

東側整備地区における場周地下通路の施工について

関東地方整備局 東京空港整備事務所 第二工務課
大野 勉

キーワード：場周道路、液状化対策、山留工止水対策、JACSMASN

1. はじめに

東京国際空港では、将来の国内航空需要の増大にそなえ、羽田空港再拡張事業として、平成 22 年 10 月供用開始予定のD滑走路建設、並びに、平成 21 年 9 月末概成予定の国際線地区エプロン整備の各事業が、それぞれの開業目標を目指して急ピッチで進められているところである。

一方、現空港の機能向上を図るため、D滑走路並びに国際線地区エプロンの供用にあわせた施設整備をはじめ、長期計画も踏まえた利便性・耐震性・安全性の向上を図るための滑走路・誘導路・エプロン等の施設整備を実施していくこととしている。

このうちD滑走路に接続する東側整備地区では、航空機の洗機場およびエンジンテストのためのランナップ地区が存在していたが、D滑走路新設に伴う連絡誘導路等の整備が始まることから、平成 18 年度までにその再配置整備を実施しており、現在、場周道路の地下化やエプロンと取付誘導路の嵩上げ舗装等の工事を実施している。



写真-1 航空写真(2009.04.27撮影)

【羽田再拡張 D滑走路建設工事共同企業体 提供】

本報告では、東側整備地区で実施している工事のうち、場周地下通路の施工に関して、その山留工の止水対策や周辺地盤の液状化対策工等の方法・特徴について紹介する。

なお、場周地下通路の工事については、前年度までに液状化対策工と山留工の床付けが完了し、現在はボックスカルバート及びU型擁壁を築造中である。

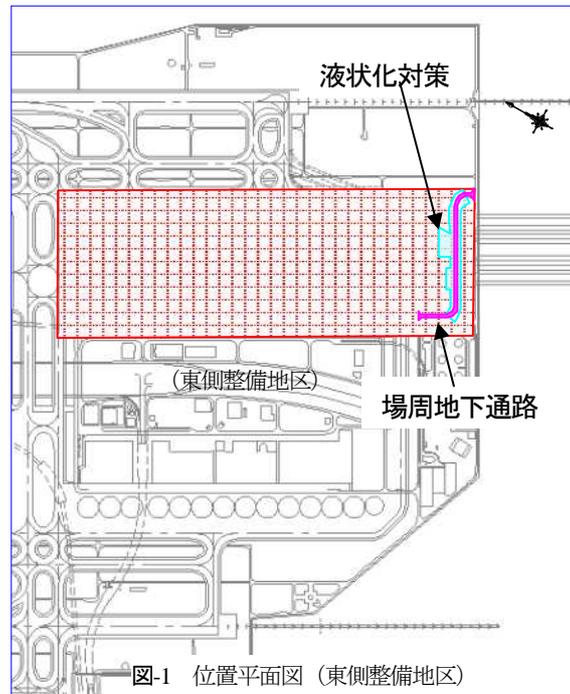


図-1 位置平面図(東側整備地区)

2. 場周地下通路山留工の実施

場周地下通路の位置を図-1に示す。

場周地下通路の山留工は、以下の前提条件に基づき検討されている。

液状化対策工の要請

現空港と連絡誘導路栈橋接続部は、地震により著しく被害が発生した場合、復旧が非常に困難な箇所であり、且つ空港機能全体の回復に対して大きな影響を与える箇所であることから、現空港既設護岸法線から 125m間の護岸背後地盤の液状化対策工を実施する。(図-2 参照)

