【011】

孔内水平載荷試験に関する一考察

㈱アサノ大成基礎エンジニアリング　　○小瀬川奉久，広瀬義純，片山輝彦

1. はじめに

『孔内水平載荷試験』は地盤の水平方向の変形特性を把握するために実施される原位置試験である。筆者は過去に試験を実施してきた中で、オペレータにより試験区間掘削後の孔径に大きく違いがあることを感じていた。

そこで、弊社が過去に実施した孔内水平載荷試験の内、比較的データが蓄積されていた奈良盆地の沖積層および洪積層（段丘堆積物～上部大阪層群）の試験結果を用いて、変形係数 E と N 値や試験区間の孔径等の関係について考察した。

2. 試験データ

今回用いた孔内水平載荷試験のデータは、奈良盆地の沖積層～洪積層（段丘堆積物～上部大阪層群）を対象に実施されたもので、データ数は127（内訳：粘性土43、砂質土80、礫質土4）である（2017～2018年に実施）。試験に使用した装置は、全て応用地質社製の LLT（ゾンデ径 φ86mm）である。

なお、室内土質試験（粒度試験）を行っていない深度の土質分類は土質標本の観察結果に基づくものである。

3. 変形係数と N 値の関係

(1) 土質別の変形係数と N 値の関係

図-1に「地盤調査の方法と解説」に掲載されている土谷・豊岡の図[1)]に今回の試験データを重ね合わせた図を示す。（N 値＝0のデータを除く。）

累乗近似した際の近似式は、全データで E=444.09 $N^{1.117}$、土質別では粘性土：E=566.83 $N^{0.940}$、砂質土：E=373.34 $N^{1.180}$となった。（礫質土はデータ数が少ないため近似式は示していない。）今回用いたデータは、全体に土谷・豊岡の関係式よりもやや小さい値を示している。

「地盤調査の方法と解説」では、土谷・豊岡の関係式より、地盤材料に関わらず E≒700 N (kN/m2) という関係が近似的に成立するとされており[1)]、実務において N 値からの推定式として多用されている。本論では、変形係数 E と N 値との関係式の係数（E =700 N では「700」）を『E/N 比』と呼ぶこととする。

今回の試験データ毎の E/N 比を単純平均すると、全体では E =651 N、土質別では粘性土：E =576 N、砂質土：E =686 N、礫質土：E =719 N となった。

過去の報告[2)]では、粘性土の方が砂質土・礫質土よりも E/N 比が大きくなるという報告もあるが、今回の試験結果では逆の傾向を示している。

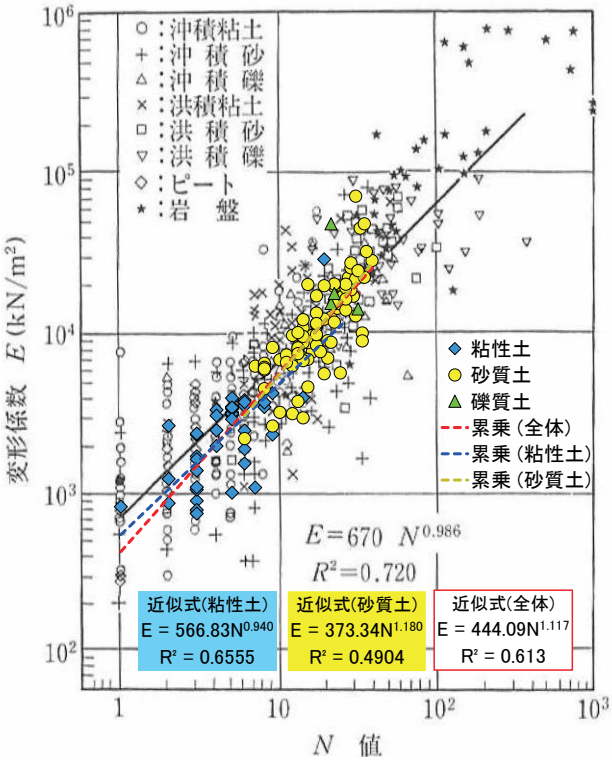

図-1 変形係数と N 値の関係(土谷・豊岡の図[1)]に加筆)

