

土研資料1380号

土木研究所資料

原川暗渠模型実験報告書

昭和53年3月

建設省土木研究所

鹿島試験所

目 次

1.	はじめに	1
2.	河口処理計画の概要と実験目的	2
2.1	河口処理計画の概要	2
2.2	実験目的	2
3.	流域の現況と海象特性	5
3.1	流域の概要	5
3.2	流 量	5
3.3	河口部の概要	5
3.4	海部の底質材料と海浜形状	5
3.5	風	9
3.6	波 浪	12
3.7	潮 位	12
4.	模型実験の相似律	17
4.1	相 似 律	17
4.2	原川暗渠模型実験における模型縮尺	21
5.	実験ケースと実験方法	24
5.1	実験施設および実験概要	24
5.2	実験条件について	24
5.3	実験ケース	26
6.	実験結果	27
6.1	暗渠長の違いによる暗渠内堆砂防止効果の検討（実験1）	27
6.2	暗渠内堆砂防止に関する検討	28
7.	河口処理上の対策と問題点	33
7.1	暗渠工法の問題点	33
7.2	河口処理上の各対策案の効果と問題点	33
8.	ま と め	36
	あ と が き	38
	参 考 文 献	38

図 表 目 次

図 - 1. 1	原川河口平面図	1
図 - 2. 1	河床縦断面図	3
図 - 2. 2	計画標準横断面図	4
図 - 3. 1	原川河口平面図	6
図 - 3. 2	粒度分布図	7
図 - 3.3. 1 ~ 3.3. 2	原川河口海床縦断面図	8
図 - 3. 4	原川河口季節別風向頻度図	11
図 - 3. 5	季節別波高頻度図	13
図 - 3. 6	季節別波高頻度図	13
図 - 3. 7	$H^{1/3}$ 波高一周期の相関図	15
図 - 3. 8	波向頻度図	16
図 - 4. 1	碎波水深におよぼす周期の効果	19
図 - 4. 2	粒度分布図	22
図 - 5. 1	実験用水槽概略図	25
図 - 6. 1	暗渠設置詳細図	39
図 - 6. 2	海浜流況図(実験1)	40
図 - 6.3. 1 ~ 6.3. 2	暗渠内堆砂の時間的変化図(実験1. 暗渠1-1)	41~42
図 - 6.4. 1 ~ 6.4. 2	暗渠内堆砂縦断面図(実験1. 暗渠1-1)	43~44
図 - 6.5. 1 ~ 6.5. 2	暗渠内堆砂の時間的変化図(実験1. 暗渠1-2)	45~46
図 - 6.6. 1 ~ 6.6. 2	暗渠内堆砂縦断面図(実験1. 暗渠1-2)	47~48
図 - 6.7. 1 ~ 6.7. 2	暗渠内堆砂の時間的変化図(実験1. 暗渠1-3)	49~50
図 - 6.8. 1 ~ 6.8. 2	暗渠内堆砂縦断面図(実験1. 暗渠1-3)	51~52
図 - 6. 9	潮位・波高及び河道内水位関係図(実験1)	53
図 - 6. 10. 1	暗渠内等深線図(実験1)	54
図 - 6. 10. 2	暗渠内縦断面図(実験1)	55
図 - 6.11. 1 ~ 6.11. 2	海浜縦断面図(実験1)	56~57
図 - 6. 12	等深線図(実験1)	58
図 - 6. 13	海浜縦断面図(実験1)	59
図 - 6. 14	暗渠詳細図(実験2)	60
図 - 6. 15	海浜流況図(実験2)	61

図 - 6. 16	暗渠内堆砂の時間的变化図 (実験 2. 暗渠 2 - 1)	62
図 - 6. 17	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 2. 暗渠 2 - 1)	63
図 - 6. 18	暗渠内堆砂の時間的变化図 (実験 2. 暗渠 2 - 2)	64
図 - 6. 19	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 2. 暗渠 2 - 2)	65
図 - 6. 20	暗渠内堆砂の時間的变化図 (実験 2. 暗渠 2 - 3)	66
図 - 6. 21	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 2. 暗渠 2 - 3)	67
図 - 6. 22	潮位・波高及び河道内水位関係図 (実験 2)	68
図 - 6. 23. 1	暗渠内等深線図 (実験 2)	69
図 - 6. 23. 2	暗渠内縦断面図 (実験 2)	70
図 - 6.24.1~6.24.2	海浜縦断面図 (実験 2)	71~72
図 - 6. 25	等深線図 (実験 2)	73
図 - 6. 26	海浜縦断面図 (実験 2)	74
図 - 6. 27	暗渠詳細図 (実験 3)	75
図 - 6. 28	海浜流況図 (実験 3)	76
図 - 6. 29	暗渠内堆砂の時間的变化図 (実験 3. 暗渠 3 - 1)	77
図 - 6. 30	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 3. 暗渠 3 - 1)	78
図 - 6. 31	暗渠内堆砂の時間的变化図 (実験 3. 暗渠 3 - 2)	79
図 - 6. 32	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 3. 暗渠 3 - 2)	80
図 - 6. 33	暗渠内堆砂の時間的变化図 (実験 3. 暗渠 3 - 3)	81
図 - 6. 34	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 3. 暗渠 3 - 3)	82
図 - 6. 35	暗渠周辺波高測定図 (実験 3)	83
図 - 6. 36. 1	暗渠内等深線図 (実験 3)	84
図 - 6. 36. 2	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 3)	85
図 - 6.37.1~6.37.2	海浜縦断面図 (実験 3)	86~87
図 - 6. 38	等深線図 (実験 3)	88
図 - 6. 39. 1	暗渠内等深線図 (実験 3')	89
図 - 6. 39. 2	暗渠内堆砂縦断面図 (実験 3')	90

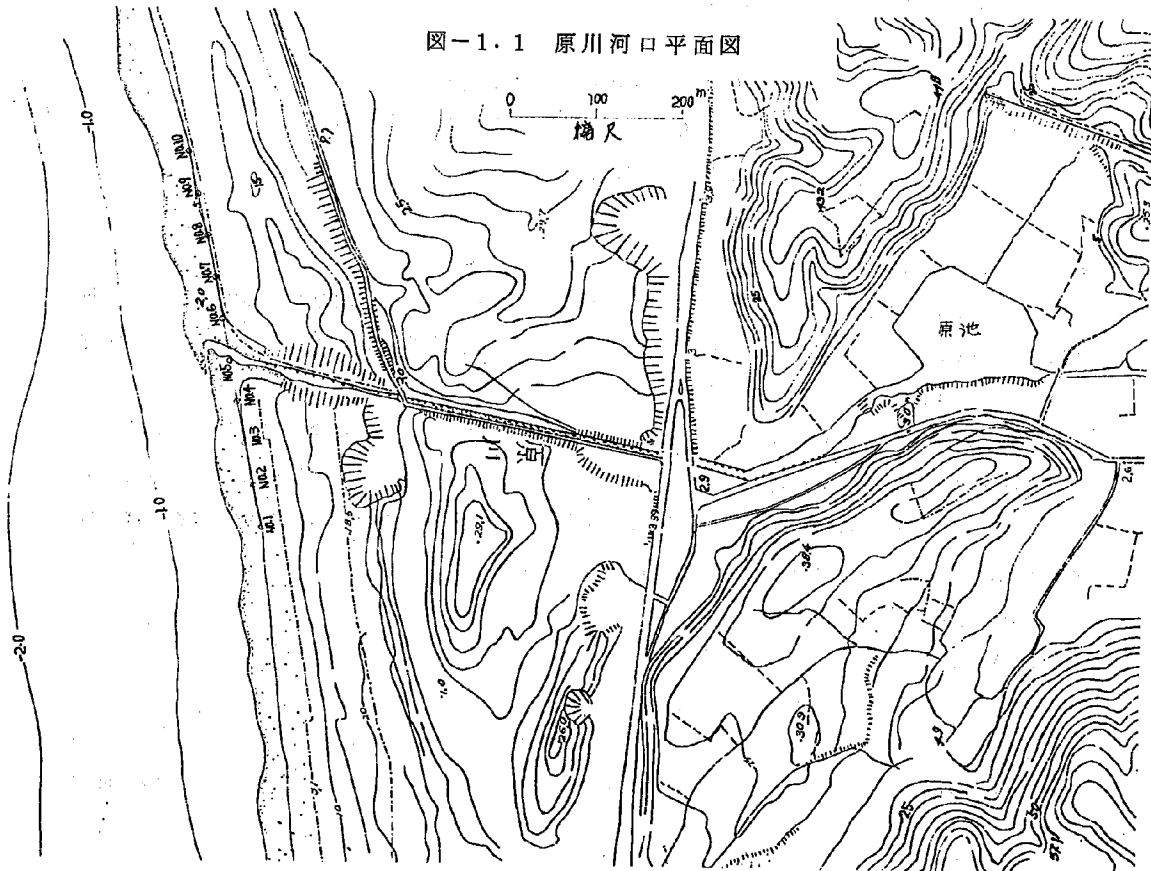
表 - 3. 1	原川河口開さく状況	9
表 - 3. 2	季節別風向回数	10
表 - 3. 3	季節別波高頻度	14
表 - 5. 1	実験条件一覧表	26

1. はじめに

原川は鳥取県の日本海に面した小盆地の背後低山地に源を発し、直接海に注ぐ流路延長2.0km、流域面積2.3km²の小河川である。河道は狭小で河床勾配が緩く、地盤高も低いため、流過能力の不足と相まって河口においては日本海特有の北西の風により、常時河口閉塞を受け、上流部の田畑および民家の湛水被害と、その排水に長時間を要しているような状態である。このため河積の増大とともに、内水処理対策の必要性が生じ、河口部無堤区間に矢板護岸および飛砂堤を築造し、海中へ導流函渠を設置し洪水を確実に海へ流出させる計画が立案された。

しかし、河口の現象は、支配する影響要素が多く、非常に複雑なため、対策効果や現象を知ることとは容易でなくそれらを把握するためには、現地調査や試験、あるいは模型実験による検討が必要である。ここではこの河口処理計画の規模および効果あるいはその現象について、模型実験により検討し、より効果的な河口処理工法を見い出そうとするものである。(図-1.1参照)

図-1.1 原川河口平面図



2. 河口処理計画の概要と実験目的

2.1 河口処理計画の概要

原川の改修計画は、河積の増大とともに河口部無堤区間に矢板護岸および飛砂堤を築造し、海中へ導流函渠を設けて、内水流出を排水しようとするものであり、その計画高水流量は $25 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。これより計画の導流函渠は高さ 2.4 m 、幅 4.5 m の2連、その河床高は、暗渠呑口部 ($0/50 \text{ m}$) で T.P. -1.15 m の河床勾配 $1/1000$ で計画されている。この河床縦断図、計画標準横断図を図-2.1~2.2 に示す。

また計画高水位は、原池から流出する地点 ($0/900 \text{ m}$) を T.P. 1.5 m とし、河口の暗渠呑口部 ($0/50 \text{ m}$) で T.P. 0.65 m となっている。

これら河口処理計画の諸元を以下にまとめて記す。

- 計画高水流量 $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (1/5年確率)
- 暗渠幅および高さ 幅 4.5 m × 高さ 2.4 m の2連
- 河床勾配 $1/1000$
- 計画高水位 T.P. 1.50 m (原池流出地点)
- 計画潮位 T.P. 0.3 m (泊漁港期望平均満潮位)
- 粗度係数 0.02 (暗渠内)

2.2 実験目的

原川河口は日本海特有の波浪により常時河口閉塞をうけ、内水排除に困難をきたしている。このため抜本的な内水対策の必要が生じ、その河口維持対策として、暗渠工法による河口処理計画の検討が行なわれてきた。

しかしその規模や構造を決定するためには、対策効果や水理特性を把握する必要がある、そのための模型実験による検討が必要となった。よってここでは暗渠工の効果的な規模と付随する対策工について実験的に検討し、合理的な河口処理計画の一資料とするものである。なお具体的には次のような事項についての検討を目的として実験を行なった。

- (1) 暗渠長の違いによる暗渠内堆砂防止効果と水位の検討
- (2) 暗渠先端形状についての検討とその効果
- (3) 暗渠内の堆砂防止工法の検討とその効果

以上の項目は、暗渠を設置した場合の波による現象と対策工法についての実験で、波による暗渠内砂州の打上げ高、河口水位の上昇量、および暗渠先端付近の局所洗掘、海浜流況等について把握し、さらにその対策工法について検討しようとするものである。

圖-2.1 河床縱斷圖

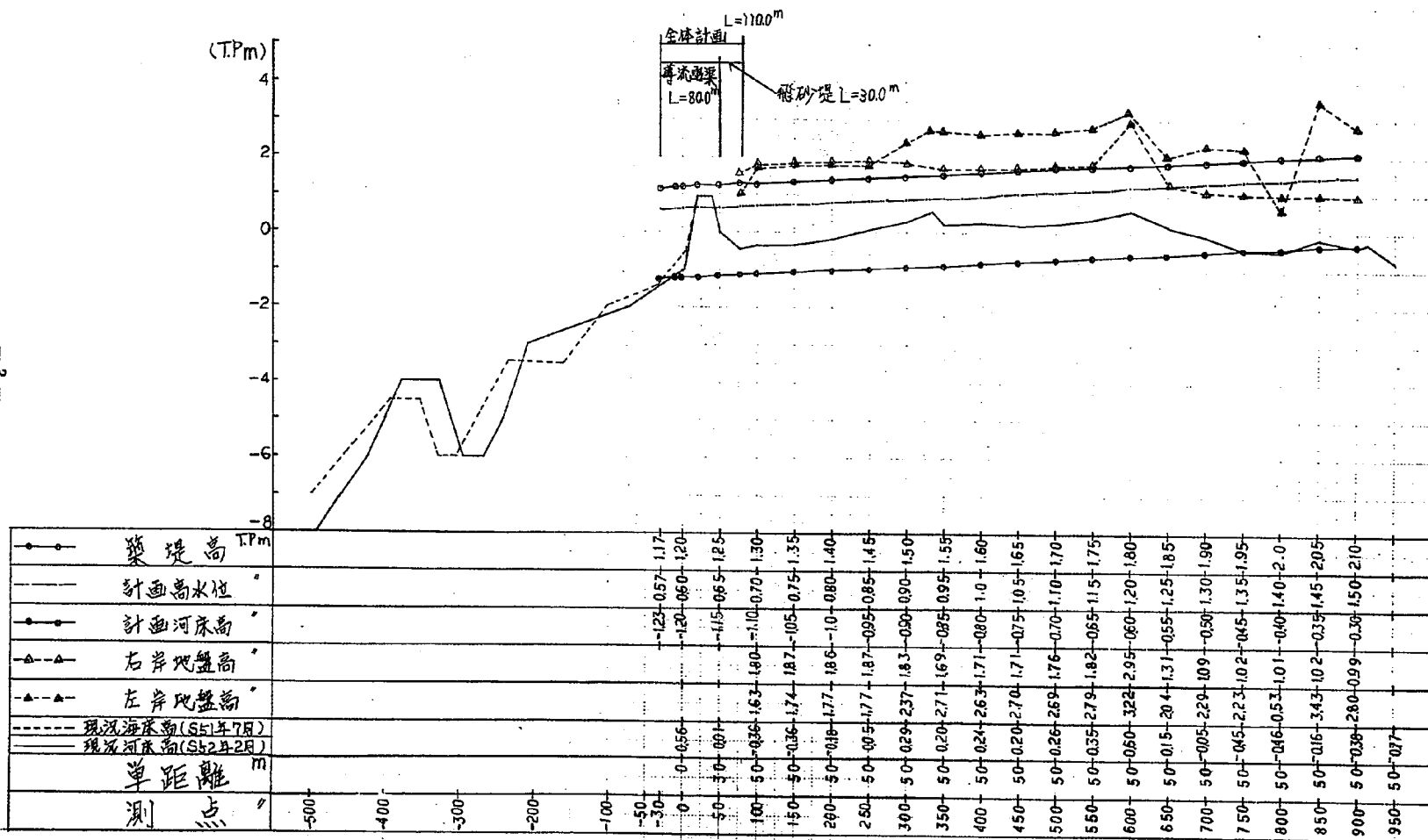
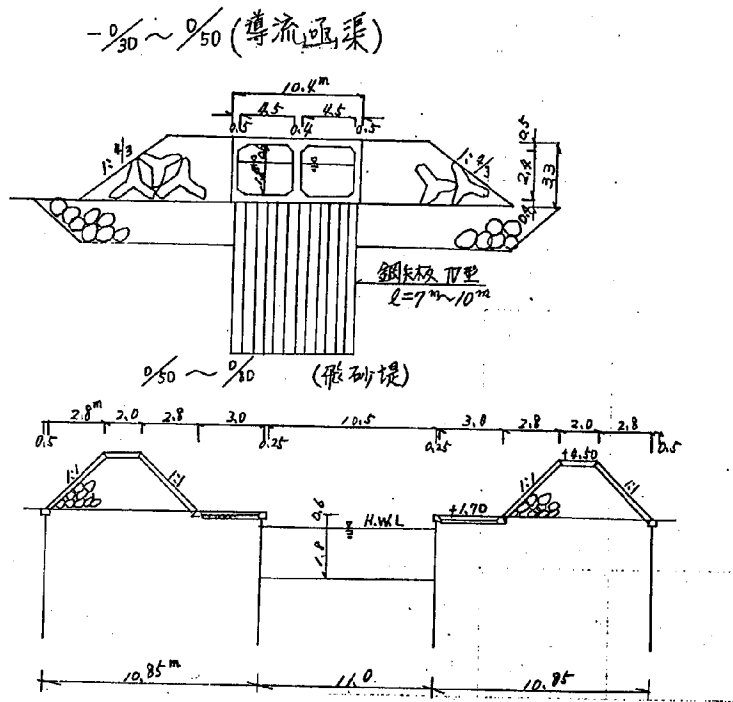


图-2.2 計畫標準橫断面图



3. 流域の現況と海象特性

3.1 流域の概要

原川は鳥取県の直接海に注ぐ、流路延長2.0 km、流域面積2.3 km²の小河川である。河床縦断は逆勾配区間を有し原池周辺の地盤高が低いこともあって、流過能力が小さく、そのうえ河口においては日本海特有の波浪により、常時閉塞をうけている。このため毎年原池周辺の田畑が冠水し、田植え、稲の成育、刈取等に被害を与えており、抜本的な内水対策の樹立が望まれている。

3.2 流 量

原川における低水流量は実測されていないが、流域面積や計画高水流量より推定すると、平水流量はごくわずかで、砂州・堤体を通して浸透流出し、河口流量となっていないと考えられる。いっぽう現況流過能力は、12 m³/sであり、これに対し、計画高水流量はラショナル式により算定した確率1/5の流量25 m³/sとなっている。よって計画高水流量と現況流過能力を比較した場合、1/2の流過能力でその河積不足がうかがえる。

3.3 河口部の概要

原川河口は河川流量がきわめて少ないため、常時河口閉塞状態となっており、そのまま放置すれば、原池周辺の低平地が浸水被害を受け、そのたびごとに関係者が開削しているような状態である。この河口開削の昭和48年～51年の状況を示したのが表-3.1である。これによると開削回数は5～6月および10～11月に多く、昭和51年は5～7月にかけてほぼ毎日開削しているような状態である。

いっぽう河口部付近の汀線変化は図-3.1に示すように、昭和50年11月～52年3月間に約30 m前進しているが、左右岸汀線位置等から判断すると、昭和50年11月は、汀線がかなり後退した時期とも考えられる。また航空写真による汀線変化の解析¹⁾によれば泊漁港西側海浜は、昭和22年11月から42年5月の約20年間に10～20 m汀線が後退し侵食傾向となっている。

3.4 海部の定質材料と海浜形状

原川河口砂州部の粒度調査結果は図-3.2に示すごとく平均粒径は0.35～0.4 mmの範囲に分布している。

いっぽう海浜形状は、図-3.3.1～3.3.2の海床縦断図に示すように、沖合350～400 mに沿岸砂州が生じており、前浜勾配が1/10、外浜勾配は1/70～1/100となっている。

また図-3.3.1と3.3.2は夏季および冬季の形状であるが、夏季の場合は波高が小さいことによるものか、Barの規模も小さく、縦断変化も少ない。

图-3.2 粒 度 分 布 图

原川河口

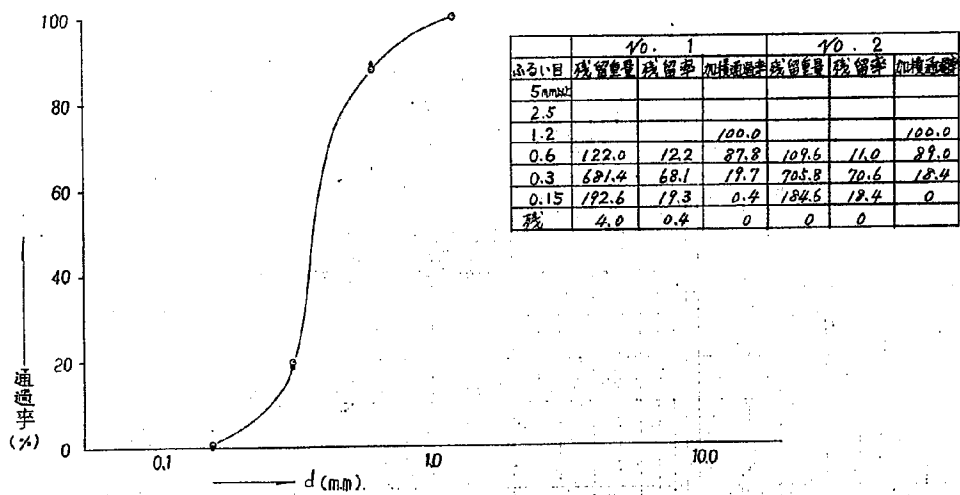


図-3.3.1 原川河口海床縦断面図

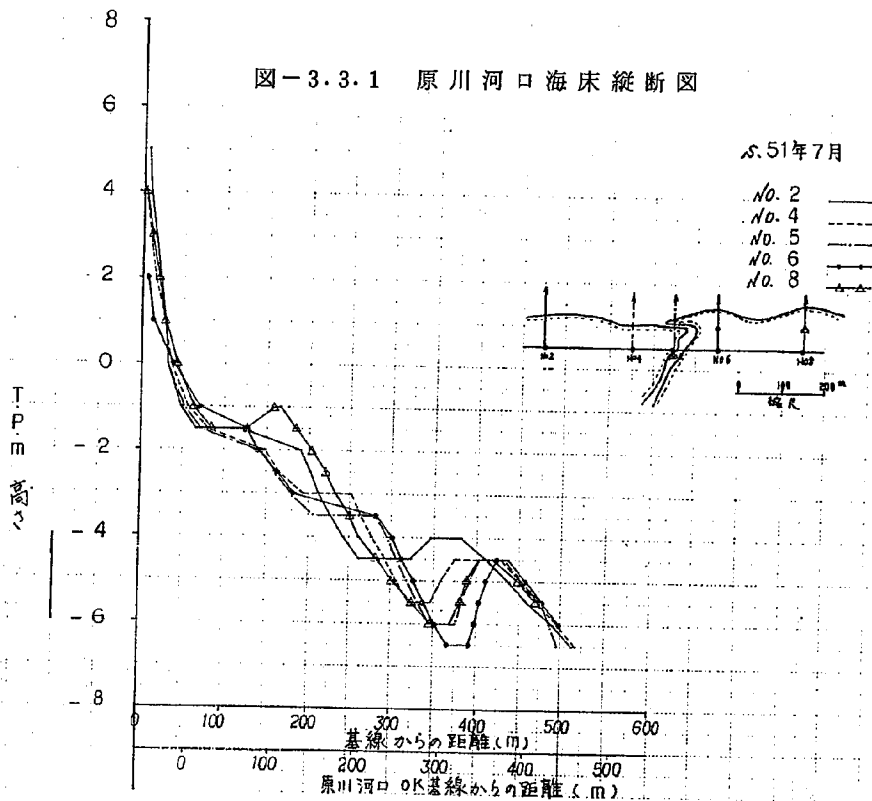


図-3.3.2 原川河口海床縦断面図

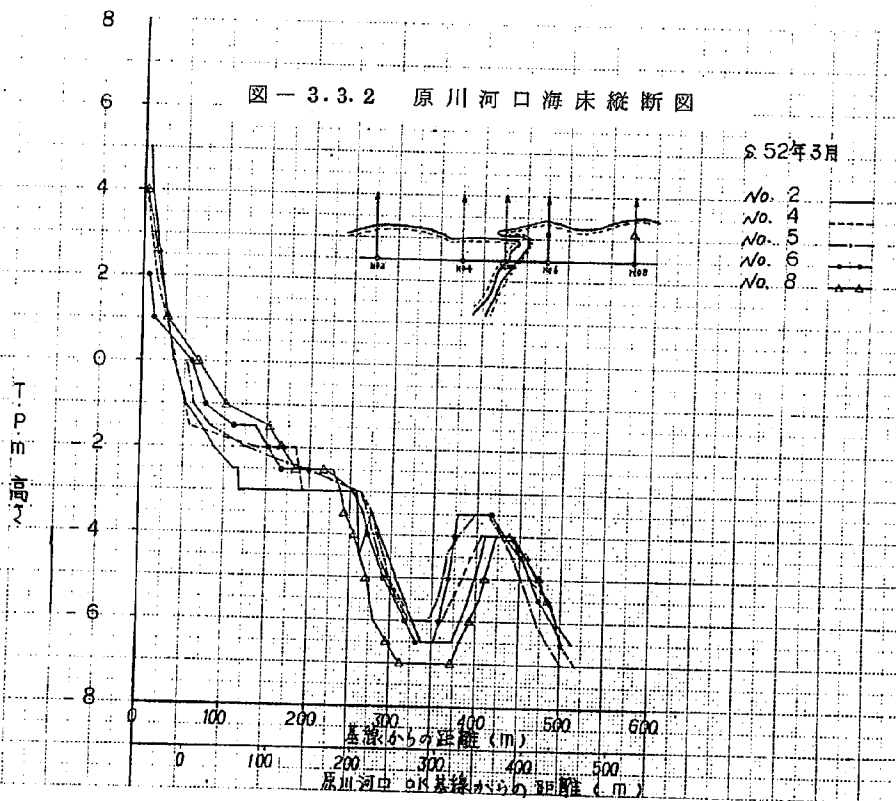


表-3.1 原川河口開さく状況

48年					49年				50年				51年						
月	部落	ブル	県	計	部落	ブル	県	計	部落	ブル	県	計	部落	ブル	県	計			
1	3 ^回	2		3 ^回	4 ^回		1	4 ^回	1 ^回			1 ^回	1 ^回	23	7	1 ^回			
2	4			4	5			3	8			2	2			2	2		
3	4			4	4			2	7			6	6			3	3		
4	2			2	2				2			7	7			4	4		
5	6			8	5				5			8	8			1	24		
6	3			3	4			1	5			5	5			2	27		
7	0			0	1				1			10	10			1	22		
8	1			1	2				2			11	11			1	8		
9	2			2	3			1	4			11	11			11	12		
10	12			14	16			3	19			12	3			1	16	4	4 (7日現在)
11	3			4	8			2	10			4	2			1	7		
12	2			3	3				3			0					0		
計	42	6		48	57	12		70	77	5	2	84							

② 部落：原部落民が人力で開さく。

ブル：泊村が近くで工事を行っている業者に開さくを委託したもの。

県：砂利採取願が出たもの。

反対に冬季の場合は波高も大きく、砕波によって生じた回転渦は落下点に集中し、沿岸砂州の規模は夏季より大きくなっている。

3.5 風

風は地形の影響を受けることが多く、とくに風向はその影響が大きい。したがって風によって波を推定するような場合、観測点を注意して選ばないと、海上の風とは異なった風を取ってしまうことになる。原川河口も地形の影響が大きいと思われるが、ここでは天神川河口近くの北条海岸長瀬地点の観測資料より、一応河口での風の性質を代表しているものと考えらる。

観測資料は表-3.2 および図-3.4の季節別風向頻度図に示すように、秋季を除けばNNW～WNW方向からの頻度が多く、また全年を通じてはNNW～WSW方向が支配的である。いっぽう秋から春にかけてはW～S方向の頻度も多いが、この風向は内陸から海に向かう風であり、波におよぼす影響は小さいと考えられる。

表-3.2 季節別風向回数

(1) 全 数

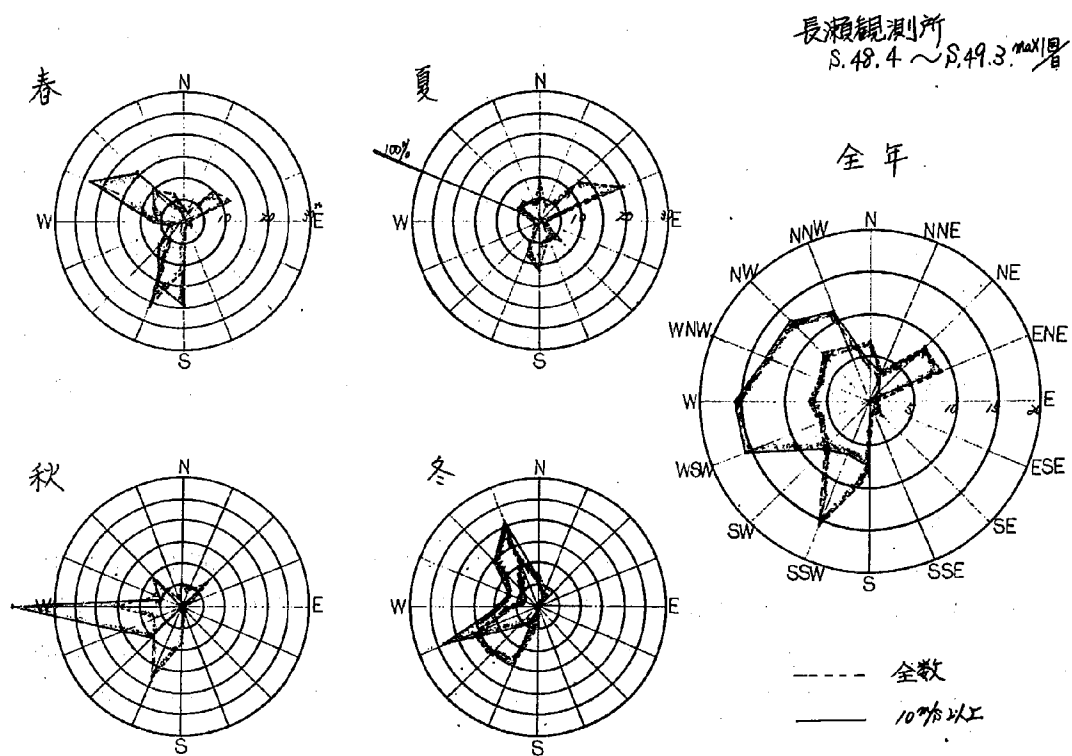
長瀬観測所 S.48.4~S.49.3 max 1回/日

(1) 季節		風向		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	計
春	3月	回	1		2	3	1			1		2	10	2	1	1	3	3	1	31
	4	"	1	2	3	4						4	5	1		1	3	2	3	29
	5	"	1		4	4			2			4	4	1		3	1	4	2	30
	計	"	3	2	9	11	1	2	1			10	19	4	1	5	7	9	6	90
	%		3.3	2.2	10.0	12.2	1.1	2.2	1.1			11.1	21.1	4.5	1.1	5.6	7.8	10.0	6.7	100.0
夏	6月	回	2	2	2	13			1			1					4	2		27
	7	"	3	1	7	3	1			2	2	3	4					1	1	28
	8	"	3		2	2				4	2	6	3	1	1	1	1	2	3	31
	計	"	8	3	11	18	1	1	6	4	10	7	1	1	1	1	5	5	4	86
	%		9.3	3.5	12.8	20.9	1.2	1.2	7.0	4.6	11.6	8.1	1.2	1.2	1.2	1.2	5.8	5.8	4.6	100.0
秋	9月	回	1	3	1					1		5	5	2	1	3	1	3	1	27
	10	"	3		3	2			1				8	3	1	3	1	2	1	28
	11	"	1	1	3							2	3	3	4	7	4	2		30
	計	"	5	4	7	2			1	1		7	16	8	6	13	6	7	2	85
	%		5.9	4.7	8.2	2.3			1.2	1.2		8.2	18.8	9.4	7.1	15.3	7.1	8.2	2.4	100.0
冬	12月	回	1										6	11	9	3			1	31
	1	"	3	2	1							2	3	2		2	2	4	10	31
	2	"	3	2	3							2	4	1	6	2	2	2	1	28
	計	"	7	4	4							4	13	14	15	7	4	6	12	90
	%		7.8	4.4	4.4							4.4	14.5	15.6	16.7	7.8	4.4	6.7	13.3	100.0
合 計			23	13	31	31	2	4	8	4	31	55	27	23	26	22	27	24	351	

(2) 10m/s 以上

春	3月 回									1	2	1	1	1	3	2	1	12
	4 " "		1							1	2	1		1	2	1		9
	5 " "									3					1	1		5
	計 " "		1							5	4	2	1	2	6	4	1	26
	%		3.8							19.3	15.4	7.7	3.8	7.7	23.1	15.4	3.8	100.0
夏	6月 回														2			2
	7 " "																	
	8 " "																	
	計 " "														2			2
	%														100.0			100.0
秋	9月 回												1	1				2
	10 " "	1		1										2		1		5
	11 " "		1							1		2	2	5	1	1		13
	計 " "	1	1	1						1		2	3	8	1	2		20
	%	5.0	5.0	5.0						5.0		10.0	15.0	40.0	5.0	10.0		100.0
冬	12月 回	1									1	2	6	1			1	12
	1 " "	1	1							1		1		2	2	4	8	20
	2 " "	1									1		4	1	1	2		10
	計 " "	3	1							1	2	3	10	4	3	6	9	42
	%	7.1	2.4							2.4	4.8	7.2	23.8	9.5	7.1	14.3	21.4	100.0
合 計		4	3	1						7	6	7	14	14	12	12	10	90

図-3.4 原川河口季節別風向頻度図



3.6 波 浪

図-3.5 は原川河口西約5kmの地点に位置する羽合海岸橋津観測所の季節別波高頻度図である。この資料によれば夏季は波高が小さく0.7m以下であり、現地の海浜変形に支配的な大きな波の発生するのは他の季節で、とくに冬季に集中している。同様橋津観測所の昭和48年4月～49年3月間の季節別日最大波高頻度記録を表-3.3 および図-3.6 に示す。これによっても夏季は比較的波高が小さく、他の季節では波高2.0m以上が約25%を占め、全年を通じては1.0～2.0mの波の頻度が多い。ただしこの記録は日最大波高であるので有義波($H_{1/3}$)として表わすと、その波高は図-3.5 に示すものと同様の波高頻度になるものと考えられる。

いっぽう、周期および波向の観測資料は得られていないので、ここでは鳥取県浜坂海岸での記録を参考とする。

図-3.7 は波高($H_{1/3}$)と周期の相関を季節別に示したもので、周期6～10 secの範囲が圧倒的に多く、波高が大きくなると周期は長くなる傾向となっている。また波向は図-3.8の季節別頻度図に示すように、いずれもN方向が卓越している。他方向の場合も河口部の海浜勾配は緩く、遠浅であるので、浅海部の屈折作用によって汀線に直角方向となるため、同様波向は汀線に直角方向が支配的と考えられる。

3.7 潮 位

日本海側における潮位差は、太平洋側に比べて小さく、河口入退潮量の河口閉塞におよぼす影響は少ないと思われる。鳥取県網代海岸網代地点における朔望平均満潮位はT.P. 0.33m、平均潮位はT.P. 0.11mである。また既往最高潮位はT.P. 0.87mとなっている。いっぽう、原川河口近くの泊漁港の朔望平均満潮位はT.P. 0.3mであり、したがって他の値も網代地点と大差はないと考えられる。

図-3.5 季節別波高頻度図

鳥取県羽合海岸橋津地点
波高計設置水深 11m

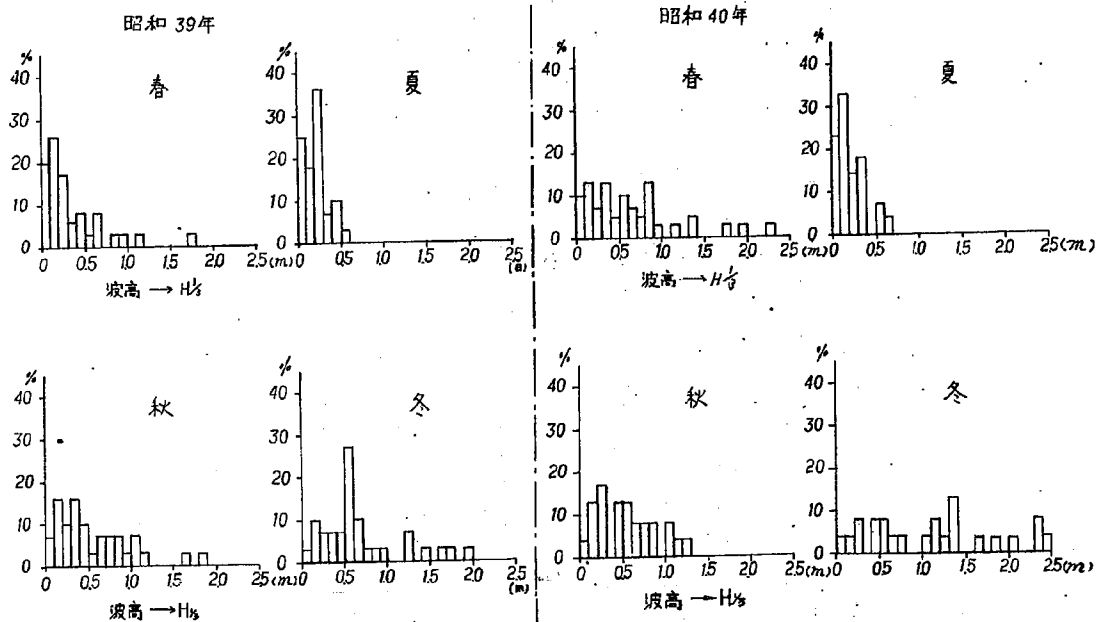


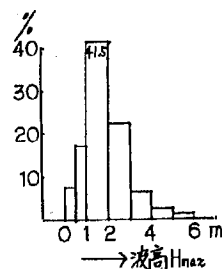
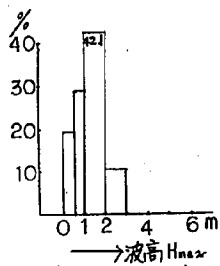
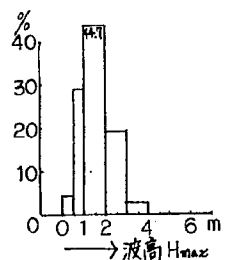
図-3.6 季節別波高頻度図

