NIPPON STEEL

www.nipponsteel.com

日本製鉄株式会社
〒100-8071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
Tel: 03-6867-4111　Fax: 03-6867-5607

NMセグメント　嵌合方式合成セグメント
K016_02_201909f
© 2019 NIPPON STEEL CORPORATION 無断複写転載禁止

NIPPON STEEL

建 材

NMセグメント

嵌合方式合成セグメント

国土交通省　新技術情報提供システム“NETIS”
登録番号：KT-980192「ボルトレスNMセグメント」

日本製鉄株式会社

NMセグメント

嵌合方式合成セグメント

New Mechanically-jointed Segment Tunnel Lining

嵌合方式合成セグメントの 開　発

1. トンネルの耐久性（高品質性）を得る技術であること。

覆工からの漏水やコンクリートの剥離・崩落はトンネルの耐久性に影響を与える要因となります。このため耐久性を見据えた新方式のセグメントの開発に取り組み（1990年～）、漏水やコンクリートの欠損などが生じにくいトンネル覆工体（**嵌合方式合成セグメント**）を提供してまいりました。

2. トンネルの建設工事費のコスト縮減に寄与できる技術であること。

一軸挿入方式の新しい継手機構を考案し、組立の効率化と安全作業の提供や脆性的な破壊の危険性を抑えた破壊抵抗力の高い覆工構造を開発し、日進量の向上や覆工厚さの低減を実現してまいりました。

目　次

嵌合方式合成セグメントの 開　発 …… 1
〃　特　長 …… 2
〃　技　術 …… 3
〃　現場施工 …… 4

施工例
寝屋川北部地下河川「古川調節池」築造工事 …… 5
寝屋川南部地下河川「久宝寺調節池」築造工事 …… 6
地下鉄大江戸線環状部「六本木駅工区」建設工事 …… 7
みなとみらい21線「みなとみらいシールドトンネル」建設工事 …… 8
みなとみらい21線「高島シールドトンネル」建設工事 …… 9
金岡雨水貯留管築造工事 …… 10
神田川・環状七号線地下調節池（第二期）シールド工事 …… 11
新十条通伏見工区トンネル工事 …… 12
古川地下調節池工事（その1） …… 13
都市計画道路 大和川線 シールド工事 …… 14
大和川線シールドトンネル工事 …… 15
横浜湘南道路トンネル工事 …… 16
防食仕様 …… 17
促進試験（地下河川トンネル） …… 18
重防食（地下河川） …… 19
防食（鉄道、道路、共同溝など） …… 20
新技術への取り組み【耐火型仕様（耐火型NMセグメント）】 …… 21
〃　【セグメントの広幅化が可能】 …… 22
〃　【施工時荷重に強い】 …… 23

ご注意とお願い

本資料に記載された技術情報は、製品の代表的な特性や性能を説明するものであり、「規格」の規定事項として明記したもの以外は、保証を意味するものではありません。本資料に記載されている情報の誤った使用または不適切な使用等によって生じた損害につきましては責任を負いかねますので、ご了承ください。また、これらの情報は、今後予告なしに変更される場合がありますので、最新の情報については、担当部署にお問い合せください。

本資料に記載された内容の無断転載や複写はご遠慮ください。

本資料に記載された製品または役務の名称は、当社および当社の関連会社の商標または登録商標、或いは、当社および当社の関連会社が使用を許諾された第三者の商標または登録商標です。

その他の製品または役務の名称は、それぞれ保有者の商標または登録商標です。

嵌合方式合成セグメントの 特 長

技術のコンセプト

五重塔に見るわが国の伝統技術 “匠の技術” を活用

❶かみ合い構造 ――― 添接効果を高めて耐震化を図ります。

- 五重塔は、釘を使うことなく部材をかみ合わせて（仕口）、楔でかしめています。
- 大地震でも“仕口部の「遊び」”により変形に対応できます。

❷ボルトレス継手 ――― 高速施工と作業の安全性を高めます。

- 従来のボルト締結は、非効率作業で安全性に乏しく、バランスの取れた締結には熟練を必要とします。
- セグメントの組み立てと同時に連結できるワンパス挿入継手を考案します。

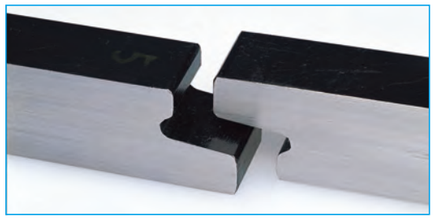
❸独自の止水機構 ――― 止水性能を高めます。（地下水〈圧力水〉対策）

- 覆工からの漏水は、トンネルの耐久性を損ないます。
- 長期間の漏水は、地下水位の低下や周辺地盤の沈下要因ともなります。
- 地下水は圧力水です。クラックや剥離などのコンクリートの弱点箇所から漏水します。

