

## 曲線2主桁橋におけるニーブレースの補剛効果

Stiffening effects of knee braces in curved two-girder bridge

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 (Yuusuke 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

近年鋼橋の製作架設においては、コスト縮減に対する強い要求があり、更に将来的には維持管理の容易さや高耐久性化が強く求められている。このような要求に応える構造形式として、少数主桁橋が徐々に建設されつつある<sup>1),2)</sup>。2主桁橋に関する最近の施工例では、日本道路公団・北海道横断自動車道千鳥の沢川橋や北海道縦貫自動車道ホロナイ川橋等が挙げられる<sup>3),4)</sup>。2主桁橋は直線橋あるいは曲率半径が非常に大きい曲線橋を対象としたものが多く、本格的な曲線橋を対象としたものはあまりないようである。曲線橋は死荷重及び活荷重によるねじり変形やねじりモーメント等に対処するために、箱桁形式や曲線格子桁形式を用いることが一般的である。しかしながら、公共工事のコスト縮減への要求が高まれば、2主桁形式が曲線橋においても積極的に採用されるものと考えられる。

曲線橋への適用に関しては、剛性確保のため横構を設置したモデルの解析により、横構の有効性を検討した研究<sup>5)</sup>がある。しかしながら、横構は確かに有効であるものの、主桁間隔が大きくなると横構部材長も大きくなり、細長比の制限及び許容軸方向圧縮応力度の制限から横構断面をかなり大きくしなければならず、鋼重増等の不利な面も生じる可能性がある。そこで本研究は曲線2主桁橋の剛性向上のため横構の代わりにニーブレースを取り付けた構造を考えその有効性を調べることを目的とする。実在橋ではニーブレースが桁の端部や橋脚上の断面に設置されている例が見られるが、本研究では横桁が取り付けられたすべての断面にニーブレースを配置し、剛性の向上を図ろうとするものである。構造的には横桁を主桁の上段に配置し<sup>6)</sup>、中・下段部にニーブレースが設置され、主桁の断面変形を押さえる効果も期待できる。

解析に当たっては、異なる種々の中心角(5,10,15,20度)を有する曲線2主桁橋モデルを作成した。横桁位置にニーブレースを取り付けたモデルと、ニーブレースは取り付けず、垂直補剛材のみが設置されたモデルの2通りを作成し、横桁は上段配置として、それぞれにB活荷重を作用させて解析を行った。ニーブレースを設置することにより、主桁のたわみや応力がどの程度変化するか、また主桁の断面変形や応力分布についても調べ、ニーブレース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. 曲線2主桁橋モデル

解析の対象とする橋梁モデルは図-1に示すような曲線2主桁橋であり、横桁は5[m]間隔で配置され、主桁の上段に取り付けられている。中心角 $\phi$ を5,10,15,20度の4通りとし、それぞれに対し横桁位置にニーブレースを取り付けたモデルと垂直補剛材のみが設置されたモデルの2通り(計8通り)を作成し比較検討を行った。支間長はいずれも50[m]で一定とする。断面諸元は表-1に示す通りである。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。鋼部材の材料定数はヤング係数 $E_s = 2.0 \times 10^{11} [\text{N/m}^2]$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、床版コンクリートの材料定数はそれぞれ $E_c = 2.857 \times 10^{10} [\text{N/m}^2]$ 、 $\nu = 0.2$ と

