

防潮壁構築における 礫質埋立地盤の地盤改良試験施工

狭間 智一¹

¹新関西国際空港(株) 技術・施設部 土地会社技術グループ (〒549-8501大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

東日本大震災以降、関西国際空港においては、ソフト面の対応として「関西国際空港津波避難計画」(2011年11月)を策定した。その後2013年8月に大阪府が南海トラフ巨大地震に伴う津波の想定を公表した。これは政府機関の想定に加え地域の地盤条件等を反映させたものである。関西国際空港におけるハード面の対策は、大阪府が公表した津波浸水想定に基づいて行うこととした。本報告はその対策のうち1期空港島西側護岸付近に設置する防潮壁について、その断面を検討する際に行った試験施工について報告するものである。

キーワード 南海トラフ巨大地震、津波、防潮壁、止水性、中層混合処理

1. 背景

大阪湾の海上を埋立てて建設された関西国際空港は、本年9月開港20年を迎える。現在規模は小さくなりつつも沈下は継続しており、これまで通常の維持管理に加え空港島の沈下に伴う護岸の嵩上げや旅客ターミナルビルのジャッキアップ工事等の沈下対策を行いながら運用を行ってきた。一方、東日本大震災を受け、2012年8月、内閣府から南海トラフ巨大地震対策を検討する際の津波高の推定が公表され、2013年8月には大阪府においても地域の実情を反映した津波浸水想定が公表された。これを受け関西国際空港島においても津波にも対応した防潮壁工事を計画することとした。



写真-1 関西国際空港の全景

2. 防潮壁の計画諸元

(1) 計画高さ

これまでの維持管理では空港島護岸は高潮への対応を前提に、波あたりの強い沖合側護岸を高くすることを優先的に行ってきた。一方、大阪府の津波浸水想定によると、関西国際空港の1期島と2期島に挟まれる内部水面内の津波水位が最も高く上昇する結果となった。これまで内部水面海域は沖合波の伝播もなく静穏度が高く、波浪の影響は殆どないと考えていた。今回の大阪府の想定結果を受け内部水面のうち1期島側は旅客ターミナル等が存在することから、防潮ラインの計画高さを大阪府の津波想定結果を基に見直した。

写真-1に関西国際空港の全景と防潮壁の設置位置を示す。また図-1.1に防潮壁の計画断面図を示す。

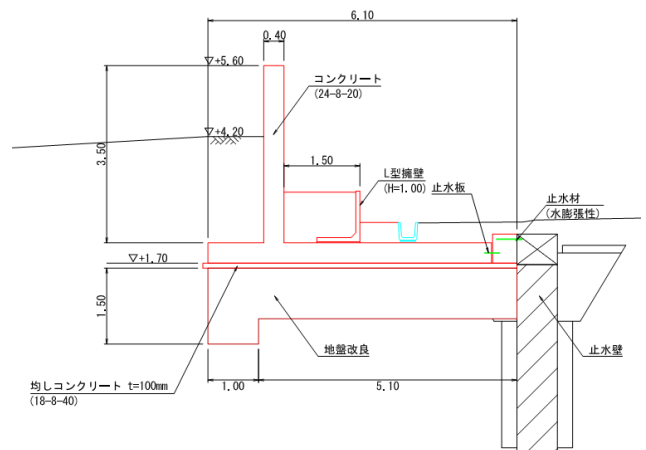


図-1.1 防潮壁の計画断面図

なお、その他の護岸部については高潮から求められる計画高さの方が、津波水位より高い結果であった。

(2) 防潮壁に求められる止水性の確保

空港島は埋立材料の透水性が高く、外海の潮位と島内の地下水位が連動し、地下室への漏水等の不具合に対処するために2000年～2006年にかけて空港島全周に止水壁を構築した。図-1.2に示すように止水壁は施工上、空港島の護岸の捨石部を避けた箇所を設置せざるを得なかった。設置後、止水壁の天端高も沈下に伴って低下してきたことから、今回止水壁の嵩上げも兼ねた防潮壁の断面を設計することとした。

