

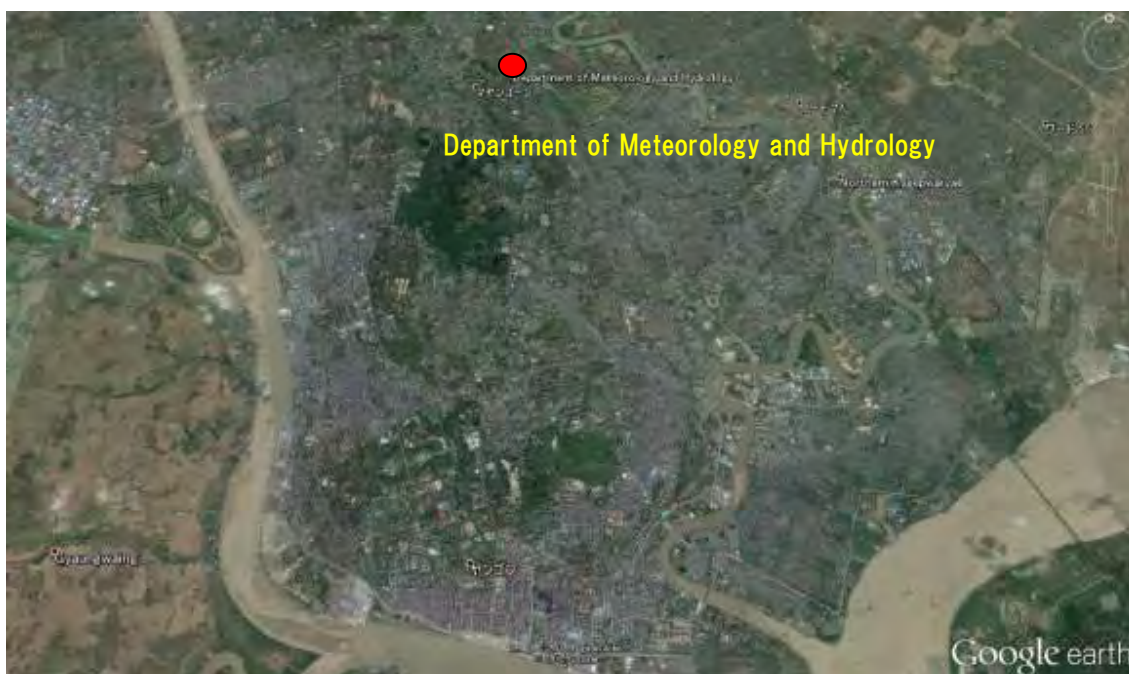
## 第3章 調査結果

### 3.1. 風向風速・降雨量

後続の各種解析で用いる風向、風速、湿度、霧、降雨量の気象データは、「Department of Meteorology and Hydrology（ミャンマー国の気象庁、以下気象庁）」より収集した。

#### (1) 観測場所

収集したデータは、気象庁の敷地内で観測されたものである。次図に、気象庁の位置を示す。



出典：Google Earth、JICA 調査団

図 3.1.1. Department of Meteorology and Hydrology（ミャンマー国の気象庁）の位置

#### (2) 収集期間

収集期間は、2010年～2014年の5年間とした。

#### (3) 収集結果

風向、風速、湿度、霧、降雨量の入手データの代表的なものを以下に説明する。

1) 風向

風向は一日に4回観測されており、観測時刻は6:30、9:30、12:30、18:30であった。収集したデータを調査団が取り纏めた。その結果を、次表に示す。

表 3.1.1. 風向データ (2014年)

Station : KABA-AYE Year :2014

Daily Wind Direction at (18:30) hrs M.S.T

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	NW	S	Calm	SE	SW	SE	SW	SW	W	NW	N	SE
2	NW	SW	SW	SE	SW	SW	SW	S	SW	S	SW	SW
3	SW	SE	SW	SW	SW	SW	SW	SE	SW	NE	NW	SE
4	W	SW	SW	SW	SW	N	NW	SW	SW	SW	SE	NW
5	S	SE	NW	SE	SW	SW	SW	N	SW	NW	SW	SE
6	NE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	Calm	NE	SE
7	NW	SE	SW	NW	SW	SW	SW	SW	N	SE	SE	SW
8	NW	SE	SE	SE	W	SW	SW	SW	NE	SE	NW	SE
9	W	SE	W	SW	Calm	NW	SW	SW	SW	SE	W	SW
10	SW	SW	SW	NW	SW	NW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
11	W	SE	SW	SE	SE	SW	SW	S	SW	SW	Calm	SW
12	NW	SW	S	SW	SW	NW	NW	SW	SW	SW	W	NE
13	NW	SW	SW	N	S	S	NW	SW	NE	S	W	SW
14	SE	NW	NW	S	SW	SW	SW	SE	SW	W	NW	NW
15	SE	SW	SW	SW	SW	SE	S	NW	SE	Calm	NW	SW
16	SW	SW	Calm	NW	SW	SE	SW	SW	NW	NW	NW	NW
17	SE	SW	SW	S	SE	SW	SW	S	SW	NE	W	SE
18	SW	NW	SW	NW	SW	SE	SE	SE	SW	Calm	SE	NW
19	SE	SW	SW	SW	SW	NW	SW	SW	SW	N	SW	W
20	W	S	S	SW	SW	SW	SW	S	SW	SE	SW	SW
21	SE	SW	SW	SW	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	NE
22	SE	NE	SW	NE	SW	SE	SW	SW	SE	SW	SW	SE
23	W	NW	SW	SW	SE	SW	SW	SW	SE	W	NW	Calm
24	W	W	SW	SE	SW	SW	NW	SW	SW	SW	NW	NW
25	SW	SE	SW	SW	SW	SW	SE	SW	NW	SW	NW	NE
26	E	SW	SE	SW	SW	SW	SW	W	SW	NW	W	Calm
27	SW	SW	SE	SW	SW	NW	NW	SW	SW	SW	NE	NW
28	NW	S	SE	S	SW	NW	SW	W	SW	NE	NE	SW
29	W		SW	SW	NW	SW	SE	W	NW	SW	NE	SW
30	Calm		SW	SW	SE	NW	S	SW	SE	SE	NE	NW
31	NW		SW		S		SW	SW		NW		S

Ei Ei Zin  
Head Officer  
Department of Meteorology & Hydrology

出典：ミャンマー国気象庁、JICA 調査団

2) 風速

風速は風向と同様に一日に4回観測されており、観測時刻は風向と同時刻の6:30、9:30、12:30、18:30であった。年間、1m/s~3m/s程度の風速が発生している。収集したデータを調査団が取り纏めた。その結果を、次表に示す。

表 3.1.2. 風速データ (2014年 日別 18:30 計測風速)

単位 : m/sec

Station : KABA-AYE Year : 2014

Daily Wind Speed (mph) At (18:30) hrs M.S.T

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	1.2	1.2	0.0	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4
2	2.4	1.2	2.4	3.6	2.4	1.2	1.2	2.4	2.4	2.4	1.2	1.2
3	1.2	4.8	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2
4	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
5	1.2	2.4	2.4	1.2	3.6	1.2	2.4	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2
6	1.2	1.2	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	2.4	0.0	2.4	1.2
7	1.2	3.6	1.2	2.4	3.6	3.6	2.4	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2
8	2.4	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	2.4	2.4	2.4	1.2	1.2
9	1.2	2.4	2.4	2.4	0.0	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	2.4
10	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2
11	1.2	3.6	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	2.4	2.4	2.4	0.0	1.2
12	1.2	3.6	2.4	2.4	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
13	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	2.4	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2
14	3.6	1.2	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2
15	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	0.0	1.2	1.2
16	1.2	1.2	0.0	2.4	3.6	3.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
17	2.4	1.2	1.2	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
18	1.2	2.4	2.4	1.2	3.6	3.6	3.6	1.2	1.2	0.0	1.2	1.2
19	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	3.6	2.4	1.2	3.6	2.4	1.2	1.2
20	1.2	1.2	3.6	6.0	2.4	1.2	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2
21	2.4	1.2	1.2	2.4	1.2	3.6	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2
22	2.4	2.4	1.2	2.4	2.4	2.4	1.2	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2
23	1.2	1.2	2.4	2.4	3.6	3.6	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	0.0
24	1.2	1.2	2.4	2.4	1.2	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
25	1.2	2.4	1.2	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4
26	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	2.4	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	0.0
27	1.2	1.2	2.4	3.6	2.4	1.2	2.4	2.4	1.2	1.2	2.4	1.2
28	1.2	2.4	2.4	3.6	2.4	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
29	1.2		2.4	2.4	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2	1.2
30	0.0		6.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	1.2	1.2	1.2
31	1.2		3.6		1.2		7.2	2.4		1.2		1.2

Ei Ei Zin  
Head Officer  
Department of Meteorology & Hydrology

出典 : ミャンマー国気象庁、JICA 調査団

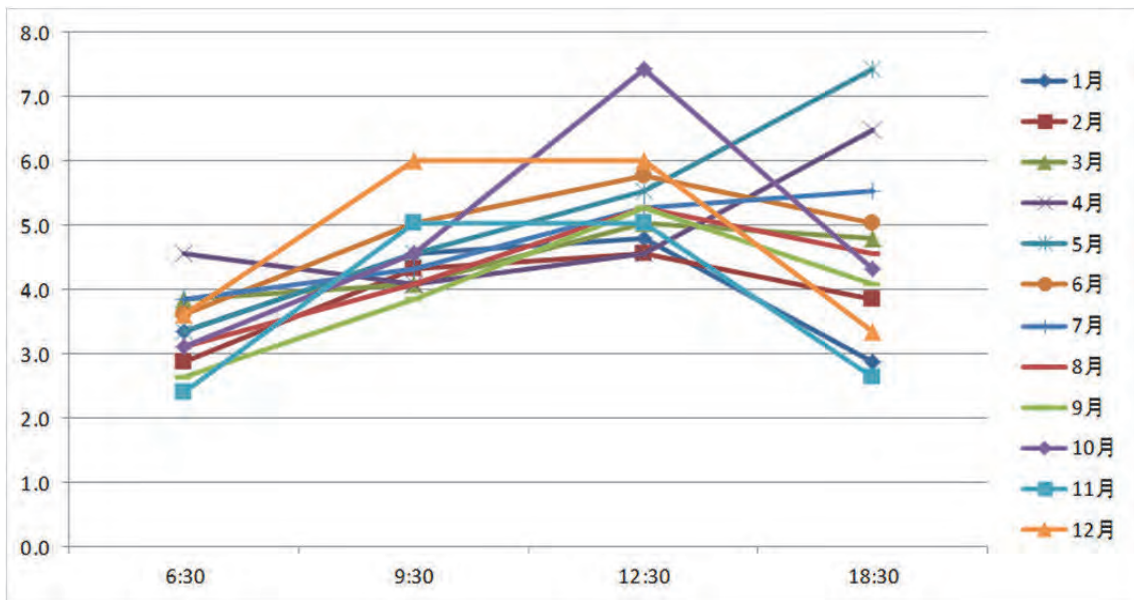
各年の最大風速について、次表 3.1.3.に整理し、観測時刻毎の風速の傾向を確認した。サイクロンの発生等により風速が高まることはあるが、どの月においても観測時刻 12:30 の風速が最も大きいことが分かる。風向の結果を踏まえると、日中においては、ヤンゴンで発生する風は比較的に強い風が、南方向から吹いていることが分かる。

表 3.1.3. 風速データ (2014年 月別最大値)

単位 m/sec

年	時刻 / 月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2010年	6:30	3.6	2.4	3.6	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	1.2	2.4	2.4	6.0
	9:30	2.4	4.8	2.4	3.6	4.8	4.8	2.4	4.8	2.4	4.8	4.8	4.8
	12:30	3.6	3.6	2.4	3.6	6.0	4.8	6.0	3.6	6.0	12.0	6.0	6.0
	18:30	2.4	4.8	4.8	6.0	9.6	4.8	6.0	4.8	4.8	7.2	2.4	4.8
2011年	6:30	2.4	2.4	7.2	2.4	1.2	3.6	2.4	2.4	2.4	3.6	2.4	2.4
	9:30	3.6	2.4	7.2	3.6	3.6	7.2	2.4	3.6	2.4	4.8	2.4	8.4
	12:30	4.8	4.8	6.0	3.6	3.6	6.0	3.6	7.2	3.6	4.8	3.6	7.2
	18:30	2.4	2.4	4.8	3.6	6.0	7.2	6.0	4.8	3.6	2.4	2.4	2.4
2012年	6:30	3.6	2.4	2.4	12.0	3.6	3.6	3.6	2.4	3.6	2.4	2.4	3.6
	9:30	3.6	3.6	2.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	4.8	3.6	9.6	9.6
	12:30	3.6	3.6	3.6	3.6	6.0	6.0	6.0	3.6	4.8	6.0	7.2	6.0
	18:30	2.4	3.6	2.4	9.6	7.2	4.8	3.6	4.8	3.6	3.6	3.6	4.8
2013年	6:30	3.6	3.6	3.6	3.6	6.0	3.6	4.8	6.0	3.6	3.6	2.4	3.6
	9:30	6.0	7.2	4.8	6.0	6.0	6.0	8.4	4.8	6.0	6.0	4.8	3.6
	12:30	6.0	7.2	7.2	6.0	7.2	6.0	7.2	8.4	8.4	8.4	4.8	6.0
	18:30	3.6	3.6	6.0	7.2	10.8	4.8	4.8	6.0	4.8	6.0	2.4	2.4
2014年	6:30	3.6	3.6	2.4	2.4	3.6	4.8	6.0	2.4	2.4	3.6	2.4	2.4
	9:30	7.2	3.6	3.6	3.6	4.8	3.6	4.8	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	12:30	6.0	3.6	6.0	6.0	4.8	6.0	3.6	3.6	3.6	6.0	3.6	4.8
	18:30	3.6	4.8	6.0	6.0	3.6	3.6	7.2	2.4	3.6	2.4	2.4	2.4
最大平均	6:30	3.4	2.9	3.8	4.6	3.4	3.6	3.8	3.1	2.6	3.1	2.4	3.6
	9:30	4.6	4.3	4.1	4.1	4.6	5.0	4.3	4.1	3.8	4.6	5.0	6.0
	12:30	4.8	4.6	5.0	4.6	5.5	5.8	5.3	5.3	5.3	7.4	5.0	6.0
	18:30	2.9	3.8	4.8	6.5	7.4	5.0	5.5	4.6	4.1	4.3	2.6	3.4

出典：ミャンマー国気象庁、JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.2. 風速月別最大値の計測時刻別プロット 単位：m/sec

### 3) 湿度

湿度は一日に1回観測されており、観測時刻は12:30である。収集したデータを調査団が取り纏めた結果を次表 3.1.4. に示す。

表 3.1.4. 湿度データ (2014 年)

単位：%

Station : KABA-AYE Year : 2014

Daily Relative Humidity (%) at (12:30) hrs M.S.T

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	51	42	31	54	46	72	93	79	84	100	66	41
2	53	29	43	53	46	72	75	88	75	66	70	42
3	53	42	27	46	38	69	82	85	79	66	62	37
4	57	34	26	54	46	78	96	85	78	64	62	38
5	54	32	40	41	46	66	78	93	68	62	100	52
6	53	41	37	54	36	82	72	96	66	64	100	55
7	53	37	39	48	42	85	74	79	88	58	82	63
8	55	41	32	53	44	78	71	78	75	55	58	51
9	42	47	29	48	48	85	79	85	96	84	66	52
10	91	47	30	51	52	93	75	100	75	84	62	52
11	47	47	32	41	56	93	85	82	79	66	61	51
12	44	45	33	51	56	96	82	71	71	71	56	56
13	46	43	39	43	68	82	89	79	75	66	61	50
14	47	38	36	46	56	85	85	71	71	55	61	53
15	36	38	29	51	56	92	88	88	69	55	66	51
16	64	45	24	47	69	85	79	84	88	58	58	49
17	41	46	36	48	66	79	75	75	78	51	64	45
18	51	53	24	48	72	82	82	92	100	55	58	46
19	95	37	26	48	71	92	96	64	84	55	54	55
20	90	38	51	44	74	78	96	71	74	64	53	48
21	35	39	33	46	100	69	96	92	88	68	56	39
22	66	46	42	46	75	73	88	92	61	70	59	43
23	30	39	38	46	68	65	84	68	55	65	56	38
24	37	32	38	50	64	100	82	66	65	64	50	41
25	42	18	40	50	62	82	96	85	68	64	51	38
26	50	41	40	53	66	71	85	68	96	66	82	38
27	53	34	57	50	62	77	93	64	61	66	49	44
28	91	31	47	50	64	72	79	100	64	71	50	78
29	47		47	92	64	81	100	80	78	65	47	49
30	47		48	48	72	92	85	81	72	65	42	42
31	37		42		56		96	71		66		49

Ei Ei Zin  
Head Officer  
Department of Meteorology & Hydrology

出典：ミャンマー国気象庁、JICA 調査団

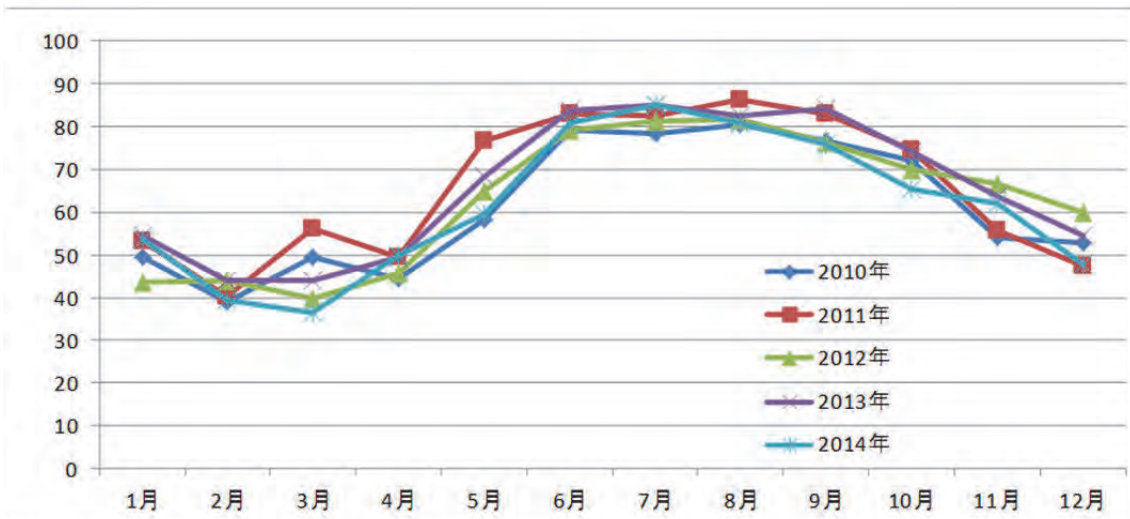
月毎の湿度の平均値について整理した（次表参照）。乾期である12月から4月までの湿度は50%前後であるが、雨期である6月～9月の湿度は80%程度となる。

表 3.1.5. 湿度の月別平均値

単位：%

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2010年	49	39	50	44	58	79	78	80	76	72	54	53
2011年	53	40	56	49	77	83	83	86	83	74	56	47
2012年	43	44	40	46	65	79	81	82	76	70	66	60
2013年	55	44	44	49	68	84	85	83	84	74	64	55
2014年	53	39	37	50	59	81	85	81	76	65	62	48

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.3. 湿度の月別平均値グラフ 単位：%

4) 霧

収集したデータを調査団が取り纏めた結果を、次表に示す。データより、霧は年間を通してほとんど発生していない。

表 3.1.6. 霧データ (2014年 日別霧の発生回数)

Station : KABA-AYE											Year :2014	
Daily Fog Frequency												
Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0
3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	3	0	0
5	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0	0		0		0

Ei Ei Zin  
Head Officer  
Department of Meteorology & Hydrology

出典 : ミャンマー国気象庁、JICA 調査団

5) 降水量

降水量は毎日 6:00 に計測され、観測した日の 6:00 から 24 時間後の 6:00 までの累積雨量を日雨量として観測している。収集したデータを調査団が取り纏めた。その結果を、次表に示す。

表 3.1.7. 降水量データ (2014 年)

Station : KABA-AYE												Year :2014	
Daily Rainfall (mm)													
Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
1	0	0	0	0	0	3	21	55	8	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	17	7	3	25	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	26	14	45	68	29	0	
4	0	0	0	0	0	30	24	47	16	20	2	0	
5	0	0	0	Trace	0	45	8	39	0	0	68	0	
6	0	0	0	0	0	0	9	36	3	2	154	0	
7	0	0	0	0	Trace	14	Trace	26	9	0	47	0	
8	0	0	0	0	0	2	7	1	17	0	0	0	
9	0	0	0	0	15	8	45	13	0	Trace	0	0	
10	0	0	0	0	19	16	10	58	4	17	0	0	
11	0	0	0	0	0	49	23	23	Trace	1	0	26	
12	0	0	0	0	16	162	31	Trace	0	Trace	Trace	0	
13	0	0	0	0	0	7	23	Trace	25	3	0	0	
14	0	0	0	0	0	2	43	0	1	0	0	0	
15	0	0	0	0	6	5	10	17	17	0	Trace	0	
16	0	0	0	0	0	7	23	41	5	0	0	0	
17	0	0	0	Trace	0	18	0	1	1	0	Trace	0	
18	0	0	0	0	0	16	27	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	101	5	14	9	14	0	0	0	
20	0	0	0	0	8	5	127	Trace	0	17	0	0	
21	0	0	0	0	22	17	75	21	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	35	58	36	29	Trace	Trace	0	0	
23	0	0	0	0	10	57	Trace	33	0	21	0	0	
24	0	0	0	0	62	81	5	2	2	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	38	43	Trace	5	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	2	38	3	5	18	0	0	
27	0	0	0	0	0	10	39	Trace	6	5	0	0	
28	0	0	0	0	0	42	17	30	0	1	0	0	
29	0		0	0	0	2	Trace	34	0	21	0	0	
30	0		0	0	1	Trace	53	30	11	0	0	0	
31	0		0		0		24	6		5		0	

"Trace" The amount of rainfall which cannot be measured.

Ei Ei Zin  
Head Officer  
Department of Meteorology & Hydrology

出典：ミャンマー国気象庁、JICA 調査団

過去 5 年の総雨量を整理した結果、ヤンゴン市内の年平均降水量は約 2,800mm であり、日本の年平均降水量 1,800mm の約 1.5 倍であった。

また、2010 年～2014 年の年間降水量を月別グラフに整理した（次図参照）。ヤンゴンは雨季と乾季が明瞭な熱帯モンスーン気候であることがわかる。

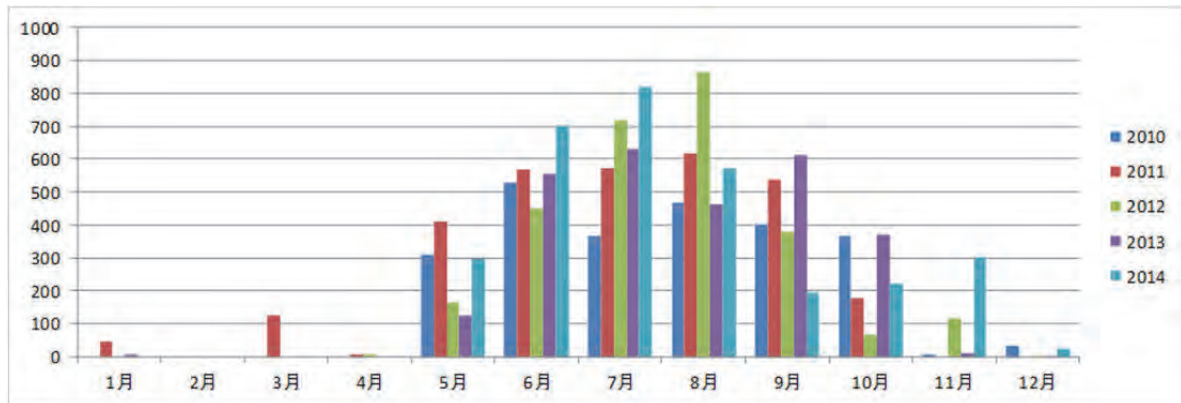


表 3.1.8. 月別降水量 (2010 年～2014 年)

単位 (mm)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	総雨量
2010	0	0	0	0	308	529	367	467	402	367	7	33	2480
2011	48	0	127	5	412	567	574	615	538	178	0	0	3064
2012	0	0	0	8	167	450	717	864	379	69	115	2	2771
2013	6	0	0	0	125	556	630	464	612	371	13	3	2780
2014	0	0	0	0	295	701	818	575	197	224	300	26	3136

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.4. 月別降水量グラフ (2010 年～2014 年)

## 3.2. 全体航路水深

2015年5月から6月にかけて実施された雨季前の第1回目の深浅測量結果を基にして、派生成果品として調査対象地域全域を対象とした深浅図（1m等深線）が作成された（第3巻、図1.1.1.参照）。

また、2015年11月から12月にかけて実施された雨季後の第2回目の深浅測量において航路中心線に沿った深浅図（幅300m、延長距離72.0km）が作成された（第3巻、図1.6.2.参照）。

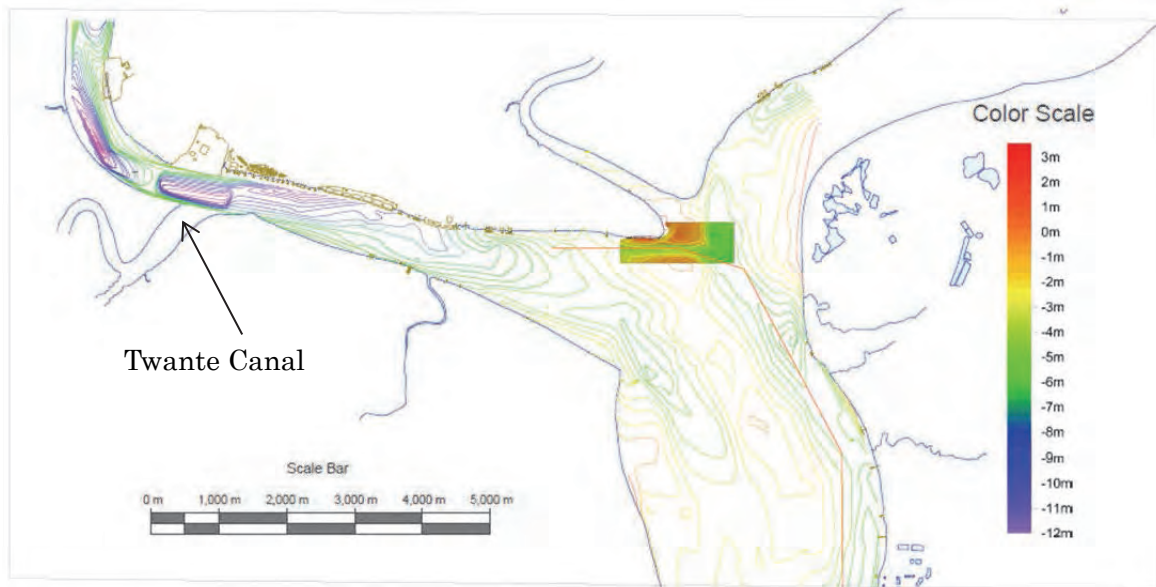
これらの深浅測量結果によるとヤンゴン川、ヤンゴン川河口部及び沖合部の川床地形／海底地形の概況は以下のとおりである。

### 3.2.1. ヤンゴン港上流部からモンキー・ポイントまで

ヤンゴン港上流部からモンキー・ポイントまでの範囲のヤンゴン川中央部の水深は比較的深い。

この地域における最も水深が深い範囲はヤンゴン川と Twante Canal（：トワンテキャナル、下図参照。）の合流部付近であり、その水深は -20m 以上ある。

ヤンゴン川とトワンテキャナルの合流部からモンキー・ポイントまでのヤンゴン川の中央部の水深は概ね水深 -12m から -5m と次第に浅くなっていく。最も浅い場所はヤンゴン川とバゴー川の合流部でありその水深は概ね -1m である。



出典：JICA 調査団

図 3.2.1. 測量結果 ヤンゴン港上流部からモンキー・ポイントまで

### 3.2.2. モンキー・ポイントの維持浚渫航路

モンキー・ポイントの維持浚渫航路の水深は - 4.0 m であり、その幅は概ね 150 m である。この航路は MPA により定期的に維持浚渫されており、形状もきれいに維持されている。

モンキー・ポイントの維持浚渫航路の南側の水深は - 1 m と浅いことから、低潮時における大型船泊の航行は困難である。

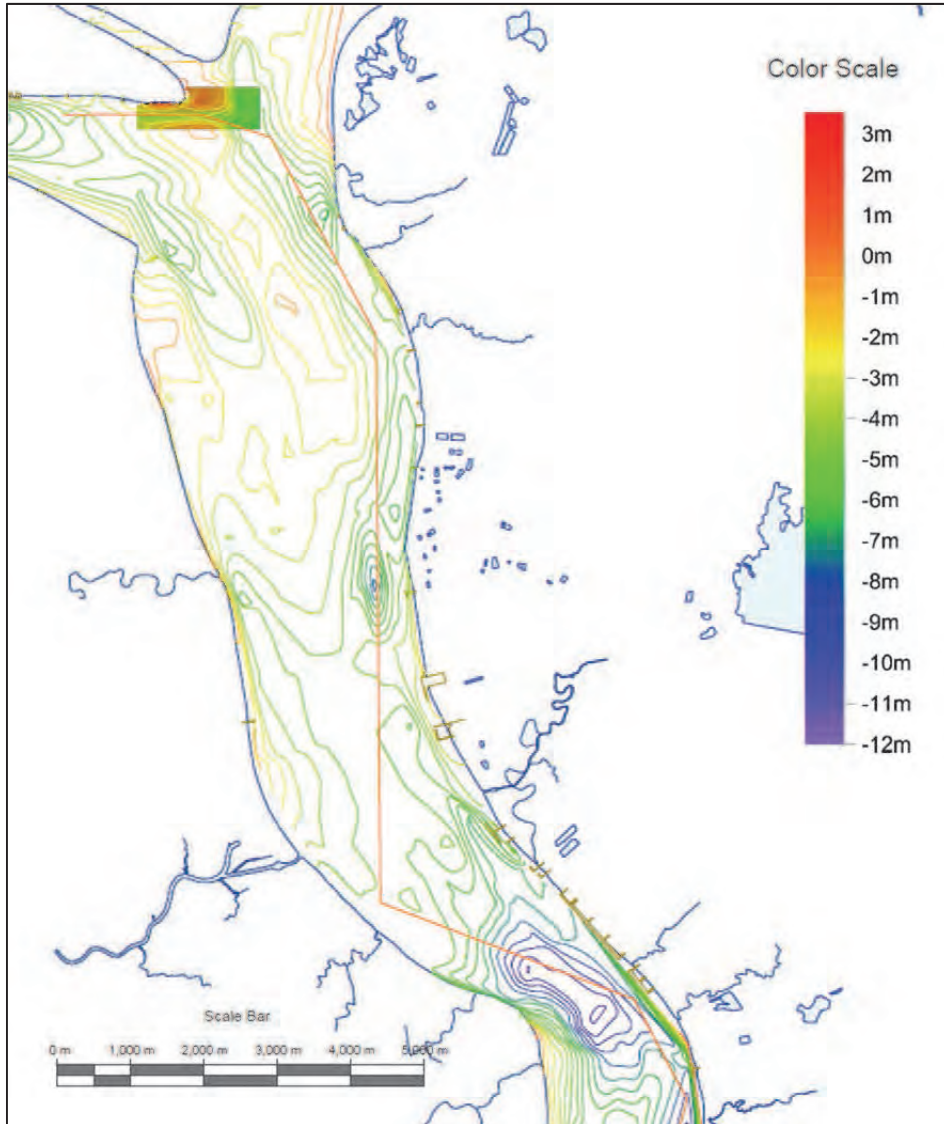
### 3.2.3. モンキー・ポイントからティラワまで

基本的に、モンキー・ポイントからティラワまでの範囲におけるヤンゴン川の水深は左岸側が深く、右岸側は浅くなっている。

概ね水深 - 1 m の浅瀬が、ヤンゴン川とバゴー川の合流部の中央部から下流方向に約 2~3 km、幅約 700~800m にわたり張り出している。

この範囲においては、水深が深い場所が以下の 2 ヶ所に存在する。

- |                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 1) New Admiralty Jetty の前面水域 | 水深が概ね - 12 m |
| 2) ティラワの前面水域                 | 水深が概ね - 16 m |



出典：JICA 調査団  
出典：JICA 調査団

図 3.2.2. 測量結果 モンキー・ポイントからティラワまで

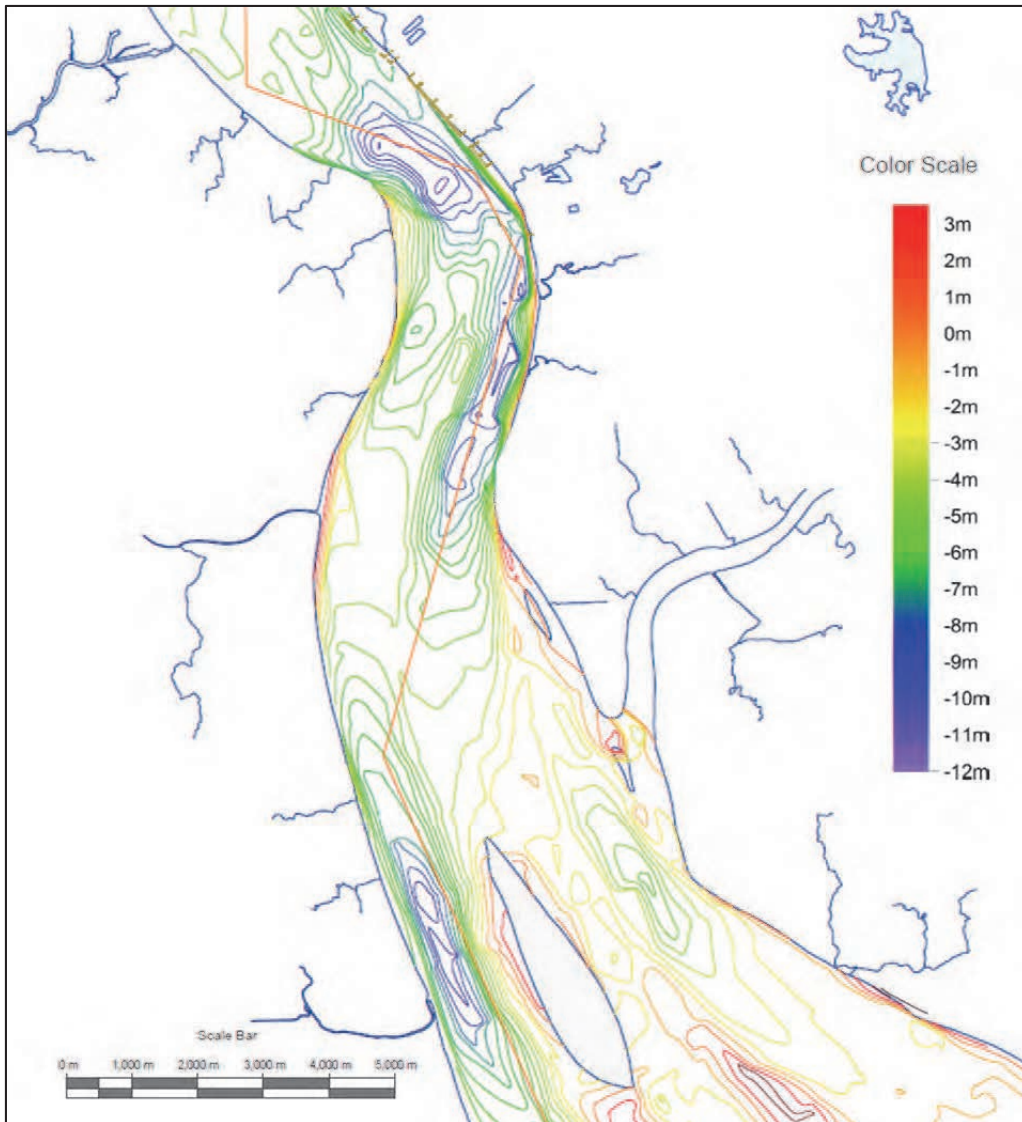
#### 3.2.4. ティラワから中州（Myet Sein Kyun）の上流部まで

概ねティラワからヤンゴン川の中州（Myet Sein Kyun）の範囲におけるヤンゴン川の水深は左岸側の水深が右岸側の水深より深い。

この範囲における航路中心線は、ヤンゴン川の左岸側（ティラワ）から右岸側（中州の上流部）に向けて、ヤンゴン川を横切るように設定されている。

従って、この範囲の航路の水深は、上流側（ティラワ周辺の左岸側）が下流側（中州の上流部左岸側）より深く、ヤンゴン川の中央部が一番浅くなっている。

この範囲の上流側（ティラワ周辺の左岸側）の水深は概ね - 13 m～ - 14 m、下流側（中州の上流部左岸側）は概ね - 10 m、ヤンゴン川の中央部では概ね - 5 m～ - 6 m の水深となっている。



出典：JICA 調査団

図 3.2.3. 測量結果 ティラワから中州（Myet Sein Kyun）の上流部まで

### 3.2.5. 中州の上流部からエレファント・ポイントまで

中州の右岸側の水深は比較的深い、左岸側は右岸側の水深より浅い。広い浅瀬が中州の下流部からヤンゴン河左岸に沿って広がっている。

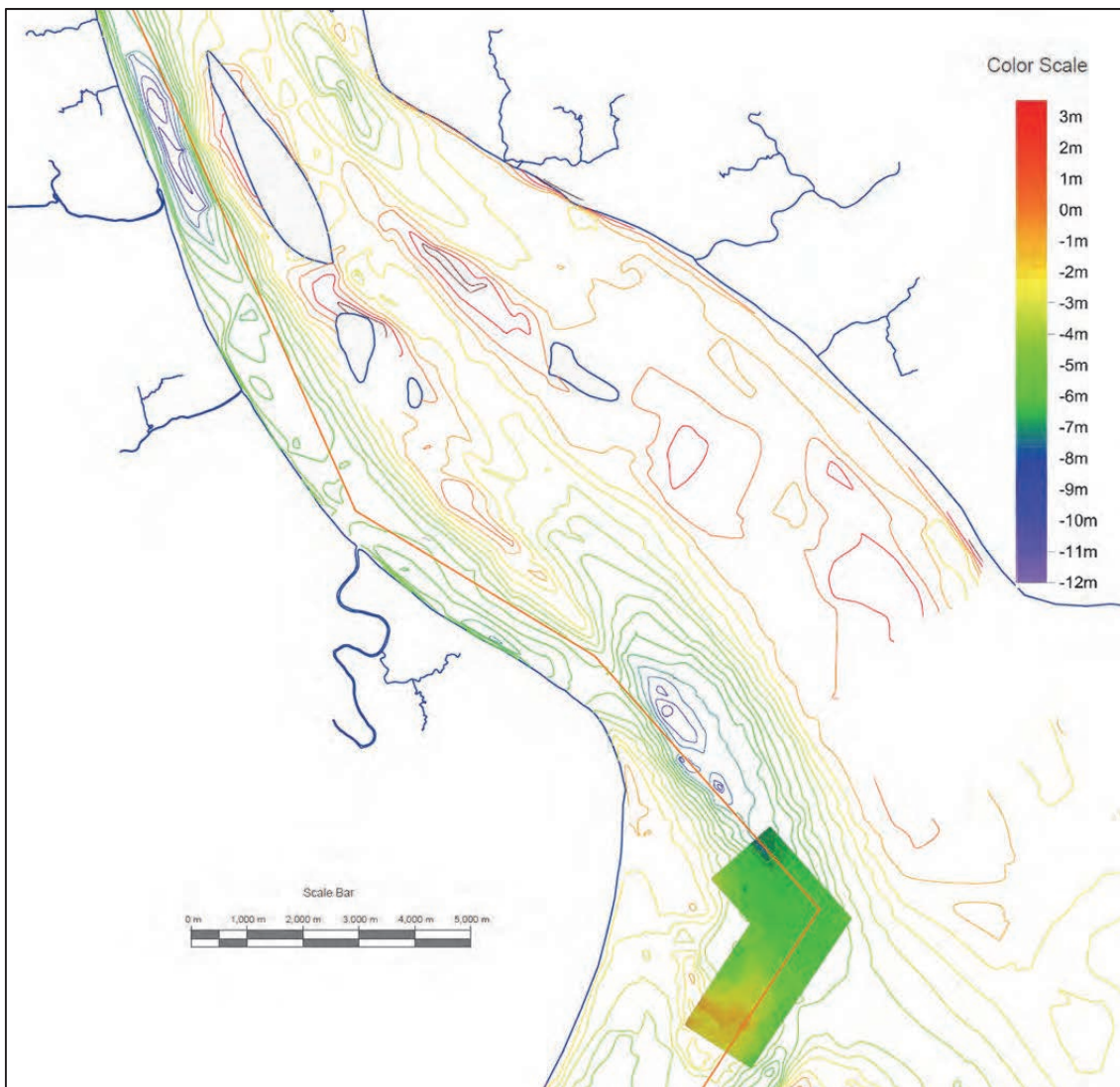
比較的深い水深の範囲が、ヤンゴン川の右岸から約 1,000 m 以内の距離にヤンゴン川の右岸の岸線に並行して存在している。

ヤンゴン川の右岸と中州との間の水深は概ね - 10 m～ - 14 m である。

中州の上流部からヤンゴン川河口部までの範囲における MPA の航路中心線は、ヤンゴン川右岸から概ね 800 m～900 m の距離に岸線と並行して設定されており、その水深は概ね -7 m～ -10 m である。

この範囲における MPA の航路中心線は必ずしも最深部に設定されていないことがわかる。特に中州の右岸側の航路中心線は、水深からみるとヤンゴン川の右岸側に移動数百 m 移動させるべきだと考えられる。

エレファント・ポイントの上流部の水深は比較的深く、最大水深は概ね -14 m であり、その場所はヤンゴン川の右岸から概ね 1,200 m の距離に位置している。



出典：JICA 調査団

図 3.2.4. 測量結果 中州の上流部からエレファント・ポイントまで

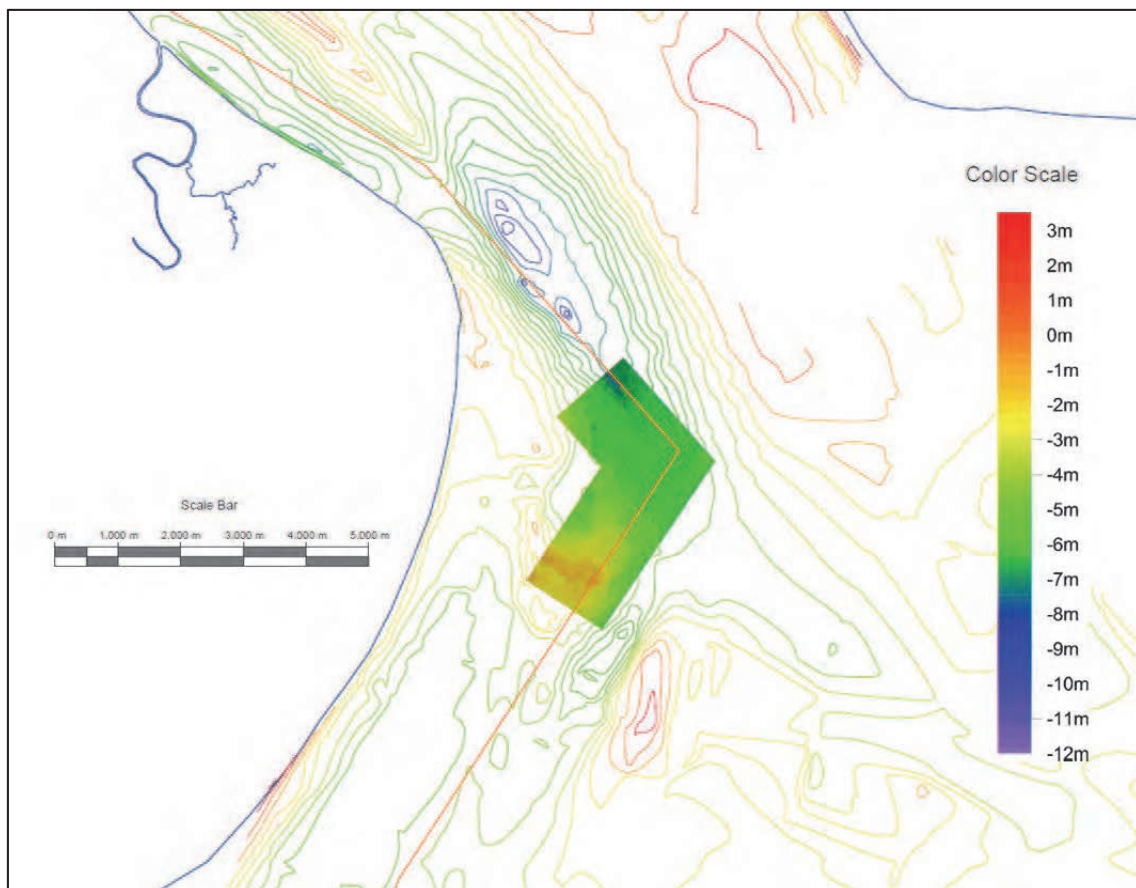
### 3.2.6. エレファント・ポイント

エレファント・ポイントの深浅測量結果によれば、MPA から提供された航路中心線はエレファント・ポイントにおける最深部とは一致していない（第3巻、図 1.5.2.及び 1.5.3.参照）。

エレファント・ポイントの最深部と航路中心線との間には概ね 700 m の距離が存在している。

エレファント・ポイントにおける川床地形の特徴は以下のとおりである。

- 1) エレファント・ポイント周辺における最浅部の水深は概ね +1 m である。
- 2) エレファント・ポイント周辺における最深部の水深は概ね -9 m である。
- 3) エレファント・ポイントにおける水深 -8 m の範囲の地域の幅は概ね 300 m ある。
- 4) エレファント・ポイントの最深部の東側は急激に浅くなっている。  
(概ね 450 m 以内で水深 -8 m から 0 m まで変化する)

