

[86] 膨張コンクリートの力学的特性に及ぼす拘束方法の影響に関する基礎研究

正会員 ○辻 幸和 (群馬大学 工学部)
 正会員 丸山 久一 (長岡技術科学大学 工学部)

1. 序論

膨張コンクリートは、その膨張作用を鋼材等で拘束すれば、ケミカルプレストレスの導入により部材等の力学的特性を改善することができる。しかしながら、その拘束方法が適切でないと、コンクリート自体の品質の低下により、部材等の力学的特性の改善を図ることができないばかりか、むしろ劣化させることがある。このように拘束方法は、導入されるケミカルプレストレスのみならず、膨張コンクリートの品質にも大きな影響を及ぼすにもかかわらず、試験方法が困難なこともあって、一軸拘束状態のものを除けば、これまでほとんど検討されていない。

本研究は、まず多量の膨張材を用いた膨張コンクリートがP C鋼棒により一軸方向に拘束された場合の圧縮強度および変形性状、特にこれまでほとんど報告されていない力学的特性に異方性のあることについて述べるとともに、先に提案した輪切り鋼管とP C鋼棒による拘束方法¹⁾により、膨張コンクリートを、一軸方向、二軸方向および三軸方向にそれぞれ拘束した場合の拘束方法が、圧縮強度およびヤング係数に及ぼす影響を検討し、ケミカルプレストレス効果ならびに膨張率との関係について論じたものである。

2. 一軸拘束を受けた膨張コンクリート

断面中心に直径が35mmの穴をあけた15×15cmの断面で、長さが50cmの膨張コンクリートを、呼び名が17mmのP C鋼棒により長さ方向に拘束した状態のまま材令28日まで水中養生を行った後、P C鋼棒を取り除いて拘束していた方向に圧縮強度試験を行った結果を図-1に示す。

同一の圧縮応力度に対応する軸方向ひずみは、膨張材の使用量が多いほど大きくなり、ヤング係数が小さくなっている。特に、膨張材をセメントの15%置換えた膨張コンクリートのように、膨張材の使用が圧縮強度にはほとんど変化がないにもかかわらず、ヤング係数の低下が著しくなる現象が認められる。この現象は、図-2に示すように、水結合材比が40%のセメントペーストならびに容積比で結合材の1倍および2倍の砂を加えたモルタルについても等しく認められる。図-2は、断面が10×10cm、長さが38cmと異なる以外は、図-1のコンクリートとほぼ同様に試験を行った結果である。膨張材を結合材の11%と13%混入した圧縮強度および圧縮強度の40%における割線ヤング係数を、膨張材を用いないそれぞれの値で除した圧縮強度比およびヤング係数比で示している。

膨張コンクリートの圧縮強度が普通コンクリートと同じ場合でも、静的ヤング係数が小さくなる主原因は、膨張に際して発生したマイクロクラックであると考えられる。すなわち、適度に生じたマイクロクラックは、圧縮強度にはほとんど影響を及ぼさないが、変形量を増加さ

