

高流動コンクリートを利用した 大口径・長尺推進管の現地製造

A Field Construction System of Precast Concrete Pipe for Jacking Method
Using High Flowing Concrete

井上隆広¹・元永隆章²・姫井国正²・柴田昌之³・矢口悟⁴
Takahiro Inoue, Takafumi Motonaga, Kunimasa Himeji, Masayuki Shibata
and Satoshi Yaguchi

¹正会員 ハザマ 土木事業本部 技術第一部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目2-5)

E-mail: takinoue@hazama.co.jp

²正会員 ハザマ 関東土木支店 土木部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目2-5)

³東京電力株式会社 川崎火力建設所 (〒210-0865 神奈川県川崎市川崎区千鳥町5-1)

⁴日本原子力発電所株式会社 開発計画室 (〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町1-1)

Generally speaking, a reinforced concrete pipe used for a jacking method is manufactured at a precast concrete factory using a centrifugal compaction method. But in case of a large diameter pipe, there is a problem that high cost is required for transporting it to a construction site.

Then we recently tried to produce large pipes with the external diameter of 3.5m and the length of 3.0m at the construction site in the thermal power plant being renewed where a pipe jacking method was employed to build the cable duct tunnel, and achieved a satisfactory quality and a required production cycle by using high flowing concrete.

Key Words : pipe jacking method, precast concrete pipe, field construction system,
high flowing concrete, cost reduction

1. はじめに

図-1に示すように、従来、推進工事に用いる鉄筋コンクリート管は工場で遠心成形された二次製品（ヒューム管）を使用するのが一般的であるが、大口径管の場合は施工現場までの輸送に多大な費用を要し、また、推進管の費用が工事費に占める割合も大きい。

そこで今回、発電所構内に新設される電気洞道の推進工において、内径φ3.0m（外径φ3.5m）の大口径管を施工現場で製造することを考案し、工事費の縮減を図った。これは、発進立坑の近傍で鉄筋および型枠を組み立て、これに自己充填性が高く締固めが不要な高流動コンクリートを打込む方法で、現地に製造ヤードを確保できることが前提条件となるが、以下のような特長を有する。

①寸法および重量の大きい大口径管の輸送費や工

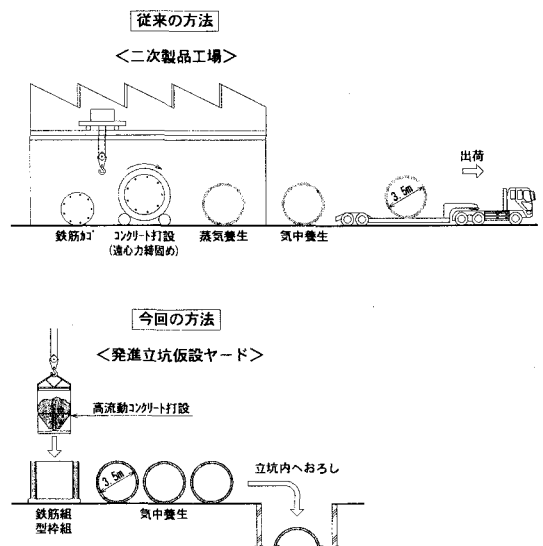


図-1 推進管現地製造の概念

場間接費が削減できる。

- ②高流動コンクリートを使用することで製造設備や作業工程の簡素化が図れ、施工現場でも所定の品質と製造サイクルを確保することができる。
- ③工場設備や輸送の制約により従来は適用が困難であった超大口径管や長尺管を製造できる。その結果、従来の推進工法の適用範囲の拡大や施工サイクルの向上による工期短縮が期待できる。
- ④荷重条件に応じて最適な管厚や鉄筋量を自由に設定でき、また、例えばインバート部や隔壁等の内部構造を一体として製作することも可能である。

本稿では、今回実施した推進管現地製造の方法と実施結果について報告する。

2. 推進工事の概要

現在、東京電力(株)川崎火力発電所では、熱効率が高く、環境面に優れたコンバインドサイクル発電方式（ガスタービンとその排熱を回收利用する蒸気タービンとを組み合わせる方式）へのリフ