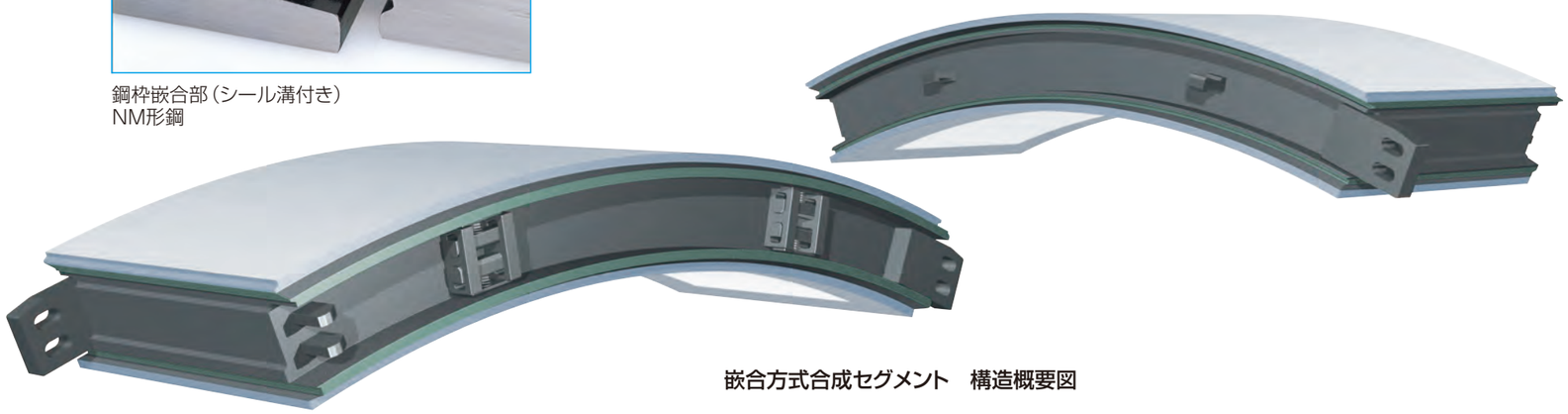
❹合成構造 ――― 鋼の変形性能と破壊強度を活用します。

- トンネル半径方向、接線方向に配置したずれ止めにより、鋼殻と中詰コンクリートの合成構造化を実現しています。
- 合成構造としての高い強度を発揮します。
- 鋼の高い変形性能を活かし、最大耐力発揮後もねばり強く変形します。

→ 既に12件の工事にて実証（止水性能No.1の実績、高い破壊抵抗力）



鋼枠嵌合部（シール溝付き）
NM形鋼



嵌合方式合成セグメント　構造概要図

機能効果

❶安　全：組み立ての効率化と安全を確保しました。

- 押し込むだけで嵌合できます。（2段のせん断機構は、位置決めガイドを兼ねます）
- 組み立ては、エレクター装置の外から安全で迅速に行えます。（組立時間実績：φ13mにて約40分）

❷品　質：トンネルの耐久性を高めました。（公共事業 品質確保法）

- 優れた止水性能を実証します。（継手部は4状の止水パッキン）
- 高い破壊抵抗力と耐震性を有します。（嵌合方式・合成構造）
- 耐久防食を施しました。（トンネル内空の鋼面）

❸縮　減：工事費縮減に役立ちます。（公共事業 コスト構造改革）

- 掘削土・廃土量を削減します。（覆工厚をRCの 60～70％に低減）
- セグメント単価を低減します。（広幅化や薄肉化が容易な構造。幅1.8m、幅2.0m）
- 組立時間を短縮します。（ワンパス挿入継手による工期の短縮）
- 超近接施工にも順応します。（鋼の高い変形性能と破壊強度を活用）

❹ライフサイクルコストの縮減：トンネルの長期耐久性を高めました。

- 地下水（圧力水）の漏水を長期にわたり阻止する覆工を構築します。
- 地震時の地盤挙動に追随でき、かつ高い破壊抵抗力を有する構造とします。
- 供用時の補修・補強が容易な構造とします。

嵌合方式合成セグメントの 技 術

❶載荷試験

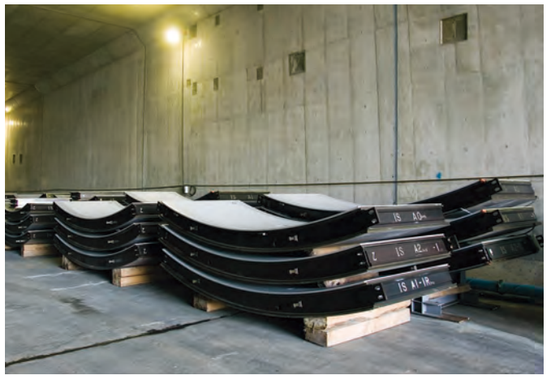
①単体曲げ試験、②継手曲げ試験、③ジャッキ推力試験、④リング載荷試験
試験では鋼材の延性による変形特性が顕著に現れ、高い破壊抵抗力を示しました。

