

羽田再拡張事業 D 滑走路における 管中混合固化処理船団

渡 邊 雅 哉

東京国際空港 D 滑走路建設外工事は、現空港 C 滑走路の約 0.6 km 沖に D 滑走路 (2,500 m × 60 m) および連絡誘導路 (本体幅 30 m × 2 本) の新設と第一航路の移設を行うものである。D 滑走路島の建設エリアは、多摩川河口部に位置し、多摩川の河川流を阻害しないように、埋立と栈橋を組み合わせたハイブリット構造となっている。護岸背面には全埋立土量約 3,800 万 m³ の約 15% にあたる約 570 万 m³ を山砂よりも軽量のセメント固化処理土 (管中混合固化処理土 490 万 m³, 軽量混合処理土 80 万 m³) を使用し、護岸断面のスリム化、沈下量の低減、浚渫土砂の有効利用を図っている。

固化処理土工は、D 滑走路外周護岸前面の床掘部の浚渫土、第一航路の移設により発生する浚渫土、他事業からの提供される浚渫土を原料土として有効利用しており、平成 20 年 10 月から着工し、平成 21 年 11 月の 1 年間に渡って施工を行った。本稿では、本工事における管中混合固化処理土の施工内容および管中混合固化処理船団の特徴に関して紹介する。

キーワード：空港、埋立、固化処理土、管中混合

1. はじめに

東京国際空港 (羽田空港) は、国内空港ネットワークの基幹空港であり、増加する航空需要に対して、その空港処理能力は既に限界に達している状況にある。再拡張事業は、D 滑走路、国際線地区の旅客ターミナル、貨物ターミナル、エプロンの各整備事業で構成されている。このうち、D 滑走路整備事業は年間の発着能力を現在の 29.6 万回から 40.7 万回に増強するために、新たに 4 本目の滑走路を整備する事業である。

本事業で整備する D 滑走路の計画図を図 1 に示す。D 滑走路を支持する基盤施設は、埋立法と栈橋工法を組み合わせた構造である。多摩川河口域については、通水性を確保するため栈橋構造としている。滑走路の延長は 2,500 m、計画高は第一航路を航行する船舶との干渉を避けるために、第一航路側端部で A.P. + 17.1 m (最高点)、多摩川側端部で A.P. + 15.0 m となっている。既往の海上空港に比べ、計画高さが非常に高いことが特徴である。なお、D 滑走路と現空港は連絡誘導路で接続する。

また、施工期間が約 3.5 年と非常に短くこれまでに類のない大量急速施工が要求されていることも本事業の特徴である。

埋立部は軟弱な粘性土層が A.P. - 20 m ~ A.P. - 60 m の約 40 m の層厚で厚く堆積しており、水深 A.P. - 20 m

の大水深の海域に、非常に高い盛土を短期間で施工する必要がある。護岸背後の盛土高が高いことから護岸の安定性の向上のため、護岸前面の軟弱な粘性土層を床掘・置換し、床掘により発生した粘性土をセメント固化処理して護岸背面に軽量盛土材 (管中混合固化処理土) として使用する構造としている。

