

### [3] 膨張セメントコンクリートはりのケミカルプレストレスについて

正会員 岡田 清 (京都大学工学部)  
 玉井 撰郎 (日本原燃サービス)  
 矢田 篤 (関西電力㈱)  
 正会員 ○太田 誠 (京都大学工学部)

#### 1. はじめに

膨張セメントコンクリートは、乾燥収縮ひびわれの防止用としては既に実用段階にある。一方、ケミカルプレストレスの利用はヒューム管など工場製品が主流であり場所打ちコンクリートでケミカルプレストレスを利用している例は少ない<sup>1)</sup>。これは膨張セメントコンクリートの物性が複雑であり、ケミカルプレストレスが種々の影響を受けるために定量的な把握が困難であることが原因となっている。本文では、基本的部材形態であるはりについて、その寸法・配筋を実際構造物に近くし、膨張特性およびケミカルプレストレスの曲げ性状に与える影響を調べる目的で行った研究の一部を述べ、実用に際しての問題点を示す。

#### 2. 使用材料および供試体

(1) 使用材料 膨張材：カルシウムサルフォアルミネート系膨張材 (以下CSAと略記)

セメント：普通ポルトランドセメント 骨材：細骨材・粗骨材とも黒部川産を使用。

鉄筋：異形鉄筋D13, D16, D19を使用。材質はSD35である。

(2) 供試体 はり供試体は、膨張セメントコンクリートはり (以下CSAシリーズはり)、普通コンクリートはり (以下Pシリーズはり)、機械的にプレストレスを与えたはり (以下P-PCシリーズはり) の3シリーズである。その寸法・配筋を図-1に示す。P-PCシリーズはりでは主鉄筋位置にシースを設置し、その中にPシリーズ、CSAシリーズと同じ鉄筋をそう入し、この鉄筋を緊張してプレストレスを与えた。コンクリートの配合は、予備試験から決定した。その示方配合を表-1に示す。練り混ぜは、打設量が多いため生コン業者に依頼した。供試体の養生は、脱型後14日間はすべて湿布養生とし、14日以後湿布養生を続けるもの (記号W) と気中養生に変更するもの (記号S) の2種とした。養生は屋内で行ったが、空調設備はなく外気の影響を強く受けるところであり、気中の湿度は高め (約80%前後) であった。

#### 3. 実験方法

(1) 膨張試験 膨張に伴う鉄筋とコンクリートの変化を調べるため、鉄筋ひずみとコンクリートひずみの測定を行った。鉄筋ひずみは、鉄筋計を用い、コンクリートひずみは、ホイットモアひずみ計を用いた。CSAシリーズはり、Pシリーズはりについて測定を行った。

(2) 静的曲げ載荷試験 すべてのシリーズについて、所定材令 (14日、28日、91日) で同様の静的曲げ載荷試験を行い、ひびわれ発生荷重、ひびわれ幅、たわみ、鉄筋ひずみ、コンクリートひずみの測定を行った。載荷には、アムスラー型耐圧試験機を用いた。載荷方法を図-2に示す。

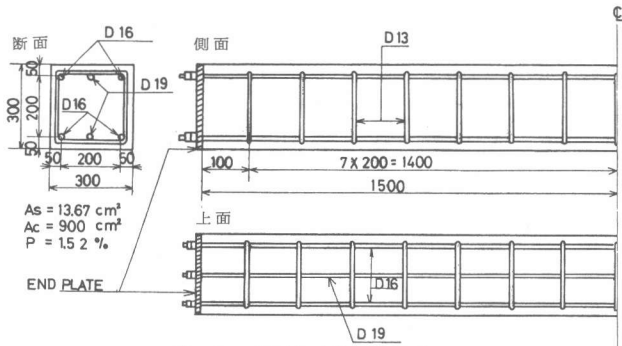


図-1 供試体寸法・配筋図

表-1 供試体示方配合

供試体	G <sub>max</sub> (mm)	Sl. (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/G (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			CSA 添付率	
						W	C	S		
P, P-PC	25	14	3	45	40	162	360	696	0	3.6
CSA								636	60	

