

(101) PRC 鉄道U形コンポ橋の実験

日本鉄道建設公団 柿崎 孝夫
 日本鉄道建設公団 種田 昇
 PC建設業協会 正会員 阿部 浩幸
 PC建設業協会 正会員 ○三瀬あゆこ

1. はじめに

PCU形桁・合成床版橋は、架設現場における作業の省力化を推進する目的で、部材をできる限りプレキャスト化し、吊足場を一切なくした構造である。プレテンションU字形主桁の採用によって主桁を少数化、さらに主桁間を結ぶ床版としてプレキャストPC型枠を採用し、中間横桁をなくす計画である。このような構造を採用した鉄道橋ははじめてである。そこで本実験では、このPCU形桁間の合成床版部の合成性能を確認することを目的として、実物大の供試体を用いた静的および疲労実験を行い、その性能に問題ないことを確認した。本論文は静的実験結果および、その検証を目的として行ったFEM非線形解析結果について報告するものである。

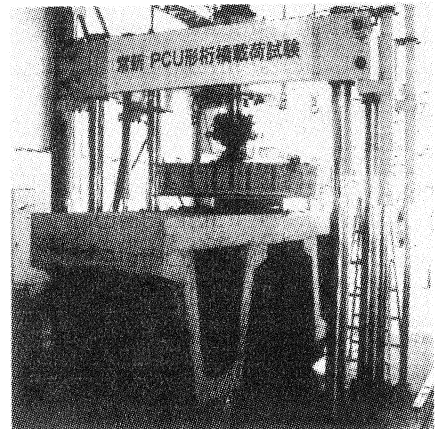


写真-1 載荷試験状況

2. 供試体概要

図-1に供試体形状を、図-2にPC鋼材および鉄筋の配置を示す。供試体は実設計構造のものを橋軸方向に1m切りだした実物大であり、幅1600×高さ1040mmのU字形主桁間に幅1020×厚さ70mmのPC版を設置し、後打ちコンクリートを打設、厚さ230mmの合成床版とした。

U字形主桁は、実橋ではPC部材であるが、本供試体は合成床版を目的とする実験であることからRC部材とした。PC版はφ2.9mmのPC鋼より線を10本配置し、下縁コンクリート応力で4.8N/mm²のプレストレスを与えたプレキャスト部材とし、打設面は後打ちコンクリートとの付着を良好にするため、段差4mm程度の凹凸に仕上げた。U字形主桁およびPC版は、実施工同様に早強コンクリート(設計強度50N/mm²)を使用し、さらにPC版は、工場での製作工程を考慮し、蒸気養生(最高温度40℃×6時間)を行った。主桁およびPC版ともに、コンクリート打設後7日で脱型し、同時にPC版のプレストレス導入を行った。

