

裏込めの受働抵抗力に関する設計的な考察（その1）

- 模型実験と直線滑り計算の比較 -

港湾空港技術研究所

正会員 菊池 喜昭

五洋建設（株）

正会員 ○新舎 博，正会員 河村 健輔

1．はじめに

地震や異常波浪への対応として，従来の設計波高をより大きな値へと修正すると，既往防波堤には何らかの補強を施して堤体の安定性を高める必要性が生じる．その方法の一つとして，ケーソン式混成堤の場合には，ケーソン背面に裏込めを施工し，裏込めの受働抵抗力により安定性を向上することが考えられる．しかしながら，裏込めの受働抵抗力の算定に関しては，適切な設計法がないのが実情であり，この度 1/10 模型のケーソン滑動実験¹⁾と設計計算との比較から，裏込めの受働抵抗力に関して考察した．

本報告は，その1として，模型実験と直線滑り計算から求めた受働抵抗力の比較について考察する．

2．1/10 模型のケーソン滑動実験

図-1 に，実験装置の断面図を示す．実験は半地下土槽の一隅を反力として利用し，ケーソン模型は実物の 1/10 スケールで，幅 1.6m×高さ 1.8m×奥行き 2.0m，単位体積重量 20.6kN/m³ の鉄筋コンクリート製を使用した．実験で設定した裏込め形状は図-1 の断面図に示すとおりである．実験は波圧の作用位置において，ケーソン模型を前方へ押し出す偏心傾斜荷重を与え，その際の水平荷重を測定した．実スケールの想定条件は，捨石マウンドの天端水深 -13.0m，ケーソンの天端高 +3.5m，水位 +1.5m で，設計波高 11.4m，周期 14.0sec の波を対象とした．したがって，波力合力位置はケーソン下端から 9.2m の高さとなり，実験での载荷高さは 92cm を標準とした．実験条件と結果を表-1 に示す．

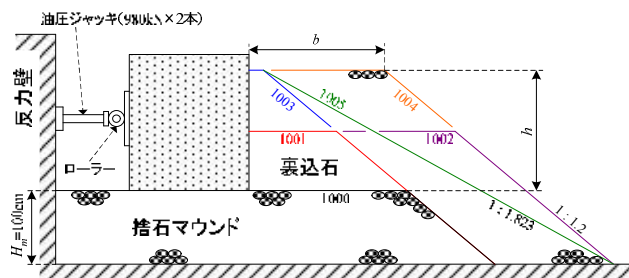


図-1 実験装置の断面図

表-1 実験条件と実験結果

実験ケース	マウンド厚さ (cm)	天端長 b (cm)	裏込め高さ h (cm)	裏込めの法勾配	裏込め断面積 (m ²)	载荷方法 (○内は合力の作用高)	滑動抵抗力最大時	
							抵抗力 (kN/m)	平均水平変位量 (cm)
1001	100	114	80	1:1.2	1.296	偏心载荷 (92cm)	57.6	10.8
1002	100	276	80	1:1.2	2.592	偏心载荷 (92cm)	93.6	15.0
1003	100	18	160	1:1.2	1.824	偏心载荷 (92cm)	62.0	10.0
1004	100	180	160	1:1.2	4.416	偏心载荷 (92cm)	118.6	15.4
1005	100	18	160	1:1.823	2.622	偏心载荷 (92cm)	90.2	13.8

3．実験結果と設計計算の比較

(1) 一般化した裏込めの受働抵抗式

裏込めによる受働抵抗力の算定式としては，図-2 に示す直線滑りを想定した赤塚ら²⁾の(1)式があり，この式に壁面摩擦を考慮すると，(2)式が得られる．これらの両式は，滑り面の水平とのなす角度 θ を変化させると， R の最小値が裏込めの受働抵抗力となる．

$$R = W_s \times \tan(\theta + \phi) \quad (1)$$

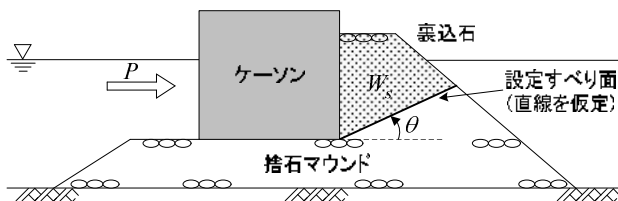


図-2 直線滑り面の設定

$$P = \frac{W_s \cdot \tan(\theta + \phi)}{1 + \tan \delta \cdot \tan(\theta + \phi)} \quad (2)$$

