

1. まえがき 混成式防波堤に波などが作用するとき、防波堤内外の圧力差によって捨石基礎内に流れが生ずるが、この流れによる底床の洗掘に対する検討はほとんど行なわれていない。最近、大形の混成式防波堤などでは、底床の洗掘防止対策工として帆布などを敷設することが多く見受けられるようになった。しかし、この工法の採用にあたっては、工学的判断に基づくものではなく、ほとんどの場合、経験的というより、慣行として施工しているようにおもわれる。それゆえ、中小の混成式防波堤にあっては、帆布を敷設しない場合も見受けられるのである。底床の洗掘によって、防波堤本来の機能が著しく減少することは大きな損失を招くことにもなるので、この問題の解明は重要であり、急がなければならぬと考える。しかし、それにいたるには、多大の費用と日時を要するものと思われる。そこで、ここでは、問題解明にいたるまでの措置としての底床の洗掘安定度の評価法を提案することとした。

2. 捨石基礎内の流れ算定法 名古屋港高潮防波堤は高潮と波浪の襲来を同時に受けるため、以前に著者らは底床砂の安定度確認のため大がかりな実験をおこなった。^{1),2)} まず、捨石内の流れについては、水頭勾配 $\Delta H/\Delta S$ と捨石内の流れの平均流速 U (cm/sec)の間には式(1)の関係で表すことができる。ここに、 ζ :抵抗係数、 Re :レイノルズ数、 $f(n) = n^m$ 、 n :捨石の間隙率、 D :捨石の平均粒径 (cm)、 ν :動粘性係数 (cm²/sec)である。実験の結果、 $m = -5.0$ を得た。また、 ζ については図-1に示したが、実用の範囲では $Re > 10^4$ となるので、 $\zeta = 2.0$ としてよいことが分かる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta H/\Delta S &= \zeta U^2 / (2gD) \\ \zeta &= C (Re)^f (n), \quad Re = UD/\nu \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

径 (cm)、 ν :動粘性係数 (cm²/sec)である。実験の結果、 $m = -5.0$ を得た。また、 ζ については図-1に示したが、実用の範囲では $Re > 10^4$ となるので、 $\zeta = 2.0$ としてよいことが分かる。

3. 底床の洗掘安定度の算定法 底床砂の移動限界の研究は、いわゆる限界掃流力に見ることができる。これらは、既に、水理公式集に掲載されているが、上述の名古屋港高潮防波堤の底床の安定実験の砂の移動限界とよく似た現象を取り扱っていることから、これら両者を関連づけることによって、より広範囲な底床砂の安定度を検討することができると考えた。名古屋港の場合、調査対象の砂は現地産で、粒径は $d_{50} = 0.017$ cmであったが、砂の移動限界の捨石内の平均流速 $U_c = 2.5$ cm/secを得た。なお、ここでは、限界掃流力の関係式に岩垣の式を用いることにするが、この式に、 $g = 980$ cm/sec²、 $\sigma/\rho = 2.65$ を与えると、示されているおのおのの砂の粒径ごとの各式は、限界摩擦速度 (U^*c (cm/sec)) は ν をパラメータとして、砂の平均粒径 d との間に、次ぎのように表すことができる。

$$U^*c^2 = A \nu^m d^n \dots (2)$$

ここに、 A 、 m 、 n 、はいずれも定数である。そして、両者を最も簡単に、 $U_c^2 = K \cdot U^*c^2$ とにおいて関連づけし、上述の実験結果を用いて $d_{50} = 0.017$ cmに対する K を求めると、 $K = 2.86$ を得る。(ただし、 $\nu = 0.001146$ cm²/sec, 15°C) 一般に、わが国の港湾施設の設計において、海水の温度は10~20°Cを考慮しておけば十分である。その場合は、 $K = 2.70 \sim 3.00$ となり、係数 K の値はかなり安定したものとなっていることが分かる。これらを取りまとめて図-2に示したが、以上により、平均粒径 $d_{50} = 0.001 \sim 1.0$ cmまでの砂や礫の地盤についての洗掘安定度の検討が一応可能になった。

4. 福井港の混成式防波堤の場合 応用例として、福井港の混成式防波堤の底床の安定度を検討することにした。計算の条件としては、図-3に示すように海底地盤は-16.5 m、平均粒径 $d_{50} = 0.012$ cm、HWL = 0.5 m、波高 $H_{max} = 8.0$ m、周期 $T = 13.5$ sec、とし、合田の波圧式を用いて、前趾端波圧を算定することにした。また、捨石内の海水の流れに対しては、計算の精度を考慮して、流れの区間を3, 4, 5, 6, 8および10の6通り試みたが、それらの計算結果を表-1に示した。この表から分かるように、計算精度上からは、やはり8区分以上の流れ線図をえがく必要はあるようである。なお、表-2は海底地盤に洗掘防止工を施さない場合の捨石内の平均流速と安定に必要な平均粒径示したものである。これら

