

VII. 通航方式，通航容量の検討

第Ⅶ編 通航方式通航容量の検討

第1章 現行の通航方式

スエズ運河は、Port Said及びSuezの両港を含め、スエズ運河公社により管理運営されている。

運河の通航は、スエズ運河公社のRules of Navigationにより規制されており、運河公社が交通管理を担当している。

運河は、現在ほぼ第1期拡張計画が、終期にあり、水深は、19.5mまで掘り下げられ、可航幅員も水深11mの部分で約160mと拡張されたが、それでも通常の港湾の水路と比べ、極めて狭い制限水路を形成している。又、運河の交通はBypass及びGreat Bitter Lakeを除いてOne-Wayとなっている。

運河を通航しようとする全ての船舶は、通航予定日の5日前までに予約できるシステムがあり、到着予定時刻の48時間前までに運河公社に対し無線通信により、船名、国籍、トン数、船主等の事前通報が義務付けられている。

運河の通航は、Rules of Navigationに基き24時間サイクルの船団方式(Convoy system)によって運用されている。

1-1 船団通航方式

船団は、運河入口のPort SaidとSuezで、所定の時刻までに到着した船舶により編成される。

(I) 地中海から紅海方面に向う南航船舶が2船団、紅海から地中海方面に向う北航船舶が、1船団編成される。

(i) 南航第1船団(S・1)の編成順位は、

ア. War Ships

イ. Passenger Ships

ウ. 港内にある一般船舶

エ. 港外錨地から直進する、VLCC等の大型船舶と続き、船団の最後尾に低速船等が配される。

(ii) 第2船団(S・2)は、

ア. $\left. \begin{array}{l} 15000\text{トン未満} \\ \text{最大喫水} 9.14\text{m} (30\text{ft}) \\ \text{最大船幅} 30\text{m} (98\text{ft}) \end{array} \right\}$ の船舶

イ. 上記条件に適合する低速船

ウ. 欠陥を有する船舶

等で編成されるが、その隻数は Ballah West Branch に収容可能隻数 (19 隻) の範囲に限られる。

(2) 紅海から地中海に向う北航船団は、2つのグループに分けられる。

先行のグループの編成順位は

ア. War Ship

イ. Passenger Ship

ウ. Car Carrier

エ. RO/RO

オ. Container ship

カ. Lash Vessel

キ. 35 ft 以上の喫水を有する Ordinary Vessel

ク. 35 ft 以上の平均喫水を有する Ordinary Vessel

ケ. Tanker

により編成されている。

第2グループは、上記以外の一般船舶で編成される。

(3) 船団の通航

南航の第1船団は、02:00~06:00の間(予め指定された順序に従い船舶の大きさ、積荷の種類に応じて5~20分の船間々隔をおいて) Port Said を出発し、運河に入り Great Bitter Lake に向け航走を開始第1船団は、Great Bitter Lake の South Anchorage において、北航船団の通過を待ち、北航船団の最後尾の船舶が Great Bitter Lake に入るのに続いて、スエズに向け南航を開始する。

第2船団は、第1船団の7時間30分後の09:30から11:30までの間に Port Said を出発し、Ballah Bypass において、一たん係留して北航船団の通過を待ち、北航船団の最後の船舶が km60 地点を通過したのち、再びスエズに向け航行を開始する。

一方、北航船団は、06:00からスエズ港を第1グループ(タンカーグループ)が Great Bitter Lake に向けて出発し、タンカーグループの出発後30~60分の間隔をおいて第2グループがスエズを出発し10:00に運河への入航が終了する。

Great Bitter Lake の North Anchorage において、再編成され危険物積載のタンカーが先行し一般船舶が続き Port Said に向う船舶は最後尾につく。

1-2 運河の交通管理及び規制

運河公社は、運河の効率的な運用と航行の安全を図るため、Ismailia に中央航行管制室及び無線局 Port Said と Port of Suez にそれぞれ港内管制室を更に運河の西岸沿いに11

の信号所を設置し、運河公社所属のパイロットと緊密な連携をとりながら、船団の編成、船舶の動静監視等の交通管理に当たっている。

運河水面及び Port Said では、500 スエズトン（Suez では 300 スエズトン）以上の船舶が強制水先となっている。

また、船舶は、無線の聴守が義務付けられており、管制室より直接パイロットに指示連絡できるシステムとなっている。

運河の通航速度は、通常 7.5 KT（14 km/h）の制限があり、北航の積載タンカーの場合は 7 KT（13 km/h）に制限されている。

船団における各船の順位は、管制室から指定される。各船間の間隔も船舶の大きさ積荷の種類に応じ一定時間（距離）が定められている。

その他、運河内においては、追越し、交差・投錨禁止等の規制が行われている。

第2章 第1期工事完了後の通航方式

2-1 第1期工事完了後のSCA提案の通航方式

第1期工事では、運河の通航容量の増加と航行安全を図るため、Port Said Bypass(16km)、Deversoir Bypass(6km)及びKabret Bypassが整備されたほか、Great Bitter LakeのAnchorageの整備が図られた。

これに伴い、第1期工事完了後における通航方式は、原則的には現行の方式が踏襲されたものの次の変更が行われる。

- 1) 北航船団はNon-Stop航行とし、Great Bitter Lakeから新設のDeversoir Bypass及びPort Said Bypassを経由して地中海に出る。
- 2) 南航船団(N₁)のうち、38ft以上の喫水を有する大型船舶は、防波堤外の待機錨地から、DirectにPort Said Bypassを経由してGreat Bitter Lakeに向う
- 3) 第1期工事完了に伴い、通航可能な船型は、満載で15万DWTクラス、空船では30万DWTクラスに拡大される。
- 4) 船間々隔については、大型タンカーでは25分とする。

2-2 第1期工事完了後の航行管制システムの導入

スエズ運河公社では、1980年初から拡巾後のVLCGの通過に備え、更に運河の航行の安全を確保することを目的としてSuez Canal Vessel Traffic Management System(SCVTMS)の建設に着手し、1980年末には正式運用の予定である。

SCVTMSは、

- 1) 監視用レーダーシステム
- 2) ロランC船位決定システム
- 3) コンピューター情報処理システム
- 4) 通信システム

より構成されている。運河を航行する全ての船舶には、港外における水先人の乗船と同時にThe Carry-On-Receiver Transmitter(CORT)が積み込まれる。

CORTはロランC局からの電波を自動受信するとともに、船舶を特定するコードその他の情報を自動的に陸上局(管制センター)に送信し管制センターのコンピューターで信号を解析処理して管制室のBright-display上に船舶の現在位置、SPDや、予め事前通報等で入手した船舶データと組合せた必要な情報が表示される。

また、このディスプレイには、船舶のスピードオーバー、航路からの逸脱、船間々隔の異常接近や離れ、低速、についての初期自動警報装置が組み込まれ、管制室の監視を容易にしている。

第3章 運河通航の実態

3-1 通航船の到着分布

3-1-1 日別通航頻度

1978年1年間の通航記録より、運河通航船の日別通航頻度について分析した。記録は tanker と non-tanker に分けて整理されていたので、この2船種について図7-3-1 および図7-3-2にHistogramを作成した。

まず、タンカーのHistogramについて、ポアソン分布の確率密度を点線で重ねてみると、同じ傾向を示し、検定するまでもなく、タンカーの通航頻度はポアソン分布に一致していることがわかる。

一方、non-tanker についてみても、同様な試みをする、ほぼポアソン分布の確率密度に non-tanker の通航頻度が一致する。

以上より、Port Said および Suez への通航船の到着分布は、ポアソン分布と考えると支障ないと判断される。

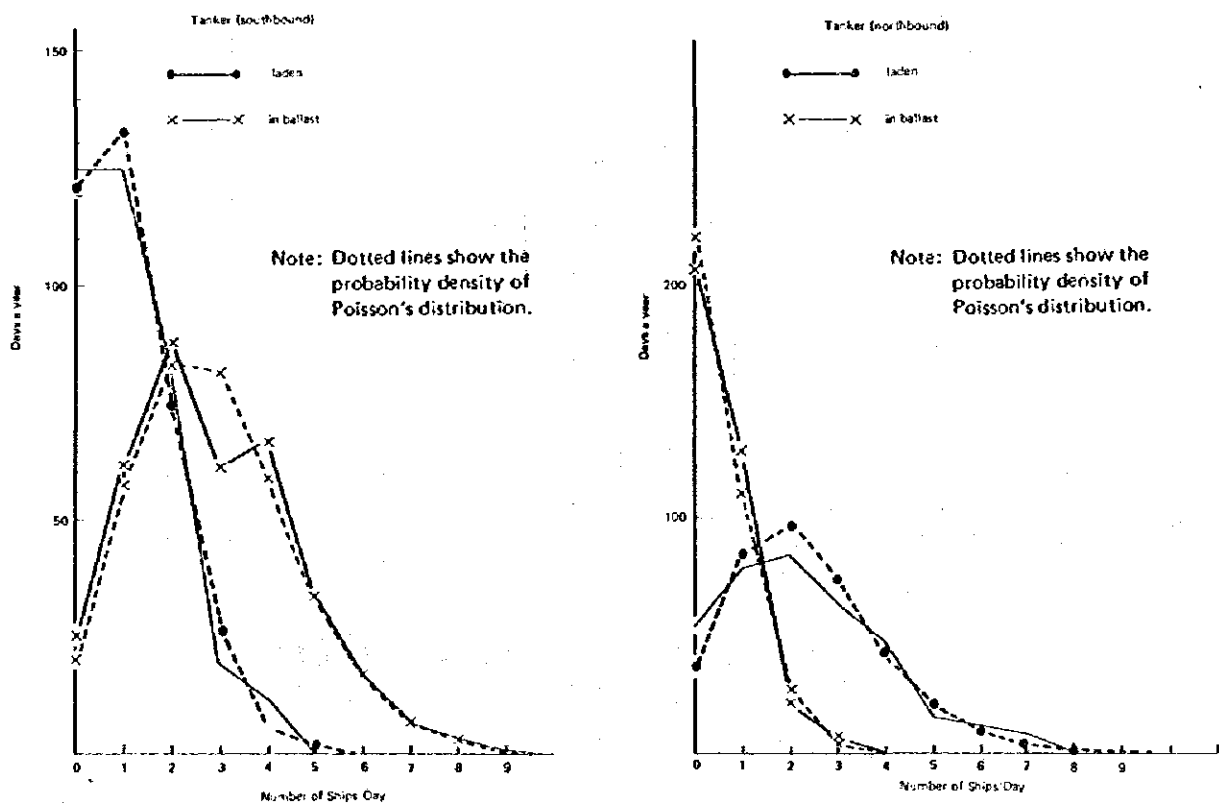


図7-3-1 タンカーの日当り通航頻度(1978)

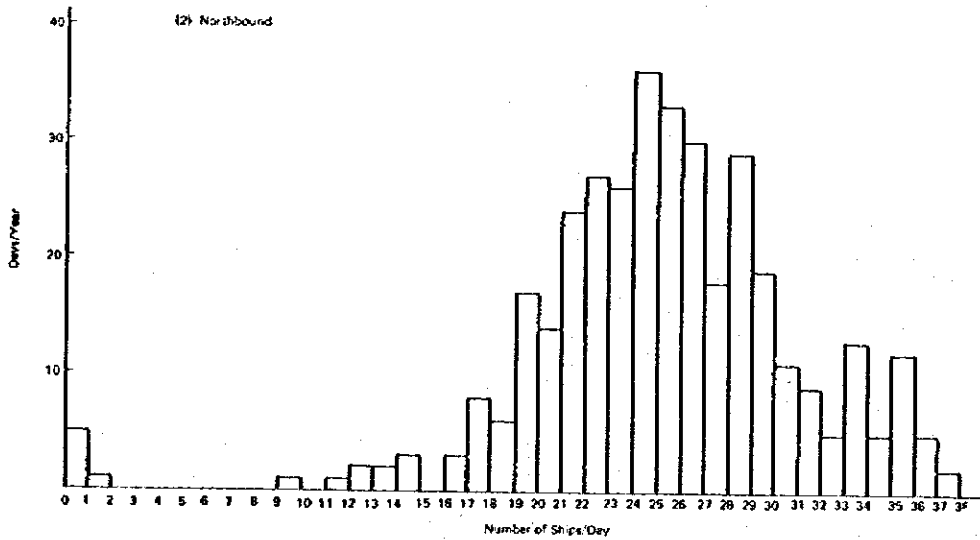
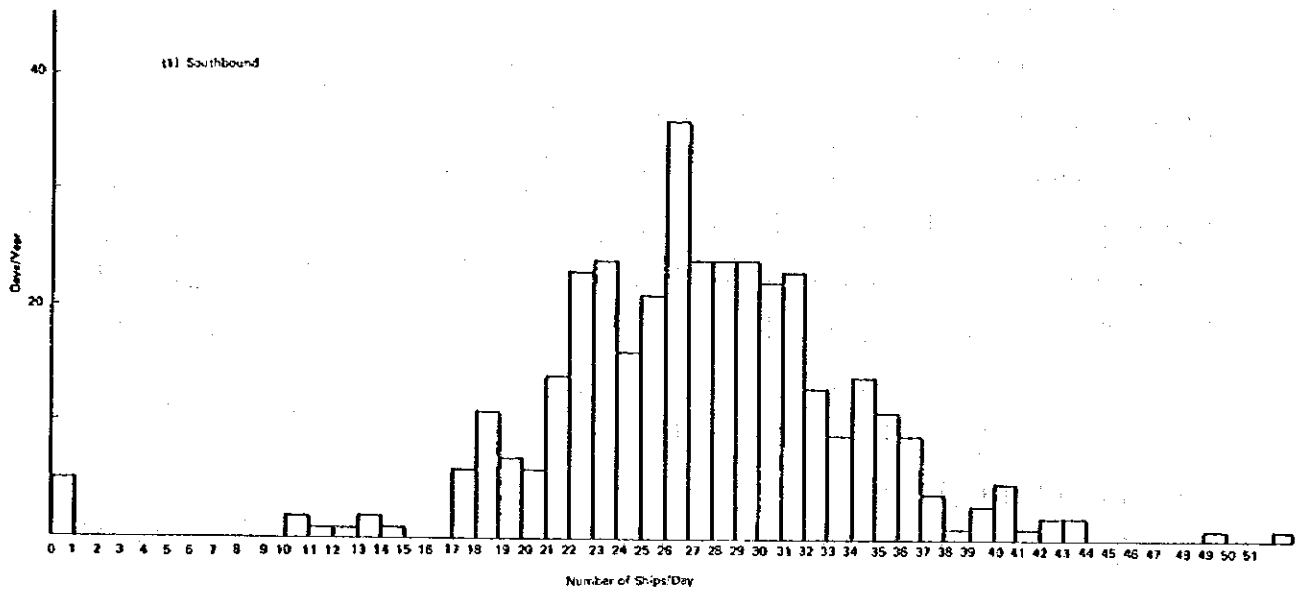


図7-3-2 ノンタンカーの日当り通航頻度(1978)

3-1-2 時間別到着頻度

1979年9月1日より15日までの2週間の通航記録から、時間別にみた船の到着分布を図7-3-3に示す。本資料はPort SaidおよびSuezの管制室で1隻毎に記録してある外海への到着時刻、運河へ入った時刻から約800隻の船舶について電子計算機処理したものである。

これによれば、Northboundの船舶は、コンボイの出発時刻前の数時間は、到着隻数が減るが、その他はほぼ一様でピークはほとんど見られない。一方Southboundについてみると、午後の早い時刻に少しピークが見られるが、それ程顕著なものではない。したがって、Port SaidおよびSuezへの船の到着分布については、ほぼ一様ランダムに到着していると考えてよからう。

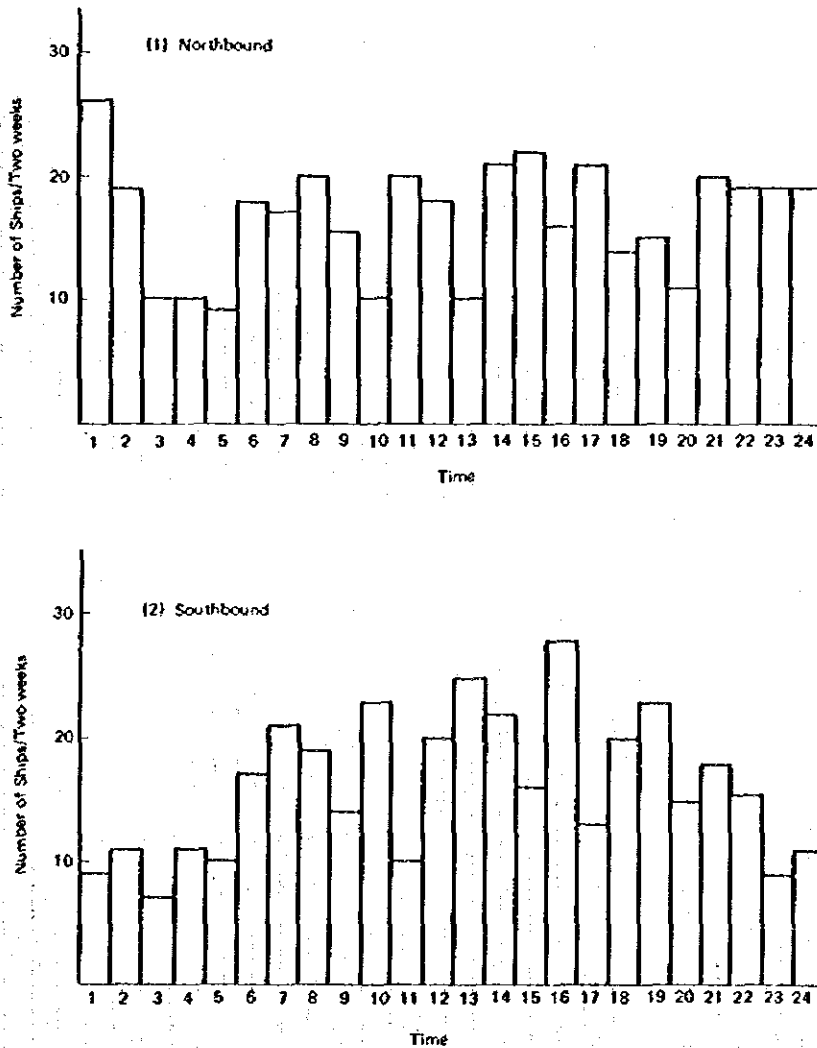


図7-3-3 時間別到着分布

3-2 待船状況

1979年9月1日より15日までの2週間の記録から、SuezおよびPort Saidにおける待船状況を図7-3-4に示す。

これによると、30時間以上の船待ちが生じたケースは何らかの特殊の事情があって待船したものとして除外してみると、北航船の場合は、ほぼ一様の分布を示しており、平均的待時間を中心にした集中が見られない。一方、南航船については、8~18時間を待時間とする△形の分布が見られる。

北航船の待時間の平均は、21.8 hrsであり、一方南航船は17.1 hrsであるが、30時間以上待ったケースを除外すると、18.6 hrsおよび15.0 hrsとなる。

この待ち時間のうち、少なくとも4時間は通航手続のために出発時刻の以前に到着していなければならないことを考えると、14.6 hrsおよび11.0 hrsとなり、両方向の平均では、12.8 hrs程度となる。第1期計画完了後は、通航時間巾が拡大されるので、容量不足でない限り待時間は短縮されるであろう。

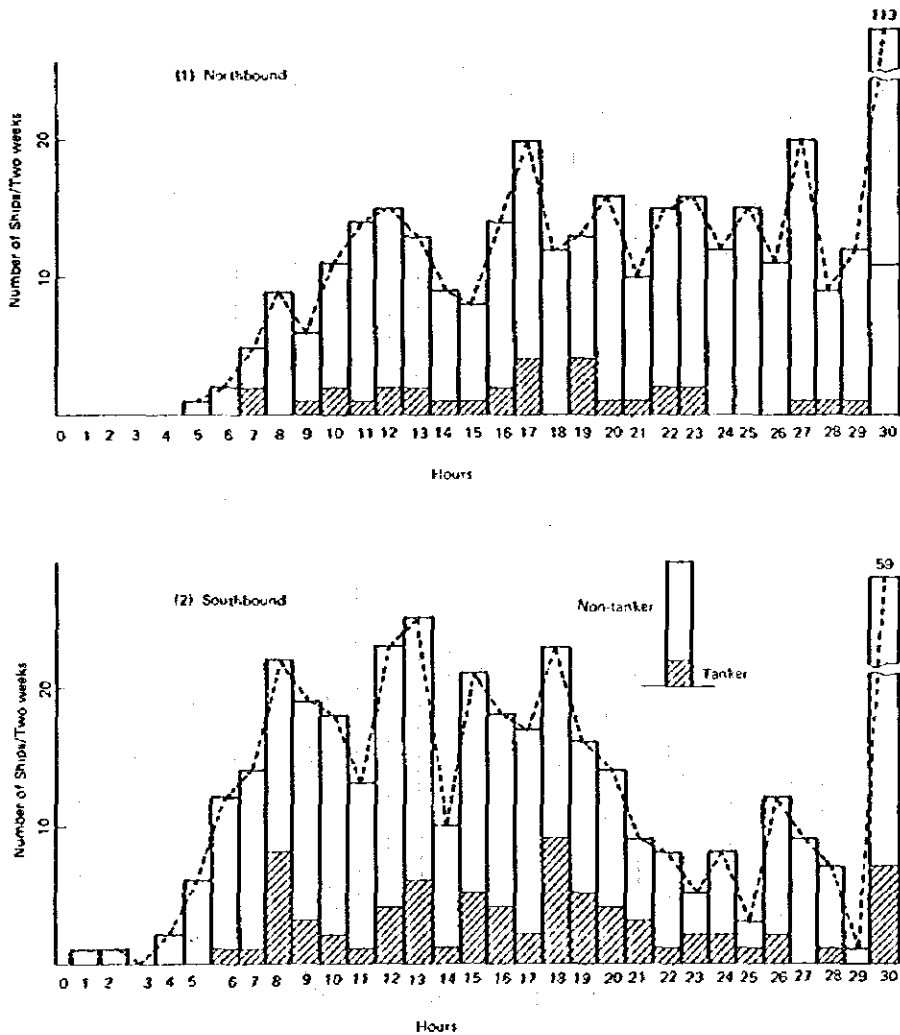


図7-3-4 SuezおよびPort Saidにおける待時間(到着~出発)

3-3 船間々隔

1979年9月1日より15日までの2週間の記録より、通航船の船間々隔について分析した。船種・船型別の平均船間々隔の記録を表7-3-1に示す。この記録はSuezおよびPort Saidで待機泊地もしくは外海より直接運河へ入っていった通航船の時刻記録より、電算機で処理したものである。したがってこの結果は、運河へ入る時の船間々隔を示すものである。運河通航中すべてこの間隔で運航しているとは限らず、間隔は当然縮まったり長くなったりしていると思われる。この結果によると、一般貨物船(General Cargo Ship)は、ほぼ8分間隔で出発しており、コンテナ船(RO/RO, LASH, Car Carrier, Other Shipsを含む)は、10,000NRT以下のものは8分以下、10,000NRTを越えると10分以上の間隔となっている。Bulk Carrierは、大型船が多いことから10分以上の間隔であり、タンカーは、0-30,000DWTでは、11分、30,000DWTを越えると、Laden Shipsは12分、Ships in Ballastは16分間隔となっている。

つぎに時間々隔は船種別にどのような分布をしているかを北航、南航別に図7-3-5に示す。北航と南航の特長は、北航の場合、平均値を中心にかなりのバラツキが見られるのに対し、南航は、ほとんどが一定の時間々隔に集中している。この理由の1つには北航の場合には潮流の影響があって、満潮と干潮では時間々隔が異なるためではないかと思われる。

船種別には、タンカーの北航は、11分を中心にバラツキを示しており、南航は、10分、15分、20分に集中を示している。一般貨物船は、北航では、6分を中心にバラツキを示し南航は10分に集中している。コンテナ船は、北航では5分、8分、10分に比較的集中したバラツキを示し、南航は10分以外に6分、15分、20分にもある程度の集中が見られる。

3-4 すれ違い時のロス・タイム

両方向のコンボイが運河の両端部および運河内の待機場所ですれ違う時、ダイアグラムに示されたようにロス・タイムもなく交差することはできない。相手コンボイが交差地点を通過するのを確認しなければ、所定の速力で運航することは心理的にも不可能であり、交差時には速度調節、一旦停止等の措置が生ずるのは止むを得ないと思われる。

実際にどの程度のロス・タイムが発生しているかを分析することは、実績のダイアグラムからでも非常に困難であり、ここでは、1977年12月の10日間のダイアグラムによってバイパスで南航コンボイがロスした時間を1隻毎の速度の変化およびけい船時刻から表7-3-2のように読み取った。つまり出発時には平均10分のロス・タイムが速度調整等で生じており、一方バラ・バイパスへの停止時にも13分程度の余分の時間を要しているが、これはけい船のための時間も入っていると思われるので、すべてをロス・タイムと見なすわけにはゆくまい。

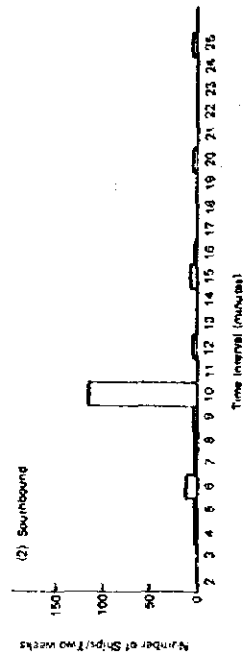
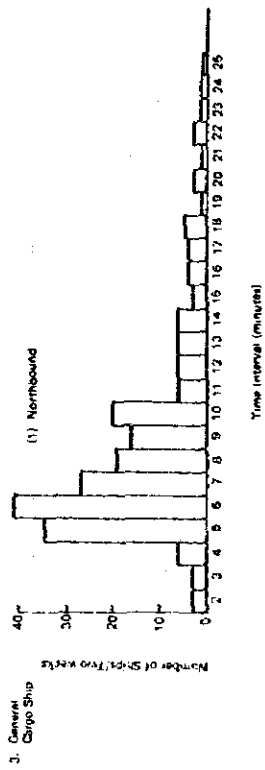
表 7 - 3 - 1 船間々隔の記録

(minutes)

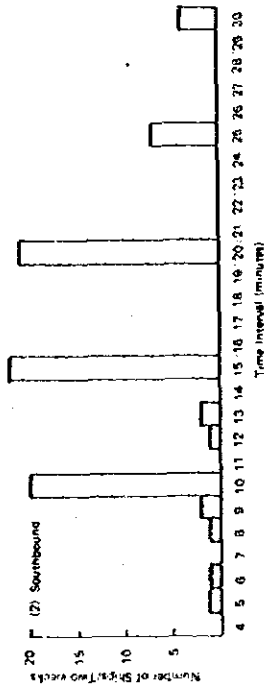
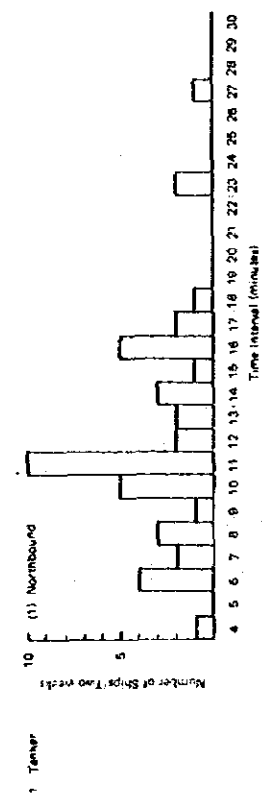
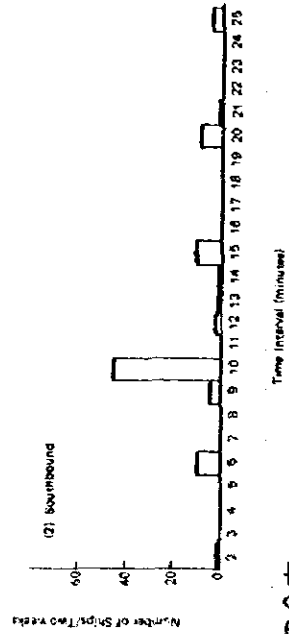
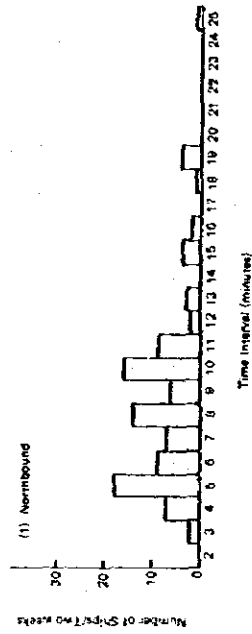
	Tanker				Bulk Carrier				General Cargo Ship				Container Ship & Others			
	N/B	S/B	Both	For Simulation	N/B	S/B	Both	For Simulation	N/B	S/B	Both	For Simulation	N/B	S/B	Both	For Simulation
SCNT:																
- 5,000					-	-	-		8.25	10.18	9.22	9	6.88	9.74	8.00	8
- 10,000					9.78	10.00	9.88	10	8.33	10.25	9.13	9	7.80	9.29	8.27	8
- 15,000					11.00	10.35	10.56	11	8.94	10.78	9.71	9	10.31	11.14	10.52	10
- 20,000					11.60	11.63	11.62	12	7.00	10.00	7.75	9	9.00	9.67	9.33	10
- 25,000					12.20	18.33	14.50	12	8.00	-	8.00	9	9.56	12.20	10.50	10
- 30,000					9.00	11.67	11.00	12				12	12.25	12.17	12.20	12
- 40,000								12				12	12.60	11.25	12.00	12
- 50,000								12				12	15.00	18.33	16.29	16
- 60,000								12				12				16
- 70,000								12				12				16
- 80,000								12				12				16
80,000 -								12				12				16
DWT:																
0	11.00	11.31														
- 30,000																
- 60,000	12.36	15.89														
150,000	-	20.21														
250,000	-	-														
300,000	-	-														
300,000 -	-	-														

Note: 1) The record of time interval was obtained by processing the actual transit record from Sep. 1 to 15, 1979.

2) The values in 'For Simulation' are used for the simulation test in Chapter 4-3.



4. Container Ship, LASH, RO/RO, Car Carrier and Others



2. Bulk Carrier

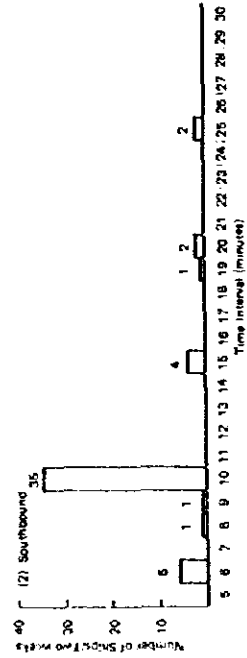
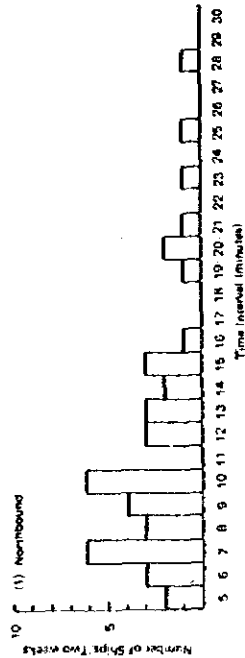


図7-3-5 船種別給間々隔の分布

表 7-3-2 バラバイパスに於けるロスタイム

	Date	Number of Ships	Average Time Lost
Loss Time at Departure		ships	minutes
	Dec. 22, 1977	9	10
	Dec. 24, 1977	9	5
	Dec. 25, 1977	14	13
	Average		9.3 ÷ 10
Loss Time at Stop	Dec. 22, 1977	9	13.8
	Dec. 24, 1977	9	10.9
	Dec. 25, 1977	14	15.6
	Dec. 27, 1977	6	6.7
	Average		12.6 ÷ 13

3-5 船 速

1977年12月21日から27日までの約一週間の記録より、南航、北航船の通航速力について整理した。その結果は表7-3-3に示すが船種がダイアグラムに記入されていないので、船種別の統計として整理できなかった。

この結果によると、南航船は約16km/h、北航船は17km/h程度で通航しており、Rules of Navigationに規定されている速力を大巾に上廻っている。

1週間の記録では、南航船でも72015G/TのタンカーがKm0-104区間を183km/hで通航しており、これは巡航速度であると考えれば20km/h近い速度で走っている区間があることも推定される。一方、北航船でも、コンテナ船やRO/ROはKm0-122区間では20km/hを超えるものも見られる。但しこの区間は潮流の影響もあるので、ある程度高速になるのは当然であろうが、'Rules of Navigation'による規制速度を大きく逸脱している。小型船の場合は、Area ratio (Ra) に余裕があるので、速力を上げることは船の性質上可能であろうが、Return CurrentやShip Waveを引き起こし、護岸の保全に悪影響を及ぼすことが懸念される。船の速力を上げたとしても、1船でも遅い船が混在する限り、運河の容量には何等増加することはないので、むしろ所定の速度を厳守すべきであろう。

表 7 - 3 - 3 平均通航速度の記録

(km/h)

	Southbound				Northbound			
	No. of Ships	km 0-104	km 104-162	Total	No. of Ships	km 162-104	km 104-0	Total
21, Dec. 1977	23	15.5	15.8	15.7	27	15.8	17.9	16.9
22	34	15.6	17.7	16.6	32	15.9	18.6	17.3
23	35	15.5	17.1	16.3	34	16.5	18.0	17.3
24	35	15.6	17.5	16.6	34	15.6	18.0	16.8
25	29	13.7	16.7	15.2	17	15.2	18.4	16.8
26	31	15.4	16.2	15.8	28	16.0	18.0	17.0
27	37	15.3	16.1	15.7	24	15.9	17.0	16.5
Average	32	15.2	16.7	16.0	28	15.8	18.0	16.9

第4章 通航シミュレーション・テスト

4-1 目的

Ⅱの第Ⅱ期計画では、段階計画を検討するための参考として、標準船（10分間隔で出発するとした船）に換算した通航需要隻数で通航容量の検討を行なった。

実際には通航船には、大型船もあれば小型船もありしかも10分という一定の間隔でなく、船種、船型に応じて異なる船間々隔をもって、運河を通航している。

したがって運河の飽和時の検討は、より現実に近い方法で行なうべきであることと、運河の容量がどのようなElementに影響されるかを見るためには、これらのElementを色々変化させる必要があり、これにはシミュレーション・モデルを作成してStudyするのが最適である。

シミュレーション・テストの目的とする具体的内容は次の通りである。

- ① Transit Cycle Timeの変更の容量面での効果
- ② すれ違い方式を導入した場合の "
- ③ 速力を変えた場合の容量への影響
- ④ 船間々隔を短縮した場合の容量面での効果
- ⑤ 船種、船型分布の容量への影響
- ⑥ 待時間の発生状況
- ⑦ 一時的な運河閉鎖後の通航方式
- ⑧ 第Ⅰ期計画完成後の容量飽和時
- ⑨ 第Ⅱ期計画における各計画案の容量飽和時

4-2 予測のフローとモデルの構造

シミュレーション・モデルの概要は、図7-4-1に示す。

モデルにインプットする主なデータは、速力、船間々隔、交差時のロス・タイム（Tolerance time）等の通航条件、コンボイ編成のための条件および毎日の通航船舶数である。通航船舶数は、第Ⅳ篇で予測された各年次の日当り通航隻数を船種別に乱数発生させ、40日間ポアソン分布にしたがってPort SaidおよびSuezに到着させている。したがって2000年までのBase CaseおよびHigh Caseの通航隻数がファイルされているので、第Ⅰ期計画および第Ⅱ期計画の各開発段階に応じた通航状況を1980～2000年までの必要年次について予測し、アウト・プットできる。

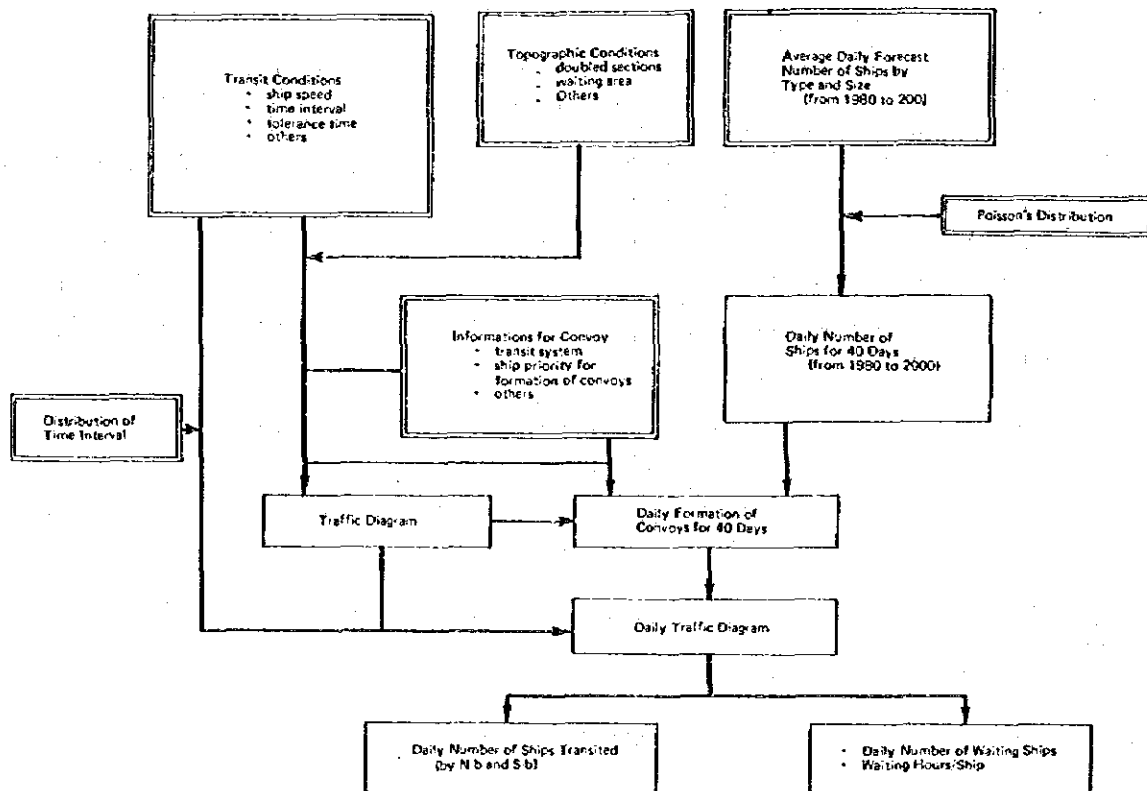


図7-4-1 シミュレーションモデルの概要

4-3 シミュレーション

4-3-1 シミュレーション・ケース

シミュレーション・テストは、通航条件の各要素が通航容量にどのように影響するかを調べるための容量影響分析と、第Ⅰ期計画および第Ⅱ期計画の容量飽和状況を調べる容量飽和分析の2つについて行った。なお、以上のほか、一時的に運河が閉鎖し、Port Said および Suez 側に船が溜った時に、その船を速やかにさばくための暫定的通航方式の導入 についてもテストをした。

(I) 容量影響分析

容量へ影響を及ぼす要素として

- ① Transit cycle time
- ② Different transit system to allow small ships passing in opposite direction
- ③ Ship Speed
- ④ Time interval between ships
- ⑤ Ship type and ship size

を採り上げて、運河の飽和状況がどう変わるかを調べた。計算したケースは次のとおりである。

Influencial Factor	Computing Case	Development Stage
1. Cycle Time	1) 24 hr-cycle 2) 36 hr-cycle	Existing (After 1st Stage) "
2. Different Transit System to allow two-way traffic to small ships	allowable ship size less than 5,000 NRT	Existing (24 hr-cycle)
3. Ship Speed	1) 13 km: laden tanker 14 km: Other ships 2) 14 km: laden tanker 15 km: Other ships	Existing (24 hr-cycle) "
4. Time Interval between Ships	1) improved actual interval 2) actual interval 3) short interval 4) long interval	Existing (24 hr-cycle) " " "

(2) 容量飽和分析

第Ⅴ篇で検討した標準船による各開発段階の運河容量飽和時をシミュレーションテストによって再検討する。計算ケースは次のとおりである。

Development Stage	Case of Demand	Transit System		Remarks
		No. of Convoys	Cycle Time	
1) Existing	Base Case	N-b : 1	24 hrs	
	High Case	S-b : 2		
2) 2nd Stage Project	Plan 1-2	Base Case	N-b : 1	24 hrs
		High Case	S-b : 2	
	Plan 3	Base Case	N-b : 1	24 hrs
		High Case	S-b : 1	
	Plan 4	Base Case	N-b : 1	24 hrs
		High Case	S-b : 1	

Note: N-b : Northbound S-b: Southbound

(3) 混雑時の処理対策

運河内で事故が起きたり、天候不順で数日間運河が閉鎖した場合の通航処理対策についてテストした。現行の運河で1981年に数日間運河が閉鎖した場合について検討した。計算ケースの詳細は、次のとおりである。

Development Stage	Duration of Canal Closure	Year	Cycle Time
Existing	days		hrs
	3	1981	24, 36
	7	1981	" "

4-3-2 インプット・データ

(1) 通航隻数

第IV篇の需要予測結果(年次毎の船種・船型別1日あたり通航隻数)を、各年次毎に乱数発生させた。1ヶ月間の通航状況をアウト・プットするため、40日間ポアソン分布にしたがってSuezおよびPort Saidに到着させるものとした。時間的には、第3章で分析した結果にもとづき、24時間続けて一様に到着するとしている。

通航予測結果は、Base CaseおよびHigh Caseについて計算に先立ち前述の処理をしてファイルした。

(2) 通航条件

1) 船速

標準的なケースでは、船の速度は、Tanker fully laden は13km/h、その他は14km/hとNavigation Ruleに規制された速力を採用した。なお、速度を上げた場合の容量を検討する場合のSpeedとして、現行の規制速度を1km/hずつ上げた14km/h、15km/hを採用した。

