

複合トラス橋の格点部に作用する断面力に関する一考察

オリエンタル建設(株) 本社第二技術部 正会員 工修 ○大杉 敏之
 オリエンタル建設(株) 本社第二技術部 正会員 正司 明夫
 大阪工業大学 八幡工学実験場 正会員 工博 園田恵一郎

1. はじめに

上, 下床版をコンクリートとし, ウェブを鋼製にした複合構造橋梁は, 主にフランスで発展してきた. わが国においても, 近年の公共事業に対するコスト縮減の要望から建設事例が増加しており, 現在注目されている構造である. この種の構造の一つとして, ウェブを鋼製斜材とした鋼トラスウェブ PC 橋がある. 本構造はコンクリートと比較し軽量である鋼製斜材を使用するため自重軽減効果と, それに伴って架設作業車による施工長を長くできるため, 工期短縮が期待できる. また, 鋼製斜材はコンクリートより拘束度が低く, プレストレスの導入効率が良くなるため使用 PC 鋼材量を低減でき, 工費低減も期待できる. 本形式の橋梁として, わが国においても, 木ノ川高架橋^①が完成しており, 巴川橋, 猿田川橋^②および志津見大橋^③が施工中である.

本構造において重要な検討部位の一つとなるのが, 鋼製斜材とコンクリート床版が接合される格点部である. 既往の橋梁での鋼製斜材とコンクリート床版との格点構造を概観すると, 鋼製斜材の端面に取り付けた鋼板を介して斜材部材力をコンクリート床版に伝達させる形式 (以下, エンドプレートタイプと呼ぶ)^{④,⑤}と, 鋼製斜材の端部をコンクリート床版内に埋め込み, 付着および定着材によって同様の力を伝達させる形式^{⑥,⑦}およびガセットプレートに鋼製斜材を取り付け, ガセットプレートを介して同様の力を伝達させる形式^⑧に大別できるが, 本研究では, 施工誤差に対する調整が容易となるエンドプレートタイプに着目し, 格点部に作用する断面力の特性について検討を行った.

2. 検討モデル

通常の鋼製トラス橋の検討では, 格点部に作用する力は基本的には鋼製斜材の軸圧縮力または軸引張力であるが, 複合トラス橋においては, 特に, 格点部が剛結に近くなることや斜材の軸線の交点が床版図心からずれる場合もあり, 2 次的な曲げモーメントやせん断力の影響も無視できないと思われる. したがって, 中央支間長 79m, 99m, 149m, の 3 タイプの 3 径間連続ラーメン構造の鋼トラスウェブ PC 橋に着目し, 試設計により供用限界状態および終局限界状態において格点部に作用する軸力および曲げモーメントを算定した. 図-1 に中央支間長 99m の場合の検討対象モデルを示すが, 桁高は別途行った検討より, 中間支点上の桁高, 支間比が 1/13 程度となるように決定し, 中央支間長 99, 149m に関しては変断面構造とした^⑧. 本構造は, 自重軽減, 工期短縮に対する寄与が大きい大型橋梁に適用できる張出架設工法に適用できると考えられるため, 同工法を想定し施工順序を考慮して試設計を行った. 試設計では, 張出施工中に上床版内に配置した内ケーブルと柱頭部の上床版下側からデビ

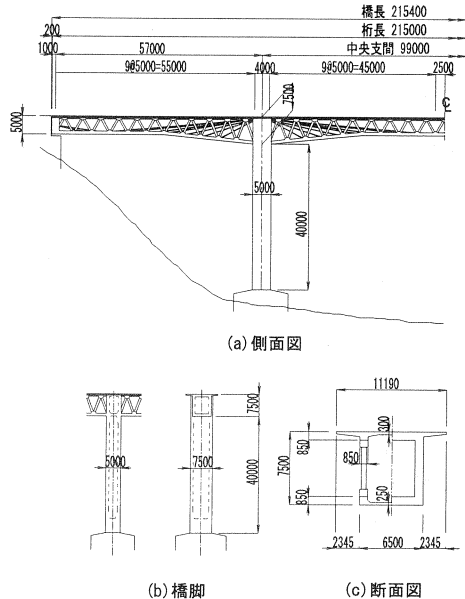


図-1 検討モデル

表-1 検討モデル

支間長	桁 高		鋼管径
	中間支点上	支間中央	
47.0+79.0+47.0m	6.0m	6.0m	φ 400mm
57.0+99.0+57.0m	7.5m	5.0m	φ 500mm
82.0+149.0+82.0m	11.0m	7.0m	φ 600mm

