

プレストレスを導入したシールドトンネル用セグメントの開発

熊谷 紳一郎*1・金子 正士*2・安田 正樹*3・杉本 雅人*4

1. まえがき

近年シールド工事の合理化が強く求められており、とくにセグメントは、工事費に占める割合が高いため、そのコストダウンが緊急の課題となっている。

シールドトンネル用のコンクリートセグメントは、トンネル坑内を運搬し、内側から組み立てるため、細かく分割する必要がある。このため、セグメントどうしを結合するための継手金物やボルトナットが多く必要となり、その費用は、材料費の5割以上を占めることもある。また、継手は本体部に比べて、剛性、強度とも低く、構造上の弱点になる。また、工事費を削減するためには、セグメントの製作費を下げるとともに、組立て施工性に優れたものである必要がある。

PC構造のシールドトンネル用セグメントは、プレストレスによりリングを一体化するため、継手金物を省略できるうえ、真円性、止水性、耐力に優れるほか、内圧トンネルに対応できるなどの優れた特性をもつが、一方で、これまで普及しなかった要因は、効率的な施工システムが確立できていないためと考えられる。

P&PC (Prestressed & Precast Concrete) セグメントは、アンボンドPC鋼より線やXアンカーを用いた緊張システムを採用することにより、経済性、品質だけでなく、施工性に優れたシールドトンネル用セグメントを目指したものである。

2. P&PC セグメントの概要

2.1 工法の概要

本セグメントは、コンクリート製のセグメントを1リング組み立てた後、セグメントにあらかじめ埋め込まれたシースの中にPC鋼より線を挿入して緊張・定着することによってポストテンションPC構造の覆工リングを形成する。PC鋼より線には、摩擦ロスの少ないアンボンドPC鋼より線

を使用するため、1周あたり1ヵ所の緊張でも十分なプレストレスが導入できる。また、定着体として、緊張側と固定側の定着体が一体となった铸铁製一体型定着体(Xアンカー)を、セグメントに埋め込んで使用することにより、セグメントの配筋が簡素化できるうえ、緊張作業性が向上する。セグメントの組立ては、シールドジャッキにより既設セグメントに押し付けて固定する方式とし、リング間、セグメント間ともボルト継手などは用いない。図-1に本セグメントの概要図を、写真-1にXアンカーを、写真-2に定着部セグメントをそれぞれ示す。

2.2 P&PCセグメントの特長

以下に、本セグメントの特長を列挙する。

(1) 経済性

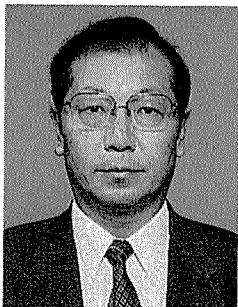
セグメントは、プレストレスを導入することにより一体化されるため、継手金物類を省略できる。また、RC構造と比べて、同じ曲げ性能を得るための鉄筋量は、大幅に低減できる。さらに、中～大口径セグメントの場合、セグメント桁高の縮小も可能となる。以上によりセグメントの製作コストを低減できる。また、後述するように、二次覆工の省略に適しているため、トンネル外径の縮小による全体的なコストダウンが可能となる。

(2) 品質

プレストレスを導入することにより、コンクリートのひび割れを制御できる。また、セグメント間の目開きは極めて小さくなるため、組立て時のリング変形が少なく、真円性、止水性に優れたセグメントとなる。また、アンボンド構造の特徴として、大きな荷重が作用しても、継手は破壊しにくく、粘り強く復元性の高い挙動を示す。とくに縦断方向については、このようなフレキシビリティの確保は耐震性の向上に寄与すると考えられる。

