

横浜環状北西線シールドトンネル（港北行）のセグメントの実大耐火試験（その１）
〔RCセグメント〕

首都高速道路（株） 正会員 ○石田 高啓
首都高速道路（株） 川瀬 洸佑
横浜市 熊田 政典
大成建設（株） 正会員 佐藤 充弘

1. はじめに

首都高速道路（株）は、東名高速道路（横浜青葉インターチェンジ）と第三京浜道路（横浜港北ジャンクション）を結ぶ、延長約 7.1km の横浜環状北西線を建設中である。全線のうち非開削トンネル部の約 3.9km は泥水式シールド工法を採用しており、トンネル覆工の約 90%に RC セグメント（外径φ12.4m,幅 2.0m,厚さ 450mm,8 分割）を使用している。RCセグメント（図 1 参照）には、耐火板や吹付けによる耐火被覆工を行わず、セグメント自体に耐火機能を持たせる構造とした。本報では、RCセグメントの耐火性能を確認する目的で実施した実大耐火性能確認試験の結果を報告する。

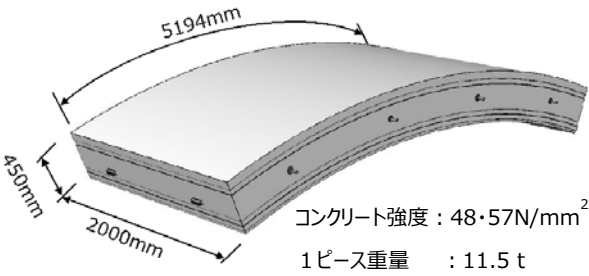


図 1 RC セグメント1ピースの姿図

2. 耐火要求性能と確認方法

セグメントに求められる耐火要求性能は、RABT60 分火災温度時間曲線を想定した火災時に、セグメントの耐力に影響を及ぼすコンクリートの爆裂を生じないことである。実大耐火性能確認試験では、加熱後試験体の表面を目視観察により爆裂を生じていないことを確認する。また、部分的な爆裂を生じても構造部分のコンクリートの温度が 350℃以下（被り部の耐火代を除く）、鉄筋の温度が 300℃以下であることを、各部材の温度計測により確認する。

3. 試験概要と試験体

試験は、実大セグメントに近い寸法の試験体に設計断面力を作作用させた状態で大型加熱炉（加熱範囲幅 2.0m×長さ 3.0m）に設置し、試験体下面より RABT60 分火災曲線による加熱を行った（写真 1 参照）。試験体の種類は、設計断面力の軸力最大を再現した本体部（負曲げ：加熱面圧縮）と曲げモーメント最大を再現した継手部（正曲げ：加熱面引張）を設定した。試験体の形状寸法は、加熱炉上に設置することを考慮して、本体部が幅 2.0m×長さ 4.0m×厚さ 0.45m、継手部が幅 2.0m×長さ 2.0m×厚さ 0.45m（同寸法の 2 体を継手金物で嵌合）の平板矩形断面とした。また、セグメントの付属物として、本体部に把持金物とインサート、継手部にセグメント間継手金物とシール材を試験体に設置し、実際のセグメント構造を最大限に再現するものとした。

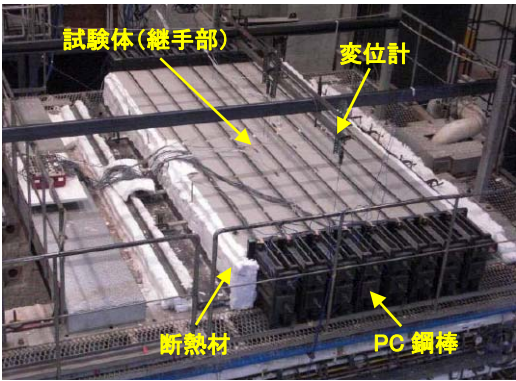


写真 1 耐火試験実施状況

表 1 試験ケース一覧

試験ケース	試験体の種類	CON 強度 (N/mm ²)	主鉄筋の仕様	M (kN-m)	N (kN)
1	本体部	57	D29,SD390	-403	9172
2		48	D19,SD345	-313	5350
3		57	D25,SD345	362	2384
4	継手部	48	D25,SD345	362	2384

4. 試験ケース

本工事で用いる RC セグメントは、トンネル全長で変化する荷重条件（土被り,地下水位）に応じて代表断面を抽出し、コンクリート強度と配筋仕様の異なる 3 タイプのセグメントを最適設計している。セグメントタイプ、セグメント製作工場（2 社）、試験体種類の組合せを勘案し、試験ケースは表 1 のように決定した。

キーワード シールドトンネル, RC セグメント, 耐火, 爆裂, ポリプロピレン繊維

連絡先 〒221-0013 神奈川県横浜市神奈川区新子安 1-2-4 オルトヨコハマ・ビジネスセンター3F TEL045-439-0738

5. 爆裂防止対策

試験体には、火災時のコンクリート爆裂防止対策と常時のひび割れ抑制、剥落防止の両立を図り、ポリプロピレン繊維（ $\phi 64.8 \mu\text{m} \times \text{L}12\text{mm}$ ）を 2.73kg/m^3 （0.3vol%）混入した。

