

論文

[1049] 異なる配置の鋼管による拘束を受ける膨張コンクリートの膨張エネルギー

正会員 辻 幸和 (群馬大学建設工学科)
 正会員○吉田 誠 (群馬大学大学院)
 正会員 奥泉貴朗 (群馬県庁)
 正会員 橋本親典 (群馬大学建設工学科)

1. まえがき

膨張コンクリートを用いてケミカルプレストレスを利用するために、これまで種々の実験的研究が行われてきているが、一軸方向の拘束によるものがほとんどで、多軸方向の拘束についての研究は試験方法が困難なこともあって、意外と少ない。本研究は、既に報告した実験結果[1][2]に基づいて、鋼管の直径と厚さを変えて鋼管の配置方法を5種類に変化させた鋼管の内部に、膨張コンクリートを打ち込み、多軸拘束状態における膨張コンクリートの膨張特性、ケミカルプレストレスならびに膨張コンクリートが拘束体の鋼管に対してなす仕事量について実験的に検討するものである。

2. 実験概要

鋼管は、JIS G 3444一般構造用炭素鋼鋼管のものを用いた。供試体の断面の略図を図-1に示す。供試体の仕様の一覧を表-1に示す。膨張ひずみの測定は、鋼管表面に貼付した二軸のワイヤストレインゲージにより、円周方向と軸方向の膨張ひずみを求めた。コンクリートの養生は、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温恒湿室内で湿布養生を行った。また、JIS A6202に規定されるA法一軸拘束器具による測定も同時に行った。

実験に使用した膨張コンクリートの配合を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、膨張材はエトリングイト系のものを使用した。

また、細骨材と粗骨材はともに渡良瀬川産のものを用い、それぞれ比重が2.61と2.63、吸水率が2.81と1.23、粗粒率が2.55と6.79、最大寸法は15mmであった。

表-1 供試体の仕様 (単位: mm)

供試体	外鋼管の半径		内鋼管の半径		拘束鋼材比 p (%)
	外面 r_{oo}	内面 r_{oi}	外面 r_{io}	内面 r_{ii}	
A	159.3	153.6	0	0	7.9
B	159.3	153.6	82.5	82.5	11.1
C	159.3	153.6	82.6	78.0	15.6
D	159.3	153.6	82.5	75.5	17.8
E	159.3	153.6	95.5	90.4	19.5

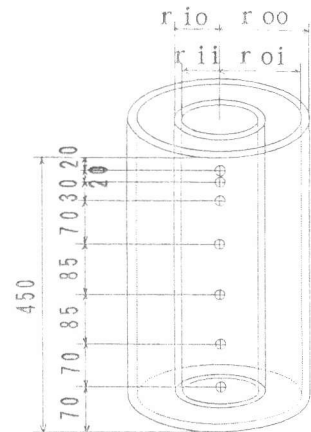


図-1 供試体図

表-2 配合表

細骨材率 s/a (%)	水結合材比 W/(C+E) (%)	単位量 (kg/m ³)					空気量 (%)	スランプ (cm)
		W	C	E	S	G		
48	50	190	320 310 300	60 70 80	830	913	2.5	8

3. ケミカルプレストレスおよび仕事量の算定

鋼管表面に貼付したワイヤストレインゲージから求めた円周方向の膨張ひずみ $\varepsilon_{s\theta o}$ (外鋼管)、 $\varepsilon_{s\theta i}$ (内鋼管) と軸方向の膨張ひずみ ε_{slo} (外鋼管)、 ε_{sli} (内鋼管) より、薄肉円筒理論を用いて、コンクリートに作用する半径方向の応力度であるケミカルプレストレス σ_{cr} および単位体積あたりの膨張コンクリートが二重鋼管の半径方向に対してなす仕事量 U_{cr} は、次式より求められる。

$$\sigma_{cr} = \frac{E_s}{(r_{oi} - r_{io})(1 - \nu^2)} \{ (\varepsilon_{s\theta o} + \nu \varepsilon_{slo}) t_o + (\varepsilon_{s\theta i} + \nu \varepsilon_{sli}) t_i \} \quad (1)$$

$$U_{cr} = \frac{\pi E_s}{A_c(1 - \nu^2)} \{ (\varepsilon_{s\theta o} + \nu \varepsilon_{slo}) t_o r_{oi} \varepsilon_{s\theta o} + (\varepsilon_{s\theta i} + \nu \varepsilon_{sli}) t_i r_{io} \varepsilon_{s\theta i} \} \quad (2)$$

