

神戸大学工学部 正員○徐 謙  
 神戸大学工学部 正員 藤井 学  
 神戸大学大学院 学生員 寺尾 豊

**1. まえがき** 膨張コンクリートは二つの用途を見込んで開発された。すなわち収縮ひびわれ防止用と、ケミカルプレストレス導入用であるが、いままでは主に乾燥収縮防止用として実用段階に至っている。ケミカルプレストレス導入用としては、ヒューム管など工場製品が主流で、場所うちコンクリートへの使用例はまだ少ないのが現状である。その原因としては膨張コンクリートの諸性質に及ぼす要因が多いことが挙げられる。ゆえに現場うちコンクリートにも広く利用されるよう技術的に可能ならしめるのに膨張コンクリートの基礎性質に関する研究が必要となっている。本研究は膨張コンクリートを使用してコンクリート構造物にケミカルプレストレスを導入するための基礎研究で膨張コンクリートの一軸状態における諸性質、特に初期の材料特性に関して行ったものである。

**2. 実験概要** 本実験は構内にある地下10.2mのトンネルを使用し、温度湿度の変化とも少いほぼ恒温恒湿状態で行った。使用材料、セメント：普通セメント、膨張材：デンカCSA#20（電気化学社製）、骨材：家島産砕石（比重2.65、吸水率0.8%、FM7.2）、淀川産川砂（比重2.54、吸水率1.2%、FM2.73）である。これら使用材料、水等は実験する前日に計量し、ビニール袋に封入し、打設直前までトンネル内に放置した。膨張材混入量（以下混入量と略す）は、50, 60, 70 (kg/m<sup>3</sup>) の3種とし、これらに対しそれぞれ8種類の鉄筋比を組合せて実験した（表. 1参照）。膨張コンクリートの配合は表. 2に示す。供試体はφ150×300mm円柱供試体で図. 1に示す形状、寸法とした。供試体の型わくをたててセットしてコンクリートを打設し、ブリージング終了後上盤をのせてナットで締めた。その後材令1日で側わくをはずしてから横にして湿布で覆って、散水養生した。膨張量はダイヤルゲージ式測長器法とワイヤストレンゲージ法で行い、材令21日までの測定を標準とした。強度、弾性係数、ポアソン比等を決定するための力学実験は上述実験と同様な混入量と鉄筋比の圧縮供試体を作製し、供試体寸法はφ150×300mmで同心円に直径42mmのシースを通したものについて行った。（図. 2参照）

表. 1 供試体一覧表

| 鉄筋  | 鉄筋比<br>p (%) | 混入量 (kg/m <sup>3</sup> ) |    |    |   |
|-----|--------------|--------------------------|----|----|---|
|     |              | 50                       | 60 | 70 | 0 |
| 2.9 | 0.037        | 3                        | 3  | 3  |   |
| 5   | 0.111        | 3                        | 3  | 3  |   |
| 9   | 0.361        | 3                        | 3  | 3  |   |
| 16  | 1.151        | 3                        | 3  | 3  | 3 |
| 22  | 2.198        | 3                        | 3  | 3  |   |
| D10 | 0.405        | 3                        | 3  | 3  |   |
| D16 | 1.137        | 3                        | 3  | 3  | 3 |
| D22 | 2.240        | 3                        | 3  | 3  |   |

| Gmax<br>(mm) | Slump<br>(cm) | Air<br>(%) | W/C<br>(%) | S/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> or 1/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |     |     |        |
|--------------|---------------|------------|------------|------------|----------------------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|--------|
|              |               |            |            |            | W                                            | C   | S   | G    | CSA | 5L* | 303A** |
| 20           | 14±2          | 4±1        | 49         | 37         | 172                                          | 360 | 630 | 1110 | 0   | 3.6 | 0.72   |
| 20           | 14±2          | 4±1        | 49         | 37         | 172                                          | 360 | 587 | 1110 | 50  | 3.6 | 0.72   |
| 20           | 14±2          | 4±1        | 49         | 37         | 172                                          | 360 | 578 | 1110 | 60  | 3.6 | 0.72   |
| 20           | 14±2          | 4±1        | 49         | 38         | 172                                          | 360 | 587 | 1092 | 70  | 3.6 | 0.72   |

