

## シールド二次覆工のひび割れ発生要因推定とその対策

交通サービス 正会員 島 拓造  
 大阪市交通局 小西 義朗  
 大阪市交通局 赤木 淳

### 1. はじめに

1983年に完成した地下鉄のシールドトンネル(外径6.8m・中子型セグメント)の二次覆工において、トンネル軸方向等に3mm以上のひび割れが顕在化している。このひび割れ幅、及び数量は当局の他のシールドトンネルと比較して卓越した数値となっており、またその進行時期もトンネル完成後数年経過してからと推察されている。(写真1・図1)

本論文では、トンネルの健全性を確認するため数値解析、及び現場調査・材料試験を行い、材料・施工・構造・外圧等の観点からひび割れの発生要因を推定し、今後の維持管理方法の方向性を定めた。

### 2. ひび割れの特徴

当該区間は、単線並列型のトンネルを同時裏込め注入を採用して土圧式シールドによって施工されている。掘進土層は、高塑性の超鋭敏(鋭敏比10~40)な沖積粘性土層となっている。ひび割れの状況は図1に示すとおり縦横に発生しており、主にトンネル軸方向(縦断方向)ではスプリングライン上方45°(Kセグメント位置)付近、トンネル横断方向(周方向)では約3mピッチに発生している。特に縦断方向では3mmを超えるものも多数みられ、これらのひび割れ

には交差・閉合したものもあり、コンクリート打音検査により異状が見られるものについては、ネット等で剥落防止を行っている。

図2は、ほぼ同時期に洪積層に建設された他号線のトンネルとの変状箇所数の比較図で、ひび割れ形状は比較的によく似ているが、剥落のおそれがある(赤のグラフ)の箇所数が卓越している。なお、(青のグラフ)は将来剥落の可能性がある要注意箇所を表している。

図2は、ほぼ同時期に洪積層に建設された他号線のトンネルとの変状箇所数の比較図で、ひび割れ形状は比較的によく似ているが、剥落のおそれがある(赤のグラフ)の箇所数が卓越している。なお、(青のグラフ)は将来剥落の可能性がある要注意箇所を表している。

図2は、ほぼ同時期に洪積層に建設された他号線のトンネルとの変状箇所数の比較図で、ひび割れ形状は比較的によく似ているが、剥落のおそれがある(赤のグラフ)の箇所数が卓越している。なお、(青のグラフ)は将来剥落の可能性がある要注意箇所を表している。

### 3. 要因推定

軟弱な沖積粘性土に建設されたシールドトンネルで、圧密沈下等による長期的な変状が報告されている<sup>1)2)3)</sup>。当該地区でも周辺の地下水汲み上げにより、1964年頃から1980年頃までに約1mの地盤沈下があり、またトンネル内にも漏水跡が見られるが、その後は地盤沈下も収束し、漏水も現在はほとんど無い状況である。

キーワード シールドトンネル, 二次覆工, ひび割れ

連絡先 〒550-0025 大阪市西区九条南2丁目34番3号 交通サービス株式会社 技術部 調査課 TEL.06-6581-9579



写真1 シールドトンネル全景

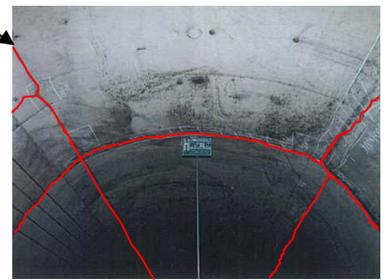
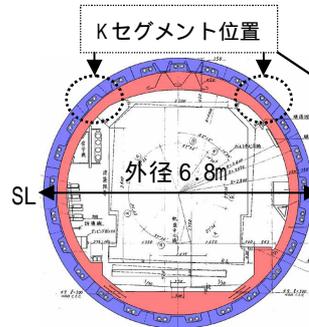


図1 ひび割れ状況

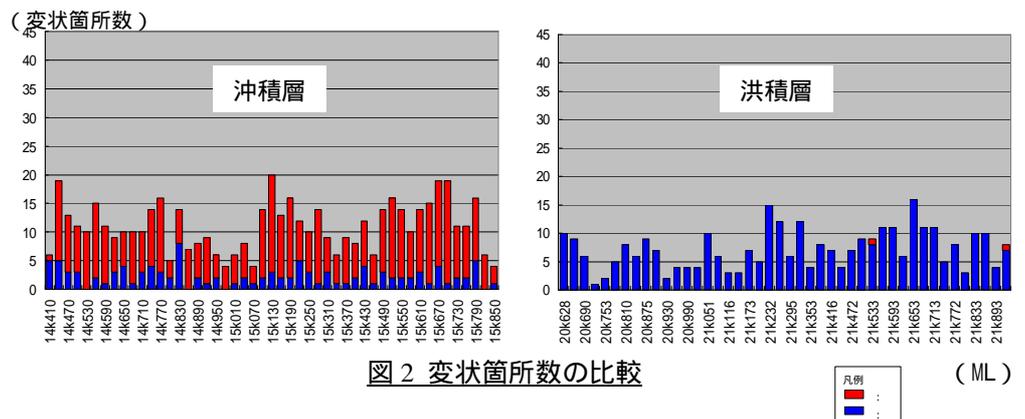


図2 変状箇所数の比較

凡例 (ML)

