

## CRM工法による地中連続壁工事

関連工務部 大下 裕之

### 1. はじめに

近年、環境に配慮した建設副産物のリサイクル(資源再利用)を具体的にピーアールする技術や工法が注目されており、各企業のISO14000に対する取り組みの現れになっている。

その1つとして、掘削土を再利用して生成する「泥土モルタル」による地中連続壁工事の施工事例を通して、CRM(Continuous walls using Recycled Mud)工法を紹介の方々概説する。

### 2. 工法の概要

本工法は従来のRC連壁である鉄筋コンクリートによる地中連続壁でなく、鉄筋の代わりにH鋼を芯材とし、そしてコンクリートの代わりに掘削土とセメントを混合した泥土モルタルを用いて築造し連壁としての機能を持たせるものである。そのため、施工方法は従来のやり方と大きな相違はないが、従来のRCで掘削土を産業廃棄物として泥土処分していたものが、掘削土を泥土モルタルに利用することで総工費の削減を図れることが大きな相違点と云える。

ここで、一般的なCRM工法のおおまかな施工の流れを循環型掘削に絞ってまとめると下図のようになる。

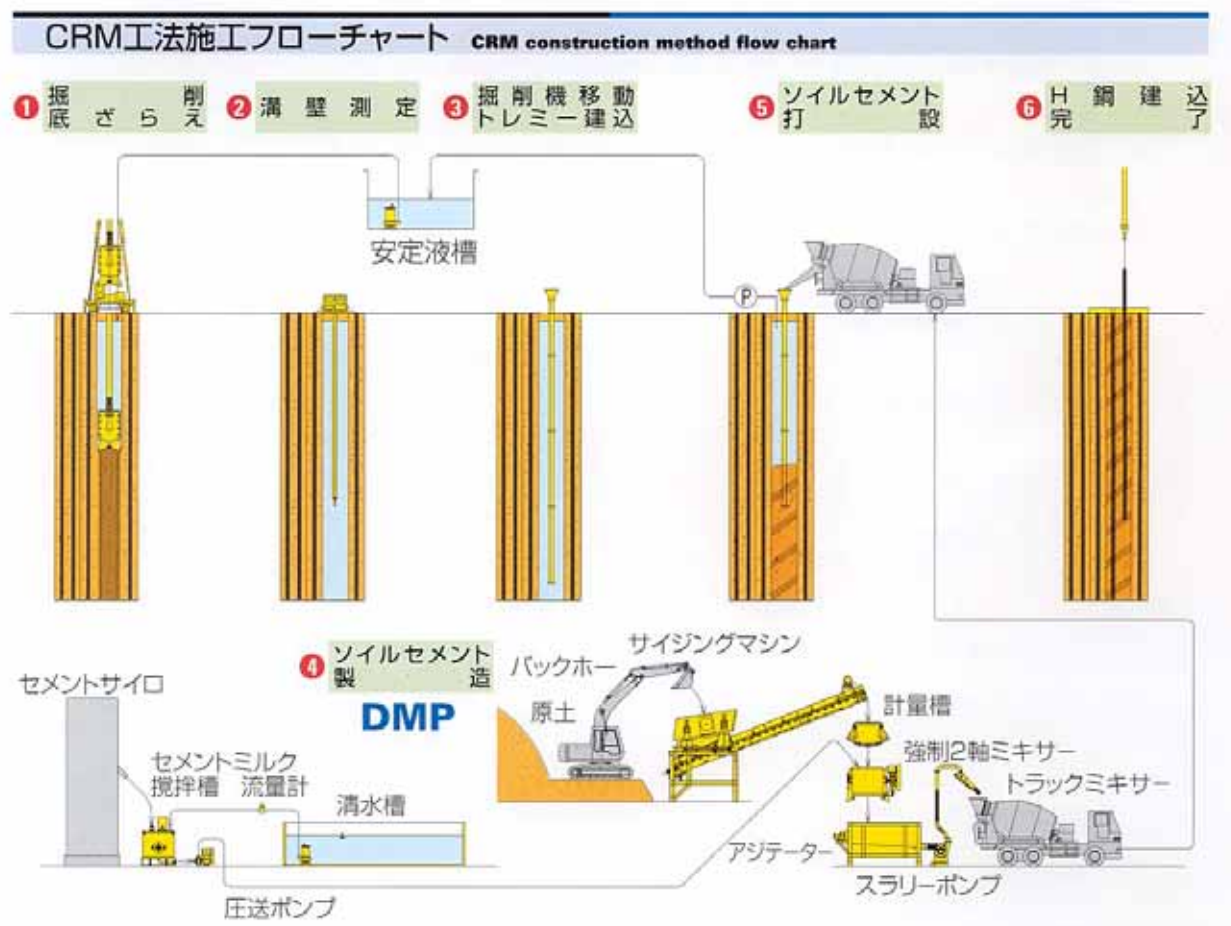


図 - 1 . CRM工法の施工フローチャート

上述の通り、従来のRC連壁工法と基本的に同じであるが、以下各々の作業について簡単に述べる。

### (1) 掘削・底ざらえ

専用の掘削機により掘削を行い、掘削完了後、同一機械を用いて底ざらえを行う。当社の場合、掘削機は利根製のEMXシリーズとなる(図-2.参照)。