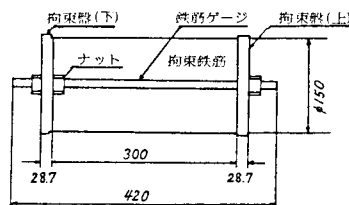


図 1 膨張試験供試体寸法

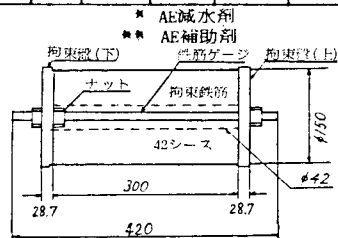


図 2 圧縮試験供試体寸法

し、供試体寸法はφ150×300mmで同心円に直径42mmのシースを通したものについて行った。（図. 2参照）

### 3. 実験結果及び考察

**3. 1拘束膨張ひずみ** 図. 3は1例として混入量60kg/m<sup>3</sup>の場合の拘束膨張ひずみ比の実測値と鉄筋比

(p) と拘束膨張ひずみ比 (y) の関係を次の回帰式：

$$(p+a) \cdot (y+b) = c \quad \dots \dots (1)$$

で近似し、曲線を図. 3中に実線で示す。式 (1) でp=0%としたものをみかけの自由膨張ひずみとし、材令

との関係で示すと図・4の様になり、ほぼ拘束膨張ひずみの発現曲線と同様となっている。

### 3. 2膨張ひずみ、クリープ係数、ケミカルプレストレスの推定

若材令の弾性係数 ( $E_c$ ) は材令 ( $t$  (日)) との関係で次の回帰式:

$$E_c = t / (a + bt) \dots \dots \dots (2) \quad (t=1 \sim 7 \text{日})$$

$$E_c = c + d \ln t \dots \dots \dots (3) \quad (t > 7)$$

で表わせる。これらの関係を利用して膨張ひずみを推定する。

図・5に示す様に時間0～ $t$ の間に自由膨張ひずみが0から $\epsilon_0$ に増加するときの鉄筋引張力を $\Delta P$ とする。この時の拘束膨張ひずみ ( $\epsilon_R$ ) と $\Delta P$ の関係は次式で表わせる。

$$\Delta P = E_s \cdot A_s \cdot \epsilon_R = E_s \cdot A_s \cdot (\epsilon_0 - \delta_s) \dots \dots \dots (4)$$

一方増加する引張力 $\Delta P$ に関する $\delta_s$ は次の(5)式で表わされる。

$$\delta_s = \Delta P / (E_c \cdot A_c) + \int_0^t \frac{\Delta P}{E_c \cdot A_c} \cdot \frac{d\phi}{dt} dt \dots \dots \dots (5)$$

これらの関係より弾性変形直後のひずみを $\epsilon_R$ とすると、クリープひずみ、 $\epsilon_\phi$ は

$$\epsilon_\phi = \epsilon_R - \epsilon_R' = \frac{1}{2(1+n \cdot p)} \cdot \frac{n p \phi t}{1+n p (1+\phi t/2)} \epsilon_0 \dots \dots \dots (6)$$

となる。式(6)を $\Delta t=1/4$ 日の差分近似で式(2)、式(3)の関係を

用いて解き自由膨張ひずみ $\epsilon_0$ と各材令クリープ係数 $\phi_{tn}$ を求めると図6と図7となる。これらを次式に代入してケミカルプレストレスを求め、表・3は材令21日における計算値と実験値を比較したものである。

$$\sigma_{cp} = \frac{E_s \epsilon_0}{1+n \cdot \phi_{tn} p (1+\phi t/2)} \dots \dots \dots (7)$$

図4と図6を比べると見かけの自由膨張ひずみはクリープを考慮した推定値より大きくなっており、その傾向は混入量が多いほどいちじるしくなっている。これに六車の考えを導入し、図3の曲線を $p=0.5$ と $p=1.0$ で直線外そうしてえられた $p=0$ の膨張ひずみを有効自由膨張ひずみと考えるとほぼ一致していることがわかる。

