

# [116] 埋設型枠に逆T形状のRC板を用いたRC合成床スラブの特性について

正会員 ○小森 清司 (長崎大学工学部)  
 正会員 永藤 政敏 (長崎大学工学部)  
 井上 浩 (長崎大学工学部)  
 村上 義彦 (富士PSコンクリート)

## 1. はじめに

床スラブ施工の合理化を目的にPC板を埋設型枠として用いる工法の実用化が進められており、その種類も多様化してきているが、それらはいずれも導入されているプレストレスが有効に働いてひびわれ防止やスパンの長大化に役立っている。なかでも形状が逆T形のは床スラブの下面が平滑に仕上がるので重宝されているようである。ところが建築の床スラブにPC鋼棒を使用する場合には35mmの純かぶりが必要となる為、逆T形のように圧縮域が大きくとれない材では有効丈がとりにくくPC鋼棒の使用が難しくなる。さりとてプレストレスの効果は捨てがたいので、普通鉄筋を緊張することによってPC鋼棒に代替できないものかと考えた。もとよりこの方法ではプレストレスの減衰が大きく、スパンの長大化という従来のメリットを十分に生かすことは無理であるが、作業の省力化と単価の低減及び施工完了時までのひびわれ防止に対しては、期待が持てそうである。しかしながら、合成後の耐力増には期待していない

いっても、たとえわずかでも鉄筋にプレストレスを導入している以上、その影響を全く無視して通常のRC材と同等に扱う訳にはいかない。少なくとも普通鉄筋に導入されたプレストレスの減衰状況と推移を把握し、それが材に及ぼす影響を検討しておかねばならない。そこで本研究では、逆T形のRC板埋設型枠を作成する際、主筋に普通の異形鉄筋を用い、それにプレテンション方式で4種類のプレストレスを導入し、そのプレストレスの減衰状況、プレストレスの大小が施工時及び合成後の床スラブの耐力変形にどのような効果をもたらすのか、また実用に供しうるのかどうか等を荷重実験によって検証したものである。

## 2. 試験体

試験体はRC板埋設型枠4体とRCS型合成スラブ4体の合計8体よりなる。図-1にその断面詳細を示す。RC板埋設型枠は断面中央に幅15cm×丈10cmのリップをもつ厚さ3cm、幅50cm、スパン300cmの逆T形の一方方向材であり、リップ部には3-D13の主筋を、板部にはφ3.2-100@×100@の溶接金網を敷設している。また主筋にはSD30の規格上の降伏強度 $\sigma_y=30\text{kg/mm}^2$ の0%, 40%, 60%, 80%に相当する4種類のプレストレス導入を計画した。表-3に異形鉄筋及びコンクリートのプレストレスを示す。プレストレス導入時のコンクリート強度は $F_c=175\text{kg/cm}^2$ である。一方、RCS型合成スラブは上面に網

表-1 コンクリートの性質

RC板用コンクリート				現場打ちコンクリート			
圧縮強度	引張強度	曲げ強度	E	圧縮強度	引張強度	曲げ強度	E
Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	×10 <sup>6</sup> Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	×10 <sup>6</sup> Kg/cm <sup>2</sup>
283	25	36	2.5	259	26	38	2.3
336	27	41	2.6				

上段はRC板単体の強度、下段は合成スラブの強度を示す。Eは $\times 10^6$ とする。

表-2 鉄筋・溶接金網の性質

	溶接金網	異形鉄筋	異形鉄筋
公称直径	3.2φ	D10(SD30)	D13(SD30)
断面積 (mm <sup>2</sup> )	8.04	71.33	126.70
$\sigma_y$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	55	38	37
$\sigma_M$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	57	53	53
E (Kg/mm <sup>2</sup> )	$2.1 \times 10^4$	$1.8 \times 10^4$	$1.8 \times 10^4$