重、ひびわれ幅、たわみ、鉄筋ひずみ、コンクリートひずみの測定を行った。載荷には、アムスラー型耐圧試験機を用いた。載荷方法を図-2に示す。

4. 実験結果・考察

(1) 膨張試験結果・考察

a. 鉄筋ひずみ 鉄筋ひずみの経時変化を図-3に示す。ひずみは膨張ひずみを正、収縮ひずみを負とする。これによると、CSAシリーズ養生条件W(CSA-W)のものについて次のことがいえる。まず、材令14日前後で膨張の大半が終了するが、それ以降も鉄筋膨張ひずみは微増し減少は観察されない。すなわち、導入されたケミカルプレストレスによるクリープがみかけ上あらわれていない。これは次の2つの理由によるものと考えられる。

1. 膨張初期におけるクリープ(プレ・クリープと呼ばれる)が存在し、クリープの大半が終了している。<sup>2)</sup>

2. クリープひずみが膨張ひずみとバランスを保っている。<sup>3)</sup>

一般に、真の膨張ひずみを $\epsilon_{ex}$ 、みかけの膨張ひずみを $\epsilon'_{ex}$ 、クリープひずみを $\epsilon_c$ 、乾燥収縮ひずみを $\epsilon_s$ 、弾性ひずみを $\epsilon_e$ とすると、これらの間には次式が成り立つと考えられる。

$$\epsilon'_{ex} = \epsilon_{ex} + (\epsilon_c + \epsilon_s + \epsilon_e)$$

これらのひずみは、時間、拘束などの関数であるから、いま時間について微分する。

$$\dot{\epsilon}'_{ex} = \dot{\epsilon}_{ex} + (\dot{\epsilon}_c + \dot{\epsilon}_s + \dot{\epsilon}_e)$$

左辺は、単位時間に発生するみかけの膨張ひずみを示すから、これがほとんど0であるとすると

$$|\dot{\epsilon}'_{ex}| \approx |\dot{\epsilon}_c + \dot{\epsilon}_s + \dot{\epsilon}_e|$$

となり、真の膨張ひずみがクリープひずみなどとバランスすることが説明できる。部材中でケミカルプレストレスが消失しないためには、

$$|\dot{\epsilon}'_{ex}| \geq |\dot{\epsilon}_c + \dot{\epsilon}_s + \dot{\epsilon}_e|$$

であることが必要であると考えられる。

CSAシリーズ養生条件Sのものについては、養生変更の影響で膨張ひずみの減少が生ずるが、減少は養生変更後14日ほどで止り、以後顕著な減少は認められず、減少量はPシリーズと大差はなかった。

また、CSAシリーズはりのすべてにわたって、上側の鉄筋ひずみが下側の鉄筋ひずみより大きくなるという現象が認められた。

b. コンクリートひずみ コンクリートひずみは鉄筋ひずみより大きくなった。これは、鉄筋のかぶりが5cmあるため、表面では自由膨張に近い膨張現象が生じたためと思われる。このコンクリートひずみと上下鉄筋ひずみの差から供試体断面内には膨張ひずみの分布が存在すると考えられ、それを示したのが図-4である。実際の分布形が確定できないため直線分布とし、所定材令における分布を示したのが図-5である。ケミカルプレストレスの算出には上下鉄筋ひずみの平均値を用いた。断面が大きくなるとコンクリートが鉄筋の拘束を受けにくくなり自由膨張を生ずる可能性がある。この場合、コンクリートが粗悪なものとなるので極端な分布を生じないための配慮が必要である。