ここに、 E_s : 鋼管のヤング係数、 ν : 鋼管のポアソン比、 $A_c = \pi(r_{oi}^2 - r_{io}^2)$: コンクリートの断面積、 t_o : 外鋼管の厚さ、 t_i : 内鋼管の厚さ

また、鋼管内部における軸方向の膨張ひずみが断面各位置で一定であり、鋼管と膨張コンクリートとの間にすべりがないと仮定すれば、鋼管と膨張コンクリートの釣合い条件から、コンクリートに作用する軸方向の応力度であるケミカルプレストレス σ_{cl} および単位体積あたりの膨張コンクリートが鋼管の軸方向に対してなす仕事量 U_{cl} は、次式より求められる。

$$\sigma_{cl} = \frac{E_s}{A_c(1 - \nu^2)} \{ (\varepsilon_{slo} + \nu \varepsilon_{s\theta o}) A_{so} + (\varepsilon_{sli} + \nu \varepsilon_{s\theta i}) A_{si} \} \quad (3)$$

$$U_{cl} = \frac{E_s}{2 A_c(1 - \nu^2)} \{ (\varepsilon_{slo} + \nu \varepsilon_{s\theta o}) A_{so} \varepsilon_{slo} + (\varepsilon_{sli} + \nu \varepsilon_{s\theta i}) A_{si} \varepsilon_{sli} \} \quad (4)$$

ここに、 $A_{so} = \pi(r_{oo}^2 - r_{oi}^2)$: 外鋼管の断面積、 $A_{si} = \pi(r_{io}^2 - r_{ii}^2)$: 内鋼管の断面積、 $p = (A_{so} + A_{si}) / A_c$: 拘束鋼材比

なお、内鋼管のない充填コンクリートの供試体については、 $r_{io} = r_{ii} = 0$ 、 $\varepsilon_{s\theta i} = \varepsilon_{sli} = 0$ とし、また中空断面のある供試体については、 $r_{io} = r_{ii}$ 、 $\varepsilon_{s\theta i} = \varepsilon_{sli} = 0$ とおいて、上式を適用すればよい。

4. 膨張性状

図-2 は、膨張ひずみの軸方向の分布を示している。鋼管の端部付近においては、鋼管による拘束が不十分となるため、膨張ひずみは鋼管軸方向に一定にはならない。しかしながら、鋼管中央部においては膨張ひずみが一定となっているため、その点を膨張ひずみの代表値とする。

