

名城大学理工学部土木工学科 柴田道生

名城大学理工学部土木工学科 O 阿河武志

(1) まえざき

杭が地盤に貫入する場合、杭先端円錐部が先行するから、杭本体よりも寧ろ先端部を重視すべきである。本文は、杭本体については、波動方程式を用い、先端部には、電信一次方程式を駆使して、地盤の \$N\$ 値の変化毎に、杭先への打撃応力の伝達率を考慮し、上昇波、下降波の式を誘導し、杭先端応力を求めて、現場試験の計測値と照応したものである。

(2) 応力波の誘導式

$$\text{杭本体の方程式} \quad \frac{\partial^2 \mu_1}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 \mu_1}{\partial x^2} \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{先端円錐部の方程式} \quad \frac{\partial^2 \mu_2}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 \mu_2}{\partial x^2} + 2\pi \frac{\partial^2 \mu_2}{\partial x} \right) \quad \text{----- (2)}$$

$$(1) (2) \text{ 式の一般解は} \quad \mu_1 = f_1(at-x) + f_2(at+x) \quad \text{----- (3)}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{2} e^{-\pi x} \{ F_1(at-x) + F_2(at+x) \} \quad \text{----- (4)}$$

ここで \$f_1, f_2, F_1, F_2\$ は、本体と先端円錐部の上昇波、下降波、 \$\pi = \frac{l_1}{2(A_2-A_1)}\$

で形状率 (\$\text{cm}^{-1}\$)、 \$l_1\$ は円錐部の長さ、 \$A_2, A_1\$ は円錐部上端、下端の断面積、

\$a^2 = \frac{E\delta}{\gamma}\$ で衝撃波の速度、

(3) 境界条件

図-1 に示すように杭頭には、衝撃力に等しい力が発生するから、杭本体と円錐部の方程式は、

$$m l_2 \frac{\partial^2 \mu_1}{\partial t^2} = -a^2 \frac{\partial \mu_1}{\partial x} \quad \text{----- (5)} \quad e^{\pi l_2} m' l_2 \frac{\partial^2 \mu_2}{\partial t^2} = -a^2 \frac{\partial \mu_2}{\partial x} \quad \text{----- (6)}$$

ここで、 \$m = \frac{W}{A l_2}\$、 \$m' = \frac{\pi \alpha}{A l_2}\$、 但し \$W\$ は重錘の重さ、 \$\alpha\$ は応力伝達率、 \$A\$ は本体の断面積、

\$A'\$ は円錐部の平均断面積、 \$\delta\$ は密度、次に重錘が杭に衝突する瞬間では、 \$x=0 \sim l_2\$、 \$\mu_{1,2} = \frac{\partial \mu_{1,2}}{\partial t} = 0\$、----- (7) 又、 \$(\frac{\partial \mu_{1,2}}{\partial t})_{t=0} = -v\$ ----- (8)

(4) 下降波(本体、円錐部)の決定

本体は、(3)式を(5)式に代入して、 \$at+x=z\$ として、 \$f_2'(z) = C_{11} e^{-\frac{z}{m l_2}}\$ ----- (9)

\$C_{11}\$ は(8)式によって決定される、 \$f_2'(z) = -\frac{v}{a} (e^{-\frac{z-l_2}{m l_2}})\$、 \$f_2(z) = \frac{m l_2 v}{a} (e^{-\frac{z-l_2}{m l_2}} - 1)\$ ----- (10)

又、円錐部は、(4)式を(6)式に代入して、 \$at+x=z\$ として、 \$F_2(z) = C_{22} e^{-\frac{(1+\sqrt{1+4\pi m' l_1})z}{2m l_1}}\$ ----- (11)

次に \$C_{22}\$ は、本体と円錐部の変位が等しいから、 \$f_2(z) = F_2(z)\$ として、変位と歪は、(12)式(13)式と表はされる、

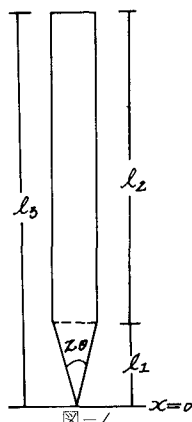
$$F_2(z) = \frac{m l_2 v}{a} (e^{-\frac{l_1}{m l_2}} - 1) e^{-\frac{(1+\sqrt{1+4\pi m' l_1})(z-l_1)}{2m l_1}} \quad \text{----- (12)}$$

$$F_2'(z) = -\frac{m l_2 (1+\sqrt{1+4\pi m' l_1})}{2m l_1} \cdot \frac{v}{a} (e^{-\frac{l_1}{m l_2}} - 1) e^{-\frac{(1+\sqrt{1+4\pi m' l_1})(z-l_1)}{2m l_1}} \quad \text{----- (13)}$$

(5) 上昇波の決定

上昇波は、下降波が杭本体と円錐部を全て \$x=0\$ で発生する、いま地盤を弾性体と考へて、

$$e^{\pi x} A E \frac{\partial \mu_1}{\partial x} = K \mu / x=0 \quad \text{----- (14)} \quad \text{次に} \quad F_1'(z) + F_2(z)(\pi + \eta) = F_2'(z) - F_2(z)(\pi + \eta) \quad \text{----- (15)}$$



さて、(15)式の一般解は、 $F_1(Z) = \frac{1}{(k+n)} PZ + \frac{1}{(k+n)^2} P'Z + C_{33} e^{-(k+n)Z}$ ----- (16)
 $PZ = F_2'(Z) - F_2(Z)(k+n)$ ----- (16) (16)式に (12)、(13)式を代入して、 $(k+n) = k'$ とする。

$$PZ = \frac{\nu\beta}{a} \left(\frac{\rho\alpha}{z} - d \right) \quad P'Z = \frac{\alpha\nu\beta}{2m'l_3a} \left(-\frac{\alpha\rho}{z} + d \right) \quad \text{----- (17)}$$

