

フィジーの砂事情 -フィジーでの骨材資源ワークショップからみた南太平洋諸国の骨材資源-

池原 研¹⁾

1. 骨材って何? -はじめにかえて

皆さんは「骨材」という言葉をご存知でしょうか? 「骨材」はコンクリートを作るときにセメントに混ぜる砂利(砂礫)のことです。このうち、直径5mm以上の礫を粗骨材、それ以下の砂礫を細骨材と呼びます。ここつくばでもつくばエクスプレスの開業に伴って新たな開発が進み、周辺地域も含めて多数のマンションや商業ビルの建設が進んでいますが、これらのコンクリート建築物を造る上で「骨材」は必要不可欠のものとなります。適切な量と品質の骨材を使わないと、コンクリート強度の不足や耐用年数の短縮などの問題が生じるからです。また、今年の2月には神戸空港が開業しました。これは神戸沖の海を埋め立てて造成されたものです。海上空港は、お隣の関西空港、伊勢湾の中部国際空港、これまた最近開業した新北九州空港など増えてきておりますし、第2期展開の関西空港や沖合への拡張が進む羽田空港なども含めて、騒音問題とも相まって空港の海上化は進む方向にあるようです。このような海の埋め立てにも、石や砂が必要です。このように日本においては、戦後の社会復興とともにコンクリートの需要が急激に増加し、現在の日本は「コンクリート文明」とさえ言われていますが、岩石や堆積物を扱っている地質屋においてすら、「骨材」という言葉は耳慣れない言葉です。かく言う私も、碎石プラントのそばでその音が常に聞こえ、コンクリート強度試験ピースが身近に落ちている環境に育ちながらも、「骨材」は海底砂利賦存状況調査にかかわってから初めて聞いた言葉でした。この「コンクリート文明」を支える「骨材」ですが、砂であれば何でもいいのかというのではなく、したがってどこにでもあるものではありません。環境問題などから、河川や海岸からの採取が規制され、最近では瀬戸内海における海砂採

取禁止など、採取への規制が徐々に強まっています。千葉県房総半島で見かけられるような陸上の地層からの採取にも限度があります。硬岩を砕いた碎石や代替材料の開発なども進んできていますが、自然の作り出した材料にはまだまだ追いついていません。このような「骨材」の不足状況は、「コンクリート文明」の世界中への拡大とともに多くの開発途上国における問題の一つとなっています。特に、陸地が小さく、しかも硬岩の少ない南太平洋諸国においては社会資本整備のための深刻な問題となってきました。日本でも砂を輸入する例が多くなってきていますが、「骨材」は重量に対して体積が大きいですから、輸送には大きな船が必要となり、どうしても輸送コストがかかります。しかもその利用方法の性格上、たくさんの量が必要となります。原材料は安くとも輸送コストがかかることは、「骨材」の輸入に大きな障害となります。

これら南太平洋の国々における骨材資源の採取や探査の現状と問題点及び今後何をなすべきかを議論するために、2006年1月16日-20日にフィジーのスパにおいて、南太平洋応用地球科学委員会(SOPAC)の主催で南太平洋諸国の骨材資源に関するワークショップが開催されました。筆者はそれに参加する機会を得ましたので、この会議の様子を報告したいと思います。

2. セメントとコンクリート

本論に入る前に、セメントとコンクリートについておさらいしておきましょう。これは概論なので、もうこれらについて分かっている人は読み飛ばしていただいて結構です。コンクリートとは最初に書いたように、セメントに水を加えて作ったペーストに骨材(砂利)を混

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: 骨材, フィジー, SOPAC

せて固めたもので、砂や砂利をセメントでくっつけたものです。セメントに水を加えたものをセメントペースト、これに砂を混ぜたものをモルタル、さらに粗い砂利も加えて固めたものをコンクリートと呼びます。すなわち、コンクリートは、セメント、砂(細骨材)、砂利(粗骨材)から構成されていて、その量比は通常、1:2:3と言われます。つまり、コンクリートの約20%はセメント、70%は骨材から構成されている(残りは水)ということになります。また、コンクリートを作るためにはセメント1トンに対して、骨材約7トンが必要とも書かれています。そして、コンクリート文明の今日、骨材の元となる碎石は年間4億9,000万トン、砂利(天然骨材)は3億2,000万トン、セメントは9,000万トンが1年に消費されていると言われています。原油が年間2億2,000万トン、石炭が1億3,000万トン、鉄鉱石が1億2,000万トンであることと比べても小さくない数字であることがおわかりいただけるかと思えます。日本における骨材需要は戦後の経済拡大とともに伸び続け、1955年から1973年の間には骨材需要は約11倍にも増大しています。その後の骨材需要は景気の動向に左右されて変動していて、コンクリートの需要が経済活動と密接に連動していることがわかります。すなわち、順調な経済発展を支えるためには、コンクリート、そしてその70%を占める骨材の確保が非常に重要であるということがわかっていただけるでしょう。