2) 船間々隔

標準的なケースでの船間々隔および船間々隔の容量への影響を分析するために船間々隔を短縮したケースおよび長くしたケースの間隔を次に示す。また、現況の実績とほぼ同じ船間々隔を用いる場合は、表7-3-1に示したFor Simulation Columnの数値を採用する。なお、この場合には、船間々隔に現況のパラッキを考慮した図7-4-2に示す分布を適用する。図7-4-2は、図7-3-5に示した船間々隔より作成したものである。

Time Interval

	Actual Case (improved)	Short Interval Case	Long Interval Case	
	minutes	minutes	minutes	
Non-Tanker				
NRT				
0 - 30,000	8	6	8	
30,000 - 60,000	10	8	10	
60,000 or greater	12	10	12	
Tanker	laden and in ballast	laden and in ballast	laden	in ballast
DWT				
0 - 60,000	12	10	12	12
60,000 - 150,000	16	16	20	25
150,000 - 250,000	16	16	20	25
250,000 - 300,000	16	16	25	25
300,000 or greater	16	16	25	25

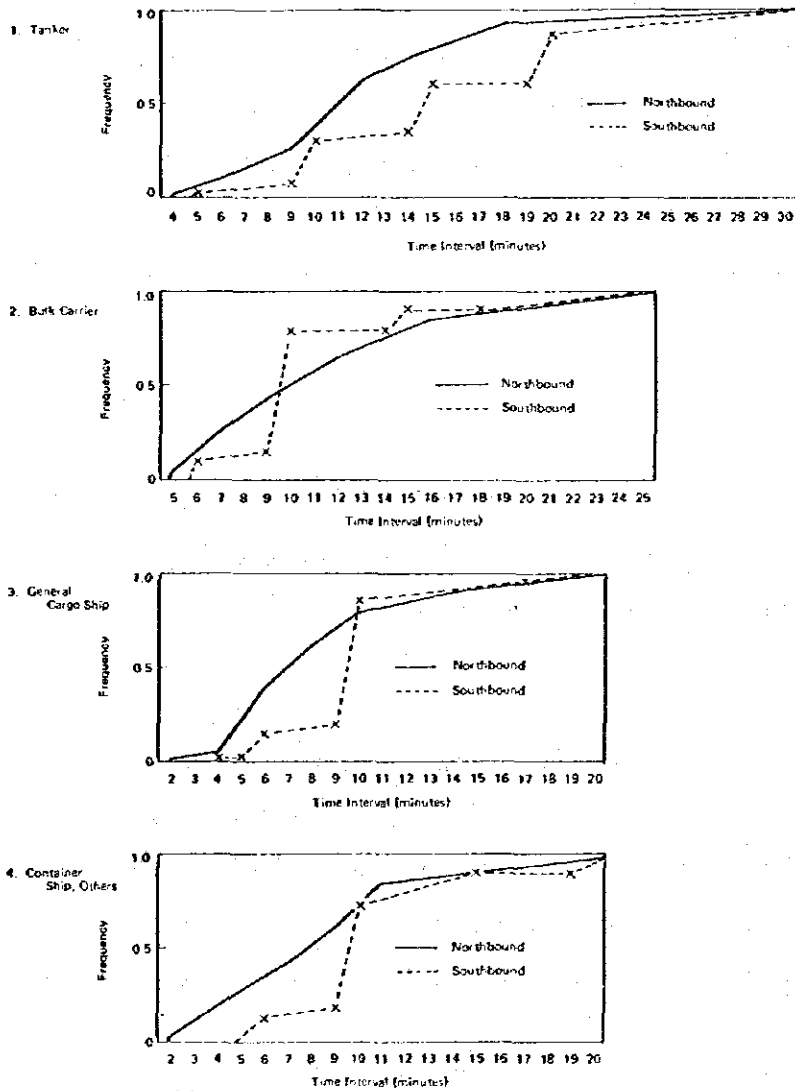


図 7 - 4 - 2 船間々隔の分布

3) Tolerance Time

現況システムのように、Bitter Lakeで待機しているような例ではTolerance Timeは少ないと思われるが、南航にも直進コンボイが走る場合には、時間調整の弾力性が欠けてくる。したがって現行システムの場合は、各コンボイより15分、南、北航ともに直進コンボイが走る場合には、各コンボイより20分のTolerance Timeを見込んで差引いた。

4) 待機エリア

現行システムの場合には、従来どおりBallah BypassおよびBitter Lakeで南航コンボイは待機する。各待機areaの停泊船収容隻数は、Ballah Bypassは19隻、Bitter LakeではSouth anchorage area 33隻、north anchorage areaを20隻とした。但し、36hr-cycleまたは48hr-cycle System採る場合は、以上の収容隻数では不足するので、双錨方式およびSwinging areaの一部を隣のSwingingと重ね合わせるにより収容隻数の増加をはかるものとしてnorth anchorage areaは36隻、South anchorage areaは60隻とした。なお、Ballah Bypassは従来どおり19隻とした。

5) 通航方式

通航方式は、運河の開発段階に応じた方式を採用している。Existingの運河の場合は北航1コンボイ(ノン・ストップ)、南航2コンボイの方式とした。第Ⅱ期計画の各開発段階では、北航は可能な限りノン・ストップ・コンボイを編成させることとし、南航については時間に余裕が生じた場合のみノン・ストップ・コンボイを編成させることとしている。シミュレーションを行なったPhase I(Plan 1-2およびPlan 3)の通航方式は、第Ⅱ篇の図6-3-5と図6-3-8に同じである。

通航時間の配分は、南航・北航に通航隻数の差がほとんどないのでそれぞれ50%ずつ時間の配分するようにしてあるが、僅かに南航隻数が多いので待給が発生するのはPort Said側の方が早くなるであろう。

6) コンボイ編成のプライオリティ

Port SaidおよびSuezでコンボイを編成する際、本篇の第1章現行の通航方式で述べたように、船種、船型にある程度の順序がある。シミュレーションにおいても現行のコンボイ編成のための優先順位(Priority)を採用することとし、第Ⅱ期計画やすれ違い方式のようにした新しいPriorityを設定した。参考までに現行の北航1コンボイ、南航2コンボイの場合のプライオリティとすれ違い方式を導入した場合のコンボイ編成のプライオリティを表7-4-1に示す。(すれ違い方式のTraffic Diagramについては図7-4-3参照)

7) その他

コンボイに編入されるための制限時刻は、各コンボイが出発する4時間前としている。

表 7 - 4 - 1 コンボイ編成の優先順位

Ship Type	Tanker					Bulk Carrier					General Cargo Ship					Container Ship																					
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l					
Existing																																					
N-1 convoy	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S-1 convoy	1	2	2	2	2	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2
S-2 convoy	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transit system to allow small ships in opposite directions																																					
N-1 convoy	2	2	2	2	2	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1
N-2 convoy	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S-1 convoy	1	2	2	2	2	7	6	6	2	2	2	2	2	2	2	7	6	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7	6	6	4	4	2	2
S-2 convoy	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S-3 convoy	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

Note: 1) The displacement of ships is shown as follows:

Tanker: a : 0 ~ 60,000 DWT b : ~ 150,000 DWT c : ~ 250,000 DWT d : ~ 300,000 DWT e : 300,000 DWT ~
 Bulk Carrier: } a : ~ 5,000 NRT b : ~ 10,000 NRT c : ~ 15,000 NRT d : ~ 20,000 NRT e : ~ 25,000 NRT
 General Cargo Ship: } f : ~ 30,000 NRT g : ~ 40,000 NRT h : ~ 50,000 NRT i : ~ 60,000 NRT j : ~ 70,000 NRT
 Container Ship: } k : ~ 80,000 NRT l : 80,000 NRT ~

2) Each figure shows ships priority to be incorporated into a fixed convoy.

Different Transit System Allowing Small Ships to Pass in Opposite Directions

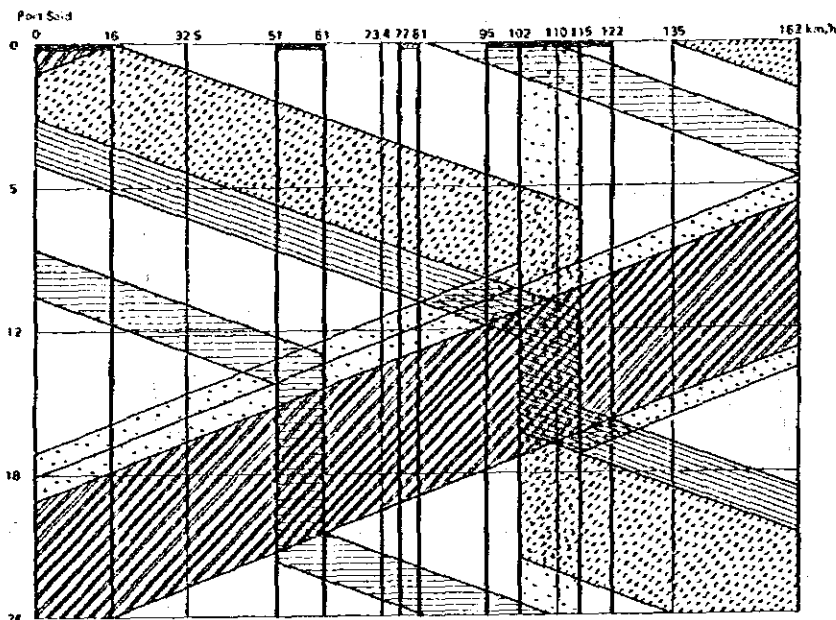


図7-4-3 コンボイダイヤグラム(13)

4-4 結果と考察

4-4-1 容量影響分析

(1) サイクル・タイム

従来の 24 hr-cycle の他に 36 hr-cycle の通航方式について、待船状況を調べた。なおコンボイ方式は、従来どおりの北航 1 コンボイ、南航 2 コンボイとし、S-2 コンボイは時間巾を最大 2 時間とした。各通航方式の通航時間巾と標準給の通航可能隻数は次のようになる。

	Navigable Time Duration per cycle	Navigable Time Duration per Day	Navigable Number of Ships per Day
24 hr-cycle	14.16 hrs/cycle	14.16 hrs/day	84
36 hr-cycle	26.28	17.52	105

つまり、36 hr-cycle の通航方式の採用で容量的には、現行方式の 25% 増となり、Development Phase Plan の Plan I に相当する。

Simulation Test の結果によると、36 hr-cycle 方式の採用により 1986 年頃までは運河を拡張することなく通航需要に対処することができると予測される。ただし待船が発生し始めると、1 cycle の時間が長いいため待船時間は長くなる。なお、36 hr-cycle 方式

の利害については、5-3-2で記述されている。(図7-4-4参照)

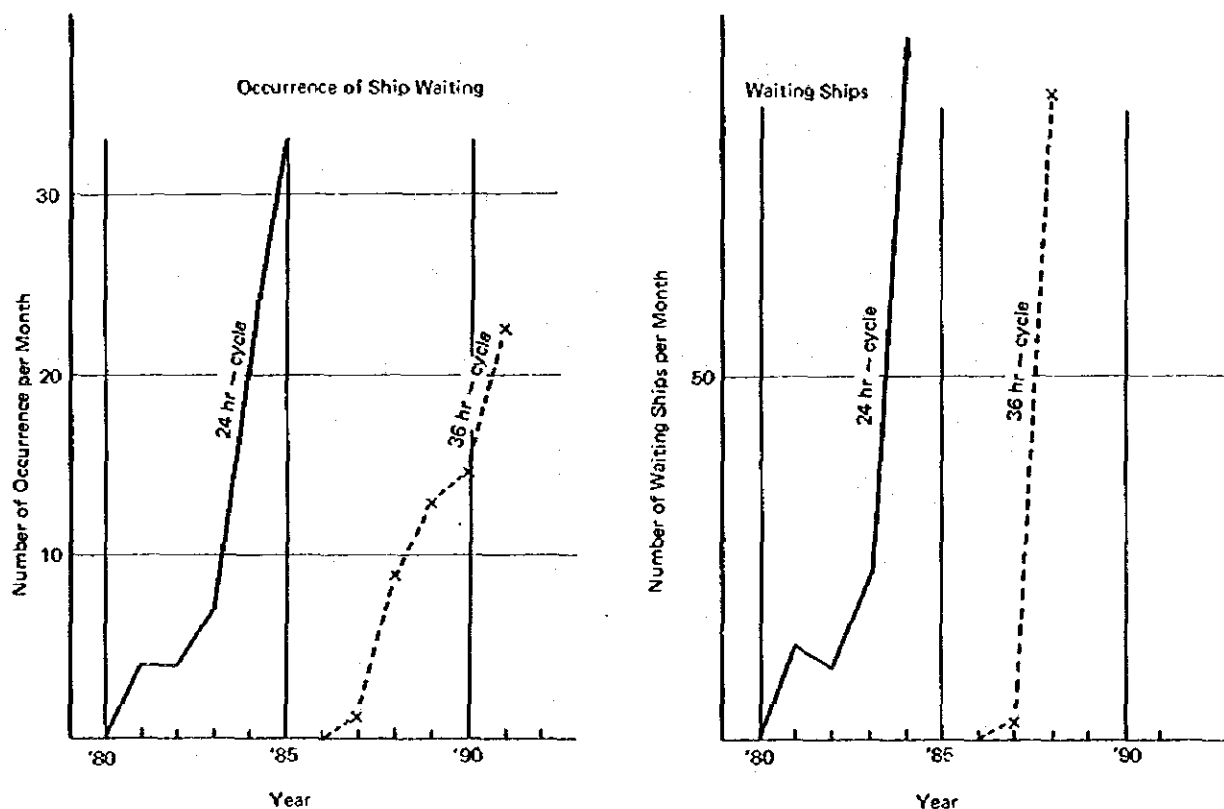


図7-4-4 36 hr-cycleの通航方式の効果

(2) 小型船をすれかわせる方式

狭い運河の中で船同志のすれ違いを認めることはたとえ小型船であっても航行安全上好ましくない。したがってすれ違いはできるだけ小型船に限定されるべきと考えられ、かつ危険物を積載したタンカーや速度調整の難しいコンテナ船などは除外されるべきである。運河巾に対して1/9程度の船巾の船まではすれかわせることも可能であるかもしれないが、本ステディでは、5,000NRT以下の船に限定している。5,000NRTの船巾は運河巾の約1/11にあたる。

すれ違い方式のTraffic Diagramは、図7-4-3に示してある。この方式を導入することにより、現行方式の場合と比較して約2年ほど待船の発生を遅らせることが出来る。(図7-4-5参照)。航行の危険をおかしてこの程度の効果しか期待できないとなると、容量の増大は別の方法を講ずべきであろう。

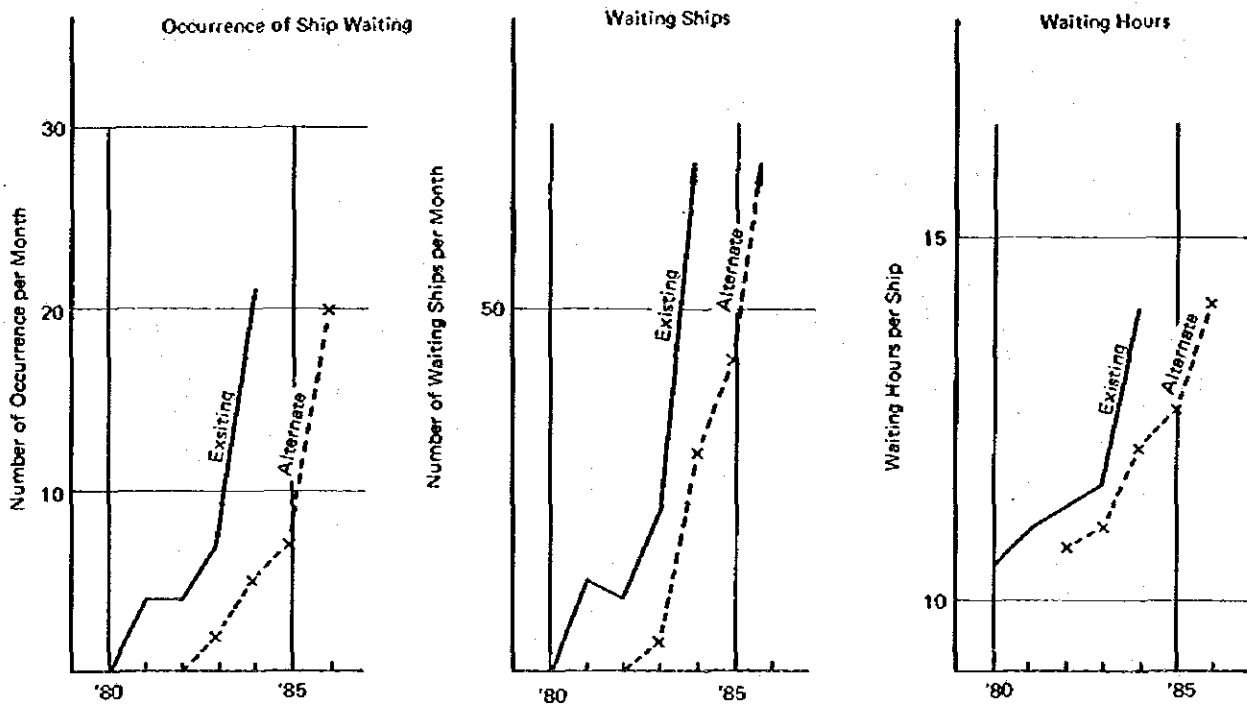


図7-4-5 小型船をすれ違わせる通航方式の効果

(3) 船 速

船速をタンカー、その他船とも1kn/h速めた場合について容量への影響を検討してみた。速度を1kn/h速めた場合の通航可能時間と標準船による通航可能隻数は次のようになる。

	Navigable Time Duration	Navigable Number of Ships
Existing Speed	14.16 hrs/day	84 ships
Speed Increased	15.40	92

つまり、速度を1kn/h増加させることにより容量的には現行方式の10%増となり、Development Phase PlanのPlan 0に相当する。

Simulation Testの結果では、現行速度で運営するのに比較して、1年程度容量の飽和する時期を先きに伸ばすことができそうである。(図7-4-6参照)速度を増加させることは、特にタンカーの出力と走航抵抗との関係でVLCCについては問題もあり、容量の増大策としては大きな容量増が期待できる方策ではないことから、あまり現実的な案とは言えない。

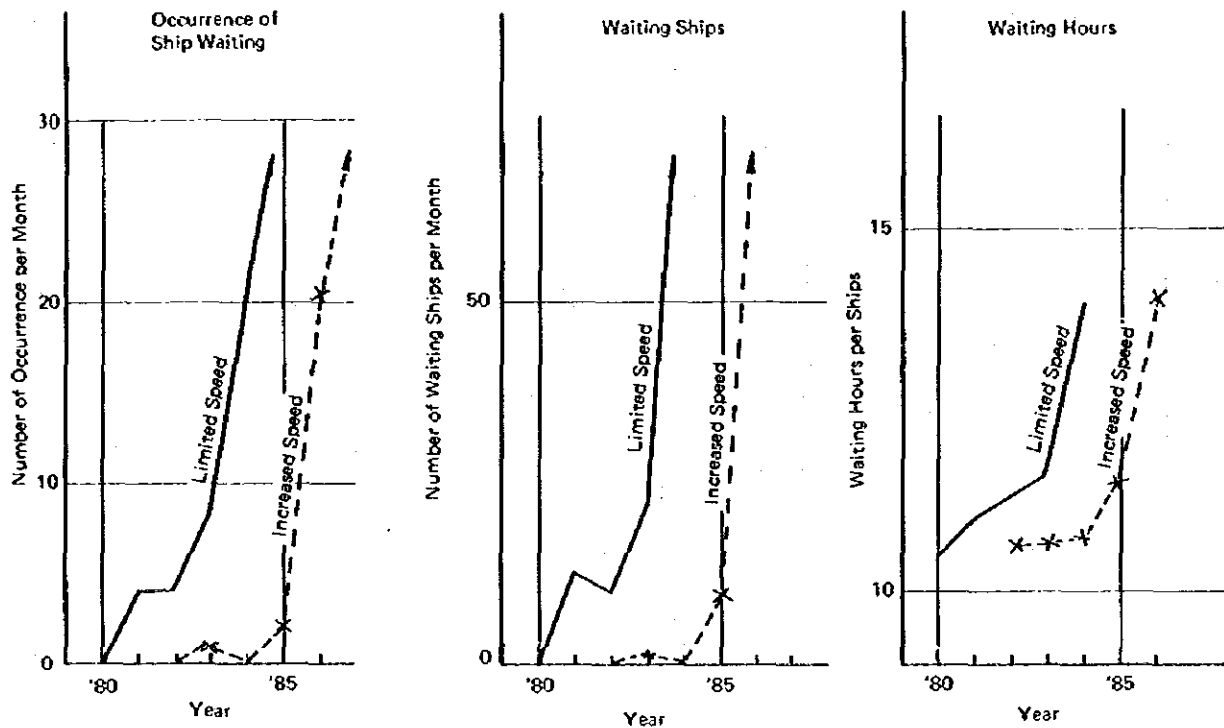


図7-4-6 船速増加(1 km/h)による効果

(4) 船間々隔

船間々隔に1979年9月の実績をインプットとして第1期計画後の通航状況を調べた。なお、船間々隔には、間隔の実績どおりのバラツキを図7-4-2の分布型で与えている。

Simulation Testの結果によると、現況のままの間隔とすると、第1期計画完成後直ちに待給が発生することが予想される。1981年の待給状況の予測結果は、次のとおりである。

	Number of Ship Queues per month	Number of Waiting Ships per month	Waiting Hours hours/ship
Actual Interval	36	603	17.36
Improved Interval	0	0	11.01

このような待給が発生するとすれば、現在の運河でもかなりの待給が発生することになるであろうが、現在のところそれ程ではない。船間々隔は正確な記録であることからすれば、実際には船速を上げることにより容量の低下をしのいでいることも考えられる。

いずれにしろ、現況の船間間隔で運河が運営されるとすれば早い時期に第1期計画後の運河は容量不足となることが予測されるので、SCVTMSの導入により船間々隔を正確にコントロールしてゆく必要がある。

次に、その船間々隔を短縮または長くしたケースについての容量への影響を調べてみた。(短縮の内容は4-3-2の「インプット・データ」を参照)図7-4-7に示すように、船間々隔を縮めると通航可能隻数が増加することにより、第1期計画完成後の運河でも、待給の発生はかなり先まで伸ばすことができる。一方、タンカーの船間々隔を長くすると、容量の低下を招いて第1期計画後の運河は早い時期に飽和することが予測される。試算ではVLCCの船間々隔は25分程度と考えているようであることから、この試算結果に近いことも予測される。

このように船間々隔は、運河容量に直接的に影響するので、航行安全と平行させて十分検討する必要がある。なお、VLCCの船間々隔については、5-3で詳しく述べる。

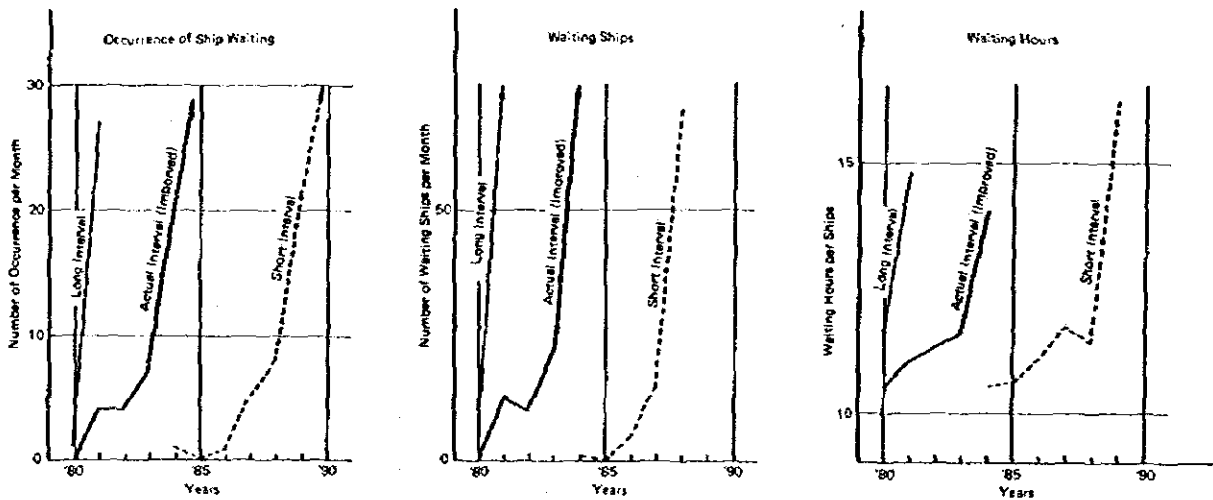


図7-4-7 船間々隔変更の効果

4-4-2 混雑時の待給処理

仮りに運河内での大事故または天候不順で、運河が閉鎖されるとすると、SuezとPort Saidには待給が発生する。ここでは、3日および7日間運河が閉鎖された後、待給がどのように解消されてゆくかを、シミュレーションモデルによってテストした。また、従来の24hr-cycleの通航方式から36hr-cycleの方式に切換えることによって待給解消の日数をどれだけ短縮し得るかを調べた。Suezにおいて両方式による待給解消状況を図7-4-8に示す。

図7-4-8は、1981年のある時期に運河が3日および7日間閉鎖された後、従来の24hr-cycle方式で処理した場合と36hr-cycle方式で処理した場合を示すものである。

3日閉鎖した場合には、24hr-cycle方式では5日間の解消期間を要するのに対し、36hr-cycleでは2日以内、7日閉鎖した場合は、24hr-cycleで17日間を要するのに対し、36hr-cycleでは6日間で処理し得る。

これは36hr-cycle方式の方が、通航容量が大きいためであるが、後述するように、緊急時

に 36hr-cycle 方式を暫定的に利用する一つの方向を示すものと言える。

以上の結果は、実際に事故が起きた場合、従来スエズ運河を利用していた船がすべて Port Said や Suez で待給すると限らず、ある程度ケープ経由へ転換することも考えられるので、得られた解消期間はシミュレーション結果を下廻るものと思われる。

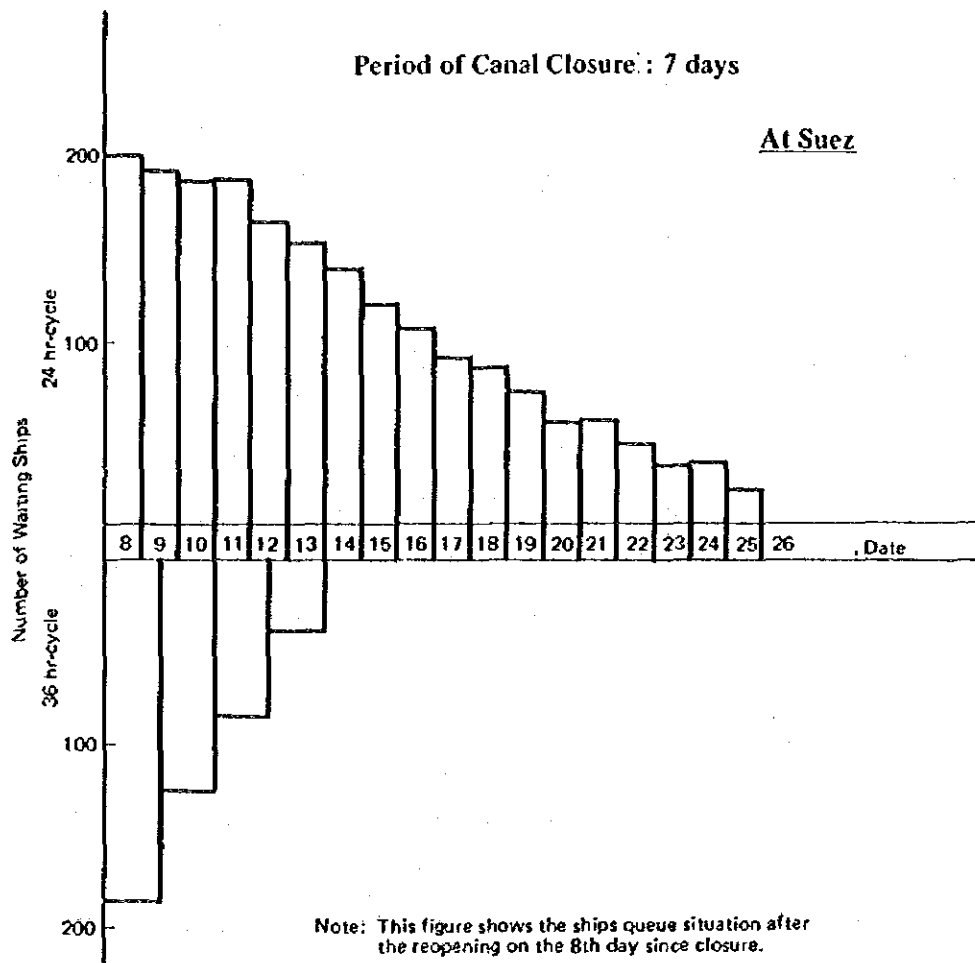
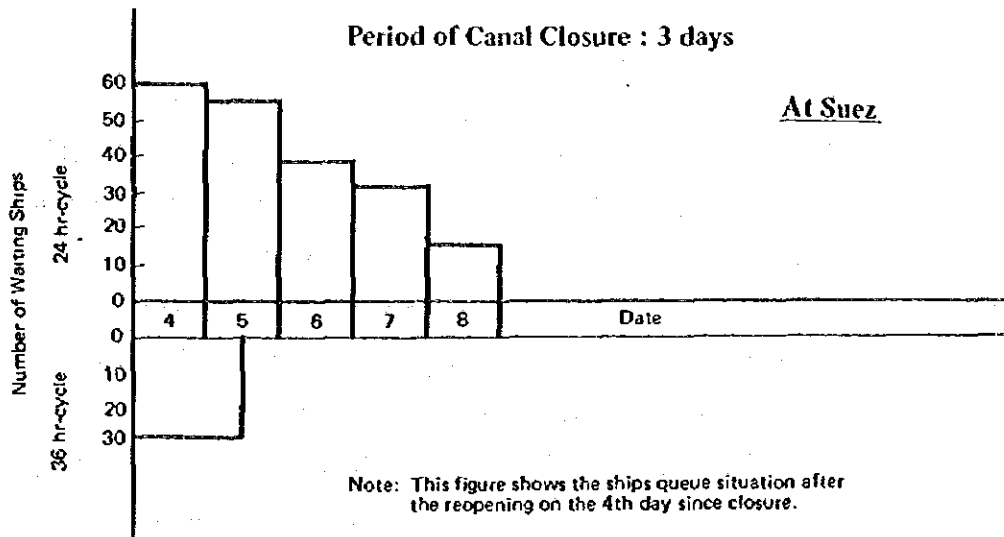


図 7 - 4 - 8 運河閉鎖後の待船

第5章 第Ⅰ期計画および第Ⅱ期計画の通航容量と通航方式

5-1 第Ⅰ期計画の通航容量

第Ⅰ期計画完成後の通航方式は、図6-3-2に示したように、従来どおり、北航1コンボイ(ノン・ストップ)、南航2コンボイ(それぞれBitter LakeとBallah Bypassで北航コンボイの通過を待機する)の方式とした。

第Ⅰ期計画完成後の滞船状況をシミュレーション・テストによって調べた結果は、図7-5-1~図7-5-3に示すとおりである。1月当りの待給発生回数は、1980年は0であるが1981年には4件、1982年以降順次増加し、1984年には30件近くなる。この発生件数はPort SaidとSuezの合計値であるから、それぞれはこの半数の待給件数が発生していることとなる。第Ⅱ篇で目標とした日に1~2日以下の待給しか発生させない水準は、シミュレーション・テストの結果では1981年となり、第Ⅳ篇で需要曲線と標準通航容量から検討した結果と一致する。シミュレーション・テストの結果では、1983年までは、待給件数もそれほど多くないが、1984年になると慢性的な待給が発生することが伺い知れる。これは、図7-5-3の待給隻数や待給時間の増加状況を見ても明らかである。よって、遅くとも1984年には容量の拡大が行なわれないと、運河経由からケーブ経由を選択する船が増加し、仮りに大型船から順次ケーブ経由を選択するとすれば、運河収入は大巾に減少することが懸念される。以上はBase Caseの需要でみたが、High Caseの場合には、1982年には慢性的な待給が予測され、事態は一層深刻となる恐れもある。

このような事態を避けるには、できるだけ早期に運河の複線化をはかって、容量の拡大をはからなければならないが、暫定的な措置としては、第Ⅱ篇の3-4-2で述べたように、Timsah Lakeを利用する小コンボイを編成してN-1、S-3コンボイとする新通航方式が考えられる。この通航方式についても同じようにシミュレーション・テストした結果を図7-5-4に示す。Timsah Lakeを利用する小コンボイを編成することにより、1981年以降の待給はある程度回避することが期待できる。

5-2 第Ⅱ期計画の通航容量

5-2-1 Phase Iの通航容量

第Ⅱ期計画の通航方式としては、Phase IのStep Iの段階(Plan I-2)では、南航コンボイをすべてノン・ストップで走航させることができず、Phase Iが完成した段階(Plan I-3)以降は、北・南航ともにノン・ストップ・コンボイを走らせることができる。なお、Step Iの段階では、北航コンボイも一部Bitter Lakeで待機させるとすれば、南航コンボイの時間を増すこともできるが、ここでは主として容量の検討を主眼としているので、北航コンボイは従来どおりノンストップ方式とする。

第Ⅱ期計画の開発段階に応じた滞給状況は、図7-5-1～図7-5-3に示すとおりである。

Step-1(Plan1-2)完成後の1月当りの待給発生回数は、本テストの結果では、1988年までは0件であるが、1989年には一気に慢性的な待給が発生することが予想される。本来待給は順次増加してゆくとと思われるが、本テストの結果では、1988年までは0件という好結果を生んでいるが、1989年には慢性的な状況に近づいてゆくとすれば、実際には1988年にもかなりな待給が発生すると考えるべきであろう。この意味では第Ⅵ篇の4-4-2で検討した結果と大きく変わるものではない。

Phase 1(Plan-3)が完成後の1月当りの待給発生回数は、1990年に4件、1992年に10件で1993以降は慢性的な状況になる。第Ⅵ篇の4-4-2では、1992年に月1～2日の待給が発生すると予測したが、本テストの結果では、より早い時期に待給が始まる可能性を示している。

以上の分析はBase Caseの需要の場合であるが、High Caseの場合では、Step 1は1987年に、Phase 1も1989年以降は慢性的な待給が発生することが予想される。

よって、Base Caseで需要が推移しても、1987年にはPhase 1を完成させる必要があり、このPhase 1も1992年頃までの需要にしか対処しきれない。High Caseで推移するとPhase 1は1984年迄には完成させる必要があり、このPhase 1も1988年頃までの需要にしか対処しきれない。

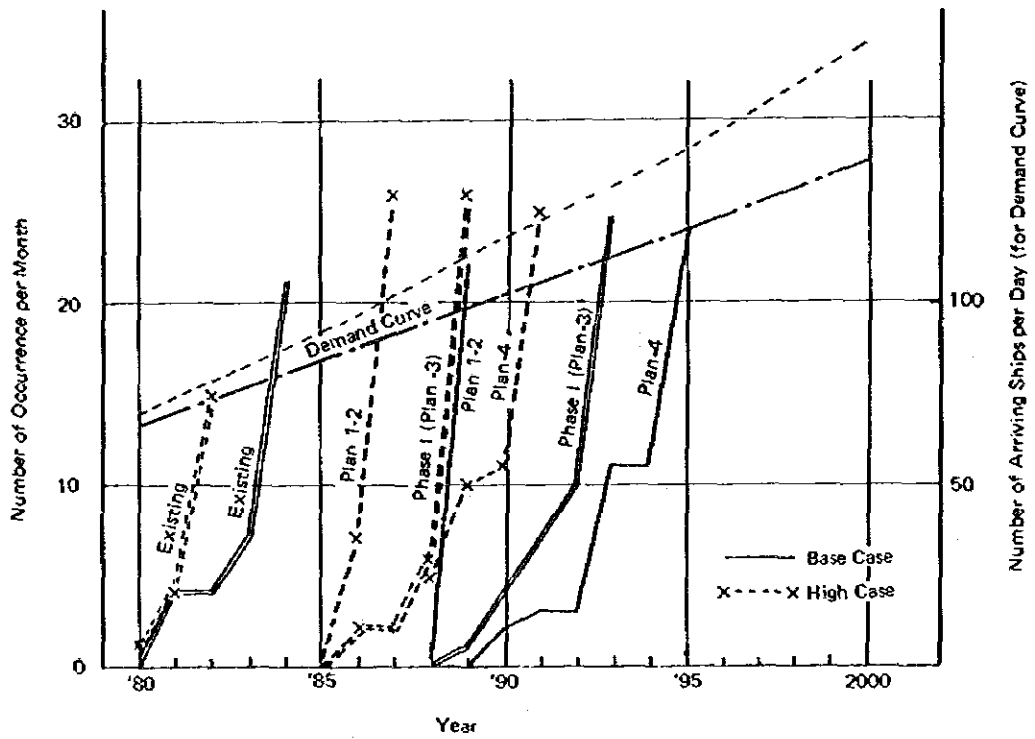


図 7 - 5 - 1 待船の発生頻度

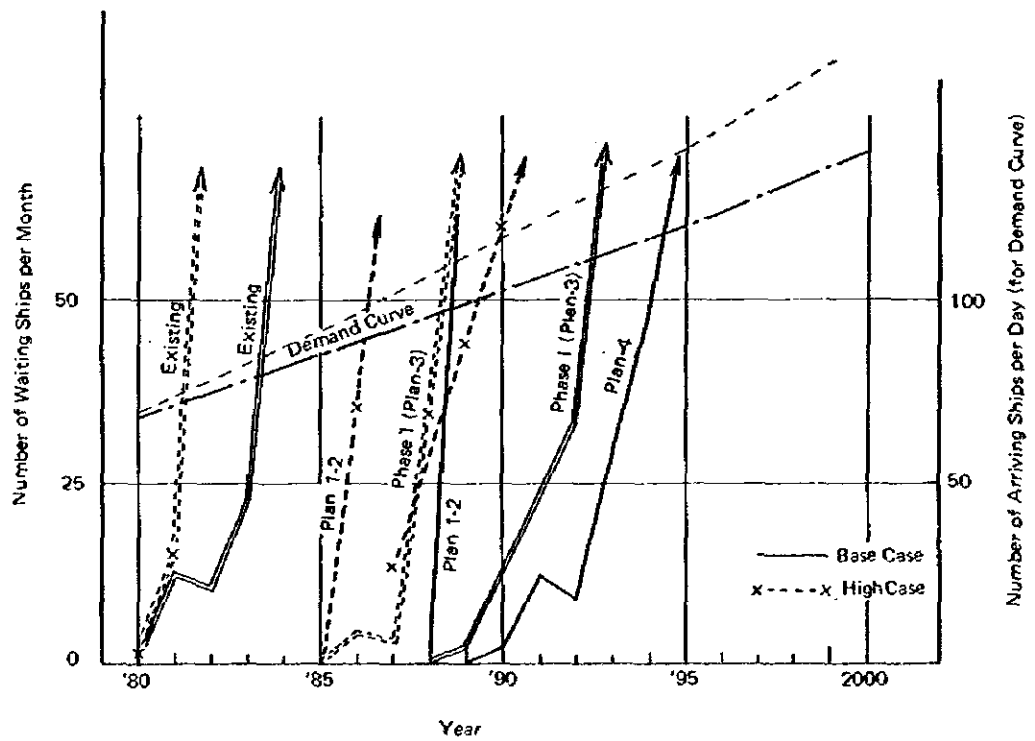


図 7 - 5 - 2 待 船 数

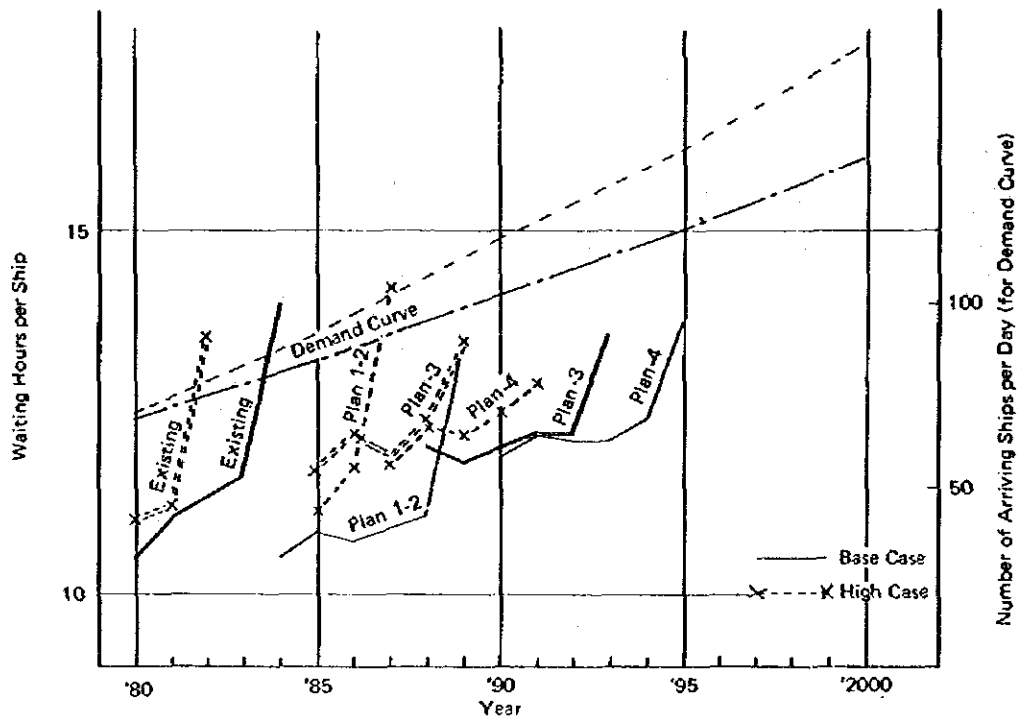


図 7 - 5 - 3 待 船 時 間

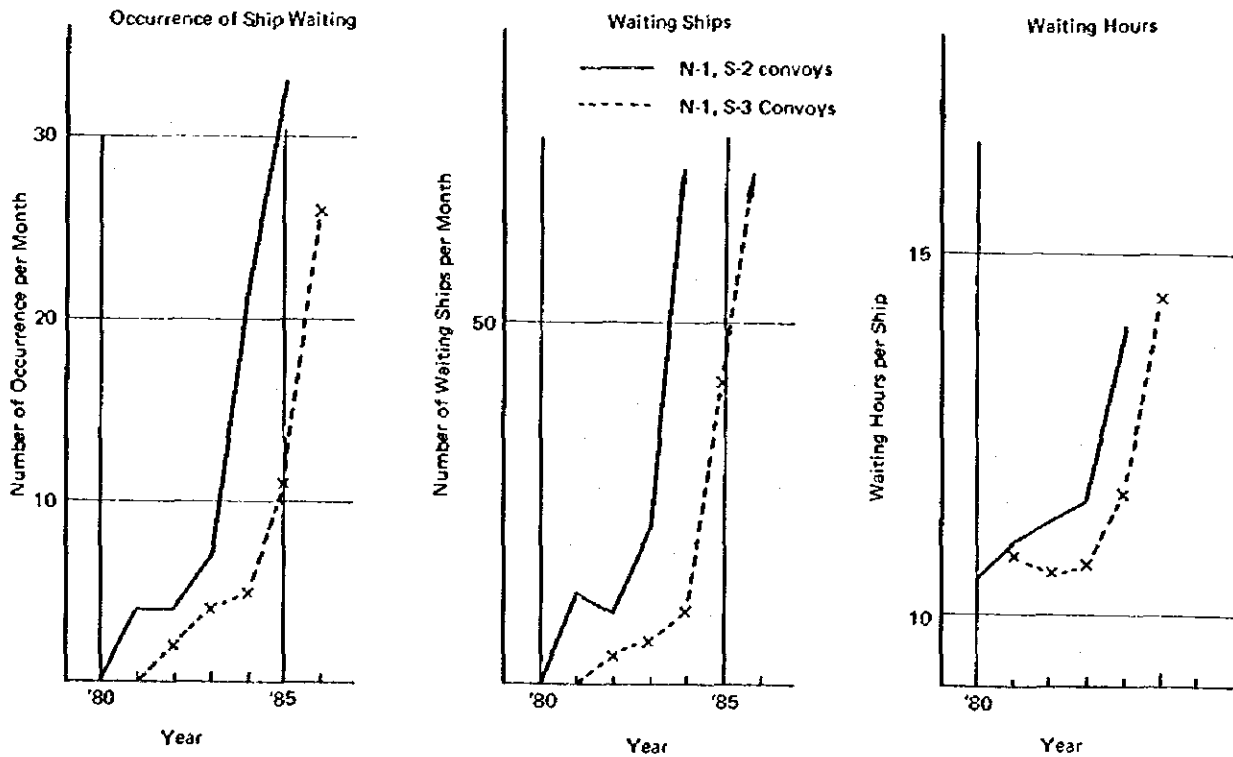


図 7 - 5 - 4 通航方式変更の効果 (N-1, S-3 Convoys)

5-2-2 Phase I の通航容量

第Ⅱ期計画のPhase Iとしては、Km145-162区間の単線部のみを残す段階(Plan-4)と完全複線化段階(Plan 5)がある。

前節のPhase Iの通航容量で検討したように、需要がBase Caseで推移しても1992年にはPhase Iも飽和状態となり、Plan 4の段階へ容量増大をはからねばならない。しかしこのPlan 4も1995年には慢性的な待給が予想され、それまでに運河の完全複線化をはからねばならないことが、図7-5-1～図7-5-3より読み取れる。需要がHigh Caseで推移した場合には、1984年にはPlan 4の段階に容量を増大させ、1988年には完全複線化を完成させなければならない。

現状とPlan1-2についての3日間のシミュレーション・テストの結果を図7-A-1～図7-A-3として本篇の最後に記す。

5-3 通航方式に関する諸考察

以上検討してきた結果を踏まえて、ここでは第Ⅰ期計画完成後および第Ⅱ期計画(Phase I)完成後の運河通航の技術的、システムの考察を加えることとする。

5-3-1 運河通航の技術的課題

(i) VLCCの通航に伴う諸問題

1) 運河における緊急停止

① VLCCは、在来の船舶に比し、船の質量の大きさの故に慣性力が大きく、速力制御が著しく困難であり、操縦性能も舵効が悪く、回頭を始めるのに長い時間がかかる。従って惰力の見積りが困難で、誤差も大きいため、操縦の困難さを増している。

また、このことは、操船者が操船に必要な情報を、主として目視にたよっており、船の巨大化と人間の知覚の間にギャップが生じていることに起因する。

VLCCの操船環境としての運河は、水路も狭く水深が浅いため、見掛質量、慣性モーメントの作用と重って、操船を著しく困難にしている。

更に運河の南部における潮流の影響、風力の影響、視界不良等自然条件が大型タンカーの安全通航上重大な制約条件となっている。

② 大型タンカーが、航行中Full astern をかけ、行足が止まるまでの航行距離は10～16Lとされている。初速が小さい程停止距離は短くなる。

Stopping Distance (full load)

Nav. Speed	Time & Distance	DWT-60,000	80,000	100,000	120,000	140,000	160,000
8 Kt	Time Distance	4m-55sec 720m	5-50 820	6-20 1,000	7-30 1,100	8-40 1,200	9-00 1,300
6 Kt	Time Distance	3m-40sec 500m	4-20 560	4-40 680	5-25 720	6-00 840	7-00 980

Source: Japanese Dockmasters' Association 'Dockmaster No. 37'.