レッシュ計画が進められており、本工事は1号系列新設工事のうち復水器冷却水路、電気関係設備、配管トレンチおよび雨水排水路を築造するものである。

表-1 推進工事の概要

工 事 名	川崎火力発電所1号系列新設工事のうち 復水器冷却用水路他工事(その3)		
発 注 者	東京電力株式会社		
施 工 者	ハザマ・清水・大林共同企業体		
工事場所	神奈川県川崎市川崎区千鳥町5-1 東電川崎火力発電所構内		
工 期	平成16年2月26日～平成17年9月30日 (管製造:平成16年6月1日～平成16年12月20日) (推進工:平成16年10月4日～平成17年1月31日)		
推進工事	仕上内径	φ 3,000mm	
	推進延長	235m(直線部152m+曲線部83m)	
	土 被 り	約14m	
	平面曲線	R=100m	
	縦断勾配	i=+0.1～+0.7%	
	推進工法	泥土圧式(土砂圧送方式)	
	推 進 管	鉄筋コンクリート製 外径φ 3,500mm×厚さ250mm 標準管(直線部) 長さ3.0m×50本 半 管(曲線部) 長さ1.5m×56本	

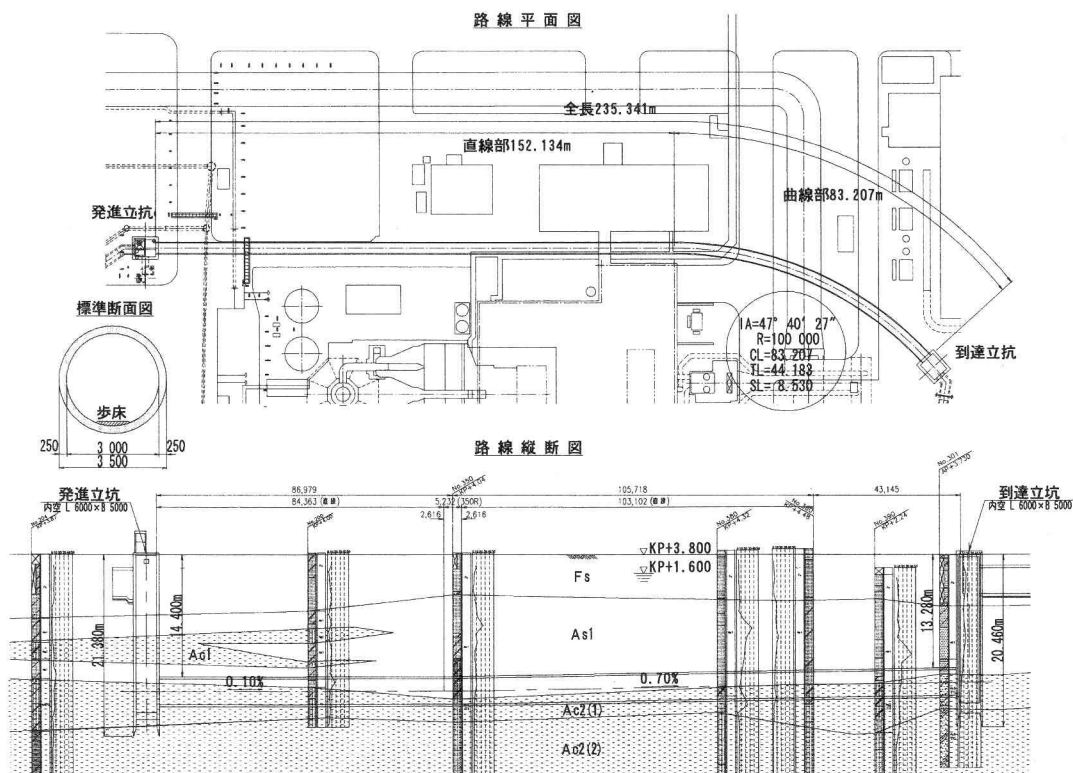


図-2 推進工事の路線概要

このうち、既設取水路等を横断する電気洞道工事は、発電所構内に発進立坑および到達立坑を設け、土被り約14mの地中に内径φ3.0m（外径φ3.5m）の円形トンネルを泥土圧推進工法により築造するもので、延長235mのうち後半の83mは曲率半径100mの急曲線を施工する。トンネル通過断面の土質は、主として上半部がN値15程度の緩い沖積砂質土、下半部がN値5程度の中位の沖積粘性土となっている。また、地下水位はGL-2m程度と比較的高い。推進工事の概要を表-1に、路線平面図および縦断面図を図-2に示す。

3. 推進管の構造

今回、現地製造を行った推進管のうち代表的な標準管の構造を図-3に示す。

管厚は、既存の推進工事用の掘進機を使用することを考慮して、工場製品と同等の250mmとした。一方、管長は標準管で3.0m（工場製品では2.43m）、

半管で1.5m（同1.2m）と従来の約2割増にして継手数を削減し、施工性、止水性、経済性の向上を図った。なお、過度の長尺化は立坑寸法の増大や揚重設備の増強により工事費が増加する場合があるため注意を要する。

