

潜堤の効果について

—新潟海岸の現場の観測による—

運輸省新潟港工事事務所 白 石 直 文
 “ 第一港湾建設局企画課 沼 田 淳
 “ 新潟港工事事務所 長 谷 直 樹

1. ま え が き

潜堤はその頂部の高さが静水面に達するか、やや低目に作られた構造物で、侵入波を早く砕けさせることにより、波のエネルギーを減少させ、その背後の海岸の侵食を防護する役目を有している。しかしこの場合天端高をどの程度にとるかが問題である。

天端高を高くすれば大きな波力を受けて、したがってその断面も大となり基礎洗掘もはなはだしくなる。一方天端が不当に低いとその目的を達しないのみならず、波により流入する水量のため相当の流れが潜堤内に生じて海岸に砂を堆積せしめない。従つて潜堤の天端高をいくらにとるかという問題は汀線付近に設けられる護岸の規模と関連して決定されるべきであろう。

新潟海岸の潜堤工事に着手するに当つては以上のことを種々検討し、現状のごとき天端高が決定されたわけであるが、本文ではこの潜堤がどの程度の効果を發揮しているかどうか、設計が妥当であつたかどうかについて若干の検討を加えてみたいと思う。しかし、各種構造の潜堤に対する効果を個々に判定することは現段階では資料の不備のため不可能であつたので、ここでは主として潜堤一般についての考察を行ない、テトラポッド潜堤その他の構造物による効果については今後調査を継続し、検討を加えて行きたいと考えている。また新潟海岸の潜堤の効果に関する模型実験は東京大学土木教室港湾実験室においても行なわれているので本報告とあわせて読みたい。

なお資料は新潟県信濃川工事事務所の調査資料を参考にしたことを付記しておく。

2. 潜堤による波の諸元の変化について

前述のごとく潜堤は波力を減殺することを主目的とし、あわせて引波による土砂の流失を止めようとするものであつて、潜堤の効果を論ずる場合には、まず潜堤による波の諸元の変化について言及する必要がある。

新潟西海岸の有堤部（火葬場浜）と無堤部（往生院浜）の波浪観測値を整理して、以下潜堤による波浪減衰の模様を説明する。

図-1 は新潟県信濃川工事事務所が実施している波浪観測の位置を示したもので、これらの地点において1日3回連続5分間ずつ目測観測を実施している。

図-2 は有堤部の波浪観測位置におけるパイル潜堤の構造を示したものである。使用した波の資料は、昭和31、32年度の11月から3月にわたる冬期間のもので、これらの観測資料より有堤部（潜堤沖）と無堤部（300 m 沖）の沖波波高を比較すれば

図-1 波浪観測位置図

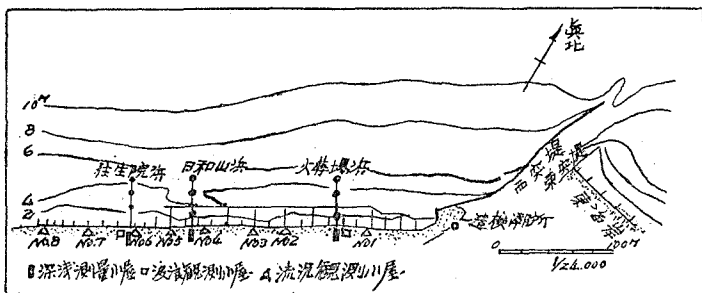


図-3 に示すごとく、多小の点のバラツキを許容すれば潜堤沖の波高は有堤部、無堤部ともほぼ同程度と考えて差支えないと思われる。

しかるに、有堤部（潜堤内）と無堤部（150 m 沖）の波高を比較すると、図-4 のごとく有堤部の波高は無堤部のその 3~7 割程度減少している。一方スティーブネスを比較すれば 図-5 のごとく、2~9 割程度減少してすべて 0.03 以下となつている。これを新潟県信濃川工事事務所が深淺測量の結果求めた 限界スティーブネス 0.017 と比較すれば、これ以上のスティーブネスのものが無堤部において全体の 68% であるのに対し、有堤部においてはわずかに 5.8% にすぎず、現在の潜堤は海岸欠損に対し十分な効果を發揮しているものと思われる。

