模型実験を用いた衝撃振動試験による橋脚基礎の減衰定数の評価

鉄道総合技術研究所　正会員　○生井貴宏，佐名川太亮，西岡英俊，上野慎也

１．はじめに

橋梁や高架橋といった土木構造物において，振動特性である固有振動数や減衰定数は，構造物の挙動を把握する上で重要なパラメータとなっている．鉄道構造物では，橋脚基礎の維持管理[1)]として，一般的に衝撃振動試験により得られた固有振動数を用いた健全度診断手法[2)]が実施されている．しかしながら，減衰定数を健全度判定指標として用いることができるかどうか検討された事例はない．減衰定数を指標とすることができれば衝撃振動試験による健全度評価法の高度化につながる可能性があると考える．そこで本研究では，実構造物の 1/10 スケールの橋脚模型を製作し，衝撃振動試験結果から減衰定数を評価することが可能か検討した．

２．衝撃振動試験から減衰定数の評価法

衝撃振動試験法は，橋脚の上部を 30kg 程度の重錘で線路直角方向に打撃し，橋脚を減衰自由振動させて得られる波形をフーリエ解析することによって，固有振動数を求める方法である．IMPACT システム[3)]では，打撃により励起される応答速度を計測しており，理論上は打撃の瞬間に速度が最大となるが実際には打撃により橋脚にエネルギーが与えられる時間は存在するため，経験的に打撃後の振幅が最大値の 25%を越えた点からのデータをフーリエ解析の対象範囲としている（**図１**）．

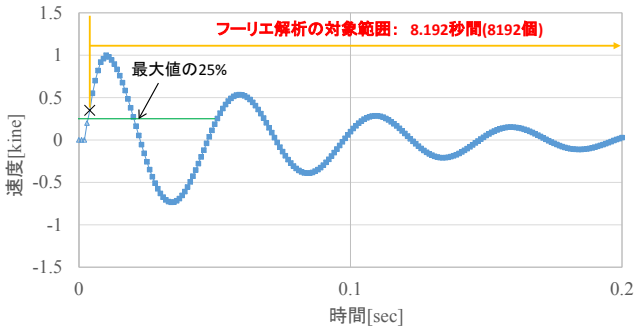

図１　フーリエ解析の対象範囲

次に，本論文で実施した衝撃振動試験結果を基にした減衰定数の算出方法を示す．

1 自由度系における減衰自由振動の運動方程式は次のように表せる．

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \tag{2.1}$$

ここで，x：変位(m)，c：減衰係数(kN/(m/sec))，k：ばね定数(kN/m)である．

さらに両辺を m で除すると k/m と c/m をそれぞれ式(2.2)，(2.3)とおけば，(2.1)の運動方程式は(2.4)のように表せる．

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2 \tag{2.2}$$

$$\frac{c}{m} = \frac{c}{2\sqrt{mk}}\sqrt{\frac{k}{m}} = 2h\omega_0 \tag{2.3}$$

$$\ddot{x} + 2h\omega_0\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \tag{2.4}$$

ここで，h:減衰定数，ω_0：固有円振動数(rad/sec)，x:変位(m)である．

通常の土木構造物の減衰定数 h は $h<1$ といわれているため[4)]，(2.4)の微分方程式の解は，次のような式に近似される．

$$x = Ae^{-h\omega_0 t}\cos(\omega_d t - \phi) \tag{2.5}$$

$$\omega_d = \omega_0\sqrt{1-h^2} \tag{2.6}$$

ϕ:初期位相差[rad]，ω_d：減衰固有円振動数(rad/sec)である．

減衰定数が 1 よりも十分に小さければ 減衰固有振動数 ω_d と固有振動数 ω_0 は同じ値とみなせるため，(2.5)の解は次のように表される．

$$\omega_d \approx \omega_0 \tag{2.7}$$

$$x = Ae^{-h\omega_0 t}\cos(\omega_0 t - \phi) \tag{2.8}$$

$$x = Ae^{-h\omega_0 t}\cos(\omega_0 t) \tag{2.9}$$

本研究では，模型実験で得られたフーリエ振幅スペクトルに対し，式(2.9)から求められる結果をフィッティングすることで，減衰定数の同定を試みた．

３．橋脚模型及び実験概要

橋脚模型は，**図 2** に示すような実物大の約 1/10 で，幅 600mm，奥行 600mm，橋脚高さ 2,000mm（基礎部 1,200mm）の質量が約 1,000kg の井筒橋脚（単線）模型とした．土被りの厚さは 1,000mm として，橋脚模型上部に約 120kg の支点反力の桁を架設した場合とそれと同程度の約 120kg の質量を付加した状態で衝撃振動試験を実施し

キーワード　衝撃振動試験，固有振動数，減衰定数
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　鉄道総合技術研究所　TEL　042-573-7261

た.

