

内水圧対応型ボルトレスセグメントの開発と実施工

DEVELOPMENT AND EXPERIMENT OF SECONDARY LINING FREE REINFORCED CONCRETE SEGMENT FOR INTERNAL WATER PRESSURE TUNNEL

大井隆資¹⁾・堀籠昌弘²⁾・藤本直昭³⁾・田村直明⁴⁾・浅田浩司⁵⁾

Takatugu OI, Masahiro HORIGOME, Naoaki FUJIMOTO, Naoaki TAMURA, Kouji ASADA

In recent years, various tunnel projects such as underground storage pipeline projects and stormwater drain pipeline projects to counter against urban type flooding have been planned. In most cases, consideration and adaptability against internal water pressure is in need.

The authors have developed a type of reinforced concrete segment system using two types of mortise and tenon connection to joint the segments. This type of segment is most suitable for secondary lining free construction as well as adaptable against internal water pressure. Experimental works were carried out and satisfactory results were confirmed both in execution and quality.

Key Words : shield tunnel, segment, secondary lining free, internal water pressure, simplified joint system

1. はじめに

近年、都市型洪水への対応策として、地下貯留管・雨水幹線などのトンネル計画が積極的に進められている。これらのトンネルでは満管状態での運用を考慮する機会が多く、トンネル覆工は土水圧の外荷重と内水圧の両方に対応する必要がある。また、シールド工事における建設コスト縮減対策として、二次覆工を省略し工期の短縮およびトンネル掘削径の縮小を図ることが注目されている。著者らは、リング継手面に設けた2種類のほぞのかみ合いのみで覆工体を保持する構造で、内水圧に対応でき、二次覆工省略が可能なコンクリートセグメントを開発した。本報告では、その開発概要および実施工に適用した結果について述べる。

2. セグメントの概要と特長

2.1 構造概要

セグメントの概要を図-1に示す。従来のセグメントは各セグメントを継手ボルトなどで締結して組み立てるものが一般的であるが、本セグメントは、ボルトを使わないでリング継手面に設けた凹凸ほぞのかみ合いのみで組み立てる構造である。(表-1) ほぞは半径方向と円周方向の2種類あり、それぞれ次の役割を持つ。

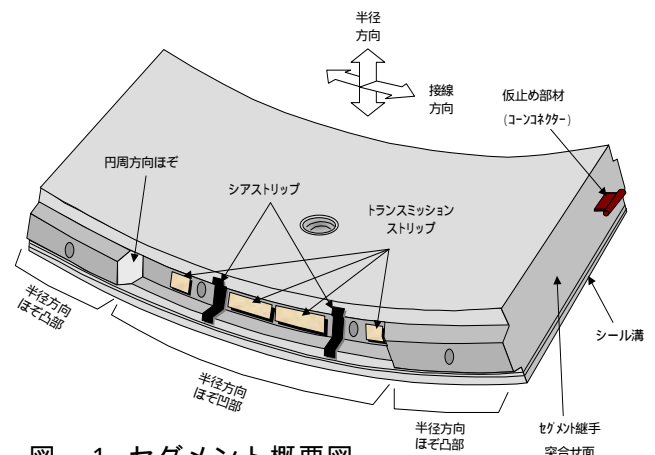


図-1 セグメント概要図

- 1) 正会員 株式会社フジタ 土木本部生産技術部
- 2) 株式会社フジタ 大阪支店土木部
- 3) 正会員 株式会社フジタ 大阪支店土木部
- 4) 正会員 三井建設株式会社 土木本部土木技術部
- 5) 不動建設株式会社 土木技術本部計画部

6)

表 - 1 従来型セグメントとの比較

	従来(標準)型セグメント	開発したセグメント
セグメント継手	鋼製継手板 + 短ボルト	コンクリート面の突合せ
リング継手	鋼製継手板 + 短ボルト	相対する凹凸ほぞのかん合

