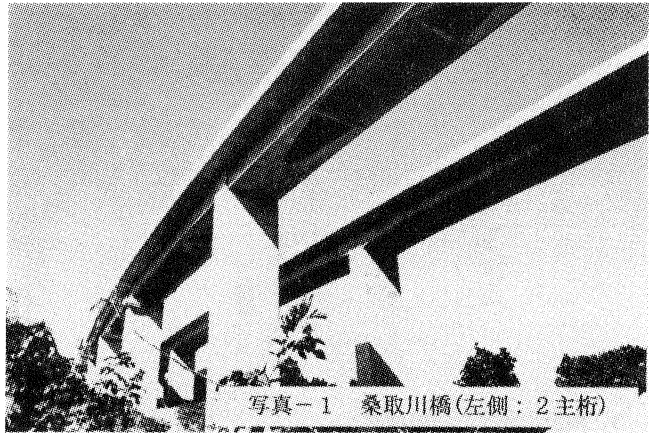


(120) PC開断面箱桁橋の設計・施工

日本道路公団 北陸支社 建設部 菅 浩一
 日本道路公団 関西支社 保全部 池田 光次
 (株)大林組 土木技術本部 安部 要
 同 上 正会員 ○ 橋本 学

1. はじめに

中スパンPC橋建設の省力化・工期短縮を可能にする構造形式として、我国において施工例が少ない2主桁橋の適用範囲の拡大が期待されている¹⁾。本文では、現場施工の大幅な省力化、経済性の向上を目標として、北陸自動車道桑取川橋において、構造の合理化を図りPC2主桁橋(写-1参照)として設計・施工を行った結果を報告する。



2. PC2主桁橋の概念

中スパン橋の構造形式として我国で実績が多い「合成桁橋」、「中空床版橋」、「箱桁橋」などに比べ、「2主桁橋」の断面形状は単純である。桁高やウェブ幅を一定とすることにより、鉄筋・型枠・支保工の組立・解体作業の省力化が図られる。これにより施工の合理化・省力化が可能であり、多径間連続橋においては移動支保工の適用が容易となり、機械化施工にも適している。

この構造は、スパン変化する多径間連続橋梁や広幅員橋梁への適用も可能であり、その場合の工費削減効果はより大きくなると考えられる。PC2主桁の適用スパン、支間長が混在する場合の対応を図-1に示す。

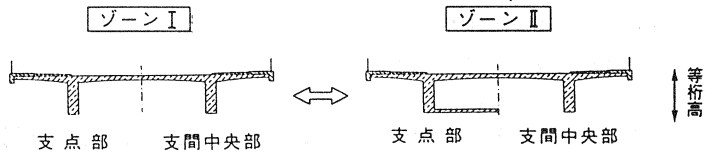
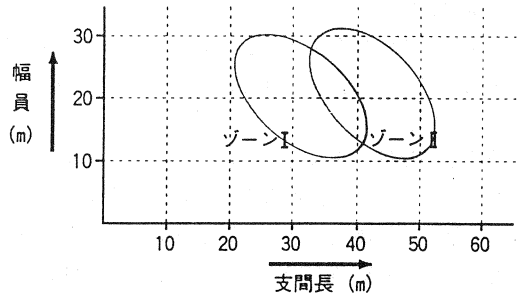


