

概要

工事名称：東京国際空港C滑走路地盤改良工事
 工期：2014年7月7日～2015年3月31日
 発注者：国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所
 施工者：五洋・大成・みらい特定建設工事共同企業体
 施工場所：東京都大田区羽田空港
 主な工事内容：滑走路の液状化を防ぐための地盤改良
 (改良対象土量：3万1833m³)



東京国際空港C滑走路 供用中の滑走路直下で日本初となる地盤改良工事 長距離対応型の曲がり削孔工法を開発

都市直下型地震や南海トラフ地震など巨大地震の発生に備え、空港施設の耐震化は喫緊の課題だ。東京国際空港（羽田空港）では夜間、閉鎖中の滑走路上で地盤改良工事が続けられてきた。ところが週3日、1日当たり3時間しか滑走路への立ち入りが許されない厳しい空港内の制約条件により、従来工法では間に合わない。24時間施工が求められる中で採用したのが、曲がり削孔式浸透固化処理工法である。

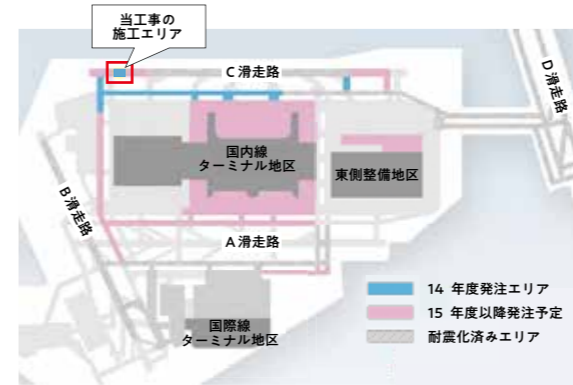
「ごーっ」と轟音を響かせながら、旅客機が青空の彼方に飛び立つ。離発着を繰り返す滑走路の東側では50人以上が作業する。滑走路までの距離は約50m。東京国際空港（羽田空港）C滑走路下の地盤改良工事の現場である。2014年7月、その工事は始まった。地盤改良に用いるのは、浸透固化処理工法。地中に注入した薬液の浸透によって、砂質地盤中に直径約2mの球状改良体を作る。それを上下・前後・左右に連らせることで液状化を防ぐ。

五洋建設では技術研究所技師長の林健太郎（前・技術研究所所長）のアイデアで既設構造物の耐震化

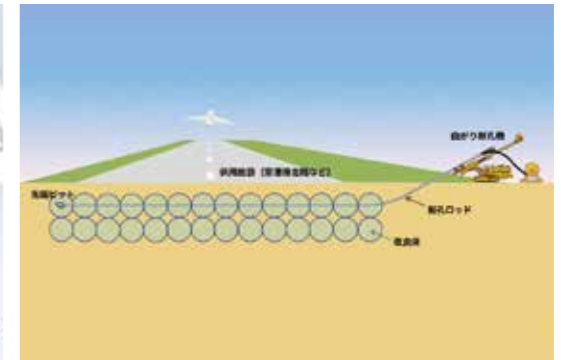
を図る目的で1993年に液状化防止工法の開発に取り組み始め、翌94年から運輸省港湾技術研究所（当時）と共同で開発を開始。98年に林は、浸透固化処理工法の実用化に成功した。

●曲がり削孔で過去に例のない約140mの削孔

地中に薬液を注入するにはまず、専用の管を建て込むための穴を掘る。今回、羽田C滑走路の地盤改良で採用したのは、当社がライト工業株式会社と共同開発した曲がり削孔工法だ。直径150mm前後の穴をまず斜め下方向に掘り進めていく。



14年度時点の耐震化位置図



五洋建設が組成した共同企業体で受注した区域はC滑走路の北端近く。右側の図に示したように、海側の緑地帯から曲がり削孔機で滑走路下を削孔し、薬液注入用の管を建て込む。そこに薬液を注入することで、球状の改良体を作り、地盤改良を施していく