円周方向および軸方向の膨張ひずみの経時変化を、図-3 に示す。膨

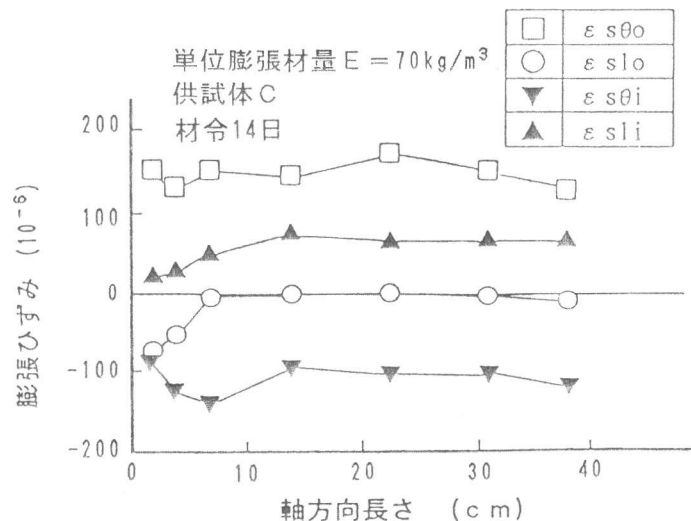


図-2 膨張ひずみの軸方向の分布

張ひずみは材令4日付近からほぼ一定の値となる。円周方向について、膨張コンクリートの膨張力は外鋼管には引張ひずみの膨張ひずみを、また、内鋼管には圧縮ひずみの収縮ひずみを与えることが確かめられた。軸方向については、外鋼管はほとんど変形しないものとして測定された。しかしながら、円周方向に引張応力が生じると、ポアソン効果の影響により軸方向にも圧縮ひずみが生じるため、そのひずみに相当する分は軸方向に引張られていることになる。

図-4は、膨張ひずみと単位膨張材量との関係を供試体ごとに示したものである。いずれの供試体においても、単位膨張材量の増加にとまぬ、外鋼管の円周方向の膨張ひずみ $\epsilon_{s\theta o}$ および内鋼管の円周方向の収縮ひずみ $\epsilon_{s\theta i}$ は、いずれも大きくなることが確かめられた。また、内鋼管の厚さを厚くした供試体Dにおいては、内鋼管の軸方向の膨張ひずみ ϵ_{sli} は単位膨張材量の増加にとまぬ大きくなるが、供試体CとEでは軸方向の膨張ひずみは、外鋼管および内鋼管ともに顕著な変化は認められない。

膨張ひずみを、拘束鋼材比を変えた供試体ごとに比較したものが図-5である。外鋼管の円周方向の膨張ひずみ $\epsilon_{s\theta o}$ は、内鋼管のない外鋼管のみの充填コンクリートの供試体Aが最も

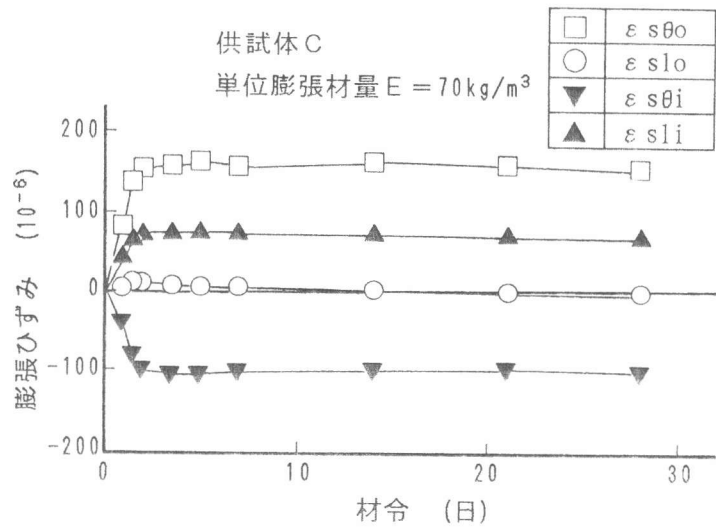
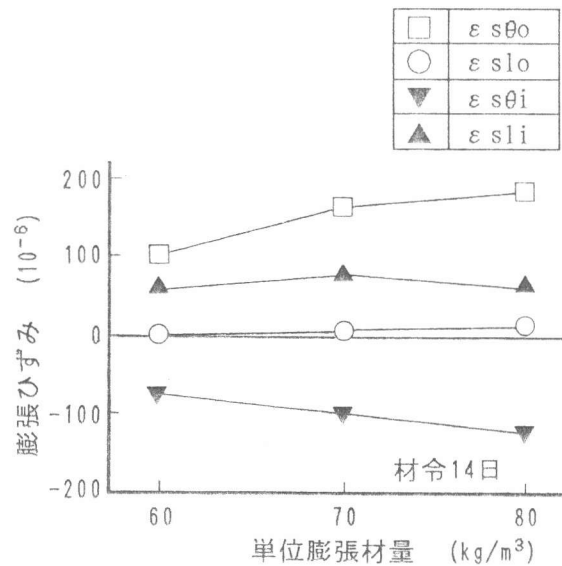
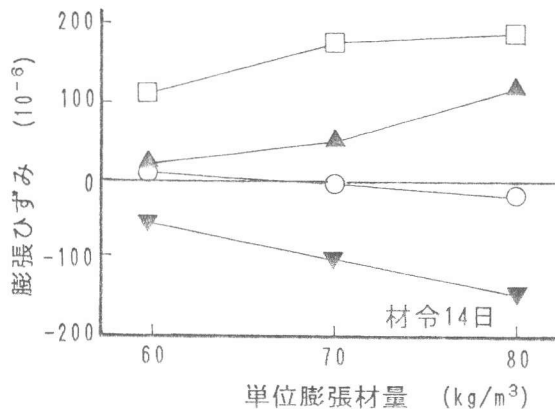


