

東山地上連絡坑の設計・施工

名古屋支店 武村浩志
 名古屋支店 岡林秀勝
 兵庫工場 土井幸二

概要：東山地上連絡坑は、名古屋高速1号四谷高針線東山トンネルの鉛直方向の非常用連絡通路として構築される内径 8.2m、高さ h=24.035m の円筒状の構造物である。工期短縮および狭隘な施工空間に対応するためにプレキャスト（以下 PCa）およびプレストレストコンクリート（以下 PC）構造が採用された。分割数は円周方向に8分割、鉛直方向に11分割であり、円周方向および鉛直方向に各々プレストレスが導入された。本稿は、この東山地上連絡坑について設計・施工の面からそれぞれ報告するものである。

キーワード：立坑，セグメント，リスク管理，ジャッキアップ

1. 工事概要

工事名：東山地上連絡坑築造工事

発注者：名古屋高速道路公社

工事場所：名古屋市千種区東山元町

構造形式：プレキャストセグメント立坑（内径 8.2m、高さ 24.035m）

一般図を以下に示す。

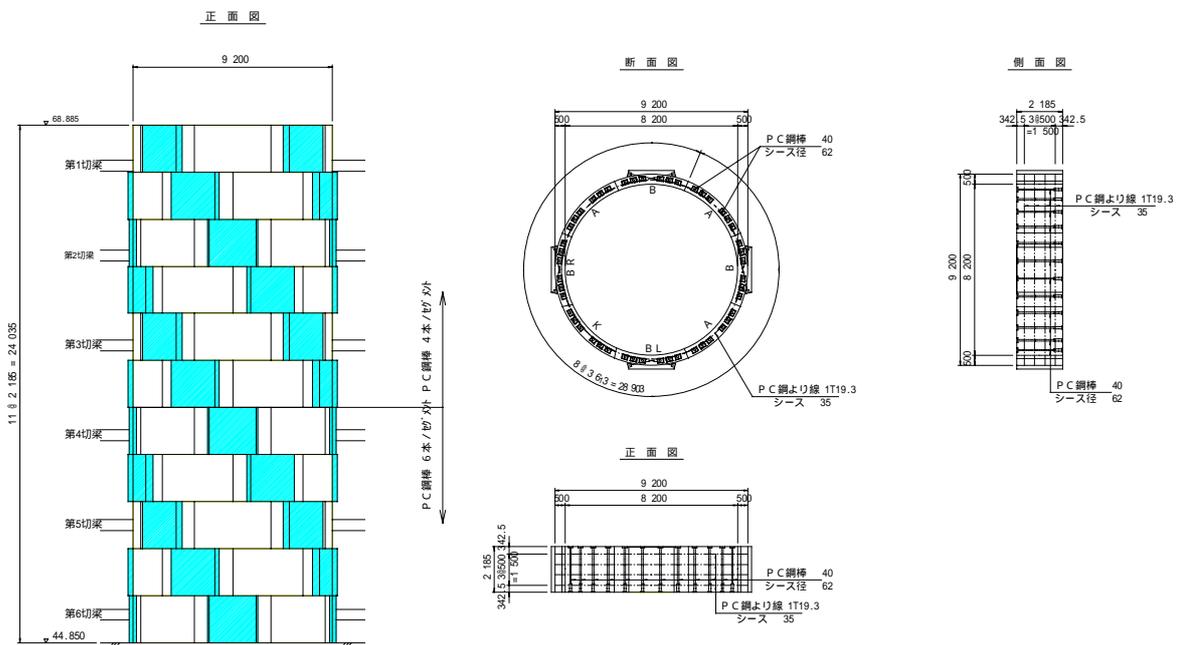


図 - 1 東山地上連絡坑一般図



武村浩志
土木技術部



岡林秀勝
土木工事第一部



土井幸二
製品グループ

2. 設計

(1) 部材形状の決定

セグメント部材形状においては、型枠の転用を考慮して円周および鉛直方向とも等分割とし、部材弧長 3.220m、部材高さ 2.185mとした。ただし、円周方向 8 セグメントに 1 つ鉛直方向に 7° のテーパをつけた K セグメントを設けて、最終セグメントの挿入性を考慮している。さらに円周方向の PC 鋼材を定着させるためのピラスターが 4 セグメントに設けられており、以上のことから、1 リングあたりのセグメント種類は A (標準タイプ), B (ピラスタータイプ), K (くさび形タイプ), BL (K タイプ左側隣接タイプ), BR (K タイプ右側隣接タイプ) の 5 種類となった。図 - 2 にセグメント詳細図 (A タイプ) を示す。