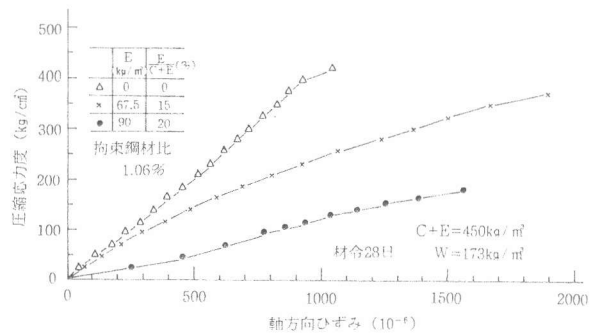


図-1 一軸拘束を受けたコンクリートの圧縮応力・ひずみ曲線

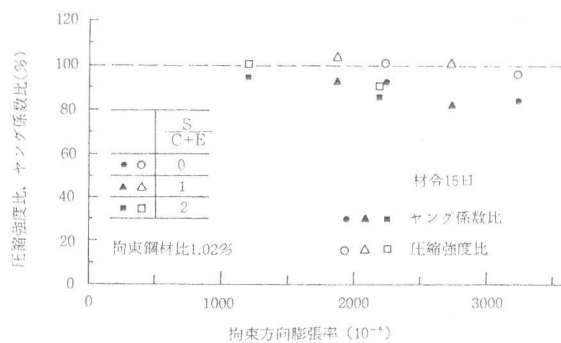


図-2 圧縮強度比およびヤング係数比

せるため、静的ヤング係数が小さくなるのである。このことは、膨張コンクリートは短期間に生じる塑性変形が大きいという、岡村・國島の結果²⁾とも一致する。

図-3は、図-1の結果を軸方向ひずみ ϵ_l とそれに直角な方向のひずみ ϵ_t から求めた体積ひずみ $\epsilon_v = \epsilon_l + 2\epsilon_t$ と圧縮強度で除した応力比との関係で示している。体積収縮ひずみから膨張ひずみに転じる応力比は、普通コンクリートの90%以上に対して、15%の置換え率で70%、また、20%の置換え率では50%と低下している。そして、破壊近くになると、圧縮応力下において体積の膨張が生じる場合がある。これは、圧縮応力の増加に伴って、膨張コンクリートのポアソン比が増加し、20%の置換え率では破壊近くに1.0の値を示したことに対応する。

図-4は、断面が15×15cm、長さが240cmの膨張コンクリートの中央部分を、15cm立方体に成型した供試体の結果である。一軸方向の拘束は、コンクリート中に空洞をつくらないように、外部から2本のPC鋼棒と端板を用いる方法を使った。コンクリートの膨張率は、材合1日を基長にして、拘束していた方向に 3500×10^{-6} 、拘束直角方向に 9500×10^{-6} であり、非常に大きな膨張が生じた。図-4から、拘束していた方向に直角に荷重した場合のヤング係数および圧縮強度は、拘束していた方向に荷重した場合に比べて小さく、それぞれ80%および90%に低下している。この現象は、供試体中央部分だけでなく、端板により断面方向にもある程度の拘束を受けた端面に近い部分においても認められた(図-5参照)。

膨張材を多量に用いたコンクリートは、一軸方向に拘束しただけでは、膨張作用により発生するマイクロクラックが拘束方向と無拘束方向で異なり、力学的特性に異方性の生じることがある。

3. 多軸拘束試験方法

膨張コンクリートを二軸方向あるいは三軸方向に拘束することの影響は、試験方法が困難なこともあって、これまでほとんど検討されていない。著者らは、図-6に示すような多軸拘束試験方法を提案した¹⁾。輪切り鋼管は主として半径方向を、また軸方向はPC鋼棒と端板でそれぞれ拘束する方法である。供試体の直径が15cm、長さが30cmにほぼ等しくなるように輪切り鋼管を選定した。鋼管の幅は5cmとした。

軸方向と半径方向における拘束程度の組合せおよび拘束名を表-1に示す。合計9ケースのうち、コンクリートの配合により符号で示したものについて行った。なお、半径方向の拘束鋼材比 t/r が1.1%の薄い輪切り鋼管の入手は困難な