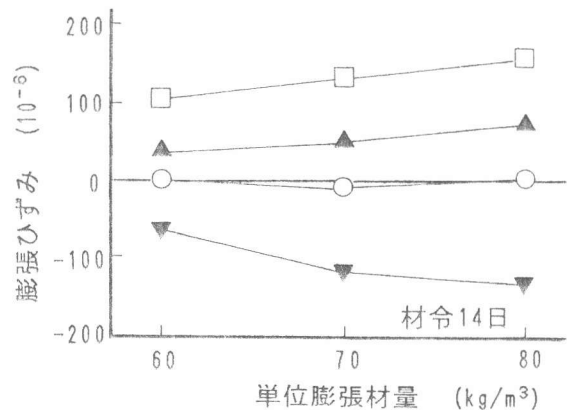
図-3 膨張ひずみの経時変化



(a) 供試体C



(b) 供試体D



(c) 供試体E

図-4 膨張ひずみと単位膨張材量

大きくなり、内鋼管のない中空断面をもつ供試体Bは最も小さくなった。供試体Aは、膨張コンクリートの膨張力が外鋼管にのみ作用するのに対し、供試体Bは、中空部分において半径方向の膨張力が損失してしまったためと思われる。また、二重鋼管の供試体C、D、Eでは、 $\epsilon s\theta_0$ は、鋼管の大きさおよび厚さを変化させたいずれの供試体においてもほぼ等しくなった。内鋼管の円周方向の膨張ひずみ $\epsilon s\theta_i$ も、内鋼管の大きさおよび厚さを変化させてもほぼ等しくなった。

5. ケミカルプレストレス

図-6は、式(1)と式(3)により求めたケミカルプレストレスと単位膨張材量との関係を示したものである。軸方向に導入されるケミカルプレストレス σ_{cl} は、単位膨張材量の増加にともない大きくなり、この増加の割合は、JIS A6202によるA法一軸拘束器具のものと似ていることが確かめられた。半径方向に導入されるケミカルプレストレス σ_{cr} は、単位膨張材量が70kg/m³の場合で、供試体ごとのばらつきがあるものの、単位膨張材量が増加するにしたがい大きくなる傾向にあると思われる[3]。

図-7は、ケミカルプレストレスと拘束鋼材比との関係を示したものである。半径方向と軸方向に導入されるケミカルプレストレスは、いずれの供試体もほぼ等しいが、供試体Bについては、中空部分の膨張コンクリートの膨張力の損失の分、半径方向のケミカルプレストレスは小さくなった。また、拘束鋼材比とケミカルプレストレスとの間には、明確な関係は認められなかった。

