

論文

[2136] PPCS 合成桁のずれの影響に関する研究

正会員○蔵重 良和 (山口大学大学院)
 正会員 浜田 純夫 (山口大学社会建設工学科)
 正会員 兼行 啓治 (山口大学社会建設工学科)
 正会員 阿部 宗人 (ピー・エス)

1. まえがき

我国における橋梁は、近年の交通量の増大や重量車輛により過酷な条件にさらされている。特に道路建設ラッシュ時には、合成桁が極めて多く施工されている。当時の合成桁は、施工の経済性のために主桁間隔を広くとるなど、床版に厳しい応力が作用することとなった。このため、すでに床版の取り換えなどの工事もすすめられている。同じ主桁間隔であれば、現行示方書ではより厚い床版を用いなければならず、死荷重の増大など鋼桁部により大きい負担が生ずることとなっている。そこで開発されたのが、PPCS (プレストレスプレキャスト合成スラブ) 工法である。この工法は、あらかじめコンクリート床版にプレストレスを導入し、後に合成作用させてプレストレスを解放する方法である。この方法では鋼桁に、作用荷重によるものと逆の応力が作用する利点がある。このPPCS桁に関する研究はいくらか行われ[1][2][3]、設計・施工の基準も検討されている。しかし、このような桁ではコンクリートは鋼桁に全く付着せず、ジベルだけがずれ止めの役割を果たしている。このため、普通の合成桁よりPPCS桁の方がずれに関しては厳しい条件となっている。

そこで、本研究ではPPCS工法による模型桁供試体を3体製作し、次の点に注目して実験を行った。(a)プレストレスの導入量、(b)プレストレスの解放により生じるコンクリートスラブと鋼桁とのずれ、および解放により鋼桁に導入される応力、(c)プレストレスの解放量を変えた供試体、および解放しない供試体の静的載荷試験を行いその耐荷力、および(d)不完全合成桁の有限要素解析法の適用性の4点である。これらを、本実験で用いた実験供試体を対象として解析を試み、実験結果との比較を行い、PPCS合成桁の活用に関して研究を行うものである。

2. 実験方法

2.1 供試体

断面の諸元を図-1および図-2に示す。鋼桁部は呼称寸法H350×175×7×11のH形鋼を使用し、コンクリートスラブはプレキャストとし、7個のプレキャスト部材を用いた。

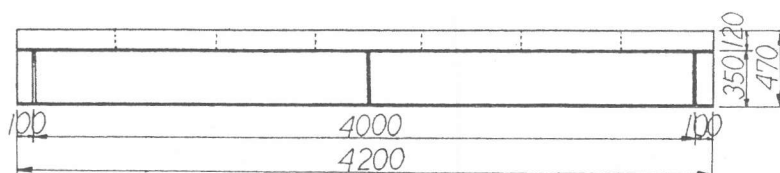


図-1 側面図

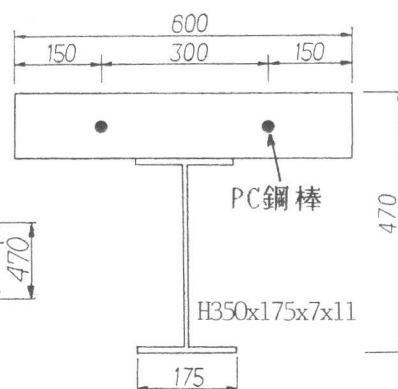


図-2 断面図

ずれ止めは、次の2点を考慮して設計した。(a) スパン中央に集中荷重が作用したときの鋼桁下フランジの応力が許容応力度 $\sigma_s=1400\text{kgf/cm}^2$ に達した時の、鋼桁とコンクリート床版の間のせん断力、

