高密度地盤調査結果に基づく地盤定数のばらつき評価

EVALUATION OF GROUND CONSTANT VARIATIONS BASED ON HIGH CONSISTENT GROUND INVESTIGATION RESULTS

鈴木康嗣 — * 1 小林勝巳 — * 2
田中久丸 — * 3 西山高士 — * 4
小林治男 — * 5

Yasutsugu SUZUKI — * 1 Katsumi KOBAYASHI — * 2
Hisamaru TANAKA — * 3 Takashi NISHIYAMA — * 4
Haruo KOBAYASHI — * 5

キーワード：
地盤調査, コーン貫入試験, 変動係数, N値, 細粒分含有率, 先端抵抗

Keywords：
Geotechnical Investigation, Cone penetration test, Coefficient of variation, SPT blow count, Fines content, Cone penetration resistance

The dispersion in the characteristics of adjacent ground is examined based on the several cone penetration tests. It is shown that (1) N-values in the same stratum vary due to the small shift in the depth of the hard and soft points, and are in good agreement if the depth is corrected; (2) Although the coefficient of variation from the all measured data is large, the mean value coefficient from certain range of depth is comparatively small; (3) It is conclude that the coefficient of variation used for a pile skin friction has to be selected based on the mean values within a certain range of depth.

1. はじめに

建築基礎構造の設計では, 標準貫入試験(SPT)とサンプリング試料の室内試験を組合わせた地盤調査が広く行われている¹⁾。標準貫入試験のN値は, 人為誤差が含まれることやデータが連続でないなどの問題点が従来から指摘されている。しかし, これらの問題点に起因した地盤定数のばらつき度合いやその要因を検討した研究例は少ない^{2)~4)}。

建築基礎構造の設計が「許容応力度設計」から「限界状態設計」に移行しようとしている⁵⁾。限界状態設計では, 地盤定数のばらつきを適切に評価することが重要となるが, N値のばらつきが非常に大きい場合, ばらつきを考慮したとしても設計出来ないという意見もある。既に限界状態設計を実施している諸外国においても, コストアップに繋がるとして実務設計では採用されないケースもあるようである⁶⁾。

そこで本報告では, 人為誤差が少なく連続データが得られるコーン貫入試験(CPT)を平面的に狭い範囲で複数実施し, 地層構成がほぼ均一と仮定できる地盤調査結果に基づき, 地盤定数のばらつきを検討する。

なお, 本報告は「基礎構造の限界状態設計法小委員会(主査: 小林勝巳(フジタ技術研究所))」に設置された「地盤パラメータWG(主査: 鈴木康嗣(鹿島技術研究所))」における検討内容をまとめたものである。

2. 検討対象とした地盤調査の概要

検討対象としたコーン貫入試験の概要を表1に示す。平面的に比較的小さい範囲で4~7箇所の調査データが揃っている地点を検討対象としている。先端抵抗 q_t に加えて周面摩擦抵抗 f_s が全調査箇所揃っている地点は, 文献⁹⁾の方法に従って標準貫入試験のN値と細粒分含有率FCに変換した値を, 揃っていない地点は先端抵抗を用いてばらつき

の検討を行った。地点A, C, Eでは1調査機関が全て同じ装置でコーン貫入試験を行っているため, 試験方法に起因したばらつきは小さいと考えられる。一方, 地点B, Dでは3機関で調査が行われているため, 試験方法のばらつきも含まれている。調査は砂質土・深度20mまでが中心で, 地点Eは粘性土で35mまで行っている。地点A~Cは同一地層内でN値が深度方向に一樣な地盤であり, 地点D, Eは変動, 漸増している地盤である。なお, コーン貫入試験は2.5cm間隔(一部1.0cm間隔)でデータを取得している。

