

(86) 補強鋼材を有するプレテン方式スラブけた橋 (開運橋) の設計・施工

栃木市役所 瀬下 敏行  
 (株) 富貴沢建設コンサルタンツ 正会員 岸 靖佳  
 川田建設 (株) 正会員 ○新井 達夫  
 川田建設 (株) 鹿嶋 圭介

1. はじめに

開運橋は、「蔵の街」として有名な栃木県栃木市内の巴波川<sup>うづまがわ</sup>を中心とした観光地に位置する、橋長16.0m、有効幅員約14mの単径間プレテンション方式中空床版橋である。このため、本橋は栃木市内の重厚で落ち着いた雰囲気とマッチした、景観重視のデザインとなっている。

また、本橋は支間15.3mに対し、けた高を50cmと低く抑える必要があったため、主げたの圧縮域に補強鋼材を配置したプレテン方式スラブけた (ハイプレックス・ビーム) が採用された。本げたの特徴は、①補強鋼材による断面剛性の増加、②クリープ・乾燥収縮による断面内の応力転移 (補強鋼材の拘束効果) により主げた圧縮縁の応力度を改善すること、などが挙げられる。これらについては、過去に静的試験、疲労試験<sup>1)~3)</sup>、さらにクリープ試験<sup>4), 5)</sup>などを行い、主に曲げ・せん断挙動に対する設計の妥当性、クリープ・乾燥収縮による断面内の応力転移挙動を確認している。

本報告では、開運橋の設計・施工の概要に加え、破壊までの力学的性状の把握および設計耐力力を確認する目的で、実橋サイズのプレテン方式スラブけたを製作し静的載荷試験を行ったので、この試験結果についても報告する。

2. 設計概要

(1) 設計条件

本橋の設計条件ならびに使用材料を表-1に示す。設計は通常のプレテンげたと同様に行うこととしたが、設計荷重作用時に許容応力度を超えてしまう支間中央断面について、補強鋼材を考慮した合成断面として応力度を算出した。また、鋼材拘束の影響を考慮したクリープ解析を行い、補強鋼材やコンクリート応力度の照査を行った。

(2) 主げたの構造

開運橋の主げた断面図 (支間中央) を図-1に示す。補強鋼材はクリープ解析結果よりコンクリート断面の2.3%配置することとした。補強鋼材を合成断面として算出した曲げ剛性は、鋼材のない場合に比べ13%増加する。また、けた高などのコンクリート断面形状ならびにP C鋼材量はBS13と同一である。

表-2には、本げたとJISげた (BS15) との比較を示す。本橋の場合、補強鋼材を55cm<sup>2</sup>配置することで、けた高を10cm低めることが可能となった。また、

表-1 開運橋の設計条件および使用材料

設計条件		使用材料	
橋長	16.000 m	コンクリート (主桁)	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
支間長	15.300 m	(間詰)	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
有効幅員	13.986 m	PC鋼材 (主桁)	SWPR7B 1S15.2
活荷重	B活荷重	(横締)	SWPR19 1S21.8
斜角	65° 00' 00"	鉄筋	SD295
		補強鋼材	SM490

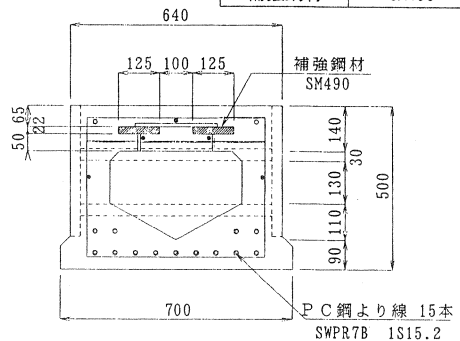


図-1 開運橋主げた断面図 (支間中央)

表-2 JISげたとの比較

	JIS桁 (BS15)	開運橋
支間長	15.2 [m]	15.3 [m]
桁高	60 [cm]	50 [cm]
桁高支間比	1 / 25.3	1 / 30.6
P C 鋼材	15 [本]	15 [本]
補強鋼材	-----	55 [cm <sup>2</sup> ]

補強鋼材の橋軸方向長さは、鋼材縁端部の応力状態から7m(支間中央振り分け)とした。

(3)解析結果

補強鋼材の拘束の影響を考慮した解析結果を右表-3に示す。補強鋼材を考慮しない場合(CASE-1)と考慮する場合(CASE-2)で、設計荷重作用時においてコンクリート上縁圧縮応力度が56%減少することがわかる。これは、鋼材の合成効果と応力転移によるものである。逆に、補強鋼材はクリープ・乾燥収縮によって圧縮力が増加していくため、設計荷重作用時で断面積が決定されることに留意しなければならない。