❷設　計

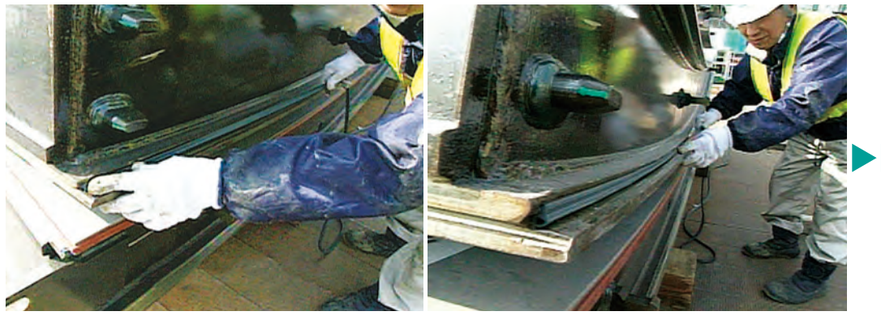
嵌合方式合成セグメントは「はりーばねモデル解析法」にて解析を行います。

❸現場施工

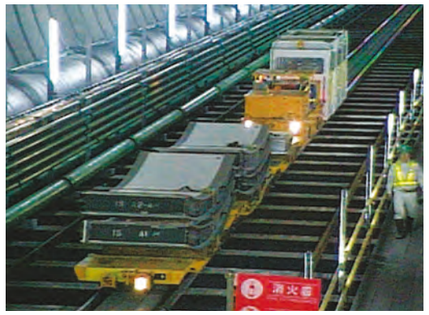
① 優れた止水性能を実証しています。
②（本掘進時の）組立時間は3～4分/ピースと高い組立効率を示します。
③ 目開きは目視にては確認されない程度です。
④ 運搬時や組立時のコンクリートの欠損がありません。
⑤リングの変形量は従来セグメントの 1/3程度と高い真円性を示します。
⑥トンネルの美観性が得られます。
（付記：現場施工は、施工技術とも相まって得られた技術成果です）



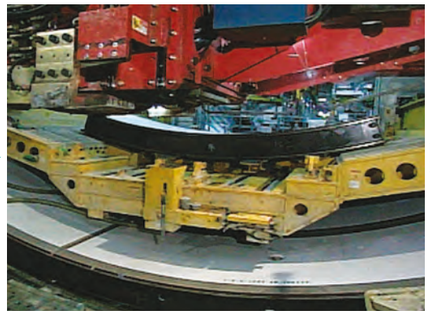
嵌合方式合成セグメントの 現場施工



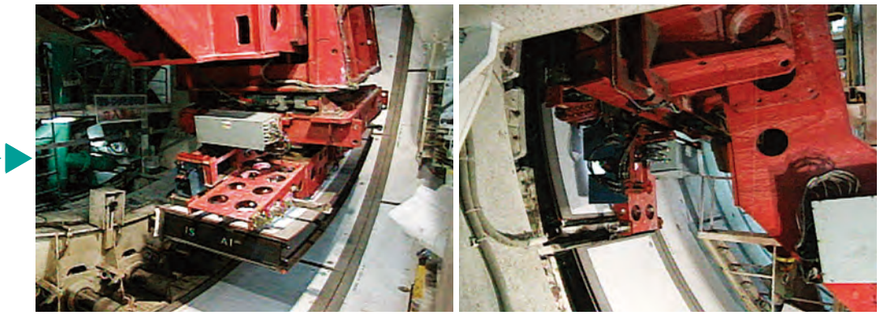
シーリング施工



一次搬送



下部搬送



NMセグメントの組立作業

大阪府寝屋川水系改修工営所

寝屋川北部地下河川「古川調節池」築造工事

（鹿島・熊谷・飛島・鴻池共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
地下河川	8.24 m	370 mm	7.50 m	2,000 m	1.20 m	1996～1997年

1. 土被り37.5m、掘進距離約2kmにおいて優れた止水性能が実証されました。
2. （本掘進時）組立時間が3～4分/ピースと従来にない高い組立効率を示しました。
3. リング変形量は最大16mm（平均10mm程度）と高い真円度が確保できました。

大阪府寝屋川水系改修工営所

寝屋川南部地下河川「久宝寺調節池」築造工事

（大成・清水・鹿島・青木・森本共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
地下河川	7.40 m	250 mm	6.90 m	2,222 m	1.20 m	1998～1999年

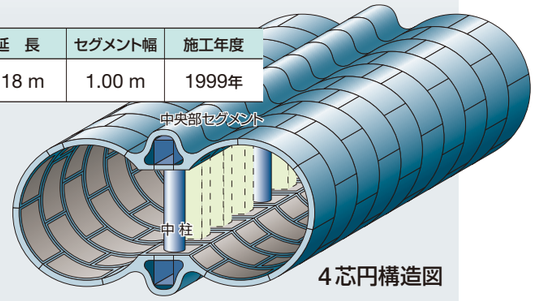
1 掘進距離約2.2kmにおいて優れた止水性能が実証されました。

東京都地下鉄建設株式会社

地下鉄大江戸線環状部「六本木駅工区」建設工事

（間・青木・アイサワ・徳倉・伊藤建設共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
鉄　道	12.92 m × 6.8 m	300 mm	12.32 m × 6.2 m	218 m	1.00 m	1999年



