

排水路トンネルにおける 内面被覆セグメントの施工

Construction of a drainage tunnel using HDPE lining segment

小倉靖之¹・藤本明生²・藤井雅英³・井上隆広⁴・鈴木富雄⁵

Yasuyuki Ogura, Akio Fujimoto, Masahide Fujii, Takahiro Inoue, Tomio Suzuki

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2-2-5)

E-mail: ogu@hazama.co.jp

²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2-2-5)

³ハザマ 名古屋支店 土木部 地下鉄鳴子北作業所 (〒458-0011 愛知県名古屋市中区相川1-66)

⁴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2-2-5)

⁵ハザマ興業 大井川工場 (〒421-0213 静岡県志太郡大井町飯淵1997)

A new type segment was adopted for the drainage tunnel in Nagoya City. This segment is covered inside by high density polyethylene resin sheet with anchor, therefore the secondary concrete lining can be omitted. Because high density polyethylene resin sheet is superior in durability, it is possible to apply to a tunnel on a severe environmental condition such as a sewage. The sheet is anchored in the segment concrete, so that the segment and sheet are glued tightly together.

To adopt this segment, various performance tests such as chemical resistance, abrasion resistance, and the deformation performance, etc. were executed and achieved satisfactory results.

Key Words : shield, segment, lining, drainage, sewage

1. はじめに

2000年9月11日から12日にかけて東海地方を襲った豪雨は、日最大時間降水量97mm、最大日降水量428mm、総降水量566.5mmという驚異的な降雨であり、名古屋市内の約4割の地区が浸水するという伊勢湾台風以来の浸水被害をもたらした。

これらを踏まえ、名古屋市では今後同程度の豪雨が発生した場合でも浸水被害を最小限にとどめることを目的とした「緊急雨水整備計画」を策定した。

小田井排水区(561ha)では緊急雨水整備計画の一環として、従来から進められている1時間50mmの治水対策をレベルアップし、1時間60mmの降雨に対応するための小田井貯留管(貯流量54,000m³)の整備を進めている。本報では小田井貯留管へ既設雨水管からの雨水を導水するための上小田井幹線排水路築造工事について報告する。

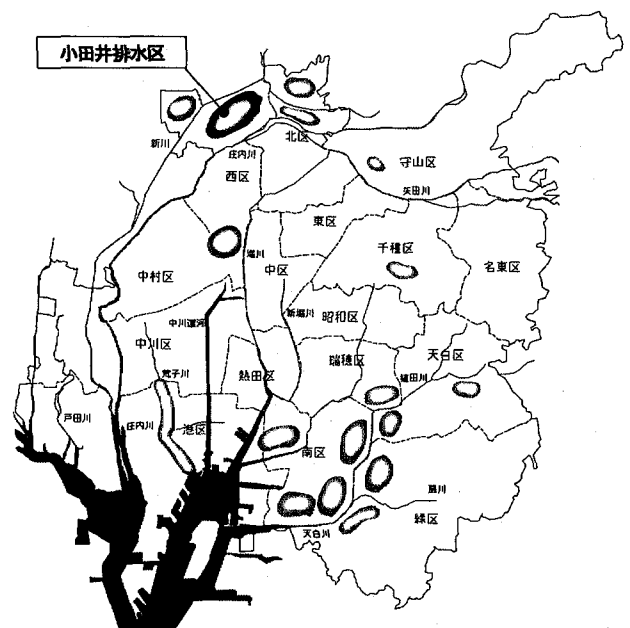


図-1 緊急雨水整備計画の対象地域

2. 工事概要

(1) 概要

上小田井幹線排水路築造工事は、既設雨水管からの雨水を上小田井幹線貯留管へ導水するための延長883mのシールド工事である。土被りは6.1m～20.8mであり、土質はN値10～50の砂および砂礫が主体である。路線は図-2に示すように途中で東名阪自動車道と東海交通事業城北線を横断する。その基礎杭を避けるために平面線形は曲線半径15mと30mの急曲線が連続し、基礎杭との最小離隔は60cmであり近接施工となる。

