

# つくばエクスプレス（鉄道）に採用した PCU 型桁式高架橋の開発

柿崎 孝夫 \*1 · 川崎 誠 \*2 · 金森 真 \*3

## 1. はじめに

つくばエクスプレスは、東京秋葉原駅を起点とし、茨城県つくば駅に至る延長約 58 km の都市高速鉄道である。うち、橋梁・高架橋区間は半分の約 29 km を占める。

その建設にあたり、都市鉄道として市街地との融和を図り周囲の景観を阻害しない構造および建設労働者の高齢化と熟練工や技能工の減少へ対応するための省力化を目的として、鉄道橋としてはわが国初の U 型断面形状のプレテンション PC 桁による桁式高架橋の開発を行った。この桁式高架橋は橋梁・高架橋区間の約 1/3 にあたる 9.2 km の区間で採用した。

## 2. 構造概要

構造概要は、U 型断面のプレテンション PC 主桁と PC 合成床版で構成される桁長 20 m の複線 4 主桁である。以下、その特徴を示す。

1) 主桁は品質管理が容易にできる工場製作とし、そのメ

リットを生かし主桁断面を極力薄くすることにより従来の RC 桁と比較し 3 割程度の軽量化を図った。上部工の軽量化により下部工もスリムな構造となり周囲に圧迫感を与えない構造とした。

2) 床版部は、場所打ちコンクリートであるが、主桁間は主桁を支点としたプレキャスト PC 板を型枠代りに用い、吊り足場を不要として省力化を図るとともに、荷重作用時には一体の剛性床版構造として機能する合理的な構造とした。

3) 従来、スパン 20 m 程度の桁には、主桁間の荷重分担を平均化させるために中間横桁を設置していたが、4 項にて述べる検討を行ってこれを省略することにより、中間横桁を場所打ちするための吊り足場、型枠、鉄筋組みの各作業を不要とし施工の省力化を図った。

4) 外桁を端部に配置することにより場所打ちコンクリート床版の張出し部分をなくし、現場作業の簡素化を図った。

5) 主桁の工場製作、プレキャスト PC 板の採用、中間横

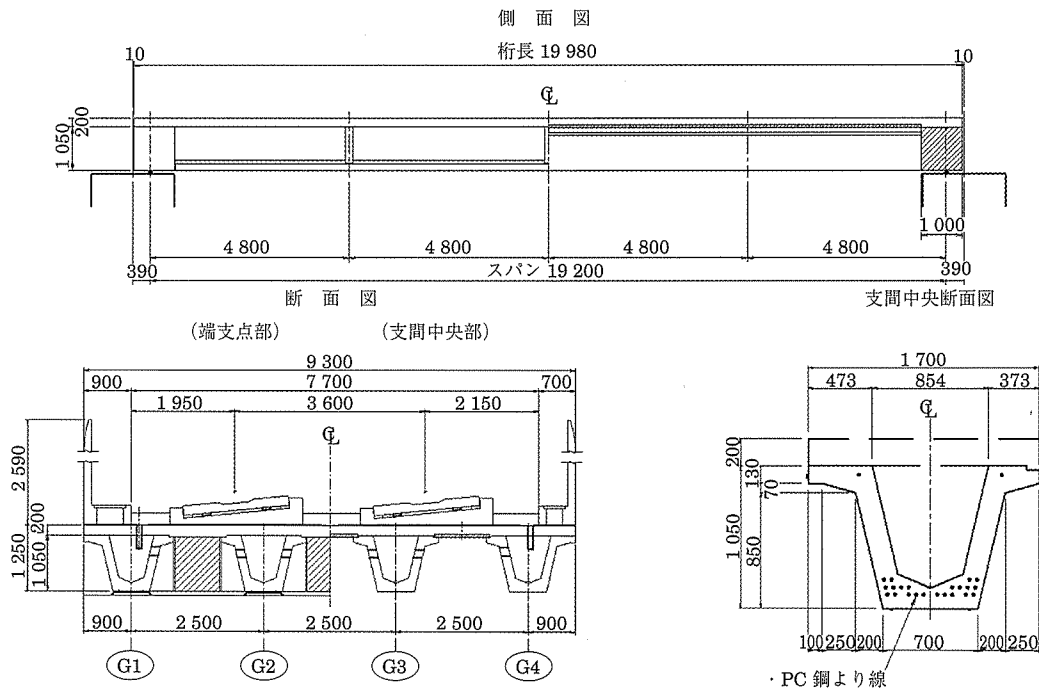


図 - 1 構造一般図

\*1 Takao KAKIZAKI：独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 東京支社 工事第三部長  
 \*2 Makoto KAWASAKI：八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部 構造部 副部長  
 \*3 Makoto KANAMORI：独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 設計技術部 総括補佐



