

[82] 膨張コンクリート鋼合成構造に関する基礎的研究

正会員 ○戸川一夫 (和歌山工業高等専門学校)  
 正会員 中本純次 (和歌山工業高等専門学校)

1. まえがき

膨張コンクリートを鋼合成桁床版に利用することを目的として、池田<sup>1)</sup>、大川ら<sup>2)</sup>および辻ら<sup>3)</sup>は種々の実験を行ない、膨張コンクリートを用いた床版は普通コンクリートを用いた場合より、ひびわれ耐力あるいは押ねきせん断耐力等が増大することを確かめている。しかしながら、これまでの報告は比較的膨張材量が少ない膨張コンクリートについてであり、膨張材がかなり多い場合について、ケミカルプレストレスとコンクリート強度との相互関係が種々の耐力におよぼす影響を知っておくことも一つの課題であろう。本研究は膨張材量がかなり多い膨張コンクリート鋼合成構造床版のひびわれ耐力、破壊耐力あるいはたわみ特性を明らかにしようとするものである。

2. 実験計画

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は硬質砂岩砕石(最大寸法20mm)を用いた。膨張材はカルシウムサルホアルミネート系のものを用いた。コンクリートの示方配合を表-1に示す。単位膨張材量(E)は0, 50, 60, および70kg/m<sup>3</sup>の4段階を計画した。鋼合成構造供試体は図-1に示す2本のH形鋼と版厚8cmの床版からなるものである。使用した鉄筋は床版主筋にD10( $\sigma_{sy}=3900\text{kg/cm}^2$ )と配力筋に $\phi 6$ ( $\sigma_{sy}=2900\text{kg/cm}^2$ )である。なお、比較用はり供試体として図-1に示すものを作製している。すべての供試体は打込み直後から材令1日まで $20\pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室内で濡布養生し、材令1日で脱型して、試験日の材令14日まで $20\pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室内で1日1回散水して養生した。供試体の長さ変化は鉄筋に貼付したストレインゲージによつて測定し、基長は打込み直後とした。鋼合成桁床版の載荷試験方法は図-2に示すように床版中央に5×10cmの載荷板を介してジャッキで載荷した。載荷は0.1きざみとした。載荷板とコンクリートとの間にはテフロンシートを入れている。比較用はり供試体はスパン50cmとして一点中央載荷で試験した。なお、膨張分布を算定するための基準供試体は10×10×40cmの角柱供試体であり、拘束は断面中央部に $\phi 9.2\text{mm}$ ,  $\phi 11\text{mm}$ あるいは $\phi 17\text{mm}$ の全長ネジ切りをしたPC鋼棒(SBPR11Q/125)を一本配置し、両端板をそれぞれ2個のナットで固定する方法を採つた。長さ変化は鋼棒に貼付したストレインゲージによつて測定した。はりならびに床版のひずみ分布の算定方法は文献4)を参照されたい。床版のたわみは荷重直下の版中央部とスパン中央から9.5cmおよび19cmの各位置において高感度デジタル変位計を配置し測定した。

表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				水 w	セメント+膨張剤 c + E	細骨材 s	粗骨材 g
20	7.5	4.5	4.3	180	400	737	1002

3. はりならびに床版の膨張ひずみ分布

はりの膨張分布の推定方法に関しては、これまで筆者<sup>4)</sup>らあるいは辻ら<sup>10)</sup>の報告がある。比較用はり供試体(図-1参照)の材令14日での膨張分布の実測値と推定値を図-3に示す。実験結果より、はりの膨張分布については両者の推定方法を使つて、かなり精度よく膨張分布を推定しえることがわかる。図-4には床版の主鉄筋ならびに主桁方向の