3. 静的荷重試験

(1)試験体・試験方法

試験体は実橋に準じ、JIS A 5313スラブ橋げたを1体使用した。実橋との相違点は、①スパン=15.2m ②斜角=90° ③中間横げたを設けない、の3点である。表-4にコンクリートの材料試験結果を示す。図-2に示すように荷重方法は、スパンを15.2m、純曲げ区間1.6mの2点集中荷重とした。図-2に示す断面について、各構成材料の部材軸方向のひずみおよび鉛直方向の変位を計測した。表-5に荷重ステップを示す。また、荷重時の荷重の増分は5kNで行った。

(2)解析方法

試験体の曲げ耐力、変位量、各構成材料のひずみを算出するために、材料非線形性を考慮した荷重増分法による静的材料非線形解析を行った。解析モデルには、はりを複数のファイバー(繊維)の集合体とみなし、各ファイバーを等価な直バネに置き換えて軸力とモーメントの連成を考慮するファイバーモデルを用いた。材料の非線形性は、道示<sup>6)</sup>に基づき、補強鋼材および鉄筋をバイリニア、P.C鋼材をトリリニアとし、コンクリートは材料試験結果に基づいた。解析は、①自重解析(含プレストレス) ②荷重荷重解析の2ステップで行った。

(3)試験結果

表-6に試験結果一覧を示す。荷重時における供試体の挙動としては、ひび割れ荷重(解析値)164.8kNを越え、荷重170.6kNで純曲げ区間に発生した曲げひび割れを目視確認した。その後、ひび割れが

表-3 設計方法による解析結果の比較

		CASE-1	CASE-2	許容値
プレストレス 導入時	コン上縁	61.0	42.5	-18.0
	コン下縁	141.2	145.3	200.0
設計荷重 作用時	コン上縁	175.2	76.4	160.0
	コン下縁	-12.0	7.8	-18.0

※ CASE-1 : 補強鋼材を非考慮 [ kg/cm<sup>2</sup> ]  
CASE-2 : 鋼材拘束を考慮したクリープ解析

表-4 コンクリート材料試験結果

材令	圧縮強度	引張強度	弾性係数
20	64.0	4.0	3.34×10 <sup>4</sup>
[日]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]

表-5 荷重ステップ

step	荷重	サイクル	条件
①	設計荷重	3	スパン中央下縁応力σ=0.0N/mm <sup>2</sup>
②	ひび割れ荷重	3	スパン中央下縁応力σ=-4.0N/mm <sup>2</sup>
③	終局荷重	-	スパン中央上縁歪みε=3500μ

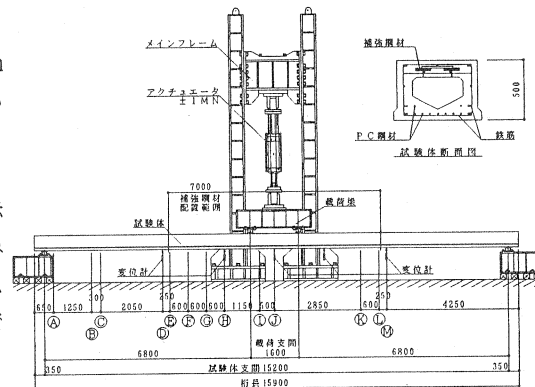


図-2 計測位置・荷重装置

表-6 試験結果一覧

	解析値 [kN]	計測値 [kN]
設計荷重	127.5	130.3
ひび割れ荷重	164.8	170.6
鉄筋降伏荷重	180.4	229.3
P.C鋼材降伏荷重	284.4	324.0
終局荷重	315.8	344.9

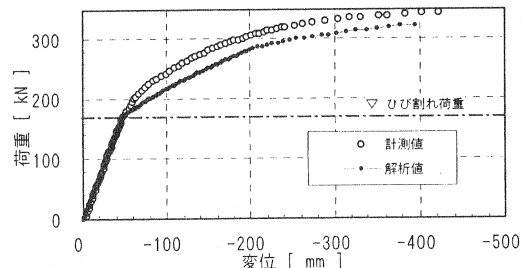


図-3 変位性状

上縁に向かって伸びると共に、荷重220kN辺りから載荷点の両外側に曲げせん断ひび割れが発生した。I断面付近で下段鉄筋、2段筋、中段鉄筋、P C鋼材の降伏後、終局荷重(解析値) 315.8kNを越え、荷重344.9kNで載荷点付近のコンクリート上縁の圧縮破壊に至った。

