

経年劣化によるシールドセグメントの曲げ剛性の低下が発生断面力に及ぼす影響

—経年により鉄筋が腐食しない場合—

金沢工業大学 学生員 ○西尾 昭希
金沢工業大学 正会員 木村 定雄

1. はじめに

供用中のシールドセグメントの損傷をみると、漏水現象を伴うことが多く、鉄筋腐食やかぶりコンクリートの脆弱化が早期に進展するものと推察される。RCセグメントにみられる漏水現象は、継手等が施工時荷重等を受けることに起因する。また、貫通しない曲げひび割れ等も生じることがある。このため、曲げひび割れに地山からの漏水が侵入することやトンネル内の湿気によって鉄筋腐食が促進される。ここで現行のシールドセグメントの設計をみると、鉄筋腐食に対する許容ひび割れ幅は、乾湿の繰返しがある腐食性環境の場合、約0.2mmとしている¹⁾。そこで、筆者らはセグメントに生じる曲げひび割れをモデル化した供試体を作製し、様々なトンネル環境条件下における16年間の劣化特性を把握してきている²⁾。

本稿は、0.2mm程度の曲げひび割れを有する部材の曲げ剛性の低下が部材の発生断面力に及ぼす影響を検討したものである。

2. 供試体の換算断面二次モーメントの経時変化

曲げ試験用供試体の諸元を図1に示す。鉄筋腐食の評価を複雑にする要因をできる限り排除するため、セグメントはモルタルにモデル化し、供試体の鉄筋は丸鋼とした。また、曲げひび割れのモデル化は、開口表面の開口幅を約0.2mmとなるよう導入した。これらの供試体は乾湿繰返し条件下に16年間放置した。乾湿繰返し作用は、乾燥状態を4日、湿潤状態を10日とするサイクルとした。図2は材齢6カ月から16年の供試体の曲げ試験から得られた荷重と支間中央の鉛直変位との関係を示したものである。曲げひび割れを導入しない0.0Wと約0.2mmの曲げひび割れを導入した0.2Wを用いて、曲げひび割れ発生後の傾きから曲げ剛性を算出した。曲げ剛性の算出にあたって、コンクリートの弾性係数は長期的に変化しな

