

II-298 防波堤の法先洗掘とその対策について

北海道開発局 開発土木研究所 正員 梅 沢 信 敏
 北海道開発局 開発土木研究所 正員 柳 瀬 知 之
 北海道開発局 開発土木研究所 正員 谷 野 賢 二

1. はじめに 防波堤前面（法先）の海底洗掘は、「捨石マウンドの洗掘孔への落ち込み」→「被覆ブロックの移動・沈下」→「根固方塊の移動・沈下」→「ケーソン本体の傾斜・沈下」といった連鎖反応を引き起こし、洗掘の程度が大きい場合は堤体の崩壊にまで至る。このため、古くから防波堤法先の洗掘防止対策に関する種々の取り組みが行われてきているが、現地への適用にあたっては今だ明確に示されていないのが実情である。本報は、有効な洗掘防止工の設計法を確立することを目的に、①無対策時の堤体形状別の洗掘位置の決め方、②有効な洗掘防止工の長さの決め方、について水理模型実験により検討を行ったものである。

2. 実験方法 実験は吸収式不規則波造波装置を有する両面ガラス張りの2次元造波水路（ $L=24\text{m}$, $B=0.8\text{m}$, $H=1\text{m}$ ）において実施した。模型縮尺は底質を除いて1/40の歪みなしフルード相似則とした。模型に用いた底質は珪砂7号（中央粒径 $d_{50}=0.14\text{mm}$, 比重 $G_s=2.56$ ）である。この砂の粒径は底質の移動形態を相似にとると、現地の底質粒径 $d_{50}=0.5\text{mm}$ に相当する。洗掘防止工用の石かごは、合成樹脂ネットに砕石を詰め、通常の石かご（ $2.0\text{m}\times3.0\text{m}\times1.0\text{m}$ ）の1/40模型の大きさのものを使用し、重量を現地10ton となるように合わせた。実験波は規則波とし、現地の代表周期として $T=7, 10, 13\text{sec}$ の3ケースについて検討を行った。砂面の計測は造波水路上のレールを走行する精密連続計測式水底形状測定器により行った。

3. 堤体形状と法先洗掘位置 入江¹⁾は、現地スケールの洗掘は底面に沿う水粒子速度 u_b と底質の沈降速度 w の比 u_b/w が非常に大きいので、重複波のもとではその節にあたる $L/4$ （ L は進行波の波長）のところで掘られるL型洗掘を呈することを指摘している。実際の設計にこの考え方をとり入れようとする場合に問題となるのは、①波長 L を算定する場合に混成堤ではどこを水深にとればよいか、言い換えると微小振幅波理論による波長の算定式にどの水深を用いれば便宜上適切な洗掘位置の推定が可能となるか、②消波ブロック被覆堤やスリット堤などではどこを反射面（ $L/4$ をとる場合の原点）にとればよいかという点である。

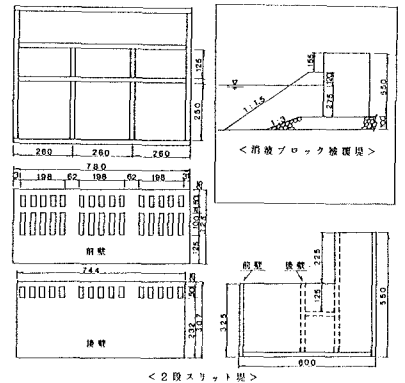


図-1 堤体断面

そこで堤体形状として、混成堤、消波ブロック被覆堤および当所で開発中の2段スリット堤の3タイプをとりあげて前述の①、②の検討を行った。堤体断面は図-1に示すとおりで堤体天端高は非越波となるように設定した。混成堤の洗掘位置の算定については、反射面は直立壁前面でよいものと考えられるが、水深のとり方としては、①防波堤設置水深（ h ）、②マウンド法先水深、③被覆ブロック天端水深（ d ）、④ h と d の中間の水深などが考えられる。②および④は①、③による算定値からおおよそ見当がつくと考えられることから、 h と d を代表水深にとって比較を行った。図-2は一例として、 $h=37.5\text{cm}$ （現地 15m ） $T=2.06\text{sec}$ （ 13sec ）のときの洗掘位置をみたものである。図中の○印は波長算定時の水深に h を用いた場合、△印は d を用いた場合で、堤体側からそれぞれ、 $L/4, L/2, 3L/4$ の位置を示している。従

CASE No.	KS-1-2-3	起波時間	1 時間
水 深	37.5cm (15m)	洗掘防止工長	0 cm (0 m)
波 高	13.0cm (5.2m)	反 射 率	洗掘前 0.889
周 期	2.06 (13) sec		洗掘後 0.910

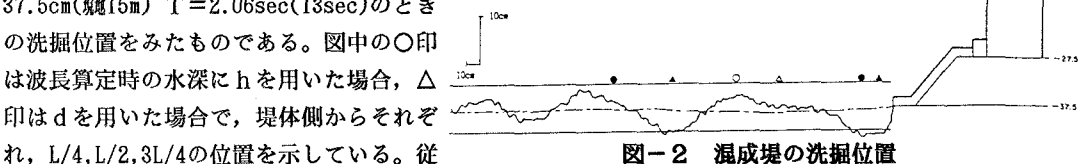


図-2 混成堤の洗掘位置

って、黒塗りは洗掘位置を、白抜きは堆積位置と考えられる地点である。これをみると $T=13\text{sec}$ と長周期の場合でも $L/4$ に換算すると数メートルの違いであり、洗掘状況からも波長算定用の水深として h をとるのが妥当であると考えられる。次に、消波

