

開発途上国における港湾工学上の諸問題

入 江 功

1. はじめに

効率的な港湾の整備は、開発途上国の経済開発のための重要な施策の一つである。埠頭利用の専用化による荷役効率の向上、船舶の大型化による輸送コストの低下への努力が先進国を中心に重ねられてきたが、近年開発途上国の港湾に対してもこのような港湾の近代化が要請されるようになり、港湾、航路の大水深化が大きな課題となってきた。しかし、開発途上国の多くの港は河川でであったり、海底が遠浅でシルト質の底質で成り立っている海港である場合が多いため、港湾、航路の大水深化には相当な維持浚渫を覚悟せねばならず、そのための毎年の費用も大きなものとなる。最近では、各国の港湾整備の長期計画を見直す中で、今後整備される計画の港湾に必要な維持浚渫量が莫大なものと見積もられるため、一国全体の港湾、航路の維持浚渫費を最小限にするための調査及び対策に関する技術協力の要請が増大している。わが国がこれらの要請に対応して行くには、現象的にも困難な分野であるシルト、泥土の埋没（シルテーション）の解明のため、河川、海岸工学分野の一致協力した対応が必要な時期が来ているように思われる。

本章では、著者がこれまで二国間ベース、多国間ベースでの開発途上国への技術協力に従事した事例を中心に、各国の港湾が抱える問題のいくつかを紹介したいと思う。

2. 開発途上国港湾の発展と当面する課題

(1) 大水深港湾の要請

オイルタンカーをはじめバラ荷貨物船の大型化、雑貨貨物のコンテナ化による船舶の大型化に見られるように、海運技術は、大量の貨物を速やかに運び、輸送のコストダウン、質的向上を目指して過去十余年の間に急速に進歩してきた。自国の一次産品を輸出し、先進国の工業製品を輸入する必要のある途上国は、これらの海運技術に沿った港湾施設の整備が急がれるようになった。すなわち、航路泊地の拡大、岸壁の大型化、緩衝機構の改良、荷役機構の大型化などの形で港の改良が要求されることとなった。

船舶の大型化は確かに貨物の輸送コストを安くするわけであるが、かと言って大型化が無制限に進むわけではなく一定の限界がある。図-1は、船舶の大きさと、貨物1トン当たりの運賃（トータルコスト）を構成するコストとの関係を示したものである。¹⁾ 曲線1は貨物1トン当たりの船価を示し、これは確かに船型の増大と共に急激に減少する。しかし、大型船を受け入れるための上屋、倉庫などの施設の費用を示す曲線2、船型の大型化によって必要となる航路、泊地、岸壁などの港湾施設の改良費を示す曲線3は船型の増大と共に増大する傾向を示し、結局それらの合計を示す曲線4が実質の貨物の輸送コストとなる。

すなわち、船型の大きさは、その増大による経済性と、既存の港湾施設の改良に必要な改良費との最適バランスの上に落着くものである。この観点から西暦2000年を見通した時の最も可能性のある船型の大きさを計算した結果があり²⁾、今後開発途上国の主要港湾の航路泊地は、少なくとも12メートルの水深（バルクターミナルを除き）は必要であるという結果が出ている。

(2) 地形的条件と港湾の発展

開発途上国の港湾の中でも、以上のような大水深化の要請に対し、自然的条件（あるいは既存港湾の条件）がたまに物理的に受け入れ可能な条件にある港は、以下に述べるように近代の港湾として確実に発展している。

シンガポール、香港が貿易自由港として発展したのは、その歴史的過程、東西貿易の要衝的位置などが主たる理由である。しかし、その陰には、大型船を受け入れ得る天然の良港があったことも忘れてはならないであろう。フィリピンのマニラ国際ターミナルは、1980年には約1000m延長の本格的コンテナターミナルが完成し、第三世代のコンテナ船（2000～3000 TEU 積載可、1 TEUは8'×8'×20'のコンテナ箱一個分相当）の受け入れが可能であるが水深10～15mの水域が広く確保出来るという地形的条件がこのような発展を可能にしたとも言える。マレーシアのケラン港は、ランガット川の入江が、少なくとも12 m水深を自然に保っているという実に希有な河口があったからこそ本格的なコンテナターミナルとして成長して来たと言うことが出来るのである。さらに、地形的条件に対する港湾の位置決定、当初の外部施設計画とともに優れていたために近代港湾として躍進している港もある。スリランカのコロombo港がその例で、図-2に示すラセン型の海岸³⁾の上に図-3に示すような港湾が1900年代初めには既に計画されていた。計画当初は過大であるとの評価もあったと思われるが、港内の水域の広さ、水深がコンテナ化

