

# 現場打ち RC 開水路の目地ひび割れに関する解析的検討 Analytical Study on Cracks Occurring Close to Joints in Cast-in-place Reinforced Concrete Open Canal

○ 後津春花\*, 兵頭正浩\*\*, 緒方英彦\*  
IKADATSU Haruka, HYODO Masahiro and OGATA Hidehiko

## 1. はじめに

現場打ちの鉄筋コンクリート製開水路には、図 1 のように側壁の目地付近に連続した一本のひび割れ（以下、目地ひび割れ）が片方のスパンに生じるケースが散見される。このひび割れは寒冷地・非寒冷地問わず見られるひび割れであるが、特に寒冷地では目地部コンクリートの劣化（Dクラック）に繋がることから、その発生メカニズムの解明、それを踏まえた対策の確立が必要となっている。これまでに著者らは、このひび割れの発生メカニズムとして、後打スパンの体積変化が先打スパンによって拘束されるために生じると推察してきたが、それを立証するために、先打・後打スパンの材齢差を考慮した二次元有限要素法による非線形温度応力解析を行うことにした。本報では温度応力解析に基づく目地ひび割れの解析的検討の結果を報告する。

## 2. 温度応力解析

温度応力解析には ASTEA MACS ver.9.3(株式会社計算力学研究センター)を用いた。解析モデルは節点数が 840、要素数が 775 であり、解析期間は 2 年間、解析時間刻みは 1 日とした。スパン長は 9m とし、底版とハンチ部を含んだ高さを 2,550mm、側壁の厚さを 250mm とした。物性データは既往の研究<sup>1), 2)</sup>を参考に設定した。コンクリートのセメントは高炉セメント B 種、水セメント比は 0.55、単位水量は 165kg/m<sup>3</sup> とし、断熱温度上昇特性、クリープひずみ、弾塑性係数、乾燥自己収縮ひずみを考慮した。鉄筋は分散鉄筋モデル（主鉄筋：0.39%、配力鉄筋：0.41%）で考慮した。地盤とコンクリートの境界および先打スパンと後打スパンの境界にはボンドリンク要素を配置し、ヤング率は 0.1N/mm<sup>2</sup>、せん断バネ剛性比は 1、直バネ切断後の応力は一定でひずみは全解放されるよう設定した。応力解析は平面応力解析とした。拘束条件は、地盤の最下面において鉛直方向、地盤の側面において水平方向に設定した。本報では、打設開始日が夏期と冬期の 2 つのケース（ケース 1：12 月 1 日、ケース 2：6 月 21 日）で解析を行った。打設リフトと境界条件を表 1 に示す。外気温データは、気象庁の HP<sup>3)</sup> から取得した北海道岩見沢観測所のデータより、式 (1) ~ (6) に示す日平均気温モデルを作

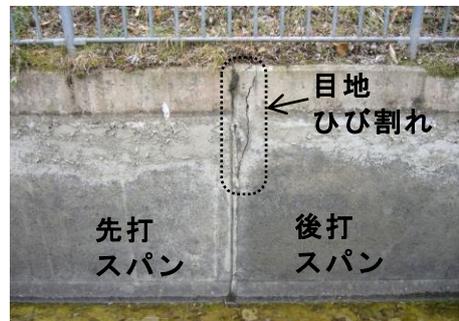


図 1 目地ひび割れ  
Fig. 1 Cracks occurred near joint

表 1 各リフトの材齢差と熱伝達境界  
Table 1 Age interval and boundary conditions of casting lift

打設リフト	前リフトとの材齢差 (日)		熱伝達率 (W/m <sup>2</sup> ·K)			
	ケース 1	ケース 2	ケース 1		ケース 2	
			型枠	露出面	型枠	露出面
1 地盤+先打リフトの底版	-	-				
2 先打リフトのハンチ上					8	
3 先打リフトの壁体						
4 後打リフトの底版	12	7	14	14	0	14
5 後打リフトのハンチ上						
6 後打リフトの壁体						
解析終了日	-	-	-	-	-	-

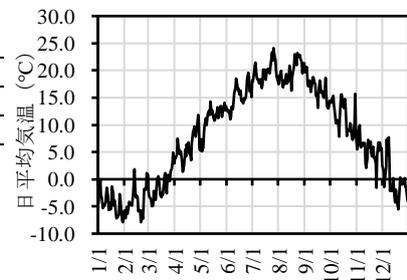


図 2 外気温データ  
Fig. 2 Outside temperature

\*鳥取大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University,

\*\*鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University

温度応力解析, 日平均気温モデル, 主応力, 引張強度

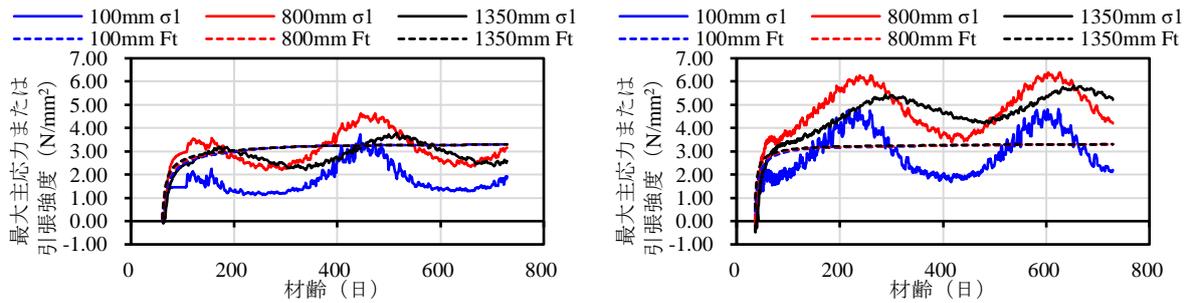


図3 最大主応力  $\sigma_1$  と引張強度  $F_t$  (左: ケース 1, 右: ケース 2)