4芯円構造図

1 大断面4芯円（12.92m×6.8m）の全周を嵌合構造とし、リングせん断力を強化しました。

2 大断面異形（4芯円）構造においても優れた止水性能が実証されました。

鉄道建設・運輸施設整備支援機構（旧 日本鉄道建設公団）

みなとみらい21線「みなとみらいシールドトンネル」建設工事

（佐藤・大日本・大本特定建設工事共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
鉄　道	9.80 m	250 mm	9.30 m	261 m	1.20 m	1999年

1 優れた止水性能が実証されました。

鉄道建設・運輸施設整備支援機構（旧 日本鉄道建設公団）

みなとみらい21線「高島シールドトンネル」建設工事

（前田・住友・勝村・京急特定建設工事共同企業体）

（最小曲線半径 179.5m）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
鉄　道	9.80 m	250 mm	9.30 m	445 m	1.20 m	1999～2001年

1 優れた止水性能が実証されました。

2 最小曲線半径179.5mでの組立施工がなされました。

伊丹市役所　下水道部

金岡雨水貯留管築造工事

（清水・熊谷・前田特定建設工事共同企業体）

（最小曲線半径 約110m）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
雨水幹線	7.50 m	250 mm	7.00 m	1,146 m	1.20 m	1999～2000年

1 優れた止水性能が実証されました。

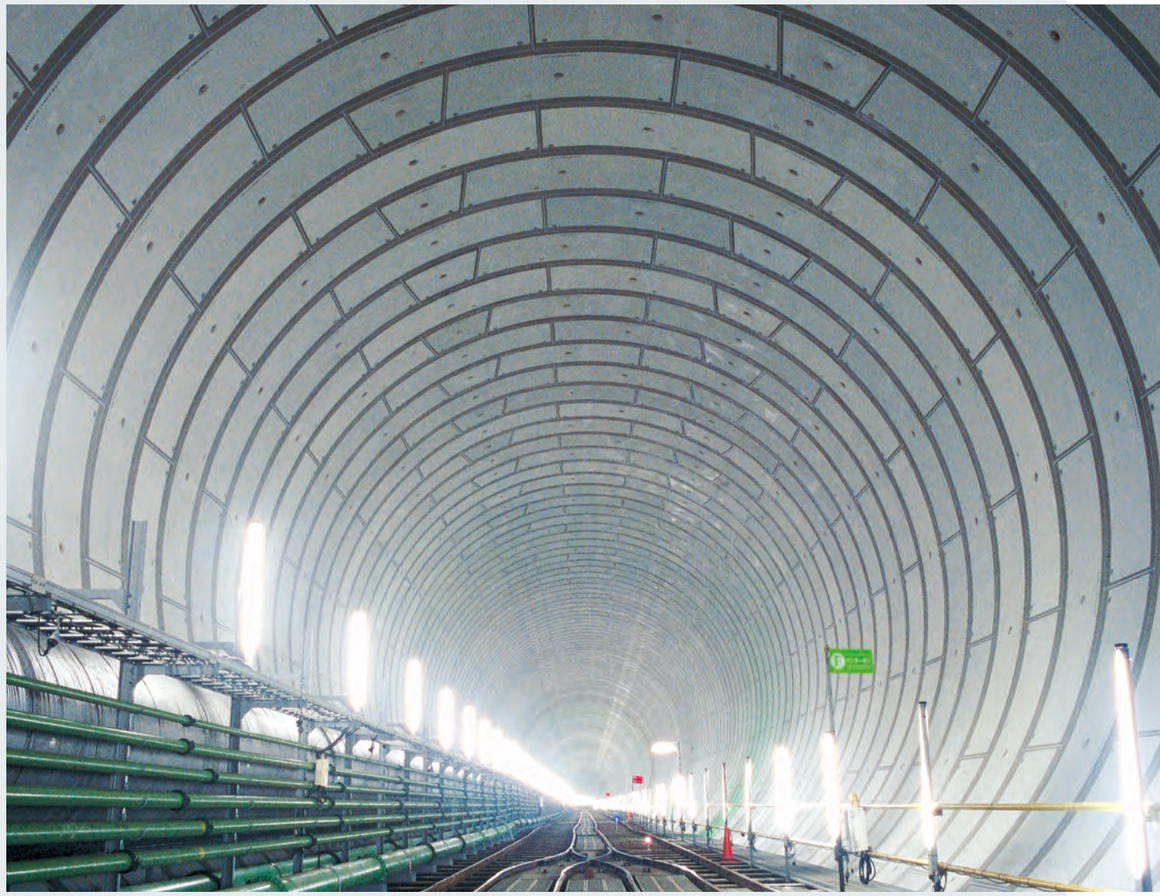
2 セグメントに壁画を描くなど市民参加の工事がなされました。

東京都建設局　第三建設事務所

神田川・環状七号線地下調節池（第二期）シールド工事

（大成・熊谷・清水・東急・白石建設共同事業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
地下河川	13.20 m	350 mm	12.50 m	2,500 m	1.50 m	2003～2004年



