

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

関西国際空港 特集号

特集

着々と進む関空第二期工事

クローズアップテクノロジー

港湾の地盤改良

CDIT対談

ゲスト 吉川和広氏&古土井光昭氏

沿岸プロジェクト

海洋環境下におけるRC構造物の耐久性向上の方法

高潮・高波浪から東京湾岸住宅地を守る

Coastal Development Institute of Technology

特集	
関西国際空港	
着々と進む関空第二期工事	3
クローズアップ・テクノロジー	
港湾の地盤改良 奥村樹郎	8
CDIT対談	
沿岸の未来を見据えて	
Monument of the Millennium 20世紀から21世紀の事業へ	10
ゲスト 吉川和広氏 & 古土井光昭氏	
沿岸プロジェクト	
20世紀を振り返って「コンクリート構造物」 海洋環境下におけるRC構造物の耐久性向上の方法 濱田秀則	14
21世紀を創る「横須賀港馬堀地区高潮対策事業」 高潮・高波浪から東京湾岸住宅地を守る 天坂勇治	
COASTAL PROJECT REPORT	
沈下予測と沈下計測	18
海外フォーラム	
ASCE年次大会の報告 小谷野喜二&中村豊	20
Coastal News Flash ニュース・フラッシュ	
	23
ONE POINT LECTURE 解説	
環境と共生する関西国際空港	24
沿岸虫眼鏡	
	25
CDITニュース	
	26

着々と進む関空第二期工事



関西国際空港は、平成六年九月四日の開港以来、諸外国からの乗り入れも着実に増加しており、関西圏はもとより、我が国の発展にも大きく貢献してきました。現在、さらなる飛躍を目指して、平成十九年のB滑走路供用に向けた二期事業が進められています。

今号は関空特集号として、この二期事業とともに各コーナーにて関空関連の記事をご紹介します。この特集とあわせてご覧ください。

はじめに

関西国際空港（以下、関空）は、増大する航空需要と大阪国際空港の騒音問題に対処するため、二十四時間運用の国際ハブ空港として、泉州沖五kmの海上に建設された空港です。しかし、現在の関空は滑走路一本で運用されており、二十一世紀初頭には、処理能力の限

界である離着陸回数十六万回に達することが予想されます。そこで、関空全体構想で整備予定の二本の滑走路のうち、四〇〇〇mの平行滑走路を二期事業として整備することになりました。

二期空港島造成工事の基本的な考え方

二期事業は、現在の一期空港島から二〇〇

m離れた沖合に新たな空港島を造成し、二本目の滑走路等を整備する事業です。完成後は、年間離着陸能力を現在の十六万回から二十三万回に増強を図ることができます（図1）。

護岸延長約十三km、埋立面積は五四五ha。建設海域の平均水深は、一期のマイナス十八・〇mに対してマイナス十九・五mとさらに深くなり、海底には一期区域より約三割も

厚い約二十～二十六mの沖積粘土層。その下には洪積層が四〇〇m以上堆積しており、一期よりさらに厳しい条件下での施工となります。

この二期事業は、一期事業と異なり、空港島の造成を関西国際空港用地造成株式会社（以下、用地造成会社）が、滑走路をはじめ空港施設の整備を関西国際空港株式会社（以下、

関空会社が担当する整備主体を分離した上下分離方式を導入しています。

空港島造成工事は、まず建設海域の軟弱な沖積粘土層の沈下を促し、基礎地盤の強化を図るための砂杭を打設するSDI（サンドドレーン）工法で地盤改良して、埋立地造成中の沈下を促進します。そして、その下の洪積層（粘土層と砂層の互層）は、経済的に地盤改良が困難なことから、この層の圧密特性を綿密に分析し、埋立の進捗に伴う沈下の進み具合を予測・計測しながら管理する計測施工の考え方で工事を進めることとしています。

二期空港島工事（以下、二期工事）で重要になるのは、大量の資材の調達、工事の進捗に伴う的確な沈下管理、短期間により良い土地造成を実現するための効率的な施工、大量の作業船の航行に伴う安全管理、関西国際空港の原点である環境保全及び環境対策です。

用地造成会社では、二期工事を円滑に進捗させるため、コスト削減方策の検討と併せて、資材の調達及び施工計画の詳細な検討をはじめ、前記した各事項への対応を継続的に行っています。こうした対応の結果としてこれまではほぼ当初計画通り工事が進捗しています。

1 護岸構造
護岸構造は、一期工事と同様に、延長十三kmのうち九割で緩傾斜石積護岸を採用しました（図2）。この構造は、関空の特徴である沈下変形に追従しやすく、かつ安価であり、資材（海砂、山土、石材）の調達が順調ならばヤードの確保も少なくて済みます。また、環境にやさしいなどの利点もあつきます。

2 埋立施工

敷砂工、SDI工（ともに後述）に引き続き、土運船により薄層で二次敷砂層を造成し（図3）、その後直投工事でマイナスマ六mまで仕上げたのち、直投と揚土作業を平行してフラスク十m程度の高さに造成します。二期工事では一期工事比べて沈下量が大きいことから、さらに護岸際で横持ちした揚土船から山土をタンクで運搬して五〜八m程度の層厚で二次揚土を行うこととしています。二期工事の埋立施工展開計画は、作業船の出入口となる護岸の開閉部を一期空港島との位置関係を考えて設けて、図4に示す計画としています。

大量の資材の調達

1 海砂の調達

SDI工法による地盤改良工事では、敷砂材及び砂杭材に約一八〇〇万m³の海砂を必要とします。一期工事では約一七〇〇万m³の海砂のほとんどを瀬戸内海から調達しましたが、その後環境保全の観点から瀬戸内各県で海砂の採取禁止の動きが顕著になり、二期工事の着手以前から海砂の調達について対応策を調査・検討してきました。

その結果、海砂の調達範囲を九州及び四国さらには中国などの海外まで拡大して調達環境を整えることにしました。

輸入砂の使用については、関係行政機関の協力を得て、中国（青島、舟山、寧波）から大型の貨物船（四万〜七万DWT級）で直接工事海域に搬入し、工事区域内に係留した後、砂搬船に二次運搬する仕組みを構築しました（写真1）。海外から調達された海砂の総量は約一八〇万m³に達しました。

また、国内の海砂の代替材料として、セメント材を約二〇万m³、洗砂を約五十万m³、その他、公共工事で発生した浚渫土を約四十万m³使用しており、前述の輸入砂と合わせると、合計約五八〇万m³使用しています。この量は海砂使用量の約三分の一に相当します。また、瀬戸内海からの調達量はわずか三〇

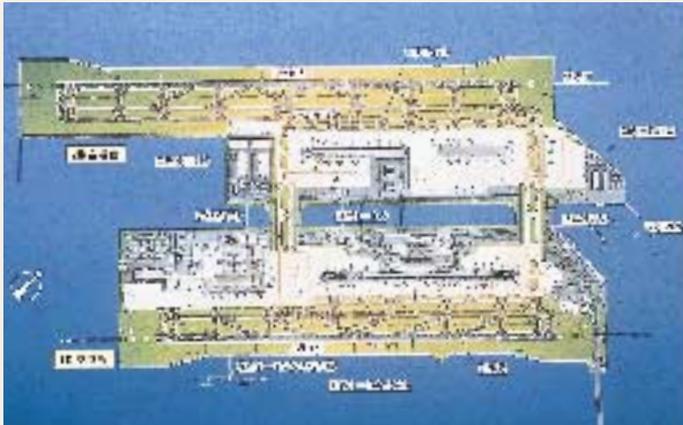


図 1

表 1 一期空港島と二期空港島の比較

	面積	護岸延長	埋立土量	水深	沖積粘土層厚
一期空港島	511ha	11km	1億8千万m ³	18m	20m
二期空港島	545ha	13km	2億5千万m ³	19.5m	24m



図 3

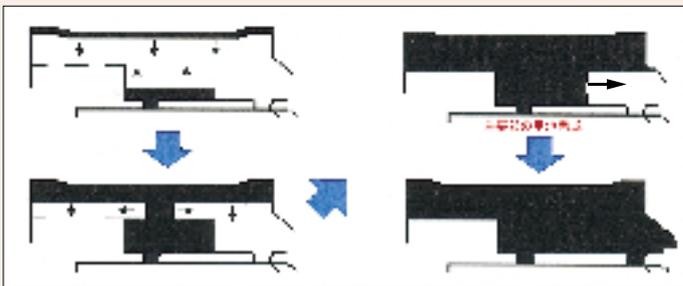


図 4

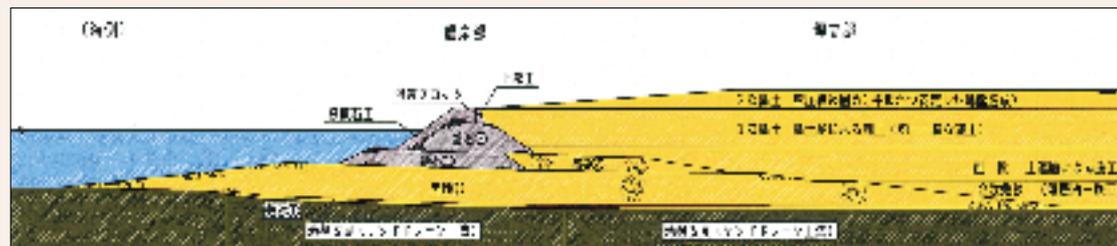


図 2

表 1 / 一期・二期空港島規模比較

図 1 / 二期計画平面図

図 2 / 護岸及び埋立断面図

図 3 / 土運船による土砂の投入

図 4 / 埋立施工展開計画のイメージ

万³と二期工事に比べて大幅に削減することができました。

2) 山土の調達

埋立土砂に使用する山土の総量は約一億五千万³に上ります。二期工事を円滑に進捗させるためには、この山土の確保が重要です。そのため、大阪湾周辺の三府県に協力要請を行い、淡路島の三浦(津名:三五〇〇万³、洲本:五〇〇〇万³)、和歌山県の加太(八五〇〇万³)、大阪府の岬(七〇〇〇万³)の四工源から計一億四千万³の山土を確保することができました。図5にこれまでの山土の搬出状況を示します。

地盤改良工事

1) 敷砂工事

平成十一年七月に着工された敷砂工は、地盤改良工事の二期工となります。敷砂は沖積粘土層の圧密の進行に伴う水の排水層となるものです。また、工事は海底の軟弱な粘土地盤上に地盤を破壊せず、かつ良好な排水性を有する砂層をつくるもので特に慎重を要します。このため、次の項目について現地調査を行い、最適な施工方法を選定しました。

- ・ 施工性調査
 - ・ 施工効率、使用砂量、移動速度(出来形調査)
 - ・ 単位施工幅、層厚、浮泥混入状況(その他調査)濁度、GPSの精度確認)
- 敷砂の施工は、一・五mの敷砂層を二・四層に分けて均一散布されます。こうした施工を確認を行うために、リアルタイムに敷砂天

端高を計測管理する必要があります。そこでGPSと連動したオートレドまたは水圧式センサーによって計測した敷砂天端高と船位をモニター画面上に表示しながら行いました。

2) S/D工事

敷砂工に引き続いてS/D工の施工を行いました。S/D工は、沖積粘土層中に直径四〇〇mm、杭長二五mの砂杭を一定間隔で打設し、その後施工される盛砂等の載荷重によって沖積粘土層に含まれる水分を砂杭を通して押し出し、前述の敷砂層から逃がすことで沖積粘土層の圧密を促進させるものです。

施工には、日本にあるすべての大型S/D船八隻とMPD(マリンプラットフォームポッドドレーン)船一隻の計九隻を使用しました。S/Dの施工は洪積砂層への着底と砂杭の連続性が厳しく要求されます。このため、一期工事の経験を踏まえて管理マニュアルを作成して各作業船に施工方法及び施工管理方法を徹底するとともに、ボーリング地点付近で現地試験を行い、着底深度の考え方を各作業船ごとに確認しました。

S/D工は、平成十一年八月の開始から平成十一年十一月の一年四カ月で、護岸部、埋立部を含めて合計でS/D船で約一八万本、MPD船で約四万本の計二二万本のドレーン杭が打設されました。大型作業船の確保、高度な施工管理システムの活用、資材の確保が順調だったこともあって、当初計画よりも約三カ月工期を短縮することができました。

護岸工事

護岸の構造は、前述したように九割が緩傾

斜石積護岸です(図2)。

1) 盛砂工事

盛砂工事は、護岸部の敷砂及びS/Dの施工後に予定されている工種です。山土を使用する工事で改良地盤への最初の載荷重となります。このため、工程(進捗)管理のほかに、施工履歴管理と沈下管理が重要となります。

二期工事では、一期工事より沈下量が大きいことから、いわゆる天端管理よりも層厚管理(「荷重管理」)を基本としています。この考え方は、均一な施工を必要とする埋立工事において特に重要です。そこで、後述する埋立工事に備えて、深浅測量システムを活用した層厚管理システムを開発しました。

深浅測量は、ナローマルチビーム方式を採



写真 1

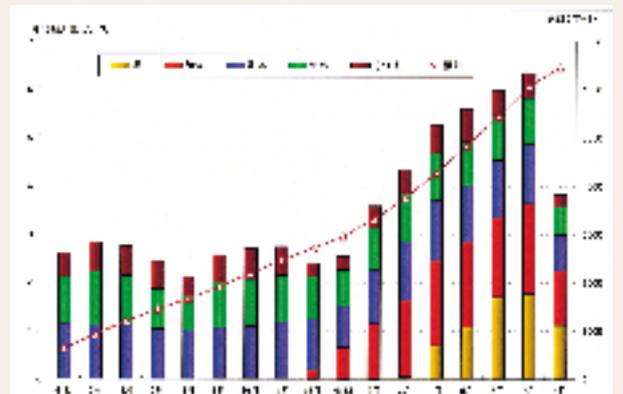


図 5

用しました(図6)。これは、指向角一・五度のビームを放射状に六十本発信し、最大ビーム角九十度(直下から±四十五度)の範囲内を一度に測定できるもので、測量船に搭載されたGPSによる位置測量と連動することにより効率的に任意の場所の測量データを把握することが可能となります。施工層厚は土運船一投ごとに事前及び事後の海底地盤の状況の測量を行い、この差分を施工履歴としてデータ蓄積して、施工途中の沈下量で補正することにより面的に把握されます。

