

捨石基礎下の底床地盤の安定と限界掃流力

福井工業大学 工学部 正 昌 松並 仁茂

1. まえがき

混成式防波堤や海岸護岸に波が作用すると、外側と内側の圧力差によって捨石基礎内に流れが生ずる。これによって、その下にある海底地盤の土砂が不安定になり、洗掘され、さらに、これが上部の捨石基礎を沈下させ、やがてはケーソンブロックやコンクリート護岸の沈下におよび、倒壊させることもある。しかし、このような海底地盤の底床の洗掘についての研究はほとんど行われていないといえる。

ここでは、広く一般の海底地盤の底床の安定度が検討できるよう研究を行うのであるが、これまで行ってきた捨石基礎の抵抗係数の研究結果と、捨石基礎下の底床地盤の安定についての実験結果を用いて、いわゆる限界掃流力との関係について考察する。

2. 捨石基礎内の流れによる抵抗係数

捨石基礎内の流れに対する研究としては、B. Le Méhauté の論文¹⁾とその中に報告されている Dauphin 水理実験所での M. Cohen de Lara の実験があげられる。すなわち、摩擦勾配 $\Delta H / \Delta S$ と捨石基礎内の平均流速 U (cm/sec) の間においては式(1)によって表し、さらに、抵抗係数 ζ は式(2)に示すように、間隙率 n と乱れ (Re : レイノルズ数) の関数関係によって表すものとしている。

$$\frac{\Delta H}{\Delta S} = \zeta \frac{U^2}{2gd} \quad \dots (1) \quad \text{ここに、} \Delta H: \text{水位差 (cm)、} \Delta S: \text{流路長 (cm)、} \\ d: \text{捨石の平均粒径 (cm)、} \nu: \text{動粘性係数 (cm}^2/\text{sec)}$$

$$\zeta = C(Re) \cdot f(n), \quad Re = \frac{Ud}{\nu} \quad \dots (2) \quad \text{である。また、Lara は } f(n) = n^m, \quad m = -5 \text{ を提示した。}$$

捨石基礎の抵抗係数を求める実験は、本学の水理実験室にある幅・高さとも 30cm、長さ 8m の水平水路で行った。実験施設の大きさから、実験範囲は $60 < Re < 4000$ に限られることになった。これらの実験結果は Lara の結果とほぼ一致することが確かめられた²⁾。

3. 捨石基礎下の底床地盤の安定実験

この実験も上述の開水路を用いて合計 19 ケース行った。実験における底床地盤の砂粒子の移動は、その移動の特徴によって、微動と初期移動そして一斉移動の 3 種類に分けて整理することにした。

この実験は現象的に限界掃流力に類似している。まず、Shields・栗原・岩垣等の限界掃流力の各式と比較したが、各式の無次元限界掃流力に対して 7~30 倍の幅に大きく分散している³⁾。このことから捨石基礎内の流れによる限界掃流力の特徴が的確に表現できる新たな解析法を見出す必要があることが示された。

4. 捨石基礎下の底床地盤の安定と限界掃流力

捨石基礎下の底床地盤の安定を限界掃流力的に解析するには、底床地盤に直接作用する真の流れを対象としなければならない。この流れは粒径、粒度分布、間隙率、捨石の形状、および流れの乱れなど多くの要素に影響される。B. Le Méhauté は「間隙率が小さくなると、水分子の軌道長が長くなること、間隙中の平均流速が増大すること、および流れの屈曲部が多くなるが考えられる。」と述べている。また、福永らは「通常（浸透流の取扱い方）の方法による摩擦速度の算定は当然適用できない。」としている。限界掃流力的解析を行うため、捨石透水体を次のように考える。

(1) 捨石透水体の粒子は均一な球形粒径 (d) とする。

(2) 各粒子は単純立方型に均等に充填されているものとし、間隙比を e とする。

この仮定により、平均径深 R を求めると $R = ed/6$ を得る。実際には捨石を対象とするうえ、流れの乱

$$R = \alpha \frac{e}{6} d \quad \dots (3) \quad \text{れもあるので、さらに、適切な補正係数 } \alpha \text{ を考えると}$$

