長野県諏訪市湖南の地盤調査一斉試験による地盤性状と沈下予測[†]

大島 昭彦* 平田 茂良** 高橋 秀一** 深井 公***
渡辺 佳勝**** 下平 祐司***** 小川 正宏*****

Ground Characteristics by General Site Investigations and Settlement Prediction at Konami, Suwa City in Nagano Prefecture

by

Akihiko OSHIMA*, Shigeyoshi HIRATA**, Hidekazu TAKAHASHI**, Akira FUKAI***,
Yoshikatsu WATANABE****, Yuji SHIMOHIRA***** and Masahiro OGAWA*****

Highly organic soil is widely distributed and deposited with large thickness at southeastern area of Suwa Lake in Nagano prefecture, where is known as one of Japan's softest ground. The ground settlement has been accumulated more than 3 m in this area, hence exposed pile foundations can be found out everywhere the area. Also, it has been known that this area is much susceptible to earthquake shaking. Then, general site investigation tests were conducted on July 2015 at Konami in Suwa city, in order to evaluate the possibility of ground settlement in highly organic soil, and to discover the correlation between results of different sounding test. This paper presents results obtained from the borehole survey, Swedish ram sounding test and Swedish weight sounding test as well as the examination on the correlation between each sounding testing result. Further, the possibility of ground settlement of surveyed ground due to loading a new fill is considered, which was calculated based on results of laboratory physical, chemical and mechanical soil tests. As a result, we found that there is still the possibility of large ground settlement on this site.

Key words:

Site investigation, Borehole survey, Standard penetration test, Swedish ram sounding test, Swedish weight sounding test, Highly organic soil, Soil test

1 緒 言

長野県諏訪湖はフォッサマグナと中央構造線が交差する地点にできた構造湖で、16世紀までは現在よりもかなり大きく、現在の諏訪市街地である南東部まで湖であった。その後、18世紀後半に北西部の天竜川流出部の中州撤去によって湖水位が低下して南東部が陸地化した。この南東部は高有機質土(泥炭)が厚く堆積しており、日本でも有数の軟弱地盤地帯である。高度成長期における大規模な盛土造成や農業用水、浅層温泉井戸、ガス井戸での過剰揚水によって局所的に異常沈下が生じ、諏訪市街地では累積で3m以上の地盤沈下が生じており¹⁾、随所で杭基礎の抜け上がりが見られ、現在もお地盤沈下が継続しており、また地震時に特に揺れやすい地盤であることなどがわかっている。

そこで、高有機質土の地盤沈下の可能性の評価、および各種サウンディング試験の相関性を見出すことを目的として、2015年7月に諏訪市湖南(こなみ)の敷地で、種々の地盤調査法の一斉試験を行った。本論文では、ボーリング調査結果(標準貫入試験、PS検層)、大型動的コ

ーン貫入試験、スウェーデン式サウンディング試験と各試験間の相関性の検討、および乱れの少ない試料としてサンプリングした高有機質土(泥炭)の土質試験(物理・化学・力学試験)結果とそれに基づいて現状で盛土を載荷した場合の沈下予測を報告する。

2 調査地点、試験の種類と位置

調査地点は、Fig. 1に示す長野県諏訪市湖南西山運動広場の駐車場である。先に述べたように諏訪市南東部は江戸時代まで湖であったため、非常に高い含水比を持つ超軟弱な高有機質土(地元では「すくも層」と呼ばれる)が厚く堆積しているのが特徴で、これが地盤沈下の原因となっている¹⁾。

Fig. 2に各地盤調査の実施位置を示す。1m格子の中央で調査を行った。実施した地盤調査はTable. 1に示す標準貫入試験(SPT)、大型、中型、小型動的コーン貫入試験(SRS, MRS, DSPT, DPM, SH, PDCPT)、電気式コーン貫入試験(CPT)、スウェーデン式サウンディング試験(SWS)である。ここでは⑤~⑪および⑬の結果は省くが、それらの詳細は文献2)~5)を参照されたい。

