

論文

[1073] 二重鋼管と鋼棒による三軸拘束を受けた膨張コンクリートの膨張エネルギー

神戸 隆幸^{*1}・羽根田 寛^{*2}・辻 幸和^{*3}・吉田 誠^{*4}

1. まえがき

膨張コンクリートを有効に活用するためには、ケミカルプレストレスの特徴を正確に把握することが必要である。一軸拘束状態については、これまでも多くの研究成果が報告されており、昭和55年に制定されたJIS A 6202「コンクリート用膨張材」にはその試験方法も規定されている。しかし、実構造物においては、一軸拘束状態にあるものは少なく、コンクリートは補強材の配置方向に、二軸、三軸の多軸拘束になっていることが多い。そのため、多軸拘束を受ける膨張コンクリートのケミカルプレストレスの推定が重要である。

本研究では、従来の二重鋼管のみによる膨張コンクリートの拘束方法の問題点として指摘されていた鋼管の軸方向における膨張コンクリートとの付着力の不足を[1]～[3]、二重鋼管とP C鋼棒を併用した拘束器具を用いて改善し[4]、三軸拘束状態にある膨張コンクリートの膨張エネルギーの評価について試験を行った結果を報告する。

2. 実験概要

実験に使用した多軸拘束器具を図-1に示す。軸方向の付着を断つため輪切りにした鋼管を6段積み重ね同心円上に二重に配置し、軸方向の拘束には鋼棒をナットで固定した両端版を配置した中空円筒型の拘束供試体を用いた。端板の取り付けは打ち込み後3時間とし、ナットの締め付けは、鋼棒の直径17mmについては 30×10^{-6} 、9.2mmについては 50×10^{-6} とした。供試体の仕様の一覧を表-1に示す。内鋼管とP C鋼棒の直径をそれぞれ2種類に変化させることにより、拘束の程度を、供試体の軸方向には4種類、半径方向には2種類に変化させた。鋼管の輪切り幅は5cmとし、鋼管はJIS G 3444一般構造用炭素鋼管のものをを用い

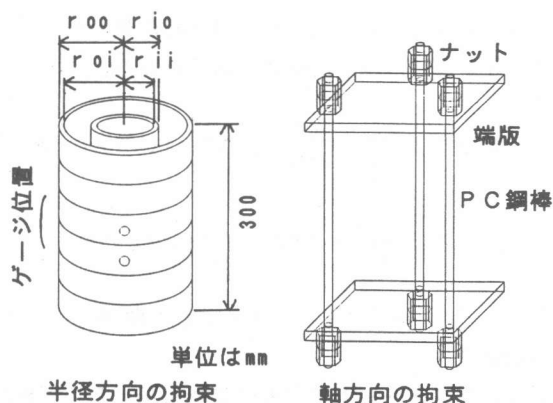


図-1 多軸拘束器具

表-1 供試体の仕様一覧

供試体	外鋼管 (mm)		内鋼管 (mm)		鋼棒 ϕ (mm)	拘束鋼材比 (%)	
	r_{oo}	r_{oi}	r_{io}	r_{ii}		軸 p_l	半径 p_r
A	82.6	78.2	50.9	47.8	9.2	1.80	27.5
B					17	6.15	
C			30.5	27.4	9.2	1.22	15.7
D					17	4.18	

*1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

*2 群馬大学大学院 工学研究科生産システム工学専攻、工修 (正会員)

*3 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

*4 鹿島㈱ 関東支店長野営業所、工修 (正会員)

た。図-1に示すように、鋼管表面に貼付した2軸ひずみゲージ、およびP C鋼棒の中央位置に貼付した1軸ひずみゲージにより、円周方向および軸方向の膨張ひずみを求めた。また、同時にJIS A 6202に規定されているA法一軸拘束器具による測定も行った。

表-2 配合表

水結合材比 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					空気量 (%)
		W	C	E	S	G	
50	48.6	215	370	60	804	846	2.5
			360	70			
			350	80			

コンクリートの配合を表-2に示す。単位膨張材量は60、70、80kg/m³の3種類に変化させた。セメントは普通ポルトランドセメントを、膨張材はエトリンガイト系のものを用いた。また、細骨材、粗骨材は、ともに渡良瀬川産のものを用い、粗骨材の最大寸法は10mmとした。養生は、20±3℃、60%の恒温恒湿室内に放置した。

