

(38) 外ケーブルを使用した複合トラス橋の設計に関する一考察

Design of composite truss girder with external unbonded tendons

中俣 孝* , 小室光治** , 唐木正史*** , 高野 覚**** , 長井正嗣*****

Takashi NAKAMATA, Mitsuharu KOMURO, Masashi KARAKI, Satoshi TAKANO
and Masatsugu NAGAI

*新潟県道路建設課 係長 (〒951-8701 新潟市新光町四番地一)

**新構造技術(株)北陸支店 部長 (〒951-8701 新潟市本町通7番町1153番地)

***新構造技術(株)北陸支店 課長 (〒951-8701 新潟市本町通7番町1153番地)

****工修 新構造技術(株)北陸支店 (〒951-8701 新潟市本町通7番町1153番地)

*****工博 長岡技術科学大学工学部建設・環境系 教授 (〒940-2188 長岡市上富岡町1603-1)

This paper, firstly, describes an outline and structural characteristics of 3-span continuous composite truss girder bridge under design. At the design stage, there are several design issues to be solved. Among them, in this paper, a design method to take into account of the stress deviation occurred in the concrete slab due to the horizontal component of axial forces in diagonal members and a way of an arrangement of studs on the upper chord are dealt with. Based on 3D FEM analysis using 24-m span simply supported bridge model and panel point consisting of concrete slab and diagonal members, the stress distribution is calculated. From this calculation, it is concluded that the stress concentration factor is around 2.0 and also it is recommended to arrange the studs uniformly along the upper chord.

Keywords : composite truss bridge, stud, stress concentration, finite element method, three-dimensional analysis

1. まえがき

近年、橋梁分野において、構造および施工の合理化と省力化、並びにコスト縮減に対する対応策の1つとして、鋼とコンクリートの異種材料の長所を組合せた複合橋梁が注目されている。複合橋梁には、部材断面が鋼桁とコンクリート床版の組合せによって構成される合成桁、および異種材料からなる部材を組合せて全体を構成する複合斜張橋等がある。この中で、複合トラス橋は、従来型の鋼トラス橋において、コンクリート床版をトラス構造と合成させ、上弦材としての役割をもたせた構造であり、これにより鋼重の低減が図られた橋梁である。さらに、連続トラス橋の場合は、外ケーブルを配置して中間支点上の床版の橋軸方向の引張に対処した構造とすることが考えられている。

本報告で対象とした複合トラス橋は、橋長172mの3径間連続橋として計画され現在設計中であるが、この種の橋梁では、主構作用によるコンクリート床版内の垂直応力分布の正確な把握、特にトラス格点部の応力集中の把握等、解明すべき点が多々ある。ところで、この形式の施工実績は我が国においてはなく、海外においても

フランスを中心としたヨーロッパにおいて実績があるものの、事例に乏しいのが現状であり、その構造特性の詳細な報告は見当たらないようである。このため、我が国においては、未だ構造特性についての研究が行われている段階と考えられる。

