

## 鋼繊維で補強した膨張コンクリート部材の膨張特性

EXPANSION OF EXPANSIVE CONCRETE MEMBERS  
REINFORCED WITH STEEL FIBER

辻 幸和\*・古川 茂\*\*

By Yukikazu TSUJI and Shigeru FURUKAWA

This paper presents the effect of steel fiber on the uniaxially restrained expansive strain of the expansive concrete member. Test specimens consisted of; an A type uniaxially restrained specimen with restraint ratio of about 1% (JIS A 6202); a mortar type uniaxially restrained specimen with restraint ratio of about 0.1%; and reinforced concrete beams. The unit content of expansive admixture was changed up to 70 kg/m<sup>3</sup> and the water-binder ratio was either 40%, 50% or 60%. Uniaxially restrained expansive strains were decreased by using steel fibers showing that not only reinforcing bars and steel reinforcements restrained the expansion of the expansive concrete member. The degree of reduction of expansive strain can be estimated by the proposing method based on the concept of work done by expansive concrete on restraint.

*Keywords*: expansive concrete, steel fiber, expansive strain, chemical prestress, estimating method

## 1. 序 論

鋼繊維で補強した膨張コンクリートに関しては、すでにいくつかの貴重な研究成果が報告されている<sup>1)~7)</sup>。すなわち、鋼繊維の混入により生じる単位水量の増加に伴う乾燥収縮量の増大、および、積極的なケミカルプレストレスの導入によるコンクリートの過膨張に伴う品質低下といった、鋼繊維および膨張材をそれぞれ単独で用いた場合における問題点を、両者を併用することにより解決でき、両者の使用効果を十分に発揮できることが明らかにされた。

しかしながら、鋼繊維で補強した膨張コンクリートを各種のコンクリート構造物に利用するためには、コンクリートの曲げ強度や靱性などの力学的特性を定量的に評価するとともに、鋼繊維の混入による膨張率およびケミカルプレストレスの変化を把握して、鋼繊維および膨張材を適正に使用できるようにすることが重要である。特に、後者の鋼繊維が膨張作用を拘束する程度を明確に提示した研究は、これまで報告されていないようである。

鋼繊維を膨張コンクリートに混入すると、膨張率は小さくなる。その程度は、鋼繊維の混入率および膨張コンクリートの膨張エネルギーなどによって異なる。また、膨張材の使用量が一定であっても、鉄筋などの拘束鋼材の位置や量により、同一断面内における膨張率の量およびその分布は異なったものになる。

本研究は、鋼繊維混入率、単位膨張材量、断面の形状寸法、鉄筋などの拘束鋼材の配置および水結合材比を主要因にとり、これらが鋼繊維と膨張材を用いた鉄筋コンクリート部材の拘束膨張率に及ぼす影響について行った実験結果を報告するとともに、鋼繊維による膨張作用の拘束の程度を、著者の一人がすでに提案している仕事量の概念<sup>8)</sup>を用いて定量的に把握することを試みたものである。ここでは、膨張率の分布状態が断面内で一樣になる場合と一樣にならない場合、すなわち、拘束鋼材が断面に対称に配置されている場合と非対称に配置されている場合に分け、鋼繊維による膨張作用の拘束の影響および仕事量の概念に基づく推定方法を用いた場合の適応性について述べることにする。

## 2. 実験の概要

## (1) 使用材料および配合

鋼繊維は寸法が0.5×0.5×30 mmのせん断品あるい

\* 正会員 工博 群馬大学助教授 工学部建設工学科  
(〒376 桐生市天神町1-5-1)

\*\* 正会員 群馬工業高等専門学校助教授 土木工学科  
(〒371 前橋市鳥羽町580)

は  $\phi 0.5 \times 30$  mm の異形カットワイヤーを、膨張材はエトリングait系を、また、セメントは普通ポルトランドセメントをそれぞれ用いた。骨材は渡良瀬川産の川砂および川砂利を用いた。細骨材は比重が 2.60、粗粒率が 2.57、粗骨材は比重が 2.66、粗粒率が 6.63 (最大寸法 15 mm) であった。AE 減水剤は、リグニンスルホン酸塩系のもを、高性能減水剤はアルキルアシルスルホン酸塩系のもをそれぞれ用いた。鉄筋は、SD 35 の D10、D13 および D16 の 3 種類を用いた。

コンクリートの配合は、単位水量を  $220 \text{ kg/m}^3$  と一定にし、水結合材比を 40 %、50 % および 60 %、単位結合材量に直して、それぞれ、 $550 \text{ kg/m}^3$ 、 $440 \text{ kg/m}^3$  および  $366 \text{ kg/m}^3$ 、細骨材率をそれぞれ、57 %、61~65 % および 64 % とした。そして、鋼繊維を用いない場合のスランブを  $21 \pm 1 \text{ cm}$  あるいは  $20 \pm 1 \text{ cm}$  とした。これらの基準コンクリートに、膨張材を単位量にして  $70 \text{ kg/m}^3$  までの 7 種類に変化させて、それぞれセメントと置き換えて用いた。また鋼繊維を、容積比で 2 % までの 4~5 種類に変化させてそれぞれ添加した。