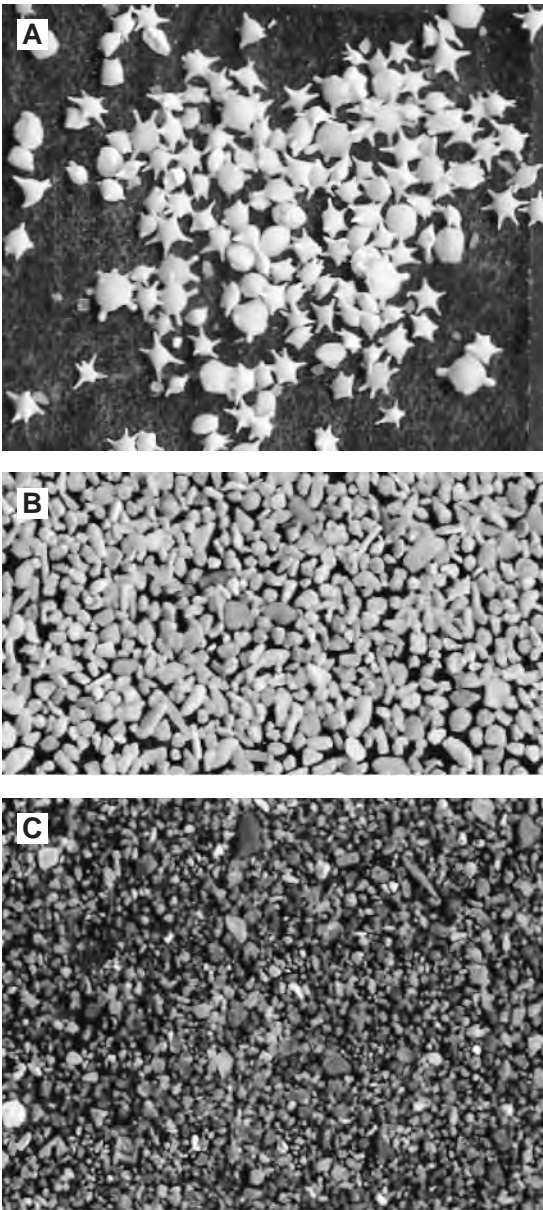
コンクリートにおいて骨材をくっつけているセメントにはいくつかの種類がありますが、最も一般的なものは石灰石と粘土から作られるポルトランドセメントと呼ばれるものです。ポルトランドセメントは石灰岩のような石灰質物質(主成分は炭酸カルシウム)と粘土(主成分が珪酸塩の粘土質ローム)を主原料とし、これに珪石や酸化鉄などを加えてよく混ぜ、さらにそれを粉砕して、粉末にしたものを1,500℃近くの高温で焼いたもの(クリンカー)に石膏を混ぜて微粉末にしたものです。石膏を加えるのは、水を加えたときにすぐに固まるのを防ぐため、通常は3%程度の石膏が加えられます。セメントは水と反応すると固化しますが、その反応速度は比表面積に依存しますので、セメントの粉末が細くなればなるほど硬化速度は速くなります。このため、工事の内容によって通常より細かい粉末のセメントが使われるということです。また、セメントと水とが反応する際には水和反応による熱が発生します。コンクリートの用途によってはこの発熱



第1図 陸砂・陸砂利の採取現場。

を押さえるために成分を変えたセメントが用いられることもあります。

次に本論の主題である「骨材」についてみてみましょう。骨材はコンクリートを作るために使われる砂、砂利、砕砂、碎石などの総称です。また、自然環境から採取されたものを天然骨材、岩石や廃材を人工的に加工して作られたものを人工骨材と呼びます。以前は天然骨材が主流でしたが、近年では砕砂・碎石の使用割合が大きくなってきています。天然骨材はその採取場所から、現在の河床から採取する川砂・川砂利、台地から採取する山砂・山砂利、平野(田んぼの下)から採取する陸砂・陸砂利(第1図)、海底から採取する海砂・海砂利に区分できます。骨材に利用する砂・砂利はどんなものでもよいという訳ではありません。コンクリート用の骨材に求められるのは、1. 砂粒が硬くて強いこと、2. 石質が安定していて、物理的及び化学的に安定性が高く、コンクリートにした後も変質しないこと、3. 耐久性に優れていること、4. 適当な粒度と粒度組成を持つこと、5. 適度な丸みを帯びていること、6. 泥分や有機物を含まないこと、があげられます。このような骨材としての適性を判断するために様々な試験が行われます。例えば、4については、ふるい分け試験により粒度区分毎の量比を知り、それを標準的な粒度組成と比較することで評価します。1や2、3については、硫酸ナトリウム飽和溶液に対する分解抵抗性や回転式ドラム中でのすり減り量の試験、所定の加重をかけた時に破碎される粒の量の測定、水酸化ナトリウム溶液中に溶出する珪酸量と溶液のアルカリ濃度減少量の測定などから判定されます。また、セメントペーストとの付着強度が大



第2図 南の島の海岸砂の例。
 A：沖縄の星砂，B：フィジーのサンゴ礁の砂，
 C：フィジーの海岸の鉱物質の砂

きいことや、吸水率が小さいことも骨材としての利用条件となります。このうち、吸水率は骨材中の空隙の量や大きさ、構造によって変化しますが、空隙の大きい骨材は一般に骨材自身の強度が弱く、コンクリートとなった場合に凍結溶解作用に対する抵抗力が低下するとされています。吸水率は一般に試料の密度が大きくなるほど小さくなりますが、試験では吸水率試

験と密度試験は同時に行われます。このほか、コンクリートとなったときの流動性やセメントと骨材の分離の起きにくさもコンクリートの打ち込みなどの作業に関係し、人工的に作られる砕砂・砕石は流動性が悪くなるということです。また、砂には貝殻やサンゴ片などの生物遺骸からなるものもあります。沖縄の星砂(第2図A)は底生有孔虫の遺骸が集まったものですが、南の海のサンゴ礁の海岸ではこのような生物遺骸からなる砂がよく見られます(第2図B)。このような生物遺骸の粒子は、砂粒の強度が鉱物の粒子よりも小さいこと、多孔質で吸水性が高いことなど、鉱物質の砂に比べると明らかに骨材としては不向きな点があります。このように、砂粒を構成する粒子の組成も骨材としての評価には重要となります。

