

自硬性泥水固化工法による 地中壁築造の試験施工

米田 暉¹

¹関西エアポート株式会社 基盤技術部 2期島地下水対策プロジェクトチーム

(〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

関西国際空港は透水性の高い地盤であるため地下水位が潮位の影響を受けやすく、地下水変動の抑制が空港施設の維持管理上の重要課題となっている。1期島では空港島全周に連続地中壁を構築して対策を実施しており、2期島においても同様の地中壁を計画している。2期島は、大粒径岩砕を含む点は1期島と共通であるが、埋立層が約10 m厚く、表層約10 mでN値50以上が連続する特徴を有する。これらの条件が連続地中壁の施工性に及ぼす影響を把握し、その止水性能と施工効率を確認するため、2期島の原地盤において複数工法による試験施工を実施した。本稿は、自硬性泥水固化工法について詳細に報告する。

キーワード 安全、連続地中壁、試験施工、止水性能、施工効率

1. はじめに

関西国際空港は大阪湾泉州沖合約5kmに造成された人工島上に建設された海上空港であり、透水性の高い地盤であるため地下水位が潮位の影響を受けやすく、地下水変動の抑制が空港島の維持管理上の重要課題となっている。1期島では空港島全周に連続地中壁を構築し、その高い止水効果が確認されていることから、2期島においても同様の対策を計画している。

一方、2期島は最大約300mmの大粒径岩砕を含む点は1期島と共通であるものの、埋立層厚が平均約40mと1期島より約10m厚く、さらに表層約10mが高密度に締め固められ、N値50以上が連続する地盤条件を有している。このような条件は連続地中壁の施工性に影響を及ぼす可能性があるが、同様の施工条件下での施工実績は少なく、その適用性は十分に確認されていなかった。

そこで、地中壁の止水性能の確保および各工法の適用性を把握することを目的として、TRD工法、深層混合処理工法、泥水固化工法および自硬性泥水固化工法の4工法を対象とした試験施工を実施した。試験施工の結果、深層混合処理工法を除く3工法については、施工性および施工効率が良好であることを確認し、本施工への適用が可能であると判断した¹⁾。

その後、適用可能と判断した3工法に1期島で多数実績のあるCRM-P工法を加えた計4工法を対象として、入札者が最適と考える工法を選択できる工法選択型入札方式により発注を行った。その結果、本施工において自硬性泥水固化工法を提案した業者が選定され、2026年6月よ

り施工を開始している。

本稿では、自硬性泥水固化工法の試験施工結果を中心に、施工性および品質確認結果について報告するとともに、本施工での適用状況について述べる。

2. 試験施工における自硬性泥水固化工法の概要

(1) 自硬性泥水固化工法の概要

自硬性泥水固化工法は、溝壁崩壊を防止する安定液に固化剤を混練した自硬性泥水を用いて地中壁を築造する工法である。試験施工では、図-1に示す施工フローに従い、幅0.8m、長さ3.4mのバケット掘削機を用いて、自硬性泥水を注入しながら掘削を行う。

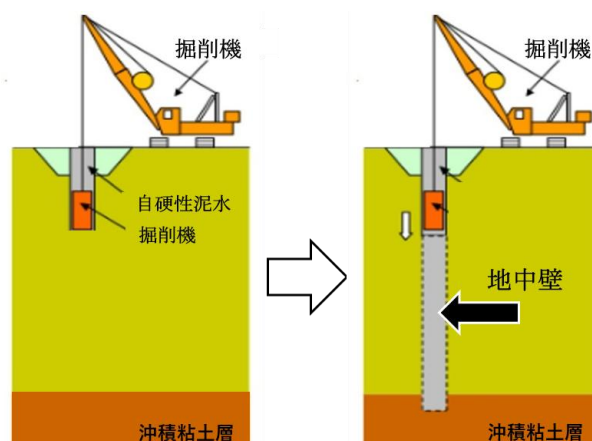


図-1 施工フロー

本工法は、掘削と同時に壁体造成を行うことから、掘削後にセメントを安定液に混合させ、攪拌を行う泥水固化工法に比べ、施工時の省力化および施工速度の向上が期待できる。一方で、本工法は掘削と同時に固化も進行するため、掘削開始から壁体造成完了までを連続的に行う必要がある。なお、本工法は我が国における施工実績が少なく、大粒径岩砕を含む埋立地盤への適用事例も限定的である。

