

# ケミカルプレストレスを導入した コンクリート部材の力学的特性

## BEHAVIOR OF CHEMICALLY PRESTRESSED CONCRETE MEMBER

岡村 甫\*・辻 幸和\*\*  
By Hajime Okamura and Yukikazu Tsuji

### 1. 序 論

膨張混和材がわが国で市販され始めて以来まだ 10 年を経過していないが、年ごとに使用量が増加し、1972 年度には約 30 000 t 使用されるに至った。約半分がコンクリートの収縮補償用として、屋根スラブ、地下壁などに使用されており、残りの大部分はケミカルプレストレスングを目的とした工場製品に用いられ、特にヒューム管にはそのうちの約 85 % が使用されている。すなわち、ケミカルプレストレスングを目的としては、工場製品が大部分を占めているのである。これは工場製品では品質管理が容易であること、ケミカルプレストレスングの効果を実物大試験で確認できることなどにより、ケミカルプレストレスングを有効に利用できるためである。舗装版、水圧タンク、水槽などの現場打ちコンクリートにもケミカルプレストレスを応用する試みがなされているが<sup>1)</sup>、構造物に所望のケミカルプレストレスを確実に導入することが、現段階では容易でないこと等のため、この興味あるケミカルプレストレスも有効に利用されていない現状である。今後、各種コンクリート構造物にケミカルプレストレスングを幅広く応用していくためには、膨張混和材の改良をも含めて解決すべき問題点が多いが、ケミカルプレストレスを導入した構造物の力学的特性を確かめておくこともその一つである。

本文は、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の力学的特性を解明することを目的として、東京大学工学部土木教室で行った実験結果をとりまとめたものである。すなわち、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の曲げモーメントおよびせん断力に対する力学的特性が、通常の鉄筋コンクリート部材と異なる点を明らかにし、その優れた力学的特性を論じたもの

\*正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科

\*\*学生会員 工修 東京大学大学院学生 博士課程

である。

本研究は国分正胤先生のご指導のもとに行われたものである。また、コンクリート研究室の方々には、実験の実施にあたり終始熱心に従事して頂いた。ここに謹んで厚くお礼申し上げる。なお、文部省より科学研究費補助金を交付された。付記して厚くお礼申し上げる。

### 2. 使用材料および試験方法

#### (1) 使用材料および配合

実験に用いた膨張混和材は、電気化学工業(株)製のものである。セメントは大部分日本セメント(株)製の早強ポルトランドセメントであるが、普通ポルトランドセメントも用いた。骨材は富士川産の良質な川砂、川砂利であって、比重はそれぞれ 2.62 および 2.66 である。粗粒率はそれぞれ 3.03 および 6.93 (最大寸法 25 mm) である。軸方向鉄筋は JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼に適合している市販品のうち、公称直径が 10 mm から 25 mm までの異形鉄筋を用い、スターラップには、

表-1 鉄筋の降伏点応力度および平均断面積

シリーズ名	鉄筋の種類および用途	降伏点・ 応力度 (kg/mm <sup>2</sup> )	平均断 面積 (cm <sup>2</sup> )
Aシリーズ	D16 SD60 引張鉄筋	61.8	1.97
	D16 SD35 圧縮鉄筋	40.0	1.96
	D10 SD30 スターラップ	34.4	0.671
Bシリーズ	D19 SD35	39.7	2.86
	φ9 SR30 スターラップ	37.0	—
Cシリーズ	D16 SD50 引張鉄筋	56.1	1.96
Dシリーズ	D16 SD35 圧縮鉄筋	40.0	1.96
Dシリーズ	D16 SD30 鉄筋コンクリートのみ	37.3	1.95
Eシリーズ	D25 SD40 引張鉄筋	48.0	5.01
	D25 SD35 圧縮鉄筋	41.5	5.03
	D10 SD30 スターラップ	34.4	0.671
Fシリーズ	D13 SD30	35.7	1.19

\*降伏点応力度は公称断面積を用いて算出した

表-2 コンクリートの配合

シリーズ名	セメントの種類	水, セメント膨張混和材比 (%)	単位水量 (kg/m³)	細骨材率 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	単位セメント膨張混和材量 (kg/m³)		その他の混和材料	膨張混和材置換率 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)
						単位セメント量	単位膨張混和材量				
Aシリーズ B D E	早強ポルトランドセメント	38.5	173	36	25	450	0	—	0	3.0~5.5	1.5~1.6
						382.5	67.5	—	15	3.0~5.5	1.5~1.6
						450	0	—	0	9.5	3.3
Fシリーズ	早強ポルトランドセメント	38.5	173	36	25	391.5	58.5	ポゾリス No. 5L (C+CSA) ×0.25%	13	8.7	3.3
						382.5	67.5	—	15	12.5~13.0	3.5~3.7
						300	0	—	0	5.0~7.0	1.5~1.6
Cシリーズ	普通ポルトランドセメント	55	165	42	25	255	45	—	15	5.0~6.5	1.5~1.6
						300	0	—	0	5.0~6.5	1.5~1.6

