

曲線2主桁橋の補剛方法と適用限界に関する検討

On reinforcing method and application limit of curved two-girder bridge

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

1. まえがき

プレートガーダー橋は鋼橋の中では最も標準的な形式であり、我が国では非常に多くの建設例がある。通常主桁の断面にはI形断面が用いられるが、支間長の長い橋梁や曲線橋には箱形断面もしばしば用いられる。一般にI形断面桁は開断面であるためねじり剛性が小さいが、経済性に優れている。一方箱形断面はねじり剛性が高いが、製作費は高価となる傾向にある。従って曲線プレートガーダー橋に採用される断面形式は、ねじり変形のそれほど大きくない場合はI形断面であり、曲率が大きく高いねじり剛性を必要とする場合には箱形断面とするのが一般的である。

近年省力化及び経済性向上を目指して建設例が増えつつある2主桁橋に関し、曲線橋への適用性を検討した研究報告はこれまでのところあまりなされていない。村瀬ら¹⁾は2主桁橋の試設計に基づき、床版及び床版と主桁連結部に生じる応力等を検討し考察を加えている。中田ら^{2), 3)}は支間長を一定とした種々の解析モデルを用いて、2主I桁曲線橋のたわみ性状や横桁、垂直補剛材及び床版発生応力について検討を行っている。しかしながら、2主桁橋の曲線橋への適用限界を明確に与えた研究は、未だ行われていない。

これまで我が国で2主桁橋を曲線橋に適用した例としては、日本道路公団によるホロナイ川橋⁴⁾や千鳥の沢川橋⁵⁾、瀬馬淵高架橋⁶⁾等があり、いずれも曲率半径が非常に大きい橋梁である。2主桁橋は製作、架設時のみならず将来的な維持管理の容易さや高耐久性を有しているため、これまで施工実績の多い直線橋や曲率半径の大きい曲線橋に加えて、曲率半径の比較的小さい曲線橋にも架設事例が増えて行くものと予想される。

2主桁橋をより本格的な曲線橋に適用する場合でも、省力化やコスト縮減への方向性は維持されるため、ねじりにより増加する応力に対しては、材片数が大幅に増加しない補剛方法の採用や主桁断面の厚板化で対処することが考えられる。鋼板の板厚に関しては、平成8年改訂の道路橋示方書⁷⁾において100[mm]までの鋼材が使用可能となった。また同じく平成8年の道示から、現場溶接の許容応力度がそれまでの90%から100%に改正され、溶接接合の汎用性が高まった。これらのことから厚板の現場溶接接合の実例も増えてきており、宿茂高架橋⁸⁾ではフランジ厚72[mm]の現場溶接が実施されている。従って、厚板の使用が2主桁橋の製作、施工においてクリティカルな問題となることはないと考えられる。

以上の点を踏まえて、本研究では2主桁橋を曲線橋に適用するための補剛方法を提案し、それらの適用限界を求めようとするものである。適用限界を求める条件として、曲線2主桁橋のフランジに使用する鋼板の板厚を100[mm]以下に設定する。この条件の下で許容応力度設計を行い、設計可能となる中心角の範囲を求める。対象とする2主桁橋は合成桁とし、主桁と横桁から成る通常の形式の他、横構を有する2主桁橋、ニーブレースで補剛した2主桁橋及び横桁を斜めに配置した2主桁橋の計4通りとする。

2. 曲線2主桁橋の補剛方法とモデル化

図-1は本研究で検討する曲線2主桁橋の鋼桁部のモデルである。解析では床版コンクリートも考慮されている。Type-1は補剛部材を設けていない通常の2主桁橋である。横桁は中段に配置され、橋軸方向に5[m]間隔で設置されている。