③ Ballast condition (Full load の 50%) の後進停止距離は、Full load の時の約 80% 程度となる。

④ 制限水路における停止距離は、水深が浅くなると付加質量が増加するが、一方船体抵抗も増加する。付加質量の増加は、慣性の増大を意味し、停止距離を増大させるが、船体抵抗の増加は停止距離を減少させるように働くことになる。機関を停止させたとき及び逆転したときの停止距離は、 h/d が小さいほど短くなり、 $h/d=20$ で 92%、1.5 で 83%~85% とされている。

⑤ 運河航行中、先航船あるいは自船に事故が発生し大型タンカーが、Full astern をかけて行足を止めるのは、緊急の場合に限られるが、この場合右回りシングルスクリュウ船は、理論的には船首は右に振れるとされているが、ある日本の Dock master の大型タンカー実験 22 例中、左に振った例が 9 例あり、同一船でも、ある時は右、他の時は左となり、相対風向がほぼ等しい場合にも、同様な現象がある。

もちろん、風向、潮流、トリム、船型等と深い関係にあるが、実船上では、実際に後進をかけてみなければ判らない。

大型タンカーの場合全く気まぐれと言われている。

⑥ 一般にどの船でも最初の 2 分間は、船首の振れがほとんどなく、おむね原針路を保つが、その後右又は左にゆっくり船首を振り始め、4 分位から急に振れが大きくなり、後進の時間が長くなり行足がなくなるにつれ、回頭力はますます大きくなる。

運河の場合、操船水域が極端に狭いところから、大型タンカーが、後進をかけて乗揚げることなく自力で行足を止めることは不可能である。

そこで、水路に沿って大型タンカーを停止するには、2 分間程度後進をかけ、船首の振れまわりを舵又は Tug Boat を使用して修正し、その後 Engine を小刻みに後進をかけ、減速したのち Tug Boat を使用して減速し、船を水路の中央部に平行に停止させる方法が实际的であろう。

⑦ 以上よりして、風や潮の影響が小さく、十分な馬力のタグボートの援助があれば、運河内においても 7 kt 航行の大型タンカーが 4~6 L の距離で停止可能であろう。

(2) 運河航行に必要な Tug Boat の隻数

- ① 制限水路を大型タンカーが航行する場合、操縦性の困難を補うため、タグボートが通常アテンドしている。

日本の港湾及び外国の石油積出港におけるタグボートの使用状況の調査結果は、次のとおりである。

大型タンカーへのタグボートのアテンド状況

日本の港湾	タグ隻数	外国石油積出港 (Ballast)	隻数	備考
6万DWT以下	2	6万DWT	1~2隻	日本船に対してアンケート調査
6万~10万DWT	3	6万~13万DWT	2	
10万~15万DWT	3~4	13万~15万DWT	2~3	
15万~20万DWT	6	15万~20万DWT	3~4	

日本海難防止協会資料による

- ② 日本の港湾における満載大型タンカーの操船補助のタグボートの所要馬力は、15~20万DWTタンカーでは、載貨重量トン数の6~7%である。したがって15万トンタンカーでは、9000~10500HPである。タグボートの1隻当りの馬力は3000HPクラスが普通であるから、3~4隻のタグボートが必要になる。

出港の場合は、60%程度のタグボートが使用されている。

- ③ 一方、運河、航行中の大型タンカーが先航船あるいは自船に Engine Trouble、強風、狭視界等の事由から緊急停止する必要が生じる。
- この場合は、港内操船補助と異なり、
- ④ 港内の船舶交通の輻輳する海域と異なり、十分な船間々隔がとられていること。
- ⑤ 事故発生した場合、直ちに関係のある船舶に通報する体制にあたり、後続の船が即応体制がとれること。(時間的距離余裕があること)
- ⑥ 運河航行では、バース前での操船のように、回頭作業、横付作業ほどの正確な操船は要求されないこと。
- ⑦ 運河でのタグ用途は、緊急停止の際の制動、風、潮流に対する保針の補助・運河内での係留に従事することであること。
- ⑧ 火災、油流出事故、乗揚げ事故が発生した場合の的確な初期救難を行うこと。
- ⑨ 船団通航中、trouble に関係しない付近のタンカーのエスコートの応援が得られること。
- ⑩ Great Bitter lake には Salvage tug boat が4隻常駐しており援助できる体制にあること

以上の理由からして、escort tug は必要最少限に限られるべきであろう。

① 必要最少限な隻数を決定するに際し、考慮すべき要素は次のとおりである。

① 制動力として有効であること

タグボートが使用限界速度は5 kt 程度とされており、この付近から行足の制動を行なう。

その際に、必要な馬力数は、船体の全抵抗に見合う馬力数があれば十分である。

曳航抵抗から算出した所要馬力

船 型	Full	1/4Load	行足を止めるに 必要な馬力	tug-boat 隻 数	備 考
	曳航5ktに対する全抵抗				
5万DWT	26.3	14.0(ton)	2600HP	1隻	$R_{fw} + R_s + R_f = R$ 但し $R_s = 1.3 \times R_{fw}$ とする。
7.5万DWT	33.3	19.2	3300HP	"	
10万DWT	39.8	21.6	4000HP	"	
13.5万DWT	49.5	26.4	5000HP	2隻	
20万DWT	64.1	34.0	6400HP	2隻	
27.5万DWT	76.4	40.3	7700HP	2隻	

Tug boat 基準えい引力

tug boatの種類	100HP当りのえい引力	
	前 進 力	後 進 力
V. S. P. 型	1トン	0.7トン
C P. P. 型	1.35	0.75
Z 型	1.5	1.2

② 運河航行中に遭遇する風による風圧力に対応できること。

船型別風圧力表 (ton)

風 向 風 速 m/sec 船 型	風 圧 力						備 考
	船首尾方向(0°)			正横方向(90°)			
	8	12	16	8	12	16	
5万DWTF	0.7	1.6	2.8	5.9	13.2	23.6	F: full load B: Ballast (50%Full)
B	1.2	2.7	4.8	10.0	22.5	40.1	
7.5万DWTF	1.0	2.8	4.0	8.0	18.0	31.9	
B	1.7	3.8	6.9	13.6	30.6	54.0	
10万DWTF	1.1	2.5	4.3	8.3	18.7	33.3	
13.5万DWTB	1.9	4.3	7.3	14.1	31.8	56.6	
13.5万DWTF	1.5	3.5	6.3	11.5	26.0	46.0	
B	2.6	6.0	10.6	19.6	44.2	78.2	
20万DWTB	3.8	8.5	15.2	20.4	45.3	81.6	
27.5万DWTB	5.2	9.2	16.3	39.0	68.3	121.5	

㉔ 潮流による流圧に対応できること。

潮流は、Great Bitter Lake 以南で、最高4kt/h(2.16kt)に達し、大型タンカー等の緑船に大きな影響がある。

船首尾線方向の流圧は、船の制動、停止距離に影響を及ぼす、また横方向の流圧は、リーウェイを生じ、それが大きくなると保針困難となることがある。

船型別流圧表 (1/4 load)(ton)

船 型	前後方向	横 方 向	前後方向	横 方 向
5万DWT	0.5	8.2	1.8(6)	30
7.5 "	0.6	9.8	2.2(7.5)	36
10 "	0.8	14	2.6(8)	43
13.5 "	0.93	15.5	3.2(10)	52.5
20 "	1.2	19.5	4.0	66
27.5 "	1.6	26.2	5.6	82

() Full load の場合

㉕ 運河航行に最小限何隻、何馬力のTug boat を使うかは、船型、喫水、運河の地形、形状、水深、風、潮力等の要素が相互に深く関わっていることから、一律に決定することが非

常に困難である。

しかし、こゝであえて船型に応じた必要な Tug-boat の隻数を求めると次の表のとおりである。

前提条件

風：最大 12 m/sec の正横方向の風とする。

潮：流れは水路に平行で最大 2 kt とする。

Tug-boat の必要隻数

船 型	5 kt 航行中の船体抵抗	風 (横) 12 m	潮流 2kt (前後)	合 計 (ton)	tug-boat 必要隻数
5万DWT	26.3	13.2	6	45.5	1 隻
	(14.0)	(22.5)	(1.8)	(38.3)	1 隻
7.5万DWT	33.3	18.0	7.5	58.8	2 隻
	(19.2)	(30.6)	(2.2)	(52.0)	" 隻
10万DWT	40	18.7	8	66.7	2 隻
	(21.6)	(31.8)	(2.6)	(56.0)	1 隻
13.5万DWT	49.5	26.0	10	85.5	2 隻
	(26.4)	(44.2)	(3.2)	(73.8)	" 隻
20万DWT	(34)	(45.3)	(4.0)	(83.3)	2 隻
27.5万DWT	(40)	(68.3)	(5.6)	(113.9)	3 隻

但し、Tug boat は 3000HP (duck propeller) Bollard pull 45ton とする。() は 1/4 Load condition

従って

船 型	満 載 航 行		空 積 航 行	
6万DWTまで	3000HP級以上	1 隻	3000HP級以上	1 隻
6-15万DWT	"	2 隻	"	2 隻
20万DWT以上			"	3 隻

上記の能力を有する tug-boat 隻数を、確保する必要がある。

なお、Tug-boat の隻数と風、潮は、相関関係にあるので、タグの隻数を減ずれば、当然大型タンカーの運河の通航停止条件 (風力、潮流) を厳しくする必要がある。

(3) 大型タンカーの船間間隔

前述のとおり、大型タンカーの運河通航に当っては、エスコートタグとして、3000 HP以上 2 隻が常時アテンドするものと仮定すると、その際の大形タンカーの停止距離は 4~6 l. となる。Convoy における船間々隔を考える場合には、船の操縦性能、Pilot の能力 Tug-boat の能力・隻数、積荷の危険性、事故の態様、事故時の自然条件、通信に要する時間等の要素を慎重に検討されねばならない。

その際、最も重要な点は、現場に働くパイロットの意見を十分に尊重することであろう。

以上よりして、停止距離の安全係数を2とすると15万DWTタンカーの停止距離は、

$$12L \div 3480m$$

となり、従って船間々隔16.6分となる。

一方、現行の放射性物質積載船の船間々隔20分4ka、積載タンカー(16,000トン以上)は、16分3.5kmとなっている。

よって、VLCCについても、他のタンカーグループと同一の時間々隔16分3.5kaとして、統一にすることが管制上もパイロットにも好都合だろう。

東京湾における航路管制においても、VLCCの船間々隔は15分としており、この間隔でほぼ満足する結果が得られている。

5-3-2 運河通航方式

1) 容量増加のための諸方式

運河の通航容量を増大させる方策としては、運河の複線化以外に本篇の4-4で検討したように

- ①通航サイクル・タイムを増加させる方式(36hr-cycle or 48hr-cycle)
- ②小型船の対面交通を許容する方式
- ③速力をアップさせる方式
- ④船間間隔を短縮させる方式

等があげられる。

このうち、③の速力をアップさせる方式は、制限水路では速力に限界があることから技術的に難しく、この技術的課題を解決して速力の増加をはかっても、大巾な容量増は期待できないことが、本篇の4-4の検討結果から明らかである。また仮りに速力の増大をはかってもコンボイの中に1隻でも速力の遅い船があれば、後続する船はこの速力に合せざるを得ず、速力増大の効果は薄い。むしろNavigation Rulesで定めた速力をコンボイ全体が保速できるように、速力の遅い船は途中待避させるためのgarageを運河内部の随所に整備すべきである。

④の船間々隔を短縮させる方式は、航行管理体制が充実してゆけば、ある程度可能である。現在の船間々隔は、日本における航行条件例からすると、制限水路という特殊条件を考慮しても余裕がある。第1期計画後稼動するSCVTMSが信頼し得るようになれば、ある程度の船間々隔の短縮はさせ得るであろうが、これも速力調節が比較的容易な小型の一般貨物船に限られるべきであろう。

③の小型船の対面交通を許容する方式は、容量増にはかなり効果的な方式である。4-4でのテストでは、7,000DWT以下の船舶(コンテナ船およびタンカーを除く)に限ったが、現在の運河巾員では一時的な突風等を考慮すると決して十分な巾員と言えない。航行安全の向

上を目ざす観点からは、むしろ逆行する方式であり、運河内の航路標識の設置などはかなり複雑になることが予想され、むしろ今後の検討課題と言える。

①の通航サイクル・タイムのSpanを長くする方式は、現在の運河に大巾に手を加えることなく、容量増が期待できる効果的な案である。しかし本方式の導入は、利用者にとってはいろいろな面においてサービス水準の低下を招く。第1の問題は、Port Said および Suez におけるコンボイ編成待時間の増大である。第2は、運河の両端地での出発時刻が、36hr-cycle systemの時には、24hr-cycleの場合のように毎日一定していないことである。したがって利用者に混乱を招く恐れがある。第3はタンカー、LNG、LPG船のような危険物を搭載した船は、出来る限りday timeに運河通航させるのが、航行安全上望ましいが、36hr-cycleの場合は、この措置が1日おきに不可能であり、48hr-cycleの場合にはSuezで待機するタンカー隻数が増加するので、タンカーのコンボイが大きくなり、day time 通航の措置が難しくなってしまう。以上のほかにも、いろいろな不便が予想されるが、SCAにとって打撃となるのは大型タンカーは待時間が増えると、スエズ運河を利用するよりケープ経由を選択し、結果的にSCAの運河収入が減少する恐れがある。

以上のほかにも、SCAにとっては定着している24hr-cycle systemを変えることに伴う労務管理、航行補助施設の増強等の複雑な問題も予想される。

運河の国際的役割からしても、利用者に対して従来に劣るサービスを強要すべきでなく、むしろサービスの向上をはかるべきである。

したがって、通航サイクル・タイムのspanを長くする方式は、運河通航の恒常的な方式とすべきでなく、4-4で検討したように、運河内に事故が発生したり天候不順等の理由により、Port Said および Suez 側に大量の船が待船したような特別の場合に対する暫定方式として活用すべきであろう。このような方式を弾力的に活用することこそ、運河利用者に対する大きなサービス水準の向上といえる。

2) 第Ⅱ期計画完成後の通航方式

第Ⅰ期計画完成後の通航方式は、従来どおりの北航1コンボイ(ノン・ストップ)南航2コンボイの方式を継続することとなるが、第Ⅱ期計画では、Phase IのStep1から図6-3-5に示すように南航コンボイの1部にノン・ストップ・コンボイを走らせることが可能となる。したがって南航コンボイを次のようにグループ分けして運用することができる。

S-1: 一般船, Bulk Carrier (途中 Bitter Lake で待機)

S-2: タンカー, コンテナ船 (ノンストップ)

さらにPhase Iが完成すれば、南航コンボイはすべてノン・ストップで走航でき、航行条件は第Ⅰ期計画に比して大巾に改善される。

但し、Phase Iの段階ではNew Port Said Bypassに隣接する西側水路は完成していないので、南航のULCCや大型コンテナ船は北航船がNew Port Said Bypassを通過する前

に、この Bypass を利用して南航することになる。その他の船は、従来どおり、Port-Said Harbour の中で待機して、ULCC や大型コンテナ船が km16 地点を通過した後、引続き Port Said Channel から km16 地点に進入してゆくこととなる。

新しい通航方式が採用されると Ballah Bypass および Bitter Lake で南航船は待機する必要がなくなり、Bitter Lake は trouble が発生した時の待避場所として活用されることになる。その意味からも Bitter Lake 内の待機泊地の整備は今後必要ない。

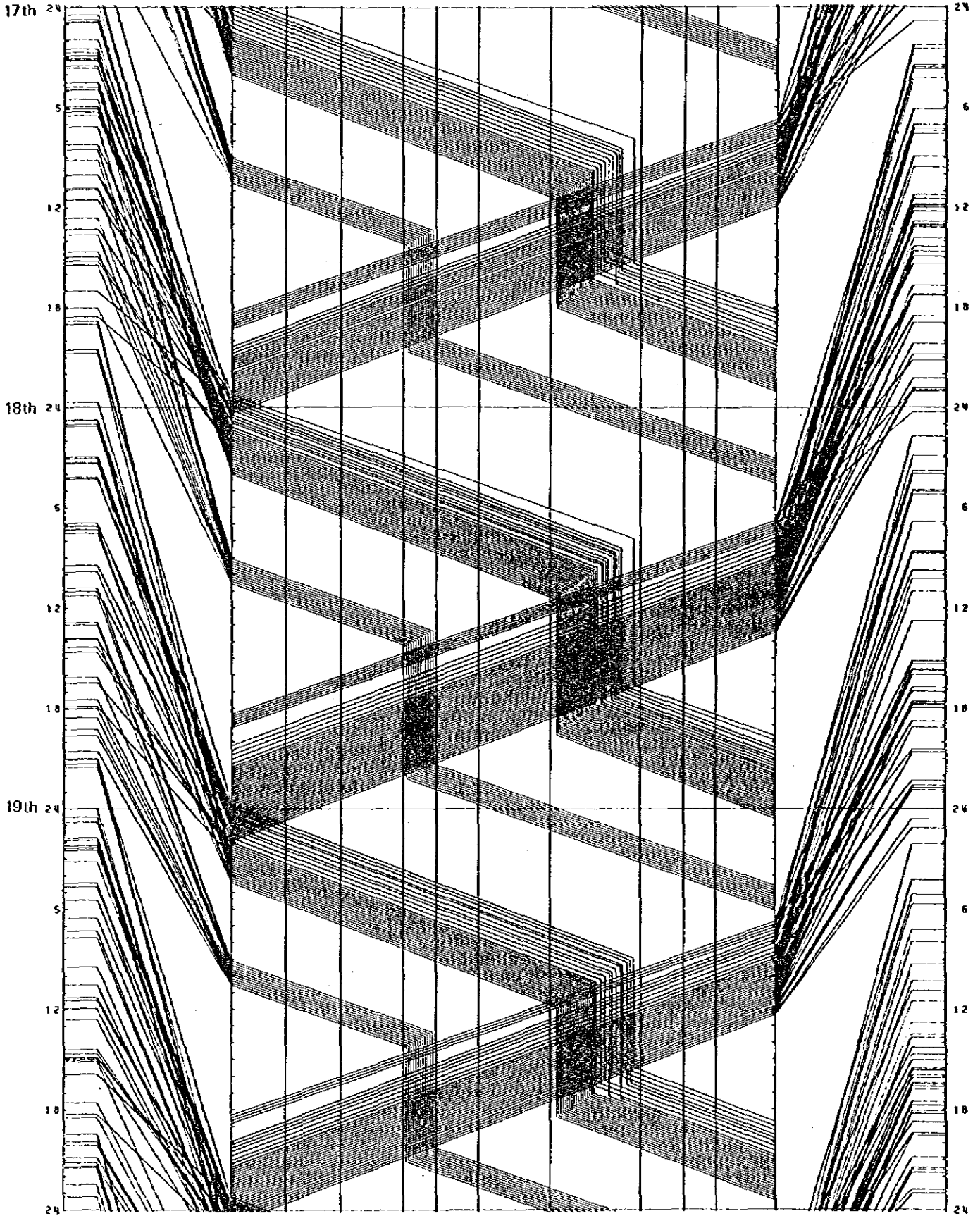


図7-A-1 シミュレーションによるコンポジットダイアグラム
(Existing Canal, 1984)

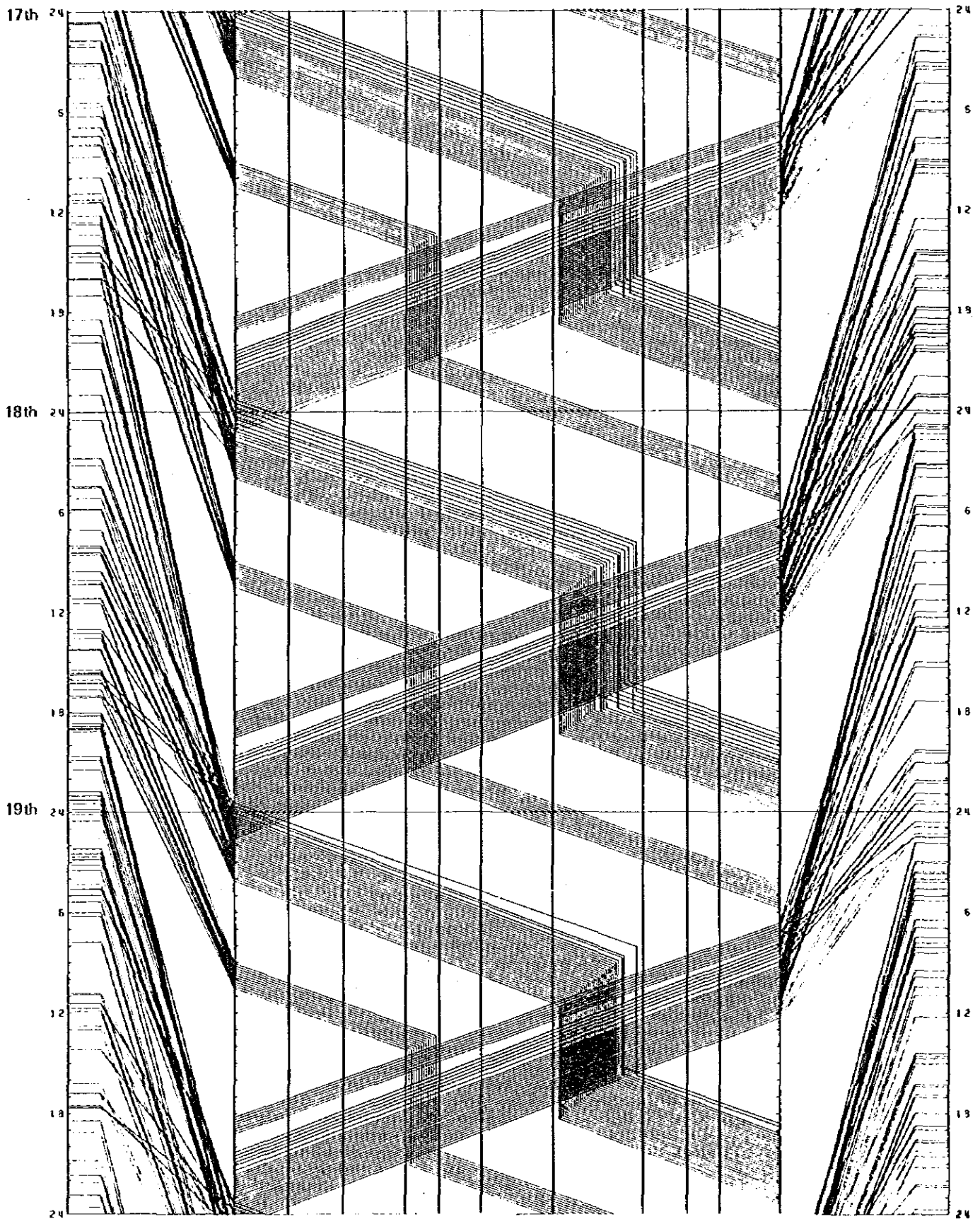


図7-A-2 シミュレーションによるコンポジットダイアグラム
(Existing Canal, 1984)

1984

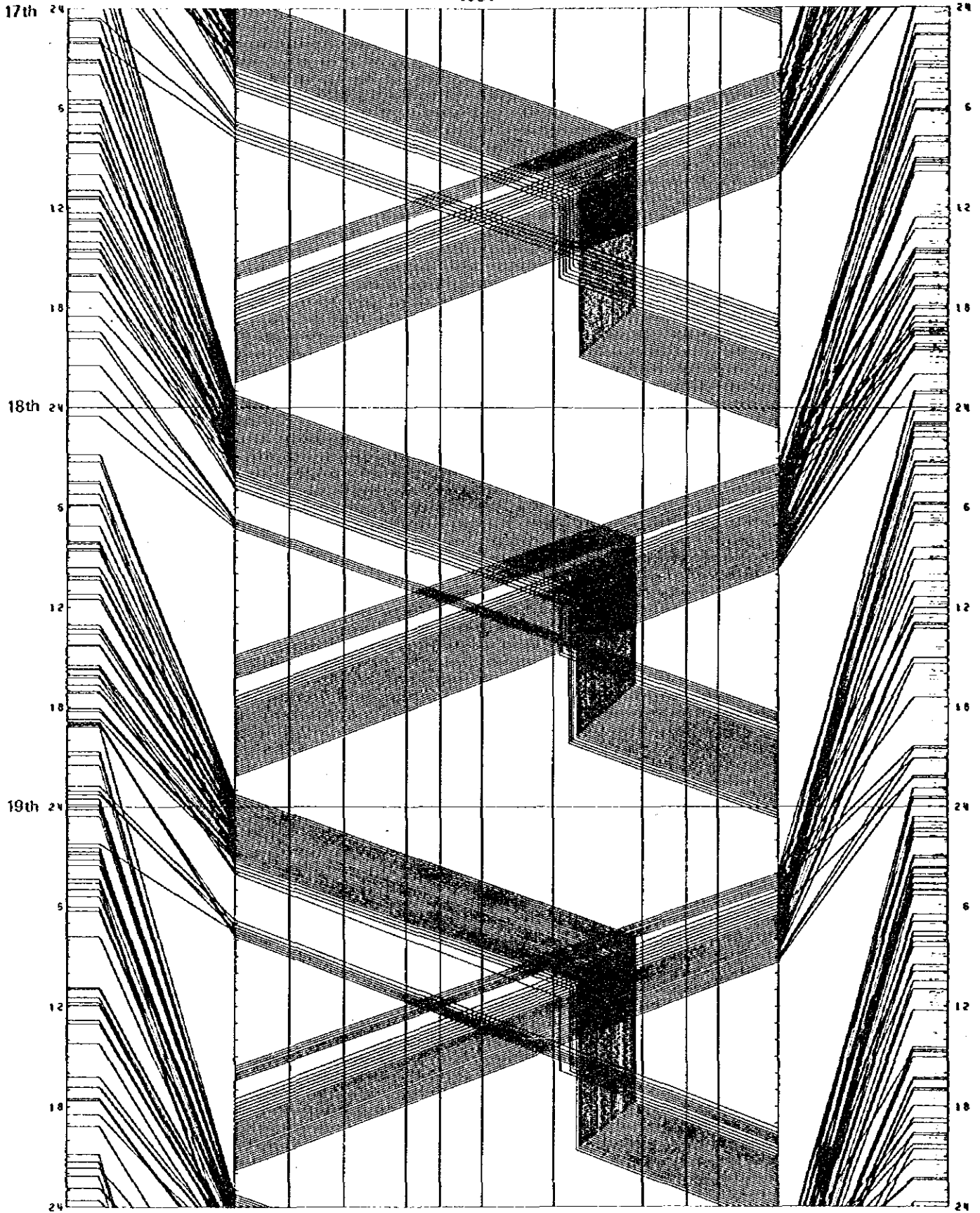
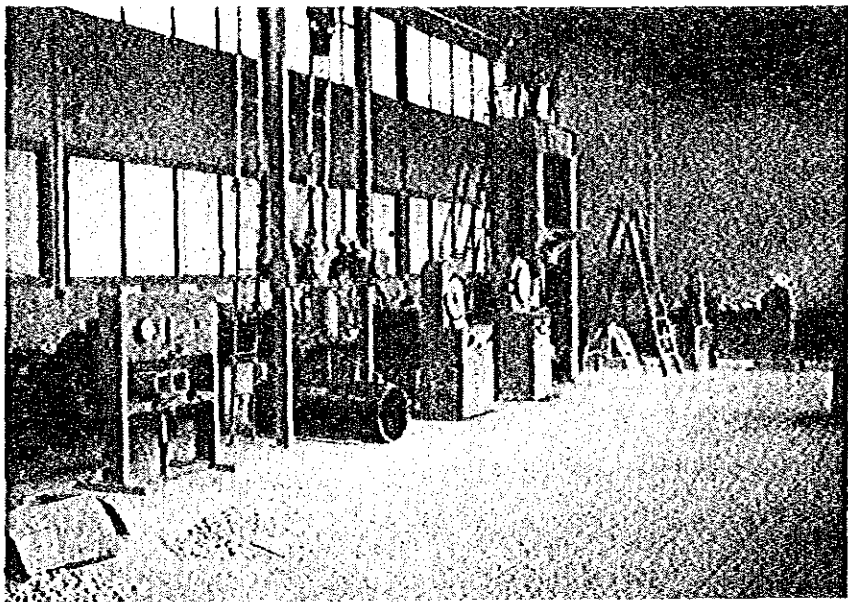


図7-A-3 シミュレーションによるコンポジットダイアグラム
(Step 1, Phase I, 1984)



VIII. 技術的検討

第Ⅷ編 技術的検討

ここでは、スエズ運河の開発に伴って生ずる、種々の技術的問題について検討する。これまで述べたように、将来の通航需要の増大に対応するため、運河は断面拡大あるいは、複線化される。Ⅱ期計画では、通航可能最大船型は満載タンカー約15万DWT、マスター・プランでは約30万DWTに増大する、又それぞれ0~135km、全延長、に亘って複線化される。これに伴ない満載タンカーが通航する東側水路はⅡ期計画で、水深19.5m、断面積約3500m²、マスタープランで24.0m、約5500m²に増深、拡大される。これらの通航船舶の船型の大型化、および運河の断面拡大、複線化は、通航船舶の操船性、運河断面の安定性等に新たな問題を引き起す。このうち主なものとしては、i) 大型船の航行によって主ずる運河内の水理現象、ii) 超大型タンカーの制限水路に於ける操船性、およびその運河断面諸元との関係、iii) 断面拡大および複線化による運河内の潮流、潮位の変化、iv) 増深による運河断面の安定性、v) 通航船舶の大型化、隻数の増加、および運河断面の拡大による運河埋没量の変化、等が挙げられる。

上記の問題点については、既にスエズ運河第Ⅰ期開発に先だって、詳細な検討が行なわれている。

例えば、"Development of Suez Canal Feasibility Study": Coopers & Lybrand Associates Ltd. Maunsell Consultants Ltd. および "Suez Canal Development Feasibility Study": Sogreah, 等では、今回提案するⅡ期およびマスター・プランの運河断面について、水理模型および数値解析等により、技術的な問題点を広い分野に亘り詳細に検討している。今回の調査の主目的はⅠ期工事完成後の最適開発計画を検討することであり、従って特に技術的問題に関しては、既往の研究結果に準じて運河の開発計画を立案している。

以下、今回提案した運河断面について、その設計の基本的な考え方を、既往の研究成果等から Review し、又今回新たに行なった検討結果について述べる。

第 1 章 船舶航行に伴なう水理現象

船舶の航行に伴ない運河内には種々の水理現象が生じる。これらは、航行船舶の船型、船速および運河断面によって異なり、最終的には、運河法面、護岸等に作用してその安定性に影響を及ぼす。船舶の航行によって生ずる主な水理現象としては、i) 航行船舶両側の水面低下、ii) 戻り流れ、iii) 航跡波等がある。以下、Ⅱ期計画及びマスター・プランの運河断面について、それぞれの対象航行船舶に対して航行時の水理現象を検討し、将来の運河断面の安定性について検討する。

1-1 水面低下

船舶の航行により、船首側の水は排除され、船尾側に補償流として戻る、これは戻り流れと称される。この際船舶の両側の水位は低下する。この船舶航行時の一時的な水位の低下は、護岸法面に対して背後の水圧の増大をもたらす、Berm 上には天端水深が浅い場合、段波を発生させる。又運河法面全体の円形すべりに対しては残留水位の増大により危険側に作用する。

先に述べた研究例によれば、船舶航行時の水面低下量 Δd は船速 V_s と Area Ratio R_a の関数として次式で表わされる。

$$\Delta d = \frac{88}{R_a^{14}} \cdot \frac{V_s^2}{2g} \doteq 0.449 \frac{V_s^2}{R_a^{14}} \quad \dots\dots(1)$$

ここに g …… 重力の加速量 ($9.8m/sec^2$)

図 8-1-1 および表 8-1-1 に水面低下量と船速、Area Ratio との関係を示す。水面低下量は、船速の増大、Area Ratio の減少によって、増大する。

図によれば、今回の調査で設定した条件のうち最も厳しい、西側水路での Area Ratio 17 船速 $14kn/h$ に対する水面低下量は約 80 cm となる。これは最大船舶に対する値であるが、通航頻度の高い小型船の場合には、Area Ratio が大きくなるため水面低下量は小さくなる。

表 8-1-2 に、運河の開発段階別に最大船および頻度の高い船舶として 10,000 DWT 級一般貨物船に対する水面低下量を示す。これによれば、Ⅱ期計画およびマスター・プランでは、Ⅰ期工事前の運河断面よりも Area Ratio が、4.0 から 4.7~4.8 と大きく採られているため、最大船に対する水面低下量は約 15 cm 小さくなり、又 10,000 DWT 級の一般貨物船に対しては、Ⅰ期工事前の約 20 cm から 7 cm (Ⅱ期)、 5 cm (マスター・プラン) に低下している。これは結果として、護岸裏込土砂の水圧差による吸い出しを減少させることになり、護岸の安定性はⅠ期工事前よりも向上するものと考えられる。

又、既往の研究によれば、船舶の航行による水面低下は、Berm 上の水深が浅い場合 Berm 上

に段波を発生させることが指適されており、実験結果より Berm 上の水深と波の発生の関係を示す次式が提案されている。

段波の発生を防ぐためには Berm 上の水深 db を

$$db > \frac{V_s^2}{g} \left\{ \frac{4.4}{Ra^{1.4}} + \frac{1}{1.7^2} \frac{Ra}{(Ra-1)^2} \right\} \quad \dots\dots (2)$$

いかなる波の発生をも防ぐためには

$$db > \frac{V_s^2}{g} \left\{ \frac{4.4}{Ra^{1.4}} + \frac{Ra^2}{(Ra-1)^2} \right\} \quad \dots\dots (3)$$

と採ればよい。

上式中、右辺第1項は、水面低下量を表わすものであり、Berm 上の水深は、水面低下量に第2項で示される値を加えて採ればよいことを示している。第2項は、船速と戻り流れの流速の和の二乗であり(2)式と(3)式では約3倍の差がある。Berm 上での波の発生特性を表8-1-1に示す。これらは、前に述べた水面低下量と同じような傾向を示すが、Area Ratio が小さい領域での変化が異なる。前と同様、西側水路に於ける Berm 上の水深はそれぞれ

1.5 m (段波の発生を阻止)

3.0 m (いかなる波の発生も阻止)

が得られる。

これらは、I期工事前の所要水深よりも約20cm小さい。Berm 上で発生する波は、護岸法面およびBank 法面上部の安定性に対する影響が大きく、少なくとも段波が発生しない水深を確保すべきである。

