

関西国際空港における止水壁の効果

中谷 行男

関西国際空港株式会社 計画技術部 技術グループ (〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1)

関西国際空港は、大阪湾沖合に建設された大規模な人工海上空港であるが、埋立材料には岩砕の山土が用いられるとともに外周護岸は石積護岸であることから、空港地盤は透水性が高く、地下水位が周辺の潮位の影響を受けやすい特殊な地盤である。このため、地下水による空港島内の地下構造物などへ影響を解決するため、止水のための連続地中壁（止水壁）を空港島全周にわたり構築する大規模工事を実施した。この止水壁の設置により地下水位を低下させ、空港島を適切に維持管理し、安全・安心な空港運用が可能となった。

キーワード 透水性，地下水位，止水壁，空港運用，安全・安心

1. はじめに

関西国際空港は、大阪湾泉州沖5kmの位置に建設された大規模な人工海上空港である。埋立材料には岩砕の山土が用いられ、外周護岸は石積護岸であることから、空港地盤は透水性が高く、空港用地の地下水位が周辺の潮位の影響を非常に受けやすい特殊な地盤である。そのため、近年に見られる異常潮位や台風による高潮時には、地下水位が上昇し地下構造物へ影響を与え、空港の安全・安心な運用が行えない事態の発生が懸念されてきた。

そこで、地下水による空港島内への影響を解決するため、止水のための連続地中壁（以下、「止水壁」という。）を空港島全周にわたり構築する大規模工事を実施した。

本論文では、供用中の空港という特別な条件の下で行われた止水壁工事とその対策による止水効果の検証について報告する。

2. 空港島における地下水問題

(1) 空港島の構造

関西国際空港は、外周護岸総延長の8割を沈下への追従性や近隣の海域環境への配慮等から緩傾斜石積護岸で囲われている。また、埋立材料としては、最大粒径300mm、礫分含有量約90%の礫質土（図-1）を使用している。また、満潮面（GL=-3.6m）、干潮面（GL=-5.0m）においては、大部分が粗粒分で構成されており、海水が浸透しやすいことが伺える。埋立層の透水性を把握する

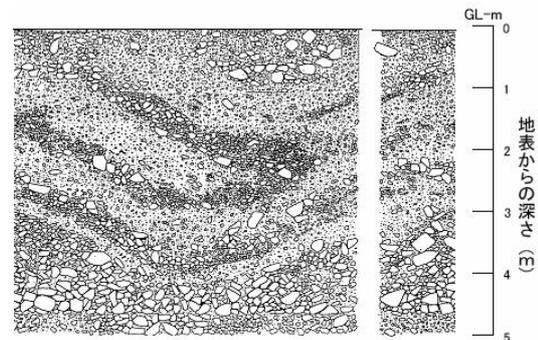


図-1 地盤断面図

ため、揚水試験を行ったところ、上部埋立層（地表から15m程度の部分）と下部埋立層（15m以深の部分）の透水係数は、それぞれ $3.6 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 、 $1.7 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ であった。

止水壁設置前の空港内の地下水位と潮位を比較したものが図-2であるが、地下水位観測点が空港のかなり内部

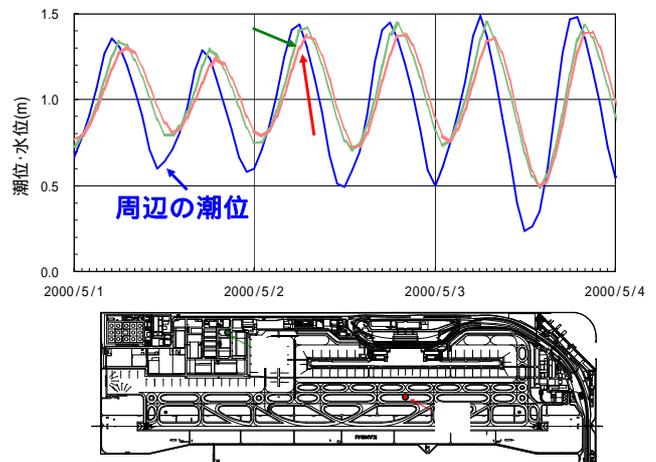


図 2 止水壁設置前の空港内の地下水位

であっても潮位の影響を強く受け、潮位変動と少しの時間遅れがあるだけで連動して上下しており、この結果からも透水性の高さがわかる。

(2) 地下水対策の必要性

透水性の高い関西国際空港では、台風による高潮時や全国的な問題にもなっていた、いわゆる「異常潮位」と呼ばれる原因不明の海面上昇現象によって、空港島内の地下水位が海面と連動して上昇し、低い地盤での地下水の浸みだしや止水が不十分な地下室などでの漏水などの不具合が生じてきた。