3. 地点Aにおける地盤のばらつきの詳細な検討

図1(b)に地点Aの7箇所で行われたコーン貫入試験結果から換算⁹⁾したN値と細粒分含有率FCの深度分布を示す。なお, 図1(b)には同地点で行われた標準貫入試験結果を併記している。コーン貫入試験結果から換算したN値とFCは標準貫入試験結果と概ね対応していることが分かる。深度8~18m付近の中砂層のN値は, 10~20程度の範囲でばらつきながら深度方向にほぼ一定値を示す。これは, 中砂層内の細かな層序の深度がずれているためと考えられる。そこで, 代表的な1箇所の深度分布を正解値とし, 他箇所のN値の山と谷が正解値と合うよ

表1 検討対象としたコーン貫入試験の概要

地点名	深度(m)	主な地層	N値の深度変化	評価対象項目	箇所数	箇所間距離(m)	機関数	参考文献
A	20	砂質土	一樣	換算N値, 換算FC	7	1.5-11	1	7)
B	20	砂質土	一樣	先端抵抗 q_t	7	3.5-19	3	8)
C	20	砂質土	一樣	先端抵抗 q_t	4	5.5-10	1	8)
D	20	砂質土	変動	先端抵抗 q_t	7	2.5-10	3	8)
E	35	粘性土	漸増	換算N値	5	7-35	1	—

*1 鹿島建設株式会社技術研究所都市防災・環境グループ
 上席研究員・博士(工学)
 (〒182-0036 調布市飛田給2-19-1)
*2 (株)フジタ技術センター 所長・博士(工学)
*3 (株)東京ソイルリサーチ技術本部 副本部長・修士(工学)
*4 (株)大林組技術研究所建築基礎研究室基礎構造グループ 主査・修士(工学)
*5 大成建設(株)設計本部構造グループ シニア・エンジニア・修士(工学)

*1 Supervisory Research Engineer, Disaster Prevention and Wind Engineering Group, Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation, Dr. Eng.
*2 General manager, Technology Development Division, Fujita Corporation, Dr. Eng.
*3 Deputy general manager, Technical Division, Tokyo Soil Research Co., Ltd., M. Eng.
*4 Manager, Foundation Structure Group, Building Foundation Engineering Department, Technical Research Institute, Obayashi Corporation, M. Eng.
*5 Senior Engineer, Structural Engineering Group, Design Division, Taisei Corporation, M. Eng.

図1 コーン貫入試験結果から求めたN値と細粒分含有率に基づく深度補正值と30cm区間の平均値の比較(地点A)

うに深度補正を試みた結果を図1(c)に示す。このような深度補正(0～±0.5m程度)を行うと、深度8～18m付近の中砂層内におけるN値10～20程度の変動は、中砂層内における硬軟の深度が少しずれていたためと解釈できる。また、N値の硬軟に合わせて深度を補正すると、細粒分含有率の大小も重なりこれも中砂層内における変動と解釈できる。

次に、図1(b)と図1(c)に示したN値と細粒分含有率を有する地盤で標準貫入試験を実施したことを想定し、1m毎に30cm区間の平均N値、平均細粒分含有率を求め、図1(d)と図1(e)に示す。図1(d)のN値は図1(b)と同様に10～20程度の範囲でばらつくが、図1(e)の同一深度のN値や細粒分含有率のばらつきは小さくなるのが分かる。

図1(b)の測定データ(CPT)及び図1(d)の30cm平均データ(SPT)に相当)に基づき、深度7.6～18.3mの中砂層の内、層境界部を除いた深度8～18mで区切って求めた試験毎の区間平均N値と区間平均細粒分含有率を図2に示す。図2(a)に示したコーン貫入試験結果から換算したN値の区間平均値(深度8～18m)はほとんどばらつかないが、図2(b)に示した擬似標準貫入試験結果ではばらつき度合いがやや増えている。

そこで、深度8～18mの中砂層におけるN値の相対頻度分布(個別と全データ)を図3に示す。7箇所の相対頻度分布は多少異なっているが、全データでは平均値が15あたりに存在し、左右対称で正規分布に近い形状となっている。しかし、変動係数は17.4%と決して小さくない。

図2(a)に示した深度8～18mの中砂層における区間平均N値の相対頻度分布を図4(a)に示す。全て同じ範囲(14～16)に含まれ、変動係数

(a) 測定値の区間平均 (b) 測定値の30cm平均の区間平均
(図1(b)の区間平均) (図1(d)の区間平均)

