

V-101 一軸拘束によるコンクリートのケミカルプレストレッシングに関する基礎研究

東京大学 正員 國分正胤
鈴木正治
学生員 〇辻 幸 和

膨脹混和材は我国においても実用化の段階を迎え、コンクリートの収縮ひびわれの防止を目的として、屋根スラブ、地下壁、舗装等のコンクリート構造に、またケミカルプレストレッシングを目的として、コンクリート管その他の一部工場製品にも使用され始め、良好な成果が得られつつある。しかしながら、膨脹混和材に関する既往の研究は、コンクリートの収縮ひびわれの防止を目的としたものばかりで、ケミカルプレストレッシングを目的とする研究は比較的^{1),2)}少く、特にケミカルプレストレストコンクリート構造の物性についての理論的説明は、ほとんどなされていないのが現状である。

本研究はケミカルプレストレッシングを理論的に説明するための基礎資料を得ることを目的として行った実験結果のうち、一軸拘束によるものを取纏めたものであって、ケミカルプレストレッシングの問題点およびケミカルプレストレストコンクリート部材の強度性状について論じたものである。

1. 使用材料 配合

実験に用いた膨脹混和材はカルシウム・サルフォ・アルミネート系(CSA系)に属する国産品のうち、電気化学工業株式会社製のもので、この膨脹混和材の試験成績は表-1に示すようである。セメントは日本セメント株式会社製の早強ポルトランドセメントを用いた。骨材は細・粗骨材とも富士川産のもので、粗骨材は比重2.66、最大寸法25mm、粗粒率6.78のものを、また細骨材は比重2.62、粗粒率2.91のものをを用いた。

大部分の実験に用いた配合は、単位セメント膨脹混和材量を450^{kg/m³}、単位水量を173^{kg/m³}、 $\frac{S}{A}$ を36%とし、膨脹混和材によるセメントの置換え率を0%、11%、15%および20%と変化させた。コンクリートのスランプは約7cm、空気量約1.5%であった。外的・一軸拘束の研究にはモルタルを用いたが、その配合はセメント膨脹混和材・細骨材比を1:2、水・セメント膨脹混和材比を45%、膨脹混和材置換え率を15%としたもので、フロー値は170mmであった。

2. 試験方法

膨脹混和材によるコンクリートの膨脹をコンクリート中に埋込んだ異形鉄筋などの付着により拘束する場合を、内的・一軸拘束と称し、これについて実験した。これに反して、膨脹をPC鋼材の両端板で拘束する場合を外

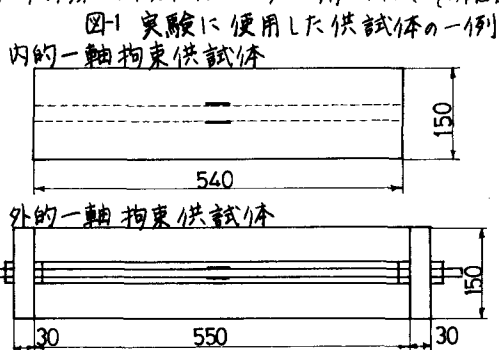


表-1 膨脹混和材の試験成績

Igloss	Insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	freeCaO	Total	比重	ブレン
0.9	1.4	1.4	13.1	0.6	47.8	0.5	32.2	19.4	97.9	2.93	1510 ^{cm³/g}

的・一軸拘束方法と呼ぶ。

内的一軸拘束の実験においては $15 \times 15 \times 40 \text{ cm}$ の梁型供試体を用い、外的一軸拘束の実験においては $15 \times 15 \times 55 \text{ cm}$ および $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の梁型供試体を用いた。図-1に示すようにコンクリート打設前、内的一軸拘束供試体は型枠に所定の鉄筋を配置し、一方、外的一軸拘束供試体はPC鋼棒、シース、端板、ナットを組立てた後、型枠内に配置した。材令約20時間において脱枠し、コンクリート表面にコンタクト型歪計用標点を貼布し、材令24時間において基長を測定した後、 20°C 水中で養生した。供試体の体積変化は上記のコンタクト型歪計および拘束鉄筋に貼布したポリエスチレンゲージで測定し、材令14日に達した後水中から取出し、その後濡れ布を用いて養生した。強度試験は材令15日で、内的・外的一軸拘束供試体とも3等分点載荷方法による曲げ試験を行った。