このため、地下水問題を抜本的に解消する対策が必要となった。

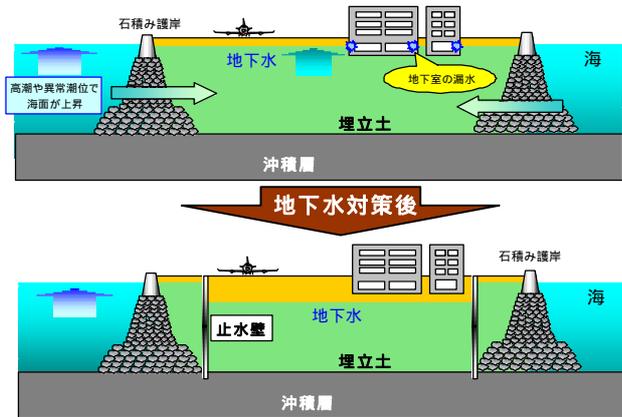


図 3 止水壁設置前の空港内の地下水位

3. 地下水対策の実施

(1) 対策の基本方針

上述したとおり、地下水の上昇が地下構造物に影響をおよぼしていたが、特に、大きな地下空間をもつ旅客ターミナルビルは、地下水による浮力・水圧により地下室などが損傷を受けることや、給油タンクでは、消防法においてタンク防錆の観点から定められた、給油タンク底面と地下水位の間隔2m以上を維持できなくなることをなど懸念されていた。道路や個々の建物などの嵩上げは、空港運用への影響や経済性の観点から現実的でなかったため、地下水問題の抜本的対策としては、止水効果の確実性、施工性、空港運用への影響、経済性などの面から対策区域の周囲を止水壁で囲み、区域内の地下水をポンプでくみ出すなどし、地下水位を低下させる地下水位低下方式を採用した(図-3)。

なお、旅客ターミナルビル地区、給油タンク地区、他地区で重要度および管理水位が異なるため、止水壁は図 4のとおり各々の周囲

に設置され、施工延長は約11kmに及び、地中壁工事の規模としては日本でも類を見ない大規模なものとなった。

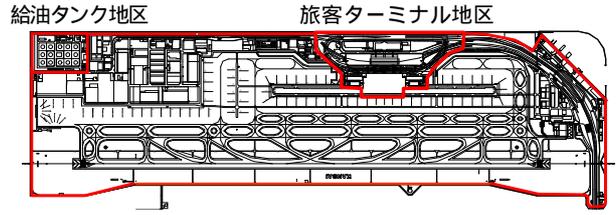


図 4 止水壁設置位置

(2) 止水壁の設計

止水壁内への海水の流入量は、止水壁内の底部サンドドレンからの流入量と止水壁からの浸透量によって決定される。図 5に示すように止水壁の透水係数と必要揚水量との関係を調べた。壁厚に対しては、掘削機械、施工精度から60cm以上と設定された。

その結果、透水性能が $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下であれば必要揚水量が収束することがわかった。

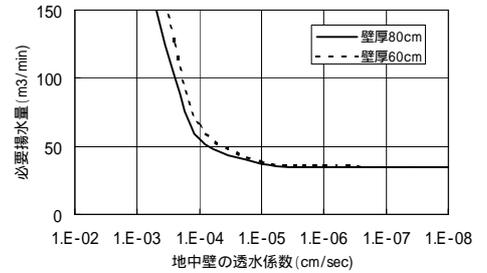
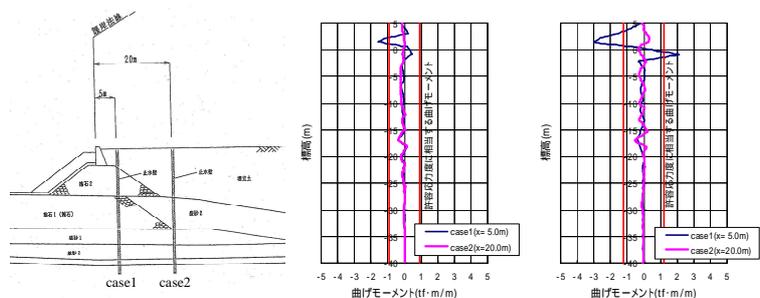


図 5 揚水量と透水係数の関係

耐震性については、その影響が顕著に現れると考えられる護岸近傍において、地震応答解析を実施した。入力地震動は、八戸波(レベル1地震動)、ポートアイランド波(レベル2地震動)を想定し、図 6に示すように護岸法線からの距離を5m、20mの位置で解析した。発生曲げモーメントの解析結果によると、止水壁を護岸捨石から離すことにより、耐震性は保たれるものと確認された。

