

## (170) PPCセグメント工法の開発(その2)

—実工事における施工性、品質の確認—

住建コンクリート工業(株) 技術部 正会員 ○近藤 二郎  
大阪府東部流域下水道事務所 斎藤 進  
大阪府東部流域下水道事務所 正岡 良司  
住友建設(株) 大阪支店 志和 高夫

### 1. はじめに

PPC (Prestressed Precast Concrete) セグメントは、トンネルの円周方向や縦断方向にプレストレスを導入して、セグメントリングを一体化する点を特徴とした、シールドトンネル用セグメントである。今回、大阪府東部流域下水道事務所発注の寝屋川流域下水道恩智川東幹線(第4工区)に、本工法が初めて採用された。

本稿では、先ず実施工におけるPPCセグメントの組立、PC鋼材の挿入緊張および定着作業の施工性に関して報告する。さらに、トンネル坑内で実施した、プレストレスの現場計測について報告する。

### 2. 工事概要

今回PPCセグメントが採用されたのは、大阪府東部流域下水道事務所発注の寝屋川流域下水道恩智川東幹線(第4工区)であり、管渠延長L=1,012.847mのうちの初期掘進区間L=50mである。図-1に発進部平面図を示す。

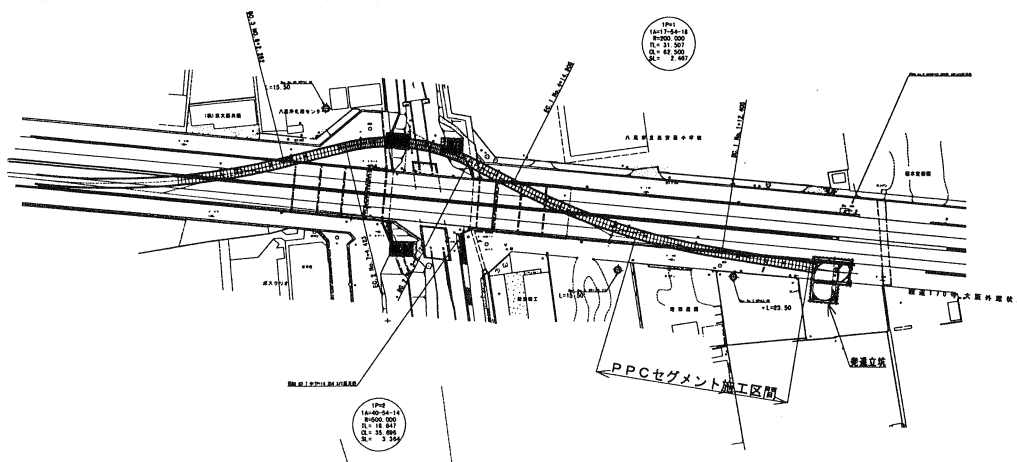


図-1 発進部平面図

#### 2.1 PPCセグメント

PPCセグメントは、内径2,650mm、桁高150mm、幅1,000mmで $\phi 12.7$ mmのアンボンドPC鋼より線を円周方向に2本、縦断方向に4本配置した。表-1に今回用いたPPCセグメントの仕様と施工条件を、写真-1にPPCセグメントを、写真-2に施工後の坑内状況を示す。

#### 2.2 シールド機

PPCセグメントは、ボルトレスでの組立となるため、シールドテール部の上部にセグメント仮保持ジャ

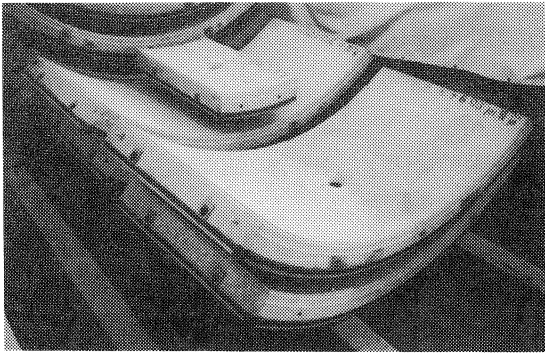


写真-1 PPCセグメント



写真-2 坑内状況

表-1 PPCセグメント仕様と施工条件

形状	外径: 2,950mm, 桁高 150mm, 幅1.0m
分割	5分割
緊張材	アンボンドPC鋼より線 (1T12.7mm) 周方向2本/リング, 軸方 向4本
コンクリート	$f'_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$
セグメント継手	フラット面の突き合わせ
リング継手	継手中央にほぞ(凹凸)を つけた
掘進部土質	洪積砂質土と粘性土の互 層
土被り	11~12m
線形	直線(前半25m), R200m (後半25m)
シールド方式	泥土圧式

