鋼鉄道橋における非合成部材の合成効果に関する実橋測定

The measurement of the composition effect of a non-composition member on the steel railway bridge

藤原 良憲*, 鈴木 喜弥*, 池田 学**, 谷口 望***

Yoshinori Fujiwara, Yoshiya Suzuki, Manabu Ikeda, Nozomu Taniguchi

*(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 設計技術部(〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1) **(財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 鋼・複合構造(〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38) ****東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所(鉄道総研より出向)(〒221-0044 神奈川県横浜市神奈川区東神奈川1)

For the purpose of noise reduction, the non-composite girders are frequently used for railway bridges. In this study, the real behavior is investigated by measuring the live load and dead load responses. The girder of the measurement is an actual girder made in Tukuba-express. The measured results of displacement, strain are compared with design calculations. As for the measurement result; it was examined influence of a composition effect.

Key Words: Compsite structure, composition effect, bridge measurement, railway bridge キーワード: 複合構造, 合成効果, 実橋測定, 鉄道橋

1.はじめに

近年,土木構造物の環境に対する配慮が必要不可欠と なっており,鉄道用橋梁においては,環境対策として騒 音低減が重要である¹⁾.特に鋼鉄道橋においては,騒音 低減方法に関する検討も進んでおり,その中の1つの手 法として,フランジ・ウェブの各鋼板部分にコンクリー トを打設する事例がある.これらのコンクリート断面に ついては,鋼部材と積極的に合成させる手法ではなく, ずれ止めを設置しない,または,最小限の剥離防止程度 のずれ止めを用いる手法が一般的である.また,非合成 床版を持つ鋼鉄道上路プレートガーダー橋の特徴的な こととして,上床版と鋼上フランジの接合に,柔ジベ ルは,道路橋におけるスラブアンカー等に対応する部材 である.

これらのコンクリート部材は、鋼桁と積極的に合成されていないため、設計上は非合成として取り扱われている.一方、近年の道路橋における非合成床版の測定結果より、実際の橋梁では、鋼フランジと床版コンクリートとの間に摩擦が生じており、通常使用する範囲では非合成とならずに、ほぼ合成として挙動することがわかっている³⁾.この非合成部材の合成効果については、一般に橋梁の剛性を向上させ、結果としてたわみ・応力を設計よりも小さくさせる効果があり、安全側となるためあまり問題視されてこなかった.

しかし,橋梁の長スパン化・連続桁化,限界状態設計



図 - 1 柔ジベル構造概要

の普及や,設計のさらなる合理化の要求などにより,設 計精度の向上が必要とされており , これらの非合成部材 の合成効果を一概に無視することが問題視されること がある.たとえば,連続桁の場合,桁には正曲げ区間と 負曲げ区間が生じることとなるが、剛性のバランスが実 橋と大きく異なる場合、この各区間に相違が生じ、結果 として不経済な設計となる可能性がある4).また,断面 内の挙動においては,上フランジ側と下フランジ側での 剛性のバランスが実橋と大きく異なるな場合,中立軸の 位置が設計と大きく異なることとなり,圧縮部材と引張 部材の設定が現実と異なる可能性もある5),さらには, 非合成部材のコンクリートにおいて,設計上は応力を伝 達しないものとして設計した結果,桁外面であってもひ び割れ幅等の照査を行わない事例もあり,実際の合成効 果によりコンクリート部材にひび割れ等が生じ,結果と して耐久性に欠けた構造となることもあるため,桁の現 実に生じる挙動を把握することが重要な課題となって

構造形式:上路プレートガーダー 複線180X 曲線桁 支承構造:ゴム支承を有する地震時水平力分散構造 支間:67.7m(桁長:69.5m) R=820m 軌道構造:消音型軌道直結式 設計列車荷重:M-15 設計列車速度:130km/h 床版:軽量コンクリート(ずれ止め:柔ジベル) 他:ウェブ・下フランジにも軽量コンクリート打設



図-2 大場川橋梁概要(完成時)

いる.

