

プレキャストパネルを用いたトンネル接合部の覆工工法

赤坂 雄司 盛 春 雄^{*1}
志 田 孝 司^{*1}

要 旨

新豊浜トンネルは旧トンネルと、トンネル内で薄い交差角度（15°）で接合しており、開通後、両旧トンネルの崩落側出口を閉塞した後に「中壁部」と「打増し部」の覆工を行った。安全で迅速な施工を最優先に考え、養生期間が不要で、片側通行を確保しながら施工できることにより、比較的小さなパネル部材を用いたプレキャストパネル工法を採用した。あらかじめ基礎壁を構築して、支保鋼材を建てておき、1枚ずつ専用のハンドリングマシンを用いて貼り付けた。通常のセントルを用いれば、数ヶ月にわたって、終日、片側車線の規制を必要とするが、短期間の夜間規制のみで施工し、一般通行車両への影響を最小限に抑えることができた。

キーワード トンネル／接合部／プレキャストパネル／覆工工法／中壁部／打増し部

目 次

- | | |
|----------------------------|------------|
| 1. はじめに | 4. 中 壁 部 |
| 2. 概 要 | 5. 打 増 し 部 |
| 3. プレキャストパネルと
ハンドリングマシン | 6. お わ り に |

A TUNNEL LINING METHOD OF TUNNEL CONNECTION USING PRECAST PANNELS

Yuji AKASAKA
Khoji SHIDA

Haruo MORI

Synopsis:

New Toyohama Tunnel was connected in the angle of 15° with an existing tunnel. A center diaphragm was constructed and the thickness of lining was increased, after completion of new tunnel and the collapsed side exit of both existing tunnels was closed. We adopted the precast panel construction method using comparatively small panel members, because that method made it possible to construct those safely and rapidly with keeping one way traffic and any curing period for in situ concrete was not required. If conventional construction method using a center were applied, it would have been required to construct those for several months with restriction of one way traffic all day. The precast panel construction method, however, required only little restriction in the night and it could minimize the influence on public traffic.

* 1 北海道支店 豊浜トンネル作業所

1. はじめに

平成8年2月の岩盤崩落事故により被災した豊浜トンネルは、崩落した急斜面部を迂回し、隣接するセタカムイトンネルとをバイパストンネルで結び、一本の新豊浜トンネルとして、平成13年2月に被災から5年を経過して、全面通行が開始された。

新トンネルと両方の旧トンネルは、トンネル内で薄い交差角度(15°)で接合しているが、超偏平大断面となるこの部分の掘削は、車両の通行を確保したままプロテクターを用い、緩みを最小範囲に抑える加背割りで行った。^{1), 2)}

また、接合部の覆工は新トンネル開通後となったため、一般通行車両の規制をできるだけ少なくすることが求められた。

本稿は、新トンネル開通後、両旧トンネルの崩落側出口を閉塞した後に実施した、プレキャストパネルを用いたトンネル接合部の覆工工法について報告するものである。

2. 概 要

2.1 トンネル接合部

新豊浜トンネルと旧トンネルの平面図を図-1に示す。接合部の覆工工法の選定に当たっては、従来のセントル工法、大版のプレキャストパネルを用いる工法、ならびに本採用工法等を比較検討した。その結果、安全で迅速な施工を最優先に考え、養生期間が不要であること、片側通行を確保しながら施工できることなどにより、比較的小さなパネル部材を用いたプレキャストパネル工法を採用することとした。

