

(株) 間組 技術研究所 正会員 ○小 池 太規洋

同 上 同 上 古 賀 哲 決

1. まえがき

最近、経済的に支持力を確保することと低公害の面から、油圧ハンマによる杭打ち工法を用いることが多くなっている。従来、杭の打込みはディーゼルハンマにより行なわれることが多く、これによる打込み時の杭頭応力に関する検討はなされているが、油圧ハンマに関してはデータも少なく、ほとんどなされていない。

本文は、従来の杭頭打撃応力算定式を用いた計算値と実測値を比較し、各式の適用性について検討したものである。

2. 使用データと算定式

1) 使用データ

使用した実測データはラムが自然落下し、油圧コンバータなどを用いていない機構のハンマ（6社-11機種）で杭（鋼管杭10件、PC杭37件）を打込んだ時のもので、これらの大半は杭打止め付近でラム落下高さを変えて測定したものである（鋼管杭7件、PC杭29件）。

なお、実測データは最大値を使用しており、この中には応力波の第2波が最大値になるものも含まれている（PC杭の約30%）。

2) 使用算定式

使用した算定式は、ドロップハンマまたはディーゼルハンマ用に提案されている下記の6式である。各々の式に用いた諸数値を表-1に示す。

(1) 建築基礎構造設計規準・同解説の式

$$\sigma_1 = \frac{\alpha \sqrt{2ef \cdot E_p \rho_p \cdot H}}{\left(1 + \frac{A_c \sqrt{E_c \rho_c}}{A_H \sqrt{E_H \rho_H}}\right) \left(1 + \frac{A_p \sqrt{E_p \rho_p}}{A_c \sqrt{E_c \rho_c}}\right)}$$

(2) 道路橋下部構造設計指針の式

$$\sigma_2 = \frac{e \sqrt{2E_p \rho_p \cdot H}}{1 + \frac{A_p \sqrt{E_p \rho_p}}{A_H \sqrt{E_H \rho_H}}}$$

(3) ST. VENANT（鋼管杭協会（ $t = 2\text{ms}$ ））の式

$$\sigma_3 = \sigma_0 e^{-\frac{\rho_p \cdot A_p}{W_H} C_p t} \quad \text{ここに } \sigma_0 = \frac{E_p}{C_p} \sqrt{2gH}$$

(4) 藤田の式（旧式ー ディーゼルハンマ用）

$$\sigma_4 = \frac{6.7 \sqrt{H} \left(12 + \frac{A_H}{A_p}\right)}{1 + \frac{A_p}{A_H}} \quad \text{鋼 杭} \quad \sigma_4 = \frac{1.4 \sqrt{H} \left(12 + 4 \frac{A_H}{A_p}\right)}{1 + \frac{A_p}{4A_H}} \quad \text{P C 杭}$$

表-1 計算に使用した数値

記 号	説 明	数 値	
		鋼管杭	PC杭
σ	打撃応力度 (kgf/cm^2)	添字の説明 H: ハンマラム P: 杭 材 C: クッション材	
H	ラム落下高さ (cm)		
WH	ラムの重量 (kgf)		
S	貫 入 量 (cm)		
R	リバウンド量 (cm)		
AIH	断 面 積 (cm^2)	アンビル断面積 杭径相当断面積	
AP			
AC			
EH	弾性係数 (kgf/cm^2)	2.1×10^6	2.1×10^6
EP		2.1×10^6	4.0×10^5
EC		1.0×10^5	1.0×10^5
ρ_H	密 度 (kg/cm^3)	7.85×10^{-3}	7.85×10^{-3}
ρ_P		7.85×10^{-3}	2.40×10^{-3}
ρ_C		1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
CP	弾性波速度 (cm/s)	5.12×10^5	4.04×10^5
g	重力加速度 (cm/s^2)	980	980
t	ラム打撃後の経過時間	0sec	$1.5 \times 10^{-3} \text{sec}$
記 号	説 明	油 圧 (ドロップ)	
e	打撃応力に対する効率	1.0	(0.6)
ef	効 率	1.0	(0.6)
α	ハンマによる係数	2.0	(1.0)
a	ハンマによる定数	1.0	(1.6)

() はドロップハンマに使用する数値

(5) 藤田の式（新式）

$$\sigma_5 = \frac{5.5 \alpha_0 \sqrt{H} \left(9 + \frac{A_H}{A_p}\right)}{1 + \frac{A_p}{A_H}} \quad \text{鋼 杭} \quad \sigma_5 = \frac{2.6 \alpha_0 \sqrt{H} \left(5 + \frac{A_H}{A_p}\right)}{1 + \frac{A_p}{4A_H}} \quad \text{P C 杭}$$