現在の海底に分布する海砂利でもその骨材としての評価方法は同じです。我々が日本周辺海域で評価を行うときには、まず粒度組成によるスクリーニングを行います。骨材としての標準粒度(粒径分布曲線)との比較と粒度組成から計算される粗粒率が最初の基準になります。標準粒度にあったものとそれに近いもの(近似型)をピックアップします。また、細粒分(泥分)の含量も海底からの砂採取やその後の洗浄過程で泥水となり、海域に広がるので海洋環境の保全の面から重要です。最近では、出た泥水を船の周囲(表層)に出すのではなく、サクションパイプの先から海底に戻すことで海洋環境に優しくするような対策もとられているようですが、これが海底環境に優しいかは何とも言えないような気がします。海砂利には海水がついています。海水中の塩はコンクリートとなったときに鉄筋をさびさせたり、強度劣化の原因となります。したがって、塩分除去は海砂利の利用にあたっての必須の行程となります。堆積物は一般に細粒になるほど水が通りにくくなりますから、塩分除去の洗浄に多量の水が必要となります。また、洗浄過程で出る泥水は前述のように採取地周辺の海洋環境に影響を与える可能性があります。したがって、できるだけ細粒分(泥分)が少ないことが、海砂利の資源としての利用にあたっては重要となります。このほか、粒子組成もコンクリート強度に影響を及ぼしますので、チェックが必要です。これまでの我々の調査結果によれば、日本周辺海域の外洋域の陸棚上には砂は分布するものの、骨材資源として利用できる粗粒砂程度の粒径の砂の分布は非常に限られており、北九州沖、大山



第3図 SOPAC骨材資源ワークショップの様子。

沖、羽幌沖、大隅海峡などに認められるにすぎません。これらの骨材として利用可能な砂は、過去の低海水準期の汀線付近の堆積物か、海峡などで潮流や海流によって砂が移動される過程である粒径の砂が選択的に集められたものかのいずれかの場合が多いようです。

3. スバでの骨材資源ワークショップ

このワークショップは、フィジーにあるSOPAC (South Pacific Applied Geoscience Commission: 南太平洋応用地球科学委員会) の主催で実施され、ワークショップの議長はCPC (Circum-Pacific Council for Energy and Mineral resources: 環太平洋エネルギー・鉱物資源協議会) のメンバーであるアメリカのG. Greene氏が務めました(第3図)。SOPACは、南太平洋の17の加盟国と3つの準加盟国からなる国際組織で、この地域の基礎的な地質調査から土地・海域の利用、鉱物資源や自然災害と防災など、この地域の持続的な発展のための地球科学的調査研究の企画・立案・調整から実際の調査研究まで、行っている組織です。今回のワークショップも、骨材資源という社会基盤整備に不可欠な資源の安定的供給や確保とその環境への影響も考慮した方策の検討を目指して開催されました。このワークショップの参加者はSOPAC内の9カ国と議長のGreene氏及び日本からの4名を含めて36名、このうち日本からは有田正史氏(日鉄鉱コンサルタント、元職員)、大久保泰邦氏(地質調査企画室長)、高畑裕之氏(日鉄鉱コンサルタント)と筆者が参加しました。ワークショップのプログラ

ムの概要は第4図に示しました。ワークショップはまず趣旨説明と骨材資源の重要性や海域における骨材の種類や起源などについての概括的な講演がなされました。その後、南太平洋諸国における骨材採取や探査の状況が参加者から国毎に報告されました。これに続いて、海砂の探査方法、採取方法、採取にかかる環境問題などについてSOPAC及び日本の専門家による講演が行われたほか、SOPACの粒度分析設備の見学、SOPACの調査船に乗船しての海洋調査のデモンストレーション、スバ近郊の骨材採取地点と河川堆積物の見学が行われました。

南太平洋諸国の現状からすれば、ほとんどの砂は河川あるいは海岸から採取されていて、それに伴う環境問題が懸念され始めているところが多いようです。また、「砂」であればなんでもOK、に近い意識が感じられました。すなわち、どのような「砂」が資源となるのかといった品質の問題やその「砂」で作られたコンクリートの強度の問題など、骨材資源探査にまず必要な知識の不足も感じられました。特に、粒度組成や粒子組成といった比較的地質屋になじみやすい評価項目においても、その意味、あるいはそのような評価項目の存在自体を理解していない国が多く、自力でできそうな評価も進んでいないように感じました。その一方で、粒子組成の検討を行うなど、自力での努力を感じさせる国(人)があったのには多少救われた感じでした。また、ほとんどの国では鉱物質の砂は非常に限られていて、多くはサンゴや底生有孔虫などの石灰質生物遺骸や火山噴出物からなるのもこれらの国の特徴でした。ほとんどがサンゴ礁の島からなる国々ですから、当たり前といえばその通りです。

SOPAC骨材資源ワークショップのプログラム

2002/1/15	
開会挨拶	Pratt, C. (SOPAC) Greene, G. (Moss Landing Lab., USA)
ワークショップ趣旨説明	Greene, G. (Moss Landing Lab., USA) Smith, R. (SOPAC)
海底骨材資源概論	Smith, R. (SOPAC) Arita, M. (Nittetsu Mining Consultants, Japan) Tawake, A. (SOPAC)
フィジーの骨材資源開発と管理 各国の現状報告	SCIL Rep (Fiji)
2002/1/16	
各国の現状報告	
海底骨材資源調査法概論	Smith, R. (SOPAC) Ikehara, K. (AIST, Japan)
骨材試験法	Arita, M. (Nittetsu Mining Consultants, Japan) Takahata, H. (Nittetsu Mining Consultants, Japan)
SOPAC実験室見学	Tawake, A. (SOPAC) Webb, A. (SOPAC) Motuiwaca, S. (SOPAC)
2002/1/17	
海底骨材資源採取概論	Tawake, A. (SOPAC) Smith, R. (SOPAC) Arita, M. (Nittetsu Mining Consultants, Japan)
海域調査実習	Smith, R. (SOPAC)
2002/1/18	
骨材資源開発と環境問題	Prescott, N. (SOPAC) Arita, M. (Nittetsu Mining Consultants, Japan) Woodruff, A. (SOPAC)
フィジーの骨材採取現場見学	Smith, R. (SOPAC) Tawake, A. (SOPAC)
2002/1/19	
グループ討論 まとめ	