その他の検討として、護岸近傍における水平変位に対する止水壁の強度についての検討を行った。護岸から



(a) レベル1地震動 (b) レベル2地震動
図 6 地震応答解析結果

埋立地に向かって水平変位が生じており、この変位を与えたときの止水壁に生じる応力をFEMによって解析した。この結果、護岸に近接する隅角部の止水壁上部における引張応力が許容応力を上回る結果となった。このため、隅角部の止水壁上部に鋼矢板を挿入し、壁の補強を行う構造としている。

(3) 止水壁の施工

対策は、地下水位を厳しく管理する必要がある旅客ターミナルビル地区と、航空機燃料を保存する給油タンク地区の2ヶ所において先行して実施した。次に、両地区の止水効果の確認を受けて、空港島全周を取り囲む大規模止水壁工事を行った。止水壁は、経済性、止水の確実性、巨礫が混じる地盤での施工性、空港運用への影響等から複数の工法を比較検討し、主に全回転オールケーシング工法を採用している。図-7のように、透水性が低い

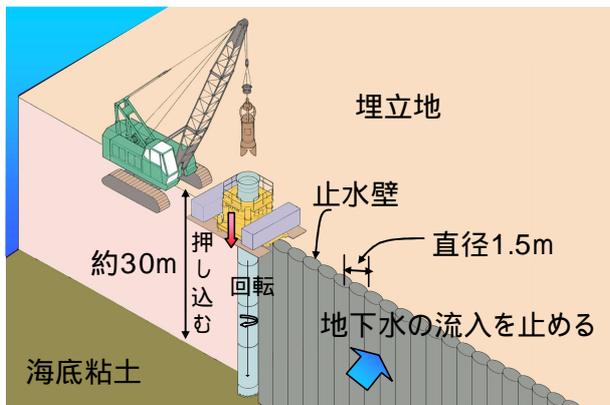


図7 止水壁施工イメージ

沖積粘土層まで、直径1.5m、長さ約30mのケーシングを貫入し、内部を掘削し、泥土モルタルに置換した柱を連続して地中に構築し、地中壁とするものである。

一方、供用中の空港での施工であることから、航空保安上のさまざまな制約がある中での作業となった。特に課題となったのが、滑走路付近での掘削機の高さ制限である。施工機械が15mより低く抑えられた場合には、施

工効率が格段に落ち、コストの増加、工期が延びるといった問題が発生する。そこで、航空機と障害物件との衝突確率をCRM (Collision Risk Model : 衝突リスクモデル) というプログラムで解析するとともに、実施工を想定した飛行検査機による検証など、工事の安全性を確認することで、15mまでの高さの施工機械を使った工事が可能となった。

工事は、2004年から開始され2006年には空港島全体を囲む止水壁が完成した。

4. 止水壁の効果

図8に全島周囲の止水壁完成前後のデータとして2006年5~7月、及び2007年10月~11月における地下水位観測結果を示す。

2006年5月現在での施工状況は約340mが未施工区間となっているが、地下水位は、大部分の施工が完了しているにも関わらず、依然として潮位変動の影響を大きく受けている。また、地下水位の波形としては、潮位変動よりも3時間ほどの時間の遅れと振幅変化が生じている。観測点の2点の水位は、数百m離れているにも拘わらず、時間遅れや振幅の差にほとんど違いが見られず、空港島の透水性が非常に高いことが伺える。

その後、未施工部分が約80mになると、急激に時間遅れと振幅の減少が生じている。さらに止水壁概成直前になると、降雨による地下水位の上昇も見られ、空港島が囲われたことによる止水効果の高さを伺うことができる。

止水壁工事設置後は、地下水位が低下し一定の高さに落ち着いているが、設置前と比較して1.5m程度地下水が低下し安定している。なお、降雨により地下に浸み込んだ雨水は、表面排水とともに雨水配水管に流入し、排出されることで地下水位を一定に保っている。

