の下で根切りすることにより、表土ブロックのすき取り作業が容易であった。

写真-6　すき取り作業

2-4　積み込み作業

①　小運搬

すき取った表土ブロックは、バックホウのバケットに載せたままの状態でトラックへの積み込み場所まで小運搬し（**写真-7**）、運搬のための定置用型枠にスライドして載せる（**写真-8**）。

写真-7　表土ブロック小運搬・定着用型枠への移動

写真-8　表土ブロック移動後の定置用型枠の状況

② トラックへの積み込み

定置用型枠を**写真-3** に示すパレットに載せる。定置用型枠は、**写真-9** に示すように下の枠の上にそのまま積み重ねる。実績上 4 段程度までは積み重ねることが可能である。定置用型枠を載せたパレットは、**写真-10** に示すようにワイヤーを掛けてユニック付きトラックに積み込む。4 t トラックを使用した場合、**写真-11** に示すように、12 台の定置用型枠が積載可能である。

写真-9　積み重ねた定置用型枠

写真-10　定置用型枠のトラックへの移動

2-5　運搬作業

パレットを積載したトラックにより、表土ブロック採取地から施工箇所まで移動する。本現場では、約 1.2km の運搬距離であった。

2-6　貼り付け施工

定置用型枠を積み込んだまま、パレットをロングアーム 18 m 装着（0.7 m^3）のバックホウで表土ブロック施工箇所付近に降ろす。**図-3** に表土ブロック移植による法面緑化方法の概略を示す。定置用型枠をひとつずつ法面上まで吊り上げ（**写真-12**）、下端を法面に着地させたのち（**写真-13**）、人力で表土ブロックを押さえながら型枠を法面の上

写真-11　定置用型枠を載せたトラックの状況
（4 台×3 列=12 列）

方に引き抜く（**写真-14**）。その後、**写真-15**、**図-4** に示すように、表土ブロックが下方に滑り落ちないように足場板などを法面に設置する。

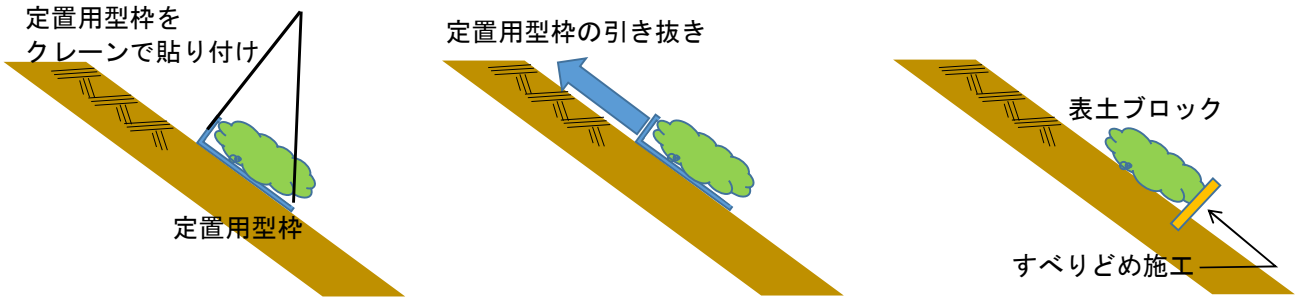


図-3　表土ブロック移植による法面緑化方法概略

写真-12　定置用型枠のつり上げ状況

写真-13　定置用型枠の法面への設置状況

写真-14　定置用型枠の引き抜き状況

写真-15　表土ブロックすべりどめ

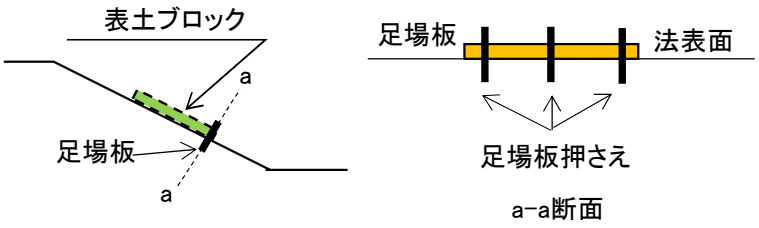
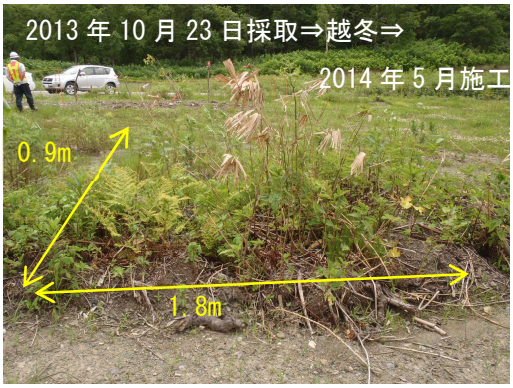