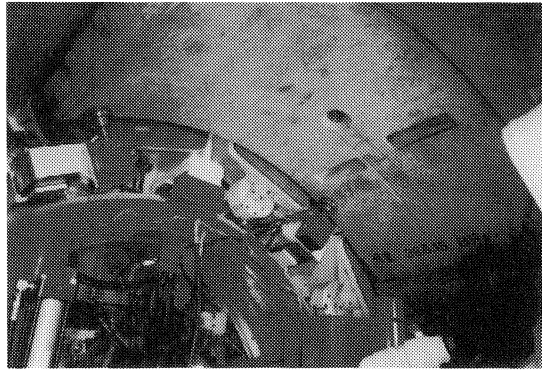


写真-3 セグメント仮保持状況

ッキを2ヶ所装備した。また、シールドジャッキは、全ジャッキ無負荷追従タイプとし、セグメント組立時のシールドジャッキ圧は $40\text{kgf/cm}^2$ に設定した。その他の機構は、従来のRCセグメント用のシールド機と同様である。写真-3にセグメント仮保持状況を示す。

### 3. PPCセグメントの施工性

#### 3.1 組立施工性

##### (1) 組立パターン

セグメント組立パターンの概要を図-2に示す。組立パターンは、K型セグメントが10時半と1時半の位置となる、AおよびBパターンの繰返しを基本としたが、途中2リングについて、異形セグメントの使用のため、K型セグメントが下半部にくるCパターンを用いた。Cパターンでの組立は、通常時と同様、シールドジャッキでセグメントを順次固定して行った。なお、K型セグメントの挿入や天端位置セグメントへの保持ジャッキの使用も特に支障なかった。

##### (2) A型セグメントの組立

PPCセグメントの組立は、シールドジャッキにより、順次既設セグメントに押しつけながら組み上げるため、押しつけ時点の精度確保が重要となる。当初、A型セグメントが傾いて固定され、以後のセグメントが組

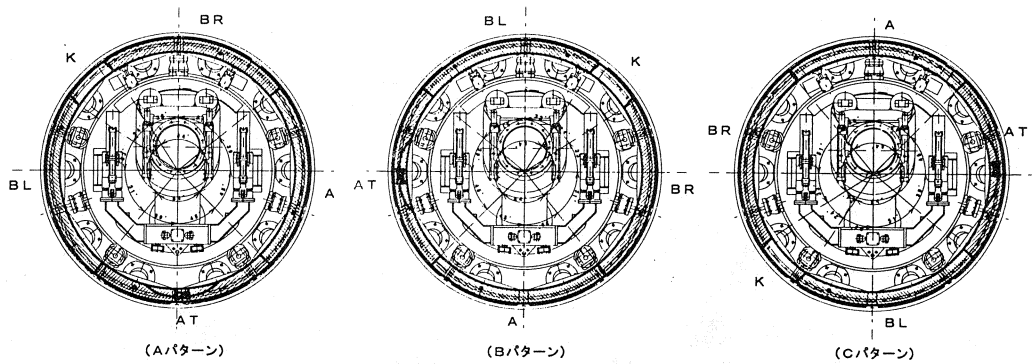


図-2 組立パターン

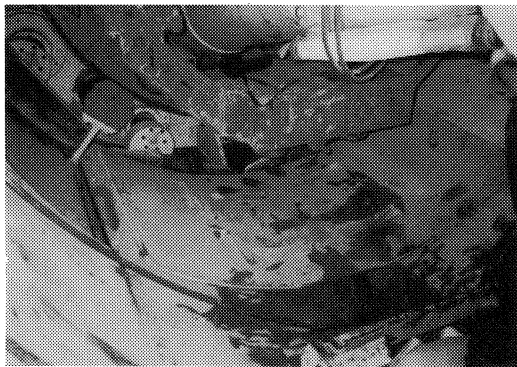


写真-4 AT型セグメント組立状況



写真-5 K型セグメント組立状況

づらい傾向があったが、シールドジャッキの載荷位置をゴムパッキンで調整することにより改善され、以後、順調に組立てることが可能であった。既設セグメントとの位置合わせは、軸方向シース位置に設けたマークを合わせることに、容易であった。写真-4にAT型セグメント組立状況を示す。