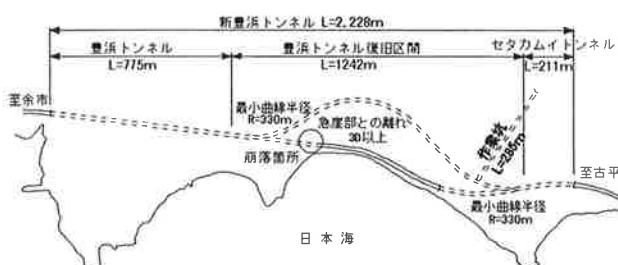


図-1 新豊浜トンネルの平面図

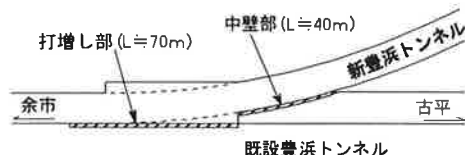


図-2 豊浜トンネル側接合部

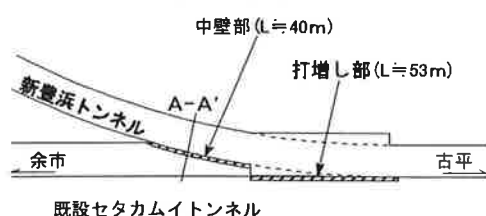


図-3 セタカムイ側接合部

豊浜側、セタカムイ側の接合部の平面図を図-2、図-3に示す。

なお、接合部は、「中壁部」および「打増し部」と称する部分に別れている。トンネル接合部の超偏平断面を標準断面に戻すための手段が中壁の構築であり、この中壁部は両接合部とも延長 $L=40\text{m}$ で、厚さ 45cm のRC構造となっている。

また、打増し部は、豊浜側が延長 $L=70\text{m}$ 、セタカムイ側が延長 $L=53\text{m}$ であるが、新設トンネル接合部の覆工が 40cm であるのに対して、既設セタカムイトンネルの覆工厚さは 30cm 。また既設豊浜トンネルは在来工法によるものであったため、これを 10cm 分だけ覆工厚さを打ち増して接合部の構造的安定を図るものである。

2.2 覆工工法

中壁部は、厚さ 45cm のRC構造であり、プレキャストパネル設置後、背面に鉄筋を組立て、コンクリートを打設する。また、既設トンネル覆工と中壁の間には、エアモルタルを打設し、トンネル接合部の安定を図る構造となっている。

一方、打増し部は、それぞれのトンネルの覆工を 10cm 打ち増すのものであり、プレキャストパネル(SEE Dフォーム)をケミカルアンカーで既設覆工に固定し、間隙に無収縮モルタルを充填して補強する構造となっている。中壁部、打増し部の構造を図-4、図-5に示す。

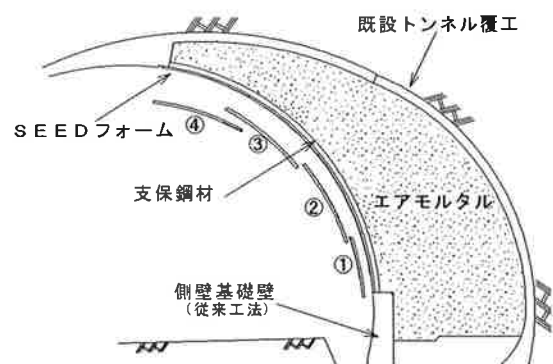


図-4 中壁部の構造

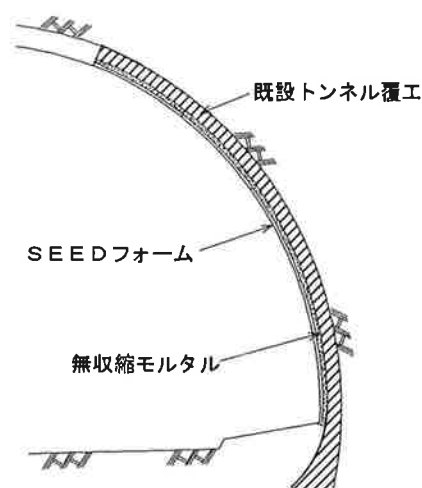


図-5 打増し部の構造

3. プレキャストパネルとハンドリングマシン

3.1 プレキャストパネル

中壁部の覆工に用いたプレキャストパネルは、周長約7.4mを円周方向に4分割し、標準パネルの寸法は1.5m×1.2m(216kg/枚)と1.5m×2m(360kg/枚)の2種類、厚さは50mmである。プレキャストパネルの概要を図-6に、またプレキャストパネルの仕様を表-1に示す。なお、打増し部は周長約7.5mを円周方向に4分割し、標準パネルの寸法は1.5m×1.6m(288kg/枚)と1.5m×2.5m(450kg/枚)の2種類とした。