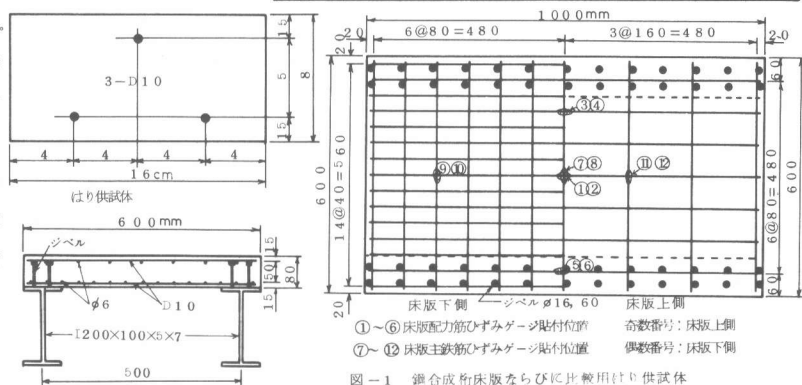


図-1 鋼合成桁床版ならびに比較用はり供試体

配筋の膨張分布に関する実測値の一例を単位膨張材量  $\bar{E} = 70 \text{ kg/m}^3$  の場合についてのみ示している。床版の主筋方向については、それぞれ位置の異なる主鉄筋の膨張ひずみにはほとんど差が見られず、拘束は主鉄筋のみであると仮定して、筆者らの提案したはりの膨張分布の算定方法<sup>4)</sup>にもとづいた推定値と実測値とはよく一致していることが示されたと言える。また、同図には主筋方向の鉄筋の膨張ひずみについて示している。この場合、鋼主筋上に巾30cm、厚さ8cm、鉄筋が図-1に示す床版の鉄筋と同じ割合で入っているコンクリート断面を有する合成桁を考慮して、主筋方向の鉄筋の膨張ひずみ分布を推定すると<sup>4)</sup>、実測値と比較的よく一致することが示されたのである。なお、膨張材量が  $50 \text{ kg/m}^3$  および  $60 \text{ kg/m}^3$  の場合についても同様のことが言えたことを付記しておく。

#### 4. はりおよび床版のひびわれ耐力

はりならびに床版のひびわれ耐力を決定する場合、本実験では荷重直下のコンクリート下面に貼付したストレインゲージによつて測定したひずみの増加率が急変する直前の荷重をひびわれ耐力として、はりならびに床版のひびわれ耐力の実験結果を表-3に示す。はりのひびわれ耐力は表-2に示すコンクリートの強度試験結果から、無拘束の膨張コンクリートの曲げ強度が普通コンクリートとくらべて、ほとんど低下しない単位膨張材量  $60 \text{ kg/m}^3$  までは、膨張材量が多いとひびわれ耐力は増大することがわかる。しかしながら、単位膨張材量が  $70 \text{ kg/m}^3$  になると曲げひびわれ耐力は低下することが示された。したがつて、本実験のような一軸拘束のはりの場合には、強度とのかねあいでケミカルプレストレスの効果に限度があるわけである。曲げひびわれ耐力を弾性論による  $M_{cr} = (\bar{E}_s + E_p)W$  と辻の報告<sup>5)</sup>による方法で

推定したが、両推定値とも実測値と比較的よく一致しているが、後の方が精度がよいことが認められる。床版の曲げモーメントについては、S. Q. PINJARKAR

の報告<sup>6)</sup>にもとづいて、4辺単純支持の床版として、ポアソン比  $\nu = 0.15$  と仮定し、求めた。PINJARKARの提案式によつて求めた各床版のひびわれ発生モーメントは辻<sup>5)</sup>の理論で求めた値と比較的よく一致していることが示されたのである(表-3参照)。床版のひびわれ耐力

力に関しては、膨張材量が  $70 \text{ kg/m}^3$  までであると、膨張材量が多くなるほど、ひびわれ耐力は増加することがわかる。すなわち、床版のように二軸方向に拘束された状態では、一軸拘束の場合より、膨張コンクリートのケミカルプレストレスをより有効に利用できることが示唆されたのである。

#### 5. 床版の終局耐力

床版の破壊状況を写真-1に示す。すべての床版について、ひびわれは最初荷重直下に生じ、荷重の増加とと

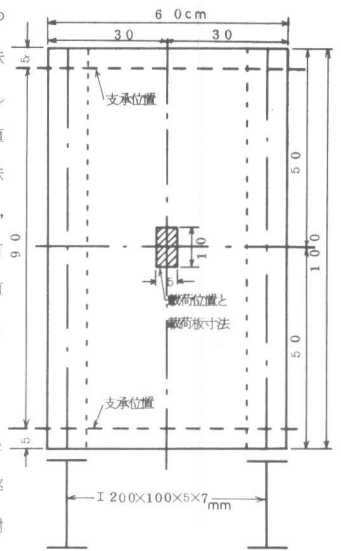


図-2 床版載荷位置

表-2 強度試験結果(材令14日)  
(無拘束)

