

# [49] 膨張コンクリートの多軸拘束膨張性状の推定方法

正会員 丸山久一 (長岡技術科学大学工学部)

正会員 ○大下昌利 (長岡技術科学大学大学院)

## 1. まえがき

膨張コンクリートをコンクリートの収縮補償用あるいはケミカルプレストレス部材用として使用する場合、膨張量あるいは導入されるプレストレス量を精度良く予測しなければならない。実用的方法としては、仕事量一定の概念を導入して、1軸拘束標準供試体の膨張量を測定し、拘束鋼材比の異なる部材の膨張量を推定する方法が提案されている<sup>1)</sup>。この方法では、膨張コンクリートによる1方向のみの仕事量しか扱っていない為、2方向あるいは3方向に配筋されている実構造物での2軸拘束状態あるいは3軸拘束状態に適用する場合、修正が必要となることが報告されている<sup>2),3)</sup>。

本研究は、筆者らが提案した「仮想鉄筋比の概念」に基づき、仕事量一定の概念による1軸拘束膨張性状の推定方法を、2軸拘束膨張性状および3軸拘束膨張性状が推定できるように拡張することを検討したものである。

## 2. 実験概要

実験としては、図1に示すような1軸拘束供試体を用い、拘束方向の膨張ひずみと拘束直角方向の膨張ひずみを、表1に示すような配合条件の下で測定した。本実験の主目的は、仕事量一定の概念を用いる際に必要となる膨張エネルギーが、配合条件および養生条件にどう影響されるのかを検討すること、および、与えられた膨張エネルギーを有する膨張コンクリートにおいて、拘束方向に導入されるケミカルプレストレス量と拘束直角方向の膨張量との関係を検討することである。実験の際考慮した主要パラメータは次の4点である。

- ① 供試体の断面寸法および長さ B, L
- ② 拘束鋼材比  $\phi 9, \phi 13, \phi 17$  のPC鋼棒を用いた
- ③ 配合条件 表1
- ④ 養生条件 20℃水中養生および20℃気乾(R.H.50%)養生

表-1 配合

SPFCIMEN	W/C+E (%)	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C+E (kg/m <sup>3</sup> )	E (kg/m <sup>3</sup> )
CE300E30	60	39	180	300	30
CE300E50	60	39	180	300	50
CE450E30	40	40	180	450	30
CE450E45	40	40	180	450	45
CE450E60	40	40	180	450	60
CE600E30	30	41	180	600	30
CE600E60	30	41	180	600	60

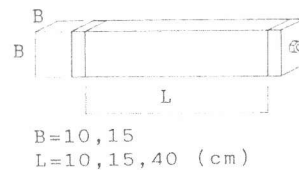


図-1 供試体

拘束直角方向の膨張量には、図1のような供試体では端板の摩擦が影響することが考えられるので、2種類の大きさの端板により、端板摩擦の影響範囲を検討した。同一配合の膨張コンクリートの膨張エネルギーは、自由膨張ひずみ、および3種類の拘束鋼材比の下での拘束方向膨張ひずみから、仕事量一定の概念に基く算定式で求めた。配合条件では、スランプがほぼ一定になるよう、単位水量を  $W = 180 \text{ kg/m}^3$  と一定にし、単位セメント量 (C)、および単位膨張混和材量 (E) を表1のように変化させた。表1の配合については全て20℃水中養生とし、その中のいくつかの配合については、20℃気乾(相対湿度50%)養生の場合も付加した。本文における図表中の供試体の記号は表1に示すとおりで、例えば、CE300E30とは単位結合材量(セメント+膨張混和材)  $300 \text{ kg/m}^3$  で、その中の単位膨張混和材量 (E)  $30 \text{ kg/m}^3$  を示している。

供試体は、コンクリート打設後24時間で脱枠し、拘束方向膨張量はPC鋼棒に貼付したワイヤーストレインゲージで測定し、拘束直角方向膨張量はコンクリートに埋設した標点間をマイクロメータで測定した。測定は、膨張ひずみがほぼ一定となる材令7日まで行なっている。尚、使用した膨張材はカルシウムサルフォアルミネート系である。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3. 1 端板の影響

拘束直角方向の膨張ひずみの分布を図2に示す。同図には、端板とコンクリートとの摩擦を減ずる為にテフロンシートを挟んだ場合の膨張ひずみの分布も示してある。この結果から判断すると、端板の摩擦の影響は、端板から離れるに従い小さくなっており、端部から端板の高さ(B)と同じ程度離れるとほとんど端板摩擦の影響は認められない。