既設雨水管から取水するための取込人孔は、路線の最上流地点と中間地点の2箇所に計画されている。中間取込人孔を境にして上流側と下流側では設計流量が異なり、上流側の仕上り内径はφ2.0m、下流側の仕上り内径はφ2.45mとなる。それぞれの区間に使用するセグメントの種類および数量を表-1に示す。

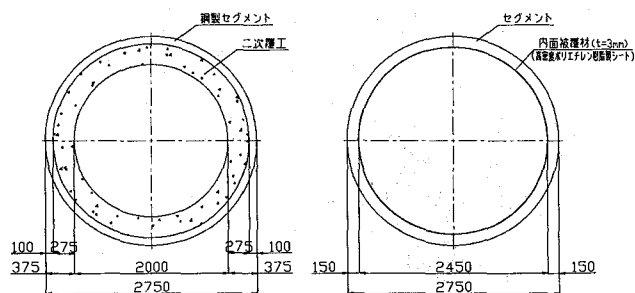
表-1 セグメント数量

	仕上り 内 径	セグメント 種 類	桁高 (mm)	幅 (mm)	数量 (リング)
上 流 側	φ2.0m	鋼 製	100	1,000	488
				500	46
				300	138
下 流 側	φ2.45m	コンクリート製	150	1,000	271
		コンクリート 中詰め鋼製	150	300	136

(2) 覆工構造

覆工構造は、図-3に示すように上流側が従来通りの鋼製セグメントと二次覆工、下流側は二次覆工省略型の「内面被覆セグメント」である。内面被覆セグメントを採用することで、下流側は上流側のセグメントと同じ外径で1.5倍の内空断面（仕上り内径φ2.45m）が得られる。このように仕上り内径の異なる2区間を1台のシールドマシンで施工する計画である。

本工事では、内面被覆材に高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）を用いた「HAL(HDPE Anchor Sheet Lining) セグメント（写真-1）」を内面被覆セグメント



〔上流側：φ2.0m〕

〔下流側：φ2.45m〕

図-3 覆工構造

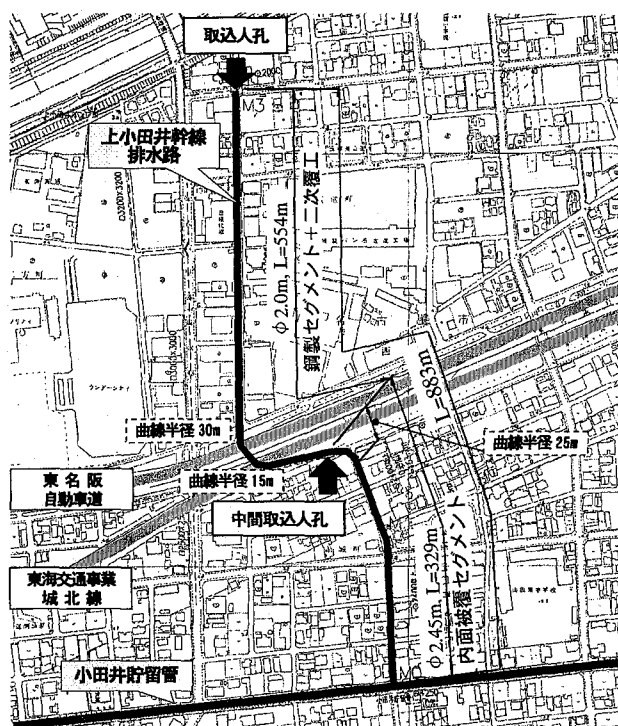
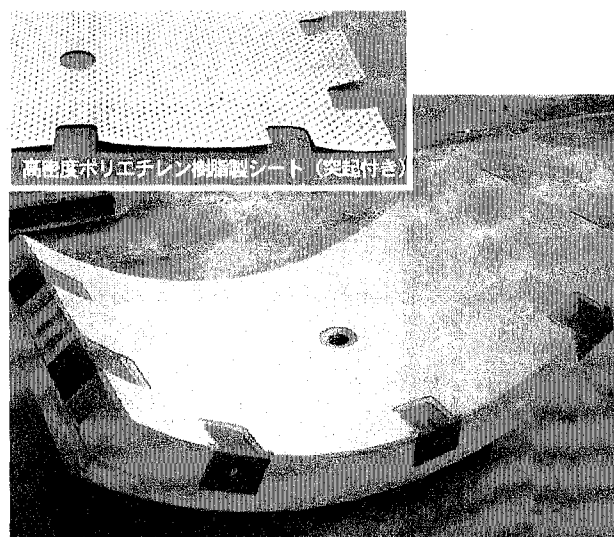
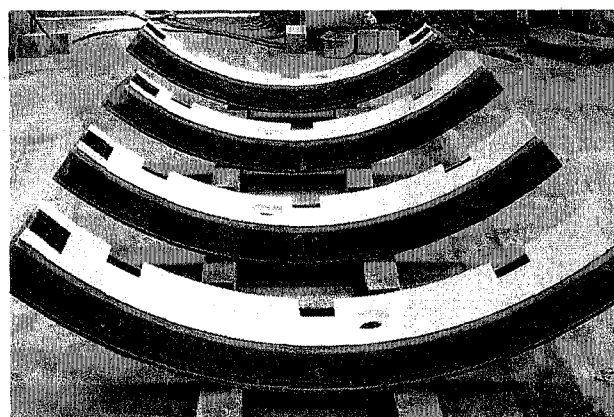