写真-1 完成した高架橋 (千葉県柏市)

桁・張出し床版の省略等の現場作業の省力化により現場での工事工程を従来のRC桁と比較し6割程度に短縮した。

### 3. 採用にあたっての試験

#### 3.1 主桁切欠部および合成床版の耐久性と耐力確認試験

主桁のU型構造部材厚を極力薄くしていることは、鉄道橋では初めて採用することから、プレキャストPC板を載せるための主桁切欠き部および合成床版の耐荷力を確認するため、静的載荷試験および100年間供用に相当する588万回の疲労載荷試験を実物大の1mの切出しモデルで行った(写真-2)。

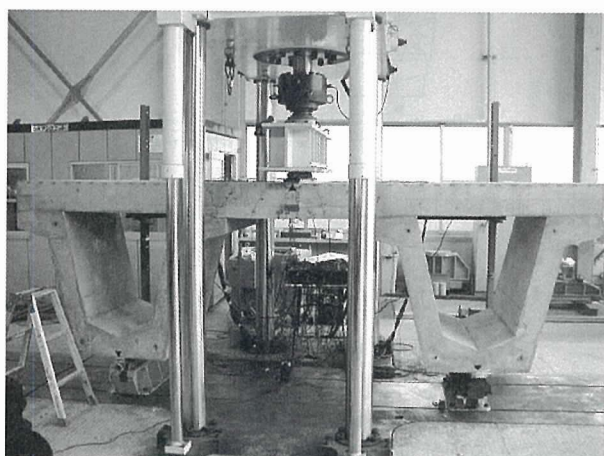


写真-2 試験の状況

静的載荷試験の結果、使用および終局限界状態において、合成性能は十分有していた。

疲労載荷試験より588万回の供用後も合成性能は保たれることが確認できた。

### 4. 実橋による検証

#### 4.1 静的載荷試験

静的載荷試験は、PCU形桁架設の初期段階である平成13年末に行われた。ここでは、その目的、方法および結果に

ついて報告する。

#### (1) 試験の目的

実橋での静的載荷試験において確認する事項を下記に示す。

##### 1) 合成桁としての性能確認

プレキャストの主桁とプレキャストPC板および場所打ちの床版からなる桁が、一体としての性能を有しているかどうか、静的荷重によるたわみ測定により確認する。

##### 2) 床版による荷重分配効果の確認

本橋は中間横桁がないため、床版を通じて荷重分配がなされると計算したが、主桁のたわみから荷重分配を確認する。

##### 3) 設計荷重(M-15)時相当載荷レベルにおける主桁健全性の確認

実列車荷重相当の荷重を載荷して、桁の安全性を確認する。

以上の確認を目的として主桁直上(図-2)および軌道上(図-3)での2種類の試験を行った。

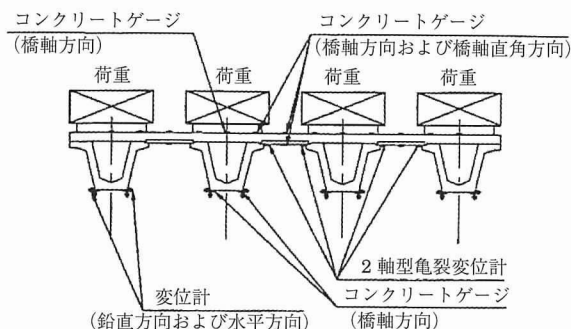


図-2 主桁直上載荷

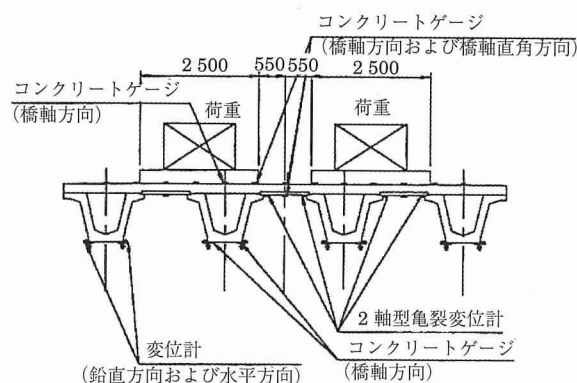


図-3 軌道上載荷

#### (2) 試験方法

着目断面は、支間中央断面とした。載荷荷重により発生する曲げモーメントが設計曲げモーメントと同じ値になるように、支間中央部2箇所にて荷重を集中載荷した。主桁直上載荷において上記1)、2)の確認を、軌道上載荷において3)の確認を行った。載荷の手順を表-1に示す。

