

## 複合トラス橋の桁高特性に関する検討

オリエンタル建設(株) 第二技術部 正会員○佐藤 栄司  
 同上 正会員 正司 明夫  
 同上 正会員 辻村 隆  
 新日本製鐵(株) 鉄構海洋事業部 野呂 直以

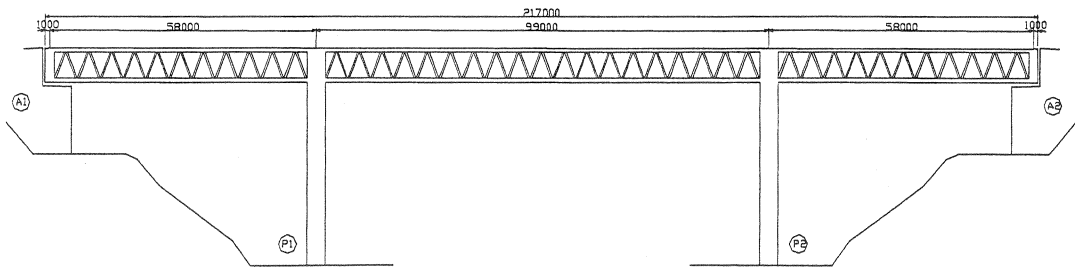
### 1. はじめに

近年、我が国において複合構造形式の橋梁が着目されている。この橋梁形式の一つとして複合トラス橋が挙げられるが、これはPC箱桁橋のコンクリートウェブを鋼管トラスに置き換えることにより、自重の軽減や施工の省力化を図ったものである。しかし、我が国において複合トラス橋についてはまだ施工実績がなく、適切な設計手法や、最適な支間桁高比など未だ明確ではない。

そこで、本検討では、複合トラス橋において経済的に有利と思われる、最大支間 100m 程度の 3 径間連続ラーメン橋に着目し、桁高と経済性の関係を把握する目的で、各桁高での工費や断面力などについて考察を行った。

### 2. 設計条件

検討は図-1 に示す中央支間 99m の 3 径間連続複合トラス橋を対象として行った。施工方法は移動作業車を用いた張出し施工とし、ブロック長は 5.0m とした。なお、本検討では対象橋梁のスパンは変更せずに桁高をパラメーターとして検討を行っている。主な設計条件を表-1 に示す。



#### 施工段階

- 1 段階：柱頭部施工
- 2 段階：8 ブロックの張出し施工（移動式作業車）
- 3 段階：側径間施工（支柱式支保工）
- 4 段階：中央閉合（吊り支保工）
- 5 段階：連続外ケーブル緊張、橋面施工
- 6 段階：活荷重載荷

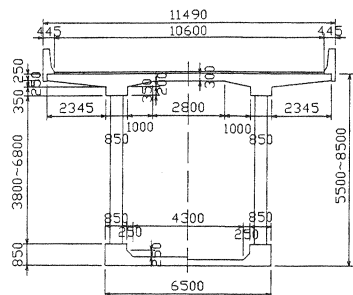


図-1 対象橋梁

表-1 設計条件

構造形式		使用材料	
構造形式	3径間連続複合トラス橋	コンクリート	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
架設工法	片持ち張出し架設工法	PC鋼材	主方向 SWPR7BL 12S12.7
	側径間施工:支柱式支保工		SWPR7BL 19S15.2
	中央閉合部:吊り支保工	横方向 SWPR7BL 1S21.8	
有効幅員	10.600m	鋼トラス材	SM490, $\phi 500, t=12\sim 32$
桁長	217.000m		
支間	58.000m + 99.000m + 58.000m		
桁高	H=5.5, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5m		
活荷重	B活荷重		

### 3. 構造解析

解析モデルは図-2に示すように、2次元骨組みモデルとし上床版、下床版、鋼トラス斜材、外ケーブル、橋脚をそれぞれ部材として評価している。鋼トラス斜材は、格点においてコンクリート床版と剛結合されているものとし、上下床版は軸線を考慮したモデルとしている。また、クリープ解析は各施工段階を考慮して行った。

