

大孔径対応型サスペンション検層器の開発

応用地質株式会社 ○東 勇伸、平出 亜

1. はじめに

着床式洋上風力事業における風力基礎の地盤調査では、耐震設計に必要な工学的基盤（せん断波速度 $V_s \geq 400\text{m/s}$ の地層）を調査することが重要となっている。洋上調査における V_s の測定は、サスペンション PS 検層（以下に susPS 検層と称す）に因っている。現在の洋上調査で使用されている susPS 検層器は陸上の地盤調査に多用される $\phi 86\text{mm}$ 程度のスリムホールを対象として開発されたものであり、大孔径の検層では良好な記録が得られないことが指摘されていた。一方で海底地盤調査の専用船を使用した海底地盤調査では、削孔径が $\phi 200\text{mm}$ 以上と大孔径となってしまう、適用孔径を超えた大孔径では、せん断速度を算出する波形が小さく読み取りが困難なケースが多くみられた。このため、susPS 検層器の起振エネルギーを大きくし、大孔径な調査孔にも適用可能な susPS 検層器を開発した。この改良器を使用して大孔径の孔で測定した結果を紹介する。

2. サスペンションPS検層装置の改良

調査船で実施した大孔径（削孔径 250mm 程度、詳細不明）の孔内で従来の susPS 検層を実施した波形例を図-1 に示す。大孔径の場合、P 波の振幅に対して S 波の振幅が相対的に小さく観測されるため、S 波到来前の高周波の P 波が目立つ記録になっていると想定される。また調査船は 4000t クラスの船が多く、定点保持のためのエンジン振動の影響も重なり、同図から S 波の初動を正しく読み取ることができない事例が多い。

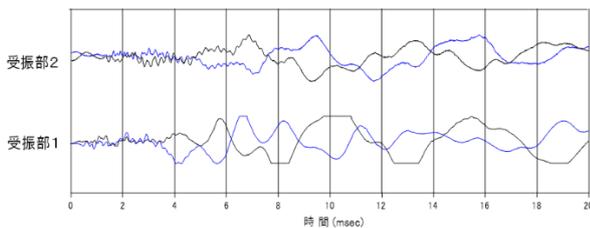


図-1 大孔径で susPS を実施したせん断波の波形例¹⁾

susPS 検層の理論を構築した狐崎(1975)の論文²⁾には、孔内水を非圧縮性とみなせる周波数範囲であれば地盤の S 波速度が測定可能だとしている。その周波数範囲は、「孔内の水の中に発生する音波の波長を λ とすると、実際上の目安としては孔の直径 d に対して、 $\lambda > 10d$ であれば、水を非圧縮性とみなしてよい」としている。大孔径で行った susPS 検層の波形例（図-1）の周波数は 600Hz 程度で、「 $\lambda = c/f$ （ c は水の音速）」で、「 $f < 10^{-1}c/d$ 」の関係式に当てはめると、 $600 < 0.1 \times 1500 \div d$ から、 $d < 250\text{mm}$ となる。したがってこの程度の孔径の孔であ

れば susPS 検層の理論が適用できることになる。

一方、孔径が大きくなると、観測される波動の振幅が小さくなる現象（図-2）は、細矢他（2010）³⁾にも「発信源と孔壁の間が大きくなることにより減衰が大きくなる影響と考えられる」と記載されている。

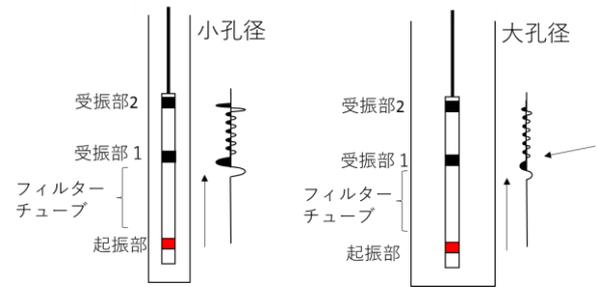


図-2 波動の伝播図

susPS 検層器の改良は、従来の susPS 検層装置をベースにして試作した（表-1）。改良に当たっては、振源の打撃力をパワーアップし、また筐体の径を大きくすることで発信波形の低周波数化を目指した。具体的には起振するためのコイル数を1対から2対に増やし、コイルにかける電圧を 300V から 420V にパワーアップした。写真-1 に改良器の写真を示す。外形としては振源部分の寸法が $\phi 52\text{mm}$ から $\phi 71\text{mm}$ になっている。

表-1 振源の仕様比較表（従来器と改良器の差分仕様）

仕様		標準機	改良機
振源	全体寸法mm	$\Phi 52 \times 230$	$\Phi 71 \times 230$
	振動版寸法mm	$\Phi 52 \times 110$	$\Phi 71 \times 110$
振源駆動回路	電圧V	300	420
	エネルギーJ	14	60
打撃性能	放射パワー比（理論値）※1	1	6.4

※1 放射パワー比 W は、応用地質年報「Development of Suspension P=S Logging System⁴⁾」の(6)式で評価した。

$$W = \frac{S^2 V^2 d^2}{12 \pi c^3} \cdot \rho \omega^4 \quad \dots (6) \text{式}$$

Where :

S : area of vibration plate

V : vibration velocity

ω : angular frequency

C : propagation velocity

ρ : density of medium through which waves propagate.