このステンレスファイバーを混入したプレキャストパネルは「SEEDフォーム」と称し、(財)土木研究センターの技術審査証明を取得した高耐久性埋設型枠で、背面のコンクリートを打設する側には、後打設コンクリートとの一体性を確保するために目荒らし処理を施してある。

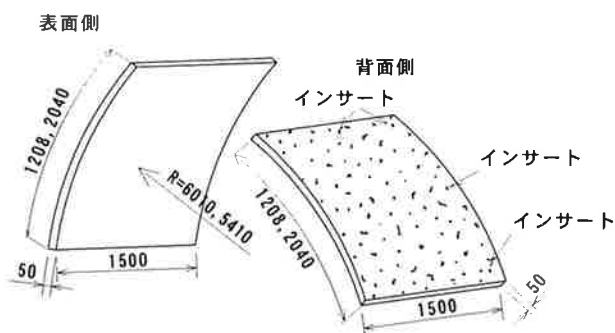


図-6 中壁部に使用したPCaパネル(SEE Dフォーム)

表-1 SEE Dフォームの仕様等

項 目		数 量、他
基 材	水セメント比	30 %
	モルタル	単位セメント量 685 kg/m ³
ステンレスファイバ-混入量		2.5 vol%
特 性 値	圧縮強度	70.0 N/mm ²
	曲げ強度	12.0 N/mm ²
	弾性係数	3.5×10 ⁴ N/mm ²
	備 考	・背面は打継ぎ面処理を実施。 ・質量: 120kg/m ² ・技審証 第0607号

3.2 ハンドリングマシン

今回、PCaパネルの設置のために、0.8m³級のパワーショベルのベースマシンに取り付ける、専用のアタッチメントを製作した。これには、回転、スライド、首振りの機能を持たせた。また、プレキャストパネルのアタッチメントへの取付けには、2本のボルトを用いた。駆動は油圧とし、設置時の微調整が容易となるように、油量を絞って用いた。アタッチメントの形状・寸法を図-7に示す。また、図-8にはベースマシンとアタッチメントを、

表-2にはアタッチメントの仕様等を示す。

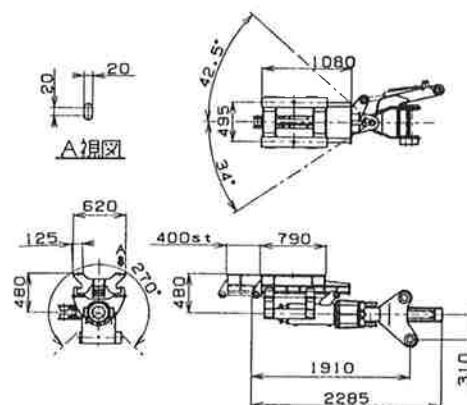


図-7 アタッチメントの形状・寸法

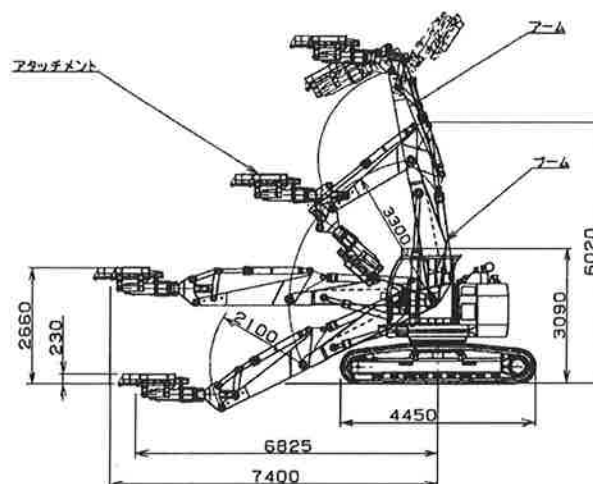


図-8 ベースマシンとアタッチメント

表-2 アタッチメントの仕様等

		仕 様
アタッチメント	全 長	2285 mm
	リフト角	上45.5度、下106.5度
	前後スライド量	400 mm
	スイング角	左42.5度、右106.5度
	回 転 角	左右135度、計270度
作業範囲	最大到達高さ	7965 mm
	最大到達半径	7800 mm

