電気式コーン貫入試験による泥炭地盤の非排水せん断強さの推定

Estimation of undrained shear strength using by CPT for peaty ground

(独) 土研 寒地土木研究所 〇正員 林 宏親(Hirochika Hayashi)
同 正員 西本 聡(Satoshi Nishimoto)

1. まえがき

北海道の泥炭地盤では、オランダ式二重管コーン貫入 試験(以下、ダッチコーン試験)から非排水せん断強さ を推定することが多い。一方、ダッチコーン試験に類似 の原位置試験である電気式静的コーン貫入試験(以下、 電気式コーン試験)は、電気的に多成分の測定ができる 特長を有するが、ダッチコーン試験と比較して新しい方 法であるため、泥炭地盤に対する適用例が充分ではない。

そこで、北海道の泥炭地盤において、電気式コーン試 験、ダッチコーン試験および室内力学試験などを実施し、 電気式コーン試験の適用性を検討した。本文では、その 結果に基づき電気式コーン試験による泥炭地盤の非排水 せん断強さの推定法について述べる。

2. 泥炭地盤における非排水せん断強さの推定と電気式 コーン試験の現状

ダッチコーン試験あるいは電気式コーン試験から地盤 の非排水せん断強さを求める場合、式(1)が用いられる¹⁾。 ここで、 S_u は非排水せん断強さ(kN/m^2)、 q_t はダッチコ ーン試験あるいは電気式コーン試験の貫入抵抗(kN/m^2)、 σ_{v0} は全土被り圧(kN/m^2)、 N_{kt} はコーン係数と呼ばれる 補正係数である。

 $S_u = \left(q_t - \sigma_{v0}\right) / N_{kt} \tag{1}$

泥炭性軟弱地盤対策エマニュアル²⁾においては、泥炭 地盤の非排水せん断強さをダッチコーン試験から式(2) を用いて推定することとしている。ここで、q_{cd} はダッ チコーン試験の貫入抵抗(kN/m²)であり、式(1)の q_t に相 当する。

(2)

 $S_u = q_{cd} / 20$

式(2)は式(1)を応用したものであるが、全土被り圧を 考慮していない。これは、式(1)を泥炭地盤に適用する 場合、全土被り圧を無視しても大きな問題がないと判断 されたものと推測される。つまり、泥炭は表層付近にせ いぜい数 m 程度の厚さで堆積していることが多く、か つ湿潤単位体積重量が水のそれ(10kN/m³)と大きく変わ らない。よって、深い位置に厚く堆積した湿潤単位体積 重量の比較的大きい粘性土とは異なり、全土被り圧の影 響が小さいことを根拠にしていると思われる。式(2)に おけるコーン係数 $N_{kt}=20^{3}$ は、全土被り圧を無視する前 提で求められていることに注意が必要である。

泥炭地盤の非排水せん断強さを求めるために、ダッチ

コーン試験を用いる理由として、泥炭地盤が極めて不均 質に堆積していること⁴⁾から、数少ない室内試験結果を もって強度を決定するよりも、連続的な情報が得られる 原位置結果から推定する方が合理的であることが挙げら れる。さらに、繊維質な泥炭の不撹乱試料採取が困難な こともある。

一方、電気式コーン貫入試験は、コーン貫入抵抗の他 にコーンが貫入する際に発生する地盤の間隙水圧やスリ ーブの周面に働く摩擦力などを同時に測定できることか ら、多くの地盤情報を得ることが可能である。さらに、 深度方向により細かく連続測定が可能であり、薄い砂層 の介在を把握できるなど、実務への利用範囲が広い。

ダッチコーン試験と電気式コーン試験を比較すると、 貫入抵抗を支配すると言われている⁵⁾コーン先端角 (60°)や底面積(10cm²)、貫入速度(1~2cm/min.) はほぼ同じであるが、コーン背後の形状が異なる。つま り、ダッチコーンでは、コーンの背後が逆テーパ型であ るのに対し、電気式コーンはコーン底部から背後への外 径が一定である(図1)。このコーン形状の違いが貫入 抵抗に与える影響、さらに電気式コーン試験によって泥 炭地盤の非排水せん断強さを推定する際のコーン係数を 明らかにする必要がある。



上:電気式コーン、下:ダッチコーン 図1 コーン形状の違い

3. 調査概要

3.1 調査箇所

北海道の泥炭地盤2箇所(江別市美原地区、猿払村浅 茅野地区)において調査を実施した。調査位置を図2に 示す。江別市美原の地盤は、表土に続いて厚さ2.6mの 泥炭(自然含水比Wn=304~494%、強熱減量Li=29~



調査箇所における泥炭および有機質粘土の物性 表1

箇所	土質	深度	ρt	Wn	Li
		(m)	(g/cm^3)	(%)	(%)
美原	Р	1.3~3.9	1.05	388	52
	OC	3.9~5.3	1.22	160	19
浅茅野	Р	0~2.5	1.01	921	92
	OC	2.5~4.0	1.28	169	12