なお 図-6 は無堤部、有堤部の波高減衰率とスティーブネスとの関係を示したものであり、無堤部においては

図-2 石詰パイル潜堤

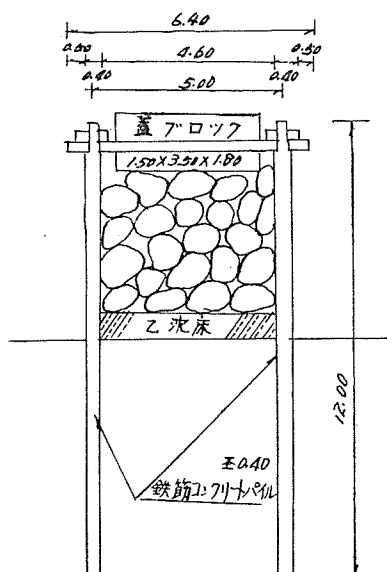


図-3 有堤部、無堤部の沖波波高相関図

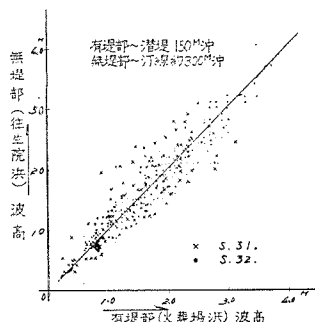


図-4 有堤部、無堤部の岸沖波高相関図

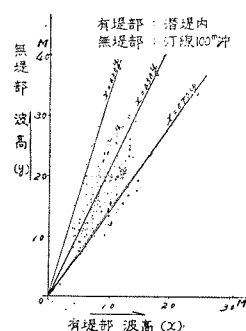
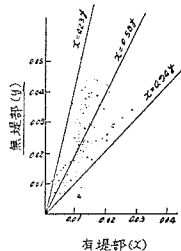


図-5 有堤部(潜堤内)と無堤部(150m沖)とのスティーブネス比較図



その相関関係は認められないが、有堤部においては明らかな相関関係が認められスティーブネスの増加とともに波高の減衰率が大きくなっていることがわかる。

3. 海底の変化について

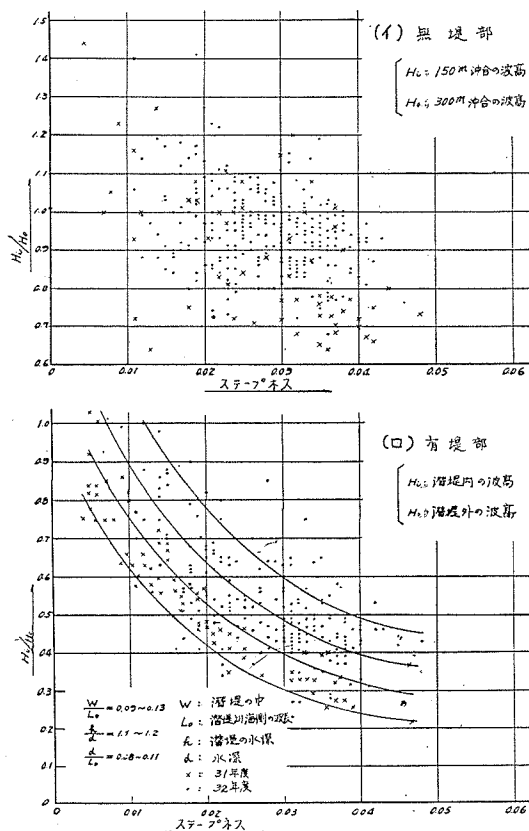
前節において潜堤による波の諸元について解析したが、さらにこの波の諸元の変化が海底勾配にどのような影響を与えているであろうか。

一般に海岸の海底勾配は底質粒徑と波の特性により、ある一定の断面を形成するはずである。従つて底質粒徑に変化がないものと仮定すれば、波の諸元に応じて海底勾配も変化するであろうことが想定される。すなわち潜堤の消波効果が何らかの形で海底勾配に影響を与えているものと考えられる。図-7は昭和30年に築造した潜堤部分の、同一断面で行なつた築造前後の深淺測量による結果を図示したものである。同図を見ればわかるとおり昭和31年の海底断面は昭和29年のそれに比し、やや急勾配で安定している反面、汀線の多少の前進が認められる。

