

(49) 仙台空港における供用中滑走路直下の 情報化による耐震化施工

Observational procedure to earthquake-proof in Sendai airport under use

葛屋 厚¹・小林 俊一²・上田 純広³

Tsutaya Atsushi, Kobayashi Shyunichi and Ueda Sumihiro

抄録：国土交通省は、全国にある 13 の地方空港を、地震災害時の緊急物資輸送拠点として定めた。空港施設の耐震性強化のため、仙台空港は地方空港としては全国初の改良工事を平成 20 年度より着手した。本工事では供用中の滑走路直下において、滑走路の下を横断するボックスカルバートの沈下予防および滑走路の液状化防止の為に地盤改良工事を実施した。

本論文では空港の運用に影響を与えないよう施工するために、情報化施工による滑走路面の計測と施工管理方法を実施した結果の報告である。

キーワード： 空港施設、液状化対策、浸透固化処理工法、情報化施工

Keywords : airport facilities, liquefaction countermeasure, Infiltration solidification process, measurement process

1. はじめに

仙台空港は国から、地震時における緊急輸送・復旧支援拠点空港として、重要な空港の一つとして位置づけられ、平成 20 年 8 月より、空港施設の耐震化整備が進められている。平成 21 年度において、滑走路直下のボックスカルバートの沈下予防の為に深層混合処理杭工（クロスジェット工法）を、滑走路下の液状化対策として薬液注入工（浸透固化処理工法）の施工を行なった。

浸透固化処理工法の施工に当たって、特に、供用中の飛行場の夜間工事という特性を考慮し、情報化施工による滑走路面の計測をしながら施工管理を行った。

ここでは、滑走路面の変位量の計測による施工管理を行い良好な施工結果が得られたので報告する。

2. 工事概要

B 滑走路と A 滑走路の交差部付近で、B 滑走路を斜めに横断する木引堀ボックスカルバート部の東側部分を滑走路の液状化防止として浸透固化処理工法による施工を行った。（**図-1** 参照）

(1) 施工数量（薬液注入工）

- ・ 施工面積 1,130m²
- ・ エソシカ注入量 1,540m³
- ・ 注入孔数 324 孔（標準ピッチ 2m×2m 格子）
- ・ 注入球数 724 球
- ・ 改良厚さ 0.5～6.7m
- ・ 改良天端高 地下水位+0.5m

(2) 浸透固化処理工法の概要

浸透固化処理工法は、浸透性のよい薬液（特殊シリカ、ゲルタイム 5 時間程度）を低圧で注入することで地下水を排除し、砂地盤内に薬液を永久的にとどめることができる工法である¹⁾（**図-2** 参照）。

3. 地表面変位の計測管理について

(1) 管理基準値

- 変位量 10mm(1 日の施工の前後)
- 累計変位量 40mm(工事着手からの累計)
- 横断勾配 1.5%以下
- 縦断勾配 1.0%以下
- 平坦性 凹凸の標準偏差 3.64mm以下

1：非会員 国土交通省 東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所
(〒985-0843 宮城県多賀城市明月 1-4-6, Tel :0223-62-6204, E-mail : tsutaya-a82ac@pa.thr.mlit.go.jp)

2：非会員 鹿島建設株式会社東北支店土木部 (〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町 1-27)

3：正会員 鹿島建設株式会社東北支店土木部
(〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町 1-27, Tel : 022-261-8250, E-mail : ueda-sumihiro@kajima.com)

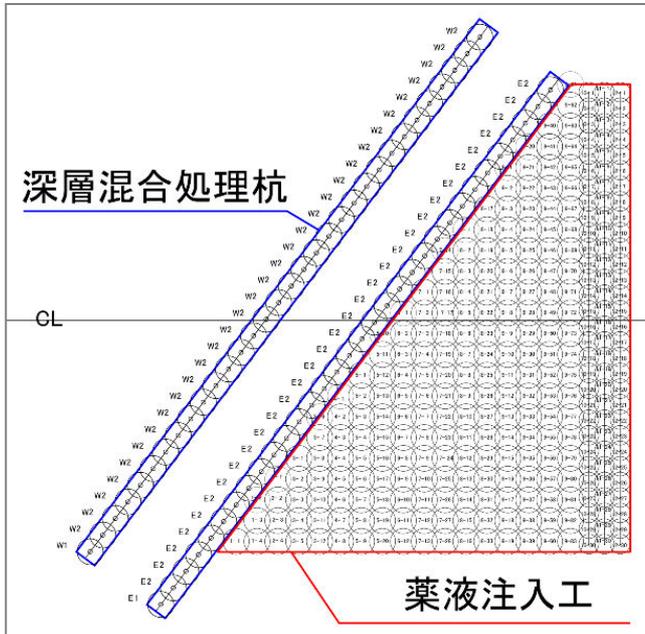
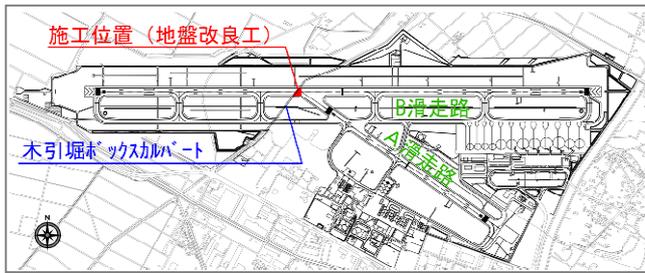