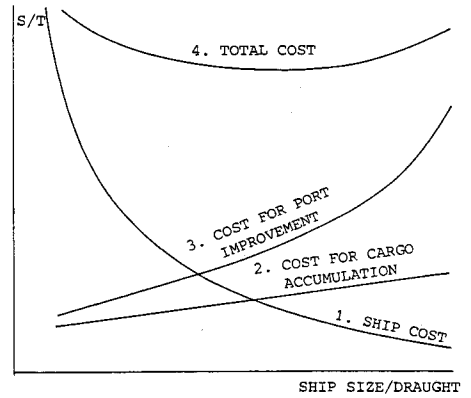


図-1. 船の大きさと貨物1トン当たりのコストとの関係

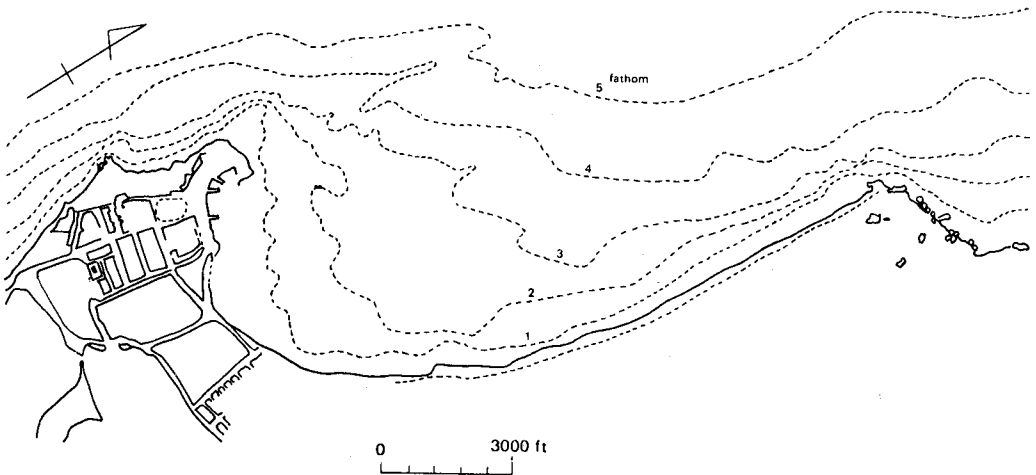
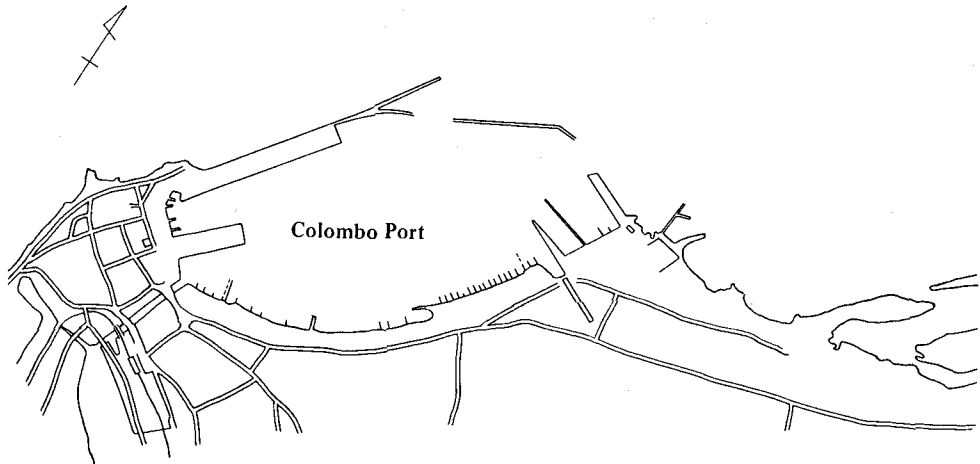


図-2. コロンボ港建設前（1876年）の海底地形



図－3. コロンボ港の建設計画

を十分受け入れることの出来るものであったので本格的コンテナターミナル2バースが最近整備され、その要衝的地の利も手伝って、現在は取扱い貨物量が飛躍的に伸びている。このコロンボ港は主としてSW季節風の影響を受けるがコロンボ港には埋没の問題はほとんどなかった。図－2に示すようなラセン型海岸における港の位置の選定は、後述するタイのSecondary Portのラムチャバンなどにも見られ、Silverster³⁾の指摘するように、漂砂に対し一つの安定条件を備えているように思われる。

以上の例のように、開発途上国の港湾においても地理的条件がもともと港湾の大水深化に適合した条件にある場合は、近代港湾として大きく発展しており、港湾の位置決定に際して、経済的あるいは社会的立地条件と共に、自然の条件の中でも特に地形的条件の重要性が改めて認識される。

(3) 恵まれない自然条件とシルテーション問題

地形的条件が前節で述べたように恵まれた港は、開発途上国の港湾の中でも極めて限られており、他の大部分の港は、歴史的に種々な理由から港湾の位置が決定された場合が多いわけで、必ずしも大水深化に有利な地形的条件とはなっていない。このため、毎年維持浚渫に多大な出費を強いられている。表－1は、エスカップ域内での主要な港湾の航路泊地の維持水深と毎年の維持浚渫量を示したものである。同表は、著者が1979年から1982年までの3年間エスカップに勤務していた当時に各港の調査実施の過程で得られたもので、各港の浚渫土量については必ずしも同一年内のものではない。この表より、先に述べた西暦2000年に予想される必要な船型を受け入れ可能な港がきわめて少ないことがわかる。この表に掲げてある港は、維持浚渫を要している港の一部に過ぎないが、同表の埋没量を単に合計するだけでも、年間に4000万立方メートルの維持浚渫量となり、浚渫単価を仮りに1(ドル/立米)とすると、4000万ドル程度の費用が毎年浚渫のために消費されていることになる。このような埋没問題を解決するため、新しい適地に大水深港湾を求める国もいくつかある。しかし、港湾の位置決定が単に海陸輸送の結節点を定めるものであるばかりでなく、国家的見地からの地域開発の拠点を定めるものであるため、地域レベルの利害が対立

表 - 1. 開発途上国の航路・港内埋没量

Country	Port	Maintenance Dredging Volume (million m ³ /y)	Maintenance Depth (m)	Channel Width (m)
The Philippines	Manila		12	
Thailand	Bangkok	Approach 6.0 Basin 1.4	(M.S.L) 8.5	100 200
Malaysia	Penang	Basin 0.38	Approach (L.W.S.T.) 7.4	
	Kelang	Basin 0.25 Approach 0.06	L.W.L 11.0 L.W.L 11.0	150 150
Indonesia	Surabaya	Approach 2.0	Entrance 8.31 North Bar 7.77	
	Belawan	5.0	L.W.L. 9.0	
Bangladesh	Chittagong		Max. draft 9.09	203
India	Madras	Approach 1.3 Basin 0.6	L.W.L. 16.5	250
	Bombay	Approach 2.5 Basin	L.W.L. 7.31	
	Calcutta	9.0	8.23 (the largest vessel draft)	
	Haldia	1.0	L.W.L. 8.4	
	Cochin	Approach 1.3 Basin 0.8	9.14 (the largest vessel draft)	137
Sri Lanka	Colombo	Nil.	L.W.L. 11.89	228
Pakistan	Karachi	Approach 0.12 Basin 0.38	L.W.L. 8.84 10.36	
	Quasim	Approach 1.7 3.8	L.W.L. 10 12 (planned)	185

