

液状化検討にともなう調査事例

株式会社キタック ○山岸 由佳, 小池 健, 佐藤 文彦

1. はじめに

A 飛行場及び B 飛行場における液状化検討及び耐震検討に必要な地質調査（標準貫入試験併用のボーリング、トリプルサンプリング、PS 検層、常時微動計測、土の繰返し非排水三軸試験）の実施事例ならびに調査実施にあたり工夫した点を紹介する。

2. 調査方針及び工夫点

液状化検討・耐震検討の対象が飛行場であるため、「港湾の施設の技術上の基準・同解説⁵⁾（平成30年5月、(公社)日本港湾協会）」に従い調査を実施した。

(1) ボーリング調査

飛行場全体の地盤特性の把握と液状化検討のために、ボーリングを配置し、標準貫入試験を併用して実施した。

(2) トリプルサンプリング

ボーリング調査の結果、A 飛行場では部分的ではあるが、相対的に緩い砂質土が分布し、地震時に液状化発生の可能性が懸念された。また、B 飛行場では細粒分を多く含む砂質土が分布し、同様に液状化発生の可能性が懸念された。このため、トリプルサンプリングによる乱さない試料採取を実施した。

なお、採取した試料を乗用車にて県外の土質試験室に運搬する必要があり、運搬時に車の振動により試料が液状化し強度低下する可能性が懸念された。このため現地にてドライアイスを用いた凍結処理を行い、凍結させた状態で試料を運搬した。この際凍結時の膨張により土の構造破壊の発生を防ぐため、間隙水のある程度脱水させた後に凍結処理を行った。ただし、B 飛行場の試料は細粒分が多かったため、凍結処理は実施せず、間隙水の脱水のみ実施して試料を運搬した。

(3) PS 検層

地盤の深度方向の弾性波速度分布の把握と工学的基礎を確認することを目的として実施した。本調査では、地表で起振するダウンホール法で実施した。

PS 検層実施時は、孔壁保護のために塩ビ管を挿入後に試験を実施することが多いが、本調査では測定精度を高めるために、裸孔にて測定を実施した。

(4) 常時微動計測

飛行場内および周辺のサイト増幅特性を把握するために実施した。車両及び工場稼働等によるノイズの影響を避けるために夜間に測定を行った。

(5) 土の繰返し非排水三軸試験

トリプルサンプリングで採取した試料の液状化強度を求めるために実施した。併せて標準貫入試験試料を用い

て、液状化判定の基礎資料として、各ボーリング孔で原則1m 毎に一般物理試験（土粒子の密度・含水比・粒度・液性限界・塑性限界）を実施した。

3. 地盤特性と調査結果

A 飛行場は、表層部に層厚1~2m の粘性土が分布し、以深には N 値50以上を示す玉石混じり砂礫層が主に分布している。ただし、砂礫層の上部には N 値が15前後の緩い砂質土が層厚1m 程度分布している。

表-1 A 飛行場の地質構成表

時代	地層名	記号	N値 (採用N値)	土質・岩質
完新世	盛土層	B	-	玉石混じり砂礫、砂礫、玉石混じり粘土、礫混り粘土
		Ac1	1~27 (7)	シルト、砂質シルト、シルト質粘土
第四紀	更新世	Ag1	8~166.7 (33)	玉石混じり砂礫
		Ac2	4~13 (8)	有機質粘土
		Ac3	2.5~21 (10)	砂質シルト、シルト、粘土質シルト
		Ag2	21~300 (56)	玉石混じり砂礫、砂礫
		As1	11~62.5 (37)	細砂、シルト質細砂
		As2	28~71.4 (44)	細砂

(1) PS 検層結果

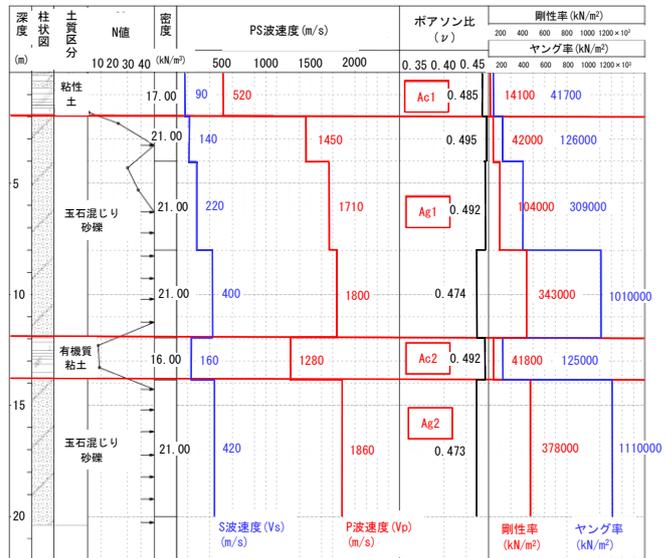


図-1 A 飛行場における PS 検層結果

(2) 常時微動計測結果

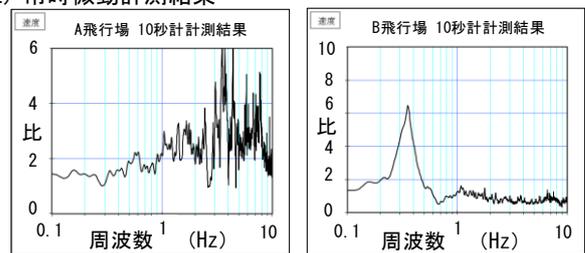


図-2 常時微動計測結果 (H/V スペクトル図)

