

建設省土木研究所

正員 荒川直士

建設省土木研究所

正員 川島一彦

○富士通エフアイビー(株) 正員 浅田博司

1. まえがき

構造物の耐震設計においては、一般に地震動は基盤より同位相で入力するとして解析されるが、構造物の長大化に伴って、入力の位相差を考慮した多入力解析が必要となってくる。本小文では、2点で異なる地震動を与えた場合の1質点系の応答(マルチサポート応答スペクトル)により、多入力の影響を同一の入力が作用した場合との比較で検討するものである。

2. 多入力応答スペクトル解析方法

多入力系の運動方程式は、系の絶対変位 $\underline{U}$ を動的変位 $\underline{U}_d$ と凝静的変位 $\underline{U}_s$ に分けると次式で与えられる。

$$\underline{M} \ddot{\underline{U}}_d + \underline{C} \dot{\underline{U}}_d + \underline{K} \underline{U}_d = -\underline{M} \ddot{\underline{U}}_s = \underline{M} \underline{K}^{-1} \underline{K}^b \ddot{\underline{U}}_s \quad (1)$$

ただし、 $\underline{M}$, $\underline{C}$, $\underline{K}$ は系の質量マトリックス、減衰マトリックス、剛性マトリックス

$\ddot{\underline{U}}_d$, $\dot{\underline{U}}_d$, $\underline{U}_d$ は系の動的な絶対応答加速度、速度、変位

$\ddot{\underline{U}}_s$, $\ddot{\underline{U}}_s^b$, $\underline{K}^b$ は系の凝静的な絶対応答加速度、基盤での地震動、基盤～系間の剛性マトリックスを表す。

ここで、図-1に示すような2つの支えA, Bで異なる地震動 $\ddot{u}_{gA}$, $\ddot{u}_{gB}$ が作用する1質点系の応答を考える。この場合には、式(1)で $\ddot{\underline{U}}_s^b = \{\ddot{u}_{gA}, \ddot{u}_{gB}\}$, $\underline{K} = k_A + k_B$, $\underline{K}^b = \{-k_A, -k_B\}$ となるので式(1)は次のように表わせる。

$$m \ddot{u}_d + C \dot{u}_d + (k_A + k_B) u_d = -\frac{m}{k_A + k_B} (k_A \ddot{u}_{gA} + k_B \ddot{u}_{gB}) \quad (2)$$

式(2)より、図-1の応答はA, B両地盤の地震動をばねの剛性で比例配分した入力 $\frac{k_A \ddot{u}_{gA} + k_B \ddot{u}_{gB}}{k_A + k_B}$ に対する応答を計算することになる。したがって、 $\gamma \equiv k_B/k_A$ なるパラメータを導入し、系の固有振動数を ω_0 とおくと ($\omega_0 = \sqrt{(k_A + k_B)/m}$) 式(2)は次式となる。

$$\ddot{u}_d + 2\zeta\omega_0 \dot{u}_d + \omega_0^2 u_d = -\left(\frac{\ddot{u}_{gA} + \gamma \ddot{u}_{gB}}{1 + \gamma}\right) \quad (3)$$

いま、式(3)を解き、加速度応答スペクトル S_A^{AB} を次式で定義する。

$$S_A^{AB}(\tau) = |\ddot{u}_d + \ddot{u}_s| = \left| \ddot{u}_d + \frac{\ddot{u}_{gA} + \gamma \ddot{u}_{gB}}{1 + \gamma} \right|_{\max} \quad (4)$$

3. 試算例

入力地震動には、伊豆半島東方沖地震(1980.6.29, $M=6.7$), 東京都北部地震(1980.9.24, $M=6.0$)の際に、図-2に示す土木研究所構内の地震観測システムで南北方向に100m離れた2地盤で同時観測されたEW成分記録を用いた。それぞれの加速度波形を図-3, 4に示す。

図-3, 4に示した記録をもとに、 $\gamma=1.0$ として式(4)から2点に異なる入力が作用した場合の応答スペクトル S_A^{AB} を計算すると図-5, 6のようになる。ここで、同図中には2支えにともに $\ddot{u}_{gA}$ が作用した場合 (S_A^{AA}) と $\ddot{u}_{gB}$ が作用した場合 (S_A^{BB}) の両者(すなわち、一般の加速度応答スペクトル)も示されている。いま、スペクトル比 S_A^{AB}/S_A^{AA} , S_A^{AB}/S_A^{BB} を求めると図-7, 8のようになる。これによれば、スペクトル比が1.0以上になる周期も一部にあるが、全体としては1よりも小さく、2点で異なる入力が作用した場合の加速度応答スペクトルは同一の入力が作用する場合に比較して小さい応答を示している。

