

日本埋立浚渫協会設立 60 周年記念 座談会 第2回

～ 近年の大プロジェクトを振り返る ～

日本埋立浚渫協会は 2021 年 12 月 6 日、設立から 60 周年を迎えます。この間、会員企業各社は港湾・空港を中心に数多くの社会資本整備のプロジェクトに関わり、日本の経済発展や豊かな国民生活の実現に貢献してきました。60 周年を迎えるのを機に、ここ四半世紀ほどの間に会員企業が手掛けた時代を画する主要プロジェクトを取り上げ、その意義や事業から得られた教訓などを施工現場の第一線で活躍した技術者を中心とする関係者の座談会で振り返ります。第 2 回は、関西国際空港に 2 本目の滑走路が整備された「関西国際空港 2 期工事」を取り上げます。



関西国際空港 2 期工事

1 期に学び、1 期を超える
早く、安く、より良く

2016 年 11 月 5 日撮影 提供：関西エアポート株式会社

大阪・泉州沖の大阪湾を埋め立て、関西空港が滑走路(3,500m)1 本で開港したのは1994年9月4日。それから13年後の2007年8月2日、最初の空港島のさらに沖合を新たに埋め立て、第2滑走路(4,000m)がオープンした。これによって関西空港は国内で唯一、長距離滑走路 2 本を擁し、24 時間のフル運用が可能な世界標準の国際拠点空港へと生まれ変わった。この新たな空港島を造成し、第2滑走路を整備したのが関西国際空港 2 期工事である。

最初の空港島を建設した1期工事には1兆5,000億円が投じられ、着工から7年の歳月を要したが、2期の空港島はその規模、自然条件の厳しさとも1期を大きく上回るものとなった。当時、関西空港の運営に当たっていた関西国際空港株式会社の経営は厳しく、2本目

の滑走路整備への反対論がメディアをにぎわすなど、2期工事は強い逆風にさらされた。一方で、アジアの経済成長による航空需要の急拡大を予測し、関西空港の機能強化を急ぐよう求める声も強かった。

2 期工事の用地造成の着工は1999年7月。関西国際空港株式会社と用地造成工事のために設立された関西国際空港用地造成株式会社が掲げたスローガンは「1 期に学び、1 期を超える」「早く、安く、より良く」である。

2 期工事の条件の厳しさは、具体的な数字を1期工事と比べてみるとよく分かる。埋立面積は1期の 510ha に対して545ha、護岸延長は1期の 11.2km に対して 13kmに及んだ。建設場所が1期よりも沖に位置するため、水深は1期より1m 深い平均19.5m、海底の分厚い軟弱地盤のために予想された平均沈下量は18m と 1期

の11.5m を大きく上回った。この結果、埋め立て土量は1期の1.4 倍近い 2.6 億 m^3 にも達した。

こうした過酷な条件の下、2007年供用開始というスケジュールの厳守が求められた。それを克服できたのは、1期工事の経験から学んだ創意工夫と、最先端技術を導入した高精度・高効率施工によるところが大きい。

埋立工事は1期と同じ工法で行ったが、2期では当初から夜間工事を計画し、1期の経験を踏まえて綿密な施工計画を立案した。大量の資材を短期間で調達するための事前準備にも1期の経験が生かされた。

1期を上回る沈下予測に対しては、最終的な地盤高を確保する二次揚土という工程を追加。単に土を盛るのではなく、薄層締め固め工法を採用して1層60cmの層状に造成した点が特色だ。これによって均一で非常に強固な地盤に仕上がった。特に滑走路の工事では、現地走行試験で確認した地盤の耐久性などを舗装設計に反映させたため、舗装構成を1期の約110cmに比べて約60cmまで薄くでき、大幅なコスト削減につながった。

雨水排水管などの地下埋設物設置工事を造成工事に合わせて行ったことや、航空灯火の設置と舗装工事を一体施工したことも効率化につながった。連絡誘導路と一般幹線道路が交差するアンダーパス工事では、事前に沈下を見越して早期に着工し、止水や土留め工事を省く工夫をした。