(2) 供試体の作製方法および測定方法

コンクリートの練りませには、容量が 100 l の強制練りミキサを用いた。まず、鋼繊維を除いて、1分30秒練りませた後、鋼繊維を投入し、さらに1分間練りませた。ただし、鋼繊維を混入しないものは、2分間連続して練りませた。

一軸拘束膨張率の測定には、主に JIS A 6202 の「コンクリート用膨張材」に規定されている A 法一軸拘束供試体を用い、一部の配合では、A 法一軸拘束供試体の拘束鋼材比に比べて約 1/10 の拘束鋼材比となる、図-1 に示す拘束器具 (以下 4 mm 一軸拘束器具とよぶ) を埋設した  $10 \times 10 \times 74 \text{ cm}$  の一軸拘束供試体 (以下 4 mm 一軸拘束供試体とよぶ) もあわせて用いた。4 mm 一軸拘束器具は、JIS A 6202 の膨張モルタルによる膨張性能試験方法に示されている各材料を用いて組み立てたものである。ただし、拘束鋼材の直径が 3.5 mm のみがき鋼線は長さを 75 cm とし、両端から 7.5 cm の区間のみを転造ねじ加工を施した。

鉄筋コンクリートはりにおける一軸拘束膨張率の測定には、図-2 に示す断面諸元をもつ 3 種類の  $15 \times 15 \times 75$

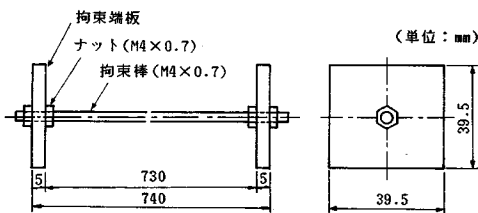


図-1 4 mm 一軸拘束器具

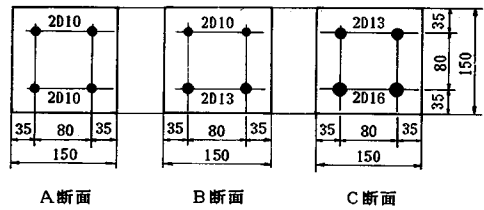


図-2 鉄筋コンクリートはり供試体の断面諸元

cm のはり供試体を用いた。

各拘束供試体は、二層に分けて打ち込み、それぞれ棒形振動機を型枠にあてて締固めを行った。各供試体は、打ち込み後 1 日で脱型し、その後  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  の水中養生あるいは  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  の恒温室において湿布養生を行った。

A 法一軸拘束供試体ではダイヤルゲージを用い、また、4 mm 一軸拘束供試体および鉄筋コンクリートはり供試体では、拘束鋼材に貼付したワイヤストレインゲージを用いて、それぞれ膨張率を測定した。ワイヤストレインゲージの貼付位置は拘束鋼材の中央とし、4 mm 一軸拘束器具では、他に中央から 10 cm 離れた位置にも貼付して一緒に測定した。

3. 膨張率およびケミカルプレストレスの推定方法

膨張率およびケミカルプレストレスの推定には、コンクリートの膨張を鉄筋などの拘束鋼材および鋼繊維が有効に拘束すると仮定して、仕事量の概念に基づく方法<sup>9)</sup>を用いる。そして、拘束鋼材が断面内に対称に配置されている場合と非対称に配置されている場合について提案する。

(1) 拘束鋼材が断面に対称に配置されている場合

セメント硬化体による内部拘束を無視すると、単位体積当たりの膨張コンクリートが拘束に対してなす仕事量  $U$  は、拘束の程度にかかわらず一定であるとの仮定より、次式が成立する。

$$U = p_s E_s e_{ss}^2 / 2 = (p_s E_s + p_{s,r} E_{s,r}) e_{s,r}^2 / 2 \dots \dots \dots (1)$$

$$p_{s,r} = V_r \alpha$$

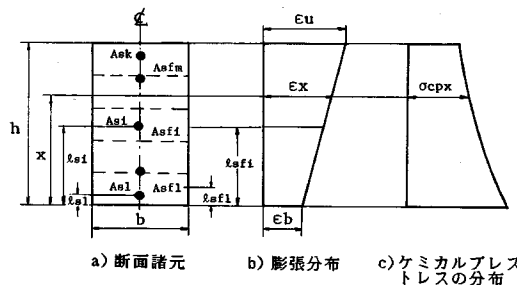


図-3 拘束鋼材と鋼繊維が配置された場合における膨張率の推定方法の説明図

ここに、

- $\epsilon_{ss}$  : 鋼繊維を含まない一軸拘束供試体の膨張率
- $\epsilon_{srf}$  : 鋼繊維を混入した一軸拘束供試体の膨張率
- $p_s$  : 一軸拘束供試体の拘束鋼材比
- $p_{srf}$  : 鋼繊維を一軸拘束方向に換算した場合の拘束鋼材比