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ひずみ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ケミカルプレストレス σ_{cr} および二重鋼管の半径方向に与える仕事量 U_{cr} は、次式より求められる。

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

$$U_{cr} = \frac{\pi}{A_c} \sigma_{cr} \{ r_{oi}^2 \cdot \varepsilon_{s\theta o} + r_{io}^2 \cdot \varepsilon_{s\theta i} \} \quad (2)$$

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

また、コンクリートの軸方向の膨張が、P C鋼棒のみにより拘束されると仮定すれば、P C鋼棒に貼付したひずみゲージから求めたひずみ(ε_p)を用い、P C鋼棒と膨張コンクリートの釣合条件から、コンクリートに作用する軸方向のケミカルプレストレス σ_{cl} およびP C鋼棒に与える仕事量 U_{cl} は、次式より求められる。

$$\sigma_{cl} = \frac{N \cdot r_p^2}{r_{oi}^2 - r_{io}^2} E_p \cdot \varepsilon_p \quad (3)$$

$$U_{cl} = \frac{N \cdot r_p^2}{2(r_{oi}^2 - r_{io}^2)} E_p \cdot \varepsilon_p^2 \quad (4)$$

ここに、 N : P C鋼棒の本数、 E_p : P C鋼棒のヤング係数、 r_p : P C鋼棒の半径、 $p_r = A_s / A_c$: 半径方向拘束鋼材比、 $p_l = A_p / A_c$: 軸方向拘束鋼材比、 A_s : 内鋼管および外鋼管の断面積、 A_p : P C鋼棒の断面積

4. 拘束器具に働く応力度

算出される鋼管に働く応力状態を図解した例が図-2である。膨張コンクリートの半径方向の

膨張を拘束することにより、外鋼管の円周方向には引張応力が、内鋼管の円周方向には圧縮応力が働く。しかし、鋼管は膨張コンクリートの軸方向の膨張をほとんど拘束しないため、鋼管の軸方向には応力はほとんど生じない。軸方向の膨張については、P C 鋼棒により主として拘束され、P C 鋼棒には引張応力が作用するわけである。

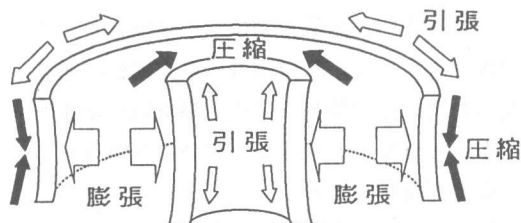


図-2 鋼管に働く応力度

拘束器具に作用する応力は、材齢3日程で最大に達し、それ以後はほぼ一定となる。そのため、以降は材齢3日における値について述べる。

図-3は、P C 鋼棒に働く引張応力度を、軸方向の拘束鋼材比を横軸にとり示した例である。軸方向の拘束鋼材比の増加にともない、P C 鋼棒に働く引張応力度は減少する傾向にある。また、軸方向の拘束鋼材比が小さいほど、単位膨張材量が増加することによる引張応力度の増加割合が大きくなる傾向がみられる。拘束の程度が増加すると、膨張コンクリートの膨張力は拘束器具に抑制されるため、拘束器具に働く応力は減少すると考えられる。しかし、その反作用として、コンクリートに導入されるケミカルプレストレスは、拘束鋼材比の増加にともない大きくなる。

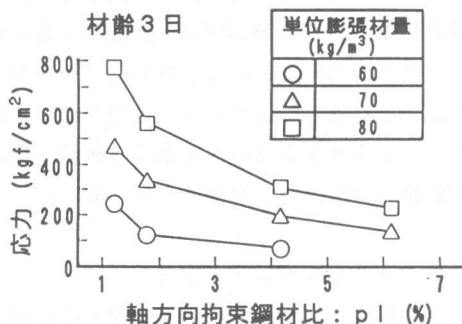


図-3 P C 鋼棒に働く応力度

図-4は、鋼管の円周方向に働く応力度を、横軸に半径方向の拘束鋼材比をとって示した例である。単位膨張材量が増加することにより、外鋼管については引張応力度が、内鋼管については圧縮応力度の絶対値がそれぞれ増加している。また、外鋼管に働く円周方向の引張応力度は、半径方向の拘束鋼材比の増加にともない、減少する傾向にある。これに対して、内鋼管の円周方向に働く圧縮応力度の絶対値は、拘束鋼材比の増加とともに増加する傾向にある。これは、拘束鋼材比が15.7%の供試体(C、D)の場合、内鋼管の径が外鋼管に比べてかなり小さいためひずみにくく、膨張力が外鋼管側に大きくなったのに対し、拘束鋼材比が27.5%の供試体(A、B)の場合は、内鋼管の径が大きくなっているため、