3. 内的一軸拘束による試験結果

内的一軸拘束については拘束鉄筋の径、拘束鉄筋比および軸直角方向鉄筋の有無がケミカルプレストレスングに及ぼす影響について実験を行った。ケミカルプレストレスの導入性状の一例を示すと、図-2、図-3のようである。また表-2には曲げひびわれ応力度の実験結果を示している。図-2および図-3から、拘束鉄筋比が大きくなると、コンクリート表面の膨張量が少く、導入プレストレスが大きくなることと示される。また丸鋼の拘束は異形鉄筋に比べて劣り、導入プレストレスで約半分の値となっている。拘束鉄筋比が等しくとも、拘束鉄筋の数および配置によって、ケミカルプレストレスが非常に異なり、例えば直径 10 mm 4本を用いた場合は、直径 19 mm 1本を用いた場合に比して、

約2倍のプレストレスが導入されている。即ち、細い鉄筋を密に配置すれば、導入プレストレス従って曲げひびわれ強さが大きくなるのである。

曲げひびわれ強さの増加は、ケミカルプレストレスの影響ばかりでなく、コンクリート自体の強度増加も一つの原因であると考えられる。例えば、拘束鉄筋として直径 10 mm 4本を用い、 23% のケミカルプレストレスを導入した鉄筋コンクリート梁の曲げひびわれ応力度は著しく大きくなり、同一の鉄筋コンクリート梁で膨脹混和材を用いないものの曲げひびわれ応力度

図-2 内的一軸拘束によるコンクリート表面の軸方向膨脹率

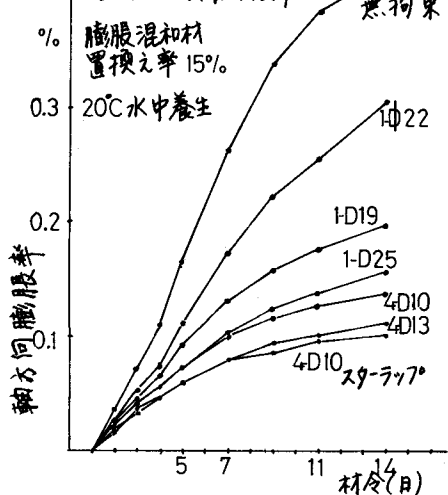


図-3 内的一軸拘束によるケミカルプレストレス

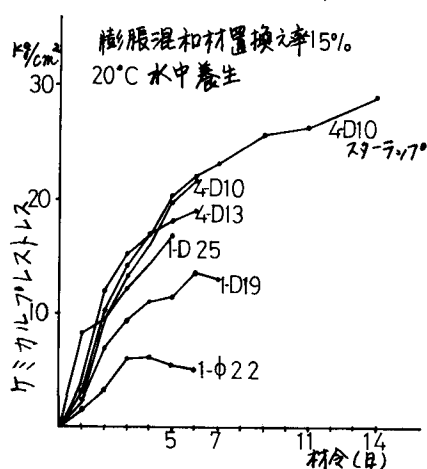


表-2 内的一軸拘束供試体の曲げひびわれ応力度

配筋方法	拘束鉄筋比 %	曲げひびわれ応力度 kg/cm^2			比率 %	
		$\frac{\sigma_0}{\text{CSA}} = 0$	$\frac{\sigma_{11}}{\text{CSA}} = 11$	$\frac{\sigma_{15}}{\text{CSA}} = 15$	$\frac{\sigma_{11}}{\sigma_0}$	$\frac{\sigma_{15}}{\sigma_0}$
無	0	75.6	69.3	37.6	92	50
4-D10	1.26	74.9	99.1	110.0	132	147
4-D13	2.25	86.0	123.3	137.3	143	160
1-D19	1.26	66.7	80.0	88.0	120	132
1-D25	2.25	71.1	90.7	93.3	127	131
4-D10 スターラーP	1.26	—	—	140.0	—	—
1-φ22	1.50	—	—	32.	—	—

にプレストレスを加算したものであり、なお 12 kg/cm^2 大さき値を示したのである。このことは、ケミカルプレストレスによりコンクリート自体の強度も増加したためと思われる。

スターラップのように軸直角方向に鉄筋を配置することは、ケミカルプレストレスを有効に利用する場合非常に重要であることも確認され、またスターラップを有する場合に、コンクリート表面と鉄筋の膨脹量が等しくなることも認められた。即ち図-3に示されるように、スターラップを有することにより、ケミカルプレストレスが 23 kg/cm^2 から 29 kg/cm^2 に、また曲げひびわれ応力度が 110 kg/cm^2 から 140 kg/cm^2 に増加したのである。このスターラップによる強度の増加は、軸直角方向の膨脹が拘束されて、プレストレスが有効に作用したためと思われる。