図-1 施工位置図

(2) 施工管理フロー

注入機械での圧力管理を行い異常がないことを確認する。上述した変位量の管理基準値の 50%を一次管理値、75%を二次管理値とした。変位量が一次管理値を超えた場合は、横断勾配・縦断勾配・平坦性が一次管理値以内かどうかを確認しながら施工を行った(図-3)。

(3) 計測管理方法

計測にあたっては、滑走路上に 2mの格子点を設置し、注入ポイントより 4.25m以上離れた格子点が含まれる最小範囲を、デジタルレベルによる高さの計測を行った。(図-4 参照)

施工日毎に施工前・中・後の高さ計測を行い(図-5 参照)、施工中の変位量(施工中の高さ-施工前の高さ)並びに 1日の施工による変位量(施工後の高さ-施工前の高さ)を測定した。また、変位を常時監視するために、レーザーレベルを使用し 2mm 以上の変位があった場合は、自動的にブザーによる警報を鳴らすようにした。

(4) 施工中の計測結果の利用

a) 変位量が一次管理値を超えた場合早期確認

変位量が一次管理値を超えた場合の縦断勾配・横断勾配はシステムで瞬時に確認でき、滑走路の安全性を確認しながら施工できた。

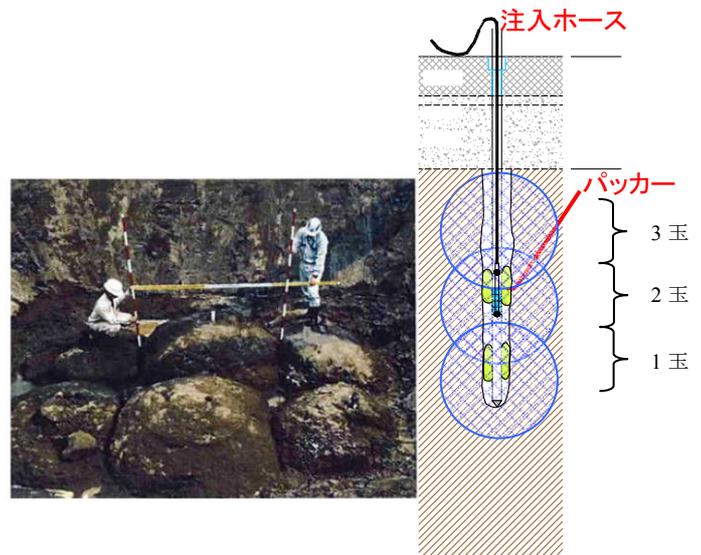


図-2 浸透固化説明図

b) 施工中の注入圧力へのフィードバック

変位量が大きくなることが予想されれば、注入圧力を下げて(吐出量を下げて)いくらかでも、変位量が大きくならないようにした。

c) 翌日の作業計画への反映

当日の変位量をもとに、過大な変位が起こらないように留意し、翌日の注入箇所の設定を行った。

4. 変位量計測管理支援システムの構築

滑走路面の変位を常に把握しておく必要があるため、高さ計測した結果より、1日の変位量・累計変位量の管理基準値とのチェックおよび縦横段勾配と平坦性を瞬時に計算する仕組みを構築した。

供用中の滑走路直下の施工管理に必要な項目について以下に述べると共に構築したシステムの概要を説明する。

(1) 供用中の滑走路における施工時の留意事項

本工事は、供用中の滑走路部の施工のため空港がクローズした 21:30~翌朝 7:30 までに作業が完了する必要がある。

また、夜間工事の間も、緊急時に滑走路を使用する場合があります。決められた制限時間内に撤収が完了することが求められているとともに、航空機の安全を確保するために、施工範囲の滑走路が規定の勾配を超えていないか確認できるよう、変位量は常に把握しておく必要がある。