また、A, B両支えに作用するせん断力(バースシャー)の比 ξ (多入力/同位相入力)を図-9, 10に示す。ここで、図中 ξ の右上は同位相の入力、右下はバネ位置を表わしている。いずれも0.4秒付近を境に長周期では0.5~2.0の値を示し、短周期では急激に大きな値となっている。これは、短周期の場合、多入力系では

動的変位 U_d によるせん断力より擬静的変位 U_s によるせん断力の方が大きく、これが長周期になるに従って、 U_d によるせん断力が大きくなり、 U_s の影響が小さくなっていくためと考えられる。

参考文献 大久保忠良他：土木研究所における高密度強度観測・・・，才13回UJNR，1981

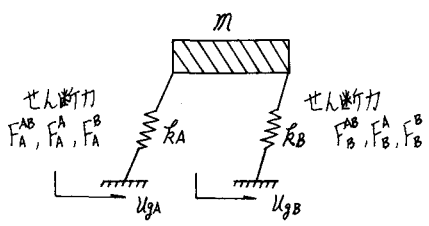


図-1 マルチサポート応答スパクトル

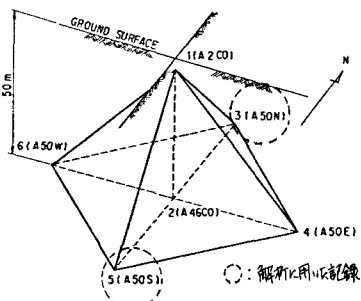


図-2 解析に用いた記録採取点

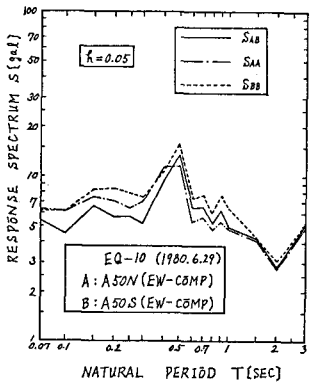


図-5 加速度応答スパクトル(伊豆半島東方沖)

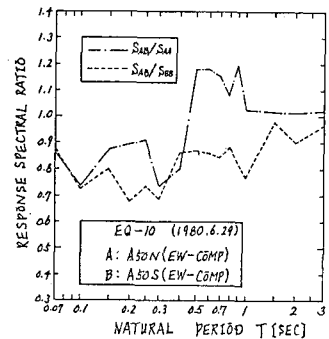


図-7 スパクトル比(伊豆半島東方沖)

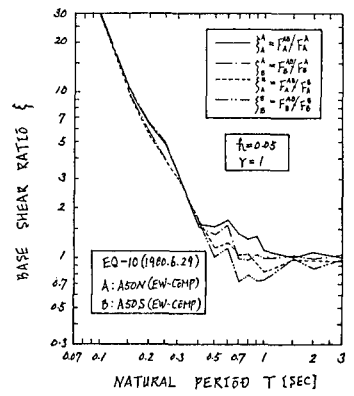


図-9 せん断力比(伊豆半島東方沖)

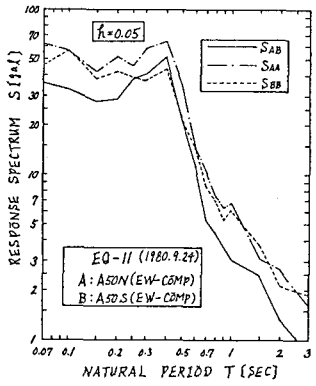


図-6 加速度応答スパクトル(東京都北部)

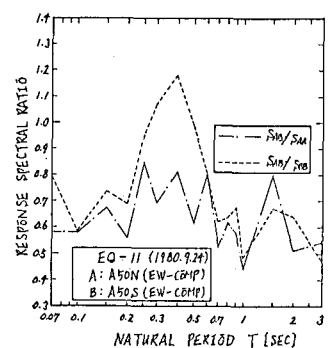


図-8 スパクトル比(東京都北部)

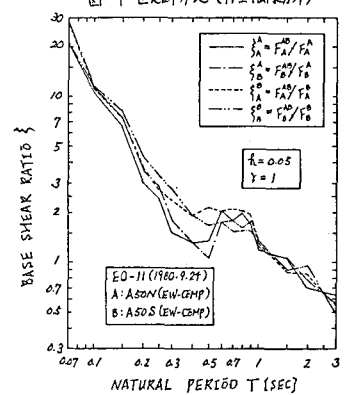


図-10 せん断力比(東京都北部)