

2方向支持された床版を有する合成2主桁橋の挙動特性

Characteristic behavior of composite two-girder bridge with slab supported along two way direction

北海道大学大学院 ○正 員 平沢秀之 (Hideyuki Hirasawa)
北海道大学大学院 学生員 田上優介 (Yusuke Tagami)
北海道大学大学院 フェロー 林川俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
北海道大学大学院 フェロー 佐藤浩一 (Koichi Sato)

1. まえがき

公共工事のコスト縮減への要求が高まる中で、鋼橋の建設においても、経済性向上を目指した様々な新技術、新しい素材、新しい形式等が考え出されている。近年注目されている少数主桁橋もコスト縮減を図る有力な次世代の橋梁形式として期待されているものである。この少数主桁橋は主桁本数を2、3本程度とし、対傾構や横構が省略され、主桁どうしはH形鋼を用いた横桁で連結するシンプルな構造形式となっている。また床版は、床版支間の増大に対処するためにPC床版または鋼-コンクリート合成床版が使用され、高耐久化がなされている。

少数主桁橋の構造的特徴の内、横桁の配置位置に着目すると、主桁の中段に設置される事例が多く見られる。横桁配置について検討した研究^{1), 2)}によると、上段配置、中段配置、下段配置を比較した解析より、力学的な観点から配置位置が設計上問題となることはそれほど無いという結果が得られている。中段配置の実例が多い理由は構造的な理由よりも架設時における床版施工のためである場合が多い。すなわち床版コンクリート打設の際の移動型枠を支持するために、中段に配置された横桁を使用することが有利なためである。したがって横桁断面に働く応力は架設時の方が完成後の死荷重、活荷重による応力よりも大きい。横桁を上段配置とした場合は、PC床版のプレストレスロスや、移動型枠の設置不可等の不利な点を指摘した報告もあるが³⁾、横桁で床版を支持できる利点について論じた研究もいくつか見られる^{4), 5)}。横桁が上段に配置された少数主桁橋の実例はヨーロッパでは多く見られるが、日本ではあまり多くない。

本研究は少数主桁橋、特に2主桁橋の構造要素のうち横桁に着目し、その配置位置を上段にすると同時に床版を支持する構造としてFEM解析を行い、その挙動特性を調べようとするものである。主桁と横桁の2方向で床版を支持することにより、主桁のみで支持された場合より床版厚を薄くすることが可能となり、床版の死荷重を低減できる効果が期待できる。横桁自身も床版からの荷重を負担するため、中段配置の場合より構造部材として完成後も有効に働くものと考えられる。

本文ではまず横桁を上段配置として、且つ床版を支持する構造と支持しない構造の2主桁橋モデルを作成し、それぞれにB活荷重を作用させて解析を行った。2方向で床版を支持することにより、床版の曲げモーメントとたわみ、主桁と横桁の変形に及ぼす影響を調べ、横桁で支持する構造の有効性を確かめた。なお数値計算には有限要素法汎用構造解析プログラムNASTRANを使用した。

2. 構造モデル

解析の対象とする橋梁モデルは図-1のような断面形状を有する合成2主桁橋である。支間長は50[m]とする。横桁は主桁を10等分する5[m]間隔で配置されている。主桁断面はここでは設計を行っていないため、支間全長に渡って一定としている。表-1に断面寸法を示す。床版コンクリートの材料定数は、ヤング係数 $E_c = 2.857 \times 10^{10}$ [N/m²]、ポアソン比 $\nu = 0.2$ と仮定した。鋼部材の材料定数はそれぞれ $E_s = 2.0 \times 10^{11}$ [N/m²]、 $\nu = 0.3$ と仮定した。

荷重は床版のたわみや曲げモーメントを検討する際には、T荷重を図-2(a)のように着目点が最も不利になるように載荷する。すなわち橋軸方向に1組、橋軸直角方向には制限なく載荷する。主桁への影響を検討する際には図-2(b)のようなL荷重またはT荷重を載荷する。なお、本解析では衝撃係数を考慮していない。