一部丸鋼を使用した。それぞれの降伏点応力度および平均断面積を用途とともに表-1に示す。PC鋼棒はJIS G 3109 PC鋼棒, C種1号に属するものを用いた。

コンクリートの配合は表-2に示すようであって, 膨張混和材はコンクリートの収縮を補償する目的の場合に比べて約1.5倍から2倍程度使用している。これらの配合は予備実験の結果からケミカルプレストレスを導入するのに適当と判断したものである。

(2) 試験方法

供試体の断面寸法等は図-1に示すように, いずれも断面に対称に鉄筋を配置した複鉄筋矩形ばりである。これは断面に一樣なケミカルプレストレスを導入するためであって, 解析を容易にするための考慮である。部材端部を除けば, 断面に一樣なケミカルプレストレスが導入されていると考えて良いことはすでに確かめている<sup>2)</sup>。

せん断特性に及ぼすケミカルプレストレスの効果は, せん断破壊形式によって異なることも考えられたので, せん断スパンと部材の有効高さとの比  $a/d$  を1.67から4.5に変化させた。腹鉄筋としては  $\phi 5$  mm および  $\phi 9$  mm の丸鋼, あるいは D 10 mm の異形鉄筋のスタースタップを所定の間隔で配置した(表-3 参照)。

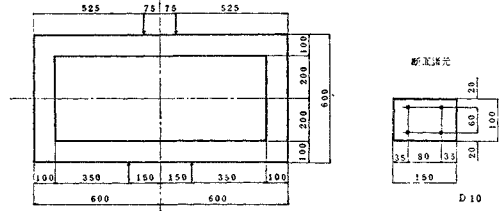


図-2 ラーメン供試体の断面諸元および荷重方法

図-1のAシリーズでは鉄筋の両端にねじ切り加工を施し, プレテンション方式によりプレストレスを導入したものもある。また, 鉄筋コンクリートラーメンにケミカルプレストレスを応用した実験も行った。供試体寸法および荷重方法は図-2に示すとおりである。鉄筋の影響を除いたコンクリート自体の力学的特性を検討するため, 断面が  $15 \times 15$  cm, 長さが 50 cm の一軸拘束供試体についても, 圧縮および曲げ試験を行った。

部材に導入されたケミカルプレストレスは, 部材中央部の鉄筋の伸びからケミカルプレストレス力を算定し, これが断面内に一樣に分布しているとして算定した。鉄筋の伸びは, あらかじめ鉄筋の表面に貼ったワイヤストレーンゲージのコンクリート打込み前からのひずみを,

固定抵抗法によって測定したが, このひずみはコンタクト型ひずみ計によって測定した鉄筋位置のコンクリートの膨張ひずみとほぼ等しいひずみ増加を示し, この方法によって測定した鉄筋の伸びの値は信頼できるものと信じている。

大部分の供試体は, 脱枠後  $20^\circ\text{C}$  の水中養生をケミカルプレストレスリングの増加, すなわち鉄筋の伸びの増加がほとんど終了するまでに行い, 試験の1日から2日前に水中より取出して実験室内に放置した後荷重試験を行った。導入されるケミカルプレストレスは養生方法によって著しく異なるが, 水中養生以外の養生方法をほとんど探らなかったのは, 実験