観測点沖合50m水深10m
橋津観測所 8.48.4 ~ 8.49.2 max10%

春(3.4.5月)

夏(6.7.8月)

全年



秋(9.10月<11月は欠測>)

冬(12.1.2月)

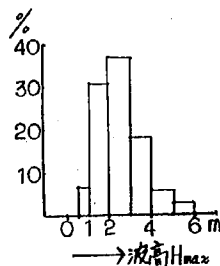
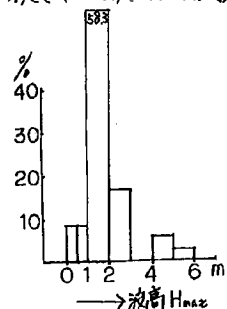


表-3.3 季節別波高頻度

測点は沖合550m 水深10m
橋津観測所 S.48.4~S.49.3 max 1回/日

季節 波高	春 3月. 4月. 5月			夏 6月. 7月. 8月			秋 9月. 10月 (11月は欠測)			冬 12月. 1月. 2月			全 年		
	回	%	累加%	回	%	累加%	回	%	累加%	回	%	累加%	回	%	累加%
~ 0.49	2	43	43	11	19.3	19.3	3	8.3	8.3	5	6.9	6.9	16	7.6	7.6
0.5 ~ 0.99	14	29.8	34.1	16	28.1	47.4	3	8.3	16.6	22	30.6	37.6	38	17.9	25.5
1.0 ~ 1.99	21	44.7	78.8	24	42.1	89.5	21	58.3	74.9	26	36.1	73.6	88	41.5	67
2.0 ~ 2.99	9	19.1	97.9	6	10.5	100	6	16.7	91.6	13	18.0	91.6	47	22.2	89.2
3.0 ~ 3.99	1	2.1	100							4	5.6	97.2	14	6.6	95.8
4.0 ~ 4.99							2	5.6	97.2	2	2.8	100	6	2.8	98.6
5.0 ~ 5.99							1	2.8	100				3	1.4	100
6.0 ~ 6.99															
7.0 ~															
計	47	100%		57	100%		36	100%		72	100%		212	100%	

図-3.7 $H^{1/3}$ 波高一周期の相関図

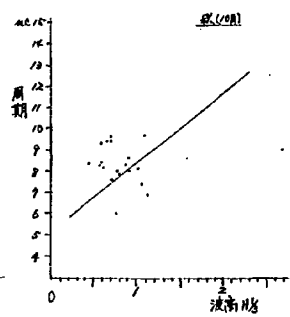
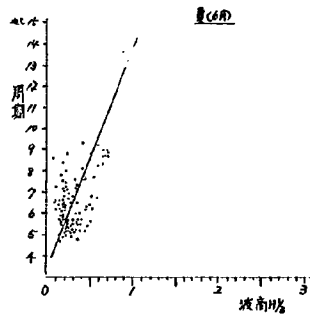
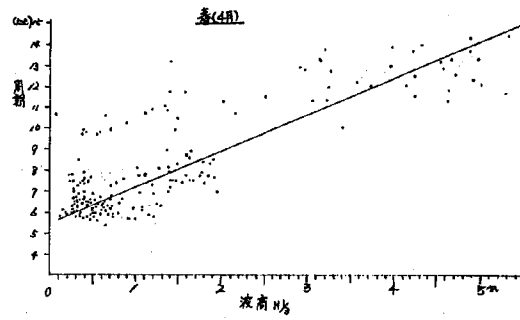
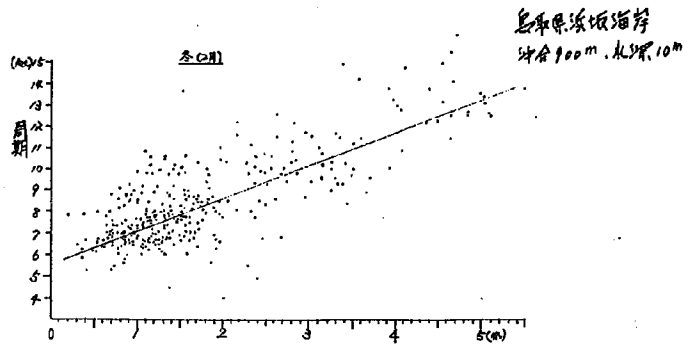
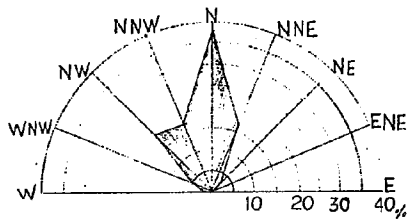


图-3.8 波 向 频 度 图

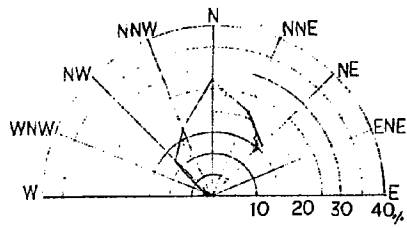
高取県淡路海岸観測所

冬 (12.1.2月)

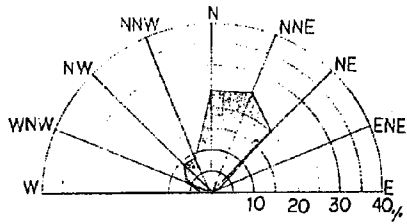


春 (3.4.5月)

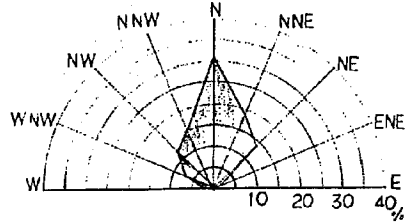
(J.45 ~ J.46)



夏 (6.7.8月)



秋 (9.10.11月)



4. 模型実験の相似律

4.1 相似律

模型実験は、現象を支配している基礎方程式を模型で解くことによって、現地の現象を知ろうとするものである。したがって、現地の現象を支配している基礎方程式が模型のそれと同一であるかどうかを検討しなければならない。現地と模型の対応する基礎方程式が同値であるためには、諸物理量の縮尺に一定の条件が必要で、これは基礎方程式より求めることができる。

1) 河川を流れる流水に関する相似性

現地と模型の流れを支配している基礎方程式は、現象を一次元的なものとなせば

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u_p}{\partial t_p} + \frac{\partial h_p}{\partial x_p} - i_p + \frac{\partial}{\partial x_p} \left(\frac{u_p^2}{2g} \right) + \frac{n_p^2 \cdot u_p^2}{R_p^{4/3}} = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial x_p} + \frac{\partial A_p}{\partial t_p} = 0 \quad (4.2)$$

が現地現象を支配する基礎方程式である。(4.1)式が流れの運動方程式、(4.2)式は連続式である。

模型でも同様な式が成り立ち

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u_m}{\partial t_m} + \frac{\partial h_m}{\partial x_m} - i_m + \frac{\partial}{\partial x_m} \left(\frac{u_m^2}{2g} \right) + \frac{n_m^2 \cdot u_m^2}{R_m^{4/3}} = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial x_m} + \frac{\partial A_m}{\partial t_m} = 0 \quad (4.4)$$

添字の p は prototype (現地), m は model (模型) を示す。現地の流れと模型の流れが相似であるためには、上式(4.1)(4.2)の対応する各項の比が一定でなければならない。

$$\frac{\frac{1}{g} \frac{\partial u_p}{\partial t_p}}{\frac{1}{g} \frac{\partial u_m}{\partial t_m}} = \frac{\frac{\partial h_p}{\partial x_p}}{\frac{\partial h_m}{\partial x_m}} = \frac{-i_p}{-i_m} = \frac{\frac{\partial}{\partial x_p} \left(\frac{u_p^2}{2g} \right)}{\frac{\partial}{\partial x_m} \left(\frac{u_m^2}{2g} \right)} = \frac{\frac{n_p^2 \cdot u_p^2}{R_p^{4/3}}}{\frac{n_m^2 \cdot u_m^2}{R_m^{4/3}}} = \text{const} \quad (4.5)$$

ここで

$$\frac{u_p}{u_m} = u_r, \frac{t_p}{t_m} = t_r, \frac{h_p}{h_m} = h_r, \frac{x_p}{x_m} = x_r, \frac{n_p}{n_m} = n_r, \frac{-i_p}{-i_m} = i_r$$

とおくと (4.5) 式は,

$$\frac{u_r}{t_r} = \frac{h_r}{x_r} = i_r = \frac{u_r^2}{x_r} = \frac{n_r^2 \cdot u_r^2}{R_r^{4/3}} = \text{const} \quad (4.6)$$

(4.6) 式において径深 $R \Rightarrow h$ と表わされるものとすれば物理量は 6 個あり, 関係式は 4 個である。よって 2 つを選べば, あとはおのずから決まる。

水平縮尺 x_r , 鉛直縮尺 h_r を選べば,

(4.6) 式は,

$$u_r = h_r^{1/2} \quad (4.7)$$

$$t_r = x_r \cdot h_r^{-1/2} \quad (4.8)$$

$$i_r = h_r \cdot x_r^{-1} \quad (4.9)$$

$$n_r = h_r^{2/3} \cdot x_r^{-1/2} \quad (4.10)$$

となる。なお断面積と流量の縮尺はそれぞれ,

$$A_r = x_r \cdot h_r \quad (4.11)$$

$$Q_r = u_r \cdot A_r = x_r \cdot h_r^{3/2} \quad (4.12)$$

となることは明らかである。

2) 河床面の相似性について

固定床の模型の場合, 河床面を幾何学的相似に形づくっておけば問題ないが, 移動床の場合, 河床面の形が時間経過につれて変形していく。よってこの変形の形や, 速度が, 模型と現地で同一でなければならない。この河床変化の時間縮尺は, 一般に (4.8) 式で求めたものと異なり, 両方を同時に満足できないのが普通である。しかし流れの不定流効果あまり大きくなければ, 河床変化の相似性より求めた時間縮尺を模型に使った方が, より現地現象にあった結果を得ることが期待できる。

河床変化の時間縮尺は次のようにして求まる。河床流砂の連続式は,

$$\frac{\partial Z}{\partial t_s} + \frac{1}{(1-\lambda)} \frac{1}{B} \cdot \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad (4.13)$$

ここに、 λ : 空隙率, Q_s : 流砂量, t_s : 流砂に対応する時間である。

(4.13) 式より流水に関する相似性を求めたのと同様な方法で

$$t_{sr} = h_r (1 - \lambda)_r \cdot X_r^2 \cdot Q_{sr}^{-1} \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

となる。これは模型の1時間分の河床変動が現地の何時間分に当たるかを示す式である。

3) 河口から出た土砂の堆積の相似性について

河口から出た土砂は海部に堆積するが、掃流砂は別として、浮遊砂の堆積には、砂粒の沈降速度 w と流れの速度 u の比が重要な要因となる。 w/u が大きいほど河口近くに沈積し、小さいほど河口からはなれたところで沈積する。それゆえに、模型と現地で、 w/u の比が同一であることが望ましい。また掃流砂量と浮遊砂量の比が同一であることが望ましい。

4) 波の変形に対する相似性について

摩擦による波の変形を無視すれば、Navier-Stokes の方程式より、前述した方法と同様な求め方で、

$$\left. \begin{aligned} X_r &= Y_r = h_r = l_r \\ U_r &= V_r = W_r = h_r^{1/2} \\ t_r &= h_r^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

となり、水平縮尺と垂直縮尺とを等しくしなければならない。ここで l_r は長さの縮尺。

5) 反射に対する相似性について

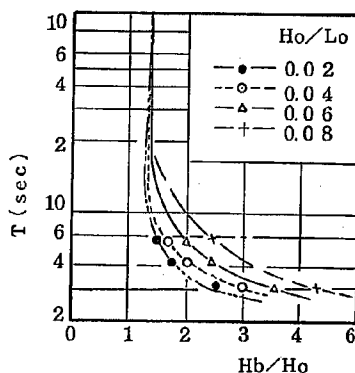
模型と現地の波の反射率は同一にしなければならない。反射率は、壁面の勾配や波形勾配によって異なる。よって現地と模型は幾何学的相似(無歪)をたもたなければならない。

6) 砕波条件に対する相似性について

沿岸近くの海底地形の変形は、砕波によるエネルギーによるところが大きい。ゆえに、砕波地点が模型と現地と同一地点でなければ、海浜地形の変化の相似性を満足することができない。

砕波水深と沖波波高の比 h_0/H_0 は波長が2秒より大きいときは、沖波の波形勾配 H_0/L_0 の関数であり、模型を幾何学的相似、フルード相似とすれば、砕波点の位置、砕波波高はほぼ相似になる。しかし模型が小さく、周期の短い波を使用すると、

図-4.1 砕波水深におよぼす周期の効果



砕波水深に周期の効果が入り、Diephuis の実験によると図-4-1のごとくである。これによれば H_0/L_0 の値が 0.02 の場合、 $T \geq 0.7$ sec であれば模型の縮尺の影響はないが、 $H_0/L_0 = 0.08$ にもなると $T \geq 2$ sec でないと縮尺の効果が入ってくることを示している。

7) 表面張力の影響

海岸波の場合、波長が 5 cm 程度に短くなると、波速が深水重力波のそれに比べて約 5 % 程度増加する。したがって模型をあまり小さくして、模型上の波の波長を短くすると、表面張力波の影響を受けるので模型の縮尺をあまり小さくしてはならない。

8) 海底部移動床の相似性について

いま x 軸を海岸に沿って取り、これに直方向に y 軸、点 (x, y) における水深を h, 単位幅、単位時間に波や流れによって輸送される漂砂量の x, および y 方向の成分をそれぞれ q_{sx} , q_{sy} とすると、流砂の連続式は、

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)} \cdot \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (4.16)$$

となる。これより河床面の相似性で述べた同様の方法で、

$$t_{sr} = (1-\lambda)_r \cdot x_r \cdot h_r \cdot q_{sxr}^{-1} = (1-\lambda)_r \cdot x_r \cdot h_r \cdot q_{syr}^{-1} \dots\dots\dots (4.17)$$

ここで t_{sr} は模型の 1 時間が現地の何時間分の河床変動に当るかを示す縮尺である。地形変化に対する水平縮尺 x_r と y_r , および鉛直縮尺 h_r は、水の運動のそれに対する ℓ_r と同一でなければならない。

$\lambda_r = 1$ として (4.17) 式は、

$$t_{sr} = \ell_r^2 \cdot q_{sxr}^{-1} = \ell_r^2 \cdot q_{syr}^{-1} \dots\dots\dots (4.18)$$

となる。(4.18) 式より $q_{sxr} = q_{syr}$ であり、方向に無関係な漂砂量 q_s は

$$t_{sr} = \ell_r^2 \cdot q_s^{-1} \dots\dots\dots (4.19)$$

でなくてはならない。つまりどの方向にも地形変化の時間縮尺は、同一でなければならないことを示している。

9) 海床変化の相似性について

均一粒径の場合、海床変化の相似性は

$$h/L_0 = f(x/L_0, H_0/L_0, \sqrt{gH_0}/w_0, S, \sqrt{\nu} (H_0)^{1/4} g^{3/4} / w_0^2, i_0) \dots\dots\dots (4.20)$$

で表わせる。ここで右辺第5項は、粒径が極端に小さくなければその影響は二次的である。ここで h は水深, x は基準点よりの距離, H_0, L_0 : 沖波波高と波長, w_0 : 沈降速度, i_0 は初期形状。

よって $H_0/L_0, \sqrt{gH_0}/w_0, S$ を同一とするように波と底質材料を選べば海床変化の相似性が成立する。しかしながら現地海浜の d は小さく、いっぽう模型の海浜移動床材料として使えるのは 0.1 mm ぐらいまでであり、通常は移動床の材料の相似律を合わせることができない。したがって S の小さな材料を使い、 H_0/L_0 と $\sqrt{gH_0}/w_0$ のみを合わせるのが普通である。 S の効果は 0.5 ぐらいまでだったらそれほど大きいものではなく、ある程度海浜の相似が成立することが分っている。²⁾ なお移動限界水深は底質が小さくなると $\sqrt{r}(H_0)^{1/4} g^{3/4}/w_0^2$ の影響を受けるが、模型実験の目的から言えば砕波点より岸側の現象が大切であるからそれほど考慮しなくて良いと思われる。なお $\sqrt{gH_0}/w_0$ は底質の動きやすさの指標と考えて良い。

10) 河口密度流の相似性におよぼす影響

河口が導流堤等によって守られると河口水深が増加し、河口には塩水くさびが存在するようになる。この塩水くさびは模型実験の相似性に種々やっかいな問題を発生させる。塩水くさびによる模型と実物の違いは次のようなことである。

- イ) 塩水くさびの存在によって上層の流速が速くなり、砂州に対して浸食力が実物の方が強い。
- ロ) 上層の流速が速いと、二層流のあることによって波の変形が実物と模型で異なること。
- ハ) 浮遊土砂の海部での堆積が密度流によって異なること。
- ニ) 掃流砂の動きが二層流のため異なること。

などがある。洪水の実験の場合には、河水が河道から押し出し、砂州のフラッシュ、河道の河床変動には影響は受けないが、海部での堆積の仕方には違いが生ずるであろう。波による砂州の発生の実験には、河水の影響が小さめになる恐れがある。

これらの問題を解決するためには、海部に塩水をためて実験する手もあるが、実験施設等から困難である。

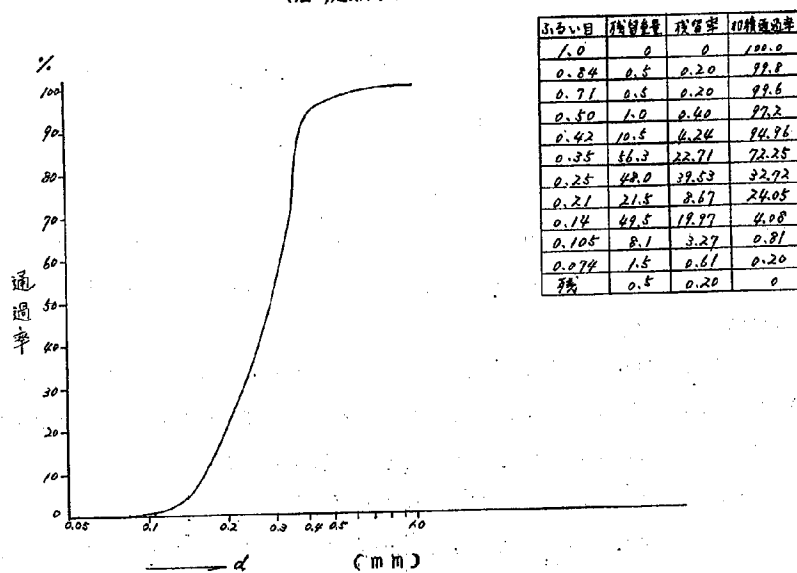
4.2 原川暗渠模型実験における模型縮尺

波による河口模型実験は、海床変化の相似性で述べたように均一粒径の場合、 $H_0/L_0, \sqrt{gH_0}/w_0, S$ が相似となるような縮尺を用いればよいが、現地海岸の粒径が小さいため、底質材料を相似にするのは、実験施設のうえからも困難である。

したがって S の小さな材料を使い、 H_0/L_0 と $\sqrt{gH_0}/w_0$ のみを合わせるのが普通である。よってここでは図-4.2の粒度分布を示す石炭粉 ($S = 0.5$) を使い、現地海浜粒径は場所的に異なること、および造波装置等を考慮し、縮尺 $x_r = h_r = 30$ の無歪模型とした。

图-4.2 粒度分布图

(石灰粉)



1) フルードの相似則

縮尺が決まれば力学的相似は、フルードの相似則より次のようになる。

$$x_r = h_r = 30$$

$$Q_r = x_r \cdot h_r^{3/2} = 4929.5$$

$$u_r = h_r^{1/2} = 5.48$$

$$t_r = x_r \cdot h_r^{-1/2} = 5.48$$

$$A_r = x_r \cdot h_r = 900$$

$$n_r = h_r^{2/3} \cdot x_r^{-1/2} = 1.76$$

$$i_r = h_r \cdot x_r^{-1} = 1$$

2) 波による海床変化の相似性

表面張力の影響は、実験波長が5 cm以上であるので、表面張力波の影響はほとんどない。また模型は幾何学的相似に作ってあるので反射の相似はほぼ成立していると思われるが、暗渠、護岸等を完全には幾何学的相似には作らず、簡略化している部分もあるので、多少の反射率の相違があるものと思われる。

砕波点は周期が1 sec 以上であるので、海浜形状が相似なら砕波点に関する相似はほぼ満足する。

以上のように波の運動の相似はほぼ成立すると考えられるが、これに応じる海床変化の相似がどうであるかが問題である。

石炭粉の沈降速度は $W_0 = 1.0 \text{ cm/sec}$ であり、いっぽう現地汀線付近で $d_m = 0.35 \sim 0.4 \text{ mm}$, $W_0 = 4.5 \sim 5.2 \text{ cm/sec}$ (水温 25°C)

よって

$$(\sqrt{gH_0}/W_0)_r = \sqrt{30}/4.5 \sim 5.2 = 1.22 \sim 1.05$$

となり、汀線付近の底質の動きやすさはほぼ同じとなる。しかし沖側の海底砂の現地粒径は汀線付近より小さいと考えられるので、現地に比べ模型は動きにくいという結果になる。したがって海床変化の相似性はあまりよいとは言えず、定量的な判断はすべきでなく定性的な判断を実験から読みとるべきであろう。

5. 実験ケースと実験方法

5.1 実験施設および実験概要

実験は、図-5.1の実験施設平面図に示す平面水槽に暗渠模型を製作し、石炭粉を用いて行なった。なお暗渠河床高は呑口部(0/50 m)でT.P-1.15 mの河床勾配1/1000、暗渠内高2.4 m、幅4.5 mの2連とし、河口は汀線に直角方向とした。

この水槽内の造波機は、幅6.0 m、造波板高90 cmの造波機を2基接続したヒンジのベンジュラム型式で、移動することも可能なタイプである。造波能力は波高0~1.5 cm、周期0.9~2.5 secの波(ただし水深、周期によって造波波高は異なる。)を発生させることができる。

実験は、水槽内へ現地とほぼ相似な海浜(S.51年7月海床縦断面図より前浜1/10、外浜勾配1/70とした)を作った後、現地海浜を形成していると考えられる卓越波を作用させ、暗渠内堆砂現象とその防止効果に関する実験を行なった。測定は、実験時間内に暗渠呑口部の水位と暗渠内堆砂状況、および海浜形状(とくに汀線)変化の測定と写真撮影を行ない、終了間際に海浜流況の観察、撮影と終了後海浜形状の測定を行なうことにより、実験目的についての検討を行なった。

5.2 実験条件について

実験は現地と相似な海床を作り、現地と相似な現象を模型に再現させ、それから将来起りうる現象を推察し、その処理対策について検討しようとするものである。しかし波の移動床実験の場合、模型上の境界条件を現地と相似にできないこと、相似律で述べたように底質の粒径が現地では場所的に変化するが、模型では一様粒径を与える。さらに粒径が小さいため、 $\sqrt{gH_0}/W_0$ を同一にするためには大縮尺にするか、異質の材料を使わなければならないという模型上での制約を受けるため定量的な相似性については疑問である。しかし定性的な相似性については、現地資料を十分に把握し、適当な境界条件を与えることにより、現地との対応を明確にできるものと思われる。

実験に用いた波の入射方向は、海象特性で述べたように、汀線と約直角のN方向が卓越しており、また斜めから入射した場合でも、浅海部の屈折作用によって、波は直角方向へ近づこうとする。原川河口部の場合、海浜勾配も緩く、遠浅であるので、同様他方向の波向も河口近くでは汀線にほぼ直角になると考えられる。よって波の入射方向は汀線と直角方向を用いた。いっぽう波高であるが、現地の海浜変形に支配的な大きな波の発生するのは、冬季に集中しており、他の季節では波高1.0 m以下が多い。また現地海床の沿岸砂州高等(S.52年3月)から推測すると、現地海浜を形成している卓越波高は $H_0=2\sim3$ m位と推定され、さらに波高が大きくなっても、沖で碎波してしまうため、河口付近の波高あるいは砂州の打上げ高はあまり変わらないものと考えられる。よって実験は波高資料より $H_0=2.0\sim3.0$ m、 $T=9\sim10.5$ secを用い、河川流量は3.2で述べたようにごくわずかで、浸透流出する程度と考えられるので、流量は無視した。

5.3 実験ケース

実験は表-5.1の実験条件一覧表に示すケースについて行なった。なお、実験は平面水槽に仕切り壁を設け、3基の暗渠を一度に設置して行なった。このうち実験1は暗渠長の違いによる効果を検討し、実験2以降は、先端形状や他の構造物との併用による暗渠内堆砂防止工法について検討した実験である。

表-5.1 実験条件一覧表

実験番号	暗渠番号	暗渠水位 T.P. m	波 浪 条 件			実験時間 (秒型)	暗 渠 諸 元		初期海岸形状 前浜 1/10 外浜 1/70	備 考	
			波高 H m	相当沖波 波高 H ₀ m	周期 T sec	H ₀ /L ₀	波 向	暗 渠 長 m		暗渠内堆砂高 T.P. 0.75 m	河道内水位 T.P. 0.28 m
実験 1	1-1	0.20	2.88	2.94	10.5	0.017	江輪に 直	60	先端のすい台設置 θ=60° B=10.4m	"	0.85
	1-2	"	"	"	"	"	"	80	"	"	"
	1-3	"	"	"	"	"	"	100	"	"	0.34
実験 2	2-1	0.21	2.55	2.60	10.5	0.015	"	60	角すい台なし	"	0.34
	2-2	"	"	"	"	"	"	"	角すい(B=10.4m)水門開度 あり θ=60° 0.6m	"	0.29
	2-3	"	"	"	"	"	"	"	角すい(B=10.4m)水門開度 あり θ=60° 0.6m	"	0.45
実験 3	3-1	0.27	2.82	3.05	9.5	0.022	"	60	角すい台なし(B=19.4m) 高TP 0.3m	"	0.51
	3-2	"	"	"	"	"	"	"	角すい台あり(B=19.4m) (θ=90°)	"	0.50
	3-3	"	"	"	"	"	"	"	角すい台あり(B=19.4m) (θ=90°)	"	0.63
実験 3'	3'-1	0.30	1.37	1.50	8.5	0.013	"	"	3-1と同じ	測定は暗渠内堆砂 高のみ -0.25	"
	3'-2	"	"	"	"	"	"	"	3-2"	"	-0.45
	3'-3	"	"	"	"	"	"	"	3-3"	"	-0.15

6. 実験結果

6.1 暗渠長の違いによる暗渠内堆砂防止効果の検討（実験1）

実験は前に述べたように、S.51年7月の現地海浜をモデル化し、T.P - 1.0 mまで前浜勾配を1/10にし、それより以深の外浜および沖浜勾配を1/70としてT.P - 7.2 mの深さまで汀線と平行な等深線を有する海浜に整形した。

暗渠長は60 m（暗渠1-1）、80 m（暗渠1-2）、100 m（暗渠1-3）の3種を図-6.1に示すように設置し、各二連の暗渠先端（吐口）は隔壁で区切り、二本の流路にて左右側へ流出させる構造とした。なお実験波高は $H_0 = 3.0$ m、 $T = 10.5$ secとした。

実験開始後、砕波点は時間の経過とともに沖へ移行する傾向があつて、開始直後は基線（T.P 0 mの海浜位置）沖合210 m付近に砕波点があつたが、約2.5時間後には、基線から400~450 m付近に一次砕波、210 m付近は二次砕波点となり、沿岸流は暗渠左岸は左側方向へ、右岸は右側へ向かい、隔壁沿いに離岸流が発生していた。この海浜流況図を図-6.2に示す。

暗渠内の堆砂状況は、暗渠No.1-1（60 m）の先端（吐口）は汀線に近いので、砕波後のいそ浜帯での波高減衰が大きく、他の長さの暗渠に較べ、堆砂する時間が遅い。また暗渠内へ侵入する波浪も、砕波帯内での海浜形状や海浜流等の影響によって、暗渠左右側で異なるため、その卓越する側の暗渠が早く堆積し、時間とともに奥へ押込められ、堆砂高とともにその範囲も広くなる。この暗渠内堆砂の時間変化の等深線図および縦断図を図-6.3.1~6.4.2に示す。暗渠内堆砂高の最大は、基線より約20 m陸側に位置し、その高さはT.P 0.5~0.75 mとなった。

同様暗渠No.1-2（80 m）も図-6.5.1~6.6.2に示すように、2時間後には、基線付近にT.P 0.6 mまで左側暗渠が堆積し、その後右側暗渠内も同じような堆積経過を示し、4時間30分後には最大高T.P 0.85 mまで打ち上った。

さらに沖合まで出した暗渠No.1-3（100 m）は、暗渠吐口が沖側ほど砕波点に近くなり、暗渠内への侵入波浪とともに、浮遊砂濃度も多いため、暗渠長の短かい場合より、むしろ堆砂範囲が広いという結果となった。またその高さについても図-6.7.1~6.8.2に示すようにT.P 0.5 mと短かい場合とほぼ同程度である。以上各暗渠長の先端付近の波高分布図を図-6.9に、暗渠内等深線および縦断図の実験終了後の比較図を図-6.10.1~6.10.2に示す。

いっぽう暗渠先端に設けた波を後方へかわすための三角すい台の構造物は先端角度を 60° 、幅を暗渠幅と同一としたが、角度や幅が小さかったため、堆砂防止効果はほとんどなく、先端の洗掘防止に役立つ程度であつた。また海浜形状は図-6.11.1~6.11.2の海浜縦断図および図-6.12の等深線図に示すように、二次砕波点より岸側のいそ浜帯では変動が少なく、沖合いでは一次砕波点付近での沿岸砂州、およびトラフの発生により初期海浜形状とは異なっている。しかし現地海浜の52年3月形状と比較すると、図-6.13のように、実験結果は沿岸砂州がやや沖側であるが、

砕波帯内での形状はよく相似している。このことは実験波高がやや大きかったとも考えられるが、造波水槽の関係上整形海面が短かったことに原因していると思われる。

以上の結果より、

- (1) 海浜勾配が緩く、砕波点が沖合いであるため、暗渠が長いほど吐口が砕波帯に近づき、暗渠内への侵入波浪とともに、浮遊砂濃度も多いため、暗渠内へ堆積する時間も速く、またその範囲も広い。
- (2) 暗渠内の堆砂高は暗渠長の差による効果は少なく、その先端吐口が砕波帯内であれば、いずれも閉塞すると考えられる。
- (3) 二連の暗渠は先端吐口も流路壁により、左右側へ流出させる構造としたが、波向により、侵入波浪の卓越する側の暗渠を逆流し、反対側を流下する。このため、その卓越する側の暗渠が早く堆積し、流れがそれにより止められると、反対側が堆積する現象となっていた。したがって先端吐口部の流路壁はないほうがよく、先端吐口部で卓越側の侵入波浪を反対側へ抜けるようにしたほうがよいと考えられる。
- (4) 以上より原川河口の場合、暗渠のみによって堆砂防止効果を得るには、砕波帯より沖側まで延長（汀線より200 m以上）しなければその効果は少ないと考えられる。また砕波帯内であれば短いほうが堆砂量も少ないので、できるだけ暗渠を短くし、他の堆砂防止工法との併用による河口処理の方が得策と考えられる。

6.2 暗渠内堆積砂防止に関する検討

実験1の結果から、暗渠長は砕波帯内であれば短い方が有利であることが明らかとなったので、その長さは暗渠内敷高と同高の海浜位置までの60 m（汀線より約20 m沖）とし、また吐口部で二連の暗渠を左右側に分けた流路壁は除去したものをを用いた。

よってここでは先端角すい台構造物の効果、および他構造物との併用による堆砂防止効果に関する検討を行なった。

○ 実験 2

実験は図-6.14に示すように暗渠長を60 mとし、先端の角すい台構造物のない場合（暗渠No. 2-1）、および暗渠先端に水門を取り付け、開度0.6 mとした場合（暗渠No. 2-2、角すい台あり）、同様先端にラバーダムを設置（ダム高T.P. 0.3 m、暗渠No. 2-3）した3種について行なった。ただしラバーダムは同材質の相似な形状のものを使用せずに、塩ビ管を代用してそれを半分に切って使用した。なお海浜は実験1の初期海浜形状と同一とし、波高 $H_0=2.60$ m、 $T=10.5$ secの波を作用させた（潮位T.P. 0.21 m）。

前回同様、砕波点は時間の経過とともに沖に移行し、約2.5時間後には基線沖合い350～400

m 付近に一次砕波，200 m 付近は二次砕波点となり，それ以降はほとんど変化せず，大局的にみて海浜はほぼ平衡に達しているものと判断された。この海浜流況は図-6.15 に示すように，暗渠前面の砕波帯内等深線の横断的な深い部分で向岸流がみられ，反対に浅い付近が離岸流となって現われている。

暗渠内堆砂状況は，先端吐口の二連を左右に分けた流路壁を取り除いたことにより，左右の吐口の一方から卓越する侵入波浪は，反対側吐口へ抜けるため，暗渠内堆砂速度も遅く，その位置は暗渠前半部に堆積し，量も少ない。この暗渠 No. 2-1 の暗渠内堆砂時間変化の等深線図，および縦断面図を図-6.16～6.17 に示す。

暗渠内堆砂は，実験3時間後にはほぼ平衡に達し，それ以降は先端吐口部の量が増加した程度で，堆砂高の最大は基線より沖側に位置し，その高さは $T.P - 0.35\text{ m}$ となった。さらに水門を設け，開度 0.6 m とした暗渠 2-2 は，図-6.18～6.19 の暗渠内等深線，および縦断面の時間変化図に示すように，水門周辺での堆積は少なく，暗渠内基線付近に台形状に沈積し，その高さは水門開度の約1.5倍の $T.P - 0.15\text{ m}$ となった。このことは，河水流量がほとんどない場合は，水門が開いている限り，暗渠内へ土砂が侵入すると考えられる。ただし，開度を小さくすることによってその量をかなり少なくすることができよう。

ラバーダムを設置した暗渠 2-3 は，ダム高 $T.P - 0.3\text{ m}$ であるため，越波によって運び込まれた土砂はダム内側ぞいに沈積し，実験終了時（4.5時間後）の堆積高は $T.P - 0.10\text{ m}$ と，ダム天端高と変わらない高さまで打ち上った。この暗渠内堆砂の等深線図および縦断面図の時間変化を図-6.20～6.21 に示す。よってラバーダムによって暗渠内堆砂を防止するためには，越波しないダム高としなければならない，水門同様暗渠内への侵入波浪を完全に防がなければならない。

いっぽう河道内水位は，暗渠構造物の遮蔽効果によるものか，いずれも波高の1割以下の set up である。中小河川の河口では，この wave set up の影響で河口が完全に閉塞しなくとも，暴風時には平均海面よりかなり上昇する。この set up 量は前浜勾配や河口水深，波浪条件によって異なるが，前浜勾配が大きく，河口水深の小さい場合は，沖波波高 H_0 の2～3割プラス潮位の水位まで上昇する。³⁾ したがって強波浪時に河口部が湛水するのは，むしろ河口閉塞というより，wave set up の原因によるものも多い。

以上各暗渠の先端付近の波高分布図を図-6.22 に，暗渠内等深線および縦断面図の実験終了後の比較図を図-6.23.1～6.23.2 に示す。

同様実験後海浜形状は，図-6.24.1～24.2の縦断面図および図6.25の等深線図に示すように，暗渠先端の波を後方へかわす角すい台構造物（ $\theta = 60^\circ$ ， $B = 10.8\text{ m}$ ）のある場合は，先端で若干洗掘が少ない程度で，この規模では暗渠内堆砂とともに，先端の洗掘防止効果も少ないようである。また現地海浜との比較によると図-6.26のように沿岸砂州高は低いとその位置はほぼ一致している。

○ 実験 3 ～ 実験 3'

これまでの実験で先端角度 60° ，暗渠前面幅 10.4 m の角すい台構造物による暗渠内堆砂防止効果は少なく，むしろ二連の暗渠を先端吐口で左右に分けた流路壁を取り除いたための効果が大きいことが明らかとなった。

そこで今回は，同様暗渠長 60 m ，先端流路壁は取り除き，角すい台構造物の規模を先端角度 90° ，暗渠前面の幅を 19.4 m とし，その効果について検討した。

実験は図-6.27に示すように角すい台構造物がなく，暗渠先端幅のみを 19.4 m とした暗渠を No.3-1，上記角すい台構造物のある場合を暗渠 3-2，角すい台構造物とラバーダム（ダム高 $\text{TP } 0.9\text{ m}$ ，排水管径 $0.72\text{ m} \times 2\text{ 本}$ ）を併用した暗渠 3-3 の3種について行なった。なお暗渠側壁の吐口部には引き波による流れが暗渠内へ入らないように，先端側壁を外側にカーブをもたせた。