(2) PC 鋼材の配置

a) 円周方向

円周方向のプレストレス量は 1 セグメントにつきシングルストランド 1T19.3 を 4 段配置し、セグメント目地部において 1.0N/mm² の圧縮力が導入されるように設計されている。これは後述するリングジャッキアップ時に最低限必要な値であり、PCa 共同溝等でも一般的に用いられている値である。4 段のうち 2 段が 12 - 6 時の方向、他の 2 段が 3 - 9 時の方向で定着される構造であり、緊張は半周ごとに行うこととした。セグメントは構造上および止水性等を考慮して 22.5° ずつ回転しながら積み上げられていくため、この定着ピラスター位置も回転していく構造となっている。

b) 鉛直方向

鉛直方向に 11 段積み重ねられたセグメントは PC 鋼棒にて一体化される。この際、埋め戻し土に勾配があるため立坑には常時偏土圧がかかっていることから、トンネル頂版と最下段セグメントの間に引張力が生じることが予想された。よって立坑基部に着目した FEM 解析を行い、基部に引張力が生じないように PC 鋼材を配置することとした。その結果、SBPR1080/1230C 種 1 号 40 を 1 リング当たり 48 本 (1 セグメント当たり 6 本) 配置する必要性が生じた。これは圧縮応力で約 3.0N/mm² に相当する。ただし、6 段目セグメントからはこの本数を 1 リング当たり 32 本 (1 セグメント当たり 4 本) に減少させている。これらの PC 鋼棒は、まずトンネル頂版内にデッドアンカーとして設置され、セグメントを積み上げるごとにカップリングにて接続されていく。デッドアンカー部には球面座金を用いて、セグメント製作誤差や積み上げ時の誤差に対応できるように配慮した。

3. 製作

(1) 型枠の構成

セグメントは、目地部の不陸が原因となって生じるひびわれを防止するために、地下鉄シールド RC セグメントと同等の厳しい精度が必要であり、この精度を満足するためには、シールド RC セグメントと同等精度の型枠を製作し、さらに、型枠、製品の精度を計測する原寸ゲージ (鋼製で機

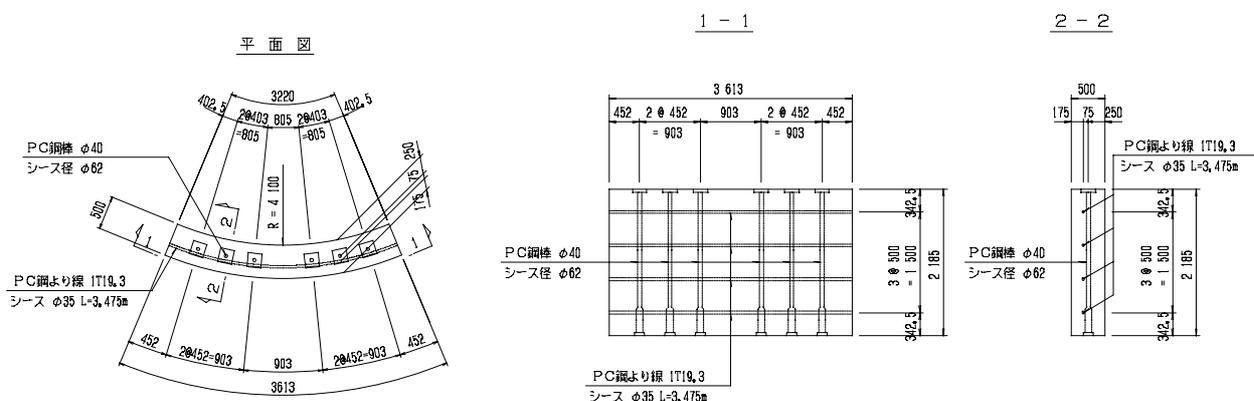


図 2 セグメント詳細図 (A タイプ)

