

共同溝工事における回収型掘進機の採用と 残土の有効利用

川嶋 英介¹・高畠 哲朗²・宇留間 高広³・木下 茂樹⁴

¹正会員 (株)奥村組 東日本支社 工事第二部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)
E-mail: eisuke.kawashima@okumuragumi.jp

²正会員 (株)奥村組 東日本支社 工事第二部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)

³(株)奥村組 東日本支社 工事第二部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)

⁴正会員 (株)奥村組 東日本支社 土木技術部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)

東京都港区内で施工中の高輪・三田共同溝工事において、施工箇所周辺への騒音、振動および路上規制による交通への影響等、工事に伴う環境負荷が課題となった。そこで環境負荷低減対策として、推進工法を施工する区間において、①回収型掘進機による掘進機戻し、②地中到達、到達立坑路下施工、③推進工事発生土を利用した流動化処理土の現場内製造および打設を計画立案し施工を行った。その結果、それぞれの対策工において、到達立坑の省面積化、到達立坑掘削土および推進工掘削土の現場内転用が可能となり、各施工方法が有効であったことを確認した。

Key Words : pipe jacking method, liquefied stabilized soil, soil come from construction

1. まえがき

東京都港区内で施工中の高輪・三田共同溝工事において、施工箇所周辺への騒音、振動および路上規制による交通への影響等、工事に伴う環境負荷が課題となった。

そこで本工事では環境負荷低減のために以下の方針を立て施工を行った。

- ①環境負荷の大きい作業の抑制
- ②路上作業の短縮
- ③工事車両の縮減

特に推進工法を施工する区間においては回収型掘進機を採用し、その工法の特長を活かして環境負荷の低減を行った。以下に、共同溝工事における回収型掘進機の採用と残土の有効利用事例について報告する。

2. 工事概要

高輪・三田共同溝工事は、昭和42年に完成した高輪共同溝と、平成20年に完成した三田共同溝の間151mを接続する工事である。新設する共同溝151mのうち75.1mを泥土圧推進工法で施工し、その他部分は現場打ちコンクリートで躯体を築造する。工事概要および平面図を表-1、図-1にそれぞれ示す。

表-1 工事概要

発注者	国土交通省関東地方整備局
工事場所	東京都港区高輪1丁目地先
工事延長	L=151m
工事内容	実施設計1式
	推進工(φ2600mm泥土圧推進)L=75.1m
	現場打躯体工 L=55.6m (特殊部3箇所)
	到達立坑築造 B=6.6m L=11.0m H=12.3m
	路下ヤード撤去、歩車道復旧工

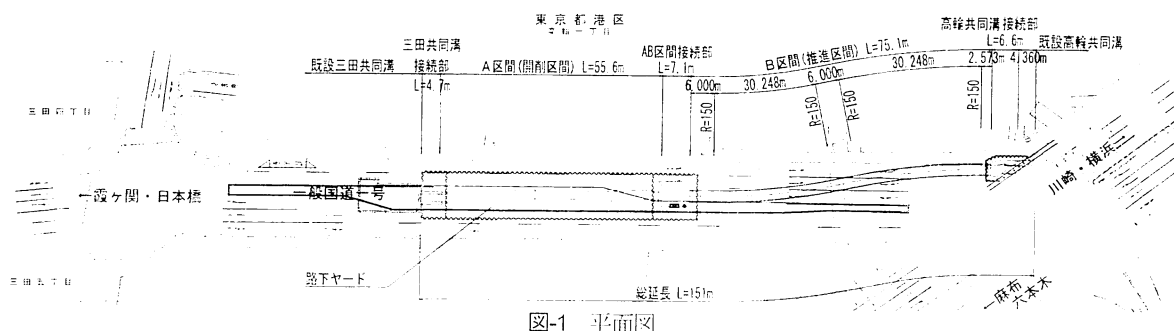


図-1 平面図

本工事の施工条件は、①交通量の多い国道1号での現道工事、②近隣民家、マンション、店舗が近接した状況での作業、③埋設物が輻輳した中で安全に工事を行う必要があること等、難易度の高いものである。

