

港湾耐震設計に伴うシラス地盤調査

(株)アーステクノ 西原 達郎

1. はじめに

本発表は、弊社が受注した耐震護岸調査業務について述べる。業務目的は耐震護岸設計(地震応答解析)に必要な地盤の動的特性(弾性定数、動的変形特性、液状化特性)を把握する事であった。調査地は、南九州特有のシラス起源の軽石や火山ガラス質砂を多く含む軟弱沖積シラスが厚く分布する箇所で、これまで動的特性データが少ない土質である。

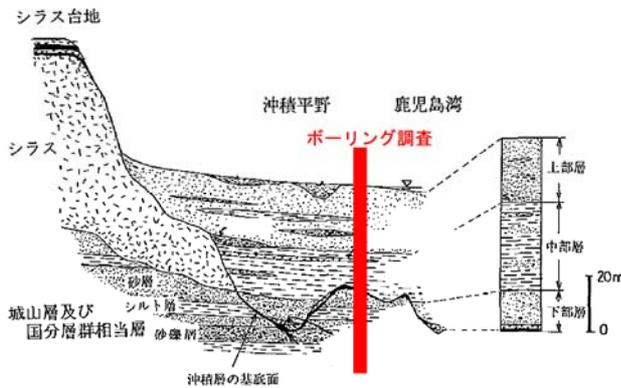


図-1 調査地の模式地盤¹⁾

2. 調査内容

調査内容は、調査ボーリング、PS 検層および室内土質試験である。

調査ボーリングは2箇所実施し、1箇所は耐震上の基盤面となり得るN値30以上の洪積砂礫まで深さ100m掘進した。もう1箇所は洪積層の上面を確認して深さ50mで終了とした。

PS 検層はP波速度およびS波速度を求め、弾性定数(ポアソン比 ν 、微小ひずみ時のせん断剛性 G_0)を明らかにした。

土質試験は動的力学試験として、液状化強度特性を求めめるための繰返し非排水三軸試験(振動三軸試験)を実施し、両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ 時の繰返し応力比と繰返し載荷回数との関係を整理し(4本の供試体)、載荷20回における繰返しせん断応力比 R_{120} の値を求めた。

さらに動的変形特性(非線形特性)を求めめるための繰返し三軸試験および中空ねじり試験を実施し、せん断剛性率とせん断ひずみの関係(= $G-\gamma$ 曲線)および履歴減衰率とせん断ひずみの関係(= $h-\gamma$ 曲線)を整理し、せん断定数 G と等価減衰定数 h を求めた。

3. 各調査の要点

調査ボーリングはノンコアボーリングとし、1mピッチに標準貫入試験を行い、5mピッチに土質試験用のトリプルサンプリングを行った。

PS 検層は調査ボーリング後に孔底から1m置きに実施し、ケーシングを抜きながら作業した。PS 検層の手法にはいくつかあるが、地表震源方式のダウンホール式は深度が深く震源エネルギーの減衰が懸念されたため、孔内での発振・受振機構によるサスペンション式を採用した。また地下水位は浅はサスペンション式が使用不能となるため、ダウンホール式に切り替えて行った。

液状化強度試験(繰返し非排水三軸試験)は土木・建築調査での液状化検討深度は一般に深度20m以浅が対象となるが、港湾分野(臨海部)では必ずしも20mという線を引いていないため調査深度全体で実施した。

動的変形特性試験は求めるせん断定数 G ・減衰定数 h が歪依存性に加えて拘束圧依存性があるため、当初中空ねじり試験のみが計画されていたが、有効拘束圧 $0.5MN/m^2$ を超える深度80m以深の高拘束圧区間は振動三軸試験を提案し実施した。

