

# 供用中の滑走路直下における液状化対策

関東地方整備局 東京空港整備事務所

第二建設管理官室 建設管理官 二ノ宮 悟志

## 1. はじめに

東京国際空港の旅客数は年間約8,500万人であり、航空機の年間発着枠が約44.7万回に達し、その貿易額は約1兆円に及ぶ国内最大の空港である。現在では、24時間運用され、国内49空港と国際31都市を結んでいる。(図-1)



図-1 東京国際空港の現況

東京国際空港は現在、利用旅客の増加への対応及び2020年の東京オリンピック・パラリンピックの開催に向けて、更なる空港機能の強化のための事業を進めている。

一方で、首都圏における大地震発生時に広域医療搬送拠点、緊急物資輸送拠点としての機能を維持するため、滑走路などの基本施設の耐震化事業を進めている。東京国際空港は、これまでに航空需要の増大に伴い、空港機能の拡張と滑走路の増設を進めてきたが、拡張された土地は東京湾沖合の軟弱な在来粘土層の上に、東京湾の浚渫ヘドロや陸上建設工事の発生土を利用して埋め立てられた超軟弱地盤であるため、耐震工事(地盤改良工事)は最重要案件の一つとして位置づけられている。

本論文では、東京国際空港で供用している4本の滑走路のうち、最も滑走路延長が長いC滑走路直下における地盤改良工事の施工方法、施工管理、施工上の課題やその課題への取り組みについて紹介するものである。

## 2. 工事概要

### (1) 工事数量

工事工期：2017年3月14日～2018年11月30日

施工位置：東京国際空港C滑走路北側(図-2)

施工工法：曲り浸透固化注入工法他

曲がり削孔：削孔本数192本、最大削孔延長160m

最大削孔深度GL-20m、

薬液注入：7,296球、8,245,000L(8,245m<sup>3</sup>)



図-2 施工位置図

### (2) 工法選定理由

地盤改良工事は、改良対象地盤の直上から改良深度まで削孔を行い、セメントや薬液の注入を行うのが一般的である。

しかし、空港の運用上の関係からC滑走路の閉鎖時間は週2日0:30～6:00と限られているため、滑走路直上からの施工時間はきわめて短く、施工時間の確保ができないことにより、非効率な施工となってしまうことが課題であった。

この課題に対し、本工事では、曲がり削孔機を用いた浸透固化処理工法での施工を採用することで、滑走路脇の緑地帯から曲り削孔機を用いて滑走路直下まで削孔を行い、浸透性の高い薬液注入を可能とした。そのため、滑走路上に立入らずに地盤改良の施工をすることが出来た。(図-3)

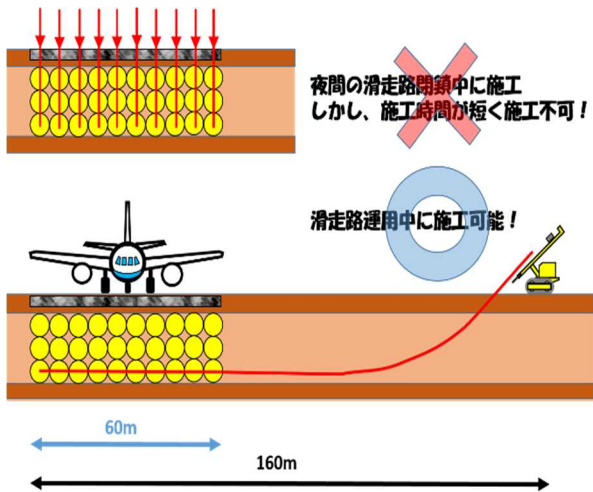


図-3 曲り削孔イメージ

また、滑走路の運用中においても施工することが可能となることから、施工時間という課題を解消することも可能とした。(写真-1)



写真-1 曲り削孔施工写真

### 3. 施工方法

#### (1) 曲がり削孔について

航空機の運用を止めずに作業が可能な滑走路脇の緑地帯から長距離型曲り削孔機を用いて、滑走路直下の地盤改良対象範囲まで削孔を行う。(写真-2)

削孔方向を計画ラインに誘導するため、削孔ロッドの先端（ビット）は斜めにカットされたテーパ構造であり、削孔ロッドを押し込むことでテーパ面が土圧を受けるため、先端の角度を調整することで曲線の削孔をすることができる。また、直線削孔はロッドを回転させながら押し込むことで直線に推進することが可能となる。(図-4)