半径方向ほぞ：本セグメントのセグメント継手はコンクリート面を突き合わせただけの構造である。土圧・地下水圧などの外荷重による曲げモーメントは半径方向のほぞを介して隣接するセグメントピースに伝達し、その添接効果でリング形状を保持する。(図 - 2) 相対するほぞの接触面には緩衝材を配置し、コンクリートの欠損を防止する構造となっている。

円周方向ほぞ：内水圧が作用し、セグメント継手が目開きを生じようとする場合、円周方向のほぞのかみ合いにより隣接するセグメントピースの本体部で抵抗する。(図 - 3 ~ 4) 相対するほぞには4 ~ 6 mmの組立余裕を設定しており、覆工体が外荷重に対して安定した後にエポキシ樹脂などで充填して一体化する。

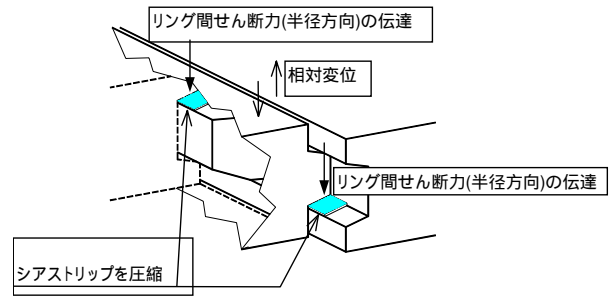


図 - 2 半径方向ほぞ

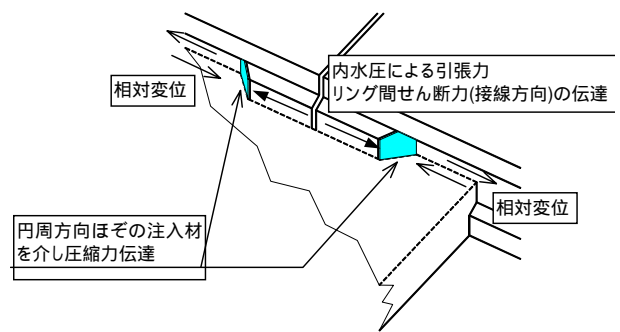


図 - 3 円周方向ほぞ

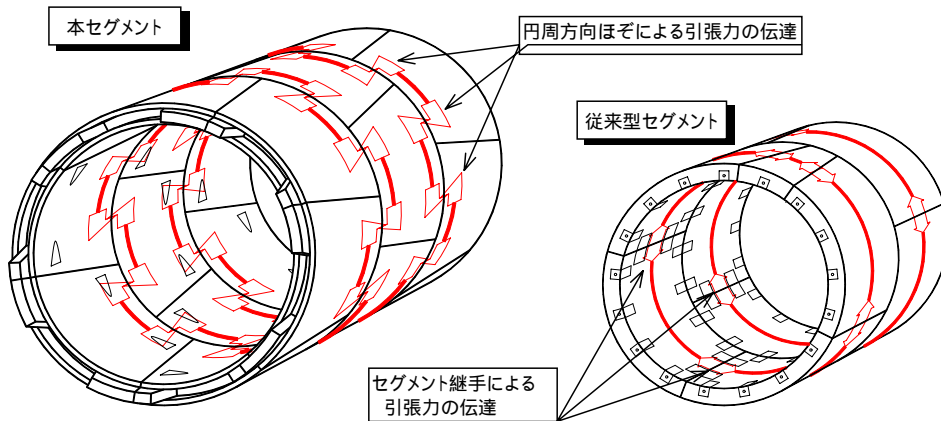


図 - 4 軸引張力伝達機構の比較

2.2 セグメントの特長

開発の狙いとした本セグメントの特長を次に示す。

内水圧対応：円周方向ほぞのかみ合いで、発生した軸引張力を隣接するセグメント本体に直接伝達して抵抗できる。

二次覆工省略：覆工に発生する断面力をほぞのかみ合いで伝達するため構造部材としての継手金物が不要である。継手部材はセグメント組立時の仮止め部材で自由に選択できる。トンネルの用途・運用環境に応じボルトボックスの無い継手形式を用いて内面を平滑に仕上げる，鋼製部材が内面に露出しない形式を用いて防食性を向上させるなど二次覆工省略の適用性が高い。