そこで本検討では、「つくばエクスプレス・大場川橋 梁」(千葉県三郷市)の架設時からの計測を行い、上フ ランジ、ウェブ、下フランジの各非合成コンクリート部 材の打設とともに、桁がそれぞれどのような剛性挙動と なるかを測定し、また、完成時には列車試運転時の桁の 挙動を測定することで、軌道スラプや高欄等の二次部材 の合成効果についても検討し、各非合成部材の合成効果 について評価を試みた.

2. 橋梁概要·測定概要

橋梁の概要を図 2,図 3に示す.本橋梁では,床 版コンクリートと鋼桁の上フランジが柔ジベルにより 結合されており、設計上はせん断力を伝達しない構造に なっている.また,本橋梁のウェブ外面については,被 覆コンクリートを設置しているが、ウェブ鋼板と被覆コ ンクリートは,最小限の本数の頭つきスタッド(19 ×100,約420(mm)ピッチ)によって結合されてい る.なお,ここで言う最小限の本数とは,頭つきスタッ ドのせん断耐力による設計は行わず, 剥落防止のために 設置を行ったということである . 箱桁内の下フランジ上 面には,制振コンクリートを設置している.このコンク リートには剥落の恐れがないため、下フランジ鋼板との 結合材(ずれ止めなど)は設置していない.なお,各コ ンクリートと鋼材の接触面は無機ジンクリッチプライ マー処理となっている.床版上面については,軌道構造 を支持する軌道スラブコンクリートのほか,高欄(PC 製品)とダクト部のコンクリートがあるが,これらにつ いては目地を有する構造になっており ,橋軸方向には分 断された構造となっている.これらの非合成としている 各コンクリート部材においては、重量を軽減するために、, 粗骨材のみを軽量骨材とした軽量骨材コンクリートを 使用している.

測定に当たっては,図 4のように測定断面を決め, A,B,C断面はひずみゲージを設置し,E断面(桁中





断面番号	×軸座標 (mm)	測定内容	
A	33750	ひずみ測定断面	
В	22500		
С	47000		
E	34750	たわみ測定断面	

E断面部にはダイアフラムがあるため,ひずみ測定断面は,桁中央(E断面)より1000(mm)起点方にシフトさせるものとした.



図 - 4 計測断面設定

図 - 5 A断面内ひずみ計測位置(ひずみの計測方向はすべて橋軸方向)

央)はワイヤー式吊り方式の変位計を設置した.ここで,x 軸(橋軸方向)は,図 4のように,起点の桁端を原点と 設定した.各断面のひずみゲージの設置位置を図 5に 示す.ここで,z軸(高さ方向)は,図 5の通り下フラ ンジ下面を原点とした.図 5のk-1~k-3については, 目地を有する部材であるが,目地部を避けて,100 (mm)ずらして設置するものとした.なお,目地の間隔に ついては,軌道スラブで4~5(m),高欄・ダクト部で約 1(m)であった.また,測定部 r-1~r-3 は,列車通過時 の車軸位置と速度を得る目的で設置している.架設時測 定に当たっては鋼桁部ひずみのみの測定となっており, それ以外の部位,変位は,完成後の試運転列車時の測定 時にひずみゲージ,変位計を追加した.B,C断面のひ ずみゲージについては,A断面のひずみゲージを間引い て設置している.

3. 架設時の測定結果⁶⁾

架設段階での測定順序は,施工順序が鋼桁架設の後,

- (1) 床版コンクリート打設(2002年3月28日)
- (2) 制振コンクリート打設(2002年4月 6日)
- (3) 被覆コンクリート打設(2002年5月19日)



図-6 剛性算定用の部材設定(~)

となったため,この手順にあわせて測定を行うものとした.したがって,(1)においては,鋼桁のみの状態を初期値(ゼロ)とし、床版打設コンクリートによる荷重でのひずみの変化を測定するものとし,(2)においては,(1)の時を初期値(ゼロ)とし,制振コンクリートによる荷重でのひずみ変化を測定するものとした.また, 各測定結果は,各部材の合成の有無を検討するために, 各部材を図 6のように番号を設定する.ここで,「解析値」は,鋼桁のみの剛性で算定したことを示し,「解









析値 + 」は, 鋼桁() に床版コンクリート() が合成されたとして算定していることを示している.

