

トンネル覆工コンクリートの温度応力解析に関する検討

九州大学工学部 学生員○三好哲典

九州大学工学部 正会員・牧角龍憲

九州大学工学部 学生員 上原康之

九州大学工学部 学生員 川崎英司

1. まえがき

昭和50年代から普及したNATM工法において、当初は覆工コンクリートに施工後1週間以内にひび割れが頻繁に発生していた。その後、昭和60年代に入って防水シートの使用が一般化し、その2次的な効果である縁切り作用によってひび割れの発生は激減した。しかし、厚さ20cm程度の覆工コンクリートでなぜ温度ひび割れが入るのか、防水シートの効果によりなぜひび割れが激減したのか、このメカニズムについては定量的に未だ明らかにされていない。新東名高速における大断面トンネルでの50cm厚の覆工コンクリートや吹き付けコンクリートだけのシングルシェルが採用されつつある今日、覆工コンクリートのひび割れ発生メカニズムを明確にし合理的な対策方法を確立しておく必要がある。その際、早期脱型の必要性から覆工コンクリート自体の配合や材料調整による品質改善は難しく、外部拘束条件に着目した対策を講じることがより実用的であると考えられる。本研究はその観点から、外部拘束条件の影響について検討したものである。

2. 解析概要

2.1 解析手法と解析モデル

現時点におけるひび割れ対策のうち代表的なものとして次の二つが挙げられる。

- 1) 吹き付けコンクリートと二次覆工コンクリートの間にアイソレーション(絶縁シート)を挿入し、二次覆工コンクリートの収縮に対する拘束の低減を行う。
- 2) ひび割れ誘発目地を設けることによりそこにひび割れを集中的に発生させ、その部分を重点的に補修する。

対象構造物は、図-1に示すトンネル構造物であり1ブロックの施工延長は10mであり、二次覆工コンクリートの巻厚は40cmとした。トンネル軸に垂直に生じるひび割れを対象に図-2(トンネル長さ方向断面)の解析モデルで解析を行った。解析はスラブ状構造物をアイソパラメトリック要素に分割し温度解析、温度応力解析を行った。本研究ではCASE-1として1)のひび割れ対策についてアイソレーションをばね定数を設定した1cm厚のボンド要素としてモデル化した。これはコンクリートと岩盤の拘束面において、そのX方向のずれを考慮するため、岩盤とコンクリートの界面において各節点間にX,Y方向のばねを挿入したものである。現段階ではY方向のばねは剛結とし、X方向のばね定数のみを変化させ解析を行った。CASE-2として2)についてひび割れ誘発目地間隔を決定するため、図-2の解析モデルのスパンを変化させ解析を行った。

また、温度ひび割れ発生の可能性を判断する尺度として、コンクリート標準示方書に規定されている温度ひび割れ指数を用いた。

2.2 解析定数及び解析条件

解析定数を表-1に示す。解析物性値はJCI「マスコンクリートのひび割れ指針」が示す範囲内のものを用いた。解析結果はコンクリート温度がほぼ一定となる材齢7日の値で検討している。

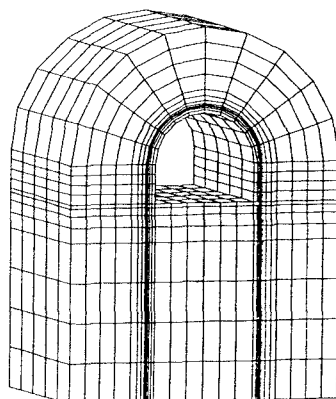


図-1 対象構造物

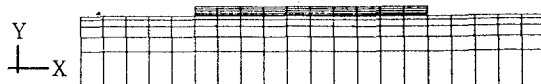


図-2 解析モデル

3. 解析結果及び考察

3.1 CASE-1の解析結果の検討

CASE-1の解析結果を図-3、その要素番号位置を図-4に示す。図-4に示すようにボンド要素はコンクリートと岩盤の間に挿入してある。図-3はばね定数とひび割れ指数の関係であるが、各要素を比較すると要素1にくらば要素2、3、4の方が応力は大きく中央付近の引張応力が最大であることが確認できる。このことより以下の解析結果は中央の最大引張応力位置でのひび割れ指数を用いたものである。

次に覆工コンクリートの巻厚がひび割れ指数に及ぼす影響を調べるため巻厚を20cm～40cmと変化させ解析を行った。この結果を図-5に示すが、ばね定数の値によってひび割れ指数が大きく変化する、巻厚30cm以上ではひび割れ指数が1.5以下になることがわかる。