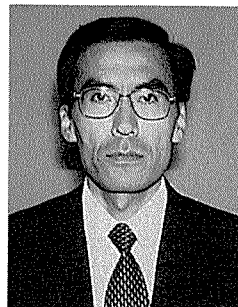
(3) 施工性

セグメントの組立ては、完全なボルトレスとなり、シー



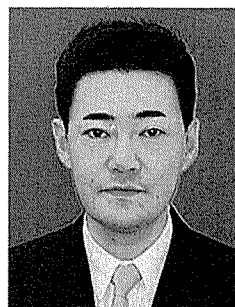
*1 Shin-ichiro KUMAGAI

住友建設(株) 土木本部 技術部長



*2 Masashi KANEKO

住友建設(株)
土木本部 技術部 課長



*3 Masaki YASUDA

東亜建設工業(株)
土木本部 設計部 主任



*4 Masato SUGIMOTO

日本国土開発(株) 施工本部 土木部

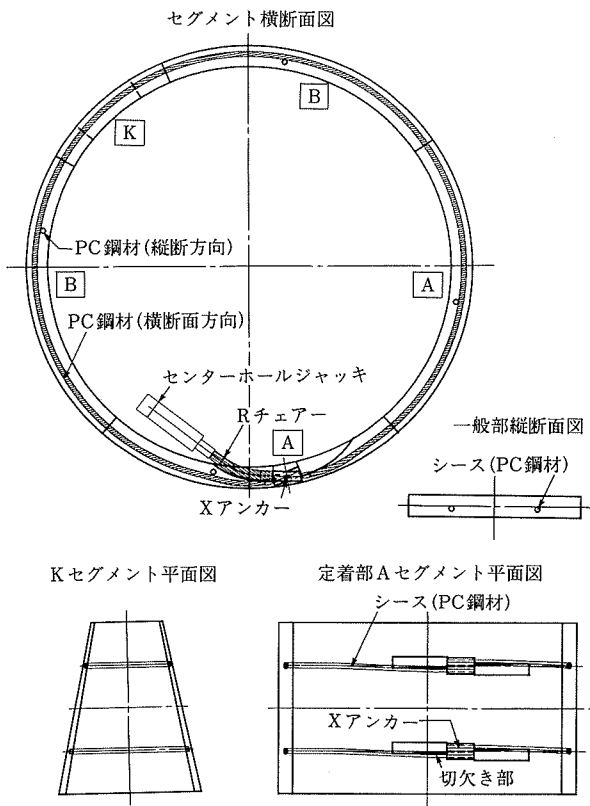


図-1 P & PCセグメントの概要図

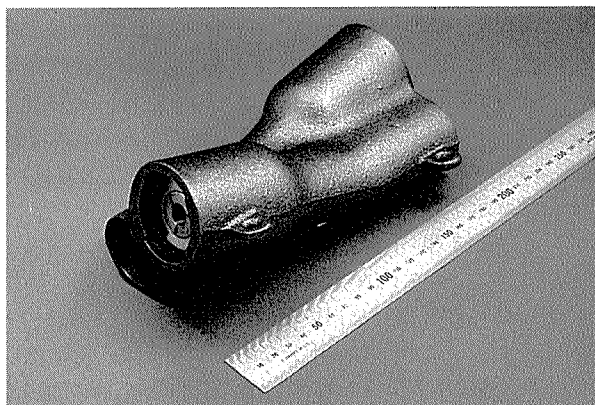


写真-1 Xアンカー

ルドジャッキで固定するだけで済むため、施工性のよいものとなる。また、自動組立てにも対応しやすい。周方向の緊張作業は、1周あたり1カ所で緊張するため、施工性がよく、施工サイクルへの影響は少ない。

(4) 内面平滑型セグメント

セグメント内面の凹凸が少なく、金物類が表面に出ないうえ、止水性が高く、プレストレスによりひび割れを抑えられるため、二次覆工を省略する場合に適している。

(5) 内水圧対抗型セグメント

高い内水圧が作用するトンネルの場合には、プレストレスを導入することによって、コンクリートを全圧縮に保てるため、安定性と止水性が保たれる。

2.3 P & PCセグメントの適用範囲

本セグメントは、内径2.0m程度の小口径から10.0mを超

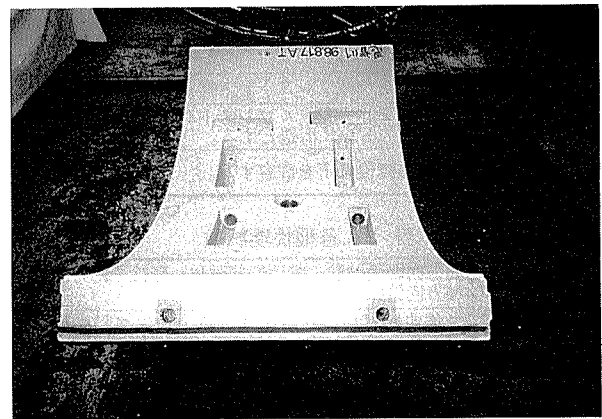


写真-2 定着部セグメント外観

表-1 適用範囲

項 目		適 用 範 囲
断面形状・寸法	形 状	円形を標準とする。
	最小径	内径2.0m程度。
	最大径	RCセグメントと同等。大口径の場合、セグメント自重による変形防止に有利。
	最小桁高さ	100mm程度。
地 質	プレストレス力を調節することにより、軟弱地盤から硬質地盤まで適用が可能。	
最小曲線半径	一般的なコンクリートセグメントを使用した場合と同程度。	

える大口径のシールドトンネルまで対応できる。このため、上下水道、電力、通信、ガスをはじめとして、鉄道、共同溝、道路まで広範囲に適用できる。なお、二次覆工を省略する場合や、内圧がかかる場合にとくに有利となる。表-1に適用範囲をまとめる。

2.4 P & PCセグメントの施工手順

本セグメントを用いたシールド工場の施工手順は、以下となる。

(1) シールド掘進

従来のセグメント方式と同様に、セグメントに反力をとってシールド掘進を行い、残土を搬出する。

(2) セグメント組立て

シールドジャッキで既設セグメントに固定しながら、下方のセグメントから順次組み立てる。

(3) PC鋼材挿入

円周方向、縦断方向の順に、アンボンドPC鋼より線を、切欠き部から、セグメントに埋め込まれているシース内に挿入する。

(4) 円周方向緊張・定着

緊張方向を内側に向けるためのRチェアーとセンターホールジャッキをセットし、緊張後、ジャッキを解放することにより、くさびを定着する(この段階で、リングとして安定するため、シールド掘進を再開することもできる)。

(5) 縦断方向緊張

円周方向と同じ方法で、数リング後方のセグメントとの間を緊張する。

(6) PCグラウト工

本セグメントに埋め込まれたシースと挿入したPC鋼より線との隙間にグラウト材を注入する。注入作業は掘進、緊

表-2 P&PCセグメントの設計法

種 別	緊張力	継手の剛性	リング変形	断面力の計算	緊張コスト
(a) セグメントリングをフルプレストレス構造とする。	大	大	小	剛性一様のリングとして扱う。	大
(b) セグメント本体部をパーシャルプレストレス構造、継手部をフルプレストレス構造とする。	中	中	中	同 上	中
(c) セグメント継手の剛性低下を許容する。	小	小	大	必要によりはりーばねモデルとして扱う。	小

表-3 各種性能試験

外径2400mm 性能試験	周方向緊張試験, 継手性能試験, 剛性・耐力試験, 軸方向緊張試験
外径2950mm 性能試験	単体曲げ試験, 継手曲げ試験, リング載荷試験, ジャッキ推力試験, 吊り手金具引抜き試験
施工性確認試験	PCグラウト充填性試験, セグメント組立て試験
外径2700mm 性能試験	内水圧載荷試験

表-4 試験要領

導入緊張力	86.3 kN/ケーブル
継手の抵抗モーメント	10.8 kN・m
継手の破壊モーメント	17.0 kN・m
載荷点の間隔	900 mm
支 間 長	2 635.5 mm
継手の破壊荷重 P_{j2}	29.4 kN

張工とは別工程で行うため、シールド掘進速度に影響を与えない。

(7) 跡埋め充填工

二次覆工を省略する場合は、セグメント内面の緊張部の切欠きに無収縮モルタルを充填する。

3. 設計法の概要

本セグメントの構造モデルは、トンネル円周方向のプレストレスの量によって、以下の方法に分けて考えることができる。

(1) セグメントリングをフルプレストレス構造とする場合

曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度がセグメントリング全周にわたって引張応力度にならないように、同時に許容圧縮応力度以下になるようにプレストレスを導入する。この場合、セグメント継手は、セグメント本体部とほぼ同等の剛性をもつと考えられるため、セグメントリングは剛性一様なリングとして考えることができる。

