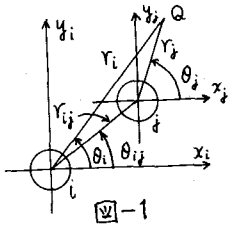


九州大学 工学部 正員 小坪 清 真
九州工業大学 正員 高西 照彦
九州大学 工学部 学生員 柳川 憲治

1. まえがき 著者等は前論^{(1),(2)}において、多柱基礎に対する地震時動水圧の二次元論的及び三次元論的の考察を行い、著者等が導いた理論解と二次元模型による実験値とがよく一致することを示した。前論における理論解は、多柱基礎に対する地震時動水圧を求めるのに、緩和法的な考え方に従って逐次近似的に正解を得ようとするものである。この計算法に従えば、多柱基礎を構成する柱の本数が増えると、各柱に対する動水圧の理論式を導く手数が加速度的に増加し、煩雑で多大の時間を必要とするようになる。また、直径が各柱でまちまちであったり、或るいは柱配置が不規則であるような場合については、計算手数はさらに増大する。そこで本論では、上述の短所をもたないような動水圧の理論的解析法を新たに提案し、本法によって求めた多柱基礎の各柱に対する二次元及び三次元（剛振動）動水圧の計算結果の一例を示す。本解析法は以下に述べるように、多柱基礎が水中で振動しているときの水中の速度ポテンシャルを表わす表式の中に未定係数を導入して、この未定係数を境界条件を満足するように定めようとするものである。本法によれば、単に柱の本数の2倍の元数をもつ連立一次方程式を解くだけで多柱基礎が水中で振動しているときの水中の速度ポテンシャルを決定できる。このとき柱の本数の多少、柱径の不均一性、柱配置の不規則性の如何にかかわらず、上記の多元連立一次方程式の各要素は一定の規則に従って簡単な手続までこれを求めることができるので、前論の計算法のような煩雑は一切なくなる。

2. 二次元動水圧の理論 i 柱、 j 柱...から構成された多柱基礎が、水中で x 及び y 方向に正弦的に振動しているとき、水中の任意点 Q （図-1）の速度ポテンシャルは、次式のように表わせる。

$$\phi_Q = \omega \frac{d^2}{4} \sum_{m=i, j, \dots} \{ D_m^x \cos \theta_m + D_m^y \sin \theta_m \} \frac{1}{r_m} \sin \omega t \quad (1)$$



ここに、 ω は円柱の円振動数、 d は円柱の直径（簡単のため円柱の直径はすべて等しいとする）、 D_m^x, D_m^y は m 柱の x, y 方向振動に対する速度ポテンシャルの未定係数、 r_m, θ_m は m 座標に関する Q 点の極座標である。(1)式より i 柱の x, y 方向の単位深さ当りの全動水圧は

$$\left. \begin{aligned} P_i^x &= \pi \frac{d^2}{4} \omega^2 S_w D_i^x \cos \omega t - \pi \frac{d^2}{4} \omega^2 S_w \sum_{m \neq i} \{ D_m^x \cos 2\theta_{im} + D_m^y \sin 2\theta_{im} \} \left(\frac{d}{2r_{im}} \right)^2 \cos \omega t \\ P_i^y &= \pi \frac{d^2}{4} \omega^2 S_w D_i^y \cos \omega t - \pi \frac{d^2}{4} \omega^2 S_w \sum_{m \neq i} \{ D_m^x \sin 2\theta_{im} - D_m^y \cos 2\theta_{im} \} \left(\frac{d}{2r_{im}} \right)^2 \cos \omega t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

と表わせる。ここで、 S_w は水の密度、 r_{ij}, θ_{ij} は図-1において i 柱に対する j 柱の位置を示す極座標である。さて、多柱基礎が x 方向に単位振幅で振動しているときは、(1)式から求められる円柱境界での水分子の x, y 方向の変位速度が各柱について $w_m^x = \omega \cos \theta_m \sin \omega t$, $w_m^y = 0$ ($m=i, j, \dots$) を満足しなければならない。同様に y 方向振動に対しては $w_m^x = 0$, $w_m^y = \omega \sin \theta_m \sin \omega t$ である。いま i 柱について考えると、(1)式において、 j 柱の運動に基づく水中の速度ポテンシャルを用いて i 柱まわりの水分子の変位速度を厳密に求めるのは非常に煩雑であるので、その代りに本論では、 i 柱の中心位置における変位速度を採用することによって、 j 柱の運動が i 柱に与える影響を近似的に評価した。また、(1)式自体も多柱基礎が水中で振動するときの水中の速度ポテンシャルを厳密に表現した式とはいい難い。しかし、これらの近似による誤差が各柱の動水圧の計算に及ぼす影響はいずれも柱と柱の間隔 l が直径 d に比べて少しでも大きくなれば ($l/d \geq 1.5$) ほとんど無視することができる。したがって、結局(1)式から求められる円柱境界での水分子の x, y 方向の変位速度が上述の境界条件を満足するためには、 i, j, \dots 各柱に対して次式が成立せねばならないことになる。