ケーブル配置は、張出し内ケーブルを上床版、連結内ケーブルを下床版に配置した。また、張出し外ケーブルは斜材に作用する断面力を低減させるような配置とし、連続外ケーブルは活荷重による断面力に相当する本数を配置した。桁高は5.5m、6.5m、7.0m、7.5m、8.0m、8.5mの6ケースについて検討を行い、最も経済的に優位となる桁高のみ変断面についても検討を行った。

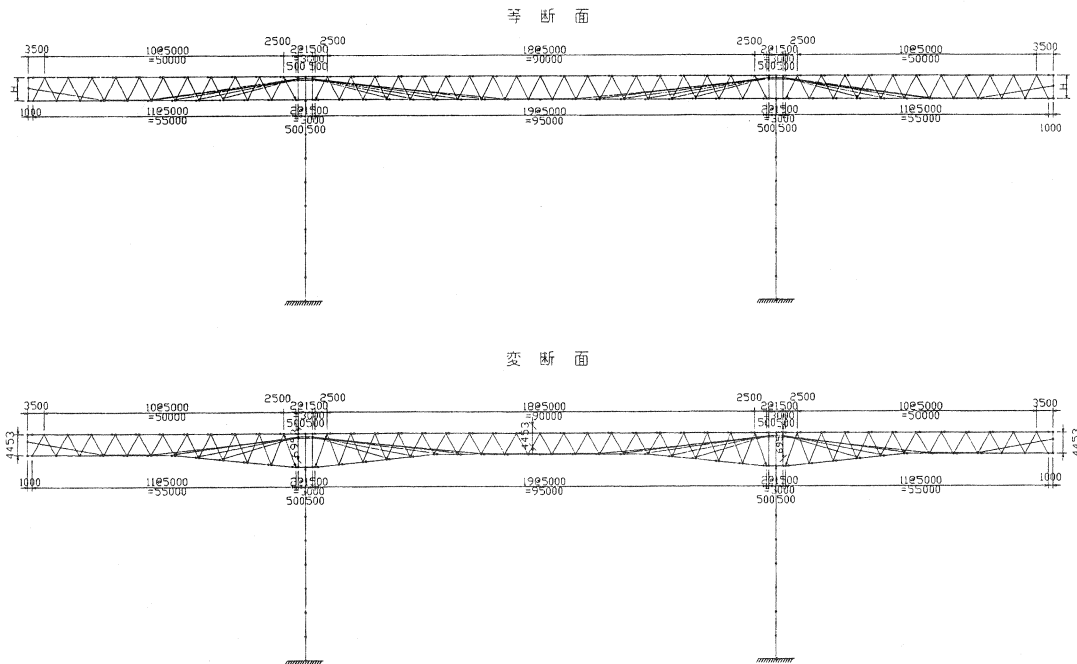


図-2 解析モデル図

#### 4. 解析結果

##### (1) 数量、工費

図-3 に桁高変化と主要材料数量の関係を示す。

##### ① コンクリート、型枠、外ケーブル数量

桁高の増加に伴い数量は直線的に増加する。

##### ② 内ケーブル数量

桁高の増加に伴い数量は直線的に減少する。これは、桁高が高いと外ケーブルの偏心が増加し、上床版に大きな正の曲げモーメントを生じさせるためである。なお、桁高 7.5m以上で数量が減少していないのは1断面2ケーブルの定着を基本としているためであり、上床版の応力度には余裕がある。