表 - 1 荷重手順

	荷重方法	荷重手順	荷重荷重
1	主桁直上	片側2主桁	$P_{max} = 260 \text{ kN}$ (1桁あたり)
2	〃	全主桁	
3	軌道位置	片側軌道	$P_{max} = 1088 \text{ kN}$ (1軌道あたり)
4	〃	両軌道	

(3) 試験結果

主桁上荷重において各主桁とも格子計算値と比較して変位量は若干小さな値を示し、おおむね一致する結果となった(図-4)。荷重荷重は、荷重1から荷重2へ荷重荷重位置が変更したときの挙動が計算結果と同様なものを示している。この結果により、主桁の断面性能および荷重分配が床版を考慮した格子計算で問題ないことが確認できた。

一方、軌道上荷重では図-5のように設計荷重内において弾性計算結果を上回ることがなく、安全性が確認された。また、この際の最大荷重時の主桁底部のひび割れ幅は

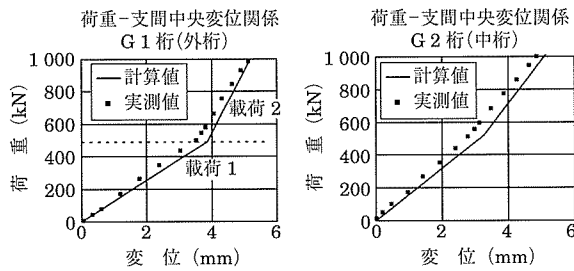


図 - 4 荷重-支間中央鉛直変位の関係 (主桁直上荷重)

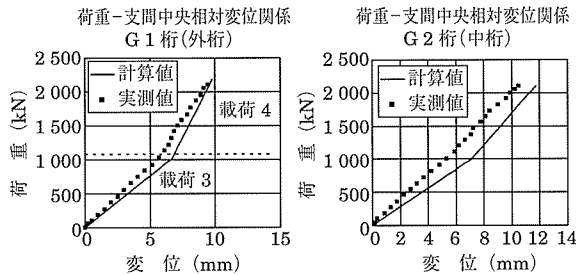


図 - 5 荷重-支間中央鉛直変位の関係 (軌道上荷重)

0.04 mm 以下と小さく、許容ひび割れ幅 (0.15 mm) 以下であった。

4.2 死荷重長期計測・動的計測試験

(1) 試験方法

着目断面は、支間中央断面とした。

図-6, 7で表す箇所のうち●印で示した位置に、桁製作時点および床版コンクリート打設時点で桁縦断方向に鉄筋計を埋込んだ。

さらに、桁架設後の場所打ち床版打設時に床版内に鉄筋計を埋込んだ。この状態で平成16年3月の列車走行試験まで長期静的計測を行った。

動的計測は、これに追加して各桁および床版の周囲にひ

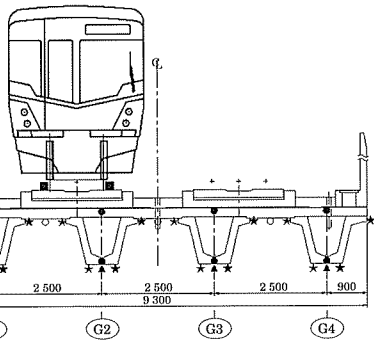
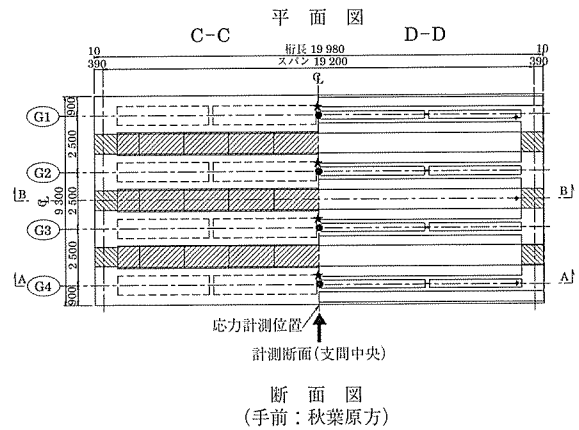