こうした背景を踏まえて、平成22年7月に「設計施工一括発注方式」によって発注となり、平成22年12月に契約、約6ヶ月の詳細設計期間を経て平成23年6月から施工を開始した。

発進立坑は、過年度工事においてシールド発進基地として築造された路下ヤードを使用し、あわせて推進工施工設備を路下に設置した。

到達立坑は、推進工法の到達工を目的とするだけでなく、既設共同溝との接続作業の実施、および収容物であるケーブル類の配置上必要となる共同溝特殊部の築造を行う。

推進区間は延長75.1mのうち、 $R=150\text{m}$ の曲線がS字形に設置された線形で仕上り内径は $\phi 2600\text{mm}$ である。土かぶりは一全区間にわたり約6.5mで、推進区間の地質は発進立坑から到達立坑に向かって洪積粘性土層から洪積砂礫土層に変化しており、発進側は一部沖積砂層が存在している。土質は粘性土層で $N=4$ 、 $\gamma=18\text{kN/m}^3$ 、砂礫土で $N=25$ 、 $\gamma=19\text{kN/m}^3$ である。

3. 施工上の課題点と解決方法

高輪・三田共同溝工事は当初、全区間開削工法によって施工する計画となっていた。しかし開削工法で施工する場合、施工箇所が国道1号直下に位置し、過年度工事で築造された路下ヤード以外の部分の施工は大規模な路上交通規制を伴うため、夜間に施工する必要があった。そこで、近隣の生活環境への影響を抑制する目的で、応札時の技術提案で非開削工法である推進工法を提案し、採用された。

一方、推進工事到達立坑付近は一般国道1号（桜田通り）が上下2車線から上下4車線に変化する交差点付近に位置するため、工事により交通渋滞を引き起こすおそれがあった（図-2）。また、工事開始前に実施した周辺地域へのヒアリングの結果、騒音、振動、および路上規制による一般交通への影響等、環境負荷の低減がより一層要求された。そこで推進工法において以下の3項目の対策工を計画した。

①回収型掘進機「やどかり君工法」による掘進機引戻し

②地中到達、到達立坑路下施工

③推進工事発生土を利用した流動化処理土の現場内製造および打設

以下に各対策工の詳細と、施工状況を記述する。



図-2 到達立坑付近の状況

4. 回収型掘進機による掘進機引戻し

(1) 施工目的

回収型掘進機「やどかり君工法」は掘進機の主要構造部がボルト接合で容易に組立解体が可能であり、主要構造部をトンネル内で発進側に引き戻すことができる工法である¹⁾。通常は到達立坑の設置が困難であるか、あるいは到達立坑での掘進機引上げが困難である箇所での施工に採用される。

一方本工事は、到達立坑の設置が可能で、到達立坑での掘進機引上げも技術的に施工可能である。しかし到達立坑での掘進機引上げには大規模な交通規制を必要とし、また到達立坑も掘進機を収容できるだけの大きさが必要となる。

よって、掘進機回収による交通規制の削減、到達立坑の省面積化を目的として回収型掘進機「やどかり君工法」を採用し、掘進機を発進立坑にトンネル内で発進側に引き戻すこととした。

(2) 回収型掘進機

本工事で使用した掘進機を図-3に示す。

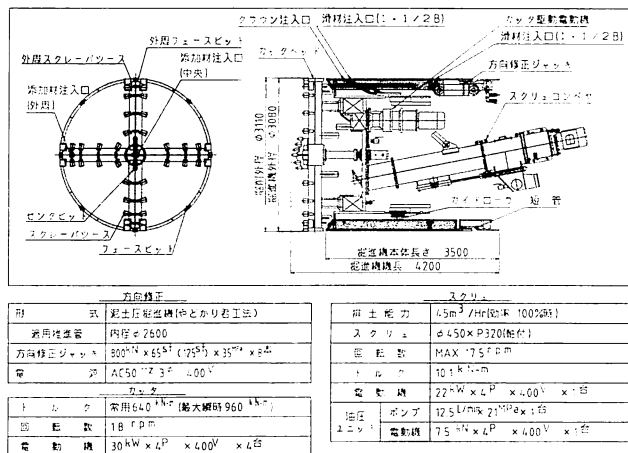


図-3 回収型掘進機

掘進機は3重構造となっており、最外周の外殻と駆動部を収容する内殻とを接続する中殻部分を撤去することで、内殻部分を引き戻す。引戻しの際は、内殻に合計6箇所設置されたローラーを用いて行う。

