

5. 針貫入勾配と圧縮強度の分布傾向

Distribution evaluation of needle penetration gradient and compressive strength

○木村隆行 (エイト日本技術開発)

1. はじめに

新第三紀軟岩の地すべりなどオールコアの軟岩調査では、強度分布把握のため針貫入試験を行なうことがある。簡易に把握できる利点があることや、針貫入勾配 Np と圧縮強度 qu の相関式が多く提案されているためである。しかし、 Np と qu の個別の相関図はあるものの、それらの多くは古い重力系単位の式が多く、また、単位を統一した一つの図に示したものはなかった。また、古い重力系単位から新しい SI 単位への変換も必ずしも正確にされていないものもあった。そのため、既往論文の図を数値化し一つの図にまとめるとともに、各相関式の SI 単位化を行ない、それぞれの相関の傾向について考察したので、ここに報告するものである。

2. 既往文献の相関式

2.1 岡田らの相関式¹⁾ (天然岩石等)

岡田らの式は、軟岩用ペネトロメーターの製品に示されている図で、天然岩石とされるものは泥岩、砂岩、凝灰質砂岩、固結シルトの 12 地点で、原本では新第三紀かどうか記載されていない。しかし、適用されたのが新潟糸魚川新第三紀泥岩のトンネル切羽であり、岩石名から新第三紀の軟岩と推定される。また、セメント処理試料は、千葉県手賀沼産沖積海成粘土に珪砂と普通ポルトランドセメントを混合処理したもので、泥岩の擬似軟岩として作成されている。その両者のデータの相関として式(1)を提案している。また、当初はメーカーで式(2)の近似式に修正し、その後、式(3)に修正している。9.80665 倍とする SI 変換式は、 kN/m^2 で式(3)、 MN/m^2 で式(4)になる。

$$\text{重力系提案式} \quad \log qu = 0.978 \log Np + 1.599 \quad (qu : \text{kgf/cm}^2 \quad Np : \text{kgf/mm}) \quad (1)$$

$$\text{SI 近似式} \quad \log qu = 0.978 \log Np + 2.599 \quad (qu : \text{kN/m}^2 \quad Np : \text{N/mm}) \quad (2)$$

$$\text{SI 変換式} \quad \log qu = 0.978 \log Np + 2.621 \quad (qu : \text{kN/m}^2 \quad Np : \text{N/mm}) \quad (3)$$

$$\text{SI 変換式} \quad \log qu = 0.978 \log Np - 0.3806 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad Np : \text{N/mm}) \quad (4)$$

2.2 高橋らの相関式²⁾ (新第三紀砂岩)

高橋らは宮城県宮床ダムの新第三紀中新世の砂岩で式(5)を得ている。式(5)をデータ範囲内で SI 変換すると式(6)になる。

$$\text{重力系提案式} \quad qu = 50.78 Np - 6.83 \quad (qu : \text{kgf/cm}^2 \quad Np : \text{kgf/mm}) \quad (5)$$

$$\text{SI 変換式} \quad \log qu = 1.0084 \log Np - 0.3184 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad Np : \text{N/mm}) \quad (6)$$

2.3 内田らの相関式³⁾ (有明粘土改良体)

内田らは有明粘土のスラリー系深層混合処理のボーリングコアで、式(7)を得ている。分布は岡田ら¹⁾や高橋ら²⁾の延長上に分布し、新第三紀泥岩の模擬供試体のような状況を示している。なお対数軸で変換すると式(8)になる。

$$\text{SI 提案式} \quad qu = 41.8 Np - 4 \quad (qu : \text{kN/m}^2 \quad Np : \text{N/cm}) \quad (7)$$

$$\text{SI 変換式} \quad \log qu = 1.011 \log Np - 0.3865 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad Np : \text{N/mm}) \quad (8)$$

2.4 小島らの相関式⁴⁾ (千葉泥岩)