械加工したもの)も製作した。また、部材に設置するシース、インサートの精度も厳しく、その固定方法についても精度および作業性を考慮して品質管理、特に精度に重点を置き、製作を行った。セグメント出来形の許容値を表-1に示す。

鋼製型枠は全部でAタイプ用、B・Kタイプ兼用、BL・BRタイプ兼用の3枠を製作した。

(2)コンクリート打設および仮組試験

コンクリート打設は接合面の精度が要求されるのでセグメント外面を打設面とし、型枠中央に設けられた打設口より行われた。さらに1リング分の製作を終えた後、製作精度の確認、施工順序の検討などを目的に仮組試験を行い、その後の製作および本施工にフィードバックした。写真1~4にセグメント製作状況および仮組試験状況を示す。

表-1 PCセグメント出来形の許容値

項目	単位	規格値
セグメント厚	mm	+5.0~0.0
セグメント高さ	mm	+5.0~-1.0
セグメント幅・弧長	mm	±1.0
シース孔位置	mm	±1.0



写真-1 打設前状況



写真-2 打設状況



写真-3 脱型状況



写真-4 仮組試験

4. 施工

(1)施工サイクル

立坑は本坑施工時の機材搬入または土砂搬出用に設けられた29.4m×18.0mの作業用立坑内に設置されるが、セグメント設置箇所には土留め用の切梁があり、これが障害となった。セグメントの設置に障害となる切梁の撤去は土の埋め戻し完了後に可能となるので、立坑セグメントの施工は作業用立坑土の埋め戻し、切り梁の撤去と並行してのサイクル作業となった。セグメントの設置は図-3に示すように、2リング設置 鉛直緊張 土の埋め戻し 切梁の撤去の施工サイクルを6日間で行った。施工サイクルを図-4に示す。