##### ③ 鋼管トラス材数量

桁高が高いと鋼管トラス材の長さが増加する事により数量も増加する。しかし、桁高が低いと、外ケーブルの配置角度が小さくなるため、張力分力による鋼管トラスの引張力低減効果が小さくなり鋼管厚が大きくなる。そのため、6.5mのケースが最も鋼管トラスの数量が少ないという結果になった。鋼管トラス材が直接工事費に占める割合は 12%程度と他の主要材料に比べその割合は大きくなっている。したがって、いかに鋼管トラス材の数量を少なくするかが重要なポイントとなる。そこで、桁高 7.0m以下のケースで外ケーブルの本数を増加させ、鋼管トラス材の板厚低減を試みたが、外ケーブルの配置角度が小さいため低減効果もあまり見られなかった。そのため、鋼管の数量の減少量よりも外ケーブル数量が増加する事によって生じる工費の割合が大きくなり、経済的に有利とはならなかった。

##### ④ 直接工費

図-4 に桁高と直接工事費の関係を示す。今回の解析においては桁高 7.5m (スパン桁高比 1/13) で最も経済的となる結果が得られた。これは、内ケーブルの数量が桁高 7.5mを境に最小となることと、桁高が小さくなることにより減少してきた鋼管トラス材の数量がこの桁高付近から鈍化するため、これらの要因により桁高 7.5mで工費が最も経済的になったと考えられる。

##### ⑤ 変断面特性

等桁高の場合にコスト的に有利である桁高 7.5mと、柱頭部桁高 7.5mで変断面 (標準断面の桁高を 5.0m) とした場合の比較を行った。変断面とした場合、外ケーブルの偏心量が小さくなるため、内ケーブルの数量が増加した。鋼管トラス材の数量は、中間支点付近で外ケーブルの張力分力による鋼管トラスの引張力低減効果が小さくなり鋼管厚が大きくなった。しかし、支間部では桁高の低下によって、部材長を低減することができ、結果的に鋼管トラス材の数量は少なくなる結果となった。今回の検討では変断面と等断面で直接工費の比較を行ったが、工費の差は 0.5%程度とほとんど違いが見受けられなかった。今後、標準断面の桁高、桁高変化区間長や、施工性など詳細な検討が必要であると思われる。

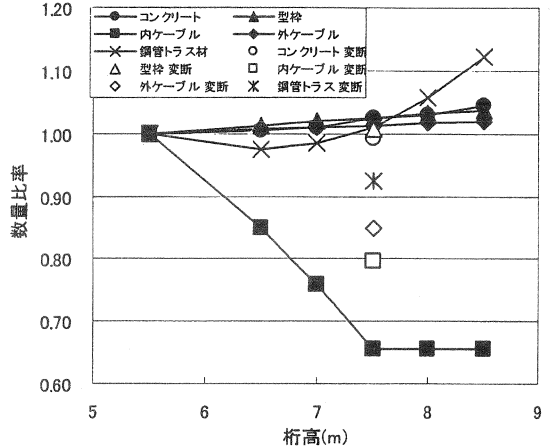


図-3 桁高と主要材料数量の関係

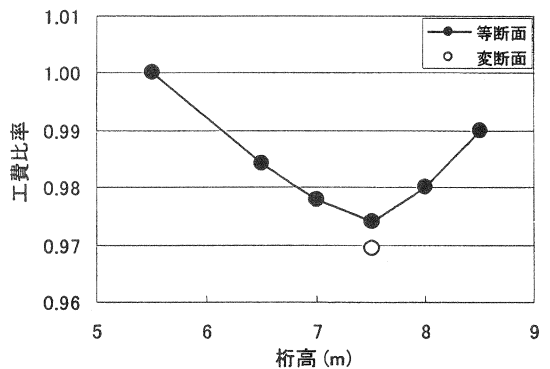


図-4 桁高変化に伴う直接工費

表-2に本検討で得られた各桁高における主要材料の数量と、比較に用いた直接工費の参考値を示す。なお、格点構造はコンクリート介在型の鋼管構造格点として工費を算出している。