連壁施工の場合、先に掘削する先行エレメント(以下、ELと呼ぶ)と先行ELと先行EL間を後から掘削施工する後行ELに分けられるが、当工法では一般に先行EL・後行ELともに1エレメント1ガットとなり、先行と後行の継手はモルタルカッティング方式が採用されている(図-3.参照)。そのため、後行EL施工時においてはセメントが安定液中に混入し、安定液のゲル化が助長される。

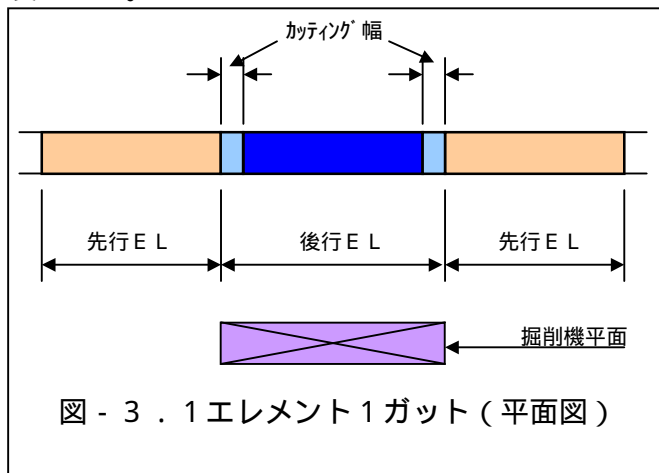


図-3. 1エレメント1ガット(平面図)

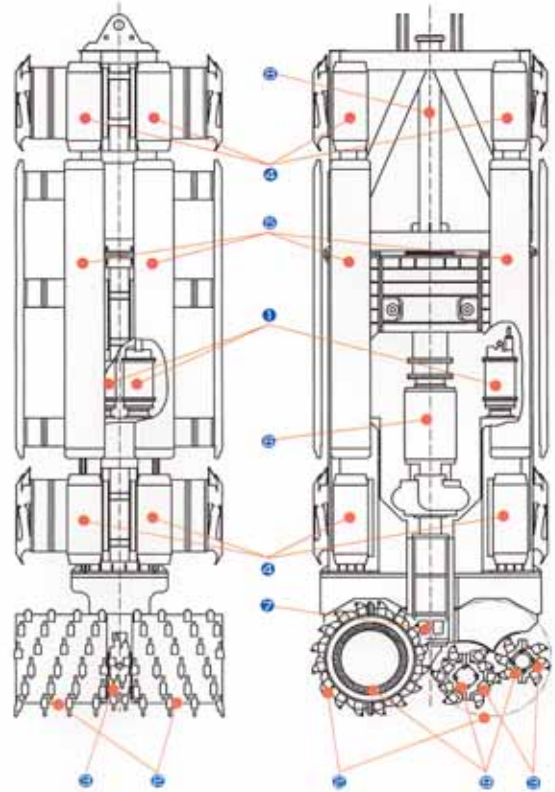


図-2. 掘削機EMX

掘削土を処理するプラントは、RC連壁と同様の土砂分離設備が施されるが、当工法の特徴である掘削土をモルタル骨材として再利用されることから、品質を左右する重要な要素となる。地質が配合決定する一番の要因であるが、プラント設備は掘削効率のみならず品質に対しても大きな要因と考えられる。

なお、泥土モルタルの比重は1.65前後と生コンクリートより軽く、安定液との置き換えがスムーズに実施されるように、打設前に溝壁を支持し得る程度に比重差を大きくとった良液に入れ替える。

### (2) 溝壁測定

掘削完了後、溝壁の出来形を確認するため超音波測定機を用いて溝壁測定を行う。掘削出来形は設計に限りなく近い形状が望ましく、最低でも精度1/500を要求される。

### (3) 掘削機移動・トレミー建込

掘削完了後、掘削機を移動して泥土モルタル打設用トレミー管を建て込む。一般に、トレミー建込本数は平面積2.5m<sup>3</sup>につき1本である。

### (4) 泥土モルタル製造

場内に設置した泥土モルタルプラント「DMP」に、試験練りで得られた配合に基づいてセメント、水、および掘削泥土を計量後混合攪拌して製造する。製造単位は1回2m<sup>3</sup>のバッチ方式であり、1バッチの所要時間は2~3分である。

