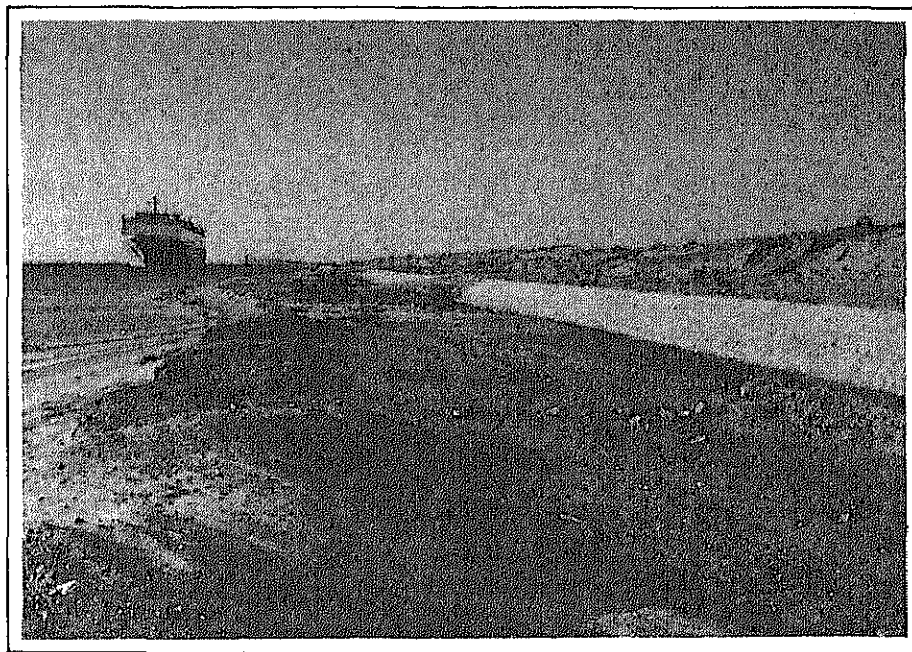


## 第V編 リスクアナリシス



Ballah Wast Branch の東側護岸前面の現状



# 第V編 リスクアナリシス

## 第1章 前提条件の設定

### (1) 土木工学的要因

#### 1) 運河形状

リスクアナリシスの前提条件とするスエズ運河の現状断面形状としては、表Ⅱ-1-(1)-1に示している断面を使用する。

運河の将来計画断面としては、SCAの拡幅増深案、1980年に日本調査団が提案した複線化案（スエズ運河第Ⅱ期拡張計画調査報告書）、その他この2案の折中案等、種々の案があるが、本調査ではSCA案を使用することとし、その計画断面形状を表Ⅴ-1-(1)-1に示す。この表の幅員、水深および曲率は、既にSCAが部分的に実施している拡幅増深案を基本にして設定している。

これを前提条件とした理由は、この計画案が最も現実的であり、リスクアナリシスを行い、現状運河と将来運河における危険度を比較するのに最も適当であるからである。

第Ⅱ期拡張工事期間中の運河断面は、施工速度、作業船の位置等の施工条件で変化するが、現在、第Ⅱ期拡張計画の実施時期が決定されていないので、本調査では、リスクアナリシスの前提条件として、現状と同じであると仮定した。

図Ⅴ-1-(1)-1は、現状および将来の運河断面形状を示したものである。

#### 2) 施工条件

運河内で作業を行っている作業船の隻数は、リスクアナリシス上、最も重要な要因である。SCAの第Ⅱ期拡張計画の場合の浚渫土量は、Great Bitter Lake内のEastern Anchorageの浚渫を含めて約336.2百万 $m^3$ である。変化に富んだ土質であるため、種々の型式、能力の浚渫船が使用されると思われるが、本調査では8000馬力級非航ポンプ式浚渫船を標準船とした。第Ⅰ期拡張工事の実績によると、普通土砂の場合、8000馬力級非航ポンプ式浚渫船の月当り揚土量は、435,000 $m^3$ であるので、第Ⅱ期拡張計画を約3年で完成させるためには、約20隻の浚渫船を同時に投入する必要がある。

故に、リスクアナリシスの前提条件としては、第Ⅱ期拡張工事期間中に投入する浚渫船隻数は20隻とした。

維持浚渫に関しては、現状運河における事故発生確率が、維持浚渫船の事故発生確率も含んでいるので、第Ⅱ期拡張工事期間中の維持浚渫施工条件は現状と同じとした。

表 V-1-1-(1)-1 Hm および Km 毎の運河の幅員，水深，曲率（計画断面）

1. The left half of the Table shows the dimensions of the West Channel and the right half shows those of the East Channel.
2. The dimensions, for sections of the Canal not separated into two channels, are written on the left side.
3. The numerals marked by an asterisk (\*) are not provided by SCA, but are extrapolated from SCA data for this study.
4. Location: The chart reads from north to south.
  - 1) The locations indicate the distances based on the "Kilometer Base Line" along the East and West Channels.
  - 2) The point of Hm 0.00 in the Mediterranean Sea is the same as of Km 0.000 and the point Hm 0.00 in the Red Sea is the same as Km 162.250.
5. Changing point
  - 1) This column shows the locations where some dimension of the Canal changes.
  - 2) The "from" means the beginnings of the change and the "to" means the end of the change (proceeding from north to south).
  - 3) In the case of putting the same numerals in both "from" and "to", it means that the position is a point where some dimension changes its value abruptly.
6. Width:
  - 1) Widths listed are the bottom widths of channels at the planned depth and not the distance between the 11 m depth lines.
  - 2) A pair of lines between sections represents the sides of a channel.
  - 3) Calculated widths (marked \*) take into consideration the slopes of banks.
7. Depth:
  - 1) The "Plan" shows the depths planned for the First Stage Development Project and the "Center" shows the results of the sounding conducted at the center line of the Canal on June 4, 1983.
  - 2) A pair of lines between sections represents the bottom and the water surface of the Canal.
8. Curvature:
  - 1) Curvatures are expressed as the radius of the curves.
  - 2) The "L" indicates that the channel curves to the left and the "R" to the right, when facing south.
  - 3) The "K-B", "E-Th" and "W-Th" show the curvatures of the "Kilometer Base Line", "East Theoretical Line" and "West Theoretical Line" respectively.

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
220.00 <sup>Hm</sup>						220.00 <sup>Hm</sup>			700.00	25.00	
210.00											
200.00											
190.00											
180.00											
170.00											
160.00											
150.00											
140.00											
130.00											
120.00											
110.00											
100.00											
Juncture of Port Said Approach Channel											
80.00 <sup>Hm</sup>	80.00	80.00	550.00	13.00							
70.00											
60.00											
50.00											
40.00											
30.00											
20.00											
10.00	*10.00		*143.00								
0.000 <sup>Km</sup>		*0.000		13.00							
1.000	1.000		143.00	15.00							
	*1.500							1.333	120.00	25.00	
											*K-B 3,060.00L

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (HmE, KmE)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	From	To					From	To			
2.000						2.000					
3.000						3.000					
4.000						4.000					
5.000						5.000					
6.000						6.000					
7.000						7.000					
8.000						8.000					
9.000						9.000					
10.000						10.000					
11.000						11.000					
12.000						12.000					
13.000						13.000					
14.000						14.000					
15.000						15.000					
16.000						16.000					
	16.500	16.500	143.00	15.00							
		16.663	131.00	19.00							
17.000				19.00		17.000					
		*17.045		23.50							
18.000	Juncture of Port Said Bypass					18.000					
19.000			135.00	23.50		19.000			135.00	23.50	
20.000											

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
21.000											
22.000											
23.000											
24.000											
25.000											
26.000											
27.000											
28.000											
29.000											
30.000											
	30.427	30.427	135.00	23.50							
31.000											
32.000											
	32.350	32.350	234.00	23.50							
	32.950	32.950	234.00	23.50							
33.000											
34.000											
35.000											
		35.110	135.00	23.50							
36.000											
37.000											
38.000											
39.000											
40.000											
41.000											

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	
	from	to					from	to				
42.000												
43.000												
44.000												
45.000												
46.000												
47.000												
48.000												
49.000			135.00	23.50								
	49.512		135.00	23.50			49.512	49.512	135.00	23.50	*E-th 10,993.70L	
	49.778				*W-th 11,023.32R							
50.000						50.000						
51.000						51.000						
							Juncture of Ballah Bypass					
	51.477	51.477	70.00	23.50			51.449	51.449	135.00	23.50		
	51.527	51.527	110.00	18.50			51.737				W-th 24,551.27L	
	51.800	51.800	110.00	18.50			51.785				*E-th 10,993.7L	
		51.830	134.00	15.50								
52.000						52.000						
	52.054				E-th 4,840.00L							
	52.405				W-th 3,080.00L							
	52.497				K-B 1,969.00L							
	*52.900	*52.900	*164.00									
53.000						53.000						
		53.069			K-B 1,969.00L							
		53.298			W-th 3,080.00L							
		53.512			E-th 4,830.00L							
54.000						54.000						



Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
		54.098	134.00								
55.000						55.000					
56.000						56.000					
	56.871	56.871	134.00		E-th 4,830.00L						
57.000						57.000					
	57.238				W-th 3,125.91L						
	57.457				K-B 1,969.00L						
	*57.860	*57.860	164.000								
58.000						58.000					
	58.211				K-B 1,969.00L						
	58.429				W-th 3,044.91L						
	58.797				E-th 4,830.00L						
59.000						59.000					
		59.269	134.00				59.895	135.00		23.50	
	*59.870		134.00	15.50							
	59.900	59.900		18.50							
60.000						60.000					
	60.309			18.50	W-th 4,000.00R						
		60.800	134.00	23.50							
61.000						61.000					
	61.125				K-B 2,100.00R						
	61.324				*E-th 5,015.00R						
62.000						62.000					
	62.707				K-B 2,100.00R						
63.000						63.000					

Juncture of Ballah  
Bypass

Juncture of  
Ballah Bypass

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	From	to					From	to			
	63.314		Juncture of Ballah Bypass		W-th 4,000.00R						
	63.419				*E-th 5,015.00R						
64.000						64.000					
	64.514		150.00	23.50			64.514		150.00	23.50	
65.000											
66.000											
67.000											
68.000											
69.000											
70.000											
71.000											
		71.146	150.00	23.50							
	71.964		160.000	23.50	*E-th 6,235.00R						
					W-th 6,000.00R						
72.000											
73.000											
	73.103										
74.000					K-B 2,001.00R						
					*E-th 6,235.00R						
	74.192	74.192			W-th 6,000.00R						
					*E-th 5,765.00L						
					W-th 6,000.00L						
					K-B 2,011.00R						
	74.300	74.300			W-B 2,157.42L						
75.000											

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
		75.311	160.00	23.50	*E-th 5,765.00L W-th 6,000.00L K-B 2,157.42L K-B 2,110.15R						
76.000		75.948									
		76.033									
		*76.050	*160.00	23.50	W-th 2,375.55R						
		Juncture of Lake Timsah Bypass									
77.000		*76.940	*135.00	*13.50							
		77.150			E-th 3,120.00R K-B 2,110.15R W-th 2,375.55R K-B 1,261.00L	77.000					
		77.253									
		77.371									
		77.653									
		77.672	*209.58								
78.000		77.912			E-th 2,001.50L	78.000					
79.000			*275.000			79.000					
		79.649	175.000		K-B 1,261.00L						
		79.943	*97.00		E-th 2,001.50L						
80.000						80.000					
		80.313	*97.00						*285.00		
									*515.00		

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
81.000	80.385		*83.00			81.000					
		81.140	*83.00	*13.50							
82.000	Jancture of Lake Timsah Bypass					82.000	Jancture of Lake Timsah Bypass				
83.000	*82.576	*82.576	160.00	23.50			*82.576	*82.576	160.00	23.50	*E-th 4,765.00L
84.000											
85.000											
	85.027	85.027	160.00	23.50	*E-th 5,235.00R W-th 5,000.00R K-B 2,511.00R						
	85.604										
86.000	86.300		160.00	23.50	K-B 2,511.00R						
		86.782									
87.000											
		87.414	160.00		*E-th 5,235.00R W-th 5,000.00R						
88.000											
	88.814		136.25	23.50							
89.000											
90.000											
91.000											
92.000											
93.000	Jancture of Deversoir Bypass		136.25	23.50		93.000	Jancture of Deversoir Bypass		136.25	23.50	
		92.950					92.950				

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: M)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
94.000						94.000					
95.000			*97.00	23.50		95.000			*257.55	23.50	
	*95.063		*135.60	17.25			95.250		*224.00	23.50	
		95.400	*135.60	17.25				95.400	175.00	23.50	
		95.418	*144.80	15.50							
96.000						96.000			175.00	23.50	
97.000						97.000					
Great Bitter Lake											
98.000						98.000					
99.000						99.000					
		99.700	144.80	15.50							
100.000						100.000					
	100.200		144.80	15.50							
		*100.210	*146.66	14.50							
101.000						101.000					
	101.050		*454.00				101.050	101.050	175.00	23.50	
102.000						102.000					
							102.600	102.600	115.00	23.50	E-th 5,000.00L
							*102.615	*102.615	124.00	22.00	
103.000						103.000					
104.000						104.000					
	104.160		229.00				104.160	104.160	434.00	22.00	
105.000						105.000					
								105.250	340.00	22.00	*E-th 5,000.00L
106.000						106.000					

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
107.000						107.000					
108.000						108.000					
109.000						109.000					
110.000						110.000					
111.000						111.000					
112.000						112.000					
							*112.820	*112.820	340.00	22.00	
113.000						113.000					
							113.200	113.200	401.00	22.00	
							*113.205	*113.205	401.40	22.50	
114.000						114.000					
	114.200	114.200	229.00	14.50			114.100	114.100	498.60	22.50	
	114.750	114.750	439.00	14.50			114.200	114.200	475.00	23.50	
	114.957	114.957	389.00	14.50				114.800	195.00	23.50	
115.000						115.000					
	115.560	115.560	147.00	14.50			115.134		130.00	23.50	
	115.570	115.570	143.00	15.50							
116.000						116.000					
117.000						117.000					
118.000						118.000					
119.000						119.000					
120.000						120.000					
121.000						121.000					
							121.936		121.800	130.00	23.50
											*E-th 5,005.00R

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (HmE, KmE)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
122.000						122.000					
	*122.020	*122.020	143.00	15.50			122.100	122.100	140.00	23.50	
		122.100	95.00	*23.50							
	122.449				W-th 4,000.00R						
	122.780				K-B 3,000.00R						
123.000						123.000					
124.000						124.000					
125.000						125.000					
					K-B 3,000.00R						
					W-th 4,000.00R						
					*E-th 5,005.00R						
126.000	125.507	125.507	160.00	23.50			125.507	160.00		23.50	
127.000											
128.000											
129.000											
					*E-th 5,235.00R						
	129.499				W-th 5,000.00R						
130.000											
	130.077				K-B 2,620.65R						
131.000											
		131.357			K-B 2,620.65R						
					*E-th 5,235.00R						
					W-th 5,000.00R						
	131.975	131.957	160.00	23.50							
132.000											
133.000											

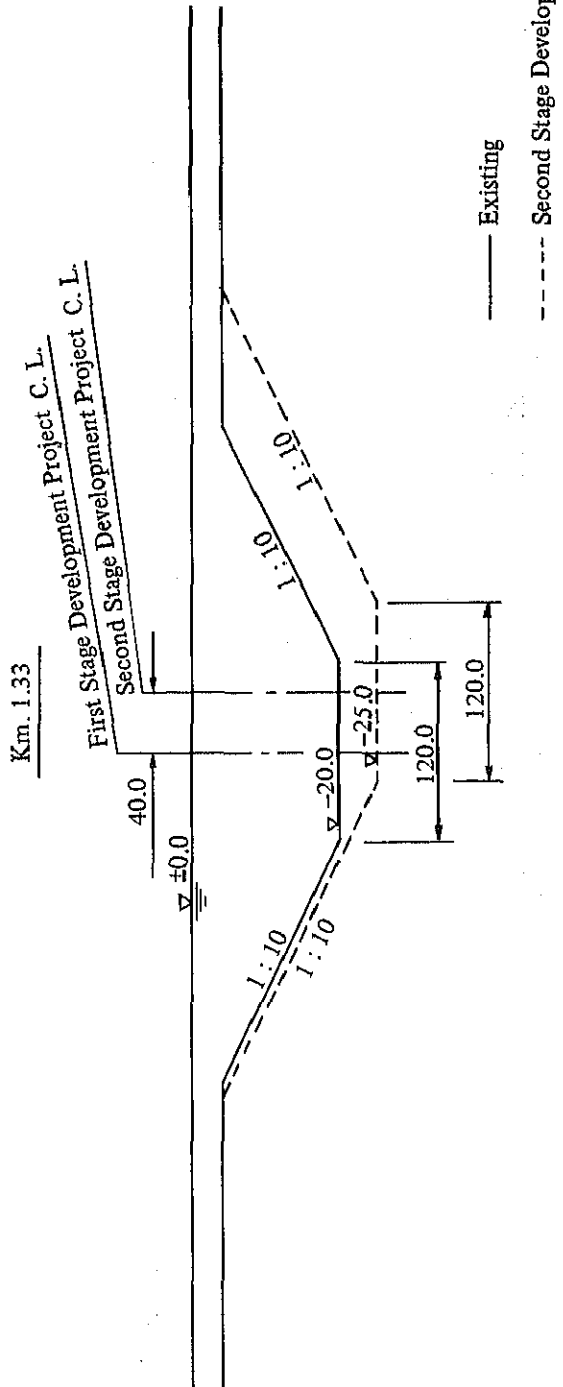
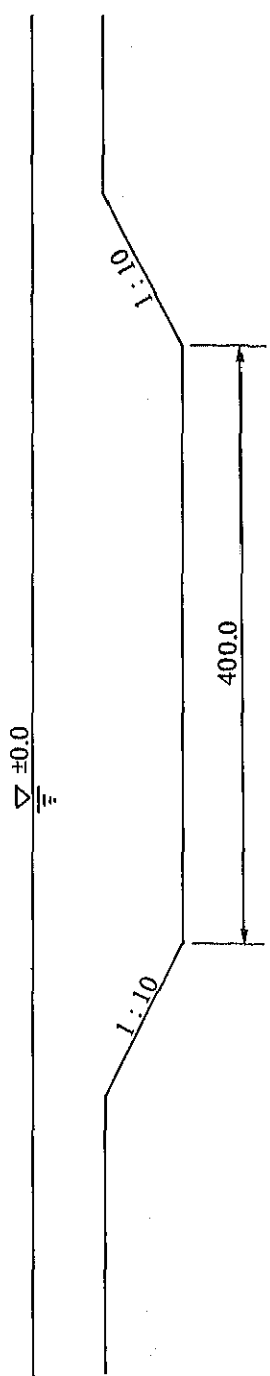
Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (HmE, KmE)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
134.000											
	134.544		130.00	23.50							
135.000											
136.000											
137.000											
138.000											
139.000											
140.000											
141.000											
142.000											
143.000											
144.000											
		144.714	130.00	23.50							
145.000											
	145.313										
	145.631										
	145.915	145.915	*157.00	23.50							
146.000											
		146.041									
		146.512									
147.000											
	147.146	147.146	130.00	23.50							
148.000											
149.000											
150.000											



Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
151.000											
152.000											
153.000											
154.000	153.524	153.524	130.00	23.50							
	154.724	154.724	160.00	23.50	*E-th 5,235.00R W-th 5,000.00R						
	154.987				K-B 3,011.00R						
155.000											
		155.646			K-B 3,011.00R						
		155.724			*E-th 5,235.00R						
		155.827			W-th 5,000.00R						
156.000											
	156.274				*E-th 5,235.00R W-th 5,000.00R						
157.000											
	157.006				K-B 3,200.00R						
		157.550	160.00	23.50							
158.000											
	158.300	158.300	*170.00	23.50							
159.000											
		159.327			K-B 3,200.00R						
		159.998	160.00		*E-th 5,235.00R W-th 5,000.00R						
160.000											

Location (Hm, Km)	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)	Location (Hm <sup>E</sup> , Km <sup>E</sup> )	Section (Hm, Km)		Width (m)	Depth (m)	Curvature (R: m)
	from	to					from	to			
161.000											
		161.050	160.00	23.50							
162.000											
162.250Km 0.00Hm	162.250 0.00	162.250 0.00	276.00	23.50							
	1.00	1.00	*285.00	23.50							
	3.09	3.09	265.00	23.50							
10.00											
	19.00	19.00	265.00	23.50							
20.00											
	21.00	21.00	285.00	23.50							
	*22.08	*22.08	265.00	23.50							
30.00											
40.00											
50.00											
60.00											
70.00											
80.00											
		80.50	265.00	23.50							

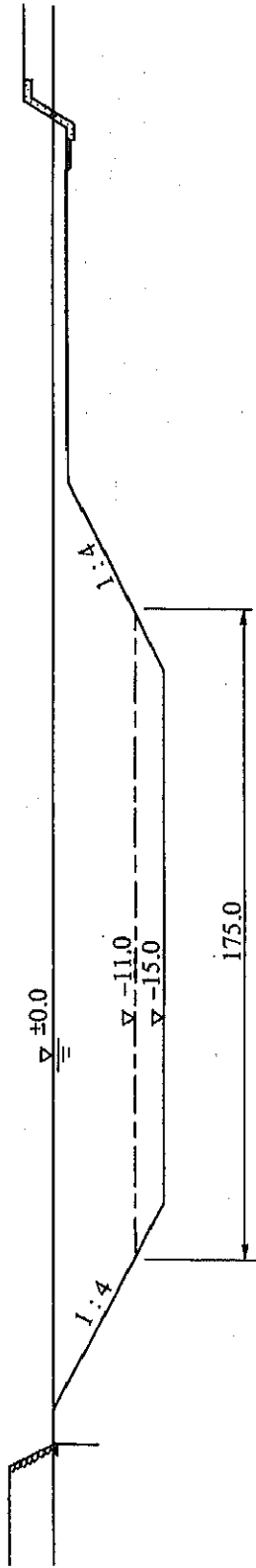
Hm. 80.00



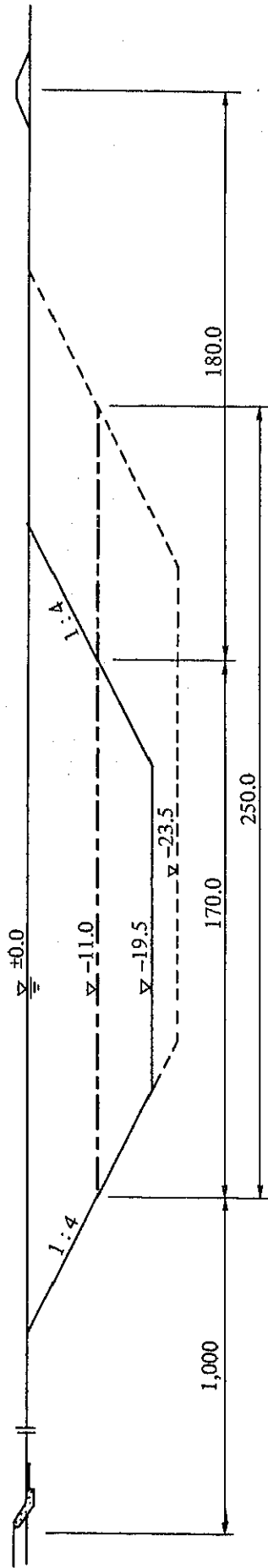
Unit: meters

图 V-1-(1)-1 标准断面

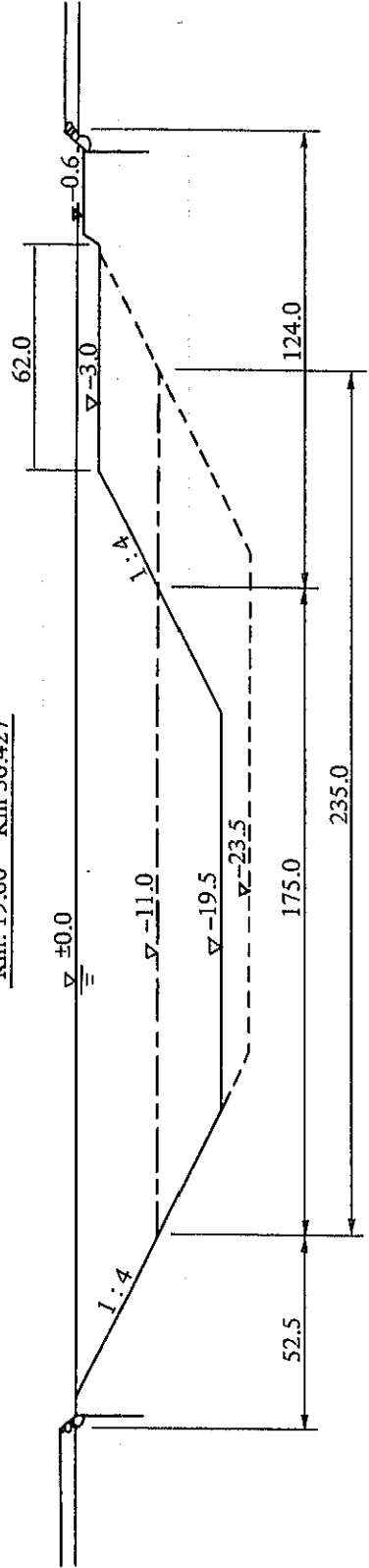
Km 1.00 ~ Km 16.50 (West Branch)



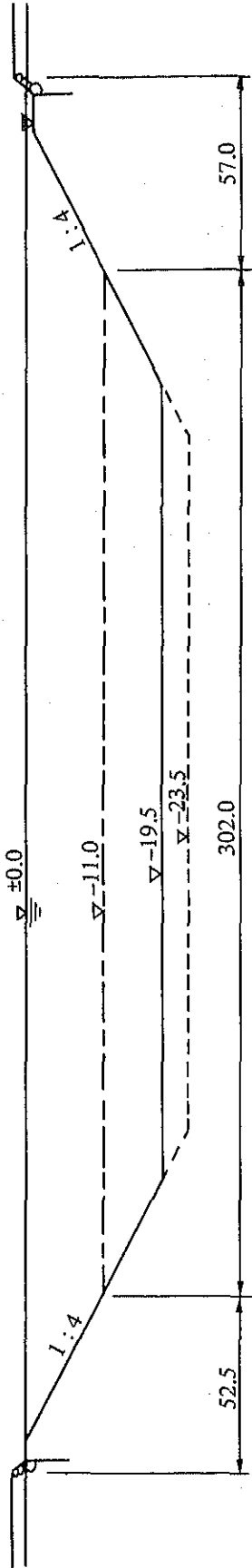
Km 1.348 ~ Km 15.12 (East Branch)



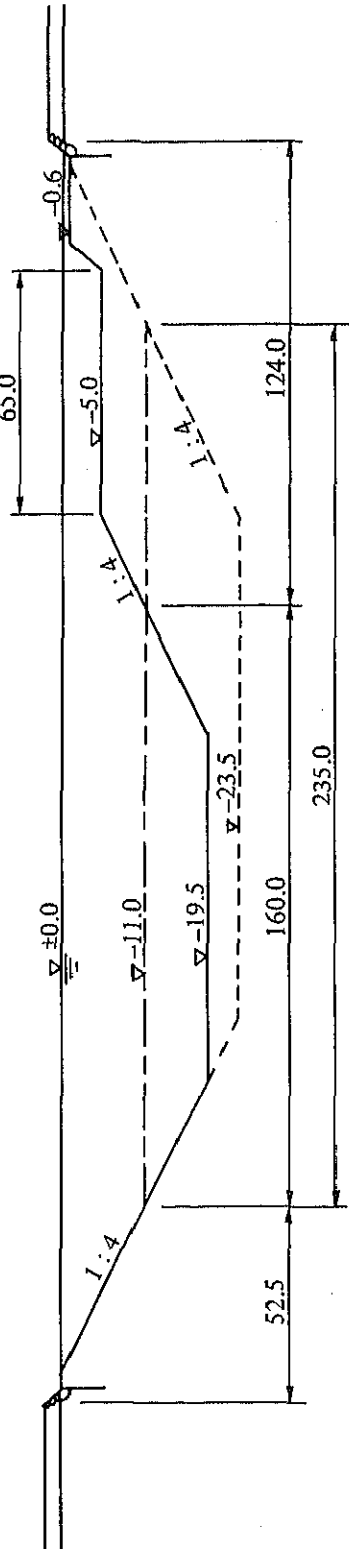
Km 19.00 ~ Km 30.427



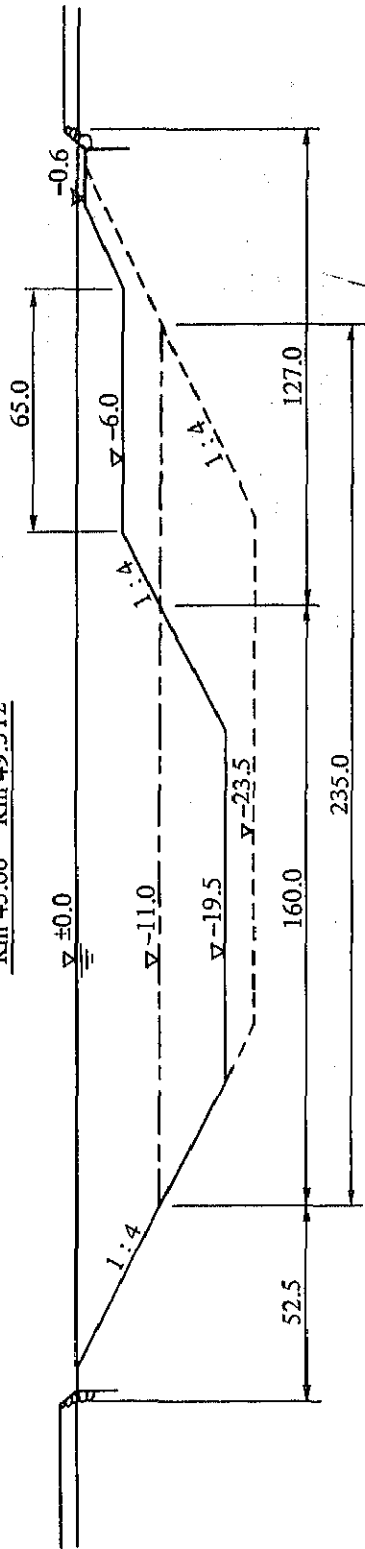
Km 32.35 ~ Km 32.95



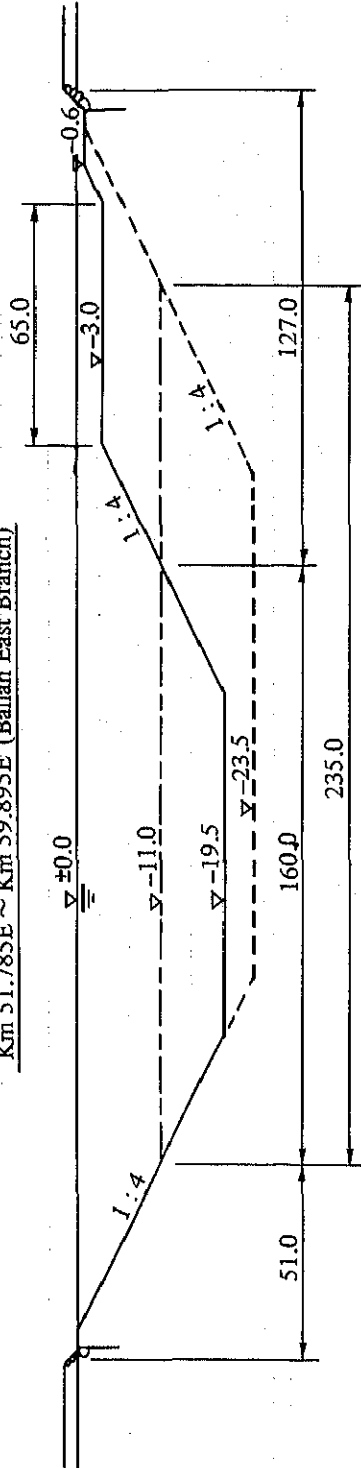
Km 35.110 ~ Km 42.00



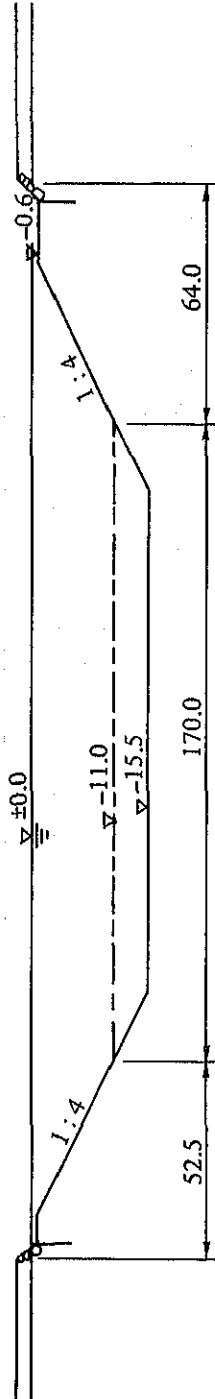
Km 45.00 ~ Km 49.512



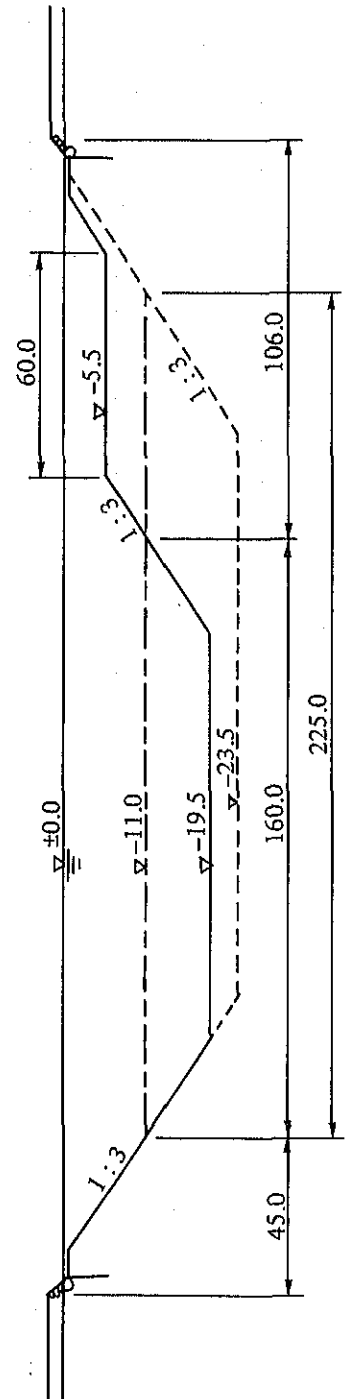
Km 51.785E ~ Km 59.895E (Ballah East Branch)



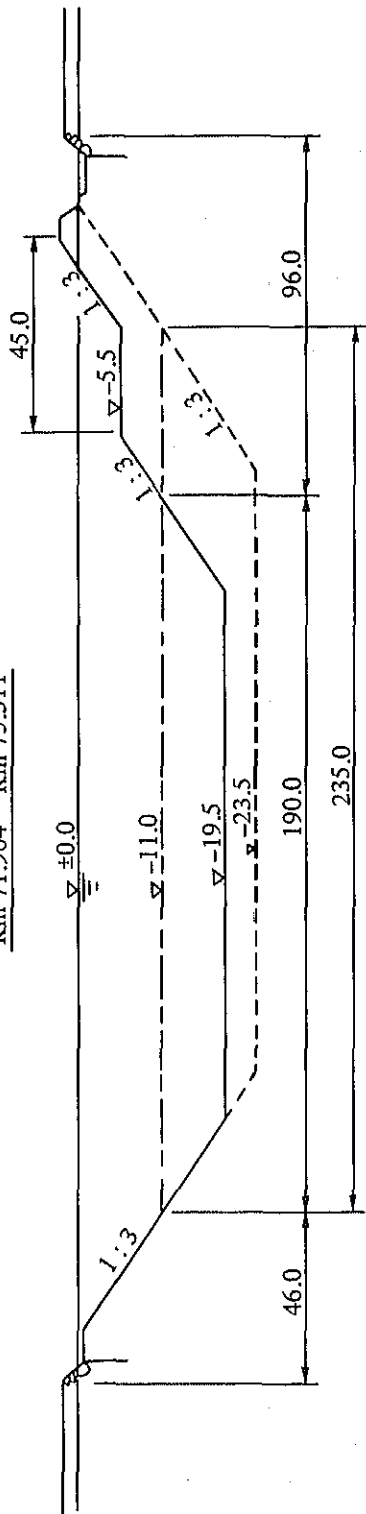
Km 54.098 ~ Km 56.871 (Ballah West Branch)



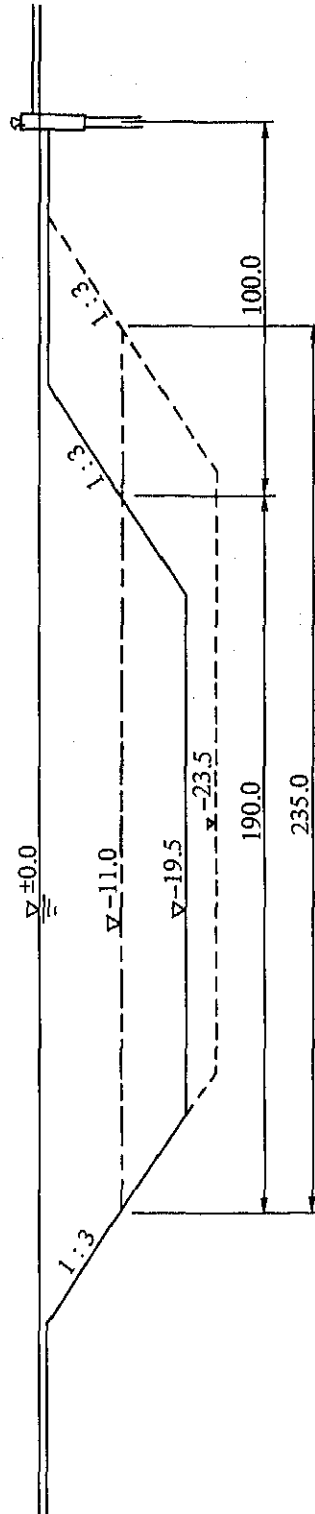
Km 64.514 ~ Km 71.146



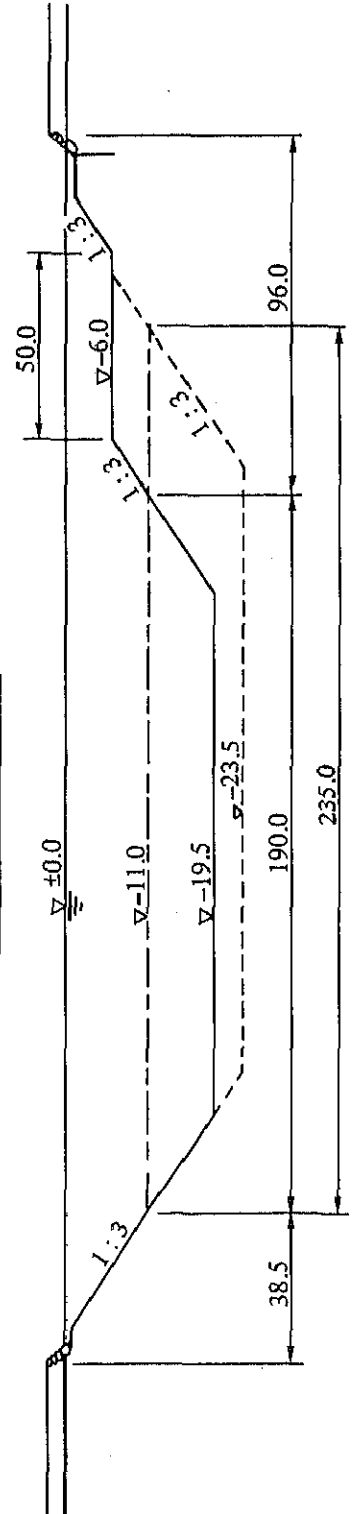
Km 71.964 ~ Km 75.311



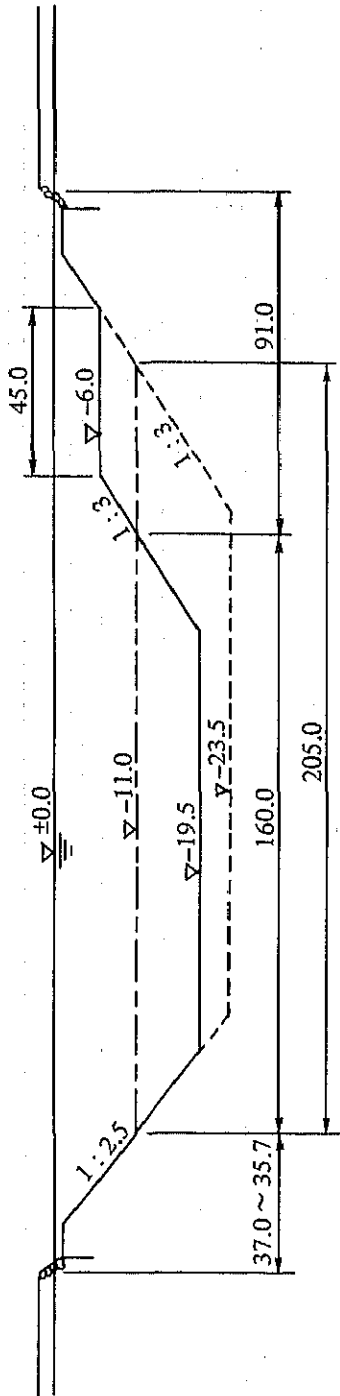
Km 78.400E ~ Km 78.900E



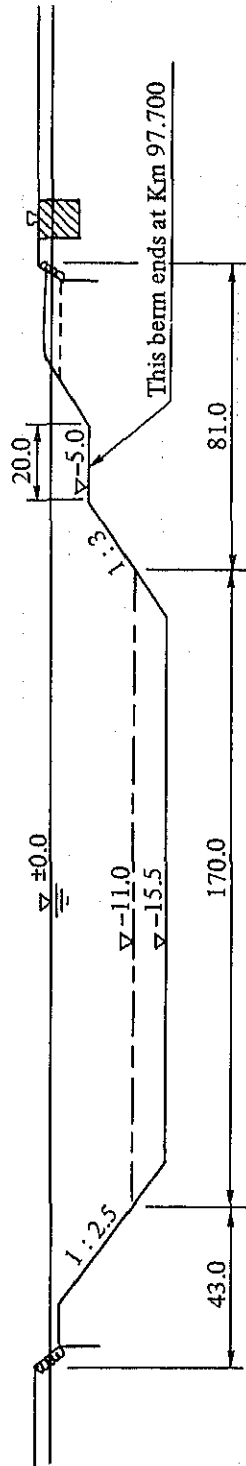
Km 82.576 ~ Km 85.027



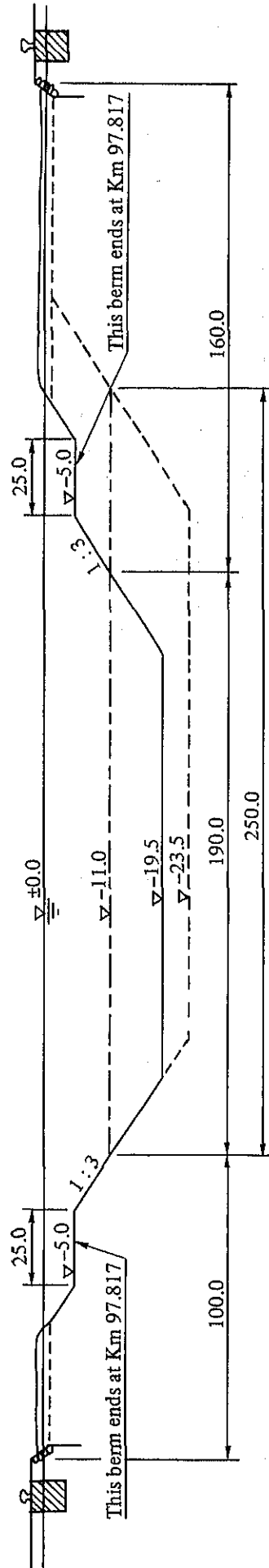
Km 88.814 ~ Km 92.950



Km 95.418 ~ Km 97.731 (Deversoir West Branch)

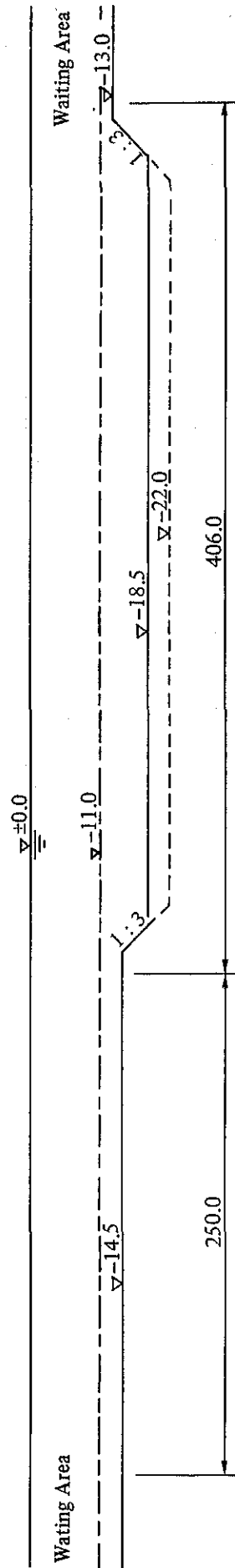


Km 96.000 ~ Km 97.817 (Deversoir East Branch)

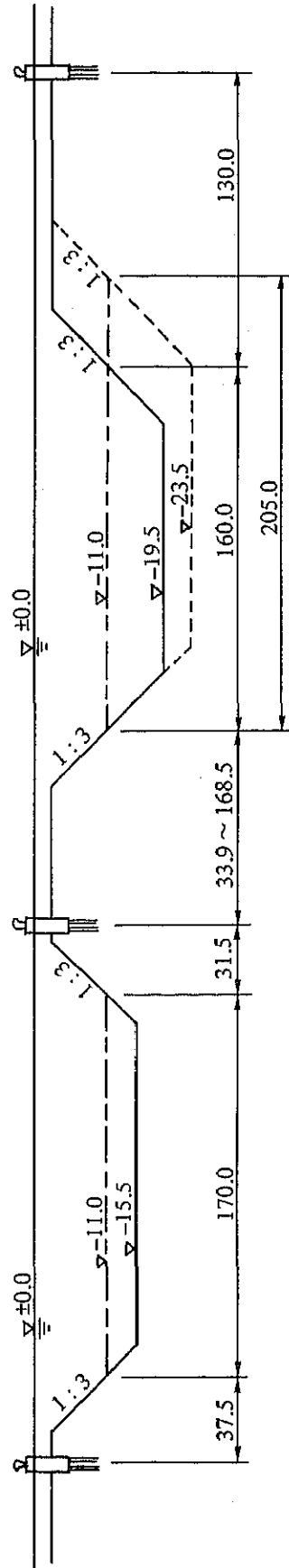




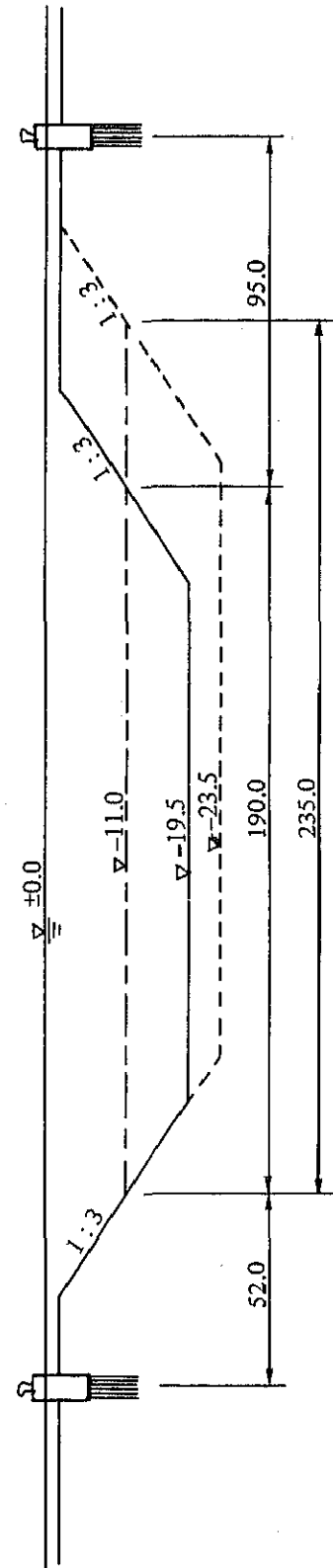
Great Bitter Lake Typical Cross Section Km 110.000



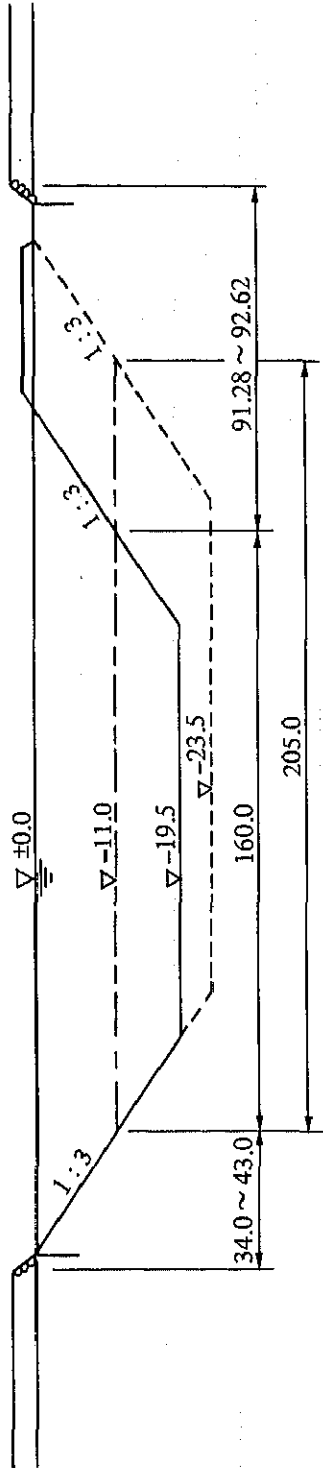
Km 115.570 ~ Km 121.800



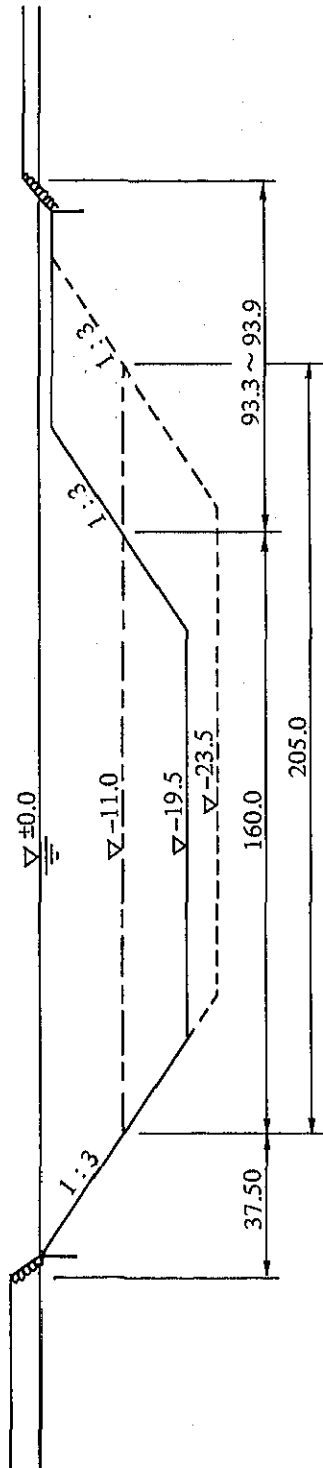
Km 125.507 ~ Km 131.975



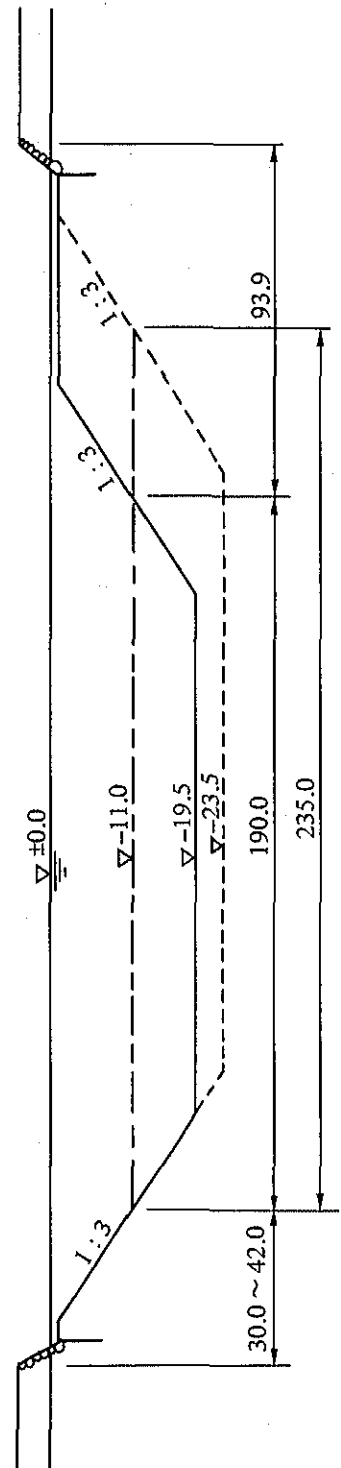
Km 134.544 ~ Km 144.714



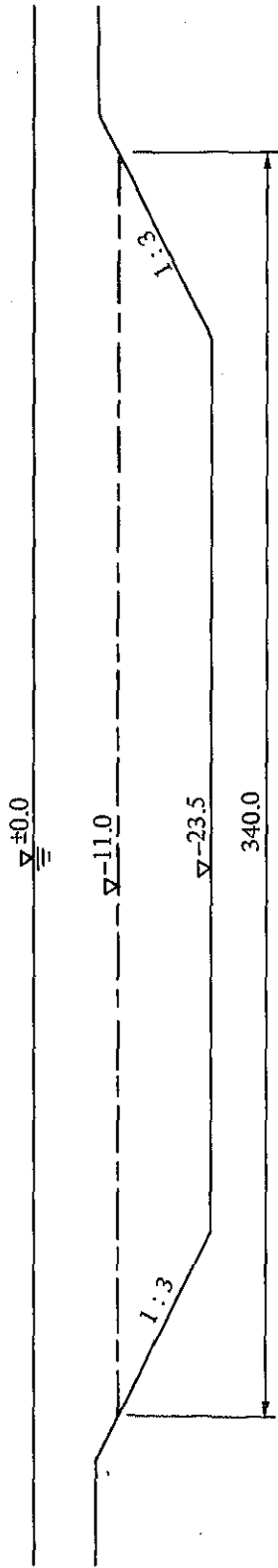
Km 147.146 ~ Km 153.524



Km 154.724 ~ Km 157.550



Hm 3.090 ~ Hm 80.500 (South Entrance)



(2) 自然条件

1) 天候

表V-1-(2)-1はPort SaidおよびIsmailiaの天候の出現状況を示したものである。

表V-1-(2)-1 天候の状況(1982年)

(Unit: Number of Days)

Item		Months											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Port Said	Fine	19	14	22	18	25	30	31	31	30	28	17	12
	Cloudy	12	14	9	12	5	-	-	-	-	3	13	19
	Rainy	6	15	8	2	3	-	-	-	2	3	7	9
Ismailia	Fine	20	12	23	23	28	30	31	31	29	28	25	18
	Cloudy	11	16	8	7	3	-	-	-	1	3	5	13
	Rainy	7	8	3	1	1	-	-	-	-	2	3	2

2) 視界

表V-1-(2)-2はPort Said, IsmailiaおよびSuezにおける視界不良の出現頻度を示したものである。

表V-1-(2)-2 視界不良の出現頻度(1981~1982年)

(Unit: %)

Items		Months											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Port Said	≤ 1 Km	0.6	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1 ~ 3 Km	1.6	2.2	2.0	0.8	1.6	0.0	0.2	0.2	0.6	0.4	2.1	0.8
Ismailia	≤ 1 Km	0.8	1.3	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	0.4	0.8
	1 ~ 3 Km	3.6	3.6	3.2	2.1	1.0	0.6	1.2	1.8	1.3	2.8	1.5	0.8
Suez	≤ 1 Km	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1 ~ 3 Km	1.0	0.4	0.0	2.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3) 風

表V-1-(2)-3はPort Said, IsmailiaおよびSuezにおける強風の発生頻度を示したものである。

表V-1-(2)-3 強風の発生頻度 (1978~1980年)

(Unit: %)

Items		Months											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Port Said	11~21 knots	32.4	43.5	52.4	54.2	50.6	45.6	52.6	44.8	43.8	46.4	40.8	34.5
	≥22 knots	6.1	7.2	9.1	14.9	10.0	4.9	5.2	1.4	1.2	4.1	5.0	3.6
Ismailia	11~21 knots	3.1	4.5	6.5	13.0	11.9	12.6	6.2	1.2	1.6	5.1	3.2	4.5
	≥22 knots	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Suez	11~21 knots	30.2	29.0	38.1	50.6	52.8	58.2	59.1	53.7	65.4	50.4	46.9	21.9
	≥22 knots	0.7	1.0	0.5	3.7	2.8	0.6	0.6	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8

4) 潮流

表V-1-(2)-4は流速の発生頻度を示したものである。

5) 潮位

図V-1-(2)-1は年間を通じての潮位の変化範囲を示したものである。

表V-1-(2)-4 流速および流向の発生頻度

Upper: Number of Occurrences

Lower: Percentage of Occurrence

Port Said (St. No. 1)

Direction Velocity	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	SUM
0.0 <sup>m</sup> ~ 0.1 <sup>m</sup>	30 3.0	29 2.9	101 10.0	81 8.0	46 4.5	36 3.5	18 1.8	50 4.9	37 3.6	24 2.4	120 11.8	108 10.6	16 1.8	24 2.4	23 2.3	27 2.7	772 76.1
0.1 ~ 0.2	3 0.3	8 0.8	98 9.7	52 5.1	2 0.2	1 0.1	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	40 3.9	15 1.5	3 0.3	1 0.1	1 0.1	0 0.0	224 22.1
0.2 ~ 0.3	0 0.0	0 0.0	14 1.4	4 0.4	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	1 0.1	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	19 1.9
SUM	33 3.3	37 3.6	213 21.0	137 13.5	48 4.7	37 3.6	18 1.8	50 4.9	37 3.6	24 2.4	160 15.8	124 12.2	21 2.1	25 2.5	24 2.4	27 2.7	1015 100.0
Average	0.03	0.05	0.11	0.09	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.07	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02	0.06

Port Said (St. No. 2)

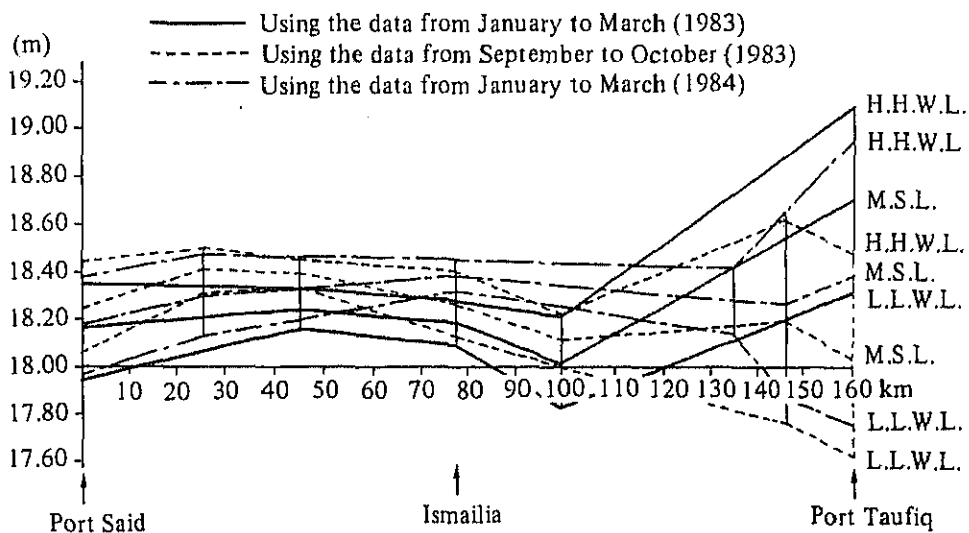
Direction Velocity	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	SUM
0.00 <sup>m</sup> -0.05 <sup>m</sup>	7 0.4	12 0.9	12 0.7	5 0.3	4 0.2	2 0.1	12 0.7	7 0.4	15 0.9	32 1.9	73 4.4	50 3.0	44 2.7	54 3.2	33 2.0	5 0.3	370 22.1
0.05-0.10	20 1.2	33 2.0	16 1.0	2 0.1	1 0.1	1 0.1	7 0.4	7 0.4	21 1.2	47 2.8	197 11.8	109 6.5	62 3.7	89 5.3	34 2.0	29 1.7	675 40.3
0.10-0.15	29 1.7	41 2.4	9 0.5	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	8 0.5	71 4.3	196 11.7	81 4.8	47 2.8	78 4.7	36 2.2	33 2.0	629 37.6
SUM	56 3.3	89 5.3	37 2.2	7 0.4	5 0.3	3 0.2	19 1.1	14 0.8	44 2.6	150 9.0	466 27.9	240 14.3	153 9.2	221 13.2	103 6.2	67 4.0	1674 100.0
Average	0.10	0.09	0.07	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.08

Tousson (St. No. 3)

