

堤防越波量に及ぼす離岸堤背後地形の効果 に関する実験的研究

—— 離岸堤の効果に関する研究第1報 ——

榎 木 亨*・岩田 好一朗**

1. 緒 言

海岸堤防の越波防止工法としては従来堤防の嵩上げ、堤防前面の消波工の設置などが取り挙げられ、その効果と機能について種々検討されてきている。しかし、こういった工法は海岸線の利用という点で著しいマイナス面を生じているため、海岸堤防前面に離岸堤を設置し、離岸堤内部の沿岸漂砂の堆積により堤防前浜の造成を行なって越波量の低減をはかり、さらに将来海岸線沿いの海岸道路用地を造成するといったような海岸線利用をかねた越波防止工法が考えられている。これは、海岸線利用という面で興味深い工法であると考えられるが、その際離岸堤による捕砂機能および離岸堤背後の地形の越波量低減機能を的確に把握しておくことが必要とされる。

従来、離岸堤（あるいは潜堤）による海岸堤防への入射波浪の減衰および堤防越波量の低減効果については、比較的多く研究がなされてきているが、離岸堤背後の海浜地形の越波防止効果あるいは離岸堤が群として設置される場合、離岸堤の配置間隔などによる海浜地形の変化について不明な点が多く、実際の計画に当たって早急に解決しなければならない問題の一つである。

本研究は、海岸堤防前面に離岸堤を設置する場合、離岸堤設置にともなう離岸堤背後の海浜地形の変化（トンボロ地形の発生機構と発生発達限界）と、それにともなう堤防越波量の変化について系統的に研究を行ない、離岸堤の捕砂機能と越波量低減機能を明確にして、離岸堤計画の基礎資料を供することを目的としたものであって、まず離岸堤群をとりあげ、離岸堤群背後の地形変化がない状態で、離岸堤群設置条件を変化させて、それにともなう堤防越波量の変化を調べる。つぎに離岸堤を一つだけ設置させて、離岸堤背後の地形変動（トンボロ地形の形成）にともなう堤防越波量の変化について検討を加え、さらにトンボロ地形を人工的に作ってトンボロ地形の規模と堤防越波量との関係について考察を加えるものである。

2. 堤防越波量に及ぼす離岸堤群の設置条件の効果について

(1) 実験方法と実験諸元

越波現象は、きわめて多くの諸要素が関係し、さらに越波の運動機構も理論的に十分解明されていないため、本論では次元解析により堤防越波を支配する量について検討を加えていく。越波量の無次元表示として、一周単位幅当りの越波量 Q と沖波一周単位幅当りの岸側に輸送される水量 $H_0L_0/2\pi$ との比を用いて、離岸堤群の設置条件の変化にともなう越波現象を表わすと次式で与えられる。

$$\frac{2\pi Q}{H_0L_0} = f_1\left(\frac{X}{L_0}, \frac{l}{L_0}, \frac{B}{L_0}, \frac{h_c}{h^*}\right) \dots\dots(1)$$

なお、式(1)は沖波波高 $H_0 = \text{const}$ 、沖波周期 $T_0 = \text{const}$ 、堤防形状一定、海底勾配一定、堤防の先水深 $h = \text{const}$ 、静水面からの堤防天端高 $H_c = \text{const}$ 、Reynolds number の効果を見捨て得られたものである。式(1)で用いた記号は図-1に示すように、 X ：海岸堤防から離岸堤までの距離、 l ：離岸堤の長さ、 h^* ：離岸堤設け地

