

宮崎空港の耐震対策工事実施における 周辺構造物の変位抑制対策について

有川 寿和¹・早田 秀人²・森田 博史¹

¹九州地方整備局 宮崎港湾・空港整備事務所 保全課（〒880-0858 宮崎県宮崎市港1丁目16番地）

²九州地方整備局 志布志港湾事務所 保全課（〒899-7191 鹿児島県志布志市志布志町帖6617-182）

宮崎空港ではエプロン耐震対策を進めており、2019年1月から最初の耐震対策工事を9番スポットにて着手した。地盤改良工法として静的締固め砂杭工法を採用したが、改良工事に伴い隣接エプロン舗装や搭乗橋(PBB)基礎に生じる変位を抑制する必要があったことから、変位緩衝孔等の対策を実施した。これら地盤改良と変位緩衝における施工時の工夫について報告するものである。

Key Words: 空港基本施設耐震改良, 液状化対策, 静的締固め, 周辺影響対策, 変位抑制・管理

1. はじめに

宮崎空港は宮崎市街地から南に約7kmの日向灘に面した位置にあり、年間約333万人（2018年）が利用する観光宮崎の空の玄関口として重要な役割を担っている。

近年、地震や津波等による災害が日本及び世界の各地で頻発していることから、重要インフラである空港においても地震対策や防災・減災体制の強化など、その対応が強く求められており、2007年4月国土交通省航空局で開催された「地震に強い空港のあり方検討委員会」において、国内13空港を航空輸送上重要な空港と位置づけると共に、それ以外の宮崎空港等について緊急輸送の拠点となる空港として、発災後3日以内に緊急物資・人員等輸送の受入が可能となる機能を持たせることとされた。

その後の検討において、宮崎空港における災害発生時の対応活動エリアが図-1のとおり策定されると共に、内、エプロン部の耐震対策が九州地方整備局により検討される事となった。



図-1 災害発生時の対応活動エリア

2. 宮崎空港の耐震対策事業概要について

(1) エプロン部の地盤構成、想定被害、液状化判定

エプロン部はコンクリート舗装であり、その下の地盤は図-2に示すとおり、埋土層・沖積層・基盤層より構成され、地震に伴う沖積層中の砂質土層での液状化に伴う不同沈下・段差・空洞等の被害が想定された。

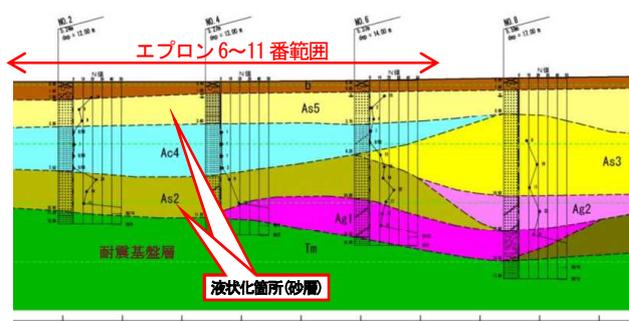


図-2 エプロン部下の地質断面図と液状化層

滑走路や誘導路のアスファルト舗装部での沈下等は、短期間での緊急的な補修が可能であるが、エプロン等のコンクリート舗装部では養生等に時間を要することから、事前に耐震対策（液状化対策）を行う必要がある。

この為、各ボーリング地点において次元地震応答解析 SHAKE を用いて液状化判定を実施し、エプロン6番～11番の6スポットとそれに接する SP-2～SP-3 の平行誘導路について液状化対策を実施することとした。

(2) 液状化対策工法の選定

対策工法としては、地盤中に砂杭等を造成して周辺地盤の砂層密度を増加させる密度増加法、セメント・石灰系材料と地盤を攪拌或いは薬液を注入して地盤の強度を増加させる固結工法、地下水位の低下やドレーン材打設等による過剰間隙水圧消散法等が考えられたが、主にコストの観点から密度増加法を用いる事とした。

また対策箇所は供用中であり、**図-3** に示すとおり約400m×210mと広範であるため、複数年での分割施工とならざるを得ないことから、隣接する既設舗装版との施工境界部への影響が比較的少ないと考えられた「静的締固め砂杭工法」を選定した。



図-3 液状化対策箇所

同工法は**図-4** に示すように、地盤中に砂杭等を回転圧入し、周辺地盤の砂層の密度を増大させる工法で、無振動・低騒音工法のため、周辺環境へ与える影響が少ないとされている。宮崎空港エプロンでは杭径 700mm、平均約 10mの砂杭にて現地盤の改良を行うこととした。