Direction Velocity	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	SUM
0.0 <sup>m</sup> ~ 0.1 <sup>m</sup>	55 2.7	13 0.6	14 0.7	15 0.7	8 0.4	7 0.3	42 2.1	176 8.7	107 5.3	22 1.1	20 1.0	19 0.9	17 0.8	28 1.4	55 2.7	65 3.2	663 32.8
0.1 ~ 0.2	19 0.9	8 0.4	1 0.0	2 0.1	2 0.1	3 0.1	7 0.3	203 10.0	117 5.8	3 0.1	2 0.1	2 0.1	0 0.0	0 0.0	11 0.5	61 3.0	441 21.8
0.2 ~ 0.3	5 0.2	0 0.0	0 0.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	3 0.1	241 11.9	98 4.8	1 0.0	0 0.0	1 0.0	0 0.0	1 0.0	1 0.0	15 0.7	367 18.1
0.3 ~ 0.4	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	167 8.3	38 1.9	2 0.1	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	1 0.0	209 10.3
0.4 ~ 0.5	0 0.0	0 0.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	170 8.4	7 0.3	0 0.0	0 0.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	179 8.8
0.5 ~ 0.6	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	92 4.5	5 0.2	0 0.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	98 4.8
0.6 ~ 0.7	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	46 2.3	8 0.4	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	54 2.7
0.7 ~ 0.8	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	6 0.3	4 0.2	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	10 0.5
0.8 ~ 0.9	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	1 0.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	2 0.1
SUM	79 3.9	21 1.0	16 0.8	18 0.9	11 0.5	10 0.5	52 2.6	1102 54.5	385 19.0	28 1.4	23 1.1	23 1.1	17 0.8	29 1.4	67 3.3	142 7.0	2023 100.0
Average	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.29	0.19	0.08	0.07	0.07	0.03	0.04	0.06	0.11	0.22

Port Taufiq (St. No. 4)

Direction Velocity	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	SUM
0.0m ~ 0.1m	3 0.1	15 0.6	73 3.2	29 1.3	15 0.6	5 0.2	23 1.0	18 0.8	21 0.9	34 1.5	77 3.3	14 0.6	4 0.2	0 0.0	5 0.2	4 0.2	340 14.7
0.1 ~ 0.2	0 0.0	1 0.0	86 3.7	2 0.1	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	3 0.1	126 5.5	3 0.1	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	222 9.6
0.2 ~ 0.3	0 0.0	0 0.0	100 4.3	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	123 5.3	0 0.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	224 9.7
0.3 ~ 0.4	0 0.0	0 0.0	129 5.6	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	109 4.7	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	238 10.3
0.4 ~ 0.5	0 0.0	0 0.0	119 5.1	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	144 6.2	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	264 11.4
0.5 ~ 0.6	0 0.0	0 0.0	162 7.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	224 9.7	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	386 16.7
0.6 ~ 0.7	0 0.0	0 0.0	146 6.3	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	139 6.0	1 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	286 12.4
0.7 ~ 0.8	0 0.0	0 0.0	142 6.1	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	1 0.0	85 3.7	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	228 9.9
0.8 ~ 0.9	0 0.0	0 0.0	39 1.7	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	55 2.4	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	94 4.1
0.9 ~ 1.0	0 0.0	0 0.0	14 0.6	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	11 0.5	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	25 1.1
1.0 ~ 1.1	0 0.0	0 0.0	4 0.2	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 0.0	4 0.2
SUM	3 0.1	16 0.7	1014 43.9	31 1.3	16 0.7	5 0.2	23 1.0	18 0.8	21 0.9	38 1.6	1093 47.3	19 0.8	5 0.2	0 0.0	5 0.2	4 0.2	2311 100.0
Average	0.03	0.04	0.48	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.07	0.45	0.11	0.08	0.0	0.02	0.02	0.43



Note: H.H.W.L. = MSL + (M<sub>2</sub> S<sub>2</sub> + K<sub>1</sub> + O<sub>1</sub>)  
 L.L.W.L. = MSL - (M<sub>2</sub> + S<sub>2</sub> + K<sub>1</sub> + O<sub>1</sub>)

Fig. V-1-(2)-1 Tidal Range along the Canal

6) 波

V-1-(2)-5はPort SaidおよびSuezにおける波高および波向の発生頻度を示したものである。

表V-1-(2)-5 波高および波向の発生頻度

Upper: Number of Occurrence  
Lower: Percentage of Occurrence

Port Said		260°~280°	290°~310°	320°~340°	350°~10°	20°~40°	50°~70°	Total
Direction Height								
≤0.75 <sup>m</sup>		279 (4.0)	528 (7.2)	533 (7.2)	267 (3.6)	151 (2.1)	118 (1.6)	1,876 (25.5)
1~1.5 <sup>m</sup>		590 (8.0)	1,272 (17.3)	1,318 (17.9)	496 (6.7)	205 (2.9)	155 (2.1)	4,036 (54.8)
2~2.5 <sup>m</sup>		200 (2.7)	371 (5.0)	398 (5.4)	117 (1.6)	29 (0.4)	25 (0.3)	1,140 (15.5)
3~3.5 <sup>m</sup>		41 (0.6)	60 (0.8)	78 (1.1)	24 (0.3)	1 (0.0)	3 (0.0)	207 (2.8)
4~5.5 <sup>m</sup>		13 (0.2)	37 (0.5)	29 (0.4)	8 (0.1)			87 (1.2)
6~7.5 <sup>m</sup>		1 (0.0)	8 (0.1)	6 (0.1)				15 (0.2)
Total		1,124 (15.3)	2,276 (30.9)	2,362 (32.1)	912 (12.4)	386 (5.2)	301 (4.1)	7,361 (100.0)

Upper: Wave Height (m)  
Middle: Wave Period (sec)  
Lower: Percentage of Occurrence

Direction Fetch Length Wind Velocity (knot)	105°~135°	135°~164°	165°~194°	195°~224°	225°~254°
	33.05 Km	52.09 Km	59.46 Km	48.62 Km	20.52 Km
x1.4 2 (1~3)	0.05 1.05 (1.4)	0.06 1.10 (0.9)	0.06 1.11 (0.7)	0.06 1.09 (0.3)	0.05 1.00 (0.3)
x1.4 5 (4~6)	0.25 2.06 (1.4)	0.27 2.21 (1.0)	0.28 2.26 (0.7)	0.27 2.19 (0.2)	0.22 1.89 (0.2)
x1.4 8.5 (7~10)	0.54 2.86 (0.4)	0.61 3.13 (1.2)	0.64 3.21 (1.1)	0.60 3.01 (0.4)	0.46 2.59 (0.3)
x1.4 13.5 (11~16)	0.99 3.71 (0.1)	1.17 4.11 (1.4)	1.22 4.23 (1.8)	1.14 4.05 (0.4)	0.83 3.31 (0.4)
x1.4 19.0 (17~21)	1.52 4.42 (0.0)	1.81 4.94 (0.1)	1.90 5.10 (0.7)	1.76 5.86 (0.1)	1.25 3.91 (0.1)
x1.4 24.5 (22 ~)	2.05 5.00 (0.0)	2.47 5.62 (0.0)	2.60 5.81 (0.1)	2.40 5.53 (0.0)	1.68 4.40 (0.1)

7) 砂の堆積

砂の堆積に関する主要な条件はPort Saidにおける漂砂シミュレーションの結果で示している(図II-2-(9)-1参照)



### (3) 運河の通航量

#### 1) 世界の海上荷動き量の趨勢

第二次石油危機以降4年連続して減少してきた自由世界の石油需要は、1983年を底によりやくプラスに転じ、経済成長とともに回復に向うことになるが、そのテンポは年率1%程度のゆるやかなもので大きな増加は期待できないといえよう。

一方、石油の供給面では、第二次石油危機以降OPECは今までのベース供給者から供給市場の調整役へと変貌をとげ、石油代替エネルギーの活用によりエネルギー源の多様化が進展したことも石油需要の伸びをはばむ原因となっている。

しかしながら長期的に見ると非OPEC供給量が頭打ち状態になると予想される1990年以降は生産余力のあるOPECが再び重要な役割を演じることになるろう。

以上のような背景のもと、石油の海上荷動き量は、1983年を底に増勢に転じるものの、先進国の需要の伸びの停滞、産油国自身の国内需要の増大、パイプラインの整備拡充等により大きな伸びは期待できないものと思われる。

すなわち、V-1-(3)-1に見るとおり、1985年に13億6,000万トン、1990年に14億5,000万トン、1995年に15億トンとして2000年には15億8,000万トンと年平均伸び率は1.2%と予測される。

Dry Cargoについては以下のとおりである。

#### (i) 鉄 鉱 石

海上荷動き量は1985年に2億9,700万トン、1990年に3億1,600万トン、1995年に3億4,900万トン、2000年には3億8,800万トンと推移し、1983年から1995年までの年平均伸び率は2.2%になるものと予想される。

#### (ii) 石 炭

海上荷動き量は1983年の2億800万トンから1985年に2億4,300万トン、1990年に3億700万トン、1995年に3億6,100万トン、2000年には4億5,400万トンと推移しその間の年平均伸び率は4.7%と予想される。

#### (iii) 穀 物

海上荷動き量は1983年の1億9,500万トンから1985年に2億1,700万トン、1990年に2億3,900万トン、1995年に2億7,100万トン、2000年には2億9,700万トンと推移しその間の年平均伸び率は2.8%と予想される。

#### (iv) その他のDry Cargo

磷鉱石は1982年の4,000万トンから2000年で6,600万トンへ、ボーキサイト・アルミナは1982年の3,800万トンから2000年の4,200万トンへ、その他のDry Cargoは1982年の11億6,200万トンから2000年で24億3,900万トンへそれぞれ推移するものと思われる。

以上、2000年にいたる全海上荷動き量の予測は表V-1-(3)-1のとおりとなる。

表V-1-(3)-1 貨物別海上貿易量の実績と予測

(1,000,000 M/T)

Commodities										Annual Average Growth Rate (%) 1983 ~ 2000
	1979	1980	1981	1982	1983	1985	1990	1995	2000	
Oil and Oil Products	1,817	1,638	1,482	1,328	1,292	1,360	1,450	1,500	1,582	1.2
Iron Ore	327	314	303	273	268	297	316	349	388	2.2
Coal	159	188	210	209	208	243	307	361	454	4.7
Cereals	182	198	206	200	195	217	239	271	297	2.8
Phosphate	48	48	42	40	46	48	53	59	66	2.16
Bauxite Alumina	46	48	45	38	42	42	42	42	42	0
Others	1,176	1,214	1,218	1,162	1,132	1,352	1,698	2,131	2,439	4.62

Fearnleys Report  
JMRI Report

2) 運河通航の将来

1) 表V-1-(3)-1で示された概ね1990年, 2000年に予想される世界の総海上荷動き量を要約すると次のとおりとなる。

(1,000,000 M/T)

Cargo	Year		
	1983	1990	2000
Oil and Oil Products	1,292	1,450	1,582
Dry Cargo	1,891	2,655	3,686
Total	3,183	4,105	5,268

将来の運河通航貨物量を推測するに当たって, さきに表II-3-(2)-2で示された最近の実績から全海上輸送量に対する運河通航貨物量の割合を1990年において85%, 2000年において90%と想定する。

これをベースに概ね1990年, 2000年における運河の潜在通航貨物量を算出すると次のとおりとなる。

$$1990年 (1,450+2,655) \times 0.085 = 348.9 (1,000,000 M/T)$$

$$2000年 (1,582+3,686) \times 0.09 = 474.1 (1,000,000 M/T)$$

これを表II-3-(2)-3の実績により運河通航貨物の構成比を1990年にはTanker Cargo 35%, Dry Cargo 65%, 2000年にはTanker Cargo 30%, Dry Cargo 70%としてそれぞれの年次における貨物別の運河通航貨物量を算出すると次のとおりとなる。

(1,000,000 M/T)

Year	Cargo		
	Tanker Cargo	Dry Cargo	Total
1990	122	227	349
2000	142	332	474

この運河の通航需要貨物量を輸送するための必要腹量を算出するため、1977年のSCAの実績数字により、貨物別の運河通航実績と船舶の船種別(Tanker, Non-Tanker別)の通航実績(SCNT)を対比して係数を求めると表V-1-(3)-2のとおりとなる。

表V-1-(3)-2 貨物量に対する船腹の係数

Item Year	Tanker Volume 1,000 DWT		Tanker Cargo 1,000 M/T	Non-Tanker Volume 1,000 DWT		Non-Tanker Cargo 1,000 M/T
	1977	151,136	4.32	34,945	208,669	2.23
1978	147,848	4.46	33,179	251,044	2.51	116,600
1979	172,556	4.76	36,254	259,046	2.08	124,395
1980	178,176	4.20	42,468	277,106	2.07	133,808
1981	274,004	5.00	54,777	298,356	2.11	141,651
1982	267,272	3.20	83,451	331,031	2.24	147,942
1983	273,018	2.78	98,233	348,126	2.20	158,472

Note: (1) The dead-weight tonnage of the tankers for 1977~1979 is taken by multiplying the SCNT by 2.0, the conversion coefficient.

(2) The dead-weight tonnage of the non-tankers is taken by multiplying the SCNT by 1.44, the actual average conversion coefficient.

すなわち、この係数は運河通航貨物1M/Tを運ぶために必要な航腹量(DWT)を示すものであり、最近の実績によるとNon-TankerすなわちDry Cargoでは平均値で2.15を示しているがTanker Cargoでは5.0をピークとし運河の第1期拡張工事以降はむしろ減少し1983年には2.8となっている。これは第I期拡張工事の結果大型Tankerの通航が可能となりこれに伴って北航の空船通航船(Partly Laden Vesselsを含む)が減少していることを示しているといえよう。

いま、この係数をTanker Cargoについては4.0、Non-Tanker Cargoについては最近の実績の平均値2.15として、1990年および2000年における運河通航予測貨物量から必要船腹量(通航予測船腹量)を算出すると次のとおりとなる。

Tanker : (予測貨物量) × (係数) = (通航船腹量)

1990年 : 122 × 4.0 = 488 (1,000,000 DWT)

2000年 : 142 × 4.0 = 568 (1,000,000 DWT)

Non-Tanker: (予測貨物量) × (係数) = (通航船腹量)

1990年: 227 × 2.15 = 488(1,000,000 DWT)

2000年: 332 × 2.15 = 714(1,000,000 DWT)

すなわちこれを整理すれば、1990年、2000年の時点で運河を通航すると予想される船腹量は概ね次のとおりとなる。

(1,000,000 DWT)

	Tankers	Non-Tankers	Total
1990	488	488	976
2000	568	714	1,282

もちろんこの予測は運河自体およびその外的な諸条件が現状のまま変らぬことを前提としており、運河そのもののCapacityが変れば通航貨物や船舶の態様が変わることは当然である。すなわち、船舶の大型化の傾向は今後一部のBulk Carrierに見られるにしてもTankerに見られたような超巨大船への指向はおそらく限られた範囲にとどまるであろうし、一方、TankerにおけるV L C C型の地位と需要は今後とも増大することはあっても減ることはないと思われる。

将来スエズ運河の拡張によってこの船型の満船(Full Loaded)通航が可能となれば運河通航のパターンは少なからず変ることが予想される。

スエズ運河の通航予測船腹量は以下の手順で計算される。

(ii) 1979～1983年の通航船舶の平均船型はS C Aのレポートの数値と同様に表V-1-(3)-2によって得られる。

Year	Total Transit Vessels Volume	Number	Average Size
1979	431,602,000 DWT	20,363	21,195 DWT
1980	455,282,000	20,795	21,894
1981	572,360,000	21,577	26,526
1982	598,303,000	22,545	26,538
1983	621,144,000	22,224	27,949

将来の平均船型の変化は、これらの数字によって示される過去の変化の傾向をもとにして予測することができる。すなわち、1979～1983年間の通航船舶の平均船型の年間の伸び(DWT)は以下のように得られる。

$$(27,949 - 21,159) \div 4 = 1,688.5 \approx 1,690 \text{ (DWT)}$$

もし、平均船型のこの伸びの傾向が将来にも適用できるとすれば1990～2000年における平均船型は以下のように計算できる。

$$1990年: 27,949 + (1,690 \times 7) = 39,779 \text{ (DWT)}$$

$$2000年: 39,779 + (1,690 \times 10) = 56,679 \text{ (DWT)}$$

しかしながら、実際には平均船型が1990～2000年に至るまでこの割合で引き続きふえるとは考えられない。

そこで、実際の平均船型は上述の数値の、1990年には90%、2000年には80%と仮定すると

1990年：35,801 (DWT)

2000年：45,343 (DWT)

となる。

そこで、1990年と2000年における通航船舶隻数は、予測通航船舶トン数をこの平均船型で割ることによって以下のように予測できる。

1990年：  $976 (\times 10^6) \div 35,801 = 27,262$  隻

2000年：  $1,282 (\times 10^6) \div 45,343 = 28,273$  隻

すなわち、運河の通航船腹隻数は概ね1990年には27,000隻、2000年には28,000隻と予測される。つまり、1日当り通航船隻数はそれぞれ75隻と77隻と予測される。

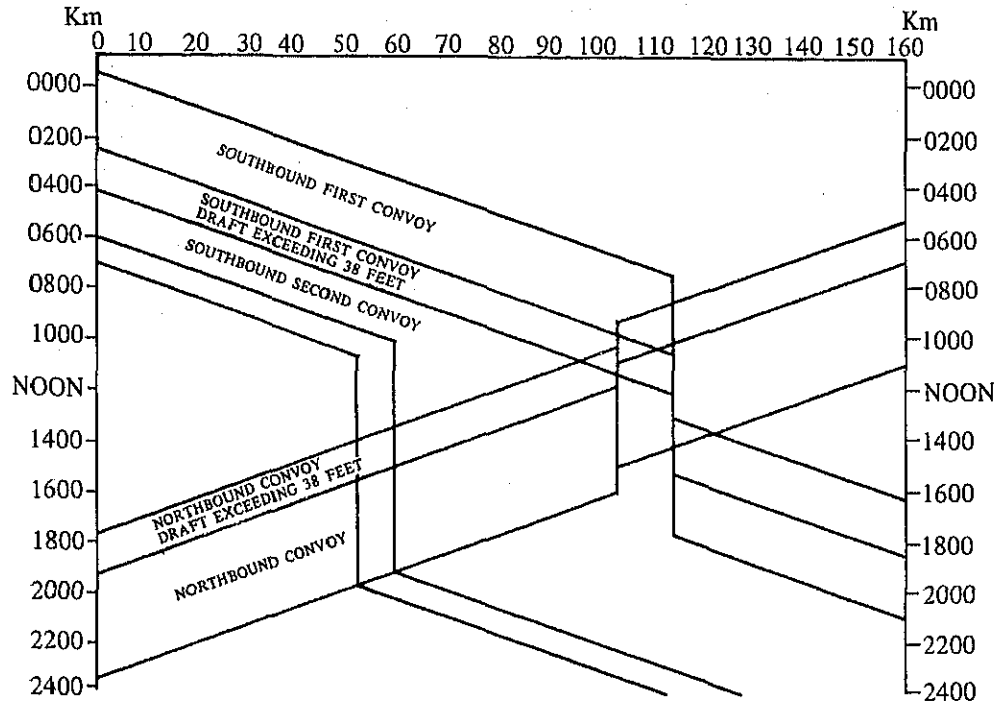
(4) 航行関係の条件

1) 通航条件

(i) 通航システム

通航には、1日南航2船団、北航1船団の図V-1-(4)-1のような船団通航システムが採られている。

この通航システムは、第2期拡張工事完了後も原則として変らないものとした。



図V-1-(4)-1 ダイアグラム

(ii) 通航ルート

i) 南航第1船団

吃水38フィート未満は、港内からWest Channelを通り、38フィート以上は、港外からEast Channelを通り、Ballah East Branch, Timsah East Branch, Deversoir West Channel, Great Bitter Lake Western Anchorage 錨泊, Kabrit West Branch を経て Suez に向うこととした。

ii) 南航第2船団

Port Said 港内から、West Branchを通り、Ballah West Branchに係留、またはTimsah Lake Anchorageに錨泊し、Kabrit West Branchを経たSuezに向うこととした。

iii) 北航船団

V L C C等は、Outer Waiting Anchorageから、他はInner Waiting Anchorageから、Kabrit East Channel, Great Bitter Lake Eastern Anchorage 錨泊または通過、Deversoir East Channel, Ballah East Channelを経た、Port

Said 寄港船は, Port Said West Channel, 他は, East Channel に向うものとした。

但し, Port Said West Channel に建設中の Waiting Buoy Berth が完成し, その使用が開始されれば, 総ての北航船は, East Channel を經由して地中海に出ることとした。

(IV) 最大吃水

北航は53フィート, 南航は42フィートとした。

但し, 南航船については, East Channel を使用することにより, 42フィート以上の船舶の通航の手配も可能である。

第2期拡張工事完了後は, 北航は, 水深235mで, 27万DWTの満載, 50万DWTのパラスト・タンカーが通航可能となるが, 南航は, 原則として42フィートで変わらないこととした。

(V) 通航速力

Rules of Navigation に定められている次の値とした。

南航第1, 第2船団 14 km/h

北航船団

積載VLCC等 13 "

その他の船舶 14 "

但し, 1983年8月1ヶ月間の平均値は,

南航船 15.6 km/h

北航船 16.1 "

となっている。

(VI) 船間距離

SCA が基準としている表V-1-(4)-1とした。

但し, 1983年8月1ヶ月間の平均値は, 表V-1-(4)-2のとおりである。

表V-1-(4)-1 船間間隔

Dead Weight Tons	Minimum Time Intervals in Minutes
Up to 30,000	6
30,000 to 60,000	10
60,000 to 140,000	16
140,000 to 250,000	20
Larger than 250,000	25
VLCC in ballast	16

表V-1-(4)-2 1983年8月1か月間の平均船間間隔

(Minutes)

Kind of Vessel \ Direction		Northbound		Southbound	
		P. Said	Suez	P. Said	Suez
Container		9.56	9.45	12.50	8.85
Tanker	Less than 60,000 G.T.	16.95	13.88	13.82	8.95
	60,000 G.T and more	21.89	17.96	19.53	10.80
Others		10.15	9.07	11.44	8.85

vii) Pilot

300 S C G T以上の船舶に対して強制であり、80,000 S C G T以上の船舶および3rd Generation Container等に対しては、Extra Pilotが乗船することとした。

viii) Escort Tug

11万～15万DWTの積載船舶および20万DWT以上のバラスト船舶1隻、15万DWT以上の積載船舶2隻等必要に応じ、Escort Tugが配備されるものとした。

2) 通航管制

(i) Traffic Diagram

通航は、Port Said, SuezのHarbour Office, 各信号所, 各パイロット等と、IsmailiaのHead Officeが、VHF, UHF等で連絡し合い、Traffic Diagramを作成しながらコントロールすることとした。

(ii) SCVTMS

Tracking Radar, Loran - C Position Fixing Chain, Computer Network, Communication Networkから成る優れた集中管理システムであり、速力, Off-Track,



船間距離の異常を検知し警報を発する機能も備えている SCVTMS が設置されているが、現状はまだ試験・訓練の段階とした。

しかし、将来は、このシステムによる高度な集中コントロールが、行われることとした。

### 3) 錨泊および係留条件

#### (i) 錨泊条件

Port Said に 23, Lake Timsah に 5, Great Bitter Lake に 60, Suez に 77 の Waiting Anchorage がある。

1982 年の最も通航船の多かった日には、北航船 38 隻、南航船 39 隻が通航したが、支障はなかったので錨地の容量は十分であるものとした。

#### (ii) 係留状況

Port Said 港内には 30 の Waiting Buoy Berth があり、これを使用するが、将来は、この港内の Waiting Buoy Berth の代りに、West Branch に建設中の新しい Buoy Berth を使用することにした。

Ballah West Branch は、南航第 2 船団の係留に使用されているが、15 隻が係留することができるものとした。

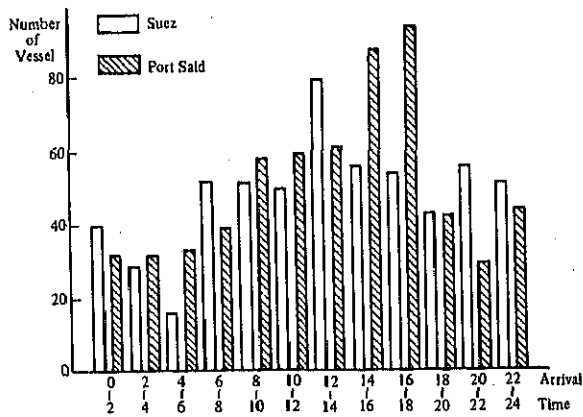
### 4) 到着・待船条件

図 V-1-(4)-2 および 3 は 1983 年 9 月 12 日から 10 月 2 日までの、Port Said および Suez における通航船の到着時刻および待時間の分布図である。

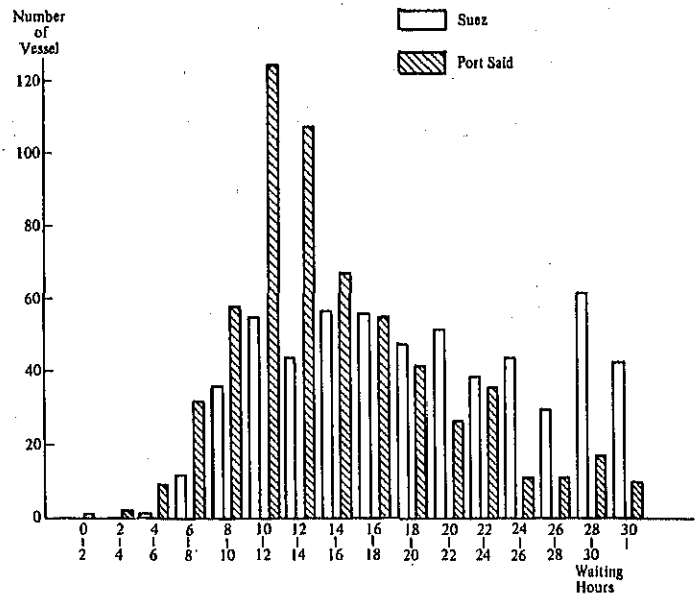
到着時刻については、南航船は、第 1 船団の締め切られる前の 1400 時～1800 時にピークがあり、他はあまり大きな差のない分布になっている。北航船は、1200 時～1400 時にピークが、また 0400 時～0600 時に谷があり、他はあまり差のない分布になっている。

待時間は、Suez は、12～14 時間の場合が、また、Port Said は 14～18 時間の場合がそれぞれピークになっている。

以上を到着・待船の前提条件とした。



図V-1-(4)-2 到着時刻分布



図V-1-(4)-3 待時間分布

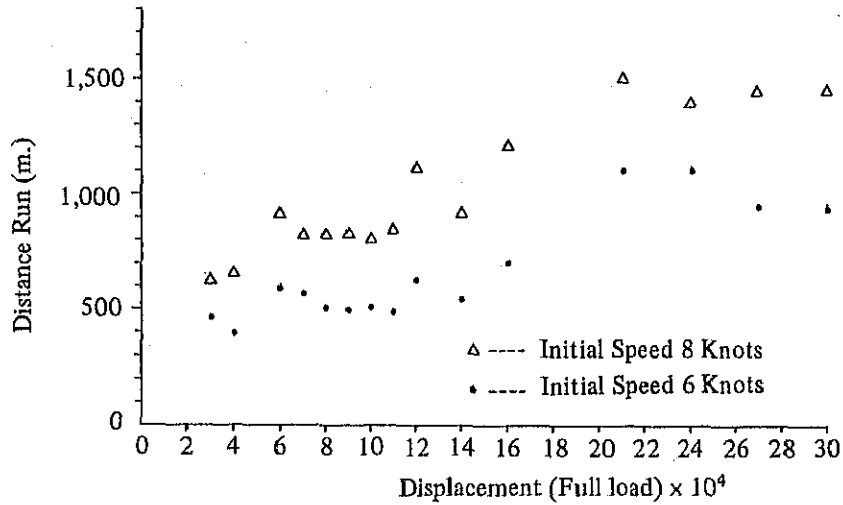
5) 操船性能

(i) 停止距離

表V-1-(4)-3は、SCAの行った運河内における停止実験の結果であり、図V-1-(4)-4は、日本船渠長協会の資料による逆転停止距離の図であるが、これらを前提条件として使用することとした。

表V-1-(4)-3 運河内における停船実験の要約

Trial No.	1	2	3	4	5	Average
Stopping Distance	1,069	575	1,260	975	1,255	1,026.8
Stopping Time	9m27s	7m13s	12m45s	11m12s	11m26s	10m24.6s
Current	0.5 m astern	11.0 m ahead	0.6 m astern	11.0 m ahead	0.5 m astern	
Wind	24 kt 15 dgs	nil	14 kt 360 dgs	nil	21 kt 15 dgs	
Initial Speed	6.98 kt	5.68 kt	6.78 kt	5.03 kt	7.01 kt	6.296 kt
No. of Tugs	2	2	2	1	1	



図V-1-4 逆転停止距離

(Source: Japan Dockmasters' Association)

(ii) Canal Pilotの資格・訓練等

表V-1-4-4はSuez Canal Pilotになるための年齢制限、資格、訓練、経験等を表にしたものである。

- i) 優れたPilotを養成するために年齢に上限を設ける。
  - ii) 実習期間を長くし、内容をもっと充実したものにする。シミュレーター訓練等の採用。
  - iii) 定期的な身体適性のチェック。
  - iv) 災害発生その他緊急時の対応についての特別な教育・訓練の実施。
- 等の対策を行うことを前提とした。

表V-1-4-4 Pilotになるための資格・訓練およびその他の要件

Age Limit for Certification	Certificate of Competency Necessary to become a Pilot	Sea-going Experience	
None	Master of ocean-going vessel	Nil	
Training and Examination	Rank	Renewal	Age Limit for Service
2-month long training with the qualification of harbour pilot, thence examination is to be taken.	4	Nil	60 (Extended service beyond the age limit is possible under special contract.)

(iii) Canal Pilotの経験・年齢分布

表V-1-4-5は、1983年9月のCanal Pilotの経験・年齢の分布である。

60才の定年制は適当と思われるが、定年後の嘱託の制度もあり、身体適性のチェックを行うこと、また、経験5年未満のPilotが約半数を占めているのもやや問題であり、検討を加

えること等を条件とした。

(iv) Salvage, Escort, Harbour TugおよびPilot Boat

表V-1-(4)-6は、SCAの所有しているSalvage Tug, Escort Tug, Harbour Tug及びPilot Boatのリストであり、これらを活用することとした。

表V-1-(4)-5 Canal Pilotの経験及び年令分布

Kind of Pilot	Career Length	Age	Number	Remarks
Pilot	Less than 5 years	30 ~ 40	120	
Major Pilot	More than 5 years	35 ~ 39	24	
		40 ~ 44	14	
	Less than 10 years	45 ~ 49	7	
		50 ~ 59	0	
		Over 60	1	
Distinguished	More than 10 years	45 ~ 49	15	
		50 ~ 54	17	
	Less than 15 years	55 ~ 59	16	
		Over 60	2	
Chief Pilot	More than 15 years	50 ~ 54	6	
		55 ~ 59	29	
		Over 60	13	
Total			264	

表V-1-(4)-6 Salvage Tug, Escort Tug, Harbour TugおよびPilot Boat

	Port Said			Ismailia			Suez		
	HP	Speed	No.	HP	Speed	No.	HP	Speed	No.
Salvage Tug	4,500	15	1	6,400	15	1	6,400	15	1
Escort Tug	3,200	13	2	3,200	13	2	3,200	13	2
	3,700	13	1	3,700	13	4	3,700	13	3
	3,400	13	2						
Harbour Tug	2,600	13	2	3,700	13	2	1,600	11.5	2
	1,600	12	6	1,600	12	3			
Pilot Boat	300	13	8	300	13	6	300	13	12
	390	15	1	390	15	7	400	15	6
	740	14	1	740	14	2	740	14	3
	1,300	25	2	1,300	25	2	650	22	4
	650	22	6				1,300	25	3
							350	13	2
Total			32			29			38

## 6) 航路標識

表V-1-(4)-7は、スエズ運河と他の運河、河川航路等との航路標識の設標率を比較したものである。

運河部分の設標率については、他との比較においても現状でほぼ十分であるが、Port Said, SuezのApproach部分については、運河利用者に対するアンケート調査の回答にも多数述べられていることから、増強するものとした。

航路標識のメンテナンスについても、同様に、アンケート調査の回答に、Approach部分の航路標識の良好なメンテナンスが多数望まれており、十分なメンテナンスを行うことを条件とした。

表V-1-(4)-7 航路標識の1kmあたりの数および  
間隔の比較

Name of Waterway	Number of Aids to Navigation per Km	Mean Distance between Aids to Navigation (m)
Suez Canal	2.71	738
Maas River	3.40	588
North Sea Canal	3.30	606
Elbe River	2.15	932
Kiel Canal	1.09	1,833
Kanmon Strait	2.72	735
Panama Canal	3.40	588
Average	2.48	805

## 7) 運河利用者調査の結果

以下の回答を考慮した。

### (i) 通航船の船長からの回答

- i) 危険を感じた場所は、Port Said, Suezに回答が集中している。
- ii) 通航中に感じた危険は乗り揚げが70%、衝突が30%である。
- iii) 乗り揚げの原因は、Improper Aids to Navigationの回答が大部分である。
- iv) 南北航別、船型、船種別に関しては、特別な傾向は出ていない。
- v) Racon Needed, Lack of Information and Communicationのコメントが多い。

### (ii) Canal Pilotからの回答

回答が少なかったが、航路標識の整備の希望がやや目立っている。

### (iii) 日本人船長からの回答

- i) 危険を感じた場所は、Port Said, Suezが圧倒的に多い。
- ii) 感じた危険は、船舶その他との衝突が59%、乗り揚げが41%である。

Ⅲ) 衝突の原因は, Narrow Water, Complexity of Meeting, Improper Aids to Navigationが, また, 乗り揚げの原因は, Narrow Water, Strong Current, Improper Aids to Navigationが目立っている。

Ⅳ) Communicationの改善, Widening of Anchorage, Waiting AreaでのPilotの乗船のコメントが多い。

## 8) 事故記録の分析結果

下記の事故記録の分析結果についても考慮した。

### (i) SCAの事故記録

#### i) 事故率の年度化

第1期拡張工事完了後, 事故率は59%に減少している。

#### ii) 事故率の月変化

運河部分については, 事故の発生がSandstormの季節に密接に関係している。

この関係は, 第1期拡張工事前に顕著で, 工事完了後やや低下している。

Port Saidについては, 季節との関係は, 殆ど表われていない。

#### iii) 事故率の場所別変化

場所別の事故率を第1期拡張工事の完了前後で比較してみると, 完了後Port Saidが94%, Suezが85%とあまり低下していないのが特徴である。

Great Bitter Lakeについては, 完了後66%でこれも低い減少率である。

運河部分については, 工事後全般に30~40%に低下している。この事故率の低下は, 運河の拡幅・増深, その工事の終了, さらに航行援助施設および係留作業の改良によるものである。

#### iv) 事故率の南北航別, 昼夜別の検討

第1期拡張工事前では, 南航船のEl Ballah, El Kabritの事故, 北航船のEl Kabritの事故が目立っている。

工事完了後では, 南航船のEl Ballah, 北航船のEl Kabritの事故が目立っている。

昼夜については, 発生率にあまり大きな差がない。

### (ii) 事前調査団書式の事故記録

#### i) 事故の原因

操船技術の未熟	15%
機関の誤操作	14%
機関のメンテナンス不良	11%
見張り不良	9%
船体・設備のメンテナンス不良	7%

が上位5原因である。

残りの44%には, 異常気象, 気象・海象状況の無視, 船位の不確認, 他船の誤失, 航法違反, 港湾施設の不備, その他, が含まれている。

全体として、操船技術の未熟、機関の誤操作、機関のメンテナンス不良、見張り不良、船体設備のメンテナンス不良、気象・海象状況の無視、船位不確認、航法違反など、ヒューマンファクターに属するものが82.8%を占めており、異常気象等のヒューマンファクターに属さないものが、17.2%であるのも大きな特徴である。

#### ii) 船団中の船舶の位置と事故の関係

衝突は、先頭から40%の位置の船舶に多く、乗り揚げは、先頭から40~100%の船舶に多いという結果がでている。

#### iii) 船団の編成隻数と事故率の関係

乗り揚げは、21~25隻の場合と、6~10隻の場合が多く、特に21~25隻の場合が全体の約3分の1である。

#### iv) 事故発生場所と昼夜との関係

衝突は、Port Said付近に集中しており、昼が10、夜が7、である。

乗り揚げは、El Ballahが最も多く、昼が14に対して夜は7である。

乗り揚げ全体では、昼が33、夜が24となっている。事故全体では、昼と夜のほぼ2対1になっている。

#### v) 事故発生場所と南北航の関係

衝突は、上記のようにPort Said付近に集中しているが、北航9に対し南航が4である。

乗り揚げは、北航13に対し、南航は46と多く、大部分がEl Ballahで発生している。

#### vi) 総トン数と事故発生件数

運河通航船の総トン数の分布と事故船の総トン数の分布は、ほぼ一致しており、船舶の大きさと事故発生率との間には、あまり関係がない。

#### vii) 船舶の種類と事故発生件数

総トン数との関係の場合と同様に、通航船の船種の分布とよく対応しており、船種と事故発生率との間には特に関連がない。

#### viii) 船舶の動静と事故発生件数

衝突は、27件中20件が係留あるいは投揚錨作業時に発生している。

乗り揚げは、61件中38件が航行中、20件が係留あるいは投揚錨作業時に発生している。事故全体では航行中が102件、係留・投揚錨作業時が59件であり、停泊中は20件である。

#### ix) 事故の分析の要約

事故の分析を要約したところ、次のような特徴があらわれている。

##### (a) 他船の影響

乗り揚げは、55件中49件が他船の影響なしで発生しており、乗り揚げには、殆ど他船が影響していないといえることができる。

##### (b) レーダーの使用

衝突時は、使用が3、不使用が19、である。

乗り揚げ時は、使用が29、不使用が26である。

事故全体では、79件中45件が事故発生時、レーダーを使用していない。

(c) 機関の遠隔操縦の使用

全体で79件中54件と大部分が手動操作をしている。

(d) 事故発生直前の事故船の速力

衝突に関しては、22件中、0ノットおよび0～2ノットで衝突したものが12件、6～8ノットが5件である。

乗り揚げでは、56件中、6～8ノットで乗り揚げたものが20件、次は0～2ノットの14件である。

(e) 事故回避の手段

衝突回避の手段は、19件中減速が8、転舵が6である。

乗り揚げ回避の手段は、55件中、減速が34、転舵が9である。

全体では、74件中、減速が42、転舵が15である。

(f) 乗り揚げた場所

全体で56件中、41件が運河壁で、浅瀬が15件である。

(g) 衝突時の状況

船舶同志の衝突では、横切り状態と追越し状態がほぼ同数である。

衝突は、殆ど他船との出会い関係が原因で発生している。

衝突の対象は、曳船が多く、27件中9件、その他は、貨物船の6件、その他の船舶6件、浚渫船の2件、フェリーの1件等である。

タンカーの衝突は0である。



(5) 環境条件

リスクアナリシスに用いる人口（現在および将来の予測値）を表V-1-(5)-1に示す。2000年における人口の予測値はSCAから示された1976年から1983年にかけての人口増加率20.9%/年を用いて推計した。

表V-1-(5)-1 人口

(in 1,000s)

Area	Year	
	1983	2000
Port Said	90.6	128.8
El Kantara	1.1	1.6
El Ferdan	0.5	0.7
Ismailia (coastal area)	19.6	27.9
West Shore of Great Bitter Lake	46.9	66.6
Area I	15.2	21.6
Area II	12.5	17.8
Area III	12.2	17.3
Area IV	7.0	9.9
Suez	33.8	48.0

リスクアナリシスの前提条件としての運河の水質については、油性成分が第1回現地調査期間中に採取した資料からは検出されなかったこと、周辺の開発状況に著しい変化が予想されないこと等を勘案して、水質を表す基本的な数値は将来においても第II編で報告しているとおりと想定した。

表V-1-(5)-2は将来における運河の水質を表す基本的な項目の状況を示したものである。

表V-1-(5)-2 水質の基本的な項目の状況

Location \ Item		COD (mg/ℓ)	Cl <sup>-</sup> (o/oo)	PH	SS (mg/ℓ)	DO (mg/ℓ)	Temperature (°C)	OCB (mg/ℓ)
Hm 50	West Entrance	5.2	20.4	8.1	22.9	5.5	24.6	ND
Hm 30	Near Tip of East Breakwater	4.8	20.4	8.2	—	5.3	24.8	—
Km 2	In Harbour	5.0	20.6	8.1	18.4	4.2	25.1	ND
Km 14	West Channel	5.4	20.6	8.0	19.6	4.1	25.0	—
Km 25		4.6	21.5	8.1	12.2	5.2	25.5	—
Km 35		3.4	22.7	8.2	9.5	5.5	25.6	ND
Km 45		4.2	22.7	8.2	—	5.2	25.5	—
Km 55	West Branch	4.2	23.4	8.1	6.8	5.9	25.5	—
Km 62.5	Near Juncture	4.0	23.3	8.2	4.8	5.9	25.9	—
Km 77	Near Sailing Club	5.2	22.9	8.1	6.7	5.8	25.8	—
Km 78	West Said	7.2	14.8	8.0	6.3	5.9	25.1	ND
Km 87		5.4	23.0	8.2	6.7	5.9	25.7	—
Km 97.5	West Branch	4.2	24.6	8.2	6.5	6.1	25.8	ND
Km 104	West Side of- Great Bitter Lake	4.9	23.8	8.3	11.1	7.6	25.8	—
Km 111	— ditto —	3.8	23.8	8.2	—	7.1	26.0	ND
Km 121	West Branch	3.2	24.4	8.3	65.6	6.5	25.2	—
Km 128	West Side of Little Bitter Lake	2.8	24.7	8.2	25.4	5.9	24.8	ND
Km 134.5	Entrance to Little Bitter Lake	3.3	24.4	8.2	8.6	5.9	24.3	ND
Km 146		4.2	24.5	8.2	6.5	5.7	24.2	ND
Km 160	In Harbour	4.2	24.5	8.2	7.5	5.8	24.0	—
Hm 47.5	Near Oil Berth	7.4	24.6	8.2	5.0	5.9	24.0	ND

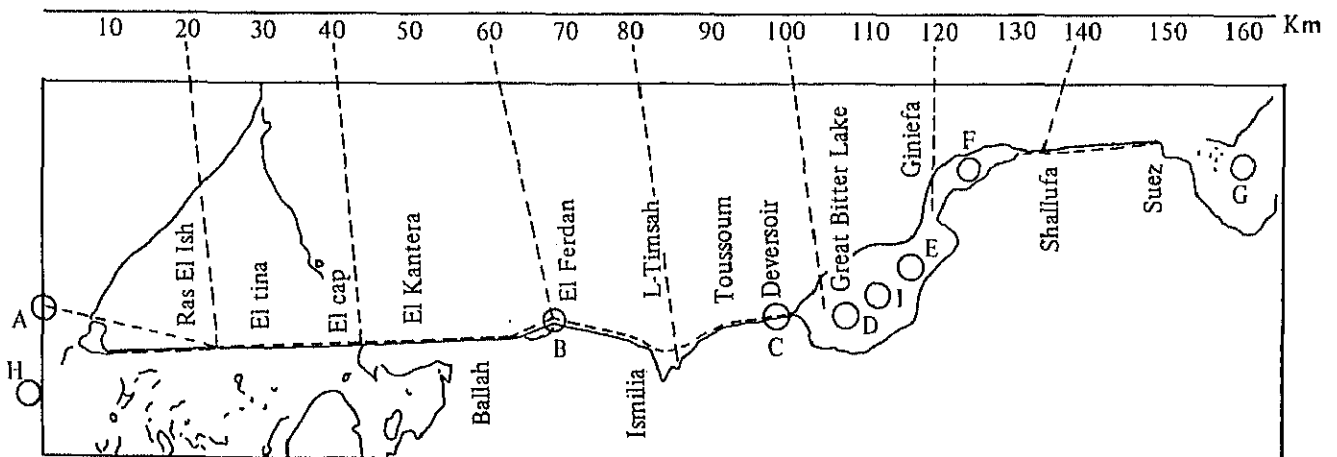
Note: The "ND" means that the oily matter could not be extracted.

(6) 設定ケース (場所及び事故類型)

リスクアナリシスは、発生することが予想されるすべての種類の事故について検討する必要がある。本調査において想定した事故及び事故の発生場所は表V-1-(6)-1、図V-1-(6)-1に示すとおりである。

表V-1-(6)-1 想定事故

Type	Location	
Grounding	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Throughout the Canal</li> <li>- Bypass</li> <li>- Main channel</li> </ul>	
Collision	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rear-end collision</li> <li>- Throughout the Canal</li> <li>• Between vessels</li> <li>- Cross at Port Said Approach Channel and East Bypass</li> <li>- Junctions</li> <li>- Around South Light and North Light</li> <li>- Waiting area at Great Bitter Lake and Port Said</li> <li>• Between a vessel and a dredger</li> <li>- Throughout the Canal</li> </ul>	<p>A B, C, D F, F M, I</p>
Secondary Disasters	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diffusion of spilled oil</li> <li>- Port Said</li> <li>- Great Bitter Lake</li> <li>- Suez</li> </ul>	<p>A I G</p>



図V-1-(6)-1 設定場所

## 第 2 章 事故発生評価結果

### (I) 事故確率の算定

#### 1) 乗り揚げ事故

##### (i) 乗り揚げモデルの基本的考え方

乗り揚げ事故は船舶が運河のセンターラインからはずれ、ブイに衝突あるいは船底が河底に接触することにより発生するものである。ここではSCVTMSデータに基づいて航跡モデルを作成し、同モデルを用いて乗り揚げ事故確率を算出するシステムを構築した後、種々のインプット条件を整理し適用することによって乗り揚げ確率を求めることとする。

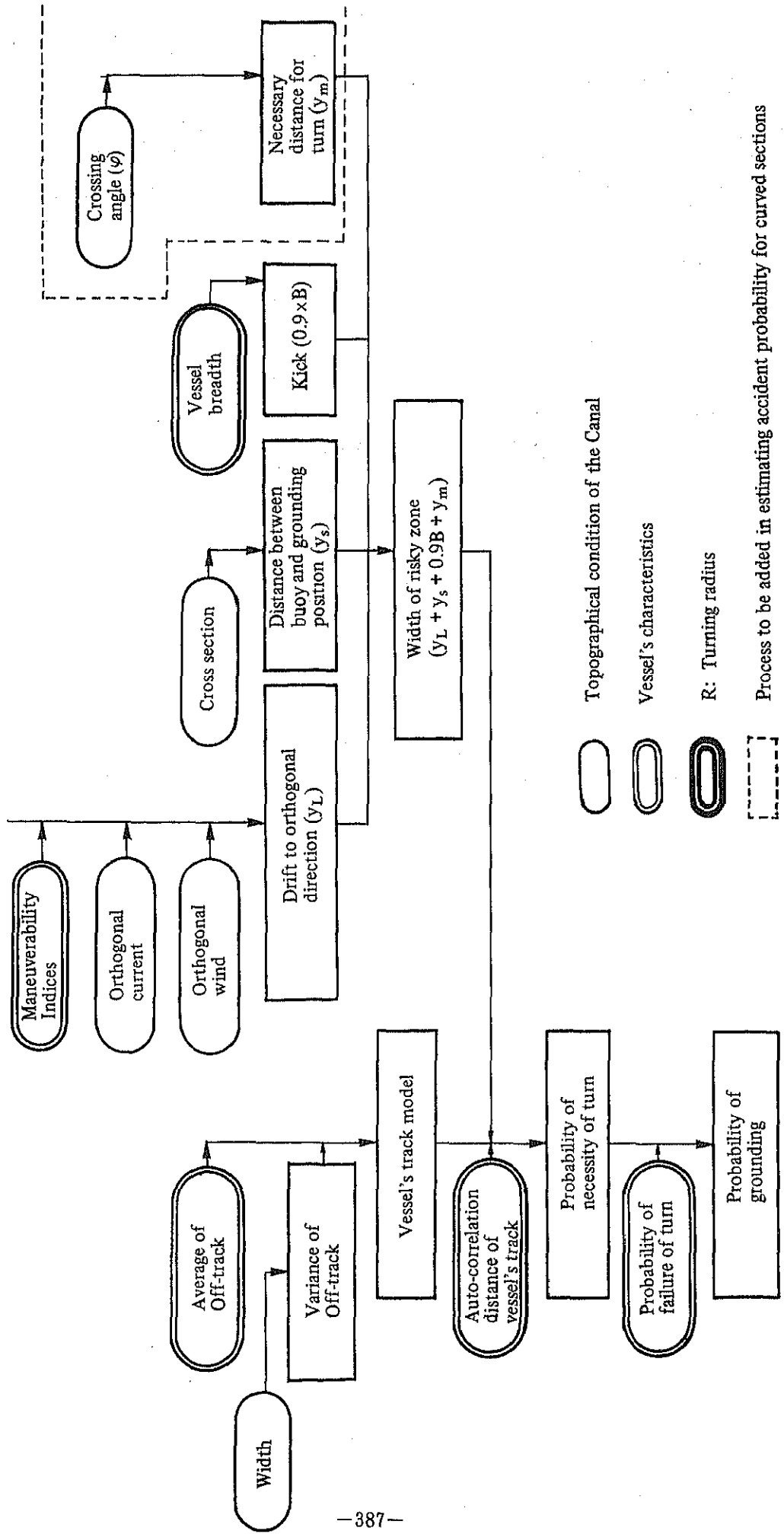
乗り揚げ事故確率の推計フローは図V-2-(I)-1に示すとおりであり、大別すると以下の3パートに分類される。

##### i) 航跡の同定

##### ii) 危険領域の設定

##### iii) 避航失敗確率の推計

概略的な流れとしては、危険領域に進入する確率を推計し、次に、危険領域において避航に失敗する確率を求めるという2段階である。ここで危険領域は運河形状、自然条件、船舶の操船性条件により設定されるものである。また、乗り揚げ事故確率は運河の形状別、すなわち、直線部分と曲線部分別に算定することとするが、これらの相違は曲線部分においては船舶が転舵することにより付加される危険領域を算定することにある。



図V-2-2-(1) 乗り揚げ事故確率の推計フロー

(ii) 算定のための前提

1) 場 所

運河を図V-2-(1)-2に示すように28区域に分割し、これらの区域毎に乗り揚げ事故確率を推計することとする。ここで、区域分割方法は、区域内では運河形状、自然条件が同一であるように設定した。

ii) 船 舶 分 類

船舶は船種及び船型によって特徴づけられるが、乗り揚げ事故確率は船種よりも船型によって大きな影響を受けることより、船舶分類は船型別に

- ① 0 ~ 10,000 DWT (代表船型 5,000 DWT)
- ② 10,000 DWT ~ 50,000 DWT (代表船型 10,000 DWT, 50,000 DWT)
- ③ 50,000 DWT ~ (代表船型 100,000 DWT)

なる3区分、代表船型4種類と設定する。

表V-2-(1)-1 船型形状

Categories	Representative	Dimension			Loaded Draft (m)
		L (m)	B (m)	U (m)	
0 ~ 10,000 DWT	5,000 DWT	103.0	14.7	7.6	6.9
10,000 DWT ~ 50,000 DWT	10,000 DWT	139.0	19.0	9.9	8.1
	50,000 DWT	226.0	32.1	16.5	12.5
50,000 DWT ~ 100,000 DWT	100,000 DWT	270.0	39.0	19.2	14.6

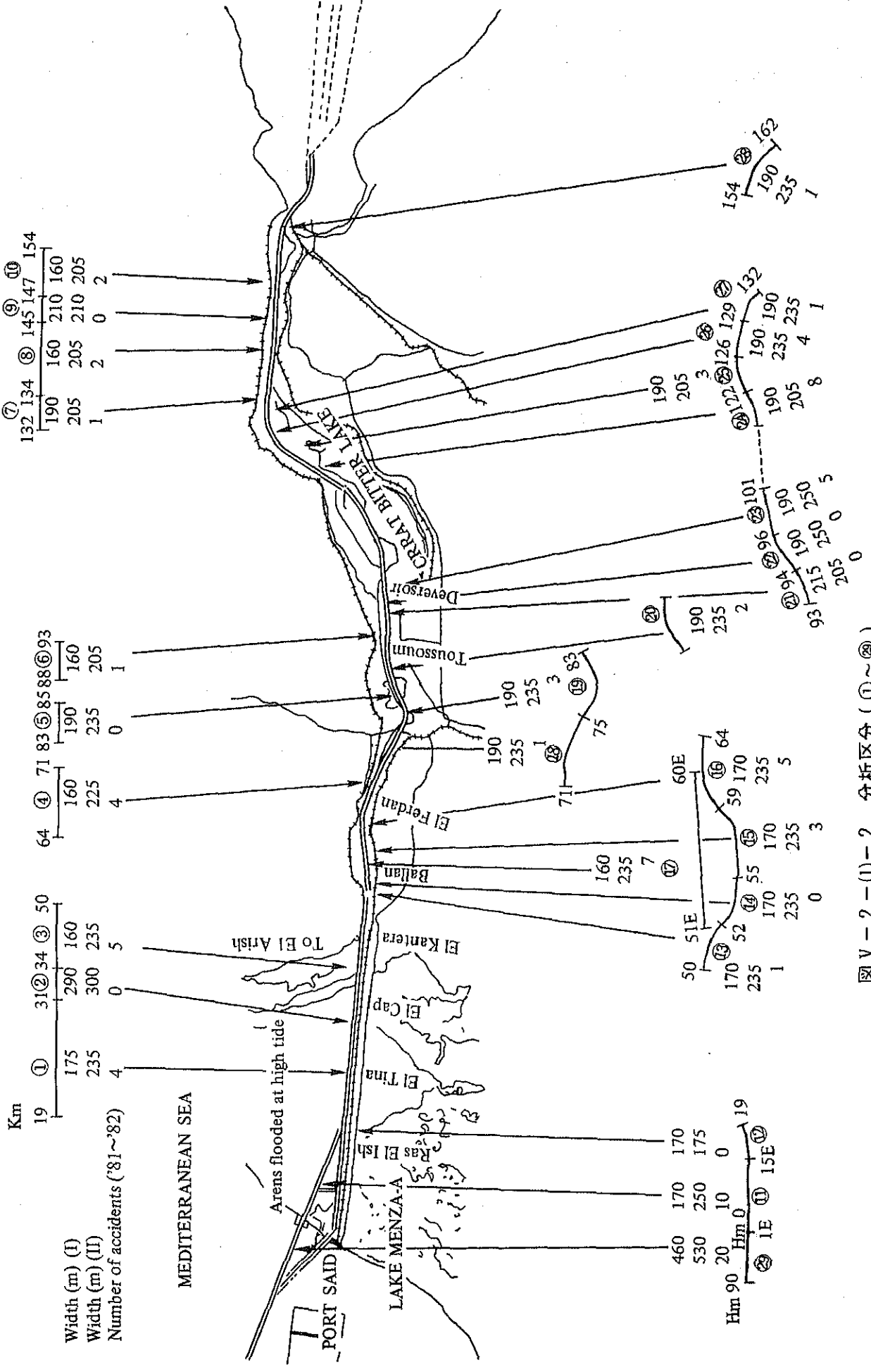


图 V-2-(1)-2 分析区分 (1~20)

(iii) 乗り揚げモデルの基本構造

i) 航跡モデル

船舶の位置は、センターラインの地点を  $x$  とすると、センターラインからのオフトラック距離  $y(x)$  によって決定される(図V-2-(1)-3)。このとき航跡モデルは航跡分布を説明するもの、すなわち、 $y(x)$  を決定するものであり、以下のような確率過程によって表現される。

$$y(x) = \mu(x) + \sigma(x) \cdot u(x)$$

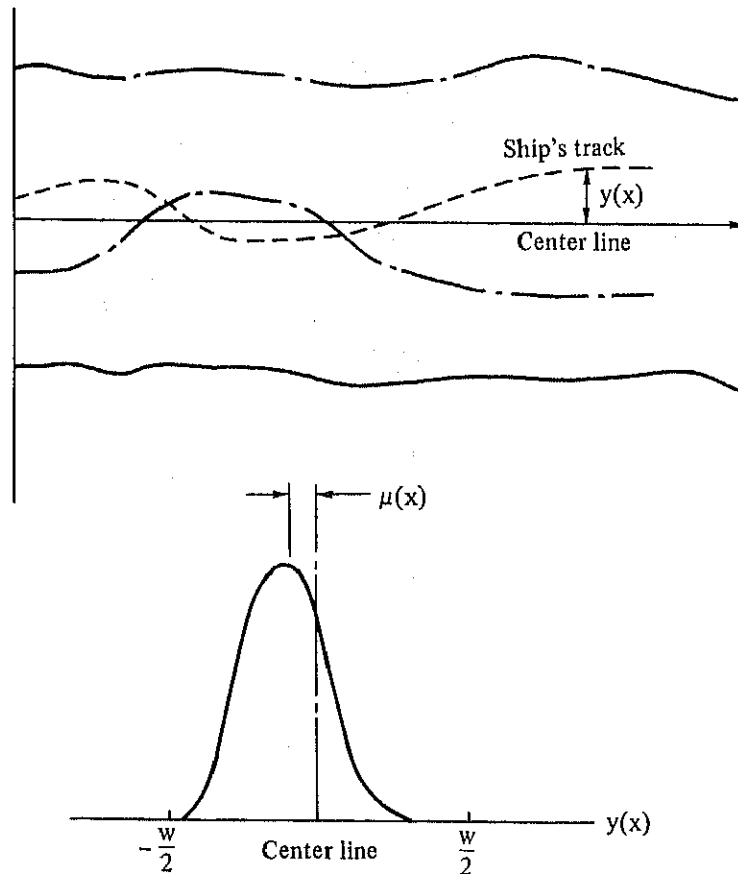
ただし  $x$  : センターラインの地点

$y(x)$  : オフトラック距離

$\mu(x)$  :  $y(x)$  の平均

$\sigma(x)$  :  $y(x)$  の標準偏差

$u(x)$  : 標準正規分布



図V-2-(1)-3 航跡モデル

同式において、 $\sigma(x)$  及び  $\mu(x)$  は設定項目であり、 $\sigma(x)$  は既存分献によると、航路幅  $W(x)$  を用いて

$$\sigma(x) = a + b \cdot W(x)$$

ただし  $W(x)$  : 地点  $x$  における航路幅

$a, b$  : パラメータ



と表現される。ここで、パラメータ  $a$ 、 $b$  は SCVTMS データを用いて分析することにより  $a=6.58$ 、 $b=0.092$  と決定される。

## ii) 危険領域の設定

危険領域とは、船舶が乗り揚げを避けるために転舵する必要のある領域であり、ブイから運河横断方向への距離によって決定される。(i)において述べたように危険領域は直線部分と曲線部分では異なる設定方法を用いて設定される。

### (a) 直線部分 (図 V-2-(1)-4)

危険領域を決定するブイから運河横方向への距離 ( $y_{c1}$ ) は以下の式で与えられる。

$$y_{c1} = y_L + y_b + y_s$$

ただし  $y_L$  : 転舵動作を行ってから船舶が転舵し始めるまでに運河横断方向へ流される距離。

$y_b$  : キック。

$y_s$  : ブイから吃水線までの距離。

#### ① $y_L$

$y_L$  は船舶が転舵動作を行ってから転舵し始めるまでに風あるいは潮流によって運河横断方向へ流される距離であり、以下の式で表現される。

$$y_L = T (C \cdot V_w + V_c)$$

ただし  $T$  : 転舵動作を行ってから転舵し始めるまでの時間

$V_w$  : 運河横断方向風速 (m/s)

$C$  : 船舶横断方向風圧係数

$V_c$  : 運河横断方向潮流の速さ (m/s)

ここで、 $T$  と  $C$  は既存文献より以下のよう<sup>注1)</sup>に設定される。

$$T = \{ 15 \log (DWT) - 47 \} \times \sqrt[3]{DWT} / V \quad (s)$$

ただし  $DWT$  : 船舶の載荷重量トン (Dead Weight Tonnage)

$V$  : 船速 (m/s)

$$c = \begin{cases} 0.05 & (\text{タンカー以外}) \\ 0.04 & (\text{タンカー}) \end{cases} \quad \text{注2)}$$

#### ② $y_b$

$y_b$  はキックといわれるもので、船舶が旋回する場合に船舶中心が進行方向と直角<sup>注1)</sup>の方向にずれる距離を意味している。既存研究により、キックは次式で表わされる。

$$y_b = 0.9 \times B$$

上式は次のようにして導かれる。

キックは舵角度  $\phi$  と共に変化するが、通常はこの変化するキック  $y_x$

キック  $y_x$

$$y_x = 3 / 4 \ell \sin \phi + \frac{B}{2} \cdot \cos \phi - R (1 - \cos \phi)$$

注) 1. 飯島幸人, 本田啓之輔『港湾水路の幅員について』(昭和48年10月, 日本航海学会第49回講演会)

注) 2. 日本海難防止協会『超大型船の手引き』(昭和45年)

の最大値  $y_B$  を意味している。

上式の  $y_x$  を最大にするためには  $\phi$  が

$$\tan \phi = \frac{3}{4} \ell / \left( \frac{B}{2} + R \right)$$

を満足する必要があり、したがってこれを上の  $y_x$  に代入することによりキックは、

$$y_B = \frac{3}{4} \ell \sin \phi + \frac{B}{2} \cos \phi - R (1 - \cos \phi)$$

として表わすことができる。

ここに  $R$  : 曲率半径

$$\phi : \tan^{-1} \frac{3}{4} \ell / \left( \frac{B}{2} + R \right)$$

$\ell$  : 船 長

であり、平均的なものとして  $R=45 \ell$ ,  $B/\ell=6.5$  を仮定すると、キックは平均的に  $y_B \doteq 0.9 B$  として表わされることがわかる。