図-2 位置図



〔コンクリート製セグメント〕



〔コンクリート中詰め鋼製セグメント〕

写真-1 HALセグメント（内面被覆セグメント）

ントとして採用する。

HALセグメントを採用する下流側は、直線区間のほか曲線半径100m, 150m, 200mの曲線区間、および曲線半径25mの急曲線区間がある。セグメントの種類は、コンクリート製セグメントを基本とし、急曲線区間についてはコンクリート中詰め鋼製セグメントを適用する。

3. HALセグメントの概要

(1) 概要

HALセグメントは、セグメント製作時に耐久性に優れた高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）をセグメント内面に一体成型することで、従来の二次覆工が果たしていた防食や耐摩耗などの機能をシートで代替する二次覆工省略型のセグメントである。

二次覆工を省略できるため掘削径が縮小でき、掘削土量の削減とともに建設コストの低減を図ることができる。また、二次覆工工程を省略できるので全体工期が短縮できる。さらに、耐久性の向上によりトンネルの長寿命化も期待できる。

(2) 高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）

内面被覆材の高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）は、下水道施設の補修技術として実績のあるシートである。下水処理場の追跡調査では、施工後10年以上経つ現在もシートが健全な状態であることが確認されている。耐薬品性に優れたシートであり、硫化水素の発生によるコンクリートの腐食・劣化が懸念されるような厳しい環境条件のトンネルにも適用できる。また、耐摩耗性に対しても優れた特性があり、本工事のような摩耗が懸念される排水路への適用も可能である。

シートの裏面には突起を設けているため、コンクリートとの付着性が良好でありセグメントとの一体化を図ることができる。

表-2 に本工事で採用した高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）の基本性能、図-4 に突起形状と配置を示す。

(3) 特長

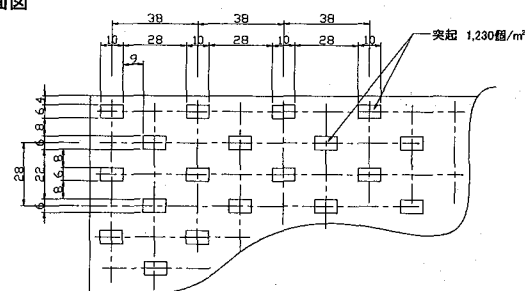
HALセグメントの特長を以下に示す。

- ・ 高密度ポリエチレン樹脂は耐薬品性、耐摩耗性に優れており、環境条件の厳しいトンネルに適用可能である。
- ・ 粗度係数が0.009と小さく内面平滑性が向上する。な