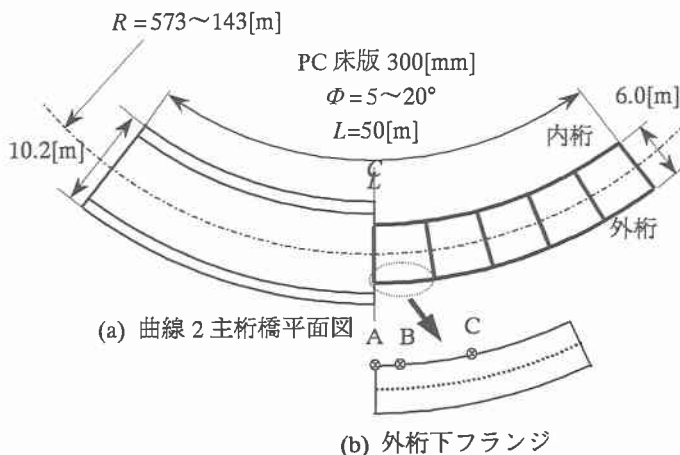


図-1 曲線2主桁橋モデル

表-1 部材断面

| 主桁・横桁断面寸法<br>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   |

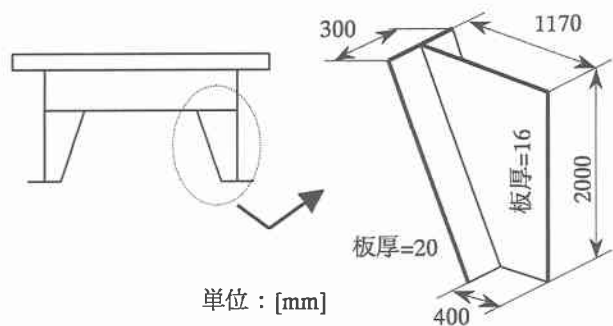


図-2 曲線2主桁橋に取り付けるニーブレース

仮定した。垂直補剛材は幅250[mm]、厚さ16[mm]の鋼板を使用しており、ニーブレースの寸法は図-2の通りである。活荷重は道路橋示方書のL荷重<sup>7)</sup>を用い、外桁に対して不利になるよう偏心载荷させた。なお、本解析では衝撃係数を考慮していない。

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。

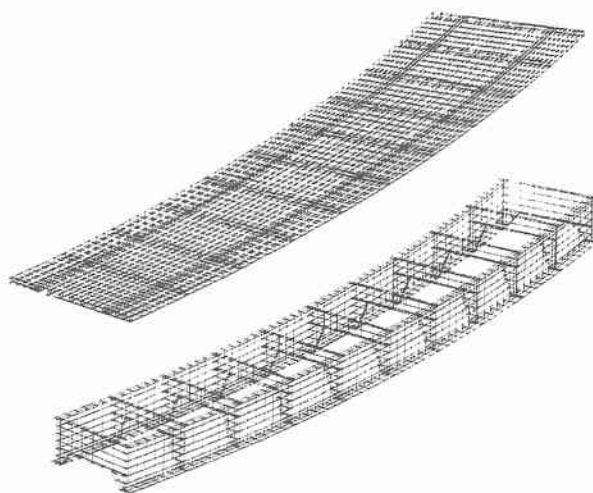
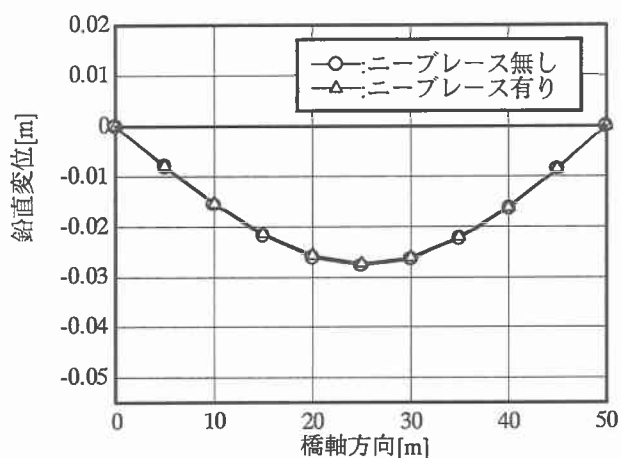