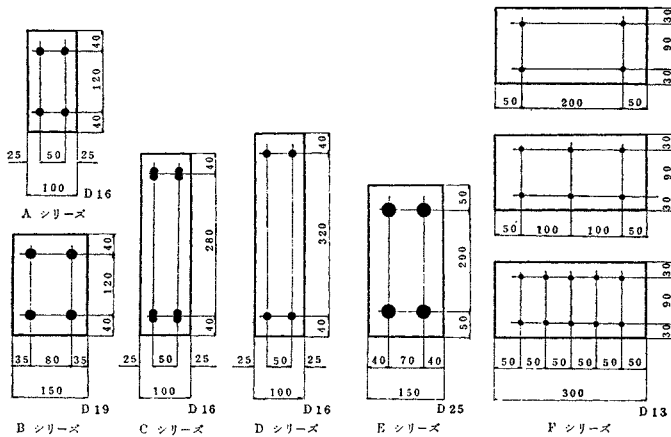


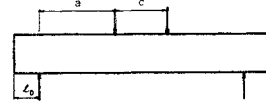
図-1 供試体の断面諸元

表一3 荷重方法および強度試験結果

シリーズ名	a/d	a (cm)	C (cm)	l <sub>0</sub> (cm)	ケミカルプレストレス (kg/cm <sup>2</sup> )		曲げひびわれ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	斜めひびわれ発生時のせん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	破壊時のせん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	↑↑↑ 破壊形式	試験材令 (日)
					軸方向	鉛直方向					
A シリーズ	3.5	56	26	21	18.3*	0	40.4	15.6	24.7	SC	7
					36.7*	0	71.1	18.8	24.3	SC	7
					50.4*	0	97.0	22.3	24.6	SC	7
					51.8	0	119.6	20.3	28.7	SC	14
					56.0	10.0**	126.0	28.1	35.4	F	14
					54.3	22.6***	129.3	31.3	36.5	F	14
					-18.4	0	24.2	14.1	23.9	SC	28↑↑↑
					13.3	0	56.6	18.7	28.7	SC	55↑↑↑
					-20.0	0	16.2	13.8	21.3	SC	115↑↑↑
					10.0	0	61.4	17.2	21.4	SC	115↑↑↑
B シリーズ	2.0	32	26	30	0	0	41.7	18.7	44.9	F	14
					27.8	0	77.0	30.2	46.9	F	14
	3.5	56	0	19	0	0	56.1	14.6	19.8	SC	14
					21.1	0	89.8	19.8	28.1	F	14
	4.5	72	26	20	0	0	50.5	12.5	17.9	DT	14
29.3					0	93.8	17.7	19.8	F	14	
3.5	56	0	19	0	0	56.1	14.6	31.0	F	14	
				26.1	4.3****	101.0	25.0	30.2	F	14	
C シリーズ	2.0	64	26	28	0	0	47.4	14.4	28.9	SC	28
					31.5	0	66.5	20.2	37.0	SC	28
	4.3	137.6	26	24.4	0	0	46.0	9.4	11.7	DT	28
					27.4	0	76.5	11.7	14.6	DT	28
D シリーズ	1.67	60	70	40	0	0	35.5	16.7	27.3	SC, F	28
					52.3	16.0†	106.6	34.6>	34.6	F	28
E シリーズ	4.5	112.5	45	25	0	0	36.8	13.4	22.4	F	14
					24.3	5.9††	91.9	21.4	23.7	F	14
F シリーズ	4.2	50	50	15	15.0	9.6****	81.9	8.1>	8.1	F	21
					20.2	6.4****	88.7	12.6>	12.6	F	21
					25.7	7.1****	109.9	20.7>	20.7	F	21
					12.0	3.4****	95.5	12.3>	12.3	F	70
					0	0	59.2	13.1>	13.1	F	70

- \* プレテンション方式による機械的プレストレス
- \*\* D 10mm 異形鉄筋を 20cm 間隔
- \*\*\* D 10mm 異形鉄筋を 10cm 間隔
- \*\*\*\* φ9mm 丸鋼を 10cm 間隔
- † φ5mm 丸鋼を 10cm 間隔
- †† D 10mm 異形鉄筋を 25cm 間隔
- ††† F 曲げ引張破壊
- SC せん断圧縮破壊

DT 斜め引張破壊  
 ↑↑↑↑ 1週間水中養生後 21°C 50%RH で乾燥  
 荷重方法



の目的から、ケミカルプレストレスを効果的に導入でき、コントロールも容易である水中養生を行った場合の力学的特性をまず明らかにしようとしたからである。今後、さらに種々の養生方法のものについても実験を行う必要があるのは当然であるが、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の基本的な力学的特性を明らかにできたものと思われる。

### 3. 膨張コンクリートの力学的特性

膨張混和材を用いたコンクリートの力学的特性はまだ十分に明らかにされていないが、本研究の結果から、引張特性が普通コンクリートとは相当に異なっていること

が、まず第一に指摘できる。図-3は一軸方向に材令28日まで拘束した後、拘束を解除してただちに行った曲げ試験におけるコンクリート引張縁のひずみと荷重との関

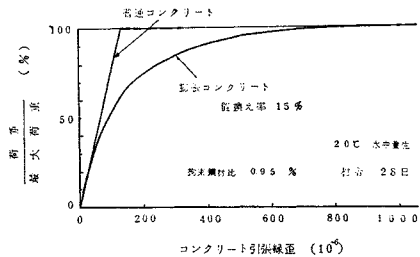


図-3 膨張コンクリートの荷重-曲げ引張縁ひずみの関係を示す一例

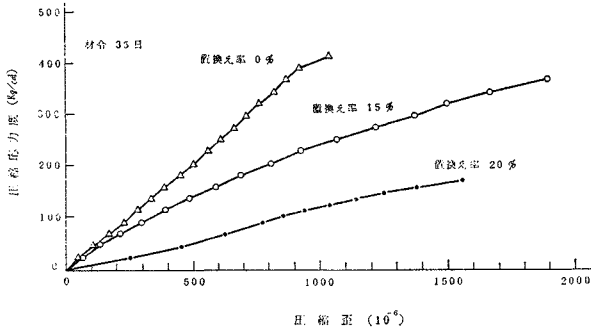


図-4 膨張コンクリートの圧縮応力-ひずみの関係を示す一例

係を示す一例であって、普通コンクリートでは最大荷重近くまで弾性的挙動を示すのに対し、膨張コンクリートでは低荷重時からひずみの増加が漸次大きく、塑性的挙動の卓越することが認められるのである。特に、みかけの伸び能力が大きいことも指摘され、このことが膨張コンクリートの大きな特徴であって、4. で述べるように、部材の曲げひびわれ耐力がプレストレスの効果以上に改善される原因の一つと思われる。このような膨張コンクリートの引張特性は、膨張量が大きくなるほど顕著となるようである。