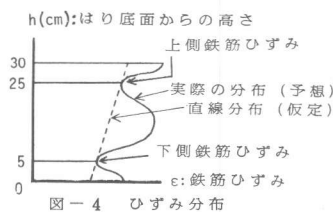


図-4 ひずみ分布

めの配慮が必要である。

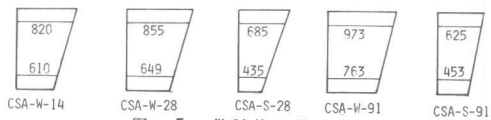


図-5 供試体ひずみ分布

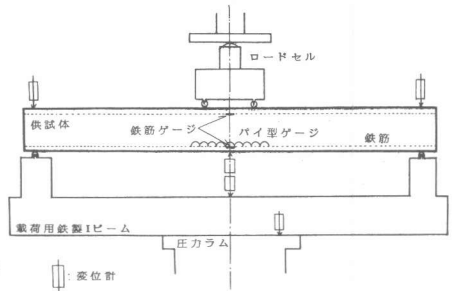


図-2 載荷方法

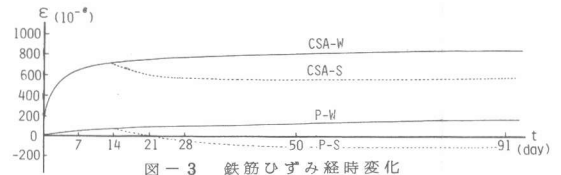


図-3 鉄筋ひずみ経時変化

(2) 静的曲げ載荷試験結果・

考察

a. 鉄筋ひずみ 荷重-鉄筋ひずみ図を図-7~図-10に示す。

P-PCシリーズの最終数字は鉄筋緊張量(×10<sup>-6</sup>)である。これらから、CSAシリーズはりの鉄筋ひずみ挙動はPシリーズはりと平行関係を示すが、ひびわれ発生後除荷し再載荷するとき処女上昇線と平行となり全断面有効とみなせる区間があるのが特徴的である。図-6の様に全断面有効区間の上限荷重を定め、このときのはり下縁応力をσ<sub>cpe</sub>とすると、膨張ひずみから求めたケミカルプレストレスσ<sub>cp</sub>と一致を示し、曲げ部材中でケミカルプレストレスがプレストレスとして作用していることが確認された。表-2参照。なおσ<sub>cp</sub> = E<sub>s</sub> × ε<sub>se</sub> × A<sub>s</sub>

E<sub>s</sub> : 鉄筋ヤング係数 (2.1 × 10<sup>6</sup>)

ε<sub>se</sub> : 鉄筋膨張ひずみ

A<sub>s</sub> : 鉄筋断面積

また、

$$\sigma_{cpe} = M_e \times y / I_e$$

M<sub>e</sub> : 荷重 P<sub>e</sub> に対する外力モーメント

y : 中立軸から下縁までの距離

I<sub>e</sub> : 換算断面二次モーメント

である。

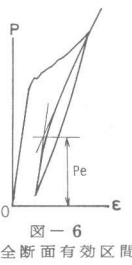


図-6 全断面有効区間

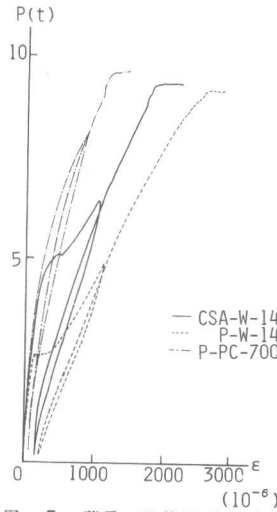


図-7 荷重-鉄筋ひずみ (1)

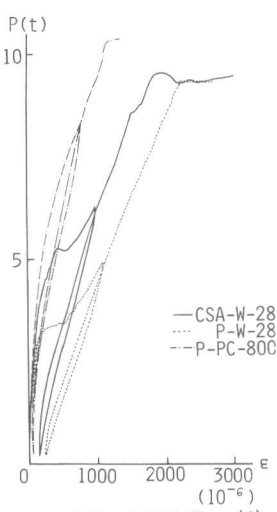


図-8 荷重-鉄筋ひずみ (2)