図-3 FEM 解析モデル

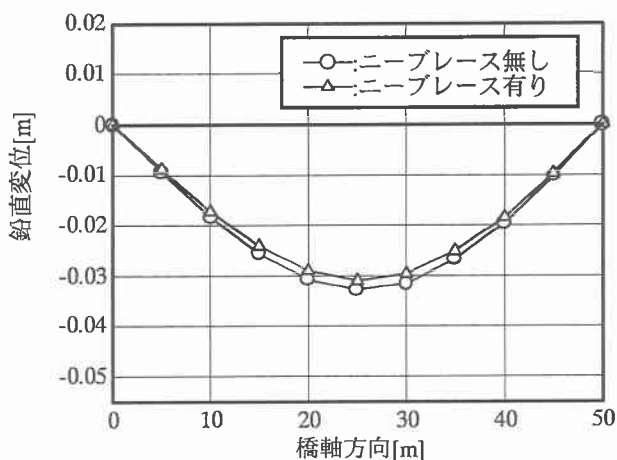
### 3. 主桁のたわみ、応力

ニーブレースを設置することによって、主桁のたわみ

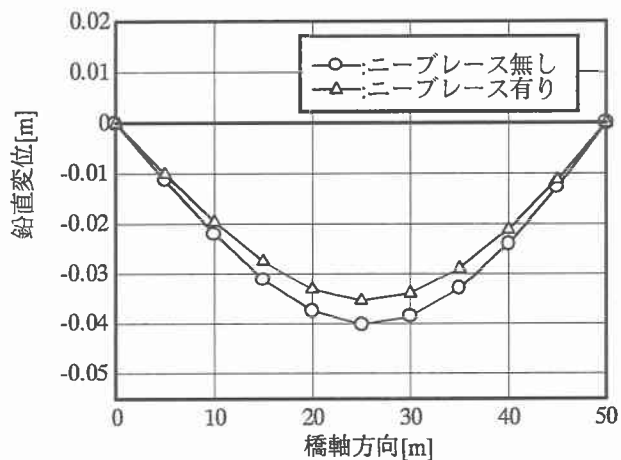
や応力がどの程度変化するかそれぞれ中心角毎にまず調べる。図-4は外桁の鉛直変位をプロットしニーブレースの有無について比較したものである。まず、曲線橋であるため、中心角が大きくなるにつれてニーブレース有りと無しのモデルにおいて共に橋軸方向の各位置で変位が増加しているのが分かる。さらに、中心角が5°程度ではニーブレースの効果はほとんど見られないが、中心角が