図2 深度区間の平均N値と平均FC(地点A)

は僅か1.9%である。図2(b)に示した擬似標準貫入試験の区間平均N値の相対頻度分布を図4(b)に示す。区間平均N値は図4(a)とほぼ同じで変動係数も4.0%と小さい。しかし、図4(a)のコーン貫入試験結果と比較すると変動係数は約2倍に増えている。擬似標準貫入試験では、1mあたり30cm分のデータのみを用いて70cm分は捨てているため、ばらつき度合いが変わったと判断される。

図1(d)、図1(e)に示した測定値と補正值の30cm平均N値の深度8

図3 コーン貫入試験結果から求めた深度8～18m区間のN値の頻度分布(地点A、7本それぞれのデータと全データ)

図4 深度8~18m区間の平均N値の頻度分布(地点A)

図5 深度8~18m区間の30cm平均N値の頻度分布(地点A)

~18m区間の相対頻度分布を図5に示す。変動係数は15.4%と図3(h)の全データを用いた場合の17.4%より小さいと評価されている。これは、N値が深度30cm区間の平均値であり、既にばらつきの影響が平滑化されているためと考えられる。同様な傾向は同一地点で行われた標準貫入試験とコーン貫入試験結果の比較においても指摘されている³⁾。

以上の結果より、平面的に狭い範囲で測定され、地層構成がほぼ均一と仮定できる地盤の区間平均N値はあまりばらつかないと判断され

る。この結果は、例えば深度方向に積分される杭の周面摩擦抵抗の評価では、個々のN値のばらつきを考慮することなく平均値で評価して良い¹⁰⁾ので、限界状態設計法において地盤のばらつきを小さく評価できる可能性を示唆している。

4. 地点B~Eにおける検討

地点B, Cの先端抵抗と試験毎の区間平均先端抵抗を図6, 図8に、それぞれの相対頻度分布を図7, 図9に示す。地点B, Cは地点Aと同様、同一地層内でN値が深度方向に比較的一定にばらついている例である。いずれも測定値全データを用いた相対頻度分布は平均値を中心に左右対称にばらついている。区間平均値を用いると、測定値を用いる場合に比べて変動係数が明らかに小さくなっており、地点Aと同様に地層の変動係数をかなり小さく評価可能であると判断される。

地点D, Eの先端抵抗・コーン貫入試験結果から換算したN値と試験毎の区間平均値を図10, 図12に、それぞれの相対頻度分布を図11, 図13に示す。なお、図12(b)には同地点で行われた標準貫入試験結果を併記している。コーン貫入試験と標準貫入試験結果は、粘性土地盤においても概ね対応していることが分かる。地点D, Eは地点A~Cと異なり先端抵抗・N値が同一地層内で深度方向に変動・漸増する例である。先端抵抗・N値が深度方向に一定ではないので相対頻度は広い範囲に分布し、最大相対頻度はデータの中心からはずれ、変動係数は42.4, 27.3%とかなり大きい。この値を設計に用いると、文献⁶⁾でも指摘されているようにコストアップに繋がる可能性が高い。しかし、試験毎の区間平均値はあまりばらつかず、変動係数も5.0, 4.6%と小さい。従って、深度方向に変化する地盤であっても、連続的に測定された換算N値や先端抵抗等の平均値は同一地層

図6 先端抵抗の測定値と区間平均値の深度分布(地点B)

図8 先端抵抗の測定値と区間平均値の深度分布(地点C)

図7 深度10~20m区間の先端抵抗の頻度分布(地点B)

図9 深度8~18m区間の先端抵抗の頻度分布(地点C)

図10 先端抵抗の測定値と区間平均値の深度分布 (地点D)

図12 N値の測定値と区間平均値の深度分布 (地点E)

図11 深度10～20m区間の先端抵抗の頻度分布 (地点D)

図13 深度10～32m区間のN値の頻度分布 (地点E)