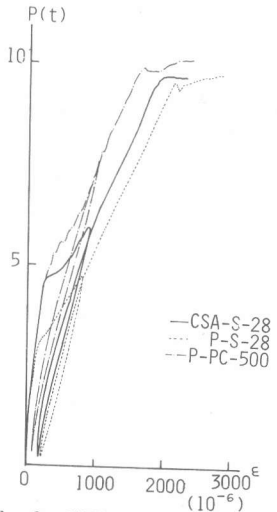


図-9 荷重-鉄筋ひずみ (3)

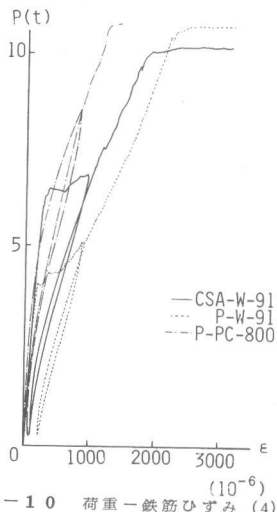


図-10 荷重-鉄筋ひずみ (4)

表-2 ケミカルプレストレス・ひびわれ発生応力

Specimen	ε <sub>se</sub> (×10 <sup>-6</sup> )	σ <sub>cp</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	P <sub>e</sub> (t)	σ <sub>cpe</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	P <sub>cr</sub> (t)	σ <sub>cr</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>cp</sub> σ <sub>cpe</sub>	σ <sub>cr,csa</sub>	
								σ <sub>cr,p</sub> + σ <sub>cp</sub>	
P-W-14 NO.1	—	—	—	—	2.97	40.5	—	1.04	
P-W-14 NO.2	—	—	—	—	3.00	40.8	—		
CSA-W-14 NO.1	715	22.8	1.29	21.0	5.03	65.9	1.14	0.92	
CSA-W-14 NO.2	—	—	1.23	20.3	5.03	65.9	—		
P-W-28 NO.1	—	—	—	—	3.46	47.0	—	0.98	
P-W-28 NO.2	—	—	—	—	3.23	44.2	—		
CSA-W-28 NO.1	752	24.0	1.08	18.4	4.96	64.9	1.25	0.95	
CSA-W-28 NO.2	—	—	1.21	20.0	4.80	63.0	—		
P-S-28 NO.1	—	—	—	—	3.00	40.6	—	1.12	
P-S-28 NO.2	—	—	—	—	2.76	37.8	—		
CSA-S-28 NO.1	560	17.9	0.96	17.0	4.23	56.2	1.12	0.99	
CSA-S-28 NO.2	—	—	0.80	15.1	4.16	55.4	—		
P-W-91 NO.1	—	—	—	—	3.83	51.8	—	0.98	
P-W-91 NO.2	—	—	—	—	3.75	50.8	—		
CSA-W-91 NO.1	825	26.3	1.48	23.5	6.15	80.2	1.18	0.97	
CSA-W-91 NO.2	—	—	1.28	21.0	5.17	68.1	—		
P-PC-500	525	17.2	1.06	17.9	5.19	66.6	0.96	—	
P-PC-600	630	20.7	1.31	21.0	5.22	67.1	0.99		
P-PC-700	701	22.4	1.45	22.8	5.66	72.7	0.98		
P-PC-800	793	25.3	1.73	26.0	5.63	72.3	0.97		

b. ひびわれ性状 ひびわれ発生荷重 ( $P_{cr}$ ) は表-2 に示すように、同材令同養生であれば CSA シリーズの方が P シリーズより大きい。ここで、CSA シリーズのひびわれ発生応力  $\sigma_{cr, csa}$  と P シリーズのひびわれ発生応力  $\sigma_{cr, p}$  とケミカルプレストレス  $\sigma_{cp}$  の間に、次式が成立することが認められた。

$$\sigma_{cr, csa} = \sigma_{cr, p} + \sigma_{cp}$$

すなわち、CSA シリーズのひびわれ発生応力は、同材令・同養生の P シリーズはりのひびわれ発生応力にケミカルプレストレスを加えたものにはほぼ等しく、膨張によるコンクリートの組織変化、すなわち密化現象などの影響はほとんどみられない。次に、荷重-最大ひびわれ幅グラフを図-11~図-14 に示す。これから CSA シリーズのひびわれ幅が P シリーズに比して小さいことが認められるが、特に注目すべきなのはひびわれの復元性で、CSA シリーズでは残留ひびわれ幅が  $0.02 \sim 0.03 \text{ mm}$  でほぼ閉合している。

