

曲率の大きい鋼床版箱桁（1-BOX）の設計

Design of Steel Deck Single Box Girder with Large Curvature

君島 信夫*¹ 小沼 靖己*¹ 矢ヶ部 彰*²
 Nobuo KIMIJIMA Yasumi KONUMA Akira YAKABE

Summary

This is a ramp bridge in which continuous steel deck single box girder is employed because a) the curvature of the horizontal alignment is large, and b) reduction of dead load was required because the bridge is situated on reclaimed land with poor ground conditions. This report describes three points: measures taken against negative reaction of the end support; the issues involved in manufacturing camber in consideration of the erection system; and structural details of the steel deck with an introduced fatigue resistance design.

キーワード：負反力、曲線桁、平面キャンバー、疲労設計

1. 概要

本橋はランプ橋であり、①平面線形の曲率が比較的大きい、②地盤条件の悪い埋め立て地に建設するため死荷重の軽減が必要、等の理由から連続鋼床版箱桁（1-BOX）を採用している。本稿では、端支点の負反力対策、架設系を考慮するにあたって製作キャンバーに反映した事項、疲労設計の導入に伴う鋼床版の構造詳細の工夫、の3点について報告を行う。

2. 端支点上の負反力対策

(1) 構造形式

本橋の基本計画は、最小曲線半径R=126.5mの4径間連続鋼床版箱桁（P25～DP3）（図-1）であり、端支点は支承構造（支持点は左右のウエブ）、中間支点は鋼製橋脚との剛結構造となっている。

(2) 負反力の発生要因

基本計画の構造解析結果（表-1）では、端支点において死荷重時に負反力が発生すると共に活荷重により反力が交番する。従って、何らかの対策を施さなければ、支承の浮き沈みによって生じる騒音・維持管理上の諸問題等が発生すると予測された。

一般的な負反力の発生原因としては以下が考えられる。

①平面線形の曲線の影響

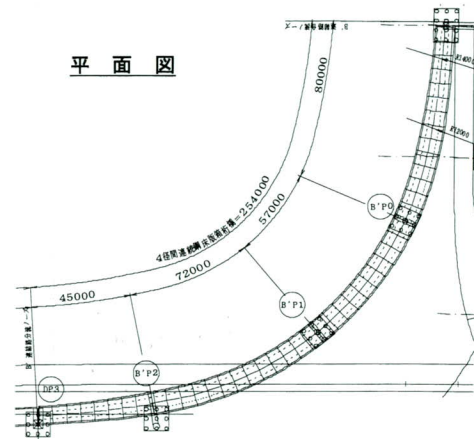


図-1 当初計画の構造形式

表-1 当初計画構造の支承反力 (kN)

下部工	格点No.	Rd	RLmax	RLmin	Rd+Lmax	Rd+Lmin	Ru1	Ru2
DP3	1001	3516	1711	-181	5227	3335	3154	1881
	1002	-2160	750	-1353	-1410	-3513	-4867	-5131
P25	5001	737	994	-783	1731	-47	-830	-1511
	5002	1638	1593	-291	3232	1348	1057	163
死荷重合計		27352						

※Ru1=2RLmin+Rd, Ru2=2RLmin+Rd1+Rd2/1.5
 (本照査式は施主のスペックであり、平成14年道示の照査式とは異なる。)

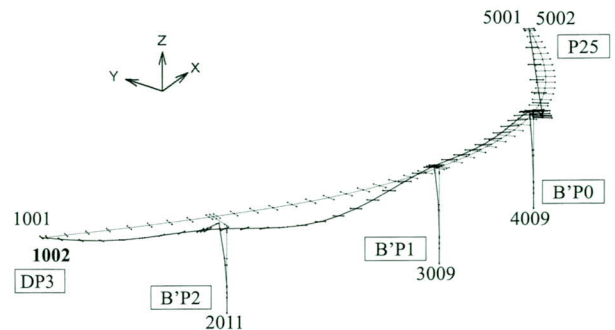


図-2 当初計画の全体変形図

*¹技術本部設計部設計二課

*²技術本部設計部設計二課課長代理

(曲線内側の支点到に負反力が発生)

②支点部の斜角の影響 (鋭角側の支点到に負反力が発生)

しかしながら基本計画の構造の場合、特に負反力が大きいDP3においては、斜角が無いにもかかわらず通常の曲線桁と逆の曲線外側の支点到 (No. 1002) に過度の負反