4. 中壁部

新・旧トンネルと中壁の関係を図-9に、また中壁部の施工フローを図-10に示す。

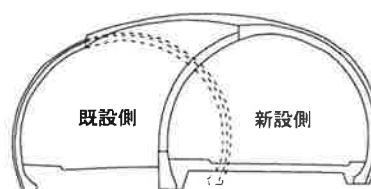


図-9 新・旧トンネルと中壁の関係



図-10 中壁部の施工フロー

4.1 基礎壁及び支保鋼材

天井部の受けアンカーの設置は、プロテクターのある時期に実施したが、側壁基礎壁の構築と支保鋼材の設置は、新トンネルへの通行切替え後の昼夜片側通行期間中に、またSEEDフォームの取付け～コンクリート打設は、全面交通解除後に夜間の片側通行規制を行って実施した。

中壁部の下部には現場打設の基礎壁を構築した。これは、支保鋼材の位置調整、ならびに歩道部と車道部の仕上げを迅速にして、一般車両への交通解放を少しでも早くするためである。

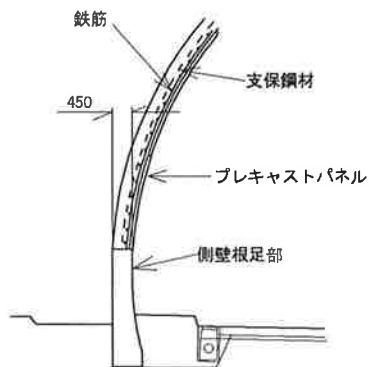


図-11 中壁の構造

支保鋼材は、ユニック車を用いて、あらかじめ天端に設置した受けアンカーに固定し、根足部で高さ・位置の調整を行って、径間パイプで間隔を保持しながら順次設置した。写真-1に支保鋼材設置状況を示す。



写真-1 支保鋼材設置状況

4.2 SEEDフォームの設置

取付け機(ハンドリングマシン)と高所作業車、ユニック車の機械の配置を図-12に示す。SEEDフォームは当日設置予定分を、設置の順番通りに並べられて専用のラックに梱包した状態で、ユニック車で現場に搬入した。ユニック車の荷台から、自車のクレーンでSEEDフォームを1枚ずつ荷台の後方に吊り降ろし、アタッチメントにボルト2本で固定した。

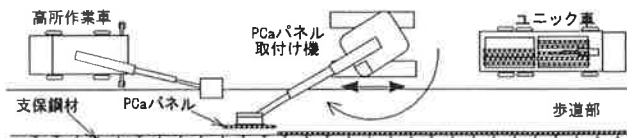


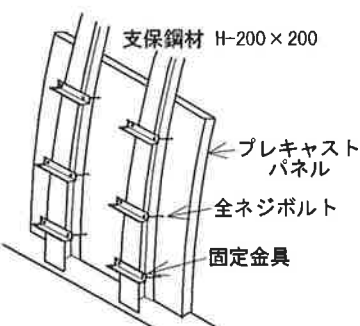
図-12 機械配置

SEEDフォームの設置は、操縦席の位置の関係上、ハンドリングマシンの左側で設置作業をする必要があったが、オペレーターと設置位置を調整する指示者とは、無線を用いて意志の疎通を図った。

中壁部のプレキャストパネルは、1段目と2～4段目のパネルは寸法が異なり、設置手順は、1段目の最下段を先行して設置し、2段目以後は1ブロック分の完了となる12枚/日ずつを基本にして設置した。

