合成床版と開断面箱桁橋の構造初期値の検討

A study on structural initial value of composite slab and the bridge with sloped webs

(Takanori Kadota)	峰典	門田	○学生員	北見工業大学大学院
(Toshiyuki Oshima)	俊之	大島	フェロー	北見工業大学
(Shuichi Mikami)	修一	三上	正会員	北見工業大学
(Yasunori Miyamori)	保紀	宮森	正会員	北見工業大学
(Hiroshi Mitamura)	寸 浩	三田村	正会員	土木研究所寒地土木研究所

1. まえがき

近年,供用年数 40~50 年を超える橋梁が増加し,本格的に 維持管理の時代が到来している.それを受け,橋梁構造はト ータルコスト縮減を考慮した合理的な形式へと進化し続け ている.その合理化橋梁の一つである開断面箱桁橋は,上フ ランジを省略したうえで,床版と合成させることで箱断面 を形成し,経済性の向上を図れるという利点がある.また, 架設時に底鋼板が補強材として働くので,鋼・コンクリー ト合成床版との組み合わせが有利である¹⁾.北海道では施工 例の少ない構造形式であるため,供用前の構造初期値を把 握し,今後の維持管理上の参考とすることが重要である.そ こで本研究では,この合成床版を有する開断面箱桁橋に対 して,供用前の構造初期値を参考にFEMでモデル化し,床 版・路面などの劣化が初期の挙動にどのような支障をきた すのかを検討する.

今回,寒地土木研究所が行った静的・動的載荷実験,振動 実験との照査によって,解析モデルと実橋梁との整合性に ついて検討を行った.

2. 実橋の緒元

研究で対象としている橋梁は,北海道旭川紋別自動車道 において丸瀬布町に新設された丸瀬布大橋L橋(下り)で ある.橋長108.6m(支間長51m+56m),縦断勾配-2.2%,曲率 半径1500mの曲線橋である(図-1).構造形式は逆台形型 2径間連続合成開断面箱桁橋であり,床版形式は鋼・コンク リート合成床版(パイプスラブ)である.



図―1 丸瀬布大橋L橋(下り)側面図

3. 解析モデル

3.1 橋梁モデル

解析モデルについては,汎用構造解析プログラムの MARC/MENTATを用いて作成している.全体のモデル図を 図-2に示す.床版コンクリート(地覆・高欄)はソリッド 要素,底鋼板はシェル要素,橋脚・対傾構は梁要素,その他は シェル要素でモデル化した.図-3に示すように,実橋梁の剛 性に近づけるため,節点数9201・要素数9585と詳細にモデ ル化を行っている.支承は免震支承であるため,地盤と同様 にバネ要素でモデル化している.また,橋脚は図-4のように 中間部で連結しているため,水平方向は固定とした.

一般に鉄筋コンクリート床版に用いられるヤング係数と しては30000(N/mm²)であるが,本橋は合成床版(パイプス ラブ)であるため,リブ,パイプ,主・配力鉄筋により一般の 鉄筋コンクリート床版に比べて剛性が高い.そこで固有値・ 静的載荷実験との照査により,床版コンクリートのヤング 係数を算出し,動的応答解析に用いた.質量密度については, アスファルト舗装の質量を考慮し,2.46(ton/m³)としている. 減衰については,剛性比例減衰²⁾を用い,鋼部材は0.02,コンク リート部材は0.03としている.



路面の凹凸については、文献3)を参考にモデル化を行っ た.3mのプロフィルメータによる実測値から、MEM法を用 いてパワースペクトル密度を求めた.路面パラメータとISO 評価基準を適用したパワースペクトル密度関数を図一5 に示す.ここで、Ωは路面周波数(c/m)、αは路面の平坦性を 示す平滑度パラメータ、nは周波数によるパワーの分布を 示す指数、βはスペクトル密度が発散しないために分布形 状を考慮した変数である.ISO評価基準では、路面周波数Ω が1/(2π)のときのスペクトル密度の値で路面状態を5つ の状態に区分している.破線で区分される区間が各路面状 態の境界となっている.ISO評価基準を適用した結果、新設 橋梁であるため路面状態は極良であった.この路面パワー スペクトル密度で規定された路面凹凸を実路面として表 すために、サンプル関数を用い、モンテカルロシミュレーシ ョン⁴により推定した.



3.2 車両モデル

文献3)を参考に、車両のモデル化を行った.上図の路面凹 凸一橋梁モデルー車両モデルの連立微分方程式を逐次積分 することで接地力を求め、解析モデルに入力した.解法とし ては、Newmarkの β 法^{5,6} (β =1/6, γ =1/2)を用い、反復法で 解いている.その際、加速度の収束判定は0.001とした.一般に 車両による振動が橋梁に及ぼす影響として支配的なものは、 上下振動・ピッチング振動・ローリング振動とされている ⁷⁾.ここでは、上下振動・ピッチング振動を考慮した平面車両 モデルを採用した.参考文献8)を参考に、バネ上振動数が3Hz になるよう各パラメータを設定した(図—6).