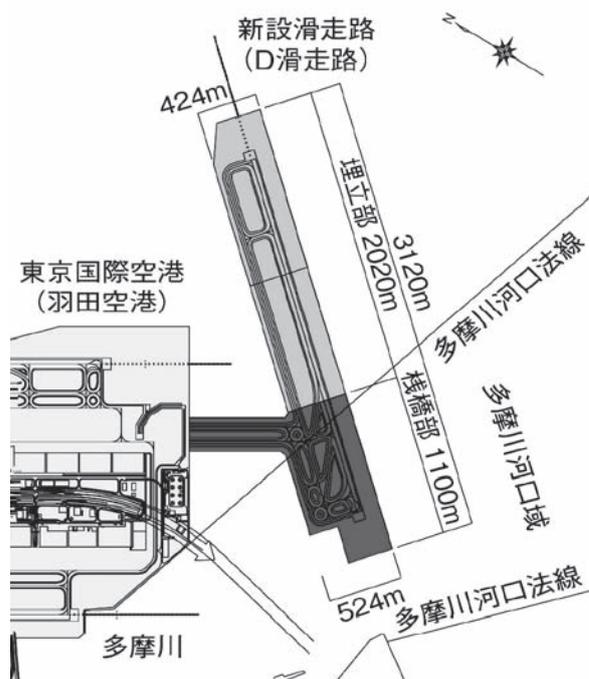


図-1 D 滑走路の計画図

2. 羽田 D 滑走路の管中混合固化処理工

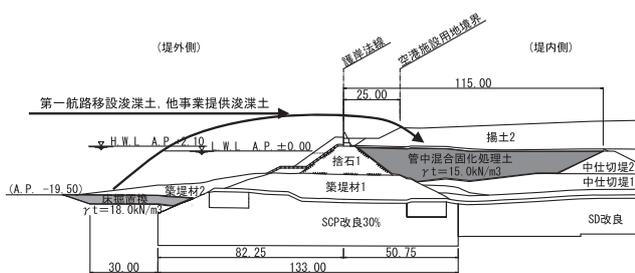
埋立護岸は、護岸下部に改良率 30%の低置換 SCP、護岸背後の埋立部に SD 改良を採用しており、盛土荷重による圧密沈下および原地盤の強度増加を確認し、護岸全体の安定性を確保しながら施工を進めている。

図一 2 に埋立部における管中混合固化処理土を採用した傾斜堤護岸の断面図を示す。

管中混合固化処理土（以下、管中処理土）を採用することは、埋立柱材で多く利用されている山砂（単位体積重量 18 kN/m³ 程度）に比べて、管中処理土が 14 ~ 15 kN/m³ 程度と軽い地盤材料となり、残留沈下を抑える効果がある。また、浚渫土を固化処理によって粘着力を高め、高強度化することで構造物に作用する土圧を低減させる効果もある。管中処理土を護岸背面に軽量埋立材料として有効利用することで、地盤改良幅の縮減、ケーソン断面の縮小、沈下量の低減を可能としている。さらに、護岸前面を在来地盤より単位体積重量の大きな岩ズリで床掘置換することで、円弧滑りに対するカウンター効果を持たせた設計となっている。

当工事の管中処理土に使用する原泥は、護岸前面の床掘および第一航路の移設により発生する浚渫土と他事業から提供される浚渫土を有効利用している。

その他、羽田 D 滑走路における管中混合固化処理土の施工・設計・品質管理等に関しては、別途報告している文献^{2,5)}を参照されたい。



図一 2 傾斜堤護岸断面図

3. 管中混合固化処理工法

管中混合固化処理工法¹⁾は、浚渫土をリサイクル材料として有効利用した固化処理工法であり、空気圧送にて軟弱土を輸送する際に固化材を添加し、空気圧送管内で発生するプラグ流による乱流効果を利用して軟弱土と固化材を混練する工法である。既存の空気圧送設備を利用して固化材の添加装置を追加するのみで対応可能で、大容量急速施工が可能であり、埋立地の早期利用が可能である。