薬液注入工管理フロー

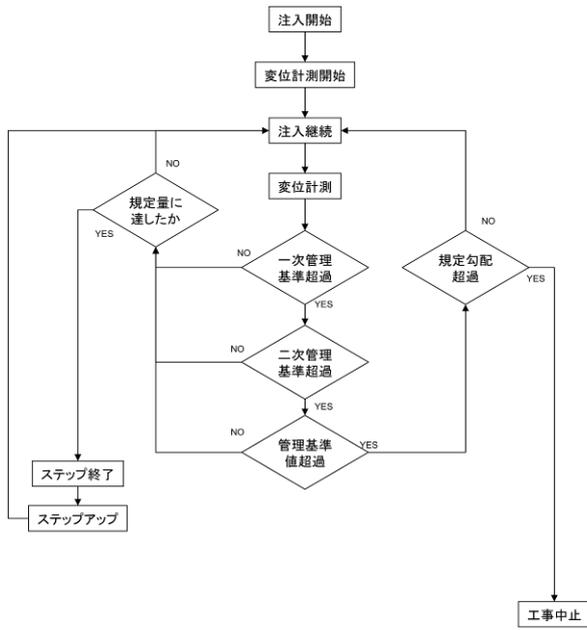


図-3 薬液注入管理フロー

(2) システムの概要

本システムは、デジタルレベルとパソコンとの接続ケーブルおよび取込プログラム、処理プログラムで構成される。

a) デジタルレベル

(株)ソキア・トプコン社製 SDL30 で、専用のバーコード標尺により計測者による誤差や読み違いを防止し、ピントを合わせて計測ボタンを押すだけの操作で、0.1mm までの計測が行える。

b) 処理プログラム

Microsoft Excel 2003 を利用し、Microsoft Visual Basic で処理プログラムを開発した。

主な機能を下記に列挙する。

- ・ 計測データ取込とシートへの保管
- ・ 1 日の変位量、累計変位量、縦横断勾配、平坦性の算出
- ・ 日毎の報告用シート、計測表の作成
- ・ 日毎の現地計測位置図の作成
- ・ 累積変位量カウンター図
- ・ 1 測点の変位履歴グラフ、最大変位量、前日との変位量差

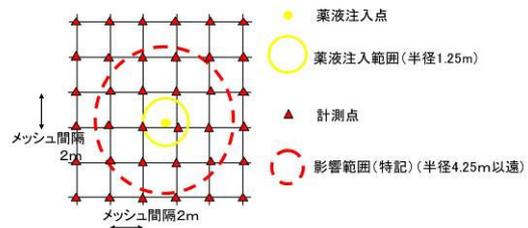


図-4 計測範囲

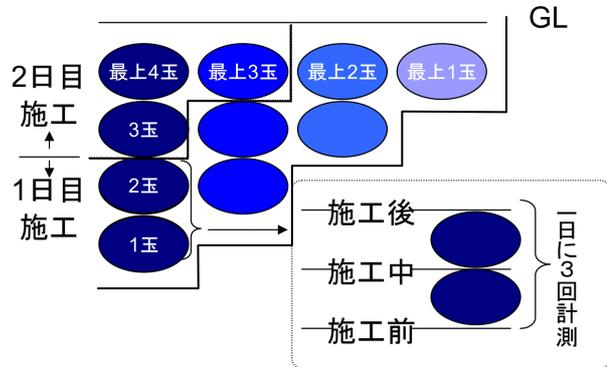


図-5 1日の計測頻度

(3) 施工管理値について

a) 滑走路路面の変位量

管理項目は、滑走路路面の段差、1箇所当たり1日の変位量と、着工前からの累積変位量とした。1日の変位量は、管理限界値を10mmとした。累積変位量は、管理限界値を40mmとした。それぞれ1日3回の計測から算出する。

b) 縦横断勾配

縦断勾配は20m間の勾配とし、横断勾配は22m間の勾配とした。管理限界値は、縦断勾配1.0%、横断勾配1.5%とした。

c) 平坦性

平坦性は、決められた基線上の凹凸の標準偏差で表し、3.64mm未満とした。プロフィールメータによる計測が必要であるが、日常管理では、2m格子の標高値差を取得することで、代替値とした。

d) 注入ポイントと変位の影響範囲について

注入ポイントからの距離による変位量を図-6に示す。注入ポイントで5mm以上の変異が起こったケース(440回の計測において、21回出現)について、注入ポイントから2m, 4m, 6mはなれた点における変位量の平均値を示す(注入ポイントでの変位量を100%として表している)。変位量の平均値は、注入ポイントから4mはなれると、約40%程度にまで下がることを示している。