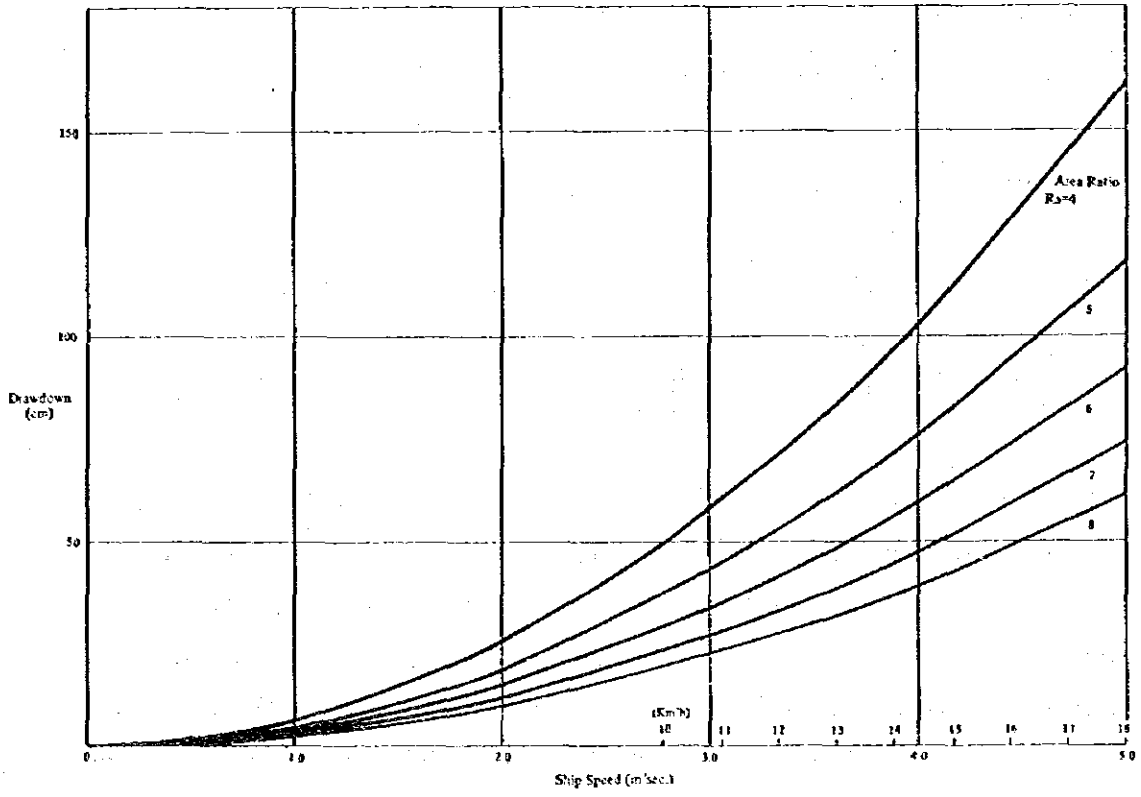


図 8 - 1 - 1 船体沈下と船速

表 8 - 1 - 1 船舶航行時の水理現象

Drawdown (m)											Velocity of Return Current (m/sec)													
Vs		Ra										Vs		Ra										
		10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	
3.00	3.00	2.24	2.20	1.87	1.26	1.46	1.67	1.91	2.15	2.41	2.69	2.98	3.28	1.39	1.53	1.67	1.81	1.94	2.08	2.22	2.36	2.50	2.64	2.78
3.50	3.50	3.68	0.73	0.55	1.01	1.18	1.35	1.51	1.73	1.94	2.16	2.40	2.52	1.11	1.22	1.32	1.44	1.56	1.67	1.78	1.89	2.00	2.11	2.22
4.00	4.00	0.58	0.69	0.72	0.84	0.98	1.12	1.27	1.44	1.61	1.88	1.59	4.00	0.53	1.02	1.21	1.38	1.58	1.39	1.48	1.57	1.67	1.76	1.85
4.50	4.50	0.42	0.51	0.61	0.71	0.83	0.95	1.06	1.22	1.37	1.52	1.69	4.50	0.79	0.87	0.95	1.03	1.11	1.19	1.27	1.35	1.43	1.51	1.59
5.00	5.00	0.26	0.44	0.52	0.62	0.71	0.82	0.93	1.05	1.18	1.31	1.46	5.00	0.69	0.76	0.83	0.90	0.97	1.04	1.11	1.18	1.25	1.32	1.39
6.00	6.00	0.28	0.34	0.41	0.49	0.55	0.63	0.72	0.81	0.91	1.02	1.13	6.00	0.56	0.61	0.67	0.72	0.78	0.83	0.89	0.94	1.00	1.06	1.11
7.00	7.00	0.23	0.27	0.33	0.39	0.45	0.51	0.58	0.66	0.74	0.82	0.91	7.00	0.46	0.51	0.56	0.60	0.65	0.69	0.74	0.79	0.83	0.88	0.93
8.00	8.00	0.19	0.23	0.27	0.32	0.37	0.42	0.48	0.54	0.61	0.68	0.75	8.00	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.63	0.67	0.71	0.75	0.79
9.00	9.00	0.16	0.19	0.23	0.27	0.31	0.36	0.41	0.46	0.52	0.59	0.64	9.00	0.35	0.38	0.42	0.45	0.49	0.52	0.56	0.59	0.63	0.66	0.69
10.00	10.00	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.31	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	10.00	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.52	0.56	0.59	0.62
15.00	15.00	0.03	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25	0.28	0.31	15.00	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
20.00	20.00	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	20.00	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26	0.28	0.29
25.00	25.00	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	25.00	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23
30.00	30.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	30.00	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
Required Depth on Berm to avoid all wave (m)											Required Depth on Berm to avoid surge wave (m)													
Vs		Ra										Vs		Ra										
		10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	
3.00	3.00	2.52	3.04	3.62	4.25	4.93	5.66	6.44	7.27	8.15	9.08	10.06	3.00	1.36	1.64	1.95	2.29	2.66	3.05	3.47	3.92	4.40	4.90	5.43
3.50	3.50	2.14	2.55	2.95	3.62	4.30	4.92	5.49	6.19	6.94	7.74	8.57	3.50	1.13	1.37	1.63	1.92	2.22	2.55	2.90	3.29	3.67	4.09	4.53
4.00	4.00	1.98	2.39	2.73	3.21	3.72	4.27	4.86	5.43	6.15	6.85	7.59	4.00	0.92	1.19	1.41	1.65	1.92	2.21	2.51	2.84	3.19	3.54	3.93
4.50	4.50	1.72	2.09	2.48	2.91	3.39	3.98	4.41	4.98	5.58	6.22	6.89	4.50	0.87	1.06	1.26	1.47	1.71	1.96	2.23	2.52	2.83	3.15	3.49
5.00	5.00	1.59	1.93	2.28	2.69	3.12	3.59	4.03	4.61	5.17	5.76	6.38	5.00	0.79	0.96	1.14	1.33	1.55	1.78	2.02	2.28	2.56	2.85	3.16
6.00	6.00	1.42	1.71	2.04	2.39	2.77	3.19	3.62	4.09	4.59	5.11	5.66	6.00	0.67	0.82	0.97	1.14	1.32	1.52	1.73	1.95	2.19	2.43	2.70
7.00	7.00	1.38	1.57	1.87	2.20	2.55	2.92	3.33	3.75	4.21	4.69	5.26	7.00	0.60	0.72	0.86	1.01	1.17	1.35	1.53	1.73	1.94	2.16	2.39
8.00	8.00	1.22	1.47	1.75	2.06	2.33	2.74	3.12	3.52	3.94	4.33	4.87	8.00	0.54	0.65	0.78	0.92	1.07	1.22	1.39	1.57	1.76	1.97	2.18
9.00	9.00	1.16	1.40	1.67	1.95	2.27	2.60	2.96	3.34	3.75	4.17	4.63	9.00	0.50	0.61	0.73	0.85	0.99	1.14	1.29	1.46	1.64	1.82	2.02
10.00	10.00	1.11	1.34	1.60	1.88	2.18	2.50	2.84	3.21	3.60	4.01	4.44	10.00	0.47	0.57	0.68	0.80	0.93	1.07	1.21	1.37	1.54	1.71	1.92
15.00	15.00	0.39	1.15	1.41	1.66	1.92	2.21	2.51	2.84	3.18	3.55	3.93	15.00	0.39	0.47	0.56	0.66	0.77	0.88	1.00	1.13	1.27	1.41	1.56
20.00	20.00	0.32	1.12	1.33	1.56	1.81	2.08	2.37	2.67	3.00	3.24	3.70	20.00	0.35	0.43	0.51	0.60	0.69	0.80	0.91	1.02	1.15	1.28	1.42
25.00	25.00	0.29	1.09	1.29	1.51	1.75	2.01	2.28	2.58	2.83	3.22	3.57	25.00	0.33	0.40	0.48	0.55	0.65	0.75	0.85	0.96	1.08	1.21	1.34
30.00	30.00	0.27	1.06	1.26	1.47	1.71	1.96	2.23	2.52	2.83	3.15	3.49	30.00	0.32	0.39	0.46	0.54	0.63	0.72	0.82	0.93	1.04	1.16	1.28

Vs; Ship Speed (km/h) Ra; Area Ratio

表 8 - 1 - 2 船体沈下と船型

(Ra....Area Ratio) Unit: m

Stage	First Stage	Second Stage	Master Plan
Ship (Max.)	0.84 (Ra = 4.0)	0.65 (Ra = 4.8)	0.65 (Ra = 4.8)
Ship (10,000 DWT)	0.20 (Ra = 11)	0.07 (Ra = 23)	0.05 (Ra = 30)

Ship (10,000 DWT) 10,000 DWT class ship is of the highest frequency of transiting the Canal.

Ship (Max.).....First Stage 60,000 DWT Tanker
 Second Stage 150,000 DWT Tanker
 Master Plan 250,000 DWT Tanker

1-2 戻り流れ

運河内を航行する船舶の前方の水は、船舶の前進により排除されて後方に流れる、これが戻り流れである。従って戻り流れの平均流速 V_r は、簡単には次式で表わされる。

$$V_r = \frac{V_s}{(Ra-1)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

最大流速は実験結果によれば、平均流速のほぼ2倍に達し、船の延長上ほぼ中央付近で発生する。又流向は、船舶の前方では、運河中から外側に向い、後方では渦を伴って内側に向う。図8-1-2および表8-1-1に戻り流れの流速と船速、Area Ratioの関係を示す、表8-1-3は開発段階別に船型の差による戻り流れの違いを示したものである。これによれば、戻り流れはArea Ratioによって大きく変化し、I期前に比べII期およびマスター・プランでは、例えば $V_s=14\text{km/h}$ の場合最大船に対して流速 1.2 m/sec から 1.0 m/sec に減少する。又 $10,000\text{ DWT}$ 級の一般貨物船に対する戻り流れは、I期前で 0.4 m/sec 、II期で 0.2 m/sec マスター・プラン時では 0.1 m/sec と最大船に対し非常に小さい。戻り流れは、激しい渦を伴うものであり既往の研究例でも指摘されているように、運河の漂砂による埋没の主要な原因である。これについては、II期およびマスター・プラン時の運河断面ではI期前よりも戻り流れの流速は減少しており、特に問題はないものと考えられる。

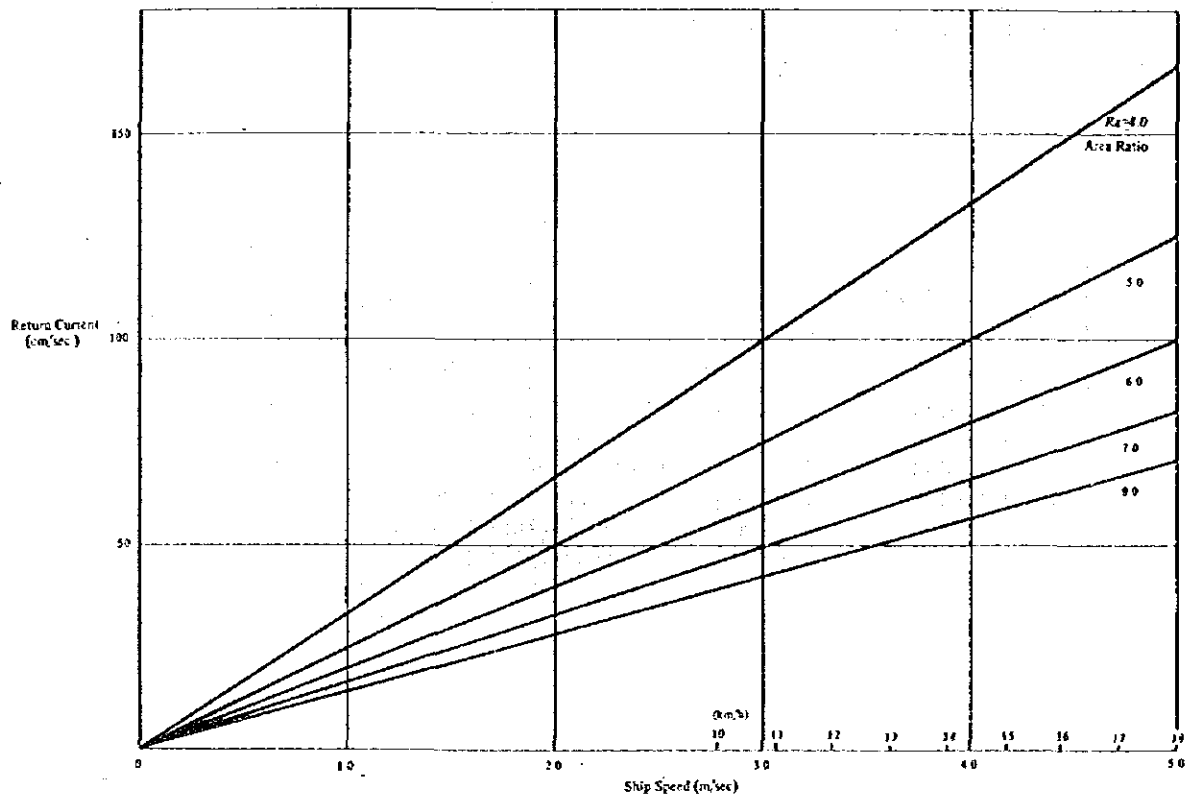


図8-1-2 戻り流れ

表 8-1-3 戻り流れ

Ship Size \ Stage	First Stage	Second Stage	Master Plan
Ship (Max.)	120	95	95
Ship (10,000 DWT)	36	17	13

1-3 航跡波

航跡波は水面低下とともに、護岸法面の安定に大きな影響を及ぼす。航跡波は、前述の水面低下や戻り流れと異なり、Area Ratio には関係せず、船速、船長の関数として、次式で表わされる。

$$H_{smax} = 0.73 \frac{V_s^4}{g L_s} = 0.0076 \frac{V_s^4}{L_s} \quad \dots\dots(5)$$

ここに、 H_{smax} ……航跡波の最大値（平均波高の約 1.3 倍）
 L_s ……船長

(5)式で明らかのように、航跡波の波高は船長の短い小型船によって生じるものの方が大きい、Ⅱ期およびマスター・プラン時には小型船についても大巾な通航隻数の増加が予測されており、護岸の維持管理に十分留意する必要がある。図 8-1-3、表 8-1-4 に航跡波の特性を示す。

表 8-1-4 航跡波

$V_s \setminus L_s$	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	100,000	150,000	200,000	250,000	300,000	350,000	400,000
10,000	0.045	0.023	0.015	0.011	0.009	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
11,000	0.065	0.033	0.022	0.017	0.013	0.007	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
12,000	0.094	0.047	0.031	0.023	0.019	0.009	0.006	0.005	0.004	0.004	0.003	0.002
13,000	0.129	0.065	0.043	0.032	0.026	0.013	0.009	0.006	0.005	0.004	0.004	0.003
14,000	0.174	0.087	0.058	0.043	0.035	0.017	0.012	0.009	0.007	0.006	0.005	0.004
15,000	0.229	0.115	0.076	0.057	0.046	0.023	0.015	0.011	0.009	0.008	0.007	0.006
16,000	0.297	0.149	0.099	0.074	0.059	0.030	0.020	0.015	0.012	0.010	0.009	0.007
17,000	0.378	0.189	0.126	0.094	0.076	0.038	0.025	0.019	0.015	0.013	0.011	0.009
18,000	0.475	0.239	0.159	0.119	0.095	0.049	0.032	0.024	0.019	0.016	0.014	0.012
19,000	0.598	0.295	0.197	0.147	0.118	0.059	0.039	0.029	0.024	0.020	0.017	0.015
20,000	0.724	0.362	0.241	0.181	0.145	0.072	0.049	0.036	0.029	0.024	0.021	0.018

L_s : Ship Length (m) V_s : Ship Speed (km/h)

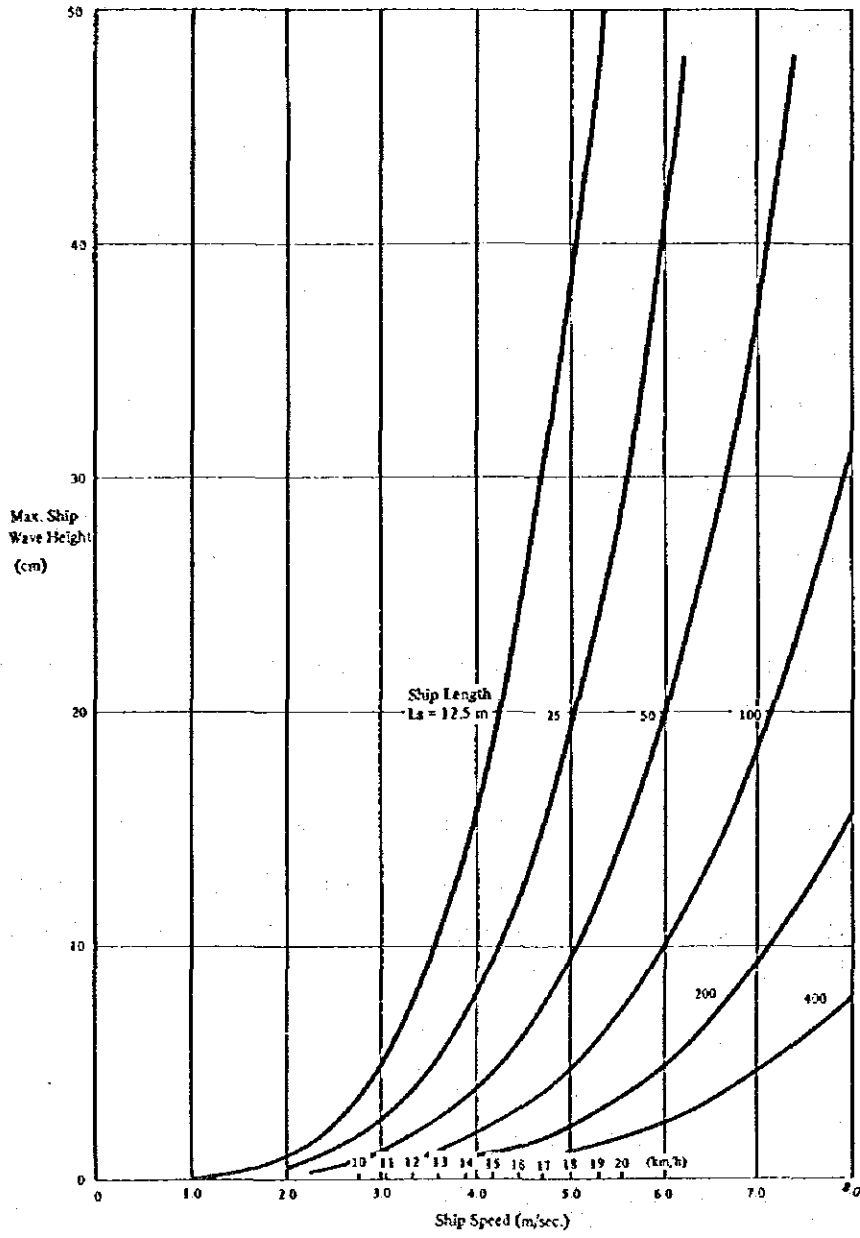


图 8-1-3 航 跡 波

第2章 運河断面に関する一般的検討

スエズ運河の断面決定には、制限水路であるため、通常のOpen Sea に於ける航路とは異なった配慮が必要である。断面決定に影響する要因としては、1) 通航船舶の特性 2) 運河沿いの自然条件 3) 通航船舶の操船性および航行時の水理現象等がある、このうち3)は、Open Sea とは非常に異なった特性を有する。運河断面諸元の決定法は、過去の通航経験あるいは、水理実験等による解析結果から詳細な検討がなされており、現在ほぼ確立されたものとなっている。運河断面決定に至る過程を要約すれば、次の通りである。

- ① スエズ運河の通航が予想される最大船舶を決定する。
- ② 運河水深は最大船舶の吃水に余裕水深を加えたものを採る。
- ③ 所要の航路巾を確保する。
- ④ ③で得られた運河の断面積と最大船の浸水断面積の比が所定の値を下回る場合には運河巾を広げる。

以上のうち④の過程は、制限水路に於ける船舶の走行抵抗の増大を考慮したものである。

2-1 通航船舶の標準船型

運河を通航する船舶の諸元、(吃水、船巾、船長等)は、運河断面を決定する要素のうち、最も重要なものである。運河断面の設計法を検討するに先だち、ここでは通航船舶の船型について、その概略を検討する。スエズ運河を通航する船舶のうち最大のものはタンカーであり、これによって運河断面が決定される、又最も通航頻度の高い船種は一般貨物船であり、これは護岸等の安定性に大きな影響を及ぼす。タンカーおよび一般貨物船の標準的な船型を表8-2-1に示す、タンカーについては300,000 DWTを境に船型の特性が異なっている。表8-2-1から船舶の吃水、船巾、船長とDWTとの関係を示す次式が得られる。

1) タンカー 100,000~300,000 DWT

$$\text{満載吃水} = -58.08 + 6.32 \ln \text{DWT} \quad \dots (6)$$

$$\text{船 巾} = -110.79 + 13.06 \ln \text{DWT} \quad \dots (7)$$

$$\text{船 長} = -729.00 + 86.34 \ln \text{DWT} \quad \dots (8)$$

2) タンカー 300,000 DWT~

$$\text{満載吃水} = -79.08 + 8.21 \ln \text{DWT} \quad \dots (9)$$

$$\text{船 巾} = -205.34 + 20.41 \ln \text{DWT} \quad \dots (10)$$

$$\text{船 長} = -943.86 + 101.40 \ln \text{DWT} \quad \dots (11)$$

3) 一般貨物船

$$\text{満載吃水} = -10.63 + 2.08 \ln \text{DWT} \quad \dots (12)$$

$$\text{船 巾} = -26.96 + 5.10 \ln \text{DWT} \quad \dots (13)$$

$$\text{給 長} = -254.57 + 43.66 \ln \text{DWT} \quad \dots\dots 00$$

上式のうち、300,000DWT以上のタンカーの船型についてはデータが少ないため算定値の信頼性は薄い、従って運河の設計には現存するタンカーの実際の値を用いるべきであろう。

表8-2-2に式(6)~(4)による算定値および満載時の船舶の浸水断面積を示す。

表8-2-1(a) タンカーの船型

DWT (t)	Length (m)	Breadth (m)	Draft (m)	B x D (m ²)
10,000	139	19.0	8.1	153.9
20,000	171	23.8	9.8	233.2
30,000	194	27.2	10.9	296.5
40,000	211	29.9	11.7	349.8
50,000	226	32.1	12.5	401.3
70,000	250	35.9	13.6	488.2
100,000	270	39.0	14.6	569.4
150,000	291	44.2	17.9	791.2
200,000	325	47.2	19.0	896.8
250,000	348	51.8	20.0	1103.6
332,000	345	53.3	24.8	1321.8
373,000	347	54.5	27.1	1477.0
484,000	379	62.0	28.2	1748.4

表8-2-1(b) タンカーの船型

DWT (t)	Length (m)	Breadth (m)	Draft (m)
100,000		40	Laden 14.65
130,000		44	16.15
190,000		48	18.30
250,000		52	20.45
300,000		54	22.0
360,000		60	24.4
250,000	340	52	Ballast 11.40
330,000	350	55	12.80
400,000	370	60	13.0
550,000	400	64	16.5

表 8-2-1(c) タンカーの船型

	DWT	Length (m)	Beam (m)	Depth (m)	Draft (m)
General Cargo Carrier	700	51	8.5	4.6	3.8
	1,000	58	9.5	5.1	4.2
	2,000	74	11.7	6.3	5.1
	3,000	86	13.2	7.2	5.9
	4,000	95	14.4	7.8	6.4
	5,000	103	15.4	8.4	6.8
	6,000	124	16.9	9.5	7.2
	7,000	129	17.6	10.0	7.5
	8,000	135	18.3	10.4	7.8
	9,000	139	18.9	10.8	8.0
	10,000	144	19.4	11.2	8.2
	15,000	162	21.7	12.7	9.1
	20,000	177	23.4	13.8	10.0
	30,000	199	26.1	15.7	11.0
	40,000	217	28.3	17.2	11.9
50,000	232	30.0	18.4	12.7	

表 8-2-2 船型 (計算値)

Tanker 100000~300000 DWT					Tanker 300000 DWT ~					General Cargo Carrier				
DWT	L (m)	D (m)	B (m)	D·B (m ²)	DWT	L (m)	D (m)	B (m)	D·B (m ²)	DWT	L (m)	D (m)	B (m)	D·B (m ²)
100000.00	265.83	14.68	33.57	598.94	310000.00	335.27	24.73	52.73	1394.83	10000.	47.82	3.74	8.27	38.91
110000.00	273.26	15.28	40.81	627.88	320000.00	341.43	24.99	53.78	1333.97	20000.	77.29	5.18	11.52	61.15
120000.00	282.77	15.83	41.95	664.23	330000.00	344.61	25.24	54.81	1363.78	30000.	94.93	6.62	13.87	83.56
130000.00	287.68	16.34	43.02	702.54	340000.00	347.64	25.49	54.62	1392.87	40000.	102.55	6.62	15.34	101.57
140000.00	294.08	16.81	43.56	739.94	350000.00	352.58	25.73	55.21	1428.23	50000.	117.23	7.09	16.45	116.76
150000.00	298.03	17.24	44.86	773.65	360000.00	353.44	25.96	55.76	1447.98	60000.	125.25	7.46	17.41	129.95
160000.00	305.61	17.65	45.71	806.83	370000.00	356.22	26.18	56.74	1475.17	70000.	131.98	7.79	18.13	141.65
170000.00	310.84	18.04	45.59	838.62	380000.00	358.92	26.40	56.69	1521.88	80000.	137.91	8.06	19.87	152.19
180000.00	315.78	18.40	47.25	869.15	390000.00	361.55	26.61	57.42	1528.12	90000.	142.95	8.31	19.48	161.81
190000.00	320.44	18.74	47.95	893.52	400000.00	364.12	26.82	57.97	1552.92	100000.	147.55	8.53	20.81	170.66
200000.00	324.87	19.06	49.62	926.84	410000.00	366.62	27.03	59.44	1579.28	150000.	165.26	9.37	22.82	205.91
210000.00	329.06	19.37	49.26	954.17	420000.00	369.07	27.22	59.93	1604.23	200000.	177.82	9.97	23.55	231.75
220000.00	333.10	19.66	49.87	968.68	430000.00	371.45	27.42	59.41	1628.78	250000.	187.56	10.43	24.69	257.56
230000.00	336.94	19.95	50.45	1025.19	440000.00	373.79	27.61	59.69	1652.95	300000.	195.52	10.81	25.62	276.97
240000.00	340.61	20.21	51.02	1031.09	450000.00	376.06	27.79	60.34	1676.74	350000.	202.45	11.13	26.48	293.54
250000.00	344.14	20.47	51.54	1055.07	460000.00	378.25	27.97	60.79	1700.10	400000.	209.03	11.41	27.08	309.24
260000.00	347.52	20.72	52.05	1078.46	470000.00	380.47	28.15	61.22	1723.26	450000.	213.22	11.66	27.68	322.68
270000.00	350.78	20.96	52.54	1101.29	480000.00	382.61	28.32	61.65	1746.02	500000.	217.82	11.88	28.22	335.13
280000.00	353.92	21.19	53.02	1123.34	490000.00	384.78	28.49	62.08	1768.44					
290000.00	356.95	21.41	53.47	1144.91	500000.00	386.75	28.65	62.49	1790.55					
300000.00	359.88	21.62	53.92	1165.94										

L: Ship Length (m), D: Draft (m), B: Beam (m)

2-2 運河の所要水深

運河の所要水深は、最大対象船舶の吃水に、Squat Trim 余裕水深および埋没による水深減小を加えた値が採られる。

2-2-1 満載吃水

運河を通航する船舶の満載吃水は、最大対象船舶を決定し、表 8-2-2 あるいは、既存の船舶の諸元を用いる。本節では一般的な検討を行なうため表 8-2-2 の値を用いる。

2-2-2 Squat および Trim

航行中の船舶は、静止時の吃水よりも船体が沈下 (Squat) し、又船首尾方向に傾斜 (Trim) が生じる。Squat および Trim はいずれも Froude Number の関数であり、実験結果より次式で表わされる。

$$\text{Squat} = (1.43 \frac{V_s}{\sqrt{gh}} - 0.11) \frac{L_{pp}}{100} \quad \dots (5)$$

$$\text{Trim} = (0.57 \frac{V_s}{\sqrt{gh}} - 0.03) \frac{L_{pp}}{100} \quad \dots (6)$$

但し、上式は実験値のうち最大値を採ったもので、多少大き目の値を与える。

2-2-3 余裕水深

プロペラ効率の増大あるいは船舶の一時的な吃水の増加に対して通常余裕水深が見込まれる。余裕水深として、既往の値に準じて満載吃水の 5% を採れば、

$$\text{余裕水深} = 0.05 \times D_{full} \quad \dots (7)$$

2-2-4 埋没による水深減小

運河は、船舶の航行によって生じる戻り流れ、あるいは潮流によって埋没し、水深が減小する、従って運河の航行船舶に対する有効な水深は、浚渫深さから、埋没厚さを減じたものとなる。運河の埋没厚さは維持浚渫の間隔によって異なる、短い間隔で維持浚渫を行なえば、埋没厚さは小さくなり初期の浚渫深度は小さくてよい、一方頻繁な維持浚渫は船舶の通航に支障をきたし運河の運営上問題がある。ここでは、浚渫船の作業性を考慮し、運河の平均埋没厚さが 50 cm、局地的な変動を 2 倍とすれば最大埋没厚さが 100 cm に達する毎に維持浚渫を行なうものとする。一方運河の平均有効水深は、維持浚渫間隔の中間時点の水深、つまり浚渫深度から $50 \text{ cm} / 2 = 25 \text{ cm}$ を減じた値となる。

従って、運河の所要浚渫深度は、満載吃水, Squat, Trim, 余裕水深と埋没による水深の減少量の和として得られ、100,000~300,000DWT級のタンカーの場合、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \text{運河の所要浚渫深度} = & 1.05 \times (-58.08 + 6.32 \ln \text{DWT}) \\ & + (1.72 \frac{V^3}{\sqrt{gh}} - 0.13) \frac{L_{pp}}{100} + 1.00 \quad \dots\dots (8) \end{aligned}$$

運河水深は、通航船舶の船型によってほぼ決まるが、船速によってわずかに変る、この様子を表8-2-3に示す。

2-3 航路巾

運河の航路巾は、操船精度、風等の自然条件、Bank Suction等を考慮して決定する。船舶の航行時の船位保持精度は、既往の研究例によれば±0.5B(B…船巾)程度である。つまり、全航路巾として最低2Bが確保されねばならない。さらに運河の場合は船舶が両側の法面に近づいた場合には、法面に向う吸引力が働らくため、これに対する余裕として最大舵角15°以下の場合は、約0.5Bが必要であり、所要全航路巾は以上を合計し3B程度が必要である。この値は、制限水路に対する標準的な指標であり、スエズ運河に於いては、気象条件、航行船舶の積載条件等を考慮し、既往の通航実績、実験結果等に基づいて所要巾が決定されている。本調査では現在採用されている値を参考に次の値を用いる。

Lane Ratio	
Laden Tanker	2.6
Ballast Tanker	2.7

但し、Lane Ratio = 最低キール面での運河巾 / 船巾

(最低キール面は、満載吃水に Squat, Trim を加えた値をとる)

満載タンカーに対する Lane Ratio は既往の値に準じた、バラスト・タンカーについては、風の影響を考慮して満載タンカーの2.6に対して2.7とした。又、バラスト・タンカーの吃水は、日本に於ける超大型タンカーの操船者から、いかなる船型に対しても12mでほぼ満足すべき操船性が得られる、との情報があり、本調査ではすべてのバラスト・タンカーに対し吃水を12mとしている。

このようにして算定された航路巾は、既往の吃水11m Lane Ratio 2.8 で算定されたものよりわずかに広がる。

2-4 運河断面積

前節までの検討で、運河水深および運河巾が得られた、運河の法面勾配を、運河沿いの土質条件を考慮して決められた $\frac{1}{4}$ (km0 ~ 61) および $\frac{1}{3}$ (km61 ~ 162) とすれば運河断面が

決定する。しかし、通常の Open Sea に於ける航路と異なり、制限水路では航行船舶の走行抵抗の増加および前述の戻り流れによる運河の埋没を考慮する必要がある、これらの支配的な要因である Area Ratio (運河断面積と船舶の浸水断面積の比) を所定の値以上に採らなければならない。超大型タンカーが運河を航行する場合に採るべき Area Ratio については既に水理実験によって詳細な解析が行なわれ、エンジン出力と船速、キャピテーション、運河の埋没等を考慮して、超大型タンカーに対しては Area Ratio の増大の必要性が指摘されている。本調査では、既往の研究結果に基づき、次の値を採用した。

	Area Ratio	Ship Speed
Laden Tanker	4.8	13kn/h
Ballast Tanker	4.6	14kn/h

満載タンカーの場合、船速の増大により急激に走行抵抗が増大するため、許容最大航行速度を 13kn/h 以上に採るためには、大巾な Area Ratio の増大が必要である。又超大型タンカーの場合は、エンジン出力が船体に対して中型船に比べて、小さいため走行抵抗の増大の影響が大きく、又キャピテーションが発生する可能性があり、上記の Area Ratio および船速は妥当な値と考えられる。

バラスト・タンカーについては、キール面と運河底面との間隔が満載タンカーの場合より大きいので、走行抵抗は余り問題にならない。しかし、後述するように、船行時に生じる戻り流れは運河埋没の主要な原因であり、許容船速を大きく採ることは、運河の維持浚渫の面で問題があり、本調査では上記の値を採用した。Lane Ratio によって算定された運河の断面積が上記の Area Ratio を下回る場合には、運河中を拡大し、所要の断面積を確保する。なお、ここで言う運河断面積は 2-2-4 で述べた運河の有効水深を用いて算定された値である。

以上の算定法によって得られた運河断面の諸元と通航船舶の関係を満載タンカーの場合について表 8-2-4 に示す。これによれば満載タンカーが通航する場合の運河断面は、

- i) Lane Ratio によって算定した場合 Area Ratio が運河法面勾配 $\frac{1}{4}$ の場合約 4.3, $\frac{1}{4}$ で約 4.7 と不足する、
- ii) 従って最終的には Area Ratio によって決定され、この場合 Lane Ratio は運河法面勾配 $\frac{1}{4}$ の場合約 3.1, $\frac{1}{4}$ で約 2.7 となる。

表 8-2-4 運河諸元 (計算値)

Bank Slope 1/4

DWT	100000.00	110000.00	120000.00	130000.00	140000.00	150000.00	160000.00	170000.00	180000.00	190000.00	
Canal Depth	17.34	17.99	18.57	19.11	19.60	20.07	20.50	20.90	21.28	21.65	
Keel Level	15.61	16.22	16.78	17.29	17.76	18.20	18.61	19.00	19.36	19.71	
Area Required	2788.50	2934.22	3085.32	3232.17	3376.32	3513.51	3642.76	3765.27	3882.91	3995.91	
Width Required	182.68	186.12	189.07	191.79	194.30	196.65	198.84	200.90	202.84	204.67	
Section calculated by lane ratio											
Surface Width	227.76	235.88	243.29	250.11	256.41	262.27	267.76	272.90	277.75	282.34	
-11m Width	139.76	147.88	155.29	162.11	168.41	174.27	179.76	184.90	189.75	194.34	
Bed Width	89.01	92.80	94.74	97.25	99.58	101.75	103.78	105.69	107.48	109.19	
Area	2747.88	2948.54	3138.58	3318.47	3489.35	3652.18	3807.74	3956.74	4099.75	4237.29	
Lane Ratio	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	
Area Ratio	4.73	4.73	4.73	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	
Section calculated by area ratio											
Surface Width	231.58	239.77	247.32	254.26	260.68	266.67	272.26	277.52	282.47	287.16	
-11m Width	143.58	151.77	159.32	166.26	172.68	178.67	184.26	189.52	194.47	199.16	
Bed Width	92.75	95.69	98.76	101.40	103.65	105.44	106.98	108.39	109.69	110.89	
Area	2811.93	2918.44	3013.26	3097.77	3172.13	3248.30	3320.89	3391.19	3459.21	3525.66	
Lane Ratio	2.69	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	
Area Ratio	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	
DWT	200000.00	210000.00	220000.00	230000.00	240000.00	250000.00	260000.00	270000.00	280000.00	290000.00	300000.00
Canal Depth	21.59	22.31	22.82	23.22	23.60	23.97	24.33	24.69	25.03	25.36	25.68
Keel Level	20.03	20.74	21.24	21.62	21.99	22.35	22.70	23.04	23.37	23.69	24.00
Area Required	4445.82	4588.03	4726.89	4862.72	4996.78	5129.43	5261.59	5393.27	5524.84	5655.58	5785.53
Width Required	126.42	129.07	131.65	134.16	136.61	139.09	141.52	143.91	146.24	148.52	150.76
Section calculated by lane ratio											
Surface Width	286.69	299.93	311.77	323.53	335.14	346.59	357.91	369.10	380.18	391.15	402.01
-11m Width	198.69	202.63	206.77	210.53	214.14	217.59	220.91	224.10	227.18	230.15	233.01
Bed Width	118.79	112.32	113.79	115.18	116.52	117.80	119.04	120.22	121.37	122.47	123.53
Area	4369.61	4437.69	4521.29	4610.98	4705.82	4805.27	4909.49	5018.67	5132.99	5252.63	5376.72
Lane Ratio	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Area Ratio	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71
Section calculated by area ratio											
Surface Width	291.61	295.84	299.68	303.73	307.42	310.96	314.37	317.64	320.79	323.84	326.78
-11m Width	203.61	207.24	210.88	214.73	218.42	222.96	226.37	229.64	232.79	235.84	238.78
Bed Width	115.71	117.31	118.89	120.38	121.81	123.18	124.49	125.76	126.98	128.15	129.30
Area	4470.80	4599.62	4736.87	4880.66	4975.48	5095.38	5207.97	5312.46	5424.64	5532.87	5629.11
Lane Ratio	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.71	2.71	2.71	2.71
Area Ratio	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80

表 8 - 2 - 4 運河諸元 (計算値)

Bank Slope 1/3

DWT	100000.00	110000.00	120000.00	130000.00	140000.00	150000.00	160000.00	170000.00	180000.00	190000.00	
Canal Depth	17.34	17.99	18.57	19.11	19.60	20.07	20.53	20.98	21.43	21.88	
Keel Level	15.61	15.22	14.78	14.29	13.76	13.20	12.61	11.98	11.36	10.71	
Area Required	2789.59	2994.22	3188.32	3372.17	3545.92	3713.51	3872.76	4025.37	4171.91	4312.51	
Width Required	102.88	105.42	107.87	111.79	114.70	116.65	118.64	120.58	122.54	124.67	
Section calculated by lane ratio											
Surface Width	155.54	203.44	203.74	215.53	220.68	225.27	230.53	234.90	239.03	242.92	
-11m Width	132.54	137.44	143.74	149.53	154.88	159.87	164.53	168.90	173.03	176.92	
Bed Width	92.47	95.53	99.32	100.89	103.26	105.47	107.54	109.49	111.32	113.05	
Area	2586.33	2688.53	2800.28	3022.83	3177.21	3324.28	3464.78	3599.32	3728.45	3852.62	
Lane Ratio	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	
Area Ratio	4.31	4.31	4.31	4.30	4.30	4.30	4.29	4.29	4.29	4.29	
Section calculated by area ratio											
Surface Width	214.41	222.03	229.00	235.48	241.33	245.85	250.01	254.07	258.44	265.77	
-11m Width	148.41	156.03	163.00	169.48	175.33	180.85	186.01	190.87	195.44	199.77	
Bed Width	110.34	114.12	117.58	120.76	123.71	126.46	129.03	131.45	133.73	135.98	
Area	2816.27	3022.94	3217.98	3402.55	3578.83	3745.71	3905.21	4058.42	4205.53	4347.87	
Lane Ratio	3.05	3.05	3.05	3.05	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.05	
Area Ratio	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
OWT	200000.00	210000.00	220000.00	230000.00	240000.00	250000.00	260000.00	270000.00	280000.00	290000.00	300000.00
Canal Depth	21.95	22.31	22.62	22.92	23.20	23.47	23.73	23.99	24.22	24.46	24.68
Keel Level	20.03	20.24	20.44	20.62	20.79	20.95	21.10	21.24	21.37	21.50	21.60
Area Required	4418.52	4589.83	4765.89	4929.72	5093.73	5254.33	5416.59	5585.77	5752.84	5925.58	6095.53
Width Required	126.42	128.87	129.65	131.16	132.61	133.99	135.32	136.61	137.84	139.03	140.18
Section calculated by lane ratio											
Surface Width	246.62	250.14	253.43	256.69	259.75	262.69	265.51	268.23	270.84	273.37	275.80
-11m Width	168.62	174.14	177.49	180.69	183.75	186.69	189.51	192.23	194.84	197.37	199.80
Bed Width	114.70	116.26	117.75	119.18	120.54	121.85	123.11	124.32	125.48	126.61	127.70
Area	3972.25	4097.68	4199.23	4302.15	4411.79	4513.27	4611.62	4707.63	4802.53	4891.64	4982.14
Lane Ratio	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Area Ratio	4.29	4.29	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	4.27	4.27	4.27	4.27
Section calculated by area ratio											
Surface Width	269.87	273.78	277.58	281.05	284.47	287.74	290.88	293.98	296.82	299.63	302.74
-11m Width	203.87	207.78	211.58	215.05	218.47	221.74	224.88	227.98	230.82	233.63	236.34
Bed Width	137.55	139.90	141.77	143.55	145.26	146.90	148.49	149.99	151.45	152.87	154.24
Area	4433.58	4615.20	4742.52	4865.79	4985.28	5101.25	5212.98	5323.46	5428.83	5533.98	5635.28
Lane Ratio	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.08
Area Ratio	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00

第 3 章 運河内の潮流，潮位

運河断面の拡大により、流れに対する抵抗が減少し、運河内の潮流特性が変化する。潮流の変化は、航行船舶の操船性、運河の埋没量に影響し、潮位の変化は浚渫基準面に影響する。この問題については、既に数値計算によって詳細な解析が行なわれている。ここでは、同じような手法で、今回の提案断面に対する潮流特性の変化を検討する。

3-1 潮位状況

スエズ運河では潮位測定の基準面として、Lesseps が運河を建設した時代に、Suez に設置された基標石の海面下 20 m の線が、現在も伝統的に使用されている。