初期海浜形状はこれまでと同じとし，実験条件は $H_0 = 2.5\text{ m}$ ， $T = 9.5\text{ sec}$ ，潮位 $\text{TP } 0.30\text{ m}$ で行なう予定であったが，実験前に造波板に位相のずれが若干あったのでこれを修正し，これまでのストロークと波高との関係を用いて条件設定を行なったため，与えるべき条件と若干異なっており， $H_0 = 3.05\text{ m}$ ， $T = 9.5\text{ sec}$ ，潮位 $\text{TP } 0.27\text{ m}$ の実験条件となってしまう。

その結果は，これまでと同様碎波点が沖に移行し，基線から $450 \sim 500\text{ m}$ 沖付近に生じ，二次碎波が $250 \sim 300\text{ m}$ 付近に発生し，一部には三次碎波もみられた。この碎波形式は，一，二次碎波は崩れ，波型式，三次碎波は巻き波型となっている。これは前回までの実験より波形勾配が大となったため，碎波位置も沖に移行したものと考えられる。また二次碎波点より沖で二次波峰がみられ，2L型の海床波の発生がみられるものと予想された。この海浜流況は図-6.28に示すように海床形状によって異なり，各暗渠の先端や隔壁沿いに離岸流が発生し，汀線もこれまでの実験より後退し，暗渠天端へ前面で越波した量が左右吐口部へ流れ落ちる現象がみられた。

暗渠 3-1 の堆砂状況は，暗渠前面の幅を暗渠幅の約2倍としたため，当初は堆砂量も少なかったが，徐々に先端吐口付近に沈積した土砂は，奥へ運び込まれ，最大堆積高の位置も暗渠内へ移っていった。

しかし図-6.29～6.30の暗渠内堆砂時間変化の等深線図，および縦断面図に示すように，その堆積範囲は，基線より沖側に位置し，高さは一時的に $\text{TP} - 0.1\text{ m}$ まで打ち上ったが，最終的には $\text{TP} - 0.45\text{ m}$ となった。

暗渠先端を 3-1 と同幅とし，角すい台構造物を設けた暗渠 3-2 は，その規模を大きくしたため，堆砂防止効果がみられ，3-1 よりも堆砂量が少なく，暗渠内の外側壁の堆砂は極くわずかであった。しかしその範囲は暗渠前半部に堆積し，3-1 の結果より若干広く，最大堆積高は $\text{TP} - 0.65\text{ m}$ まで打ち上った。これらの暗渠内堆砂の時間変化の等深線および縦断面図を図-6.31～6.32に示す。

さらに角すい台とラバーダムを併用した暗渠 3-3 は、ダム高を T.P 0.9 m とし、平水時の河水を流出させるため、ダム左右側底に内径 0.72 m の排水管を設けて行なったものである。この暗渠内堆砂状況は、ダム前面で合成された波が大なるときにダムからの少量の越波と、排水管を侵入する浮遊砂により、図-6.33~6.34 に示すように、ダム内側沿いに堆積し、その高さは最大 T.P -0.30 m とダムのない場合よりやや高くなった。また完全に越波させないためには暗渠を全部塞ぐようなダム高としなければならず、反対にダムを吊り下げる状態でもちよつと試みたが、暗渠底が少しでも開いている場合は、形状が半円となっているため、その防止効果は水門よりかなりわるいようであった。いっぽう河道内水位は、暗渠前面の幅を大きくしたことによるものか、沖波波高の 1 割弱の Set up となっている。この水位と波高分布図を図-6.35 に、以上の暗渠内等深線および縦断面図の実験終了後の比較図を図-6.36.1~6.36.2 に示す。実験後海床形状は、図-6.37.1~6.37.2 の縦断面図および図-6.38 の等深線図に示すように、二次波峯の発生により 2L 型の Bar が生じている。また暗渠周辺の局所洗掘深は、吐口部両側端で、そこへ回り込む流れや引き波によっていずれも T.P -2.5 ~ -3.0 m まで洗掘され、角すい台の有無による差異はないようである。たまた角すい台のない暗渠 3-1 は前面でいくぶん洗掘され T.P -2.0 m となっている。

以上の実験結果より、暗渠前面の幅を大きくしたことにより、暗渠内への堆砂は完全に防げないまでも、その効果はみられ、また角すい台構造物を先端へ設けることによってより効果があることが明らかとなった。

しかし実験に用いた条件は、冬季に支配的な大きな波浪を対象としたものであり、年間を通して頻度の多い条件は波高 1.0 ~ 2.0 m である。そこでこのような条件でも同様の効果が得られるものか、実験 3 終了後の海床形状のまま、引き続き $H_0 = 1.5$ m, $T = 8.5$ sec, 潮位 T.P 0.30 m の条件の波を実験 3 と同時間作用させてみた。

この実験状況は、波高が小さいため、一次砕波点は基線より 250 ~ 300 m に現われ、波高の大きい場合に比べ、暗渠先端付近での減衰が少なく、波高の大なるときより若干小さめ程度の打ち上げを示していた。また汀線近くでの巻き波によって、暗渠奥まで浮遊砂が侵入し、波高の減衰とともに奥へ沈積し、それによってさらに波高を減衰させ、沈積を助長するという状態を示し、4.5 時間後には図-6.39.1~6.39.2 の等深線および縦断面図のような結果となった。この暗渠内堆砂高は、暗渠 3'-1 が最大 T.P -0.25 m, 暗渠 3'-2 で T.P -0.45 m, ラバーダムを併用した暗渠 3'-3 は T.P -0.15 m まで堆積し、またダム前面もほぼ同じ高さまで堆積してしまった。この堆砂高は実験 3 に比して若干高くなった程度であるが、その範囲は暗渠内奥へ増大し、ほぼ暗渠内全域へ堆積している。このように暗渠内への堆砂量は、ある程度堆積するまでその進行も遅いが、一旦堆積し、ある高さまで打ち上がると、波高の減衰とともにさらに堆積を助長し、より堆積が増大するようである。したがって現地では種々の波高が時間的に変化する、不規則波が絶えず打ち

寄せるので、長い時間には結局暗渠内先端付近の波高と潮位を加えた高さ近くまで砂州は打ち上がってしまうものと考えられる。

○ 以上の実験結果をまとめてみると

- (1) 暗渠を二連とした場合、吐口は左右両方向とし、その流路壁は除去したほうが暗渠内堆砂の進行を遅らせることができる。
- (2) 暗渠先端の角すい台構造物は、前面を暗渠幅と同一にし、先端角度を 60° とした場合は、暗渠内堆砂防止効果は少なく、その角度を 90° 、暗渠前面幅を 2 倍弱の 19.4 m とした場合、その効果はいくぶんみられる。しかし暗渠先端が開口している限り、暗渠内外の水位差が波動に変換されて暗渠内を遡上する現象が生ずるので、長時間種々の波高が打ち寄せれば、最終的には暗渠内先端付近の波高へ潮位を加えた高さまで打ち上がるものと考えられる。
- (3) よって暗渠前面幅を 2 倍近くにするによって暗渠内堆砂速度を遅らせることができ、さらに角すい台構造物を設けることによって、より進行を遅らせることができる。しかし暗渠内堆砂を防止することは困難であり、砂州高は最大 T.P $0.8 \sim 1.0\text{ m}$ が予想されよう。
- (4) 暗渠内吐口部に水門を設けた場合、維持用水としての流量が得られなければ、同様開度の約 1.5 倍程度の高さまで堆積することが明らかとなった。ただし水門を操作することによって暗渠内堆砂を防止することができよう。
- (5) ラバーダムを用いた場合は、完全に越波させない高さとしなければ堆砂を防止することはできず、暗渠先端付近に平水時の流量を流すための排水管を併用した場合も、暗渠内へ土砂が相当侵入する。またダム前面へも堆積するので、ダムを倒伏させる構造では無理と考えられる。
- (6) 河道内水位は波による Set up の影響によって上昇するが、暗渠構造物の遮蔽効果によって、その上昇量は波高の約 1 割弱であることが明らかとなった。朔望平均満潮位時には約 T.P 0.60 m 程度が考えられる。
- (7) 以上の結果より、暗渠先端吐口が砕波帯内で開口していれば、その形状、方向をいかに工夫しても、暗渠内外の水位差が波動に変換されて暗渠内を遡上するため、堆砂速度を遅らせることは可能であっても、それを完全に防止することは困難と考えられる。

7. 河口処理上の対策と問題点

6章において、暗渠工実験による検討結果を述べたが、ここでは実験結果も含め、河口処理対策上の問題点および効果的な河口処理を行なうには、どのような工法と対策が考えられるかについて述べる。

7.1 暗渠工法の問題点

現在一般に採用されている河口処理工法は、河川規模、河口部地形および社会経済環境等の相違によって、個々にその規模や内容に応じた工法が採用されており、ある程度の選択性は与えられるが、決定的な条件はなく、経済的理念に立脚して考慮されているものが多い。しかし、暗渠工の採用されている河口は、砂州上流地盤高の高い小河川の河川流量の小さい、急深海浜地形のところに適用されているものが多く、この急深海浜では、漂砂粒径が大で、かつ高位部の漂砂移動が大きい。したがってこのような高位部の漂砂移動から河道をまもるためには、護岸あるいは導流突堤では著しく高くする必要があり、経済的に暗渠の方が有利のためと考えられる。また反対に大河川の場合は工費や技術の面で難点が多いため、採用されていない。さらに暗渠施工には、潮差および汀線変化の少ないことが好条件で、汀線変化の大きいところでは、暗渠延長の決定が困難で、かつ暗渠内の堆砂防止も難しくなる。

いっぽう原川河口の場合は、砂州上流地盤高が低いうえ、海浜勾配も緩く、遠浅であり、海床粒径も非常に細かい。このため碎波点はかなり沖合に発生し、ある波高以上になっても、沖で碎波してしまうため、河口付近での波高あるいは砂州の打ち上げ高はあまり変らない。さらに粒径が細かいため、碎波帯より岸側では浮遊砂濃度が非常に濃く、ここに敷高の低い暗渠を設け、波が直接暗渠内へ進入しないように先端流出口を横向きにしても、暗渠内外の水位差が波動に変換されて、暗渠内を遡上するため、堆砂を防止することは困難と考えられる。これは流出口が開口していれば実験結果のように、その形状や方向を工夫して堆砂の進行を遅らせることは可能であっても、原則的には免がれ得ないと考えられる。

しかし閉塞した場合の処置（掘削）が可能であれば、実験で得たような形状を用いることによって、これまでの開削回数をかなり減らすことはできるであろう。

7.2 河口処理上の各対策案の効果と問題点

実験でも若干併用して検討したが、暗渠のみによる工法以外に考えられる対策案と問題点についてまとめてみる。

(1) ポンプ排水案

この案は河口付近にポンプを設置して内水流出を排水する案である。この場合河口は閉塞したままとし、内水流出全量をポンプ排水する案と、砂州上流側に水門を設置し、内水流出の一部をポンプ排水し、洪水時にはその排水あるいは人工により砂州の一部を開口させておき、残る砂州は水門流出によるフラッシュを期待するものが考えられる。ただし一部ポンプ排水の場合は、閉塞直後に出水したときや、一部開口させてあっても砂州高によっては短時間計画高水位を上回る可能性も考えられる。水理的には有利であるが、工費が高く維持管理等の面も考慮しなければならない。

(2) 暗渠と水門併用

これは暗渠流出口に水門を設置し、平水時は若干せき上げ貯留して流出させ、波浪は暗渠内へ侵入させない方法である。暗渠長は敷高と同高の海浜位置の長さ(約60m)とし、形状は実験での暗渠2-1のようなものを用い、暗渠前面は消波ブロックをおけばよいであろう。(1)と同様水理的に有利であるが、水門の材質等も含め、操作を行なうための装置を手動とすれば強波浪時に暗渠先端まで行けるような安全対策を考慮しなければならないし、自動化にすれば河口付近に制御装置等の施設を設けなければならず、またこれらの維持・管理の面も考慮しなければならない。

なお河口を開水路とし、水門をもつと陸側に設けて波による水門前面の洗掘作用を利用して河口の維持を図ることも考えられるが、この場合さらに強波力にたえる構造物としなければならず、また汀線変化が大きいのでその設置位置に問題点が多い。

(3) 暗渠とラバーダム、ポンプの併用

これは(2)の水門の代わりにラバーダムを用いるもので、実験の結果からダム高は越波させないように、流出口を塞ぐ高さとする。この場合ダムの構造は倒伏するものではなく、敷高以下に沈む型式としなければならない。また平水時の内水流出を排水するためのポンプも併用しなければならないし、操作や維持管理の面で難点が多い。

(4) 暗渠と水門(ラバーダム)ポンプの併用

この案は(2)や(3)は暗渠流出口に水門やラバーダムを用いるのに対し、暗渠流入口に水門(あるいはラバーダム)とポンプを設置し、平水時はポンプにより、水門下流に排水し、暗渠内の砂州の一部を開口させておき、洪水時には残る砂州を水門流出により、フラッシュさせるものである。なおこの場合も維持管理の面を考慮しなければならず、(1)の一部ポンプ排水と同様、閉塞直後に出水したときや、一部開口させてあっても砂州高によっては、短時間計画高水位を上回る可能性(1)よりは少ない)も考えられる。ただしこれまでの実験資料によれば1m/s程度の河口流出があればその開口幅は2~3m、断面積1~1.5m²程度維持できることが明らかとなっている⁴⁾。

(5) 離岸堤との併用

河口沖左右側に離岸堤を設置し、トンボロの間を流出させる。これは河口部を常に洗掘状態にして、砂州の発生を防ぎ、河口を維持しようとするものであるが、その離岸距離や幅等の位置を誤まると逆の結果を生ずる可能性がある。堆砂を目的とした離岸堤の水理的設計でも現象の理論的取扱いが困難であり、現在においてもなお試行的に実施されている状況であり、河口処理も伴う効果的な設置条件等はもろもろまだ明らかにされていない。しかし離岸堤が設置され、トンボロの間を流出し、河口閉塞が生じていない小河川（河床高が高い河川もあるが）もあるので、その可能性は考えられる。ただし、周辺海浜形状変化におよぼす影響も大きいので二次的影響と対策も考慮する必要があり、その工費や維持にも問題点が多い。

(6) 現河床での暗渠設置案

これは現川幅および河床高（約 T.P. - 0.6 m）で一連の暗渠と水門（暗渠流入口の場合はポンプも設置）を設置し、現時点の内水排除を解決する方法をとり、計画高水時のような場合には暗渠外側の砂州の一部を開削して河水の排除を容易にし、その流出により砂州をフラッシュする。また暗渠内へ、堆砂した場合の処置が考えられれば、水門は設けなくて、その様子を見て計画高水時に対処できるように二～三連の暗渠にする方法。これは計画河床高に下げても、流出口を完全に塞ぐような構造を考えない限り、河床高は結局上昇してしまうので、河床高を高くすることにより、堆砂量を減少させ、また暗渠長も短くなり、堆砂した場合の処置も容易になる。

なお堆砂した場合の処置としては、水中ブルドーザー、あるいは開水路部分を多くし、機械あるいは人工開削…… etc 等が考えられる。

なおこの他に高水槽を設置し、暗渠閉塞時に揚水によって水頭を増大させ土砂を排除する方法も考えられる。

8. ま と め

河口処理工法として暗渠工を前堤とした場合の効果的な規模と付随する対策工について実験的に検討し、河口処理工上の他の各対策案の効果や問題点も各章においてすでに述べたが、ここでは全体をとりまとめる形で暗渠工の場合の対策効果と問題点および原川河口での効果的な処理対策と問題点をまとめて記す。

○ 暗渠工による河口処理対策の効果と問題点

- (1) 遠浅で海浜勾配が緩く、海床粒径も非常に細かいため、碎波点はかなり沖合に発生し、碎波帯より岸側では浮遊砂濃度が高い。このため暗渠のみによって堆砂防止効果を得るには、碎波帯より沖まで延長（汀線より 200～250 m 以上、導流堤の場合も同じ）しなければその効果は少なく、碎波帯内であれば暗渠長は短い方が堆砂量は少ないので、暗渠内敷高と同高の海浜位置までの長さとした方が得策と考えられる。
- (2) 暗渠流出口は左右両方向とし、二連の場合も両方向へ流出できるように先端流路壁はない方が暗渠内堆砂の進行を遅らせることができる。
- (3) 暗渠先端の角すい台構造物は、暗渠幅と同一では堆砂防止効果は少なく、暗渠前面の幅を 2 倍弱とした場合、堆砂の進行を遅らせることができ、その先端に 90° の角すい台構造物を設けることによって、より効果がみられる。しかし暗渠先端が開口している限り、暗渠内外の水位差が波動に変換されて、暗渠内を遡上する現象が生ずるので、長期間種々の波が打ち寄せれば、最終的には暗渠内先端付近の波高へ潮位を加えた高さまで砂州は打ち上がるものと考えられる。
- (4) よって暗渠先端幅を 2 倍近くにするることによって暗渠内堆砂速度を遅らせることができ、さらに角すい台構造物を設けることによって、より進行を遅らせることができる。しかし暗渠内堆砂を防止することは困難であり、砂州高は最大 T.P 0.8～1.0 m が予想されよう。
- (5) 暗渠内吐口部に水門を設けた場合、維持用水としての流量が得られなければ、同様開度の約 1.5 倍程度の高さまで堆積することが明らかとなった。ただし水門を操作することによって暗渠内堆砂を防止することはできよう。
- (6) ラバーダムを用いた場合は、完全に越波させない高さとしなければ堆砂を防止することはできず、流出口を塞ぐ高さとしなければならない。またダム前面へも堆積するので、敷高以下に沈む型式としなければならない。
- (7) 河道内水位は、波による Set up の影響によって上昇するが、暗渠構造物の遮蔽効果によって、その上昇量は波高の約 1 割弱であることが明らかとなった。朔望平均満潮位時には約 T.P 0.60 m 程度が考えられる。
- (8) 以上の結果より、暗渠先端吐口が碎波帯内で開口していれば、その形状、方向をいかに工夫して

も、暗渠内外の水位差が波動に変換されて暗渠内を遡上するため、堆砂の進行を遅らせることは可能であっても、それを完全に防止することは困難と考えられる。しかし閉塞した場合の処置が可能であれば実験で得たような形状を用いることによって、これまでの開削回数をかなり減らすことができよう。

○ 原川河口への効果的な処理対策と問題点

原川河口での効果的な処理工法としては、7.2 で述べてあるように、水理的には内水流出全量をポンプ排水、および暗渠と流出口に水門併用案が有利であるが、操作や維持管理、工費等の面で難点が多く採用しにくいと考えられる。そこで問題点の比較的少ないと思われるのは、7.2 (8) の暗渠とラバーダム、ポンプの併用、あるいは現河床高での暗渠と水門（ラバーダム）、ポンプの併用案が考えられる。

ラバーダムの場合、水門よりは操作や維持管理の面で難点がやや少なく、現河床で暗渠設置案は暗渠上流側に水門あるいはラバーダムを設置して、平水時の流量はポンプ排水し、現時点の内水排除を解決する方法をとり、春季や台風の出水期前に暗渠内が閉塞している場合は一部開削を行なう方法。ただしこの場合、出水自体による湛水被害は短時間と考えられるが、その対策には高水時に対処できるよう河道改修とともに二～三連の暗渠としなければならない。またポンプ設置に際しても平水時の流量や、出水自体によって湛水するとすれば、その流量や湛水深および時間、さらに河口開削を行なっていればその量や回数等今後観測・調査を行なって計画する必要がある。

あ と が き

本報告書は、土木研究所鹿島試験所において昭和52年度に行なった実験結果をとりまとめたものである。本報告書の作成までには次の人達がかかわった。

総体的な指導を 須賀・馬場 が行ない、実験計画とその遂行に 高橋 が担当した。

本報告書の作成は 高橋 が行ない、実験の遂行および検討にあたっては、河川研究室山本晃一主任研究員に多くの助言をいただき、図面等の整理には臨時職員に助力を受けた。なお実験では建設技術研究所（古賀・高原氏）に多くの労をかけた。

また本報告の検討にあたっては、鳥取県土木部の関係各位に多くの労があったことに深く謝意を表する。

1978年3月

須 賀 堯 三

馬 場 洋 二

高 橋 晃

参 考 文 献

- 1) 田中則男・小笹博昭：航空写真による汀線変化の解析，運輸省港湾技術研究所，No.192，
1974年6月
- 2) 山本晃一：海浜変形の相似性に関する研究 — 海浜移動床模型実験の相似律 — 土木研究所
資料第975号，1975年
- 3) 山本晃一・坂野章：河口処理工に関する調査，河川事業調査費報告，建設省土木研究所，
1977年6月
- 4) 荒川河口模型実験報告書 — 乙大日川・烏川放水路河口処理に関する水理的検討 — 土木研
究所資料第1295号，1978年2月

図-6.1 暗 渠 詳 細 図 (実験1)

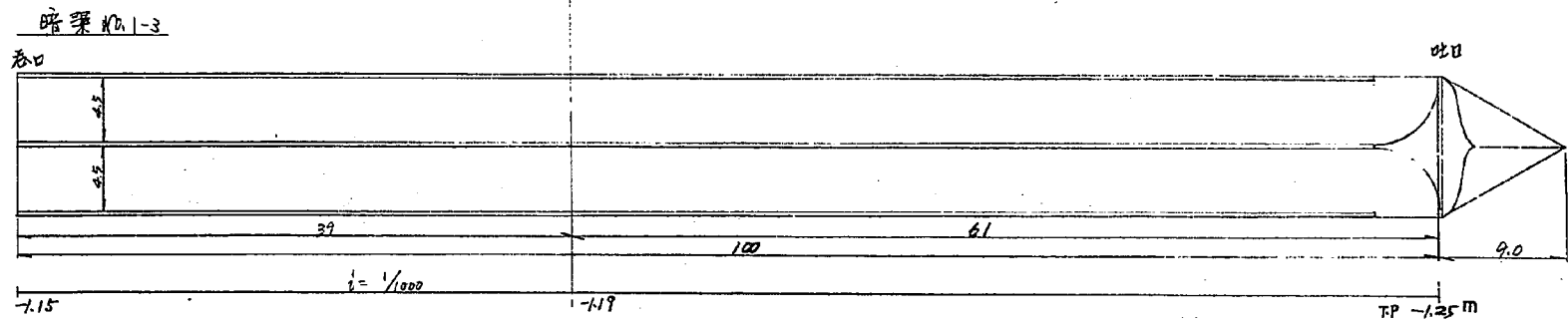
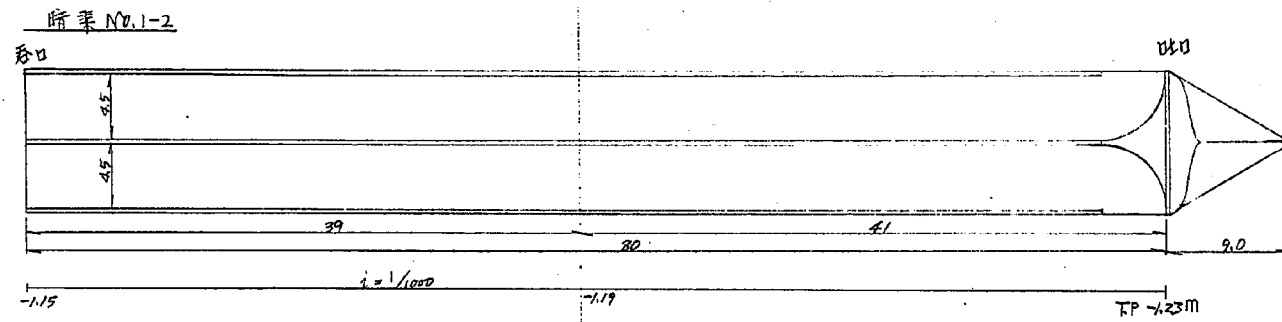
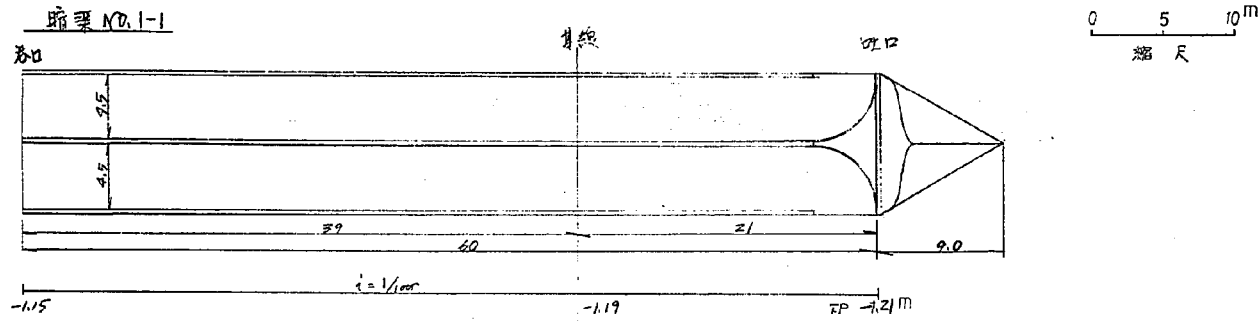


圖-6.2 海 浜 流 況 圖

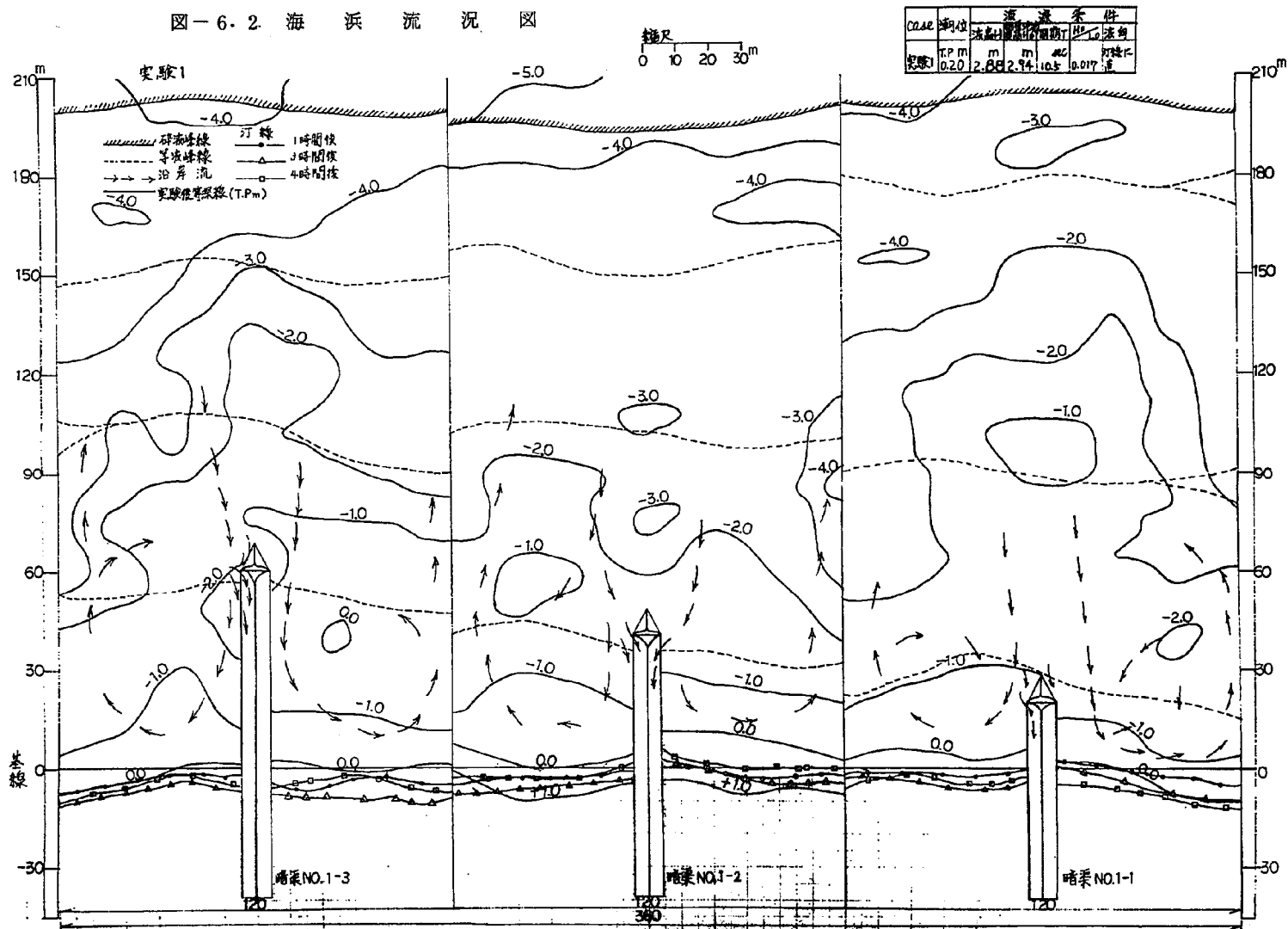


図-6.3.1 暗渠内堆砂の時間的变化図

暗渠 No.1-1 (暗渠長 60m)

Case	潮位	波 浪 条 件					波向
		波高 H	波長 L	周期 T	波速 c	波高 H_0	
実験	2.20	2.88	29.4	10.5	0.017	0.017	西

0 10 20 m
縮尺

30分後

1時間後

2時間後

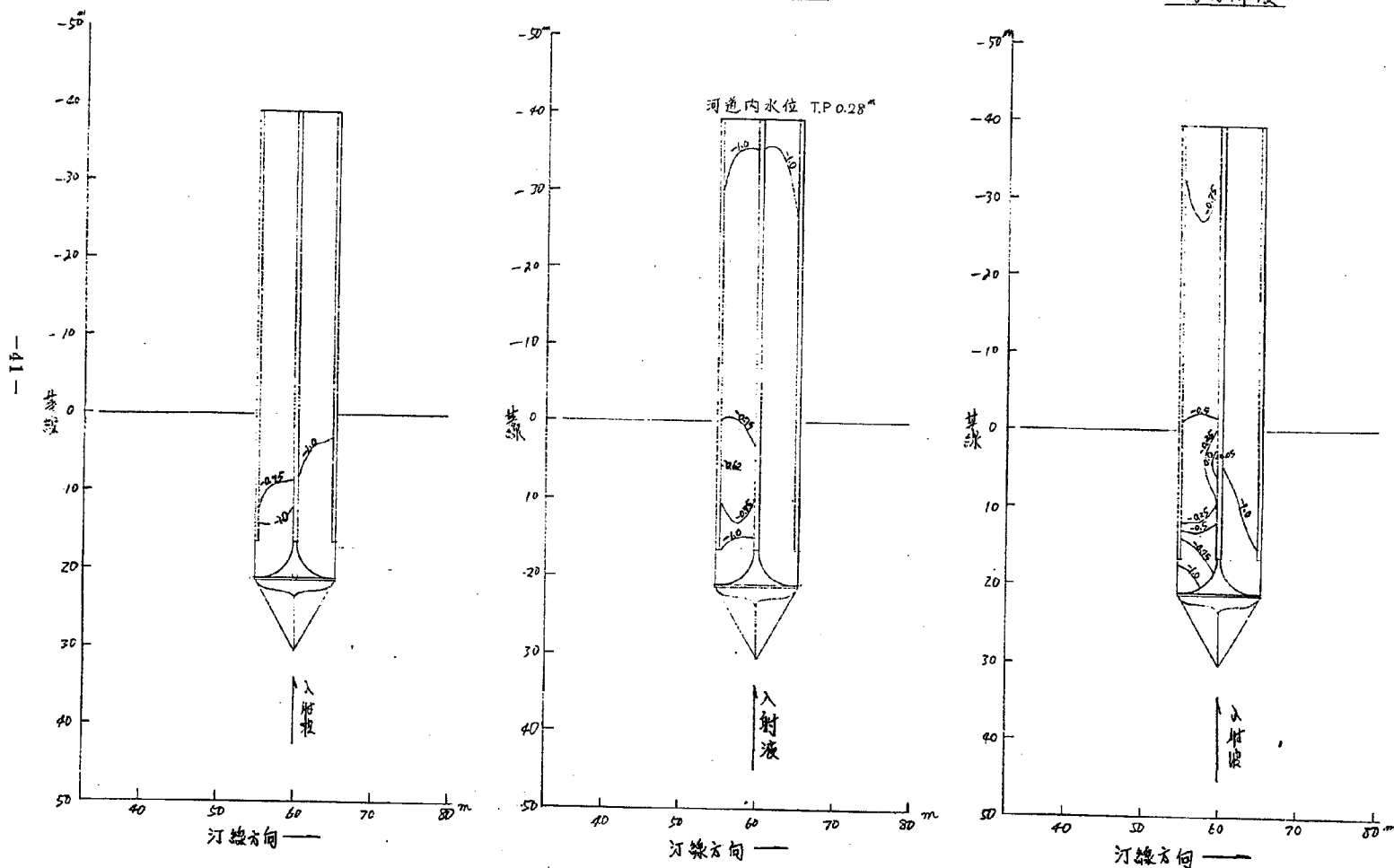


図-6.3.2 暗渠内堆砂の時間的变化図

暗渠 No.1-1 (暗渠長 60m)

0 10 20 m
縮尺

Case	波浪条件					波向
	潮位	波高H	周期T	波速C	波高H	
実験	T.P.m 0.20	m 2.77	m 2.74	sec 10.5	0.017	丁線

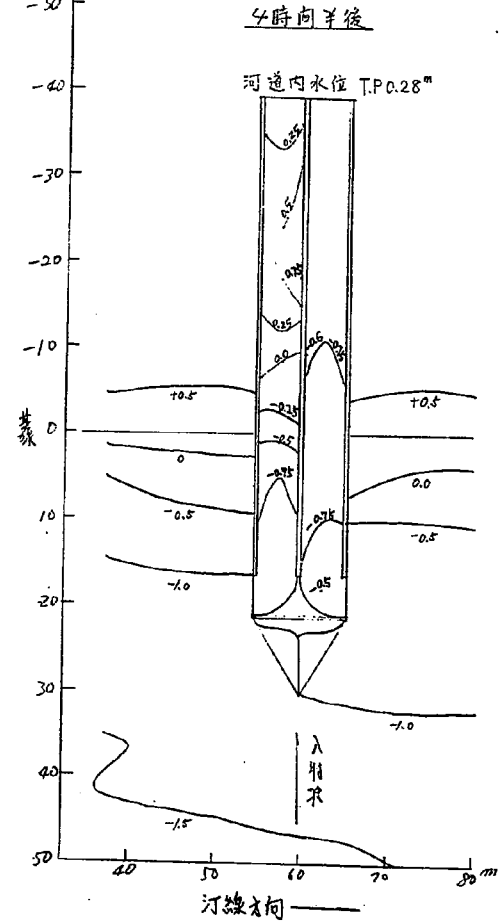
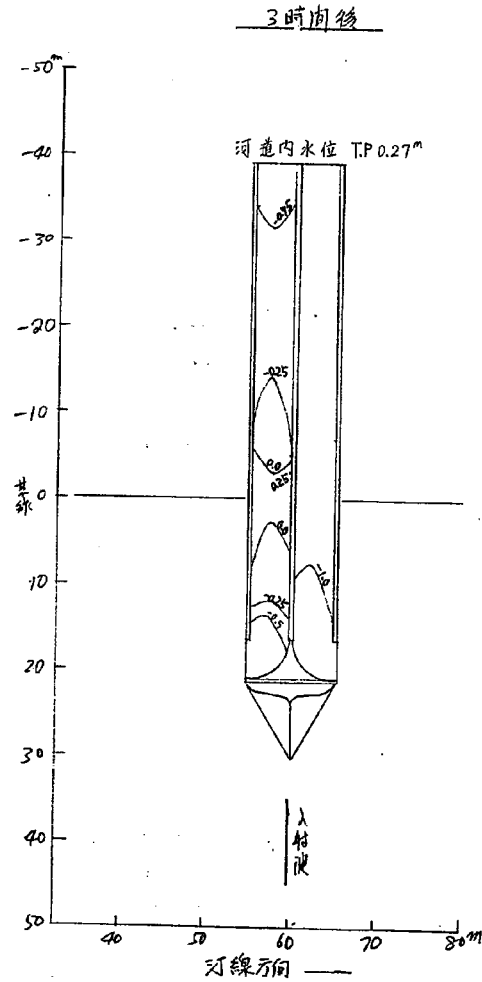
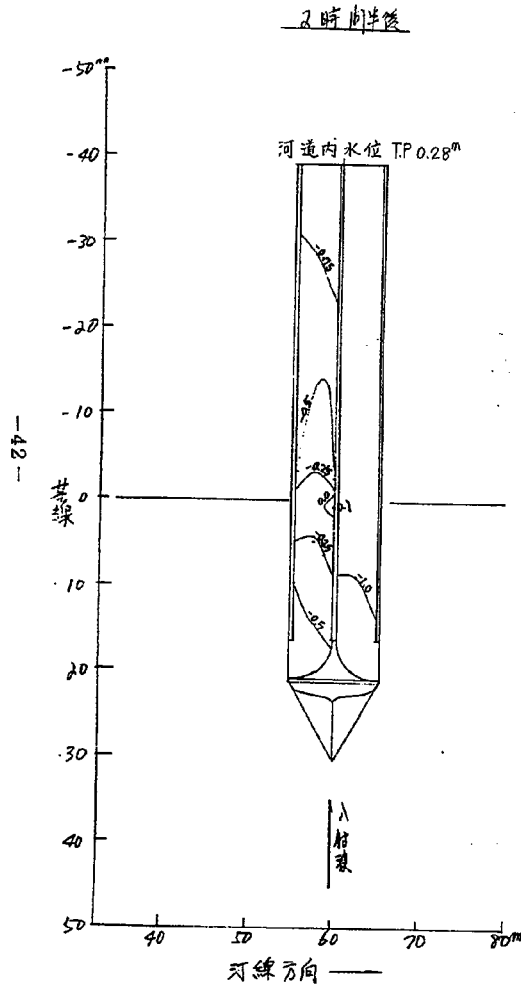