(2) 試験施工の内容

試験施工は、図-2に示す2期島南エリアにおいて実施した。泥水固化工法および自硬性泥水固化工法の試験ヤードを図-3に示す。図-3に示す施工エレメントのうち、赤色で示すG1～G4が自硬性泥水固化工法で実施したものである。各エレメントの設計深度は35.4mとし、その断面構造を図-4に示す。本試験施工では、まずG2を先行エレメントとして施工し、次いでG3およびG4を既設壁体を0.4mラップして切削しながら施工する後行エレメントとして施工した。これは、エレメント間の連続性を確保し、止水性を向上させるためである。また、G1は片押しエレメントとして施工した。地中壁の品質劣化を防止する頭部補強を行った。頭部補強工を含む断面構造を図-4に示す。

地中壁の要求性能は、1期島における連続地中壁の検討結果を踏まえ、表-1のとおり設定した。出来形管理項目として粘土層への根入れ長、壁厚および鉛直精度を設定し、品質管理項目として一軸圧縮強度および透水係数を設定した。

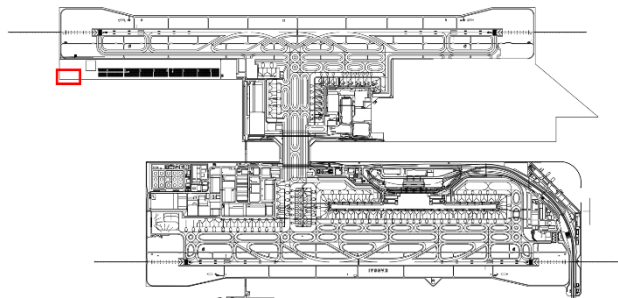


図-2 工事範囲

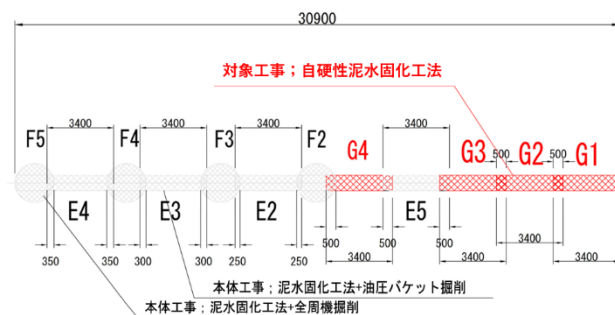


図-3 施工ヤード平面図

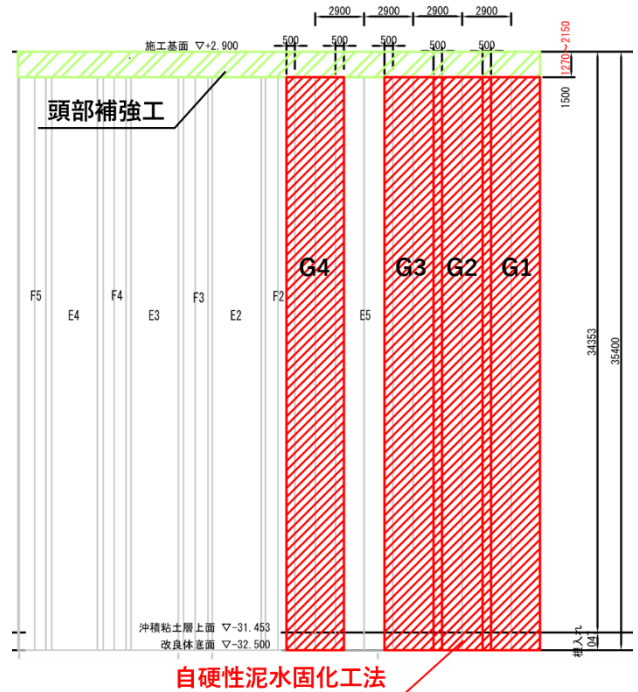


図-4 断面図

自硬性泥水の性状および地中壁としての性能を確保し、最適な配合を決定するため、試験施工に先立ち室内配合試験を実施した。表-2に選定した標準配合を示す。配合選定にあたっては、一軸圧縮強度600kN/m²以上および透水係数1.0×10⁻⁷m/s以下の要求性能を満足することに加え、試験施工箇所では約18時間の長時間掘削が想定されたことから、施工完了まで安定した流動性を維持するとともに、一体的な固化壁の形成に求められる施工材料分離抵抗性を確保する必要があった。そこで、粘性試験およびブリージング率試験を実施し、その結果を総合的に評価して配合を決定した。

表-1 連続地中壁の要求性能

要求性能の分類	項目	基準値
止水性	粘土層への根入れ長	1.0m以上
	鉛直精度	1/300以下
	透水係数	1.0×10 ⁻⁷ m/s以下
耐震性	壁厚	600mm以上
	一軸圧縮強度	600kN/m ² 以上

表-2 自硬性泥水の標準配合(水1m³あたり)

