

3次元 FEM 解析によるマスコンクリートのひび割れ発生予測とその対策

四国建設コンサルタント 法人会員 笹岡 信孝 四国建設コンサルタント 非会員 松田 吉則
 四国建設コンサルタント 非会員 太田 賢治

1. はじめに

コンクリートは本質的に脆性材料であり、鉄筋コンクリート構造物のひび割れは宿命的なものと考えられる。現状の技術では、ひび割れの発生を完全に防止することは非常に困難であるが、可能な限り発生を抑えること、発生しても構造的に無害な程度に抑制することが望まれる。

本稿では図-1 に示すラーメン式橋台を対象構造物として、水和熱によるひび割れの発生予測と対策工の検討を行った結果を述べるものとする。

2. ひび割れ照査内容及び照査方法

温度ひび割れの照査内容及び照査方法を表-1 に示す。ひび割れ発生確率は、土木学会の2007年制定コンクリート標準示方書[設計編](2008年3月)のひび割れ指数を用いて評価した。解析フローを図-2 に示す。

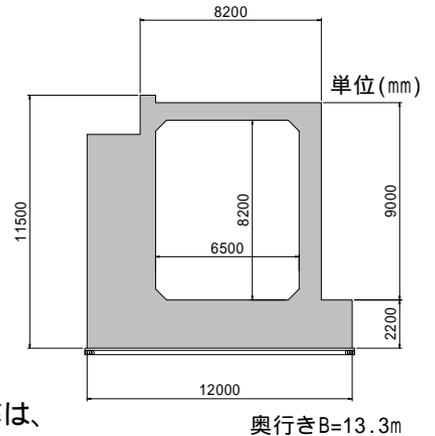


図-1 解析対象物

表-1 温度ひび割れの照査方法

項目	照査内容	照査方法
温度ひび割れの予測	・温度解析	FEM(3次元)
	・温度応力解析	FEM(3次元)
	・ひび割れ幅	日本コンクリート工学会の「JC-SCW法」 統計的方法(資料参照)
照査水準の設定	・ひび割れ指数 ・ひび割れ幅の限界値	2007年制定コンクリート標準示方書[設計編],2008年3月

3. ひび割れ照査水準の設定

ひび割れ指数 I_{cr} (安全係数 c_r)とひび割れ発生確率との関係を図-3 に示す。また、ひび割れの制御水準とひび割れ指数の目安は表-2 のようである。本検討では、ひび割れ指数は「ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制御したい場合」とし、 $I_{cr} \geq 1.0$ を目安とした。また、ひび割れ幅の制御目標値は、国土交通省「土木工事施工管理基準及び規格値(案)」に準じて0.2mmとした。

表-2 ひび割れ制御水準とひび割れ指数

温度ひび割れの制御水準	ひび割れ指数	ひび割れ発生確率
ひび割れを防止したい場合	1.85 以上	5% 以下
ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	1.40 以上	15% 以下
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	1.0 以上	50% 以下

$$I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_c(t)$$

ここに、 $I_{cr}(t)$: ひび割れ指数

$f_{tk}(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリート引張強度

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

c_r : ひび割れ発生確率に関する安全係数 (1.0~1.8 とする)