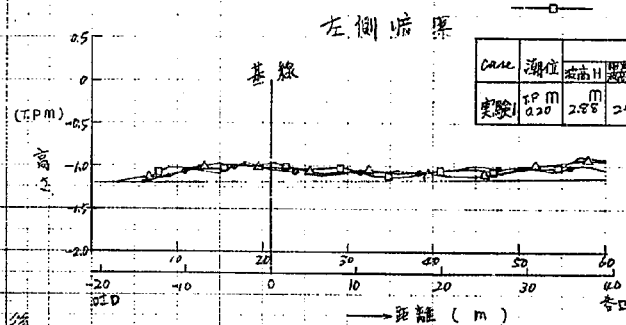
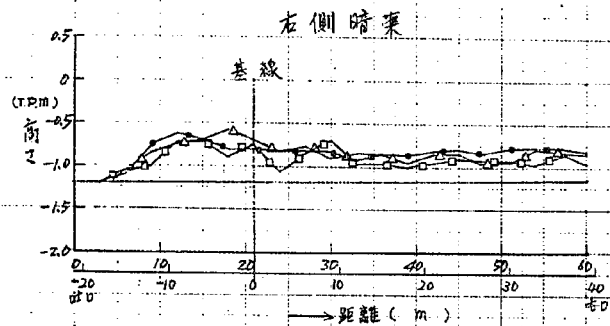
圖-6.4.1 暗渠內堆砂縱斷圖

暗渠 No. 1-1 (暗渠長 60m) : 30 分鐘

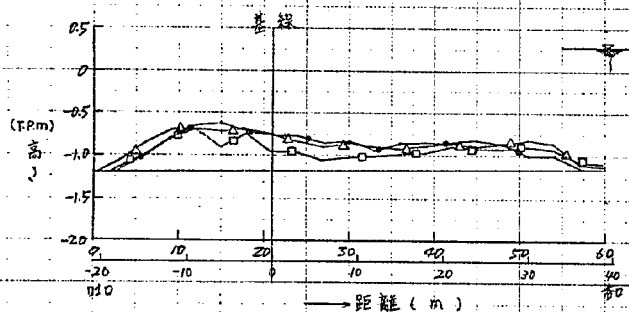
凡 例

- 各暗渠內右側壁
- △— 中 央
- 左側壁

CASE	測位	波 浪 條 件	波 向
實驗	TP 0.20	波高 2.88m 周期 2.94s 波速 10.5 波長 0.017m	波向



1 時 間 後



2 時 間 後

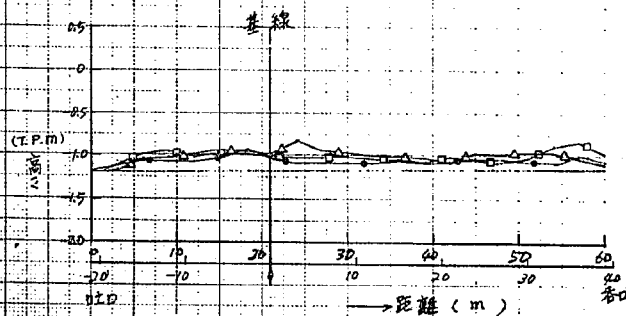
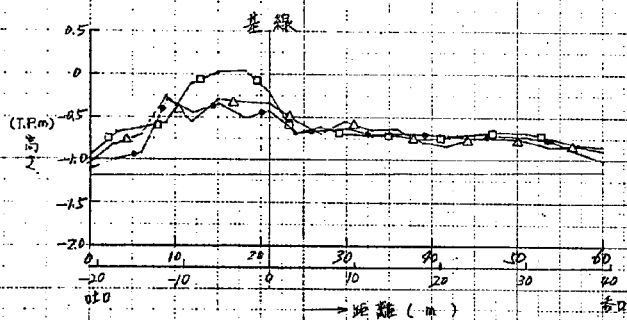
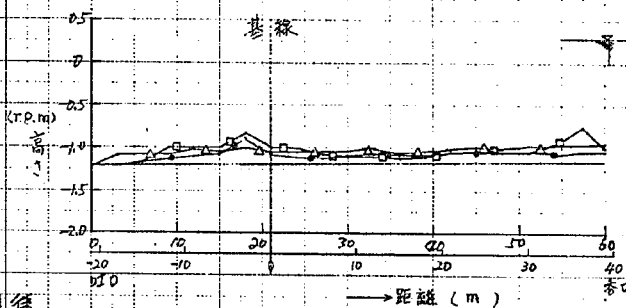


圖-6.4.2 暗渠內堆砂縱斷圖

暗渠 No. 1-1 (暗渠長 60m)

凡例

- 各時序內右側壁
- △— " 中 央
- " 左側壁

波 浪 條 件	潮 位		波 浪 高		波 向
	TP	m	m	m	
試驗	0.20	2.88	2.94	10.5	0.017 直

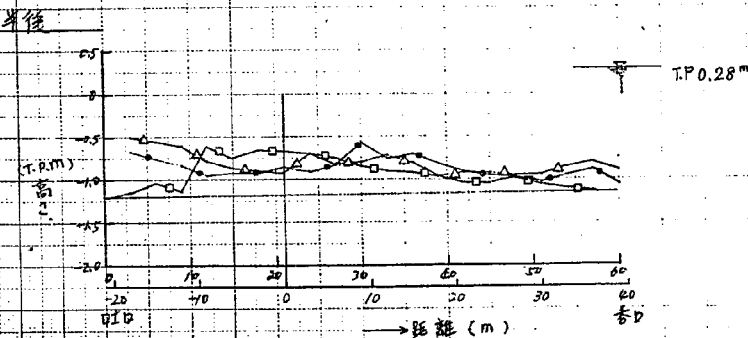
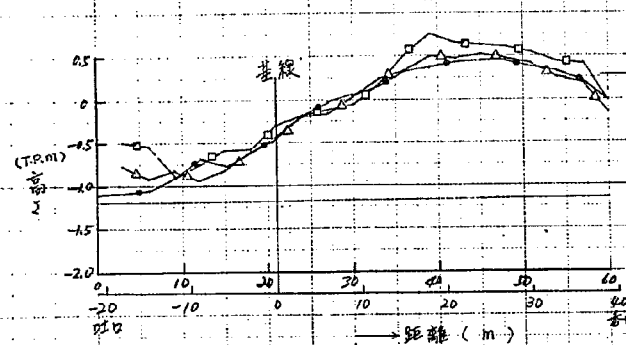
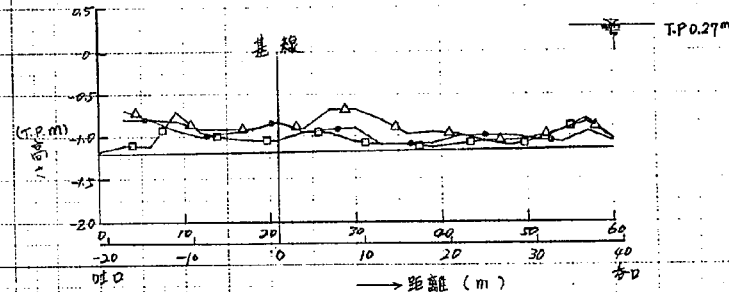
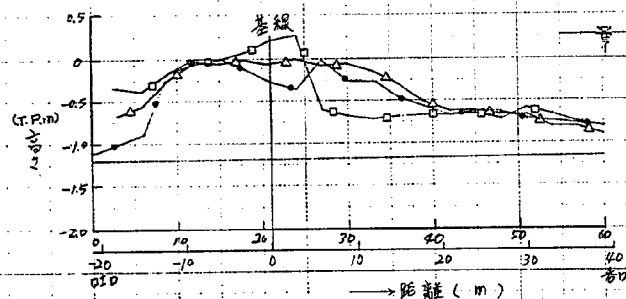
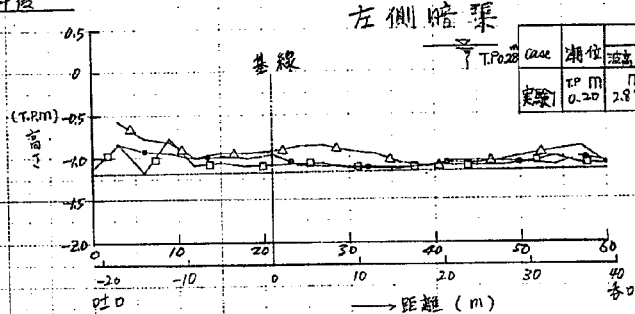
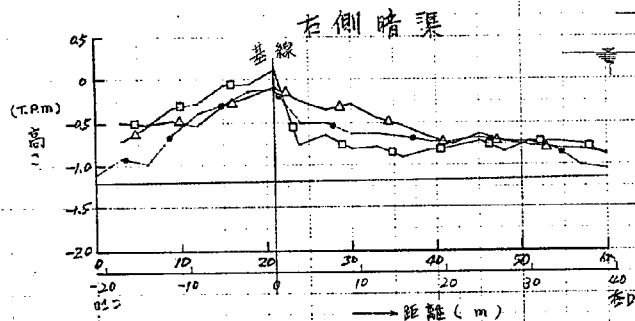


図-6.5.1 暗渠内堆砂の時間的变化図

暗渠 No. 1-2 (暗渠長 80m)

Case	潮位	波浪条件					波向
		波高H	波周期T	波速C	波長L	波高H/L	
実験1	T.P.M 0.20	2.8	2.9	10.5	0.017		汀線に直

0 10 20 m

縮尺

2時間後

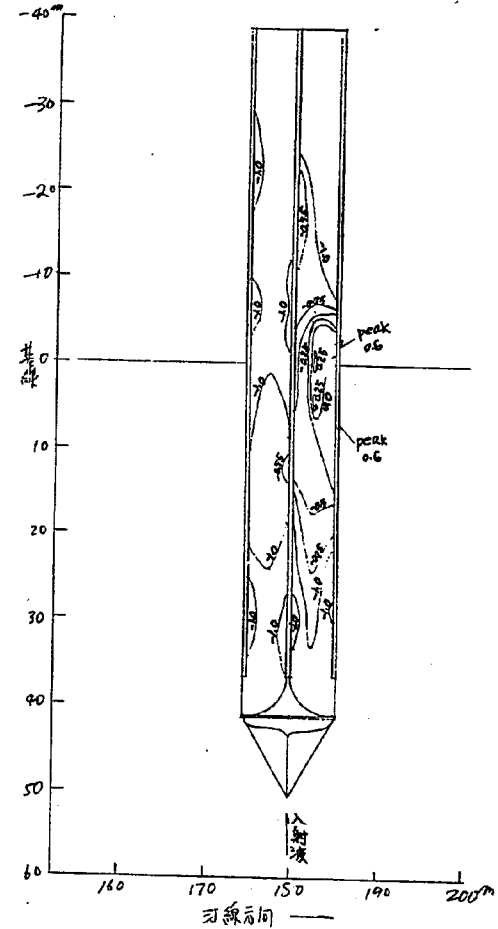
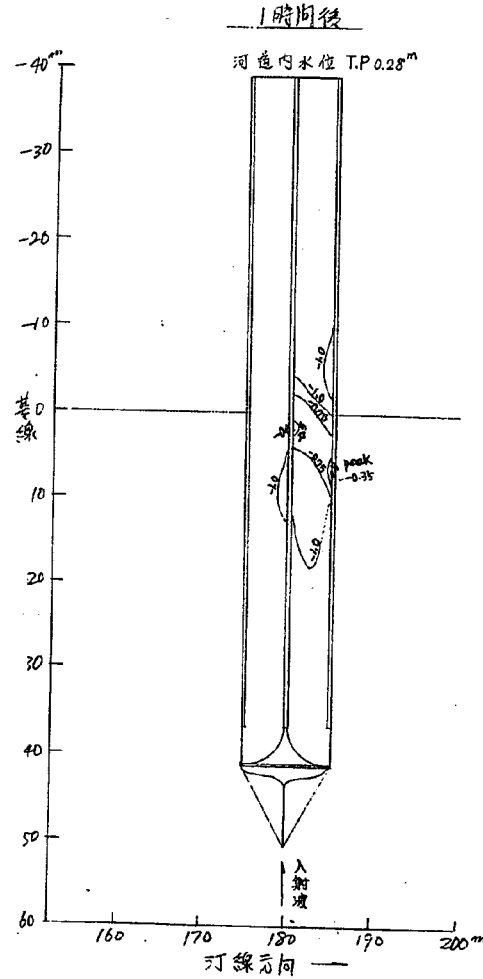
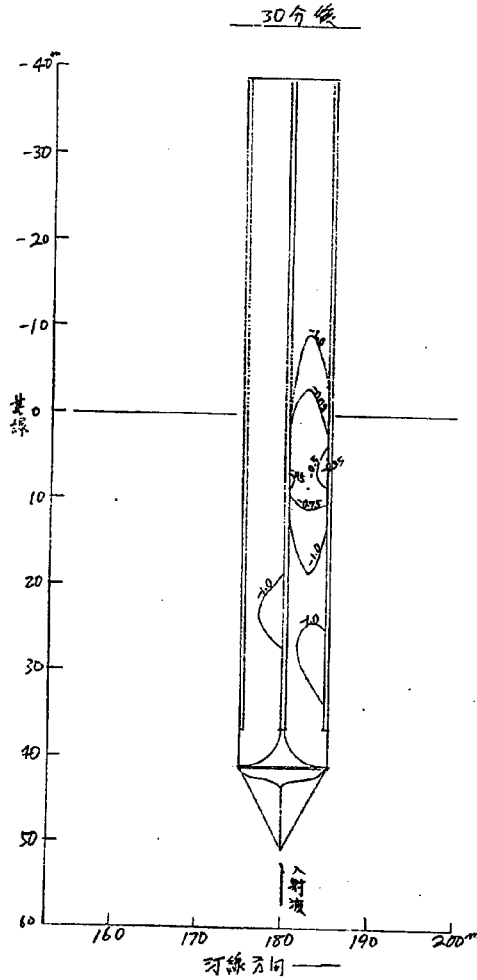


図-6.5.2 暗渠内堆砂の時間的变化図

暗渠 No.1-2 (暗渠長 80m)

Case	潮位	波浪条件				流向
		波高H	波周期T	波速C	波向	
実験1	T.P. 0.20	2.8m	2.9s	10.5	0.017	汀線内

0 10 20 m

縮尺

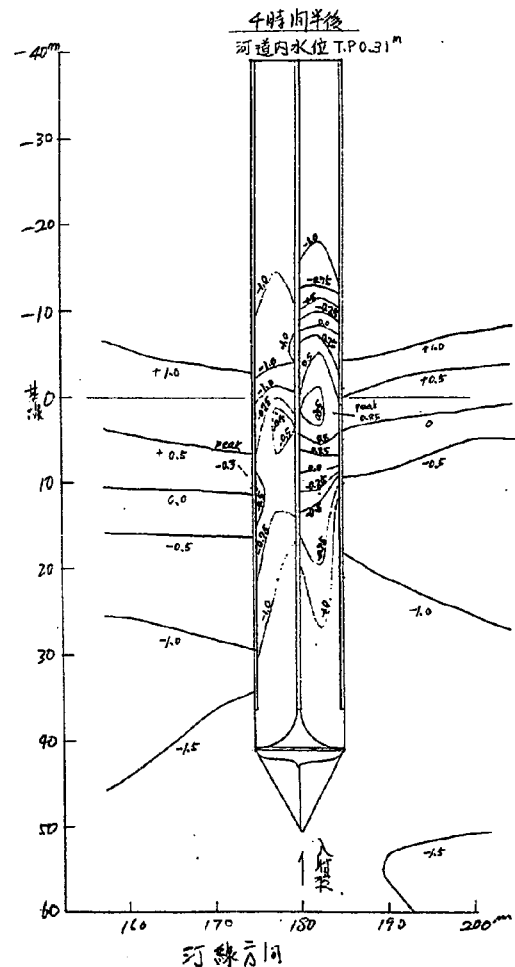
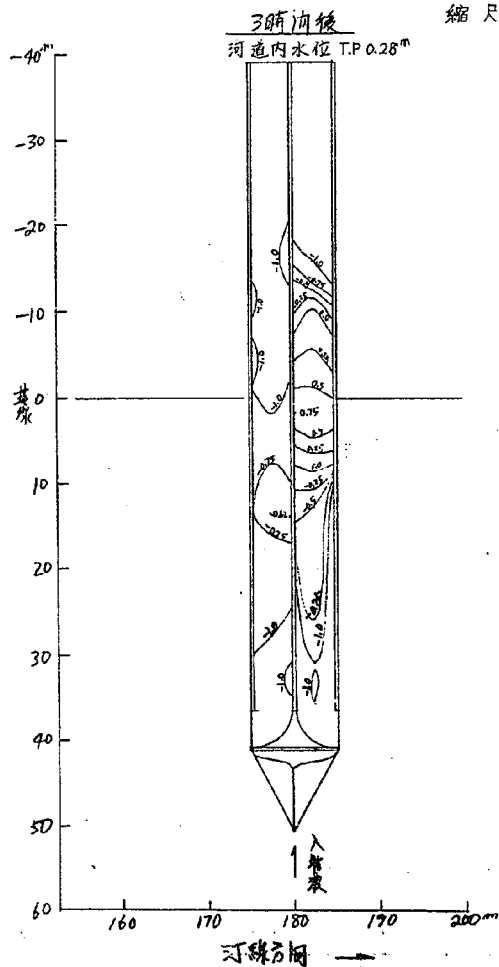
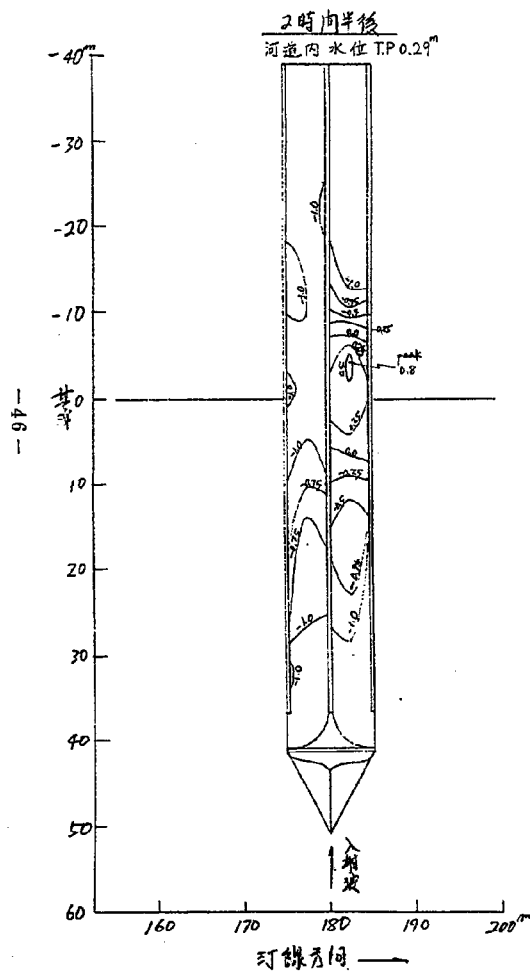


圖-6.6.1 暗渠內堆砂縱斷圖

暗渠 No. 1-2 (暗渠長 80m)

波次	潮位	波浪條件			
		波高	波長	周期	波向
實驗1	0.20m	2.88m	2.94m	10.5	0.01m

凡例
 ● 各暗渠內右側壁
 ○ 中·左側壁
 △ 左側壁

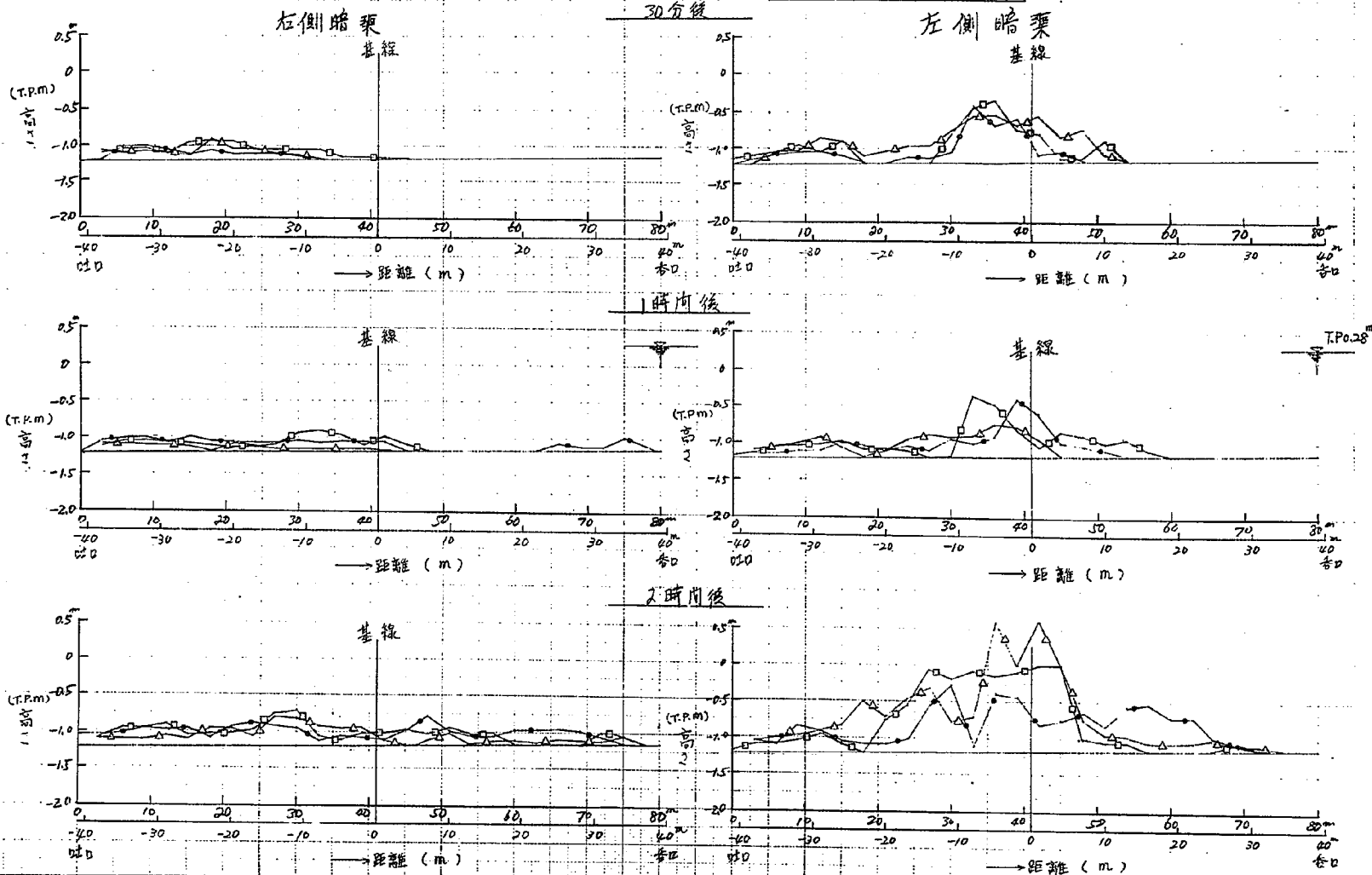


图-6.6.2 暗渠内堆砂纵断面图

暗渠 No. 1-2 (暗渠长 80m)

波浪条件						
Case	潮位	暗渠入口	暗渠出口	日期	风	浪向
实验	TP 2.0	2.88	2.94	10.5	0.017	浪向

比例

—●— 各暗渠内左侧壁
 —○— 中央
 —□— 右侧壁

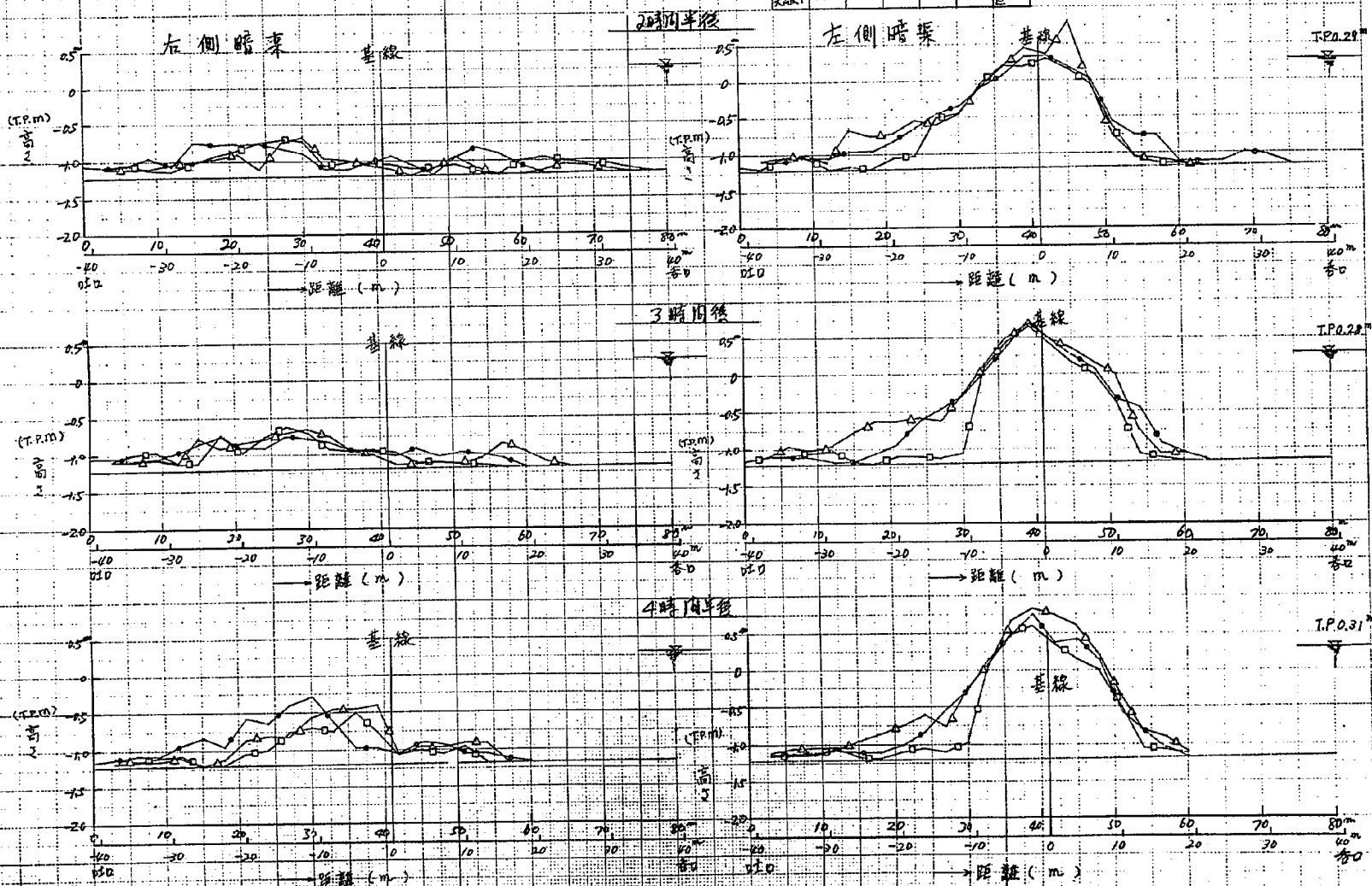
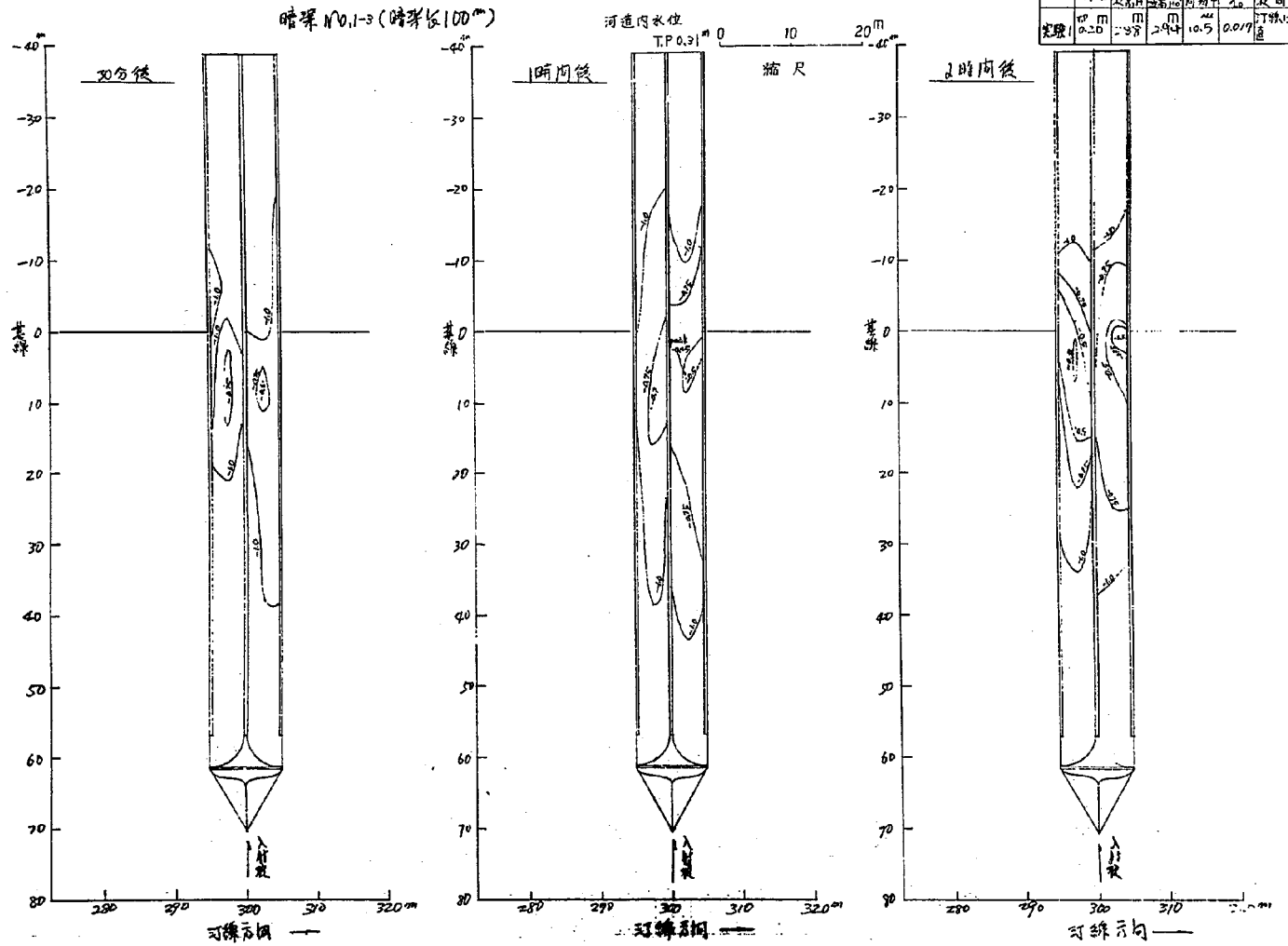


図-6.7.1 暗渠内堆砂の時間的变化図



図一 6.7.2 暗渠内堆砂の時間的变化図

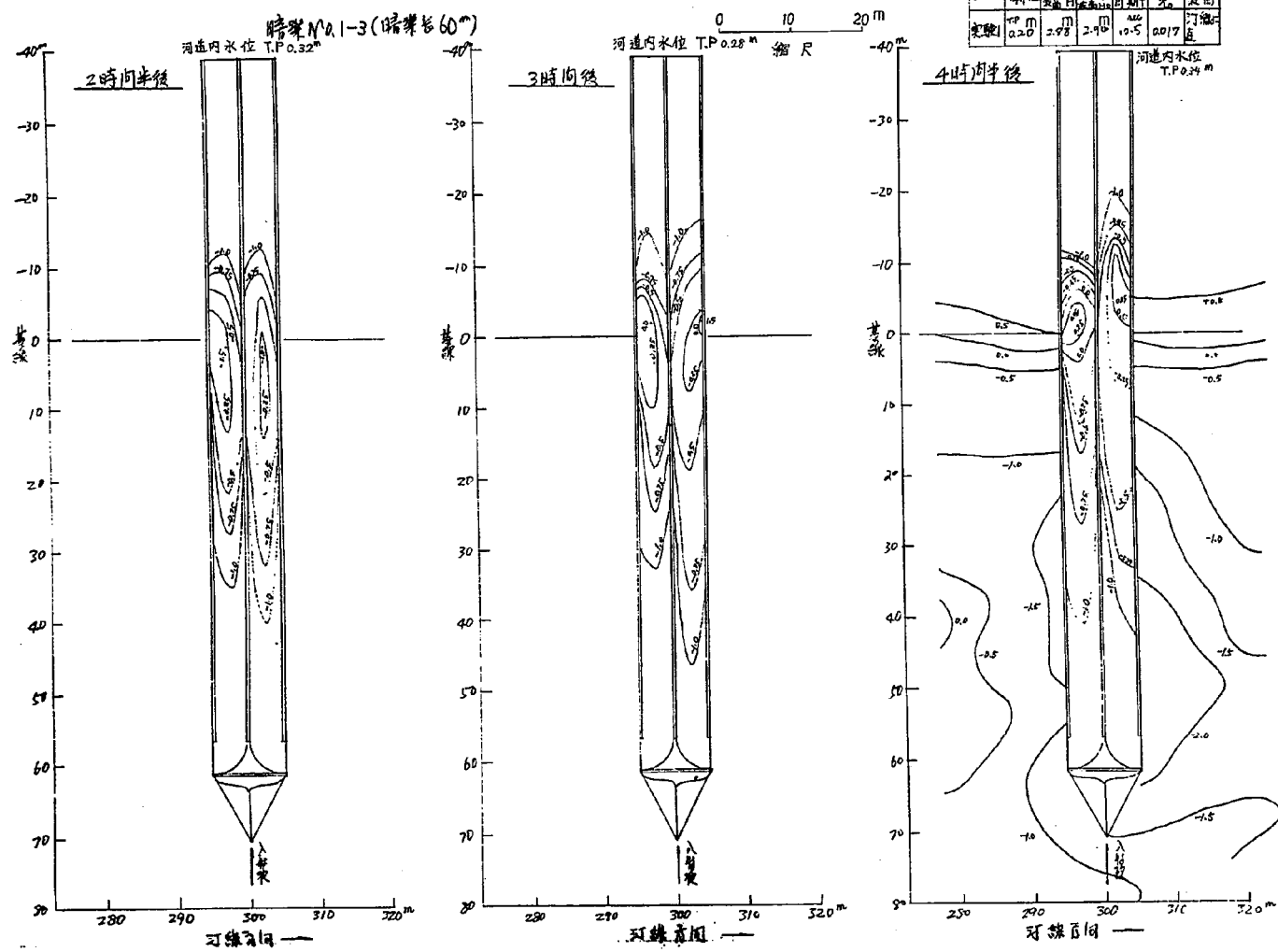
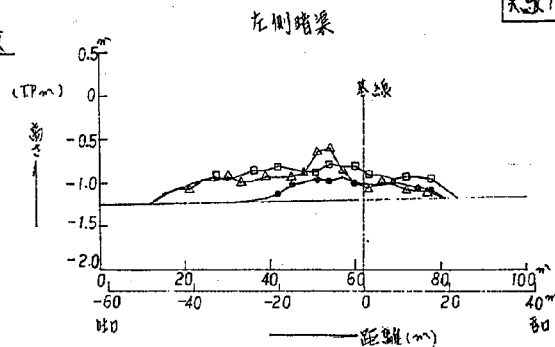
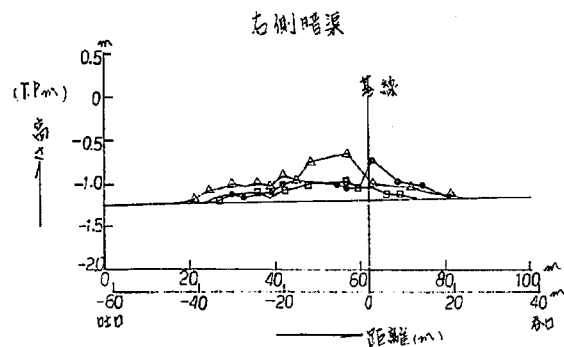


圖-6.8.1 暗渠內堆砂縱斷圖

暗渠NO.1-3 (暗渠長 100m)

Case	測位	源 源 本 係			
		源距	源距	源距	源距
實驗1	TPm	2.20	2.83	2.94	10.5
		m	m	m	m
					10.17
					道



凡例

- 各暗渠內之右側壁
- △ 中央
- 左側壁

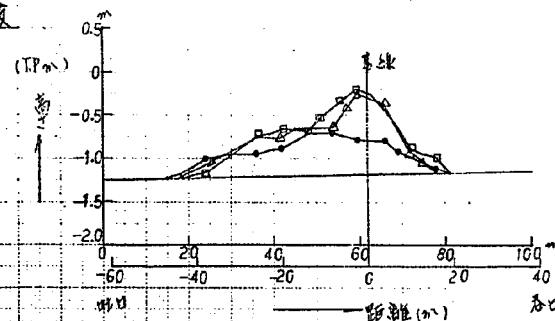
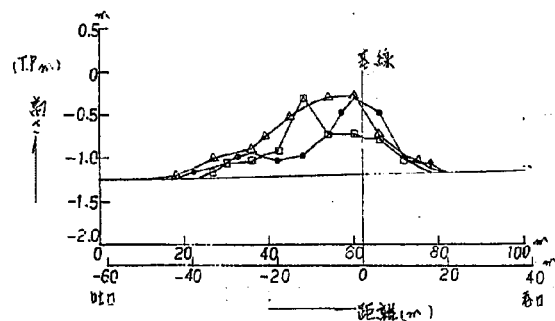
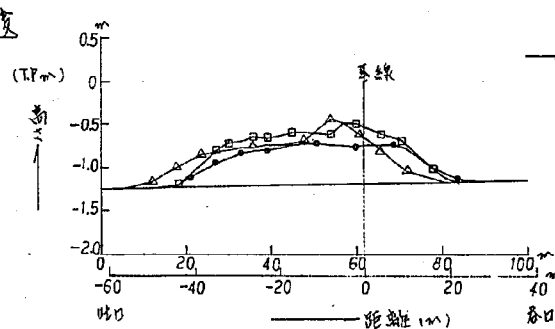
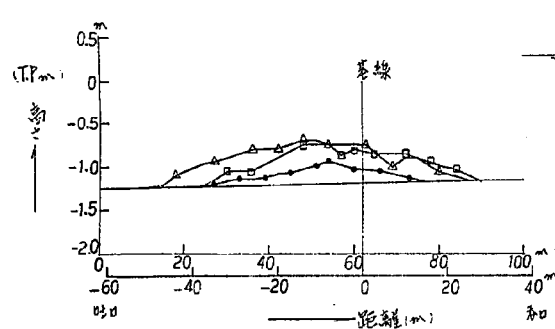