コンクリート種類	圧縮強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )	曲げ強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )	引張強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )	弾性係数 ( $\text{kg/cm}^2 \times 10^5$ )
普通コンクリート	35.0	3.8	2.9	2.34
膨張コンクリート	$\bar{E} = 50 \text{ kg/m}^3$	3.52	4.1	2.6
	$\bar{E} = 60 \text{ kg/m}^3$	3.13	4.0	2.6
	$\bar{E} = 70 \text{ kg/m}^3$	1.49	2.3	1.2

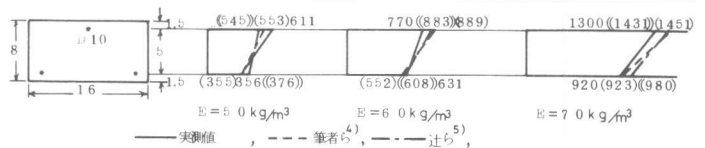


図-3 はりの膨張分布

表-3 はりおよび床版のひびわれ発生モーメント

コンクリート種類	はり下縁のケミカルプレストレス $(\sigma_p)$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	はり				床版		実測値 <sup>4)</sup> $M_{CR}^2$		
		実測値	$M_{CR}^1$	$M_{CR}^2$	実測値	$M_{CR}^2$				
普通コンクリート	0	0.453	0.531	0.454	2.800	2.088	0.405	0.500	0.81	
膨張コンクリート	$\bar{E} = 50 \text{ kg/m}^3$	20.0	0.766	0.829	0.761	3.594	2.089	0.736	0.630	1.17
	$\bar{E} = 60 \text{ kg/m}^3$	25.7	0.938	0.960	0.974	3.516	2.067	0.846	0.600	1.41
	$\bar{E} = 70 \text{ kg/m}^3$	42.0	0.781	0.969	0.768	3.227	1.853	1.104	1.100	1.00

$M_{CR}^1$ :  $= (\bar{E}_s + E_p)w$  ( $\bar{E}_s$ : 曲げ強度,  $E_p$ : 下縁のケミカルプレストレス,  $w$ : はり断面係数, ここで  $n=15$  としている。

$M_{CR}^2$ : 参考文献5)によつて算定した。コンクリートの引張能力は  $200 \times 10^{-5}$  としている。

$M_U^3$ :  $= A_s \sigma_{sy} (d - \frac{A_s \sigma_{sy}}{2f_{cu}})$ , 参考文献9)参照

実測値<sup>4)</sup>  $= 0.184 \bar{E}$ , PINJARKARの報告による。参考文献6)参照。P: ひびわれ荷重

\* 鉄筋の実測ひずみを用いて算定している。算定方法は参考文献4)参照

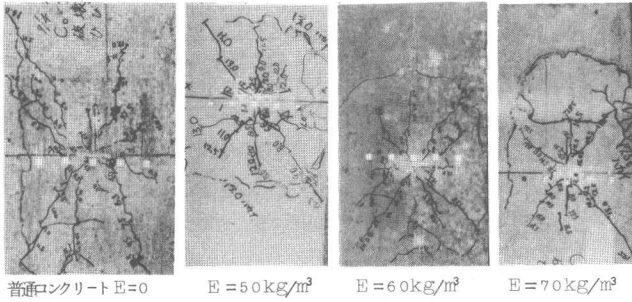


写真-1 床版の破壊状況

もに、数多くのひびわれが放射状に発展した。最大荷重に達すると、載荷点上面付近から圧壊が生じ、押ぬきせん断破壊が生じた。床版の押ぬきせん断耐力は表-4に示すように、膨張材量が多くなるほど大きくなり、ケミカルプレストレスの効果が示されたと言えよう。床版の押ぬきせん断耐力の算定に関しては、確立された理論はまだないと考えられるが、プレストレストコンクリート床版の場合にはHawkins<sup>7)</sup>の提案式が見られ、また、鉄筋コンクリート床版の場合にはMoe<sup>8)</sup>の提案式が比較的実測値とよく一致すると言われている。

$$\text{Hawkins式} : Vu = 0.73\sqrt{fcu} \left[ 1 - 0.945 \frac{(\sigma_{cp})^{1/2}}{\sqrt{fcu}} \right] b_0 h + V_p \quad (\text{kg})$$

ここに  $V_u$ : 押ぬきせん断耐力,

$\sigma_{cp}$ : 床版高さ中央部のケミカルプレストレス,  $V_p$ : 支配断面での有効プレストレスの鉛直成分 (ここでは 0)