第4図 SOPAC骨材資源ワークショップのプログラム内容。

特に、海拔数mまでしかない環礁の島ではこのような石灰質の砂ですら、海岸侵食を抑え、陸地を減らさないように確保するにはどうしたらいいかは、大変大きな問題です。何しろ現在はそのわずかな海岸や潮間帯、潮流口の石灰質砂を人力やパワーショベルで採取している状況で、まさに国土を削って骨材を確保しているのです。このため、環礁の外側のわずかな場所や環礁の礁湖の中など候補となる場所を一生懸命探そうとしているのがよくわかりました。

日本からは、有田氏による多岐に渡る講演と筆者による調査方法の講演が行われました。SOPACスタ

ッフによるだいたい似た講演がセットで組まれていたため、多少内容の重複はあったかと思いますが、それぞれ好評であったと思います。特に有田氏の熱意を感じさせる骨材資源の評価方法のイロハから資源採取方法、採取にかかる環境影響評価の問題、規制や法整備の問題にまで及ぶ講演はSOPAC諸国の参加者にも大変好評で、かつ有用であったと思います。SOPACを始めた講師陣のほとんどが理学系で、骨材資源としての価値や評価手法とその意味などについて不案内で、ややもすると「私は工学屋でないから」と言っていたのに対して、日本からの有田氏や高畑氏は実際の骨材資源探査や資源評価に有用なコメントをされていたと感じています。また、ワークショップに先駆けてSOPACを通じて各国から提供してもらった砂試料を分析結果に基づいて一つ一つ評価したことで、各国からの参加者も自身の身近な評価例として記憶に強く残ったことと思いますし、日本の評価が高かった一つの大きな原因であったと考えます。さらに、ワークショップ

期間中に会議終了後の時間を利用してスバ近郊の海岸から採取してきた砂を使って実践したスキャナーを用いた砂粒子観察方法の実習(第5図)も好評でした。やはり、実物に接して、それをどのように分析・観察するかを実習できることは大事なことだと実感した時間でもありました。

4. フィジーの砂

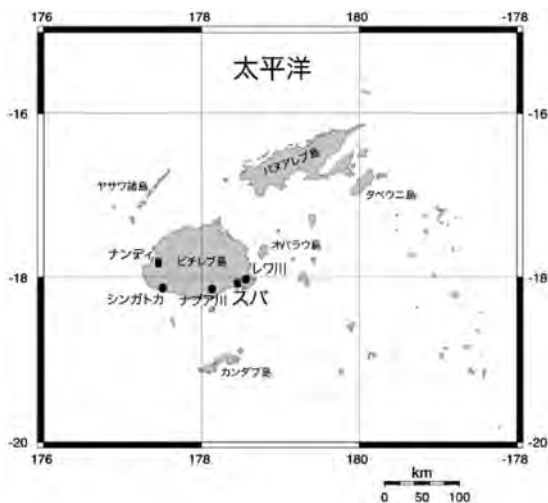
ワークショップでは、フィジーの砂採取現場やサンゴ礁の島への見学も行われました。ここではこれらを始



第5図 フィジーの海岸砂を使った粒子観察の実習風景。

めとして、フィジーで見た「砂」について書くことにしましょう。

まず、フィジーという国についておさらいしてみましょう。以下では、フィジー政府観光局のホームページ (<http://www.bulafiji-jp.com/>) の記述を要約してみました。フィジーは日本から南東に約7,000km、南太平洋の中央部、南緯18°、東経／西経180°を中心とする330を越える島からなる国です(第6図)。総面積は18,000km²で日本の四国にほぼ匹敵する大きさです。最も大きいのは南東部に首都スバ、北西部に成田からの直行便の着くナンディのあるビチレブ島ですが、このほかにもフィジー第2の大きさを持つ島で、ランバサとサブサブという2つの代表的な町があるバヌアレブ島、スバに遷都される以前の旧首都レブカがあるオバラウ島、別名ガーデン・アイランドと呼ばれ、豊かな緑に包まれたタベウニ島があります。成田からナンディまでは約8時間半、夜に成田を発った飛行機は早朝のナンディ国際空港に着きます。フィジーの総人口は約80万人で、フィジー系とインド系の住民がほぼ半々の構成となっています。フィジーに人が住み始めた時期はまだはっきりわかっていないとのことですが、紀元前1300年ごろ、東南アジア方面からニューギニアやニューカレドニアなどを経て渡ってきたのではないかと考えられているようです。このフィジーが西洋史に登場するのは1643年オランダの探検家アベル・タスマンの航海の記録が最初で、その後のキャプテン・クックやキャプテン・ブライなどの航海により、さらに世界に知られることとなったようです。これら航海をきっかけとしてキリスト教が伝えられ、しばらくは