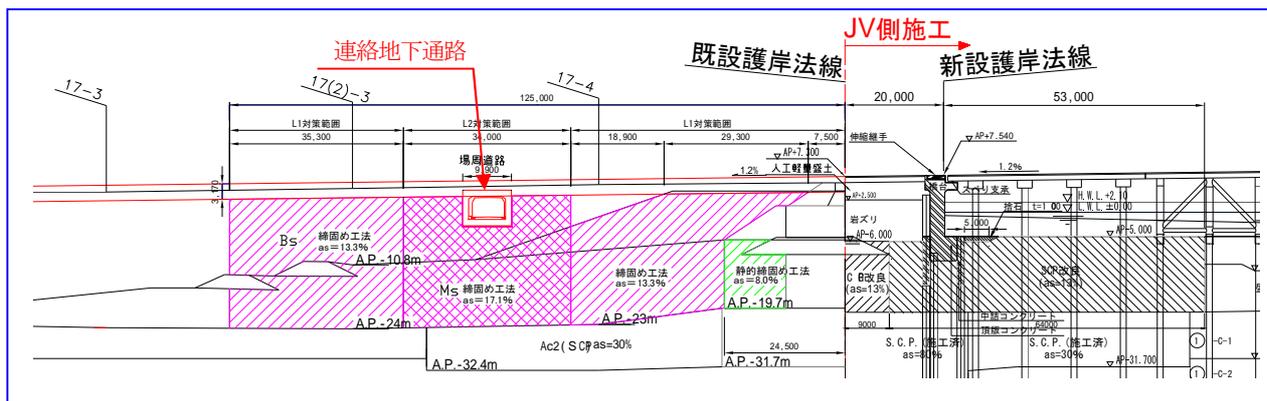


図-2 連絡誘導路の液状化対策範囲

山留工内の出水対策

一方、本場周地下通路は現空港既設護岸法線背後約75mの地点に位置しており、海に近接していることから、主工種であるボックスカルバート及びU型擁壁を築造するためには山留工の施工時における止水対策が重要となる。このため躯体築造に先立って行う止水対策工の確実な施工が求められた。

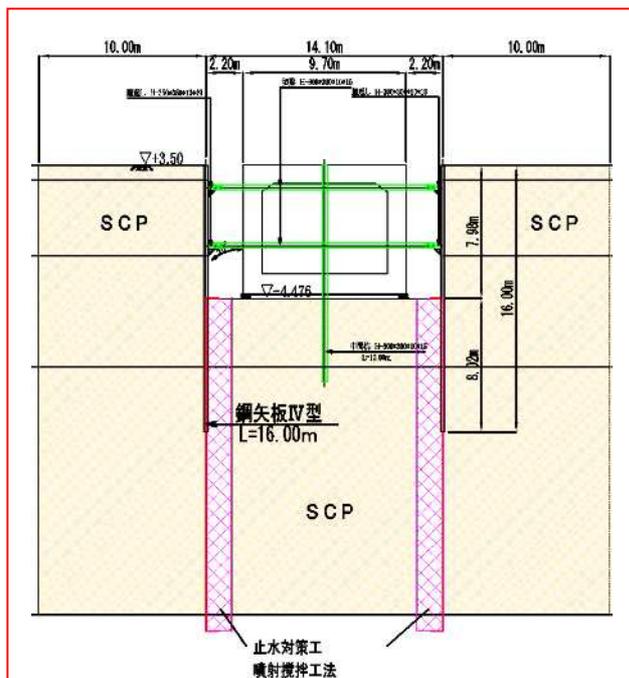
後工事への影響回避

地下連絡通路完成後に実施するD滑走路に接続する連絡誘導路舗装工の工程に影響のない工期の設定が求められた。(表-1 参照)

表-1 場周地下通路の整備係の計画工程

平成19年度(2007)			平成20年度(2008)						平成21年度(2008)						平成22年度(2010)											
10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
液状化対策工事												場周地下通路の築造工事 (山留工、本體工)						連絡誘導路の舗装等の工事 (用地造成)(舗装)(灯火等)								
本工事工程(24ヶ月以内)												後工事						D滑走路供用								

以上のことから、山留工を“ケース1”液状化対策工をSCP工法とし、鋼矢板等に切梁を組み合わせた方式で、止水対策を“ケース1-1”交差噴流攪拌工法にする方式と、“ケース1-2”連続地中壁にする方式、並びに“ケース2”液状化対策工を深層混合処理工法(CDM工法)に変更(止水対策も兼用)して、山留工を切梁不要の自立壁体にする方式について比較検討した結果、経済性並びに施工性(所定の工期内の施工の可否も含む:およそ24ヶ月)より、山留工は鋼矢板+切梁による方式で止水対策を交差噴流攪拌工法にする案(図-3参照)を採用することとなった。



