

大深度・高水圧下のシールドトンネルへのRSFセグメントの適用

大成建設（株） 東京支店 正会員 ○近藤 智人
大成建設（株） 東京支店 正会員 京屋 宜正

1. はじめに

大深度、高水圧下のシールドトンネルでは、供用時に着目すると、軸力が卓越した応力状態となり、鉄筋コンクリート製セグメントの薄肉化および鉄筋量の低減が可能となる。一方で、ジャッキ推力に代表される施工時荷重は増大し、それにより発生する剥離、角欠けなどによる、トンネルの長期耐久性の低下が懸念される。本稿では、大深度（最大土被り 57.0m）、高水圧（0.56MPa）の施工条件の下、鉄筋コンクリート製セグメントの施工時に発生する剥離や角欠けを防止するため、鋼繊維補強鉄筋コンクリート製セグメント（以下RSFセグメントと称す）が採用された工事における、セグメントの性能確認試験および品質管理と施工結果について報告する。

2. RSFセグメントの概要

RSFセグメントは、鉄筋コンクリート製セグメントに鋼繊維を付加したセグメントであり、鋼繊維の補強効果により、鉄筋の一部を鋼繊維に置き換えることができる¹⁾。RSFセグメント主断面の応力分布のイメージを図-1に示す。本セグメントの主鉄筋は、最小引張鉄筋比 0.40%（ひび割れ発生モーメントが鉄筋降伏時の曲げモーメントを超えない限界の引張鉄筋比）を約 20%低減し、外縁側、内縁側ともに D10×10 本（引張鉄筋比 0.34%）とし、配力鉄筋は省略した。配筋図を図-2に示す。なお、覆工は 5 分割（外径 4.0m）であり、セグメント幅 1.35m、厚さ 0.2m、コンクリートの設計基準強度は 42N/mm²である。継手構造は、高水圧下でシール材を確実に封入できる高い締結力が求められるので、セグメント継手は鋼製ガイド式継手、リング継手はピン挿入式継手を採用した。

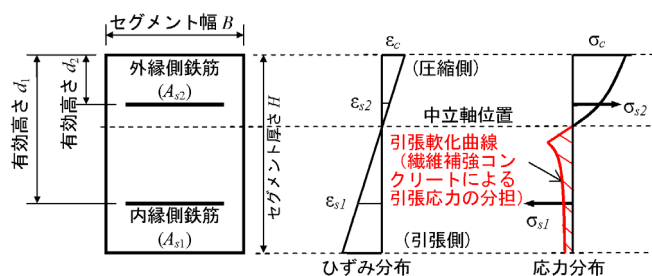


図-1 RSFセグメント主断面の応力分布

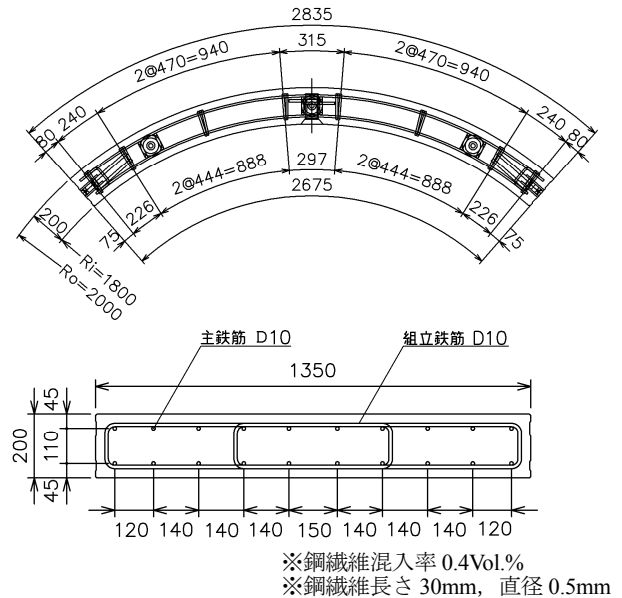


図-2 RSFセグメント配筋図

3. RSFセグメントの性能確認試験

3. 1 引張軟化特性の確認

RSFセグメントの引張軟化特性を確認するため、10×10×40cm 供試体の切欠き曲げ試験を実施した。図-3に、試験から得られた引張軟化曲線と設計引張軟化曲線を示す。ここで、設計引張軟化曲線は、既往の研究²⁾に準拠し算定した。図-3より、試験から得られた引張軟化曲線の平均線は、設計引張軟化曲線を上回っており、本セグメントが、既往の研究²⁾に示された方法で求められる引張軟化曲線の設計値を満足することが確認された。