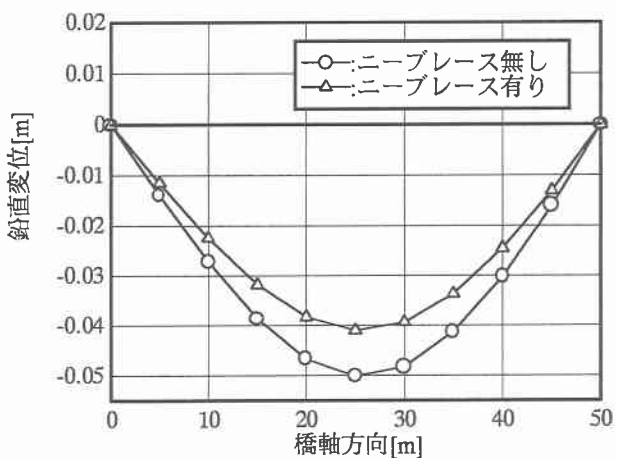
(a) 中心角 5°



(b) 中心角 10°



(c) 中心角 15°



(d) 中心角 20°

図-4 外桁の鉛直変位

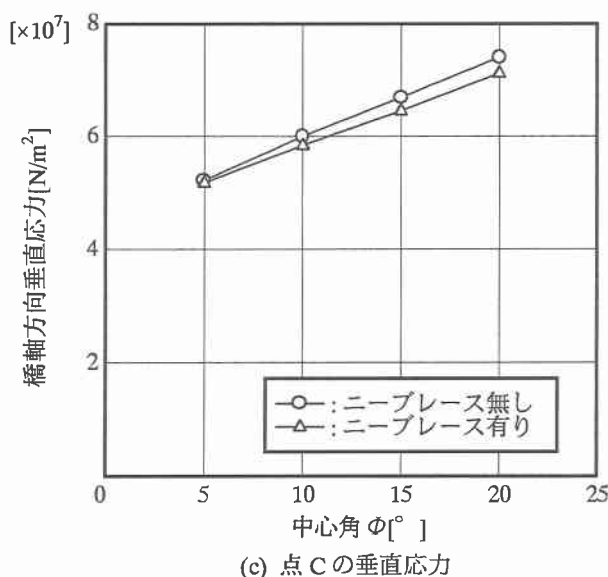
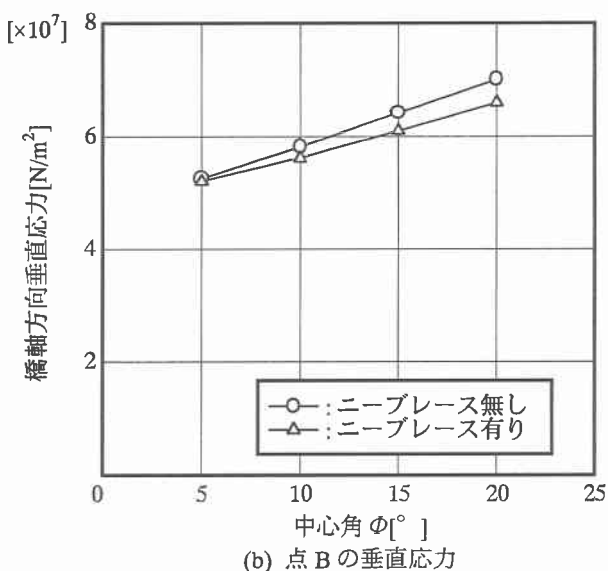
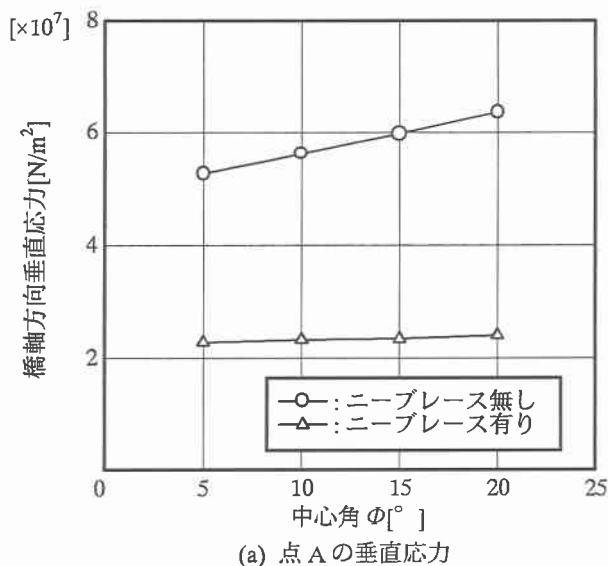


