

九年橋橋脚の固有振動数評価に及ぼす基礎工の影響について

岩手大学大学院 学生員 ○猪股 史貴
岩手大学工学部 正会員 岩崎 正二 大西 弘志 出戸 秀明
(株) 福山コンサルタント 正会員 宮村 正樹 春山 俊仁

1. はじめに

既設橋梁の新規更新は難しく、それら既設橋梁を維持管理しながらいかに延命化させるかが課題となっている。そのため既設橋梁の健全度調査が必要であり、それらの調査方法の中に衝撃振動試験がある。本論文では岩手県北上市にある九年橋の2主鈑桁橋脚を対象として重錘衝撃試験を実施し¹⁾、加速度計による振動応答から対象橋梁の固有振動数を推定した。それらの実測結果をもとに、地盤基礎工の影響を考慮した3次元フレーム解析による固有値解析結果および各部材の剛性低下等に伴う対象橋脚の固有振動数の変化等を検討することにより、九年橋橋脚の固有振動数に及ぼす基礎工の影響について解析的に検討する。

2. 対象橋梁および3次元フレーム解析モデルの概要

対象橋梁である岩手県北上市の九年橋は、橋長 334.00m の 17 径間単純鋼鈑桁橋である。A₁ 橋台から P₉ 橋脚までは、支間長 16.80m、幅員 7.45m、桁高 1.45m の 9 径間単純 2 主鈑桁橋（昭和 8 年架設）となっており、下部工形式は重力式橋台およびラーメン型橋脚、基礎工はケーソン基礎である。

本論文では、九年橋橋脚の固有振動数に及ぼす基礎工の影響について検討するため、昨年度に本橋梁で行った重錘衝撃試験において対象橋脚とした P₈ 橋脚を含む 2 主鈑桁橋の P₆ ~ P₉ 橋脚までの 3 径間について、汎用プログラム「UC-Win/FRAME (3D)」を用いて地盤基礎工を考慮した 3 次元フレーム解析モデルを作成した。図-1 に P₈ 橋脚の概要を、図-2 に P₈ 橋脚基礎工の N 値調査結果を示す。図-2 に示すように、対象橋脚のケーソン深さは 6800mm である。ケーソン天端から底面までは平均 N 値=28、ケーソン底面より深い地盤では平均 N 値=41 を用いて地盤ばね定数を算出した。なお、P₆、P₇ および P₉ 橋脚についても同様に地盤基礎の調査から得られた N 値を用いて地盤ばね定数を定めた。

解析モデルは、図-3 に示すようにケーソン基礎工の天端から底面までの各節点の拘束条件を地盤ばねとして 3 方向の水平ばねと回転ばねでモデル化した。また、解析における各部材の材料定数について、床版と橋脚コンクリートの圧縮強度およびヤング係数は、実橋のコア抜き取りによる圧縮強度試験の平均値である $f_{ck}=27.6\text{N/mm}^2$ 、 $E_c=2.68\times 10^4\text{N/mm}^2$ (床版)、 $f_{ck}=24.0\text{N/mm}^2$ 、 $E_c=2.5\times 10^4\text{N/mm}^2$ (橋脚) を用いた。

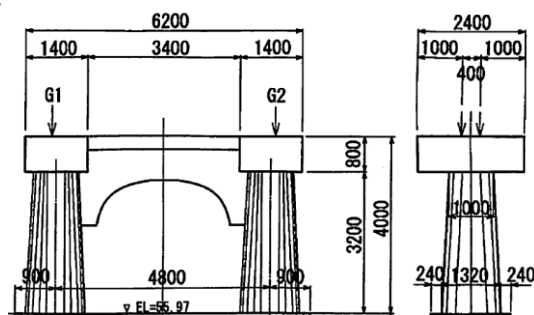


図-1 2主鈑桁 P₈ 橋脚概要 (単位: mm)