最新技術として、作業船や重機の位置確認など随所にGPSを用いたほか、海底面の形状を面的に把握できるナローマルチビーム音響測深機、磁気伝送水圧式沈下計などを採用。取得した膨大なデータをパソコンで一括処理・管理し、次の工程に反映させることで、効率的で精度の高い工事を実現した。中でもGPSを搭載した土運船や揚土船による土砂投入や、ブルドーザーや振動ローラーによる締め固め作業は、常に適正な作業位置を把握できるため、無駄の少ない高精度の施工に役立った。

作業船の円滑で効率的な運航と、一般船舶や操業漁船なども含めた安全確保も大きな課題だった。そのため、工事情報の一元的な管理、工事周辺海域における警戒船の管理・運用、一般船舶の航行や漁業の情報収集・提供を行う「航行安全センター」、作業船に対する運航管理を行う「JV 航行情報センター」を設置した。これを中心とした航行安全と運航効率の向上システムが構築され、工事期間中24時間体制で行われた。

1期に学んだ設計・施工上の工夫や、1期を超えた効率的な工事、大量の資材の効率的・安定的な調達などが奏功し、2期工事は1兆 1,400 億円の予算に対し、9,000 億円までコストを圧縮して完成した。



サンドドレーン(SD)船による地盤改良工事



2002 年 8 月護岸概成

2 期工事概要

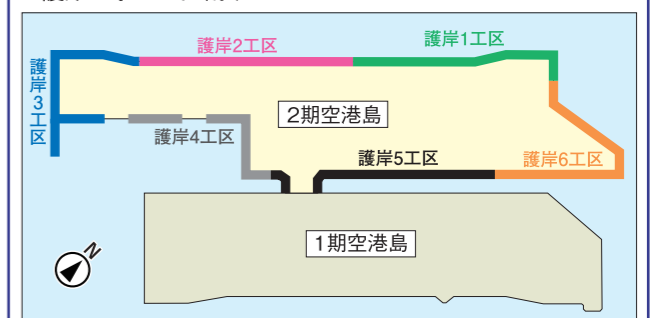
| | ●自然条件 | | | | ●事業規模 | | | |
|----|-------|--------|-------|-------|------------|--------|-------|--------|
| | 平均水深 | 沖積層平均厚 | 平均沈下量 | 平均埋立厚 | 埋立土量 | 滑走路長 | 埋立面積 | 護岸延長 |
| 2期 | 19.5m | 25m | 18m | 43m | 2.6億 m^3 | 4,000m | 545ha | 13km |
| 1期 | 18.5m | 20m | 11.5m | 35m | 1.8億 m^3 | 3,500m | 510ha | 11.2km |

●建設スケジュール

| 年度 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|------|------|------|-----------|--------------|------|------|------|--------------|------|
| | 2期 | | 99.7.14着工 | 01.11.19護岸概成 | | | | 既定供用部分用地造成予定 | |
| 地盤改良 | | | | | | | | | |
| 護岸工事 | | | | | | | | | |
| 埋立工事 | | | | | | | | | |

| 年度 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1期 | | | | | | | |
| 地盤改良 | | | | | | | | |
| 護岸工事 | | | | | | | | |
| 埋立工事 | | | | | | | | |

●護岸工事の工区割り



- 水上 純一氏**
国土交通省国土技術政策総合研究所副所長(関西空港)
- 江村 剛氏**
関西エアポート(株) T1 リノベーション部長(関西空港)
- 岸本 和重氏(司会)**
東洋建設(株)国際支店マニラ営業所マリキナ作業所長(護岸1工区)
- 野村 康行氏**
東洋建設(株)国際支店工事部部長(護岸1工区)
- 相川 秀一氏**
東洋建設(株)国際支店ヤンゴン営業所ティラワ作業所長(護岸1工区)
- 丸林 秀樹氏**
あおみ建設(株)名古屋支店蒲郡工事事務所(護岸2工区)

- 川俣 奨氏**
五洋建設(株)東北支店土木営業部長(埋立5工区)
- 殿垣 真一氏**
若築建設(株)東京本社建設事業部門国際部インドネシア事務所中部ジャワ作業所長(護岸4工区)
- 大本 泰久氏**
みらい建設工業(株)技術本部副部長(護岸5工区)
- 岩城 正典氏**
東亜建設工業(株)常任顧問(護岸6工区)
- 石川 泰朋氏**
東亜建設工業(株)土木事業本部土木部担当部長(護岸6工区)



岸本 和重氏
(司会)

