

(56) 箱型合成床版橋の歩道橋への適用例

APPLICATION OF BOX-TYPE HYBRID SLAB TO PEDESTRIAN BRIDGE

森安敏博* 宇田英己* 丸安雄二** 加納 勇**

Toshihiro MORIYASU, Hidemi UDA, Yuji MARUYASU, Isamu KANOHI

Shortage of skilled workers at work sites is now a big social problem. One solution to this problem is to reduce the work at the construction site and to shorten the term of construction. Hybrid slab bridges can meet the requirements because of no need for forms for slab concrete. A box-type hybrid slab bridge was applied to a pedestrian bridge. Its workability and structural safety were evaluated by the measurement at the site, with the following results.

- (1) The term of construction was shortened by about six days as compared with plate girder bridges.
- (2) Although the girder depth to span ratio was 1/35, the rigidity of girder was high (1/1500 for live load). This means that the bridge of this type is less subject to vibration.
- (3) The actual stress caused by live load was about 20% of the design value on the upper flange and about 60% on the lower flange.

1. まえがき

熟練作業員の不足は、一つの社会問題でもあるが、これを解決する方法として現地作業をできる限り単純化、簡略化することが考えられる。

合成床版橋は、鋼桁と、これを型枠代りとしてその内部に打たれるコンクリートからなる鋼とコンクリートとの合成構造である。図.1にその代表的な構造形式の概念図を示す。鋼桁とコンクリートとは鋼桁フランジ部に打たれたジベルによって一体合成されて、合成断面で後死荷重と活荷重に抵抗する。

床版型枠をも兼ね鋼桁は品質管理のいきとどいた工場で作られるので、現地では床版型枠の組立作業や型枠の出来上り管理作業は不要であり、精度が高く強固な床版型枠が得られる。この他、工場で最終塗装まで完了させること、耐候性鋼材を使用することを考えたとき、現地での作業は著しく削減されることになる。

今回、箱型形式の合成床版橋を、水尻橋側道橋に適用

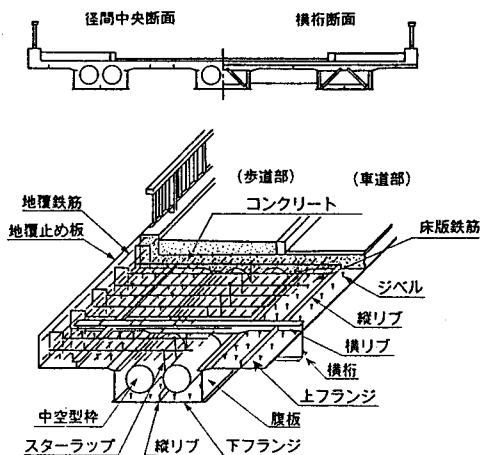


図.1 箱型合成床版橋

* 建設省 中国地方建設局

** 日本鋼管株式会社 鋼構建造設部

し、現場での施工性を調査し、さらに、橋梁構造として強度上、剛性上、供用上、管理上問題がないかを、載荷実験、振動実験を行って調査した。表.1に調査の内容を示す。

本論文は、これらの結果について報告するものである。

2. 水尻橋側道橋

2.1 形式選定

現地施工の省力化を計る面から合成床版橋形式を採用したが、この他にも次のような採用理由があった。

本橋は、水尻橋の歩道部として架けられた側道橋である。車道部である水尻橋は、15m×2径間のPC橋であるが、橋脚基礎が

河床洗掘を受け根固めコンクリートで補強された状態にあり、したがって側道橋は、中間橋脚なしの30m単径間とした。さらに、現河積の確保から桁高を水尻橋と同じ0.83mに統一することにした。

したがって、スパン桁高比は1/35となり、これまでの橋梁形式、たとえばPC桁や鈑桁では成り立たない。鋼床版鈑桁では鋼重が大きくなり経済的ではなく、さらに桁高制限を受けた時にはたわみ振動が大きくなり歩道橋としての適性を欠く可能性がある。

これに対し、合成床版橋は、その断面構成から経済桁高が低い橋梁形式であるため、桁高比1/35は経済的範囲の中で可能であった。又、歩道橋としての振動性を確保しなくてはならなかったが、この点においても、合成床版橋は適性をもった形式である。それは、コンクリート充腹断面構造であるため、振動特性はほとんどコンクリート橋に近く、すなわち、剛性が高く、質量も大きく、揺れにくい特性をもつからである。