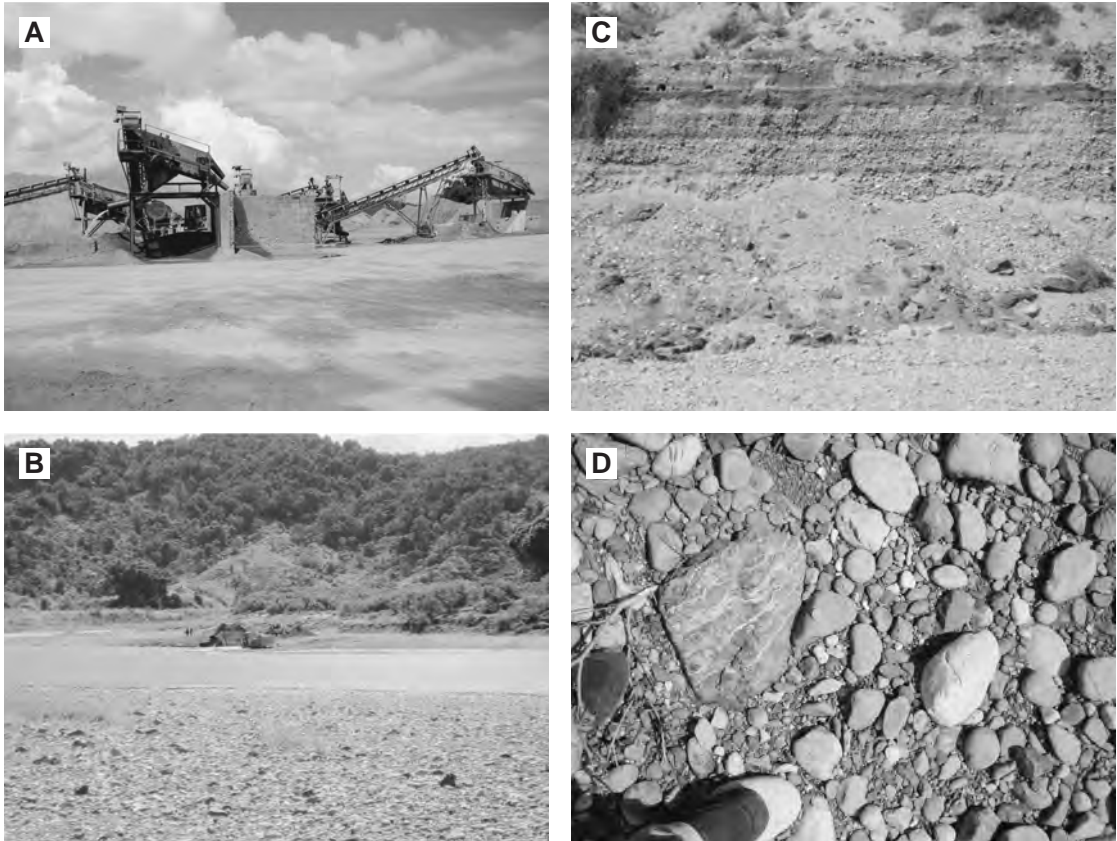


第6図 フィジーの位置と地図。

戦乱やイギリスによる植民地統治などの時代を送った後、1970年に英連邦30番目の自治国として独立。さらに、1987年には南太平洋初の無血クーデターを経験し、フィジー共和国として現在に至っています。経済的には、砂糖生産と観光が主力産業です。南太平洋諸国のなかでは、比較的多様性のある経済が強みで、この地域のリーダー的存在となっているとのこと。フィジーの気候は各月の平均気温は23-28℃で、年間を通して泳げる常夏の国です。5-11月は乾期、12-4月は雨期に分けられますが、貿易風の影響により、極端に雨が多くなることはないようです。実際私たちが訪れた1月は雨期にあたる時期でしたが、ほとんど雨には降られずに、南国の強い日差しを受けた日もありました。地質学的には、フィジー諸島はトンガ-ケルマディック海溝の背弧海盆であるラウ海盆とニューヘブリデス海溝の背弧海盆である北フィジー海盆に挟まれた位置にあります。このように太平洋プレートとインド-オーストラリアプレートが沈み込む場にあるため、ポーフィリー-カッパー型や浅熱水性の金鉱床も形成されています。最も大きいビチレブ島はその北側は鮮新世の火山岩類、南側は漸新世後期から中新世中期の堆積岩と火山岩類及び鮮新世の堆積岩類からなり、平野は一般に狭く、山地が迫る地形をしています。

フィジーの川の砂

さて、それではフィジーの骨材採取現場を見てみま



第7図 ナブア川の砂利採り現場。

A：砂利プラント，B：ナブア川の河床，C：砂利採取後の露頭に見られる礫層，D：ナブア川河床の礫

しょう。まず案内されたのは、ナブア川の砂利採り現場でした(第7図A)。ナブア川は立派な河川で、河床にも砂礫が見られます(第7図B)。この礫床河川のポイントバー(point bar：蛇行する河道の凸岸側に生じる堆積地形、日本語では、蛇行州または寄州ないし突州と呼ばれる)の移動に伴って作られた堆積物が採取の対象となっていました。採取後の切り割りでは見事な礫層が見られます(第7図C)。礫種も火山岩類が多く(第7図D)、まるで日本の川を見ているような錯覚さえ覚えます。礫層の最上部には斜交成層をした砂層が乗っており、洪水時にポイントバー上に形成された水成デューンの名残だと判断されます。また、近くでは現在の河床からもパワーショベルで砂礫を採取していました。河川のポイントバーの堆積面の高さからすれば、まだ資源量はあるように思えます。ここは地形的にはちょうど川が平野に出る部分にあたり、扇状地の上部に相当すると考えられます。