後打ち床版にはD16異形鉄筋(SD345)を150mm間隔で2段に配置した。合成床版の

厚さは230mmである。実施工同様に、普通コンクリート(設計強度30N/mm²)を使用した。

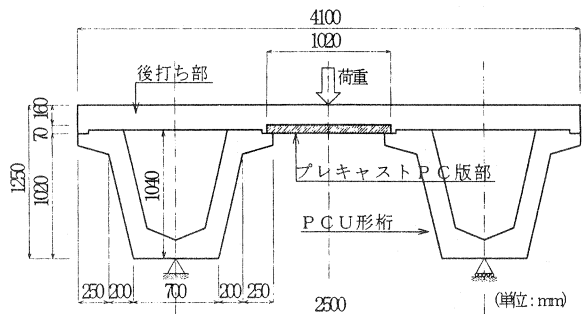


図-1 供試体概要

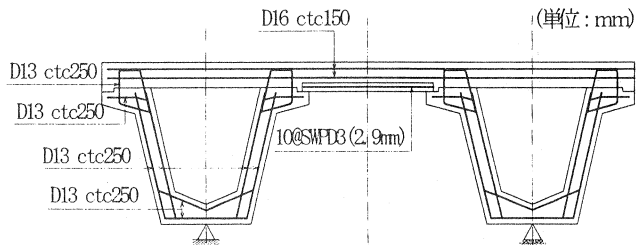


図-2 鋼材配置

PC版と主桁との接合部分には無収縮モルタルを打設した。詳細を図-3に示す。

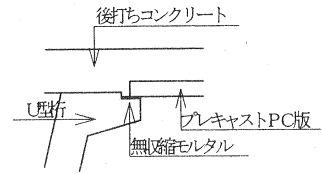


図-3 掛違部詳細

3. 実験概要

実験は2主桁の下端中央を支点とし、合成床版支間中央に1点载荷とした。載荷荷重は、実橋における床版支間中央での設計断面力と供試体の載荷点断面力が一致するように設定し、使用限界状態の載荷荷重は37.4kN、終局限界状態のそれは50.4kNとした。計測は、載荷荷重24.5kNごとに合成床版の鉛直変位および鉄筋ひずみに関して行った。使用限界状態およびひび割れ発生時点で荷重を除荷し、その後破壊にいたるまで載荷した。実験は後打ちコンクリート打設後33日で行い、実験時のコンクリート圧縮強度は、主桁およびPC版が57.5N/mm²、後打ちコンクリートが38.8N/mm²であった。

4. FEM解析概要

実験結果の検討を目的として、非線形FEM解析を行った。図-4に各解析に用いた要素分割図を示す。鉄筋は供試体と同様に配置した。解析に用いた材料諸数値は表-1および2のとおりである。コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮に対して非線形、引張に対して線形を仮定し、引張強度に達した時点でひび割れ発生とみなし、その後直線軟化を仮定した。鉄筋およびPC鋼材の応力-ひずみ関係は、バイリニアとした。

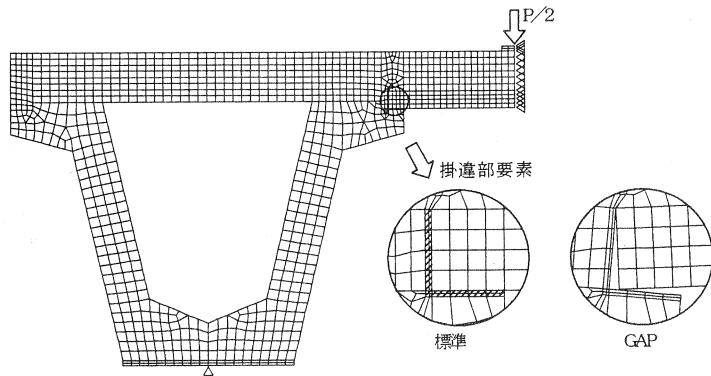


図-4 FEM解析要素分割図

4. 1. 解析パラメータ

PC版の端部鉛直面と主桁および後打ちコンクリートとの境界部(掛違部)の条件をパラメータとして3種類の解析を行った。

①標準解析: 掛違部は、後打ちコンクリートより低圧縮強度であり、引張強度は4割程度と仮定した。

②掛違引張低下: 掛違部の要素の引張強度を標準解析に対して、約1/10とした。

③掛違GAP: 掛違部に圧縮力には抵抗するが、引張およびせん断力に対して抵抗しないGAP要素(要素の境界線を2重に設定)を取り入れた。いずれも、支点条件は、自由とした。さらに解析値を検証するため、骨組み弾性解析も行った。

表-1 コンクリートの物性(標準解析)

		主桁	後打ちコンクリート	PC版	掛違部
圧縮強度 f_c	N/mm ²	-57.5	-38.8	-57.5	-24.4
引張強度 f_t	N/mm ²	3.4	2.6	3.4	1.1
弾性係数 E_c	kN/mm ²	34.0	23.7	34.0	27.4

表-2 鉄筋およびPC鋼材の物性

		鉄筋		PC鋼材
		主桁 4@D13	後打ちコンクリート 7@D16	PC版 10@3-φ2.9
断面積 A_s	mm ²	507	1390	198
降伏強度 f_y	N/mm ²	345.9	398.9	1715.0
弾性係数 E_s	N/mm ²	209.7	209.7	199.9

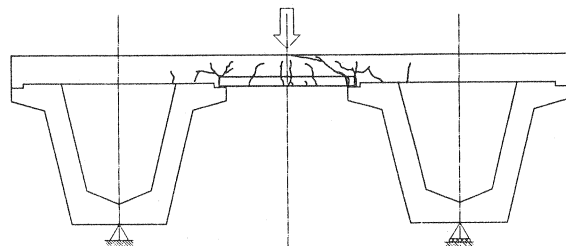


図-5 ひび割れ状況(最大荷重時)

5. 実験結果および解析結果

5. 1. ひびわれ状況

図-5に最大荷重時のひび割れ状況を示す。使用および終局限界状態において、ひび割れは確認されず、荷重が87.2kNのとき掛違部の上部にひび割れを確認した。その後127kNでPC版載荷点下にひび割れが発生した。

