

正会員 徳光 善治 (九州大学工学部)

正会員 ○牧角 龍憲 (九州大学工学部)

## 1. まえがき

収縮応力は、初期応力が0であるとともに、乾燥収縮ひずみの増加に伴って生じる応力増分に対してクリープが関与するため、応力変化が未知であるときの漸増応力条件下のクリープ解析を行う必要がある。また、通常用いられるクリープ係数は、応力比が0.3~0.4以下の圧縮応力下で求められたものであり、引張応力下で、かつひびわれが発生するような高応力下まで適用できるか否か検討する必要がある。

そこで本研究は、クリープ解析方法ならびにクリープ係数の適用性について検討するため、Nevilleが提案する方法を用いた解析を行い、拘束度、乾燥開始材令およびコンクリートの配合を変化させて、かつ実際に乾燥収縮ひびわれを発生させた実験結果と対比することにより、その妥当性を確認するものである。

## 2. 解析方法

Nevilleは、時間を適当な間隔で区切り、各間隔の中間で応力増分が集中して生じるとして、時間 $t_i$ におけるコンクリートのひずみ $\epsilon_{f,i}$  (引張ひずみを正とする)を次式で表している。

$$\epsilon_{f,i} = \sum_{j=1}^i \frac{1}{E_{c,j-1/2}} (\sigma_{ct,j} - \sigma_{ct,j-1}) (1 + \phi_{i,j-1/2}) - \epsilon_{f,i} \quad (1)$$

$$\text{ただし、} \phi_{i,j} = \phi_N \times 1.357 \ln(t_i - t_j) / (5 + \sqrt{t_j + t_a}) \quad (2)$$

ここに、 $E_{c,j}$ : 時間 $t_j$ におけるコンクリートの弾性係数、 $\sigma_{ct,j}$ : 時間 $t_j$ における収縮応力、

$\epsilon_{f,i}$ : 自由収縮ひずみ、 $\phi_N$ : コンクリートの配合、環境湿度および部材寸法により定まるクリープ係数の基本値、 $t_a$ : 乾燥開始材令 (日)

一方、外部拘束により線拘束されたコンクリートの時間 $t_i$ におけるひずみ $\epsilon_{f,i}$ は、平衡条件から

$$\epsilon_{f,i} = -\frac{A_c}{E_k A_k} \sigma_{ct,i} \quad (3) \quad \text{ここに } A_c: \text{コンクリートの断面積、} A_k, E_k: \text{拘束材の断面積、弾性係数}$$

で表される。この(3)式を(1)式に代入することにより、各時間 $t_i$ における $\sigma_{ct,i}$ が算定されるが、コンクリートの弾性係数 $E_{c,i}$  (kgf/cm<sup>2</sup>) および自由収縮ひずみ $\epsilon_{f,i}$ の推定には、次式を用いた。

$$E_{c,i} = 15000 \sqrt{\frac{f_{c,28}}{0.75 + 7/(t_i + t_a)}} \quad (4)$$

ここに、 $f_{c,28}$ : 材令28日での圧縮強度

$$\epsilon_{f,i} = \frac{t_i}{a + b t_i} \quad (5) \quad a, b: \text{実験定数}$$

(2)式の $\phi_N$ には、表-1に示すように種々変化した各条件に対応する値を用い、その解析値と実験の結果を比較した。

収縮応力の測定値は、コンクリートと拘束材が連動することを確認して、平衡条件から拘束材のひずみより求めている。また、コンクリートの被拘束断面は10×15cm角の全面乾燥であり、実験は全て湿度60%R.H.、温度20℃の恒温恒湿室内で行った。

表-1. 乾燥収縮拘束試験実験条件

| 実験<br>No. | No.   | W/C<br>(%) | C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | $f_{c,28}$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $A_k$<br>(cm <sup>2</sup> )               | $t_a$<br>(日) | (5) 式の実験定数 |          |
|-----------|-------|------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|------------|----------|
|           |       |            |                           |                                      |                                           |              | a          | b        |
| I         | I-A   | 50         | 332                       | 317                                  | 2,654<br>4,022<br>5,670<br>7,602<br>9,818 | 2            | 0.0411     | 0.000934 |
|           | I-B   |            |                           |                                      |                                           |              |            |          |
|           | I-C   |            |                           |                                      |                                           |              |            |          |
|           | I-D   |            |                           |                                      |                                           |              |            |          |
|           | I-E   |            |                           |                                      |                                           |              |            |          |
| II        | II-A  | 50         | 324                       | 360                                  | 7,602                                     | 2            | 0.0188     | 0.00151  |
|           | II-B  |            |                           |                                      |                                           | 3            | 0.0188     | 0.00138  |
|           | II-C  |            |                           |                                      |                                           | 7            | 0.0143     | 0.00179  |
|           | II-D  |            |                           |                                      |                                           | 14           | 0.0143     | 0.00179  |
|           | II-E  |            |                           |                                      |                                           | 28           | 0.0123     | 0.00188  |
| III       | III-A | 50         | 324                       | 364                                  | 7,602                                     | 2            | 0.0247     | 0.00124  |
|           | III-B |            |                           | 363                                  | 9,028                                     |              |            |          |
|           | III-C |            |                           | 363                                  | 5,670                                     |              |            |          |
|           | III-D |            |                           | 363                                  | 7,096                                     |              |            |          |
| IV        | IV-A  | 35         | 429                       | 651                                  | 7,602                                     | 2            | 0.0233     | 0.00131  |
|           | IV-B  | 40         | 418                       | 409                                  |                                           |              | 0.0226     | 0.000982 |
|           | IV-C  | 50         | 334                       | 383                                  |                                           |              | 0.0221     | 0.000951 |
|           | IV-D  | 50         | 334                       | 383                                  |                                           |              | 0.0222     | 0.000956 |
| V         | V-A   | 60         | 278                       | 330                                  | 7,602                                     | 2            | 0.0248     | 0.000917 |
|           | V-B   |            | 300                       | 242                                  |                                           |              | 0.0220     | 0.000899 |
|           | V-C   |            | 317                       | 249                                  |                                           |              | 0.0220     | 0.000899 |