運河南北両端の Port Said および Port Tewfik における潮位は、表 8-3-1 のように記録されている。

これによると、潮差は Port Said で 0.4 m、Port Tewfik で 2.0 m に達する。最高値はストーム・タイドと呼ばれ、低気圧の影響や風の吹き寄せによる影響が含まれている。

平均水面は一般的傾向として Red Sea の方が Mediterranean Sea よりも高いので、全体としては微弱な北流が生じこれに潮汐による流れが重なる。

運河すじの各地点の H. W. L. と L. W. L. は表 8-3-1 の通りである。

これによると、潮汐の影響が大きいのは運河南部の Little Bitter Lake と Suez 間である。しかし、この影響は Bitter Lakes に入ると小さくなる。潮流は、Bitter Lakes の北部では最大流速 30cm/sec、Port Said で最大流速 40cm/sec、Suez で平均流速 100cm/sec、最大流速 150cm/sec となっている。

表 8-3-1(a) 潮位状況

Unit: m

	Port Said	Port Tewfik
H.H.W.L	18.60	19.50
L.L.W.L	17.40	17.00
H.W.L	18.49	19.00
L.W.L	18.09	17.50

表 8 - 3 - 1 (b) 潮位状況

Unit: m

	Port Said	Port Tewfik		Port Said	Port Tewfik
Jan.	18,013	<18,355	July	18,115	<18,169
Feb.	17,993	<18,351	Aug.	18,146	>18,144
Mar.	17,953	<18,313	Sept.	18,120	>18,097
Apr.	17,956	<18,319	Oct.	18,085	<18,197
May	17,979	<18,309	Nov.	18,086	<18,391
Jun.	18,036	<18,211	Dec.	18,076	<18,407

表 8 - 3 - 1 (c) 潮位状況

Unit: m

	H.W.L	L.W.L	Remark
Port Said	18.49	18.09	
Roz El Ech	18.45	18.11	15 Km
34 Km	18.39	18.14	
El Ferdan	18.33	18.22	65 Km
Ismailia	18.30	18.26	Timsah Lake
Deversoir	18.27	18.25	Great Bitter Lake, 97 Km
133 Km	18.30	18.20	Little Bitter Lake
Chalouf	18.43	18.07	146 Km
Port Tewfik	19.00	17.50	

3 - 2 潮流解析

スエズ運河開発の各段階に於ける運河内の潮流、潮位について電子計算機を用いた数値計算によって検討した。対象とした運河断面はⅠ期、Ⅱ期工事完成後およびマスター・プラン時の断面である、このうちⅡ期およびマスター・プランの運河は完全複線化されたものである。計算方法は Maunsell Consultants Ltd. が用いた手法と同じであるが、計算条件の設定法がやや異なる。

又、今回の解析では計算ケースが少ないこともあり、ここで述べる結果の定量的な現地への適用にはさらに今後数多くの計算が必要であり、定性的な判断材料としてのみ用いた。

(i) 計算条件

計算方法は Maunsell Consultants Ltd. が用いたものと同様であるので、計算条件について詳述する。

1) 潮位

潮位を運河両端で与え、境界条件とした。各成分潮の諸元は表 8 - 3 - 2 の通りである。なお、平均潮位は Port Said で M. T. L. $\pm 0.0 m$ Suez で M. T. L. $-0.20 m$ とした。

計算は1976年9月9日19時にスタートし、20日5時まで行ない、一時間毎に潮位、流速、流量を出力した。

2) 運河断面

単線区間については実際の諸元通り、複線区間については、二つの運河断面を静水面の横断延長と断面積が等しい一つの台形に置換えた(図8-3-1)。又運河水深は工事用基準面の各地点の差を考慮し、両端でやや深く採った。計算に用いた運河断面の諸元を表8-3-3に示す(Ⅱ期の断面はPlan-5に相当する)。

その他の計算条件、例えば風応力、塩分濃度等はMaunsell Consultants Ltd.の値に準じた。

表 8-3-2 潮汐成分

	Frequency (°/h)	Phase (°)	Amplitude (m)	
O ₁	13.943	198.0	0.013	Suez
K ₁	15.041	184.0	0.045	
N ₂	28.440	305.0	0.182	
M ₂	28.984	336.0	0.560	
S ₂	30.000	4.0	0.141	
M ₄	57.968	112.0	0.009	
O ₁	13.943	273.0	0.02	Port Said
K ₁	15.041	303.0	0.02	
N ₂	28.440	298.0	0.02	
M ₂	28.984	298.0	0.12	
S ₂	30.000	314.0	0.07	

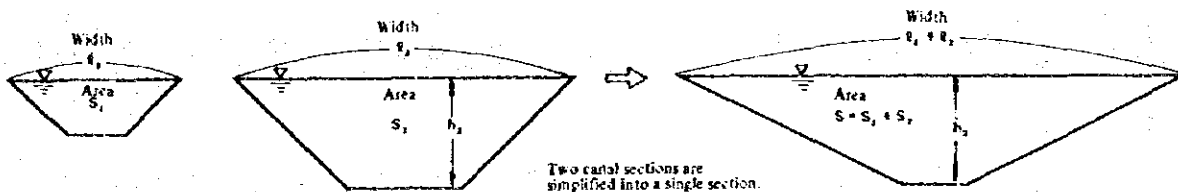


図 8-3-1 運河断面 (潮流解析)

表 8 - 3 - 3 (a) スエズ運河諸元

Point km	East Channel				West Channel				Simplified Canal Section			
	Depth (m)	Width (m)	Area (m ²)		Depth (m)	Width (m)	Area (m ²)		Surface Width (m)	Bed Width (m)	Bank Slope	Depth (m) (below M.S.L.)
0.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		516	156	9.23	20.4
5.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		516	156	9.23	20.4
10.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		516	156	9.23	20.4
15.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		516	156	9.23	20.4
20.0	19.5	170	3,510						258	102	4.0	
25.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		258	102	4.0	20.4
30.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		258	102	4.0	20.4
35.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		258	102	4.0	20.4
40.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		258	102	4.0	20.4
45.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		258	102	4.0	20.4
50.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		516	156	9.23	20.4
55.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		516	156	9.23	20.4
60.0	19.5	170	3,510		15.5	170	3,038		516	156	9.23	20.4
65.0	19.5	160	3,266		15.5	170	3,038		226	109	3.0	20.2
70.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
75.0	19.5	190	3,851						256	139	3.0	20.2
80.0	19.5	190	3,851						256	139	3.0	20.2
85.0	19.5	190	3,851						256	139	3.0	20.2
90.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
95.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
100.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
105.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
110.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
115.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
120.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
125.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
130.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.2
135.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.4
140.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.6
145.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	20.8
150.0	19.5	160	3,266						226	109	3.0	21.0
155.0	19.5	190	3,851						256	139	3.0	21.1
160.0	19.5	190	3,851						256	139	3.0	21.1

Slope
1/4 ▲
1/3 ▼

表 8-3-3(b) スエズ運河諸元

Point km	East Channel			West Channel			Total Area (m ²)	Simplified Canal Section			
	Depth (m)	Width (m)	Area (m ²)	Depth (m)	Width (m)	Area (m ²)		Surface Width (m)	Bed Width (m)	Band Slope	Depth (m) (below M.S.L.)
0.0	19.5	170	3,510	15.5	170	3,038	516	156	9.23	20.4	
5.0	19.5	170	3,510	15.5	170	3,038	516	156	9.23	20.4	
10.0	19.5	170	3,510	15.5	170	3,038	516	156	9.23	20.4	
15.0	19.5	170	3,510	15.5	170	3,038	516	156	9.23	20.4	
20.0	19.5	170	3,510	19.5	170	3,510	516	156	8.00	20.4	
25.0	19.5	170	3,510	19.5	170	3,510	516	204	8.00	20.4	
30.0	19.5	170	3,510	19.5	170	3,510	516	204	8.00	20.4	
35.0	19.5	170	3,510	19.5	170	3,510	516	204	8.00	20.4	
40.0	19.5	170	3,510	19.5	170	3,510	516	204	8.00	20.4	
45.0	19.5	170	3,510	19.5	170	3,510	516	204	8.00	20.4	
50.0	19.5	170	3,510	19.5	170	3,510	516	204	8.00	20.4	
55.0	19.5	170	3,510	15.5	200	3,503	546	173	9.56	20.4	
60.0	19.5	170	3,510	15.5	200	3,503	546	173	9.56	20.4	
65.0	19.5	160	3,266	15.0	200	3,315	492	183	7.92	20.2	
70.0	19.5	160	3,266	15.0	200	3,315	492	183	7.92	20.2	
75.0	19.5	160	3,266	15.0	200	3,315	492	183	7.92	20.2	
80.0	19.5	170	3,461	19.5	190	3,851	492	258	6.00	20.2	
85.0	19.5	170	3,461	19.5	190	3,851	492	258	6.00	20.2	
90.0	19.5	170	3,461	19.5	160	3,266	462	228	6.00	20.2	
95.0	19.5	170	3,461	19.5	160	3,266	462	228	6.00	20.2	
100.0	19.5	160	3,266	19.5	160	3,266	452	218	6.00	20.2	
105.0	19.5	160	3,266	19.5	160	3,266	452	218	6.00	20.2	
110.0	19.5	160	3,266	19.5	160	3,266	452	218	6.00	20.2	
115.0	19.5	160	3,266	19.5	160	3,266	452	218	6.00	20.2	
120.0	19.5	160	3,266	19.5	160	3,266	452	218	6.00	20.2	
125.0	19.5	160	3,266	19.5	160	3,266	452	218	6.00	20.2	
130.0	19.5	160	3,266	19.5	160	3,266	452	218	6.00	20.2	
135.0	19.5	160	3,266	15.0	200	3,315	492	183	7.92	20.4	
140.0	19.5	160	3,266	15.0	200	3,315	492	183	7.92	20.6	
145.0	19.5	160	3,266	15.0	200	3,315	492	183	7.92	20.6	
150.0	19.5	170	3,461	19.5	160	3,266	452	238	5.49	21.0	
155.0	19.5	190	3,851	19.5	190	3,851	512	278	6.00	21.1	
160.0	19.5	190	3,851	19.5	190	3,851	512	278	6.00	21.1	

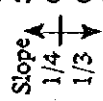


表 8 - 3 - 3 (c) スエズ運河諸元

Point km	East Channel			West Channel			Simplified Canal Section			
	Depth (m)	Width (m)	Area (m ²)	Depth (m)	Width (m)	Area (m ²)	Surface Width (m)	Bed Width (m)	Band Slope	Depth (m) (below M.S.L.)
0.0	24.0	240	5,568	16.0	200	3,584	874	142	15.25	24.9
5.0	24.0	240	5,568	16.0	200	3,584	874	142	15.25	24.9
10.0	24.0	240	5,568	16.0	200	3,584	874	142	15.25	24.9
15.0	24.0	240	5,568	16.0	200	3,584	874	142	15.25	24.9
Slope A 1/4 1/3	20.0	240	5,568	16.0	200	3,584	616	147	9.77	24.9
	60.0	240	5,568	16.0	200	3,584	616	147	9.77	24.9
1/3	135.0	240	5,568	16.0	200	3,488	572	187	8.02	24.7
	140.0	240	5,568	16.0	200	3,488	572	187	8.02	24.9
1/3	145.0	240	5,568	16.0	200	3,488	572	187	8.02	25.1
	150.0	240	5,568	16.0	200	3,488	572	187	8.02	25.3
1/3	155.0	240	5,568	16.0	200	3,488	572	187	8.02	25.5
	160.0	240	5,568	16.0	200	3,488	572	187	8.02	25.6

(2) 計算結果

今回の計算では調和分解を行なわなかったため、1976年9月19日13時から始まる潮汐について検討した。

図8-3-2～図8-3-6に計算結果を整理した。

1) 潮位

図8-3-2は各地点での最低潮位をプロットしたものである。Suez-Bitter Lake間では各開発段階ともほぼ直線的に変化している。

Bitter Lake内の最低水位はほぼ一定で、Ⅰ期後の平均水位からの下降量を基準とすれば、Ⅱ期およびマスター・プラン時には、それぞれさらに40%、および70%低下する。この水位低下はLake Timsah以北で漸減しPort Saidで0となる。

Bitter Lake内での低水位がPort Saidに向って負の勾配を示しているが、これは水位点と流量点での断面積設定の差、塩分濃度の差、風応力等に起因するものと考えられるが、詳細は今後の検討、現地観測の結果によって判断すべきである。

図8-3-3(a)～(c)に各開発段階での水面形の変化を示す。

Bitter Lake～Lake Timsah間で水面は常にPort Saidに向かって正の水面勾配を示し、Bitter Lakeの貯留効果の影響が顕著に見られる。

図8-3-4は、Suez(k#160)、Shallufa(k#140)およびBitter Lake(k#115)に於ける潮位の時間変化を示したものである。k#140地点では、Suezの潮位とほぼ同位相で変化するが、Bitter Lakeでは3～4時間位相が遅れる。

2) 潮流

図8-3-5に各地点での潮流の時間変化を示す。Suez～Bitter Lake間では南北の往復流となっているが、Bitter Lake以北では、Master Planの断面を除いてすべて南流のみが発生している。各開発段階の断面の違いによる変化の割合は、Bitter Lake以北の区間で大きい。これは、運河断面の拡大により、流量が増大して、Bitter Lakeの水位が変動し、Suez側ではそれが流速の増加を打消すように働き、Port Said側では逆の効果をもたらす事によるものである。

図8-3-6にSuez、Shallufa、Bitter Lakeに於ける潮流の時間変化を示す。

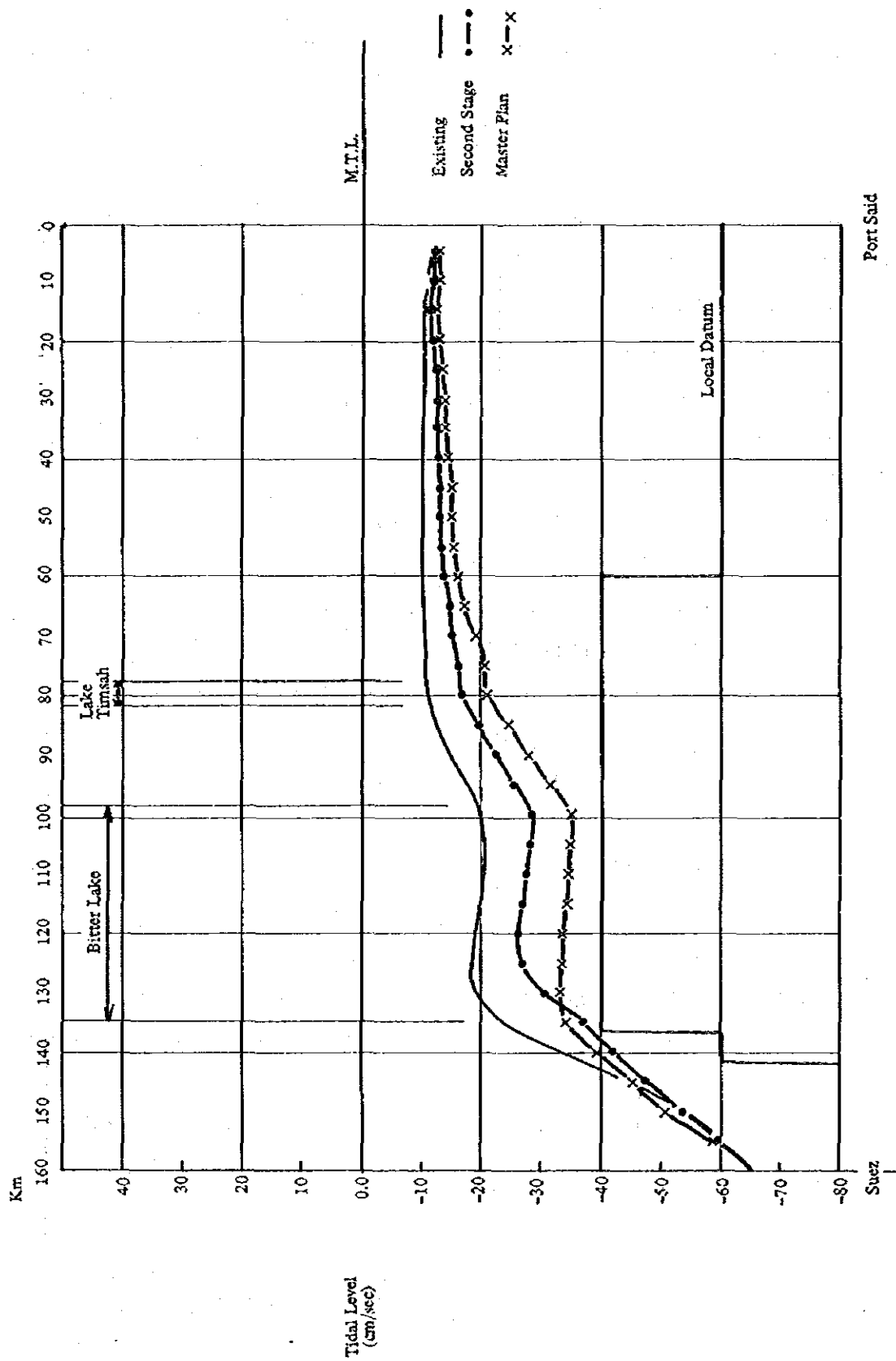


図 8-3-2 運河沿いの低潮位

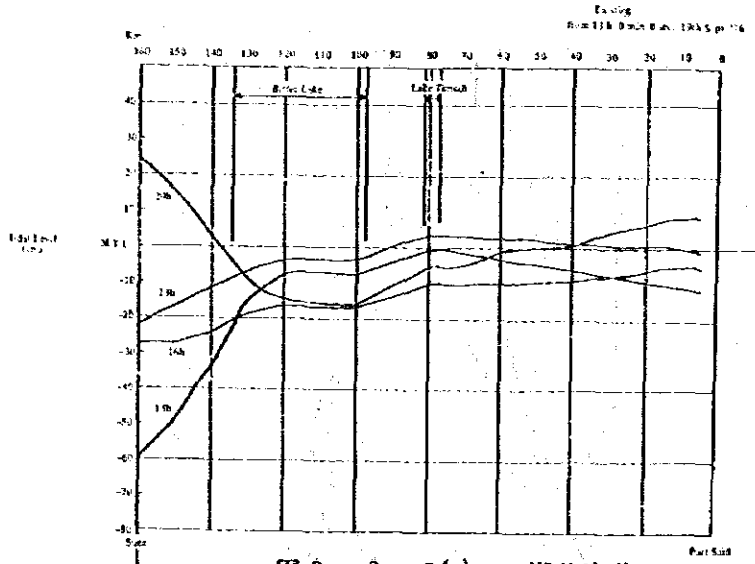


图 8-3-3(a) 潮位变化

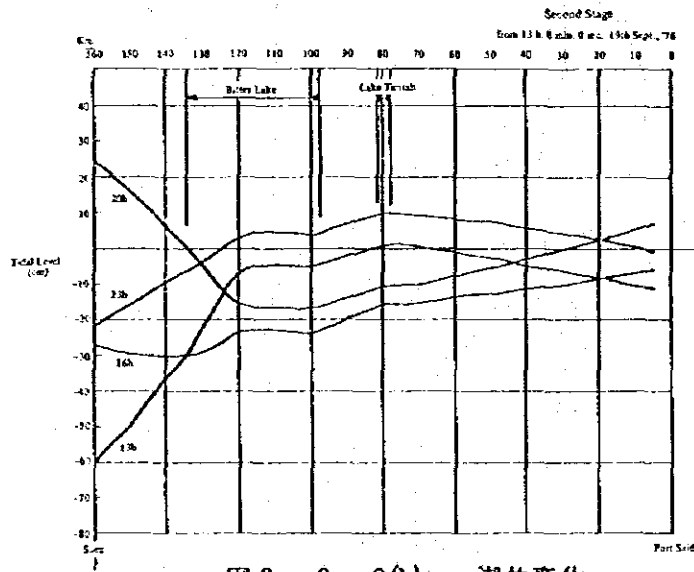


图 8-3-3(b) 潮位变化

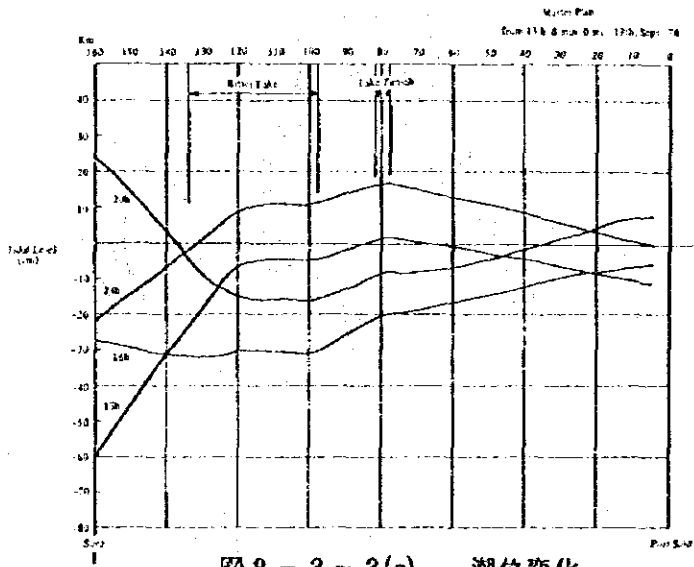


图 8-3-3(c) 潮位变化

13 h. 0 min. 0 sec. 19, Sept. '76

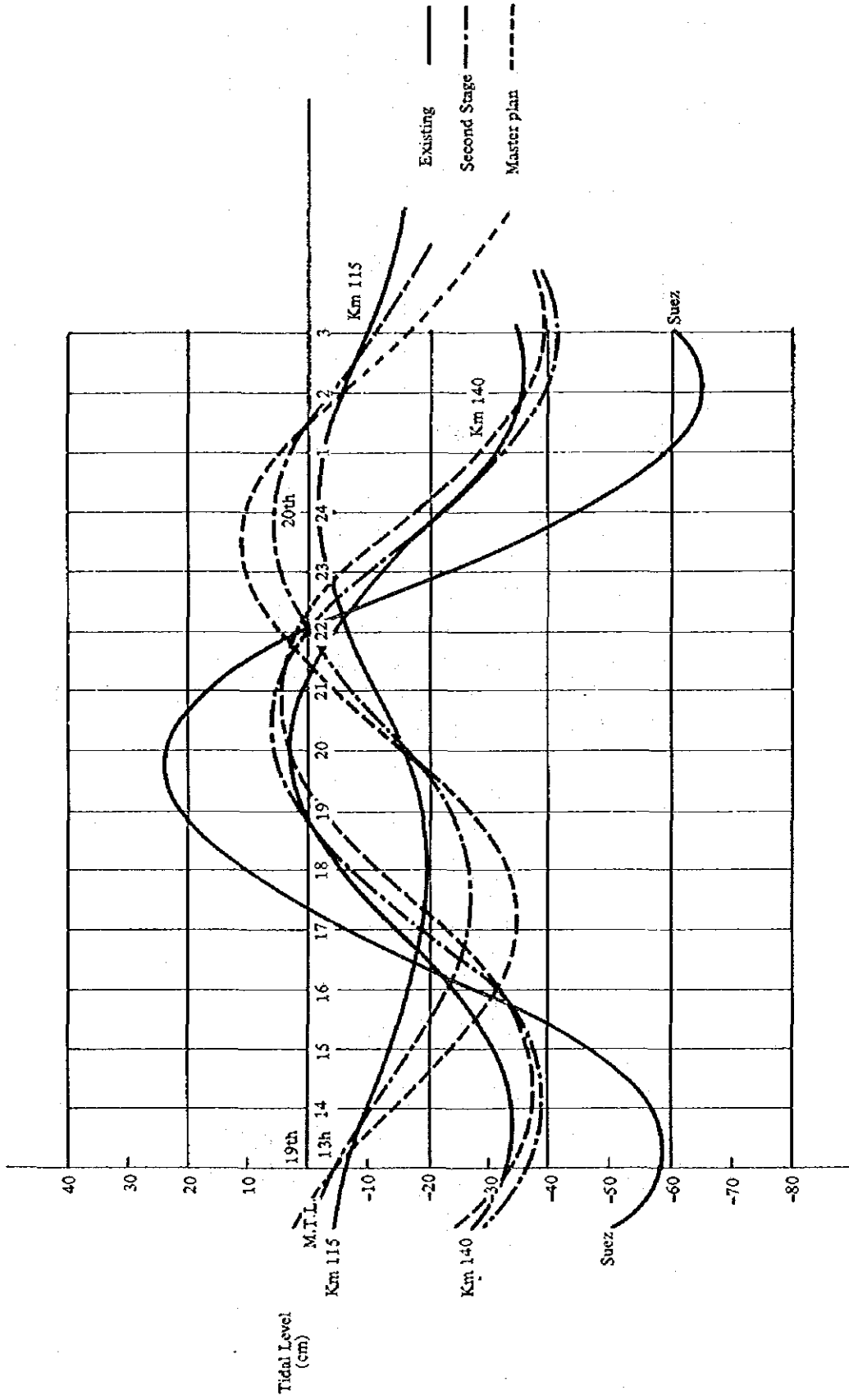


图 8-3-4 潮位变化
(km 115, km 140, km 160)

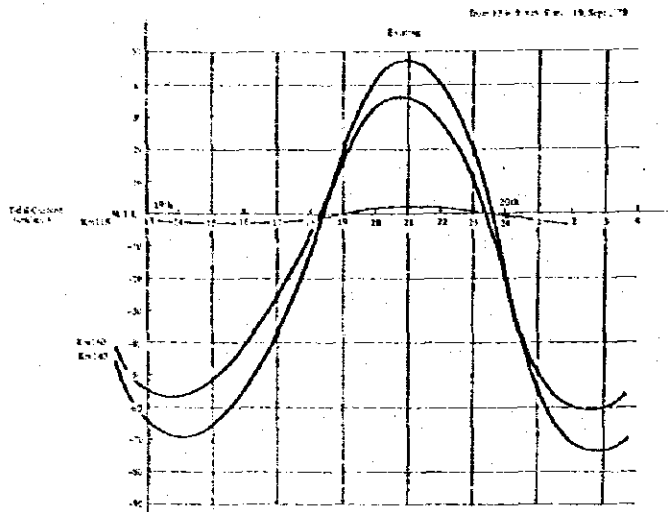


图 8-3-5(a) 潮 流
(km 115, km 140, km 160)

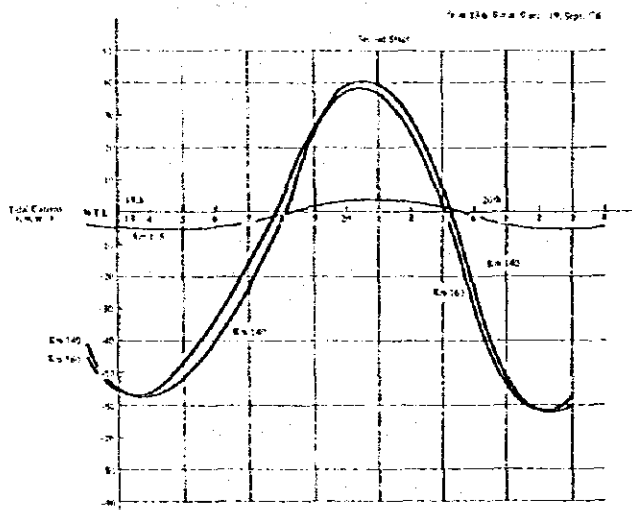


图 8-3-5(b) 潮 流
(km 115, km 140, km 160)

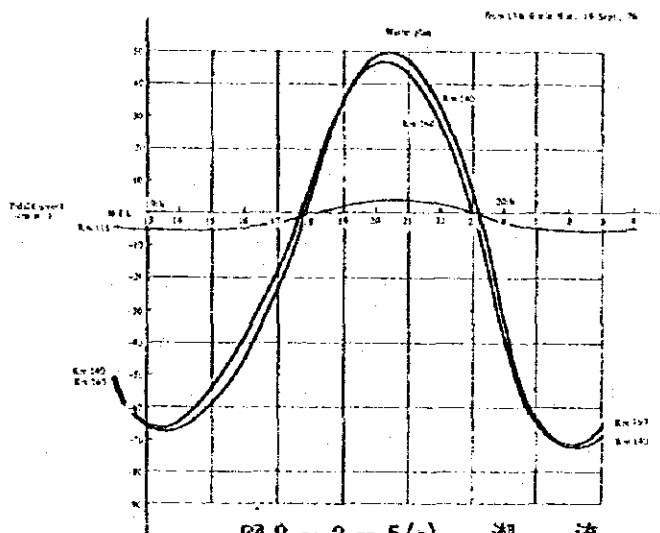


图 8-3-5(c) 潮 流
(km 115, km 140, km 160)

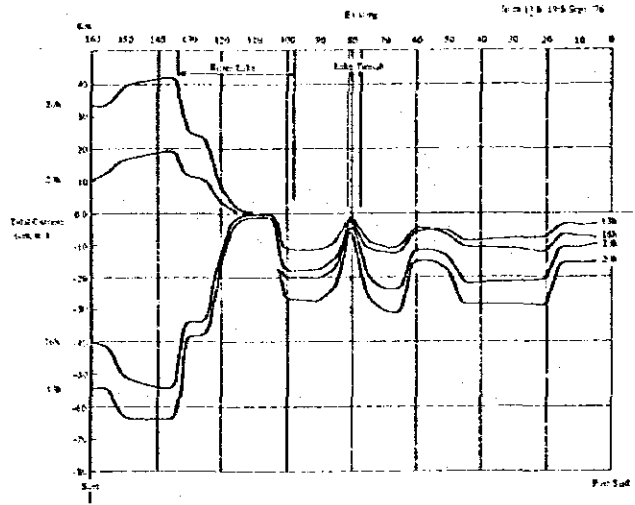


图 8-3-6(a) 潮流

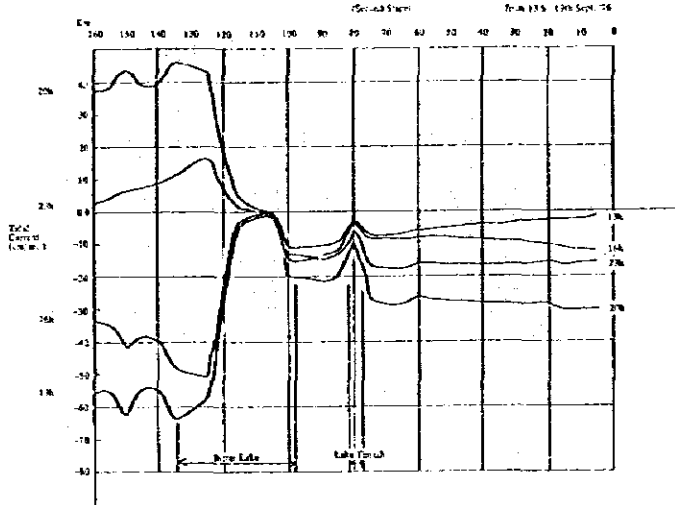


图 8-3-6(b) 潮流

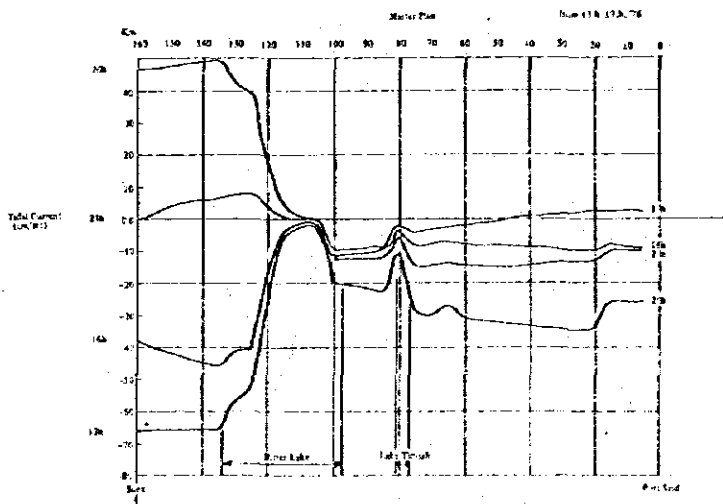


图 8-3-6(c) 潮流

(3) 考 察

今回行なった限られた解析結果から、将来の運河断面の設計、運河の運営管理について定量的な判断を下すのは危険であるが、運河断面の拡大によって生じる潮流現象の定性的な傾向は把握できた。又、それによって今後の調査の方針に関していくつかの判断材料を得た。

1) 潮 位

運河断面の変化によって生じる潮位の変化、特に運河延長上の各地点に於ける低潮位の低下は、有効な運河水深の減少につながる。各地点の低潮位が現在採られている基準面より低下した場合には、その変更、つまり浚渫深度の増大が必要である。今回の解析結果から、運河断面の拡大による潮位の低下はTimsah Lake以南で顕著である。MaunsellによればⅠ期工事完成後の低潮位はBitter Lakeで基準面より約10cm高いだけであり、(Typical November Condition)、今後詳細な検討を行ない、特にⅡ期(複線)後およびマスター・プラン時について基準面変更の必要性の有無(およびその量)を確認する必要がある。

又複線化時の二本の水路間の位相差による水位差は、合流部で横断流を発生させる。今回の解析は二本の水路を単純化した単水路によるものであり、この点についてはその傾向を把握することができなかったが今後検討する必要がある。

2) 潮 流

潮流については、Bitter Lake以南では大きな変化は見られなかった。

しかし、Bitter Lake以北ではBitter Lakeの水位動の増大により流速が増大する。これは操船に影響を与える程の増加ではないが、Bankがシルト質のこの区間では浮遊砂による埋没量の増加が考えられる。漂砂機構そのものが現在未解明であり予測が困難であるが、現地観測によって、埋没量の変化を把握し適確な維持浚渫計画の立案に役立てるべきである。又、複線水路の合流部に於いては、水位差と同じく潮流の差が、二本の水路間で複雑な流れを発生させる可能性がある。例えば、マスター・プラン時には、i) スエズ湾、ii) Ahmed Hamdi Tunnel iii) Geniefa iv) Deversoir v) ka75 vi) Ballah Bypass 両端 vii) Port Said Bypass 両端の合計10ヶ所で二本の水路が合流する。これらの合流点では二本の水路の流速、位相、流量等の差により相互干渉し、複雑な流れが発生するものと考えられる。このような現象は、現在の運河ではどこにも発生しておらず、今後数値計算、水理実験等により解析し、操船面への影響、適切な運河の平面断面計画を検討する必要がある。

合流点に於いては、潮位、潮流の影響がなくとも断面変化による操船性の変化の確認が必要であることは勿論である。

第 4 章 運河法面の安定

4-1 スエズ運河沿線の土質

(1) 収集データの概要

スエズ運河沿線の土質に関する情報は、従来より、主として、しゅんせつに関するものが主体となっている。

運河沿線の長大な地域をカバーしうるよう体系的に実施された調査としては 1975 年 Raymond International Inc. により実施された約 200 本のボーリング孔の土質による情報がある。これらのデータは、標準貫入試験結果(N値)、各深さの物理的性質に関する記述を含んでいる。この調査におけるボーリング間隔は、かなり粗い(1本/km~3本/km)が、しゅんせつに関する基本データとして活用されている。また、1976年、英国、EG & G Geophysical Ltd. により、スエズ運河沿線の音波探査(Seismic reflection Survey)が実施されている。運河内中央線、東岸及び横断方向の音探結果から、地質構造想定図が電算機により作成されている。これらのデータは一般的な地層構成図としては、有用であると思われるがどの程度、正確な情報を提供しているかについては、不明である。運河沿線 9.7.8 km~12.2 km におけるしゅんせつの実績との比較によれば、両者は比較的良い対応を示しているという五洋建設技術者からの口頭の報告があった。

上述のような基本データをもとにして、SCA Research Center が、スエズ運河沿線の土質に関する分割した報告書を作成している。このような報告書としては、次のものがある。

- 1) Soil Report-Loth and New Port-Said Bypass (Km. 1.500E-Km. 16.000E), SCA Research Center Report № 92 March, 1977.
- 2) Soil Investigation at The Approach Channel of The Port-Said New Bypass, Lot (I), SCA Research Center Technical Report № 93, July, 1977.
- 3) Soil Report of The Region from Km. 25.000 to Km. 61.000, SCA Research Center Technical Report № 91, Nov., 1976.
- 4) Soil Report of Tossom Zone from Km. 78.000 to Km. 98.000, SCA Research Center, Dec., 1976.
- 5) Soil Report of the Region from Km. 97.800 to Km. 122.000, SCA Research Center Report № 89, Dec., 1976.