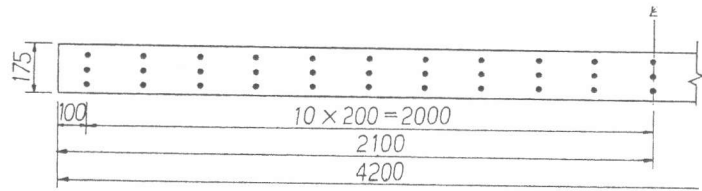


図-3 ジベル配置図

および (b) プレストレスの解放により生じるせん断力である。このことより、ずれ止めとして $\phi 19$ の頭付きスタッドジベルを一行に3本づつ20cm間隔で配置した。図-3にジベル配置図を示す。ジベルの高さは105mmである。

供試体は、同じ断面形状のものを3体製作した。コンクリート床版部は、橋軸方向に7等分割し600x120x600mmのコンクリートブロックをプレキャストで製作した。また、コンクリートブロックに、スタッドジベル用孔として1ブロック当たり3箇所、150x50mmの孔を設けた。シースは径32mmのものを図-2のようにコンクリート断面の中心軸に2本配置した。コンクリートおよびジベル孔埋め用モルタルの配合を表-1および表-2に示す。目標配合強度は 400kgf/cm^2 である。混和材としてマイティー150をセメント量の0.3%加えた。本実験では、呼び名23mm 規格 JIS G 3109 C種 1号のPC鋼棒を用いた。ブロック間の接合には、接着剤を用いた。

表-1 コンクリート配合表

水セメント比 w/c(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
52	39	175	337	720	1131	1.01

表-2 モルタル配合表

水セメント比 w/c (%)	単位量 (kg/m ³)		
	水	セメント	細骨材
40	272	680	860

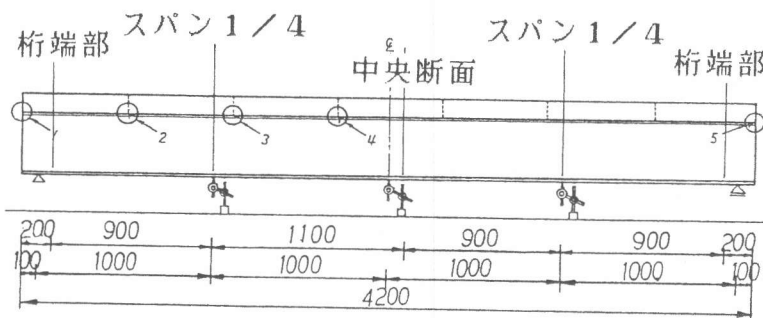


図-4 測定位置 (側面図)

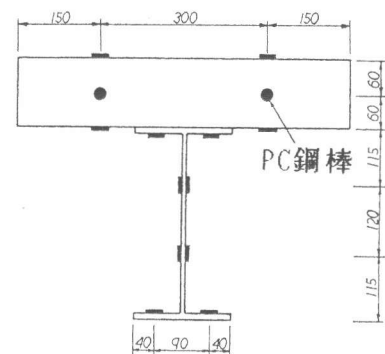


図-5 測定位置 (断面図)

2.2 実験方法

荷重の測定は、ロードセルを用い、変位はカンチレバ型変換器、ひずみは試験体各部に貼付けたひずみゲージで計測をおこなった。測定位置を図-4および図-5に示す。

実験は、プレキャストコンクリートブロックを鋼桁上に敷設した後に、PC鋼棒をシース孔に挿入し、センターホールジャッキを用いて2本のPC鋼棒を10tonfずつ交互に片引きで緊張し、1本あたり30tonfまでプレストレスを導入した。プレストレス力の管理は、センターホールジャッキ部分に取りつけたセンターホールロードセルの値と、PC鋼棒にストレインゲージをはり、PC鋼棒のひずみを軸方向プレストレス力に換算した値によっておこなった。

プレストレスの導入後、表-2に示したモルタルでジベル孔を埋め、コンクリート床版と鋼桁と

を一体化した後、ジベル孔埋め用のモルタルの強度が十分発生したのを確認して、先に導入されたプレストレスを解放し各断面でのひずみ、ずれ、およびたわみを計測した。

表-3に各供試体の違いを示す。供試体1では、あらかじめ導入されたプレストレスを全部(60tonf)解放し、供試体2では、その半分(30tonf)を解放した。また、供試体3では、プレストレスの解放は行わず、30tonfほどプレストレスを導入し鋼桁と一体化した。