管中処理土の施工フロー図を図一 3 に示す。施工は、以下の流れで管中処理土を製造・埋立を行う。

① 浚渫・運搬

床掘、第一航路、当局提供土より浚渫された原泥を土運船で各船団の空気圧送船まで運搬する。

② 解泥・揚土・圧送（空気圧送船）

土運船内の浚渫土砂をスタビラーザイ付バックホウで均一に解泥して揚土する。必要に応じて加水を行いポンプ圧送するとともに、圧縮空気を注入し空気圧送を開始する。

③ 固化材添加（固化材供給船）

固化材は、固化材供給船からセメントスラリー（セメント+海水）でライン添加方式で固化材を添加する。当工事では、高炉セメント B 種を使用した。

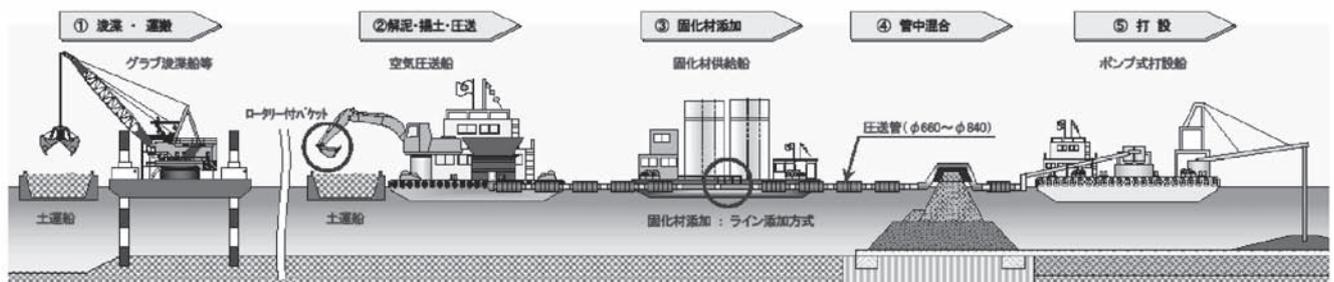
④ 管中混合（圧送管）

管中工法の特徴である圧送管内の乱流効果を利用して浚渫土砂と固化材を均一に混練りする。

（4. 1）混練原理参照）

⑤ 打設（ポンプ式打設船）

圧送された処理土は、減勢装置で空気と処理土に分離し再度、圧送ポンプにて処理土を所定の埋立場所にポンプ打込み方式にて打設する。



図一 3 管中混合固化処理工法の施工フロー

4. 管中混合固化処理工の作業船

(1) 羽田 D 滑走路の管中固化処理船団

羽田 D 滑走路工事の管中混合固化処理工は、1 船団あたり、打設能力 1,000 m³/hr クラスの空気圧送船、固化材供給船、ポンプ式専用打設船で構成され、3 船団で施工を行った。

作業船の特徴として、打設場所の最大水深が -10 m 程度と深いため、水中打設時の材料分離等の品質低下を防止するために、すべての打設船をポンプ圧送式とし、筒先を打設処理土の中に挿入したまま打ち上げ、海水が混入しない打設方法を採用している。また、空気圧送船のバックホウにはスタビライザー（解泥機）を搭載し、浚渫土の解泥および含水比等の土質を均一化する時間を大幅に短縮している。羽田 D 滑走路工事で使用した管中混合固化処理船団構成を表一に示す。

表一 管中固化処理船団一覧表

船 団	管中船団①	管中船団②	管中船団③
船種・船名	空気圧送船「博洋」	空気圧送船「TOTRAⅢ」	空気圧送船「風神丸」
船体寸法	L60m×B22.8m×D5.1m	L65m×B26m×D4.5m	L60m×B26m×D3.5m
バックホウ	EX-1800 1台 9.7m ³	EX-1800 2台 9.4m ³	EX-1100 2台 5.12m ³
公称能力	1,000m ³ /h	1,000m ³ /h	1,000m ³ /h
船種・船名	固化材供給船「SEAGULL」	固化材供給船「CP-3600」	固化材供給船「龍田丸」
船体寸法	L55m×B21m×D2.5m	L60m×B21m×D4.5m	L50m×B20m×D4.0m
サイロ容量	500t×2基	1,200t×2基	1200t
受入能力	70t/h×2基	300t/h×2基	350t/h
移送ホップ	40m ³ /h×4基	50m ³ /h×4基	40m ³ /h×4基
船種・船名	打設船「関翔」	打設船「野分」	打設船「第77扇栄」
船体寸法	L58m×B22.4m×D5.1m	L60m×B25m×D3.5m	L65m×B26m×D4.5m
打設ポンプ	500m ³ /h×2基	550m ³ /h×2基、250m ³ /h×1基	550m ³ /h×2基、250m ³ /h×1基
公称能力	1,000m ³ /h	1,000m ³ /h	1,000m ³ /h
施工管理	GPS船位システム 測深機(オートレド)	GPS船位システム 測深機(オートレド・レーザープロファイナ)	GPS船位システム 測深機(オートレド・レーザープロファイナ)