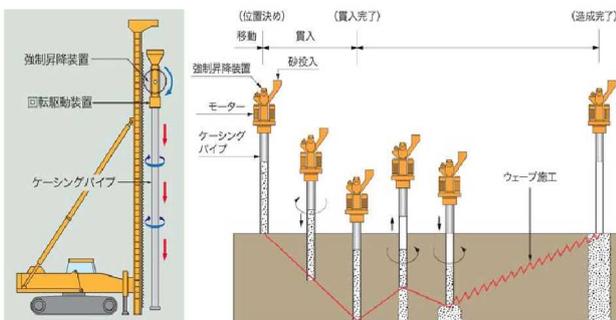


図-4 静的締固め砂杭工法の概要

(3) 想定された課題

既設舗装版との施工境界部への影響が比較的少ない同工法であったが、**図-5** に示すとおり地盤改良域と隣接既設舗装版との位置関係はかなり接近した砂杭配置となり、**図-6** に示す既往施工事例から得られた周辺部へ与える変位量は数 cm～最大 8cm が想定され、何らかの対策が必要であった。

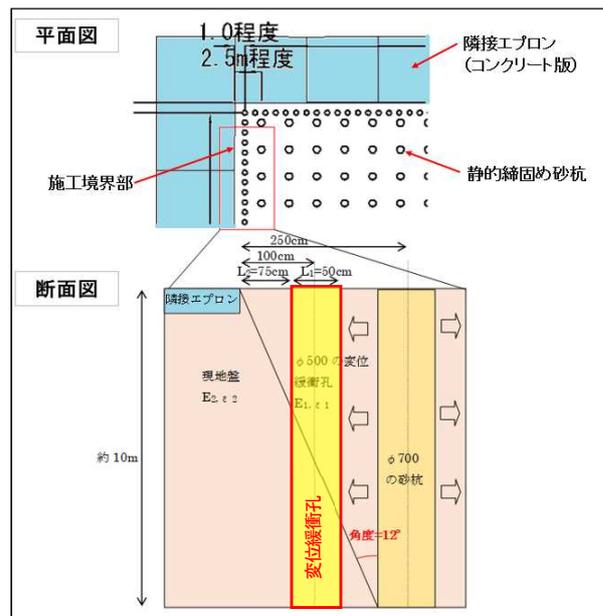


図-5 打設砂杭と隣接エプロンの位置関係

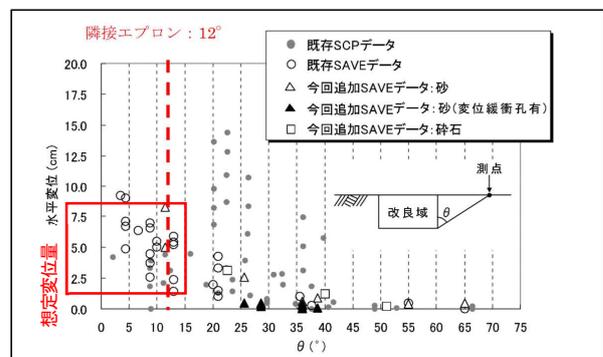


図-6 地盤改良域と変位量関係

3. 課題への対応

既設舗装版への変位抑制対策としては、一般的な打設順序による変位方向管理と「変位緩衝孔」により行った。

ここで「変位緩衝孔」とは**図-7** のとおり、変位が予測される地盤周辺をオーガーにて等間隔に削孔・攪拌することであらかじめ周辺より剛性を小さく・緩くし、地盤改良による周辺からの地中応力（変位）伝達を吸収・変位を抑制するものである。

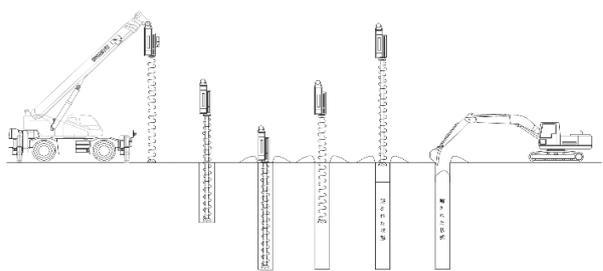


図-7 「変位緩衝孔」施工手順

宮崎空港エプロンでは隣接エプロン端部に沿って径500mmの変位緩衝孔を1mピッチで設置することとした。一方、施工区域のターミナル側端部には搭乗橋の基礎が設置されており、この基礎の地中部変位が搭乗橋本体へ与える影響も懸念された。このため搭乗橋近傍については確実に変位を抑制する対策が必要であると考え、より変位抑制効果が高いとされる図-8に示す「変位緩衝壁」により対策を行う事とした。