図 7は、(1) 床版コンクリート打設時のA断面内の ひずみの変化量である.ひずみ値は、引張を正としてお り、各断面高さでの測定結果は、誤差が3%以内であっ たことから、複数の測定点における平均値としている. 解析値 は、鋼桁()のみの曲げ剛性を用いて、床版 コンクリートを桁に作用する等分布荷重として、桁中央 のひずみ分布を算出したものである.ここで、解析値に おいては、荷重算出に当たって軽量コンクリートの単位 体積重量 を15(kN/m?)、19(kN/m?)、23(kN/m?) の3種類を用いて比較している.鉄道構造物等設計標準 ⁷⁾においては、軽量コンクリートの単位体積重量は15 ~17(kN/m?)となっているが、この結果より、実際に 打設された軽量コンクリートの単位体積重量は、19



図 - 8 制振コンクリート打設におけるひずみの変化 (A断面鋼桁のひずみの断面内高さ方向分布)





(kN/m)であると判断し,以降の制振コンクリート,被覆 コンクリート打設の計測に当たっては,この値を用いる こととした.

図 8は制振コンクリート打設におけるA断面内の ひずみの変化である.この時点で,床版コンクリート ()は打設済みである.測定結果は,鋼桁剛性のみ解 析値(解析値)と床版を合成として算定した解析値(解 析値 +)の中間的な挙動となっており,どちらかと いうと解析値 + に近い.この結果より,この床版につ いてはある程度の合成効果があることが伺える.しかし, 制振コンクリート打設時においては,床版コンクリート 打設後1週間程度であり,強度発現の途上であった可能 性がある.なお,軽量コンクリートのヤング係数比につ いては,実測結果に基づき,n=10とした(鉄道構造 物等設計標準⁷⁾では,n=14としているが,これは細



-1103-





断面構成		E断面変位	測定 / 解析
		(mm)	(%)
測定結果		11.0	-
解析結果		24.1	45.6
	+	14.9	73.6
	+ +	13.3	82.7
	+ + +	11.4	96.5
	+ + + +	9.77	112.6

表 1 変位量と各設定剛性における解析値の比較

(~ は,図 6の断面設定を示す)

骨材と粗骨材両方を軽量骨材とした場合を想定している.また,図 10で確認を行う).

図 9は,被覆コンクリート打設時のA断面内のひず みの変化である.この時には,床版コンクリート() と制振コンクリート()は打設済である.この図によ ると測定結果は解析値 + + よりも解析値 + によく合っている.これは,制振コンクリートの剛性を 考慮しないほうがよく合うことを示しており,制振コン クリートについては合成効果が低いことが想定できる. また,各解析値ともに上フランジ付近(x = 2000~ 3000mm)では,測定値とよく一致しており,この 結果からも,床版コンクリートについては合成効果があ ると考えられる.

図 10は,図 9と同様に被覆コンクリート打設時のA断面内のひずみ変化であるが,ここでは,軽量コンクリートのヤング係数比を確認するために,解析値 +

において床版コンクリートのヤング係数比をn = 7, n = 10, n = 14とした場合をそれぞれ示している. この図より,測定結果に最もよく合っているのは, n = 10の場合であることがわかり,本橋梁に用いた軽量コ ンクリートのヤング係数比はn = 10で妥当であるといえる.

4.列車試運転時の測定結果

試運転列車測定は,桁架設より2年後の2004年9 月14日に行われ,上り線,下り線それぞれに列車が通 過した際のひずみの変化を測定した.試運転列車は図 11に示すような6両編成の営業用電車(一部カウンタ ーウェイト積みあり)である.本橋通過時の列車速度は, 上り線・下り線走行時ともに,24.4(km/h)以下で あり,測定結果においてはほぼ静的と考えられる条件で あった.なお,計測段階の目視確認において,床版コン クリート,制振コンクリートにはひび割れは見られなか った.