(1) 初期ひび割れ

二次覆工の配合は表 1 に示すとおり単位水量や単位セメント量が多く、また養生時間も 13 時間程度と短かったため、十分な水和反応をする前に蒸気逸散したと考えられ 600 ~ 800  $\mu$  程度の乾燥収縮は想定される。現場で発生している約 3m ピッチの横断方向のひび割れ幅とも一致する。これらのことから初期のひび割れの主因は乾燥収縮と温度応力によるものと考えられる。

表 1 二次覆工のコンクリート配合 (抜粋)

圧縮強度	スラブ	W/C	C	W	混和材
210 kg/m <sup>2</sup>	17 cm	53 %	358 kg/m <sup>3</sup>	190 kg/m <sup>3</sup>	ポゾリノ No70

(2) 長期的な変状

横断方向のひび割れは、縦断方向のひび割れで進行が止まっていることから、縦断方向が先行したと考えられる。縦断方向の他工区より大きなひび割れは、初期のひび割れに加え圧密沈下や経年の土圧の変化等によりトンネルに何らかの外力が働いたと想定される。

構造面からの要因推定

セグメント継手は図 3 に示すとおり、長ボルトで締結されている。当時の締め付けトルクの基準値は 300 ~ 350Nm で、現在の基準値 500Nm に比べ引張力に対する抵抗力が小さくなっている。また、長ボルトのため変位量が大きいことも考えられる。

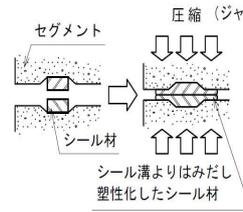


図 4 シール材の流動

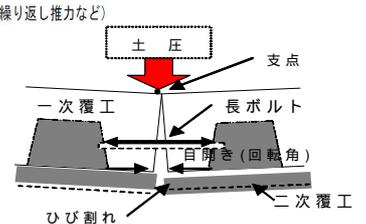


図 3 中子型セグメント継手

はりばねモデルでの試算結果 (図 3,4,5)

圧縮縁(外側)を支点と考えて、計算モーメントと回転ばね値から計算される回転角から、二次覆工内側での目開き量を算出した。なお、経年の土圧の変化や継手面のシール材(ブチルゴム)の塑性変形<sup>4)</sup>等から、セグメント間に動きが生じ、軸力の低下が考えられる。これらからばね値の低減が考えられ、1/3 程度低減した場合、許容応力度以内で現状のひび割れ幅と合致してくる。

発生断面力		CASE	目開き量 (mm)
M (kN・m)	N (kN)		
35	793	一次覆工	1.8
		二次覆工	3.0

一方、現場調査・材料試験の結果、2000 年以降ひび割れの進展が無く、圧縮強度・中性化・配合推定試験値等も基準値を満足していることから、上記の計算結果と併せトンネルは健全であると判断し、二次覆工の剥落対策を検討していくことにした。

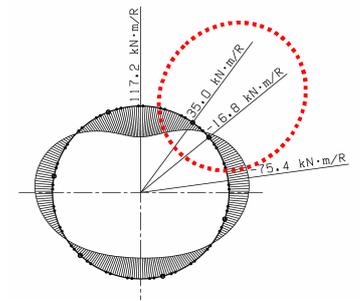


図 5 発生断面力及び目開き量

4. おわりに

今回行った内空測定、及び定点観測結果を基に、継続的に観察を続けると共に、大地震時にもコンクリートが剥落して二次災害を招かないよう補修工法の検討を進めており、今年度内には変状箇所の一部で対策工を実施する予定である<sup>5)</sup>。

参考文献

- 1) 斎藤・古田・山本：沖積地盤に構築したシールドトンネルの変形に関する考察，トンネル工学研究発表会論文・報告集 第 4 巻(5)，PP55 -62, 1994. 11
- 2) 有水・五十嵐・金子他：周辺地盤の圧密沈下に伴う既設シールドトンネルの作用荷重の変化メカニズム，土木学会論文集 No. 750/ 65, PP115 -134, 2003. 12
- 3) 有水・金子・塩冶他：軟弱粘性土地盤の圧密に伴うシールドトンネルの長期荷重に関する解析的研究，土木学会論文集 No. 799/ 72, PP89 -108, 2005. 9
- 4) 土木学会：セグメントの設計，PP80 -81, 1994. 6
- 5) 檀尾・新治・小西他：シールドの二次覆工補修の検討と試験施工(1)(2)，トンネルと地下，2003. 10・ 11