

東京理科大学 学生会員 吉永 拓生
 東京理科大学 名誉会員 藤田 圭一
 復建調査設計 正会員 長崎 宏昭
 東京理科大学 山口 博史

1. はじめに

標準貫入試験(SPT)に波動理論を適用して試験機の寸法がN値に及ぼす影響を検討する。ハンマーがノッキングヘッドを打撃して生じた応力波はノッキングヘッドを通じてロッドに伝播する。それぞれが同じ鋼材のとき、ハンマー打撃時にロッドに生じる最大圧縮応力度はハンマーの落下速度、ハンマー、ノッキングヘッドおよびロッドそれぞれの断面積比によって左右される。本文は、標準貫入試験機のハンマー、ノッキングヘッド、ロッドの断面が JIS ではそれぞれ一定値に定めていないため、ハンマー打撃時にロッドに生じる最大圧縮応力度にどのような影響を与えるかを求め、異なったN値を与える可能性について述べる。

2. 応力波の伝播、ロッドに生じる最大圧縮応力度の理論式

図 1(a)はハンマーがロッドを直接打撃するケースで、打撃した瞬間にロッドに生じた応力波は下方に、ハンマーに生じた応力波は上方に伝播する。この時、ロッドとハンマーに生じた粒子速度 v_r と v_h は、ハンマーの衝突速度 V をそれぞれのインピーダンス EA/c の比で分配した大きくなる。図 1(b)ではハンマーはノッキングヘッドと衝突し、応力波はノッキングヘッドからロッドに伝播する。両者の境界面では断面が変化しているのでロッドに透過するものと、ノッキングヘッドに反射するものに分かれるが、図 1(a)と同様な方法で粒子速度が求められる。

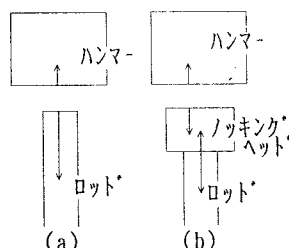


図1. 解析モデルと
応力波の伝播

表 1. 記号、式、数値

Abou-martar¹⁾らによれば、打撃エネルギーの損失がない場合には、ロッドに生じる粒子速度 v_r 、 v_r' と最大圧縮応力度 σ_r 、 σ_r' の理論式は式(1)、(2)で与えられる。

$$\begin{aligned} \text{図 1.(a)のケース} \quad v_r &= \frac{1}{(1 + \alpha_{rh})} \times V \\ \sigma_r &= \frac{E}{c} \times v_r \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{図 1.(b)のケース} \quad v_r' &= \left(\frac{2}{1 + \alpha_{rk}} \right) \left(\frac{1}{1 + \alpha_{kh}} \right) \times V \\ \sigma_r' &= \frac{E}{c} \times v_r' \end{aligned} \quad (2)$$

各種の寸法の組み合わせのもとに、式(1)と式(2)によって求められたロッドに生じる最大圧縮応力度の理論値の σ_r と σ_r' は、表 2 中の σ としてまとめた。

V	:ハンマーの衝突速度 = $\sqrt{2gh}$
σ_r	:ロッドの最大圧縮応力度 = $E/c \times v_r$
α_{rh}	:インピーダンス比 = $(EA_r/c)/(EA_h/c)$
α_{rk}	:インピーダンス比 = $(EA_r/c)/(EA_k/c)$
α_{kh}	:インピーダンス比 = $(EA_k/c)/(EA_h/c)$
v_r'	:ロッドの粒子速度
σ_r'	:ロッドの最大圧縮応力度 = $E/c \times v_r'$
g	:重力の加速度 = 9.807 m/s^2
H	:ハンマーの落下高 = 75 cm
E	:弾性係数 = $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2 = 206 \text{ GPa}$
A	:断面積
c	:波の伝播速度 = $5,120 \text{ m/s}$
ただし、下付きの r, h, k はロッド、ハンマー、ノッキングヘッドを示す。	