の計算結果はほぼ妥当な値を与えるものと言えよう。

5. むすび 混成式防波堤は防波堤の内外に生ずる圧力差によって捨石基礎内に流れが生ずる。これが大きくなると海底地盤の砂を洗掘し、それが原因で防波堤本体ケーソンの沈下や傾斜を招くことになる。一般に、防波堤の洗掘防止工法としては帆布を海底に敷設するが、その必要性和敷設区間を決めるための算定法は現在のところ全くない。ここでは、運輸省が行なった捨石内の流れによる底床砂の安定に関する実験結果を岩垣の限界掃流力の式に関連づけて、より広範囲な砂礫地盤の洗掘に対する安定度を確かめる算定法を提案したが、結果はほぼ妥当な値を示すことがわかった。今後は、種類の粒径に対する洗掘安定実験を行なって、より信頼のある算定式に改めてゆきたいと考える。

参考文献 1) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所：名古屋港高潮防波堤透水模型実験報告書（第1報）、（第2報）、昭和37年3月 2) 岡田靖夫：名古屋港高潮防波堤の洗掘防止に対する一考察、土木技術、Vol.19, No.3, 昭和39年3月

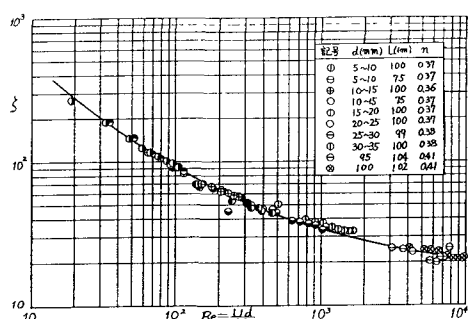


図-1 抵抗係数

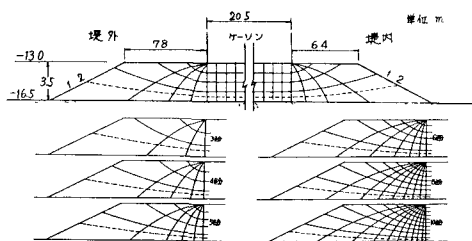


図-3 福井港防波堤の基礎工と流線

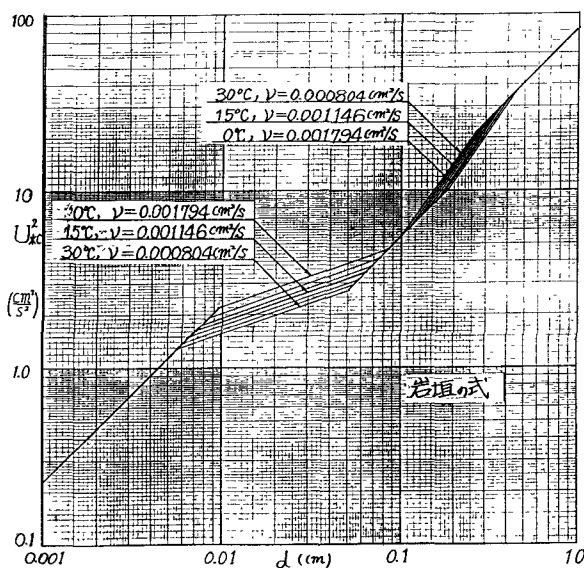


図-2 粒径と限界掃流力

表-1 海底各区の平均流速

区画	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	ケーソク下
3	16.4	24.3	32.7								38.28
4	14.6	22.4	27.5	32.7							38.28
5	13.6	19.0	28.1	30.5	34.7						38.29
6	13.4	18.1	20.7	25.6	31.7	36.3					38.30
8	12.7	15.4	21.0	22.7	25.3	27.5	30.3	34.2			38.28
10	11.9	13.5	16.7	20.3	23.9	27.1	29.2	32.0	35.8	38.3	38.30

$d_{50} = 0.012 \text{ cm}$ に対して
 $U_c = 2.36 \text{ cm/sec}$ である

表-2 海底砂礫の安定限界

$\Delta S \theta_i$	1	2	3	4	5	
U_i	11.9	13.5	16.7	20.3	23.9	
d_{50}	0.61	0.79	1.21	1.78	2.47	
$\Delta S \theta_i$	6	7	8	9	10	ケーソク下
U_i	27.1	29.2	32.0	35.8	38.3	38.38
d_{50}	3.18	3.69	4.43	5.54	6.35	6.345