(3) B型セグメントの組立

B型セグメントの組立は、エレクタにより所定の位置にセグメントを設置後、セグメント継手間2ヶ所のピンを挿入してリング間の段差を微調整し、シールドジャッキにより固定した。この2ヶ所のピンは、セグメントの微調整をする上で、また、天端側のB型セグメントの安全確保上、極めて有効であった。セグメント仮保持ジャッキは、シールドジャッキで固定後に、十分な安全性を確保するため補助的に使用した(写真-3参照)。

(4) K型セグメントの組立

K型セグメントの挿入は、当初、B型間の余裕が不足し、挿入しづらい傾向があったが、B型セグメントをセットする際に、リング間ほその余裕分(4mm)外側にセットすることにより、挿入施工性は改善された。K型セグメントの挿入を容易にするために、B型セグメントを外側に押し出す操作は必要なかった。写真-5にK型セグメントの組立状況を示す。

3.2 アンボンドPC鋼より線の挿入、緊張、定着作業

(1) アンボンドPC鋼より線の挿入

アンボンドPC鋼より線の挿入作業は、作業員1~2名で行った。挿入抵抗の低減には、各種の対策を試

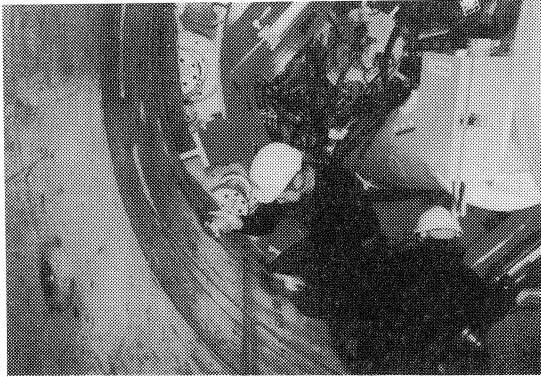


写真-6 アンボンドPC鋼より線挿入状況

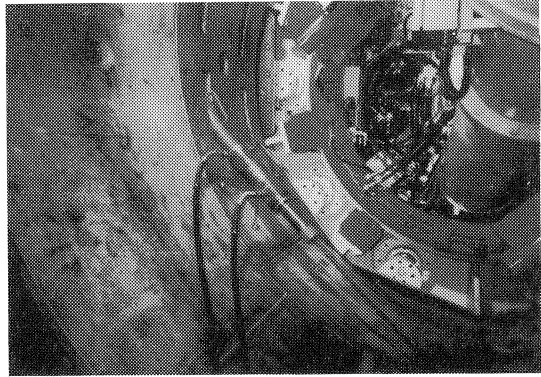


写真-7 円周方向緊張状況

みたが、先端キャップの改良(寸法の縮小と形状の鋭角化)が最も有効であった。改善後は、作業員1名で1本あたり30秒程度で容易に挿入作業を行うことができた。写真-6にアンボンドPC鋼より線の挿入状況を示す。

(2) 緊張定着作業

アンボンドPC鋼より線の緊張定着作業は、作業員2名で効率よく行うことができた。Aパターンの場合緊張位置が真下となり、残土や水の影響が懸念されたが、バキューム設備が常時使用可能なため、緊張箇所は良好な状態を保てた。また、軸方向天端位置の緊張作業は、油圧ポンプのセットや、PC鋼材の切断作業が多少苦渋作業となった。中～大口径の場合、緊張機器の軽量化と足場の確保が今後の課題である。写真-7に周方向緊張状況を、写真-8に定着完了状況をそれぞれ示す。

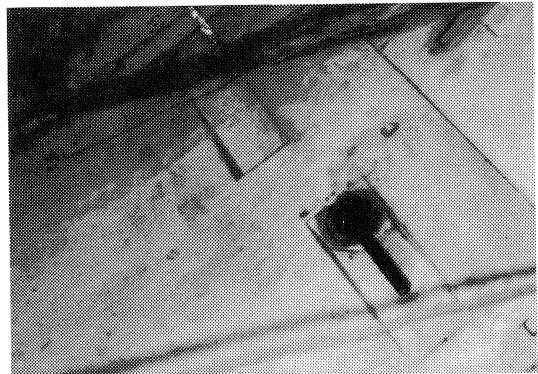


写真-8 定着後状況

3.3 組立施工サイクル

平均的なセグメント組立サイクル時間を表-2に示す。ただし、今回PPCセグメントを採用したのは初期掘進部であり、セグメント搬入、残土搬出方法が異なる本掘進よりも、多くの時間を要している。本掘進部における採用では、組立サイクル時間をさらに短縮することが可能であると考えられる。