今回の解析条件で覆工コンクリートの巻厚20cmではひび割れ指数が1.5以下にはなっていないが、さらにシビアな条件での施工においては十分ひび割れが発生する可能性がある。さらにばね定数を緻密に設定し解析することにより、各巻厚毎のひび割れ指数の変化状況を知ることができる。

表-1 解析諸定数及び水準

	解析条件	物性値及び解析水準
	熱伝導率(kcal/mhr℃)	2.15
岩盤	比熱(kcal/kg℃)	0.3
	弾性係数(kgf/cm ²)	5.0×10^5
	ポアソン比	0.3
	初期温度(℃)	15
	線膨張係数	1.0×10^{-5}
コンクリート	熱伝導率(kcal/mhr℃)	2.15
	比熱(kcal/kg℃)	0.3
	ポアソン比	0.20
	打設温度(℃)	20
	線膨張係数	1.0×10^{-5}
	断熱温度上昇量(℃)	$40(1 \times 10^{-9})$
	圧縮強度(kgf/cm ²)	$487 \times \text{Log}10M-1300 \quad (M < 1000)$ $244 \times \text{Log}10M-570 \quad (M > 1000)$ M: 積算温度
外気	引張強度(kgf/cm ²)	$1.4 \times \sqrt{f_c}$
	弾性係数(kgf/cm ²)	$1.53 \times 10^4 \times \sqrt{f_c}$
	熱伝達率(kcal/mhr℃)	5.0
ボンド要素	外気温度(℃)	15
	熱伝導率(kcal/mhr℃)	20
	X方向ばね定数	2.0×10^{-3} $\sim 2.0 \times 10^{-7}$

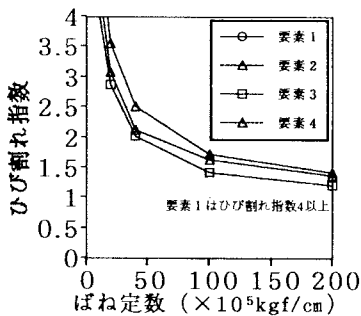
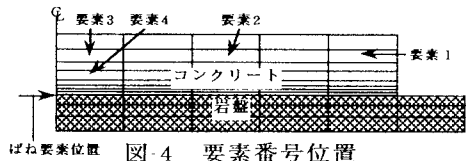


図-3 ばね定数とひび割れ指数の関係

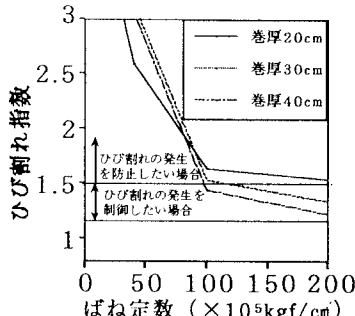


図-5 ばね定数とひび割れ指数の関係

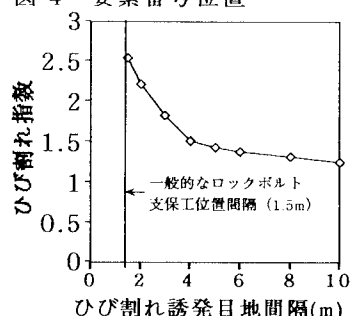


図-6 ひび割れ誘発目地間隔とひび割れ指数の関係

3.2 CASE-2の解析結果の検討

次にCASE-2の解析結果を図-6に示す。図-6はひび割れ誘発目地間隔とひび割れ指数の関係である。この際のボンド要素はX方向、Y方向のばねをとともに剛結とし、覆工コンクリートの巻厚は40cm一定で検討している。ひび割れの発生がトンネルの外観や漏水等の原因となることから、ひび割れ指数の値1.5以上をひび割れ制御対策の目標値とすると今回の解析条件ではひび割れ誘発目地を4m間隔で設けることによりひび割れの発生を防止でき得ると考えられ、覆工コンクリートにひび割れ誘発目地を新たに設けることは施工上難しいとされているが、そこで図-6に示すロックボルト支保工の位置では誘発目地の施工も可能であり、止水工をした上でそこにひび割れ誘発目地を設けるのも一案ではないかと考えられる。

4. まとめ

今回の解析結果より以下のことが判明した。

- ①巻厚を20cm～40cmと変化させ解析を行った。この結果を図-5に示すが、ばね定数の値によってひび割れ指数が大きく変化する、巻厚30cm以上ではひび割れ指数が1.5以下になることがわかる。
- ②ひび割れ誘発目地間隔のひび割れ指数に与える影響は大きく、今回の解析条件ではひび割れ誘発目地を4m間隔で設けることによりひび割れ指数を1.5以上にすることができ、ひび割れの発生を防止できると考えられる。