図-4 は一軸方向に材令 35 日まで拘束したまま水中養生を行った後に、水中より取出して拘束を解除し、ただちに拘束方向に圧縮荷重を求めた応力-ひずみ曲線の一例である。極端に多量の膨張混和材を用いた場合を除いて、拘束を受けていた膨張コンクリートの圧縮強度は普通コンクリートとほぼ等しいが、その場合でも同じ圧縮応力度に対応するひずみは、膨張コンクリートのほうが大きくなっている。この傾向は膨張混和材の使用量が大きいほど著しいことも認められた。以上のように、ケミカルプレストレスを導入したコンクリートは、普通コンクリートに比べて強度特性に相違がない場合でも、変形特性が相当に異なることが明らかにされたのである。しかしこの事実の原因ならびに変形特性の定量的評価などについては、現段階では十分に明らかにできなかった。今後の研究課題としたい。

膨張量があまり大きくない範囲では、拘束を与えなくとも強度特性は普通コンクリートと同等であるが、膨張量が大きくなり、膨張ひずみが  $500 \sim 700 \times 10^{-6}$  を越えるようになると<sup>3)</sup> 強度低下は避けられない。一軸方向に拘束を与えると、強度低下はある程度ふせげることが、拘束直角方向の膨張ひずみが約  $1000 \times 10^{-6}$  を越えると強度が低下しはじめた。そし

て、極端に多量の膨張混和材を用い、混和材の置換え率をセメントの 20% 程度にまで増加させ、拘束方向に約  $2000 \times 10^{-6}$ 、拘束直角方向に約  $10000 \times 10^{-6}$  程度コンクリートを膨張させた場合には、一軸方向に拘束しただけでは、圧縮強度、曲げ強度ならびに引張強度が著しく低下し、普通コンクリートの 1/3 以下になる場合もあった。この場合でも、スターラップを適当に配置して、三軸方向に拘束すると、15% 程度の強度低下におさえることもできたのであって、安全を考えれば、大きなケミカルプレストレスを導入する場合には、主軸方向以外にも適当な拘束を施すことが望まれる。

#### 4. 曲げ特性

ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材に曲げモーメントが作用する場合の引張鉄筋のひずみ増加を、通常の鉄筋コンクリート部材と対比して示した一例が図-5 であって、すでに報告したように<sup>2)</sup>、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の曲げ特性として次の二点が指摘できるのである。

ケミカルプレストレスの導入によって曲げひびわれ耐力が増加するため、全断面が有効に働く範囲が通常の鉄筋コンクリート部材の場合に比べて大きくなるのが、第1の点である。ケミカルプレストレスによる曲げひびわれ耐力の改善については、数多くの貴重な研究結果が報告されており<sup>4)</sup>、工場製品などにケミカルプレストレスが応用されているのは、この効果が主目的である。図-6 には通常の鉄筋コンクリート部材との曲げひびわれ応力度の差を、ケミカルプレストレスと対比させ

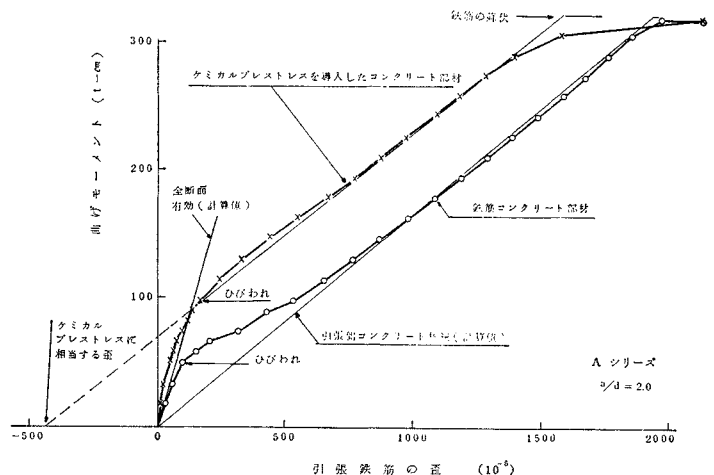


図-5 曲げモーメントと引張鉄筋のひずみとの関係を示す一例

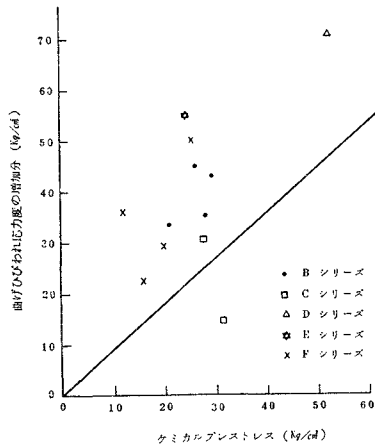


図-6 曲げひびわれ応力度の増加分とケミカルプレストレスとの関係

て示しており、導入されたケミカルプレストレス以上に曲げひびわれ応力度は増加している。ここに曲げひびわれ応力度は、コンクリート引張縁に貼ったワイヤストレーンゲージのひずみの急変する荷重を曲げひびわれ発生荷重とし、換算断面を用いて、弾性計算により求めたコン