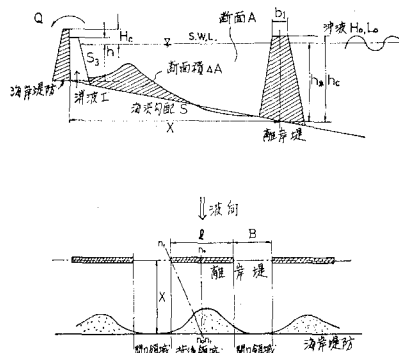


図-1 記号の説明

点での水深である。

造波水槽としては、11 m×19 m×0.5 m の三次元平面波浪水槽を用いる。この平面水槽の一端に 1/40 勾配の模型海浜を設け、他端には 2.5 IP のフラップ型造波機が設置してある。なお、離岸堤は碎石で作った透過性

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学教室

** 正会員 工修 大阪大学助手 工学部土木工学教室

のものを用いる。また、発生波は電気抵抗線式波高計で計測し、越波量は幅 40 cm の計測枠で測り、メスシリンダーで読みとるものとする。越波量測定は第 6 波目から 15 波目の波を採用して行なうが、堤防に沿う越波量は離岸堤の設置にともない複雑な分布をとるため、ここでは便宜上図-1 に示すように、堤防を、離岸堤背後の堤防領域を背後領域、開口部のそれを開口領域と名づけて二分して各々の領域の中心部で越波量を測定してその領域の代表的な越波量とする。

実験諸元は表-1 に示すとおりであるが、波浪特性は潮位との関係において離岸堤が設置されない場合に最大の越波量を示すものを用いている。

(2) 実験結果とその考察

以下式 (1) で与えられる個々の要素の越波量に及ぼす効果について検討する。

a) 離岸堤設置距離 X/L_0 の変化にともなう離岸堤長 l/L_0 の効果について

図-2 (a)~(f) は離岸堤設置距離 X/L_0 をパラメーターにして、離岸堤の高さ hc/h^* の変化にともなう越波

表-1 実験諸元

H_c/H_0 ;	0.8
h/H_0 ;	1.57
H_0 ;	3.5cm
T_0 ;	0.8sec
H_0/L_0 ;	0.032
X/L_0 ;	0.9, 1.25, 1.5
l/L_0 ;	0.8, 1.0, 1.5
hc/h ;	0.73, 1.0, 1.15, 1.30
B/L_0 ;	0.5, 1.0

量 $2\pi Q/H_0 L_0$ の変化を離岸堤長 l/L_0 と設置間隔 B/L_0 別に示したものである。同図によれば、背後領域については設置距離 l/L_0 の値にかかわらず X/L_0 が小さくなるにつれ越波量が減少していくことが認められるが、その低減度合は離岸堤長 l/L_0 により大きく左右されることが認められる。すなわち 図-2 (a), (d) に示すように $l/L_0=1.5$ の時は越波量の低減に対する離岸堤設置距離の効果はそれほど顕著でないのに対し、図-2 (b), (c),

