

新千歳空港滑走路の浸透固化処理工法の施工 Construction of Permeable Grouting Method at Shin-Chitose Airport

内野 博樹*
Hiroki Uchino

要 約

新千歳空港では航空ネットワークの拠点として、災害時の救急・救命活動と経済活動を維持継続するため、耐震化を推進されている。平成21年度に地下道、22～23年度はA滑走路直下の地下河川函渠等の補強が実施された。過去には、D・J誘導路直下の地下道の液状化対策を行っており、平成24年度からは、A滑走路直下の地下河川函渠の地盤改良と段階的に液状化対策を開始している。

本工事は、大規模地震で発生する液状化による滑走路の沈下を未然に防止し、空港機能の確保および航空機の安全な運航確保のため、液状化が想定される地盤の改良工事であった。供用中の滑走路下の地盤改良工事であり、工事中の安全については最大限の配慮を求められたが、無事工事を完了した。

本論では、浸透固化処理工法での地盤改良工事の施工について報告する。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事の概要
- §3. 空港制限区域内の施工
- §4. 品質の確認
- §5. おわりに

§1. はじめに

本工事は、新千歳空港A滑走路の美沢川函渠横断部において、液状化対策として供用中の滑走路下に浸透固化注入工法により地盤改良を行う工事である。

本工事の施工箇所は、新千歳空港のA滑走路上であり昼間は航空機の離発着が行われ、その便数は130本に及ぶ。このため、施工は最終便が離陸した後から初便が着陸する前の時間、23:00～翌6:00迄の時間に限られた。

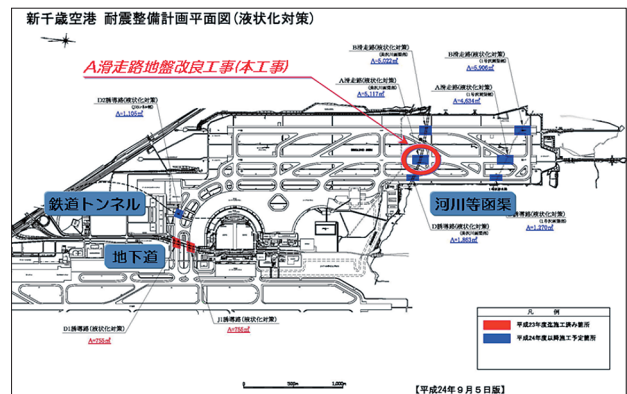
また、夜間作業後には航空機の離発着により地盤改良機材を残置出来ない等の制約があった。航空機の運航に支障を来さないために各種工夫をし、工事を実施した。

本論では、上記制約環境下での浸透固化処理工法による地盤改良工事の施工について報告する。

§2. 工事の概要

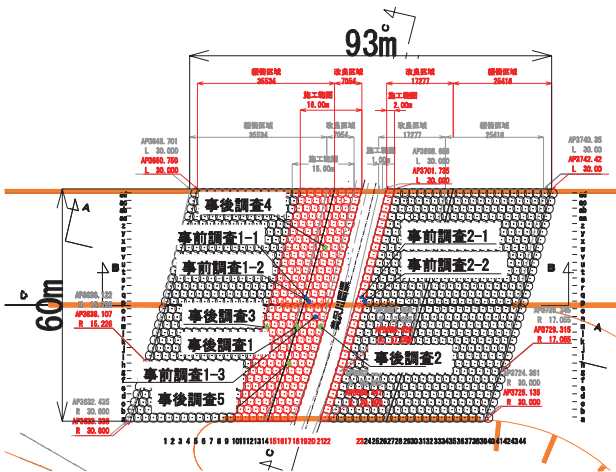
2-1 工事概要

- 1) 工事件名：新千歳空港 滑走路地盤改良工事
- 2) 発注者：国土交通省北海道開発局札幌開発建設部
- 3) 工事場所：千歳市他
- 4) 工期：自 平成24年 3月30日
至 平成24年12月 6日
- 5) 工事内容
 - ・ 削孔 (L=4,615 m)
 - ・ スリーブ注入 (n=270 本)
 - ・ 浸透固化注入 (V=2,321 m³)
 - ・ 防護キャップ工 (n=270 箇所)
 - ・ 舗装復旧工 (A=12 m²)