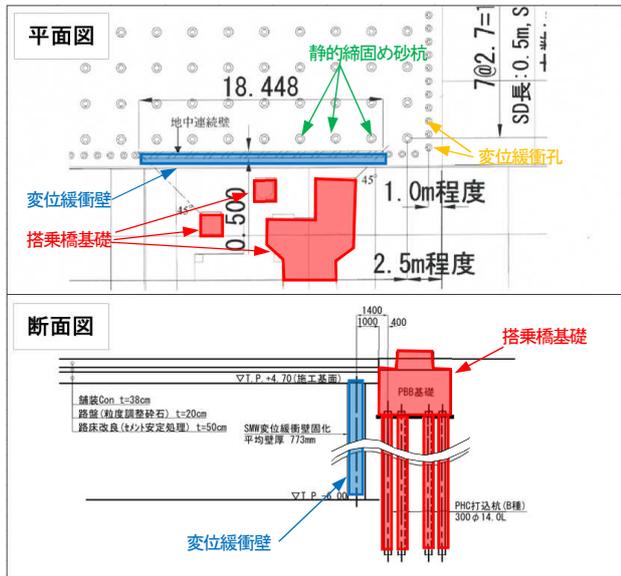


図-8 搭乗橋基礎と変位緩衝壁設置位置

変位緩衝壁とは、在来地盤中に設ける軟弱な地中連続壁の事で、変位緩衝孔のように飛び地では無く、連続して壁状に設け、また施工後は在来地盤の強度と同程度の強度に回復させる必要がある。

既往の文献では硬化遅延剤を緩衝壁に用いて、施工中の緩衝壁の柔らかさを確保しつつ、施工後には硬化することで地盤強度の再現を確保した事例があったが、供用中の空港では施工時間が限られ、連続作業に対する制約があることから、砂杭締固め施工中の緩衝壁の柔らかさ確保が課題と考えられた。

そこで、あらかじめベントナイトで軟弱な緩衝壁を設け、砂杭工法施工中の緩衝壁の柔らかさを確保し、施工完了後に改めて固化させる2段階施工を行うこととし、施工実績・施工機械の入手容易さからSMW工法を用いることとした。

SMW工法とは専用に開発された多軸混練オーガー機で原地盤を削孔し、先端のオーガーヘッドからセメントスラリーを吐出しながら原地盤の土(Soil)と混合・攪拌(Mixing)し、地中にソイルセメント壁体(Wall)を造成するもので、今回は砂杭施工前にベントナイトによる1次施工、砂杭施工後にセメントによる2次施工を行うこととした。(写真-1)



写真-1 SMW施工中写真

4. 施工時の工夫と結果

事前検討した耐震化対策工事であったが、静的締固め砂杭工法等による土中変位は現地の土質条件によりバラツキが多いと考えられた事から、現地施工にあたっては細心の注意を払うことが必要と考え、次の対策をとり施工することとした。

(1) 地盤変位影響範囲の把握

砂杭打設による現地での地盤変位影響範囲を事前把握するため、砂杭打設位置を観測地点から14~4mの2mずつ徐々に近づけながら打設し、観測地点での累積地盤変位量を観測した。

観測方法としてはボーリング孔を利用した孔内傾斜計によるもので、図-9に示すとおり孔内に傾斜センサーを挿入し、砂杭打設により刻々と変化する地中変位を深度毎で計測した。

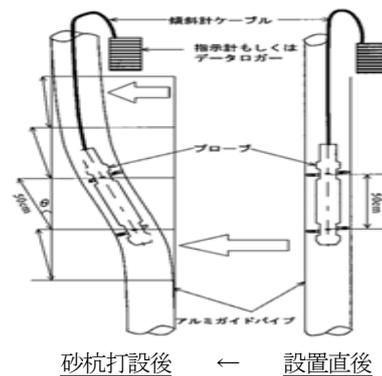


図-9 挿入型傾斜計観測の概要

ここで観測地点での各深度毎の変位量を整理した結果を図-10に示す。

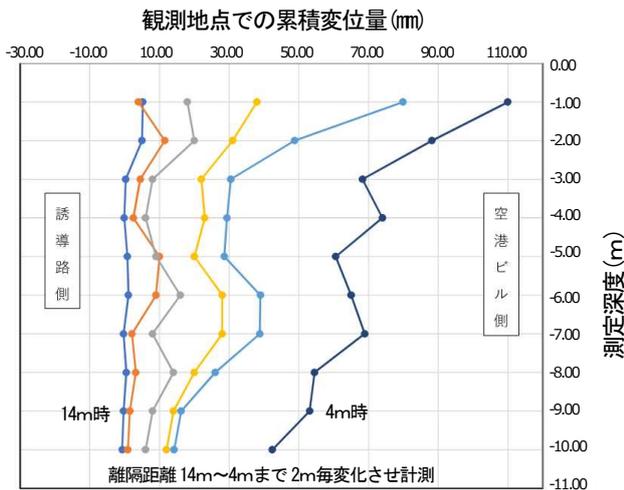


図-10 施工地点と観測地点地盤変位の関係図

観測の結果、打設箇所より 14m以遠での変位の影響は軽微と考えられた。また 12m以内に近づくと地表・土中に地盤変位が現れだし、更に近づくと地表での変位が大きくなることが確認された。なお最接近施工時(離隔距離4m)では累積変位が、地表面で110mm、深度7m付近のシルト層で70mmとなった。