[†] 原稿受理 平成29年6月11日 Received June 11, 2017 ©2018 The Society of Materials Science, Japan

* 正会員 大阪市立大学大学院工学研究科 〒558-8585 大阪市住吉区杉本, Grad. Sch. of Eng., Osaka City Univ., Sumiyoshi-ku, Osaka, 558-8585

** 正会員 大和ハウス工業(株)総合技術研究所 〒631-0801 奈良市左京, Daiwa House Industry, Central Research Laboratory, Sakyo, Nara, 631-0801

*** 正会員 積水ハウス(株)施工部 〒535-8585 大阪市北区大淀中, Sekisui House, Construction Division, Kita-ku, Osaka, 535-8585

**** (株)トラバース技術設計部 〒272-0121 市川市末広, Traverse, Technical Design Division, Suehiro, Ichikawa, 272-0121

***** 正会員 日本建築総合試験所 〒540-0026 大阪市中央区本町, General Building Research Corporation of Japan, Chuo-ku, Osaka, 540-0026

***** 報国エンジニアリング(株) 〒135-0032 東京都江東区福住, Hokoku Engineering, Koto-ku, Tokyo, 135-0032

Fig. 1 Investigation site.

Fig. 2 Location of ground investigation tests.

Table 1 List of performed ground investigation tests.

Name of test	Depth of Test (m)	Investigation contents
① Bor.-1(SPT)	46	N-value with 0.5 m pitch
② Bor.-2(SPS)	20	Continuous sampling of soil
③ SRS(D Co.)	10~25	Full-automatic machine (by Y Co.)
④ SRS(Tra Co.)	23	Half-automatic machine (by Tra Co.)
⑤ MRS(Se Co.)	10~24.4	Half-automatic machine (by O Co.)
⑥ MRS(Tra Co.)	13~17.8	Half-automatic machine (by Tra Co.)
⑦ DSPT(Toh Co.)	14.75	Dynamic scw point test (by Toh Co.)
⑧ DPM(Toh Co.)	10~16.5	Small dynamic cone test (by Toh Co.)
⑨ SH(A Co.)	9.5	SH type penetration test
⑩ PDCPT(OCU)	10	Portable dynamic cone penetration test
⑪ CPT(Toa Co.)	14~16	Electric cone penetration test
⑫ SWS(Se Co.)	10~26.5	Full-automatic machine (by N Co.)
⑬ SWS(H Co.)	25	Full-automatic machine (by N Co.)
⑭ SWS(N Co.)	13.5~23	Full-automatic machine (by Y Co.)
⑮ SWS(Tra Co.)	23.3~26	Full-automatic machine (by Tra Co.)
⑯ VibroBor.(So Co.)	5.8~20	Self-propelled machine (by Y Co.)

Bor.-1 では SPT を GL-41.5m まで 0.5m ピッチで行い、さらに-46m まで素掘りし、PS 検層（サスペンション法）を行った。Bor.-2 で GL-2.15~-12.8m, GL-16.0~-19.6m の粘性土を水圧式サンプラーで連続サンプリングし、採取試料で詳細な土質試験を行った（その物理・化学・力学特性は 6.1 で後述する）。

3 ボーリング調査結果

Fig. 3 に土質柱状図と SPT による N 値、採取試料によるコンシステンシー特性、および PS 検層（サスペンション法）による P 波速度 V_p 、S 波速度 V_s の深度分布を示す。

Fig. 3 (1) の柱状図と N 値から、GL-2.15~-12.8m は N 値 0~1 の粘性土で、非常に軟弱な状態にある。GL-12.8~-14.5m は N 値 10~16 の細砂で、上下の層に比べてやや大きい、それ以深から-28m までは細砂、砂質シルト、腐食土の互層となり、 N 値は 10 前後で緩い状態にある。-28m

Fig. 4 Highly organic soil (peat).