$V_f$  : 鋼繊維混入率

$\alpha$  : 配向係数 (鋼繊維が三次元に均等に分散されると仮定した場合に 0.405 を、同様に二次元に分散されると仮定した場合に 0.637 を用いる)

$E_s$  : 拘束鋼材のヤング係数

$E_{srf}$  : 鋼繊維のヤング係数

また、ヤング係数比  $n_f$  は次式のように示す。

$$n_f = E_{srf} / E_s \dots\dots\dots (2)$$

したがって、鋼繊維を混入した一軸拘束供試体に生ずる膨張率  $\epsilon_{srf}$  は、次式より求める。

$$\epsilon_{srf} = \sqrt{p_s / (p_s + n_f p_{srf})} \times \epsilon_{ss} \dots\dots\dots (3)$$

また、コンクリートに導入されるケミカルプレストレス  $\sigma_{srf}$  は次式より算定できる。

$$\sigma_{srf} = \sqrt{p_s + n_f p_{srf}} / p_s \times \sigma_{ss} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$\sigma_{ss}$  : 鋼繊維を含まない一軸拘束供試体のコンクリートに導入されるケミカルプレストレス (=  $p_s E_s \epsilon_{ss}$ )

(2) 拘束鋼材が断面に非対称に配置されている場合 膨張率は断面高さ方向に直線分布すると仮定すると、式 (5) が成立する。

$$\epsilon_x = \epsilon_b + (\epsilon_u - \epsilon_b)x/h = \epsilon_b + \epsilon_a x/h \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

- $\epsilon_x$  : 下縁から距離  $x$  の位置の膨張率
- $\epsilon_u$  : 断面上縁の膨張率
- $\epsilon_b$  : 断面下縁の膨張率
- $\epsilon_a$  : 断面上縁と下縁の膨張率の差
- $h$  : 断面高さ

この場合、鋼繊維は断面内に仮想的に配置された拘束鋼材とみなす。そして、鋼繊維による膨張の拘束は一軸拘束方向にのみ有効と仮定し、断面を図-3 に示すように  $m$  段に分割する。その分割断面の図心に鋼繊維が配置されていると考える。また、鋼繊維の断面積は  $n_f A_{srf}$  として鉄筋の断面積に換算することになる。

そして、(1) で述べた「仕事量は一定」の仮定から、図-3 に示すような矩形断面に、拘束鋼材が  $k$  段と、鋼繊維が  $m$  段に分割して、それぞれ配置された場合は、力のつり合い条件より式 (6) が、またモーメントのつり合い条件より式 (7) が、それぞれ成立する。

$$\sum_{i=1}^k A_{si} E_s (l_{si}^2 / h^2 \times \epsilon_a^2 + 2 l_{si} / h \times \epsilon_a \epsilon_b + \epsilon_b^2) / (2 bhU) + \sum_{i=1}^m A_{srf} E_s (l_{srf}^2 / h^2 \times \epsilon_a^2 + 2 l_{srf} / h \times \epsilon_a \epsilon_b + \epsilon_b^2) /$$

$$(2 bhU) - 1 = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$\ln(1 + \epsilon_a / \epsilon_b) - \sum_{i=1}^k A_{si} E_s (l_{si} / h \times \epsilon_a^2 + \epsilon_b \epsilon_a) / (2 bhU) - \sum_{i=1}^m A_{srf} E_s (l_{srf} / h \times \epsilon_a^2 + \epsilon_b \epsilon_a) / (2 bhU) = 0 \dots\dots\dots (7)$$

ここに、

$b$  : 断面の幅

$l_{si}$  : 下縁から拘束鋼材のある位置までの距離

$l_{srf}$  : 下縁から分割した鋼繊維のある位置までの距離

$A_{si}$  : 下縁から  $l_{si}$  の位置にある拘束鋼材の断面積

$A_{srf}$  : 下縁から  $l_{srf}$  の位置にある鋼繊維の換算断面積

$$A_{srf} = p_{srf} bh / m \dots\dots\dots (8)$$

未知数  $\epsilon_a$ 、 $\epsilon_b$  は、まず  $\epsilon_b$  を仮定して式 (6) に代入して  $\epsilon_a$  を求め、これを式 (7) に代入し、左辺が 0 に十分近くなるか否かを検討して、許容できなければ上記の方法を繰り返して解を求める。

なお、下縁より  $l_{si}$  の位置にある拘束鋼材の膨張率  $\epsilon_{si}$  は式 (5) の  $x$  に  $l_{si}$  を代入して得られる。また、膨張率が  $\epsilon_x$  の場合に生じるケミカルプレストレス  $\sigma_{cpx}$  は、次式より求めることができる。