1 優れた止水性能が実証されました。

2 φ13m級にて平均月進200mの高速施工が図られました。

3 組立時間は40分/リングです。

阪神高速道路株式会社　京都建設部

新十条通伏見工区トンネル工事

（大林・佐藤・西武建設工事共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
道　路	10.60 m	250 mm	10.10 m	854 m（西行き）	1.50 m	2006年（西行き）
				847 m（東行き）		2007年（東行き）

1 トンネル径以下の小土かぶり、斜層の互層、破砕帯、岩盤などの複雑な施工条件において優れた止水性が実証されました。

2 クロソイド曲線を含む道路線形での施工がなされました。

東京都建設局　第一建設事務所

古川地下調節池工事（その1）

（飛島・東鉄工業・ノバック建設企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
地下河川	8.01 m	255 mm	7.50 m	3,300 m	1.60 m	2011～2012年

1 優れた止水性能が実証されました。

大阪府

都市計画道路　大和川線　シールド工事

（大鉄工業・吉田組・森組・紙谷工務店共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
道　路	12.30 m	360 mm	11.58 m	3,801 m	1.80 m	2011～2014年

1 優れた止水性能が実証されました。

2 耐火型仕様（コンクリートタイプ）が採用されました。

阪神高速道路株式会社

大和川線シールドトンネル工事

（鹿島・飛島建設工事共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
道　路	12.23 m	325 mm	11.58 m	1,244 m	1.80 m	2012～2013年

1 優れた止水性能が実証されました。

2 耐火型仕様（不定形耐火物タイプ）が採用されました。

国土交通省　関東地方整備局　横浜国道事務所

横浜湘南道路トンネル工事

（西松・戸田・奥村特定建設工事共同企業体）

分　野	外　径	桁　高	内　径	延　長	セグメント幅	施工年度
道　路	13.27 m	535 mm	12.20 m	175 m	1.80 m	2019年～

1 優れた止水性能が実証されました。

2 耐火型仕様（コンクリートタイプ）が採用されました。

防食仕様

NMセグメントの防食仕様

一般に土中環境では、鋼材の腐食は少ないため内面側の鋼面に表面処理（塗膜）を施します。

❶ 鋼面の素地調整

防錆剤との密着性を強化するため、ブラスト処理（1種ケレン）を施します。

❷ 鋼面の防錆剤

エポキシ系のプライマー（100μm）を塗布します。（地下河川）

有機ジンクリッチプライマー（75μm）を塗布します。（道路、鉄道、共同溝など）

❸ 防錆剤の保護層

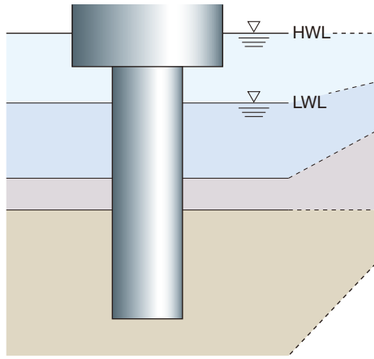
エポキシ系の樹脂モルタル（5mm）を施します。（地下河川）

変性エポキシ樹脂（100μm）を塗布します。（道路、鉄道、共同溝など）

鋼（鋼管杭）の腐食調査[1)]

（参考）
土と接するトンネル外側

鋼材の腐食は水と酸素の供給によって促進されるため、一般的な海泥中や内陸土中では、鋼材の腐食の促進は極めて少ないと考えられます。



環境（部位）	腐食速度（mm/年）
干 満 帯	0.22 ～ 0.38
海　　中	～ 0.12
捨 石 部	0.1　～ 0.05
ヘドロ中	0.05 ～ 0.01
海 泥 中	0.01 ～ 0

1）港湾技研資料、善 一章、阿部正美、No.413 Mar.1982
港湾鋼構造物の腐食調査（昭和53～56年調査）
運輸省港湾技術研究所
P7（ロ）C杭の腐食傾向より抜粋。

腐食環境（河川水質の分析）

（参考）
河川水と接するトンネル内側

成　分	汚濁河川 1	汚濁河川 2	海　水
pH	7.05	6.82	——
SO_4^{2-} (ppm)	100.57	88.06	2,650
Cl^- (ppm)	65.28	45.76	19,000