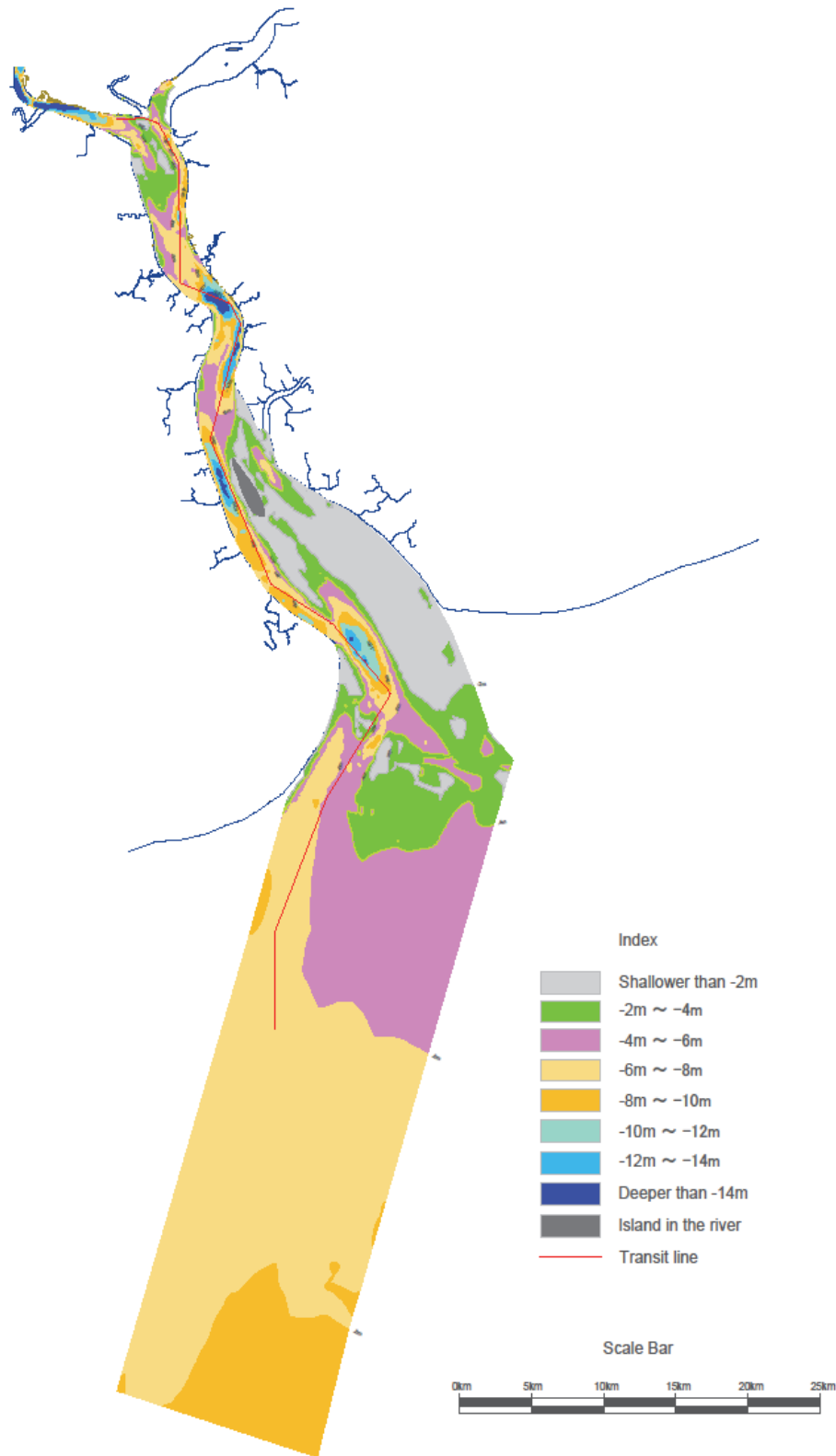


出典：JICA 調査団

図 3.2.5. 測量結果 エレファント・ポイント

### 3.2.7. エレファント・ポイントからパイロットステーション

エレファント・ポイントからパイロットステーションまでは、水深が -5 m ~ -6 m の緩やかな起伏のある海底地形をしている。次図は、今回の深浅測量範囲全体の結果を 2m ピッチで色分けしたものである。



出典：JICA 調査団

図 3.2.6. 測量結果（雨季前） 2m 等高線図



### 3.3. モンキー・ポイントの水深変動

#### 3.3.1. 今回の深浅測量結果からみたモンキー・ポイントの水深変動

図 3.3.1. に示したものが、モンキー・ポイントにおける雨季前と雨季後のカラーマップと、2 時期のカラーマップの河床地形の変化を示したものである。

また、図 3.3.2. は雨季前と雨季後の横断測量結果を基にして、2 時期のモンキー・ポイントにおける河床断面を比較したものである。この図において青色が雨季前（2015 年 5 月～6 月観測）の河床断面を、赤色が雨季後（2015 年 11 月～12 月観測）の河床断面を示している。

モンキー・ポイントの航路は MPA により定期的に浚渫されていることから、今回の雨季前と雨季後の深浅測量における河床地形の変化が、モンキー・ポイントにおける雨季前と雨季後の自然的な河床地形の変化を示しているとは言えない。

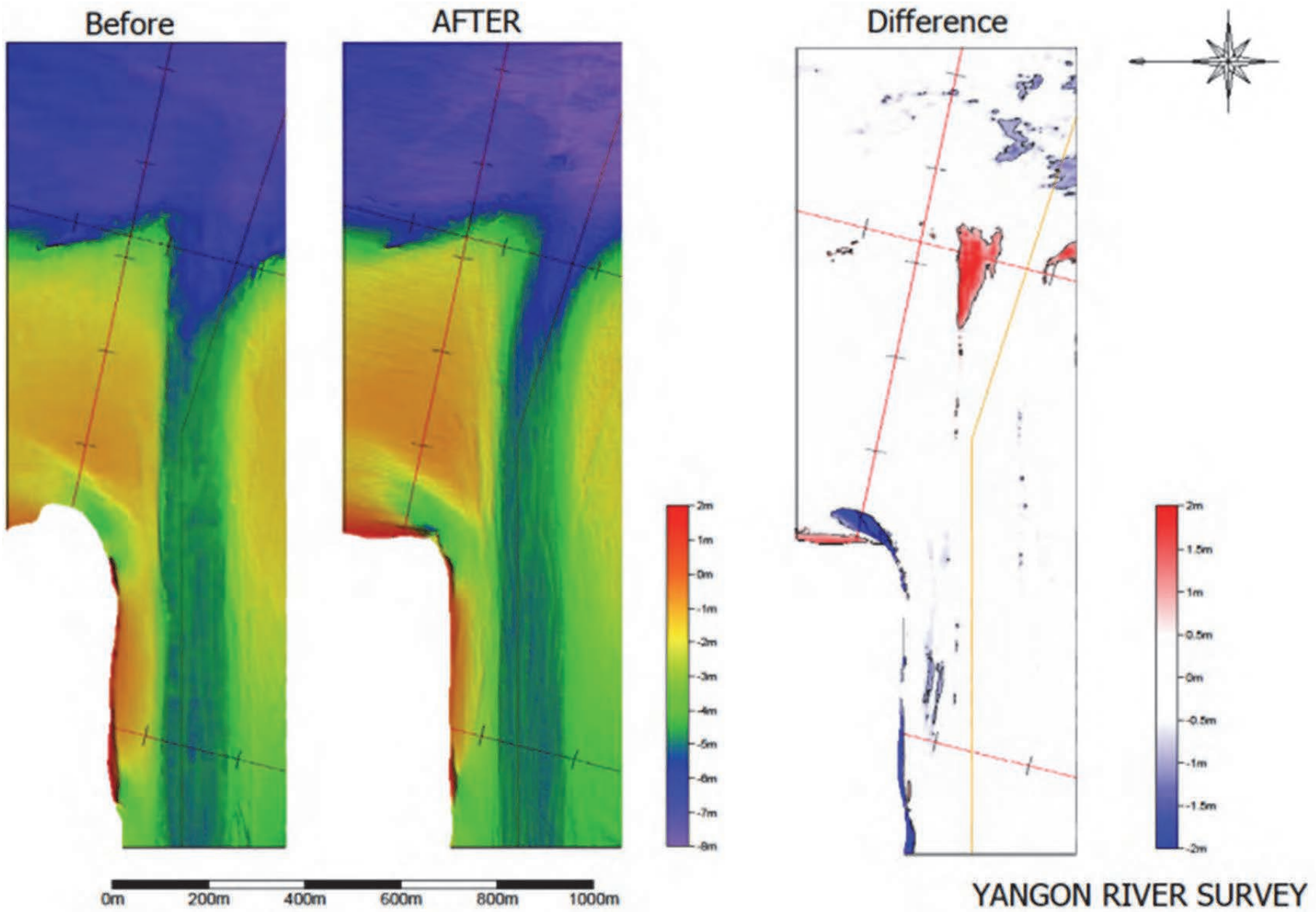
今回の深浅測量結果から判明するモンキー・ポイント（浚渫航路）における雨季前と雨季後の河床地形の変化の特徴は以下のとおりである。

- 1) モンキー・ポイントの浚渫航路の水深は MPA により概ね適切に維持されている。
- 2) 浚渫水路の下流側の出口の左右に、雨季前と雨季後では 1.5 m～2.0 m の堆積が見られる。
- 3) 浚渫水路と次図 3.3.2 に示す、測線 P-01 がある Panzandaung Creak（：パズンダungk・リーク）を結ぶ岸に沿った範囲が雨季後が雨季前より約 1.0 m～1.5 m 程度深くなっている。
- 4) 浚渫航路内のその他の地域においては大きな河床地形の変化は見られない。

一方、横断面 Y-39 及び Y-37 からは、ヤンゴン川とバゴー川の合流部付近では、ほとんどの範囲で雨季後の水深は雨季前の水深より深くなっている。

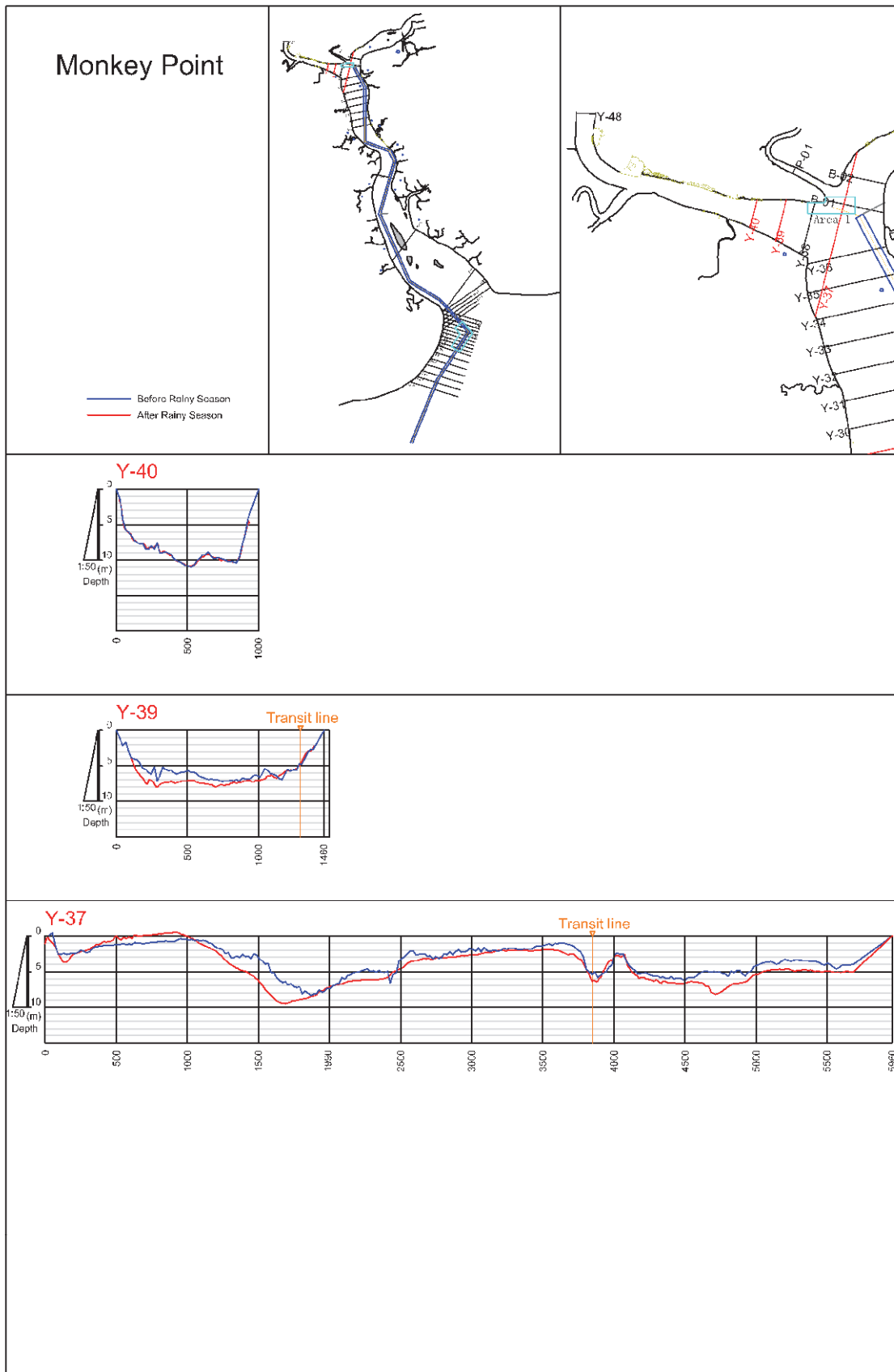
この事は、モンキー・ポイント付近においては乾季に土砂が堆積し、雨季に堆積した土砂が雨季の降雨により増水したヤンゴン川の流量の増大により流出していると考えられる。

しかしながら、この事を確認するためには次の乾季に再度深浅測量を実施する必要がある。



出典：JICA 調査団

図 3.3.1. モンキー・ポイントにおける雨季前と雨季後の水深変化



出典：JICA 調査団

図 3.3.2. モンキー・ポイントにおける雨季前と雨季後の断面図の比較

## 3.4. エレファント・ポイントの水深変動

### 3.4.1. 過去の MPA の深浅図からみたエレファント・ポイントの水深変動

MPA はこれまで定期的にエレファント・ポイントの深浅測量を実施している。調査団が MPA から収集したエレファント・ポイントにおける過去の深浅図は以下のとおりである。

- 1) 2011 年 1 月に測量された縮尺 1/35,000 深浅図
- 2) 2012 年 1 月に測量された縮尺 1/35,000 深浅図
- 3) 2013 年 1 月に測量された縮尺 1/35,000 深浅図
- 4) 2015 年 1 月に測量された縮尺 1/35,000 深浅図
- 5) 2015 年 5 月に測量された縮尺 1/35,000 深浅図
- 6) 2015 年 8 月に測量された縮尺 1/35,000 深浅図

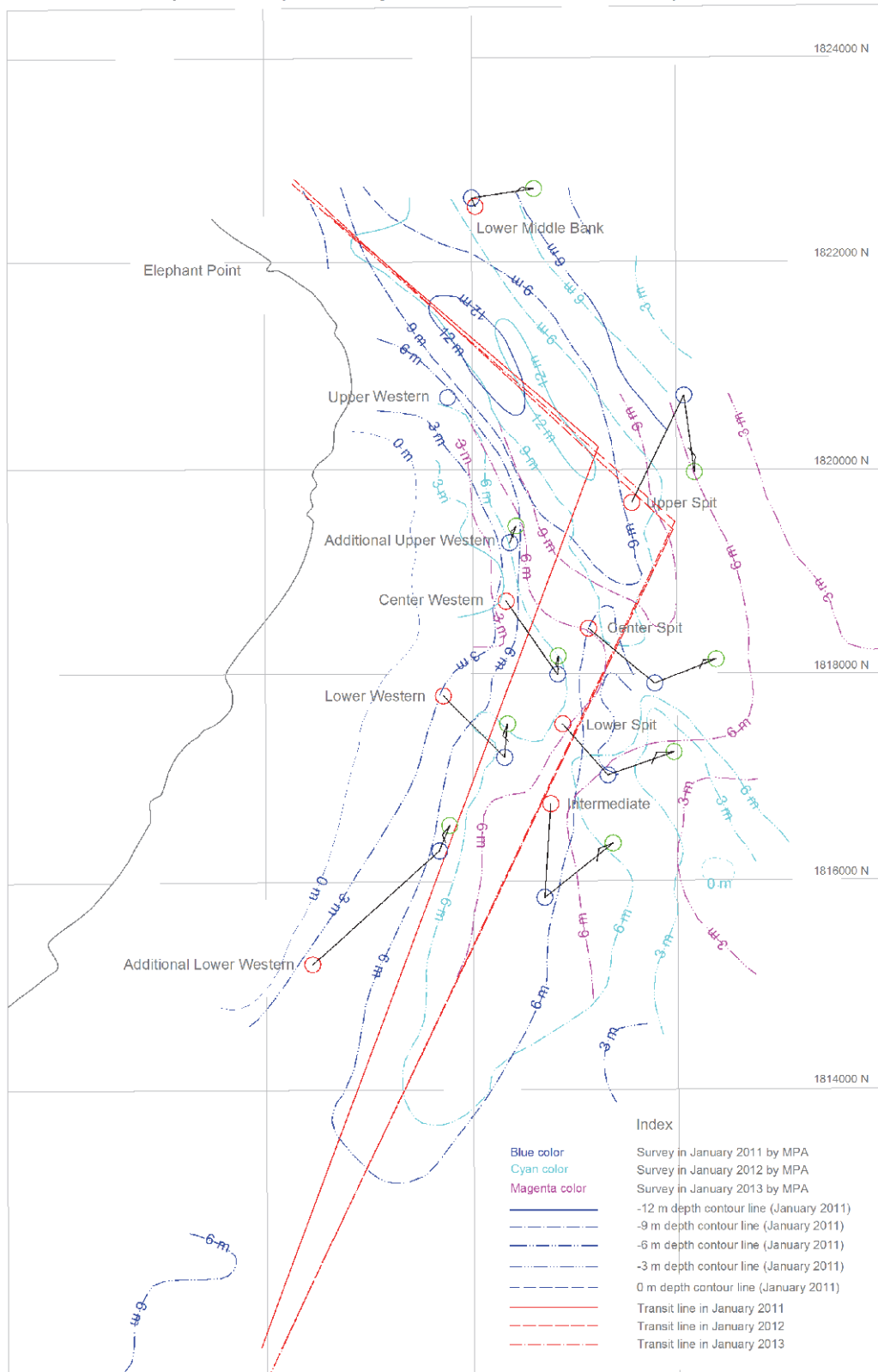
図 3.4.1.は、2011 年 1 月、2012 年 1 月及び 2013 年 1 月の MPA の深浅図を基にしてエレファント・ポイントにおける水深変化を表示したものであり、3 年間におけるエレファント・ポイントの水深変化を平面的にとらえることができる。

また、図 3.4.2.は、2011 年 1 月、2012 年 1 月及び 2013 年 1 月の MPA の深浅図を基にして、エレファント・ポイントの 3 ヶ所の断面図を作成し、比較したものであり、3 年間におけるエレファント・ポイントの水深変化を垂直的にとらえることができる。

これらの 2 種類の図面から、エレファント・ポイントにおける水深変化は以下の傾向を示していると考えられる。

- 1) エレファント・ポイントの最深部は東南方向に移動する傾向を示している。
- 2) エレファント・ポイントの最深部周辺は場所により浸食と堆積が狭い範囲で生じていると考えられ、その為に河床地形が大きく変化すると考えられる。
- 3) エレファント・ポイントの水深変化は、航路中心線の変換点より下流側の方が大きいと考えられる。
- 4) エレファント・ポイントの最深部の移動に伴い、航路中心線とブイも東南方向に移動されている。

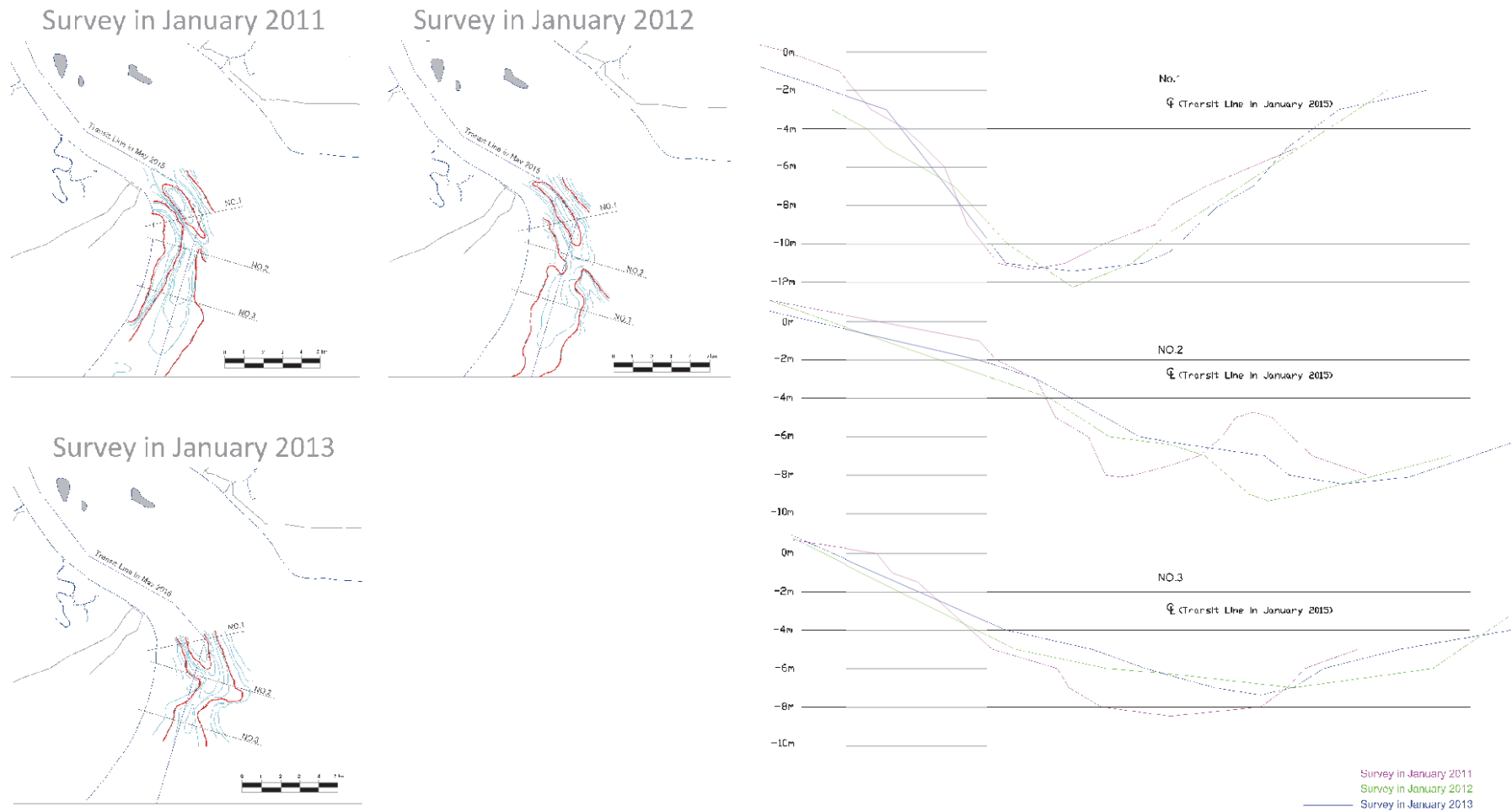
Bathymetric Maps at Yangon River Western Channel by MPA



出典：JICA 調査団

図 3.4.1. 2011 年 1 月、2012 年 1 月及び 2013 年 1 月の MPA の深淺図を  
基にしたエレファント・ポイントにおける水深変化図

### Bathymetric Maps by MPA and Cross Sections at Elephant Point



出典：JICA 調査団

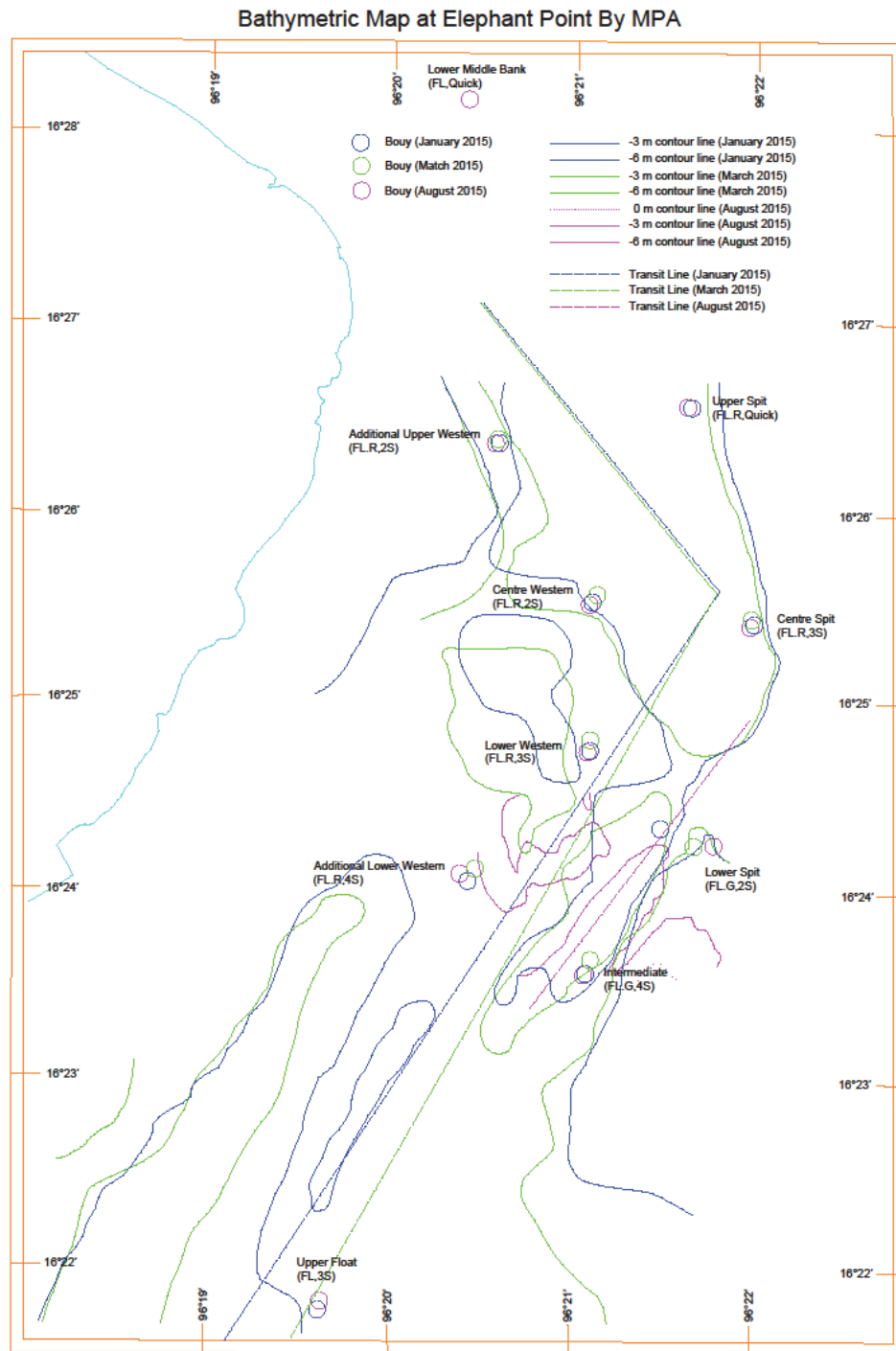
図 3.4.2. 2011 年 1 月、2012 年 1 月及び 2013 年 1 月の MPA の深浅図を基にしたエレファント・ポイントの断面図

図 3.4.3.は、2015 年 1 月、5 月及び 8 月の MPA の深浅図を基にして、エレファント・ポイントにおける水深変化を示したものである。

但し、2015 年 8 月の深浅測量範囲は、他の 2 時期と比較すると非常に狭い範囲しか実施されていないことから、MPA による定期的なエレファント・ポイントの深浅測量ではなく、エレファント・ポイントの最深部の河床地形を確認するために臨時的に実施されたものではないかと考えられる。

また、2015 年 8 月の深浅図に記載されている航路中心線は、2015 年 5 月の深浅図に記載されている航路中心線より東方向に約 700 m 並行移動されていることから、2015 年 8 月の深浅図の目的は航路中心線の変更を検討するために実施されたのではと考えられる。

この水深変化図からも、エレファント・ポイントにおける最深部は東南方向に移動している傾向を示していると考えられる。



出典：JICA 調査団

図 3.4.3. 2015 年 1 月、5 月及び 8 月の MPA の深浅図を基にした  
エレファント・ポイントの水深変化図



### 3.4.2. 今回の深浅測量結果からみたエレファント・ポイントの水深変動

図 3.4.4.はエレファント・ポイントにおける雨季前と雨季後のマルチビーム測深システムによる深浅測量結果を基にして作成された、雨季前と雨・季後のエレファント・ポイントにおける水深の変化を示したものである。

また、図 3.4.5.は雨季前と雨季後の横断測量結果を基にして、2 時期のエレファント・ポイントにおける河床断面を比較したものである。この図において青色が雨季前（2015 年 5 月～6 月観測）の河床断面を、赤色が雨季後（2015 年 11 月～12 月観測）の河床断面を示している。

エレファント・ポイントの 2 時期の深浅測量結果からもエレファント・ポイントにおける河床変動はかなり大きい事が、また土砂が堆積する場所と浸食される場所が狭い範囲に混在している事がわかる。

特に、横断測量路線番号の E-10 及び E-9 の航路中心線より概ね 1,000 m 西側の地点では、雨季後の水深は雨季前より 4.0 m～5.0 m 浅くなっており、雨季前から雨季後の半年間に高さが 4.0 m～5.0 m の崖が形成されたような観測結果となっている。

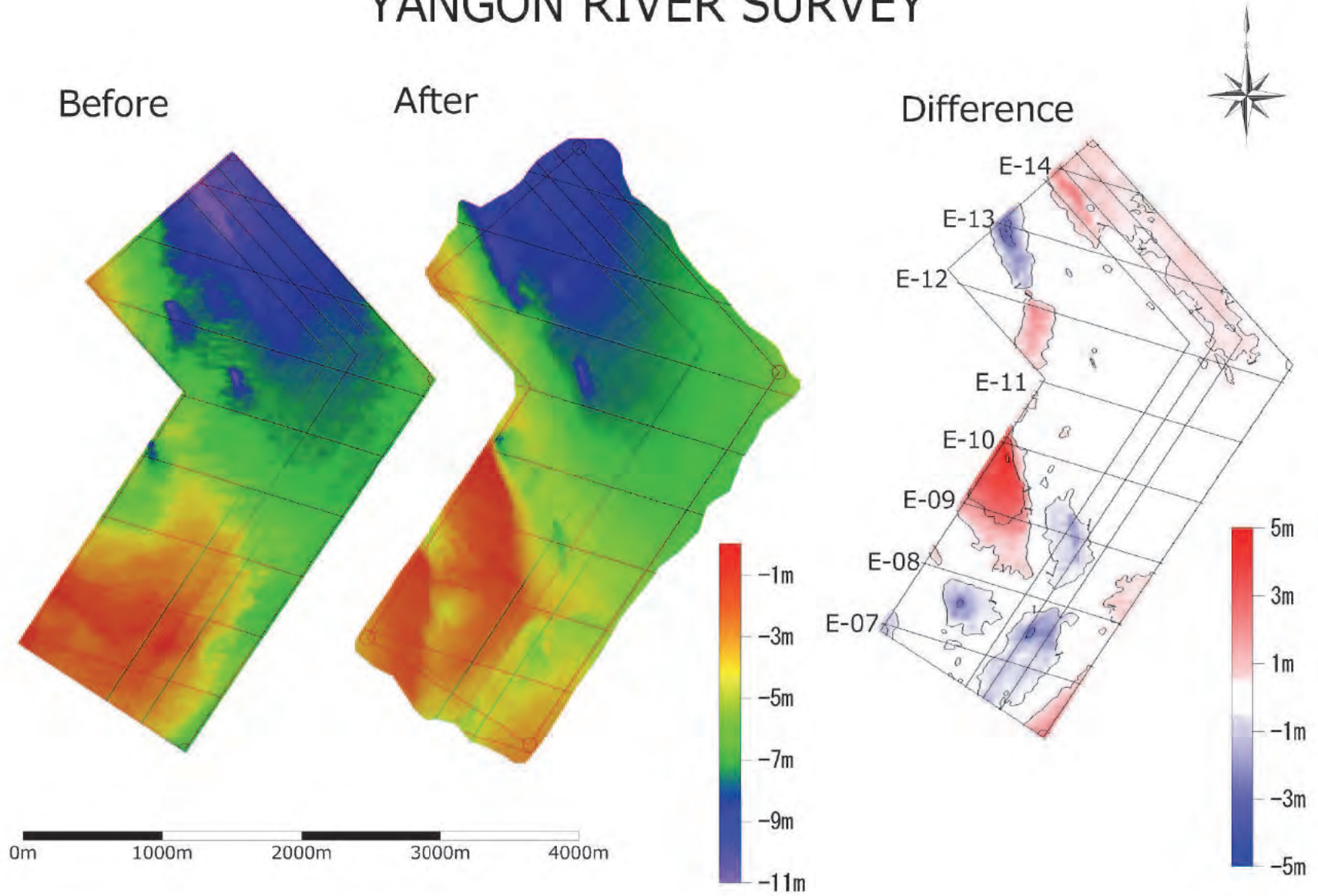
雨季後の観測結果から判明したこの高さ約 4.0m～5.0m の崖状の河床地形が、これからの乾季の間に、雨季前の観測結果の様な比較的平坦な河床地形に戻るのか、又はこの崖状の地形が継続して存在していくのかは、定期的に深浅測量を実施して確認する必要がある。

エレファント・ポイントの深浅測量範囲における航路中心線と水深の関係をみると、上流部（横断測量線番号 E-16、E-14 及び E-12）では、MPA の航路中心線は概ね最深部に位置している事がわかる。

しかしながら、エレファント・ポイントの下流部（横断測量路線番号 E-8）では、MPA の航路中心線は雨季前（2015 年 5 月～6 月）の深浅測量結果においても、既にエレファント・ポイントの最深部からずれている事がわかる。

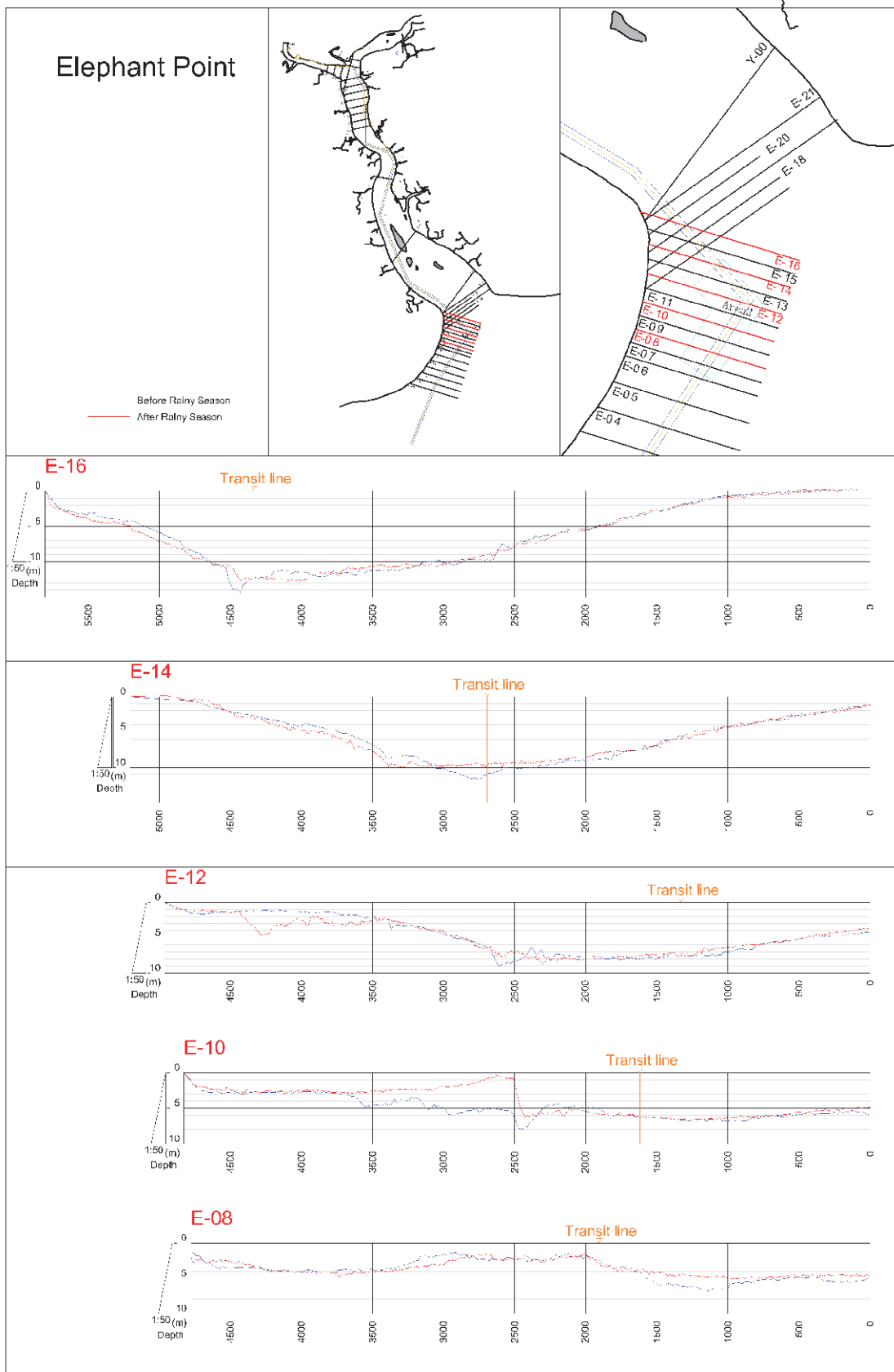
雨季後（2015 年 11 月～12 月）の深浅測量の結果では、最深部はさらに東側に移動しており、現在の最深部は概ね航路中心線から東方向に概ね 700m～800m に位置している事がわかる。

# YANGON RIVER SURVEY



出典：JICA 調査団

図 3.4.4. エレファント・ポイントにおける雨季前と雨季後の水深変化



出典：JICA 調査団

図 3.4.5. エレファント・ポイントにおける雨季前と雨季後の航路断面比較

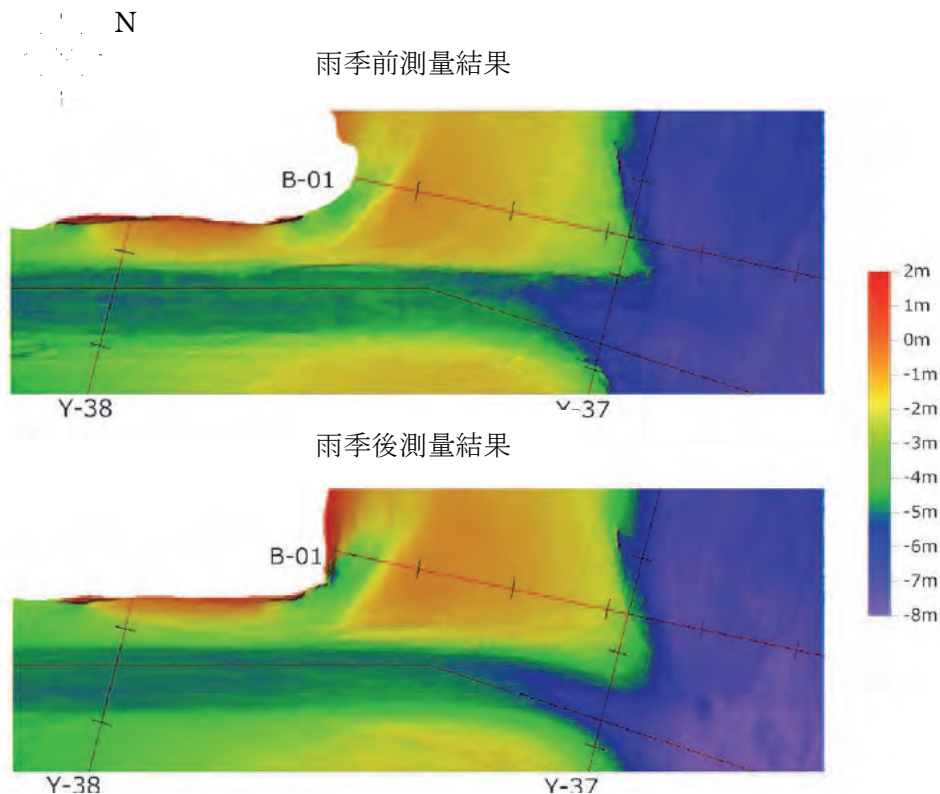
### 3.5. 維持浚渫の状況

MPA は、ヤンゴン川航路水深の確保を目的に、維持浚渫を実施している。維持浚渫は、ヤンゴン川航路において最も航行困難となり易いモンキー・ポイントを中心に実施されており、必要に応じて、ティラワ地区周辺等においても実施される。ヤンゴン川航路の維持浚渫の状況を把握し、今後の航路維持対策検討への反映及び参考とするため、MPA に対し聞き取り調査を行った。その結果を以下に記す。

#### 3.5.1. 維持浚渫箇所

モンキー・ポイントでの維持浚渫は、かなり頻繁に実施されており、ほぼ毎日行われている。浚渫作業は、浚渫船の作業効率の観点から干潮時前後で実施され、潮位状況や大型船の停泊・航行等の状況次第では、夜間作業も行われている。モンキー・ポイントでの維持浚渫は、水深 CD-4.2m の航路形状の確保を目標とし、MPA 所有の 1,000m<sup>3</sup>級 TSHD やグラブ船等により実施されている。その状況は、毎週月・火曜日に、MPA の測量部門による深淺測量により、航路形状をモニタリングしている。

本件調査では、モンキー・ポイントを対象に、雨季前後の 2 回の乾季において、マルチビーム測量を実施した。その結果をカラーマップで示したものを、次に示す。



出典： JICA 調査団

図 3.5.1. モンキー・ポイントのマルチ測量結果

上図が示すように、CD-5m 前後の水深を確保しつつ、約 500m 幅でのきれいな浚渫断面が形成されていることが判る。MPA による浚渫作業は、安全な航路を確保するために、目標形状を維持している。

### 3.5.2. 年間維持浚渫量

MPA は、年間を通じてほぼ毎日モンキー・ポイントでの浚渫を行っている。浚渫作業船の作業量は、1 回あたり 500m<sup>3</sup> 程度とのことで、それを乾季には 10 回 (:5,000m<sup>3</sup>)、雨季は 7 回 (:3,500m<sup>3</sup>) 程度を繰り返している。雨季の浚渫回数が少ないのは、河川の増水の影響による。浚渫作業船の年間稼働率は、年間 9 割程度と、かなり高い浚渫頻度を強いられている。

以上より、乾季を 11 月～4 月までの 6 か月、雨季を 6 か月と想定した場合、モンキー・ポイントにおける年間の航路維持浚渫量は、次の通りと推算できる。

$$\text{雨季} : 5,000\text{m}^3/\text{日} \times 183 \text{ 日} \times 90\% = 821,250\text{m}^3/\text{年}$$

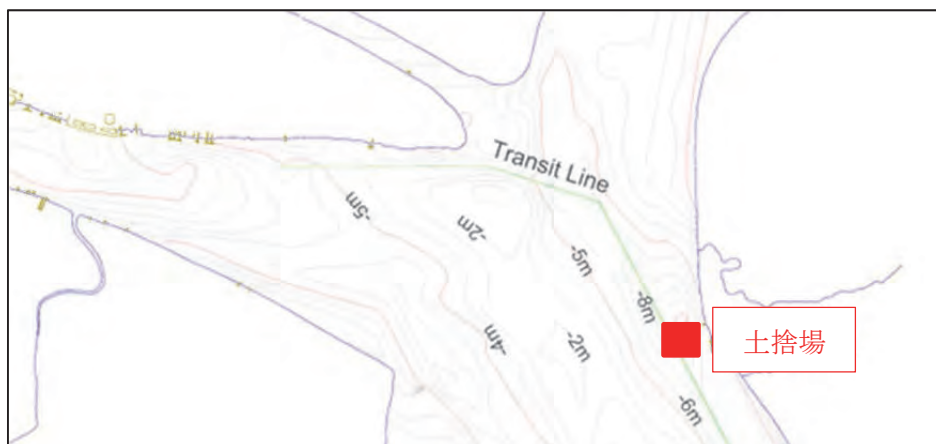
$$\text{乾季} : 3,500\text{m}^3/\text{日} \times 183 \text{ 日} \times 90\% = 574,875\text{m}^3/\text{年}$$

$$\text{合計} = 1,396,125\text{m}^3/\text{年} \approx \underline{\underline{1,400,000\text{m}^3/\text{年}}}$$

以上より、モンキー・ポイントにおける年間維持浚渫量は、140 万 m<sup>3</sup> にまで及んでいると推定でき、モンキー・ポイントでの堆積土砂量は相当に大きい。

### 3.5.3. 浚渫土の土捨て場

モンキー・ポイントで浚渫された土砂は、パズンダン・クリークから、約 2km 下流の航路上を土捨て場としている。本件調査で実施した測量結果から、その土捨て場位置は、周辺河床に比べて深掘れ傾向にある場所であり、掃流力が高く、捨てた土砂が下流に流れやすい場所である故、MPA は当該地を土捨て場を選定していると思われる。