図-1 支間長混在高架橋の構造コンセプト

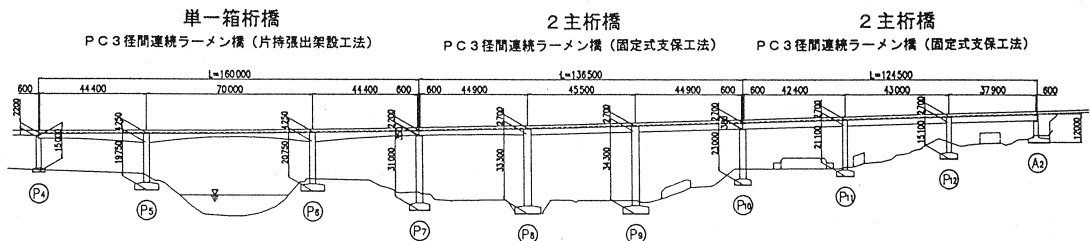


図-2 桑取川橋 全体一般図

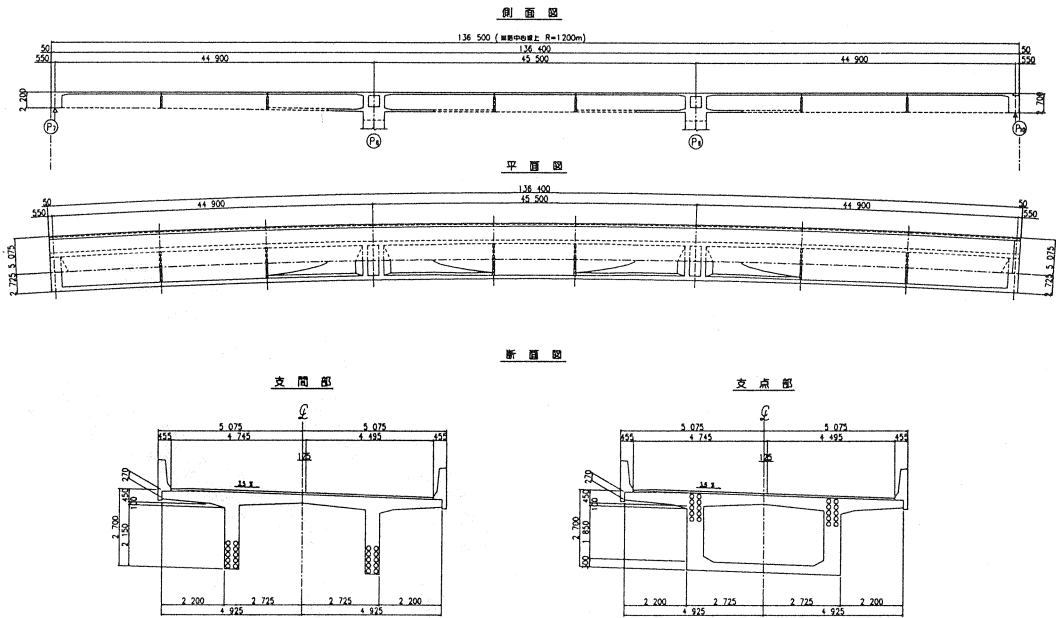


図-3 桑取川橋 構造一般図

3. 設計に関する技術検討

(1) 基本方針

2主桁橋の特性を引き出すために、使用材料の最小化よりも「単純で効率的な施工ができる構造」を優先し、以下に示す方針に基づき構造検討を行った。桑取川橋の全体一般図を図-2に、P7~P10間の構造一般図を図-3に示す。

- ① 施工の単純化を図るために桁高を一定とする。
- ② 鉄筋プレファブ化を考慮し、断面形状を単純化する。
- ③ 鉄筋・型枠組立に手間を要する突起定着を低減する。
- ④ 主桁の橋軸直角方向への開き出し(股開き)を拘束するために中間横桁を設置する。
- ⑤ 3径間連続ラーメン構造であるため、中間支点部付近には下フランジを設置する。

(2) 桁高および主桁断面形状の検討

主桁断面形状は、「単純で効率的な施工ができる構造」を優先しつつ、工事数量が最小となるよう断面形状の検討を行った。検討の結果、桁高は2.7mの一定とし、ウェブ幅は、支間中央ではPC鋼材を2列配置できるように0.50m、支点部ではせん断に対する検討より0.60mとした(表-1参照)。

基本設計に比べ、工事数量を若干減少させる事もできたため、施工の合理化が図れた分、経済的になると考えられる。ただし、P7橋脚が既に施工済みであり、桁高を基本設計から変更する

表-1 箱桁橋と2主桁橋の比較

	箱桁 (基本設計)	2主桁
断面構造		
工事数量 (比率)	コンクリート (σ_{ck} 350kgf/cm ²)	1.00
	主鋼材 (12S12.7(B))	1.00
	鉄筋	1.00
	型枠	1.00
		0.98
		0.96
		0.97
		0.98

事が困難であったため、P8~P7にかけては桁高2.7m~2.2mの変断面とした。ただし、ウェブ幅を0.60mで一定とすることにより、断面形状の単純化に配慮した。

(3) 上床版の検討

2主桁構造の採用に当たり懸念される問題は、上床版に発生する断面力の適切な評価方法である。2本の主桁の鉛直変位の差異や、主桁の股開きなどにより、上床版に作用する断面力は複雑になる。従って、2本の主桁が別々に挙動するのを拘束するために設置した横桁の評価方法を適切に行い、横方向部材として上床版断面力を求めることとした。