#### 3. 2 仕事量に及ぼす配台の影響

仕事量一定の概念を式で表わすと式(1)のようになる。この式では自由膨張ひずみが表現できないが、骨材やセメントペースト自体も一種の拘束効果を有すると考えて、内部拘束の効果を取り入れると式(2)のようになる。<sup>4)</sup>

$$\epsilon_s = \sqrt{\frac{2U}{E_s}} \cdot \rho_s^{-0.5} \quad (1)$$

ここで

$\epsilon_s$  : 拘束鋼材の膨張ひずみ

$E_s$  : 拘束鋼材の弾性係数

$\rho_s$  : 拘束鋼材比

U : 単位体積当りの仕事量

$$\epsilon_s = \sqrt{\frac{2U}{E_s}} \cdot (\rho_s + \alpha)^{-0.5} \quad (2)$$

図3に示すように、同一配合について、自由膨張ひずみ、および、3種類の拘束鋼材比の下での膨張ひずみの実測値を求め、それに適合するように、式(2)における仕事量(U)および内部拘束率( $\alpha$ )を求めた。同様にして、各配合について計算した結果の一覧を表2に示す。尚、供試体を示す記号の末尾にKがついたものは気乾養生を示している。膨張エネルギーとしては、潜在的には単位膨張材量に依るものであろうが、顕在化するときにはセメントペーストとの相対量あるいはセメントペースト濃度などの内的な影響を受けると考えられる。図4、図5には、仕事量に及ぼす膨張材のセメント置換率( $E/C+E$ )の影響、および水結合材比( $W/C+E$ )の影響を示した。膨張材のセメント置換率が10%以上になると急激な仕事量の増加が認められる。また、図4で置換率が10%の仕事量は単位膨張材量の増加に伴い大きくなっている。図5は、単位膨張量(E)および単位水量(W)が一定で、単位セメント量を減じた場合の結果である。相対的に単位水量が増加すると、セメントペースト濃度が低下し、内的拘束力が低下し、内的拘束力が低くなる為、顕在する仕事量は増加している。

表-2 仕事量と内部拘束率

SPECIMEN	E/C+E (%)	U (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha$ (%)
CE300E30	5.00	0.01x10 <sup>-3</sup>	0.1629
CE300E50	6.67	0.17x10 <sup>-3</sup>	0.1844
CE450E30	10.00	0.58x10 <sup>-3</sup>	0.0289
CE450E45	10.00	1.38x10 <sup>-3</sup>	0.0771
CE450E60	10.00	2.53x10 <sup>-3</sup>	0.0952
CE600E30	13.33	13.1x10 <sup>-3</sup>	0.0015
CE600E60	16.67	3.75x10 <sup>-3</sup>	0.0001
CE450E30K	10.00	0.01x10 <sup>-3</sup>	0.1281
CE450E60K	10.00	3.03x10 <sup>-3</sup>	0.0067

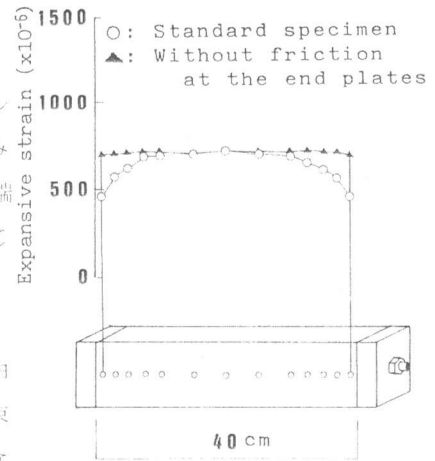


図-2 端板摩擦による拘束直角方向膨張ひずみ分布

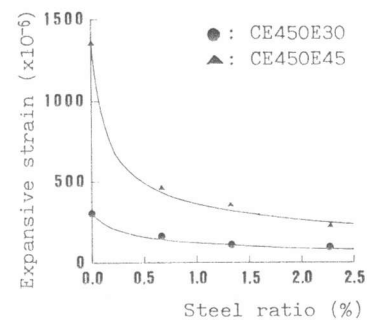


図-3 膨張ひずみと拘束鋼材比

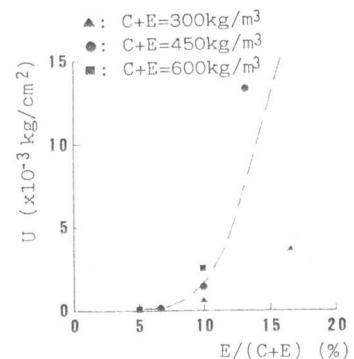


図-4 仕事量に及ぼす膨張材のセメント置換率の影響

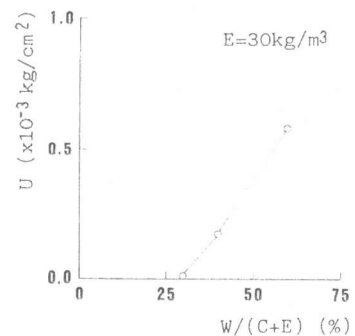


図-5 仕事量に及ぼす水結合材比の影響

図6, 図7は内部拘束率に対する置換率および水結合材比を示したもので、置換率が増すと相対的に内的拘束は低下することが認められる。同様なことが水結合材比の影響についても認められる。

