

III-55 杭打ちにおけるエネルギーの伝達（その1：ハンマ形状の影響）

金沢大学工学部 正会員 ○松本 樹典
金沢大学工学部 正会員 西田 義親
金沢大学大学院 学生員 河上 清和

1. まえがき 杭打ちにおいては、ハンマの持つ位置エネルギー（打撃エネルギー）が杭および周辺地盤に伝達されることによって杭の貫入が生ずる。しかし、宇都ら（1975）は、ハンマを剛体と仮定したSt. Venantの一般解に基づいて、“杭の貫入量は打撃エネルギーに比例しない”ことを示している。各種の動的支持力公式のように打撃エネルギーと一当たりの貫入量から杭支持力を予測しようとする場合、打撃エネルギーの杭および地盤への伝達機構を明らかにすることが重要である。打撃エネルギーの伝達機構は、杭およびハンマの形状のみならず、地盤特性によっても大きく影響されるものと考えられる。そこで本研究（その1）では、まず共に弾性体であるハンマと杭の衝突によって生ずるハンマから杭へのエネルギーの伝達がハンマの形状によってどのように影響されるかについて、次元波動理論に基づいて考察を行う。

2. ハンマおよび杭のエネルギー

杭の微小区間 Δx の持つエネルギー ΔU_p は、ひずみエネルギーと運動エネルギーからなっており、次式で与えられる。

$$\Delta U_p = \frac{1}{2} A \Delta x \left(\frac{\sigma^2}{E} + \rho v^2 \right) \quad (1)$$

ここで、 A は杭の断面積、 E はヤング率、 ρ は密度、 σ は応力、 v は粒子速度である。ハンマの微小区間 Δx が持つエネルギーも同様にハンマの材料定数を用いて、式（1）で与えられる。

自由落下高さ h を持つハンマが静止している杭を打撃する場合、衝突直前のハンマの持つエネルギーは運動エネルギー U_{KH} のみであり、これはハンマの持っていた位置エネルギー U_o に等しい。

$$U_{KH} = U_o = \frac{1}{2} \frac{W_H}{g} V_o^2 = W_H \cdot h \quad (2)$$

ここで W_H はハンマの重量、 V_o は衝突直前の落下速度である。上述のようなエネルギーの算定を筆者らの開発している応力波解析プログラムに組み込み、ハンマから杭へのエネルギー伝達機構の解析を行った。

3. ハンマと杭の衝突におけるエネルギー伝達の解析

(a)解析条件 今回の解析においては、ハンマの形状によるハンマから杭へのエネルギー伝達の影響を調べるため、地盤抵抗は存在しないものとし、ハンマおよび杭の形状・力学定数として表-1に示す値を用いた。

そして表-2に示すように、ハンマの断面積 A_H 、長さ L_H 、落下高さ h を変えて計5通りの解析を行った

(b)解析結果 図-1の(a)図はRun 2における杭頭応力、(b)図はハンマ端と杭頭の変位量、(c)図はハンマの運動エネルギー (U_{KH})、ひずみエネルギー (U_{SH}) および全エネルギー ($U_H = U_{KH} + U_{SP}$)、(d)図は杭の持つそれぞれのエネルギー (U_{KP} 、 U_{SP} 、 $U_p = U_{KP} + U_{SP}$) の時間変化を示したものである。図-2(b)からわかるように、

表-2 解析に用いたハンマの打撃条件と解析結果

	A_H (cm^2)	L_H (cm)	W_H (kgf)	h (cm)	$U_o = W_H \cdot h$ (kgf·cm)	U_p (kgf·cm)	U_p/U_o	V_H (cm/s)	$\bar{V}_p$ (cm/s)	$\bar{U}_{KP}$ (kgf·cm)	$\bar{U}_{KP}/U_o$
Run 1	2.0	60	0.988	20	19.757	19.757	1.0	0.0	197.99	19.957	1.0
Run 2	4.0	30	0.988	20	19.757	19.513	0.988	22.0	176.25	15.656	0.792
Run 3	8.0	15	0.988	20	19.757	19.448	0.984	24.75	172.92	15.070	0.763
Run 4	4.0	30	0.988	40	39.514	39.026	0.988	31.11	248.75	31.186	0.792
Run 5	4.0	15	0.494	40	19.757	19.754	0.999	3.46	172.08	14.924	0.755

ハンマと杭は時刻 $t=2L/c$ (L : 杭長, c : 波速) に分離している。また図-2(c), (d) からわかるように、ハンマの持つエネルギーは時間とともに杭に伝達されるが、ハンマと杭の分離とともにエネルギーの伝達は終了する。分離後には、ハンマは運動エネルギー U_{KH} だけを持つようになる。しかし、杭に伝わったエネルギー U_p は運動エネルギー U_{KP} とひずみエネルギー U_{SP} の両者の形で存在する。そして全エネルギーに対する運動エネルギー U_{KP} とひずみエネルギー U_{SP} の割合は、ハンマと杭の分離後も時間的に変化している。