表-2 主要材料の数量と直接工費

名称	規格及び仕様	単位	H = 8.5	H = 8.0	H = 7.5	H = 7.0	H = 6.5	H = 5.5	H = 7.5変断面
コンクリート工		m <sup>3</sup>	2278.4	2245.2	2235.3	2204.0	2192.1	2182.6	2161.9
型枠工	外枠、内枠、小口	m <sup>3</sup>	5680.3	5643.6	5610.0	5573.6	5539.8	5473.9	5513.9
縦締めPC工	内ケーブル 12S12.7	ton	21.2	21.2	21.2	24.5	27.5	32.4	25.7
	外ケーブル 19S15.2	ton	39.3	39.1	39.0	38.9	38.8	38.5	32.7
鋼トラスウェブ工	鋼トラス材	ton	207.2	195.4	186.4	181.7	180.2	184.8	170.7
直接工費		千円	630293	624039	620152	622537	626614	636687	617175

(2) 下床版の断面力

張出し架設工法を用いた複合トラス橋では、柱頭部付近の下床版に大きな軸圧縮力と曲げモーメントが作用する。本検討においても、下床版厚は橋脚と下床版の柱頭部橋脚前面もしくは張出し外ケーブルの第1定着断面で決定している。

図-5に、桁高 5.5mを基準とした静荷重作用時の桁高ケースと軸力の関係を示す。下床版に作用する軸力は桁高が増加するほど小さくなる。またその比率は柱頭部橋脚前面で最も大きく、中間支点からの距離が増すほど小さくなる。

変断面とした場合、柱頭部橋脚前面では等断面(H=7.5m)より大きな軸力となるが、他の断面では等断面よりも小さくなった。この理由としては、等断面では第1断面から第4断面まで張出し外ケーブルを配置しているのに対し、変断面では第3断面までとしている。つまり、変断面の方が配置PC鋼材が少なく、外ケーブルによる張力分力が低減したために軸力が小さくなったと思われる。なお、主桁自重のみでの比較では変断面の方が等断面よりも軸力が大きくなっている。

図-6に、桁高 5.5mを基準とした静荷重作用時の桁高ケースと曲げモーメントの関係を示す。桁高の増加に伴い、外ケーブルによって生じる正の曲げモーメントは大きくなる。この影響により、下床版に生じている負の曲げモーメントは桁高の増加に伴い減少する。

また、桁高 7.0m以下で第1定着断面の曲げモーメントが第2定着断面より大きくなっているが、これは、桁高の減少に伴い下床版厚が増加し、下床版断面圆心位置から外ケーブル定着位置までの偏心量が増加することにより正の曲げモーメントが大きくなったためである。

このように、下床版に作用する断面力は、桁高や定着部の偏心量の影響を受けており、桁高 7.0m以上では柱頭部橋脚前面の軸圧縮応力度 (11 N/mm<sup>2</sup>) で断面が決定し、それ以外は曲げモーメントによる影響が大