(2) セグメント本体部をパーシャルプレストレス構造、継手部をフルプレストレス構造とする場合

セグメント継手を曲げモーメントの大きい上下左右の位置を避けて設けることとし、セグメント継手部については、その位置の曲げモーメントに対し全圧縮応力状態となるように、同時にセグメント本体部については、引張応力の発生を許容してプレストレスと鉄筋の両方で曲げモーメントに対抗する状態となるように、適度なプレストレスを導入する。この場合、セグメント継手は、(1)と同様に全圧縮応力状態となるため、セグメントリングは剛性一様なリングとして考えることができる。

(3) セグメント継手の剛性低下を許容する場合

セグメント円周方向の導入プレストレスをさらに減らして、組立て精度や止水性の確保のため、組立て時の自重による断面力に対し、全圧縮状態となる程度のプレストレスを導入する。この場合、地山荷重による断面力に対しては、セグメント継手面に無応力域が発生し、セグメント継手の剛性は、本体部に比べて低下する。構造計算にあたっては、標準セグメントと同様に、継手の剛性低下を評価する必要がある場合は、修正慣用計算法やはりーばねモデル計算法を用いる。また、リング変形量が大きくなる場合は、千鳥組による添接効果により、変形を抑制することも

できる。表-2にそれぞれの設計法の特徴をまとめる。

4. 実験概要

P&PCセグメントの開発にあたり、円周方向や縦断方向にプレストレスを導入したセグメントの基本性能や施工性を確認することを目的として、各種性能試験を行っている。表-3にこれまでに実施した、各種性能試験をまとめた。なお、本稿では本セグメントの構造的特徴が現れたセグメント継手曲げ試験およびリング載荷試験について報告する。

4.1 セグメント継手曲げ試験¹⁾

(1) 試験概要

セグメント継手曲げ試験は、Aセグメントを2ピース接合したアーチ状の梁に、あらかじめプレストレス(PC鋼より線2本配置)を与え、両端可動支点の2点集中荷重方式により行った。計測項目は、載荷重、水平・鉛直変位、緊張力、コンクリート表面ひずみおよび目開き量である。試験要領を表-4に、試験装置の概要を図-2に、試験状況を写真-3にそれぞれ示す。

(2) 試験結果

載荷重 $P_{max}=37.1$ kNで継手部分の圧壊を確認し除荷した。アンボンドPC鋼材を用いた場合の設計耐力 P_{j2} は29.4 kNであるので、これに対し十分な耐力があることを確認した。また、プレストレスを導入しているために、載荷重を0 kNまで除荷したときに、水平変位が載荷前の初期状態(0 mm)に戻っており、アンボンド構造として復元性が高いという特徴が確認された。また、セグメント継手の回転ばね定数はレオンハルトらの実験式による計算値に対し、大きめの値となった。図-3に載荷荷重と変位の関係を、図-4に曲げモーメントと継手回転角度の関係をそれぞれ示す。

4.2 リング載荷試験

(1) 試験概要

リングとしての剛性を確認することを目的として、リング載荷試験を行った。載荷試験装置の概要を図-5に示す。試験装置は、プレストレスを導入したセグメントリングを、反力壁と反力支柱間に設置し、1方向に載荷した。なお、セグメント底面の接地部は、摩擦低減のためにテフロン板を敷設した。計測項目は、載荷荷重、緊張力、内空変位、目開き量およびコンクリート表面ひずみである。試験要領を表-5に示す。