岸本 1999年の関西空港2期着工から約20年、2007年のB滑走路供用から13年が経過した。1期工事では工事費が当初の1.4倍に膨らみ、工期も1年延びたことから、2期工事では当初から「1期に学び、1期を超える」を合言葉に、1期工事の経験を最大限生かし、創意工夫や技術的なマネジメントで1期を超えることが求められた。一方で1期工事よりも施工場所がさらに沖合になり、水深は深く軟弱層は厚くなり、施工条件は厳しくなった。予算面でも逆風があった。



江村 剛氏

江村 今、関西は外国人観光客であふれているが、関西空港に2期があるからインバウンドを取り込んでいる。昨年の離着陸回数は19万回。1本の滑走路で処理できるのは12万～13万回が理想で、マックスが16万回と言われる。現在の回数だと2本ないと立ち行かない。ただ順調にここまで来たわけではない。2期着工後、発着回数が伸び悩み、一般紙の社説で2期工事を休止せよという記事も出た。そこでコスト削減行動計画をまとめ、事業費削減が実現できることを世に示し、逆風を乗り越えた。そこには「1期に学び、1期を超える」という姿勢で、発注者、施工者一体で取り組んだ様々な工夫を書き込んだ。2期事業を中断することなく進められた原動力は、皆さんの技術の力そのものだと思う。

水上 結果として1兆1,400億円の予算に対して9,000億円まで圧縮できた。皆さんの身を切るような努力が実ったものといえる。

岸本 2期工事では施主・請負者が一体となって取り組む必要があるということで、請負者側ではJV建設協力が組織された。



岩城 正典氏

岩城 私は2期の開港前後に建設協力の会の会長をさせていただいた。国内の同様なプロジェクトでは、海上航行安全上の不備や地元調整の不具合で工事の中断を余儀なくされた事例も多い



「全体一工区」の精神、円滑推進の原動力に

が、関西空港2期では気象条件以外の要因で工事が中断したことは一度もなかった。順調に進んだのは、着工当初から建設協力の会の必要性和有効性に注目された2期建設実施本部の幹部の方々の先見性があったから。事業を円滑に進めるには、不測の事態を未然に防ぐことや、万が一の場合は迅速・公平に対処することが重要だ。そこで従来の「各工区単独対応型」の業務体系を改め、「全体一工区」とする新たな組織として建設協力が設立された。協力の会の活動に伴い、地元の方々の信頼関係が築かれ、事業を応援していただける場面も多くなった。プロジェクトの成否は地元調整にかかっている。建設協力が利害の異なる施主・地域住民・施工者間の潤滑油となり、有効に機能したと自負している。

岸本 2期工事では計画段階から各社が日本埋立浚渫協会を通じて検討業務に協力してきた。

相川 協会の技術委員会の中に海上空港部会があり、そこで関西空港2期工事についていろいろな勉強をさせてもらった。工事が始まる時に現場の担当になったので、勉強していたことが現地でも再現できることになり、

大変面白かった。その経験が自身の技術屋としてのベースになっている。特に大規模・急速施工ということで効率的な施工や施工管理が求められ、当時の最新技術だったナローマルチビームやGPSが導入された。発注者である用地造成会社が各社に技術を競わせる場をつくったことで、各社が積極的に技術開発を進めることができた。一方で、各社のシステムの違いによるばらつきが生じないように全体レベルの統一も図られた。

岸本 施工マニュアルや施工管理システムが整備されたこともうまくいった要因の一つだと思う。このような大規模・急速施工では、大量の資材をいかに安価で安定的に調達するかも課題になる。地盤改良では国内の海砂に加え、輸入砂や洗砂も活用した。

川俣 輸入砂は通関手続きや生態系への影響など多くの課題解決がなされた上で、海外から大型船で運ばれ、安定的な供給となって各工区に配られた。協力を通じてその配分が決められた。セレクト材なども使った。

岸本 護岸構造はほとんどがサンドドレーン(SD)＋緩傾斜石積護岸。1期工事の反省を踏まえ、いかに高品質の砂杭を造成するかが課題で、船体検査や潜水士による杭頭調査が行われた。



