

潜堤の高波侵入防止効果について

三井 宏*・筒井 茂明**・武内 哲司***

1. 緒 言

余暇の増加に伴い海洋性レクリエーションの需要が増大するものと思われ、観光海岸の持つ意義はきわめて大きいといえよう。その場合に観光海岸における宿泊施設、公園、道路などを高波の侵入から防止したい。このためには、海岸堤防、護岸、突堤、離岸堤などが用いられているが、これらはいずれも美観上問題があるように思われる。周辺の景観を損わず、小さい波に対しては効果がなくてもよいが、大きい波に対して効果がある潜堤を探し求めることが本研究の目的である。

現在まで潜堤に関する系統的研究が少なく、多くの潜堤に関する研究は水平床で実験を行い波高比で定義しているために問題があり、実際には碎波点より岸に置く場合が多いのだが、その場合の研究はほとんどなされていないようである。したがって波圧による堤の安定、洗掘、海岸変形などの問題を別にして、波の防波効果に関する潜堤の水理特性を解明しようと試みる。

本研究では次の問題点に主眼を置く。

(1) 通過波に強い影響をもつのは比堤高だが、波高比で表示するのは問題がありそうである。だから水平床で実験を行い、倍周波成分を考慮した通過率を提案し、合わせて比堤高と防波効果との関係を示す。

(2) 海底斜面上に潜堤を設置すると、堤内水域では海水堆積により大きい打ち上げ高が起こることが報告されている。単なる水位上昇であるのか、それとも波動による真の打上げが大きいのかを実験により検討する。

2. 水平床に設置した場合の通過率

実験に使用した水路は長さ 30m、幅 1m の二次元水路で、水深 $h=30$ cm、堤高 d と水深 h の比 $d/h=0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ の 4 種類で、波は周期 0.7~2.3 秒、入射波高 3~13 cm である。通過波の波高が各観測地点で変動していても、一点での時間波形が規則変動することを考慮して、2 次波峯が顕著に現われる地点を通過波の観測地点とした。

堤高が高くなると発生する倍周波数成分の発生限界は

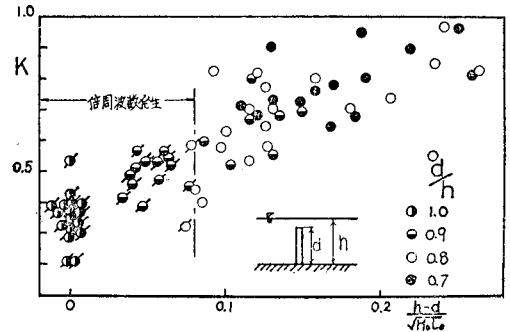


図-1 倍周波数成分の発生限界

図-1 に示すように、潜堤天端上の水深 $(h-d)$ と $\sqrt{H_0 L_0}$ との比によってあらわされるようであり、この図によれば $(h-d)/\sqrt{H_0 L_0}$ が約 0.08 以下の場合に倍周波数成分が発生している。倍周波数成分が含まれている波形を調和分解すると各成分波の波高は図-2 のようになる。これによると、基本周期と倍周波数成分が同程度に卓越しており、倍周波数成分が発生する場合には、これを無視することができなくなってくる。そこで、次式のように各成分波の伝達エネルギー量 W_m の和と入射波の伝達エネルギー量 W_i の比の平方根を通過率 K と定義する。

$$K = \sqrt{\sum_{m=1}^m W_m / W_i}$$

なお、この式は倍周波数成分が発生しない場合には従

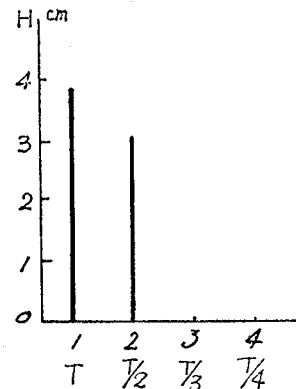


図-2 各成分波の波高

* 正会員 工博 徳島大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 琉球大学助手 理工学部土木工学科