2) 捨石部以降の護岸工事

捨石部は、上部と下部から成っており、下部の捨石は無規格の雑石、上部は十一二〇〇kgの規格石です。上部の捨石の施工が行われる

写真 1 / 大型貨物船からの輸入砂の積換え(2次運搬)

図 5 / 山土搬出状況

年表(昭和43年~平成13年)

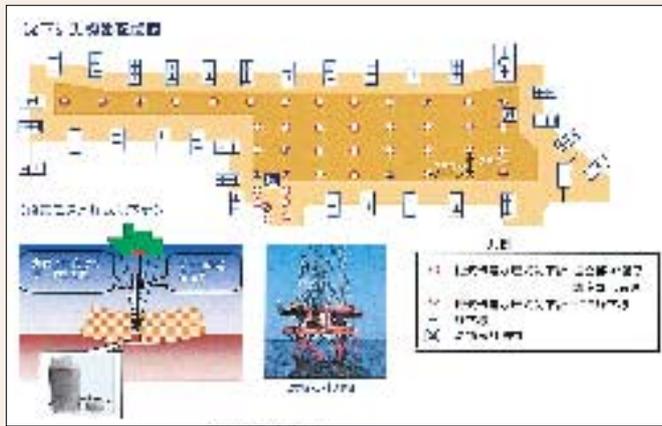
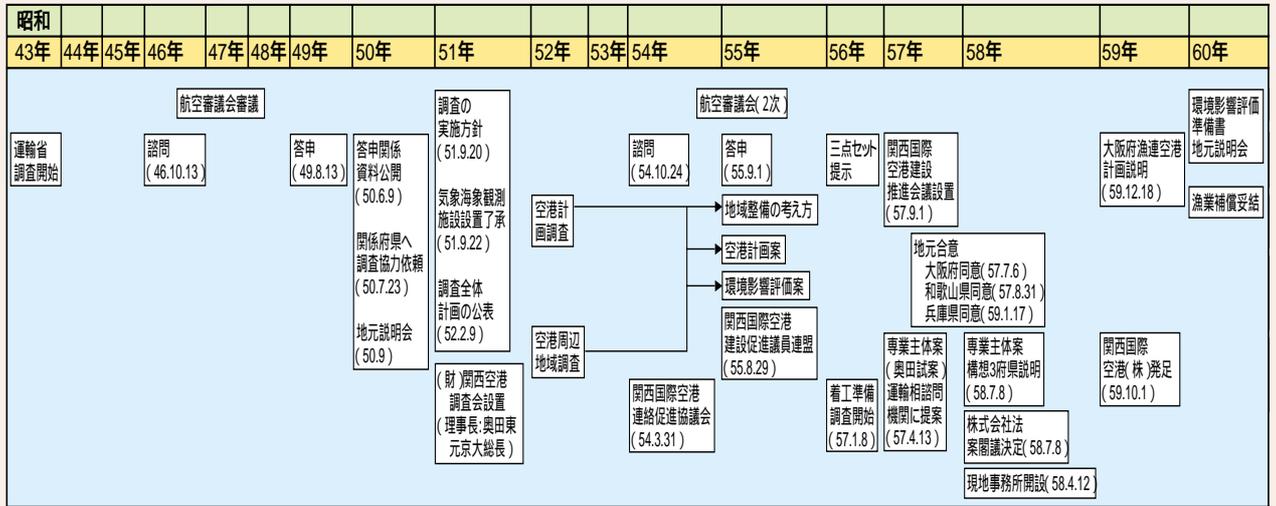


図 7

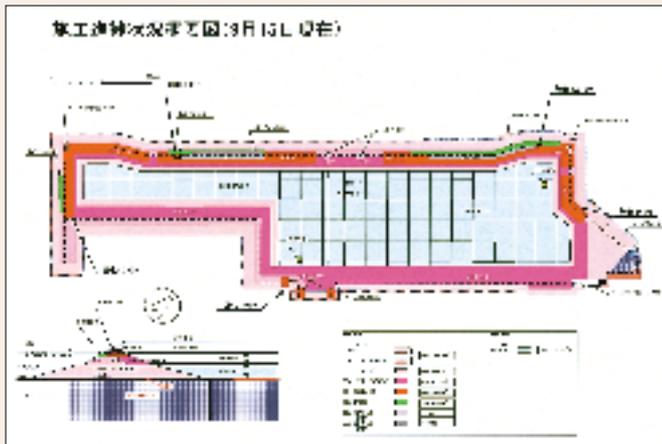


図 8



写真 5

図 7 / 沈下計測計画

図 8 / 施工進捗状況概要図 (平成13年9月15日現在)

写真 5 / 2期工事区域全景 (平成13年8月29日撮影)

状のシミュレーションができる投入計画作成支援システムを開発しました。このシステムによって投入計画を作成し、これに基づいて投入が行われています。写真 4 に層厚管理システムにより出力される層厚分析を示します。

埋立工事中の沈下管理のために、磁気伝送水圧式沈下計を埋立地内の三十七カ所に設置することとしました。この沈下計は計測した水圧データを蓄積することができ、海上から信号を送ると蓄積したデータを自

動的に磁気データとして送信する機能を持っています。なお、磁気伝送水圧式沈下計の精度については、護岸の先行調査工区において沈下版を用いた計測と比較・検証しています。

埋立地内には、用地造成後の沈下管理のために二地点で沈下計の設置を完了しています。(P. 18・19参照)

工事の進捗状況

平成十一年七月九日の埋立免許の取得を受けて同月十四日に着工されてから二年余りが経過しました。現在は護岸工事が最終段階を迎えて、ほぼ計画通り十一月には外側の護岸が概成し、埋立工事が本格化していくこととなります。

関空は、平成十三年四月にアメリカ土木学会が選定する二十世紀の十大プロジェクト「Monument of the Millennium」の空港部門に選ばれました。日本では唯一の受賞となる栄誉なものとなりました。この栄誉を胸に二十一世紀の「Monument of the Millennium」となるようなさらなる挑戦が続きます。

なります。来年度には揚土工事が始まり、徐々に埋立地が水面上に現れるようになります。

工事全体の進捗率は、施工数量換算では現時点で約三十%強の進捗率であり、今年度末には約四十五%、来年度末には約七十%に達すると見込んでいます。

港湾の地盤改良

奥村樹郎

表 地盤改良工法の特徴

分類	工法の名称	摘要	目的				対象土質	改良効果	施工工期	施工費	設計精度	可能規模	施工管理の必要性	環境への影響		
			強度増加	沈下防止	液状化防止	透水性低減										
置換工法	機械的な掘削置換															
	排水	自然圧密工法	圧密による強度増加や沈下防止を期待する工法			x	x	x	中	短	安	多	優	大	小	
		バーチカルドレーン								中	中	中	多	優	大	大
		サンドドレーン工法				x	x	x		中	中	中	多	優	大	大
		プラスチックドレーン工法				x	x	x		中	中	中	多	優	大	大
	排水	水位低下	排水による圧力低下を利用する工法													
		ウェルポイント工法				x	x		小	中	中	多	優	中	中	
		真空圧密工法				x	x	x		中	中	中	多	良	中	中
		生石灰杭工法		化学的脱水を利用				x		中	中	中	多	良	大	中
	排水	グラベルドレーン工法	砂質土の排水により液状化防止	x	x		x	x		中	短	中	中	良	大	小
ドレーンパイプ工法		x		x		x	x		中	短	中	中	良	大	小	
サンドコンパクションパイル工法						x			大	短	中	多	優	大	中	
パイプフローテーション工法						x	x		大	短	中	多	優	大	中	
圧縮	ロッドコンパクション工法	砂の締固め				x	x		中	短	中	中	良	大	中	
	重錘落下締固め工法					x	x		中	短	中	中	良	大	中	
	深層混合処理工法		化学的固結作用を利用						x	中	短	中	多	優	大	中
	浅層混合処理工法								x	中	短	中	多	優	大	中
化学的固化	事前混合処理工法	化学的充填固結法							中	短	高	多	良	中	中	
	薬液注入工法		x				x		中	短	高	多	良	中	大	
	噴射攪拌工法								大	短	高	多	良	中	大	
凍結工法	間隙水を一時凍結		x	x					大	中	中	多	優	中	中	
	シート・ネット工法	土の引張り強度を補強	x	x	x		x		中	短	安	多	多	良	中	小
補強	補強土工法		x	x	x				中	短	中	多	良	中	小	
軽減	軽量材	荷重を軽減			x	x			中	短	中	多	優	中	小	
	軽量混合土									中	短	高	多	良	中	小

はじめに
 軟弱な地盤を固くして構造物を安全に建設できるようにすることを地盤改良といいますが、わが国は世界でもっとも地盤改良工事の多い国です。それは、軟弱な地盤が多いばかりでなく、狭い国土に人口が密集し、しかも産業と文化が発展しているからです。つまり、各種のインフラストラクチャーや住宅、工場などの建設需要は多いのですが、用地が狭いために選択の余地があまりなく、軟弱な地盤でも改良して使わざるを得ないのです。
 殊に港湾は大河川の河口に位置することが多

く、軟弱地盤に遭遇する機会が多いのです。空港も同様で、関西国際空港（以下、関空）や羽田空港は典型的な軟弱地盤地帯に建設されています。
地盤改良のいろいろ
 地盤改良工法は細かく分ければ三十種類以上あります。代表的なものだけでも表に示すように選択に迷うほどの種類があり、それぞれの特徴をつかんで選ぶ必要があります。港湾で使われる主な工法のいくつかを簡単に説明しましょう。

サンドコンパクションパイル工法
 サンドドレーンの砂の柱は緩い状態で水を通しやすいように造成しますが、サンドコンパクションパイルでは粘土地盤に締まった砂柱を打設します。軟弱な粘土を砂の柱で補強するので、土砂の盛り立ては必ずしも必要ではありません。関空でもフェリー埠頭など重要な護岸部分にこれが使われています。この工法はまた、緩い砂地盤を締め固めて地震時の液状化を防止するにも使われます。関空でも滑走路の下の埋め立て土などはこれで改良されています。
 わが国で現在最も多く使われている地盤改良工法はサンドコンパクションパイルです。この工法はわが国で開発されたものですが、現在では東南アジアをはじめ各国で使われています。



関空のサンドドレーン

サンドドレーン工法
 軟弱な粘土地盤の中に砂の柱を一定の間隔で造成し、この上に土砂を盛り上げます。沢庵漬で重石を乗せたときのように粘土地盤から水分が搾り出され、砂の柱を通って外に逃げます。こうして粘土は固くなり、沈下もしないようになります。一九五〇年代にアメリカから導入された頃は数百から数千本の規模でしたが、関空では一期、二期ともそれぞれ約百万本が打設されています。これほど大規模な地盤改良工事は世界でも例がありません。



奥村樹郎（おくむら・たつろう）

（株）ドラムエンジニアリング顧問。工学博士。技術士（建設部門）。1934年生まれ。59年京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了。65年運輸省第五港湾建設局設計室長。78年同省港湾技術研究所土質部長。85年（財）沿岸開発技術研究センター常務理事。95年岡山大学環境理工学部教授。2000年4月より現職。2001年（財）国際臨海開発研究センター調査役、国際航路協会日本部会事務局長兼務。



開空のサンドコンパクションパイル



開空の深層混合処理

重錘落下締固め工法

大きな錘を高い所から落とす作業を繰り返すと、緩い地盤は締まって強固になります。地震が来ても液状化しません。開空では誘導路の下などに重錘落下締固め工法が使われました。



開空の地盤改良工事

港湾の地盤改良の特徴

港湾地域は軟弱な地盤が多いついでに構造物の重量が大きいという特徴があります。水の下に隠れて目には見えないのですが、高さ数十メートルの防波堤や二十メートル近い岸壁は珍しくありません。また、軟弱層の厚さが山手にくらべて大きいこともその特徴といえます。このため、地盤は深いところまで強固に改良する必要があります。しかも、海上では水深分だけよいに高さが必要なため、陸上にくらべると施工機械は格段に大規模なものとなります。一隻で数十億円のサンドドレーン船が日本には何隻もありません。このように大型の作業船が必要となると、初期投資は大変ですが、施工速度は一般に速くなります。また、機械化が進んで出来上りの品質も良いことが多いのです。大量生産のメリットといえます。ただし、需要があまりないと作業船の維持管理が大変でコストもかかります。

これからの地盤改良

二十一世紀の地盤改良はこれまでとはだいぶ変わって来ると思われます。高度成長・高金利の時代に要求されたインフラの大量・急速施工はもはや重要ではなくなり、しかし、高齢化社会に向けて社会資本の増強と維持管理はやはり要求されるでしょう。そこで、地盤改良の世界でも時間より金の重みが増し、より安い工法の開発が望まれます。さらに、地盤改良として安い工法より、インフラ全体の建設費が安くなる工法の開発など、総合的な視点が求められます。このため、単に軟弱地盤を固めて改良する工法よりも、より範囲の広い軟弱地盤対策を工夫する必要があります。ここでも、ハードよりソフト、シミュレーションの重要性が増してきます。

新しい世紀は環境の時代です。地盤改良工法にも省資源、省エネルギーの観点が求められます。さらに、廃棄物の有効利用や廃棄物処理のための改良工法も必要です。浚渫土を有効利用

深層混合処理工法
粘土地盤にセメントを注入し、攪拌混合して放置します。コンクリートと同じような化学反応が起こり、コンクリートほどではあませんが強固な地盤になります。開空でもサンドコンパクションパイルよりさらに強固な改良が必要な空港島の四隅に深層混合処理工法が使われています。

この工法もわが国で開発されたものですが、現在、ISOを目指した標準化が進んでいます。

その他の工法

開空で使われた地盤改良工法は前記四つが主なものですが、羽田空港の沖合展開では地盤改良のオンパレードといえるほど多くの工法が使われています。サンドドレーンと同じ原理で材料が異なるプラスチックドレーン、サンドドレーンの確実性を増したファブリックドレーン、化学反応を利用した生石灰杭工法、浅層混合処理工法、薬液注入工法、人工材料で補強するシート・ネット工法、軽量混合処理工法などなど枚挙にいとまがありません。

羽田空港は水深も軟弱地盤層の厚さも開空より小さいのですが、埋め立て土が航路の浚渫土という悪条件なのです。また、地盤の成層状態が複雑で構造物の種類も多く、適材適所で工法を選ぶとオンパレードとなるのです。ただし、羽田空港の地盤改良は主に陸上工事でした。