上述したスエズ運河沿線における土質調査試験は主としてしゅんせつのための情報を得るために実施されたものであり、運河斜面の安定計算、土圧計算等の設計計算に必要とされる土質の情報としては十分でなかった。その後、新ポートサイドバイパスの建設に関連して、不攪乱試料の採取とその試料の一軸圧縮試験を含む土質調査が 1978年3月~7月にかけて

実施されている。これらの調査は、新ポートサイドバイパス、センターライン上2点(陸上ボーリング)、バイパス東岸3点(海上ボーリング)及び西岸3点(海上ボーリング)で実施され、標準貫入試験及び柱状図のほか、一軸圧縮試験(試研舎製自動記録方式一軸圧縮試験装置)の結果を含んでいる。これらの調査試験の結果は、Soil Report-New Port-Said Bypass(km 1,500E-km, 16,000E)にとりまとめられている。一軸圧縮試験に関するデータをみると、試料の乱れが大きく、斜面安定計算、土圧計算等の設計計算用のデータとしてそのまま、活用できるか否かについては、相当、問題がある。これらの調査においては、パーカッション(Percussion)方式のボーリングとオープン・ドライブ・サンブラーによる試料採取方法が採用されており、これらが、孔底の洗滌方法の問題点とともに、試料の乱れを招く結果となったと思われる。

スエズ運河沿線のうち、ポートサイド港近辺の土質については、Golder Associatesによる報告、Port Said Urban Land Reclamation Design Study, Vol.1,2,3, Jan. 1979 が有用な情報を含んでいる。これらの報告書は、Port-Said 港埋立地造成に関する調査結果をとりまとめたものであり、スエズ運河航路に近接した地点のデータが得られている。これらの調査では、標準貫入試験、柱状図、室内ベーン試験、三軸UU試験、圧密試験及び現地ベーン試験の結果が報告されている。

(2) 既往データによるスエズ運河沿線の土質性状

スエズ運河の総延長線上に沿う土質に関する一般的な情報は、Raymond International Delaware Inc. による約200本のボーリングデータ EG & G Geophysical Ltd. による音探結果ならびにこれらをスエズ運河の各工区毎にとりまとめられたS GA Research CenterのTechnical Report により得られる。これらの情報から、スエズ運河総延長線上の各区分毎の特徴を示すと下記のようなものである。

1) km 0 ~ 1.3 区間

基準面下、約10mまで、N値10前後の緩詰め砂が支配的、時として、N値20~30程度のShell が現われる。

深さ10~15mに、比較的軟かい粘性土があり、それ以下は、ほぼ一様にシルト質粘土または粘土が支配的である(N値2~6)。

2) km 1.3 ~ 3.8 区間

基準面下、約25mまで、シルト質粘土が支配的であるが、このうち、km 1.3~2.5地点まで、比較的軟らかく、km 2.5~3.8区間は比較的硬い。また、km 3.3~3.8区間では、約20m以下に締った砂が現われる。

3) km 3.8 ~ 6.1 区間

km 3.8地点からBallahバイパスを含む区間には、表層部に比較的軟かいシルト層が存在するが、一般的には、非常に堅硬な砂層が支配的である。斜面の安定性の検討という観

点から、*km* 5 2 地点に少くとも約 25 m の深さまで、N 値 4～5 のシルト質粘土層が現われることに注意する必要がある。

4) *km* 6 1～7 8 区間

Ballah バイパスから Timsah 湖に至る区間には、一般的に非常に堅硬な砂礫層が支配的である。

5) *km* 7 8～8 6 区間

Timsah 湖から Toussoun に至る区間は、土質条件は変化に富んでいるが、一般的には、砂質土が支配的である。表層部は、比較的緩詰め砂層が堆積しており、その下方に堅い砂礫層がある。また、所々に石灰岩の層が見られる。

6) *km* 8 6～9 7 区間

基準面下約 10 m 程度まで、やや締った砂層ないしは固結した粘性土がみられ、その下層には堅硬な砂礫層がある。

7) *km* 9 7～1 2 0 区間

Great Bitter 湖の大部分は、岩塩から成っており、所々、基準面下約 20 m に、やや締った砂層が現われる。

8) *km* 1 3 0～1 3 5 区間

Small Bitter 湖が位置しており、固い粘土、中位～非常に締った砂礫層よりなり、所により、石灰岩あるいは砂岩が現われる。

9) *km* 1 3 5～1 6 0 区間

km 1 3 5～1 4 4 区間まで、表層部は、中位～堅い粘土からなり、基準面下 10～12 m に非常に堅固な固結粘土が現われる。*km* 1 4 4 区間より、堅い粘土層の下方に、非常に締った固結砂層が存在する。さらに、*km* 1 5 7 区間より、砂礫ないし玉石が堅い砂層内に見られ石灰岩、砂岩の層がみられる。

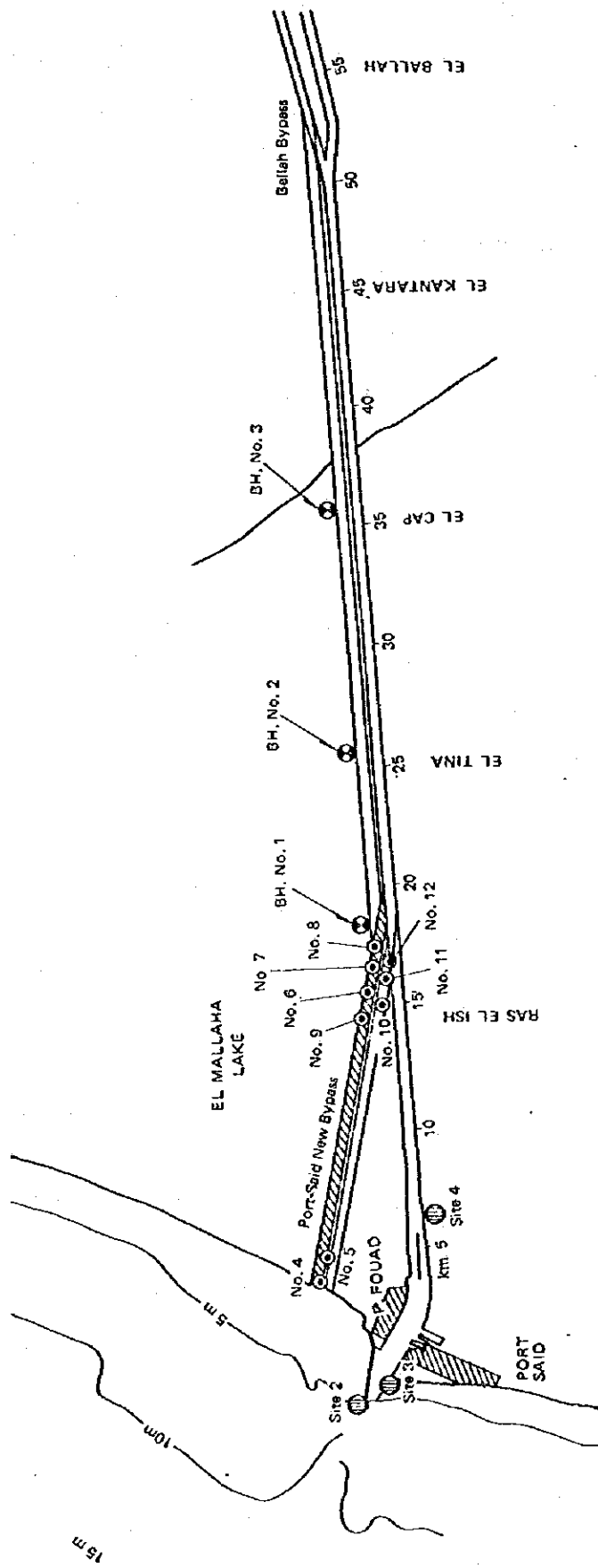
(3) 土質工学的検討のための土質データ

Raymond International Delaware, Ltd. により実施された運河沿線の土質調査ならびに SOA Research Center によりとりまとめられた、数冊の Soil Report により、スエズ運河沿線の大きな土質条件を把握することが可能であり、主として、しゅんせつに関し、有用な情報が与えられている。しかしながら、斜面安定計算や土圧計算などのいわゆる土質工学的な検討を行なうためのデータとしては、十分な情報とはいえない。従来より、スエズ運河の土質調査に用いられてきた標準貫入試験法は、砂質土地盤の評価に対しては、適切な方法であるが、粘性土地盤、とりわけ、N 値 4 以下の軟弱な地盤に対しては、適切でないとされている。粘性土地盤に対する安定性の検討は、通常、一軸圧縮強度 q_u を用いて行なわれるため、標準貫入試験の N 値から経験的な相関関係を用いて、 q_u を推定する方法が用いられることもあるが、相関関係にはらつきが大きく、信頼性は低い。粘性土地盤に対し

では、不攪乱試料を用い、一軸圧縮試験を実施することが、最も適切な方法となっている。

スエズ運河における運河斜面の安定性の検討は、運河断面の決定に因する設計施工上の大きな問題となっており、このような観点からの土質調査ならびに斜面安定に関する現場実験も SGA Research Center により、実施され始めている。Port Said 新バイパスの建設に関連して、不攪乱試料の採取を含む土質調査が図 8-4-1 に示した地点において実施され、図 8-4-1 に示した Port Said 新バイパス建設地点の土質調査試験の結果は、Soil Report-New Port Said By-pass (ka1,500E-ka16,000E) にとりまとめられている。

これらのボーリング地点における土質柱状図を図 8-4-2 に示す。各ボーリング地点採取試料を用いて一軸圧縮試験が実施されているが、これらの試験結果は、前述したようなボーリング及びサンプリング方法の問題点のため、相当の乱れの影響を受け、 q_u の値は相当過小評価されている。このような乱れの影響の激しいデータを除外するため、一軸圧縮試験における破壊ひずみ E_f の 6.0% 以下のデータのみを採用し、深さに対してプロットしたものを図 8-4-3 に示す。図 8-4-3 に示した R は、各ボーリング孔についての一軸圧縮試験の全試験数に対する、採用データの割合を示している。図 8-4-3 の実直線は、Port Said 新バイパス建設地点の土質調査試験の結果から、一軸圧縮強度の深さ方向分布の代表直線を示したものである。これらの結果については、サンプリングにおける試料の乱れのため、一軸圧縮強度がかなり過小評価されているということに注意する必要がある。



Sampling data available to unconfined compression tests

Site 1: New Port Said Bypass project by S.C. Research Center, 1978

Site 2: Mechanical Ship Lift 750T at Port Fouad by S.C.R.C., 1978/8

Site 3: Floating Dry Dock 10,000T at Port Fouad by S.C.R.C., 1978/

Site 4: Port Said Urban Area Reclamation Project by Golder Associates 1979/1

LAKE MANZALA

圖 8-4-1 土質試驗實施位置圖

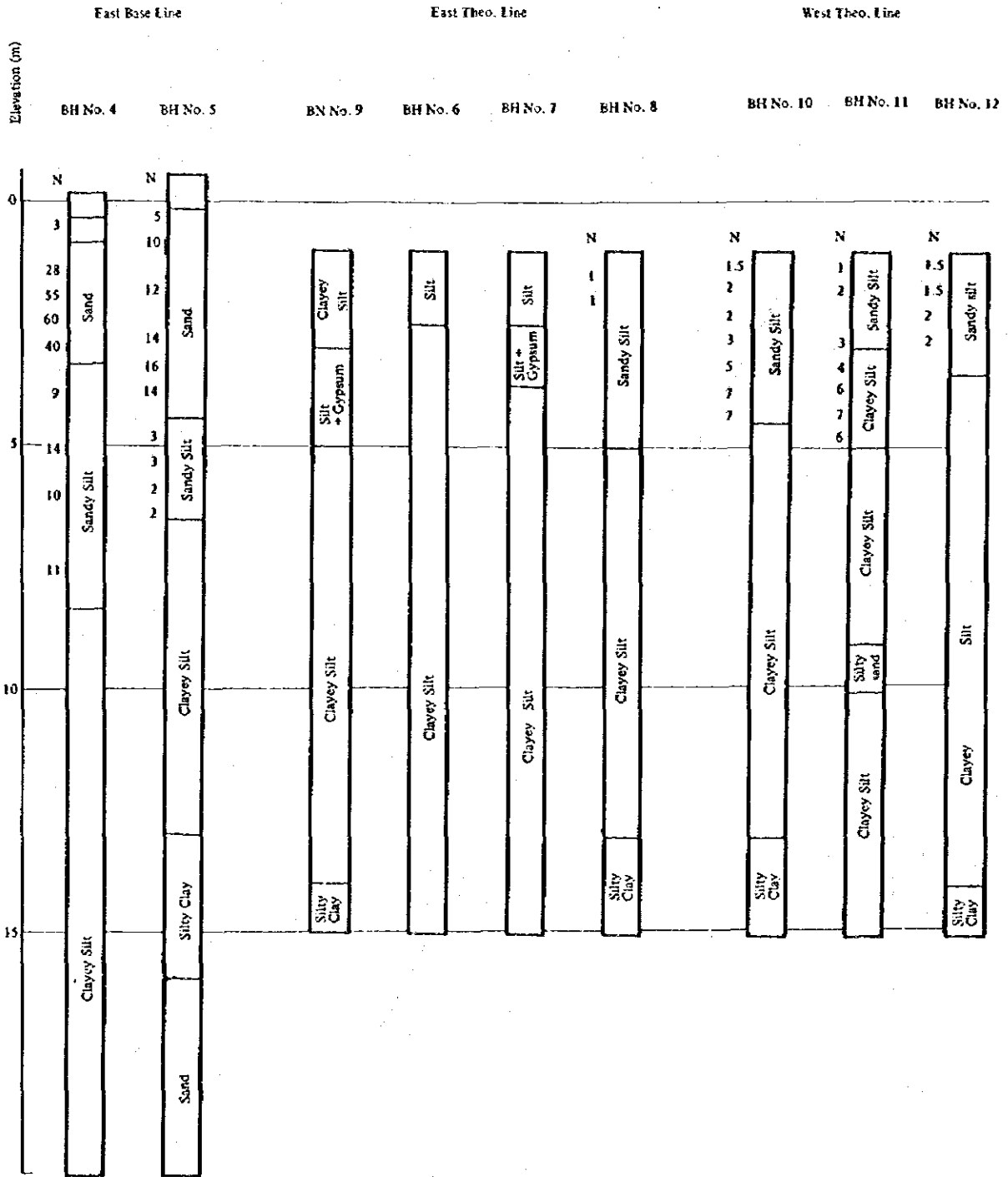


图 8-4-2 土質柱状图 (Port Said New Bypass)

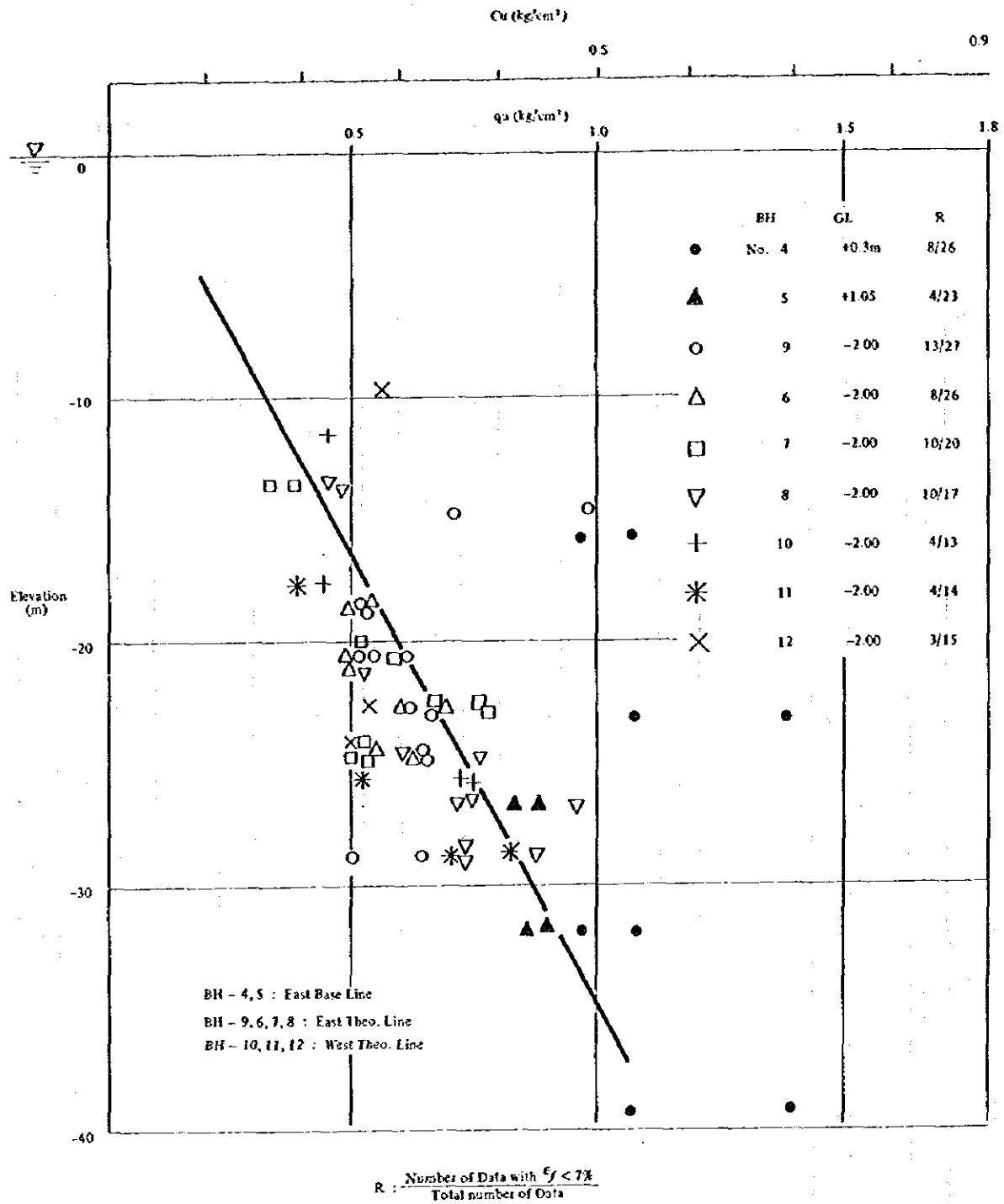


図 8 - 4 - 3 qu の深さ方向分布 (km 5, Port Said New Bypass)

(4) スエズ運河沿線における新規土質調査

スエズ運河沿線における斜面安定計算等の土質工学的な検討を行なうためには、土質条件に関する信頼すべきデータが要求される。これらの要望に対応することと、固定ピストン式シンウオールサンプラーによるサンプリング方法の導入のための実地検証をかねて1979年11～12月にかけ、SCA Research Centerの土質研究室グループの手により運輸省港湾技術研究所の梅原、堀江両氏の協力のもとに新規土質調査が計画、実施された。スエズ運河沿線においては、ポートサイドより km 6.1地点までは、軟かい粘性土が支配的であり、運河斜面のこう配は km 6.1地点まで $\frac{1}{2}$ それより、スエズ側では $\frac{1}{3}$ が検討されている。このような状況を考慮して、新規土質調査実施地点として、図8-4-1に示した3地点が選定された。これらは、 km 16.2地点、 km 2.5地点、 km 35.2地点であり、それぞれ非常に軟かい粘性土、やや堅い粘性土及びかなり堅い粘性土が支配的であることを想定して、選定されたものである。これらの調査においては、オープンドライブ方式(Open-drive)のシンウオールサンプラ及び固定ピストン式シンウオールサンプラーの両者が交互に使用された。図8-4-4に3地点における試料採取位置と採取方式を示している。

試料採取後、IsmailiaのSCA Research Centerの土質実験室において、一軸圧縮試験、物理試験が実施された。

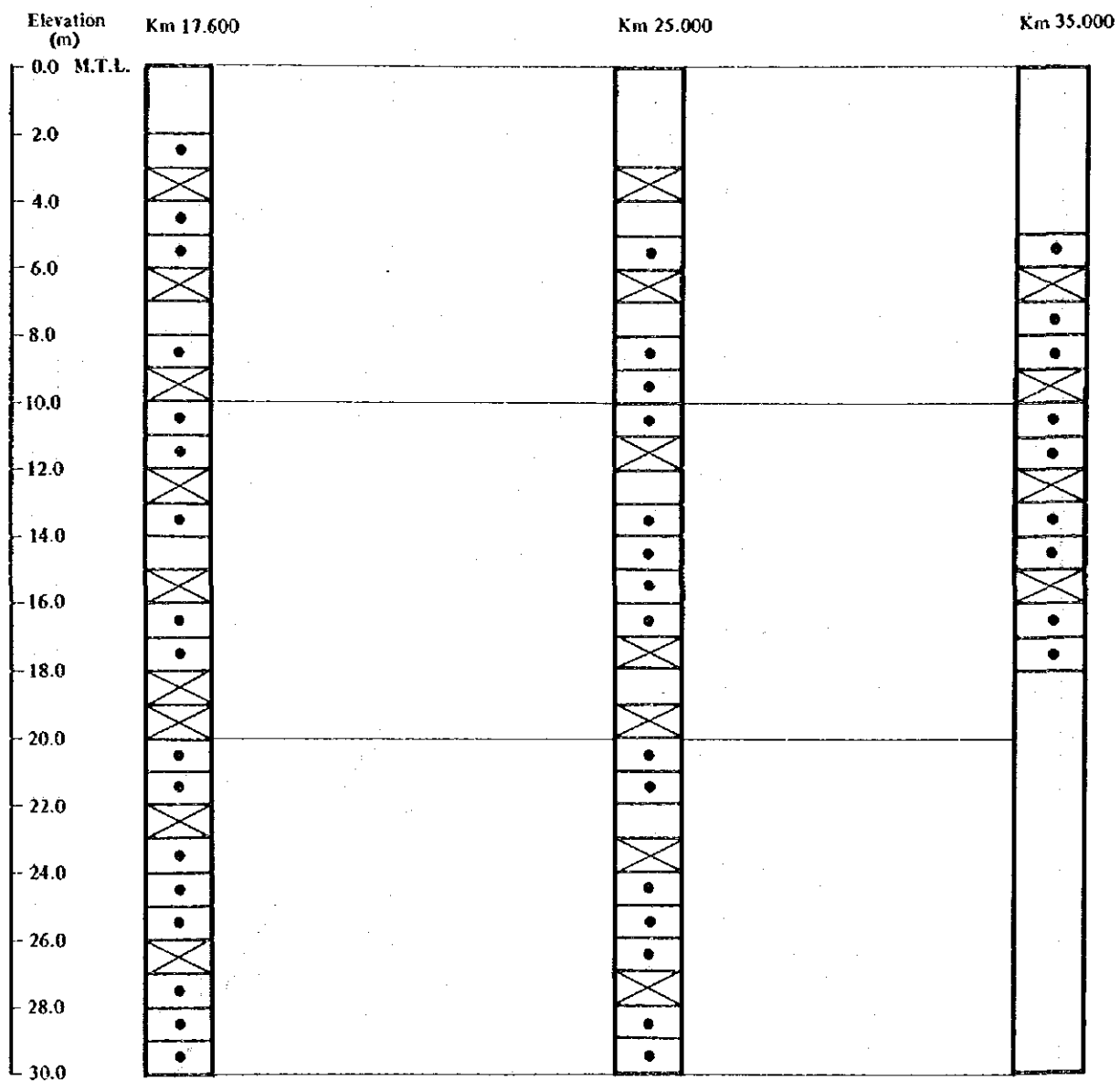
図8-4-5、図8-4-6、図8-4-7にそれぞれ、 km 35.2、 km 25.0、及び km 17.6地点の一軸圧縮強度 qu 及び破壊ひずみ E_f の深さ方向の分布を示す。固定ピストン式シンウオールサンプラー及びオープンドライブサンプラーの両方式による採取試料の結果が、それぞれ、区別して示されている。試験結果の詳細な検討については、SCA Research CenterのReportにとりまとめられることになっているが、試験結果の一般的な評価については、破壊ひずみの傾向からみて、求められた一軸圧縮強度は妥当なものと考えられる。図8-4-5～8-4-7の各図には qu の深さ分布が実直線により示されている。図8-4-7には、前述したPort Said新バイパス建設地点における土質調査結果の平均値があわせて示されている。

Port Said新バイパス建設地点の調査結果は、採取試料の乱れによる qu の過小評価を含んでいるものと考えられるが、 km 17.6地点の調査の結果は、これらがかなり改良されたことを示しているものとみられる。

粘性土地盤の斜面安定計算などの土質工学的な検討を行なう場合、一軸圧縮強度 qu に関する情報は基本的に重要であるが、間接的に推定する場合、N値などの使用もやむを得ない場合がある。しかし、N- qu の相関性は図8-4-8に示したように、相当、広範囲にばらついており、妥当な経験式の選定は困難と思われる。ある特定地点の相関性が得られておれば、それらの関係は、その近辺の土質に対しては、比較的参考となるものと思われる。

図8-4-9にスエズ運河の km 35.2地点のN値の深さ分布と qu の深さ分布を対比して示

した。両方のデータより $N-qu$ の大ざっぱな関係を図 8-4-10 に示した。図 8-4-10 には、テルツァギ等 (Terzaghi) により提案された関係をあわせて示した。図 8-4-10 に示したように 3.5.2 号地点における $N-qu$ の関係は、テルツァギ等の提案値よりも qu はかなり大きくなる傾向がある。






-  Disturbed sample
-  Open Drive t.w.s.
-  Stationary Piston t.w.s.

図 8 - 4 - 4 サンプル位置

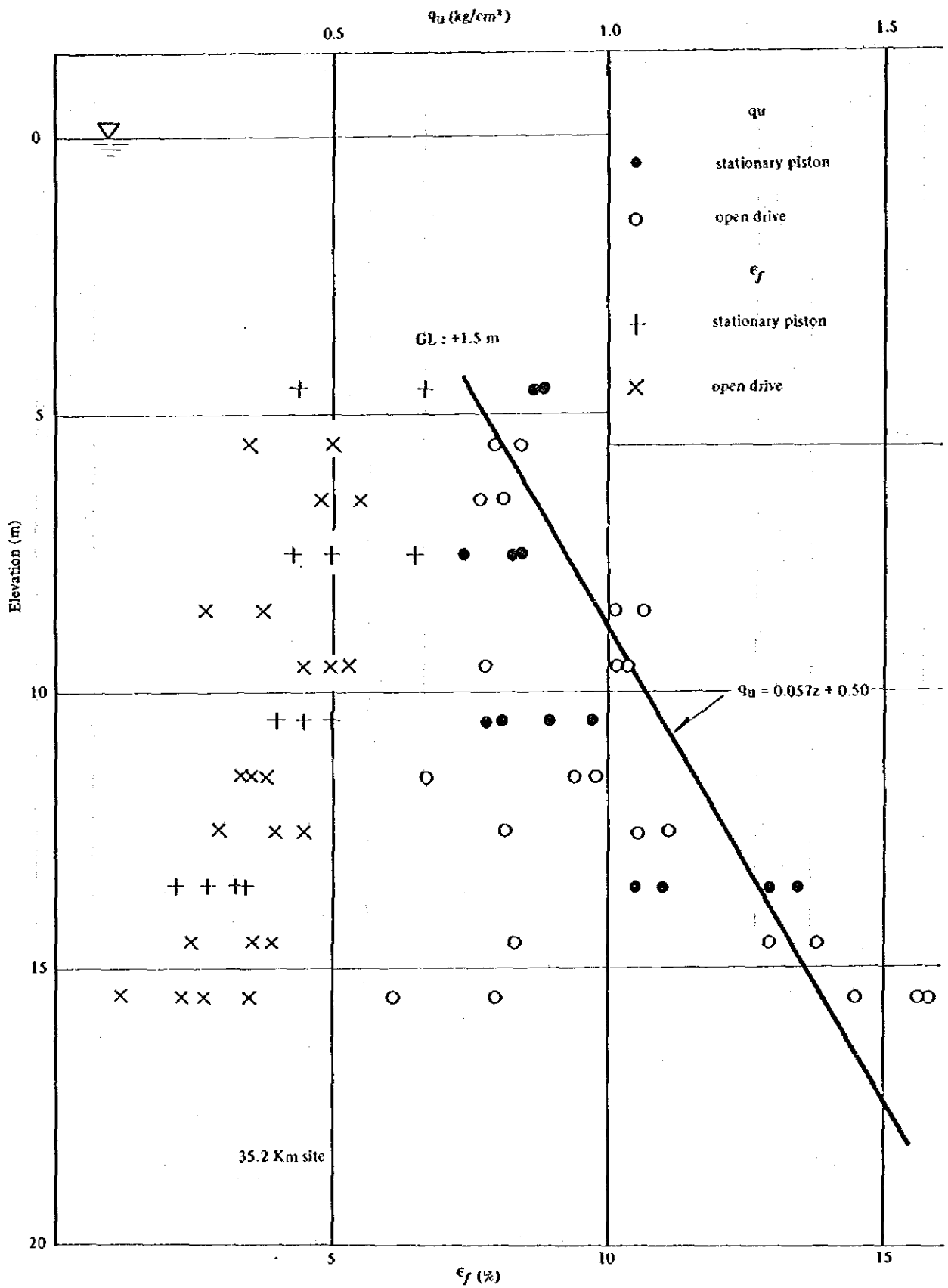


図 8-4-5 q_u 及び ϵ_f の深さ方向分布 (km 35.2)

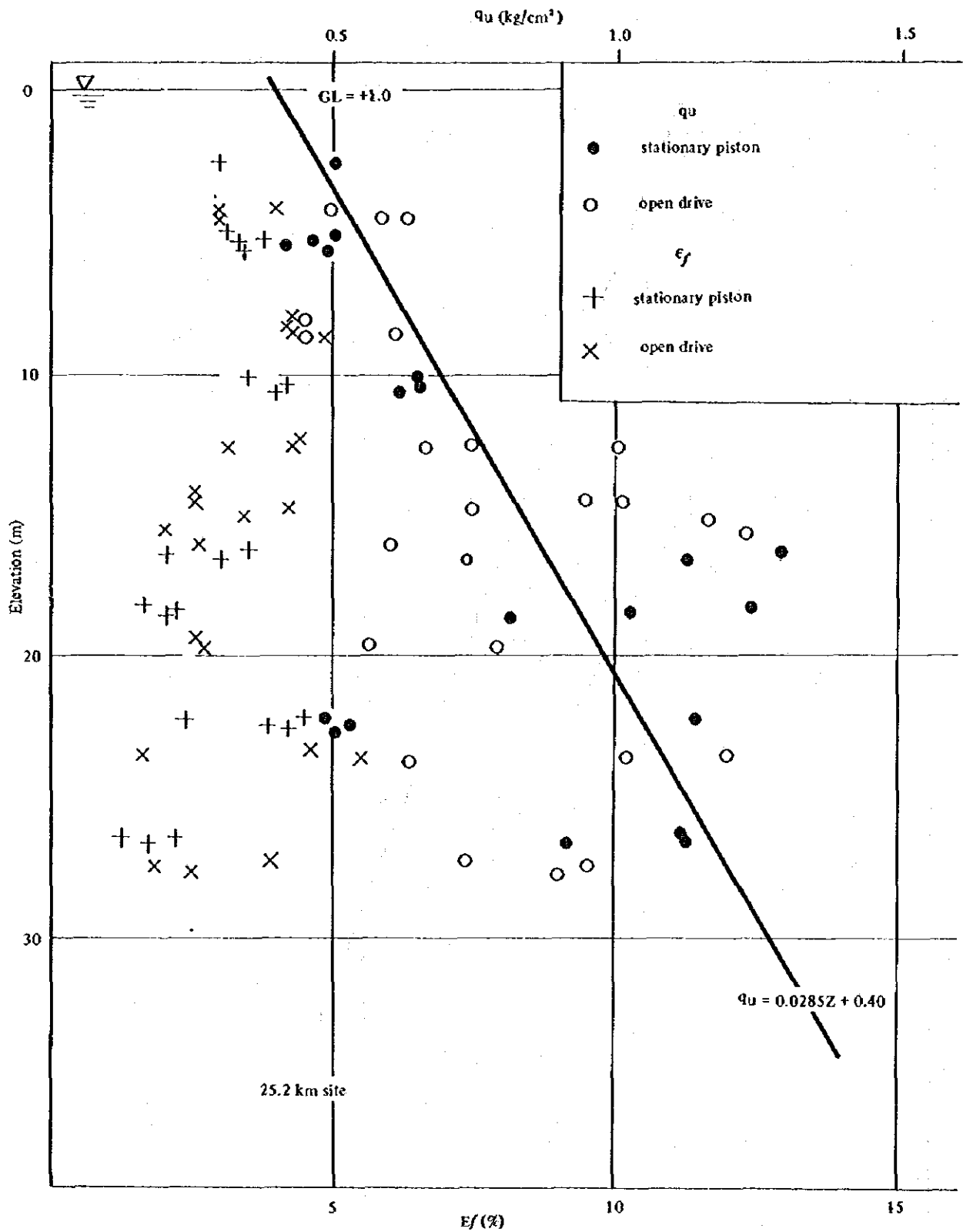


図 8 - 4 - 6 q_u 及び ϵ_f の深さ方向分布 (km 25.2)

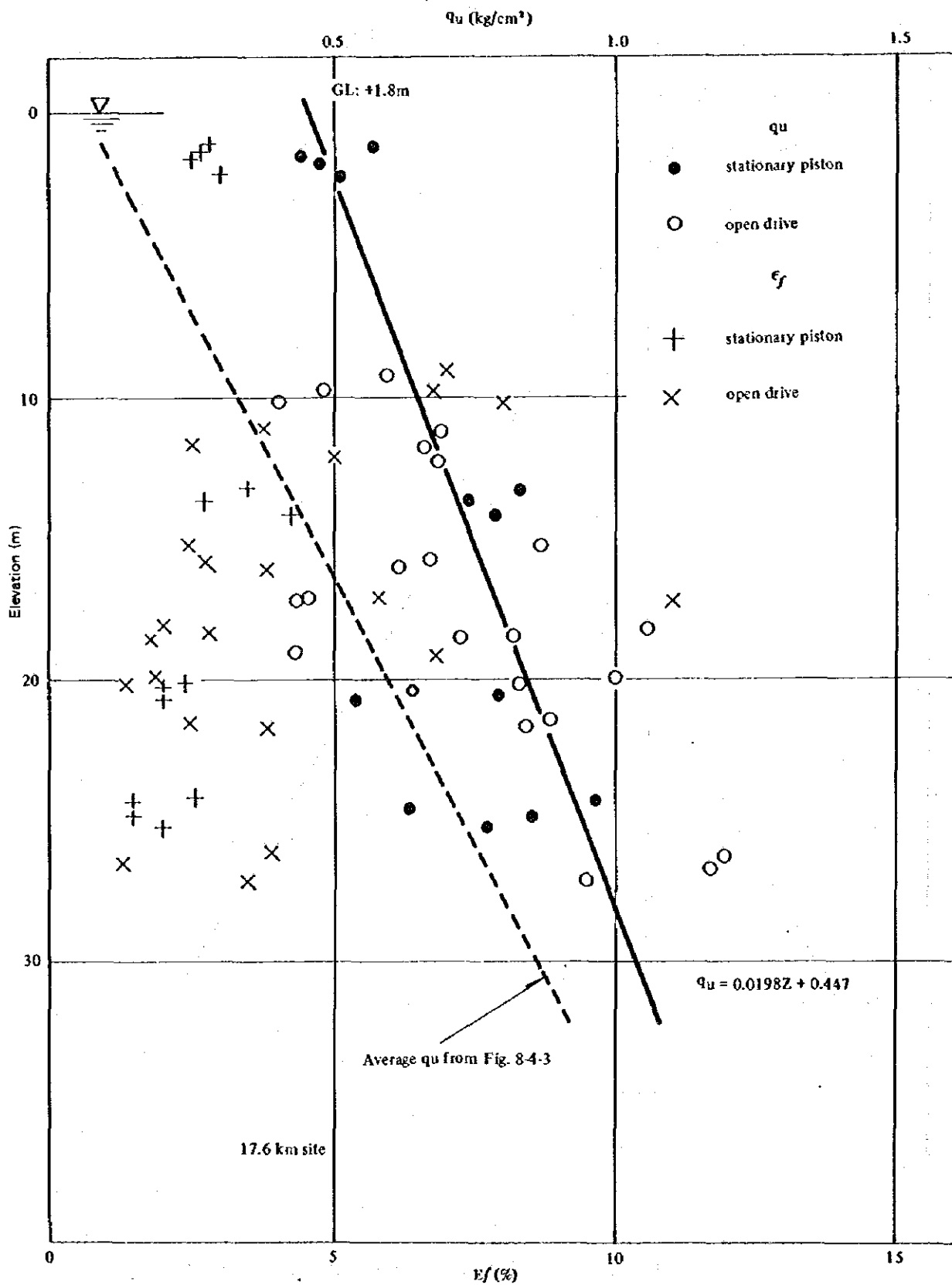


図 8 - 4 - 7 q_u 及び e_f の深さ方向分布 (km 17.6)

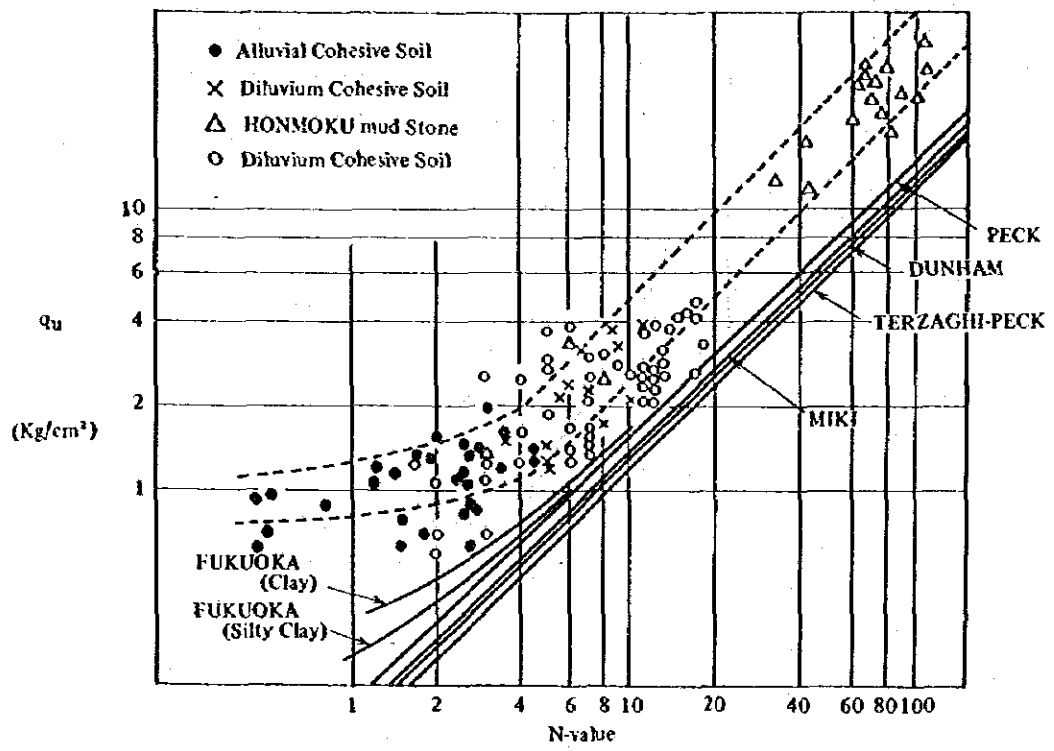


図 8 - 4 - 8 q_u と N 値の相関図

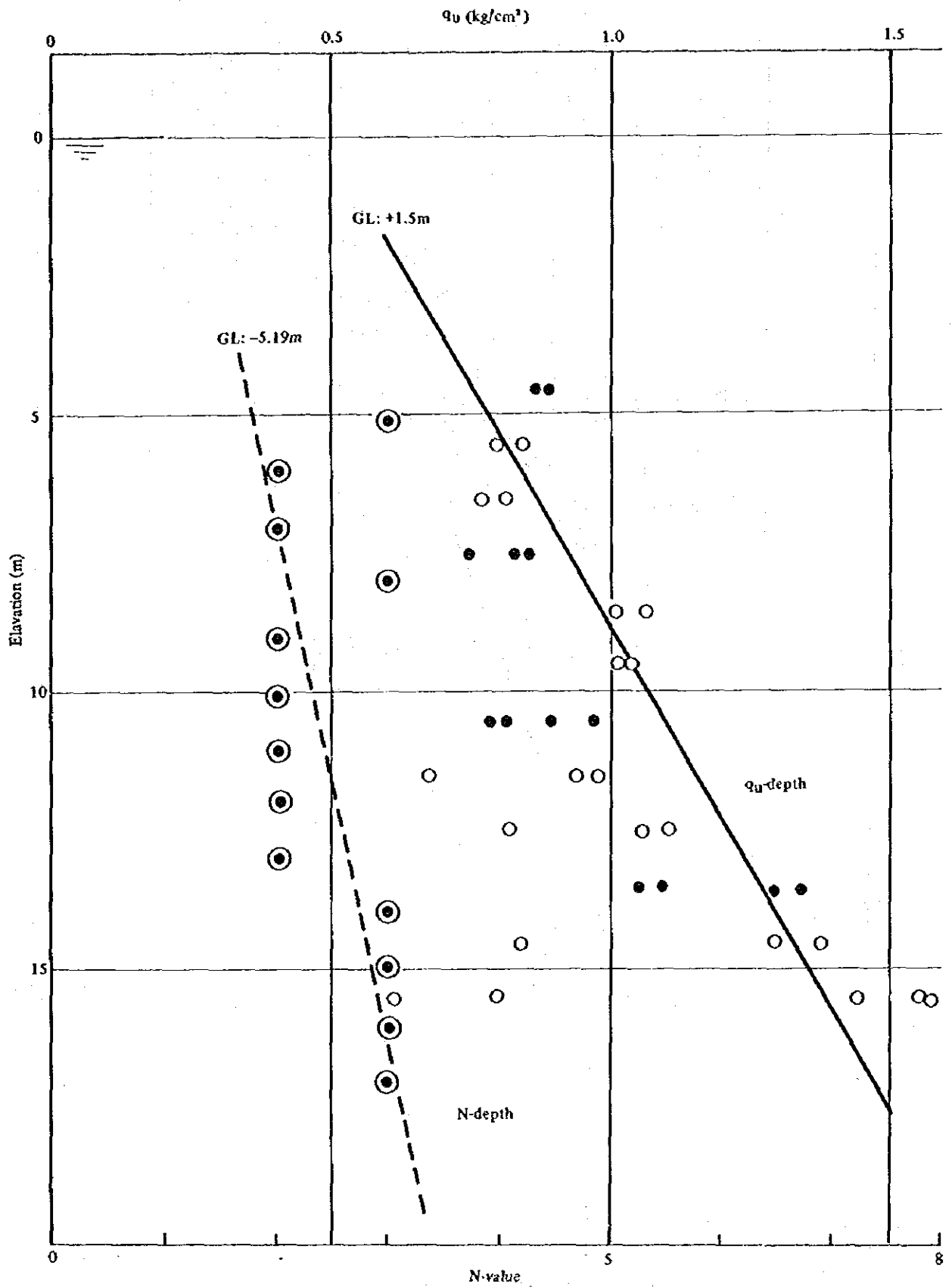


図 8 - 4 - 9 q_u と N 値の深度別分布

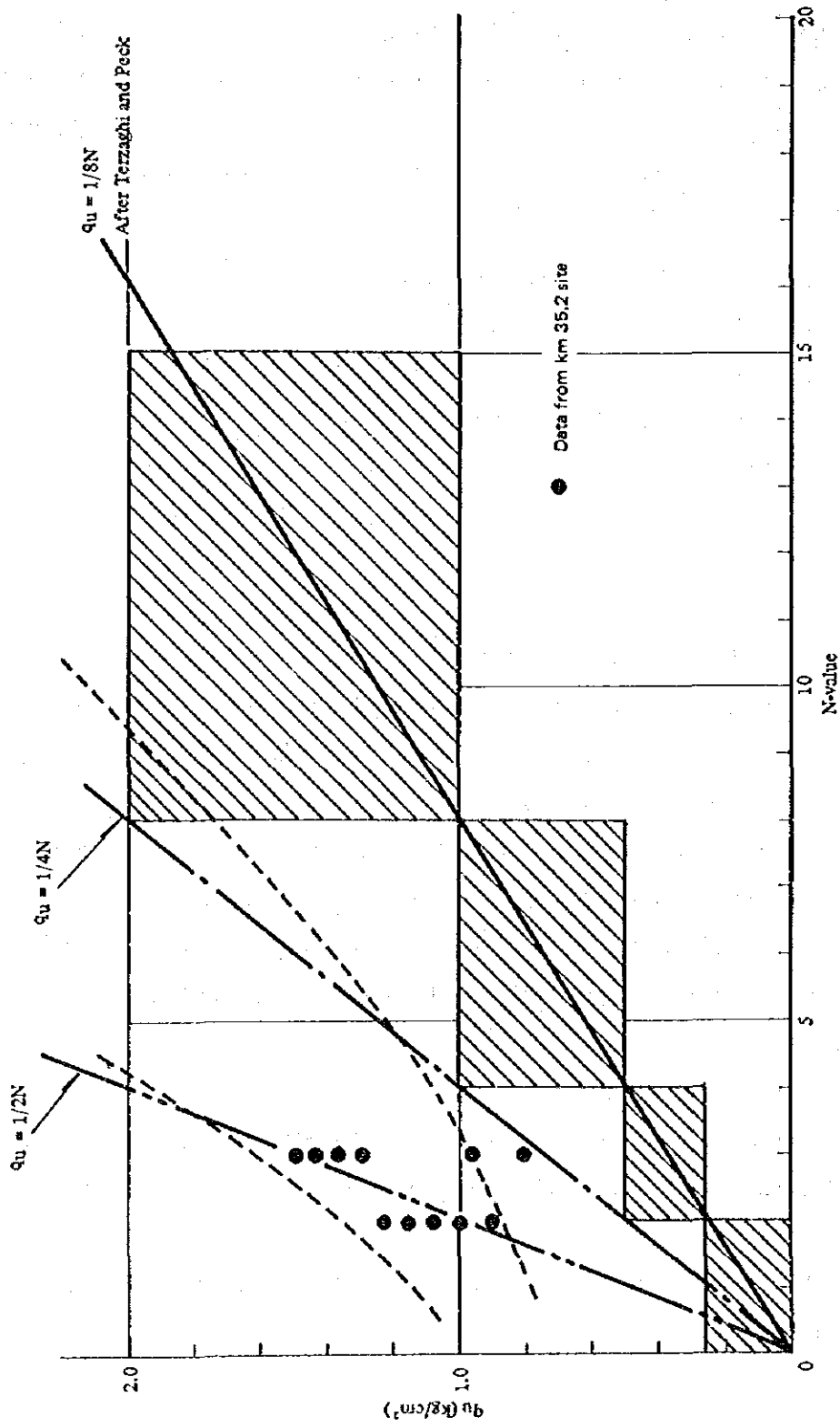


図 8-4-10 q_u と N 値の相関関係

4-2 運河法面の円形すべりに対する安定性

運河法面の安定性については、漂砂洗堀等に伴う長時間の外力に対するものと、自重による崩壊のような瞬時に起るものについて検討する必要がある。円形すべりは後者に属する現象であるが、これは短時間に多量の土砂移動を伴うため前者よりは、はるかに危険である。運河法面の円形すべりに対する安定性については、既に Sogreah が種々の土質性状、断面形状について電子計算機による解析を行ない特に粘着力の小さい粘土質断面についてその不安定性を指摘している。

