【015】

サウンディング試験から得られる N 値の換算リスク

関東地質調査業協会 技術委員会　　○水江　邦夫，橘　久生，調　修二
中川　渉，河野　寛

1. はじめに

各種サウンディング試験は，試験別，土質別による実証実験や研究成果などから N 値との相関式が提案されている。しかしながら，土質や試験機構などの条件によって，相関性にかなりのばらつきがあることが見受けられる。この相関式を利用して得られた換算 N 値から，設計用の地盤定数が設定されるケースも多くみられる。

本報は，各サウンディング試験から得られる換算 N 値の比較結果や，ばらつきの影響要因から，換算値の適用について提言するものである。

2. サウンディングと標準貫入試験との相関式

動的および静的なサウンディング試験から得られる N_d や q_t と標準貫入試験の N 値との相関式は，以下の表にまとめられる（表-1，表-2）。表に示すように土質の違いや，試験器によっては相関式が複数提案されており，その範囲も幅で示されるなど,相関性にばらつきがあるといえる。

表-1　動的サウンディング試験と N 値の相関式 [1)]

仕様	試験名	N値相関式
動的サウンディング	鉄研式動的 コーン貫入試験	大　型　$N=0.87N_d$ 中　型　$N=0.1N_{d35/30}$ $2N_{d35/30}=N_{d70/30}$
	オートマチック ラムサウンディング	$N=N_d$
	大型貫入試験	$N=1.5\ N_d$　(砂) $N=2.0\ N_d$　(砂礫) $N=(N_d-2.7)/1.54$もしくは $N=(N_d-2.8)/0.9$　(砂質土) $N=(N_d-0.7)/3.17$もしくは $N=(N_d-3.1)/1.65$　(粘性土)
	中型貫入試験 (ミニラムサウンディング)	$N=(N_d-3.5)/1.62$　(粘性土) $N=(N_d-3.1)/0.95$、 $N=(N_d-2.5)/0.97$もしくは $N=(N_d-3.9)/0.89$　(砂質土)
	土研式動的 コーン貫入試験	$N=0.8N_d$
	簡易動的 コーン貫入試験	大久保ら　$N=(0.33\sim1)N_d$ 新　$N=0.67N_d$ 岡田ら $Nd\leqq4$：$N=0.50N_d$(礫質土) $N=0.66N_d$(砂質土) $N=0.75N_d$(粘性土) $Nd>4$：$N=0.7+0.34N_d$(礫質土) $N=1.1+0.30N_d$(砂質土) $N=1.7+0.34N_d$(粘性土) 甚野ら　$N=1.50\sqrt{N_d}+0.75$

表-2　静的サウンディング試験と N 値の相関式 [1)]

仕様	試験名	N値相関式
静的サウンディング	機械式 コーン貫入試験	$N=0.25\ q_c$ (MN/m^2) Kruizinga　$N=(2\sim5)\ q_c$ (MN/m^2)　(粘性土) $N=(1\sim5)\ q_c$ (MN/m^2)　(砂質土) $N=(0.56\sim5)\ q_c$ (MN/m^2)　(礫質土) 室町　$qc/N=5.48+1.36\log D_{50}$ (kg/cm^2)
	スクリューウエイト 貫入試験	福田　$N=0.002W_{sw}+0.067N_{sw}$(礫質土、砂質土) $N=0.003W_{sw}+0.050N_{sw}$(粘性土、礫混じり粘性土) 上田　$N=0.318N_{sw}^{0.755}$ 三木　$N=1/12N_{sw}$　(砂) $N=1/9N_{sw}$　(赤土)$N_{sw}<90$ 立元　$N=0.27N_{sw}-2$　(鉱さい)　$N_{sw}<90$ 新納　$N=0.300N_{sw}^{0.604}$　(粘性土) $N=0.755N_{sw}^{0.345}$　(砂質土)
	電気式 コーン貫入試験	$N=0.341I_c^{1.94}(0.001q_t-0.2)^{(1.34-0.0927I_c)}$

3. 各種コーン貫入試験の整理

(標準貫入試験の N 値と動的貫入試験 N_d の比較)

