

九州大学 工学部 正員 小坪 清 真
九州工業大学 正員 〇高西 照 秀

1. まえがき

著者等は前著⁽¹⁾において、比較的硬い地盤で得られた地震記録を下層基盤での入力波として用い、上層軟弱地盤の変形を考えた場合の鋼管橋脚の地震応答を計算した。しかし、今日得られている実際の地震波はその大部分が地表面で記録されたものであって基盤での地震波とは当然異なっているはずである。本論では地表面で得られた地震記録を用いて地盤の変形を考える場合と地盤の変形を考えない場合とについて、鋼管橋脚の地震応答を計算し地盤の変形が鋼管橋脚の変位に及ぼす影響を求めた。

2. 鋼管橋脚の振動モデル

解析には前著と全く同一の鋼管橋脚を用いた。すなわち、図-1(a)に示すような鋼管橋脚を図-1(b)に示すような多質点系に置換して計算を行った。

3. 橋脚の変位応答

橋脚の r 次の振動型を Y_{ri} とすれば、橋脚の i 点の変位は次式のように着ける。

$$y_i = \sum_{r=1}^8 a_r Y_{ri} \quad (1)$$

a_r は r 次の振動型の大きさを表わし次の微分方程式から求められる。

$$\ddot{a}_r + 2\zeta_{sr} n_{sr} \dot{a}_r + n_{sr}^2 a_r = -\beta_r \ddot{\phi} + \sum_{i=1}^8 c_{ri} u_i \quad (2)$$

$$\text{ここに、} \beta_r = \frac{\sum_{i=1}^8 \frac{W_i}{g} Y_{ri}}{\sum_{i=1}^8 \frac{W_i}{g} Y_{ri}^2}, \quad c_{ri} = \frac{K_i Y_{ri}}{\sum_{i=1}^8 \frac{W_i}{g} Y_{ri}^2}$$

n_{sr} , ζ_{sr} はそれぞれ鋼管の r 次の固有円振動数、減衰係数、 ϕ は地動加速度、 u_i は基盤に対する i 点の地盤の相対変位、 K_i は i 点の地盤のバネ定数で $K_i = k N D \Delta l$ である。 k は地盤反力係数、 D は鋼管外径、 N は鋼管数、 Δl は鋼管の地中における分割長である。

地動加速度 $\ddot{\phi}$ と地盤の相対変位 u_i が与えられれば(2)式から刻々の a_r を計算することができる。

4. 地表面での地震動が与えられた場合の応答計算

(1) 地盤の動き 前著においては基盤における地震動が与えられた場合の上層地盤の相対変位を次に示す地盤のせん断振動の方程式を用いて求めた。

$$\frac{W_i}{g} \ddot{u}_i = -\bar{k}_i (u_i - u_{i-1}) + \bar{k}_{i+1} (u_{i+1} - u_i) - \mu_i (\dot{u}_i - \dot{u}_{i-1}) + \mu_{i+1} (\dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i) - \frac{W_i}{g} \ddot{\phi} \quad (3)$$

$$(i=1, 2, \dots, 8, u_0=0, \quad \bar{k}_{8+1} = \mu_{8+1} = 0)$$

ここに、 u_i は地盤を質点系に置換した場合の i 点の基盤に対する相対変位、 W_i は質点 i の重量、 $\bar{k}_i$ は i 点と $i-1$ 点の相対変位に比例するバネ定数、 μ_i は i 点と $i-1$ 点との相対速度に比例する減衰係数、 8 は地盤中の質点の数である。