5. 2. 載荷点変位

表-3に各荷重段階における載荷点変位を、図-6に荷重-載荷点変位の関係を荷重200kNまでについて示す。同時に骨組弾性解析結果・FEM解析結果も示す。実験値は、ほぼ線形に変化し、掛違部にひび割れが発生した87.2kN付近から荷重-載荷点変位関係の傾きは低下した。使用限界状態および終局限界状態においては標準解析が、ひび割れ発生荷重時においては、GAP要素を用いたものが、特に近い結果を示した。さらに、実験値は終局限界状態付近まで、骨組弾性解析値とよく一致している。

5. 3. 掛違部水平変位

表-4に使用および終局限界状態における掛違部水平変位を、図-7に荷重-掛違部水平変位関係を示す。これは、掛違部におけるPC版と後打ちコンクリートの開きを示している。実験値は20kN程度の低荷重から変位が大きくなった。引張に抵抗にしないGAP要素を用いた解析結果は実験値をよくあらわしているが、他の解析では、小さな変位を示した。これらのことから、掛違部は水平方向に対して大きな付着力を有しているとは考えられない。

5. 4. 鉄筋応力

表-5に使用限界状態および終局限界状態における載荷点および掛違部の床版下段鉄筋の応力を示す。載荷点では実験値および解析値ともに、線形的に応力は増加しており、また各解析において結果は同じであり実験値とも近い値を示した。一方、掛違部では、終局限界状態以前に実験値は大きく増加したが、その値は十分に小さい。GAP要素を用いた解析はよく近似しているが、他の解析値は小さな応力を示した。

図-8に荷重-載荷点下段鉄筋応力

表-3 載荷点変位の比較

	実験値	FEM解析			備考
		標準	掛違引張低下	掛違GAP	
使用限界状態	0.328	0.381	0.425	0.492	載荷荷重P=37.4kN
終局限界状態	0.541	0.514	0.573	0.682	載荷荷重P=50.4kN
ひび割れ発生	1.585	1.040	1.051	1.406	載荷荷重P=87.2kN
最大荷重	14.404	11.727	10.941	13.654	

(注) 最大荷重時は、それぞれの最大荷重での値を示す。

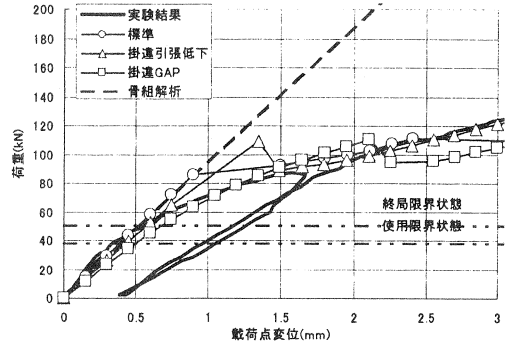


図-6 荷重-載荷点鉛直変位関係

表-4 掛違部水平変位の比較

	実験値	FEM解析			備考
		標準	掛違引張低下	掛違GAP	
使用限界状態	0.017	0.000	0.008	0.019	載荷荷重P=37.4kN
終局限界状態	0.039	0.000	0.011	0.030	載荷荷重P=50.4kN

(注) 実験値は左右の平均値を示す

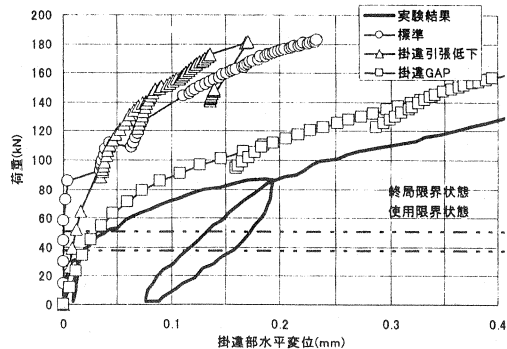


図-7 荷重-掛違部変位関係

表-5 下段鉄筋応力の比較

	実験値	FEM解析			備考
		標準	掛違引張低下	掛違GAP	
載荷点位置					
使用限界状態	2.5	2.9	2.9	2.9	載荷荷重P=37.4kN
終局限界状態	3.7	3.9	3.9	3.9	載荷荷重P=50.4kN
掛違部					
使用限界状態	5.8	0.4	2.8	7.3	載荷荷重P=37.4kN
終局限界状態	19.2	0.5	4.3	15.3	載荷荷重P=50.4kN