以上のことから、水尻橋側道橋に断面が箱型形状をした合成床版橋を採用した。

2.2 設計

本橋梁形式は、活荷重合成橋梁の一種であり、その設計法は、基本的に、道路橋示方書の鋼橋編及びコンクリート橋編に従う。特別な設計法をとるわけではないが、その基本となる点を述べる。

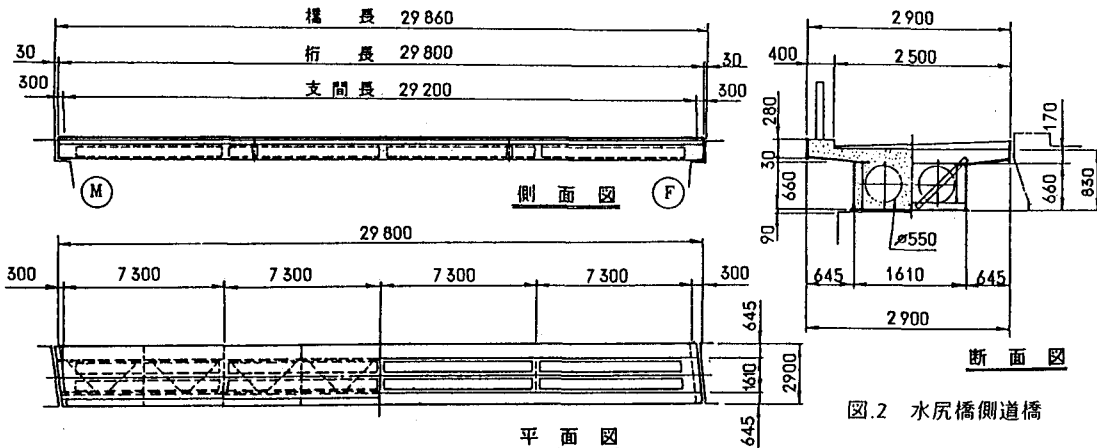


図.2 水尻橋側道橋

表.1 調査項目

調査項目	調査目的	調査手法
1. 現地施工	現地施工の工程短縮、単純化がどの程度計れるかを把握する。	1. 実施工程の記録
2. 応力測定	構造物の安全性と設計法の妥当性の確認 (鋼桁とコンクリート部の応力の設計予測値と実橋発生値との比較から本橋梁形式の構造上の特徴を把握し、その安全性を確認するとともに、設計法の妥当性を確認する。)	1. 発生歪みの計測 (コンクリート打設時と完成供用時)
3. 振動とたわみ測定	構造物の振動性、たわみ性から見た供用適正の確認。 (本橋梁形式の振動性、たわみ性を把握し本橋が歩道橋としての適正を有しているかを確認する。)	1. たわみ変位の計測 2. 加速度振動の計測

(1) 主構造

合成前と合成後の2つの系をもつのでそれぞれに対する応力を、表.2に示す手法で計算し、架設時応力の照査と完成時応力(①と②の和)の照査を行う。尚、合成断面でのコンクリートの評価法を、表.3に示す。

(2) コンクリートのクリープと乾燥収縮

これに対する応力とたわみは、道路橋示方書鋼橋編の合成桁に準じて求める。

(3) コンクリートと鋼桁の温度差

鋼桁はすべてコンクリートと接していることと、それぞれの図心位置が近いことから、温度差による応力は他に比べ小さいものとして、無視する。

(4) ジベル

フランジとコンクリートとの境界面に働く、活荷重と後死荷重によって生ずるせん断力と、コンクリートの乾燥収縮によって生ずるせん断力に対し、ジベルのもつ許容せん断力からジベル寸法と配置を決る。(道路橋示方書 IIの9.5)

(5) スターラップ

鉛直せん断力に対して、コンクリートウェブ断面と鋼桁の鋼ウェブ断面とで分担して抵抗するものとして設計し、コンクリートウェブ断面ではその分担せん断力をすべて受けることができないときがあり、そのときは下フランジに溶植したスターラップで補強をする。

3. 現地施工

3.1 施工上の特長

本橋梁形式の大きな特長の1つに床版型枠がいらぬ点がある。床版型枠代わりをする部材は、上フランジ板(端部10mm, 中央部20mm)と地覆止め板(6mm)である。これらの鋼材で周囲をすべて覆う構造となっているため、現地では鋼桁の架設のあと、配筋をしてコンクリート打設すればよいだけである。