ケミカルプレストレスコンクリート構造の解析と合理化するためには、今後これらの点について検討を重ねる必要がある。

4. 外的一軸拘束による試験結果

図-4は外的一軸拘束方法を用いた場合のケミカルプレストレス、コンクリート自体の曲げ強度および拘束供試体の曲げひびわれ応力度等に及ぼす、拘束鉄筋比の影響の実験結果である。この図から拘束鉄筋比が大い程、ケミカルプレストレスは大きく、最大値で 47 kg/cm^2 のプレストレスが導入されたことが示されている。コンクリート自体の曲げ強度は、材令14日においてPC鋼棒を取除き、約24時間後に行った実験結果であるが $20\sim 25\text{ kg/cm}^2$ となり、自由膨脹させた供試体の約2倍とになっているが、拘束鉄筋比が $0.61\% \sim 2.73\%$ に変化した場合でもほとんど拘束鉄筋比の影響を受けなかったのである。これに奇異な現象であるが、その原因はPC鋼棒を取除いて24時間後に試験を行ったことによる。即ち図-5に示すように、この期間のコンクリートの膨脹は著しく、 $640\sim 870 \times 10^{-6}$ にも達し、化学反応の進行による膨脹量とはとうてい考えられない値である。そしてこの過大な膨脹量のために、拘束鉄筋比の影響が緩和され、また強度も小さくなったのである。なおこの期間における前記の膨脹量に拘束鉄筋比が大い程大きくなる傾向が認められる。

図-6にはケミカルプレストレスコンクリートの弾塑性的性状を検討するため、PC鋼棒を取除いた直後におけるコンクリートの応力度の変化とコンクリートの伸びとから、仮にコンクリートのヤング係数を求めると $44000\sim 84000\text{ kg/cm}^2$ となり、著しく小さく、また拘束鉄筋比が大きかったもの程、ヤング係数が大きくなる傾向が示されている。このヤング係数の値、並にPC鋼棒を取除いた後24時間における膨脹量が過大であること等を考えると、ケミカルプレストレスコンクリートには、塑性的性状が卓越していることを示すものであり、この点について更に研究を進めてゆきたい。

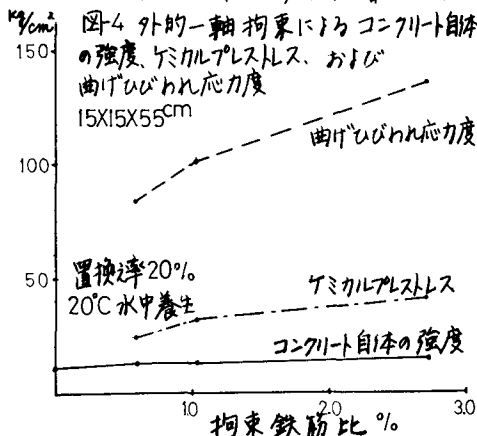


図4 外的一軸拘束によるコンクリート自体の強度、ケミカルプレストレス、および曲げひびわれ応力度

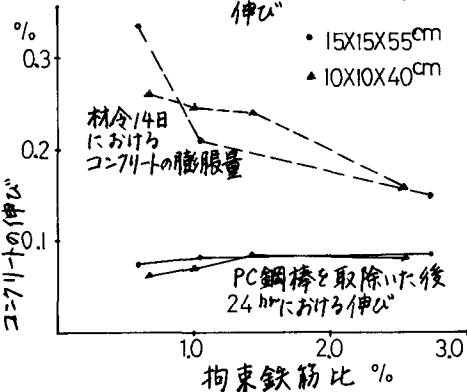
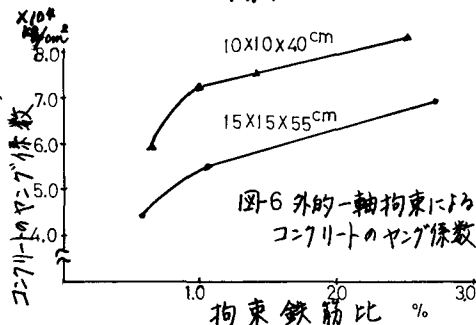
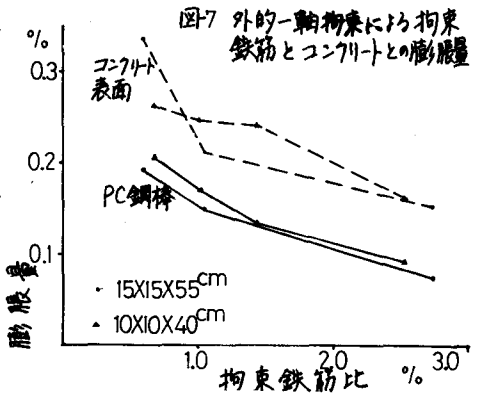


