

九州大学工学部 正員 ○ 小坪 清 真
九州工業大学 正員 高 西 照 彦

1. まえがき

軟弱地盤に築造される鋼管橋脚の地震時における横抵抗の計算には、従来の設計法によれば、橋脚の横変位に対して地盤がその反力係数 k に比例する抵抗をすとの仮定が用いられている。このような仮定は、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なされる場合には妥当であるが、周知のように、地盤は地震時においては下層の堅岩層より強制されるせん断振動をなしているものであるから、当然、地盤の上層と下層では振動状態が異なる。本研究は、このような地盤のせん断振動現象を考慮に入れた場合に、地盤の変形が鋼管橋脚の横変位に及ぼす影響について考察したものである。

2. 鋼管橋脚の振動理論

図-1 に示す鋼管橋脚を図-2 に示すような質点系に置換すれば、振動方程式は次式で表わされる。

$$y_i = -\sum_{j=1}^m \frac{W_j}{g} \ddot{y}_j + \sum_{j=1}^n d_{ij} K_j (u_j - y_i) - \sum_{j=1}^m \frac{W_j}{g} \ddot{\phi} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

ここに、 y_i ： i 質点の基礎に対する相対変位、 W_j ：集中質量、 d_{ij} ： j 質点に作用する単位荷重による i 質点の変位、 m ：質点の総数、 n ：地盤中の質点の数、 u_j ：地盤のせん断変形、 K_j ： j 質点の地盤のバネ常数、 ϕ ：基礎における地震加速度、 g ：重力加速度である。

(1)式はまた、次のような形に表わされる。

$$\frac{W_i}{g} \ddot{y}_i = -\sum_{j=1}^n \beta_{ij} y_j + K_i (u_i - y_i) - \frac{W_i}{g} \ddot{\phi} \quad (2)$$

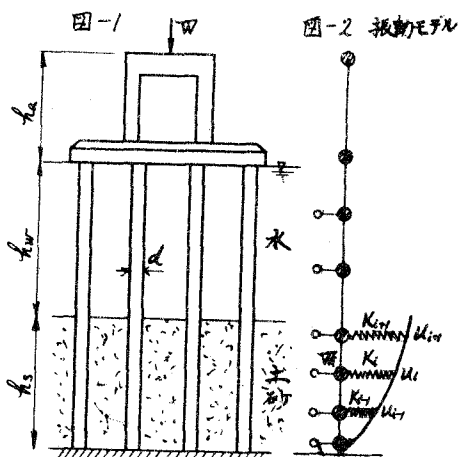
ここに、 β_{ij} は変位 y_j ($j=1, 2, \dots, m$) を生ぜしめるために、 i 質点に加えるべき力である。また、鋼管が地盤中になくす所では、 $K_i = 0$ とおけばよい。(1)または(2)式で $u=0$ とおけば地盤のせん断変形を考えない場合となる。

鋼管を $4l$ に分割すれば、この部分の質点の重量および地盤のバネ常数は次式で表わされる。

$$W_i = N \cdot A \cdot 4l (\gamma + F_w \cdot \gamma_w + F_s \cdot \gamma_s) \quad (3)$$

$$K_i = N \cdot d \cdot 4l \cdot k \quad (4)$$

ここに、 N ：鋼管の数、 A ：鋼管断面積、 γ 、 γ_w 、 γ_s ：それぞれ、鋼管、水、地盤の単位体積重量
 F_w 、 F_s ：水および土の附着質量係数、 d ：鋼管外径、 k ：水平地盤反力係数



3. 地盤のせん断変形

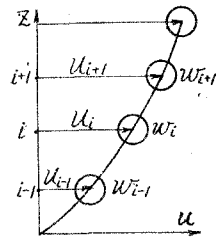
(1) または(2)式を用いて橋脚の変位を求めるには先づ、地盤の変形 u を求めなければならない。地盤の厚さを $4l$ に分割して質点系に置換すれば、地盤のせん断変形の振動方程式は次式となる。

$$\frac{W_i}{g} \ddot{u}_i = k_{i+1}(u_{i+1} - u_i) - k_i(u_i - u_{i-1}) - \frac{W_i}{g} \ddot{\phi} \quad (5)$$

ここに、 k_i は i 点と $i-1$ 点との相対変位に比例するバネ定数、 W_i は質点の重量で次式で計算される。

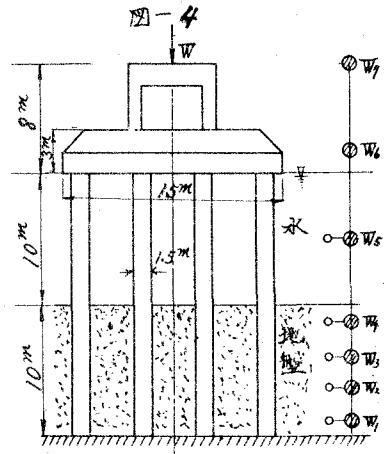
$$k_i = \frac{1}{\int_{z_{i-1}}^{z_i} \frac{1}{G} dz}, \quad W_i = \gamma_s \cdot 4l \quad (6)$$

図-3 土の変位



4. 数値計算例

計算に用いた橋脚は図-4に示すもので、管径 $d=1.5$ m、鋼管数 $N=11$ 、桁重量 1500 t、で橋脚下端は岩盤上にヒンジとなっている。地盤の厚さ 10 mを α 等分し、質点数を α とした。地盤のせん断弾性係数は地盤下端で $G_0=20$ kg/cm²、反力係数は下端で $k_0=0.4$ および α kg/cm²の三角形分布とした。この橋脚が地震動 $\phi=(\alpha g/w^2)\sin wt$ を受けたときの橋脚の変位を、(i) 地盤の変形を考えた場合、(ii) 地盤の変形を考えた場合、(iii) 地盤の存在を無視した場合について、いろいろの w に対して計算して比較した。なお、水および土の附着質量係数はいづれも1とした。⁽¹⁾ 図-5は $k_0=0.4$ kg/cm²、 $G_0=20$ kg/cm²のときの共振曲線、図-6は $k_0=\alpha$ kg/cm²、 $G_0=20$ kg/cm²のときの共振曲線である。図から次のことがわかる。



(1) 橋脚の固有振動週期が地震週期より短い場合には、地盤の変形を考慮すると、橋脚の変位が増大するか、橋脚の固有振動週期が地震週期より長い場合には、地盤の変形を考慮すると橋脚の変位が減少する。

(2) この傾向は G/k の値が小さいほど著しい。

(3) したがって、地盤のせん断弾性係数 G および反力係数 k を知り、かつ、架橋地盤の地震波の性質を知ることは鋼管橋脚の耐震設計上重要なことである。

(4) 橋脚を flexible に作り、その固有週期を伸ばすことは、地震週期いかんによつては却つて耐震上有利となる。

文献(1): 鋼管橋脚の耐震設計について(小坪)

土木学会西部支部研究発表会 昭.41.1.28.