出典：JICA 調査団

図 3.5.2. 浚渫土砂の土捨て場

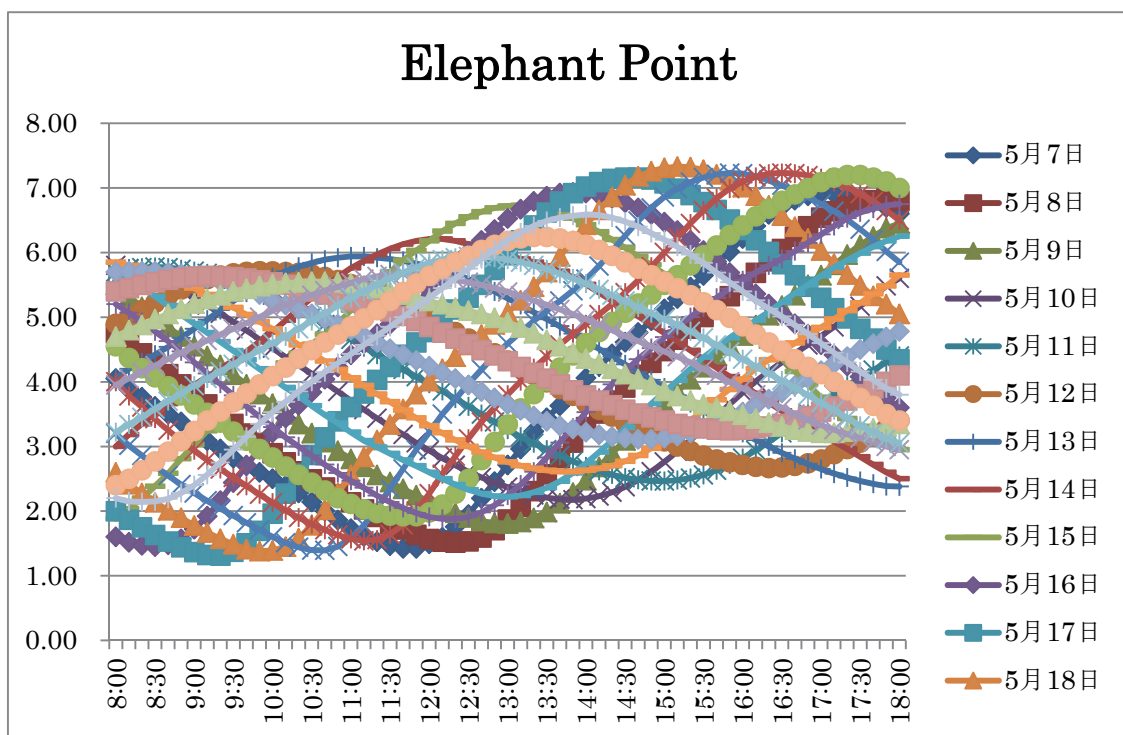
### 3.6. ヤンゴン川の水位変動

本件調査において、エレファント・ポイント、ティラワ地区の MITT バース及びモンキー・ポイントの 3 ヶ所において、深浅測量の潮位補正を目的として潮位観測が実施された。この潮位観測結果からみたヤンゴン川の水位変動について、以下に述べる。

そもそも潮位観測期間が深浅測量を実施した期間のみと短い事、自動潮位計を使用した 24 時間観測はエレファント・ポイントのみであること、及び、ティラワ地区の MITT バースとモンキー・ポイントでは昼間時の目視による概ね 12 時間観測であることから、以下に示す今般の調査結果の数値は、あくまでも参考程度であり、これらの正確な数値を求めるためには、長期間の潮位観測を実施する必要がある。

#### 3.6.1. エレファント・ポイント、ティラワ地区の MITT バース、及びモンキー・ポイントにおける潮汐のタイプ

エレファント・ポイント、ティラワ地区の MITT バース及びモンキー・ポイントの 3 ヶ所における潮汐は、3 ヶ所ともに約 1 日に 2 回の高潮と低潮がある 1 日 2 回潮で、日潮不等が小さい比較的規則正しい潮汐を示している。図 3.6.1. にエレファント・ポイントの潮位観測結果を示す。



出典：JICA 調査団

図 3.6.1. エレファント・ポイントの潮位観測結果（雨季前）単位：m

### 3.6.2. エレファント・ポイント、ティラワ地区の MITT バース、及びモンキー・ポイントにおける潮時差

エレファント・ポイントはヤンゴン川の河口部にあり、ティラワ地区の MITT バースはヤンゴン川河口部から約 16 km 上流部にある。モンキー・ポイントは MITT バースからさらに約 16 km 上流に位置しており、それは、ヤンゴン川河口部からは約 32 km 上流に位置している。

従って、これら 3ヶ所の潮汐には、潮時差（高潮または低潮時になる時間的差）が存在する事になる。2008 年に JICA により実施された「ヤンゴン港深淺測量調査」において実施された深淺測量の為の潮位観測結果では、以下の様な潮時差が確認されている。

- 1) ヤンゴン港の MIP 岸壁と内陸水運棧橋 War War Win Jetty との間約 4.5 km : 約 10 分の潮時差
- 2) ヤンゴン港の MIP 岸壁と Monkey Point との間約 7 km : 約 20 分の潮時差

今回、エレファント・ポイント、ティラワ地区の MITT バース及びモンキー・ポイントの 3ヶ所において実施された潮位観測の結果を基にして、これらの 3ヶ所間の潮時差を算出した結果を下記に示す。

- 1) エレファント・ポイントとティラワ MITT バースとの間の潮時差
 

- 雨季前	低潮時における潮時差	約 77 分
	高潮時における潮時差	約 45 分
- 雨季後	低潮時における潮時差	約 63 分
	高潮時における潮時差	約 26 分
  
- 2) ティラワ MITT バースとモンキー・ポイントの間の潮時差
 

- 雨季前	低潮時における潮時差	約 25 分
	高潮時における潮時差	約 17 分
- 雨季後	低潮時における潮時差	約 39 分
	高潮時における潮時差	約 19 分
  
- 3) エレファント・ポイントとモンキー・ポイントとの間の潮時差
 

- 雨季前	低潮時における潮時差	約 98 分
	高潮時における潮時差	約 62 分
- 雨季後	低潮時における潮時差	約 99 分
	高潮時における潮時差	約 45 分

上に述べた結果から、高潮時の潮時差は低潮時の潮時差より小さく、概ね低潮時の潮時差の 50～60%程度の時間であると考えられる。

高潮時の潮時差が低潮時の潮位差より小さい事は、2008 年に実施された「ヤンゴン港深淺測量」においても同様の事象が確認されている。

雨季前と雨季後の潮時差の数値にばらつきが認められるが、潮位観測期間が概ね 1 ヶ月程度の短期間であることから、雨季の前後で潮時差が変化するかどうかはこの結果だけで判断するのは難しい。

### 3.6.3. 雨季前と雨季後のヤンゴン川の水位差

ヤンゴン川は潮汐の影響を大きく受けていることから、ヤンゴン川河口部だけでなく、ティラワ地区の MITT バースをはじめとして、モンキー・ポイント、ヤンゴン港の上流部までも潮汐により水位が変動している。

ヤンゴン川は潮位による水位の変動に加えて、雨季はヤンゴン川流域に降る降雨による増水により、さらに水位が上昇するとされている。

今回の雨季後の潮位観測は 2015 年 11 月～12 月にかけて実施されており、雨季が終了してからさほど時間が経過していないことから、雨季における降雨の増水の影響をまだ受けていると考えられる。従って、雨季前と雨季後の 2 回の潮位観測結果を利用して、雨季前と雨季後の水位差を計算した結果が表 3.6.1.である。

表 3.6.1. 雨季前と雨季後のヤンゴン川の水位差 単位：m

項目		エレファント・ポイント	ティラワ地区の MITT バース	モンキー・ポイント
平均高潮位	雨季前	6.25	5.95	5.60
	雨季後	5.96	5.44	5.16
	差	0.29	0.51	0.44
平均低潮位	雨季前	1.97	1.43	1.15
	雨季後	1.81	1.26	0.99
	差	0.16	0.17	0.16

出典：JICA 調査団

ティラワ地区の MITT バースとモンキー・ポイントでは、雨季後の平均高潮位は雨季前より概ね 50 cm 程度、エレファント・ポイントでは約 30 cm 高いという計算結果となった。

平均低潮位で見ると、3ヶ所とも雨季後の平均低潮位は雨季前の平均低潮位より概ね 15cm 程度高いという計算結果となった。

これらについては、潮位観測期間が短いこと、比較的雨季直後の潮位観測結果を基にして算出しているため、雨季と乾季の最盛期のヤンゴン川の水位の比較ではない事に留意する必要がある。

雨季と乾季の最盛期のヤンゴン川の水位差は、上記の表の数値（ティラワ地区の MITT バース及びモンキー・ポイント付近で約 50cm）より大きいものと考えられる。



### 3.6.4. エレファント・ポイント、ティラワ地区の MITT バース、及びモンキー・ポイントにおける潮高比

潮位観測結果を基にして、潮位観測地点 3 ヶ所における雨季前と雨季後の平均高潮位と平均低潮位を算出した結果が表 3.6.1 である。この結果を基にして、エレファント・ポイントを規準とした、ティラワ地区の MITT バースと、モンキー・ポイントにおける潮高比を算出した結果が表 3.6.2 である。

表 3.6.2. エレファント・ポイントを基準としたティラワ地区の MITT バース  
及びモンキー・ポイントの潮高比

	エレファン・トポイント	ティラワ MITT バース	モンキー・ポイント
雨季前	1	1.056	1.039
雨季後	1	1.006	1.006
平均値	1	1.031	1.022

\*注：エレファント・ポイントを基準（値が 1）として算出した。

出典：JICA 調査団

この結果を見ると、エレファント・ポイント、ティラワ地区の MITT バース、及びモンキー・ポイントの 3 ヶ所の間には、それほど大きな潮位差はないことが推定される。

以上については、本項の冒頭で述べている通り、潮位観測期間が短い事、全ての観測点が自動験潮器による 24 時間観測ではないことなどから、この数値はあくまでも概算値である。3 か所の正確な潮高比を求めるためには、あくまでも長期間の潮位観測を積み上げ、それらの結果を基にして計算する必要がある。

## 3.7. 海域の波高

### 3.7.1. 波浪観測の必要性

ベンガル湾ヤンゴン川の河口が位置する海域の波浪は、サイクロンによる高波浪が年数回程度出現するものの、年間を通して比較的静穏な海域である。そのため、定量的な波浪観測の実績はなく、波高・周期の出現特性は明らかでない。しかし、波高・周期の出現特性を明らかにすることは、航路埋没解析において考慮する波浪の影響を決定するだけでなく、今後検討されるべき航路拡幅増深、対策工の整備等においても、重要な基礎資料となる。

本件調査では、ヤンゴン川の河口から沖合へ 15km の地点において、水圧式波高計による波浪観測を実施した。また、将来的に大水深港の計画を行う際には、設計沖波の設定が必要不可欠であり、そのためには、波浪観測データの蓄積が必要になる。今回の波浪観測をきっかけとして、長期に渡る波浪観測が継続的に行われることが望まれる。

後述するように（4.4 観測データに基づく数値シミュレーションの提案）、航路埋没シミュレーション問題の解決には、数値シミュレーションによる現況再現と対策工を取り入れた予測検討が基本となる。この数値シミュレーションは、流れと波による底泥の浮遊・拡散・沈降を考慮した多層レベルモデルによるものを基本と考えており、特に移流・拡散および沈降フラックスの再現が重要と考える。その際、課題となるのは、沈降フラックス（巻き上げ量および沈降フラックス）の再現であり、さらに、波による再浮上を考慮する場合、波浪の条件が必要である。そのため、海域の波高を取得することは非常に有意義である。

波浪観測は、できるだけ長期間の連続観測で、かつ雨期・乾季の両方を含むことにより、年間の波浪の出現傾向を把握できる。これまでの波浪の出現傾向を整理した資料としては、過去約 100 年間におけるベンガル湾のサイクロン発生件数がある。これは、インド国の Indian Meteorological Department が整理した 1897 年から 1999 年の約 100 年間におけるベンガル湾において発生したサイクロンの月別の発生件数を整理したものである。これによるとベンガル湾に発生するサイクロンの発生件数は、5 月および 10 月～12 月に発生ピークとなることが分かる。

2008 年のサイクロン「ナルギス」のように、数年に 1 回は高潮位、高波浪が来襲することがある。したがって、調査対象範囲周辺では、高波浪の出現は皆無ではなく、このような観点からも長期間の連続観測が望ましい。

表 3.7.1. ベンガル湾におけるサイクロン発生件数の一覧

月	ベンガル湾	
	Cyclonic storm	Severe cyclonic storm
1月	4	2
2月	0	1
3月	2	3
4月	11	11
5月	15	34
6月	33	6
7月	33	7
8月	27	3
9月	24	15
10月	44	35
11月	40	54
12月	23	20
合計	256	192

出典：Indian Meteorological Department, New Delhi

米軍合同台風警報センター（JTWC）によると、ベンガル湾に発生したサイクロンが、ミャンマー国に接近したのは過去 58 年間で発生した 556 件のうち、6 例ある。この 6 例のうち、2008 年 4 月 28 日に発生したサイクロン「ナルギス」を含む 3 例が 4 月に発生している。この時期は北緯 20 度～30 度を東に進むジェット気流の影響を受けやすいことが指摘されている。

### 3.7.2. 波浪観測手法

一般に、波浪観測の方法と観測機器は下記の通りに区分することができる。

表 3.7.2. 波浪観測方法および観測機器

直接観測法	光学的方法	標柱方法、実体写真法等
	音響学的方法	超音波式波高計
	機械的方法	フロート式
	電気的方法	ステップ式波高計等
間接観測法	加速度変化を利用する方法	ブイ式波高計
	浮力変化を利用する方法	浮力式波高計
	水圧変化を利用する方法	各種水圧式波高計

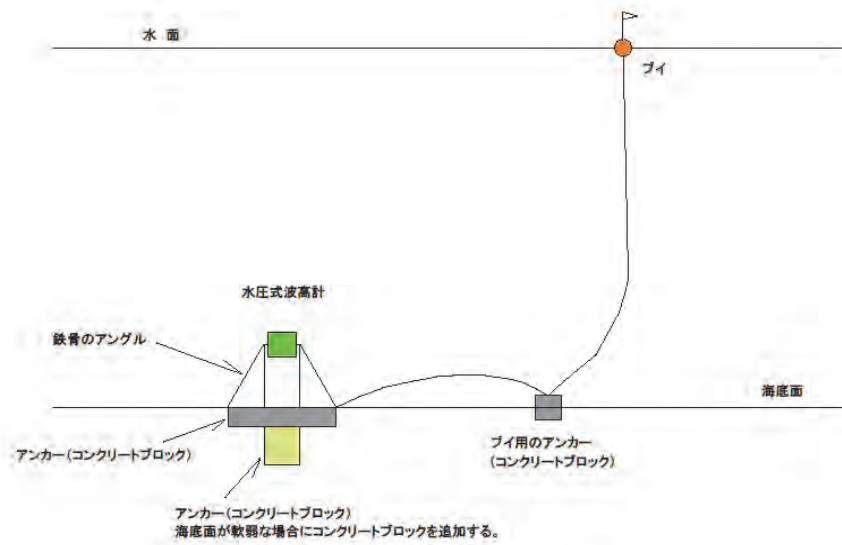
備考：上表において、今回採用した水圧式波高計を黄色で示す。

出典：JICA 調査団

これら観測方法のほとんどは、水深 30m 程度のいわゆる浅海における波浪観測に適している。これらのうち、波動に伴う水圧の変化を観測する方法は比較的簡便であるために各種の波高計が実用化され使用されている。本件調査においては、仮設で機器を設置する事、設置する機器設置の

容易さ、故障の低さとメンテナンスの容易さ、機材の価格、船舶等による衝突事故、盗難の恐れ等を考慮すると、観測機器を海底面に設置して水圧変化を利用する水圧式波高計が最適であると考えられる。

当初、本件調査の波浪観測は、2015年6月に開始したが、その約一か月後、機器の破壊により観測を中断せざるを得なかった。2015年8月に新たな機器を調達、次に示す地点の海底に設置して、2015年10月中旬～2016年1月末までの約4ヶ月間の連続波浪観測を実施した。波浪計の設置に先立ち、ダイバーにより海底面の状況（海底の傾斜、底質、軟弱度等）の調査を実施して、波浪計を装着する鉄骨の台とコンクリートの重りを準備した。波浪計を装着した鉄骨の台とコンクリートの重りはクレーン船により、所定の地点の海底面に設置し、ダイバーにより、波浪計が垂直に設置されたことを確認した。波浪計のバッテリーは定期的に交換することが必要となるので、その際にデータの回収と必要なメンテナンスを行うこととする。



出典：JICA 調査団

図 3.7.1. 波高計設置方法の概要

表 3.7.3. 波浪観測の概要

波浪観測位置	Elephant point から沖合約 18km N 16°16' 48.43" E 96°19' 11.90"
観測期間	2015/10/17～2016/1/31
観測機器	水圧式波高計 INFINITY-WH
サンプリングタイム	$\Delta t=0.5s$
サンプリングデータ数	毎正時 20 分間の観測 1 回の観測で $N=1/0.5 \times 20 \times 60=2,400$ 個

出典：JICA 調査団

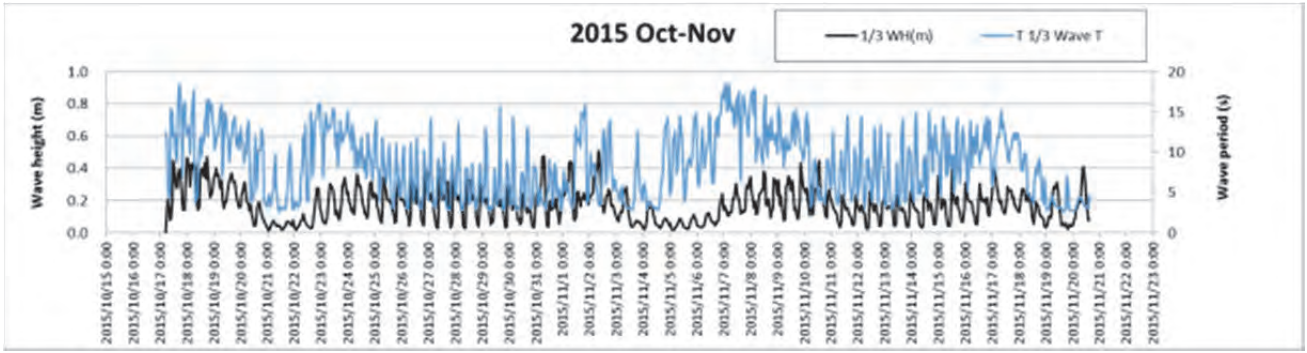
### 3.7.3. 観測波浪データの解析手法

水圧式波高計によって連続観測、取得されたデータは、種々の解析手法により、有義波（有義波高、有義波周期）等の統計値に換算される。本件調査における統計値の名称、定義は以下のようになる。波高値の単位は cm または m、周期は s である。

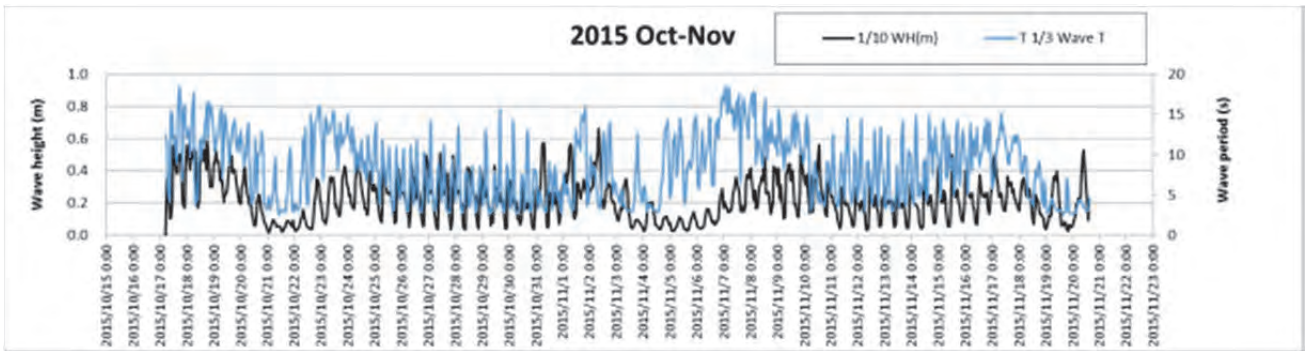
- 1/3WH : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による 1/3 最大波高、 $H_{1/3}$
- 1/10WH : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による 1/10 最大波高、 $H_{1/10}$
- Max.WH : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による最大波高、 $H_{\max}$
- MeanWH : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による平均波高、 $H_{\text{mean}}$
- Sig.WH : 波浪スペクトル分析による有義波高、 $H_{\text{sig}}$
- MeanWP : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による平均波周期、 $T_{\text{mean}}$
- MaxWP : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による最大波周期、 $T_{\max}$
- PeakWP : 波浪スペクトル分析による卓越波周期、 $T_{\text{peak}}$
- MeanWP : 波浪スペクトル分析による平均波周期、 $T_{\text{mean}2}$
- CrossWP : 波浪スペクトル分析によるクロスゼロ波周期、 $T_{\text{cross}}$
- Depth : データ区分又は一つのバースト観測における平均深度
- 1/3WP : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による 1/3 最大波周期、 $T_{1/3}$
- 1/10WP : 表面水位変動換算（ゼロアップクロス法）による 1/10 最大波周期、 $T_{1/10}$

### 3.7.4. 観測波浪結果の一例

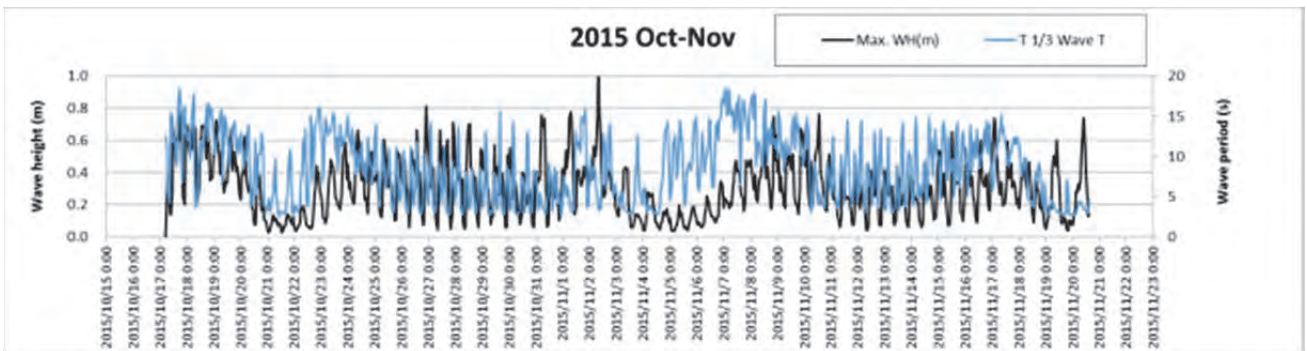
以下の図は、波浪観測結果の一例であり、2015/10/17 5:00～12/21 16:00 までの波高と周期の関係を示している。ここで、波高の代表値は、表面水位変動換算、すなわちゼロアップクロス法による 1/3 最大波高  $H_{1/3}$ 、1/10 最大波高  $H_{1/10}$ 、最大波高  $H_{\max}$  および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  である。図 3.7.2. は 2015/10/17 5:00～11/20 15:00 まで、図 3.7.3. は 2015/11/20 17:00～12/21 16:00 の期間である。



表面水位変動換算による 1/3 最大波高  $H_{1/3}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)



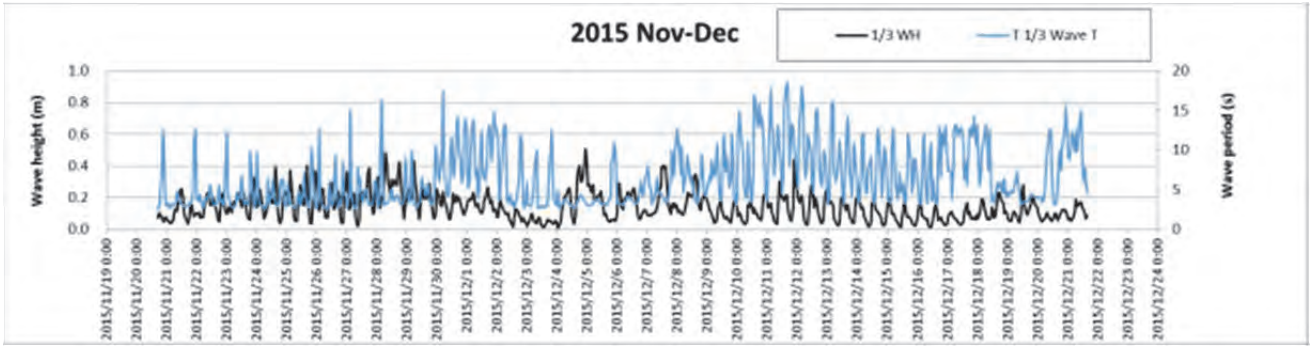
表面水位変動換算による 1/10 最大波高  $H_{1/10}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)



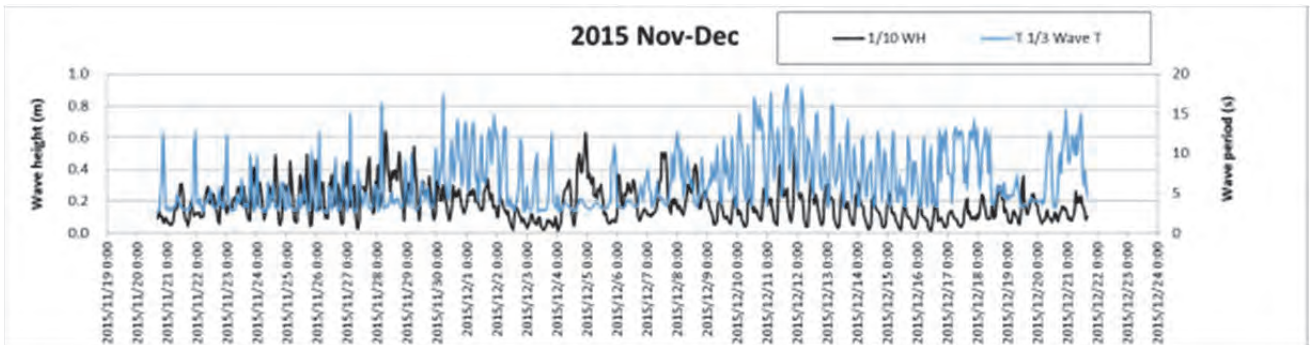
表面水位変動換算による最大波高  $H_{max}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)

出典：JICA 調査団

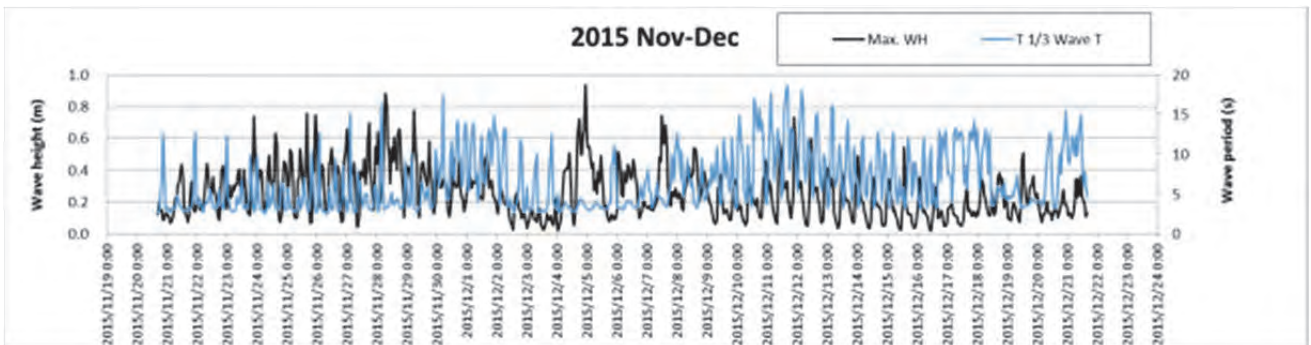
図 3.7.2. 波浪観測結果 (2015/10/17 5:00~11/20 15:00) より



表面水位変動換算による 1/3 最大波高  $H_{1/3}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)



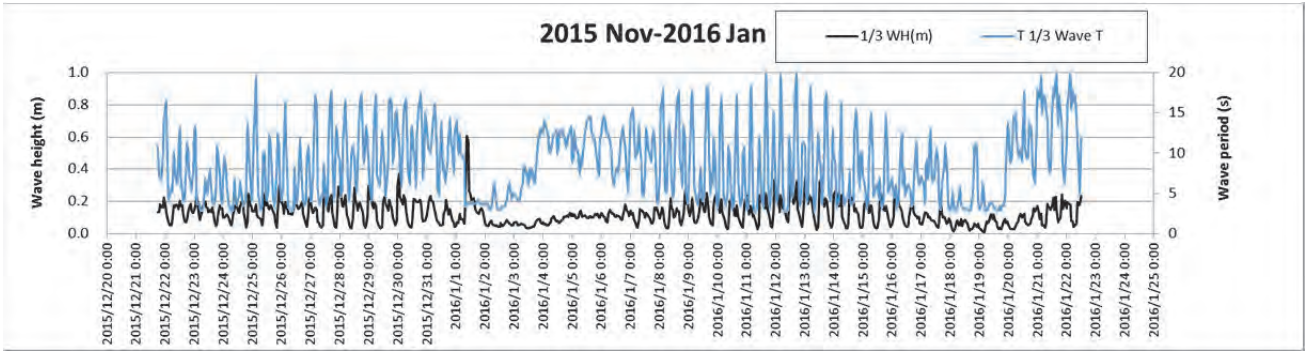
表面水位変動換算による 1/10 最大波高  $H_{1/10}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)



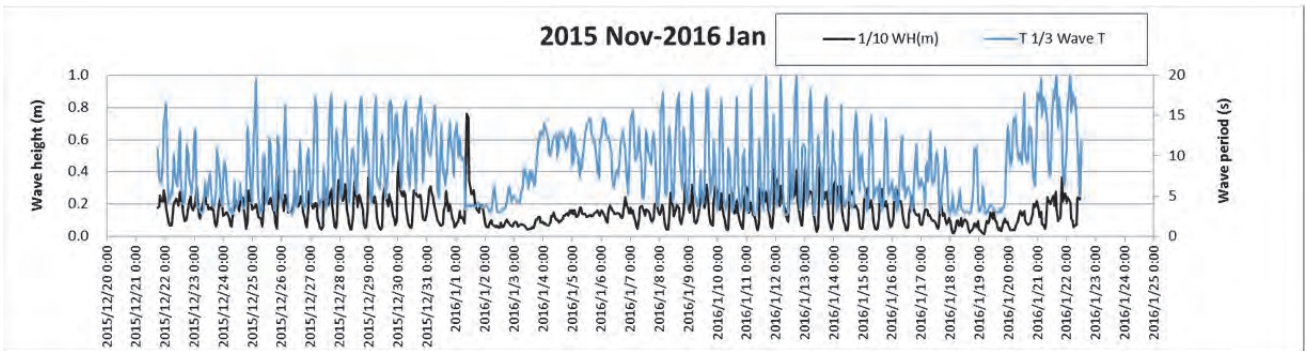
表面水位変動換算による最大波高  $H_{max}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)

出典：JICA 調査団

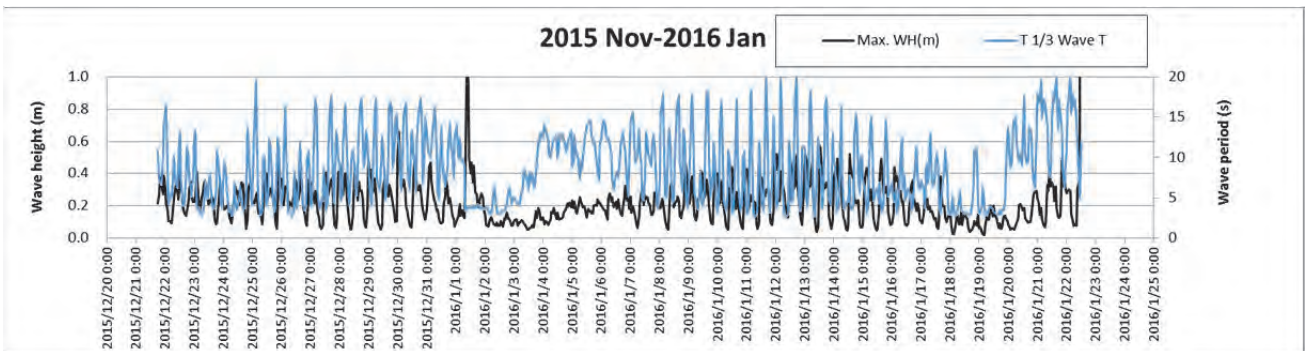
図 3.7.3. 波浪観測結果 (2015/11/20 17:00~12/21 16:00) より



表面水位変動換算による 1/3 最大波高  $H_{1/3}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)



表面水位変動換算による 1/10 最大波高  $H_{1/10}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)



表面水位変動換算による最大波高  $H_{max}$  (左)、および 1/3 最大波周期  $T_{1/3}$  (右)

出典：JICA 調査団

図 3.7.4. 波浪観測結果 (2015/12/21 18:00~2016/1/22 12:00) より



これら 2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00 の波高をみると、観測期間内の波高値は全体的に小さく、サイクロンのような大きな波高・周期を引き起こす気象擾乱は発生していなかったと推察される。表 3.7.4. に 2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00 の高波浪上位 5 位を示す。最大は、 $H_{1/3}$  で 0.61m、 $H_{1/10}$  は 0.76m、 $H_{max}$  は 1.11m となっており、非常に静穏である。

観測期間全体で平均をとると、表 3.7.5. のようになり、 $H_{1/3}$  の平均値で 0.15m、 $H_{1/10}$  の平均値で 0.19m、 $H_{max}$  の平均値でも 0.26m であり、この観測期間は非常に静穏であったといえる。

表 3.7.4. 2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00 の波浪記録より高波浪上位 5 位

Rank	起時	$H_{1/3}$ (m)	$H_{1/10}$ (m)	$H_{max}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
1	2016/1/1 9:00	0.61	0.76	1.06	3.67
2	2015/11/2 8:00	0.51	0.66	1.11	3.64
3	2015/12/4 23:00	0.51	0.63	0.94	3.42
4	2015/11/28 7:00	0.48	0.64	0.88	3.21
5	2015/10/31 7:00	0.48	0.58	0.72	3.47

出典：JICA 調査団

表 3.7.5. 波浪観測結果 (2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00) より代表波高・周期の平均値

Average of $H_{1/3}$ (m)	Average of $H_{1/10}$ (m)	Average of $H_{max}$ (m)	Average of $H_{mean}$ (m)	Average of $T_{1/3}$ (s)
0.15	0.19	0.26	0.09	7.85

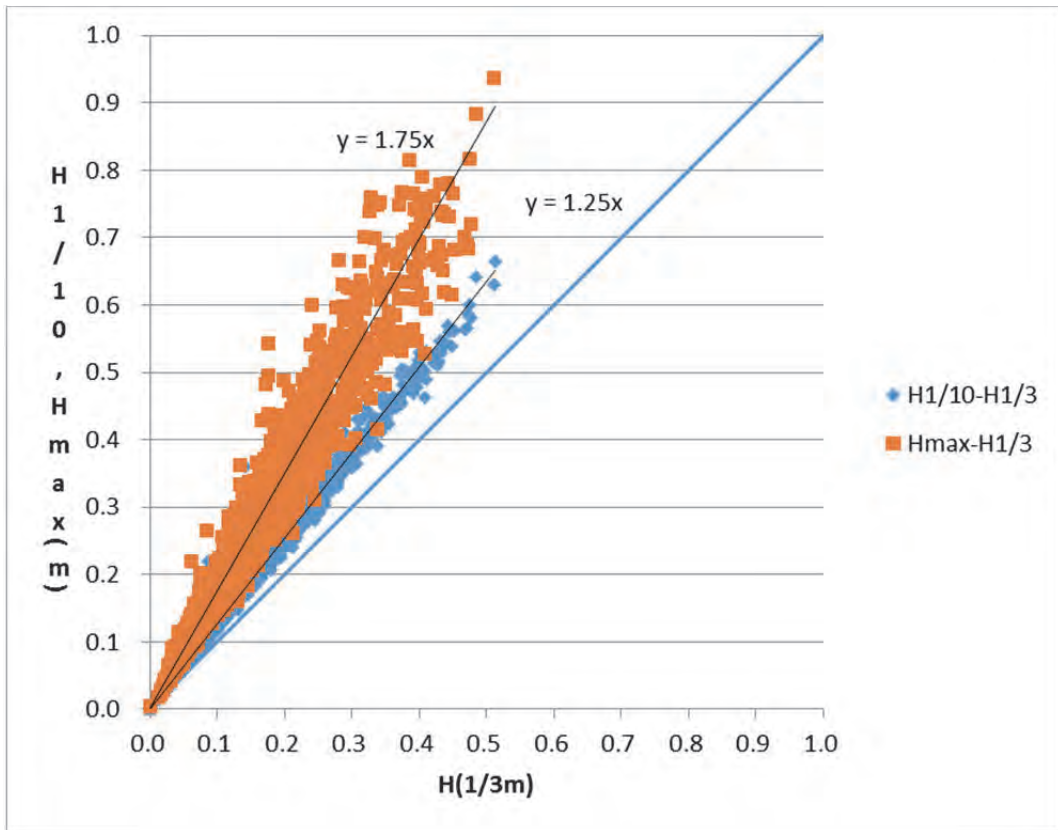
出典：JICA 調査団

代表波高間の関係として、 $H_{max}/H_{1/3}$ 、 $H_{1/10}/H_{1/3}$  を整理すると表 3.7.6.、図 3.7.5. のようになる。 $H_{max}/H_{1/3}=1.75$ 、 $H_{1/10}/H_{1/3}=1.25$  となっており、砕波が発生しているような状況ではないと推察される。このことから大きな波高、周期を引き起こすような気象擾乱は発生しなかったと考えられる。

表 3.7.6. 波浪観測結果 (2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00) より代表波高・周期間の関係

$H_{max}/H_{1/3}$	$H_{1/10}/H_{1/3}$	$H_{mean}/H_{1/3}$
1.75	1.25	0.63

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

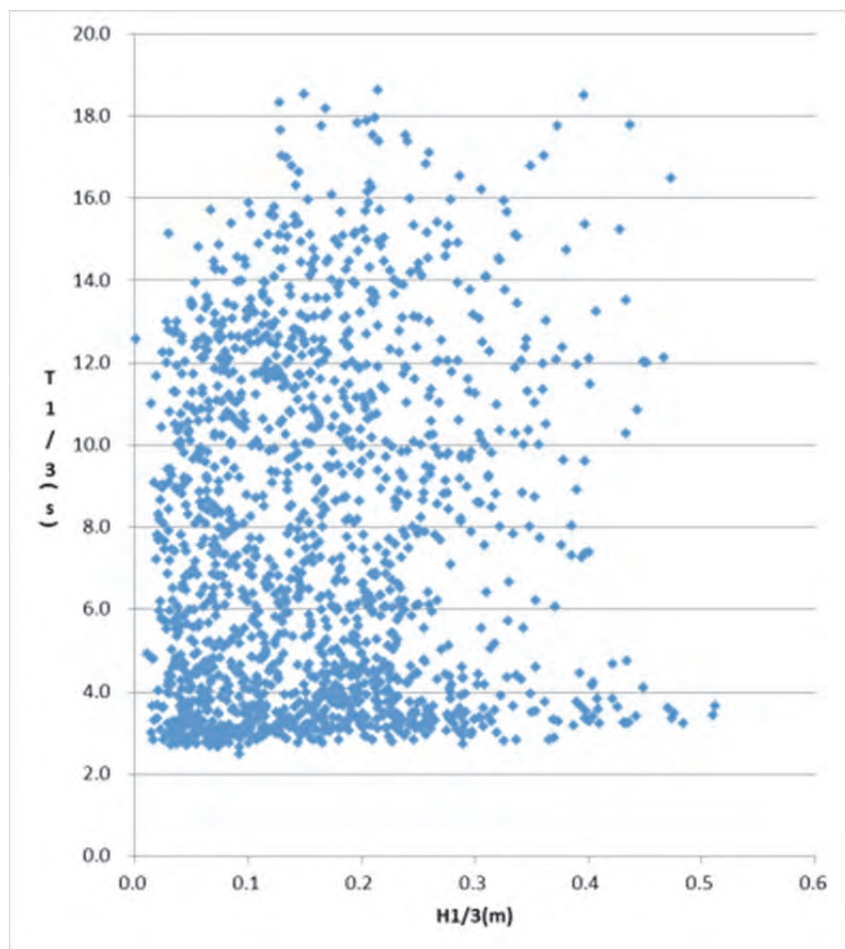
図 3.7.5. 代表波高間の関係

これらの波浪観測結果より、最も特徴的なことは、波高は非常に小さいものの、周期が非常に長いことが挙げられる。図 3.7.6 は、波高  $H_{1/3}$  と周期  $T_{1/3}$  の関係を整理したものである。これより、波高  $H_{1/3}$  は 0~0.5m 程度であるのに対して、周期は 2~18s 程度まで分布している。前述の表より、平均では  $T_{1/3}=7.85s$  ( $H_{1/3}=0.15m$ ) となり、観測地点の水深を  $h=10m$  程度とすると、波長は  $L=69.2m$  ( $T_{1/3}=7.85s$ ) となる。波形勾配に換算すると、

$$H_{1/3}/L=0.15/69.2=0.0022$$

となり、波形勾配の非常に小さいうねり性の波浪となっていることが分かる。

この現象をさらに詳しく考察するために、波高、周期とパワースペクトルの関係を調べた。

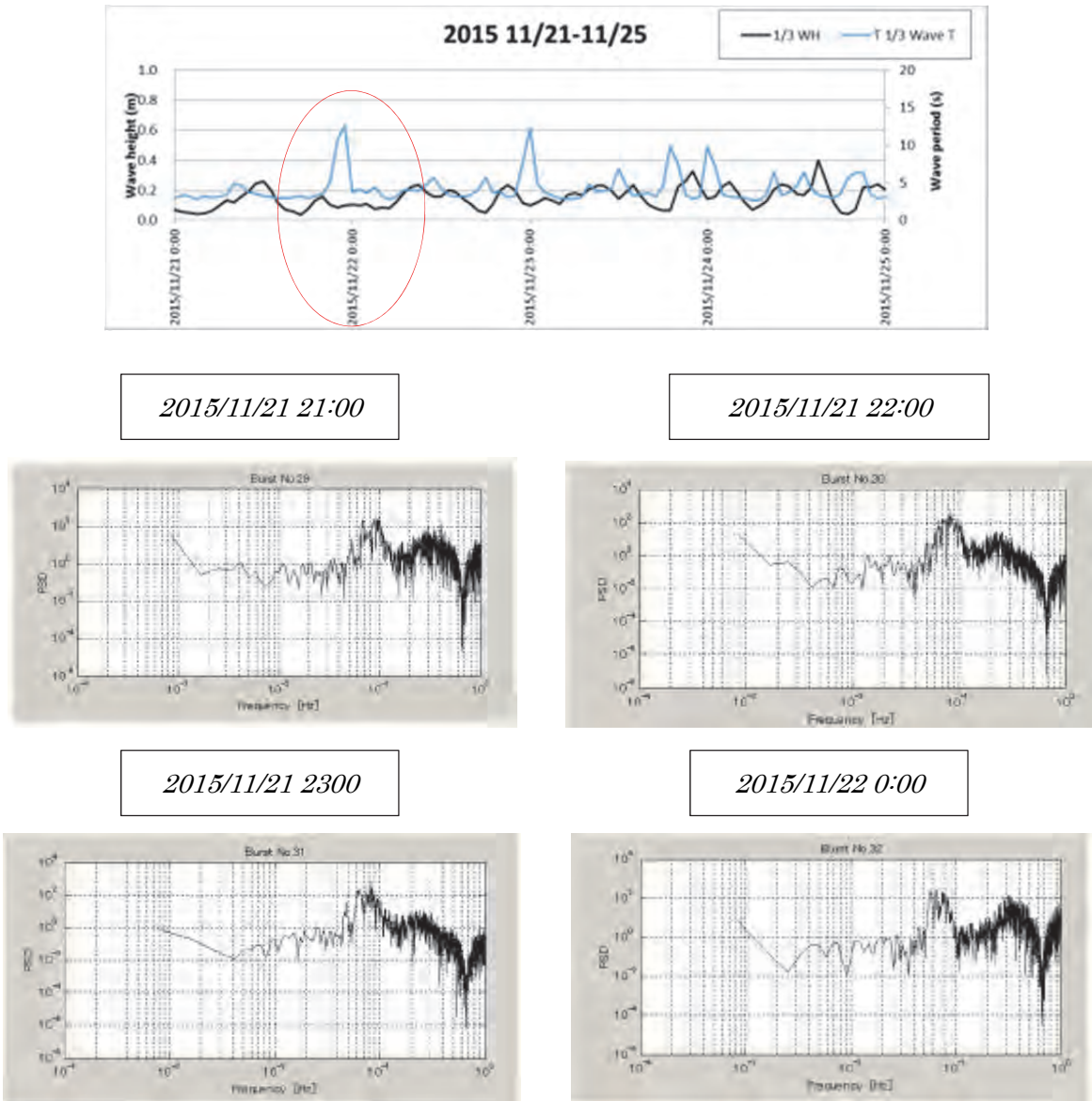


出典：JICA 調査団

図 3.7.6. 波高と周期の関係

11/21 22 時から 23 時にかけて、波高は 0.1m 程度であるにも関わらず、周期は 10s を超えており、23 時は 12.6s まで発達し、その後、急速に減衰している。