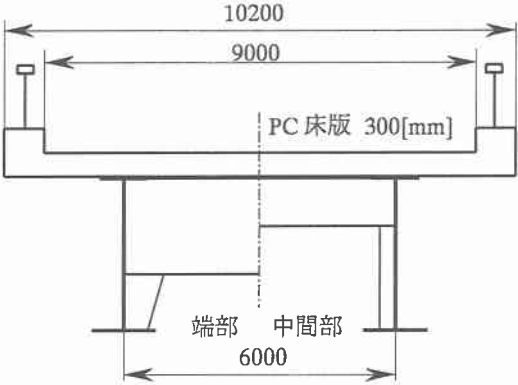


図-1 2主桁橋断面図

表-1 部材断面

主桁・横桁断面寸法 単位：[mm]			
	主桁	中間横桁	端横桁
B_u	500	300	300
t_u	30	25	25
H	3000	1000	2000
t_w	24	16	16
B_l	800	300	300
t_l	50	25	25

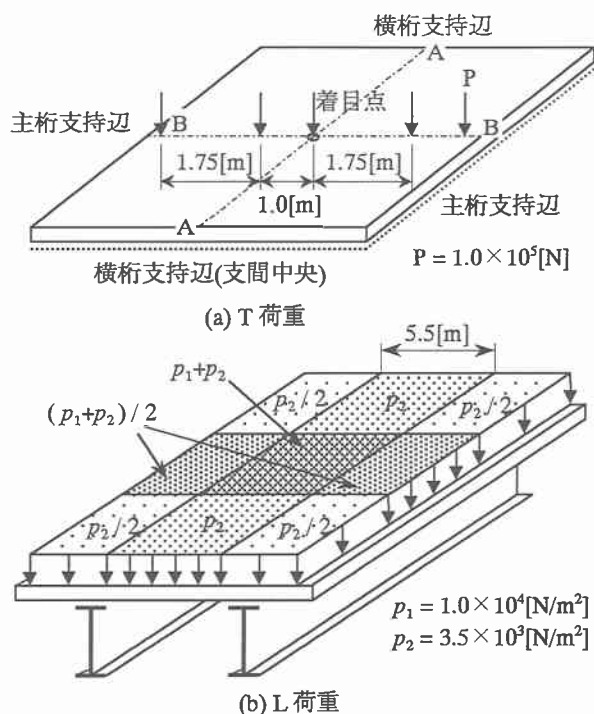


図-2 活荷重載荷方法

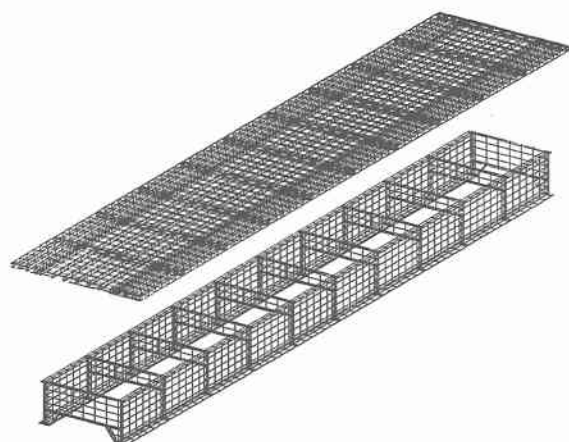


図-3 FEM 解析モデル

図-3はFEM解析を行うためのメッシュ分割図である。床版はここでは等方性材料と仮定したソリッド要素を使用し、鋼部材にはシェル要素を使用している。図では床版と鋼桁が離れて表示させているが、実際は結合している。横桁で床版を支持させるため、横桁上フランジの節点と床版下面の節点は共有している。なお比較のため、ここでは横桁で床版を支持しないモデルも作成している。このモデルは横桁をわずかに下方に移動させて、床版下面の節点と共有させていない。これらのモデルを本解析では以下のようにTYPE1、TYPE2と呼ぶことにする。