して埋め立て材料に変える、管中混合固化処理工法や「軽量混合処理工法」などが活用されていくでしょう。また、廃棄物を地盤改良用の材料に加工して使うことも進展していくでしょう。

これまでの地盤改良は軟弱な地盤を固めたり、液状化を防ぐのが目的でした。しかし、これからは汚染された地盤の浄化が重要になってきます。臨海工業地帯の工場や処分場の跡地などが重金属、有機溶剤、PCBや石油などで汚染されている例がポツポツ摘発されています。本来は表に出ないで間に葬られることが多い事象ですが、これから環境監視の目が厳しくなるにつれて摘発量は増えていくでしょう。汚染地盤の浄化は生産に寄与するわけではないのに時間とコストがかかって嫌われ者になっています。従来の狭い意味での地盤改良工法ではありませんが、安くて速い浄化工法の開発が緊急の課題となっています。

汚染地盤の浄化工法にも多くの種類があります。「洗浄」、「吸引除去」のような物理的工法「焼却」、「固化」などの化学的工法も使われますが、これからの工法として注目されているものに微生物の利用があります。タンカーから流出した石油が何時か自然に分解されてきれいになるように、微生物の効能はまだよく判っていませんが、これから無限の可能性があるように思われます。またこれは汚染地盤の浄化ばかりでなく、軟弱地盤を固める効果もあって、研究が進んでいます。開空の第三期工事ではサンドドレーンなど使わず、洪積層までポーリングして微生物を注入し、多少の時間はかかるものの、格安の地盤改良を行い、沈下量を半減させるといっても夢ではないかもしれません。

Monument of the Millennium 20世紀から21世紀の事業へ

平成13年3月、関西国際空港は、二十世紀の十大大事業の選定を進めるアメリカ土木学会から Monument of the Millenniumの空港部門に選ばれる栄誉を受けられました。
そこで、関空プロジェクトに深く関わられる吉川先生、古土井専務のお二人をお招きして、
現在、2007年供用を目指して2期工事が進められている関空の
構想段階から現在までを語っていただきました。



ゲスト 古土井光昭氏

関西国際空港用地造成（株）代表取締役専務



ゲスト 吉川和広氏

京都大学名誉教授

二十世紀の十大大事業のひとつに

中村 関西国際空港（以下、関空）は、平成十三年三月にASCE（アメリカ土木学会）が選定する二十世紀の十大大事業の空港部門に受賞する輝かしい栄誉を受けられました。しかし、その一方で昨年の報道等による関空パッシングという不名誉なこともありました。そこで、関空について多くの方々にきちんと理解していただくために、この対談を企画させていただきました。

本日は、関空プロジェクトの構想段階から現在もご指導いただいています吉川先生と、運輸省在職時に調査段階から中心的にプロジェクトに取り組まれてこられた古土井専務にご出席いただき、お話を伺えればと考えております。

まず、今回の受賞についてその意義や感想についてお話いただけますでしょうか。

古土井 この賞は、チャレンジ精神に溢れた世界各国のプロジェクトに対して、ASCEが十部門から Monument of the Millenniumを選定しようといっ試みです。水路部門でパナマ運河、建築部門でエンパイアステートビル、橋梁部門でゴールデンゲートブリッジがそれぞれ受賞する中で、関空が空港部門で賞をいただいたと聞いた時に、改めてこのプロジェクトの位置付けを理解しような感じがありました。

これを一つの糧に二期工事をさらにいい成果を挙げて、この名を辱めないものになりたいと思っております。



司会
（財）沿岸開発技術研究センター
専務理事 中村 豊

吉川 平成六年九月の開港以来、関空は国際航空ネットワークの拠点空港として、世界に対する我が国の役割を果たすとともに、二十一世紀の関西圏の活性化にも大きく貢献していると思います。この時期にASCEからMonument of the Millenniumに選定されたことは、誠にこの上ない荣誉なことだと思います。

関空プロジェクトが、二十世紀における世界の最高水準の土木技術を駆使して達成されたことが、国際的に認められたことで、関係された皆様のお喜びもひとしおであったと思います。このようにご挨拶して親愛なる敬意を表したいと思います。

胎動から着工まで

中村 関空プロジェクトは、工事の着工に至るまでに長い歴史があったと思います。そこで、プロジェクトの胎動から着工までを振り返っていただき、当時の思い出などをお聞かせいただきたいと思います。

吉川 関空の本格的な調査が始められたのが昭和四十三年です。当時、運輸経済研究センター（以下、運研センター）にいらっしゃった喜田健一郎氏から、参加要請をいただいたことが、私が関空に関わることになるきっかけでした。

そこで、まず空港計画を勉強する参考書として、ロンドンに第三空港をつくるために行われた調査結果をまとめた『ロスキル・レポート』を入手して、それを元に勉強を始めました。

関空の必要性、空港の位置の選定、空港の規模、施設計画、航空管制、アクセス交通。

それから周辺地域の整備、施工計画から施工技术に関して勉強しました。その結果、陸上海上を含めて七カ所の候補地を選び、さらに四方所に絞り込み昭和四十六年に航空審議会に図って審議をしていただくことになりました。当時としては珍しく二十九年九月の長時間をかけて議論いただき、昭和四十九年に泉州沖最適という答申をいただきました。

当時の問題の一つは、一九七〇年代に世界的な問題となり、社会問題化した航空機騒音問題を始めとする環境問題でした。地元ではどこも空港建設反対の立場で地元議会が反対決議をしている状況でした。

そこで、関空は日本の大規模プロジェクトとしては、初めて環境アセスメントを行いました。

まず、中立的な立場で審議する必要性から関西国際空港調査会（以下、関空調査会）が設立されました。この調査会の会長に京都大学元総長の奥田東先生が就任されました。当時は、関空に批判的な先生方が非常に多かったわけですが、そういう方にも調査会に参加していただき、可能な限りの調査を行い合議により総合的に判断しました。そして、空港の設置がその影響を受けると想定される地域において、環境基準を達成し維持していく上で支障とならないという結論をいただきました。

次の問題は、事業主体をどうするかということでした。地元では空港公団を要望されましたが、国の財政事情が厳しいことから民間活力を活用せざるを得ませんでした。そのような経緯から昭和五十九年六月、関西国際空港株式会社法が成立。同年十月に

関西国際空港株式会社（以下、関空会社）が設立されました。

会社設立後、まず取り組んだのが漁業補償交渉でした。補償交渉は一人以上の関係漁民の補償という先例のない大規模な交渉となり非常に難航しました。そこで、この補償を従来の財産補償から生活補償という考え方で捉え直して、その人の生活が現在と同じような状況が成り立つように補償するという方法を考えて、これを元に交渉を進めました。

それから、もう一つの問題が日米貿易摩擦問題です。昭和六十一年に外務省で開かれた日米貿易委員会の席上でアメリカ政府として、新空港建設に国際入札を実施するように求めてきました。その後、六十二年四月にワシントンで開かれた協議で合意に達して、関空方式と呼ばれる国内工事への外資企業の参入が確立したことで工事が進められました。

古土井 建設反対からスタートしたこのプロジェクトを進めるにあたっては、地域住民との合意形成が非常に重要な課題になりました。これを成し遂げられたのは、関空調査会の存在と推進役の民間の方々や大学の先生方の力がなければできなかったと思っています。そこに行政が加わった三者でつくり上げたことで、他のプロジェクトとはまったく違う意味合いのものになったと思います。

私は、昭和五十七年から調査に参加しましたが、合意形成の中で非常に驚いたことがあります。昭和五十二年から五十九年まで続いたこの調査は、建設を前提にしない、調査計画は地元と相談する、調査結果は公表するという三原則を約束しているのです。この三原則を調査開始時点で約束している

ことは、当時の国家的プロジェクトからすれば非常に先進性があったといえます。

その調査内容も、例えば環境アセスメントとは何か、何を環境アセスメントとすることか、何を環境アセスメントとするかという点、どのような調査や計算を行えば良いか、何が環境に影響を与えるとするのかという段階から始められた。さらに、その作業は反対運動に熱心だった先生方といっしょに取り組んでつくり上げられました。ですから、合意形成には時間がかかりましたが、着工後の環境面でのトラブルは全く起こっていません。

前例のない巨大プロジェクト

中村 関空プロジェクトは、前例のない巨大人工島の建設でもあり、工事にも様々なご苦労があったと思います。これまでの工事の実施面についてお話をいただきたいと思います。

古土井 空港島建設には、三つの大きな技術課題がありました。一つ目は、一期工事で一億八千万m³という膨大な埋め立ての土砂をどう調達するか。その前に行く地盤改良工事に使う海砂をどう調達するか。また、大量資材と大型作業船をどのように調達するかという問題。二つ目は、水深が平均十八mと深く、さらにその下に約二十mの軟弱な沖積粘土層が横たわっていること。この水深超軟弱地盤をどう処理していくかという問題。三つ目は、工期が五年間と短いこと。そのため大量急速施工をどう実現するか。この三つの問題がありました。

資材の調達、当時瀬戸内海の各県でそれぞれ空港プロジェクトを持っていたこと

から、関空に特別に資材を調達させていた
だくことで非常に安定したコストで調達で
きました。これがなければ地盤改良はでき
なかつたと思います。

この地盤改良については、早期に建設途
上で起こるべき沈下は発生させてしまい、
空港運営中に起こる沈下はできるだけ少な
くするという基本的な考え方で工事を進め
ました。不同沈下の発生時には、上物の柱
の下にジャッキを入れてジャッキアップシ
ステムで上下調整するという方法を考えま
した。その結果、一三〇五mのターミナル
ビルが基本的には何も問題を起こさずに利
用されています。

また、滑走路にも当然地盤改良を施しま
した。この沈下量についてマスコミが批判
的に扱っていますが、大きく沈下すること
も問題ですが、逆に沈下しないことも問題
です。重要なのは、沈下が起こることです。
港の機能が果たせなくなることです。仮に
沈下量が見積りより多くなっても、空港の
機能が全うされていれば問題はありませ
ん。

そして、大量急速施工は、吉川先生に
指導いただいた工事管理システムを使い
ながら行いました。昭和六十年頃のパソコン
の普及率は、現在のように誰もが手軽に扱
えるという時代ではありませんでした。そ
のような状況で、このシステムをつまく活
用できなかった面もありましたが、空港島
建設自体は予定通り護岸築造から土砂搬入
工事までを五年で完了しました。

吉川 私が、工事管理システムのお手伝い
をした時には、空港島造成終了までに八年
という計画を立てていました。ところが、

漁業交渉や株式会社設立等で遅れて、結
局、昭和六十二年二月に始めてわずか五年
間という短い工期で達成しました。これ
を成し遂げられたのは、新しい技術開発を進
めて行われた土木技術の勝利だと思います。

そして、地盤沈下の問題も空港機能がそれ
によって阻害されることになれば、我々も責
任を感じなければいけません。そういう点
では問題がないと自負しています。いずれに
しても非常に困難な工事を不屈の技術者魂と
新技術の開発によって乗り越えられて二期を
完成されたことを私は高く評価しています。

情報公開への取組み

中村 昨年からは関空についてマスコミによ
る関空パッシングが行われています。この
ような報道に対して、「ご意見やこれからの
取り組み方について伺いたいと思います。」
古土井 空港は、サービスを提供していく
ところですから、最終的なユーザーである
お客様に対して親切であるべきだと思います。

ですから、ユーザーに安心してもらう
という意味では、報道各社にきちんと理解
していただくことが必要だと思います。い
ままで、そうしたサービスピース精神が欠けて
いる部分があったのではないかと思います。

空港そのものに魅力を感じている人は多
いわけですし、悪意に満ちたマスコミはか
りではないと思います。むしろ悪く書かれ
たら、それを自らに対する反省材料だと
らえて、積極的な宣伝広報を行えば、パッ
シング報道は自然となくなると思います。

関西国際空港用地造成株式会社(以下、用
地造成会社)は、まったく違つ発想から二期

工事の見学ホールをつくりました。例えば
工事現場を覆う塀に穴や隙間があれば好奇
心から覗きますよね。その発想を拡大して
覗かれるのならば積極的に見てもらおう、見
てもらふのならそれは積極的に見てもらおう、見
てもらふという考え方で行っています。

吉川 昨年の秋頃から、新聞各紙で二期工
事は本当に採算が採れるのか、あるいは二
期工事を中止せよという主旨の社説が掲載
されました。このような非常にセンセーシ
ョナルな見出しが新聞に出たことで、多く
の方が不安を持たれたことは事実です。

しかし、我々は技術者の良心に基づいて
地道に関空を支える仕事を一生懸命行っ
ているわけです。それが一般の人々に伝わら
ないということが非常に残念でした。

このような問題が起こった原因として、
これだけの情報化社会の中で、一般の人々
の不安が非常に強まったところに情報開示
が遅れたことが重なり、誤解と不安を招い
たのではないかと考えています。

そこで、これまでの関空プロジェクトの
経緯を整理してまとめた「関西国際空港の
真実」というパンフレットを作成しました。
これによって大阪府議会を始め、地元の新
聞報道による関空に対する危惧の念が一掃
されました。また、関空二期を推進する地
元の声が起こったことも事実です。

関空会社や用地造成会社のホームページ
も情報を公開するなど、非常に良い方向に
進んでいると思っています。

二期工事で上まで

中村 平成十一年七月から二期工事が着工

されており。平成六年の開港から二期
工事の着工までの経緯を吉川先生からお話
しいただきたいと思ひます。

吉川 二期工事を立ち上げるまでに大きな
問題が二つありました。

一つは、関空の二期を国に認めていただ
くために、二期の事業主体と資金スキーム
をつくらなければいけないということ。一
期では、関西経済連合会(以下、関経連)
が中心となり、関空会社が設立されました
が、二期では関経連が手を引いてしまいま
した。そこで地元自治体を中心となり、関
空全体構想促進協議会をつくりました。そ
の中の全体構想実現化方策検討委員会で学
識経験者の方々と事業手法と資金計画の検
討を行いました。

その結果、地元では資金分離方式を考え
ました。この方式は、関空会社の経営を安
定させるために、用地造成に関して公的
主体が資金を出す。そして、自治体が関空
会社に無利子の貸付を行い、関空会社が工
事の事業主体となって工事を進める、とい
う方式です。