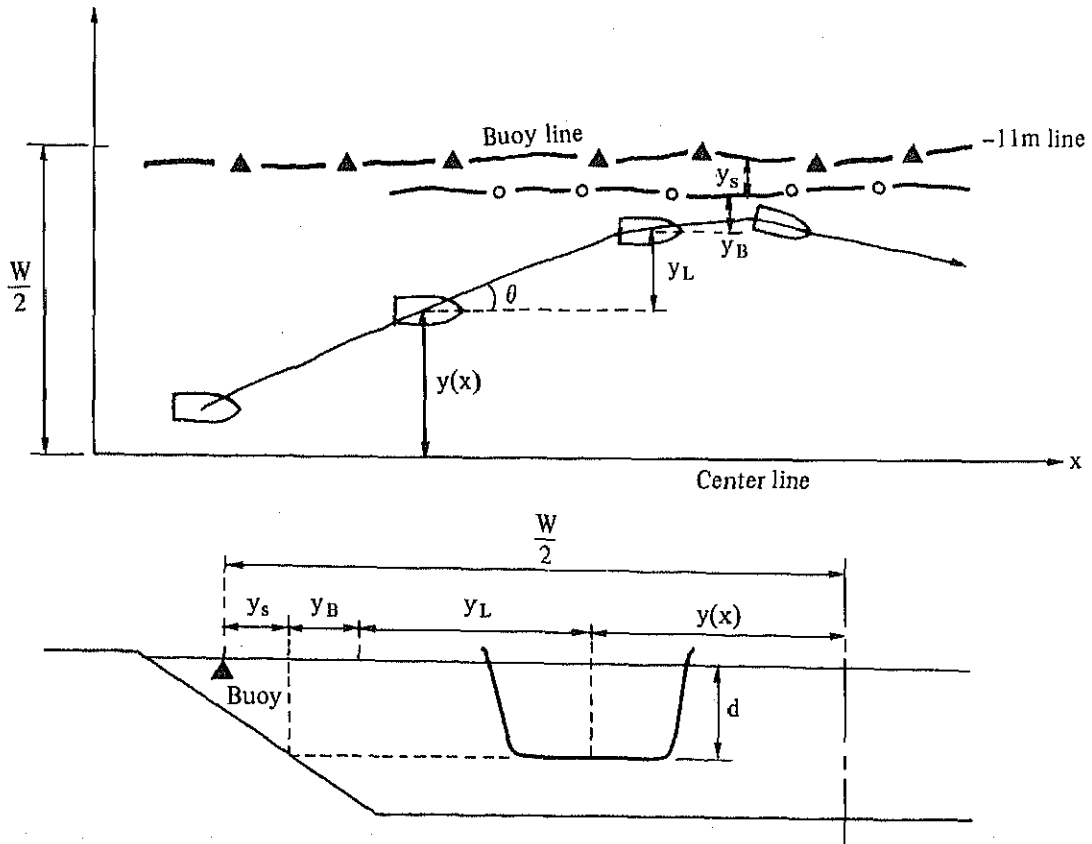
③  $y_s$

$y_s$  はブイ線（水深11m線）から船舶の吃水線（船底が河底に接触する地点）までの距離であり、運河形状及び船型によって決定される。

すなわち

$$y_s = \begin{cases} 0 & (d \leq 11\text{m}) \\ \text{ブイ線と船舶吃水線の距離} & (d \geq 11\text{m}) \end{cases}$$

ただし  $d$  : 船舶の吃水



図V-2-(i)-4 危険領域の決定要因

(b) 曲線部分

ある曲線部分を通して、直線部から新しい直線部へ角度  $\varphi$  だけ進路変更する場合、曲線部としての危険領域  $y_{C_2}$  は次の式で表わすことができる。

$$y_{C_2} = y_{C_1} + VT \sin \frac{\varphi}{2}$$

上式は以下のように導かれる。

曲線部において操船者は次の動作を行う。まず第1に曲線に沿って、旋回運動を行うために舵をきる。次に旋回運動のある地点で、この旋回を脱して、新しい直線方向に進むために舵を戻す。舵を戻した時点で、船は、旋回円の接線方向に、また新しい直線部の進行方向と  $\theta$  の角度をもって進むことになる。この  $\theta$  が、新しい直線部での危険領域  $y_{C_1}$  に加えて、曲線部であるが故に危険領域として新たに考慮しなければならない要因である。この  $\theta$  は、操船者が、最も上手く動作すると  $\theta = 0$  となって曲線部を抜けたとたんに直線部進行方向と一致して進むことになるが、最も下手に動作した場合には、最大  $\varphi$ 、すなわち旋回運動に入ったとたんに舵を戻した状況が考えられる。したがって、 $\theta$  はとりうる範囲として

$$0 \leq \theta \leq \varphi$$

と表わすことができる。

最後に、 $\theta > 0$  の場合はさらに舵を逆に戻すことによって、完全に進行方向と一致するように操船される。この  $\theta$  にたいする逆戻し舵が効きはじめるのに  $T$  の時間遅れを要するので、新しい直線方向と直角方向に  $VT \sin \theta$  だけ側壁の方に近づくことになる。

この  $VT \sin \theta$  が曲線であるが故に生じた危険領域としての要因であり、したがって

$$y_{C_2} = h_{C_1} + VT \sin \theta$$

と表わすことができる。

具体的に  $\theta$  の値を設定するために、平均的なものとして  $\frac{\varphi}{2}$  をとると、結局最初の式を導くことができる。

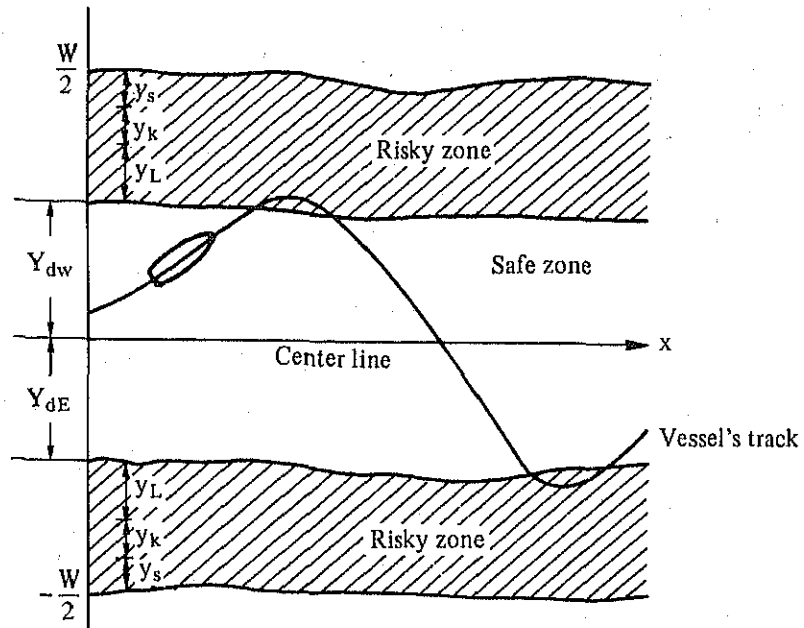
iii) 危険領域と安全領域

ii) で設定した危険領域を決定する運河横断方向距離を用いて、危険領域と安全領域を運河上に定義する。危険領域とは、ある船舶が同領域に入り込んだ場合乗り揚げ事故を避けるために何らかの避航行動を必要とするという設定条件の基で決定される領域であり、安全領域とは危険領域以外の領域である。そこで、図 V-2-(1)-5 のような状況では、安全領域を決定する運河横断方向距離は

$$y_{d_w} = \frac{W}{2} - y_{C_w} = \frac{W}{2} - (y_B + y_K + y_L)_w$$
$$y_{d_E} = \frac{W}{2} - y_{C_E} = \frac{W}{2} - (y_B + y_K + y_L)_E$$

ただし W：西側方向

E：東側方向



図V-2-(1)-5 危険領域と安全領域

で算定される。さらに、 $y_L$ 、 $y_R$ 、 $y_s$  は以下のように設定される。

- ①  $y_L (= T (c \cdot V_w + V_c))$ 
  - ・ T : 操縦性指数
  - ・  $V_w$  : 運河横断方向風速
  - ・  $V_c$  : 運河横断方向潮流の速さ
  - ・ C : 船舶横断方向の風圧係数
- ②  $y_R (= B \times 0.9)$ 
  - ・ B = 船幅
- ③  $y_s$ 
  - ・ 船舶の吃水
  - ・ 運河水深
- ④  $y_n (= V T \tan \theta + \Delta y_B)$  (曲線部分において付加される項目)
  - ・ 船幅
  - ・ 船長
  - ・ 曲率
- ⑤  $y_{dw}$ 、 $y_{dB}$ 
  - ・ 航路幅

これらデータを以下の表V-2-(1)-2(その1)~V-2-(1)-2(その4)に示す。

表V-2-(I)-2 安全領域の設定(その1)(5000DWT)

No.	Vw	Vc	Y <sub>L</sub>	Y <sub>k</sub>	(I)				(II)			
					Y <sub>s</sub>	W/2	Y <sub>dw</sub>	Y <sub>dE</sub>	Y <sub>s</sub>	W/2	Y <sub>dw</sub>	Y <sub>dE</sub>
1	-0.77	0	-1.0	↑	↑	87.5	75.2	73.3	↑	117.5	105.2	103.3
2	-0.77	0	-1.0			145	132.7	130.8		150	137.7	135.8
3	-0.77	0	-1.0			80	67.7	65.8		117.5	105.2	103.3
4	-0.77	0	-1.0			80	67.7	65.8		112.5	100.2	98.3
5	-0.77	0	-1.0			95	82.7	80.8		117.5	105.2	103.3
6	-0.77	0	-1.0			80	67.7	65.8		102.5	90.2	88.3
7	-0.77	0	-1.0			95	82.7	80.8		102.5	90.2	88.3
8	-0.77	0	-1.0			80	67.7	65.8		102.5	90.2	88.3
9	-0.77	0	-1.0			105	92.7	90.8		105	92.7	90.8
10	-0.77	0	-1.0			80	67.7	65.8		102.5	90.2	88.3
11	-0.77	0.012	-0.6			87.5	72.4	71.2		125	112.4	111.2
12	-0.77	0	-1.0			87.5	75.2	66.2		87.5	75.2	66.2
13	-0.77	0	-1.0		0	87.5	65.6	70.8	0	117.5	98.1	103.3
14	-0.77	0	-1.0	13.2		87.5	72.7	63.7		117.5	105.2	96.2
15	-0.77	0	-1.0			87.5	72.7	63.7		117.5	105.2	96.2
16	-0.77	0	-1.0			87.5	65.7	70.8		117.5	98.2	103.3
17	-0.77	0	-1.0			80	67.7	65.8		117.5	105.2	103.3
18	-0.77	0	-1.0			95	75.9	80.8		117.5	98.4	103.3
19	-0.77	0	-1.0			95	82.7	73.4		117.5	105.2	95.9
20	-0.77	0	-1.0			95	71.9	82.7		117.5	94.4	105.2
21	-0.77	0	-1.0			107.5	95.2	86.2		102.5	95.2	86.2
22	-0.77	0	-1.0			95	75.6	80.8		125	105.6	110.8
23	-0.77	0.006	-0.8			95	82.6	81.0		125	112.55	111.0
24	5.40	-0.01	6.5			95	75.3	88.2		102.5	82.8	95.7
25	2.32	-0.008	4.6			95	68.4	84.4		102.5	75.9	91.9
26	2.32	0.003	3.0			95	78.8	84.8		117.5	101.3	107.3
27	0.77	0.038	2.2			95	69.5	83.9		117.5	92.0	106.4
28	2.32	0.005	3.1			95	67.7	84.8		117.5	90.2	107.3
29	-0.77	0.023	-0.5	↓	↓	230	217.3	209.2	↓	265	252.3	244.2

Note: (I): The First Stage Development Project  
 (II): The Second Stage Development Project

表V-2-(I)-2 安全領域の設定(その2) (10,000 DWT)

No.	Vw	Vc	YL	Yk	(I)			(II)				
					Ys	W/2	Ydw	YdE	Ys	W/2	Ydw	YdE
1	-0.77	0	-1.9	↑	↑	87.5	72.3	68.5	↑	117.5	102.3	98.5
2	-0.77	0	-1.9	↑	↑	145	129.8	126.0	↑	150	134.8	131.0
3	-0.77	0	-1.9	↑	↑	80	64.8	61.0	↑	117.5	102.3	98.5
4	-0.77	0	-1.9	↑	↑	80	64.8	61.0	↑	112.5	97.3	93.5
5	-0.77	0	-1.9	↑	↑	95	79.8	76.0	↑	117.5	102.3	98.5
6	-0.77	0	-1.9	↑	↑	80	64.8	61.0	↑	102.5	87.3	83.5
7	-0.77		-1.9	↑	↑	95	79.8	76.0	↑	102.5	87.3	83.5
8	-0.77	0	-1.9	↑	↑	80	64.8	61.0	↑	102.5	87.3	83.5
9	-0.77	0	-1.9	↑	↑	105	89.8	86.0	↑	105	89.8	86.0
10	-0.77	0	-1.9	↑	↑	80	64.8	61.0	↑	102.5	87.3	83.5
11	-0.77	0.012	-1.1	↑	↑	87.5	69.0	66.8	↑	125	109.0	106.8
12	-0.77	0	-1.9	↑	↑	87.5	72.3	59.5	↑	87.5	72.3	59.5
13	-0.77	0	-1.9	↑	↑	87.5	60.8	66.0	↑	117.5	93.3	98.5
14	-0.77	0	-1.9	17.1	0	87.5	69.8	57.0	0	117.5	102.3	89.5
15	-0.77	0	-1.9	↑	↑	87.5	69.8	57.0	↑	117.5	102.3	89.5
16	-0.77	0	-1.9	↑	↑	87.5	60.9	66.0	↑	117.5	93.4	98.5
17	-0.77	0	-1.9	↑	↑	80	64.8	61.0	↑	117.5	102.3	98.5
18	-0.77	0	-1.9	↑	↑	95	71.2	76.0	↑	117.5	93.8	98.5
19	-0.77	0	-1.9	↑	↑	95	79.8	66.4	↑	117.5	102.3	88.9
20	-0.77	0	-1.9	↑	↑	95	63.6	79.8	↑	117.5	86.1	102.3
21	-0.77	0	-1.9	↑	↑	107.5	92.3	79.5	↑	102.5	92.3	79.5
22	-0.77	0	-1.9	↑	↑	95	70.8	76.0	↑	125	100.8	106.0
23	-0.77	0.006	-1.5	↑	↑	95	79.4	76.4	↑	125	109.4	106.4
24	5.40	-0.01	12.5	↑	↑	95	65.4	90.4	↑	102.5	72.9	97.9
25	2.32	-0.008	8.9	↑	↑	95	56.9	83.0	↑	102.5	64.4	90.5
26	2.32	0.003	5.8	↑	↑	95	72.1	83.7	↑	117.5	94.6	106.2
27	0.77	0.038	4.2	↓	↓	95	58.9	82.1	↓	117.5	81.5	104.6
28	2.32	0.005	5.9	↓	↓	95	55.5	83.8	↓	117.5	77.9	106.3
29	-0.77	0.023	-0.9	↓	↓	230	213.8	203.0	↓	265	248.8	238.0

Note: (I): The First Stage Development Project  
 (II): The Second Stage Development Project

表V-2-(I)-2 安全領域の設定(その3) (50000 DWT)

No.	Vw	Vc	Y <sub>L</sub>	Y <sub>k</sub>	(I)				(II)			
					Y <sub>s</sub>	W/2	Y <sub>dw</sub>	Y <sub>dE</sub>	Y <sub>s</sub>	W/2	Y <sub>dw</sub>	Y <sub>dE</sub>
1	-0.77	0	-5.8	↑	6.0	81.5	58.4	46.8	6.0	111.5	88.4	76.8
2	-0.77	0	-5.8		6.0	139	115.9	104.3	6.0	144	120.9	109.3
3	-0.77	0	-5.8		6.0	74	50.9	39.3	6.0	111.5	88.4	76.8
4	-0.77	0	-5.8		4.4	75.6	52.5	40.9	4.4	108.1	85.0	73.4
5	-0.77	0	-5.8		4.5	90.5	67.4	55.8	4.5	113.0	89.9	78.3
6	-0.77	0	-5.8		3.75	76.25	53.1	41.6	3.8	108.7	75.6	64.0
7	-0.77	0	-5.8		4.5	90.5	67.4	55.8	4.4	98.1	75.0	63.4
8	-0.77	0	-5.8		4.4	75.6	52.5	30.9	4.4	98.1	75.0	63.4
9	-0.77	0	-5.8		4.5	100.5	77.4	65.8	4.5	100.5	77.4	65.8
10	-0.77	0	-5.8		4.4	75.6	52.5	40.9	4.4	98.1	75.0	63.4
11	-0.77	0.012	-3.6		6.0	81.5	53.6	46.6	6.0	119	93.6	86.6
12	-0.77	0	-5.8		6.0	81.5	58.4	32.9	6.0	81.5	58.4	32.9
13	-0.77	0	-5.8	28.9	6.0	81.5	42.0	44.3	6.0	111.5	74.5	76.8
14	-0.77	0	-5.8		6.0	81.5	55.9	30.4	6.0	111.5	88.4	62.9
15	-0.77	0	-5.8		6.0	81.5	55.9	30.5	6.0	111.5	88.4	62.9
16	-0.77	0	-5.8		6.0	81.5	42.4	44.3	6.0	111.5	74.9	76.8
17	-0.77	0	-5.8		6.0	74.0	50.9	39.3	6.0	111.5	88.4	76.8
18	-0.77	0	-5.8		4.4	90.6	54.9	55.9	4.4	113.1	77.4	78.4
19	-0.77	0	-5.8		4.5	90.5	67.4	40.4	4.5	113.0	89.9	62.9
20	-0.77	0	-5.8		4.5	90.5	31.2	67.4	4.5	113.0	53.7	89.9
21	-0.77	0	-5.8		3.8	103.7	80.6	55.1	3.8	98.7	80.6	55.1
22	-0.77	0	-5.8		4.4	90.6	53.6	55.9	4.4	120.6	83.6	85.9
23	-0.77	0.006	-4.6		4.5	90.5	66.3	56.9	4.5	120.5	96.3	87.0
24	5.40	-0.01	38.6		4.4	90.6	23.1	61.7	4.4	98.1	30.6	69.2
25	2.32	-0.008	27.4		4.5	90.5	10.6	77.5	4.5	98.0	18.1	85.0
26	2.32	0.003	18.0		4.5	90.5	43.7	79.6	4.5	113.0	66.2	102.1
27	0.77	0.038	12.9		4.5	90.5	16.9	74.5	4.5	113.0	39.5	97.0
28	2.32	0.005	18.3		4.5	90.5	6.0	79.9	4.0	113.5	28.6	102.4
29	-0.77	0.023	-2.9	↓	15.0	215	189.0	169.4	15.0	250	224.0	204.4

Note: (I): The First Stage Development Project  
 (II): The Second Stage Development Project

表V-2-(I)-2 安全領域の設定(その4) (100000DWT)

No.	Vw	Vc	Y <sub>L</sub>	Y <sub>k</sub>	(I)				(II)			
					Y <sub>s</sub>	W/2	Y <sub>dw</sub>	Y <sub>dE</sub>	Y <sub>s</sub>	W/2	Y <sub>dw</sub>	Y <sub>dE</sub>
1	-0.77	0	-8.7	↑	14.4	73.1	46.7	29.3	14.4	103.1	76.7	59.3
2	-0.77	0	-8.7		14.4	130.6	104.2	86.8	14.4	135.6	109.2	91.8
3	-0.77	0	-8.7	↑	14.4	65.6	39.2	21.8	14.4	103.1	76.7	59.3
4	-0.77	0	-8.7		10.7	69.3	42.9	25.5	10.7	101.8	75.4	58.0
5	-0.77	0	-8.7	↑	10.8	84.2	57.8	40.4	10.8	101.7	80.3	62.9
6	-0.77	0	-8.7		9.05	70.95	44.5	27.2	9.0	93.5	67.0	49.7
7	-0.77	0	-8.7	↑	10.8	84.2	57.8	40.4	10.7	91.8	65.4	48.0
8	-0.77	0	-8.7		10.7	69.3	42.9	25.5	10.7	91.8	65.4	48.0
9	-0.77	0	-8.7	↑	10.8	94.2	67.8	50.4	10.8	94.2	67.8	50.4
10	-0.77	0	-8.7		10.7	69.3	42.9	25.5	10.7	91.8	65.4	48.0
11	-0.77	0.012	-5.3	↑	14.4	73.1	40.8	30.2	14.4	110.6	80.8	70.2
12	-0.77	0	-8.7		14.4	73.1	46.7	13.4	14.4	73.1	46.7	13.4
13	-0.77	0	-8.7	↑	14.4	73.1	28.2	26.8	14.4	103.1	60.7	59.3
14	-0.77	0	-8.7		35.1	14.4	73.1	44.2	10.8	14.4	103.1	76.7
15	-0.77	0	-8.7	↑	14.4	73.1	44.2	10.9	14.4	103.1	76.7	43.4
16	-0.77	0	-8.7		14.4	73.1	28.8	26.8	14.4	103.1	61.3	59.3
17	-0.77	0	-8.7	↑	14.4	68.6	39.2	21.8	14.4	103.1	76.7	59.3
18	-0.77	0	-8.7		10.7	84.3	43.7	40.5	10.7	106.8	66.2	63.0
19	-0.77	0	-8.7	↑	10.8	84.2	57.8	22.2	10.8	106.7	80.3	44.7
20	-0.77	0	-8.7		10.8	84.2	8.3	57.8	10.8	106.7	30.8	80.3
21	-0.77	0	-8.7	↑	19.1	88.4	72.0	38.7	9.1	93.4	72.0	38.7
22	-0.77	0	-8.7		10.7	84.3	41.9	40.5	10.7	114.3	71.9	70.5
23	-0.77	0.006	-7.0	↑	10.8	84.2	56.1	42.1	10.8	114.2	86.1	72.1
24	5.40	-0.01	-58.0		10.8	84.2	-8.8	49.2	10.7	91.8	0	56.7
25	2.32	-0.008	41.2	↑	10.9	84.1	-22.7	73.0	10.8	91.7	0	80.5
26	2.32	0.003	27.0		10.8	84.2	22.1	76.0	10.8	106.7	44.6	98.6
27	0.77	0.038	19.4	↑	10.8	84.2	-13.1	68.5	10.8	106.7	9.4	91.0
28	2.32	0.005	27.5		10.8	84.2	-29.5	76.6	10.8	106.7	0	99.1
29	-0.77	0.023	-4.4	↓	36.0	194	163.3	138.6	36.0	229	198.3	173.6

Note: (I): The First Stage Development Project  
 (II): The Second Stage Development Project



(iv) 乗り揚げ確率の算定

i) 要避航確率 ( $P_R$ ) の設定

(a) 要避航確率の算出方法

スエズ運河を航行する船舶は、センターライン上の位置を保つよう操船されるが、風等の自然条件、操船技術等の人為的条件等により航跡は曲線を描くこととなる。要避航状態とは船舶がセンターラインからはずれ危険領域に入り込んだ状態、すなわち、乗り揚げ事故を避けるために何らかの避航動作を行わなければならない状態を表現するものであり、要避航確率とはある区間において船舶が危険領域に入り込む確率である。

このように定義される要避航確率  $P_R$  は、

$$P_R = N(Y(x) \geq Y_d) \cdot l$$

ただし  $N(\cdot)$  : 条件  $\cdot$  が満たされる回数

$Y_d$  : 安全領域を決定する運河横断方向距離 ( $Y_{d_w}$  または  $Y_{d_e}$ )

$l$  : 分析区間長

で算定される。

ここで、 $N(\cdot)$  は確率過程分析より以下の式で求められる。

$$N(Y_d) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} e^{-\frac{Y_d^2}{2m_0}}$$

ただし  $N(Y_d)$  : 船舶が単位区間長で危険領域に入る回数

$Y_d$  : 安全領域を決定する運河横断方向距離 ( $Y_{d_w}$  または  $Y_{d_e}$ )

$m_0$  :  $\sigma_y^2$ , 航跡分布の分散

$m_2$  :  $\sigma_{\dot{y}}^2$ , 航跡分布の船速の分散, 航跡の自己相関係数を  $h$  とすると,  $2/h^2$  と等しい。

以上の  $P_R$  導出プロセスは図 V-2-(1)-6 のようにまとめられる。

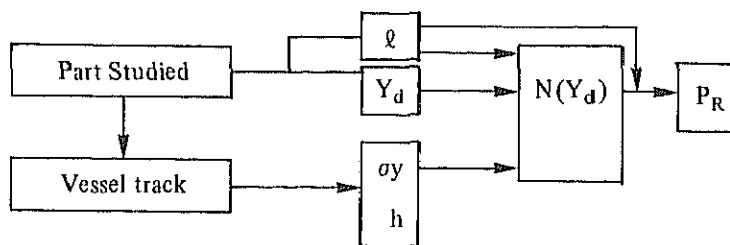


図 V-2-(1)-6 要避航確率 ( $P_R$ ) の導出プロセス

(b) 算定データ

要避航確率 ( $P_R$ ) を算定するために必要なデータは以下のとおりである。

- ①  $m_0 = \sigma_y^2 = 51438$  (SCVTMS データより設定)
- ②  $m_2 = \sigma_{\dot{y}}^2 = \frac{2}{h^2} = 9.549 \times 10^{-7}$  (SCVTMS データより  $h = 1447$  m と設定される。)
- ③  $l$  : 分析区間長 (表 V-2-(1)-3)

(c) 算定結果

(b)で設定したデータを(a)で提案したモデルに適用した算定結果は表V-2-(1)-3に示すとおりである。

ii) 避航失敗確率 ( $P_f$ ) の設定

船舶が危険領域に入り込むと避航動作を行うが、この避航動作に失敗すると乗り揚げ事故が発生する。避航失敗の原因としてはマシントラブル、ヒューマンエラー等が想定されるが、これらを実証的かつ理論的に解析することは困難であり、本調査では実証的観点から避航失敗確率を設定する。すなわち、避航失敗確率 ( $P_f$ ) は

$$P_f = \frac{P_a(I)}{P_R}$$

ただし  $P_a(I)$  : 過去の乗り揚げ事故確率 (表V-2-(1)-6) で与えられ、算定結果は表V-2-(1)-4に示すとおりである。

iii) 乗り揚げ事故確率 ( $P_a(I)$ ,  $P_a(II)$ ) の設定

現状 (フェイズ I) における乗り揚げ事故確率 ( $P_a(I)$ ) は過去のSCA事故データより設定され、第II期拡張工事終了後 (フェイズ II) における乗り揚げ事故確率 ( $P_a(II)$ ) は

$$P_a(II) = P_f \cdot P_R(II)$$

ただし  $P_R(II)$  : フェイズ II における要避航確率により算定される。これら  $P_a(I)$ ,  $P_a(II)$  の算定結果を表V-2-(1)-5に示す。

表V-2-(I)-3 要避航確率の算定結果 (PR)

No.	km Location	km ℓ	5,000		10,000		50,000		100,000	
			I	II	I	II	I	II	I	II
1	19 ~ 31	12	$7.80 \times 10^{-4}$	$1.43 \times 10^{-4}$	$1.37 \times 10^{-3}$	$2.40 \times 10^{-4}$	$1.28 \times 10^{-2}$	$2.10 \times 10^{-3}$	$4.56 \times 10^{-2}$	$8.88 \times 10^{-3}$
2	31 ~ 34	3	$1.10 \times 10^{-5}$	$9.16 \times 10^{-6}$	$1.76 \times 10^{-5}$	$1.45 \times 10^{-5}$	$1.35 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$4.53 \times 10^{-4}$	$4.53 \times 10^{-4}$
3	34 ~ 50	16	$1.73 \times 10^{-3}$	$1.91 \times 10^{-4}$	$3.08 \times 10^{-3}$	$3.20 \times 10^{-4}$	$2.80 \times 10^{-2}$	$2.81 \times 10^{-3}$	$9.07 \times 10^{-2}$	$1.18 \times 10^{-2}$
4	64 ~ 71	7	$7.58 \times 10^{-4}$	$1.07 \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-3}$	$1.81 \times 10^{-4}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$1.38 \times 10^{-3}$	$3.17 \times 10^{-2}$	$5.03 \times 10^{-3}$
5	83 ~ 85	2	$8.10 \times 10^{-5}$	$2.39 \times 10^{-5}$	$1.41 \times 10^{-4}$	$4.00 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-3}$	$3.02 \times 10^{-4}$	$3.88 \times 10^{-3}$	$1.11 \times 10^{-3}$
6	88 ~ 93	5	$5.42 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-4}$	$9.61 \times 10^{-4}$	$2.25 \times 10^{-4}$	$7.06 \times 10^{-3}$	$1.66 \times 10^{-3}$	$2.03 \times 10^{-2}$	$5.47 \times 10^{-3}$
7	132 ~ 134	2	$8.10 \times 10^{-5}$	$5.23 \times 10^{-5}$	$1.41 \times 10^{-4}$	$8.98 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-3}$	$7.05 \times 10^{-4}$	$3.88 \times 10^{-3}$	$2.51 \times 10^{-4}$
8	134 ~ 145	11	$1.19 \times 10^{-3}$	$2.88 \times 10^{-4}$	$2.11 \times 10^{-3}$	$4.94 \times 10^{-4}$	$1.65 \times 10^{-2}$	$3.88 \times 10^{-3}$	$4.98 \times 10^{-2}$	$1.38 \times 10^{-2}$
9	145 ~ 147	2	$4.55 \times 10^{-5}$	$4.55 \times 10^{-5}$	$7.79 \times 10^{-5}$	$7.79 \times 10^{-5}$	$6.13 \times 10^{-4}$	$6.13 \times 10^{-4}$	$2.20 \times 10^{-3}$	$2.20 \times 10^{-3}$
10	147 ~ 154	9	$7.58 \times 10^{-4}$	$1.83 \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-3}$	$3.14 \times 10^{-4}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$2.47 \times 10^{-3}$	$3.17 \times 10^{-2}$	$8.78 \times 10^{-3}$
11	1E ~ 15E	14	$1.07 \times 10^{-3}$	$1.17 \times 10^{-4}$	$1.86 \times 10^{-3}$	$1.92 \times 10^{-4}$	$1.62 \times 10^{-2}$	$1.51 \times 10^{-3}$	$5.71 \times 10^{-2}$	$6.17 \times 10^{-3}$
12	15E ~ 19W	2.4	$3.00 \times 10^{-4}$	$3.00 \times 10^{-4}$	$6.28 \times 10^{-4}$	$6.28 \times 10^{-4}$	$6.33 \times 10^{-3}$	$6.33 \times 10^{-3}$	$1.58 \times 10^{-2}$	$1.58 \times 10^{-2}$
13	50W ~ 52W	2.0	$2.66 \times 10^{-4}$	$3.93 \times 10^{-5}$	$5.02 \times 10^{-4}$	$7.11 \times 10^{-5}$	$4.26 \times 10^{-3}$	$6.06 \times 10^{-4}$	$1.30 \times 10^{-2}$	$2.30 \times 10^{-3}$
14	52W ~ 55W	3.0	$4.45 \times 10^{-4}$	$6.50 \times 10^{-5}$	$9.32 \times 10^{-4}$	$1.30 \times 10^{-4}$	$9.11 \times 10^{-3}$	$1.49 \times 10^{-3}$	$2.16 \times 10^{-2}$	$5.49 \times 10^{-3}$
15	55W ~ 59W	4.0	$5.93 \times 10^{-4}$	$8.66 \times 10^{-5}$	$1.24 \times 10^{-3}$	$1.74 \times 10^{-4}$	$1.21 \times 10^{-2}$	$1.99 \times 10^{-3}$	$2.87 \times 10^{-2}$	$7.31 \times 10^{-3}$
16	59W ~ 64	5.0	$6.61 \times 10^{-4}$	$9.78 \times 10^{-5}$	$1.24 \times 10^{-3}$	$1.76 \times 10^{-4}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$1.48 \times 10^{-3}$	$3.20 \times 10^{-2}$	$5.61 \times 10^{-3}$
17	51E ~ 60E	9	$9.75 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$1.73 \times 10^{-3}$	$1.80 \times 10^{-4}$	$1.57 \times 10^{-2}$	$1.58 \times 10^{-3}$	$5.10 \times 10^{-2}$	$6.66 \times 10^{-3}$
18	71 ~ 75	4	$2.71 \times 10^{-4}$	$7.72 \times 10^{-5}$	$4.98 \times 10^{-4}$	$1.37 \times 10^{-4}$	$3.66 \times 10^{-3}$	$9.74 \times 10^{-4}$	$1.12 \times 10^{-2}$	$3.21 \times 10^{-3}$
19	75 ~ 83	8	$6.36 \times 10^{-4}$	$1.78 \times 10^{-4}$	$1.36 \times 10^{-3}$	$3.67 \times 10^{-4}$	$1.37 \times 10^{-2}$	$3.95 \times 10^{-3}$	$3.67 \times 10^{-2}$	$1.33 \times 10^{-2}$
20	85 ~ 88	3	$2.75 \times 10^{-4}$	$7.66 \times 10^{-5}$	$6.69 \times 10^{-4}$	$1.80 \times 10^{-4}$	$8.75 \times 10^{-3}$	$2.80 \times 10^{-3}$	$1.94 \times 10^{-2}$	$9.41 \times 10^{-3}$
21	93 ~ 94	1	$3.68 \times 10^{-5}$	$3.68 \times 10^{-5}$	$7.52 \times 10^{-5}$	$7.52 \times 10^{-5}$	$7.17 \times 10^{-4}$	$7.17 \times 10^{-4}$	$2.16 \times 10^{-3}$	$2.16 \times 10^{-3}$
22	94 ~ 96	2	$1.39 \times 10^{-4}$	$2.74 \times 10^{-5}$	$2.59 \times 10^{-4}$	$4.88 \times 10^{-5}$	$1.95 \times 10^{-3}$	$3.49 \times 10^{-4}$	$5.97 \times 10^{-3}$	$1.16 \times 10^{-3}$
23	96 ~ 101	5	$2.02 \times 10^{-4}$	$4.19 \times 10^{-5}$	$3.49 \times 10^{-4}$	$6.90 \times 10^{-5}$	$2.69 \times 10^{-3}$	$4.81 \times 10^{-4}$	$9.12 \times 10^{-3}$	$1.73 \times 10^{-3}$
24	115 ~ 122	7	$3.92 \times 10^{-4}$	$2.51 \times 10^{-4}$	$1.17 \times 10^{-3}$	$7.32 \times 10^{-4}$	$3.02 \times 10^{-2}$	$2.18 \times 10^{-2}$	$5.09 \times 10^{-2}$	$4.64 \times 10^{-2}$
25	122 ~ 126	4	$5.08 \times 10^{-4}$	$3.20 \times 10^{-4}$	$1.65 \times 10^{-3}$	$1.04 \times 10^{-3}$	$2.36 \times 10^{-2}$	$1.91 \times 10^{-2}$	$2.61 \times 10^{-2}$	$2.46 \times 10^{-2}$
26	126 ~ 129	3	$1.30 \times 10^{-4}$	$3.82 \times 10^{-5}$	$2.64 \times 10^{-4}$	$7.35 \times 10^{-5}$	$3.82 \times 10^{-3}$	$1.08 \times 10^{-3}$	$1.28 \times 10^{-2}$	$4.77 \times 10^{-3}$
27	129 ~ 132	3	$3.43 \times 10^{-4}$	$9.40 \times 10^{-5}$	$1.02 \times 10^{-3}$	$2.72 \times 10^{-4}$	$1.53 \times 10^{-2}$	$6.26 \times 10^{-3}$	$1.97 \times 10^{-2}$	$1.58 \times 10^{-2}$
28	154 ~ 162	8	$1.09 \times 10^{-3}$	$2.97 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-3}$	$5.03 \times 10^{-2}$	$2.64 \times 10^{-2}$	$5.21 \times 10^{-2}$	$4.42 \times 10^{-2}$
29	Hm0 ~ Hm90		$4.53 \times 10^{-6}$	$2.28 \times 10^{-6}$	$7.21 \times 10^{-6}$	$3.47 \times 10^{-6}$	$8.74 \times 10^{-5}$	$3.46 \times 10^{-5}$	$6.23 \times 10^{-4}$	$2.25 \times 10^{-4}$

Note: I: The First Stage Development Project  
 II: The Second Stage Development Project

表V-2-(I)-4 避航失敗確率の算定結果 (R<sub>F</sub>)

No.	5,000	10,000	50,000	100,000
1	$1.16 \times 10^{-1}$	$6.62 \times 10^{-2}$	$7.11 \times 10^{-3}$	$1.99 \times 10^{-3}$
2	0	0	0	0
3	$6.52 \times 10^{-2}$	$3.67 \times 10^{-2}$	$4.04 \times 10^{-3}$	$1.25 \times 10^{-3}$
4	$1.20 \times 10^{-1}$	$6.74 \times 10^{-2}$	$8.62 \times 10^{-3}$	$2.86 \times 10^{-3}$
5	0	0	0	0
6	$4.19 \times 10^{-2}$	$2.36 \times 10^{-2}$	$3.22 \times 10^{-3}$	$1.12 \times 10^{-3}$
7	$2.80 \times 10^{-1}$	$1.61 \times 10^{-1}$	$2.01 \times 10^{-2}$	$5.86 \times 10^{-3}$
8	$3.80 \times 10^{-2}$	$2.14 \times 10^{-2}$	$2.74 \times 10^{-3}$	$9.10 \times 10^{-4}$
9	0	0	0	0
10	$5.97 \times 10^{-2}$	$3.37 \times 10^{-2}$	$4.31 \times 10^{-3}$	$1.43 \times 10^{-3}$
11	$2.13 \times 10^{-1}$	$1.22 \times 10^{-1}$	$1.40 \times 10^{-2}$	$3.98 \times 10^{-3}$
12	0	0	0	0
13	$8.53 \times 10^{-2}$	$4.52 \times 10^{-2}$	$5.33 \times 10^{-3}$	$1.74 \times 10^{-3}$
14	0	0	0	0
15	$1.15 \times 10^{-1}$	$5.48 \times 10^{-2}$	$5.61 \times 10^{-3}$	$2.37 \times 10^{-3}$
16	$1.71 \times 10^{-1}$	$9.12 \times 10^{-2}$	$1.08 \times 10^{-2}$	$3.53 \times 10^{-3}$
17	$1.63 \times 10^{-2}$	$9.19 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-3}$	$3.12 \times 10^{-4}$
18	$8.37 \times 10^{-2}$	$4.56 \times 10^{-2}$	$6.21 \times 10^{-3}$	$2.02 \times 10^{-3}$
19	$1.07 \times 10^{-1}$	$5.01 \times 10^{-2}$	$4.97 \times 10^{-3}$	$1.85 \times 10^{-3}$
20	$1.64 \times 10^{-1}$	$6.77 \times 10^{-2}$	$5.18 \times 10^{-3}$	$2.34 \times 10^{-3}$
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	$5.60 \times 10^{-1}$	$3.24 \times 10^{-1}$	$4.20 \times 10^{-2}$	$1.24 \times 10^{-2}$
24	$4.61 \times 10^{-1}$	$1.55 \times 10^{-1}$	$5.99 \times 10^{-3}$	$3.56 \times 10^{-3}$
25	$1.34 \times 10^{-1}$	$4.13 \times 10^{-1}$	$2.88 \times 10^{-2}$	$2.60 \times 10^{-3}$
26	$6.95 \times 10^{-1}$	$3.44 \times 10^{-1}$	$2.37 \times 10^{-2}$	$7.07 \times 10^{-3}$
27	$6.62 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-2}$	$1.48 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-3}$
28	$2.08 \times 10^{-2}$	$6.05 \times 10^{-3}$	$4.51 \times 10^{-4}$	$4.36 \times 10^{-4}$
29	$1.00 \times 10^2$	$6.28 \times 10^1$	$5.18 \times 10^0$	$7.27 \times 10^{-1}$

表V-2-(I)-5 乗り揚げ事故確率の算定結果(船型別)

No.	km Location	km ℓ	5,000		10,000		50,000		100,000	
			I	II	I	II	I	II	I	II
1	19 ~ 31	12	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.67 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.50 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.77 \times 10^{-5}$
2	31 ~ 34	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3	34 ~ 50	16	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.25 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.18 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.13 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.48 \times 10^{-5}$
4	64 ~ 71	7	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.28 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.22 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.19 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-5}$
5	83 ~ 85	2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	88 ~ 93	5	$2.23 \times 10^{-5}$	$5.48 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$5.30 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$5.33 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.12 \times 10^{-6}$
7	132 ~ 134	2	$2.23 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.45 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.41 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-5}$
8	134 ~ 145	11	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.09 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.06 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.06 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.26 \times 10^{-5}$
9	145 ~ 147	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10	147 ~ 154	9	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.09 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.06 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.06 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.26 \times 10^{-5}$
11	1E ~ 15E	14	$2.27 \times 10^{-4}$	$2.49 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-4}$	$2.34 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-4}$	$2.11 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-4}$	$2.45 \times 10^{-5}$
12	15E ~ 19W	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0
13	50W ~ 52W	2.0	$2.27 \times 10^{-5}$	$3.36 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$3.22 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$3.23 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$4.00 \times 10^{-6}$
14	52W ~ 55W	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	55W ~ 59W	4.0	$6.80 \times 10^{-5}$	$9.93 \times 10^{-6}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$9.51 \times 10^{-6}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$1.11 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$1.73 \times 10^{-5}$
16	59W ~ 64	5.0	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.67 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.60 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.60 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.98 \times 10^{-5}$
17	51E ~ 60E	9	$1.59 \times 10^{-5}$	$1.75 \times 10^{-6}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$1.66 \times 10^{-6}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$1.59 \times 10^{-6}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$2.08 \times 10^{-6}$
18	71 ~ 75	4	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.46 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.25 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.04 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.50 \times 10^{-6}$
19	75 ~ 83	8	$6.80 \times 10^{-5}$	$1.90 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$1.84 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$1.96 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$2.47 \times 10^{-5}$
20	25 ~ 88	3	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.26 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.22 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.45 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$2.20 \times 10^{-5}$
21	93 ~ 94	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	94 ~ 96	2	0	0	0	0	0	0	0	0
23	96 ~ 101	5	$1.13 \times 10^{-4}$	$2.35 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$2.23 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$2.02 \times 10^{-5}$	$1.13 \times 10^{-4}$	$2.14 \times 10^{-5}$
24	115 ~ 122	7	$1.81 \times 10^{-4}$	$1.16 \times 10^{-4}$	$1.81 \times 10^{-4}$	$1.14 \times 10^{-4}$	$1.81 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-4}$	$1.81 \times 10^{-4}$	$1.65 \times 10^{-4}$
25	122 ~ 126	4	$6.80 \times 10^{-5}$	$4.29 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$4.28 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$5.49 \times 10^{-5}$	$6.80 \times 10^{-5}$	$6.41 \times 10^{-5}$
26	126 ~ 129	3	$9.07 \times 10^{-5}$	$2.65 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$2.53 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$2.56 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$	$3.37 \times 10^{-5}$
27	129 ~ 132	3	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.23 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.05 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$9.24 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.81 \times 10^{-5}$
28	154 ~ 162	8	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.17 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.07 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.19 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.93 \times 10^{-5}$
29	Hm0 ~ Hm90	9	$4.53 \times 10^{-4}$	$2.28 \times 10^{-4}$	$4.53 \times 10^{-4}$	$2.18 \times 10^{-4}$	$4.53 \times 10^{-4}$	$1.80 \times 10^{-4}$	$4.53 \times 10^{-4}$	$1.64 \times 10^{-4}$

Note: I: The First Stage Development Project

II: The Second Stage Development Project

さらに、船型別に算定した乗り揚げ事故確率を1982年スエズ運河通航隻数を用いて荷重平均（～10,000 DWT：28.3%，10,000～35,000 DWT：51%，35,000～50,000 DWT：63%，50,000 DWT～：14.4%）とすると表V-2-(1)-6のように平均乗り揚げ事故確率が設定される。

表V-2-(1)-6 平均乗り揚げ事故確率の算定結果

No.	I	II
1	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.63 \times 10^{-5}$
2	0	0
3	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.23 \times 10^{-5}$
4	$9.07 \times 10^{-5}$	$1.26 \times 10^{-5}$
5	0	0
6	$2.27 \times 10^{-5}$	$5.47 \times 10^{-6}$
7	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.45 \times 10^{-5}$
8	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.09 \times 10^{-5}$
9	0	0
10	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.09 \times 10^{-5}$
11	$2.27 \times 10^{-4}$	$2.38 \times 10^{-5}$
12	0	0
13	$2.27 \times 10^{-5}$	$3.37 \times 10^{-6}$
14	0	0
15	$6.80 \times 10^{-5}$	$1.08 \times 10^{-5}$
16	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.67 \times 10^{-5}$
17	$1.59 \times 10^{-5}$	$1.74 \times 10^{-6}$
18	$2.27 \times 10^{-5}$	$6.33 \times 10^{-6}$
19	$6.80 \times 10^{-5}$	$1.95 \times 10^{-5}$
20	$4.53 \times 10^{-5}$	$1.38 \times 10^{-5}$
21	0	0
22	0	0
23	$1.13 \times 10^{-4}$	$2.23 \times 10^{-5}$
24	$1.81 \times 10^{-4}$	$1.22 \times 10^{-4}$
25	$6.80 \times 10^{-5}$	$4.66 \times 10^{-5}$
26	$9.07 \times 10^{-5}$	$2.68 \times 10^{-5}$
27	$2.27 \times 10^{-5}$	$8.04 \times 10^{-6}$
28	$2.27 \times 10^{-5}$	$8.36 \times 10^{-6}$
29	$4.53 \times 10^{-4}$	$2.10 \times 10^{-4}$
Total	$1.96 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-4}$

Note: I: The First Stage Development Project  
 II: The Second Stage Development

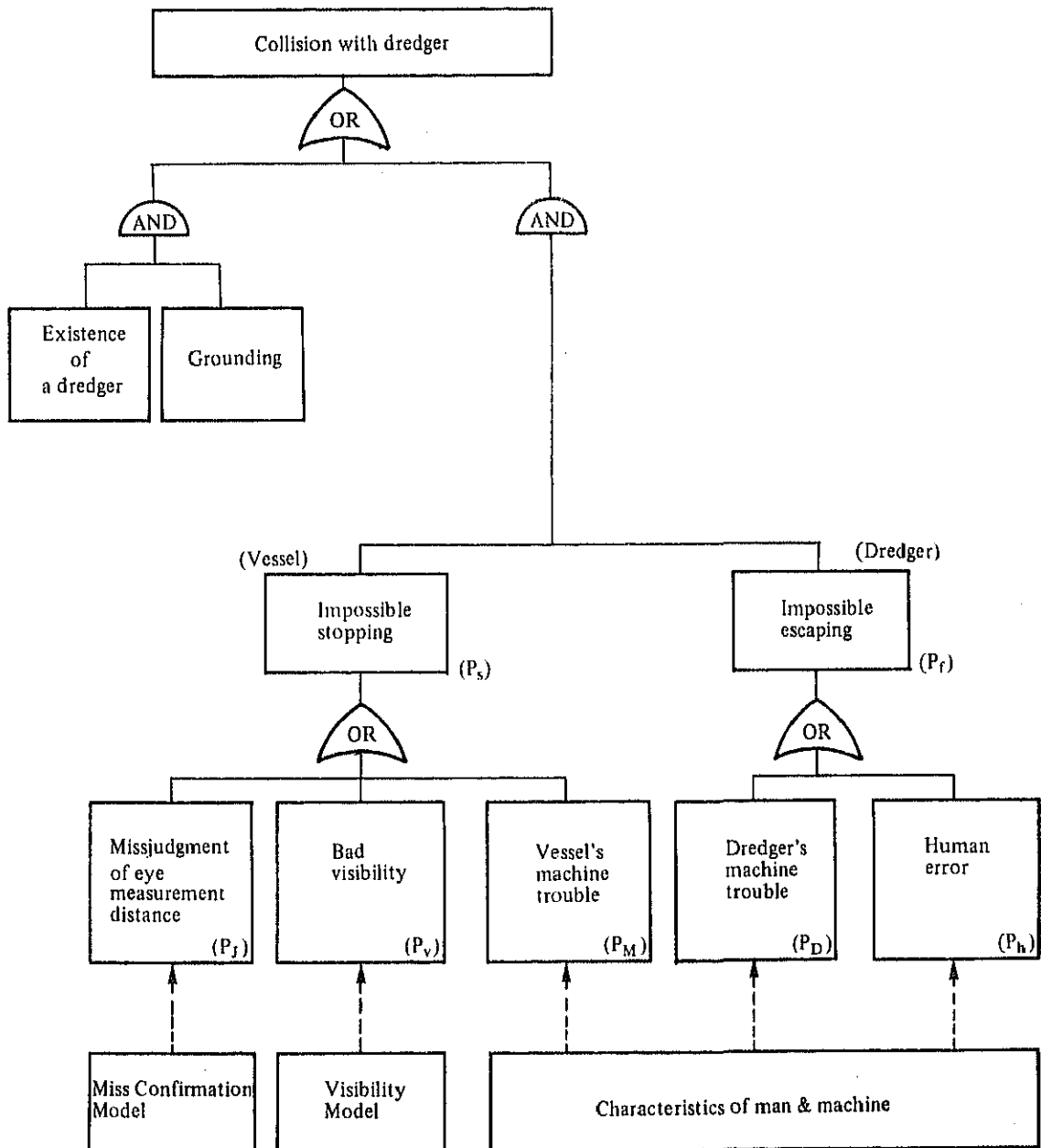
2) 浚渫船との衝突事故

(i) 基本的考え方

第Ⅱ期拡張工事中には多くの浚渫船が運河を航行し、通航船と浚渫船の衝突事故発生の危険性は高まる。

浚渫船と通航船の衝突事故ケースとしては2種の状況が考えられる。ひとつは乗り揚げた通航船が浚渫船と衝突する場合であり、もうひとつは通航船が航路から出ようとしている浚渫船と衝突する場合である。

このような事故発生原因は図V-2-(1)-7に示すようなフォルトツリー図で表される。



図V-2-(1)-7 工事中の浚渫船衝突事故のフォルトツリー図

同図に基づいて浚渫船との衝突事故確率算定式は以下のように与えられる。

$$P_c = P_G \cdot P_E + P_f \cdot P_s$$

ただし  $P_c$  : 浚渫船との衝突事故確率

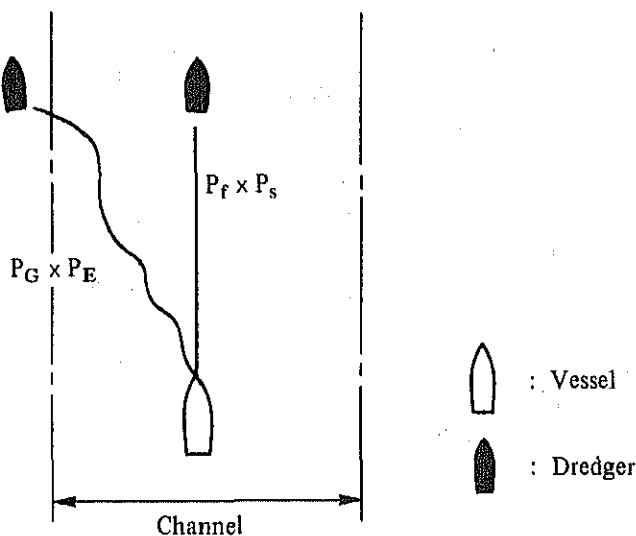
$P_G$  : 乗り揚げ事故確率

$P_E$  : 船舶が乗り揚げた場所に浚渫船が存在する確率

$P_f$  : 船舶が近づいてきたときに浚渫船が航路から逃げ出すのに失敗する確率

$P_s$  : 船舶が浚渫船を認めたときこれらの距離が船舶の停止距離より短い確率

これらの状況は図V-2-(1)-8のように模式的に表される。



図V-2-(1)-8 浚渫船との衝突

(ii) 浚渫船との衝突事故確率の推計

1) 乗り揚げた船舶に浚渫船が衝突する場合

(a) 乗り揚げ事故確率 ( $P_G$ )

(i)において算定したものをを用いる。

(b) 浚渫船の存在確率 ( $P_E$ )

$m$ 隻の浚渫船が運河に沿ってランダムな位置を占めているとすると、船舶が乗り揚げた場所に浚渫船が存在する確率は以下の式で与えられる。

$$P_E = \frac{m \times l}{162(\text{運河長}) \times 2}$$

ただし  $l$  : 浚渫船の長さ

本調査では、 $m = 20$ 隻、 $l = 0.083 \text{ km}$ と仮定し  $P_E = 5.12 \times 10^{-3}$ と得られた。

(c) 乗り揚げた船舶に浚渫船が衝突する確率

乗り揚げた船舶に浚渫船が衝突する確率は  $P_G \times P_E$ で算定され、その算定結果は表V-2-(1)-7に示すとおりである。



表V-2-(I)-7 乗り揚げた船舶に浚渫船が衝突する確率 (1kmあたり)

No.	Location (Km)	Probability
1	19-31	$3.84 \times 10^{-8}$
2	31-34	0
3	34-50	$3.58 \times 10^{-8}$
4	64-71	$6.61 \times 10^{-8}$
5	83-85	0
6	88-93	$2.31 \times 10^{-8}$
7	132-134	$5.84 \times 10^{-8}$
8	134-145	$2.10 \times 10^{-8}$
9	145-147	0
10	147-154	$3.28 \times 10^{-8}$
11	1E-15E	$8.20 \times 10^{-8}$
12	15E-19E	0
13	50W-52W	$5.84 \times 10^{-8}$
14	52W-55W	0
15	55W-59W	$8.71 \times 10^{-8}$
16	59W-64	$1.16 \times 10^{-7}$
17	51E-60E	$9.07 \times 10^{-8}$

No.	Location (Km)	Probability
18	71-75	$2.91 \times 10^{-9}$
19	75-83	$4.35 \times 10^{-8}$
20	85-88	$7.84 \times 10^{-8}$
21	93-94	0
22	94-96	0
23	96-101	$1.16 \times 10^{-7}$
24	115-122	$1.33 \times 10^{-7}$
25	122-126	$8.71 \times 10^{-8}$
26	126-129	$1.55 \times 10^{-7}$
27	129-132	$3.84 \times 10^{-8}$
28	154-162	$1.46 \times 10^{-8}$
29	Hm0-Hm90	$2.58 \times 10^{-8}$

Note: The probability of collision with dredgers due to grounding is considered negligible at present due to the small number of dredgers currently working in the Canal. The figures in this Table represent the probability of such accidents during construction when a large number of dredgers will be operating.

ii) 航路上の浚渫船が逃げきれずに通航船と衝突する場合

衝突事故の発生状況としては、通航船が航路上にいる浚渫船と異常に接近し両方の船が逃げきれなくなるという状態であり、

- ・浚渫船が航路上にいるにもかかわらず航路外に出ていると誤って認識し通航船が接近しても逃げようとしなない状況
- ・通航船が目視距離を誤認し、浚渫船と異常接近する状況

という事故発生過程が想定される。これを式で表現すると

$$P'_c = P_r \cdot P_s + P_b \cdot P_h$$

ただし  $P'_c$  : 航路上の浚渫船が逃げきれずに通航船と衝突する確率

$P_r$  : 船舶が近づいてきたときに浚渫船が航路から逃げ出すのに失敗する確率

$P_s$  : 船舶が浚渫船を認めたときにこれらの距離が船舶の停止距離より短い確率

$P_b$  : 人為ミス

と表され、さらに

$$\begin{aligned} P'_c &= P_r \cdot P_s + P_b \cdot P_h \\ &= (P_d + P_h) \cdot 20 \cdot (P_j + P_v + P_m) + (R_j + P_v + P_m) \cdot P_h \cdot 20 \\ &= \{ (P_j + P_v + P_m) \cdot 20 \} \cdot (P_d + 2 \cdot P_h) \end{aligned}$$

- ただし  $P_j$  : 目視距離の誤認確率  
 $P_v$  : 視界不良確率  
 $P_m$  : マシントラブルの確率 (通航船)  
 $P_d$  : マシントラブルの確率 (浚渫船)  
 $P_h$  : 人為ミス

と算定される。

目視距離の誤認確率 ( $P_j$ ) は表 V-2-(1)-8 のように設定される。

表 V-2-(1)-8 目視距離の誤認確率 ( $P_j$ )

Vessel	Stopping Distance ( $S_0$ )	Average Eye Measurement Distance ( $\bar{x}$ )	$u^* = \frac{S_0 - \bar{x}}{s}$	Probability of Poor Judgement $P(u > u^*) \times P_h$
Up to 11,000 DWT	3.11 km	3.08 km	0.0158	$5.080 \times 10^{-4}$
Over 11,000 DWT	2.29	2.82	-0.3081	$3.783 \times 10^{-4}$

Note: For the above calculation, we assume  $V_0 = 16.5$  km/hr,  $H = 20$  m,  $P_h = 10^{-3}$  and  $CV = 0.61$ .