項目	材料名	配合
ベントナイト	白馬	80.0kg
逸泥防止剤	マイカ	10.0kg
固化剤	ジオセツト15	200.0kg
遅延剤	ジオリター	1.65kg

3. 試験施工結果

(1) 出来形

本試験施工の出来形確認結果を表-3に示す。出来形管理項目は、粘土層への根入れ長、壁厚および鉛直精度とした。その結果、全エレメントにおいて粘土層への根入れ長は管理基準である1.0m以上を確保した。また、壁厚についても全測定箇所で600mm以上を確保し、管理基準を満足した。鉛直精度についても、全エレメントにおいて管理値である1/300以内となり、所定の出来形を確保していることを確認した。以上より、本工法は2期島特有の地盤条件においても、高い施工精度で地中壁を築造可能であることを確認した。

表-3 出来形

管理項目	測点			
	G1	G2	G3	G4
根入長	1.1m	1.0m	1.3m	1.3m
鉛直精度 (南北)	1/350以下	1/700以下	1/700以下	1/∞
掘削精度 (東西)	1/318以下	1/700以下	1/700以下	1/∞
壁厚	800mm	800mm	800mm	800mm

(2) 品質管理

本試験施工では、①施工中の自硬性泥水から採取したウェットサンプルによる一軸圧縮強度試験および透水試験、②チェックボーリングによる現地透水試験、コア採取による一軸圧縮強度試験および室内透水試験を実施し、壁体品質を確認した。

1)ウェットサンプル試験結果

ウェットサンプル試験結果を表-4に示す。試料は混練後の新液と、掘削完了後にGL-15.0mの溝壁内から採取した自硬性泥水で作成した。その結果、一軸圧縮強度は686kN/m²以上を示し、全ての試料で要求性能である600kN/m²以上を満足した。また、透水係数は7.9×10⁻⁹m/s以下を示し、要求性能である1.0×10⁻⁷m/s以下を十分に満足した。

表-4 ウェットサンプル試験結果

材齢 (日)	施工番号	採取位置	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	透水係数 (m/s)
28	G1	新液	823	2.2×10 ⁻¹¹
		溝壁内 GL-15.0m	686	3.5×10 ⁻¹¹
	G2	新液	1120	7.9×10 ⁻⁹
		溝壁内 GL-15.0m	892	2.8×10 ⁻⁹
	G3	溝壁内 GL-15.0m	1029	1.2×10 ⁻⁹

2)チェックボーリング結果

材齢28日におけるチェックボーリングの試験結果を表-5に示す。ウェットサンプルでは要求水準を満足したものの、材齢28日時点で実施したコア試験では、表-5中に※で示す一部区間において、一軸圧縮強度および透水係数が要求性能を満足しない結果が確認された。これは、添加した遅延剤の影響によりセメントの水和反応が抑制され、強度発現が遅延したためと考えられる。そこで、材齢56日において再度コアを採取し、室内試験を実施した。その結果、一軸圧縮強度はすべての確認箇所で要求性能を満足した。

以上より、材齢28日における強度不足は遅延剤の添加に起因する一時的な強度発現の遅れによるものであり、十分な養生期間を確保することで要求品質を満足できることを確認した。

表-5 チェックボーリング試験結果

材齢 (日)	施工位置	測定深さ	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	現場透水試験 (m/s)	室内透水試験 (m/s)
28	G2 (1回目)	GL-5.0m	298※	1.6×10 ⁻⁶ ※	7.8×10 ⁻⁷ ※
		GL-15.0m	746	9.0×10 ⁻⁷ ※	2.6×10 ⁻¹¹
		GL-33.0m	壁体側部から逸脱のため、中止		
	G2 (2回目)	GL-5.0m	—	—	—
		GL-15.0m	649	1.8×10 ⁻⁶ ※	4.1×10 ⁻⁸
		GL-33.0m	1117	3.1×10 ⁻⁷ ※	1.4×10 ⁻⁸
	G4 (1回目)	GL-5.0m	58※	2.8×10 ⁻⁷ ※	5.1×10 ⁻⁷ ※
		GL-15.0m	837	1.2×10 ⁻⁷ ※	4.1×10 ⁻¹¹
		GL-33.0m	779	7.2×10 ⁻⁸	5.6×10 ⁻¹¹
56	G2 (3回目)	GL-5.0m	648	5.8×10 ⁻⁸	2.0×10 ⁻⁸
		GL-15.0m	1167	7.4×10 ⁻⁸	4.4×10 ⁻⁸
		GL-33.0m	1101	6.2×10 ⁻⁸	9.5×10 ⁻⁸
	G4 (2回目)	GL-5.0m	701	—	1.0×10 ⁻⁸
		GL-15.0m	—	—	—
		GL-33.0m	—	—	—