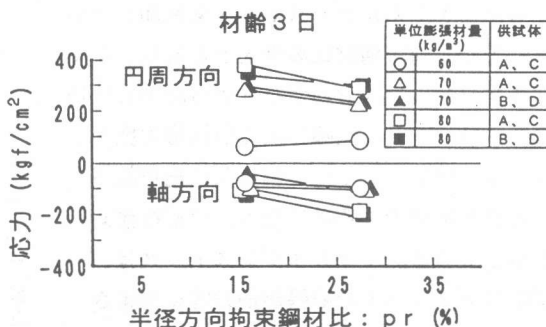


図-4 鋼管の円周方向に働く応力度

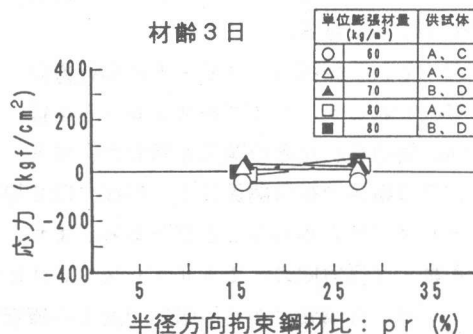


図-5 (a) 外鋼管の軸方向に働く応力度

C、Dの供試体のものに比べひずみやすく、膨張力の伝達方向が内鋼管側にやや移動したためと考えられる。C、Dの供試体の内鋼管に働く圧縮応力度の絶対値が、単位膨張材量を増加させてもあまり大きくないことから、このことが推測できる。

次に、鋼管の軸方向に働く応力度を縦軸に、横軸には半径方向の拘束鋼材比をとり表した例が図-5である。円周方向の応力度とは異なり、単位膨張材量や拘束鋼材比が変化しても、軸方向に働く応力度は、ほぼ小さい値で一定値をとる。これは、輪切り鋼管を使用したことにより、膨張コンクリートと鋼管との軸方向の付着が充分断たれたためと考えられる。

5. ケミカルプレストレス

図-6には、コンクリートの軸方向に導入されるケミカルプレストレスと軸方向拘束鋼材比との関係を示す。単位膨張材量の増加とともに、ケミカルプレストレスも増加している。また、拘束鋼材比の増加とともに、ケミカルプレストレスもわずかながら増加している。これは、P C鋼棒に働く引張応力度が、図-3に示したように、軸方向の拘束鋼材比とともに減少するのに比べ、反対の傾向を示している。ケミカルプレストレスは、膨張コンクリートの膨張が鋼材等に拘束されることにより、コンクリートに導入されるため、一軸拘束の場合と同様に、拘束鋼材比が増加するとケミカルプレストレスも増加するのである。

図-7は、膨張コンクリートの半径方向に導入されるケミカルプレストレスと半径方向の拘束鋼材比との関係を示した例である。

P C鋼棒の径に関係なく、半径方向の拘束鋼材比が同じであれば、ほぼ等しいケミカルプレストレスが導入されることがわかる。また、単位膨張材量が多い場合には、拘束鋼材比の増加とともに、半径方向のケミカルプレストレスは減少している。これは、半径方向のケミカルプレストレスが、外鋼管に働く引張応力度と内鋼管に働く圧縮応力度の大きさにより決定されるため、内鋼管の径を大きくして拘束鋼材比を増加させたとき、外鋼管に働く応力が減少する割合と内鋼管に働く応力の増加する割合のバランスにより、導入されるケミカルプレストレスの増減が支配