以深も腐食土、砂質シルト、シルト質砂、砂礫の互層となり、 N 値はやや高い（砂礫で $N>50$ ）。また、地下水位は GL-0.73m と非常に浅い位置にある。

Fig. 3 (2) のコンシステンシー特性から、GL-2.15~-12.8m の粘性土の内、GL-3.9~-10.7m は高有機質土（柱状図では腐植土と記載されていたが俗称で、正しくは Fig. 4 に示すように植物質が未分解であったので、「泥炭」に分類される）で、自然含水比 $w_n=200\sim700\%$ 、液性限界 $w_L=200\sim650\%$ を示し、超軟弱な状態にある。GL-15.8~-17.8m にも w_n が 200% 前後（ w_L が 300% 前後）の高有機質土（これは分解が進んでいたの「黒泥」に分類される）が堆積しており、それ以深にも所々に高有機質土が混入している。

Fig. 3 (3) の V_s 、 V_p から、 V_s は GL-2.15~-12.8m の泥炭を含む粘性土で 55~70m/s とかなり小さく、やはり超軟弱であることがわかる。また、それ以深から-28m までの互層でも 80~130m/s と小さい。文献 6) では、この V_s を用いた地震応答解析から、約 0.7Hz の低周波数を示すこと、それが同地点で行った常時微動観測とほぼ一致することを報告している。なお、深度 36m までの V_p がかなり小さいのは、高有機質土に賦存するメタン等のガスの影響と考えている。

Fig. 3 Soil boring log and depth distribution of N -value of SPT, consistency properties and PS logging at Konami, Suwa City.

Fig. 5 Full-automatic (SRS-Y)

Fig. 6 Half-automatic (SRS-T)

4 大型動的コーン貫入試験 (SRS) 結果

4・1 SRS 試験結果

Fig. 5, 6 にそれぞれ全自動式 Y 社製試験機 (SRS-Y), 半自動式 Tra 社製試験機 (SRS-T) を示す。それらの打撃仕様を Table 2 にまとめたが, 両試験機に大きな違いはなく, いずれも地盤工学会基準 (JGS 1437-2014) を満たしている。

Fig. 7 に全自動試験機 SRS-Y (D 社) と半自動試験機 SRS-T (Tra 社) による試験結果を示す。SRS-Y では 3 ケース実施しており, No.1 は 0.2m ピッチで打撃回数を測ると同時にトルク測定を行い (全トルク), No.2 は 1m ピッチでトルク測定を行い (1m トルク), トルク測定ピッチの影響を調べた⁷⁾。これは, 基準 (JGS 1437-2014) では「ト

Table 2 Blow specification of Swedish Ram sounding test machine.

Name of test machine	Full-auto. SRS-Y	Half-auto. SRS-T
Diameter of hammer guide (mm)	48.6	40.5
Diameter of hammer D_h (mm)	246	180
Diameter of anvil D_a (mm)	120	88
Mass of anvil m_a (kg)	17	2.1
Diameter ratio of anvil and hammer D_a/D_h	0.49	0.49
Total mass of driving device (kg)	80.5	100
Mass of hammer m (kg)	63.5	
Height of fall H (mm)	500	
Point angle of cone ($^\circ$)	90	
Mantle length L (mm)	90	
Diameter of cone D (mm)	45	
Base area of cone A ($\times 10^{-4} \text{ m}^2$)	15.9	
Diameter of rod d_r (mm)	32	
Diameter ratio of cone and rod D/d_r	1.41	

ルク測定は少なくとも 1m ごとに行い, かつトルク測定後 50 回打撃ごとにロッドどうしの結合を締め付けるためにロッドを回転」と規定されているので, No.2 はそれに合わせ, 50 回打撃ごとの回転時にトルクも測定した。さらに, No.3 は先端コーンで摩擦音測定⁸⁾を行ったもので, そのためにコーンをロッドに剛結させた固定型で行い, No.1, 2 の回転型 (コーンに対してロッドが回転) と比較した。一方, SRS-T では同条件で 2 ケース実施している (トルクは打撃回数 5 回以上で測定)。