図-8は昭和31年度冬期間における無堤部と有堤部との縦断測深から、同一日の海底勾配を抽出して比較したものであるが、この場合も有堤部の方が常に急勾配で平衡していることがわかる。

図-9~11は波の特性と第一碎波線(水深5.0~6.0m)以浅の海底勾配との関数関係を求めんがため、それぞれスティーブネス、波高、および波高減衰率と海底勾配との関係を比較図示したものであるが、資料が少ない上に点のバラツキが大きいため波の特性と海底

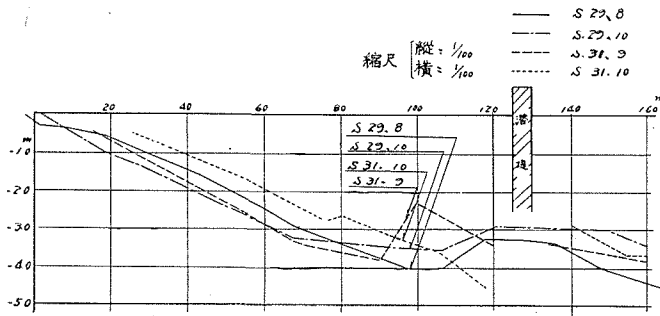
図-6 波高減衰率とスティーブネスの相関図



勾配との相関関係について結論づけるのは危険であろう。しかし定性的な傾向としては波高または波形勾配の増大とともに海底勾配が緩となるように思われる。

また冬期間の海底の水深変動を有堤部と無堤部とについて比較すると、図-12のようになり、有堤部の水深変動度は無堤部のそれに比較して潜堤内は平均1.1mと遙かに少なく、潜堤沖ではほぼ同程度であり、潜堤の効果

図-7 海底断面の変化



が認められる。特に汀線付近ではその傾向が一段と顕著であり、潜堤が直接陸岸を防護する目的を十分果していることがわかる。無堤部における移動幅のピークは汀線から約 150 m (水深 4 m) 沖の点を中心に前後 50 m の範囲にまたがり、その量は 3.2 m にも達しているが、有堤部のそれは潜堤の内側 50 m 付近に存在し、その規模は約半分程度のものである。

無堤部の移動幅の最大が生ずるこの部分は、ちょうど最終砕波帯にあ

たっており、あらゆる種類の波によつて砂堆がたえず移動していると思われる。

次に潜堤部分のここ数年の深淺測量による海底土量の変動状況を図-13 に示すように潜堤の沖と岸とに分割して算出すると表-1 のようになり、潜堤内 (A)