後で述べるが、埋立地盤は透水性が高いことから高潮や津波に伴って止水壁から外側の地下水位が上昇することが想定される。防潮壁はこれに対する安定性能が求められることとなる。つまり揚圧力に重量で抵抗させる必要がある。その断面をコンクリートで設定する案も考えられるが、経済性や残土の低減といった観点から代替案として原位置において中層混合処理(中層混合処理機、トレンチャー式)を行い、その上にコンクリートの擁壁を接続して構築する断面を検討することとした。なお試験施工改良体は止水壁の嵩上げを兼ねるため、止水壁の要求性能である透水係数 $1.0 \times 10^{-8} \text{m/sec}$ を満足することを試験施工に置いて確認することとした。

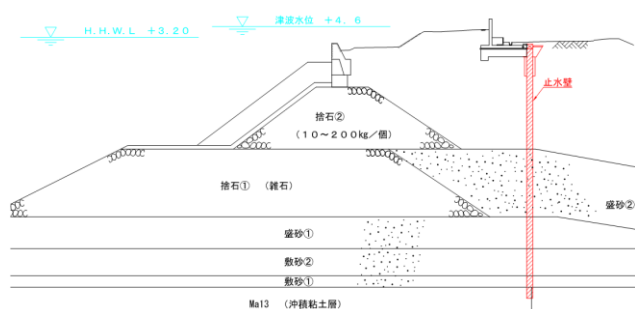


図-1.2 護岸標準断面図

3. 試験施工の目的

空港島の埋立材料の多くに和泉層群系の礫質土(最大粒径約300mm, 礫分含有率約90%)が使用されている。このような埋立地盤を対象とした原位置機械攪拌による難透水層地盤の構築例は無く、その施工性や品質は不明であった。そこで、中層混合処理機(パワーブレンダー工法)の施工性とその品質の確認検証を目的に試験施工を実施した。

(1) 埋立材料の物性

閑空1期島の埋立土砂は、主に大阪府の阪南、和歌山県の加太および兵庫県淡路島の3箇所より採取され、淡

路島北部産のマサ土と阪南、加太及び淡路島南部産の和泉層群系土砂に大別できる。今回の施工範囲は和泉層群系の礫質土で埋立造成されている。表-3.1に埋立土砂の物性を示す。

表-3.1 埋立土砂の物性

細粒分含有率	3～7%
礫分含有率	89～95%
最大粒径	220～300mm
均等係数	10～45

(2) 地下水位と周辺潮位の関係

図-3.1に止水壁構築前後の地下水位周辺潮位の関係を示す。2006年の止水壁完成以前は、地下水位と周辺潮位が連動しており、高い透水性地盤であることがわかる。今回の施工エリアは止水壁から護岸側であるため外海の潮位と地下水位が連動することが想定される。今回の試験施工において、中層混合処理工法が地下水位の影響を受けるか否かも確認事項となる。

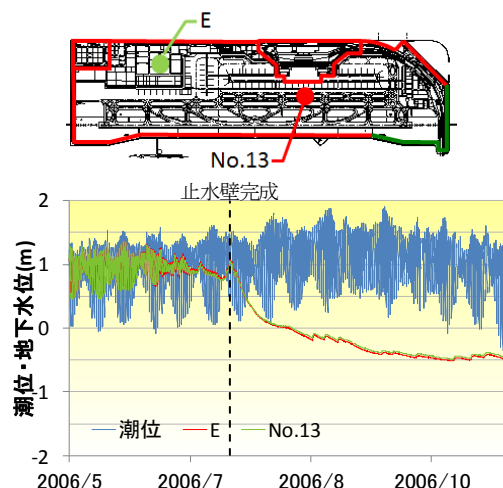


図-3.1 地下水位と周辺潮位の関係

4. 配合試験

(1) 想定条件

最大粒径 300mm の巨礫を含む透水性の高い礫質土による埋立地盤を対象に、潮位変動下、原位置機械攪拌にて難透水性地盤を構築する施工手順を検討した。

現在使用が想定される中層混合処理機では、300mm の巨礫を含んだままでは攪拌混合が困難なことから、ワーカビリティを確保するため巨礫を取り除くこととした。まず改良範囲をバックホウで掘削し、100mm メッシュのスケルトンバケットにて礫分等を除去する。通過したフルイ処理土を埋戻し、バックホウで転圧後、地盤改良することとした。次に、潮位の影響確認のため、施工時の潮位を DL+1.6m (満潮位) と仮定した。また、施工中、