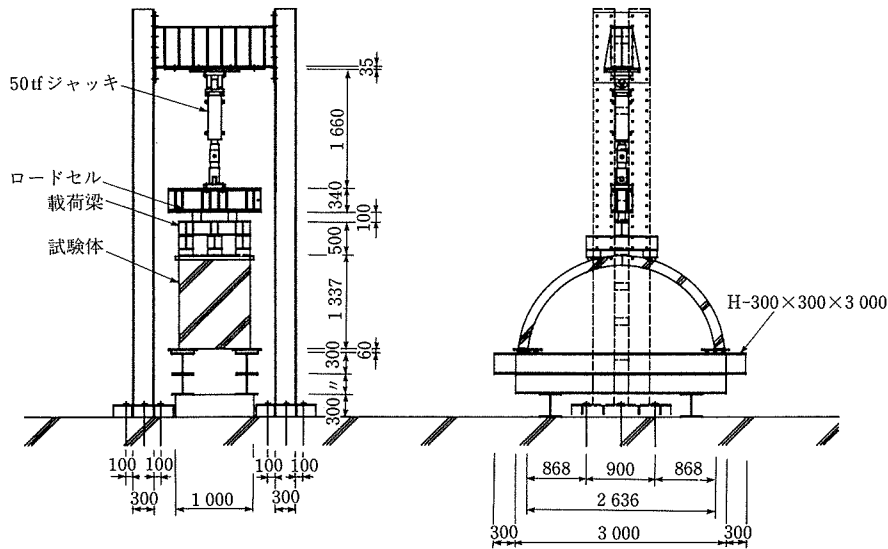


図-2 セグメント継手曲げ試験装置

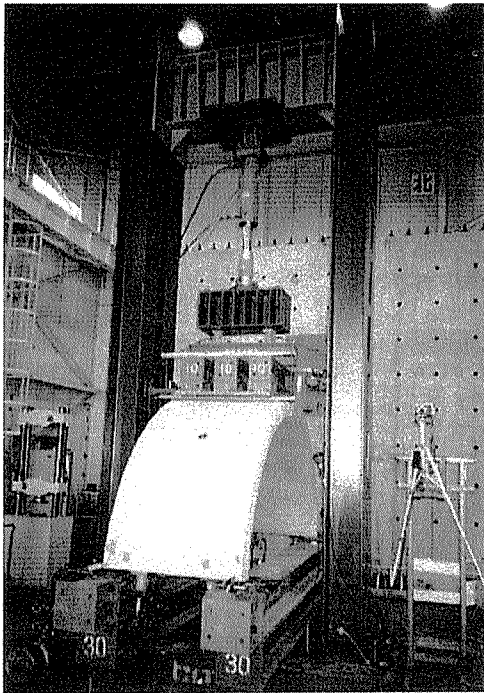


写真-3 セグメント継手曲げ試験状況

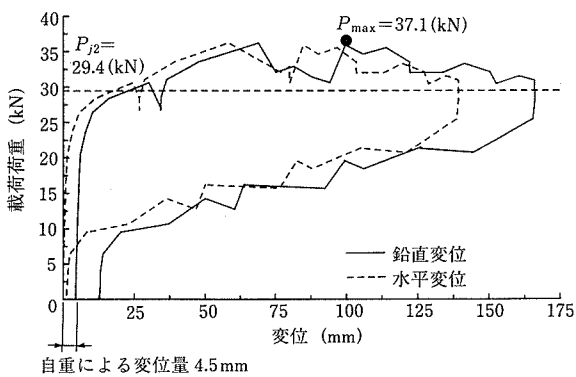


図-3 載荷荷重-変位の関係

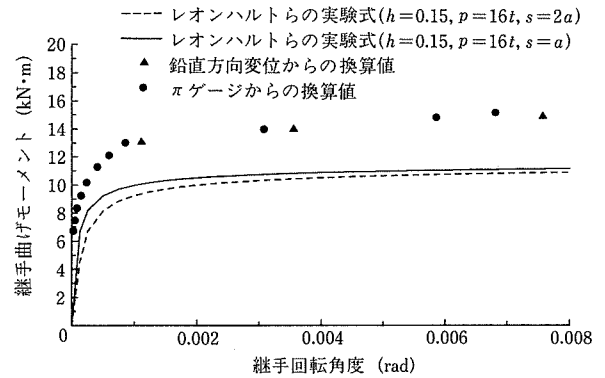


図-4 曲げモーメントと継手回転角度の関係

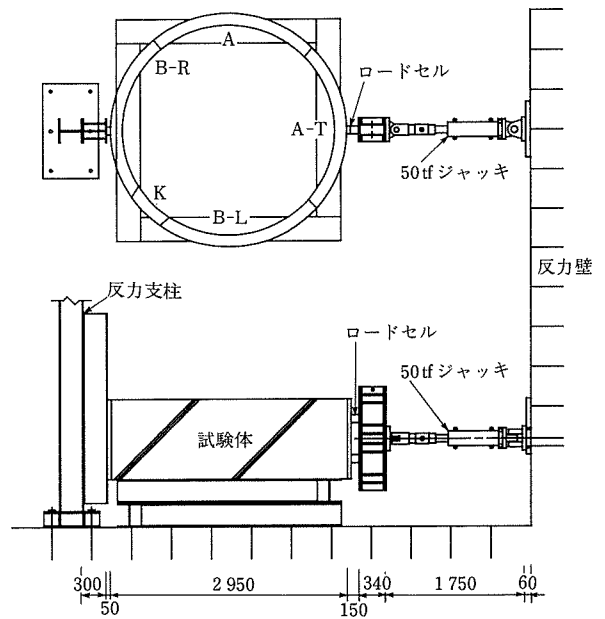


図-5 リング載荷試験装置

表-5 試験要領

導入緊張力	108.9 kN
破壊モーメント	57.9 kN・m
破壊荷重	159.6 kN

(2) 試験結果

図-6に載荷荷重と載荷軸方向および載荷軸直角方向の内空変位の関係を示す。載荷荷重 $P_{max}=159.6$ kNで載荷位置

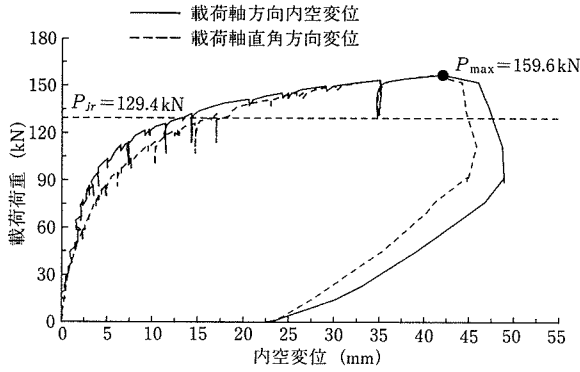


図-6 載荷荷重-内空変位の関係

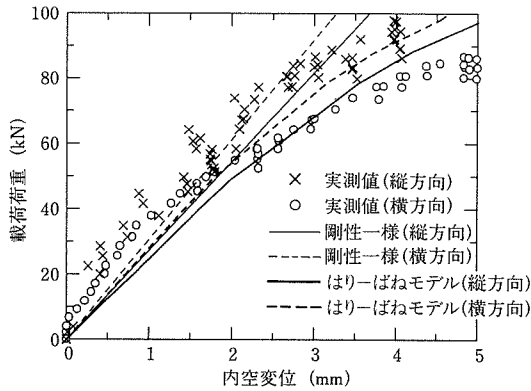


図-7 載荷荷重-内空変位の関係 (実測値と解析値との比較)

付近でのコンクリートの圧壊を確認した。アンボンド構造のため、設計耐力はPC鋼材の付着を考慮した場合の70%として $P_{jr}=129.4$ kNとなるため、これに対して十分な耐力があることを確認した。次に、図-7に内空変位の実測値とはりばねモデルの解析値の比較を示す。実測値は、はりばねモデルの解析値と、ほぼ同様な値となっていることが分かる。

5. 実施工結果²⁾

5.1 工事概要

P&PCセグメントは、各種性能確認試験や施工性確認試験を実施した後、大阪府発注の下水道工事のL=50m区間に初めて採用された。表-6に工事概要をまとめる。

5.2 土質概要

本セグメント施工部は、大阪府東部の生駒山地の麓で、大阪府の中央を南北に連なる上町台地と生駒山地との間の河内平野東端に位置する。付近は平地であるが、東側は緩やかに標高を増し、生駒山地へと当たる。標高は、+10m~12m程度で、深さ6.5mまでは沖積層(Ac層:N値2~3)となり、以深は洪積層、基盤岩(花崗岩類)と続く。シールドの土かぶり厚は11m~12mで、シールド掘削位置の土質は全面洪積層となるが、上半部にDs層とDc層が複雑な互層を成