殿垣 真一氏

殿垣 SD船が8隻あり、それで工区割りをすることになっていろいろな組み合わせのパターンを検討した。各船

によってケーシングパイプの貫入方法が違うので、共通の貫入・着底基準を設け、高品質の砂杭による均質な地盤ができるようにした。SDについてはかなり勉強し、苦労した。GPSやナローマルチビームを使った施工管理は今では当たり前になったが、管理の統一基準を作るという発想は関西空港で教わった。

岸本 通常発注者は保守的に考えるので、確立された技術を採用する傾向がある。関西空港2期の場合GPSもナローマルチビームも先取りして導入された。



水上 純一氏

水上 施工管理については相当勉強していた。1期の時は機械やコンピューターの性能が追い付いていなかったが、2期ではいろいろな武器が使えるようになったので、皆さんにどんどん投げ掛けてみた。

相川 1期工事の時に既に発想があった座標式工程表や施工展開図を使った全体の管理などが2期工事でもアウトプットとして出てきた。それでみんなが工事の進捗状況を共有でき、非常に良かった。

コンピューターの性能が格段に上がり、入ってくるデータも充実していた。1期で考えていた理想を2期で実現できたといえる。

岸本 6工区は他の工区と違ってサンドコンパクション(SCP)＋セル護岸や深層混合処理(CDM)＋直立消波ケーソンといった構造が多く、新たな工夫がなされた。

石川 SCPおよびCDM(壁式)の採用箇所は開口部の早期締め切り、ケーソン部の早期供用が必要な箇所だった。1期もSCP＋鋼板セルの組み合わせはあったが、2期では、SCP改良部の上部はSD杭に変更となった。2期では環境に配慮し、CDMやSCPの盛り上がり部も環境面、有効利用を目的に改良した。特にCDM部の盛り上がり高さは次工種の基礎捨石層厚がケーソン下面の支持力安定性に影響するため、施工面のみならず設計検討を含め協議を行いながら次工種につなげていった。CDMは、1期ではラップ時間を考慮して遅延性セメントが使用されたが、2期では事前試験結果を踏まえ、大阪湾内の工事で使用実績がある高炉B種が採用された。

丸林 2期島は200m沖に出したので、沖合側の護岸はボーリングデータがなく、チェックボーリングをやって初めて地盤情報が分かるという状態だった。そのため護岸の高さの見直しが大変で、特に施工が先行していた2工区は高さ合わせに苦労した。

岸本 盛砂工はいよいよ本体ということで、いかに早期に均一にやっていくかが議論された。これが全体の工期にも影響するが、着工が2カ月ぐらい遅れ、当初は供給量も不足していた。建設協力で資材配分計画に沿った配船などを行っていたが、最大48隻もの土運船の運航管理はかなり厳しかったのではないかな。

野村 関西空港2期工事の前半は主にガット船、後半に土運船の運航管理を担当した。関西空港株式会社さんの航行安全センター内にJV航行情報センターを設置し、運航管理委員会、協力の会の調整部会、山土連絡会の5者が緊密に連携して、24時間の管理体制を組んだ。大量急速施工が要求される中、運航効率の向上と安全運航を図るため土運船には運航管理支援システム「VS-10」を搭載し、JV航行情報センター側で土運船全船の動静を一元的かつリアルタイムに把握し、必要な情報提供および指示を行った。工事海域内の出入域調整、障害物の位置、土砂投入作業支援など、土運船側はいろいろな情報が取れる。気象・海象、漁船の情報なども役に立ったと思う。土運船のルート上に魚礁があり、かなり神経を使った。建設協力で情報提供船をルート上に6隻配備し、万全の形で漁船と一般船、作業船の安全を確保した。

岸本 漁協にも協力していただき、我々への信頼も厚くなった気がする。地元の信頼を得られて、協力的になっていただいたことが、工事が円滑に進んだ大きな要因だった。盛砂工の施工はどのように行われたのか。



相川 秀一氏

相川 均一でなるべく層状にということで、各工区でシミュレーションし、それを用地造成会社主導で設計図にした。その設計図をベースに土の配分などが決まった。大きな島を造るとか、大プロジェクトは設計図をつくるのが大事だと分かった。施工のイメージをつかむためレゴブロックで盛砂の進捗を再現し、写真を撮りながら何日はこれ、次の日はこれという確認を事前に行いながら施工を進めた。そこまで突き詰めれば良いものができるだろうと思う。

