

シールド工事用コンクリート系セグメントの収縮ひずみ特性

東京地下鉄(株) 正会員 沼澤憲二郎

メトロ開発(株) 正会員 藤木 育雄

日本シビックコンサルタント(株) 正会員 斉藤正幸, 正会員○奥尾 展保

1. はじめに

一般にコンクリート構造物の挙動を評価するためには、コンクリートの乾燥収縮を正確に把握することが重要である。しかし、シールドトンネルのRCセグメントの場合は、その設置環境が地上と比べて乾燥影響の小さな地下であること、それらが継手で連結される比較的柔な構造物であることから、特別にRCセグメントの乾燥収縮特性として研究されることは少なかった。一方で、シールドトンネルの長期的な挙動を把握する場合、地下水位変化等の作用外力により発生するひずみと内在的な収縮ひずみを分離して評価する必要がある。

コンクリートの乾燥収縮の予測式は世界的にも数多く存在する。しかし、最近のコンクリートは材料特性の変化や種類の多様化などにより、これらの予測式によって必ずしも十分にその特徴を再現できないことが考えられる。そこで、本研究では、実物大のRCセグメントを供試体として行った乾燥収縮ひずみの計測結果から、その乾燥収縮特性の実態を明らかにするとともに、乾燥収縮の短期データから長期ひずみを予測する方法について検討し、RCセグメントの長期的な覆工ひずみ計測値を評価する際の留意点を述べた。

2. 実験概要

2.1 実験に用いたセグメント

実験は大きさの異なる2つの供試体を用いて行った。その主な条件を表1に、外観写真を図1に示す。供試体Aは乾燥収縮に影響する部材体積表面積比 $V/S=41.8\text{cm}$ のトンネル外径 $\Phi 9.8\text{m}$ の複線トンネル用、供試体Bが $V/S=33.7\text{cm}$ のトンネル外径 $\Phi 6.6\text{m}$ の単線トンネル用のセグメントである。その他、セグメントの種類、配合および供試体の養生条件については、国内のRCセグメントとして一般的な条件である。設置環境はトンネル施工時の覆工計測場所と時期に合わせたため、外気温で5～10℃、相対湿度で約10%の差が生じている。

2.2 乾燥収縮の測定方法

収縮ひずみの測定方法は、RCセグメントの容積変化を鋼材の付着により拘束する内的拘束試験とし、主鉄筋にひずみ箔ゲージ(4ゲージ法:温度補償あり)を設置して行った。鉄筋ひずみ計の配置を図2に示す。

表1 実物RCセグメント供試体の主な条件

項目		単位	供試体A	供試体B
セグメントの種類と配合	セメント種類	—	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント
	単位セメント量(C)	kg/m ³	390	390
	単位水量(W)	kg/m ³	140	142
	水セメント比(W/C)	%	35.9%	36.4%
	圧縮強度	N/mm ²	66.7	68.7
	スランプ	cm	3.0±1.5	3.0±1.5
養生条件	水中養生	日	7	4
供試体	セグメント体積(V)	m ³	2.6	1.7
	セグメント表面積(S)	m ²	6.2	5.0
	部材体積表面積比(V/S)	cm	41.8	33.7
	セグメント桁高	mm	400	320
	主鉄筋被り(中心)	mm	65	65
	鉄筋比		0.9%	1.3%
設置環境	設置場所	—	トンネル坑内	トンネル坑内
	測定時期	-	H15.10～11	H16.2～6
	坑内温度	℃	約18～25℃	約9～21℃
	相対湿度	%RH	約80%RH	約70%RH

供試体A



供試体B



図1. 供試体の外観写真

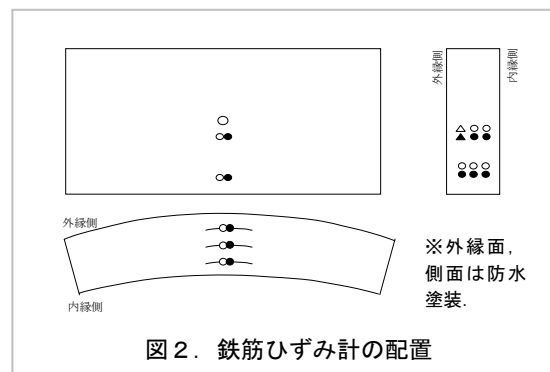


図2. 鉄筋ひずみ計の配置

キーワード:シールドトンネル, RCセグメント, 乾燥収縮, 長期計測

連絡先 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里 2-26-2 日本シビックコンサルタント事業統括本部 構造技術ソリューション部

TEL:03-5604-7551 FAX:03-5604-7558

3. 実験結果と考察

供試体A, Bの測定結果は, 横軸に乾燥日数, 縦軸に収縮ひずみをとって図3, 図4にそれぞれ整理した. なお, 測定結果より乾燥収縮ひずみの進行性状は双曲線的であることから, 収縮ひずみの最終値の見極めは, 収縮ひずみの経時変化を飽和曲線 ($y=a+b/(x+c)$) と仮定し, 現在までの計測値をもとに非線形最小二乗法 (Marquardt法) で回帰式を同定する方法で行った. さらに, 今回得たRCセグメントの乾燥収縮特性と通常の部材との比較を行うため, JSCE (土木学会) の予測式で計算した結果を参考までに図中に併記した. その結果, 次のことが判った.