図5 外的一軸拘束によるコンクリート表面の膨脹量

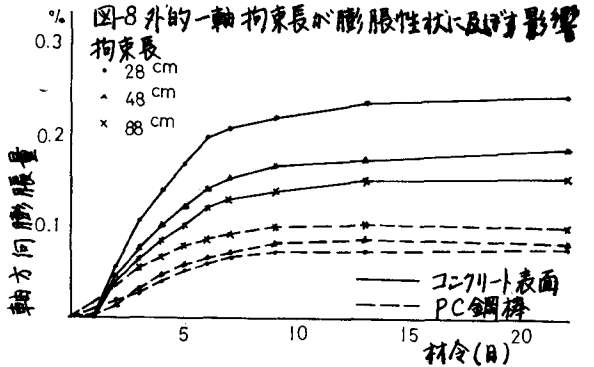


なお拘束による曲げひびわれ応力度の増加程度は、拘束供試体の断面寸法によって相違する傾向が示される。

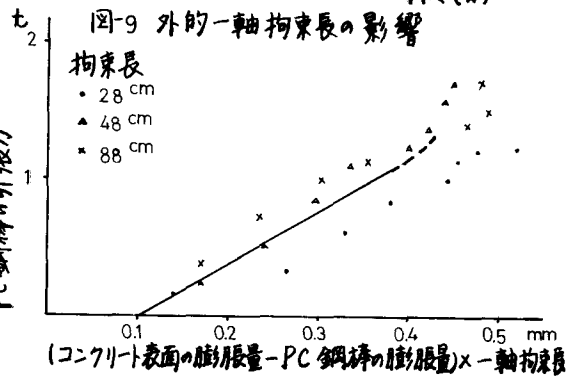
図-7はPC鋼棒およびコンクリート表面の膨脹量を各拘束鉄筋比について図示したもので、既往の研究で報告されているように、拘束鉄筋比が大きくなる程、PC鋼棒およびコンクリート表面の膨脹量が小さくなるが示される。またこの図から、コンクリート表面の膨脹量は、PC鋼棒の膨脹量に比して相当地に大きいことが示されるのである。そしてこの現象を更に説明するため、拘束鉄筋比および断面の大きさを一定にして、一



軸拘束の長さのみを変化させた場合についてシリーズの実験を行った。図-8はその一例で、膨脹混和材の置換え率15%のモルタルを使い、一軸拘束の長さを28~88cm、変化させた場合のコンクリート表面とPC鋼棒の膨脹量を示している。この図から、一軸拘束の長さが長くなる程、コンクリート表面の膨脹量も小さくなり、同時に、PC鋼棒の膨脹量も小さくなり、したがって両者の差は小さくなるということが明瞭に認められる。



この現象の主要原因として、コンクリート供試体が太鼓状にふくらむこと、および端板のそりが考えられるが、本実験では導入フレストレスが約10%と比較的小さいこともあり、各断面における軸直角方向膨脹量、コンタクト型歪計ゲージ長を変化させて求めたコンクリート表面の軸方向膨脹量、および端板のそり量について、入念に検討した結果、これらの影響はほとんど無視できる程度であった。そこで著者らはコンクリート表面とPC鋼棒の膨脹量の差が一軸拘束の長さにより異なる点に着目して、図-8から図-9を作成した。この図から一軸拘束の長さに関係なく、一つの直線関係が成立することが認められる。この直線と横軸との交点の値が、定着部の遊び量であると考えた。このように考えれば、或範囲で直線関係が成立するのは当然であり、コンクリート表面とPC鋼棒における膨脹量が相違する主要原因が、定着部の遊び、およびなじみにあることを示すものと思われる。



前記の事実を考慮すると、外的一軸拘束方法による実験結果を解析する場合、PC鋼棒の膨脹量とコンクリートの膨脹量とが相等しいと仮定することは、きわめて不適当であると思われる。また長さの異なる拘束供試体から得られた試験結果を整理する場合には、前記の関係を考慮する必要があると思われる。

参考文献 (例として) ACI Committee 223 "Expansive Cement Concrete—Present State of Knowledge" ACI Journal August 1970 2) 長瀬他 "拘束を受けた膨脹セメントコンクリートの基礎的性状" 昭和45年 セメント技術年報 1970