

猿田川橋 (複合トラス橋) における床版設計手法の妥当性検証について

昭和コンクリート工業株式会社 正会員 ○ 佐藤 徹
 株式会社 大林組 正会員 工修 新倉 一郎
 中日本高速道路株式会社 宇佐美 惣
 中日本高速道路株式会社 正会員 博士(工学) 長田 光司

1. はじめに

P C複合トラス橋である猿田川橋 (一般図を図-1に示す) の床版構造は、トラス格点による点支持と橋軸方向に連続するコンクリート縦桁で支持された構造 (図-2に断面形状図を示す) である。このような構造では、床版の支持条件が一様でなく、コンクリートウェブで橋軸方向に連続的に支持される従来のP C箱桁橋とは異なる新しい床版構造と考えられ、また施工実績も少ないことから設計手法が確立されているとは言い難い。本文は、本構造特有の床版支持条件を考慮した床版の設計手法を示すと共に、実橋の載荷実験により解析の妥当性検証を行ったことから、ここに報告する。

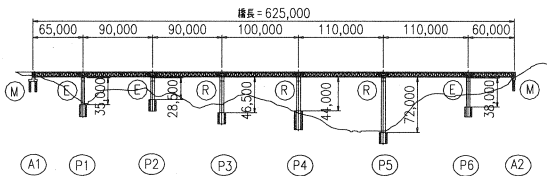


図-1 猿田川橋一般図

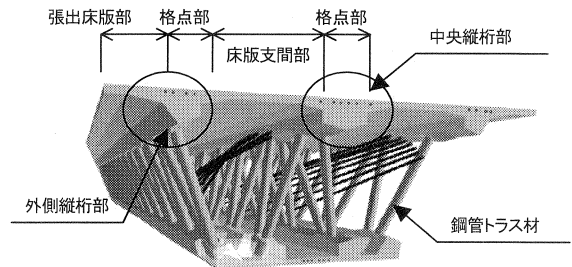


図-2 断面形状図

2. 設計方針の確認

本橋の床版は、鋼管トラス材との交点にあたる部分に、橋軸方向に連続したコンクリート縦桁を配置している。これにより、格点での断続的支持から縦桁での線支持的な構造とし、床版設計における支配的支間を橋軸直角方向としている。このような場合、通常のP C箱桁橋と同様な設計手法 (設計荷重時：方法 B) を用いる場合が多いが、本橋の床版は特殊な構造であること、そして鋼管トラス材格点部の重要性を考慮して、表-1に示すように格点部のみ設計時に引張応力度を許容しない方法 C とした。

表-1 床版のひび割れ制御方針

荷重状態	床版支間部	床版格点部
死荷重時	引張制限 (方法 C)	同左
設計荷重時	ひび割れ制限 (方法 B)	引張制限 (方法 C)
風荷重・衝突時	ひび割れ幅制限 (方法 A)	同左

3. FEM解析による床版断面力の算出手法

猿田川橋の床版支間は、道示Ⅲ7.4.2の床版断面力算出式の適用範囲であるが、上述したようなP C複合トラス橋特有の支持条件を勘案し、立体 FEM 解析を基本として床版断面力の算出を行うこととした。また、各々の断面力は表-2に示す算出方法としている。

表-2 設計断面力の算出方法

荷重種類	断面力算出方法
主桁自重	FEM 解析
橋面舗装	〃
壁高欄・遮音壁	〃
プレストレス力	FRAME 解析
活荷重	FEM 解析
衝突荷重・風荷重等	FRAME 解析
温度応力・乾燥収縮 (打継ぎ目等)	温度応力解析

3.1 FEM解析時のモデル化の検討

本橋の床版は鋼管トラス材で支持されているため、床版と鋼管トラス材の境界条件及び鋼管トラス材の部材条件により、上床版断面力に影響が生じると考えられる。そこで、下記の要素に着目した完全弾性モデルによる FEM 解析を行い、実施設計に反映させた。

