

東海大学 工学部 正員 宇都一馬

正員 ○冬木 衛

学生員 森原幹雄

1. まえがき 標準貫入試験において、ロッドの長さの異なると、貫入の挙動かなり違うことを指摘した。¹⁾ 上の問題と結びつける前に、ハンマーの持つエネルギーの伝達機構を明らかにする必要がある。²⁾ かわち、ハンマーの持つ位置エネルギーの何割が、ロッドに伝わり、また、その何割が最終的に貫入の仕事に関与するかという問題を、エネルギーに関する効率の型で処理しようと試みた。

昨年までの報告で、ロッドに生じるサード降波（基本波）はつぎのように表わされることがわかった。（図-1参照）

$0 \leq ct - x \leq 2l$ において、ロッドの変位 u 、変位速度 v 、ひずみ ϵ と応力 σ はそれぞれ次式で表わされる。

$$u = \frac{v_0 l}{cm} \left\{ 1 - e^{-\frac{m}{l}(ct-x)} \right\} \quad (1)$$

$$v = v_0 e^{-\frac{m}{l}(ct-x)} \quad (2)$$

$$\epsilon = -\frac{v_0}{c} e^{-\frac{m}{l}(ct-x)} \quad (3)$$

$$\sigma = -\frac{v_0 E}{c} e^{-\frac{m}{l}(ct-x)} \quad (4)$$

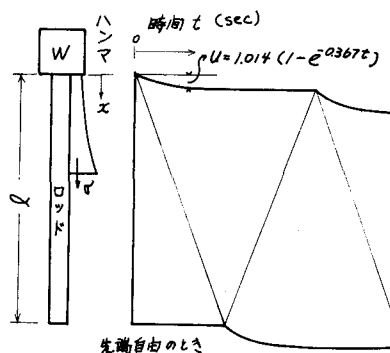


図-1

ここに、 v_0 :ハンマーの落下速度、 c :弾性波の伝播速度、 l :ロッド長、 m :ロッドとハンマーの重量比、 E :ロッドの弾性係数である。 $x=0$ とし、定数代入すると基本波はそれぞれ次式となる。

$$u = 1.014(1 - e^{-0.367t}) [cm]$$

$$v = 383 e^{-0.367t} \quad [cm/sec]$$

$$\epsilon = 748 e^{-0.367t}$$

$$\sigma = 1571 e^{-0.367t} \quad [kg/cm^2]$$

エネルギーに関する効率をつぎのように定義する。

$$e_1 = \text{摩擦効率} = \frac{\text{ガイドなどの摩擦による損失を受けたエネルギー} (E_1)}{\text{ハンマーが最初もっていた位置エネルギー} (E_0)} = \frac{E_1}{W H}$$

$$e_2 = \text{打撃効率} = \frac{\text{実際にロッドに伝わったエネルギー} (E_2)}{\text{ハンマーが衝突の直前にもっていたエネルギー} (E_1)}$$

$$e = (\text{エネルギー})\text{効率} = \frac{\text{実際にロッドに伝わったエネルギー} (E_2)}{\text{ハンマーが最初にもっていた位置エネルギー} (E_0)} = e_1 e_2$$

$e_3(l)$ = 波動がロッド内を伝播する間の減衰に関する効率

$$= \frac{\text{ロッドを伝播する間の損失を受けたエネルギー} (E_3)}{\text{実際にロッドに伝わったエネルギー} (E_2)} \\ (\text{ロッド長の関数と考えられる。})$$

ハンマーのもつていた位置エネルギー WH は落下の際のガイド、ロープなどの摩擦のため、衝突の直前に $e_1 WH (= E_1)$ に減少する。その時の衝突速度は $V_1 = \sqrt{2e_1 g H}$ となる。衝突のときエネルギーは完全には伝わらず(ただし、ロッドは十分長いものとする)実際に伝わるのは $e_1 e_2 WH (= E_2)$ となる。このエネルギーはロッド伝_をぱするにともなひ減衰し、最終的に貫入に与するものは $e_1 e_2 e_3 WH$ となる。

2. 実験および解析方法

(1) 実験装置 標準貫入試験用ロッド(中40.5mm, $l=3m$)を38本用意し、これをおよそ4m間隔で打った木製の支柱に鉄筋(中9mm)のフックで水平に支持した。ハンマーはロープで水平につるし、これによって打撃を与えた。(ガイド棒はとり外してある。)打撃端の直後(1本目のロッド2.50mの位置)に A_1 ゲージを貼り、これによりロッドに伝わるエネルギー(E_2)を測定する。 A_2 ゲージはロッドの長さの変化による減衰の量を測定(E_3)を測定するためのもので、後方に先端での反射の影響を除くため、十分な長さのロッドを継ぐ。この方法により、ロッド長78mまでの減衰のようすを測定できた。