(2) 堆積年代別の変形係数と N 値の関係

次に、試験データを第四期更新世の洪積層と完新世の沖積層に分類し、比較を行った。図-2に沖積層/洪積層別の変形係数と N 値の関係を示す。データにバラツキは見られるものの、洪積層の方が沖積層よりも N 値に対して変形係数が大きくなる傾向が確認でき、平均 E/N 比も洪積層の方が大きくなっている。

N 値に対する変形係数が大きい理由の１つとしては、粒子同士の接触点のセメンテーションの発達(続成作用)が考えられる[2)]。

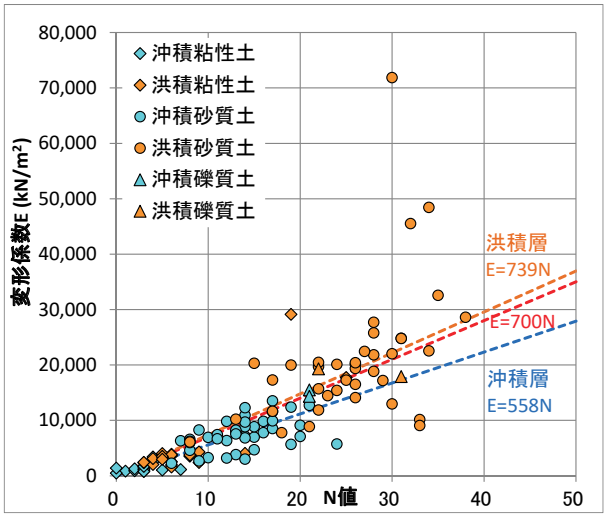

図-2 堆積年代別の変形係数と N 値の関係

4. 変形係数と孔壁の状態

(1) 初期孔壁半径について

筆者は、現地で孔内水平載荷試験に立ち会う中で、オペレータにより試験区間削孔後の孔径に違いがあることを感じていた。

本論では、P0時（ゾンデのゴムが試験区間削孔時の初期の孔壁に達した点の圧力）の孔壁半径のことを『初期孔壁半径』と呼ぶこととする。図-3に初期孔壁半径と *N* 値の関係を示す(データ数が5未満のオペレータは除く)。今回の試験データはφ86㎜の孔径で試験区間を掘削しているため、理想的な初期孔壁半径は43㎜となる。

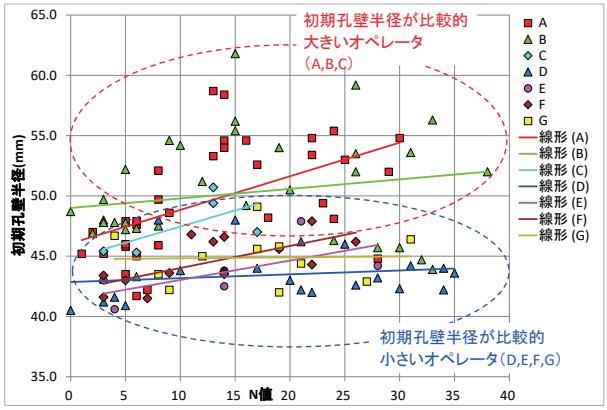

図-3 初期孔壁半径と *N* 値の関係

図-3より、初期孔壁半径が比較的大きいオペレータ(A, B, C)と小さいオペレータ(D, E, F, G)がいることが分かる。また、オペレータによっては *N* 値が大きくなるに従い孔径が大きくなる傾向が見られる。これらは、各オペレータの掘削方法（ツールス、給圧、送水量等）の違いの他、地盤の締り具合や礫の混入量が、試験区間掘削後の孔径に影響しているものと考えられる。

(2) 初期孔壁半径と孔壁の乱れについて

本来、φ86㎜の仕様で試験区間を掘削しているにも関わらず、初期孔壁半径が大きいということは、意図せず孔径が大きくなってしまっていると言える。このことは、孔壁が乱れ変形係数に何らかの影響を与えているのではないか、と筆者は考えた。そこで、「初期孔壁半径が大きい」→「孔壁が乱れている」→「*E*/*N* 比が小さくなる（*N* 値に対して変形係数 *E* が小さくなる)」と仮定し、図-4に初期孔壁半径と *E*/*N* 比の関係を示した。図-4で孔径と