現場条件等により当該プラントが設置できない場合には、生コン会社のように場外プラントで製造してアジテータ車を使って納品する場合もある。

場内で発生した掘削土を利用する泥土モルタルの品質はその場所の地質に依存されるものであり、そのため、着手前に施工エリアのボーリングなどの基礎機械で得られた試料を用いて試験

練りを実施して配合表を作成する。なおかつ、エレメント打設毎に試験練りを行い、微妙に変化する掘削土（骨材）に応じて着手前に得られた配合表を参考に、その時の配合を決定する。さらに、ピット内掘削土の性状が均一とは限らず、打設中においてもその時の状況に合わせて、集中操作盤（写真 - 1）から配合を微調整して泥土モルタルの品質を確保するようになっている。

試験配合報告書のサンプルを末尾添付。

### （5）泥土モルタル打設

泥土モルタルプラントで製造された泥土モルタルを、ポンプもしくはアジテータ車を使って所定の打設位置に送る。送られたものは、トレミー管により水中打設しながら連壁を下から築造していく。この時、RC連壁と同様、トレミー管の下端が泥土モルタル天端より2m以上根入りを確保して打設することが必要である。



写真 - 1 . 泥土モルタルプラント集中操作盤

### （6）H鋼建込

打設完了後、クレーンを用いてH鋼（芯材）を所定の位置に建て込む。この時、一般に1エレメント当たり数列の芯材になるため、スペースに余裕がある場合は、山留材等でウマを組み、芯材を予め地組みして建て込む。また、芯材延長が長く、途中ボルトによるジョイントが生じる場合でもスペースの許す限り地組みして建て込むことで、建込効率の向上を図れる。

建込手順は、先打設後芯材建込もしくは先芯材建込後打設の2通りがあるが、現場条件に合わせて手順を決定する。

## 3 . 適用事例

過去、当社において泥水固化法や場外プラントからアジテータ車で泥土モルタルを搬入して打設した実績はあるが、今回の場内プラントを使って掘削土再利用による泥土モルタル製造打設は初めてである。

初めて適用された工事は首都高速を地下に構築するための仮設土留め工事であり、2年ほど前に当社で施工した工事の並びで概要は以下の通りである。

工事名	首都高速道路大宮線O E 2 2（その4）トンネル工事
施主	首都高速道路公団
元方	大本・日東大都特定建設企業体
掘削機械	E M X 1 5 0（利根製）
工期	平成13年3月～平成16年3月
	このうち、当社施工期間平成13年10月20日～12月18日
住所	埼玉県さいたま市桜木町4丁目

表 - 1 . 施工数量

No	項目名	単位	数量
1	壁深度	m	G L - 4 4 . 5
2	壁厚	mm	9 0 0
3	壁延長	m	1 , 2 8 0
4	壁面積	m <sup>2</sup>	1 , 2 8 5
5	掘削数量	m <sup>3</sup>	1 , 2 5 3
6	泥土モルタル数量	m <sup>3</sup>	1 , 2 4 0
7	芯材形状	-	H-700×300×13×24
8	芯材数量	t	2 4 0

当工事は工区中央を市道が横断しており、市道を挟んで東側エリアでの施工であったが、前述の通り設備や施工法は従来のRC連壁施工とほとんど変わらず、そのため狭いエリアでの仮設配置を設計した。