標準貫入試験、N値、最大圧縮応力度、波動理論、応力波、JIS 規格

〒278-8510 野田市山崎 2641 東京理科大学 TEL 0471-24-1501(内線)4056 FAX 0471-23-9766

3. ロッドに生じる最大圧縮応力度の計測方法²⁾と計測結果

模型地盤は、内径 60cm、高さ 100cm の鋼製モールドを用い、乾燥砂を用いて、相対密度 40,60,80%かつ均一になるように作成し、モールドの蓋と地盤面の間に加圧した空気袋を設置し、上載圧をかけて原地盤の深い位置を模擬した。

ハンマーの打撃で発生した応力波はノッキングヘッドの上面から 40cm および 60cm 下方のロッドに貼り付けた半導体ひずみゲージで捉え、応答周波数 200kHz のアンプで増幅後、サンプリングレート 5 μ s で A/D 変換を行い、フロッピーディスクに記録した。

ひずみゲージより得られた最大圧縮応力度の平均実測値は 206.4 MPa、打撃効率は 0.71~0.99 であった。理論値と比較するために打撃効率 1.0 のときに補正すると、228.9 MPa になる。理論値 235.9 MPa と実測値(補正)228.9MPa の比は 1:0.97、その差 3 %は解析モデルの単純化による誤差と実験誤差と考えると両者は等しいとみなすことができる。

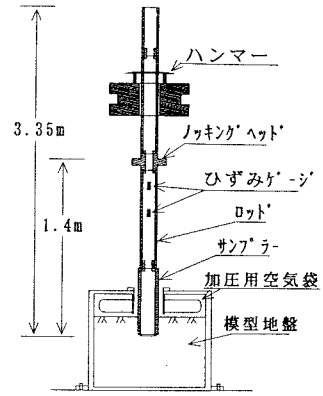


図2. 実験装置

4. JIS 規格の寸法の違いが与える影響

異なったハンマー、ノッキングヘッド、ロッドの径でロッドに生じる最大圧縮応力度が表 2 に示されている。表 2 の F の値はサンプラーの動的貫入抵抗にほぼ比例するところから、藤田(1997)³⁾が示した関係を基にして貫入量に及ぼす影響を検討すると、ロッド径が 40.5mm から 42mm になると、動的貫入抵抗が約 8%大きくなり、貫入量が約 8%減少すると推定される。したがってN値が約 8%大きくなることが判った。

表 2. SPT 機各部の寸法とロッドに生じる最大圧縮応力度

ハンマーの径 (mm)	ノッキングヘッドの径 (mm)	ロッドの径 A (mm)	ロッドの最大圧縮 応力度(MPa)		F= $\sigma \cdot A$ (kN)
			計算値 σ	実測値	
200/44* (JISの例)	75/17*	40.5/31*	240.0		128
	(JISの例)	42/32*	237.6		138
	なし	40.5/31*	151.6		81
		42/32*	151.3		88
197/50* (実験機)	85/17*	40.5/31*	235.9	228.9	126
	(実験機)	42/32*	234.1		136
	なし	40.5/31*	151.4		81
		42/32*	151.2		88

ただし、* (外径)/(内径)

5. まとめ

- JIS では、ロッドの呼び径は 40.5mm または 42mm、ハンマーの径の例として 200mm、ノッキングヘッドの径の例として 75mm を与えているが、これらの断面積とそれらの比がロッドの最大圧縮応力度、サンプラーの動的貫入抵抗およびN値に与える影響が小さくないことから、寸法をそれぞれ一定にするように JIS を改正する必要がある。

<参考文献> 1) Abou-matar, H. and Goble, G. G.: SPT Dynamic Analysis and Measurements, J. of GT, ASCE, Vol.123, No.10, Oct.1997, pp921-928 2) 藤田、宇根、長崎: 加圧した乾燥砂地盤における標準貫入試験の動的貫入抵抗、土木学会第 51 回年次学術講演会概要集第 3 部(A), pp758-759 3) 藤田圭一: 標準化されていない標準貫入試験とN値、土木学会誌, Vol.82, Dec.1997, pp24-27