2主桁の解析モデルとして表-2(a)に示す門型形状を採用して2次元骨組解析を行った場合、ウェブにモーメントが発生せず、発生モーメントは上床版が負担することになる。しかし、実挙動においては、中間支点部付近の下床版や横桁に拘束され、ウェブは横方向に自由な挙動ができない。断面力分布は、箱桁と2主桁の中間的な分布になると考えられる。床版設計時の解析モデルは、2主桁のウェブ下端に仮想横繋ぎ材を設け、横桁などの拘束効果を評価することとした(表-2(b)参照)。仮想横繋ぎ材は、自重および活荷重によるウェブの股開き量が、3次元FEM解析と同等となる部材を設定した。FEM解析に用いた解析モデルを図-4に示す。

表-2 上床版検討モデルの比較

解析モデル	モーメント図	
	自重	活荷重
a) 2主桁		
b) 2主桁(仮想繋ぎ材)		
c) 箱桁		

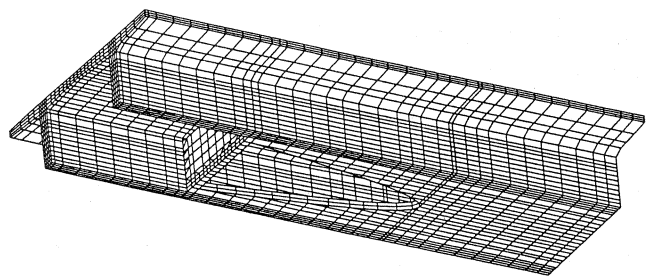


図-4 3次元FEM解析モデル

また、道示Ⅲの「床版の設計曲げモーメント」に対する安全性を確認するために、3次元FEMモデルにT荷重を載荷させた場合との比較を行った。図-4に示すFEMモデルのスパン中央にT荷重を載荷した際の応力度分布を図-5に示す。図-5の()内の値は道示Ⅲによる応力度で、3次元FEM解析による値の方が小さく、本橋の設計の安全性を確認した。中間床版支間中央の上引張りの設計曲げモーメントに関しては、道示には明記されていないため、FEMでの解析結果に対して設計を行った。

(4) 横桁の拘束効果の検討

文献2)によると、「ウェブが2本の場合にはウェブの回転を防ぐため、1/3点に薄い横方向シャイベを配置すれば充分である」と述べられている。本橋は、中間支点付近に下フランジを設置しているため、横桁を有効に作用させるための位置は、スパンの1/3より内側になると考えられた。横桁の位置を変化させ、3次元FEM解析を行い、最も拘束効果のある位置に横桁を配置した。

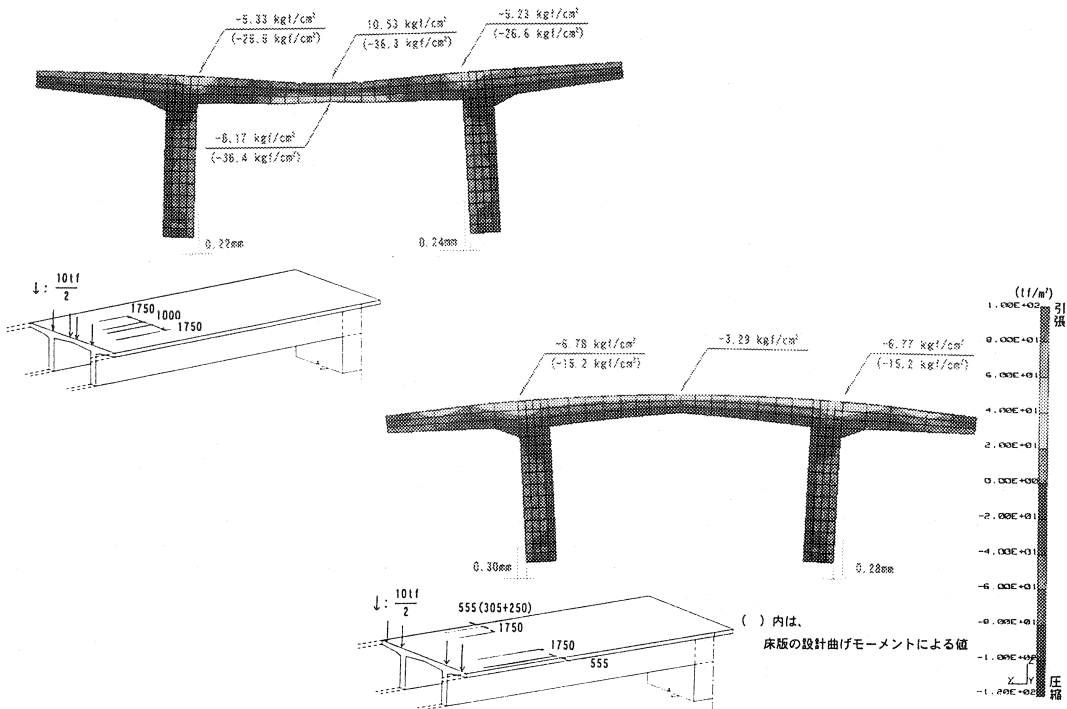


図-5 T荷重による影響(橋軸直角方向応力度)