(注) 掛違部実験値は左右の平均値を示す

関係を示す。実験値は使用および終局限界状態において弾力的な変化を示し、100kN 付近よりその傾きは緩やかに低下した。標準解析では荷重約 85kN まで、掛違引張低下解析および GAP 要素を用いた解析では約 110kN まで、弾的に増加し、実験値に近い値を示したが、それ以降、急激に増加した。これは、解析においては、PC 版と同時に後打ちコンクリートにもひび割れが入ったためである。

図-9 に荷重-掛違部下段鉄筋応力関係を示す。実験値は最初から弾力的な変化を示すことなく、20kN 程度の低荷重からその変化量は大きかった。使用および終局限界状態において、発生応力はいずれも小さく、問題は無いと考えられる。GAP 要素を用いた解析は約 40kN から大きく変化し、定量的にも実験値をよく評価しているといえる。

5. 5. ひずみ分布

図-10 に荷重点断面のひずみ分布を示す。使用および終局限界状態において、実験値はほぼ直線的な分布を示し、PC 版と後打ちコンクリートは一体性が保たれているといえる。解析値は各限界状態において、PC 版のひずみは若干大きく評価しているものの、ほぼ実験値と同様の傾きを示し、また直線的な分布を示し合成床版として考慮できることが示された。

6. まとめ

- 1) 荷重実験より、使用および終局限界状態において、PC 版と後打ちコンクリートによる合成床版部の合成性能に問題がないことを確認した。
- 2) 合成床版における鉄筋応力は十分に小さかった。
- 3) PC 版端部と後打ちコンクリートの境界部(掛違部)に、引張に抵抗しない要素(GAP)を用いた FEM 解析によって、供試体の挙動をよくあらわすことができた。

実構造物においては主桁の横剛性があり、本実験結果は実構造物より厳しい条件で行われたものであり、実橋は十分に安全であるといえる。

謝辞

当研究は、常磐新線 PCU 形桁委員会 (委員長:丸山久一長岡技術科学大学教授) の一環として行われたものである。実験は、オリエンタル建設(株)技術研究所において行い、同研究所のご協力をいただいた。ここに関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 土木学会: PC 合成床版工法設計施工指針(案),コンクリートライブラリー第 62 号,昭和 62 年 3 月
 澤田浩昭他: PC 合成げた橋(PC 合成床版タイプ)に関する実験および解析, プレストレストコンクリート技術協会 第 7 回シンポジウム論文集, 1997 年 10 月

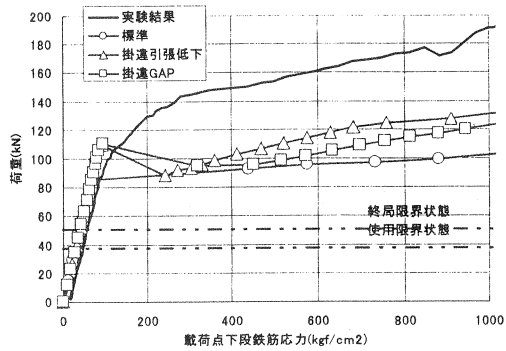


図-8 荷重-荷重点下段鉄筋応力関係

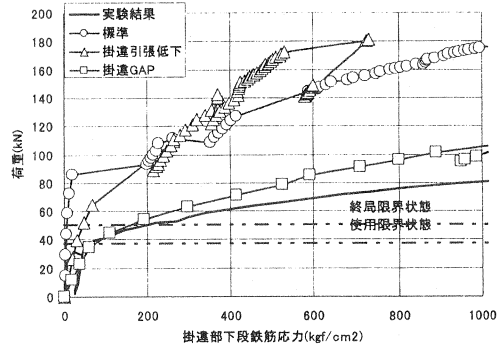


図-9 荷重-掛違部下段鉄筋応力関係

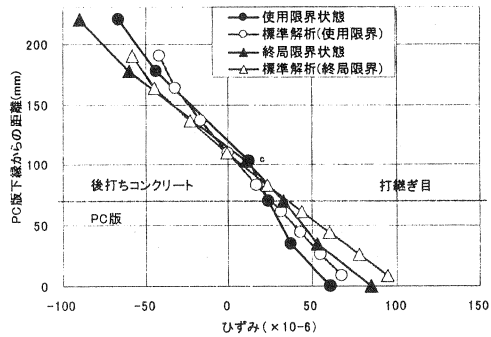


図-10 荷重点断面ひずみ分布