図 - 7 計器配置図 (2)

<凡例>

- : 鉄筋計(縦断方向)-----先行埋込み(コンクリート打設時から計測)
- ★: 一軸ひずみゲージ(縦断方向)-----試験走行時に貼付け(走行時のみ計測)
- : 二軸ひずみゲージ-----試験走行時に貼付け(走行時のみ計測)
- ▲: 変位計(鉛直)-----試験走行時に設置(走行時のみ計測)
- : 輪重ゲージ(下り線)-----試験走行時に貼付け(走行時のみ計測)

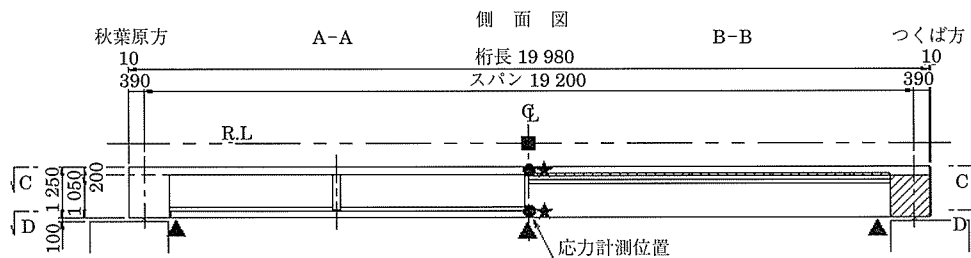


図 - 6 計器配置図 (1)