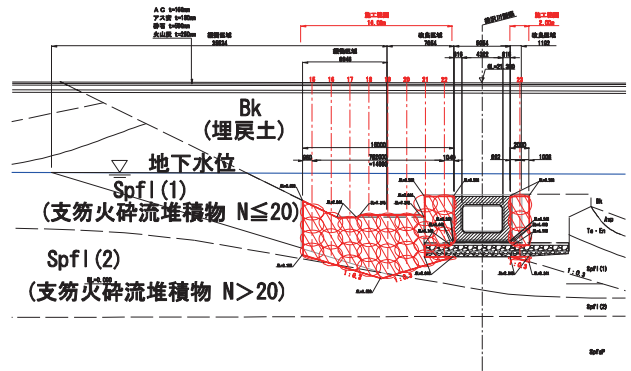


図一 1 施工箇所平面図

* 北日本（支）新千歳空港（作）



図一2 改良全体平面図

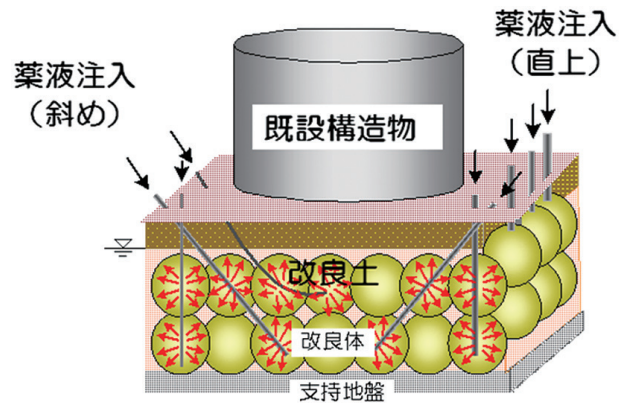


図一3 改良断面図

2-2 液状化対策工法の概要

液状化対象層の Spf1(1)層は、支笏火砕流堆積物でN値 20 以下である。層厚は最大 6.4 m で細粒分含有率(Fc)は 40.8%，せん断波速度 285 m，液状化強度比 0.32，均等係数 21.0。同様に BK 層（盛土層）は、層厚約 13.5 m，N 値 6～9，細粒分含有率(Fc)は 10.7%，せん断波速度 160 m/sec，液状化強度比 0.255，均等係数 9.9 である。

レベル 2 地震動に対する FLIP 解析の結果により、液状化が発生した場合には滑走路の規定勾配を逸脱する変位が予測されたため、図一2、3 に示すような地盤改良が計画されている。



図一4 浸透固化工法のイメージ

2-3 浸透固化注入工法について

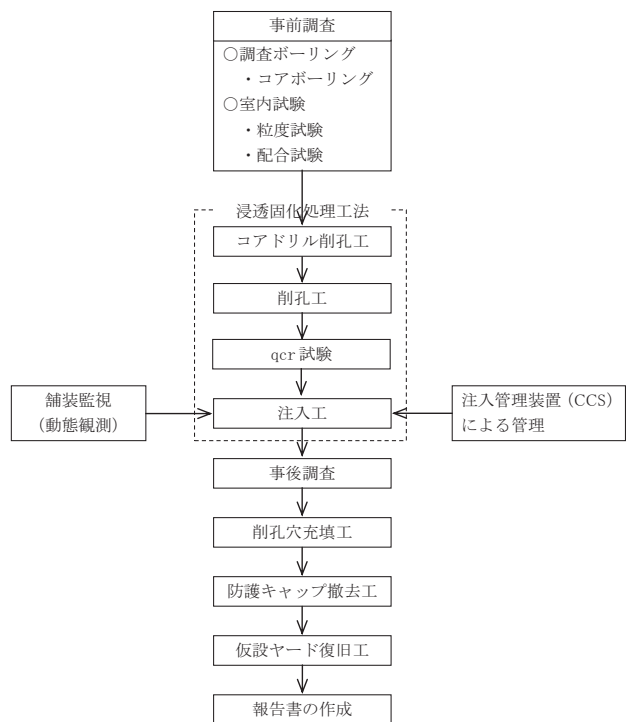
液状化対策が実施されていない古い施設や、建設後に設計基準などが改定され新基準を満たさない施設など、新たに液状化対策の必要性に迫られている施設も少なくない。しかし、既存施設直下地盤の液状化対策については実用的に有効な方法が極めて少ないのが現状である。既存施設直下地盤に適用でき、より経済的で大規模施工の可能な液状化対策工法として開発されたのが、浸透固化処理工法である（図一4）。