配筋は、シールド工事に用いるRCセグメントの慣用計算法に準じて構造計算を行い、耐久性に係る鉄筋のかぶりおよび許容曲げひび割れ幅を勘案してD19@125（複鉄筋）とした。また、継手カラーおよび止水ゴムは信頼性の高い既存製品を使用した。

この結果、図-4に示すように推進管の費用は、高流動コンクリートの使用等により材料費はアップするものの、輸送費や間接費（設備費等）の削減により、全体として10%程度の縮減が見込まれた。

[工場製品]				
材料費	労務費	輸送費	間接費	
35%	17%	15%	33%	
[現地製造]				
材料費	労務費	輸送費	間接費	縮減
47%	21%	5%	17%	10%

図-4 推進管費用の比較

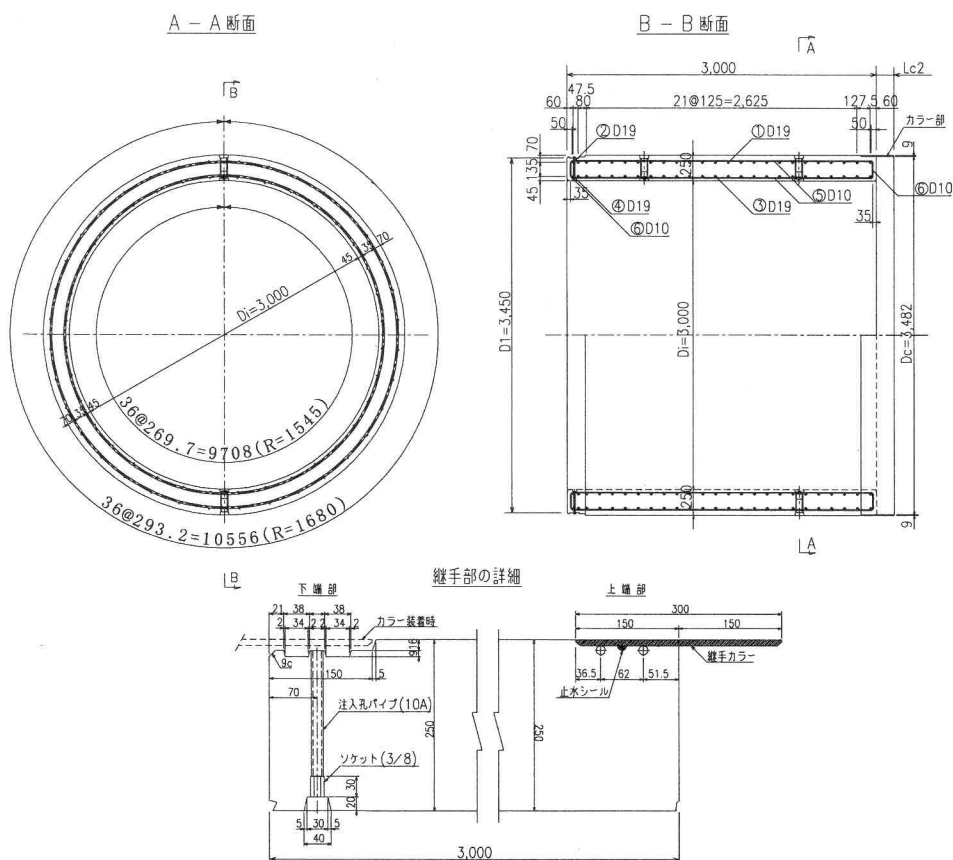


図-3 推進管（標準管）の構造

4. 現地製造の実施方法

(1) 高流動コンクリートの配合

高流動コンクリートの配合を検討するにあたり、推進管として高強度を要することに加えて、施工条件として以下の3点を考慮して目標品質を表-2のとおりに設定した。

- ①推進管の構造条件（鋼材の最小あき106mm，鋼材量186kg/m³）に適した流動性，型枠内への充填性を有すること。
- ②現地での打込み開始から完了まで所要の流動性を保持可能なこと（所要時間：生コン工場から現場までの運搬・準備30分+打込み60分）。
- ③製造サイクル（材齢16時間で脱型，40時間で吊り移動）を満たす強度発現性を有すること。

以上をふまえて試験練りを行い，表-3に示す低熱ポルトランドセメントを使用した粉体系高流動コンクリートの配合を採用した（谷口¹⁾，萩原²⁾らは高流動コンクリートを用いたRCセグメントの製造方法を研究しており，その配合を参考にした）。