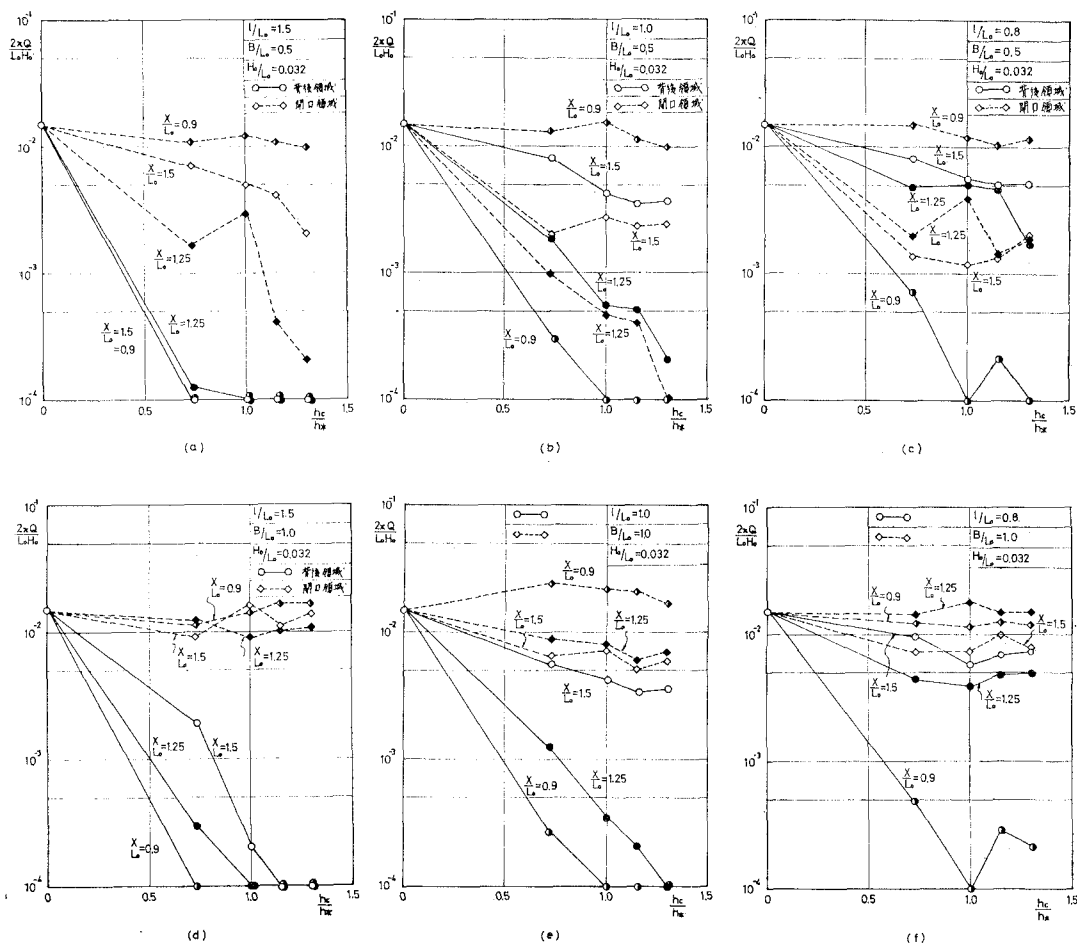


図-2 越波量に及ぼす離岸堤設置距離 X/L_0 の変化にともなう離岸堤長 l/L_0 の効果について ($H_c/H_0=0.8$)

(e), (f) に示すように離岸堤長 l/L_0 が 1.0, 0.8 と小さくなれば離岸堤設置距離が小さいほど越波量低減に対して有効であるといえる。たとえば離岸堤高 $hc/h^*=0.75$ の場合に越波量におよぼす設置距離 X/L_0 の効果を比較すると図-2(d) に示すように離岸堤長 $l/L_0=1.5$ の場合設置距離 $X/L_0=1.5$ から 0.9 に変化させると越波量が 1/10 に低減するが、離岸堤長 $l/L_0=0.8$ の場合には図-2(f) からわかるように、1/25 にも低減し、前者の 2.5 倍の低減率となる。このように離岸堤長 l/L_0 が小さいほど離岸堤設置距離 X/L_0 の越波量低減に対する効果が認められるのは設置距離 X/L_0 の変化にともなう回折波高の変化が、離岸堤長 l/L_0 が小さいほど大きいことによるものと考えられる。一方、開口領域では背後領域とは異なり離岸堤設置距離 X/L_0 の効果は B/L_0 が 1.0 程度ではほとんど効果は認められずまた離岸堤長さの効果も認められない。一方 $B/L_0=0.5$ といった狭い間隔の場合には図-2(a)~(c) に示すように X/L_0 および l/L_0 の値によって越波量は異なるが、この場合最も有効な設置距離は離岸堤長 l/L_0 により左右され、本実験の結果の範囲においては、 $l/L_0 \geq 1.0$ の場合には $X/L_0=1.25$ に、 $l/L_0=0.8$ のとき、 $X/L_0=1.5$ にするのが