*** 正会員 工修 清水建設大阪支店土木部

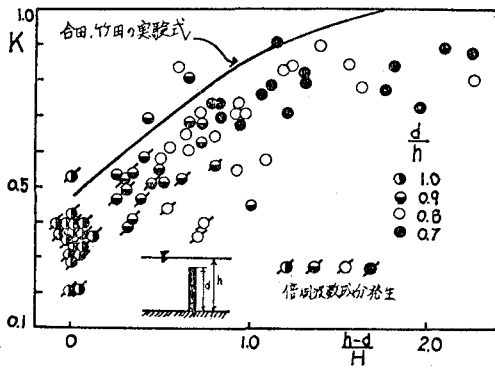


図-3 通過率と天端上水深の関係

来の通過率となる。図-3 は $(h-d)/H$ を横軸に、縦軸に上述の通過率をとって整理したものであり、この図中には合田ら²⁾ による実験結果が併記してある。この図によると通過率は $(h-d)/H$ によってほぼ一義的に定まり、 H 以外の波の諸元にはあまり影響されないという細井・富永¹⁾、合田・竹田²⁾ らの実験結果と一致し、堤高が静水位近くになるとエネルギー分散や砕波、渦などによる損失が大きくなるため効果があらわれているようである。また、図-2 の整理方法のほうが図-3 の整理方法に比較してばらつきが少ないのでよいのではないかと考えられる。

3. 傾斜浜上に設置した場合の打上げ高および水位上昇

(1) 実験方法

前述の水路にモルタル仕上げの 1/15 勾配の模型海浜を設けた。模型潜堤は不透過および透過の鉛直堤で、厚さ 6mm の鉄板を使用し、透過堤の場合はその鉄板に空隙率が 30% および 50% となるように直径 0.8~1.5cm の円形の穴を開けた。実験に使用した波は波形勾配が 0.02~0.06 で、すべて水深 15cm で砕波する大きさである。潜堤の設置位置は図-4 に示すように、砕波点、砕波点と汀線間距離の 3 等分点およびこの水平距離の 1/3 だけ砕波点より沖側の地点の合計 4 地点で、比堤高

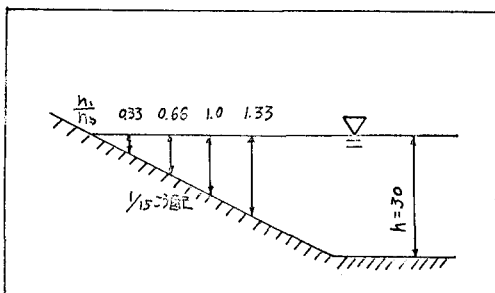


図-4 潜堤の設置状況

d/h は不透過堤の場合には 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 透過堤の場合には 0.8, 1.0 とした。

入射波高の測定には反射の影響の少ない地点を選んで抵抗線式波高計を使用し、通過波形の観測および堤内の水位上昇量を決定するために、通過波の安定した地点に抵抗線式波高計を設置し、同時に 16mm カメラを使用して測定を行った。打上げ高は目視により測定した。

(2) 水位上昇量と真の打上げ高の定義

傾斜浜に潜堤を設置すると、堤内域に海水が堆積し、堤内の水位が上昇することが堀川³⁾ や杉江⁴⁾ らの実験によって知られている。堤内域のある地点における水位上昇量は、その地点における変動水位の時間平均値と静水位との差であるとするべきであるが、堤内域での波形記録結果によれば、いずれも極端に谷が平坦で山が尖っており、時間的平均値を求めるには多くの労力を要するので、本論文では若干過小な値となるが平均水位を波の谷とし、実験中撮影したフィルムから読みとった。その値から静水位を差引いた値を水位上昇量 η として実験結果の解析に使用した。

傾斜浜に潜堤を設置した場合、水深の変化により通過波高が変化するために、水平床のように波高記録から得られる通過率により潜堤の効果を論ずることができないので、潜堤による減衰効果を判断する基準が必要となってくる。波が潜堤を通過する時にエネルギー減衰の程度が打上げ高に現われてくると考えられる。しかし、従来の打上げ高は静水面を基準に波の打上った鉛直高を打上げ高 R と定義しており、水位上昇量もすでに含まれてしまっているはずである。上述のように、通過波のエネルギーを代表すると考えられる打上げ高は、従来の打上げ高から水位上昇量 η を引いた量であって、それを真の打上げ高 R' と定義し、これによって潜堤による防波効果を検討することにする。