図-5 下フランジの垂直応力

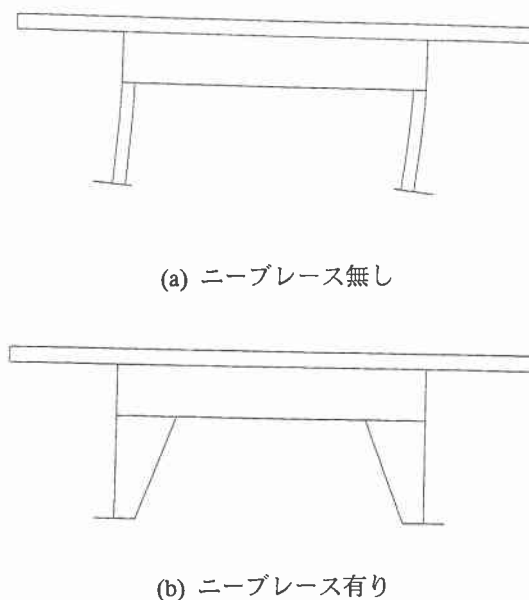


図-6 支間中央の断面変形

大きくなるほど変位の差が増大し、中心角が20°では支間中央の変位を約2割低減させる効果があることが分かる。

次に支間中央付近の下フランジに生じる橋軸方向垂直応力の結果を示す。図-5は下フランジのうち、図-1(b)の点A、B、Cの各点の応力をプロットしたものである。点Aは支間中央の位置にあり、点B、Cはそれぞれ点Aから0.93[m]、2.5[m]離れた位置である(節点のある位置)。支間中央付近の下フランジは主桁の曲げモーメントによる曲げ応力が最も大きくなる箇所であると同時に、主桁そりモーメントによるそり応力<sup>8)</sup>も発生している。図-5(a)より、点Aではニーブレースがある場合の応力が大幅に減少している。これは点Aにはちょうどニーブレースが取り付けられており、主桁下フランジの垂直応力がニーブレースのフランジにも分担されたために減少したものと考えられる。図-5(b),(c)より、点B、Cにおける応力を見ると、中心角が大きくなるにつれてニーブレース有りの場合の応力が減少する傾向にある。なお、中心角が10°以上ではニーブレースの有無に関わらず、点Bの応力よりも支間中央から遠い点Cの応力の方がやや大きい。これは点C側が圧縮となるようなフランジ面内に働くそりモーメントが、この点で最大となるためである。

#### 4. 主桁の断面変形と応力分布

図-6は中心角が10°の曲線橋モデルの支間中央断面における断面変形図である。変形量は拡大して表示している。ここでは精度の良い計算結果を得るために横桁、垂直補剛材、ニーブレースの要素分割を図-3よりも細かくした解析モデルを使用している。図-6(a)よりニーブレースが無い場合は、外桁が大きくたわむ回転変位が見られ、かつ外桁と内桁の下部が共に同方向に変形していることが分かる。これに対し、図-7(b)のようにニーブレースを取り付けると断面変形がほとんど発生せず、回転

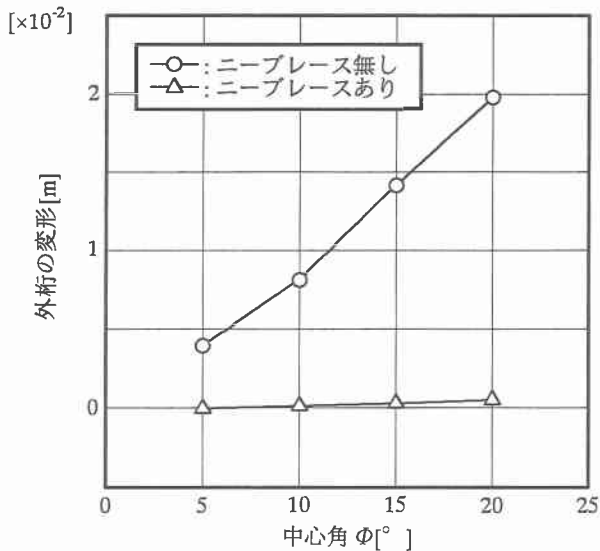


図-7 中心角に対する外桁の変形の比較

変位のみが生じる。なおこれらの変形の傾向は、L荷重を偏心させずに対称に载荷させた場合においても同様となることを確認している。

図-7は図-6における断面変形のうち外桁の変形に着目し、外桁下部の水平方向の曲げ変形を表したものである。それぞれ中心角ごとのモデルに対し、ニーブレースの有無によって比較している。縦軸は内桁方向を正とした外桁腹板の上部と下部の差としている。これより、ニーブレースのある時は変形がほぼゼロに押さえられていることが分かる。一方、垂直補剛材のみの場合ではニーブレースを設置した場合に比べて大きく変形していることが分かる。

