

I-491

剛体基礎で支持される道路橋橋脚の地下逸散減衰の評価

清水建設 技術研究所（正会員） 若原 敏裕

建設省土木研究所（正会員） 川島 一彦

1. ま え が き： 本研究は、剛体基礎で支持される道路橋橋脚の地下逸散減衰に対して解析的な検討を行い、地下逸散減衰による橋脚・基礎系の減衰特性を基本固有周期に対応する等価モード減衰定数として評価したものである。通常の耐震設計で考えられる範囲の橋脚断面、橋桁重量、基礎形状および地盤条件を考慮した540ケースの数値解析結果から、地下逸散減衰の簡易算定式を提案した。

2. 解 析 方 法： 本研究における解析方法は、橋梁の減衰特性に及ぼす波動逸散の影響を厳密に考慮するため、弾性波動論による基礎・地盤系の動的ばね係数および減衰係数を考慮した複素応答解析法である¹⁾。図1に解析の対象とした橋脚・基礎系の解析モデルを示す。解析モデルに対する振動方程式は、

$$[M_t]\{\ddot{u}_t\} + [C_t]\{\dot{u}_t\} + [K_t]\{u_t\} = -[M_t]\{u_t^{eff}\} \quad (1)$$

と表される。ここに、 $[M_t]$ は橋脚・基礎系の質量行列である。また、 $[K_t]$ および $[C_t]$ は、橋脚・基礎系の剛性行列と減衰行列を表し、それぞれ振動数依存性を有する基礎・地盤系の動的ばね係数および減衰係数¹⁾を含めたものとなっている。また、 $\{u_t\}$ および $\{u_t^{eff}\}$ は、

$$\begin{aligned} \{u_t\} &= \{u_1 \quad u_0 \quad \phi_0\}^T \\ \{u_t^{eff}\} &= \{0 \quad u^{eff} \quad \phi^{eff}\}^T \end{aligned} \quad (2)$$

である。(2)式中の u^{eff} および ϕ^{eff} は、剛体基礎重心における有効地震動を表している²⁾。入力地震動に対する橋脚・基礎系の周波数伝達関数は、有効地震動の水平成分 u^{eff} だけが入力される場合とその回転成分 ϕ^{eff} だけが入力される場合

の2つが考えられる。しかし、一般に有効地震動の水平成分の方が回転成分に対して卓越することから、ここでは、有効地震動の水平成分 u^{eff} に対する橋脚・基礎系の周波数伝達関数 $H^x(i\omega)$ を考えることにした。橋脚・基礎系の n 次モードに対する地下逸散減衰定数 $h_{n_r}^{(act)}$ は、周波数伝達関数の絶対値 $|H^x(i\omega)|$ が、橋脚・基礎系の固有円振動数 ω_n の近傍において、極大値 $L_{n_{max}}^{(act)} = |H_{n_{max}}^x(i\omega)| = 1/2h_{n_r}^{(act)}$ をとることから、次式で求めることにした。

$$h_{n_r}^{(act)} = 1/2 L_{n_{max}}^{(act)} \quad (3)$$

なお、地下逸散減衰だけによる橋脚・基礎系の等価モード減衰定数を求めることを目的としているため、周波数伝達関数 $H^x(i\omega)$ を求める際の橋脚自身の内部減衰は無視することにした。また、この場合の橋脚・基礎系の固有周期 $T_{n_r}^{(n=1,2)}$ は、(1)式において減衰項を無視した非減衰自由振動の振動方程式に対する固有値解析から求めることができる。ただし、この場合の動的ばね係数は静的状態の値を採用した。

3. 解 析 結 果： 図2および図3は、橋脚・基礎系の固

有周期 T_{n_r} と固有周期に対する地下逸散減衰の等価モード減衰定数 $h_{n_r}^{(act)}$ を表したものである。図2および図3中の T_1 は基礎固定時の橋脚の固有周期であり、 T_g は地盤の卓越周期である。

図2より、基礎固定時の橋脚の固有周期 T_1 に対する地盤の卓越周期 T_g の長周期化に伴い、橋脚・基礎系の固有周期 T_{n_r} は長周期化し、1次固有周期の場合は橋脚の水平振動が卓越するモードから基礎のロッキング振

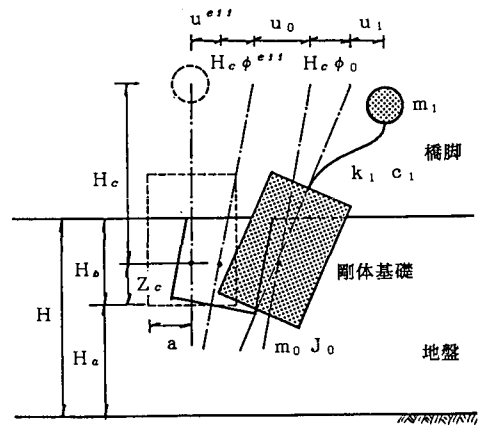


図1 解析モデル

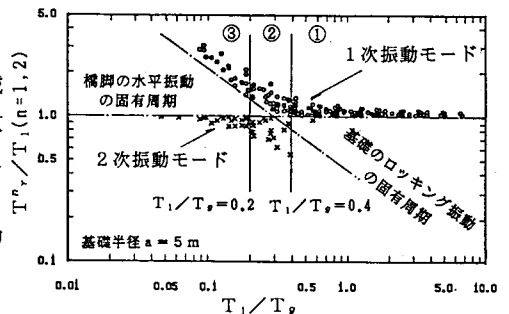


図2 $T_{n_r}/T_1 (n=1,2)$ と T_1/T_g の関係

動が卓越するモードに推移する。また、2次固有周期の場合は基礎のロッキング振動が卓越するモードから橋脚の水平振動が卓越するモードに推移する。

図3より、基礎固定時の橋脚の固有周期 T_1 に対して橋脚・基礎系の1次固有周期 T^1_r が長周期化するほど、地下逸散減衰定数 $h^1_r(sect)$ は増加し、また、2次固有周期に対する場合は、基礎固定時の橋脚の固有周期 T_1 に対して橋脚・基礎系の2次固有周期 T^2_r が短周期化すると地下逸散減衰定数 $h^2_r(sect)$ が増加する。

