

[56] 膨張コンクリートの膨張性状と圧縮強度

正会員 丸山久一 (長岡技術科学大学工学部)
 正会員 ○吉田 茂 (長岡技術科学大学大学院)

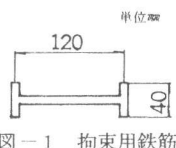
1. まえがき

膨張コンクリートを使用する利点として、硬化収縮および乾燥収縮を補償し、さらに鉄筋等の鋼材で拘束することによりケミカルプレストレスを導入でき、力学的性状も改善できることがあげられる。実験的研究では、1軸拘束供試体を用いて膨張性状を論じたものが数多く報告されている。¹⁾ 圧縮強度についても、同様な1軸拘束供試体を用いて論じているものがいくつかあげられる。²⁾ しかし、実際の構造物を考えた場合、例えば床版では、鉄筋は2方向に、又、梁や柱部材では3方向に配置されており、2軸拘束あるいは3軸拘束状態になっている。それ故、膨張性状および圧縮強度等の力学的性状についても、多軸拘束状態の下で検討することが必要である。

本研究は、フック付鉄筋を用いて多軸拘束状態をつくり、鉄筋比および鉄筋配置が膨張ひずみおよび圧縮強度に及ぼす影響を検討したものである。膨張ひずみとしては、鉄筋に生ずるひずみに加えて、コンクリートの膨張ひずみ分布も測定し、鉄筋による拘束効果についても検討を行なった。

2. 実験概要

図1に示すような、フックを両端に溶接した鉄筋を用いて
 図2に示すように、15×15×15 cmの立方体供試体の各軸方向
 に鉄筋を配置して多軸拘束供試体とした。拘束鉄筋の径は、
 D6、D10、D13の3種類とし、鉄筋配置は各軸方向で



鉛直間隔10cm 水平間隔10cm-A
 鉛直間隔5cm 水平間隔10cm-B
 鉛直間隔5cm 水平間隔5cm-C

0~6本と変化させた。各軸方向の拘束鉄筋の
 組み合わせを表1に示す。Iシリーズは、主として
 鉄筋本数を変えて異なる鉄筋比とし、その影響を檢
 討する為のものである。IIシリーズでは、ある方向
 の鉄筋比が変化した場合、それと直角方向の膨張性
 状への影響を檢討した。IIIシリーズは、鉄筋比、鉄
 筋間隔の影響を調べる為のものである。膨張ひずみ
 の測定は、鉄筋のひずみはワイヤーストレインゲージ

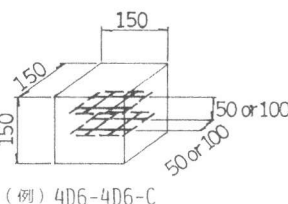


図-2 供試体

で行ない、コンクリートひずみは、供試体表面に鉄片を埋めて標点とし、標点間をマイクロメータで計測した。材令1日で脱枠し、材令7日に圧縮試験を行なうまで、ひずみの測定は毎日行なった。コンクリートの配合設計は全供試体で同一とし、 $W = 180 \text{ Kg/m}^3$ 、 $C = 350 \text{ Kg/m}^3$ 、 E (膨張材) = 50 Kg/m^3 、 $s/a = 0.40$ $W/C+E = 0.45$ である。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り、ひずみの測定時以外は20°C水中養生とした。

3. 実験結果

表1に供試体名とともに実験結果の一部である材令7日での鉄筋の膨張ひずみ、圧縮強度を示す。本実験における配合では、膨張ひずみの急激な変化は材令3日あるいは4日までに終わっていて、それ以降膨張量の増加は少なかった。