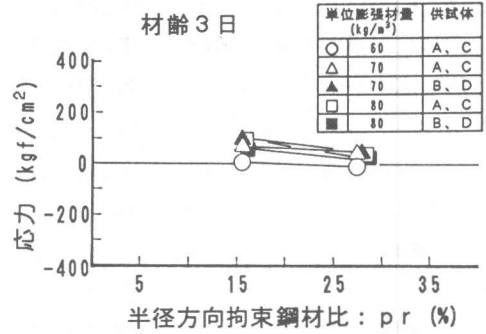


図-5 (b) 内鋼管の軸方向に働く応力度

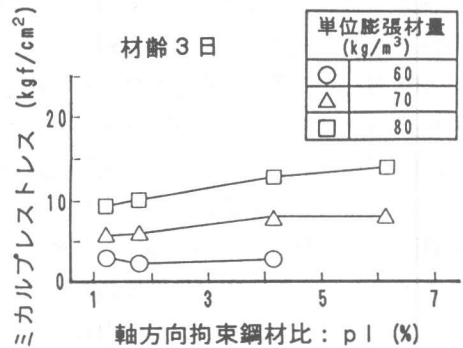


図-6 軸方向のケミカルプレストレスと拘束鋼材比の関係

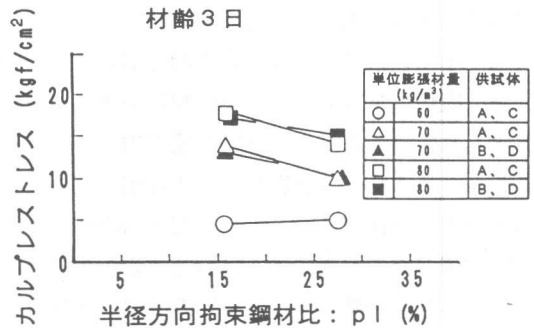


図-7 半径方向のケミカルプレストレスと拘束鋼材比の関係

されることを示唆していると考えられる。

既往の研究[5]によれば、外側にのみ鋼管を配置した場合、拘束鋼材比が増加するとケミカルプレストレスも増加すると報告されている。本研究においては、軸方向については同じ傾向が確認できたが、半径方向については逆に減少する場合がみられた。これは、半径方向の拘束鋼材比を内鋼管の径を変化させることにより変えているため、コンクリートの体積が変化してしまうことが原因と考えられる。

6. 仕事量

軸方向に生じた仕事量と拘束鋼材比との関係を示した例が、図-8である。拘束鋼材比の増加にともない、軸方向に生じた仕事量は減少している。しかし、半径方向の仕事量に比べて小さく、拘束鋼材比が軸方向の仕事量に及ぼす影響は非常に小さいと考えられる。

図-9には、半径方向の仕事量と拘束鋼材比との関係を示す。半径方向の仕事量は、拘束鋼材比によらず、各单位膨張材量ごとにほぼ一定となっている。以上のことから、「単位体積当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」という『仕事量一定の仮定』を、実用的に採用できる可能性を示唆できる。

図-10は、各方向の仕事量と単位膨張材量との関係を示した例である。なお、この図においては、供試体A、Bのみ記載してあるが、供試体C、DについてもA、Bとほぼ同様の値となっている。いずれの供試体においても、単位膨張材量の増加にともない、仕事量が直線的に増加している。軸方向の仕事量がわずかではあるが増加していることから、この拘束方法により従来の拘束方法の問題点であった、軸方向の付着力の不足が改善されたことがわかる。

図-11は、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を、単位膨張材量と関連させて示したものである。なお、図-10と同様に、供試体A、Bについてのみ記載してある。また、A法一軸拘束器具の仕事量は、最大値をとってある。いずれの供試体についても、単位膨張材量が増加するにしたがって、仕事量比も大きくなっている。これは、単