し、港湾の位置、規模の決定まで長年月を要する場合が多い。このため増大する貨物は既存の港へ集中し、滞貨を引き起こす結果となっている。港湾当局としては、新しい港湾開発プロジェクトがあるため、既存の港への投資が思うように出来ず、これが荷役の混雑問題に拍車をかけている。また、大水深港整備のための新しい適地を求めようとしても、条件の適合する海岸が非常に少ないのも今一つの問題である。開発途上国の大部分の海岸では、微細なシルトが堆積し、遠浅な地形をなしている。従って新規に大水深港を建設するにしても、シルト泥土の堆積すなわちシルテーションの問題を最小にする計画技術が必要となる。

4. 航路泊地埋没に係わる自然条件の特徴

開発途上国の自然条件と云っても、当然のことながら、地域によって相当に異なるものである。インド

洋、太平洋に面する海岸は、高浪に見舞われ、わが国で見られるものと同様な岩石、砂質海岸が見られる。本節では、南シナ海、ジャワ海など、特に港湾の大水深化に対するシルテーション問題が大きい東南アジア地域を対象を絞り、わが国の自然条件とどの程度の差異があるかを見てもことにする。東南アジア地域の多くの山地は、火山岩、水成岩及び變成岩より成り、熱帯地方独特の高温多湿による活発な物理的、化学的同化作用及びこれと併行した生物の作用により、有機質を多量に含んだ微細な沖積土が生み出され、これが雨期の洪水により河川を流下し広く海域に堆積する。これらの侵食堆積の過程が、気象学的、地形学的条件を異にするわが国とは相当異なっている。例えば、図-4-(1)、(2)は、タイのバンコックを流れるチャオプラヤ川とわが国主要河川の縦断勾配¹⁰⁾を示したものである。わが国で最も長い信濃川が、標高500 mに達するのに高々300 kmさかのぼるのに対し、チャオプラヤ川の場合は、1000 kmさかのぼる必要があり、河川の縦断勾配がいかに緩勾配であるのかわかる。また、インドネシアのバンジャルマシン港のあるバリト川の場合、河口より200 km上流で海拔15 m程度、350 kmさかのぼった所で30~50 m、650 kmさかのぼっても標高100 m以下である。このように河川が緩勾配であることに加えて、降雨及び洪水流量の年間変化の特性もわが国とは相当異なる。図-5は、同じくチャオプラヤ川の流量と降雨量の年間変化⁹⁾を示したものである。5月から10月にかけての雨期と、それ以外の月の乾期とに明確に分かれ、河川の流量も降雨に少し遅れて増減している。わが国の河川の洪水が数日間から1週間程度で変化することを考えると、東南アジア地域の河川がいかに緩慢な流れであるか想像できるであろう。熱帯では雨期に激しい降雨が断続的に続くが、年間の降水量は海岸地域で1000~2000 mm、山地では4000~5000 mmに達する。図-6は、タイの海岸における底質粒度分布の一例である。底質の程度は地域により異なることは勿論であるが、同図はそれらの代表的例と云って良いであろう。東南アジア地域では、風、波はわが国に比べると一般に穏やかである。特に赤道より南

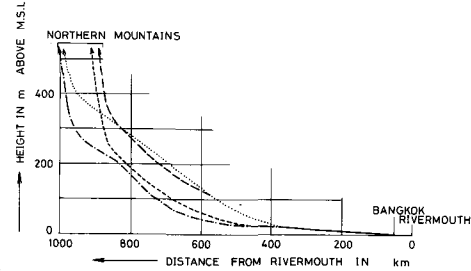


図-4-(1) タイのチャオプラヤ川の縦断勾配

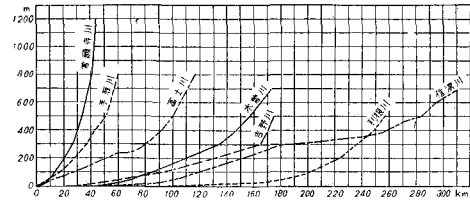


図-4-(2) わが国主要河川の縦断勾配

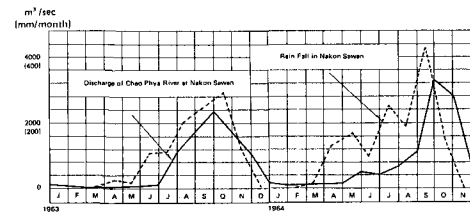


図-5. タイのチャオプラヤ川の流量の年間変化

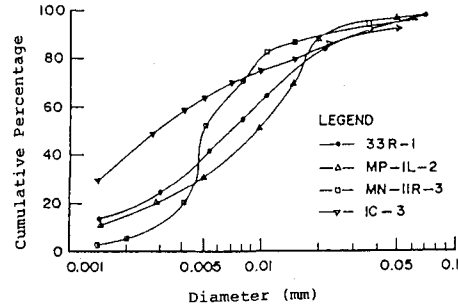


図-6. タイの海岸における代表的底質粒度曲線

北10°以内は穏やかとされている。それでも季節風期には風波は高まり、最大1.5～2mの波が微細な底泥を巻き上げ、シルテーションの原因となる。赤道より10°以上離れたら、サイクロンやハリケーン、台風の影響を受けるようになり、相当強い風が吹く。図-7は、スリランカのトリンコマレで観測された強風記録の一例を示す。この強風により、トリンコマレ港内のはしけや港湾施設が大きな災害を受けた。すなわちこのような亜熱帯地方においても、強風波浪に対する防災対策も忘れてはならないのである。