〔鉄筋の拘束効果〕 本実験で用いた鉄筋の拘束効果を調べる為に、標準供試体として10×10×40cmの寸法で、φ9のPC鋼棒をダブルナットで端板に固

表-1 実験結果

SPECIMEN	ϵ_s (μ)	f'_c (kg/cm^2)
I		
1D6	570	282
2D6-A	553	289
2D6-B	528	320
3D6-B	448	257
2D6-2D6-A	528	325
4D6-4D6-A	540	378
6D6-6D6-B	497	373
F	1730	228
II		
1D6	550	305
1D10	340	300
1D13	270	312
4D6-C	508	296
4D6-4D6-C	520	393
4D6-4D10-C	558 390	422
4D6-4D13-C	498 208	344
F	1900	277
III		
1D6	625	346
4D6-4D6-C	610	342
4D6-4D6-B	620	349
4D6-A	555	314
4D6-4D6-A	607	331
4D6-4D10-A	625 413	364
4D10-4D10-A	445	402
4D6-4D6-4D6-A	590	358
	615	
4D6-4D10-4D6-A	655 443 590	389
4D6-4D13-4D6-A	625 360 615	376
F	1310	282

定したものを用いて膨張量を測定し、比較した。図3には、標準供試体の膨張量、更に辻氏の仕事量一定の概念¹⁾を用いて本供試体の鉄筋比に適用した場合の推定値および実験値を示す。標準供試体の膨張量を基準にした推定値に比べ実験値はかなり小さくなっている。

〔鉄筋のひずみ〕 図4に1軸拘束状態での拘束鉄筋比と鉄筋ひずみとの関係を示す。同図に、標準供試体の膨張ひずみより推定した値も示してあるが、端板を用いた全断面拘束と異なり、本供試体の鉄筋ひずみは、鉄筋比の割に小さな値となっている。図5は直角方向の鉄筋量の影響を示したものであり、図6は鉄筋の配置間隔の影響を調べたものであるが、いずれの場合でも、鉄筋ひずみはあまり変化しておらず、顕著な影響は認められなかった。

〔コンクリートひずみ〕 コンクリートの膨張ひずみ分布の1例を図7に示す。鉄筋位置およびその周囲は鉄筋の拘束の影響で膨張ひずみは小さいが、鉄筋から離れるにしたがい膨張ひずみも大きくなり、自由膨張ひずみに近づいてゆく。図8は拘束鉄筋量を変えた場合の拘束方向のコンクリート膨張ひずみを示す。図9は鉄筋の配置間隔の影響を示し、図10、11は鉄筋量の変化が直角方向のコンクリート膨張ひずみに及ぼす影響を示したものである。図5、6と比較すると明らかのように、鉄筋の配置間隔を変えたり、直角方向に鉄筋を配置しても鉄筋のひずみはその影響をほとんど受けていないが、コンクリートの膨張ひずみは大きく影響されている。

〔圧縮強度〕 圧縮試験時に拘束鉄筋のひずみ変化も測定した。その1例を図12に示す。ブレンコンクリートに比較してみると、拘束膨張コンクリートの場合には拘束鉄筋のひずみ増加が徐々に生じており、急激な変化はあまり認められなかった。

図13は鉄筋径を変えて拘束鉄筋比を変化させたものであるが、この範囲内では圧縮強度への影響は明瞭には認められなかった。図14は鉄筋間隔を変化させた場合である。現象としては、鉄筋コンクリート柱と同様で、横補強筋の間隔が小さくなるとコアコンクリートの拘束効果が大きくなり耐力が増加する。また、拘束されるコア面積が大きければ耐力も大きくなっている。しかしその変化量はそれ程大きくなく本実験の結果では明瞭な