(2) 測定

a.) ストレインゲージによるひずみの測定: 従来行ってきた方法^{1), 2)}と全く同様で、ホイールゲージ(抵抗値500Ω, ゲージ率約2.1)をロッドの軸に対称な位置に貼り、これを直列に継ぎ、ブリッジ回路の一边とする。24Vの直流ブリッジ電圧をかけ、メモリスコープで観測する。

b.) 微小変位計によるストレインゲージの校正: 微小変位計でロッド先端の変位を直接測定し、ストレインゲージの観測波形を数値積分して求めた変位変位と比較を行ない、ストレインゲージの校正とした。その一部のデータを図-2に示す。これより、ストレインゲージ A_1, A_2 によるひずみの測定は十分、正しいことがわかった。

c.) ストロボスコープによる落下速度の測定: ストロボスコープによりハンマーの衝突直前の速度を測定し、(E_1)を求める。

(3) ストレインゲージによるエネルギー算出の精度、

ひずみの時間的变化を測定し、これを数値積分することによってロッド内を伝ぱするエネルギーを知り得ることによって述べた。²⁾これは断面変化のない一本のロッド内でひずみエネルギーと運動エネルギーが1:1の割合で存在することを利用したものである。

これについて、ノッキングヘッド、カップリングの断面変化の影響が考えられるが、検討の結果、無視しうるほどのものであった。測定器系、解析作業を含めての装置は、最悪の場合、±20%程度の誤差を含む可能性がある。

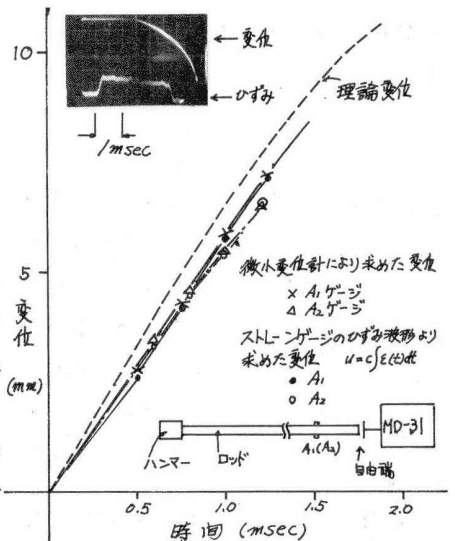


図-2 微小変位計(MD-31)による
ストレインゲージの校正

3. 実験結果および考察

(1) E_1 および e_1 について

ストロブスコープで求めた衝突直前の速度を V_1 とすると、 E_1 は $E_1 = \frac{1}{2} m V_1^2$ で求まる。今回求めた e_1 の値は、ハンマーが横振りでのもので、実際の標準貫入試験とは、かなり異なると思われる値が求まった。 $(e_1 = 1.057)$

e_1 の値については多くの報告がなされ、建築鋼ゲイ基礎設計施工規準ではドロップハンマーで 0.6、ディーゼルハンマーで 0.8 程度、また竹中氏の報告によれば 0.8³⁾ とされている。われわれの実験でコーンパーリーを使った場合 0.7 ~ 0.8³⁾、慎重に落下させたとき 0.9 ~ 1.0³⁾ を得ている。

各効率のうち、試験操作の違いにより最も大きく変動すると思われる。

(2) E_2 および e_2 について

E_2 は A_1 ゲージで測定したひずみ波形から求められる。いろいろな衝突速度において求めたものを図-3 に示した。これによると、衝突速度が減少するとわずかに効率も低下することがわかる。 $h=75\text{cm}$ 付近では $e_2 = 0.8$ 程度となる。すなわち E_1 の約 8 割がロッドに伝わることになり 2 割はハンマーの横振動などの運動エネルギーに残ると考えられる。昨年の報告では $e_2 = 0.9$ が得られたが、鉛直の打撃と水平の打撃のちがいによるか、あるいは測定誤差が明らかでない。

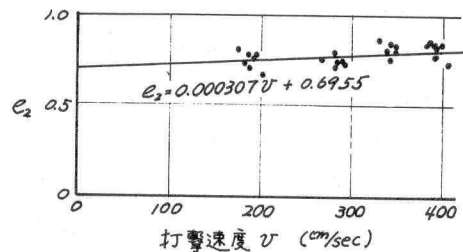


図-3 V と e_2 の関係

(3) E_3 および e_3 について

E_3 は A_2 ゲージで測定したひずみ波形より求める。衝突の瞬間から 8 時間後にハンマーからロッドに伝わるエネルギーは

$$E = 4763 [1 - e^{-0.734t}] \quad (\text{Kg} \cdot \text{cm}) \quad (5)$$

で表わされる。図-4 に実測したエネルギーの比 (波形より求めた全エネルギーに対するある時間までに伝わったエネルギーの割合) と上式より求めた理論値とを比較した。 A_1 , A_2 ゲージの観測波形より、立ち上りの瞬間からある時間 t までに伝わったエネルギーをそれぞれ E_{2t} , E_{3t} とする。 E_{3t}/E_{2t} の値の時間的変化を描いたものが図-5 である。これによると、エネルギーの伝達の割合は時間の経過とともに増加していくようである。その傾向は波形の初期ほど著しい。