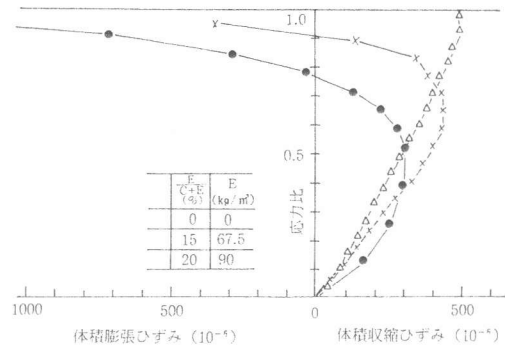


図-3 圧縮応力・体積ひずみ曲線

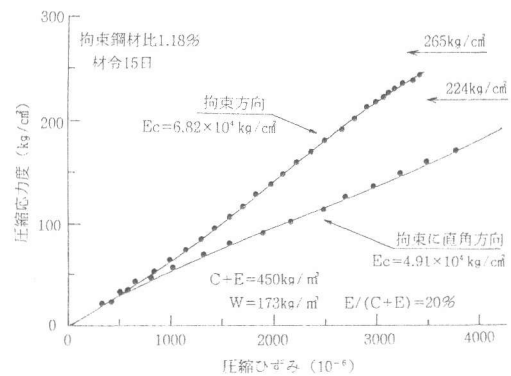


図-4 荷重方向が異なる応力・ひずみ曲線

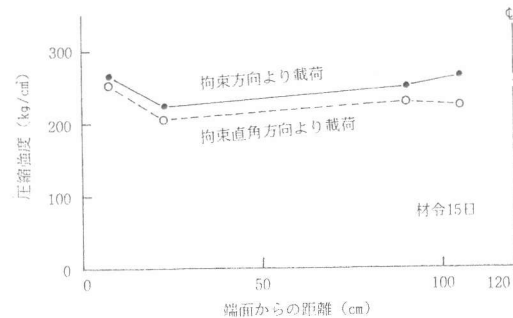


図-5 圧縮強度に及ぼす荷重方向の影響

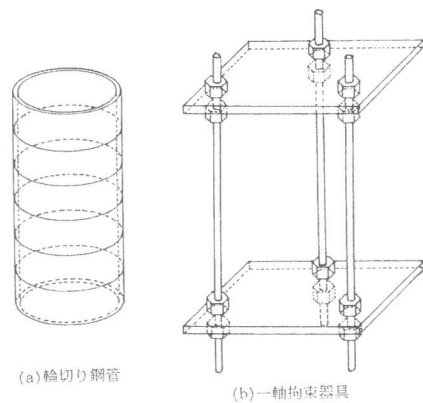


図-6 多軸拘束方法

め、厚さ t が 1.2 mm の鋼板よりスポット溶接で作製した。ここに、 A_s は PC 鋼材の断面積を、 A_c はコンクリートの断面積を、また r はコンクリート断面の半径をそれぞれ示す。

4. 多軸拘束を受けた膨張コンクリート

単位膨張材量 E を 80 kg/m^3 と多量に用いた膨張コンクリートを、拘束を取り除いた後に軸方向に載荷した時の応力・ひずみ曲線の例を図-7に示す。なお、膨張材を用いない普通コンクリートを破線で示している。

拘束を受けなかった膨張コンクリートは、ヤング係数および圧縮強度とも低下し、低下の程度は、等量の膨張材を用いても、水結合材比が60%の場合の方が大きい。

一軸方向あるいは二軸方向にそれぞれ拘束した場合には、普通コンクリートとほぼ同様な応力・ひずみ曲線となっている。また、圧縮強度もほぼ等しい値となった。2に述べたのと異なり、一軸拘束だけで力学的特性の低下が防げたのは、水分の蒸発を防ぐ程度の養生方法を採用し、膨張量もそれほど大きくならなかったためと思われる。

三軸拘束を受けた膨張コンクリートは、同一の応力度に対するひずみが小さくなるとともに、圧縮強度が増加した。このような三軸拘束による効果は、拘束鋼材比が各方向とも約1%の場合についてもほぼ等しい程度で得られた。

5. ケミカルプレス効果

普通コンクリートに対する圧縮強度の比率およびヤング係数の比率を、各拘束方法ごとに図-8に示す。拘束方法は表-1の拘束名で表示し、水結合材比および単位膨張材量を変化させている。ヤング係数は、圧縮強度の1/3の割線ヤング係数を採った。また図中には、基準とした普通コンクリートの圧縮強度 σ_{pe} およびヤング係数 E_{pe} も示す。