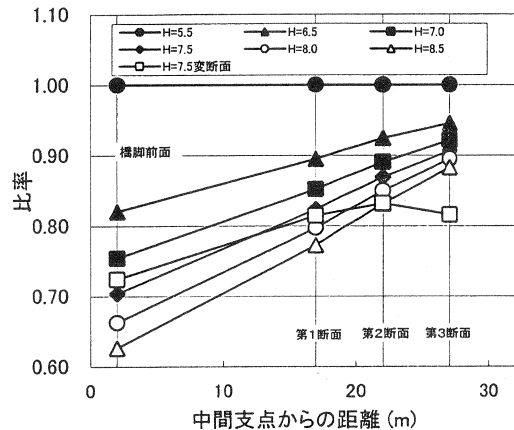


図-5 桁高と下床版軸力の関係

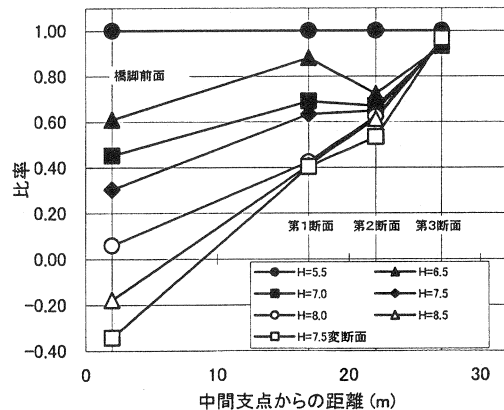


図-6 桁高と下床版曲げモーメントの関係

きくなるため第1 定着点の曲げと軸力による合成曲げ応力度 ( $14 \text{ N/mm}^2$ ) で決定している。

(3) 鋼管トラス材の断面力

図-7 に桁高ケースと鋼管トラス材に作用する軸力の関係を示す。ここで、柱頭部に最も近いトラス材を第1トラス材と称し、順次中央径間側を第2斜材、第3斜材とする。このトラス橋の斜材はほぼ交互に圧縮部材と引張部材となり第1斜材で正の軸力(圧縮)が最大、第2斜材で負の軸力(引張)が最大となる。桁高と鋼管トラス材に作用する軸力の関係は圧縮部材、引張部材ともに桁高が高くなるほど小さくなる。

ここで、主桁自重によって生じる軸力に着目した場合、鋼管トラス材の剛性などにより若干の変動が見られるものの基本的には桁高が高い方が軸力は小さくなる。

次に、外ケーブルの緊張力により生じる軸力に着目した場合、鋼管トラス材の剛性の影響を受けるものの、PC

鋼材の配置角度による影響が大きく、ほぼ桁高に比例して軸力も大きくなる。この軸力と主桁自重による軸力とは符号が反対となり、鋼管トラス材に生じる軸力を低減させるには桁高を高くした方が有利となる。

変断面とした場合は、桁高変化区間では自重による軸力を大幅に低減する効果が見られたが、径間中央部の標準断面区間では逆に大きくなった。しかし、主桁自重による軸力が低減しているにも関わらず、図-7 で変断面による軸力の低減効果が余り見られない理由は、前述の外ケーブルの配置本数が少ないためである。変断面のケースで、等断面と外ケーブルの配置本数を同数にして検討を行ったが、外ケーブルの増加量と、鋼管トラス材の板厚減少量との関係より経済的に不利となった。

次に、格点部に注目する。鋼管トラス材やコンクリート床版に作用する断面力は、格点によって断面力の伝達を行うが、その荷重伝達は複雑で格点構造によっても異なる。そこで、鋼管径 500mmで、活荷重作用時にトラス材に作用する軸力を支圧としてコンクリートに伝達した場合を想定した。図-8 は、桁高 5.5m とし設計荷重時に、鋼管トラス材の断面力によってコンクリート床版に生じる合成圧縮応力度を示す。本検討の場合、桁高 5.5mでは最大で  $66.5 \text{ N/mm}^2$  の合成圧縮応力度がコンクリート床版に作用し、中間支点から離れるにつれ合成圧縮応力度は小さくなる。図-9 に桁高ケースと合成圧縮応力度の関係を示

