

(V-20) 高強度コンクリートの自己収縮応力の予測について

宇都宮大学大学院 学生員 楊 楊
宇都宮大学工学部 鈴木 征大
宇都宮大学工学部 正会員 佐藤 良一

1. はじめに

ひび割れの発生原因として、乾燥収縮及び水和熱による温度変化はよく知られている。最近、高強度コンクリート等では、自己収縮の影響が無視できないことが明らかとなってきた。これらの体積変化が拘束されることにより生じる応力の予測は3段階のステップが必要であると言われている^[1]。即ち、ひずみの予測、物性値の予測、応力の解析である。筒井ら^[2]はCEB-MC90のクリープ係数式を用いて、一軸拘束応力を解析したが、初期のクリープ係数が小さいために、解析値は実測値より小さかった。

本研究では、CEB-MC90のクリープ係数と弾性係数を高強度コンクリートの実測値に基づいて修正した式を用い、重ね合わせ原理に基づいて、二次元FEMで拘束応力を予測し、実験値と比較、検討した。

2. 実験の概要^[2]

2.1 コンクリート

対象とした高強度コンクリートは、W/C=25%で結合材としてセメント単味のもの(NP)とシリカフューム10%を含む(SF)2種類で、その配合を表1に示す。

表1 コンクリートの配合

No	W/C	S/a	W	C	SF	S	G	HWR	AE
NP	25	41.0	156	624	—	647	941	7.49	6.24
SF	25	41.0	156	562	62	647	941	8.11	6.24

HWR:高性能減水剤

2.2 拘束供試体

鉄筋供試体:断面は100×100mmとし、鉄筋はD16を4本配置した。鉄筋を除くコンクリート断面積に対する鉄筋比は7.94%である。型枠拘束供試体:JIS原案「コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法(案)」に基づくものとした。コンクリート断面に対する拘束枠の鋼材比は7.932%である。鉄筋と型枠の弾性係数はそれぞれ 2.04×10^5 MPa、 2.10×10^5 MPaである。

3. 応力解析

3.1 コンクリート物性値

応力解析に用いたコンクリートの自己収縮ひずみ、コンクリートの温度及び弾性係数(材齢28日、現場養生)は実測値を用いた。自己収縮ひずみの経時変化を図1に示す。NPとSFの弾性係数の発現とクリープ係数は、CEB-MC90を基に修正した下式^[3]を用いた。ただし、修正式の根拠となったNP、SFの水結合材比は30%、23%である。

弾性係数: $E(t) = E_{28} \times \exp\{s_e[1 - ((28 - a_e)/(t - a_e))^{0.5}]\}$

ここに、 $E(t)$:有効材齢 t 日における弾性係数(N/mm²)

E_{28} :標準養生材齢28日における弾性係数(N/mm²)

s_e :セメントの種類の影響による係数

a_e :凝結時間による係数(日)

t :有効材齢(日)。

クリープ係数: $\phi(t, t_0) = \phi_0 \times \beta_c(t - t_0)$

ここに、 $\phi(t, t_0)$:有効材齢 t_0 で載荷された有効材齢 t 日における

クリープ係数

ϕ_0 :終局クリープ係数、 $\phi_0 = \phi_1 \times [(a-1)/(a-t_0^b)]$

$\beta_c(t-t_0)$:クリープの進行速度を表す係数、

$\beta_c(t-t_0) = \{[(t-t_0)/t_1] / [\beta_H + (t-t_0)/t_1]\}^{0.3}$

β_H :クリープの進行速度を決める係数、 $\beta_H = ct_0 - d$

t_0 :載荷時有効材齢、 $t_1=1$ 日

ϕ_1, a, b, c, d :定数、表2に示す。

表2 コンクリートの物性値

物性	NP	SF
f_c , MPa	943	884
E_{28} , MPa	38800	39000
ν	0.17	0.17
$\alpha \times 10^{-4}$	10.0	10.0
ϕ_1	1.63	1.68
a	1.56	2.03
b	-0.34	-1.02
c	15.13	4.52
d	4.73	1.45
s_e	0.0622	0.0978
a_e	0.323	0.432

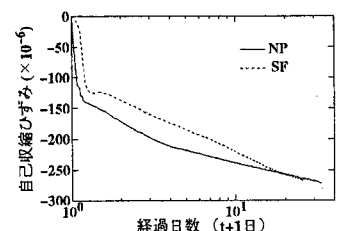


図1 自己収縮ひずみの経時変化

3.2 解析方法

重ね合わせの原理に基づくstep-by-step法を用い、二次元 FEM で自己収縮応力の解析を行った。即ち、各インターバルの増分応力はクリープの進行による応力緩和を受けながら、最終ステップにおいて加算されることである。要素分割図を図2に示す。