4. 調査結果

(1) 地盤状況

主な土層構成は図-2の通りであり、深度45m付近を境に沖積層と洪積層に区分された。また表層10m程度は埋土である。

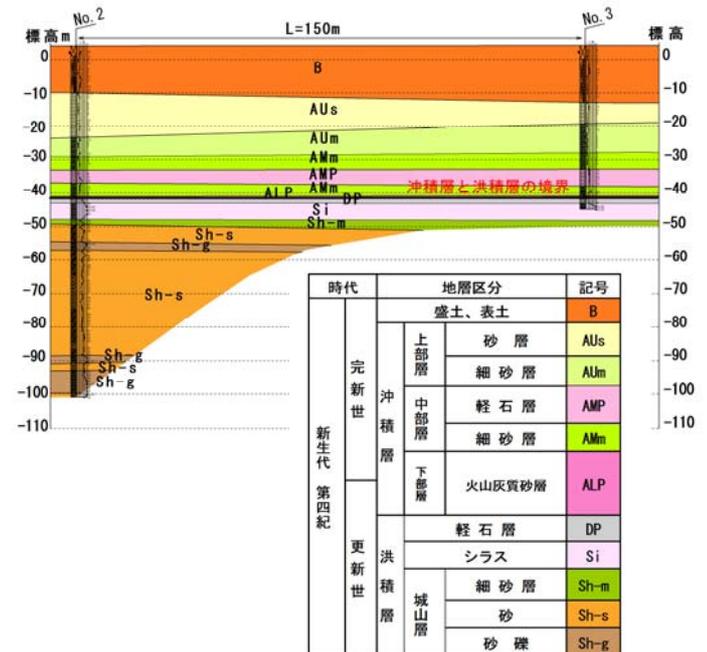


図-2 土層断面図

(2) PS 検層結果

調査深度が深いNo.2孔のPS検層結果を表-1に示す。検層の結果、ポアソン比 $\nu=0.48\sim 0.50$ 、初期せん断剛性 $G_0=2\times 10^4\sim 1\times 10^5\text{kN/m}^2$ が得られた。また深度48m以深の洪積層は工学的基盤面の指標値 $V_s=300\text{m/s}$ 前後が得られ、97m以深の最下位砂礫は $V_s=370\text{m/s}$ であった。

表-1 PS 検層結果一覧表(No.2孔)

深度 (m)	主な層相	S波速度 V_s (m/s)	動ポアソン比 ν	せん断剛性 G_0 (kN/m^2)
0.0~3.0	盛土	85	0.490	1.37×10^4
3.0~10.0	埋土(砂)	95	0.498	1.56×10^4
10.0~15.0	埋土(礫混り砂)	130	0.496	2.67×10^4
15.0~21.0	砂	140	0.496	3.08×10^4
21.0~27.0	砂	120	0.497	2.17×10^4
27.0~33.0	細砂	180	0.493	4.92×10^4
33.0~48.0	細砂、軽石	230	0.488	9.05×10^4
48.0~52.0	シラス	310	0.480	1.87×10^5
52.0~58.0	礫混り砂、軽石	270	0.485	1.18×10^5
58.0~61.0	砂礫	300	0.482	1.71×10^5
61.0~79.0	凝灰質砂、礫混り砂	280	0.484	1.31×10^5
79.0~97.0	凝灰質砂、砂礫	330	0.477	1.85×10^5
97.0~104.0	砂礫	370	0.475	2.60×10^5

(3) 室内動的試験結果

液状化強度試験の結果(図-3)、繰返しせん断応力比 Rl_{20} (DA=5%)の値は0.170 ~ 0.308を示し、全体的には拘束圧依存の傾向はみられなかった。また今回は深さ20m以深まで試験を行ったが、軸ひずみの動きを示す波形をみると、両振幅軸ひずみが5%を超えたのちに急激に引張り方向に変位する傾向が見られた。さらに試験後の供試体破壊状況を見ると、供試体の一部がくびれて引きちぎられたように見える。これはいわゆる液状化したことによる破壊とはやや異なるように思われる。このような状況は、特に40m以深における試料において顕著であった。

