III-302　調査法の違いによるＳ波速度について

㈱間組技術研究所　正会員　辻田　満
同上　永井　潔
同上　山崎　勉

１．はじめに

Ｓ波速度は地盤の地震時安定性を検討する上で必要不可欠な定数の一つである。最近ではこのＳ波速度によって地盤改良時の改良効果を評価したり、液状化強度を予測したりしたりする研究が行われている。

今回成田層群に位置する洪積地盤においてダウンホール、クロスホール、屈折法によりＳ波検層を行う機会が得られたので、原位置より採取した試料の室内試験結果も含め、調査法の違いによるＳ波速度およびＳ波速度のひずみ依存性について検討を行ってみた。

２．試験敷地

試験は千葉県多古町の下総台地に属する成田層群と呼ばれる洪積台地にて行った。地表から深さ6mまではＮ値 2～6 の関東ローム層、それ以深でＮ値 6～22の粘土混じり・シルト混じり細砂で、細粒分含有率20～30%の固結した砂から成っている。地下水位面はGL-30m以深に存在し、対象地盤は不飽和と判断した。

３．試　験

(1) ダウンホール法　通常の板たたき法により、1mピッチで測定した。

(2) クロスホール法　同一直線上に並ぶ発振孔１本、受信孔３本（発振孔から各々の受信孔までの距離0.379m,1.474m,3.475m）を用い、GL-2m のローム層とGL-8m,-15mの砂層の３深度にて行った。発振孔内に発振器（東工大吉見研究室にて製作）を固定し、その上部のロッドのノッキングヘッドにモンケン(20kgf）を落下もしくはたたきあげることによりＳＶ波を発生させた（図-1）。各層ともモンケンの落下高さを1cm ～125cm へと順次高くし、発生するひずみレベルを大きくしている。これを固有周期4.5Hz のムービングコイル型速度計の上下方向成分により受信し、その間の伝播距離と伝播時間からＳ波速度を測定した。せん断ひずみはＳ波の一次元伝播を仮定し、$\gamma = v / V_s$（ v：土の粒子速度，V_s ：ＳＶ波速度）により求めた図-2）。なお孔間距離を正確に把握するため、各孔とも傾斜計を用いて傾斜測定（1mピッチ）を行っている。試験の詳細については参考文献1)を参照されたい。

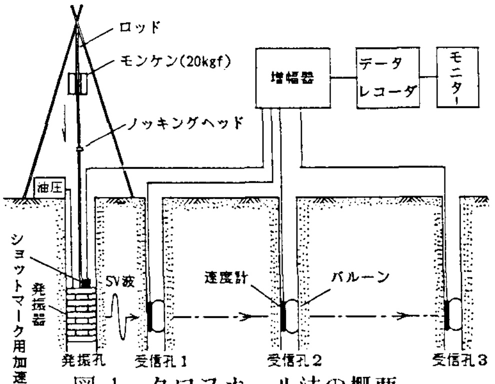

図-1　クロスホール法の概要

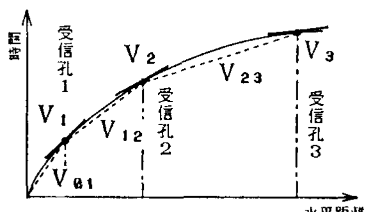

図-2　Ｓ波速度の求め方

(3) 屈折法　ダウンホールおよびクロスホール孔の近くにて直交する150mの側線を設け、5mピッチでＳＨ波発振による弾性波探査を行った。スタッキング方式により波形を記録し、走時曲線を作成した。これをもとに表層除去法を用いて速度層断面図を作成し、この断面図についてパス計算を行い弾性波の伝播径路を確認した。

(4) 室内動的変形試験　GL-2.5～3.5mの関東ローム層とGL-5～6mおよびGL-8～8.9mの砂層からトリプルチューブサンプラーにより試料を採取し、三軸試験装置による動的変形試験を上載圧に等しい等方拘束圧のもとで行い、微少ひずみに対応する換算Ｓ波速度を求めた。

４．Ｓ波速度の比較

図-3に各種Ｓ波速度を深さ方向に比較して示した。ローム層においてはダウンホール法で150m/s、クロスホール法で160m/s、屈折法で110m/sであった。砂層ではダウンホー

ル法で 290〜350m/s、クロスホール法で 310〜340m/s、屈折法で 370〜380m/sであった。屈折法の場合、ローム層およびGL-6m 付近の砂層上部に沿って水平に伝播するＳＨ波の速度を求めており、従って本手法はＳ波速度の平均的性質を知る程度のものとみなされる。

クロスホール法からはひずみレベルに対応したＳ波速度が以下の方法にて求められる。すなわちＳ波の一次元伝播を仮定すれば、受信孔１および２におけるせん断ひずみγ_1, γ_2 は次のように表せる。

$$\gamma_1 = \frac{v_1}{V_1}, \quad \gamma_2 = \frac{v_2}{V_2} \quad \left(v_1, v_2 : \text{受信孔における粒子速度} \right)$$