① 鋼管トラス材のモデル化の検討

鋼管トラス材をシェル要素とビーム要素でモデル化した場合の結果を比較すると、ほぼ同様の断面力が算出されたため、鋼管トラス材はビーム要素を用いても問題無いことが確認できた。また、ビーム要素を縦桁コンクリートの表面に固定するだけでは回転が生じることから、コンクリート部材内に埋込む必要があることも確認された。

② 鋼管トラス材の剛性 (板厚) の検討

本橋の鋼管トラス材は外径φ457.2mm で一定であるが、板厚が 9~30mm に変化し曲げ剛性が 3 倍程度異なってくる。そのため、鋼管トラス材の剛性を変化させた場合の FEM 解析を比較することとした。その結果、鋼管トラス材と床版接合部との剛性比の差に比べ板厚変化による差は小さいことから、床版断面力の算出には板厚変化の影響を受けないことを確認した。

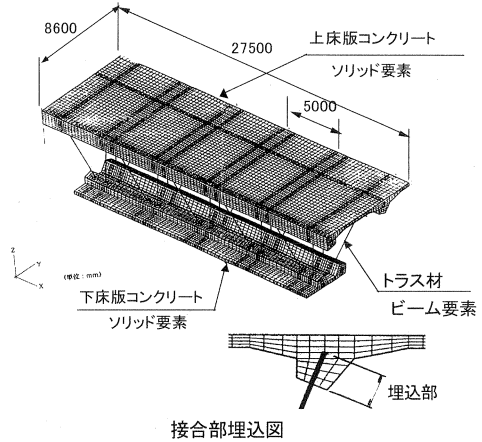
以上の検討結果より、床版断面力を算出するために作成した解析モデルを図-3 に示す。

3.2 鋼管トラス材の格点間と格点上の断面力比較

本橋の床版は鋼管トラス材により断続的に支持されているため、床版支間方向だけでなく橋軸方向の活荷重載荷位置・着目位置によっても床版断面力に差が生じてくる。従って、活荷重の載荷位置はトラス格点の格点間と格点上に着目した載荷方法により断面力の検証を行った。

3.3 床版活荷重断面力の算出

活荷重断面力は、『長支間場所打ちPC床版の設計・施工マニュアル (案)』(旧 JH 静岡建設局)に従い、FEM 解析により算出した。荷重の載荷位置は、着目点に最も不利な断面力が生じるように橋軸直角方向には台数を制限せずに載荷する。また、橋軸方向の載荷位置は 3.2 を反映させ載荷する。その時の活荷重載荷例を図-4 に、床版断面力を図-5 に示す。その結果、以下の事項が確認された。