(2) 製造システム

推進管の現地製造フローを図-5に，製造ヤードのレイアウトを図-6に，製造状況を写真-1～3に示す。

このシステムを簡単に要約すると，あらかじめ工場で加工した鉄筋を現地でかご状に組み立て，鉛直にセットされた鋼製円形型枠に挿入して高流動コンクリートを打込み，所定期間の養生を経て直接推進用立坑に投入するものである。ストックを含む製造ヤードは，推進工事用地約2,200m²のうち約1,400m²を使用した。

型枠は，高流動コンクリートの使用により振動締固めが不要なため，できるだけ簡素化してコストダウンを図るとともに，現場での組立や脱型を容易に行うため，外型枠を半割の2分割に，内型枠を3節の

表-2 高流動コンクリートの目標品質

項目	目標値
スランプフロー	65±10cm
スランプフロー保持時間	練上り30分後～90分後（運搬、打設時間を考慮）
空気量	2.0±1.5%
初期強度	材齢16時間：5N/mm ² ，40時間：15N/mm ²
設計基準強度	材齢28日：50N/mm ²

表-3 高流動コンクリートの配合

水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
31.5	50.3	165	524	856	873	C×1.10%

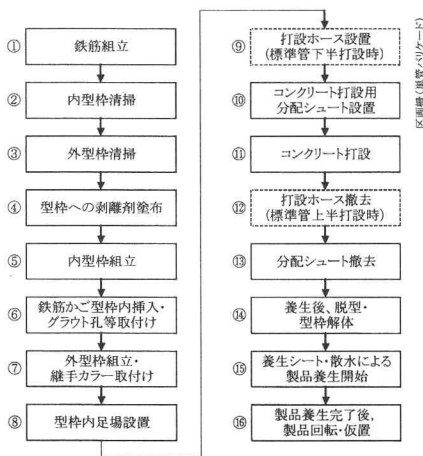


図-5 推進管の現地製造フロー

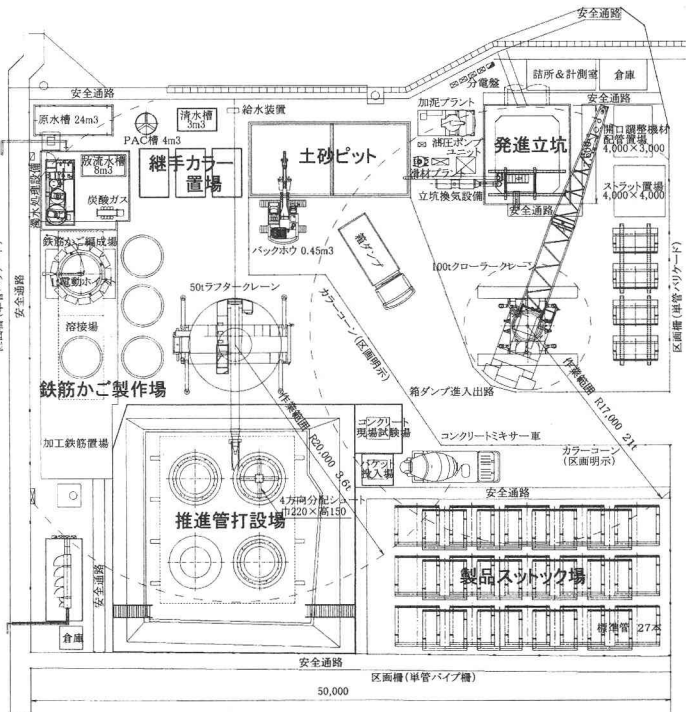


図-6 発進基地および推進管製造ヤード

折りたたみ構造とした。また、半管製造時には2組の型枠を用い、その後これらを上下に重ねて標準管の製造に転用している（図-7）。

高流動コンクリートの打込みは、水平流動距離を低減するため型枠上部に4方向への分配シュートを設置して行った。また、材料分離およびエアの巻込みを抑制するため打込み高さを1.5m以下とし、標準管下半部の打込み時にはシュート先端に長さ1.5mのホースを設置した。なお、コンクリートの投入方法は、当初は定置式コンクリートポンプによる圧送（5B配管15m＋ホース5m）を試みたが、施工数量が8.0m³/日と少なく、圧送ロスや配管材の熱によるスランプロスが制御できず、コンクリートバケットによる方法を採用した。また、当初は仕上がり面の全体に気泡跡が目立ったため、高さ1.5mの打込み完了ごとに棒パイプレーターをわずかに使用（円周方向50cmピッチに1回差し抜き）したところ、材料分離を生ずることなくエア抜きを行うことができ、大きな改善が得られた。