但し $\rho = \frac{m'l_2}{m'l_3}$, $\alpha = (1 + \sqrt{1 + 4nm'l_3})$, $\beta = (e^{-\frac{l_1}{2m'l_3}} - 1) e^{-\frac{\alpha(z-l_3)}{2m'l_3}}$, $m'l_3k' = d$, $k' = \frac{d}{m'l_3}$

(15)式に、(16)式を代入して、 C_{33} は、 $C_{33} = \frac{m'l_3\nu\beta}{a} - \frac{m'l_3\nu\alpha\beta}{a} \cdot \frac{1}{d(2\rho+1)-\alpha} e^{k'l_3}$ ----- (18)

$$F_1(Z) = -\frac{m'l_3\nu\beta}{a} + \frac{m'l_3\nu\alpha\beta}{a} \cdot \frac{1}{d(2\rho+1)-\alpha} + \left(\frac{m'l_3\nu\beta}{a} - \frac{m'l_3\nu\alpha\beta}{a} \cdot \frac{1}{d(2\rho+1)-\alpha} \right) e^{-k'(Z-l_3)} \quad \text{----- (19)}$$

(18)式を微分して、 $\beta = (e^{-\frac{l_1}{m'l_3}} - 1)$ として、

$$F_1'(Z) = \frac{\nu\alpha\beta}{2a} - \frac{\nu\alpha^2\beta}{2a} \cdot \frac{1}{d(2\rho+1)-\alpha} - \left(\frac{\nu\beta d}{a} - \frac{\nu\alpha\beta}{a} \cdot \frac{1}{(2\rho+1)-\alpha} \right) e^{-k'(Z-l_3)} \quad \text{----- (20)}$$

(6) 計算例

試験に供した杭は、径400mm、長さ10mの速心クランク杭にて、 $2\lambda = 30^\circ$ ($l_1 = 0.56$, $l_2 = 9.44$ m)
 $2\lambda = 60^\circ$ ($l_1 = 0.28$, $l_2 = 9.72$ m)。 $W = 1.25$ t, $h = 1.25$ m。杭本体の重さ $A\delta l_2(2\lambda = 30^\circ) = 1.65$ t
 $A\delta l_2(2\lambda = 60^\circ) = 1.59$ t, $\nu = 1.9\%/sec$, $a = 4000$ m/sec, $k_{30^\circ} = 36 \times 10^{-6}$ (cm⁻¹) の場合、 $d = 0.02716$
 $k_{60^\circ} = 23 \times 10^{-6}$ (cm⁻¹) の場合、 $d = 0.01518$, $n_{30^\circ} = 29 \times 10^{-5}$ (cm⁻¹), $n_{60^\circ} = 14 \times 10^{-5}$ (cm⁻¹)

図2、図3は、一打撃による
 貫入量、リバウンド量、図4、図5

は、杭各点の打撃応力を示し、

(13)(20)式に以上の数値を
 代入して、 $t = \frac{l}{a}$, $t = \frac{2l}{a}$

の歪の最大値を見出し、

W を一定にして、 N 値の
 変化による応力を計算した
 のが表1である。表々 N 値
 が小さいときは、先端応力が
 余りみられないが、 N 値が大と
 なると、差が大きくなる。

計算値は、実際の現場試験
 の計測値とよく照応するよう
 である。

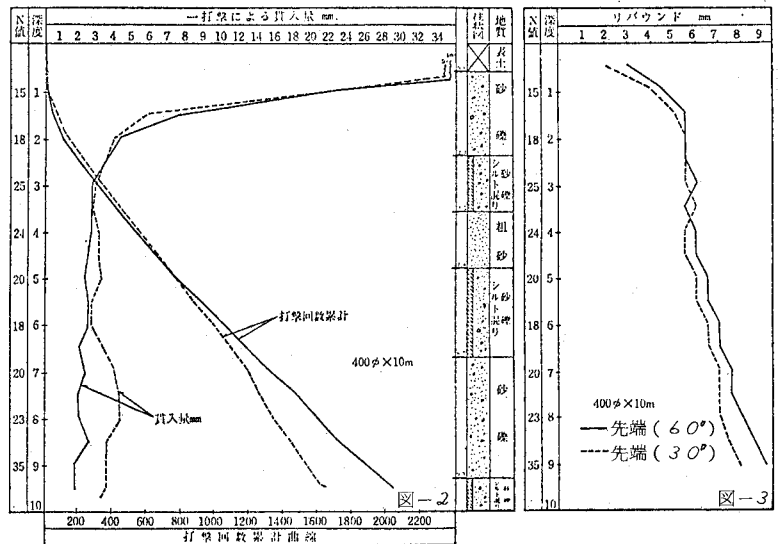
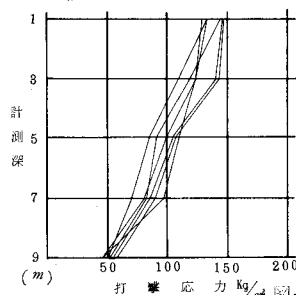


表-1 [] = 今回の計算値

N	30°	60°	m=30°	m=60°	630°	660°
10	0.42%	0.38%	0.27	0.25	14.6t	12.5t
20	0.53%	0.38%	0.35	0.25	26.76	12.5
30	0.65%	0.40%	0.43	0.27	36.1	15.25
40	0.73%	0.42%	0.48	0.29	[38.99]	[21.99]
50	0.8%	/	0.52	/	44.5	/

2λ = 30度、長さ10m
 径400mm、杭の打撃応力



2λ = 60度、長さ10m
 径400mm、杭の打撃応力