視界不良確率は表 V-2-(1)-9 のように与えられる。

表 V-2-(1)-9 視界不良確率 ( $P_v$ )

Vessel Size	Stopping Distance $S_0$	Probability $P(x < S_0)$
Up to 11,000 DWT	3.11 km	$2.52 \times 10^{-2}$
Over 11,000 DWT	2.29	$1.58 \times 10^{-2}$

通航船のマシントラブルの確率 ( $P_m$ ) は両方向航路における衝突で用いるものと同じ値、すなわち、

$$P_m = 2.98 \times 10^{-5} \text{回/km} \times 81 \text{km} / \text{出合い}$$

$$= 2.41 \times 10^{-4} \text{回/出合い}$$

と算定される。

浚渫船が避航行動中にマシントラブルを生じる確率 ( $P_d$ ) は、

$$P_d = 3.30 \times 10^{-4} \text{回/h} \times 0.5 \text{h} / \text{避航行動} \times 2 \text{避航行動/日}$$

$$= 3.30 \times 10^{-4} \text{回/日}$$

と算定される。

以上より航路上にいる浚渫船が逃げきれずに通航船と衝突する確率 ( $P_c$ )は表V-2-(1)-10のように算定される。

表V-2-(1)-10 航路上における通航船と浚渫船の衝突確率 ( $P_c$ )

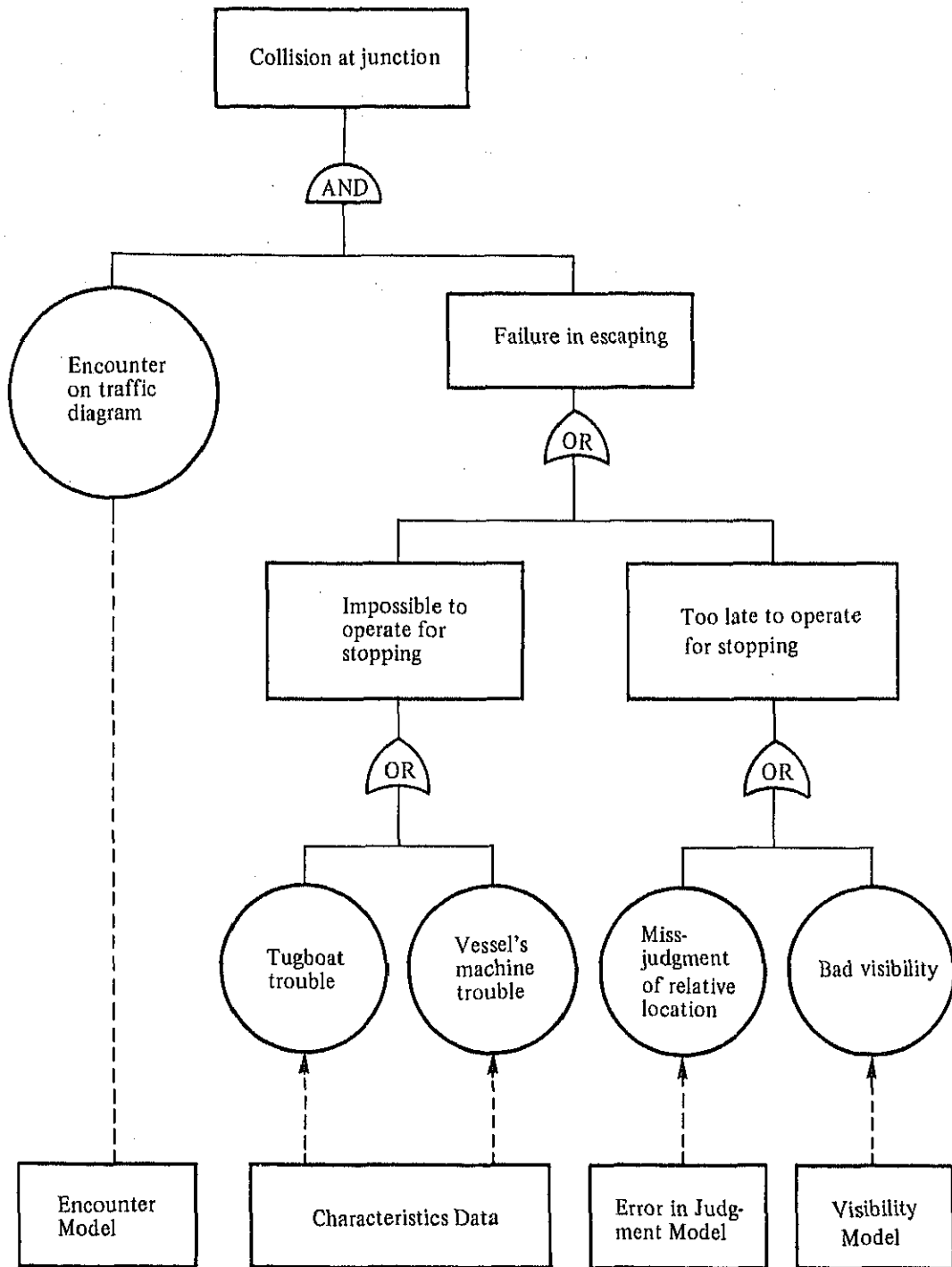
Vessel Size	Probability
Up to 110,000 DWT	$1.21 \times 10^{-3}$
Over 110,000 DWT	$7.56 \times 10^{-4}$

Note: Unit is accidents/transit·vessel

3) 分岐点における衝突事故

(i) 基本的考え方

分岐点における通航船の動きを分析することによって図V-2-(1)-9のような衝突事故フォルトツリー図が作成される。

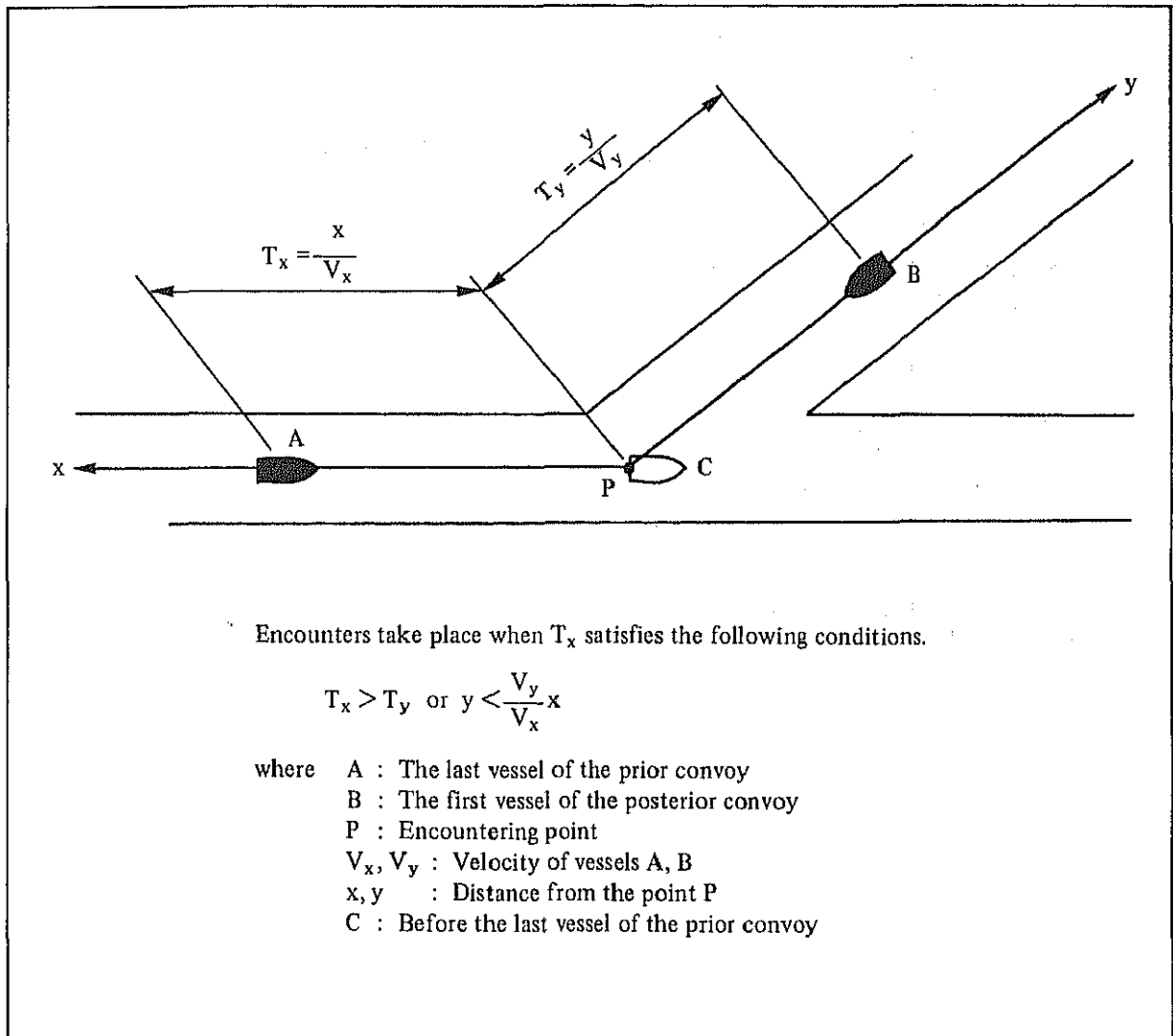


図V-2-(1)-9 分岐点における衝突事故フォルトツリー図

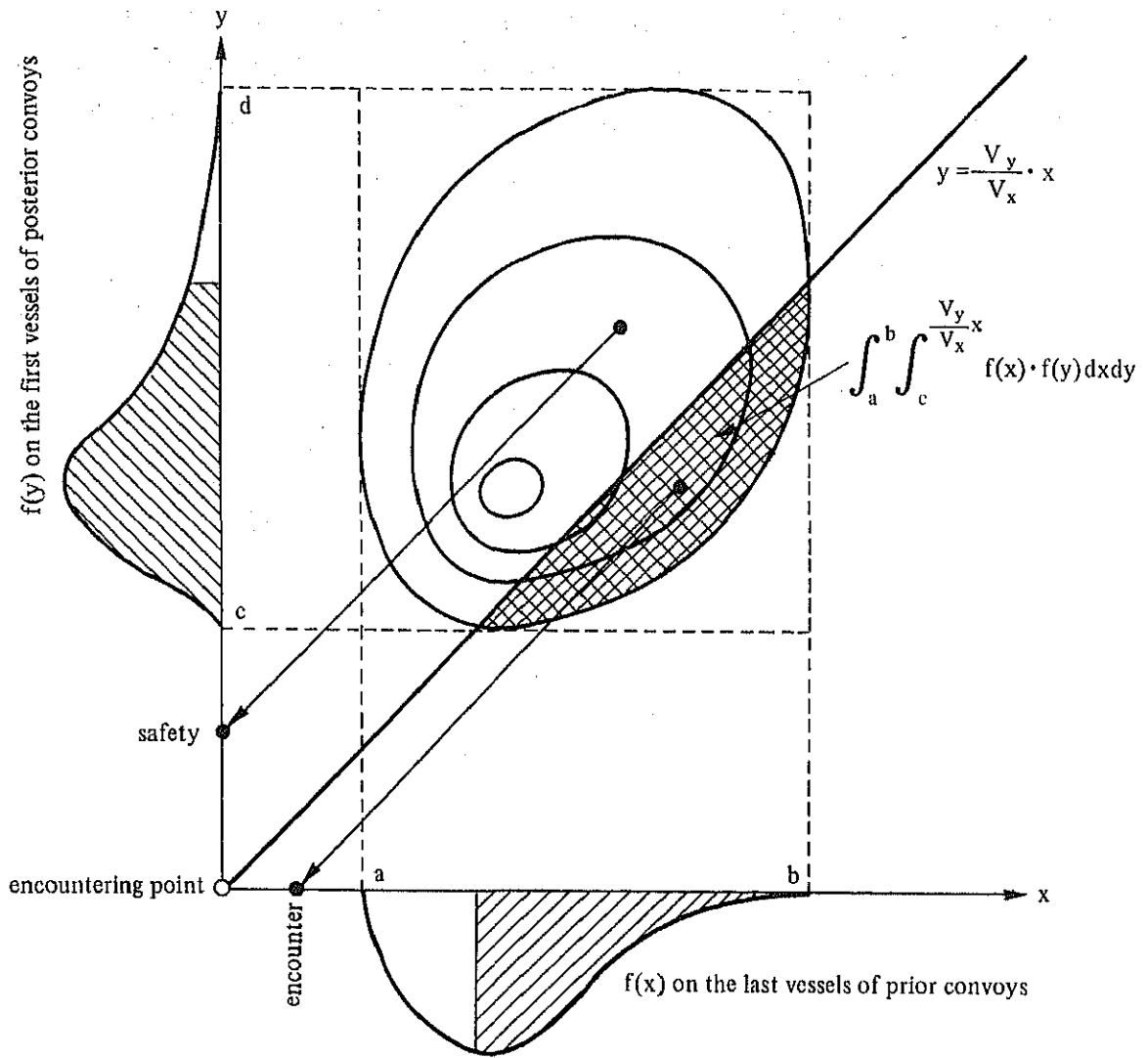
(ii) 船舶同志の出し合い確率の算定


1) 船舶同志の出会いモデル

出会いモデルは分岐点における船舶同志の出会い確率を推計するものであり、「分岐点における船舶同志の出会い」は図V-2-(1)-10に示すような状況である。さらに、同状況を説明するモデルは図V-2-(1)-11に示すように(x, y)座標で表すことができる。



図V-2-(1)-10 分岐点における出会い状況



where  ; The field of possibilities for encounter if  $V_x, V_y$  are not changed.  
 $f(x), f(y)$  : Probability density functions of arrival distribution at junction.

図V-2-(1)-II 船舶同志の出会いモデル

ii) 船舶同志の出合い確率の算定

分岐点K地点において船舶同志の出合いが生じる確率 ( $P_k$ ) は以下の式で算定される。

$$P_k = 1 \text{ 回/日} \times 2 \text{ 隻/回} \times \frac{1}{N_n} \times \frac{1}{N_s} \times q_k \dots (\text{式 1})$$

ただし  $P_k$  : 分岐点Kにおいて船舶同志が出合う確率 (1隻あたり)

$N_n$  : 北航船日平均通航量

$N_s$  : 南航船日平均通航量

$q_k$  : 分岐点において船団が出合う確率 (1船団あたり)

ここで、 $q_k$ についてはそれぞれの分岐点について以下の仮定及び1983年8月のSCA通航ダイヤグラムを用いた出合いモデル (図V-2-(1)-12) より表V-2-(1)-11のよ  
うに算定される。

—仮定 1

分岐点における到着分布はポアソン分布に従う。

—仮定 2

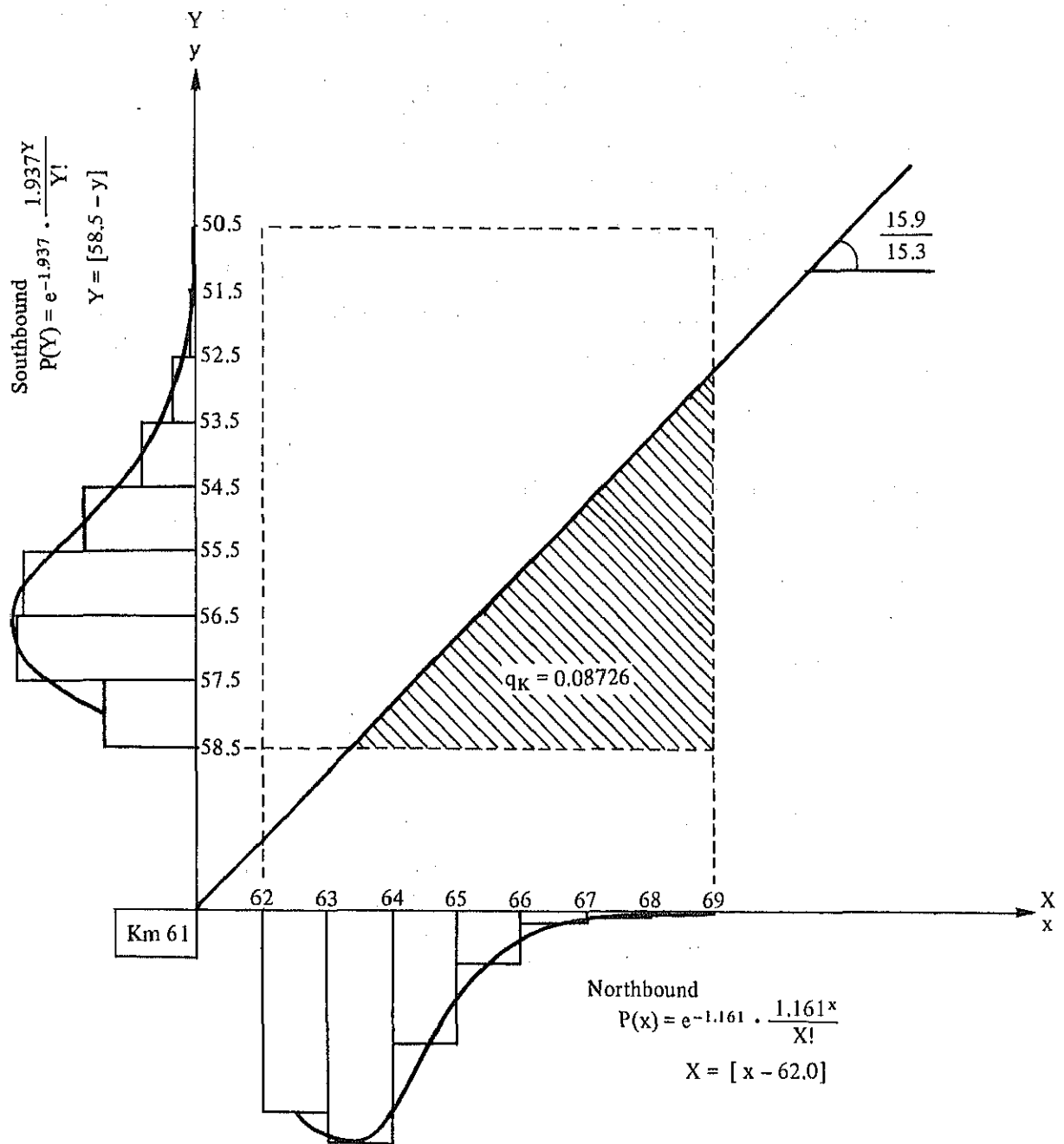
出合いは、Km 61, Km 94, Km 123 地点において生じる。

—仮定 3

ポアソン分布において確率が $10^{-3}$ 以下の値はゼロとみなす。

表V-2-(1)-11 出合い確率の算定結果 (船団あたり)

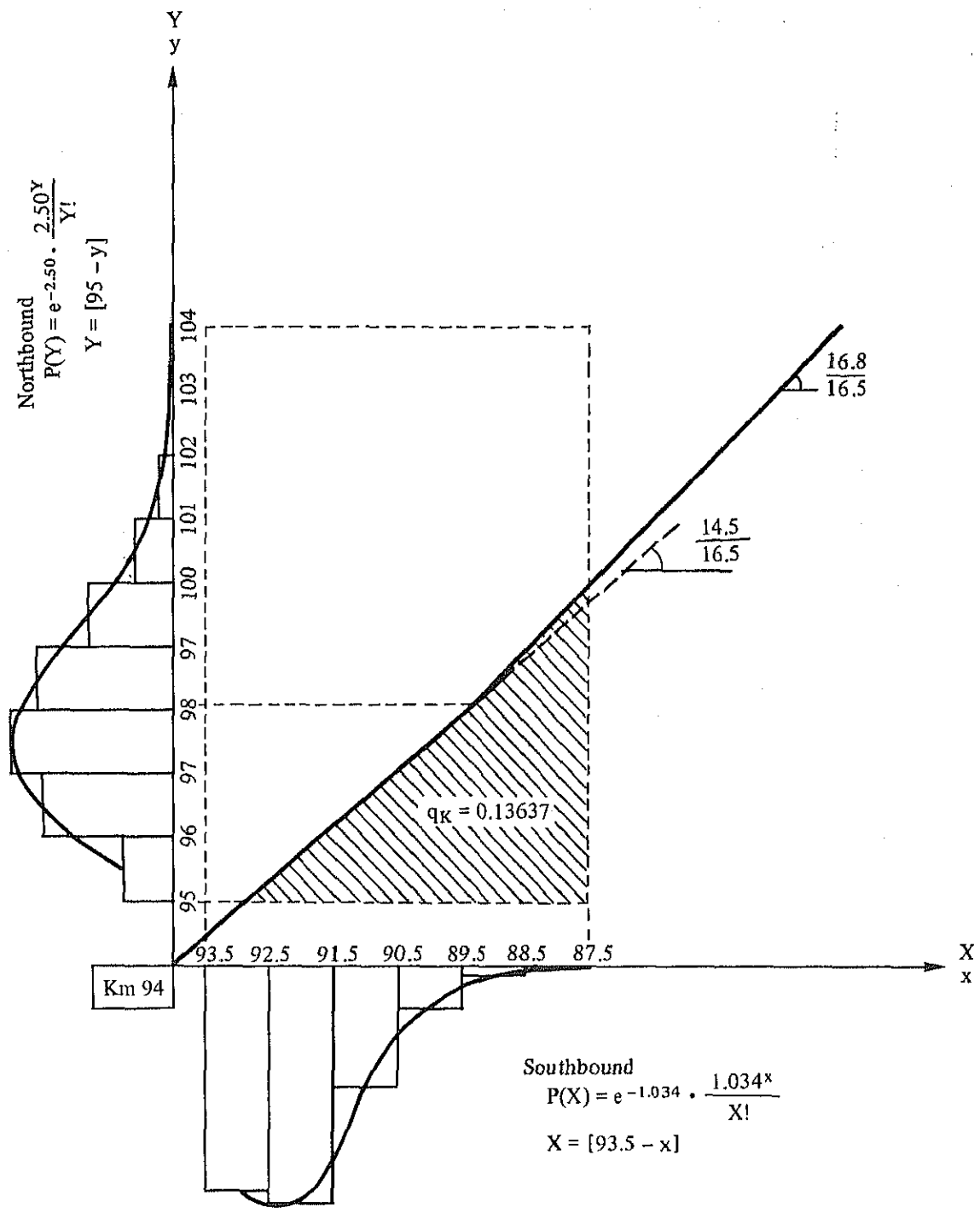
Junction k	The Value of $q_k$
Km 61	0.08726
Km 94	0.13637
Km 123	0.01521



Note:  $[Z]$  is the maximum integer less than  $Z$  ( $Z \geq 0$ )

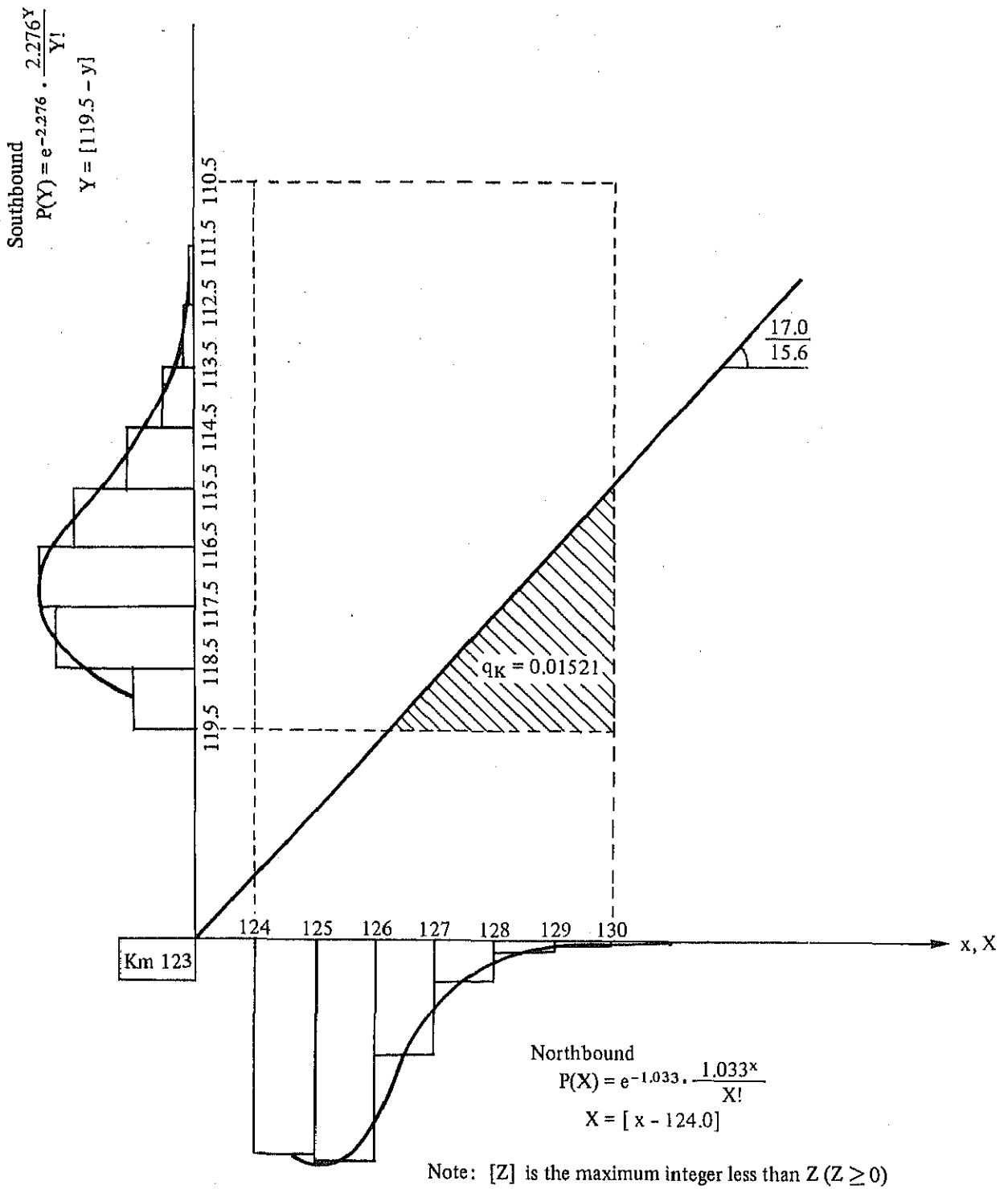
図V-2-(I)-12(I) Km 61分岐点における出会いモデル





Note (1): [Z] is the maximum integer less than Z ( $Z \geq 0$ )  
 Note (2): Gradient of the vessel's trace bends from 16.8/16.5 to 14.5/16.5 due to the speed change of the posterior convoy at Km 98. (From the SCA's diagram)

図V-2-(1)-12(2) Km 94分岐点における出合いモデル



図V-2-(1)-12(3) Km 123分岐点における出合いモデル

(式1)における $N_n$ と $N_s$ の値は表V-2-(1)-12のように設定される。

表V-2-(1)-12 方向別日あたり通航隻数

Stage (Typical Year)	Total Number of Vessels per Year	Number of Vessels per Day	
		(Northbound) $N_n$	(Southbound) $N_s$
The First Stage Development Project (1982)	22,545	34.8	27.0
During Construction (1990)	27,000	41.6	32.3
The Second Stage Development Project (2000)	28,000	43.2	33.5

Note: The percentage of traffic in each direction during construction and after construction is completed is assumed to be equal to the present percentage.

以上、 $q_k, N_n, N_s$ を与えることにより(式1)を用いて分岐点において船舶同志が出合う確率( $P_k$ )は表V-2-(1)-13のように算定される。

表V-2-(1)-13 分岐点において船舶が出合う確率(1隻あたり)

Stage \ Encountering Point	Km 61	Km 94	Km 123
The First Stage Development Project	$1.857 \times 10^{-4}$	$2.903 \times 10^{-4}$	$3.238 \times 10^{-5}$
Under Construction	$1.298 \times 10^{-4}$	$2.030 \times 10^{-4}$	$2.264 \times 10^{-5}$
The Second Stage Development Project	$1.206 \times 10^{-4}$	$1.885 \times 10^{-4}$	$2.102 \times 10^{-5}$

(iii) 避航失敗確率の算定

1) 基本的考え方

避航失敗の状況は図V-2-(1)-13, さらにその原因は表V-2-(1)-13に示すとおりである。

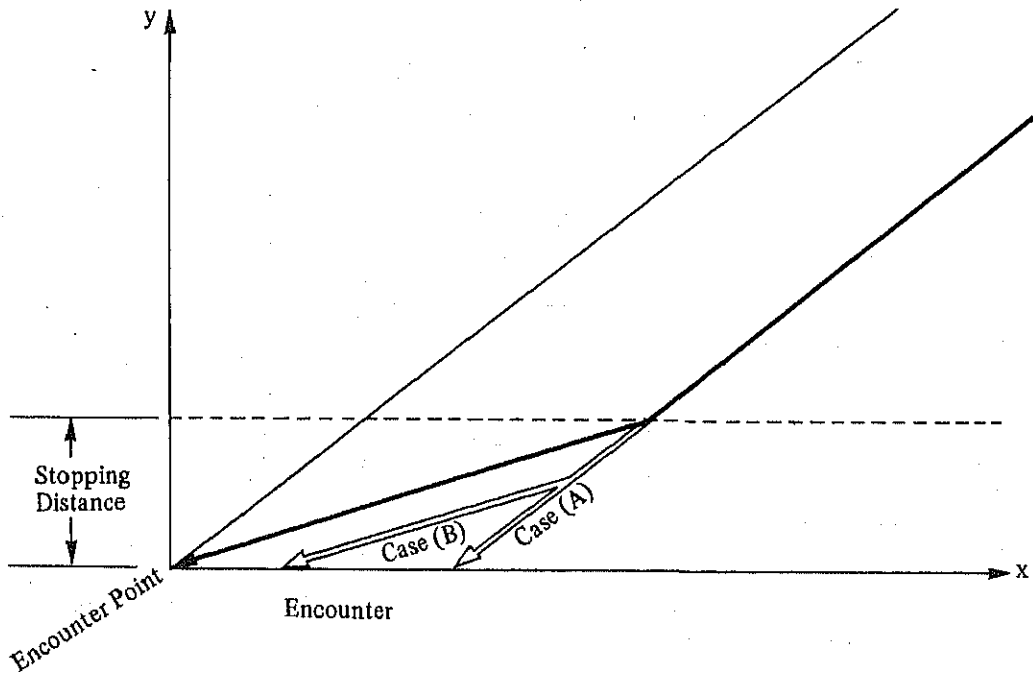


図 V - 2 - (1) - 13 避航失敗状況の模式図

表 V - 2 - (1) - 14 避航失敗の原因

Case	Causes
A	Impossible to stop - Tugboat trouble - Vessel's machine trouble
B	Too late to stop - Misjudgement of relative location - Bad visibility

ii) 運河における停止距離

「航行規制」によるとスエズ運河における緊急時停止動作は以下のように行われる。

- 110,000 DWT 以下：

主推進エンジンによる停止動作。

- 110,000 DWT 以上：

主推進エンジンによる停止動作と低速時におけるタグボート使用。

本調査における緊急時の停止距離は以下の原則に従って算定する。

(a) 110,000 DWT以下の船舶の停止距離

深広水路における停止距離算定のためのCap. Topleyの式を狭水路の性質を考慮して適用する。

$$S_0 = C (1 - \alpha) V_0 / 4158 \dots (\text{式1})$$

- ただし
- $S_0$  : 停止距離 (マイル)
  - $C$  : 減衰係数 (表V-2-(1)-15)
  - $V_0$  : 船速 (ノット)
  - $\alpha$  : 船速低減率 (表V-2-(1)-16)

表V-2-(1)-15 減衰係数

DWT	c (min)	DWT	c (min)	DWT	c (min)
1,000	1	~ 36,000	8	~ 120,000	15
~ 3,000	2	~ 45,000	9	~ 136,000	16
~ 6,000	3	~ 55,000	10	~ 152,000	17
~ 10,000	4	~ 66,000	11	~ 171,000	18
~ 15,000	5	~ 78,000	12	~ 190,000	19
~ 21,000	6	~ 91,000	13	~ 210,000	20
~ 28,000	7	~ 105,000	14		

船速低減率( $\alpha$ )は、船速( $V$ )、運河水深( $H$ )、水線下船体中央横断面積( $A_m$ )、重力加速度( $g$ )の関数で表され、値は表V-2-(1)-16に示すとおりである。同表では運河水深( $H$ )を変化させることにより狭水路の影響を考慮している。

(式1)及び表V-2-(1)-16を用いて停止距離( $S_0$ )を算定した例を図V-2-(1)-14に示す。

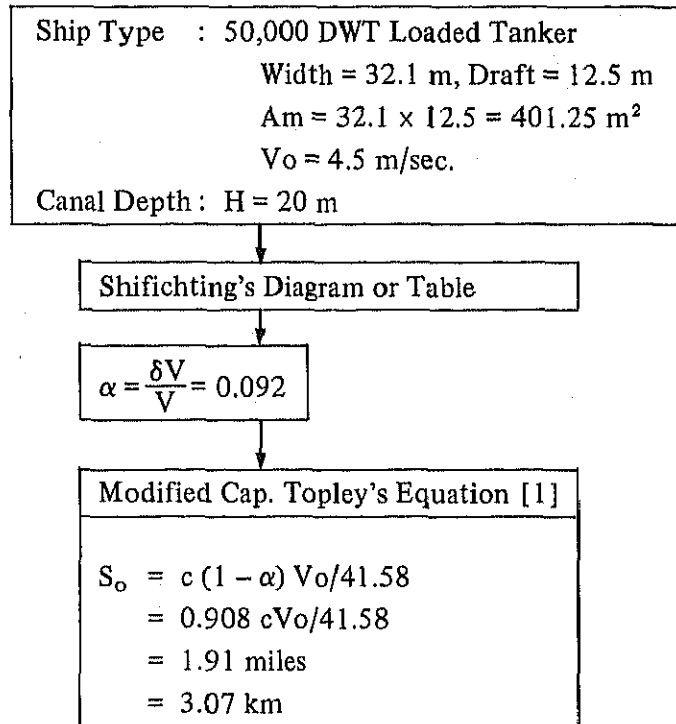
表V-2-(I)-16 浅水域に入ったときの船の速力の減少率

V <sup>2</sup> /gH	$\sqrt{Am/H}$												
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.10		1.1	1.8	3.0	4.2	5.7	7.4	9.2	10.9	12.8	14.7	16.7	18.0
0.30		1.4	3.0	3.9	5.4	7.0	8.0	10.5	12.4	14.0	15.5	17.2	18.0
0.40	1.4	2.2	3.4	4.7	6.1	7.7	9.3	11.3	13.0	14.8	16.4	17.7	18.8
0.45	1.9	2.5	3.6	5.0	6.7	8.5	9.9	11.8	13.4	15.2	16.9	18.2	19.4
0.50	2.5	3.3	4.3	5.7	7.0	8.7	10.5	12.3	14.1	15.7	17.4	18.7	20.0
0.55	3.0	3.8	5.0	6.4	8.1	9.0	11.0	12.9	14.8	16.4	18.0	19.3	20.8
0.60	4.1	4.9	6.0	7.1	8.6	10.2	12.0	13.6	15.4	17.1	18.7	20.0	21.0
0.65	4.9	6.1	7.0	8.4	9.9	11.2	13.0	14.5	16.4	18.0	19.6	21.0	22.5
0.70	6.3	7.1	8.0	9.3	10.9	12.3	14.0	15.6	17.4	19.0	20.5	22.1	23.4
0.75	7.0	8.0	9.0	10.5	12.0	13.4	15.0	16.2	18.4	20.0	21.5	22.9	24.2
0.80	8.8	9.4	10.5	11.7	13.0	14.4	16.0	17.8	19.4	21.0	22.4	23.8	25.0
0.85	10.0	10.8	11.6	12.7	14.0	15.5	17.0	18.9	20.5	22.0	23.3	24.7	26.1
0.90	11.0	12.0	12.9	14.0	15.2	16.9	18.3	20.0	21.5	22.9	24.2	25.6	27.1
0.95	12.4	13.0	14.0	15.1	16.4	18.0	19.3	21.0	22.4	23.9	25.1	26.6	28.1
1.00	13.5	14.1	15.1	16.1	17.6	19.0	20.3	22.0	23.4	24.9	26.1	27.7	29.2
1.05	14.6	15.3	16.4	17.4	18.8	20.2	21.4	23.0	24.5	26.0	27.2	28.7	30.3
1.10	15.7	16.5	17.6	18.7	20.0	21.3	22.5	24.0	25.5	27.0	28.2	29.6	31.3
1.15	17.0	17.8	18.8	19.8	21.0	22.2	23.6	25.0	26.6	28.0	29.2	30.7	32.3
1.20	18.3	19.0	19.9	20.8	22.0	23.1	24.7	26.0	27.6	28.9	30.2	31.7	33.2
1.25	19.4	20.0	20.9	21.9	23.0	24.3	25.8	27.1	28.6	29.9	31.2	32.7	34.2
1.30	20.4	21.0	22.0	22.9	24.0	25.4	26.8	28.1	29.5	30.9	32.1	33.6	35.1
1.35	21.4	22.0	22.9	23.8	25.0	26.4	27.8	29.0	30.4	31.7	33.0	34.4	36.0
1.40	22.4	23.0	23.9	24.8	26.0	27.4	28.7	30.0	31.3	32.6	34.0	35.3	37.0
1.45	23.4	24.0	24.9	25.8	27.0	28.3	29.5	30.8	31.9	33.4	34.8	36.2	37.8
1.50	24.4	25.5	25.9	26.8	28.0	29.2	30.4	31.7	33.0	34.2	35.6	37.0	38.6

Note: V: m/sec Am: m<sup>2</sup> H: m g: 9.81 m/sec.

Source: H. Lackenby, "The effect of shallow water on ship speed", The Ship Builder and Marine Engine-Builders, Sept. 1963

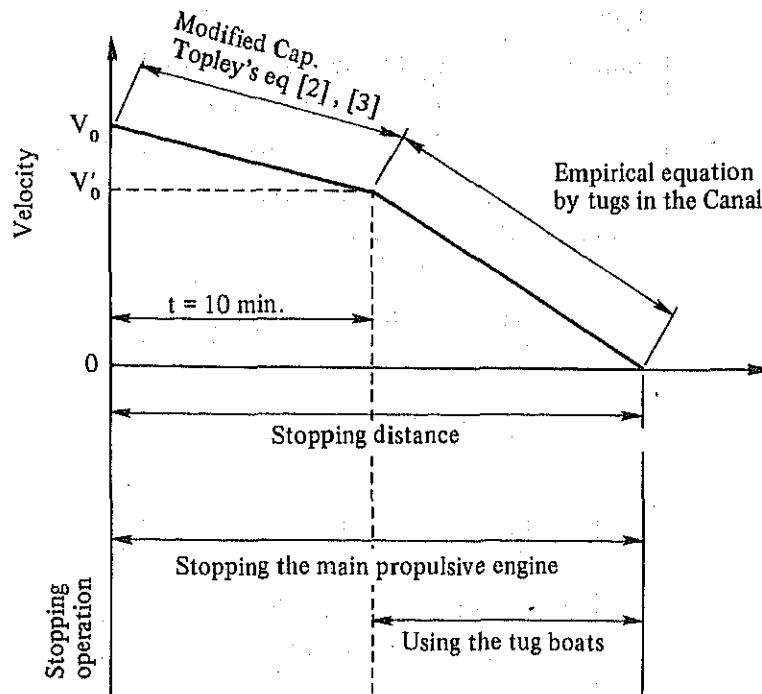
[Example]



図V-2-(1)-14 停止距離算定例

(b) 110,000 DWT以上の船舶の停止距離

このような船舶では2段階の過程を経て停止距離を算定する。第1段階はCop, Topleyの式を適用するという110,000 DWT以下の船舶と同じ計算過程であり、第2段階はタグボートを使用する状況を説明する計算過程である(図V-2-(1)-15)。



図V-2-(1)-15 110,000 DWT以上の船舶の停止過程

第1段階においては、停止距離は以下の式で算定され、さらに、船速は $V'_0$ に変化する。

$$S_0 = C(1-\alpha)V_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{c}}\right) / 41.58 \dots \text{(式2)}$$

$$V'_0 = (1-\alpha)V_0 2^{-\frac{t}{c}} \dots \text{(式3)}$$

ただし  $S_0$  : t 時間に進む距離 (マイル)

$V'_0$  : t 時間後の速さ (ノット)

$c$  : 減衰係数 (表V-2-(1)-15)

$\alpha$  : 船速低減率 (表V-2-(1)-16)

$V_0$  : 船速 (ノット)

$t$  : 時間 (分)

第2段階における停止距離 ( $S'_0$ ) は停止距離に関する実証データを用いた回帰分析結果より以下の式で与えられる。

$$S'_0 = 344.78 V'_0 - 225.88 \dots \text{(式4)}$$

ただし  $S'_0$  : 停止距離 (m)

$V'_0$  : 第1段階の停止動作終了後の船速 (m/s)

ここで上式設定のための実証データは表V-2-(1)-17, 及び図V-2-(1)-16に示すとおりである。

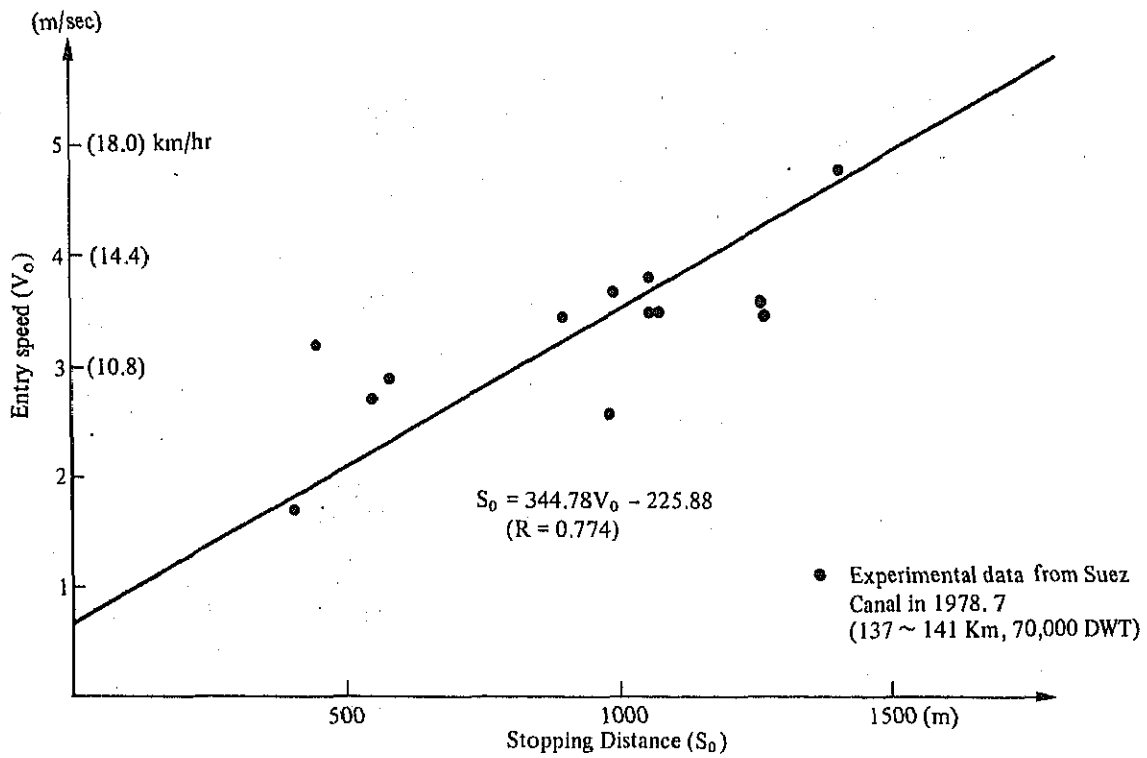
(式2), (式4) を用いて停止距離 ( $S_r = S_0 + S'_0$ ) を算定した例を図V-2-(1)-17に示す。



表V-2-(1)-17 停止距離実験データ

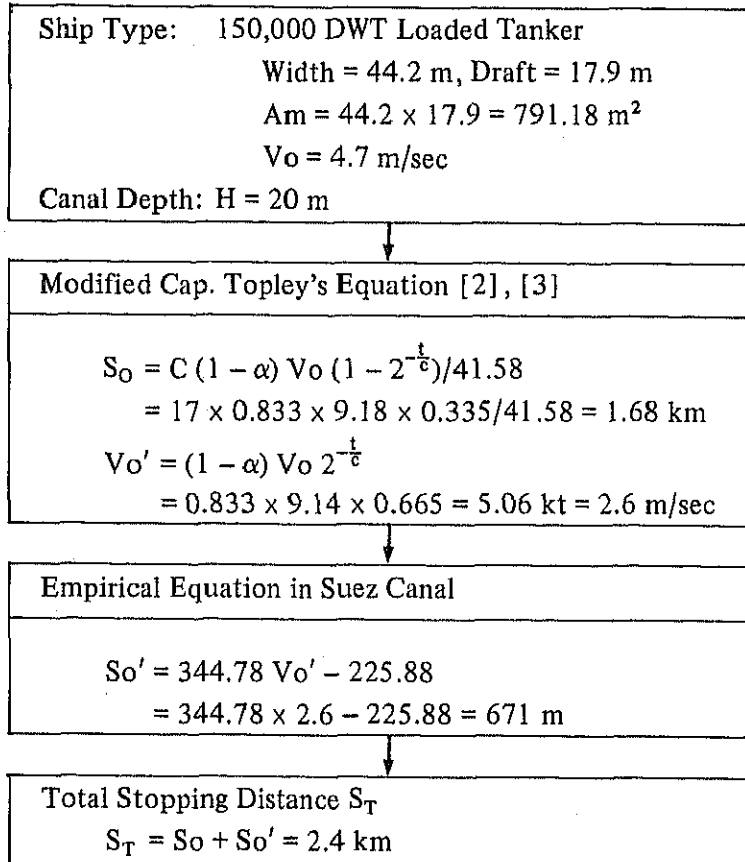
Run No.	Entry Speed m/sec	Stopping Distance meters	Current m/sec	Relative Wind m/sec	Tug Pull Max (average) tonnes	Method
VESSEL "LOADED" 11.6 m DRAUGHT						
1	3.5	1069	0.5 stern	12 015°	22/28 (14/14)	2 Duckpellers on quarter wires (35 m)
2	2.9	575	1.1 head	Nil	29/23 (18/11)	as above (30 m)
3	3.5	1260	0.6 stern	8 360°	29/26 (14/11)	as above
4	2.6	975	1.1 head	Nil	21 (10)	1 Duckpeller on bridle (30 m leg)
5	7.6	1255	0.5 stern	11 015°	22 (11)	as above
VESSEL IN BALLAST 8.2 m MEAN DRAUGHT						
6	3.5	890	0.7 head	3 315°	19/26 (6/8)	2 Duckpellers on quarter wires (30 m)
7	3.8	1050	0.7 head	3 315°	18/30 (8/9)	as above
8	3.7	985	0.5 stern	3 045°	14/28 (6/9)	as above
9	3.2	440	0.3 head	4 360°	14 (8)	1 Duckpeller on bridle (35 m leg)
10	2.7	540	0.3 head	4 360°	13 (9)	as above but wider angle
11	4.8	1400	0.9 stern	3 360°	30 (10)	as above
12	3.5	1050	0.7 stern	3 360°	25 (12)	as above
13	1.7	400	0.1 stern	2 290°	30 (17)	as above

Source: A.A. Ammar and R.H. le F. Ashburner, "Study on Stopping and Safety Operation in Suez Canal".



図V-2-(1)-16 初速と停止距離の関係

[Example]



図V-2-(1)-17 110,000 DWT以上の大型船の停止距離算定例

(c) 停止距離算定結果

(a), (b)の船型別停止距離算定方法に基づいて分岐点における停止距離を算定した結果を表V-2-(1)-18に示す。

表V-2-(1)-18 停止距離算定結果

Location	Entry Vessel Speed (Vo)	Canal (H)	Stopping Distance (So)	
			Up to 110,000 DWT	Over 110,000 DWT
Km 61	15.9 Km/hr	20.2	3.0 Km	2.2 Km
Km 94	15.8	20.2	3.0	2.2
Km 123	17.0	20.0	3.2	2.4

- Note: 1. The above Vo are obtained by processing the actual traffic diagram from August 1983.  
 2. The standard vessel characteristics used for Am are as follows: Up to 110,000 DWT, Width = 32.1 m, Draft (Loaded) = 12.5 m, assuming that 50,000 DWT tanker is representative. Over 110,000 DWT, width = 44.2 m, Draft (Loaded) = 17.9 m, assuming that 150,000 DWT tanker is representative.

iii) 人為ミス

人為ミスの起こる確率 ( $P_h$ ) は、人間が行なう動作の内容により異なる値を持つ (表V-2-(1)-19) が、1回の操作あたりで見ると  $1.2 \sim 8.2 \times 10^{-3}$  である。ここでは、1回の操作をスエズ運河を1回通航することとみなし、その値は  $10^{-3}$  回/通航を平均的な値として採用する。

表V-2-(1)-19 人為ミス確率の具体例

No.	Job Factor	Probability of Failure/Operation
1	Reading a technical manual	$8.2 \times 10^{-3}$
2	Reading the graduations of an ammeter	$5.5 \times 10^{-3}$
3	Checking a loose bolt	$4.5 \times 10^{-3}$
4	Checking the level of rusting	$3.7 \times 10^{-3}$
5	Writing down data	$3.4 \times 10^{-3}$
6	Confirming the location of a switch	$1.7 \times 10^{-3}$
7	Closing a hand valve	$1.7 \times 10^{-3}$
8	Opening a hand valve	$1.5 \times 10^{-3}$
9	Confirming the installing and removing of factors	$1.2 \times 10^{-3}$

Source: The Table of Reliability of Job Factors by Hammer

IV) マシントラブル

通航船またはタグボートのマシントラブルにより停止不可能となり、避航失敗、衝突の発生という連続的な事故発生状況が想定される。

まず、船舶マシントラブルのデータは表V-2-(1)-20のように与えられる。

表V-2-(1)-20 船舶マシントラブルデータ

Type of Vessel	No. of* Vessel	Average Vesselage	Voyage Time Hours/Year Vessel	Time of Stops of Main Engine	No. of Stops of Main Engine
Container	2,232	10.08	5,307	6.37	2.45
Bulk	3,859	8.67	6,307	6.42	3.11
Tanker	3,602	6.33	6,509	4.96	1.45
G.C.	8,910	7.50	4,686	3.27	1.26
Others	3,439	10.42	7,018	5.08	2.17
Total	22,042	8.23	5,694	4.69	1.88

Source: Bulletin of Marine Engineering Society in Japan, Vol. 18 No. 19, Nov. 1983.

Note (\*): The mixture which was used to calculate the weighted average of machine trouble is replaced by the actual pattern of the Canal transits.

船舶マシントラブル発生確率は、

$$\frac{1.88 \text{ 回/年隻}}{5,694 \text{ 時間/年隻}} = 3.30 \times 10^{-4} \text{ 回/時間}$$

と算定され、スエズ運河通航時間の平均値は14.6時間であるので、スエズ運河を1回通航する場合の船舶マシントラブル発生確率は、

$$\begin{aligned} & 3.30 \times 10^{-4} \text{ 回/時間} \times 14.6 \text{ 時間/通航} \\ & = 4.82 \times 10^{-3} \text{ 回/通航} \end{aligned}$$

と算定される。さらにキロメートルあたりでは

$$\frac{4.82 \times 10^{-3} \text{ 回/通航}}{162 \text{ km}} = 2.98 \times 10^{-5} \text{ 回/km}$$

と設定され、これに船舶の停止距離を乗ずることによって停止距離あたりの船舶マシントラブル発生確率を算定したのが表V-2-(1)-21である。

表V-2-(1)-21 分岐点における停止距離あたり船舶マシントラブル発生確率

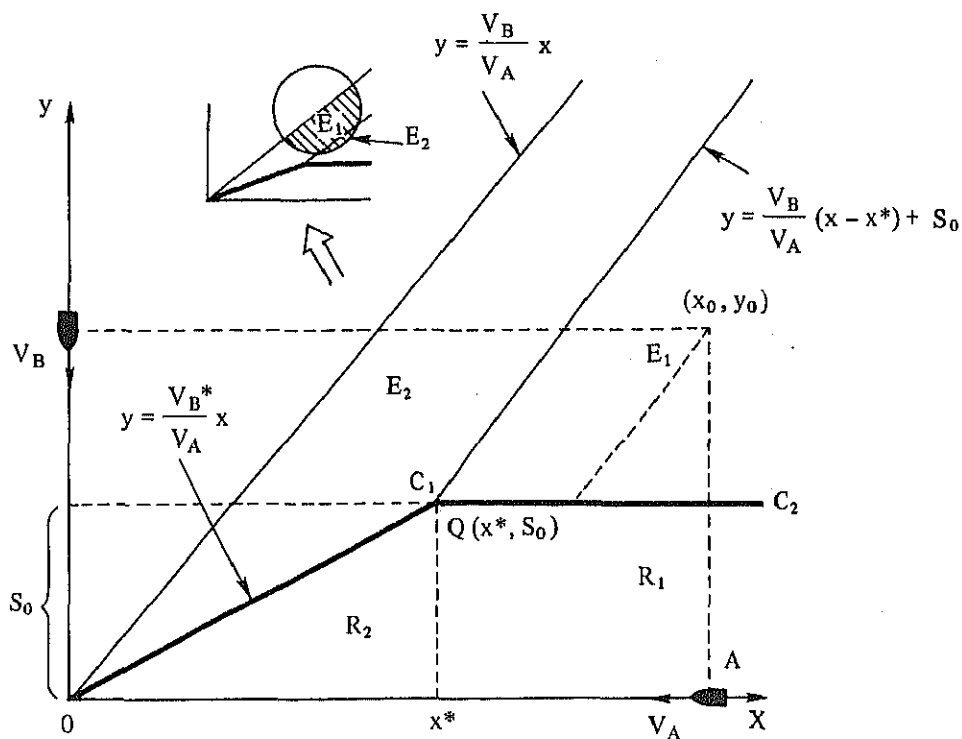
Location	Up to 110,000 DWT	Over 110,000 DWT
Km 61	$8.94 \times 10^{-5}$	$6.60 \times 10^{-5}$
Km 94	$8.94 \times 10^{-5}$	$6.60 \times 10^{-5}$
Km 123	$9.60 \times 10^{-5}$	$7.20 \times 10^{-5}$

V) 目視距離の誤認

(a) 距離の誤認

分岐点における出合い地点と自船の距離を確認する際に発生するエラーは人為ミスであり、人為ミス発生確率は設定済みである(表V-2-(1)-19)。

船舶間の目視距離を誤認することは避航動作の開始を遅らせることにつながる可能性があり、避航失敗、衝突事故発生の要因となりうる。図V-2-(1)-18における太線 $OC_1$ 、 $C_2$ は船舶が停止動作を始めなければならない地点を示すものであり、同線を境として衝突を回避できる領域とできない領域に分離される。



$S_0$ : Critical Distance for Stopping of Ship B

$x^*$ : ( $= \frac{V_A}{V_B^*} S_0$ ): Distance between ship A and Point P that ship A can avoid collision with ship B when ship B starts breaking at Point Q.

$V_B^*$ : Ship B's speed in stopping action.

$(x_0, y_0)$ : The coordinates of the last transit A of a Northbound Convoy and the first transit B of a Southbound Convoy when the second to last transit of the Northbound Convoy sails at Point P.

図-2-(1)-18 停止のための境界線

衝突が起こる状況としては、 $E_1$ の位置にある両船A、Bが境界線 $C_1C_2$ を超える場合と、 $E_2$ の位置にある両船A、Bが境界線 $OC_1$ を超える場合が想定される。このような状況は操船者が船間距離を実際よりも長いと認めたこと、つまり、目視距離の誤認に起因するものであり、以上のような状況を加味して初期位置 $E_1$ の場合の目視距離の誤認確率を $P_{c1}$ 、初期位置 $E_2$ の場合を $P_{c2}$ とするとこれらは以下のように与えられる。

$$P_{c1} = \text{Prob.} [Y_m \geq S_0 \mid y = S_0, (x_0, y_0) \in E_1]$$

$$= \int_{x^*}^{\infty} \int_{S_0}^{\frac{V_B}{V_A}(x_0 - x^*) + S_0} \int_{S_0}^{\infty} \phi_{ym}(y_m \mid y = S_0, (x_0, y_0) \in E_1) dy_m \phi_{x_0 y_0}(X_0, Y_0) dy_0 dx_0$$

$$= \int_{x^*}^{\infty} \int_{S_0}^{\frac{V_B}{V_A}(x_0 - x^*) + S_0} \int_{S_0}^{\infty} \phi_{ym}(y_m \mid y = S_0) dy_m \phi_{x_0 y_0}(X_0, Y_0) dy_0 dx_0$$

ただし  $\phi_{ym}(y_m \mid y)$  : 実距離が $y$ のとき目視距離が $y_m$ となる確率の確率密度関数

$$P_{c2} = \text{Prob.} [y_m \geq y^{**} \mid y = y^{**}, x = x^{**}, (x_0, y_0) \in E_2]$$

$$= \int_{\frac{V_A}{V_B^*} S_0}^{\infty} \int_{\frac{V_B}{V_A} x_0}^{\frac{V_B}{V_A}(x_0 - x^*) + S_0} \left[ \int_{y^{**}}^{\infty} \phi_{ym}(y_m \mid y = y^{**}, (x_0, y_0) \in E_1) dy_m \right] \phi_{x_0 y_0}(X_0, Y_0) dy_0 dx_0$$

$$+ \int_0^{\frac{V_A}{V_B^*} S_0} \int_{\frac{V_B}{V_A} x_0}^{\frac{V_B}{V_A} x_0} \left[ \int_{y^{**}}^{\infty} \phi_{ym}(y_m \mid y = y^{**}) dy_m \right] \phi_{x_0 y_0}(X_0, Y_0) dy_0 dx_0$$

ただし  $x^{**} = (V_B \cdot x_0 - V_A \cdot y_0) / (V_B - V_B^*)$   
 $y^{**} = V_B^* (V_B x_0 - V_A y_0) / V_A (V_B - V_B^*)$

$P_{c1}$  と  $P_{c2}$  を用いて目視距離の誤認確率 $P_s$ は、

$$P_s = P_{c1} + P_{c2}$$

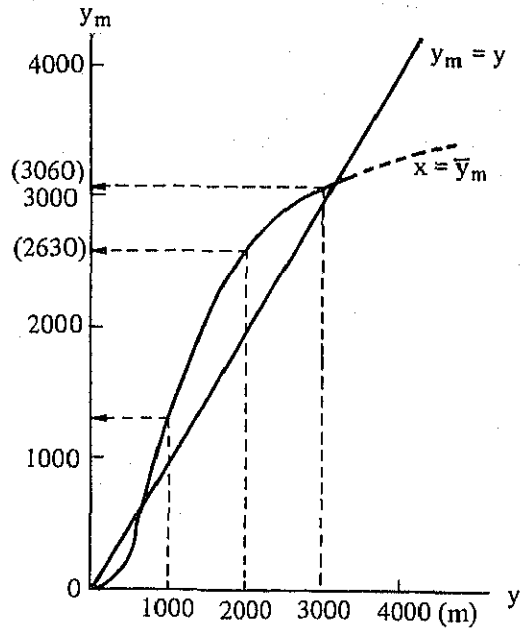
で算定される。ここで、目視距離の誤認確率密度関数 $\phi_{ym}(y_m \mid y)$ は日本における実測データ(図V-2-(1)-19)より以下のように設定される。

— 目視距離 $y_m$ の平均を $X$ とすると

$$\log X = 11.218 + 8.290 \log R - 1.168 (\log R)^2$$

ただし  $R$  : 実際の距離

— 変動係数 = 0.61



図V-2-(1)-19 目視距離データ (日本の場合)

目視距離の誤認により致命的な停止動作の遅れが起こる確率は  
 (分岐点における出会い地点までの距離を誤る確率( $P_b$ )) $\times$ (目視距離の誤認確率( $P_s$ ))  
 で与えられる。

(b) 目視距離の誤認による停止動作遅れが生ずる確率

(a)で提案した目視距離の誤認による停止動作遅れが生ずる確率の推定方法に従って以下  
 のように同確率が算定される。

表 V - 2 - (1) - 22 目視距離の誤認により停止動作遅れが生ずる確率

Location	Vessel Size	Stopping Distance So	Average Eye Measurement Distance of So $\bar{x}$	Probability of Misjudgement		
				Distance between Vessels Ps	Distance from Vessel to Encountering Point Ph	Ps x Ph
Km 61	Up to 110,000 DWT	Km 3.0	Km 3.1	0.4801	1.0 x 10 <sup>-3</sup>	4.801 x 10 <sup>-4</sup>
	Over 110,000 DWT	2.2	2.8	0.3632		3.632 x 10 <sup>-4</sup>
Km 94	Up to 110,000 DWT	3.0	3.1	0.4801		4.801 x 10 <sup>-4</sup>
	Over 110,000 DWT	2.2	2.8	0.3632		3.632 x 10 <sup>-4</sup>
Km 123	Up to 110,000 DWT	3.2	3.1	0.5199		5.199 x 10 <sup>-4</sup>
	Over 110,000 DWT	2.4	2.9	0.3897		3.897 x 10 <sup>-4</sup>

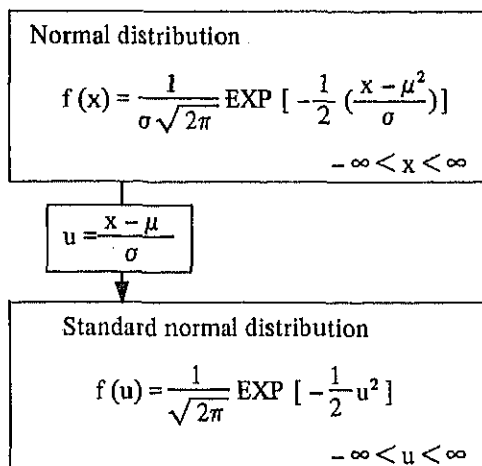
Note: Ps in the above table is calculated as follows:

1st step: Calculate  $u^* = \frac{S_o - \bar{x}}{s}$

Where s is the standard deviation ( $S = \bar{x} \times CV$ )

2nd step: Determine probability P ( $u < u^*$ ) by using the probability table of standard normal distribution

Reference:

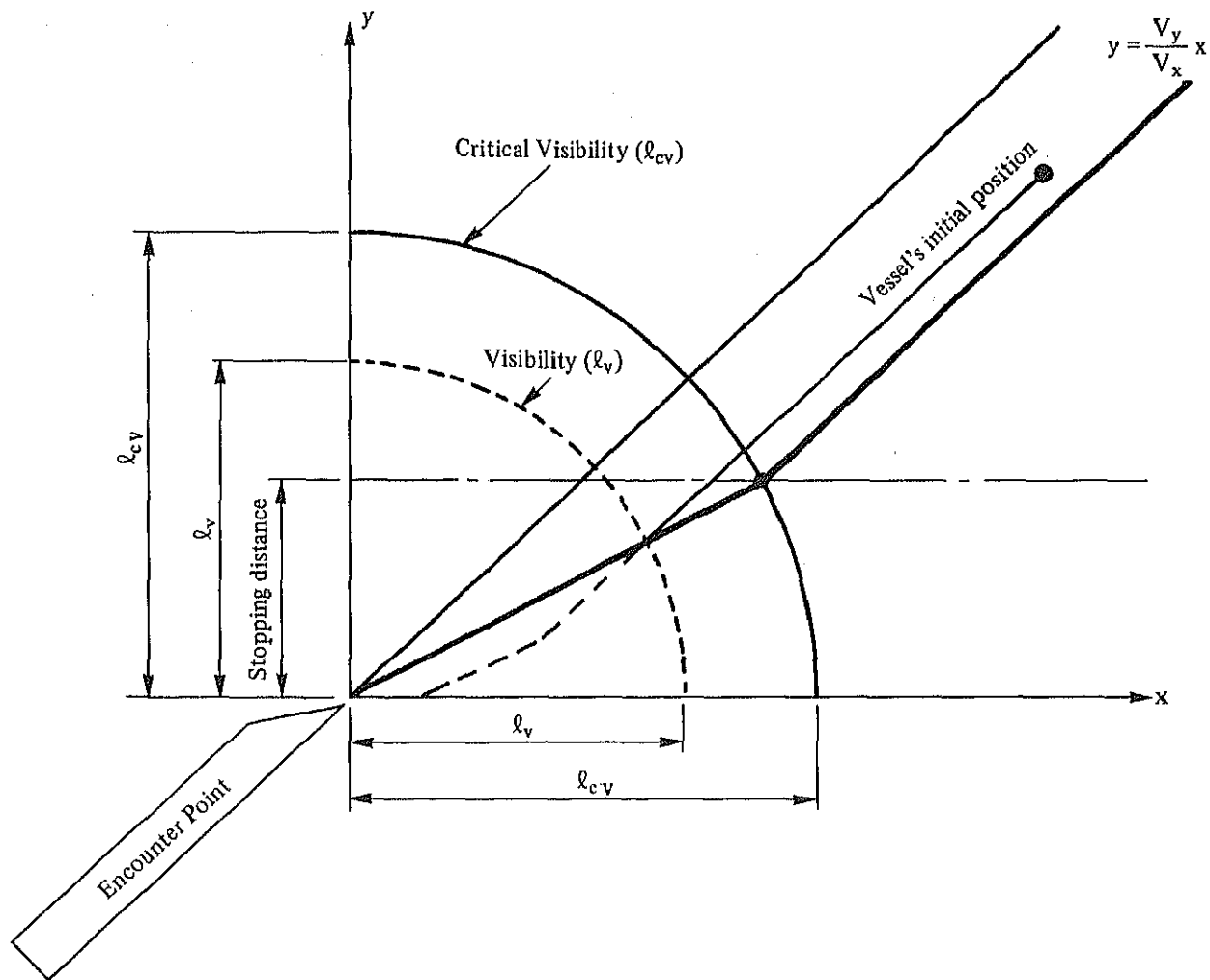




VI) 視 界

(a) 視界モデル

衝突を回避するのに必要な停止距離を確保するための視界 ( $l_v$ ) よりも悪い視界にある状況では衝突の起こる可能性が十分大きい。ここで、 $l_v$ は船速, 停止距離, 船の初期位置により決定されるものである (図V-2-(1)-20)。



図V-2-(1)-20 視界モデル模式図

現実の視界 ( $l_R$ ) について,  $l_R < l_V$  となる確率はそれぞれの地点における累加頻度分布模式図は図 V-2-(1)-21 のように示され, Ismailia の当該分布は図 V-2-(1)-22 に示されるとおりである。

