

多点入力系高橋脚橋の動的相互作用を考慮した地震応答解析

京都大学 正員 山田善一 岡山大学 正員 竹宮宏和
 鹿児島大学 正員 河野健二 大阪府 正員 〇平野 明

1. まえがき 比較的長い径間を有する高橋脚橋が、軟弱な地盤上に基礎をもつ場合、軟弱な表層を伝播する地震波の波長が、橋長程度にまで短くなることが考えられる。このような場合、橋脚間における入力位相差の影響は大きくなると考えられる。したがって、本研究ではこのような状況下にある高橋脚橋を地盤-構造物の動的相互作用を考慮した多点入力系としてとり扱い、入力の位相差が構造物の地震応答特性に及ぼす影響について検討した。

2. 解析手法 本研究では、Fig.1 に示すように2層3径間の高橋脚橋をモデルとして用いる。モデルの諸定数は本四番ノ洲高架橋の設計案に準じた。相互作用系において、ケーソン基礎は高さ25 m、等価半径17 mであり、せん断波速度が150 m/s～250 m/s程度の軟弱な表層に20 m根入れされており、底部はせん断波速度が400 m/s程度の支持層に接している。

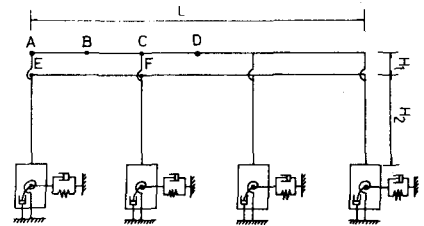


Fig.1 Soil-Footing-Structure System

1) 入力地震動 基盤内を橋軸方向に伝播するSH波において、加速度のパワースペクトル密度関数を(1)式のように考える。さらに、表層の振動特性を導入すると入力加速度のパワースペクトル密度関数は(2)式で与えられる。

$$G_B(\omega) = \frac{1 + (2\zeta_g \omega / \omega_g)^2}{\{1 - (\omega / \omega_g)^2\}^2 + 4\zeta_g^2 (\omega / \omega_g)^2} S_0 \quad \text{----- (1)} \quad G_S(\omega) = \frac{G_B(\omega)}{\cos^2 \lambda + \zeta^2 \sin^2 \lambda} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $\zeta = (\rho_1 G_1 / \rho_2 G_2)^{1/2} (\cos \alpha_1 / \cos \alpha_2)$ 、 $\lambda = \omega \cos \alpha_1 H / v_{s1}$ である。Wiener-Khintine 関係式により自己相関関数をもとめ、地表における入力波の遅延時間 τ_0 を導入すると(3)式となる。

$$R(\tau) = A \exp[-\zeta_g \omega_g (\tau + \tau_0)] \{e_1 \cos \omega_g (\tau + \tau_0) + e_2 \sin \omega_g (\tau + \tau_0)\} \quad \text{----- (3)}$$

2) 相互作用系 地盤-構造物の動的相互作用の導入はサブストラクチャー法を用いて行う。上部構造物の運動方程式(4)と地盤-基礎系の運動方程式(5)を境界面での連続条件によって接合すると、全体系の運動方程式が(6)式のように得られる。添字a, b, f は各々、自由節点、境界節点、基礎を表す。

$$[M_{aa}]\{\ddot{x}_a\} + [C_{aa}]\{\dot{x}_a\} + [K_{aa}]\{x_a\} = -[M_{aa}][\beta]\{\ddot{x}_b\} \quad \text{----- (4)}$$

$$[M]_f\{\ddot{x}_f\} + [C]_f\{\dot{x}_f\} + [K]_f\{x_f\} = -[M]_f\{\ddot{x}_g\} + [\alpha]\{R\} \quad \text{----- (5)}$$

$$[M]_{\text{comp}} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_a \\ \ddot{x}_f \end{Bmatrix} + [C]_{\text{comp}} \begin{Bmatrix} \dot{x}_a \\ \dot{x}_f \end{Bmatrix} + [K]_{\text{comp}} \begin{Bmatrix} x_a \\ x_f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} [F]_f \{\ddot{x}_g\} \\ [F]_b \{\ddot{x}_g\} \end{Bmatrix} \quad \text{----- (6)}$$