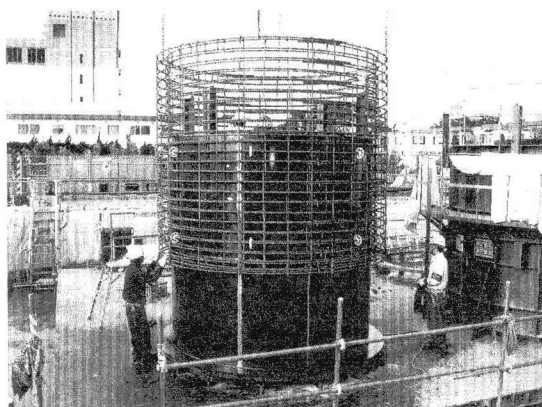


写真-1 鉄筋かごの設置

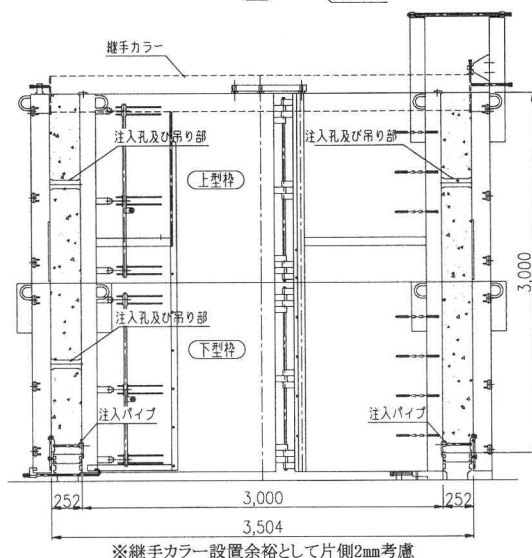
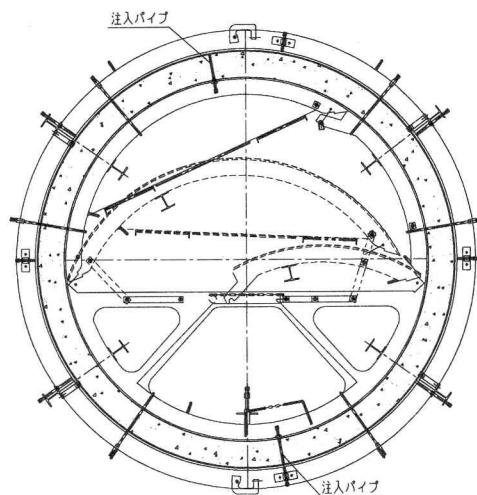


図-7 型枠の構造（標準管打込み時）

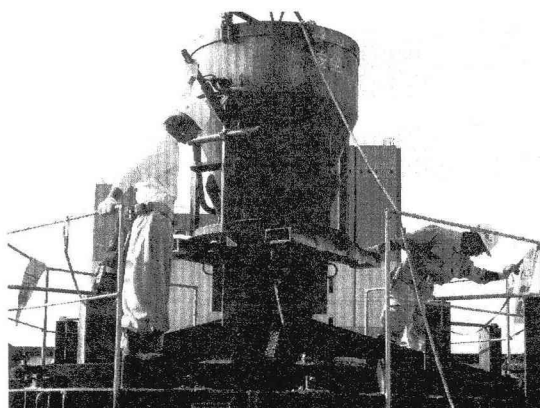


写真-2 高流動コンクリートの打込み

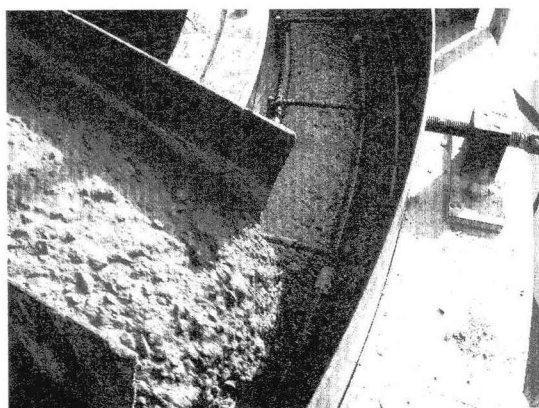


写真-3 高流動コンクリートの充填

(3)高流動コンクリートの養生

製造当初は材齢16時間にて脱型し、散水養生を経て40時間にて吊り移動を行っていたが、製造の途中段階より工程上の理由から標準管の製造サイクルを1本/日から1.5本/日に加速する必要が生じ、脱型および吊り移動開始までの養生時間は、それぞれ7時間および32時間に促進することが目標とされた。そして、これらの時点で必要な圧縮強度はそれぞれ5 N/mm²および15 N/mm²であり、初冬期間における若材齢の強度発現性が課題となった。