そこで前節で述べた試験結果を用いて再検討を行なった。

1) 運河断面および土質条件

今回の解析で対象とした地点は、土質試験を行なった、

- ① km 5 (Port Said Bypass)
- ② km 17.6
- ③ km 25.2
- ④ km 35.2

の4地点である。

運河断面および土質条件を図8-4-11, 表8-4-1に示す。

法面勾配は $\frac{1}{4}$, 地盤高+2.0 m, 運河水深はⅠ期, Ⅱ期およびマスター・プランに対応する19.5 mおよび24.0 mである。土質条件は前述した試験結果に基づき、深さ方向に線形の粘着力を与えた(図8-4-12)。

計算水位は、船舶の航行によって生じる一時的な水面の低下を考慮し、-1.2 mとした。又 km 5 地点については、後述するように法肩部で斜面内崩壊が生じたため(土質の再試験が必要) Berm を設けた断面について、斜面全体の安定性を検討した。km 35.2 地点については約-2.0 mの位置にやや傾斜した砂層が粘土層に続いている、計算では単純化してこれを水平な砂層とした。

…… 土の水中単位体積重量について……

土の単位体積重量に関するデータは、本計算時点では試験結果が入手できなかった。そこで今回の試験地点に近いデータとして Kotzias-Stamatopoulos による調査結果(表8-4-2)を用いた。

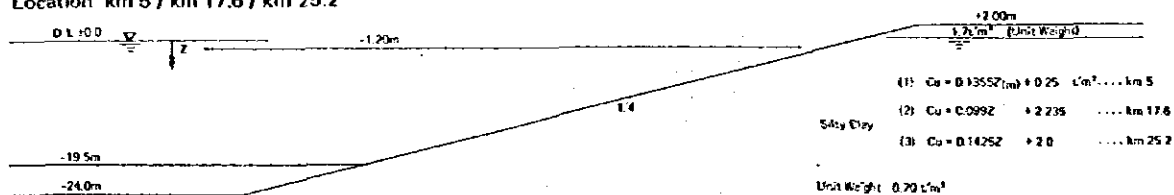
表8-4-2より km 7.7 ~ km 23 に至る試験結果を平均すれば、単位体積重量として $1.71/m^3$ 水中単位体積重量 $0.71/m^3$ を得る。

表 8-4-1 粘着力

Location	Cohesion (t/m ²)	Angle of Repose (°)	Unit Weight in Water (t/m ³)	Remark
Km 5	$C_v = 0.1355Z + 0.25$	0	0.7	Silty
Km 17.6	$= 0.099Z + 2.235$	0	0.7	Silty
Km 25.2	$= 0.1425Z + 2.0$	0	0.7	Silty
Km 35.2	$= 0.285Z + 2.5$	0	0.7	Silty up to -20 m
	$= 0$	35	1.0	Sand

* Z below datum (m)

1) Location km 5 / km 17.6 / km 25.2



2) Location km 35.2

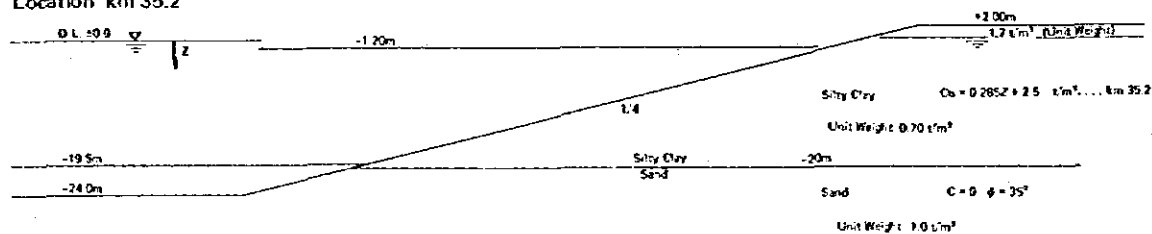


図 8-4-11 運河断面 (円形すべり)

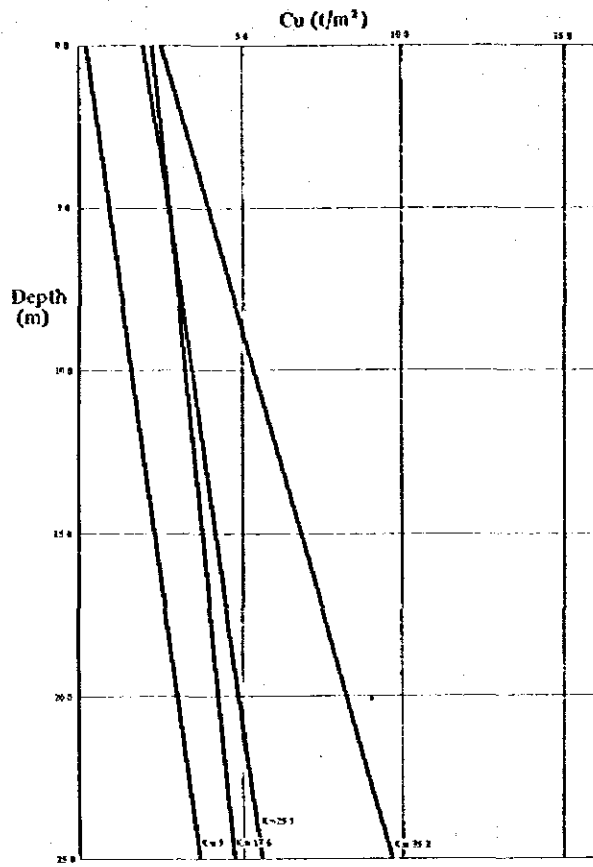


図 8-4-12 q_u の深さ方定分布

表 8 - 4 - 2 土質試験結果

Sample No.	Natural Water Content	Dry Unit Weight (t/m ³)	Wet Unit Weight (t/m ³)	Grain size, Distribution			Specific Gravity of Grains	Location (km)
				Gravel (%)	Sand (%)	Fines (%)		
1	65	1.02	1.67	0	0	100	2.67	23
2	70	0.92	1.62	0	0	100	2.69	23
3	47	1.24	1.71	0	1	99	2.71	7.7
4	106	0.67	1.73	0	13	87	2.67	19.5
5	83	0.83	1.66	14	8	78		19.5
6	31	1.52	1.84	0	10	90		19.5
7	77	0.91	1.68	0	0	100		19.5
8	64	1.00	1.64	0	0	100		17.6
		Average 1.69						

Source: Kotzias-Stamatopoulos

2) 計算結果

計算結果を図 8 - 4 - 1 3 (a)~図 8 - 4 - 1 3 (j)に示す。表 8 - 4 - 3 (a)~(j)に計算の出力結果を示す。各断面の最小安全率は次の通りである。

最小安全率

Location 水深	k_a 5	k_a 17.6	k_a 25.2	k_a 35.2
-19.5 m	0.89 (1.70)	1.85	2.19	3.18
-24.0	0.92 (1.68)	1.78	2.14	3.14

() … Berm を付けた断面の法先崩壊に対する安全率

LOCATION KM.5 (BOTTOM -19.5)

MIN. SAFETY FACTOR = 0.990
 FAILURE CIRCLE X = 110.00
 Y = 30.00
 RESISTING MOMENT = 763.94
 SLIDING MOMENT = 656.34

	H1	H2	K	Y0	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	0.25	0.00
2	1.70	1.70	0.136	0.0	0.25	0.00

1.76	1.48	1.35	1.27	1.12	0.99
1.79	1.51	1.38	1.27	1.11	0.97
1.84	1.55	1.37	1.26	1.11	0.96
1.90	1.59	1.40	1.26	1.11	0.99
2.00	1.68	1.44	1.31	1.13	0.91
2.14	1.76	1.52	1.36	1.16	0.89

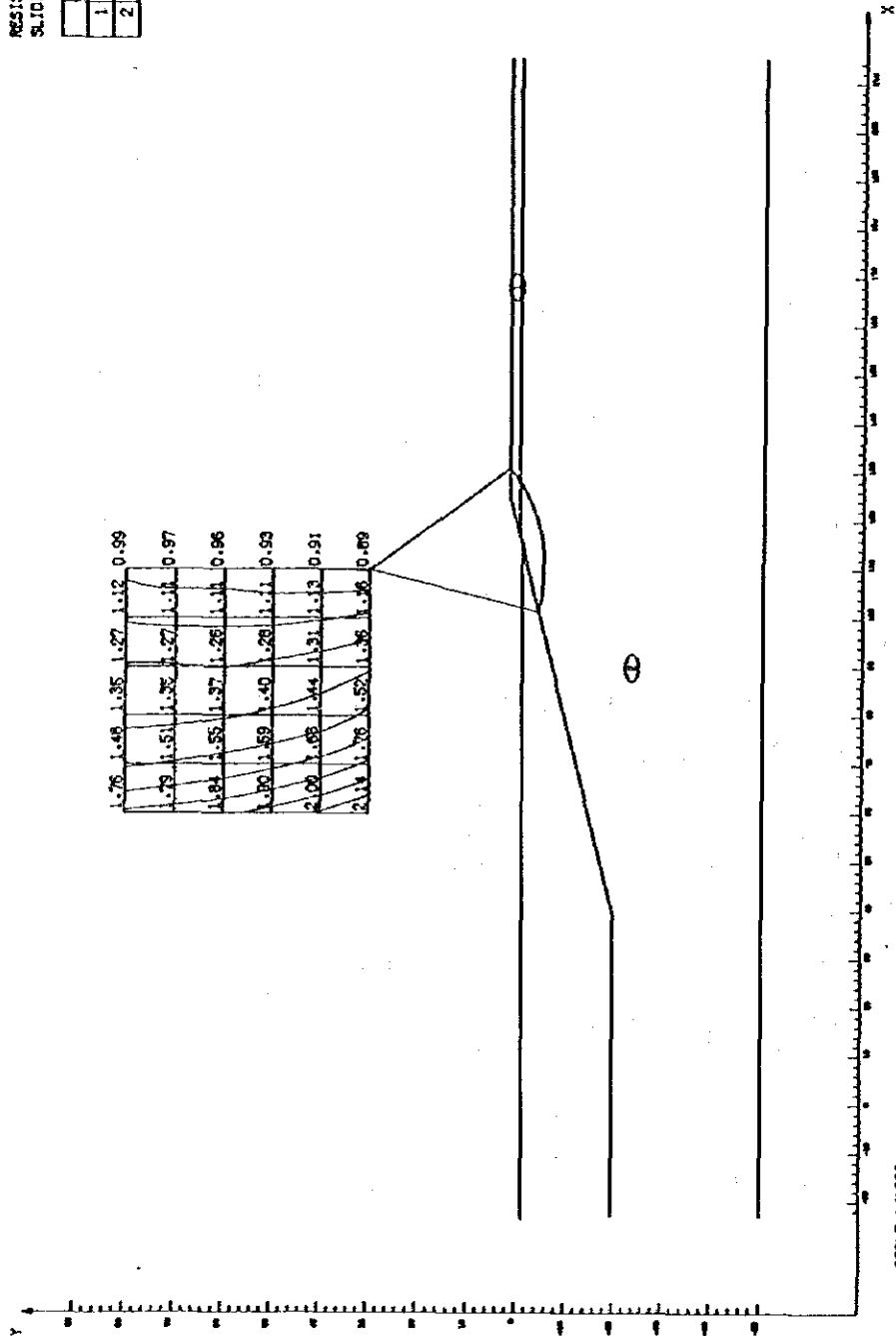


図 8-4-13(a) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.5 (BOTTOM -24.0)

MIN. SAFETY FACTOR = 0.918
 FAILURE CIRCLE X = 110.00
 Y = 40.00
 R = 45.00
 RESISTING MOMENT = 1089.51
 SLIDING MOMENT = 1185.49

	H1	H2	K	YO	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	0.25	0.00
2	1.70	1.70	0.135	0.0	0.25	0.00

1.51	1.42	1.35	1.26	1.13	1.01
1.34	1.42	1.36	1.27	1.13	0.98
1.37	1.43	1.35	1.27	1.13	0.96
1.61	1.46	1.37	1.26	1.12	0.95
1.66	1.49	1.40	1.28	1.12	0.94
1.73	1.35	1.44	1.31	1.13	0.92

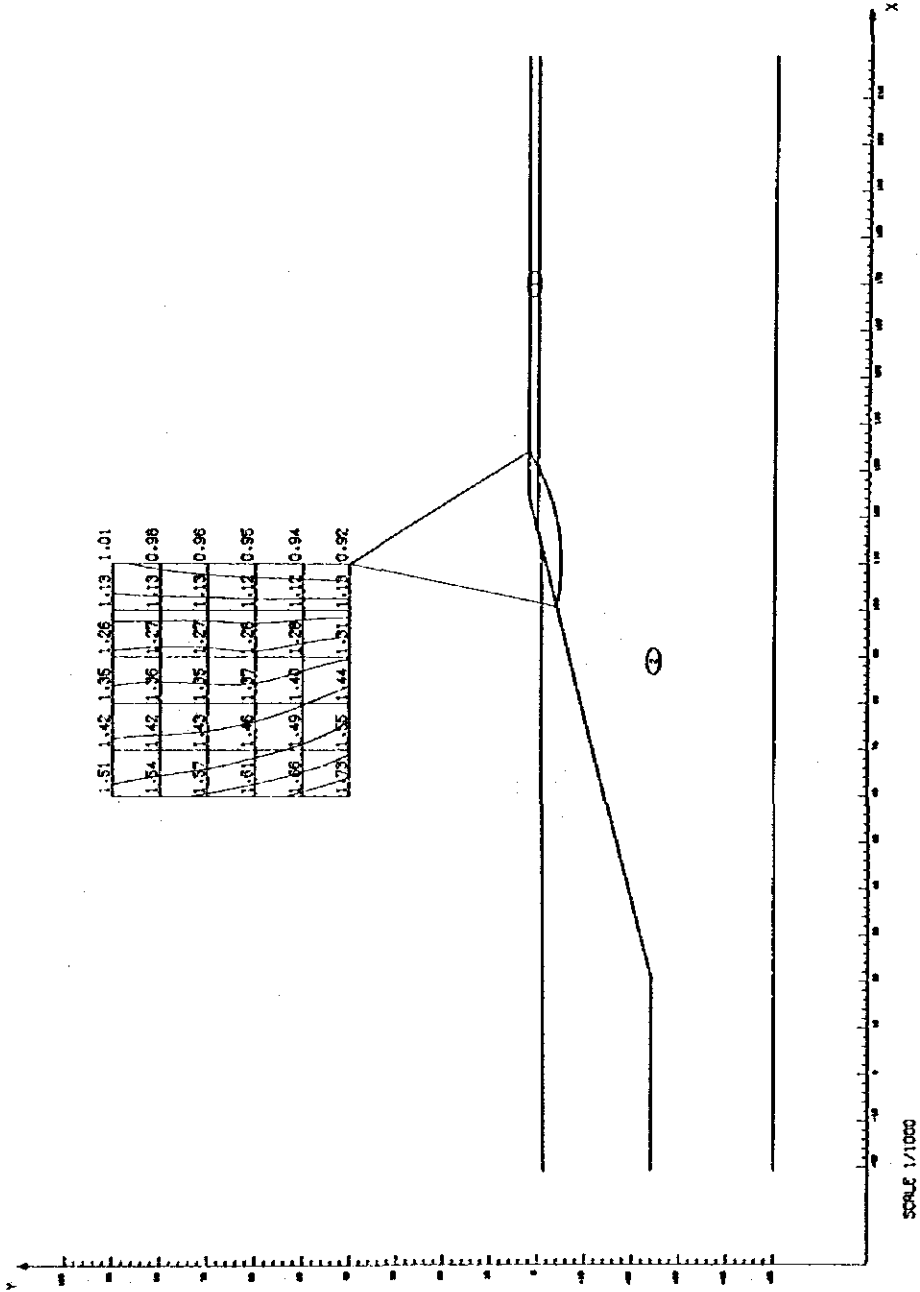


図 8-4-13(b) 円形すべり計算結果

LOCATION KM-5 (BOTTOM -24.0)

MIN. SAFETY FACTOR	=	1.877
FAILURE CIRCLE	X	80.00
	Y	120.00
RESISTING MOMENT	=	97186.31
SLIDING MOMENT	=	97931.98

NO.	α	β	γ	δ	ε	φ	ψ
1	1.70	1.70	0.000	0.0	0.28	0.00	0.00
2	1.70	1.70	0.136	0.0	0.28	0.00	0.00

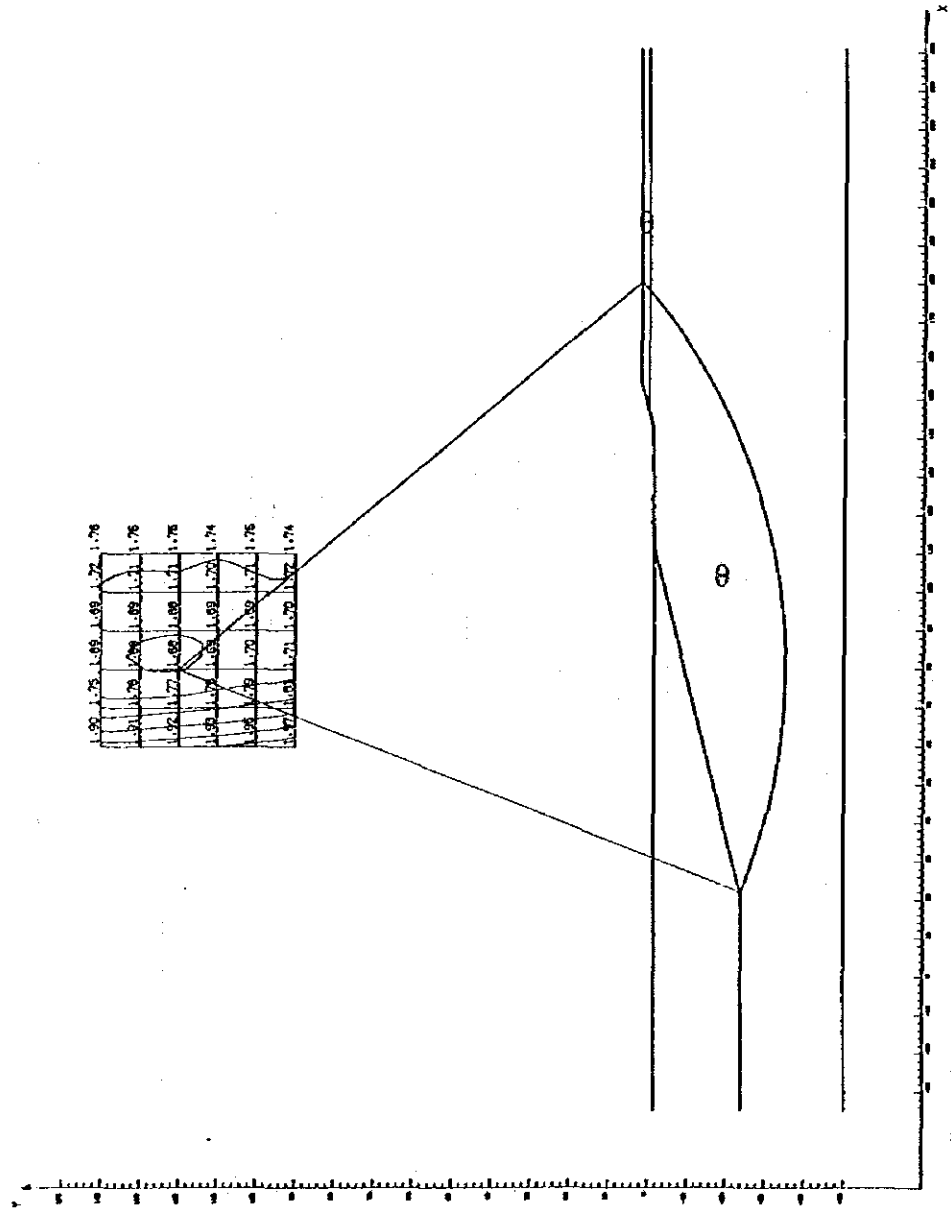


図 8-4-13(c) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.5 (SECTION -19.5)

MIN. SAFETY FACTOR = 1.499
 FAILURE CIRCLE X A = 90.00
 Y A = 130.00
 R A = 157.50
 RESISTING MOMENT = 89669.69
 SLIDING MOMENT = 40867.27

	HI	MC	K	VO	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	0.28	0.00
2	1.70	1.70	0.136	0.0	0.28	0.00

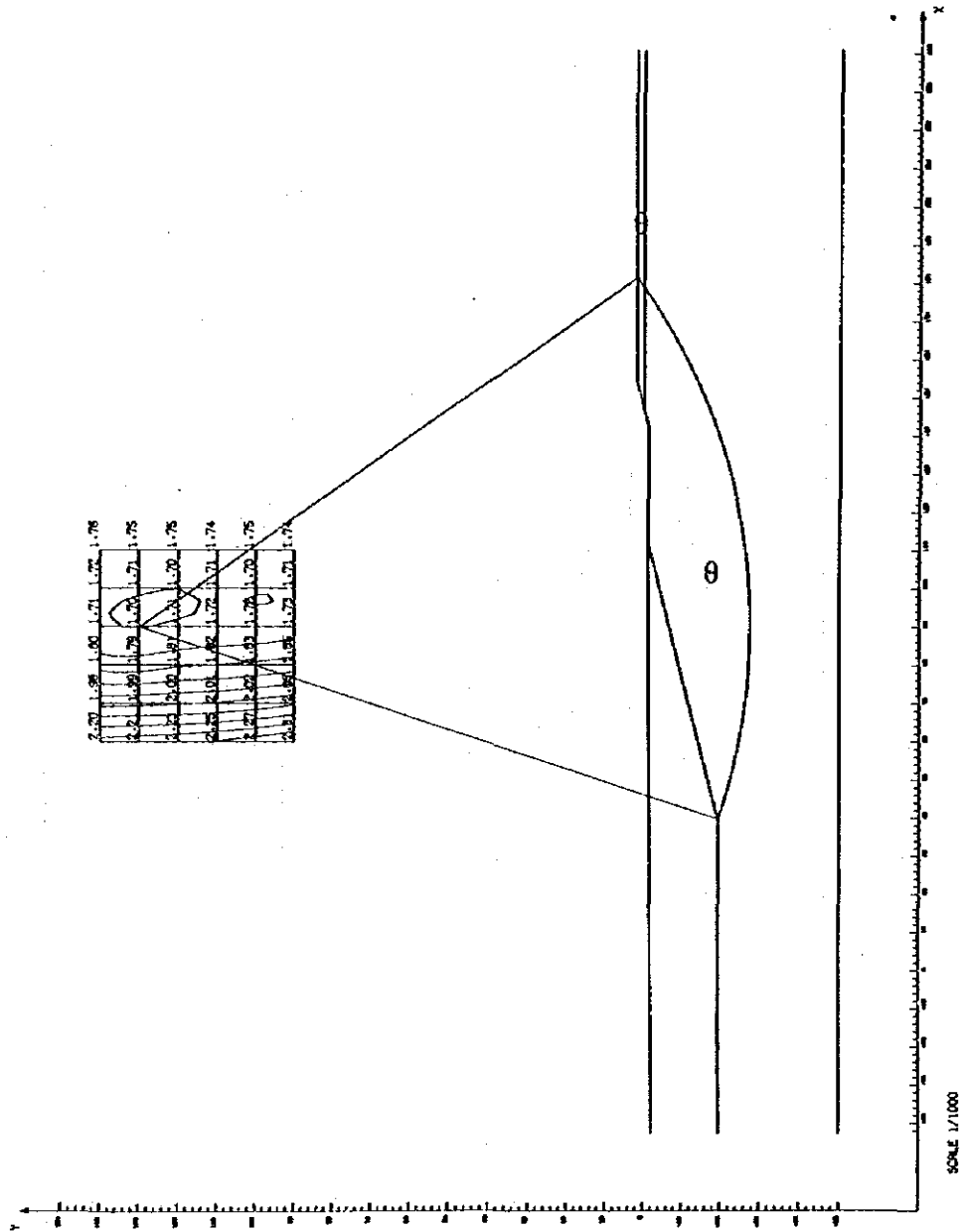


図 8-4-13(d) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.17.6 (BOTTOM -19.5)

MIN. SAFETY FACTOR = 1.850
 FAILURE CIRCLE X = 90.00
 Y = 50.00
 R = 85.00
 RESISTING MOMENT = 543581.39
 SLIDING MOMENT = 29387.59

NO.	M1	M2	K	YC	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	2.23	0.00
2	1.70	1.70	0.099	0.0	2.23	0.00

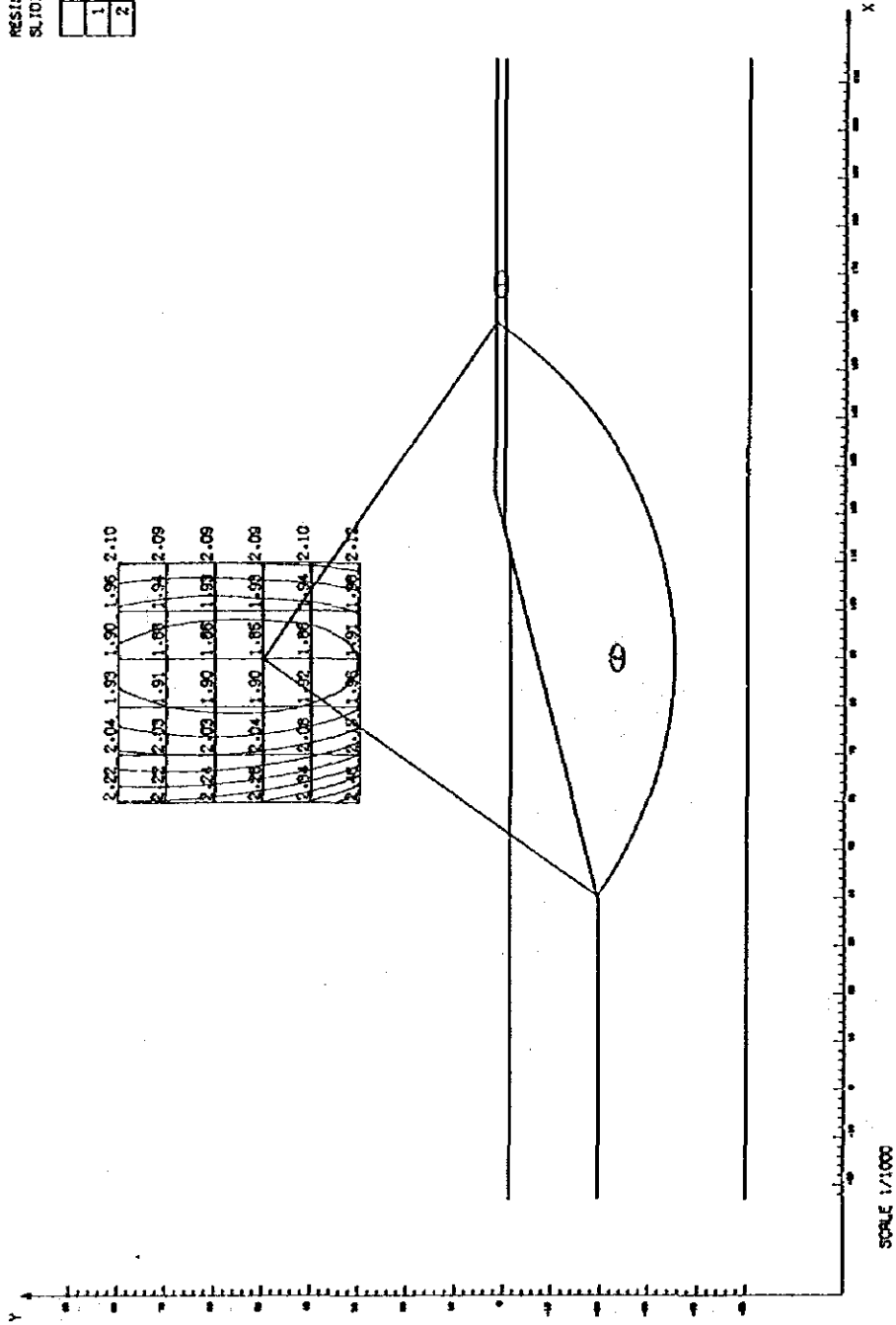


図 8-4-13(e) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.17.6 (BOTTOM -24.0)

MIN. SAFETY FACTOR = 1.777
 FAILURE CIRCLE X = 80.00
 Y = 60.00
 R = 102.80
 RESISTING MOMENT = 87577.75
 SLIDING MOMENT = 49291.94

NO.	M1	M2	K	YO	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	2.23	0.00
2	1.70	1.70	0.099	0.0	2.23	0.00

1.59	1.84	1.81	1.65	1.94	2.08
1.53	1.83	1.82	1.84	1.93	2.08
1.52	1.82	1.73	1.83	1.93	2.08
1.84	1.82	1.70	1.83	1.93	2.09
1.96	1.84	1.80	1.84	1.93	2.09
2.01	1.82	1.82	1.86	1.96	2.10

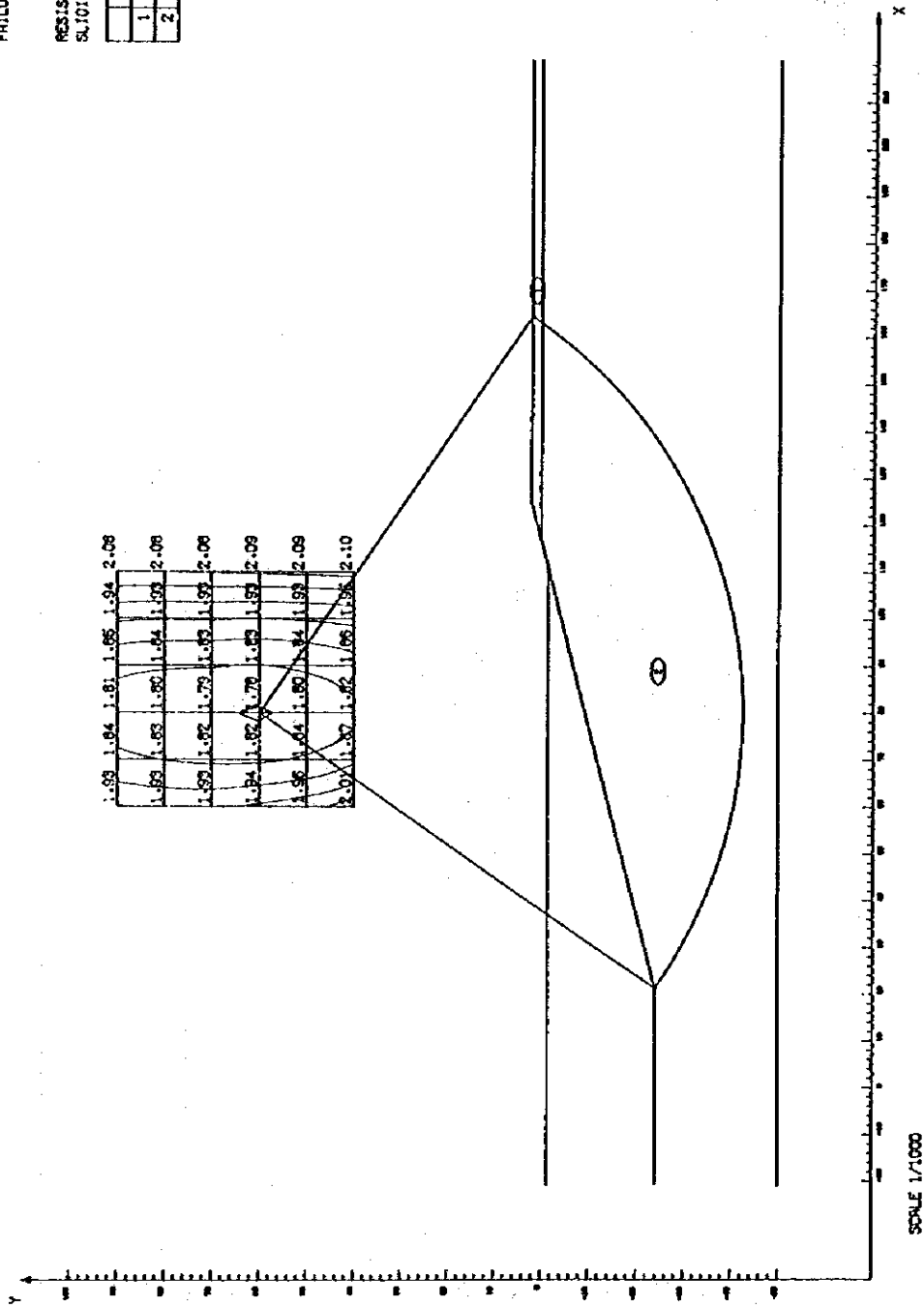


図 8-4-13(f) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.25.2 (BOTTOM -19.5)

MIN. SAFETY FACTOR = 2.186
 FAILURE CIRCLE X = 90.00
 Y = 50.00
 R = 65.00
 RESISTING MOMENT = 64244.80
 SLIDING MOMENT = 29667.39

	M1	M2	K	Y0	C	Phi
1	1.70	1.70	0.000	0.0	2.00	0.00
2	1.70	1.70	0.142	0.0	2.00	0.00

2.67	2.42	2.25	2.23	2.31	2.49
2.69	2.41	2.23	2.20	2.28	2.47
2.71	2.40	2.22	2.19	2.27	2.44
2.73	2.39	2.21	2.18	2.25	2.41
2.75	2.38	2.20	2.17	2.23	2.38
2.77	2.37	2.19	2.16	2.21	2.35

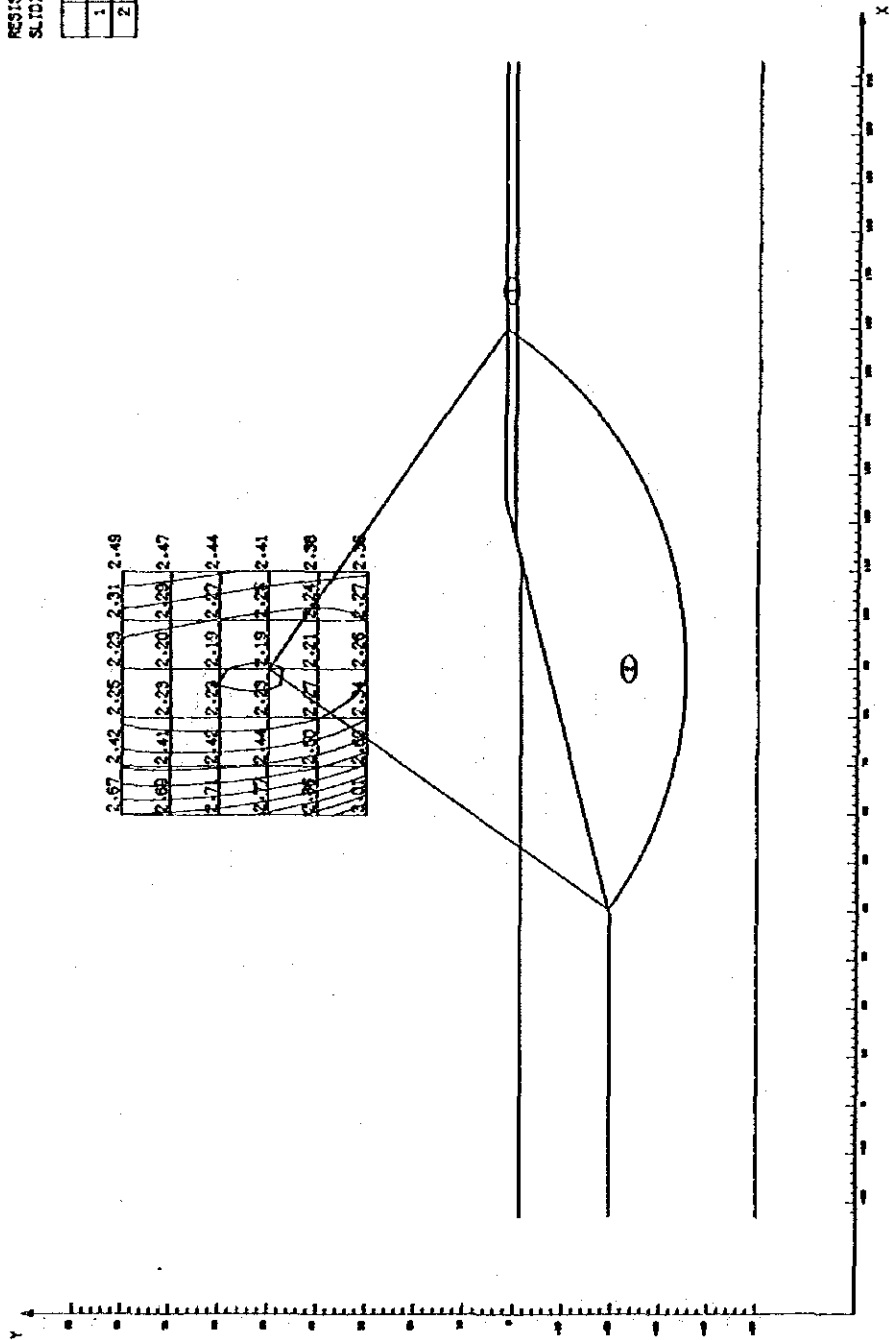


図 8-4-13(g) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.25.2 (BOTTOM -24.0)

MIN. SAFETY FACTOR = 2.142
 FAILURE CIRCLE X = 80.00
 Y = 60.00
 RESISTING MOMENT = 94350.23
 SLIDING MOMENT = 44039.96

M1	M2	K	TO	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	2.00
2	1.70	1.70	0.142	0.0	2.00

2.59	2.18	2.16	2.23	2.33	2.51
2.55	2.16	2.15	2.21	2.31	2.50
2.54	2.15	2.15	2.20	2.29	2.47
2.53	2.15	2.14	2.19	2.27	2.44
2.49	2.12	2.12	2.17	2.25	2.41
2.47	2.11	2.11	2.16	2.24	2.37

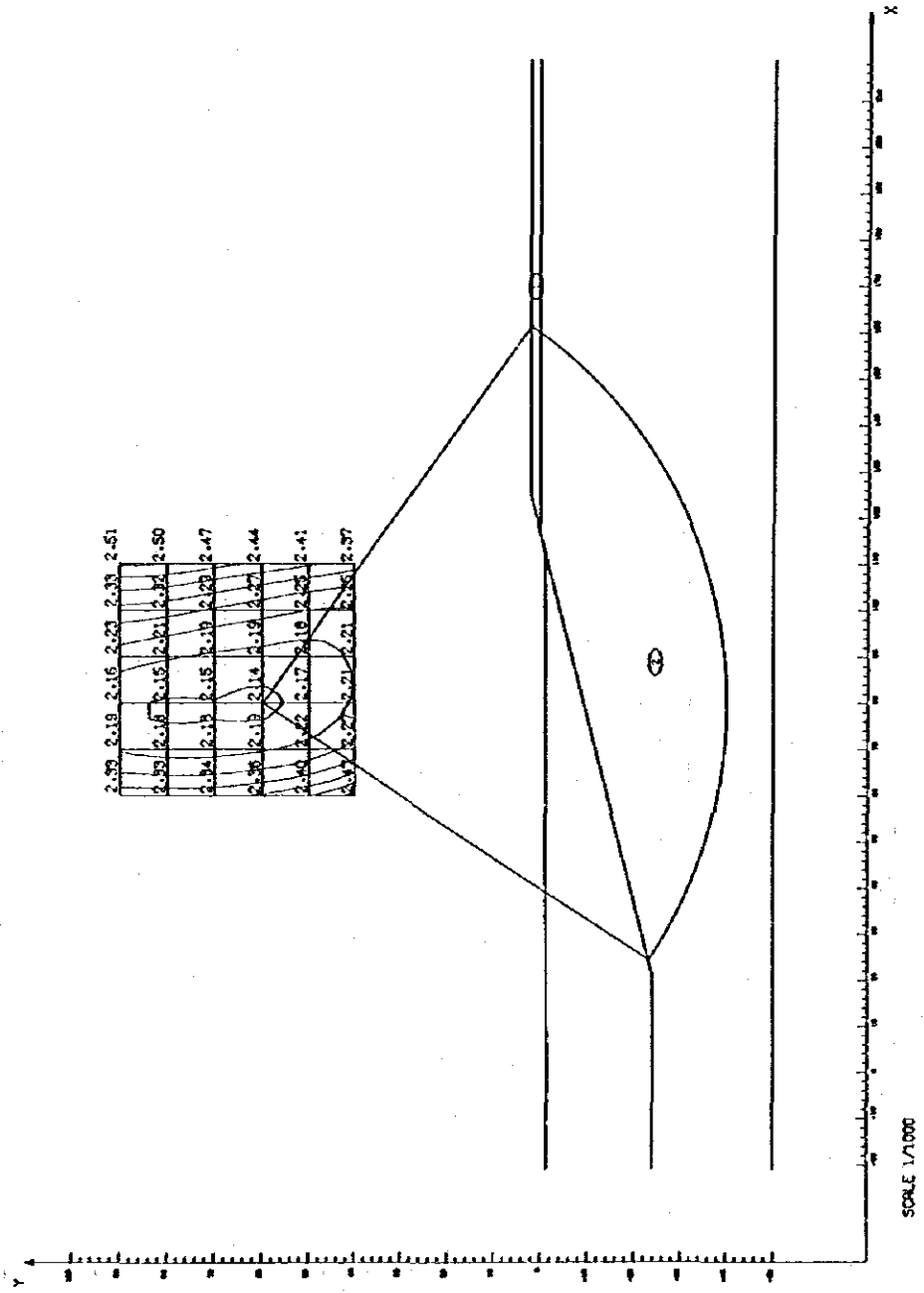


図 8-4-13(b) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.35.2 (BOTTOM -19.5)

