

## 斜角 47° を有する鋼道路橋の構造特性と動的応答評価

金沢工業大学大学院 学生員 ○原 弘行 金沢工業大学 フェロー 本田 秀行

**1. まえがき** 本研究の対象橋梁である T 橋は、K 都市圏内の高速道路ネットワークの利便性を促進する K 外環状線の山側幹線の一部である。本橋梁は図-1 に示すようにランプターミナルを設けているため、片側 3 車線の拡幅員かつ鋭角約 47° の全国的に珍しく非常に厳しい斜橋構造になっている。さらに河川条件により桁高が制限されているため上部構造は多主桁の直格子斜桁形式となっている。図-1 に上部構造、表-1 に設計概要を示す。

一般に斜橋は鈍角端に大きな正反力が生じ、鋭角端には小さな正反力または負反力が生じるために偏心载荷の場合だけでなく橋軸の中心载荷によっても主桁にねじりが生じ、最大曲げモーメントの位置も主桁の支間中央から鈍角端に寄る傾向がある。また、橋体が曲げと同時にねじりを受けるために曲げモーメントが打ち消されるので直橋に比べると曲げモーメントが減少するなどの特性をもっているが、このような斜橋の特性は支間が短く斜角が著しいほど明確に現れる事が分かっている。本橋梁は先に述べたように非常に厳しい斜橋構造である。さらに、桁高も制限されていて拡幅員で断面も一様ではない。そこで、本研究では本橋梁の具体的な挙動を調べるために実験と解析を行った。常時微動測定試験、砂袋落下衝撃試験の実橋実験および、静解析・固有値解析・車両走行による 3 次元動的応答解析を行った。

**2. 実験概要** 常時微動測定試験と砂袋落下衝撃試験を行った。砂袋落下衝撃試験では 40kg の砂袋を径間長の 1/4 点、1/2 点、3/4 点の幅員中央と偏心の計 9 ヶ所に約 1 m の高さから落下させることで本橋に鉛直加振、ねじれ加振の衝撃力を加えた。また、水平の振動測定は常時微動測定試験のみとした。本橋梁は斜橋のため鋭角端に負の反力(浮き上がり)が生じる恐れがある。よって対象橋梁の幅員両端の鋭角端(支承部直上)、幅員端部の中央、鈍角端(支承部直上)にサーボ型速度計を設置して振動特性を把握する事にした。

**3. 実験結果** 実験から表-2 に示すモードと減衰定数が得られた。斜橋の問題点は鋭角端と鈍角端で生じる反力の差異によるねじりであるが本橋でのねじりは 3 次振動数である。これは本橋がねじり剛性を強めるために分配横桁を 2 本設置して主桁同士で荷重を受ける構造にしたことによる。しかし、振動次数 1~3 より高次の振動次数 4 の方が卓越した事(図-2 参照)や、下流側 1/4 点を加振すると同側 3/4 点が加振点より振動が大きい事(逆も同様に加振点ではない対岸の点が大きく振動する事)より斜橋と版的挙動の疑問点があると言える。前者の疑問点は本橋の支間長に対し幅員が広い版式的挙動に成り易いからと思われるが、後者の疑問点は動的な挙動であるた

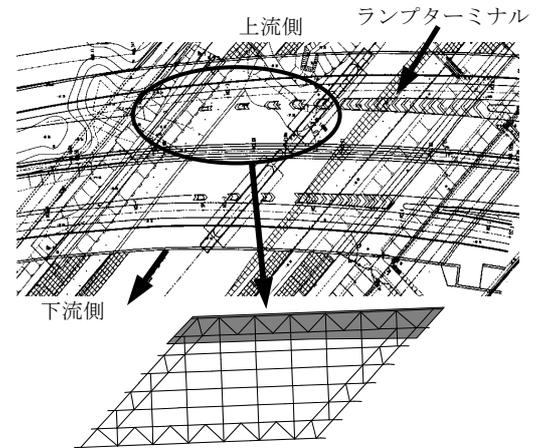


図-1 全体平面図と対象の上部構造

表-1 設計概要

橋長	67.300m	
径間長	32.600m+34.700m	
幅員	36.162m~42.052m	
斜角	47° 01' 40"	
活荷重	25(B)	
雪荷重	100kgf/m <sup>2</sup>	
上部構造	形式	鋼 2 径間単純非合成版桁橋
	鋼材	SM490Y
	床版コンクリート	$\sigma_{ck}=240\text{kg/cm}^2$
	鉄筋	SD295A