表-6 工事概要

工事名称	寝屋川流域下水道恩智川東幹線(第4工区)下水管渠築造工事
発注者	大阪府 東部流域下水道事務所
施工場所	大阪府八尾市郡川一丁目~垣内一丁目
工期	平成9年12月18日~平成12年3月15日
工事内容	仕上り内径φ2200mm,掘削外径φ3080mm 土圧式シールド,管渠延長L=1012.8m(初期掘進区間L=50mにP&PCセグメントを採用)

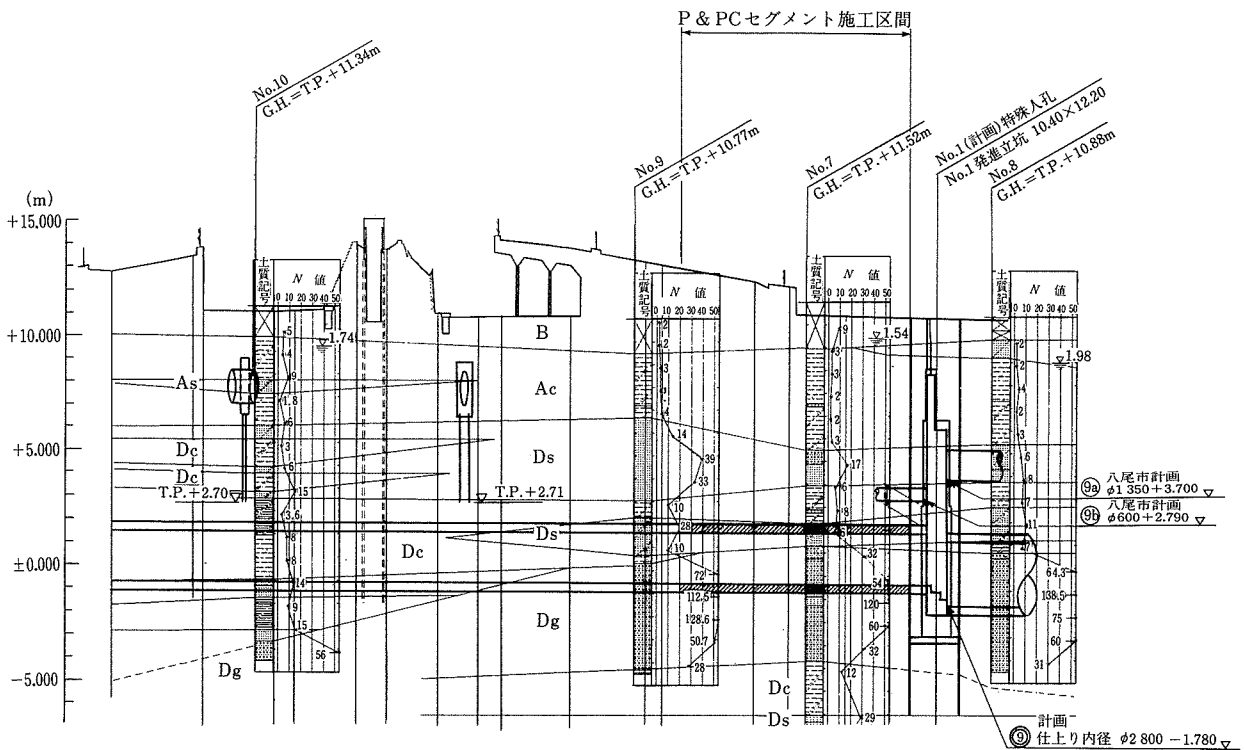


図-8 土質縦断面図

し、下半部はDg層となる。Ds層は、N値6~8と緩く、バインダ分14%、均等係数は10以上で、粒度分布は良好と言える。Dc層は、N値5~10、 $qu = 2\text{kgf/cm}^2$ 、単位重量 $1.6\text{kgf/cm}^3 \sim 2.1\text{kgf/cm}^3$ 、Dg層は、N値40~60、最大れき径50mm程度、バインダ分10%程度である。P&PCセグメント区間の土質縦断面図を図-8に示す。

5.3 線形

本セグメント施工区間のうち、前半25mは直線部、後半25mは $R=200\text{m}$ の曲線区間となっている。曲線区間では、テーパ量30mmの量テーパの異形セグメントと標準セグメントを1:1で組み立てた。縦断勾配は0.8%で、上り方向への掘進となった。本セグメント施工区間の平面図を図-9に示す。

5.4 P&PCセグメント

今回施工したセグメントの主な仕様を表-7に示す。ま

た、写真-4に仮置き状況を示す。

5.5 シールド機

表-8に今回使用したシールド機の仕様をまとめる。また写真-5にシールド機全景を、写真-6にセグメント仮保持ジャッキを示す。P&PCセグメントを使用する場合、ボルトレスでの組立てとなるため、シールドテール部の上部にセグメント仮保持ジャッキ(押上げジャッキ)を2カ所装備している。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となる。