施工性の向上：仮止めの継手部材には従来のような締結力を期待しないため継手の数，規格を低減できる。締結作業時間の短縮による施工速度の向上が可能である。また、ぼぞ形状がセグメント組立時のガイドとなり位置決めが容易かつ迅速に行えるとともに真円度の保持に優れる。

製作費の低減：内水圧に対応するための継手金物やアンカー筋の高強度・高剛性化が不要で、セグメント製作費の低減が可能である。特に、継手金物の製作・取り付け費が比較的大きな比重を占める大口径シールドにおいてその効果が大きい。

3．実大実験による構造の検証

3．1 実験概要

セグメントの構造を実大規模の実験で検証した。実験は、継手部の変形特性とリング全体としての変形特性について個別に確認した。

継手部要素実験：継手部の強度・変形特性を把握し設計に用いるばね定数の設定手法を確立する目的で、次の実験を行った。実験は、厚さ 200mm，幅 1000mm の平板型供試体を用いて行った。

a) セグメント継手曲げ実験：セグメント継手に相当するコンクリート突合せ面の変形特性と回転ばね定数の評価方法を確認した。

b) リング継手せん断実験：リング継手面の半径方向ぼぞ、円周方向ぼぞの強度・変形特性とせん断ばね定数の評価方法を確認した。

リング載荷実験(写真 - 1)：内水圧により軸引張力が作用する条件を含む数種類の荷重条件で、セグメントリングの変形特性を把握しセグメント構造の適用性を検証する目的で行った。実験方法は、外径 5100mm，厚さ 200mm のセグメントを水平に 2 リング分組み立てて載荷した。

載荷装置は、軸力・曲げモーメントに加え、ゴムチューブで内圧荷重を載荷できる構造とし、半径方向ぼぞと円周方向ぼぞのかみ合いのみで内水圧を含む全ての荷重条件に対応可能であることを検証した。

また、設計モデルは「はり - ばねモデル」と呼ぶ 2 リング連成のフレーム解析で、2 つのリングを相対するぼぞのかみ合いに相当するばね要素で連結したものであるが、軸引張力が作用するに従いセグメント継手面が離間できるように修正したものを採用することとした。



写真 - 1 リング載荷実験状況

4．実施工への適用

本セグメントは大阪市の下水道管渠工事において二次覆工省略の実施工を行った。以下に、仮掘進時の施工データに基づきその施工性・品質等について報告する。

4．1 施工概要

本工事は下水処理場内のポンプ場流入管布設工事である。図 - 5 に概略施工平面図を示す。

- ・工 法： 3,940mm 泥土圧シールド工法
- ・施工断面：覆工外径=3,800mm,厚さ=200mm,幅=750mm 仕上り内径=3,400mm 二次覆工省略
- ・施工路線：施工延長=170.75m，平面線形=R300m × 1ヶ所，縦断勾配=- 1.1/1000