N 値と各種コーン貫入試験結果の相関性について以下に述べる。

各動的貫入試験は,土質によって N 値との相関が大きくばらついている（図-1参照）。粘性土（青色系統）の N_d が大きく，礫質土（オレンジ系統）の N_d が小さい傾向で，砂は粘性土，礫質土との中間的な傾向になることが図から判断される。また，静的コーン貫入試験結果の q_t 値との相関にも大きなばらつきが認められる。試験種別では，N 値に対して機械式コーン（ダッチコーン）結果の q_t 値より電気式コーン（CPTU）の q_t 値が大きい傾向がある（図-2参照）。

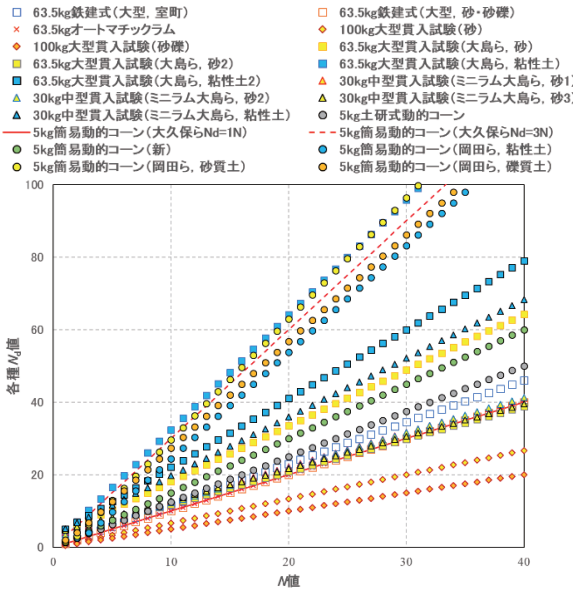

図-1　N 値と動的貫入試験 N_d との相関図

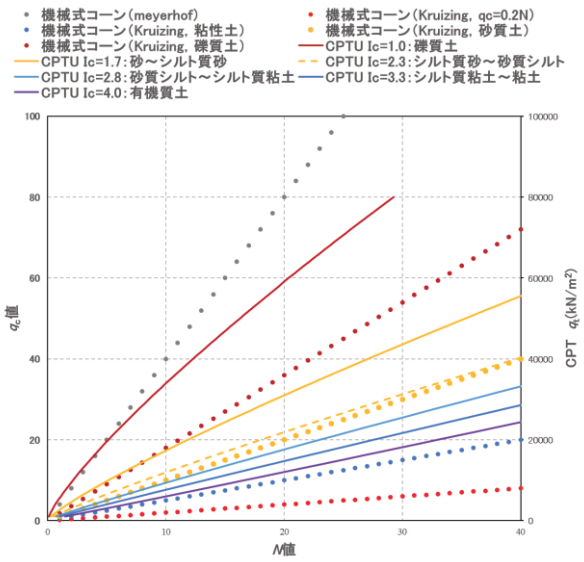

図-2　N 値と静的コーン貫入試験 q_t の相関図

また，土質的にみると，動的貫入試験の場合と同様に，粘性土→砂質土→礫質土の順に q_t が大きくなる傾向も認められる。

4. 動的貫入試験の打撃エネルギーでの比較

動的貫入試験では，試験方法によってハンマーの重量，落下高さ，コーン断面積などが一様ではないため，各種動的貫入試験結果を直接的に評価することには問題がある。そこでここでは，打撃エネルギーに着目してラムサウンディングの打撃エネルギーを標準とした正規化を試みた（図-3）。

$$\text{正規化打撃エネルギー} = \frac{\text{各種サウンディングの単位断面積あたり打撃エネルギー}}{\text{ラムサウンディングの単位断面積あたり打撃エネルギー}}$$

