

## 弾性波測定を伴う動的貫入試験 Seismic PDC

応用地質株式会社 澤田 俊一

## 1. はじめに

地盤の地震時の液状化判定を原位置試験のみで行える装置に過剰間隙水圧測定を伴う動的貫入試験ピエゾドライブコーン PDC<sup>1)</sup>がある。しかし、測定時に地下水位が浅となる地盤では間隙水圧応答が計測出来ないことから土質識別が出来ない。近年、ウォータフロント等潮位変動があり、一時的に地下水位が浅となる地盤でも液状化判定が行える新しい調査技術が求められている。本報告では、新たに地盤の弾性波速度（せん断波速度  $V_s$ ）測定を伴う動的貫入試験により一時的に不飽和となる地盤でも土質識別を行い液状化判定を可能とする Seismic PDC のシステム概要及び土質識別方法を紹介する。

## 2. Seismic PDC のシステム概要

Seismic PDC は表題が示すとおり、弾性波速度測定を伴う動的貫入試験であり、打撃貫入時のコーン先端位置で発生する振動を地表面に配置した受振器（ジオフォン）で計測する。弾性波速度測定のアップホール法にあたる。

図-1にシステム概念図を示す。従来の PDC システムに、地表面に追加配置したジオフォンにより打撃貫入時の発生振動をトリガーを介して記録する。図-2には、PDC による孔底打撃貫入時の打撃振動のせん断波縦波  $S_V$  波と粗密波  $P$  波のラディエーションパターンを示す。鉛直に孔底に打撃する振動の伝搬には  $S_V$  波と  $P$  波の成分が含まれる。図-3に示すようにジオフォンで計測される振動振幅は、地盤面に対して鉛直振動成分  $V_V$  と打撃孔の法線方向となる水平振動成分  $V_H$  である。この波形記録から振動到達時間差を読み取り地盤を伝搬する  $V_s$  と  $V_p$  を解析する。ここで、地盤の  $V_s$  からは土質識別を、 $V_p$  からは地下水位を推定して原位置のみで液状化判定を行う動的貫入試験システムが Seismic PDC である。

## 3. 土質識別方法

本報告では Seismic PDC の土質識別方法にスポットを当てて紹介する。

道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編<sup>2)</sup>には、打撃貫入抵抗  $N$  値と  $V_s$  の関係について(1)式が示されている。

$$\left. \begin{array}{l} \text{粘性土の場合: } V_{sI} = 100 N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \\ \text{砂質土の場合: } V_{sI} = 80 N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \end{array} \right\} \quad (1)$$

(1)式を  $V_{sI} = \alpha N_i^{1/3}$  と置くと、土質によって係数  $\alpha$  が異なっている。この係数  $\alpha$  を、現場計測された  $N$  値と  $V_s$  から算出して求め、細粒分含有率  $F_c$  との関係として示したのが図-4である<sup>3)</sup>。図からは  $F_c$  と  $\alpha$  には正の相関が認められる。この相関に関し  $\alpha$  を  $x$  軸として書き直し、 $\alpha$  から  $F_c$  を推定する関係に書き直したのが図-5である。