表-2 組立施工サイクル

4. 実施工における有効プレストレスについて

ここでは、実施工における、セグメント組立て緊張時のプレストレス、ならびに有効プレストレス経時変化に関して述べる。

4.1 計測概要

周方向ならびに軸方向のプレ

①セグメント組立	A, Bセグメント; シールドジャッキ盛り替え; K型セグメント挿入;	4分×4ピース=16分 3分×1回=3分 6分×1ピース=6分 (計25分)
②PC鋼より線挿入	挿入準備; 円周方向; 軸方向;	= 1分 1分×2本=2分 0.5分×2本=1分 (計4分)
③緊張, 定着作業	円周方向; 軸方向;	2.5分×2ヶ所=5分 2分×2ヶ所=4分 (計9分)
	合計	38分

トレスを、コンクリートひずみゲージとロードセルにより計測した。計測は全50リングのうち、No25-27およびNo44-46のリングに対して行った。

これらのリングに対して、摩擦、セットロス(くさび定着に伴う緊張力の微小な減少量)、シールドジャッキおよび既設セグメントの拘束等の影響を確認するための、緊張作業中ならびに直後の計測、さらに外力の作用、P C鋼材のリラクセーション、コンクリートのクリープおよび収縮等の影響を確認するための、経時的な計測を行った。コンクリートひずみゲージの計測位置を図-3に示す。

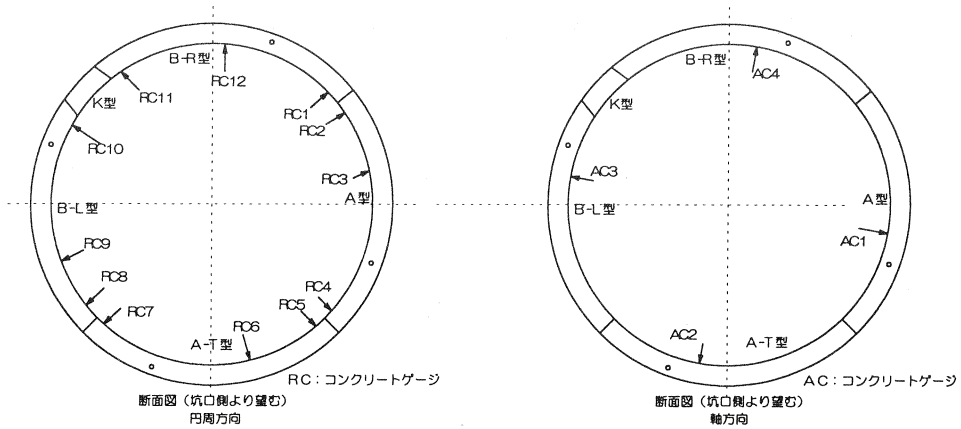


図-3 コンクリートひずみゲージ計測位置

## 4.2 計測結果

### (1) 円周方向プレストレス

代表的な例として、No25-RC1におけるコンクリート表面ひずみの経時変化、ならびにプレストレス導入時のコンクリート表面ひずみ分布を、図-4および図-5に示す。プレストレス導入時の表面ひずみはバラツキがあるものの、プレストレス導入に伴う圧縮ひずみの増加(計算値: 約 $23\mu$ )傾向が認められた。

次に、図-6にリングNo44におけるP C鋼材の緊張

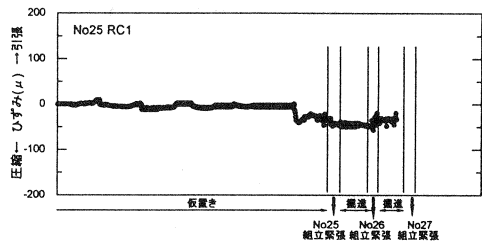


図-4 コンクリート表面ひずみの経時変化

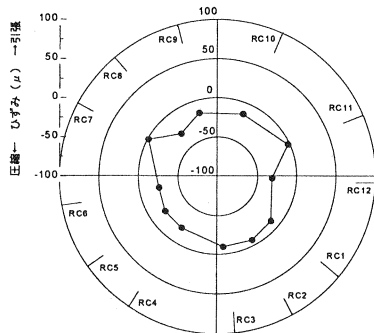


図-5 コンクリート表面ひずみ分布(円周方向)