$b_0$ : 載荷点から  $h/2$  だけ離れた位置の周長,  $=62\text{cm}$ ,  $h$ : 床版全厚,  $=8\text{cm}$

$fcu$ : コンクリート圧縮強度,

Moe式:

$$Vu = \frac{3.97(1 - 0.075r/d)bd\sqrt{fcu}}{1 + 1.396bd\sqrt{fcu}/pu} \quad (\text{kg})$$

ここに  $r$ : 載荷域の一辺の長さ,  $=10\text{cm}$ ,  $b$ : 載荷域の周長,  $=30\text{cm}$ ,  $d$ : 床版の有効高さ,  $=6.5\text{cm}$ ,  $P_u$ : 曲げ破壊荷重。

床版の終局耐力の算定に際し、曲げ破壊荷重  $P_u$  は降伏線理論によつて求められる。本実験では床版の載荷実験から、鋼桁上のコンクリート上縁に貼付したストレインゲージにはひずみはほとんど生じないことが示されたので、2対辺単純支持の床版として、その破壊荷重は曲げ終局段階の断面内の長方形応力分布を仮定すると次式によつて算定できる<sup>9)</sup>。

$$\mu = A_s \sigma_{sy} \left( d - \frac{A_s \sigma_{sy}}{2fcu} \right), \quad Mu = B \cdot \mu, \quad P_u = 4Mu/L$$

ここに  $A_s$ : 単位巾当たりの鉄筋断面積,  $\sigma_{sy}$ : 鉄筋の降伏点応力,  $B$ : 版巾,  $L$ : 版スパン

表-4に、床版の押ぬきせん断耐力の実測値と両推定値を示している。Hawkinsの推定値は実測値とくらべてかなり安全側を推定することになるが、かなりばらついていることがわかる。Moeの推定値は普通コンクリートの場合には実測値とよく一致しているように思われるが、膨張コンクリートの場合には膨張材量が多くなるほど実測値との差の割合が大きくなることわかる。なお、単位膨張材量が  $70\text{kg/m}^3$  の場合、膨張コンクリートが2軸拘束されていることを考慮して、コンクリートの圧縮強度が普通コンクリートと同じであると仮定して、押ぬ

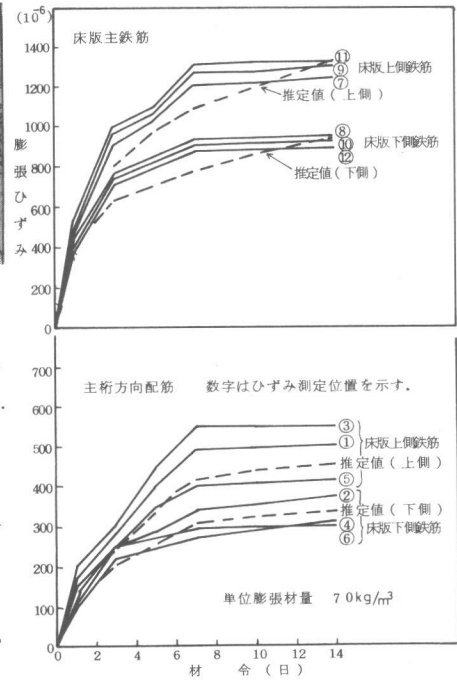


図-4 床版の鉄筋のひずみ測定結果

表-4 床版の破壊試験結果

コンクリート種類	破壊荷重 $P_u$ (t)	ケミカルプレストレス (kg/cm <sup>2</sup> )					降伏線理論による 曲げ破壊荷重 $P_u$ (t)	Hawkins $V_u$ (t)	Moe $V_u$ (t)	$P_u/V_u$	
		主筋方向*		中央	主桁方向**						
		上縁	下縁		上縁	下縁					
普通コンクリート	11.50	0	0	0	0	0	17.30	6.77	9.90	1.70	
膨張 コン クリ ート	E=50 kg/m <sup>3</sup>	13.00	6.8	17.0	11.9	32.7	32.1	17.30	8.61	9.94	1.51
	E=60 kg/m <sup>3</sup>	15.00	11.7	24.5	18.1	57.4	56.6	17.13	8.99	9.47	1.66
	E=70 kg/m <sup>3</sup>	17.50	31.5	42.0	36.8	85.8	84.4	15.30 (17.30)	8.67 (11.45)	6.86 (9.90)	2.02 (1.53)