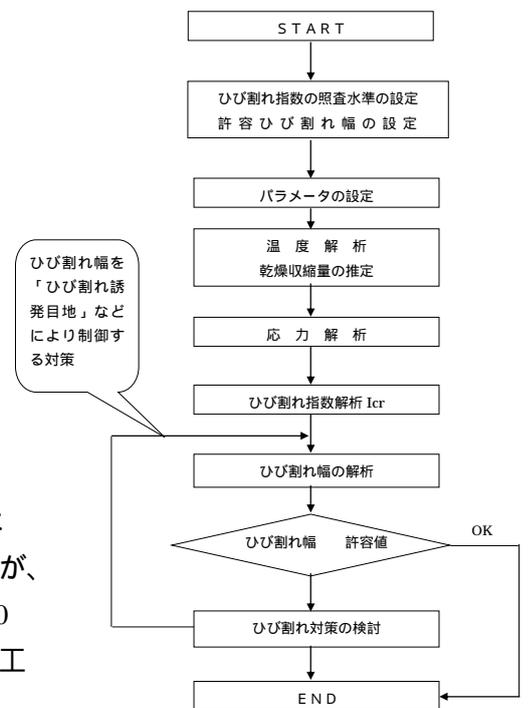


図-2 解析フロー

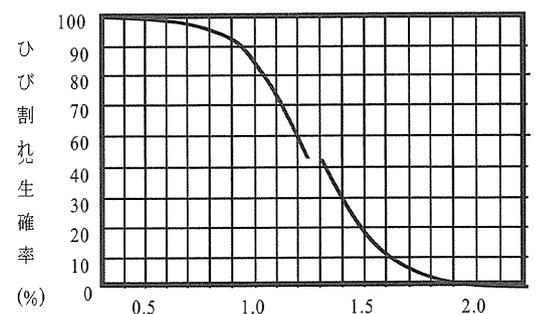


図-3 ひび割れ指数と発生確率

4. 解析条件の設定

4-1. 解析ケース及びモデル

解析ケース及び解析モデルを表-3、図-4 に示す。

表-3 解析ケース

CASE NO	解析対象 構造物	照査対象ひび割れ	解析内容
CASE1	A2 橋台	表面ひび割れ	対策無
CASE2		貫通ひび割れ	

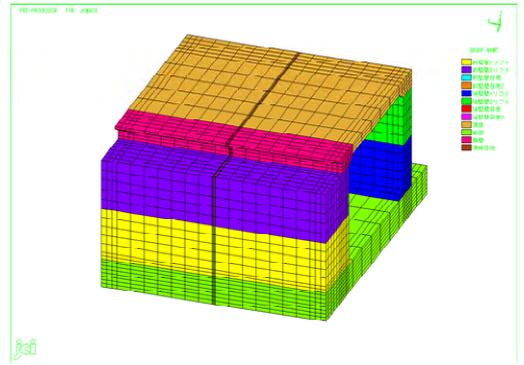


図-4 解析モデル図

4-2. 解析条件

外気温は、コンクリート打込み時の温度が大きくなる夏場を想定し、表-4 のように設定した。

また、コンクリートの配合は表-5 のとおりとした。

表-4 外気温の設定

打設時期	日平均気温 ()	打込み温度 ()
夏場	26.0	30.0

表-5 コンクリートの配合

対象部材	セメント	W/C (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	呼び強度 (N/mm ²)	設計材齢 (日)
底版	高炉セメントB種	55.0	290	24	28
縦壁・胸壁	高炉セメントB種	50.0	320	30	28

5. 解析結果

5-1. ひび割れ指数の経時変化

(1) 底版のひび割れ指数経時変化

底版表面のひび割れ指数に着目すると、材齢 2 日でひび割れ指数が 0.98 となり、ひび割れの発生確率が 55% という結果になった。部材厚さが 2.2m と比較的厚くなる底版については、表面部のコンクリート温度が低下し、内部拘束によるひび割れ発生確率が高い結果となった。

(2) 縦壁のひび割れ指数経時変化

縦壁中央部のひび割れ指数に着目すると、材齢 10 日～28 日程度でひび割れ指数が 0.84～0.96 となり、ひび割れの発生確率が 55%～80% という結果となった。先行して打設した底版により収縮が拘束されて外部拘束によるひび割れ発生確率が高い結果となった。

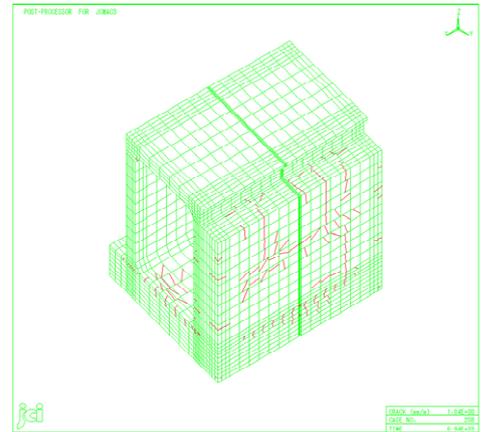


図-5 ひび割れパターン図

5-2. ひび割れ幅の予測

FEM 解析により算出した応力度より、各部材に発生するひび割れ幅の推定を行った。図-5 には W=0.2mm 以上のひび割れパターン図を示す。ひび割れ指数の結果と同様、縦壁及び底版において W=0.2mm 以上のひび割れ発生が見られる結果となった。

6. 対策工法の検討

6-1. 底版の対策

底版に発生するひび割れは、内部拘束に起因するひび割れと予測できるため「気泡シートによる保温養生」の対策を想定した。検討結果は図-6 に示す通りであり、気泡シートを 1 枚使用することで保温養生により熱伝達率を 6.0W/m² 程度としひび割れ指数を 1.4 程度とすることが可能となる。

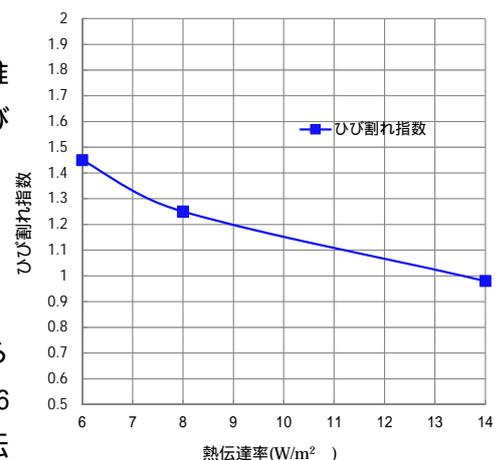


図-6 ひび割れ指数と熱伝達率

6-2. 縦壁の対策

縦壁部のひび割れは外部(底版)拘束によるひび割れと予測されるため、打設温度を小さくして収縮量を可能な限り低減させる対策が考えられる。ただし、打設時期によっては、「ひび割れ誘発目地の設置」対策が有効であると考えられる。