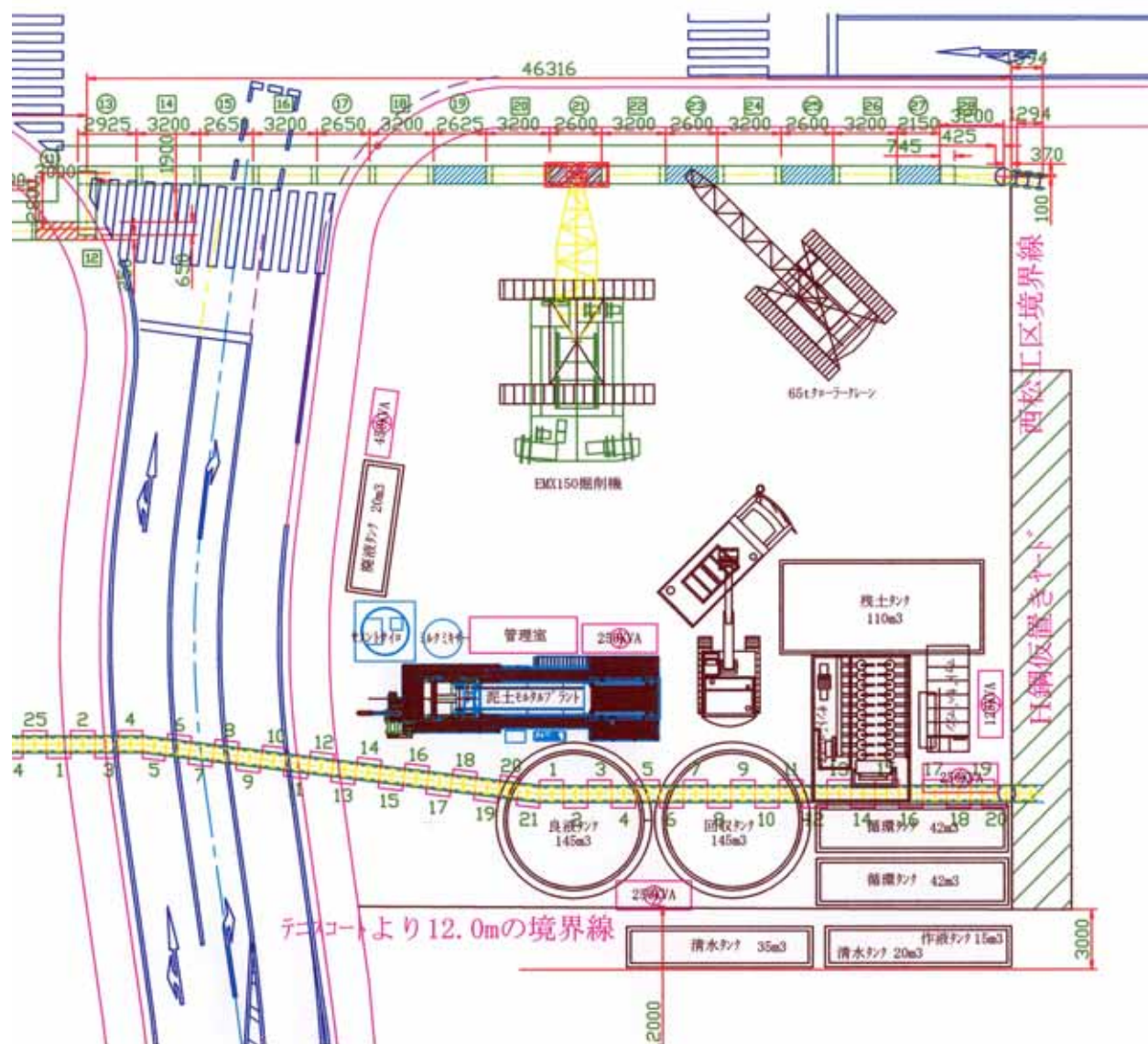


図 - 4 . 仮設配置平面図

上図は東工区の全体でエレメントNo. 19～28の10エレメント分に対する設備であり、実際には図面よりはるかに狭く感じるものである。プラント設備は施工エレメント数に関わらず必要であり、施工エレメント番号に応じて設備の移動はできない。

エレメント施工順番は原則として先行EL完了後後行ELになるが、諸条件により以下の通りとした(箱中の番号はエレメント番号)。

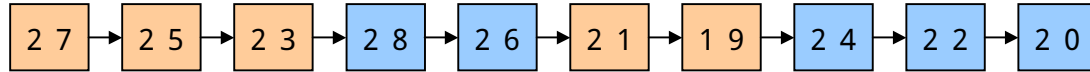


図 - 5 . 施工順番 (先行ELは奇数 後行ELは偶数)

計画段階より掘削工と構築工(芯材建込+モルタル打設)の並行作業を考えていたが、狭隘なエリアなため構築作業中一部掘削工を中断することがあった。掘削～打設までの所要日数は、先行EL後行ELともに平均3日位であった。

地質は主に砂質シルト、砂礫、シルトが互層になっており、シルト層での掘削は安定液の劣化とともにドラム粘着が多くなった。特に後行ELにおいては、両妻側がモルタルカッティングであるため安定液のゲル化が著しく、最終段階では劣化防止剤(pH調整)である重曹を頻繁に添加した。

製造された泥土モルタルはスラリーポンプ圧送で打設を行った。

芯材の建込については、当初1本(長さ27mと16mの2種類)単位で建て込む計画であったが、最初の1エレメント完了の後に隣工区のスペースを一部借りて地組みを行い、建込時間の短縮を図った。

#### 4 . 当工事の特徴

CRM工法自体歴史は未だ浅く、現場条件によって創意工夫が必要となってくる。そのため、以下に当工事の特徴として写真を交えながらいくつか紹介する。

##### (1) 継手清掃工

先行ELと後行ELの継手清掃は、後行EL掘削完了後EMX掘削機本体に加工物を取り付けて実施した。清掃器具として両妻側に、ワイヤーブラシおよびポンプ吐出を装着した。ワイヤーブラシ(写真-2)は切削面に付着した泥膜を削ぎ落とす役割を持たせ、ポンプ吐出(写真-3、4)は本体75kwの水中サンドポンプからの吸水を切削面に吹き付けて洗浄の役割を持たせた。