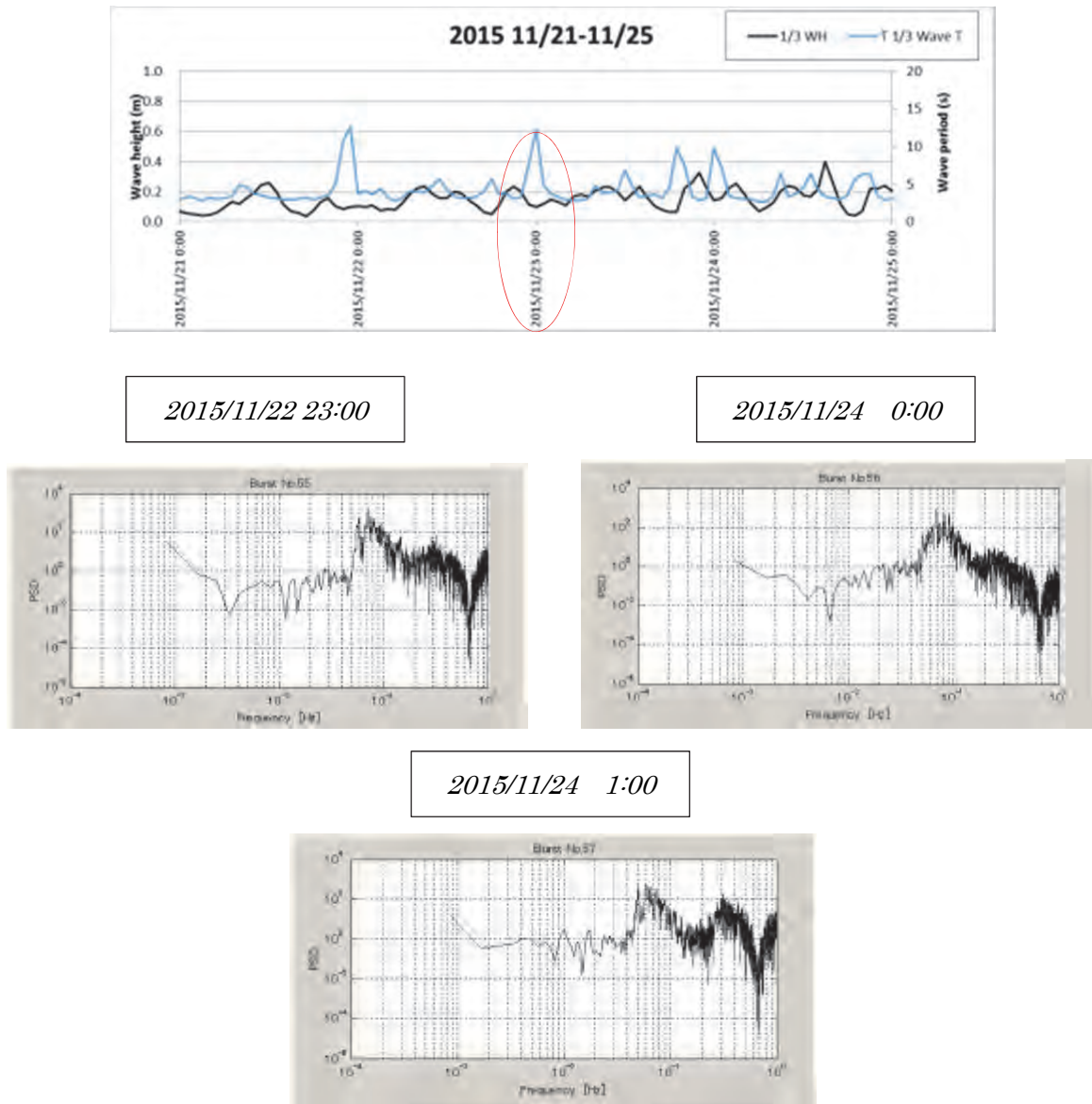
この時間のスペクトルの変化をみると、11/21 21 時～23 時にかけては 10s 以上にはっきりとしてピークがみられ、その後、8s 前後の周期成分が発達しはじめている。



出典：JICA 調査団

図 3.7.7. 波浪観測結果（2015/11/21～11/25）およびスペクトル

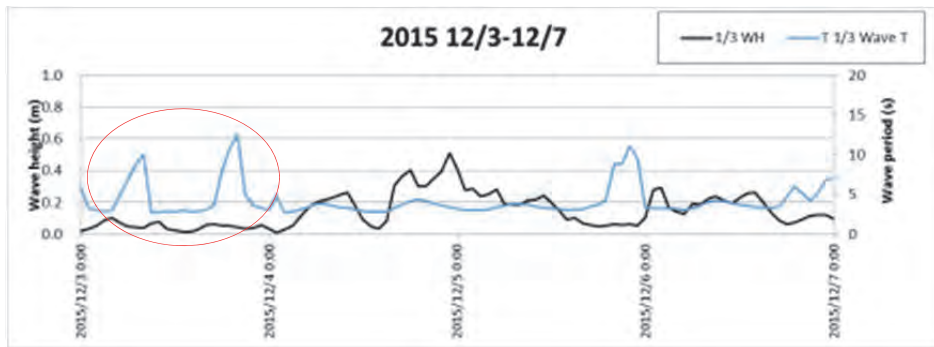
同様に 11/22 23 時～ 11/23 0 時にかけて、波高は 0.1m に満たないにも関わらず、周期は 10s を超えるまでに発達、その後 5s 程度に減衰している。スペクトルも同様の変化を示しており、11/22 21 時～23 時にかけては 10s 以上にはっきりとしてピークがみられ、その後、8s 前後の周期成分が発達しはじめている。



出典：JICA 調査団

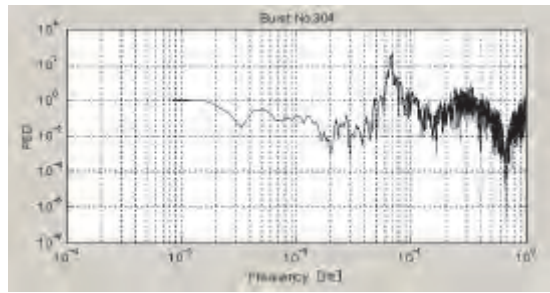
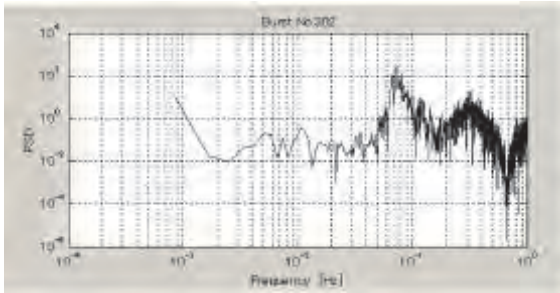
図 3.7.8. 波浪観測結果（2015/11/21～11/25）およびスペクトル

同様に 12/3、4時～6時にかけて、波高は 0.1m に満たないにもかかわらず、周期は 10s を超えるまでに発達している。その後、一旦減衰しているが 20 時には 12s を超えるまで発達している。

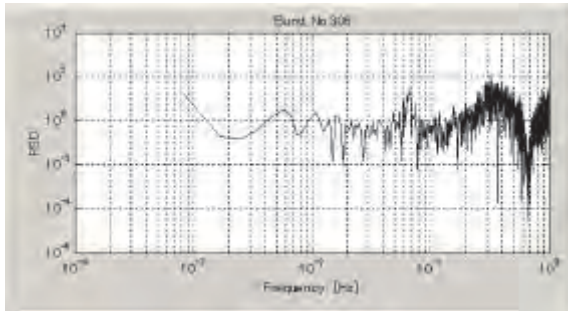


2015/12/3 6:00

2015/12/3 8:00



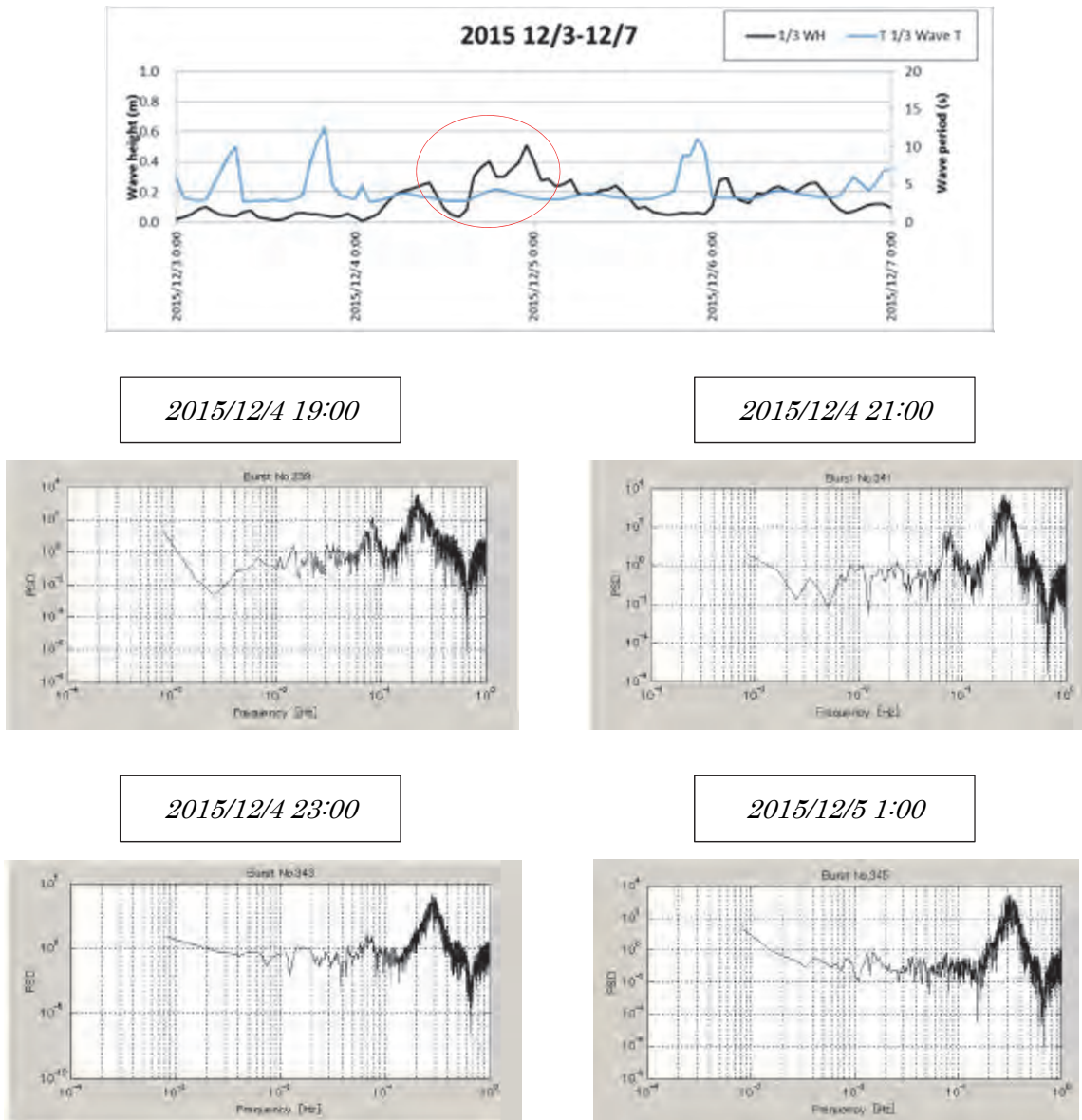
2015/12/3 10:00



出典：JICA 調査団

図 3.7.9. 波浪観測結果 (2015/12/3～12/7) およびスペクトル

逆に、12/4 14 時頃からは波高のみが発達し、12/4 23 時には 0.5m を超えるまで発達しているのにも関わらず、この時間帯の周期は 3s 前後で推移している。ただし、スペクトルのピークからは 8~9s 程度に最も大きいピークがあり、3s 程度のピークはそれよりも小さく、この原因は今のところ不明である。



出典：JICA 調査団

図 3.7.10. 波浪観測結果 (2015/12/3~12/7) およびスペクトル

以上のような現象を踏まえると、波高観測を行った海域周辺で発生・発達している波高と、外洋からの長周期成分の侵入による周期の長い波浪の大きく二つの波浪のタイプが見られる。さらに、周期の長い波浪は、外洋からのうねり成分によるものか、あるいはベンガル湾の海底地形の影響によって長周期成分が海域でトラップされているものなのか、さらに解析が必要である。

### 3.7.5. 波浪推算データとの比較

観測波浪データの欠損を補足するため、観測波浪データの妥当性を検証するため、波浪推算データとの比較検証を行った。波浪推算データは、一般財団法人日本気象協会（Japan Weather Association）より販売されている「全球波浪推算データベース」を使用した。これはNCEP（National Centers for Environmental Prediction）の海上風客観解析値を入力値とし、波浪推算モデルを用いて計算したものである。出力要素は、有義波高、周期、波向、風向および風速全球モデルである。なお、波浪推算モデルはWAMモデルを使用しており、深海波の算定であるため、波浪の屈折・浅水・砕波、海底摩擦の影響などは含まれていない。



図 波浪メッシュ図

期 間：1951年～現在  
時間間隔：1時間  
格子間隔：0.5度（約50km）  
計算範囲：E0.0°～E355.5°，S70.0°～N70.0°  
要 素：有義波高、周期、波向  
風向、風速（海面上10m高度）

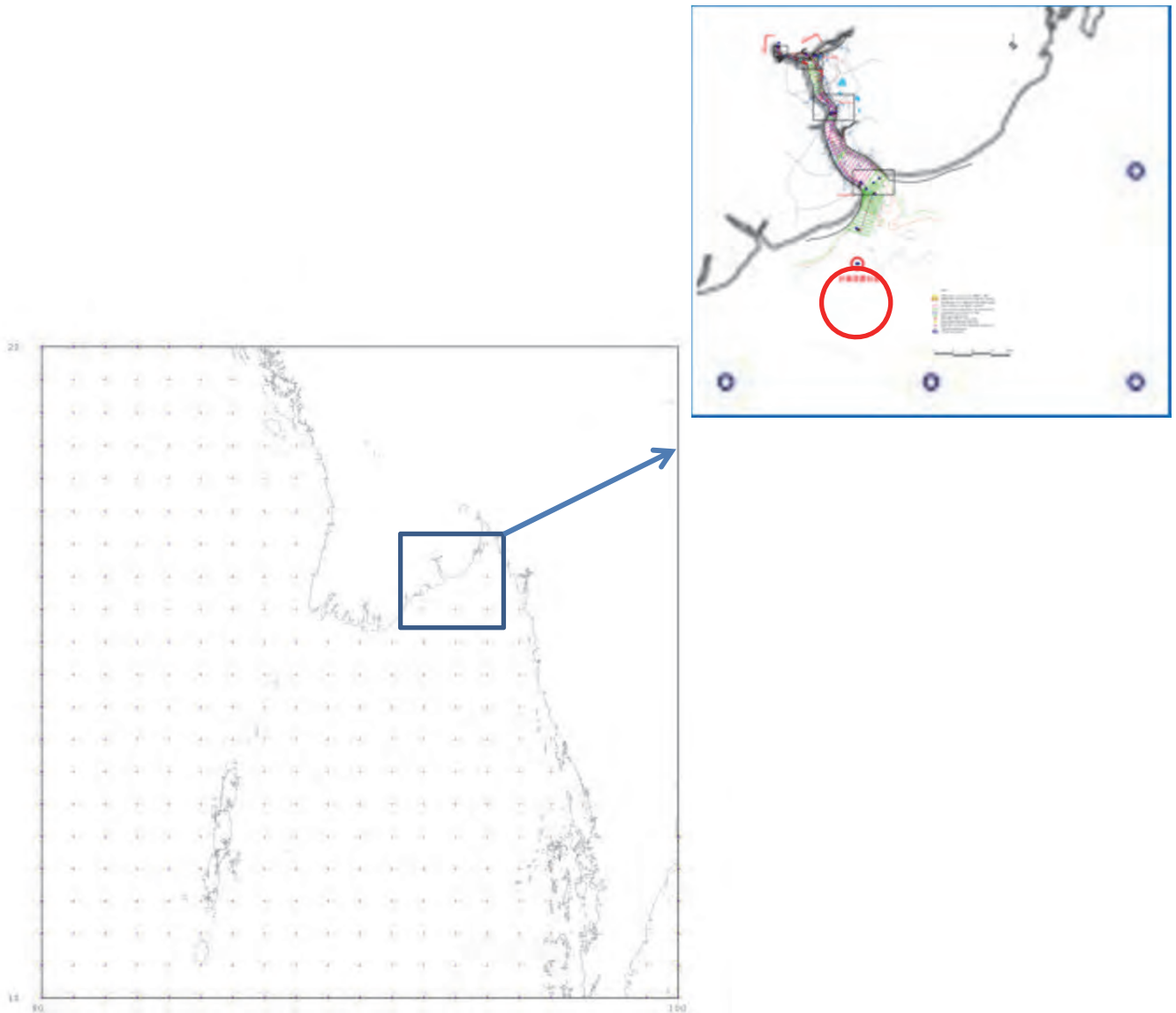
※ 深海波用のモデルで、屈折、海底摩擦、浅水変形は考慮されていません。  
※ 台風付近の高波や、短時的にみた場合の高波の極値を十分に表現できていない場合があります。

出典：一般財団法人日本気象協会（Japan Weather Association）

### 図 3.7.11. 「全球波浪推算データベース」の概要

波浪推算データの取得位置は、以下に示すように、ベンガル湾ヤンゴン川の河口の沖合、N16°,E96.5°とした。





出典：JICA 調査団

図 3.7.12. 「全球波浪推算データベース」より波浪推算データの抽出位置

波浪推算データより、波高・周期の時系列を示す。波浪推算モデルは WAM モデルを使用しており、深海波の算定となる。そのため、波浪の屈折・浅水・砕波、海底摩擦の影響などは含まれておらず、波高は実波高よりも大きく算定されていると推定される。

波浪推算は 2015 年 2 月 1 日より 2015 年 12 月 31 日までを算出した。時系列を次図に示す。全体の傾向としては、2 月～5 月の波高は 0.5m～1.0m 程度で推移し、この期間で増大、減少をくり返しつつ、徐々に大きくなっているようことが分かる。

6 月後半から 8 月後半にかけては、1.5m～2.0m を超えるような比較的高波浪の来襲が見られる。中でも 6 月後半には 3.5m を超えるような高波浪が発生している。また、9 月以降は静穏になるが、9/19 前後に 3.0m を超えるような高波浪が発生している。

10月以降は、波高は0.5m～1.0m程度で推移するものの、周期だけが発達し、10s～15s程度で推移している。

表 3.7.7. 波浪推算による波高・周期の平均・最大の推移

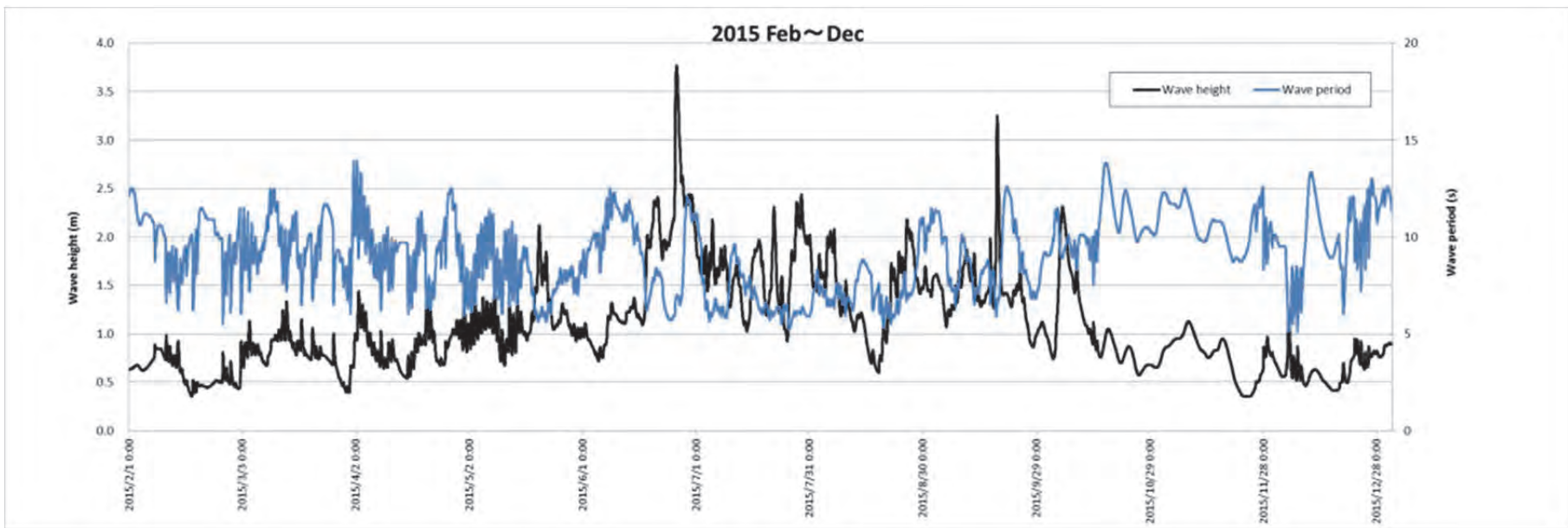
	波高 平均(m)	波高 最大(m)	周期 平均(s)	周期 最大(s)
2月	0.61	0.98	9.84	12.50
3月	0.79	1.33	9.52	12.50
4月	0.88	1.47	9.40	13.90
5月	1.14	2.12	7.94	11.40
6月	1.62	3.77	9.27	12.50
7月	1.63	2.44	6.70	10.00
8月	1.38	2.18	7.44	11.00
9月	1.42	3.25	8.82	12.60
10月	1.02	2.31	2.31	13.80
11月	0.76	1.13	10.61	12.60
12月	0.65	1.18	10.03	13.30

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.7.13. 波浪推算による波高・周期の平均・最大の推移



出典：JICA 調査団

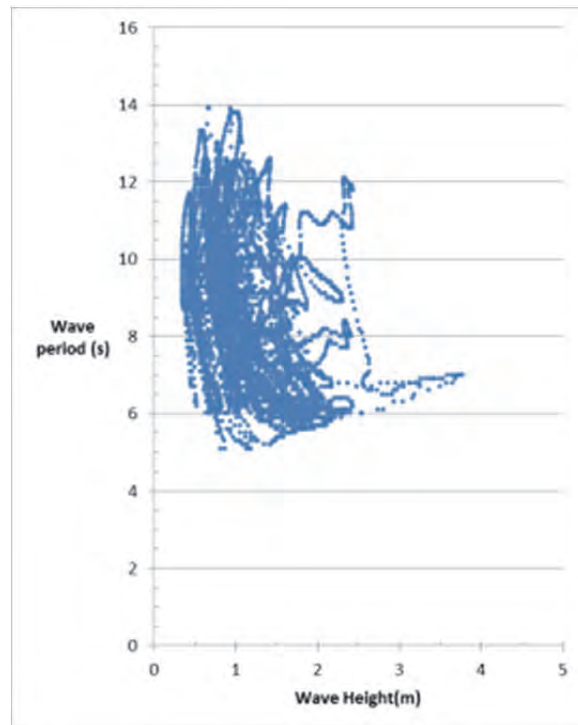
図 3.7.14. 波浪推算による波高・周期(2015/2/1~12/31)

次表に、波浪推算より高波浪の上位 11 位を示す。6 月、9 月に 3m を超える高波浪となっている。図 3.7.15.に波高と周期の関係を示す。波高は 0.5~4m 弱、周期は 5~14s の範囲で分布している。周期は現地観測よりは短周期となっている。

表 3.7.8. 2015/2/1~12/31 の波浪推算より高波浪上位 10 位

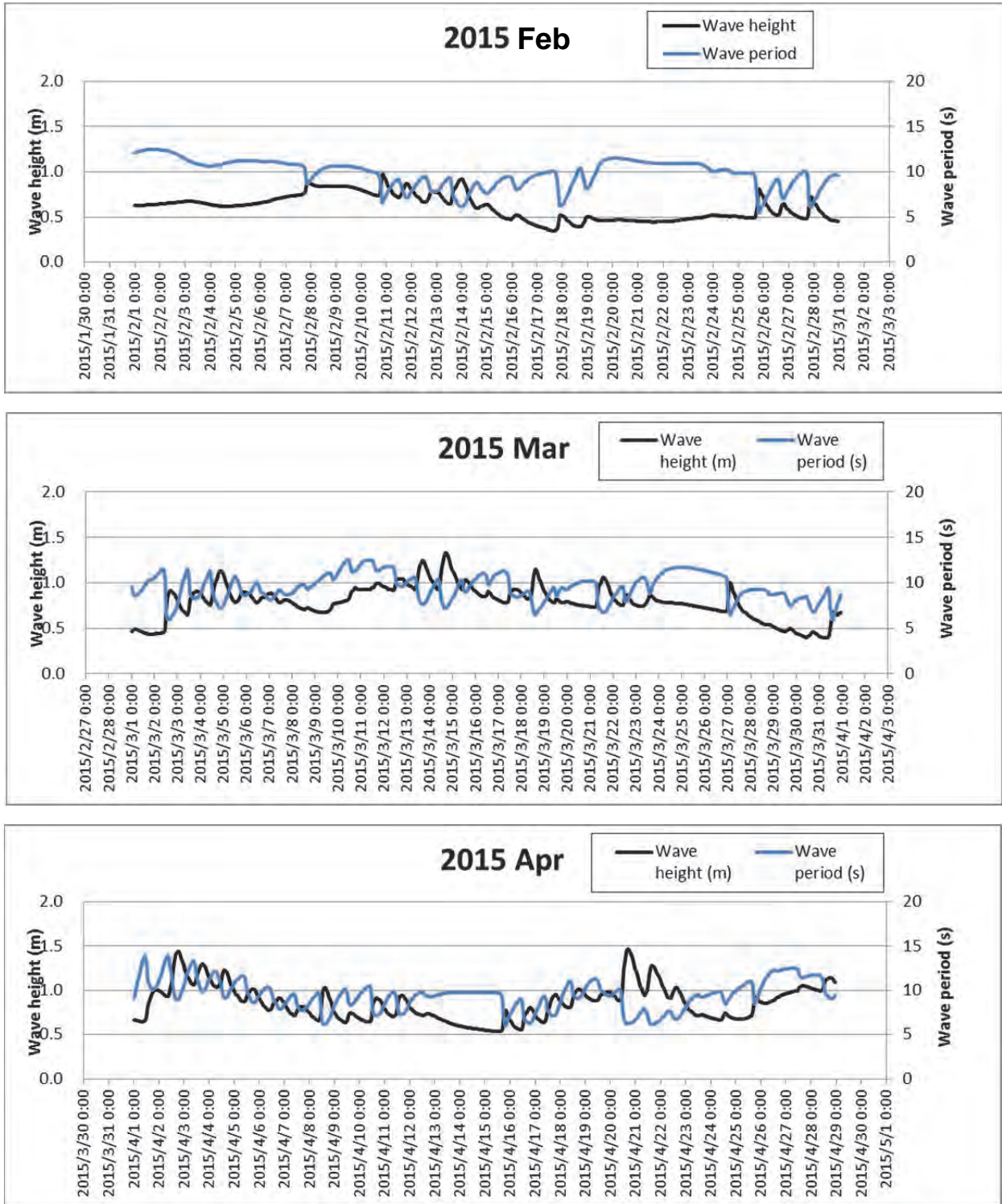
No	日時	Waveheight (m)	Waveperiod (s)	波向(°)
1	2015/6/25 20:00	3.77	7.00	230.90
2	2015/9/18 15:00	3.25	6.70	192.90
3	2015/7/28 21:00	2.44	6.20	210.10
4	2015/6/20 20:00	2.41	8.00	212.70
5	2015/7/21 14:00	2.31	6.00	213.80
6	2015/10/5 20:00	2.31	8.90	206.40
7	2015/7/29 2:00	2.30	6.40	212.00
8	2015/7/5 8:00	2.18	6.00	231.30
9	2015/8/25 19:00	2.18	6.70	217.60
10	2015/5/20 12:00	2.12	5.80	228.00
11	2015/8/6 13:00	2.08	6.40	230.60

出典：JICA 調査団



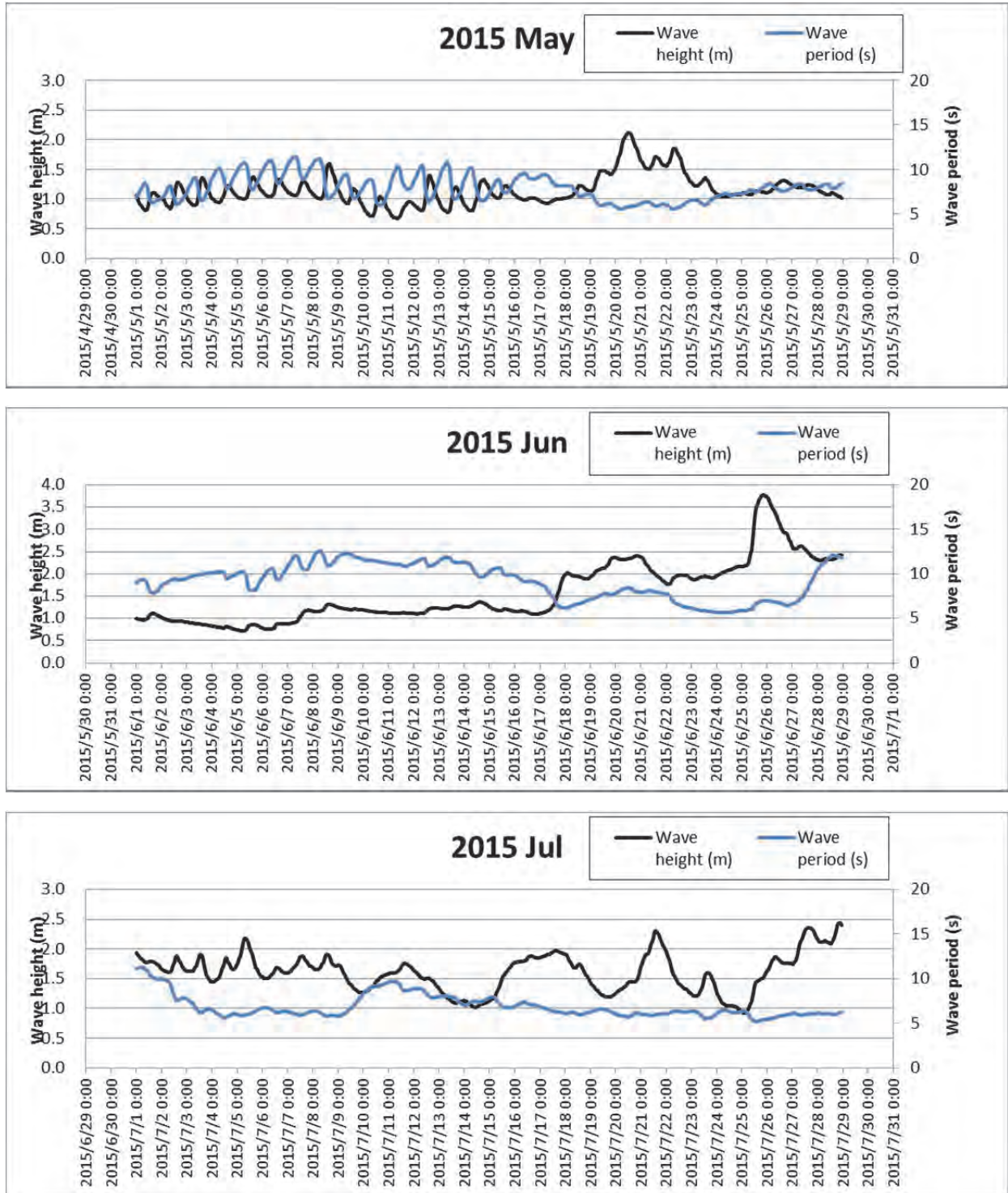
出典：JICA 調査団

図 3.7.15. 波浪推算による波高・周期の関係 (2015/2/1~12/31)



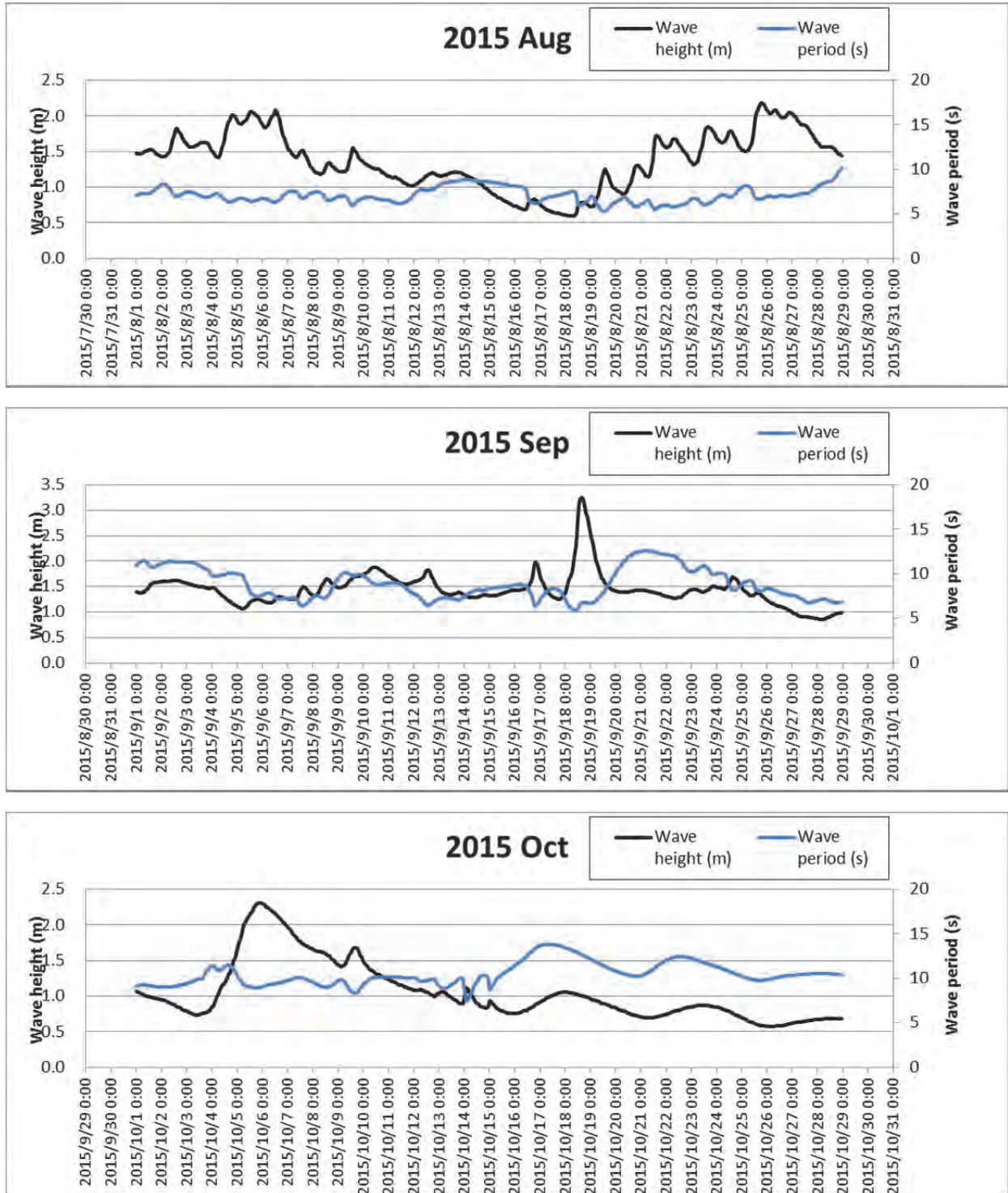
出典：JICA 調査団

図 3.7.16. 波浪推算による波高・周期 (2015/2/1~4/30)



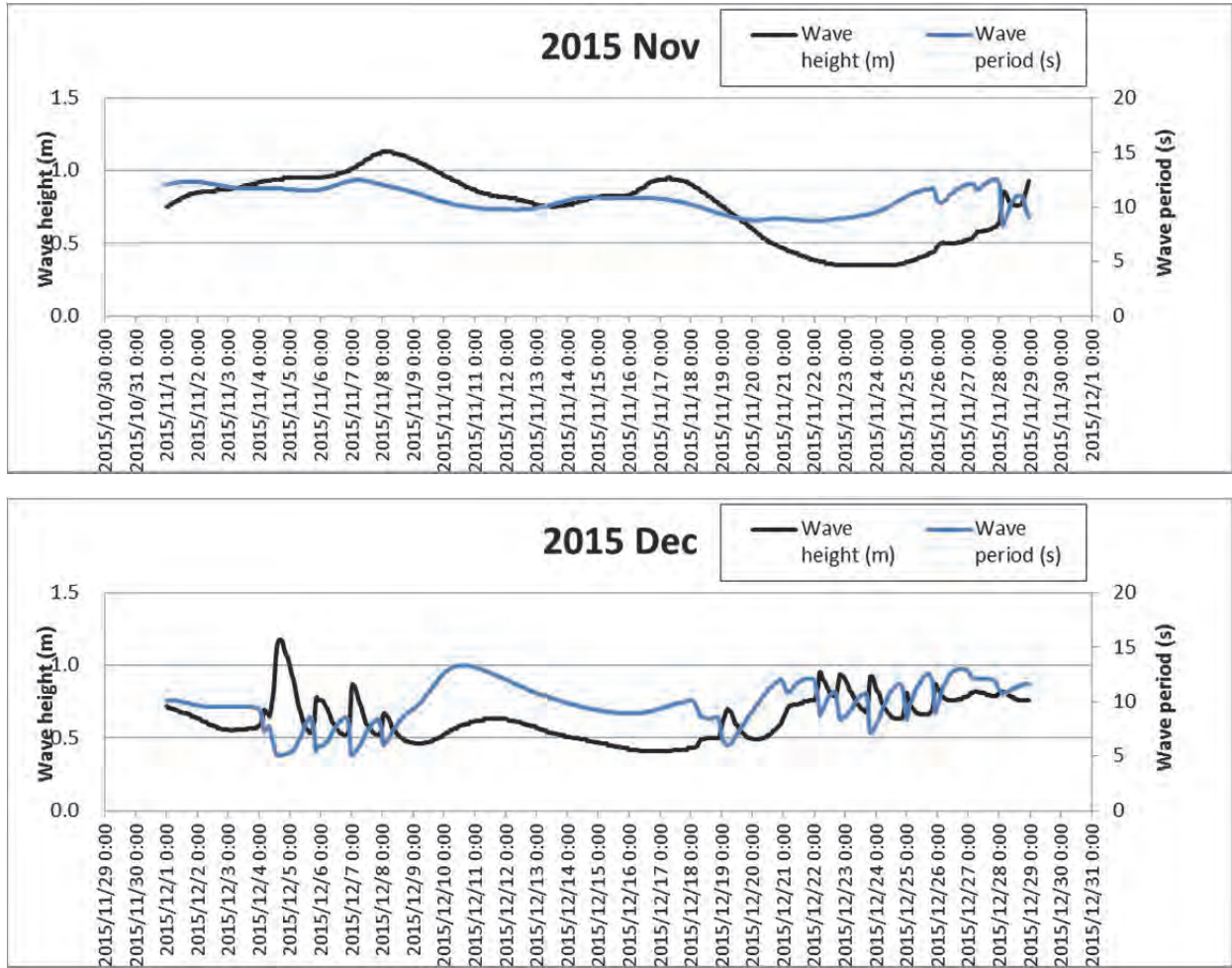
出典：JICA 調査団

図 3.7.17. 波浪推算による波高・周期 (2015/5/1~7/31)



出典：JICA 調査団

図 3.7.18. 波浪推算による波高・周期 (2015/8/1～10/30)



出典：JICA 調査団

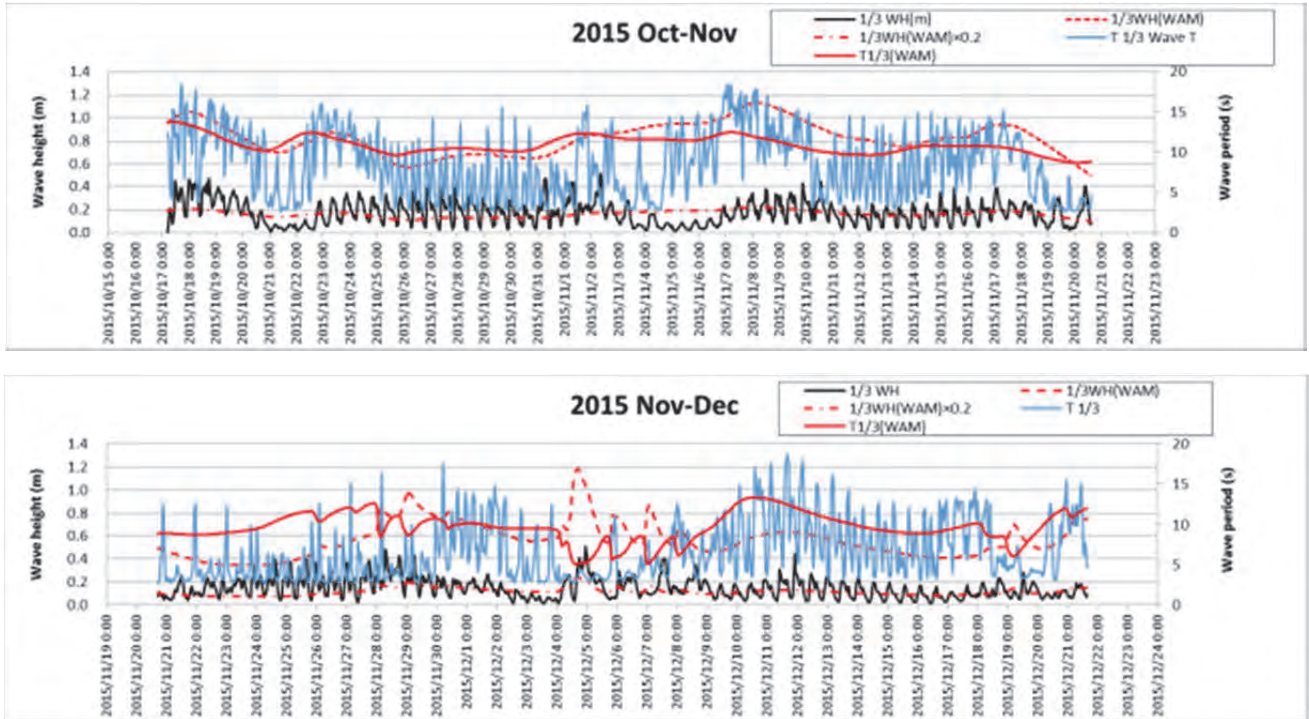
図 3.7.19. 波浪推算による波高・周期（2015/11/1～12/31）

波浪推算データからも、波高観測を行った海域周辺で発生・発達している波高と、外洋からの長周期成分の侵入による周期の長い波浪の大きく二つの波浪のタイプが見られることが分かる。

現地観測による波高、周期と波浪推算による波高、周期を比較すると、現地観測による周期は、日々、発達、減衰をくり返しているものの、周期の変化は波浪推算データと概ね同じような傾向を示している。

一方、波高を比較すると、現地観測による波高は、波浪推算と比較すると 1/5 程度の値である。図 3.7.20.は、現地観測と波浪推算の比較を示しており、さらに波浪推算は 1/5 の波高値も示している。これは、現地観測による波高は、観測地点の水深が 10m 以下であり、浅海域の波浪として屈折や海底摩擦の影響によって減衰しているためと推定される。一方の波浪推算は WAM モデルであり、水深の影響のない深海波として推算されているためである。しかしながら、両者の発達、減衰の傾向は同じような傾向を示している。今後、現地観測波浪の蓄積は今後も必要であるが、波浪推算データも観測データの欠損や設計沖波算出の長期間のデータを補足する手段として、有効に活用できるものと考えられる。





出典：JICA 調査団

図 3.7.20. 現地観測と波浪推算による波高・周期の比較 (2015/10/17～12/21)

### 3.7.6. 観測波浪のまとめ

現地観測波浪および波浪推算データより、波高観測を行った海域周辺で発生・発達している波高と、外洋からの長周期成分の侵入による周期の長い波浪の大きく二つの波浪のタイプが見られることが明らかとなりつつある。

長周期の波浪は、波高は小さいものの、地形の変化に影響を与えている可能性がある。今後の調査としては、観測波浪、流速、潮位変動等、現地で取得したデータを取り入れた数値シミュレーションモデルを構築し、河口域を含む海域での地形変化の再現を試み、さらに水制工や航路浚渫に対する予測計算を行う必要がある。しかし、長周期成分の波浪が、地形変化に大きく影響を与えているとすると、数値シミュレーションモデルによって地形変化の再現、予測を行えたとしても、水制工や維持浚渫による航路の維持は、これまで通常の（長周期成分ではない）波浪成分に対して効果を発揮できるように計画・設計・施工されてきており、更なる知識の構築が必要と考えられる。

## 3.8. 河川航路の流速

### 3.8.1. 流速観測の必要性

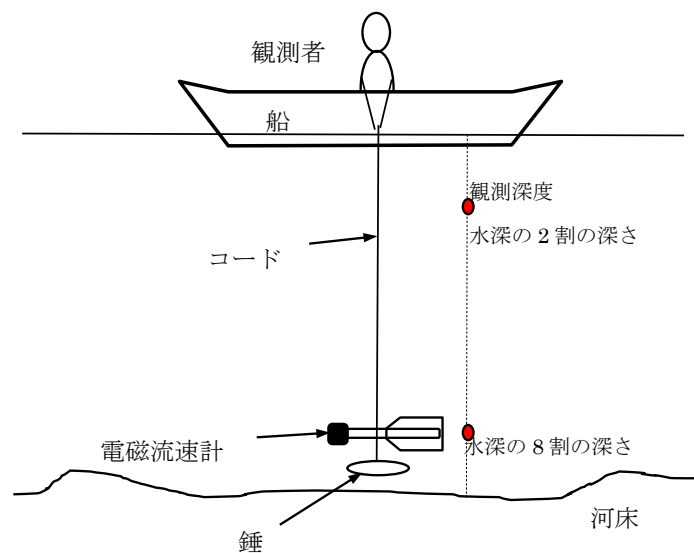
河川航路内の流速観測は、河床変動解析で用いる流量算出を目的とした流速観測と船舶航行解析のための流速観測の2つの解析条件設定のために実施した。

河床変動解析で活用する流速観測では、雨期と乾期の流量状況を比較、把握するため、潮位の影響を受けにくい干潮時に実施する予定であったが、調査許可の関係で観測時期が大幅に遅れ、雨期に予定していた干潮時の流速観測が実施できなかったが、潮汐流を確認するための12時間連続観測を雨期に実施できたので、この観測結果を用いて、乾期と雨期の流量変動量を把握するものとした。船舶航行解析で活用する流量観測では、吃水深の差による航行状況を想定するため、大潮時と小潮時において12時間連続観測（1時間毎）を実施した。