Type-2はType-1のモデルに下横構を設置したものであ

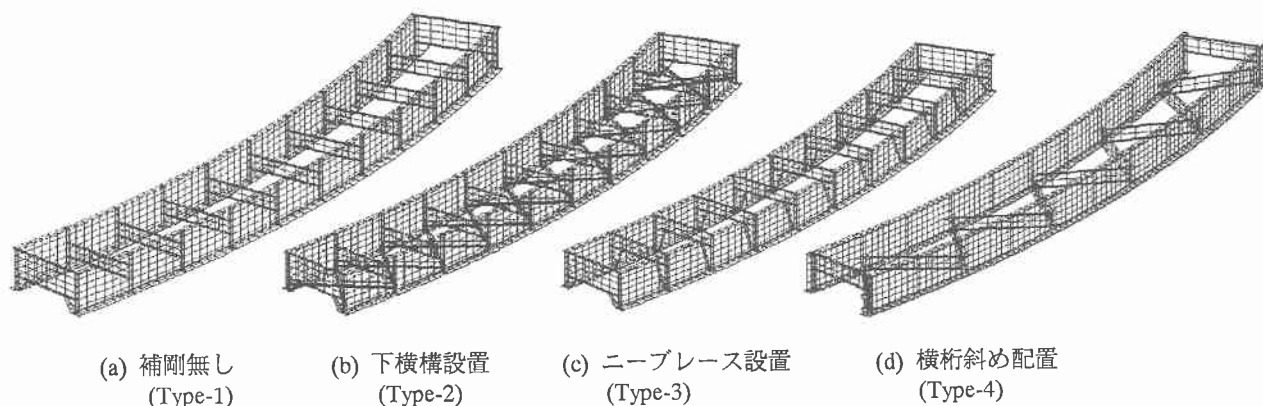


図-1 各種補剛方法を用いた曲線2主桁橋モデル

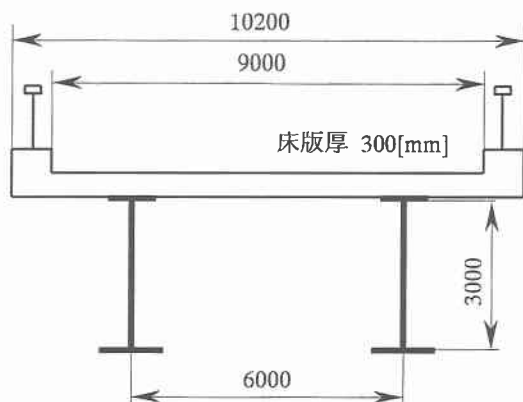


図-2 断面図(Type-1～4共通)

る。横構を設けることは部材数が増加するため、合理化、省力化に逆行する恐れがあるが、ねじり剛性を高める効果が大きく、架設時における形状保持等曲線橋においては有効であると考えられるため、検討対象とした。なお、横構の断面は地震荷重と風荷重に対して抵抗するものとして決定した。

Type-3は横桁を上段配置とし、横桁の下部にニーブレースを設けたものである。横桁を上段配置するとPC床版のプレストレスロスや、床版施工時の移動型枠設備の設置が困難になる等の課題があるが、床版を主桁と横桁で支持することが可能となり、床版の負担を軽減するメリットがある。またニーブレースは主桁のねじりによる断面変形を抑え、応力集中を緩和する効果も有している⁹⁾。

Type-4は横桁を下段に配置し、且つ斜めに配置したものである。下段に配置することによって、床版と併せて疑似箱桁断面としての機能を持たせている。横桁を主桁に直角ではなく斜めに配置することによって、横構と同様の効果、すなわちねじりによる変形や応力を低減させる効果を期待している。

図-2及び表-1はこれら4通りの形式に設定した共通の断面諸元である。また支間長は $L = 50$ [m]で一定とし、中心角を $\phi = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ の4通りに変化させた。材料に関しては、鋼材のヤング係数として $E_s = 2.0 \times 10^5$ [N/mm²]、

表-1 主桁断面寸法[mm]