4. 施工に関する技術検討

(1) 鉄筋の工場プレファブ化

橋梁下部の作業場が狭く、現場でのプレファブ化が困難なため、工場でプレファブ化を行うこととし、上床版およびウェブをそれぞれ分割する方法を検討した。進入路の大きさより、搬入には10t低床トレーラーの使用が限界で、積み荷はL10.3×H2.7×W2.35mが限界となる。上床版鉄筋は幅(橋軸直角方向)が9.85mあり、分割数が多くなることより、工場プレファブ化が不適当と考えられたためプレファブ化は行わないこととした。ウェブ部分は、橋軸方向の分割長を10mまでに制限すれば、トレーラーに縦積み可能であるため、支点部を除く全てをプレファブ化した(図-6, 写真-2参照)。現場搬入後は、クレーンにて吊り込み・設置を行い、互いのウェブ橋軸鉄筋をカプラーにより接続するだけで良いため、熟練鉄筋工が不要となり、鉄筋組立の現場工程を大幅に短縮した。

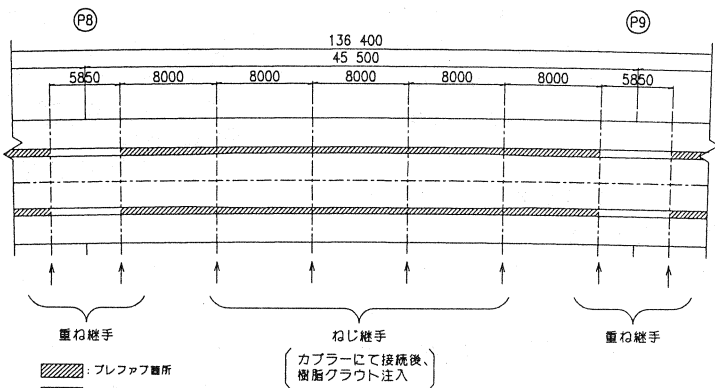


図-6 プレファブ鉄筋の分割図

中間横桁のプレキャスト化

中間横桁は、桁下にて事前に製作し、ウェブ鉄筋の吊り込み時に同時に据え付けることにより、高所作業の低減と工期の短縮を図った。

5. 載荷試験による構造性能確認

本橋の設計に当たっては、2主桁の設計法が確立されていないため、2主桁構造で特に懸念される床版の負担力増加を検討するために、FEM解析を用いて評価を行った。評価方法の妥当性を確認し、2主桁の設計・施工技術の確立のために、実車輦(20tf/台×4台)による載荷試験を行い、設計の妥当性、構造安全性を確認した(表-3参照)。

表-3(a)は、ウェブの橋軸直角方向への開きだし(股開き)の影響を評価した結果であり、床版支間中央(橋軸直角方向)の上下に設置した鉄筋計の計測値である。各載荷ケースにおいて、曲げ引張り側の鉄筋計の応力増加値が解析値とほぼ近い値を示している(表-3(a)*印の値)。

表-3(b)は、主桁の荷重分担を評価した結果であり、ウェブ下端(橋軸方向)に設置した鉄筋計の計測値である。載荷ケースS-Cは床版支間センターに荷重を載荷させた場合で、左右の主桁に発生する応力はほぼ同じであり、解析値とも近い値を示している。載荷ケースS-Eは片側の主桁に荷重を載荷させた場合で、計測値の方が荷重が載荷されない側への荷重の分担率が若干高くなっている。解析よりも左右の主桁への荷重分担が効率的に行われていると考えられる。その分、上床版の橋軸直角方向への負担が若干増加していたが、発生応力値としては小さく構造上問題ない値であった。