・地盤条件：土質=N値=0～3,砂質シルト,土被り=約8.5m,地下水位=G.L.-2.0m

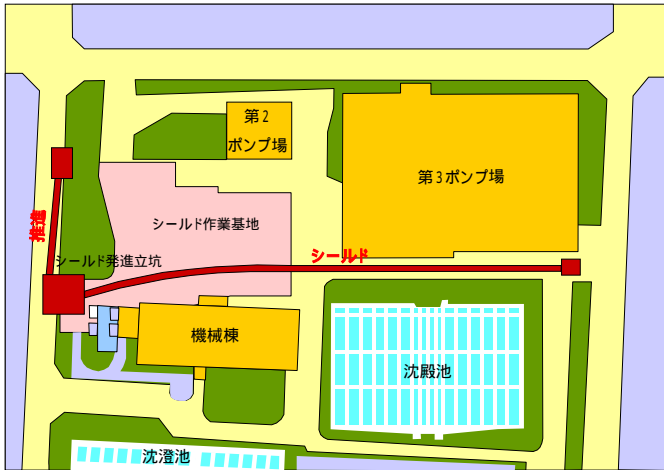


図 - 5 概略施工平面図



写真 - 2 セグメント外観

4.2 使用セグメント

使用セグメントの外観を写真 - 2 に示す。二次覆工省略に伴う付帯的な処置を含め、セグメントの諸元は以下のとおりである。

分割形状：本セグメントは等分割を基本としている。本工事では6等分割とし、キーセグメントは軸方向挿入式(挿入角=15°,継手角=15°,スライド量=350mm)とした。

主断面：既往の二次覆工省略実績からセグメント厚さ=200mmとした。ぼぞは組立時のガイド効果と施工性を考慮し高さ=20mmとした。(図 - 6)また、鉄筋被りは主筋の芯被りで内面側=55mm,外面側=45mmを確保し、かつ、特に厳しい腐食性環境を考慮した許容曲げひび割れ幅に基づく鉄筋応力度の制限を行い、内部鉄筋の腐食防止と耐久性の確保をはかった。(表 - 2)

セグメント継手：セグメント組立時の切羽側ガイド、および、ジャッキ推力作用時の目開き防止の目的で「コーンコネクター」と呼ぶくさび式嵌合構造をセグメント継手面の切羽側に1組使用した。(図 - 7) リング継手：新規に組み立てるセグメントピースを既に組み立てたセグメントリングに確実に固定する目的で、「ねじ節筋(19mm)+カプラ継手」による貫通ボルトを1ピース当たり4本,合計で24本配置した。(図 - 8) 貫通ボルトは発進立坑から到達立坑まで連続した構造となる。

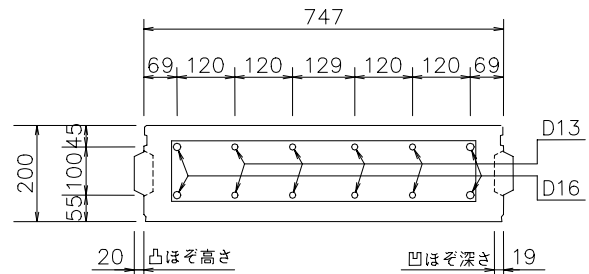


図 - 6 セグメント主断面図

表 - 2 許容ひび割れ幅による鉄筋応力度制限

項目	値	備考
鉄筋径	13 (mm)	
鉄筋被り	C 48 (mm)	
中心間隔	Cs 120 (mm)	
許容ひび割れ幅	Wa 0.17 (mm)	Wa=0.0035C
許容増加応力度	se 1010 (kgf/cm ²)	se > s
設計応力度	s 931 (kgf/cm ²)	

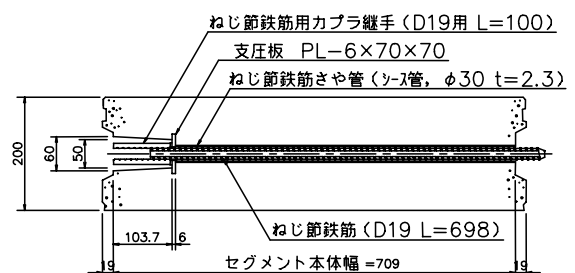


図 - 8 リング継手(ねじ節筋による貫通ボルト)

図 - 7 セグメント継手(コーンコネクター)

シール材：止水性能・耐久性と施工時の目違い・目開きに対する追従性を考慮し、図 - 9 に示す中空型の複合タイプシール材を 1 段設置した。シール材は額縁状にシームレス整形したものを用品、止水の弱点となるコーナー部・シール材継ぎ目部からの漏水防止と止水性の向上をはかった。