最も低減効果があると結論づけられる。

b) 離岸堤設置間隔 B/L_0 の効果について

先に少しふれたが、背後領域については B/L_0 の効果は他の諸要素の効果と比較するとほとんど認められないが、開口領域の越波量はこの B/L_0 の効果が明らかにあらわれてくる。図-3 はこの B/L_0 の効果を明示するため X/L_0 と l/L_0 別に越波量を整理した結果である。この図によると開口領域については $X/L_0 \geq 1.25$ になると設置間隔の効果は著しく、設置間隔を狭くすることにより越波量低減効果が顕著にあらわれてくる。しかしながら設置距離 X/L_0 が 0.9 のように小さくなると B/L_0 の効果はそれほどあらわれず $X/L_0 \geq 1.25$ の場合の B/L_0 を 1.0 から 0.5 に変化させることによる越波量低減率のほぼ 1/20 になってしまう。これは $X/L_0 \geq 1.25$ の場合は設置間隔 B/L_0 の 1.0 と 0.5 と変化することにより回折波高の変化が $X/L_0=0.9$ より大きいこと、また $X/L_0=0.9$ での開口領域では離岸堤を通過した波の影響を受けやすいためと考えられる。

また離岸堤設置高さの効果については高さを高くするほど、離岸堤を波が通過しにくくなるため背後領域での越波量低減に対して離岸堤高さを高くするほど有効であ

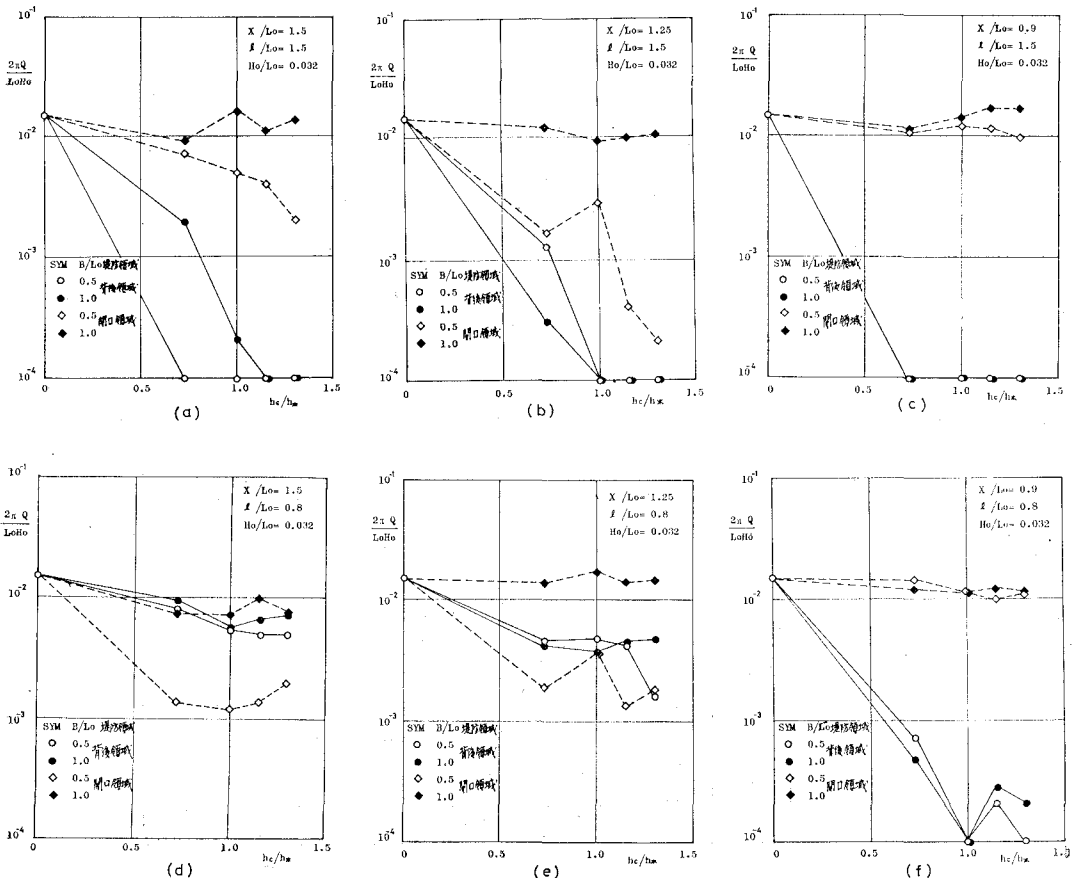


図-3 越波量に及ぼす B/L_0 の効果について ($H_c/H_0=0.8$)

るが、しかし図-2(c) と (f) に示すような $l/L_0=0.8$ で $X/L_0=1.5$ のように離岸堤背後への回折波のまわり込みが大きい場合には離岸堤の高さを高くしてもそれだけの越波量低減効果はないことに注意しなければならない。一方開口領域については開口部から直進して来る波による越波が支配的であるため離岸堤の高さを高くしても越波量低減に対しては有効でない。

以上堤防越波量におよぼす離岸堤群の設置条件の効果について述べてきたが、背後領域については離岸堤高さを高くすること、設置距離を小さくすること、離岸堤長を長くすることにより越波量の低減がもたらされるが、開口領域ではこういった効果は越波量低減に対して有効でなく設置距離との関連における適当な設置間隔が越波量減少に最も効果がある。