それに対して、運輸省が、一部事務組合
を自治体がつくり空港用地の造成を行う。
それを関空会社に賃貸、または長期分譲を
行うことで関空会社の経営を助けるように
する、という主体分離方式を提案しました。

このどちらの方式で行うか。リスク発生
時を考慮した上で、非常に議論されました。
結局、主体分離方式を採用して、国も関空
会社を通して出資する形で用地造成会社を
設立して、二期事業を進めることを決定し
ました。リスクに関しては、国も自治体と

発生時は分担する形で進めることにしました。

もう一つ、飛行経路の陸上ルート問題がありました。運輸省は平成八年に開空の飛行経路の現状と問題点について大阪府、兵庫、和歌山県の地元三府県に説明を行いました。この問題は、空港と周辺地域との調和に関わる問題をはらんでいます。

そこで、運輸省は飛行経路を科学的に検討するため開空における飛行経路検討調査委員会をつくりました。それに対して、地元では公正な立場の専門家に検討していただき、疑問点を運輸省に質していくという方針を打ち出して、平成八年十二月に大阪府が開空の飛行経路等に関する専門家会議をつくりました。

そこで、運輸省の調査委員会が検討した結果をこの専門家会議で議論して、出てきた疑問点を再度運輸省の検討委員会で検討して回答を出すという方法をとりました。その間、航空管制のシミュレーションの実施、陸上ルートの設定に伴う騒音コンタクト計算、二回にわたる実機テストを行い、結果として騒音がないと理解していただいてようやく認めていただきました。

中村 このような事業スキームをつくっても空港能力に対する取り組みが立体的なものにならないかという不安があります。そのような二期工事の実施態勢のとりかたはなかつたでしょうか。

また、二期工事は一期よりさらに厳しい条件下での工事となります。この点につきまして、現在の工事の状況等を含めてお話しただければと思います。

古土井 上下主体分離方式は、最近行われる大型公共事業の一つの底流になっていると思います。二期事業ではそうした手法を先駆的に行いました。

しかし、用地造成会社で事業を進めるには人員が不足していました。そこで、開空会社は出向者を受け入れていきますから、その人材を活用する方法をとりました。私どもが開空会社に作業を委託して、その指揮を私どもが執るという方法です。このような組織のあり方は変則的ですが、現在は基本協定を結んで非常に機能的に行われています。

現在の二期工事の状況ですが、調達する埋め立て土量は一期の四割増、軟弱地盤もさらに水深が深く、さらに軟弱地盤層が厚く、サンドドレーンの本数も一期の二割増。打設延長は五割増になります。このような条件下で事業に取り組んでいます。特筆すべきはITの勝利といつこともありません。

例えば、人工衛星を利用したGPS（全球測位システム）と深浅測量を面的に測量するナローマルチシステムというシステムとを結び、全てのデータをデジタルデータで処理しますのでデータの検討や操作がすぐにできます。また、データは全てデジタル合成できますから、処理スピードや量的な処理の多さは、一期とは比べものにならないものになっています。また、そうした操作を行う人も増えています。そういう意味では、困難さは増していますが、それを余りあるような技術革新の成果をふんだんに使わせていただいています。

着工から約二年経ちましたが、工事は順

調に推移しています。年末までには護岸の概成を果たし、二〇〇四年末までには中央部分の埋め立てを完了。それから二〇〇七年には少し時間的に余裕を持った形で、新しい滑走路の供用が実現できるだろうと思っています。

コストについても、比較的資材の調達が安定的にできたこと、作業機械が大型化したこと、夜間工事の実施による効率的な施工といったことから、工事費が縮減されました。そのような状況で今のところは非常に順調に推移しています。

二〇〇七年供用に向けて

中村 平成六年の開港以来、二十四時間運用の国際ハブ空港として、関西地域はもとより全国から開空を経由して海外へ行かれる方は大変多くなっていると思います。

また、二〇〇七年から二期の供用によってさらに機能の充実が図られていくと期待しております。最後に、これからの開空への期待あるいは抱負をお聞かせください。

吉川 二十世紀の終わりに、運輸省港湾局が中世から近世に変わった大航海時代と対比させて、二十一世紀は大交流時代になると言っていました。まさに世界全体がネットワークで結ばれて、交流と連携によって発展していく時代が実現してきたと思います。そういう意味で、これからの空港の役割は非常に重要になってきます。開空を名実ともに世界の中での国際ネットワークの基幹空港としていくために、二期事業をMonument of the Millenniumの榮譽を胸に秘めて、常に新しい技術の開発に努めてい

ただいて、立派な成果を挙げていただきたいと思います。

二十一世紀は、サステイナビリティ、クリエイティブティが重要とされています。地域あるいは環境に非常にフレンドリーな空港づくりを目指して、国民の皆さんが世界に誇れる財産に育てていくこと、また、創造的な世界都市を実現して世界の要請に応えていくことが重要であると考えています。そのような使命を担っている二期事業が着実に進められ、大きな成果が挙げられることを期待しています。

古土井 私は、開空の一期と二期の関係は、一つの空港に並んで新しい空港ができることではないかと思っています。その二つの空港が相互に連携しながら一つの大きな空港になっていくことです。そういう意味で、一期の時には実現できなかったものが、二期では実現できるようになると考えています。

それから、ハブ空港として国際線と国内線を非常に有機的に結びつける役割です。国内の様々な人に利便性を与えるために、国内の各地域と有機的なネットワークがあり、それを前提にして外国から帰ってきた人がすぐに国内に行ける。あるいは国内の人がすぐに外国に行けることができれば、どのような目的で開空に到着しても相当に利便性の高い空港になると思っています。ですから、国際ハブではなく、国内ハブ的なイメージで、現在利用している方々にもっと親しまれる空港になってほしいと思っています。

「コンクリート構造物」 海洋環境下におけるRC構造物の耐久性向上の方法

コンクリート中の鉄筋の腐食機構

コンクリート内部の微細な空隙中に存在する水溶液（細孔溶液とも言う）はpHが十二以上の高アルカリ性となつています。このようなコンクリート内部の強いアルカリ環境下において、鉄はその表面に不動態被膜と呼ばれる厚さ1〜3nmの水和酸化物質（ $\text{FeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）からなる薄い酸化皮膜を形成し、腐食作用から保護された状態となります。しかし、コンクリート中に、ある種の有害成分が侵入すると鉄は活性態となり腐食しやすい状態に変化します。そのような有害成分にはハロゲンイオン（ Cl^- 、 Br^- ）、硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）、または硫化物イオン（ S^{2-} ）などの陰イオンがあり、これらのうち塩化物イオンの作用が最も強いと言われています。

鉄の腐食とは、鉄筋を形成する金属鉄が鉄イオンとなり、 FeO_2 、 Fe_2O_3 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ などの錆を形成する反応をさ

港湾構造物の劣化の状況

港湾構造物においても、鉄筋コンクリート型は多く用いられています。しかも、海洋環境に建設されるため、

します。図1に、鉄筋の表面に不動態が存在しない場合の腐食反応の概略を示します。金属鉄はアノード部において鉄イオンとなり溶解します（ $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ ）。この時生じた電子は金属中をカソード部へ移動し、水と酸素と反応することにより水酸化イオンを形成します（ $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ ）。水酸化イオンはコンクリート中をカソード部からアノード部へ移動し、 Fe^{2+} イオンと反応し、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ を形成します。さらに、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ は酸素と反応し、 Fe_2O_3 あるいは Fe_3O_4 を形成します。このような酸化鉄がいわゆる錆と呼ばれています。

前述の塩害とは無縁ではありません。港湾構造物の中で塩害による被害が深刻なもの、棧橋式係船岸のコンクリ

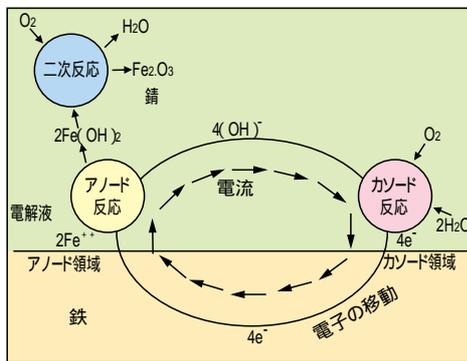


図1 鉄筋の腐食反応の概略

透を完全に遮断できないために、海水中の塩素イオンが鉄筋表面に到達します。それにより、内部鉄筋の腐食が開始されるのです。鉄の酸化反応に伴い生成する酸化鉄の体積は、もとの鉄の体積の数倍にもなります。この時の膨張圧により周囲のコンクリートにひび割れが発生し、ひいてはかぶりコンクリートの剥離、剥落へとつながるのです。このような現象を総称して「塩害」と呼んでいます。

ート上部工です。棧橋の構造上、海面上数メートルという最も厳しい飛沫環境にあること、また、はり、床版ともに

曲げ部材であるために曲げひび割れが避けられないといったことも棧橋の被害を大きくしている要因と思われます。

写真1は、塩害による損傷が著しい棧橋コンクリート上部工の下面の様子を示しています。かぶりコンクリートが完全に剥落し、主鉄筋が激しく腐食している様子を見ることができません。建設後十年程度で劣化の兆候が顕れ始め、早い場合には、二十〜三十年程度で写真のような極めて深刻な状況になる事例も多く見つかっています。係船岸の耐用年数は、一般に五十年を考慮していますので、塩害に対して高い耐久性を有する棧橋を建設していくことは、これからも極めて重要な課題であると言えます。

長期暴露試験の意義

数十年という長期にわたるコンクリート構造物の挙動を正確に把握する最も確実な方法は、実環境下での暴露試験です。もちろん各種の促進試験も試みられていますが、それらの促進試験期間と実環境における経過時間を確実に対応させることのできる方法は、現在のところ確立されてはいません。港湾空港技術研究所において、昭和四十年代の初頭から各種の試験体の長期暴



独立行政法人
港湾空港技術研究所
地盤・構造部 材料研究室長
濱田秀則



写真1 鉄筋腐食の著しい棧橋上部工の下面

露試験を開始し、現在三十数年が経過しています。写真2は当研究所構内に設置されている暴露施設（海水循環水槽と称する）です。暴露試験は極めて地味な試験ではありますが、得られる知見は極めて高い価値を有します。二十三年間の暴露試験を通して得られた知見の一例を以下に示します。コンクリートは比重の異なる種々の材料で構成されているため、打ち込み

後、比較的軽い水や空気は上昇し、比較的重い骨材やセメントは沈降します。この時、コンクリート中に鉄筋が存在すると、上昇した水や空気はその場でそれ以上の上昇を遮られるため、鉄筋とコンクリートとの界面（この場合、鉄筋の下側）に水膜や空隙が形成されます。水膜は、コンクリートの硬化や乾燥により最終的には空隙となります。

このような鉄筋下面の空隙は鉄筋の腐食を促進することが二十三年間の暴露を経た供試体を観察することにより明らかとなりました。写真 3 は、海洋環境下の干満帯に二十三年間暴露した鉄筋コンクリートはり試験体を切断



写真 2 港湾空港技術研究所の暴露施設

して断面を観察したものです。鉄筋下面の空隙の部分において腐食が進行していることが認められます。写真に示す鉄筋はコンクリートの打ち込み方向に対し水平に配置された鉄筋ですが、垂直に配置された鉄筋では水や空気の上昇を妨げないため、鉄筋周囲に空隙は形成されず、したがって顕著な腐食は認められませんでした。

鉄筋とコンクリートとの界面におけるわずかな空隙という、とすれば見落としがちな小さな要因が、コンクリート中の鉄筋の腐食に影響を及ぼす重要な要因であることを、長期間の暴露試験により把握することができました。

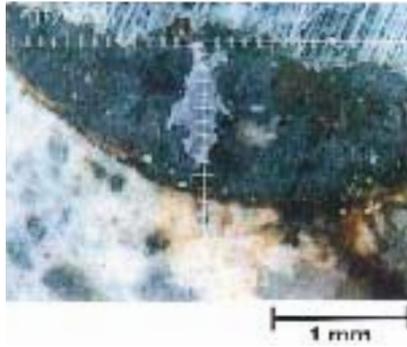


写真 3 鉄筋下部において腐食が生じている様子

腐食を抑制するための考え方

それでは、コンクリート中鉄筋の腐食を可能な限り抑制するための対策として、どのような考え方があるのかを説明します。対策の考え方を大きく二つに分類しますと、コンクリートの品質を向上させることにより内部鉄筋の防食性を向上させる方法と、コンクリートだけで対応できない場合に、さ

らに追加の対策を講じる方法があります。前者を第一種防食法、後者を第二種防食法と称する場合もあります。コンクリートの品質を向上させる基本は、水セメント比を可能な限り小さくすること、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフュームなどの鉱物質混和材を適切に使用することです。

これにより、海水の浸透量を極力抑えることのできる密実なコンクリートを作成することができま。また、部材設計における留意事項として、ひび割れ幅を制限すること、かぶり厚さを十分に確保することが大切です。

また、鋼材自体を防食する方法も考えられる。鋼材自体を防食する方法も考えられる。鋼材自体を防食する方法も考えられる。鋼材自体を防食する方法も考えられる。

生物の力を利用する新たな試み

前述した対策はすべて人為的な技術ですが、現在、港湾空港技術研究所において、生物の力を利用した新しい腐食抑制方法を検討しています。これは、考え方としては新しいものですが、現象としては決して新しいものではありません。海の中のコンクリートの表面にフジツボや牡蠣などの海生生物がびっしりと付着している様子を目にしたことがあると思います。とすれば、汚損生物などと呼ばれて忌避されるこれらの生物の力を借りようというのが本研究の主眼です。

この研究は現時点で継続中であり、これから取りまとめを行います。最終的には生物が最も付着しやすい材料、配合、さらには生物付着を促進させる表面形状を提案していきたいと考えています。

昨日、コンクリートの種類は多様化しています。普通セメントを使用したコンクリートに加えて、産業副産物の有効利用の観点から、各種の鉄鋼スラグ、フライアッシュ、などが混入されることが増えつつあります。ところが、これらの鉱物質混和材を使用すると、コンクリートに接触する面の海水のpHの上昇が抑制されることから、硬化体表面に生物が積極的に付着するようになりま。実験的に比較してみても、明らかに生物の付着量が多くなる傾向にあります。