本文では、複合トラス橋の上弦材の応力特性の解明と設計手法の確立を目的とし、FEM解析に基づく検討を行った結果を報告する。

2. 対象橋梁の概要

対象とした複合トラス橋の概念図を図-1に示す。

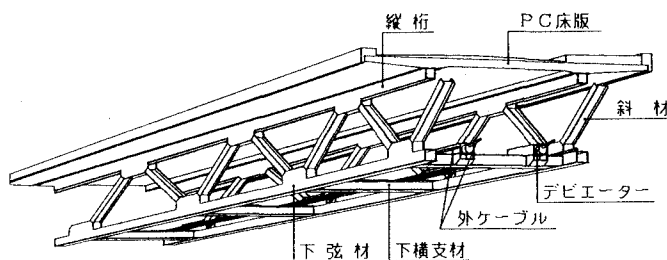


図-1 複合トラス橋の概念図

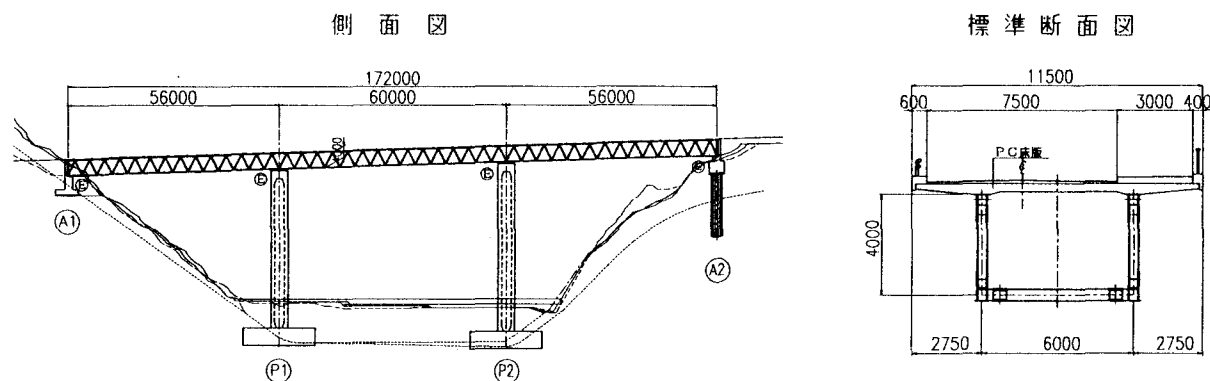


図-2 対象橋梁の一般図

本橋は、次にあげる構造コンセプトをもって計画、設計されている。

- ①床版と主構トラスを一体とした合成トラス構造とし、従来型の床組部材としての縦桁と横桁を省略する。
- ②床版の橋軸直角方向をP C構造とすることで2主構トラスとし、鋼重の軽減を図る。
- ③中間支点部付近の床版に発生する橋軸方向引張力に対し、外ケーブルによりプレストレスを導入し、ひびわれを発生させない構造とする。
- ④橋軸直角方向の水平荷重（風、地震）に対しては、床版を介して荷重が伝達されることを期待して床版の剛性を考慮した設計を行い、中間対傾構と下横構を省略する。

本橋の一般図を図-2に示す。本橋の構造形式および寸法は、支間割が 56.0m + 60.0m + 56.0m の3径間連続トラス橋で、主構高は4mの等高である。床版は支間6mのP C床版である。格点部の構造は、ガセットプレートとスタッドジベルを用いた接合方式を採用した^{1),2)}。外ケーブルは図-3に示すように6本配置した。使用したケーブルは、引張荷重 $P_u = 355.3\text{tf}$ の19S12.7(SWPR 7B)である。外ケーブルを配置したことにより、中間支点部の床版の橋軸方向引張に対処するとともに、鋼部材の断面力の改善が図られた。

主な構造諸元をまとめると次のとおりである。

- ・構造形式 : 3径間連続トラス橋
- ・支間割 : 56.0m + 60.0m + 56.0m
- ・幅員 : 7.500m(車道)、3.000m(歩道)
- ・主構高 : 4m
- ・トラス格点間距離 : 4.0m
- ・上床版厚 : $t = 32\text{cm}$

3. 検討課題

複合トラス橋は、コンクリート床版を鋼桁と結合してトラスの上弦材とする合成構造であり、後死荷重と活荷重に対しては、床版断面に垂直応力分布の乱れが生じると考えられたため、以下に示す点を課題とし、検討を行った。

- ①主構作用(桁の全体曲げ)に伴う斜材軸力により生じる、床版断面の垂直応力分布の乱れ
- ②スタッドジベルの配置範囲が格点部近傍の床版の応力分布に与える影響

4. 上弦材断面の垂直応力

主構作用に伴う斜材軸力により生じる、床版断面の垂直応力分布の乱れや応力集中に関して、3次元FEM解析に基づく検証を行った。

4.1 FEM解析

解析モデルは、本橋の径間部の長さ24m分(6パネル)を取り出し、半幅員モデルとした。また、床版はソリッド要素、鋼部材はシェル要素でモデル化されている。荷重は、等分布活荷重 $p = 0.35\text{ tf/m}^2$ の载荷を想定し、その荷重合計を縦桁フランジ上のみに分布荷重として载荷した。支持条件はモデルの桁端部において鉛直方向のみを拘束した(図-4)。