3. 液状化対策工の施工

(1) 液状化対策工の概要

場周地下通路周辺地盤の液状化対策工は、昨年9月に完了した「東京国際空港東側整備地区場周道路地下連絡通路他地盤改良工事」において実施している。

液状化対策工はSCP工法を採用しており、その改良平面図を図4に示す。

(2) コスト縮減の取り組み

SCP工法は、通常購入した砂材を用いて杭体を造成するが、今回コスト縮減の観点から空港場内で発生したコンクリート殻をC-40と同等の粒径に砕石（以下、「流用砕石」という。）し、杭体造成に再利用したことにより、コンクリート殻破砕費用が新たに発生するものの、砂購入費とコンクリート殻処分費の縮減を可能とした。

今回の工事では、締固砂杭2,509本に流用破石（25,305m³）を、締固砂杭4,746本に購入材の再生砕石RC-40（43,803m³）を使用し、全体工事費に対しておよそ30%のコスト縮減を図った。

再生砕石RC-40は、東京国際空港においてSCP工法に数多く使用されているが、流用砕石の有効利用については、平成17年度に初めて実施しており、本件を含めこれまでに3件の工事で施工例がある。

(3) 施工上の留意点

流用砕石をSCP用材に使用するに当たっては、当初、流用砕石の微粒分には再固結性があり、この微粒分がエアージェットに付着しジェットが完全に閉じない場合、ケーシング内の圧搾空気が隙間から漏れて砕石の排出が不十分となり、杭造成の出来形不足がおきないか。また50mm以上の礫分は、砕石排出の際、ケーシング先端に詰まりや、造成杭の施工が中断される可能性がないか懸念されていた。

しかし、今回の工事において、図5に示すとおり、通常の破砕工程（粒径150mm程度に一次破砕し、金属類を取り除いた後に、粒径40mm程度に二次破砕）でSCP用材に使用できる流用砕石の製造が可能であることが確認できた。

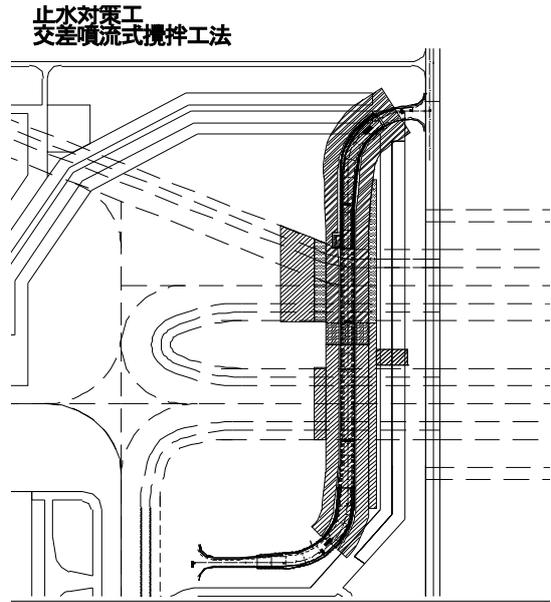


図4 改良平面図

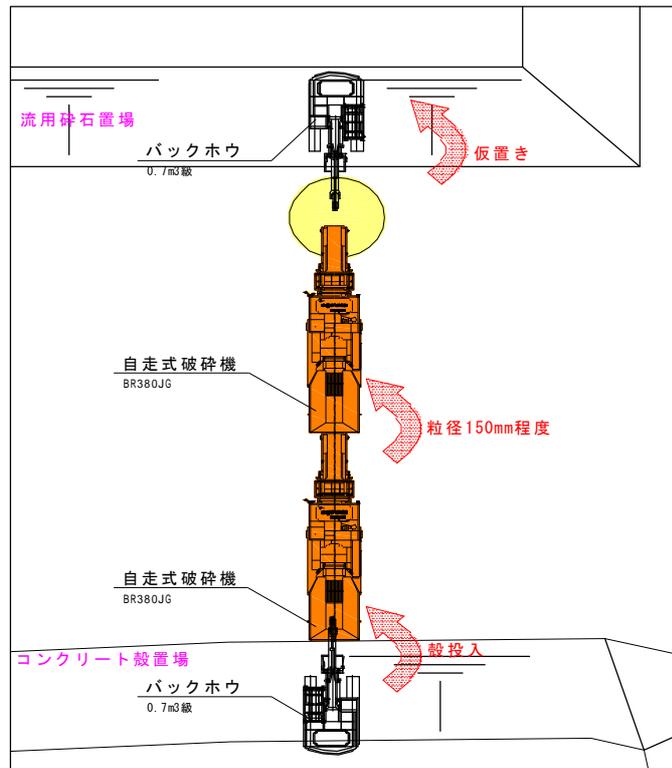


図5 コンクリート破砕機配置図

4. 山留工の止水対策の施工

(1) 止水対策の概要

山留工の断面図を図-6に示す。本地下連絡通路を築造するための山留工には、前述のとおり、鋼矢板+切梁方式が、その止水対策としては交差噴流式複合攪拌工法（JACSMAN）が採用された。

