

東京大学大学院

学生員 ○原田隆典

東京大学生産技術研究所 正員

久保慶三郎

東京大学生産技術研究所 正員

片山恒雄

1. まえがき 図-1(a)に示すよ

うな、地表面で $u_0^{(f)}$ の地震動を受ける基礎—地盤系と(b)の質点モデルに置換する合理的な方法について検討した結果、表-1に示す複素ばね係数と有効地震動という2つの物理量を用いて、図-1(a)の系は図-1(b)の質点モデルに等置されること(4)が明らかとなった。この考え方にしたがって弾性波動論により求めた円柱剛体基礎に対する複素ばね係数と有効地震動の近似式は、有限要素法による結果(2,3)野外の実験結果とよい一致を示した。

本小文の目的は以下の2つである。

- (1) 複素ばね係数と有効地震動に剛体基礎の質量を考慮して(1)式の運動方程式を解いて、地震動を受ける埋設剛体基礎の動的挙動に及ぼす水う3つの物理量(質量、複素ばね係数、有効地震動)の影響度を明らかにする。
- (2) 一般道路橋—ケ—ン基礎と長大吊橋大型ケ—ン基礎を例に取り上げ両者の地震時挙動の対比を示す。

2. 解析モデルの概説 一般道路

橋の例として、地震観測の行なわれている新葛飾 P_3 橋脚基礎と、また長大吊橋の例として、現在計画中の明石大橋主塔基礎を取り上げ、以下のような剛体2自由度にモデル化した。

新葛飾橋 P_3 橋脚基礎 橋軸方向を対象

とし、モデル基礎の質量と寸法を表-2のように定めた。埋込み深さ h および基礎の高さ l は原寸法と同じとした。実際の断面形状は小判型であるため、断面2次モーメントが等しくなるように数値モデルの等価半径 a を求めた。また、巨視的に見れば、基礎と橋脚および桁は剛体的に運動すること、およびこの橋の P_3 橋脚は4径間連続桁の固定支えであることの2つを考え、ケ—ン基礎質量に4径間分り桁の質量を加えて質量を求めた。

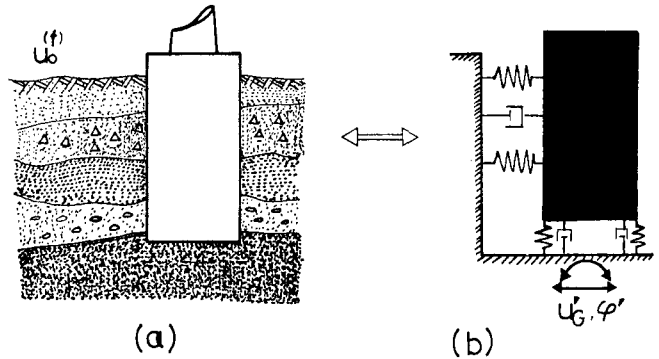


図-1 地震動を受ける基礎—地盤系とその質点モデル

表-1 地震動を受ける剛体基礎の運動方程式とその係数の物理的意味

$\begin{Bmatrix} m & 0 \\ 0 & J_G \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_G \\ \ddot{\psi} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} K_{xx} & K_{x\psi} \\ K_{x\psi} & K_{\psi\psi} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_G \\ \psi \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{xx} & K_{x\psi} \\ K_{x\psi} & K_{\psi\psi} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_G^* \\ \psi^* \end{Bmatrix} \quad (1)$	
or,	
$\begin{Bmatrix} m & 0 \\ 0 & J_G \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_G \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} K_{xx} & K_{x\psi} \\ K_{x\psi} & K_{\psi\psi} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} x_G \\ \theta \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m & 0 \\ 0 & J_G \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_G^* \\ \ddot{\psi}^* \end{Bmatrix} \quad (1')$	
$u_G = u_G^* + x_G, \quad \psi = \psi^* + \theta$	
$K_{ij}(i, j=x, \psi)$ —複素ばね係数	地震動 $u_0^{(f)}$ を受けない基礎—地盤系において、基礎に単位の変位を与えるために必要な力。この係数は起振機実験などによって原理的に求まる。
u_G^*, ψ^* —有効地震動	上部構造物などによる外力の存在しない状態における質量を持たない基礎の地震時応答変位。
m, J_G —基礎の質量と慣性質量モーメント	

慣性モーメント J_g は全体の質量が均質に分布する中実円柱として求めた。地盤定数は図に示した。

表-2 数値モデル基礎の諸元

	$m_g, \frac{\text{ton} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}}$	$J_g, \text{ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$	半径 a, m	埋設深 h, m	高さ l, m
P5橋脚基礎	739.8	5.7×10^4	4.75	21.0	29.3
吊橋主塔基礎	5.7×10^4	4.0×10^7	24.0	25.0	81.3