このように背後領域と開口領域では離岸堤群設置条件の変化にともなう堤防越波量の変化の傾向が異なり、さらに離岸堤設置距離 X/L_0 と離岸堤長 l/L_0 、離岸堤設置間隔 B/L_0 に有機的な関係があるため両方の領域とも越波量低減効果が大きくなる最適な離岸堤設置条件があるはずである。本研究の結果からのみ推定すれば、図-2(a)~(f) および図-3(a)~(f) からわかるように背後領域および開口部領域の両者の越波量を考えあわせて最も好ましい配置は、 $B/L_0=0.5$ 、 $X/L_0=1.25$ 、 $l/L_0=1.0$ と結論づけられる。もちろん離岸堤設置高さを高くすることにより、さらに一番好ましい越波量低減がもたらされることはいうまでもない。

3. 堤防越波量に及ぼす堤防前面地形（トンボロ地形）の効果について

(1) 実験方法と実験諸元

離岸堤が1基だけ設置された場合の堤防前面地形の変化（トンボロ地形の形成）にともなう堤防越波量の挙動を把握しておくことが離岸堤を群として設置する場合の基礎資料を供すと考えられるため、ここでは離岸堤を1基だけ設置する場合をとりあげて堤防越波量に及ぼす

海浜地形の効果に検討を加える。次元解析によれば越波量 $2\pi Q/H_0L_0$ を支配する量は式(2)のように与えられる。

$$\frac{2\pi Q}{H_0L_0}=f_1\left(\frac{X}{H_0}, \frac{l}{H_0}, \frac{hc}{h^*}, \frac{h}{H_0}, \frac{\Delta A}{A}S_F\right), \dots\dots\dots(2)$$

なお式(2)は式(1)と同じ条件の下で導かれたものであるが、 S_F はトンボロ地形の形状で ΔA は離岸堤設置にともなう図-1に示した n_0-n_0 と n_1-n_1 断面でのトンボロ地形の断面積の平均値で、 A は海岸堤防と離岸堤と静水面と初期海底地形により囲まれた n_0-n_0 と n_1-n_1 断面の断面積の平均値であり、したがって $\Delta A/A$ は離岸堤内部における堆砂率を表わす量である。実験は、離岸堤の高さ hc/h^* を1.30と固定して Sauvage¹⁾の考えに基づき $x/L_0 \leq 1.25$ （ただし x は離岸堤から汀線までの距離）となるように静水位を変えて $H_0/L_0=0.020, 0.010$ の二種類の波によりトンボロ地形をまず形成せしめ、その後表-2に示す実験諸元の下で堤防越波