Fig. 7 (1) の測定打撃回数 N_{dm} では, SRS-Y の 3 ケースと SRS-T の 2 ケースに大きな差はないが, GL-12.8~15.0m の細砂・中砂で SRS-Y の No.1 がやや大きく, GL-15.0m 以深では SRS-Y の No.2 がやや大きい傾向が見られる。

Fig. 7 Test results of full-automatic (SRS-Y) and half-automatic (SRS-T) and comparison of N -value at Konami, Suwa City. Fig. 8 Relation between N -value and N_d -value at Konami, Suwa City.

Fig. 7 (2)のトルク M_v では、SRS-T の 2 ケースは $N_{dm} < 5$ となる深度 7m 以浅で未測定であるが、それ以深では SRS-Y よりも明らかに M_v が大きい。これは試験機の機構上の違いによると考えられる。一方、SRS-Y の No.2 と No.3 は No.1 よりやや大きい傾向が見られるが、トルク測定ピッチが粗いほど、コーン固定型の方がトルクは大きくなることは十分予想される。ただし、今回の諏訪地盤ではこれまでの地点に比べて M_v が非常に大きいことが特徴である。当地で実施した電気式コーン貫入試験 (CPT) でも大きな周面摩擦力が測定されている⁵⁾。これは、GL-3.9~10.7m や GL-15.8~17.8m に堆積する高有機質土 (泥炭、黒泥) はロッドに絡みやすいため、周面摩擦が大きく、 M_v が大きくなると考えられる。

Fig. 9 Relation between N -value and s_u -value at Konami, Suwa City.

Fig. 7 (3)の補正打撃回数 N_d には SPT による N 値も書き入れた。SRS-Y の 3 ケースと SRS-T の 2 ケースの結果に大きな差はないが、 N 値に比べるとやや大きい。特に GL-5.0~12.8m の泥炭を含む粘性土および 15m 以深の黒泥を含む粘性土と砂質土の互層の N_d 値は N 値よりもかなり大きい。これも高有機質土では周面摩擦が大きくなる影響と考えられる。

4・2 N_d 値と N 値、 s_u 値の相関性の検討

Fig. 8 に SRS の N_d 値と N 値の関係を砂質土と粘性土 (高有機質土を含む) に分けて示す。既報⁹⁾と同様に、粘性土では $N_d > N$ となるが、砂質土でも $N_d \neq N$ とならず、 N_d 値の方が大きい。これも GL-3.9~10.7m や GL-15.8~17.8m の高有機質土の周面摩擦が大きい影響がそれ以深の砂質

土の N_d 値を大きくしているのではないかと考えている。

Fig. 9 に粘性土に対する SRS の N_d 値と非排水せん断強さ s_u 値 (一面定体積せん断試験による), $p_c/2$ (p_c は圧密降伏応力) の関係を示す. $p_c/2$ は一面で求めた強度増加率 $s_u/p=0.53$ であったので, s_u 相当となる (6.1 参照). 図中には既報⁹⁾で過去 5 地点の試験結果から求めた q_u に関する相関式 [$q_u=6.0N_d+66.8$] を $1/2$ とした関係を示したが, 今回もそれに近いが切片がやや小さくなった. これも高有機質土の強度特性の違いと考えている.

5 スウェーデン式サウンディング試験 (SWS) 結果

5・1 SWS 試験結果

SWS 試験は, 荷重, 回転数, 深度が自動で計測・記録することができる全自動式 SWS 試験機にて 4 社により実施した. 使用した試験機は Fig. 10 に示す N 社製, Y 社製, Tra 社製の 3 機種を使用した.