地下河川に流れ込む水質は、海水等と比較すると鋼材の腐食環境としてはマイルドと推定されます。

防食仕様の選択のポイント

❶ 塗膜の劣化を防止すること。

❷ 鋼面と防錆剤、および防錆剤と保護層の密着性を高めること。

- 防食性の評価：塗膜の耐久性、鋼材と塗膜との密着性
- 材料の物性評価：変形追随性、耐磨耗性、耐衝撃性、塗布施工性（地下河川）

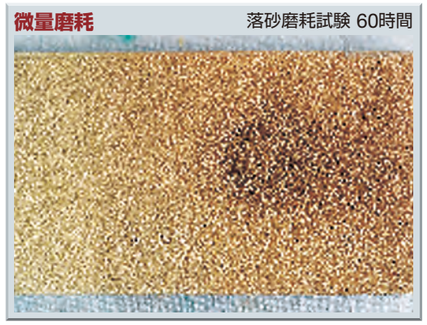
促進試験（地下河川トンネル）

評価事項	試験方法	試験結果
❶ 耐アルカリ性	耐アルカリ試験 ●10%の苛性ソーダに浸漬　3週間	塗膜膨れ 異常なし
❷ 耐酸性	耐酸性試験 ●10%の硫酸に浸漬　3週間	塗膜膨れ 異常なし
❸ 耐水密着性 試験片に2mm幅の鋼面に届く裂傷を付加後に促進試験	温度勾配試験 ●40℃/15℃ プライマーのみ　連続2週間 塗膜材　連続30日間	密着力 35~40 kgf/cm² 30~35
	塩水浸漬試験 ●40℃、3%NaCl　浸漬　連続30日間	35~40
❹ 耐食性 試験片に2mm幅の鋼面に届く裂傷を付加後に促進試験	塩水噴霧試験 ●35℃、3%NaCl　噴霧　連続30日間	30~35
	乾湿繰り返し試験 ●60℃乾燥1時間、40℃浸漬1時間の繰り返し　連続30日間	45~50
	衝撃試験後の乾湿繰り返し試験	衝撃痕からの腐食発生 異常なし
❺ 変形追随性	強制変位試験 ●300mm長に中央変位10mmを付加	割れ、亀裂の発生 異常なし
❻ 耐衝撃性	落重衝撃試験 ●ASTM 5/16 撃芯5kgの重垂を50cm、80cmで落重時の衝撃変化	割れ、亀裂の発生 異常なし
❼ 耐磨耗性	落砂磨耗試験（連続60時間） ●研摩材25gを30回/分の頻度で高さ1mから落下させ磨耗量を測定 JIS-A-14542に準拠	磨耗量 100mg以下 コンクリート同等以下を確認