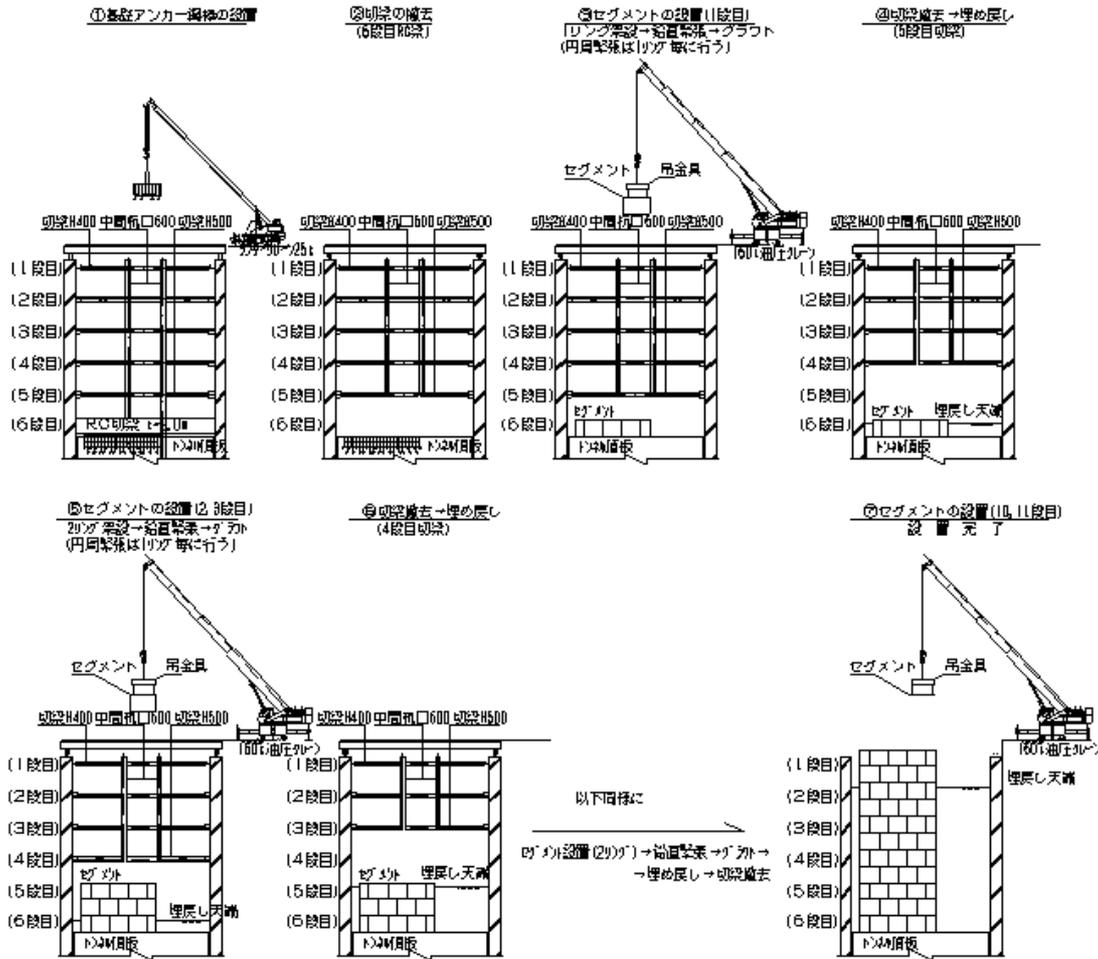


図 - 3 立坑セグメント設置順序

(2) リスク管理手法

本工事に要求される第一の事項は工期短縮である。施工中にトラブルが発生し、その修復のために工程が遅延すれば、その目的を達成することが不可能となる。そこでそれを未然に防ぐ方法としてリスク管理手法を導入した。リスクを特定する要因を下記に示す。

- 鉛直および水平目地が存在すること。
- その目地にプレストレスが導入されること。
- 作業空間が狭隘であること。

施工方法がある程度固まった時点でリスクアセスメントを実施し、表 - 2 に示すようなリスク評価表を作成した。リスク評価表は、施工中起こりうるリスクを洗い出し、リスクが起こる可能性とリスクが生じた時の損失のレベルに応じてポイントをつけ分類した。さらに、そのリスクを回避するための対応策を選定し、その方法の妥当性の検証を行った。妥当性の検証のためにセグメント仮組

1日目	1 段 目	鉛直PC鋼棒の挿入
		セグメントの設置・鉛直PC鋼棒の接続
2日目		円周方向PC鋼線挿入・緊張
		ジャッキアップ・セグメント水平接合面に接着剤塗布 ジャッキダウン
3日目	2 段 目	鉛直PC鋼棒の挿入
4日目		セグメントの設置・鉛直PC鋼棒の接続
5日目		円周方向PC鋼線挿入・緊張
6日目		ジャッキアップ・セグメント水平接合面に接着剤塗布 ジャッキダウン
		接着剤養生
		鉛直PC鋼棒緊張
		グラウト(鉛直・円周)
		セグメント外周の埋め戻し

図 - 4 施工サイクル

表 - 2 リスク評価表

ポイント	3	2	1
リスクレベル	施工中断となったり致命的な損失が発生するリスク	施工に遅れが生じたり、ある程度の損失が発生するがリカバーできる程度のリスク	ほぼ工程の遅れ無しに解決でき、損失も許容出来る程度のリスク
リスクの可能性	かなり高い頻度でリスクが生じる可能性	リスクが生じる可能性がある	未然に防ぐ対応策を実施することによってリスクが生じる可能性がほとんどない
リスクの評価点	リスクの評価点=リスクレベルのポイント×リスクの可能性のポイント 5以上 本施工までに対策を講じ解決が必要なリスク 5未満 ほぼ本施工の実施に耐えうるリスク		

試験を行ったが、すべてのリスクについての検証を行うことは出来ないため、仮組試験によって検証することが困難なリスクについては施工計画の検討、材料の品質資料、設計資料を元に行った。図 - 5 にリスク管理のフローチャートを示す。