図-3にJ断面(支間中央部)における荷重と変位の関係を示す。ひび割れ発生荷重までは線形的な荷重と変位の関係を示し、計測値と解析値がほぼ一致している。除荷後の残留変位もほとんどなかった。ひび割れ発生後は、鋼材が降伏した後の変形性能が高く、終局荷重時において変位の計測値(422.3mm)が解析値(338.7mm)を上回った。図-4に示すように破壊に至るまでたわみ形状は放物線状であり、折れや局部的な損傷は認められなかった。

図-5にJ断面における荷重とひずみの関係を示す。ひび割れ荷重までは、線形的で計測値と解析値が一致している。ひび割れ発生後は、ひずみの計測値は解析値に比べて増加が小さいものの、その傾向は近似している。

図-6にJ断面における断面内のひずみ分布状況を示す。ひずみ分布は、ほぼ直線性を保ち、平面保持の仮定が正しいことを裏付けている。補強鋼材ひずみと同じ高さのコンクリートひずみ(CON web)が一致しており、補強鋼材とコンクリートの一体性が確認された。

図-7にJ断面における荷重の増加に伴う中立軸高さの変化状況を示す。中立軸高さは、上下鉄筋のひずみから算出した。解析値は荷重170kNから中立軸高さが急激に上昇しているが、計測値は荷重200kN辺りから徐々に上昇しているという相違はあるが、計測値と解析値の傾向はほぼ一致している。また、終局時まで補強鋼材は、部材の圧縮域に位置していることがわかる。

図-8にJ断面における曲げモーメントの増加に伴う曲率の変化状況を示す。各点の勾配は、その時点での供試体の曲げ剛性を表している。計測値については、ひび割れ発生曲げモーメントを過ぎても急激な剛性の低下は見られず、なだらかに剛性が低下し破壊に至っている。

(4)試験のまとめ

けた高を低く(スパンの約1/30程度)抑えるため

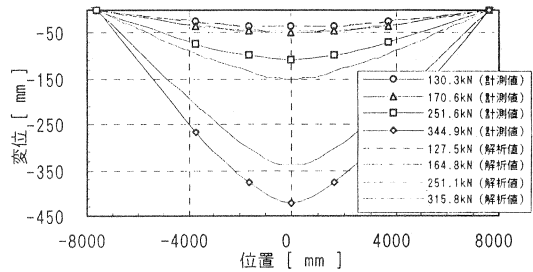


図-4 たわみ形状

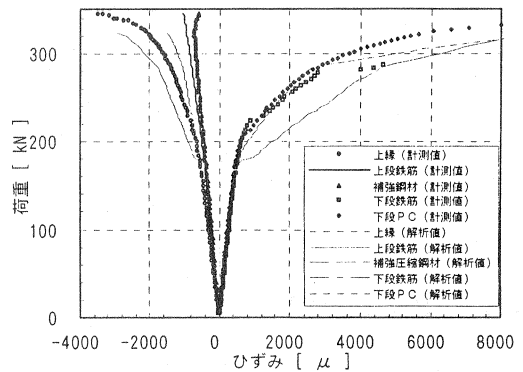


図-5 ひずみ履歴

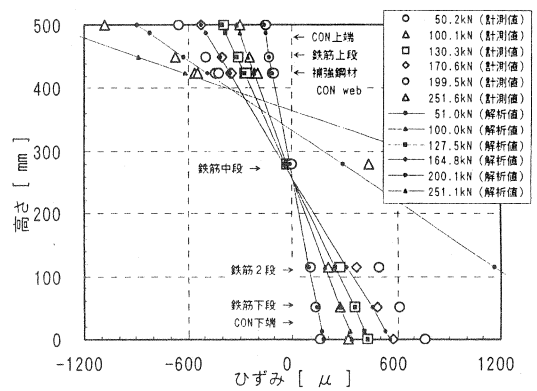


図-6 ひずみ分布

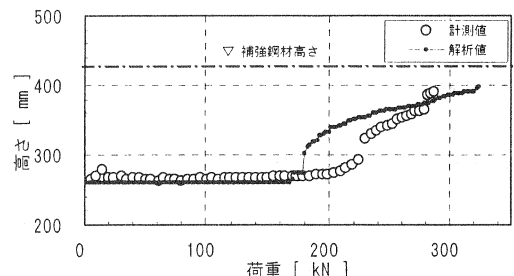


図-7 中立軸高さ

に、支間中央上縁に補強鋼材を配置したプレテン方式スラブけたの力学的挙動について、静的載荷試験結果をまとめて以下に示す。

1) 補強鋼材配置の有無による断面剛性の差は、終局時まで折れや局所的な損傷を与えず、たわみ形状は放物線形状であった。曲げ耐力および最大たわみは、解析値を上回る能力を発揮した。