周囲の水を巻き込むことも考えられるので、水セメント比も数種類試験することとした。

(2) 試料調整と試験方法

表-4.1 に採取した試料土のうち粒径 100mm 以下の物性を示す。

表-4.1 粒径 100mm 以下の物性

土粒子の密度 (g/cm ³)	2.687	
自然含水比 (%)	8.12	
粒度特性	礫分	69.3
	砂分	20.3
	細粒分	10.4
均等係数	177	
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.932	
最適含水比 (%)	13.3	

掘削した礫質土をバックホウ転圧するため、日本工業規格「突固めによる土の締固め試験方法」(JIS A 1210:2009) の A-c 法で締固め度 85%程度を目安にモールドに充填した(実測 85.8%)。満潮位時には、施工地盤の 3分の2が地下水位以下となるため、上部を自然含水比状態、下部を浸水状態とする合併試料を作製した。その合併試料は、湿潤密度 1.926g/cm³、含水比 15.5%の試料土となった。

現場目標透水係数(k=1×10⁻⁸m/s)を得るのに必要なセメント添加量及び水セメント比を求めるため、以下の試験を実施した。練り混ぜ直後のテーブルフロー試験(JIS R 5201:1997)、供試体作製は(JGS 0821-2009)による、所定日数養生後、一軸圧縮試験(JIS A 1216:2009)と透水試験(JIS A 1218:2009)を実施し、以下の配合とした。

表-4.2 配合試験のパターン

セメント添加量	150・200・250kg/m ³
水セメント比	70・105・140%
セメント種類	高炉セメント B 種

(3) 試験結果

図-4.1 にテーブルフロー値 (以下、TF 値とする。) と水セメント比の関係を示す。添加量 150kg/m³では TF 値 119~155mm、添加量 200kg/m³では TF 値 126~173mm、添加量 250kg/m³では TF 値 138~193mm となった。

前述したように、地下水の巻き込み影響にて、施工時の安定処理土の TF 値は 150mm を超えるのではないかと予測した。そこで、得られた試験結果より、目標透水係数 (k=1×10⁻⁸m/s) を満足する TF 値と添加量の関係 (図-4.2 に示す) 作製した。図-4.2 より、TF 値を 150mm とした場合における、目標透水係数(k=1×10⁻⁸m/s)を満足するために必要な固化材添加量は、197kg/m³とする値を得た。

