

大断面 1BOX 開削トンネルの設計段階における温度ひび割れ検討

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 ○野村 顕
 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 森山 晃士
 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 福田 圭祐
 西日本旅客鉄道株式会社 森 勇樹

1. 目的

都市部における鉄道開削トンネルにおいて、配線計画上中間柱が配置できないことから、コンクリート部材厚が2.0mを超過する大断面1BOX開削トンネル構造(図-1)を計画している。部材厚が大きくなるため、温度応力による初期ひび割れの発生が懸念された。

本論文においては、ひび割れの発生が漏水に繋がるリスクがあるため、設計段階において土留壁及び防水仕様等を考慮したモデルにおけるひび割れ特性を3次元有限要素法(FEM)による温度解析および応力解析にて評価し、その検討結果を示す。

2. 解析対象構造物及び解析手法

1層1径間ボックスは図-1を対象とした。解析ソフトは、「コンクリートの非線形温度応力解析プログラム ASTEA-MACS Ver.8」(株式会社計算力学研究センター社製)を用いた。温度応力解析の評価には、土木学会のコンクリート標準示方書(設計編)に示されているひび割れ指数がひび割れ発生の有無を照査する指標¹⁾として用いられている。ひび割れ指数とは、コンクリート引張強度と最大主引張応力度との比であり、その値が大きいほどひび割れが発生しにくく、小さいほどひび割れが発生しやすいことを意味する。ひび割れ指数は以下の式より算出した。また、本検討は図-2のひび割れ対策フローに基づき、ひび割れ指数の目標値を1.00と設定し検討を行った。

$$\text{ひび割れ指数} : I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_t(t)$$

$f_{tk}(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリート引張強度

$\sigma_t(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリート最大主引張応力度

セメント種別は普通ポルトランドセメント(以下 N), 高炉セメント B 種(以下 BB), 高炉セメント B 種+膨張材(以下 BB+E), 低熱ポルトランドセメント(以下 L)の4ケースとし、表-1にコンクリート諸元を示す。リフト割付

については下床版, 側壁, 上床版とし3リフトとした。(図-3)解析延長は20mとし、ひび割れ誘発目地については5m間隔で設置するものとした。ひび割れ指数の評価位置は側壁基部, 誘発目地中央かつ部材中心下部とした。

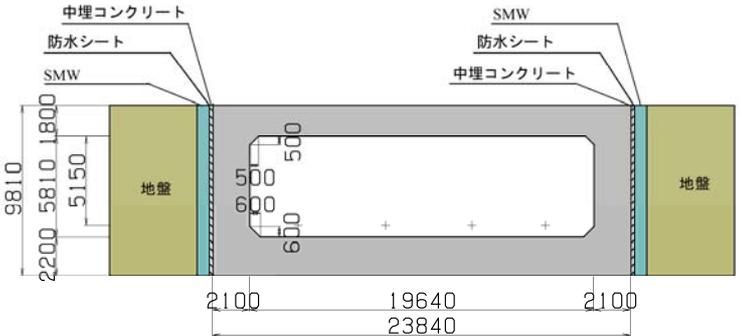


図-1 対象開削トンネル断面図

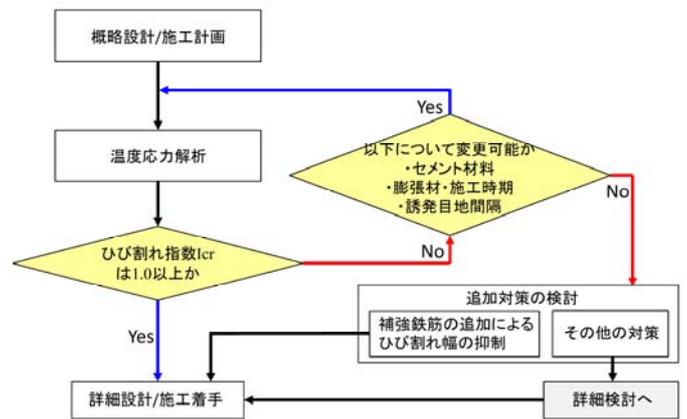


図-2 ひび割れ対策フロー

表-1 コンクリート諸元一覧表

種別	N	BB	L
設計基準強度	30	30	30
単位セメント量 (kg/m ³)	55	49	49
水セメント比 (%)	318	357	357

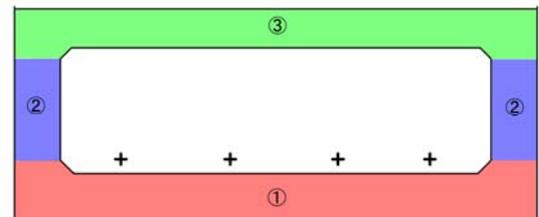


図-3 打設リフト割図

キーワード 開削トンネル, ひび割れ, 温度応力解析

連絡先 〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島 5-4-20 中央ビル8F ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) TEL 06-6303-1453

3. 解析条件

(1)解析モデルと要素分割 解析モデルの要素分割図を図-4に示す。解析モデルは、地盤を含めた3次元有限要素でモデル化した。その際、線路直角方向の対称性を考慮して、全体の1/2のみをモデル化した。本解析では、実状に近いモデル化を図るため、ボックス部以外のモデル化を以下の通りに設定した。