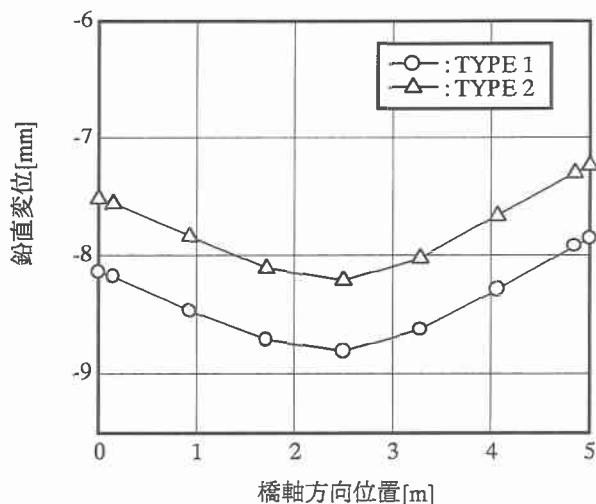
TYPE1：横桁で床版を支持しない

TYPE2：横桁で床版を支持する

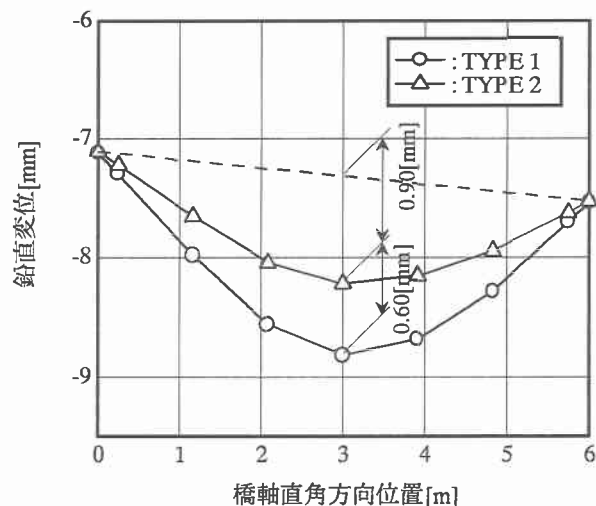
この2つのモデルに対してFEM解析を行い、比較検討を以下に述べる。

3. 床版のたわみ、曲げモーメント

図-4に主桁と横桁で囲まれた床版1パネルの鉛直変位を示す。図-4(a)、(b)はそれぞれ図-2(a)のA-A断面及び



(a) 橋軸方向断面のたわみ図

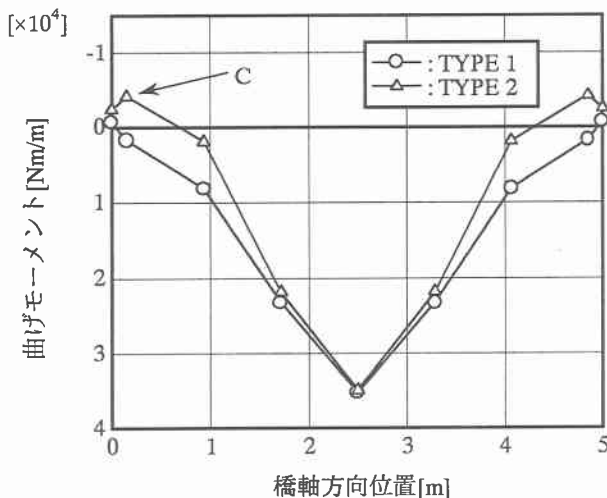


(b) 橋軸直角方向断面のたわみ図

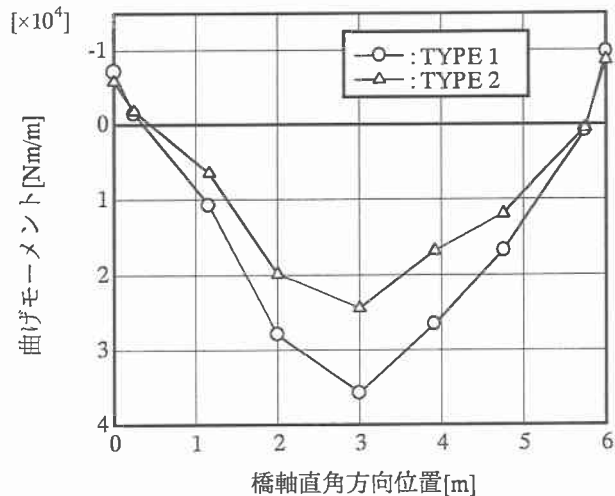
図-4 床版のたわみ図

B-B断面の変位を表したものである。図-4(a)の横軸が0と5[m]の位置は、それぞれ支間中央の横桁及びその一つ隣の横桁が配置されている位置である。また図-4(b)の横軸が0と6[m]の位置は主桁で支持されている。したがって主桁の鉛直変位を除いた床版自身のたわみは、図-4(b)の点線からの相対変位である。この相対変位で床版支間中央部の値を比較すると、横桁で支持しない場合では1.5[mm]であるのに対し、横桁で支持する場合は0.9[mm]となり、40%減少する。床版のたわみが大きいと、主桁上フランジの首振り⁹⁾を助長し疲労の面からも不利である。したがって床版のたわみを減少させることは、床版及び主桁にとっても有効である。

図-5は床版に生じる単位幅当たりの曲げモーメント図である。図-5(a)、(b)の横軸はそれぞれ図-2(a)、(b)のA-A軸及びB-B軸に沿った位置を表している。図-5(b)の橋軸直角方向曲げモーメントは、床版を支持するTYPE2で値が大きく減少していることが分かる。一方、図-5(a)の橋軸方向では支間中央付近の曲げモーメントがTYPE1、TYPE2であまり変化が見られない。またTYPE2では横桁付近に負の曲げモーメントの領域がある。この負曲げは連続桁の中間支点部のように橋軸直角方向のひび割れを引き起こす可能性が危惧される。負曲げ領域の