(3)セグメントの設置

セグメントは40tトレーラー2台(4個/台)で1回につき8セグメント(1リング分)ずつ搬入し、現場内の仮置きヤードに仮置きした。設置は160t吊り油圧クレーンで行うが、この際、写真 - 5、6 に示すようにセグメント設置箇所の上に立坑の土留め用切梁が設置されており、セグメント設置の障害物となる。したがって、切梁をかわしながらセグメントを設置するために、写真 - 6 および図 6 に

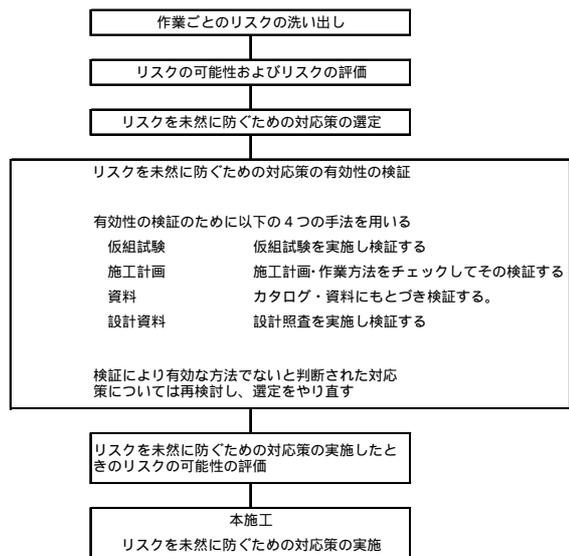


図 - 5 リスク管理のフローチャート



写真 - 5 切梁状況



写真 - 6 セグメント吊り下ろし状況

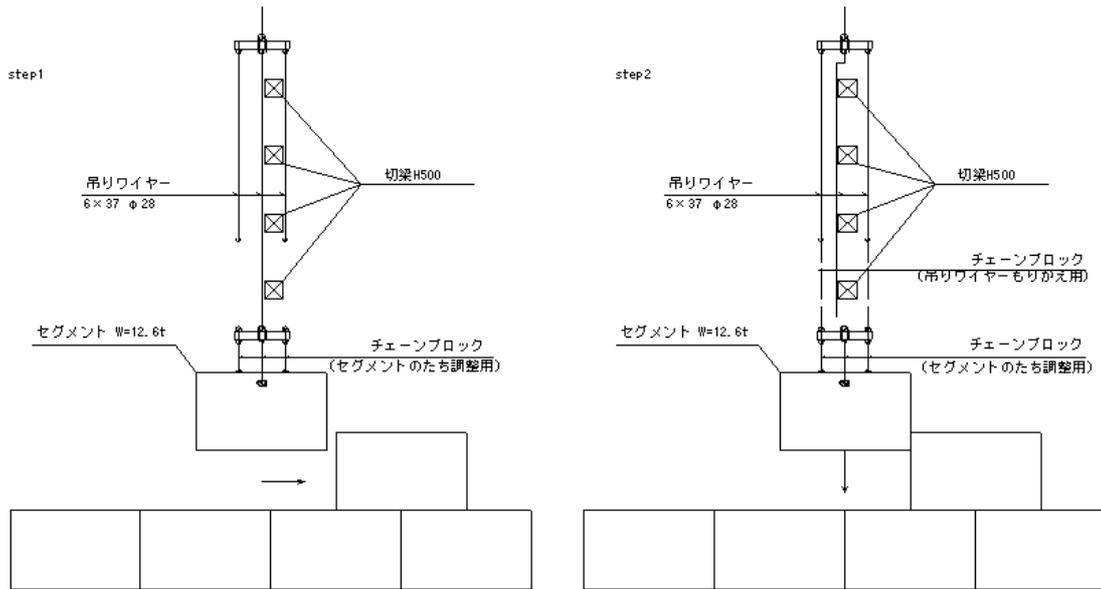


図 - 6 セグメント吊り下ろし概要図

示すような専用吊りジグを製作した。中央吊りワイヤーでセグメントを吊り込み、切梁に吊りワイヤーがあたる所まで持って行く。その後、吊りワイヤーもりかえ用チェーンブロックを巻き上げ、両端の吊りワイヤーへセグメントの荷重を移して中央吊りワイヤーを解放する。最後に両端の吊りワイヤーで切梁をはさみ込むような形でセグメントを所定の位置にもってゆき、セグメントのたち調整用チェーンブロックで左右、前後の傾きを調整しながらセグメントを設置する方法である。