セグメント継手, リング継手ともにトンネル内面に露出しない構造で内面平滑化の処理手間を省略した。

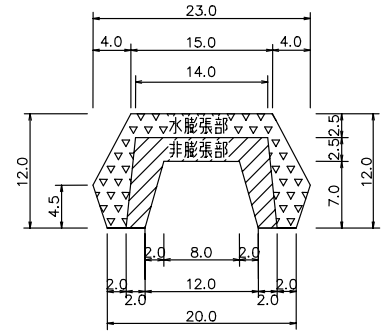


図 - 9 シール材断面形状

4.3 その他の留意点

本セグメントを高品質かつ効率良く組み立てるため、セグメント以外に次の検討を行った。

シールド機：組み立てたセグメントを確実に固定し、リング形状の保持をはかる目的で掘進時のジャッキは全追従方式とした。

エレクター：仮止めの継手部材には締結力を期待しないため、エレクターのみで組み立てることが可能な押付け能力(6.5tf)を装備した。また、ほぞ形状に合わせ正確に組み立てる目的で、セグメント把持部に 4 本のサポートジャッキを装備し、ピッチングおよびローリング方向の微調整ができるようにした。始端リング：仮組みセグメント(標準鋼製セグメント, 桁高=125mm)と本設セグメント(RCセグメント, 厚さ=200mm)の継手面形状・ボルトピッチなどを調整する目的で、鋼製の始端リング(桁高=200mm, 幅200mm)を設置した。本設セグメントの真円度を確保するため、始端リングは本設セグメントの自重に対し 3 mm 以下の変形量に抑制できる剛性を持つものとした。

4.4 施工実績

坑内状況およびセグメント組立状況を写真 - 3 ~ 4 に示す。仮掘進(58リング)における施工実績は次のとおりである。



写真 - 3 坑内状況

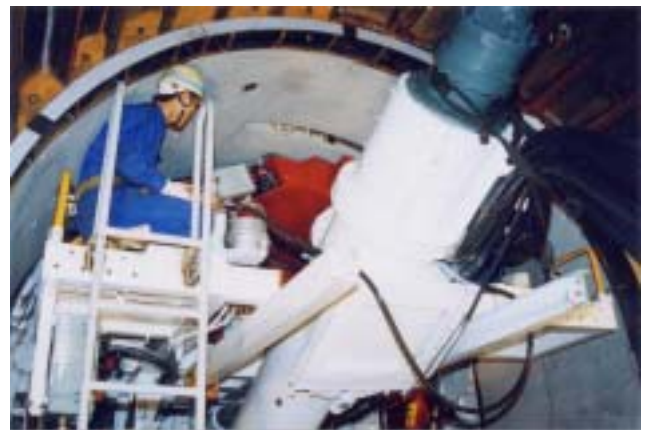


写真 - 4 セグメント組立状況

組立時間：1リングの組立時間は平均で約 25 分であった。ねじ節筋の締結作業が短時間で終了することが寄与し、事前の目標(30分)を上回る成果となった。

仮掘進の平均日進量は約 4 m/日であった。

真円度：鉛直方向の最大変位量=約 10mm, 平均変

表 - 3 真円度の推移

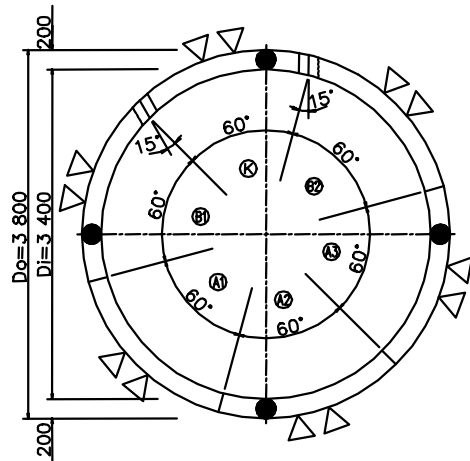
リング番号	平均内空変位量(実測値 - 3,400mm)		真円度 - V/3,800
	鉛直： V	水平： H	
No.1	2	-3	-1/1900
No.2-No.10	-2	1	1/1900
No.11-No.20	-7	3	1/540
No.21-No.30	-7	4	1/540
No.31-No.40	-5	5	1/760
No.41-No.50	-8	6	1/475
No.51-No.58	-8	4	1/475