江村 1期と2期を比べると、実は2期の方が不同沈下は少ない。沈下量は2期の方が圧倒的に大きい、その割に不同沈下が少ないということは2期の薄層均一施工の観点で沈下管理がとてもうまくいったということ。

大本 1期島との連絡誘導路には両側の海水を行き来させる通水管が横断している。この通水管の施工には苦労した。全長430m、径が2.5mで2条、8分割された管を海底に沈めつないでいく工事。最長98mの管をどうやって精度よく海底に設置するのか、どうやって埋めるのか、1期島の沈下もあるので、3次元FEM解析を行い1期島と2期島の挙動を予測し検討を重ねた。施工後、ROVで管内の状況や接続部を計測し通水管の健全性が保たれていることを確認した。



川俣 奨氏

川俣 2期工事では、埋立造成は面的に層状に施工するという基本方針から、土運船を使った土砂投入に際し、ナローマルチビームを用いた。現状起伏に応じて、船形の違いによる堆積形状の特徴を予測しながら均一に施工していく難しさがあつた。土運船の直投

工事をここまでシステムティックに行ったことは過去にはないと思う。また、埋立5工区には開口部が南北に2カ所あり、施工場所に応じた航路の切り替えや、この開口部をいつ締め切るか、圧密放置期間をいかに確保するかという観点で調整にも苦労した。

丸林 担当していた護岸2工区でも北側に開口部があつた。護岸の早期概成が求められる一方で、埋立作業を行う土運船の航行や潮流による埋立作業への影響から開口部を開けておいてほしいとの要望もあり、調整が難しかった。

石川 2工区開口部の締め切りにより、土運船航行が6工区の開口部に集中し、開口部背面の広大な中埋部他の施工に支障を与える状況が予測された。結果的に、圧密放置面(敷砂②盛砂①層厚)見直しにより次施工着手の前倒しが可能となり、そうした事態は回避された。この際、6工区は、当初よりナローマルチに加え自主土質調査・試験等を積み重ねてきたが、この圧密放置面の強度検証等にも役立った。

岸本 捨石と被覆石の施工中には台風の襲来もあり、対策が必要になった。



丸林 秀樹氏

丸林 護岸2工区は波当りの強い淡路側の一番北側の工区で、護岸の進捗を早くしろ、早くしろと言われた。私は工事課長の立場で、技術委員会にも参加しており、その場で議論されていた各社の台風対策を共有し対応に当たった。当時は大変で苦労も多かったが、

20年たつて振り返ると、ラクビーではないがワンチームになって良い仕事ができたと感じる。

川俣 護岸3工区は南端の工区で、紀淡海峡からの波が直接当たる厳しい条件だった。フィルターユニットやワイヤーメッシュなど1期工事での対策をベースにその水理効果を定量的に確認しようと水理模型実験を行った。おかげで台風が来てもフィルターユニット自体は移動したりするが、それほど大きな被災にはならずに進めることができた。

相川 当社でも平面水槽を用いた水理模型実験を行い、対策の効果と被災状況をシミュレーションした。台風で被災した後、すぐに現場に行ったら、被災状況

が実験結果とまったく同じだった。その成果を後に残すため、その内容を外部へ投稿した。やはり大きな石を置けば、被災も少なくとも済む。よい勉強になった。岸本 地盤改良は台風が来たら一斉避難ということで、避難場所と避難の順番などを決めていた。



野村 康行氏

野村 建設協力会の規約で台風対策本部を設置することを工事開始前から決めていた。作業船も湾内の避難先関係者と運航管理委員会が事前調整できていたので、速やかに避難できた。これも2期工事の特色といえる調整技術の一つだった。汚濁防止膜の沈降・浮上の判断をどうするかも台風対策本部で検討しながら決めていた。沈降・浮上の訓練もしていたので、大きなトラブルはなかった。

岸本 2期工事は、1期工事以上の大規模・急速施工ゆえに環境対策も重要だった。

水上 現在、関西空港の藻場面積は59haで、大阪湾全体335haの約2割を占めている。1期では積極的にはやらなかったが、海藻が結構付いた。2期では人の手を加えてより早く付くようにしている。