(3) 施工状況

掘進機の引戻しは以下に示す手順で実施した。

a) チャンバー内清掃

チャンバー内清掃は、スクリーコンベヤで可能な限り土砂を排土した後、バルクヘッドに設置したマンホールおよびバキューム用配管（4B）から55kWバキューム装置で吸引して行った。

b) カッタースポーク、中殻連結部切断

本工事においてはマシン外径3 110mmに対し、推進管の内径は2 600mmであるので、カッターヘッドの外周部分は推進管に支障しそのまま引戻すことができない。従ってカッタースポークの外周部分を所定の位置で切断した。「やどかり君工法」においては、カッタースポークに油圧ジャッキを内蔵することで、この縮径作業をメカニカルに行うことも可能であるが、外径が小さいことから人力での切断分離作業とした（写真-1、2）。

カッタースポーク切断後、内殻と外殻とを連結していた中殻部分をチャンバー内で切断し分離した。

c) 内殻引戻し

内殻はチルホールを用いて引戻した。推進管に6m間隔で設置した引戻し用グラウトホールにワイヤーおよびチルホールを設置し掘進機を牽引した。半径150mの曲線が2箇所S字型に配置された線形ではあったが、内殻が推進管と干渉することなく計画通り引き戻すことができた（写真-3～6）。引戻しに要した荷重は20kN程度であり、内殻重量のおよそ8%であった。



写真-1 掘進機



写真-2 掘進機切断



写真-3 ガイドローラー



写真-4 引戻し状況

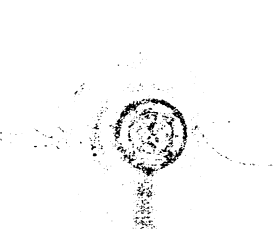


写真-5 引戻し状況
(切羽側から)

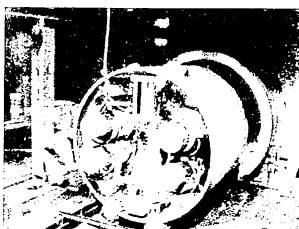


写真-6 引戻し完了

(4) 環境面での効果

回収型掘進機を採用したことで、到達立坑から掘進機を搬出する必要がなくなったため、搬出作業に伴う交通規制を抑制できた。また到達立坑が掘進機を収容できる面積を必要としなくなったため立坑面積を26%省面積化することが可能となり、掘削土量を475m³に削減した。また埋設物の切回し作業、土留め壁の施工等の作業を抑制した。

5. 地中到達、到達立坑路下施工

(1) 施工目的

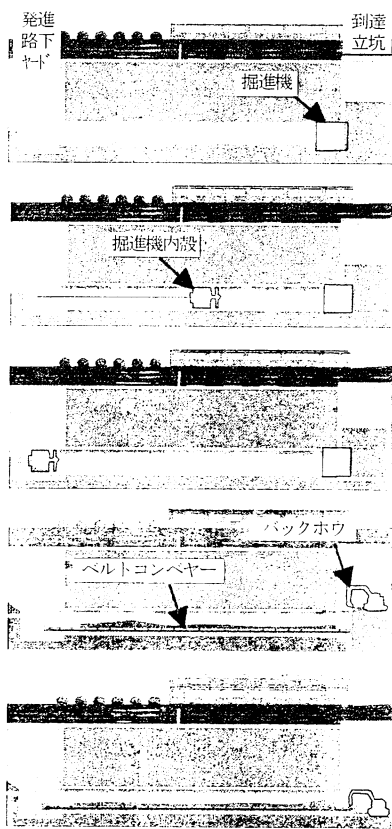
到達立坑の築造は、交通規制を伴う路上作業が必要で、全体工程の中でも環境負荷の大きな工種であるため、到達立坑掘削作業の路下作業化、および残土搬出車両の削減を行うことは、周辺への環境負荷低減のために重要となる。