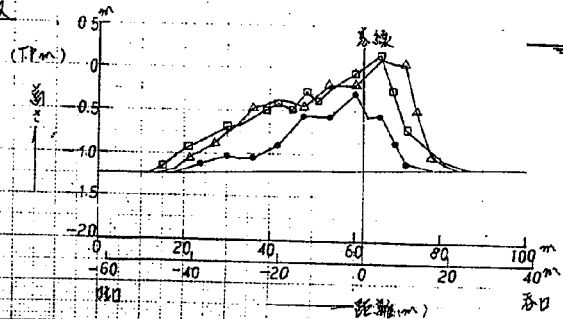
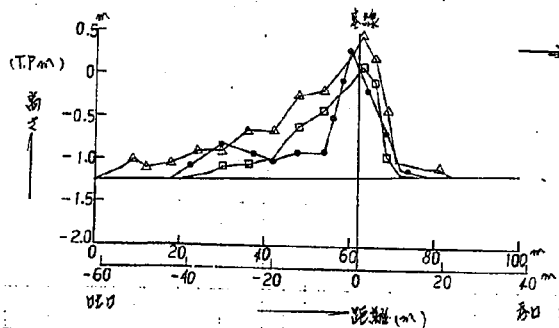
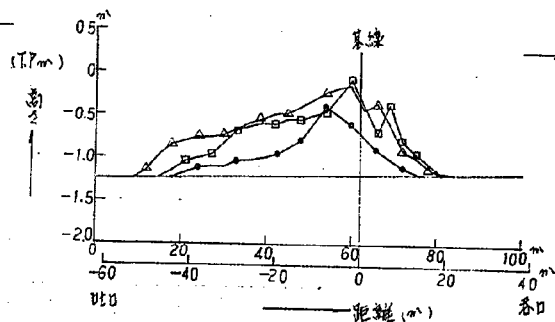
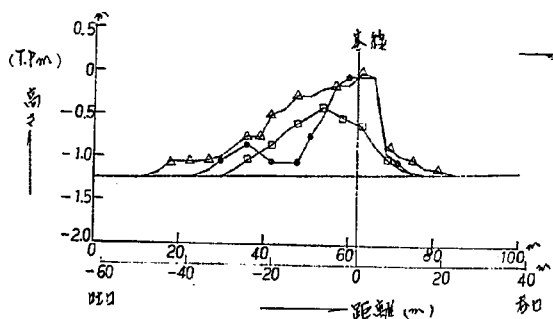
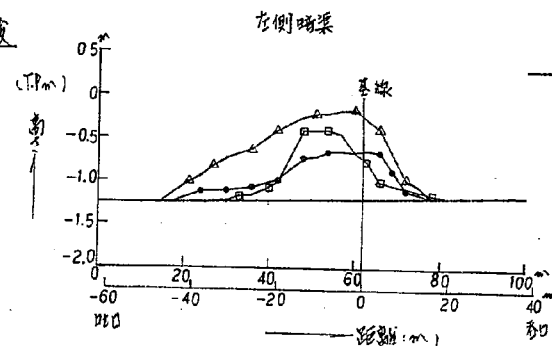
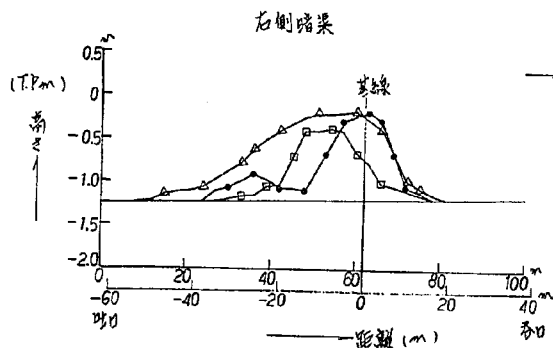
圖-6.8.2 暗渠內堆砂縱斷圖

暗渠 NO1-3 (暗渠長 100m)

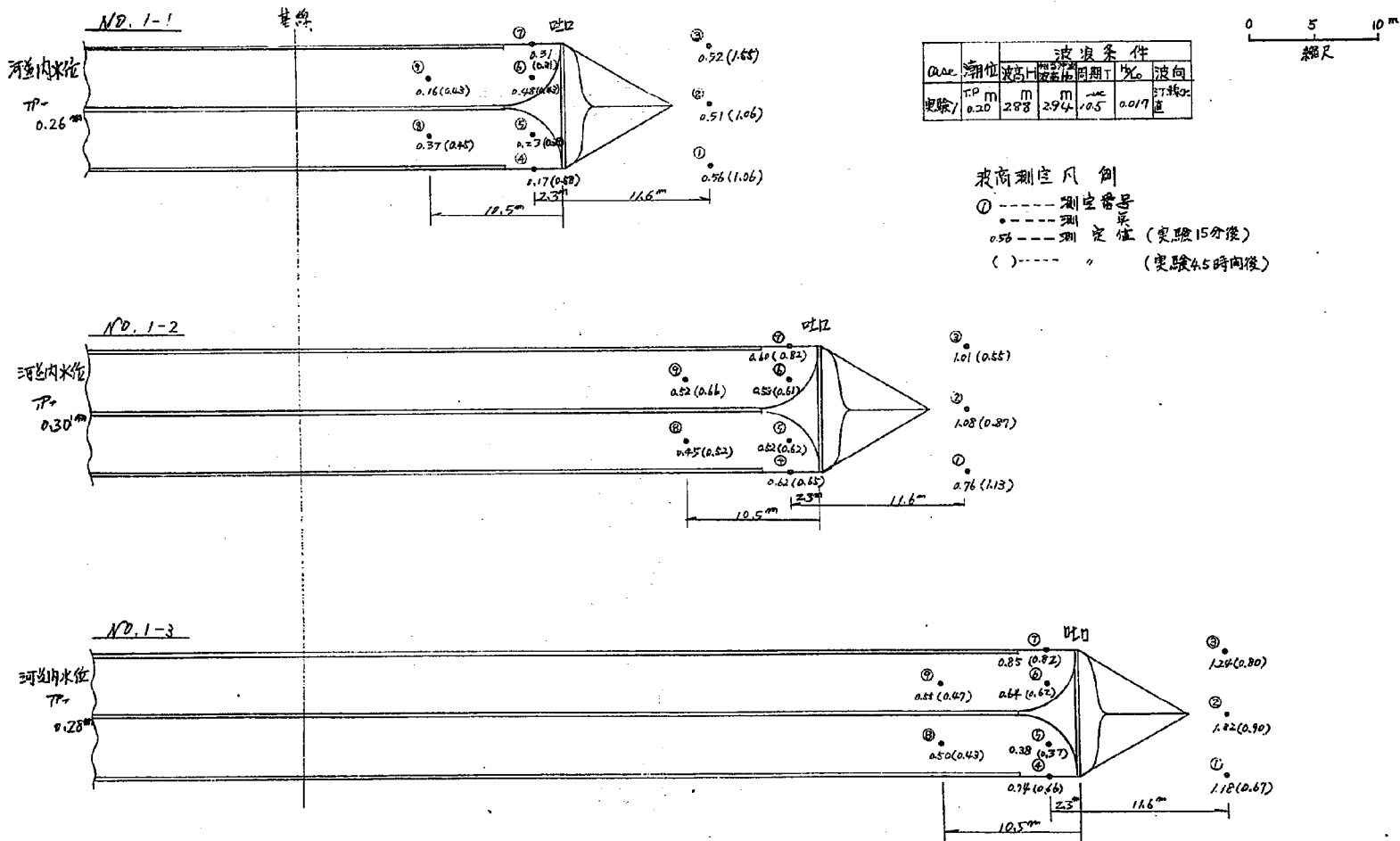
CASE	潮位	波浪條件				
		波高 H	波長 L	周期 T	H/L	波向
実験 1	T.P. 0.20	2.88	2.94	10.6	0.017	直

凡例

- 各暗渠内の右側壁
- ▲ 中央
- 左側壁



図一 6.9 潮位・波高及び河道内水位関係図



-54-

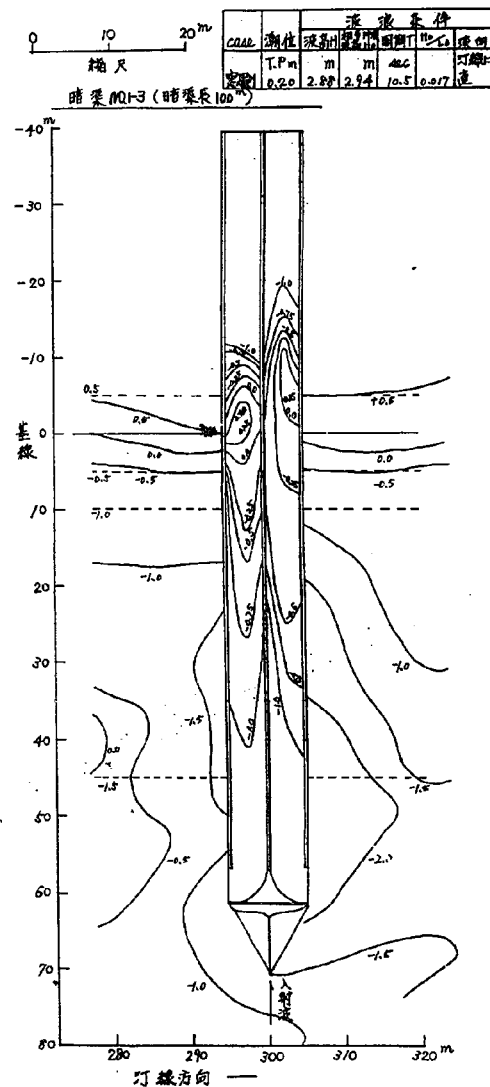
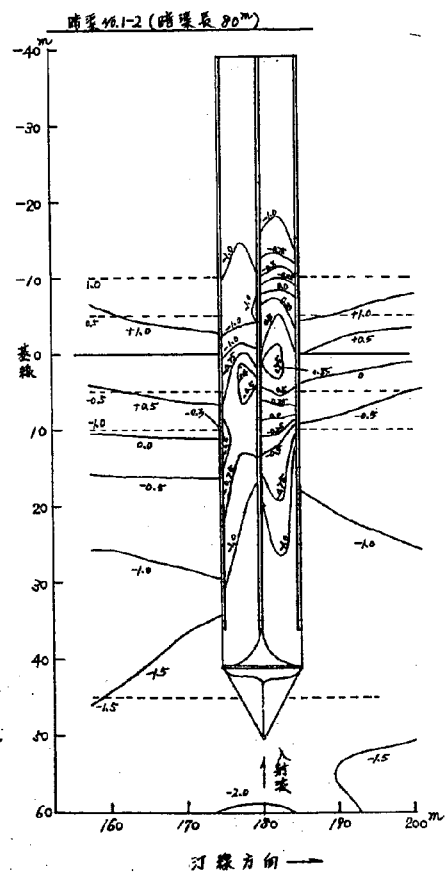
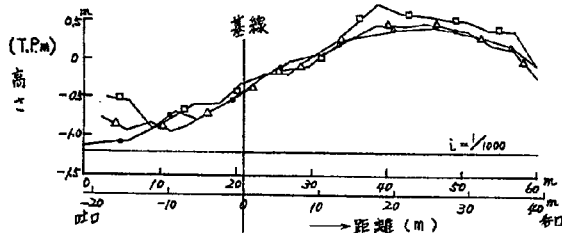


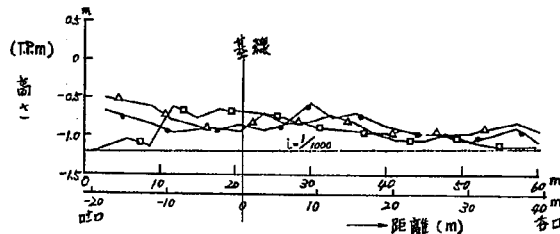
圖-6.10.2 暗渠內縱斷圖

暗渠 NO.1-1 (暗渠長 60m)

右側暗渠

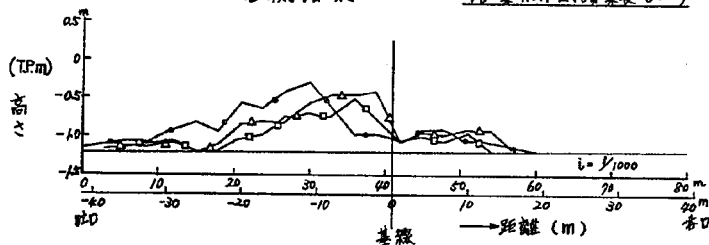


左側暗渠

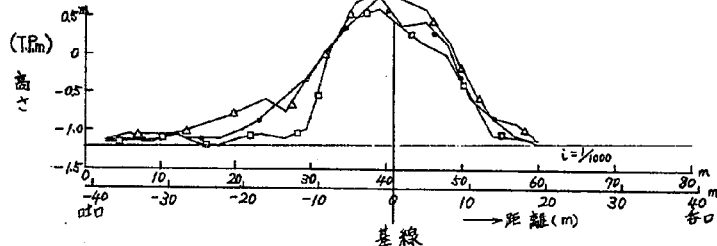


右側暗渠

暗渠 NO.1-2 (暗渠長 80m)

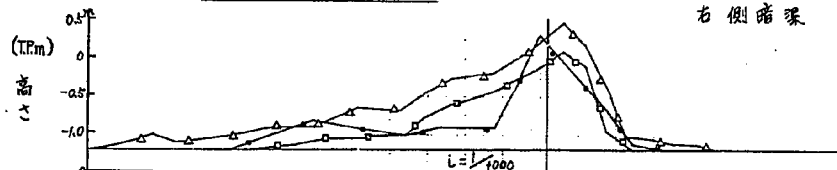


左側暗渠

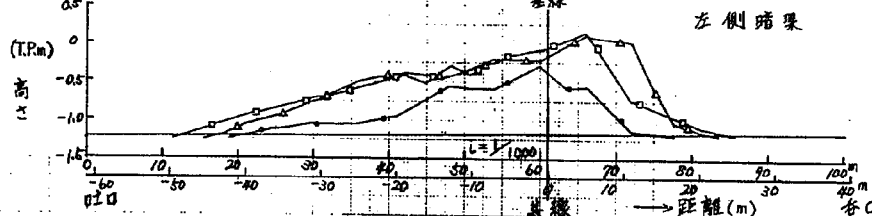


暗渠 NO.1-3 (暗渠長 100m)

右側暗渠



左側暗渠



CASE	潮位	渠底條件				管口
		渠底	渠底	渠底	渠底	
	T.P.m	m	m	ABE	55	管口
實際	0.20	2.88	2.94	10.5	10.07	管口

凡例

- 各暗渠內右側壁
- " 中央
- " 左側壁

圖-6.11.1 海浜縦断面圖（暗渠中心測線）

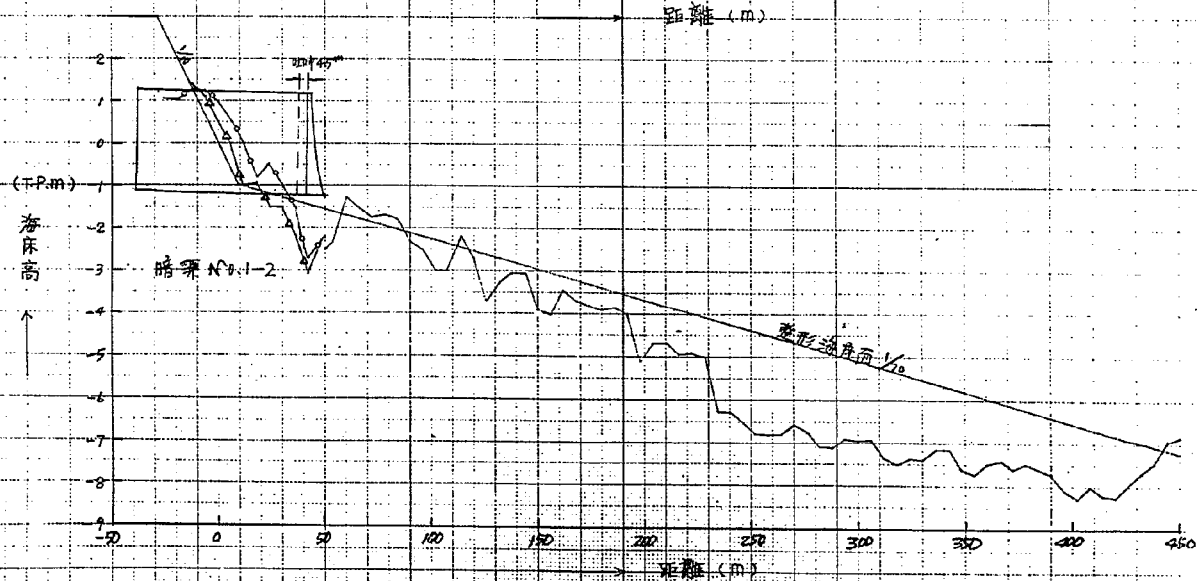
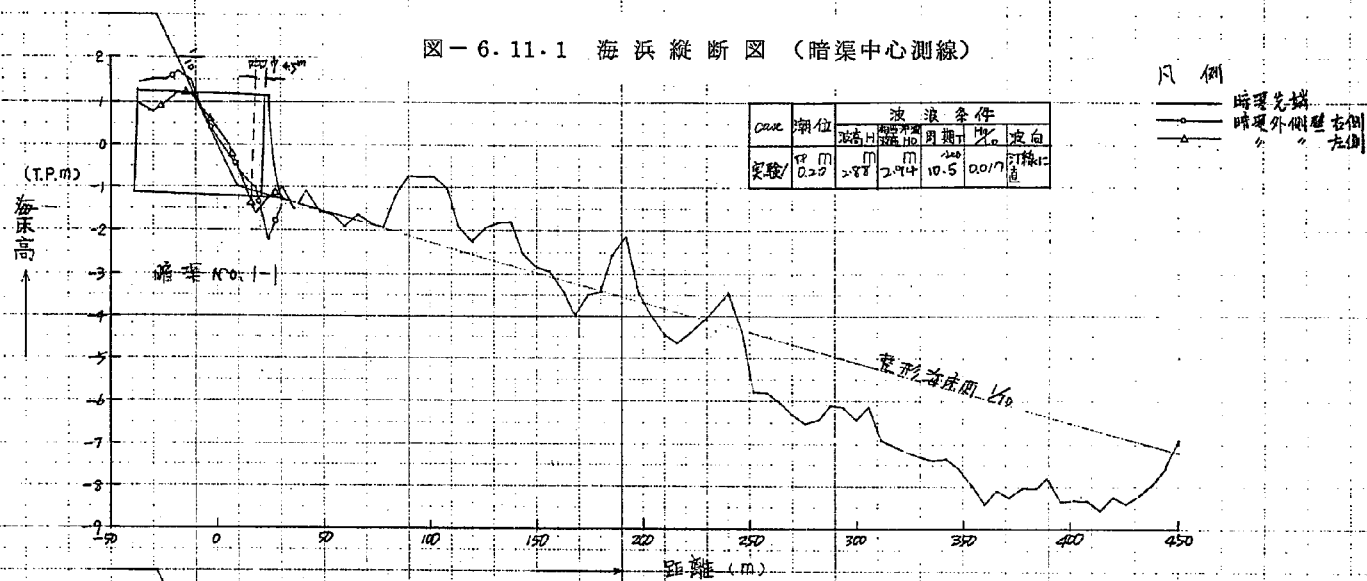


图-6.11.2 海浜縦断面図 (暗渠中心測線)

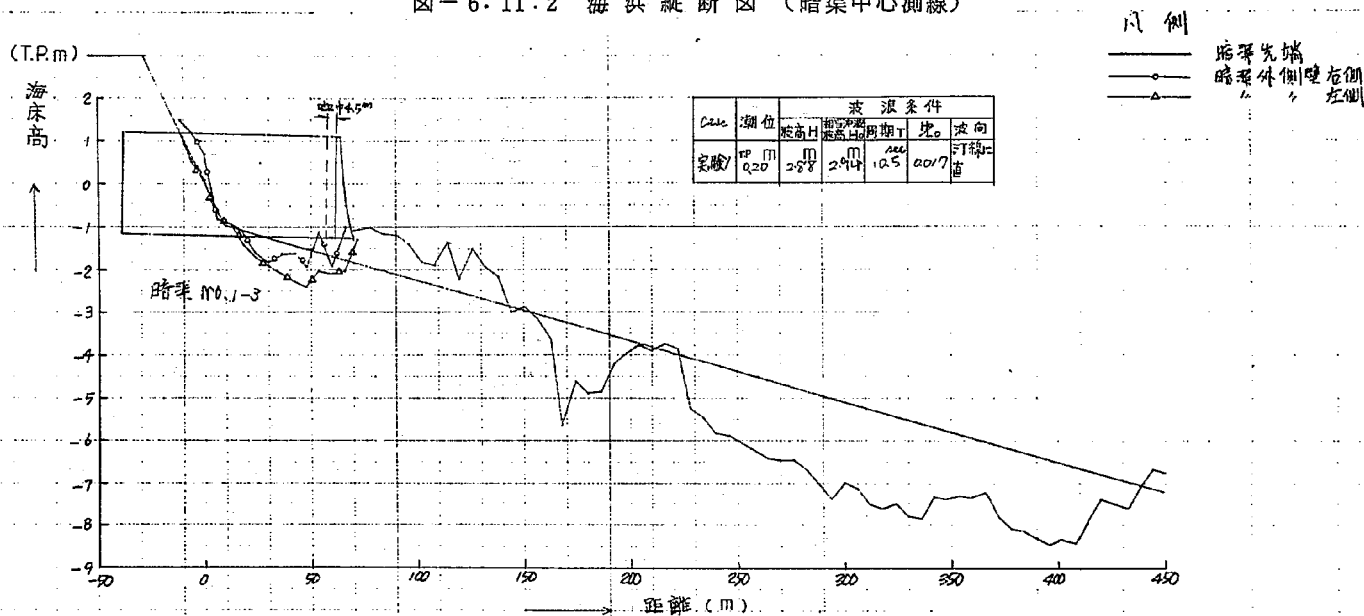


图-6.12 等深线图 (实验終了後)

Case	水位	H	T	L ₀	H ₀	H/L ₀
実験1	17+00	0.20	2.88	10.5	17.2	2.94
						0.017

縮尺
0 10 20 30 m

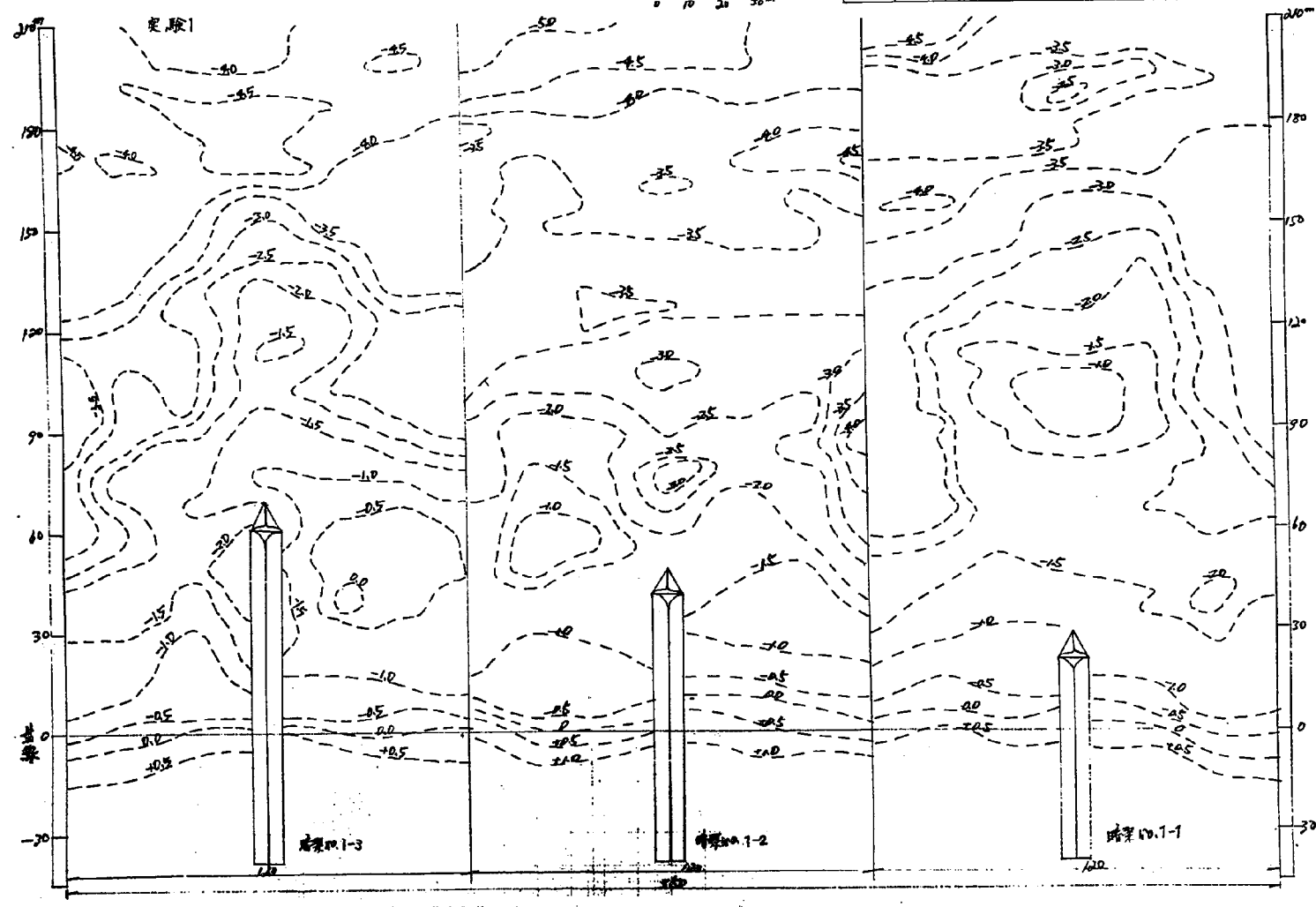
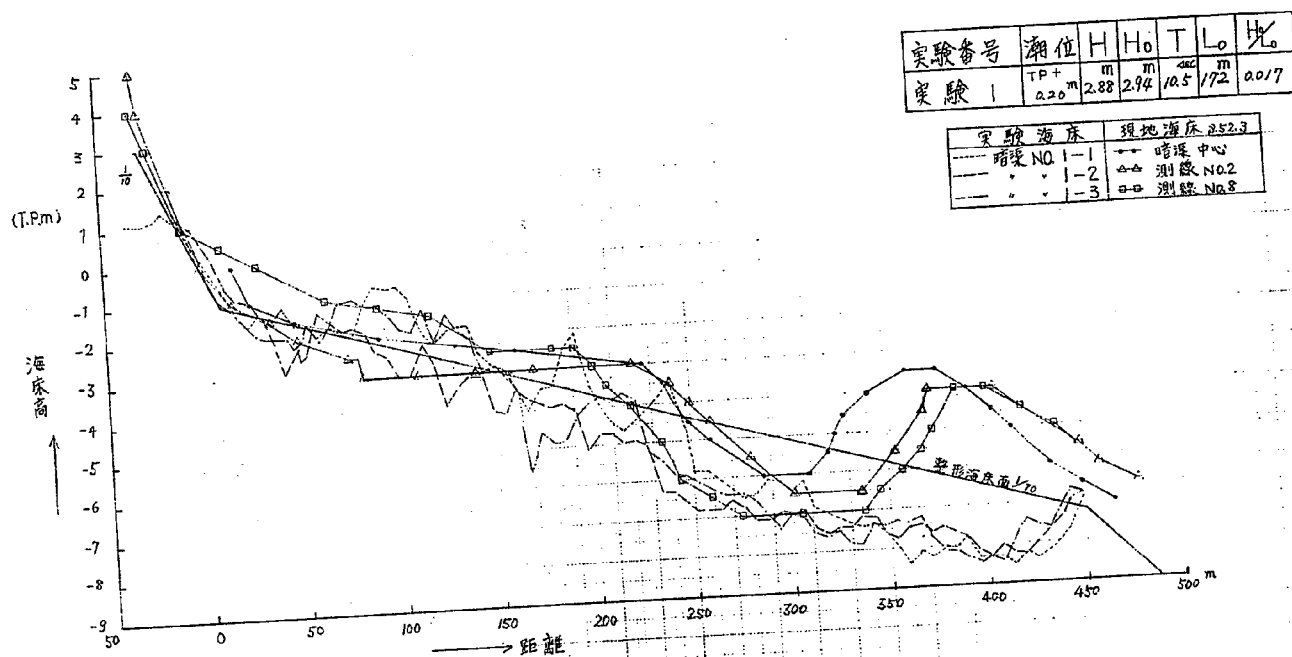


图-6.13 海浜縦断面図 (暗渠中心測線)



-60-

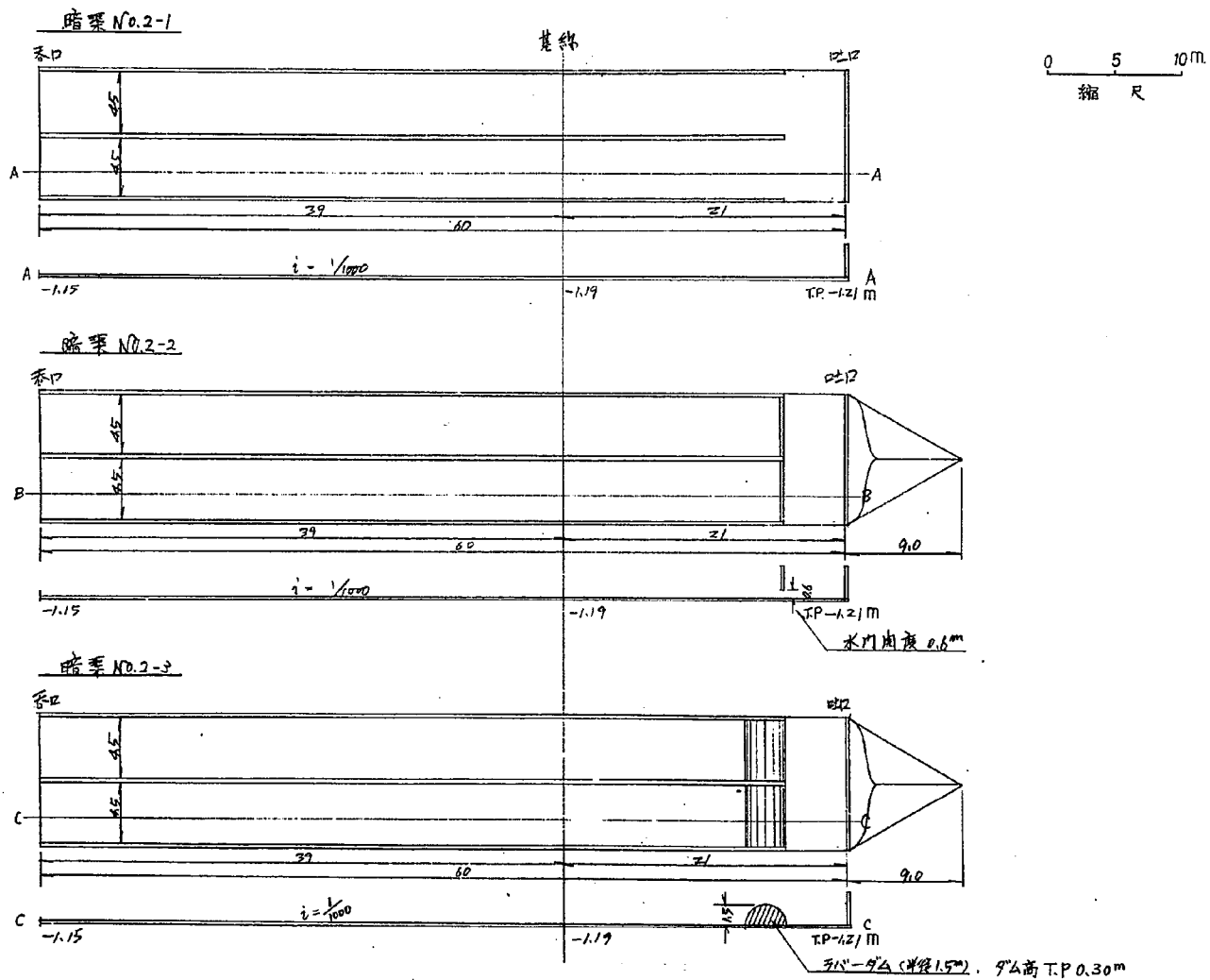


图-6.15 海浜流況図

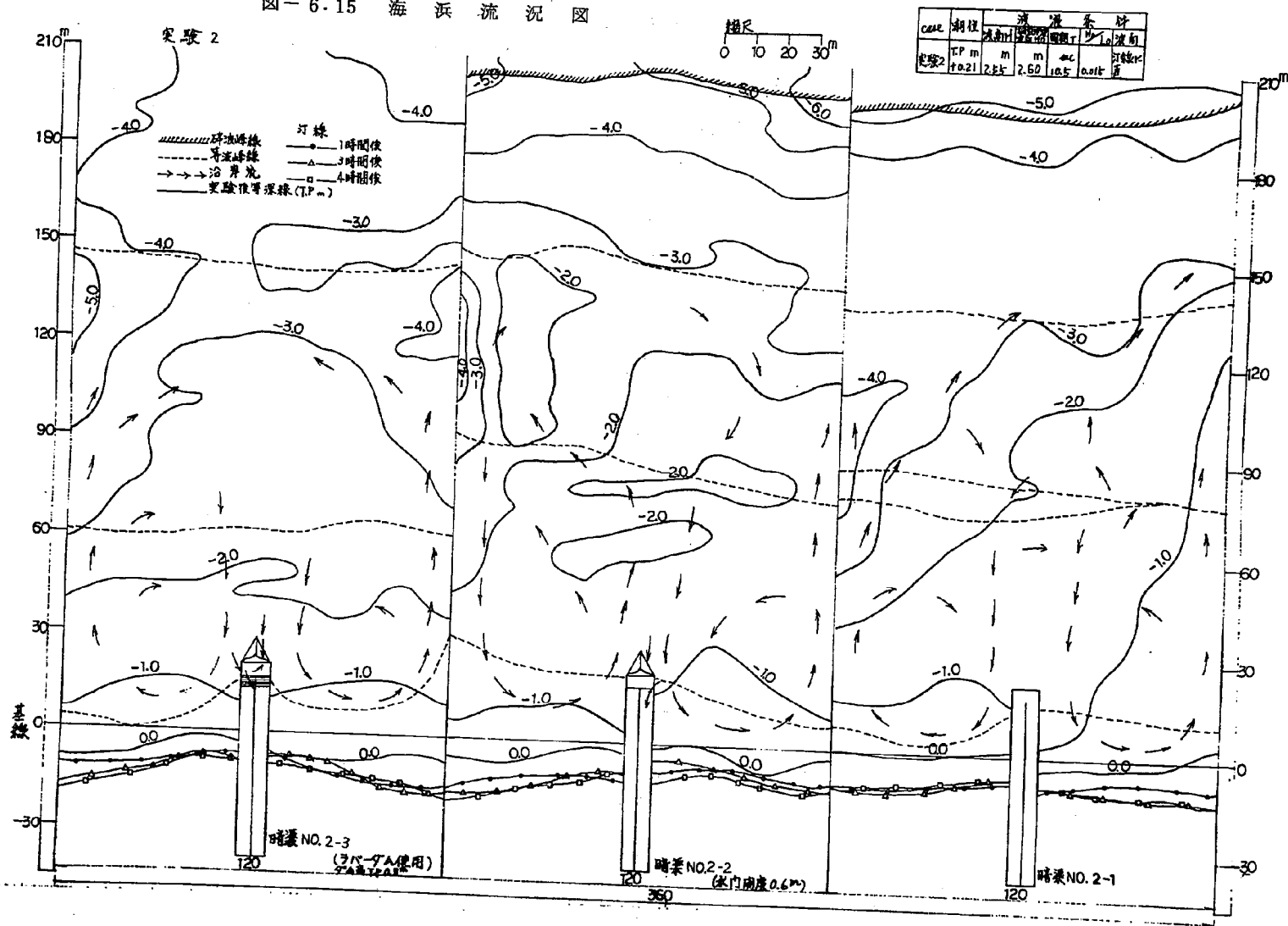


図-6.16 暗渠内堆砂の時間的变化図

暗渠 No. 2-1 構造物なし

0 10 20 m

縮尺

Case	潮位	波浪条件				
		波高 H	波周期 T	波速 C	波向	波向
実験2	+0.21	2.55	2.60	10.5	0.015	直

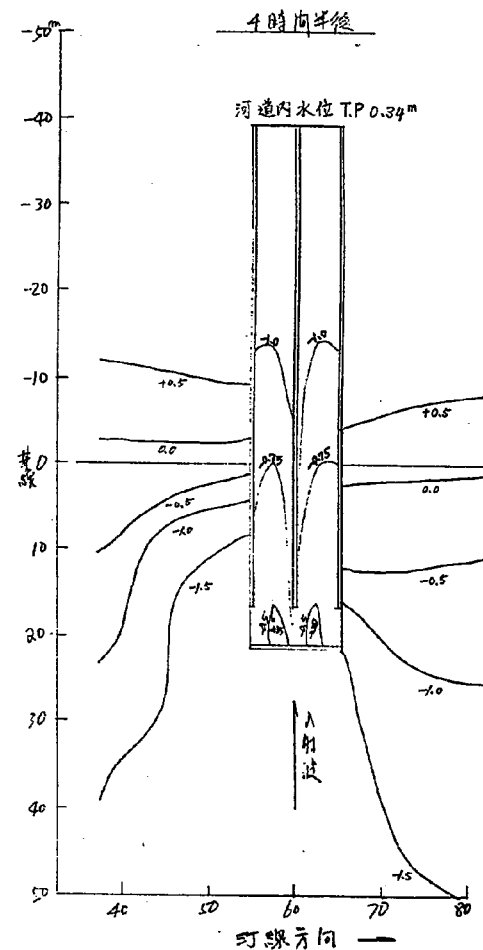
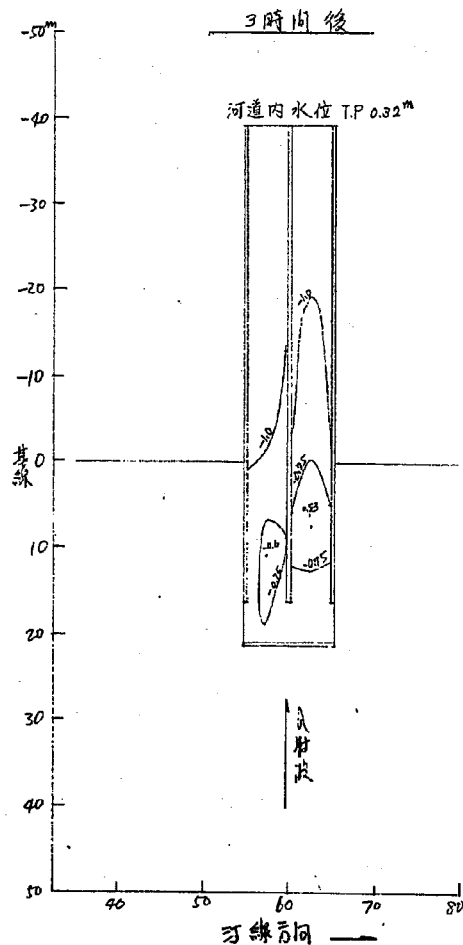
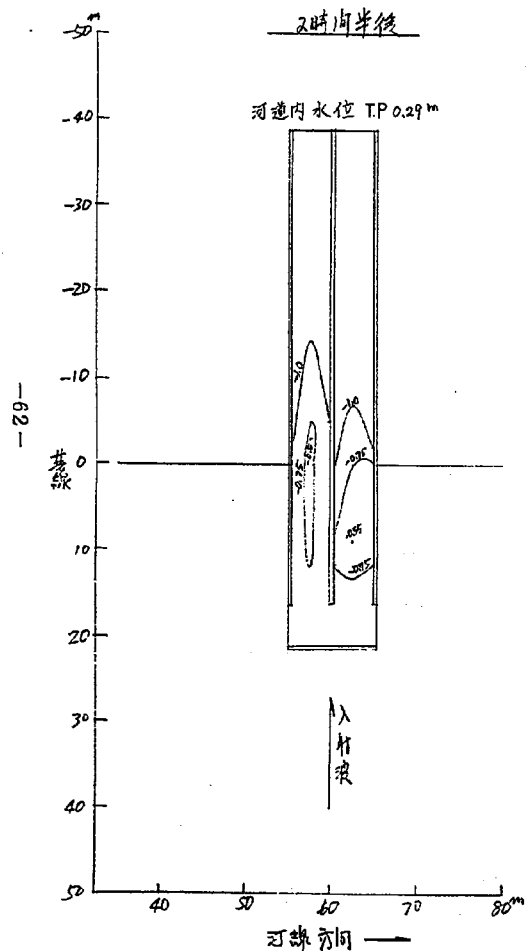