図-11 波高減衰率と勾配との相関図

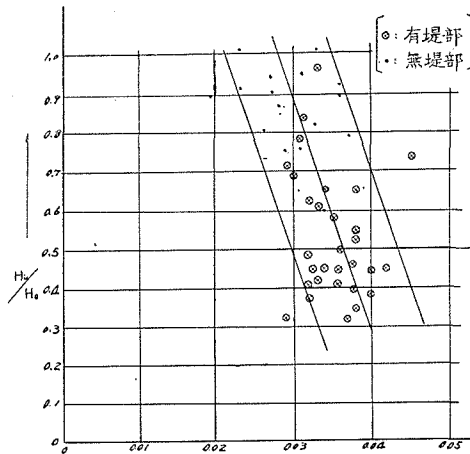


図-12 (a) 水深変動度図、無堤部における移動幅

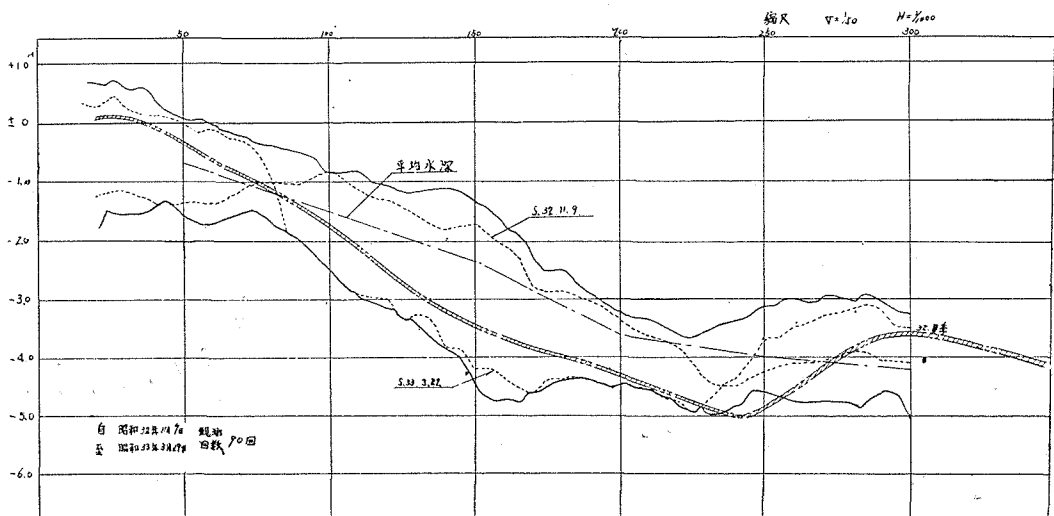


図-8 無堤部と有堤部との海底勾配比較図

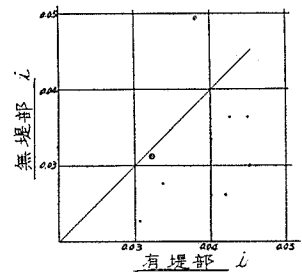


図-9 海底勾配と波高の相関図

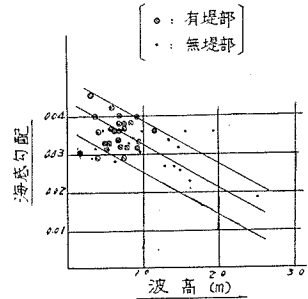


図-10 海底勾配とスティーブネスの相関図

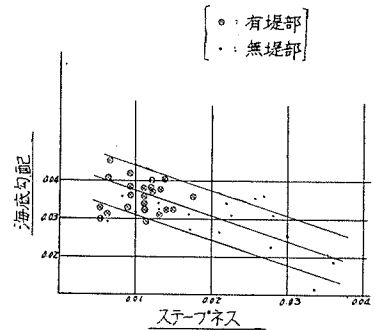


図-12 (b) 水深変動度図, 無堤部における移動幅

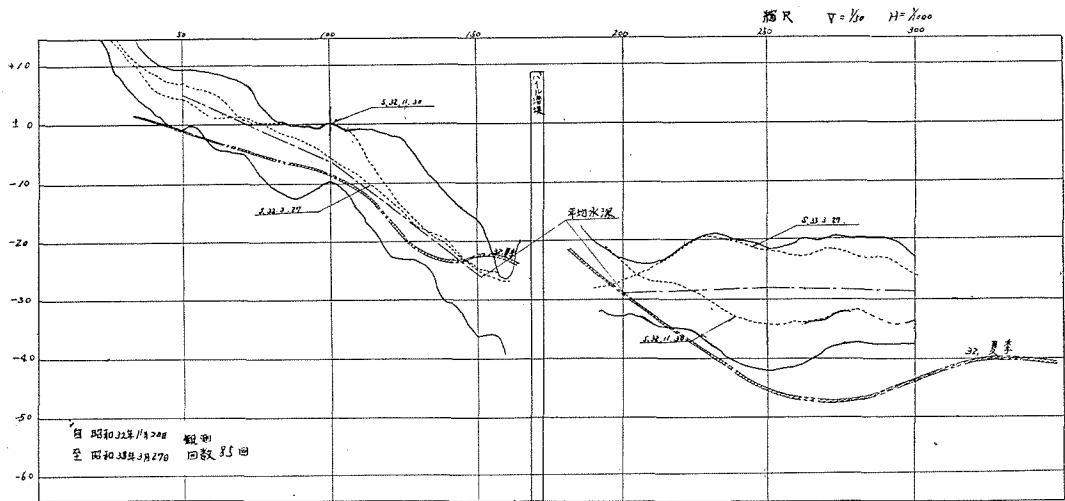


表-1 土量増減表

区域	年度	昭和 26 年	27	28	29	30	31	32
A	2+3	-125 000	-72 000	(音調切換により 精度不同のため 計算保留)		-25 951	-4 592	+71 708
	2	-60 000	-30 000			-6 831	+7 357	+69 879
	3	-65 000	-42 000			-19 120	-11 949	+1 829
A	4	-6 000	-33 000			(-91 825)	(+170 700)	
	4	+10 000	+66 000					
B	2+3	+371 000	-130 000			+151 046	+344 728	
	2	+241 000	-94 000			+190 850	+129 680	
	3	+130 000	-36 000			-39 804	+215 048	