c. 変形性状 曲率・たわみについても CSA シリーズは P シリーズに比して、小さいという結果を得た。

d. 破壊形式 すべてののはりは圧潰し、CSA シリーズのコンクリートが膨張による組織破壊を生じ強度低下を示すということとはなかった。

## 5. まとめ

(1) 今回用いた配合、供試体寸法・配筋でケミカルプレストレスの導入が可能であった。部材断面には、膨張の分布が存在するので、一樣にするには鉄筋の増加、適正配置、鋼繊維の混入などの配慮が必要である。

(2) 曲げ部材中でケミカルプレストレスは、機械的に導入したプレストレスと同様の作用をする。このため、ひびわれ性状、変形性状が改善された。湿潤環境下であれば場所打ちコンクリートでもケミカルプレストレスを期待して良いと思われる。

(3) 膨張セメントコンクリートの組織の密化などの変化は、コンクリートが組織破壊を起していなければ、部材の力学的性状に大きな影響は与えない。

## 6. あとがき

本研究実験にあたって御協力下さいました電気化学工業(株)第一研究部に感謝致します。

### 参考文献

- 1) 土木学会 膨張コンクリート設計施工指針(案)
- 2) 陳 膨張セメントコンクリートのプレストレスおよびクリープに関する研究 京都大学修士論文
- 3) 岡村・辻 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 XXVI

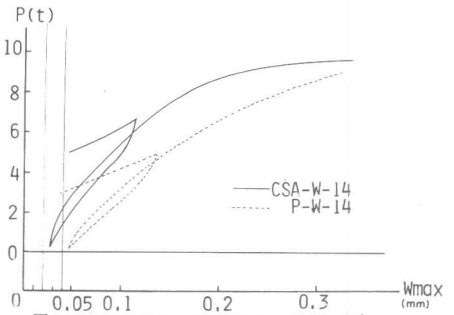


図-11 荷重-最大ひびわれ幅 (1)

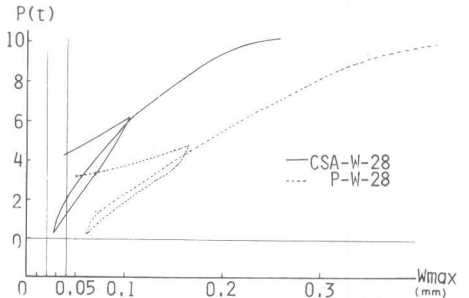


図-12 荷重-最大ひびわれ幅 (2)

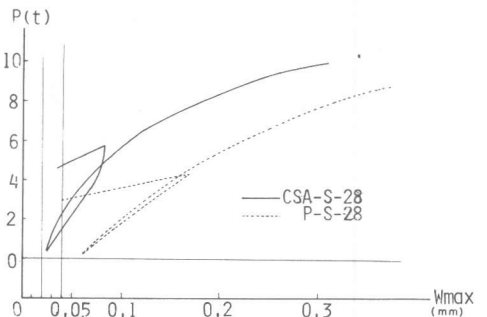


図-13 荷重-最大ひびわれ幅 (3)

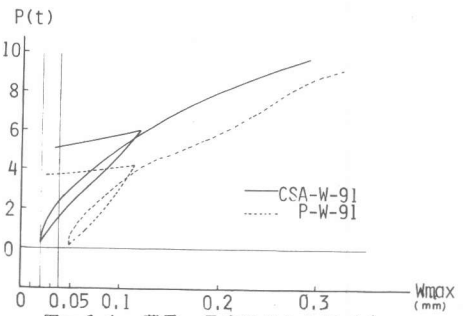


図-14 荷重-最大ひびわれ幅 (4)