圖-6.17 暗渠內堆砂縱斷圖

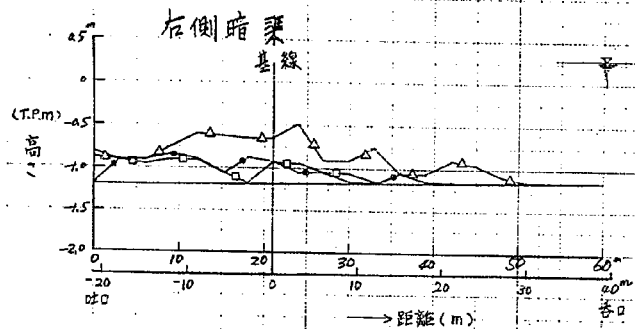
暗渠 NO.2-1 (暗渠長 60m)

構造物全

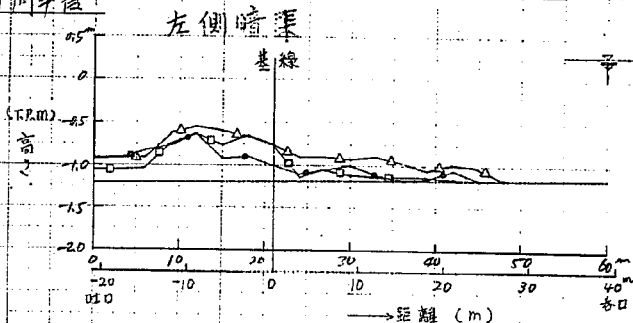
Case	潮位	波浪条件			
		波高H	周期T	波速V	波向
變型2	TP.M +0.21	2.55	2.60	10.5	20/15 直

凡例

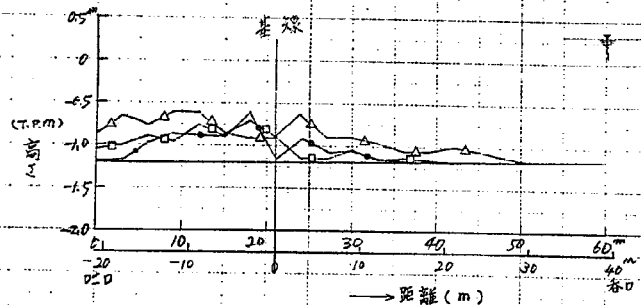
- 暗渠內砂堆型
- △ 中央
- 左側



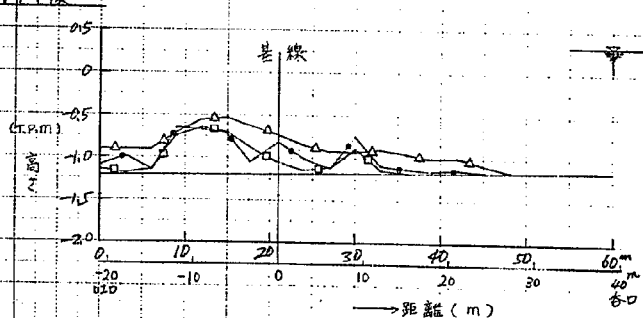
2時00分後



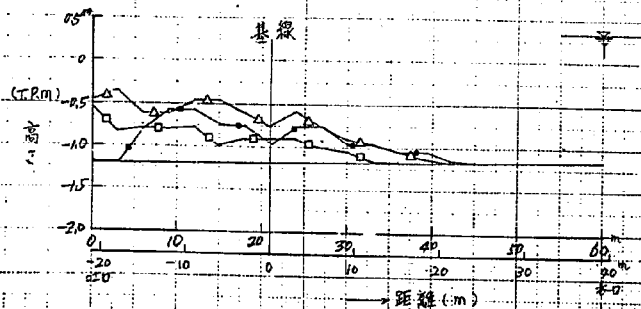
T.P.0.29m



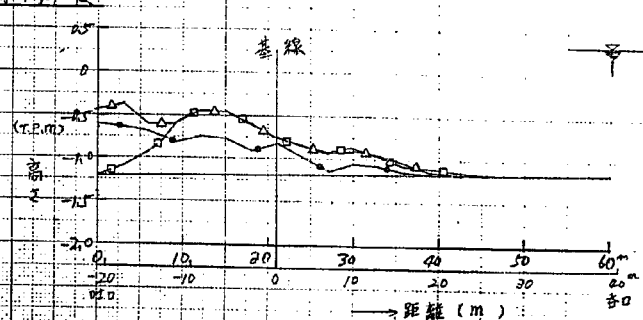
3時00分後



T.P.0.32m



4時00分後



T.P.0.34m

図-6.18 時間の堆砂の時間的変化図

晴野 No. 2-2 水内肉度 0.6m

0 10 20 m

縮尺

Case	潮位	波 浪 条 件			
		波高 H	周期 T	波速 C	波向
実験2	TP +0.21 m	2.55 m	2.60 sec	10.5 m/sec	0.015 度

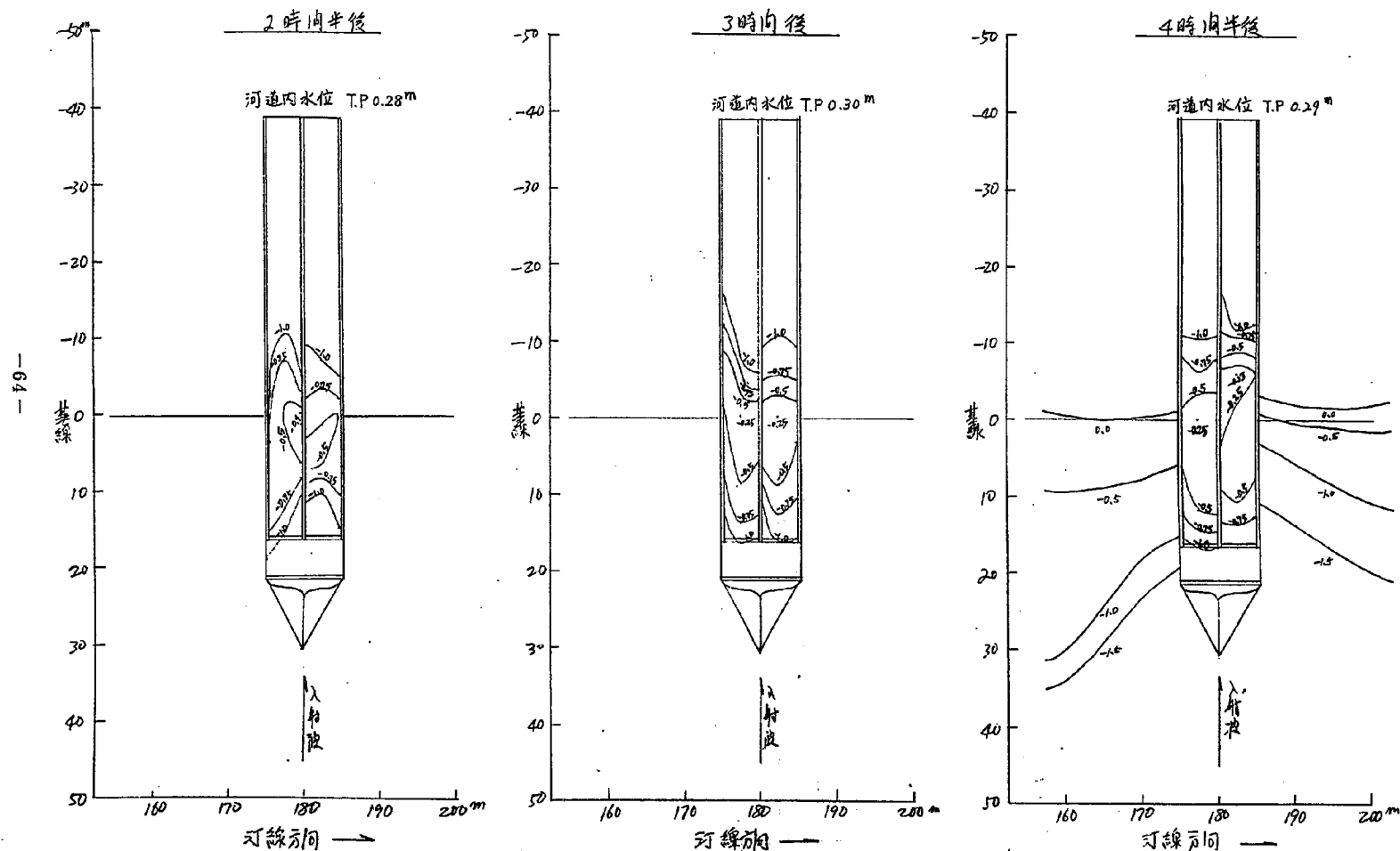


圖-6.19 暗渠內堆砂縱斷圖

暗渠 No. 2-2 (暗渠長 60m) 水門高度 0.6m

Case	潮位	波浪條件			
		波高 H	波長 L	週期 T	波向
實驗 2	TP 0.21	2.55	2.60	10.5	0.015 度

凡例

- 暗渠內右側壁
- △ 中央
- 左側壁

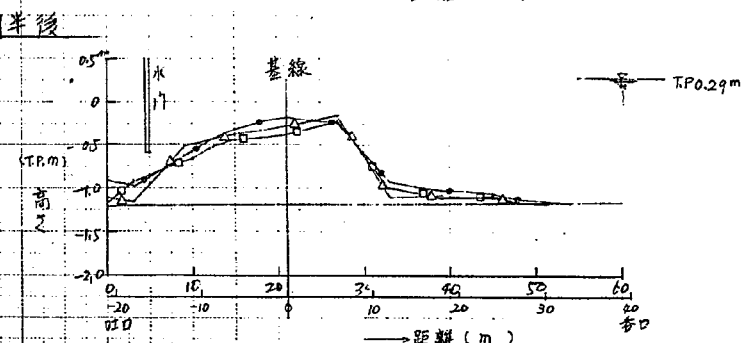
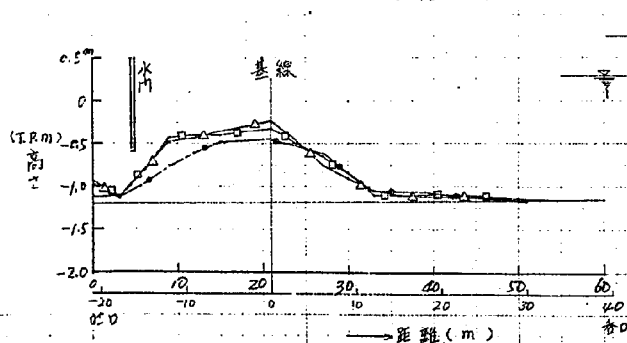
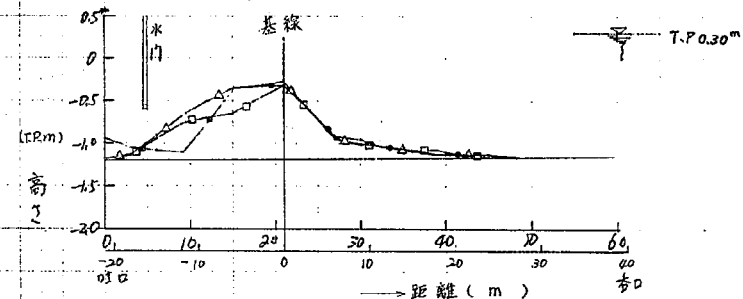
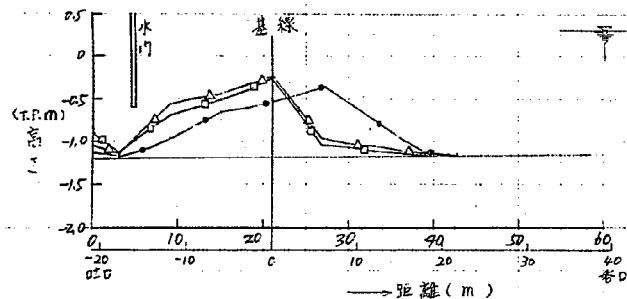
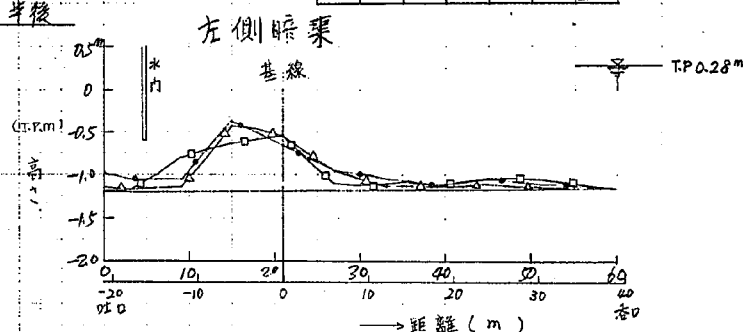
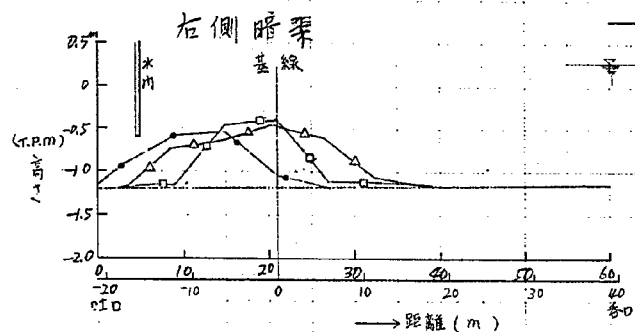


図-6.20 暗渠内堆砂の時間的变化図

暗渠NO.2-3 (暗渠長60m) ラバーダム使用
 砂高 T.P.0.30m

0 10 20m
 縮尺

Case	潮位	波浪条件				
		波高H	波周期T	波速C	波向	汀線に
実験2	T.P.0.21	2.55m	2.60	10.5	0.0/15	通

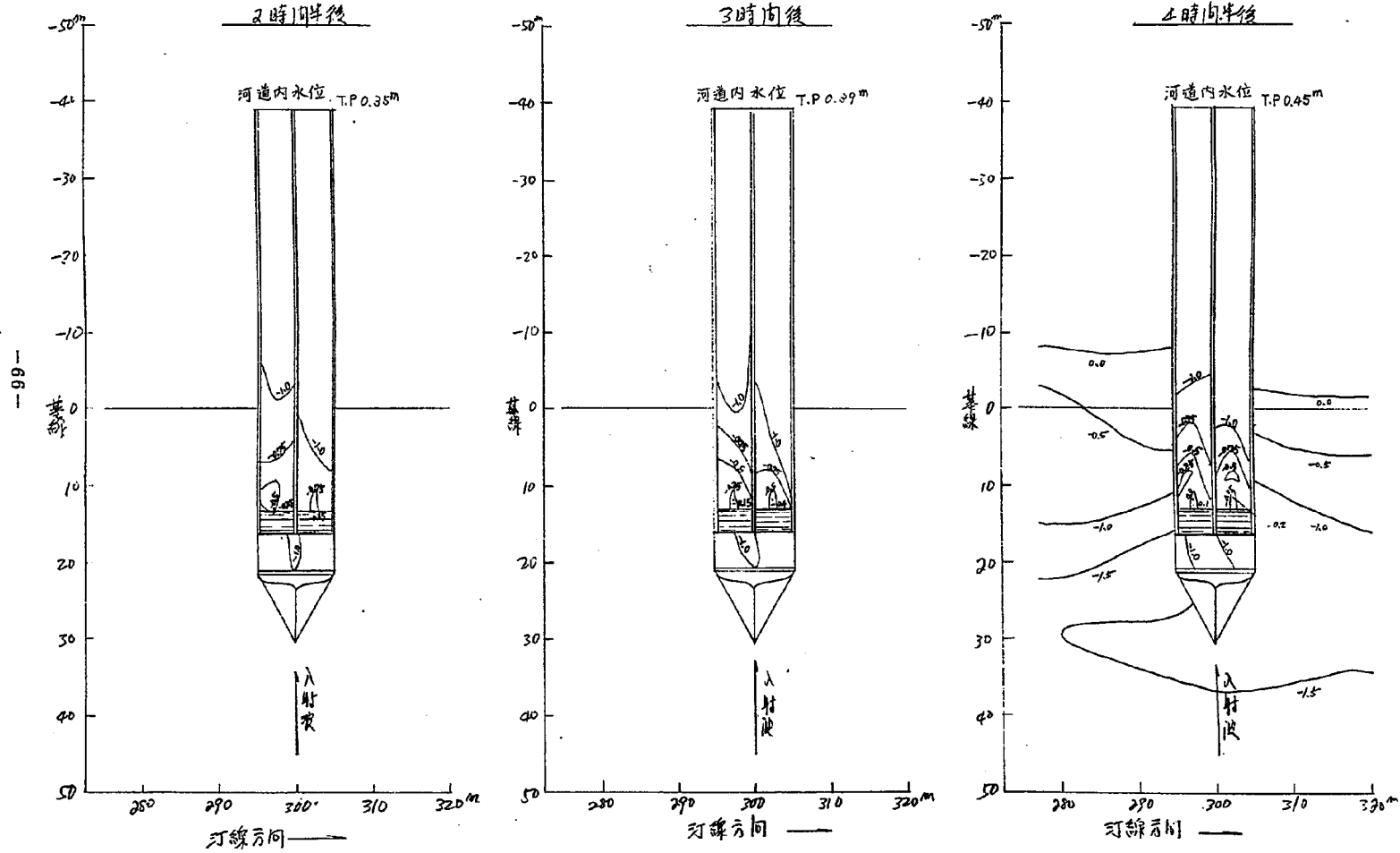


图-6.21 暗渠内堆砂纵断面图

暗渠NO.2-3(暗渠长60m) ラバーダム使用

Date	測点	測定条件					
		水深H	流速V	流量Q	水位	流量	水位
1957.10.24	2.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

凡例

△ 右側暗渠
□ 左側暗渠

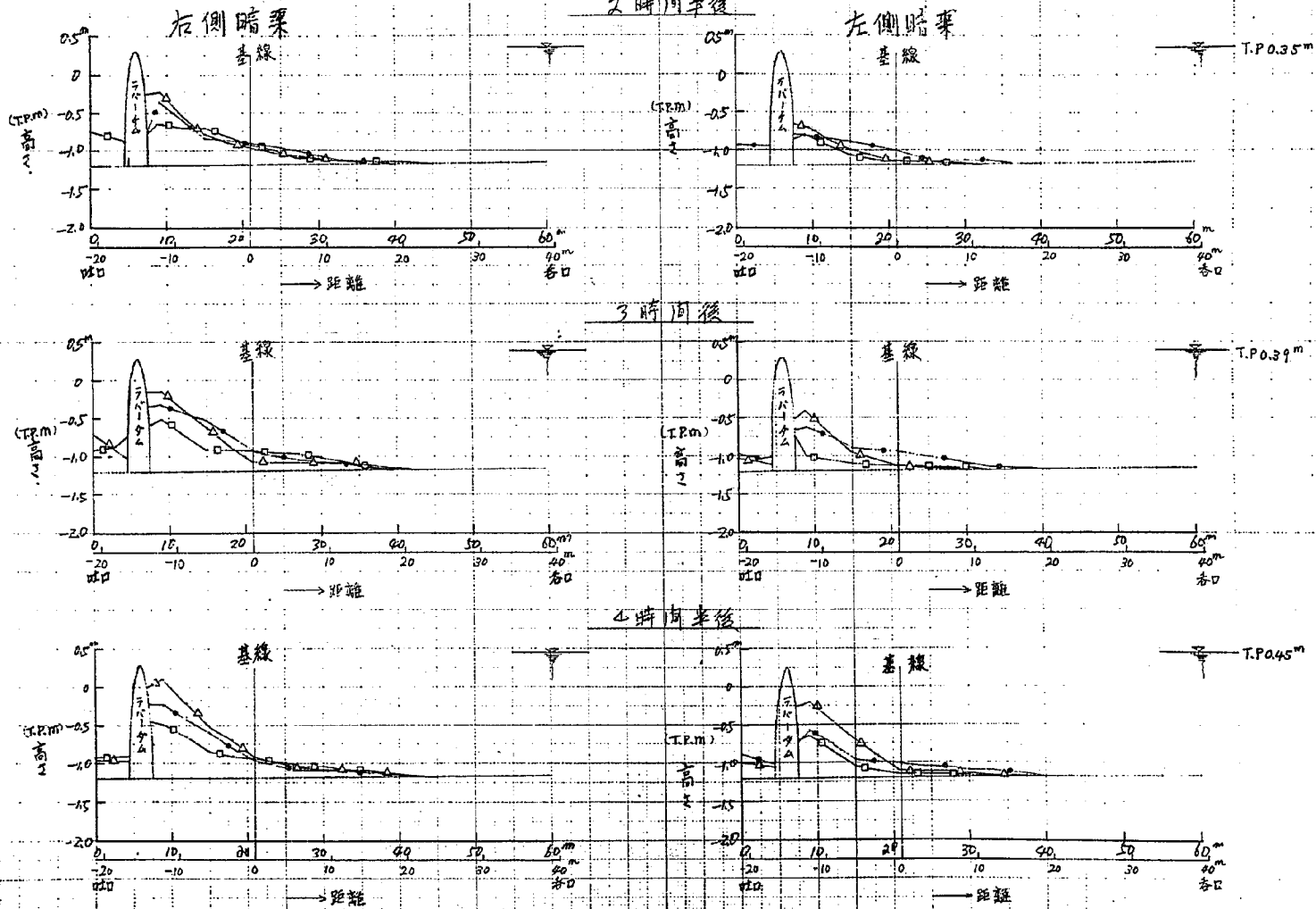
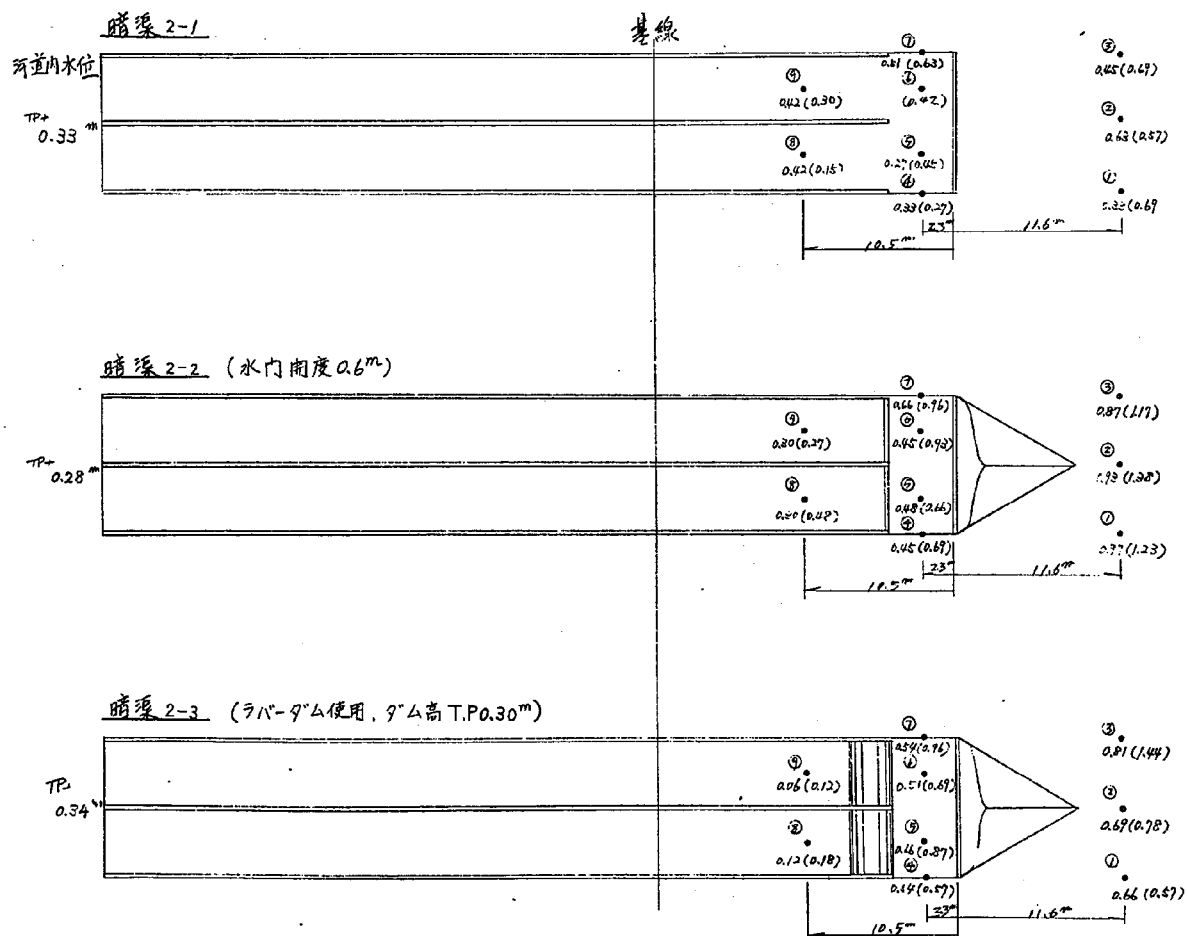


図-6.22 潮位・波高及び河道内水位関係図



測定	暗渠	波浪条件				測定
		波高H	周期T	波速	波向	
1.19	2	0.27	0.55	0.60	0.015	1.19

凡例

① --- 測定番号

② --- 波高

③ --- 測定位置 (実験15分後)

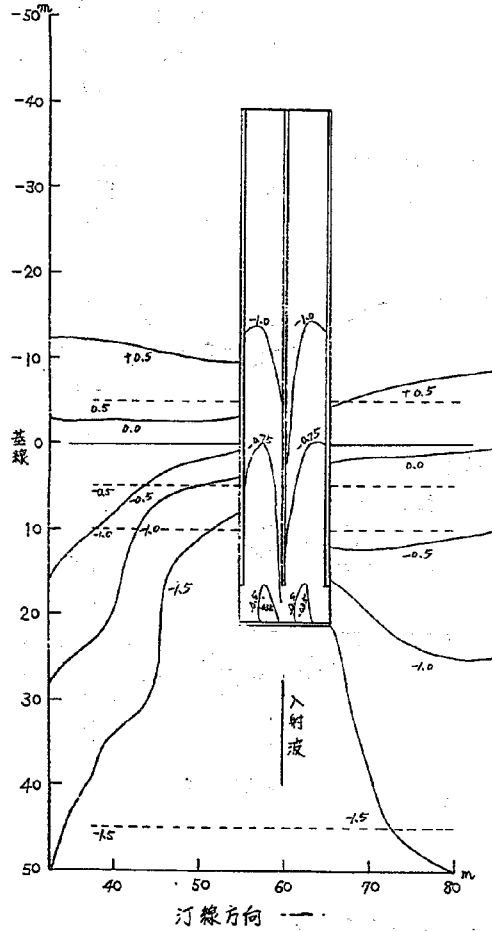
()内 --- " (" 4.5時間後)

图-6.23.1 暗渠内等深线图

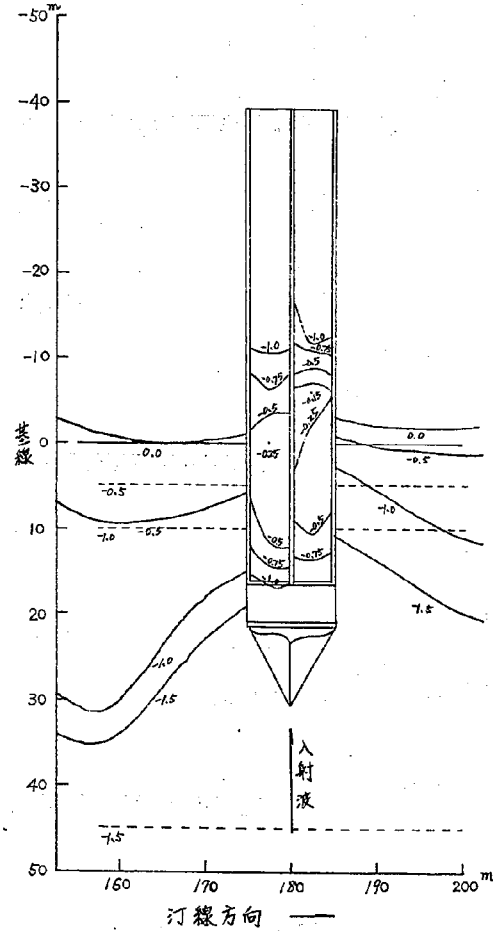
C.O.D.	潮位	流速条件				
		流速H	流速H	流速H	流速H	流速H
实验2	0.21	m	m	m	m	订编
		2.55	2.60	10.5	0.015	道

0 10 20 m
縮尺

暗渠 No.2-1 構造物なし



暗渠 No.2-2 水門閉度 0.6 m



暗渠 No.2-3 ラバーダム高 T.P. 0.30 m

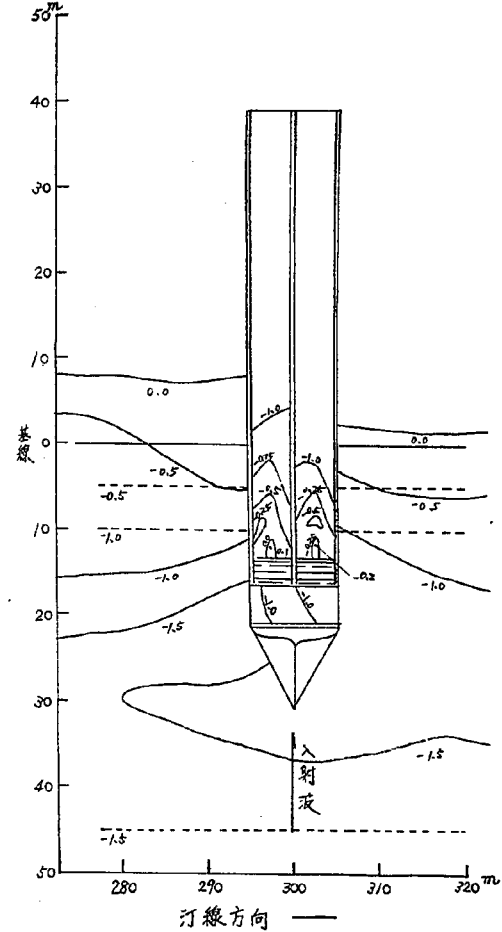


図-6.23.2 暗渠内縦断面図(実験後)

Case	測点	波浪条件			
		波高	周期	波速	波向
実験値	TP m	m	m	sec	方向
	+0.21	2.55	2.60	10.5	0.015 度

凡例

- 各暗渠内の右側壁
- △ " 中央
- " 左側壁

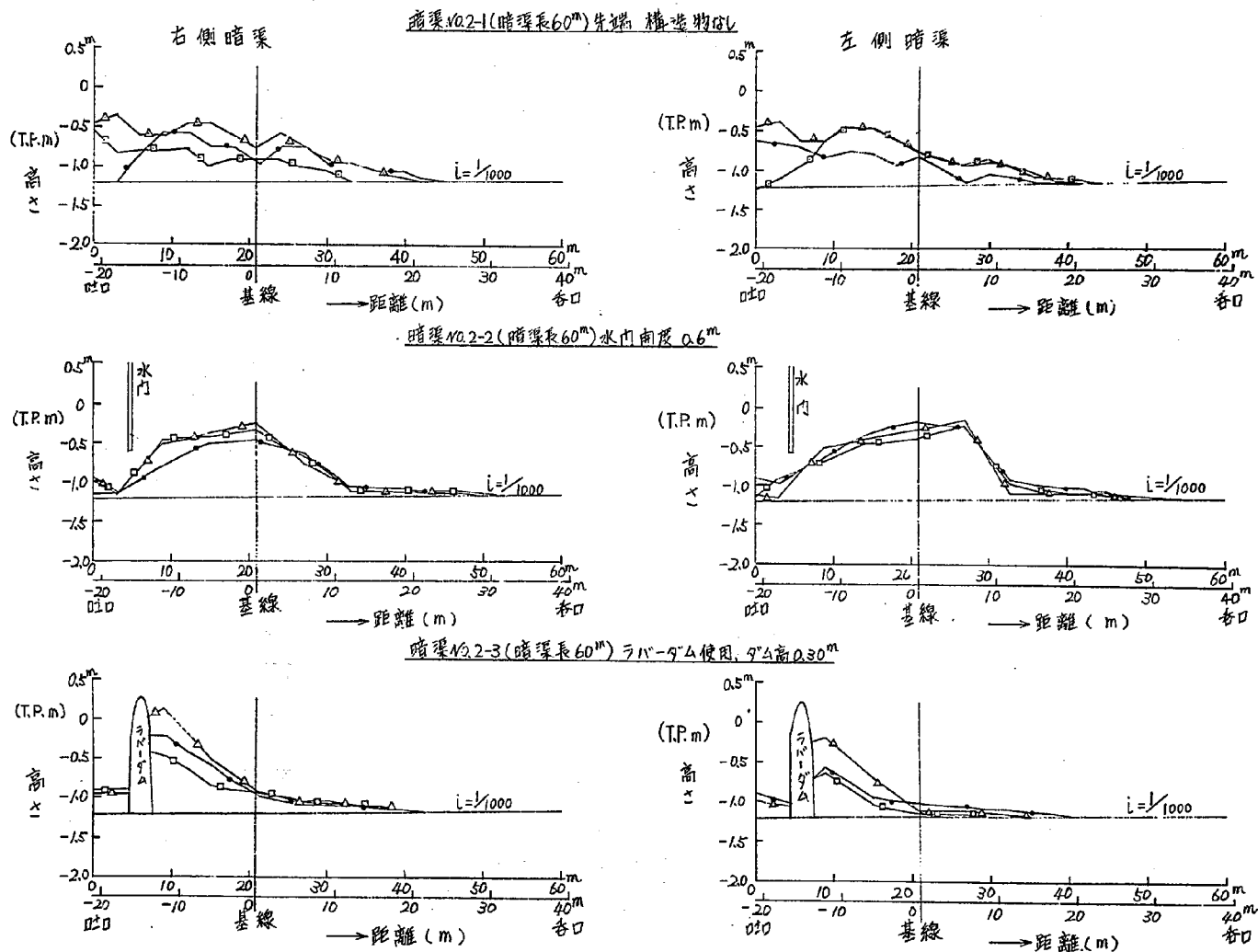
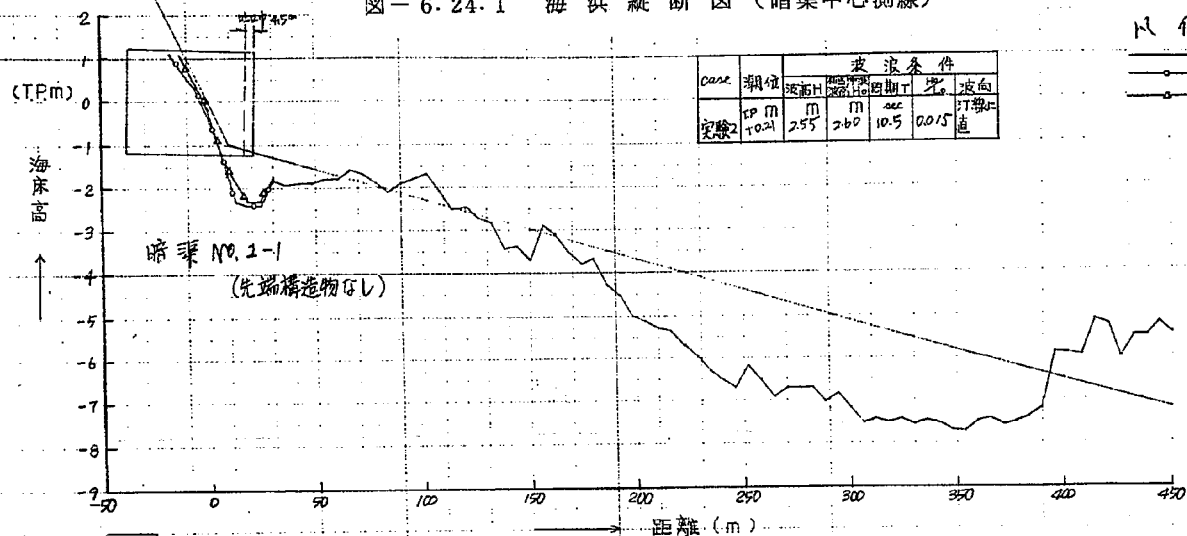