表-3 供試体

供試体	導入軸力	解放軸力
1	60tonf	60tonf
2	60tonf	30tonf
3	30tonf	0tonf

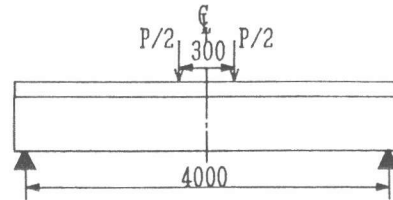


図-6 荷重図

静的荷重試験は、図-6に示す様にスパン400cmの単純ばりで、荷重は2点集中荷重によりおこなった。測定は、プレストレス解放時と同様にひずみ、ずれ、およびたわみをそれぞれ計測した。

3. 実験結果および考察

3.1 材料の試験

表-4にコンクリートの材料試験結果を示す。ジベル孔埋め用のモルタルの平均圧縮強度は、プレストレス解放時(モルタル材令14日)は530kgf/cm²で、材令28日で560kgf/cm²であった。

表-4 コンクリートの強度

	スランプ ^o	空気量	圧縮強度	引張強度	曲げ強度	ヤング係数
フレッシュコンクリート	8.9cm	1.2%	—	—	—	—
28日強度	—	—	407.9kgf/cm ²	28.0kgf/cm ²	56.4kgf/cm ²	3.6×10 ⁵ kgf/cm ²
プレストレス導入時	—	—	493.7kgf/cm ²	—	—	3.8×10 ⁵ kgf/cm ²
荷重試験時	—	—	488.0kgf/cm ²	33.4kgf/cm ²	—	—

3.2 プレストレス導入時の応力および変形

プレストレス力を、60tonf導入したときのコンクリート床版断面に生じる応力は、83.3kgf/cm²であり、ひずみの計算値は、220μとなる(材料試験結果よりE_c=3.8×10⁵kgf/cm²)。プレストレス導入時コンクリート床版のひずみは、プレストレス力にほぼ比例して増大し、全ての供試体とも同じ様な傾向が生じている。供試体3の各断面のプレストレス-ひずみ関係図を図-7に示す。桁端部では、導入プレストレス力60tonfの時に、コ

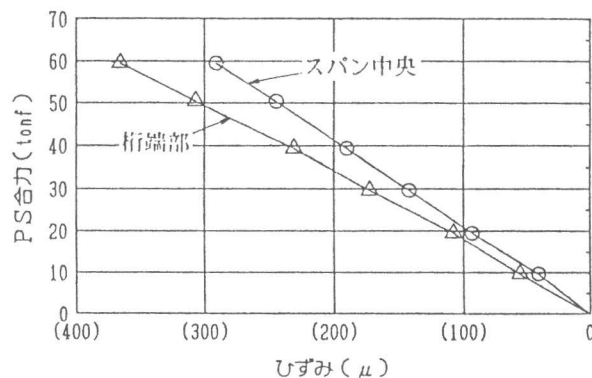


図-7 プレストレス-ひずみ関係図(供試体3)

ンクリート床版のひずみは 350μ (応力 115kgf/cm^2 に相当)であり、平均予定導入応力の 83kgf/cm^2 に比べるとかなり大きな値であった。これは、測定位置が定着具近くのPC鋼棒上でひずみを計測していることによるものと考えられる。スパン中央断面では、ひずみは約 300μ (99kgf/cm^2)で3供試体ともほぼ同じ値であった。コンクリート床版の全断面を有効と考えた場合のひずみと比べると大きな値であるが、ジベル用孔の部分を除いて断面を考慮すると解析値は 292μ となり、ほぼ実験値と一致する。

3.3 プレストレス解放時の応力および変形

図-8(a)は供試体1の解放軸力60tonf、図-8(b)は供試体2の解放軸力30tonfのひずみ分布図である。また、解析値は完全合成桁としての応力解析値と、不完全合成桁の有限要素解析値である。なお、完全合成桁では全ての断面において応力分布は、同一のものとなる。また、プレストレス解放による曲げモーメントおよび軸力は完全合成桁の考え方においては全長一定となる。