さらにこの川を下流に下ったところが第二の見学ポイントです。ここは州の州都であるナブアの郊外(下流)にあたります。もうここは海岸に近く、川の流れも緩やかになりますが、河床の堆積物は砂からなるようです。ここでは、川の中央部に設置したポンプから河床の砂を吸い上げて採取しています。採取場所に残された砂と現在の河床の砂はほぼ似た粒径でしたので、ナブア川の下流域はこの粒径の砂から構成されていると考えてよいでしょう。ナブア川が山地から出てきて作る平地の面積は広いので、ナブア川沿いの砂資源はかなり期待できそうです。ただし、現在の河岸には泥を多く含む部分も見られます。おそらく洪水時の泥が砂の上を覆っているのでしょう。もちろん、このような泥が厚く堆積している場所は骨材資源開発には向きません。

次に訪れたのはスバの西、スバ・ナウソリ空港に近いレワ川の砂採取地点です。ここでも、河床に設置し



第8図 レウ川の砂利採り現場。

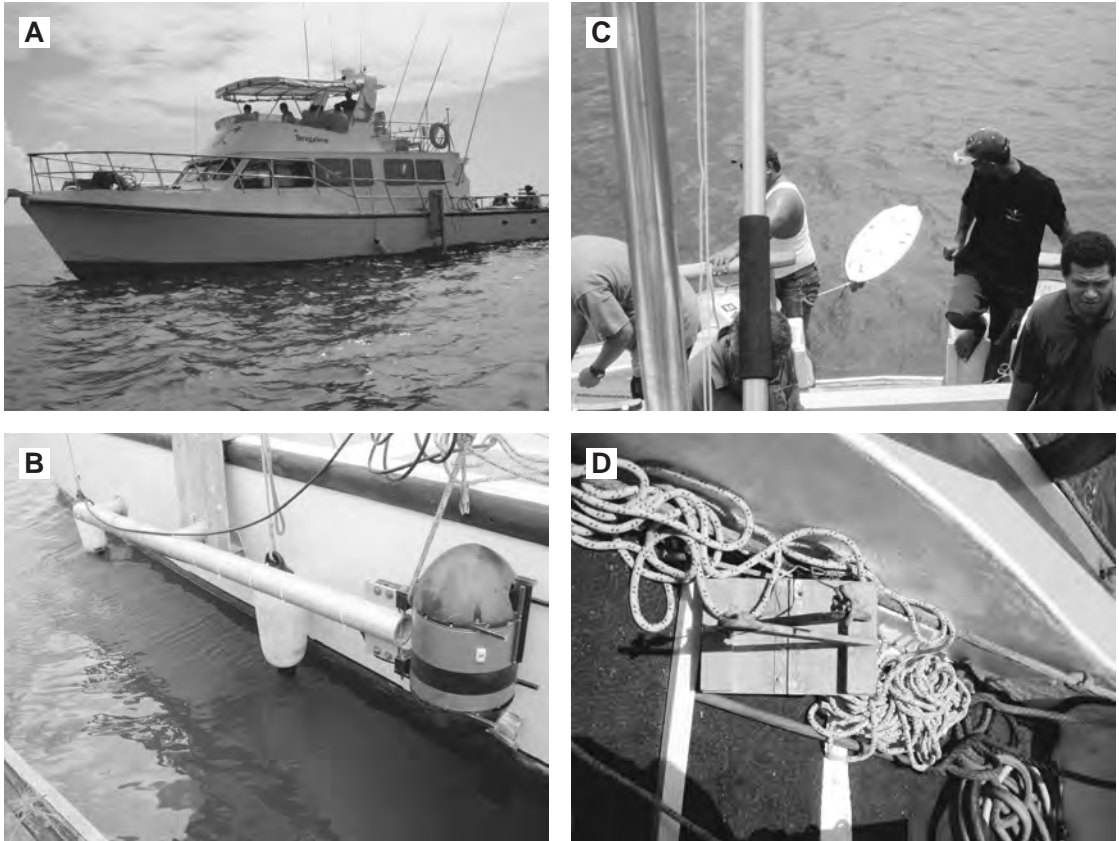
A：河床から砂利をくみ上げるパイプライン，B：パイプラインの先から吹き出す泥水と砂利の分離

たポンプから砂をくみ上げています(第8図A)。くみ上げられた砂は水とともに排出口から勢いよく吹き出されます(第8図B)。その下に置かれた金網で礫を分離し、砂は金網の下にたまります。水は排水溝を通じて、また川に戻されます。金網の下にたまった砂をブルドーザーでトラックに積んで積み出していました。この砂も鉱物質の砂でした。どちらの川でも現在の河床やポイントバーから採取していましたが、大きな環境問題はまだないようです。しかし、ナブア川の上流部ではポイントバーを大きく掘り込んで砂礫を採取しており、これはまだ継続して採取が行われるでしょう。またどちらの地点でも、砂礫を洗浄後の泥水はそのまま川に戻されていました。今後、採取や処理にかかる環境問題への対処は必要と感じました。