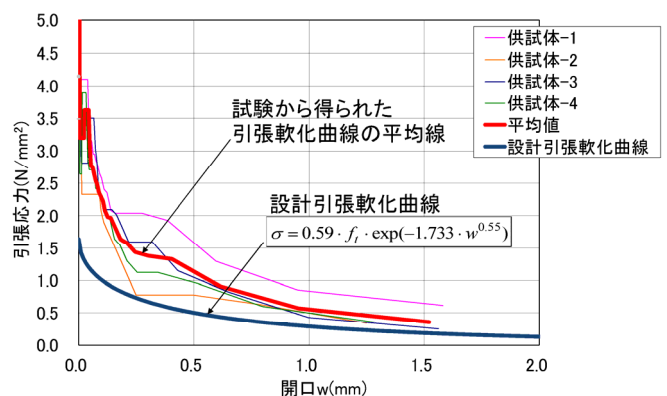


図-3 引張軟化曲線

キーワード RSFセグメント 鋼繊維補強鉄筋コンクリート製セグメント 大深度シールド

連絡先 〒140-0003 東京都品川区八潮 1-2-2 大成建設（株） 東京支店 東電大井シールド作業所 tel:03-5492-7151

3. 2 RSF セグメントの曲げ載荷試験

RSF セグメント本体の性能確認のため、曲げ載荷試験を4体実施した。試験体は、A セグメント1ピースとし、中央2点に対し、鉛直方向に線荷重(載荷スパン 600mm)を、試験体に破壊が生じるまで単調漸増載荷した。計算条件および試験結果を表-1、荷重-中央変位関係を図-4に示す。なお、表-1 および図-4 に示す設計値は、既往の研究¹⁾に準拠し算定した。試験結果より、終局荷重の試験値(137kN)は、設計値(96kN)を43%上回ることが確認された。また、4体の試験における荷重-中央変位関係の再現性は非常に高く、安定した品質で製作できていることが確認された。ここで、試験値が設計値を上回った理由としては、①コンクリートの実強度が設計基準強度より大きいこと、②鉄筋の降伏値が設計値より高いこと、③設計引張軟化曲線を安全側に設定していることなどが考えられる。そこで、実強度を入力値とした推定値と試験値との比較を行ったところ、終局荷重は推定値(140kN)と試験値(137kN)がほぼ一致する結果となった。また、ひび割れ発生荷重は、試験値(90kN)が推定値(61kN)を48%上回ったが、この結果には、鋼繊維の応力伝達効果が影響している可能性が考えられる。以上のことから、本セグメントは既往の研究¹⁾に示された方法で求められる設計耐力を十分満足することが確認された。なお、図-5 に示すように、ひび割れ分散性は良好であり、脆性的な破壊モードを示すことも無かった。

表-1 設計条件および試験結果

	設計値	試験値 (最小値)	実強度による推定値
コンクリートの強度(N/mm ²)	42	—	61.1
鉄筋の降伏値(N/mm ²)	295	—	350.5
引張軟化曲線に乗じる低減率	0.59	—	1.0
ひび割れ発生荷重(kN)	42	90(214%)	61
鉄筋降伏荷重(kN)	66	120(182%)	97
終局荷重(kN)	96	137(143%)	140

() は設計値との比率

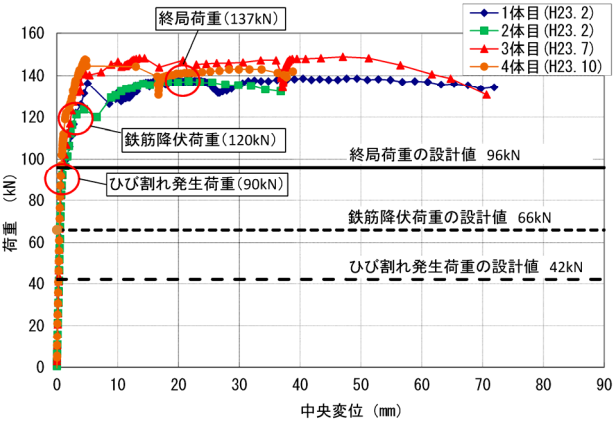


図-4 荷重-中央変位関係

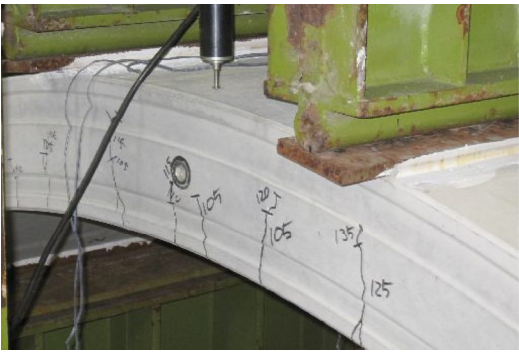


図-5 ひび割れ発生状況

4. RSF セグメントの品質管理

RSF セグメントの品質管理では、通常の鉄筋コンクリート製セグメントの管理に加え、鋼繊維の分散性の確認を、繊維の洗出し試験により行った¹⁾。洗出し試験は、打設時にフレッシュコンクリート(1バッチ 1.7m³)を3分割し、それぞれから一定量を採取した試料中の鋼繊維を計量することにより、鋼繊維の分散性を確認する手法である。試験は、セグメント製作開始当初は毎日1回実施し、分散の安定を確認した後、100Ringに1回の割合で実施した。全1032Ringの製作の結果、鋼繊維の計量値は、設計量±6.6%以内(許容値は設計量±20%以内)となり、安定した分散性で製作できていることが確認された。

5. まとめ

組立後のセグメントの状況を図-6に示す。2012年3月末現在、802Ring/1032Ringまで掘進を終え、引き続き掘進中である。これまで、大深度、高水圧の厳しい施工条件の下、漏水を伴うクラックもなく、RSFセグメントの高い品質を確認できた。本工事での実績を、今後の工事に活用して行く予定である。



図-6 組立後のセグメント

6. 参考文献

1) 土木学会：技術推進ライブラリーNo.6 「繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの設計・製作技術」に関する技術評価 報告書，2010