

SPT の品質管理とその結果の動的貫入抵抗値 q_N による表示

ジオテック 正 藤田 圭一
 ジオテック 宮田 篤
 ハザマ F 大野 睦雄
 ハザマ 正 三反畑 勇
 ハザマ 正 松本 江基

1. まえがき

標準貫入試験 (SPT) と N 値は、半世紀前から土質工学の分野で広く利用されているが、当時のままの古い姿のままに残され、近代的な計測を排除して SPT のメカニズムの検討や解析を忘れて、品質管理のない SPT と品質保証のない N 値が黙認されている。表-1は、 N 値が18である地盤で求められている N 値の例を示しているが、この範囲の N 値がいずれも同じ価値を持つものとして扱われているのは、全く不合理である。

ここに提案する q_N 値は、品質管理として打撃効率を計測した SPT 結果から求めて品質保証された N 値の代わりに利用するもので、従来の品質の悪い N 値との混同を避ける目的を持っている。更に q_N 値 (MPa) はコーン貫入試験の q_c 値と同次元で相関性があるもので、その知見が利用できる特長がある。

2. 動的貫入抵抗値 q_N の定義とその理論的背景

q_N 値 (MPa) は、SPT 時の動的計測で得られた打撃効率 e とサンプラーの動的貫入抵抗 R_d (kN) から $e=1$ の場合の動的貫入抵抗 R_{d100} を求め、これをサンプラーの底面積 20.4cm^2 で除したものである。

藤田 (1977) は、SPT のメカニズムを説明するためにその基本方程式 (1) を与えた。SPT 時のハンマーの位置のエネルギー E^* は式 (2)、ロッドへの伝達エネルギー E_i は式 (3)、一次元波動理論に基づいたロッド (サンプラー) の動的貫入抵抗 R_d は式 (4) で表すことができる。ただし、式 (1) ~ (4) は $e=1$ に対するものである。

$$W \cdot H = R_d \cdot S \dots (1), \quad E^* = W \cdot H \dots (2), \quad E_i = A \cdot \int_0^{t=\infty} \sigma(t) \cdot v(t) \cdot dt \dots (3), \quad R_d = A \cdot \int_0^{t=\infty} \sigma(t) \cdot v(t) \cdot dt / S \dots (4)$$

ここに、 W :ハンマーの重量、 H :ハンマーの自由落下高、 S :1打当りの貫入量、 A :ロッドの断面積、 $\sigma(t)$:時刻 t におけるロッドの応力度、 $v(t)$:時刻 t における粒子速度。

ロッドに伝達されるエネルギーはハンマーの位置エネルギー E^* より小さいので、その比を打撃効率と呼び、式 (5) の e で表すと、式 (1) は式 (6) に書き換えられる。

$$e = E_i / E^* \dots (5), \quad e \cdot W \cdot H = e \cdot R_d \cdot S = (\sqrt{e} \cdot R_d) \cdot (\sqrt{e} \cdot S) \dots (6)$$

式 (6) の $(e \cdot W \cdot H)$ は伝達エネルギー E_i に等しく、 $(\sqrt{e} \cdot R_d)$ は実測動的貫入抵抗、 $(\sqrt{e} \cdot S)$ は実測貫入量に等しい。国際学会では、貫入量は e に反比例 (表-1) するとしているのが、理論の展開に無理が生じる。一方、 \sqrt{e} は実験的にも証明されている。

本文で用いる記号を以下のように定義する。

- $N_{100} = N / \sqrt{e}$: $e=1$ に補正した N 値、(N 値は小数点以下1位まで求める)、 \sqrt{e} : 1打毎に計測した e の平均値の平方根 \dots (7)
- $S_{100} = 30 / N_{100}$ (cm) : $e=1$ に補正した1打平均貫入量 \dots (8)
- $R_{d100} = W \cdot H / S_{100}$ (kN) : $e=1$ に補正した平均補正貫入抵抗量 \dots (9)
- $q_N = R_{d100} / A_s$ (MPa) : サンプラーの動的貫入抵抗値 (サンプラーの単位底面積当り)、 A_s : サンプラーの底面積 $20.4 \times 10^{-4} \text{m}^2 \dots$ (10)

表-1 打撃効率と N 値の関係 (藤田-1997)

e	備考	表示	補正した N 値	
			国際式	藤田式
1.00		N_{100}	18*	
0.85	最高クラス	N_{85}	21	20
0.78	トンビ法	N_{78}	23	20
0.67	Kovacs**	N_{67}	27	22
0.60	国際基準	N_{60}	30	23
0.45		N_{45}	40	27
0.35	最低クラス	N_{35}	51	30

*打撃エネルギーの損失がないときの設定 N 値、**Kovacsらの調査の平均値。

品質管理, 品質保証, 標準貫入試験, N 値, 動的貫入抵抗, 限界抵抗力

(株) ジオテック, 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 3-6-5, T: 03-3340-3100, F: 03-3340-3105

3. 実験と q_N 値の算出

N 値とサンプラーの静的支持力の関係を求める一連の実験結果を利用して、 q_N 値を求めた。

表-2 は実験地盤、表-3 は SPT 時の計測とその結果、表-4 はサンプラーの静的押込み試験結果を示す。 $N_{100}=8.3 \sim 27.5$, $R_{d100}=13.1 \sim 43.0\text{kN}$ に対して q_N 値 $=6.42 \sim 21.5\text{MPa}$ が求められた。