(3) 実験結果

潜堤背後への越波量と潜堤上を沖方向へ流下するもど

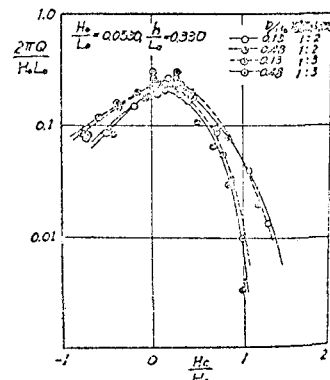


図-5 Sibul の実験結果

り流れのつり合いを考える。越波量を Q_1 とすると図—5 に示す Sibul の実験結果によれば、 Q_1 は天端上水深 $W(=h-d=-H_0)$ と沖波波高 H_0 の比 W/H_0 が 0 より 1 の範囲では、すなわち潜堤状の時には W/H_0 に比例していると考えられる。したがって Q_1 を式 (1) のように仮定する。

$$\log(2\pi Q_1/H_0 L_0) = -a \frac{W}{H_0} + b \quad \cdots \cdots (1)$$

したがって、単位幅単位時間当りの越波量 q_1 は式 (2) の形になる。

$$q_1 = Q_1/T = b' H_0 \sqrt{L_0} e^{-aW/H_0} \quad \cdots \cdots (2)$$

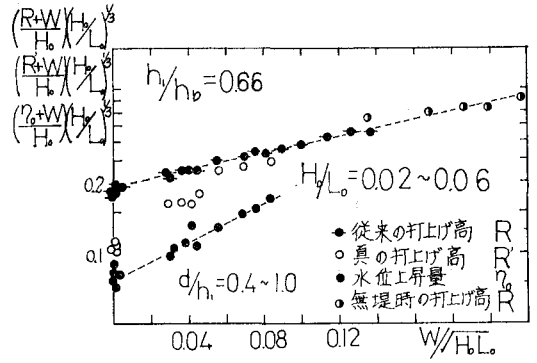
一方、堤前面に波の谷が位置するときには、堤内に水位上昇 η_0 が生じていると仮定する。もどり流れの越流量を Q_2 とし、完全越流の場合の流量公式から単位幅単位時間当りの越流量 q_2 を求めると次式のようなになる。

$$q_2 = 2/3 \cdot C \sqrt{2g} (\eta_0 + W)^{3/2} \quad \cdots \cdots (3)$$

水位上昇が定常状態となるためには、 $q_1 = q_2$ となるべきであるから、式 (2)、(3) より次式が得られる。

$$me^{-aW/H_0} = (H_0/L_0)^{1/3} (\eta_0 + W)/H_0 \quad \cdots \cdots (4)$$

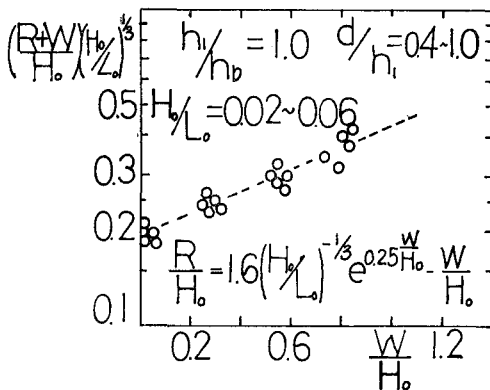
η_0 と R_0 は密接な関係があると思われるので、式 (4) の η_0 の代りに R を用いることにする。縦軸に $(H_0/L_0)^{1/3} (R+W)/H_0$ 、横軸に W/H_0 をとり、片対数紙に実験結果をプロットすると図—6 のようになる。この図ではかなり資料のばらつきが見られるので、倍周波数成分の発生限界を解明するときに、 W/H_0 のかわりに波長の影響を考慮した $W/\sqrt{H_0 L_0}$ を用いてよくまとまった結果が得られた経験を生かし、この場合も横軸の W/H_0 のかわりに、 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ を用いて従来の打上げ高、水位上昇量を整理してみると、その一例は図—7 のようになる。なお、無堤時の場合には堤高が 0 と考えて、無堤の場合の打上げ高の実験結果も併記してある。この図からわかるように、水位上昇量、従来の打上げ高が 1 本の曲線上



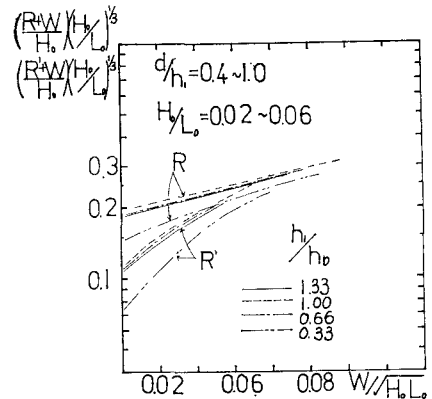
図—7 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ による整理