(2) 空気式圧送船の特徴

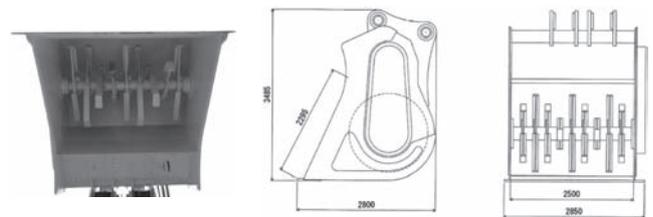
揚土・圧送する前に、空気圧送船に装備された揚土用バックホウのスタビライザー（解泥機）で、土運船内の浚渫土を解泥し、含水比等の土質を均一にした。

当工事において、初めて、空気圧送船にスタビライザーを搭載したバックホウによる解泥を採用した。空気圧送船「博洋」の約 10 m³ バケットに搭載したスタビライザーは、国内でも最大級のサイズになる。9 枚の攪拌翼を備え最大 80 rpm で回転する。写真一に空気圧送船「博洋」、写真二および図一に博洋に搭載されたバケットを示す。

満載排水屯数 3,525 t、全長 60 m の空気圧送船「博洋」は、圧送能力 1,000 m³/h および圧走距離 3,000 m を可能とする油圧ポンプおよびコンプレッサを備えた国内最大級の空気圧送船である。



写真一 空気圧送船「博洋」



写真二、図一 博洋に搭載されたバケットスタビライザー

(3) 固化材供給船の特徴

国内最大級の固化材供給船「SEAGULL」は、40 m³/h × 5 基を備えたスラリープラントと 500 t × 2 基のセメントサイロを装備した、圧送中の管内浚渫土に固化材を注入する固化材供給船である。写真三に固化材供給船「SEAGULL」を示す。



写真三 固化材供給船「SEAGULL」

固化材供給船「SEAGULL」は、浚渫土と固化材を十分に混練するために定量的に固化材を添加することを目的とした Pipe-Mixing 工法の設備を設置している。

(4) ポンプ式専用打設船の特徴

写真四に示す「関翔」は、圧送能力 1,000 m³/h の油圧式圧送ポンプを搭載したポンプ式専用打設船である。長さ 60 m の旋回式スプレッダーと水深 10 m の打設に対応できるように先端部分に 15 m のゴムスリーブを当工事に用い、艦装した。また、GPS による打設位置管理システムおよび打設深度を把握するためのオートレドを搭載している。

固化処理土の水中打設時の材料分離等の品質低下を防止するためにポンプ圧送式を採用している。GPS より筒先の深度を把握し、オートレドで打設処理土

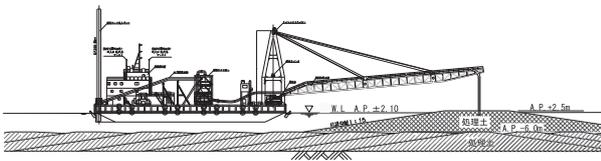
の高さを確認して筒先が常に打設処理土の中に挿入したまま打ち上げ、海水が混入しない打設方法を採用している。