小島らは東京湾周辺地域泥岩で式(9)を得ている。千葉泥岩は新第三紀～更新世の地層と推定されるが、その値は岡田ら¹⁾や高橋ら²⁾の新第三紀層のデータよりやや N_p が高い領域に分布し、計測時に多少乾燥側のデータであった可能性も想定される。なお、SI 変換すると式(10)になった。

$$\text{重力系提案式} \quad \log qu = 0.8025 \log N_p + 1.3864 \quad (qu : \text{kgf/cm}^2 \quad N_p : \text{kgf/mm}) \quad (9)$$

$$\text{SI 変換式} \quad \log qu = 0.8025 \log N_p - 0.4178 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad N_p : \text{N/mm}) \quad (10)$$

2.5 朽津らの相関式⁵⁾ (擬似軟岩)

朽津らは文化財の擬似軟岩として荒木田土と珪砂を混合した供試体を乾燥させ、擬似軟岩として各種計測値の相関図を示した。その値は岡田ら¹⁾や高橋ら²⁾の新第三紀層のデータよりやや N_p が高く、小島ら⁴⁾の千葉泥岩の分布と近似していた。つまり、土砂材料も乾燥すれば軟岩の強度になっている。式は提案されていないが、相関を求めると式(11)になる。

$$\text{SI 相関式} \quad \log qu = 0.6803 \log N_p - 0.3817 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad N_p : \text{N/mm}) \quad (11)$$

2.6 高橋らの相関式⁶⁾ (古第三紀神戸層群)

高橋らは古第三紀神戸層群の泥岩や砂岩のデータを示した。式は提案されていないが、相関を求めると式(12)になり、岡田ら¹⁾高橋ら²⁾の式より N_p が大きくなっている。

$$\text{SI 相関式} \quad \log qu = 0.9754 \log N_p - 0.7725 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad N_p : \text{N/mm}) \quad (12)$$

2.7 鍋立山の相関式⁷⁾ (膨張性地山泥岩)

日本鉄道建設公団では鍋立山の膨張性地山での計測値として式(13)を得ている。なお、SI 変換すると式(14)になった。

$$\text{重力系提案式} \quad \log qu = 1.602 \log N_p + 2.017 \quad (qu : \text{kgf/cm}^2 \quad N_p : \text{kgf/cm}) \quad (13)$$

$$\text{SI 変換式} \quad \log qu = 1.602 \log N_p + 1.022 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad N_p : \text{N/mm}) \quad (14)$$

3 針貫入勾配 N_p の含水比依存性

高橋ら²⁾は宮城県宮床ダムの新第三紀中新世の砂岩で、飽和度 S_r と針貫入勾配 N_p の相関を確認し、図-1 を得ている。図-1 では飽和度が 50%未満で著しく N_p が高くなることを示している。また、図-2 は島尻泥岩のコアで、通常の測定方法と、霧吹きでコア表面を濡らした直後に測定した N_p を比較した相関で、霧吹き直後は 93%程度まで N_p 値が低下していた。つまり、地中で飽和度の高い状況にあるコアは、霧吹き直後の方がより妥当な評価になる可能性が考えられる。

