

# セルフボーリング型孔内载荷試験の洋上風力発電事業に伴う 地盤調査への適用事例

応用地質株式会社 ○片岡賢悟 平出亜

## 1. はじめに

洋上風力発電事業による洋上地盤調査の需要が高まってきた。洋上風車の基礎（大口径パイプ）には、外力として風、波、地震力が作用するため、地盤の横方向抵抗力（地盤の変形係数）の設定は重要なポイントとなっている。

一方、地盤の変形特性を調べるための試験として、孔内载荷試験が行われている。地盤工学会の地盤調査の方法と解説<sup>1)</sup>では、同試験は「地盤の指標値を求めるためのプレッシャーメータ試験」と「地盤の物性を評価するためのプレッシャーメータ試験」に区分され、それぞれ予め掘削された試験孔にプローブを挿入するプレボーリング形式と自己掘削型のセルフボーリング形式の2種類に定義されている。このうちプレボーリング形式は、孔壁のゆるみや乱れによって結果に影響を与えることがあり、特に初期载荷の勾配から求められる変形係数への影響は顕著であるとされている。そこでこれらの影響を極力抑えるために、セルフボーリング形式の装置が開発された<sup>2)</sup>。

今回はセルフボーリング形式の装置で洋上風力発電事業のために実施した洋上地盤調査結果について整理し、従来のプレボーリング形式の結果との比較を行った。

## 2. 試験手法

今回使用したデータは東北地方の日本海の一般海域（水深10～30m）の海底面下30mまでの沖積層の砂質土及び粘性土で、データ数は60個である。

試験は、図-1に示すセルフボーリング型の孔内载荷試験機（以降 SBLLT と称する）を用いた。本装置の変位量の測定精度は5/1000mm程度である。本装置は、ドリリングビットよりシュウが先行する構造上、硬質な土層ではプローブを挿入することができない。そのため、試験予定深度の直上で標準貫入試験を実施し、目安として  $N$  値30未満の砂質土および粘性土を対象にした。

プローブによる削孔は、プローブをボーリングロッドでロータリー式ハイドロリックフィード試験錐機に接続し、スピンドルの回転によって行った。削孔による孔壁の乱れを抑えるために、プローブとロッドは二重構造になっており、ケーシング上部に設置したガイド管および二重ロッドチャックで、外側が回転しないように固定した。

削孔終了後は計測機器を安定させ、プローブと地盤をなじませるために約30分放置し試験を開始した。载荷は脱気した清水を媒体とした全自動のひずみ制御とし、載

荷速度は毎分1%を標準とした。また、繰返し载荷を孔壁ひずみが3%、4.5%、6%に達した時点を目安に3回を行い、ひずみが最大22%になるまで再载荷した。

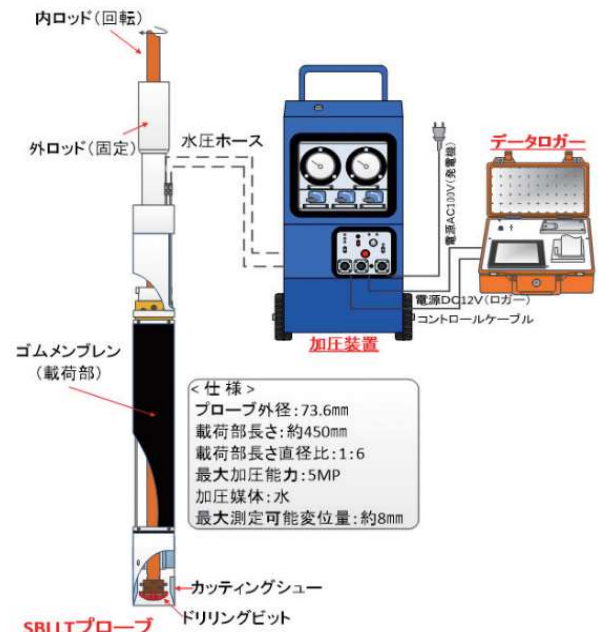


図-1 SBLLT装置の概略図<sup>3)</sup>

## 3. 試験結果

試験結果から、载荷圧力  $P'$  ～孔壁ひずみ  $\epsilon_c$  の関係から静止土圧およびせん断剛性率を定め、せん断剛性率から変形係数  $E$  を求めた。また繰返し载荷によるせん断剛性率  $G_{ur}$  と初期せん断剛性率  $G_i$  との比  $G_{ur}/G_i$  を試験地盤の緩みの影響としてとらえ、 $G_{ur}/G_i \geq 4$  のデータ7個を除去した53個のデータについて整理した。なお除去したデータは粘性土2個（ $G_{ur}/G_i=4.0, 5.4$ ）、砂質土5個（ $G_{ur}/G_i=4.0 \sim 5.4$ ）である。

表-1 SBLLT 試験結果一覧

地層	データ個数	N値		初期载荷の変形係数(kN/m <sup>2</sup> )		繰返し载荷の変形係数(kN/m <sup>2</sup> )		G <sub>ur</sub> /G <sub>i</sub> ,tan	
		範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値
沖積粘土	25	1～30	9.7	5.151 ～ 81.757	29.678	10.699 ～ 148.299	61.056	1.2～3.4	2.2
沖積砂	28	7～46	20.5	11.084 ～ 85.953	36.501	28.764 ～ 176.579	77.390	1.0～3.2	2.1