エータにより下床版上側に曲げ下げ配置した外ケーブルを併用し、橋体完成後に全径間に渡る外ケーブルを連続ケーブルとして配置した。外ケーブルを配置することは、その鉛直力成分により鋼製斜材に発生する断面力を低減するために有効な手段となる。したがって、張出架設中より順次外ケーブルを配置することとした。コンクリート床版の設計基準強度は通常の PC 箱桁橋の張出架設工法で使用される 40N/mm^2 とし、鋼製斜材は STK490 あるいは STK490Y 材を使用した。また、鋼管形状は、疲労耐久性において角形鋼管より優れると考えられる丸形鋼管とした。鋼管径の決定は、供用限界状態において格点コンクリート表面にひび割れが発生せず、終局限界状態において破壊しないことを考慮する必要があり、格点構造によって制限値は異なると考えられるが、本研究では、軸力と曲げモーメントによって発生するコンクリートの応力がコンクリート標準示方書(2002年制定版)に規定される支圧強度式の $1/1.7$ 以下になるようにした。表-1に検討モデルを示す。

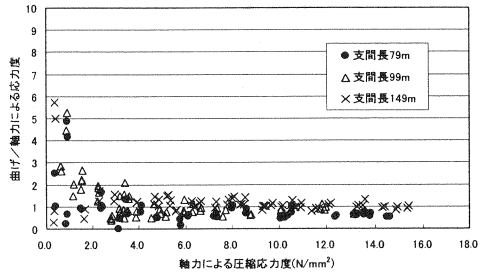


図-2 曲げと軸力による圧縮応力度の比較

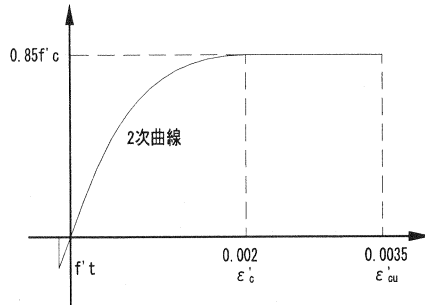


図-3 コンクリートの材料特性

3. 供用限界状態

一般にトラス部材は軸力が卓越し、曲げモーメントは無視されることが多いが、複合トラス橋の格点部の斜材に発生する応力に関して、軸力に対する曲げモーメントの比率に関する検証を供用限界状態レベルで行った。曲げモーメントおよび軸力によって格点部の斜材に作用する応力度のうち一例として圧縮応力度の比較を図-2に示す。軸力による圧縮応力度が 4.0N/mm^2 以下では、曲げによる圧縮応力度が軸力による圧縮応力度に比較し、2倍から6倍に達する個所もあるが、それ以上になると、2倍以下となっている。しかし、0.5倍から同程度の応力度が曲げモーメントによって発生していることから、複合トラス橋の格点部斜材の検討にあたっては、軸力のみではなく、曲げによる圧縮応力度の検討を行う必要があると考えられる。鋼管径は、斜材によりコンクリート格点に発生する応力の制限値により決定している。当然のことながら鋼管径の大きさによって拘束度が変わるため、発生する曲げモーメントが異なり、曲げと軸力による圧縮応力度の比率が変わるため、制限値の決定にあたっては詳細な検討が必要になると考えられる。

4. 終局限界状態

4.1 解析モデル

終局限界状態では、床版にひび割れが発生し、軸力に対する曲げモーメントの比が変動すると考えられる。したがって、その変動を検証するために床版とトラス材にファイバー要素を用いて幾何学的非線形および材料非線形を考慮した複合非線形解析を行った^{9),10)}。解析モデルは、前述の支間の異なる3タイプとした。コンクリートの材料特性は、図-3に示すように圧縮域は道路橋示方書(平成13年制定)に従い、引張側は引張強度まで抵抗するものとした。また、鋼管および鉄筋はバイリニア、PC鋼材はトリリニアでモデル化した。