JACSMANは、山留工（延長約430m）を囲う様に、土留め矢板内側に280本、改良総延長：6,250m実施した。（図-7参照）

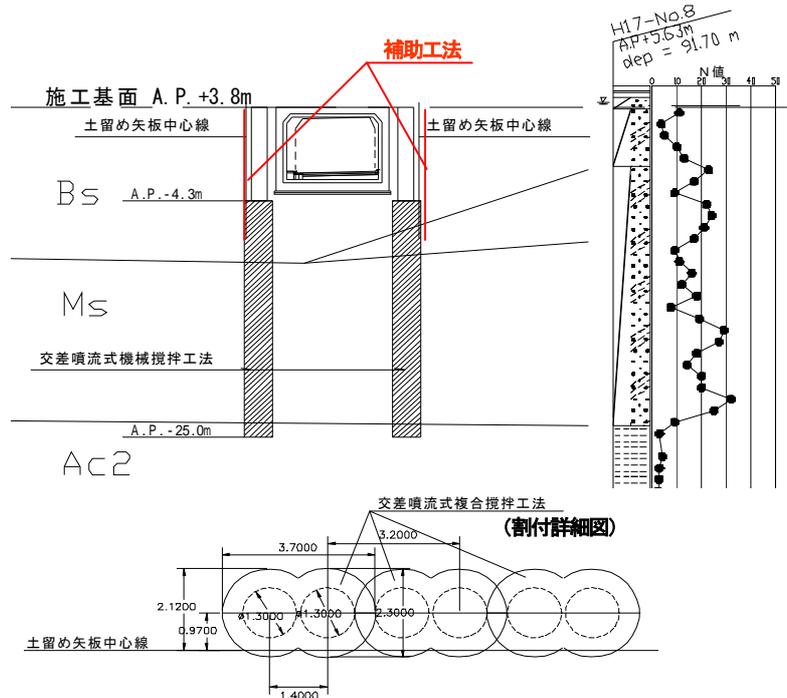


図-6 仮設工断面図

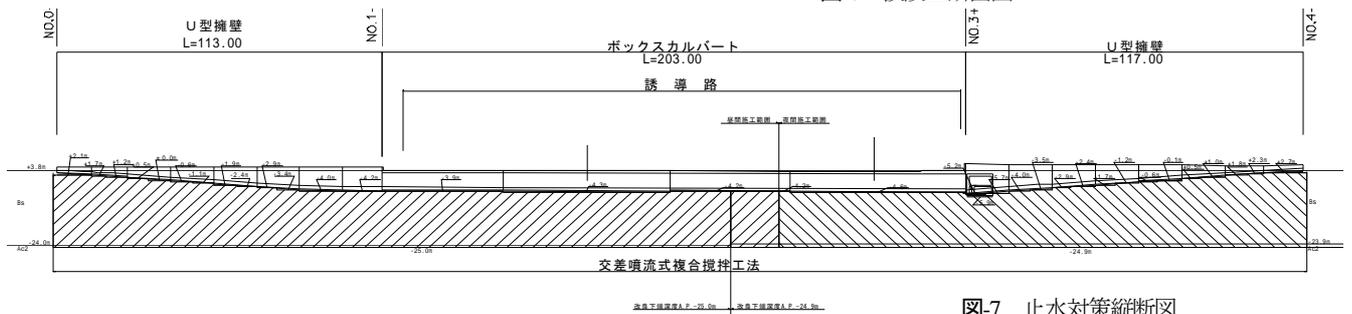


図-7 止水対策縦断面図

(2) 現地試験施工（入札時 VE 提案内容）

JACSMANは、貫入ヘッド形状・プレジェット方向・造成引き上げ速度の違いにより出来形にばらつきがでるため、まず、施工に先立ち、JACSMANの出来型及び品質を確保するための現地試験施工を行い現場に最適な貫入ヘッド・施工方法の確認を行った。