4.2 解析結果と考察

(1)垂直応力

1)幅員方向の分布

床版断面内の幅員方向の垂直応力分布を図-5に示す。なお、格間曲げによって生じる応力は、別途下弦材の格

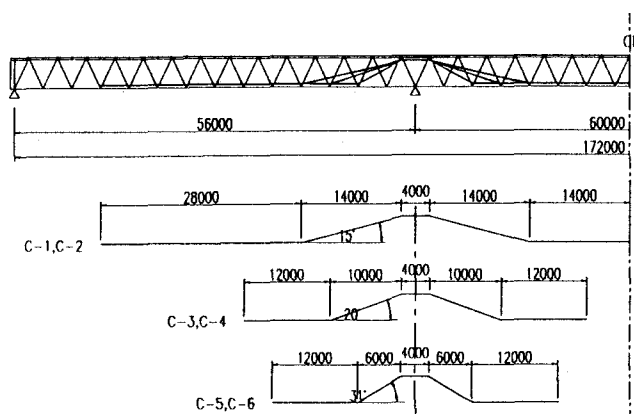


図-3 外ケーブルの配置

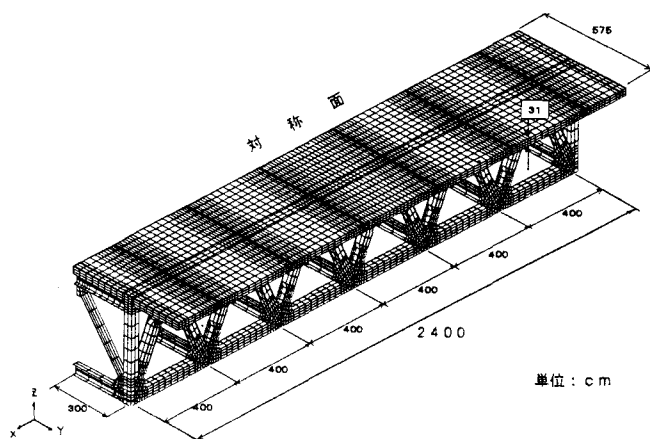


図-4 解析モデル

点位置を支点としたFEM解析を行い、その影響を除去している。着目点は、第1格点の軸力増加側のガセットプレート端である。また、応力は上弦材図心位置の応力で、一符号は引張を意味する。図により、縦桁近傍の垂直応力が他部より大きくなっているが、縦桁から離れるに従って減少し一定値となっている。この傾向は他の格点においても同様であった。

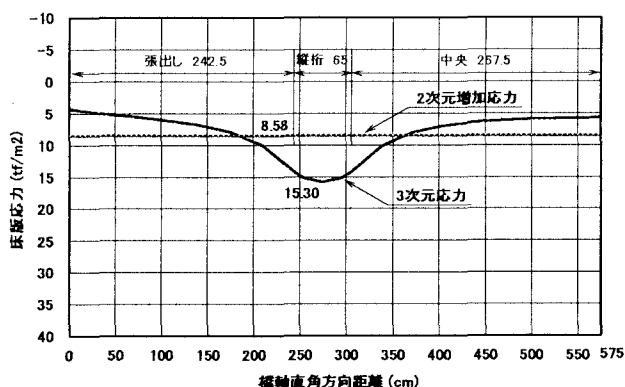


図-5 第1格点の垂直応力分布

2) 橋軸方向の分布

図-6に、図心位置の最大垂直応力の橋軸方向分布を示す。図中の値は、図-5に示す縦桁上の最大値をプロットしたものである。なお、左支点から第1格点間で引張応力が生じているが、これはラーメン曲げの影響で、本モデルではこの区間のみラーメン曲げが生じていた。2次元骨組解析結果では、軸力が格点を挟んで階段状に増加するのに対して、ガセットプレートの範囲において応力集中が生じている。

(2) 増加軸力を考慮した設計手法

ガセットプレート端の床版の応力集中を2次元骨組解析により評価するにあたり、増加軸力に対する応力集中係数を導入し、次式による応力の算出方法を考える。

$$\sigma = \frac{N}{A} + \alpha \cdot \frac{\Delta N}{A} = \bar{\sigma} + \alpha \cdot \Delta \sigma \quad \text{---(a)}$$