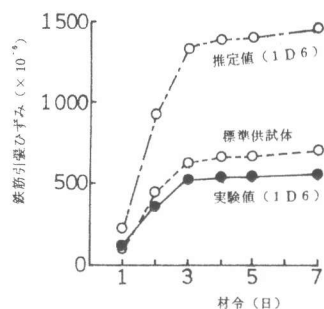


図-3 鉄筋の拘束効果

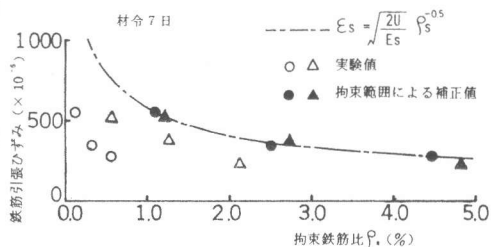


図-4 拘束鉄筋比と鉄筋ひずみ

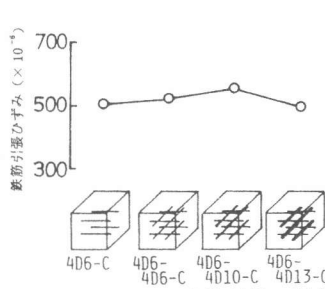


図-5 2方向の鉄筋配置の影響

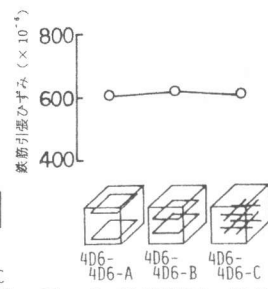


図-6 鉄筋間隔の影響

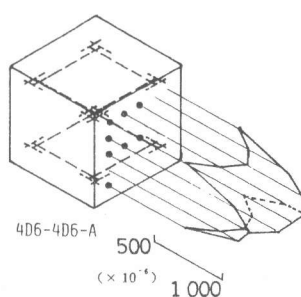


図-7 コンクリートのひずみ分布

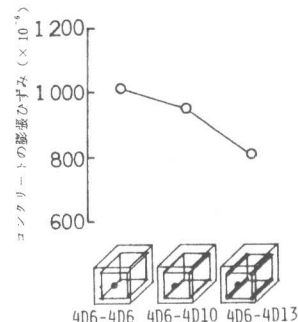


図-8 拘束鉄筋比の影響

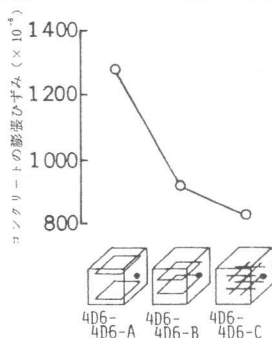


図-9 鉄筋間隔の影響

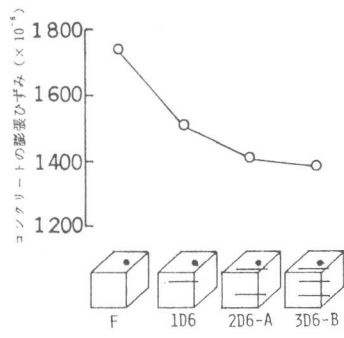


図-10 拘束鉄筋比(直角方向)

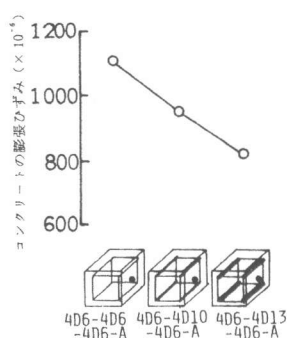


図-11 拘束鉄筋比(直角方向)

差があるとは認め難い。図15は直角方向の鉄筋径を変化させて、その影響を調べた結果である。1方向だけに鉄筋を配して拘束するよりも、2方向でコンクリートを包むように拘束すると圧縮強度は増加する。しかも拘束鉄筋量を増すと、強度増加も大きくなるが、鉄筋径だけを太くすることで拘束鉄筋比を大きくしても、必ずしも強度増加にならない結果が得られた。