表-2 高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）の基本性能

比重	0.94
引張強さ	20.4N/mm ²
引張破壊伸び	49%
厚さ	3mm
突起個数	1230 個/m ²
突起形状	幅 10mm, 高さ 12mm, 厚さ 6mm

平面図



断面図

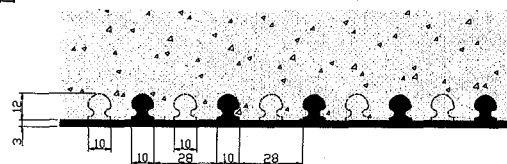


図-4 突起形状と配置

お、同様の用途である硬質塩化ビニルおよびコンクリートの粗度係数はそれぞれ0.010, 0.013である。

- ・ シートに設けた突起によりコンクリートとの付着性が良好であり、セグメントとの一体化を図ることができる。
- ・ 工場製品であるため品質が安定する。
- ・ 二次覆工省略によるトンネル外径の縮小、コスト低減・工期短縮を図ることができる。
- ・ 耐久性に優れたトンネルを構築できるので、トンネルの長寿命化によりライフサイクルコストを低減することができる。

4. HALセグメントの性能^{1) 2)}

(1) 要求性能

内面被覆材である高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）は、下水道施設の補修技術としての実績からもシート自体の品質は実証されている。しかし、セグメントへ適用した場合、薄いシートをセグメント内面に一体成型することから、セグメントからの剥離や破損などが懸念される。HALセグメントとして要求される性能を表-3に示す。

表-3 要求性能

耐薬品性	セグメントおよび金物に対する防食性
セグメントとの一体性	漏水や温度、経年変化により剥離せず一体性が図られること
水密性	内面被覆材自体の水密性を有すること
耐摩耗性	流水、流砂に対する耐摩耗性を有すること
耐衝撃性	漂流物により破損しないこと
変形性能	外荷重などによるセグメントの変形、変位に対する追従性を有すること

(2) 性能試験

HALセグメントを適用するにあたり、表-3 に示す要求性能を確認するための性能試験を実施した。試験結果を表-4 に示す。

a) 耐薬品性

高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）について以下の3項目に対する浸漬試験を実施する。

①耐酸性試験

シートが硫化水素により生成される硫酸に曝露された場合を想定して、10%の硫黄水溶液に60日間浸漬し、浸漬後のシートの性状を確認する。

②耐アルカリ性試験

アルカリ性であるコンクリートとの一体化が維持できることを実証するために、水酸化カルシウム飽和水溶液に60日間浸漬し、浸漬後のシートの性状を確認する。

③硫黄浸入深さ試験

シートへの長期的な硫黄の拡散を把握するために、10%の硫黄水溶液に120日間浸漬し、浸漬後の硫黄の浸

入深さを測定する。

以上、浸漬試験の結果、浸漬後のシートにふくれ、われ、軟化、溶出などの性状の変化、また硫黄の浸入は認められず、本工事で使用する高密度ポリエチレン樹脂製シート（突起付き）が耐薬品性に対して非常に優れた材質であることが確認された。

b) セグメントとの一体性

供用中にセグメント背面からの水圧に対してシートが剥離せず一体化が維持されることを確認するための固着強度試験を実施する。試験の概要図を図-5に示す。試験では0.33MPaでシート表面と引張り用ジグの接着面にはがれが生じて試験を終了したが、基準値の0.24MPa以上を満足できる結果が得られた。

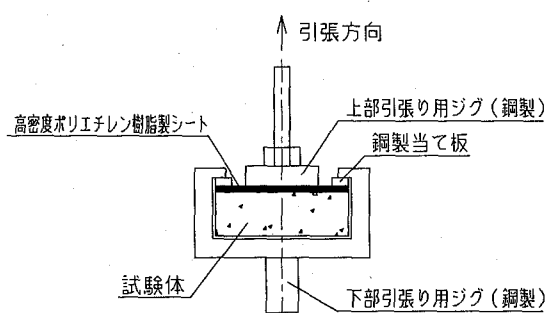


図-5 固着強度試験の概要図

c) 水密性

シートの水密性は透水性能で規定する。0.3MPaの圧力下での1時間後の透水量を測定する。試験の結果、透水はゼロでありシートが透水に対して十分な水密性を有することが確認された。