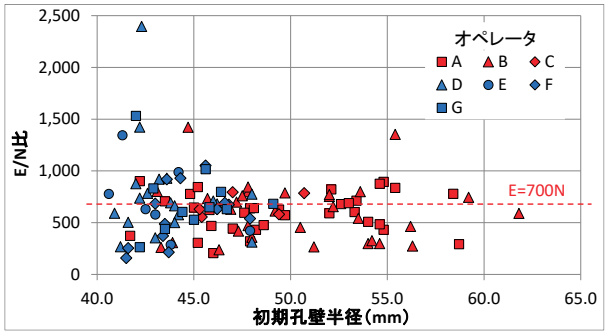

図-4 初期孔壁半径と *E*/*N* 比の関係

E/*N* 比に負の相関があると、孔径が変形係数に影響を与えていると判断できると考えた。

図-4では、孔径が45㎜未満の範囲で *E*/*N* 比が大きいデータが数点見られるものの、初期孔壁半径と *E*/*N* 比に明瞭な負の相関は見られないと判断した。

(3) 砂質土の礫混入の影響について

今回のデータは礫質土(砂礫)のデータが少ないが、同じ砂質土でも礫混入の有無によって変形係数に違いが出ないかを検討した。土質名に「礫混り砂」と付くものを『礫混り土』(砂礫含む)、それ以外を『砂質土』として、図-5に沖積層/洪積層別の比較図を示した。

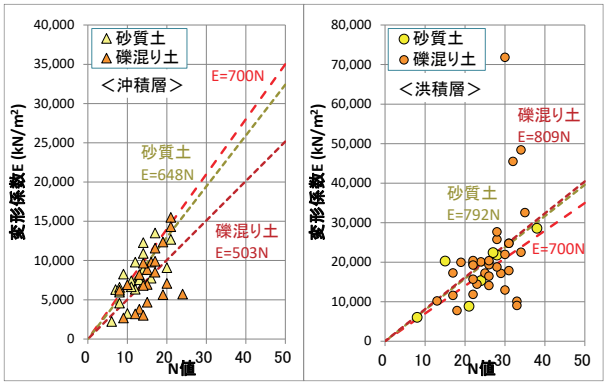

図-5 砂質土の礫混入の有無による比較

図-5より、沖積層では同じ *N* 値に対して『礫混り土』の方が変形係数が小さい傾向が確認できる。一方、洪積層では、平均 *E*/*N* 比には大きな違いは無いものの、『砂質土』よりも *E*/*N* 比が小さい『礫混り土』が多く見られる。

礫を多く混入する場合、試験区間掘削の際に孔径が大きくなる傾向があることが推測されるが、4(2)では孔径と変形係数の低下に因果関係は確認されなかった。

『礫混り土』が礫を含まない『砂質土』よりも *E*/*N* 比が小さくなる理由の一つとしては、礫当りによる *N* 値の過大評価の可能性が示唆される。(礫当りにより実際の地盤の強度よりも *N* 値が大きく評価されている。)

5. まとめ

① 沖積層より洪積層の *E*/*N* 比が大きくなる傾向が確認された。理由の１つとしては続成作用が考えられる。

② オペレータにより試験区間掘削後の孔径に差があることが分かったが、試験結果に対する孔径の影響を確認することはできなかった。

③ 礫を含まない『砂質土』よりも礫を混入する『礫混り土』の方が *E*/*N* 比が小さくなる傾向が確認された。理由の１つとしては礫当りによる *N* 値の過大評価の可能性が示唆される。

《引用・参考文献》

1) 地盤工学会編:地盤調査の方法と解説, p. 687, 2013. 3.
2) 脇中康太他 :「堆積年代の相違が地盤の変形係数に与える影響評価」, 全地連技術フォーラム2017論文集, No. 44, 2017. 9.