	単位	床版 コンクリート	鋼管 トラス材
弾性係数	N/mm ²	3.1 × 10 ⁴	20 × 10 ⁴
ポアソン比	—	1/6	0.3

図-3 FEMモデル概要図

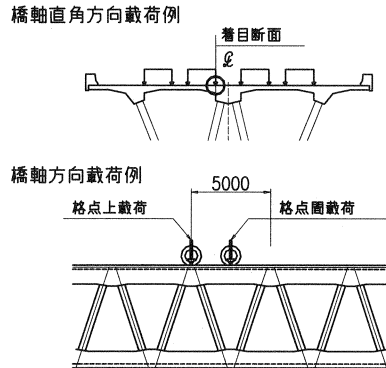


図-4 活荷重載荷例

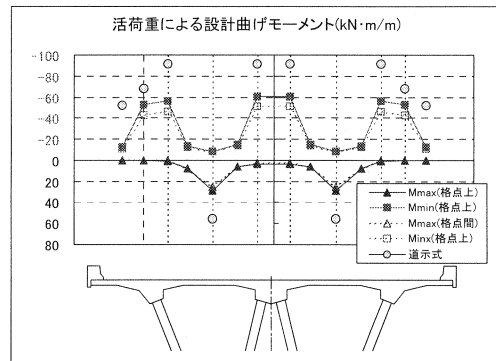


図-5 床版活荷重断面力図

- ・ Wワーレン型の断面は横方向剛性が高く、道示式の断面力に比べ活荷重断面力は全体的に小さい。

支点部 FEM/道示 = 最大 66%

支間中央部 FEM/道示 = 最大 52%

- ・ 橋軸方向に着目した場合、床版支点部・支間部とも格点上の方が 15~20%程度大きな断面力が生じる。

(図-6 に床版支間部の比較結果を示す)

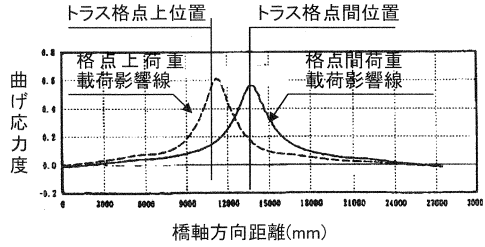


図-6 床版支間方向応力の橋軸方向分布

4. 実橋での検証実験

本橋では、上述した床版設計の妥当性を検証するため、50t ラフタークレーンを2台用いて載荷実験を実施した。実験箇所は、図-1 に示す猿田川橋の P4-P5 径間 (猿田川橋最大支間部 L=110m) の支間中央付近にて実施し、荷重載荷パターンは表-3 及び図-7 に示す4ケース実施した。その時の載荷実験の状況写真を写真-1 に示す。

なお、詳細設計時に用いた活荷重は道示に従い算出したが、そのB活荷重を実験で忠実に再現することは非常に困難である。従って、図-3 に示したFEM 解析モデルを用いて、B活荷重を 50t ラフタークレーンに置き換えて解析した応力度と、実験で計測された応力度とを比較することで、解析モデル及び設計手法の妥当性を検証することとした。

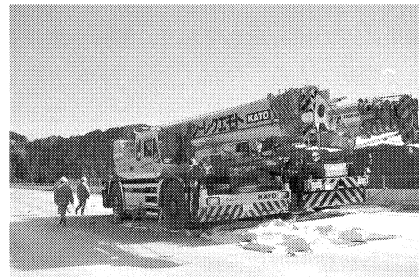


写真-1 載荷実験状況

表-3 活荷重載荷ケース

載荷ケース	横方向載荷位置	橋軸方向載荷位置
CASE 1-1	張出床版 1 台載荷	格点間載荷
CASE 1-2		格点上載荷
CASE 2-1	支間内 2 台載荷	格点間載荷
CASE 2-2		格点上載荷

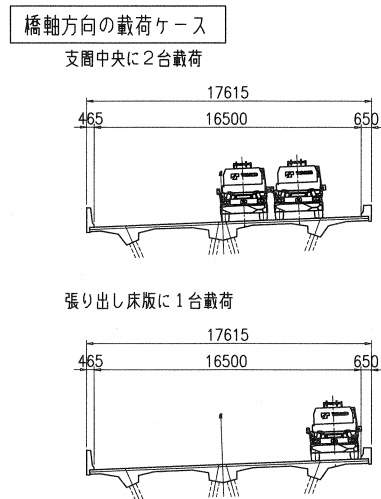
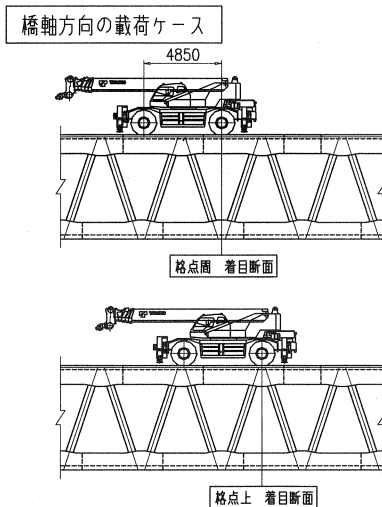