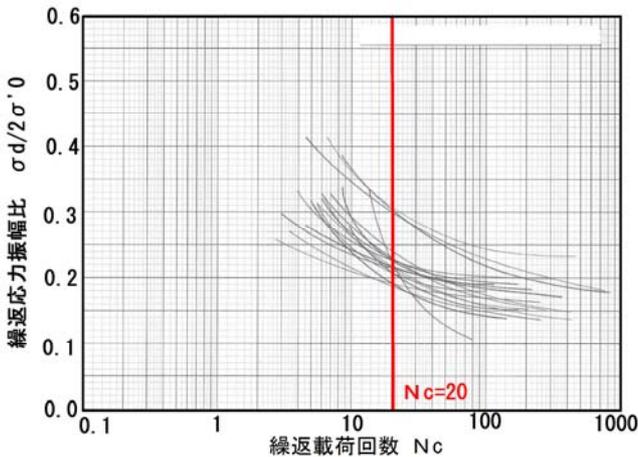


図-3 $\sigma_d/2\sigma'_0 - N_c$ 曲線(DA=5%)集積図

動的変形特性試験を H-D モデルで整理した結果(図-4・図-5)、せん断定数 G および等価減衰定数 h ともに拘束圧依存の傾向が確認された(図-6)。さらにせん断ひずみ $\gamma=1\times 10^{-2}$ (%)付近より G および h に顕著な変化が現れているのが読み取れる。

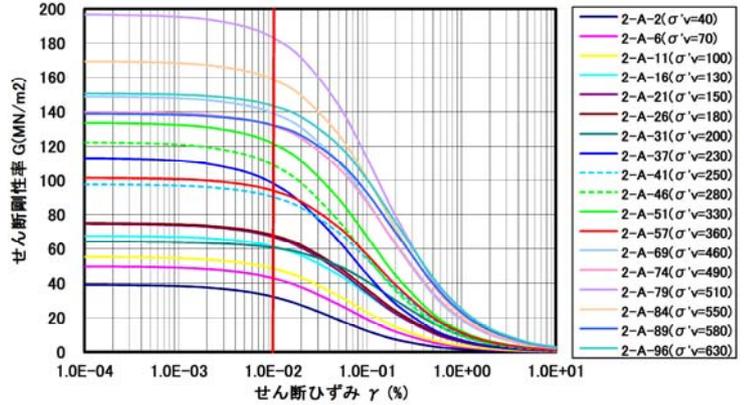


図-4 G- γ 曲線(H-Dモデル)

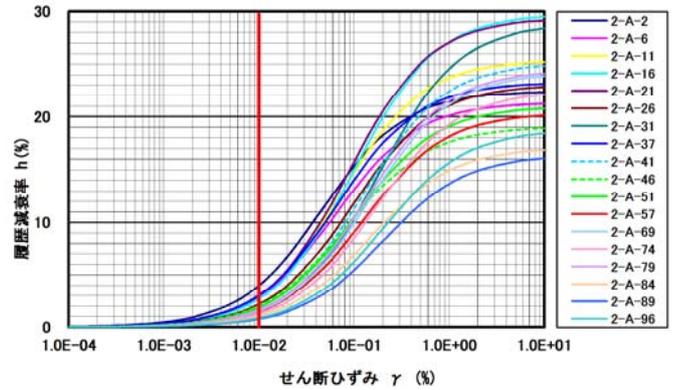


図-5 h- γ 曲線(H-Dモデル)

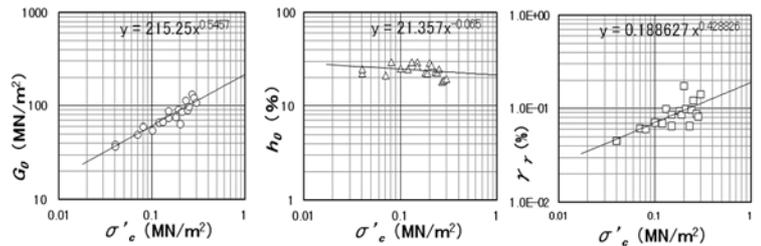


図-6 G、 γ 、hと拘束圧の相関

5. おわりに

地震応答解析では一般に地盤の破壊現象を考慮した強度特性については検討されない事が多いようである。しかし今回発生した熊本地震をはじめ兵庫県南部地震および東日本地震のような非常に大きな地震では、ひずみ $\gamma=1\times 10\%$ を超えるレベルの動的強度特性の把握が必要と思われる。特にシラスは粒子表面の脆さや、特異な粒子形状、または多孔質であることに起因して脆弱であり、容易に粒子破碎が生じる。今後は大きなひずみレベルにおける粒子破碎が及ぼす力学特性についても検討したい。

《引用・参考文献》

- 1) 鹿児島市地盤図編集委員会編：鹿児島市地盤図