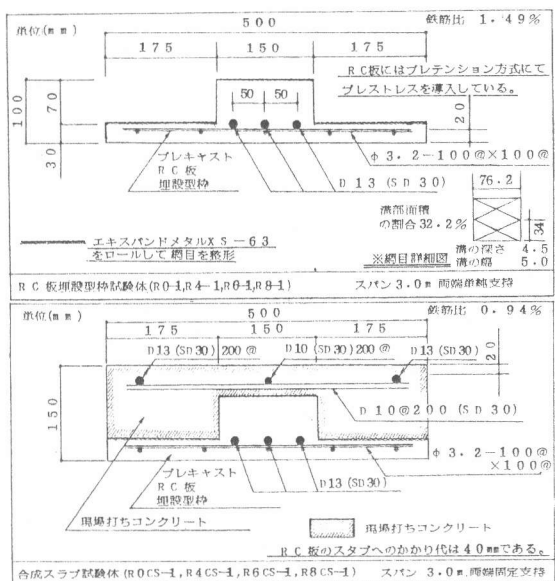


図-1 試験体断面詳細図

目状の溝をつけたRC板埋設型枠上に2-D13, 1-D10の上端筋を配し5cm~12cm厚の現場打ちコンクリートを打設したスラブ厚15cm, 幅50cm, スパン300cmの両端固定一方方向スラブである。また端部の固定度を確保する為、図-5に示す様に両端に大きなスタブを設け締付けが容易な様にしている。試験体の記号中2番目の数字は導入プレストレスの大きさが鉄筋降伏強度の何割にあたるかを示し、0は無緊張を、4は4割を表わしている。使用材料の性質はコンクリートの性質を表-1に、鉄筋・溶接金網の性質を表-2にそれぞれ示す。

### 3. 導入プレストレスの損失と異形鉄筋の端部定着長

図-2は鉄筋の定着長を求める為、プレストレス導入時における中央部鉄筋の損失ひずみを半スパン分だけ示したものである。この図からプレストレスが材端50cm近傍から材端に向けて急激に減少していく状況が良くつかめ、端部定着長として50cm以上が必要であることがわかる。鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説1982(日本建築学会)に従って計算した端部定着長はR8-1, R6-1, R4-1各試験体でそれぞれ63.6cm, 58.7cm, 49.2cmと求められ実験値とほぼ一致している。

図-3は鉄筋を無緊張のR0-1試験体に配した異形鉄筋の乾燥収縮によるスパン中央点ひずみの経日変化を示す。(R8-1の中央部鉄筋のひずみが途中から測定できなかった為、左右2本の平均値を採用。図-4も図-3に準じる。)最高で-182マイクロと値は小さいが、乾燥収縮に伴ってひずみに変化がみられ、16日目には189マイクロの変動がみられる。同じような現象が他の試験体にも現われている。

図-4はプレストレスを導入したRC板埋設型枠のスパン中央点における鉄筋ひずみから図-3に示すR0-1の鉄筋ひずみを差引いた値を経日変化で示したものである。コンクリート打設前、R4, R6, R8試験体においてそれぞれ672, 923, 1109マイクロあった緊張ひずみが、プレストレス導入時に約80マイクロ、型枠脱型時さらに約30マイクロ減少している。この原因の一つはプレストレス導入時のコンクリート強度が $F_c = 17.5 \text{ kg/cm}^2$ と低かった為と考えられる。しかし、脱型後7日目頃からは全体的にひずみの変動が緩慢となり28日目のひずみは358~631マイクロとなっている。このことはコンクリート強度が或程度高くないと緊張力の損失が大きく床スラブ使用時には当初の緊張力が半減してしまうことを示唆している。またRCS型合成スラブについても同じ傾向の実験結果が得られている。

### 4. 実験方法及び測定方法

RC板埋設型枠は両端を単純支持、RCS型合成スラブは両端を固定支持し、スパンの3等分点で上面から2点荷重を行なった。図-5はRCS型試験体両端の拘束状況と実験方法を示す。