### 3.8.2. 流速観測手法

流速観測は、電磁流速計を用い、表層（2割水深程度）と下層（8割水深）の2層を観測した。

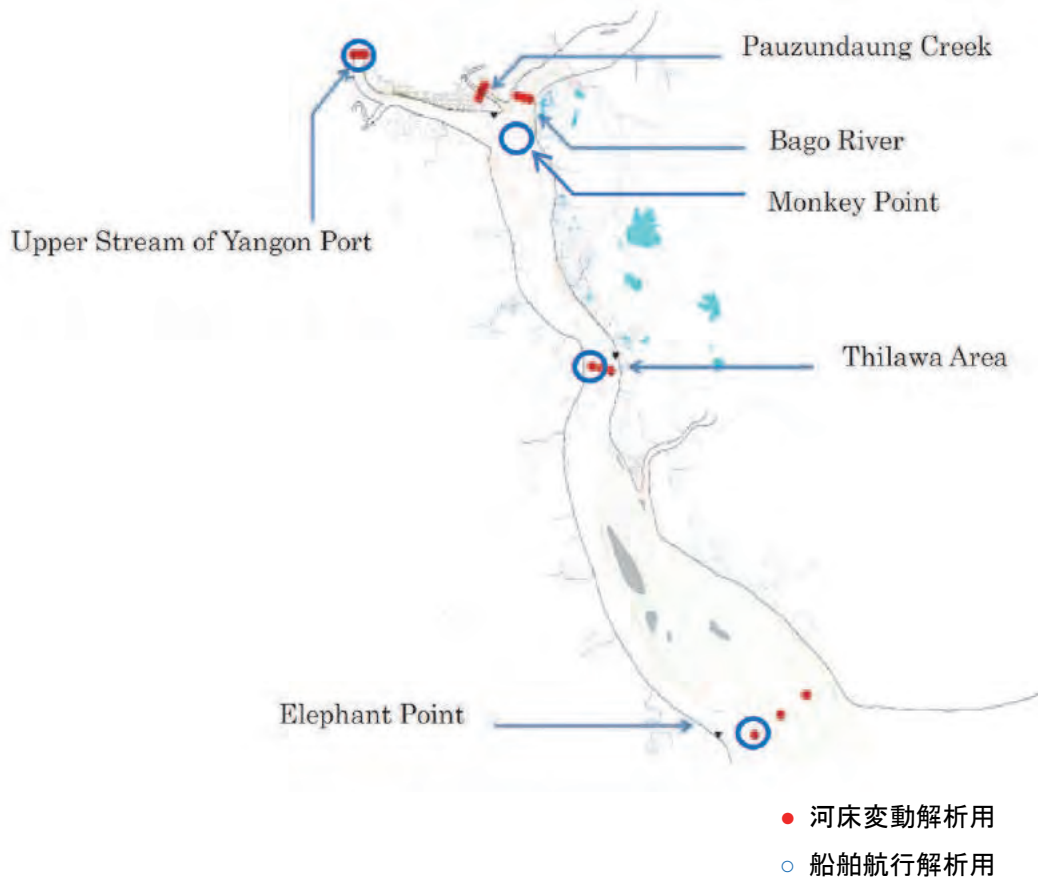
各層の観測時間は少なくとも20秒以上とし、3回以上繰り返してその平均値の流速と方向を確認した。また、流量観測の開始と終了時において水深を測定した。



出典：JICA 調査団

図 3.8.1. 流速観測の方法

なお、河床変動解析用については、流量算定のために観測場所の横断方向に3地点で計測し、船舶航行解析用は航路上の1地点を観測した。



出典：JICA 調査団

図 3.8.2. 流速観測場所と地点

各解析のために実施した流速観測地点と観測日を以下に記す。

表 3.8.1. 観測時間、観測地点及び観測日

観測目的	観測時間	観測地点	観測日
河床変動解析 (3 地点)	干潮時	Upper Stream of Yangon Port	2015/6/12
		Pauzundaung Creek	2015/6/11
		Bago River	2015/6/11
		Thilawa Area	2015/6/12
		Elephant Point	2015/6/12,18
	12 時間連続 (1 時間毎)	Upper Stream of Yangon Port	2015/10/20
		Bago River	2015/10/21
		Thilawa Area	2015/10/22
	船舶航行解析 (1 地点)	12 時間連続 (大潮 1 時間毎)	Upper Stream of Yangon Port
Monkey Point			2015/10/13
Thilawa Area			2015/10/12
Elephant Point			2015/10/13
12 時間連続 (小潮 1 時間毎)		Upper Stream of Yangon Port	2015/10/23
		Monkey Point	2015/10/23
		Thilawa Area	2015/10/23
		Elephant Point	2015/10/23

出典：JICA 調査団

### 3.8.3. 流速観測結果と考察

10 月の流速観測は、3 地点について 12 時間観測を実施したことから、干潮時刻付近で観測された結果を抽出し、6 月と 10 月の干潮時における流量比を比較した。

表 3.8.2. 観測地点と観測

観測箇所	6 月 観測日 (干潮時)	10 月	
		観測日	干潮時刻
Upper Stream of Yangon Port	2015/6/12	2015/10/20	15:58,03:22
Bago River	2015/6/11	2015/10/21	17:01,04:14
Thilawa Area	2015/6/12	2015/10/22	18:36,05:26

出典：JICA 調査団

その結果、6 月の方が 10 月より流量が多い結果となった。

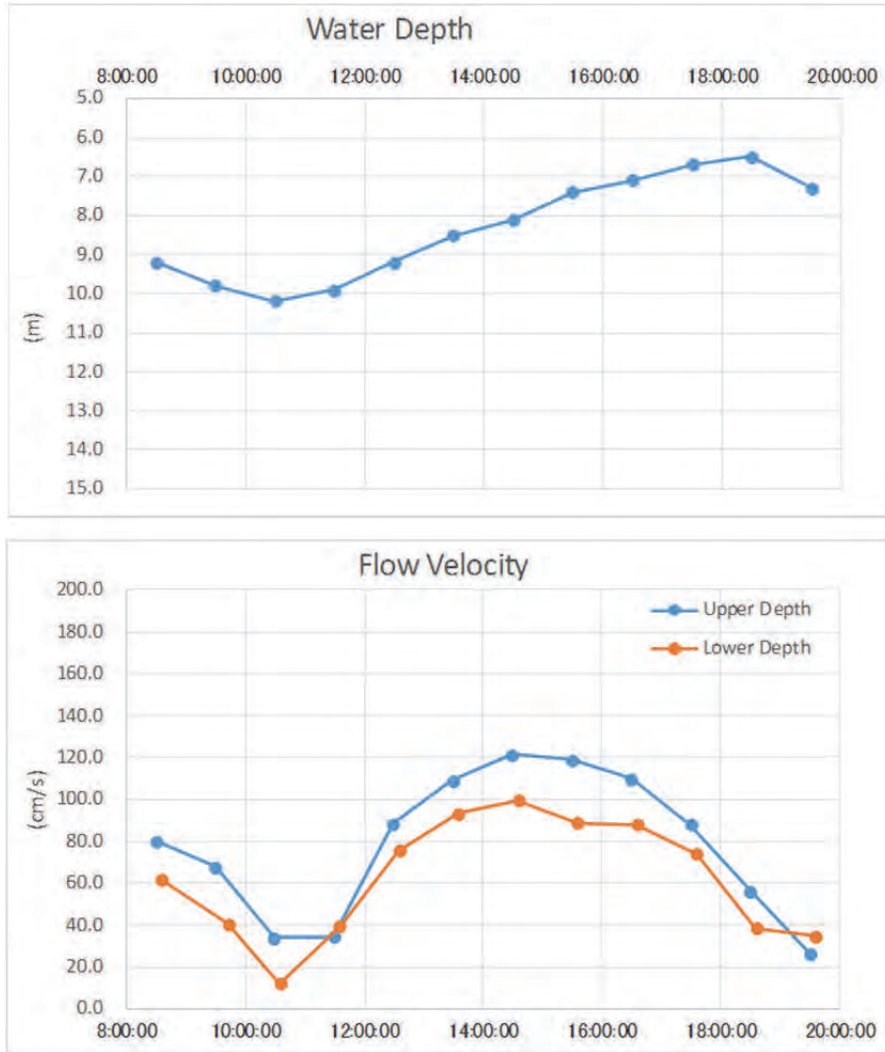
表 3.8.3. 6月と10月の流速観測結果比較

Locaton Name	Point	dry season (Low tide)			rainy season (12h)		
		Water Depth (m)	average Velocity (m/s)	Flow rate	Water Depth (m)	average Velocity (m/s)	Flow rate
Upper Stream of Yangon Port	Right	11.3	0.74	8.3	8.0	0.58	4.7
	Center	14.5	1.20	17.4	11.3	1.21	13.7
	Left	21.8	0.85	18.4	15.3	1.05	16.0
Total Flow rate				44.2			34.4
Bago River	Right	5.6	1.07	6.0	6.3	0.15	0.9
	Center	4.3	0.70	3.0	6.6	0.59	3.9
	Left	4.2	0.27	1.2	4.5	0.24	1.1
Total Flow rate				10.1			5.9
Thilawa Area	Right	16.1	0.82	13.2	6.5	0.47	3.1
	Center	9.1	1.45	13.2	11.2	0.90	10.1
	Left	11.1	1.47	16.3	17.5	0.44	7.7
Total Flow rate				42.7			20.8

注) 流量は川幅を1として考えて算出した。

出典：JICA 調査団

ただし、次図 3.8.3.の 12 時間観測結果からも判読できるように、ヤンゴン港上流まで潮位の影響を受けており、上げ潮下げ潮時の流速が河道内の掃流力に大きく影響していると考えられる。このため、この潮位に伴う発生流速をインプット条件とした河床変動解析が必要である。



出典：JICA 調査団

図 3.8.3. 12 時間観測結果 (Thilawa Area)

表 3.8.4. 流速観測結果 (6月:干潮時)

Locaton Name	Point	Date	Chosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Upper Stream of Yangon port	Right	12 June	7:12:00 ~ 7:18:00	11.3	9.0	46.5	172.6
			7:19:00 ~ 7:24:00	11.3	2.3	100.6	182.5
	Center	12 June	6:53:00 ~ 6:59:00	14.5	11.6	106.7	187.6
			7:00:00 ~ 7:06:00	14.5	2.9	133.9	201.5
	Left	12 June	7:45:00 ~ 7:52:00	21.8	17.4	69.5	197.2
			7:54:00 ~ 8:01:00	21.8	4.4	99.5	191.3
Pauzundaung Creek	Right	11 June	17:40:00 ~ 17:46:00	4.5	3.6	45.4	116.1
			17:47:00 ~ 17:52:00	4.5	0.9	56.1	115.6
	Center	11 June	17:12:00 ~ 17:19:00	6.5	5.2	59.4	112.4
			17:19:00 ~ 17:22:00	6.5	1.3	87.4	106.2
	Left	11 June	18:01:00 ~ 18:08:00	5.7	4.6	39.2	110.8
			18:09:00 ~ 18:13:00	5.7	1.1	38.4	120.0
Bago River	Right	11 June	4:23:00 ~ 4:28:00	5.6	4.5	84.6	189.6
			4:30:00 ~ 4:36:00	5.6	1.1	128.7	211.5
	Center	11 June	5:07:00 ~ 5:13:00	4.3	3.4	56.8	186.4
			5:13:00 ~ 5:17:00	4.3	0.9	80.2	198.2
	Left	11 June	5:35:00 ~ 5:41:00	4.2	3.4	8.0	219.6
			5:42:00 ~ 5:47:00	4.2	0.9	46.9	191.1
Thilawa area	Right	12 June	18:21:00 ~ 18:26:00	16.1	12.9	53.5	220.2
			18:27:00 ~ 18:33:00	16.1	3.2	110.4	186.8
	Center	12 June	17:10:00 ~ 17:16:00	9.1	7.3	95.2	178.0
			17:17:00 ~ 17:23:00	9.1	1.8	194.3	202.7
	Left	12 June	19:08:00 ~ 19:14:00	11.1	8.9	127.1	181.4
			19:14:00 ~ 19:22:00	11.1	2.2	167.8	183.7
Elephant Point	Right	12 June	17:57:00 ~ 18:03:00	15.6	12.5	57.1	212.9
			18:06:00 ~ 18:11:00	15.6	3.1	146.1	127.9
	Center	12 June	16:30:00 ~ 16:35:00	4.1	3.3	78.4	195.9
			16:36:00 ~ 16:42:00	4.1	0.8	105.0	183.2
	Left	18 June	19:10:00 ~ 19:16:00	3.5	3.0	55.4	163.1
			19:16:00 ~ 19:22:00	3.5	0.8	72.0	147.9

出典：JICA 調査団

表 3.8.5. 流速観測結果 (10月:12時間:Upper Stream of Yangon port)

Locaton Name	Point	Date	No.	Chooosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Upper Stream of Yangon port	Right	20 Oct	1-L	6:44:00 ~ 6:49:00	10.6	8.5	39.9	23.6
			1-U	6:49:50 ~ 6:54:50		2.1	30.4	5.1
			2-L	7:45:30 ~ 7:50:30	11.6	9.3	16.8	22.1
			2-U	7:51:30 ~ 7:56:30		2.3	14.7	28.0
			3-L	8:44:45 ~ 8:49:45	13	10.4	36.6	184.2
			3-U	8:50:15 ~ 8:55:15		2.6	48.0	197.0
			4-L	9:45:45 ~ 9:50:45	10.6	8.4	59.3	195.6
			4-U	9:51:30 ~ 9:56:30		2.1	70.9	194.0
			5-L	10:47:00 ~ 10:52:00	10.3	8.2	59.2	195.7
			5-U	10:53:00 ~ 10:58:00		2.1	61.1	191.9
			6-L	11:45:00 ~ 11:50:00	9.5	7.6	26.6	187.0
			6-U	11:51:00 ~ 11:56:00		1.9	39.3	174.4
			7-L	12:45:30 ~ 12:50:30	9.5	7.6	72.5	195.4
			7-U	12:51:30 ~ 12:56:30		1.9	93.2	193.9
			8-L	13:45:30 ~ 13:50:30	9	7.2	66.1	196.8
			8-U	13:51:30 ~ 13:56:30		1.8	70.7	190.7
			9-L	14:45:20 ~ 14:50:20	8.8	7.0	68.0	191.4
			9-U	14:51:20 ~ 14:56:20		1.8	80.4	195.9
			10-L	15:45:20 ~ 15:50:20	8	6.4	50.8	191.9
			10-U	15:51:00 ~ 15:56:00		1.6	66.0	186.7
			11-L	16:45:20 ~ 16:50:20	8.2	6.6	43.9	198.6
			11-U	16:51:30 ~ 16:56:30		1.6	32.5	193.2
			12-L	17:46:00 ~ 17:51:00	8.4	6.7	19.0	350.2
			12-U	17:52:20 ~ 17:57:20		1.7	29.2	28
Upper Stream of Yangon port	Center	20 Oct	1-U	6:50:00 ~ 6:55:00	16	3.2	18.0	344.3
			1-L	6:56:00 ~ 7:01:00		12.8	27.4	23.3
			2-U	7:50:00 ~ 7:55:00	16.8	3.4	14.7	79.4
			2-L	7:56:00 ~ 8:01:00		13.4	9.9	17.3
			3-U	8:50:00 ~ 8:54:30	16.3	3.3	45.1	194.0
			3-L	8:55:00 ~ 9:00:00		13.0	49.6	199.0
			4-U	9:49:00 ~ 9:54:00	15.7	3.1	111.5	194.9
			4-L	9:56:00 ~ 10:01:00		12.6	87.1	193.9
			5-U	10:50:00 ~ 10:55:00	15.5	3.1	118.8	193.5
			5-L	10:57:00 ~ 11:02:00		12.4	79.9	200.4
			6-U	11:50:00 ~ 11:55:00	15.2	3.0	143.6	185.0
			6-L	11:57:00 ~ 12:02:00		12.2	110.3	189.4
			7-U	12:50:00 ~ 12:55:00	14.5	2.9	128.2	191.9
			7-L	12:57:00 ~ 13:02:00		11.6	106.1	193.1
			8-U	13:50:00 ~ 13:55:00	14	2.8	145.1	197.3
			8-L	13:57:00 ~ 14:02:00		11.2	108.9	193.2
			9-U	14:50:00 ~ 14:55:00	11.5	2.3	140.1	192.7
			9-L	14:57:00 ~ 15:02:00		9.2	112.5	191.7
			10-U	15:50:00 ~ 15:55:00	11.3	2.3	133.4	188.8
			10-L	15:58:00 ~ 16:03:00		9.0	109.4	193.8
			11-U	16:50:00 ~ 16:55:00	11.1	2.2	107.7	192.0
			11-L	16:57:00 ~ 17:02:00		8.9	91.8	191.4
			12-U	17:54:00 ~ 17:59:00	13.3	2.7	23.0	136.7
			12-L	18:00:00 ~ 18:05:00		10.6	27.9	83.8
Upper Stream of Yangon port	Left	20 Oct	1-U	18:41:00 ~ 18:46:00	17.1	3.4	27.0	181.8
			1-L	18:47:00 ~ 18:52:00		13.7	24.9	7.9
			2-U	19:40:00 ~ 19:45:00	19.3	3.9	31.6	10.3
			2-L	19:47:00 ~ 19:52:00		15.4	13.1	14.6
			3-U	20:40:00 ~ 20:45:00	19.7	3.9	6.9	336.8
			3-L	20:47:00 ~ 20:52:00		15.8	10.3	162.2
			4-U	21:44:00 ~ 21:49:00	18.6	3.7	49.8	186.4
			4-L	21:51:00 ~ 21:56:00		14.9	33.2	190.9
			5-U	22:40:00 ~ 22:45:00	18.5	3.7	81.1	188.7
			5-L	22:47:00 ~ 22:52:00		14.8	69.2	189.1
			6-U	23:40:00 ~ 23:45:00	18.4	3.7	95.5	189.3
			6-L	23:47:00 ~ 23:52:00		14.7	87.3	186.2
			7-U	0:40:30 ~ 0:45:30	18.1	3.6	94.0	190.5
			7-L	0:47:00 ~ 0:52:00		14.5	87.6	186.0
			8-U	1:50:00 ~ 1:55:00	16	3.2	104.1	189.4
			8-L	1:56:00 ~ 2:01:00		12.8	94.7	188.0
			9-U	2:41:30 ~ 2:46:30	15.2	3.0	108.5	184.0
			9-L	2:48:10 ~ 2:53:10		12.2	89.2	188.3
			10-U	4:13:00 ~ 4:18:00	15.3	3.1	100.3	185.8
			10-L	4:07:00 ~ 4:12:00		12.2	109.1	186.9
			11-U	4:44:00 ~ 4:49:00	15.4	3.1	101.2	187.3
			11-L	4:54:00 ~ 4:59:00		12.3	86.2	187.8
			12-U	5:40:30 ~ 5:45:30	16	3.2	74.3	185.8
			12-L	5:47:30 ~ 5:52:30		12.8	54.9	186.8

黄色部分 : 干潮時

出典 : JICA 調査団



表 3.8.6. 流速観測結果 (10月:12時間: Bago River) 干潮時刻

Locaton Name	Point	Date	No.	Chooosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Bago River	Right	21 Oct	1-U	8:34:40 ~ 8:39:40	8.8	1.8	57.8	14.3
			1-L	8:40:40 ~ 8:45:40		7.0	53.2	27.8
			2-U	9:34:40 ~ 9:39:40	9.0	1.8	24.5	20.6
			2-L	9:40:40 ~ 9:45:40		7.2	17.6	41.9
			3-U	10:35:40 ~ 10:39:40	8.8	1.8	15.6	216.1
			3-L	10:40:40 ~ 10:45:40		7.0	19.2	207.1
			4-U	11:34:30 ~ 11:39:30	8.5	1.7	37.9	196.8
			4-L	11:40:30 ~ 11:45:30		6.8	32.6	188.0
			5-U	12:34:10 ~ 12:39:10	8.0	1.6	78.4	203.1
			5-L	12:40:10 ~ 12:45:10		6.4	56.7	186.9
			6-U	13:35:00 ~ 13:40:00	7.5	1.5	67.4	197.8
			6-L	13:40:30 ~ 13:45:30		6.0	56.2	194.8
7-U	14:34:30 ~ 14:39:30	7.0	1.4	63.5	199.6			
7-L	14:40:30 ~ 14:45:30		5.6	48.2	193.7			
8-U	15:34:30 ~ 15:39:30	6.6	1.3	63.1	202.3			
8-L	15:40:30 ~ 15:45:30		5.3	40.2	190.8			
9-U	16:34:30 ~ 16:39:30	6.4	1.3	42.5	197.6			
9-L	16:40:30 ~ 16:45:30		5.1	27.2	192.7			
10-U	17:34:30 ~ 17:39:30	6.3	1.3	21.9	210.6			
10-L	17:40:30 ~ 17:45:30		5.0	8.0	167.9			
11-U	18:33:30 ~ 18:38:30	6.6	1.3	35.1	11.9			
11-L	18:40:30 ~ 18:45:30		5.3	41.8	23.3			
12-U	19:36:30 ~ 19:41:30	7.5	1.5	61.4	21.0			
12-L	19:42:30 ~ 19:47:30		6.0	55.5	17.6			

Locaton Name	Point	Date	No.	Chooosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Bago River	Center	21 Oct	1-U	18:50:00 ~ 18:55:00	6.6	1.3	67.2	25.5
			1-L	18:56:00 ~ 19:01:00		5.3	71.0	36.9
			2-U	19:50:30 ~ 19:55:30	8.2	1.6	81.1	18.3
			2-L	19:56:30 ~ 20:01:30		6.6	57.7	22.0
			3-U	20:50:00 ~ 20:55:00	8.4	1.7	75.2	21.6
			3-L	20:56:00 ~ 21:01:00		6.7	59.5	27.0
			4-U	21:50:00 ~ 21:55:00	8.8	1.8	50.8	18.2
			4-L	21:56:00 ~ 22:01:00		7.0	34.9	31.1
			5-U	22:50:00 ~ 22:55:00	8.9	1.8	13.2	19.5
			5-L	23:00:00 ~ 23:04:00		7.1	3.7	135.6
			6-U	23:50:00 ~ 23:55:00	8.7	1.7	26.9	214.3
			6-L	23:56:00 ~ 0:01:00		7.0	25.0	198.4
7-U	0:49:30 ~ 0:54:30	8.3	1.7	62.1	203.8			
7-L	0:55:30 ~ 1:00:30		6.6	48.9	198.4			
8-U	1:50:00 ~ 1:55:00	7.6	1.5	71.5	206.4			
8-L	1:56:00 ~ 2:01:00		6.1	53.2	202.0			
9-U	2:49:30 ~ 2:54:30	7.2	1.4	71.0	203.0			
9-L	2:55:30 ~ 3:00:30		5.8	67.8	201.1			
10-U	3:50:30 ~ 3:54:30	6.6	1.3	68.7	206.2			
10-L	3:55:30 ~ 4:00:00		5.3	49.1	195.0			
11-U	4:50:00 ~ 4:55:00	6.2	1.2	59.8	209.8			
11-L	4:55:30 ~ 5:00:30		5.0	33.3	187.4			
12-U	5:50:00 ~ 5:55:00	6.1	1.2	38.0	210.4			
12-L	5:55:30 ~ 6:00:30		4.9	23.2	189.7			

Locaton Name	Point	Date	No.	Chooosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Bago River	Left	21 Oct	1-U	7:20:00 ~ 7:25:00	6.8	1.4	90.3	18.5
			1-L	7:26:00 ~ 7:31:00		5.4	71.4	27.2
			2-U	8:20:30 ~ 8:25:30	7.4	1.5	68.2	17.7
			2-L	8:26:30 ~ 8:31:30		5.9	52.8	25.6
			3-U	9:22:00 ~ 9:27:00	7.5	1.5	15.2	43.1
			3-L	9:28:00 ~ 9:33:00		6.0	31.2	11.6
			4-U	10:22:00 ~ 10:27:00	7.3	1.5	19.9	203.3
			4-L	10:28:00 ~ 10:33:00		5.8	24.6	202.8
			5-U	11:20:30 ~ 11:25:30	6.9	1.4	59.0	199.4
			5-L	11:26:30 ~ 11:31:30		5.5	43.5	195.1
			6-U	12:21:00 ~ 12:26:00	6.3	1.3	62.1	199.1
			6-L	12:29:00 ~ 12:34:00		5.0	47.5	195.9
7-U	13:21:30 ~ 13:26:30	5.6	1.1	59.8	199.2			
7-L	13:28:00 ~ 13:33:00		4.5	43.1	195.7			
8-U	14:21:30 ~ 14:26:30	5.2	1.0	54.9	198.3			
8-L	14:27:30 ~ 14:32:30		4.2	36.3	194.9			
9-U	15:21:00 ~ 15:26:00	4.7	0.9	44.3	198.5			
9-L	15:27:00 ~ 15:32:00		3.8	27.3	192.3			
10-U	16:21:00 ~ 16:26:00	4.5	0.9	32.3	199.6			
10-L	16:27:00 ~ 16:32:00		3.6	16.5	190.8			
11-U	17:20:30 ~ 17:25:30	4.0	0.8	6.6	223.7			
11-L	17:26:30 ~ 17:31:30		3.2	7.2	149.2			
12-U	18:19:30 ~ 18:24:30	5.0	1.0	63.6	18.4			
12-L	18:25:30 ~ 18:30:30		4.0	50.5	21.8			

黄色部分 : 干潮時

出典 : JICA 調査団

表 3.8.7. 流速観測結果 (10月:12時間:Thilawa Area)

Locaton Name	Point	Date	No.	Chooosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Thilawa Area	Right	22 Oct	1-U	8:29:20 ~ 8:34:20	9.2	1.8	79.9	11.6
			1-L	8:35:20 ~ 8:40:20		7.4	61.4	357.8
			2-U	9:29:20 ~ 9:34:20	9.8	2.0	67.9	10.8
			2-L	9:42:20 ~ 9:47:20		7.8	40.3	4.9
			3-U	10:29:20 ~ 10:34:20	10.2	2.0	33.8	15.0
			3-L	10:35:20 ~ 10:40:20		8.2	11.9	342.8
			4-U	11:29:20 ~ 11:34:20	9.9	2.0	34.2	177.6
			4-L	11:35:20 ~ 11:40:20		7.9	39.1	182.8
			5-U	12:29:20 ~ 12:34:20	9.2	1.8	88.2	181.0
			5-L	12:35:20 ~ 12:40:20		7.4	75.6	187.2
			6-U	13:29:20 ~ 13:34:20	8.5	1.7	109.0	184.4
			6-L	13:35:20 ~ 13:40:20		6.8	93.1	184.7
7-U	14:29:20 ~ 14:34:20	8.1	1.6	121.4	182.2			
7-L	14:35:20 ~ 14:40:20		6.5	99.3	187.7			
8-U	15:29:20 ~ 15:34:20	7.4	1.5	118.8	183.3			
8-L	15:35:20 ~ 15:40:20		5.9	88.8	185.7			
9-U	16:29:40 ~ 16:34:40	7.1	1.4	109.9	182.7			
9-L	16:35:20 ~ 16:40:20		5.7	87.8	183.7			
10-U	17:29:30 ~ 17:34:30	6.7	1.3	88.0	174.5			
10-L	17:35:20 ~ 17:40:20		5.4	73.9	182.4			
11-U	18:29:20 ~ 18:34:20	6.5	1.3	56.3	180.2			
11-L	18:35:20 ~ 18:40:20		5.2	38.3	182.2			
12-U	19:29:30 ~ 19:34:30	7.3	1.5	26.5	12.9			
12-L	19:35:20 ~ 19:40:20		5.8	34.6	7.2			

Locaton Name	Point	Date	No.	Chooosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Thilwa Area	Center	22 Oct	1-U	20:08:00 ~ 20:13:00	10.7	2.1	44.5	12.6
			1-L	20:14:00 ~ 20:19:00		8.6	39.8	355.5
			2-U	21:08:00 ~ 21:13:00	11.4	2.3	56.5	354.1
			2-L	21:14:00 ~ 21:19:00		9.1	45.7	3.4
			3-U	22:07:30 ~ 22:12:30	12.3	2.5	63.1	359.0
			3-L	22:13:30 ~ 22:18:30		9.8	60.7	4.0
			4-U	23:06:30 ~ 23:11:30	12.7	2.5	58.2	6.3
			4-L	23:12:30 ~ 23:17:30		10.2	43.1	4.5
			5-U	0:07:30 ~ 0:12:30	13.1	2.6	16.2	35.9
			5-L	0:13:30 ~ 0:18:30		10.5	2.7	31.0
			6-U	1:08:00 ~ 1:13:00	12.7	2.5	56.3	177.6
			6-L	1:14:00 ~ 1:19:00		10.2	41.0	184.0
7-U	2:08:00 ~ 2:13:00	13.3	2.7	94.3	178.5			
7-L	2:14:00 ~ 2:19:00		10.6	73.0	179.4			
8-U	3:08:00 ~ 3:13:00	12.1	2.4	105.8	176.3			
8-L	3:14:00 ~ 3:19:00		9.7	82.9	176.4			
9-U	4:08:00 ~ 4:13:00	11.7	2.3	108.7	173.4			
9-L	4:14:00 ~ 4:19:00		9.4	89.8	177.2			
10-U	5:08:00 ~ 5:13:00	11.2	2.2	110.4	174.6			
10-L	5:14:00 ~ 5:19:00		9.0	69.4	176.7			
11-U	6:08:00 ~ 6:13:00	10.3	2.1	97.9	176.0			
11-L	6:14:00 ~ 6:19:00		8.2	92.6	176.2			
12-U	7:09:00 ~ 7:14:00	10.2	2.0	73.4	174.2			
12-L	7:15:00 ~ 7:20:00		8.2	49.2	175.2			

Locaton Name	Point	Date	No.	Chooosen Time of Data collecting	Water Depth (m)	Measurement Depth (m)	Velocity (cm/s)	Direction (°)
Thilwa Area	Left	22 Oct	1-U	8:26:00 ~ 8:31:00	19.6	3.9	55.2	8.2
			1-L	8:33:00 ~ 8:38:00		15.7	54.3	352.2
			2-U	9:26:00 ~ 9:31:00	20.5	4.1	57.0	8.7
			2-L	9:33:00 ~ 9:38:00		16.4	42.0	357.1
			3-U	10:26:00 ~ 10:31:00	21	4.2	27.3	3.2
			3-L	10:33:00 ~ 10:38:00		16.8	5.8	18.8
			4-U	11:21:00 ~ 11:26:00	20.6	4.1	7.8	146.1
			4-L	11:28:00 ~ 11:33:00		16.5	20.8	171.5
			5-U	12:26:00 ~ 12:31:00	19.6	3.9	54.3	185.3
			5-L	12:37:00 ~ 12:42:00		15.7	55.0	182.5
			6-U	13:26:00 ~ 13:31:00	19.4	3.9	100.7	184.3
			6-L	13:33:00 ~ 13:38:00		15.5	94.3	187.8
7-U	14:30:00 ~ 14:35:00	18.8	3.8	86.7	184.5			
7-L	14:37:00 ~ 14:42:00		15.0	85.7	184.9			
8-U	15:26:00 ~ 15:31:00	18.6	3.7	92.7	178.1			
8-L	15:33:00 ~ 15:38:00		14.9	87.0	187.9			
9-U	16:26:00 ~ 16:31:00	18	3.6	91.1	182.3			
9-L	16:33:00 ~ 16:38:00		14.4	78.4	184.2			
10-U	17:25:30 ~ 17:30:30	17.4	3.5	82.9	183.0			
10-L	17:31:00 ~ 17:36:00		13.9	80.8	190.1			
11-U	18:25:30 ~ 18:30:30	17.5	3.5	47.2	187.7			
11-L	18:31:30 ~ 18:36:30		14.0	40.3	175.1			
12-U	19:26:00 ~ 19:31:00	18.5	3.7	14.9	5.1			
12-L	19:32:00 ~ 19:37:00		14.8	20.4	17.1			

黄色部分 : 干潮時

出典 : JICA 調査団

## 3.9. 浮遊物調査結果

### 3.9.1. 浮遊物調査の必要性

航路埋没解析では、流れと波による底泥の浮遊・拡散・沈降の現象を考慮し、航路埋没の過程を再現する、解析モデルの比較検証の指標とするため、乾期と雨期における大潮時の浮遊物調査を実施した。

### 3.9.2. 流速観測手法

採水は各採水地点における水深を考慮して、以下の3層の採水とした。

表層の採水	水面から 1m 下の深さ
中層の採水	水深の 5 割の深さ
底層の採水	河床から 1～2m 上の深さ

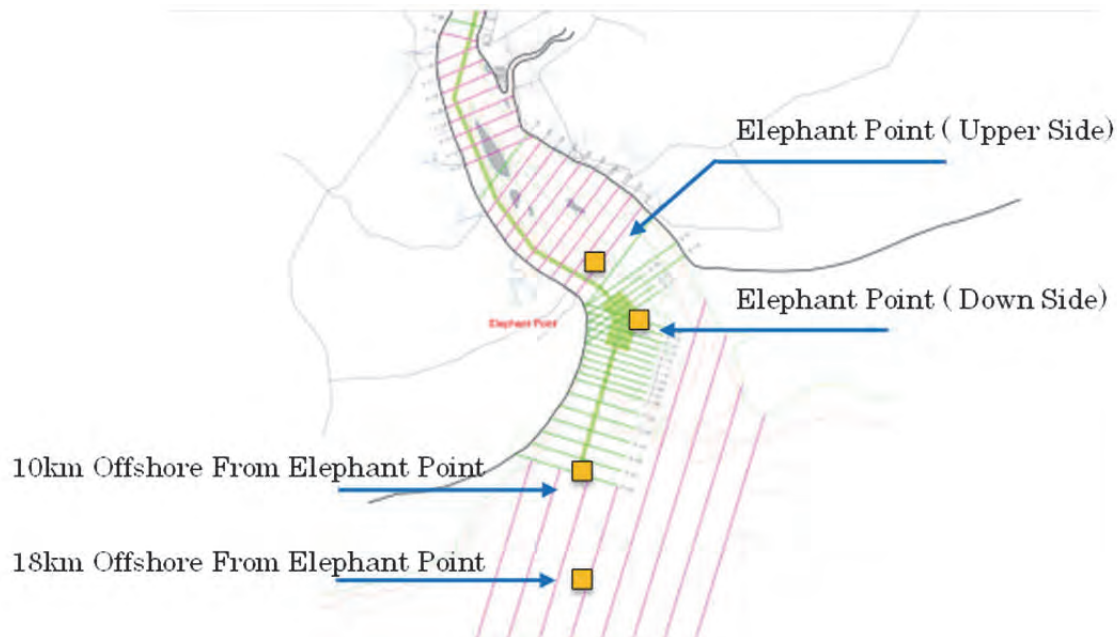
また、採水時期は大潮時とし、採水時の開始と終了時に水深を測るとともに、採水位置（座標値を記載すること）、採水日時、及び各採水層の流速を記録した。

表 3.9.1. 地点あたりの採水間隔、採水回数及び採水時期

採水間隔	採水回数	採水時期	備考
1 時間毎に採水	合計 24 回の採水	乾期：2016/6/16～17 雨期：2016/10/30～31	観測時の流速を計測

出典：JICA 調査団

浮遊物質量の観測地点を図 3.9.1.に示す。



出典：JICA 調査団

図 3.9.1. 浮遊物質量観測地点

### 3.9.3. 浮遊物質量観測結果と考察

採水したサンプルを基に、水中に含まれる固形物質の 1L 当たりの乾燥重量を計測した。代表として、エレファント・ポイントの沖合約 18km の観測結果を表 3.9.2.に示す。また、観測結果をグラフ化して図 3.9.2.に示す。

図 3.9.2.より、流速と浮遊物質量との相関は明確ではないが、底層の浮遊物質量が多い傾向にあった。

表 3.9.2. 浮遊物質量観測結果（エレファント・ポイントの沖合約 18km）

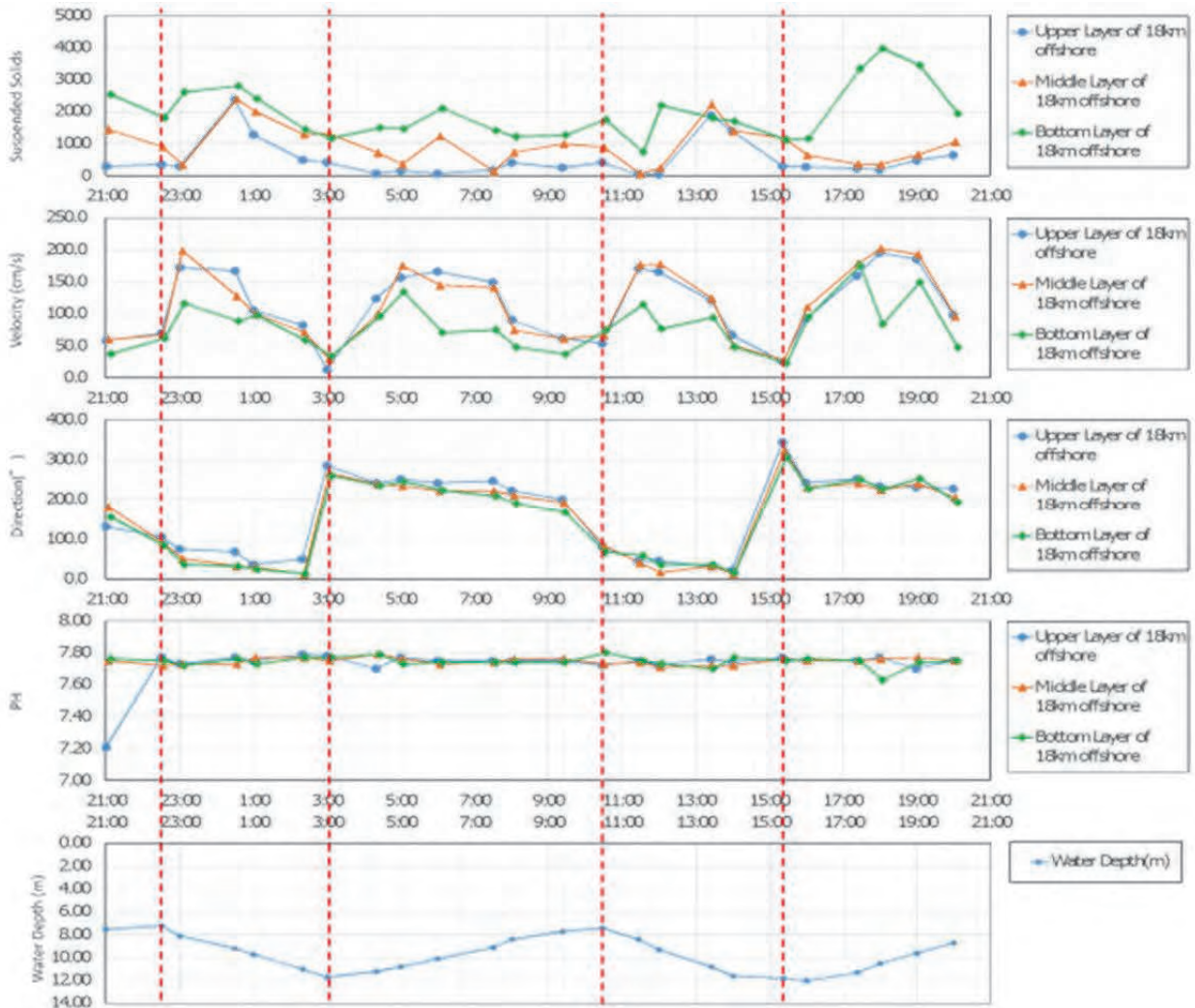
日付	水深 (m)	潮位 (m)	観測時刻		サンプル No	観測水深 (m)	PH	EC	浮遊物質量 (mg/l)	流速 (cm/s)	方向 (°)
			開始	終了							
16. 6. 2015	7.50	2.36	9:00:00	9:02:20	A1	1.00	7.21	>20.0	300	58.7	131.5
16. 6. 2015			9:04:16	9:06:23	A2	3.75	7.75	>20.0	1442	59.8	181.1
16. 6. 2015			9:08:30	9:09:10	A3	6.50	7.76	>20.0	2536	37.6	155.3
16. 6. 2015	7.20	1.51	10:30:11	10:31:00	A4	1.00	7.77	>20.0	351	69.5	105.8
16. 6. 2015			10:32:50	10:33:41	A5	3.60	7.72	>20.0	904	67.5	91.0
16. 6. 2015			10:35:10	10:36:08	A6	6.20	7.75	>20.0	1816	61.7	84.0
16. 6. 2015	8.10	1.40	11:00:00	11:02:50	A7	1.00	7.73	>20.0	292	172.5	74.6
16. 6. 2015			11:04:30	11:06:00	A8	4.05	7.73	>20.0	346	198.7	50.9
16. 6. 2015			11:07:56	11:09:10	A9	7.10	7.72	>20.0	2612	116.1	36.3
17. 6. 2015	9.20	1.67	12:30:02	12:31:05	A10	1.00	7.77	>20.0	2372	167.0	67.8
17. 6. 2015			12:33:04	12:34:00	A11	4.60	7.73	>20.0	2396	128.0	32.2
17. 6. 2015			12:35:16	12:36:12	A12	8.20	7.76	>20.0	2804	88.6	32.4
17. 6. 2015	9.70	2.08	13:00:00	13:02:30	A13	1.00	7.75	>20.0	1290	105.5	35.9
17. 6. 2015			13:04:00	13:04:56	A14	4.85	7.77	>20.0	2000	99.8	29.1
17. 6. 2015			13:06:14	13:07:00	A15	8.70	7.73	>20.0	2408	97.4	24.7

前表の続き。

日付	水深 (m)	潮位 (m)	観測時刻		サンプル No	観測水深 (m)	PH	EC	浮遊物量 (mg/l)	流速 (cm/s)	方向 (°)
			開始	終了							
17.6.2015	11.00	4.00	14:20:05	14:21:06	A16	1.00	7.79	>20.0	499	82.2	49.8
17.6.2015			14:23:00	14:23:50	A17	5.50	7.77	>20.0	1290	71.2	12.1
17.6.2015			14:25:10	14:26:20	A18	10.00	7.77	>20.0	1438	58.9	13.3
17.6.2015	11.70	4.83	3:00:00	3:01:45	A19	1.00	7.78	>20.0	420	13.2	286.0
17.6.2015			3:04:00	3:05:05	A20	5.85	7.75	>20.0	1318	29.7	266.4
17.6.2015			3:07:10	3:08:00	A21	10.70	7.77	>20.0	1174	34.4	259.9
17.6.2015	11.20	6.01	4:20:00	4:21:04	A22	1.00	7.70	>20.0	72	124.1	242.3
17.6.2015			4:23:00	4:24:03	A23	5.60	7.79	>20.0	718	99.2	238.4
17.6.2015			4:26:30	4:27:50	A24	10.20	7.79	>20.0	1494	96.1	235.1
17.6.2015	10.80	5.99	5:00:00	5:01:05	A25	1.00	7.77	>20.0	164	156.7	251.6
17.6.2015			5:03:10	5:04:05	A26	5.40	7.76	>20.0	364	175.3	235.1
17.6.2015			5:05:03	5:06:06	A27	9.80	7.73	>20.0	1472	134.3	245.1
17.6.2015	10.10	5.60	6:00:00	6:02:00	A28	1.00	7.75	>20.0	70	166.1	241.9
17.6.2015			6:04:10	6:05:02	A29	5.05	7.73	>20.0	1244	144.6	222.5
17.6.2015			6:08:00	6:09:30	A30	9.10	7.74	>20.0	2104	70.7	224.1
17.6.2015	9.10	4.48	7:30:00	7:31:02	A31	1.00	7.75	>20.0	179	149.4	247.4
17.6.2015			7:32:05	7:33:10	A32	4.55	7.74	>20.0	138	140.6	222.5
17.6.2015			7:35:00	7:36:30	A33	8.10	7.74	>20.0	1414	75.1	208.8
17.6.2015	8.40	3.99	8:01:00	8:03:00	A34	1.00	7.75	>20.0	412	90.4	222.4
17.6.2015			8:05:10	8:06:05	A35	4.20	7.76	>20.0	734	74.5	210.6
17.6.2015			8:08:07	8:09:05	A36	7.40	7.74	>20.0	1220	48.1	190.5
17.6.2015	7.70	2.74	9:23:04	9:24:00	A37	1.00	7.75	>20.0	255	61.7	200.9
17.6.2015			9:26:10	9:27:08	A38	3.85	7.76	>20.0	996	61.0	192.4
17.6.2015			9:28:35	9:29:40	A39	6.70	7.74	>20.0	1274	37.0	167.5
17.6.2015	7.40	1.96	10:28:05	10:29:18	A40	1.00	7.72	>20.0	417	54.0	80.9
17.6.2015			10:31:00	10:32:07	A41	3.70	7.73	>20.0	892	66.3	83.7
17.6.2015			10:34:10	10:36:00	A42	6.40	7.80	>20.0	1748	74.3	67.2
17.6.2015	8.40	1.57	11:27:01	11:28:05	A43	1.00	7.75	>20.0	44	170.8	44.6
17.6.2015			11:30:11	11:32:00	A44	4.20	7.74	>20.0	66	176.4	40.2
17.6.2015			11:35:12	11:37:03	A45	7.40	7.75	>20.0	742	114.6	58.7
17.6.2015	9.30	1.52	12:00:00	12:01:20	A46	1.00	7.72	>20.0	49	165.4	45.7
17.6.2015			12:03:00	12:03:50	A47	4.65	7.71	>20.0	244	177.8	16.1
17.6.2015			12:05:00	12:06:13	A48	8.30	7.73	>20.0	2196	76.7	35.1
17.6.2015	10.80	2.56	13:25:10	13:26:30	A49	1.00	7.76	>20.0	1892	121.3	31.3
17.6.2015			13:27:00	13:27:56	A50	5.40	7.72	>20.0	2224	124.0	32.2
17.6.2015			13:29:10	13:30:12	A51	9.80	7.70	>20.0	1804	94.3	35.9
17.6.2015	11.60	3.44	14:00:00	14:01:15	A52	1.00	7.74	>20.0	1406	66.9	21.6
17.6.2015			14:02:20	14:03:00	A53	5.80	7.72	>20.0	1396	50.4	12.6
17.6.2015			14:04:07	14:05:19	A54	10.60	7.77	>20.0	1700	48.3	16.2
17.6.2015	11.80	5.57	15:22:04	15:23:16	A55	1.00	7.77	>20.0	304	25.3	343.9
17.6.2015			15:25:10	15:26:14	A56	5.90	7.76	>20.0	1184	27.9	322.7
17.6.2015			15:28:30	15:29:55	A57	10.80	7.75	>20.0	1122	22.9	306.5
17.6.2015	12.00	6.19	16:00:00	16:01:20	A58	1.00	7.75	>20.0	284	92.3	242.9
17.6.2015			16:02:35	16:03:10	A59	6.00	7.75	>20.0	646	110.5	231.7
17.6.2015			16:04:28	16:06:00	A60	11.00	7.76	>20.0	1160	95.3	227.8
17.6.2015	11.30	6.39	17:23:13	17:23:00	A61	1.00	7.75	>20.0	236	159.5	252.4
17.6.2015			17:25:30	17:26:40	A62	5.65	7.75	>20.0	366	178.3	240.4
17.6.2015			17:28:50	17:30:00	A63	10.30	7.75	>20.0	3340	175.1	251.7
17.6.2015	10.50	6.32	18:00:00	18:01:00	A64	1.00	7.77	>20.0	200	195.0	234.1
17.6.2015			18:02:19	18:03:28	A65	5.25	7.76	>20.0	357	201.8	224.7
17.6.2015			18:05:24	18:06:46	A66	9.50	7.63	>20.0	3970	84.1	226.6
17.6.2015	9.60	6.11	19:00:00	19:02:25	A67	1.00	7.70	>20.0	479	185.8	231.8
17.6.2015			19:03:10	19:05:00	A68	4.80	7.77	>20.0	664	192.6	240.1
17.6.2015			19:05:55	19:07:20	A69	8.60	7.74	>20.0	3450	149.1	253.2
17.6.2015	8.70	5.79	20:00:00	20:03:20	A70	1.00	7.75	>20.0	652	98.8	227.9
17.6.2015			20:04:00	20:07:36	A71	4.35	7.75	>20.0	1066	95.3	205.3
17.6.2015			20:08:00	20:11:00	A72	7.70	7.75	>20.0	1940	47.6	193.9