Fig. 11 に 4 社による SWS 試験結果 (W_{sw} : 荷重, N_{sw} : 半回転数) と稲田式¹⁰⁾による換算 N 値と SPT の N 値の深度分布を示す. 各試験は複数回実施しているが, いずれも再現性がよかったので, 代表となる 1 ケースを挙げている.

Fig. 11 (1) より, 4 社 (3 社試験機) による試験結果は大きくは変わらないが, Y 社製試験機は GL-15m 前後で N_{sw} が大きく, Tra 製試験機は GL-5m 前後で自沈傾向が強く, GL-15m 以深で N_{sw} がやや大きい.

Fig. 11 (2) より, 4 社ともに GL-3.9~9.5m の高有機質土 (泥炭) の換算 N 値は大きい. これも周面摩擦が大きいことによると考えられる. また, GL-14~15m でも換算 N 値は大きい, それ以深は N 値と比較的よく一致している. なお, Tra 製試験機はデータを丸めた結果であり, 実際には 1cm ピッチで W_{sw} と N_{sw} を測定しており, それによればより細かい抵抗値の変化を捉えることができている.

5・2 SWS 試験結果と N 値の関係

今回諏訪市湖南で行ったすべての SWS 試験結果について, 土質毎に SWS 試験結果と N 値における散布図を描き, 稲田式 (図中に示す) との比較を行ったものを Fig. 12 に示す. 文献 11) と同様に, 砂質土ではばらつきが大きく,

Fig. 10 Full-automatic SWS apparatus

Fig. 11 Test results of and comparison of N -value at Konami, Suwa City.

Fig. 12 Relation between W_{sw} , N_{sw} and N -value at Konami, Suwa City.

相関性が低い. 一方, 粘性土および高有機質土でもばらつきは大きい砂質土よりは相関性が見られる. ただし, 稲田式は上限値を示し, N 値を過大評価している (Fig. 7 (2) 参照). これも先に述べた SRS や CPT と同様に, 高有

Fig. 13 Physical and chemical properties of cohesive soil at Konami, Suwa City.

Fig. 14 Mechanical properties of cohesive soil at Konami, Suwa City.

機質土ではロッドに植物繊維が絡むことで摩擦力が大きくなり、 N_{sw} が過大に得られたためと考えられる。

6 土質試験結果と沈下予測

6・1 土質試験結果

Bor.-2 (Fig. 2 参照) で GL-2.15～12.8m, GL-16.0～19.6m の高有機質土を含む粘性土の乱れの少ない試料を水圧式サンプラーで連続サンプリングし、採取試料で詳細に土質試験（物理・化学・力学試験）を行った。

Fig. 13 に物理・化学性質の深度分布を示す。先の深度以外は標準貫入試験 (SPT) 試料による結果も併せて示す。

Fig. 13 (1) の自然含水比 w_n 、液性限界 w_L 、塑性限界 w_p から、GL-3.9～10.7m は前述したように、未分解の高有機質土（泥炭）で、 $w_n=200\sim 700\%$ 、 $w_L=200\sim 650\%$ を示し、超軟弱な状態にある。また、GL-12m 前後も w_n 、 w_L が高い。さらに、GL-15.8～17.8m は w_n が 200% 前後 (w_L が 300% 前後) の分解が進んだ高有機質土（黒泥）である。

Fig. 13 (2) の液性指数 I_L から、泥炭層の I_L は 1 前後を示すので、鋭敏性も高いといえるが、黒泥層の I_L は 0.5 以下を示す。

Fig. 13 (3) は土粒子密度 ρ_s と湿潤密度 ρ_t および飽和密度 ρ_{sat} を併せて示す。 ρ_s は泥炭層で $1.6\sim 1.7\text{ g/cm}^3$ 、黒泥層で $1.8\sim 2.0\text{ g/cm}^3$ と非常に小さい。泥炭層の各土質試験供試体の ρ_t は 1.0 g/cm^3 未満を示したが、これはサンプリング時・後に間隙水が抜けたと考えられる（飽和度 S_r は 85～90%）。そこで ρ_s と供試体の体積比 $f(=1+e)$ から ρ_{sat} を算定したが、それでも 1.05 g/cm^3 程度であり、非常に小さい (ρ_s が小さく、 w_n が高いことによる)。この ρ_{sat} は後述する有効土被り圧 p_0 の算定に用いた。