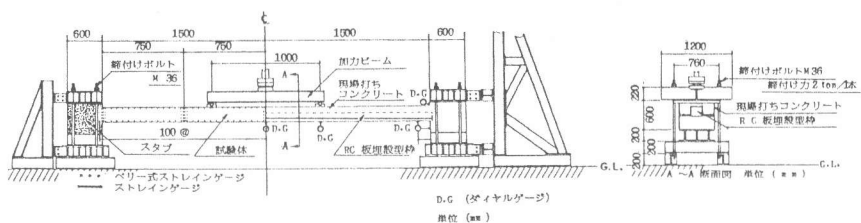


図-5 実験方法及び測定方法

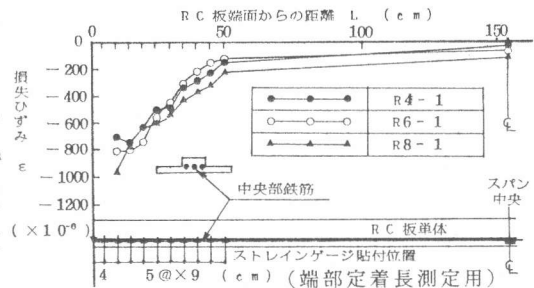


図-2 導入プレストレスの損失状況

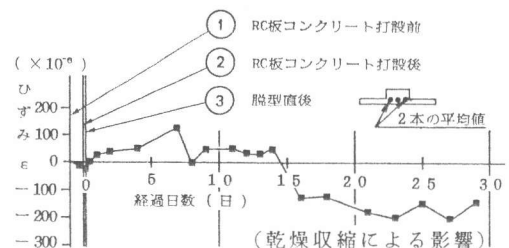


図-3 無緊張鉄筋のひずみの経日変化

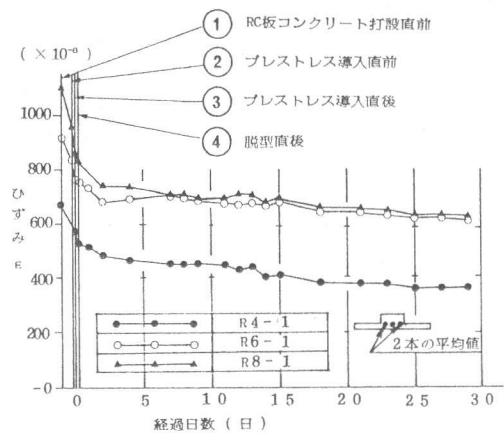


図-4 緊張鉄筋のひずみの経日変化

表-3 実験結果及び計算結果一覧表

実験値 及び 計算値 試験体	プレストレス 実験値				実験値										計算値		比率 (実験値/計算値)						
	異形鉄筋		RC板		ひびわれ荷重 (Kg)		降伏荷重 (Kg)		最大荷重 (Kg)	スパン中央部のたわみ (最大荷重時) (mm)	破壊性状	ひびわれ荷重 (Kg)		降伏荷重 (Kg)		ひびわれ荷重 (Kg)		降伏荷重 (Kg)					
	プレストレス 導入直後 (1) Kg/cm <sup>2</sup>	残存 プレストレス (2) Kg/cm <sup>2</sup>	有効率 (2)/(1) (%)	残存プレストレス ( $\sigma = 2.8$ 日) RC板上縁 Kg/cm <sup>2</sup>	RC板下縁 Kg/cm <sup>2</sup>	発生荷重	貫通荷重	板部				リブ部	端部鉄筋	中央部鉄筋	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部	
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	(%)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg			
R C 板 単 体	R0-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	R4-1	1024 (0.34cy)	644 (0.21cy)	63	圧縮 1.5	圧縮 12.2	—	297	600	—	1504	1725	5.8	RC板 上縁圧壊	—	296	—	1651	—	1.00	—	1.09	
	R6-1	1386 (0.46cy)	1112 (0.37cy)	80	圧縮 5.5	圧縮 19.7	—	200	808	—	1597	1633	5.1	RC板 上縁圧壊	—	598	—	1753	—	1.00	—	0.85	