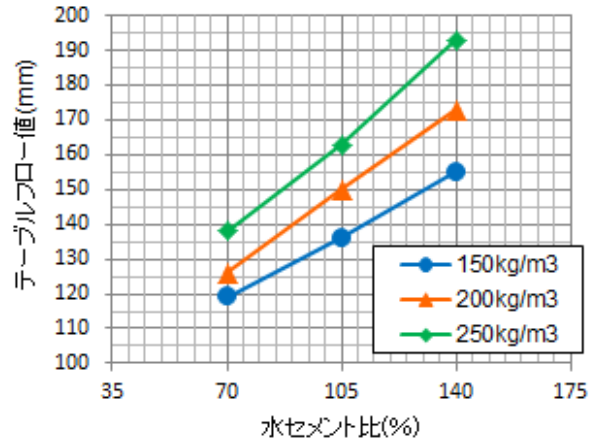


図-4.1 テーブルフロー値と水セメント比の関係

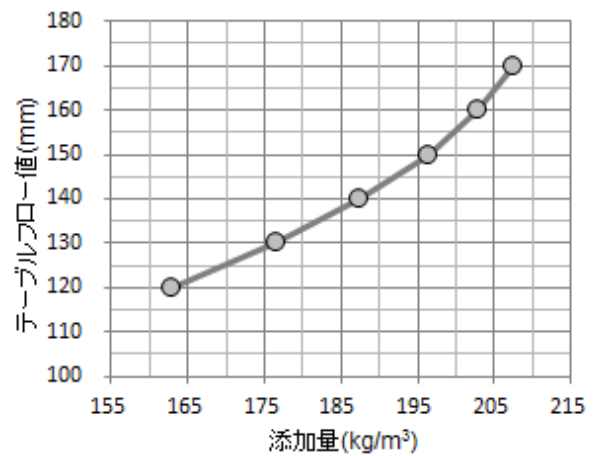


図-4.2 目標透水係数(k=1×10⁻⁸m/s)を満足するテーブルフロー値と添加量の関係

5. 試験施工

(1) 試験施工概要

幅 3.0m×奥行 4.0m×深度 3.0m をパワーブレンダー工法により、改良体を造成した。配合試験では添加量 150kg/m³で現場目標透水係数 (k=1×10⁻⁸m/s) 以下の結果が得られたが、難透水性地盤の構築確認の最優先と、以下の2点が懸念されるので、より確実な添加量を採用した。

1. 施工地盤周辺の地下水位による、改良体品質への影響は、不明である。
2. 最大粒径 100mm の礫質地盤を対象とする、室内と現場との品質 (混合性) の差は、不明である。

表-5.1 に実験パターン、図-5.1 に試験施工位置図を示す。

表-5.1 実験パターン

実験パターン	A	B
固化材種類	高炉セメント B種	
固化材添加量	200kg/m ³	250kg/m ³
水セメント比	70%	
時間当り作業量	40m ³ /h	

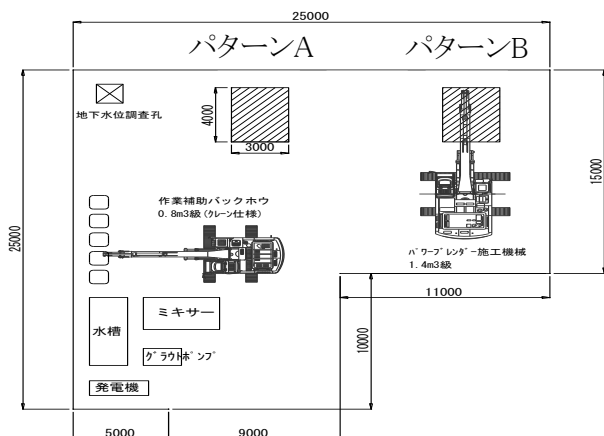


図-5.1 試験施工位置図

(2) 潮位測定結果と施工状況

図-5.2 施工時の地下水位と潮位測定結果を示す。潮位表と実測値はおおよそ同じだった。また、潮位実測値と地下水位実測値との差は 5cm 程度であり、潮位がほぼ地下水位であった。

表-5.2 に攪拌混合直後の安定処理土の TF 値を示す。パターン A, B とともに、配合試験時とほぼ同程度の結果となり、地下水の影響は確認されなかった。

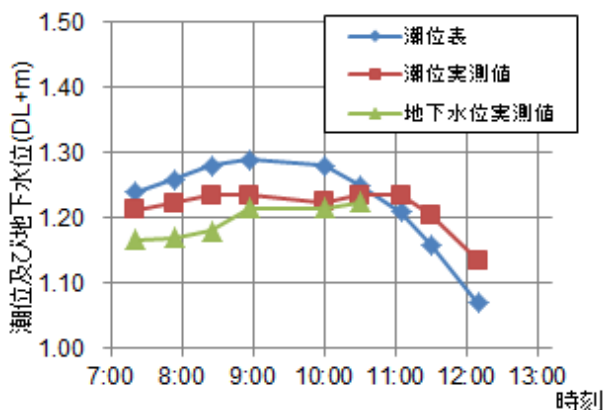


図-5.2 施工時の地下水位と潮位測定結果

表-5.2 攪拌混合直後の安定処理土の TF 値

実験パターン	A	B	
TF 値 (mm)	実測値	127	132
	配合	126	138

(3) 改良体の品質管理

改良体の品質を確認するため、チェックボーリングを

行った。ボーリング位置は改良体の中央部で、上部の盛り上がり土も含め、DL-0.35m 程度(改良体下端より 0.5m 上部)まで長さ約 2.5m のコアを採取した。図-5.3 にボーリング採取位置を示す。