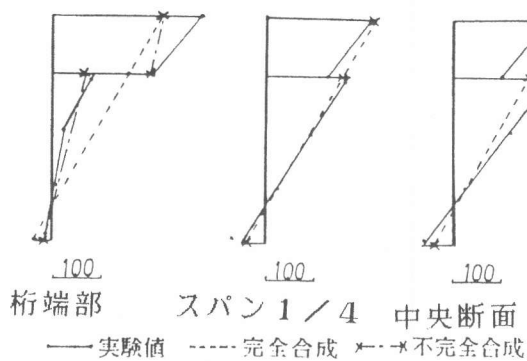


図-8(a) 供試体1のひずみ分布図

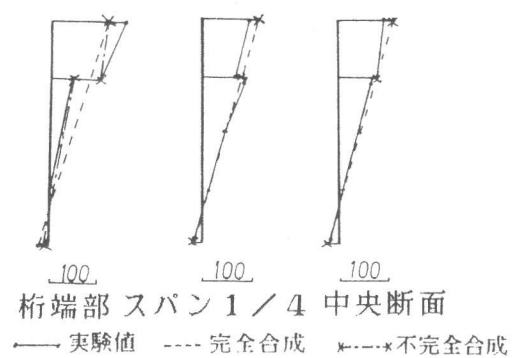


図-8(b) 供試体2のひずみ分布図

図-8(a)(b)によれば、桁端部、スパン1/4、スパン中央のいずれの部分もずれにより、コンクリート下部と鋼フランジ上縁とに大きいずれひずみが生じている。桁端部のずれひずみは特に大きく、完全合成桁理論との差は大きい。一方、不完全合成桁の理論[5]では、桁端で実験値と極めてよく一致しているが、スパン中央に近づく程実験値と異なっている。図-8(b)の様にスラブのひずみが大きくなることもあり、スパン中央から片側のみの測定による誤差がこの様な結果を生じたと考えられる。

図-9にプレストレス解放時のたわみを示す。30tonf解放時までは解析値とほぼ一致している。

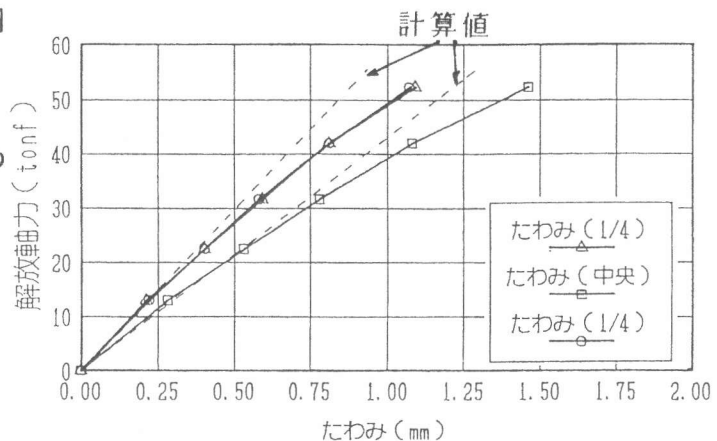


図-9 プレストレス解放時のたわみ (供試体1)

3.4 静的載荷試験

載荷時の荷重-たわみ関係図の一例を図-10に示す。各供試体ともほぼ同じ荷重-たわみの傾向を示した。本載荷試験においては、鋼の降伏後ひずみの増加を確かめながら、載荷および除荷を行った。除荷は急なコンクリートの圧壊を防ぐためである。