このことによって生まれる施工上の特長をまとめると、次のようになる。

1. 工場製作された型枠(鋼殻桁)であるため、製作精度が高い。
2. 型枠、支保工の施工工程が省け、他の形式に比べ現地作業工程の短縮ができる。
3. 他の形式の桁架設作業、コンクリート作業に比べ、桁鋼殻上での作業ができるため、落下物の防止ができ現地作業の安全性が高まる。

3.2 現地施工

施工工程を表.4に示す。尚、後で述べる考察のために実施工程を改善した場合と鋼桁とした場合の仮想工程を併記した。今回は念のためにベントを立てたが、しかし実際には何も問題は発生せず今後は必要としない。桁調整は、すでにその形状が工場製作段階で決まってしまうために、現地での支点高さ調整だけであった。床版配筋は、鉄筋すべてが直棒であり加工度が低い上に、一面敷きであるので、非常に簡易にできた。床版コンクリート打設による鋼桁のはらみ、張り出し部のたわみ等は設計計算どおりであり、形状管理上特に問題となるところはなかった。

表.2 主構造の設計

構造系	設計荷重	抵抗断面	応力照査法
① 架設系(合成前)	i 前死荷重 (鋼桁重、床版コンクリート重)	鋼桁断面	鋼桁の計算式による
② 完成系(合成後)	ii 後死荷重 (地覆、高欄、舗装) iii 活荷重他 (群集、雪)	鋼桁・鉄筋・コンクリートの合成断面	鋼桁を鉄筋とみなした複鉄筋コンクリート桁の計算式による。

表.3 コンクリートの評価

	弾性係数比 n	コンクリート有効断面積
応力計算	15 注1)	引張応力断面を無視
たわみ計算	7 注2)	全断面を有効 注3)

注1) 道路橋示方書 Iの3.3及びIIの6.1.2
注2) 道路橋示方書 Iの3.3及びIIの9.2.2
注3) 道路橋示方書 IIの9.1.3

表.4 現地架設工程の比較

比較形式	日程	5	10	15	20	25	30
A. 合成床版 橋の 実工程 (本工事)	1) 初経験のため ペントを 据付けた。 2) 桁調整に1 日余裕日を 置いた。	桁搬入 床版コンクリート打設 床版配筋 地組・架設 ペント据付	床版養生 桁調整・HTB締付 地覆内側型枠 高欄取付	地覆養生 地覆コンクリート打設 地覆内側型枠 高欄取付	床版舗装 目地シール ペント撤去		
B. 合成床版 橋の 改善工程 (仮想)	1) ペント不要 2) 地組から架 設まで2時 間。 3) 現場塗装不 要。	桁搬入 配筋 地組 桁調整 HTB締付 架設	養生 地覆コンクリート打設 地覆内側型枠 高欄取付	養生 地覆コンクリート打設 地覆内側型枠 高欄取付	舗装 目地シール		
C. 鉄桁橋と した時の 工程 (仮想)	1) 足場・床版 型枠の据付 ・解体が入 る。	桁搬入 足場取付 横桁調整・HTB締付 地組・HTB締付・架設	床版型枠 打設 配筋	養生 地覆コンクリート打設 地覆外・内側型枠 高欄取付	養生 地覆コンクリート打設 地覆外・内側型枠 高欄取付 現場塗装	床版型枠はずし 足場撤去 目地シール 舗装 地覆外型枠はずし	

4. ひずみ計測

4.1 ひずみ計測方法

測定部材は、鋼桁では上フランジ、下フランジ、ウェブ、地覆止め板、横桁、ラテラルなど、コンクリートではモールドゲージ又は測定用鉄筋により1つの断面内で5, 6点、鉄筋では床版筋とスターラップ筋などを対象として、図.3 に示す3つの断面で計測した。

計測は、床版コンクリートを打設する時とコンクリート硬化後完成時の2つの段階で行った。完成時では、総重量4.3tのトラック3台を最大曲げモーメント発生ケースを含めて6ケースの配置で計測した。トラックを中央部に3台載荷した状態は、径間中央の曲げモーメントが設計活荷重曲げモーメントの約80%に相当する。

4.2 ひずみ計測結果

トラック3台中央載荷での径間中央のひずみ分布を図.4に示す。上フランジのひずみ量は20 μ 程度と小さい。又、下フランジ側は120 μ 程度で、フランジ断面内ではほぼ一様に分布している。鉄筋のひずみ(=コンクリートのひずみ)と鋼桁のひずみが、同一中立軸を含む面上にはほぼ載っている。