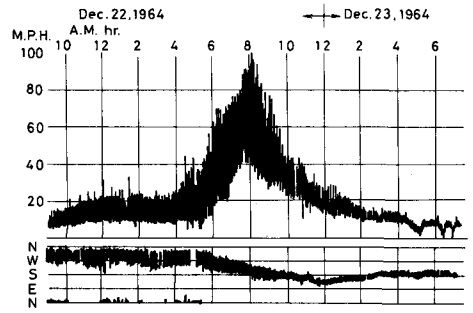


図-7. スリランカのトリンコマレにおける強風記録の例

4. 航路泊地確保に関するいくつかの事例

(1) 外航路の水深維持

先にも述べたように、非常に緩慢な縦断勾配をもつ河川を通じて運ばれて来た微細な底質は、河口より出て周辺の海域に堆積する。こうして形成される河口砂州は、しばしば河川港を往来する船舶の航行の障害となる。これをタイのバンコク港の場合を例に述べてみる。図-8に示すように、バンコク港はチャオプラヤ川の上流28 kmのところであり、中部、北部タイへの大部分の貨物は船でここまで運ばれる。チャオプラヤ川の河口には、図に示すようなBangkok Barと呼ばれる大きく発達した砂州があり、バンコク港を行き来する船舶は必ずこの砂州を通過せねばならない。この砂州を通過するための航路は、その断面が幅100～200 m、深さ8.5 m (MSL以下)に維持されているが、この航路断面は1954年にタイの港湾管理者 (P. A. T) が初めて掘削したもので、当時の年平均維持浚渫量は、6.7百万立米もあった。そこで、1961年には、この航路埋没を減少させる方法、さらには、将来の船舶の大型化に際し、経済的な航路断面を知る目的で、大規模な調査がオランダのコンサルタントに委託して行われた。調査は22ヶ月にわたって行なわれ、調査項目、数量は次のようであった。すなわち、1250 km 測線延長の河口域音探、1240 断面の河川河口音測、650 km 測線延長の河川河口域縦断音測、70,000 点の流向流速、72,500 点の採水とシルト含有量、塩分濃度測定、その他波浪観測、底質採取と粒度、密度、色調、磁鉄鉱含有量、鉍物分析及び地質調査ボーリング、海底貫入テストなどが実施された。その結果、例えば図-9⁹⁾に示すような塩水楔の挙動がわかってきた。同図の横軸はチャオプラヤ川の河口 (図-8

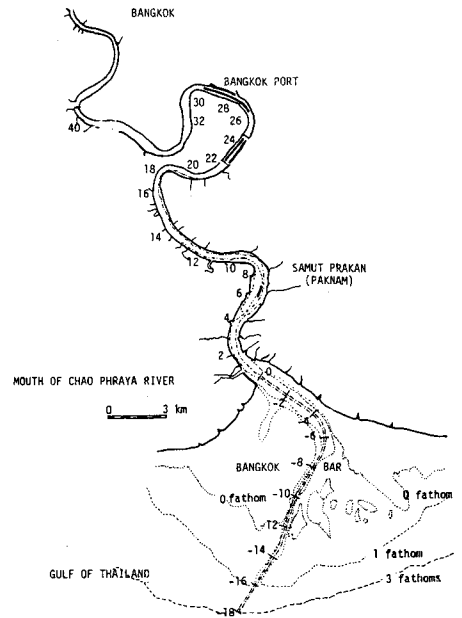


図-8. タイのバンコク港とバンコク・バー

の航路上0で表示された位置)を基準にして航路沿いに示した上流及び下流へ向けての距離を示し、縦軸は、チャオプラヤ川の流量を示している。さらに同図の上段は、河川筋の各位置における上層の流れを矢印で示した流向と共に表わしたものである。同様に下段の図は、下層の流れを同じく流向と共に示してあり、流向が上流へ向かっている領域は斜線で示してある。この流向が上流へ向いている領域は、海水が楔型に侵入している領域と考えられるものである。したがって、図-9の下段の斜線で示した領域と流向が下流に向かう斜線を施していない領域との境界は、塩水楔の先端の位置を示すものと考えられ、この境界付近で河川を流れて来た浮泥の凝集による著しい堆積が発生し得ると考えられる。河川からの浮泥の排出は、図-5に示すように、雨期の流量の多い時期に量が増大するであろう。

図-9によれば、河川の流量の多い時は、塩水楔の先端がチャオプラヤ川河口より沖側5 km 付近の所にある。図-10は、チャオプラヤ川の河口の基準点から沖側の航路内の平均埋没速度を示したものである。数字は、 10^3 (ton/km/月)で示しており、下線を施したものは侵食を示す。図より雨期に相当する6月から10月にかけて、河口から沖側5 km の範囲が著しく堆積していることがわかり、図-9の塩水楔の先端の位置と良く一致しているのが分かる。

種々の航路断面及び航路筋計画に対する航路埋没量の予測は次のようになされた。すなわち、水理模型実験がネーデルランドのデルフト水理研究所で実施された。20×40 km²の河口域が、水平縮尺1/500、鉛直縮尺1/100にて模型に再現され、流体運動の相似については、淡水と塩水との二層流が相似になるように定められた。新しい航路断面に対する埋没量は、航路掘削による流況の変化を求め、別途現地で求めた流速と浮泥量との相関を用いて求められた。結論としては、将来の大水深化に対応して航路を深くすると埋没量が著しく増え維持が困難であり、別途 Secondary Port の整備が勧告された。現在、バンコク港より