図-8は変形後の状態における応力分布を表している。ニーブレースの無い場合は横桁直下の垂直補剛材に明らかな応力集中が発生している。この応力集中は外桁の垂直補剛材では曲げ圧縮による応力、内桁の垂直補剛材では曲げ引張りによる応力に起因することが、図-6の変形状態から分かる。応力の最大値は $\sigma = 281 \times 10^6 [\text{N/m}^2]$ となっている。一方、ニーブレースを設けたモデルでは応力集中は緩和され、応力分布は平均化されている。応力の最大値は外桁のニーブレース最下部で発生しており、その値は $\sigma = 55 \times 10^6 [\text{N/m}^2]$ に減少している。これらよりニーブレースは主桁の断面変形を拘束し、応力集中を防ぐ効果が大きいことが示された。

## 5. あとがき

本研究では、種々の中心角を有する曲線2主桁橋モデルを用いて、ニーブレースの有無による主桁の変形や応力に対する影響を検討した。その結果、ニーブレースは主桁の鉛直変位や下フランジの橋軸方向応力には中心角が大きい場合にある程度の効果が見られるが、中心角が小さい曲線橋ではそれほど効果が見られなかった。しかしながら、主桁の断面変形に対しては、大きな効果が見

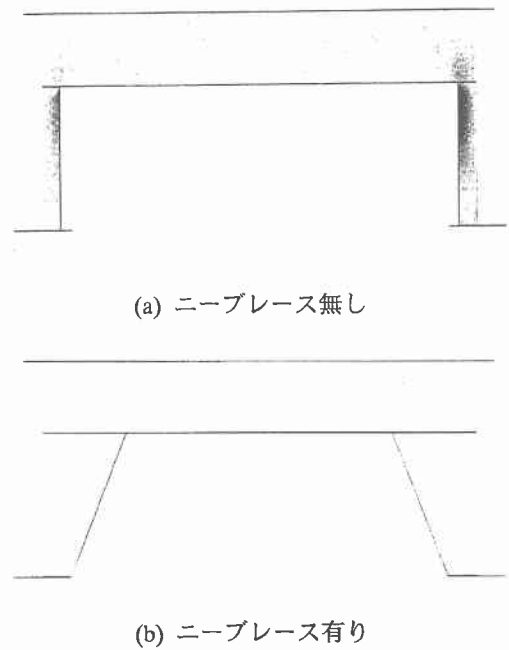


図-8 支間中央の応力分布

られた。すなわちニーブレースを設置しない場合は、外桁と内桁が横桁の下方から同方向に変形するモードが見られるが、ニーブレースを設置すると断面変形はほとんど生じなかった。また応力についてもニーブレースを設置しない場合は垂直補剛材に応力集中が発生したが、ニーブレースの設置により改善することができた。以上により曲線橋にニーブレースを取り付けることは効果的な方法であると思われる。

## 【参考文献】

- (1) (社)日本橋梁建設協会：新しい鋼橋の誕生、資料編、1998。
- (2) (社)土木学会：鋼橋の新たな技術展開、土木学会誌、Vol.84、Apr.、pp.4-15、1999。
- (3) 田村陽司、大垣賀津雄、川尻克利、作川孝一：PC床版連続合成2主桁橋「千鳥の沢川橋」の設計、橋梁と基礎、Vol.32、No.9、pp.18-22、1998。
- (4) 高橋昭一、志村勉、橘吉宏、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。
- (5) 平沢秀之、林川俊郎、佐藤浩一、高橋宏明：曲線2主桁橋における横構の効果について、構造工学論文集、Vol.46A、pp.1307-1314、2000。
- (6) 平沢秀之、田上優介、林川俊郎、佐藤浩一：2方向支持された床版を有する合成2主桁橋の挙動特性、土木学会北海道支部論文報告集第57号、2000。(掲載予定)
- (7) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編(平成8年12月)、丸善(株)、1996。
- (8) 中井博、北田俊行：鋼橋設計の基礎、共立出版、1992。