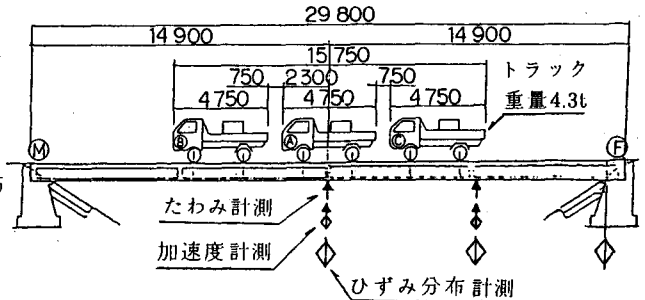


図.3 計測位置図

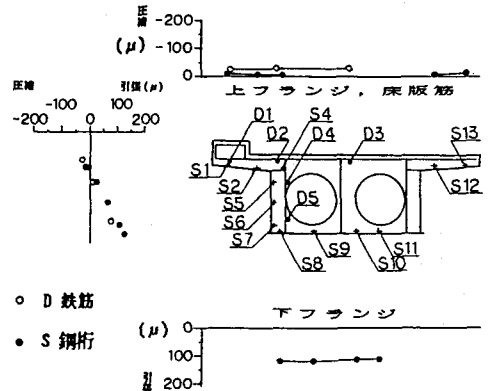


図.4 径間中央断面のひずみ分布

5. たわみ・振動計測

5.1 たわみ・振動計測方法

たわみ計測は、変位計によって特に完成時の桁の剛性を知るために行った。設計照査と架設管理のためにコンクリート打設時においても行った。

振動計測は、本橋梁形式の振動特性をつかむことと、本橋が歩道橋であるためにその適性をつかむことを目的として、①歩行者の同調歩行
②衝撃（人間60kgの50cmからの落下）、
③衝撃（トラック後輪の4cm段差からの落下）、
④トラック1台走行、⑤常時微動 による加速度波形を計測した。

たわみ・振動の計測位置は図.3に示した。

5.2 たわみ・振動計測結果

(1) 桁のたわみ

径間中央における、コンクリート打設時のたわみは119mm（計算値136mm）、完成時の3台中央載荷でのたわみは15.0mm（計算値15.9mm）であった。

(2) 桁の振動特性

常時微動のパワースペクトルを図.5に示す。スペクトルより固有振動数を求め、又、衝撃波形より減衰率を求めた。これらの結果から、本橋の振動特性（最低次モード）は、

固有振動数 2.2Hz, 対数減衰率 0.082

である。一方、歩行者の同調歩行に対して最大応答加速度は15 galであった。図.6参照。

6. 考 察

6.1 施工性

施工工程について、本橋の実施工程及び、実施工程を改善した場合、鈑桁橋の場合の比較図を表.4に示した。

実施工程では、初めての施工ということもあり、用心のためベントを設置し、又、添接部を仮締めとし架設後に本締めを行ったため、このあとに現場塗装作業ができた。今回施工した結果、ベントの必要はなく、現場塗装も地組時に行えばいなくなる。これらのことを考慮したものを改善工程として鈑桁橋と比較した場合、6日程度の日数差がつく。これは完全に足場工、床版型枠工、塗装工が省けるためである。

安全性についても、桁を架設してしまえばほとんどの作業が鋼桁上となるため、鈑桁橋と比べればかなり向上している。

施工工程について総合してみると、現道工事において重要な、現地での作業をできるだけ短く単純化させるという条件を満たしており、又、安全性も高いということから現道工事で施工する橋に適していると思われる。ただ、床版コンクリート打設時の桁のたわみに十分な注意が必要である。

6.2 合成度

コンクリート硬化後、完成状態でのトラック載荷による桁断面内の軸方向ひずみ計測結果から、鋼桁ひずみ、鉄筋ひずみ（コンクリートのひずみとみなしてよい）がほぼ同一面上に載っておりひずみの平面保持がなされていることがわかる。