では、どのように生物の力を借りるのかを説明します。まず、写真 4 を見て下さい。写真は、付着している生物およびそれらの殻を剥ぎ取った後のコンクリートの表面です。表面のわずかな空隙に貝殻と同様の物質が密着している様子がよくわかります。写真のコンクリートはわずか一年間、海洋環境に置かれていたものですが、ほぼ表面の全体に生物の付着が見られました。この白色の生成物は、炭酸カルシウムが主体ですが、それに加えて約十％程度の有機物を含んでおり、極めて固く、物質への性に優れています。このような物質を人工的に作り出すことは不可能ですが、フジツボのような海生生物は、海水中のミネラルからいとも簡単にこれらの物質を作り出してくれます。では、コンクリート表面に海生生物が作り出してくれる、この非常に薄い被膜がどのような役割を果たしてくれるかを見てみます。図 2 は、海生生物が多く付着した後のコンクリートとほとんど生物が付着していないコンクリートの塩分拡散係数を比べたものです。

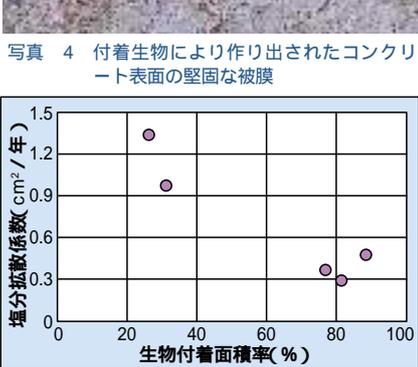


図 2 生物が付着したコンクリートの塩分拡散係数

「横須賀港馬堀地区高潮対策事業」

高潮・高波浪から東京湾岸住宅地を守る

平成7・8年の2年連続台風による高潮災害の馬堀海岸

横須賀港馬堀海岸は、東京湾の南西部に位置して北に開け、背後は国道十六号を挟む平坦な埋立地に多くの戸建て住宅地が密集する第一種住居専用地域で、約二七〇〇世帯、約八〇〇〇人の方々が居住しています。

当地域の既設護岸は昭和四十四年に住宅開発を目的とした埋立により築造されたのですが、平成七年と八年、二年連続して台風による高潮のため護岸延長1km以上にわたる大規模な越波

により甚大な被害が発生しました。

特に平成八年九月の台風十七号では、背後の国道十六号が二日間にわたり通行止めになり、市民の生活や経済活動が麻痺するとともに、被害は浸水面積約七十ha、冠水した自動車三八八台上りました。

このため、被害の大きさと対策の緊急性に鑑み、住民の生活と財産を守り、背後の国道十六号の安定した交通を確保するために、直轄事業により高潮対策として護岸を延長一六五〇mにわたり整備するもので、平成十一年から概ね七年間での完成を目指しています。



図 1 馬堀海岸位置図

この海岸は、港湾計画、エコポイント計画に

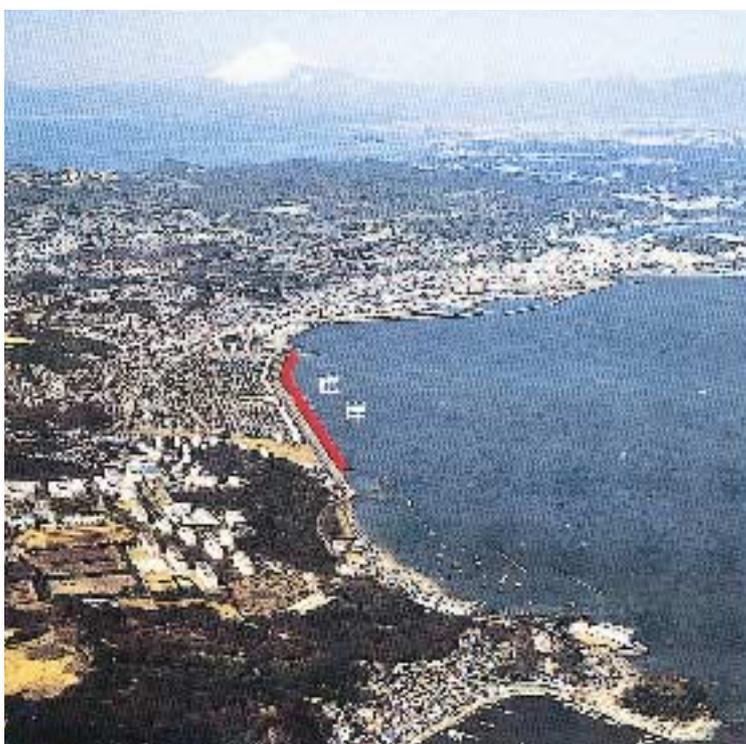


写真 1 馬堀海岸鳥瞰写真（浦賀水道上空より）

において、自然環境の保全・改善に留意しつつ、親水性を高め、海洋性レクリエーション機会を生み出す場」として、も位置づけられ、また、市の推進する『海と緑の1000メートルプログラム』を形成するものとされています。

親水性に富み、安全と安らぎを創造することを基本とし、以下の整備方針を定めました。
高潮対策事業として越波量を抑えることを最優先とする。
海岸保全施設の構造形式として面的防護方式を採用する。
景観・親水性等に配慮し、施設天端高は現状程度を基本とする。



写真 2 平成8年9月の台風17号越波による浸水被害状況

前面海域に海苔、ワカメ等の漁場があるため、波の反射は最小限とし、構造物の前出し幅は最大七十m程度とする。
環境共生型の構造となるよう配慮する。

親水性・環境・景観に配慮した人工リーフと消波機能の新透過構造形式

馬堀海岸前面の海底地形は、水深も大きく、既設護岸から四十mを超える付近より勾配が急激に変化して、全体的に複雑で起伏に富んでいます。そのため、波の収斂する場所があり、構造形式決定にあたっては、水理模型実験を実施しています。

整備延長一六五〇mは、模型実験での護岸前面の設計波高と越波流量より、I区(大津側)九〇〇m、II区(中央部)一〇〇m、III区(走水側)五五〇mの三区にI区割りしています。なお、平成八年の高潮被災時は、沖波波高三・七m、高潮位はD.L.+一・六mであり、冠水量から逆算した越波流量は〇・〇〇一四五m³/m/secと推定されています。

設計条件一覧		
1) 潮位	C.D.L.	T.P - 1.032m
	H.W.L.	C.D.L + 2.00m
	L.W.L.	C.D.L ± 0.00m
2) 高潮位	H.H.W.L.	C.D.L + 2.60m
	(50年確率沖波)	
3) 波浪	Ho1/3;	4.5m
	To1/3;	6.7sec
波向; N		
(横浜地方気象台風速観測値を基にSMB法で算定)		
4) 設計震度	0.18	
5) 許容越波量	2 × 10 ⁻⁴ m ³ / m / sec	

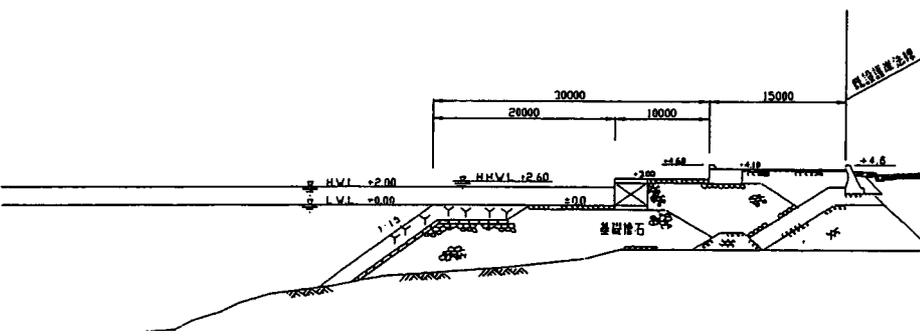


図 2 I区大津側標準断面図

既存の護岸形式で、設計高潮位及び設計波浪に対し、許容越波量〇・〇〇〇二m³/m/secを満足するためには、護岸天端高はD.L.プラス九・二mが必要で、(現在の護岸天端高はD.L.プラス四・六m程度)

これは海と陸との間に「高い壁」を築くことになり、これに代えて、水

理特性がよく、より低い天端高が実現でき、利用・親水性にも優れた構造形式として、人工リーフ+小段+直立消波護岸の「面的防護方式」を模型実験の結果を踏まえて基本断面としています。馬堀地区における護岸整備の基本方針として、台風時の高潮や高波に対して防護効果が高く、かつ周辺環境と



写真 3 直立消波ブロック据付施工状況写真(平成13年8月)

の調和にも優れた新しいタイプの護岸を検討した結果、これまでの海岸に多く見られる直立のバラベツト構造(線的な防護方式)に変えて、環境にやさしい材料である割石を階段状に積み上げて、高波を徐々に減衰させながら石積み護岸上に越波した水を透過構造の捨石部を通じ海に排水させる(透水効果)ことにより、高波浪を効果的に減衰させることにしています。

また、海生物等の生息場所として適した海域環境に配慮し、消波機能の向上や前面海域の波の反射を抑えるため直立消波ブロック等を設置して護岸の天端を低くおさえる構造を採用しています。

現在の整備状況は、基礎工・本体工(直立消波ブロック)の据付けが中央部の三二〇mで終了したところですが、今後、施工を進めていくにあたり、多くの課題を順次解決して行きたいと思っています。

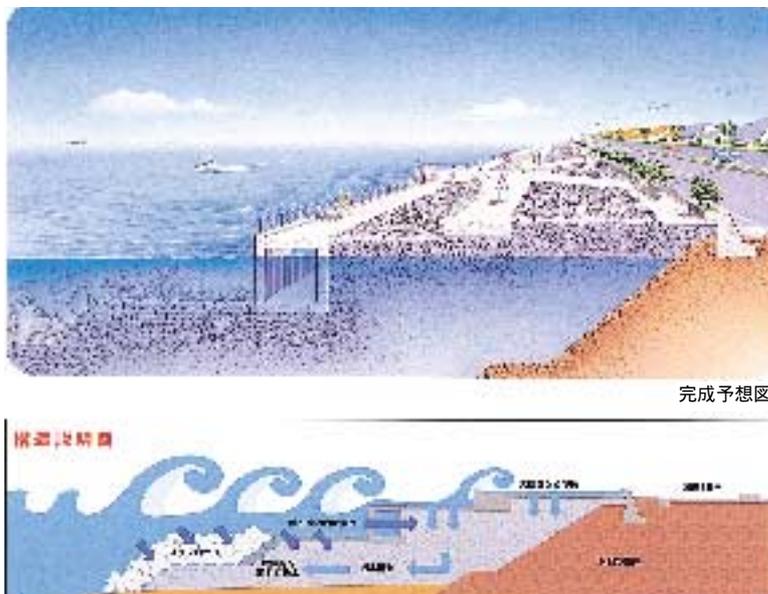


図 3 完成予想図及び構造説明図

構造形式の検討においては、谷本埼玉大学教授を委員長とする学識経験者から構成された「横須賀港馬堀地区海岸保全施設整備技術検討委員会」において、長期間にわたりご指導を得たことに深く感謝する次第です。

文/国土交通省関東地方整備局
京浜港湾工事事務所 海岸課長 天坂 勇治

沈下予測と沈下計測

適切な沈下対策を施すためには精度の高い沈下予測が重要な課題となります。沈下の問題は、安全に施工を実施するための主に沖積粘土層を対象とした短期の沈下・安全管理と、長期間にわたって供用性を確保するための洪積層を対象とした沈下予測にわけて考える必要があります。関西空港一期工事では、水深が深く埋立層厚が大きいことから洪積粘土の沈下が大きいことが予測されています。

洪積層の沈下予測について

洪積層は、堆積年代や性質の違いから上部洪積層（厚さ140～210m）と下部洪積層（厚さ300～500m）に分類できます。（図1）一期空港島における経験から、一期工事においても以下の三点を解明することが、洪積層の沈下予測の精度を高めるために重要であること

とが明らかとなっています。

- 上部洪積層の圧縮性の正確な把握
- 上部洪積層中の砂層の排水性
- 下部洪積層の沈下の評価

上部洪積層の圧縮性の正確な把握
地盤の工学的な特性を把握するために、まず入念な地盤調査・ボーリングにより地盤の土層構成、物理的性質、力学

的性質を精度の高い室内試験を実施し求める必要があります。さらに洪積層が圧密沈下の対象となる場合には、大深度のボーリングを実施して地盤の深い部分の試料を採取し、特殊な試験を実施する必要があります。二期工事においては、平成六～七年に実施された四〇〇m級ボーリングの結果と一期工事の際に実施された大深度ボーリング（図2）の結果を基に、洪積層の土層構成の判定および沈下予測を行うて

います。

地盤の圧縮性を正確に把握するためには、圧縮・圧密特性を正確に調べる必要があります。特に粘土の場合には、変形量が大いことと圧密に長い時間がかかるため、その特性を詳しく調べる必要があります。洪積粘土のように年代効果が発達した試料に対しては、従来からよく使われている標準圧密試験方法では、圧密降伏応力を正確に求めることが非常に困難です。そこで新しい試験方法である「定み速度圧密試験方法」の洪積粘土への適用について平成二年度から研究開発に着手しました。研究開発の主な内容は、大容量でかつ精度の高い試験装置の開発、試験手法の開発、試験結果の整理手法と結果の利用方法に関する検討でした。定み速度圧密試験方法の利用により、圧密降伏応力をはしめとして種々のパラメータを精度よく求めることができるようになりました。また、最大圧密圧力一五〇kgf/cm²が載荷可能な試験装置を開発し、大深度で採取された試料の圧密特性の正確な把握のために活用しています。また、粘土層内のひずみ分布を実験的に調べるために、大容量分割型圧密試験装置（最大圧密圧力五十kgf/cm²）を新規に開発し、沈下予測解析結果の検証に利用しています。