SEEDフォームの支保鋼材への固定要領、および標準部材の取合いを図-13、図-14に示す。

SEEDフォームには、あらかじめインサートが埋設されており、全ネジボルトを取付け、固定金具をナットで締めて固定した。



なお、標準部材は長さはL=1.5m、取付けの支保鋼材は2本であるが、各ブロックに1枚ずつ長さ

がL=2.1m程度の役もの部材があり、それには3本の支保鋼材を設置して固定した。

また、パネルの上下左右は、各パネルの出入りや開きなどの設置精度の確保とコンクリート打設のために、隣接パネルの表側をプレートで連結した。なお、このプレートは、コンクリートの打設後に取外した。



図-14 標準部材の取合い

SEEDフォームの設置は、豊浜側、セタカムイ側の2パーティーで同時に進めた。施工実績は次の通りであった。

・豊浜側 96枚(296m²)/9日 =10.7枚

・セタカムイ側 96枚(295m²)/8.5日 =11.3枚

計 192枚(591m²)/17.5日=10.97枚

午後9時から午前6時までの夜間規制時間内においては、段取り・片づけを除いて実作業時間は6.5時間であり、平均すると1パネル当たりの設置時間は40分/枚となる。ただし、パネルの取付けだけを見れば、10分/枚程度で終了したものもあった。

なお、1箇所には96枚のSEEDフォームを設置したが、パネル設置箇所はカーブ区間であり、さらに縦断方向の勾配もあったため、目地を合わせるのに若干苦労した。



写真-2 SEEDフォームの設置状況(豊浜トンネル側)



写真-3 背面側での固定状況

4.3 コンクリート打設及びエアモルタルの打設

SEEDフォームを設置したのち、鉄筋の組立や簡易型枠等の設置作業を背面で行った。

支保鋼材には径間パイプが設置されていたため、これを段取り筋代わりにして、鉄筋を組み立てた。また、コンクリートは鉛直高さにして約2.5mずつ、3回に分けて打設した。

また、目地部の処理は、SEEDフォーム間の目地の開きの大きい部分のみ、背面からモルタルを塗布して処

理した。

コンクリート打設完了後、約100m³/日でエアモルタルを1ヶ所で約2300m³打設し、最後に妻部のコンクリートを打設して、閉塞工を完了した。

5. 打増し部

打増し部の施工フローおよび構造を図-15、図-16に示す。

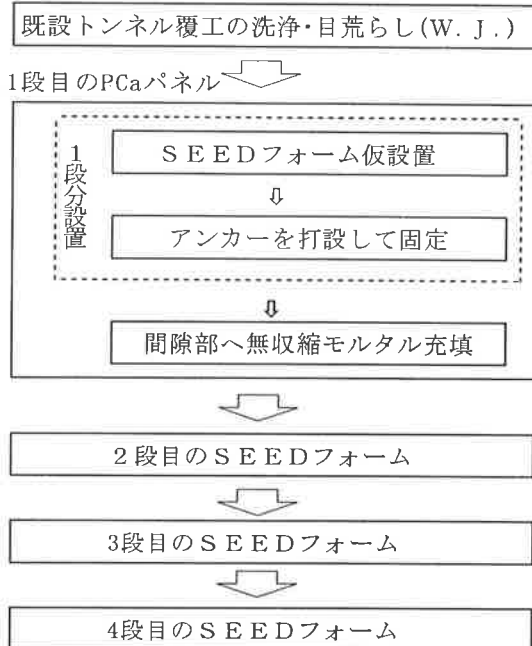


図-15 施工フロー

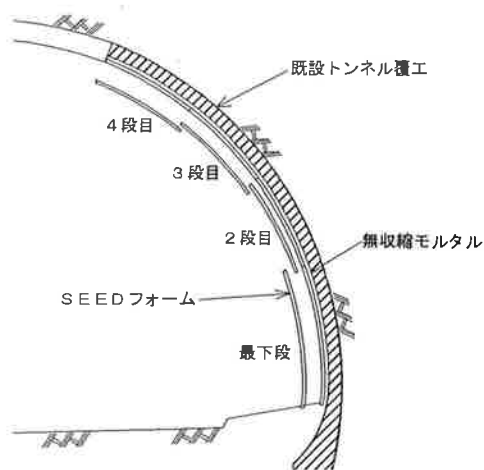


図-16 打増し部の構造

5.1 ウォータージェット(W. J.)による目荒らし

旧トンネル覆工の洗浄・目荒らしは、圧力150MPaのウォータージェットを用いて実施した。これは覆工表面の研りを目的としたものではなく、表面の脆弱部の除去や清掃を主に考えて実施したものである。