図-2は、Run 5の解析結果である。Run 2の場合とほぼ同様な結果を示しているが、この場合ハンマから杭へのエネルギー伝達の大部分が打撃後短時間の間に生じている。また、杭に伝達された全エネルギーに占めるひずみエネルギーの割合がRun 2の場合に比べて大きい。ハンマの動きに注目すると、この場合、杭重量より小さな重量を持つハンマで打撃しているが、図-2(b)に示されるようにハンマのはね返りは生じていない。

表-2には、行った全ての解析結果を合せて示した。表-2において、 U_H , U_p は分離後にそれぞれハンマおよび杭が持つ全エネルギーである。 V_H は分離後のハンマの速度、 V_p は分離後の杭の平均速度、 U_{KP} は $U_p = W_p V_p^2 / 2$ として求めた杭の運動エネルギーである。全エネルギーの伝達効率 (U_p / U_0) は、ハンマの形状に関わらずほぼ1に近くなっている。しかし、運動エネルギーとして杭に伝達される U_0 の割合 (U_{KP} / U_0) は、Run 1を除けば0.75~0.80の間にある。杭に伝わった運動エネルギーは実際の杭の地盤への貫入によってなされる仕事量にほぼ等しいものと考えられる。したがって、ハンマの持つ打撃エネルギーのうち実際の杭の貫入に利用される割合はハンマの形状によって影響されるものであろう。また表-2の V_H の値や図-1(c), 図-2(c)に示されるように、杭よりも大きなインピーダンスを持つハンマで杭を打撃した場合、地盤抵抗が存在しなければ、ハンマの重量に関わらずハンマのはね返りは生じないことがわかった。

参考文献 1) 宇都・近藤・冬木・松村(1975): 「ロッドの地盤への動的貫入機構よりみた動的貫入試験法の比較」、第10回土質工学研究発表会、pp.35-38.

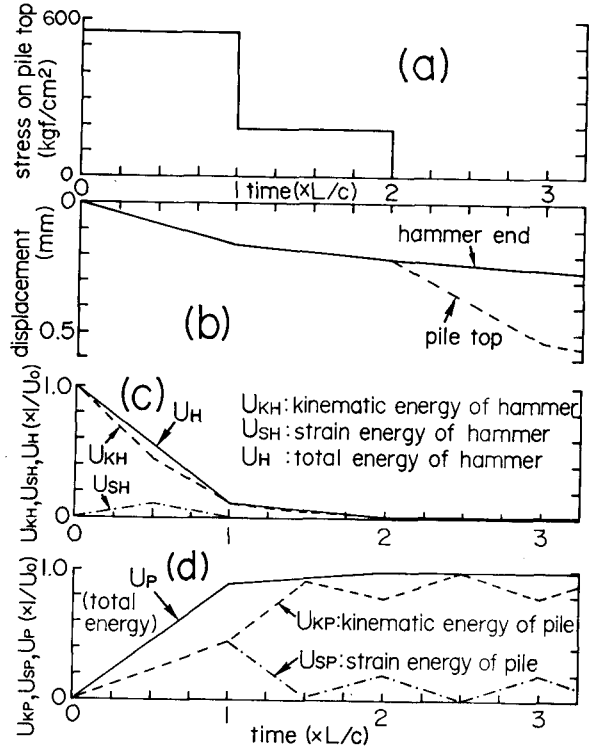


図-1 Run 2の解析結果

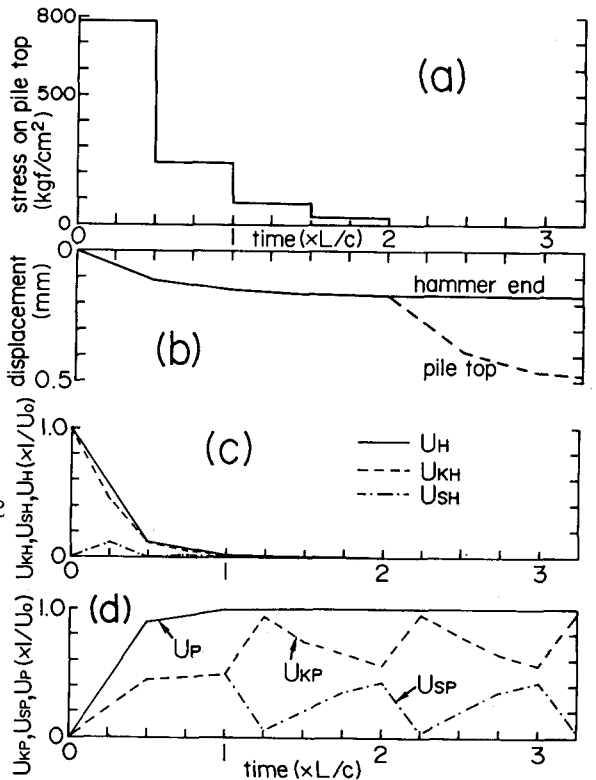


図-2 Run 5の解析結果