注1)  $N$ 値は SBLLT を実施した近傍深度のデータ

注2)  $G_{ur}/G_i$  は1回目の繰返し载荷によるせん断剛性率  $G_{ur}$  と初期せん断剛性率  $G_i$  との比

#### 4. 考察

孔内載荷試験から得られた変形係数  $E$  と標準貫入試験の  $N$  値の関係については、土屋・豊岡<sup>4)</sup>による関係図が示されている。この関係図はプレボーリング型式のプレシオメータによるものである。今回の結果をこの図に加筆して図-2に示した。同図から SBLLT による  $E$  は、下記の関係式が得られる。

$$\text{粘性土； } E = 7192N^{0.628} (\text{kN/m}^2)$$

$$\text{砂質土； } E = 4665N^{0.672} (\text{kN/m}^2)$$

今回の関係式と、従来<sup>4)</sup>の関係式  $E=700N(\text{kN/m}^2)$  による  $E$  を比較すると、 $N$  値が低いほど乖離が大きく  $N$  値 1 の粘土で 10 倍、 $N$  値 7 の砂で 3.5 倍、 $N$  値が高い部分では  $N$  値 20 の粘土で 3.4 倍、 $N$  値 30 の砂で 2.2 倍となっている。

建築学会の構造基礎設計指針<sup>5)</sup>では、同じボーリング孔で実施した PS 検層結果から算出した変形係数  $E_{ps}$  と孔内載荷試験から得られた変形係数  $E$  の関係が示されており、今回の結果を重ねて示した (図-3)。図中の式 6.6.14 ( $E_0 = E_{ps}/30$ ) による  $E_0$  と今回の関係式による  $E$  を比較すると、粘土、砂で共に約 5 倍となっている。

同じ地層の深度方向 3m 以内で実施した室内での三軸圧縮試験結果から算出した変形係数  $E$  と SBLLT による  $E$  との比較図を図-4に示した。両方の  $E$  を比較すると SBLLT による  $E$  の方が 1~5 倍程度大きい値となった。

この理由としては、従来のプレボーリング形式の孔内載荷試験は、ボーリング削孔時の孔壁の乱れと応力開放によるゆるみの影響が生じており、緩い地層ほどその傾向が高くなるものと考えられる。

#### 5. 今後の課題

1回の試験で繰返し載荷を行うことによって、試験地盤のゆるみの影響を把握することができた。さらに  $Gur$  のひずみ依存性を求めることができる。今後はひずみレベルを考慮した変形係数が洋上風車基礎の設計に活かされることが望まれる。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説， pp. 663-695, 2013. 3.
- 2) 谷和夫, 西好一, 吉田保夫, 岡本敏郎：岩盤セルフ・ボーリング型プレッシャーメータの開発， 電力中央研究所, No. U95021, 1995.
- 3) 応用計測サービス株式会社：製品カタログ, p. 8, 2020
- 4) 土屋尚, 豊岡義則：SPT の  $N$  値とプレシオメータの測定値 ( $P_f, E_p$ ) の関係について， サウンディングシンポジウム, 土質工学会, pp. 101-108, 1980
- 5) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針， p. 272, 2019. 11 改定版

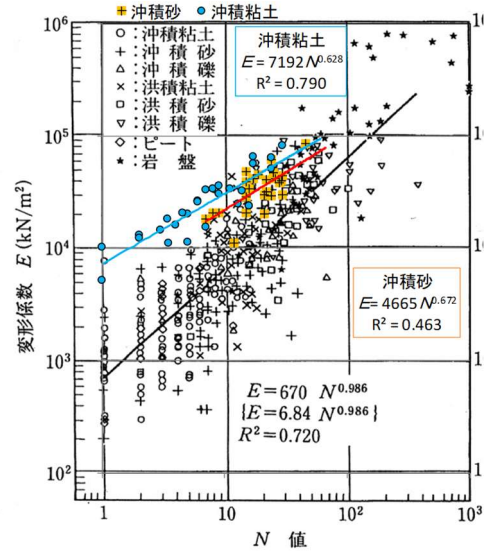


図-2 SBLLT の  $E$  値と  $N$  値との関係

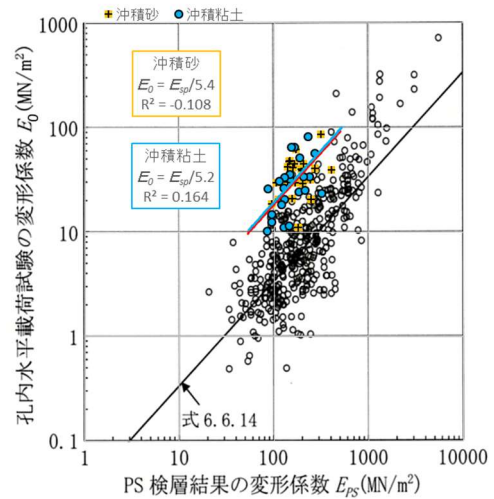


図-3 SBLLT および PS 検層による  $E$  値の比較

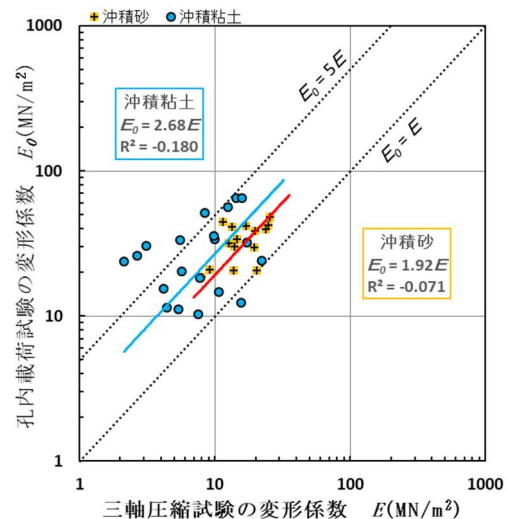


図-4 SBLLT および室内試験による  $E$  値の比較