吊橋主塔基礎 橋軸方向を対象として、本四府県設計指針に従い表-2のように決めた。

3. 数値計算結果

表-2の定数と種差係数および有効地震動^(2,3)を用いて(1)式の周波数応答曲線を求めた結果を図-2と図-3に示す。(1)式の質量と種差係数はそのまま使用して、(1)式右辺の有効地震動の近似式を変えた結果を実線、一点破線、破線で示し、自然地震地表面地動 $u_0^{(f)}$ に対する基礎上端の絶対変位倍率で結果を示す。もともと有効地震動は表-1の物理的意味を持つもので、自然地震地表面地動の値とは異なる。しかし、(1)式右辺の入力として自然地震地表面の地動が使用できれば実用的なため、 $u_0' = u_0^{(f)}$ 、 $\phi'' = 0$ とした解を破線で示した。

4. 考察とまとめ

図-2と図-3ともに最大値に注目する限り、用いる地震動による違いはない。したがって、実用的には、わざわざ表-1に示す物理的意味を持つ有効地震動を使用なくとも、自然地震地表面における地震動を用いてよいと考える。図-2におけるP5橋脚基礎の最大値は表層地盤の1次固有振動数 ω_g に現われ、自己の固有振動数 $\omega_s = 1.47 \omega_g$ ではピークを示さない。また、最大値も周波数応答倍率で2.0羽の値をとる。これらのことは、基礎は地盤の運動に支配されることを示しており、地震観測結果とも一致する⁽⁴⁾。一方、図-3の主塔基礎では、自己の固有振動数 $\omega_s = 0.5 \omega_g$ で大きなピークを示す。この場合には、基礎が地盤の運動に支配されることなく、いわゆる地上構造物が示す地震動に対する共振現象を示しており、基礎の動特性を考えた設計の必要性を示唆している。参考文献

(1)原田、久保、片山：地震動を受ける埋設剛体基礎の運動方程式；第33回年次講演工-230。

(2)原田、久保、片山：表層地盤の動反力係数とその埋設剛体基礎の動的復元力評価への応用；第15回地震工学研究会

(3)原田、久保、片山：地震波の有効入力のかえ方とその実例による検討；第15回地震工学研究会

(4)土岐、小松：井筒基礎の地震応答解析に関する研究；土木学会論文報告集、No.281、1976-1 p. 29-40。

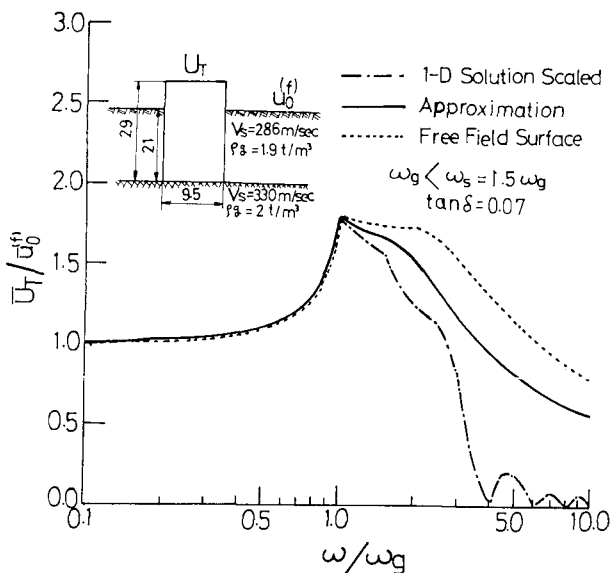


図-2 P5橋脚基礎の周波数応答曲線

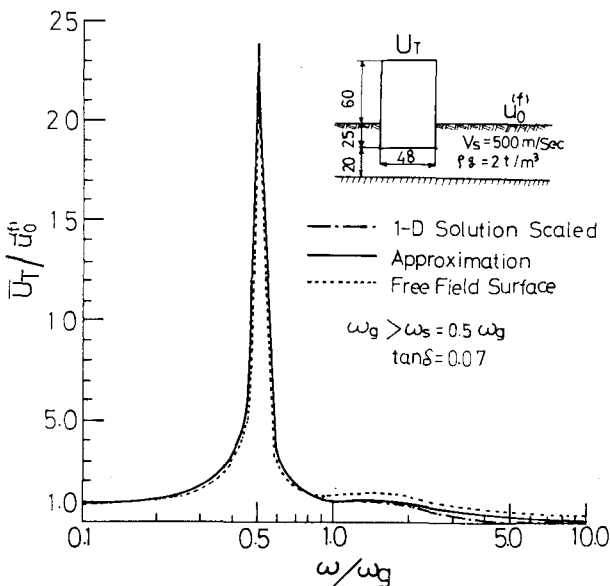


図-3 主塔基礎の周波数応答曲線