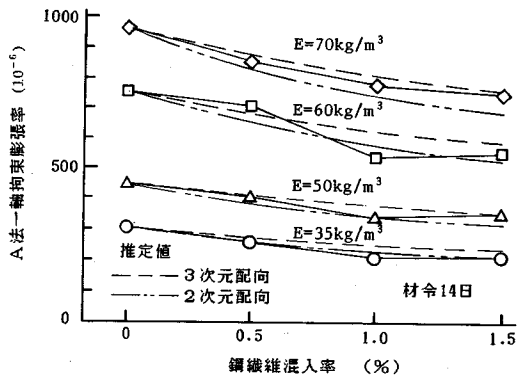
$$\sigma_{cpx} = 2U / \epsilon_x \dots\dots\dots (9)$$

ここに、単位体積当たりの仕事量  $U$  は、式 (1) から基準とする一軸拘束供試体より算定した値を用いる。

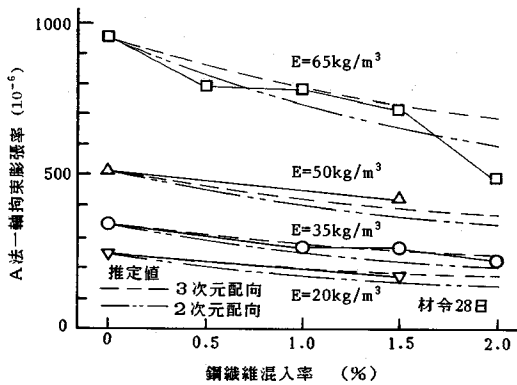
#### 4. A 法一軸拘束供試体の膨張率

水結合材比を 50 % と一定にし、単位膨張材量  $E$  を 20 kg/m<sup>3</sup> から 70 kg/m<sup>3</sup> まで変化させた拘束鋼材比  $p_s$  が 0.964 % の JIS A 法一軸拘束供試体の膨張率と鋼繊維混入率との関係を図-4 に示す。図中には、鋼繊維を含まない A 法一軸拘束供試体の膨張率の実測値  $\epsilon_{ss}$  をそのまま用いて、鋼繊維が三次元および二次元に配向すると仮定し、式 (3) から算出した推定値を、それぞれ破線および二点鎖線で一緒に示している。

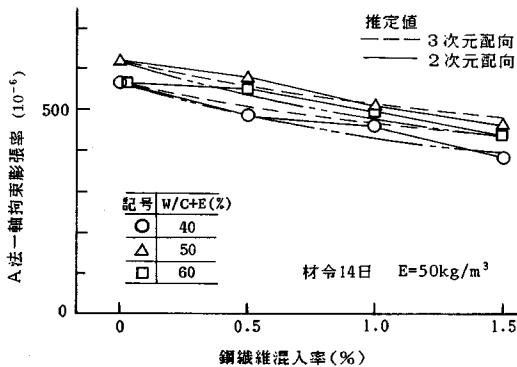
単位膨張材量および水結合材比の異なるいずれの膨張コンクリートを用いても、鋼繊維混入率が増加すると、膨張率は減少しており、また、推定値はいずれの膨張コンクリートとも実測値に近い値を示している。基準となる鋼繊維を用いない A 法一軸拘束供試体の拘束鋼材比  $p_s$  が 0.964 % であり、容積で 1.5 % の鋼繊維を混入した場合でも、ヤング係数比  $n_f$  を 1.0 として三次元に配向するとした合計の拘束鋼材比は 1.57 % に増加するにとどまり、拘束鋼材比の範囲が狭いことも精度がよい一因と考えられる。そして、三次元あるいは二次元に配向すると仮定した場合の推定値の差が小さいため明確ではないが、一般に、実測値は三次元に配向していると仮定した推定値に近い値を示している。



(a) 単位膨張材量を70 kg/m³まで増加した場合



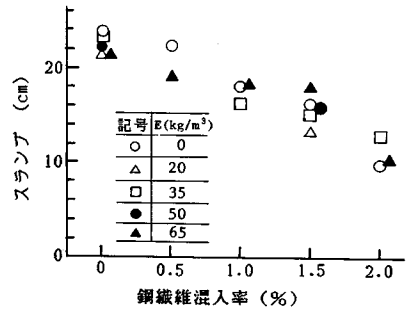
(b) 鋼繊維混入率を2%まで増加した場合



(c) 水結合材比を変化した場合

図—4 鋼繊維混入率とA法一軸拘束膨張率の関係

鋼繊維を2.0%まで混入した図—4(b)では、供試体作製年月日、および混和剤が異なっているため、図—4(a)に比べ膨張率自体がやや大きい値を示している。そして、鋼繊維混入率を2.0%に増加すると、実測値が推定値に比べ極端に小さくなる場合が認められる。鋼繊維を容積で2.0%と多量に混入すると、図—5に示すようにスランプの低下が著しく、コンクリート中における鋼繊維の分散がランダムとはならず、拘束鋼材であるPC鋼材の配置方向の軸方向に偏って多量に配向されたため



図—5 スランプに及ぼす鋼繊維混入率の影響

と考えられる。

単位膨張材量と同じならば、水結合材比が40%から60%まで変化しても、図—4(c)に示すように、膨張率はほぼ等しい値を示し、A法一軸拘束供試体においては、水結合材比の相違による影響は比較的小さいことが認められる。