岸本 6工区で1期の消波ブロックを撤去したら、アワビがたくさん付いていた。

石川 2期の護岸工事でもスリットの入った環境創生

型ブロックが採用された。スリットはあと施工も可能だが、メーカーは当時のスリット仕様を現在もそのまま推奨しているようだ。

岸本 航行安全センターには展望ホールが設けられ、一般の方にも見てもらう方策が取られた。



大本 泰久氏

大本 5工区は建設事務所や空港利用者が集まるエアロプラザから最も近い施工場所であり、双眼鏡で見られているので常にびりびりもしていた。12月になるとSD船をクリスマスツリーに見立て飾り付けライトアップを行ったり、「みんなで作ろう空港島」として催された工事見学会用の仮設棧橋の製作・設置を行ったり、本業以外の楽しい思い出もあつた。当時はまだ一般の人に現場を見せるようなことはしていなかったが、あれ以来、現場を積極的に見せようとなった。

江村 広報活動には結構お金もかかったが、2期島を見渡せる展望ホールについて土木学会の関西支部からも、これからはこうして現場を見せないといけないという評価をいただいた。作業船や地層の模型を見ながら目の前の現場を見ることでお客さんにとっても分か

りやすかつたのではないかな。

岸本 一般の方に土木をPRする先駆けになったのではないかな。現場は大変だったが、子どもたちが喜んで帰るのは良かった。



石川 泰朋氏

石川 関西空港は2001年に、米国土木学会から20世紀を代表する10大事業「モニュメント・オブ・ザ・ミレニアム」の一つに選定された。「ダム」「道路」「超高層ビル」など10の部門ごとに世界で最も優れた事業の一つずつ選定するもので、関西空港はそのうちの「空港の設計・開発」部門での受賞。ゴールデン・ゲート・ブリッジやエンパイア・ステート・ビルと並んで日本では関西空港だけが選ばれている。我々は2期の護岸工事中にその朗報を聞いた。こうした歴史的な大プロジェクトに関われる可能性があることも建設会社の醍醐味である点を、学生を含め若い人達に広く知ってもらいたい。

江村 関西空港では毎年、学校の教員の方々に見学に来ていただいて空港島の建設技術や空港運用の裏側などの話をしている。先生方はそれを学校で子どもたちに教える。そういう意味では、建設が終わっても次世代の土木技術者につながる活動が続いている。

岸本 関西空港2期工事は、その後の羽田空港D滑走

路工事にも影響を与えた。

相川 羽田の現場には関西空港で苦労を共にした技術者が多く来ていた。関西空港の造り方を知っていたので話が早かつた。羽田は設計・施工だったが、関西空港の時と同じように現場の条件に合わせて臨機応変に対応していった。

岸本 ゼロから考え直し、合理的な結論を出すという大切さを関西空港で学んだ。ゼロから考える癖が付いたのは関西空港経験者の財産であり、それを若い人にも伝えていくべきだ。

相川 決まっているものがあつても、そもそもなぜそれが決まっているのか、どういう理屈なのか、なぜこの数値なのかという、ものごとを掘り下げて考える発想だった。関西空港や羽田のような大きなプロジェクトがあると、若い人にもそれを教えるチャンスがあるだろう。

水上 羽田がうまくいったのは関西空港があつたからといってもよい。ナローマルチビームやICT施工、作業船の運航管理システムなど現在のi-Constructionの要素も関西空港の工事でほとんどできていた。

岸本 大阪はこれから万博やIRもある。航空需要はまだまだ伸びるのではないかな。

江村 昨年は19万回の離着陸があり、今年は20万～21万回に増える見通しだ。2期計画で掲げた23万回が近づいている。2期島には日本初のLCCターミナルやフェデックス北太平洋地区のハブとなる貨物基地が整備された。今後の需要増にも展開できる余地があり、2期島を造って本当に良かったと思う。

岸本 一時は要らないとまで言われた空港でこれだけ需要が伸びている。建設に携わった者としても大変うれしいことだ。

江村 関西空港は4年前に関西エアポートに運営権が移った。フランスの空港運営会社ヴァンシ・エアポートやオリックス、地元企業などが出資した民間会社で、関西空港と併せて伊丹空港や神戸空港も運営している。私もこの会社に転籍した。空港島の沈下管理や護岸の高上げなど関西空港の維持管理は関西エアポートが引き続き行っていく。2018年9月の台風では越波によってターミナルが冠水するなど大きな被害が出た。これからは今までに経験していない気象条件も考え、防災工事を進めていかなければならないだろう。