図 12(a)は、下り線列車通過時のA断面下フラン ジ中央(i-2)のひずみ波形である.この結果からも、 本測定が静的な測定結果となっていることがわかる.ま た、図 12(b)は、図 11の列車の影響線を、理論 的に算出した結果である.試運転列車と比較しても、波 形はよく一致している.また、最大の応答が生じる場所 も両者でほぼ一致している.これより、以降の図 13、 図-14では、測定結果の最大応答時のひずみ、変位同 士をそれぞれ比較検討するものとした.なお、図 12 (b)では、設計列車荷重(M-15:各軸重150kN) の場合も示しているが、実際の試運転列車の影響線に比 べて、約6割程度の応答となっている.

図 13は,コンクリート部材に取り付けたひずみゲ ージの挙動を鋼桁のひずみと比較した図である.ここで も各測定結果は、片線載荷等の影響でゲージに5%程度 のばらつきがあったが,ねじれ等を補正する目的で,図 7~図10と同様に平均値で示すこととした.この図で は,鋼部材のひずみ変動量において,平面保持が成り立 つものと仮定し、プロットの近似直線も点線で示してい る.また,コンクリート計測点のa(床版コンクリート) と h (制振コンクリート)は, 鋼部材と同様に各点の平 均値を示している.図 13(a)では,a(床版コンクリ ート)については,ある程度の圧縮ひずみが生じている が,鋼部材で仮定した平面保持直線とはややずれる結果 となった.また,床版上構造物(k-1~k-3)では,各点 ともにa(床版コンクリート)よりも大きく平面保持直 線と離れる結果となった .h(制振コンクリート)では, 引張側のひずみが生じているものの,やはり,平面保持 直線と大きくずれる結果となった.また,下り線通過時 を示した図 13(b)でも同じような傾向となっている. 図 13(c), (d)では, A断面と異なり, a (床版コン クリート)は,平面保持直線とほぼ一致する結果となっ ている.しかし,B断面のh(制振コンクリート)につ いては, A断面と同様に平面保持直線から大きく外れて

いる.この結果から,床版コンクリートについては,各 断面でばらつきがあるものの,ある程度の合成効果が認 められる.また,床版上構造物については,A断面の結 果のみであるが,完全合成とはいえない結果となってい る.さらに,制振コンクリートについては,ほとんど合 成していないといえる.なお,この制振コンクリートの 傾向については,著者らが以前測定を行った連続合成桁 (九州新幹線・松尾線路橋)の制振コンクリートの挙動 とほぼ一致している⁸⁾.

図 14は、鋼部材のひずみ分布測定値と、各部材(

~)の組み合わせの解析値を比較したものである.図 9の,被覆コンクリート打設時によく合う結果となった解析値 + とは大きく異なる結果となっている.図 - 9の状況から変化した部材は,被覆コンクリート()の固化,床版上構造物()の設置であることから,これらの剛性を加算した解析値も示した.被覆コンクリートを加算した解析値 + + では,解析値 + よりも測定値に近い結果となっているが,一致しているとはいえない.傾向としては,上フランジ(床版)側のひずみの差が大きいことから考えて,床版上構造物の効果が大きいものと推察できる.そこで,床版上構造物の効果が大きいものと推察できる.そこで,床版上構造物(軌道スラブ,ダクト,高欄)についても,その断面積分をコンクリート床版と同等(n=10)として,解析値 +

+ + を算出した.結果としては,測定結果と最もよ く一致する傾向となっており,図 13では床版上構造 物の合成効果は局所的にはあまりない結果になってい るが,鋼桁部分としては合成効果があると判断できる結 果となった.これらの床版上構造物は,床版と同様な軽 量コンクリートではあるが,それぞれ目地構造となって おり,厳密には本橋梁の床版と同等な剛性効果は生じな いはずである.したがって,このような結果となる理由 としては,床版上構造物のコンクリートの材質(ヤング 係数比等)が床版等と異なっていることや,床版上構造 物の軽量コンクリート以外の部材の効果も可能性とし てはあるが,現状の測定結果では不明確であり,今後の 検討課題であるといえる.