6. 仕事量

図-8は、式(2)と式(4)によりそれぞれ求めた単位体積あたりの膨張コンクリートが鋼管に

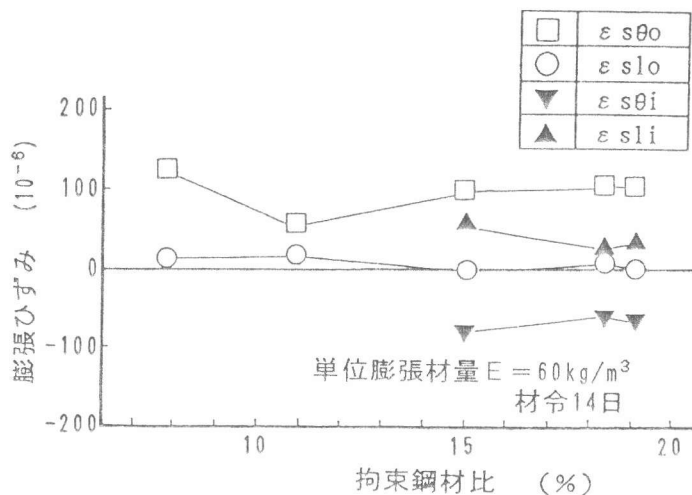
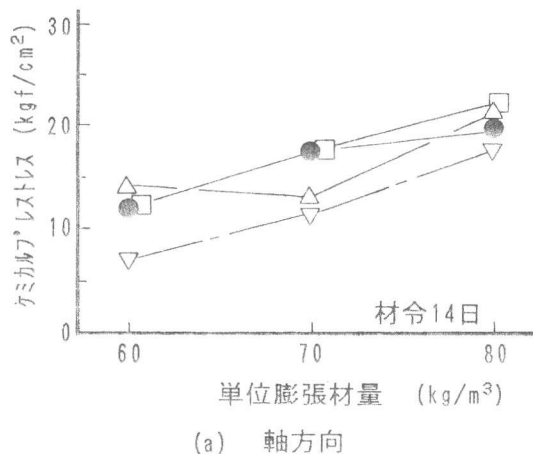
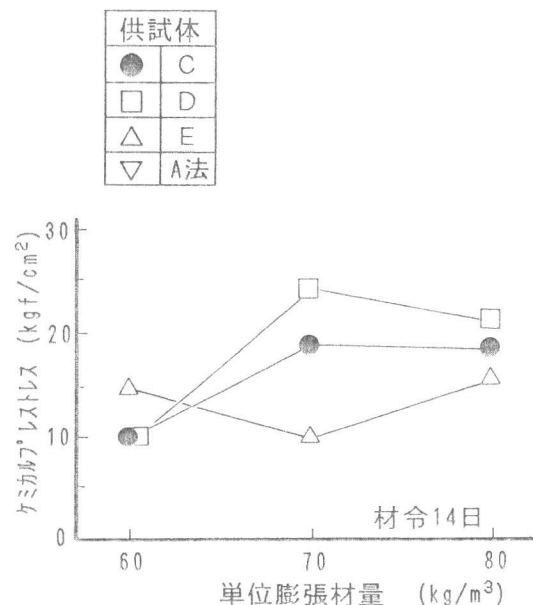


図-5 膨張ひずみと拘束鋼材比



(a) 軸方向



(b) 半径方向

図-6 ケミカルプレストレスと単位膨張材量

対してなした仕事量と拘束鋼材比との関係を示したものである。半径方向の仕事量 U_{cr} は、二重鋼管の場合、供試体 D が少し大きな値を示しているが、これは、供試体 D の内鋼管が厚いため膨張コンクリートの膨張力が外鋼管に大きく作用し、仕事量が大きくなったものと思われる。これに対して、中空断面の供試体 B においては、膨張力の損失により仕事量が少し小さくなったものと思われる。しかしながら、拘束鋼材比により仕事量に著しい変化は見られず、『仕事量一定の仮定』すなわち、「単位体積あたりの膨張コンクリートが拘束体に対してなす仕事量は、拘束の程度にかかわらず一定となる」との仮定を、実用的に採用できる可能性も示唆できる。