写真-2 曲り削孔機

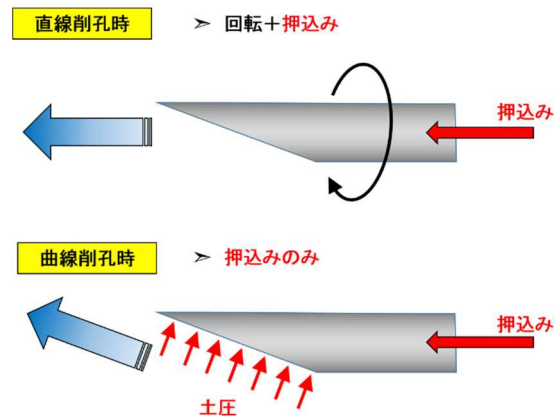


図-4 削孔メカニズム

#### (2) 浸透固化処理工法について

削孔完了後、注入外管を挿入し薬液注入を行う。今回実施した浸透固化処理工法は、浸透性の高い薬液を地盤に注入し、地盤の間隙水と恒久薬液を置換させ、注入された薬液がゲル化し、粘着力が付加され地盤のせん断強度が増加することで液状化を防止するものである。(図-5)

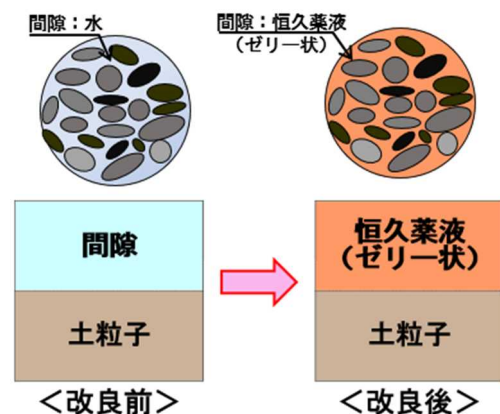


図-5 浸透固化処理工法の原理

#### 4. 施工上の課題(地中障害物による影響)

C滑走路は、沖合展開事業で増設された滑走路であり、埋め立て地盤のため、土層が均一ではなく、沖合展開事業時に行われたペーパードレーンの被覆材、コンクリート殻などの地中障害物が多く点在しており、地中障害物の影響から計画削孔ライン通りの削孔を行うことがほぼ不可能であった。(写真-3, 写真-4, 図-6)地中障害物を破砕するためにパーカッションドリルを用いた先行削孔を実施したが、先行削孔で破砕できる範囲は限られており、曲線削孔部には適用することができなかった。



写真-3 沖合展開事業の様子



写真-4 地中障害物の状況写真

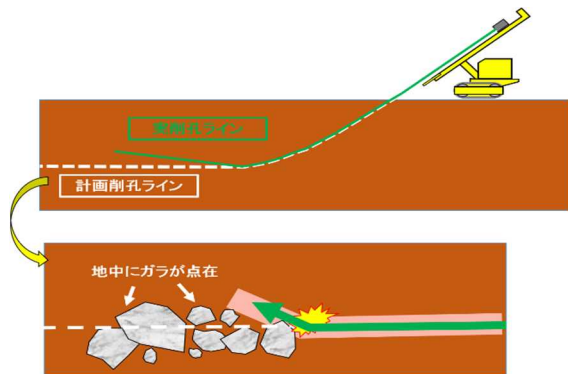


図-6 地中障害物による削孔影響イメージ

#### 5. 施工上の課題への取り組み(施工管理)

前章で述べたパーカッションドリルを用いた先行削孔は、曲線削孔部には適用できないものの、改良対象地盤は掘り進めることが全く不可能である地盤ではなく、地中障害物をかわすことが出来れば、目標削孔到達ラインまで削孔を進めることができ、薬液を注入することができる可能性があった。そのためには、計画削孔ラインからの逸脱が生じても削孔角度、削孔位置を適切に管理し、削孔を進めることが求められた。

また、削孔後の注入は、地中障害物の影響による計画削孔ラインと実削孔ラインのズレに伴い、注入位置が均等に配置されないことが想定されるため、各注入口からの注入量と薬液のゲルタイム(硬化時間)を適切に管理することが求められた。

##### (1) 削孔について

削孔計画ラインに対し、地中障害物をかわしながら削孔を進めていく必要があるため、削孔方向と削孔位置を地盤内の削孔位置を正確に検出しなければならない。そのため、固定式による削孔管理システムと挿入式による削孔管理システムを併用して施工を行った。(図-7)

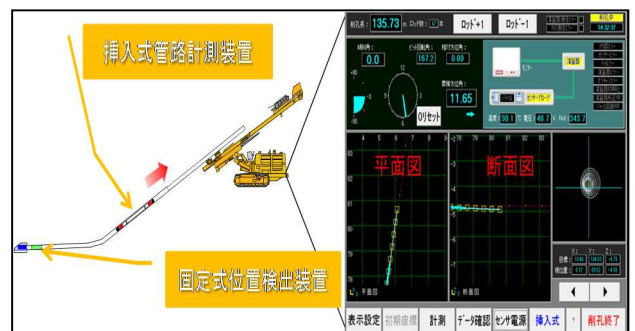


図-7 削孔施工管理システム

固定式による削孔管理システムは、先端削孔部の削孔ロッドによって行われ、削孔中に刻々と変化するロッド先端部の削孔姿勢の変化をオペレーターがモニターを通してリアルタイムで把握することができる。これにより、計画削孔ラインと実削孔ラインに相違がある場合、削孔方向を計画削孔ライン方向へ時点修正することができる。