一欠漬 + 堆積 ()内は A,B 両地区の計

図-13

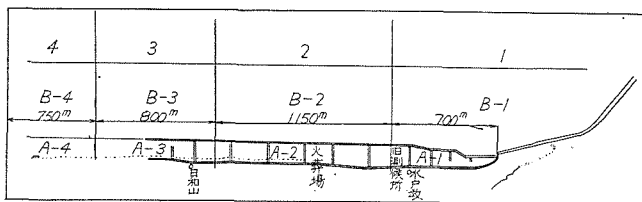
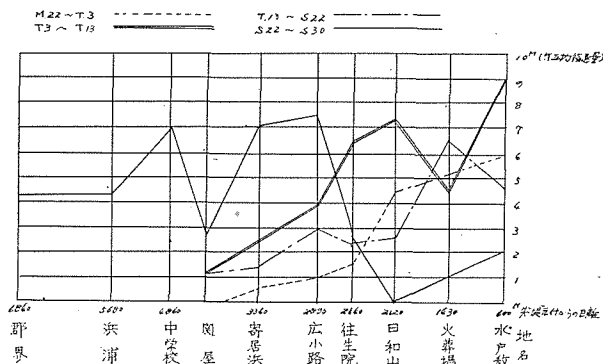


図-14 年代別年平均汀線後退量



隔の測点で汀線の進退を測定したものであるが、これによると潜堤および護岸の防護工事が進捗した昭和30年度以後水戸教浜、日和山浜の汀線は大体安定しており、後退カ所はその西方の寄居浜、関屋浜に移動して年間7~16mの後退量を見ていることがわかる。

の土量変動はその延長が伸びた昭和27年から次第に減少し最近ではかえって堆積する結果となつている。一方潜堤沖の変動量は昭和27年を除いて可成の堆積量をえているが、これは突堤基部の潜堤沖に排出される年間50~80万 m^3 に達するしゅんせつ土量の影響によるものと見られる。また、区域①の土量変化は補給土砂の影響が大きく入っており、潜堤の効果を摘出することはできなかった。

なおこの結果には地盤沈下による影響もふくまれているが、この点については検討を省略した。

4. 汀線の変化について

海岸侵食の現象を最も端的に表明するのは、汀線の後退量であろう。潜堤築造前後の汀線の後退量を既往の海図により比較すると、図-14に示すごとく海岸防護工事施工前の汀線後退量は水戸教を頂点とする三角形をなし、関屋付近で後退量0を示しているが、比較的最近になって後退カ所が西方向に移動し、いまでもつとも後退のいちじるしい水戸教付近の後退は減少しており、海岸防護工事の効果が現われ始めたものと思われる。表-2は西突堤元付から100m間

以上は総体的な汀線の傾向であるが、次に細部にわたって検討すると西突堤元付寄りの測点 1~6 はしゅんせつ土量の排出により汀線が大幅に進出する部分であるが、この部分の有孔ブロック・ブロック・T字型波止堤からなる潜堤は天端高が水面下、1.0~2.0 m と見られ、侵入波浪の減殺効果が少なく排出土量を保持するに至っていない。また昭和 32 年度にテトラポッドで静水面近く(+0.5 m)かさ上げ補強を行なった水戸教浜の 7, 8, および 10, 日和山浜の 14, 19 付近は天端高が高くなつたために 図-15 の潜堤沈下状況図に示すごとく、よく砂が付着しているが、沈下が大きく天端高の低い部分の背面は護岸近くまで侵食を受けている。

5. 潜堤の沈下状況について

本海岸に海岸防護工事が行なわれたのは昭和 20 年の大被害以後のことであり、始めに西突堤元付近の防護には T字型波止堤が施工され、その西方に続く水戸教浜には布団籠、石積、セラーブロック、有孔ブロック潜堤等が種々試みられた。ついて昭和 27 年度より新潟海岸防災工事計画にもとづき、有孔ブロック潜堤が火葬場浜以西日和山海岸一帯に設置され、昭和 30 年度に延長約 2.3 km におよぶ現在の形態が整つた。