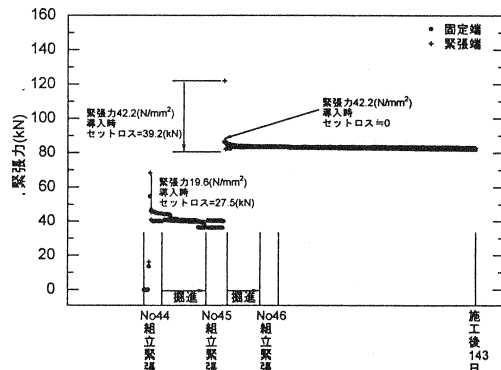


図-6 緊張力の経時変化およびセットロスの発生量

力の経時変化,ならびにセットロスの発生量を示す。定着時のセットロスの発生量は,計算値(固定端=0kN,緊張端=39.2kN)とほぼ同等であることが確認された。また,緊張力の経時的な減少は施工後2日で4.5%発生し,その後の減少量は少なく143日を経過した段階で5%となっている。なお,緊張力の計測は今後も継続的にを行い,その経時変化を確認する予定である。

(2)軸方向プレストレス

図-7にプレストレス導入時のコンクリート表面ひずみ分布を示す。データのばらつきは若干あるが,定着体付近の測点(AC1,AC3)で,計算値(約 $-10\mu$ 程度)とほぼ同等の圧縮ひずみが発生していることが確認された。さらに,図-8にプレストレス導入時ならびに導入後PC鋼材の緊張力の経時変化を示す。その減少量は施工後2日で6%発生し,その後143日を経過した段階で8%となっていることが確認された。こちらも円周方向と同様,緊張力の計測を継続し,その経時変化を確認する予定である。

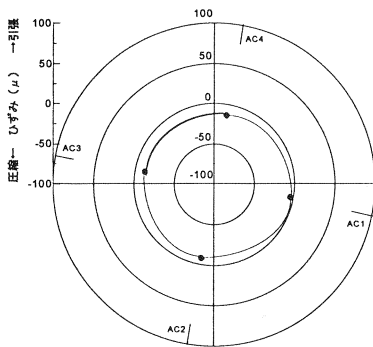


図-7 コンクリート表面ひずみ(軸方向)

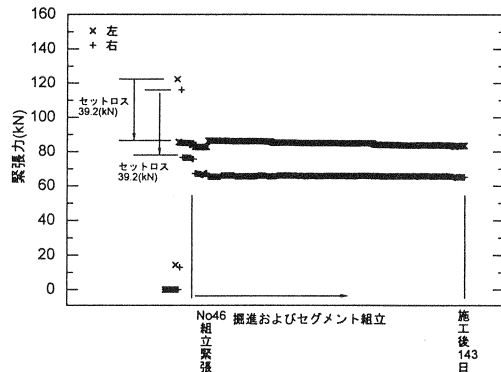


図-8 緊張力の経時変化およびセットロスの発生量

5. おわりに

PPCセグメントの実施工における施工性ならびに,現場計測による緊張作業時のプレストレスおよび,有効プレストレス量の経時変化を確認した。結論として,以下の知見が得られた。

- ①セグメント組立に関して,シールドジャッキによる押しつけのみで,効率よく組み立てられた。また,シールド機に装備した2ヶ所の仮保持ジャッキは,十分な安全性を確保するため,補助的に使用した。さらに,組立パターンは,A,B,C各パターンともほぼ同等の施工性で組み立てられた。
- ②PC鋼材の挿入に関して,挿入作業は先端キャップの使用により,作業員1名で1本あたり30秒程度で容易に行えた。
- ③PC鋼材の緊張および定着に関して,作業は作業員2名で効率的に行えた。ただし,今後さらに施工能率を上げるため,緊張機器の軽量化が必要である。
- ④組立サイクル時間に関して,セグメント組立25分,PC鋼材挿入4分,緊張,定着9分の計38分となった。ただし,今回は初期掘進部での施工のため,今後まだ向上が可能であると考えられる。
- ⑤円周方向プレストレスに関して,プレストレス導入に伴う圧縮ひずみの増加(計算値:約 $23\mu$ )傾向が確認された。また,緊張力の経時的な減少は,施工後143日を経過した段階で5%であった。
- ⑥軸方向プレストレスに関して,プレストレス導入時のコンクリート表面ひずみは,定着体付近の測点(AC1,AC3)で,計算値(約 $-10\mu$ 程度)とほぼ同等の圧縮ひずみが発生していることが確認された。また,緊張力の経時的な減少は,施工後143日を経過した段階で8%であった

なお,本技術は,住友建設(株),東亜建設工業(株),日本国土開発(株),住建コンクリート工業(株)が共同で開発したものである。