※土質名の P は泥炭、OC は有機質粘土 ※ ρt は湿潤密度、Wn は自然含水比、Li は強熱減量 ※物性値は、各土層の平均値

66%) 、その下位に厚さ 1.4m の有機質粘土(Wn =147 ~178%、Li =8~24%)、さらに砂質土、粘性土と続く 泥炭性軟弱地盤であった。猿払村浅茅野では、表層から 高含水比で繊維質に富んだ泥炭(Wn =757~1023%、Li =88~95%)が 2.5m の厚さで存在し、その下位に厚さ 1.5mの有機質粘土(Wn =169%、Li =12%)が堆積して いた。表1に各調査箇所の泥炭および有機質粘土の物性 を示す。

3.2 原位置調査の概要

各調査箇所において、電気式コーン試験、ダッチコー ン試験、シンウォールサンプラーによる不撹乱試料の採 取を行った。各試験の平面的な位置は、試験相互の干渉 を避けるため、1m以上離した。電気式コーン試験は、 地盤工学会基準(JGS1435)に従い、測定間隔 2cm で実 施した。電気式コーン試験から得られる貫入抵抗 q, は、 式(3)によってフィルターに作用する水圧の影響を補正 している。ここで、qce は計測された見かけの貫入抵抗 (kN/m²)、A_eはコーンの有効断面積(m²)、A_pはコーンの 底面積(m²)、uは間隙水圧(kN/m²)である。

$$q_t = q_{ce} + (1 - A_e/A_p) u$$
 (3)



図3 q_tとq_{cd}の深度分布(美原)

ダッチコーン試験は、JIS A 1220 に従い、測定間隔 25cm にて行った。

3.3 室内試験の概要

非排水せん断強さを求めるために、不撹乱試料に対し て K₀ 圧密非排水三軸圧縮試験(JGS0525)を実施した。 具体的には、原位置での有効土被り圧で K₀ 圧密した後、 非排水条件においての軸ひずみ速度 0.1%/min の圧縮を 行った。これ以外に、圧密試験や物理試験を実施した。

4. 調査結果と考察

4.1 ダッチコーン試験と電気式コーン試験の比較

図3に美原におけるダッチコーン試験(貫入抵抗 q_{cd})および電気式コーン試験結果(貫入抵抗 q_t)の深 度分布を示す。同様に浅茅野での結果を図4に示す。通 常、ダッチコーン試験結果も連続的に線で表記されるが、 ここでは比較を容易にするため点で表している。美原の 泥炭および有機質粘土では、電気式コーンの q, とダッ チコーンの q_{cd} に大きな差は認められなかった。いずれ の値とも、ばらつきはあるものの、深度方向に対して極 端な増減傾向はなかった。粘性土においては、全体的に q_tの方が q_{cd}よりも大きな値であった。また、いずれと も、深度が深くなるに従い貫入抵抗が増加する傾向であ った。

浅茅野においては、泥炭層および有機質粘土が調査対 象であった。泥炭の q_t は、深度方向のばらつきがおお きかった。ここの泥炭は未分解の植物が多く残っていた ことから、その影響が出たものと考えられる。 q_{cd} の方 は、測定間隔が q_t よりも大きいため、 q_t のように細かな 性状の変化を表してはいない。 q_t と q_{cd} を比較すると、 深度 2m前後の泥炭を除いて、概ね同じ傾向であった。

これらのことから、泥炭と有機質粘土については、 q_t と q_{cd} の大きな違いは、ほとんどないと判断できるが、 このことをより明確に検討するために、図5に土質別の q_t と q_{cd} の関係を示す。泥炭については、ばらつきが大 きいものの、巨視的に見れば、式(4)の関係が認められ る。

$$q_t = q_{cd} \tag{4}$$

有機質粘土における両者の関係も、泥炭ほどではない がばらつきは大きかった。しかし、式(5)で近似して良 いと思われる。

 $q_t = 1.0 \sim 1.2 q_{cd}$ (5)

粘性土については、美原だけの結果ではあるが、式 (6)の関係といえる。わずかに q_tの方が大きい結果となったのは、電気式コーンにはダッチコーンのような逆テ ーパがないため(図1)、前節で述べた土被り圧の影響 を受けやすいものと推測される。

$$q_t = 1.2 q_{cd} \tag{6}$$

過去に、当別町蕨岱の泥炭地盤で実施された同様な調 査^のにおいても、今回得られた $q_t \ge q_{cd}$ の関係とほぼ同 じ結果が報告されている。

次に、前節で触れた土被り圧の影響について述べる。 美原と浅茅野の泥炭と有機質粘土において、美原の粘性 土のような深度の増加に伴う q_t あるいは q_{cd} の明瞭な増 加は認められなかった。このような結果に対して、式 (1)を適用し、わずかな値とはいえ全土被り圧を減じて 非排水せん断強さを評価した場合、深度方向に非排水せ ん断強さが減少する結果になることも考えられ、現実的 とはいえない。さらに、泥炭を対象に実施された澤井ら ⁷の試算(図6)によれば、 q_t と(q_t - σ_{v0})に工学的に有 意な差はないことから、泥炭および単位体積重量の小さ い有機質粘土においては、全土被り圧を無視しても大き な問題はないと考えられる。

