

金沢大学工学部 正会員 松本 樹典
 ホクコク地水(株) 正会員 道 勇治
 石川県七尾土木事務所 浅村 精一
 ホクコク地水(株) 宮田 隆司

1. はじめに

著者らは、石川県能登半島に広く分布する珪藻泥岩地盤において標準貫入試験および標準貫入試験用サンプラー(SPTサンプラー)の引抜き試験を行なった¹⁾。本研究では標準貫入試験の応力波解析を行なうことによってSPTサンプラーに作用する地盤の貫入抵抗の同定を試みた。

2. 解析する標準貫入試験の概要¹⁾

試験地点の地盤構成は、地表面から深さ6mまでは砂質粘土であり、それ以深は厚さ40m以上の珪藻泥岩であった。珪藻泥岩地盤は完全に飽和しており、自然含水比 $w_n=120-130\%$ 、湿潤密度 $\rho_s=1.31-1.37\text{g/cm}^3$ を有する非常に均一な地盤であった。

深さ15mのボーリング孔底より標準貫入試験を行なった。応力波解析を行なう打撃は、試験開始から22打撃目のものである。この打撃でのサンプラーのボーリング孔底からの根入れ深さは45cmであった。この時のサンプラー内の管内土高さは根入れ長さと同しく45cmであった。

カップリングとノッキングヘッド間のロッドの長さは15mであり、ノッキングヘッドより下方2.7m(ゲージ点1)と3.3m(ゲージ点2)の2箇所で応力(ひずみ)の測定を行なった(図1)。ロッド、カップラーおよびサンプラーの力学的・幾何学的条件は、表1に示す通りである。

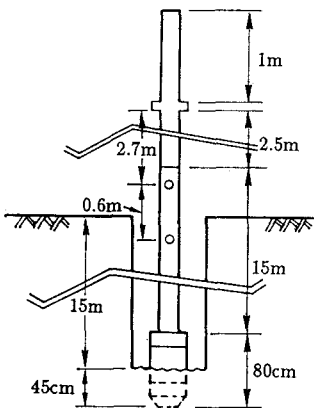


図1 解析する標準貫入試験の概要

3. 標準貫入試験の応力波解析

解析手法 応力波解析には、著者の一人が開発したコンピュータプログラム²⁾を用いた。このプログラムの特徴は、サンプラー外周面に作用する摩

表1 標準貫入試験装置の力学的・幾何学的条件

	Rod	Coupler	Sampler
外径 (cm)	4.06	5.10	5.10
内径 (cm)	3.06	1.68	3.50
断面積 (cm ²)	5.59	18.21	10.81
外周長 (cm)			16.02
内周長 (cm)			11.00
長さ (cm)	1500	16	63
根入れ長 (cm)			45
密度 (g/cm ³)	7.626	7.626	7.626
ヤング率 (×10 ⁶ kgf/cm ²)	2.197	2.197	2.197
波速度 (m/s)	5313.6	5313.6	5313.6

擦(外周面摩擦)とサンプラー内周面と管内土の間の摩擦(内周面摩擦)を独立に考慮できることである。杭体中の応力波伝播は特性曲線法で計算する。管内土を連続したバネと質点でモデル化し、Smithの方法によって管内土中の波動伝播を杭体中の波動伝播と同時に計算する。

地盤モデルには Randolph(1987)の地盤モデル(図2)を用いた。スライダは最大周面摩擦応力 τ_{max} 、バネは周辺地盤の弾性変形、ダッシュポットは逸散減衰を表している。逸散減衰は地盤中の波動伝播によって失われるエネルギーを表している。外周面摩擦に対するバネ定数 k_s と減衰定数 c_s は、Novakら(1978)の研究に基づいて次式で決定した。

$$k_s = 2.9G / (2\pi r_o) \dots (1) \quad c_s = G / V_s \dots (2)$$

上式において、 r_o は杭の半径である。 G 、 ν 、 V_s は、それぞれ地盤のせん断剛性、ポアソン比、せん断波速度である。せん断波速度 V_s は土の密度を ρ_s として、 $V_s = \sqrt{G / \rho_s}$ で与えられる。内周面摩擦の k_s と c_s の値は、外周面摩擦の値と同しくおいた。

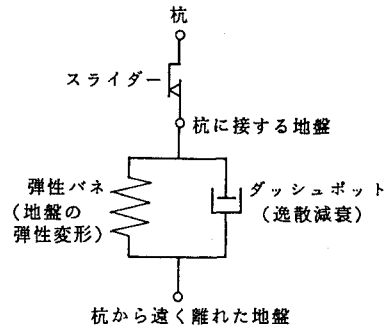


図2 解析に用いた地盤モデル (Randolph model)

解析条件 Sekiguchi et al(1985) は三軸試験によって珪藻泥岩の力学的性質を詳細に調べている。これらの実験データに基づいて地盤バネ定数 k_s と減衰定数 c_s を決定した(表2)。拘束弾性係数 E_{sc} と密度 ρ_s は、管内土柱のバネ定数 B_{sp} と質点質量 M_{sp} を決定するのに用いた。管内土断面積を A_s 、計算に用いるサンプラーの分割長さを ΔL とすると、 $B_{sp} = A_s E_{sc} / \Delta L$ 、 $M_{sp} = A_s \rho_s \Delta L$ である。本計算では、 $\Delta L = 2.5 \text{ cm}$ とし、各節点に図2の地盤抵抗を作用させた。