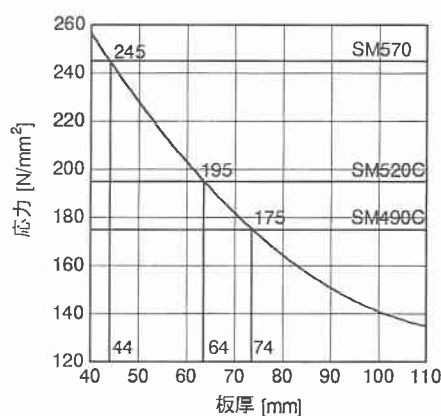
B_u	500
t_u	16～90
H	3000
t_w	24
B_l	800
t_l	24～100

ポアソン比は $\nu = 0.3$ 、床版コンクリートのヤング係数として $E_c = 2.857 \times 10^4$ [N/mm²]、ポアソン比は $\nu = 0.2$ の値を用いた。なお解析に際し、鋼部材にはシェル要素、床版コンクリートにはソリッド要素を用い、有限要素法汎用構造解析プログラムNASTRANを使用して計算を行った。

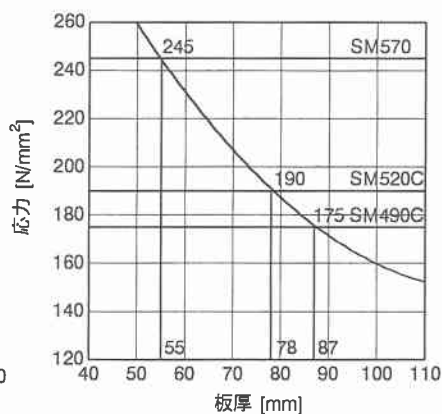
3. 各種補剛方法による適用限界

許容応力度設計法によりType-1～4の曲線2主桁橋の試設計を行った。部材の中で外桁支間中央断面が最も大きい曲げモーメントを受け、且つ下フランジでは曲げ応力と同時にそり応力が作用するため、外桁下フランジに最大板厚が使用される。

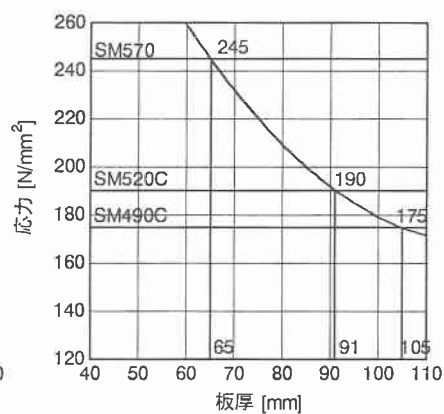
Type-1を解析した結果、外桁下フランジの板厚と応力の関係を表す曲線が、図-3のように得られた。いずれの中心角においても右下がりのグラフ、すなわち板厚が大きくなるほど作用応力が減少することが示されている。また図中には3種類の鋼種と板厚の関係も表されている。図-3(a)に着目すると、SM570材を使用した場合、許容応力度は245 [N/mm²]であるため板厚は44 [mm]となる。同様にしてSM520C材を使用するとき板厚は64 [mm]、SM490C材のときは板厚が74 [mm]となる。その他の中心角についても同様にして許容応力度を満たすフランジ厚を求めることができる。しかし、中心角が20°のときSM490C材を