### 4. むすび

本研究はクリープを考慮してケミカルプレストレス量を推測しようとしたもので、ほぼ妥当な値を推定できることが明らかとなった。なお本研究の実施にあたり多数の方々にお世話になった。紙上を借りてお礼を申し上げます。

参考文献：六車 熙“膨

張コンクリート” コンクリートジャーナル1974・11  
表・3 材令21日でのプレストレスの推定値(上)及び測定値(下)

| 材令 (日) | φ2.9  | φ5    | φ9   | D10   | D16   | φ16   | φ22   | D22   |
|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CSA    | 0.037 | 0.111 | 0.36 | 0.403 | 1.124 | 1.133 | 2.151 | 2.191 |
| CSA-50 | 0.5   | 1.2   | 3.9  | 3.9   | 7.1   | 6.9   | 9.9   | 10.3  |
|        | 0.5   | 1.4   | 3.9  | 4.2   | 6.5   | 8.6   | 11.8  | 11.9  |
| CSA-60 | 1.4   | 3.8   | 8.2  | 9.1   | 15.9  | 15.8  | 23.6  | 22.9  |
|        | *     | 3.8   | 10.4 | 11.3  | 21.6  | 21.7  | 28.6  | 28.8  |
| CSA-70 | 1.4   | *     | 12.7 | 12.3  | 20.7  | 24.2  | 24.3  | 24.4  |
|        | *     | *     | 13.1 | 23.1  | 23.2  | 28.9  | 29.1  |       |

単位: kg/cm<sup>2</sup>

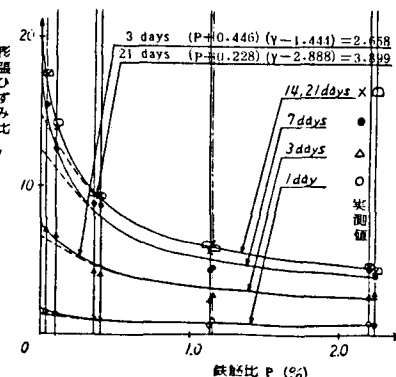


図3 D10 材令1日における拘束膨張ひずみに対する膨張ひずみ比と鉄筋比の関係

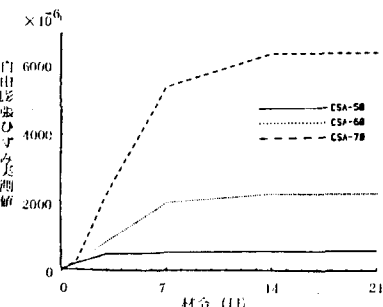


図4 自由膨張ひずみと材令の関係

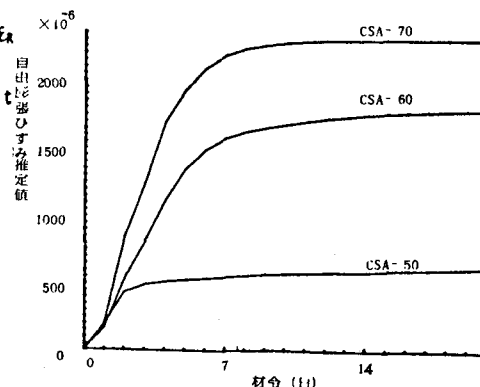


図6 自由膨張ひずみ推定値と材令の関係

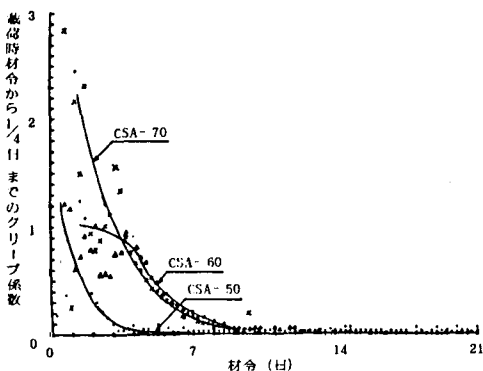


図7 載荷時材令から1/4日までのクリープ係数