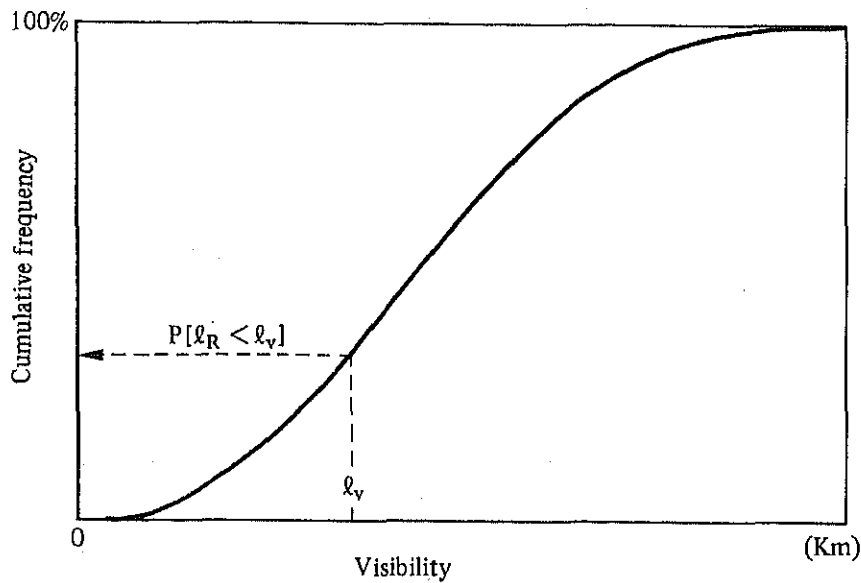


図 V-2-(1)-21  $P(l_R < l_V)$  の累加頻度分布模式図

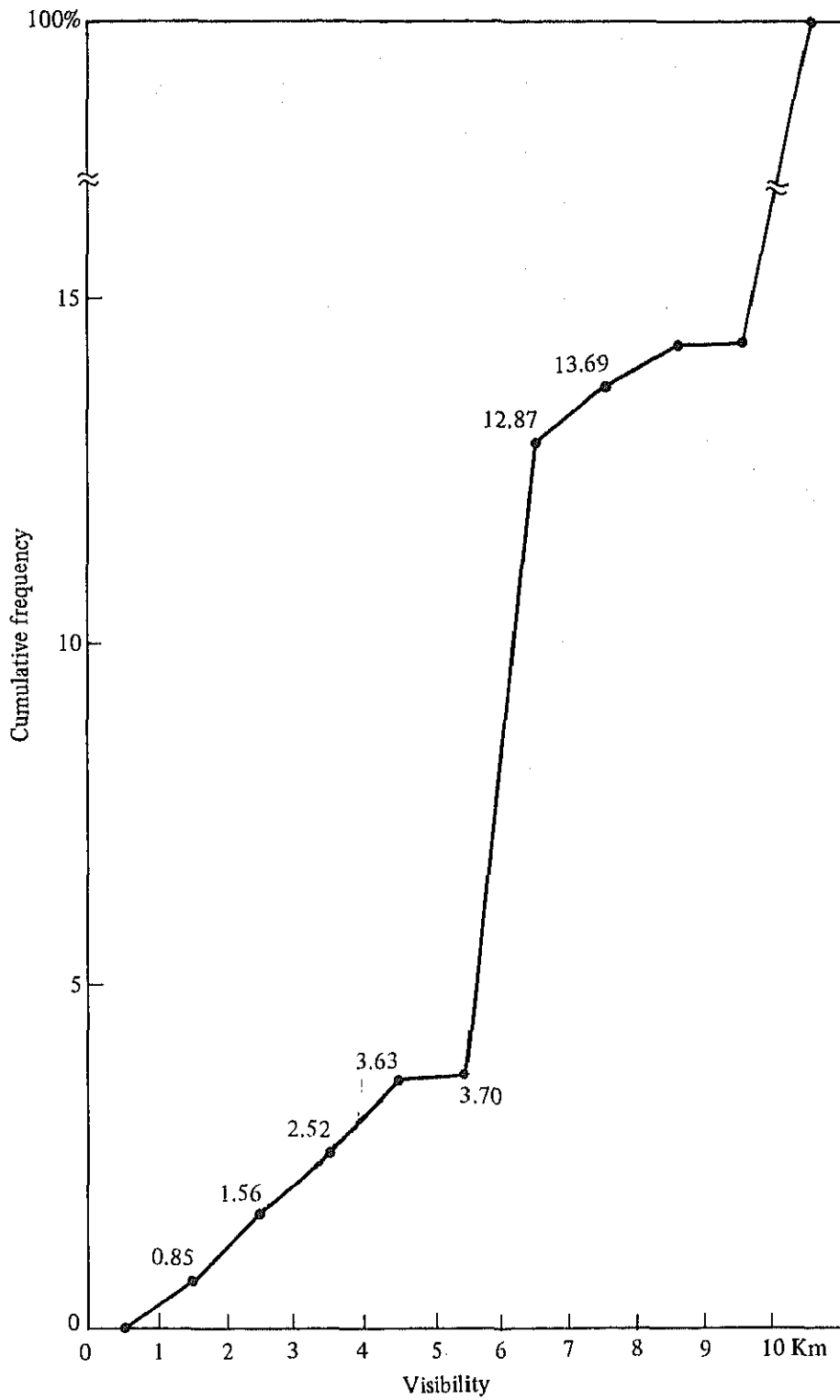
(b) 視界不良確率の推計

分岐点における必要視界は図 V-2-(1)-12 に示されるとおりであり, スエズ運河における視界データは十分ではないことより, 図 V-2-(1)-22 に示される Ismailia のデータを Km 61, Km 94, Km 123 に適用する。衝突を回避するための限界距離よりも現実の視界が小さいという状態が発生する確率は上述のデータを用いることにより表 V-2-(1)-23 のように算定される。

視界不良による衝突確率の推計例を図 V-2-(1)-23 に示す。

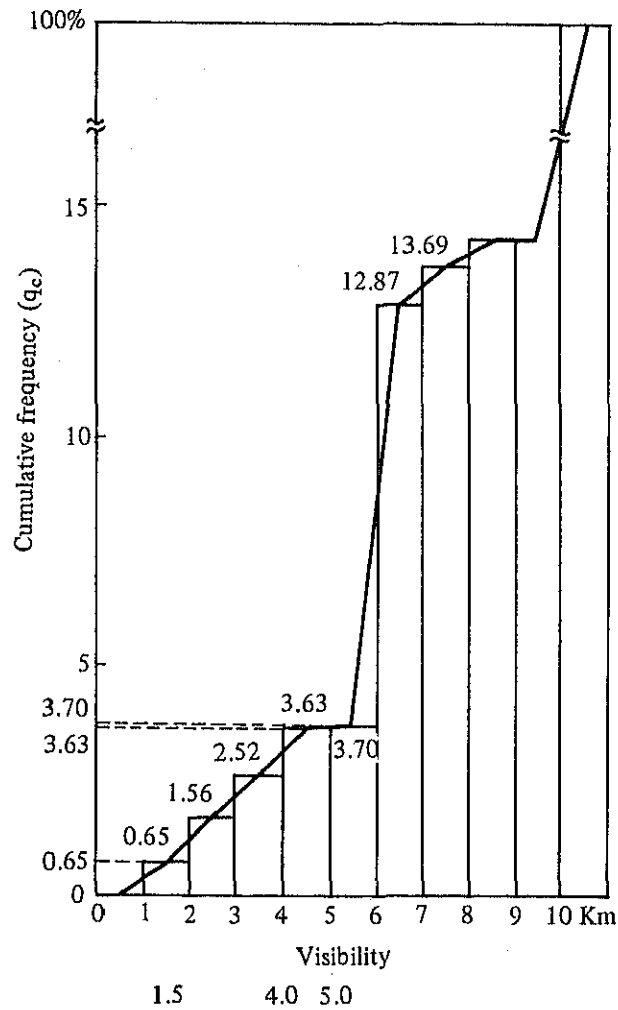
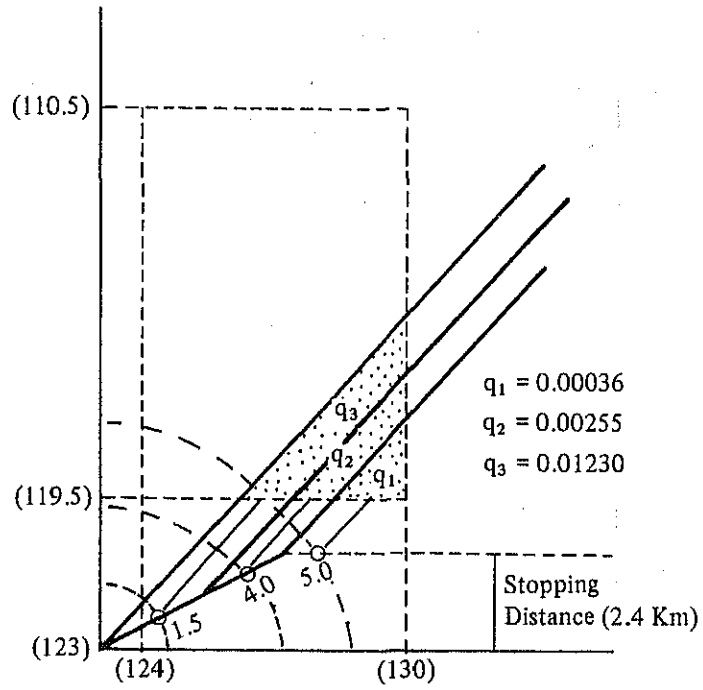
表 V-2-(1)-23 視界不良確率の算定結果

Location		Up to 110,000 DWT	Over 110,000 DWT
Km 61	Objective Convoy	Southbound	
	Probability	$1.883 \times 10^{-3}$	$1.258 \times 10^{-3}$
Km 94	Objective Convoy	Northbound	
	Probability	$1.758 \times 10^{-3}$	$9.791 \times 10^{-4}$
Km 123	Objective Convoy	Southbound	
	Probability	$1.572 \times 10^{-4}$	$1.858 \times 10^{-4}$



図V-2-(I)-22 Ismailiaにおける視界の累加頻度分布

$$\begin{aligned}
 P_v &= \sum q_i \cdot q_c \\
 &= 0.00036 \times 0.0370 \\
 &\quad + 0.00255 \times 0.0363 \\
 &\quad + 0.01230 \times 0.0065 \\
 &= 1.858 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$



図V-2-(I)-23 視界不良による衝突事故確率の算定例

(iii) 分岐点における衝突事故確率の推計結果

分岐点における衝突事故のフォルトツリー図（図V-2-(1)-9）に基づいて同事故の発生確率を算定すると表V-2-(1)-24のように求められる。

表V-2-(1)-24 分岐点における衝突事故確率の推計結果

Stage \ Location	Km 61	Km 94	Km 123
The First Stage Development Project	$4.554 \times 10^{-7}$	$6.756 \times 10^{-7}$	$2.503 \times 10^{-8}$
	$3.255 \times 10^{-7}$	$4.331 \times 10^{-7}$	$2.330 \times 10^{-8}$
Under Construction (1990)	$3.183 \times 10^{-7}$	$4.725 \times 10^{-7}$	$1.750 \times 10^{-8}$
	$2.275 \times 10^{-7}$	$3.029 \times 10^{-7}$	$1.629 \times 10^{-8}$
The Second Stage Development Project (2000)	$2.957 \times 10^{-7}$	$4.387 \times 10^{-7}$	$1.625 \times 10^{-8}$
	$2.114 \times 10^{-7}$	$2.812 \times 10^{-7}$	$1.512 \times 10^{-8}$

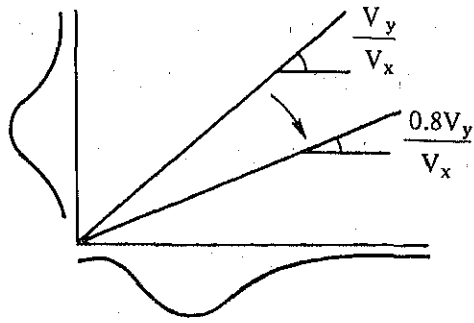
Note: Upper row: Up to 110,000 DWT  
Low row: Over 110,000 DWT

(iv) 感度分析

分岐点における衝突事故確率に影響を及ぼす要因のうち、影響度合いの大きい計量的な要因としては、“船速”，“後行船団の到着地点”があげられる。そこで、以下ではこれらの要因を変化させることによって衝突事故確率がどの程度減少するかについて2つのケースを設定することにより検討する。

[ ケース 1 ]

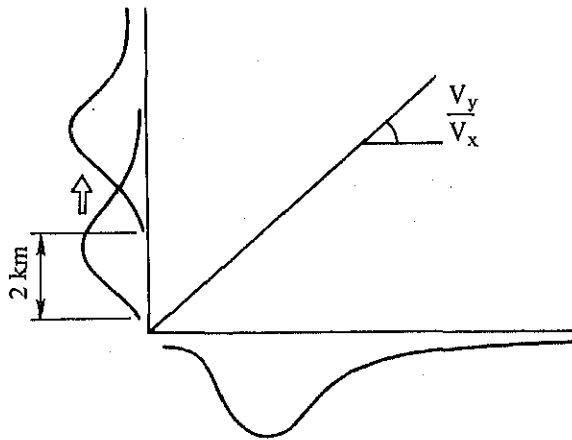
分岐点付近で後行船団の船速を0.8倍した場合（図V-2-(1)-24）。



図V-2-(1)-24 後行船団の船速を変化させた場合の模式図

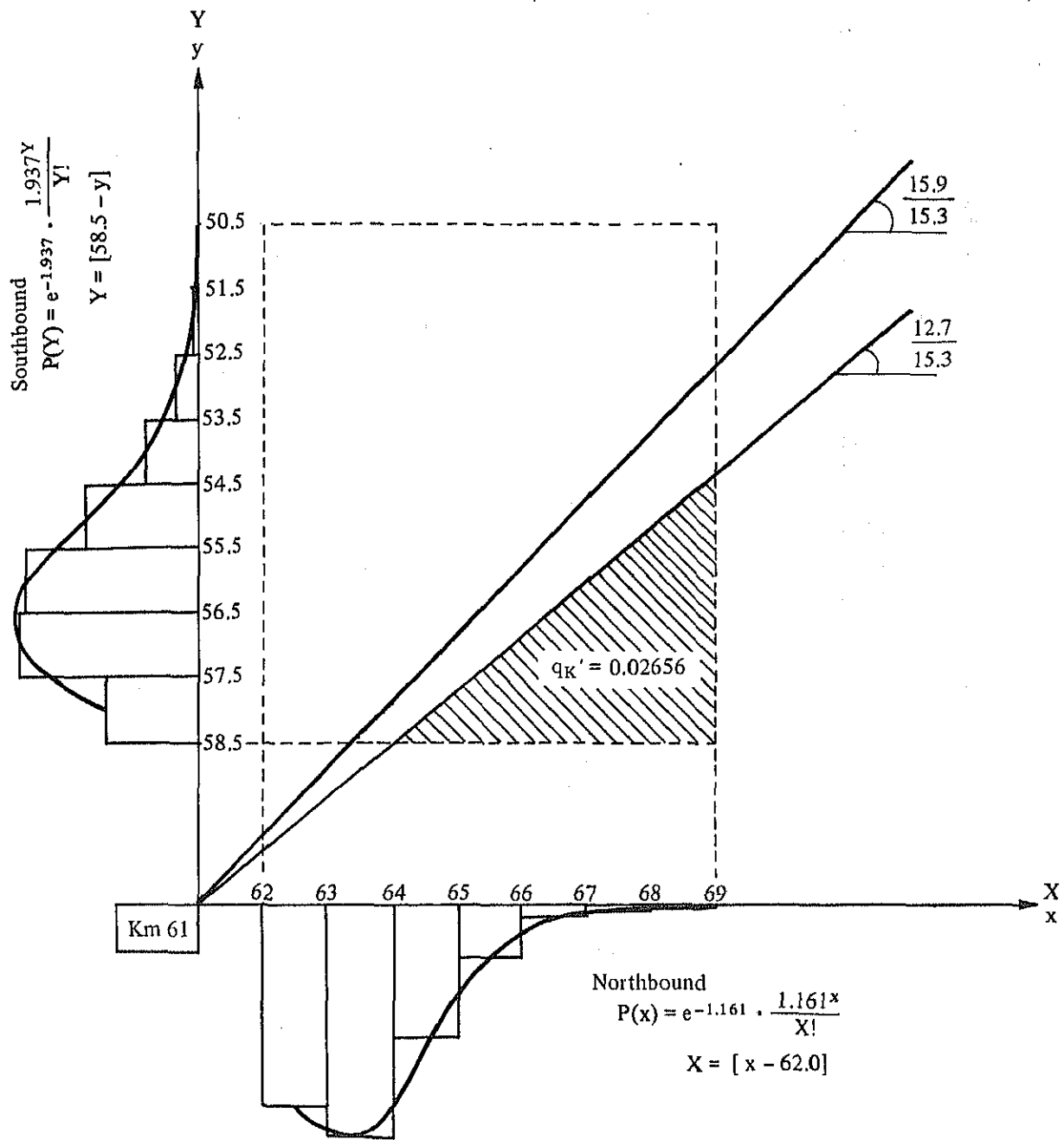
[ ケース 2 ]

分岐点における後行船団の到着地点を  $2\text{ km}$  後退させた場合 ( 図 V-2-(1)-25 )。



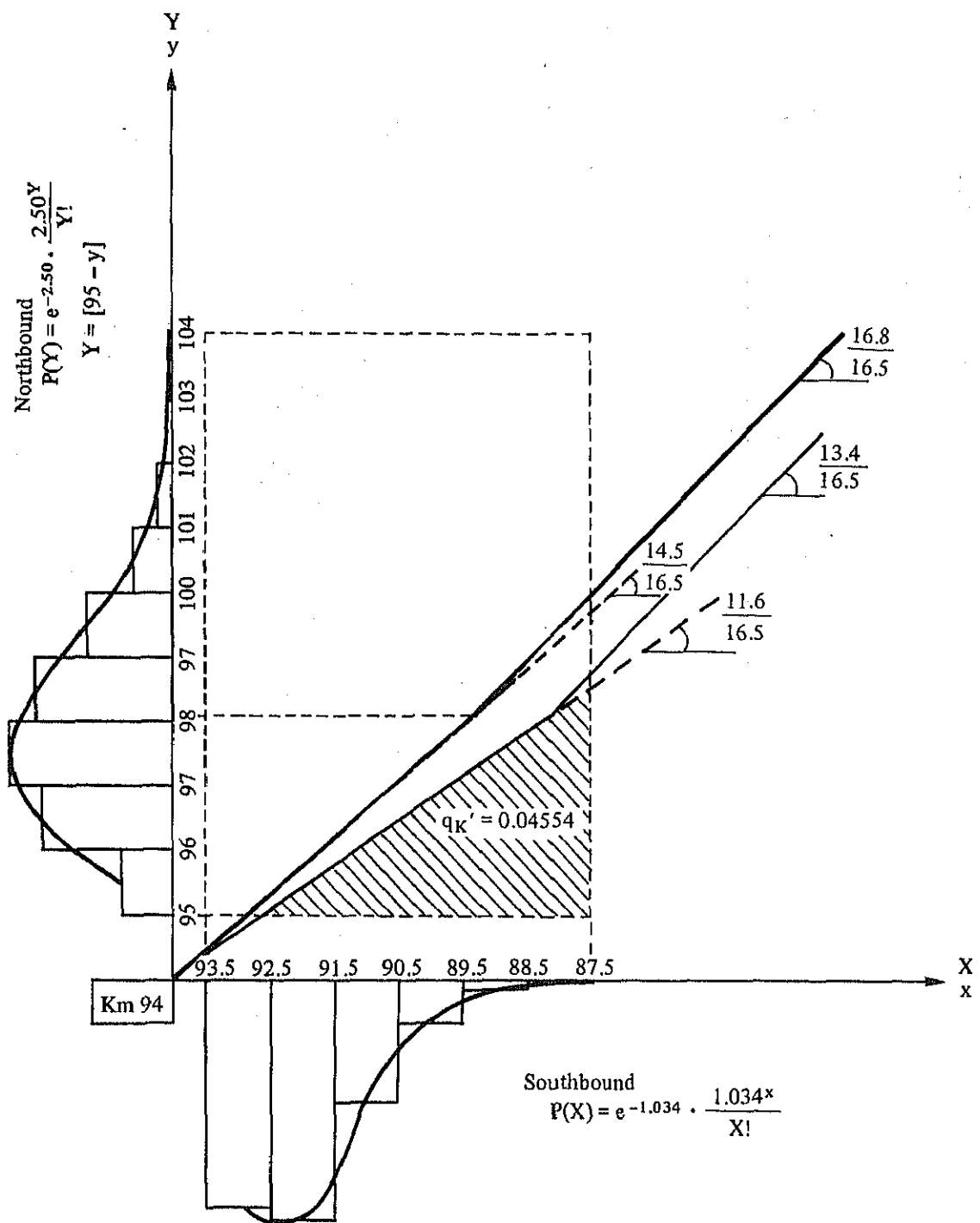
図V-2-(1)-25 後行船団の到着地点を  $2\text{ km}$  後退させた場合の模式図

ケース 1, 2 を想定した場合の分岐点毎の出会い確率は図 V-2-(1)-26(1)~V-2-(1)-27(3)のように算定され、値は表 V-2-(1)-25, 26 に示すとおりである。



Note:  $[Z]$  is the maximum integer less than  $Z$  ( $Z \geq 0$ )

図V-2-(1)-26(1) Km 61分岐点における出会いモデル(ケース1)



Note: Gradient of the vessel's trace bends from 16.8/16.5 (14.5/16.5) to 14.5/16.5 (11.6/16.5) due to the speed change of the posterior convoy at Km 98. (From the SCA's diagram)

図V-2-(i)-26(2) Km 94 分岐点における出会いモデル (ケース1)



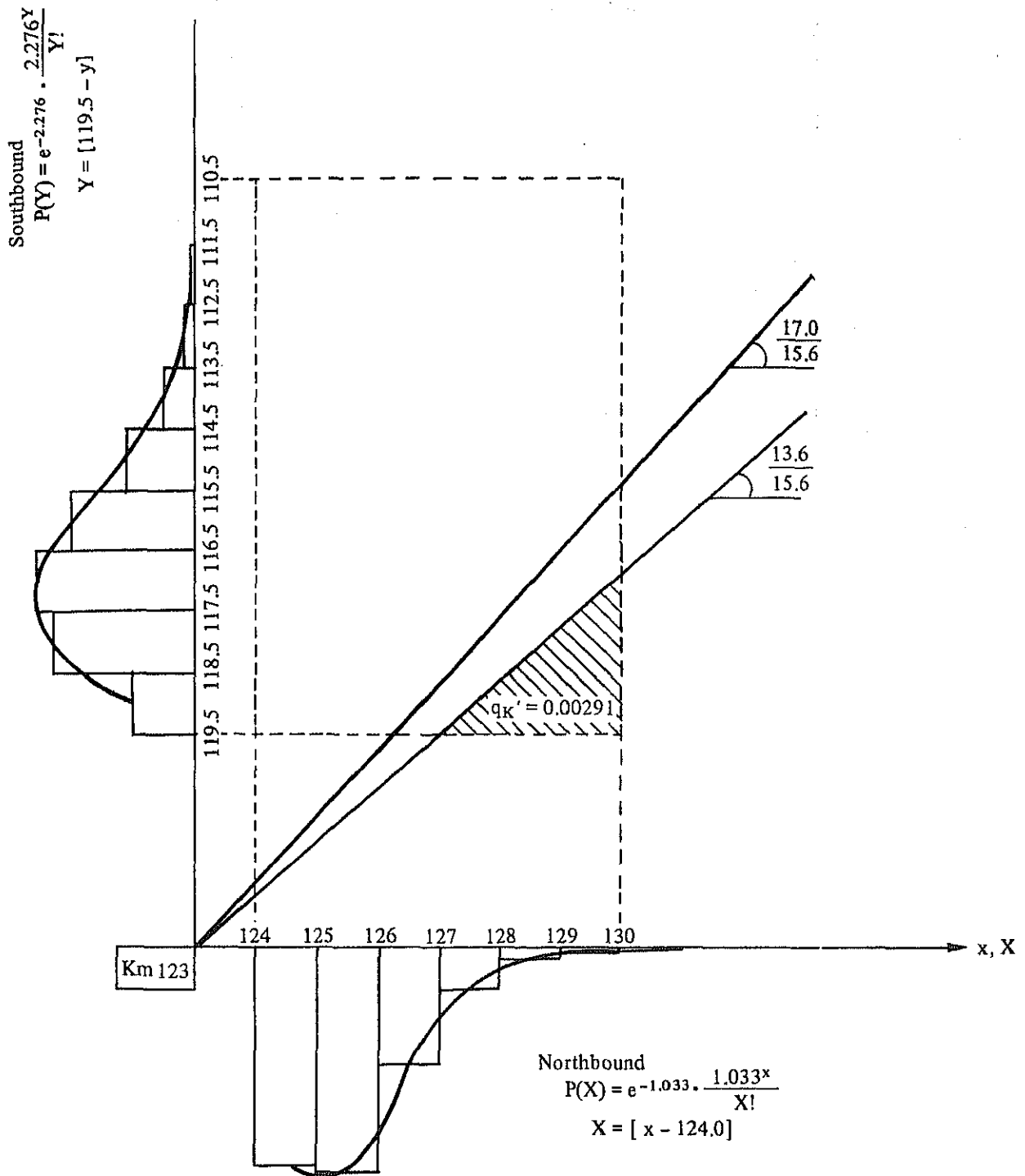
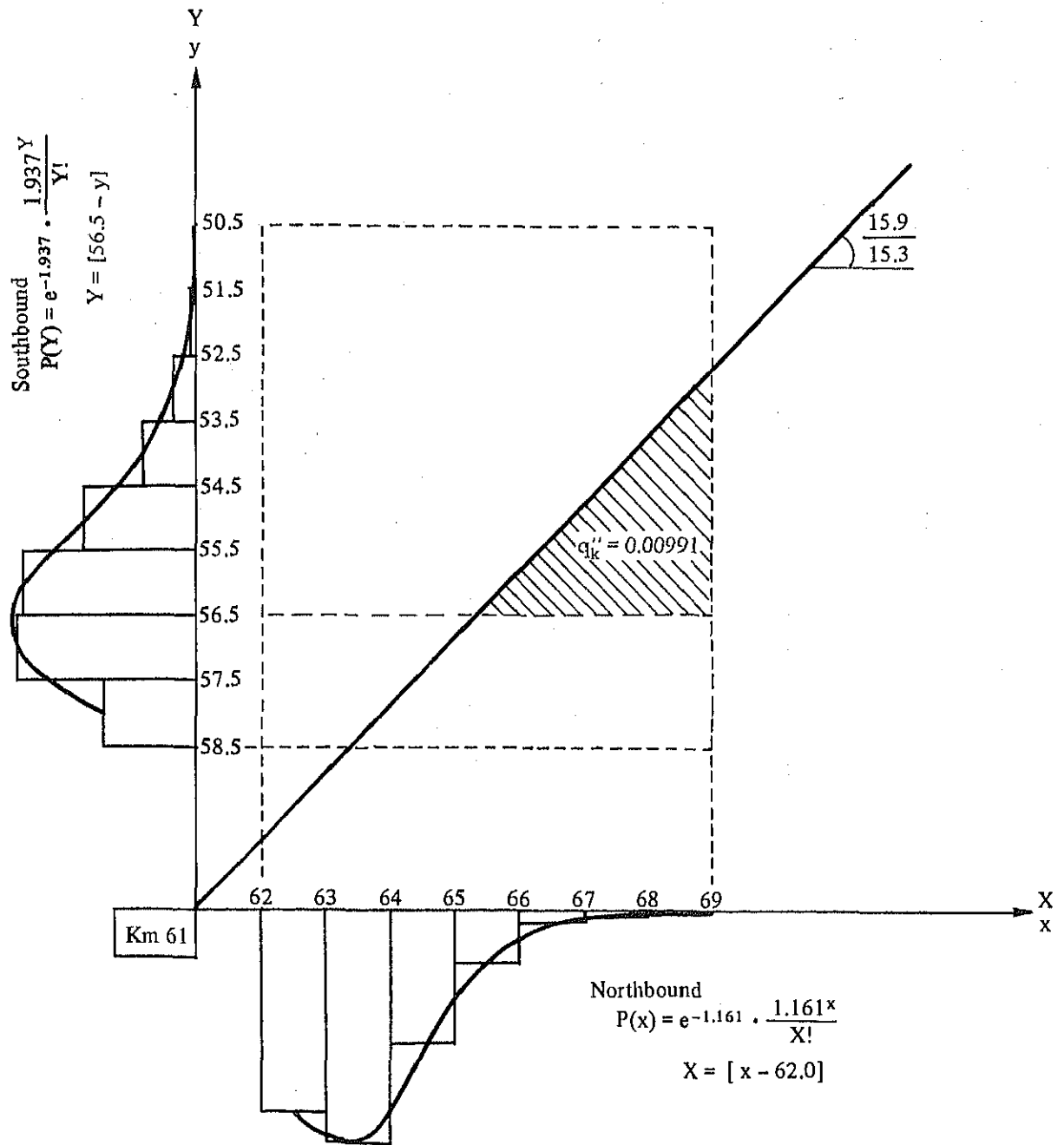
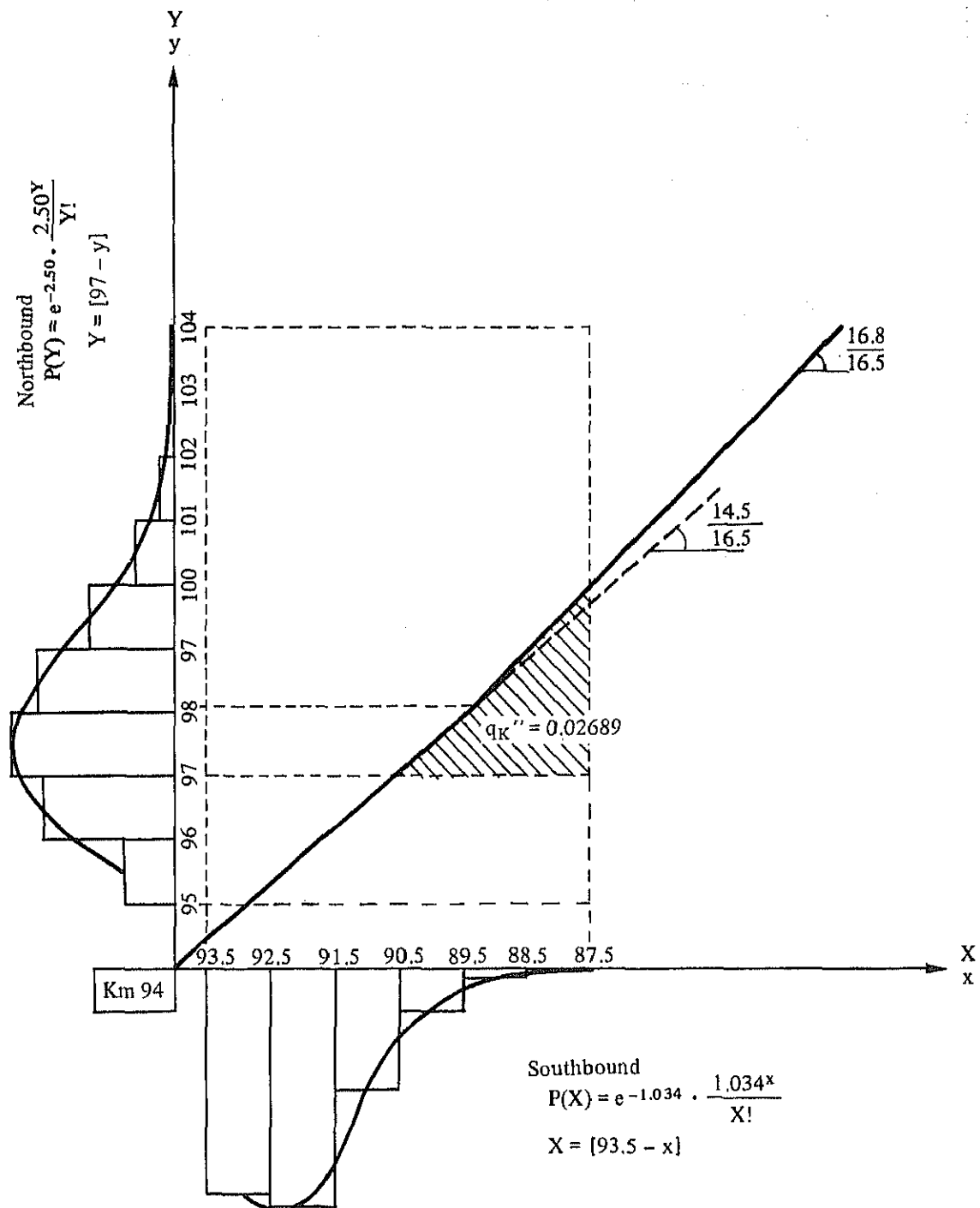


図 V - 2 - (1) - 26 (3) Km 123 分岐点における出会いモデル ( ケース 1 )



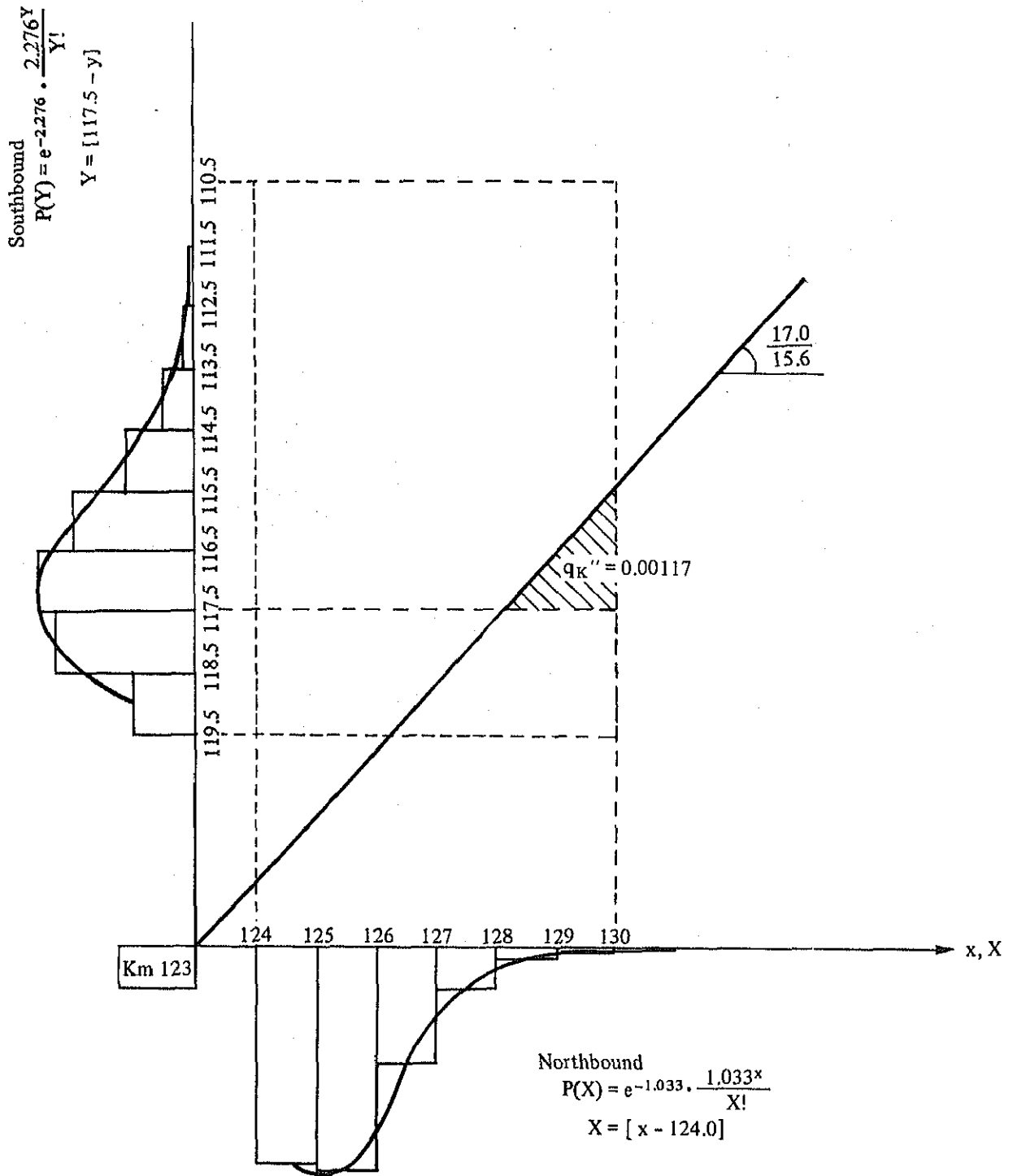
Note:  $[Z]$  is the maximum integer less than  $Z$  ( $Z \geq 0$ )

図V-2-(1)-27(1) Km 61 分岐点における出会いモデル (ケース 2)



Note: Gradient of the vessel's trace bends from 16.8/16.5 to 14.5/16.5 due to the speed change of the posterior convoy at Km 98. (From the SCA's diagram)

図V-2-(1)-27(2) Km 94分岐点における出合いモデル(ケース2)



図V-2-(1)-27(3) Km 123分岐点における出合いモデル(ケース2)

表V-2-(1)-25 分岐点における衝突事故確率の推計結果(ケース1)

Stage \ Location	Km 61	Km 94	Km 123
The First Stage Development Project	$5.167 \times 10^{-8}$	$1.060 \times 10^{-7}$	$3.311 \times 10^{-9}$
	$5.039 \times 10^{-8}$	$1.153 \times 10^{-7}$	$3.325 \times 10^{-9}$
Under Construction (1990)	$3.613 \times 10^{-8}$	$7.415 \times 10^{-8}$	$2.315 \times 10^{-9}$
	$3.524 \times 10^{-8}$	$8.066 \times 10^{-8}$	$2.325 \times 10^{-9}$
The Second Stage Development Project (2000)	$3.356 \times 10^{-8}$	$6.886 \times 10^{-8}$	$2.150 \times 10^{-9}$
	$3.272 \times 10^{-8}$	$7.490 \times 10^{-8}$	$2.159 \times 10^{-9}$

Note: Upper row: Up to 110,000 DWT  
 Low row: Over 110,000 DWT

表V-2-(1)-26 分岐点における衝突事故確率の推計結果(ケース2)

Stage \ Location	Km 61	Km 94	Km 123
The First Stage Development Project	$2.006 \times 10^{-8}$	$3.510 \times 10^{-8}$	$1.553 \times 10^{-9}$
	$1.850 \times 10^{-8}$	$3.083 \times 10^{-8}$	$1.348 \times 10^{-9}$
Under Construction (1990)	$1.403 \times 10^{-8}$	$2.454 \times 10^{-8}$	$1.086 \times 10^{-9}$
	$1.294 \times 10^{-8}$	$2.155 \times 10^{-9}$	$9.424 \times 10^{-10}$
The Second Stage Development Project (2000)	$1.303 \times 10^{-8}$	$2.279 \times 10^{-9}$	$1.008 \times 10^{-9}$
	$1.201 \times 10^{-8}$	$2.001 \times 10^{-9}$	$8.753 \times 10^{-10}$

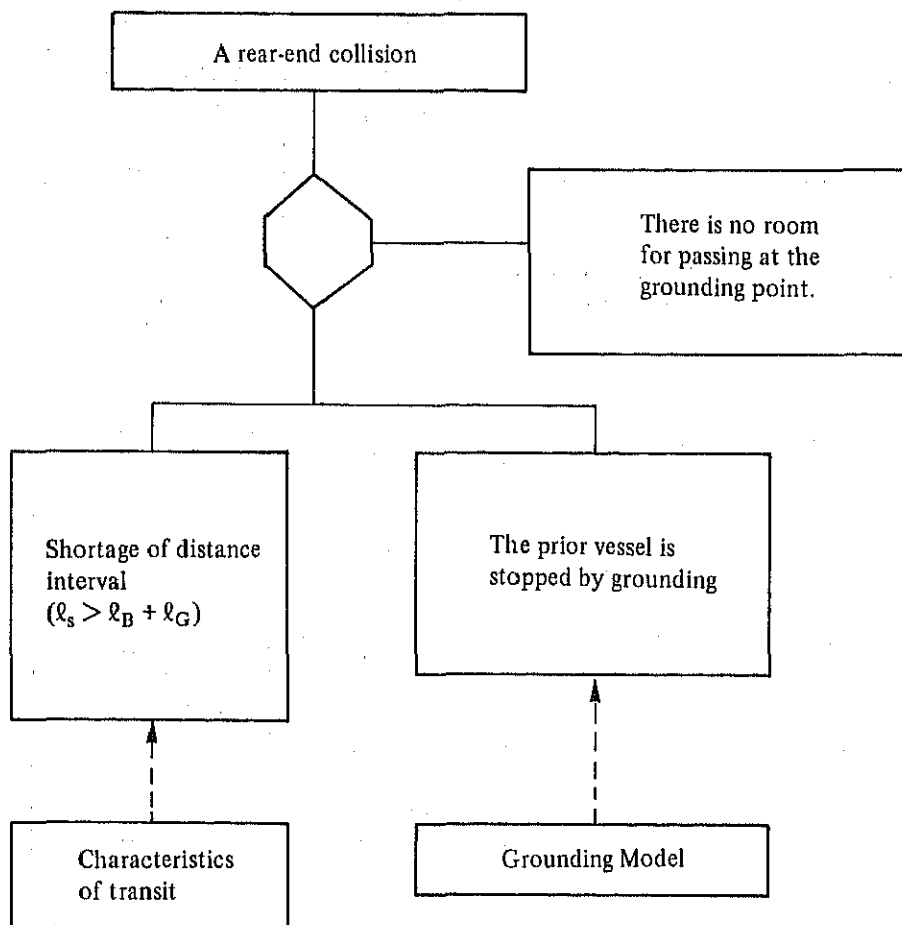
Note: Upper row: Up to 110,000 DWT  
 Low row: Over 110,000 DWT

後行船団の船速を0.8倍にすると衝突事故確率は0.1倍程度に減少し、後行船団の到着地点を2km後退させると0.01倍程度に減少する。

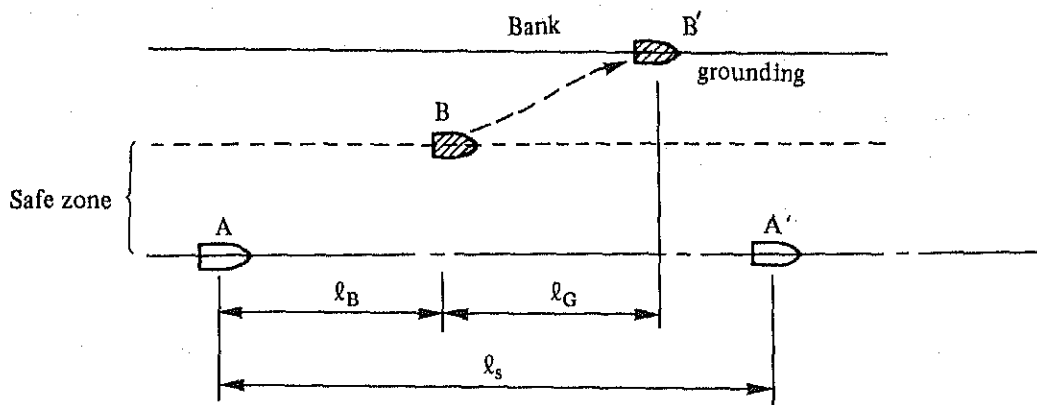
4) 追突事故

(i) 基本的考え方

追突事故の発生状況を説明するフォルトツリー図は図V-2-(1)-28に示すとおりであり、  
模式図は図V-2-(1)-29に示すとおりである。



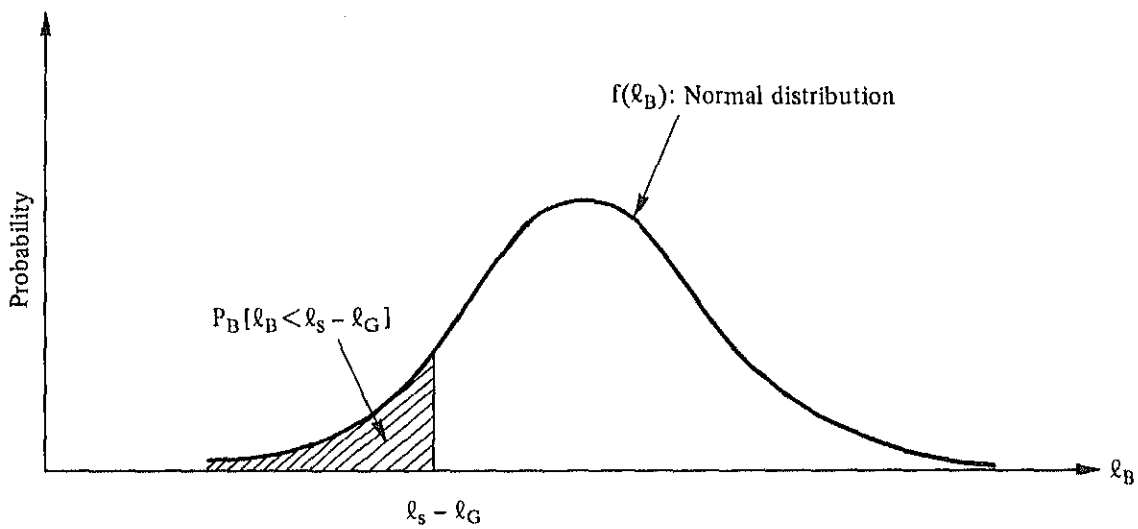
図V-2-(1)-28 追突事故のフォルトツリー図



where  $l_s$  : Stopping distance  
 $l_B$  : Distance between vessels  
 $l_G$  : Distance between occurrence of human or mechanical error and grounding  
 note: If  $l_s < l_B + l_G$ , an accident will not occur.

図V-2-(1)-29 追突事故発生状況の模式図

船間距離が正規分布に従うと仮定すると、図V-2-(1)-30において  $l_B < l_s - l_G$  となる確率  $P_B$  は斜線部分で示される。



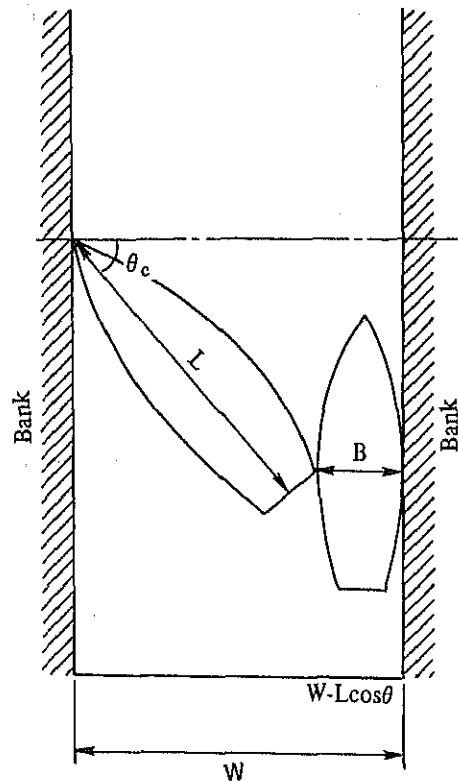
図V-2-(1)-30 船間距離の分布

先行船が乗り揚げる確率 ( $P_g$ ) はすでに(1)において推計したとおりである。ある船舶(船長  $L$ ) が乗り揚げ事故にあい、運河の横断方向と  $\theta$  なる角度で横たわったとすると、後続船が通り抜けるために必要な距離は  $W - L \cos \theta$  ( $W$ : 運河幅) となる。このとき、通り抜けるための距離が存在しない確率 ( $P_R$ ) は  $P_R = \text{Prob}[W - L \cos \theta \leq B]$  ( $B$ : 船幅) で表される(図V-2-(1)-31)。このとき

$$P_R = \text{Prob}[W - L \cos \theta \leq B]$$

$$= \text{Prob}[\theta \leq \theta_c] \quad (\theta_c = \cos^{-1} \frac{W-B}{L})$$

となり、乗り揚げ船舶の位置がランダムに定まると仮定すると、 $2\theta_c/180$  に等しい値となる。



図V-2-(1)-31 追突事故の状況模式図



追突事故確率 (P) は以下の式で与えられる。

$$P = P_B \times P_G \times P_R$$

ただし  $P_B$  : 先行船との距離が不十分である確率

$P_G$  : 先行船が乗り揚げる確率

$P_R$  : 乗り揚げた先行船をよけて通れない確率

(ii) 追突事故確率の推計

先行船が乗り揚げても後続船が乗り揚げ地点までに停止可能となるために必要な距離は表 V-2-(1)-27 に示されるとおりである。

表 V-2-(1)-27 先行船との距離

Size Categories	Representative Size	V (m/s)	T*	Advanced Distance $V \cdot T$ $L_G$	Stopping Distance $L_s$	Critical Distance between Vessels $L_s - L_G$
0 ~ 10,000 DWT	5,000 DWT	4.6 m/s (16.5 km/h) From Diagram	(sec) 31.5	(m) 145	(m) 1,016	(m) 871
10,000 DWT ~ 50,000 DWT	10,000 DWT		60.9	280	1,672	1,392
	50,000 DWT		188.1	865	3,131	2,266
50,000 DWT ~ 200,000 DWT	150,000 DWT		353.9	1,628	2,285	657

Note: \*:  $T = [15 \log(DWT) - 47] \sqrt[3]{DWT/V}$

さらに、ここで以下のような仮定を設ける。

- 一 船型毎の平均船間距離 ( $\bar{l}_B$ ) は表 V-2-(1)-28 に示される値である。
- 一 船間距離の変動係数は 1983 年 8 月のダイアグラムにおける Deversoir 地点での北向船舶データより 0.23 となる。

以上の設定のもとに船間距離が不十分である ( $l_B < l_B - l_G$ ) 確率は表 V-2-(1)-29 のように推計される。

表V-2-(1)-28 船間距離データ

(minutes)

	Tanker			Bulk Carrier				General Cargo Ship				Container Ship & Others			
	N/B	S/B	Both	N/B	S/B	Both		N/B	S/B	Both		N/B	S/B	Both	
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 ~															
DWT:															
0 ~ 30,000	11.00	11.31													
~ 60,000	12.36	15.89	12 12												
150,000	-	-	25 20												
250,000		20.21	- 20												
300,000	-	-	- 25												
300,000 ~	-	-	- 25												

For Simulation

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

表V-2-(1)-29 船間距離が不十分である確率

Typical Vessel Size	$L_s - L_G$	$\bar{RB}$	$(s = \bar{RB} \times CV)$	$u^* = \frac{(L_s - L_G) - \bar{RB}}{s}$	$P(RB < u^*)$
5,000 DWT	871 m	2,368 m	545 m	-2.747	$3.10 \times 10^{-3}$
10,000 DWT	1,392	2,500	575	-1.927	$2.44 \times 10^{-2}$
50,000 DWT	2,266	4,480	1,030	-2.150	$1.58 \times 10^{-2}$
150,000 DWT	657	5,500	1,265	-3.828	$5.0 \times 10^{-5}$

Note: The value of  $\bar{RB}$  is converted using the velocity of the vessels ( $V = 16.5 \text{ km/hr}$ )

(i)で設定した追突事故確率算定式 ( $P = P_b \times P_a \times P_r$ ) より追突事故はフェイズ別 (現況 : フェイズ I, 第II期拡張工事中 : フェイズ II, 第II期拡張工事終了後 : フェイズ III) に表 V-2-(1)-30, V-2-(1)-31 のように算定される。ここで, 現況における追突事故確率はモデルでは  $0.87 \times 10^{-6}$  と算定されるが, 1981~1982における事故発生件数が1件であることより  $1/44,122 = 2.27 \times 10^{-5}$  となる。つまり, P を決定する要因として  $P_b, P_a, P_r$  以外に自然的あるいは人為的条件が存在していることを示唆しており, この補正係数は上記値より26.0と設定される。

さらに, この補正係数は時点によらず一定の値をとるものであり, 表 V-2-(1)-31 では  $P = P_b \times P_a \times P_r \times 26.0$  により算定した値を示している。

表 V-2-(1)-30 追突事故の推計結果 (現状)

	5,000 DWT	10,000 DWT	50,000 DWT	150,000 DWT	Total
Km Km					
1 19~31			$2.16 \times 10^{-5}$	$8.84 \times 10^{-8}$	$1.38 \times 10^{-6}$
2 31~34			0.0	0.0	0.0
3 34~50			$2.86 \times 10^{-5}$	$1.17 \times 10^{-7}$	$1.87 \times 10^{-6}$
4 64~71			$2.34 \times 10^{-5}$	$9.1 \times 10^{-8}$	$1.48 \times 10^{-6}$
5 83~55			0.0	0.0	0.0 x
6 88~93			$5.72 \times 10^{-6}$	$2.29 \times 10^{-8}$	$3.64 \times 10^{-7}$
7 132~134			$4.68 \times 10^{-6}$	$2.11 \times 10^{-8}$	$2.86 \times 10^{-7}$
8 134~145			$1.17 \times 10^{-5}$	$4.42 \times 10^{-8}$	$7.28 \times 10^{-7}$
9 145~147			0.0	0.0	0.0
10 147~154			$1.17 \times 10^{-5}$	$4.42 \times 10^{-8}$	$7.28 \times 10^{-7}$
11 1E~15E			$5.46 \times 10^{-5}$	$2.29 \times 10^{-7}$	$3.38 \times 10^{-6}$
12 15E~19E			0.0	0.0	0.0
13 50W~52W			$5.46 \times 10^{-6}$	$2.29 \times 10^{-8}$	$3.38 \times 10^{-7}$
14 52W~55W	0.	0.	0.0	0.0	0.0
15 55W~59W			$1.66 \times 10^{-5}$	$6.76 \times 10^{-8}$	$1.07 \times 10^{-6}$
16 59W~64			$2.6 \times 10^{-5}$	$1.14 \times 10^{-7}$	$1.77 \times 10^{-6}$
17 51E~60E			$4.16 \times 10^{-6}$	$1.64 \times 10^{-8}$	$2.6 \times 10^{-7}$
18 71~75			$4.68 \times 10^{-6}$	$2.11 \times 10^{-8}$	$2.86 \times 10^{-7}$
19 75~83			$1.46 \times 10^{-5}$	$6.24 \times 10^{-8}$	$9.1 \times 10^{-7}$
20 85~88			$9.62 \times 10^{-6}$	$4.16 \times 10^{-8}$	$5.98 \times 10^{-7}$
21 93~94			0.0	0.0	0.0
22 94~96			0.0	0.0	0.0
23 96~101			$2.42 \times 10^{-5}$	$1.04 \times 10^{-7}$	$1.53 \times 10^{-6}$
24 115~122			$3.9 \times 10^{-5}$	$1.69 \times 10^{-7}$	$2.47 \times 10^{-6}$
25 122~126			$1.46 \times 10^{-5}$	$6.24 \times 10^{-8}$	$9.1 \times 10^{-7}$
26 126~129			$1.95 \times 10^{-5}$	$8.32 \times 10^{-8}$	$1.22 \times 10^{-6}$
27 129~132			$4.68 \times 10^{-6}$	$2.26 \times 10^{-8}$	$2.86 \times 10^{-7}$
28 154~162			$4.68 \times 10^{-6}$	$2.11 \times 10^{-8}$	$2.86 \times 10^{-7}$
29 Hm0~Hm90			0.0	0.0	0.0
Total			$3.38 \times 10^{-4}$	$1.48 \times 10^{-6}$	$2.26 \times 10^{-5}$

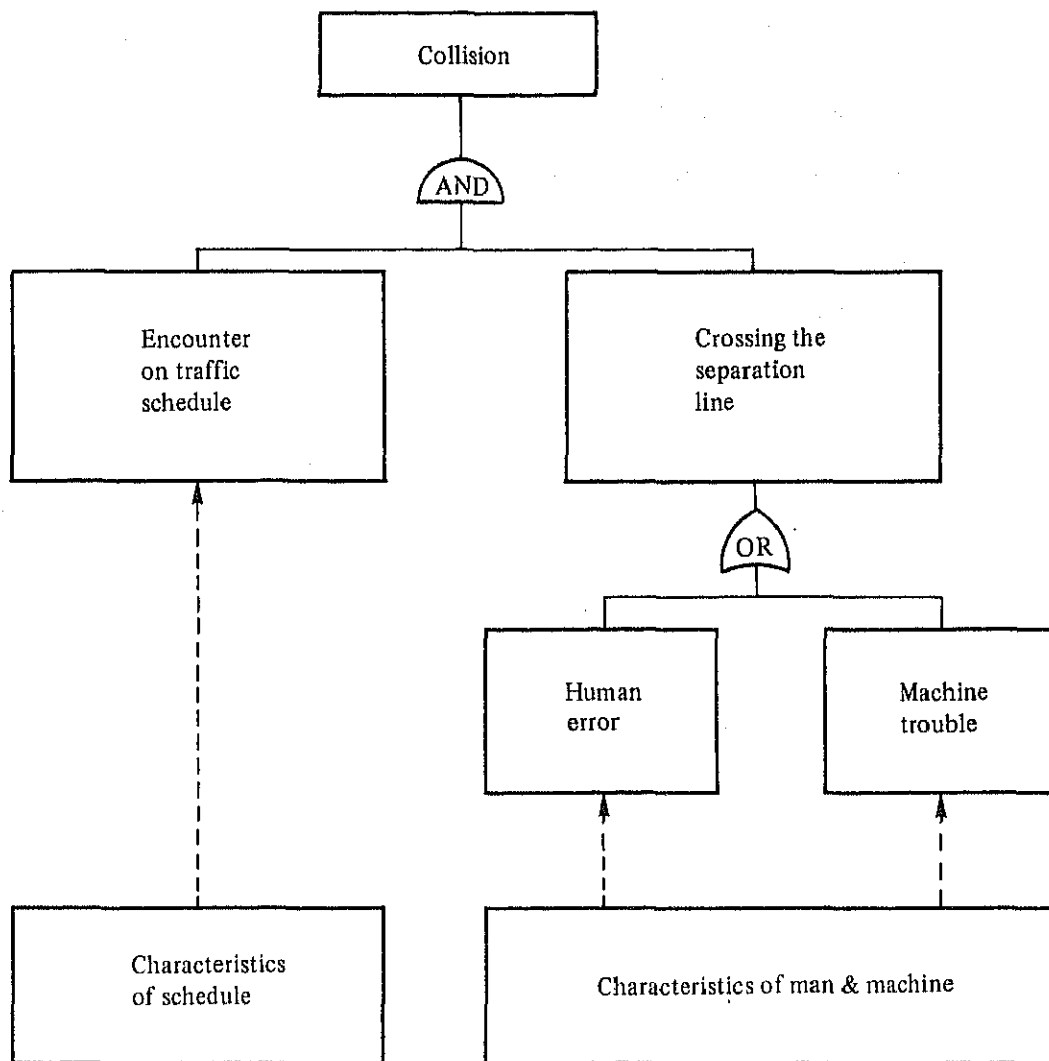
表V-2-(I)-31 追突事故の推計結果 (第II期拡張工事完了後)

	5,000 DWT	10,000 DWT	50,000 DWT	150,000 DWT	Total	Probability/km
Km Km						
1 19~31			$0.20 \times 10^{-5}$	$0.21 \times 10^{-7}$	$0.13 \times 10^{-6}$	$0.11 \times 10^{-7}$
2 31~34			0.0	0.0	0.0	0.0
3 34~50			$0.15 \times 10^{-5}$	$0.21 \times 10^{-7}$	$0.10 \times 10^{-6}$	$0.60 \times 10^{-8}$
4 64~71			$0.18 \times 10^{-5}$	$0.17 \times 10^{-7}$	$0.11 \times 10^{-6}$	$0.17 \times 10^{-7}$
5 83~55			0.0	0.0	0.0	0.0
6 88~93			$0.10 \times 10^{-5}$	$0.70 \times 10^{-8}$	$0.62 \times 10^{-7}$	$0.13 \times 10^{-7}$
7 132~134			$0.26 \times 10^{-5}$	$0.14 \times 10^{-7}$	$0.17 \times 10^{-6}$	$0.86 \times 10^{-8}$
8 134~145			$0.20 \times 10^{-5}$	$0.16 \times 10^{-7}$	$0.13 \times 10^{-6}$	$0.12 \times 10^{-7}$
9 145~147			0.0	0.0	0.0	0.0
10 147~154			$0.20 \times 10^{-5}$	$0.15 \times 10^{-7}$	$0.13 \times 10^{-6}$	$0.18 \times 10^{-7}$
11 1E~15E			$0.20 \times 10^{-5}$	$0.29 \times 10^{-7}$	$0.13 \times 10^{-6}$	$0.91 \times 10^{-8}$
12 15E~19E			0.0	0.0	0.0	0.0
13 50W~52W			$0.42 \times 10^{-6}$	$0.52 \times 10^{-8}$	$0.26 \times 10^{-7}$	$0.14 \times 10^{-7}$
14 52W~55W			0.0	0.0	0.0	0.0
15 55W~59W	0.	0.	$0.15 \times 10^{-5}$	$0.26 \times 10^{-7}$	$0.10 \times 10^{-6}$	$0.24 \times 10^{-7}$
16 59W~64			$0.21 \times 10^{-5}$	$0.29 \times 10^{-7}$	$0.14 \times 10^{-6}$	$0.26 \times 10^{-7}$
17 51E~60E			$0.21 \times 10^{-6}$	$0.29 \times 10^{-8}$	$0.14 \times 10^{-7}$	$0.15 \times 10^{-8}$
18 71~75			$0.78 \times 10^{-6}$	$0.60 \times 10^{-8}$	$0.49 \times 10^{-7}$	$0.12 \times 10^{-7}$
19 75~83			$0.25 \times 10^{-5}$	$0.26 \times 10^{-7}$	$0.16 \times 10^{-6}$	$0.21 \times 10^{-7}$
20 85~88			$0.19 \times 10^{-5}$	$0.26 \times 10^{-7}$	$0.12 \times 10^{-6}$	$0.39 \times 10^{-7}$
21 93~94			0.0	0.0	0.0	0.0
22 94~96			0.0	0.0	0.0	0.0
23 96~101			$0.18 \times 10^{-5}$	$0.19 \times 10^{-7}$	$0.11 \times 10^{-6}$	$0.23 \times 10^{-7}$
24 115~122			$0.25 \times 10^{-4}$	$0.14 \times 10^{-6}$	$0.16 \times 10^{-5}$	$0.23 \times 10^{-6}$
25 122~126			$0.10 \times 10^{-4}$	$0.55 \times 10^{-7}$	$0.65 \times 10^{-6}$	$0.17 \times 10^{-6}$
26 126~129			$0.31 \times 10^{-5}$	$0.42 \times 10^{-7}$	$0.22 \times 10^{-6}$	$0.70 \times 10^{-7}$
27 129~132			$0.12 \times 10^{-5}$	$0.15 \times 10^{-7}$	$0.78 \times 10^{-7}$	$0.26 \times 10^{-7}$
28 154~162			$0.15 \times 10^{-5}$	$0.15 \times 10^{-7}$	$0.10 \times 10^{-6}$	$0.12 \times 10^{-6}$
29 Hm0~Hm90			0.0	0.0	0.0	0.0
Total			$0.68 \times 10^{-4}$	$0.55 \times 10^{-6}$	$0.42 \times 10^{-5}$	

5) 両方向航路における衝突事故

(1) 基本的考え方

物理的分離帯のない両方向航路における船舶の動きをみることにより、同航路におけるフォルトツリー図は図V-2-(1)-32のように示される。



図V-2-(1)-32 両方向航路における衝突事故のフォルトツリー図

(ii) 両方向航路における衝突確率の推計

両方向航路において船舶同志が出会う確率 ( $P_R$ ) は 1983 年 8 月のダイヤグラムと SCVTMS データより以下のように設定される。

— South Light (km 114)

$$RK = \frac{N_s}{N_n + N_s} = \frac{223}{875 + 954} = 2.44 \times 10^{-1}$$

— North Light (km 106)

$$P_R = \frac{N_s}{N_n + N_s} = \frac{362}{875 + 954} = 1.98 \times 10^{-1}$$

— East Approach Channel (Hm 80)

$$P_R = \frac{N_s}{N_n + N_s} = \frac{6}{875 + 954 \times 0.7} = 3.89 \times 10^{-3}$$

ただし  $N_n$  : 北向船隻数  
 $N_s$  : 南向船隻数  
 $N$  : 出合い地点を通過する船隻数

Hm 80 における  $N_s$  については、全体の 7 割が対向船と出会う可能性のある船舶、すなわち、航路に向かう船舶であることを勘案している。

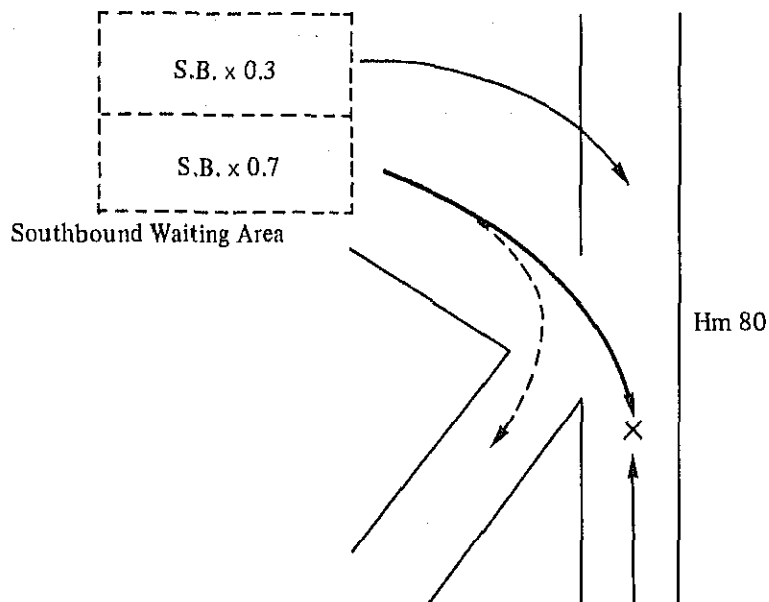


図 V-2-(1)-33 Hm80 における航路進入形態

次に、マシントラブルの起こる確率 ( $P_M$ ) は停止距離と単位距離あたりマシントラブル発生確率より表 V-2-(1)-32 のように設定される。

表 V-2-(1)-32 マシントラブル発生確率 ( $P_h$ )

Vessel Size	Stopping Distance	Pk per Km	Probability
Up to 110,000 DWT	3.13 Km	Failure/km $2.98 \times 10^{-5}$	$9.33 \times 10^{-5}$
Over 110,000 DWT	2.29		$6.82 \times 10^{-5}$

Note: Stopping distance is calculated assuming velocity of vessels is 16.5 km/hr.