そこで、立坑掘削を完了させる前に掘進機を地中到達させ、回収型掘進機を引戻した後、残りの掘削土はトンネル内部を經由して発進側に運搬し埋戻し土として再利用する施工方法を立案した。

(2) 地中到達、到達立坑路下施工

a) 施工手順

施工手順を図-4に示す。



1. 掘進機到達
到達立坑の掘削を完了させる前に地中で到達させる
2. 掘進機引戻し
掘進機内殻部分を発進側に引戻す
3. 掘進機搬出
発進立坑常から掘進機を搬出する
4. 到達立坑掘削
路下で掘削した残土をベルトコンベヤーを用いて発進側に運搬する
5. 床付完了
発進側に運搬した掘削土は、路下ヤード埋戻し土に転用する

図-4 施工手順

b) 到達立坑

掘進機を地中到達させるために、到達立坑の土留め壁は到達坑口部を避けるように施工した（図-5）。そのため到達坑口部が土留め不連続部となることから、地盤改良を実施し、地山の安定と止水性を確保した。

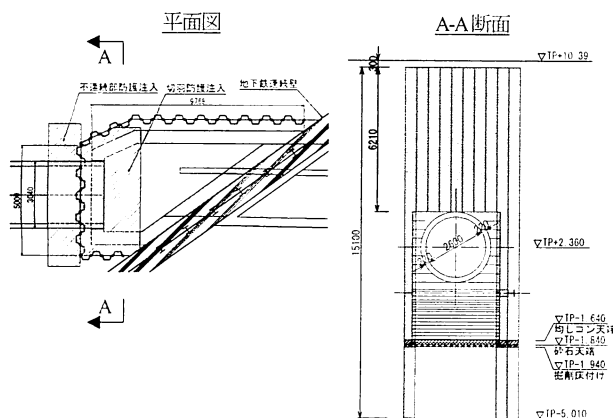


図-5 到達立坑土留め構造図

c) 施工状況

施工フローを図-6に示す。

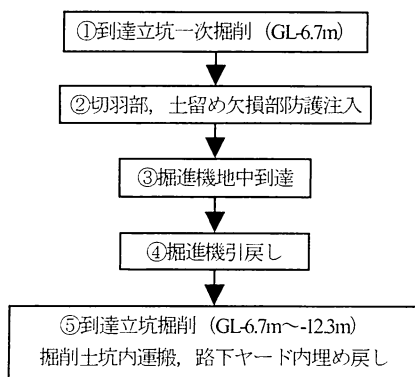


図-6 到達立坑土留め構造図

- ①到達立坑一次掘削：立坑一次掘削はタイヤ付クラムで施工が可能であり、施工スピードが速く環境負荷も低いと判断したため、約300m³を地上から掘削した。また掘削深さは防護注入を路下施工とするために必要となる深度とした。
- ②切羽部、土留め欠損部防護注入：前述したとおり、推進掘削断面および掘削断面下部は土留め欠損部となる。また掘進機を引き戻すためのカッタースポーク切断等の作業は、チャンバー内の土砂を撤去した後に人力で行う必要があるため、切羽部、土留め欠損部防護注入を行った。防護注入は二重管ストレナー複相式とし、溶液型注入材を採用した。注入量は約88 000Lで注入率は土質に応じて36%～14%とした。注入量の約半分は、周辺への騒音・振動の影響を抑制するため、路下施工とした（写真-7）。

- ③掘進機地中到達：防護注入を施工した後、掘進機を到達させた。到達時には、上部の土留め鋼矢板の挙動、切羽土圧の変化等を監視しながら10mm/min程度の低速で推進した。一次掘削の掘削深さを掘進機天端付近としていたため、立坑内からチャンバー内の状況を確認しながら到達することができた（写真-8）。