- (1) 計測値の回帰分析で求めたRCセグメントの乾燥収縮ひずみの最終値は, 供試体Aで 175μ , 供試体Bで 429μ ひずみとなった. この両者の差はセグメントの養生条件や部材体積表面積比等の違いに起因しているものと推察される. この最終値は通常の鉄筋コンクリート部材の設計において乾燥収縮の影響を考慮する場合に用いられる 150μ の1.2~2.9倍に相当する. (図3, 図4)
- (2) セグメント坑内搬入後から10年経過後までの収縮ひずみ量は, 供試体A, Bでそれぞれ 74μ , 299μ に及ぶ. (図3, 図4)
- (3) 供試体Bの乾燥収縮の特徴は, 進行が遅いことである. たとえば, 土木学会式による予測値と比較すると30日までは5分の1以下, 90日までは2分の1以下の進行速度である. (図4)
- (4) 回帰分析で求めた収縮ひずみ量は, JSCE式による予測値を下回る結果となった. 前者には鉄筋による内部拘束が含まれるためと考えられる. (図3, 図4)
- (5) 断面内のひずみの分布には 100μ 以下のばらつきが認められる. その結果を図5に示す. これは設置環境や鉄筋拘束度等の若干の差が影響しているためと考えられる.

4. まとめ

実験結果よりシールド工事用RCセグメントの乾燥収縮に関して次の知見が得られた.

- (1) 養生期間が十分にとれない場合, 覆工ひずみ計測データに占める内在的な収縮ひずみ量の割合は大きくなる. このため長期計測データから土水圧等の外的要因による覆工応力を評価する場合は, 短期の乾燥収縮データをもとに回帰式に近似させ最終収縮ひずみを予測した上で, それらを用いて計測データを補正する必要がある.
- (2) RCセグメントの乾燥収縮量を予測する場合には, 実物大の供試体もしくは拘束体となる鉄筋等を考慮にいれた実験が望ましく, また, 設置環境によりデータはばらつくため, 外面を水に浸し絶えず水分が供給される状態にするなどして実状態に近づけて実験するのが望ましい.

【参考文献】 1) (社) 2002年制定土木学会コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] pp30, 2) 土木学会 第59回年次学術講演会第III部門 実物RCセグメントによる実験データに基づくシールドトンネルの土圧評価の際の乾燥収縮ひずみの影響について.

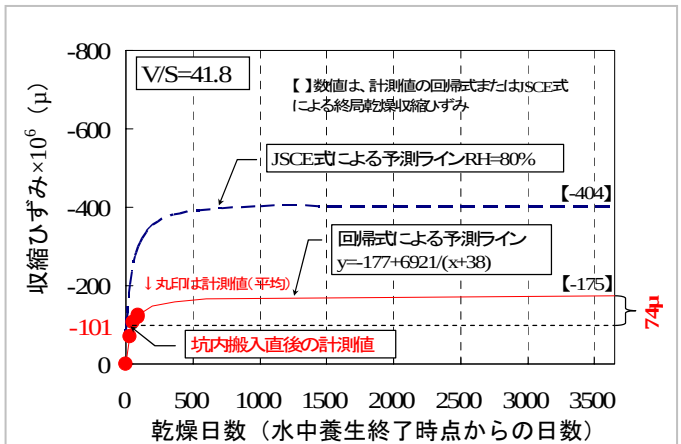


図3. 供試体Aの収縮ひずみの経時変化

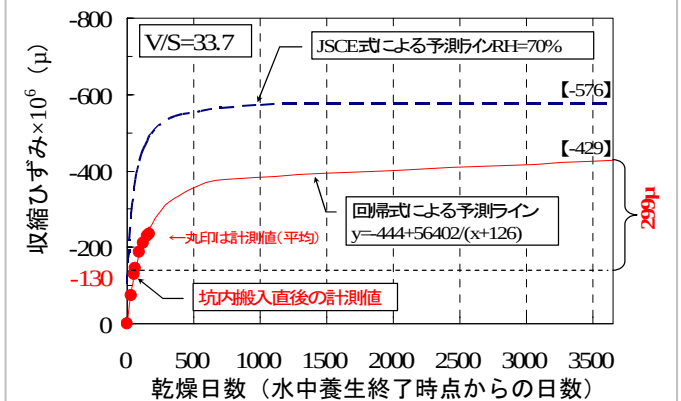


図4. 供試体Bの収縮ひずみの経時変化

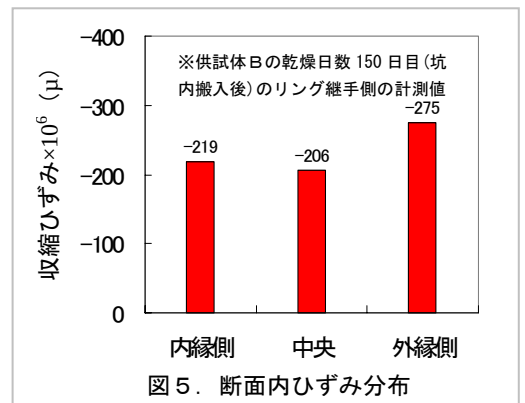


図5. 断面内ひずみ分布