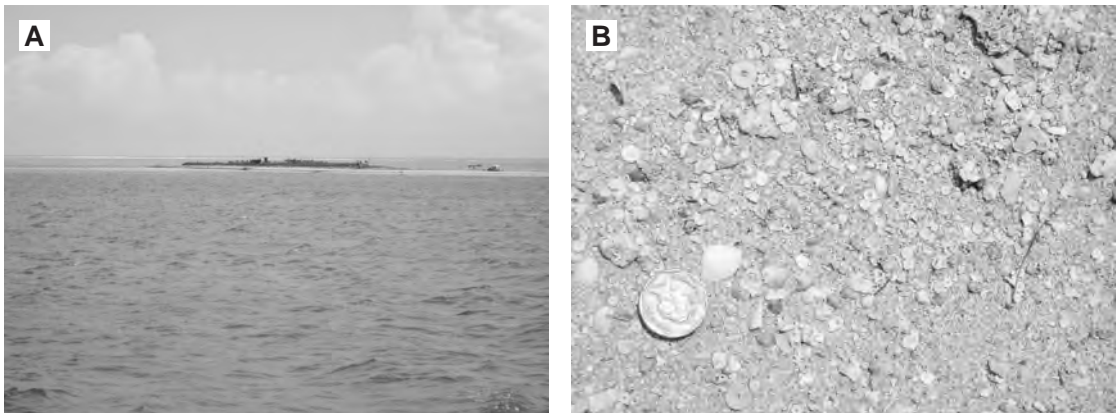
フィジーの海の砂

次にSOPACの調査船に乗ってサンゴ礁に出てみましょう。SOPACの調査船はスポーツフィッシング用のボートを転用したものです(第9図A)。舷側にマルチナロービーム音響測深器(第9図B)をもち、今回のデモではユニブームによる音波探査(第9図C)も行われましたが、機器トラブルで音波探査の方は記録が取れませんでした。この船は外洋域での調査は無理です。この船での採泥(海底堆積物採取)は小型のグラブ採泥器(第9図D)で行うようですが、今回はデモはありませんでした。スバのヨットハーバーに繋船された船に乗り込み、サンゴ礁を目指して出港です。港外で音響測深器のトランスジューサーをセットし、音波探

査装置を曳航して、沖に向かいます。船の中では数班に分けての測深と音波探査の説明が行われました。ビチレブ島の沖に広がるサンゴ礁には真っ白い砂からなるヌクブンブ島(Nukubuco sand bank：フィジー語で輝く(buco)砂(nuku)の島の意味だそうです)と呼ばれる小島(第10図A)があり、そこに上陸することになりました。もちろんこの白い砂の起源はサンゴ礁に生息する生物の遺骸です。サンゴや貝殻片、底生有孔虫などの遺骸からなります(第10図B)。この島のサンゴ礁側には海藻が生えていて、大型底生有孔虫の一部は海藻に付着して生息しているでしょう。南太平洋のサンゴ礁の島国では砂はすべてこのようなものでしょう。このような生物起源の石灰質の砂では通常の骨材／セメント比で作られるコンクリートの強度は低くなることが知られていて、セメントを多く入れるなどの対策が必要です(関・大即, 1976)。南太平洋の国々での建築物の構築においてはこのような情報は重要です。さらに試験データを増やして、どのような構造物にはどのように使用すべきかなど、その国の実情にあわせた対応を考える必要があるでしょう。資源評価においては骨材としての質の評価とともに資源量の評価が重要です。骨材として適当な砂がどのくらいの範囲にどのくらいの厚さで存在するかという量的な評価が必要な訳です。SOPACでは、パイプの先からジェット水流を吹き出し、パイプの先の砂を流動させてパイプを貫入させることで砂の基底までの深さを測る装置を使って砂の厚さを測定していました(第11図)。このサンゴ礁の小島の砂の厚さは2m弱のようでした。



第9図 SOPAC調査船による海洋調査のデモ風景。
 A：SOPACの調査船，B：マルチナロービーム音響測深器のトランスジューサー，C：音波探査装置投入風景，
 D：SOPACが使用しているグラブ採泥器



第10図 フィジーのサンゴ礁の小島（ヌクンブンゾ島）。
 A：全景，B：島を構成する砂



第11図 砂層の厚さの測定風景。

フィジーの砂丘の砂

フィジーの砂を語るのにぜひ触れておきたい場所があります。フィジーの国立公園にもなっているシンガトカ砂丘です(第12図A)。この砂丘の砂は近くのシンガトカ川から供給された砂が風で吹き上げられたものと言われています。この砂丘の砂はいくつかの粒径のグループからなるようです。比較的粗い粒子が含まれるためか、砂丘が海に面する海岸の前浜斜面は傾斜(第12図B)がきつく、前浜斜面には前浜に特有の平行葉理も認められます(第12図C)。砂丘は十数m以上の比高をもち、かなり立派なものです。砂丘の表面には風による砂の移動による風紋(砂漣)が形成されているほか、粗い粒径グループの堆積物の分布域にはより大きなベッドフォームであるデューンが形成