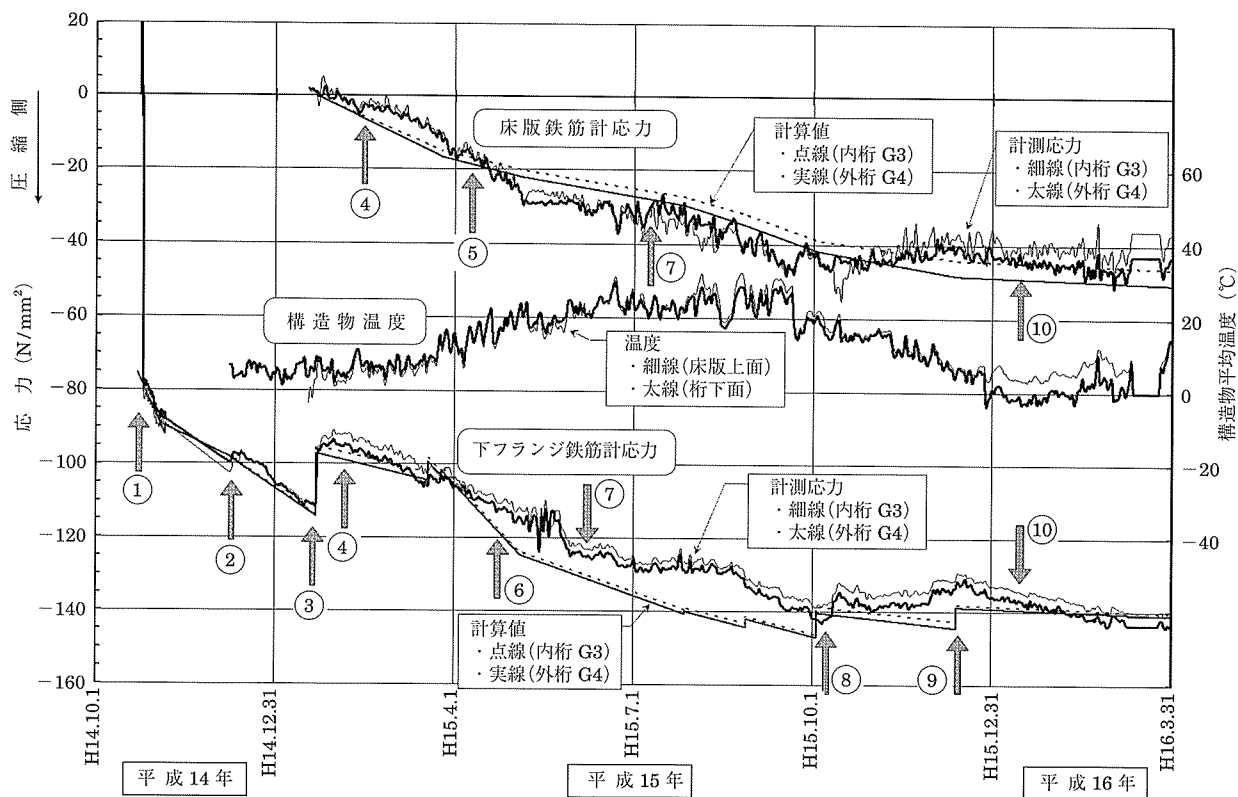


図 - 8 計測結果と計算値との比較 (死荷重長期計測結果)

記号の説明 (図中の番号および ⇒ 印)

- ①プレストレスの導入
- ②主桁架設, PC床版設置, クリープ乾燥収縮の影響
- ③床版打設の影響
- ④床版合成効果の影響により応力が主桁から合成断面へ移行し始める
- ⑤温度上昇の影響により床版の乾燥収縮の進行が早まる
- ⑥気温上昇によるクリープ乾燥収縮進行度の差, および遅れ弾性変形の回復による応力差
- ⑦床版上荷重の一時的な増加の影響 (レール仮置き, PCマクラギ仮置き)
- ⑧路盤コンクリート打設の影響~路盤コンクリート乾燥収縮の影響
- ⑨バラスト散布の影響
- ⑩床版上面と桁下面の温度差の影響

ずみゲージを貼り付け, 桁たわみ計測のための変位計および走行列車荷重計測のための輪重ゲージを貼り付けた。

(2) 計測試験結果

計測は, 桁製作時の平成 14 年 10 月より開始し, 静的計測は平成 16 年 3 月までの約 17 箇月間にわたる長期間計測を行い, 動的計測は平成 16 年 3 月の列車走行試験での計測を行った。

ここでは, 静的, 動的に分けて計測結果を報告する。

1) 長期静的計測

図 - 8 に, 計測結果と設計計算値との比較をグラフで示す。桁は 4 主桁であるが直射日光の影響を受けやすい南側の主桁 (G4 外桁, G3 内桁) についてグラフ化した。

この結果から, 設計と実測の良い一致が, 長期的な時間経過の面からも明らかになった。

したがって, 当初から用いている設計手法の妥当性が確認できた。

2) 動的計測

動的計測に際し, 実車は運転速度に近い 125 km/h で本線下り側 (G1 桁, G2 桁) を走行した。

図 - 9 に, 計測結果と設計計算値との比較をグラフで示す。設計値は『当初設計値』と『修正設計値』の 2 ケースについて示した。ここで修正設計値とは, 路盤コンクリートの剛性および桁の材齢による弾性係数の増加を考慮して試設計した場合の結果である。

この比較により, 以下のことが明らかとなった。

- ① 桁のたわみ, 応力ともに修正設計値の方が実測値に近い数値となっていることから, 路盤などの剛性が桁本体の挙動にかなり寄与していると考えられる。たとえば設計計算 (格子計算) での桁たわみは荷重載荷割合の大きい G2 桁に最大たわみが発生するのに対して, 実測値では G1 桁に最大たわみが発生している (図 - 10 に挙動イメージを示す)。
- ② PCU 型桁は中間横桁がない構造であるが, 床版の剛性や主桁のねじり剛性, さらに路盤コンクリートの剛性により横剛性が上がり横分配効果が出ている。
- ③ 一方では, 路盤の剛性によって下り線 (G1 ~ G2 桁) と上り線 (G3 ~ G4 桁) にグループ化され, 境界にあたる G2 桁 ~ G3 桁間の床版に軸力が発生している