Fig. 13 (4) は粒度試験による細粒分と粘土分の含有率を示すが、泥炭層と黒泥層は植物質であり、粒度にあまり意味がないので、測定していない。それ以外は粘性土部で粘土分 50% 前後、細粒分 90% 前後を示した。

Fig. 13 (5) の強熱減量 L_i から、泥炭層で 80% 前後、黒泥層で 50% 前後であり、有機物がかなり多く含まれることがわかる。以上の泥炭層の物理・化学性質は一般的な泥炭（北海道等）と同程度である¹²⁾。

Fig. 14 に力学性質（段階載荷圧密試験と一面定体積せん断試験による）の深度分布を示す。

Fig. 15 Compression curves of cohesive soil at Konami, Suwa City.

Fig. 14 (1)の圧縮指数 C_c は、一般の粘性土と同様に Fig. 13 (1)の w_L の分布形と相似となり、両者の相関性が高いことがわかる。ただし、泥炭層の C_c は 6~9 を示し、超高圧縮性を示す。黒泥層でも C_c は 2 前後を示す。なお、 C_{cr} 、 C_s はそれぞれ高圧密圧力下の圧縮指数、過圧密域の膨張指数である。

Fig. 14 (2)の圧密係数 c_v は、Fig. 13 (1)の w_L の分布形と逆相似となり、やはり両者の相関性が高いことがわかる。ただし、高有機質土特有の圧密圧力の増加とともに c_v が大きく減少 (1/100 程度) する性質を示していることがわかる。

Fig. 14 (3)の圧密降伏応力 p_c と有効土被り圧 p_0 から、泥炭層の p_c は 35 kN/m^2 前後と小さく一定で、ほぼ p_0 に等しい。本地点の特徴は p_0 が小さいことで、深度方向にあまり増加しない (泥炭層厚 6.8m の自重は 8.1 kN/m^2 しかない)、これは先に述べた ρ_{sat} が極小さいことによるが、これが後述する沈下し易い原因となる。一方、黒泥層の p_c は p_0 よりかなり大きい。

Fig. 14 (4)の過圧密比 OCR から、泥炭層は正規圧密 (又は多少未圧密の可能性もある)、黒泥層はかなり過圧密といえる。

Fig. 14 (5)は一面定体積せん断試験 (p_0 で圧密) による非排水せん断強さ s_u の深度分布であるが、やはり泥炭層の s_u は 20 kN/m^2 前後で小さく一定である。別途、正規圧密域で求めた強度増加率 s_u/p は 0.53 程度となり、一般の粘性土よりかなり大きい (このことから 4.2 で示したように、 $p_c/2$ が s_u 相当となる)。むしろ泥炭層では $w_n=200 \sim 700\%$ と非常に高い割には s_u が大きい (p_c も大きい) と見ることもできる。

6・2 現状からの沈下予測

本地盤調査地点の近くでは、地盤沈下によって倉庫や戸建住宅の杭基礎が抜け上がっている箇所が多く見られた。そこで、今回の調査結果を用いて、現状でどの程度の地盤沈下の可能性があるかを算定してみた。

Fig. 15 に GL-2.0~12.8m の粘性土の段階載荷圧密試験

Fig. 16 Settlement prediction by fill load at Konami, Suwa City.