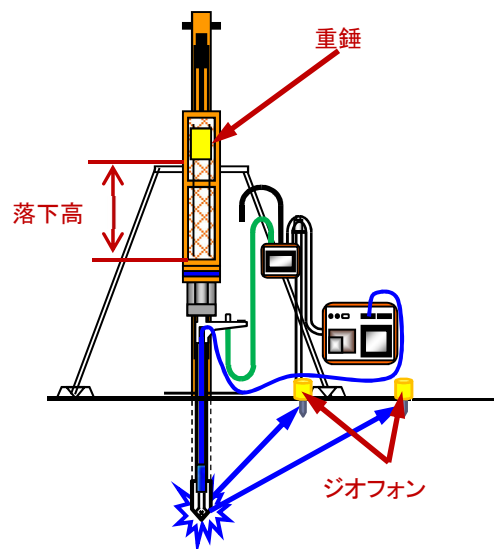


図-1 Seismic PDC のシステム概要

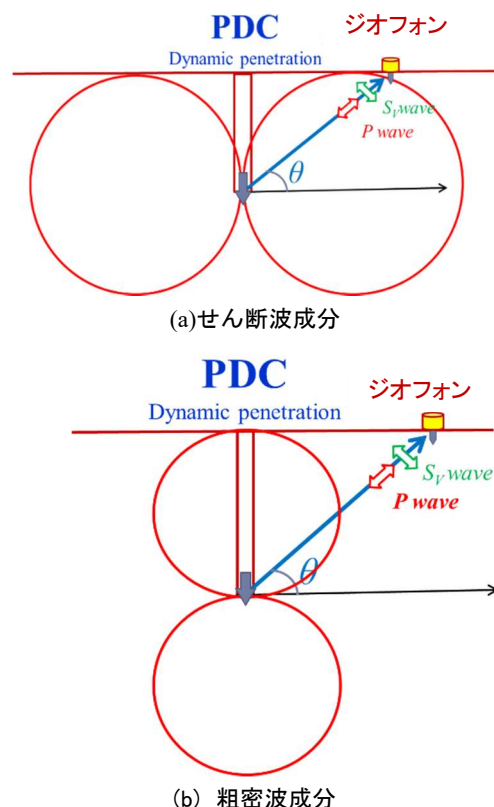


図-2 孔底打撃貫入時のラディエーションパターン

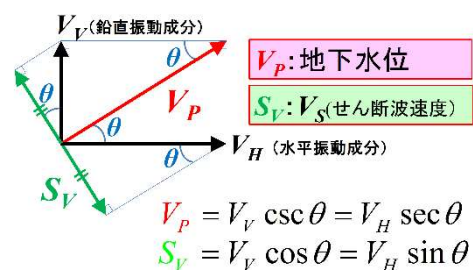


図-3 観測される振動成分と弾性波速度の関係

#### 4. 考察

図-5から、 $\alpha$ と $F_c$ の関係式(2)が得られる。

$$F_c = 0.8\alpha - 25 \quad (2)$$

図-6に示す $V_s$ と $N$ 値、 $\alpha$ にはトライアング関係が成立する<sup>4),5),6)</sup>。つまり、この3者の内いずれかの2者が計測出来れば、残りのひとつが推定可能となる。このトライアングルがSeismic PDCのエンジンであり $N$ 値と $V_s$ を計測し $\alpha$  ( $=V_s/N^{1/3}$ )を通して $F_c$ の推定ができる。従って、 $F_c$ の推定によって土質識別が可能となる。

#### 5. 今後の課題

国土強靱化として掲げられる産業立地を占める多くのウォータフロントに於いては潮位変動に伴う不完全飽和地盤の液状化リスクが大きな課題となっている。写真-1には本計測で用いたハンドリングの良いジオフォンを示す。図-7にはジオフォンを用いた波形記録例を示す。なお、提案エンジンを用いた表面波探査とPDCの組合せから推定した土質識別例<sup>7)</sup>もあるので参照頂きたい。

今後、埋立地や盛土等でも不飽和・不完全飽和地盤での実績を増やし、 $F_c$ との相関を集積して更なる精度向上に努めたい。またPDCでの1打撃の $N_d$ と同じ深度解像度となる $V_s$ も評価すべく定量的な土質識別の精度向上を目指して行きたい。

#### 《引用・参考文献》

- 1) Sawada, S., Evaluation of differential settlement following liquefaction using. Piezo Drive Cone, *Proceeding of 17th International Conference on Geotechnical Engineering*, p. 1064-1067, 2009.9.
- 2) (社)日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, V耐震設計編, p. 33, 2012.3.
- 3) 石井一郎, 平舘亮一, 東畑郁生, 中井正一, 関口徹, 澤田俊一, 濱田義弘, 2011年東北地方太平洋沖地震で液状化被害を受けた浦安市の地盤特性. 地盤工学ジャーナル, Vol. 12, No. 1, p. 91-107, 2017.10.
- 4) Sawada, S., Hamada, Y., Ishii, I., Hiradate, R., Nakai, S., Sekiguchi, T., Towhata, I., Liquefaction-induced damage to houses and site characterization in Urayasu City during the 2011 Tohoku Earthquake, Japan, *Proceeding of 3rd International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering*, 2017.9.
- 5) 澤田俊一, 動土質に求められる技術革新 一次世代技術とそのロードマップ, 応用地質技術年報 No. 36, p. 25-34, 2017.6.
- 6) 澤田俊一, 弾性波測定を伴う動的貫入試験-その1サイミクPDC-, 第53回地盤工学研究発表会, 2018.7.
- 7) 河合桂司, 澤田俊一, 神宮祥司, 中村公一, 弾性波測定を伴う動的貫入試験-その2表面波探査とSRSを用いた土質識別-, 第53回地盤工学研究発表会, 2018.7.