前述した路面凹凸と共に,この車両モデルをサブルーチンに組み込み,節点の荷重増分として定義した.



図-6 車両モデルとパラメータ

4. 固有值解析

常時微動測定データから,ERAプログラムを用いて算出 された固有振動数と解析結果の比較を行った.高次の振動 モードまで正確に合わせるには,境界条件を適切に入力し なければならない.本橋の伸縮装置はフィンガージョイン トを用いているため,荷重支持式である.部材同士による水 平方向の摩擦抵抗が固有値に影響すると考えた.そこで,(1) 支承のみを考慮したモデルと,(2)伸縮装置の水平方向の摩 擦を考慮したモデルの2つのモデルを用いて固有値の検 討を行った.なお,両モデルとも橋軸方向回りの回転につ いては床版端部を拘束してある.**表一1**に固有値解析結果 を示す.

田右モード	固有振動	動数(Hz)
	解析值	実測値
曲げ逆対称1次	(1)1.921 (2)1.954	1.960
曲げ対称1次	(1)2.918 (2)2.984	3.015
曲げ逆対称2次	(1)6.577 (2)6.611	6.689
ねじれ逆対称1次	(1)6.859 (2)6.879	6.992
曲げ対称 2 次	(1)7.852 (2)7.884	7.762
ねじれ対称1次	(1)9.719 (2)9.744	9.809
tit -		

表—1 固有值解析結果

解析値(1):支承のみ 解析値(2):支承+伸縮装置

曲げモードの変位が両支間で異なるのは,支間長が異な ることと,対傾構間隔が異なるためである.(1)の支承のみ を考慮したモデルでは,実測値と比べて振動数が低い.特に 曲げ対称2次モード,ねじれ逆対称1次モードでは0.1Hz 以上の差が生じている.これは橋脚上の支承剛性を高くす ることで解消されるが,逆に曲げ対称2次の振動数が高く なってしまう.これに対して,伸縮装置を考慮したモデル(2) では,全体的に実測値に近づく結果となった.高次の振動モ ードになるほど,伸縮装置の影響による振動数の上昇は見 込めないことが分かる. 伸縮装置の摩擦抵抗を考慮することによって,より実測 値と整合したモデル化を行うことができた.劣化のパラメ ータとしては,伸縮装置の土砂詰まりが挙げられる.本橋は 新設であったため,土砂詰まりを生じては無かったが,これ を初期値として劣化時の検討を行うことが可能である.

5. 静的举動解析

5.1 概要

20トンのダンプトラックを計4台用いた静的載荷実験 において,着目断面である支間中央・中間支点上断面に 発生する応力と照査を行った.各照査位置については,上フ ランジ・ウェブ・下フランジ・合成床版底鋼版の計 10 箇所とした(図-7). △はひずみ計を示し,左右ウェブの ひずみ計設置位置は,ウェブを3等分した位置に溶接され てある.下フランジのひずみ計位置は端部から10mm,底鋼 版のひずみ計位置は端部から600mmの位置である.載荷 パターンは4パターンあり,図-8に床版支間中央に載荷 するパターン1-A について示す.



図-8 載荷パターン 1-A

5.2 解析結果

解析条件は,試験車の軸重・載荷位置など実測条件に従っている.試験車荷重は軸重測定結果を参照し,集中荷重で定義した.図-2の橋梁モデルに示すように,着目断面では要素を細かくし,解析の精度を上げている.ここではパターン 1-A との照査結果について示す.図-9に支間中央断面,図-10に中間支点上の応力勾配の照査,表-2 に合成床版底鋼板ひずみの照査を示す.

ひずみ勾配については,支間中央・中間支点上の両断面 とも同等な値であり,特に中間支点上断面において,実験値 と解析値が一致していることが分かる.L 側と R 側で勾配 が異なるのは,横断勾配,曲率,桁高のためである.図―9 に おいては,下フランジから 900mm の位置で勾配の傾きが 変化しているが,これは対傾構下弦材の影響である.

底鋼板ひずみはR側で差が大きく生じている.車両を集 中荷重で定義しているため,荷重直下の床版要素の計算値 は実測値と多少の差が生じると考えられる.その他の載荷 パターンにおいても同様に照査を行った結果,同等な値を 得た. 固有値解析との照査と、ここでの応力照査による剛性の バランスから、床版コンクリートのヤング率を算出した. その結果、ヤング率は 32000(N/mm²)とし、動的解析モデル に適用した.