平均径深は式(3)のように表すことができる。

この径深を用いて実験結果における底床砂の移動限界の摩擦速度 u_{*c} を求めると、表-1 のようになる。ここで、 $\alpha = 0.31$ は砂の移動状況が初期移動のもので、岩垣の移動限界の摩擦速度と比較したときの平均値である。ちなみに、微動の場合は 0.46、一斉移動の場合は 0.25 となった。岩垣の u_{*c} は水温の変動による微量の変動量のほかは一定値を示すのに対して、本実験の場合は全般的にはよく似た値を示しているなかで、基礎捨石の粒径が小さくなるにしたがい、 u_{*c} は徐々に大きな値を示すことが分かる。一方、富永らの u_{*c} に対しては当方の実験の場合に対して比例関係にあり、1.09 倍の値を示している。このように適切な補正係数を合理的に選定出来るならば、十分実用に共することが出来るものと思われる。

表-1 底床砂の移動限界における摩擦速度

底床砂 粒 径 d_s (cm)	底床砂 比 重	基 礎 捨石径 d (cm)	間隙率 n	水温 ℃	損失勾配 i_c ($=\Delta H/\Delta S$)	底床砂の移動限界の摩擦速度 u_{*c}			
						α 1.00	α 0.31	岩垣	富永 $m=0.3$
0.1125	2.68	4.45	0.376	26.9	0.0275	3.47	1.93	2.55	2.10
		2.23	0.368	26.7	0.0861	4.27	2.38	2.55	2.59
		1.75	0.372	26.9	0.1165	4.44	2.47	2.55	2.69
0.0725	2.67	4.45	0.390	27.3	0.0171	2.81	1.56	2.01	1.71
		2.23	0.358	27.5	0.0510	3.22	1.79	2.01	1.95
		1.27	0.371	27.2	0.1251	3.91	2.18	2.01	2.37
		0.81	0.402	26.9	0.2323	4.55	2.53	2.01	3.06
0.0513	2.67	4.45	0.375	26.9	0.0215	3.06	1.71	1.69	1.86
		2.23	0.373	26.1	0.0414	2.93	1.63	1.71	1.78
		1.27	0.348	25.3	0.0762	2.91	1.62	1.70	1.76
		0.81	0.370	23.9	0.2067	4.01	2.23	1.71	2.43
0.0338	2.68	4.45	0.355	23.8	0.0202	2.83	1.58	1.60	1.72
		2.23	0.352	21.7	0.0433	2.93	1.63	1.62	1.77
		0.81	0.391	20.8	0.1676	3.77	2.10	1.62	2.29
0.0215	2.65	4.45	0.370	20.1	0.0205	2.96	1.65	1.49	1.80
		2.23	0.364	20.1	0.0437	3.02	1.68	1.49	1.83
		0.81	0.381	19.4	0.1357	3.32	1.85	1.50	2.02

4. おわりに

捨石基礎下の底床地盤の安定実験の結果を用いて限界掃流力による考察を行った。結局は Darcy-Weisbach の式の管路径や径深および管路長をいかに合理的・解析的に表現するかということに帰着した。具体的には平均径深の補正係数の値をいかに適切に選定するかということになった。捨石基礎工の設計法および施工法の確立のためにも本工法に関する工学的研究による解明と設計基準の早期の策定が望まれる。

参考文献

- 1) B. Lé Mehauté : Permeabilité des digues en enrochements aux ondes de gravité périodiques , La Houille Blanche, pp. 903~919, Décembre, 1957.
- 2) 松並仁茂・右梅 尚：捨石基礎の抵抗係数に関する実験的研究, 福井工業大学紀要 第25号（第一部）, pp. 169~176, 1995, 3.
- 2) 松並仁茂・右梅 尚：捨石基礎下の底床地盤の安定についての実験的研究, 平成6年度土木学会中部支部研究発表会, pp. 179~178, 1994年3月.