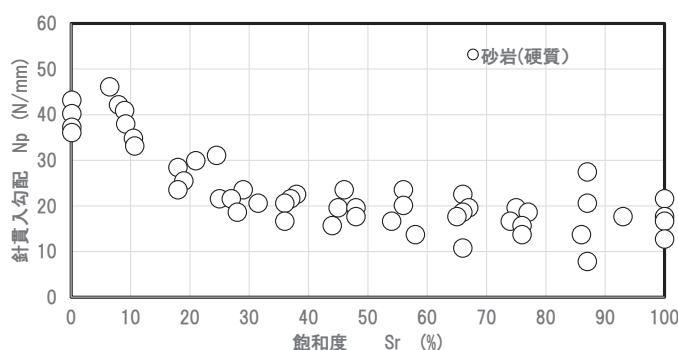


図-1. 新第三紀砂岩の S_r と N_p の相関²⁾

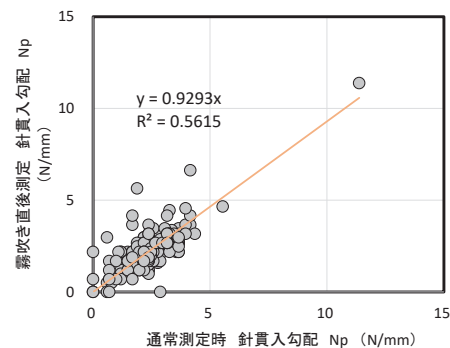


図-2 島尻泥岩の霧吹き前後の N_p 相関

4. 統合相関図

前述のデータを同一の相関図で示したものが図-3になる。この図からは含水比依存性や間隙比・密度依存性などが想定され、鍋立山膨張性地山と新第三紀、古第三紀の異なる地質で個々に相関が分布する状況が認められる。特に新第三紀の式(4)(6)(8)はほぼ同じ相関になるので、そのデータ全体で再度相関式を求めると式(15)になった。

$$\text{SI 相関式} \quad \log qu = 0.9811 \log Np - 0.3817 \quad (qu : \text{MN/m}^2 \quad Np : \text{N/mm}) \quad (15)$$

軟岩の含水比状況や間隙比・密度などが類似する地質に応じて、使用する相関式を選定することが妥当と考えられる。特殊な膨張性地山は鍋立山の式(14)，新第三紀は式(4)(6)または式(15)，古第三紀などは式(12)が考えられる。