ここに、 $[\alpha]$, $[\beta]$ は変位影響マトリクス、 $\{R\}$ は地盤からの相互作用力である。(6)式を規準座

標系に変換し、上部構造については自由度の低減を行う。本研究では不規則振動論を用いているので応答は共分散マトリクスの形で評価する。また、同位相入力に基づく応答スペクトルとの関連から、多点入力系でも各々のモード応答が(7)式のようにもとめられる。

$$E[\xi_s(t)\xi_s(t)] = \sum_{j=1}^N \beta_{sj}^2 \sigma_{\xi_j}^2 + 2 \sum_{j,k=1 \atop (j \neq k)}^N \beta_{sj} \beta_{sk} \sigma_{\xi_j} \sigma_{\xi_k} \quad \text{----- (7)}$$

ここに、 β_{sj}, β_{sk} は Modal Participation Factor、 $\sigma_{\xi_j}, \sigma_{\xi_k}$ はそれぞれ同一点入力および二つの異なる入力点に対応する RMS 応答である。

3. 解析結果 解析は橋軸直角方向について行った。Fig.2は(7)式のモード応答の位相差による影響を係数 β の形で示したものであり、 $\tau_{T1}=0.1, 2, 3$ 付近での1次モードの卓越がみられる。Fig.3およびFig.4は上段桁上の節点A,Dにおける規準化されたRMS応答を示したものであり、橋脚基礎固定の場合、節点Dの応答は1次の β とよく似た変動を示している。Fig.5およびFig.6は上段桁全体の変位応答形状を示したものであり、これによって各位相差における卓越モードの振動波形が応答形状に反映していることがわかる。これらの解析結果を要約すると次のようになる。

(1) 多点入力系では位相差により卓越モードが異なる。同位相入力では1次モードが卓越するが位相差によっては高次モードが卓越する可能性があり、位相差と卓越モードの関係が応答特性に及ぼす影響が大きい。(2) 橋脚基礎固定の場合、側方径間で位相差入力の方が応答が大きくなる可能性があるが、中央径間では同位相入力の方が最大値を与える。一方、相互作用系では同位相入力によっても安全側または位相差入力による最大値と同程度の応答が得られる。(3) 表層地盤のフィルター効果は同位相入力の場合と同程度であり、入力位相差の変化による応答の変動にはあまり顕著な影響を与えないようにおもわれる。

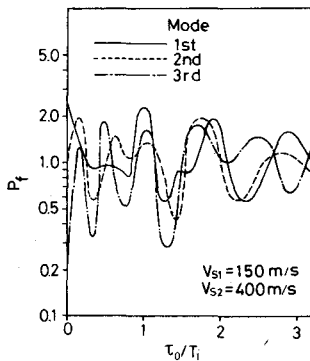


Fig. 2

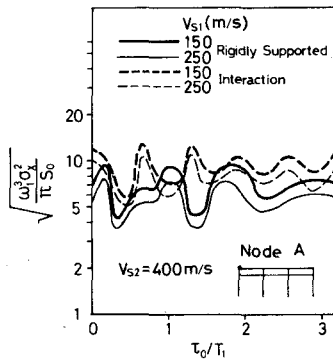


Fig. 3

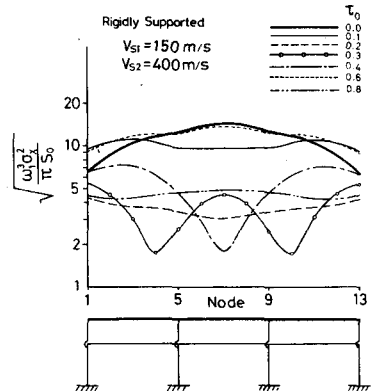


Fig. 5

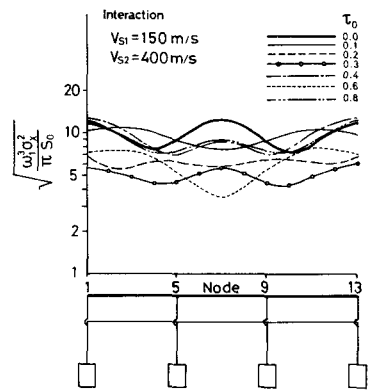


Fig. 6

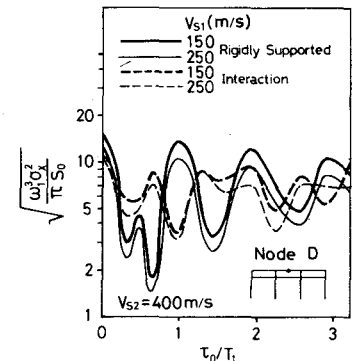


Fig. 4