これら各種潜堤のその後の沈下状況は 表-3 および 図-15 に示したとおりである。いまこの資料を通して潜堤の優劣を見ると、布団籠潜堤は施工後 2~3 年で鉄線の切損により中詰が逸散し、現在では他の型の堤で補強されている。セラーブロック潜堤は施工後 3 年間で天端の沈下量平均 1.1 m におよび、その後は 0.2~0.5 m/年の沈下で現在天端高 -2.05 m となつている。L型ブロック潜堤は昭和 28, 29 年に施工されたもので、年間平均沈下量 0.45 m となつているが年間の最大値は、0.90 m に達した場合もあり昭和 32 年現在の天端高 -0.6, -1.1 m である。有孔ブロック潜堤は全長 1 000 m

表-2 西海岸汀線移動状況表

区域	点	M 37 年~ S 22 年比較	S 22 年~ S 29 年比較	S 29 年~ S 30 年比較	S 30 年~ S 31 年比較	S 31 年~ S 32 年比較	累 計
水戸教浜付近	1	- 295	+ 10	- 25	- 10	+ 28	- 292
	2	- 320	+ 25	- 35	- 10	+ 33	- 217
	3	- 320	+ 5	- 15	- 5	+ 33	- 302
	4	- 320	- 5	- 5	0	+ 12	- 318
	5	- 330	- 0	- 15	0	+ 6	- 339
	6	- 280	- 20	- 20	+ 15	+ 2	- 307
	7	- 280	- 25	- 20	+ 30	- 14	- 281
	8	- 290	- 30	- 15	+ 40	- 15	- 310
	9	- 300	- 20	- 30	+ 30	- 9	- 329
	10	- 270	- 25	- 25	+ 45	- 25	- 300
	11	- 250	- 10	- 15	+ 30	- 18	- 263
	12	- 250	- 15	- 15	+ 10	- 14	- 284
	13	- 220	- 10	- 25	+ 10	- 15	- 260
日和山浜	14	- 210	- 5	- 25	+ 10	- 24	- 254
	15	- 205	0	- 20	+ 5	- 15	- 235
	16	- 200	- 15	- 35	+ 5	0	- 245
	17	- 190	- 5	- 15	- 5	+ 3	- 212
	18	- 180	- 10	- 25	0	- 8	- 223
	19	- 170	- 10	- 30	- 5	- 4	- 219
	20	- 155	- 10	- 15	- 5	- 6	- 191
	21	- 140	- 10	- 30	0	- 11	- 191
	22	- 125	- 10	- 35	+ 5	+ 12	- 153
	23	- 125	- 30	- 25	+ 5	+ 15	- 160
	24	- 135	- 45	- 15	+ 5	- 7	- 197
	25	- 145	- 50	- 10	0	- 10	- 215
寄居浜	26	- 155	- 45	- 5	- 10	- 9	- 224
	27	- 135	- 45	0	- 15	- 10	- 205
	28	- 110	- 50	- 5	- 20	- 2	- 187
	29	- 90	- 40	- 5	- 20	+ 3	- 152
	30	- 80	- 35	- 15	0	- 4	- 134
	31	以下資料なし	- 30	- 10	+ 10	- 13	- 43
	32		- 25	- 25	0	- 17	- 67
	33		- 25	- 30	+ 15	- 12	- 82
	34		- 20	- 20	+ 5	- 10	- 45
	35		- 10	- 40	+ 5	- 20	- 65
	36		- 20	- 25	0	- 32	- 77
	37		- 35	- 10	- 20	- 32	- 97
	38		- 25	0	- 30	- 15	- 70
	39		- 15	0	- 30	0	- 45
	40		- 10	- 15	- 20	+ 1	- 44
関屋浜	41		- 15	- 15	- 25	- 3	- 58
	42		- 15	0	- 30	- 11	- 56
	43		- 25	0	- 20	- 21	- 66
	44		- 30	- 10	- 15	- 16	- 71
	45		- 20	+ 5	- 30	- 1	- 45
	46		- 10	- 5	- 30	+ 2	- 43
	47			- 20	- 10	- 9	- 39
	48			- 5	- 20	- 5	- 30
	49			+ 20	- 40	- 8	- 28
	50			+ 15	- 35	+ 2	- 18
	51			0	- 20	+ 8	- 12
	52			+ 5	- 30	+ 6	- 19
	53			+ 5	- 20	- 8	- 23
	54			0	- 15	- 17	- 32
	55			0	0	- 18	- 18
	56			+ 10	0	- 13	- 3
	57			+ 10	- 20	- 6	- 16
	58			+ 15	- 20	- 5	- 10
	59			+ 15	- 15	+ 7	+ 7
	60			+ 20	- 25	+ 8	+ 3
関屋浜	61			+ 25	- 20	- 11	- 6
	62			+ 20	- 25	- 8	- 13
	63			+ 20	- 35	0	- 15
	64			+ 20	- 40	- 16	- 36
	65			+ 15	- 30	- 35	- 50
	66			+ 15	- 15	- 25	- 25
	67			+ 10	- 10	- 25	- 5
	68			+ 15	- 25	- 22	- 32
	69			+ 5	- 10	- 27	- 32