図-4　表土ブロックすべりどめ施工概略図

３．留意事項

表土ブロックに生育する植物や生息する動物の環境を変化させないために、表土ブロックの採取と法面への貼り付け作業は、同日またはできる限り短い期間で行うのが望ましい。しかし、工程上この作業が同日または短い期間で完了しないことを想定して、定置用型枠で表土ブロックを越冬させてから植生を調査した。**写真-16** は、施工翌年の 7 月 2 日の状況で、a. は 10 月 23 日に採取した表土ブロックを 3 段積み重ねた状態で越冬させて、翌年雪解け後の 5 月上旬に平地に施工したもの、b. は表土ブロック採取日に法面に施工したものである。越冬しても植物は採取直後に施工したときと同じように生育している。これから、積雪地域においては、秋の採取であれば、越冬後に法面に施工することも可能と考えられる。



a. 積み重ねて越冬した表土ブロックの状況

b. 採取直後施工した表土ブロックの状況

写真-16　表土ブロックの施工翌年の状態（2014 年 7 月 2 日撮影）

４．施工実績

一般国道 40 号音威子府バイパスの施工における施工実績は、**表-1** のとおりである。施工は、7m×7m×4 箇所 =196m^2 を 4 日間で実施した。

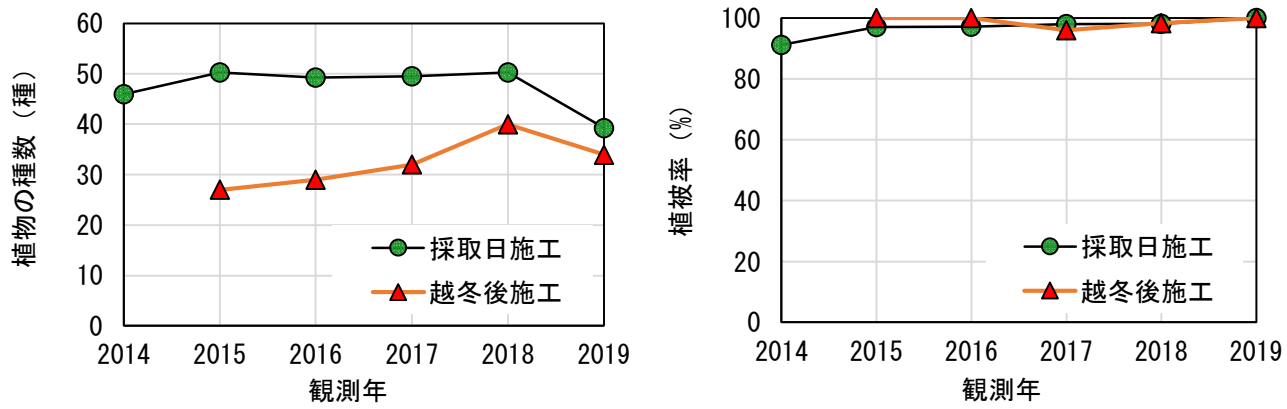
表-1　表土ブロック移植による法面緑化工法の算出資料

作業内容	名称	規格	単位	数量
表土ブロックすき取り	バックホウ 0.7m^3	山積み 0.6m^3	時間	32
	普通作業員		人	4
表土ブロック運搬	トラック（クレーン装備付）	4t 級　吊能力 2t	時間	32
	普通作業員		人	4
表土ブロック貼り付け	バックホウ 0.7m^3（超ロングアーム）	山積み 0.4m^3	時間	32
	普通作業員		人	4

５．植物および動物の調査例

5-1　植物

図-5 に表土ブロック採取日施工と越冬後施工の植物の種数と植被率を示す。越冬後施工は、平地で面積が小さく 1 辺 0.9m の方形区 3 箇所計測の平均であること、採取日施工は、斜面で面積が大きく 1 辺 1.0m の方形区 52 箇所計測の平均であることなど、若干条件は異なっている。植物の種数は、越冬後施工が採取日施工よりも少ないが、時間の経過とともに採取日施工に近づいており回復傾向にある。植被率は、越冬後施工と採取日施工でほぼ等しくなっている。これは、越冬後の雪解けの水分が植物に十分供給されたことから、植物が良好に生育し、採取日施工の植被率と大きな違いがみられなかったものと考えられる。



a. 植物の種数　　b. 植被率

図-5　表土ブロック採取日施工と越冬後施工の植物の種数と植被率

5-2　土壌動物

図-6 に表土ブロック施工箇所と採取地の土壌動物確認種数を示す。図では、表土ブロック、未木立地および樹冠下について土壌層（地表から 15cm の深さの土壌）とリター層（最も地表面に位置し、新鮮ないしほとんど分解されていない落葉・落枝などからなる層）に区分した。採取地では、樹冠下の方が未木立地よりも土壌動物の数が多い。リター層では、表土ブロックの個体数は採取地よりも少ないが、時間の経過とともに増加している。土壌層では、表土ブロックでは採取地よりも少ないものの増減の変化は類似しており、5 年間の計測結果では表土ブロック移植後も環境が維持されている。