写真-7 防護注入



写真-8 掘進機到達

- ④掘進機引戻し：到達後、掘進機の引戻しを実施した。切羽部は簡易に土留め工を設置し安全性を確保した。
- ⑤到達立坑掘削（GL-6.7m～-12.3m）掘削土坑内運搬、路下ヤード内埋め戻し：掘進機引戻し後、推進設備を撤去し到達立坑の掘削を行った。掘削土の坑内運搬には、1.鋼車方式、2.タイヤ式自走台車方式、3.ベルトコンベヤの3ケースについて検討したが、1については発進側でクレーン設備が必要となること、2については坑内の換気が課題となることから、ベルトコンベヤによる方法を採用した。ベルト幅450mmのベルトコンベヤを採用したことにより、十分な量の掘削土の運搬が可能で、運搬時間が掘削作業に与える影響は軽微なものとなった。掘削土は発進坑口付近に仮置きし、路下ヤード内の構築の進捗に合わせて埋め戻し土として転用した（写真-9～12）。



写真-9 到達立坑掘削状況

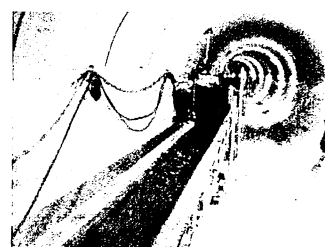


写真-10 坑内搬送状況

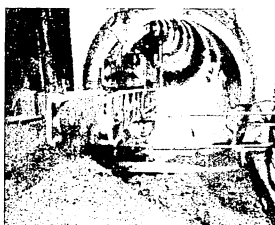


写真-11 発進側仮置き状況



写真-12 路下ヤード内埋戻し

3) 環境面での効果

推進工の到達を地中で行い、また到達立坑の掘削を路下施工として掘削土を発進側に運搬・埋戻しすることで、以下の効果が得られた。

- ・到達立坑築造作業に伴う騒音・振動を抑制した
- ・到達立坑を交通規制を必要とせずに施工できた
- ・到達立坑掘削土砂運搬車両を削減できた（掘削土約260m³を路下ヤードの埋戻し土として転用）
- ・発進路下ヤードの埋戻し土運搬車両を削減できた

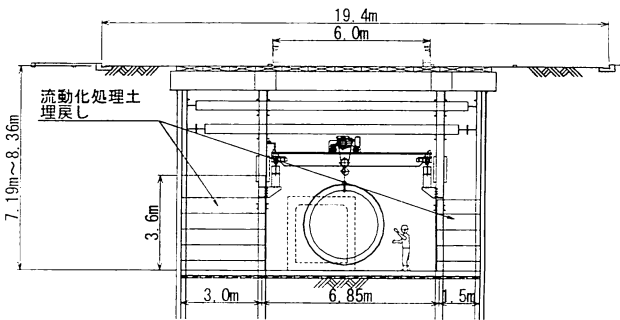


図-7 路下ヤード横断面図

6. 推進工事発生土を利用した流動化処理土の現場内製造および打設

(1) 施工目的

流動化処理土の製造と施工は、推進工発生残土の搬出車両および路下ヤード埋戻し土の搬入車両を削減する目的で計画した。流動化処理土は推進工発生土を原料とし、路下ヤード内の推進工事に支障しない両端部（図-7）の埋戻し土として利用する。

一方で流動化処理土の施工は、狭隘な路下ヤードの中で推進工の進捗に影響しないよう製造および打設を行う必要があり、また施工量が約700m³と少なく経済性に問題があった。そこで、発生土の供給、解泥および密度調整、セメントスラリーとの混合、製造した流動化処理土の打設といった一連の作業を、混合水槽と1台のバックホウで行う方法を立案した^{2) 3)}。