人為ミス確率 ( $P_b$ ) は他の場合と同様  $10^{-3}$  と設定する。

以上、 $P_k$ 、 $P_b$ 、 $P_M$  を設定することにより両方向航路における衝突確率は表 V-2-(1)-33 のように算定される。

表 V-2-(1)-33 両方向航路における衝突確率

Location	Vessel Size	
	Up to 110,000 DWT	Over 110,000 DWT
South Light	$2.67 \times 10^{-4}$	$2.61 \times 10^{-4}$
North Light ~ South Light	$2.16 \times 10^{-4}$	$2.12 \times 10^{-4}$
Hm 80 in Port Said	$4.25 \times 10^{-6}$	$4.16 \times 10^{-6}$

6) 泊地における衝突事故

(i) 基本的考え方

ある船舶Aが地点Pに停泊しようとする場合、操船者はPまでの距離を観測し、距離がS(k)になったとき停止動作を開始する。操船者は他船と衝突しないようある領域D内の地点Pに他船との安全距離2rを確保するよう停泊する。このような状況で危険状態とは他船との実際の距離がS(k)あるいはそれ以下であるにもかかわらずS(k)+2rの距離が存在すると誤認して停止動作を開始する状況である。実際の距離がyのとき観測距離をy<sub>m</sub>とすると上述のような危険状態にいる確率(P<sub>r</sub>)は以下の式で算定される。

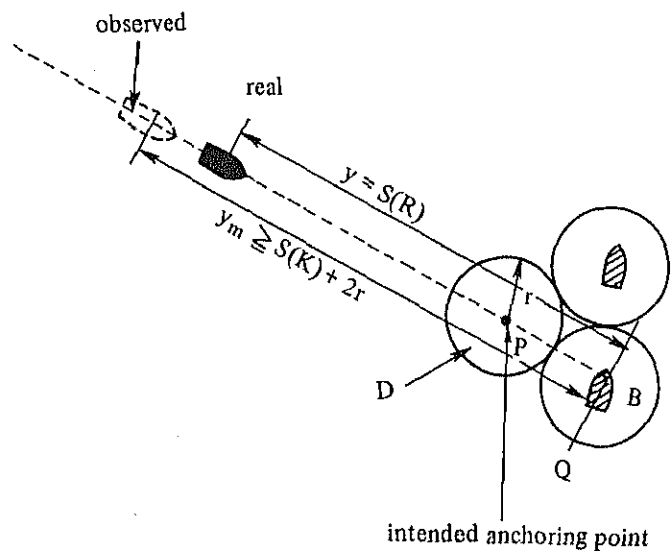
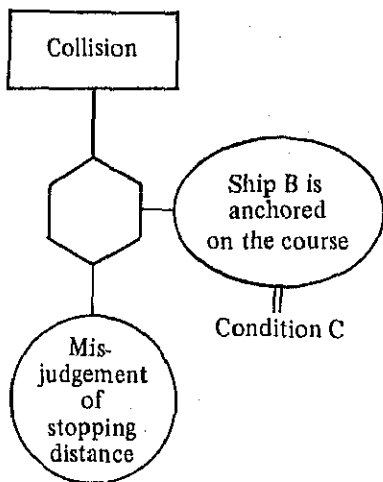
$$\begin{aligned}
 P_r &= \text{Prob} [ y_m \geq S(k) + 2r \mid y = S(k), C ] \\
 &= \int_{S(k)+2r}^{\infty} \phi_m (y_m \mid y=S(k)) dy_m \cdot \text{Prob}[C] \\
 &= \int_{S(k)+2r}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2r}\sigma} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y_m - f(S(k))}{\sigma} \right)^2 \right] dy_m \cdot \text{Prob}[C] \\
 &= \left[ 1 - \Phi \left( \frac{S(k)+2r - f(S(k))}{\sigma} \right) \right] \cdot \text{Prob}[C]
 \end{aligned}$$

ただし f(S(k)) : S(k)の平均

σ : y = S(k)のときの y<sub>m</sub>の標準偏差

k : ある船舶A

c : 停泊しようとしている船舶Aの進行上に他船が停泊している状態



図V-2-(1)-34 泊地における衝突事故のフォルトツリー



さらに、危険状態にある船舶が衝突を回避できない確率 ( $P_f$ ) は以下の式で与えられる。

$$P_f = \frac{P_a}{P_r}$$

ただし  $P_a$  : 泊地における過去の衝突確率

(ii) 泊地における衝突事故確率の推計

i) 前提

事故確率を決定する要因は以下のとおりである。

- ・船型(k)
- ・停止距離 ( $S(k)$  : 表 V-2-(1)-22)
- ・実際の距離が  $S(k)$  のときの観測距離の平均 ( $f(S(k))$  : 図 V-2-(1)-19)
- ・目視距離の標準偏差 ( $\sigma$  : 本章 3) - (iii) - V) 目視距離の誤認)
- ・安全距離 ( $r$ )
- ・他船が進行方向上に停泊している状況 ( $C$ )

に示されるとおりである。

表 V-2-(1)-34 泊地における衝突事故確率推計のためのデータ(1)

K (DWT)	S (k) (km)	f(S (k)) (km)	$\sigma$ (km)	P [C]
0 ~ 50,000	3.0	3.06	1.87	0.3
50,000 ~	2.2	2.74	1.67	

Note: P [C] is evaluated by observation data from 1984.

表 V-2-(1)-35 泊地における衝突事故確率推計のためのデータ (2)

Location	$\gamma$ (km)
Port Said	0.564
Great Bitter Lake	0.535

Note:  $r$  is evaluated by observation data from 1984.

ii) 推計結果

危険状態にはいる確率 ( $P_r$ ), 衝突回避動作に失敗する確率 ( $P_f$ ), 現状での泊地における衝突事故確率 ( $P_a$ ) は表 V-2-(1)-36 に示すとおりである。

表V-2-(1)-36 泊地における衝突事故確率（現状）

Item Location Ship Size	Pr		Pf		P <sub>G</sub>	
	Port Said	Great Bitter Lake	Port Said	Great Bitter Lake	Port Said	Great Bitter Lake
0 ~ 50,000	0.084	0.087	$5.39 \times 10^{-4}$	$1.04 \times 10^{-3}$	$4.53 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-5}$
50,000 ~	0.108	0.111	$4.19 \times 10^{-4}$	$8.17 \times 10^{-4}$		

Note: P<sub>G</sub> is evaluated using the observed probability in '81 ~ '82.

(iii) 感度分析

泊地における衝突事故確率を減少させるものとして安全距離が考えられ、これを20%増加 (0.564 → 0.677, 0.535 → 0.642)させた場合の衝突確率 (P<sub>o</sub>)は表V-2-(1)-37に示されるとおりである。

表V-2-(1)-37 泊地における衝突事故確率の推計結果

Item Location Ship Size	Pr		Pf		P <sub>G</sub>	
	Port Said	Great Bitter Lake	Port Said	Great Bitter Lake	Port Said	Great Bitter Lake
0 ~ 50,000	0.075	0.078	$5.39 \times 10^{-4}$	$1.04 \times 10^{-3}$	$4.04 \times 10^{-5}$	$8.11 \times 10^{-5}$
50,000 ~ 100,000	0.093	0.099	$4.19 \times 10^{-4}$	$8.17 \times 10^{-4}$	$3.90 \times 10^{-5}$	$8.09 \times 10^{-5}$

(2) 貨物の流出による事故規模の推計

1) 原油・LPG・LNGの性質

(i) 原油・LPG・LNGの性状

原油は油田から汲み上げられたままの多種類の炭化水素の混合物であって産地により成分比、性状が異なる。表V-2-(2)-1参照

表 V-2-1 (2) - 1 原油の主な性状

	Name of Crude Oil	Arabian Light	Arabian Heavy	Iranian Light	Iranian Heavy	Kuwait
General properties of crude oil (Example)	Specific Gravity (15/4°C)	0.852	0.887	0.855	0.871	0.868
	API Degree	33.5	27.7	33.9	31.5	30.9
	Vapor Pressure (kg/cm <sup>2</sup> , 37.8°C)	0.35	-	0.52	-	-
	Kinetic Viscosity (cSt, 30°C)	6.90	22.4	4.7 (50°C)	6.5 (50°C)	7.0 (50°C)
	Pour Point (°C)	-15 >	-20 >	-15 >	-12.5	-10
	Wax (W%)	-	2.2	6	-	2.6
	Sulfur (W%)	1.72	2.70	1.40	1.71	2.6
	Nitrogen (W%)	0.09	-	-	0.22	0.16
	Residual Carbon (W%)	3.1	7.2	3.4	5.20	5.3
	Water Sludge (V%)	0.05	0.3	-	0.15	0.1
	Moisture (V%)	0.05	0.2	-	0.1 >	0.1 >
Salt (W%)	3	0.0110	-	0.0039	0.0009	
Heavy Metals { V (ppm) Ni (ppm)	12 4	- -	- -	63 16	- -	
Properties of each fraction (Example)	<u>Gasoline Fraction</u>					
	Distillation Range (°C)	20 ~ 160	60 ~ 160	C <sub>5</sub> ~ 165	IBP ~ 85 85 ~ 160	IBP ~ 190
	Yield (V%)	25.0	20.0	21.1	6.5 12.6	19.5
	Specific Gravity (15/4°C)	0.7091	0.722	-	0.665 0.745	0.718
	Octane Value Clear 1.1 cc/gal	41	-	68 (light naphtha)	69 -	61.2
	<u>Kerosene Fraction</u>					
	Distillation Range (°C)	160 ~ 221	160 ~ 230	160 ~ 235	160 ~ 240	190 ~ 250
	Yield (V%)	13.5	10.0	13.2	14.1	11.6
	Specific Gravity (15/4°C)	0.7973	0.789	0.797	0.795	0.790
	<u>Gas Oil Fraction</u>					
	Distillation Range (°C)	221 ~ 316	230 ~ 300	235 ~ 300 300 ~ 350	240 ~ 320 320 ~ 330	250 ~ 300
	Yield (V%)	13.5	11.0	11.0 8.7	14.0 2.3	12.8
	Specific Gravity (15/4°C)	0.8364	0.841	0.838 0.862	0.845 0.875	0.835
	Sulfur (W%)	0.81	1.69	0.66 1.14	0.91 1.35	0.93
	Nitrogen (W%)	0.001	-	-	0.03 0.07	0.0004
	Residual Carbon (W%)	Trace	-	-	-	-
	<u>Atmospheric Residual Oil</u>					
	Distillation Range (°C)	316 ~	300 ~	350 ~	330 ~	300 ~
	Yield (%)	48.0	56.5	43.5	49.0	53.2
	Specific Gravity (15/4°C)	0.9433	1.004	0.951	0.955	0.958
Kinetic Viscosity (cSt, 50°C)	90	249	190	150	220	
Pour Point (°C)	+5	+7.5	+24	+15	+12.5	
Sulfur (W%)	2.86	4.51	2.53	2.6	4.0	
Nitrogen (W%)	0.18	-	-	0.41	0.20	
Residual Carbon (W%)	7.2	11.8	6.0	8.9	9.4	
Heavy Metals { V (ppm) Ni (ppm)	38 8	- -	- -	119 31	51 14	

LPGはプロパンを主成分とする液化石油ガスであり、性状はプロパンに似ている。

又、LNGはメタンを主成分とする液化天然ガスであり、性状はメタンに似ている。

表V-2-(2)-2参照

表V-2-(2)-2 メタン及びプロパンの主な性状

Item	Name	Methane	Propane
Molecular Formula		CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Molecular Weight		16.04	44.09
Gas Density kg/m <sup>3</sup>	0°C 1 Ata	0.7168	2.0200
Gas Specific Gravity (Air = 1)	0°C 1 Ata	0.5544	1.562
Liquid Density kg/liter	0°C 1 Ata		0.5282*
	20°C 1 Ata		0.5005*
Vapor Pressure Ata	0°C	(176)	4.7
	20°C	(293)	8.0
Melting Point	°C 1 Ata	-182.48*	-187.69*
Boiling Point	°C 1 Ata	-161.49	-42.07
Critical Temperature	°C	-82.5	96.81
Critical Pressure Ata		45.80	42.01
Critical Density kg/liter		0.162	0.220
Latent Heat of Evaporation (Boiling Point) kcal/kg		121.9	101.8
Gas Specific Heat	Cp**25°C 1 Ata	0.534	0.404
	Cv**25°C 1 Ata	0.401	0.359
Gross Calorific Value (Gas) kcal/kg	25°C 1 Ata	13,265	12,034
Net Heating Value (Gas) kcal/kg	25°C 1 Ata	11,954	11,079
Ignition Temperature	°C	632	481
Explosion Limit in Air Vol%	Lower Limit	5.00	2.37
	Upper Limit	15.00	9.50

\* Value at saturated pressure

\*\* Cp: Value at constant pressure, Cv: Value at constant volume

### (iii) 原油, LPG, LNGの影響

原油LPG, LNGの性状で共通のものは常温で蒸気ガスを発生し、引火により燃焼(爆発)するということである。

#### i) 蒸気ガスの人体に対する影響

##### (a) 原油ガス

原油ガスは表V-2-(2)-3のとおり、第1に眼に刺激を与え、次に頭痛を感じさせ、さらに症状が進むと、顔面は紅潮し神経系統が犯され制ぎょ力を失い、愉快的気分になる。

稀薄な原油ガスでも長い間これを呼吸すると意識がもうろうとなり遂に失神することがある。

表 V-2-2 (2)-3 原油ガス含有率と急性中毒の臨床症状一覽表

Temperature and Time Crude Oil Gas %	10 ~ 30°C					Remarks
	1 Hour	2 Hours	3 Hours	5 Hours	Over 5 Hours	
0 ~ 0.1	Feeling of drunkenness, pyrexia feeling in whole body (flushed feeling), feeling heavy in head, headache, hyperemia in face.	Occasionally bad headache, occasional vomit, nausea, sneezing, feeling heavy in head, hyperemia in face.	Headache, photopathy, weak steps, dim feeling in head, pale face.	Feeling of compression at breast, hiccups, weak steps, feeling of languishment, pale face.	Vomiting, hard to walk, unstable waist, conscious.	A content below 0.2% is designated as safety range. A long time respiration of 0.1% oil gas often results in working inability.
0.5 ~ 1.5	Dizziness and pale face, occasionally bad headache, stimulation to eyes, slaving, increased pulses.	Bad headache, staggering, vomiting after fever, pale face, hiccups, decreased pulses.	Dizziness, benumbing, swoon, blepharospasm, decreased pulses.			A 1.0% content can be sensed by smell. Pupil shrink in the beginning. Scattering light.
2.0 ~ 3.0	Dizziness, talking inability, vomiting, walking inability, swoon, increased pulses, pale face.					Excitation period is surely encountered above 2.0%. Symptoms resemble those of excitation period in other anesthetics.
3.0 and above	Swoon, unconscious, whole body convulsions, pale face, incontinent.					Death in 3-5 minutes if 0.005% of H <sub>2</sub> S is contained.

Blank frames suggest death.

\* (Clinical example by Dr. Kuga in The Maritime Labour Research Institute)

(b) LPG, LNG

LPG, LNGの蒸気ガスは原油から出るガスに比べ無臭で毒性が少なくプロパンの燃焼下限界約2%濃度においては人間の活動を支えるだけの十分な酸素が混合物中に存在しており、かつ微々たる毒性しかなく、より安全である。

しかしながら、LPG, LNGが大量に放出したとき、放出ガスにより空気中の酸素濃度は低下する。

また、放出ガスに引火し、大火災が発生したときも空気中の大量の酸素が消費され付近は酸素濃度が低下する。

酸素は空気中に約21%含まれており、これが人間の生命を支えている重要な物質であり、酸素が欠乏した時の危険性は次のとおりである。

- |              |     |                  |
|--------------|-----|------------------|
| (1) 空気中の酸素濃度 | 21% | 正常空気             |
| (2) 空気中の酸素濃度 | 18% | 安全限界             |
| (3) 空気中の酸素濃度 | 16% | 呼吸、脈拍増、頭痛、悪心、はきけ |
| (4) 空気中の酸素濃度 | 12% | めまい、はきけ、筋力低下     |
| (5) 空気中の酸素濃度 | 10% | 顔面蒼白、意識不明、嘔吐     |
| (6) 空気中の酸素濃度 | 8%  | 昏睡、8分で死亡         |
| (7) 空気中の酸素濃度 | 6%  | 呼吸停止、けいれん、死亡     |

なお、LPG, LNGは超低温状態であるため液、漏洩ガスに人体が触れると常に凍傷をおこす危険性があるので注意を要する。

ii) 引火燃焼(爆発)

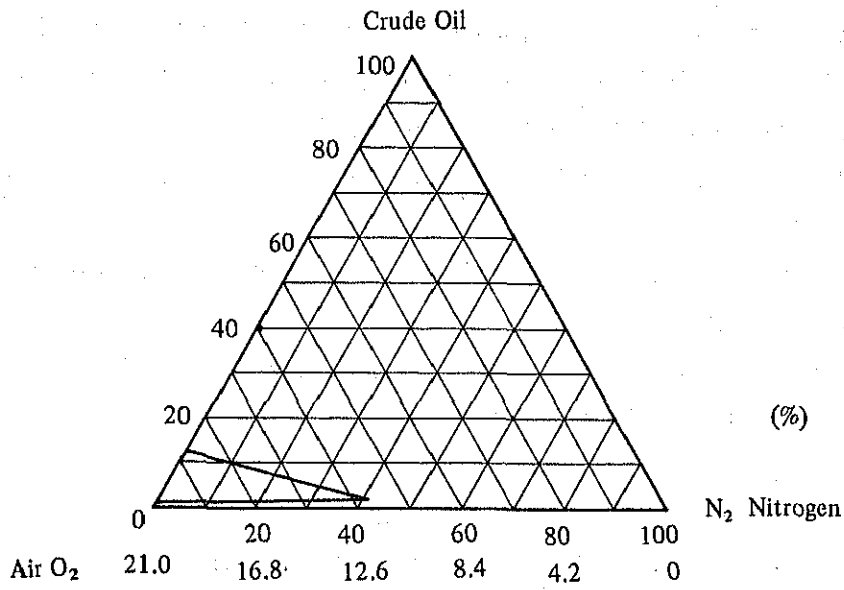
燃焼とは熱と光を発する酸化反応現象であり、燃焼が起こるためには、酸化物質すなわち可燃物が存在すること、空気すなわち酸素が存在すること、酸化反応を行うために必要とする熱すなわち着火エネルギーが存在することが必要である。

これらの3つの要素のうちいずれか一つが欠けても燃焼は起らない。又、燃焼を持続するためには、絶え間なく燃料と酸素の供給を必要とする。その燃焼状態は、いつ、いかなる場合でも発生するというものでもなく、ある温度、圧力の下では燃焼を続ける極限の混合気(酸素対燃料)の割合が存在する。

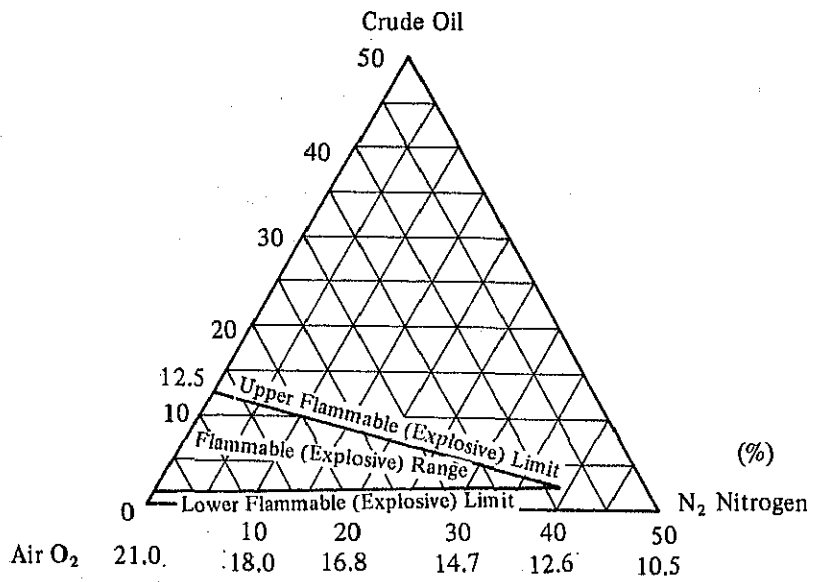
これを燃焼限界(爆発限界)と称し、燃料濃度の低い方を燃焼(爆発)下限界、高い方を燃焼(爆発)上限界と言う。

図V-2-(2)-1は、原油ガス一般の燃焼(爆発)範囲図

図V-2-(2)-2及び図V-2-(2)-3はプロパン及びメタンの燃焼範囲図である。

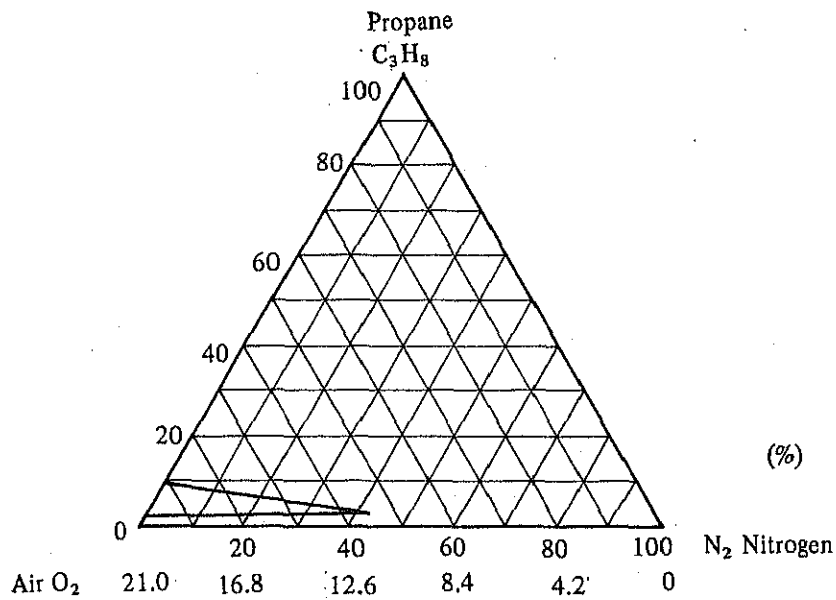


Flammable (Explosive) Range [Enlarged]

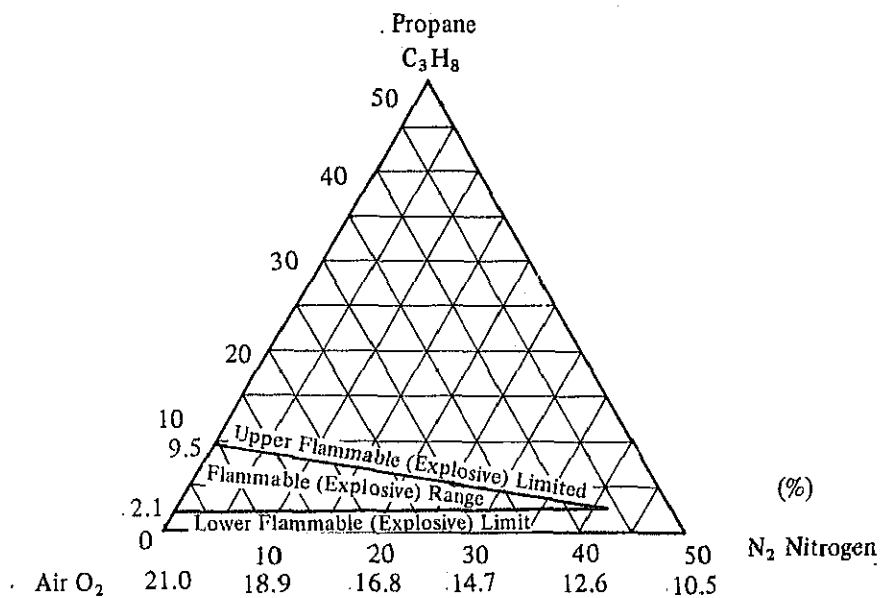


図V-2-(2)-1 原油ガスの燃焼(爆発)範囲

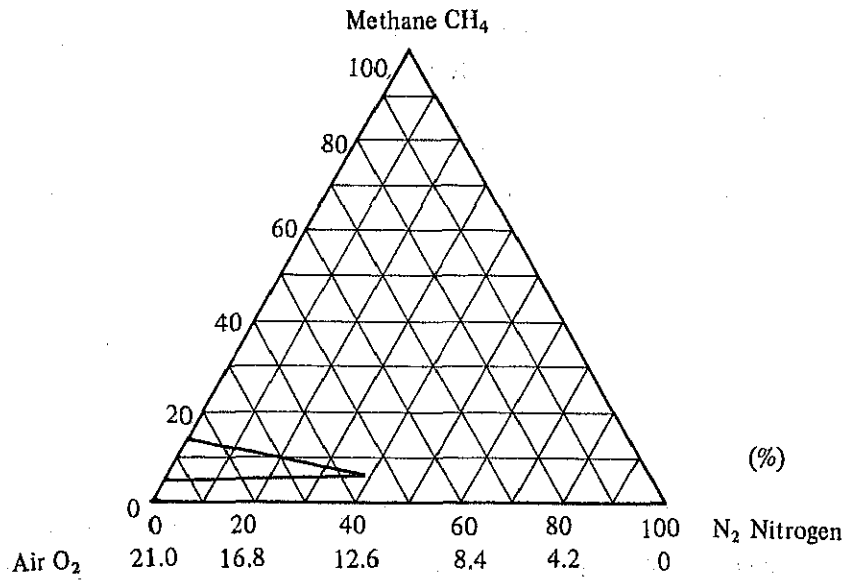




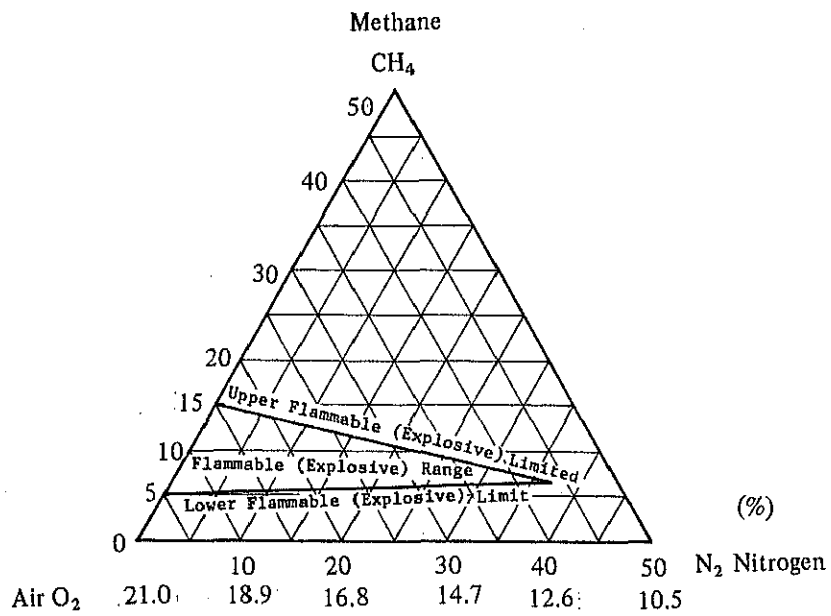
Flammable (Explosive) Range [Enlarged]



図V-2-(2)-2 プロパンの燃焼(爆発)範囲



Flammable (Explosive) Range [Enlarged]



図V-2-(2)-3 メタンの燃焼(爆発)範囲

### Ⅲ) 原油, LPG, LNGの海上拡散

原油が海上に排出されると、低沸点成分の蒸発ガスを発生させながら、その比重と粘度に従って断続的に拡散する。

LPG, LNGが海上に排出されると完全に蒸発するまで断続的に拡散するので、海の汚染はない。

水と低温の液体の温度差の大きいこと、両者が接する面積の大きいことから、沸騰は急速に行なわれるが水面に凝集した水は生ぜず蒸気雲を発生させる。

LPGは、ガス化すると260倍に体積が膨張するがガス比重が空気より重いので海上をほう。

LNGは、ガス化し体積は600倍となるが温度が $-120^{\circ}\text{C}$ 以上になると比重は空気より軽くなるため大気中を上昇する。

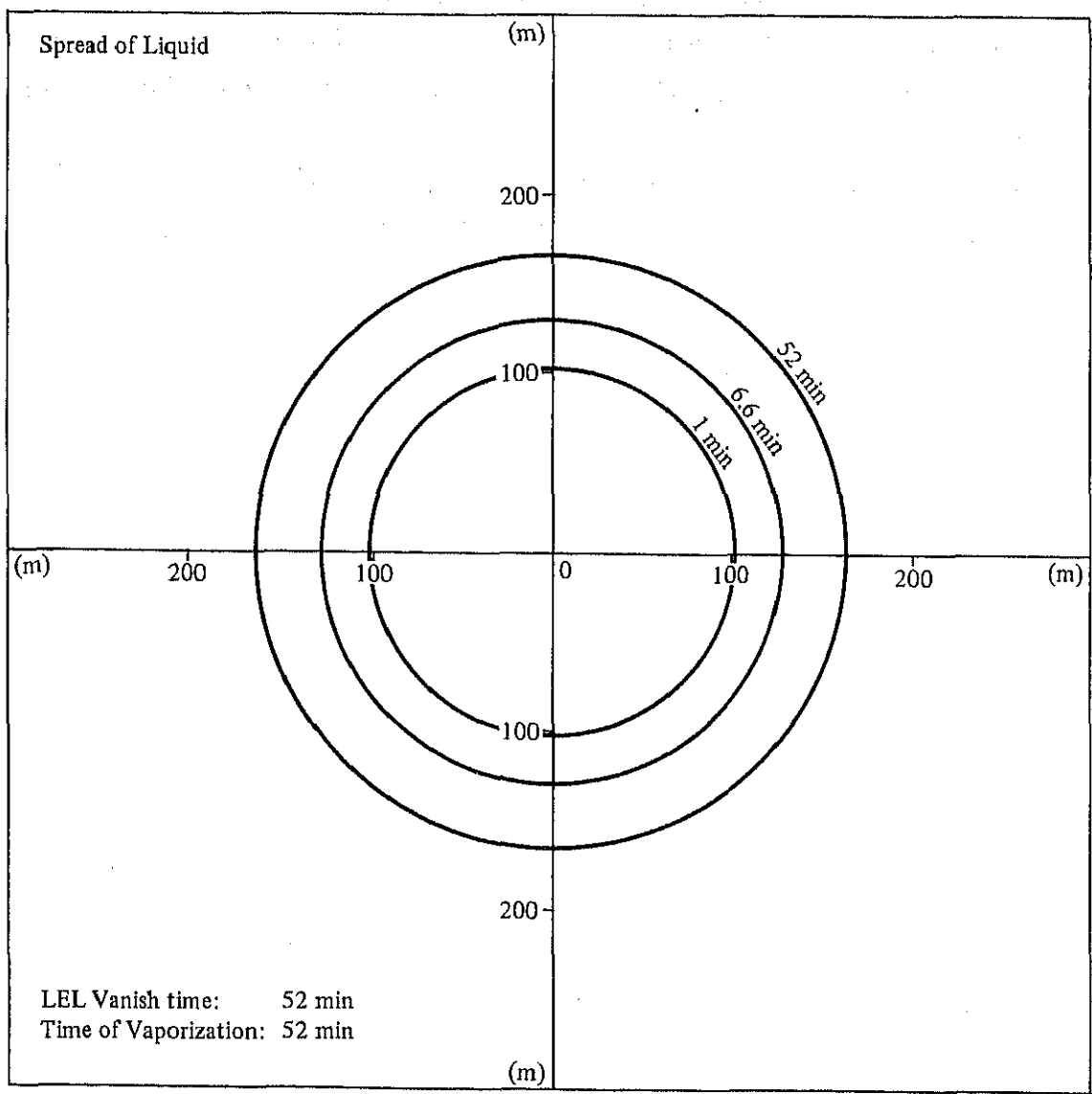
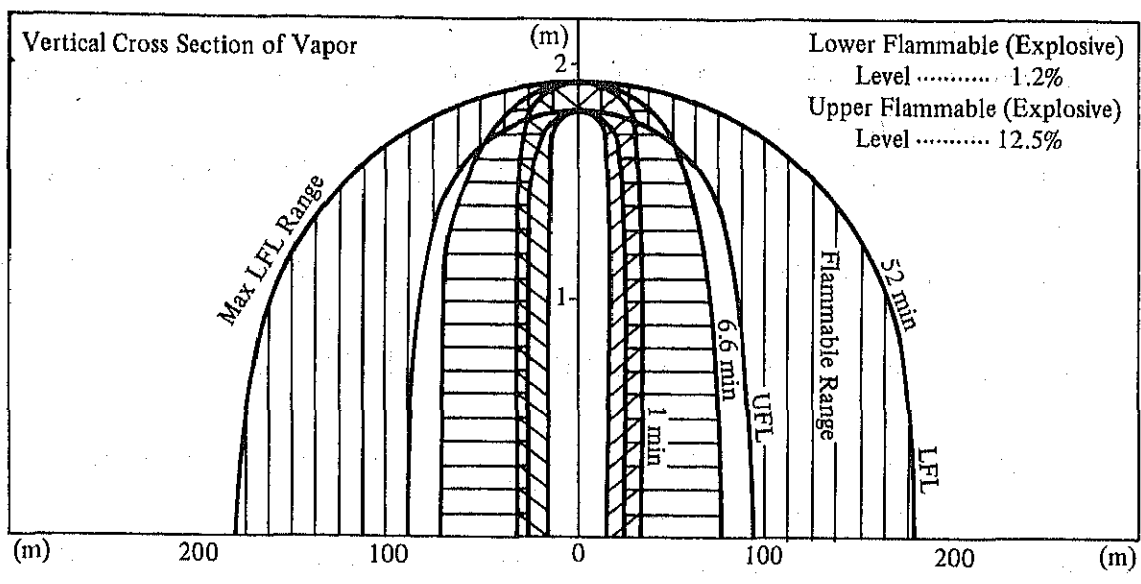
又流出時に一般船体鋼材が急激に冷却されると収縮による応力を生じ脆くなり、低温脆性破壊と呼ばれる顕著な結晶状の表面破壊を起こすことがある。

無焰爆発は新しいガスには起らない。古いガスに起ってもそれによる被害はない。

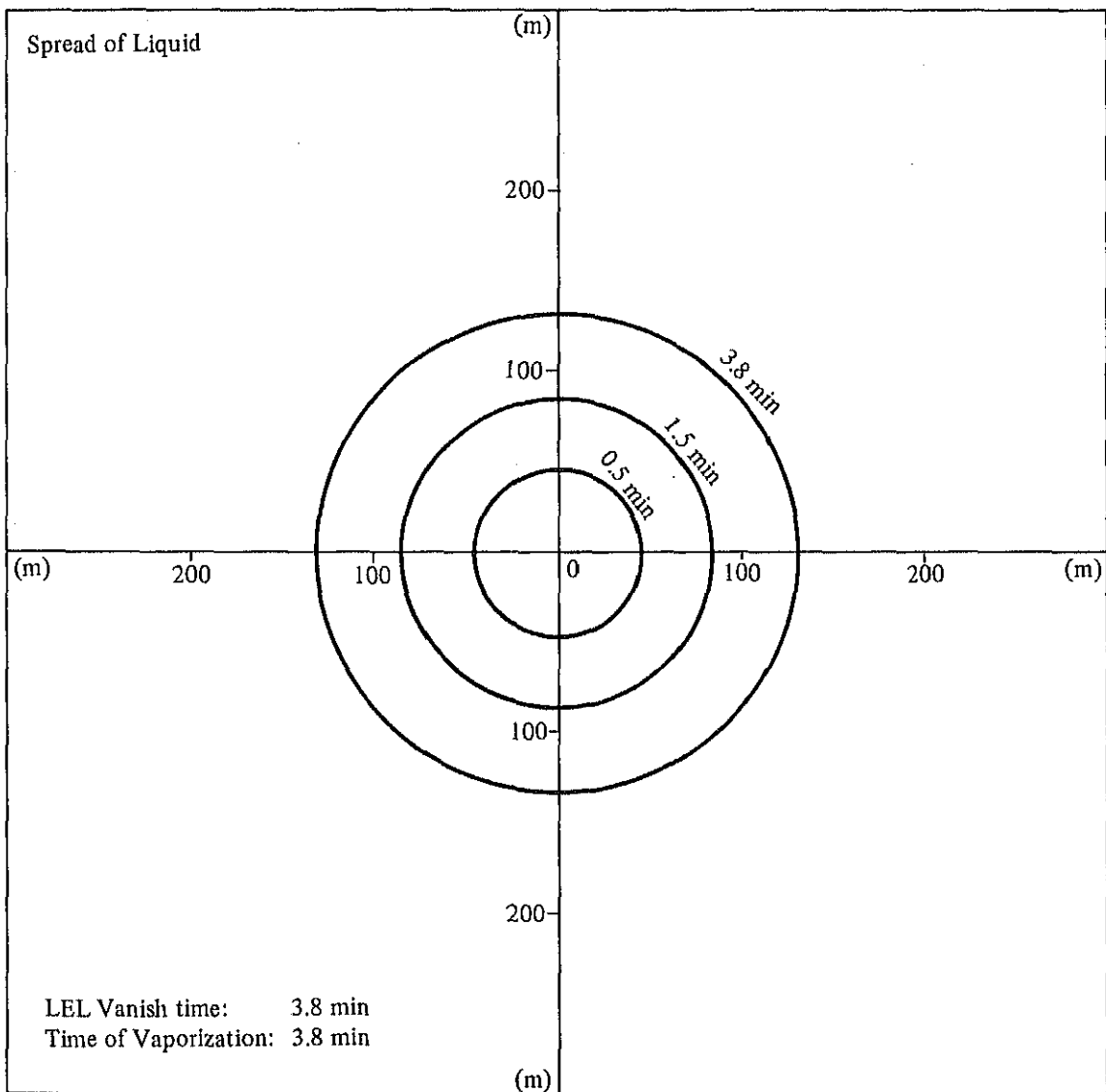
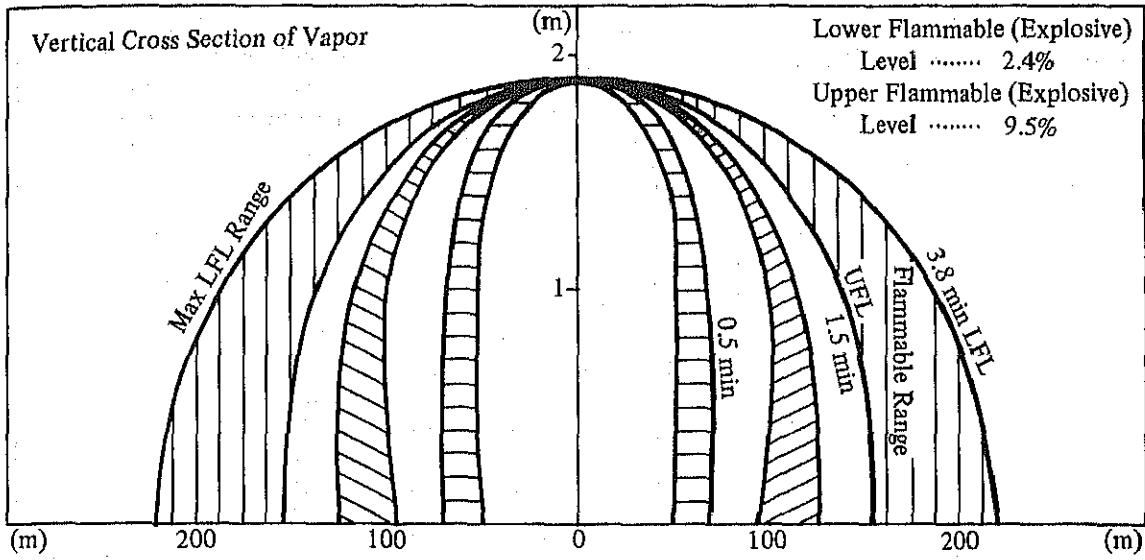
蒸気雲による爆発限界の推定は、LPGでは蒸気雲の外側、LNGでは蒸気雲の内側とされている。

### 2) 原油LPG及びLNGの液面及び蒸発ガスの拡散試算

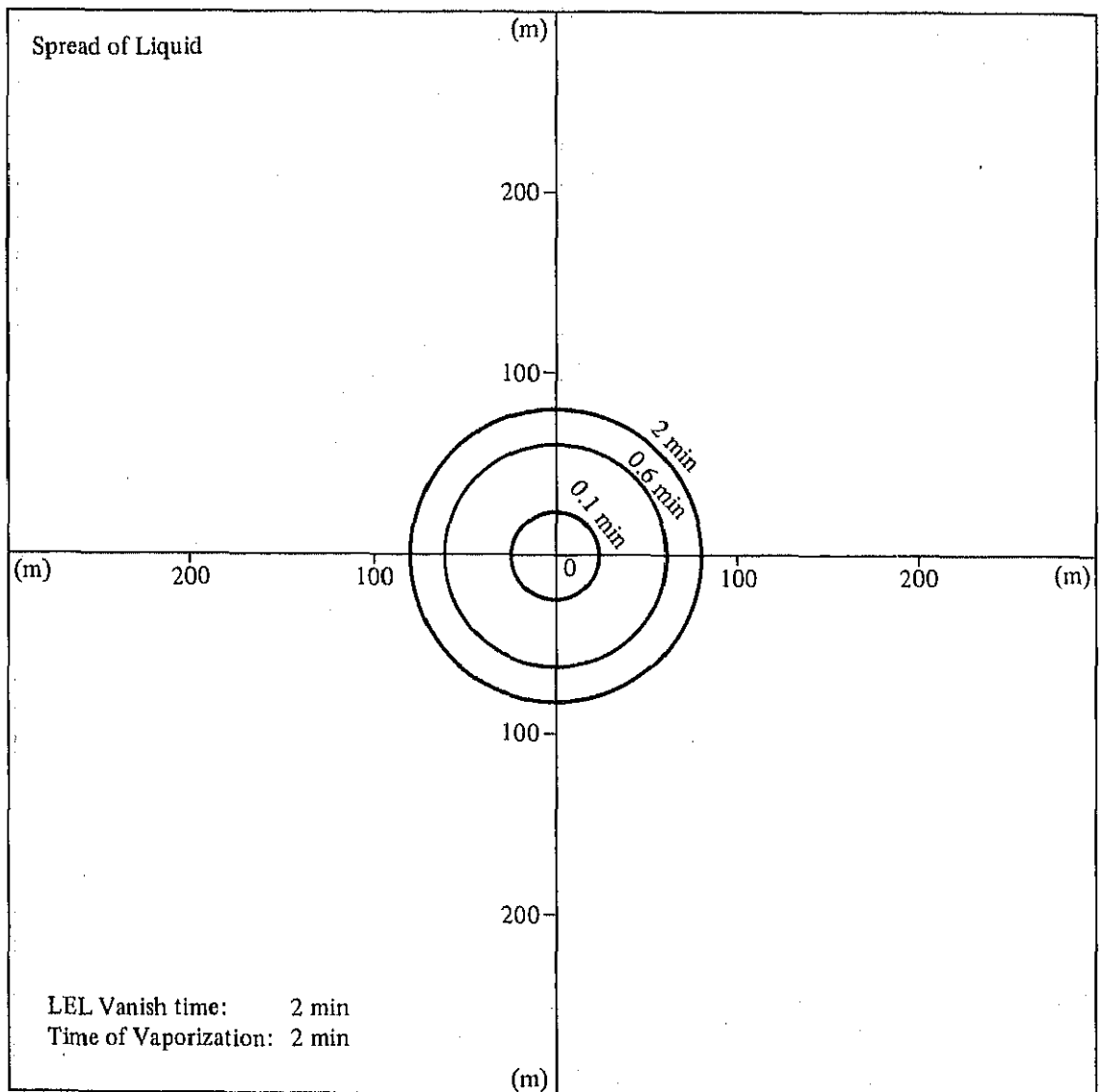
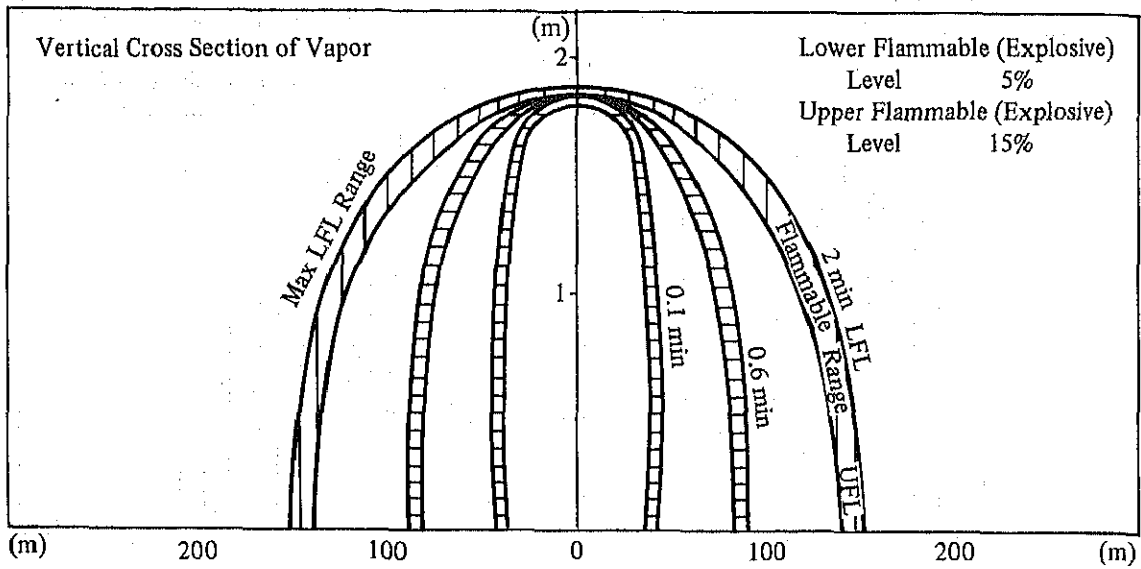
1,000  $\text{m}^3$ の原油, LPG及びLNGの拡散試算結果は次のとおりとなった。



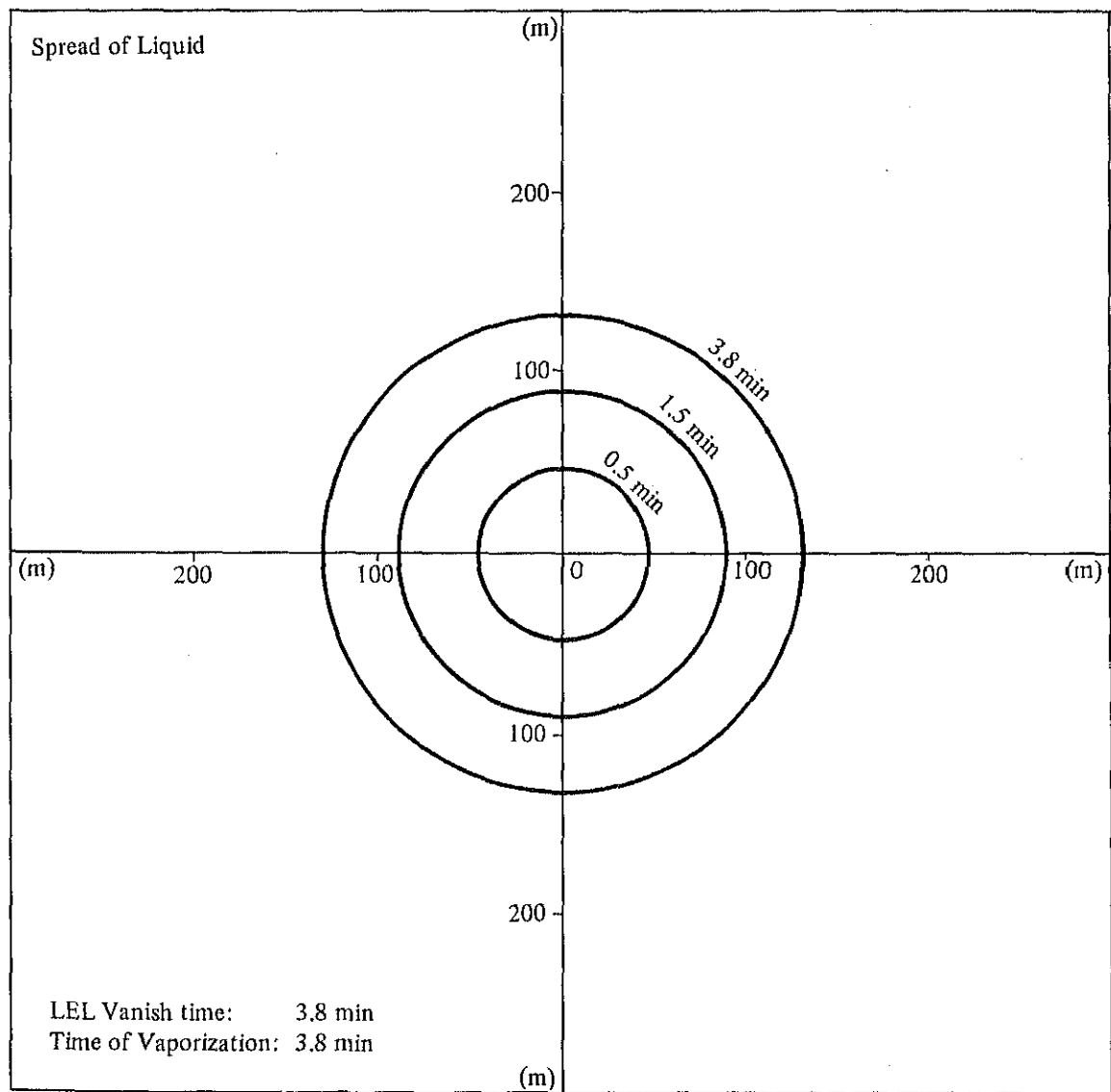
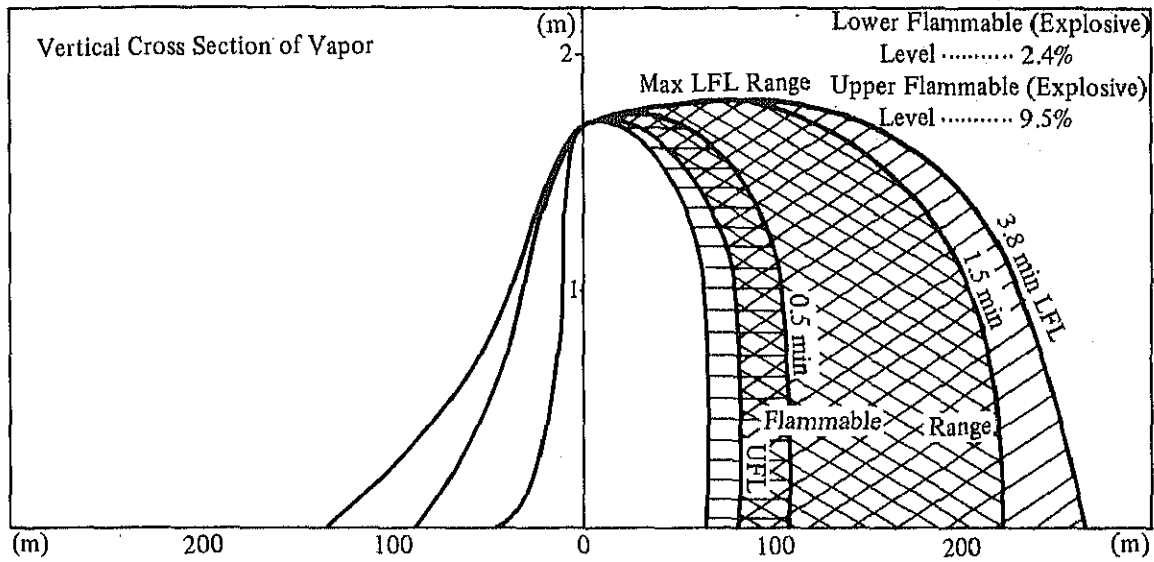
図V-2-(2)-4 原油の拡散 (Calm)



図V-2-(2)-5 LPGの拡散 (CaIm)



図V-2-(2)-6 LNGの拡散 (CaIm)



図V-2-(2)-7 LPGの拡散 (風速3メートル)

(i) 使用モデル

I) 原油液面拡散モデル

(元良式)

$$R = (\alpha \cdot t)^{1/8}$$

t : 経過時間 (S)

$$\alpha = \frac{16 \cdot g \cdot v^3}{\pi^3 \cdot C^2 \cdot \nu}$$

g : 重力加速度 (cm/S<sup>2</sup>)

V : 水面上の油の体積 (cm<sup>3</sup>)

C : 油の速度勾配係数 (-)

$\nu$  : 油の動粘度係数 (cm<sup>2</sup>/S)

但し、原油の蒸発は次式による。

$$q_m = 2.12 \times 10^{-7} \times 22.9 \times (1 + 0.121 \times U^{0.85})$$

q<sub>m</sub> : 蒸発速度 (gr/s/cm<sup>2</sup>)

U : ガス移動速度 (cm/s)

ii) LPG及びLNGの液面、拡散モデル

(Shaw - Briscoe式)

$$\begin{cases} v = A + B \cdot t - m/\rho \\ h = V/\pi r^2 \\ \dot{r} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta \cdot h} \\ \dot{m} = \pi r^2 \cdot \rho \cdot v \end{cases}$$

V : 時刻Tの残液量 (m<sup>3</sup>)

A : 瞬間流出量 (m<sup>3</sup>)

B : 流出速度 (m<sup>3</sup>/s)

m : 時刻tまでの蒸発量 (kg)

$\rho$  : 液体密度 (kg/m<sup>3</sup>)

h : 残液高さ (m)

r : 液面半径 (m)

g : 重力加速度 (m/S<sup>2</sup>)

$\Delta$  : 浮力係数 (-)

v : 蒸発速度 (m/S)

但し、浮力係数  $\Delta$  は次式で求める。

$$\Delta = \frac{\rho_w - \rho}{\rho_w} \quad \rho_w: \text{海水密度}$$

iii) 原油ガス、LPGガス及びLNGガスの拡散モデル

(坂上の式)

$$\bar{C} = \int_k^T c t \cdot dt$$



$$\begin{cases} K=0 & \tau < T \\ K=\tau - T & \tau > T \end{cases}$$

T : 蒸発完了時間

Ct : 坂上瞬間面源モデルにより求めたガス濃度

$$Ct = \rho(t) \cdot \frac{e^{-\frac{Z+H}{B}}}{B} \cdot \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left( \frac{x-u \cdot t+R}{\sqrt{A}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{x-u \cdot t-R}{\sqrt{A}} \right) \right\} \cdot \frac{1}{2} \\ \cdot \left( \operatorname{erf} \left( \frac{y+R}{\sqrt{A}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{y-R}{\sqrt{A}} \right) \right) \cdot I_0 \left( 2 \cdot \frac{\sqrt{hz}}{B} \right)$$

Ct : 時間 t に発生したガスによる (x, y, z) 点における濃度

$\rho(t)$  : 時間 tN-1 から tN までのガス発生量 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

h : ガス発生源高さ (m)

u : 風速 (m/sec)

R : 液面半径 (m)

A : 拡散パラメーター (m<sup>2</sup>)

$$A = \frac{1}{(3.03)^2} \cdot q_A (\rho_A \cdot x + e^{-\rho_A \cdot x} - 1)$$

B : 拡散パラメーター

$$B = q_B (\rho_B \cdot x + e^{-\rho_B \cdot x} - 1)$$

erf(x) : 誤差関数

I<sub>0</sub>(x) : 0 次の第一種ベッセル関数

$\rho_A$  : 坂上の気象パラメーター (1/m)

$q_A$  : 坂上の気象パラメーター (m<sup>2</sup>)

$\rho_B$  : 坂上の気象パラメーター (1/m)

$q_B$  : 坂上の気象パラメーター (m<sup>2</sup>)

### (iii) 計算条件

#### i) 原油の油面及びガスの拡散

流出量	1,000 (m <sup>3</sup> )
速度勾配係数	0.1 (-)
動粘度係数	0.1 (cm <sup>2</sup> /s)
ガス移動速度	0.5 (m/s)
蒸発速度	13 × 10 <sup>-4</sup> (g/cm <sup>2</sup> /min)

なお、蒸発は原油の蒸発成分比が 5.5% であるとし、全蒸発量が初期流出量の 5.5% になった時点で打切っている。

#### ii) LNG の液面及びガスの拡散

瞬間流出量	1,000 (m <sup>3</sup> )
-------	-------------------------

LNG密度(液)	465 (kg/m <sup>3</sup> )
蒸発速度	4.23×10 <sup>-4</sup> (m/s)
海水密度	1,025 (kg/m <sup>3</sup> )
ガス移動速度	0.5 (m/s)

iii) LPGの液面及びガスの拡散計算

瞬間流出量	1,000 (m <sup>3</sup> )
LPG密度(液)	580 (kg/m <sup>3</sup> )
蒸発速度	1.3×10 <sup>-4</sup> (m/s)
海水密度	1,025 (kg/m <sup>3</sup> )
ガス移動速度	0.5 (m/s)

iv) 風を考慮したLPGガスの拡散

瞬間流出量	1,000 (m <sup>3</sup> )
LPG密度(液)	580 (kg/m <sup>3</sup> )
蒸発速度	1.3×10 <sup>-4</sup> (m/s)
海水密度	1,025 (kg/m <sup>3</sup> )
ガス移動速度	3 (m/s)