※ 要求性能を満足しなかった箇所

(3) サイクルタイム

各エレメントについて準備開始から掘削完了後の品質確認までに要する時間(以下、サイクルタイム)を計測・集計した。その結果を図-5に示す。なお、朝礼・点検および休憩時間は除外している。施工時間は18時間30分～21時間50分であり、平均施工時間は約20時間であった。エレメントごとに若干の差が見られたものの、自硬性泥水の固化前に施工を完了できることを確認した。

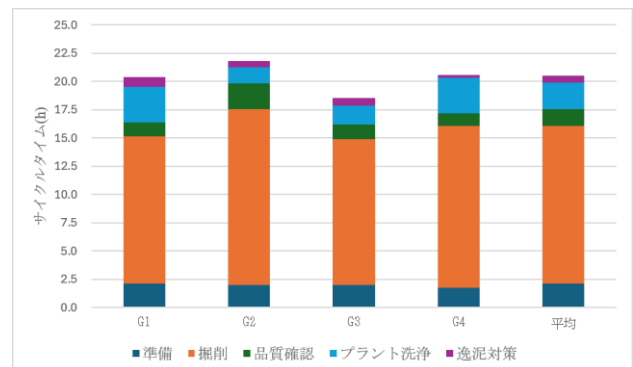


図-5 サイクルタイム

(4) 施工状況

先行エレメントであるG2ではGL-5.0～15.0m付近の掘削中に自硬性泥水の逸泥が確認された。G2の自硬性泥水使用率は234%であり、他のエレメントと比較して大きな値を示した。これは既設壁体と隣接しない先行エレメントであったため、溝壁周囲の地盤空隙へ自硬性泥水が浸透したことが主な要因と考えられる。

一方、後行エレメントであるG3の自硬性泥水使用率は127%、G4の自硬性泥水使用率は132%であり、大きな逸泥は発生しなかった。これは、先行エレメントで地盤空隙へ自硬性泥水が浸透したことで空隙が充填されたためと考えられる。

また、G1についても片押しエレメントであったことから逸泥が懸念されたものの、自硬性泥水使用率は128%であり、施工上問題となるような逸泥は確認されなかった。

以上より、自硬性泥水固化工法は、大粒径岩砕を含む2期島の埋立地盤においても要求される出来形および品質が確保され、2期島における連続地中壁本施工への適用が可能であると判断した。

4. 本施工

自硬性泥水固化工法による連続地中壁の築造を2026年6月より2期島南エリアにおいて実施している。本施工は施工延長約4.0kmを対象としており、施工位置を図-6に示す。施工には図-7に示す施工機械を用いており、施工状況を図-8に示す。

地中壁の要求性能は、試験施工と同様に、一軸圧縮強度 600kN/m^2 以上、透水係数 $1.0 \times 10^{-7}\text{m/s}$ 以下を基本とし、あわせて粘土層への1.0m以上の根入れおよび壁厚600mm以上を満足することを管理基準としている。これらの要求性能を確保するため、本施工においても試験施工で確認した品質管理手法および出来形管理手法を適用している。

使用材料は、高炉セメントC種、高炉スラグ微粉末、ベントナイトおよび遅延剤を主成分とする自硬性泥水である。自硬性泥水の配合は、試験施工の結果に基づき技術提案において採用した配合とし、施工時の流動性およびブリージング特性に留意しながら品質管理を行っている。

本施工では、バケット式地中連続壁掘削機を最大5台配置し、昼夜3交代による連続施工体制を構築している。



図-6 施工位置図(本施工)



図-7 施工機械



図-8 施工状況

5. おわりに

本稿では、関西国際空港2期島における連続地中壁の本工事に先立って実施した試験施工の内、自硬性泥水固化工法の適用性について述べた。

試験施工では、出来形、品質および施工性の確認を行った。その結果、粘土層への根入れ長、壁厚および鉛直精度は全て管理基準を満足した。また、チェックボーリングによる品質確認の結果、要求強度および透水性能については、材齢56日で要求性能を満足した。さらに、サイクルタイムは平均約20時間であり、昼夜3交代制により壁体造成できることがわかった。

以上より、自硬性泥水固化工法は、大粒径岩砕を含む埋立地盤においても適用可能であり、2期島の地中壁築造工法として十分な施工性および品質を有することを確認した。

本施工は2026年6月に始まったばかりである。引き続き、施工管理を適切に実施し、安全で信頼性の高い地下水対策の実現に努めていきたい。

参考文献

- 1) 米田暉, 瀬口均, 川端凌: 関西国際空港2期島における連続地中壁の試験施工結果, 土木学会第80回年次学術講演会講演概要集, VI-980, 2026. (発表予定)