(3) 土の繰返し非排水三軸試験結果

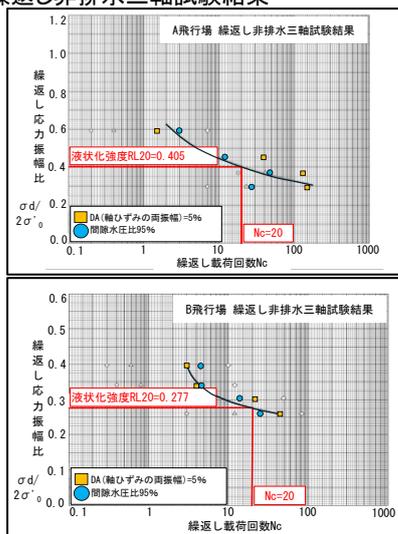


図-3 各試料の試験結果 (上: A 飛行場、下: B 飛行場)

4. 考察

(1) PS 検層における孔内保護の有無について

本調査では、精度の良いデータ取得のため、掘削後に孔内洗浄を実施した後、裸孔にて PS 検層を実施した。

伊藤ほか, 1998¹⁾では、PS 検層等のボーリング孔を利用した物理検層は裸孔が原則との記載があり、孔壁崩壊が発生しやすい地質でなければ、保孔管を極力使用しない方がより良好なデータが取得できると考えられる。

また、水江ほか, 2020²⁾では、裸孔時と孔内保護実施時における S 波速度の比較を行っており、孔内保護実施時に、S 波速度がわずかに速くなるという結果が得られている。

以上より、本調査では裸孔で実施した効果を検証できなかったものの、裸孔にて PS 検層を実施することでより正確な S 波速度の値を取得することが可能であると考えられる。今後、実施の際には、極力裸孔での実施を検討することが望ましい。

(2) 常時微動計測の夜間測定と微動の周期特性について

本調査では、精度の良いデータ取得のため、車両及び工場稼働等によるノイズが比較的少ない夜間に測定を実施した。しかし、微小地震や風、海洋の波浪等の自然現象によるノイズを完全に避けることはできない。

森, 1981³⁾では、時間帯及び風速等の外的要因による常時微動計測結果への影響について考察を行っており、交通量の少ない夜間に計測した方が周期特性、振幅特性が安定する傾向にあるとしている。また、夜間は卓越周期が長くなるが、その原因として、昼間の短周期大振幅の波に隠れていた長周期小振幅の波が解析に現れやすいためとしており、この長周期小振幅の波が現れやすい時間帯が計測に適していると考えられるとしている。図-2で示した H/V スペクトル図より、長周期、短周期でそれぞれ卓越周期が検出されており、本調査では夜間測定で問題無かったと考えられる。

一般的に、短周期微動は交通振動や工場機械の振動、長周期微動は風・波浪によるものとされている⁶⁾。また、地盤の常時微動の特性として、岩盤などの硬い地盤では 0.1 秒程度の短周期振動が卓越し、沖積地盤などの軟質な地盤であるほど長周期になるとされている⁶⁾。

地盤のサイト増幅特性とは、地震基盤上方に存在する堆積層が地震動に及ぼす影響について示したものである⁵⁾。このため、地盤のサイト増幅特性を把握するためには地中深部の微動を捉える必要があり、長周期の微動ほど深部の地盤構造を反映していると考えられている⁴⁾。

以上より、長周期の微動を検出できる 10 秒計を使用し、計測を行ったことで、目的に見合った調査を実施することが出来た。

(3) 繰返し非排水三軸試験の液状化強度の違いについて

本調査では、比較的緩い砂質土層 (A 飛行場) と細粒分の多い砂質土層 (B 飛行場) でそれぞれ繰返し非排水三軸試験を実施した。図-3より、B 飛行場の試料のほうが、液状化強度が小さい値を示した。細粒分の多い砂質土層の液状化特性については、様々な研究がなされており、液状化強度 RL20 と塑性指数 Ip には一定の相関関係がある可能性が指摘されている⁷⁾。B 飛行場の試料では前記のような傾向が見られた。今後、試料数を増やして相関性を検証する必要がある。

5. まとめ

本調査では、様々な工夫を行い、必要なデータをより精度良く取得できたと考える。今後、様々な現場を経験して、データを蓄積・分析し、精度良くデータを得られる工夫について検討していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 伊藤芳朗, 楠見晴重, 竹内篤雄 (1998) : 斜面調査のための物理探査: 地すべり・地下水・岩盤評価, pp. 243-245, 吉井書店.
- 2) 水江邦夫, 田口雅章, 小松洋之, 福田将広 (2020) : 長期測定に適した PS 検層測定孔設置の検証, 全地連技術フォーラム2020論文集, 論文 No. 21.
- 3) 森芳信 (1981) : 地盤の常時微動特性と工学的利用, 土木学会論文報告集, 第313号.
- 4) 鏡味洋史 (1988) : 微動観測とその工学的利用, 地学雑誌, 97-5
- 5) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (2018) : 公益社団法人日本港湾協会, pp. 364-365.
- 6) 森芳信 (1990) : 地盤の微動に現われるやや長周期成分についての実測による検討, 土木学会論文集, 第424号.
- 7) 桑野二郎, サブコタビノッド, 橋爪秀夫, 高原健吾 (1993) : 細粒分を含む砂の液状化特性, 土と基礎, 41-7.