途中から地面と平行に軌道を改め、そのまま既設構造物の下を掘り進める。

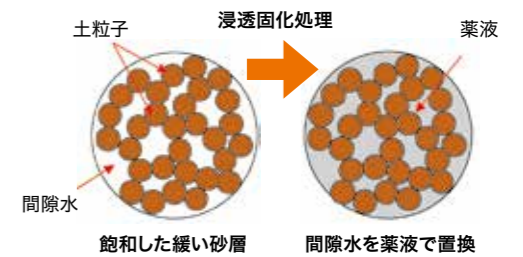
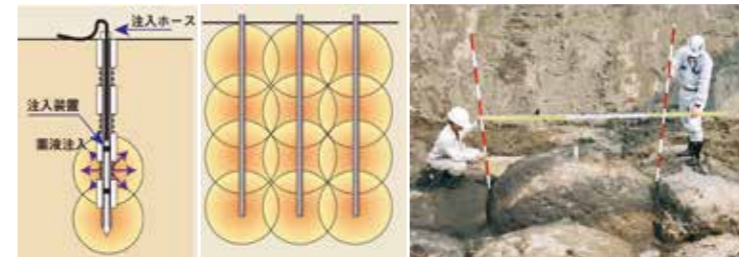
問題は、削孔する距離だ。24時間施工を実施するためには滑走路から約50m離れた緑地帯に機械を設置しなければならない。しかも、滑走路の幅は約60m。均等に地盤改良を施すには、約140m先まで削孔本数260本分の薬液を送り届ける必要がある。「当時の施工実績は100mまで。

周囲からは、『この距離は、今の曲がり削孔では対応できないだろう』と言われていた」。こう語るのは、東京土木支店の大成博昭だ。当時の工事所長である。

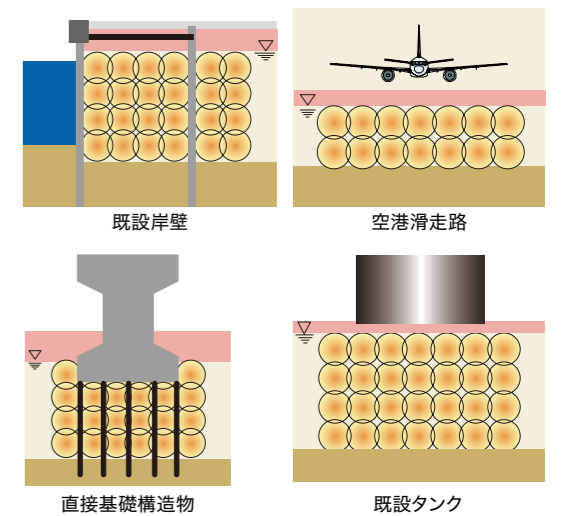
曲がり削孔の開発者である土木本部船舶機械部の植田勝紀自身、「距離が長い上に深さも増すことから、これまでと同じシステム・機械では対応できない」と踏んでいた。

TEC 01 浸透固化処理工法

既設構造物の液状化対策を可能にする改良工法



■浸透固化処理工法の適用事例



特殊シリカ素の薬液を砂質地盤中に注入し、地盤内の間隙水と置き換える。数時間後に薬液はゲル状に固結し、液状化の要因となる間隙水がほぼなくなるため、液状化が生じなくなる。また、同時に粘着力も付加され、せん断強度が大きくなる。地盤改良エリア直上から施工できる場合には、地表面から鉛直方向に薬液を注入し、球状の改良体を作る。橋脚基礎のように真上から施工できないもの場合には、構造物周辺から斜め下方向に直斜削孔し、そこから薬液を注入する。ただ、その構造物が大型なものの場合には、直斜削孔ではその中央直下に球状改良体が届かず、未改良の部分が生じてしまう。その未改良部分にまで薬液を行き渡らせる工法として曲がり削孔（次ページ）が開発されている。

■浸透固化処理工法の主な評定・業績

年次	技術評定または業績	評価主体	備考
1998年	「港湾に係る民間技術評価制度」評価技術	運輸省港湾局技術課	浸透固化処理工法
2001年	第3回国土技術開発賞優秀賞	(一財)国土技術研究センター (一財)沿岸開発技術研究センター	浸透固化処理工法：21世紀型新液状化対策工法
2002年	地盤工学会技術開発賞	(公社)地盤工学会	新しい原理に基づいた既設構造物の液状化対策工法の開発
2002年	地盤工学会九州支部技術賞	(公社)地盤工学会九州支部	浸透固化処理工法による護岸の吸い出し防止対策