内ではそれほどばらつかず、限界状態設計法にも十分耐えられる範囲の変動係数が得られるものと推測される。

5. 地盤の変動係数に関する考察

各種方法で求めた地点A～Eの変動係数を表2にまとめて示す。測定値(CPT)に比べ30cm平均(SPTに相当)の方が変動係数が小さい。これは、前述のようにN値が深度30cm間の平均値であり、既に変動の影響が平滑化されているためと考えられる。また、測定値の区間平均の変動係数はいずれも5.0%以下と比較的小さく、杭の周面摩擦抵抗等の評価にはこの値を用いれば良いと判断される。なお、調査機関数3の地点B、Dの変動係数は他の3地点とほぼ同じであり、試験方法(調査機関)によるばらつきの影響は確認できない。

6. まとめ

人為誤差が少なく連続データが取得できるコーン貫入試験(CPT)を平面的に狭い範囲で複数実施し、地層構成がほぼ均一と仮定できる地盤調査結果に基づき、地盤定数のばらつき度合いを検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- 同一地層内の換算N値や換算細粒分含有率の変動は、硬軟の深度が少しずれているためであり、深度を補正するとほぼ重なる。
- 測定値全データに基づく変動係数(14.1～42.4%)が大きくても、地層の区間平均値の変動係数(1.7～5.0%)は比較的小さい。
- 地層全体の積分値で評価される杭の周面摩擦抵抗等には、地層の区間平均値の変動係数を用いれば良いと判断される。

なお、本検討事例は比較的小さい範囲で地層構成がほぼ均一と仮定できる地盤に関する検討事例であり、複雑な層序の地盤にこのまま適

表2 各種変動係数の比較

地点名	主な地層	対象項目	深度(m)	測定値		30cm平均		測定値の区間平均		30cm平均の区間平均		調査機関数
				データ数	変動係数(%)	データ数	変動係数(%)	データ数	変動係数(%)	データ数	変動係数(%)	
A	砂質土	N値	8-18	2800	17.4	70	15.4	7	1.9	7	4.0	1
B	砂質土	qt	10-20	3148	14.1	70	14.1	7	4.7	7	4.8	3
C	砂質土	qt	8-18	1600	20.5	40	15.5	4	1.7	4	3.6	1
D	砂質土	qt	10-20	3196	42.4	70	38.9	7	5.0	7	3.9	3
E	粘性土	N値	10-32	4366	27.3	110	19.4	5	4.6	5	6.0	1

用できるものではないことを付記する。

参考文献

- 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針，1995.12
- 牧原依夫，田部井哲夫，山口英俊，笹尾光：東京付近に分布する地層のN値一ばらつきの実態と地域性一，基礎構造物の限界状態設計法に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.201-206，1995.5
- 田村昌仁，伊藤義行，鈴木康嗣，村田芳信：同一敷地で実施した各種サウンディングによる地盤調査結果，基礎工，Vol.34，No.8，pp.14-20，2006.8
- 地盤工学会：第2章 N値を用いた設計法の信頼性，N値とc・φの活用法，pp.21-42，1998.2
- 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.10
- 日下部治：限界状態設計への動きに思うこと，土と基礎，Vol.42，No.9，pp.3-8，1994.9
- 實松俊明，笹尾光，鈴木康嗣：コーン貫入試験に基づく地盤改良効果の評価，第31回地盤工学研究発表会講演集，pp.437-438，1996.7
- 建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室，社団法人全国地質調査業協会連合会：地盤の液状化抵抗の評価に関するサウンディング・サンプリング手法の実証実験報告書，1998.9
- 鈴木康嗣，時松孝次，實松俊明：コーン貫入試験結果と標準貫入試験から得られた地盤特性との関係，日本建築学会構造系論文集，第566号，pp.73-80，2003.4
- 桑原文夫：建築基礎構造におけるN値の活用と留意点一N値の信頼性を考慮した基礎設計一，基礎工，Vol.31，No.2，pp.19-21，2003.2

[2007年4月20日原稿受理 2007年7月26日採用決定]