図9に給油タンク地区の経時変化図によりポンプによる地下水位の変動を示す。同地区においては給油タンク

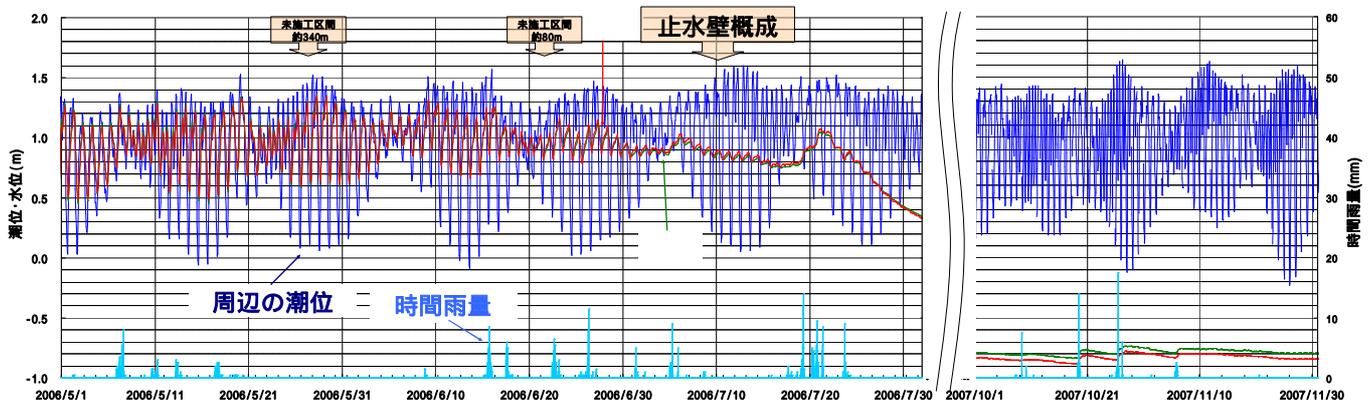


図8 地下水位観測結果

底面と地下水位の間隔が、消防法に基づく技術上の基準で2m以上を確保することとされている。そのため、その間隔を確保するために揚水ポンプ(3m³/min)を稼働させ常に適切な地下水位に制御している。ポンプ起動により水位は設定水位まで下がるが、サンドドレーンや止水壁からの海水の流入で約1日でポンプ稼働水位まで地下水が回復する。

地下水の塩分濃度を測定した結果を図40(a)に示す。止水壁外部においては、地下水面から水深50cm付近まで

塩分濃度は増加し、それ以深では塩分濃度3.5%とほぼ海水であった。止水壁内の測点においては、地下水がポンプアップされたことにより地下水下部の塩分濃度の高い部分が排水され、また、塩分濃度計の設置水深が浅くなることから、全体に低い状態となっている。さらに、図40(b)に示すように、満潮時・干潮時に水位を測った結果、塩分濃度の水深分布図は上下に混合せず変動していることもわかった。

5. 結論

本報告では、関西国際空港で行われた大規模な止水壁工事及びその効果について述べた。

地下水位の上昇を抑制することを目的に設置された止水壁は、止水効果が良好であることがあきらかになった。また、止水壁工事と同時に実施された護岸の高上げ、雨水排水工事とともに、異常潮位や台風による高潮に対して万全な対策が施された。

なお、止水壁による地下水低下工法については比較的小規模なものも多く、大規模なものでも地下ダムでの利用があるが、本事例のように大規模用地での地下水の制御は初めてであり、今後は、地下水位が高く地盤の高上げが困難な用地での活用が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木慎也・奥田豊・西村直樹・中野裕二郎：沖合人工島大規模止水壁工事による地下水対策，計測技術に関するシンポジウム 2006 論文集，pp59-62,2006.
- 2) 鈴木慎也・奥田豊・中野裕二郎：大規模人工島における止水壁の効果について，第43回地盤工学会研究発表会，pp1033-1034,2008.
- 3) 奥田豊・鈴木慎也・田端竹千穂：関西国際空港の建設と地盤工学的諸問題，地盤工学会誌 10月号（投稿中）。

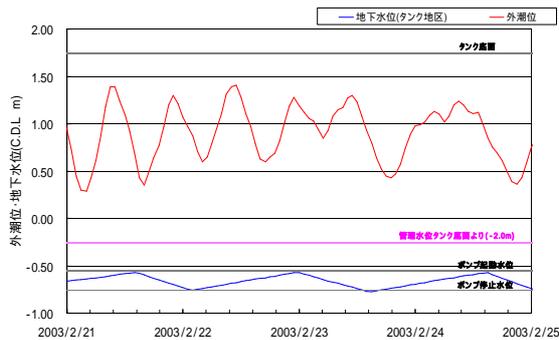


図9 ポンプによる地下水位の変動(給油タンク地区)

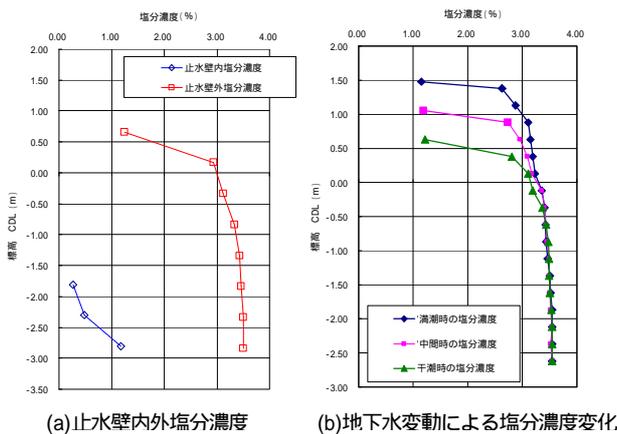


図10 塩分濃度の深度分布図