写真 - 2 . ワイヤーブラシ



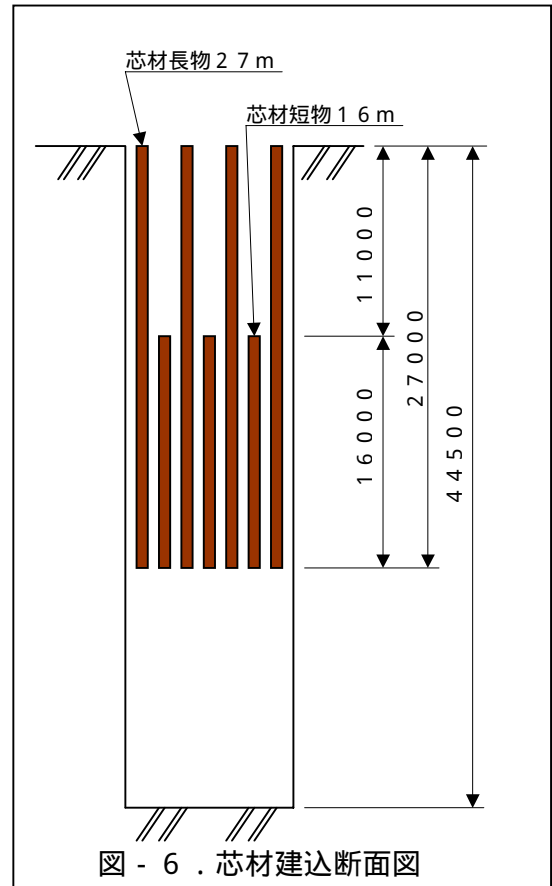
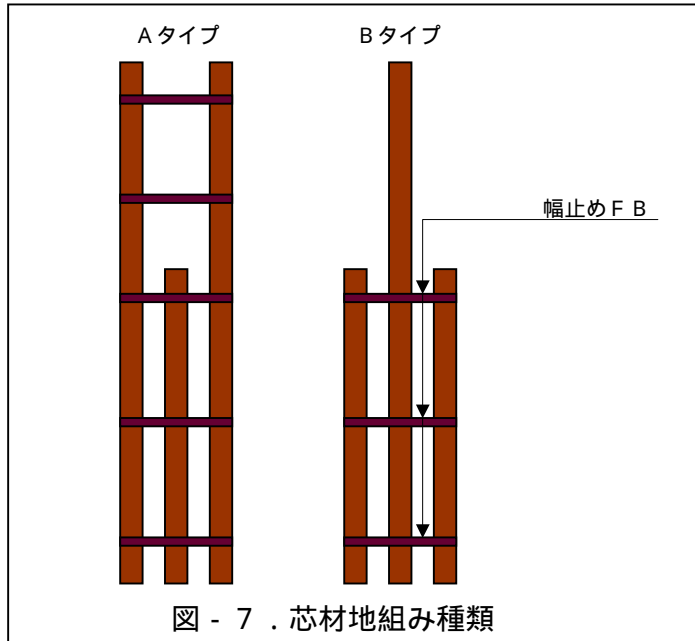
写真 - 3 . ポンプ吐出配管



写真 - 4 . ポンプ吐出口

**(2) 芯材建込**

芯材建込は前述の通り、地組みして建て込みを行った。芯材の列数は1エレメント当たり6本～7本であり、図6に示すように延長が2.7m物と1.6m物の代わり交りの設計になっている。すべての芯材を地組みすると総重量約29t程度となるが、当工事のエリア制約条件から建込相番クレーンは65tクラスまでしか投入できず、そのため65tクレーンの能力範囲内に治まるように図7に示す2種類に分割して地組みを行い設計通りに建て込んだ。



芯材が7本入る箇所については、2種類の地組み芯材と残り1本建込で対応した。地組み全長が2.7mになり、クレーンのブーム長39mをもってしても巻き代に余裕はあまりなかった。



写真 - 5 . 芯材建起こし(その1)



写真 - 6 . 芯材建起こし(その2)

芯材の間隔は芯々で450mmピッチと600mmピッチの2種類があり、芯材建込には専用の吊り治具を用いたが、建込精度を限りなく鉛直でなければトレミー管(150mm)の建込・引き抜きに悪影響を及ぼすだけでなく、特に後行EL掘削時芯材に当たって掘削不可能になることが予想される。そのため、写真-7に示すような木製スペーサーを芯材妻側に取り付け建込込んだ。また、芯材間には先に建込込む芯材の両側に鋼製ガイドを溶接で止めて、後から建込込む芯材間との設計クリアランスを確保するようにした。