図 - 1 空港島の地層

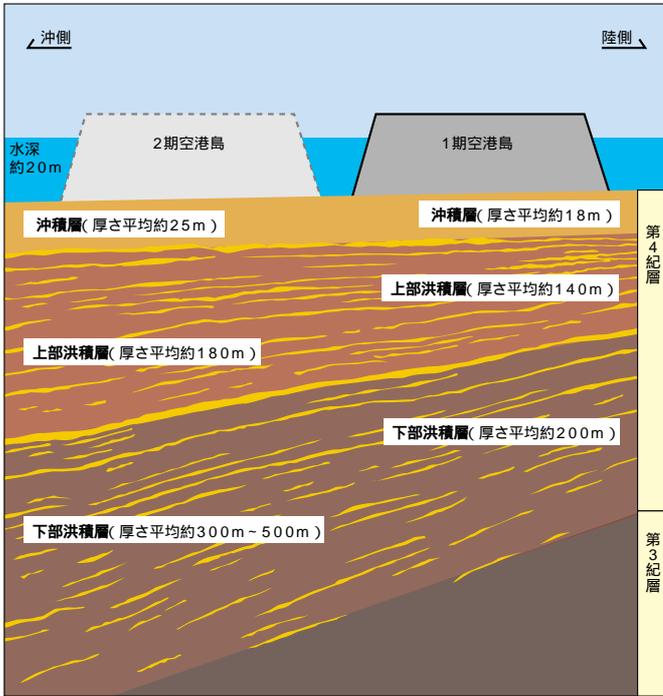
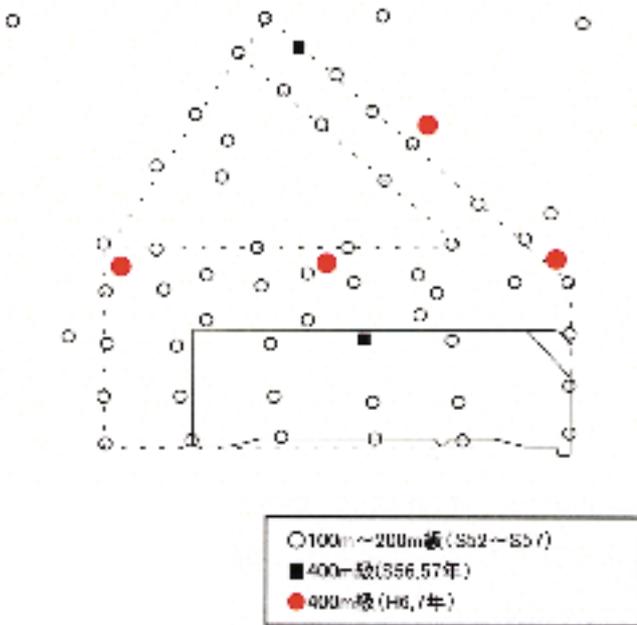


図 - 2 ボーリング位置図



地盤調査・土質試験結果は、浅いところから深いところまでデータベース化しています。沈下予測解析にあたってはこのデータベースを活用し計算対象土層を細分化し、細かく土質条件を設定することによって予測の精度を上げています。なお、沈下予測解析では現在最も信頼性が高く実績もある、有限要素法を用いています。

上部洪積層中の砂層の排水性
 上部洪積層中の砂層は、圧密時の排水層として機能するため、その連続性、厚さ、透水性を正確に把握することが、沈下解析上きわめて重要な課題になります。しかしながら、砂層は一般に薄いつづいに連続性が悪いいため、ボーリング試料を工学的に判定するだけでは、砂層の分布状況などを正確につかむことは困難です。そこで微化石分析（P.25参照）などの地質学的なアプローチを用い、砂層の堆積環境や連続性について評価し、砂層の分布および層厚に関するマップを作成し解析に利用しています。また、一期空港島による砂層内の過剰間隙水圧の測定結果を参考に、砂層の排水性をモデル化しています。

下部洪積層の沈下の評価

下部洪積層の沈下のメカニズムは、現在のところ十分に解明されたとはいえない状況です。しかし、一期工事の経験から下部洪積層の沈下は、二次圧密によるクリープ的な挙動であると考えられ、沈下予測においては二次圧密として計算を行っています。また、下部洪積層の沈下予測の精度を高めるため、洪積層計測槽に設置した各種計測装置による現地計測（図 3）を行う計画です。

なお、以上の沈下予測については、平

図 - 3 洪積層沈下計測計画



洪積層計測槽



洪積層計測槽位置図

情報化施工

成三年度以来「関西国際空港（全体構想）の土質に関する技術課題の検討委員会」の指導のもとで発展させてきた手法を用いています。

二期工事にあたっては綿密な沈下予測を行い、施工および沈下予測へのフィードバックを行っています。外周護岸部には沈下測定とチェックボーリングのための沈下板を三十六カ所、埋立部に十五カ所設置しています。また、埋立部には磁



気伝送水圧式沈下計を三十七カ所設置（P.7 図 7 参照）して沈下を計測しています。計測された沈下量は、施工管理システムにより計算された埋立荷重による沈下計算と直ちに比較され、各地点における荷重履歴の作成・修正、沈下予測手法の高度化に利用されています。また、洪積層の挙動を計測するために、洪積層計測槽を二基設置し現地計測を行っています。

目的として、洪積層計測槽を二基設置しました。主要な計測項目は、地盤中の各層の圧密変形量を計測するための層別沈下計、各粘土層の圧密の進行を確認するための間隙水圧計、各砂層が排水層としてどのように機能しているかを確認するための間隙水圧計による計測です。間隙水圧計、層別沈下計を槽では約三〇m、槽では約二五〇mの深度まで設置しました。間隙水圧計は槽で二十九基、槽で二十八基を、計測対象となる砂層および粘土層に設置しました。層別沈下計は、槽で二十五基、槽で二十四基

の沈下素子を設置しています。また、ロッド式沈下計を一方所の槽で合わせて五基設置しました。機器の設置にあたっては、計測精度が高いのはもちろんのこと、長期にわたって海底地盤中に埋設されていても安定して計測データを取得できる装置を選定しました。特に間隙水圧計は一基で実績が高いエアーパーランス式間隙水圧計を用いています。計測槽における計測は、十一月から本格的に開始する予定です。

ASCE年次大会の報告



ASCEが開催されたジョージ・ブラウン国際会議場

はじめに

関西国際空港は、本年四月十九日、アメリカ土木学会（ASCE）より、

『モニュメント・オブ・ザ・ミレニアム』の二つに選定されました。『モニュメント・オブ・ザ・ミレニアム』は、ASCEが二十世紀における人々の生活の質の向上に最も大きく貢献した土木・建築事業を十の分野に分けて選定



ヒューストンのダウンタウン

していくもので、関西国際空港は、空港の設計・開発部門で選ばれました。なお、アメリカ国外での受賞は、パナマ運河と英仏海峡トンネルとあわせて三つのみとなっています。
この受賞は、大水深軟弱地盤の海域を埋め立てた人工島の建設、対岸からのアクセスのために建設された世界最長の二重トラス橋、旅客ターミナルビルなどの建築物でジャッキアップシステムによる不同沈下対策を採用したことなどの様々なチャレンジ精神溢れる先駆的技術、地域社会への貢献や周辺環境の保全に対する配慮が高く評価されたものです。

ASCE年次大会への参加

ところで、ASCEは世界中に十二万人以上の会員を擁する団体で、アメリカでも最も古い歴史を有する工学会の学会です。その年次大会（正式にはCivil Engineering Conference & Exposition 2001と言います。）については、日本の土木学会（JSCE）はASCEとの連携・交流を深めるため、協定を締結していることから、一九九二年頃より参加してきていることです。

関西国際空港は、ASCEによるモ



ヒューストン港の遠景

ニュメント・オブ・ザ・ミレニアムの授与という記念すべき年に、JSCEよりASCE年次大会への参加について要請を受け、大水深軟弱地盤上における大量急速施工を実現する施工技術及び地盤沈下を始めとする地盤問題への対応などについて紹介することとなりました。

具体的には、国際セッションという一時間半の枠の中で、我が国の海上空港の技術について中部国際空港及び羽田空港とともに、発表及び質疑応答を行いました。また、年次大会と並行して開催される展示会において、JSCEに割り当てられたブースを利用し



開会式でのベイン会長挨拶



国際セッション下村進行役



国際セッション発表の小林元所長



国際セッション発表の古土井専務



NASAヒューストン宇宙センター

て、模型やビデオ等の展示を行いました。我が国から国際セッションへの対

応を中心に五十名を上回る出席者となり、交流を深めることができました。

本稿は、これらを中心にASC E年次大会への参加の様子について紹介するものです。

ASC E年次大会

今年のASC E年次大会は、十月十日(水)から十三日(土)までの四日間にあわせて、テキサス州ヒューストンのジョージ・ブライウン・コンベンションセンターで開催されました。ヒューストンは、NASAのジョンソン宇宙センターがあることで知られる全米第四位の都市で、石

油産業及びアメリカを代表する港湾都市として発展してきました。また、バイユー(入江)都市とも呼ばれるように、水と緑と太陽に恵まれ、西洋建築といった歴史的建造物とアストロドームや宇宙センターなどの最新鋭の施設が併存した、とても魅力ある都市です。

なお、十一日(木)には総会の開会式が行われ、コルツ大会委員長、ベインASC E会長の挨拶に引き続き、土木技術者でもあるラトリフ・テキサス州副知事による基調講演が行われました。この中で、会長はアメリカの同時多発テロ事件に関して、犠牲者に対する深い哀悼とこの事件を教訓としての土木技術者の役割について触られました。また、ASC Eは一八五二年十一月五日に発足して、来年が一五〇年目にあたるため、記念すべき年の開始宣言が行われました。ASC Eでは、三年前から準備を行ってきた、地域的

あるいは国家的レベルにおいて、歴史的認識を含めた土木への理解増進、「ズーム・イントゥー・エンジニアリング」をキャッチフレーズとした若い人への教育活動、地域サービス活動など幅広い活動を行うこととしています。「フロム・ストーン・トゥー・ステイール」というビデオの上映がありました。これは北カリフォルニアの環境に配慮した水資源プロジェクトやボストンの沈埋トンネルなど都市再整備プロジェクトの紹介や土木の歴史などの内容となっており大変感銘を受けました。

十二日(金)には、同時多発テロ事件による旅客機の衝突で建物の崩壊した事件に関して、公共の安全のための土木技術者の役割と題した特別セッションが行われ、世界貿易センタービルについて、ジーン・コリー氏がまた、ペンタゴンについてポール・ムレーカー氏がいずれも、ASC Eの説明チームの責任

国際セッション

者として説明を行いました。このプログラムは急遽追加されたもので、現時点での見解の表明を含めて対応の早さに感心したところでした。十三日(土)午前には、シュワルツ新会長への引継が行われ、年次大会の幕を閉じました。

国際セッションは、建設/材料、教育、環境・水資源、地盤工学、構造、都市計画など十三の並行して開催されるテクニカル・セッションの一つです。その第一日目(十一日)の朝一番のセッション(八:三〇-一〇:〇〇)をJSC Eが受け持つこととなり、下村フェロー(株)間組顧問)を進行役として、羽田、中空及び関空から地盤問題に関する取り組みを中心に発表しました。下村氏は当初予定していた嘉門



国際セッションでの熱心な質疑



展示会場での関西国際空港の展示（右から古土井専務、埋没森参与、小谷野課長）



国際歓迎レセプションにおける古土井専務の挨拶



国際歓迎レセプションの状況

京都大学教授（独）港湾空港技術研究所所田中特別研究官が急遽出席できなかったこと、中部空港の技術総括責任者の早田取締役が急逝されたことについての報告がありました。また、関西国際空港についての展示への案内が行われました。

セッションでは小林元港湾技術研究所長（財）沿岸開発技術研究所専門委員から、我が国の海上国際空港についての特色を概略説明した後、東京国際空港（羽田空港）については、軟弱地盤の実状と地盤改良工法や舗装技術の選択の経緯等について、中部国際空港については環境対策と港湾の浚渫土を活用した管中混合固化処理工法について発表がありました。また関西国際空港用地造成（株）の古土井専務より、関西建設に至る経緯や計画といったプロジェクト概要の紹介を含めて、空港島建

設における技術的課題を明らかにするとともに、一期空港島建設時の地盤改良や不等沈下に関する取り組み等をまわ、二期空港島建設における一期建設に対してさらなる地盤対策やGPSなどを活用した施工管理等について、発表を行いました。

展示

当セッションでは、開会式開催前の早朝の枠にもかかわらず、多くの出席者があり、また、発表後の質疑も航空需要や維持管理費などを含めて熱心に行われました。

（財）港湾空港技術サービスセンターの石山常務理事にも航空行政全般について補足説明をしていただきました。

展示については、ASC E年次大会の

タイトルに「Kansai Airport」が使われているように、主要なイベントとなっており、多数のブースが設置されて、建設に関係する様々な分野からの展示や若い技術者のための企業のオリエンテーションなども含めて積極的に行われていました。なお展示期間は、十一日（木）及び十二日（金）の二日間にとらわらるものでした。

関空からは、国際セッションでの発表内容との関連性を考慮して、『大水深軟弱地盤上における空港島の造成を実現する技術』を紹介することを目的として展示内容を選定しました。具体的には、作業船（土運船及びサンドドレーン船）の模型やパネルの展示に加え、工事着工後二年間の歩みを紹介するビデオなど、各種ビデオの上映、二期事業や工事の概要を紹介するパンフレットの配布等を行いました。

世界からの各機関や企業からの多

その他

展示が多い中で、関西国際空港の展示はツールはもとより実際に活躍している鈴木課長、小谷野課長をはじめとする技術者が説明を行い高い評価が得られたことと思います。展示の初日に特にASC Eベイン会長が古土井専務に表敬に訪れました。

今回参加したASC E年次大会は、ASC Eの年一回の大会ということで、非常に多様なプログラムが並行して開催される大規模なもので多くの出席者のもと盛大に開催されていることに非常に驚きを感じたというのが実感です。開会式典の前日の十日（水）の夕刻に開催された国際歓迎レセプションには各国の土木学会の代表的な方々に

ASC Eから関西空港関連で五十名を超える参加者が加わりました。議長からの求めで古土井専務がASC Eの幹部にモニュメント・オブ・ザ・ミレニアムの受賞のお礼を述べ、二期事業に対する大きな励ましとなったことを述べました。また、受賞を記念した名刺入れを各国の参加者にプレゼントし大いに関西国際空港のPRとなりました。

取材・文／

関西国際空港用地造成（株）
事業推進部技術課長 小谷野 喜一
（財）沿岸開発技術研究所
専務理事 中村 豊



◆ 徳島飛行場滑走路延長埋立認可

【H13・6・10】徳島県徳島市より申請の出ている徳島飛行場周辺整備一期事業での公有水面埋立免許と国土交通省航空局が計画している滑走路拡張工事での埋立承認を認可しました。