ここに， R ：裏込めによる受働抵抗力， W_s ：すべり面より上の裏込めの重量， θ ：すべり面の水平とのなす角度， ϕ ：石の内部摩擦角， δ ：ケーソンと石との壁面摩擦角．

(2) 裏込め受働抵抗係数の試算例

(2)式を用いて，壁面摩擦角 δ が裏込めの受働抵抗力にどのように影響するのかについて，試算を実施した．試算は，裏込めの天端幅 B が高さ h に対して長い場合と短い場合とで，受働抵抗係数 $2P/\gamma_d h^2$ （無次元化）がどのように変化するかを知ることである．計算結果を図-3 に示す．裏込めの天端幅と高さ比が $B/h=3.45$ と長い場合， δ （絶対値）

キーワード 裏込め受働抵抗力，模型実験，直線滑り

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8 五洋建設（株）土木本部土木設計部 TEL：03-3817-7655

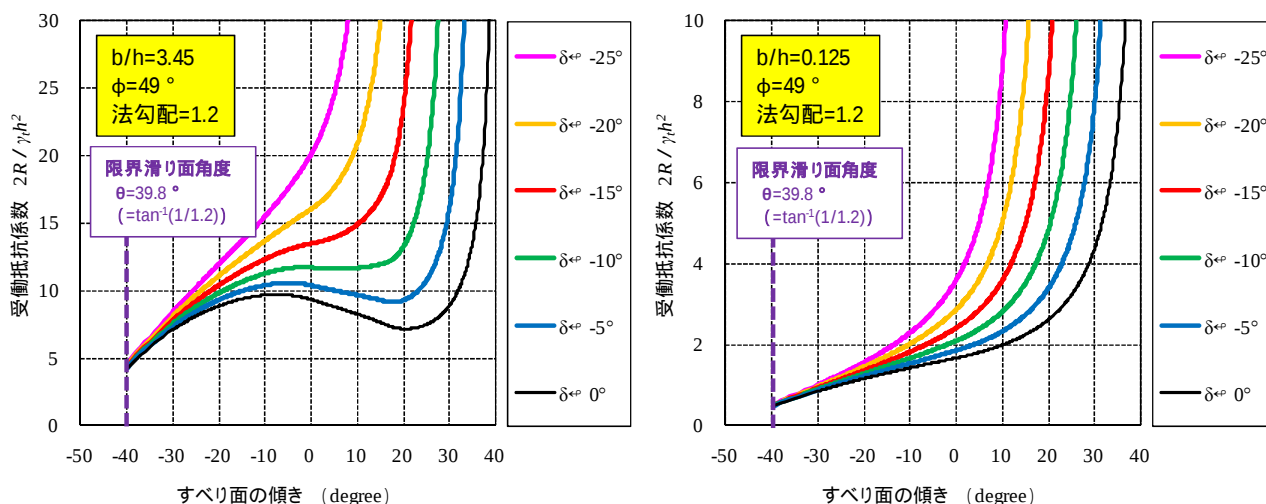


図-3 受働抵抗係数の変化(試算例)

が大きくなるにつれて受働抵抗係数が大きくなり、 $\delta = -15^\circ \sim -25^\circ$ においては、 θ が法勾配から決まる限界滑り面角度に近づくほど受働抵抗係数が減少することがわかる。言いかえと、ケーソンの背面下端から裏込めの法尻を通る滑り面が最も小さい受働抵抗係数を与えることになる。

一方、 $B/h=0.125$ の短い場合を見ると、 $B/h=3.45$ の場合と同様、限界滑り面角度において最小の受働抵抗係数を与えることがわかる。以上の結果より、裏込めの受働抵抗力はケーソン背面下端から裏込めの法尻を通る滑り面を設定して求めればよいことになり、 δ は求めた受働抵抗力に大きな影響を与えないことがわかる。