実績では、1050m²の既設トンネル覆工面を2基のジェットガンを用いて、4日程度で処理を終えている。

5.2 S E E Dフォームの設置

打増し部に設置したS E E Dフォームは、中壁部が背面からの固定作業であったのとは異なり、表側からのみの作業であった。このため、S E E Dフォームには貫通孔を設け、位置合わせが終わった後、ケミカルアンカーを既設トンネル覆工に打設して、プレートを通じて確実に固定できる方法とした。

なお、1～3段目までは、無収縮モルタルを上部の開口から自然流下により、また最上段は閉塞された間隙への充填となる。それぞれのケースで、無収縮モルタルの側圧を荷重として必要なアンカーの径・本数を求め、1パネル当たり4～6箇所とした。

打増し部に使用したS E E Dフォームを図-17に示す。

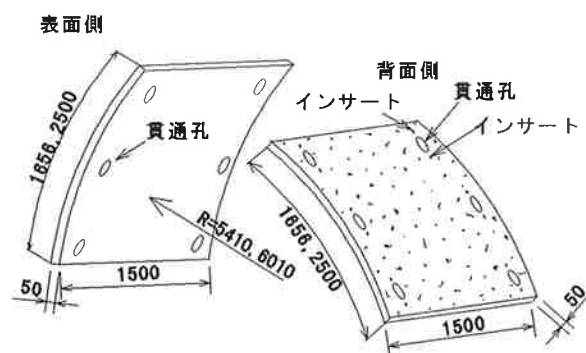


図-17 打増し部のS E E Dフォーム

使用したアンカーは、同じ引き抜き耐力を得るのであれば、機械式のものより穿孔径が小さいケミカル式のアンカーを用いることとした。また、冬の北海道での工事であり、寒冷地用を用いたが、トンネル内の気温は、 $-5\sim 5^{\circ}\text{C}$ であったため、試験的に数本打設して、気温と硬化時間・引き抜き耐力を把握した。この結果、打設後30分ではほぼ所定の引き抜き耐力が得られることがわかった。なお、錆びにくいステンレス製のボルト・ナット、プレートを用いた。

ケミカルアンカーによるS E E Dフォームの固定要領を図-18に、ケミカルアンカーの打設状況およびケミカルアンカーのボルト径を写真-4、表-3に示す。

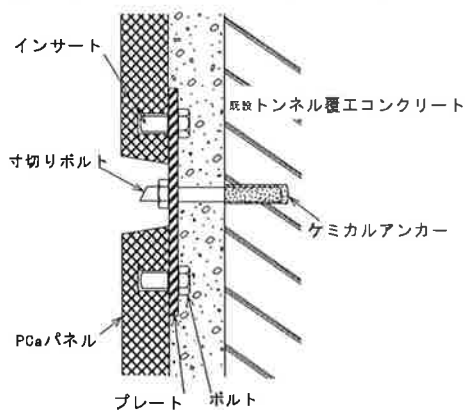


図-18 ケミカルアンカーによる固定要領



写真-4 ケミカルアンカー打設状況

表-3 ケミカルアンカーのボルト径

	ボルト	穿孔径および穿孔長
4段目	M16	穿孔径20mm, 穿孔長130mm
2, 3段目	M12	穿孔径16mm, 穿孔長100mm
最下段	M12	穿孔径16mm, 穿孔長100mm

※寒冷地用を使用した。

1段目のS E E Dフォームは地上での穿孔・打設であり、足場も良く、安定した姿勢で作業できたが、2段目より上では、高所作業車のゴンドラ内からの作業となり、また、横向きから斜め上方向への打設となって、作業性は悪くなった。