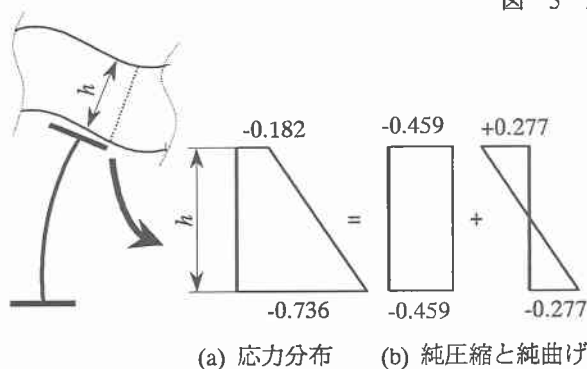


(a) 橋軸方向曲げモーメント



(b) 橋軸直角方向曲げモーメント

図-5 床版の曲げモーメント



(a) 応力分布 (b) 純圧縮と純曲げ

図-6 負曲げが作用する断面の応力分布 ($\times 10^6 [\text{N/m}^2]$)

内、図-5(a)の点Cの位置における応力分布を求めると図-6(a)のようになる。この図より床版は全断面圧縮でその値もかなり小さいことが分かる。この応力分布は(b)のように純圧縮と純曲げに分離することができ、純圧縮は床版と鋼桁との合成作用による圧縮力によるもの、純曲げは床版の板曲げ変形によるものと考えることができる。図-6より応力レベルとしては非常に小さいので若干の補強を考慮する程度で問題ないと思われる。

4. 横桁の変形、応力

図-7は支間中央に配置された横桁の鉛直変位、図-8はその横桁の下フランジの曲げ応力を表したものである。図-7の横軸の0及び6[m]の位置は横桁両端部であり、これらの点の変位は主桁の鉛直変位に一致している。TYPE1は鉛直荷重を受けていないため、当然ながら横桁のたわみは殆どなく、応力も小さい。TYPE2では鉛直荷重が床版から伝達されるため、鉛直たわみと曲げ応力が発生している。しかしながら鉛直たわみに関しては、たわみ量が非常に小さく、最大値は横桁支間中央部で0.3[mm]となっている。ここでは設計を行っていないため、横桁の断面寸法については検討の余地があるが、道路橋示方書によるとたわみの許容値は3[mm]($=L/2000$, L : 支間長)であり、特に問題はないと言える。応力についてもその大きさは小さいため、許容応力度設計を行う上で問題とはならないと考えられる。