(a) $\phi = 10^\circ$



(b) $\phi = 15^\circ$



(c) $\phi = 20^\circ$

図-3 Type-1の外桁下フランジの板厚-応力関係

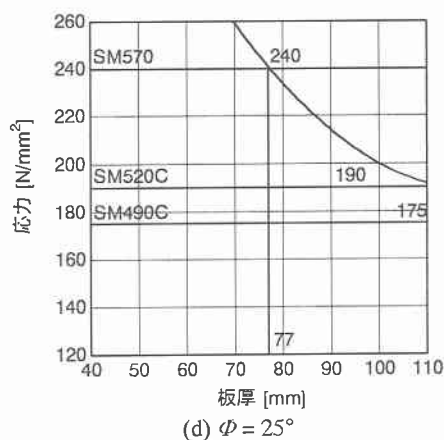


図-3(続き) Type-1の外桁下フランジの板厚-応力関係

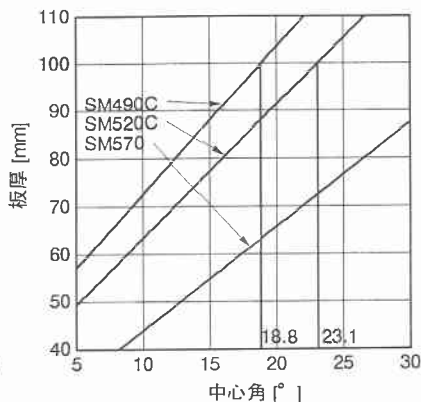


図-4 Type-1の中心角-最大板厚関係

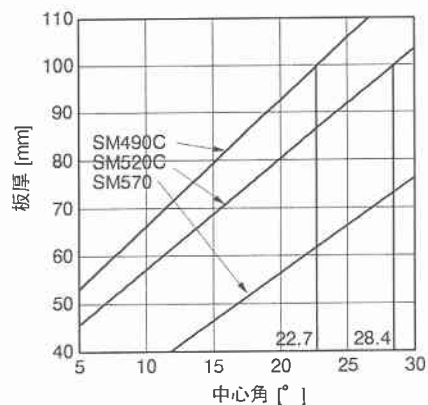


図-5 Type-2の中心角-最大板厚関係

使用するならば、板厚が105[mm]必要となり100[mm]の限界を超えている。従ってSM490C材を用いて中心角20°の曲線2主桁橋を設計することはできない。中心角25°の場合は、SM520C材の許容応力度190[N/mm²]及びSM490C材の許容応力度175[N/mm²]を満たす板厚は100[mm]以下では存在せず、SM570材でのみ設計が可能となる。

図-3の応力-板厚関係を整理し、横軸を中心角、縦軸を板厚とするグラフ上にプロットし直すと、図-4のような関係が得られる。これはある値の中心角を有する曲線2主桁橋の最大板厚が何[mm]となるかについて、各鋼種毎に表されている。この図より、板厚が100[mm]以下であるためには、SM490C材を使用した場合、中心角は18.8°以下としなければならない。SM520C材のときは、中心角を23.1°以下とする必要がある。一方、SM570材を使用した場合は、中心角が30°程度でもまだ100[mm]には達しておらず、許容応力度設計が可能となっている。

Type-2についても同様に、曲線橋の中心角と許容応力度を満たす最大板厚の関係を求めると図-5のようになる。グラフよりSM490C材を使用した場合は中心角が22.7°まで適用可能であることが分かる。またSM520C材を使用した場合は28.4°まで可能である。SM570材であれば30°以上の非常に大きな中心角を有する曲線橋に適用することも設計上可能である。Type-1と比較すると、横構を設置することにより曲線橋への適用範囲が拡大されることが

分かる。これは風荷重などの水平力を受け持つものとして設計される横桁が実際には鉛直荷重にも十分抵抗し、その結果主桁の剛性を減少させることが可能となったためと考えられる。

図-6はType-3の中心角と外桁下フランジの最大板厚の関係を描いたものである。SM490C材を用いた場合の適用限界は中心角17.5°、SM520C材のときは適用限界が22.0°となり、Type-1より適用範囲がやや狭まっている。