(約 0.45m 間隔で実施) による圧縮曲線 (f - $\log p$ 曲線) を示す。Fig. 13 (1)に示した高い w_n を反映して非常に高い f 値を示し、かつ高有機質土特有の下に凸の曲線性状を示す。先に述べたように p_c は 35 kN/m^2 前後となる。なお、圧縮曲線を $\log f$ - $\log p$ 曲線で整理すると、正規圧密域の直線性が向上すること¹²⁾、過圧密域と正規圧密域の直線の交点が p_c にほぼ一致することを確認している。

Fig. 16 に現状の地盤に盛土 (湿潤密度 $\rho_t=2.0 \text{ t/m}^3$) を 0.5~4m 載荷した場合の沈下量を Fig. 15 の圧縮曲線を直接用いて予測した結果を示す (ただし、盛土荷重の浮力補正はしていない)。初期状態が初期体積比 f_0 (自然含水比 w_n から算定) と現在の有効土被り圧 p_0 の点 (f_0, p_0) に存在するとして、圧縮曲線を上方に平行移動した補正 f - $\log p$ 曲線を用いて、盛土荷重 Δp を加えた最終状態 (f_t, p_t) までの沈下量を計算した。

計算結果は、1m, 2m の盛土に対して沈下量がそれぞれ 0.65m, 1.21m となり、盛土厚に対して 60%以上が沈下すると予測された。これは先に述べたように、泥炭層が超高圧縮性を有すること、現状の有効土被り圧 p_0 が小さいために盛土荷重による荷重増加率が大きいことによると考えられる。したがって、当地ではまだ十分に地盤沈下の可能性があるといえる。

7 結 言

本論文では、諏訪市湖南での地盤調査一斉試験によって各種サウンディング試験の相関性、および高有機質土の地盤沈下の可能性の評価を行った結果をまとめた。それらの結果から以下の結論が得られた。

1) ボーリング調査から、当地の表層 GL-2.15~12.8m は N 値 0~1 の泥炭を含む粘性土で、超軟弱な状態にあり、地下水位は GL-0.73m と非常に浅い位置にあること、PS 検層からも V_s は GL-2.15~12.8m は 55~70m/s とかなり小さく、やはり超軟弱であることなどがわかった。

2) 大型動的コーン貫入試験 (SRS) から当地の地盤性状を捉えることができたが、トルク測定ピッチとコーン結合形式が試験に与える影響は小さく、2 種類の試験機

による違いも小さいといえた。ただし、 N_d 値と N 値、 s_u 値の相関を含め、SRS の高有機質土への適用性については、さらにデータの蓄積が必要と考えられた。

3) スウェーデン式サウンディング試験 (SWS) からでも当地の地盤性状を捉えることができたが、4 社 (3 社製試験機) の試験結果に大きな差はなかった。ただし、高有機質土ではロッドの周面摩擦が大きい (SRS のトルク、CPT の摩擦抵抗からも同様) ため、稲田式による換算 N 値は過大になると考えられた。

4) 連続サンプリングした乱れの少ない試料を用いて土質試験を行い、高有機質土を含む粘性土の物理・化学特性と力学特性を捉えた。特に、表層 GL-3.9~10.7m は未分解の高有機質土 (泥炭) で、自然含水比 $w_n=200\sim700\%$ 、土粒子密度 $\rho_s=1.6\sim1.7\text{ g/cm}^3$ 、飽和密度 $\rho_{sat}=1.05\text{ g/cm}^3$ 、強熱減量 $L_t=80\%$ 前後、圧縮指数 $C_c=6\sim9$ 、 $p_c=35\text{ kN/m}^2$ 前後の超軟弱性、超高圧縮性を示すことがわかった。

5) 当地において現状でどの程度の地盤沈下の可能性があるかを、圧密試験による圧縮曲線を用いて検討したところ、1m、2m の盛土に対して沈下量がそれぞれ 0.65m、1.21m となり、盛土厚に対して 60%以上が沈下すると予測された。これは泥炭層が超高圧縮性を有し、現状の有効土被り圧 p_0 が小さいために盛土荷重による荷重増加率が大きいことによると考えられた。したがって、当地ではまだ十分に地盤沈下の可能性があるといえた。