図-9はTYPE2のA-A断面(図-2参照)における床版の変

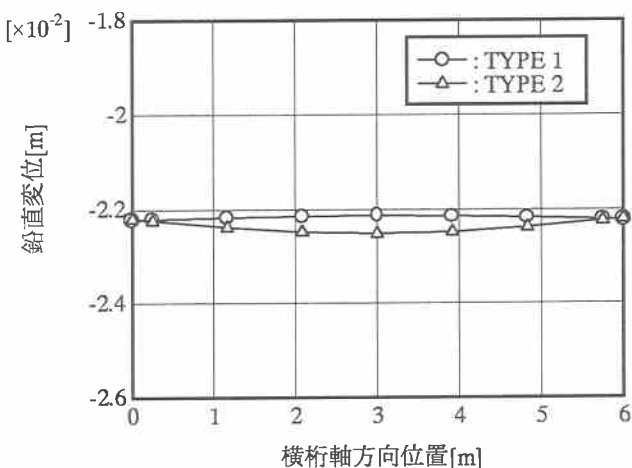


図-7 横桁のたわみ

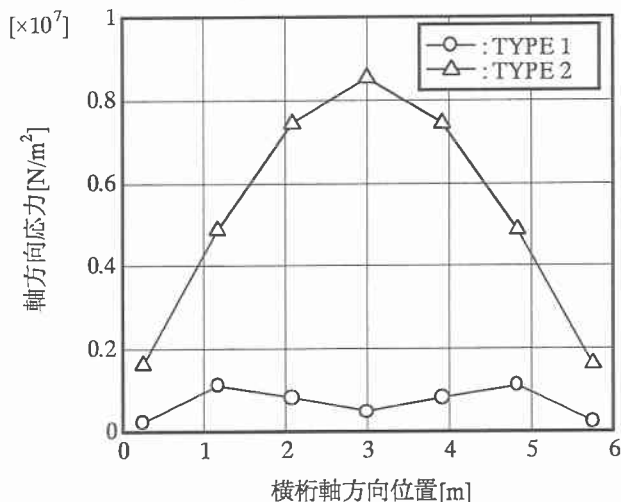


図-8 横桁の軸方向応力

形と横桁の断面変形を表したものである。図では変形量のみスケールを拡大して表示させている。床版の変形に伴って、横桁上フランジの首振りが生じていることが分かる。従って横桁上の床版は鉛直方向には支持されているものの、たわみ角の拘束効果はあまり期待できず、単純支持に近い境界条件と考えられる。図-5(a)で支間中央の曲げモーメントがTYPE1,2であまり変化がないこと、及びTYPE2の負曲げモーメントの値がそれほど大きくな



図-9 TYPE2の床版、横桁の変形

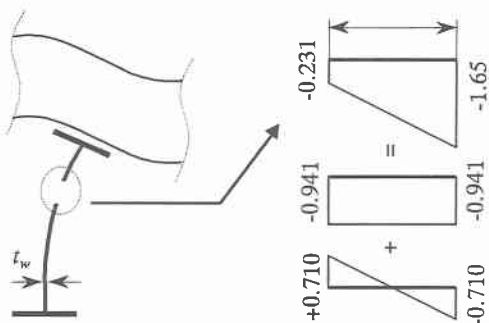


図-10 横桁腹板の高さ方向応力 ($\times 10^6$ [N/m²])

いことこの理由は、このような境界条件が原因と思われる。なおこれらについては、より剛な横桁を用いて解析したところ、支間中央の曲げモーメントが減少し、横桁上の負曲げモーメントが増大することを確認している。

図-10は横桁の首振りによる板曲げ応力を表している。横桁腹板の両面が圧縮となっており、純圧縮と純曲げに分解した応力分布も示してある。この図より応力の値は小さいため、横桁の首振りの現象は設計上ほとんど問題にする必要がないと考えられる。