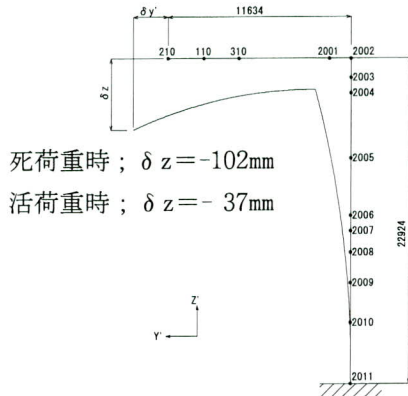


図-3 B'P2脚 (当初計画) の変形図

力が発生している。

図-2, 3に当初計画の鉛直荷重による変形図を示す。これにより、逆L型構造であるB'P2脚の鉛直変形に伴い、主桁が曲線内側にねじれていることが、通常とは異なる負反力の原因であると判明した。同脚は、横梁張出し長に比べて断面寸法が小さいため、剛性の不足が鉛直変形の要因と考えられた。

(3) 負反力対策の検討

基本計画の負反力発生原因を踏まえ、立体解析を用いて、以下の負反力対策の効果について検討を行った (表-2)。

その結果、死+活荷重に加えて支承の負反力照査式においても負反力の解消が可能かつ、経済性の観点からも合理的である負反力対策⑤：構造形式の変更 (4径間連続桁→3径間連続桁) + アウトリガーを採用した。

表-2 負反力対策の組み合わせ結果

当初計画の構造形式	下部工	格点No.	Rd (kN)	Rd+Lmin	Ru1 (kN)	Ru2 (kN)	評価		
							○	×	
4径間連続鋼床版桁	①アウトリガー+カウンターウェイト							・アウトリガーの設置+カウンターウェイトの載荷 DP3支点到にて、曲線内側に全幅員内でアウトリガーを張り出し DP3支点到にて、曲線外側に全幅員内でコンクリートを充填	
	DP3	1001	1852	1756	1661	991	×	×	
	DP3	1002	-231	-889	-1547	-1918	×	×	
	負反力判定	×	×	×	×	×	×	×	
	②B'P2剛度UP+アウトリガー							・中間橋脚 (B'P2) 脚の剛性UP 負反力の主たる発生要因であるB'P2の剛性不足を改善	
	DP3	1001	659	539	419	137	○	○	
	DP3	1002	459	201	-58	-388	×	×	
	負反力判定	×	×	×	×	×	×	×	
	③脊設置制御+アウトリガー+カウンターウェイト							・支承据え付け制御 鋼桁架設時に端支点到を曲線外側の1点受けとして鋼桁をねじり変形させた後、後死荷重以降を2点支持とする。	
	DP3	1001	1040	944	849	462	○	×	
DP3	1002	588	-70	-728	-1212	×	×		
負反力判定	×	×	×	×	×	×	×		
④強制変位+アウトリガー+カウンターウェイト							・強制変位 鋼桁の製作キャンパーを下げ越して製作し、強制変位を与えて架設し、上部工とB'P2脚のパネによる復元力で鉛直反力を導入。		
DP3	1001	1297	1202	1107	436	○	○		
DP3	1002	2807	2149	1491	108	×	×		
負反力判定	×	×	×	×	×	×	×		
構造形式の変更	⑤構造形式の変更+アウトリガー							・構造形式の変更 構造形式を左記に変更し、両桁端にアウトリガーを設ける。	
	B'P2	2001	1067	792	517	14	○	○	
	B'P2	2002	1437	1338	1239	650	○	○	
	負反力判定	×	×	×	×	×	×	×	

※Ru1=2RLmin+Rd, Ru2=2RLmin+Rd+Rd2/1.5 (本照査式は施主のスペックであり、平成14年告示の照査式とは異なる。)

3. 架設系を考慮した設計と製作キャンバーの設定

(1) 架設系を考慮した主構造の設計

本橋の側径間 B'P2～B'P1 は、幹線道路と同時期に建設する新設橋梁を横断する関係で、ベント設置期間に制約がある。これにより架設途中でのベント開放を余儀なくされたため、以下の2段階の架設ステップを設計に反映した。

STEP-1 B'P2～B'P1 間を先行して架設し、同区間併合後、ベント解放を行う。

STEP-2 残りの B'P1～P25 間を架設し、B'P2～B'P1 と連結する (J9 添接位置)。連結後、ベント解放する。架設ステップの概念を図-4 に示す。