コンクリート上縁および鋼桁ウェブ、下フランジの曲げモーメント-ひずみ関係図の一例を図-

11に示す。3供試体とも断面およびスパンが同じでありほぼ同じ傾向がみられたが、鋼桁下縁の降伏する時の曲げモーメントは、供試体1が最も大きくなった。破壊形態は、全供試体とも鋼桁下縁の降伏によるコンクリート上縁部の圧壊であった。曲げモーメント-ひずみ関係図では、鋼桁の降伏ひずみは急激に大きく増大しているが、たわみは鋼材の降伏後も下フランジのひずみの増加に比較すれば緩やかに増加している。また、鋼桁が降伏した後、ウェブ下部のひずみが下フランジのひずみを上回り、ベルヌーイのひずみに関する法則を満たさなくなっている。

荷重-ずれ関係図の一例を図-12に示す。供試体2, 3では初期の荷重段階ではコンクリート床版と鋼桁との間にはずれはほとんど生じなかったが、供試体1ではずれが生じ荷重の増加とともにほぼ直線的にずれが増大している。供試体1は導入されたプレストレスを全部解放している供試体であり、供試体2, 3と比べるとずれに関しては、あらかじめ過酷な条件となっている。そのため供試体1では、早い荷重段階で大きなずれが生じたと考えられる。最終荷重段階でのずれ量は、供試体1, 2, 3ともほぼ同じであった。残留ずれ量も全供試体ともほぼ類似の傾向を示した。

図-13および図-14に供試体2のスパン中央付近のひび割れ図の一例を示す。コンクリート床版上縁のひび割れは、スパン中央に集中していた。終局耐力に近い時点より網目状のひび割れが発