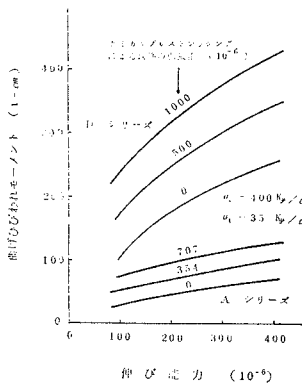


図-7 コンクリートの伸び能力が曲げひびわれ耐力におよぼす効果(計算値)

クリート引張縁の応力度である。これは、3.に述べたように膨張コンクリートの伸び能力が普通コンクリートの場合よりも大きくなることも一つの原因と考えられる。すなわち図-7に示すように、コンクリートの伸び能力が大きくなると、コンクリートの曲げ強度が同じ場合には、鉄筋が配置されているときのみかけの曲げひびわれ耐力の増加が大きくなるのである。膨張コンクリート自体の引張特性は、配合、養生方法、拘束方法およびその程度などによっても影響を受けるものと思われるが、まだ十分に解明されているとはいえないのであって、図-6に示す現象も、现阶段では明快に説明できるまでに至っていない。しかし、図-6の結果は、膨張によってコンクリートの強度低下が生じない範囲内では、上記2.により求めたケミカルプレストレスに、同等の配合の普通コンクリートの曲げ強度を加えたものよりも、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の曲げひびわれ耐力は、少なくとも小さくはならないことを示すものである。

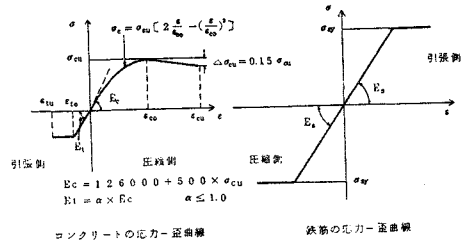


図-8 計算に用いたコンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ曲線

図-5に示す現象を詳細に検討するため、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の曲げモーメントと鉄筋のひずみとの関係を計算によって求めてみた。コンクリートの圧縮側および引張側の応力-ひずみ曲線ならびに鉄筋の応力-ひずみ曲線を、図-8に示すように仮定するとともに、断面の平面保持を仮定した。計算手順としては、圧縮縁コンクリートのひずみおよび中立軸の位置を仮定して軸方向力の合力を計算し、その合計値が十分小さくなるまで中立軸の位置を修正する。中立軸が定まると、鉄筋のひずみ、内力のモーメントなどが計算できる。この内力のモーメントは外力のモーメントに等しいので、順次圧縮縁のひずみを増加させて以上の計算を繰返していくと、外力のモーメントと鉄筋のひずみとの関係等が求まるのである。曲げひびわれモーメントはコンクリートの引張縁が引張極限ひずみになったときのモーメントとしたのであって、図-7の値はこの方法によって計算したものである。

第2に指摘できる点は、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材における引張鉄筋のひずみの増加が、曲げひびわれ発生後も鉄筋コンクリート部材におけるよりも著しく小さくなることである。小さくなる程度は、ほぼケミカルプレストレスング時の鉄筋のひずみに相当する分に一致している。部材の曲げひびわれ幅は、部材の断面寸法、用いる鉄筋の付着性状、鉄筋の径、鉄筋量、鉄筋の配置等によって相違するが、外力による鉄筋応力度の増加にほぼ比例することはすでに知られている<sup>2)</sup>。したがって、鉄筋コンクリート部材に比べて、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の曲げひびわれ幅が小さくなることは明りょうである。その減少の程度はケミカルプレストレス導入時に生じた鉄筋の応力度に影響されるのであって、配合および養生方法が同じ場合には、軸方向鉄軸比が小さいほど鉄筋の膨張ひずみが大きくなるので、それに応じて曲げひびわれ幅も小さくなるのである(図-9参照)。

上記の実験結果から、ケミカルプレストレスを利用することによって、部材の曲げひびわれ耐力を増加させることが可能であるばかりでなく、曲げひびわれ幅によって制限される鉄筋の許容引張応力度の限度も、ある程度