位置=7~8mmで安定しており、セグメント組立時にせりやかみ合い不足などの支障が生じることはなかった。(表-3)

止水性：セグメントを1ピース組み立てる毎に推進ジャッキで押し付け、ほぞを確実にかみ合わせて目開き・目違いを抑制した。その結果、シール材の設計条件(目開き=3mm, 目違い=5mm)以内の組立精度を確保し、良好な止水性を得ることができた。

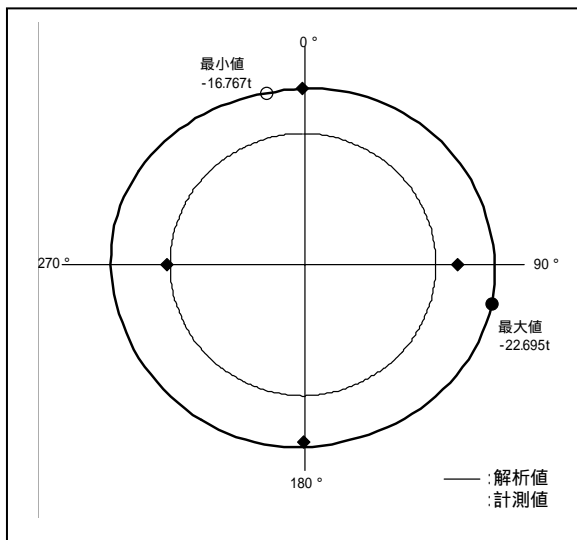
断面力計測：覆工に発生する断面力の確認を目的として、図-10に示す現場計測を行った。

セグメント組立後2週間経過時の計測結果を図-11に示す。計測値から算出した断面力は、設計断面力と同様の分布を示したが、曲げモーメントの値は設計断面力の40%以下であった。また、ほぞ部のせん断補強筋ひずみは、ほとんど発生しなかった。凹ほぞ部のコンクリートが十分な耐力を有しているとともにジャッキ推力によるセグメントの固定が有効に作用したためと考える。

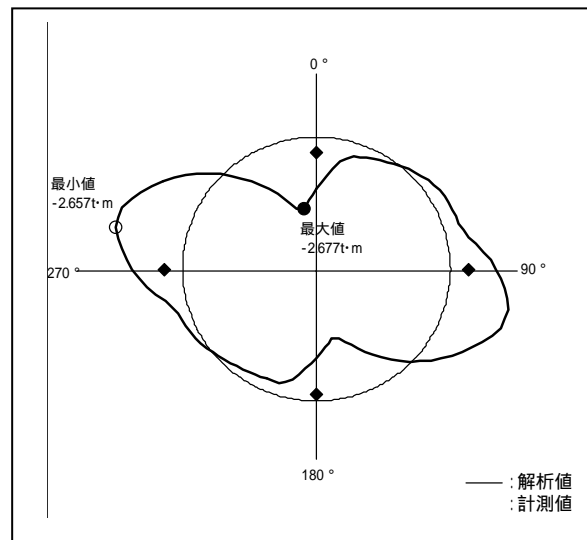


記号	計測対象	備考
	主筋ひずみ	内面側および外面側
	凹ほぞ部 せん断補強筋ひずみ	内面側および外面側

図-10 現場計測概要



軸力



曲げモーメント

図-11 計測結果

5. おわりに

本セグメントの開発は、実大実験による構造検証・シールド機内での組立実験などを経て、二次覆工省略の実施工を行った。その結果、施工性・仕上り状態などについても十分な適用性を有することを確認した。

現在、本セグメントは東京都内の内水圧対応のシールド工事でも施工中である。今後は、実施工データの蓄積とさらなる改良に取り組む所存である。

最後に、本施工に際しご指導いただきました大阪市下水道局ならびに協力いただいたリングロックセグメント研究会各位に対し、この場を借りて厚くお礼申し上げます。