表-2 実験諸元

H_c/H_0 ;	0.8
H_0 ;	3.5cm
T_0 ;	0.8sec
H_0/L_0 ;	0.032
X/L_0 ;	0.9, 1.25, 1.5
l/L_0 ;	0.8, 1.0, 1.5
hc/h ;	0.73, 1.0, 1.15, 1.30

量を計測する。なおトンボロ地形は波を8~12時間連続して作用させて形成せしめることとし、堤防越波量は前述の2.同様、第6波目から第15波目の10波の平均でもって算定する。

(2) 実験結果とその考察

ここでは、式(2)の中でトンボロ地形の効果を示す $\Delta A/A$ と h/H_0 の二つの量を取りあげて、堤防越波量に

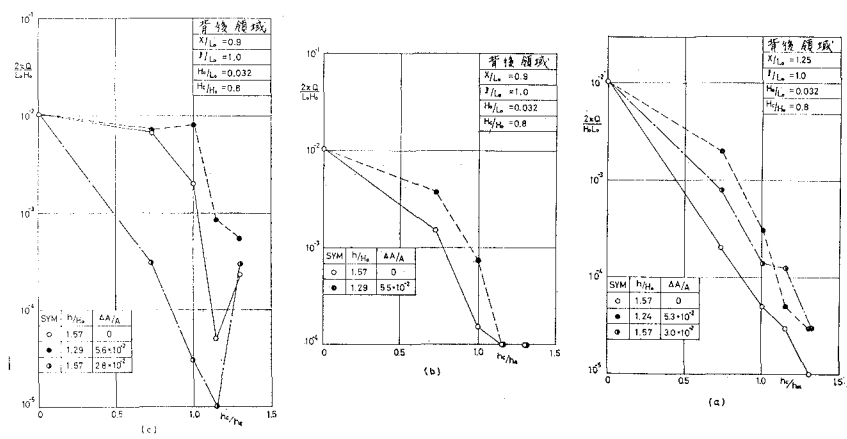
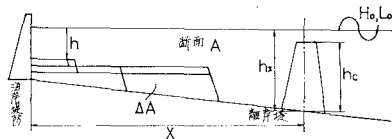
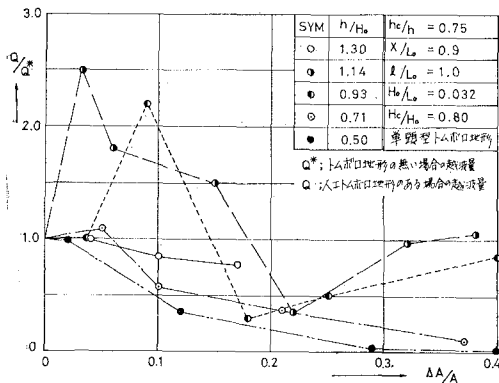


図-4 越波量におよぼすトンボロ地形の効果

いかなる寄与をするか考察する。図—4 はトンボロ地形（本論では単頭型トンボロ地形のみをとりあげる）の越波量に及ぼす効果を h/H_0 と $\Delta A/A$ をパラメーターにして示したものである。同図より堤防前面にトンボロ地形の形成をみる時は、図—4(c) に示す $X/L_0=0.9$, $l/L_0=0.8$ で $h/H_0=1.57$, $\Delta A/A=2.8 \times 10^{-2}$ の場合を除き、トンボロ地形のない場合（図—4 で $h/H_0=1.57$, $\Delta A/A=0$ の白印の値）に比してすべて越波量の増大が認められる。これは図—4 に示すように $\Delta A/A$ が 2.8 ~ 5.6% と小さい場合には、 h/H_0 の効果が有効に働き、トンボロ地形の形成により堤防のり先水深が浅くなり $h/H_0=1.24$ あるいは 1.29 のように波が砕け易い状態になったため越波量が増大したものと考えられる。したがってこのトンボロ地形形成による背後地域の越波量変化に及ぼす影響については、 h/H_0 と $\Delta A/A$ の関連のもとで検討すべきであるが、筆者らの実験では単頭型トンボロ地形を多く作り h/H_0 と $\Delta A/A$ を種々変化させることが不可能であるため図—5 に示すような矩形のモデルトンボロ地形を人工的に堤防前面に作り（養浜工に相当する）越波量におよぼす h/H_0 と $\Delta A/A$ の効果に検討を加える。図—6 はこのモデルトンボロ地形に対して