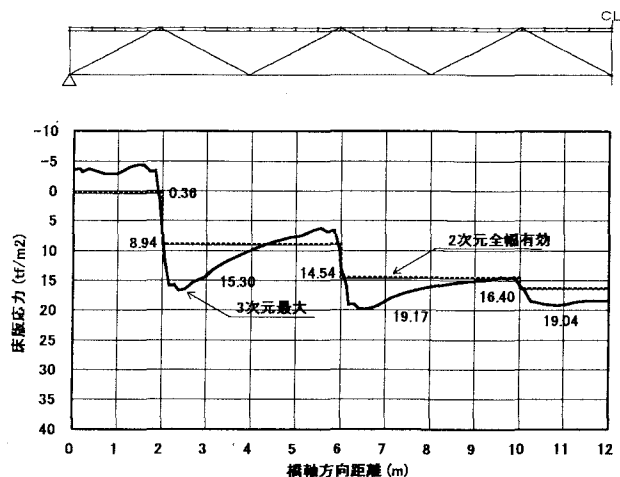


図-6 橋軸方向の垂直応力分布

ここに、 σ ：最大垂直応力

N ：増加軸力分を除いた床版軸力

$\bar{\sigma}$ ：増加軸力分を除いた床版応力

ΔN ：増加軸力(格点を挟む軸力差)

$\Delta \sigma$ ：増加軸力による床版平均応力

A ：床版断面積

α ：応力集中係数

以下に、FEM解析の結果に基づき、 α を計算する。

(a)式より、応力集中係数は次式で求められる。

$$\alpha = (\sigma - \bar{\sigma}) / \Delta \sigma \quad \text{---(b)}$$

(b)式より求めた α の結果を、表-1に示す。

表-1 応力集中係数

		第1格点	第2格点	第3格点
ガセット 右端部	$\sigma - \bar{\sigma}$	15.30	10.23	4.50
	$\Delta \sigma$	8.58	5.60	1.86
	α	1.78	1.83	2.42

表-1より、支点から離れ径間中央となる第3格点では、 α は2.42と他の格点よりも大きな値であった。第3格点では、増加応力($\Delta \sigma$)の絶対値が小さいことから、格点を挟んだ床版の増加軸力に対する応力集中係数としては2.0を採用する。

5. スタッドジベル配置範囲の検討

スタッドジベルを用いた接合方式において、その配置範囲の違いが、斜材軸力による格点部近傍の床版の応力集中にどのような影響を及ぼすかに着目し、3次元FEM解析に基づく検討を行った。

5.1 解析モデル

解析モデルは、格点部を構成する鋼部材と床版の部分的な範囲を取り出し、橋梁中心線で対称条件を設けた半幅員モデルとした。部材は、床版をソリッド要素、斜材をシェル要素でモデル化した。拘束条件は、圧縮縁端に

において斜材からの力に対する方向(橋軸方向)のみを拘束し、鉛直方向変位および回転についてはフリーとした。荷重は斜材軸力とし、設計荷重時の床版の最大ずれせん断に相当する、軸力($F=110.7t$)を作用させた。(図-7)

解析ケースは、スタッドジベルによる床版と縦桁との接合範囲の違いを考慮するため、次の2ケースとした。

ケース①：床版と縦桁の接合部全面を結合

ケース②：ガセット部の範囲のみを結合

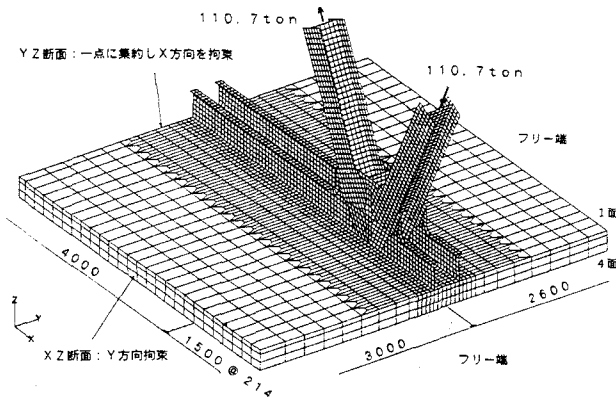


図-7 解析モデル(部分モデル)