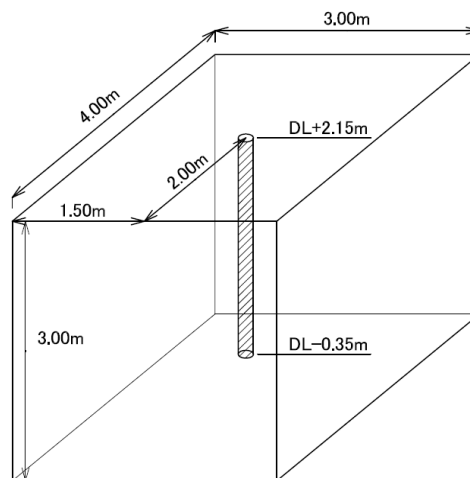


図-5.3 ボーリングコア採取位置

改良体の湿潤密度及び強度は、ボーリングコアを用いて一軸圧縮試験で評価した。1 コアあたり 5 箇所 (DL+2.2m 付近, DL+1.9m 付近, DL+1.3m 付近, DL+0.6m 付近, DL+0.1m 付近)を試験した。表-5.3 にボーリングコアの湿潤密度と一軸圧縮強さを示す。

1 コアあたり 5 箇所の平均値及び変動係数をまとめている。湿潤密度の平均値は、パターン A, B とともに 2.072g/cm³ 以上であった。また、一軸圧縮強さの平均値は、パターン A, B とともに 4000 kN/m² 以上となった。

表-5.3 ボーリングコアの湿潤密度と一軸圧縮強さ (n=5, 材齢 28 日)

実験パターン	湿潤密度 (g/cm ³)	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	
	平均	平均	変動係数
A	2.072	4100	8.8%
B	2.087	4780	24.6%

一方、改良体の透水係数は、ボーリング削孔後の孔壁を利用して現場透水試験 (JGS 1314-2003) を実施した。試験した深度は、上 (DL+1.65m~DL+1.15m)・中 (DL+0.90m~DL+0.40m)・下 (DL+0.15m~DL-0.35m) の 3 箇所で、試験結果については 3 箇所の平均値を用いた。表-5.4 に孔壁を利用した現場透水係数を示す。

今回、得られた現場透水係数の平均値は、材齢 28 日で $k=5.21 \times 10^{-10}$ m/s 以下であり、現場目標透水係数 ($k=1 \times 10^{-8}$ m/s) を満足する結果が得られた。この結果は、当初懸念した周辺地盤からの地下水の影響もなく、室内試験値よりも良好な結果となった。

また、A・B いずれのパターンにおいても、材齢と共に改良体の透水係数が小さくなっていることが確認でき

た。長期材齢 365 日の現場透水試験においても同様の結果が得られ、安定した品質が継続されていることを確認した。

表-5.4 孔壁を利用した現場透水係数(n=3)

実験 パターン	透水係数の平均値 (m/s)		
	材齢 28 日	材齢 90 日	材齢 365 日
A	5.21×10^{-10}	3.76×10^{-10}	1.70×10^{-10}
B	3.26×10^{-10}	3.52×10^{-10}	1.03×10^{-10}

6. まとめ

今回の配合仕様のみではあるが、関西空港の最大粒径 100mm 以上の礫分を除去した礫質地盤において、地下水位の変動を受ける施工条件下であっても、攪拌混合時の流動値 (TF 値) を適切に管理することにより、良好な難透水性地盤の構築が可能であることが確認できた。

適切な流動値 (ワーカビリティ) にて施工された難透水性地盤は、長期に亘り良好な品質が継続されることが確認できた。

参考文献

- 1) 狭間, 大竹, 野田ら: 礫質埋立地盤の止水を目的とした原位置攪拌による地盤改良試験施工(その 1)・(その 2)・(その 3), 土木学会全国大会第 69 回年次学術講演会, 2014.9(投稿中)