3) 原油流出量の推定

(i) 原油積載タンカーがそのカーゴタンクに破口を生じ流出油を発生させるケースは大別して衝突及び乗揚げによるものが考えられる。

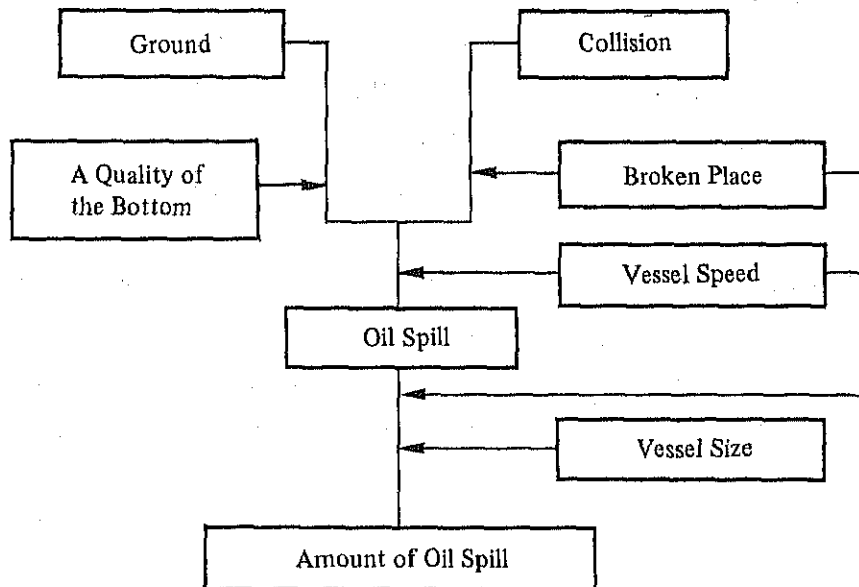
流出油量は、破口の位置及び積載タンクのサイズ等に、また破口ができるかどうかは衝突の場合、船速に、乗揚の場合更に底質等により大きく左右される。

流出油量を推定するためには、これらの要素を明確にしなければならないが、使用できる資料はタンカーサイズ及び流出油量だけで、船速及び破口の位置の要素については資料を得ることができなかつた。このため次の手法によって流出油量の推定を行った。

(ii) 使用モデル

衝突及び乗揚の確率は既に求めてあるが、原油積載タンカーが衝突及び乗揚のダメージにより油流出が発生するかどうかは、船速、破口の位置及び底質によるが、十分な資料がなく、これらを考慮に入れることができなかつた。このため全ての衝突事故と流出油を伴った衝突との比率及び全ての乗揚事故と流出油を伴った乗揚との比率から平均的な量を求めた。

流出油量は、破口の位置と同様にタンカーサイズに左右され、タンカーサイズ(総トン数)と流出油量の相関に着目し衝突と乗揚における流出油量とタンカーサイズについて、最小二乗法により、相関関係を求めた。また流出油量の推定フローは次図のとおり。



図V-2-(2)-8 流出油量の推定フロー

i) 油流出の発生率

衝突及び乗揚事故の件数並びにこれらの事故のうち油流出を伴ったものの件数を 1977～82の間、日本におけるものについて調査した結果は次表のとおりであった。

表V-2-(2)-4 タンカーの衝突

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Total
All Collisions	14	14	5	27	9	11	80
Collisions with Oil Spill	7	1	5	11	2	4	30

表V-2-(2)-5 タンカーの乗り揚げ

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Total
All Groundings	33	32	30	31	26	20	172
Groundings with Oil Spill	4	1	1	3	4	3	16

油流出の発生率は衝突及び乗揚について単純に各々

$\frac{\text{油流出を伴う衝突件数}}{\text{衝突件数}}$  及び  $\frac{\text{油流出を伴う乗揚件数}}{\text{乗揚件数}}$  として求めた。

衝突による油流出の発生率 = 0.375 (30/80)

乗揚による油流出の発生率 = 0.093 (16/172)

## ii) 流出油量の推定

流出油量の推定のため1977～1983の間に海上災害防止センターが出動した全事故について調査したが、タンカーの衝突及び乗揚件数は各々9及び2件と少なく、流出油量の推定に足るデータはなかった。このため1967年日本海難防止協会が作成した「大型タンカーによる災害防止に関する調査研究」に用いたロイドの資料を加え、タンカーの衝突件数については16件となった。

しかし乗揚件数は6件と少ないため、更に1983年のロイドの資料の乗揚を加えた。これにより衝突件数16件、乗揚件数14件のデータを得た。

これらのデータにより流出油量は総トン数との相関があると考え、両対数グラフにプロットしたところ、相関が認められた。(図V-2-(2)-9, 10参照)

このため総トン数(K)及び流出油量(Q)の相関は $Q = a \cdot K^b$  ( $\log Q = \log a + b \cdot \log K$ )の回帰曲線で表わし、最小二乗法により係数a及びbを求め、流出油量を推定することにした。

その結果は次の通りである。

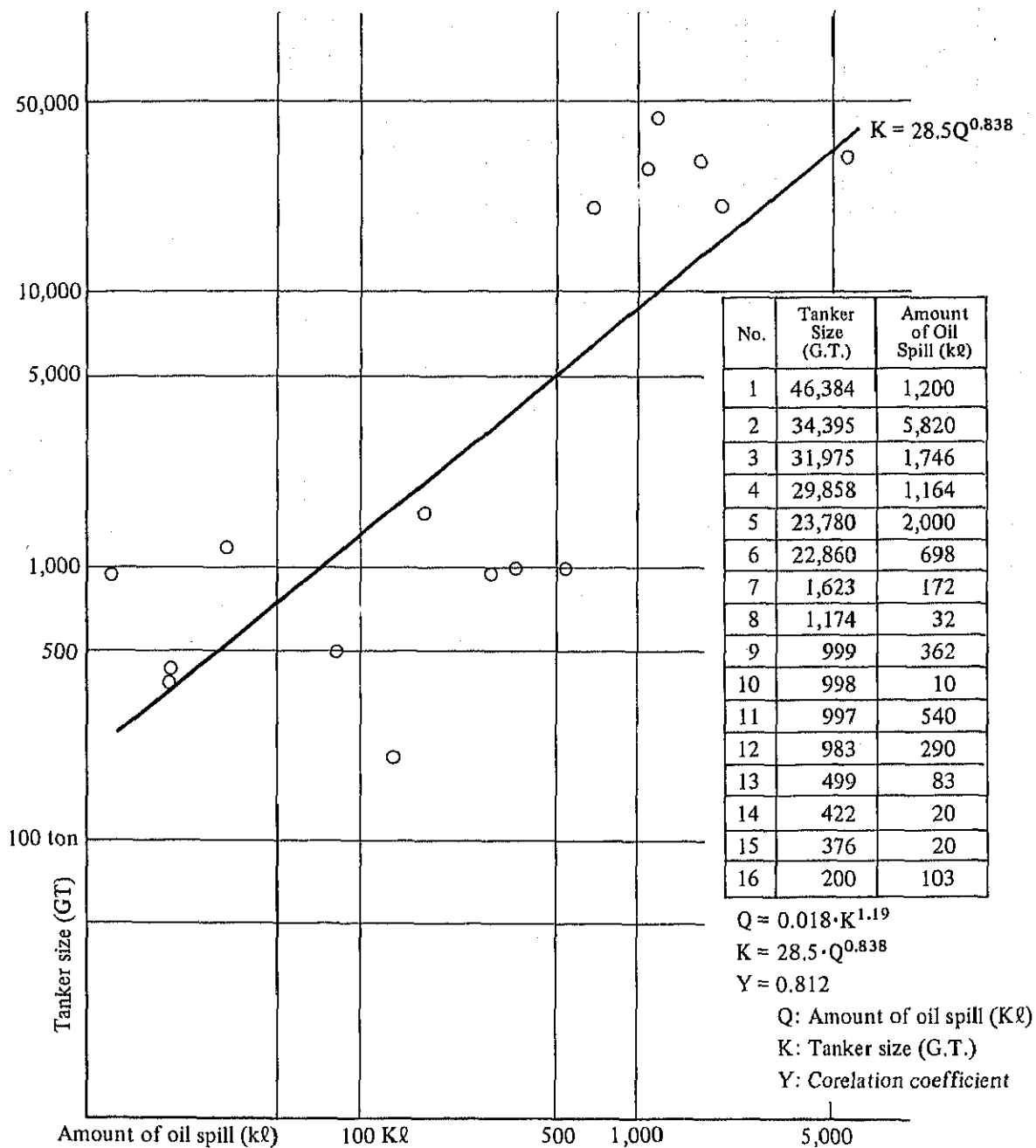
$$\text{衝突による流出油量 } Q = 0.018 K^{1.19} \text{ 又は } K = 28.5 Q^{0.838}$$

$$\text{乗揚による流出油量 } Q = 0.0018 K^{1.41} \text{ 又は } K = 89.89 Q^{0.710}$$

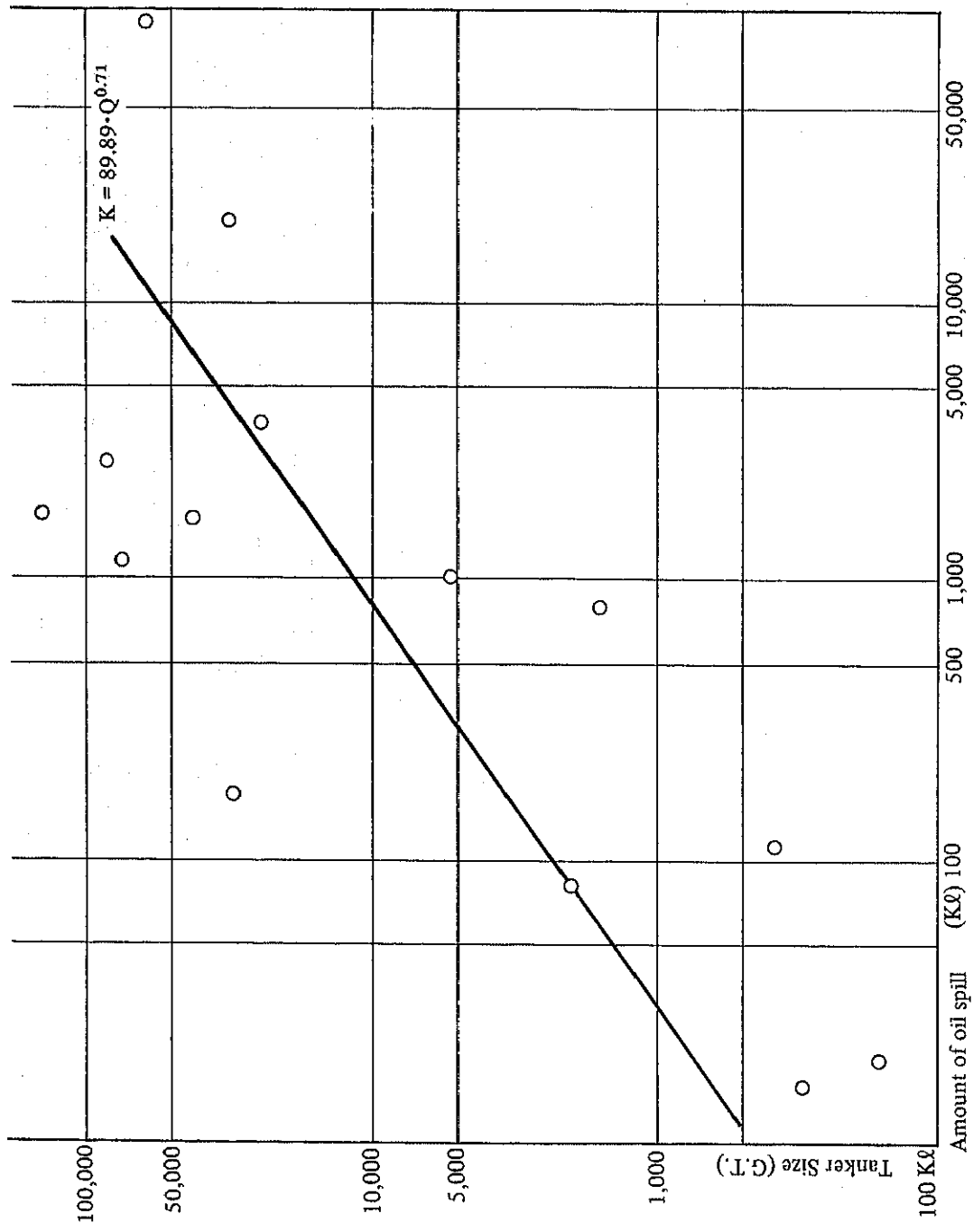
衝突及び乗揚の回帰曲線の相関係数は各々0.812及び0.797であった。

なお、スエズ運河における油流出は乗揚げだけで、衝突による油流出は発生しておらず、流出油量を推定するために十分な資料がなく、世界のこれらの事故を調査し、流出油量を推定したため、速力制限及び一方通航システム等の各種の安全対策を講ぜられ、しかも底質が砂というスエズ運河の特殊性を考慮に入れることができなかった。

このため流出油量の推定に当り上式の運用上、スエズ運河の特殊性に注意する必要がある。



図V-2-(2)-9 衝突時の総トン数と流出油量



No.	Tanker Size (G.T.)	Amount of Oil Spill (Kℓ)
1	153,610	1,590
2	83,819	2,421
3	75,272	1,145
4	61,261	93,131
5	44,331	1,630
6	31,720	18,626
7	29,660	159
8	24,825	3,490
9	5,279	984
10	2,996	795
11	1,975	80
12	370	114
13	199	6
14	161	10

$Q = 0.0018K^{1.41}$

$K = 89.89Q^{0.71}$

$Y = 0.797$

Q: Amount of oil spill (Kℓ)

K: Tanker Size (G.T.)

Y: Correlation coefficient

図V-2-2-(2)-10 乗り揚げ時の総トン数と流出油量

### (iii) 流出規模別流出確率の推定

(i), (ii)のモデルおよびパラメータを用いる事により, 流出の基礎原因となる事故確率をもとにして, 流出規模別に流出確率を求めることができる。

流出確率(通航船一隻あたりの)は以下の手順で求める。

#### i) 対象流出量の設定(Q)

ここでは, 確率を求めるべき流出量として次の3ケースとした。

- ① 0~10,000 (t)
- ② 10,000~20,000 (t)
- ③ 20,000~

#### ii) 対象船型範囲の設定(K)

(ii)の $P_V(k)$ を積分する場合の範囲 $K_1 \sim K_2$ ,  $K_1 \sim K_3$ ,  $K_3 \sim K_2$ 等の設定であり, 事故を起こした場合に上記の3ケース量の流出が予想される船型を, あらかじめ求めたQとKとの関係により求める。

(乗揚げの場合… $K = 89.89 \times Q^{0.71}$ を用いる)

- ① 0~62,000 DWT (0~10,000(t)の場合)
- ② 62,000~102,000 DWT (10,000~20,000(t)の場合)
- ③ 102,000 DWT~ (20,000(t)~の場合)

(衝突の場合… $K = 28.5 \times Q^{0.838}$ を用いる)

- ① 0~64,000 DWT (0~10,000(t)の場合)
- ② 64,000~115,000 DWT (10,000~20,000(t)の場合)
- ③ 115,000 DWT~ (20,000(t)~の場合)

#### iii) 流出確率( $P_{sc}$ , $P_{sc}$ )

船舶が事故を起こした場合に, 原油が多かれ少かれ流出する確率であり, (ii)の実証データより, (乗揚げの場合) …… 0.093

(衝突の場合) …… 0.375 を用いる。

#### iv) 船型範囲シェア

(ii)の船型範囲においては, 章において求めた事故確率は一定であるので, それぞれの範囲での船型分布(シェア)  $\int_{K_1}^{K_2} P_V(k) dk$  を求めればよい。

#### v) 原油積載船確率

確率は通航船一隻あたりとして定義されているので, 原油を積んでいる船舶の確率を乗じる必要がある。これについては,

(全船舶に占めるタンカー比率) × (各対象船型範囲のタンカーの原油積載比率) により, 船型範囲別に求めた。

なお、データとしては1982年の通航実績(インテリムレポート(I), pp 121-122)を用いた。

以上のデータを、原因となる事故の確率と共に、(ii)のモデル式に代入することにより、次の原因事故別

- ① 乗り揚げ
- ② 後方衝突
- ③ 対面衝突

に、また次の時期別

- ① 現状
- ② 第Ⅱ期拡張工事計画後

に対象とする規模にたいする流出確率を求めることができる。

表V-2-(2)-6, V-2-(2)-7, V-2-(2)-8は上の原因事故別に流出確率を求めた結果である。

表V-2-(2)-6 流出量別原油流出確率(乗り揚げによるもの)

Spill Amount (Q: t)	Spill Amount (Q: t)		
	0~10,000	10,000~20,000	20,000~
Necessary Data			
Ship Size Range (K, DWT)	0~62,000	62,000~102,000	102,000~
Representative Size (K, DWT)	38,000	83,000	136,000
Spill Probability (P <sub>sc</sub> )	0.093	0.093	0.093
Size Proportion $\int_{K_1}^{K_2} P_v(k)dk$	0.648	0.272	0.08
Oil Loading Probability (P <sub>l</sub> )	0.089	0.140	0.149
Accident Probability			
At Present	$1.96 \times 10^{-3}$	$1.96 \times 10^{-3}$	$1.96 \times 10^{-6}$
After Second Stage Development Project	$0.59 \times 10^{-3}$	$0.70 \times 10^{-3}$	$0.70 \times 10^{-6}$
Probability of Oil Spill of A Certain Amount			
At Present	$1.05 \times 10^{-5}$	$6.94 \times 10^{-6}$	$2.17 \times 10^{-6}$
After Second Stage Development Project	$0.31 \times 10^{-5}$	$2.48 \times 10^{-6}$	$0.76 \times 10^{-6}$



表 V - 2 - (2) - 7 流出量別原油流出確率 ( 後方衝突によるもの )

Spill Amount (Q: t)	0 ~ 10,000	10,000 ~ 20,000	20,000 ~
Necessary Data			
Ship Size Range (K, DWT)	0 ~ 64,000	64,000 ~ 115,000	115,000 ~
Representative Size (K, DWT)	36,000	90,000	161,000
Spill Probability (P <sub>sc</sub> )	0.375	0.375	0.375
Size Proportion $\int_{K_1}^{K_2} P_v(k) dk$	0.659	0.222	0.119
Oil Loading Probability (P <sub>t</sub> )	0.089	0.140	0.149
Accident Probability			
At Present	$0.34 \times 10^{-3}$	$0.15 \times 10^{-5}$	$0.15 \times 10^{-5}$
After Second Stage Development Project	$0.68 \times 10^{-4}$	$0.55 \times 10^{-6}$	$0.55 \times 10^{-6}$
Probability of Oil Spill of A Certain Amount			
At Present	$7.48 \times 10^{-6}$	$1.75 \times 10^{-8}$	$9.97 \times 10^{-9}$
After Second Stage Development Project	$1.49 \times 10^{-6}$	$0.64 \times 10^{-8}$	$3.65 \times 10^{-9}$

表 V - 2 - (2) - 8 流出量別原油流出確率 ( 対面衝突によるもの )

Spill Amount (Q: t)	0 ~ 10,000	10,000 ~ 20,000	20,000 ~
Necessary Data			
Ship Size Range (K, DWT)	0 ~ 64,000	64,000 ~ 115,000	115,000 ~
Representative Size (K, DWT)	36,000	90,000	161,000
Spill Probability (P <sub>sc</sub> )	0.375	0.375	0.375
Size Proportion $\int_{K_1}^{K_2} P_v(k) dk$	0.659	0.222	0.119
Oil Loading Probability (Pt)	0.089	0.140	0.149
Accident Probability			
At Present			
Junction (Km 61)	$4.55 \times 10^{-7}$	$4.55 \times 10^{-7}$	$3.26 \times 10^{-7}$
Junction (Km 94)	$6.77 \times 10^{-7}$	$6.77 \times 10^{-7}$	$4.33 \times 10^{-7}$
Junction (Km 123)	$0.25 \times 10^{-7}$	$0.23 \times 10^{-7}$	$0.23 \times 10^{-7}$
Two Way Pass (S.L.)	$2.67 \times 10^{-4}$	$2.67 \times 10^{-4}$	$2.61 \times 10^{-4}$
Two Way Pass (N.L. ~ S.L.)	$2.16 \times 10^{-4}$	$2.16 \times 10^{-4}$	$2.12 \times 10^{-4}$
Two Way Pass (Hm. 80)	$4.25 \times 10^{-4}$	$4.25 \times 10^{-4}$	$4.16 \times 10^{-4}$
Waiting Area (Port Said)	$4.04 \times 10^{-5}$	$3.90 \times 10^{-5}$	$3.90 \times 10^{-5}$
Waiting Area (Great Bitter Laka)	$8.11 \times 10^{-5}$	$8.09 \times 10^{-5}$	$8.09 \times 10^{-5}$
After Second Stage Development Project			
Junction (Km 61)	$2.95 \times 10^{-7}$	$2.95 \times 10^{-7}$	$2.11 \times 10^{-7}$
Junction (Km 94)	$4.39 \times 10^{-7}$	$4.39 \times 10^{-7}$	$2.81 \times 10^{-7}$
Junction (Km 123)	$0.16 \times 10^{-7}$	$0.16 \times 10^{-7}$	$0.15 \times 10^{-7}$
Two Way Pass (S.L.)	$2.67 \times 10^{-4}$	$2.67 \times 10^{-4}$	$2.61 \times 10^{-4}$
Two Way Pass (N.L. ~ S.L.)	$2.16 \times 10^{-4}$	$2.16 \times 10^{-4}$	$2.12 \times 10^{-4}$
Two Way Pass (Hm. 80)	$4.25 \times 10^{-4}$	$4.25 \times 10^{-4}$	$4.16 \times 10^{-4}$
Waiting Area (Port Said)	$4.04 \times 10^{-5}$	$3.90 \times 10^{-5}$	$3.90 \times 10^{-5}$
Waiting Area (Great Bitter Lake)	$8.11 \times 10^{-5}$	$8.09 \times 10^{-5}$	$8.09 \times 10^{-5}$
Probability of Oil Spill of A Certain Amount			
At Present			
Junction (Km 61)	$1.00 \times 10^{-8}$	$5.32 \times 10^{-9}$	$2.16 \times 10^{-9}$
Junction (Km 94)	$1.48 \times 10^{-8}$	$7.92 \times 10^{-9}$	$2.88 \times 10^{-9}$
Junction (Km 123)	$0.55 \times 10^{-9}$	$0.26 \times 10^{-9}$	$1.53 \times 10^{-9}$
Two Way Pass (S.L.)	$5.87 \times 10^{-6}$	$3.12 \times 10^{-6}$	$1.74 \times 10^{-6}$
Two Way Pass (N.L. ~ S.L.)	$4.74 \times 10^{-6}$	$2.52 \times 10^{-6}$	$1.41 \times 10^{-6}$
Two Way Pass (Hm. 80)	$9.34 \times 10^{-6}$	$4.97 \times 10^{-6}$	$2.77 \times 10^{-6}$
Waiting Area (Port Said)	$8.88 \times 10^{-7}$	$4.56 \times 10^{-7}$	$2.59 \times 10^{-7}$
Waiting Area (Great Bitter Lake)	$1.73 \times 10^{-6}$	$9.47 \times 10^{-7}$	$5.38 \times 10^{-7}$
After Second Stage Development Project			
Junction (Km 61)	$6.49 \times 10^{-9}$	$3.45 \times 10^{-9}$	$1.40 \times 10^{-9}$
Junction (Km 94)	$9.54 \times 10^{-9}$	$5.13 \times 10^{-9}$	$1.87 \times 10^{-9}$
Junction (Km 123)	$0.35 \times 10^{-9}$	$0.18 \times 10^{-9}$	$1.00 \times 10^{-10}$
Two Way Pass (S.L.)	$5.87 \times 10^{-6}$	$3.12 \times 10^{-6}$	$1.74 \times 10^{-6}$
Two Way Pass (N.L. ~ S.L.)	$4.74 \times 10^{-6}$	$2.52 \times 10^{-6}$	$1.41 \times 10^{-6}$
Two Way Pass (Hm. 80)	$9.34 \times 10^{-6}$	$4.97 \times 10^{-6}$	$2.77 \times 10^{-6}$
Waiting Area (Port Said)	$8.88 \times 10^{-7}$	$4.56 \times 10^{-7}$	$2.59 \times 10^{-7}$
Waiting Area (Great Bitter Lake)	$1.73 \times 10^{-6}$	$9.47 \times 10^{-7}$	$5.38 \times 10^{-7}$

4) Port Said, Great Bitter Lake 及び Suez Bay における原油拡散試算

(i) 仮想事故

仮想事故を表V - 2 - (2) - 9 に示す。

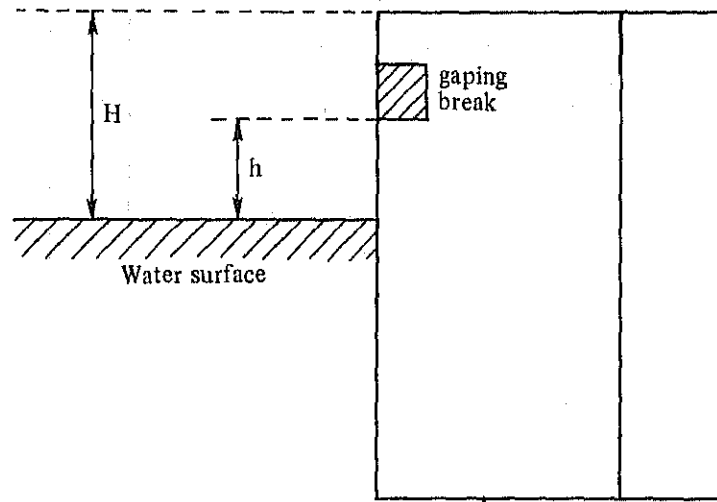
表 V-2-1 (2) - 9 假想事故

Day and Time Accident (collision)	Meteorology	Colliding Ship	Place of Collision	Ship Part Involved in Collision	Extent of Damage
X'th Day 06:00	Cloudy Wind NNW 8 m/s	Northbound, half-loaded crude oil tanker (260,158 DWT) Northbound, General Cargo Vessel (20,000 DWT)	Suez Bay, West of Conry Rock, Vicinity: 29°-48'.6N 32°-33'.2E	The bow of the cargo boat collided with the third tank (24,831 m <sup>3</sup> , fully loaded) of the half-loaded crude oil tanker	A. A gaping break of 5 m <sup>2</sup> was made in the side wall of the tank, 7.6 m above the water line. B. A gaping break of 10 m <sup>2</sup> was made in the side wall of the tank, 1.6 m above the water line. C. A gaping break of 5 m <sup>2</sup> was made in the side wall of the tank, 6 m above the water line, and another gaping break of 10 m <sup>2</sup> was made in the side wall of the tank, 1.36 m below the water line.
Y'th Day 11:00	Cloudy Wind N 8 m/s	Northbound, half-loaded crude oil tanker (260,158 DWT) Southbound, General Cargo Vessel (20,000 DWT)	Great Bitter Lake, South southeast of North Light Vicinity: 30°-21'.1N 32°-22'.5E	ditto	ditto
Z'th Day 17:00	Cloudy Wind N 8 m/s	Northbound, half-loaded crude oil tanker (260,158 DWT) Southbound, General Cargo Vessel (20,000 DWT)	Port Said Vicinity: 31°-19'.6N 32°-22'.3E	ditto	ditto

(ii) 流出量推定

1) 計算方法

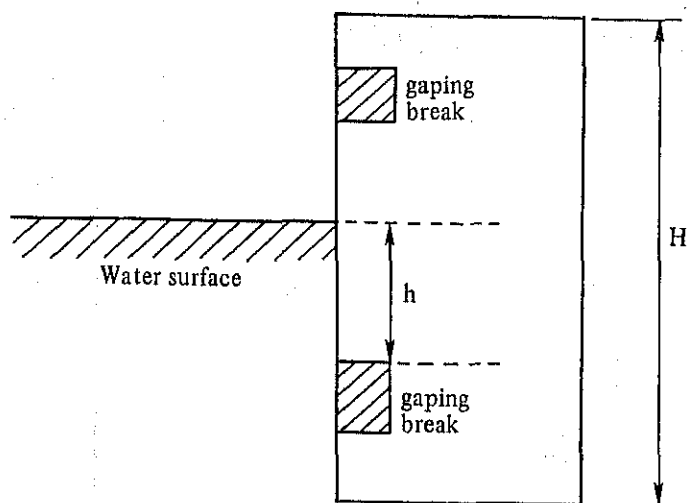
(a) 水面上に破口がある場合の流出量の計算方法



Bottom area of a tank:  $A$   
Specific gravity of oil:  $\rho_0$   
Amount of spill (weight):  $W = (H - h) \times A \times \rho_0$

図V-2-(2)-11 水面上に破口がある場合

(b) 水面上及び水面下に破口がある場合の流出量の計算方法



Bottom area of a tank:  $A$   
 Specific gravity of oil:  $\rho_0$   
 Amount of spill (weight):  $W$   
 Specific gravity of sea water:  $\rho_w$

$$W = H \times A \times \rho_0 - h \times A \times \rho_w$$

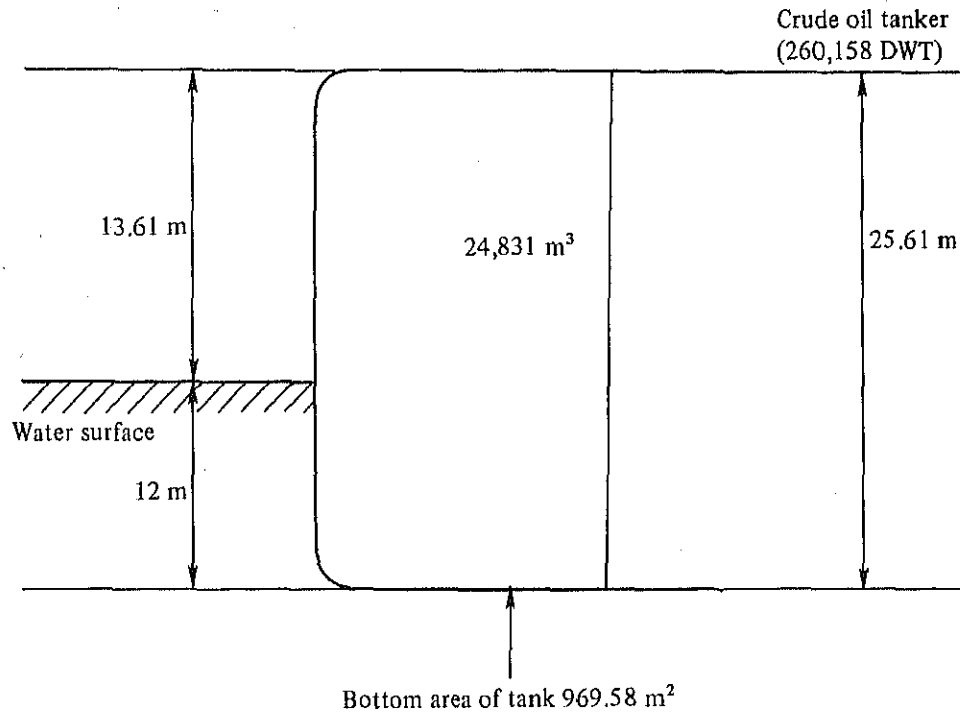
図V-2-(2)-12 水面上及び水面下に破口がある場合

ii) 計算演算

(a) 計算条件

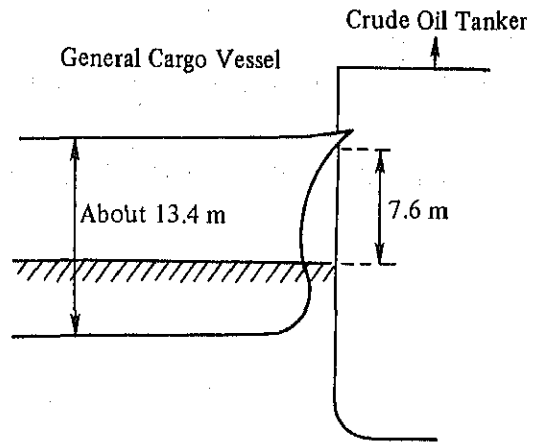
表V-2-(2)-6の仮想事故にもとづき図V-2-(2)-13に示すとおりあり得べき計算条件を定めた。

なお、推定し得る事故A・B・Cの相対関係は図V-2-(2)-14のとおりである。

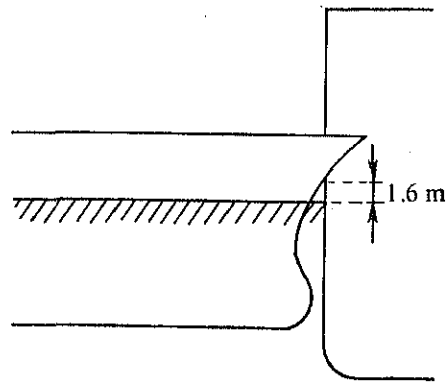


図V-2-(2)-13 被衝突船のタンク寸法

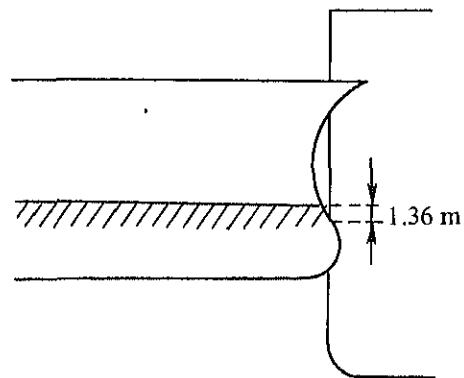
Hypothetical accident: A  
 General Cargo Vessel: 20,000 DWT class  
 Half-loaded condition



Hypothetical accident: B  
 General Cargo Vessel: 20,000 DWT class  
 Fully loaded



Hypothetical accident: C  
 General Cargo Vessel: 20,000 DWT class  
 Collision of the spherical part of  
 the bow below the water surface



图V-2-(2)-14 事故推定



(b) 計算及び計算結果

a) 事故推定：Aの場合の流出量

$$H = 13.61 \text{ (m)}$$

$$h = 7.60 \text{ (m)}$$

$$\zeta_0 = 0.86$$

$$A = 969.58 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{流出量：} W = (13.61 - 7.60) \times 969.58 \times 0.86 \doteq 5,000 \text{ トン}$$

b) 事故推定：Bの場合の流出量

$$H = 13.61 \text{ (m)}$$

$$h = 1.60 \text{ (m)}$$

$$\zeta_0 = 0.86$$

$$A = 969.58 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{流出量：} W = (13.61 - 1.60) \times 969.58 \times 0.86 \doteq 10,000 \text{ トン}$$

c) 事故推定：Cの場合の流出量

$$H = 25.61 \text{ (m)}$$

$$h = 1.36 \text{ (m)}$$

$$\zeta_0 = 0.86$$

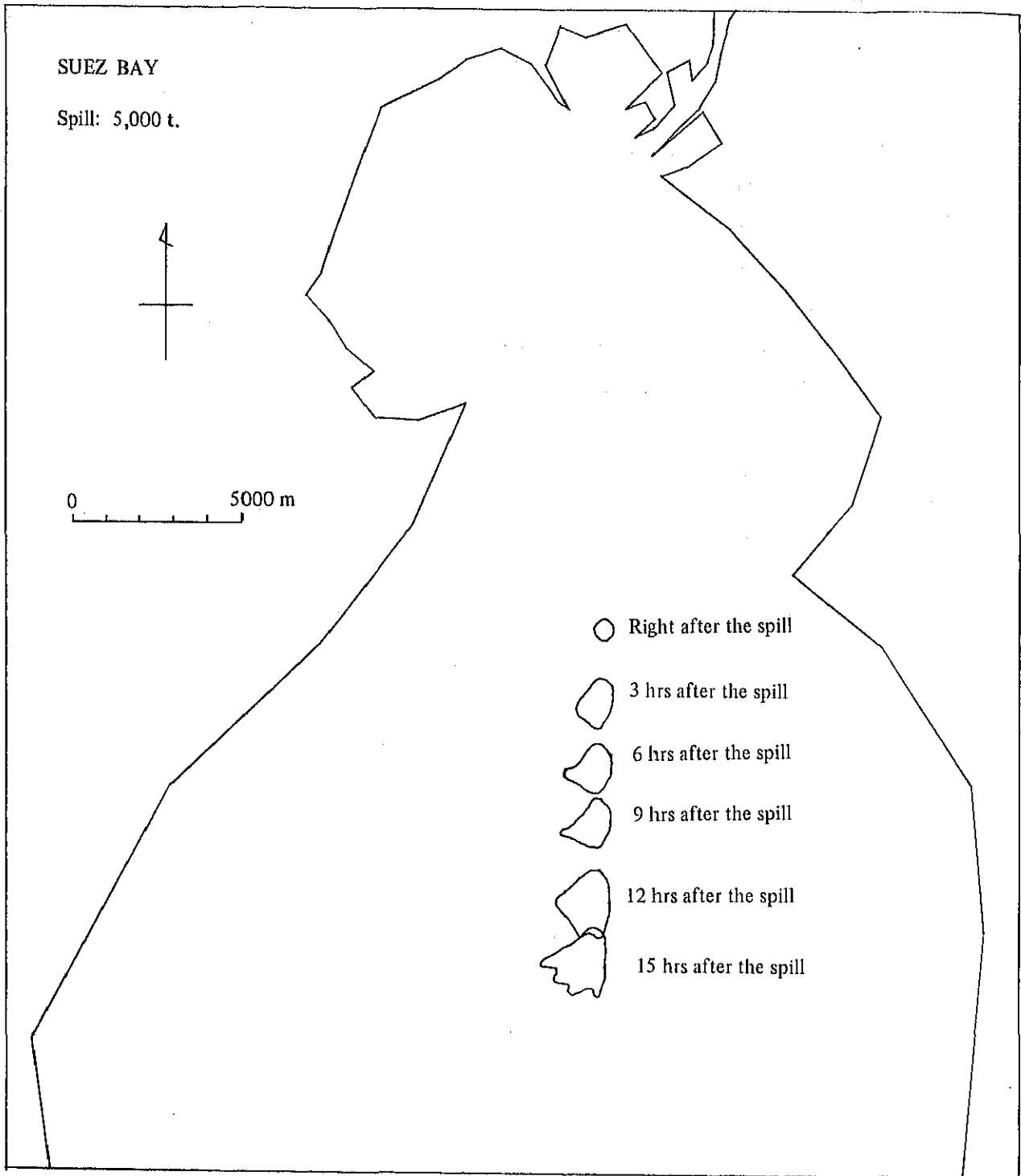
$$\zeta_w = 1.025$$

$$A = 969.58 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{流出量：} W = 25.61 \times 969.58 \times 0.86 - 1.36 \times 969.58 \times 1.025 \doteq 20,000 \text{ トン}$$

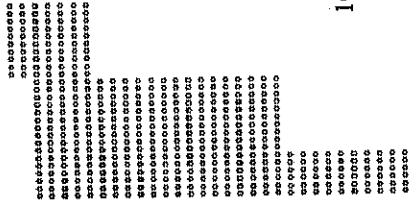
(iii) 流出原油拡散計算

計算結果は次図のとおりである。



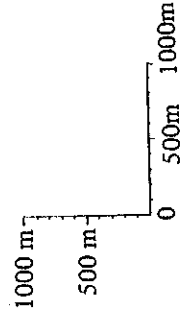
図V-2-(2)-15 Suez Bayにおける原油5000トンの拡散計算結果

RASEL - ADABIYA



SUEZ BAY

Spill: 5,000 t.

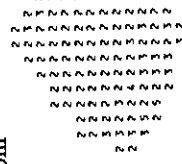


Slick thickness	Designation
Less than 0.5 mm	1
0.5 ~ 1.0 mm	2
1.0 ~ 1.5	3
1.5 ~ 2.0	4
2.0 ~ 2.5	5
2.5 ~ 3.0	6
3.0 ~ 3.5	7
3.5 ~ 4.0	8
More than 4.0 mm	9
Land	*

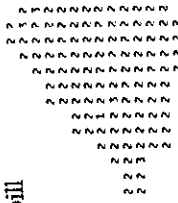
Right after the spil



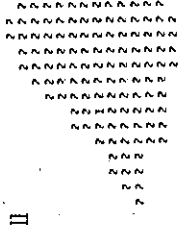
3 hrs after the spill



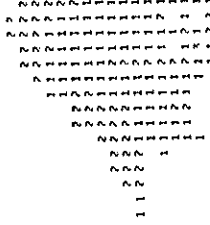
6 hrs after the spill



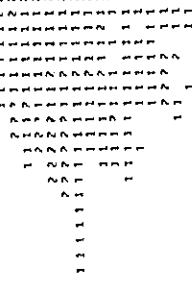
9 hrs after the spill



12 hrs after the spill

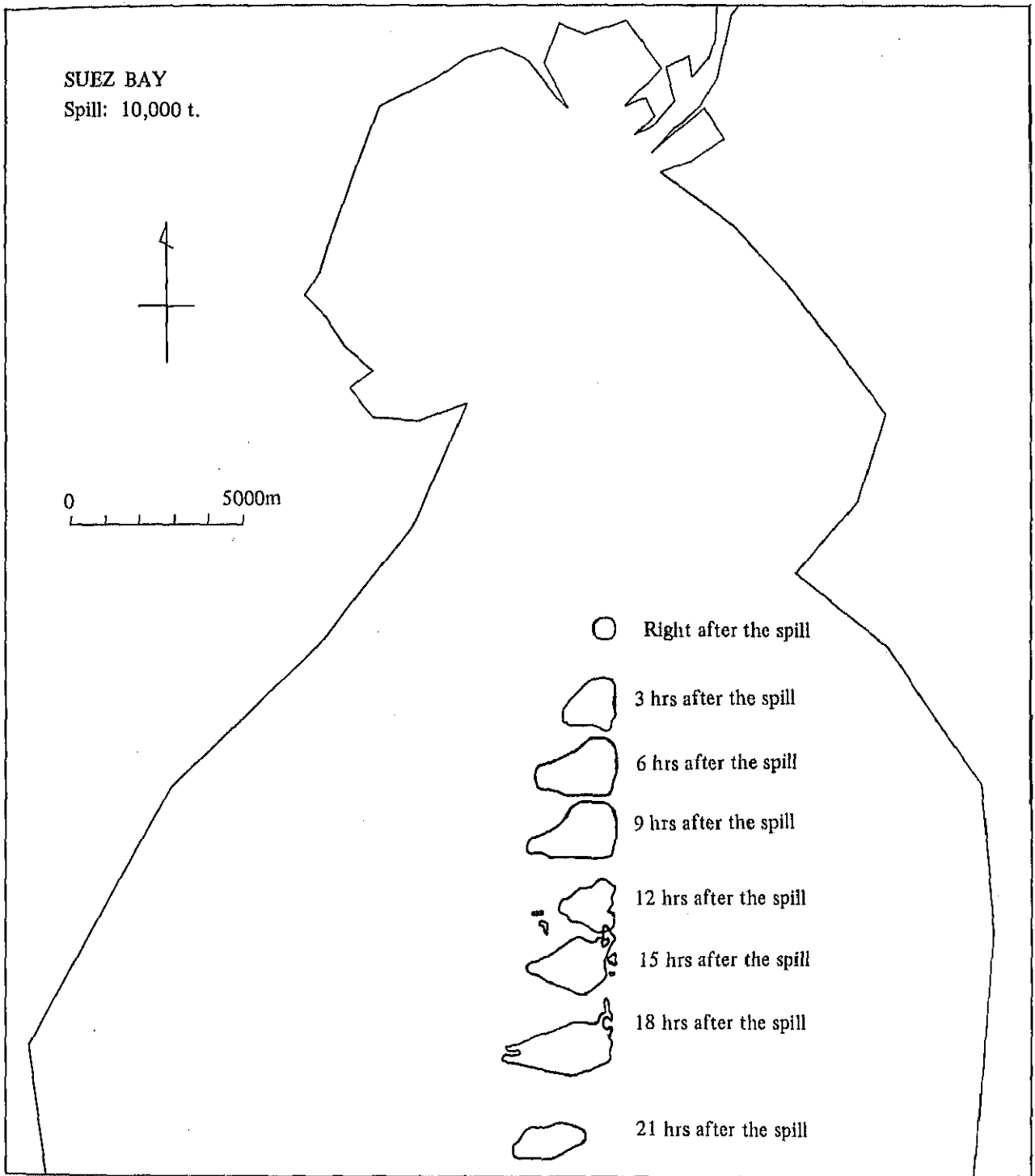


15 hrs after the spill



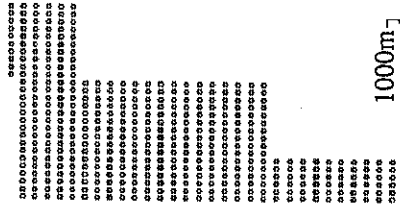
図V-2-2 (2)-16 Suez Bayにおける原油5000トンの拡散計算結果拡大図



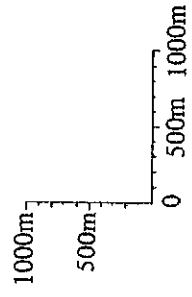


図V-2-(2)-17 Suez Bayにおける原油10,000トンの拡散計算結果

RASEL - ADBIYA



SUEZ BAY  
Spill: 5,000 t.



Slick thickness	Designation
Less than 0.5 mm	1
0.5 ~ 1.0 mm	2
1.0 ~ 1.5	3
1.5 ~ 2.0	4
2.0 ~ 2.5	5
2.5 ~ 3.0	6
3.0 ~ 3.5	7
3.5 ~ 4.0	8
More than 4.0 mm	9
Land	*

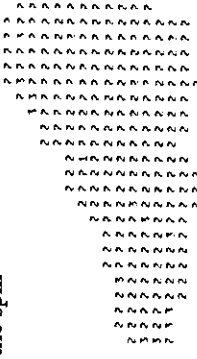
Right after the spill



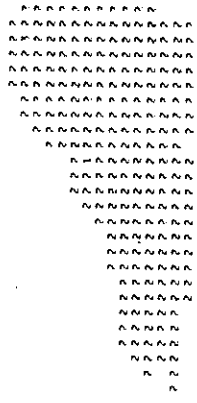
3 hrs after the spill



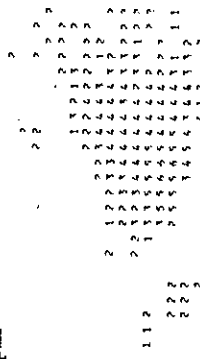
6 hrs after the spill



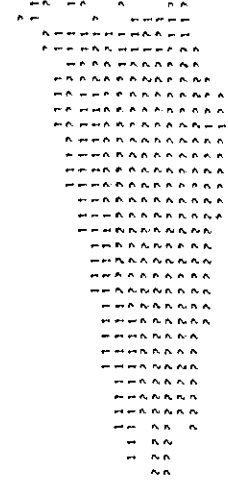
9 hrs after the spill



12 hrs after the spill



18 hrs after the spill

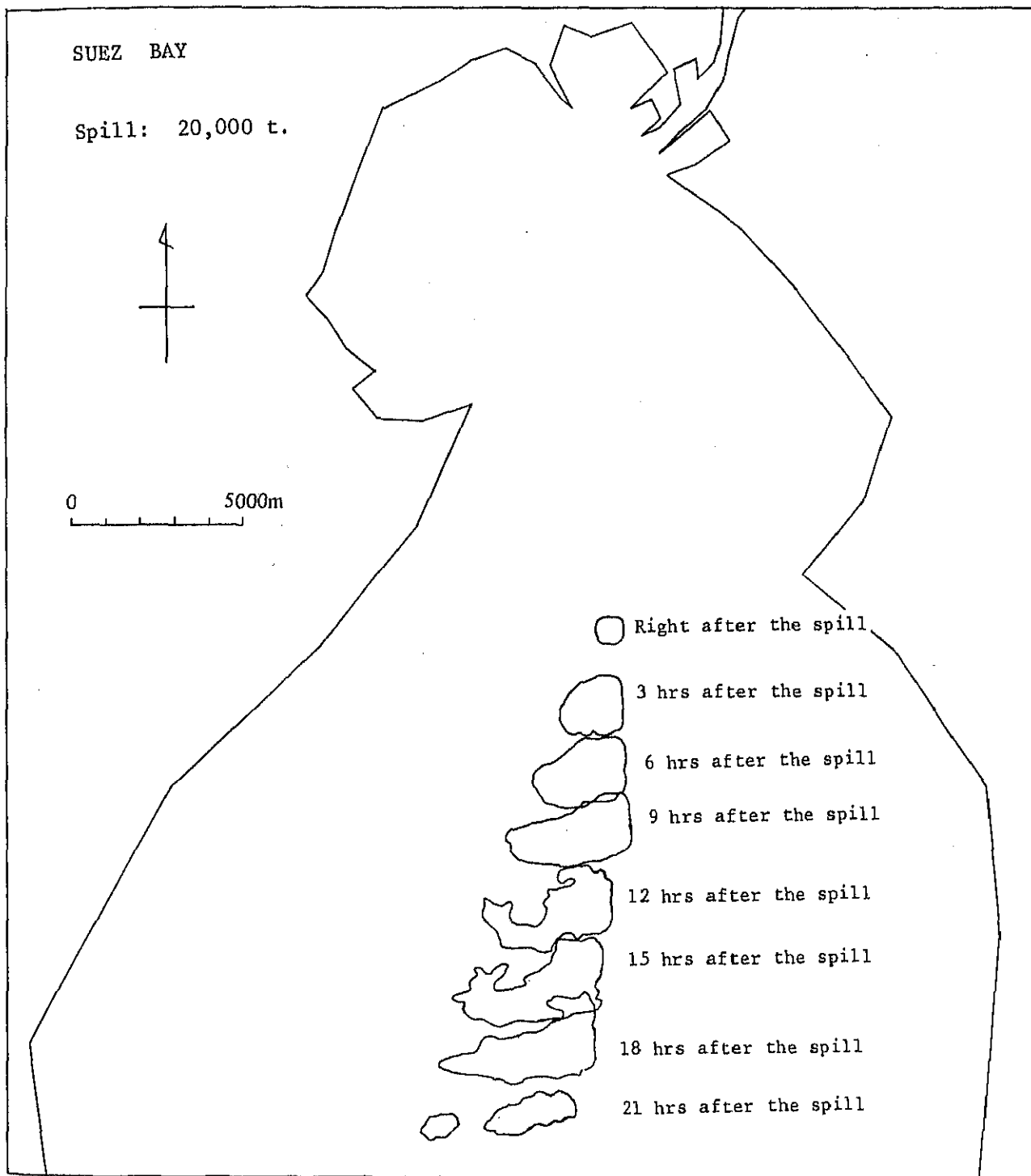


21 hrs after the spill



図V-2- (2) -18 Suez Bay における原油 10000 トンの拡散計算結果拡大図



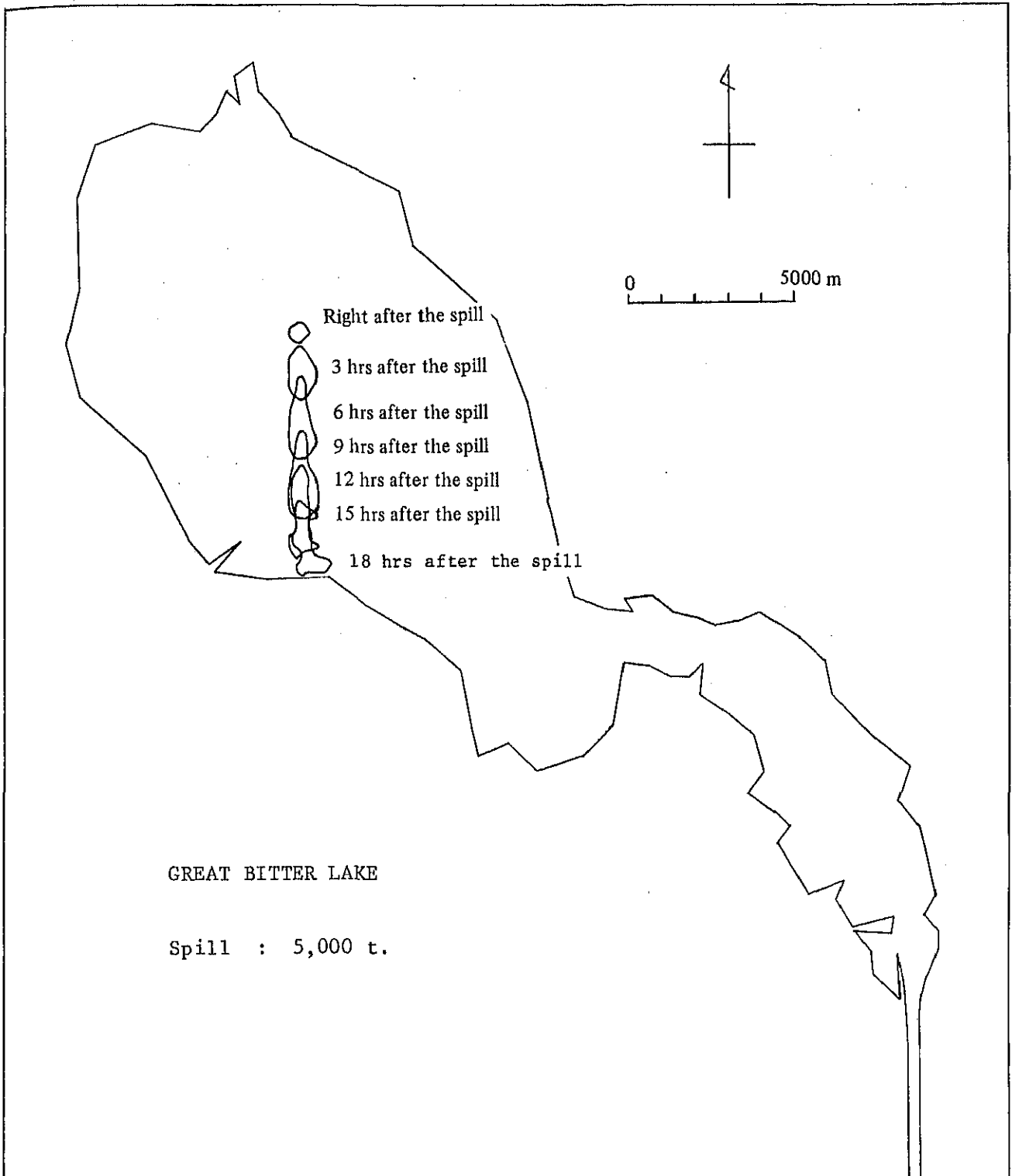


図V-2-(2)-19 Suez Bayにおける原油20,000トンの拡散計算結果





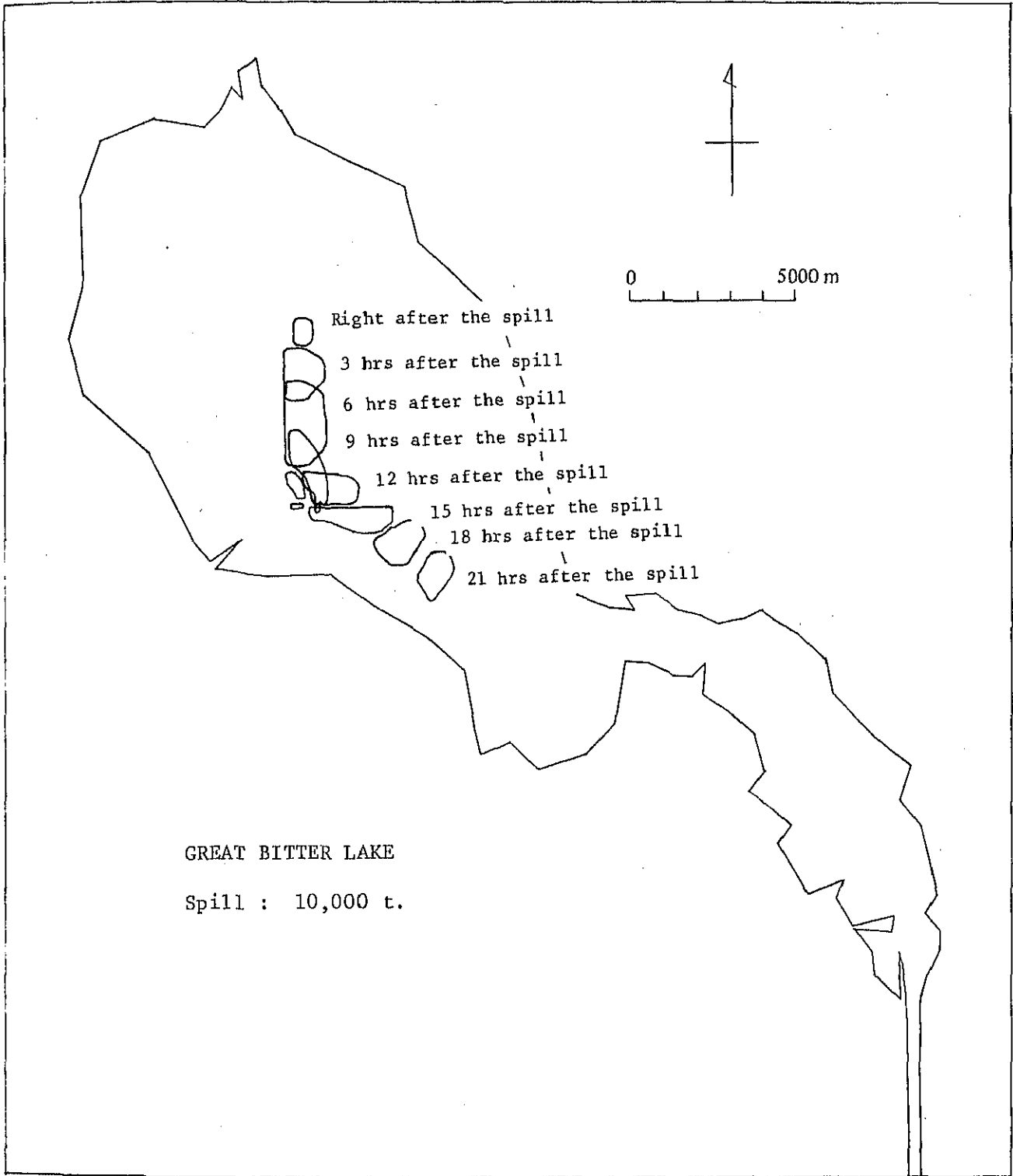




図V-2-(2)-2| Great Bitter Lakeにおける原油5,000トンの拡散計算結果





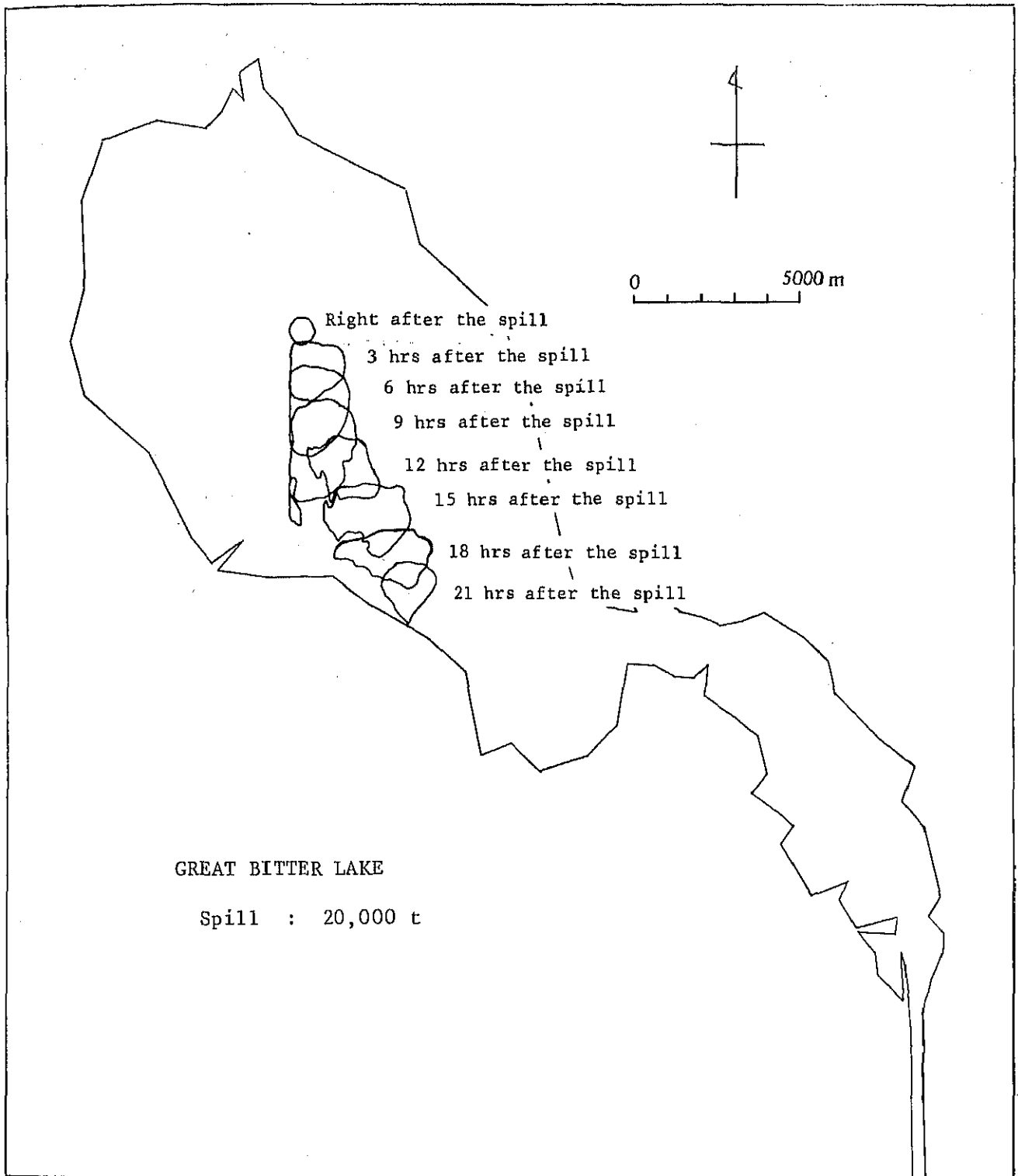


図V-2-(2)-23 Great Bitter Lakeにおける原油10000トンの拡散計算結果





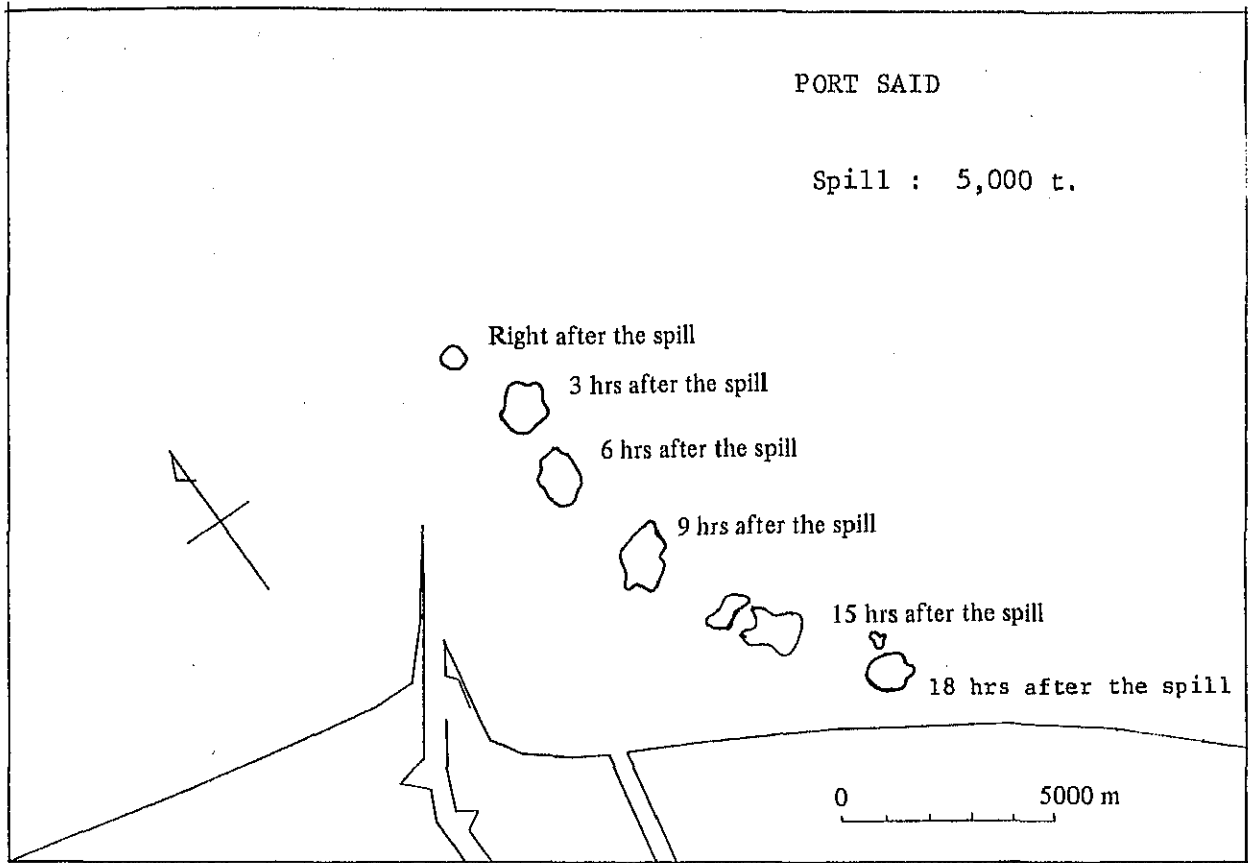




図V-2-(2)-25 Great Bitter Lakeにおける原油 20,000 トンの拡散計算結果



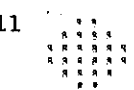




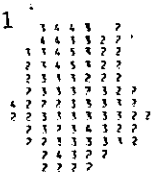
図V-2-(2)-27 Port Saidにおける原油5,000トンの拡散計算結果

PORT SAID  
Spill : 5,000 t.