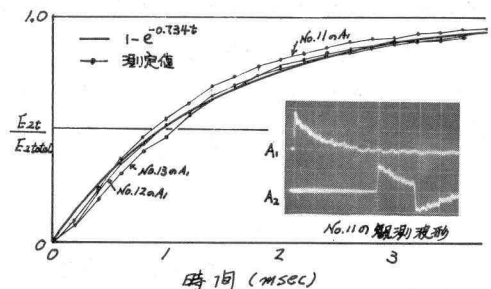


図-4 $E_{2t}/E_{2\text{tot}}$ の時間的変化
 A_2 ゲージは 15 本のロッド、その後にロッド 3 本継ぐ波形のデジ 掃引時間 2ms/div, 垂直感度 5mV/div, プリッジ電圧 23.0V

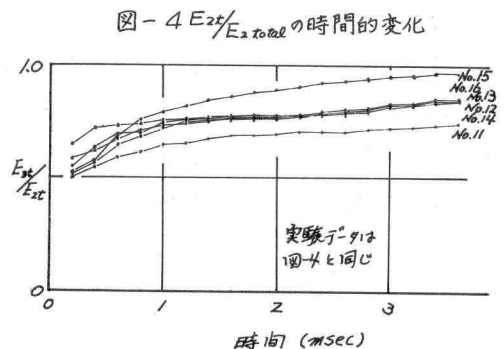


図-5 E_{3t}/E_{2t} の時間的変化
実験ゲージは 図-4 と同じ

e_3 の値は、図の最終値をとった。各種のロッド長における e_3 の値を示したのが図-6で、ロッドが長くなるにともない、効率はわずかに低下することがわかる。

以上のことより、たとえば、ロッド長30mの標準貫入試験を行なうとき、 $e_1=0.8$ 、 $e_2=0.8$ 、 $e_3=0.9$ とすれば $e_1e_2e_3=0.58$ となりハンマーのもったエネルギーの約6割が、貫入の仕事に費されることがわかる。

前報にも述べたように、衝突より $T=2\%$ 時間後に、ハンマーとロッドは一時はなれ、エネルギーの伝達は中止される。ハンマーに残ったエネルギーは2回目以降の衝突で伝えられることになる。ロッド長が短いとき、2回目以降の衝突は実用上無視できない。

図-6では、簡単のため1回目の衝突で、ロッドが受けとるエネルギーのみにつき考えた。

これより、ロッド長12m（エネルギーは2%時間内に97%伝達する。）を2回目以降の衝突の影響を無視しうる限界とし、これを規準にN値の補正係数を求めた。（表-1）

ロッドが短い場合、貫入の挙動は複雑でロッド長の変化が敏感に影響し、簡単な補正係数では処理できない。N値の評価の再検討が必要である。

4. おまじ

今回は、エネルギーに関する効率の型でN値の問題を調べ、測定上の誤差もあるが、ロッド長12mを規準にして、表-1に示すN値の補正係数が得られた。

参考文献

- 1) 森田、他2名；棒の地盤への動的貫入機構—標準貫入試験を対象にして（オニ報） 第5回土質工学研究発表会、1970、6
- 2) 森田、他3名；N値の補正（主としてロッド長さの影響について） 第4回土質工学研究発表会、1969、6.
- 3) 竹中；深い砂レキ層のN値の修正法 土と基礎 13-2 1965、2

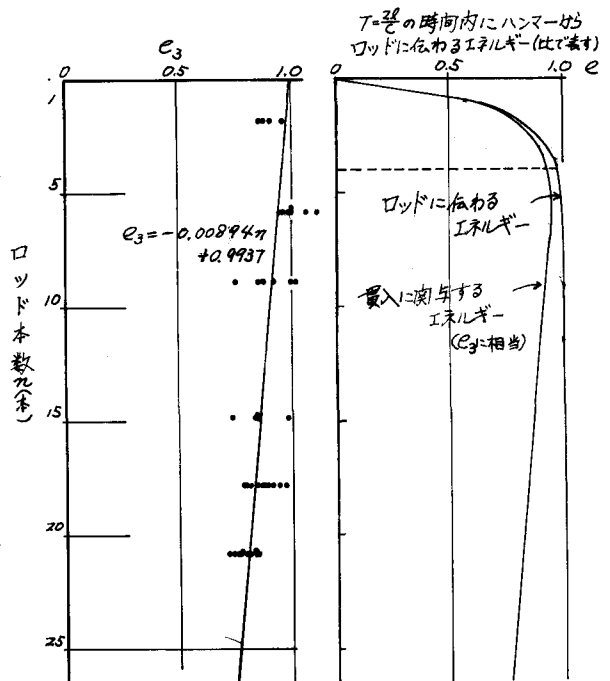


図-6 各ロッド長における e_3 の変化

表-1 N値の補正係数 (12mを規準にして)

ロッド本数	補正係数	ロッド本数	補正係数
3		13	0.948
4	1.000	14	0.939
5	1.010	15	0.929
6	1.009	16	0.920
7	1.004	17	0.910
8	0.996	18	0.900
9	0.987	19	0.890
10	0.977	20	0.881
11	0.968	21	0.872
12	0.958	22	0.862