次に、挿入式による削孔管理システムは、ジャイロを挿入することで削孔位置を検出することができる仕組みである。

計測を曲線削孔距離9m毎、直線削孔距離18m毎に行い、削孔誤差を最大で削孔距離の1/500までに抑えることで、削孔位置及び削孔軌跡を適切に管理することが出来た。(図-8)

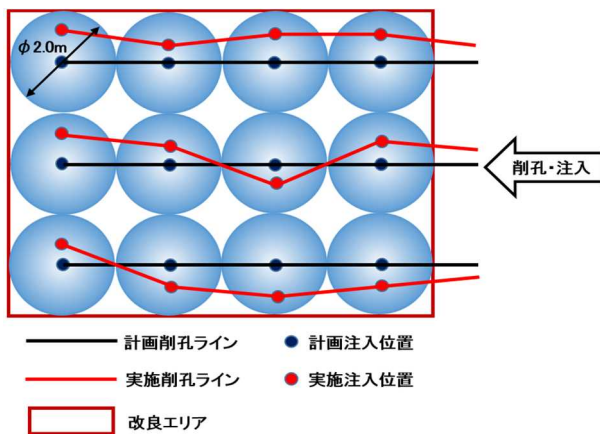


図-8 削孔イメージ

## (2) 注入について

地中障害物の影響による計画削孔ラインと実削孔ラインのズレに伴い、改良範囲に対して注入位置が均等に配置されないことが想定されたため、各注入口からの注入量を再配分し、注入を行うこととした。薬液注入量の再配分については、注入口（計測値）からの相対位置から分担改良土量を最適配分し、各注入量を決定する「薬液注入量再配分システム」を用いた。

この技術は、平成25年にライト工業株式会社の特許を取得している技術である。再配分の考え方としては、改良範囲の注入ゾーンを3次元メッシュに分割し、それぞれのメッシュ中心からの最短距離にある注入位置を探索する。各注入位置が受け持つ改良土量を算出することで分担改良土量を最適化に各注入位置からの注入量を決定する。土量の配分により各注入量の増減はあるが、削減と追加の量が同じであるため、全体の注入量は変わらない。

また、再配分の際には、各改良体の造成までの注入時間を考慮し薬液のゲルタイムを適切に設定して施工を行った。(図-9)

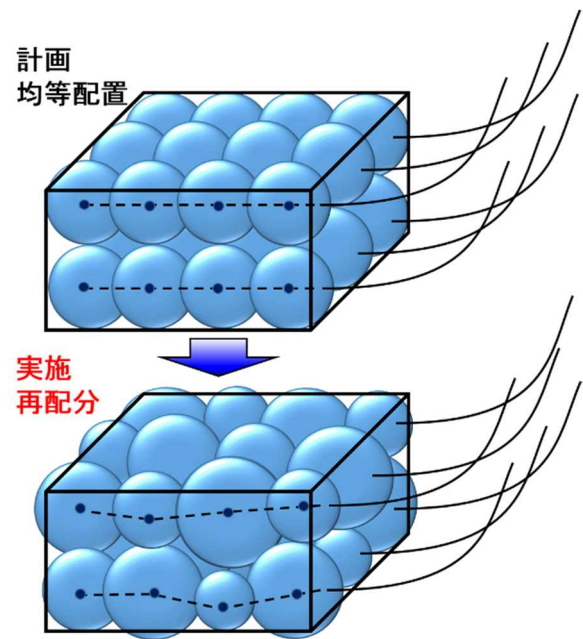


図-9 薬液注入再配分イメージ

## 6. おわりに

本工事では、改良対象地盤に対し、未改良地盤を残さないこと、C滑走路の耐震化を着実に進めることを第一優先とし、施工方針を検討し地盤改良の施工を進めてきた。

その結果、地中障害物により計画ラインの削孔が不可能となった地盤に対して固定式による削孔管理システムと挿入式による削孔管理システムを併用しての削孔及び薬液注入量再配分システムを活用した注入により、滑走路の供用に支障となるような事象を発生させることなく、重要構造物の直下の改良として、適切な施工管理を行うことが出来た。

現在は、全ての地盤改良工を完了し、改良効果を確認する事後調査を実施中である。

今回の工事のように、運用制限などの施工時間による制約がある施工条件下では、曲がり削孔による浸透固化処理工法は有効な工法であるといえ、今後も適用されていくことが予想される。また、直轄事業で薬液再配分システムを用いて曲り削孔による薬液注入を行った事例は本工事が初となるため、今後の同工法の基礎資料となることを念頭においてデータや資料を整理していく必要がある。