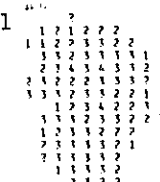
Right after the spill



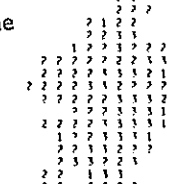
3 hrs after the spill



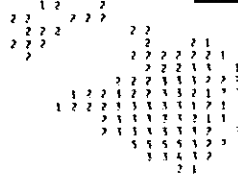
6 hrs after the spill



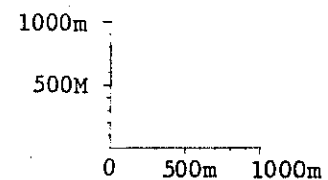
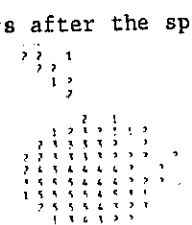
9 hrs after the spill



15 hrs after the spill



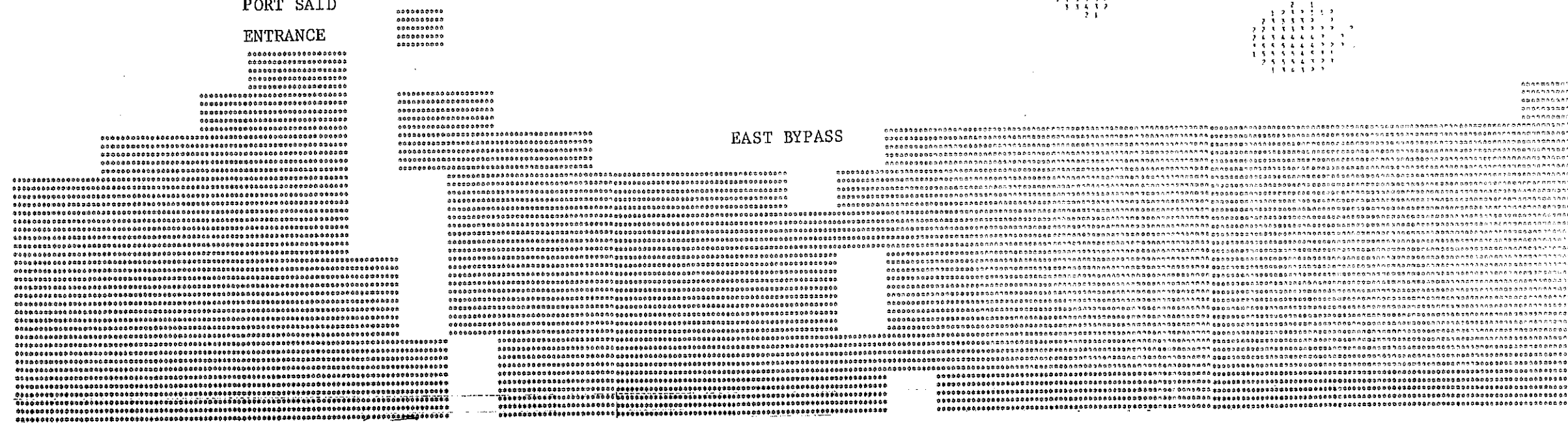
18 hrs after the spill



Slick thickness	Designation
Less than 0.5mm	1
0.5 - 1.0 mm	2
1.0 - 1.5	3
1.5 - 2.0	4
2.0 - 2.5	5
2.5 - 3.0	6
3.0 - 3.5	7
3.5 - 4.0	8
More than 4.0 mm	9
Land	*

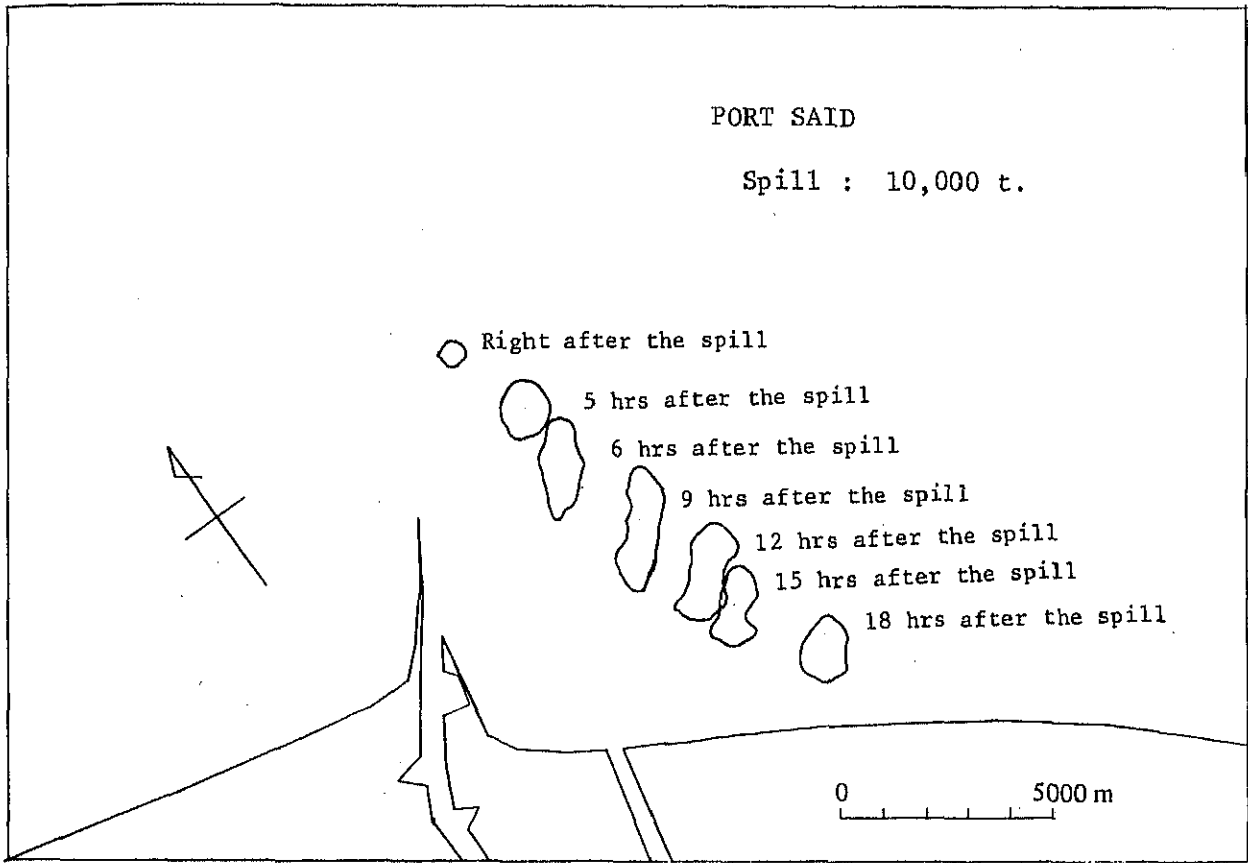
PORT SAID  
ENTRANCE

EAST BYPASS



図V-2-(2)-28 Port Saidにおける原油5,000トンの拡散計算結果拡大図





図V-2-(2)-29 Port Saidにおける原油10,000トンの拡散計算結果

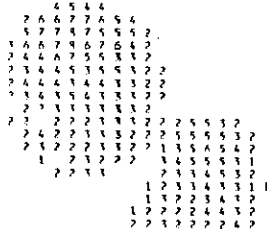
PORT SAID

Spill: 10,000 t.

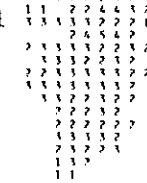
Right after  
the spill



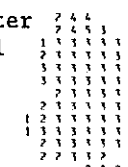
3 hrs after the



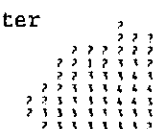
6 hrs after the spill



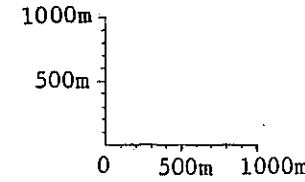
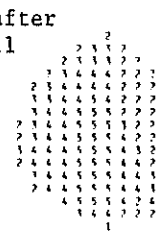
9 hrs after  
the spill



15 hrs after  
the spill



18 hrs after  
the spill



Slick thick-ness	Designation
Less than 0.5mm	1
0.5 - 1.0 mm	2
1.0 - 1.5	3
1.5 - 2.0	4
2.0 - 2.5	5
2.5 - 3.0	6
3.0 - 3.5	7
3.5 - 4.0	8
More than 4.0 mm	9
Land	*

PORT SAID

ENTRANCE

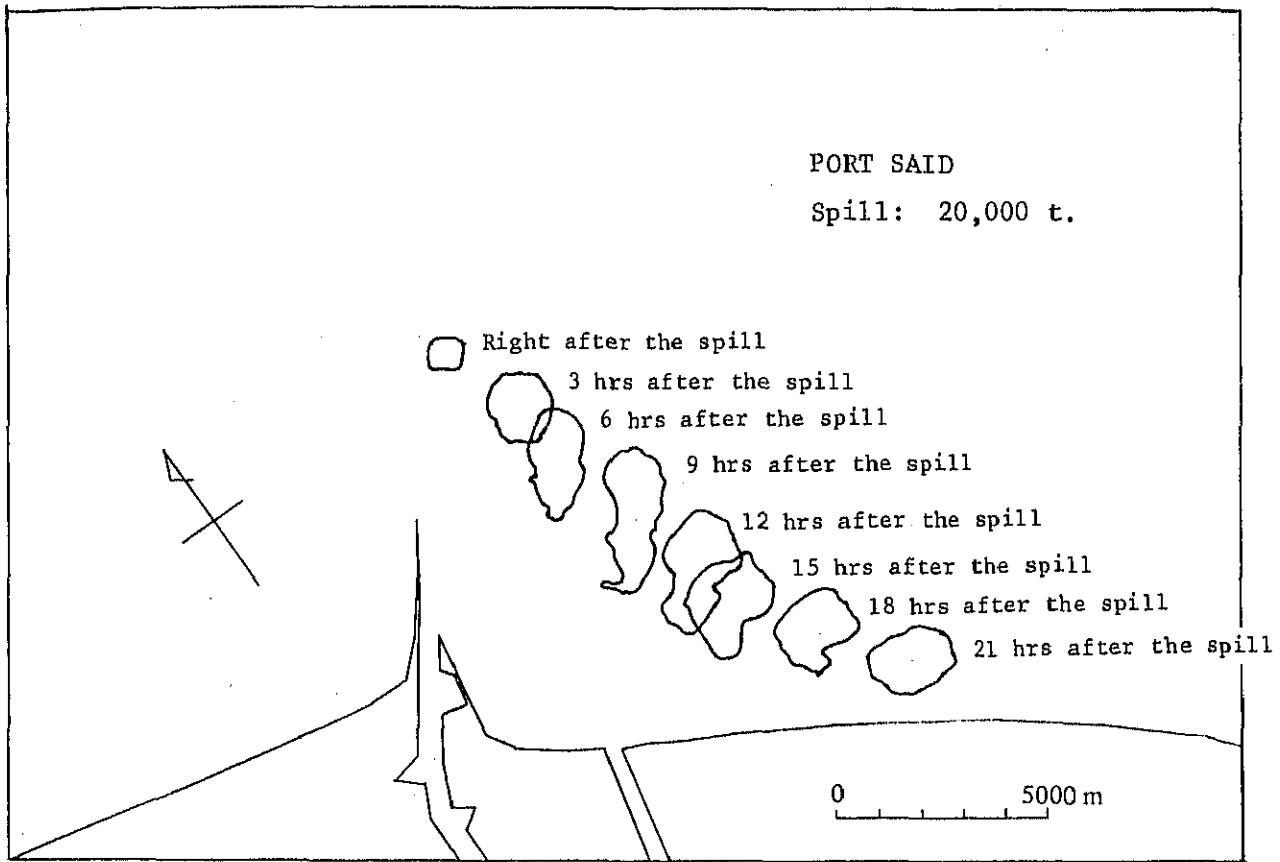


EAST BYPASS

図V-2-(2)-30 Port Saidにおける原油10,000トンの拡散計算結果拡大図







図V-2-(2)-31 Port Saidにおける原油20,000トンの拡散計算結果

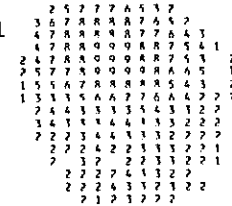
PORT SAID

Spill : 20,000 t.

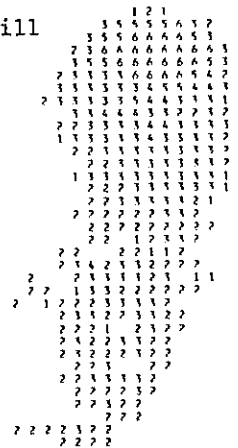
Right after the spill



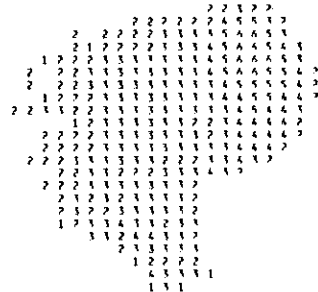
3 hrs after the spill



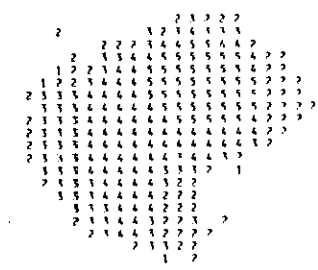
9 hrs after the spill



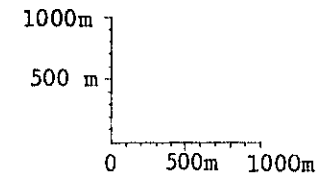
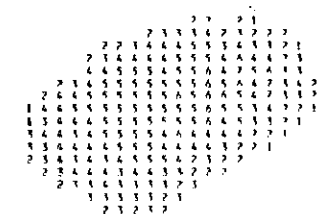
15 hrs after the spill



18 hrs after the spill



21 hrs after the spill



Slick thickness	Designation
Less than 0.5mm	1
0.5 - 1.0 mm	2
1.0 - 1.5	3
1.5 - 2.0	4
2.0 - 2.5	5
2.5 - 3.0	6
3.0 - 3.5	7
3.5 - 4.0	8
More than 4.0 mm	9
Land	*

PORT SAID  
ENTRANCE

EAST BYPASS

図V-2-(2)-32 Port Saidにおける原油20000トンの拡散計算結果拡大図



(I). 使用モデル

個々の海域における風潮の影響を考慮した原油の拡散は、個々の海域における潮流と吹送流の合成流に油自体の拡がりを加味したもので求まる。

i) 潮流モデル

[運動方程式]

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\gamma_b u \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)} + fu$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\gamma_b v \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)} - fv$$

[連続の式]

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [(\zeta + h) \cdot u] - \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta + h) \cdot V]$$

ii) 吹送流モデル

[運動方程式]

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\gamma_b u \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)} + fu + \frac{\tau_s^{(x)}}{\rho_w (\zeta + h)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\gamma_b v \sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)} - fv + \frac{\tau_s^{(y)}}{\rho_w (\zeta + h)}$$

[連続の式]

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [(\zeta + h) \cdot u] - \frac{\partial}{\partial y} [(\zeta + h) \cdot V]$$

ここに

$x, y,$  : 水平, 鉛直方向の距離 (m)

$\zeta$  : 水位 (m)

$u, v$  :  $x$  方向の平均流速,  $y$  方向の平均流速 (m/sec)

$\tau_s^{(x)} = \rho_a \cdot r^2 w_x \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$  :  $x$  方向の海面摩擦応力  $\text{kg/m} \cdot \text{sec}^2$

$\tau_s^{(y)} = \rho_a \cdot r^2 w_y \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$  :  $y$  方向の海面摩擦応力  $\text{kg/m} \cdot \text{sec}^2$

$\rho_a, \rho_w$  : 空気, 海水の密度 ( $\text{kg/cm}^3$ )

$W_x, W_y$  :  $x, y$  方向の平均風速 (m/sec)

$A_h$  : 水平渦動粘性係数 ( $\text{m}^2/\text{sec}$ )

$r, r_b$  : 海面, 海底の摩擦係数

$t$  : 時間 (sec)

$h$  : 水深 (m)

$g$  : 重力加速度 ( $\text{m}/\text{sec}^2$ )

$f = 2\omega \sin \phi$  : コリオリ係数 ( $\text{sec}^{-1}$ )

$\phi$  : 緯度 (度)

$\omega$  : 地球の自転角速度  $\text{rad}/\text{sec}$

iii) 原油拡散モデル

前述の元良モデル

$$R = (\alpha \cdot t)^{1/8}$$

t : 経過時間 (S)

$$\alpha = \frac{16 \cdot g \cdot v^3}{\pi^3 \cdot c^2 \cdot \nu}$$

g : 重力加速度 (cm/sec<sup>2</sup>)

v : 水面上の油の体積 (cm<sup>3</sup>)

c : 油の速度勾配係数 (-)

ν : 油の動粘度係数 (cm<sup>2</sup>/sec)

但し、原油の蒸発は次式による。

$$q_m = 2.12 \times 10^{-7} \times 22.9 \times (1 + 0.121 \times U^{0.85})$$

q<sub>m</sub> : 蒸発速度 (g/sec/cm)

U : ガス移動速度 (cm/sec)

(ii) 計算条件

i) 流出油量

5,000トン, 10,000トン, 20,000トン

ii) 流出場所

Port Said	{ 31° 19'. 6 N 32° 22'. 3 E
Great Bitter Lake	{ 30° 21'. 1 N 32° 22'. 5 E
Suez Bay	{ 29° 48'. 6 N 32° 33'. 2 E

iii) 油の動粘度 0.1

iv) 油の平均速度勾配係数 0.1

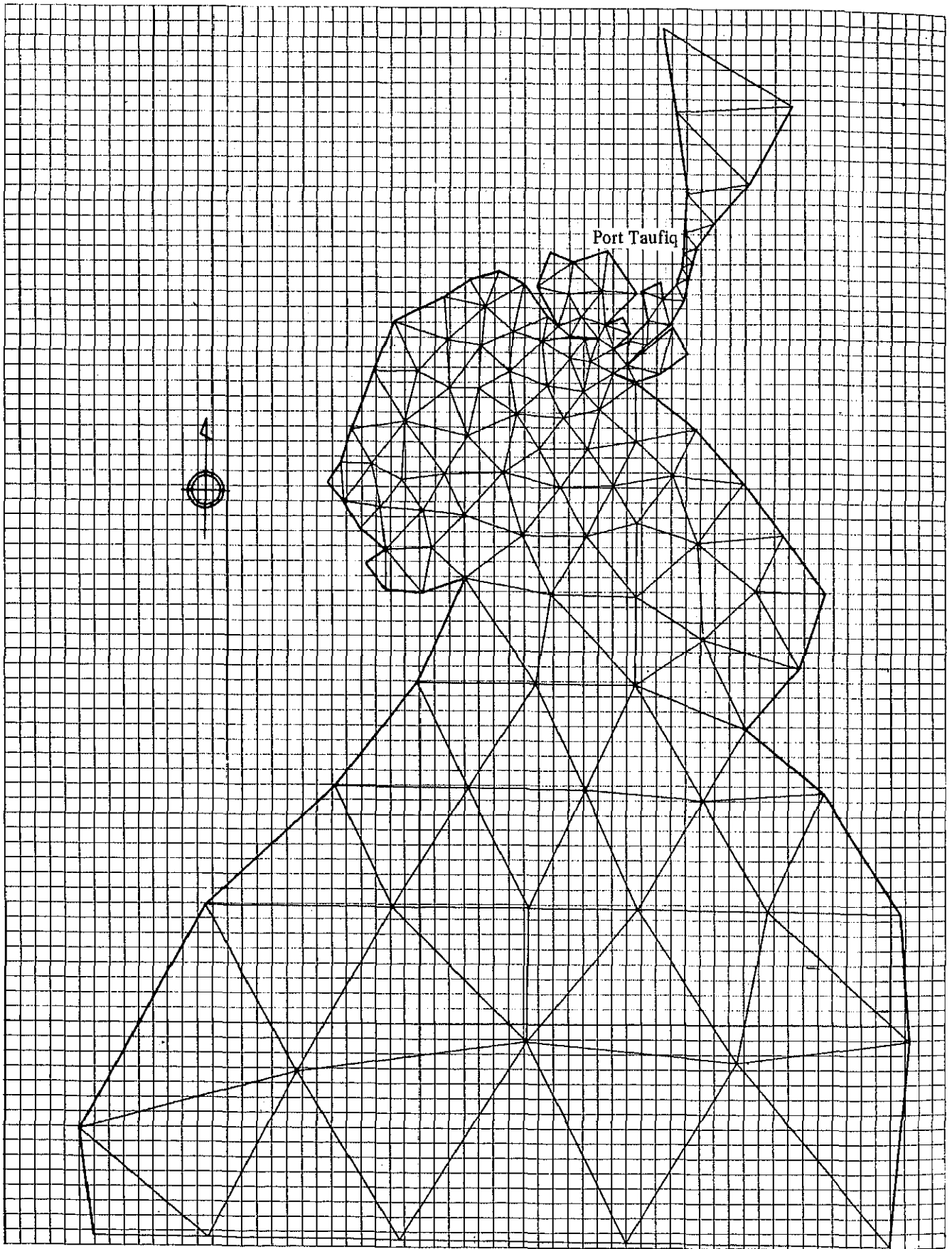
v) 流況

潮流及び吹送流の合成流計算結果

但し潮流及び吹送流の計算条件は次のとおり

表 V - 2 - (2) - 10 潮流及び吹送流計算条件

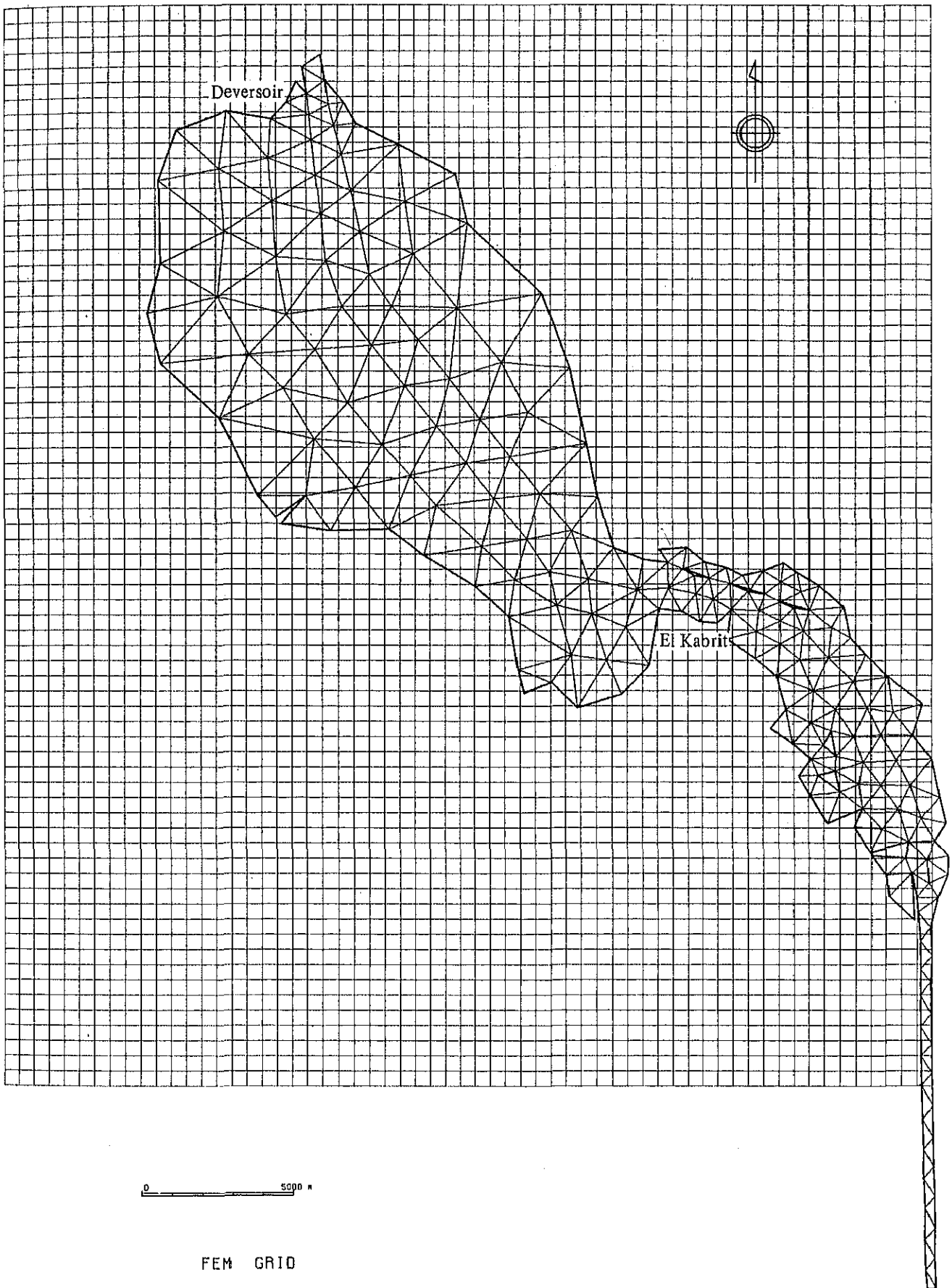
Water area	Current Conditions	
Port Said	Tide	Data of tidal level of Port Said and EL-Tina
	Wind	Wind direction: NNW, wind speed: 8 m/sec.
Great Bitter Lake	Tide	Data of tidal level of Diversoir and Shallufa
	Wind	Wind direction: N, wind speed: 8 m/sec.
Suez Bay	Tide	Data of tidal level of Shallufa and Port Taufig.
	Wind	Wind direction: N, wind speed: 8 m/sec.



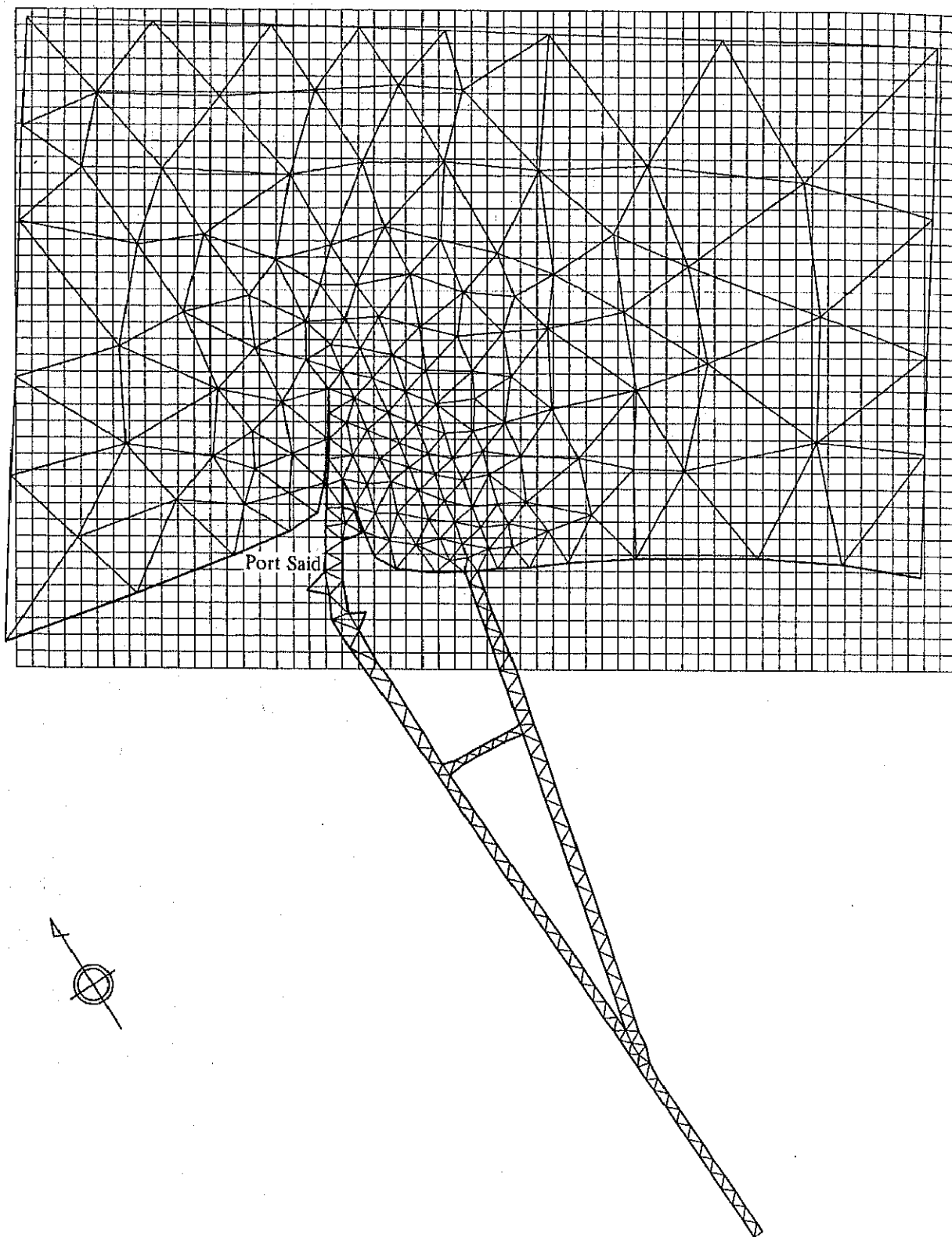
0 5000  
FEM GRID

図V-2-(2)-33 メッシュ分割 (Suez Bay)





図V-2-(2)-34 メッシュ分割 (Great Bitter Lake)



FEM GRID

図V-2-(2)-35 メッシュ分割 (Port Said)

## 5) 流出油の影響

### (i) 航行への影響

貨物油が海上に流出すると可燃性ガスが発生する。

したがってこの可燃性ガスが完全に消失するまで船舶は航行することはできない。しかしながら可燃性ガスが蒸発した後の油は比較的安全であり船体の汚れ、冷却水への油の混入等気にしなければ通航可能となる。

但し、通航船の航跡波はオイルフェンスからの油漏れの原因となるので至近航行の際は最速航行しなければならない。

### (ii) 流出油による水産動植物への影響

流出油汚染が生ずると一般に大気と水中との酸素等のガス交換や光の透過を妨げたり、水温上昇を促したりすること等によって、生物の生息条件に悪影響を与えると同時に、直接生物に対して物理的、化学的作用を及ぼし、着臭させたり、成育繁殖等の生物機能を阻害したり、死滅させたりすることが知られている。

海藻類に対する石油の影響については、海藻は一般に表面を粘質物で覆われているので油の付着が困難であるから、石油の汚染がわずかであれば、生物的機能の障害は余り大きくならないといわれる。しかし、満潮線付近に生息していて干潮時露出する海藻は、その光合成作用が阻害されたり、色素が退色することが認められている。

貝類については足糸を有する貝類は、石油の汚染によって岩石等から剥離しやすくなることや、石油成分の溶解濃度によって摂餌機能が麻痺し、ついにはへい死することが知られている。

魚類については、魚類もまた海藻と同様に体表が粘膜によって保護されているが、えらに石油が付着すると細胞が石油の有害物質によって破壊され、ガス交換機能が阻害されてへい死するといわれる。更に、油に汚染された海域で獲れた魚介類に着臭することが知られているが、魚類では一般には水中の油分濃度が0.01 ppmの濃度で着臭し、底質では0.2%の含油土上に1日以上棲息すると着臭するといわれる。

石油によって汚染された海域等では、水産動植物のみではなく、魚介類の餌料となる浮遊生物の生長の抑制や死滅が起こることが認められている。

大量の石油流出があった海域等では、相当期間そこに棲息する動植物群の生態バランスがくずれることが知られ、この結果一般的には水産動植物の成育を低下させ、ひいては漁獲の減少をもたらすのである。

## 6) 原油・液化ガス流出後の火災可能性

原油又は液化ガスが海上に流出した場合には、その流出物から可燃性のガスが発生する。

もしその可燃性ガスの燃焼範囲に着火源が存在すれば火災は容易に発生するものと思われる。船舶衝突時には船倉破損の際に摩擦熱が発生するので火災発生の可能性がある。

また、通常のスエズ運河に存在する代表的な流出後の着火源は次のとおりである。

## (i) 静電気

人体及び衣服に蓄積される静電容量が放電されるとしばしば最小着火エネルギーを起えるエネルギーとなり可燃性ガスの着火源となり得る。

例えば底厚10mmの靴をはいた人の静電容量は200  $\mu\text{F}$ と見ることができこの人が3000Vに帯電したとすれば、その放電エネルギーは0.6m Jとなり、メタン、プロパン及び原油ガスに容易に着火し得る。

この程度の静電エネルギーは日常そこらあたりにいつでも生じていると言って過言ではない。

なお、最小着火エネルギーはメタンで0.5m J、ブタン及びプロパンで0.3m J、石油ガスで0.2m Jである。

## (ii) 電気火花

小型電気器具類のスイッチに発生するスパーク、電気回路のショート、開閉によるスパーク、電気配線の断線、漏電、電球の破損、電動機、電気溶接、ガソリンエンジン、小型トランスバー、運河道路上の自動車のスパーク、ワイヤレスマイク等

## (iii) 無線通信による誘導火花

## (iv) 落雷

## (v) 金属の摩擦・衝撃による火花

鉄と鉄、あるいは鉄と石などの衝撃又は摩擦による火花、軽金属の衝撃火花やテルミット反応。

## (vi) 高温表面

電熱器、運河航行船の高温になった内燃機排気管の露出部分

## (vii) 運河航行船の内燃機、ストーブ等の煙突又は排気管からの火の粉

## (viii) たき火、酸素、アセチレン炎

## (ix) 煙草、ライター、マッチ

## 7) 原油、液化ガス火災

### (i) 原油火災

#### i) 流出して直ぐ着火した場合

初めのうちは原油中の軽質の成分が急速に燃え、ついで比重の大きい成分が次第に熱で揮発して燃える。比重の重い成分ほど燃焼速度が遅くなり極く重質の成分を残して燃えつきる。

燃焼速度はかなり早く、極く軽質のもので6mm/min、重質のもので1mm/min程度であり、もし10,000  $\text{m}^3$ の原油が流出して500,000  $\text{m}^2$ に拡がったとすると平均厚さは20mm程度であるから周辺部は20～30分程度で大体燃えつき火災の範囲はかなり早く狭まってゆくこ

とが予想される。

従って着火後30分程度で火災タンカーの周辺の割合狭い範囲に局限され、その後は破損を受けたタンク火災が油残量がなくなる迄長時間続く。

一方周辺火災のため他のタンクが爆発し裂目から新たに油が流出し、海面火災が拡がる可能性があるが、一度に複数のタンクが爆発することは先ず考えられないのと、爆発による船側の破口は比較的小さいと思われるのでタンクの爆発毎に拡がる海面火災の範囲は最初の海面火災の範囲を超えないと考えて差し支えないであろう。

また、潮流等で火のついた油が流れることも考えられるが油の燃焼速度がかなり早いことを考えると、それ程遠くに達しないと思われる。

流出して直ぐ着火した場合危険範囲は比較的狭いが全荷油が長時間に亘って燃える可能性がある。

流出した油は極く重質のものを残して燃え尽きるからOil Pollutionの問題は比較的少いであろう。

#### ii) 油が流出し時間を置いて着火した場合

原油が海面に充分拡がった後に着火した場合には、その揮発成分が揮発して引火性のガスが海面を覆い、油の拡がった範囲より更に遠くまで拡がることが考えられる。

そしてそのガスに着火すると、その付近に火災を生じる上に炎はガスを伝わって油面に伝わり、結局海面火災が生ずるのである。

それ以後の経過は流出後直ぐ着火した場合と同じであるが、着火迄に時間がかかっているため、その間に油が余計に拡がり潮流等の影響で事故船からかなり離れた所まで達している可能性があり、危険範囲が大きくなることが予想される。

### (ii) 液化ガス火災

#### i) 流出して直ぐ着火した場合（プール火災）

海面に流出した液化ガスは火災を伴いながら拡散するが、ガスの燃焼速度が非常に早いのと火災の熱によりガス化が促進されるのとが相まって液の消耗が早くその拡散域は限られたものとなるであろう。

しかし火災規模は原油火災に比して大きく火力も強い。

液の流出が止めば比較的短い時間で燃え尽き海面火災は止む。

その後は船内の残留液化ガスから発生するガスが船外の空気と混合し燃焼範囲に入った所だけ燃える。蒸発ガスの放出量などの条件が変らなければ炎の位置も長さも変化しない定常的なものとなる。

#### ii) 流出後時間を置いて着火した場合（蒸気雲火災）

海上に流出した液化ガスから可燃性のガスが発生し空気と十分に混り合ってしまった後に着火した場合には、発生した火災は混合ガスの中を伝播する。放出ガス量が著しく多く、規模がとくに大きいと火災の伝播が加速される結果、デトネーション（爆轟）と呼ばれる烈しい爆発を起こすことがある。

また、流出して直ぐ着火した場合でも流出後時間を置いて着火した場合でも火災により

他のタンクが強い熱を受けると、いわゆるBELVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)現象を起こす可能性がある。

## 8) 汚染と火災の事故規模

### (i) 原油タンカー

#### 1) 最大流出油量

現状工事中、二期拡張工事後とも原油積載タンカーがそのカーゴタンクに破口を生じ流出油を発生させるケースには大別して2種類ある。

一つは座礁によるものであり、この場合は運河の底質が砂であるため損傷の程度は比較的小さいと思われる。

破口部の位置が船底であるためヘッドデファレンスによる流出のみとなり流出油量も比較的少ない。

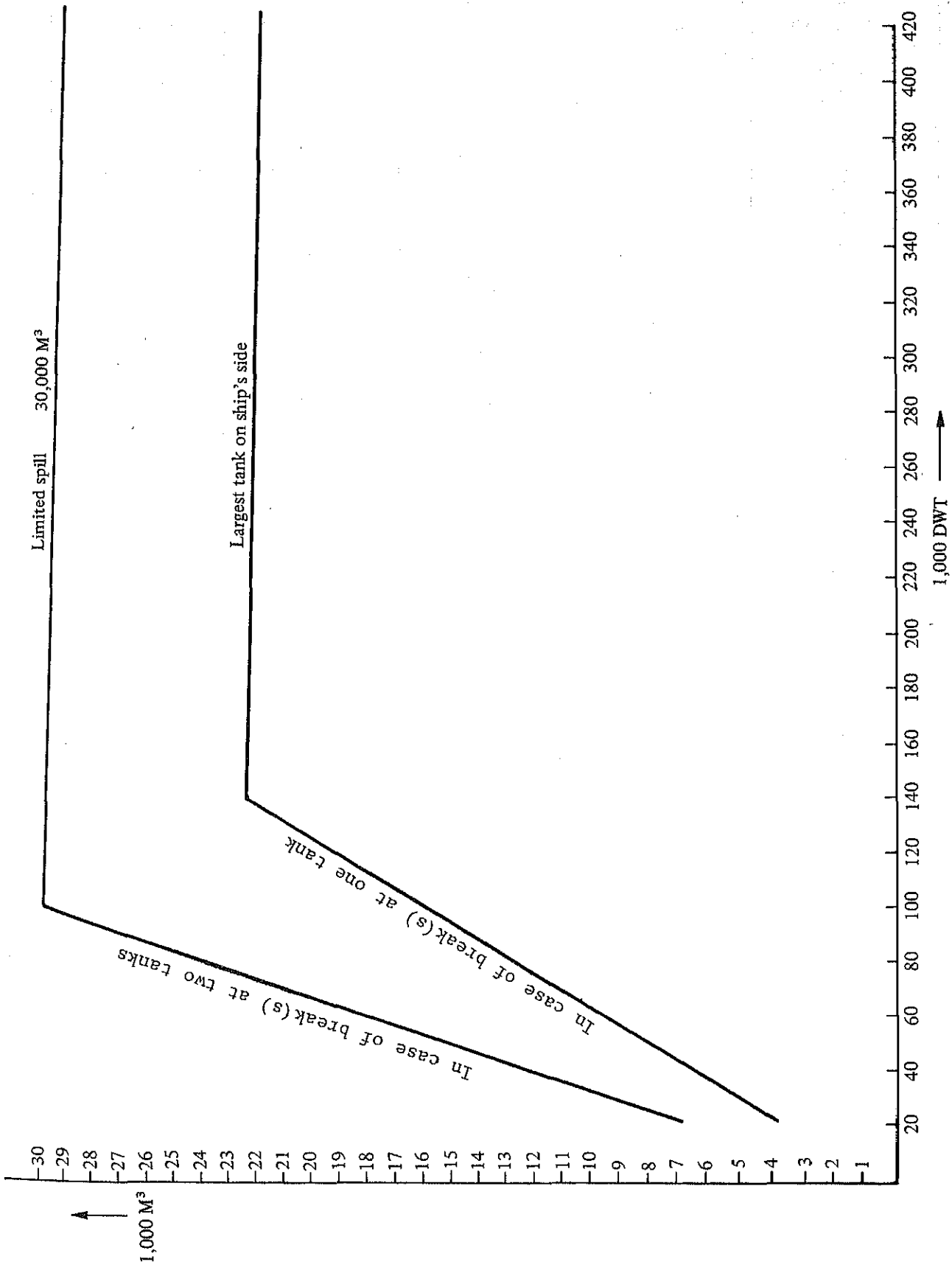
もう一つのケースは他船との衝突である。衝突の場合、その破口の位置によってはタンク内の全油量が流出する可能性がある。

従ってここでは衝突による流出油量を考えることとする。

衝突によって破損するタンクの数は衝突する船の種類、大きさ、衝突の個所、速力によって異なるが、スエズ運河においては、低速でPilot乗船のうえ慎重に操船していることを考えると、衝突によって破損する程度は船側のタンクのみでセンタータンク迄は達しないものと思われる。

したがって船側のみ破口で油流出に至るタンクの数は最小1タンク最大2タンクと見ることができる。

以上の条件及びIMOの規程により推定し得るDWT別最大流出油量は図V-2-(2)-36のようになるものと思われる。



图V-2-(2)-36 流出油量推定曲线

表V-2-(2)-11 原油の流出量別蒸発完了時間と  
拡散半径

Crude Oil Spill	5,000 t.	10,000 t.	20,000 t.	30,000 M <sup>3</sup>
Time Involved to Complete Evaporation	74 min.	85 min.	97 min.	103 min.
Time Elapsed (h)	Radii of the Spread of Crude oil Spill (m)			
1	332	431	558	614
2	355	462	600	661
3	373	484	627	690
4	387	501	650	715
5	398	516	669	736
6	407	527	684	753
7	415	538	697	767
8	422	547	709	780
9	428	555	720	792
10	434	562	729	802
11	439	569	738	812
12	444	575	746	821
13	448	581	753	829
14	452	586	760	837
15	456	591	767	844
16	460	596	773	851
17	463	601	779	857
18	467	605	785	863
19	470	609	790	869
20	473	613	795	875
21	476	617	800	880
22	478	620	805	885
23	481	624	809	890
24	484	627	813	895
25	486	630	818	899
26	489	634	822	904
27	491	637	825	908
28	493	639	829	912
29	495	642	833	916
30	497	645	836	920
31	499	648	840	924

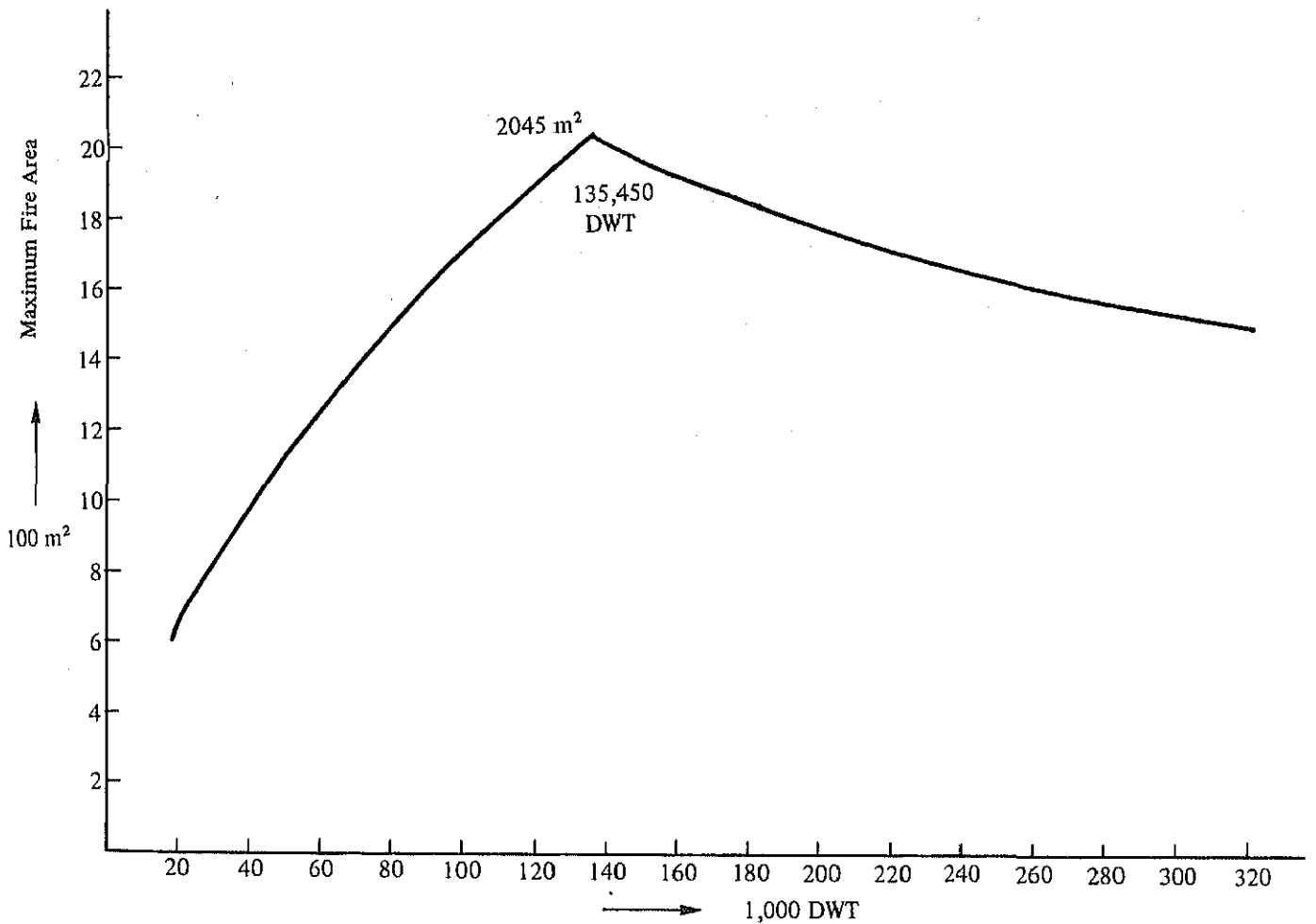


## ii) 火災規模

衝突時に発生する鋼板と鋼板の摩擦熱（火）により流出直後の原油に着火する可能性のあることは良く知られている。この場合の火災は流出した油の拡がりによる海面火災と外気に通じた破損タンクの油面とみなすことができる。

海面火災は比較的短時間で燃え尽きるがタンク油面の火災は残った油量にも依るが一般に長時間燃えるものと思われる。

破損タンクが2個の場合のタンク油面火災の面積は2タンクの表面積であるので、その最大面積は最大タンク容積を平均型深さで割ったものとなり、ほぼ次のとおりとなる。



図V-2-(2)-37 2タンク最大火災面積曲線

### (iii) 液化ガスタンカー

液化ガス船には船側及び船底に強力な二重船殻構造が採用されているため万一座礁しても貨物タンクにまで達するような損傷は90%以上の確率で避けられることが米国沿岸警備隊の統計でも示されている。したがって砂地の多いスエズ運河での座礁により液化ガスが大量に海上に流出するような災害が発生することは殆んど考えられない。

一方衝突についてはLPG船LNG船とも船側部に他船から衝突を受けた場合は船の大きさ、速力如何では損傷が貨物タンクまで達し貨物油が流出したり火災が発生したりすることが考えられる。

災害の推定については損傷のよりシビアな衝突について考えることとし衝突のメカニズムはLPG船LNG船とも同じであるため低温脆性破壊等の付帯的リスクの大きいLNG船を例にとって推定する。

#### i) 対象船

過去スエズ運河を積荷状態で通航したLNG船の最大は総容積 88,052 m<sup>3</sup> のPollengerである。(LPG船は総容積 77,170m<sup>3</sup> のAl Berry)しかし、世界のLNGの需要については増加の傾向にありその運送の主力船は大型の 125,000m<sup>3</sup> のタンカーとなっている。したがって将来スエズ運河を積荷状態の 125,000m<sup>3</sup> 型のLNGタンカーが通航することは十分に想定できる。

したがって、この 125,000m<sup>3</sup> 型のLNGタンカーを事故想定対象船とする。

#### ii) 災害規模

前述の様に液化ガス船には強力な船側二重船殻構造が施されているので、スエズ運河のような安全性の高い(Pilot乗船、低速、一方通航、船団システム)ところでの通常の衝突では液の流出を伴う破損に至る可能性は少ないと思われる。

仮に貨物艙への破損が生じたとしてもそれは非常に小さい破口又は亀裂程度のものになるとと思われる。

これらの小破口又は亀裂からの液の流出によるリスクとしては2つあり一つは低温脆性破壊、もう一つは火災である。

低温脆性破壊については、液温が-162℃という低温であるため、もし船体の甲板や外板などの一般鋼板上に流出した場合、船体は局部的に極低温に急冷却されるため熱応力が局部的に発生するとともに船体構造としても熱による応力を生じることになる。鋼板が極低温に冷却され、さらに応力が加われば船体に低温脆性破壊による亀裂が発生する危険性が十分にある。

火災については、原油と同様気化した可燃性ガスが衝突時の摩擦熱又はその他の着火源により発火して火災となる可能性がある。

なお、(社)日本海難防止協会の調査では、球形タンク方式の125,000 m<sup>3</sup>型船の喫水線に発生した破口からの液の流出速度が 5.28 m<sup>3</sup>/minの場合その海面火災面積は 145 m<sup>2</sup>、21.1m<sup>3</sup>/minの場合は 580 m<sup>2</sup>になるとされている。

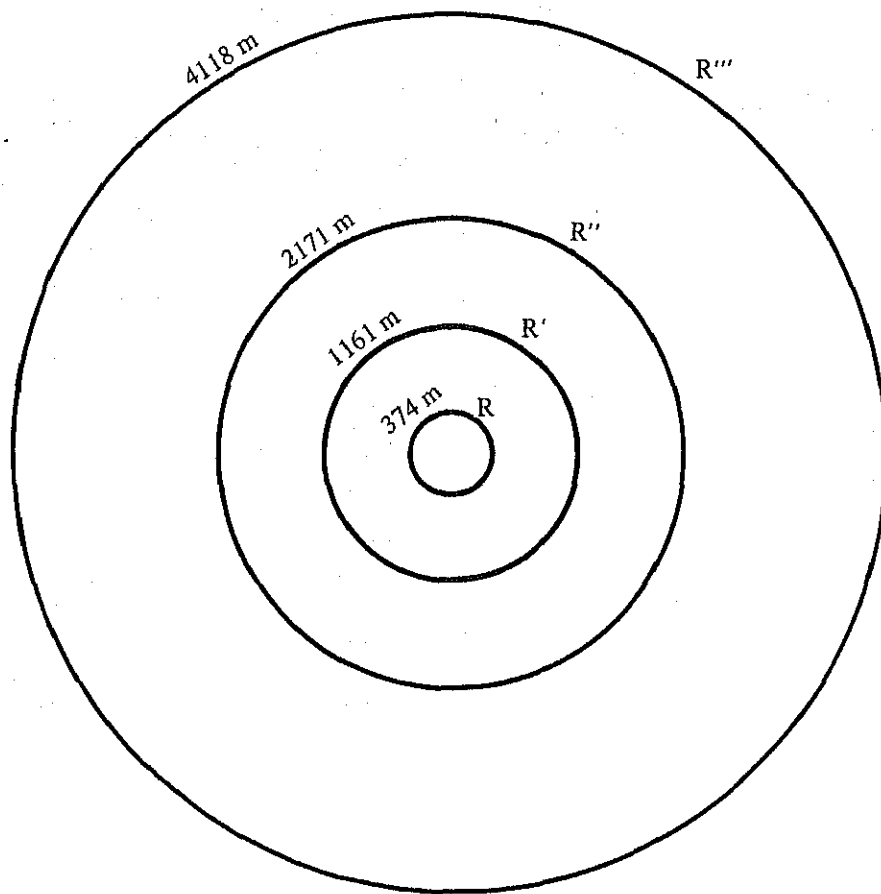
参考として、ほとんどあり得ぬことではあるが125,000 M<sup>3</sup>型船の貨物船(25,000 M<sup>3</sup>)に5 m<sup>2</sup>又は10 m<sup>2</sup>の破口が生じた場合の(財)日本海難防止協会の災害想定を例示すると次のとおりである。

表V—2—(2)—12 想定火災規模

Type of Tank	Break Area (m <sup>2</sup> )	Break Position above Draft Line (m)	Average Spill Rate (m <sup>3</sup> /min.)	Fire Diameter (m)	Duration of Combustion* (min.)
Spherical	5	0	3,360	340	6.81
	5	5	2,830	315	6.53
	10	0	6,720	485	3.40
	10	5	5,660	445	3.26
	15	0	10,080	595	2.27
	15	5	8,490	545	2.18
Membrane	5	0	2,530	300	7.02
	5	5	2,040	265	5.68
	10	0	5,060	420	3.51
	10	5	4,080	380	2.84
	15	0	7,590	515	2.34
	15	5	6,120	465	1.90

\* With the termination of LNG spill, the scale of fire diminishes rapidly and the fire dies out in quite a short time.

また、25,000 m<sup>3</sup> のLNGが一度に流出して火災を発生させた場合の火災直径及び輻射熱の試算計果は次のとおりとなった。



- R : Fire radius
- R' : Pain after 3 sec, blisters after 10 or 20 sec.
- R'' : Pain after 10 or 20 sec.
- R''' : Distance of maximum radiant heat involving a long period of exposure which one can endure.

図V-2-(2)-38 LNG ( 25,000 m<sup>3</sup> ) の燃焼を伴った液面の拡散半径と被傷程度別の火炎中心からの距離

表V-2-(2)-13 LNG (25,000 m<sup>3</sup>) の燃焼を伴った液面の拡散半径  
と被傷程度の火災中心からの距離

Elapsed Time (sec.)	R (m)	R' (m)	R'' (m)	R''' (m)
10	302	936	1751	3321
20	312	966	1807	3427
30	321	994	1860	3527
40	329	1030	1908	3619
50	337	1044	1954	3706
60	344	1067	1996	3785
70	351	1087	2034	3858
80	357	1106	2069	3924
90	362	1122	2100	3983
100	367	1137	2127	4033
110	370	1148	2149	4075
120	373	1157	2165	4106
130	374	1161	2171	4118

### (3) 算定結果

事故確率（場所別，フェイズ別（現状，第Ⅱ期拡張工事中，第Ⅱ期拡張工事終了後），事故種類別）の算定結果は表V-2-(3)-1のようにまとめられる。運河全体の平均危険水準は現状( $3.01 \times 10^{-3}$ )から第Ⅱ期拡張工事終了後( $1.65 \times 10^{-3}$ )へ約45%の減少となる。事故の種類別では乗り揚げ事故が他の事故と比較して非常に大きな発生確率を持つと推計され，乗り揚げ事故の減少は運河全体の危険水準の減少に大きく寄与することとなる。

第Ⅱ期拡張工事中の平均危険水準は通航船と浚渫船の衝突の可能性が生ずることにより現状の平均危険水準より約40% ( $3.01 \times 10^{-3} \rightarrow 4.22 \times 10^{-3}$ )の増加となる。

表 V - 2 - 2 - (3) - 1 事故発生確率の算定結果

Phase Location	Phase I (at Present)				During the Execution		Phase II (after the Expansion)			
	Grounding	Rear-end Collision	Collision	Total	Collision with Dredger		Grounding	Rear-end Collision	Collision	Total
Port Said and Suez	$4.53 \times 10^{-4}$	-	$4.65 \times 10^{-4}$	$9.18 \times 10^{-4}$	$9.74 \times 10^{-4}$ $5.62 \times 10^{-5}$		$2.10 \times 10^{-4}$	-	$4.65 \times 10^{-4}$	$6.75 \times 10^{-4}$
Ballah Bypass	$1.59 \times 10^{-5}$	$2.60 \times 10^{-7}$	-	$1.62 \times 10^{-5}$	$7.02 \times 10^{-5}$ $5.40 \times 10^{-5}$		$1.74 \times 10^{-6}$	$1.39 \times 10^{-8}$	-	$1.75 \times 10^{-6}$
Bitter Lakes	-	-	$8.11 \times 10^{-5}$	$8.11 \times 10^{-5}$	$8.11 \times 10^{-5}$ -		-	-	$8.11 \times 10^{-5}$	$8.11 \times 10^{-5}$
Other Parts of the Canal	$1.49 \times 10^{-3}$	$2.24 \times 10^{-5}$	$4.82 \times 10^{-4}$	$1.99 \times 10^{-3}$	$3.09 \times 10^{-3}$ $1.10 \times 10^{-3}$		$4.13 \times 10^{-4}$	$4.15 \times 10^{-6}$	$4.82 \times 10^{-4}$	$8.99 \times 10^{-4}$
Total	$1.96 \times 10^{-3}$	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.03 \times 10^{-3}$	$3.01 \times 10^{-3}$	$4.22 \times 10^{-3}$ $1.21 \times 10^{-3}$		$6.25 \times 10^{-4}$	$4.16 \times 10^{-6}$	$1.03 \times 10^{-3}$	$1.65 \times 10^{-3}$

Note: Phase I : The First Stage Development Project  
Phase II : The Second Stage Development Project