浸透固化処理工法は、液状化が予想される砂地盤に対して、溶液型の恒久薬液を低圧力で浸透注入することにより地盤を低強度固化し、液状化を防止する地盤改良工法である。粘性の小さい薬液を地盤の土粒子構造を変えることなく低圧浸透させるため、既設構造物にほとんど影響をあたえず、施設を供用しながら液状化対策が施工できる。また、斜削孔や曲がり削孔を利用することにより、構造物直下の液状化対策も可能である。

§ 3. 空港制限区域内の施工

3-1 浸透固化処理工の施工フロー，施工サイクル

図一5 に、浸透固化処理工の一連の施工フローを示す。滑走路上（制限区域）での作業は、23:00～翌 6:00 までと限られている。



図一5 浸透固化処理工施工フロー

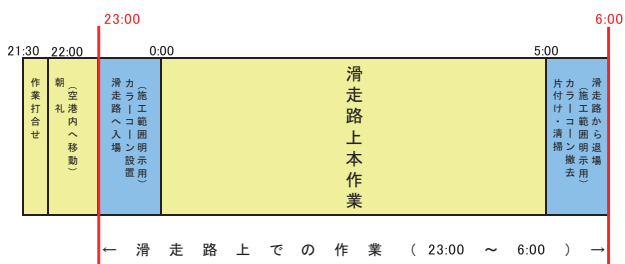


図-6 1日の標準サイクル

入退場および片付け時間を含めると実質5時間程度しか作業出来ない。また、航空機の遅延による開始時間の遅れや始発便時間の繰上げなどでさらに作業時間が短くなる場合があった。

図-6は、1日の標準施工サイクルである。薬液注入作業時は作液速度が注入速度より遅いため、作液を21:00から開始した。(作液作成プラントは、制限区域外に設置しているため23時前からの作業が可能)

3-2 各工事ステップ

(1) 埋設物探査

滑走路には、灯火や灯火用の電源ケーブル等の埋設物がある。これらの埋設物を損傷すると空港の運用にとって多大な障害となるため、現地で埋設物の位置を特定することは非常に重要である。本工事では、電磁波レーダーを利用したエスパー探査を行った。(写真-1, 2)

(2) 防護キャップの設置

地盤改良を行うために、滑走路舗装版を削孔した後に次工程でも同じ削孔穴を使用するための時間短縮策として開閉可能な鋼製の防護キャップを設置する(写真-3, 4)。この防護キャップは、航空機荷重(衝撃荷重)及びF型標識灯の荷重に耐えうる強度を有している。

(3) 事前調査ボーリング

図-2中に示す位置で、事前ボーリング調査を実施した(写真-5)。事前調査ボーリングでは、改良深度・改良厚の確認や改良前の土質確認および浸透固化処理工法の配合試験のためのサンプリングを行った。事前調査ボーリングにより、改良対象土層のspfl(1)層(支笏火砕流堆積物)の深度が判明し、細粒分含有率(Fc)は適用限界のほぼ40%以下であることを確認した。土質調査結果を反映し、平面配置、改良断面を決定した(図-7)。



写真-1 エスパー探査状況



写真-2 埋設物の反応



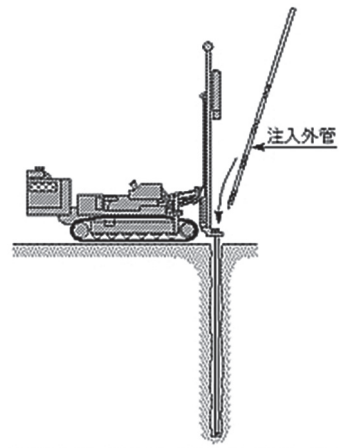
写真-3 樹脂材注入状況



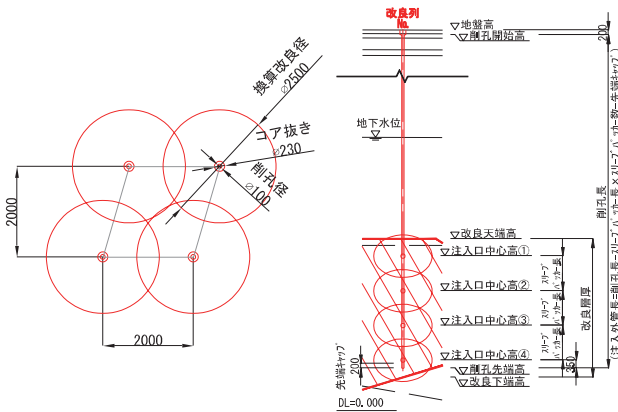
写真-4 防護キャップ設置完了(調査孔用)