	R8-1	1546 (0.52cy)	1136 (0.38cy)	73	圧縮 6.3	圧縮 19.8	—	—	193	999	—	降伏 せず	1694	6.1	RC板 上縁圧壊	—	681	—	1697	—	1.19	—	0.94
合 成 ス ラ ブ	R0CS-1	—	—	—	—	—	798	1396	1396	2004	5797	8506	9955	2.7	スラブ 上縁圧壊	1454	654	5502	7827	0.96	3.06	1.05	1.09
	R4CS-1	895 (0.30cy)	637 (0.21cy)	71	—	引張 11.5	1801	2303	2001	3862	6837	8757	9222	4.4	スラブ 上縁圧壊	1364	2454	5547	7916	1.69	1.57	1.23	1.11
	R6CS-1	1237 (0.41cy)	700 (0.23cy)	57	—	引張 10.5	1897	2199	2389	5359	5562	降伏 せず	7588	7.1	—	1561	2444	5511	7795	1.41	2.19	1.01	—
	R8CS-1	1417 (0.47cy)	981 (0.33cy)	69	—	引張 5.9	1632	1798	2192	4200	5589	7378	9196	2.8	中央部鉄筋 の底層	1618	2972	5790	8168	1.11	1.41	0.97	0.98

測定方法はたわみと水平変位をダイヤルゲージで、上、下、側面のひびわれ幅をクリップゲージ及びベリ式ひずみ計で鉄筋のひずみとコンクリート表面のひずみをストレインゲージによって測定した。

5. 実験結果の考察

表-3に実験結果と計算結果及びその比を一覧する。なお、RC板埋設型枠と現場打ちコンクリート間でのクリープや乾燥収縮の差に起因する拘束応力や反り変形については検討中である。

1) 荷重～たわみ性状

図-6はRC板埋設型枠のP～δ曲線である。R0-1は運搬途中既にひびわれが発生しており、載荷当初から他の3体に比べて著しく剛性が低下している。他の3体は導入プレストレスが相違しているにも拘らず施工荷重(577.5kg)の約3倍にあたる終局荷重(1700kg)に達するまでほぼ同等の性状を示し、たわみも6cmに達している。ひびわれ発生荷重はプレストレスが大きい程若干大きくなる傾向が認められる。施工荷重に対しては1.0～1.7倍とあまり余裕をもっていない。しかし、あらかじめ0.4σ<sub>y</sub>以上のプレストレスを導入しておけば、施工荷重下においてひびわれが発生する可能性は少なく、埋設型枠として十分実用に供しうる。

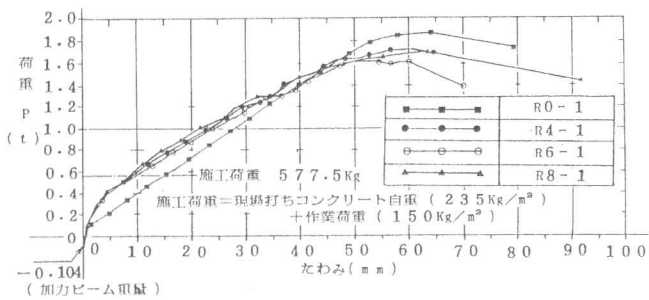


図-6 P～δ曲線 (RC板埋設型枠単体)