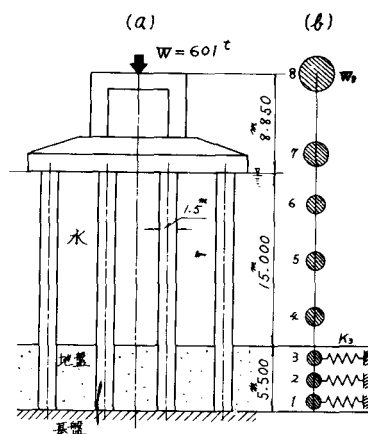


図-1

本論において地表面での地震動を与えられた場合の地盤変位を求めるのに次のような便法により前者の計算結果を利用した。すなわち、与えられた基盤上の加速度 $\ddot{\phi}$ により地盤の相対変位 u_i および地表面の絶対加速度 $\ddot{\phi} + \ddot{u}_s = \ddot{u}_s$ を(3)式を用いて求め、これを(2)式に使用すれば、このときの応答は結果的には地表面加速度 $\ddot{u}_s$ を与えられ地盤変形を考慮する場合の解と見ることができる。次に今得られた地表面加速度 $\ddot{u}_s$ を与えられたものとして(2)式において $\ddot{\phi} = \ddot{u}_s$ 、 $u_i = 0$ において応答計算をすればこのときの応答は地表面加速度 $\ddot{u}_s$ を与えられ地盤変形を考慮しない場合の解と見ることができる。したがって、両者の場合を比較すれば地表面加速度を与えられた場合の地盤変形の影響を求めることができる。

(2) 応答計算 計算は橋脚下端が基盤とヒン結合の場合について行つた。地盤の性質は表-1に示すように前者から4通りの場合を選んで計算した。

いずれの場合にも地盤反力係数 k_s は深さ方向に三角形分布とし地盤のせん断弾性係数 G との比を $G/k_s = 20$ とした。上記4通りのうちNO.3は地盤の固有周期 T_g と橋脚の固有周期 T_s とが相等しい場合、NO.1とNO.2は $T_s > T_g$ の場合、NO.4は $T_s < T_g$ の場合である。地盤の減衰常数はいずれも0.2として計算を行った。また、(3)式における $\ddot{\phi}$ としてはEl Centro地震波記録を使用し、時間刻みを0.01秒にとつて応答計算を行った。

NO.	1	2	3	4
k_s (kg/cm)	4	0.4	0.29	0.04
G_s (kg/cm)	80	8.0	5.80	0.80
T_g (sec)	0.444	1.402	1.67	4.44
T_s (sec)	1.17	1.64	1.67	1.75
T_s/T_g	2.63	1.17	1.00	0.39

表-1

図-2は地盤の変形を考えた場合の橋脚変位と地盤変形を考えた場合の橋脚変位との比を、 T_s/T_g を横軸にとりいろいろの橋脚の減衰常数に対して表わしたものである。図-2からNO.1~NO.4のすべての場合に対して地盤の変形を考えたときの方が橋脚の変位が大きくなっていることがわかる。

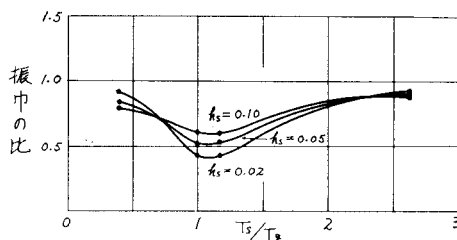


図-2

地盤の固有周期と橋脚の固有周期とが近接している

場合には地盤の変形を考えたときと考えないときとでその差が特に大きくなっている。

本論において地盤の変形を考慮しない場合とは地盤が地震時において上層も下層も全く同様な水平運動をすると見做した場合である。しかし、地震波が基礎から地表層には入るとそこで重複反射をくり返しその地盤の性質に応じた波がより増巾される結果、地表面で記録された地震波は下層地盤での地震波より一般に大きい。したがって、上層地盤の性質の影響をうける場所での地表面の地震記録をそのままの形で使って地盤の変形を考えずに橋脚の応答計算をする時は、橋脚の固有周期が地盤のそれに近い場合には橋脚の応答変位を大きく見積り過ぎることになる。

(1): 小坪. 高西「鋼管橋脚の耐震設計に関する研究 その1, その2」 九大工学集報 vol. 39,

NO. 3, 4 昭41.12.