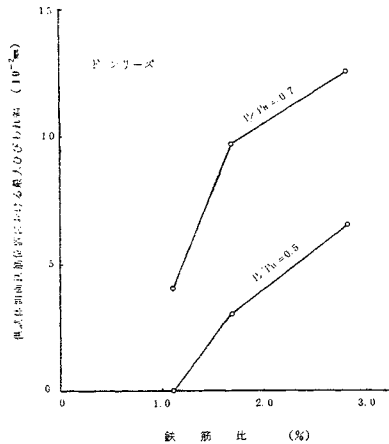


図-9 鉄筋比の相違がケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材のひびわれ幅におよぼす影響

まで上げることが認められた。現在土木学会鉄筋コンクリート標準示方書では、ひびわれ幅が過大とならないように、鉄筋の許容引張応力度を一般の部材に対して、たとえ高張力の異形鉄筋を用いた場合でも  $2100 \text{ kg/cm}^2$  以下に制限している。ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の場合には、ケミカルプレストレスの導入によって鉄筋に生じる応力度に相当する分だけ、この限度を高く採ることが可能である。ケミカルプレストレスによって鉄筋に生じる引張応力度はコンクリートの配合、養生方法、および拘束の程度等により異なるが、引張鉄筋と圧縮鉄筋の断面積の合計値とコンクリートの断面積との比で表わされる軸方向鉄筋比が1%の場合、湿潤養生を行えば  $1000 \text{ kg/cm}^2$  程度にすることは十分可能であって、SD 50 以上の高張力異形鉄筋を十分有効に利用できる可能性がある。

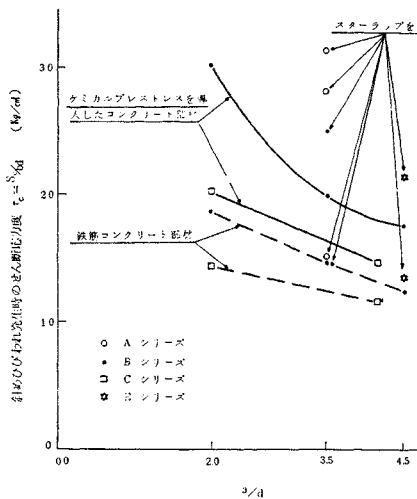


図-10 斜めひびわれ発生時のせん断応力度

### 5. せん断特性

膨張コンクリートを軸方向に配置した異形鉄筋で拘束してこの方向にケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材は、ケミカルプレストレスによって、斜めひびわれ発生時のせん断応力度  $\tau_c = S_c/bd$  を、通常の鉄筋コンクリート部材の場合よりも約 20% 以上高められることはすでに報告した<sup>2)</sup> (図-10 および 表-3 参照)。また、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材と断面寸法、鉄筋の種類、鉄筋の径、および鉄筋の配置をすべて同じにした、プレテンション方式のプレレストコンクリート部材の実験から、斜めひびわれ耐力におよぼすケミカルプレストレスの効果は、機械的プレストレスと大差ないことも確かめたのである。実験の範囲が複鉄筋ばかりに限られているので、明確なことはいえないが、腹鉄筋を用いない鉄筋コンクリートスラブのせん断耐力を増加させることなどに、このケミカルプレストレスの効果を利用することは非常に有効な方法であろう。

鉄筋コンクリート部材に腹鉄筋を配置しても、斜めひびわれ耐力を改善することはできないが、ケミカルプレストレスを導入した部材では腹鉄筋によっても自動的にケミカルプレストレスが導入できるので、著しく斜めひびわれ耐力を増加できる。軸方向のプレストレスの効果とをあわせると、斜めひびわれ耐力を鉄筋コンクリート部材の場合の1.5倍から2倍程度にすることも可能であった (図-10 および 表-3 参照)。この点がケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材のせん断特性の大きな特徴である。

図-11 はスターラップを 20 cm ( $r=0.71\%$ )、および 10 cm ( $r=1.43\%$ ) 間隔で配置した場合における、ケミ

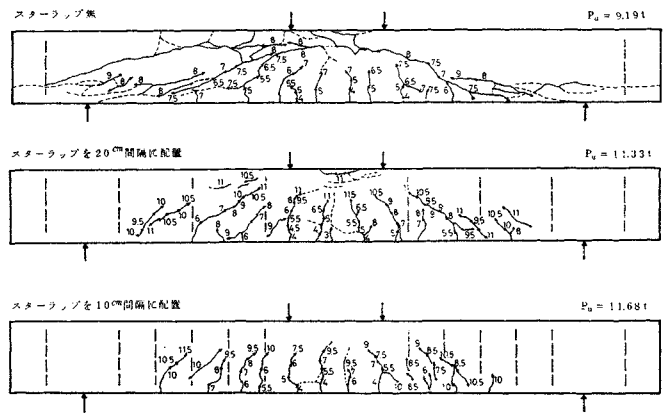


図-11 ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材におけるスターラップの配置とひびわれ性状との関係の一例(Aシリーズ)