### 3. 3 拘束直角方向の仮想鉄筋比

1方向の膨張を拘束すると拘束直角方向の膨張量は自由膨張の時より低下する。この現象を、あたかも拘束直角方向に拘束鉄筋が導入されたかのように考えて、その膨張量を推定しようとするのが仮想鉄筋比の概念である。その際、仮想鉄筋比と膨張量との関係は、同一配合における仕事量一定の概念に従うものとする。実験結果から仮想鉄筋比を求める方法として、図8に示すように、まず、ある配合の下での仕事量(U)および内部拘束率( $\alpha$ )を求め、式(2)による膨張ひずみと拘束鋼材の関係を求めておく。次に、測定した拘束直角方向ひずみを式(2)に代入して、相当する拘束鋼材比を求め、それを仮想鉄筋比( $\rho_{sc}$ )とするのである。このようにして求めた仮想鉄筋比と拘束によって導入されるケミカルプレストレス( $\sigma_{cp}$ )との関係を示したのが図9, 図10, 図11である。図9より認められることは、拘束によって生ずるケミカルプレストレスが同じであっても仮想鉄筋比は同じにはならず配合の影響を受けるということである。言い換えると、同一ケミカルプレストレスを得るのに、少ない膨張材量で大きな拘束鋼材比を使用する場合と、膨張材量を多くし、拘束鋼材比を小さくした場合とでは、拘束直角方向の仮想鉄筋比が異なり、従って拘束直角方向の膨張性状も異なってくるのである。図10によると、膨張混和材のセメント置換率が一定であれば、仮想鉄筋比と拘束方向のケミカルプレストレスはほぼ一様の関係にあるのが認められる。水中養生と気乾養生の差は、図11からは必ずしも明確に認められるわけではない。気乾養生の場合、相対的に膨張量が小さくなる為に、導入されるケミカルプレストレス量も小さくなる。それで、本実験では、小さなケミカルプレストレスの領域にデータが偏りすぎてしまった。

図9, 図10より仮想鉄筋比はケミカルプレストレスに比例するものの配合条件の影響も受けていることが認められる。そこで、配合条件の影響を一般化する為に仕事量(U)を用いることとし、仮想鉄筋比を拘束方向のケミカルプレストレスで式(3)のように定式化した場合、係数Aと仕事