(4) セグメントのジャッキアップおよび水平接合面への接着剤塗布

セグメントの配置は1段ごとにセグメント1/2個分ずつ回転しながらのブロック積みを行う構造であるため、セグメントの水平接合部に施工・製作誤差による段差・不陸が生じる可能性があり、鉛直鋼棒緊張時にその部分への応力集中によるクラック発生の危険性があった。そこでセグメントの水平接合部には接着剤を塗布し接合面の不陸整正を行った。接着剤は2mm程度の厚塗とし、接合面の隙間が完全に接着剤で充填されるようにした。

水平接合面へ接着剤を塗布するために円周方向の緊張が完了しリングとして一体化したセグメント(リング重量 $W=85.6t$)を50t油圧ジャッキ4台でジャッキアップを行った。その状況を写真-7に示す。接着剤塗布後、ジャッキダウンを行い再びセグメントリングを接合した。接合完了後、目視にて水平接合面の隙間が無いことを確認した。水平接合面に隙間が生じた場合には再度ジャッキアップを行い、接着剤を再度塗布した。



写真 - 7 セグメントリングジャッキアップ状況

セグメントリングジャッキアップ要領図

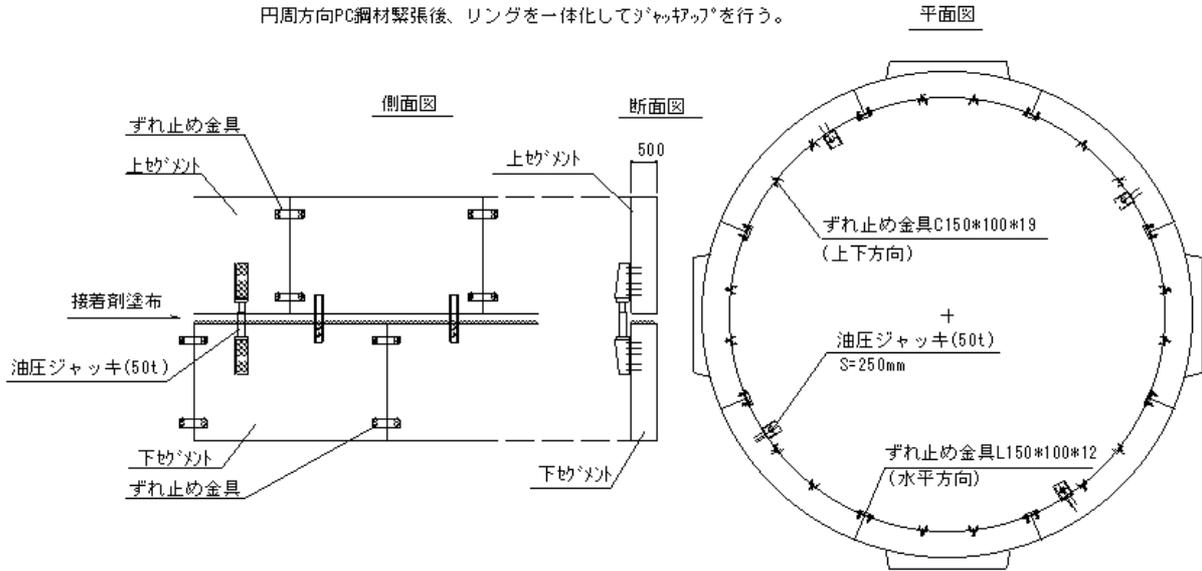


図 - 7 セグメントリングジャッキアップ概要図

(5) 接着剤の養生

水平接合目地にはエポキシ系接着剤を使用した。施工が9月、10月、11月の3ヶ月間となったため、気温の変化に応じて標準型と速硬型の接着剤を使い分けた。鉛直PC鋼棒の緊張する際の接着剤の必要圧縮強度は、プレストレスの導入時期のコンクリート強度と同じ規定として $=4.9 \times 1.7 = 8.3 \text{ N/mm}^2$ (生じる圧縮応力度の1.7倍以上)としたが、現場において接着剤の強度確認試験は行えないため、事前にメーカーの試験室にて養生温度ごとの接着剤の圧縮強度試験を行い、その結果を用いて現場にて温度管理を行った。