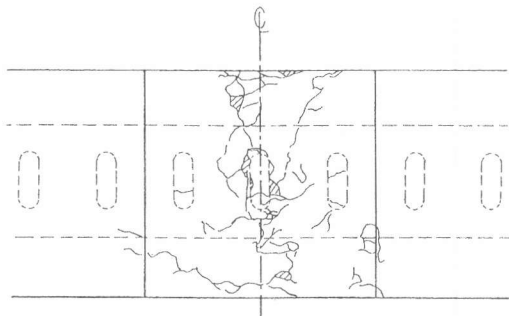


図-13 上面のひび割れ図

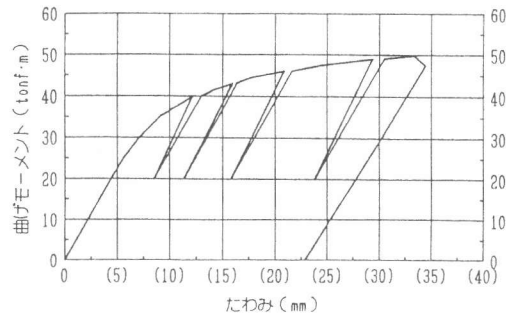


図-10 荷重-たわみ関係図

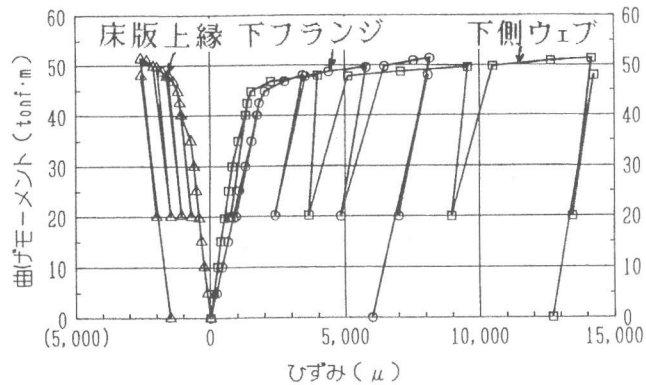


図-11 曲げモーメント-ひずみ関係図

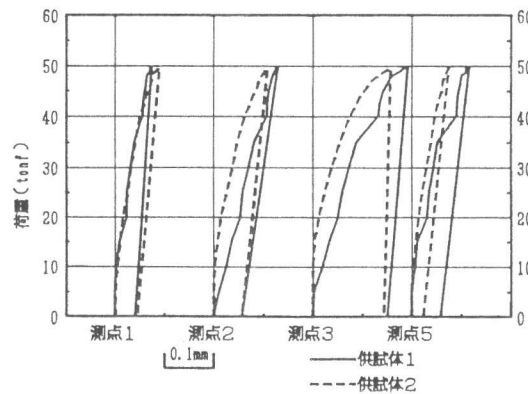


図-12 荷重-ずれ関係図

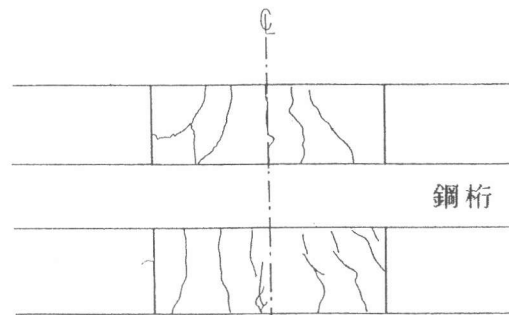


図-14 下面のひび割れ図

生し、部分的に圧壊した。また、側面の継目部分にも、圧壊した部分がみられた。コンクリート床版下面のひび割れは、橋軸直角方向に発生しており、終局耐力に近づくにつれ合成桁の中立軸が上に上がりコンクリート床版下面が引張域となり、コンクリートの引張強度を超えた時点から発生したと考えられる。ひび割れ形態は3供試体とも同じであった。

耐荷モーメントは、鋼断面をコンパクト断面とした時35.4tonf・mであるが、フランジおよびウェブで座屈が生じず鋼断面がノンコンパクト断面としたときの計算値は49.6tonf・mとなる。供試体1, 2および3の実験における終局耐力はそれぞれ51.5tonf・m、50.7tonf・mおよび49.8tonf・mであった。全ての供試体でノンコンパクト断面の耐荷モーメントの計算値を上回った。このうち供試体1が最も耐荷力が大きかった。

4. むすび

プレストレス力の導入時のひずみ分布は、接合面の不具合や、スタットジベル用孔の影響、ゲージ位置の関係等により部分的なばらつきがみられた。しかし、PC鋼棒の引張管理には、ロードセルの値とPC鋼棒のひずみを荷重に変換した値の両方を用いたこと、またアンカープレートはコンクリート床版断面に対し十分大きなものを使用していること等を考えると、適切なプレストレス力がプレキャストコンクリート床版に与えられた。プレストレス解放時においては、端部以外はコンクリート床版と鋼桁が一体となった完全合成桁に近いひずみ分布を示した。桁端部においてはコンクリート床版と鋼桁との間にずれひずみがみられ、実験値は不完全合成桁としての解析値と一致した。軸力を解放した場合にどの断面においても、解析値とほぼ同じ応力の導入が行われた。載荷試験では、各供試体に大きい差違は現れなかった。耐荷力や、たわみは3供試体のうち導入されたプレストレスを全部解放した供試体1が最も強度があらわれた。

なお、この様な桁は橋梁に用いられるので、終局耐力よりも疲労耐力が問題となることが多い。今後疲労荷重を受ける時の挙動を研究する必要がある。

5. 謝辞

載荷実験を行うに当たり、(株)ピー・エスの阿部、壬生各部長、岡山県水島工場の松田工場長、結城次長ならびにその他御協力を賜った関係各位に厚く感謝を表します。

6. 参考文献

- 1) Hiroshi NAKAI : CREEP AND SHRINKAGE OF CONTINUOUS COMPOSITE GIRDER BRIDGE BY USING PRESTRESSED PRECAST CONCRETE SLABS, STEEL-CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES, September 26-29, 1991
- 2) 中井 博他: プレキャスト床版連続合成桁橋のクリープ・乾燥収縮の実験と解析、第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、1989年9月
- 3) 中井 博: プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する研究、土木学会関西支部共同研究グループ、昭和61年6月
- 4) 中井 博編: プレキャスト床版合成桁の設計・施工-床版の急速施工と耐荷性向上のために、森北出版、1988
- 5) 浜田 純夫、有住 康則: 不完全連続合成桁の有限要素解析、土木学会論文報告集、第265号、1977年6月