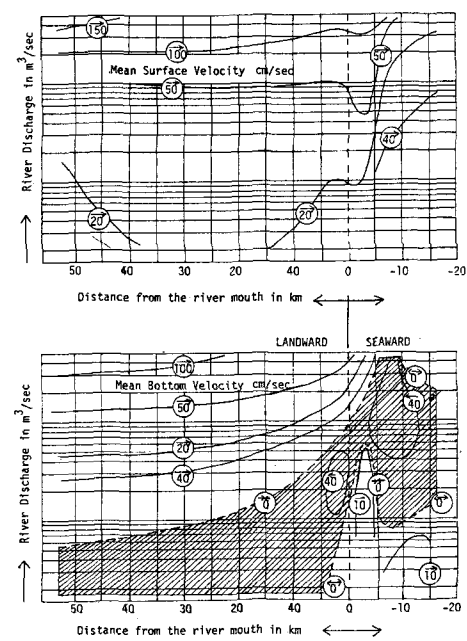


図-9. タイのチャオプラヤ川の上層と下層の流向と河川流量との関係

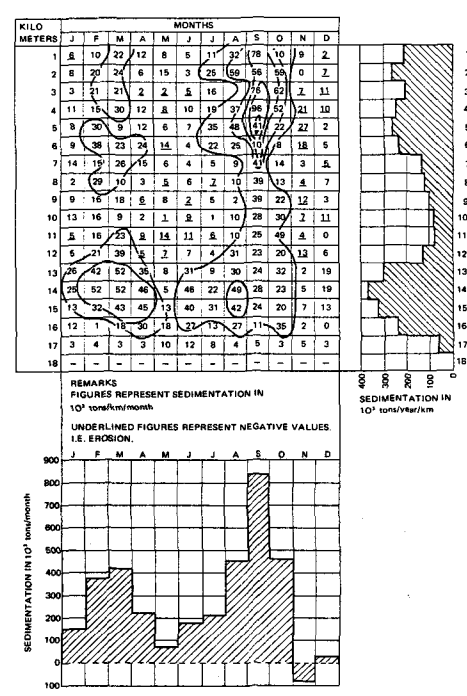


図-10. バンコク・バー航路内での埋没速度

120 km南にラムチャバン港の整備計画がすゝめられている。バンコク港の場合は、大がかりの調査、大縮尺の水理模型実験などにより航路計画が検討された。河口砂州と航路維持の問題は、インドネシアのバンジャルマシム港など他の多くの河川港が抱えている問題である。

これをすべてバンコク港と同様の調査実験手法で対処することは費用の面から不可能に近く、今後個々の事例を経験する中で、より一般的な航路埋没量の予測手法の確立が望まれる。

一方、外洋航路の水深維持については、以上に述べたような海象の穏やかな海域のみでなく、外洋に面した高波の発生する海域においても問題となっている。インドのマドラス港、パキスタンのカシム港などがその例であるが、ここではカシム港の場合を紹介しておく。

カシム港は、⁴⁾ 図-11に示すように、カラチ港の東方90 kmのインダス川水系のクリーク内に建設され、1980年に開港した。本港と外洋とは、延長29 kmの内陸航路、

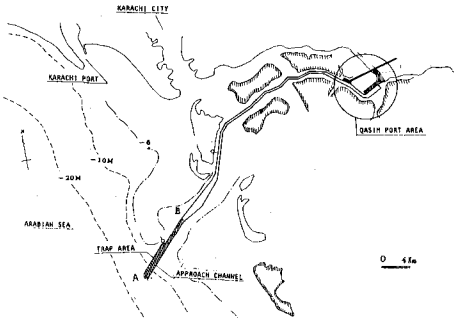


図-11. パキスタンのカシム港への進入航路

16 kmの外洋航路で結ばれる。航路の計画断面は幅185 m水深12 mであり常に2 m程度余掘されている。底質は $d_{50} = 0.1$ mmの細砂より成る。この海域は亜熱帯モンスーンに属し、4月～9月はSWモンスーン、10月～3月がNEモンスーンの時期となるが、特に6月から8月のSWモンスーン時期には、連日2.5～3 mの波が発生する。図の斜線で示した外洋航路の区間において、南端のA点から5.0 kmの位置での航路断面の変化を図-12に示す。図の最上段に示すように、前年から埋没していた断面を1979年に水深12.4 m、幅 $92.5 \text{ m} \times 2 = 185 \text{ m}$ の幅で航路を掘削した。翌年の1980年10月の測深結果、図の第2段目のように埋没したので、今度は計画水深を上回る14.0 mの深さに掘り、航路幅は、185 mの計画幅に加えて更に西方へ80 mだけ広く掘って西からの漂砂をトラップする区域を設けた。1981年から1983年にかけて、毎年浚渫時に、トラップを設けた断面で浚渫を継続した結果、1983年には、埋没量が非常に少なくなっていた。表-2⁴⁾は、埋没量の経年変化を示しており、明らかに埋没量が減少している。また年を経るにつれて埋没する底質の粒径が細かく

なっていると報告されている。このように埋没量が、航路断面の工夫により経年的に減少するのであれば、港湾計画上の朗報と云わねばならないが、航路上手(西側)の海底地盤条件も今一つ考慮に入れる必要があろう。図-13は、A点より5 km 地点での周辺の海

底地盤の変化と共に航路断面の変化を示す。漂砂の供給側である西側の海底が異常に侵食されている。これを、航路で水深が急に深くなることにより、SWからの波が一部反射され、航路上手の海域では入射波

表-2. パキスタンのカシム港進入航路の埋没速度の変化

		×1,000 m ³			
区域	年	1980	1981	1982	1983
西側法面トラップ		720	670	600	440
航路底		2,630	2,510	1,560	1,540
東側法面		710	600	750	620
合計		4,060	3,780	2,910	2,600

と反射波が重なるためとする考え方もある。ともあれ、航路掘削後、長期的に見れば埋没量が減少する機構については今後の研究に待たねばならない。航路上手の海底の侵食は、インドのマドラス港の外航路にも見られる⁵⁾。外洋航路の埋没量を最小限におさえる工夫として、これまで述べた航路断面の工夫の外に、導流堤等の構造物で制御した例もある。図-14に示すように、スラバヤ港はマドラ(Madura)島とジャワ(Java)島との間の海峡に面し、西航路を通じてジャワ海と連絡している。現在10 mの水深維持のため、2百万立米/年の維持浚渫を行なっている。この場合、意外に維持浚渫量が少ないのは、オランダ統治時代に建設された長さ5 kmにも及ぶ導流堤のおかげであると港湾当局も評価している。

外洋航路の埋没問題は、どうしても大型船を遠浅の海域を通して港に入れる必要のある場合に生ずるものであり、この種の問題は今後増えてくることが予想される。そこで埋没量を最小限に食いとめるため、航路断面、航路筋の工夫、導流堤の採用など、種々の検討が必要となる。