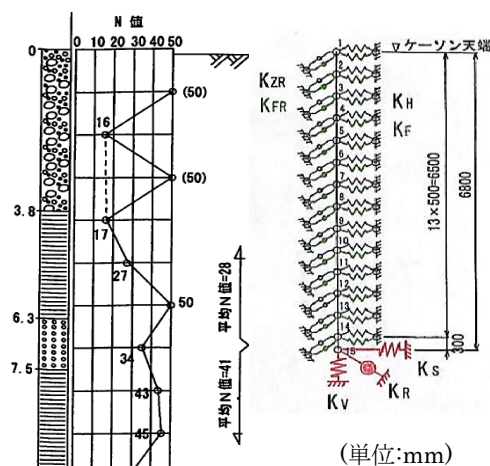


図-2 P₈ 橋脚基礎工および地盤ばねモデル概要

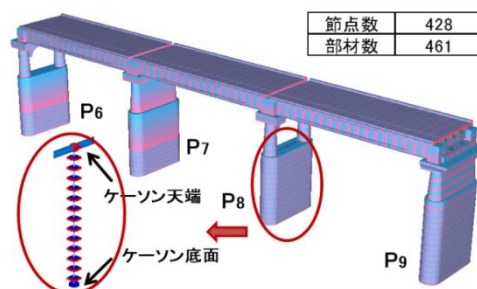


図-3 3径間フレーム解析モデル

キーワード：衝撃振動試験 ラーメン橋脚 ケーソン基礎工 固有値解析

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部 社会環境工学科 TEL 019-621-6436

3. 固有値解析結果と考察

実測値と解析値の比較結果を表-1 に示し、解析振動モード図を図-4 に示す。なお、実測固有振動数は昨年度の重錘衝撃試験結果¹⁾を用いた。固有値解析の結果、実測固有振動数と解析値では乖離が見られ、その影響は基礎固定の場合では橋脚 1 次が 171%(=11.6Hz/6.8Hz)、地盤ばねを考慮した場合には橋脚 1 次が 72%(=4.9Hz/6.8Hz)となり、地盤ばねを考慮することにより解析固有振動数は 11.6Hz から 4.9Hz まで低減されたが、地盤の影響は橋脚の 1 次振動数に大きな影響を及ぼすことが示唆された。また、図-4(2)に示すように上部工の面外曲げモードの影響を含む橋脚 1 次モードも確認され、これは実橋に対する重錘衝撃試験結果(40Hz)においても同様の傾向であった。このように、実橋では橋脚単独の振動性状を示すとは言い難く、上部工の振動特性も含まれることから、これらの影響を適切に除去して橋脚の固有振動数を同定することが重要であることが示された。

地盤ばねを考慮した橋脚の 1 次振動数については、図-5 に示すように、対象地盤の N 値調査結果から算出した地盤ばねの倍率を一律に 1000 倍程度まで増幅させることにより基礎固定の固有振動数に近似することがわかった。また、地盤ばねの倍率を 3.5 倍程度まで増幅させることにより実測の橋脚の 1 次振動数である 6.8Hz に近似したが、特にばね倍率 1~100 倍程度までは地盤ばねの変動により固有振動数も大きく変化することがわかった。

次に、表-2 に示すように下部工の剛性低下が対象橋脚の振動特性に与える影響について検討するため、地盤ばねを考慮した解析モデルの $P_6 \sim P_9$ 橋脚全体の曲げ剛性を初期値の 50%まで一律に低下させる感度解析を行った(100%が健全時)。この結果、橋脚の剛性低下に伴って、橋脚 1 次比べて 2 次の残存剛性率 $(f/f_0)^2$ が著しく低下することが確認された。このことから、橋脚の健全度評価時の指標として、橋脚 1 次だけではなく、2 次の固有振動数にも着目することが重要であることがわかった。

4. おわりに

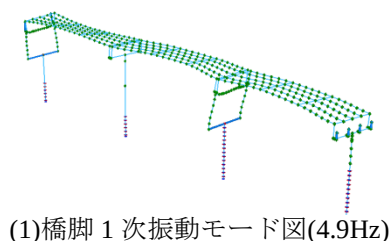
地盤基礎工の影響を考慮した解析モデルによる固有値解析によって、地盤ばねが対象橋脚の固有振動数や振動モードに与える影響を明らかにすることができた。特に地盤の影響は橋脚の 1 次振動数に大きな影響を及ぼすことが示された。

参考文献

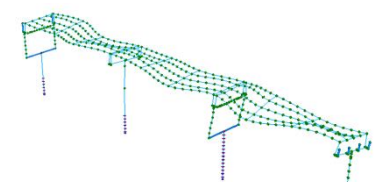
1) 猪股史貴，岩崎正二，出戸秀明，大西弘志，宮村正樹，杉澤康友：九年橋下部工橋脚への重錘衝撃試験と解析，土木学会東北支部技術研究発表会，I-17，2014.3

表-1 実測値と解析値の比較（下部工）

振動モード	実測固有振動数 (Hz)	解析固有振動数 (Hz)	
	重錘衝撃試験	基礎固定	基礎ばね考慮
1次	6.8	11.6 (171%)	4.9 (72%)
1次(上部工面外)	40.0	39.7 (99%)	36.1 (90%)
2次(同位相)	80.0	88.8 (110%)	88.9 (110%)
2次(逆位相)	125.0	127.2 (102%)	127.4 (102%)



(1)橋脚 1 次振動モード図(4.9Hz)

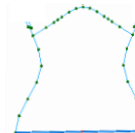


(2)橋脚 1 次振動モード図(36.1Hz)



(3)橋脚 2 次振動モード

同位相(88.8Hz)



(4)橋脚 2 次振動モード

逆位相(127.2Hz)

図-4 解析振動モード図（基礎ばね考慮）

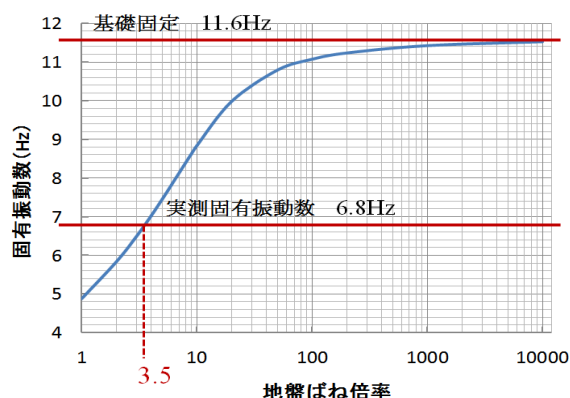


図-5 地盤ばね倍率と橋脚 1 次固有振動数の関係

表-2 橋脚の剛性低下に伴う固有振動数の変化

振動モード	剛性低下時における固有振動数 (Hz)			残存剛性率 $(f/f_0)^2$
	100%	70%	50%	
1次	4.9	4.7	4.6	0.88
1次(上部工面外)	36.1	34.8	33.3	0.84
2次(同位相)	88.8	80.0	75.9	0.72
2次(逆位相)	127.2	112.3	100.5	0.62