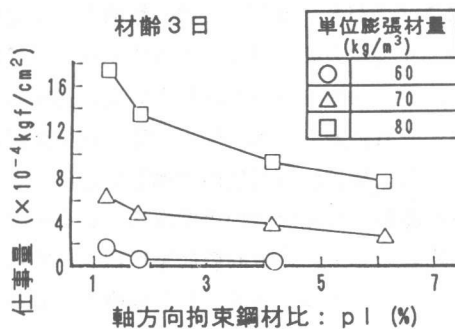


図-8 軸方向の仕事量と拘束鋼材比の関係

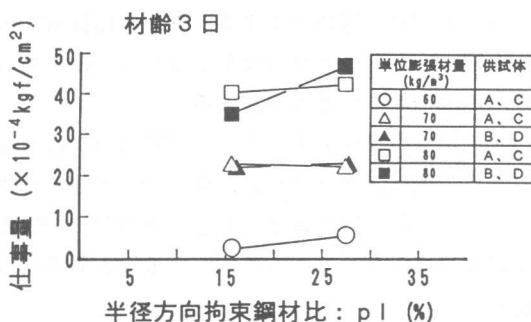


図-9 半径方向の仕事量と拘束鋼材比の関係

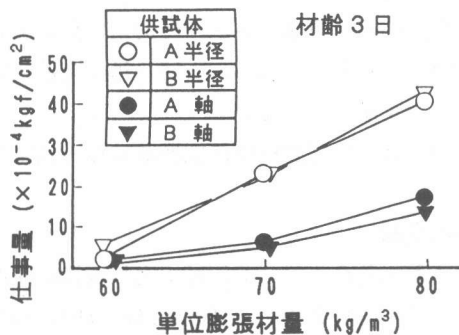


図-10 各方向の仕事量と単位膨張材量の関係

位膨張材量が多いほど、A法一軸拘束器具では、膨張力が拘束方向に対して直角の方向に逃げるため、膨張コンクリートの膨張を完全に拘束しきれない。それに対し、本実験に使用した拘束器具においては、単位膨張材量が増加しても、コンクリートの膨張力を完全に拘束できることを示していると考えられる。軸方向の仕事量については、膨張コンクリートの拘束を、PC鋼棒だけでなく鋼管によっても行っているため、1.0 に満たない値となったと考えられる。

7. まとめ

本研究では、膨張コンクリートを多軸拘束する方法として、二重鋼管とPC鋼棒を併用した器具を用い、ケミカルプレストレスおよび仕事量等の膨張エネルギーの評価について述べた。本研究の範囲内で次のことが言える。

- (1) 内鋼管の径を大きくとり、半径方向の拘束鋼材比を増加させると、外鋼管の円周方向に働く引張応力度は減少するが、内鋼管の円周方向に働く圧縮応力度の絶対値は増加する。
- (2) PC鋼棒の径を大きくとり、軸方向の拘束鋼材比を増加させると、PC鋼棒に働く引張応力度は減少するが、コンクリートに導入される軸方向のケミカルプレストレスは、わずかながら増加する。
- (3) 半径方向の仕事量について、拘束鋼材比の変化にかかわらずほぼ一定となる。また、軸方向の仕事量は、仕事量の値自身が小さいことを考えれば、拘束鋼材比にかかわらずほぼ一定と見なすことができる。
- (4) 各方向の仕事量とA法一軸拘束器具に生じた仕事量との比は、単位膨張材量の増加にともない大きくなった。これは、A法一軸拘束器具では、膨張コンクリートの膨張を完全には拘束できないことを示している。

本研究は、文部省科学研究費補助金一般研究(C)(課題番号 04650418)によるものである。

参考文献

- 1) 辻幸和・落合光雄・武知勉：内外鋼管の拘束を受ける膨張コンクリートの膨張性状、セメントコンクリート論文集、No.43、pp.584-589、1989
- 2) 吉田誠・辻幸和・落合光雄：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、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.45、pp.252-253、1990.5
- 3) 辻幸和・吉田誠・奥泉貴朗・橋本親典：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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.1、pp.303-308、1991
- 4) 神戸隆幸・辻幸和・吉田誠：輪切り鋼管が膨張コンクリートの膨張特性に及ぼす影響、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.47、pp.662-663、1992.9
- 5) 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、Vol.42、pp.447-450、1988

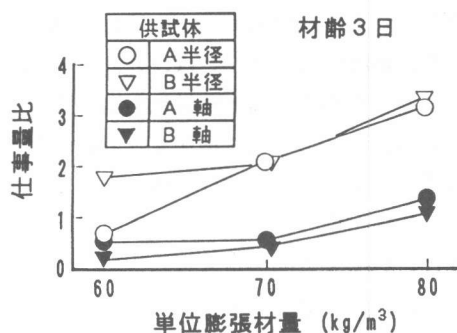


図-11 各方向の仕事量比と単位膨張材量の関係