計画は、徳島飛行場の拡張整備と併せて海面埋立を行い、空港を核とする広域交流拠点を整備するもの。埋立面積は周辺事業が五十九・八ha、滑走路延長の埋立が三十九・九haの計九十九・七ha。滑走路は五〇〇m延長の二五〇〇m。着工は十月頃。十七年度中に埋立完成予定。

◆ 国際航路協会日本本部会 新会長に土田肇氏就任

【H13・6・11】国際航路協会日本本部会（J.S.P.I.A.N.C）の理事会・総会が東海大学交友会館（東京）で開催され、これと併せて平成十三年度の活動報告会が開かれました。

総会では、会長の御巫清泰氏（関空（株）社長）が退任、顧問に就任し、新会長に土田肇氏（新日本製鐵（株）顧問）が就任しました。また、事務局長に奥村樹郎氏（国際臨海開発研究センター調査

役）が就任しました。

また、二〇〇四年福岡で開催される年次総会の準備のため実行委員会を今年度中に設立することが承認されました。このほか、各都道府県の交流の促進に関する事業を今年度から開始することを決定しました。今年度は野田節男PIANC本部副会長の斡旋で、フランス人学生の日本での研修交流の支援を行う計画です。

◆ 港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン まとまる

【H13・6・14】大量生産・大量消費・大量廃棄社会から循環型社会へと社会経済構造を抜本的に変革することが我が国の重要課題となっています。このため、平成十一年には「循環型社会形成推進基本法」の制定や「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）」の制定、また、「再生資源の利用の促進に関する法律（リサイクル法）」の改正が為されるなど、循環型社会の構築に向けた制度的な枠組みが強化されました。

国土交通省では、このよつな状況を踏まえ、国及び地方公共団体等の港湾・空港整備事業及び海岸事業において今後一層の取組みが必要であるという観点から、国土交通省の港湾・空港等整備事業においてリサイクルをより一層体系的かつ着実に推進するための取組方針をとりまとめました。

このリサイクルガイドラインをとりまとめるにあたり、同省内に港湾・空港等リサイクル推進協議会を設置して、主に次の内容の検討を行いました。

- ・ 港湾・空港工事に伴い発生する資材（建設副産物）のリサイクル推進

・ 港湾・空港工事に伴うリサイクル資材（産業副産物）の受入への対応

・ 循環型社会の形成に向けた廃棄物問題への対応

今後、本冊子を関係者に配布し、この考え方を周知して循環型社会の形成に向けた廃棄物の発生抑制・減量化、リサイクルの推進に取り組んでいくこととしています。

◆ 徳島小松島港赤石地区 公共ふ頭供用開始

【H13・7・8】四国地方整備局と徳島県が整備を進めてきた徳島小松島港赤石地区公共ふ頭の第一バースが供用となり、金澤大臣官房技術参事官、福田四国地方整備局長、圓藤徳島県知事をはじめ関係者約百名の出席のもと供用開始式が行われました。式典後には記念セレモニーが行われ、盛会の内に終了しました。

当日は、記念行事としてフリーマーケットも開催され、大勢の地元の方々も公共ふ頭に訪れました。当施設供用が物流の効率性・安定性を向上させ、地域経済の活性化に大きく貢献できるものと期待が寄せられました。

◆ 地球温暖化に伴う海面上昇 に対する国土保全研究会開催

【H13・8・1】合同庁舎三宮館（東京）において、第一回地球温暖化に伴う海面上昇に対する国土保全研究会（座長：筑波大学広域水圏環境科学教育センター三村信夫教授）が開催されました。

地球温暖化に伴う海面上昇により、国土保全への影響が懸念されています。二〇一一年IPCC（気候変動に関する政府

間パネル）第三次報告書においても、二〇〇年には全地球平均で最大八十八cm海面が上昇すると予測されます。

四方を海に囲まれ沿岸部に人口・資産が集中する我が国では、海岸を中心に甚大な影響が懸念されることから、早急に対応策を検討する必要があります。

このよつな背景から、国土交通省では地球温暖化に伴う海面上昇に対応する国土保全対策のあり方を探るとも、今後の状況に応じて起こりうる海面上昇に適切に対応することを目的として、有識者で構成された同研究会が設置されました。第一回の同研究会の議題と議事概要は次の通りです。

- 研究会の設置目的と調査項目について
- 本研究会の設置目的と研究会全体の進行方法について
- 調査実施方針について

『調査実施方針（案）』

- ・ 日本国土への影響の把握
- ・ モデル地域における調査について
- ・ 観測・監視体制の充実・強化方策の検討
- ・ 国土保全対策の基本的方向性の検討

『モデル海岸について』

『説明内容』

- ・ 過去に行われた検討結果を再評価し、見直す
- ・ モデル地域を伊勢湾とする

- ・ モデル地域において、詳細検討モデル区域を設定し、検討海面上昇値における影響を把握するとともに、海面上昇シナリオについて、時間軸を入れた対策を検討する
- ・ 観測・監視体制の充実・強化方策について検討する

これらの検討を踏まえて、国土保全対策の基本的方向性について検討する

『観測・監視体制の現状について』

『説明内容』

- ・ 我が国では、国土地理院、海上保安庁、気象庁、地方整備局等の機関がそれぞれ目的に沿って検潮場を設置し、潮位変化を観測している
- ・ 海岸昇降検知センターにおいて各官庁・機関等の一五一カ所の検潮場のデータをとりまとめる
- ・ 日本最南端の沖ノ島島では、関係機関によつて潮位観測が実施されている

今後の予定では、第一回研究会は、平成十三年十一月開催予定、最終報告の策定は、平成十四年三月の予定です。

◆ 大型浚渫兼油回収船 「白山」命名・進水式

【H13・8・29】北陸地方整備局に配備予定の大型浚渫兼油回収船の命名・進水式が、石川島播磨重工業（株）東京第一工場にて行われました。

式典では、国土交通省大臣が同船を「白山」と命名、紀伊殿下が支綱を切断されると海上保安庁音楽隊の演奏の中、「白山」は船台を滑り、無事に進水しました。進水式には、一般参加者を含め約四〇〇〇人が参加しました。

今後、「白山」は、造船所での艀装工事及び試験運航を経て、平成十四年六月下旬に新潟西港に回航、現地海域で総合試験後、平成十四年八月に完成し、新潟港に配備される予定です。通常は航路の浚渫作業を行い、油流出事故が発生した場合、油回収作業に従事します。

同船の完成により、大型浚渫兼油回収船は全国で三隻体制が整い、我が国の周辺地域へは、出勤から概ね四十八時間以内に対応できることとなります。

ONE POINT LECTURE

環境と共生する関西国際空港

～藻場造成Q&A～

藻場造成方法は？

A 護岸が概成した一九八八年十二月から一九九〇年十一月にかけて、緩傾斜石積護岸の四地点に、魚介類の産卵場、稚仔魚の保育場としての機能をもつホンダワラ類の単年生海藻であるアカモク、シダモクと多年生のヤツマタモクをサザエやアワビなどの藻食性動物の餌場としての機能をもつ単年生海藻であるワカメと多年生海藻のカジメ、クロメの合計六種を選定し、移植を行いました。海藻は主に春と秋に成熟するため、年間を通して安定した藻場が形成されるよう成熟時期の異なる海藻のうち、周辺海域で分布が確認されている種を選定しました。(図 1)

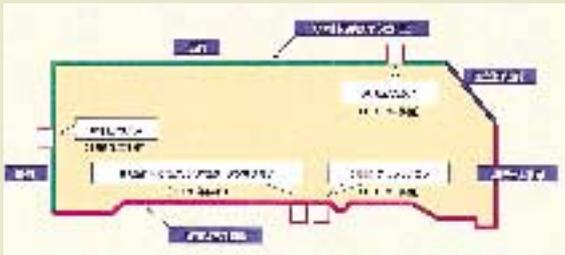


図 1 種苗移植位置

種苗の移植は、種苗網を護岸に直接固定する方法と種苗網または種ロープを表面に取りつけたコンクリートブロック(藻礁ブロック)を設置する方法の二パターンで行いました。

藻場造成による効果は？

A 種苗を移植した後、毎年、観察調査を行ってきた結果、一期空港島の護岸には海藻の生育に必要な光が到達する水深10mあたりまで海藻が繁茂しており、その海藻着生面積は約二十三haにも及ぶことがわかっています。藻場の遷移をみると、一九八九年当初はアオサ場、一九九一年にはガラモ場が主体でしたが、一九九二年頃からテングサ場や海中林が広がり、一九九六年以降では海中林が主体となって変遷していることがわかっています。

これまでに観察された海藻は合計六十三種類あり、移植した海藻や天然の流れ藻から放出される胞子が着底し、世代交代を繰り返すことによって藻場は形成されています。

周年繁茂している海藻は、主に種苗移植由来のカジメ、クロメと天然供給も加わったワカメ、シダモクであり、その他にも天然の流れ藻によって繁茂したタマハハキモクが、ワカメやシダモクと同様、冬から春に繁茂する季節変化を繰り返して、安定した藻場を形成しています。

移植した海藻の広がり方は？

A 種苗移植を行った海藻のうち、カジメ・クロメ(以下、カジメ属)は、現在では空港島の藻場を代表する種となっています。カジメ属は移植地点を中心に繁茂し、緩傾斜石積護岸全域に分布

していったことがわかりました。(図 2)

図 2 カジメ属の移植箇所からの広がり



Aw護岸では被度5%以上が五〜十m/年、五十%以上が四八〜一m/年とほとんど変わりがなく、As護岸では被度5%以上が二七m/年、五十%以上が六十五m/年、またB護岸では被度5%以上が一〇m/年で拡大しており、潮通しのよい沖側Aw護岸での拡大速度が高いことがわかりました。

藻礁ブロックの形状は？

A 藻礁ブロックは、A型、B型、C型を考案し、さらにC型については三タイプを考案しました。いずれも基盤の上には泥が溜まらないように屋根型とし、種糸等の固定では波浪で摩擦しないように基盤表面に埋設された軟質材にステープルを用いて打ち付ける工夫を施しました。A型基盤は、緩傾斜石積護岸の傾斜部に設置するため、高さは五十cm以下としました。B型基盤は、波の穏やかな沿岸側の護岸水平部に設置するため、藻礁だけでなく、魚礁としても機能するように基盤の下部は中空と

しました。C型基盤は、波浪条件の厳しい沖側でも安定性を確保できるような重さに配慮しました。穴を好む魚介類のためにC1型基盤には横穴(貫通)を、C2型基盤には縦穴(貫通)を設けました。C3型基盤の側面にはイセエビ用に行き止まりの横穴を設けて泥が溜まらないように僅かに下向きにし、基盤の上

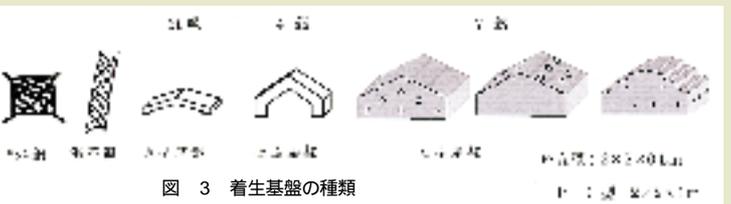


図 3 着生基盤の種類

面は渦流で種苗が滞留しやすいうように階段状に工夫しました。(図 3)

藻礁ブロックの形状と海藻の附着位置との関係は？

A C型ブロック上のカジメの附着部分とその全長、ブロックの型による附着個体数の差はほとんどみられませんでしたが、大型個体に着目すると、C1型基盤に比べて形状に凹凸があるC2及びC3型基盤の方が多く附着しており、側面には少なく、上面の角、溝、穴の部分でよく附着していました。このことから、波の影響を受ける場所では、凹凸が多い附着基盤の方が大型個体の生残に効果があるといえます。

観察される魚介類は？

これまで空港島周辺海域で観察された魚介類は合計一四一種類であり、

空港島が造成される前の砂泥底には生息していなかった多くの魚介類が観察されています。特に、岩礁性のアイナメカサゴ、メバルなどは季節に関係なく継続して観察されており、空港島周辺に定着しているものと考えられます。それ以外にもスズメダイ、イシダイ、クログタイ、サザエ、ウニ、ナマコ、タコ等の多種多様な魚介類が観察されています。

最近の調査結果では、一期空港島護岸で繁茂していた海藻が、流れ藻となつて大阪湾全域に漂流しており、これら流れ藻にくっついて約六十万匹以上のメバルが大阪湾に広がっていることがわかっており、空港島護岸に造成された藻場は、大阪湾の環境に水産資源の供給源として貢献していることがわかっていきます。(図 4)



図 4 流れ藻とメバル稚魚の移動・分散経路

今後の取り組みは？

二期空港島護岸においても、一期空港島と同様に、もしくはそれ以上となる安定した藻場を早期に効率よく造成することを試みていきます。具体的には、

主に魚介類の産卵場、稚仔魚の保育場に適したホンダワラ類によるガラモ場の面積拡大、主に魚介類の餌場、生活の場となるカジメ等の大型海藻類による海中林の面積拡大によって安定した藻場の形成を図っていきます。

二期藻場造成では、一期時に活用した藻礁ブロックを移設したり、スポアバッグによる種付けを行う等、簡便で安価ではありますが、広範囲に効果が期待できる方法で種苗供給を行います。(図 5)

また、護岸の深所でも保育機能が高いと言われるガラモ場を造成するため、水深5m以深でも群落を形成する種としてノコギリモクに着目し、一期空港島のAs護岸の中央部と東端の二地点における水深七・九mにおいて生育実験を行っています。移植して約一年後の生育状況としては、潮通しのよい東端の方で生長がよく、葉長が最大で八十六cmまで生長していることがわかっていきます。しかしながら、成熟はしておらず、分布範囲の拡大は今のところみられてはいません。引き続き、モニタリングを行い、分布域を拡大することが可

能であるとわかれば、二期藻場造成の対象種として取り入れていきたいと考えています。(写真 1)