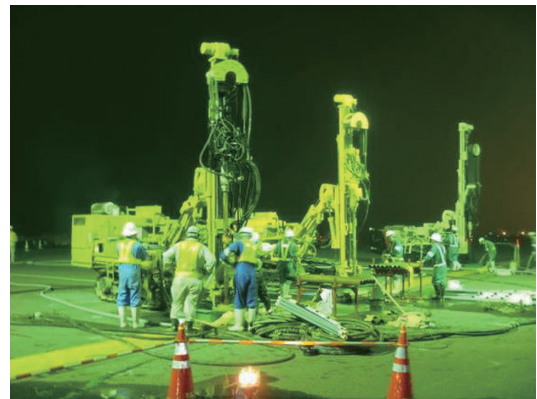
写真一五 事前調査ボーリング



図一八 削孔・注入外管建て込み図



図一七 平面配置・断面詳細図



写真一六 削孔状況

(4) 削孔および注入外管建て込み

ドリリングマシンを所定の位置にセットし、削孔の角度調整を行う（本工事では鉛直）（図一八）。削孔深度は、ケーシングの残尺で管理した。削孔ビット径はφ101 mm、ケーシング外径はφ 96 mm、削孔の孔径はφ 110 mmである。ドリリングマシンは、3台で施工した（写真一六、七）。

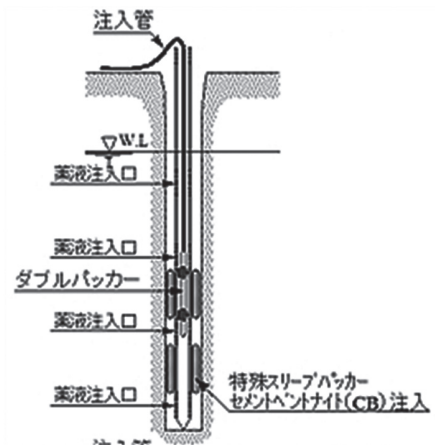
削孔後、注入外管（塩ビ製、φ 40 mm）を建て込み、ケーシングを引抜く。

(5) スリーブパッカー注入

注入する薬液の逸走を防止するために、スリーブパッカー注入を行う（図一九、写真一八）。注入口間のある特殊スリーブパッカーに、注入管（ダブルパッカー）をセットし、セメントベントナイト（CB）を注入充填させ、注入外管と削孔壁間の隙間を閉塞させる。充填したCBは1日養生させる。CBは、1バッチ毎に練り混ぜる材料質量を計測し配合管理する。注入圧1 MP以下を標準とした。



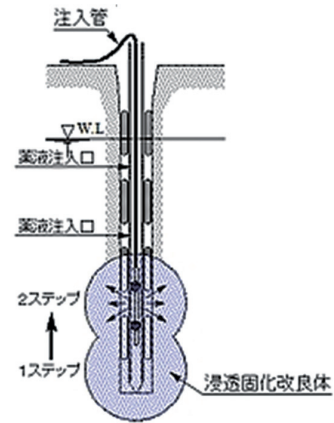
写真一七 注入外管建て込み状況



図一九 スリーブパッカー注入図



写真一八 スリーブパッカー注入状況



図一十 浸透固化注入図

(6) 浸透固化注入

i) 注入速度, 注入順序, 注入圧

所定の注入孔に注入管(ダブルパッカー)をセットし、 Q_{cr} (限界注入速度)試験により確認した注入速度(10 L/秒)で浸透固化材を注入する。

浸透注入により地下水と薬液を置換する工法であるため、置換水の移動も考慮して薬液の注入順序を決定する必要がある。本工事では、最下段から順次ステップアップして注入を行った(図一十)。1ステップの注入は途中で中断することなく連続して施工することが原則である。

ii) 注入設備

作業終了後に滑走路を開放するため、注入設備はすべて車上プラントである(写真一十)。車上には、集中管理装置(CCS)・薬液を送るインジェクションポンプ・流量を計測する流量計・パッカーを管理するコントローラーを設置している。

作液プラントは、作業箇所の滑走路から約1.3 km離れた場所の制限区域外に設置し昼間作業で作液用の水運搬や薬液の搬入を行った。作液プラントで作成した薬液をタンクローリーで滑走路上の注入設備へ運搬した。

