

V-384

地盤を考慮した高強度コンクリートラーメン自己収縮応力2次元FEM解析

宇都宮大学大学院 学生会員 早川智浩 宇都宮大学 正会員 佐藤良一
宇都宮大学 正会員 許 明 東急建設技術研究所 今本啓一

1.はじめに

高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート（RC）では、水和熱による温度変化とともに大きな自己収縮応力が発生し、ひび割れ発生の主要因になりうる。ことが明らかにされつつある¹⁾が、地盤と土間コンクリートを1ブロックとしてモデル化したため、定量的評価には限界がきた。そこで、本研究では、地盤と土間コンクリートのそれぞれを忠実に取り込んで、高強度コンクリートを用いたRCラーメンの水和熱と自己収縮による拘束応力の重ね合わせの原理に基づくクリープ解析により定量的評価を試みた。

2.解析対象概要

解析モデルを図-1に示す。この図では、地盤部分を縮小表示している。用いたコンクリートは、標準養生材齢28日圧縮強度約120N/mm²であり、柱およびはりの鉄筋比はそれぞれ1.32%、1.65%である。図中②端部、③中間部、④中心部で計測された温度履歴を図-2に示す。スタイロフォームで断熱された供試体で測定された自己収縮ひずみを図-3に示す。

3.解析手法

クリープの重ね合わせの原理に基づくStep-by-step法は、自己収縮応力のある程度の精度で把握できることが示されている²⁾。そこで本解析では、Step-by-step 2次元有限要素法を用いることとした。

一般に、タイムステップ $t_{j-1/2}$ と $t_{j+1/2}$ の間 t_j に生じた体積変化が t_j まで拘束されることにより生じるコンクリートの全ひずみは、重ね合わせが成立するとすれば、以下のように示される；

$$\Delta \varepsilon_c(t_{j+1/2}, t_j) = \Delta \varepsilon_{e,cr}(t_{j+1/2}, t_j) + \Delta \varepsilon_T(t_{j+1/2}, t_{j-1/2}) + \Delta \varepsilon_{as}(t_{j+1/2}, t_{j-1/2}) + \Delta \varepsilon_{ds}(t_{j+1/2}, t_{j-1/2}) \quad (1)$$

ただし、 $\Delta \varepsilon_c(t_{j+1/2}, t_j)$ ：実増分ひずみ

$\Delta \varepsilon_{e,cr}(t_{j+1/2}, t_j)$ ：増分弾性ひずみ

+ 増分クリープひずみ

$\Delta \varepsilon_T(t_{j+1/2}, t_{j-1/2})$ ：増分温度ひずみ

$\Delta \varepsilon_{as}(t_{j+1/2}, t_{j-1/2})$ ：増分自己収縮ひずみ

$\Delta \varepsilon_{ds}(t_{j+1/2}, t_{j-1/2})$ ：増分乾燥収縮ひずみ

Larrard ら³⁾の研究に基づいて、ここでは、乾燥収縮ひずみ ε_{ds} は無視できるものと仮定する。よって、式(1)から増分弾性ひずみ+増分クリープひずみを求め、コンクリートの応力とひずみの関係は、剛性マトリクス $[D_c]$ を用い、以下ようになる；

$$\{\Delta \sigma_c(t_{j+1/2}, t_j)\} = [D_c] \{\Delta \varepsilon_c(t_{j+1/2}, t_j) - \Delta \varepsilon_T(t_{j+1/2}, t_{j-1/2}) - \Delta \varepsilon_{as}(t_{j+1/2}, t_{j-1/2})\} \quad (2)$$

ここに、 $\Delta \sigma_c$ ：コンクリートの増分応力

$[D_c]$ ：コンクリート剛性マトリクス

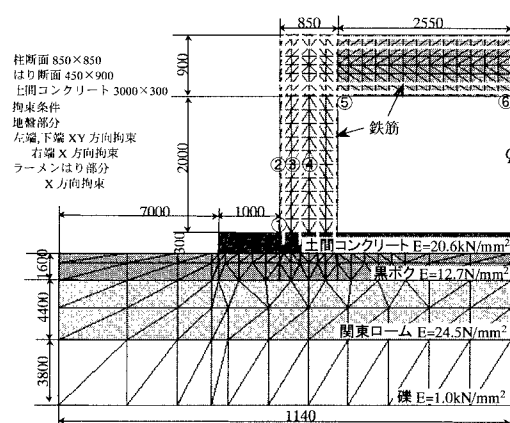


図-1 解析モデル図(unit:mm)

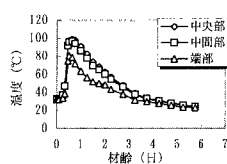


図-2 温度履歴

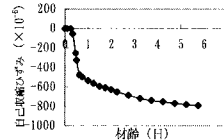


図-3 自己収縮履歴

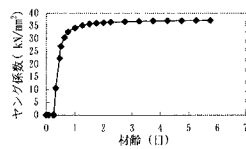


図-4 ヤング係数の経時変化

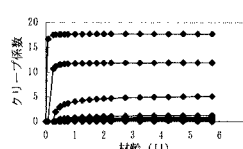


図-5 クリープ係数の経時変化

キーワード：高強度コンクリート、鉄筋コンクリートラーメン、自己収縮応力、温度応力、FEM

連絡先：宇都宮大学材料研究室（宇都宮市石井町 2753 TEL028-689-6211 FAX028-662-6367）

クリープ係数、ヤング係数については、ラーメン試験体と同じ配合のコンクリートによる若材齢クリープ試験およびヤング係数試験に基づいた CEB-FIP MODEL CODE 1990 の修正式²⁾で評価した。そのモデルを用いてヤング係数、クリープ係数の経時変化の計算結果をそれぞれ図-4,5 に示す。また、地盤、土間コンクリートはクリープを無視した。