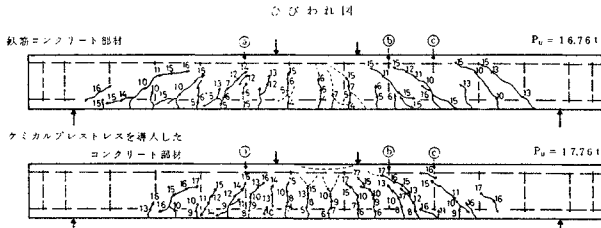


図-12(a) ひびわれ図とひずみを測定したスターラップの位置

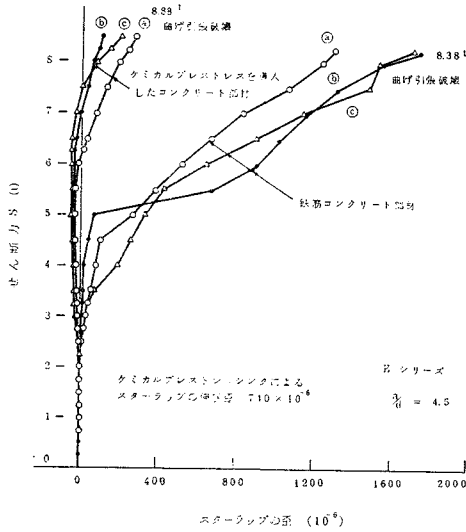


図-12(b) 外力によるスターラップのひずみ

カルプレストレスを導入したコンクリート部材のひびわれ図を腹鉄筋を配置しない場合と比較したものである。この図から、スターラップを配置した場合には、斜めひびわれがスターラップを避けて発生し、せん断力が増しても、大部分はスターラップを横切るまでに至っていないことが認められる。たとえば、スターラップを 20 cm 間隔に配置した場合にスターラップ間に生じた 1 本の斜めひびわれは、10 cm 間隔にスターラップを配置したことにより、2 本の斜めひびわれになって発生し、その後荷重が増加してもスターラップ間に留まっているのである。図-12には、せん断力とスターラップのひずみとの関係についての実験結果の一例を、ひびわれ図およびスターラップの位置とともに示している。この図から、斜めひびわれがスターラップを横切った後は、同じせん断力に対するケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材のスターラップのひずみは、鉄筋コンクリート部材の場合に比較して、少なくともケミカルプレッシングによりスターラップに生じた引張ひずみに相当する分だけ小さくなっていることが認められる。したがって、曲げひびわれ幅の場合と同様に、スターラップを横切る斜めひびわれ幅も小さくなるのであって、この点

が、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の重要な特性と考えられる。なお、スターラップによりコンクリートの膨張力を拘束する場合には、すでに報告したように<sup>2)</sup>、部材端部における軸方向鉄筋の拘束の場合と同様な傾向を示すものと考えられ、スターラップの端部では拘束が十分でない範囲が存在する。したがって、斜めひびわれ耐力の向上にケミカルプレストレスを有効に利用するためには、スターラップを適当な間隔に配置する必要がある。その間隔は、部材の高さスターラップの量、および折曲げ鉄筋の量とその配置方法等によっても異なるものと思われる。

### 6. ケミカルプレストレスを導入した鉄筋コンクリートラーメン

鉄筋コンクリートラーメンにケミカルプレストレスを応用した実験結果の一例を図-13に示す。供試体は材令 15 日まで 20°C 水中養生を行い、その後 4 日間実験室内に放置して、載荷試験を行った。その間 図-13 に示す丸印位置の鉄筋表面に貼ったワイヤストレーンゲージにより鉄筋の膨張ひずみを測定した結果、ケミカルプレストレスは断面に一樣に導入されるとともに、柱およびはりの各断面には、同量のプレストレスが導入されることも認められた。載荷試験時にコンクリートに導入されたケミカルプレストレスは約 30 kg/cm<sup>2</sup> であった。図-13 の丸印は、破壊荷重の 52% の荷重による鉄筋の引張ひずみの増加分の実測値を示したものである。破線および一点鎖線は、全断面有効として柱、はりの剛比を計算し、弾性計算により求めた曲げモーメントに基づいた計算値であって、破線はケミカルプレストレスを無視した場合、また一点鎖線はこれを考慮した場合である。上