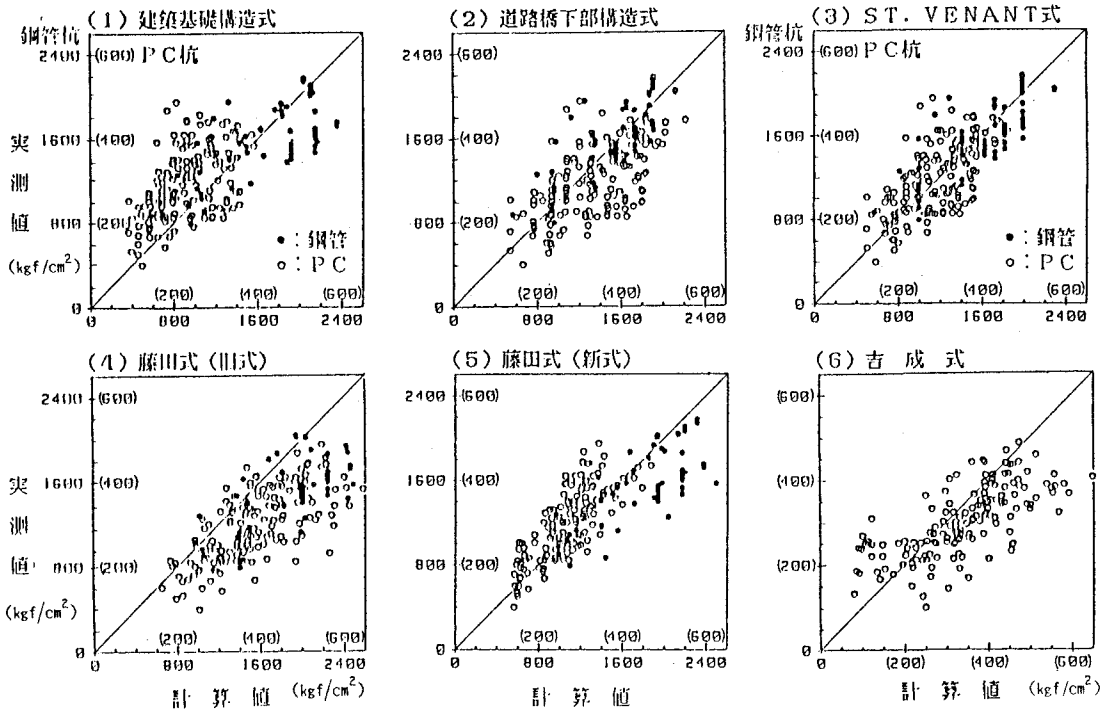
$$\text{ここに } \alpha_0 = \sqrt{\frac{W_H}{A_H}}$$

(6) 吉成の式（PC杭ードロップハンマ用）

$$\sigma_6 = a \frac{W_H H}{A_p (S+R)}$$

3. 計算値と実測値の比較

打撃応力度の計算値と実測値の関係を図-1に、これらの直線回帰式に対する相関係数rと〔実測値/計算値〕に対する平均値mおよび標準偏差sを表-2に示す。



図— 1 杭頭打撃応力度の計算値と実測値の関係

計算に用いた式中の係数や効率 η は、原則として計算値と実測値の近似が良くなるように設定した。その結果、相関係数 r について見ると鋼管杭では式(2)と式(3)が、PC杭では式(5)が、それぞれ他の式に比して相関性が高くなっている。また【実測値/計算値】の平均値 m で捉えると式(2)と式(3)が、鋼管杭、PC杭ともに良い近似を示している。さらに標準偏差 s については、 m が過小な式(4)、式(5)を除けば、式(2)と式(3)が他に比較して良好と言える。

これらの結果を全般的に見ると、PC杭より鋼管杭に対する適用性が優れていることが分かる。これは、PC杭の場合、杭頭に入れるクッションや杭材の弾性係数の評価が的確になされにくいことに起因するものと考えられる。

上述の結果より、式(2)および式(3)の適用性が他の式に比較して若干優れているようである。式(4)は、ディーゼルハンマ用に提案された式であるが、油圧ハンマに対しては実測値の上限を与える安全側の式である。また、式(4)および式(5)は、適当な補正係数を設定して用いると、他に比較してバラツキが少なくなり適用性が向上するものと考えられる。

4. あとがき

油圧ハンマによる杭打込み時の打撃応力は、ディーゼルハンマ、ドロップハンマと異なった感があるので、今後、さらにデータを蓄積し、適用性の向上を図って行きたいと考えている。

参考文献 1)低騒音型油圧バイルハンマ施工研究報告書、国土開発技術研究センター、1984年 2)藤田・古賀・山口：ラム重量一杭頭応力度関係の実測例とその算定式の提案、土質工学会シンポジウム、1984年

表— 2 統計諸量一覧表

		式(1)	式(2)	式(3)	式(4)	式(5)	式(6)
相 関 係 数	鋼管	0.70	0.79	0.78	0.71	0.71	—
	PC	0.54	0.61	0.66	0.70	0.76	0.69
平均値 [*]	鋼管	0.96	1.04	1.00	0.79	0.86	—
	PC	1.22	0.90	1.03	0.78	1.11	0.96
標準偏差 [*]	鋼管	0.22	0.20	0.20	0.16	0.15	—
	PC	0.38	0.25	0.25	0.17	0.21	0.41

注) *は【実測値/計算値】に対するもの