### (3) トレミー管建込

当工事では、前述の通り芯材を先に建込込んでその後、泥土モルタル打設を採用した。この理由の1つとして、打設を先にした場合、打設のためのトレミー列数が2列で済むだけでなく芯材間のモルタル回り込みも満足されるが、モルタル硬化によりその後の芯材建込に支障をきたす恐れがあるため芯材先入れとした。そのため、芯材間の泥土モルタル回り込みを十分なものにする方法が必要になってくる。その解決策として、図-8のようにすべての芯材間をトレミー管打設してまんべんなく均一にモルタル充填することとした。当然ながら打設中の検尺から、すべての芯材間の打ち上がりりが平均的に上がることが確認できた。また、打設数量においても設計数量以上を満足することができた。

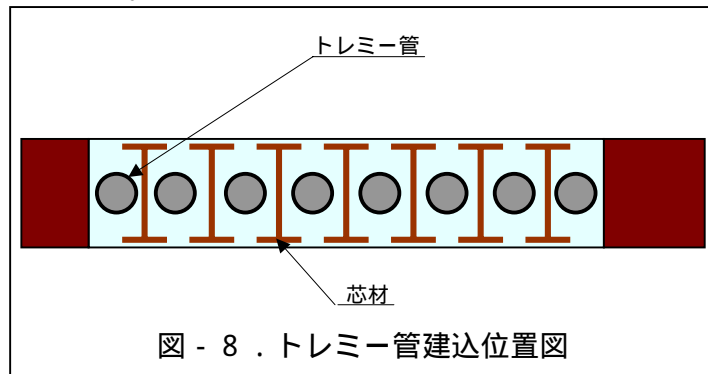


図-8. トレミー管建込位置図

なお、今回用いたトレミー管は従来のねじ込み式でなく、専用ワイヤーを差し込むだけでジョイント可能なものにした。これにより、継ぎ足し・引き抜きに掛かる所要時間を短縮することができた。

### (4) 打設分配機の採用

上述の方法により、トレミー管の列数が6~8本になり、すべてのトレミー管から同時に打設することが重要である。アジテータ車を使って実行した場合、最大8台のアジテータ車が必要になり狭隘な施工現場では不可能



写真-7. 木製スペーサー



写真-8. トレミー管引き抜き



写真-9. トレミージョイント部

となる。そのため、泥土モルタルプラントから配管でポンプ圧送を行い、下の写真に示す分配機により打設した。



写真 - 10 . 分配機による泥土モルタル打設

分配機から各トリー管への配管にはエアコンプレッサによりゲート開閉可能になっており、各々の芯材間の打ち上がりを調整できるようになっている。

泥土モルタルプラントの能力は、前述の通り1バッチ2 m<sup>3</sup> を所要時間2～3分で製造する。当工事の1エレメントの設計打設量は約125 m<sup>3</sup> であり、バッチ数に換算すると63バッチ程度で所定の打設量を確保できる。実績では10エレメント全数に対して63バッチ以上を確保しており、モルタル充填面から評価すれば良質な泥土モルタル壁を築造したものと考えられる。



写真 - 11 . ユンボによる掘削土の投入



写真 - 12 . 一軸圧縮試験



また、一軸圧縮強度の設計強度  $5 \text{ kg/cm}^2$  に対して、これまでの時点で以下の試験結果を得られており、強度面からの評価においても品質を満足する結果となっている。

一軸圧縮強度（1週目）  $\gamma = 4 \text{ kg/cm}^2$  以上

一軸圧縮強度（4週目）  $\gamma_8 = 6 \sim 13 \text{ kg/cm}^2$

一般に泥土モルタルを先に打設する場合、スムーズな芯材建込を実現するために硬化速度を遅らせる遅延剤を泥土モルタルに添加するが、それが原因でモルタルのブリージングを促進する結果が生じ、開削後、連壁にウォーターポケットを発生させる事例が過去に報告されている。当工事は芯材を先に建て込むことから遅延剤等の添加剤を一切使用しなかったため、ブリージング率もすべてのエレメントの試験結果でほぼゼロという結果を得られ、溝底から打設天端まで一律のモルタル壁が築造されたものと考えられる。

再利用された掘削土の転用率は、泥土処分量および廃液処分量から判断して約  $68\%$  であり、標準転用率  $55 \sim 75\%$  の範囲内に収まった。転用率は土砂分離設備や地質に大きく左右されるものであるが、このことも経済性の範囲内で良質な泥土モルタル壁を築造できたと考える。