註: +: 汀線の前進 - : 汀線の後退を示す。

表-3 潜堤沈下状況調

型式	号	延長 m	施工 年月	施工後 天端高 m	天 端 高				施工後 S29 沈下量	S29~ S30 沈下量	S30~S31 沈下量	S31~ S32 沈下量	累 計
					昭 29	昭 30	昭 31	昭 32					
丁字型波止堤	1	m	昭 21	(不明)	—	—	+0.81	—	—	—	—	—	
有孔ブロック潜堤	2	75.7	〃 30	—	—	+0.64	-0.39	—	—	—	*-1.03	—	
丁字型波止堤	3		〃 22	—	—	—	+0.67	—	—	—	—	—	
有孔ブロック潜堤	4	72.5	〃 30	—	—	+0.72	-0.54	—	—	—	*-1.32	—	
丁字型波止堤	5		〃 24	計画 (0.90)	—	—	+0.28	—	—	—	—	—	
有孔ブロック潜堤	6	58	〃 30	—	—	+0.72	+0.62	—	—	—	-0.10	—	
丁字型波止堤	7		〃 24	計画 (0.50)	—	—	+0.27	—	—	—	施工後~S31 -0.23	—	
有孔ブロック潜堤	8	78	〃 28	-0.42	—	—	-1.42	—	—	—	〃~S31 -1.10	—	
丁字型波止堤	9		〃 23	(0.50)	—	—	+0.37	—	—	—	〃~S31 -0.13	—	
布 団 籠 潜 堤	10	232	〃 25	+0.18	-1.52 (-1.27)	—	(-2.20)	—	*-1.70	—	S29~S31 (-0.93)	—	-2.38
石 積 潜 堤		12	〃 26	+0.27	-0.22 (-0.57)	—	(-1.06)	—	-0.49	—	S29~S31 (-0.49)	—	-0.98
有孔ブロック潜堤	11	(200)	〃 30	—	—	+0.54	+0.01 (+0.06)	(-0.12)	—	—	-0.53	(-0.18)	-0.66
有孔ブロック潜堤	12	80	〃 26	+0.22	-0.70	+0.94	-1.04	-1.10	*-0.92	-0.24	-0.10	-0.06	-1.32
セルラーブロック潜堤	13	145	〃 26	+0.45	-0.66	-6.25	-1.38 (-1.39)	(-1.61)	*-1.11	-0.59	-0.13	(-0.22)	-2.05
有孔ブロック潜堤	14	220	〃 28	+0.04	-0.28 (-1.27)	(-0.66)	(-0.88)	(-1.02)	-0.32	(-0.39)	(-0.22)	(-0.14)	1.06 (-3.0)
上型ブロック潜堤	15	220	〃 28	+0.73	-0.13	-0.33	-0.43	-0.61	*-0.86	-0.20	-0.10	-0.18	-1.34
上型ブロック潜堤	16	128	〃 29	+0.15	—	-0.12	-0.23	-1.11	—	-0.27	-0.11	-0.88	-1.26
有孔ブロック潜堤	17	108	〃 27	計画 (±0)	-0.86	-1.62 (-1.28)	(-1.91)	(-2.27)	—	-0.76	(-0.63)	(-0.36)	-1.41
有孔ブロック潜堤	〃	92	〃 27	計画 (±0)	-1.60	-1.86 (-1.78)	(-2.00) (-1.50)	(-2.02)	—	-0.26	(-0.22)	(-0.52)	-0.42
有孔ブロック潜堤	18	112	〃 29	+0.95	—	+0.61	+0.31 (+0.37)	(+0.05)	—	-0.34	-0.30	(-0.32)	-0.90
有孔ブロック潜堤	19	220	〃 30	—	—	+0.55	+0.31 (+0.32)	(+0.20)	—	—	-0.24	(-0.12)	-0.36