4. 解析結果

コンクリートに生じる全応力は、地盤と土間コンクリートの拘束による外部拘束自己収縮応力と外部拘束温度応力、鉄筋の拘束による鉄筋拘束自己収縮応力、断面内の非線形温度分布による内部拘束温度応力より構成されるものと考え、それぞれを個別に求めるため、表-1 の 5 種類の解析ケースを設定した。表中の各応力の変数は、それぞれの応力の成分を表す。各応力をそれぞれ個別に抽出するのは困難な場合があるため、表-2 に示す方法により求めると仮定した。応力の評価に際しては、引張応力が卓越すると考えられる図-1 に示す柱脚基部①、はり隅角部⑤、はりスパン中央下端⑥に着目した。

①,⑤,⑥の各応力の発現性状をひび割れ強度と比較して、図-6,7,8 に示す。ここに示すひび割れ強度は、割裂引張強度の 70%との値とした。解析上、いずれの箇所も 0.7 日程度でひび割れ強度を越えているのがわかる。ただし、先行するひび割れによる応力解放は考慮していない。また、ひび割れ強度を越えた直後の各拘束応力の割合を図-9 に示す。括弧内は、その時の材齢を示す。図に示すとおり、ひび割れを発生させる主たる応力は、外部および鉄筋拘束自己収縮応力、内部拘束温度応力であることがわかる。しかし、全温度応力としてその影響をみれば、外部拘束温度応力と内部拘束温度応力が打ち消し合うために、全応力に対して全自己収縮応力の影響は大きいといえる。

5. まとめ

若材齢におけるひび割れ発生の主要因は、内部拘束温度応力、外部および鉄筋拘束自己収縮応力であった。また、はり隅角部においては、全自己収縮応力、全温度応力の全応力に占める割合は、それぞれ 110%、-10%であった。

参考文献 1) 早川 智浩ら：高強度ラーメンの自己収縮応力 2 次元 FEM 解析, JCI, 1998, 6 (提出中), 2) 楊 楊ら：高強度コンクリートの自己収縮応力の予測, コンクリート年次論文報告集 Vol.19, No.1, pp.757-762, 1997, 3) Larrard F.D. et al: On the Long-Term Strength Losses of Silica-Fume-High-Strength Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.35, No.155, pp.109-119, 1991

表-1 応力の発生原因と影響度の検討方法

ケース	自己収縮		水和熱	
	外部拘束	鉄筋拘束	外部拘束	内部拘束
①	○	○	○	○
②	○	○		
③	○	As=0		
④			○	○
⑤			○	平均温度
備考	$\alpha_s = \alpha_c = 0$		$\varepsilon_{as} = 0$	

As : 鉄筋の断面積 α_s, α_c : 鉄筋、コンクリート線膨張係数

ε_{as} : 自己収縮ひずみ 平均温度 : 面積による平均温度

表-2 原因別各種応力評価方法

全応力	σ	①
全自己収縮応力	σ_{as}	②
外部拘束自己収縮応力	$\sigma_{as,e}$	③
鉄筋拘束自己収縮応力	$\sigma_{as,s}$	② - ③
全温度応力	$\sigma_{\Delta T}$	④
外部拘束温度応力	$\sigma_{\Delta T,e}$	⑤
内部拘束温度応力	$\sigma_{\Delta T,i}$	④ - ⑤

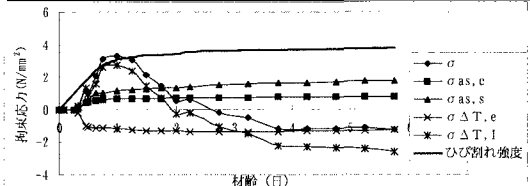


図-6 柱脚基部①における各種応力 (Y 方向)

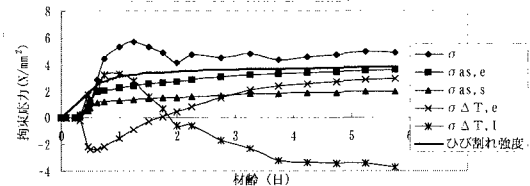


図-7 はり隅角部⑤における各種応力 (X 方向)

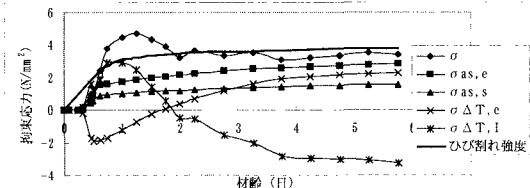


図-8 はりスパン中央⑥における各種応力 (X 方向)

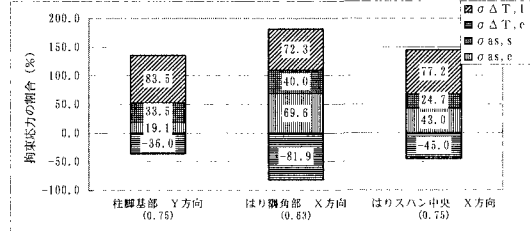


図-9 拘束応力の割合