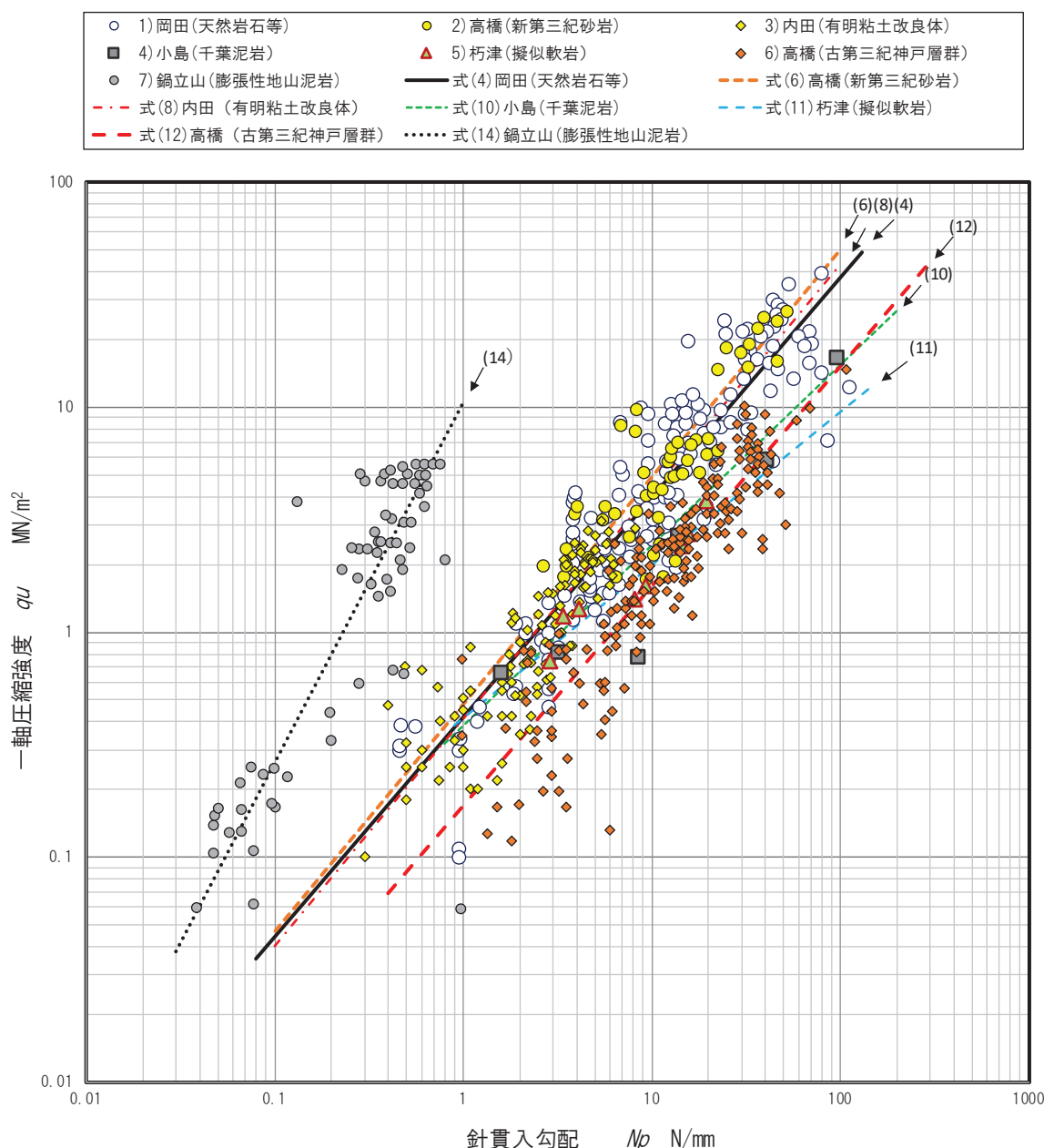


図-3. 過去論文の針貫入勾配 Np と圧縮強度 qu の相関

5. おわりに

軟岩の簡易な調査手法として針貫入試験は有効であり、圧縮強度との相関も高い。しかし、既往文献を同じ図でまとめたものはなかったので、どのような関係にあるのかが不明であった。今回、統合し同じ図にまとめることで、含水比・間隙比や地質が、相関式に影響を及ぼしていることが考えられた。このことから、コアの地質を勘案して相関式を選定することが良いと考えられ、地下で飽和状態にあるコアについては、霧吹き直後に測定する方法も考えられた。今度、貫入しやすさに関与する要素の把握が課題と考えられる。

参考文献

- 1) 岡田滋, 泉谷泰志, 飯塚友之助, 堀内澄夫: 針貫入試験による軟弱な地山強度の推定, 土質工学会, 土と基礎, 33-2(325), pp35-38, 1985.
- 2) 高橋亜夫, 三浦良信, 清水国夫, 奥原茂弘: 針貫入試験による軟岩基礎の強度評価, ダム工学, No4, pp30-40, 1991.
- 3) 内田直人, 江藤芳武: 針貫入試験による深層混合改良体の強度評価手法の体系化, 土木学会第60回年次学術講演会, pp46-47, 2005.
- 4) 小島圭二, 斉藤保祐, 稲生道裕: 千葉県下における泥質軟岩の軟弱化要因, 第9回土質工学研究発表会講演集, pp737-740, 1974.
- 5) 朽津信明, 李心堅, 関博充: 文化財の強度測定法と風化度合いの定量化について, 保存科学, No44, pp117-125, 2005.
- 6) 高橋幸蔵, 能戸仟, 横川巖: 明石海峡部の神戸層(軟岩)の強度特性(その1), 第10土質工学研究発表会講演集, pp787-790, 1975.
- 7) 日本鉄道建設公団東京支社: 北陸北線鍋立山坑内地質調査総合報告書, 1979.
- 8) 木村隆行, 後根裕樹, 池田学: 針貫入試験による圧縮強度評価, 第57回地盤工学研究発表会講演集, p22-2-1-08, 2022.