MIN. SAFETY FACTOR = 3.183
 FAILURE CIRCLE X = 70.00
 Y = 90.00
 R = 115.00
 RESISTING MOMENT = 77983.35
 SLIDING MOMENT = 24499.46

	H1	H2	K	VO	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	2.50	0.00
2	1.70	1.70	0.266	0.0	2.50	0.00
3	2.00	2.00	0.000	0.0	0.00	35.00

4.09	3.39	3.19	3.37	3.65	4.04
4.23	3.46	3.16	3.36	3.61	3.99
4.33	3.55	3.20	3.32	3.55	3.90
3.84	3.75	3.20	3.35	3.54	3.86
4.0	3.80	3.45	3.36	3.52	3.79
3.95	3.80	3.64	3.44	3.49	3.72

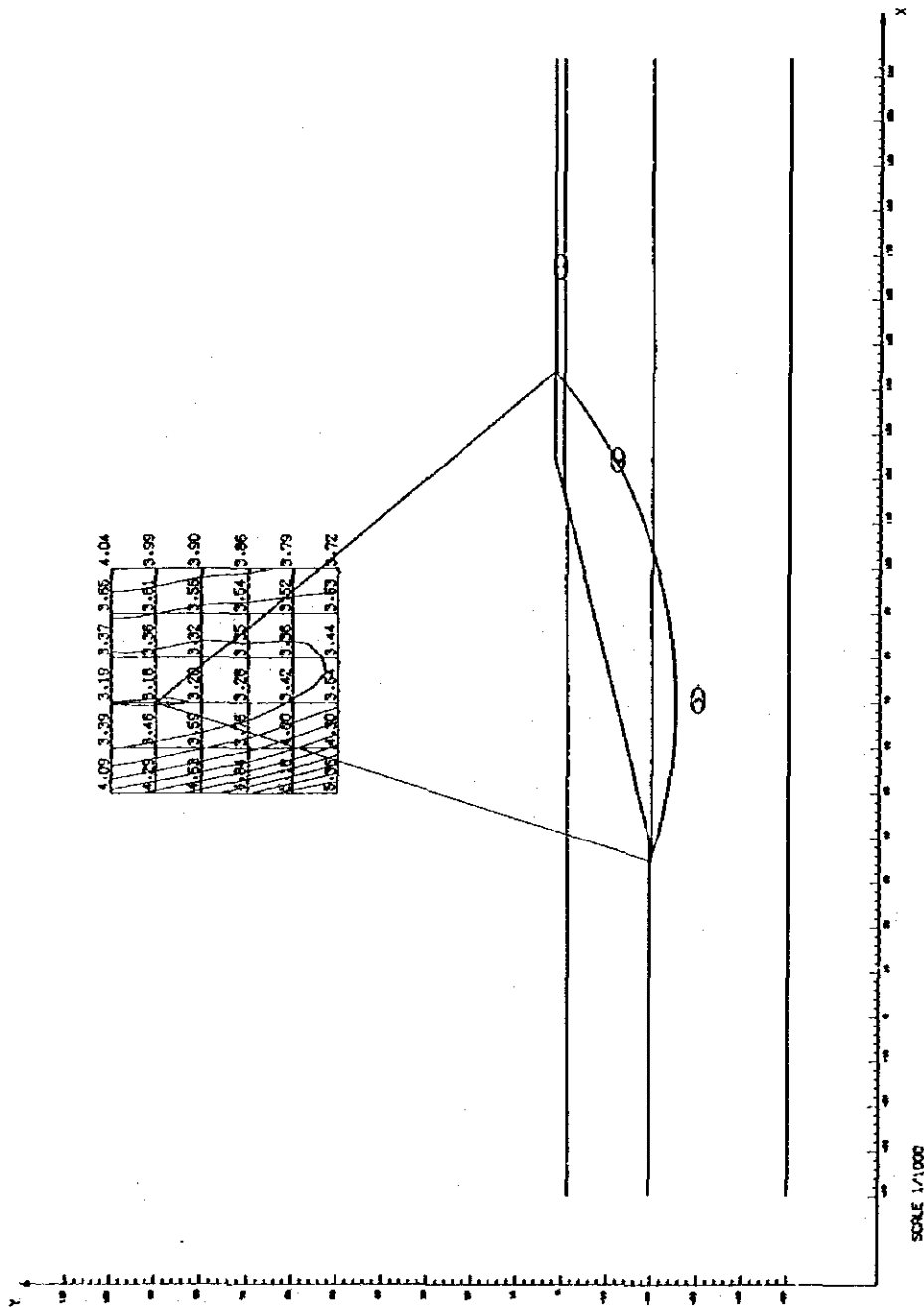


図 8-4-13(i) 円形すべり計算結果

LOCATION KM-35.2 (BOTTOM -24.0)

MIN. SAFETY FACTOR = 3.137
 FAILURE CIRCLE X = 70.00
 Y = 100.00
 R = 125.00
 RESISTING MOMENT = 80311.03
 SLIDING MOMENT = 25149.59

	M1	M2	K	YO	C	PHI
1	1.70	1.70	0.000	0.0	2.50	0.00
2	1.70	1.70	0.258	0.0	2.50	0.00
3	2.00	2.00	0.000	0.0	0.00	35.00

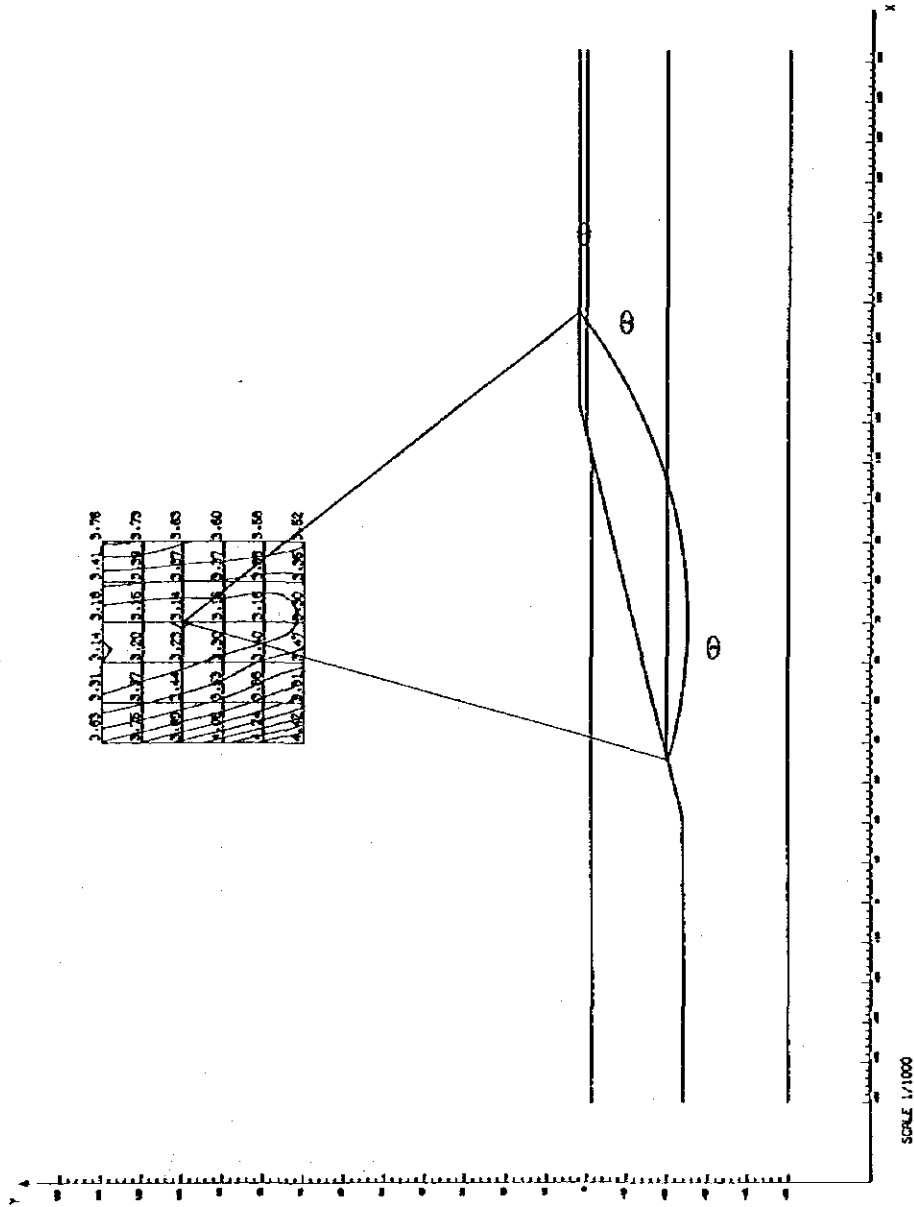
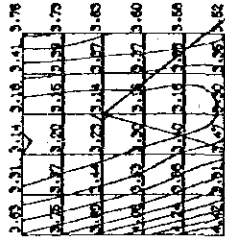


図 8-4-13(j) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.5 (BOTTOM -13.5)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
80.00		1.7624	1.4846	1.3520	1.2635	1.1244	.9923	.9929
70.00		1.7933	1.5100	1.3543	1.2663	1.1100	.9686	.9586
60.00		1.8373	1.5457	1.3687	1.2571	1.1124	.9551	.9551
50.00		1.9022	1.5918	1.3965	1.2823	1.1095	.9332	.9332
40.00		1.9970	1.6580	1.4382	1.3125	1.1291	.9106	.9106
30.00		2.1377	1.7636	1.5247	1.3648	1.1633	.8900	.8900
MINIMUM		1.7624	1.4846	1.3520	1.2571	1.1095	.8900	.8900

MINIMUM SAFETY FACTOR = .8900

YC = 110.00 RESISTING MOMENT = 763.94
 YC = 30.00 SLIDING MOMENT = 858.34
 R = 35.00

表 8-4-3(a) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.5 (BOTTOM -24.0)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
90.00		1.5104	1.4157	1.3529	1.2571	1.1272	1.0067	1.0067
80.00		1.5434	1.4237	1.3563	1.2680	1.1251	.9835	.9835
70.00		1.5703	1.4348	1.3546	1.2657	1.1259	.9592	.9592
60.00		1.6076	1.4600	1.3651	1.2552	1.1176	.9452	.9452
50.00		1.6593	1.4932	1.3963	1.2825	1.1246	.9356	.9356
40.00		1.7346	1.5456	1.4434	1.3136	1.1307	.9182	.9182
MINIMUM		1.5104	1.4157	1.3529	1.2552	1.1176	.9182	.9182

MINIMUM SAFETY FACTOR = .9182

YC = 110.00 RESISTING MOMENT = 1088.51
 YC = 40.00 SLIDING MOMENT = 1185.49
 P = 45.00

表 8-4-3(b) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.5 (BOTTOM -19.5)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
140.00		2.2027	1.9829	1.7953	1.7084	1.7175	1.7571	1.7084
130.00		2.2138	1.9861	1.7902	1.6987	1.7053	1.7485	1.6987
120.00		2.2270	1.9959	1.8120	1.7066	1.7004	1.7469	1.7004
110.00		2.2478	2.0056	1.8204	1.7160	1.7081	1.7370	1.7081
100.00		2.2741	2.0237	1.8328	1.7181	1.7017	1.7459	1.7017
90.00		2.3121	2.0491	1.8493	1.7346	1.7084	1.7394	1.7084
MINIMUM		2.2027	1.9829	1.7902	1.6987	1.7004	1.7370	1.6987

MINIMUM SAFETY FACTOR = 1.6987

XC = 90.00 RESISTING MOMENT = 69589.59
 YC = 130.00 SLIDING MOMENT = 40967.27
 R = 157.50

表 8 - 4 - 3(c) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.5 (BOTTOM -24.0)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
140.00		1.9007	1.7516	1.6944	1.6879	1.7211	1.7591	1.6879
130.00		1.9065	1.7569	1.6814	1.6852	1.7075	1.7524	1.6814
120.00		1.9158	1.7660	1.6772	1.6825	1.7093	1.7504	1.6772
110.00		1.9301	1.7762	1.6950	1.6860	1.7000	1.7367	1.6860
100.00		1.9470	1.7909	1.7027	1.6891	1.7140	1.7464	1.6891
90.00		1.9733	1.8103	1.7115	1.7001	1.7170	1.7428	1.7001
MINIMUM		1.9007	1.7516	1.6772	1.6825	1.7000	1.7367	1.6772

MINIMUM SAFETY FACTOR = 1.6772

XC = 80.00 RESISTING MOMENT = 97166.31
 YC = 120.00 SLIDING MOMENT = 57931.98
 R = 155.00

表 8 - 4 - 3(d) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.17.6 (BOTTOM -19.5)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
80.00		2.2179	2.0422	1.9322	1.9008	1.9535	2.0954	1.9008
70.00		2.2200	2.0312	1.9112	1.8795	1.9388	2.0877	1.8795
60.00		2.2384	2.0283	1.8974	1.8634	1.9290	2.0878	1.8634
50.00		2.2750	2.0442	1.8954	1.8497	1.9331	2.0931	1.8497
40.00		2.3376	2.0774	1.9153	1.8544	1.9449	2.1006	1.8544
30.00		2.4561	2.1509	1.9643	1.9107	1.9757	2.1166	1.9107
MINIMUM		2.2179	2.0283	1.8954	1.8497	1.9290	2.0877	1.8497

MINIMUM SAFETY FACTOR = 1.8497

XC = 90.00 RESISTING MOMENT = 54358.39
 YC = 50.00 SLIDING MOMENT = 29387.39
 R = 85.00

表 8 - 4 - 3(e) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.17.6 (BOTTOM -24.0)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
90.00		1.9330	1.8422	1.8114	1.8458	1.9385	2.0808	1.8114
80.00		1.9253	1.8285	1.7958	1.8362	1.9329	2.0793	1.7958
70.00		1.9261	1.8218	1.7886	1.8334	1.9338	2.0846	1.7886
60.00		1.9371	1.8231	1.7767	1.8292	1.9303	2.0865	1.7767
50.00		1.9625	1.8371	1.7956	1.8400	1.9347	2.0912	1.7956
40.00		2.0108	1.8696	1.8233	1.8616	1.9451	2.0985	1.8233
MINIMUM		1.9253	1.8218	1.7767	1.8292	1.9303	2.0798	1.7767

MINIMUM SAFETY FACTOR = 1.7767

XC = 81.00 RESISTING MOMENT = 87577.75
 YC = 60.00 SLIDING MOMENT = 49291.94
 R = 102.50

表 8 - 4 - 3(f) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.25.2 (BOTTOM -19.5)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
90.00		2.6726	2.4198	2.2503	2.2269	2.3147	2.4946	2.2269
70.00		2.6961	2.4112	2.2342	2.1993	2.2896	2.4685	2.1993
60.00		2.7141	2.4181	2.2290	2.1916	2.2666	2.4466	2.1916
50.00		2.7571	2.4437	2.2305	2.1861	2.2501	2.4076	2.1861
40.00		2.8631	2.4991	2.2659	2.2092	2.2437	2.3808	2.2092
30.00		3.0118	2.6039	2.3434	2.2631	2.2710	2.3582	2.2631
MINIMUM		2.6726	2.4112	2.2290	2.1861	2.2437	2.3582	2.1861

MINIMUM SAFETY FACTOR = 2.1861

XC = 90.00 RESISTING MOMENT = 64244.80
 YC = 50.00 SLIDING MOMENT = 29387.39
 R = 85.00

表 8 - 4 - 3(g) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.25.2 (BOTTOM -24.0)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	MINIMUM
90.00		2.3309	2.1944	2.1649	2.2277	2.3338	2.5085	2.1648
80.00		2.3297	2.1812	2.1468	2.2063	2.3193	2.4974	2.1468
70.00		2.3352	2.1822	2.1486	2.1925	2.2937	2.4688	2.1486
60.00		2.3576	2.1945	2.1424	2.1860	2.2700	2.4392	2.1424
50.00		2.3977	2.2195	2.1655	2.1836	2.2503	2.4085	2.1655
40.00		2.4689	2.2706	2.2060	2.2092	2.2461	2.3739	2.2060
MINIMUM		2.3297	2.1812	2.1424	2.1836	2.2461	2.3739	2.1424

MINIMUM SAFETY FACTOR = 2.1424

XC = 80.00 RESISTING MOMENT = 94350.29
 YC = 60.00 SLIDING MOMENT = 44039.95
 R = 101.00

表 8 - 4 - 3(h) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.35.2 (BOTTOM -19.5)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	MINIMUM
100.00		4.0948	3.3883	3.1885	3.3667	3.6458	4.0418	3.1885
90.00		4.2942	3.4603	3.1831	3.3586	3.6116	3.9901	3.1831
80.00		4.5323	3.5873	3.1990	3.3225	3.5550	3.8963	3.1990
70.00		4.8448	3.7613	3.2787	3.3486	3.5403	3.8579	3.2787
60.00		5.1796	4.0021	3.4172	3.3581	3.5164	3.7856	3.3581
50.00		5.3628	4.3021	3.5432	3.4421	3.5265	3.7197	3.4421
MINIMUM		4.0948	3.3883	3.1831	3.3225	3.5164	3.7197	3.1831

MINIMUM SAFETY FACTOR = 3.1831

XC = 70.00 RESISTING MOMENT = 77983.35
 YC = 90.00 SLIDING MOMENT = 24499.48
 P = 115.00

表 8-4-3(i) 円形すべり計算結果

LOCATION KM.35.2 (BOTTOM -24.0)

***** MINIMUM SAFETY FACTOR LIST *****

Y	X=	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	MINIMUM
120.00		3.6292	3.3080	3.1391	3.1815	3.4110	3.7603	3.1391
110.00		3.7472	3.3677	3.1997	3.1538	3.3915	3.7276	3.1538
100.00		3.8866	3.4400	3.2324	3.1372	3.3730	3.6320	3.1372
90.00		4.0592	3.5301	3.2979	3.1556	3.3681	3.5955	3.1556
80.00		4.2449	3.6563	3.3960	3.1589	3.3301	3.5809	3.1589
70.00		4.4200	3.8078	3.4699	3.2955	3.3508	3.5211	3.2955
MINIMUM		3.6292	3.3080	3.1391	3.1372	3.3301	3.5211	3.1372

MINIMUM SAFETY FACTOR = 3.1372

XC = 70.00 RESISTING MOMENT = 89311.03
 YC = 100.00 SLIDING MOMENT = 28149.59
 P = 125.00

表 8-4-3(j) 円形すべり計算結果

3) 考 察

今回計算を行なった4ヶ所の運河法面は、 $k_n 5$ 地点の法肩崩壊 ($F_s \approx 0.9$) を除きすべて安定であった。

運河水深 - 1.9.5 m に対しては $F_s = 1.85 \sim 3.18$

- 2.4.0 m に対しては $F_s = 1.78 \sim 3.14$ である。

また、巾5.0 m 水深1.20 m の Berm を設けた場合 $k_n 5$ 地点の法先崩壊に対する安全率は1.70 (-1.9.5 m), 1.68 (-2.4.0 m) に改善され、安定となる。

$k_n 5$ 地点では、法肩付近で小規模な斜面内崩壊を生じる可能性がある。これは図8-4-12に示したように本地点に於ける粘着力が、特に地表面近くで他の地点に比べ

$$\begin{aligned} C_u &= 0.25 \quad (1/m^2 (k_n 5)) \\ &= 2.235 \quad (k_n 17.6) \\ &= 2.0 \quad (k_n 25.2) \\ &= 2.5 \quad (k_n 35.2) \end{aligned}$$

と約 $\frac{1}{10}$ 程度と非常に小さいことによる。しかし図8-4-13(a)から明らかなように、安全率が1.0以下のすべり面の中心は法肩上にあり、大規模な崩壊は発生しないものと考えられる。従って、崩壊土砂の運河への埋没を防ぐために、Bermを設けるのが有効な対策である。Bermを設けた場合の安全率は、他の地点と同様すべり面が法先を通る斜面先崩壊の場合に最小となる。

運河水深が浅い方が安全率が高いがわずかであり、有意な差ではない(図8-4-14)。又、南下するに従って、粘着力が良くなり、安定性が増している。 $k_n 5$ 地点については、前節で指適した通り、今後更に詳細な土質試験を行ない、特に地表付近の特性を解明する必要がある。

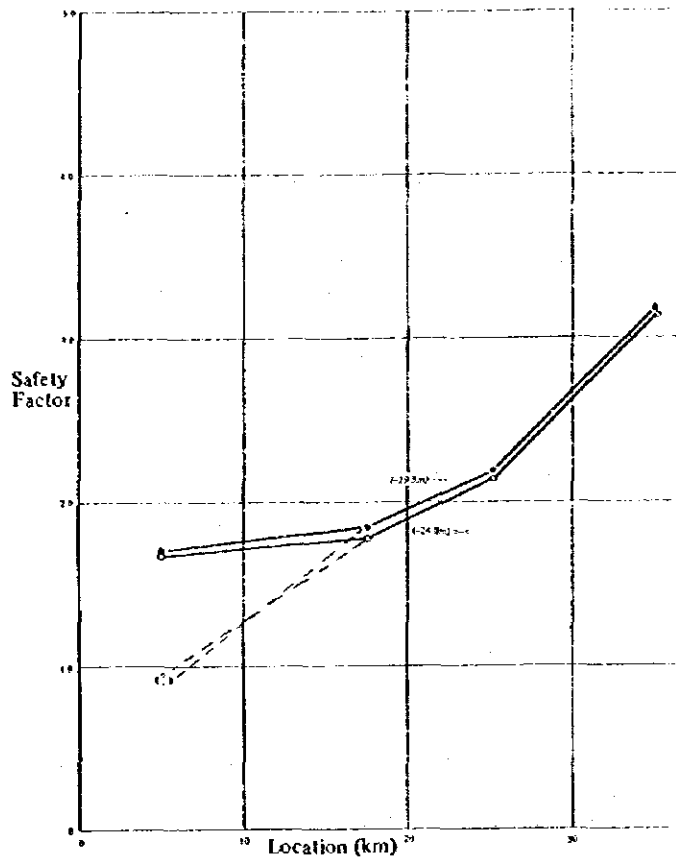


図 8-4-14 安全率と粘着力の関係

第 5 章 運河の埋没

運河および Approach Channel は、標砂により埋没する。所要の水深を確保するために、維持浚渫が行なわれ埋没土砂は定期的に排除される。

埋没の原因となる標砂は、運河と Approach Channel とでは全く異なった要因によって引起される。つまり、運河内で生じる埋没の主要な原因は、船舶の航行に伴なう水粒子の運動である。運河の両側の Bank 法面上の土粒子は水粒子の運動によって安定を失ない、運河底面に推積する。又、わずかではあるが、運河両側に広がる砂漠からの飛砂も埋没の一要因である。

これに対して、Open Sea に位置する Approach Channel では現象が異なる。

すなわち Approach Channel では標砂の要因は、波や潮流による水粒子の運動であり、船舶の航行による水の攪乱は無視できる。

さて、運河の維持管理面で航路の水深維持は最も重要な課題の一つである。維持浚渫計画の立案には運河の各区分ごとの埋没特性、最終的には年間埋没量を適確に把握する必要がある。埋没量の理論的な予測は、現在のところ標砂の水理機構が十分解明されておらず、精度の高い解析が困難であり、現地に於ける調査結果、埋没量又は維持浚渫土量の実積等を参考に定量的な補正が行なわれている。

以下、Ⅰ期、Ⅱ期およびマスター・プラン時に於ける運河断面および航行船舶に対して必要となる維持浚渫土量について検討する。

5-1 埋没量の予測

運河の各開発段階での年間埋没量を運河自体および Approach Channel 別に予測する。運河内の流れと標砂の関係は河川に於ける土砂の移動と類似した特性を有するものと考えられる、以下運河の埋没土砂の特性を河川に於ける流下土砂理論から類推してみる。

河川に於ける掃流砂量についてはいくつかの算定式が提案されているが、佐藤、吉川、芦田、等は次式を提案している。

$$qb(\sigma/\rho-1)g/(\tau_0/\rho)^{3/2} = \varphi F(\tau_0/\tau_c) \quad \dots\dots(4)$$

ここに $n \geq 0.025$: $\varphi = 0.623$ (n … マニングの粗度)

$$n \leq 0.025 : \varphi = 0.623(4.0n)^{3.5}$$

qb … 単位巾当りの掃流砂量

σ … 土砂の比重

ρ … 水の比重

τ_0 … 掃流力

τ_c … 限界掃流力

F … 図 8-5-1 で表わされる τ_0/τ_c の関数

$$uc_*^2 = 8.41 d^{11/32} \quad (0.0065 \leq d < 0.0565 \text{ cm})$$

ここで, $n = 0.025$, $\sigma = 2.65$, $g = 980 \text{ cm/sec}^2$ とすれば

$$\tau_o = \rho g R I_e$$

$$I_e = n^2 V_r^2 / R^{4/3}$$

R ... 径深

I_e ... エネルギー勾配

V_r ... 平均流速 (戻り流れ) より

$$q_B = \frac{1}{g(\sigma/\rho - 1)} (g n^2 V_r^2 / R^{4/3})^{3/2} \times 0.623 \times F(\tau_o / \tau_c)$$

$$= \frac{\sqrt{g} n^3}{(\sigma/\rho - 1) \sqrt{R}} V_r^3 \cdot 0.623 \cdot F(\tau_o / \tau_c)$$

を得る。

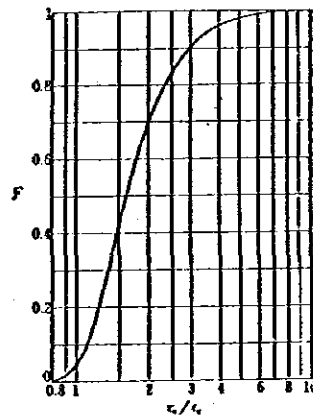


図 8-5-1 F と τ_o / τ_c の関係

掃流土砂量 qb については種々の算定式があり、式によって計算値に大きな差があるため、個々の河川について現地調査の結果によって選択されて用いられる。これまで提案された掃流砂量公式の比較を図8-5-2に示す。これによれば式によってかなり算定値に差があり式(9)はかなり小さな値を与える事が分る。

従って、算定式を選択に当っては現地調査を行ないその局地性を検討する必要がある。スエ

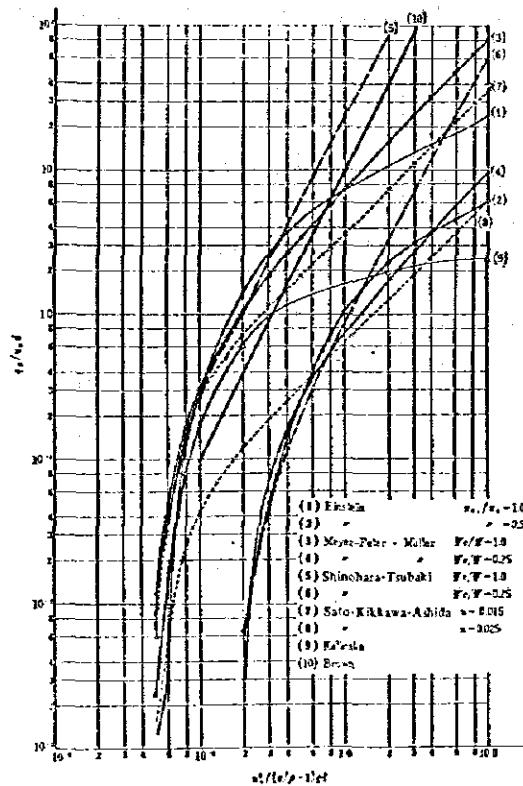


図8-5-2 流砂量式の比較

ズ運河ではその長大な延長に沿って土質が大きく異なるため特にシルト質の区間については精度の高い埋設土量の算定手法の確立は困難である。

従って、今後定期的な深淺測量を含めて詳細な研究が必要である。運河法面勾配 $1/4$ 、底質粒徑 0.1 m/m の場合について(9)式による算定値を図8-5-3および表8-5-1に示す。運河断面はⅡ期およびマスター・プラン時のものであり、船型は式(6)~(11)による値を用いた。

掃流土砂量は船型および船速の増大によって増加する。図8-5-3に於いて、底質移動が殆んど生じない限界船速は非常に重要であり、開発段階別に図8-5-3(d)に示した。

満載タンカーの場合の限界船速は次の通りである。

9 km/h	130,000 DWT) Ⅱ期計画
12 "	100,000	
10 km/h	300,000) マスター・プラン
13 "	200,000	

バラスト・タンカーの場合には船体抵抗が小さいため高速で航行可能であるが、埋没量が増大する。大型のバラスト・タンカーの通航頻度が満載船に比べ低いことを考慮し一船当りの許容埋没量を満載船の1.5倍とすれば、バラスト・タンカーの最大船速は(19)式により約14km/hとなる。

$$\text{最大船速} = \sqrt[3]{1.5} \frac{13(4.6-1)}{(4.8-1)} = 14.1 \text{ km/h}$$

但し

	Area Ratio	船速	埋没量比率
満載タンカー	4.8	13 km/h	1.0
バラスト・タンカー	4.6		1.5

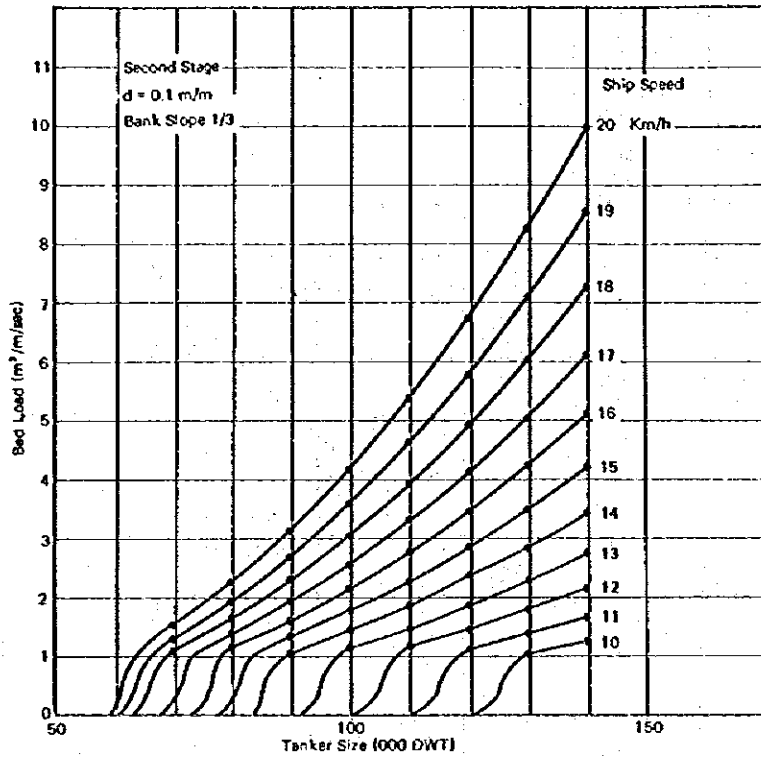


図 8 - 5 - 3(a) 戻り流れによる流砂量

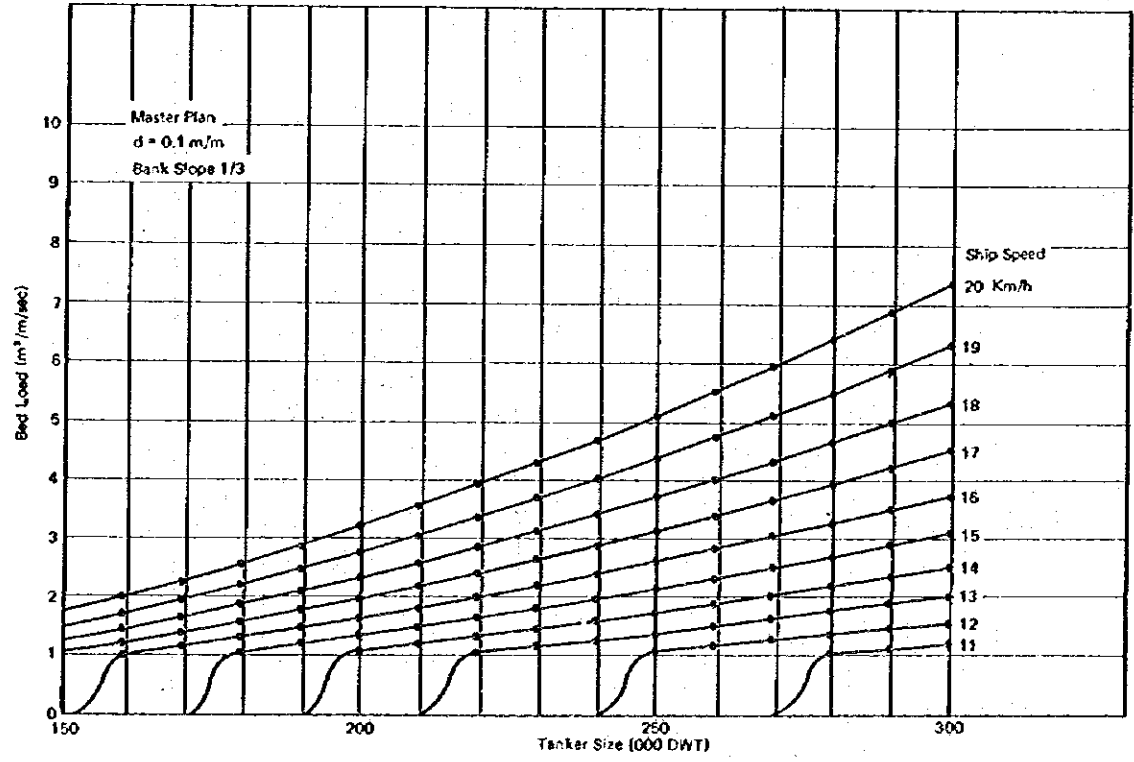


図 8 - 5 - 3(b) 戻り流れによる流砂量

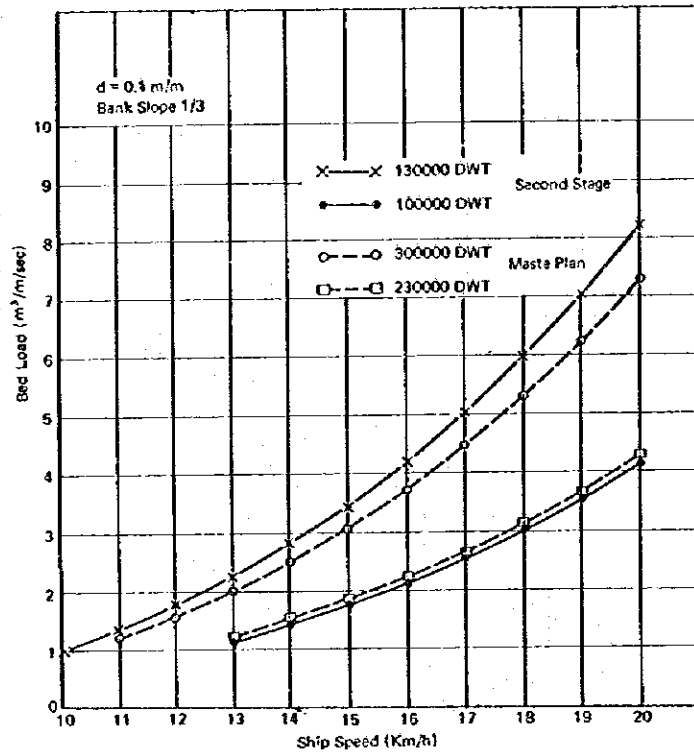


図 8 - 5 - 3(c) 戻り流れによる流砂量

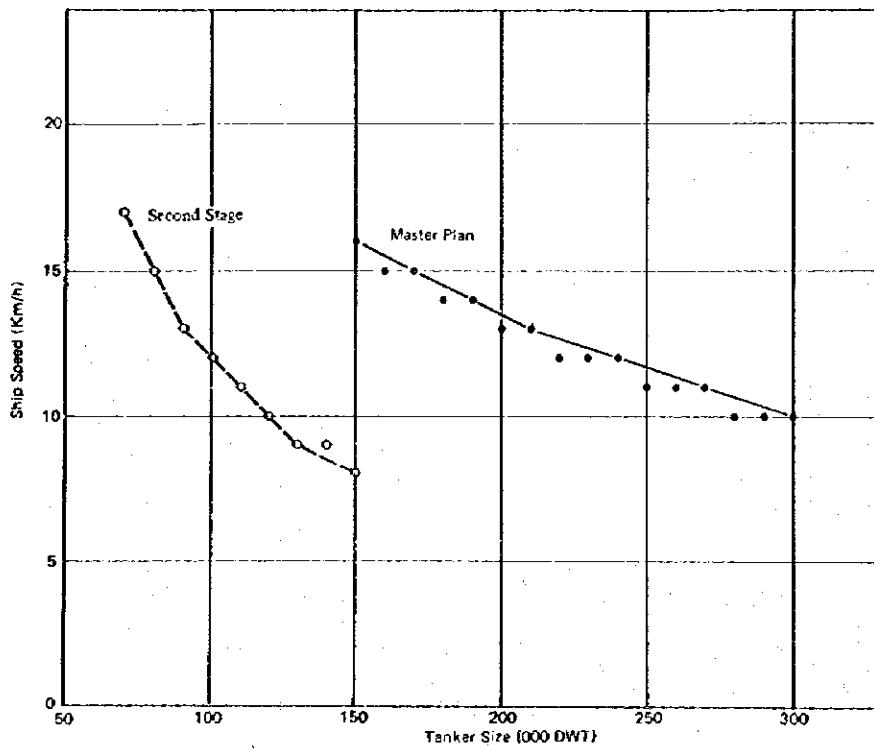


図 8 - 5 - 3(d) 戻り流れによる流砂量

表 8-5-1(a) 戻り流れによる流砂量

Ship Size (DWT) $V_L = 5 \text{ km/h}$	Canal Width (m)			
	50.00+03	70.00+03	90.00+03	100.00+03
6	C.	C.	C.	130.0+03
7	C.	C.	6.15-09	130.0+03
8	C.	421.3-13	11.84-09	130.0+03
9	C.	22.45-05	44.62-09	130.0+03
10	C.	7.017-09	101.4-09	130.0+03
11	C.	424.9-13	26.94-09	130.0+03
12	C.	7.239-09	101.4-09	130.0+03
13	C.	22.58-05	119.3-09	130.0+03
14	C.	49.49-09	177.3-09	130.0+03
15	C.	89.52-09	266.3-09	130.0+03
16	C.	138.4-09	353.2-09	130.0+03
17	C.	195.5-09	445.5-09	130.0+03
18	C.	261.0-09	533.4-09	130.0+03
19	C.	371.2-09	658.6-09	130.0+03
20	C.	493.9-09	834.4-09	130.0+03

表 8-5-1(b) 戻り流れによる流砂量

Ship Size (DWT) $V_L = 5 \text{ km/h}$	Canal Width (m)			
	150.0+03	160.0+03	170.0+03	180.0+03
6	C.	C.	C.	230.0+03
7	C.	2.390-09	12.20-09	230.0+03
8	C.	20.30-09	33.78-09	230.0+03
9	C.	62.94-09	90.07-09	230.0+03
10	C.	131.1-09	171.9-09	230.0+03
11	C.	219.4-09	271.2-09	230.0+03
12	C.	319.3-09	384.5-09	230.0+03
13	C.	432.8-09	512.0-09	230.0+03
14	C.	559.8-09	655.9-09	230.0+03
15	C.	702.5-09	818.3-09	230.0+03
16	C.	862.6-09	998.2-09	230.0+03
17	C.	1.042-06	1.207-06	230.0+03
18	C.	1.243-06	1.429-06	230.0+03
19	C.	1.466-06	1.693-06	230.0+03
20	C.	1.713-06	1.998-06	230.0+03

5-2 維持浚渫土量

以上の検討は漂砂機構が未解明の現段階では、埋没量の予測に適用するのは危険であり、今回は既往の埋没量、維持浚渫土量の記録から、運河総延長上の年間埋没土量を120万 m^3 とし、船舶の通航隻数に比例するものとした。

又Port Said Approach Channelの埋没量は既往の研究結果から年間埋没厚さを、

15cm (水深 - 20m)

40cm (" - 14m)

として算定した。運河およびApproach Channelの埋没量の予測値を表8-5-2にまとめて示す。これらの値は埋没量が船舶の航行による戻り流れにのみ関係するものとして算定したものである。潮流の影響を考慮する場合には運河復線化時の埋没量が大幅に増加する。今後の現地観測の結果によりその特性を判断すべきであろう。

適切な航路計画および維持浚渫計画の立案のため、今後以下のような調査が必要であろう。

- i) 風、波および潮流の観測
- ii) 定期的な深浅測量(年2回および荒天後)
- iii) 底質および浮遊砂の調査
- iv) 試験浚渫および追跡調査

上記項目i)に対して、本計画ではPort Said Approach Channelに気象ブイを設置した。これにより得られたデータは運河の通航管理にも有用である。

試験浚渫は維持浚渫土量の精度の高い算定に対して非常に有効な手段である。運河部分ではさらに潮位、潮流の観測が必要である。又水理実験および数値解析による調査は複雑な局地性を有する漂砂現象の解明に有効である。これらの調査結果は例えば、Port Saidの新防波堤の所要延長決定に非常に有用な情報となる。

表8-5-2 維持浚渫土量

($10^3 m^3$)

Case Section	Existing	Plan 0	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4	Plan 5
~ Km 0	2,780	2,780	2,780	2,780	2,780	2,780	2,780
Km 0 ~ Km 61	830	930	1,070	1,110	1,190	1,260	2,850
Km 61 ~ Km 162	410	460	530	550	590	620	1,410