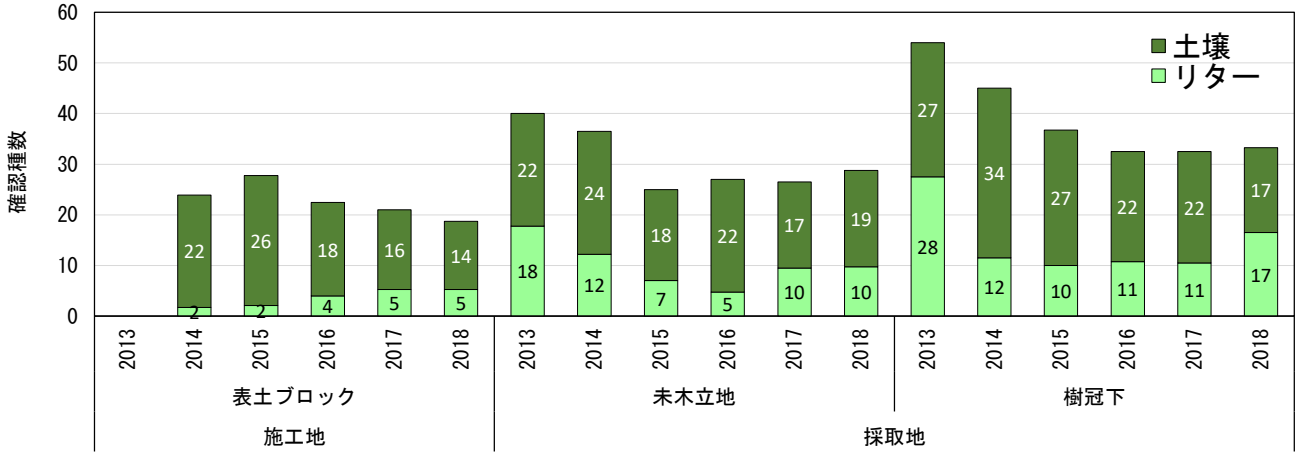


図-6　表土ブロック施工箇所と採取地の土壌動物確認種数

６．おわりに

表土ブロック移植による法面保護工は、従来実施されてきた現地で採取した種子を法面に播種する方法より安価に、しかも早期に施工前の植物の生育や動物の生息する環境へ法面を復元することが可能である。今後、工事による環境の変化を最小限にとどめたいような施工場所において適用されることを期待する。

参考文献

1) 飯塚康雄、栗原正夫、大貫真樹子、久保満佐子、松江正彦：地域生態系の保全に配慮したのり面緑化工の手引き、国総研資料第 722 号、1-1、2013.1

2) 山辺正司：表土移植による自然環境復元について、(社)道路緑化保全協会 道路と自然 114、pp.26-29、2002.

3) エコ・ジャパン（日経 BP 社）：“大自然”を丸ごと引っ越し 写真で見る九州大学の生物多様性保全の結果、http://eco.nikkeibp.co.jp/style/eco/report/080912_yahara/index1.html、2008.

4) 小葉松将史・掛田浩司・中村誠宏：音威子府バイパスにおける森林復元の試み、国土交通省北海道開発局第 57 回（平成 25 年度）北海道開発技術研究発表会、2014.

5) 中村誠宏、寺田千里、湯浅浩喜、古田雄一、高橋裕樹、藤原拓也、佐藤厚子、孫田敏、伊藤徳彦：表土ブロック移植の簡易工法による盛土法面の生態系復元の評価、保全生態学研究、2019.11.

6) 小葉松将史、掛田浩司、中村誠宏：音威子府バイパスにおける表土ブロック移植の復元状況（速報）国土交通省北海道開発局第 58 回（平成 26 年度）北海道開発技術研究発表会、2015.

7) 湯浅浩喜、古田雄一、高橋裕樹、藤原卓也、中村誠宏、佐藤厚子、孫田敏、伊藤徳彦：道路盛土法面における表土ブロック移植と 3 年間のモニタリング結果について、平成 30 年度日本造園学会北海道支部大会、2018.10.

8) 佐藤厚子、畠山乃、中村誠宏、古田雄一、千葉隆広、孫田敏、伊藤徳彦：表土ブロック移植およびすき取り土被覆による盛土のり面の森林復元、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019.9.