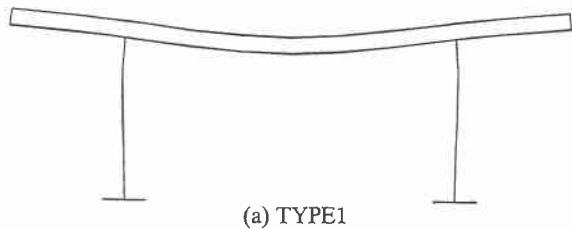
5. 主桁の変形、応力

横桁を上段配置としたときの主桁への影響を調べる。解析はT荷重を載荷させた場合とL荷重を載荷させた場合の2通り行ったが、ここでは変形と応力の値が大きいT荷重を載荷させた解析結果を示す。図-11は図-2(a)のB-B断面すなわち横桁が配置されていない断面の断面変形を表したものである。図では変形量のみスケールを拡大して表示している。床版のたわみによって主桁の首振りが生じているが、TYPE2の方が変形量が小さいことが分かる。この変形は横桁の場合と同様、腹板の高さ方向の曲げ応力を発生させる。図-12はこの応力分布を表したもので、純圧縮と純曲げの成分に分離させて示している。この図よりTYPE2は曲げによる応力を軽減させる効果があることが分かる。しかしながらTYPE1、2共に応力の値は非常に小さい。

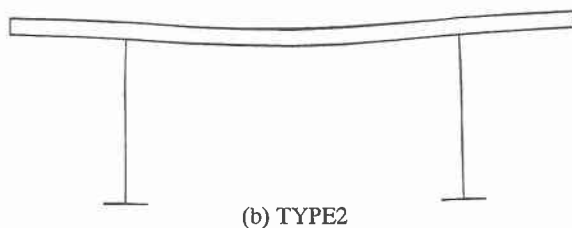
横桁の配置された断面では、横桁により首振りの現象は抑制される。一方、断面の下部では主桁が外側に開こうとする変形モードが確認されたが、その値は非常に小さかった。

6. あとがき

本研究では横桁中段配置の事例が多い少数主桁橋に対し、横桁を上段配置として且つ床版を支持する構造を考え、FEM解析によりその有効性を検討した。その結果、まず床版に関しては、たわみを大幅に減少させることができ、橋軸直角方向の曲げモーメントを減少させることができた。横桁上の床版はちょうど連続桁の中間支点の

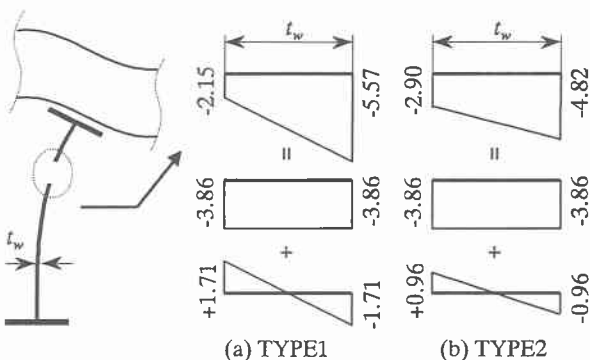


(a) TYPE1



(b) TYPE2

図-11 床版、主桁の断面変形



(a) TYPE1

(b) TYPE2

図-12 主桁腹板の高さ方向応力 ($\times 10^6$ [N/m²])

ように、負曲げによるひび割れが危惧されたが、主桁作用による圧縮力も同時に生じるため、ほとんど問題とはならないことが分かった。横桁と主桁に関しては、上フランジの首振りの変形が生じたが、その値は小さく、またその変形による腹板の曲げ応力も小さいため、設計上の問題は特にないものと考えられる。

参考文献

- 1) 坂井藤一、大垣賀津雄、八部順一、橋本靖智：合成2主桁橋の横桁配置に関する研究、橋梁と基礎、Vol.31、pp.31-38、1997。
- 2) 長井正嗣、吉田康治：合成2主I桁橋の横補剛材をパラメータとした2次応力に関する検討、構造工学論文集、Vol.42A、pp.1061-1072、1996。
- 3) 高橋昭一、志村勉、橋吉宏、小西哲司：PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の設計および解析・試験検討、橋梁と基礎、Vol.30、pp.23-30、1996。
- 4) 松井繁之、石崎茂：2方向支持された長支間道路橋RC床版の設計曲げモーメント式について、構造工学論文集、Vol.42A、pp.1031-1038、1996。
- 5) 松井繁之、江頭慶三：横桁支持された長支間床版の設計曲げモーメント式について、第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、pp.83-88、1998。
- 6) 高橋昭一、橋吉宏、志村勉、鈴木隆、伊藤博章、三木千壽：1/2スケール模型を用いた2主桁橋の立体挙動に関する実験的研究、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第I部、pp.584-585、1995。