4. 考 察

〔鉄筋による拘束範囲〕 鉄筋の断面積をコンクリートの断面積で割った鉄筋比 (ρ_s) を用いて、鉄筋の膨張ひずみと鉄筋比との関係を整理すると、図4で示したように、仕事量一定の概念で推定した値より実験値がかなり小さくなっている。ところで、図7で示されるように、単に鉄筋のみで膨張が拘束されている場合、コンクリートの膨張ひずみは断面内で様とはならず、鉄筋位置から離れるにしたがって大きくなり自由膨張ひずみに近づいている。本実験で用いた拘束方法では、鉄筋による拘束が及ぶ範囲が全断面とはならず、一部分であると考えられる。そこで、この有効拘束範囲を定める為に、断面にD6の鉄筋1本だけ配置した供試体について、図4より、その鉄筋ひずみが標準供試体からの推定値に相当する鉄筋比を求めた。この値から逆算すると、鉄筋の周囲で直径約6cmの範囲が完全に拘束され、それ以外は自由膨張であると考えらるなら、仕事量一定の概念による膨張量の推定が可能となる。ちなみに、D10およびD13についても同様な計算を行なった結果、有効拘束範囲はD6と同じ直径6cmの範囲となり、鉄筋径よりもフック長の影響が大きいことが認められた。鉄筋による有効拘束範囲を、鉄筋周囲の直径6cmの円と仮定して実験結果を整理し直したものが図4に示した。

この結果を見ると、推定値に良く一致しているのが認められる。有効拘束範囲に関しては、鉄筋の定着方法に依存する為、具体的な値を定めるのには、より多くの研究が必要となる。

〔拘束直角方向膨張量〕 2軸拘束状態では、鉄筋の伸びひずみは図5,6に見られるように各方向に配置された鉄筋相互の影響が認められないのに対し、コンクリートの膨張ひずみは図10,11で示されるように各方向の鉄筋の影響を大きく受けている。この現象を説明する為に、辻氏の提案している仕事量一定の概念を用い、更に、新たに仮想拘束鉄筋比の概念を導入する。これは、1方向を拘束すると、拘束直角方向のコンクリートの膨張が抑制される現象を、あたかも拘束鉄筋が入ったかのように取扱うものである。ここで仕事量一定の概念では鉄筋比が小さくなるにつれて膨張ひずみが無限大となるが、この点を補正する為、実験による自由膨張ひずみを、拘束鉄筋比0.01%に対応するよう³⁾すりつけを施した拘束鉄筋比-膨張ひずみ関係を用いることとする(図16)。図16により、鉄筋およびコンクリートの膨張ひずみが同一レベルで取り扱え、実験結果を定性的に表現可能となる。すなわち、1軸拘束状態における拘束直角方向のコンクリートの膨張ひずみは、無拘束状態からわずかな仮想鉄筋比が入った状態に移った事に相当し、膨張ひずみの低下も著しい。このことは、2軸拘束状態でも、鉄筋拘束の範囲外にあるコンクリートの膨張ひずみについても同様に適用される。一方、2軸拘束状態

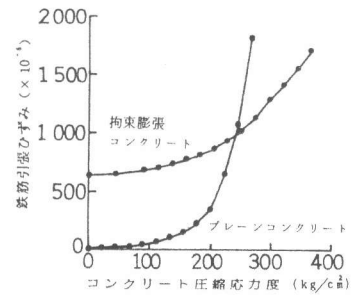


図-12 荷重時の鉄筋ひずみ

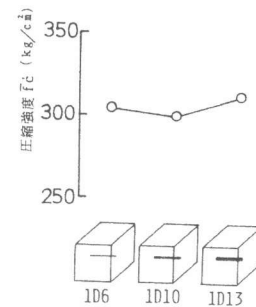


図-13 鉄筋比の影響

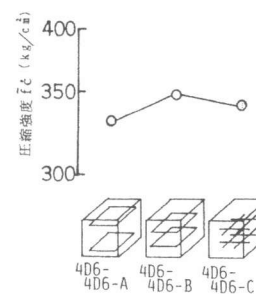


図-14 鉄筋間隔の影響

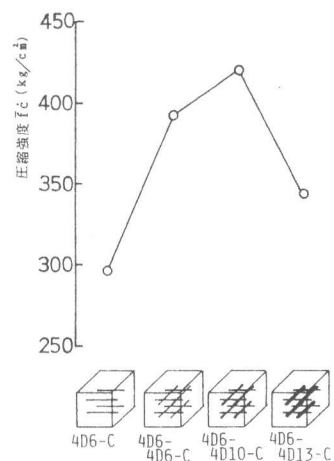


図-15 拘束直角方向鉄筋の影響

での鉄筋のひずみは、拘束範囲を考慮すると実質上1.0%以上の鉄筋比の状態であるから、わずかな仮想鉄筋比の増加があっても、ほとんど影響を受けない。ちなみに、仮想鉄筋比の量は、実験結果から算定すると0.1%程度のオーダーであった。