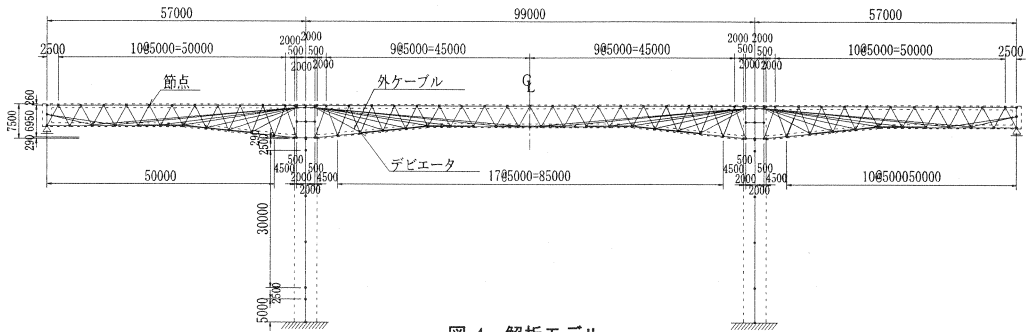


図-4 解析モデル

配置鉄筋は通常使用される鋼材として最大径である D25 を 125mm 間隔で配置した。中央支間長 99m の場合の解析骨組モデルを図-4 に示すが、終局限界状態の計算においては部材を細分割し、上床版、下床版は格点間を 6 要素分割、斜材部材も 6 要素分割とした。また、外ケーブルは部材として評価し、デビエータでの摩擦は考慮していない。

4.2 作用荷重

供用限界状態以降の荷重は、終局時の安全率がクリティカルとなる断面を着目点とし、その断面に最も厳しくなるように活荷重を載荷した。着目点は、中央支間中央と中間支点上の断面とした。このうち、中央支間中央に着目した活荷重載荷位置を図-5 に示す。終局荷重状態は $1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重})$ が最も厳しくなるため、死荷重および活荷重を同じ比率で増加させて $\alpha \times (\text{死荷重} + \text{活荷重})$ となるように検討を行った。また、供用限界状態での発生断面力は施工段階を考慮し、断面力を累計して算出し、クリープ・乾燥収縮による断面力も考慮した。

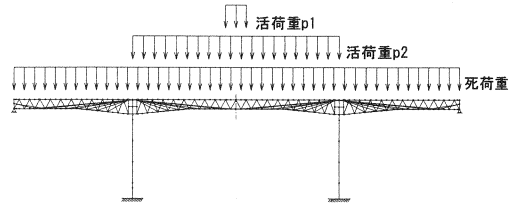


図-5 活荷重載荷位置

4.3 解析結果

前述の 3 タイプの解析モデルに対してそれぞれ着目断面を 2 つとし、計 6 ケースの複合非線形解析を行った。解析の結果、表-2 に示すように各解析モデルの最終耐力時の荷重倍率は、1.7 倍以上となるため、終局荷重に対して十分な耐力を有していると考えられる。解析結果のうち、支間が 99m で着目断面を中央支間中央としたモデルに対して考察を行った。活荷重を図-5 のように載荷し、荷重倍率を増加させていくと、下床版下縁に発生したひび割れは荷重倍率 1.4 倍とした時に、下床版上縁に達した。また、最終耐力時は図-6 に示す斜材部材 629 が降伏し解析を終了した。

表-2 解析ケース

中央支間	着目断面	終局時荷重倍率
79m	中央支間中央	1.74
	中間支付近	1.84
99m	中央支間中央	1.98
	中間支付近	2.08
149m	中央支間中央	1.96
	中間支付近	2.00

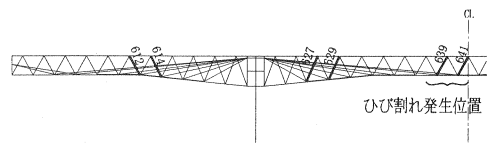
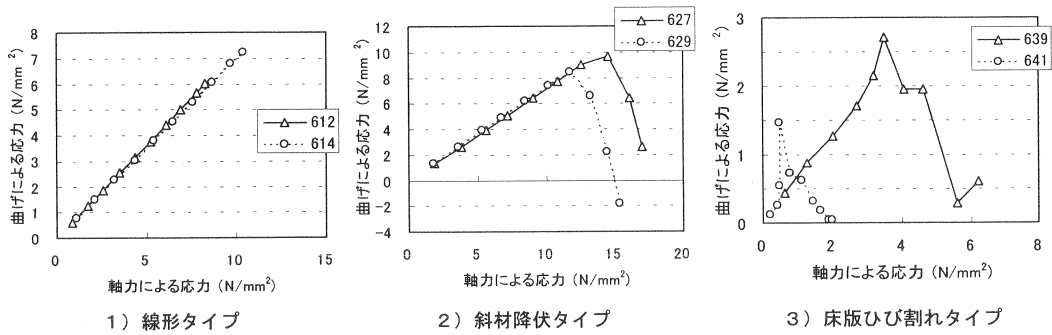