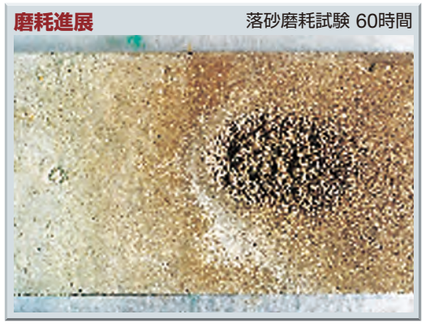
当社における試験例

磨耗試験状況

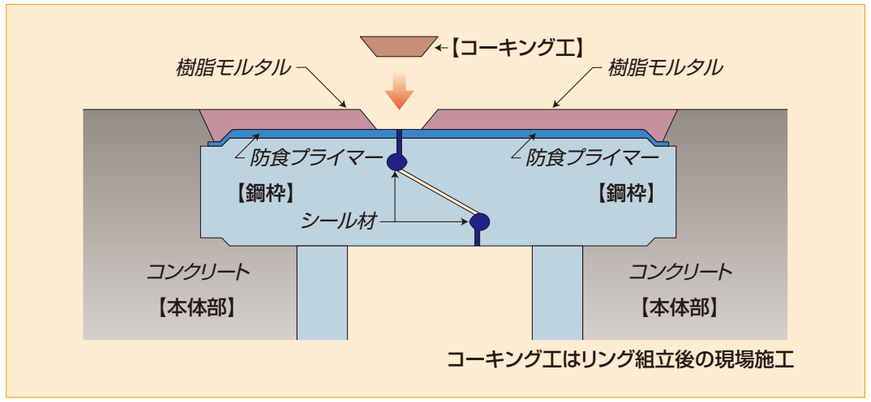
❶ NMセグメントの防食面



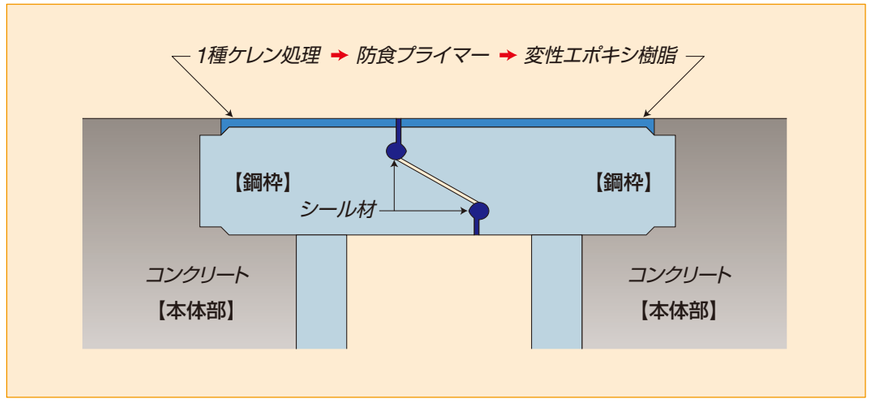
❷ コンクリート面（比較材）



重防食（地下河川）



防食（鉄道、道路、共同溝など）



新技術への取り組み

耐火型仕様（耐火型NMセグメント）

あらかじめセグメント本体に耐火機能を付与した耐火型NMセグメントです。

❶ 耐火型NMセグメントの特長

①セグメントの組み立てと同時に耐火工が完成するため、後施工の耐火工が不要になります。
②後施工の耐火工に比べてコスト・工期が削減できます。
③後施工の耐火工のための作業台車、保管ヤード、材料運搬などが必要なくなるためシールド工事がシンプルになります。
④セグメントの組み立ては通常のシールド工事と同様です。
⑤製造は工場で行いますので、高い品質信頼性が得られます。

❷ 耐火型NMセグメントの種類

耐火型NMセグメントは、ニーズに応じて2種類のラインアップをご用意しています。
①コンクリートタイプ
②不定形耐火物タイプ

❸ 耐火型NMセグメントの耐火性能

RABT 1200˚C 60分の加熱条件において充分な耐火性能を発揮します。

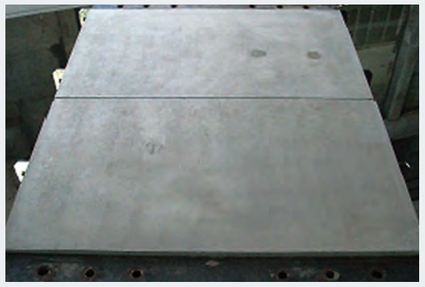
❹ 耐火型NMセグメントの耐荷重性能

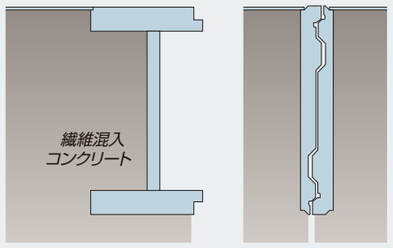
土圧、水圧などの外力およびジャッキ推力に対して十分な耐力を有しています。

種　類

❶ コンクリートタイプ

本体コンクリートおよび鋼材表面に繊維を混入した耐火コンクリートを施したタイプ

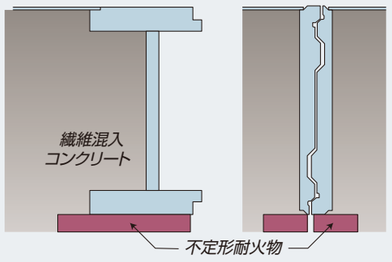




主桁断面（リング間）　面板断面（セグメント間）

❷ 不定形耐火物タイプ

本体コンクリートには繊維を混入した耐火コンクリートを施し、鋼材表面には不定形耐火物を施したタイプ

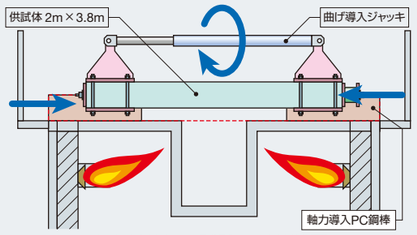


主桁断面（リング間）　面板断面（セグメント間）

耐火性能

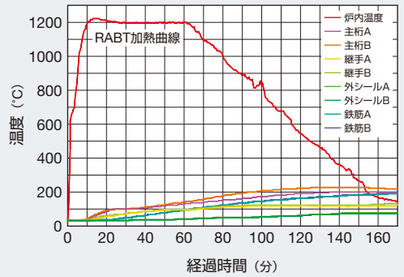
コンクリートタイプ、不定形耐火物タイプともに独立行政法人　建築研究所において実大載荷加熱試験を行い、RABT 1200˚C 60分の耐火性能を発揮することを確認しています。

実大載荷加熱試験　全景



実大載荷加熱試験　載荷装置

コンクリートタイプ　耐火試験時の温度履歴（実施例）



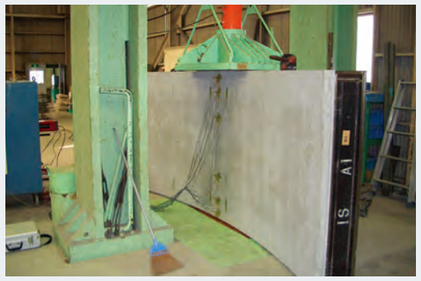
実大加熱試験　結果

	コンクリートタイプ	不定形耐火物タイプ	目標値
地山側止水材温度	76˚C	82˚C	120˚C以下
加熱面下55mm コンクリート温度	―	344˚C	350˚C以下
加熱面下60mm コンクリート温度	339˚C	―	
加熱面側鋼材温度	130˚C	178˚C	300˚C以下
加熱面側 コンクリートの状態	有害な爆裂なし		同左