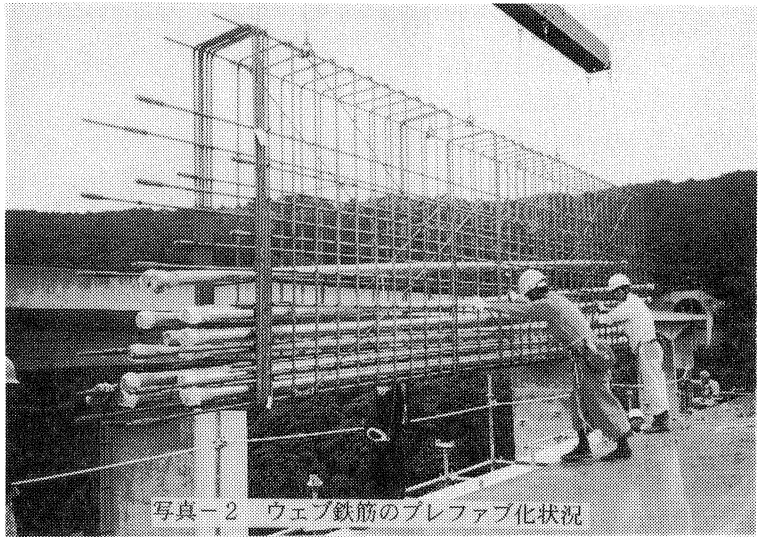


表-3 載荷試験結果

(a)ウェブ股開きの影響(橋軸直角方向の鉄筋応力度の増分: kgf/cm²)

載荷ケース	W1-C		W1-E	
	載荷状況			
	解析値	計測値	解析値	計測値
上側鉄筋	-25.3	-12.9	20.1*	14.4*
下側鉄筋	28.7*	23.9*	-20.1	-1.7

(b)ウェブ荷重分担(橋軸方向の鉄筋応力度の増分: kgf/cm²)

載荷ケース	S-C		S-E	
	載荷状況			
	左ウェブ	右ウェブ	左ウェブ	右ウェブ
解析値	55.8	58.5	29.7 (0.27)	78.4 (0.73)
計測値	58.3	60.7	42.1 (0.36)	74.4 (0.64)

(注) 符号 + : 引張, - : 圧縮

() は左右の比率

6. 省力化効果の検証

P7～P10間での2主桁の実施工程と箱桁(当初設計)の想定工程の比較を表-4に示す。表-4の延べ日数比では工期短縮の効果が大きく表れていないが、これは施工高さが30mと高いため全工期に占める支保工の組立・解体の期間が大きいことや、ラーメン構造であるため中間支点付近の鉄筋・型枠作業に労力を要したためである。1支間当たりの鉄筋組立に着目した場合、箱桁橋では下床版・ウェブ部分で15日要するのに対して、プレファブ鉄筋を採用した2主桁橋では4～5日で完了した。中間支点付近の下フランジが削除可能な連続桁へ適用した場合、工期短縮効果がさらに大きくなると考えられる。また、数値には明確に表れないが、プレファブ鉄筋の採用により、型枠工、鷹工および鉄筋工の待ち時間が短縮され、労務計画上の優位性が明らかになった。



写真-3 載荷試験状況

表-4 2主桁橋と箱桁橋の工程比較

断面形状	施工日数	
	本体工	全体
ラーメン箱桁 (計画値)	1.00	1.00
ラーメン2主桁 (実施工)	0.81	0.94
連続2主桁 (試算値)	0.74	0.88

<注>

- ・日数はラーメン箱桁を1.00とした場合の比率
- ・本体工は支保工の組立・解体を除いた施工日数

7. おわりに

PC 2主桁橋は、ヨーロッパではスパン20～50mの多径間連続橋で広く採用されている構造であるが、日本では実績がほとんど無い状況である。本橋では、3径間連続ラーメン構造への適用となり、中間支点付近の鉄筋・型枠作業に労力を要したため、2主桁の構造合理性を十分に発揮することができなかった。しかし、連続桁への採用により、合成桁橋、中空床版橋、箱桁橋などを補完する橋梁形式として、省力化、経済性の両面から有効な構造形式になると考えられる。

最後に、本報告が今後のPC 2主桁橋建設や、PC 橋建設の省力化・工期短縮を図る際の技術革新の参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 平野 寛：日本道路公団におけるPC 橋の技術開発，第6回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 pp.13～21，(社)プレストレストコンクリート技術協会，1996.10
- 2) F・Leonhardt：レオンハルトのコンクリート講座⑥コンクリート橋 pp.57～61，鹿島出版会，1983.5
- 3) 池田 光次：PC 開断面箱桁橋の設計・施工，北陸の建設技術，1997.7
- 4) 城間博通，菅浩一，川東修一：PC 開断面箱桁(2主桁) 橋の設計・施工について，建設技術報告会in北陸'98，1998.10