

東海大学工学部 正員 宇都一馬
正員 冬木 衛

1. まえがき

標準貫入試験(以下SPT)から得られるN値は、基礎地盤関係の設計・施工のみならず地震工学、応用地質学といった分野でも地盤性状を表わす指数として、定性的にあるいは定量的に便利に利用されているものであるが、同時に、その有効性・信頼性についての議論も多くなされている。これらの議論のなかには、SPTの機構を十分考慮したものとは思えないものも見うけられる。筆者らは、数年来SPTに関する基礎的な研究を行なってきたが、今回、これらの研究成果をもとにN値およびSPTそのものをも再評価する必要性を指摘し、あわせて、SPTから得られるいくつかの新しい指数を提案しN値に加えて利用し得る可能性を述べたものである。

2. SPTの動的貫入機構に関する考察から得られる指数

SPTの動的貫入機構に関する研究には、McLean³⁾のものが最近発表されているが、その貫入モデルの基本となっているSmithの解法には問題点があり、この種の研究目的には不向きであることはすでに指摘した⁴⁾⁵⁾。筆者らは、ロッドを一次元弾性棒と仮定し、ロッド先端部での境界条件をロッド先端に達した下向き波と地盤から反射した反射波との比として表わされる反射係数 α で表わして得られる貫入モデルを用いて、動的貫入機構に関する一連の研究を行ってきた⁶⁾⁷⁾⁸⁾。このモデルは縦衝撃の問題を扱ったSt. Venant解を一般化したものといえる。これから得られる解を多くの室内・現場実験で検証した結果、次のような結論を得ている。

① ロッドの地盤への貫入の挙動は、ロッドの長さ、地盤の硬さ、ハンマーとロッドの相対運動の影響を受けて極めて複雑となる。② ここで、反射係数 α はロッドと地盤のdynamic stiffness(以下D.S.と略す)によって決定され、サンプラー先端地盤の非線形性やサンプラー側面のせん断抵抗などの条件を考慮しても、弾性体とみなせるロッドへの反射係数は $-1 \leq \alpha \leq 1$ の範囲に存在する。地盤特性値を総合的に反映したものである。③ $\alpha = 0$ (ロッドと地盤のD.S.が等しい場合)。ロッド先端からの反射波が発生せず、ハンマーのもつエネルギーはすべて一回の衝突で伝達される。ロッド長が20m程度以上ではN値30程度と考えてよい。④ $-1 \leq \alpha < 0$ (地盤のD.S.がロッドのD.S.より大きい場合)。硬い地盤で、先端からの反射波は圧縮波となり、この状態ではハンマーはリバウンド現象を呈し、一打ごとの貫入量は小さい。このような地盤のサウディングでは、貫入量(すなわちN値)より、ハンマーのリバウンド高さ H_R あるいは、ハンマーが一度衝突してから再び衝突するまでの時間(リバウンド時間 t_R)が有意な地盤指数となる。また、これらの値には先端地盤のかなり広範囲の力学特性が反映されているものである。⑤ $0 < \alpha \leq 1$ (地盤のD.S.がロッドのD.S.より小さい場合)。軟い地盤で、ロッド先端からの反射波は引張波となり、反射波頭が打撃面に達した瞬間からハンマーとロッドは分離し、エネルギーの伝達も一時中断される。このような地盤では、貫入量(N値)が有意となるが、④と同様に一度離れたハンマーが再び衝突するまでに要する時間(2回目の衝突時間 t_2)も地盤特性を表わす指数として利用できる。

以上述べたハンマーのリバウンド高さ H_R 、ハンマーのリバウンド時間 t_R および2回目の衝突時間 t_2 は反射係数 α と密接な関係があり、地盤性状を反映した指数としてN値に加えて利用できる。

3. SPTから得られる打撃回数-貫入量曲線の考察から得られる指数

SPTから得られる打撃回数-貫入量曲線(以下n-s曲線)を視察して (a)サンプラーの貫入が進むとともに何らかの原因でサンプラーへの貫入抵抗が増すもの (b)n-s曲線が直線となり、貫入抵抗が一定のもの (c)サンプラーの貫入が進むとともに貫入抵抗が減るもの の3つのタイプに分類した。N値の実用範囲内にあるものを検討した結果、(a)のタイプのものが圧倒的に多いことを見出した。このタイプのn-s曲線を簡単な数

学モデル $S = S_0(1 - e^{-\lambda x})$ …… (1) で表わし、実測値をあてはめ最小二乗法によって回帰係数 S_0 と λ を決定した。ここに、 S_0 : 限界貫入量、 λ : 基準打撃回数と定義した。実測データの (1) 式への当てはめ具合は良好なものであった。これによって、 n - S 曲線は2つの回帰係数 S_0 と λ によって決定され、解析結果は S_0 - λ 図 (図-1) にプロットすると都合がよいことになる。図中に描かれた7つの n - S 曲線は、プロットされた点を原点に同じスケールで表示してある。これからプロットされた点の位置そのものが n - S 曲線のパターンを表わしていることがわかる。なお図中には、等 S_0/λ 線 (S_0/λ : 初期残係数と定義)、等 S_0/λ 線 (S_0/λ : 初期残余打撃貫入係数と定義) および等 N 値線を入れてある。