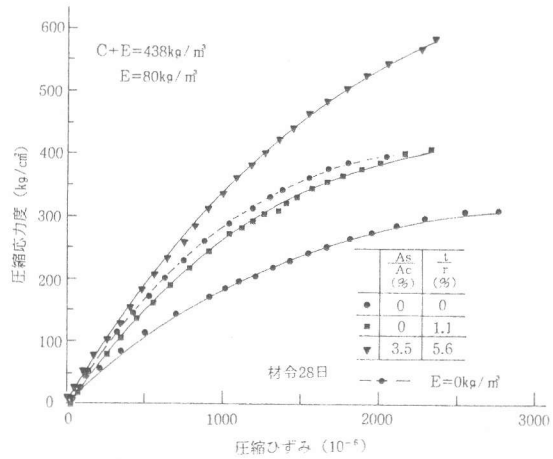
単位膨張材量を 80 kg/m^3 用いた無拘束の膨張コンクリートは、水結合材比が50%および60%の場合に特に力学的特性の低下が著しく、圧縮強度およびヤング係数とも、普通コンクリートの20~30%程度に低下している。単位膨張材量を 90 kg/m^3 に増加すると、それぞれ普通コンクリートの10%以下と、膨張破壊に近い性状を示した。

輪切り鋼管あるいはPC鋼材により二軸方向あるいは一軸方向に拘束すると、上述のように、圧縮強度およびヤング係数とも、普通コンクリートとほぼ同等な値を確保できた。そして、約1%の拘束鋼材比から3.5倍あるいは5.5倍に拘束程度を増加しても、圧縮強度およびヤング係数の増加はほとんど認められなかった。

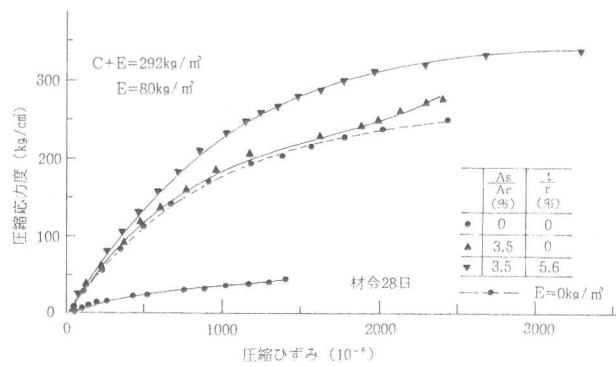
三軸拘束を受けた膨張コンクリートは、普通コンクリートに比べて、圧縮強度が30~50%、また、ヤング係数

表-1 多軸拘束の組合せおよび拘束名

$\frac{A_s}{A_c}$ (%)	$\frac{t}{r}$ (%)			拘束名	$\frac{W}{C+E}$ (%)	E (kg/m ³)
	0	1.0	3.5			
0	■	●	●	SA	40	80
1.1	■	●	●	SD	50	80
5.6	■	●	●	SG	50	90
				SH	60	80
				SI		



(a) $W/(C+E)=40\%$



(b) $W/(C+E)=60\%$

図-7 多軸拘束を受けたコンクリートの応力・ひずみ曲線

が10~20%、それぞれ増加するという、いわゆるケミカルプレス効果が認められた。膨張作用によるコンクリートの膨張力が外部の鋼材等により拘束された場合、拘束鋼材等からの拘束圧下においてコンクリート内部の組織の密実化を促すことにより、力学的特性の改善が図れる現象をケミカルプレス効果と称し、膨張コンクリートの開発当初からその効果が提唱されていたものの、実験的に確めた報告はこれまでなされていないと思われる。

拘束されない方向が存在する一軸拘束あるいは二軸拘束を受けた場合には、ケミカルプレス効果がほとんど認められず、三軸拘束を受けた場合にはじめてその効果が顕著に現われる。そして、圧縮強度の方がヤング係数より大きな効果が得られたことは、2で述べたマイクロクラックに起因すると考えられる。ケミカルプレス効果は、拘束程度が大きくて拘束圧が大きいほど、また、内部空隙の多い水結合材比が大きい場合ほど、著しくなると予測されるが、今回の実験ではこれらの要因の影響を明確にできなかった。今後研究を進めてみたい。