6. 計測内容

試験体の内部及び外部に取付けた熱電対により、コンクリート、鉄筋、把持金物、セグメント間継手金物、シール材周辺の温度を計測した。特にコンクリート温度は、耐火代 65mm の有効性を確認するため、被り部を密に計測した（図 2 参照）。参考として、コンクリートと PC 鋼棒のひずみ、試験体の変形量も計測した。

7. 試驗結果

本体部と継手部の試験体における主な試験結果を以下に示す。

計測温度は、本体部に比べて継手部が高温の傾向であった。(1) **コンクリート温度**：試験体の表面温度は炉内温度とほぼ等しい結果となった。コンクリート内部であるほど温度は急激に低下し、最高温度は加熱面から 32mm 位置で約 550~600℃、加熱面から 100mm 位置で約 200~220℃、セグメント高さの半分(表面から 225mm 位置)で約 90~100℃、セグメント背面位置で約 50~65℃であった。セグメント内面側の耐火代 65mm に着目すると、最高温度は約 300~340℃(加熱開始から約 120 分)であった。図 3 にコンクリート最高温度の断面分布を示す。(2) **鉄筋温度**：加熱面に対し最外縁の配力筋の最高温度は約 230~280℃(加熱開始から約 150 分)であった。これは、繊維の効果により爆裂を防止できたため、被りコンクリートが断熱材としての機能を有していたためと思われる。(3) **把持金物温度**：加熱面に近い把持金物の最高温度は約 770℃~810℃、内部天端の最高温度は約 130℃~140℃であった。(4) **シール材温度**：シール材 2 段のうち非加熱面側の最高温度は約 70℃であった。許容温度 100℃を下回っており、継手位置に熱気が直に侵入する程の目開きはなく、高い断熱性を有することが確認できた。(5) **試験体の変位**：加熱時の変位量は、本体部で最大 3mm 程度、継手部の支間中央で最大 11mm 程度であった。火災時に周辺環境へ影響を及ぼすような過大な変形、変状はみられないと判断できる。(6) **加熱後試験体の目視観察**：爆裂が発生すると、コンクリート表面が連続的に剥落し、それに伴い鉄筋温度が上昇して荷重支持能力が低下する。加熱表面を観察すると、単発的な剥離(加熱初期に骨材が急激に膨張する等の理由による)が認められるものの表層に留まっており、爆裂と判断できる火害は発生していなかった(写真 2~4 参照)。

8. おわりに

実大耐火性能確認試験では、セグメントの耐力に影響を及ぼす有意な爆裂発生は認められず、各部材の最高温度も要求性能を満足した。以上より、有機繊維混入量とセグメント耐火代の有効性が確認できた。現在、横浜環状北西線シールド工事は着々と進行中であり、東京 2020 オリンピック・パラリンピックまでの開業を目指している。

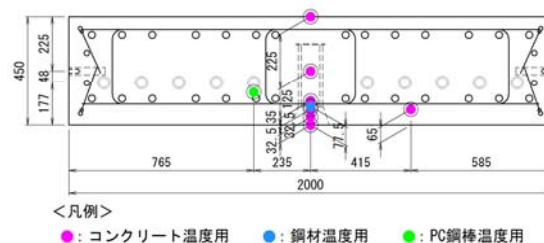


図 2 内部温度計測位置

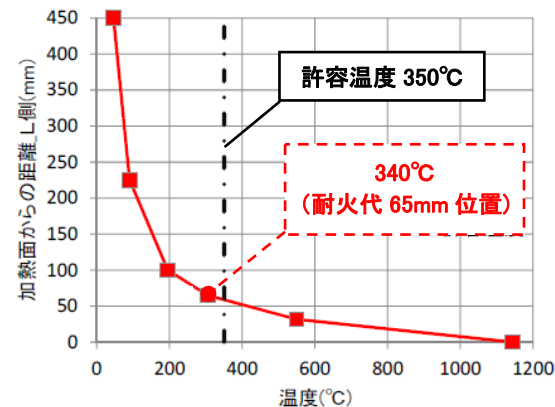


図 3 コンクリート最高温度断面分布(本体部)

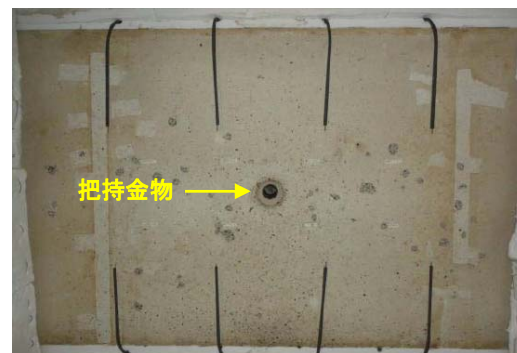


写真 2 加熱後の本体部試験体

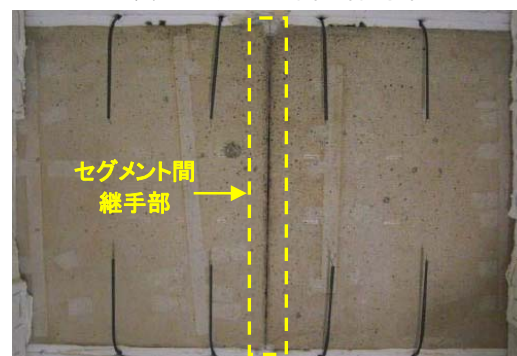


写真3 加熱後の継手部試験体



写真 4 加熱面拡大(本体部試験体)