The distance between the two vibration plants (d)



写真-1 大口径 susPS 検層器

3. 陸上ボーリングでの適用確認試験

応用地質（株）のつくば研究所の敷地に掘削ビット径φ86mmのボーリング孔を掘削し、従来器でsusPS検層を実施した。次に同孔をφ270mmのビットで拡幅した後、従来器と改良器によるsusPS検層を行った。なお削孔後に孔径検層を実施した結果、孔径の実測値はビット径の1.2~1.5倍であった。

図-3にφ86mmのボーリング孔で実施した従来器の結果およびφ270mmで実施した従来器と改良器の波形記録の例を示した。赤口で囲った部分がS波の初動であり、従来器ではφ86mmのボーリング孔と比較してφ270mmのボーリング孔では極めて振幅が小さく、ノイズの大きい環境では初動がマスクされてしまう可能性が高いことが示された。一方、改良器では従来器に比べ初動振幅が大きく、初動が読みやすい記録であることが確認できた。ただし、周波数については従来器と改良器の差はほとんど見られなかった。

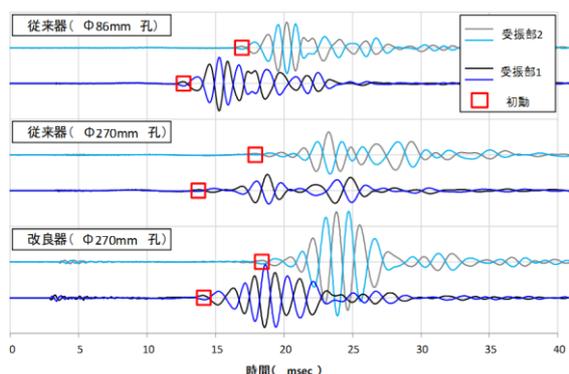


図-3 φ270mm孔の同一深度における従来器と改良器の測定波形例¹⁾

図-4は従来器と改良器のS波初動振幅を深度ごとにプロットして比較したものである。深度により差があるものの初動振幅は改良器の方が大きく、装置改良の効果が表れていることが分かる。また、図-5にφ86mm孔で従来器を用いて得られた速度値とφ270mm孔で改良器を用いて得られた速度値をプロットした。両器によるP波・S波と速度値の違いは3%以下であり、大口径のボーリング孔であっても改良器を用いることで正しく地盤の速度が得られることが確認された。

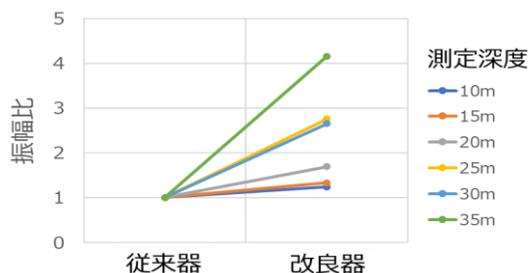


図-4 従来器と改良器のS波初動振幅比の比較¹⁾

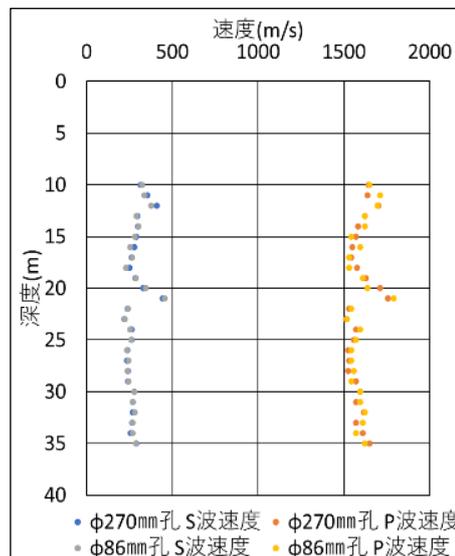


図-5 φ86mm孔の従来器とφ270mm孔の改良器の比較

4. おわりに

陸上での試験を経て、海域においても専用調査船上で大口径のボーリング孔におけるsusPS検層を行った。この結果、船上でも良好なS波速度波形を得ることができた。現在では様々な海域にて大口径susPS検層器を用いた調査が行われており、この3年間で30孔以上の調査実績を残している。一方でこれらの経験から、起振エネルギーを大きくした改良器で測定しても、およそGL-30m以浅では、波形が船体の定点保持のためのエンジン振動の影響を受けてしまうことが分かった。今後は、調査経験を元に検層器の更なる性能向上を目指したい。

《引用・参考文献》

- 1) 平出亜、松原由和、山本正人、小田佑介、坂田和宏：洋上風力発電事業における大口径ポアホールでのPS検層の実施事例、第58回地盤工学研究発表会
- 2) 狐崎長良(1975)：漂遊型受震方式によるS波の検層
(1) 原理と基礎的考察、物理探鉱、第28巻第1号、pp13~21
- 3) 細矢卓志、木村克己、竹村貴人(2010)：サスペンション式PS検層速度の孔径による影響の検討、全地連「技術フォーラム2010」那覇
- 4) Tanaka, K.; K. Ogura, Development of Suspension P=S Logging System. OYO Technical Report (1986), No. 8, 59-72.