圧縮強度は積算温度（養生温度に10℃を加算して材齢を乗じたもの）と密接な関係ある。このことから室内試験を行った結果、材齢7時間で脱型するには積算温度を12.6℃・Day以上確保し、そのためには養生温度を打込み当初から33.0℃以上に維持する必要があることが判明した。

そこで、本工事では図-8に示す簡易な促進養生システムを構築した。この養生システムは、養生温度を上昇させるためにストーブを型枠内外に設置し、乾燥を防ぐためにストーブの上に水バケツを設置して蒸発させる仕組みである。また、全体を厚さ0.35 mmの防災シートで囲み（型枠上部は打込み完了後にかぶせる）、熱風発生機にて外気を取り込みながらシート内を強制的に対流させて局所的な温度上昇とストーブの不完全燃焼を防止している。なお、コンクリートの打込みは予め型枠内外を所定の養生温度まで上昇させて型枠自体を温めた後に行う。

この養生システムで養生した場合の積算温度の履

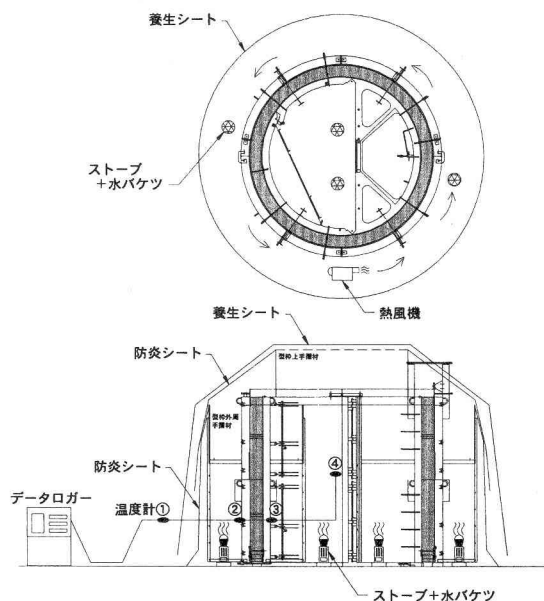


図-8 促進養生システムの概要

歴の一例を図-9に、シート内で同時に養生した供試体の圧縮試験結果を表-4に示す。この例では養生温度を40℃前後に維持でき、結果として材齢6時間で積算温度は12.6℃・Day以上に、圧縮強度（材齢7時間）も5 N/mm²以上に達しており、脱型可能であることが確認された。さらに、材齢24時間の圧縮強度は15 N/mm²以上を満足しており、同時点で推進管の吊り移動を行える可能性も得られた。なお、脱型後も吊り移動開始まで連続して散水養生を行い、外気による急激な温度低下や乾燥の防止を図った。

5. 品質管理

品質管理は、日常の鉄筋かごや型枠等の寸法検査、生コンの受入れ試験、製品の出来形検査などの一般的な管理のほか、初段階で試験打込み管（半管）を用いて実製品におけるコンクリートの品質および管体の耐荷性能の確認を行った。

コンクリートの品質については、図-10に示すように超音波法の透過法により供試管の超音波伝播速度を測定（周波数28kHz）した結果、図-11に示すように平均速度は4,304m/sec、標準偏差は116.2m/secであった。ACI³⁾では超音波伝播速度が3,660m/sec以上であればコンクリートの品質は「良」としており、この供試管の品質は良好で、前述した分配シュートによる高流動コンクリートの打込み方法の妥当性が確認された。

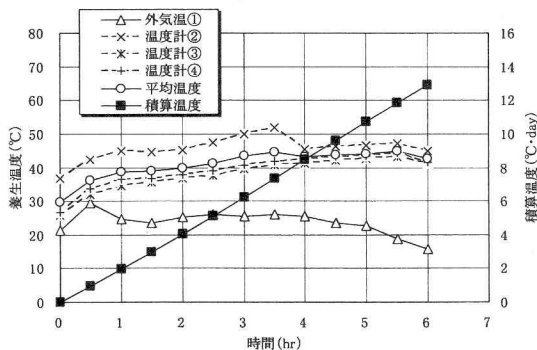


図-9 促進養生における積算温度の履歴 (H16.11.25)

表-4 促進養生供試体 (H16.11.25) の圧縮強度 [N/mm²]

材齢	No.1	No.2	No.3	平均	判定基準
7時間	9.65	8.96	8.68	9.10	≥ 5.0 (脱型)
24時間	23.60	23.00	22.70	23.10	≥ 15.0 (吊り移動)