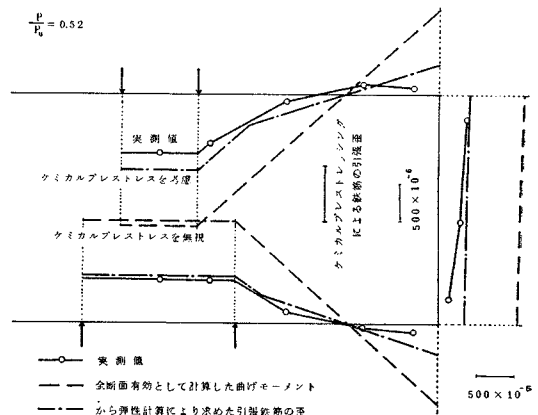


図-13 ケミカルプレストレスを導入した鉄筋コンクリートラーメンにおける引張鉄筋のひずみ分布

ばりと下ばりの中央部、および柱には、すでにひびわれが発生しているが、これらの部分では4.に述べたように外力による鉄筋の引張ひずみの増加は、ケミカルプレストレスを無視した計算値よりも当然著しく小さくなっている。そして、ケミカルプレストレスを考慮した計算値にほぼ一致していることも認められるのであって、図一13の結果は、ケミカルプレストレスをラーメン等の不静定構造にも有効に利用できることを示すものである。したがって、ラーメン構造の地下構造物で工場製品として盛んに利用されている、ボックスカルバート等にケミカルプレストレスを応用することは非常に有効である。ケミカルプレストレスを利用すると高張力異形鉄筋も有効に利用でき、ひびわれ耐力ならびに降伏耐力を低下させずに部材厚を薄くでき、軽量化も可能となる。軽量コンクリートを利用すれば一層軽量化が促進され、運搬可能なプレキャスト部材の長さをさらに長くすることもできる。軽量コンクリートには、斜めひびわれ耐力が低下する欠点があるが、5.に述べたようにケミカルプレストレスの導入によってこの点も解消されるのであって、プレキャスト部材、ケミカルプレストレス、および軽量コンクリートのとり合せは、お互いの短所を補いあう非常に良い組合せであろう。

## 7. 結 論

矩形断面に鉄筋を対称に配置した複鉄筋コンクリート部材に、膨張混和材を適量使用し、水中養生を行ってケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の曲げモーメント、およびせん断力に対する力学的特性を、膨張混和材を用いない通常の鉄筋コンクリート部材と比較した結果から、本実験の範囲内で次のことがいえると思われる。

(1) 膨張によってコンクリートの強度低下が生じない範囲内でも、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の曲げひびわれ耐力の算定には、膨張コンクリートのみかけの伸び能力が大きいため、その他を考慮する必要がある。しかし、膨張コンクリートの引張特性が十分に明らかにされていないので、現段階では、膨張混和材を置換えないコンクリートの曲げ強度に、ケミカルプレストレスを加えたものを曲げひびわれ耐力とするのもやむをえない。

(2) 曲げひびわれ発生後における引張鉄筋のひずみ増加の割合は、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の場合も鉄筋コンクリート部材と同様であるが、同じ外力によるひずみは、ほぼケミカルプレッシング時のひずみに相当する分だけ小さくなる。そのため部材に生じる曲げひびわれ幅も減少する。ケミカ

ルプレッシング時に鉄筋に生じる引張応力度は、コンクリートの配合、養生方法、および拘束の程度などの影響を受けるので簡単にはいえないが、軸方向鉄筋比が1%程度で湿潤養生を行えば、1000 kg/cm<sup>2</sup>程度にすることは十分可能である。したがって、ひびわれ幅を考慮して制限されている鉄筋の許容引張応力度を、1000 kg/cm<sup>2</sup>程度高く採ることも可能であって、SD50以上の高張力異形鉄筋をも有効に利用できるものと考えられる。

(3) 軸方向に鉄筋を配置してケミカルプレストレスを一軸方向に導入するだけで、20%以上の斜めひびわれ耐力の増加が期待できるが、腹鉄筋を配置すれば、その方向にも自動的にプレストレスが導入できるので、さらに効果的であって、鉄筋コンクリート部材の場合の1.5倍から2倍程度にすることも可能であった。また、腹鉄筋を横切る斜めひびわれ幅も著しく小さくなる。したがって、ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材では、許容せん断応力度を幾分高く採れるだけでなく、腹鉄筋に高張力異形鉄筋を有効に利用できるのである。

以上の結果から、ケミカルプレストレスを導入することにより、コンクリート部材の曲げモーメント、およびせん断力に対する力学的特性を著しく改善できることが明らかになった。特に、現段階では、品質管理の容易な工場製品にケミカルプレストレスを利用することは非常に有効であって、高張力異形鉄筋も有効に利用でき、ひびわれ耐力、および終局強度を低下させずに部材厚を薄くでき、軽量化も可能となる。軽量コンクリートを併用して応用すれば、軽量化、ひいては経済化の実が大いにあがるものと思われる。プレキャスト、ケミカルプレストレス、軽量コンクリート、および高張力異形鉄筋の組合せは、お互いの短所を補いあい、それぞれの長所を生かすことになるのである。今後、この方面の研究が望まれる。

## 参 考 文 献

- 1) Kokubu, M.: Use of Expansive Components for Concrete in Japan, ACI SP-38, 1972年 pp. 353-367.
- 2) 岡村 甫・辻幸和:ケミカルプレストレストコンクリート部材の力学的諸性状,セメント技術年報,1972年.
- 3) プレストレストコンクリート技術協会:コンクリート橋の長大化に関する調査研究報告書資料,1970年.
- 4) たとえば, 桑原力・山田一年・出頭圭三:膨張性混和材を用いたコンクリートセグメントに関する研究,セメントコンクリート, No. 303, May, 1972, pp. 26-33.
- 5) ACI Committee 224: Control of Cracking in Concrete Structures, ACI Journal, Vol. 69, Dec., 1972, pp. 717-753.

(1973.10.15・受付)