図—5 モデルトンボロ地形

図—6 越波量に及ぼす h/H_0 と $\Delta A/A$ の効果

h/H_0 をパラメーターにして越波量に及ぼす $\Delta A/A$ の効果を示した一例であり、縦軸は人工トンボロを設けた場合の越波量 Q をトンボロ地形のない場合の越波量 Q^* で無次元化したものである。同図より $h/H_0=1.14$ あるいは 0.93 といった砕波水深に近い場合は $\Delta A/A=6\sim 9\%$ で最大の越波量の増加が認められ、 $\Delta A/A=6\sim 15\%$ の

堆砂率をみる場合はトンボロ地形により越波量が 2.5 倍程度に増大することが認められる。しかし h/H_0 が 1.30 のように堤防のり先水深が砕波水深より深い場合あるいは、 $h/H_0=0.5$ のように逆に砕波水深より浅い場合には $\Delta A/A$ の増大にともない越波量はほぼ一様に低減し、トンボロ地形形成による越波量の増大は認められない。このようにトンボロ地形の形成にともない堤防のり先水深が砕波水深に近くなるとトンボロ地形の規模との関係で越波量が増大する場合があることに注意しなければならない。

この事実は最近各地で計画されとりあげられている、人工的に砂を設置する養浜工を行なう場合にとくに注意しなければならない。潮位との関連において堤防越波量を増大せしめないように養浜工の天端高、天端長およびその規模を決めなければならない。なお堤防越波量に及ぼす堤防前面地形の効果についてはさらに実験を行ない、堤防越波量に及ぼす前面地形の天端高、天端長およびその規模の効果を明らかにするつもりである。

4. 結 語

本研究では、まず離岸堤群をとりあげて堤防越波量に及ぼす離岸堤設置間隔 B/L_0 の効果と設置距離 X/L_0 にともなう離岸堤長 l/L_0 の効果について検討し、つぎに、堤防越波量に及ぼす堤防前面地形（トンボロ地形）の効果について二つの関係より考察を加えてきた。得られた結論を要約すれば次の通りである。

(1) 離岸堤群の設置条件の変化にともなう堤防越波量の変化は開口領域と背後領域では大きく異なり、背後領域については設置距離 X/L_0 を小さくすること、離岸堤長 l/L_0 を大きくすること、離岸堤の高さ h_c/h^* を大きくすることが越波量低減に対して有効である。一方開口領域については離岸堤設置間隔 B/L_0 を 0.5 のように狭くすることが越波量低減に対して有効である。

(2) 堤防前面にトンボロ地形が形成されてのり先水深が砕波水深に近くなると図—4 および図—6 に示すようにトンボロ地形の規模との関連で越波量の増大が認められるため、養浜工を行なう場合は特に潮位との関係において越波量が増大しないように養浜工の天端高と規模を決める必要がある。

最後に本実験とその整理に労をわずらわした津乗信吾氏（住友建設 K K 勤務）と一宮孝信技官に謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) Sauvage de Sainte Marc and Vincent, M.G. : Transport Littoral Formation de Fleches et de Tombolos, Proc. 5th. Conf. on Coast. Eng. 1954, p. 296~1327.