### 5. 4 mm 一軸拘束供試体の膨張特性

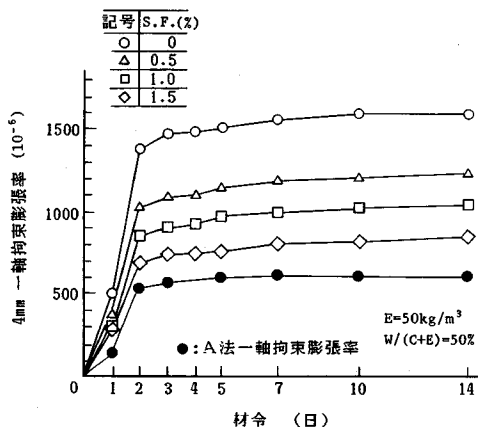
水結合材比を50%、単位膨張材量を50 kg/m³と一定にし、鋼繊維混入率を4種類に変えた4 mm 一軸拘束供試体の膨張率と材令との関係を図—6に示す。図中には、鋼繊維を混入しないA法一軸拘束供試体の膨張率も一緒に示している。A法一軸拘束供試体の膨張率は、材令7日程度までにはほぼ一定になるのに対して、4 mm 一軸拘束供試体のそれは、7日以後もやや増加傾向を示し、膨張作用の継続時間の長いことが認められる。拘束鋼材比がA法一軸拘束供試体に比べて約1/10の0.1%程度と小さく、また拘束端板の部分の面積は供試体の断面積の1/6程度と小さい。そのため、4 mm 一軸拘束器具による膨張作用の拘束は、拘束鋼材および鋼繊維とコンクリートとの付着作用に大きく依存し、セメント硬化体自体の強度が高くなって始めて有効に発揮されたためと考えられる。

単位膨張材量を50 kg/m³と一定にし、水結合材比を40%、50%および60%と変化させた4 mm 一軸拘束供試体の膨張率と鋼繊維混入率との関係を図—7に示す。図中には、鋼繊維を用いない4 mm 一軸拘束供試体の場合の膨張率の実測値より、鋼繊維が三次元および二次元に配向すると仮定し、式(3)を用いて求めた推定値を、それぞれ破線および二点鎖線で示している。

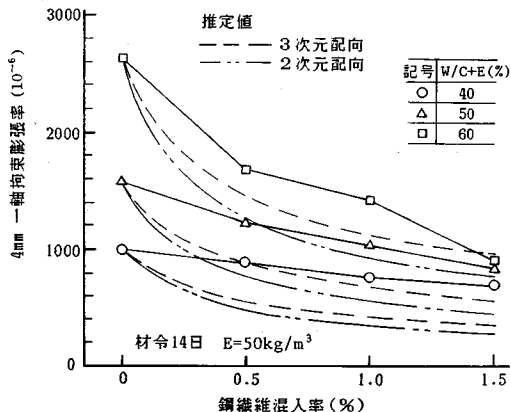
いずれの膨張コンクリートを用いても、鋼繊維混入率が増加すると膨張率は減少し、その程度は水結合材比が大きいほど著しくなっており、水結合材比が変化することによって膨張率も相違することが認められる。これは、水結合材比が小さい場合、単位セメント量が多く、そのためセメント量に対する膨張材量は少なくなり、また、

セメント硬化体自体の内部拘束によって膨張作用が抑制される程度が大きくなることによる。なお逆に、水結合材比が大きい場合は、セメント硬化体の強度が弱く、拘束鋼材との付着による膨張の拘束程度は小さくなり、図一七の縦軸に示す、付着による拘束鋼材に生じる膨張率は小さくなるのが考えられる。しかしながら、逆に実測値は大きくなっており、セメント硬化体自体の内部拘束の影響の方が大きいことを示している。

鋼繊維を含まない場合の実測値を基準にした鋼繊維混入率が1.5%までの推定値は、実測値と似た傾向を示しているが、いずれの場合も実測値より小さく推定されている。鋼繊維の拘束を考慮した拘束程度が大きい場合の膨張率を推定する際は、ケミカルプレストレスが大きいことによるクリープおよび弾性変形の影響が3.で提案した推定方法には考慮されていない。そのため推定値は実測値より大きくなる傾向があるが、逆の実験結果となっている。基準とした一軸拘束供試体は、その拘束鋼材比が0.1%と小さく、また、拘束鋼材とコンクリートとの付着による膨張の拘束作用を期待する程度が大きい



図一六 4mm 一軸拘束膨張率の経時変化



図一七 鋼繊維混入率と4mm 一軸拘束膨張率の関係

い一軸拘束器具によるため、実際に生じた仕事量より小さな値しか実測できなかったことが原因と考えられる。

### 6. 鋼繊維を考慮した拘束鋼材比と一軸拘束膨張率

鋼繊維も鉄筋などと同様な拘束鋼材とみなして計算した拘束鋼材比と膨張率との関係を図一八に示す。図中には、鋼繊維を用いないA法一軸拘束供試体の膨張率を基準にし、式(3)に代入して求めた推定値を実線で示している。拘束鋼材比は、A法一軸拘束供試体あるいは4mm 一軸拘束供試体の拘束鋼材比と、鋼繊維が三次元あるいは二次元に配向すると仮定した場合の拘束鋼材比とを合計したものである。