滑走路上の作業に使用する機械類を最小限にすることにより、作業終了後の片付け時間を短縮し本作業時間を少しでも長く確保し、残置物(ゴミ等)の可能性を少なくすることが出来た。

iii) 滑走路路面の変位計測

注入施工時には、滑走舗装面の変位を自動追尾型トータルステーションを用いてリアルタイムに計測管理を行った(写真一十一)。

計測点は5 m 格子とし、当日の注入箇所近傍の計測をリアルタイムで実施した。一次管理値は5 mm で注入速度と圧力の監視強化を行い、二次管理値は10 mm で注入作業中止とした。また、管理値を超過した場合は注入管理室にて自動警報を発するシステムとした。

計測器の誤差は±1.5 mm あるが、幸い本工事中的変位は無かった。



写真一九 浸透固化注入状況



写真一十 浸透固化車上プラント(16セット)



写真一十一 自動追尾型トータルステーション



写真-12 自動pH測定器 (美沢川函渠下流部)

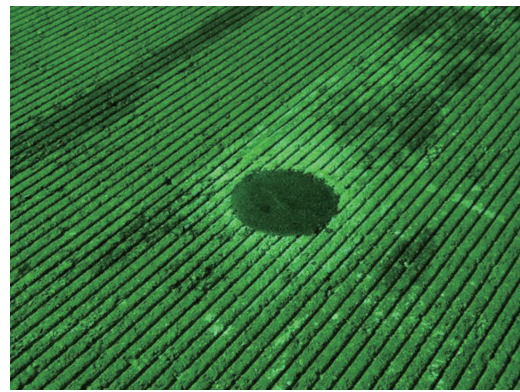


写真-13 防護キャップ撤去後の舗装復旧

iv) 環境への配慮

注入箇所には美沢川の函渠があり薬液漏れの影響を観測するために函渠下流部に自動pH測定機を設置し異常があった場合には、現場職員の携帯にアラームメールが届くシステムにした(写真-12)。

(7) 防護キャップ撤去・舗装復旧

注入完了後、防護キャップを撤去し舗装復旧を行った(写真-13)。



写真-14 一軸圧縮試験状況

§4. 品質の確認

浸透固化注入後、事後調査ボーリングを行い、改良後の土をトリプルチューブサンプリングにて不攪乱試料採取した。改良体の品質は一軸圧縮強さで評価する。(σ28 ≥ 70 kN/m²) また、採取した試料中に細粒分や礫分を多く含むことで、一軸圧縮強度での評価が困難な場合は繰返し非排水三軸試験やシリカ含有量試験を併用した。

表-1 に結果の一例を示す。

事後調査ボーリングは、約10~20m間隔で5箇所行った。一軸圧縮強度は28日強度で判断するが、注入作業が34日(≒1080球÷32球/日)かかるため30~60日強度で判断した。浸透固化処理工法マニュアルでは養生期間が4週後は強度が増加しないとあるため、70 kN/m²を規格値とした。

一軸圧縮試験の結果、70 kN/m²を超えるかなり高い強度がでたが、室内目標強度を140 kN/m²としているため高い強度となったと考えられる。

§5. おわりに

本論では、新千歳空港滑走路における浸透固化処理工法での地盤改良工事の施工について紹介した。

空港制限区域内の工事では、施工についての制限(時間・残置物等・作業員・作業車両・火器使用・無線使用・機械の高さ制限等)があり、航空局(CAB)に事前に届出し、制限事項を遵守する必要がある。また、作業後に航空機が離発着するため、小石やゴミ等が残ってい

表-1 改良後の一軸圧縮強度試験結果

試料番号	一軸圧縮強度 (kN/m ²)
A1-2-1	102.7
A1-2-2	181.4
A1-2-3	220.8
A1-5-1	819.6
A1-5-2	886.6
A1-5-3	797.9
A1-6-1	918.4
A1-6-2	654.5
A1-6-3	658.5

ないかを十分に確認する必要がある。

これらが残っている場合、最悪航空機のジェットエンジンに吸い込まれるとエンジンが破損する可能性があるため作業後の清掃には細心の注意を払った。

国土交通省では空港における安全・安心の確保の施策として、地震等災害時における空港機能の確保(緊急物資等輸送拠点としての機能確保、航空ネットワークの維持や背後圏経済活動の継続性確保、飛行中の航空機の安全確保)を図るため、航空輸送上重要な空港等について耐震性向上を実施していくこととしており、全国の拠点となる空港で今後も耐震事業が実施されることが予想されるので、本工事の施工実績が参考になることを望む。

参考文献

- 1) 財団法人 沿岸技術研究センター:浸透固化処理工法技術マニュアル(2010年版),2011.6
- 2) 平成25年度航空局関係予算決定概要,2013.1