(2) 鉛直方向キャンバーの設定方法

上記の設計方針により、鉛直方向の製作キャンバーは2段階の架設ステップを考慮して設定した。

キャンバー設置の概念を図-4 に示す。

なお、J9 添接位置の切り口は、STEP-1 のベント解放時に回転するため、ベント解放後に仕口が鉛直になるように製作に配慮している (図-4)。

(3) 水平方向キャンバーの設定方法

STEP-1 のベント解放により、桁には B'P2 方向に約

45mm の水平変位が発生する。更に、STEP-2 のベント解放によって、P25 方向に約 20mm の水平変位が発生する。これらの変位量を考慮して水平方向にもキャンバーを設定した (図-4)。

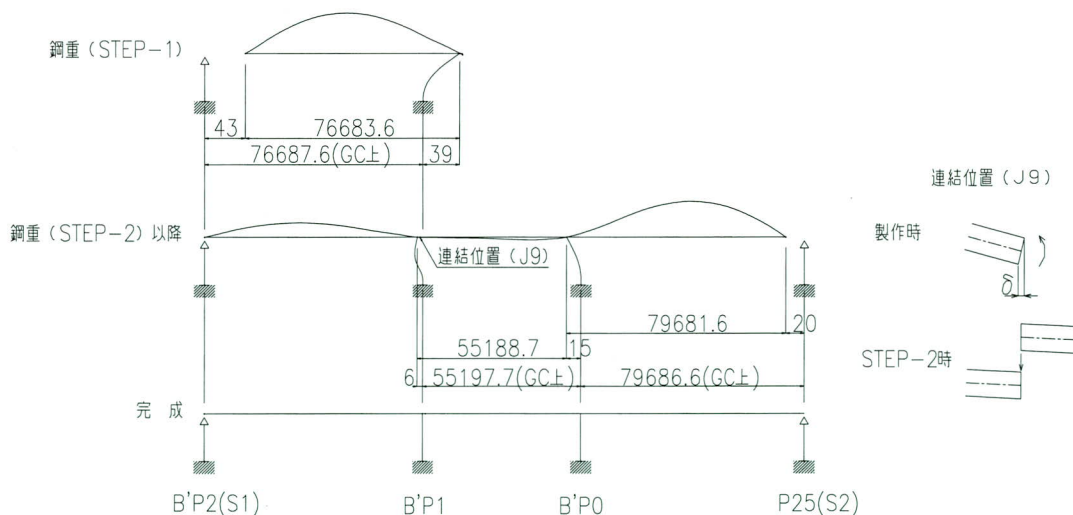
水平方向のキャンバーは中間剛結橋脚 (B'P1、B'P0 橋脚) の頂部にも設定される。橋脚基部の水平方向変位は 0 であるため、橋脚に桁の水平方向キャンバーによる倒れを付加した。

(4) 主桁のねじりキャンバーの設定

本橋は曲線桁のため、ベント解放時に主桁にねじりが発生する。特に STEP-1 時の側径間のねじりが大きく、約 0.005rad のねじれ角を生じる。このため、完成時にウェブ鉛直度の出来形規格値を満足させるよう、主桁に回転角を与えてねじりキャンバーを付加した。

4. 疲労に配慮した細部構造

本橋では「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成 14 年 3 月」および「鋼道路橋の疲労設計指針 平成 14 年 3 月 日本道路協会」に則って疲労設計を実施した。主構造に対しては疲労設計荷重 (T 荷重 1 組) により発生する応力度による疲労照査、鋼床版に対しては構造詳細による疲労設計を実施した。



1. 架設上の制約により、B'P2 (S1) ～B'P1 間を先行して架設し、当区間併合後、ベント解放する。このときのたわみを「鋼重 (STEP-1)」で表す。
2. 続いて B'P1～P25 (S2) 間を架設し、併合後、ベント解放する。このときのたわみを「鋼重 (STEP-2)」で表す。
3. 連結位置 (J9) は上記 1. 完了後に連結するので、キャンバーのラインはこの時点で連続となる。仮組立時には、J9 を境にラインは折れた状態となる。
4. 連結位置 (J9) は、連結時に鉛直となるように、右図の形状とする。