5.6 施工結果

(1) P&PCセグメント組立て施工性

本セグメントの組立ては、シールドジャッキにより順次既設セグメントに押し付けながら組み上げるため、押し付け時点の精度確保が重要となる。当初、Aセグメントが傾い

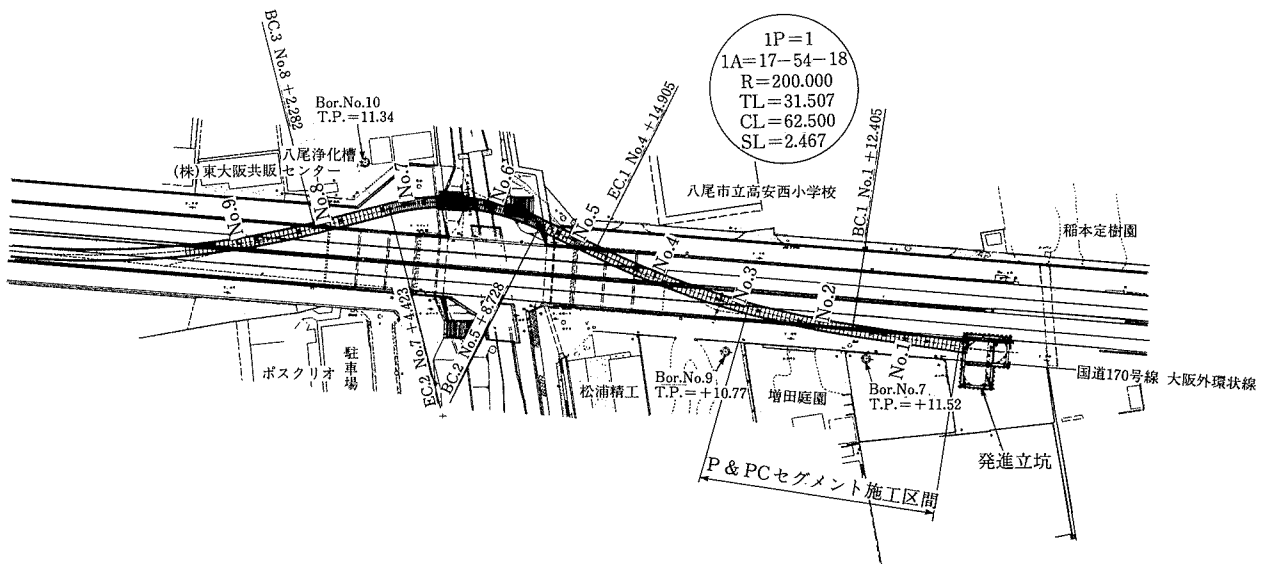


図-9 発進部平面図

表-7 P&PCセグメントの主な仕様

形状	外径: 2950 mm, 桁高150 mm, 幅1.0 m
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	$F'_{ck} = 50\text{ N/mm}^2$
セグメント継手	フラット面の突合せ
リング継手	継手中央にぼぞ(凹凸)を付けた。

表-8 シールド機の主な仕様

シールド方式	土圧式
外径, 機長	$\phi 3\ 080\text{ mm}$, L 5 000 mm
総推進力	800 tf
カッタ支持	センターシャフト式
スクリーコンベア	軸付き ($\phi 470\text{ mm}$)

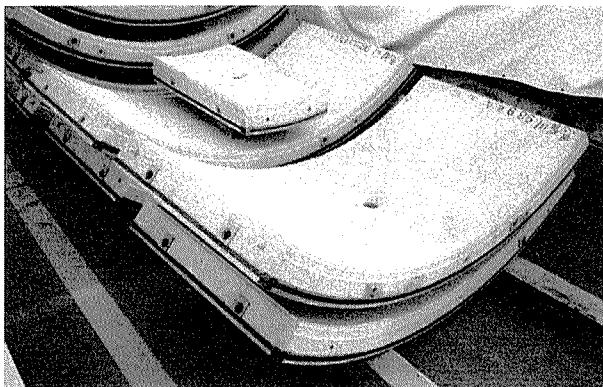


写真-4 P&PCセグメント仮置き状況

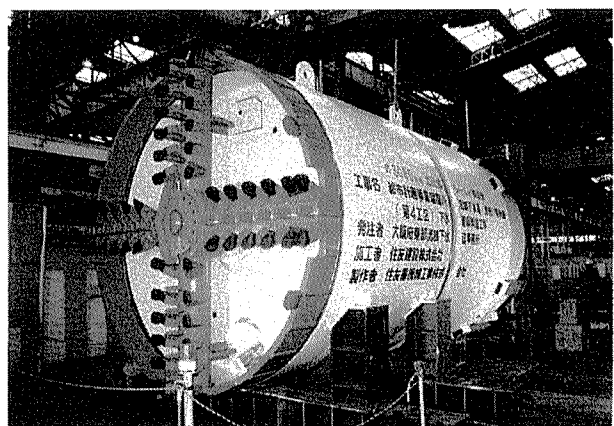


写真-5 土圧式シールド機全景

◆ 研究報告 ◆

て固定され、以後のセグメントが組み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、以後は順調に組み立てられた。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により容易にセットできた。Bセグメントの組立ては、エレクタで旋回後、リング間の段差を微調整して、シールドジャッキにより固定した。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。Kセグメントの挿入は、当初Bセグメントとの余裕が不足し、挿入しづらい傾向があったが、Bセグメントをセットする際に、リング間ほどの余裕分(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。

セグメントの組立てパターンは、Kセグメントが10時半と1時半の位置にくる、A、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パターンでの組立て手順は、通常時と同様に順次シールドジャッキで固定し、K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とくに支障なかった。写真-7にBセグメント組立て状況を、写真-8にKセグメントの組立て状況を、図-10にセグメント組立てパターンの概要図をそれぞれ

れ示す。

(2) アンボンドPC鋼より線の挿入、緊張、定着作業

アンボンドPC鋼より線の挿入作業は、作業員1名~2名で人力により押し込んだ。挿入抵抗の低減には、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、改善後は、作業員1名で1本あたり30秒程度で容易に行えた。アンボンドPC鋼より線の緊張定着作業は、まったくトラブルがなく、作業員2名で効率よく行えた。当初、緊張位置が真下の場合、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