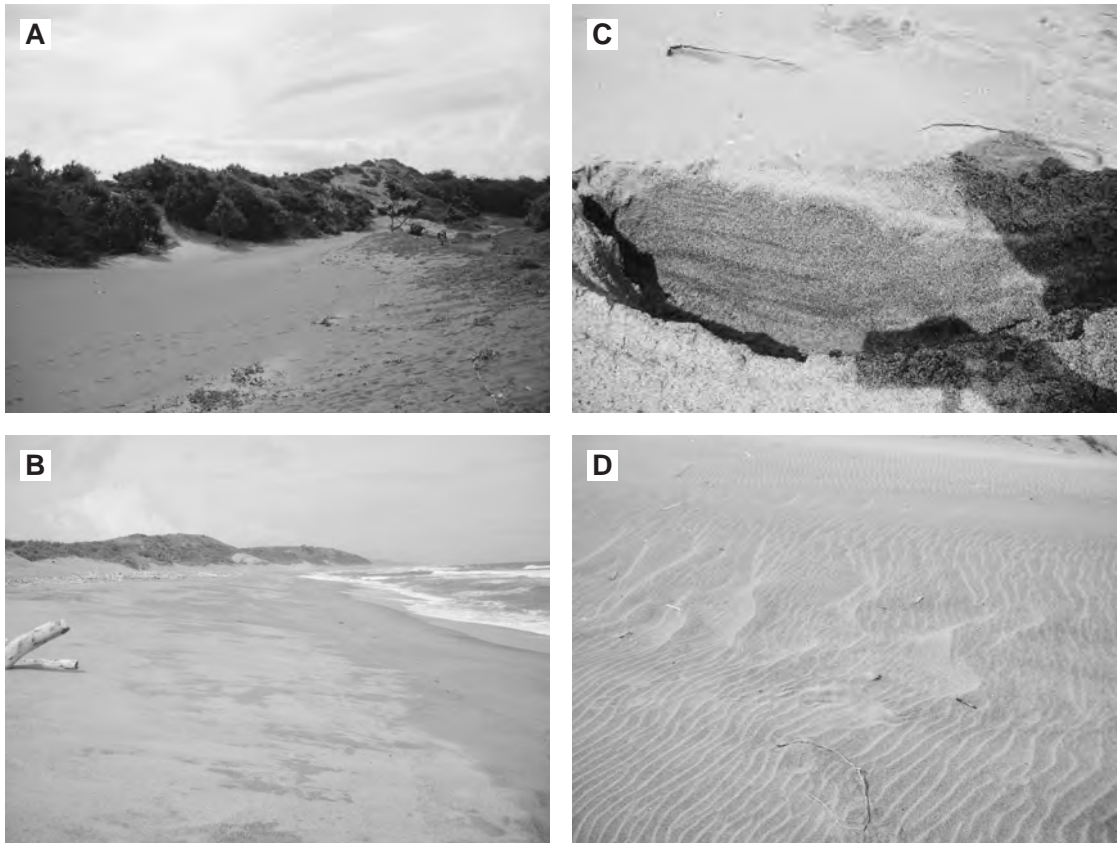
されていました(第12図D)。細粒の粒径グループでは砂漣、粗粒のグループではデューンというようにベッドフォームの規模と構成する堆積物の粒径の関係がはっきりわかる例でした。この砂丘の砂も鉍物質で、石英などの軽鉍物からほとんどがなっています。前浜から後浜の堆積物には軽石も見られましたが、円磨されたもので、どこかの火山から噴出したものが海流で運ばれたものかもしれません。フィジーのような島でこれだけ大規模な砂丘があるとは、大変驚かされました。

このように、フィジーには鉍物質の砂(第2図C)が豊富にあるようで、骨材資源には当分は困らないように思います。また、周囲の国にとってフィジーが骨材の輸出国となっているのもよく理解できました。

5. 日本がやれることは何か? -終わりにかえて

さて、今後のSOPAC諸国の骨材資源探査への協力ですが、今回の会議を通じて二つのことを考えさせられました。一つは、骨材資源としての「砂」の評価に関する知識の普及です。簡単にできるふり分けだけでも、骨材資源としての一次評価はできます。まずはこのような簡単な評価から始め、構造物の強度などに関わる、より実質的な試験・評価は別の場所で行うといったシステム作りも可能かもしれません。もう一つは、それぞれの国の状況に応じた対策作りの重要性です。フィジーでは鉍物質の砂が採取されており、現状では自国の使用には大きな問題はなく、南太平洋諸国への砂の輸出国となっています。一方で、すでに述べたように環礁の島では鉍物質の砂を得ることはほとんど不可能に近く、これらの島では生物遺骸からなる石灰質の砂を使わざるを得ません。それぞれの国でどの程度の数のどのような構造物のためにどういう砂を使用したいか、使用せざるを得ないのかを、その国の資源賦存状況や経済状況と合わせて検討し、それぞれの国により適切で効果的な骨材資源開発・確保の方策を立てることが必要でしょう。

日本にそのための助力はできるでしょうか? 実際、日本でのワークショップ開催の希望も聞かれました。一方で、各国の報告を聞き限りでは日本の状況とは異なることも多く、日本の方策などをそのまま輸出しても、ほとんど使えないように思えます。まずは、上記のために各国の関係者と十分に会話をし、相手が



第12図 シンガトカ砂丘.

A：砂丘の一部，B：海岸，C：前浜堆積物の断面，D：砂丘表面に見られる砂漣とデューン

望むことをそれぞれの実情とともに理解し、相手に対して何ができるかをきちんと考えて、誠実に対応していくことが必要ではないでしょうか。雨季でありながら強い陽射しで日焼けして痛む肌をさすりながら、フィジーの地でそのようなことを考えさせられた会議でした。

謝辞：このワークショップの開催や参加にあたっては、多くの方々のご助力を得ました。元国際地質協力室長の石原丈実氏やCPC名誉理事の島崎吉彦氏には、会議開催から内容の提案など、ワークショップ開催の初期の一番大変なときをお世話していただきました。地質調査企画室の大久保泰邦室長、渡辺真人氏にはSOPACとの連絡調整などでお世話になりました。現地では、このワークショップで日本人の主体となって活躍された日鉄鉱コンサルタントの有田正史氏はもち

ろんのこと、同じく高畑裕之氏には豊富なフィジー滞在経験を生かしてすべての面でお世話になりました。この報文は、以上の方々のご協力の下に作成できたものであることを明記し、深く感謝いたします。

文 献

- 関 博・大即信明(1976)：コンクリート用骨材としての沖縄産骨材の特性について。港湾技研資料，No.240。
 フィジー政府観光局のホームページ：<http://www.bulafiji-jp.com/>
 コンクリートや骨材試験については、下記の本を参考にした。
 小林一輔(1999)：コンクリートが危ない。岩波書店，230p。
 永井達也(2002)：図解コンクリートがわかる本。日本実業出版社，176p。
 財団法人建材試験センター(2002)：コンクリート骨材試験のみどころ・おさえどころ(改訂版)。工文社，164p。

IKEHARA Ken (2007)：Present status on fine aggregate resources in Fiji: A report of the 2006 SOPAC marine fine aggregate resources in the south Pacific countries.

<受付：2006年4月10日>