4.2 電気式コーン試験による泥炭地盤の非排水せん断強 さの推定法

ダッチコーン試験から泥炭の非排水せん断強さを推定 する式(2)は、既に広く実務で使われており、その適用 性は高い。このことと今回の調査および既往の研究成果 とも、泥炭については式(4)の関係があったこと、なら びに全土被り圧を無視し得ることを考え合わせると、電 気式コーン試験によって泥炭の非排水せん断強さを推定



図6 $q_t - \sigma_{v0} \ge q_t$ の試算結果⁷⁾

するには、式(7)が適用できると判断できる。

$$S_u = q_t/20 \tag{7}$$

美原におけるダッチコーン試験および電気式コーン試験結果に、各々式(2)と式(7)を適用して、非排水せん断強さの深度分布を算出した結果を図7に示す。同様に浅茅野の結果を図8に示す。図には、K0圧密非排水三軸 圧縮試験から、修正ベーラム法⁸⁰を用いて求めた地盤の 強度異方性を考慮した非排水せん断強さ Sul も併記した。

室内試験から得られた非排水せん断強さ Sul とダッチ コーン試験や電気式コーン試験から推定した非排水せん 断強さは概ね一致した。なお、浅茅野では盛土工事が実 施されているが、その施工中に大きな地盤の変状が生じ た。その事実に基づいて円弧すべりの逆計算を行った結 果、当該泥炭の平均的な非排水せん断強さは 6kN/m² と 見込まれた。この値とも上記の推定結果とはおおよそ符 合する。以上のことから、式(7)の妥当性はあると考え られる。

5. まとめ

泥炭地盤において、電気式コーン試験、ダッチコーン 試験および室内試験などを実施し、電気式コーン試験に よる泥炭地盤の非排水せん断強さの推定法について検討 した。その結果を要約すると以下の通りである。

- ①ダッチコーン試験の q_{cd} と電気式コーン試験による q_t について、泥炭では $q_t = q_{cd}$ 、有機質粘土では $q_t = 1 \sim 1.2q_{cd}$ 、粘土では $q_t = 1.2q_{cd}$ の関係があった。
- ②電気式コーン貫入試験によって、泥炭の非排水せん 断強さ S_u を推定する場合、 $S_u = q_t / 20$ を適用できる。
- ③この際、全土被り圧の影響を無視しても工学的に大 きな問題は生じないと考えられる。

なお、北海道のような寒冷地において、冬期に電気式 コーン試験を行う場合、外気と地盤内の著しい温度差が、 計測センサーに悪影響を与え、調査前後でゼロ値が大き く異なる恐れがあるので充分注意する必要がある。田 中・田中⁹は、10℃の温度差によって q_tが 60kN/m²も変 化することを確認している。この問題は、夏期にも生じ る現象であるが、厳冬期の温度差の方が極端である。こ のように外気と地盤内の温度差が著しい場合、調査前に コーンを地盤内と同じ温度の水に入れて養生するなどの 対応をとらなければならない。また、調査後にゼロ値を 計測して、調査前の値と大きく異なるようであれば再試 験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 地盤工学会:地盤調査の方法と解説、pp.296-309、 2001.
- 北海道開発土木研究所、泥炭性軟弱地盤対策エマニ ュアル、pp.47-50、2002.
- 3) 能登繁幸: 泥炭地盤工学、pp.69-73、1991.
- 4) 佐々木晴美:泥炭地盤の工学的性質の均一性に関する一考察、土木学会年講(3)、pp.284-285、1973.





図8 非排水せん断強さの深度分布(浅茅野)

- 5) 室町忠彦:静的コーンペネトロメーターの軟弱地盤 調査への適用に関する実験的研究、鉄道技術研究報 告、No.757、pp.58-65、1971.
- (7) 澤井健吾、西川純一、林 宏親: 泥炭性軟弱地盤における電気式コーン一斉試験、地盤工学会北海道支部、 No.43、pp.11-18、2003.
- 7) 澤井健吾、西川 聡、林 宏親: 泥炭性軟弱地盤における電気式静的コーン貫入試験の適用、第50回地盤 工学シンポジウム論文集、pp.7-12、2005.
- Hanzawa, H. and Kishida, T.: Determination of In-situ Undrained Strength of Soft Clay Deposits, Soils and Foundations, (22) 2, pp.1-14, 1982.
- 9)田中洋行、田中政典:電気式静的コーン貫入試験およびダイラトメーター試験を用いた地盤調査法、港湾技研資料、No.837、p.13、1996.