さらに、安定した藻場を形成させるため、消波ブロックの脚部に溝を形成して大型海藻の付着能力を高める工夫を施した環境共生型消波ブロックを開発しました。(写真 2) 開発にあたっては、製作コストを抑えるために既存の消波ブロックを改良することとし、設計上の必要重量と容易な施工性に配慮するとともに、海藻の着生機能を高波浪時でも高めるために凹凸を設け、溝の幅、深さ、角度は海藻の仮根の大きさや付着動物にも配慮して形状を決定しました。また、溝の位置は、ブロックを整積みで設置する際にできる限り受光面となるように配慮して決定しました。

以上のとおり、二期藻場造成では、一期藻場造成で得られた知見を活かして、経済的かつ効率的に藻場造成を行うてまいります。

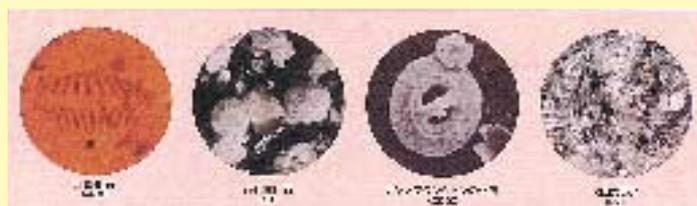
写真 1 ノコギリモク



写真 2 環境共生型消波ブロックと据付イメージ



図 5 種苗移植のイメージ (スポアバッグによる種付け)



顕微鏡による微化石分析

大阪地盤の地層層序区分は一九六二年に大阪市港区で実施された深層ボーリングOD 1(掘削深さ九〇七m)が基本となっています。OD 1では下から下大 阪層群、大阪層群 (Ma 0) Ma 10 層 (を含む)、上部洪積層 (Ma 11、Ma 12 層を含む)、沖積層 (Ma 13) に区分されています。大阪層群では、急速な海進と緩やかな海退により、粘土層と砂礫層の互層が形成されたと言われたとされます。この海進と海退

は、水河の変動によっておよそ十万年単位で変動するとされています。その後、海底地盤の層序区分には、海成層・火山灰層・花粉化石・ナンノ化石などの識別・対比によって詳細に区分することが可能になってきました。特にアズキ火山灰層を含む Ma 3 層が層序決定で重要な役割を果たします。空港島の海底地盤の調査では、微化石総合調査、ナンノ化石総合調査、珪藻化石総合調査、微化石詳細調査、火山灰および火山ガラス調査などを行いました。微化石総合調査では二〇〇メッシュ(74μm)残留分の微化石、火山ガラスなどを調べました。調査の目的の第一は海成粘土層の認定であり、第二は年代の決定です。その結果、アズキ火山灰層を挟む Ma 3 層が同定されました。また、大阪層群の中で Ma 5、6 は存在しないことが判明し、Ma 0 よりも古い Ma 1 層が存在する可能性もあります。なお、基底礫層 (DS 10 層) から一番浅い沖積層 (Ma 13 層) までが空港島層と名づけられています。圧密の排水層として重要な砂層についても各ボーリング地点で層の同定を行ったところ、場所によって存在する層や切れている層があることがわかりました。以上の結果を基に、各砂層の厚さの分布情報をマップ化し、排水機能の評価を行いました。砂層が水を通しやすい(透水性がよい)、なおかつ厚く広がりをもつて分布していれば、良好な排水層として機能し、圧密沈下が速く進行します。一方、砂層がレンズ状に入っていて連続していない場合には、排水層として期待できず圧密沈下はゆっくり進むこととなります。二期工事では、地質学的・工学的な判断を基に作成した土層区分で沈下予測解析を行っています。

沿岸虫眼鏡

微化石分析【microfossil analysis】

沈下問題を考える場合、地盤情報をどれだけ正確に把握するかが非常に重要な問題となります。特に深い部分の洪積層の粘土層の厚さや、砂層の厚さと広がりや沈下予測解析に大きな影響を与えます。海底地盤は、砂質土・粘性土・砂質土のサイクルで堆積しています。空港島の海底地盤では洪積層を含め、砂質土と粘性土の互層が非常に多く複雑に堆積しています。地質学的に地層を判定し層序を決定することは、工学的観点からも非常に重要な意味を持っています。

は、水河の変動によっておよそ十万年単位で変動するとされています。その後、海底地盤の層序区分には、海成層・火山灰層・花粉化石・ナンノ化石などの識別・対比によって詳細に区分することが可能になってきました。特にアズキ火山灰層を含む Ma 3 層が層序決定で重要な役割を果たします。空港島の海底地盤の調査では、微化石総合調査、ナンノ化石総合調査、珪藻化石総合調査、微化石詳細調査、火山灰および火山ガラス調査などを行いました。微化石総合調査では二〇〇メッシュ(74μm)残留分の微化石、火山ガラスなどを調べました。調査の目的の第一は海成粘土層の認定であり、第二は年代の決定です。その結果、アズキ火山灰層を挟む Ma 3 層が同定されました。また、大阪層群の中で Ma 5、6 は存在しないことが判明し、Ma 0 よりも古い Ma 1 層が存在する可能性もあります。なお、基底礫層 (DS 10 層) から一番浅い沖積層 (Ma 13 層) までが空港島層と名づけられています。圧密の排水層として重要な砂層についても各ボーリング地点で層の同定を行ったところ、場所によって存在する層や切れている層があることがわかりました。以上の結果を基に、各砂層の厚さの分布情報をマップ化し、排水機能の評価を行いました。砂層が水を通しやすい(透水性がよい)、なおかつ厚く広がりをもつて分布していれば、良好な排水層として機能し、圧密沈下が速く進行します。一方、砂層がレンズ状に入っていて連続していない場合には、排水層として期待できず圧密沈下はゆっくり進むこととなります。二期工事では、地質学的・工学的な判断を基に作成した土層区分で沈下予測解析を行っています。

CDIT NEWS

[CDITニュース]

第十八回創立記念特別講演会

平成十三年九月二十七日(木)、弘済会館において、第十八回創立記念特別講演会を開催しました。今年は、関西国際空港がアメリカ土木学会の二十世紀の土木・建築界における最高水準の十大事業を選ぶプロジェクト「Monument of the Millennium」の空港部門に選ばれたことちなみ、「関西国際空港の過去、現在、未来」という演題で、関西空港用地造成株式会社代表取締役専務古土井光昭氏にご講演いただきました。特

別講演会終了後、同氏を囲み、当研究センター役員および関係者により、第十八回創立記念懇親会を、和やかに執り行いました。



古土井代表取締役専務

コトスタル・テクノロジー 2001



来賓ご挨拶 国土交通省大臣官房 谷野技術総括審議官

平成十三年九月二十八日(金)、東条インペリアルパレスにおいて、「コトスタル・テクノロジー2001」(財)沿岸開発技術研究センター「研究論文報告会」を、国土交通省大臣官房谷野技術総括審議官を来賓にお迎えし開催いたしました。

本報告会は、初めての試みにもかかわらず、国の研究機関や民間企業などから一六五人ものご参加いただき、さらに発表論文ごとの質疑応答の時間では、技術的な質問や意見を多数いただきました。

今後、年一回の開催を予定しておりますが、論文集と併せ、本報告会が受講者にとってさらに良いものとなりますよう、より一層の努力をまいります。

「数値波動水路(CADMAS SURF)の研究・開発」講習会とその耐波設計への適用

平成十三年十月五日(金)発明会館ホールにおいて一〇〇余名の参加者を集め、「数値波動水路(CADMAS SURF)の研究・開発」講習会を開催いたしました。

この講習会は、この度発行いたしました、「数値波動水路(CADMAS SURF)の研究・開発」に関する報告会で、本研究にご協力を頂きました東京大学磯部教授、独立行政法人港湾空港技術研究所高橋海洋・水工部長をはじめ、執筆を頂いた方々から内容について説明をいただきました。



当センター井上理事長による挨拶

【出版物の紹介】

「人工島物語」The Story of Man-Made Islands

国内外の人工島に関する情報を取りまとめ、豊富なカラー写真や絵図を掲載し、デザイン性に富んだ、見て、面白い、読んでもわかりやすい書籍となっております。皆様方の業務にもきつとお役に立てる冊子です。



発行：(財)沿岸開発技術研究センター
定価：1,000円(税込み・送料当センター負担) A4判 70ページ

「数値波動水路(CADMAS SURF)の研究・開発」の数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会報告書

CDITでは、平成十年から「数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会」を設置し、水理模型実験のかわりとなる実用的な数値波動水路(波、流れ、地盤の相互作用)について数値シミュレーションを行うことができるもの(の)の開発を行ってきた。今般、その成果を取りまとめ、「数値波動水

路(CADMAS SURF)の研究・開発」を書籍として発行した。

発行：(財)沿岸開発技術研究センター
定価：10,000円(税込み・送料当センター負担) A4判 68ページ



(財)沿岸開発技術研究センター

本研究センターは、昭和58年9月に設立された国土交通省(前運輸省)所轄の財団法人です。

本研究センターは、沿岸域の開発・利用・保全に係る分野の技術開発と、その技術の活用と普及を目指した研究組織です。

本研究センターは、必要に応じて国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所、独立行政法人海上技術安全研究所の指導を受け、また各界専門家、学識経験者からなる委員会を組織して事業を実施します。

【役員】

- 会長**
千速 晃 社団法人 日本鉄鋼連盟 会長
- 理事長**
井上興治 常勤
- 専務理事**
中村 豊 常勤
- 常務理事**
中山 嵩 常勤
- 理事**
鶴谷広一 常勤
石月昭二 財団法人 日本気象協会 会長
稲葉興作 社団法人 日本作業船協会 会長
植野正明 財団法人 東京港埠頭公社 理事長
太田宏次 電気事業連合会 会長
大野正夫 港湾技術コンサルタンツ協会 会長
岡部 保 全国浚渫業協会 会長
亀井俊郎 社団法人 日本造船工業会 会長
酒匂敏次 東海大学海洋学部 教授
竹内良夫 株式会社 竹内良夫事務所 社長
中村英夫 財団法人 運輸政策研究機構 運輸政策研究所長
平山征夫 新潟県知事
廣田孝夫 国際協力銀行 技術顧問
藤野慎吾 社団法人 日本港湾協会 会長
堀川清司 武蔵工業大学 学長
松形祐堯 宮崎県知事
間野 忠 財団法人 日本海事協会 会長
水野廉平 社団法人 日本埋立浚渫協会 会長
元良誠三 東京大学 名誉教授

- 柳原隆雄 財団法人 大阪港埠頭公社 理事長
- 監事**
鮫島泰佑 港湾学術交流会 理事長
金子昭二 財団法人 運輸振興協会 評議員
- 顧問**
松本輝寿 財団法人 沿岸開発技術研究センター 初代理事長
- 技術顧問**
合田良実 横浜国立大学 名誉教授
【平成13年7月1日現在】

【専門委員会委員】

- 石原研而 世界地盤工学会 会長
- 奥村樹郎 前岡山大学 教授
- 合田良実 横浜国立大学 名誉教授
- 小林正樹 小林ソフト化研究所株式会社 所長
- 酒匂敏次 東海大学海洋学部 教授
- 柴田 徹 福山大学工学部建設環境工学科 教授
- 菅原照雄 北海道大学 名誉教授
- 須田 照 交通政策審議会港湾分科会 会長
- 竹内良夫 株式会社 竹内良夫事務所 社長
- 長瀧重義 新潟大学工学部 教授
- 中村英夫 財団法人 運輸政策研究機構 運輸政策研究所長
- 野田節男 国際航路協会 副会長
- 堀川清司 武蔵工業大学 学長
- 堀口孝男 東京都立大学 名誉教授
- 吉田宏一郎 東海大学海洋学部マリンデザイン工学科 主任教授
- 吉田信夫 福岡大学工学部土木工学科 教授

【平成13年7月9日現在】

ホームページリニューアルのお知らせ

当センターのホームページをリニューアルしました。本機関誌を画面上でご覧いただくこともできます。また、ホームページを通して読者の皆様の声を広く募集しております。ご意見、ご感想等をぜひお寄せ下さい。

ホームページの新URLは、
<http://www.cdit.or.jp/> です。

編集後記

関西国際空港のASCCE受賞とこれに伴うセッションに出席のためにアメリカから記事とメールをお送りします。日本では公共事業や土木については逆風ですが、アメリカでは、堂々とした世論を味方にできる威信をもって、土木技術者ががんばっています。今回の関空特集が我が国の元気のもとになることを祈念します。(中村 豊)

今回はASCCEによるMonument of the Millenniumの空港部門に選ばれた関空の特集号を企画しました。台風十一号来襲の最中、京都で対談

を実現し、過去・現在・未来に渡る貴重なお話を伺えてとても参考になりました。執筆にご協力戴きました関空関係者の皆様に厚く御礼申し上げますとともに国際空港シンポジウム2001のご成功をお祈りします。(尾島啓介)

リニューアル第一号の準備開始から携わり、第四号発行でちょうど一年が経ちました。これまで早く取材に心じて下さいました皆様、またお忙しい中、解り易くご執筆くださいました皆様にあらためまして厚く御礼申し上げます。いままで三回のCDIT対談を傍聴する機会に恵まれ大変貴重な経験をさせていただきまし

た。これからも当センター機関誌を「ご愛読いただけますようお願い申し上げます。(佐藤茂樹)

今回は関空特集号ということで、今までとは少し違った機関誌となりました。関空には興味ある技術がたくさんあり、私も技術者としてとても勉強になりました。皆様にも本誌を読んでもらいたけると幸いです。

次号もホットな情報を提供致しますので、何卒宜しくお願い申し上げます。なお、「ご多忙の中、執筆にご協力下さいました方々に厚く御礼申し上げます。(伊藤 理)

今号から編集委員になりました。六

月にセンターにきました新人です。大昔社内報の編集委員をやったので、今回の仕事は懐かしいような、変わらないような不思議な気持ちでやらせていただきました。当時はワープロが始めで、電子メールなどももちろんなく、原稿をいただくのが大変でした。(窪田 太)

二年目を迎えて忙しい日々を過ごしている中、原稿のチェックなどをさせていただきました。時間に追われてはいましたが、普段触れることがないような内容を目にする機会が得られるとともに、改めて勉強をし直すこともあり、有意義な時間であったと思っています。(藤村 貢)

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

発行 財団法人 沿岸開発技術研究センター
〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16 住友半蔵門ビル6F
TEL. 03-3234-5861 FAX. 03-3234-5877
URL <http://www.cdit.or.jp/>
2001年11月1日発行