图-6.24.1 海滨纵断面图 (暗渠中心测线)



以例
 暗渠先端
 暗渠外側
 暗渠内側
 右侧
 左侧

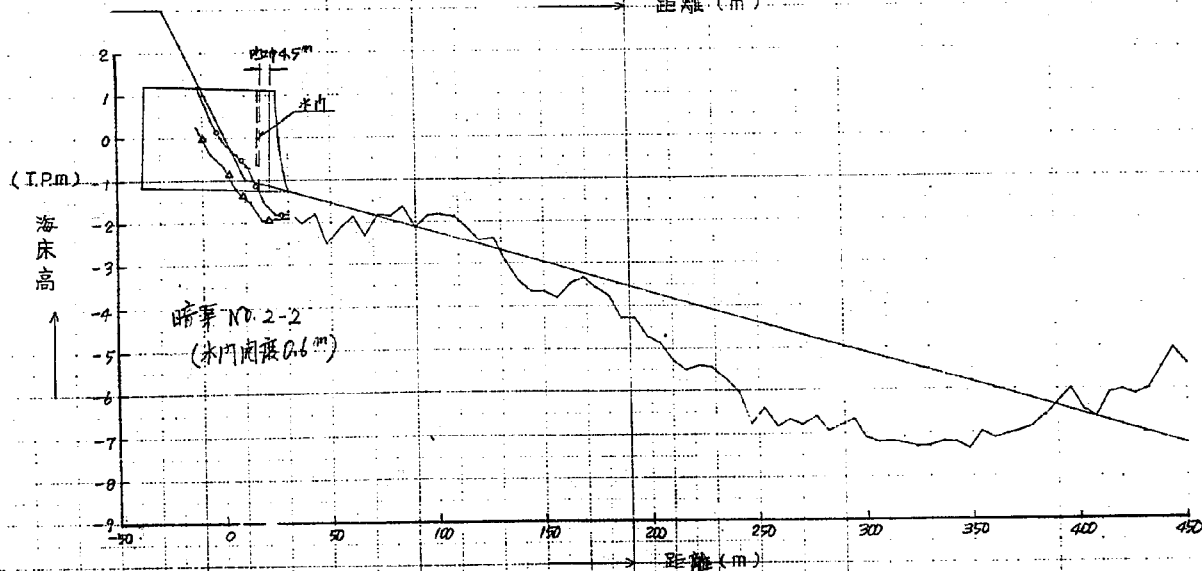
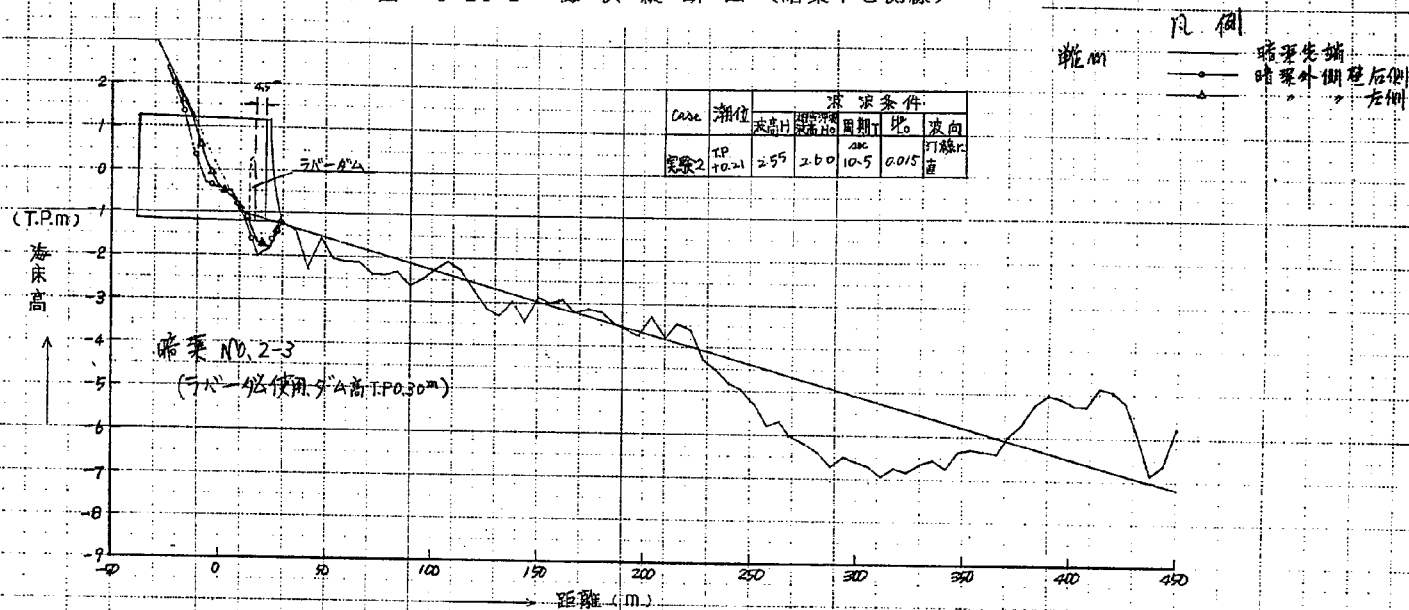


図-6.24.2 海浜縦断面図 (暗渠中心測線)



-72-

図-6.25 等 深 線 図 (実験終了後)

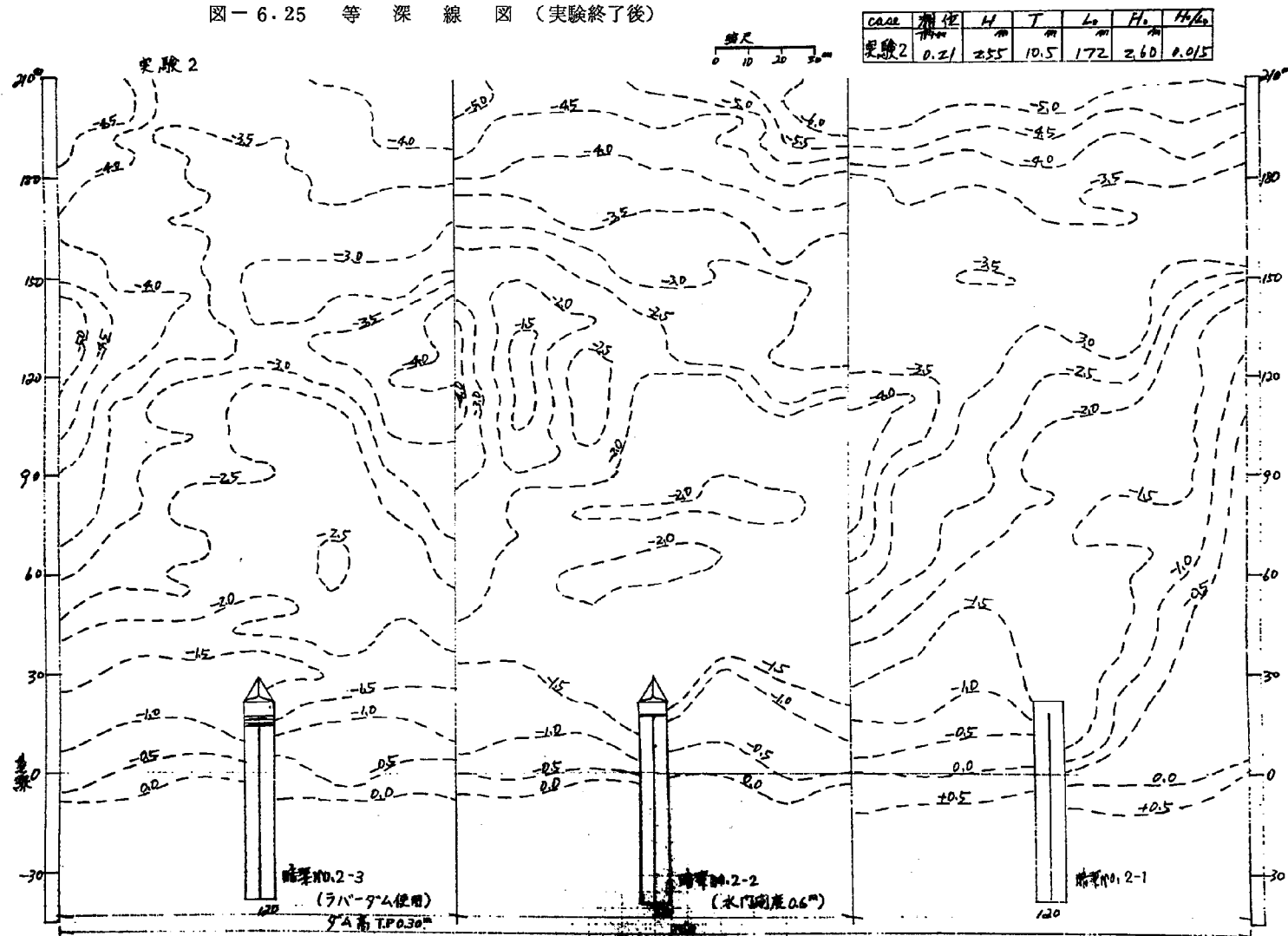
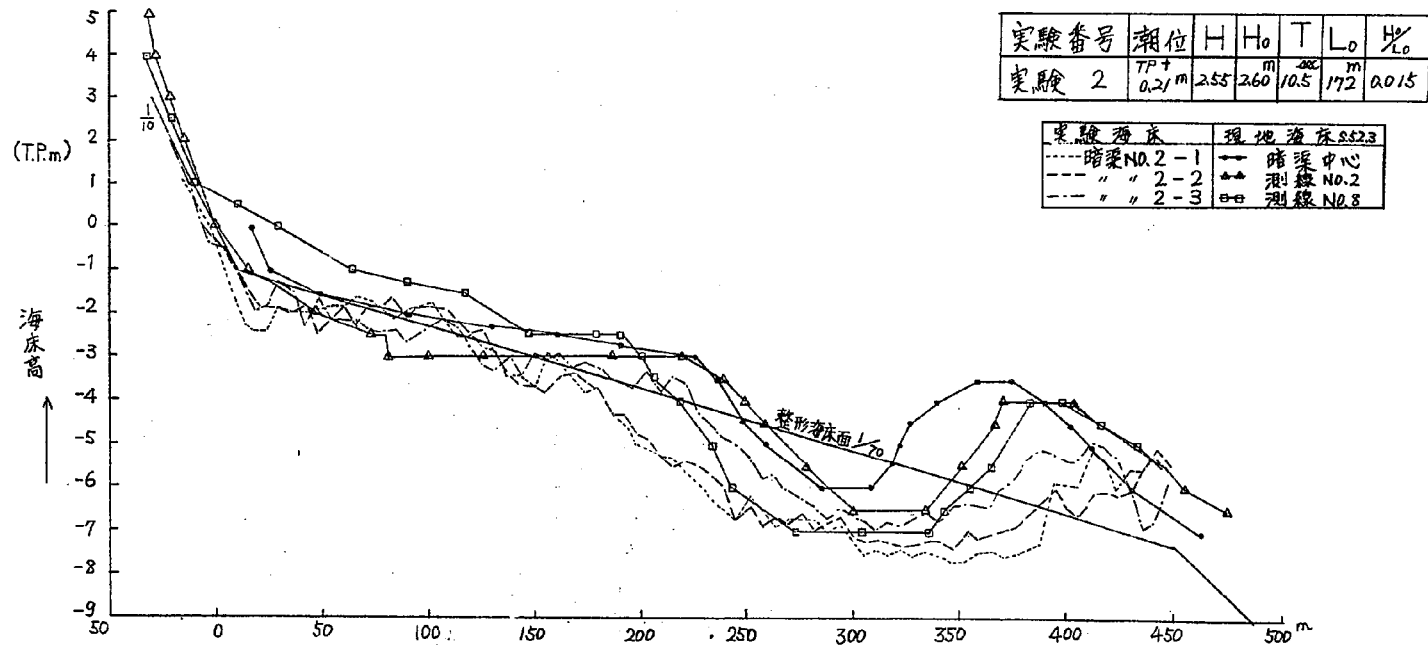
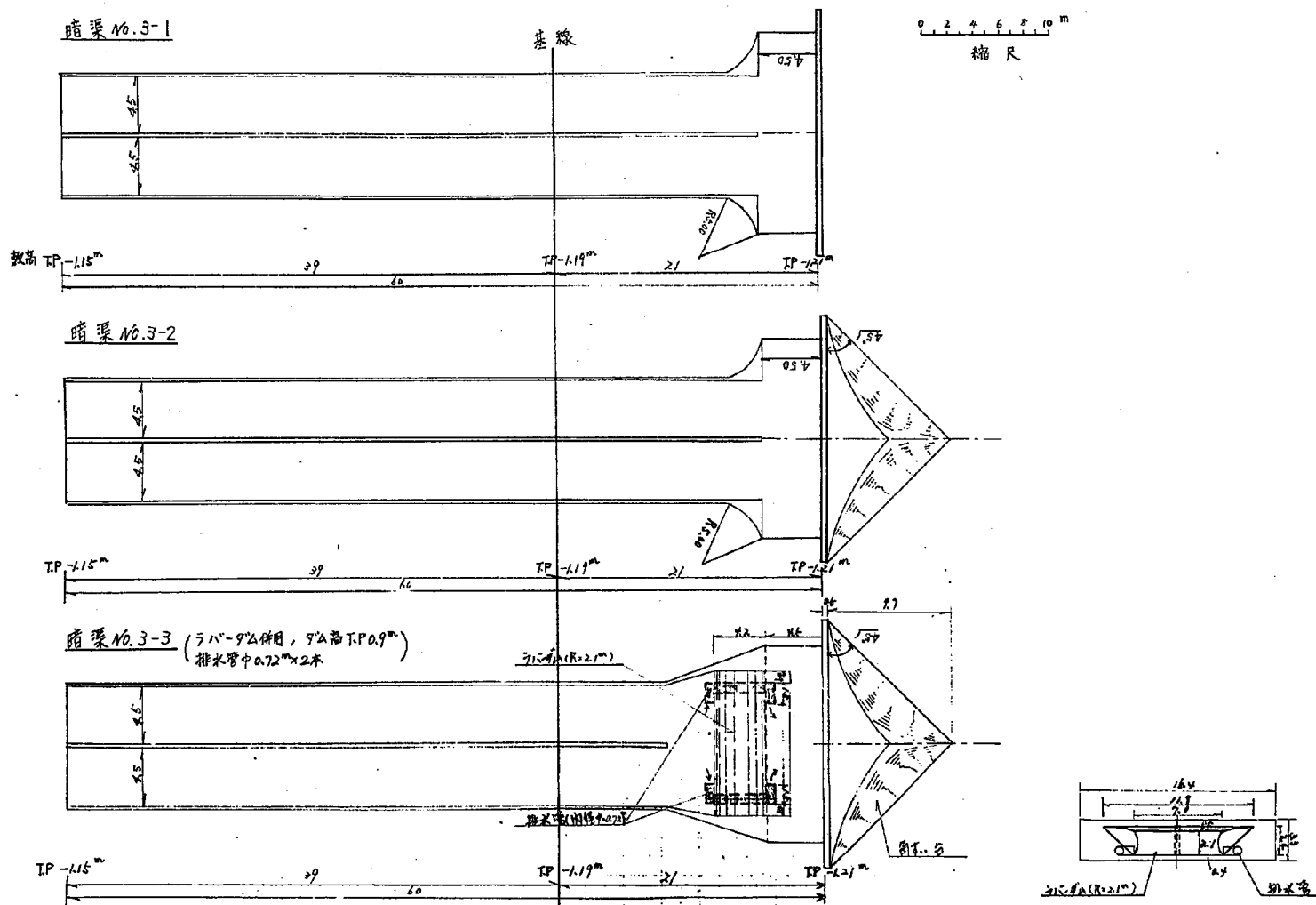
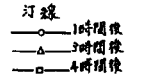


图-6.26 海浜縦断面図 (暗渠中心測線)



図一 6.27 暗 渠 詳 細 図 (実験 No. 3)



0 10 20 30^{mm}

Case	潮位	浪 浪 条 件				
		波高H	波周期T	波速C	波向	波向
実験3	T.P m +0.27	m 2.82	m 3.05	m 9.5	0.022	波線に直

図-6.29 暗渠内堆砂の時間的变化図

暗渠3-1 (角すいせし)

Case	水位	流速	水深	流量	断面
実験3	0.27	2.92	0.06	7.5	0.022

0 5 10 15 20 m
縮尺

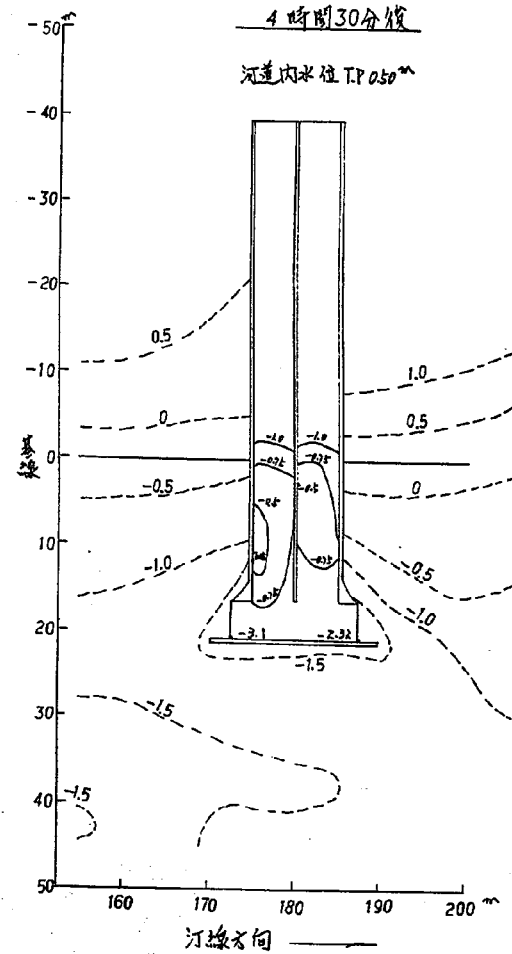
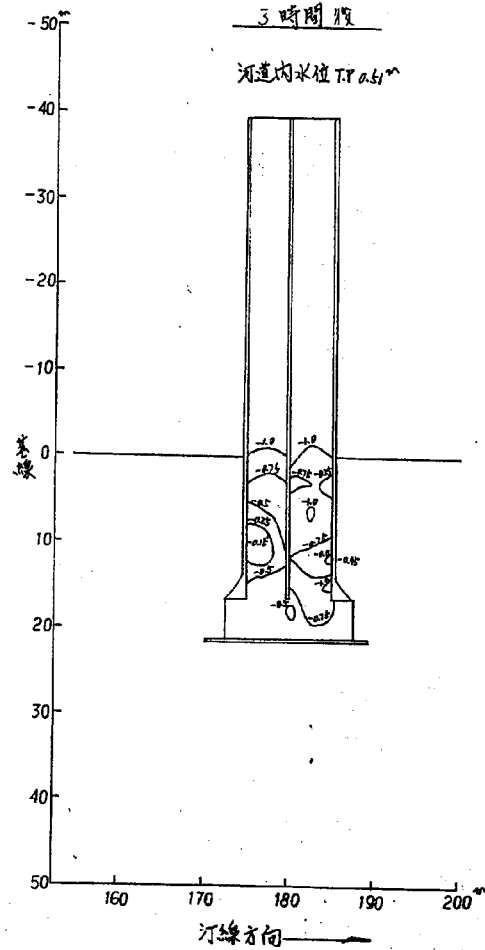
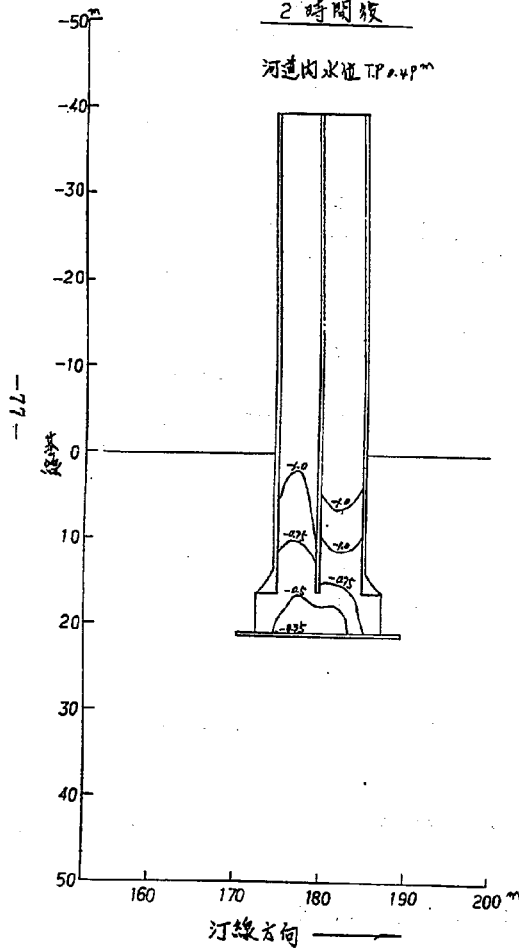


圖-6.30 暗渠內堆砂縱斷圖

暗渠3-1

CASE	潮位	浪高	浪向	浪速	浪高	浪速
2.27	2.82	3.05	9.5	0.22	0.22	0.22

風例

● 各暗渠內右側壁
▲ 中央
○ 左側壁

暗渠長	橫道物有無
60 m	有 L

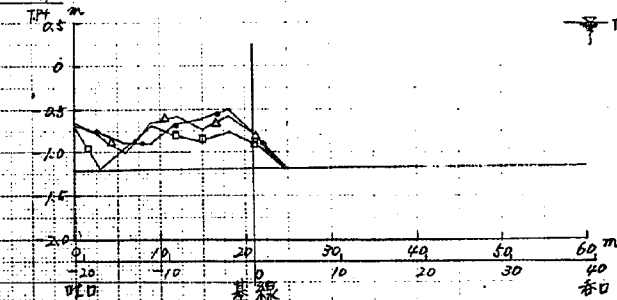
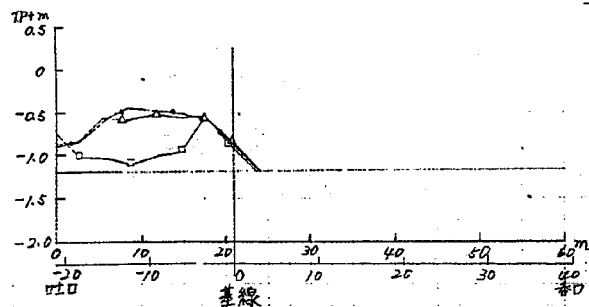
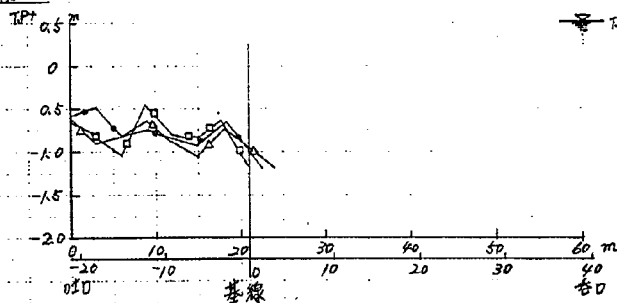
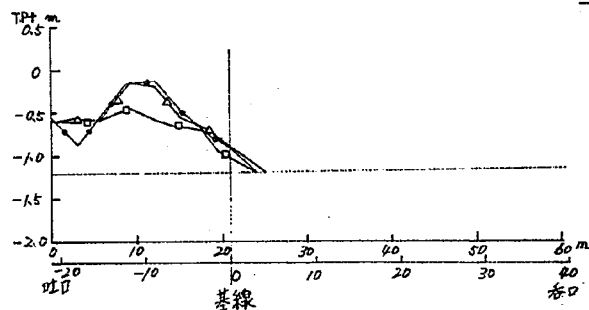
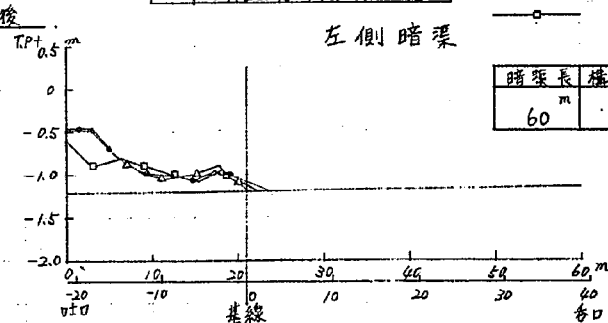
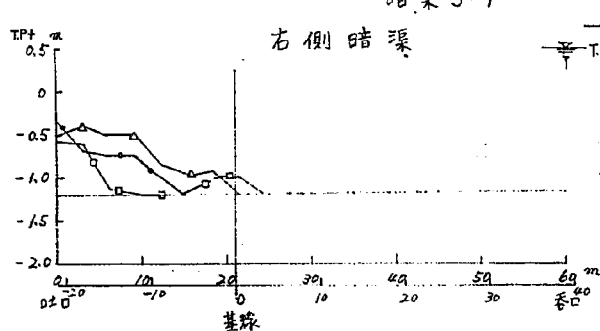


図-6.31 暗渠内堆砂の時間的变化図

Case	潮位	源	流	条件	時間	方向
3	T.P. + m	m	m	400	1/2	汀線E
3	0.27	2.82	3.95	2.5	0.022	道

0 5 10 15 20 m

端 R

暗渠 3-2

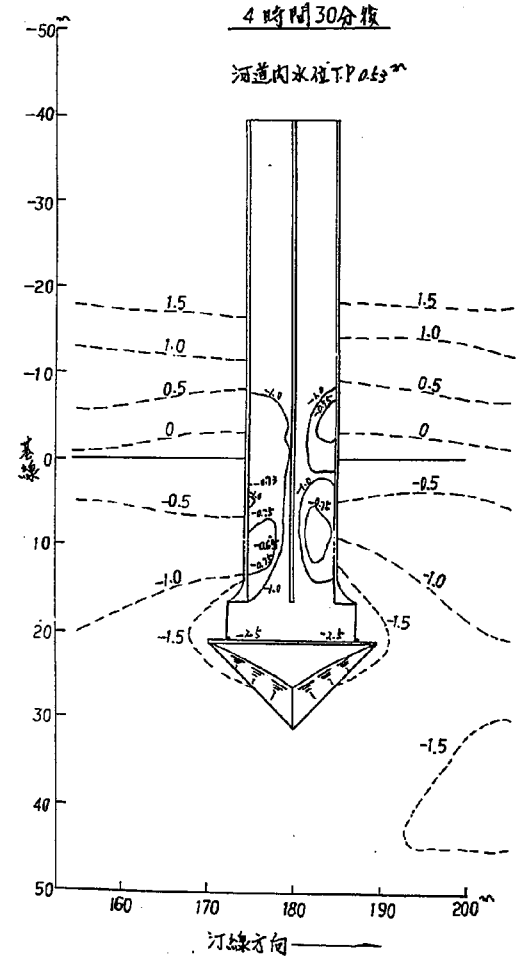
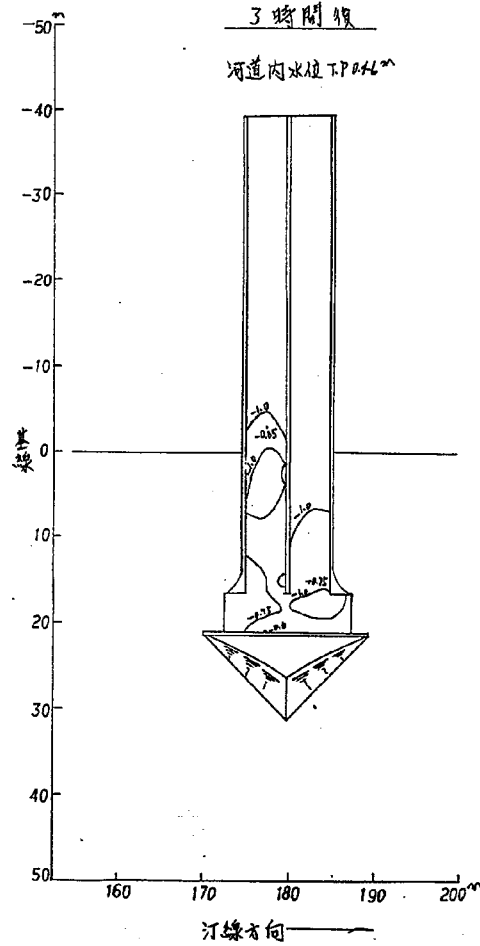
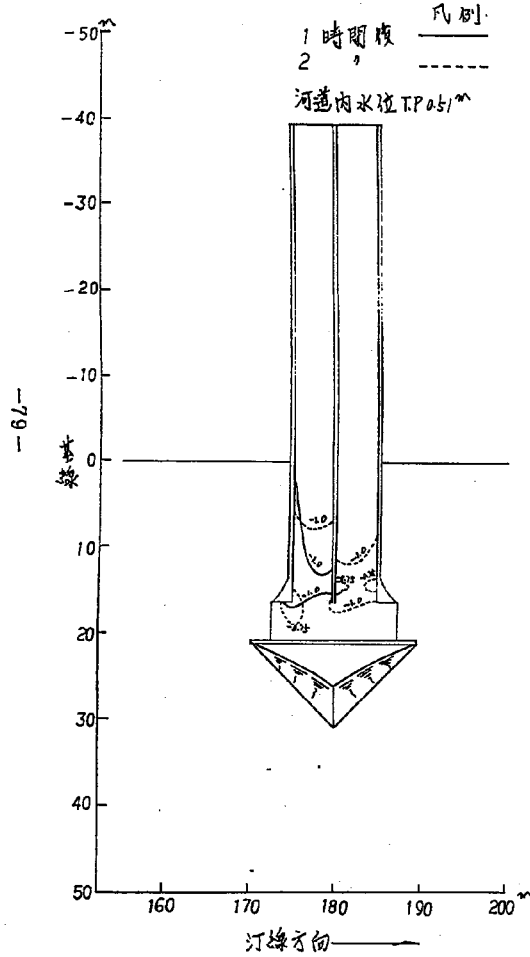


圖-6.32 暗渠內堆砂縱斷圖

Case NO.3 暗渠3-2

Case	測站	測 量 值				備 註
		流量 Q m^3/s	水深 H m	流速 V m/s	泥沙 kg/m^3	
實驗3	70.27	2.92	3.05	9.6	0.022	通

凡例

- 為暗渠內右側壁
- ▲—▲ " 中央
- " 左側壁

暗渠長	60m
暗渠寬	3.0m

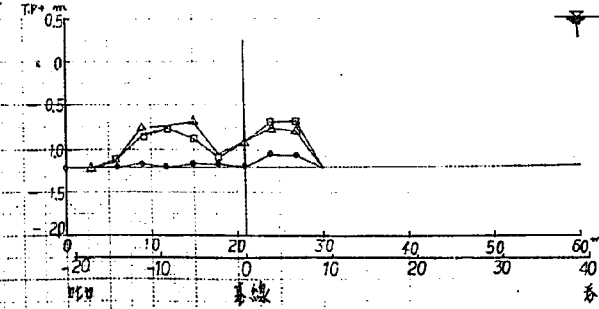
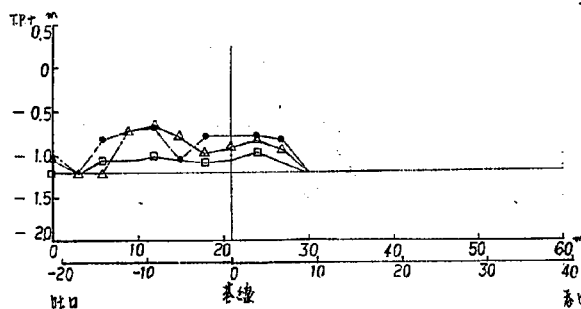
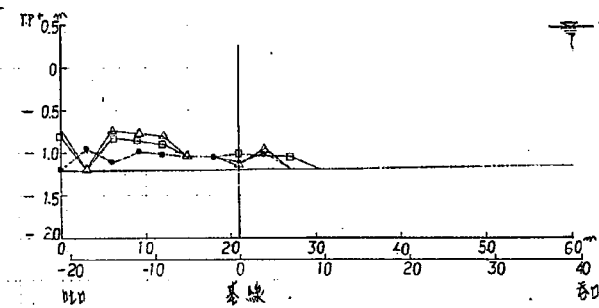
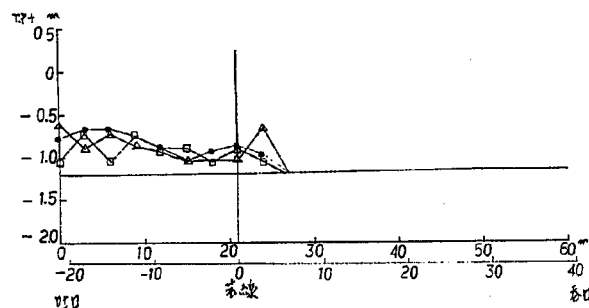
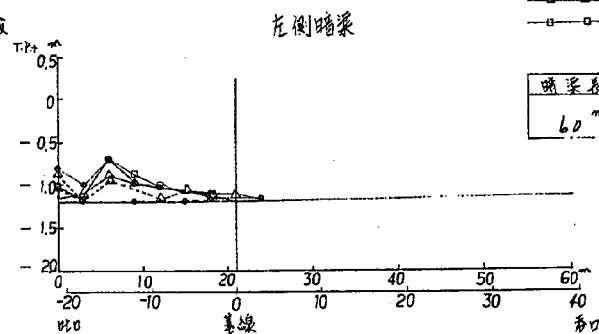
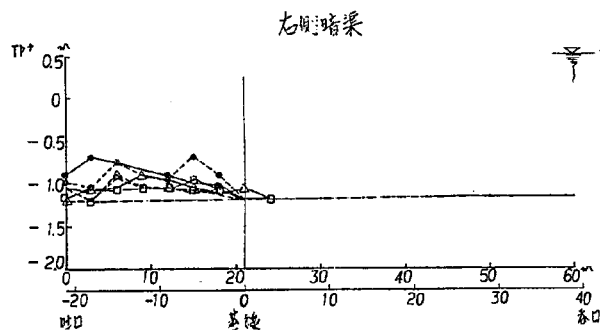