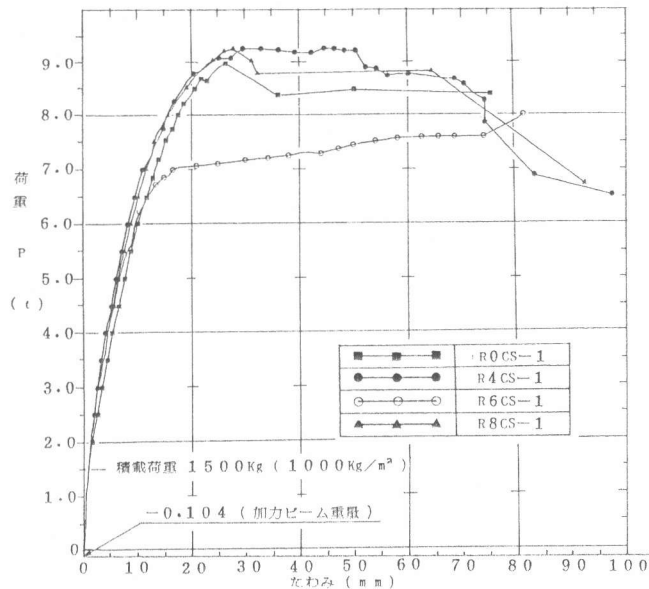


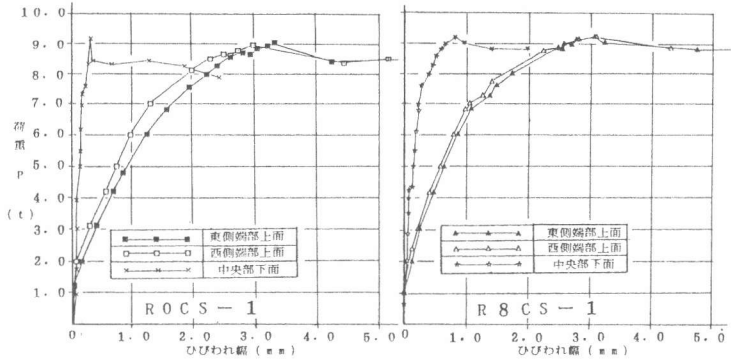
図-7 P～δ曲線 (RCS型合成スラブ)

図-7はRCS型合成スラブのP～δ曲線である。

図-6の場合と同様3体の最大荷重近傍まで良く似た性状を示している。(ただし、実験上の不手際から端部の締付け力が落ち拘束度が低下したR6CS試験体は除く。)しかもその値は約900kgにも達し、積載荷重(1500kg)の約6倍と大きくなるが、たわみは3cmと比較的小さい。しかもその後の2倍の変形に対して耐力の低下はわずか5%と少ない。また、ひびわれ荷重も各試験体ばらついてはいるが、鉄筋を無緊張のR0CSを除けば1600kg～1900kgと高く積載荷重を越えている。このことは普通の異形鉄筋であっても0.4σ<sub>y</sub>以上のプレストレスを導入すれば終局耐力や変形に悪影響を及ぼすことなくひびわれ荷重を高めることが可能な事を示している。

## 2) ひびわれ幅の変化

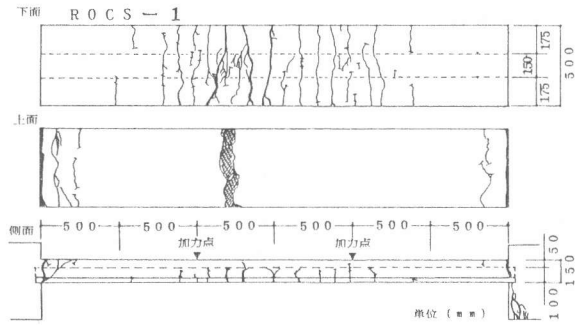
図一8に合成スラブのR0CSとR8CSの両端部と中央部のひびわれ幅の変化を示す。両者共端部のひびわれは1本に集中する為値が大きくP~δ曲線に似ている。それに対して中央部では、ひびわれが10数本分散して発生する為1本当りのひびわれ幅はそれだけ小さくなり、端部ひびわれの1/8程度にとどまっている。このことはスラブ中央部のたわみが端部のひびわれ幅の拡大による曲率の増分と密接に関係のあることを示している。また最大荷重時の端部のひびわれ幅は3mmと大きい。