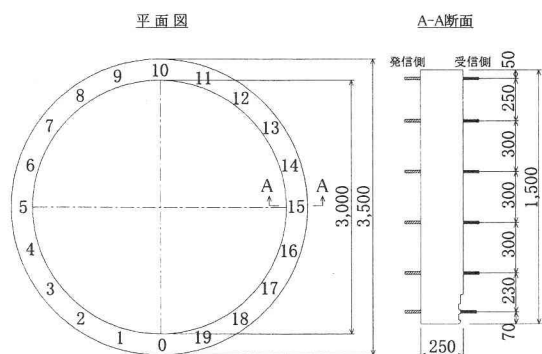


図-10 超音波伝播速度の測定位置

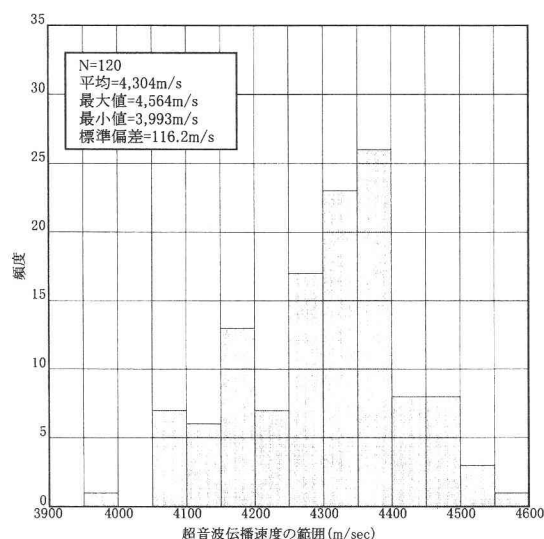


図-11 超音波伝播速度のヒストグラム

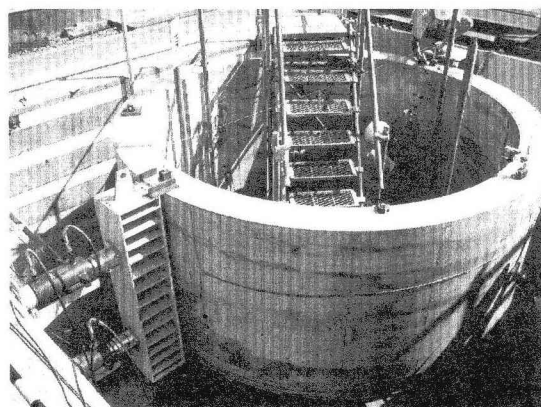


写真-4 外圧試験の状況

一方、耐荷性能については外圧試験および推力試験の2種類の載荷試験を行った。外圧試験は管横断面に曲げモーメントを与えるものであり、ひび割れ荷重は理論値の1.23倍、破壊荷重は同1.21倍（許容応力度相当荷重の2.43倍）の結果であった（写真-4）。推力試験は管軸方向に圧縮力を与えるものであり、推進ジャッキの最大能力（2,000kN）まで載荷して10分間保持した結果、ひび割れ等の異状は発生しなかった。これらから、現地製造推進管が十分な耐荷性能を有していることが確認された。

6. 実施結果

実際の製造では当初、高流動コンクリートの現場到着から打込み完了まで安定した流動性を確保するのに苦勞を要した。使用した生コン工場では運搬車1台当たり2バッチの練混ぜを必要とし、各バッチ毎に確認試験を行うため出荷までにかなりの時間を要していた。そのため、打込みの途中で練上り後の経過時間が計画の90分を超え、流動性を著しく損なうことがあった。そこで、2バッチ分まとめて試験を行うなど出荷までの所要時間を短縮するとともに、バケット容量を最大限活用してコンクリート投入回数を低減し、打込み時間の短縮に努めた。その結果、練上りから打込み完了までの所要時間を70～80分に短縮することができた（このうち生コン運搬時間は約15分である）。

さらに、打込み完了まで良好な流動性を保つためには現場到着時のスランプフローを目標値より若干大きめ（65～70cm）に管理する必要があり、混和剤（高性能AE減水剤）の添加率の加減が重要な要素であった。そこで、初段階では1台目到着時の現場試験結果を速やかに生コン工場へ報告し、2台目の調整を行うことを繰り返して最適な添加率を定めていった。結果として添加率は当初の計画より大きい1.45～1.50%とすることで、打込み完了まで良好な流動性を持続することができた。

これらの改善により以降は安定した製造を行うことができた。なお、製品のストックヤードは十分な広さを確保することが困難であったが、促進養生を取り入れるなど製造サイクルと推進工による使用サイクルとのバランスを図って対応した。図-12に標準的な製造サイクルを示す。また、推進工を完了した現在、ひび割れや漏水等の変状は皆無であり、従来の工場製品と遜色なく現地製造による推進管を使用することができた（写真-5、6）。