航路埋没量予測手法の開発が望まれる理由がここにもある。
(2) 内陸航路、泊地の水深維持

開発途上国のうちでも特に東南アジア地域では、勾配の緩やかな河川が内陸に網目の如く入り込んでおり、これを利用した水運が歴史的に発達している。道路や鉄道などの陸上の輸送手段が未整備のため、内陸航路を利用した交通は経済的かつ貴重な手段である。内航海運、さらには外航海運の充実に対する要請から、このような内航路に対しても大水深化による航路整備が要求されてくる。これをバングラデシュの場合について紹介する。図-15は、バングラデシュのダッカ(Dacca)からチッタゴン(Chittagong)の間の外洋航路、内陸航路を示したものである。ガンジス川水系に属するこの川は、長さ8,500マイル(13,700 km)あり、このうち3,245マイル(5,200 km)が舟運が可能であり、モンスーンシーズンには、舟運可能

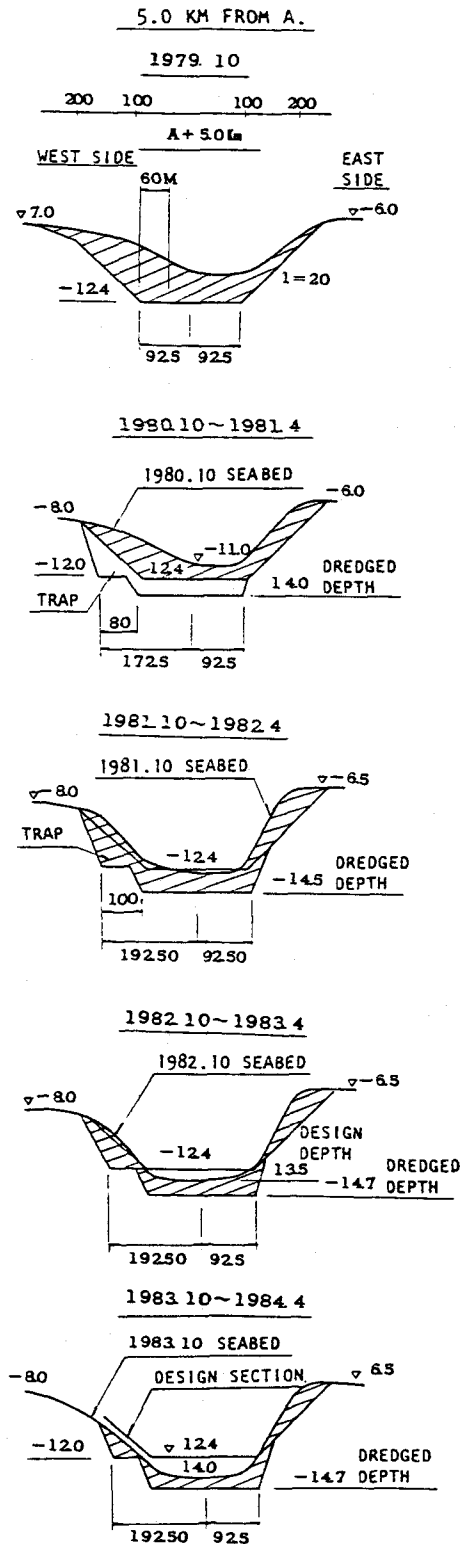


図-12. パキスタンのカシム港進入航路の埋没断面

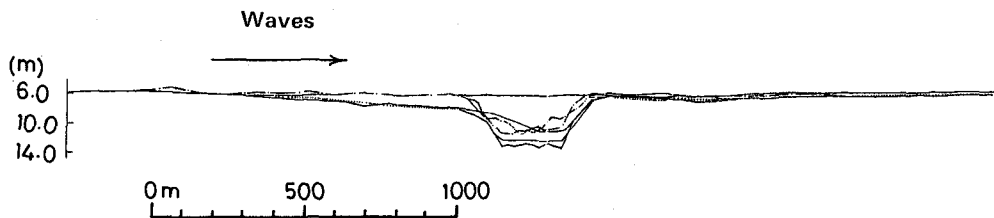


図-13. 航路上手での海底侵食

な長さが5,240マイル(8,400km)になる。周辺の平均の地盤高は海拔7.5mと低く、ほとんどの区間が感潮区域である。海水が上流深く貫入しているため、浮泥の堆積が特に南東域で著しい。内陸航路の水深は、13フィート(約4m)となっている。これらの内陸航路は主としてバージで貨物輸送されるが、例えばチッタゴン港は、河口に多目的バース及びコンテナバースの整備が検討されている。埋没量予測に際しては試験掘による方法が取られている。

東南アジア地区では、このような内陸航路の拡張に対する要請の強い所が多い。河水は浮泥により黄色く濁り、その下層へ外洋からの塩水が貫入しているという、現象的にも非常に複雑なものとなっている。インドネシアの北スマ