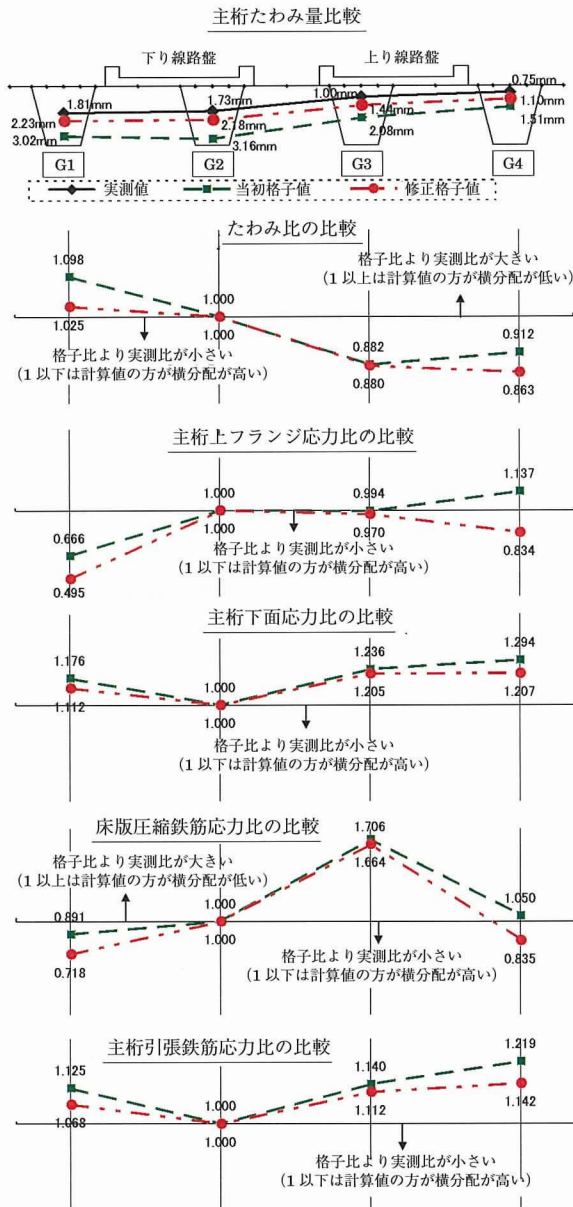
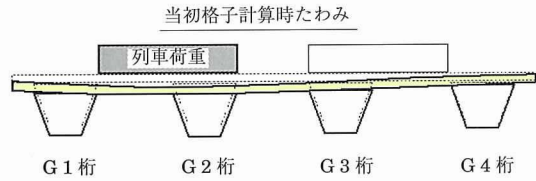


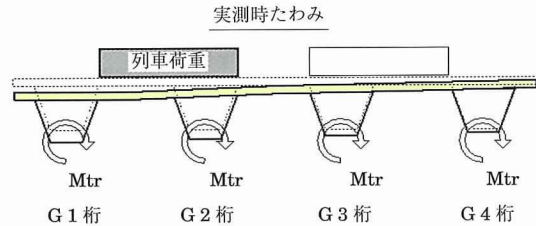
図-9 実測値と設計値との比較

可能性があるが、当該床版に貼り付けたひずみゲージでは検知できなかった。今後の課題として解明していく必要がある。

- ④ なお、今回のような軌道構造ではない場合（たとえばバラスト軌道）には上述のような挙動とは異なる可能性があるため別途検討が必要である。



当初格子計算時のたわみは、中間横桁が無い場合G2桁の分担が多く、たわみもG2桁が大きくなっている。



実測時のたわみは、各主桁の振り剛性と床版と路盤の剛性により、中間横桁があるときと似た挙動を示している。

図-10 列車荷重による桁たわみ挙動イメージ

## 5. 終わりに

PCU型桁を用いた桁式高架橋は、高さが低い（7 m以下）高さが高い（10 m以上）部分に採用をおこなったが、施工性や急速施工が従来の高架橋に比べ良く、用地協議の長期化に伴う非常に厳しい工程の中、開業工程の確保に大きく貢献した。

また、スレンダーな桁式高架橋構造とし周囲に圧迫感を与えない景観に優れた構造物であるとともに経済性も兼ね備え、今後も広く用いられる新しい鉄道の桁式高架橋となると確信する。

最後に本紙面を借り、本形式の設計計画にあたり、ご指導をいただいた「PCU型桁研究会」の委員長である長岡科学技術大学丸山教授ならびに委員の皆様方に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 柿崎孝夫, 種田昇, 阿部浩幸, 三瀬あゆこ: PRC 鉄道 U 型コンボ橋の実験 プレストレストコンクリート技術協会 第 10 回シンポジウム論文集 2000 年 10 月
- 2) 剣持三平, 種田昇, 佐藤正明, 松下朗: U 型コンボ橋の開発・設計 プレストレストコンクリート技術協会 第 10 回シンポジウム論文集 2000 年 10 月

【2005 年 7 月 15 日受付】