図-6 着目斜材とひび割れ位置

斜材から格点に作用する軸力による応力と曲げモーメントによる応力の関係を図-7 に示す。斜材の部材番号と位置は図-6 に示す。解析結果から斜材に発生する軸力と曲げの関係は、その特長によって、1) 軸力と曲げの関係が線形となるもの(線形タイプ)、2) 斜材が降伏に達して斜材の曲げが小さくなるもの(斜材降伏タイプ)、3) 斜材付近の床版がひび割れたことにより曲げモーメントの値が小さくなり、不安定となるもの(床版ひび割れタイプ)、の 3 つに分類出来る。

この結果、当然のことながら、床版、斜材がともに弾性域にある場合は格点部に作用する曲げによる応力



図・7 曲げ応力と軸力による応力の関係

は軸力に比例して大きくなるが、非線形域になると曲げによる応力の値は小さくなるのが分かった。

他のケースについても考察を行った結果、各格点に作用する軸力と曲げモーメントの関係は、支間や活荷重の載荷位置の異なる場合も同様の傾向があることが分かった。

5. おわりに

本研究により、以下の知見を得た。

- 1) 供用限界状態での、格点部に作用する圧縮応力度に対する照査については、曲げによって発生する縁応力度が軸力によるものに対して無視できる程度のものでない。したがって、軸力だけでなく、曲げモーメントも考慮する必要がある。
- 2) 終局限界状態の検討では、荷重倍率を増加させると床版のひび割れ、もしくは、鋼管斜材の降伏により、曲げの影響が小さくなる。

また、本研究で設定した構造では、上床版、下床版、外ケーブルを含む断面の耐荷力ではなく、鋼管斜材の降伏により構造物全体の耐荷力が決まってしまうが、破壊形態としては、必ずしもよいものではないため、今後、斜材の耐荷力に対して検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 山村正人：木ノ川高架橋—鋼・コンクリート複合トラス橋—，橋梁と基礎，pp.94，2002-8
- 2) 黒岩正，後藤照彦：巴川，猿田川橋の設計—鋼トラスウェブPC橋，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.2，pp.41-47，1999.3
- 3) 高田茂充，深田裕一，植奈央子：志津見ダムにおける志津見大橋の検討，中国地方建設局管内技術研究会論文集，Vol.51，pp.137-140，2000
- 4) 本間淳史，黒岩正，日紫喜剛啓，古市耕輔：複合トラス構造接合部の耐力確認実験，第8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.53-58，1998.10.
- 5) 今井義明，岡田浩樹，田邊頭，坂下克之，中西克佳，栗原康行：複合トラスPC橋の格点構造に関する実験と解析，橋梁と基礎，pp.15-23，2002.4.
- 6) 二井谷教治，江口信三，関口信雄，野呂直以：鋼トラスウェブPC橋格点部の実験的研究，構造工学論文集，Vol.46A，pp.1509-1490，2001.3.
- 7) K.Furuchi et al.：Experimental study on a new joint for prestressed concrete composite bridge with steel truss web，International Symposium on Connection between Steel and Concrete，pp.1250-1259，Sept 10-12 2001
- 8) 佐藤栄司，正司明夫，辻村隆，野呂直以：複合トラス橋の桁高特性に関する検討，第11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.135-140，2001.11.
- 9) 角谷務，青木圭一，正司明夫，丸山正志：全外ケーブル方式による波形鋼板ウェブPC橋の終局耐力に関する検討，第10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.47-52，2000.10.
- 10) Tsutomu Kadotani et al.：A study of the ultimate strength prestressed concrete bridges with corrugated steel plate webs with a entirely external cable structure，The first fib c-congress 2002

Session5 pp.295～pp.302