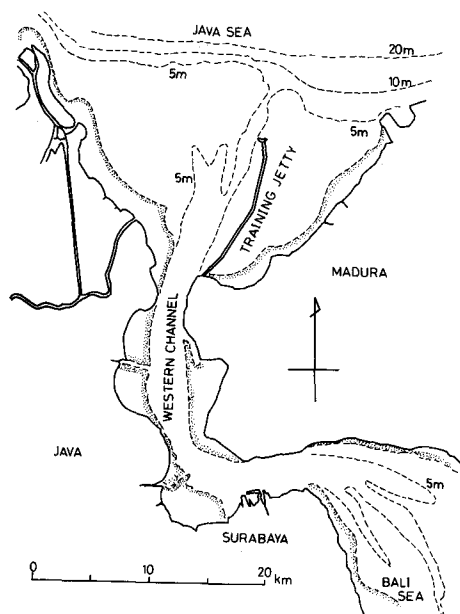


図-14. インドネシアのスラバヤ港の航路埋没防止用の導流堤

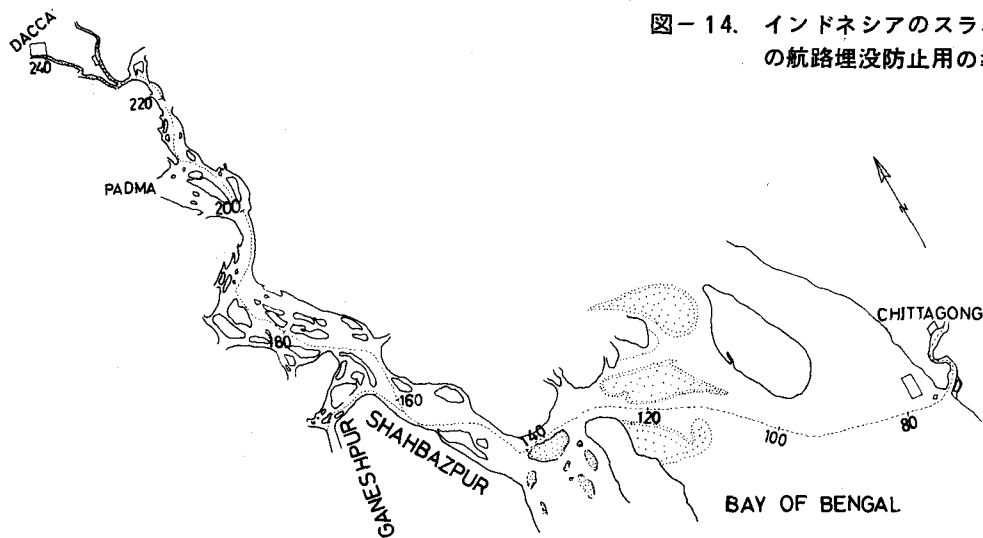


図-15. バングラデシュの内陸航路

トラのベラワン港もこのチッタゴン港と類似した問題を抱えている。個々の埋没対策のため、試験掘などが実施されることになろうが、その場合、関連する水理項目の調査を的確にやっておかないと、一つの港の経験が他へ生かすことが出来ない。このための最適調査法についての抜本的な指導が望まれる。

(3) 河口砂州の安定化

港湾や内航路として重要な役割を果たす河川は、河口を通じて外海との連絡を保つため河口水深が維持されなければならない。河口の水深維持のためには、導流堤などによって河口を安定化することが通常行なわれるが、東南アジア域では河口導流堤を用いた例が意外に少ない。これは開口した海域の波が一般に穏やかであるため、雨期における強い河川流量が河口部をフラッシュする傾向が強いためと思われる。しかしモンスーン期に比較的高い波が発生する海域に開口する河川も多く、河口部の航路埋没に悩まされている。一例をタイのナラシワ港について紹介する。本港はシャム湾に面し、タイとマレーシアの国境近くにあり、図-16に示すように、バンナナ川の河口に発達した港である。毎年3月から10月にははしけが通過出来、沖合3 kmに停泊した貨物船より貨物を運んでいるが、11月～2月の北東モンスーン期に入ると波が高くなり、河口砂が南から伸びて河口を閉じてしまう。タイダルレンジは1 m程度であるが、河口をフラッシュするには至らない。本港は将来水深-3 mを維持し、内航海運の南の拠点とする計画であるが、河口の安定のため、導流堤、あるいは防波堤の設置が望まれている。この河川に対しては、洪水期のピークカットのため、上流で一部流域変更も計画されており、これら諸々の条件を加味して、的確な調査による抜本的な対策が望まれている。もし、この港で導流堤、防波堤による安定化が成功すれば、同じ並びでこれを他の河口に適用する要望も出てくるであろう。このように、開発途上国の技術協力においては、一つのプロジェクトが成功すると、それが他のケースに適用される分野は非常に多いようである。

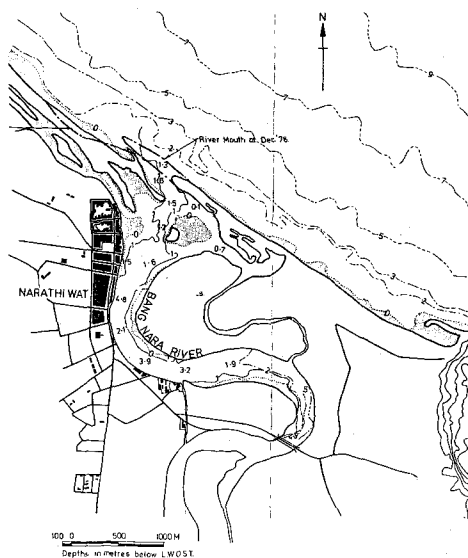


図-16. タイのナラシワ港の河口閉塞問題

(4) 島しょ国の港湾

主としてインド洋、南太平洋に散在する島しょ国の港湾事情は、これまで述べてきた港湾とは相当に異なっている。これらのどの国の島々も、互いに数百から数千キロメートルも離れているため、外航船による貨物の輸送に頼らざるを得ない。1つの島では外航船寄港を妥当とするだけの取扱い貨物量が無いため、各島しょ国は、自国内の代表的港湾に貨物を集積し、そこに外航船を寄港させることを行なっている。それでも取扱い貨物量は限られており、外航船が接岸可能な大水深岸壁を整備することは困難なため、貨物はほとんどがはしけ荷役によっている。はしけ荷役では、少し海が荒れると荷役が危険になるため、波が

静まるまで外航船を港に拘束してしまい、外航船側にも大きな負担がかかり、その港への寄港をやめる場合も出てくる。これら島しょ国周辺の海域では、海が荒れることもあるが、それほど大きな波が発生するわけではない。したがってもし防波堤は無くても外航船が接岸出来る耐波岸壁があったとすれば、はしけ荷役よりはるかに高い稼働率で接岸荷役が可能になるであろう。けだし、外航船の方が、はしけに比べれば、波に対する応答ははるかに小さいからである。従って、グローバルなスケールでの波浪統計が得られ、波に対する船舶の応答に関する研究が進められれば⁶⁾、南太平洋、インド洋の島しょ国を対象にした新しい港湾計画論が生まれるものと思われる。一例として図-17は、インド洋モルディブのマレ島を示すが、サンゴ礁を利用し