ただし、滑走路の表層が40cmあり剛性があるため、水圧の影響範囲より広い範囲で外力(水圧)を受け持っていると考えられる。

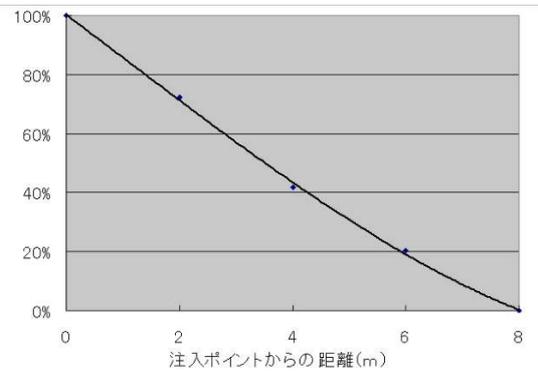


図-6 注入ポイントからの距離による変位量

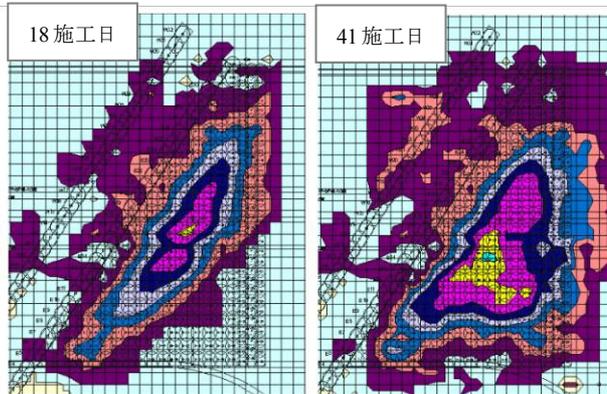


図-7 累計変位量の分布図

(4) 施工完了時の滑走路の健全の確認

累計変位量の分布図について、施工開始後 18 施工日と 41 施工日の累計変位量の変化を図-7 に示す。施工の進捗とともに変位するエリアが広がっている様子がわかる。

累計変位量の分布のヒストグラムを図-8 に示す。最大の変位量は 18mm で、全ての点において、累計変位量の一次管理値 20mm 以下の値となった。

また、局所的な変位はなく、施工後の横断勾配・縦断勾配・平坦性においても管理基準値を満足した。

(5) 震災後の施工箇所の様子

2011 年 3 月 11 日発生の東北地方太平洋沖地震では、本施工箇所においては滑走路への大きな変位は見られなかったが、地盤改良を行わなかったショルダー部から着陸帯にかけて陥没が確認されている。(図-9 参照)

5. まとめ

- ・ 薬液注入による影響は、4m 程度はなれると約 40%まで下がるということが分かった。
- ・ 滑走路面の変位量にともなう処理を自動処理するシステムにより、常に緊急事態を想定した判断を行うことが出来た。

累積変位量分布

総測点数:833

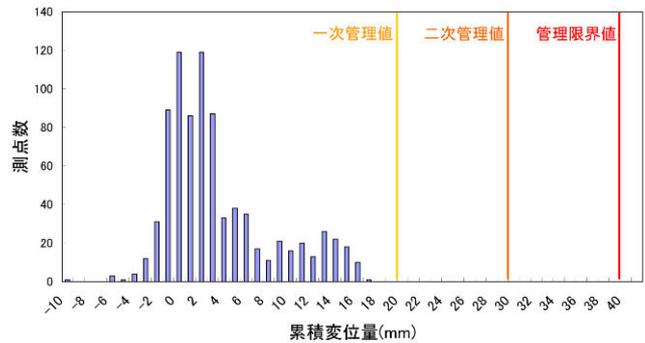


図-8 累計変位量のヒストグラム



図-9 震災後施工箇所付近の様子

- ・ 滑走路面の累積変位量コンターからは、地盤内の様子を可視化することができた。
- ・ 滑走路面の変位量を踏まえた注入計画を行うことで、最大 18mm の変位で施工を終えることが出来た。
- ・ 浸透固化処理工法による地盤改良施工の結果、滑走路直下の施工において変位量が少ない工法であることがわかった。
- ・ 東北地方太平洋沖地震後でも施設の変状が見られず有効性が確認できた。

6. おわりに

地盤改良工事は、地盤内の様子を逐次観察することが出来ないため、間接的に様々な監視管理項目により、施工に伴う影響を把握することが必要である。特に供用中の滑走路直下の工事においては、航空機の安全を最優先で守ることが重要であるため、限られた時間内で最善の判断をする必要があったため、情報化施工を駆使した施工を行った。

結果的に、滑走路面の変位量から様々な対策を実行し、無事故無災害で施工を終えることが出来た。

本報告が、引続き行われる空港の耐震工事の施工管理の参考となれば幸いである。

謝辞:本工事において、ご指導、ご協力いただいた、塩釜港湾・空港整備事務所 池田 秀文前所長殿に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) (財) 沿岸技術研究センター：沿岸技術ライブラリー No. 33 浸透固化処理工法技術マニュアル, pp. 3 2008 年 10 月