(2) 要求性能、配合の設定

推進工発生土を原料とした流動化処理土に求められる要求性能および配合は、発生残土運搬車両を削減するという施工目的から、発生土利用率を向上させることが必要となった。

一般的に施工性を重視してフロー値を高くする場合、加水量および密度を確保するための加重材使用量が多くなり、発生土利用率が減少する。一方でフロー値を低くした場合、発生土利用率は向上するが施工性が悪化する。通常はプラントの混練能力、施工性を考慮しフロー値を高めに設定するが、原料の性質、施工性等を考慮するために現地採取土を用いて配合試験を行い、施工性を確保しつつ発生土の有効利用が図れる要求性能、配合を検討した。配合試験において実施した配合例および試験結果を表-2に示す。

当該工事においては発生土利用率の向上を重視して、フロー値を充填性から定まる品質規定値の下限である110mmに設定し配合を決定した。

表-2 配合試験結果

番号	発生土	発生土 密度 g/cm³	目標値				単位量 (kg/m³)					試験結果					備考
			一軸圧縮強さ N/mm²	ブリーディング率 %	処理土密度 g/cm³	フロー値 mm	発生土重量		水	固化材	加重材 (再生砂)	一軸圧縮強さ N/mm²	ブリーディング率 %	処理土密度 g/cm³	フロー値 mm	発生土利用率 %	
							現地採取土	想定推進添加材									
1	粘性土 (推進工発生土を考慮し、推進添加材を加えた試料を作成)	1.63 (推進添加材を含む)	0.2 (材齢1週)	1%以下	1.5以上	300	673	93	494	100	0	0.12	0	1.32	335	50.6	
2						200	595	83	552	100	0	0.23	0	1.36	200	44.8	
3						160	702	98	477	100	0	0.41	0	1.37	160	52.9	
4						160	706	98	481	80	0	0.27	0	1.36	160	53.1	
5						160	526	73	407	100	416	0.49	0	1.53	160	39.6	
6						160	530	74	409	80	419	0.30	0	1.52	165	39.9	
7						110	628	87	377	100	330	0.59	0	1.52	115	47.2	
8						110	632	88	379	80	332	0.43	0	1.51	115	47.6	決定配合

※発生土利用率は流動化処理土を製造するのに要した発生土容積を示し、下式で算出した

$$\text{発生土利用率} = \frac{\text{製造に用いた発生土容積}}{\text{流動化処理土製造量}} \times 100$$

(3) 流動化処理土の施工

製造フローを図-8に、製造設備配置を図-9に示す。

一般的に現場で流動化処理土を製造する場合、原料土の解泥装置とセメントスラリーとの混合装置を組み合わせた専用プラントを設置し施工するケースが多い⁴⁾。

しかし本工事では施工ヤードが路下にあり、さらに推進工と並行して作業するため製造設備を設置できる面積が約92m²と狭く専用プラントの採用は困難であった。また製造数量が少なく、専用プラントを用いるとコスト増が懸念された。

そこで解泥から打設までの工程を混合水槽(20m³)1基、バックホウ(0.45m³)1台で行うことで、省面積での流動化処理土製造を可能とさせた。

流動化処理土の製造量は1基の混合水槽で製造可能な量(12.5m³)を1バッチとし、発生土の解泥、密度調整、セメントスラリー混合、打設を繰替し行うことで施工した。流動化処理土の均一性を確保するために、セメントスラリーは2槽式小型パン型ミキサーを用いて別途混練し、バックホウに装備したパドル型アタッチメントで混合した。

製造した流動化処理土は、発生土利用率を向上させるために設定した比較的流動性の低いフロー値110mmの処理土を安定的に打設できるよう、圧送配管(4B)を設置し、定置式コンクリートポンプを用いて打設した。

施工状況を写真-13～15に示す。

(4) 環境面での効果

本工事では省面積下、少施工量における流動化処理土の製造となったが、1日8時間当り最大62.5m³製造することができ、推進工の進捗に遅れることなく流動化処理土を施工し約650m³の掘削土を再利用した。

発生土利用率は図-10に示すように平均で71.4%となり、配合試験で確認した発生土利用率より高い値を示した。これは特に粘性土主体地盤においては介在している砂質土が加重材の役割を果たし、また自然含水比も高いため、加重材使用量、加水量を抑制することができたことによる。この結果よりフロー値を低く設定したことが、期待した発生土利用率の向上を実現できたと言える。