図-7 活荷重載荷ケース図

5. 実験結果と考察

床版上面側に発生した曲げ応力度の解析結果と実験結果を図-8、図-9に示す。解析結果と実験結果の比較から、床版に発生する応力度レベルは小さいが、以下のような考察が得られた。

- ・コンクリート縦桁部付近の曲げ応力度は突出することなく、支点付根部から滑らかに流れている。
- ・張出し床版および床版支間中央に活荷重を載荷した場合、実験結果は解析結果より若干小さな値を示す傾向にあるが、格点上・格点間とも床版に発生する曲げ応力度は事前に行った解析値に概ね合致した傾向を示している。

以上より、詳細設計で用いた床版の FEM 解析モデルは計測結果に近い値を示しており、解析手法の妥当性が検証されたと判断できる。なお、今回の載荷実験では前輪の影響もあり、床版の詳細設計で用いたような1軸荷重とは異なるため、格点部・格点間での応力に大きな差は発生しないものであった。

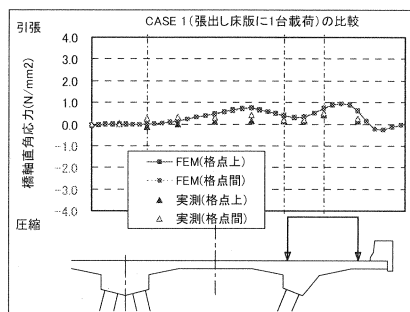


図-8 床版上面応力度 (張出床版載荷)

6. 床版の耐荷力確認実験

FEM モデルの解析手法の妥当性検証実験とは別に、床版の安全性確認のために設計荷重相当を載荷させた耐荷力実験も行った。載荷方法としては、通常的大型車による輪荷重載荷では所定の載荷荷重の載荷が困難であるため、50t ラフタークレーンのブーム角度とブーム長を調整することで、アウトリガー反力として荷重を載荷した。反力荷重の確認はラフタークレーンの反力表示モニター及びトラックスケールで管理し、ひび割れが生じやすい箇所にはπ型変位計を用い確認している。その時の載荷状況を写真-2に示す。その結果、設計荷重相当の荷重を載荷させても床版にひび割れが生じなかったため、十分な安全性と要求された性能が確保されたものと考えられる。

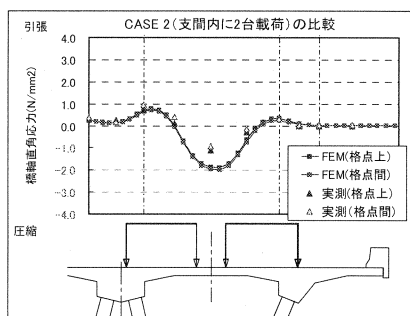


図-9 床版上面応力度 (支間中央載荷)

7. おわりに

本工事は、世界初の複合トラスラーメン橋として平成14年3月から詳細設計や各種の実験を行い、また「PC複合トラス橋の設計施工に関する技術検討委員会」(委員長:池田尚治横浜国立大学名誉教授)の各委員および関係各位の貴重なご意見・ご指導も頂き、平成18年2月に無事竣工を迎えることができた。

最後に本工場の設計施工にご指導頂いた方々をはじめ、工事に携わった方に感謝の意を示すと共に、本報告が今後の発展のために参考になれば幸いである。

参考資料

青木、長田、高德、山口：PC複合トラス橋の設計施工報告、プレストレストコンクリート Vol.48 No.3

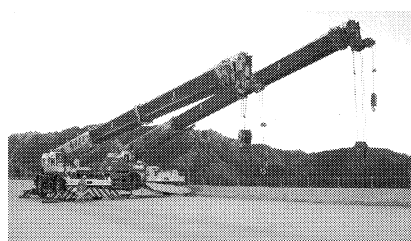


写真-2 床版耐荷力確認実験