また、既打設のFRP補強ボルトに当たって、ケミカルアンカーが打設できない箇所は、脇にS E E Dフォームを直接穿孔して打設した。

S E E Dフォームの設置は、中壁部と同じ設置機械、機械配置で実施し、豊浜側、セタカムイ側の2パーティードで同時に進めた。

両打増し部の施工実績は、次の通りであった。

・豊浜側 192枚(533m^3)/22日=8.7枚

・セタカムイ側 140枚(404m^3)/20日=7.0枚

計 332枚(937m^3)/42日=7.9枚

実作業時間6.5時間では、平均すると1パネル当たりの設置時間は57分/枚であった。ただし、スムーズに設置ができたものでは、15分/枚程度の時もあった。

なお、中壁部は曲線区間であったのに対し、打増し部は直線区間であった。このため、目地を合わせるのは中壁部に比較して容易であったが、既打設の補強FRPボルトが邪魔になって頭部を切断したり、ケミカ



写真-5 打増し部の設置状況(豊浜トンネル側)

カルアンカーを打設しながらの設置作業であり、また後工程の無収縮モルタルの充填のための目地のコーキングを行いながらであったため、1枚あたりでは中壁部より時間を必要とした。

5.3 無収縮モルタル

無収縮モルタルの配合を表-4、ミキサとポンプの仕様を表-5に示す。

使用した材料は、セメント、細骨材、急結性混和材(剤)をプレミックスした製品(荷姿:25kg袋)で、現場では水を加えて混合・攪拌すれば良い状態となったものである。今回使用したものは、緊急・寒冷地用で、硬化時間(可使時間)が短く、時間調整のためにセッター(遅延剤)をあらかじめ水に溶解させて使用した。なお、この材料は、室内試験では、養生温度0℃の時、材齢28日で40N/mm²以上、養生温度-5℃の時、材齢28日で30N/mm²以上の強度発現が確認されているものであった。ただし、硬化前に凍結させた場合は、強度発現は期待できない。

また、実施工前にセッター添加量を決める目的で、試験練りを実施したが、実施工では、練りまぜ量の違いやミキサの周囲に付着したモルタルの影響などによって、硬化時間(可使時間)が早くなる傾向にあるため、施工時にも硬化時間のチェックが必要であり、場合によっては、セッター水を多くする等の処置が必要である。

表-4 無収縮モルタルの配合

Jp- t 流下 時間 (秒)	水・結合材 比 W/C T	単位質量 (kg/m ³)			凝結 調整剤 Ad
		セメント系 硬化剤CT	砂 S	水 W	
8±2	44	650	1300	286	CT×0.1%
備考	・セメント系硬化剤;硬化剤と砂の重量比=1:2 ・硬化開始時間が60分程度となるように調整。 ・プレミックスタイプの寒冷地用。				

表-5 ミキサとポンプの仕様

	仕 様
(グラウト)ミキサ	混 練 量
	2 0 0 ℓ
	回 転 数
(グラウト)ポンプ	7 5 0 r. p. m
	モーター
	3. 7 kW
(グラウト)ポンプ	吐出能力
	1. 5 ~ 6 m ³ /hr
	型 式
(グラウト)ポンプ	スクイズ式
	モーター
	7. 5 kW

無収縮モルタルの充填では、先行して現場練りのセメントミルクを圧送した。

充填方法は、最下段、2、3段では、上部の開口からの自然流下で行い、開口部のない最上段(4段目は)、充填孔から注入する方法で行った。1回の充填は、SEEDフォームの高さと施工目地で囲まれた範囲となり、ま