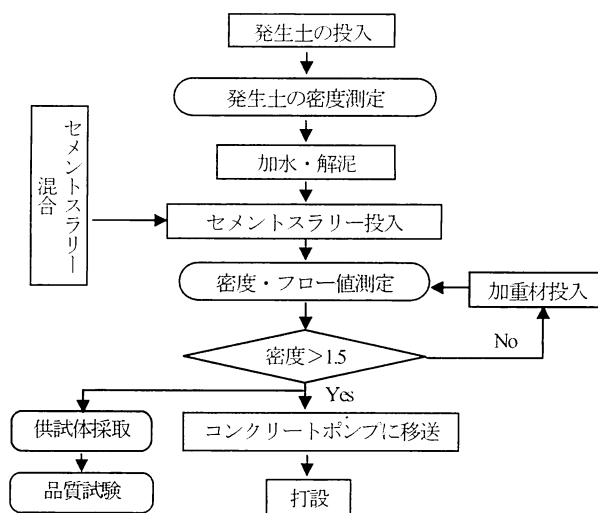


図-8 施工フロー

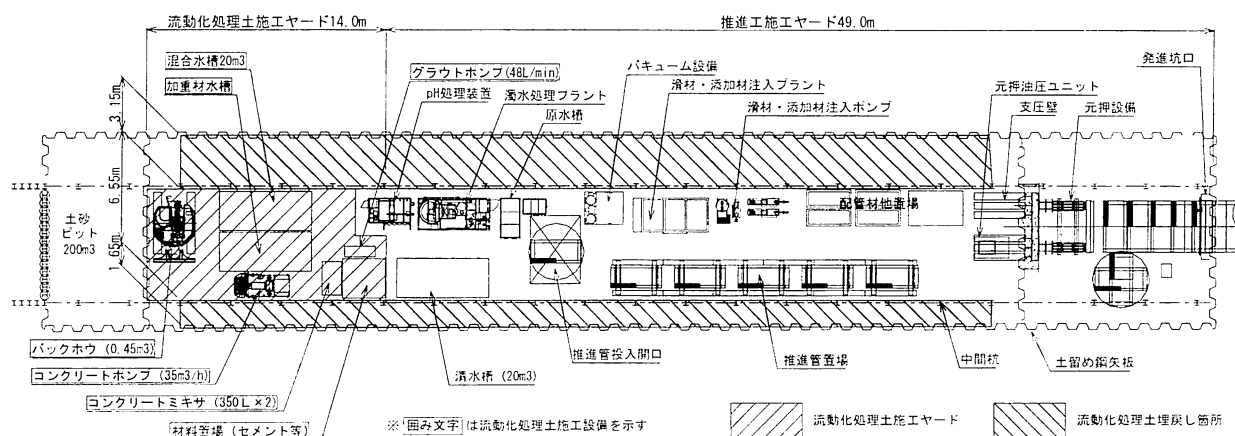


図-9 製造設備配置

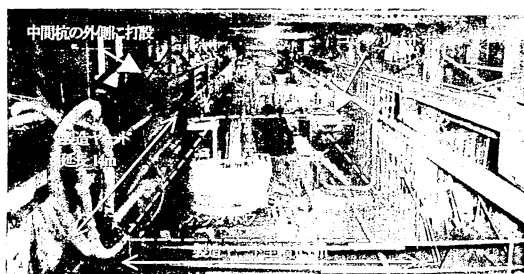


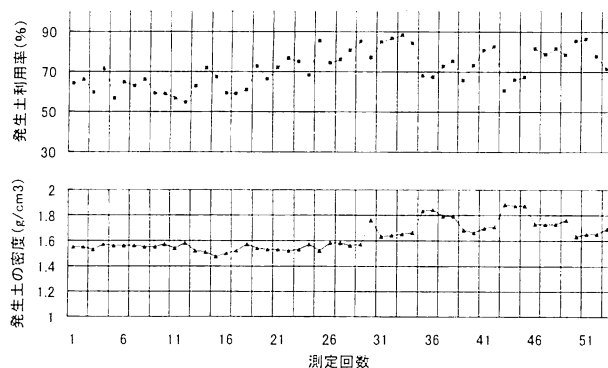
写真-13 製造ヤード全景



写真-14 製造状況



写真-15 打設状況



※発生土利用率＝製造に用いた発生土容積/流動化処理土製造量×100
図-10 発生土利用率

7. おわりに

都市土木では沿道地域の生活環境保全，一般交通への影響緩和等，環境負荷の低減は重要な命題である。

本工事においては，共同溝延長が短いにもかかわらず，非開削工法である推進工法を採用した。また回収型掘進機の採用，地中到達，到達立坑路下施工，推進工発生土の流動化処理土製造といった取り組みを行うことで，環境負荷の低減に努めた。特に土砂運搬車両については，表-3に示すとおり効果的に縮減できたと考えている。

個々の対策に関しては，まず回収型掘進機の採用について曲線区間の引戻しについても問題なく施工でき，また立坑の省面積化，路上作業の縮減に十分な効果が発揮できたことを確認した。

次に地中到達，到達立坑路下施工については，本工事においては環境負荷低減に効果を発揮できたことを確認したが，より深い立坑や断面の大きなトンネルにおいても同様に施工できるか，今後の課題点として上げられる。

推進工発生土の流動化処理土製造に関しては，省面積下，少施工量において流動化処理土の製造を実施したが，

本施工方法は都市トンネル工事に関わらず様々な工事の施工計画，施工管理に反映可能であると思われ，さらなる施工方法の合理化を進めていきたい。本工事の成果が，今後の類似工事の参考になれば幸いである。

最後に本工事を行うにあたり，ご指導，ご協力を頂きました関係機関の方々に，深謝いたします。

表-3 土砂運搬車両の削減量

対策方法	計画数量	削減・転用数量	土砂運搬車両台数
回収型掘進機の採用	到達立坑掘削土量（回収型掘進機を用いない場合）： 640m³	165m³ (削減)	28 台
到達立坑路下施工，掘削土発進側運搬，路下ヤード埋戻し土転用	到達立坑掘削土量： 475m³	260m³ (転用)	44 台
推進工掘削土流動化処理土製造，路下ヤード埋戻し土転用	推進工掘削残土処理量（地山換算）： 544m³	650m³ (転用)	100 台
	路下ヤード埋戻し土量： 3 997m³	650m³ (削減)	110 台
合計			326 台

参考文献

- 1) 木下茂樹：地中接合技術－大口径推進工事における既設管きよの側面および正面への地中接合回収型掘進機「やどかり君」工法の適用事例，月刊推進技術 Vol.25 No.2, pp.18-21, 2011.