表-2 固有振動数と減衰定数

振動次数	振動モード	固有振動数 (Hz)		減衰定数
		実験値	解析値	
1	鉛直曲げ 1 次	3.81	3.81	0.014~0.021
2	水平曲げ 1 次	4.30	4.30	—
3	ねじれ 1 次	4.49	4.59	0.030~0.051
4	鉛直曲げ 2 次	8.50	8.75	0.013~0.014

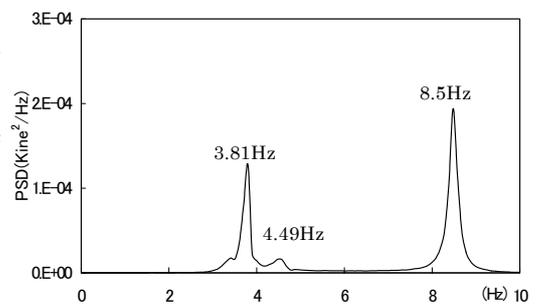


図-2 砂袋落下衝撃試験でのパワースペクトル

斜橋、実橋実験、振動特性、構造解析、動的応答解析

〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1 Tel. 076-248-9609 Fax. 076-294-6731

め動的応答解析で検討する必要がある。また、支点部での応答速度から浮き上がり挙動は認められなかった。

**4. 構造解析** 同定された実験値を基に固有値解析を用いて実橋と整合性を持った解析モデルを作成した。解析モデルに用いた各主桁、端対傾構、中間対傾構は三角関数で梁要素に換算し、床版についてはシェル要素（板要素）にした。歩道の剛性に関しては実験値との整合性からRCの歩道を非構造質量として扱った。積層ゴム支承に関しては道路橋支保便覧に基く計算を行い、安全側の設計を行っている事を考慮してせん断ばね定数を10倍にしたが、事前に固有値解析を行った後にばね定数を調整した。また、解析にはMSC/NASTRANを使用した。

**4.1 固有値解析** 解析の結果得られた固有値とその振動モードは図-3に示すとおりである。実験値と比較すると振動次数1、2の解析値に関しては良く整合しているといえる。

**4.2 静解析** 実験を想定した総重量20tfのトラックの载荷と斜橋の特性を考慮した静的载荷の解析を行った。全部で22の载荷ケースの解析を行った。右の図-4~6はその一例である。解析結果の反力では+が正反力、-が負反力となっている。この解析結果より鈍角端に大きな正反力、鋭角端に負反力が生じ、中心载荷であるにもかかわらず最大正たわみ(4.06mm)が中心から鈍角側にずれているうえに、最大負のたわみは鋭角端となっている。よって本橋梁がもつ斜橋の特性が認められた。しかし、1mmを超える負のたわみはどの载荷ケースにも認められず、実橋実験でも見られなかったことから浮き上がりの問題はないと言える。また、最大たわみが9台载荷ケースでの8.49mmとなったが主桁一本でトラック1/2台(10tf)を支えたときのたわみ量を単純梁のたわみの式： $Y=PL^3/48EI$ より算出すると約9mmとなる。床版の剛性を考慮しても9台载荷では小さい値である可能性があるためモデル化にはまだ改善の余地がある。