## 5. 考察

以上を踏まえ、今回の工事を通じて以下の点について問題点も含め考察する。

### （1）打設・建込の施工順番

計画当初、公団の希望とともに打設に手間を掛けない「先打設後芯材建込」方法で検討していたが、施工エリアの狭隘さや打設モルタル硬化に伴う芯材建込挿入時のトラブルを理由に「先芯材建込後打設」を採用した。他工区において当方と異なる「先打設後芯材建込」で行ったところがあるが、先行E L時の芯材建込の鉛直精度を確保できず、隣の後行E L掘削時掘削本体が途中の芯材に当たり施工不可能となった。また、遅延剤を添加することで開削後の壁の品質についてもまだ課題が残されているものと想定される。

施工条件に問題がなければ、打設手間は覚悟しなければならないが「先芯材建込後打設」が望ましいと云える。

### （2）泥土モルタルと安定液の比重差

一般に打設中において、溝内安定液と打設モルタルの相対比重差が大きい程、モルタルとの置き換えは良好であり途中でスライムを咬む心配もない。泥土モルタルの比重は  $1.65$  前後が標準であり、それを基準にすれば打設前に比重の小さい安定液で溝内を満たしておくことが重要になる。このことは掘削底浚え後、良液置換を全量置換で実施すべきことを意味しており、特に安定液が劣化する後行E Lでは必要条件となる。だからと云って、比重1の水に近い安定液であれば、当工事の後行E Lで実際に起こったが、良液置換後の安定液比重差により掘削壁面の剥離崩壊を招くことになる。地質条件に依存するが、経験的に良液比重は  $1.05 \sim 1.08$  が望ましいと思われる。

### （3）原土槽の有無

場内に設置された泥土モルタルプラントの製造過程を、掘削土（原土）の流れで簡略すると図-9のようになる。

図のように、バックホーによる泥土モルタルプラントへの掘削土投入には2通りあり、1つは土砂分離装置および遠心分離機からの処理土を直接泥土モルタルプラントへ投入する方法（フロー-1）であり、もう1つはその中間に原土槽を組み込み一度原土槽に盛り変えてから投入する方法（フロー-2）である。フロー-1の方が中間層に投入する手間がないので効率は良いが、以下の3点に関する欠点が明らかになった。

1点目は残土槽が満杯になった時点で泥土モルタルを製造しない限り掘削不可能となることであり、掘削工と構築工（芯材建込+打設）が工程上並行作業となる場合、残土槽のストック量

が工程に悪影響を及ぼす可能性がある。

2点目は品質面で骨材となる掘削原土を出来得る限り均一にする必要があり、特に複数の土質で構成された地層の場合などはバックホーで槽内攪拌を入念に行わなければならない。当該作業を残土槽内で行うことは可能だが、同時に掘削している場合経時的に処理土の種類が変化するため半永久的に槽内掘削原土を均一にすることはできない。

3点目は掘削原土の転用率によるが残土処理として搬出する量を見誤った場合、最終E Lにおける泥土モルタル製造に不足が生じ客土購入で対処しなければならないことである。すなわち、掘削原土のストック容量を許せる限り大きく取ることであり、2エレメント分のストック容量が望ましい。

原土槽は以上の欠点を解決してくれるものであり、プラントヤードの仮設計画段階から考慮しておく必要がある。当工事では、作業ヤードが狭隘なため最初から設置することは出来なかったが、工事中盤から24m<sup>3</sup>クラスの角タンクを原土槽として追加設置した。

なお、土砂分離設備はサンドコレクターとマッドセパマシンの組み合わせで構成したが、土砂と安定液の分離能力が高く掘削原土の確保や必要数量の予測をし易く、上述の欠点をいくらか緩和することができた。