### 3. 解析結果および考察

図-1～図-5に、各条件における解析結果を実験値と比較して示す。図-1は拘束度を、図-2は乾燥開始材令を、図-3は補強鉄筋の有無を、図-4はW/Cを、および図-5は単位水量をそれぞれ変化させた実験結果との対比である。

これらの図から、いずれの場合も収縮応力の経時変化の傾向やその大きさについて、解析値と実験値に大きな差はないことがわかる。すなわち、収縮応力のような漸増応力負荷条件下では、たとえ応力比が0.3～0.4以上の高い応力を受ける場合であっても、乾燥収縮ひびわれが発生する応力程度までは、クリープひずみが応力に比例するとして十分に解析できるといえる。

次に、全条件における実験値と計算値の比較を図-6に示すが、計算値と実験値はほぼ一致しており、また、ひびわれ近傍ではやや大きな収縮応力を算定しており、過大でなくかつ安全側の値を与えていることがわかる。

また、 $\phi N$ の10%前後の誤差あるいは時間間隔の誤差による計算値の変動は無視しうる程度である結果も得ている（本計算における時間間隔は、3日である）。

従って、乾燥収縮ひびわれが発生するような部材における収縮応力解析方法には、(1)式が十分適用出来ると考えられる。

#### 参考文献

Neville, A.M.: Creep of Concrete: Plain, Reinforced and Prestressed, North-Holland, 1970.

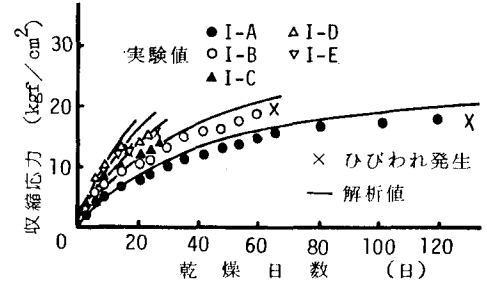


図-1 収縮応力解析結果 (実験 I)

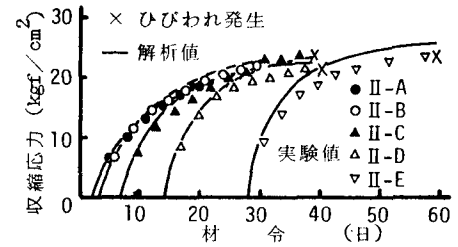


図-2 収縮応力解析結果 (実験 II)

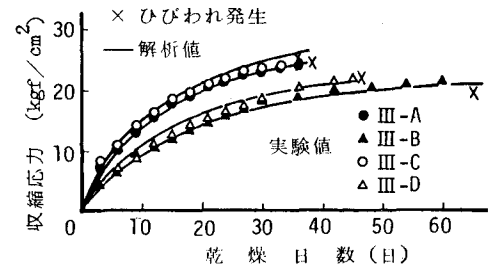


図-3 収縮応力解析結果 (実験 III)

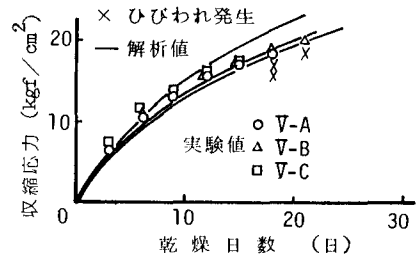


図-4 収縮応力解析結果 (実験 IV)

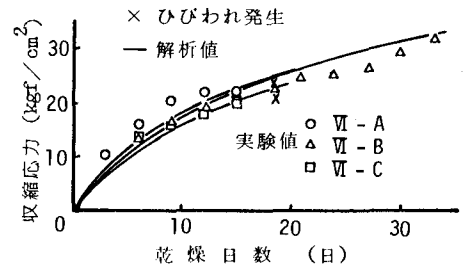


図-5 収縮応力解析結果 (実験 V)

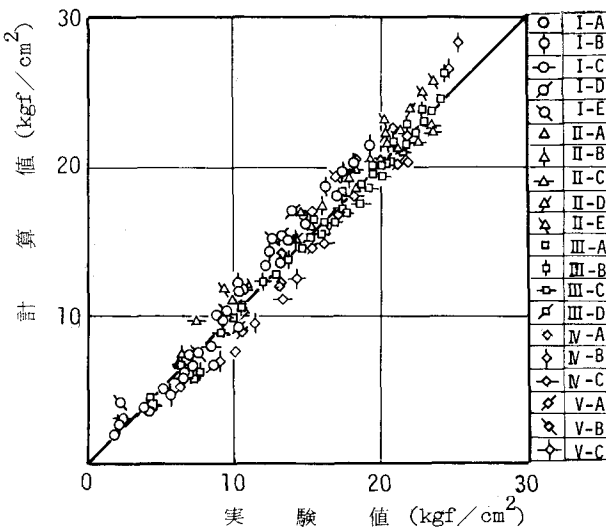


図-6 実験値と収縮応力計算値の比較