表 1は,E断面(桁中央)における変位の最大値と, 各部材(~~)の組み合わせた解析値を比較したもの である.実設計に用いている鋼桁のみの断面(解析値) については,測定値の倍以上となっており,剛性として は実剛性の半分以下となっている.以降,合成する部材 を追加するごとに測定変位に近づく傾向となるが,すべ ての部材の剛性を考慮した場合(解析値 + + +

+)は,実際の剛性よりも大きくなっており,測定結果に一番近い傾向となったのは,制振コンクリート以外の剛性を考慮した場合(解析値 + + +)となった.

5.まとめ

本検討では,鋼桁架設後のコンクリート打設時から完 成後の試験列車通過時に至るまで,4回の測定を行った 結果より,打設した非合成部材のコンクリートの剛性へ の寄与について検討を行った.検討の結果,以下の結果 を得た.

- (1) 柔ジベルによって結合された床版コンクリートは、 局所的に合成効果が低い部位も見られたが、鋼桁の 挙動から判断して、ほぼ合成していると考えられる。
- (2) スタッドによって結合されている被覆コンクリートについても、ほぼ合成していると判断できる..しかし、引張フランジの鋼板上に、ずれ止めを介さずに打設した制振コンクリートについては、被覆コンクリート打設時の測定結果より、合成しているとは考えにくい結果となった.
- (3) 床版上の軌道スラブ,高欄,ダクト部のコンクリートについても,完全合成ではないが,ある程度の剛性寄与効果がある.しかしその効果の割合については,今回の測定結果では明確にならない部分もあり, 今後検討の余地がある.
- (4) これら非合成コンクリート部材の合成効果により, 非合成桁の実際の剛性は,設計上の仮定剛性よりも かなり大きいことがわかった.

なお,本測定の範囲では,架設から試運転列車までの範囲での測定であるため,桁の終局限界状態における挙動や,列車荷重による繰り返し載荷を受けた状態での挙動については,未解明である.これらの状態での挙動については,今後も検討を行う必要があると考えられる.

謝辞

本論文は、(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構の依頼・指導のもとで、(財)鉄道総合技術研究所がデータ 整理・検討を行い、執筆したものである.また、本橋梁 の活荷重測定にあたっては、(株)共和電業の川原和幸 氏に多大な協力を得ました.記して謝意を表します.

参考文献

- 1) 低騷音鋼橋検討会 報告書 鉄道総合技術研究所 2005.
- 2) 阿部英彦,中島章典,堀内博:合成桁におけるスラブ分割の影響と柔ずれ止めの開発構造工学論文集,Vol.35A, pp.1205-1214,1989.
- 3) 三木千壽,山田真幸,長江進,西浩嗣: 既設非合成連続 桁橋の活荷重応答の実態とその評価,土木学会論文集 No.647/ -51,土木学会, pp.281-294, 2000.

- 4) 谷口望,池田学,依田照彦:鉄道用連続合成桁の設計に おけるテンションスティフニングの影響評価構造工学 論文集 Vol.52A,土木学会,pp.1047-1055,2006.
- 5)保坂鐵矢, 辻角学, 武居秀訓, 依田照彦: 多様化する合成桁の中立軸位置に関する研究, 第60回年次講演会概要集, 土木学会, CS2-004, pp.51-52, 2005.
- 6) 辻野竜介,伊藤哲也,石川貴雄,保坂鐵矢:柔ジベルと 現場溶接を用いた非合成桁の現地実測による応力挙動, 第57回年次講演会概要集,土木学会, -662, pp.1323-1324,2002.
- 7)運輸省(監修),(財)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼合成構造物,丸善,2000.
- 8) 谷口望,相原修司,池田学,八巻康博,藤原良憲,鈴木 喜弥,木下哲龍:連続合成桁における中間支点部の活荷 重応答に関する実橋測定,構造工学論文集 Vol.51A,土 木学会, pp.1449-1457,2005.

(2006年9月11日受付)