6. 膨張率と力学的特性の関係

コンクリート中に埋め込んだひずみ測定用の鋼かごに貼付したワイヤストレインゲージによる円周方向の膨張率と圧縮強度の関係を図-9に示す。半径方向に拘束がない場合には、矢印に示すように、それに直角な軸方向の拘束程度が大きいくほど円周方向膨張率は小さくなる。そして、膨張率が 6000×10^{-6} 程度以下の範囲の一軸拘束を受けたコンクリートの圧縮強度はほとんど低下しない。半径方向に輪切り鋼管の拘束を受ける場合には、軸方向の拘束を受けても円周方向膨張率にはほとんど変化がないが、上述のケミカルプレス効果により、圧縮強度が向上することになる。また、ヤング係数についてもほぼ同様なことがいえる。

7. 結論

膨張材を多量に用いた膨張コンクリートは、一軸方向に拘束しただけでは力学的特性が低下するとともに、異方性を示す場合のあることをまず示した。そして、膨張コンクリートの力学的特性は、その拘束方法により著しく変化し、三軸拘束を行えば、ケミカルプレス効果により、普通コンクリートに比べて圧縮強度およびヤング係数を、それぞれ30~50%および10~20%増加させることも可能であることを示した。

本研究は、東京大学教授 岡村甫先生の御指導のもとに行われたものである。また、文部省科学研究費補助金一般研究(C)(課題番号56550330)を受けた。ここに謹んで厚くお礼申し上げます。

参考文献 1) 辻, 丸山: 多軸拘束を受ける膨張コンクリートの膨張試験方法, 第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1983.

2) 岡村, 國島: 膨張コンクリートの複合モデル化について, セメント技術年報, 27, 1973.

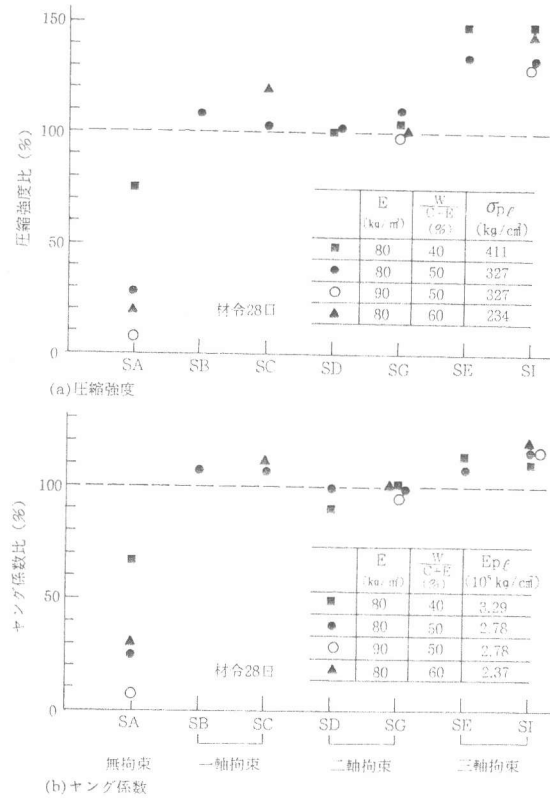


図-8 圧縮強度およびヤング係数

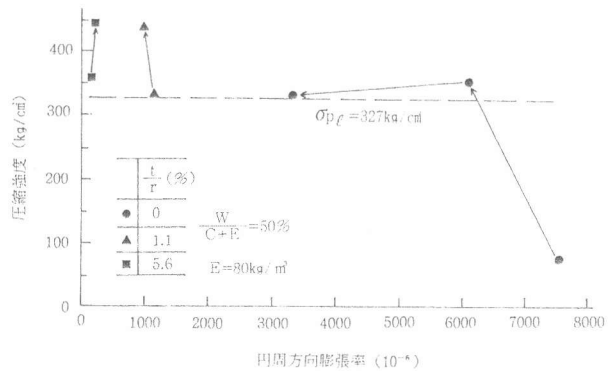


図-9 円周方向膨張率と圧縮強度の関係