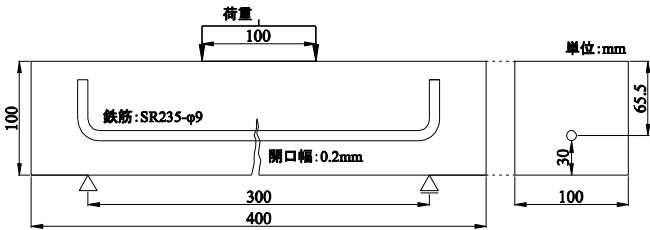


図 1 曲げ試験用供試体の諸元

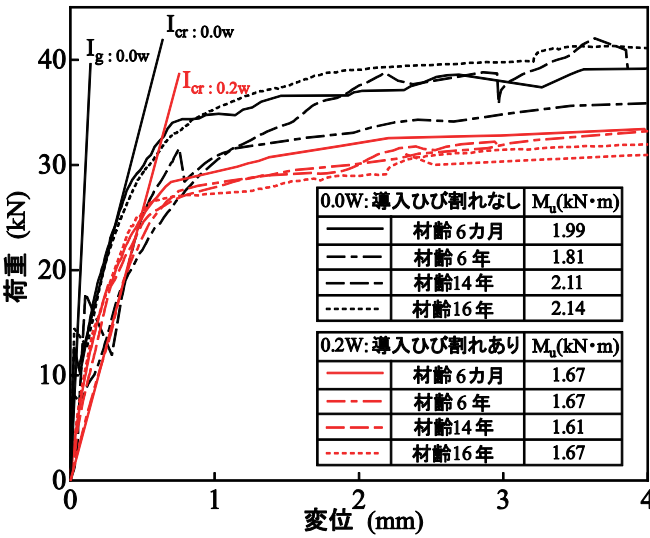


図 2 荷重と支間中央の鉛直変位との関係

表 1 換算断面二次モーメントの経時変化

	断面二次モーメントI (×10 ⁵ mm ²)			
	6カ月	6年	14年	16年
全断面有効の断面二次モーメントI _g	83.3			
換算断面二次モーメントI _{cr}	12.8 (Bransonによる提案式)			
I _{g:0.0W}	87.7			
I _{cr:0.0W}	12.8	9.99	9.38	6.71
I _{cr:0.2W}	13.7	10.1	12.1	14.4
I _{cr:0.0W} /I _{g:0.0W}	0.15	0.11	0.11	0.08

表 2 検討ケース

ケース名	曲げ剛性の有効率η	曲げモーメントの割増率ζ	側方土圧係数	地盤反力係数 (MN/m ³)
η=0.8	0.8	0.2	0.6	5
η=0.6	0.6	0.5		

キーワード シールドセグメント、曲げ剛性、換算断面二次モーメント、経年劣化

連絡先 〒924-0838 石川県白山市八束穂 3-1 地域防災環境科学研究所

TEL : 076-274-7704 FAX : 076-274-7102

いものとし、材齢 6 カ月の静弾性係数 26kN/mm^2 を用いた。供試体の曲げ試験から得られる換算断面二次モーメントの経時変化を表 1 に示す。0.0W のひび割れが生じた $I_{\text{cr},0.0\text{W}}$ は全断面有効の $I_{\text{g},0.0\text{W}}$ と比べて 0.1 倍程度と曲げ剛性の低下がみられた。 $I_{\text{cr},0.0\text{W}}$ は曲げひび割れを導入した $I_{\text{cr},0.2\text{W}}$ の载荷直後の曲げ剛性と同程度であることから鉄筋腐食は進行していないものと考えられる。なお、0.2W の曲げ耐力の値は 0.0W に対して経年に関係なく約 17%低下していた。

3. セグメントリングの断面力算定(曲げ剛性の検討)

検討に用いるシールドトンネルの概要および解析条件を図 3、図 4 および表 3 に示す。対象とする地盤条件は緩い砂質土とする。検討ケースを表 2 に示す。 $\eta=0.8$ のケースは継手の剛性低下を考慮したものである³⁾。 $\eta=0.6$ のケースは曲げひび割れが生じたセグメントリングの曲げ剛性が一様に低下する状態をモデル化したものである。ここで、供試体に生じる曲げひび割れの開口幅と部材の回転角との関係を図 5 に示す。供試体の開口幅 0.2mm から求まる回転角 θ_m は 0.0045 となる。この回転角がセグメント高 200mm に生じるとき、開口表面の開口幅は約 0.6mm となる。

断面力の算定結果を図 6 に示す。図中の実線は $\eta=0.6$ の値、破線は $\eta=0.8$ の値を各々示している。 0° の位置で生じる正の最大曲げモーメントをみると、 $\eta=0.6$ の値は $\eta=0.8$ の値に比べて約 1.1 倍となる。また、 65° の位置で生じる負の最大曲げモーメントをみると、 $\eta=0.6$ の値は $\eta=0.8$ の値に比べて約 1.4 倍と影響が大きい。これらの値の差異は、セグメントリングの水平方向の変位量から求まる地盤反力に依存する。曲げ剛性の低下を考慮すると、水平方向の変形量が 1.3mm 程度増加し、水平地盤反力もそれに伴い増加する。したがって、緩い砂質土地盤の場合、セグメントの経年劣化により曲げ剛性が低下すると、正および負の最大曲げモーメントは大きくなる。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書[共通編]・同解説[シールド工法編]・同解説, p.321, 2016.
- 2) 木村定雄ら：未貫通なひびわれを有する覆工コンクリートの初期劣化進展とその考察，トンネル工学研究論文・報告集, pp.45-52, 2003.
- 3) 日本鉄道施設協会：シールドトンネルの設計施工指針（案），p.108, 1978.