鋼繊維が三次元に配向すると仮定した場合は、拘束鋼材比が増加すると、いずれの膨張コンクリートを用いても、一軸拘束膨張率は減少し、その傾向は、拘束鋼材比が小さい範囲ほど著しいことが認められる。

推定値は、実測値と同様な傾向を示しているが、基準とした拘束鋼材比が0.964%を境にして、それより小さい拘束鋼材比の領域では、一般に実測値より小さく、また、0.964%より大きい拘束鋼材比の領域では、実測値と同程度かやや大きくなっている。これは、上述のように、ケミカルプレストレスによるクリープと弾性変形の影響によるものと考えられる。

一方、鋼繊維が二次元に配向すると仮定すると、鋼繊維を1.5%混入した4mm 一軸拘束供試体の拘束鋼材比は1.052%となる。この場合に、いずれの膨張コンクリートを用いても、膨張率の実測値は、基準とした拘束鋼材比が0.964%の鋼繊維を用いないA法一軸拘束供試体の場合より大きくなるといった、膨張率が突出する傾向を示している。すなわち、膨張コンクリートと鋼繊維との間あるいは拘束鋼材との間にすべりが生じない限り、仕事量を一定とした式(3)より算定される推定値より膨張率が大きく実測されることは、拘束鋼材比が、0.964%より小さいことを示している。このことから、鋼繊維は三次元に近い状態に配向されていると考えられるのである。

図一九には、図一八に示した一軸拘束膨張率についての実測値と推定値の関係を示している。推定値と実測値の差は、拘束鋼材比が小さかつ水結合材比が60%と大きくなると20%を超える場合がある。このことは、4mm 一軸拘束供試体のように、拘束鋼材比が特に小さい場合に、仕事量の概念に基づく推定方法を適用することの限界を示すものであり、この場合には、セメント硬化体による膨張作用の内部拘束に対しても配慮が必要になるものと考えられる。この点については、今後研究を進めてゆきたい。

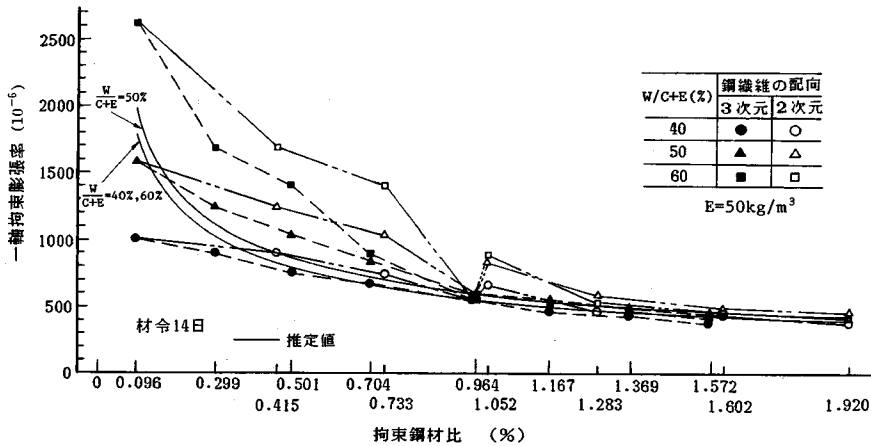


図-8 一軸拘束膨張率と拘束鋼材比の関係

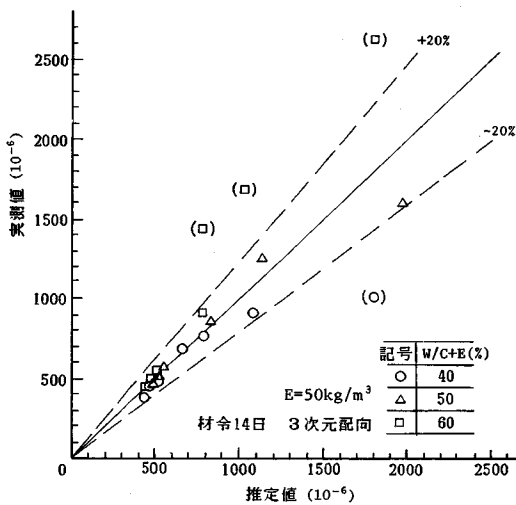


図-9 一軸拘束膨張率の実測値と推定値の関係

7. 鉄筋が断面对称に配置されたはり供試体の膨張率

図-2に示したA断面の鉄筋コンクリートはり供試体(拘束鋼材比が1.27%)における鋼繊維混入率と鉄筋の膨張率との関係を図-10に示す。水結合材比を50%と一定にし、単位膨張材量を35kg/m<sup>3</sup>、50kg/m<sup>3</sup>および60kg/m<sup>3</sup>に変化させた。図中には、鋼繊維を含まないはり供試体の鉄筋の膨張率の値をそのまま用い、鋼繊維が三次元あるいは二次元に配向すると仮定し、式(3)から求めた推定値をそれぞれ、破線および二点鎖線で示している。