単位膨張材量と仕事量の関係を示したものが図-9である。半径方向の仕事量 U_{cr} は、単位膨張材量の増加にともない大きくなることが確かめられた。一方、軸方向の仕事量 U_{cl} は、単位膨張材量が増加してもほとんど増加せず、半径方向の仕事量 U_{cr} に比べて小さい値となった。これは、膨張コンクリートと鋼管の間の付着不足から軸方向にすべりが生じたためと思われる。

図-10は、鋼管に対してなした各方向の仕事量を A 法一軸拘束器具に対してなした仕事量で除した仕事量比と、単位膨張材量との関係を示したものである。単位体積あたりの膨張コンクリートが拘束体の鋼管に対してなす仕事量は各方向に独立に生ずるとすれば、この半径方向の仕事量比は 2.0 となるはずであるが、いずれの供試体についても、単位膨

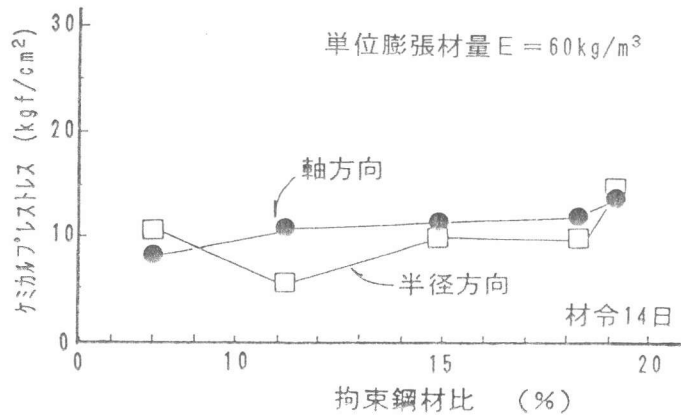


図-7 ケミカルストレスと拘束鋼材比

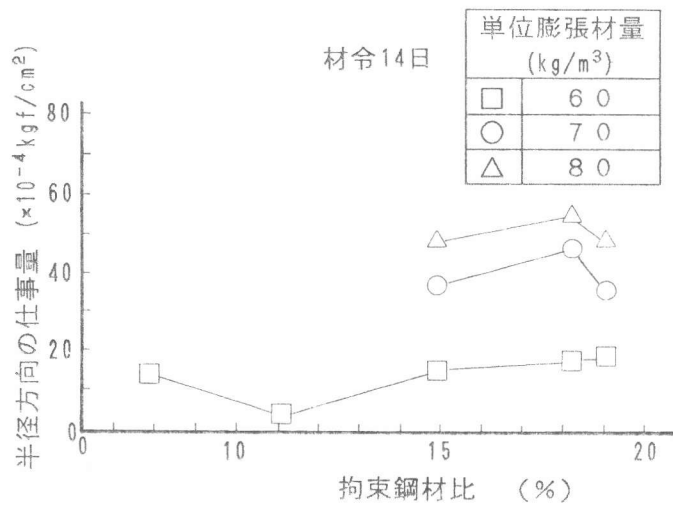


図-8 半径方向の仕事量と拘束鋼材比

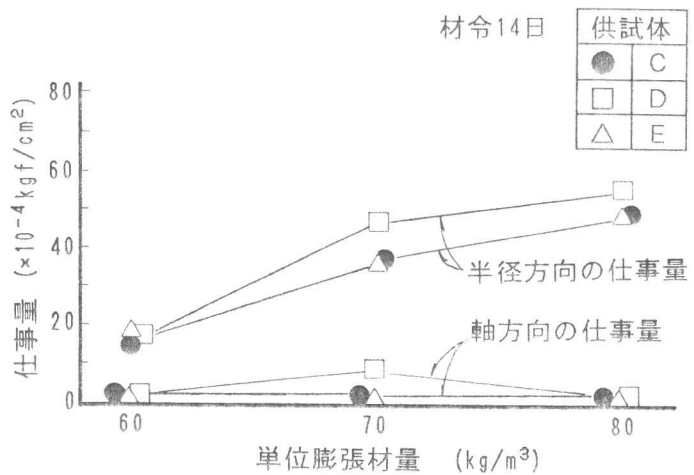


図-9 仕事量と単位膨張材量

張材量が増加するほど実際の仕事量比は小さくなることが確認された。

これは、膨張コンクリートのクリープおよび弾性変形による損失によるものと思われる。一方、軸方向の仕事量比は1.0となるはずだが、値は非常に小さいものとなった。鋼管と膨張コンクリートとの付着では、単位膨張材量が 60kg/m^3 を超える膨張コンクリートの軸方向の膨張力を十分に拘束できないことを示すものである。

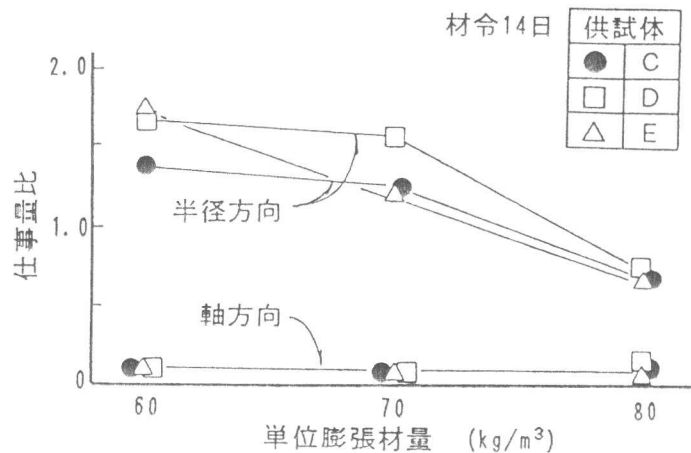


図-10 仕事量比と単位膨張材量

7. まとめ