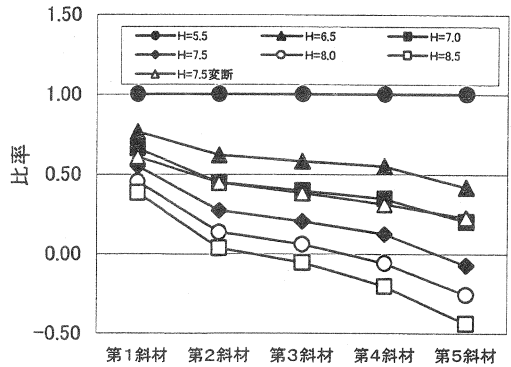


図-7 桁高と鋼管トラス材に作用する軸力の関係

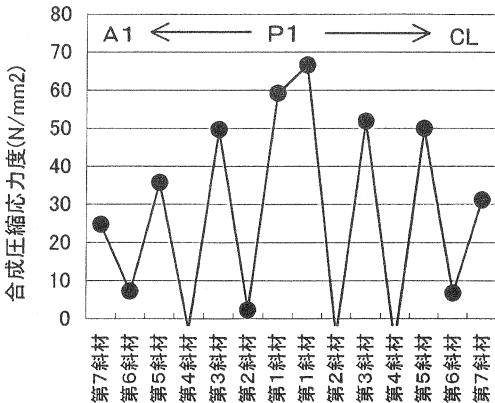


図-8 コンクリート床版に生じる合成圧縮応力度

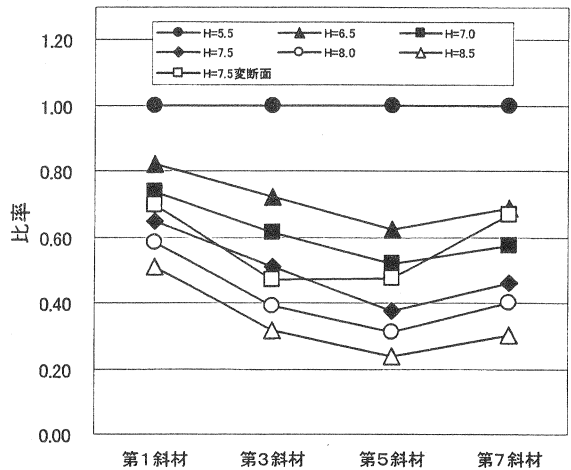


図-9 桁高による合成圧縮応力度

すが、この圧縮応力度は桁高の増加とともに減少することがわかる。第7斜材で合成圧縮応力度が上昇しているのは、第1張出し外ケーブルの定着が終了し、これにより張力分力が低下したためである。しかし、最大桁高を8.5mとした場合でも第1斜材の合成圧縮応力度は $34.0\text{N/mm}^2$ と依然として高い値となっている。したがって、格点の構造によっては鋼管径を増加するなど支圧を低下させる対策が必要であると考えられる。

## 5. まとめ

本検討において以下のことが明らかになった。

(1) コンクリート、型枠、外ケーブルの数量は桁高の増加に伴い直線的に増加するが、内ケーブルについてはこれとは逆に減少する。鋼管トラス材の数量は、桁高6.5m(スパン桁高比1/15)が最も少なくなる。

(2) 全体工費は、桁高を7.5m(スパン桁高比1/13)としたケースが最も経済的となった。また、この桁高7.5mのケースに対し、変断面とした場合(柱頭部桁高7.5m、標準断面5.0m)について比較を行ったがほぼ同等の工費であった。

(3) 下床版に作用する軸力及び曲げモーメントは桁高の増加に伴い減少する。また、桁高が低い場合、特に第1張出し外ケーブルの定着断面で偏心による曲げモーメントの影響を大きく受ける。

(4) 鋼管トラス材に作用する軸力は、桁高の増加に伴い減少する。

(5) 鋼管トラス材に作用する軸力と曲げモーメントによってコンクリート床版に生じる合成圧縮応力度は、桁高が高いほど小さくなるが、鋼管径500mm、桁高8.5m(スパン桁高比1/12)のケースでも $34.0\text{N/mm}^2$ と大きな値になってしまう。したがって、格点構造によってはこの圧縮応力度に対する対策が必要になると思われる。

今回は、複合トラス橋における桁高特性について工費や断面力に着目し、その解明を試みた。しかし、今回の検討は最大スパン99mに限定しており、最大支間が異なった場合に今回の桁高特性がそのまま適応可能かどうか明確でない。今後の課題として、さらに最大支間を延長した場合の桁高特性や合理性について検討を加えて行きたいと考えている。

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅲコンクリート橋編，1996.12.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，1996.12.
- 3) (社)プレストレストコンクリート技術協会：複合橋設計施工基準(案)，1999.12