にほぼプロットされるため、前述の整理方法よりも優れていると思われる。また、図—7 には真の打上げ高が併記されている。従来の打上げ高と真の打上げ高が一致するところでは潜堤による水位上昇量がないことになる。いずれの設置水深においても、 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ が約 0.08 以下において水位上昇は発生し、 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ が小さいほど水位上昇は大きくなっている。このように、水位上昇量の発生限界が図—1 に示す倍周波数成分の発生限界とほぼ等しくなっていることは興味のあることである。図—8 は不透過堤の場合の各タイプを一つにまとめたものである。この図によれば、入射波を一定と仮定すると、 h_1/h_0 の値が小さいときに、従来の打上げ高、水位上昇量、真の打上げ高がともに小さくなっていることがわかる。潜堤による波の減衰効果を考察する場合に、無堤の打上げ高に比べて、従来の打上げ高が小さいにこしたことはないが、真の打上げ高が小さくなっていれば、水位上昇が大きくても、実際には波のエネルギーが消散されているため、波力は減衰していると考えられる。

図—9~12 は縦軸に R/H_0 、横軸に h_1/h_0 をとり、波形勾配をパラメーターとして不透過堤、透過堤、無堤時

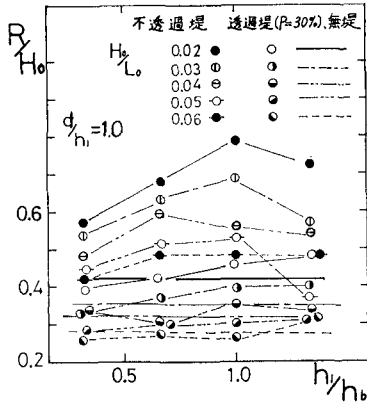


図—6 W/H_0 による整理

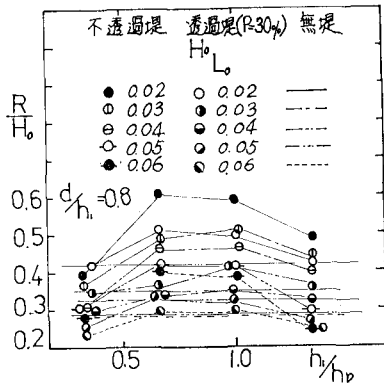


図—8 $W/\sqrt{H_0 L_0}$ による整理

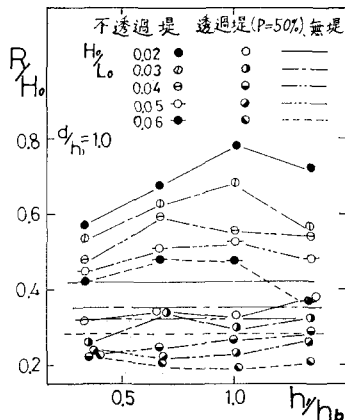
の打上げ高をプロットしたものである。この図から、不透過堤を設置した場合の打上げ高は無堤時の打上げ高よりも非常に大きく、波形勾配が小さいほど、比堤高が高いほど大きい。比堤高が1.0のときに碎波点に潜堤を設置した場合が R/H_0 が最大となり、比堤高が小さくなっていくにしたがって、 R/H_0 の最大値は設置水深の浅いほうへ移行する。この最大値の発生する h_1/h_b の値と各