4. q_N 値とサンプラーの静的支持力との関係

表-4 のサンプラーの限界抵抗力を底面積 A_s で除して次の用語と記号で示すと、その大きさは第1限界抵抗力 $p_y=3.67 \sim 13.0$, 第2限界抵抗力 $p_u=5.73 \sim 18.6$, 最大抵抗力 $p_{max}=6.42 \sim 21.5$, いずれも MPa で、 q_N 値と同次元で比較することが出来る。図-1 は、両者に相関関係があり、 q_N 値は N 値に代わって使用することが出来ることが示されている。

5. SPT の q_N 値と CPT の q_N 値との関係

Meyerhof (1956) は、 $q_c=(2.5 \sim 5.5) N$, 平均的に $q_c=4N$ (kgf/cm²) すなわち $q_c=400N$ (kPa) であるとしているが、Mesri (1996) が当時の N 値は N_{60} とする考えを導入すると、次の関係が成立する。

$$q_c=400N_{60}=400N_{100}/\sqrt{0.60}=0.516N_{100} \text{ (MPa)} \quad \dots (11)$$

表-3 の $N_{100}=8.3 \sim 27.5$ に対応する q_c は式 (12), また、 q_N と q_c の関係は式 (13) で与えられる。

$$q_c=0.516(8.3 \sim 27.5)=4.28 \sim 14.2 \text{ (MPa)} \quad \dots (12)$$

$$q_N=1.5q_c, \text{ または } q_c=0.667q_N \quad \dots (13)$$

6. まとめ

(1) 品質管理された標準貫入試験で求めた品質保証のある N 値を在来の N 値との混合による混乱を避けるために、 q_N 値による表示が可能であることが判明した。

(2) コーン貫入試験の q_c 値と同次元で相関性があるので、その知見を利用することが出来る。

[参考文献]

- 1) 藤田圭一ほか：品質管理を行った SPT 結果の動的貫入抵抗による表示，第 38 回地盤工学研究発表会，投稿中，2003
- 2) 藤田圭一：品質管理された SPT とそのメカニズム，品質保証された N 値とその解釈，基礎工，pp2-6，2003.2
- 3) 長崎，藤田，吉永，山口：打撃効率による N 値の合理的な補正" \sqrt{e} 方法"，土木学会第 35 回年次学術講演会概要集 3A，pp762-763，1998

表-2 実験地盤

加圧土槽：内径 0.78 m, 外径 0.92 m
乾燥豊浦砂, 相対密度 $D_r=60 \sim 80\%$
 $\sigma_v'=100\text{kPa}$, $\sigma_h'=30 \sim 150\text{kPa}$, 18種類

表-3 SPT 時の計測とその結果

2点ゲージ方法, 半導体ゲージ 8 枚
応答周波数 200kHz, 記録間隔 $5 \mu\text{s}$
応力度の時刻歴 貫入量の時刻歴他
 N 値 $=9 \sim 29$, $N=8.7 \sim 28.8$, $e=0.88 \sim 0.96$
 $N_{100}=8.3 \sim 27.5$, $S_{100}=1.1 \sim 3.6\text{cm}$
 $R_{d100}=13.1 \sim 43.0\text{kN}$, $q_N=6.42 \sim 21.5\text{MPa}$

表-4 サンプラーの静的押込み試験

杭の押込み試験方法 (JIS1181-2002)
第1限界抵抗力 p_y (降伏荷重に相当)
 $p_y=7.5 \sim 26.5\text{kN}$
第2限界抵抗力 p_u (極限荷重に相当*)
 $p_u=11.7 \sim 38.0\text{kN}$
最大抵抗力 p_{max} (荷重計での最大示度)
 $p_{max}=13.1 \sim 43.8\text{kN}$

*サンプラー径の 10%, 沈下量 5.1mm 時

$$\text{最大抵抗力 } p_{max}=(0.88\pm 0.10)q_N \text{ (MPa)}$$

$$\text{第2限界抵抗力 } p_u=(0.79\pm 0.08)q_N \text{ (MPa)}$$

$$\text{第1限界抵抗力 } p_y=(0.54\pm 0.06)q_N \text{ (MPa)}$$

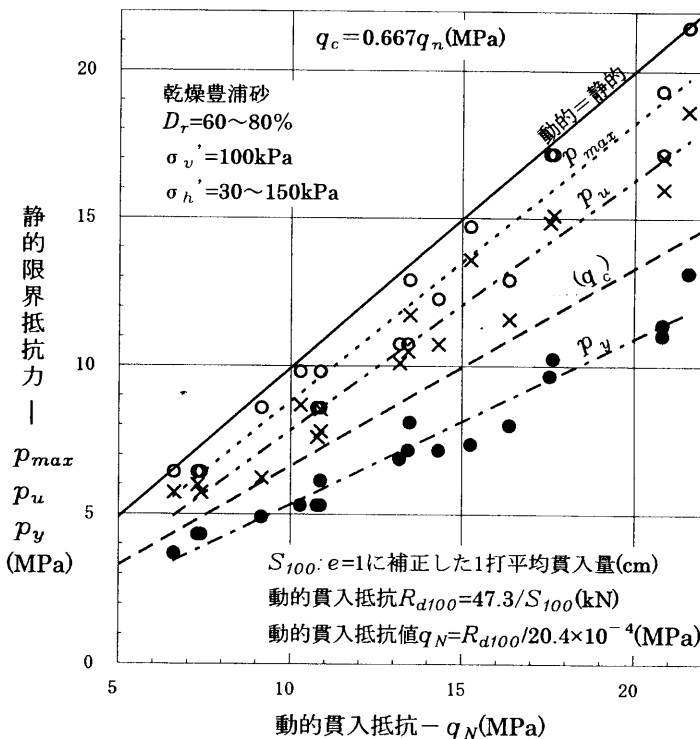


図-1 動的貫入抵抗値と静的限界抵抗力度との関係 (藤田ら：2003)