表 - 3 に示した試験結果より、接着剤養生温度と養生時間を以下のとおり定めた。

標準型接着剤使用時

養生温度 20 で 36 時間の養生

速硬型接着剤使用時

養生温度 10 で 36 時間の養生
接着剤の養生はシート養生で行ったが、立坑内に自記温度計を設置して温度

表 - 3 接着剤圧縮強度試験結果

アルプロン A105T 標準型 強度発現 結果 (N/mm²)

測定時間	養生温度		
	15	20	25
6時間	強度未発現	強度未発現	強度未発現
12時間	強度未発現	強度未発現	2.0
24時間	強度未発現	6.4	32.6
36時間	9.2	27.1	52.0
48時間	23.8	43.9	60.2
72時間(3日間)	43.2	57.0	68.0
120時間(5日間)	70.3	75.0	77.5
168時間(7日間)	80.1	84.3	83.9

アルプロン A105T 速硬型 強度発現 結果 (N/mm²)

測定時間	養生温度		
	15	20	25
6時間	強度未発現	強度未発現	強度未発現
12時間	強度未発現	強度未発現	7.0
24時間	強度未発現	7.4	50.0
36時間	10.0	40.0	68.2
48時間	38.0	53.0	74.7
72時間(3日間)	56.9	74.5	76.9
120時間(5日間)	75.5	79.0	83.0
168時間(7日間)	78.5	79.4	84.8

変化を監視し、目標養生温度が確保出来ない時にはジェットヒーターを用いて加熱養生を行った。

(6) 鉛直PC鋼棒の緊張

鉛直PC鋼棒は均等に緊張力を導入するため、120t センターホールジャッキ4台を使用して4本ずつ緊張作業を行った。緊張作業に際しては写真-8に示すような専用のジャッキ吊り十字金具を製作し、クレーンを用いて行った。



写真 - 8 鉛直PC鋼棒緊張状況

5. おわりに

本地上連絡坑は、平成14年12月をもって無事にセグメント構築作業が終了した。立坑セグメントという前例のない物件に対し、製作時の精度管理および施工時のリスク管理など細心の注意を払い、安全に工事を終えることができたことは大変意義のあることと考える。現場打ちRC部材よりも大幅に工期を短縮できる本工法が、今後も発展していくことが望まれる。

謝辞

本工事にあたって多大なるご指導、ご尽力をいただいた関係各位に心から感謝の意を表します。



写真 - 9 セグメント設置完了状況(上から)

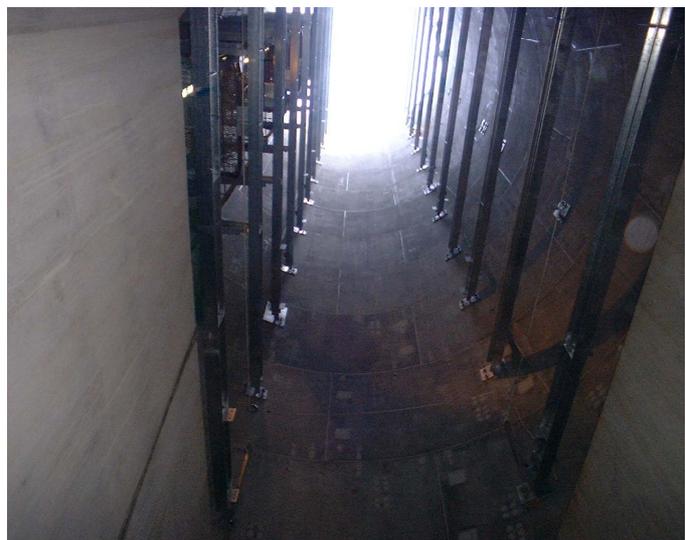


写真 - 10 セグメント設置完了状況(下から)