\*ケミカルプレストレスの推定は床版の主筋の実測ひずみを用いて、はりとして行なっている。参考文献4)参照

\*\*ケミカルプレストレスの推定は配力筋の実測ひずみを用いて、鋼合成桁として行なっている。参考文献4)参照

きせん断耐力を算定した結果を表-4の( )内に示している。しかしながらコンクリート強度を考慮しても、実測値と推定値との間にはかなり開きがあることが認められる。したがって、押ぬきせん断耐力の算定方法には、なお問題が残されているようである。

#### 6. 床版のたわみ特性

図-5に各荷重階での床版のたわみの実測結果を示している。測定結果より、膨張材量が多くなるほど、同一荷重でのたわみ量は小さくなることが明らかになったと言える。とくに、ひびわれ発生後において膨張材量が多いほどたわみの増加が少なくなることが読みとれ、ケミカルプレストレスの効果が示されたと考えられる。

#### 7. まとめ

鋼合成桁床版に膨張コンクリートを用いると、これまで言われているように普通コンクリートの場合よりも、ひびわれ耐力および押ぬきせん断耐力は増大し、同一荷重に対するたわみは小さくなることが明らかになった。本実験内では、膨張材量が $70\text{kg/m}^3$  まででは、膨張コンクリートの無拘束状態での強度は普通コンクリートとくらべて相当低下しても、膨張材量が多くなるほど、床版のひびわれ耐力および押ぬきせん断耐力は増強し、たわみ量は減少することが示され、ケミカルプレストレスが有効に利用できることが認められた。

#### 参考文献

- 1) 池田, 坂口: 膨張コンクリートを用いた鋼合成桁床版の研究, 第32回年次学術講演会講演概要集, 第5部土木学会, 1977
- 2) 大川, 藤田: 膨張コンクリートと普通コンクリートを用いた橋梁床版の疲労試験, 第1回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1979
- 3) 辻, 岡村: 膨張コンクリートを用いた鋼合成桁床版の力学的特性, 第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1980
- 4) 中本, 戸川: 膨張コンクリート梁および鋼合成桁構造の膨張分布に関する研究, 第35回年次学術講演会講演概要集, 第5部土木学会, 1980
- 5) 辻, 前山: ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の最小鉄筋比に関する研究, 足利工業大学研究集録, 第3号, 1977
- 6) S.G. Pinjarkar: Maximum Moments in Rectangular Slabs with Central concentrated Load, Jour. Of ACI, 9, 1973
- 7) N. M. Hawkins: Proc. ASCE, Jour. STs, 8, 1974
- 8) J. Moe: Development Rep. Bulletin, D47, PCA, 1961
- 9) 小柳, 大野: PCスラブの耐力および終局挙動に関する実験的研究, 材料, 第29, 318号, 1980
- 10) 辻, 前山: 膨張コンクリートを用いた部材における膨張分布の推定方法, セメント技術年報, 31, 1977

#### 謝辞:

本研究を行なうにあたり、種々ご指導をたまわりました京都大学、岡田教授、小林助教授、岐阜大学小柳教授実験にご協力下さいました和歌山工業高等専門学校、真田技官、ならびに卒業研究生に深謝の意を表します。

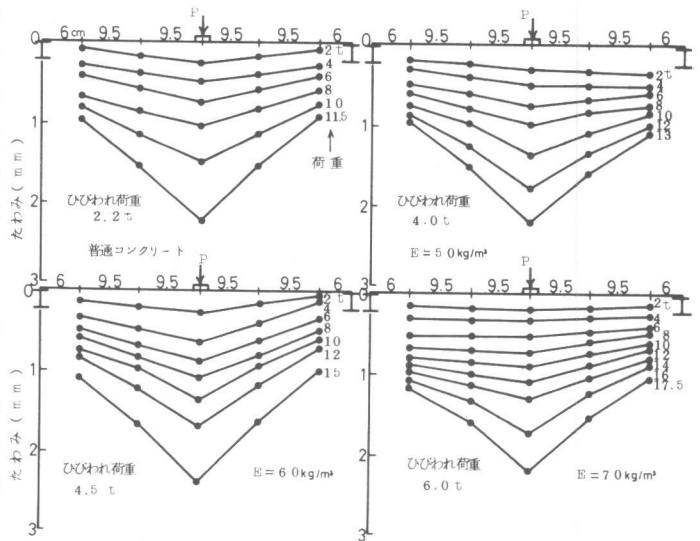


図-5 版のたわみ(版巾中央断面)