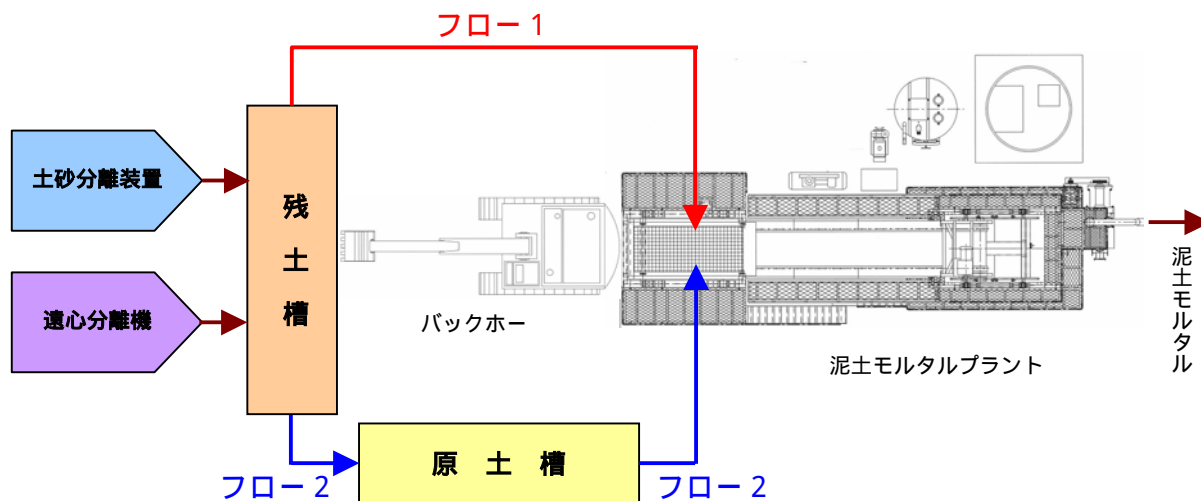


図 - 9 . 掘削土供給ルート

#### (4) トレミー管の根入れ長

最終E L打設時において、モルタル天端高約G L - 15m地点でトレミー管1列が抜けなくなることが発生した。この列は後行E Lの妻側の1列であり、芯材と地山の上に建て込まれたものである。

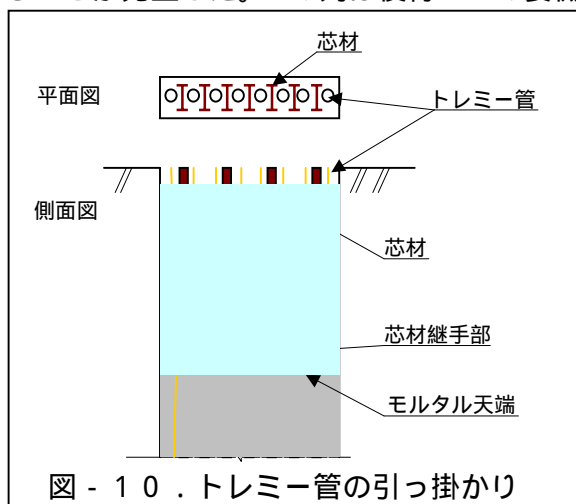


図 - 10 . トレミー管の引っ掛かり

間隔は450mmであり、引っかかった原因はトレミー管のアゴが芯材継手のボルト山に引っかかり抜けなくなったためと考えられる。トレミー管の外形寸法で約200mmありクリアランスは充分と思われるが、この時のモルタル天端からトレミー管下端までの根入れ長は約1.6mあり、モルタルの硬化によりトレミー管が拘束され自由が効かずボルト山に引っかかったのであろう。

品質的に根入れを充分取ることは良いことであるが、逆にモルタル硬化の影響を受ける面積が

広い分拘束されてトレミー管のクレーンによる上げ下げも効かなくなりやすいため、最大根入れ長の管理が重要と思われる。さらに、今回使用したトレミー管のジョイントは前述のようにワイヤー式であるため屈曲しやすく、鉛直方向の凹凸がボルト山などの突起物に接触しやすい状況となりやすい。

経験を踏まえ、最大根入れ長として10m程度が適当と思われる。

#### （5）泥土モルタルの品質管理

当工法は現地掘削土を再利用するため、生コンクリートと違って品質をどう確保するかが大きなテーマとなる。骨材となる掘削土はその土地の地質によるものであり、（3）で述べた混ぜ具合や掘削土そのものの性質で出来具合が決定されるとすれば、それをどう運用管理していくか明確にされないまま大きな課題として残った。具体的には、試験練りを行って一般評価はなされるものの製造の度にプラント運転者（泥土モルタルプラントメーカーの社員）が投入される原土の状態を見て、感覚的に原土や水の配合量を変化させている。つまり、一人の運転管理者のセンスで品質が決定されることになり、もしこの管理者が原土の変化を見過ごした場合品質の均一さは保証されないことになる。コンクリート技士のように公的資格を必要とするわけでもなく、現段階においては製造技術など理論化されていないが、とはいうものの客先に対しては品質保証が納入条件になるため、当社として実績を重ねるとともに技術情報を積極的に入手することが望まれる。

## 6. おわりに

泥土モルタルの場内製造による連壁は初めてであったが、現地スタッフの工夫や狭隘なヤードの中ででき得る限り掘削を進めたことで、あらゆる面において無事完工することができたと思う。

今後、RC連壁からCRM工法などにみられる掘削土を再利用した泥土モルタル工法に置き換わっていくことが予想される。今回のCRM施工で一般的な施工専門技術は修得できたと思うが、工法自体歴史が浅く、今後いくつかの課題が発生すると思われるが、特に出来上がりの連壁品質面でその課題に直面することであろう。

以上