なお、耐薬品性、セグメントとの一体性、水密性の

表-4 性能試験の結果

性能	試験項目	性能評価方法（基準値）	試験結果
耐薬品性	耐酸性試験 (JIS-K-5600)	10%の硫黄水溶液に60日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	ふくれ、われ、軟化、溶出を認めず
	耐アルカリ性試験 (JIS-K-5600)	水酸化カルシウム飽和水溶液に60日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	ふくれ、われ、軟化、溶出を認めず
	硫黄浸入深さ試験	10%の硫黄水溶液に120日間浸漬した時の浸入深さが設計厚さに対して1%以下であること	硫黄の浸入を認めず
セグメントとの一体性	固着強度試験 (JIS-A-6916)	固着力 0.24 MPa 以上	0.33MPa ※シート表面と引張り用ジグ間のはがれ
水密性	透水試験 (JIS-A-1404)	透水量 0.15g 以下	0.10g 以下（実際は透水量ゼロ）
耐摩耗性	摩耗輪試験 (JIS-K-7204)	他の樹脂との比較 ・硬質塩化ビニル：24.2mm ³ ・コンクリート：1311.2mm ³	摩耗量 22.3mm ³ /1000回
耐衝撃性	耐衝撃性試験 (JIS-A-6916)	表面のひび割れおよび試験板とのはがれがないこと	試料のひび割れおよび試験板とのはがれを認めず
変形性能	単体曲げ試験	載荷荷重が低下するまで破断せずに追従すること。	破壊状況でのシートの追従性を確認

3つの性能に関しては、シートライニング工法のD₂種の規格¹⁾を満足する結果である。

d) 耐摩耗性

トンネル内の流水や流砂に対する耐摩耗性を確認するために摩耗輪試験を実施する。試験の概要図を 図-6 に示す。シート表面に摩耗輪を載せ、回転円板を回転速度72rpmで1000回転した際の摩耗量を測定する試験であり、摩耗量は22.3mm³であった。同様の用途である硬質塩化ビニル (24.2mm³) とは同程度の結果であり、コンクリート (1311.2mm³) に比べると50倍以上の耐摩耗性 (摩耗量比) を有することが確認された。

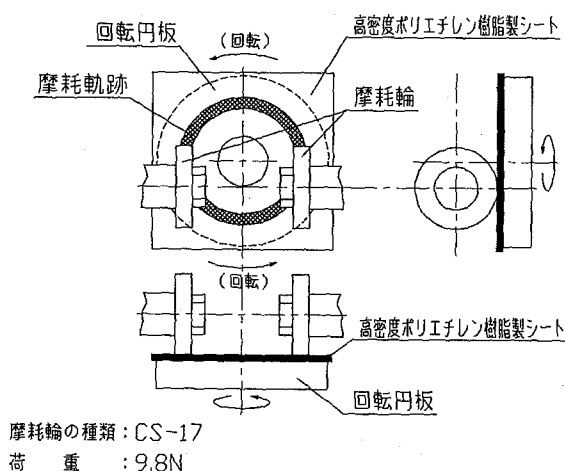


図-6 摩耗輪試験の概要図

e) 耐衝撃性

トンネル内への漂流物によってシートが破損しない耐衝撃性を有することを確認するための耐衝撃性試験を実施する。写真-2 は試験の様子であり、1000gの重りを50cmの高さから落下させ、そのときのシート表面のひび割れおよび試験板とのはがれを確認するものである。落下後のシートにひび割れやはがれはなく、十