なお、諏訪市東部の四賀普門寺地区では泥炭層がさらに厚く堆積しており、かつては盛土厚の 90%近く沈下する (底なし沼状態) と言われていた。今後、このような高有機質土地盤に対する沈下対策としての地盤改良方法について考える必要があると考えている。

最後に、地盤調査のために敷地提供と事前の地盤情報をお願いした諏訪市建設部建設課と現地での地盤調査にご協力をいただいた (株) 中部測地研究所に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Japanese Geotechnical Society, "Handbook of Ground and disaster in 77 cities", 37. Suwa City, pp.311-316 (2012).
- 2) Y. Matsutani, A. Fukai, A. Oshima, M. Satou and Y. Watanabe, "General Site Investigations at Suwa City in Nagano Prefecture (Part 3: Medium Dynamic Cone Penetration Test)", Proceedings of the 51th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.81, pp.161-162 (2016).
- 3) J. Okazaki, I. Endo, K. Nakanishi, H. Katayama, A. Oshima, R. Chou and Y. Kyoya, "General Site Investigations at Suwa City in Nagano Prefecture (Part 3: Light Dynamic Cone Penetration Test)", Proceedings of the 51th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.82, pp.163-164 (2016).
- 4) R. Tomita, T. Kuwahara, H. Hirabayashi and A. Oshima, "General Site Investigations at Suwa City in Nagano Prefecture (Part 5: CPT)", Proceedings of the 51th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.83, pp.165-166 (2016).
- 5) T. Shibuya, A. Oshima and M. Kamimura, "General Site Investigations at Suwa City in Nagano Prefecture (Part 7: Survey boring method with vibration drill)", Proceedings of the 51th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.85, pp.169-170 (2016).
- 6) A. Tsutsumi, T. Hirai, K. Ebisu, T. Suzuki, S. Fukatsu, A. Oshima and M. Nakamura, "Microtremor measurements in southeast of Lake Suwa", Proceedings of the 51th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.960, pp.1919-1920 (2016).
- 7) H. Ichimura, S. Hirata, A. Yamamoto, A. Oshima, S. Yamada, Y. Shibata and I. Nishida, "Influence of the torque measurement pitch and applicability of simple sampler on Swedish Ram Sounding test", Proceedings of the 51th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.100, pp.199-200 (2016).
- 8) K. Mizuno, S. Yamada, T. Atarashi, A. Oshima, S. Hirata, A. Yamamoto, H. Ichimura and Y. Shibata, "Examination on relations of soil characteristics and acoustic properties of friction sound measured by Swedish Ram Sounding", Proceedings of the 51th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.92, pp.183-184 (2016).
- 9) S. Hirata, A. Yamamoto, A. Oshima, S. Yamada, S. Mine, S. Kosaka and I. Nishida, "An example of investigation of ground strength and soil judgement on heavy dynamic cone penetration test", Proceedings of the 50th Annual Conference on Geotechnical Engineering, JGS, No.44, pp.87-88 (2015).
- 10) M. Inada, "Usage of results of Swedish weight sounding test", Tsuchi-to-Kiso, Vol.8, No.1, pp.13-18 (1960).
- 11) R. Chou, A. Oshima, Y. Shimohira, M. Ogawa, N. Nozawa, Y. Watanabe, A. Fukai and Y. Matsutani, "Site Investigations at Takasu and Maihama, Urayasu City (Part 1: Swedish Weight Sounding Test)", Proceedings of the 71th Annual Conference on JSCE, No.III-149, pp.297-298 (2016).
- 12) K. Kogure, Geotechnical engineering of highly organic soil, Toyo Shoten, pp.15-39 (1995).