耐荷重性能

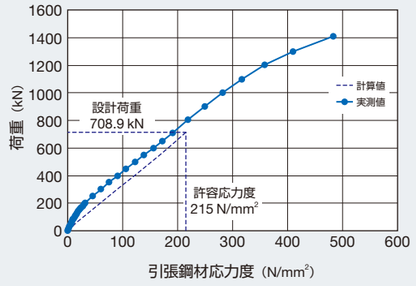
実大単体曲げ試験、推力試験によってセグメント本体および耐火被覆部の強度を確認しています。

単体曲げ試験

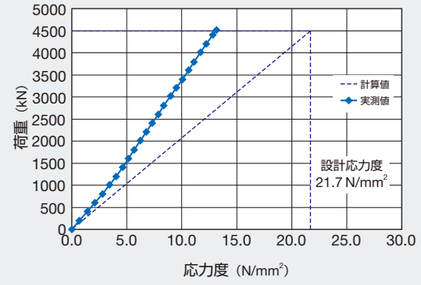


推力試験

不定形耐火物タイプ　単体曲げ試験（実施例）



コンクリートタイプ　推力試験（実施例）

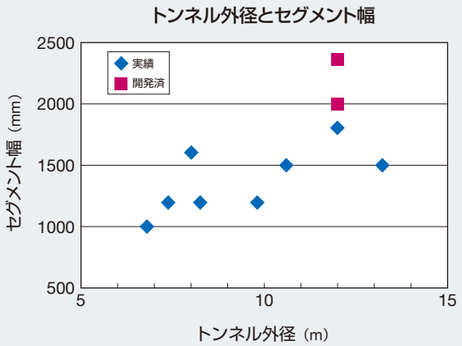


新技術への取り組み

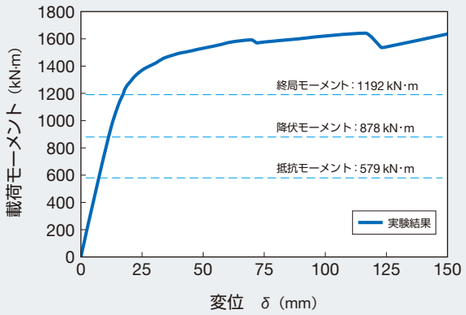
セグメントの広幅化が可能

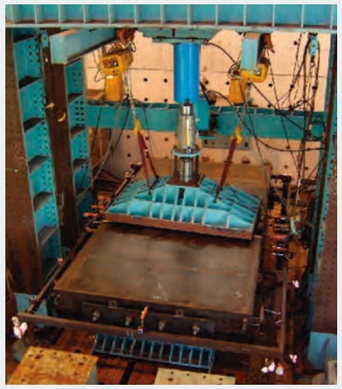
シールドトンネル工事の高速掘進に寄与する技術として、セグメントの広幅化は有効な手段のひとつとなります。NMセグメントはφ12～16m級の大口径トンネルを対象に、鋼殻桁高300mmにて幅1800mm、2000mm、2400mmの載荷試験を行い、合成構造性や破壊耐力と変形性能を検証しました。

セグメント幅と広幅化の開発状況



幅2000mmの単体曲げ試験結果例





載荷試験

破壊試験後の供試体

試験結果

- セグメント桁高の50％の変位（150mmまでの強制変位）においても大きな耐力低下は生ぜず、高い変形性能と破壊耐力を示すことにより、合成構造が成り立つことを確認した。
- 従来用いてきたRC断面設計法が、本構造仕様による合成セグメント（嵌合方式）にも適用できることを確認した。

施工時荷重に強い

ジャッキ推力などの施工時荷重によるセグメントの損傷は、漏水（地下圧力水）の原因にもなり、トンネル覆工の長期耐久性を損なうことがあります。
NMセグメントは、H形状の鋼主桁、継手鋼板、スキンプレートで構成される鋼殻により囲繞された中にコンクリートを充填した合成構造であり、鉄筋かぶり（無筋）コンクリート部に発生しやすい損傷を防止します。

ジャッキ推力載荷試験

表層コンクリートひび割れ例

（幅の計測が不能な微小なひび割れ。写真は最長微小ひび割れをマジックで強調したもの）

試験結果

- 偏芯40mmにて10000kNまで載荷したが荷重の低下や顕著な破壊性状は見られなかった。
- 部材断面にはコンクリート部と鋼材部（アンカーリブ・幅止め鉄筋）にも偏芯荷重に対応するひずみ分布が発生しており、コンクリートと鋼材の双方でジャッキ荷重に抵抗していることが確認された。

MEMO