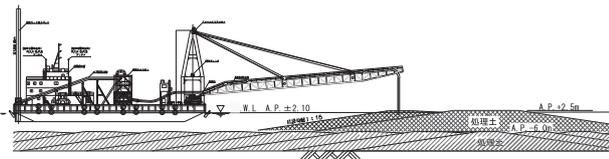
写真—4 ポンプ式専用打設船「関翔」

固化処理土の打設は、外周護岸と埋立部側の中仕切堤に挟まれた約 100 m の幅を横方向にスイングしながら打設計画天端 AP + 2.5 m まで打ち上げて、打設船を後進しながら打設を行った。図—5 に打設手順を示す。

①管中（上部）打設高AP+2.5mまで横方向にスイングして打設



②管中（上部）打設高AP+2.5mまで打設後、後退して再打設



図—5 打設手順

写真—5 は、打設後の固化処理土の写真を示す。

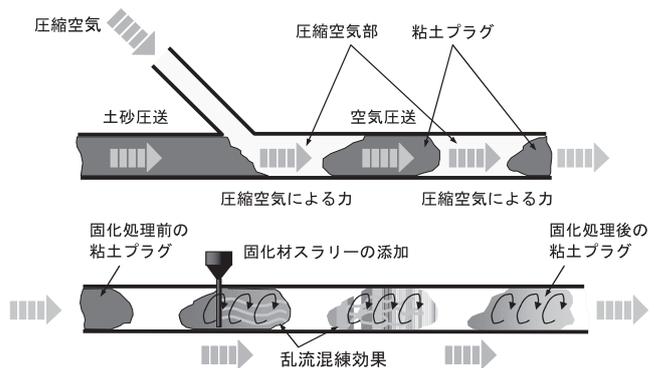


写真—5 打設後の固化処理土

5. セメント添加方法

(1) 管中混合の原理

図—6 に混練原理を示すとおり、浚渫土を空気圧送する際、空気圧送中の管内では浚渫土と圧縮空気の混相流であるプラグ流が発生する。粘性土のプラグ流は乱流効果となって圧送されているため、粘土プラグは形成と変形を繰り返している。この粘土プラグに固化材スラリーを添加すると、乱流効果によって、粘性土と固化材を十分に混練することができる。



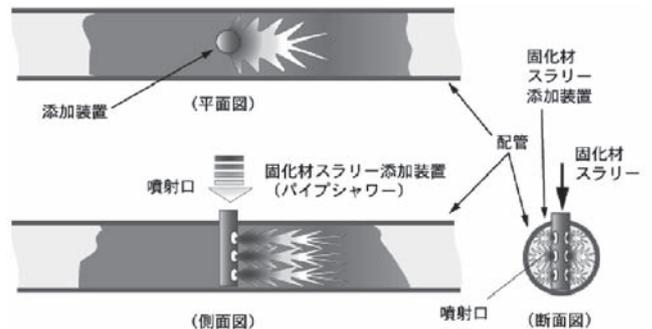
図—6 混練原理

(2) Pipe-Mixing 工法

Pipe-Mixing 工法とは、粘性土と固化材を均一な混練効果を上げるための「パイプシャワー式固化材添加システム」、「プラグ検知式定量添加システム」「配合管理システム」を総称した工法名です。

(a) パイプシャワー式固化材添加システム

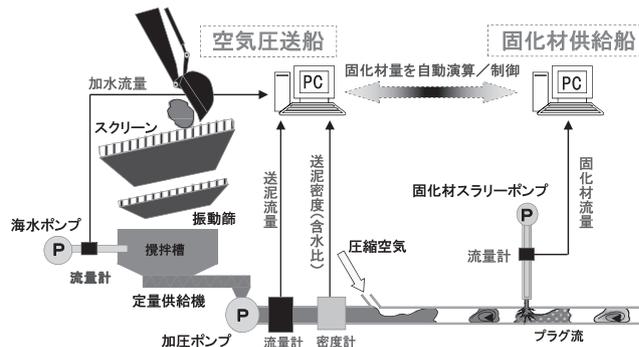
固化材スラリーの噴射孔を多数備えたパイプを圧送管に複数設置し、粘土プラグ内部へ固化材スラリーを直接添加させる。プラグ内へ直接添加することで、混練固化を高める。図—7 にパイプシャワー式固化材添加システムおよび写真—6 に実際の圧送管に設置されたパイプシャワーを示す。