注) 潮位は潮汐表より算出 (観測時間の平均値)

出典: JICA 調査団



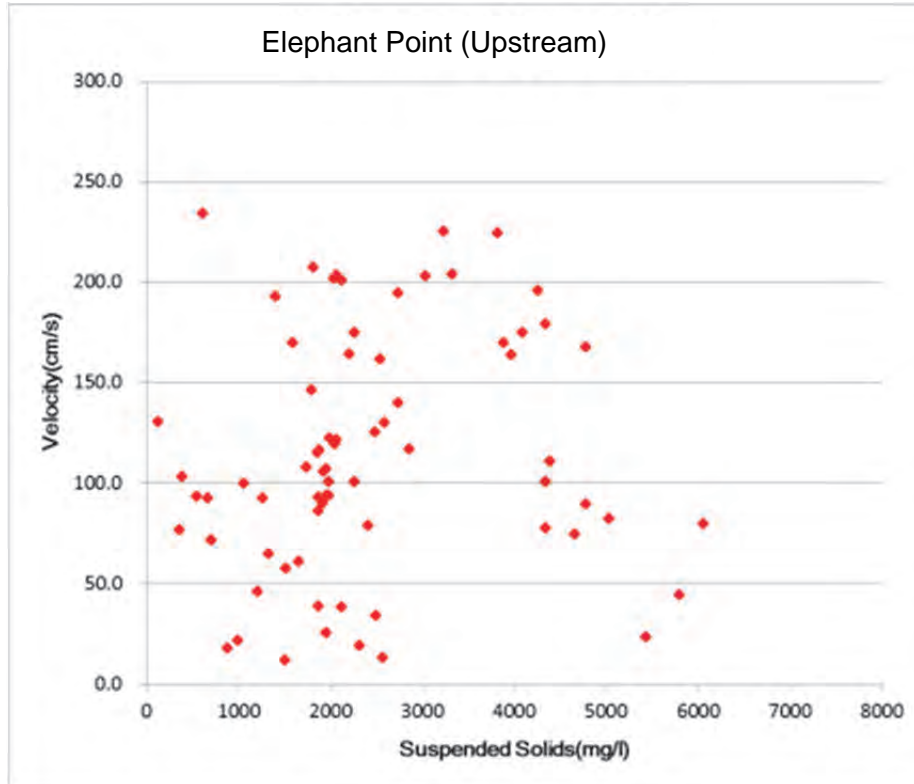
出典：JICA 調査団

図 3.9.2. 浮遊物質量観測結果（エレファント・ポイントの沖合約 18km）

以下、横軸に浮遊物濃度（SS）、縦軸に流速（Velocity）の相関をとり、グラフ化したものを示す。

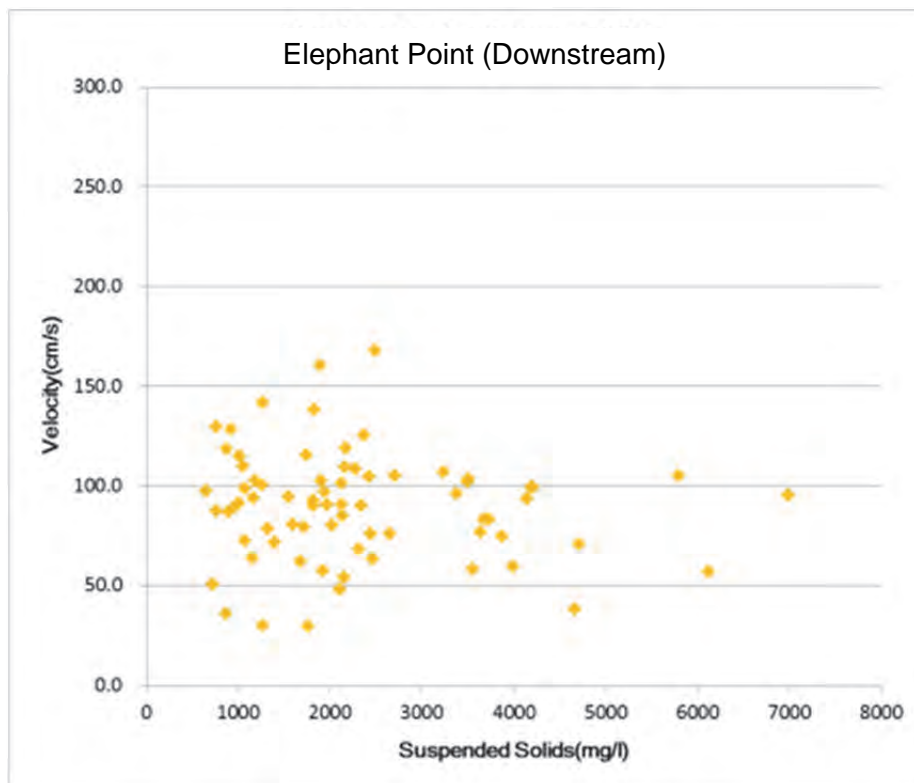
採取場所による浮遊物濃度 SS の違いは河口部の Elephant Point (Upper Side)、Elephant Point (Down Side)、10 km Offshore であまりなく、18 km Offshore においても小さい。流速との相関は弱いように見えるものの、沖合 10 km Offshore と 18 km Offshore との比較では、18 km Offshore の濃度が低く、観測結果は妥当な結果と考えられる。

6月と10月のデータを比較すると、10月のほうが流速、浮遊物濃度とも大きくなっていることが分かる。



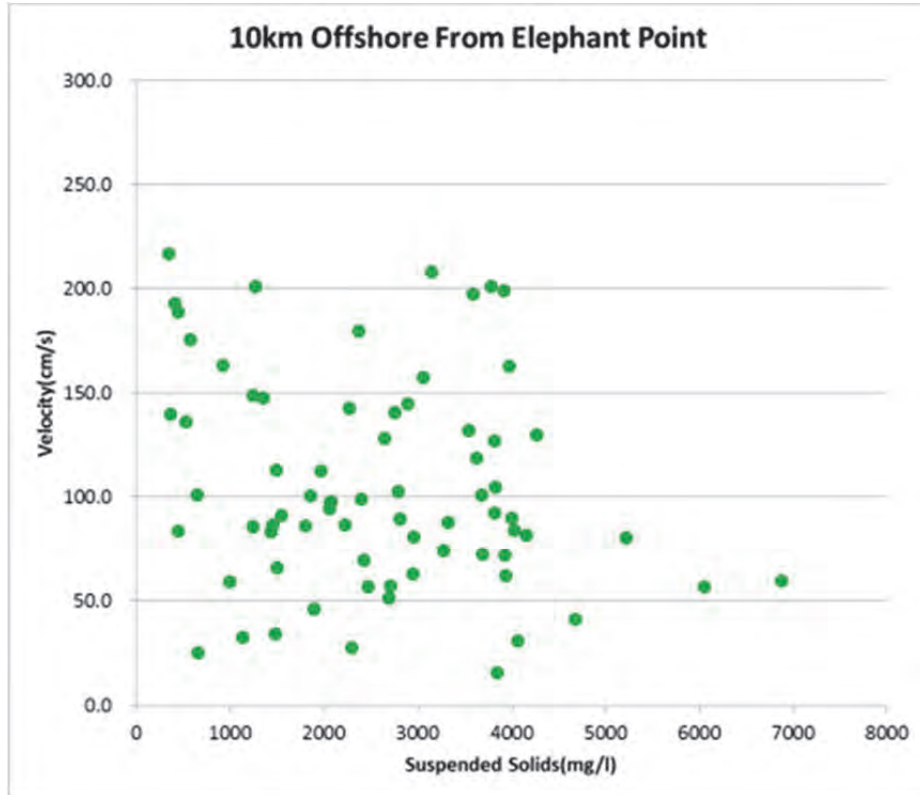
出典：JICA 調査団

図 3.9.3. SS－Velocity の相関 (Elephant Point (Upstream)) (6 月)



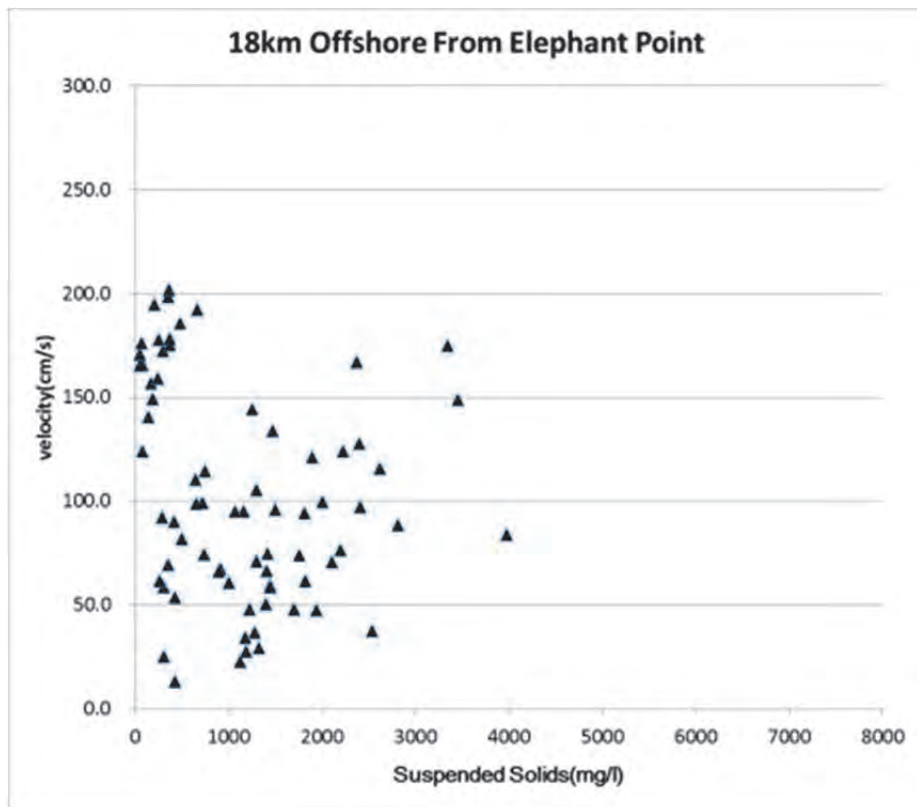
出典：JICA 調査団

図 3.9.4. SS－Velocity の相関 (Elephant Point (Downstream)) (6 月)



出典：JICA 調査団

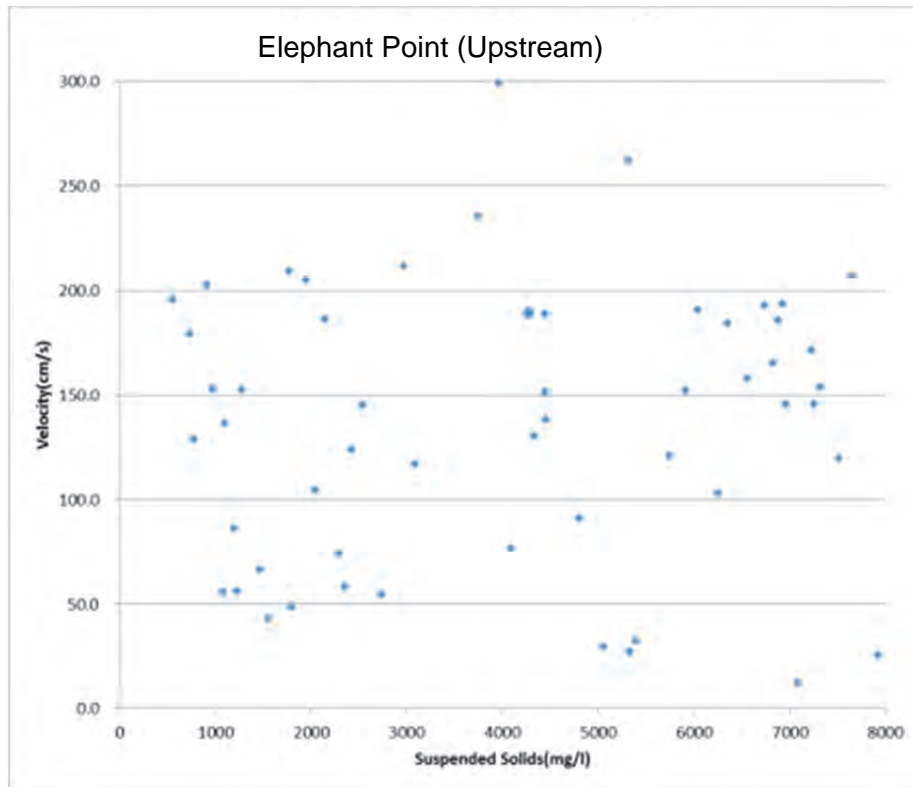
図 3.9.5. SS- Velocity の相関 (10km Offshore From Elephant Point) (6 月)



出典：JICA 調査団

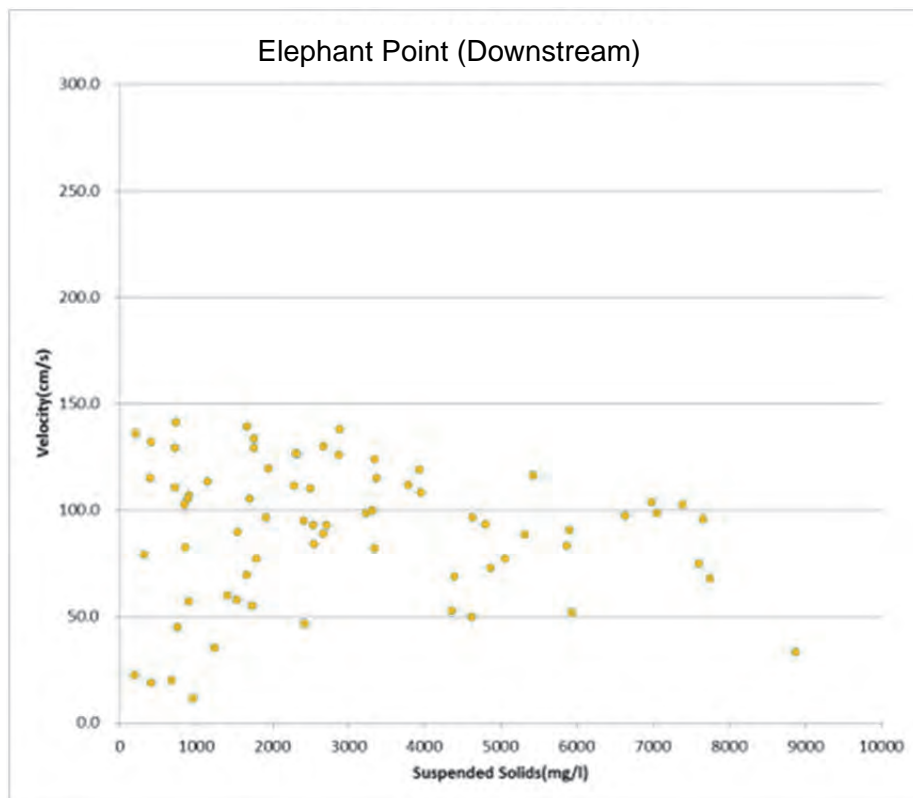
図 3.9.6. SS- Velocity の相関 (18km Offshore From Elephant Point) (6 月)





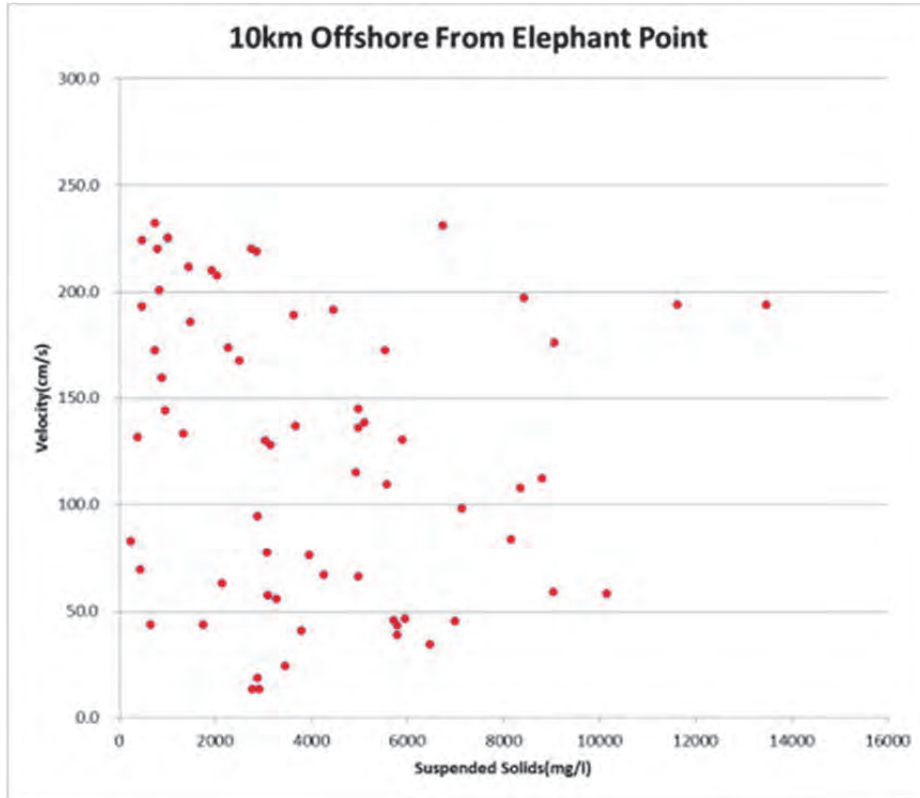
出典：JICA 調査団

図 3.9.7. SS- Velocity の相関 (Elephant Point (Upstream)) (10 月)



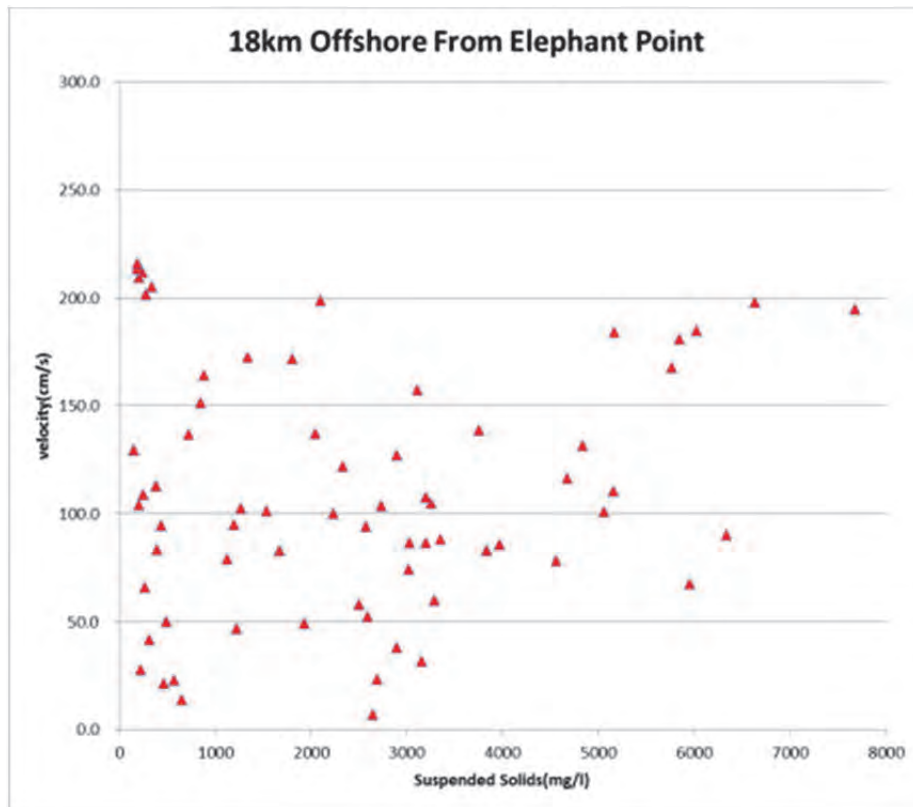
出典：JICA 調査団

図 3.9.8. SS- Velocity の相関 (Elephant Point (Downstream)) (10 月)



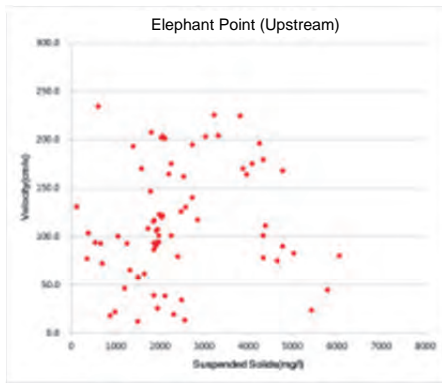
出典：JICA 調査団

図 3.9.9. SS-velocity の相関 (10km Offshore From Elephant Point) (October) (10 月)

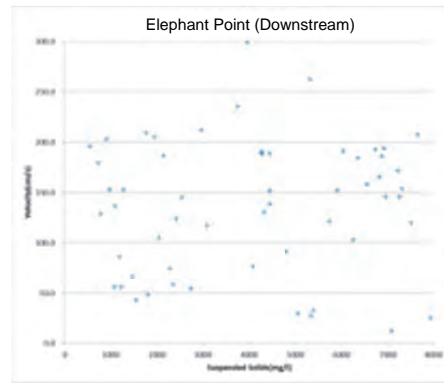


出典：JICA 調査団

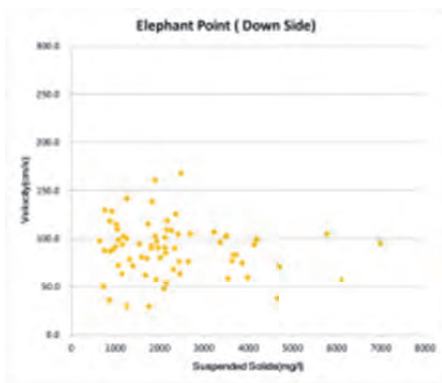
図 3.9.10. SS-velocity の相関 (18km Offshore From Elephant Point) (10 月)



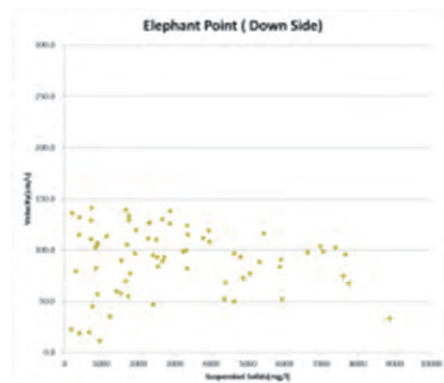
(6月)



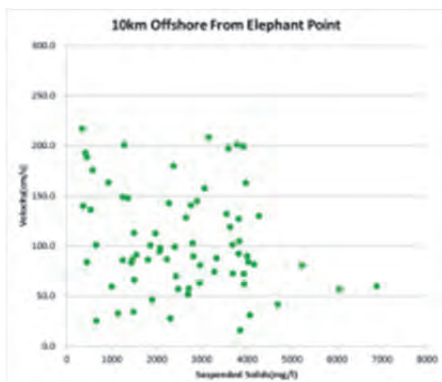
(10月)



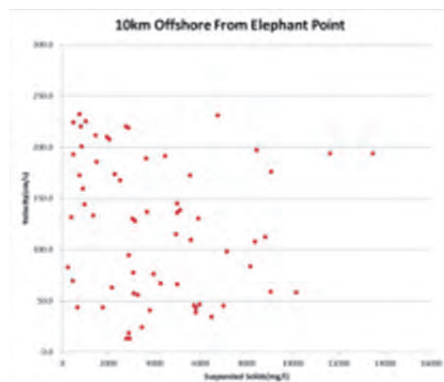
(6月)



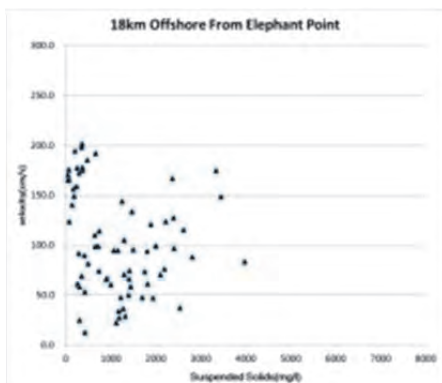
(10月)



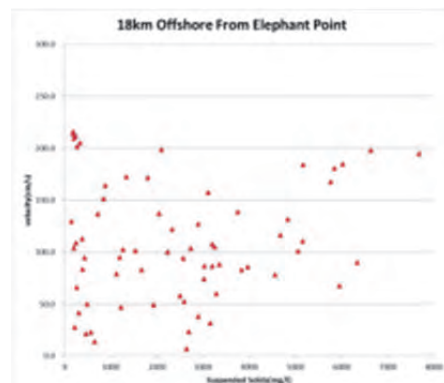
(6月)



(10月)



(6月)



(10月)

出典：JICA 調査団

図 3.9.11. SS-velocity の相関 (6月と10月の比較)

## 3.10. 底質調査

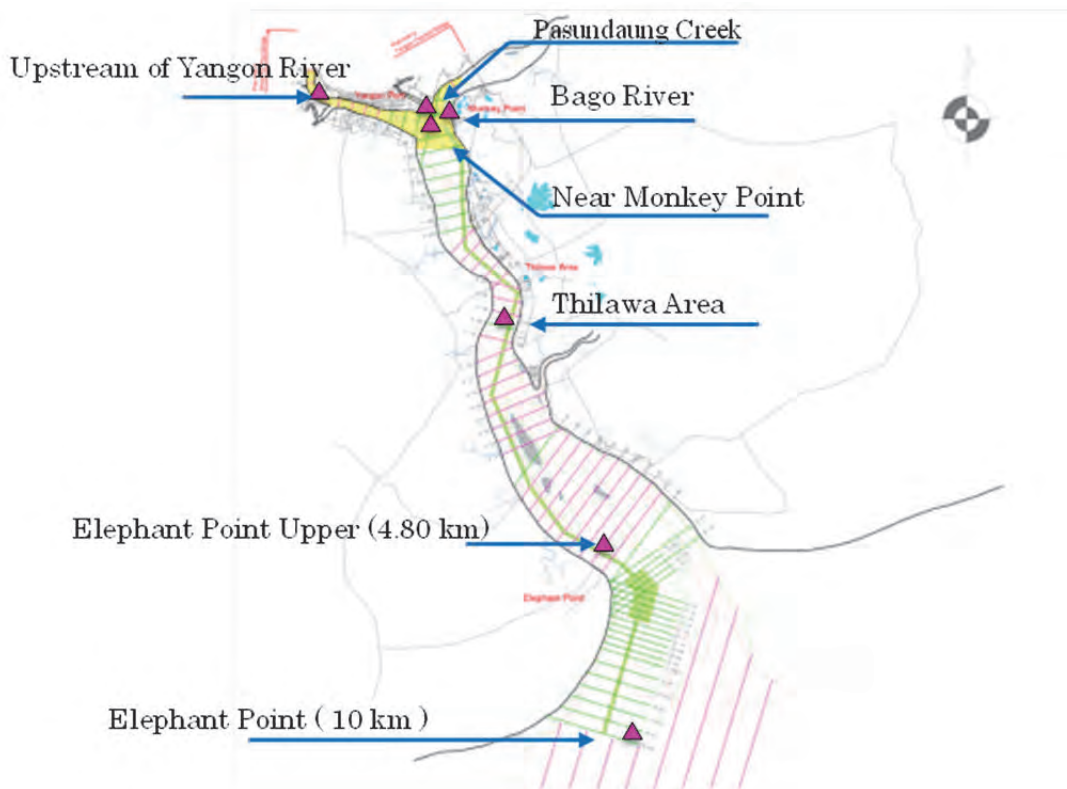
### 3.10.1. 底質調査の必要性

河床変動解析のインプット条件となる河床材料の粒度分布状況を確認するため、河床・海底材料サンプリング調査を実施した。

### 3.10.2. 底質調査手法

河床・海底材料のサンプル採取は、エクマンバージ型採泥器又はこれに準ずる採泥器によって、底質表面から 10cm 程度の底質を 3 回以上採取し、それらを混合して試料とした。採取日時、採取地点（座標値を記載すること）、採取方法（使用した採泥器の種類、大きさ等）、底質の状況（堆積物、砂、シルト等の別、色、臭気等）は直ちに観測測定して記録した。

河床・海底材料のサンプリング地点を、次図に示す。



出典：JICA 調査団

図 3.10.1. 河床・海底材料サンプリング地点

表 3.10.1. 河床・海底材料サンプリング地点、観測箇所、採取回数

	サンプリング地点	観測箇所	採取日	採取回数
1	Upstream of Yangon River	1 箇所	2015/8/21	1 回
2	Pasundaung Creek			
3	Bago River			
4	Near Monkey Point			
5	Thilawa Area			
6	Elephant Point Upper (4.80 km)			
7	Elephant Point (10 km)			

出典：JICA 調査団

### 3.10.3. 底質調査結果と考察

採取された試料の粒度分析を実施し、各サンプルの代表粒径、粒度組成及び比重を明らかにした。

その結果、ヤンゴン港上流、モンキー・ポイント及びティラワ地区の粒度分布は類似しており、その殆どが 4.75mm 以下の砂で構成され、代表粒径 (D60) は 0.3mm 程度であった。また、パズンダン水路とバゴー川の粒度分布も類似しており、その殆どがシルトや粘土で構成され、代表粒径 (D60) は 0.02mm 程度であった (表 3.10.3.及び図 3.10.2.参照)。

河床変動解析では、これらの代表粒径をインプット条件とし (次表参照)、移動限界摩擦速度を算出した上で、河床材料の移動状況を確認することができる。

表 3.10.2. 河床・海底材料の代表粒径

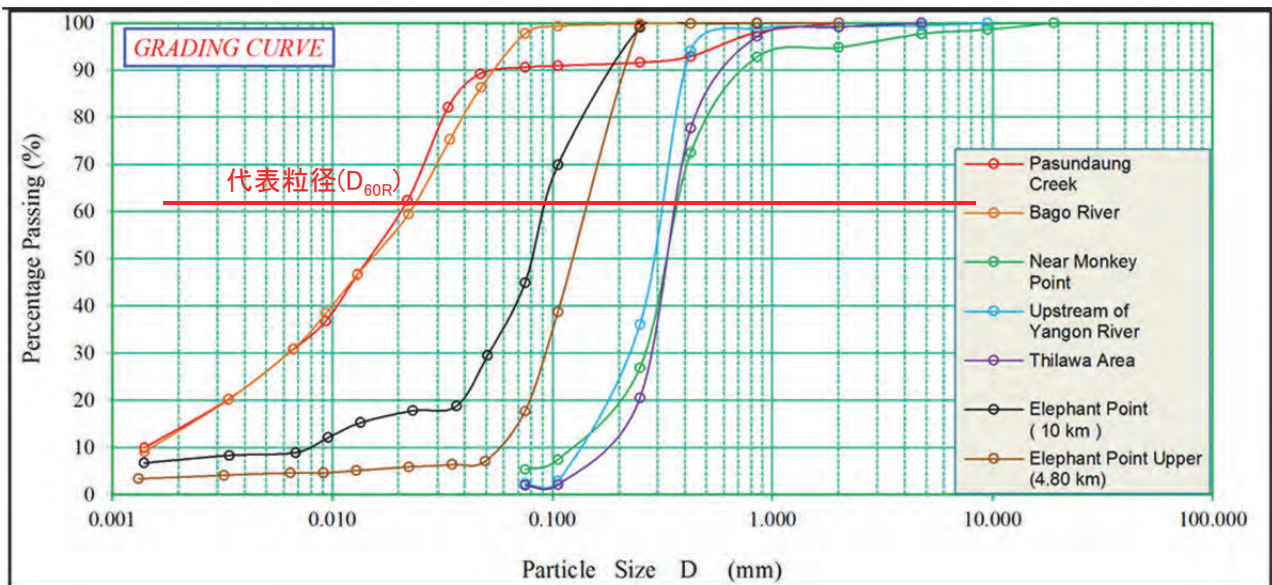
調査箇所	代表粒径 dm(mm)
Pasundaung Creek	0.020
Bago River	0.022
Near Monkey Point	0.350
Upstream of Yangon River	0.310
Thilawa Area	0.350
Elephant Point	0.090
Elephant Point Upper	0.015

出典：JICA 調査団

表 3.10.3. 河床・海底材料サンプリング調査結果

Sample No. & Depth	Pasundaung Creek	Bago River	Near Monkey Point	Upstream of Yangon River	Thilawa Area	Elephant Point ( 10 km )	Elephant Point Upper (4.80 km)
Gravel (75.00 ~ 4.75) mm (%)	-	-	2.31	0.55	-	-	-
Sand (4.75 ~ 0.075) mm (%)	9.38	2.28	92.42	97.17	98.10	55.10	82.32
Silt (0.075 ~ 0.005) mm (%)	64.63	71.73	5.27	2.28	1.90	36.40	13.48
Clay < 0.005 mm (%)	26.00	26.00	-	-	-	8.50	4.20
Maximum Particle Diameter (mm)	2.00	2.00	19.00	9.50	4.75	2.00	2.00
Coefficient of Uniformity ( Cu )	-	-	2.77	2.38	1.94	-	-
Coefficient of Curvature ( Cc )	-	-	1.56	1.20	1.24	-	-
Liquid Limit (WL) (%)	52.70	45.80	-	-	-	29	-
Plastic Limit (WP) (%)	24.76	23.55	-	-	-	23.93	-
Plasticity Index (IP)	27.94	22.25	-	-	-	5.07	-
Classified Soil Name (Group Name)	Fat clay	Lean clay	Poorly graded sand with silt (or) Poorly graded sand with clay (or silty clay)	Poorly graded sand	Poorly graded sand	Silty sand	Silty sand (or) Clayey sand
Classified symbol (Group Symbol)	CH	CL	SP-SM (or) SP-SC	SP	SP	SM	SM (or) SC

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.10.2. 河床・海底材料サンプリング調査結果（粒度分布）

## 第4章 調査結果に関する考察と提案

### 4.1. 調査データの活用方法概説

#### 4.1.1. ヤンゴン川航路の挙動解析、交通量予測解析への活用

近年著しい増加を示すヤンゴン港の貨物需要に対して大規模なティラワ地区の開発がすすめられる状況下、本調査は、モンキー・ポイントとエレファント・ポイントの2箇所の船舶航行のボトルネックを持つヤンゴン川航路が、どの程度の船舶航行の許容能力を持つかを明らかにするため、さらには、航行許容量を増加させるための航路改善策の可能性を探るための基礎的な情報収集調査である。そのため、自然条件調査では水深測量をはじめ、将来の海岸変形解析や河床変形解析のための基礎的なデータを収集した。また、船舶交通量解析のために貨物量統計の更新、入港船舶の船型や現在の船舶入港方法に関する情報を収集した。主要な解析項目と測量・調査データの活用方法を以下の表にまとめた。

表 4.1.1. 主要な解析項目と測量・調査データの活用方法

		解析項目		
		海岸変形解析	河床変形解析	船舶交通量
測量・調査データ	水深測量データ	○	○	○
	流速データ	○	○	○
	底質サンプリングデータ	○	○	
	水中浮遊物検査データ	○	○	
	波浪観測データ	○		○
	潮位計測データ	○	○	○
	貨物量統計データ			○
	船型、入出港方法に関するデータ			○

出典：JICA 調査団

#### 4.1.2. 水深測量データの活用方法

##### (1) 河川・海岸測量データ

本調査の測量データは、上記 4.1.2 節で記述した検討を目的として取得したものであり、公式な航路海図に活用すべきものではない。しかしながら、近年航路全域を同時期に測量した資料は見当たらないため、本調査で作成した深浅図は、船舶航行パイロテージ・安全航行のための貴重な資料になると言える。

## (2) 雨期前・雨期後の深浅測量データ

雨期前と雨期後の深浅測量データは、両者を比較することにより、水深の変化しやすい場所を把握することができる。現在 MPA では、浅海域で地形の変化が著しいエレファント・ポイント付近の測量を定期的に行っているが、今回の比較データから、それ以外の場所、例えばティラワ地区の上下流の浅海域も、定期的な測量を行うべきと考えられる。

## (3) マルチビーム測量データ

本調査では、モンキー・ポイント付近とエレファン・ポイント付近についてマルチビーム測量による雨期前・雨期後の面的なデータを取得できた。これらは、航路のボトルネックとされる 2 地点の海底地形をより詳細かつ視覚的に確認するための貴重なデータである。MPA が行う今後の両地点の定期的測量結果の評価に際して参考にしていただきたい。

### 4.1.3. 流速データの活用方法

流速データは、主に、河川横断測量データから計算される河川断面積を用いて河川流量を計算し、将来の航路維持や河岸維持の計画立案に活用するためのデータである。

同時に行った 12 時間流速観測結果からは、干満潮時と上げ潮・下げ潮時の航路流速が得られる。これらは航路の安全航行のための資料となり得るものである。

### 4.1.4. 底質サンプリングデータの活用方法

底質サンプリングデータから、観測位置での底質の土の粒度分布が読み取れる。パズンダン水路やバゴウ川付近の底質はシルト・粘性土であり、粒子が細かく河川流により浮遊・移動しやすい底質と言える。ティラワ地区やモンキー・ポイント付近の底質は砂質土であり、堆積しやすい底質と言える。

### 4.1.5. 水中浮遊物データの活用方法

水中浮遊物データからは観測地点の濁り成分である微細粒子の量を読むことができる。浮遊物の多い水域では底質が河川流により擾乱されて盛んに土砂の移動が発生している場所と考えることができる。これらは主に河床変形解析に活用するためのデータである。

### 4.1.6. 波浪観測データの活用方法

本調査で取得した波浪データは、主に海岸変形解析の入力データとして使用するためのものである。取得したデータから、エレファント・ポイント沖では、波高の小さい静穏時でも周期が比較的長い波浪が発生していることが読み取れる。長周期の波浪は、一般的に、短周期派に比べ海底砂を移動させるエネルギーが大きいと考えられ、エレファント・ポイント付近の海底地形に影響している可能性もあると言える。



#### 4.1.7. 潮位計測データの活用方法

ヤンゴン港では、最大 6m の潮位変動による航路河川流の溯上と流下を交互に繰り返している。従って、下流のエレファント・ポイント付近と上流のヤンゴン地区では、満潮時刻のずれが生じている。本調査のデータからは、これらの時間差や潮位の違いが読み取れる。上下流での潮位差や時間差は、船舶航行のための重要な資料となり得るものである。

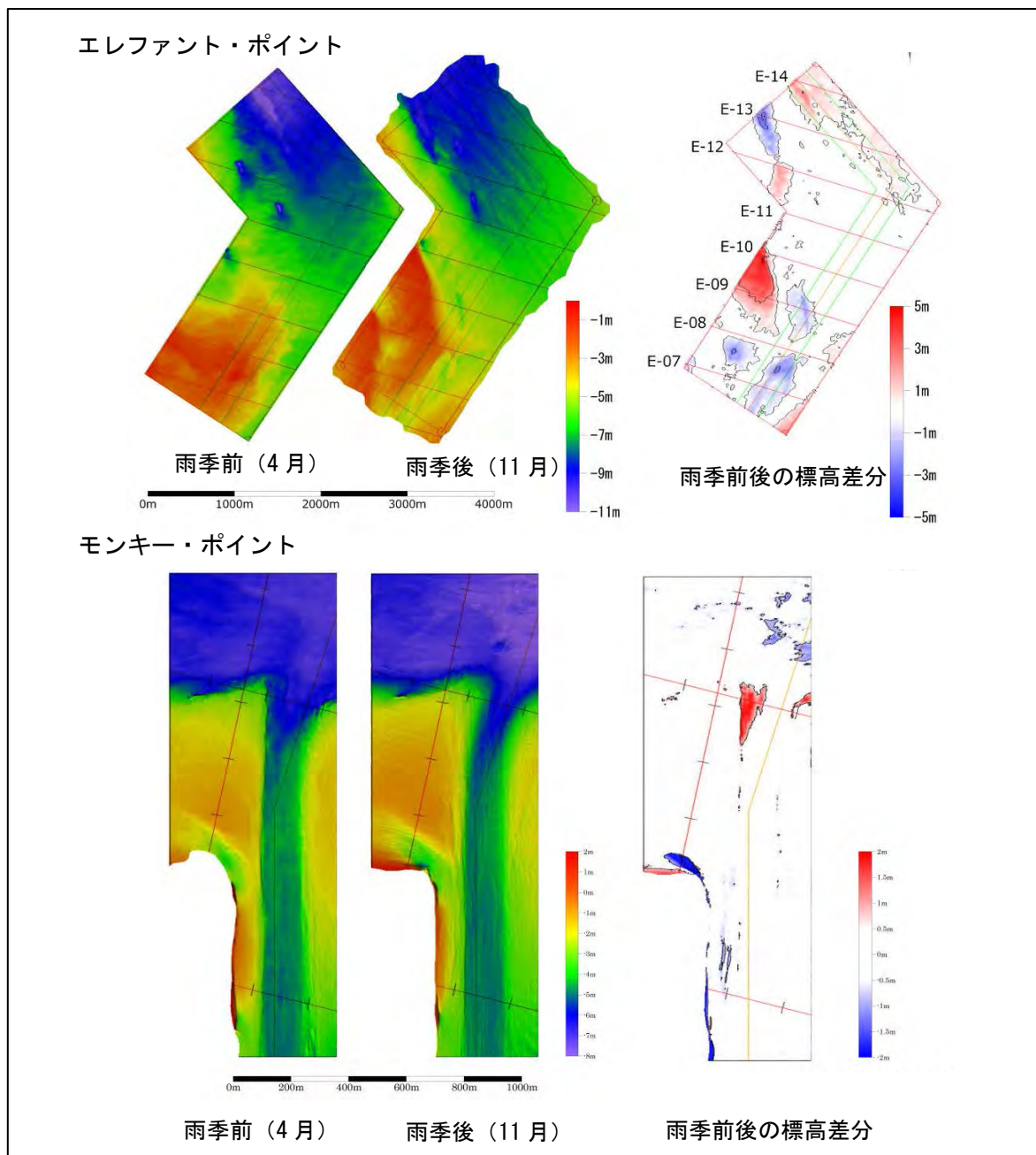
#### 4.1.8. 貨物統計・入港船舶データの活用方法

これらは、入出港船舶の限界交通量の評価をするための基礎的な資料である。検討例として Appendix 1 に、現在の航路限界交通量の分析（ケーススタディー）を掲載した。