図-6.33 暗渠内堆砂の時間的变化図

CASE	潮位	湧出量	湧出率	湧出係数	湧出速度
実験 3	TP+0.27	2.92	3.26	9.6	0.022

0 5 10 15 20m

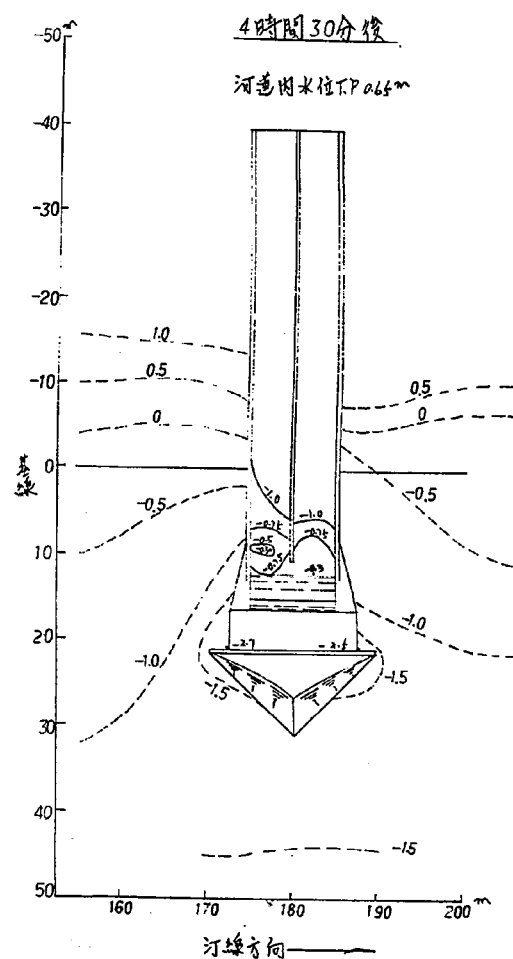
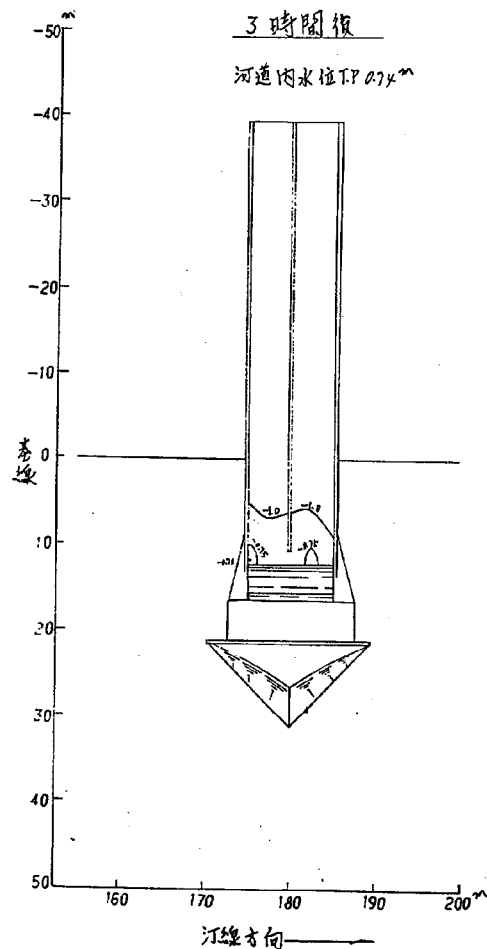
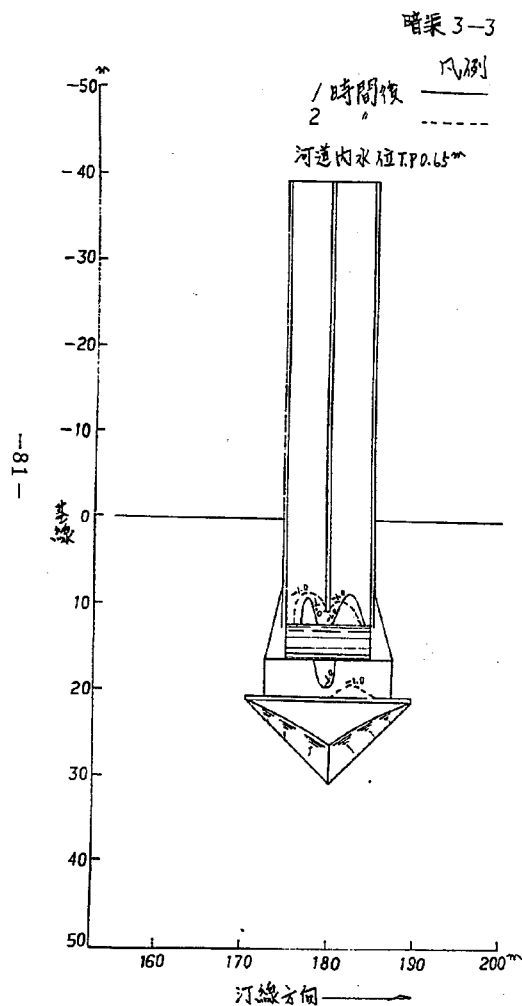
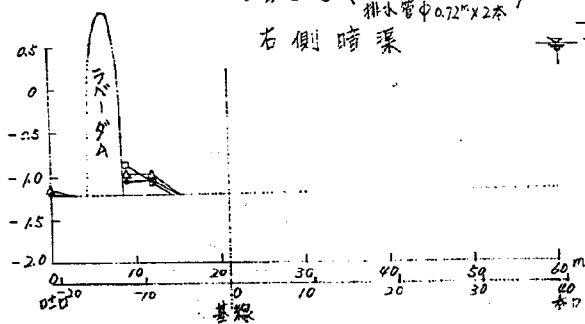


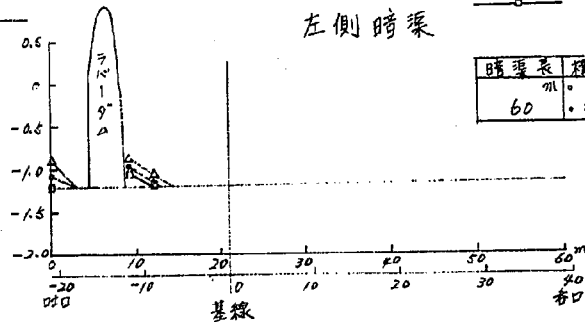
図-6.34 暗渠内堆砂縦断面図

暗渠3-3 (ラバーダム高TP0.9m)
排水管φ0.72m×2本

右側暗渠



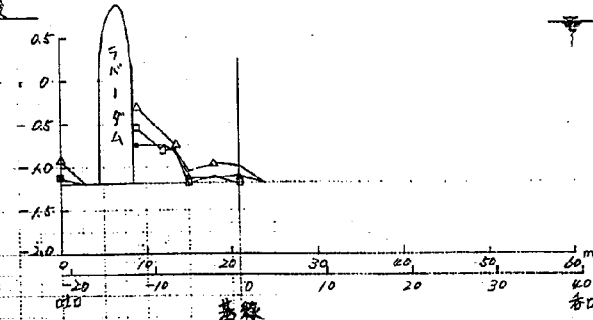
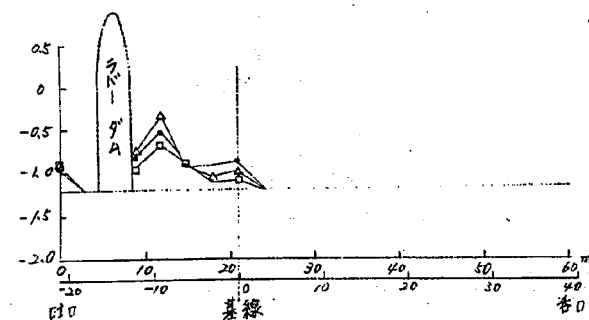
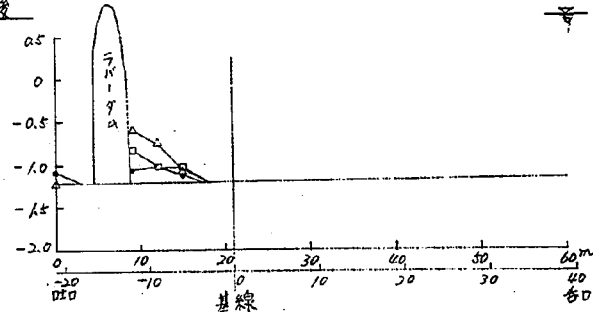
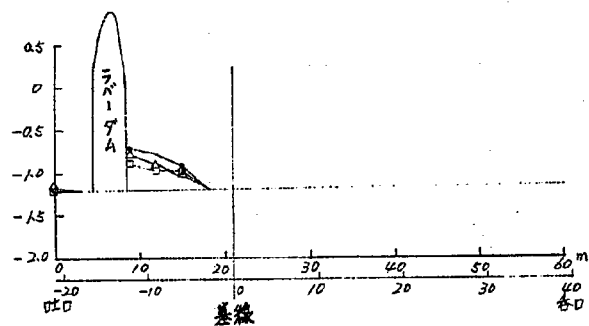
左側暗渠



凡例

- 各暗渠内方側壁
- △ 中央
- 左側壁

暗渠長	構造物有無
m・内すい台	
60	・ラバーダム(R0.21)



図一 6.35 暗渠周辺波高測定図

測位	H	T	L ₀	H ₀	H ₀ /L ₀
TP+ 0.27	2.82	8.5	141	0.05	0.022

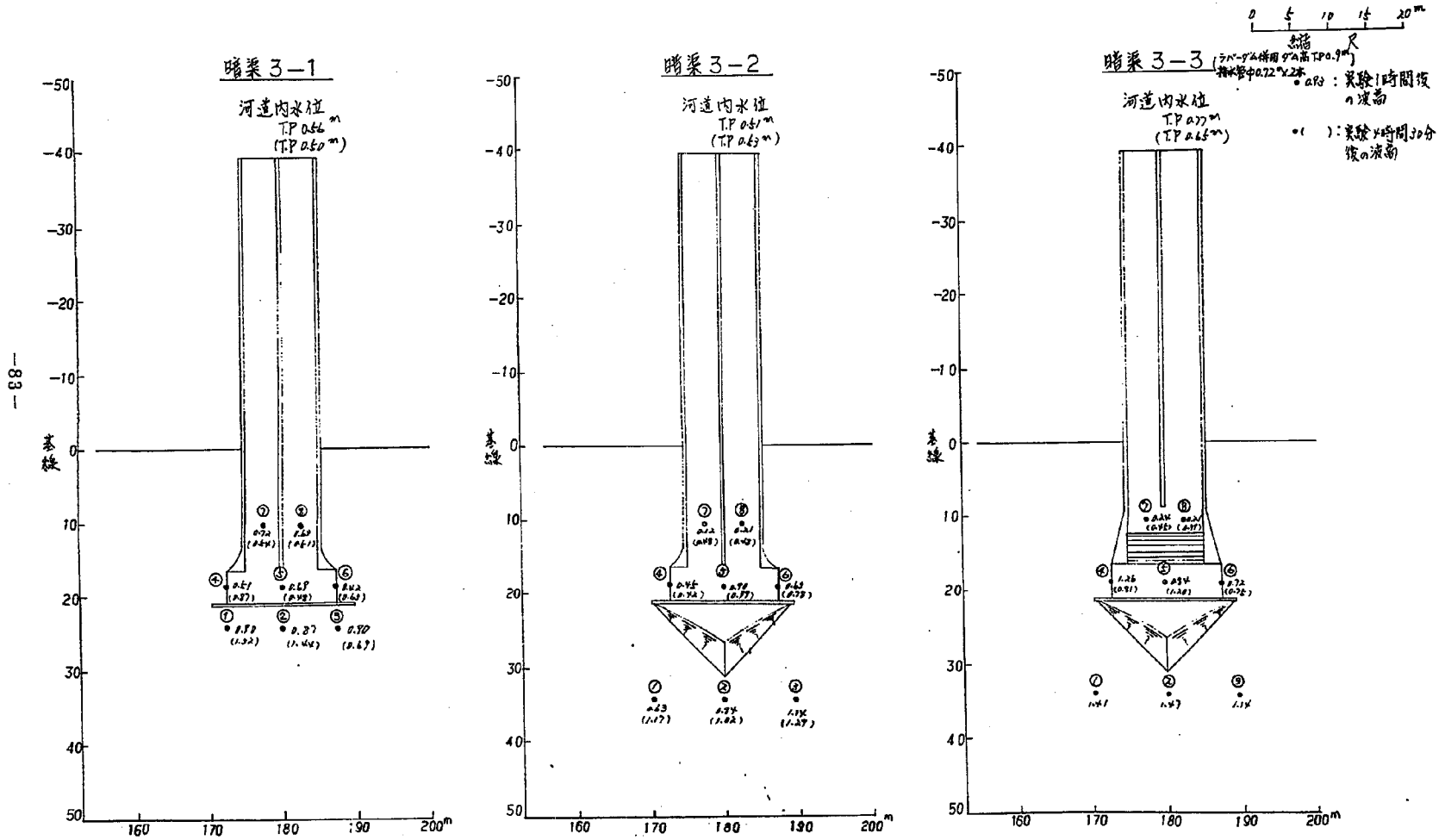


图-6.36.1 暗渠内等深线图 (实验後)

名称	水位	水深H	流速V	流量Q	条件
TP	m	m	m	m	波向
实验	40.27	2.82	3.05	9.5	0.022

0 10 20m
縮尺

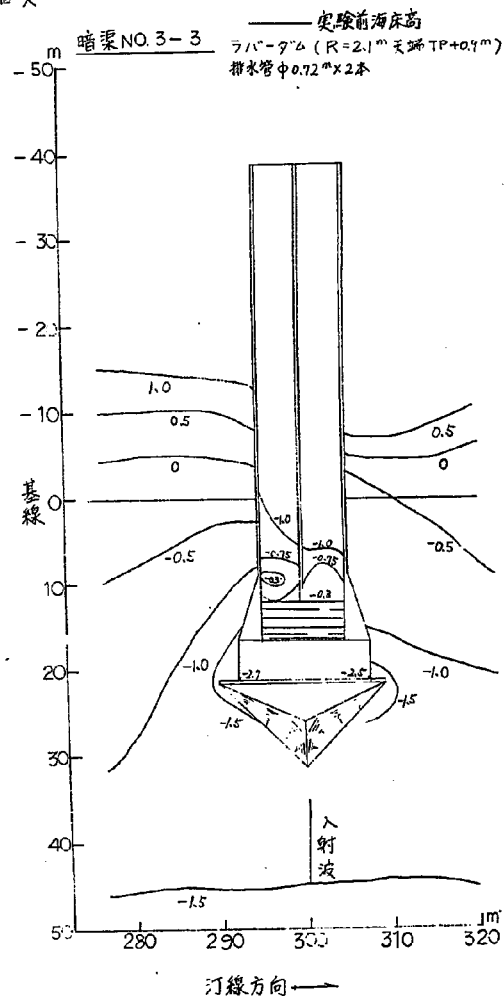
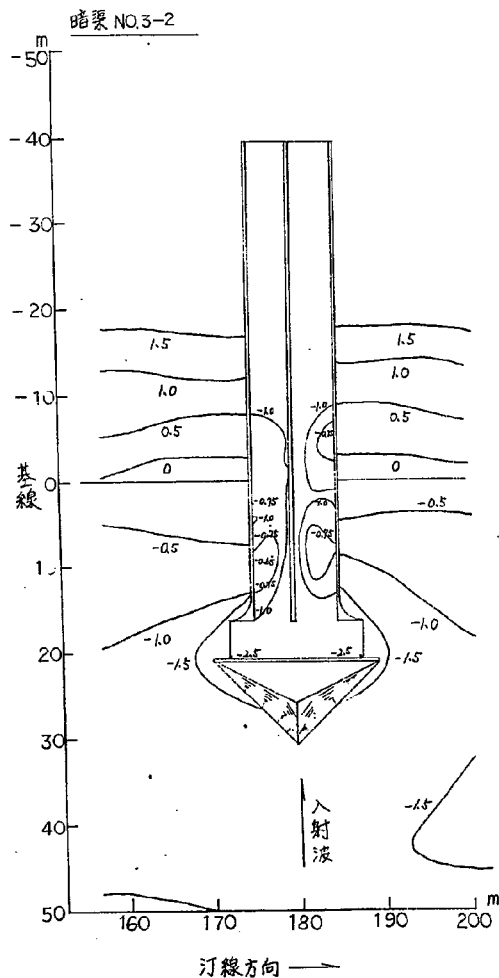
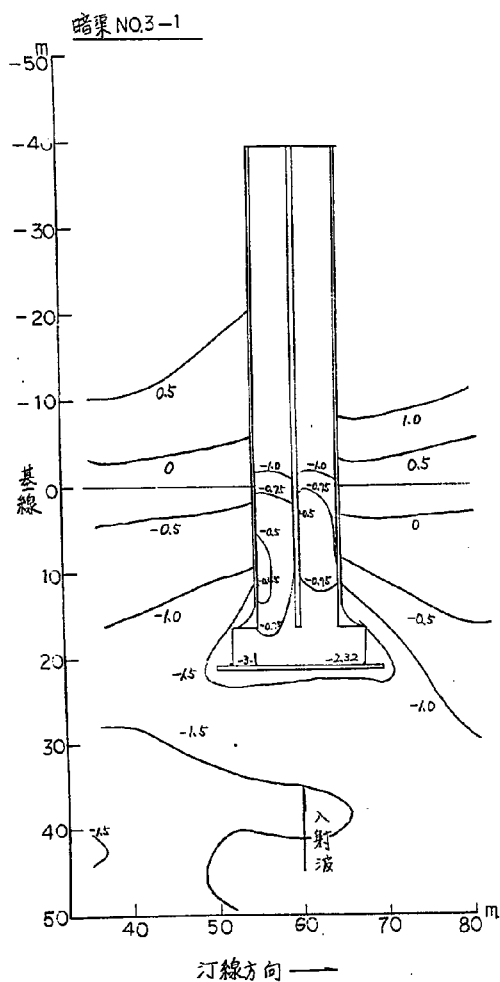


図-6.36.2 暗渠内堆砂縦断面図(実験後)

CASE	潮位	波浪条件			
		波高H	周期T	H ₀ /L ₀	浪白
実験3	TP m	m	m		汀線に直
	10.27	2.82	3.05	9.5	0.022

凡例

- 各暗渠内右側壁
- △ " 中央
- " 左側壁

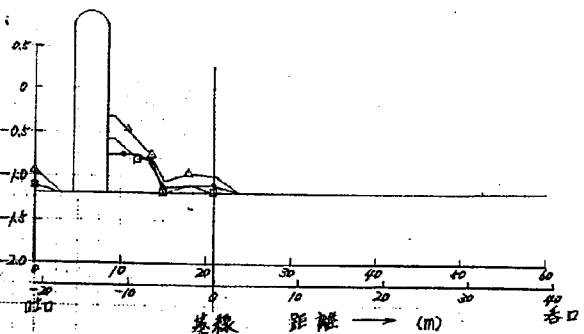
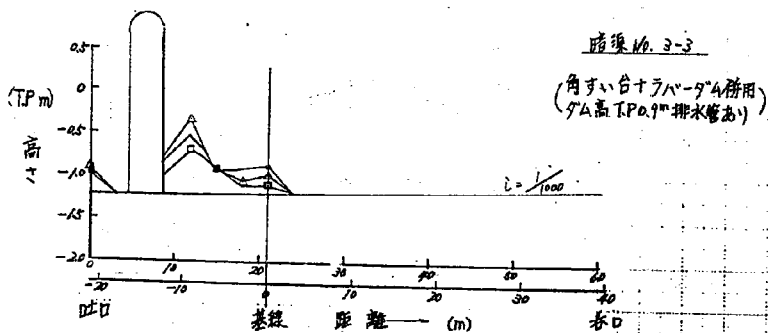
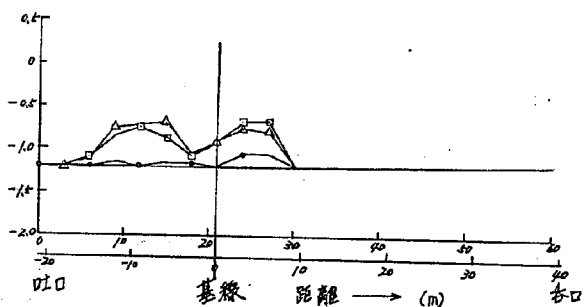
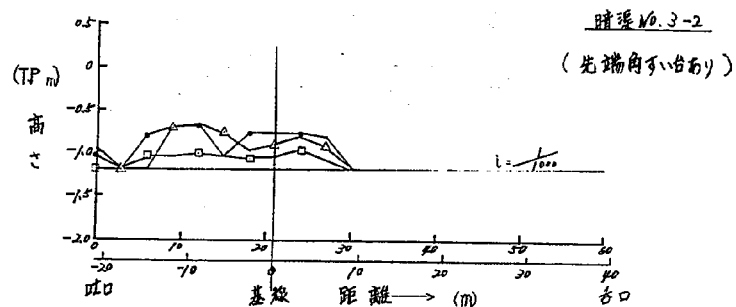
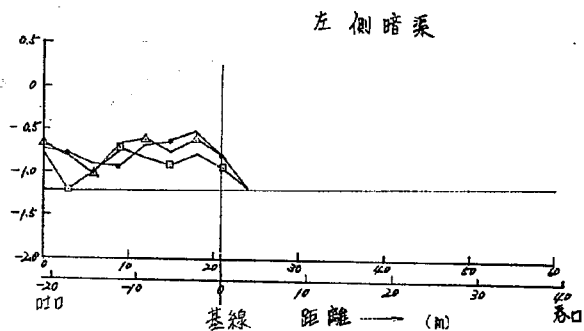
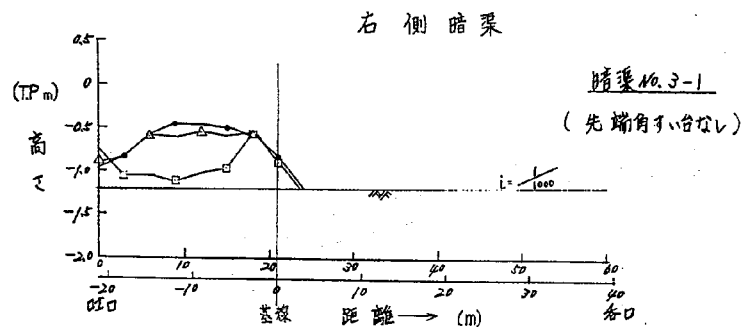


図-6.37.1 海浜縦断面図（暗渠中心測線）

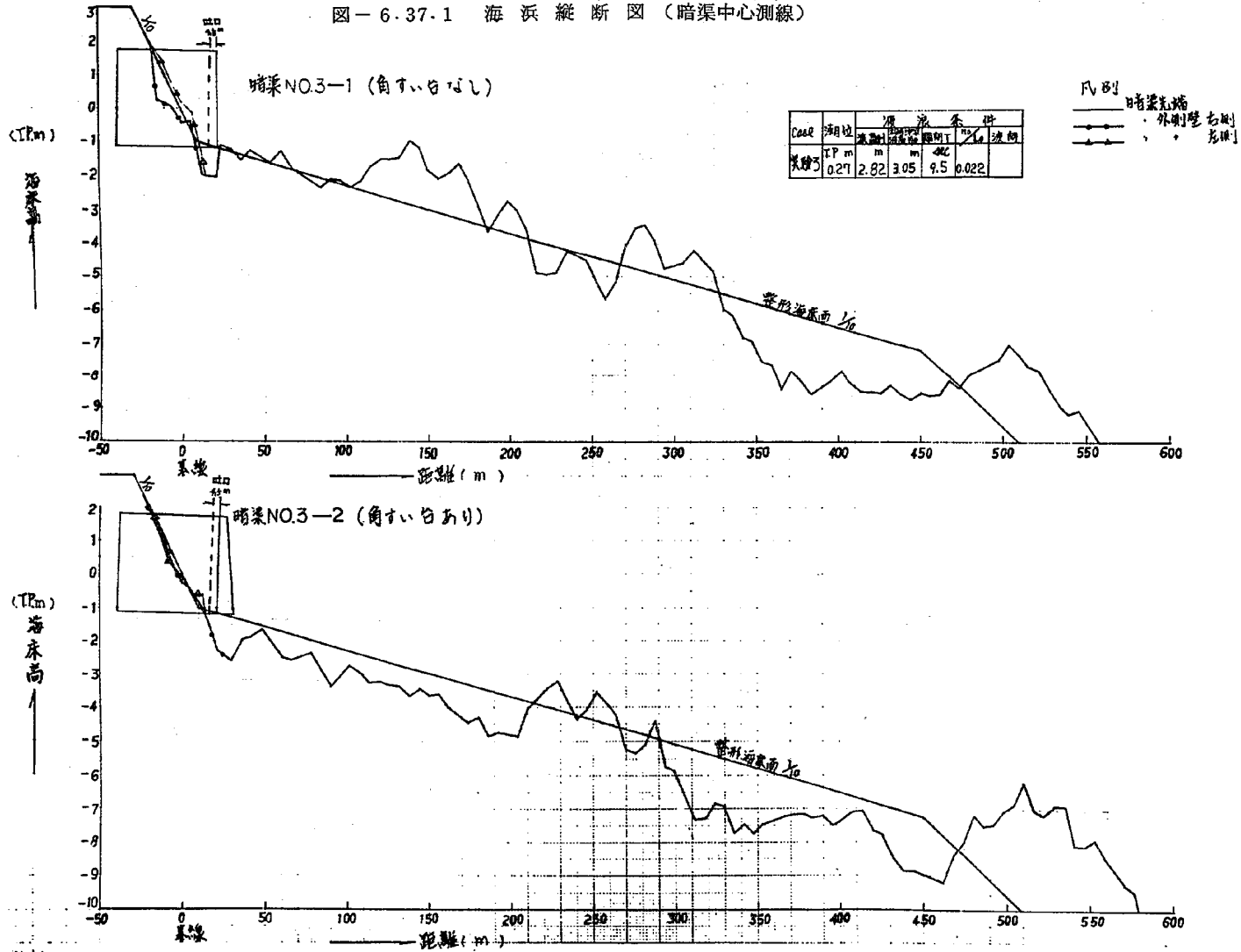


図-6.37.2 海浜縦断図 (暗渠中心測線)

Case	潮位	波浪条件			
		波高H	周期T	波速C	波向
実験3	T.P.m	m	m	m	AKC
	0.27	2.92	3.05	9.5	0.022

凡例
 ○ 暗渠先端
 ○ 外側壁 右側
 △ 外側壁 左側

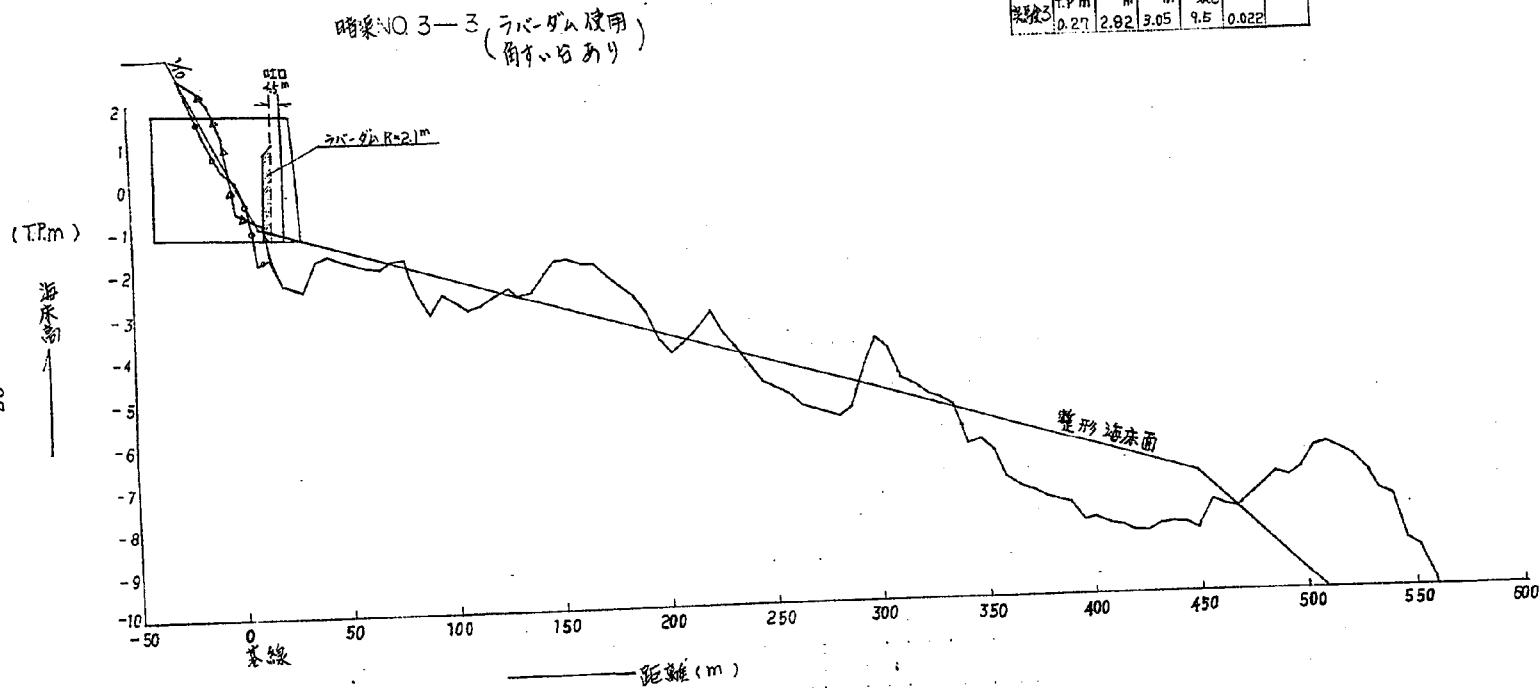


圖-6.38 等 深 線 圖

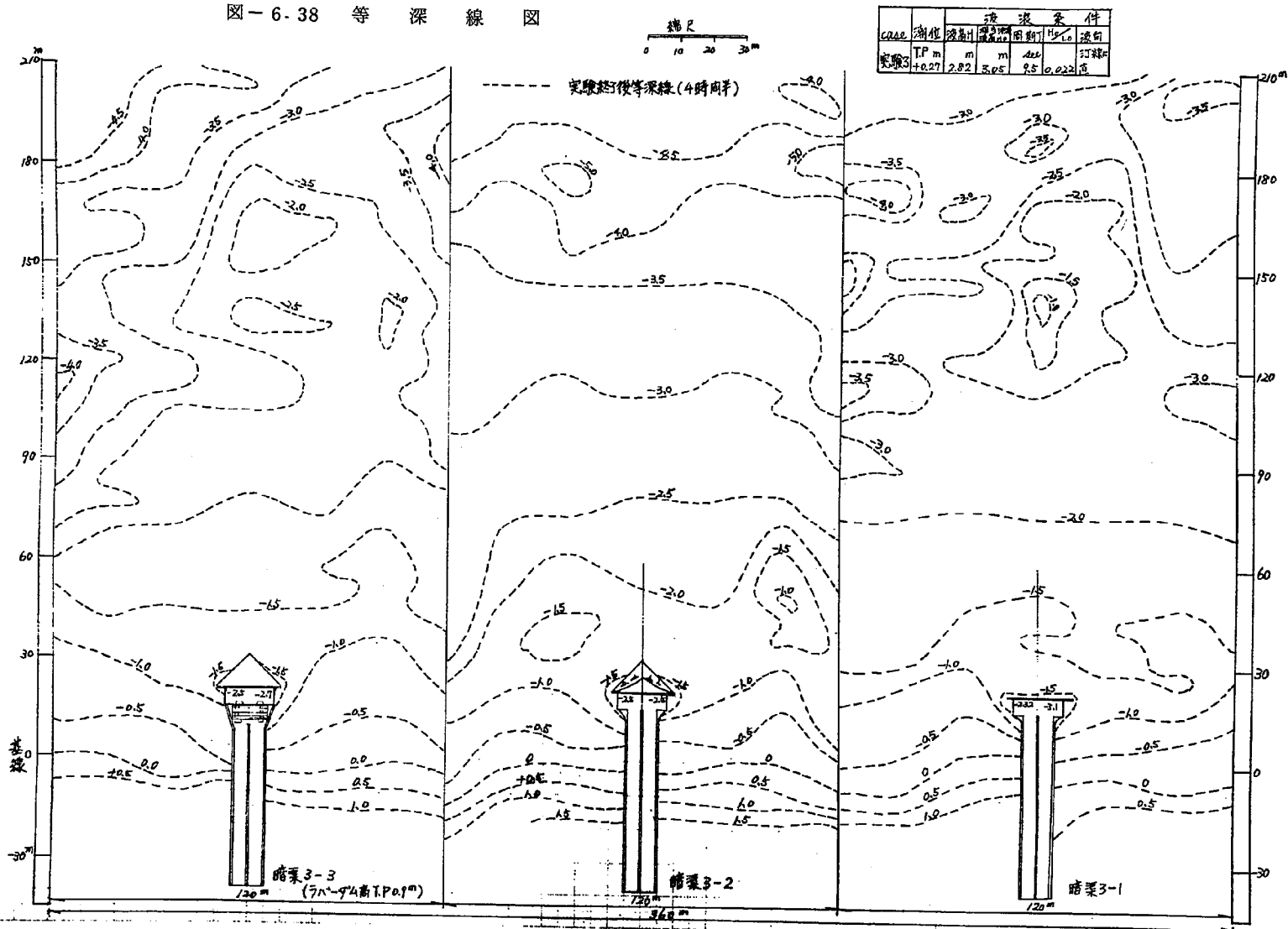


图-6.39.1 暗渠内等深线图 (实验后)

0 10 20m
縮尺

Case	潮位	流速	水深	底高	流速
		m/s	m	m	m/s
NO.3	1.1m	0.3	1.37	1.50	8.5

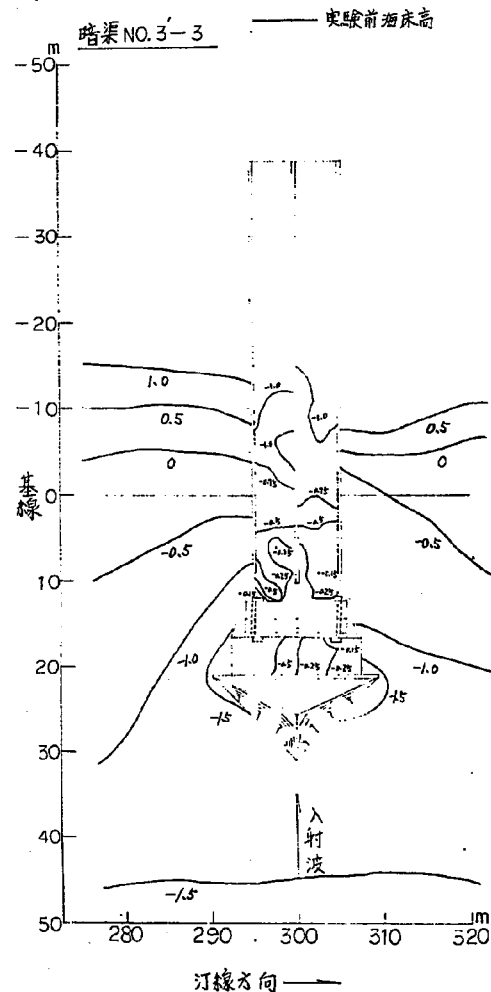
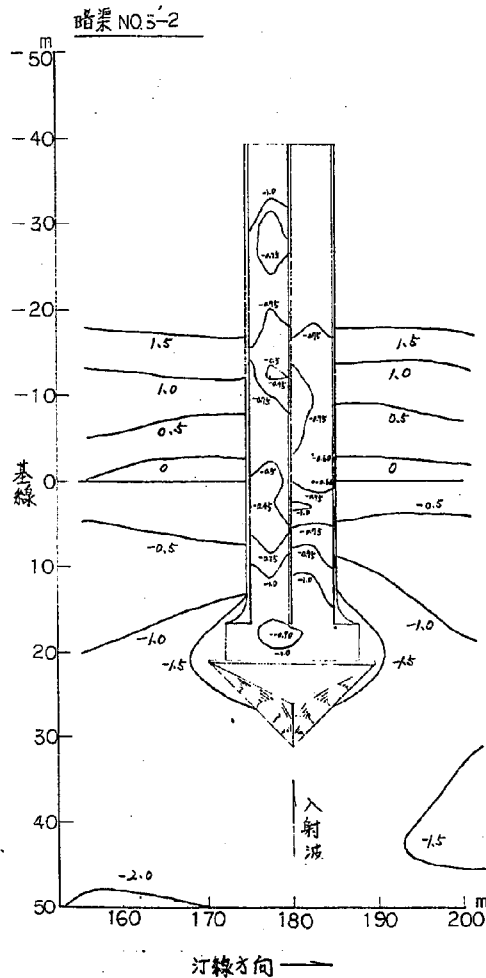
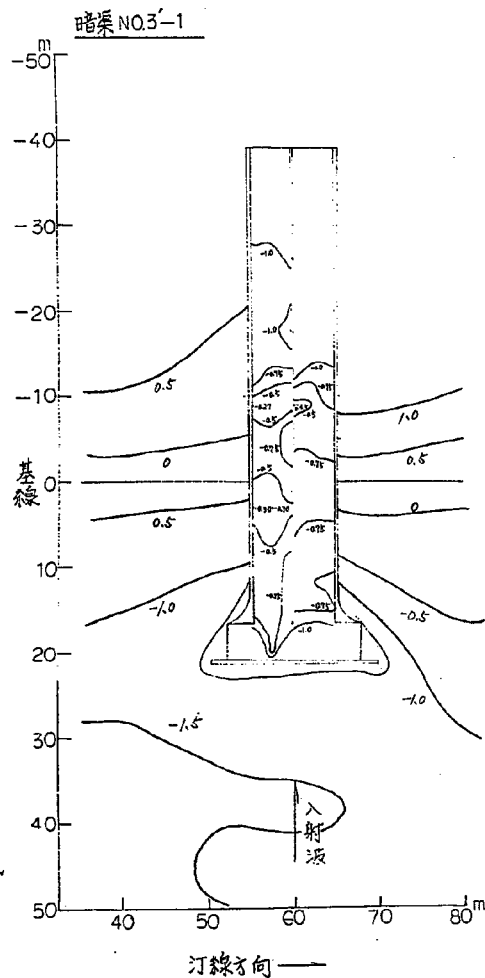


图-6.39.2 暗渠内堆砂纵断面图 (实验后)

Case	潮位	波浪条件				
		波高H	波速U	周期T	H ₀ /L ₀	波长L ₀
实验3	+0.3	1.37	1.5	8.5	0.013	注意

凡例
 ○—○ 各暗渠内右侧壁
 △—△ 中央
 □—□ 左侧壁