図-7はType-4の中心角と外桁下フランジの最大板厚の関係を描いたものである。SM490C材を用いた場合の適用限界は中心角19.7°、SM520C材を用いた場合の適用限界は23.9°となり、Type-1より適用限界が拡大していることが分かる。外桁下フランジの作用応力を調べると、合成前死荷重載荷状態ではType-1よりType-4の方が作用応力が大きく、合成後死荷重+活荷重載荷状態ではType-1よりType-4の方が小さかった。またこれらを合計した応力は、Type-1よりType-4の方が小さかった。従って、床版硬化後の合成断面は疑似箱桁断面として効果的に機能したと考えられる。また、床版として鋼-コンクリート合成床版を使用するとすれば、型枠として働く鋼板を主桁上フランジに結合させることにより、床版硬化前も疑似箱桁断面と見なすことができ、Type-4の作用応力を大幅に減少させることが可能と考えられる。

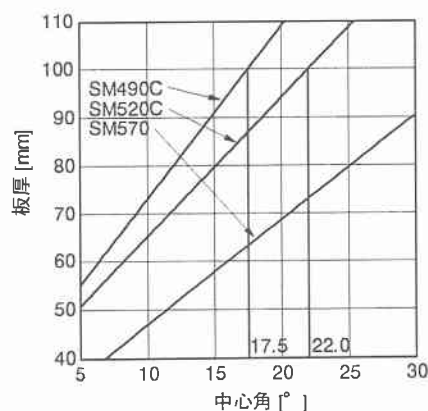


図-6 Type-3の中心角-最大板厚関係

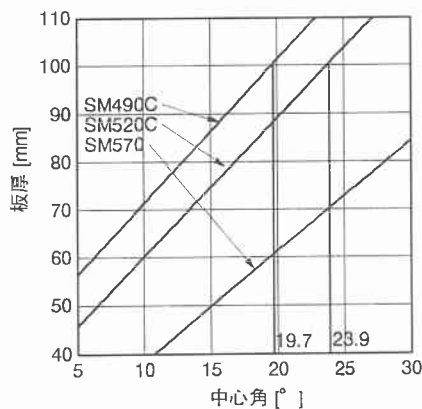
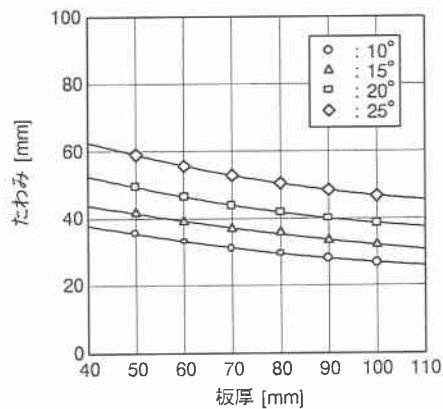