<試験施工時の確認項目>

- ・ 所定の改良径の確保
- ・ 均質な改良体造成が可能となる貫入ヘッドの選択
- ・ プレジェット噴射位置・方向・時間及び造成引き上げ速度

<試験ケース及び試験結果>

模式図		
	通常地盤用ヘッド	硬質地盤用ヘッド
貫入ヘッド	通常地盤型	硬質地盤型
プレジェット	噴射部	先端噴射部

図-8 貫入ヘッド形状

試験ケース	試験結果
通常地盤型貫入ヘッド（プレジェット無し）	障害物や硬質地盤のため観入不可能
通常地盤型貫入ヘッド+削孔時プレジェット併用	改良体造成時間：129分，羽田で施工実績あり
硬質地盤型貫入ヘッド+削孔時プレジェット併用	改良体造成時間：132分

上記の結果から通常地盤型貫入ヘッド+削孔時プロジェクト併用を採用した。



写真-2 貫入ヘッド：標準タイプ



写真-3 試験施工出来形確認

(3) 室内配合試験

次に、JACSMAN のセメント添加量を決定するため、室内配合試験を実施した。

今回は、止水対策を目的としており、この場合セメント添加量は相当分を用いることで砂質土でも 10^{-6}cm/sec を確保することが可能であり、また、止水効果を維持するためには構造体としての強度も必要である。

従って、設計基準強度を先行地中梁や底盤改良など地中構造体として適用する場合の JACSMAN の標準的な $1,000 \text{kN/m}^2$ (安全率を 1.5, 室内目標強度 $1,500 \text{kN/m}^2$) を目標強度とし、室内配合試験の仕様を表-2 の通りとした。

<室内配合試験結果>

表-2 の仕様に基づき実施した室内配合試験の結果を表-3 に示す。

表-2 室内配合試験仕様

仕様項目		パターン			
対象土層	層	Bs・Ms			2 土層
セメント種類	—	JACSMAN 1 号			1 種類
セメント添加量	(kg/m^3)	130	150	190	3 配合
配合水	—	水道水・海水			2 種類
W/C	—	1.0			1 種類
材令	(日)	7・14・21・28			4 材令
供試体数	供試体	3			3 供試体
作成供視体本数		144			

表-3 室内配合試験結果

土層	項目		水道水			海水		
			130	150	190	130	150	190
Bs	セメント添加量(kg/m^3)		130	150	190	130	150	190
	7	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	1036	1221	1311	1078	1418	1741
	14	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	1223	1427	1690	1263	1593	2013
	21	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	1328	1586	1781	1356	1721	2144
	28	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	1351	1620	1860	1420	1752	2184
Ms	セメント添加量(kg/m^3)		130	150	190	130	150	190
	7	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	941	1011	1137	1016	1141	1264
	14	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	1104	1203	1239	1168	1314	1532
	21	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	1253	1388	1502	1323	1426	1545
	28	一軸圧縮強さ(kN/m^2)	1276	1411	1663	1347	1470	1678

<配合の決定>

表-2より、当現場における配合水は、水道水よりも海水の方が強度発現の良い事が確認され、現地でも調達しやすいことから、配合水は海水を用いることとした。

また、セメント添加量は、Ms層での強度発現が低いことから、Ms層で海水を配合水として使用した場合の室内目標強度 $1,500\text{kN}/\text{m}^2$ 以上となるセメント添加量として、 $160\text{ kg}/\text{m}^3$ 採用することとした。(図-9参照)