航空機の離着陸を止めることなく工事を完遂

しかし長距離の曲がり削孔を確実に施工できなければ、滑走路から鉛直方向に浸透固化処理工法で施工していくしかなくなる。当然、供用中の滑走路では施工できないため、施工時間帯は滑走路閉鎖後の夜間に限られるが、羽田空港のように発着便数が多ければ、滑走路を使用できる時間帯に限りがあり、限られた工期の中で滑走路上からの施工は不可能であった。

今後、滑走路下の地盤改良工事を成功させるには、機材のレベルアップを図るほかない。植田はそう確信し、システム・機械の改良に乗り出す。

課題は、削孔機の強度や施工能力の向上だ。植田は「削孔ロッドが細く、途中で折れる恐れがあった。また推力も間に合わない。システムを単純化する必要もあった」と指摘する。

植田は部品の強度を見直し、システムの改良を重ねた。千葉・富津で実証実験にも取り組んだ。そこで150mを掘削できたときには、「同じ土質条件なら、この削孔機でいける」と確信した。

当社は共同企業体を組み、羽田空港C滑走路下の地盤改良工事を受注。改良型の曲がり削孔を現場に適用していくことになった。

◎オペレーターの育成・確保が重要

それ以上に心配していたのは、削孔機を操るオペレーターの確保である。植田は「技術は人が使いこなすもの。地中で軌道を制御しながら掘り進

めるのは、容易ではない」と言い切る。

曲がり削孔は真っすぐに削孔するのと違って、軌道の制御が求められる。オペレーターはモニター上で、削孔ロッドの先端ビット近くに固定した位置検出装置や18m削孔するごとに地中に差し入れる管路計測装置のデータを確認しながら、軌道を制御する。目と指の連携が欠かせない。

現場に投入した削孔機は最終的には6台。昼夜交代で24時間施工にあたるため、オペレーターの数は少なくとも倍の12人必要になる。

幸い、過去10年にわたり削孔技術を磨いてきた熟練者を6人確保できた。残る6人は、削孔の補助作業を担当させながら現場で育成していく。一定の水準まで操作できるようになると、現場に投入する削孔機の台数を段階的に積み増していった。

現場では必要な計276本の削孔を続ける一方で、薬液の注入作業を進めた。

◎地下水位の管理で地盤の変状に対応

注意したのは、滑走路の変状だ。地中に穴を開け、そこに薬液を注入する作業だけに、陥没や隆起が起きてもおかしくない。薬液の注入は1日200㎡ペース。合計約1万2450㎡という過去最大の注入量だけに、慎重な施工が求められる。

隆起の原因である地下水位の上昇は、いち早く把握する必要がある。そこで滑走路の下6カ所に水位計を設置し、管理水位を超えた場合には注

入速度を低減したり注入を中断したりする態勢を整えた。そのうえで、滑走路の閉鎖時間帯である夜間、薬液の注入作業を試行した。

隆起の有無は、薬液の注入ブロックを5m四方に区切って、区画単位で路面の高さの変化を見る。自主管理基準として設定した許容値は、注入1回当たり5mmまで。この夜間の試行でその基準を満たしていることを確認したうえで、注入作業を24時間施工に移行させた。

以降、滑走路に変状をもたらすことなく、薬液の注入は進んだ。大成は「薬液を注入する量・速度・圧力が定められた数値を超えないように制御装置で管理しながら作業を進めた」と胸を張る。

削孔から注入まで、施工環境は滑走路まで約50mという特殊なもの。通常の現場とは異なる観点から、安全・品質確保にも気を配った。

一つは、見える化だ。現場は離陸のため滑走する飛行機のスタート地点に近く、「きーんっ」という金属音も入り交じるエンジン音が鳴り響く。作業の指示など必要なコミュニケーションは肉声では聞こえにくいし、正確さを欠く。

そこで無線機の利用に加え、削孔した穴ごとに薬液を注入する順番を示す札を置くなど、現場の見える化によって施工ミスの防止を図った。

弱点もある。周囲が薄暗くなると、見える化のために置いたものは識別しにくくなる。例えば薬液を注入する箇所には、目印として土のうも置いていた。「その袋は白色。夜間は見えにくいことが分かったので、すぐに黄色のものに取り換えました」。大成は当時を思い起こす。

◎供用中滑走路の地盤改良に道を開く

もう一つの気配りは、飛散物の防止だ。供用中の滑走路内に飛散物が紛れ込むと、運航に支障を来しかねない。図面や書類は全てデータに置き換え、タブレット端末に保存。飛散物になりかねない紙類は、現場から一切排除した。