たミキサや配管内の詰まりも心配であったため、練り始めから充填終了までの時間が3時間以内となるように計画した。充填実績としては、2~3m³/回ずつ程度であった。

水平目地、鉛直目地、およびケミカルアンカーのナット部等は、樹脂系材料でコーキング処理した。

なお、開口部のない最上段(4段目は)への無収縮モルタルの充填は、注入ホースの先端部分に圧力計を取付け、所定の圧力内に収まるように管理して行った。

また、確実な充填のため、最後に手押しポンプを用いて小さな空隙部分への充填を行った。

施工結果は、SEEDフォームと既設覆工との間隙が設計の50mmより大きい箇所もあり、トータルでの実充填量は設計量の1.13倍程度であった。



写真-6 無収縮モルタルの充填状況

6. まとめ

今回のSEEDフォームを用いたトンネル接合部(中壁部、打増し部)の施工結果等をまとめると次のようになる。

- ・取付け機は、アタッチメントの部分に回転、首振り、スライドの機構を持たせたが、上下動や旋回はベースマシンによるものであった。もう少し自由度があって、調整量が多いとさらに使い勝手は良かったものの、ほぼ満足できるものであった。
- ・パネルは、寸法が1.5m×1.2~1.5m、質量で200~400kg程度で比較的扱い易い大きさ、質量であった。
- ・SEEDフォームの設置時間は、最も早いものでは、設置だけの時間が10分/枚という時もあったが、平均すると中壁部で、40分/枚、打増し部で57分/枚であった。
- ・SEEDフォームの設置精度として、パネル間の目開きをチェックしたが、中壁部の鉛直方向で5~6mm、水平方向で2~3mm、打増し部のは鉛直方向で5~6mm、水平方向で3mm程度であった。
- ・今回の接合部の覆工は、海岸に近い場所での厳冬期の夜間施工であり、トンネル内とは言え、風が吹き抜け

て、かなり温度が下がることが予想され、ケミカルアンカーの硬化や充填モルタルの硬化不良等が懸念された。しかし、トンネル坑口付近は接合部よりも気温が下がったものの、凍結等のトラブルなく施工できた。

- ・当初の予定通り、夜間の片側通行規制のみで、中壁部、打増し部ともに施工を完了することができた。

7. おわりに

ここまで、プレキャスト型枠(S E E Dフォーム)を用いたトンネル接合部の覆工工法について述べてきた。通常のセントルを用いた覆工工法では、それぞれの接合部へのセントルの設置・解体時に全面通行止めが必要であり、さらに数月間にわたって、終日、片側車線の規制を必要とするが、今回実施した比較的小さなパネル(S E E Dフォーム)を用いたプレキャスト工法では、短期間の夜間規制のみで施工することができ、一般通行車両への影響を最小限に抑えることができた。

なお、今回のプレキャスト工法を実施するに当たり、事前に工場で中壁部の支保鋼材をアーチ状に組立て、製作したハンドリングマシン(アタッチメント)の作動確認を兼ねて施工(組立)試験を実施して、問題点の洗い出しを行っている。

今回の工事は、活線での施工であったため、通行の規制は必要であったものの、交通を遮断することなく、ま

た工事期間を通じて大きな障害もなく、無事に新・旧トンネルを接合し、バイパスとなった新トンネルへ交通を切り替えることができた。この間、施工計画・工法の選定に当たっては、安全で迅速な施工を優先に考え、十分に検討を重ね、慎重に計画を立てた。また、施工に際しては、事前の解析と各種計測機器によるモニタリング、その後の予測を行い、発注者と協議しながら、最善と考えられる方策を取ってきた。

今回の新・旧トンネルの接合(掘削)工やここで報告したS E E Dフォーム(プレキャストパネル)を用いた覆工工法が、今後増大することが予想されるトンネルのリニューアルや拡幅工事などの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 仲井幹雄, 西山秀則, 佐々木博一, 盛春雄, 志田孝司:
新豊浜トンネル分岐部の設計と施工, 土木学会第55
回年次学術講演会 CS部門, 2000, 9
- 2) 盛春雄, 志田孝司, 仲井幹雄: 新豊浜トンネル分岐部の
施工, 第46回施工体験会(山岳) - 特殊条件下における
トンネル施工 - テキスト
- 3) 赤坂雄司, 佐々木博一, 盛春雄, 志田孝司: PCaパネル
を用いたトンネル接合部の覆工工法, 土木学会第56回
年次学術講演概要集VI部門