- ・ひび割れ誘発目地：コンクリートの熱特性を有し、剛性を微小な部材とすることで、体積変化を拘束しない部材とした。
- ・中埋めコンクリート：対象構造物の各部材と同時に打設することを想定していることから、ボックス部材と同様のモデル化を行った。
- ・土留壁 (SMW)：対象構造物打設時には温度上昇は終了していると想定し、温度上昇しないコンクリート部材としてモデル化した。
- ・防水シート：ひび割れ誘発目地と同様に、コンクリートを拘束しない部材と仮定してモデル化した。

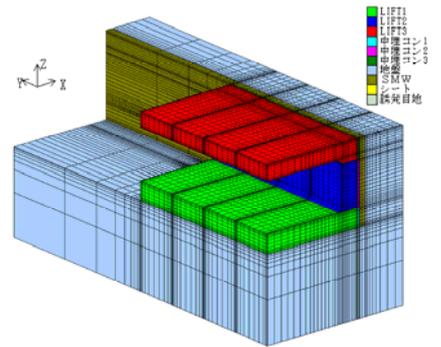


図-4 解析モデルと要素分割図

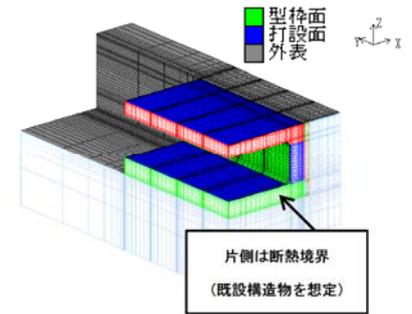


図-5 温度解析上の境界条件

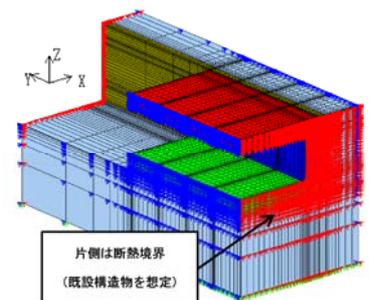


図-6 応力解析上の境界条件

(2)温度解析上の境界条件 温度解析上の境界条件としては、熱伝達境界、断熱温度境界および固定温度境界があり、熱伝達境界は大気との間に熱の出入りがある境界、断熱境界は熱の出入りのない境界、固定温度境界は温度が一定の境界である。本解析では、地盤表面及びコンクリート表面を熱伝達境界、地盤及びコンクリートの切出し面を断熱境界、地盤切り出し下面を固定温度境界とした。また、対象構造物の線路方向の片側には同形状の既設構造物が存在しており密着しているものとし、境界条件は温度の伝達がないものと仮定して、断熱境界とした。(図-5)

(3)応力解析上の境界条件 地盤及びコンクリートの切出し面を拘束状態とし、線路方向 (Y 方向) の拘束条件は、片側端部は既設構造物が存在するため拘束されているものとし、もう一方の端部は既設構造物が存在しないことから無拘束として設定した。(図-6)

(4)打設日 底板、側壁及び床板の打設間隔は全て2ヶ月とした。本解析では打設時期が確定していないため、各リフトが2ヶ月別の打設日となるように6ケース設定した。(表-2)

表-2 対象構造物の各リフト打設月

対象構造物	リフト	Case. 1	Case. 2	Case. 3	Case. 4	Case. 5	Case. 6
1層1径間ボックス	LIFT 1 (底板)	2月	4月	6月	8月	10月	12月
	LIFT 2 (側壁)	4月	6月	8月	10月	12月	2月
	LIFT 3 (上床板)	6月	8月	10月	12月	2月	4月

4. 解析結果

ひび割れ指数は、 $L > BB + E > N > BB$ の順で高い値を示した。N、BBはひび割れ指数の値は大きな差は認められなかったが、膨張材を使用したBB+Eは、N及びBBより1割程度ひび割れ指数が増加した。

Lは全ての時期においてひび割れ指数1.00以上となったが、他についてはどの時期に打設してもひび割れ指数1.00以下となった。(図-7)

5. まとめ

本検討の結果、ひび割れ指数の目標値1.00以上確保するためにはセメント種別をLとすることがひび割れ抑制に対して高い効果を示すことを証明できた。また、土留壁や防水仕様等をモデル化し実状に近いモデルで検討を行うことができた。今後は、セメント種別やその他対策の費用対効果を考慮し、施工時のひび割れ対策にも反映していきたいと考える。

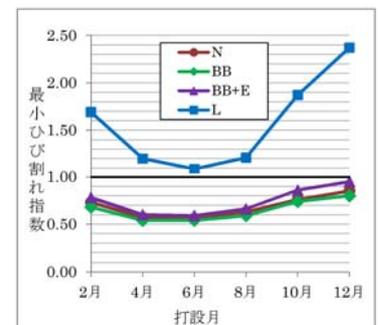


図-7 打設月と最小ひび割れ指数の関係

参考文献 1) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書【設計編】