A法一軸拘束供試体の標準養生と異なり、はり供試体は冬期に室内で湿布養生を行った。A法一軸拘束供試体および4mm一軸拘束供試体と同様に、膨張率は鋼繊維

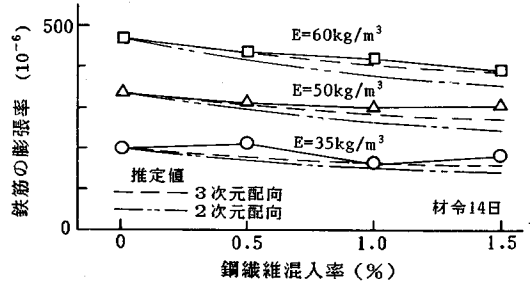


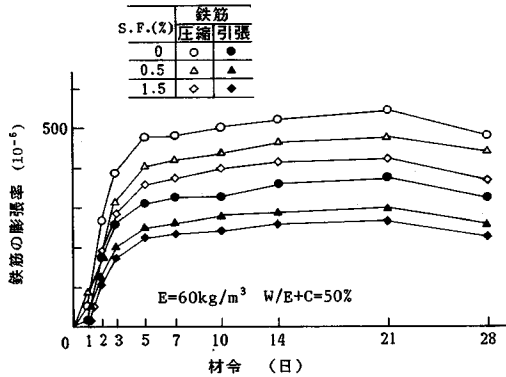
図-10 A断面はり供試体における軸方向膨張率と鋼繊維混入率の関係

混入量が多くなると減少する傾向が認められる。また、鋼繊維を1.5%まで混入した実測値も、三次元に配向すると仮定した推定値に近い値を示している。

8. 鉄筋が断面に非対称に配置されたはり供試体の膨張特性

鉄筋が断面に非対称に配置されている図-2に示した鉄筋コンクリートはりにおける、鉄筋の膨張率と材令との関係を図-11に示す。水結合材比を50%、単位膨張材量を60kg/m<sup>3</sup>と一定にし、鋼繊維混入率を3種類に変化させた。内的一軸拘束状態であるはり供試体の鉄筋の膨張率は、A法一軸拘束供試体の膨張率と比べ、膨張の継続時間が少し長くなり、図-6の4mm一軸拘束供試体と同様な傾向を示している。

水結合材比は50%と一定にし、単位膨張材量を35kg/m<sup>3</sup>から60kg/m<sup>3</sup>の3種類に変化させた、図-2に示すB断面のはり供試体の圧縮鉄筋および引張鉄筋の膨張率と鋼繊維混入率との関係を図-12に示す。図中には、鋼繊維が三次元に配向するとして、鋼繊維を混入していないA断面はり供試体の膨張率  $\epsilon_{ss}$  を用いて式(1)から求めた仕事量  $U$  をそのまま用いて式(6)および



図—11 B断面はり供試体における膨張率の経時変化

式(7)より推定した値を破線で一緒に示している。鋼繊維の混入率が増加すると、両鉄筋ともに膨張率は減少し、推定値もこの傾向を示している。

図—13には、圧縮鉄筋および引張鉄筋の膨張率の実測値と推定値の関係を示す。断面BおよびCについて、単位膨張材量が60 kg/m<sup>3</sup>までの場合であるが、実測値と推定値の誤差は大半が20%以内である。

これらのことから、仕事量の概念に基づく推定方法を用いることにより、鉄筋が非対称に配置されたはり供試体に鋼繊維を補強した場合における膨張率についても、実用上算定が可能であると考えられる。

### 9. 結 論

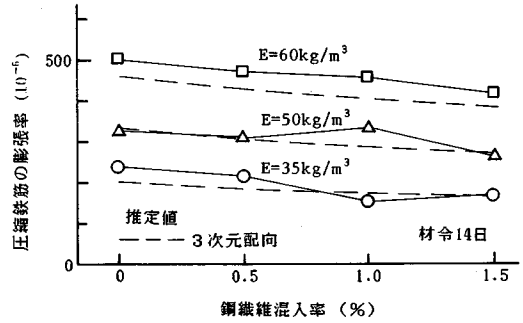
鋼繊維で補強した膨張コンクリート部材の膨張特性に及ぼす鋼繊維の混入率、単位膨張材量、断面の形状寸法、鉄筋などの拘束鋼材の配置方法および水結合材比の影響を実験により検討し、鋼繊維による膨張作用の拘束の程度を定量的に把握するため、仕事量の概念に基づく推定方法を提案した。本実験の範囲で次のことがいえると思われる。