図-4 架設ステップと製作キャンバー設置概念図

ここでは、同指針に記載されてはいないが、鋼床版の疲労に配慮して採用した構造詳細を紹介する。

(1) 鋼床版ハンドホール蓋のボルト止め構造と配置

施主のスペック（標準図）では、ハンドホールの蓋を裏当て金＋溶接により鋼床版に固定するが、疲労に配慮して蓋をボルトで固定するようにした。さらに、輪荷重直下の局部応力に配慮して、ハンドホールは輪荷重走行部を避けた位置に設置した。

(2) バルブプレートリブとプレートリブとの変化点

本橋は平面の曲率が大きいため、鋼床版の縦リブにバルブプレートを採用している。ただし、製作上の理由により一部をプレートリブにしているため、バルブプレートとプレートリブの変化点が発生した。

従来、このようなケースでは、縦リブを横リブウエブに突き合わせ溶接して縦リブの種類を変化させる事例が多かった。しかしながら、バルブプレート下端の「玉」の部分に完全溶け込みとすることは困難なため、変化点を高力ボルト摩擦接合の工場継手としてバルブプレートの突き合わせ溶接を省略した（図-5）。

5. あとがき

最近、耐震性能や維持管理の観点から、鋼製脚との剛結構造とする例も多い。本工事の負反力対策の検討を通じて、剛結構造において逆L型橋脚を採用する場合、曲線桁に限らずその変形が上部構造全体に及ぼす影響を踏まえて構造の計画を実施する必要があることが判った。

例えば、必要剛性に応じた橋脚の断面寸法を設定する、断面寸法に制限がある場合は門型橋脚を採用する、等を

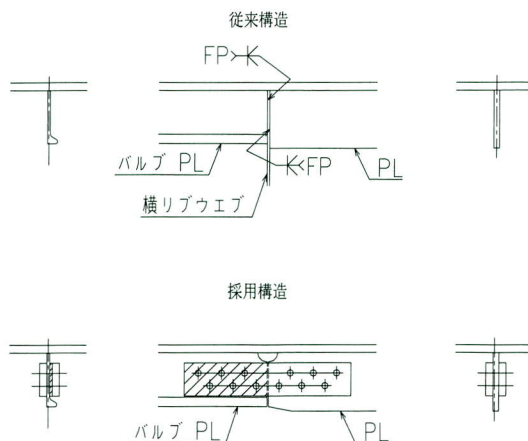


図-5 バルブリブとプレートリブの変化点

念頭に置く必要があると考える。

疲労設計については、その適用が前提となつてから日が浅い。本工事の疲労設計を通して得られた、注意点を紹介する。

・縦リブの水抜き孔

鋼床版桁のように死荷重が小さく設計断面力に占める活荷重の割合が大きい橋では、フランジの応力範囲も大きくなる傾向がある。フランジ付近に考えられる継ぎ手の中で、最も疲労強度等級の低いものは、スカラップを含む縦方向継ぎ手のまわし溶接部（例：縦リブまたはウエブのスカラップ等）であり、箱桁の縦リブに設けられる水抜き孔にもスカラップを必要とするので、注意が必要である（図-6）。

・鋼床版の構造詳細

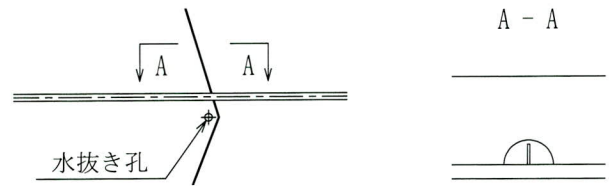


図-6 フランジの水抜き

鋼床版の疲労設計に関する疲労設計指針の規定は、疲労耐久性が確保できる構造詳細のみであるが、全ての構造詳細を網羅するものではない。

従来の鋼床版で採用されてきた構造詳細をそのまま踏襲するのではなく、同指針の規定の他、現在発生している疲労損傷も参考にしながら、構造詳細を決定する必要がある。

本橋では設計に架設系を考慮して製作に反映するとともに、中間支間に調整ブロックを設けて製作・架設誤差の吸収を図ることを計画している。今後、製作・架設部門との連携を密にし、工事の無事完成に向けて努力していく所存である。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，平成14年3月
- 2) 日本道路協会：鋼道路橋疲労設計指針，平成14年3月
- 3) 首都高速道路公団：橋梁構造物設計要領，平成15年5月

2005.1.13 受付