- 2) 加藤将道他：推進工事発生土を利用した流動化処理土の現場内製造および打設（その 1：要求性能，施工方法），第 67 回土木学会年次学術講演会,2012.9.
- 3) 川嶋英介他：推進工事発生土を利用した流動化処理土の現場内製造および打設（その 2：品質管理，施工方法の評価），第 67 回土木学会年次学術講演会,2012.9
- 4) 土木研究所，流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル，pp.66-72，技報堂出版，2007.

(2012. 9. 3 受付)

Adoption of collection-type TBM and effective use of soil come from construction in Common Utility Duct Cnstruction

Eisuke KAWASHIMA, Tetsuaki TAKABATAKE,
Takahiro URUMA and Shigeki KINOSHITA

Under construction work of Takanawa-Mita Kyoudoukou in Minato-ku, Tokyo, due to construction noise to the surrounding area, the impact on traffic road vibration and regulations, the environmental impact of construction has become a challenge. Therefore, as a measure for reducing the environmental impact, we performed the construction plans to adoption of collection-type TBM Yadokari-kun method, reaching in ground and construction under road pit of reached, and production of liquefied stabilized soil using soil generated from the pipe jacking method. As a result, we have confirmed that in each counter-measure construction, diversion of excavated soil Industry Promotion can be reached pit-area-saving, and reaching excavated soil pit, each was effective construction methods.