正規化エネルギーで比較しても，各種サウンディング結果はばらつきが大きい。このばらつき原因は N_d のばらつきによるものか，N 値によるものかは不明である。

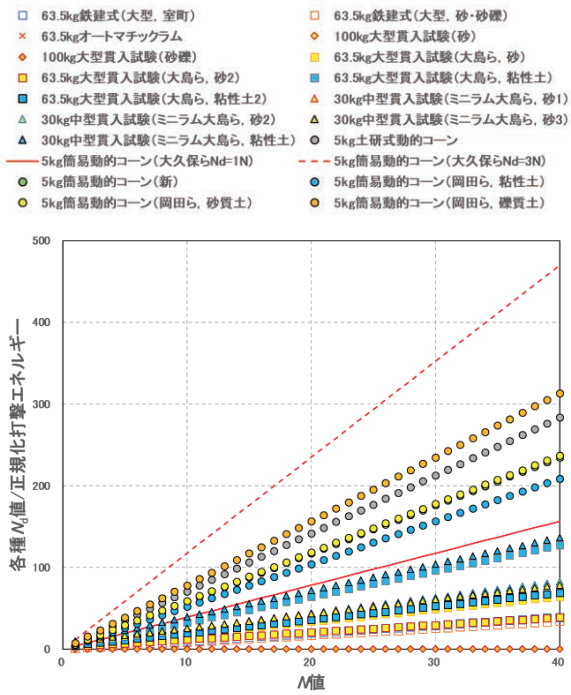

図-3　正規化打撃エネルギーと N 値の比較

5. 静的サウンディングと動的サウンディングの N 値換算に関する留意点

地盤のせん断強度は，土質，水分保持状態，密度，ひずみ速度などに支配されている。特に，地盤内でのせん断中の排水条件によって同じ地盤でもせん断強度の発現に大きな違いが生じる。そこで，ここでは，静的サウンディングと動的サウンディングにおける排水条件の違いに着目して N 値換算における留意点をまとめる。

静的サウンディングは，その試験方法からひずみ速度が比較的遅く，砂・礫質土については排水条件に近いと考えられ，粘性土については非排水条件に近いと考えられる。一方，動的サウンディングは，ランマーを自由落下させる試験方法であることからひずみ速度が速く，砂・礫質土においても非排水条件に近いと考えられる。

前掲の図-1 は各種動的コーン貫入試験結果の N_d 値と N 値の相関を土質別に示したものである。全般に，粘土→砂→砂礫の順に N_d 値に対して N 値が大きく得られる傾向を示している。砂・礫質土においては，標準貫入試験サンプラーが開放型のため，地盤内に貫入するには土粒子を破砕させる必要がある。それがエネルギー損失の要因と想定され，過大な過剰間隙水圧を発生させていることも考えられる。

次に，静的コーン貫入試験結果と N 値との関係については，鈴木ら [2] により平均粒径，細粒分含有率，ロバートソン [3] の土質性状指数 I_c との関係が整理されている。

図-4によれば，平均粒径が小さくなると先端抵抗 q_t に対して N 値が大きく得られる傾向にある。このことは，動的コーン貫入試験結果の N_d 値と N 値の関係を整理した図-1とも符合するものである。

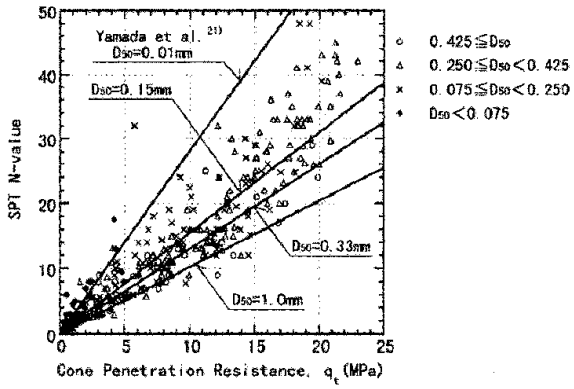

図-4　平均粒径で整理した N 値と先端抵抗の関係 [2]

6. まとめ

標準貫入試験の N 値と各サウンディングとの相関補間的な要素で用いられる場合などでは，N 値を基準とした柱状図と同等にその信頼性を確保することはできる。

ただし，サウンディングの方法によっては簡易的であるが故に試験荷重が限定される面があり，試験深度，対象地盤の土質および締まり具合によって適用に限界があると考えられる。このように，各種試験には一長一短があるため，試験結果を利用する上では，適用する試験方法の特徴を理解したうえで適切な手法を用いて地盤物性値との関係を検討することが強く求められる。

これらの内容を踏まえ，N 値と各種サウンディング結果との相関式は絶対的なものではなく，一つの指標として扱うのが望ましいと思われる。

《引用・参考文献》

1）一社）関東地質調査業協会：我が国における標準貫入試験の利用実態と留意点,2021発行予定　3章 N 値の換算リスク,pp28～38
2）鈴木康嗣・時松孝次・實松俊明：日本建築学会構造系論文集第566号，2003.4，pp73～80
3）Robertson，P.K.：Canadian Geotechnical Journal，Vol.27 No.1，1990，　pp. 151～158