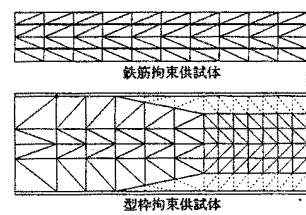


図2 要素分割

4. 実験及び解析結果

図3-6は、鉄筋拘束による場合と型枠拘束による場合の拘束応力の実験結果と解析結果を比較したものである。鉄筋拘束の場合の解析結果では、自己収縮の進行が速いNPの方が初期拘束応力の増加も急激になる傾向が見られ、実測値とよく一致した(図3、4)。型枠拘束の場合では、型枠とコンクリートの温度が異なり、温度応力が生じるため、拘束応力は自己収縮応力と温度応力が加算されたものとなる。このために、鉄筋拘束の場合より型枠拘束の方が拘束応力が大きいという実験結果も解析で説明できた。型枠拘束場合の拘束応力と鉄筋拘束場合の拘束応力(自己収縮応力)の差が温度応力になり、それを図7、8に示している。温度応力の実験値と解析値ともに時間経過に伴って、圧縮応力から引張応力に反転する。しかし、SFと比べ、NPの方は自己収縮とそれによる自己収縮応力の発生が速いため、温度上昇により生じる圧縮応力を打消して、拘束応力は初期からも引張になっている(図5)。

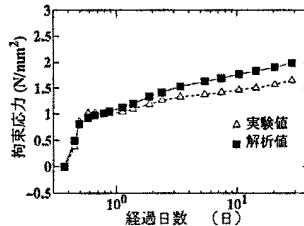


図3 拘束応力の経時変化 (NP,鉄筋拘束)

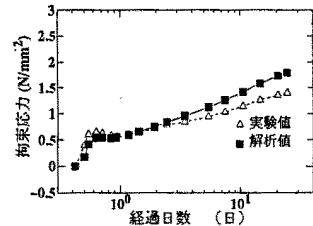


図4 拘束応力の経時変化 (SF,鉄筋拘束)

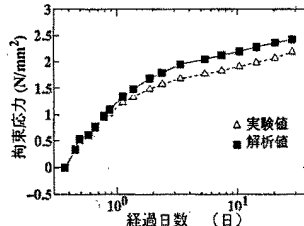


図5 拘束応力の経時変化 (NP,型枠拘束)

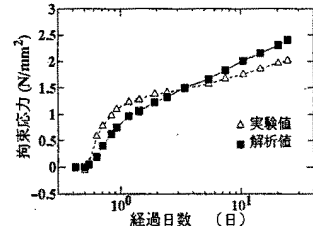


図6 拘束応力の経時変化 (SF,型枠拘束)

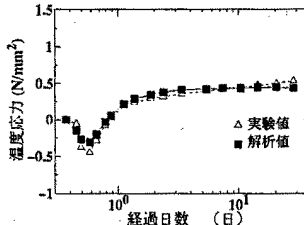


図7 温度応力の経時変化 (NP,型枠拘束)

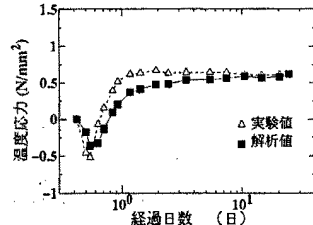


図8 温度応力の経時変化 (SF,型枠拘束)

定量的には、拘束応力の解析結果は実験結果より初期に若干過小評価し、長期に過大評価する傾向がある。NPの場合、比較的良い精度を示しているが、SFの型枠拘束場合の解析値は実験結果と最大で25%の誤差がある。その原因としては、本解析で用いたコンクリートと修正式を求めたコンクリートの配合が若干異なっており、そのために物性値も若干異なったためと考えられる。

5. まとめ

重ね合わせの原理に基づく二次元 FEMでの自己収縮応力の解析結果は、若干実験結果と異なっているが、全体的にみればおおむねよく一致していると言えよう。解析対象のコンクリートと物性値を求めたコンクリートの若干の配合の相違を考慮すれば、本解析方法は自己収縮応力予測方法として妥当と考える。

【参考文献】

- [1] 自己収縮委員会：自己収縮委員会報告書、日本コンクリート工学協会、pp91. 1996. 11
- [2] 筒井英之、佐藤良一、許 明：高強度コンクリートの自己収縮応力に関する検討、セメント・コンクリート論文集、pp478-483. 1996
- [3] 自己収縮委員会：自己収縮委員会報告書、日本コンクリート工学協会、pp93-113. 1996. 11