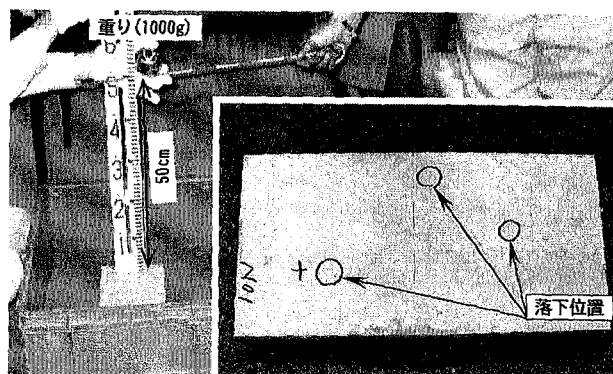


写真-2 耐衝撃性試験

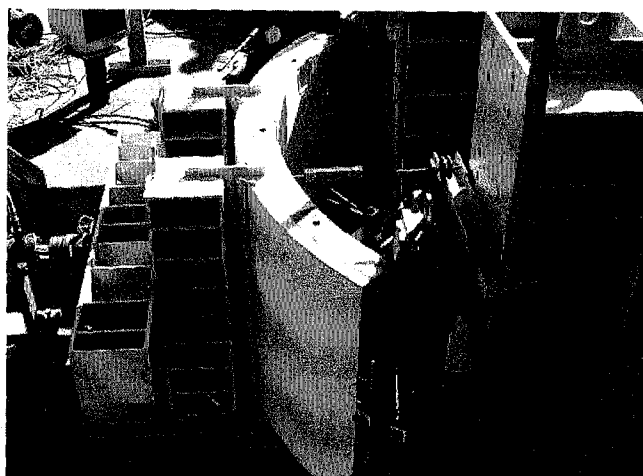
分な耐衝撃性を有することが確認された。

f) 変形性能

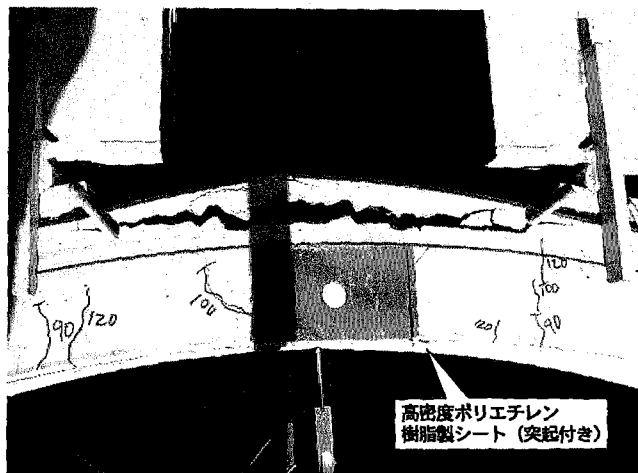
シートは外荷重やその他の要因によりセグメントに変形、変位が生じたときにも剥離や破断をせずにセグメントの動きに追従できることが要求される。その追従性能を確認するために単体曲げ試験を実施する。

単体曲げ試験では、写真-3 の破壊状況のように、外縁側のコンクリートが圧壊した状態においてもシートの剥離や破断はなく、セグメントとの一体化が図られていることが確認された。

また、図-7 に示す鉛直変位量と荷重の関係から、クラックの発生時期に着目すると、計算値では荷重が40.7kNのときであるのに対し、実際には70kNの荷重のときにボルトボックス周りでクラックを目視確認した。セグメント内面の状況はシートで確認できなかったが、図-7 のグラフの傾きから判断しても60~70kN程度でクラックが発生したものと考えられる。計算値に対して1.6倍程度の荷重値までクラックが発生しなかった要因のひとつとして、内面のシートが引張り部材としてセグメントの変形を拘束する役割を果たしていたものと考えられる。