図—7 パイプシャワー式固化材添加システム



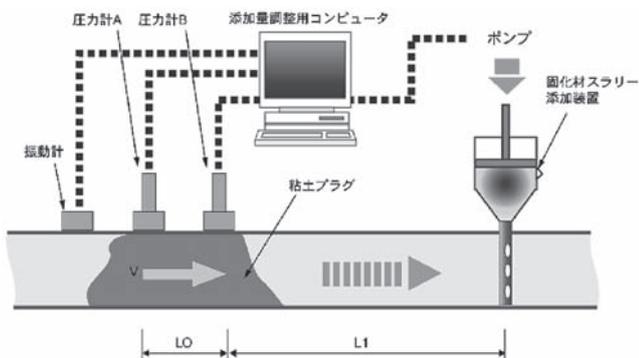
写真一六 実際の圧送管に設置されたパイプシャワー



図一九 配合管理システム

(b) プラグ検知式定量添加システム

図一八にプラグ検知式定量添加システムを示す。空気圧送船より送られた粘土プラグを振動計と圧力計により検知する。次に、コンピュータによりプラグの流速とプラグ量を計算で求め、プラグが添加装置に到達する時間を予測し、通過するときにプラグ量（土量）に見合った固化材スラリーを添加するシステムである。定量の固化材スラリーを添加するので、品質（強度）のバラつきを小さくすることができる。



図一八 プラグ検知式定量添加システム

(c) 配合管理システム

空気圧送船にて送泥した湿潤密度を連続計測して湿潤密度から W：水分量（含水比）を割り出す。事前配合試験より求めた設定強度に必要な処理土の W/C（水セメント比）が一定となる固化材添加量（C）を求め、プラグ検知式定量システムから算出されたプラグ量（V）に必要な固化材量（C × V）を添加するための自動演算・制御する配合管理システムを利用している。配合管理システムで、送泥された土量内の水分量変化に対応することができる。

6. おわりに

今回、羽田再拡張事業 D 滑走路における管中混合固化処理船団の一部を紹介した。管中固化の施工は、平成 21 年 11 月に完了し、12 月時点で工事全体の約 9 割が完了している。平成 22 年 8 月竣工、10 月の開港に向けて、今後より一層の安全第一を心掛け、無事故で完成を迎える所存である。

JCMA

【参考文献】

- 1) 沿岸技術研究センター：管中混合固化処理工法技術マニュアル（改訂版），2008.7
- 2) 大和屋隆司・御手洗義夫・渡邊雅哉・野口孝俊：羽田再拡張事業 D 滑走路建設における管中混合処理工の設計と計画，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.8
- 3) 居場博之・御手洗義夫・大和屋隆司・渡邊雅哉・原田勉：羽田再拡張事業 D 滑走路における管中混合固化処理工—その 1 事前配合試験結果—，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.8
- 4) 渡邊雅哉・御手洗義夫・大和屋隆司・村岡宏昭：羽田再拡張事業 D 滑走路における管中混合固化処理工—その 2 現場配合と施工状況（中間報告）—，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.8
- 5) 御手洗義夫・大和屋隆司・渡邊雅哉・西川優輝：羽田再拡張事業 D 滑走路における管中混合固化処理工—その 3 現場強度（中間報告）—，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.8

【筆者紹介】

渡邊 雅哉（わたなべ まさや）
 五洋建設㈱
 羽田再拡張 D 滑走路建設工事共同企業体
 護岸・埋立 (I) 工区