ブロック被覆堤と2段スリット堤の洗掘位置を調べたものが図-3である。図中の○印および□印は、混成堤と同様に堤体側から $L/4, L/2, 3L/4$ の地点を示したもので、波長算出時の水深としては h をとった。反射面は消波ブロック被覆堤は直立壁前面としたときを○印、静水面と消波ブロック法面との交点(線)をとったときを□印で示した。また、2段スリット堤は、沖側スリット壁前面をとったときを○印、後部直立壁をとったときを□印で示した。消波ブロック被覆堤については目視による堤体付近の

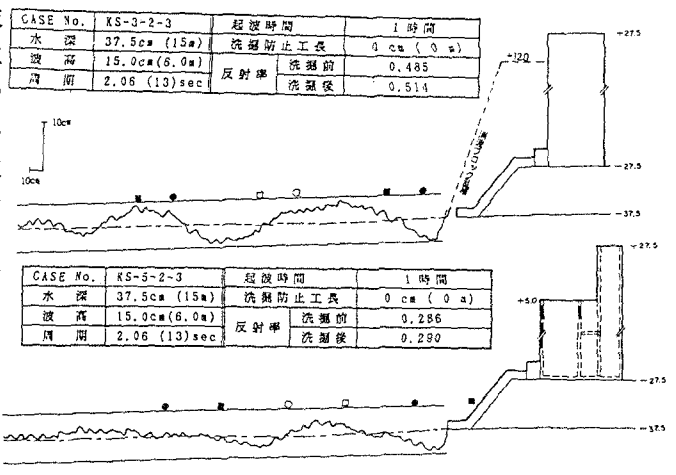


図-3 消波ブロック被覆堤と2段スリット堤の洗掘位置

を直立壁前面にとるのが妥当と考えられる。2段スリット堤は $T=10\text{sec}$ 程度までは反射面を沖側スリット壁前面にとるのが適当と判断されたが、図-3のように $T=13\text{sec}$ とより長周期になると洗掘位置を説明するための仮想反射面は沖側スリット壁前面と後部直立壁との中間付近にあるようである。ただし、実用上はすべて沖側スリット壁前面にとっておくのがよいと考えられる。

4. 洗掘防止工の必要長に関する検討 実験は混成堤で行い、洗掘防止に有効な石かご長について波長をパラメータにとり検討した。具体的には前節の検討から、堤体設置水深を用いて波長 L を算定し、原点(反射面)を直立壁前面としたときに石かごの沖側先端までの長さを① $L/4$ ($3L/12$)、② $L/3$ ($4L/12$)、③ $5L/12$ と順次長くして洗掘状況を比較してみた。また、海底勾配として $1/100$ と $1/15$ の2通りについて行った。図-4は検討結果の一例であるが、全体の傾向としては各ケースとも石かご長が $5L/12$ の場合は、海底勾配によらず石かごの移動や法先洗掘はほとんどみられず、洗掘防止効果は非常に高い。また、 $L/3$ の場合は石かごの先端1個分のみやや傾斜するが全体的にはおおむね洗掘防止効果は良好であると判断される。 $L/4$ の場合は前列の石かごの移動、傾斜が海底勾配が急なときに特に顕著であり、また法先洗掘量も一番多い。以上の検討結果から、波長 L をパラメータとして洗掘防止工長を決めることに対しては妥当であると考えられ、その有効長として堤体前壁から $L/3$ 程度とすると効果が高いという結果が得られた。今後は、グラベルマットなど他の洗掘防止材との使い分けに関しても検討を加えて、より有効な洗掘防止対策について提案していきたい。

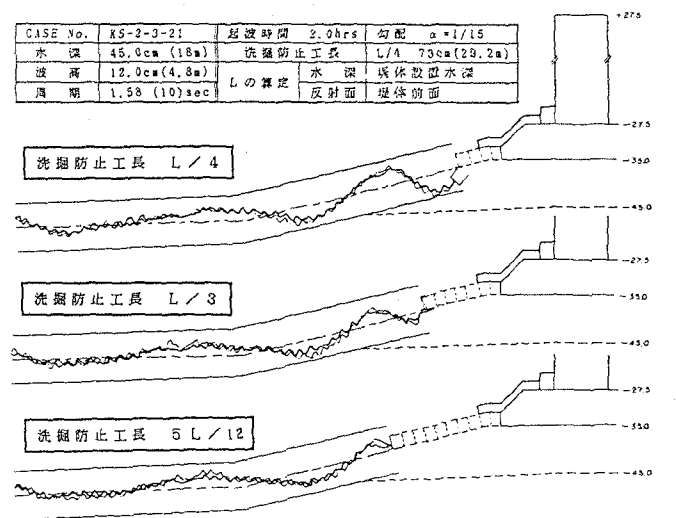


図-4 洗掘防止工長と洗掘状況