V_1 およびV_2 は図-2の実線の傾きであるが、

$$V_1 = \frac{V_{01} + V_{12}}{2}, \quad V2 = \frac{V_{12} + V_{23}}{2}$$

として求めている。これをダウンホール法によるＳ波速度（ひずみレベル10^{-7}〜10^{-5}と推定）と併せて整理したものが図-4〜6 である。ダウンホール法とクロスホール法とではそれぞれ鉛直方向のＳＨ波および水平方向のＳＶ波というようにＳ波の種類が異なり、かつひずみレベルもクロスホール法では 2×10^{-5}〜 5×10^{-4} と、ダウンホール法よりも大きい。しかしながら２種の方法によるＳ波速度から、多少のバラツキがあるものの各層ともほぼ連続したひずみ依存性の得られることが確認できる。従って、ダウンホール法によるＳ波速度に加えさらに大きなひずみレベルまでのＳ波速度あるいはせん断剛性を把握する場合においては、クロスホール法が有効であるといえよう。

これに対し室内動的変形試験による換算Ｓ波速度は、これら原位置試験による値より20〜30%低くなっている。これは比較的ゆるい砂層であっても、Ｓ波速度の大きな地盤においては、サンプリングにより剛性が低下する可能性のあることを示唆するものと考えられる。

5．まとめ

種々の調査法により得られたＳ波速度を比較し、Ｓ波検層の適用性について検討した。今後改良効果や液状化強度の評価へＳ波検層を応用していくためにも、たとえばクロスホール法を用いた1m以下の細かいピッチによるＳＨ波の発振等について改良を重ねていくつもりである。

謝　辞　クロスホール試験の実施にあたり御指導を頂きました東京工業大学吉見吉昭教授、時松孝次助教授に感謝の意を表します。

参考文献　1)辻田・吉見・永井・山崎「クロスホール試験により得られた地盤の非線形性」，第22回土質工学研究発表会，1987年 6月

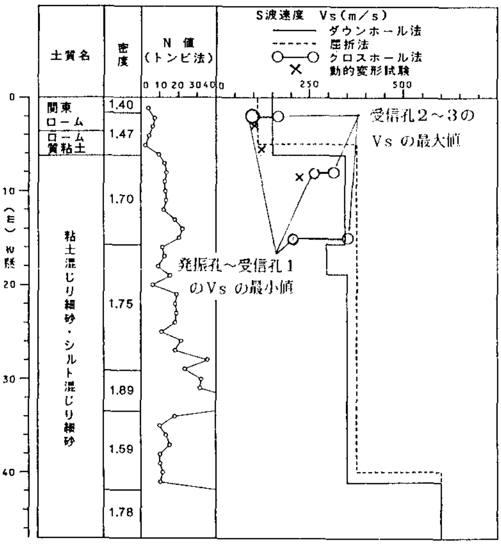

図-3 種々の方法で測定したＳ波速度

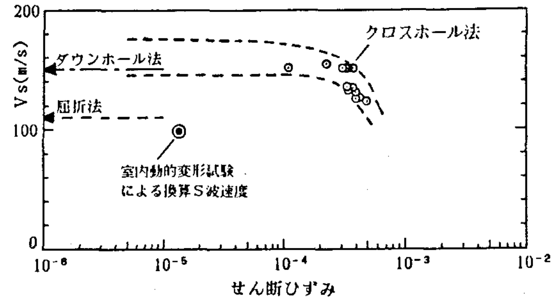

図-4 Ｓ波速度のひずみ依存性（ローム層,GL-2m）

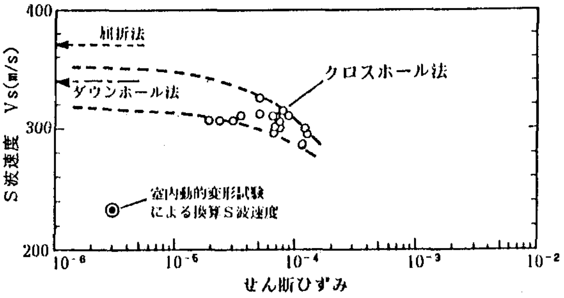

図-5 Ｓ波速度のひずみ依存性（砂層，GL-8m）

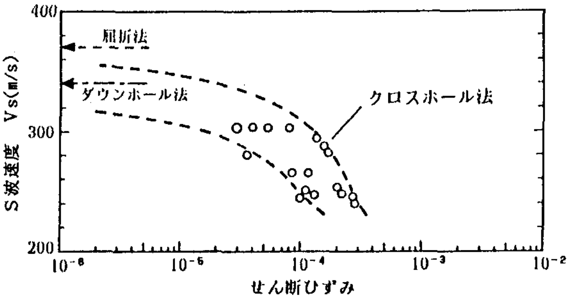

図-6 Ｓ波速度のひずみ依存性（砂層，GL-15m）