## 4.2. 調査結果から予測する航路水深変動の要因分析

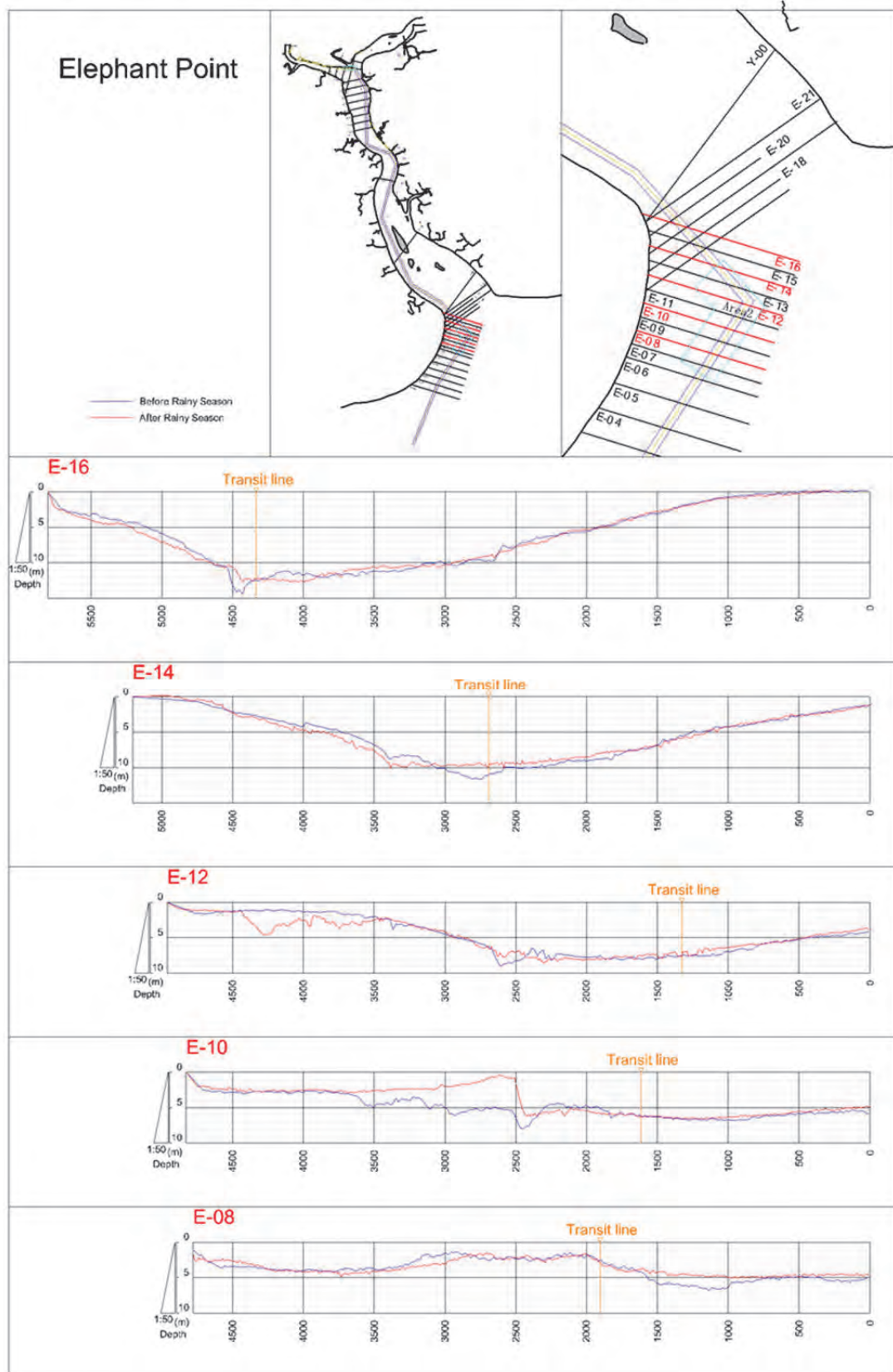
観測結果、現地調査及びMPAへのヒアリングから、ヤンゴン川の航路水深は非常に変動しやすい状況であることが判明した。

下図は現雨季前と雨季後のマルチビーム測量の結果である。MPAで維持浚渫しているモンキー・ポイントの航路は、雨季前・雨季後ともに変動は殆どないものの、維持浚渫を実施していないエレファント・ポイントの航路周辺では、±5m前後の堆積、洗掘が生じていた。



出典：JICA 調査団

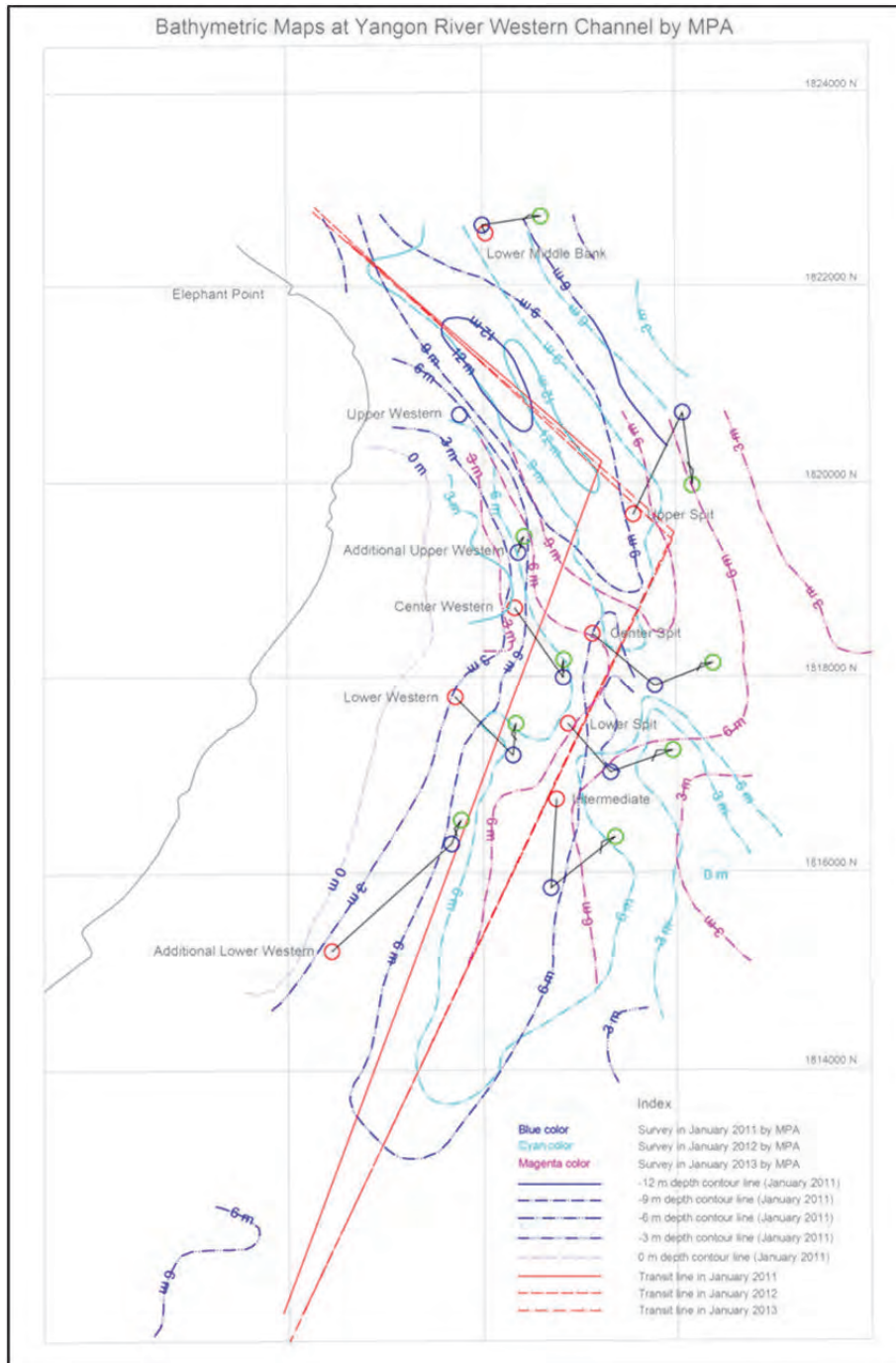
図 4.2.1. 雨季前後の航路変動



出典：JICA 調査団

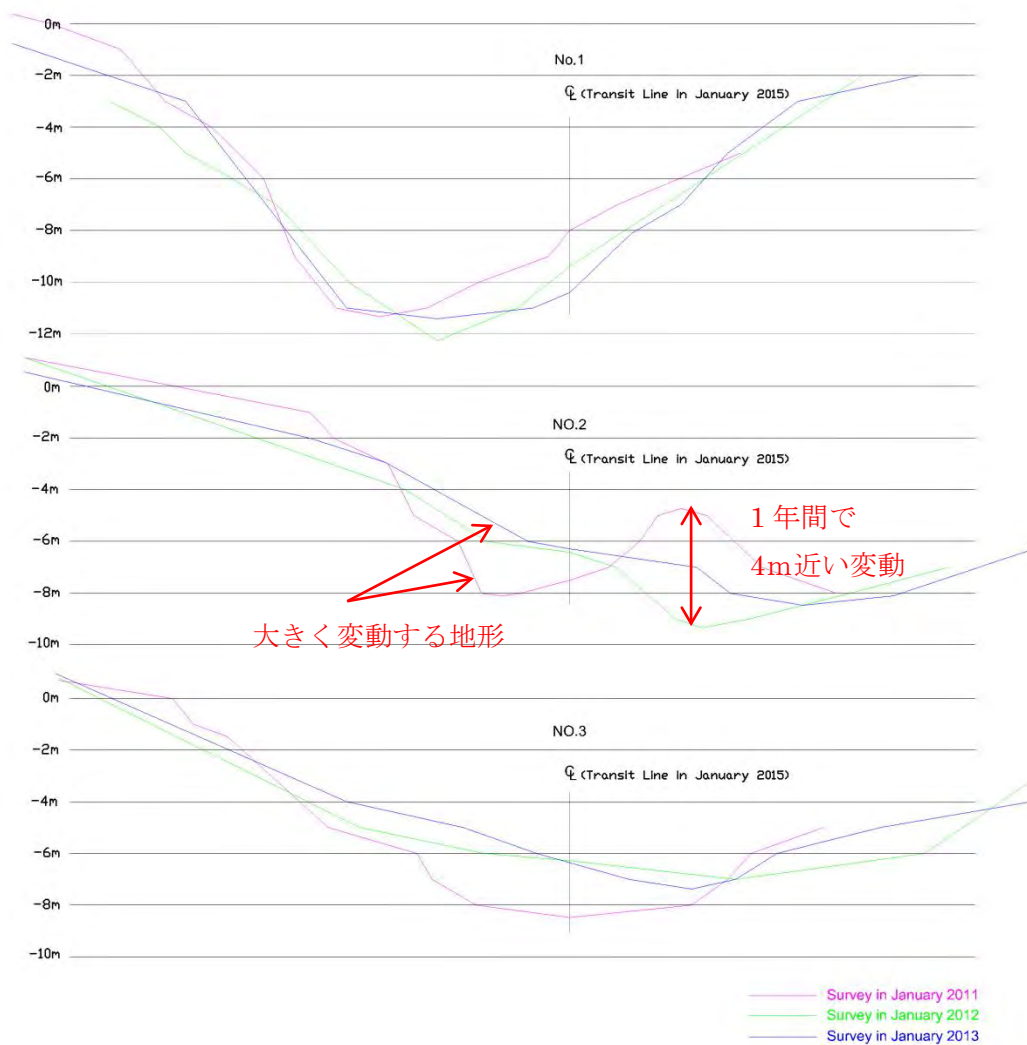
図 4.2. エレファント・ポイントにおける雨季前後の航路変動

下図は毎年変更されている航路を示している。MPA は、河床が変動しやすいエレファント・ポイントを毎月モニタリング測量し、安全な航行ができるように航路を変更している。



出典：JICA 調査団作成

図 4.2.3. エレファント・ポイントの航路の変遷  
(2011年、2012年および2013年)



出典：JICA 調査団作成

図 4.2.4. MPA 測量によるエレファント・ポイントの深淺図と断面図  
(2011年、2012年および2013年)

航路の水深変動は貨物船の航行規模と輸送量に大きく影響する。安全な航路を維持することができるのかを推定するため、ヤンゴン川の航路地形が大きく変動する要因について、本業務での現地調査及び観測結果から推察する。

#### 4.2.1. 移動しやすい底質材料の影響

##### (1) 観測結果からの考察

河床材料調査と流速観測結果より、河床材料の移動限界摩擦速度を考察する。

下式は代表粒径と移動限界摩擦速度の関係式（岩垣公式）である。

$$\begin{aligned}
 dm \geq 0.303 \text{ cm} & \quad ; U_{*c}^2 = 0.050dm \\
 0.118 \text{ cm} \leq dm \leq 0.303 \text{ cm} & \quad ; U_{*c}^2 = 134.6dm^{31/22} \\
 0.0565 \text{ cm} \leq dm \leq 0.118 \text{ cm} & \quad ; U_{*c}^2 = 55.0dm \\
 0.0565 \text{ cm} \leq dm \leq 0.0565 \text{ cm} & \quad ; U_{*c}^2 = 8.41dm^{-11/32} \\
 dm \leq 0.0065 \text{ cm} & \quad ; U_{*c}^2 = 226dm
 \end{aligned}$$

河床材料調査結果より得られた代表粒径  $dm$  ( $D_{60R}$ ) と河床付近の流速観測結果 (down) を比較すると、すべての調査箇所について、観測流速が移動限界摩擦速度を上回っており、河床が動きやすい状況にあることが判断できる。干満により、河川の流向は上流から下流、下流から上流へと変動しているが、河床材料は常に上下流に移動している可能性がある。

表 4.2.1. 代表粒径と流速

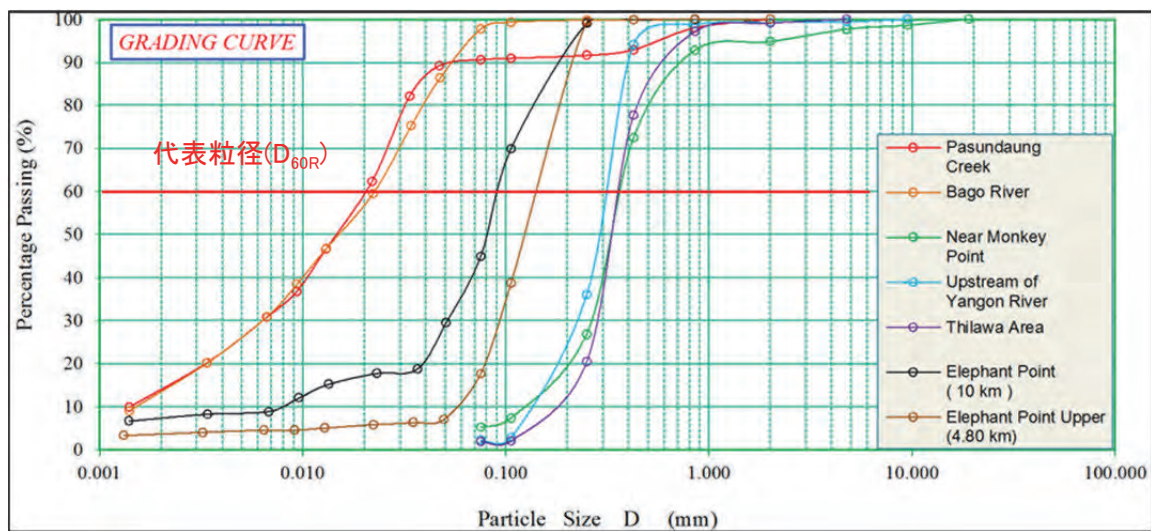
調査箇所	代表粒径 dm(mm)	代表粒径 dm(cm)	移動限界 摩擦速度 $U_{*c}$ (cm/s)	判定	観測流速 (down) V(cm/s)	摘要
Pasundaung Creek	0.020	0.00020	0.213	<	87.4	
Bago River	0.022	0.00022	0.223	<	128.7	
Near Monkey Point	0.350	0.00350	0.889		—	
Upstream of Yangon River	0.310	0.00310	0.837	<	133.9	
Thilawa Area	0.350	0.00350	0.889	<	167.8	
Elephant Point	0.090	0.00090	0.451	<	146.1	
Elephant Point Upper	0.015	0.00015	0.184		—	

出典：JICA 調査団

表 4.2.2. 河床材料調査付近の流速

観測箇所	観測地点	観測日	水深 (m)	観測水深 (m)	流速 (cm/s)
Upper Stream of Yangon port	Right	12 June	11.3	9.0	46.5
			11.3	2.3	100.6
	Center	12 June	14.5	11.6	106.7
			14.5	2.9	133.9
	Left	12 June	21.8	17.4	69.5
Pauzundaung Creek	Right	11 June	4.5	3.6	45.4
			4.5	0.9	56.1
	Center	11 June	6.5	5.2	59.4
			6.5	1.3	87.4
	Left	11 June	5.7	4.6	39.2
Bago River	Right	11 June	5.6	4.5	84.6
			5.6	1.1	128.7
	Center	11 June	4.3	3.4	58.8
			4.3	0.9	80.2
	Left	11 June	4.2	3.4	8.0
Thilawa area	Right	12 June	16.1	12.9	53.5
			16.1	3.2	110.4
	Center	12 June	9.1	7.3	95.2
			9.1	1.8	194.3
	Left	12 June	11.1	8.9	127.1
Elephant Point	Right	12 June	15.6	12.5	57.1
			15.6	3.1	146.1
	Center	12 June	4.1	3.3	78.4
			4.1	0.8	105.0
	Left	18 June	3.5	3.0	55.4
			3.5	0.8	72.0

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.2.5. 各観測地点の粒度曲線と代表粒径

## (2) 現地調査結果からの考察

河道を流下する土砂の形態は、細かい順からウォッシュロード、浮遊砂、掃流砂に大別される。この中で、ウォッシュロード、浮遊砂は微細粒子である粘土やシルトに該当し、ひとたび巻き上げられると沈降しにくく、河道内を浮遊している状況となる。

現地確認の際、ヤンゴン川の河道内において、浮遊物が巻き上がっている状況を確認することができた。

海岸施設設計便覧（2000年版）によると、粘土やシルトのような微細粒子で構成されている場合の河床の運動は、砂粒子の運動機構と異なることが示されている。砂粒子は内部摩擦のみによってせん断特性が決定されるが、粘土やシルトのような微細粒子は内部粘性も無視できなくなり、河口部に流された微細粒子は、海水中に含まれる陽イオンの作用によりフロックを形成し、沈降特性も異なったものとなるとされている。

航路位置が常に変動している現象は、この微細な粘土やシルト等が流れ・波によって運ばれ、河床に堆積して底泥層が形成され、この底泥層が外力によって巻き上がり、移動を容易に繰り返すため、河床が変動しやすい状況にあると推定される。

### 4.2.2. 川砂採取の影響

ミャンマー国では建設需要の急騰により、インフラ開発・宅地開発等に使用するコンクリートの需要が増大している。コンクリートの細骨材はヤンゴン川の河床から採取されており、多数の民間小型ポンプ船がモンキー・ポイント、ティラワ付近で川砂を採取し、近くのコンクリート製錬所へと運搬している。



出典：JICA 調査団

図 4.2.6. 巻き上がる細粒子





コンクリート精錬所



待機している小型ポンプ船



小型ポンプ船に搭載される  
スクリューポンプ

出典：JICA 調査団

図 4.2.7. 川砂採取の状況



出典：Google Earth、 JICA 調査団

図 4.2.8. 煙を吐きながら砂取りする民間小型ポンプ船  
(2015.4.24 ティラワ地区付近干潮時撮影)

これら小型ポンプ船は、水位が低くなる干潮時になると一斉に砂取りを始める状況であり、相当なボリュームを採取していると思われた。航路の水深変動に大きく影響していると思われたことから、コンクリート精錬所（Mega Mix 社）への聞き取り調査や衛星写真の映像解析により、川砂採取量を推定した。

(1) コンクリート精錬所への聞き取り調査から推定する川砂採取量

ヤンゴン郊外で最も活発な宅地開発地区（Ayeyar Wun Housing Project : Ministry of Housing と複数の民間企業との共同開発）では、同敷地内で 10 台程度のプラントがコンクリートを生成している。



出典：Google Earth、JICA 調査団

図 4.2.9. Mega Mix 社と宅地開発の場所

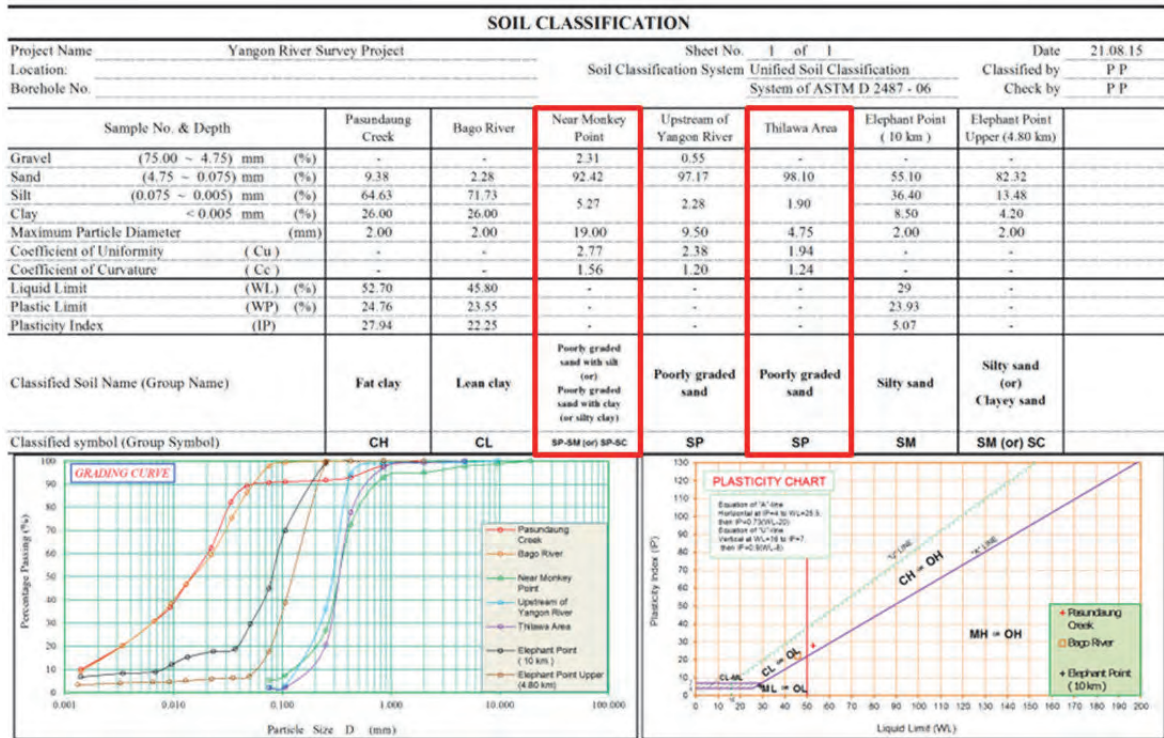
ヤンゴン川、バゴー川の川沿いにおいては、2 年前までは 30 社ほどのコンクリート・プラント数であったが、現在は 70 社程度まで急増しており、数年後には 100 社に達すると言われている。ほとんどのプラントは可搬式であり、新規参入業者の多くは開発需要に応じてプラントを移設する場合が多い。



出典：JICA 調査団

図 4.2.10. 宅地開発の場所のコンクリート・プラント

細骨材となる砂は、ティラワ地区とモンキー・ポイント周辺から採取されている。シルトや粘土の含有率の少ないティラワのほうが、粗骨材として優れていると言われており、今回の河床材料調査からもその状況が確認できた。



出典：JICA 調査団

図 4.2.11. 河床材料調査結果 (2015.8.21 採取)

ヤンゴン市内のコンクリート精錬所では、殆ど同じプラント・システムを使用しているため、日平均 100 m<sup>3</sup> のコンクリートが生成できる状況にある。稼働日を年間 300 日であると想定すると、年間 130 万 m<sup>3</sup> の砂をヤンゴン川より採取していることが推察できる。

$$\text{年間の砂使用量} = 1 \text{ m}^3 / 1.6 \text{ kg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3 \times 300 \text{ 日 (稼働日)} \times 70 \text{ 箇所} = 130 \text{ 万 m}^3$$

(2) 衛星写真から推定する川砂採取量

下図の衛星写真 (2015 年 4 月 29 日に撮影) の○印は確認できる砂取り小型ポンプ船であり、小型ポンプ船による砂取りはティラワより上流に集中していることが、衛星写真でも確認できる。



出典：Google Earth、JICA 調査団

図 4.2.12. 砂取り小型ポンプ船の位置 (2015 年 4 月 29 日)

また、衛星写真のポンプ船の航行もしくは停泊の向きから、以下のような砂取り船の稼働状況が想定できた。

- 1) パズンダン水路の小型ポンプ船は上下流方向を航行しており、モンキー・ポイント周辺やティラワ地区で採取した砂をパズンダン水路沿いで営業するコンクリート精錬所へと運搬している可能性が高い。(シルトの多いパズンダン水路では川砂を採取していない)
- 2) バゴー川やモンキー・ポイントの下流、ティラワ地区は小型ポンプ船の向きはまばらであり、停泊もしくは稼働している可能性が高い。
- 3) ティラワ地区の小型ポンプ船は、河川の横断方向に航行しているものが多く、採取された砂の殆どは、ティラワ地区の造成に用いられている可能性が高い。

下表は、小型ポンプ船が砂取りをしていると想定されるモンキー・ポイントとティラワにおける衛星写真から判読できる船数である。

小型ポンプ船は、干潮時に砂取りを始め、一日当たり  $200 \text{ m}^3$ /船を採取するようである(聞き取り調査結果)。衛星写真からの判読日数は 5 日間ではあるが、この 5 日間の舟数の平均値から 1 日平均 50 船が採取すると推定し、稼働日を年間 300 日とすれば、年間  $300 \text{ 万 m}^3$  の砂を採取していることが推察できる。

$$\text{年間の砂使用料} = 200 \text{ m}^3/\text{船} \times 50 \text{ 船} \times 300 \text{ 日 (稼働日)} = 300 \text{ 万 m}^3$$

表 4.2.3. 砂取り船の数

年月	砂取り船の数		
	モンキー・ポイント周辺	ティラワ	合計
2015年1月7日	56	55	111
2015年3月9日	12	16	28
2015年4月10日	9	13	22
2015年4月29日	38	15	53
2015年7月18日	57	15	72
平均			57

出典： JICA 調査団

#### 4.2.3. 河岸侵食の影響

下図は、1904年の海図と2015年の衛星画像を重ねたヤンゴン川の汀線を陸図に重ねあわせた図面である。明らかに河岸汀線は陸側へ移動しており、本件調査報告書・別冊 ヤンゴン川の河岸侵食の概況（以下別冊報告書）において考察したように、ティラワより下流では、1930年以降、兩岸ともに岸線が後退し、特に、右岸側の後退が激しい状況にあることがわかる。

別冊報告書では河岸崩壊に伴う年間流下土砂量を算出している。現地踏査より収集した写真から推定した崖錐高を基に算出していることから、概略算出ではあるが、モンキー・ポイントから河口部までの右岸側では年間約180万 $m^3$ 、左岸側からは右岸側の約1/3の約60万 $m^3$ の流下土砂が発生していると推察した。このような状況から、河岸崩壊の流入土砂がヤンゴン川の航路水深変動に影響していると想定できる。



出典：JICA 調査団

図 4.2.13. 河岸の侵食状況

#### 4.2.4. 流出土砂量の影響

「4.2.1. 移動しやすい底質材料の影響」で報告したように、ヤンゴン川はウォッシュロードや浮遊物が巻き上がっている状況にあり、正確な流出土砂量を算出するには、洪水発生時の浮遊物調査など、浮遊物が上下流へ移動していない（潮位の影響を受けない）区間で推定する方が望ましい。

今回の調査箇所は、潮位の影響で浮遊物が上下流へ移動していることから、流出土砂量が推定しにくい。このため、乾季と雨季の浮遊物の重量濃度の差分を確認し、雨季と乾季とで、どの程度の流出土砂量が増大しているかを推察する。

平均重量濃度の平均値は、乾期（6月観測）で 2,500 mg/L (0.0025 t/m<sup>3</sup>)、雨期（10月観測）はその2倍の 5,300 mg/L (0.0053 t/m<sup>3</sup>) にまで及ぶ。雨期においては、流速も水位も上昇していること

から掃流力が増大し、河床の浮遊物が巻き上げられて濃度が上昇している可能性もあるが、雨季においては、流出土砂量も増大している可能性はあると考えられる。

なお、本報告書「3.8 河川航路の流速」で述べたように、今回の調査では、乾期として計測した6月より雨期として計測した10月の方が水深は浅く、流出量が小さいと考えられる。それにも関わらず、10月の平均重量濃度が高いのは、雨期後半の流出した土砂が継続して流下している、もしくは、雨期において巻き上げられた浮遊物が沈降せずに、濃度の高い状態が継続していると考えられる。

今回の調査で収集した1976年のUnited Nations Development Programmeの報告書（以下UN報告書）\*1によれば、ヤンゴン川の年間流出土砂量は、1億m<sup>3</sup>程度であるとの報告がある。別冊報告書でも推察するように、ヤンゴン川流域内の森林減少に伴い、河川流量が年々増大している可能性がある。この河川流量の増大は土砂流出を助長させていると考えられ、流域内で宅地開発や農地開発が進展すれば、ヤンゴン川の流出土砂量は増大していくものと考えられる。

\*1：United Nations Development Programme 編 Rangoon Sea Access Channel and Associated Port Improvement Study 1976年3月のこと。

表 4.2.4. Elephant Point (Upper Side) の浮遊物調査結果 (6月：乾季)

Date	Water Depth(m)	Measurement Time		Sample No	Measurement Depth(m)	PH	EC	Suspended Solids (mg/L)
		Start	Finish					
18.6.2015	13.00	5:00:00	5:04:25	D1	1.00	7.75	>20.0	1848
18.6.2015		5:03:13	5:07:03	D2	6.50	7.77	>20.0	2112
18.6.2015		5:05:25	5:08:05	D3	12.00	7.80	>20.0	2316
18.6.2015	12.60	6:00:00	6:04:25	D4	1.00	7.81	>20.0	988
18.6.2015		6:01:50	6:05:40	D5	6.30	7.75	>20.0	1206
18.6.2015		6:02:52	6:05:32	D6	10.60	7.77	>20.0	1324
18.6.2015	12.10	7:00:00	7:03:30	D7	1.00	7.76	>20.0	1050
18.6.2015		7:04:00	7:07:45	D8	6.05	7.70	>20.0	1258
18.6.2015		7:07:00	7:10:55	D9	10.10	7.76	>20.0	1844
18.6.2015	10.70	8:00:00	8:04:20	D10	1.00	7.76	>20.0	2044
18.6.2015		8:03:00	8:05:40	D11	5.35	7.75	>20.0	1976
18.6.2015		8:05:00	8:08:30	D12	8.70	7.76	>20.0	1924
18.6.2015	9.70	9:00:00	9:04:50	D13	1.00	7.76	>20.0	1944
18.6.2015		9:02:00	9:05:55	D14	4.85	7.76	>20.0	1972
18.6.2015		9:02:50	9:07:25	D15	7.70	7.72	>20.0	1864
18.6.2015	9.00	10:00:00	10:03:30	D16	1.00	7.72	>20.0	4250
18.6.2015		10:01:30	10:05:15	D17	4.50	7.70	>20.0	4080
18.6.2015		10:03:40	10:08:09	D18	7.00	7.70	>20.0	3960
18.6.2015	8.40	11:00:00	11:04:25	D19	1.00	7.72	>20.0	3880
18.6.2015		11:01:30	11:05:20	D20	4.20	7.70	>20.0	4340
18.6.2015		11:03:00	11:05:40	D21	6.40	7.71	>20.0	4770
18.6.2015	8.20	12:00:00	12:04:25	D22	1.00	7.64	>20.0	5030
18.6.2015		12:02:40	12:06:30	D23	4.10	7.63	>20.0	5790
18.6.2015		12:04:10	12:06:50	D24	6.20	7.62	>20.0	5430
19.6.2015	9.20	1:00:00	1:03:30	D25	1.00	7.64	14.41	4340
19.6.2015		1:02:50	1:06:35	D26	4.60	7.71	14.95	6050
19.6.2015		1:04:00	1:07:55	D27	7.20	7.63	15.51	4770
19.6.2015	10.90	2:00:00	2:04:20	D28	1.00	7.69	>20.0	2632
19.6.2015		2:01:46	2:04:26	D29	5.45	7.70	>20.0	4340
19.6.2015		2:03:18	2:06:48	D30	8.90	7.69	>20.0	4380
19.6.2015	11.30	3:00:00	3:04:50	D31	1.00	7.76	>20.0	2096
19.6.2015		3:01:32	3:05:27	D32	5.65	7.77	>20.0	3230
19.6.2015		3:03:20	3:07:55	D33	9.30	7.77	>20.0	3810
19.6.2015	11.70	4:00:00	4:03:30	D34	1.00	7.76	>20.0	2032
19.6.2015		4:02:27	4:06:12	D35	5.85	7.78	>20.0	3320
19.6.2015		4:03:50	4:08:19	D36	9.70	7.76	>20.0	1984
19.6.2015	12.40	5:00:00	5:04:25	D37	1.00	7.79	>20.0	1860
19.6.2015		5:02:13	5:06:03	D38	6.20	7.76	>20.0	2404
19.6.2015		5:03:34	5:08:14	D39	10.40	7.76	>20.0	1648
19.6.2015	12.30	6:00:00	6:04:25	D40	1.00	7.78	>20.0	872
19.6.2015		6:02:00	6:05:30	D41	6.15	7.77	>20.0	1496
19.6.2015		6:03:12	6:05:52	D42	10.30	7.78	>20.0	1952
19.6.2015	11.40	7:00:00	7:03:30	D43	1.00	7.79	>20.0	698
19.6.2015		7:02:57	7:06:42	D44	5.70	7.80	>20.0	353
19.6.2015		7:05:50	7:09:45	D45	9.40	7.78	>20.0	658
19.6.2015	10.50	8:00:00	8:04:20	D46	1.00	7.72	>20.0	120
19.6.2015		8:04:00	8:06:40	D47	5.25	7.77	>20.0	383
19.6.2015		8:05:05	8:08:35	D48	8.50	7.74	>20.0	540
19.6.2015	9.60	9:00:00	9:04:50	D49	1.00	7.72	>20.0	1732
19.6.2015		9:03:24	9:09:19	D50	4.80	7.74	>20.0	1856
19.6.2015		9:08:00	9:12:35	D51	7.60	7.75	>20.0	1876
19.6.2015	8.80	10:00:00	10:03:30	D52	1.00	7.71	>20.0	1792
19.6.2015		10:04:40	10:08:25	D53	4.40	7.74	>20.0	2484
19.6.2015		10:06:10	10:10:39	D54	6.80	7.70	>20.0	2850
19.6.2015	8.20	11:00:00	11:04:25	D55	1.00	7.71	>20.0	2064
19.6.2015		11:05:00	11:08:50	D56	4.10	7.72	>20.0	2252
19.6.2015		11:07:14	11:09:54	D57	6.20	7.71	>20.0	4650
19.6.2015	9.70	12:00:00	12:04:25	D58	1.00	7.70	>20.0	1512
19.6.2015		12:03:10	12:07:00	D59	4.85	7.70	>20.0	2560
19.6.2015		12:05:30	12:08:10	D60	7.70	7.67	>20.0	2488
19.6.2015	9.30	1:00:00	1:03:30	D61	1.00	7.66	16.50	1912
19.6.2015		1:01:20	1:05:05	D62	4.65	7.68	16.97	2728
19.6.2015		1:03:00	1:06:55	D63	7.30	7.71	17.55	2580
19.6.2015	10.10	2:00:00	2:04:20	D64	1.00	7.75	>20.0	1396
19.6.2015		2:02:09	2:04:49	D65	5.05	7.75	>20.0	2120
19.6.2015		2:04:01	2:07:31	D66	8.10	7.74	>20.0	2728
19.6.2015	10.90	3:00:00	3:04:30	D67	1.00	7.75	>20.0	608
19.6.2015		3:01:47	3:05:42	D68	5.45	7.77	>20.0	1804
19.6.2015		3:04:39	3:09:14	D69	8.90	7.75	>20.0	1580
19.6.2015	11.70	4:00:00	4:03:30	D70	1.00	7.78	>20.0	3030
19.6.2015		4:02:15	4:06:00	D71	5.85	7.76	>20.0	2260
19.6.2015		4:03:58	4:08:07	D72	9.70	7.76	>20.0	2196
Average	10.49							2447

出典：JICA 調査団



表 4.2.5. Elephant Point (Upper Side) の浮遊物調査結果 (10月：雨季)

Date	Water Depth (m)	Measurement Time		Sample No	Measurement Depth (m)	PH	EC	Suspended Solids (mg/L)
		Start	Finish					
30.10.2015	7.30	1303:30	1308:00	A1	1.00	7.59	1.24	1188
30.10.2015		1309:00	1314:00	A2	3.65	7.37	1.15	1590
30.10.2015		1315:30	1320:30	A3	6.30	7.30	1.08	2040
30.10.2015	8.60	1401:30	1406:00	B1	1.00	7.64	8.51	6590
30.10.2015		1407:00	1412:00	B2	4.30	7.64	8.36	7220
30.10.2015		1413:30	1418:30	B3	7.60	7.65	8.16	7310
30.10.2015	9.70	1505:30	1510:30	C1	1.00	7.65	8.64	9400
30.10.2015		1512:00	1517:00	C2	4.85	7.62	8.59	11330
30.10.2015		1518:30	1523:30	C3	8.70	7.67	8.5	10790
30.10.2015	10.80	1601:00	1606:00	D1	1.00	7.60	8.91	6930
30.10.2015		1607:00	1612:00	D2	5.40	7.69	8.78	6730
30.10.2015		1614:00	1619:00	D3	9.30	7.70	8.57	8870
30.10.2015	11.80	1701:00	1706:00	E1	1.00	7.68	8.48	6230
30.10.2015		1707:00	1712:00	E2	5.90	7.69	7.97	9160
30.10.2015		1714:00	1719:00	E3	10.80	7.68	8.24	7920
30.10.2015	11.60	1801:10	1806:00	F1	1.00	7.68	8.7	1792
30.10.2015		1807:00	1812:00	F2	5.80	7.69	8.36	7080
30.10.2015		1813:30	1818:30	F3	10.60	7.74	8.37	8470
30.10.2015	11.00	1902:30	1907:30	G1	1.00	7.71	8.71	1078
30.10.2015		1908:00	1913:00	G2	5.50	7.73	8.64	2280
30.10.2015		1914:30	1919:30	G3	10.00	7.74	8.63	4320
30.10.2015	9.80	2002:00	2007:00	H1	1.00	7.72	8.08	1094
30.10.2015		2008:00	2013:00	H2	4.90	7.70	7.94	2534
30.10.2015		2015:00	2020:00	H3	8.80	7.71	8.25	4440
30.10.2015	8.60	2101:00	2106:00	I1	1.00	7.73	8.1	552
30.10.2015		2107:00	2112:00	I2	4.30	7.76	8.13	908
30.10.2015		2114:00	2119:00	I3	7.60	7.76	8.23	6820
30.10.2015	7.50	2205:30	2210:30	J1	1.00	7.72	5.76	4270
30.10.2015		2212:00	2217:00	J2	3.75	4.97	6.74	9290
30.10.2015		2218:00	2223:00	J3	6.50	7.63	6.56	8310
30.10.2015	6.80	2300:00	2305:00	K1	1.00	7.62	4.5	7640
30.10.2015		2307:00	2312:00	K2	3.40	7.65	4.86	9070
31.10.2015		2313:00	2318:00	K3	5.80	7.66	4.97	9220
31.10.2015	6.30	0000:00	0005:00	L1	1.00	7.68	1.34	3740
31.10.2015		0007:00	0012:00	L2	3.15	7.62	1.07	3960
31.10.2015		0013:00	0018:00	L3	5.30	7.54	1.07	5310
31.10.2015	7.80	1111:00	1116:00	M0	1.00	7.56	1.46	1460
31.10.2015		1117:00	1122:00	M1	3.90	7.57	1.98	2344
31.10.2015		1123:00	1127:30	M2	6.80	7.57	2.49	3076
31.10.2015	8.90	2002:00	2006:00	N1	1.00	7.62	8.48	10440
31.10.2015		2007:00	2010:00	N2	4.45	7.67	8.21	10470
31.10.2015		2013:00	2018:00	N3	7.90	7.66	8.24	9720
31.10.2015	10.10	3001:00	3006:00	O1	1.00	7.67	9.19	5740
31.10.2015		3007:00	3012:00	O2	5.05	7.67	8.79	7510
31.10.2015		3013:00	3018:00	O3	9.10	7.63	8.67	7290
31.10.2015	11.30	4001:00	4006:00	P1	1.00	7.66	8.81	5910
31.10.2015		4011:00	4016:00	P2	5.65	7.69	8.65	6030
31.10.2015		4018:00	4023:00	P3	10.30	7.66	8.65	9120
31.10.2015	11.70	5001:30	5005:30	Q1	1.00	7.70	8.91	4450
31.10.2015		5007:00	5011:00	Q2	5.35	7.67	8.89	4900
31.10.2015		5012:00	5016:00	Q3	10.70	7.68	8.87	5050
31.10.2015	11.90	6002:00	6007:00	R1	1.00	7.68	8.89	2730
31.10.2015		6008:00	6013:00	R2	5.95	7.67	8.93	5390
31.10.2015		6014:00	6019:00	R3	10.90	7.70	8.98	5320
31.10.2015	11.50	7004:00	7009:00	S1	1.00	7.71	8.65	1320
31.10.2015		7010:00	7015:00	S2	5.75	7.74	8.71	4080
31.10.2015		7018:00	7023:00	S3	10.30	7.73	8.74	2420
31.10.2015	10.60	8001:30	8006:30	T1	1.00	7.70	8.64	774
31.10.2015		8007:00	8012:00	T2	5.30	7.69	8.65	972
31.10.2015		8013:00	8018:00	T3	9.60	7.72	8.53	1268
31.10.2015	9.20	9001:30	9006:30	U1	1.00	7.70	8.14	724
31.10.2015		9007:00	9012:00	U2	4.60	7.71	8.18	2134
31.10.2015		9015:00	9020:00	U3	8.20	7.73	8.21	6540
31.10.2015	8.00	10001:30	10006:30	V1	1.00	7.64	6.76	1764
31.10.2015		10007:00	10012:00	V2	4.00	7.76	5.95	1940
31.10.2015		10014:00	10019:00	V3	7.00	7.69	8.88	6870
31.10.2015	7.00	11001:30	11006:30	W1	1.00	7.69	5.33	6920
31.10.2015		11007:00	11012:00	W2	3.50	7.68	5.68	8840
31.10.2015		11014:00	11019:00	W3	6.00	7.66	5.64	9450
31.10.2015	6.40	12001:00	12006:00	X1	1.00	7.66	2.23	4370
31.10.2015		12007:00	12012:00	X2	3.20	7.59	2.08	4440
31.10.2015		12014:00	12019:00	X3	5.40	7.63	2.04	2964
average	9.27							5273

出典：JICA 調査団

### 4.3. 海浜変形による航路水深変動の要因分析

4.2 章でも示したように、観測結果、現地調査及び MPA へのヒアリングから、ヤンゴン川河口周辺の海域における航路水深は非常に変動しやすい状況であることが判明した。海域での沖波波浪記録より波浪の影響を分析し、海浜変形による航路水深変動の要因について考察する。

#### 4.3.1. 波浪の影響

##### (1) 観測波浪

前述したように、2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00 の観測期間内の波高値は全体的に小さく、サイクロンのような大きな波高・周期を引き起こす気象擾乱は発生していなかったと推察される。表 4.3.1. に 2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00 の高波浪上位 5 位を示す。これによると最大は、 $H_{1/3}=0.61\text{m}$ 、 $H_{1/10}=0.76\text{m}$ 、 $H_{\text{max}}=1.11\text{m}$  となっており、非常に静穏である。さらに観測期間全体で平均をとると、 $H_{1/3}$  の平均値で  $0.15\text{m}$ 、 $H_{1/10}$  の平均値で  $0.19\text{m}$ 、 $H_{\text{max}}$  の平均値でも  $0.26\text{m}$  であり、このことからこの観測期間は非常に静穏であったといえる。

本件調査で実施した波浪観測期間は乾季であり、高波浪が出現する雨季の観測が実施できなかったため、波浪推算のデータを活用し、観測データの検証を行うこととした。

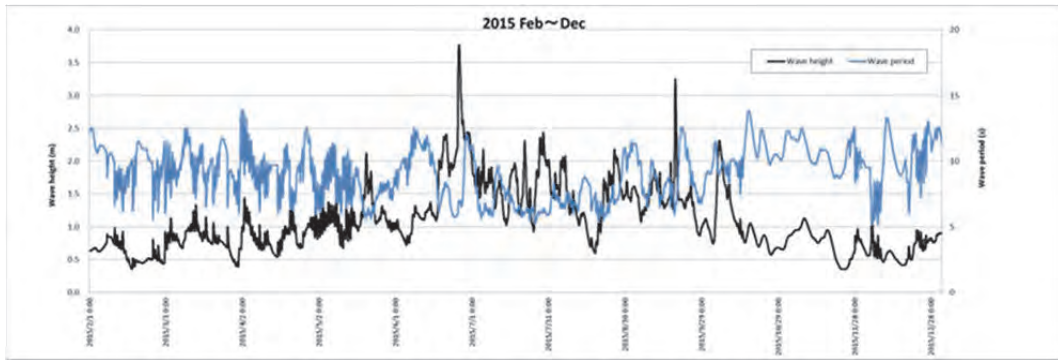
表 4.3.1. 2015/10/17 5:00～2016/1/22 12:00 の波浪記録より高波浪上位 5 位

Rank	起時	1/3 WH(m)	1/10 WH(m)	Max. WH(m)	T 1/3 Wave(s)
1	2015/11/2 8:00	0.51	0.66	1.11	3.64
2	2015/12/4 23:00	0.51	0.63	0.94	3.42
3	2015/11/28 7:00	0.48	0.64	0.88	3.21
4	2015/10/31 7:00	0.48	0.58	0.72	3.47
5	2015/10/18 18:00	0.47	0.59	0.68	16.47

出典：JICA 調査団

(2) 波浪推算

観測波浪データが短期間のデータであったことから、データの欠損を補足するため、さらに観測波浪データの妥当性を検証するため、波浪推算データとの比較検証を行った。波浪推算モデルはWAMモデルを使用しており、深海波の算定であるため、波浪の屈折・浅水・砕波、海底摩擦の影響などは含まれていない。



出典：JICA 調査団

図 4.3.1. 波浪推算による波高・周期 (2015/2/1～12/31)

全体の傾向としては、2月～5月の波高は0.5m～1.0m程度で推移し、この期間で増大、減少をくり返しつつ、徐々に大きくなっていることが分かる。6月後半から8月後半にかけては、1.5m～2.0mを超えるような比較的高波浪の来襲が見られる。その中でも6月後半には3.5mを超えるような高波浪が発生している。また、9月以降は静穏になるが、9/19前後に3.0mを超えるような高波浪が発生している。その後、10月以降は、波高は0.5m～1.0m程度で推移するものの、周期だけが発達し、10s～15s程度で推移している。波浪推算データからも、波高観測を行った海域周辺で発生・発達している波高と、外洋からの長周期成分の侵入による周期の長い波浪の大きく二つの波浪のタイプが見られることが分かる。各月の波高平均、波高最大、周期の平均、周期の最大をとると以下のようなになる。