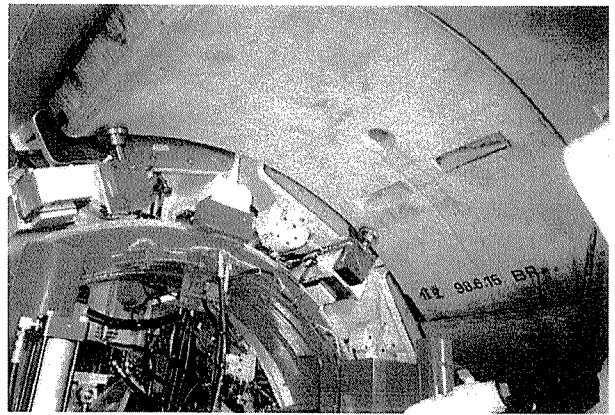


写真-7 Bセグメント組立て

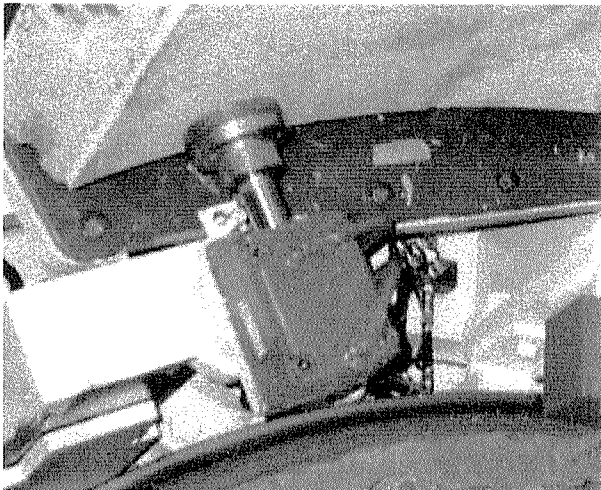


写真-6 セグメント仮保持ジャッキ



写真-8 Kセグメント組立て

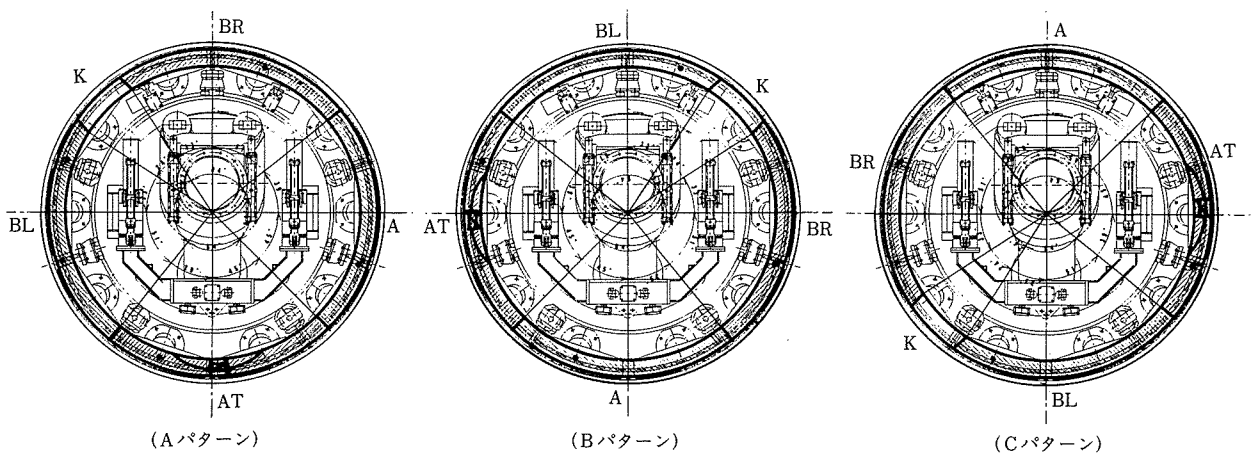


図-10 セグメント組立てパターン概要図

ブのセットや、PC鋼材の切断が多少苦渋作業となった。今後、中～大口径の場合、緊張機器の軽量化と足場の確保が重要となる。写真-9にアンボンドPC鋼より線の挿入状況を、写真-10に周方向緊張状況を、写真-11に緊張、定着完了状況をそれぞれ示す。

(3) セグメント組立てサイクル時間

平均的なセグメント組立てサイクル時間を表-9に示す。今回は初期掘進部で採用したため、セグメント搬入、残土搬出方法が本掘進とは異なっており、今後はまだ向上が予想される。

(4) PCグラウト工

PC鋼材ならびに定着体の防食を目的として、PCグラウト

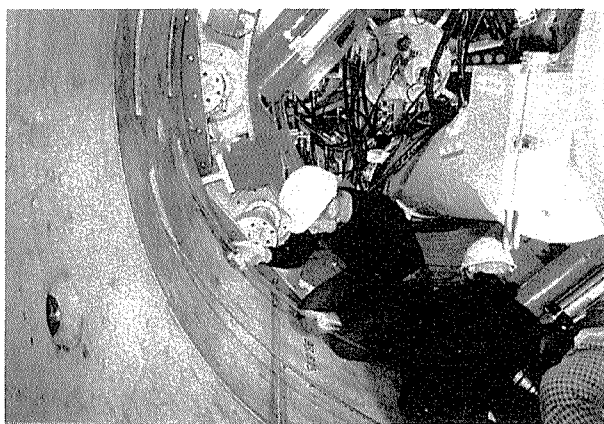


写真-9 アンボンドPC鋼より線の挿入状況

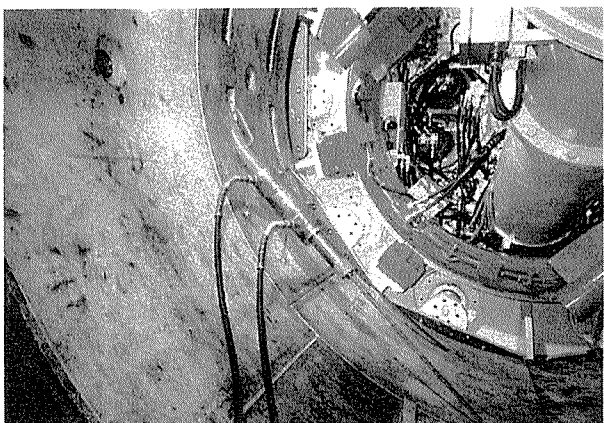


写真-10 周方向緊張状況

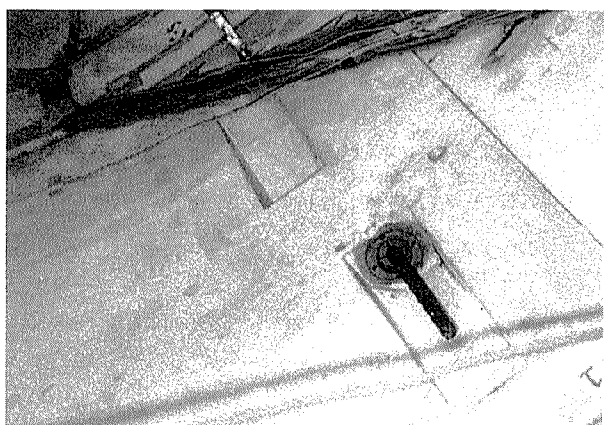


写真-11 定着完了状況

を行った。

① 注入準備

セグメントの継手間には、あらかじめグラウト漏出防止のためのパッキンを貼り付けた。注入口は、定着部切欠き内にあらかじめ埋め込んだ注入ホース(φ12mm)とし、排出口は、両端のくさび定着位置にエア抜きのホース(φ9mm)を設置のうえ、モルタルを充填した。