註：カッコは埋没による欠測カ所を取除いたものの値を示す。

以上にもわたり、全潜堤の大半を占めているものであるが、年間沈下量は 0.38 m/年と比較的小さい値になっている。またこれらのブロック潜堤を総括してみると、全般的に潜堤施工時の水深が浅く、ブロック高 1.40~2.00 m のものを施工したカ所は沈下がいちじるしくなっており、3.00~3.50 m のブロックを設置した深いカ所は、沈下量が割合少なくなっている。なお以上の沈下量の測定は陸上の B.M から水準測量により約 2 m 間隔で測定したものである。このように大量の沈下を生じているのは、波浪の衝撃による砂地盤への減り込みのほかに、洗掘による倒壊等もふまれているものであるが、いずれにしても砂地盤上のこのような潜堤は最小 0.5 m、普通 1.0~1.5 m の沈下はまぬかれないものと見られる。ついで昭和 32 年に至り、沈下のはなはだしい 13, 15, 17 の 6 カ所延長 685.7 m の区間に 4 t テトラポッドによるかさ上補強を行なつた。この部分の経過はまだ一冬を経過したばかりで、確定的なことはいえないが、大部分はかみ合わせが密になつたためと思われる 0.2~0.5 m 程度の沈下であり、今のところまだ顕著な変形沈下は認められない（ただしこの種の構造では天端面の厳密な測量は不可能であり概略の沈下量によつている）。

6. む す び

以上ほぼ静水面近くに作られた潜堤の効果を定性的に考察したが、その結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 潜堤による波高の減衰率は、30~70%、スティーブネスの減衰率は 20~90% で潜堤内ではきわめてフラットな波となつている。新潟海岸に対する限界スティーブネスは 0.017 と観測されているが、潜堤内の波はこれ以上 steep なものの頻度はわずか 6% にすぎない。

(2) 有堤部における波高減衰率はスティーブネスと密接な関係を有し、スティーブネスの増加にともない波高減衰率は大となる。

(3) いそ波帯の海底勾配は波高およびスティーブネスの減少とともに急勾配で平衡を保っており、汀線はかえつて前進して水深変動も小さくなつている。

(4) 潜堤築造後の汀線は有堤部において、その後退量が少なくなり、また海底の欠潰も少なくなつて、欠潰カ所が徐々に西方向に移動している。また天端高を静水面近く (+0.5 m) にかさ上げ補強した部分の汀線は、天端

高の低い部分にくらべてよく砂が成長しており、ポンプ船による補給土砂を有効に捕捉したものと思われる。

(5) 当海岸に築造された種々の構造の潜堤はすべていくらかの沈下はまぬかれなかったが、基礎根入れがしつかりして上部がポーラスなパイル打ち石詰潜堤が最も強固な抵抗を示した。

以上、新潟西海岸の潜堤工事はきわめて有効な工事であったことがわかる。しかしさらに調査を継続実施し、定量的な結論をうることができれば、今後新たに工事計画を立てるに当たってきわめて貴重な資料となるものと確信する。例えば 図-6 (ロ) より新設工事カ所の波の諸元がわかれば、潜堤築造後の波の減衰程度がわかり、汀線付近に設ける護岸構造物の設計に対する貴重な資料となるであろうし、さらに 図-9 ~ 11 のごとき関係がわかれば潜堤築造後の海底勾配の変化が予測され、潜堤基礎の計画を妥当ならしめることができるであろう。

以上述べたように潜堤は波のエネルギーを減殺するには極めて有効な工法と考えられるが、その反面かえって前面の洗掘を助長し相当量の沈下を招来しているために、年々の維持費が相当なものとなつてゐる。したがって、こういった潜堤工法をどの海岸にも採用しうるかどうかは疑問であり、一步後退して水深の浅いカ所または陸上部に強固な直接護岸を築造した方が有利な場合も考えられると思うが、この点については今後の研究に待ちたい。

図-15 潜堤沈下状況