これは既往事例から想定された変位量より、やや大きい値であったことから、施工中の地盤変位について、より細心の注意を払って施工する事が重要である事を再認識する事となった。

(2) 変位緩衝壁の効果と搭乗橋基礎への影響把握

また搭乗橋基礎部分の変位対策として用いた変位緩衝壁の効果についても図-11 に示すとおり多段式傾斜計により事前確認すると共に、更に施工中の基礎変位把握としてリアルタイムでモニタリングしながら施工にあたった。

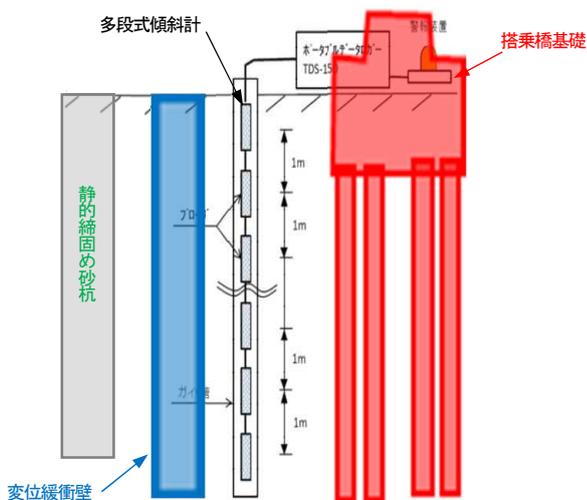


図-11 多段式傾斜計による変位観測概要

次に測定した結果を図-12 に示す。

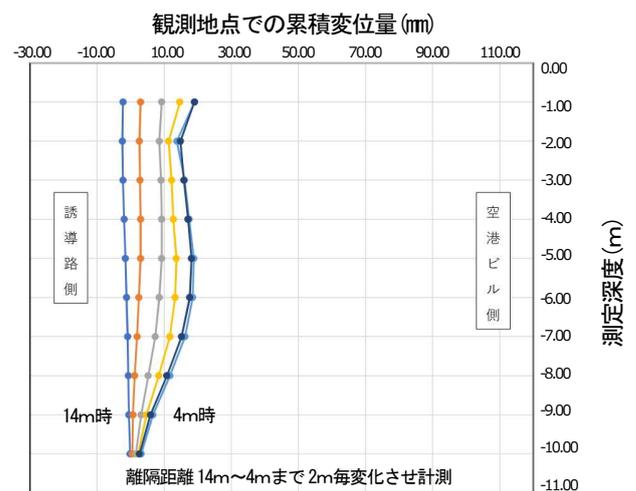


図-12 施工地点と観測地点地盤変位の関係図(変位緩衝壁有)

変位抑制効果は、左図と比較して歴然で、最接近施工時(離隔距離 4m)でも地表付近(深度 1m)とシルト層(深度 5m)で最大変位約 19mm に収まっていることが確認された。

なお搭乗橋周辺の砂杭施工中には、この多段式傾斜計での地中変位計測の他、搭乗橋基礎コンクリート部もトータルステーションにより変位観測を実施しながら注意深く施工しており、変位を起こさなかった事を確認した。

(3) 隣接舗装版の動態観測実施

砂杭施工時、隣接エプロン舗装への影響を確認するため、リアルタイムに変位測定可能な自動追尾型トータルステーションを導入し、日々変位観測を実施した。

結果、管理測定値として設定した舗装版勾配 1.0%~1.5%内を守りつつ施工を完了した。

5. まとめ

本工事においては、周辺舗装版及び搭乗橋基礎への変位の影響を最小限に抑えるため変位緩衝孔、変位緩衝壁など抑制工法の採用とその効果把握・モニタリングの取り組みを行った。

結果、舗装版や搭乗橋基礎への重大な影響を与えることなく無事に完了することが出来た。

また変位緩衝壁の効果として、変位緩衝壁が無い場合に対して、土中部の変位量が3割以下に抑えると共に、基礎コンクリートの沈下等の変位が無かったことも確認でき、変位緩衝壁は大いに有効であると考えられる。

謝意：

本論文の作成にあたり、工事受注者である東亜建設工業(株)には多大な御助言・御協力を頂いた。この場を借りて謝意を表す。