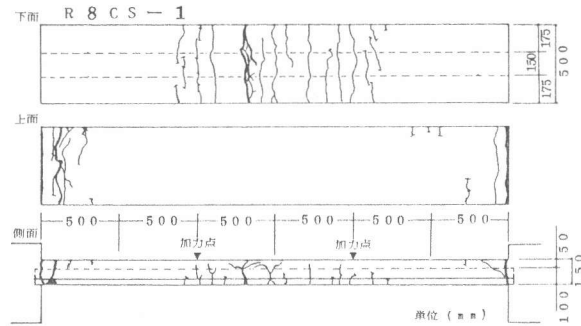
図一8 ひびわれ幅の変化 (クリップゲージによる測定)

## 3) ひびわれ性状

図一9, 図一10は合成スラブのR0CSとR8CSの最終ひびわれ図である。ひびわれパターンは両者共良く似ている。下面では殆ど加力点間に10数本が分散して発生しているが、R0CSの方が若干多い。また中央部近傍の主ひびわれは断面を殆ど貫通し上面にまで達し、コンクリートの圧壊現象を呈している。端部上面では付根のひびわれが際立って大きい。しかし、RC板埋設型枠の固定端からの拔出しや、RC板埋設型枠と現場打ちコンクリートの打継面におけるはくり現象は見られなかった。



図一9 最終ひびわれ図 (R0CS-1)



図一10 最終ひびわれ図 (R8CS-1)

## 4) 固有振動数

表一4に合成スラブの固有振動数を示す。4体共約45 Hzの固有振動数を有し、プレストレスの違いによる固有振動数の相違は見られない。また重力式によって求めた計算値と良く一致している。加力ビームの荷重やひびわれの発生によって固有振動数が低下するが30 Hzを下回っておらず、一般にひびわれが発生し剛性が低下した障害スラブにおいて問題となる15 Hzに比べるとかなり良好な剛性を保有しているといえる。

表一4 固有振動数一覧表 (合成スラブ)

試験体	測定状態	加力ビーム	加力ビーム	端部上縁ひび	スラブ下縁ひ
		載荷前	載荷後		
R0CS-1	実験値	44.5	39.5	35.1	33.0
	計算値	47.7	43.7		
	実/計	0.93	0.90		
R4CS-1	実験値	45.7	41.8	39.7	36.9
	計算値	47.7	43.7		
	実/計	0.96	0.96		
R6CS-1	実験値	45.4	40.9	39.4	32.4
	計算値	47.7	43.7		
	実/計	0.95	0.94		
R8CS-1	実験値	45.2	41.1	37.5	34.2
	計算値	47.7	43.7		
	実/計	0.95	0.94		

計算値はプレストレスの効果を無視して重力式により求めた。単位 (Hz)  
 $f = 1 / 0.175 \sqrt{\delta}$   $\delta = 5W l^3 / 384 EI$   
 $\delta$ : スラブ中央部のたわみ (cm)  $l$ : スパン (300 cm)  
 $W$ : スラブの自重, 加力ビーム重量 104 (Kg)  
 $E$ : RC板コンクリートのヤング係数 (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 $I$ : RC板換算の断面二次モーメント (cm<sup>4</sup>)

## 6. 結 び

普通の異形鉄筋を配した逆T形のRC板埋設型枠でも、あらかじめその鉄筋に0.4  $\sigma_y$ 程度のプレストレスを導入しておけば、運搬時や施工時においてひびわれ防止に非常に効果的であり、またその型枠上面に現場打ちコンクリートを打設して作成された合成スラブは耐力や変形性能の面で通常のRC床スラブに比べて遜色がなく、十分実用に供し得ることが検証された。

[謝辞] 本実験に御協力戴いた長崎大学学生 大迫一徳、堀内昭男の両氏に深謝致します。