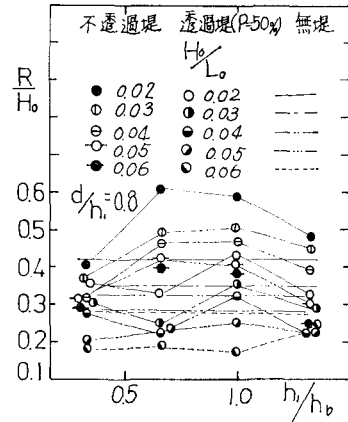
図—9 設置位置と打上げとの関係



図—10 設置位置と打上げとの関係



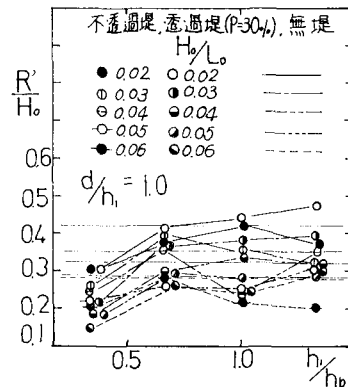
図—11 設置位置と打上げとの関係



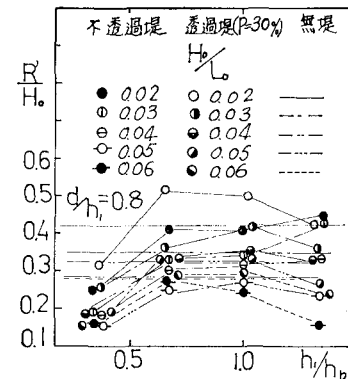
図—12 設置位置と打上げとの関係

比堤高 d/h_1 の値がほぼ等しくなっていることは興味のある事実である。

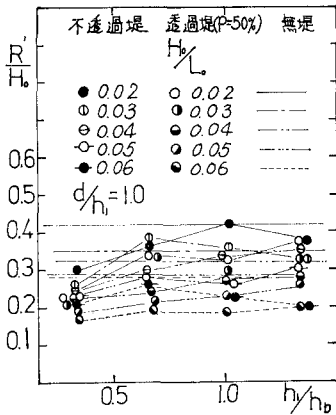
透過潜堤の場合は h_1/h_b が d/h_1 の値よりも少し大きい時に R/H_0 は極大値を示している。透過堤の場合でもどり流れが堤体内を通過するため水位上昇量 η_0 は不透過堤に比較して少なく、水位上昇量が認められたのは h_1/h_b が 0.33 の場合だけである。また、空隙率が 30%



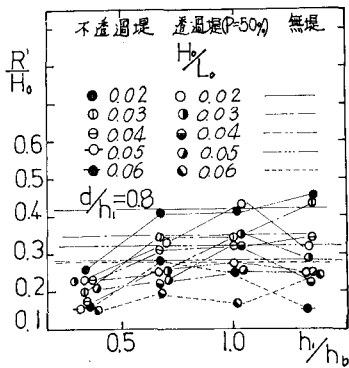
図—13 設置位置と真の打上げとの関係



図—14 設置位置と真の打上げとの関係



図—15 設置位置と真の打上げとの関係



図—16 設置位置と真の打上げとの関係

の場合は無堤の打上げ高と大差はないが、空隙率が50%になると無堤時の打上げ高よりも小さくなっている。

図—13～16 は縦軸に R'/H_0 、横軸に h_1/h_0 をとり波形勾配をパラメーターとして、不透堤、透過堤、無堤時の打上げ高をプロットしたものである。これらの図からわかるように、 h_1/h_0 が 0.33 より大きい範囲では、潜堤の断面形状を不透堤、透過にしても、堤高を変化さ

せても無堤時の打上げ高と大差はない。ただ、 h_1/h_0 が約 0.33 より小さくなると無堤時の打上げ高より若干小さくなり、また、透過堤の方が打上げ高は若干小さい。

4. 結 言

潜堤の防波効果を検討するために、水平床に設置した場合と一樣斜面上に設置した場合とに分けて、それぞれ実験を行った。水平床の場合には比堤高が大きいほど防波効果は大であるとの従来よく知られている結果となった。ところが、傾斜浜上に設置した場合には、不透堤背後の打上げ高は無堤時の打上げ高より大きくなり、真の打上げ高も無堤時の打上げ高と大差がないために、不透堤潜堤を設置するとかえって悪い結果をもたらすことがわかった。透過潜堤の場合は水位上昇があまりないため、従来の打上げ高は無堤時と比較してそれほど大差はなく若干小さいが、真の打上げ高も無堤時の打上げ高に比較して若干小さくなっている程度で、あまり防波効果が期待できないようである。これらのことから判断すれば、実際に海岸に潜堤を設置する場合には十分の注意が必要なようである。

最後に、本研究にあたり、御協力いただいた米崎武夫（徳島大学技官）、加藤 朗（八雲建設コンサルタント）、八木和利（静岡県庁）、図面作成に御協力いただいた三橋一夫（徳島県庁）の諸君に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 細井正延・富永正照：離岸堤による波高減衰について，第6回海岸工学講演会講演集，pp. 121～123，1959.
- 2) 合田良実・竹田英章：越波による防波堤背後への波高伝達率，第13回海岸工学講演会講演集，pp. 87～92，1966.
- 3) 堀川清司・鮮于澈：潜堤に関する実験的研究，第12回年講集，pp. 251～252，昭和32年.
- 4) 大島登：砂床海浜の変形におよぼす潜堤の効果について，第27回年講集，pp. 89～90，昭和47年.