5.2 解析結果と考察

(1) 斜材軸力による応力集中

図-8に、ケース①の格点部付近の圧縮応力の幅員方向分布を示すが、応力の乱れによりモデル下面の圧縮応力が大きい値となった。この応力集中は格点から橋軸方向の圧縮側へ離れるにしたがって小さくなり、1.5 m程度離れた断面では垂直応力がほぼ均等化していた。斜材軸力による垂直応力の集中度合いを検討するため、平均垂直応力に着目し、均等化部と応力集中部との比較を行った。図-8の縦桁部における平均値は、 $\bar{\sigma}=11.3 \text{ kgf/cm}^2$ であった。一方、均等化した垂直応力は、斜材軸力の水平分力を床版断面積で除すと $\bar{\sigma}=5.7 \text{ kgf/cm}^2$ であった。したがって、応力集中の度合いは $11.3 / 5.7 = 1.98$ で約2倍となった。以上の結果から、先に説明した応力集中係数2.0の設定は妥当であると考えられる。

(2) スタッドジベルの配置

圧縮側応力の最大値に着目すると、図-8の全面接合の結果は、図-9の部分接合(ケース②)の場合の大きな圧縮応力と比べ小さく、分布もスムーズであった。この傾向は格点を挟んだ引張側の応力集中についても同様であった。ここで、ケース①とケース②の垂直応力の最大値の比較結果を表-2に示す。これより、スタッドジベルは、格点部だけでなく縦桁部にも配置することが望ましいと言える。

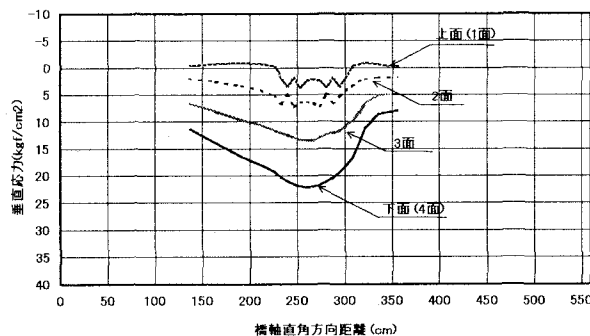


図-8 応力集中箇所の圧縮応力分布(ケース①)

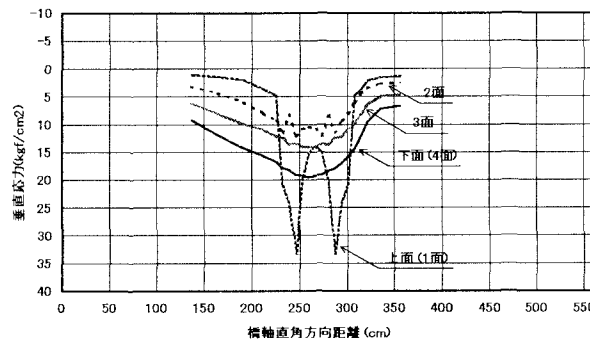


図-9 応力集中箇所の圧縮応力分布(ケース②)

表-2 垂直応力の最大値

	ケース①	ケース②
圧縮応力	22 kgf/cm^2 (0.67)	33 kgf/cm^2 (1.0)
引張応力	-12 kgf/cm^2 (0.41)	-29 kgf/cm^2 (1.0)

6. まとめ

本文では、計画中の複合トラス橋の概要を紹介するとともに、主構作用に伴う斜材軸力による床版断面の垂直応力の乱れを、2次元骨組解析を用いて設計する際の評価手法について検討した。また、格点部近傍の応力集中に着目し、スタッドジベル設置範囲の違いによる影響について検討を行った。

本検討の結果で得られた結論を要約すると以下のようになる。

- ・床版内の増加軸力(ΔN)により生じる応力の乱れを評価する上で、応力集中係数2.0を用いればよい。
- ・スタッドジベルの設置範囲は、格点部のみに集中させるのではなく、できるだけ均等にするのが望ましい。

なお、主構作用について今後検討すべき課題として、格間曲げ及びびラーメン曲げによる応力の2次元骨組モデルでの評価法が挙げられる。

謝辞：本検討にあたりご指導を賜った、本橋の技術検討委員会(委員長 早稲田大学・依田照彦教授)の委員各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1)依田照彦他：複合トラス橋の格点構造に関する実験的研究, 土木学会第52回年次学術講演会, 平成9年9月
- 2)依田照彦他：ガセットとスタッドを用いた複合トラス橋の格点構造に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.44A, PP.1475-1484, 1999.3