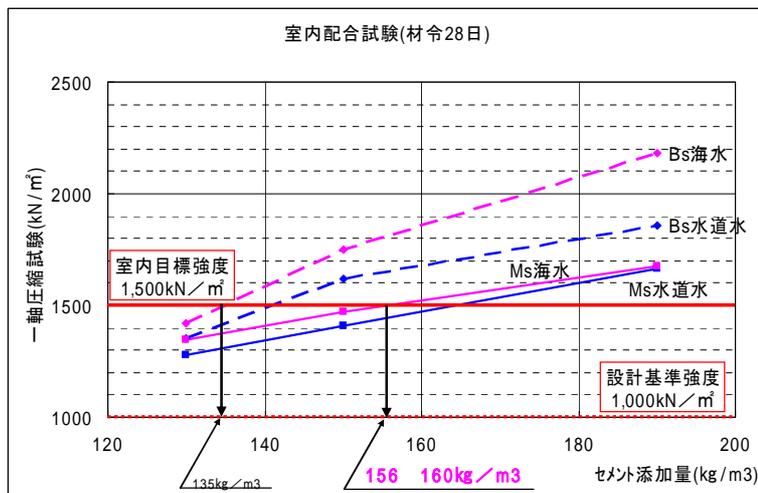


図-9 一軸圧縮試験とセメント添加量の相関図

(4) 事後調査

施工エリア内における代表的な地点1地点において、Bs・Msの各土層3供試体を採取し一軸圧縮強さを測定した結果、表-4のとおりであり、いずれも設計基準強度を満足している。

表-4 事後調査結果(材令28日)

土層	Bs			Ms		
	一軸圧縮強さ(kN/m²)	1,435	1,754	2,505	2,107	1,861
平均値>設計基準強度(kN/m²)	1,898 > 1,000			1,732 > 1,000		

(5) 確実な止水を確保するための対策

本工事は、入札時VEとして、「山留工における確実な止水を確保するための施工管理」に関して提案を求め、前述の4.(2)「現地試験施工」、並びに、以下の対策を実施した。

鋼矢板継手部への止水材の塗布

鋼矢板継手部に水膨張性止水材(特殊高分子ウレタン系水膨張性ゴム弾性体)を塗布することにより、この止水材が地下水と反応して継手部の空隙が充填されることで止水性の確保を図った。

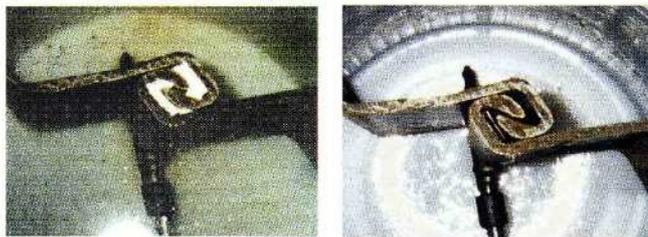
塗布した継手部より地下水漏水はほとんどなく掘削時・掘削時のドライワークを確保することができた。



写真4 止水材の塗布状況



写真5 現場搬入時の品質確認



水浸漬後(24時間経過)

水浸漬前 塗布量3mm厚

写真6 室内浸透試験

平面線形に合わせた継手鋼矢板の使用

鋼矢板折れ点部における重ね打ちによる漏水防止のため、平面線形折れ点部にあった継手折れ角度を有する鋼矢板を工場製作し継手のかみ合わせを確実にし、漏水防止を図った。

継手鋼矢板を使用したことにより通常見られる折れ点部継手部の漏水は見られなかった。



写真7 異形鋼矢板

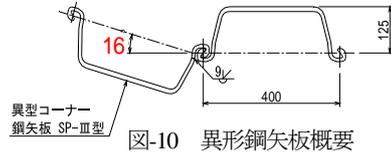
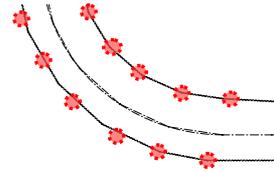


図-10 異形鋼矢板概要



部：異形鋼矢板使用箇所

鋼矢板の凹凸部にできる未改良部分の改良の実施

鋼矢板の凹凸により発生する未改良部分（図-11の赤部分：今回の施工ではおおよそ 0.04 m² 程度）を薬液注入し止水を確実にしたことから、掘削底面からの地下水湧出は見られなかった。