**4.3 走行車両による動的応答解析** 3次元車両モデルを本橋梁解析モデル上に走行させて応答変位・応答速度・応答加速度の結果を算出する有限要素法による計算を言語プログラムFORTRANによって行い、各算出点（着目点）について応答速度を示し、車両通過後減衰振動を利用してモードの同定を行い具体的な挙動を調べた。走行したラインは幅員両端部と幅員中央部の3ラインを使用した。解析例として幅員中央の走行ラインを30km/hで走行したときの下流側の応答速度を図-7に示す。車両は鋭角端側より時間に沿って鈍角端側へ走行しているにもかかわらず鋭角端の方が常に大きな応答速度を示している。これは斜橋の一般的な特性において鈍角端には大きな正反力、鋭角端には小さな正反力または負反力が生ずることより応答速度のエネルギーにおいても同様の事が生じているためと思われる。また、走行後のモード形状は固有振動数3.91Hzで鉛直曲げ1次を示した。

以上のことより本橋梁は斜橋の特徴的なねじりの挙動をしている可能性が高いと言える。しかし、固有値解析において1次振動数が鉛直曲げであることから2本の分配横桁が大きくねじり剛性に寄与し、斜橋におけるねじり変形を抑制していると思われる。

今後は複数車両走行による動的応答解析やねじり角による定量的な評価による検討を行う。

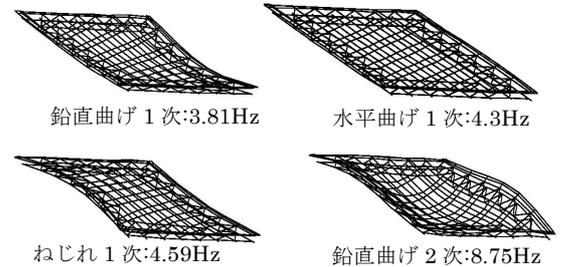


図-3 固有値解析結果

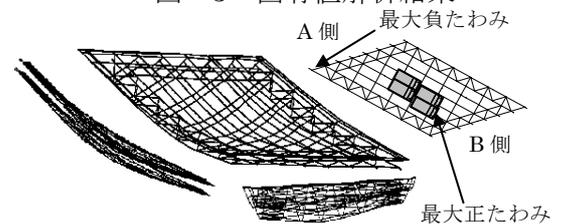


図-4 4台中央载荷

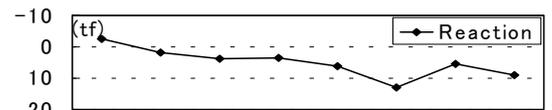


図-5 A側の反力(単位:tf)

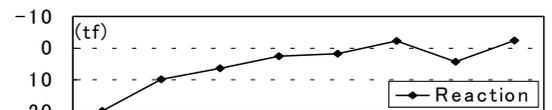


図-6 B側の反力(単位:tf)

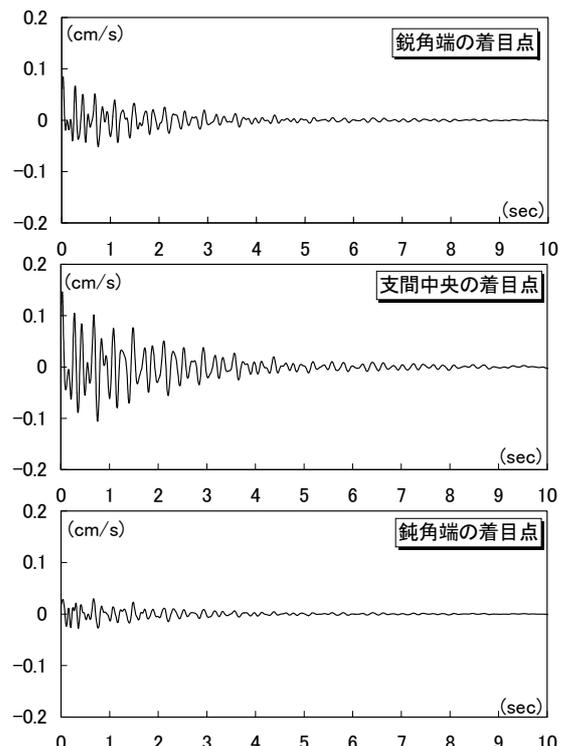


図-7 幅員中央 30km 車両走行で

の下流側の応答速度波形