図-10 パターン 1-A 中間支点上断面 応力勾配

(b) R 側ウェブ

表-2 パターン 1-A 底鋼板の応力

库鋼板ひずみゲージ位置	応力(N/mm ²)		
▲鋼板0 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	計算値	実測値	
S-L	-1.12	-1.363	
S-R	-3.008	-2.526	

6. 動的応答解析

(a) L 側ウェブ

6.1 概要

動的載荷実験において、レーザー変位計を用い、支承の変 位計測(橋軸・鉛直)を実施した.これにより、初期におけ る支承のバネ剛性・動的応答特性を把握した.

6.2 車両走行による支承の変位測定

測定した支承は,A1上のR側支承・A2上のL側支承である (図—11).両支承とも274.5×770×770 (mm)と同寸法で あり,免震支承(可動支承)となっている.橋軸方向におけ る計測点は,上沓から4cm下の支承側面,鉛直方向における 計測点は,支承から19cm手前の下フランジとした.

実験条件は,A2~P1間に静止した状態から走行を開始 し,P1~A1間の応答を確認する.試験車両は38トンのラフテ レーンクレーンを用いており,走行位置は床版支間中央,車 両の走行速度は時速10km,20km,30kmの3ケースである.

6.3 解析

解析条件はおおよそ実測条件に従っているが,車両走行 条件の初期状態はA2の手前から走行し,A2を通過するよう になっている.橋軸変位はバネ要素の位置で計測すること になるので節点が必要となる.そこで,支承バネと下フラン ジの間に上沓をモデル化し,節点を設けた.また,本支承は可 動支であるため,下沓は水平方向に自由度を持たせてある. 実験と同様にP1~A1間の応答を確認するため,伸縮装置の凹 凸は考慮していない.動的な照査を行う前に,試験車が A2~P1間に静止している際の支承変位と同位置で載荷した 解析結果を照査することによって支承のバネ剛性を算出し た.算出したバネ剛性を適用して解析を行った.以下に解析 結果を示す.

A1支承については,鉛直方向・橋軸方向共に解析値のほ うが大きく変位している.特に橋軸方向においては,約1.5倍 の変位量である.これは,実測と解析の車両発進条件が異な ることが要因である.A2支承の橋軸変位については,計測不 良のため照査ができなかった.

A2支承の変位については,解析値が若干大きいものの,ほ ぼ同等な変位量である.接地力の作用が支承から遠いた め,A2支承の振動は小さい.

この結果から,バネ剛性は妥当であることが言える.表-3 に算出したバネ剛性を示す.



橋軸方向

鉛直方向

図-11 支承計測状況



表---3 算出した支承バネ剛性

	支承 (A1・A2)		
鉛直剛性(N/mm)	1105000		
水平剛性(N/mm)	7000		

7. あとがき

着目断面における静的挙動・支承の動的応答・固有値との 照査の結果,解析モデルはほぼ全ての値と一致した.これに より,実橋梁の初期値を表す解析モデル化を行った.

今後は、劣化に要因するパラメータを変化させることで、 初期値にどの程度変化をきたすのかをシミュレーションす る、劣化パラメータとしては、路面劣化による凹凸数の増 加・床版劣化による剛性の低下などが挙げられる.表-4に 示すように、路面パワースペクトル密度のパラメータであ る α を変化させることで、現状態の「最良」から「最悪」 までの5区分による応答変化を確認することができる.しか し、路面の劣化を単体とするのではなく、路面劣化が進行す るとき、床版ではどの程度の劣化が進行しているのかを把 握し、解析を行っていく.

表一4 α值

状態	極良	良	普通	膨	極悪
α值	0.055	0.7	3	10	50

謝辞

本研究を行うに当たり,土木研究所寒地土木研究所およ び網走開発建設部には多大な御協力を頂きました.ここに 感謝の念を表します.本研究は平成17年度日本学術振興会 科学研究費補助金(課題番号 17560418 代表者 大島俊 之)の補助を受けて行われました.ここに感謝の念を表し ます.

参考文献

- 水野浩,木本輝幸,香川公昭,池田拡文,斉木浩二:鋼・コンクリート合成床版(SCデッキ)の曲線開断面箱桁への適用,第四講演論文集回床版シンポジウム,pp263-268,2004.11.
- 2) 大塚久哲:実践耐震工学,共立出版株式会社,2004.2.
- 橋梁振動研究会編:橋梁振動の計測と解析,技報堂出 版,1993.10.
- 宮武修,脇本和昌: 乱数とモンテカルロ法,森北出版,1978.
- 5) 中井博,小林治俊:土木構造物の振動解析(第2版), 森北出版,1999.
- 社団法人土木学会:動的解析と耐震設計第2巻動的解 析の方法,技報堂出版,1989.
- 7) 深田宰史:橋梁の動的な性能照査のための立体解析モデルの確立に関する研究,博士論文,1998.
- 株式会社加藤製作所:仕様書カトウラフタ ー,SS-500sp-V,仕様書No.38133001

図-12 時速30km 支承の動的応答照査