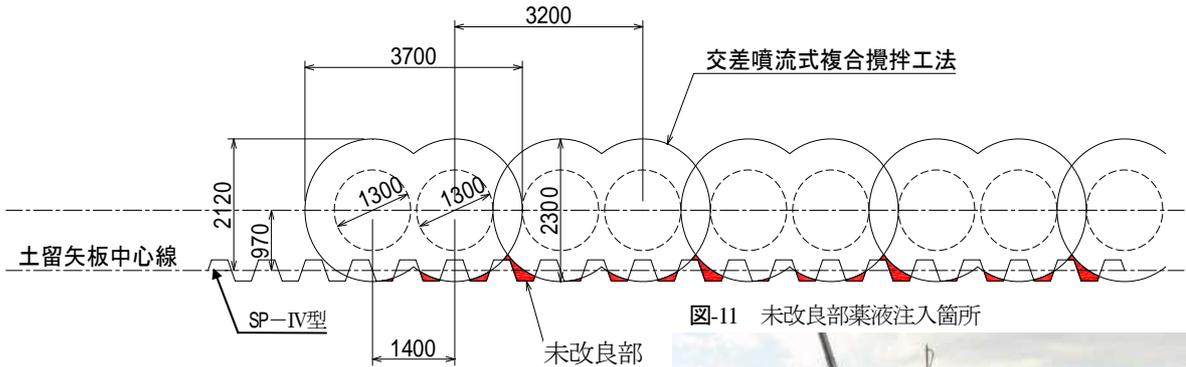


図-11 未改良部薬液注入箇所



写真8 薬液注入

交差噴流式複合攪拌工法の出来型及び品質の確保

隣接する改良体を連続して打設せず1本おきに造成することにより、改良体の水平方向への累積変異を抑制することができ、改良体造成の精度を向上させた。

下図の番号順に打設することにより、隣接する杭を連続施工しない

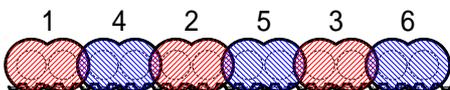


図-12 改良体造成順序例

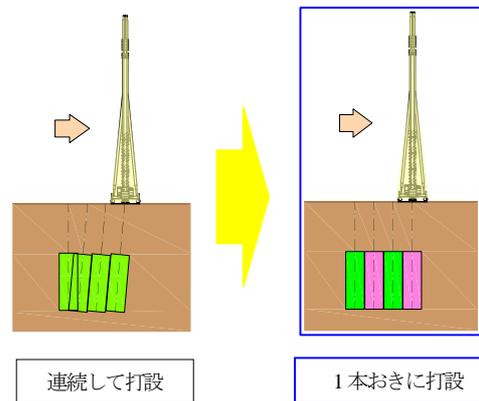


図-13 改良体造成手順

先行釜場の設置

先行釜場（400 スリット管付）を設置することにより、山留工内のたまり水を先行排水し、ドライワークを確保して掘削効率を改善した。

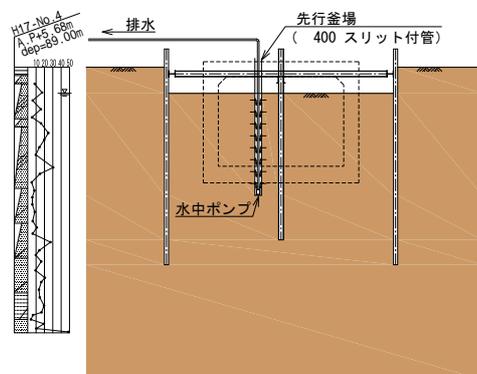


図-14 先行釜場概要図



写真9 先行釜場

(3) 今回の施工で留意した点

今回の施工では、現場周囲の地下水位が AP+2.8m 程度と非常に高く確実な止水対策を実施しなければ掘削工・躯体工の施工及び進捗に大なる影響を与える事が想定されたため、止水ラインとなる鋼矢板及び地盤改良工の施工管理には特に留意した。

また、万が一部分的な不具合が発生したとしてもドライワークが確保できるように前述のように確実な止水を確保するための対策（先行釜場、補足薬液注入、鋼矢板継手止水材）を実施するとともに、掘削の進捗に合わせた掘削底面並びに鋼矢板からの漏水確認を行い不具合の早期発見に努力した結果、本工事は大きな問題もなく順調に進捗している。

5. おわりに

本場周地下通路の工事は、本年 11 月の完成を目指しており、その後、D滑走路建設に伴う誘導路の最終的な擦り付け舗装工事が計画されており、現空港においても、平成 22 年 10 月の D滑走路の供用を見据えた工事は正念場を迎えている。

現空港は、滑走路が供用されている中での工事になることから、今後とも空港内の運用ルールを遵守し、施工方法・施工時間等について関係各所と十分な調整を図りつつ、航空機の安全を第一に、また、工事での災害事故「ゼロ」を目指して工事を進めていく所存である。