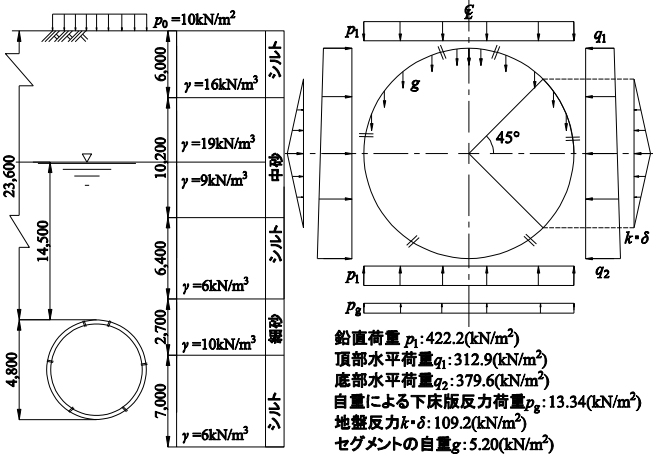


図 3 トンネルの概要

図 4 荷重図の概要

表 3 トンネルの構造条件および基本的な解析条件

セグメントの分割数	6
リングの組み方	千鳥組
セグメントリング外径 (mm)	4800
セグメント幅 (mm)	900
セグメント高 (mm)	200
図心半径 (mm)	2300
主断面の面積 (m ²)	0.18
主断面の断面二次モーメント (mm ⁴ /Ring)	6.0×10^8
コンクリートの弾性係数 (kN/mm ²)	33
鉄筋の弾性係数 (kN/mm ²)	200

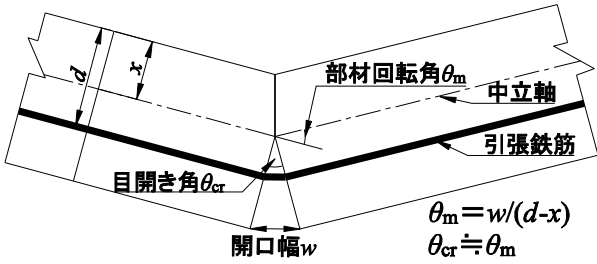


図 5 開口幅と回転角との関係

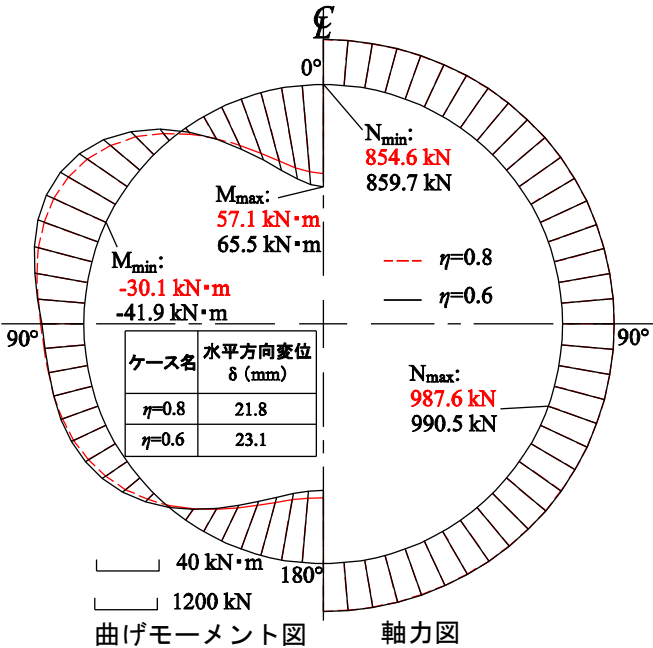


図 6 断面力図 (曲げ剛性の低下の検討)