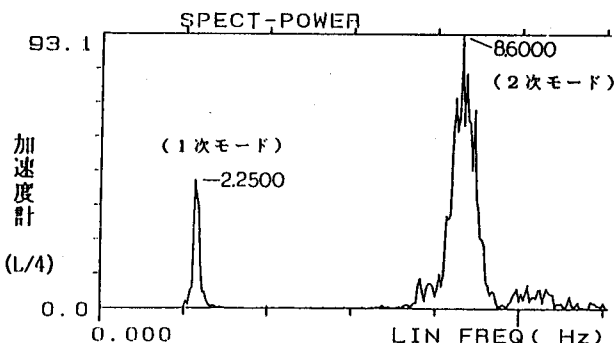


図.5 常時微動のパワースペクトル

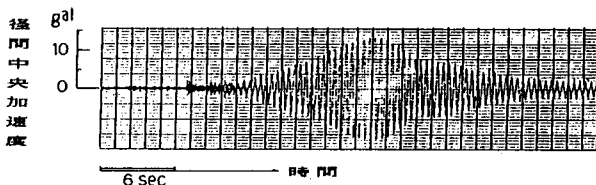


図.6 同調歩行時の加速度波形

このことは、鋼桁とコンクリートが一体となって挙動していることを示しているもので、その合成度はほぼ完全であるとみなせる。なお合成度が十分であることについては、次に示す桁の曲げ剛性が完全合成を前提として算出した値とほぼ一致していることからわかる。

6.3 曲げ剛性

コンクリート硬化後、完成状態のトラック3台中央載荷による桁中央のたわみ値から、この桁のもつ曲げ剛性を推定すると $I=0.0196\text{m}^4$ となる。この値はコンクリート全断面有効、コンクリート弾性係数比 $n=7$ とした時の値 $I=0.0185\text{m}^4$ とほぼ等しく、桁の曲げ剛性の計算法の妥当性を裏づけている。

6.4 発生応力

コンクリート硬化後の完成状態での発生応力を設計値と対比して考察する。

トラック3台中央載荷による桁中央断面に発生する応力を実測ひずみ値から推定し、それを設計荷重レベルに修正し設計応力と比較した。その結果を表.5に示す。

発生応力は引張側で設計値の約60%、圧縮側では約20%しか発生していない。理由としては

- 桁の断面二次モーメントをコンクリート引張部を無視して求めているが、実際はある程度有効に働いている。
- 桁の二次部材 (地覆コンクリート、ラテラル材、地覆止め板、円筒型枠を矩形に仮定したコンクリート部など) を無視しているが、実際には有効に働いている。
- コンクリートの弾性係数比を $n=15$ としているが、実際には $n=7$ 程度である。

などが考えられ、設計上では安全サイドの考慮がなされている。

6.5 振動特性

合成床版橋は、主要構成材料がコンクリートであることから、その振動特性はコンクリート橋に近い特性をもつ。すなわち自重が大きく、減衰率も大きいことから揺れにくい構造であるといわれている。

本橋の場合、固有振動数 n_0 が歩道橋として避けるべき振動数帯 ($1.5 < n_0 < 2.3$) の中にあるが、実測結果を元にした計算では、推定最大加速度 $a_{\text{max}}=44\text{gal}$ と、不快感の目安 100gal に達していない。又、歩行者同調に対しても最大加速度 $g_{\text{max}}=15\text{gal}$ で、 100gal に達していない。

これらのことから本橋は揺れにくく、歩行者に不快感をあたえない構造であることがわかる。

7. あとがき

水尻橋側道橋に、箱型合成床版橋を適用し、本橋梁の設計法の妥当性、構造の安全性、供用時の適性の確認と、現地での施工性の検討を目的として調査、計測を行った。

本調査資料の検討から次のような結論が得られた。

- (1) 現地施工は 簡便で、工期短縮、安全性の向上、工費削減などに通じる。
- (2) 歩道橋として必要な揺れにくさを備えている。
- (3) 曲げ剛性は高く、活荷重たわみ $L/1500$ 程度である。
- (4) 鋼とコンクリートの合成は十分なされている。
- (5) 主構造の設計法は安全側にあり、設計上問題はない。

このようなことから設計上についての問題はなく、施工上からも、現地での作業を短縮できる本形式は、桁高制限のある時、現地施工時間をできるだけ短くしたい時などに、有利な橋梁形式であると考えられる。

表.5 実測応力と設計応力

	実 測 応 力		設計荷重 (活荷重)応力 $N=93.26\text{t}$
	3台載荷応力 中央 $M=73.72\text{t}$	設計荷重 N への修正 中央 $M=93.26\text{t}$	
上フランジ	圧縮 44 kg/cm^2	56 kg/cm^2	257 kg/cm^2
上鉄筋	圧縮 57 kg/cm^2	72 kg/cm^2	359 kg/cm^2
下フランジ	引張 248 kg/cm^2	314 kg/cm^2	542 kg/cm^2