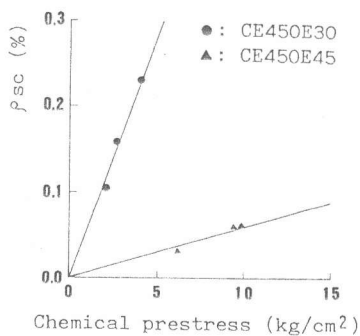


図-9 ケミカルプレストレスと仮想鉄筋比

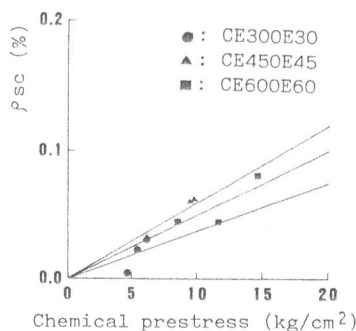


図-10 ケミカルプレストレスと仮想鉄筋比

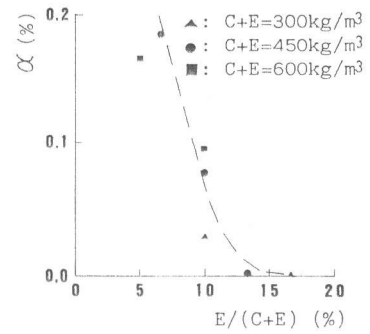


図-6 内部拘束率に及ぼす置換率の影響

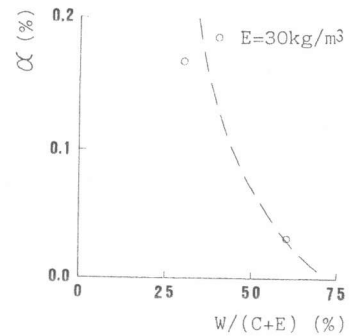


図-7 内部拘束率に及ぼす水結合材比の影響

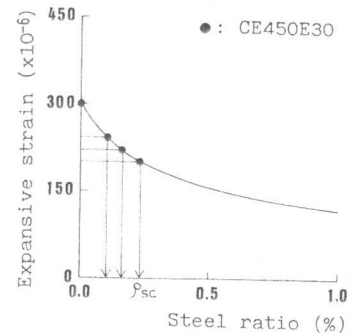


図-8 仮想鉄筋比

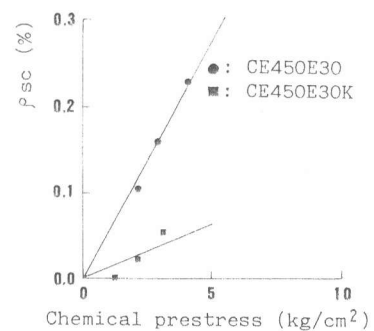


図-11 養生条件の影響

量  $U$  との関係は図12に示すようになる。

$$P_{sc} = A \cdot c_p \quad (3)$$

ここで

$$A = A(U)$$

単位膨張材量が小さく、かつ、セメント置換率の小さい場合のように仕事量が極端に小さい場合を除くと、係数  $A$  はほぼ一定として扱うことも可能である。

#### 4. 多軸拘束膨張性状の推定方法

まず、1軸拘束状態における拘束直角方向膨張ひずみを推定する。

①与えられた配合条件・養生条件の下で仕事量 ( $U$ )、内部拘束率 ( $\alpha$ ) を求める。

②式 (2) により拘束膨張ひずみを求め、導入ケミカルプレストレス量を求める。

③式 (3) により拘束直角方向の仮想鉄筋比を算定し、その値を用いて式 (2) により拘束直角方向膨張ひずみを求める。

多軸拘束状態における各方向の膨張ひずみは、求めようとする方向と直交する2方向の拘束による影響を、①～③により仮想鉄筋比として算定し、それを本来の拘束鋼材比に加え、式 (2) に再び代入することで求める。(図13) この方法を用いて、既往の実験結果と比較した結果を図14に示す。実験では鉄管を用いているので、円周方向と軸方向の拘束の程度が異なっている。計算では、2軸拘束あるいは軸拘束と仮定している。本方法で仕事量の減少を定性的には説明できているが、 $t/r$  の小さい範囲では、まだ十分な精度が得られていない。

#### 5. 結論

1軸拘束標準供試体を用いて、拘束鋼材比が異なる場合の膨張量および導入ケミカルプレストレス量を推定する方法としての仕事量一定の概念は、1方向のみの仕事量しか扱っていない為、実構造のような2軸あるいは3軸拘束状態に適用する場合、各軸方向の相互作用を考慮する必要がある。本研究では、仮想鉄筋比の概念を導入することにより、多軸拘束状態の場合でも、膨張性状を解明することが可能となった。今後の課題としては、鋼管とコンクリートとの間の摩擦の影響を考慮し、推定精度を高める必要がある。

本研究の実施にあたり、長岡技術科学大学の中村裕剛技官およびコンクリート研究室の皆様から頂いた御助力に対し厚く感謝の意を表します。

#### (参考文献)

- 1.) 辻幸和, コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎研究, 土木学会論文報告集 第235号 PP.111~124, 1975年3月
- 2.) 丸山・吉田, 膨張コンクリートの膨張性状と圧縮強度, 第4回コンクリート工学年次講演論文集 PP.221~224, 1982年
- 3.) 長滝・遠藤・河村, 多軸拘束を受ける膨張コンクリートの膨張性状, 第4回コンクリート工学年次講演論文集 PP.217~220, 1982年
- 4.) 山崎・小林・上赤・杉浦, 膨張セメントの拘束下における膨張特性—自動拘束膨張試験による実験—セメント技術年報33号 PP.134~137, 1979年

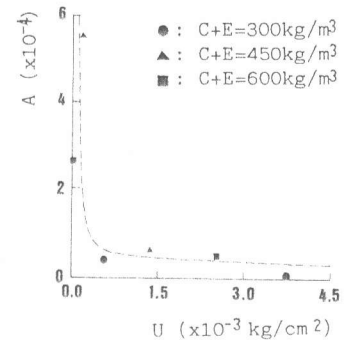


図-12 係数  $A$  と仕事量  $U$  の関係

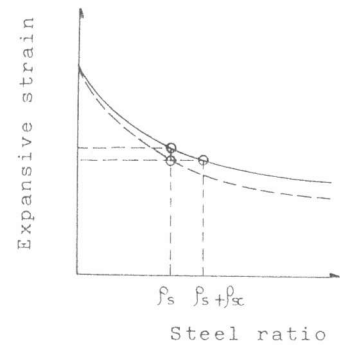


図-13 2軸拘束状態への適用

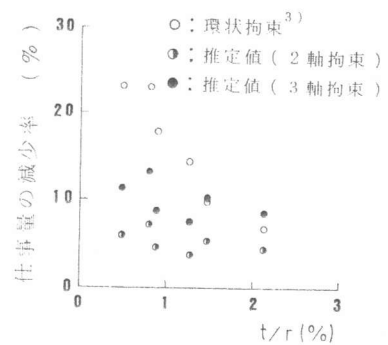


図-14 計算結果