Fig. 3 Maximum principal stress [ $\sigma_1$ ] and tensile strength [ $F_t$ ] (Left: case1, right: case2) 成し用いた。図 2 に作成した日平均気温モデルを示す。ただし、ケース 1 の外気温データは第 6 リフトの脱型が終了するまでは  $5^\circ\text{C}$  とした。

$$T(t) = Ta(t) + \varepsilon a(t) \times \frac{\frac{1}{k} \{ \sum_{i=1}^k \varepsilon a(i)_{max} \}}{\varepsilon a(t)_{max}} \quad (1)$$

$$\varepsilon a(t) = \frac{1}{k} \{ \sum_{i=1}^k \varepsilon(i,t) \} \quad (2)$$

$$\varepsilon(i,t) = \varepsilon_{\{n-365(i-1)\}} \quad (3)$$

$$\varepsilon(n) = Tm(n) - t(n) - Ta(t) \quad (4)$$

$$t(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{2q} (Tm(i-q) - Ta(i-q)) \quad (5)$$

$$p = 2q + 1 \quad (6)$$

ここに、 $T(t)$ : 日平均気温 ( $^\circ\text{C}$ ),  $Ta(t)$ : 日平均気温の  $k$  年平均値 ( $^\circ\text{C}$ ),  $\varepsilon a(t)$ :  $t$  日におけるノイズ成分の  $k$  年平均値 ( $^\circ\text{C}$ ),  $\varepsilon a(i)_{max}$ :  $i$  年目におけるノイズ成分の最大値 ( $^\circ\text{C}$ ),  $\varepsilon a(t)_{max}$ :  $\varepsilon a(t)$  の最大値 ( $^\circ\text{C}$ ),  $\varepsilon a(i)_{max}$ :  $i$  年目における  $\varepsilon a(t)$  の最大値 ( $^\circ\text{C}$ ),  $\varepsilon a(i,t)$ :  $i$  年目の  $t$  日におけるノイズ成分 ( $^\circ\text{C}$ ),  $t$ : 1 月 1 日からの経過日数 (日),  $k$ : 過去の気象データの年数 (年),  $Tm(n)$ : 日平均気温の実測値 ( $^\circ\text{C}$ ),  $t(n)$ : トレンド成分 ( $^\circ\text{C}$ ),  $n$ : 過去の気象データの初年度 1 月 1 日からの経過日数 (日),  $p$ : 循環周期 (日),  $q$ : 定数[182 (日)]である。

### 3. 解析結果

第 6 リフトにおける最大主応力および引張強度の結果を図 3 に示す。解析結果はいずれも目地部より 25mm 離れた要素の重心点から抽出した。各系列の数字は天端からの距離を表す。ケース 1 において、天端から 800 および 1,350mm の位置では初期材齢時・長期材齢時の両方で最大主応力が引張強度を上回り、天端から 100mm の位置では長期材齢時 (材齢 429 日) で初めて最大主応力が引張強度を上回る結果となった。一方、ケース 2 において、天端から 800 および 1,350mm の位置では初期材齢時から解析終了まで最大主応力が引張強度を上回り続け、天端から 100mm の位置では長期材齢時 (材齢 144 日) で初めて最大主応力が引張強度を上回る結果となった。図 4 に、天端から 800mm の位置で、初めて最大主応力が引張強度を上回ったときの主応力図を示す。後打スパンには引張力が先打リフトの要素に対して斜め下方向に生じ、長期材齢時においても主応力の方向に変化はなかった。また、ケース 2 においても同様の結果となった。以上の結果から、後打スパンに生じる目地ひび割れは、先打スパンが拘束体となることで生じることを解析的に確認することができた。加えて、目地ひび割れは打設時期を問わず、初期・長期材齢時ともに生じることが示唆された。

参考文献 1) 土木学会: 2007 年制定コンクリート標準示方書【設計編】, pp.45-46, 341-343, 2008 2) 土木学会: 2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】, pp.43-44, 332-335, 2018 3) 気象庁 HP (最終閲覧日: 2023/2/22), <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>

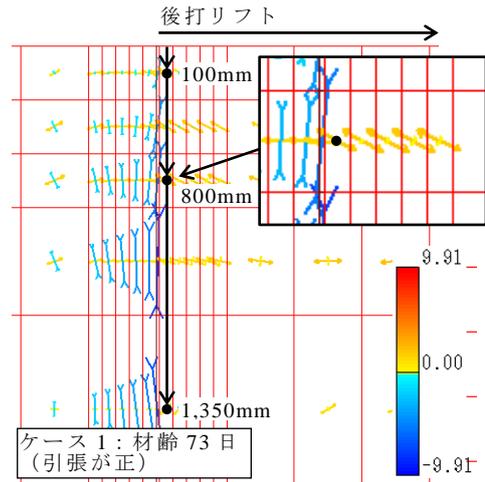


図4 主応力図

Fig. 4 Figure of principal stress