x方向振動に対し

$$D_i^x + \sum_{m \neq i} \left(\frac{d}{2l_{im}} \right)^2 \cdot \{ D_m^x \cos 2\theta_{im} + D_m^y \sin 2\theta_{im} \} = 1$$

$$D_i^y + \sum_{m \neq i} \left(\frac{d}{2l_{im}} \right)^2 \cdot \{ D_m^x \sin 2\theta_{im} - D_m^y \cos 2\theta_{im} \} = 0 \quad (i = i, j, \dots) \quad (3)$$

y方向振動に対しては上式の右辺の1を0に、0を1にすればよい。i柱に対する水の附加質量係数はx, y方向に

$$F_i^x = D_i^x - \sum_{m \neq i} \left(\frac{d}{2l_{im}} \right)^2 \{ D_m^x \cos 2\theta_{im} + D_m^y \sin 2\theta_{im} \}$$

$$F_i^y = D_i^y - \sum_{m \neq i} \left(\frac{d}{2l_{im}} \right)^2 \{ D_m^x \sin 2\theta_{im} - D_m^y \cos 2\theta_{im} \} \quad (i = i, j, \dots) \quad (4)$$

結局、未定係数Dに関する連立方程式(3)を解けば、すべて必要な値を求めることができる。計算結果の一例を図-2, 3に示した。図-2はl/dに対する多柱基礎への水の附加質量係数の平均を、図-3はl/d=2.0に対する各柱への水の附加質量係数を示す。これらは前論の結果と全く一致する。

3. 3次元(剛振動)の動水圧理論

多柱基礎が水中で剛振動する場合、多柱基礎に対する動水圧の3次元解析を前章で述べたと同様な考え方に従って行った。3次元解析の場合には、深さ方向に動水圧の分布の形が変化するので、この点を考慮しなければならず、したがって、2次元解析に比べてやや煩雑になる

ことは避けられないが、前論の方法と比較すればはるかに本論の方が簡単である。2本柱の場合について、柱への動水圧の深さ方向分布をそれぞれ前論の方法と本論の方法とを用いて求めたが、両者の結果は全く一致した。図-4, 5に2, 4, 6, 9本柱に対する計算結果の一例を示した。図-4, 5は前章の図-2, 3に対応するもので、3次元解析の場合には各柱について深さ方向の動水圧をすべて積分した全動水圧値を用いている。図-5の各柱への水の附加質量係数の値はすべて単柱のそれを単位として示した。

(1) 小坪・高西：多柱基礎への水の附加質量について，土木学会論文報告集，第248号，1976年4月。
 (2) 小坪・高西：多柱基礎橋脚に対する水の附加質量の3次元解析，土木学会西部支部研究発表会議要集，1976年2月。

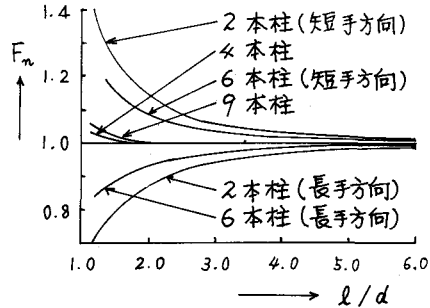


図-2 水の附加質量係数(2次元)

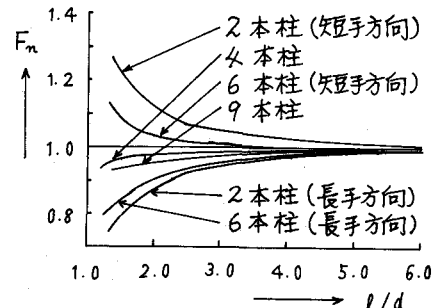


図-4 水の附加質量係数(3次元)

| | |
|--|-----------------|
| 0.88 0.88 | 2本柱(長手方向) |
| 1.13 1.13 | 2本柱(短手方向) |
| 0.06 1.00 1.00 0.06 | 4本柱 |
| 0.08 0 0.08 0.96 0.88 0.96 0.08 0 0.08 | 6本柱(長手方向) |
| 1.05 0.08 1.13 0 1.05 0.08 | 6本柱(短手方向) |
| 1.01 0.94 1.01 0.12 0 0.12 1.07 1.00 1.07 0 0 0 1.01 0.94 1.01 0.12 0 0.12 | 9本柱 \$l/d=2.0\$ |

図-3 各柱に対する水の附加質量係数(2次元)

| | |
|--|--|
| 0.88 0.88 | 2本柱(長手方向) |
| 1.11 | 2本柱(短手方向) |
| 0.06 0.97 0.97 0.06 | 4本柱 |
| 0.07 0 0.07 0.93 0.84 0.93 0.07 0 0.07 | 6本柱(長手方向) |
| 0.88 0.06 0.94 0 0.88 0.06 | 6本柱(短手方向) |
| 0.96 0.92 0.96 0.04 0.98 0.94 0.98 0.04 0.96 0.92 0.96 0.04 0.04 | 9本柱 \$H=50m, C_d=0.5, D/H=0.1, l/d=2.0\$ |

図-5 各柱に対する水の附加質量係数(3次元)