② 練混ぜ

グラウトの練混ぜは、所定のコンシステンシーを得るため、1000rpm以上のミキサーを用いて、以下の手順で実施した。

水 → セメント → (3分練混ぜ) →
コンベックス208ネオT → (3分練混ぜ)

③ 注入

注入作業は、円周方向と縦断方向を交互に実施した。注入作業は、片押しで中断することなく連続して行い、両端の排出口は、注入口と同等の品質のグラウト材が流出するのを確認してから、順次閉塞した。セグメント継手間からの漏出はほとんどなかった。表-10に標準配合を、写真-12に注入状況をそれぞれ示す。

(5) 現場計測結果

① 計測概要

周方向ならびに軸方向のプレストレスを、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

表-9 P&PCセグメント組立てサイクルタイム

① セグメント組立て ・A, Bセグメント ・シールドジャッキ盛替え ・K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)
② PC鋼より線挿入 ・挿入準備 ・円周方向 ・軸方向	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カ所 = 5分 2分×2カ所 = 4分 (計9分)
計38分	

表-10 PCグラウト標準配合(1バッチあたり)

水セメント比 (%)	コンベックス208ネオT (C×%)	水 (kg)	セメント (kg)	コンベックス208ネオT (kg)
45	1.0	11.3	25	0.25

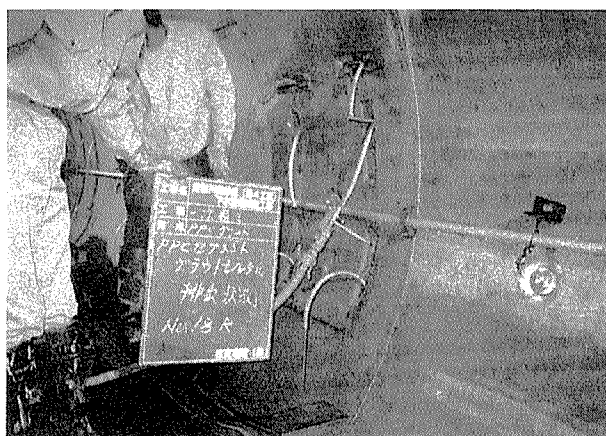


写真-12 注入状況

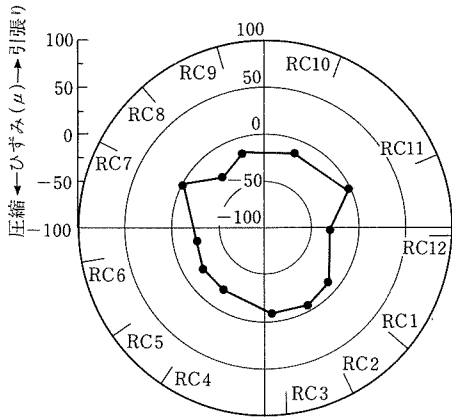


図-11 コンクリート表面ひずみ分布 (円周方向)

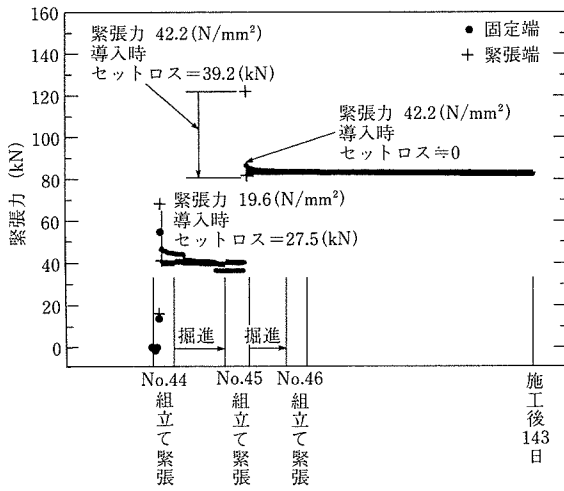


図-12 緊張力の経時変化およびセットロス

ングのうち、No.25～27 およびNo.44～46のリングに対して、摩擦、セットロス、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、PC鋼材のリラクゼーション、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。また、完成時の内空寸法を測定した。

② 計測結果

① 円周方向プレストレス

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-11に示す。プレストレス導入時の表面ひずみはばらつきがあるものの、プレストレス導入に伴う圧縮ひずみの増加(計算値：約23 μ)傾向が認められた。

次に、図-12にリングNo.44におけるPC鋼材の緊張力の経時変化、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=0 kN、緊張端=39.2 kN)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。

表-11 内空計測結果

計測位置	内空寸法誤差の平均値 (mm)					
	鉛直方向			水平方向		
	直線部	曲線部	全線	直線部	曲線部	全線
P&PCセグメント	-1.48 (1.56)	-0.88 (1.20)	-1.18 (1.38)	1.76 (1.76)	1.36 (1.36)	1.56 (1.56)
RCセグメント	-2.60 (3.56)	-	-2.60 (3.56)	0.60 (2.48)	-	0.60 (2.48)
鋼製セグメント	-2.94 (6.00)	-6.33 (6.60)	-3.98 (6.18)	0.56 (5.03)	3.33 (4.27)	1.41 (4.80)

() : 絶対値の平均値



写真-13 坑内全景

② トンネル内空の真円度

P&PCセグメントにより組み立てられたリングの真円度を実施工において計測し、組立て精度を確認した。表-11より、本セグメントの内空出来形寸法は、鉛直方向がマイナス側、水平方向がプラス側の傾向が見られるが、変位量は最大値で3mmと小さく、同じ工事の他区間で施工したRCセグメント、鋼製セグメントに比べて高い精度が得られた。写真-13に坑内全景を示す。

6. あとがき

P&PCセグメントは、プレストレスを利用する点で、自重の影響が大きい中～大口径トンネル、内圧を受けるトンネルや二次覆工を省略するトンネルに適性がより高く、今後の適用が期待される。また、実施工を積み重ねる中でさらに施工の合理化を図りたい。

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。

参考文献

- 1) 熊谷, 高橋, 相良, 杉本: PPCセグメント工法の開発(その1), 第9回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレスコンクリート技術協会, pp.897~902, 1999.10
- 2) 近藤, 齊藤, 正岡, 志和: PPCセグメント工法の開発(その2), 第9回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレスコンクリート技術協会, pp.903~908, 1999.10

【2000年4月17日受付】