(1) 鋼繊維を混入すると、その拘束作用により膨張率は減少する。その程度は、鉄筋などの拘束鋼材量が少ないほど著しい。このような鋼繊維による膨張作用の拘束程度は、すでに著者の一人が提案している仕事量の概念により推定が可能である。

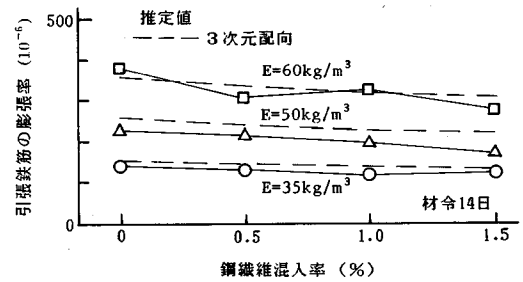
(2) 混入された鋼繊維は、三次元に近い状態で均等に配向していたと考えられる。

(3) 単位水量および単位膨張材量が一定でも、拘束鋼材比が極端に小さい部材では、水結合材比により、鋼繊維が膨張作用を拘束する程度は大きく異なる。そのため、JIS A法一軸拘束器具により実測した仕事量を用いて推定した値の精度は悪くなる場合がある。

謝 辞：本研究の実施に際しては、大和田英夫(戸

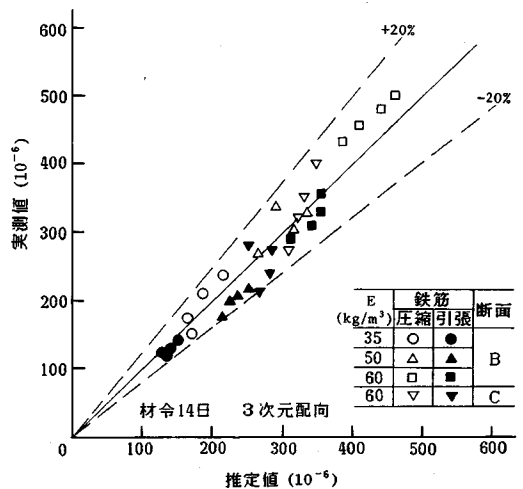


(a) 圧縮鉄筋の膨張率



(b) 引張鉄筋の膨張率

図—12 はり鉄筋の膨張率と鋼繊維混入率 (B断面)



図—13 はり鉄筋膨張率の推定値と実測値の関係

田建設), 平田 正 (茨城県庁), 泉野敏則, 永島章雄 (日本道路), 小川晃市 (首都高速道路公団) の各氏に多大なご援助を頂きました。また、鋼繊維は川崎製鉄(株) および(株)神戸製鋼所より、膨張材は電気化学工業(株) より、それぞれご提供頂きました。付記して厚くお礼申し上げます。

### 付 録

使用したコンクリートの配合を、用いた鋼繊維の種類

付表 コンクリートの配合

配合名	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					鋼繊維の種類	スラブ (cm)	養生	適 用
			水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G				
A	50	65	220	440	0	1062	581	せん断品	21±1	水中	図-4 (a) 図-4 (b) 図-5
				420	20	1062	580				
				405	35	1061	580				
				390	50	1060	580				
				375	65	1060	580				
B	40 50 60	57 61 64	220	500	50	840	646	異形カ ットワ イヤ-	20±1	水中	図-4 (c) 図-6、図-7 図-8、図-9
				390	50	963	612				
				316	50	1038	597				
C	50	61	220	440	0	965	612	せん断品	21±1	湿潤	図-10 図-11 図-12 図-13
				405	35	963					
				390	50	963					
				380	60	962					
				370	70	962					

とともに付表に示す。

#### 参 考 文 献

- 1) 戸川一夫・中本純次：鋼繊維補強膨張コンクリートの力学的特性，土木学会第36回年次学術講演会講演概要集，V-71，1981年10月。
- 2) 牧野・六郷・小柳：膨張材を混入した鋼繊維補強コンクリートの破壊特性，土木学会第36回年次学術講演会講演概要集，V-72，1981年10月。
- 3) 辻・佐藤・佐藤：鋼繊維膨張コンクリートの膨張収縮性状，土木学会第36回年次学術講演会講演概要集，V-79，1981年10月。
- 4) 辻 幸和・佐藤喜悦：鋼繊維を用いた膨張コンクリートの膨張収縮性状および圧縮強度特性，セメント技術年報，36，pp.155～158，1982。
- 5) 戸川一夫・中本純次：鋼繊維補強膨張コンクリートの力学的特性に関する研究，セメント技術年報，36，pp.397～400，1982。
- 6) 小林一輔・野口哲夫：膨張コンクリートをマトリックスとした鋼繊維補強コンクリートの複合特性，土木学会論文報告集，第336号，pp.169～177，1983年8月。
- 7) 戸川一夫・中本純次：鋼繊維の形状及び膨張材量がコンクリートのタフネスに及ぼす影響，第7回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.245～248，1985年。
- 8) 辻 幸和：ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法，コンクリート工学 論文，Vol.19，No.6，pp.99～105，June 1981。

(1986.11.7・受付)