(3) 裏込め受働抵抗係数の試算例

表-2 裏込めの受働抵抗力の評価

表-2 は、模型実験で得られた最大水平荷重 P_{max} から、ケーソンと石との底面摩擦係数 $\tan\mu$ (水平滑動時で 0.75, 偏心滑動時で 0.61), および壁面摩擦角 δ (既往文献³⁾のほぼ平均値で -25° を採用) を考

実験ケース	最大水平荷重 P_{max} (kN/m)	ケーソン重量 W (kN/m)	背面摩擦力 F_w $=R \times \tan\delta$ (kN/m)	底面設置荷重 W' (kN/m)	底面摩擦力 F_B $=\mu \times W'$ (kN/m)	裏込め抵抗力 R_{ex} $=P_{max} - F_B$ (kN/m)	裏込め受働抵抗 (計算値) R_{cal} (kN/m)	すべり面のなす角 (deg)	R_{cal} / R_{ex}
底面摩擦係数 $\mu=0.61$, 背面摩擦角 $\delta=-25^\circ$ の場合									
1001	57.6	59.3	14.0	45.3	27.6	30.0	31.4	-16.86	1.05
1002	93.6	59.3	37.4	21.8	13.3	80.3	79.7	-11.49	0.99
1003	62.0	59.3	16.9	42.4	25.9	36.2	38.7	-16.86	1.07
1004	118.6	59.3	53.7	5.6	3.4	115.2	113.2	-11.49	0.98
1005	90.2	59.3	35.2	24.1	14.7	75.5	75.3	-11.49	1.00
底面摩擦係数 $\mu=0.75$, 背面摩擦角 $\delta=-25^\circ$ の場合									
1001	57.6	59.3	9.4	49.8	37.4	20.3	31.4	-16.86	1.55
1002	93.6	59.3	35.2	24.0	18.0	75.6	79.7	-11.49	1.05
1003	62.0	59.3	12.6	46.7	35.0	27.0	38.7	-16.86	1.43
1004	118.6	59.3	53.2	6.1	4.6	114.0	113.2	-11.49	0.99
1005	90.2	59.3	32.8	26.5	19.9	70.3	75.3	-11.49	1.07

慮して、当実験での裏込めの受働抵抗力 R_{ex} を求めたものである (R_{ex} の算定方法はその²⁾を参照)。実験で得られた R_{ex} と(2)式で求めた R_{cal} を比較すると、 $\mu=0.75$ の場合は、 $R_{cal}/R_{ex}=1.43 \sim 1.55$ の結果(ケース 1003 と 1001)が見られるが、その他のケースでは $0.99 \sim 1.07$ の範囲にあり、また $\mu=0.61$ の場合では $R_{cal}/R_{ex}=0.93 \sim 1.07$ となり、すべてのケースで 1.0 付近となっている。 $\mu=0.61$ において、実験と計算結果により整合性があるのは、 $\mu=0.61$ が偏心荷重を受けた際の底面摩擦係数であり、実験結果をより正確に反映しているためと考えられる。以上の結果より、(2)式で裏込めの受働抵抗力を求める方法は、本実験に関しては有効であると考えられる。

4. まとめ

裏込めの受働抵抗力に関して、以前実施した 1/10 模型のケーソン滑動実験と設計計算とを比較し、考察した。その結果、以下のことが明らかとなった。(1) 裏込めの受働抵抗力(2)式を用いると、ケーソンの背面下端から裏込めの法尻を通る滑り面が最も小さい受働抵抗係数を与えると考えられる。(2) 壁面摩擦を考慮し、かつ直線滑りを設定して求めた裏埋めの受働抵抗力(2)式は、模型実験結果とよい整合性がある。

【参考文献】1) 菊池喜昭ら：ケーソンの滑動抵抗に及ぼす裏込石の効果，第 32 回地盤工学研究発表会，pp.1407-1414，1997. 2) 赤塚雄三ら：混成堤の堤体背後に設置したコンクリート方塊あるいは割石の滑動抵抗，第 22 回海岸工学講演会論文集，Vol.2 pp.421-425，1975. 3) 菊池喜昭ら：壁に作用する土圧に及ぼす壁面摩擦の影響，港湾技研資料，No.916，1998. 4) 菊池喜昭ら：裏込めの受働抵抗力に関する設計的な考察(その 2)，第 66 回土木学会年次学術講演会，投稿中。