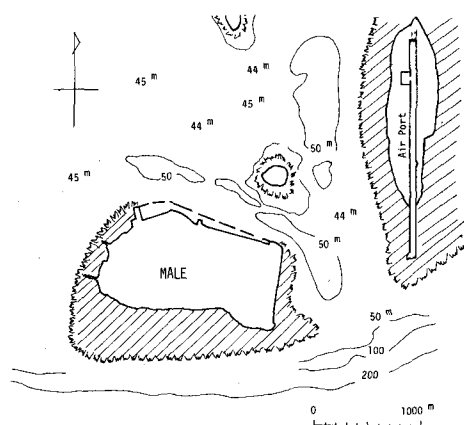


図-17. モルディブのマレの港湾

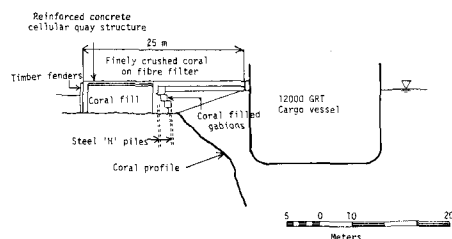


図-18. サンゴ礁外縁における岸壁設計の一例

5. 今後に課せられた課題

(1) 航路泊地埋没量の予測技術の開発

以上、開発途上国の港湾開発において、その自然条件の特殊性から航路泊地の埋没対策が大きな課題であることを述べてきた。この対策を見出すため、大規模な現地調査と水理模型実験によったタイのバンコクの例、河口での試験掘を考えたバングラデシュのチッタゴン港の例などについて紹介した。航路泊地の埋没問題は、波、潮流のみが外力の場合でも困難であるのに対し、多くの開発途上国の港湾は河川と関連しており、淡水と塩水との二層流の下での浮泥の沈澱を考えねばならないので、現象を一層複雑にしている。また、既に述べたように、開発途上国の港湾の今後の開発は、これまでよりさらに厳しい自然条件の所に実施せねばならないケースが数多く出てくるものと思われる。わが国の高い水準にある河川、海岸工学の研究分野の一致協力により、系統的な現地調査及び解析が個々のケースに対して積み重ねられ、航路泊地埋没量の定量予測をベースにした港湾計画技術が確立されることが望まれる。

(2) 新しい港湾の工夫

最近、港湾の計画において、島式港湾の有利性が議論⁷⁾されている。特にわが国の漁港は、港口水深が浅く荒天時にはその沖側で波が碎けるので、埋没に関しては最も厳しい条件にある。したがって、わが国の漁港の経験を活用して、遠浅でシルト浮遊の多い開発途上国の港湾形態を検討することも必要であろう。遠浅な海岸に島式の港湾を計画することは、これまでもいくつかあった。例えば、アラビア海のダンマン港がその一例である⁸⁾。これは首都リヤドへの物流の拠点となっているが、本土より延長約6.5 km、幅約

100 mのコースウェイによりダンマン港と連絡している。この外、マレーシアのペナン港でも、コンテナターミナルを離れ島式で建設された例がある。

(3) 浚渫技術の向上

開発途上国の港湾では、海底が非常に遠浅でかつ浮泥が多いため、港湾計画、航路計画をいかにうまくつくったとしても、航路泊地の維持浚渫量が全く必要ではない状態にすることは困難であろう。したがって、最後に必要となる維持浚渫問題として、出来るだけ安価に効率良く浚渫するための技術が必要となる。浚渫前の深浅測量（前測）、浚渫直後の深浅測量（後測）と、それらの地形差による実質浚渫量の算出など、当然必要と考えられる施工管理すら十分に行なわれていない場合が多い。対象とする海底土質の種類に応じた浚渫船を配備することを含め、適切な指導がなされることも、大きな意味での埋没対策として大切なことである。

6. おわりに

本文は、水工学に関する夏期講習会講義集のために準備するものであるため、内容はもっと水工学に関することに絞る必要があったと思う。しかし、実際の開発途上国の港湾工学上の諸問題を理解していたゞくには、水工学から少し離れた広い観点からの問題点を知っていたゞくことが非常に重要と感じられ、今回のような中身となった次第である。本文が関係する研究者、技術者に対し、開発途上国の今後の港湾開発を考える上での参考となり得れば著者の幸いとする所である。

なお、本稿に用いた資料のうち、特にことわっていないものは、著者がESCAP勤務当時、ESCAP域内の港湾に関する技術交流を目的として収集された資料の中からその一部を紹介したものである。

参 考 文 献

- 1) Technological Change in Shipping and Its Effects on Ports, Report by UNCTAD Secretariat, Ports & Harbours - June, 1979
- 2) Port Planning, Design and Construction, a Manual Prepared by Standing Committee, IV, Construction and Maintenance, The American Society of Port Authorities, 1973
- 3) R. Silvester: Coastal Engineering, 2, Developments in Geotechnical Engineering Vol 4B, Elsevier Scientific Publishing Company, 1974
- 4) 矢木秀雄, 佐藤 淳: パキスタン, カシム港の航路埋没対策について, 第32回海岸工学講演会論文集, pp 400~404, 土木学会, 1985
- 5) ダンコ・コルドロビッチ, 入江 功: ESCAP域内途上国港湾における海岸工学上の諸問題-航路泊地確保に関する事例研究-, 第28回海岸工学講演会論文集, pp 84~88, 土木学会, 1981
- 6) 榎木 亨, 久保雅義: 係留浮体運動から見た港内静穏度の算定について(2)-港内係留船の船体運動の

計算例一，港湾，12，Vol 59，pp 76～83，1982

- 7) 坂井溢郎：島式漁港の提案，土木学会誌，pp 31～35，1984年4月
- 8) 小笹博昭：興味のつきない国－サウジアラビア，OCDI－Quarterly，Vol. 4，1981
- 9) Isao Irie：Littoral Drift and Sedimentation Problems of the Ports in Thailand，
ESCAP Technical Bulletin for Port Planning No. 2，March，1981
- 10) 吉川秀夫：河川工学，朝倉書店，朝倉土木講座，P 286，1966年5月