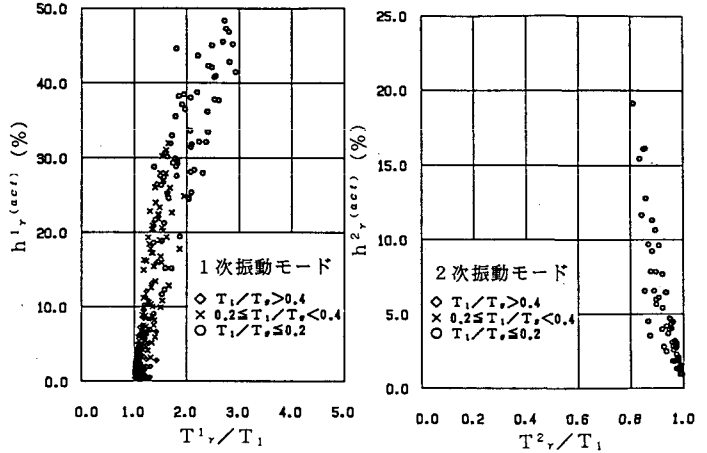


図3 $h^r(sect)$ と T^r_r/T_1 の関係

4. 地下逸散減衰の算定式: 3.の解析結果に基づき、橋脚・基礎系の地下逸散減衰定数 $h^r_r(sect)$ の算定式について検討した。地下逸散減衰定数 $h^r_r(sect)$ の回帰式として次式を仮定する。

$$h^r_r(sect) = c_n \Delta^n_r e^n \quad (\%) \quad (4)$$

$$\Delta^n_r = \begin{cases} T^1_r/T_1 - 1 & (n=1; 0.0 < \Delta^1_r < 2.0, T^1_r < T_g) \\ 1 - T^2_r/T_1 & (n=2; 0.0 < \Delta^2_r < 0.2, T^2_r < T_g) \end{cases} \quad (5)$$

である。(5)式に対する回帰分析により回帰係数 c_n 、 e_n および相関係数 γ_n を求めると表1に示すような結果となる。ただし、地下逸散減衰の効果が期待できない $T^r_r > T_g$ の範囲にある地下逸散減衰定数 $h^r_r(sect)$ の値は、回帰分析の際に除くものとした。図4は、回帰式で求められる地下逸散減衰定数 $h^r_r(sect)$ と数値解析による周波数伝達関数から求められる地下逸散減衰定数 $h^r_r(sect)$ を説明変数 Δ^n_r に対して表したものである。

表1 回帰分析の結果

モード次数	回帰係数 c_n	回帰係数 e_n	相関係数 γ_n	最大値 $h^r_r(sect)$	標準偏差 σ_n
1次モード	26.20	0.86	0.837	50.0 (%)	5.208
2次モード	51.07	0.86	0.929	25.0 (%)	2.955

いま、回帰係数 c_n を、 $h^r_r(sect) = h^r_r(max)$ において $\varepsilon_n = |h^r_r(sect) - h^r_r(sect)|$ に関する標準偏差 σ_n だけ安全側の値に修正したものを考えれば、地下逸散減衰定数の簡易算定式として次式を提案できる。

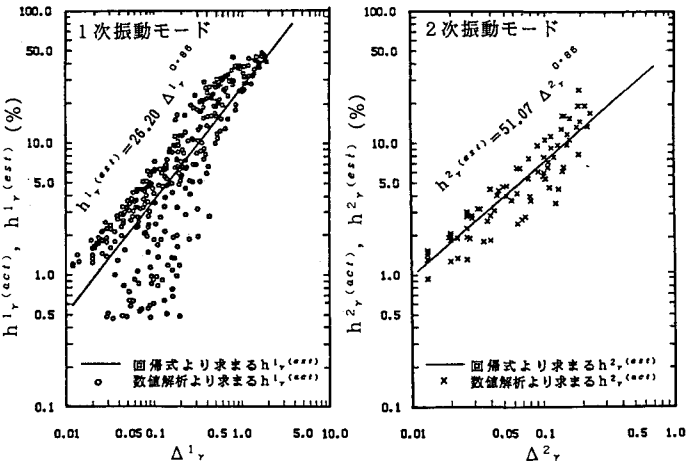


図4 $h^r_r(sect)$ と Δ^n_r の関係およびその回帰式

$$<1次モード> h^1_r(sect) = 23.0 \cdot \Delta^1_r^{0.86} \quad (6) \quad <2次モード> h^2_r(sect) = 46.0 \cdot \Delta^2_r^{0.86} \quad (7)$$

5. あ と が き: 本研究は、建設省土木研究所に部外研究員として在籍した期間における研究成果である。

参考文献

- (1) 原田隆典、久保慶三郎、片山恒雄、廣瀬利光: 地中円筒剛体基礎の動的ばね係数と減衰係数、土木学会論文報告集 No.339、1983年。
- (2) 原田隆典、久保慶三郎、片山恒雄: 有効地震動の計算式とその実測例による検討、土木学会論文報告集 No.362/1-4、1985年。