7. おわりに

今回、外径3.5m×長さ3.0mの大口徑・長尺推進管の現地製造システムを確立して安定した製造を行うとともに、実際の推進工に使用して無事に電気洞道を完成することができた。そのなかで、高流動コンクリートの現場管理の方法や分配シュートを用いた打込み方法、簡易な促進養生システムの有効性などが得られた。

今後は製造サイクルの向上や製造ヤードの効率化など更なる改善を行っていきたい。また、超大口徑の場合に転用が容易な掘進機の開発も課題と考える。

謝辞：今回の現地製造にあたり、東亜コンクリート工業(株)をはじめ多くの方々に多大なご指導とご協力をいただき、ここに深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 谷口，萩原，兼子，福留：高流動コンクリートを用いたRCセグメントの製造に関する研究－(その1 製造方法)－，土木学会第54回年次学術講演会，第6部門，pp.94-95，1999.
- 2) 萩原，谷口，兼子，福留：高流動コンクリートを用いたRCセグメントの製造に関する研究－(その2 RCセグメントの性状)－，土木学会第54回年次学術講演会，第6部門，pp.96-97，1999.

3) E. A. Whitehurst: *Evaluation of concrete properties from sonic tests*, ACI Monograph No.2, ACI, pp.73, 1966.

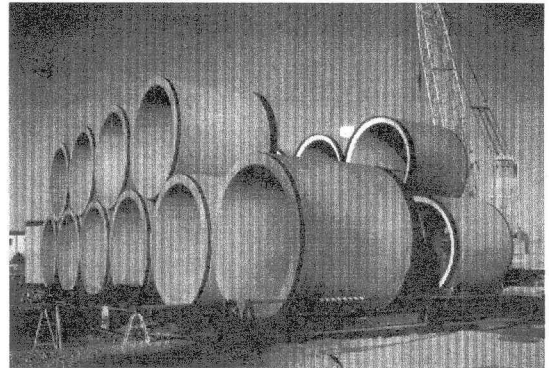


写真-5 推進管の仕上がり状況

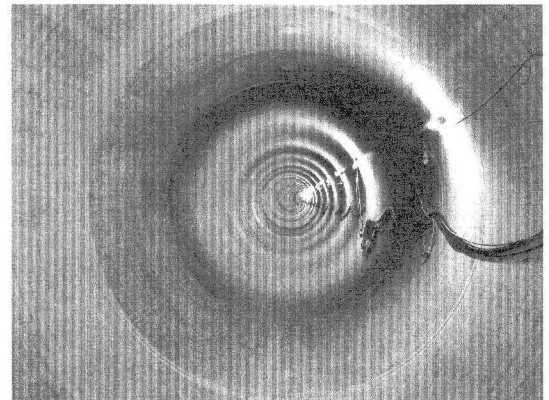


写真-6 推進トンネルの完成状況

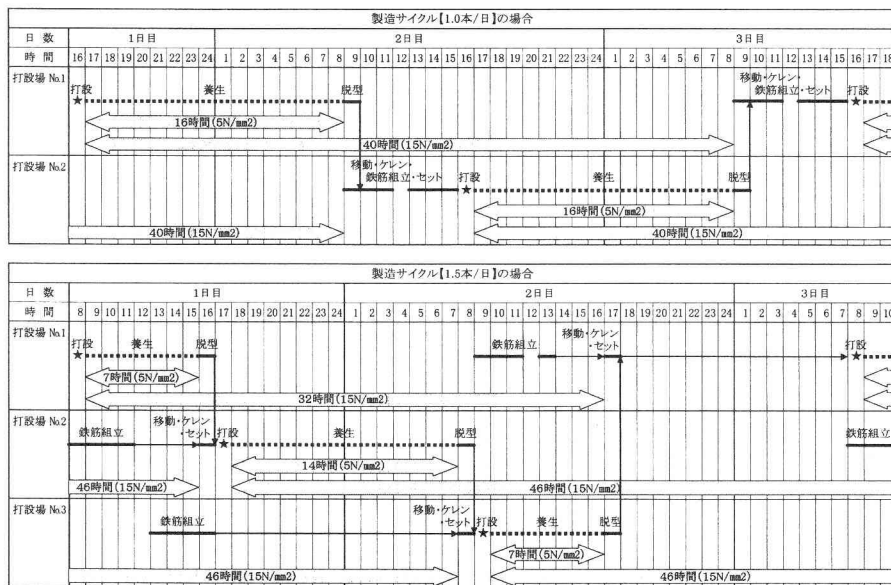


図-12 標準管 (L=3.0m) の製造サイクル