表 4.3.2. 波浪推算による波高・周期の平均・最大の推移

	波高 平均(m)	波高 最大(m)	周期 平均(s)	周期 最大(s)
2月	0.61	0.98	9.84	12.50
3月	0.79	1.33	9.52	12.50
4月	0.88	1.47	9.40	13.90
5月	1.14	2.12	7.94	11.40
6月	1.62	3.77	9.27	12.50
7月	1.63	2.44	6.70	10.00
8月	1.38	2.18	7.44	11.00
9月	1.42	3.25	8.82	12.60
10月	1.02	2.31	2.31	13.80
11月	0.76	1.13	10.61	12.60
12月	0.65	1.18	10.03	13.30

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.3.2. 波浪推算による波高・周期の平均・最大の推移

さらに、波浪推算より高波浪の上位 10 位示すと以下のようなになる。6 月、9 月に 3m を超える高波浪となっており、上位 10 位は 5 月～10 月の期間に発生しており、雨期に集中していることが分かる。

表 4.3.3. 波浪推算による高波浪の上位 10 位

No	日時	Waveheight (m)	Waveperiod (s)	波向(°)
1	2015/6/25 20:00	3.77	7.00	230.90
2	2015/9/18 15:00	3.25	6.70	192.90
3	2015/7/28 21:00	2.44	6.20	210.10
4	2015/6/20 20:00	2.41	8.00	212.70
5	2015/7/21 14:00	2.31	6.00	213.80
6	2015/10/5 20:00	2.31	8.90	206.40
7	2015/7/29 2:00	2.30	6.40	212.00
8	2015/7/5 8:00	2.18	6.00	231.30
9	2015/8/25 19:00	2.18	6.70	217.60
10	2015/5/20 12:00	2.12	5.80	228.00
11	2015/8/6 13:00	2.08	6.40	230.60

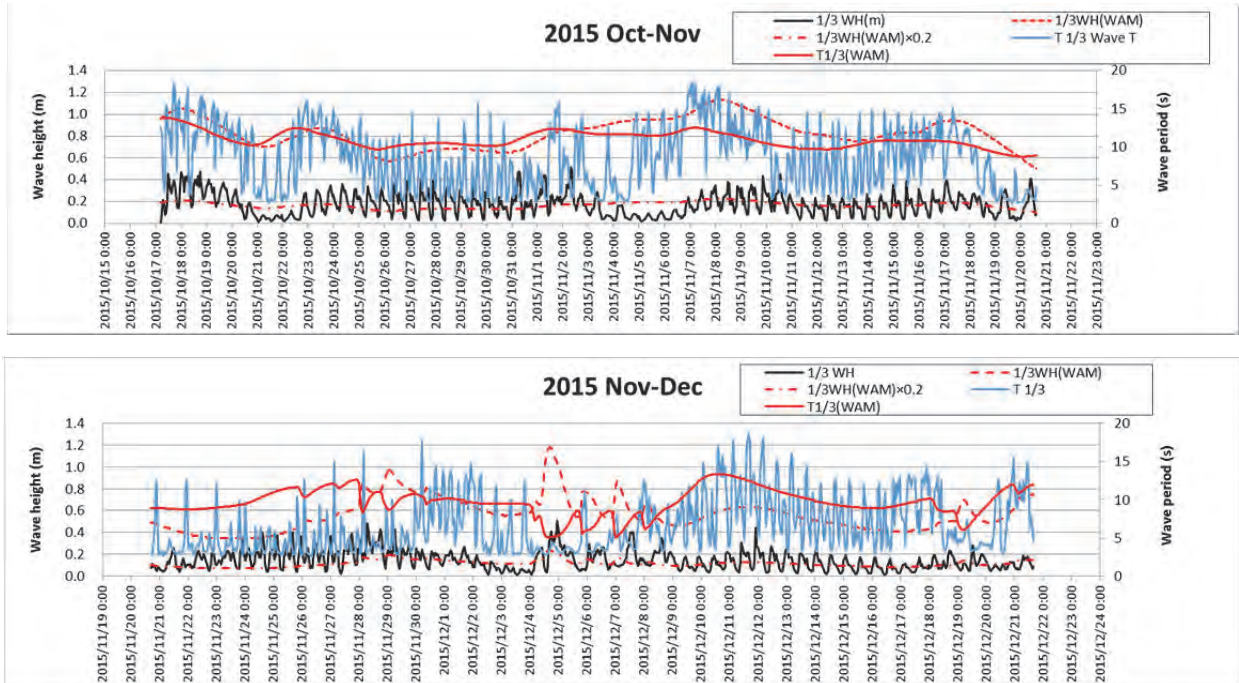
出典：JICA 調査団

### (3) 観測波浪と波浪推算の比較

現地観測による波高、周期と波浪推算による波高、周期を比較すると、現地観測による周期は、日々、発達、減衰をくり返しているものの、周期の変化は波浪推算データと概ね同じような傾向を示している。

一方、波高を比較すると、現地観測による波高は波浪推算と比較すると 1/5 程度の値である。図 4.3.3.は、現地観測と波浪推算の比較を示しており、さらに波浪推算は 1/5 倍した波高値も示している。これは、現地観測による波高は、観測地点の水深が 10m 程度であり、浅海域の波浪として屈折や海底摩擦の影響によって減衰しているためと推定される。一方の波浪推算は WAM モデルであり、水深の影響のない深海波として推算されているためである。しかしながら、両者の発達、

減衰の傾向は同じような傾向を示している。今後、現地観測波浪の蓄積は今後も必要であるが、波浪推算データも観測データの欠損や設計沖波算出の長期間のデータを補足する手段として、有効に活用できるものと考えられる。



出典：JICA 調査団

図 4.3.3. 現地観測と波浪推算による波高・周期の比較 (2015/10/17~12/21)

#### (4) 考察

現地観測波浪および波浪推算データより、波高観測を行った海域周辺で発生・発達している波高と、外洋からの長周期成分の侵入による周期の長い波浪の大きく二つの波浪のタイプが見られることが明らかとなりつつある。今回の調査により、極めて遠浅な海底地形を呈するベンガル湾では、波高は小さくとも通常よりかなり周期の長い波が恒常的に生じていることが確認されたと言える。

長周期の波浪は、波高は小さいものの、深浅測量結果から判明した河口周辺の大規模な海底地形変形に影響を与えている可能性がある。今後の調査としては、観測波浪、流速、潮位変動等、現地で取得したデータを取り入れた数値シミュレーションモデルを構築し、河口域を含む海域での地形変化の再現を試みて、さらに水制工や航路浚渫に対する予測計算を行う必要がある。しかし、長周期成分の波浪が、地形変化に大きく影響を与えているとすると、数値シミュレーションモデルによって地形変化の再現、予測を行えたとしても、水制工や維持浚渫による航路の維持は、これまで通常の波浪成分に対して効果を発揮できるように計画・設計・施工されてきており、更なる知識の構築が必要と考えられる。

#### 4.4. 観測データに基づく数値シミュレーションの提案

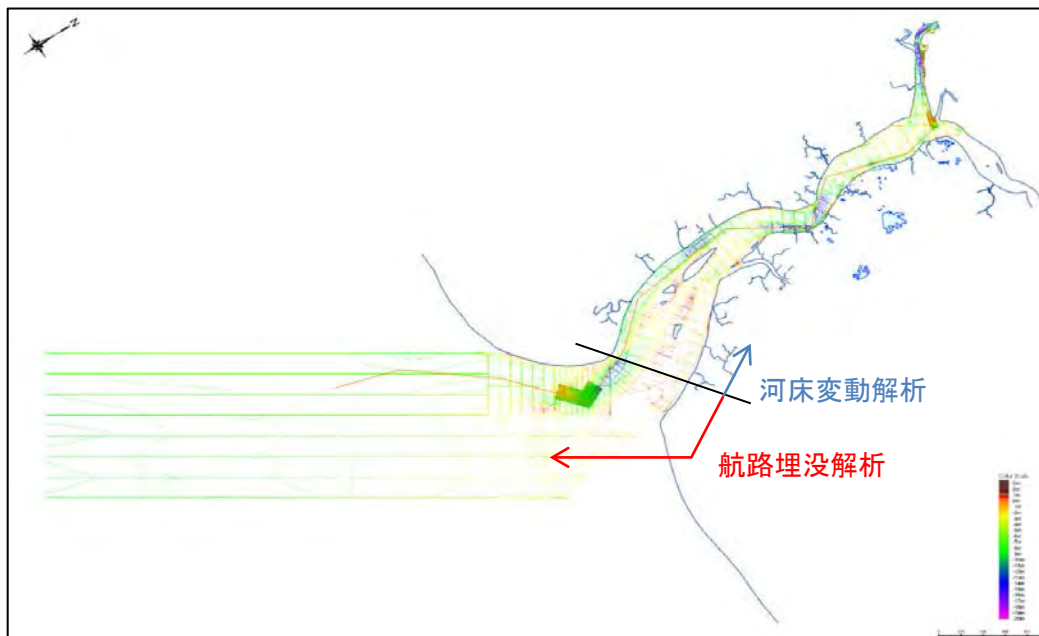
将来、河川航路を改善する計画を行う上で、今回の調査で取得したデータを活用し、河川・海浜の変形挙動を分析・検証することが重要である。検証するにあたっては、模型実験や試験施工等をすることも考えられるが、整備コストや整備にかかる時間を考えると、近年、技術開発が進んでいる数値シミュレーションによる確認が適切な検証方法であると考えられる。

本調査で実施した河床材料調査の粒度構成より、エレファント・ポイントより上流は砂で構成され、それより下流は砂の他、粘土やシルトなどの細粒分の割合が多くなっている。

粘土やシルトのような微細粒子は、海水中に含まれる陽イオンの作用によりフロックを形成し、沈降特性は砂粒子とは異なったものとなる。

このような状況から、今後、数値解析による検証を実施するのであれば、エレファント・ポイントより上流においては、掃流砂の洗掘・堆積状況を把握するための河床変動解析、エレファント・ポイントより下流においては微細粒子の沈降状況を確認するために航路埋没解析を用いることが望ましいと考える。

ただし、数値解析実施に際しては、次頁以降に記すように、雨期前と雨期後の数か月間の地形変形が著しいため、解析と実測値の再現性が非常に難しいことが想定される。



出典：JICA 調査団

図 4.4.1. 海浜部と河川部の解析手法

#### 4.4.1. 河床変動解析における課題

##### (1) 河床変動解析の概要

河床変動は、検討対象区間の上流端から流れて運ばれてくる流砂量と下流端から運び出される流砂量に差が生じたとき、すなわち流砂量の縦横断的不均衡が生じたときにその区間の河床が上昇・低下する。

このような、河床高の横断・縦断的な変化を追跡することを河床変動解析と言い、計算条件である流れ、河床形状、粒度分布、掃流砂を基礎方程式により算出し、以下の運動方程式により河床高を算出する。

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right\} = 0$$

ここで、ここに、 $z_B$  は河床高、 $q_{Bx}$ 、 $q_{By}$  は河道縦横断方向の掃流砂量、 $\lambda$  は河床構成材料の空隙率、 $x$ 、 $y$  は河道縦横断方向の座標軸、 $t$  は時刻である。

キャリブレーションは、雨季前と雨季後の河床高の変化量について、測量結果と解析結果とを比較して検証するが、このとき、掃流砂の粒径や拡散係数の調整のみでは検証困難な場合は、浮遊砂（巻き上げ量と土砂濃度分布）も考慮した解析を実施する。

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} + (q_{su} - c_0 w_0) \right\} = 0$$

ここで、 $q_{su}$  は浮遊土砂の巻き上げ量、 $C_0$  は浮遊土砂の底面濃度、 $W_0$  は浮遊土砂の沈降速度である。

##### (2) 使用するモデルの妥当性

ヤンゴン川河道内のウォッシュロードや浮遊砂は、干満の流れの影響を受けて上下流方向に移動している。河床変動はこの浮遊砂の沈降量と巻き上げ（再浮上）量の差によって発生していると考えられ、流れが速く巻き上げが優勢となるときに侵食が生じ、逆に沈降が支配的となるときに堆積が生じるとされている。

この浮遊砂量を反映するために三次元モデルによる解析が用いられるが、本検討区間が河口部から上流 60km に至り、この区間すべてにおいて3次元モデルを用いて河床変動を解析することは計算負荷が非常に大きくなる。本調査で得られた河床材料の状況から、ヤンゴン川本川 (Upstream of Yangon River, Near Monkey Point, Thilawa Area, Elephant Point Upper (4.80 km) の4箇所) は砂 (SP・SC) で構成されているため、掃流砂の洗掘・堆積傾向を把握することが望ましいと思われる。

ただし、解析結果が芳しくない場合は、浮遊砂の沈降量を考慮した三次元モデルによる解析も必要であると考ええる。なお、最近では河岸侵食も反映できる三次元解析モデルも開発されているが、ヤンゴン川の河岸侵食範囲が広範囲であることから、その適用性については確認が必要であると考ええる。

### (3) インプット条件と再現性

今回で得られた情報から、河口部から河床変動解析を実施するには、今回の調査で得られた河床材料、流速、水位の情報の他、外的インパクトとして以下の情報が必要となるが、これまで述べたように、そのボリューム、場所は限られた情報からの推察であり、インプット条件として反映するには非常に厳しい状況にある。

このため、雨季前の地形モデルを初期条件として解析を実施しても雨期後の地形を再現することは非常に難しいと考える。

ただし、解析を実施することで、土砂の洗掘、堆積傾向は把握できる。先述の「4.5.1 航路維持の対策方法」で述べた対策工について、河川内に設置した水制の効果、対策工の形状検討の他、浚渫した航路がどの程度の期間で埋没してしまうかなど、対策の効果を推察することができる他、航路交通量の推定や運搬量と整備コストを比較するなど、その利用価値は高いものと思われる。

インプット条件として以下の項目に留意する必要がある。

- 1) 砂取りポンプ船の採取量と場所：砂取りポンプ船の稼働台数から採取量を推定
- 2) 河岸の崩壊土砂量と崩壊箇所：現地調査時の撮影写真から崖錐高を推定し崩壊ボリュームを推察
- 3) MPA の維持浚渫量と場所：MPA へのヒアリングにより浚渫ボリュームを推察

### 【参考文献】

- ・ 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法（2005）：治水と環境の調和した川づくり 森北出版株式会社
- ・ 芦田和男・道上正規（1970）：浮遊砂に関する研究（1）－河床付近の濃度－、京大防災研究所年報 13 号 B



#### 4.4.2. 海浜変形解析における課題

##### (1) シルテーション航路埋没解析の概要

シルテーション問題の解決には、数値シミュレーションによる現況再現と対策工を取り入れた予測検討が基本となる。数値シミュレーションは、流れと波による底泥の浮遊・拡散・沈降を考慮した鶴谷ら（1990）による多層レベルモデルが参考となり、移流・拡散および沈降フラックスの再現が重要となる。

このうち、移流・拡散は、

$$[ \text{潮流(潮位変動による駆動)} + \text{河川流} ]$$

により再現できると考えられ、問題となるのは沈降フラックス（巻き上げ量および沈降フラックス）の再現になると考えられる。さらに、波による再浮上を考慮するのならば、波浪の条件が必要になるものの、現象のスケールが大きいので、波浪による影響は局所的になると考えている。

今回の調査では、欠測期間はあるものの、現地波浪観測を実施した（3.7 海域の波高）。その結果、観測期間はほとんど静穏であることが明らかとなった。ただし、波浪観測結果を補うための波浪推算結果によると、3m 強の高波浪も皆無ではなく、航路埋没解析においては、波による再浮上の考慮も、さらなる検討が必要と考えられる。

以上を踏まえると、第一段階としては、ヤンゴン川からの土砂がどれだけ流れ出て移流・拡散し、どこに溜まるのかを再現できることを目標とすべきである。埋没現象の主たる要因がモデル化できていれば、対策の方向性を検討する手段になりうると考えられる。以下にモデル化のポイントを示す。

##### 1) 多層モデル

水深方向は多層モデル（2～3 層）とする。水深方向に多層レベルを用いる理由は、埋没が激しいときは、底面近くの泥の濃度が高い層があるが、水面近くでは濃度が低い。このような濃度分布を再現するため、鉛直方向は水平な多層に分けて計算する多層モデルが有効である。ただし、浮遊物の現地観測結果より、SS が鉛直方向で一様と判断できるのであれば、単層モデルによる解析でも可能である。

##### 2) 計算の再現時間（Reproduction time）

解析モデルの再現時間は、天文潮位のうち、M2 分潮が卓越するので、流れ場として潮流の 24 時間の計算を再現する。1 時間ごとの、あるいは 30 分ごとに流れ場を変えて（水深も）、移流・拡散および沈降フラックス（堆積）の計算を行う。このとき、流下土砂量も潮位に応じて変化するのであればモデル化して与えることを検討する。流量 Q は現地観測結果より、雨季と乾季には違いがあるように設定する。

再現計算、予測計算では、年間で何日間が雨季で、何日間が乾季かと定義し、移流・拡散および沈降フラックスの計算を1年間分計算する。ここで、解析モデルの実計算時間は、1ケース1日～2日ぐらいを想定している。

なお、波浪観測の結果（3.7 海域の波高）から、時折発生する高波浪の影響が無視できないと判断された場合は、別途波浪場の計算と底面せんだん力を計算し、適当なイベント間隔を決めて（たとえば30日のうち一日だけ高波浪が継続など）、再浮上を考慮する。

### 3) モデルの基礎式 (Basic equations)

シルテーションモデルの基礎式は、移流・拡散の方程式であり、次式のように表すことができる。

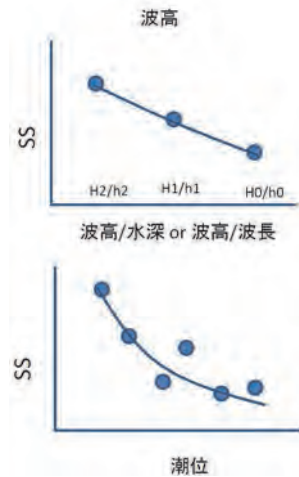
$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(c_k D_k) + \frac{\partial}{\partial x}(u_k c_k D_k) + \frac{\partial}{\partial y}(v_k c_k D_k) + w_{k-1} C_{k-1} - w_k C_k \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x D_k \frac{\partial c_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y D_k \frac{\partial c_k}{\partial y} \right) + \gamma_{k-1} (C_{k-1} - C_k) - \gamma_k (C_k - C_{k+1}) + \omega_0 c_{k-1} - \omega_0 c_k \end{aligned}$$

ここで、

- C<sub>k</sub> : 物質濃度
- u<sub>k</sub>, v<sub>k</sub> : x 方向, y 方向流速
- D<sub>k</sub> : 混合係数 (拡散係数)
- k<sub>x</sub>, k<sub>y</sub> : 渦動粘性係数

### 4) 計算結果の検証 (Inspection the plasticity of the calculation result)、現地調査との関連

種々の現地調査結果は、計算準備段階、本計算、計算結果の検証に使用する。航路部の地形測量成果は、シミュレーションに使用する地形水深データを作成する。地形水深データは、格子間隔50m～100m程度とする。河床サンプリング調査より採取した底泥・砂質は、計算上再現する粒子の粒径、比重、密度を設定する。実測流量記録は、計算における境界条件として使用する。計算の結果、得られる濃度(SS)は、浮遊物調査による実測値と比較し、本計算の再現性の検証に使用する。とりまとめのイメージは以下のようになる。



出典： JICA 調査団

図 4.4.2. 計算結果における再現性のとりまとめイメージ

## (2) 使用するモデルの妥当性

ヤンゴン川の現況としては、航路位置が常に変動していることや、その対応として MPA が定常的に維持浚渫を実施していることが挙げられる。航路位置が常に変動している現象は、微細な粘土やシルト等の底質が流れ・波によって運ばれ、航路や泊地に堆積し底泥層が形成され、この底泥層が外力によって巻き上げ・移動を容易にくり返すため、航路や泊地に堆積するものと推定され、一般的には、シルテーション (Siltation) と呼ばれている。

海岸施設設計便覧(2000 年版)によると、粘土やシルト等のような微細粒子で構成されている場合の底質の運動は、通常の砂粒子の運動機構と大いに異なることが示されている。すなわち、砂粒子では内部摩擦のみによってせん断特性が決定されるのに対して、粘土やシルト等のような微細粒子では内部粘性も無視できなくなる。河川流によって河口から海域に輸送された微細粒子は、海水中に含まれる陽イオンの作用によりフロックを形成し、沈降特性も異なったものとなり、沈降速度は微細粒子相互の衝突(濃度)と塩分濃度に支配される。

シルテーションの現象は、ミャンマー国ヤンゴン川のように、海上交通の拠点としての港湾が、河川流域や河口部を中心として発達してきた東南アジア諸国や中南米等で深刻な問題となっている。例えば、タイ国チャオプラヤ河のバンコック港 (出口ら (1993))、パキスタン国カシム港 (矢木ら (1985))、インドネシア国のバンジャルマシム港 (岡部ら (1991)) 等もシルテーション問題を抱えており、これらの検討手法を参考に解析を行うべきである。

## (3) インプット条件と再現性

現地調査で得られた各種データより、河口周辺の解析を行うことになる。本調査の結果を踏まえれば、地形変化のスケールが非常に大きく、再現性においては大胆なキャリブレーションが必要になることも考えられる。その結果を元に行われる対策工の検討の解釈には、十分な注意が必要

であるが、他国の解析事例とも比較検討のうえ、対策工の実施の判断のために利用できるものと考えられる。

#### 【参考文献】

- ・ 出口一郎・小野正順・榎木亨・Sucharit Koonlanakulvong(1993)：バンコック港航路の埋没と埋没量の推定，海岸工学論文集，第40巻，pp.506-510.
- ・ 矢木秀雄・佐藤淳(1985)：パキスタン，カシム港の航路埋没対策について，第32回海岸工学講演会論文集，pp.400-404.
- ・ 岡部保・入江功・堀江毅・永井康平・浅川勉(1991)：バンジャルマシン港航路のシルテーション特性，海岸工学論文集，第38巻，pp.491-495.
- ・ 鶴谷広一・村上和男・入江功(1990)：多層レベルモデルによる港湾埋没の数値計算モデルの開発－熊本港への適用例－，港湾空港技術研究所報告 vol29, No1, pp.3-51.

## 4.5. 航路限界交通量に関する考察

### 4.5.1. 将来の検討に関する提案（数値シミュレーション分析）

航路限界交通量を把握するには、気象条件、航路水深、船舶の入港条件等を考慮した数値シミュレーションを行うべきと考えられる。検討に際して留意すべき事項は以下の通りである。

- 1) 大潮と小潮の潮位変動を考慮するため、1 カ月程度の時間シミュレーションが必要である。
- 2) 航路水深と潮位から計算される時刻別の水深と船舶の喫水から計算されるキールクリアランスを評価できるモデルを作成する必要がある。
- 3) 船舶航行時の潮位変動による河川流速の変化と航行速度が評価できるモデルを作成する必要がある。
- 4) 入港船舶の規模、喫水、出入港頻度を実際のデータに基づきモデル化する必要がある。
- 5) モンキー・ポイントとエレファント・ポイントの通過条件を設定できるモデルを作成する必要がある。
- 6) 将来の船舶の大型化やコンテナ船の割合等の変化を予測した検討が必要である。

### 4.5.2. 通過交通量を増加させるための対策

これまでの検討結果から、航路水深を浚渫により増深する方法は、河川流出土砂量や維持浚渫の規模から考えてさらに詳細な検討を要する。ここでは、現在の航路状況を変えずに通過交通容量を増加させる前提に立ち、次のような対策を講じるべきと提案する。

#### (1) モンキー・ポイントとエレファント・ポイントの夜間航行支援設備の導入

現在のオペレーションでは、モンキー・ポイントでは昼間の満潮時間のみの航行、エレファント・ポイントでは、MPA の内規上は夜間航行も可能とされているものの、実際は1日に1度の満潮時間の航行のみパイロットサービスが行われている。夜間航行を可能にし、かつ安全な航行を支援するためには、GPS とレーダーシステムを導入し、航路全体の船舶航行を中央管制できる VTS システムの導入が有効と考えられる。航路の水深変動、波浪状況、河川流速をモニターすると同時に、航行船舶と常時交信し適切な判断に基づく指示が出せる管制システムと人材育成が必要である。

#### (2) 航路標識の更新

現在の航路標識は夜間航行に十分な設備とは言えない。本件調査で行ったヒアリング調査から、入港船舶は常に船舶に搭載された GPS により自ら航行位置を確認し、乗船するパイロットの判断を仰ぎながら入港している。また、陸上のリーディングライトは利用されていない場合が多いことが分かった。現地踏査によれば、雨期の降水時には視界が悪くなり、夜間の航路標識は利用が

困難になっているものと推定される。海図に示されている航路浮標の幾つかは目視確認できなかった。

航行安全性の向上の見地から、上記の VTS 等の支援設備の導入と並行して、航路全体に渡る、夜間航行に有効な航路標識の拡充と更新が必要である。

### (3) パイロットの増員とその支援設備の整備

現在実際にパイロット業務に従事している員数は約 30 名である。ヒアリング結果から、1 日当たり最大約 10 隻の入港パイロテージが行われている。パイロットのシフト状況は、概ね、ヤンゴン港から出港船に乗船してエレファント沖のパイロット・ステーションまで行き、次の日の入港船に乗船してヤンゴンに戻るといったサイクルで運営されている。こうしたシフト状況を考えると、現在の員数では、日当たり約 10 隻の入出港船を処理するのが限界だと考えられる。今後船舶数が増加し、夜間航行も頻度が上がると考えると、パイロット数の増員が急務である。

入港船舶の増加に伴って、仮に 1 回の満潮時に平均 20 隻程度の船舶をパイロットするためには概ね最大で 25 隻の入港船と同数の出港船に乗船可能な員数が必要と考えられ、待機要員を考慮すると 75 名程度のパイロットが必要になるものと考えられる。さらに夜間航行を可能とするためには、さらに 50 名程度の増員が必要である。

また、エレファント・ポイント沖のパイロット・ステーションもパイロット増員に伴い拡充または新設の必要がある。入港船舶にドッキングして乗船するためのパイロットボートは、現在の小型船では高波浪時には危険が伴うため、より大型の船舶を必要とする。これらの整備が近い将来に必要なものと考えられる。

## 4.6. 航路浚渫に関する考察

### 4.6.1. 維持浚渫の現況

MPA が実施する航路維持浚渫は、その大半がモンキー・ポイントで実施されており、年間浚渫総量は 140 万  $m^3$  にも達する。140 万  $m^3$  の維持浚渫とは、一般に、年間数百万 TEU を取り扱う国際大水深港の維持浚渫量と比べても大きい数量と言え、例えば、同じ ASEAN のインドネシア国のゲートウェイ港であるタンジュン・プリオク港でも、その維持浚渫量は年間 60 万  $m^3$  のみである（2005～2009 年の PERINDOII 統計平均）。タンジュン・プリオク港は、ヤンゴン都市圏港の年間コンテナ取扱量の 10 倍以上、年間 700 万 TEU を誇る。

モンキー・ポイントが年間 140 万  $m^3$  もの膨大な維持浚渫を必要としているのに対し、それ以南の国際航路においては、ティラワ地区の周辺で不定期な浚渫作業があるものの、その数量は年間 60 万  $m^3$  程度と思われ、航路維持浚渫量の低減と、それに伴うコストの削減の観点では、モンキー・ポイントの維持浚渫によるヤンゴン港への既存航路水深の維持より、ティラワ地区港の維持の方が、はるかに容易で安価となると思われるが、仮に、モンキー・ポイントでの維持浚渫を完全に止める、もしくは低減した場合、モンキー・ポイント以南でのヤンゴン川河床、特にティラワ地区に対し、どのような影響を及ぼすかについては、今後の更なる調査と検討の課題である。

### 4.6.2. 既存の浚渫土砂処分

ヤンゴン川航路の河床が 1 回の雨期を挟むだけで大きな変動を見せることは、今回実施した深淺測量より明らかとなった。また、別冊報告書より、約 100 年間に亘る長期間では、河岸も大きく変動していることが想定された。下図は、別冊報告書の検討結果の一つで、1930 年の陸図に、1904 年の海図が示す河岸線と 2015 年の衛星画の河岸線を重ねた図面である。その図面に、MPA がモンキー・ポイントの浚渫土砂を投棄している土捨て場の位置を重ねたところ、本土捨て場の下流側が、過去約 100 年間で大きな弧を描いて陸側に浸食されていたことがわかる。主流であるヤンゴン川がバゴー川との合流点を過ぎて、急に南へ流向が変わる湾曲部の外側に本土捨て場があり、大きなせん流の影響によりその掃流力が増加し、侵食傾向であることがわかる。



出典：JICA 調査団

図 4.6.1. 土捨場の候補地

MPA が現在使用する土捨場は、清掃流が強く投棄した土砂が下流へと流されやすい場所であることは、この事からも想定できる。また、投棄される土砂が泥水状であることから、本土捨場が航路に隣接していても、航行する船舶への影響が見られていないものと思われる。

#### 4.6.3. 既存の航路維持浚渫に関する考察

現状のヤンゴン川航路の河床状態は、様々な要因が複雑に影響し合い、次のような動きをしていると想定される。

- 1) 河川部においては、河床材料は非常に小さい細砂や粘土・シルトで構成され、上げ潮・下げ潮の影響により、河床材料が上流・下流へと転がっているだけでなく、巻き上がりも発生している状況にあると想定される。
- 2) 河口部 (Elephant Point) においては、砂州の変動が発生しており、航路位置が常に変動している。その要因は、右岸側での河岸侵食による土砂流出による埋没の他、微細な粘土やシルト等が流れ・波によって運ばれ、河床に堆積して底泥層が形成され、この底泥層が船の航行や上げ潮・下げ潮等の外力によって巻き上がり、移動を容易に繰り返すことにより生じていると想定される。また、海浜流や長周期波も河口部の河床変動に影響していると思われる。

維持浚渫とは、対象土砂を掘る浚渫作業と、浚渫した土砂の投棄作業の 2 つの作業で構成されている。ヤンゴン川の維持浚渫作業は、主にモンキー・ポイントで実施されており、その目標深度は CD-4.2m である。維持浚渫は、河川流の影響の少ない干潮付近で行われ、その対象土質は、河床状況からも極めて軟質な泥土である。これらのことから判断すれば、現在の維持浚渫作業の難易度は他国の例と比較しても高くはない。



もう一つの維持浚渫の作業である土砂投棄に関しては、通常、周辺環境や航路に影響がなく、かつ、沖合水深 20～30m 程の範囲が投棄場所と指定される。浚渫土砂は、浚渫作業場から指定された投棄場まで運搬され、投棄される。ASEAN 他国での事例を見れば、維持浚渫場所から投棄場までの距離は、長くても 20km 程度である。

ヤンゴン川航路は、基本的に、河川流により自然に形成される深場を選んで設定されている。また、深場は、清掃流が比較的強い場所である故、モンキー・ポイントからの浚渫土砂も同航路が設定されている深場の一部に投棄されている。今後、更なる船舶の大型化、多頻度化が生じれば、この浚渫土砂投棄が影響を及ぼす可能性は否定できない。従って、既存の浚渫土砂処分の状況のモニタリング調査を早期に実施すべきと考える。

## 4.7. 航路測量実務の課題考察

現在 MPA が実施する主な測量は、モンキー・ポイントとエレファント・ポイントにおける深淺測量である。モンキー・ポイントについては毎週、エレファント・ポイントについては毎月深淺測量を実施しており、その結果は、各観測後手書きにて速やかに取り纏めてパイロットに手渡され、これらのポイントを航行する船舶の安全な水先案内に貢献している。

MPA が実施している深淺測量業等に対する課題と提言は以下に述べるとおりである。

### 4.7.1. 水準点と検潮所

調査対象範囲の水準点は 2 点あり、ひとつは MPA の本部前で、もうひとつはエレファント・ポイントの近くにある。MPA の本部前の水準点は、パズンダン埠頭ヤード内の庭に置かれており、鉄製の蓋のある頑丈な水準点である。エレファント・ポイントの水準点は木杭であり堅固なものではないので、コンクリート製の堅固な構造に変更する事が必要と考える。複雑な潮位・潮時差を有するヤンゴン川航路の深淺測量には、将来の深淺測量のデジタル化を視野に入れ、モンキー・ポイントからエレファント・ポイントにかけて、少なくとも 5 点の堅固な水準点の設置と、維持管理は必要と考える。

2015 年 10 月以降、モンキー・ポイントでは自動検潮が開始された。他方、エレファント・ポイントでは、かつて潮位標が設置されていたが、ヤンゴン川の岸線の浸食により、かなり昔に倒壊し、その後、同ポイントには潮位標が設置されていない。

エレファント・ポイントはその大半の水深が浅く、河床地形が常に大きく変化し、大型船が航行できる最深部は常に変動しているため、ヤンゴン川航路における船舶航行上の航行困難箇所のひとつと認識されている。その為、エレファント・ポイントにおいては、これからも定期的に深淺測量を実施する事により最新の河床地形を把握し、その情報を提供し続ける必要がある。

このような状況を考慮すれば、先ず初めに、エレファント・ポイントに恒常的な潮位標を設置すべきである。可能であれば、より早期に、自動験潮器の導入と 24 時間連続観測を開始すべきである。このデータを長期間積み重ねることは、将来のヤンゴン川航路の安全航行に最適な維持管理及び改善に役立つものと考えられる。

### 4.7.2. モンキー・ポイントの深淺測量

モンキー・ポイントは、ヤンゴン都市圏港の航路において、最も航行が困難となりやすい自然条件を備えている。そのため、MPA はモンキー・ポイントでの深淺測量を毎週実施している。本件調査の期間中に、MPA によるモンキー・ポイントでの測量成果図を入手する事はできなかったが、本件調査で実施した雨季前後のマルチビーム測深システムによる深淺測量結果（カラーマップ）から、モンキー・ポイントの水路は、MPA による維持浚渫により、目標とする CD-4.2m が概ね確

保された、きれいな形状が維持されていることが明らかとなった。従って、現状の航路交通レベルを維持する目的の深浅測量には大きな問題はないと思われる。

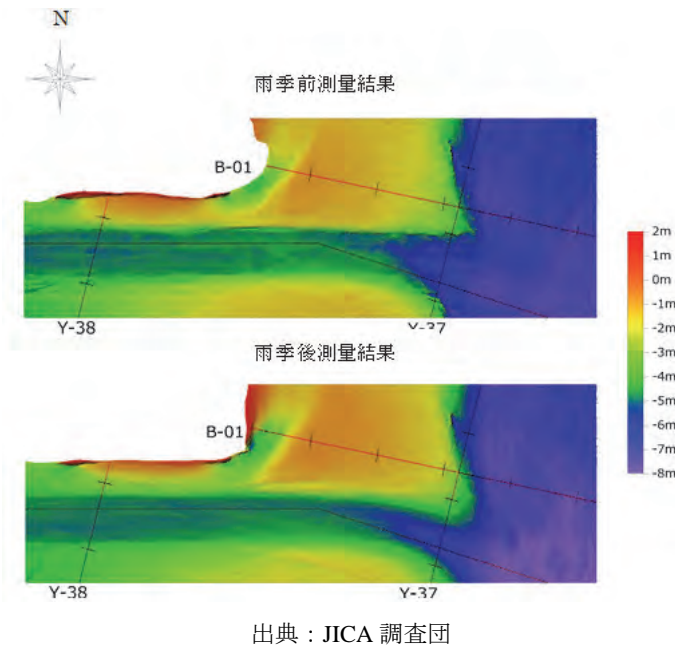


図 4.7.1. モンキー・ポイントのマルチ測量結果

#### 4.7.3. エレファント・ポイントの深浅測量

今回実施した雨季前後の深浅測量結果の比較から、河口付近で広域に亘る河床変動の一端を確認することができた。現在 MPA は、大型船舶の航路確保を主眼に置いた、エレファント・ポイントの最深部をトレースするヤンゴン川航路法線の確認を中心とした深浅測量を実施しているが、将来、航路改善に係る検討を視野に入れるのであれば、1 回当たりの測量範囲は、より広域とするべきと考える。今回調査団が実施した測量結果から考察すれば、既存の MPA の測量範囲より少なくとも上流側方向に 1km 程、南西方向に 1km 程広く探査するべきと思われる。

また、今般入手した MPA による深浅図の等深線間隔は 3m となっていた。別章で示すヤンゴン川航路を航行する大型船舶の航跡と、本件調査の測量結果及び、潮位表の関係を分析すると、船底から海底まで 2m を切るクリアランスでの航行が確認された。急激なヤンゴン川の流速変動、6m にもなる潮位変動、及び、河口から沖合までの極めて遠浅な海底地形等の厳しい自然状況の中、喫水が 9m にもなる大型船舶の航行を可能にするには、このような狭いクリアランスでの航行が生じることは通常である。更なる安全な大型船の航行を可能とするため、より正確に川・海床地形の特徴を把握するべきと考える。そのためには、等深線間隔を少なくとも 2m、できれば 1m 間隔とした詳細なデータ取得・整理とするべきと考える。

#### 4.7.4. ヤンゴン川沖合の潮位観測と波浪観測施設

現在、MPA のパイロット・ステーションは、エレファント・ポイントの沖合約 20km にあり、係留船泊が配置され、パイロット業務を遂行する人員等が同船に待機し、パイロット業務が実施されている。

本船泊の老朽化を機に、MPA は新たな固定式パイロット・ステーションを計画中である。今後、ヤンゴン川航路のより適切な維持管理と改善を検討するためには、更なる自然条件の基礎情報の収集が重要であり、既存パイロット・ステーションの位置であれば、次に示す観測機器による長期間にわたる連続観測、データの積み上げが必要と考える。

- 1) 自動検潮器
- 2) 超音波タイプの波高計
- 3) 超音波多層流向流速計（波向、流速）
- 4) 気象観測（風向、風速、雨量、視界（目視観測））

河川流の影響を受けるエレファント・ポイントから、沖合に約 20km 離れたパイロット・ステーションで検潮することにより、沿岸域の埋没解析等に有用な潮位データを取得することができる。

波高・流向流速計に関しても、今後の航路埋没解析や安全航行解析等に有用なデータの取得が望まれる。極めて遠浅な海底地形を呈するアングマン海は、波高は小さくとも通常よりかなり長い周期波が恒常的に生じていることが今回調査で確認された。これは、本件調査で実施した深淺測量結果から判明した、河口周辺の大規模な海底地形変形に影響している可能性がある。また、季節海浜流も影響している可能性が高いので、これらのデータの積み上げを行うことは、今後のヤンゴン川航路の維持管理及び改善に重要と考える。

#### 4.7.5. デジタル化の必要性

今回調査で入手した、MPA による過去のエレファント・ポイントの縮尺 1/35,000 深淺図は、基本的に手書きで作図されていたが、2015 年 8 月に作成されたものは、CAD ソフトを利用して作成されたものと考えられる。MPA の測量作図部門が CAD システムを導入して、作図方法のデジタル化が進んでいると思われる。MPA の測量部門の重要な役割の一つは、河床変動の大きいヤンゴン川について、定期的かつ多頻度で測量し、その結果を速やかにパイロット部門に引き渡し、安全な航行に寄与することである。作図のデジタル化は、パイロット部門へのより早く正確な情報伝達に貢献する。

測量分野は、基本的に 3 つの作業で構成されており、それは、①測量（データ取得）、②データ処理、③作図である。昨今、この主要な 3 つの作業におけるデジタル化は、ASEAN 諸国でも急速に浸透しており、③作図のデジタル化が始まっている MPA の測量部門においては、今後、①測量（データ取得）、②データ処理、のデジタル化が必要となる。

作図のデジタル化に関しては、比較的安価な AutoCAD 等ソフトを購入しさえすれば、担当者はそのマニュアル本に沿って操作を学ぶことが可能で、いわば比較的導入しやすいものである。一方、測量及びその採取データのデジタル化は、その導入が難しい。その主な理由は、1) 前提として、デジタル機器の高精度を有効に活用するための、水準点の数の増加と、頻繁な維持管理が必要。2) 機材導入コストが高い。維持管理費も高く、導入後数年でソフトの更新が必要になる。3) マニュアル本だけでは、取扱技術の取得が難しく、熟練した専門技師の指導の下、ある一定のデジタル技術・知識・経験の開発・向上プログラムが必要となる。

また、デジタル技術導入に際して、必要とされる人員の知識・経験・能力の内容が、従来から変化し、デジタル化がもたらす高効率に余剰人員を生むケースも多く、旧来の組織体制では運営ができなくなるケースが他国でもよく見られる。従って、デジタル化にあたっては、人員体制の見直しを含めた抜本的な改革を視野に入れた準備が必要になる。

#### 4.7.6. シングルビーム計測システムからマルチビーム計測システムへ

現在、MPA による深浅測量は、旧来の測量機器直下を線測深するアナログ式・シングルビーム測深システムを採用している。作業の高効率化と、精度の向上を視野に、デジタル式・シングルビーム測深システムの導入は、より安全な船舶航行への情報提供のため、近い将来実施すべきと考える。

本件調査の深浅測量で、ヤンゴン川の複雑な河床変動を確認できたものの、本件調査の別冊報告書で述べているように、ヤンゴン川は過去 100 年で大きな河道変動を示している。ヤンゴン川航路のより適切な維持と、改善を視野に入れれば、モンキー・ポイントやエレファント・ポイントの様な航行困難箇所の河床地形を正確に把握する必要があり、そのためには、線測量のシングルビーム測深システムより、河床地形を 3D で把握することができるマルチビーム測深システムが最適である。

しかしながら、マルチビーム測深システムは、シングルビーム測深システムと比較すると、極めて高額な初期投資と、維持管理更新費用が必要となる。また、マルチビーム測深システムの操作だけでなく、データ処理や作図を実施する上においても、更なる高度な知識・経験が必要となる。

以上のことから、マルチビーム測深システムを導入に際し、経験豊富な指導者の下、必要な機材・ソフトの購入計画、維持管理の計画、人材開発計画等を含めた短期・中期計画を立て、着実に実行してゆく必要がある。

## Appendix 1 適用可能な河川制水工の事例紹介と考察

以下に我が国の河川・海岸制水工の事例を中心に紹介する。河川規模が異なるため、類似の構造物がヤンゴン川で適用可能かどうかは今後慎重に検討すべきである。

### A1.1. 導流堤

海岸施設設計便覧 2000 年版によると、導流堤とは、河口の両岸あるいは片岸から海に向かって延伸する突堤である。また、河道内から海側へ延伸する場合もあり（中導流堤）、河道内の背割堤と連続している場合もある。導流堤の機能は、以下のようなものがある。すなわち、

- ・ 河口位置を固定する機能
- ・ ミオ筋を安定させる機能
- ・ 河口水深を維持する機能

などである。

これらは、日本国内の沿岸域においては、沿岸漂砂等、波浪による漂砂を制御する構造物であり、海岸構造物の突堤と同様な機能を持っている。両岸導流堤の事例として神奈川県引地川の河口周辺の航空写真を Google Earth より、さらに現地写真を以下に示す。河道方向と同じ方向に両岸に突堤が設置され、沿岸漂砂から航路埋没を抑制するように設置されている。



出典：JICA 調査団

図 A1.1. 神奈川県引地川の河口周辺の事例

## A1.2. 水制工

水制は河川の治水機能・利用機能・環境機能を維持するために設置され、一般的には、河岸を侵食作用に対して保護する施設（治水）、航路維持のための施設（利用）、環境保全のための施設（環境）に分けられる。

急峻な河床勾配をもつ日本の河川では、河岸侵食を防ぐための水制が多く設置されている。ただし、次に示すように、ヤンゴン川と同様に舟運がなされていた河川では、航路維持のための水制が設置されている。

一級河川多摩川の干潮区間には、航路維持のための水制が設置されていた。河川改修に伴う高水敷掘削や土砂埋没により、現在は流出して現存していない。現在は高水敷により滲筋が固定され水深が確保できている。

1944年



図2.15 多摩川下流改修直後の護岸、水制推定配置図 (基図1944年)

出典：河川環境総合研究所資料第15号 多摩川下流水制の配置構造と技術史上の意義

### 図 A1.2. 水制の事例 (多摩川)

一級河川淀川においては、燃料等で利用される森林伐採に伴う山地の裸地化により、流出土砂量が増大して河床が上昇した。木材運搬のための舟運に支障が生じ始めたため、航路維持のために水制が設置された (1870年代)。

なお、水制の設置により航路が維持されると同時に河岸側には土砂が堆積し (河岸侵食が軽減され) 現在は環境機能を有する「ワンド」へと機能変化している。





出典：淀川河川事務所 HP



出典：Google earth

### 図 A1.3. 水制の事例（淀川）

現在のヤンゴン川で必要とされる水制は、変動する航路を固定し、航路水深を維持する機能と侵食が著しい河岸を保護し、農地侵食を防止する機能が求められると考えられる。

ただし、水制は、流れに対して障害物となって河岸寄りの流速低下や水跳ね効果を期待するものであり、水制頭部に流水を集中させることで、水制まわりに洗掘を生じさせるものである。別冊報告書でも記されるように、河岸崩壊にともなう浸水やサイクロン対策として、地方政府は、簡易な 1m（高さ）× 1m（幅）の石積堤を建設したが、河口付近では、半年～1 年程度で河岸侵食により崩壊、積み替えを余儀なくされている状況にある。洗掘が大きければ水制が破損するため、通常は水制回りの洗掘深がどの程度になるか、洗掘範囲がどの程度になるかを評価する必要がある。

このため、水制の設置においては、護岸工以上に理論上の解釈を与えて設計することが難しいとされており、過去の経験、類似河川の実績、試験施工、模型実験等を活用して設計されるものが殆どである。（河川砂防技術基準（案））

これまで述べてきたヤンゴン川の河道特性（航路水深の変動）を考えた場合、水制を設置した場合にその効果（洗掘と堆積）が極端に生じて水制が破損するのか、もしくは、浮遊する土砂の影響を受けて水制が埋没するのか想定がつきにくい。

今回の調査で得られた雨季前と雨期後の河床変動状況から、変動量が非常に大きいことや河床高が少しの外力で鋭敏に反応する可能性も考えられ、設置をしても流出してしまうことも考えられる。また、砂取り小型ポンプ船の往航等、舟運が盛んな航路であるため、水制が航路に支障をきたし、航行安全を欠落させる可能性も懸念される。