上空には多くの飛行機が行き交い、緊急事態に巻き込まれる危険性もある以上、万が一への備えも欠かせない。

大成が解説する。「現場に持ち込む機器類は全て自走式か車載式。いざというときにはすぐに退避できる態勢を取った」。幸い、管制官から退避指示が発せられることはなく、2015年3月には、事故なく地盤改良工事を終えることができた。

この現場を経験することによって、100mを超える長距離に対応できる削孔機が開発され、その操作を任せられるオペレーターが育成された。それは、後々にも生きていく。

長距離の曲がり削孔式浸透固化処理工法の確立と、それを扱うオペレーターの活躍により、供用中の滑走路でも地盤改良工事が可能となった。東京土木支店の東山文雄が、この現場の意義を総括する。

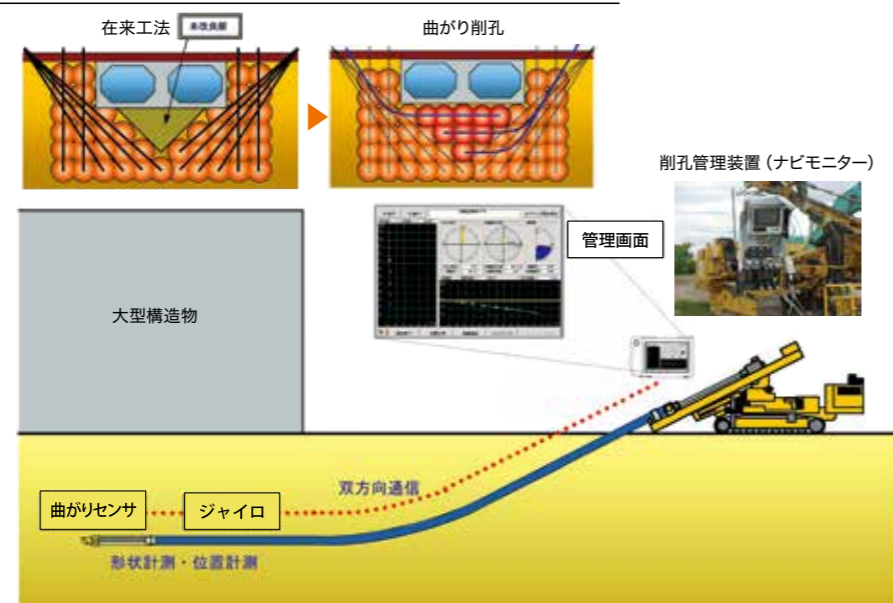
「供用中の滑走路下を曲がり削孔で地盤改良を施し、運航に影響を与えることなく、工事を終えることができた。発注者の信頼を得られたからこそ、その後も同じ工法で松山空港や福岡空港の耐震化に貢献することができた」

羽田空港C滑走路の地盤改良工事。そこには、現在の曲がり削孔の原点がある。

TEC 02 曲がり削孔工法

供用中の大型構造物でも浸透固化処理を可能に

曲がり削孔は、直斜削孔では未改良部分ができってしまう大型構造物直下地盤の浸透固化処理を可能にする工法だ。曲がり削孔機は削孔管理装置を搭載している。削孔ロッドの先端ビット近くに固定された位置検出装置と一定区間削孔するごとに削孔ロッド内に差し入れる管路計測装置で削孔ロッドの軌道をモニタリングしながら、削孔を進めていく。精度の高い軌道制御が欠かせないため、オペレーターには熟練の技が求められる。曲がり削孔式浸透固化処理工法は、一般財団法人沿岸技術研究センター港湾関連民間技術の確認審査・評価事業評価技術（登録番号第08001号）認定。



■曲がり削孔工法の施工手順

- ① 所定の位置に曲がり削孔機を配置する
- ②③ 先端ビットは、下向きを保ったまま押し込むと地盤の反力で上向きに曲がり、回転させると直進する造り。オペレーターは先端ビット近くに取り付けられた固定式位置検出装置で、また18m削孔するごとに削孔ロッド内に差し入れる挿入式管路計測装置でその位置や軌道を確認しながら削孔機を操作する
- ④⑤ 到達点に達したら先端ビットを切り離し、削孔ロッド内に注入外管を建て込む
- ⑥ 注入外管を建て込んだら削孔ロッドを抜き、注入外管から土中に薬液を注入する