衝撃振動試験では一般的に，10 回打撃した結果を平均化することで S/N 比を向上させる．この 10 回の打撃において重錘等による橋脚に与えるエネルギーにはバラつきがあり，固有振動数については大きな差異はないことが経験的には知られているが，減衰定数についても同様であるか検討された事例はない．そこで，本実験では，ハンマーを用いて衝撃振動試験を実施し，減衰定数のバラつきについて確認した．

5. 試験結果

各試験条件において，10 回の衝撃振動試験を実施して得らえたフーリエスペクトルの全波形と平均値に対してフィッティングした結果を**図 3**，**4** 示す．なお，試験ごとに橋脚に与えるエネルギーが異なるため，フーリエ振幅スペクトルは正規化して示した．また，減衰定数と固有振動数のバラつきを**表 1**，2 示す．

約 120kg の質量の付加時は，減衰定数は 11.7%で標準偏差も 0.6%となり 10 回の衝撃振動試験結果に大きな差異は無いことが確認できた．また，**図 3** からフィッティング結果が実際のフーリエ振幅スペクトルの形状を適切に捉えていることが確認できる．(約 120kg の)桁架設時は，減衰定数が 13.7%，標準偏差が 1.9%となったが，フィッティング結果は，**図 4** に示すように 実際のフーリエ振幅スペクトルを適切に再現できていない．これは，隣の卓越している振動モードの影響を受け，フーリエ振幅スペクトル形状が固有振動数に対して非対称な形状となっているため考えられる．

6. まとめ

衝撃振動試験結果を用いて，減衰定数を同定できることが確認できた．しかしながら，橋脚の固有振動数の近傍に他の振動モードが存在する場合の影響については，分析・検証をする予定である．

参考文献

1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)基礎構造物・抗土圧構造物，2007
2) 西村他：既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究，鉄道総研報告書，1989
3) 羽矢他：河床が低下した鉄道河川橋梁下部構造物の健全度診断，土木学会論文集 A，2009
4) 山口：構造振動・制御，共立出版，1996

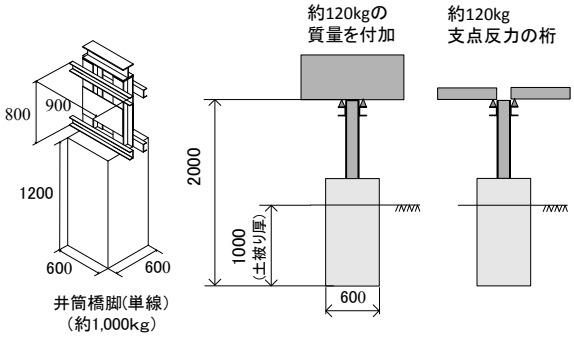

図 2 橋脚模型の概要

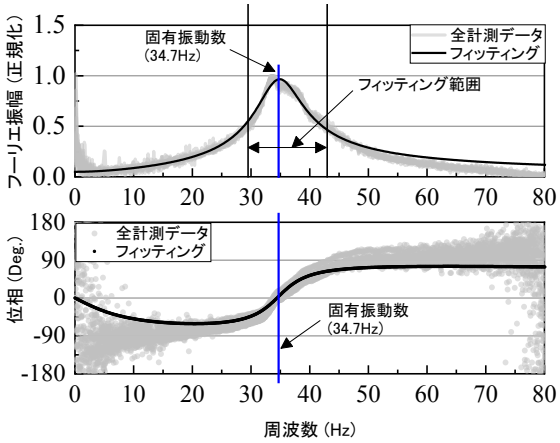

図 3 フィッティング結果（質量 120kg を付加）

表 1 固有振動数と減衰定数のバラつき
（質量 120kg 付加）

	固有振動数	減衰定数
平均値	34.7Hz	11.7%
標準偏差	0.6Hz	0.6%

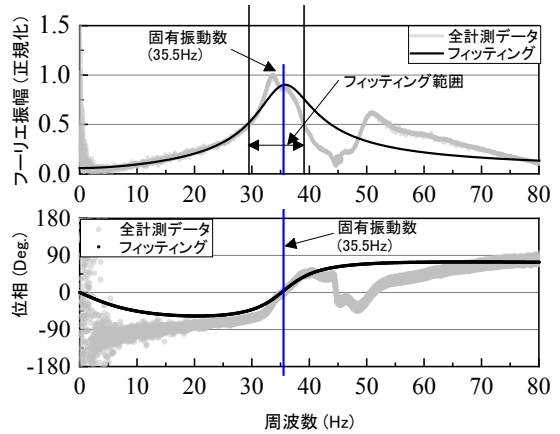

図 4 フィッティング結果(120kg 支点反力の桁)

表 2 固有振動数と減衰定数のバラつき
(120kg の桁架設)

	固有振動数	減衰定数
平均値	35.5Hz	13.7%
標準偏差	0.3Hz	1.9%