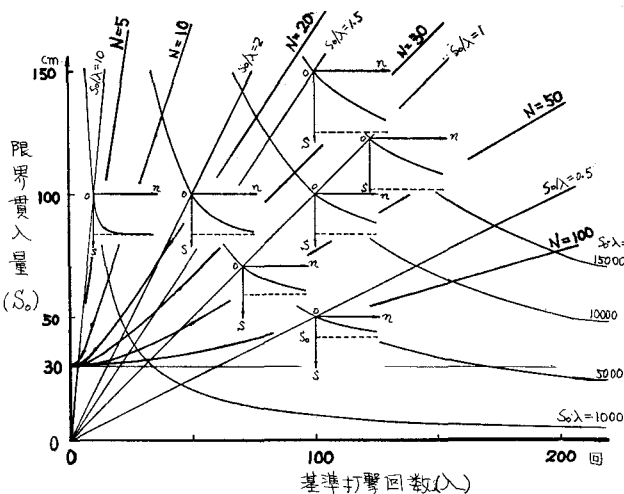


図-1 S_0 - λ 図

本手法を用いた解析結果から、次のような結論を得ている。

- ① (1) 式は2点以上の測定点があれば決定できるから、極めて硬い地盤で従来“ N 値50以上”と表示されていた地盤でも (1) 式をもとに N 値を推定できる。このようにして求めた N 値は、打ち切り時の n - S の関係から単純に比例計算した値よりかなり大きなものになる。
- ② 図-1の等 N 値線の関係から分かるように、従来同一 N 値と評価されていた地盤でも、その n - S 曲線のパターンに相違があることがうかがえる。
- ③ $S \leq 30$ cm となり、いわゆる N 値が存在しない地盤もある。
- ④ 図-1に解析結果をプロットすると地質種別の相違により、特徴ある分布を示す。地盤の違いにより、サンプラーの先端抵抗、周面摩擦の割合が反映されているものと考えられ、興味深い。
- ⑤ この解析手法は、SPTによって得られる n - S 曲線のより一般化した評価法ということができ、2つの回帰係数 S_0 、 λ とこれをもとに定義した S_0/λ 、 S_0/λ なる諸量も地盤性状を表わす指数と考えられる。 S_0/λ は N 値とほぼ逆相関の関係があり N 値を一般化したものと考えられる。 S_0/λ は一種のエネルギーに関する指標を持ち、地盤固有の力学特性を表現しているものと考えられる。

4. まとめ

筆者らは、SPTに関する一連の研究から、SPTの機構は複雑ではあるが敏感で精度のよいサウンディング法であると考えている。今回、動的貫入機構に関する理論的研究および n - S 曲線に関する現象論的な考察から見出した新たな指数 (ハンマーのリバウンド高 H_R 、ハンマーのリバウンド時間 t_2 、2回目の衝突時間 t_2 、限界貫入量 S_0 、基準打撃回数 λ 、初期残係数 S_0/λ 、初期残余打撃貫入係数 S_0/λ) を N 値に加えて利用し得ることを提案したものである。今後、データの蓄積によって以上述べたような諸量と地盤の力学特性値との関係が理論的にあるいは経験的に究明されれば、 N 値のみによっていたSPTの利用法も拡大するものと思われる。

参考文献

- 1) N 値および C と ϕ の関係, 土質工学会 (1976)
- 2) 講座: “ N 値を考える” 座談会, 土と基礎 Vol. 22 No. 9 (1974)
- 3) McLean, F. G., A. G. Franklin and T. K. Dahlstrand; Influence of Mechanical Variables on the SPT. Speciality Conference on In situ Measurement of Soil Properties, ASCE, (1975)
- 4) 宇都他; 終極貫入におけるスミスの解法の問題点, 土学会第5回関東支部 (1978)
- 5) 宇都他; 同前 (第2報), 第3回土質工学研究発表会 (1978)
- 6) 宇都他; 標準貫入試験におけるロッドの貫入機構に関する実験的研究 (第1, 2報) 東海工学部紀要 (1973)
- 7) 宇都他; ロッドの動的貫入機構および標準貫入試験の問題点, 第12回土質工学研究発表会 (1977)
- 8) 宇都他; N 値の補正法に関する一考察, 第13回土質工学研究発表会 (1978)
- 9) Twooshed S. and J. N. Goodier; Theory of Elasticity, McGraw-Hill (1951)
- 10) 宇都他; 標準貫入試験に関する基礎的研究 (3), 第13回土質工学研究発表会 (1978)
- 11) 宇都他; 標準貫入試験より得られる打撃回数-貫入量曲線の一整理法, 第33回年次学術講演会, 土学会 (1978)