2) ひび割れ発生までは、線形性を有し、平面保持が成り立っている。補強鋼材はコンクリートと一体性を確保しており、補強鋼材を合成断面とした部材の挙動(解析値)と一致している。

3) ひび割れ発生後、曲げ剛性の急激な変化は見られない。終局時、計測値と解析値には若干の差異があるものの、その傾向は近似している。

4) 補強鋼材は終局時においても部材の圧縮域に配置されており、断面の抵抗性能を高めている。

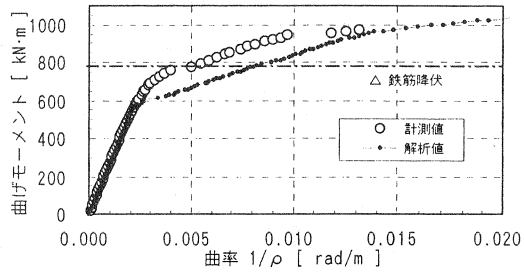


図-8 曲率

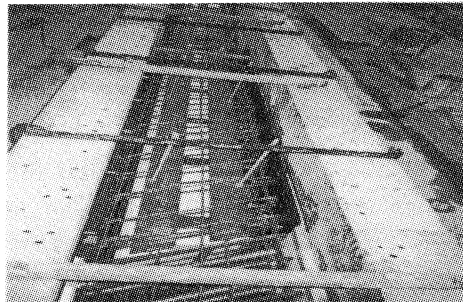


写真-1 主げた製作状況

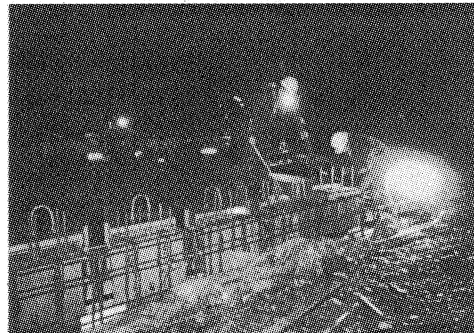


写真-2 主げた架設状況

#### 4. 主げた製作・施工概要

補強鋼材を用いたプレテン方式スラブけたの製作状況を写真-1に示す。補強鋼材はセットするのみで応力導入などの必要がないため、製作工程はJISげたと同様(開運橋の場合、1ラインで2主げた/日)である。けたの外観は一般的なスラブけたと変わりなく、けた高が低いためスレンダーな印象を与えることができる。主げた架設状況を写真-2に示す。本橋の場合、主げた1本あたりの重量は10.4tであり、BS15に比べ5%重量が減少している。架設は120トン吊トラッククレーンを用いて夜間に行った。

#### 5. おわりに

補強鋼材を用いたプレテン方式スラブけた橋は、その施工性・製作性などから、けた高を低めることができる有効な工法の一つと考えられる。今回実施した、実橋サイズのスラブけた橋の載荷試験結果をさらに詳細に解析・検討することにより、補強鋼材縁端部の処理方法やずれ止め構造の再検討などについて、今後の改良課題として取り組んでいきたい。

#### 参考文献

- 1) 野田・新井・児島：桁高の低いPC桁の開発，PC技術協会第3回シンポジウム論文集，1992.11
- 2) 野田・新井・北野：圧縮鋼材を有するPC桁の疲労試験，PC技術協会第4回シンポジウム論文集，1994.10
- 3) 大澤・渡部・北野：圧縮鋼材を有するPC桁のせん断試験，PC技術協会第5回シンポジウム論文集，1995.10
- 4) 野田・大澤・新井・渡部：圧縮鋼材を有するPC桁のクリープ・乾燥収縮挙動について，PC技術協会第6回シンポジウム論文集，1996.10
- 5) 大澤・小林・佐野・新井：圧縮鋼材を有するPC桁の基礎クリープ試験，PC技術協会第9回シンポジウム論文集，1999.10
- 6) 道路橋示方書・同解説 I 共通編 III コンクリート橋，日本道路協会，H8.12