〔拘束効果と圧縮強度〕 鉄筋コンクリート柱で、フープ筋やスパイラル筋で横拘束されると軸圧縮強度が増加する。この点については六車氏らも指摘している。⁴⁾ 本実験での圧縮強度結果を考察する場合、拘束鉄筋はコンクリートの膨張を抑えて性状を改善すると同時に、圧縮試験時には横拘束筋としてもその効果を発揮する点を考慮せねばならない。そこで、横拘束の効果を判断する一法として、六車氏らの実験結果と比較してみた。本実験で用いた拘束鉄筋は各方向単独であるので、完全なフープ筋とは言えないのであるが、とりあえず、六車氏の提案している横拘束係数を用いて整理したのが図17である。同氏によれば、フープ筋の拘束効果は次式で示される形で圧縮強度に反映される。

$$\frac{\bar{f}_c}{f_c} = 1 + K C_c \quad \left\{ \begin{array}{l} K: \text{実験定数} \\ C_c: \text{横拘束係数} \end{array} \right.$$

膨張コンクリートの f_c として、自由膨張供試体の1軸圧縮強度を用いた。ブレンコンクリートについて考えると、本実験で用いた拘束鉄筋もフープ筋と同じ様な横拘束効果が認められる。膨張コンクリート

については、ブレンコンクリートの場合よりはるかに大きな横拘束効果が認められ、その差は膨張を拘束することで得られるコンクリート自体の性状改善の効果によるものと考えられる。

5. 結 論

- (1) 膨張コンクリートの拘束方法として鉄筋の付着あるいは定着を利用する場合、拘束範囲を考慮する必要がある。拘束範囲を定めて、実質的な鉄筋比を用いるならば、仕事量一定の概念で膨張量の推定が可能である。
- (2) 鉄筋拘束により、拘束直角方向の膨張量にも影響が表われる。その影響は、仮想鉄筋比を考えることにより評価が可能となる。
- (3) 膨張コンクリートを鉄筋で拘束することで性状改善が為され、圧縮強度も拘束の程度に応じて増加してゆく。

本研究は、昭和56年度文部省科学研究費補助金(課題番号56750318)を受けて行なったものである。

(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、PP111~124、1975年3月
- 2) 例えば、大塩、後藤、今井、大森、1軸拘束を受けた高強度膨張セメントコンクリートの基礎実験、セメント技術年報27号、PP320~325、1973年
- 3) 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、PP134~137、1979年
- 4) 六車、渡辺、勝田、田中、横拘束コンクリートの応力ひずみ曲線のモデル化、セメント技術年報34号、PP429~432、1980年

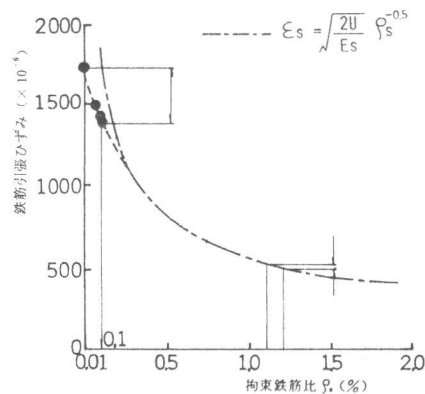


図-16 鉄筋比と膨張ひずみ

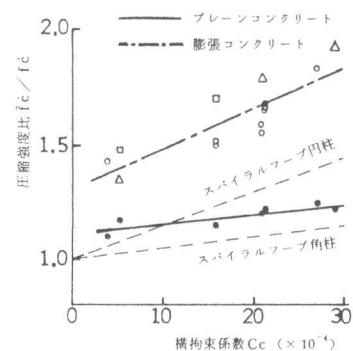


図-17 横拘束係数と圧縮強度