本研究では、膨張コンクリートの多軸拘束の方法として鋼管を用い、膨張ひずみ、ケミカルプレストレスならびに仕事量の特徴を述べた。また、鋼管の仕事量とA法一軸拘束器具の仕事量の比較も行った。本研究の範囲内で次のことが言える。

- (1) 外鋼管の円周方向の膨張ひずみは、鋼管内に膨張コンクリートを充填した場合が最も大きくなり、中空断面の場合には膨張力の損失のため最も小さくなる。
- (2) 導入されるケミカルプレストレスは、単位膨張材量の増加にともない大きくなる傾向にあることが確かめられたが、拘束鋼材比との明確な関係は認められなかった。
- (3) 単位体積あたりの膨張コンクリートが鋼管に対してなす仕事量は、単位膨張材量の増加にともない、半径方向および軸方向ともに大きくなることが確かめられた。仕事量は拘束鋼材比にかかわらずほぼ一定になると考えることができる。
- (4) 半径方向および軸方向の仕事量とA法一軸拘束器具に生じた仕事量の比は、仕事量が各方向に独立に生ずると仮定した値より、いずれも小さくなった。この場合は、鋼管の付着による軸方向膨張力の拘束の不足以外に、膨張コンクリートのクリープや弾性変形による損失を考慮する必要があると思われる。

本研究は、文部省科学研究費補助金一般研究(c)(課題番号01550373)により行ったものである。

参考文献

- 1) 辻幸和・吉田誠・奥泉貴朗：二重鋼管による拘束を受ける膨張コンクリートの膨張特性、土木学会 第45回年次学術講演会講演概要集、第5部、P252～253、1990.5
- 2) 辻幸和・吉田誠・奥泉貴朗：鋼管の配置方法が膨張コンクリートの膨張性状に及ぼす影響、土木学会第18回関東支部技術研究発表会講演概要集、P298～299、1991.3
- 3) 辻幸和・落合光雄・武知勉：膨張コンクリートが外側に配置された鋼管に対してなす仕事量、セメント技術年報、42、P447～450、1988