図-7 Type-4の中心角-最大板厚関係



(a) Type-1
図-8 外桁支間中央のたわみ

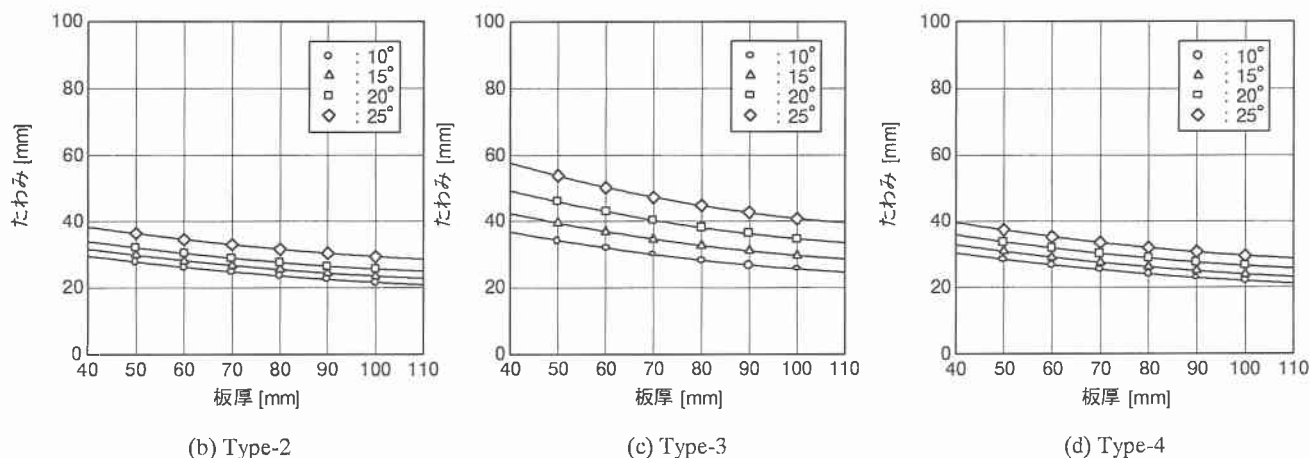


図-8(続き) 外桁支間中央のたわみ

4. 各種補剛方法における最大たわみ

許容応力度を満たす曲線2主桁橋の限界中心角の検討を行ったが、ここでは活荷重によるたわみと中心角の関係を検討する。図-8はB活荷重による支間中央のたわみと外桁下フランジの最大板厚の関係をそれぞれの補剛方法別に表したものである。解析対象とした橋梁モデルは支間長が50[m]であるので、たわみ制限は100[mm]である。これらの結果より、補剛部材を設けないType-1において最もたわみが大きく、次いでType-3となっている。Type-2,4はほぼ同程度であり、他の形式と比較してたわみをかなり減少させることが可能となった。しかしながらたわみ制限値との比較では、全てのケースにおいて100[mm]以下となっていることが分かる。従って、本解析で用いたモデルではたわみ制限が曲線2主桁橋の適用限界の決定要因にはならないことが判明した。

5. あとがき

合理化、省力化が可能であり、経済的に優れるとされる2主桁形式を曲線橋に適用するために、ねじり剛性を高めるための幾つかの補剛方法を提案し、それらの適用限界を求める解析を行った。曲線2主桁橋の各部材の中で最も大きな断面力を受けるのは、外桁支間中央部であることに着目し、この部材の下フランジに使用される鋼板厚が100[mm]以下となる条件を用いて限界中心角を求めた。その結果、限界中心角が最も大きくなる形式は横構を設置したモデルであり、次いで横桁を斜めに配置したモデルであった。たわみについては、横構を設置したモデルと横桁を斜めに配置したモデルでたわみを減少させる効果が大きかったが、いずれのモデルも制限値を満足する結果となった。

本解析においては、検討対象のモデルを支間長50[m]の中規模程度の単径間曲線橋とした。今後は任意の支間長

を有する場合や連続桁についても2主桁橋の適用限界を検討する必要がある、また設計の面のみならず耐荷力的見地からも検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 村瀬孝典, 小澤一誠, 戸田利秋, 山田尚之, 王慶雲: 少数主桁橋の曲線橋への適用可能性に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第7巻, pp.541-548, 1999.
- 2) 中田知志, 勝股徹: 2主I桁橋の設計における曲線橋への適用性に関する検討, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第I部, CD-ROM, 2000.
- 3) 中田知志, 勝股徹: 曲線2主I桁橋の立体挙動と設計に関する検討, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集第I部, CD-ROM, I-A199, 2001.
- 4) 高橋昭一, 志村勉, 橋吉宏, 小西哲司: PC床版2主桁「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, No.2, pp.23-30, 1996.
- 5) 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.
- 6) 坂井田実, 加藤繁治, 堀重雄, 遠藤誠治: 瀬馬洲高架橋の設計・施工, 住友重機械技報, Vol.47, No.141, pp.39-42, 1999.
- 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) 望月秀次, 築山有二, 井置聡, 雨森慶一, 中嶋浩之: ジャッキアップ回転架設工法による宿茂高架橋の架設, 鋼構造年次論文報告集, 第8巻, pp.341-348, 2000.
- 9) 平沢秀之, 田上優介, 林川俊郎, 佐藤浩一: 曲線橋2主桁橋のニーブレースによる補剛効果について, 鋼構造年次論文報告集, 第9巻, pp.81-88, 2001.