以上のように地盤パラメータを決定した上で、最大周面摩擦抵抗 τ_{max} の値のみを変化させて計算を繰り返した。先に述べたように管内土高さはサンプラーの根入れ長さに一致していたため、周面摩擦をサンプラーの内外周面に一様に分布させた。

図3は、2点ゲージ法⁶⁾によって求めたゲージ点1の進行応力波(下降波)である。この波形を境界条件とし、ゲージ点1より下方のロッド、カップラー、サンプラー中の応力波伝播を計算した。

表2 解析に用いた地盤パラメータ

体積弾性係数 K	(kgf/cm^2)	900
ポアソン比 ν		0.35
せん断剛性 G	(kgf/cm^2)	300
密度 ρ_s	(g/cm^3)	1.34
せん断波速度 V_s	(m/s)	148
周面バネ定数 k_s	(kgf/cm^3)	54.3
周面減衰定数 c_s	(kgfs/cm^3)	0.0203
最大摩擦応力 τ_{max}	(kgf/cm^2)	2.3

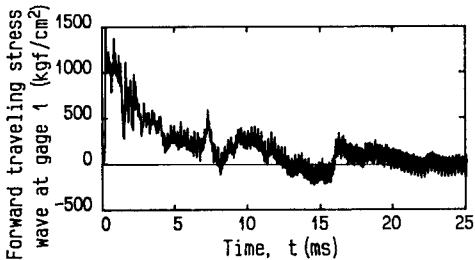


図3 ゲージ点1の下降応力波形(入力波形)

解析結果 最大周面摩擦応力 $\tau_{max} = 2.3 \text{ kgf/cm}^2$ とした場合の計算結果を以下に示す。この場合、サンプラーの最大貫入抵抗力は 2.8 tf となる。

図4は、ゲージ点2の計算応力波形と測定波形を示したものである。入力波形(図2)にノイズがあるため計算波形にもノイズが生じているが、全体的な波形は実測波形とよく一致している。

図5は、ゲージ点1の時間-変位曲線の計算結果と実測結果の比較である。最大変位量、最終変位量には若干の差はあるものの、全体的に計算結果は実測結果の傾向をよく表している。

なお、実際の標準貫入試験の後に行なった引抜き試験では最大周面摩擦応力 $\tau_{max} = 2.1 \text{ kgf/cm}^2$ が得られている¹⁾。

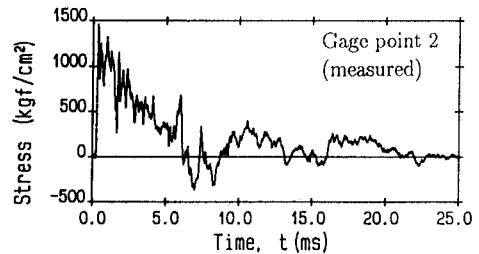
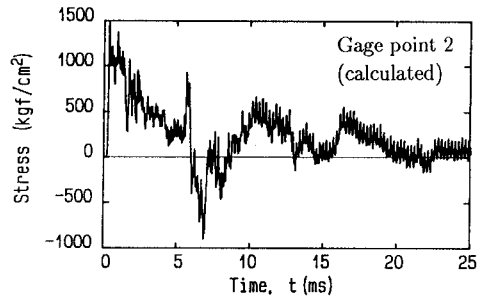


図4 ロッドの計算応力波形と実測応力波形

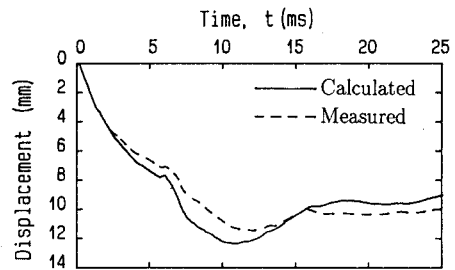


図5 ロッド変位の計算結果と実測結果

4. おわりに

松本ら(1990)は、標準貫入試験におけるハンマの打撃効率のパラッキがN値に大きく影響していることを実際に確かめている。そのため、N値によって地盤の諸定数を経験的に推定することは精度良いものとはいえない。本研究では、標準貫入試験を単にN値のみを求める試験ではなく、さらにサンプラーに作用する地盤抵抗を求める試験として用いることの可能性を示した。

参考文献

- 1) 道ら(1991):珪藻泥岩におけるSPTサンプラーの打込み・引抜き試験, 第26回土質工学研究発表会.
- 2) Matsumoto and Takei(1991):Proc. Conf. on Deep Foundation Practice, 153-160.
- 3) Randolph M.F.(1987):Proc. 9th S.E. Asian Geotech. Conf., 6.1-6.14.
- 4) Novak et al(1978):J. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.104, No.EM4, 953-959.
- 5) Sekiguchi et al(1985):Proc. 5th Int. Conf. Num. Methods in Geomech., Vol.1, 437-444.
- 6) Matsumoto et al(1988):Proc. 3rd Int. Conf. Appl. of Stress-Wave Theory to Piles, 318-336.
- 7) 松本ら(1990):第25回土質工学研究発表会, 127-130.