〔試験状況〕



〔破壊状況〕

写真-3 単体曲げ試験

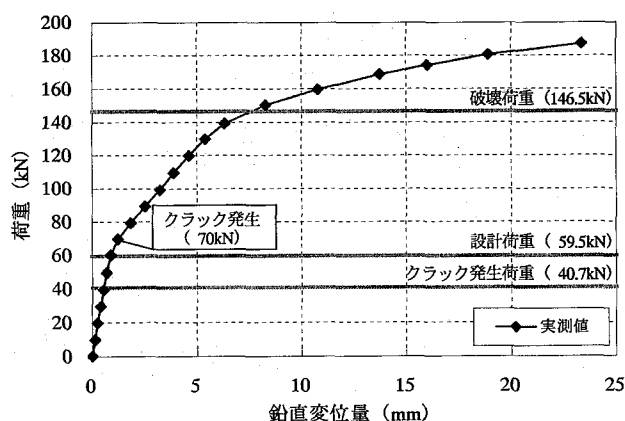


図-7 単体曲げ試験結果（鉛直変位量と荷重の関係）

5. 施工

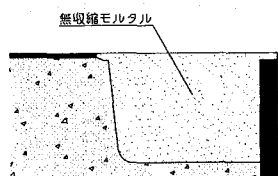
HALセグメントの取り扱いや組立て方法は、シートの損傷に対する注意は要するものの、通常のセグメントと同様である。セグメント組立後は、内面の平滑性および耐久性を向上させるために、ボルトボックスとコーキング溝を耐久性に優れた材料で被覆する必要がある。本工事で行った被覆方法を以下に示す。

(1) ボルトボックス充填工

ボルトボックス充填工の概要図を 図-8 に示す。下地処理の後、プライマーを塗布して所定量の無収縮モルタルをボルトボックスに充填する。仕上げとして表面に被覆材を塗布する。表面被覆材は、耐久性や接着性に優れ、下水道処理施設などの被覆にも用いられるエポキシ樹脂を主成分とした材料を選定した。

今回はボルトボックスがあるタイプのセグメントであるため、充填および塗布による被覆が必要であった。セグメント製作においては、ボックス部のシート加工が必要であった。内面にボルトボックスのない内面平滑タイプのセグメントであれば、組立後のボルトボックスの被覆や製作時のシート加工が省略でき、HALセグメントの有効性がより高まると考えられる。

① 無収縮モルタル充填



② 表面被覆

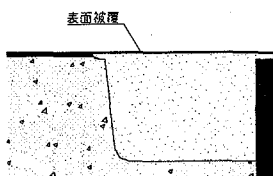


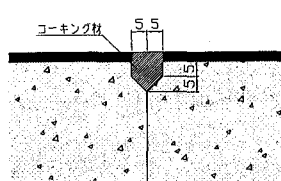
図-8 ボルトボックス充填工の概要図

(2) コーキング工

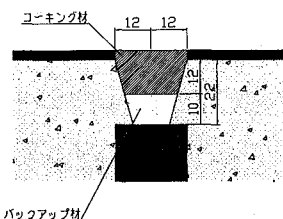
コーキング工の概要図を 図-9 に示す。下地処理の後、コーキング材を充填して表面を平滑に仕上げる。

コンクリート中詰め鋼製セグメントについては、コーキング溝が深いため、コーキング材の内側にバックアップ材を設置する。使用する材料は、エポキシ樹脂を主成分とした接着性や伸縮性に優れた材料である。

コーキングの代わりにシートを溶着により接合することもできる。この場合には、目地部も本体と同等の耐久性を得ることができる。



〔コンクリート製セグメント〕



〔コンクリート中詰め鋼製セグメント〕

図-9 コーキング工の概要図



写真-4 完成後のトンネル内状況

6. おわりに

HALセグメントを含めた内面被覆セグメントは、耐久性に優れたセグメントであり、従来型のセグメントに比べて掘削径を縮小でき、かつ、トンネル全体の耐久性を向上できるセグメントである。そのため、建設コストおよびライフサイクルコストの低減が期待できる。本報告が今後の同種工事の計画や施工の参考となれば幸いである。

最後に、本工事へのHALセグメント適用にあたり、ご指導頂いた名古屋市緑政土木局の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル、平成14年12月。
- 2) 下水道新技術推進機構：下水道シールドトンネルの内面被覆工法技術資料、2002年3月。