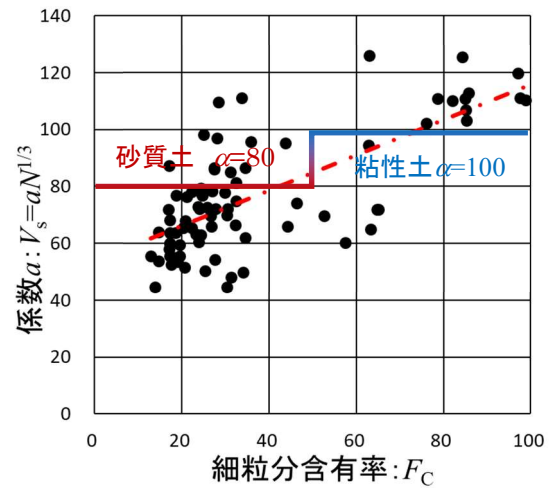


図-4 細粒分含有率 $F_c$ と係数 $\alpha$

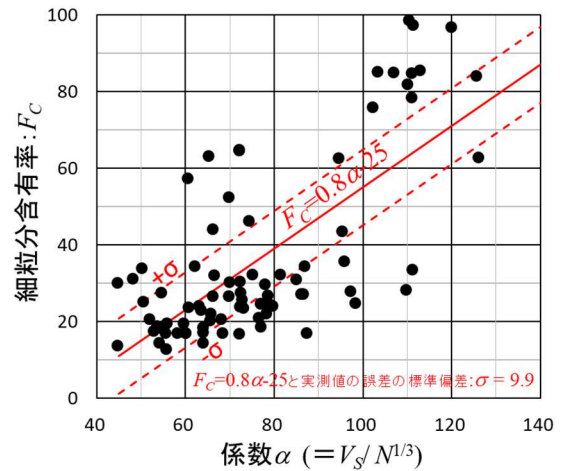


図-5 係数 $\alpha$ と細粒分含有率 $F_c$

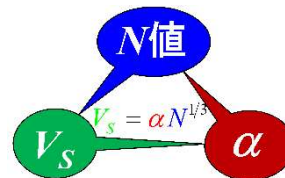


図-6 マジックトライアングル



写真-1 ジョフォン

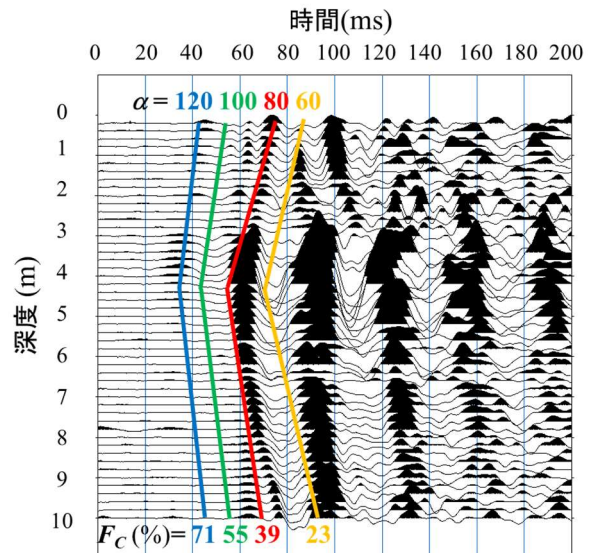


図-7 波形記録例(SRS,水平距離=10m,鉛直成分)