

II-281 セルラーブロック式防波堤に作用する揚圧力の算定法に関する一考察

水産工学研究所 正員 中泉昌光 山本正昭

1. はじめに

防波堤の中で直立部がセルラーブロック式のものとは比較的水深も浅く、波力もそれほど強大でない箇所での実施例が多く見られ、セルラーブロックに作用する揚圧力については、直立壁や直立壁底面に作用する波力の算定法が準用されてきた。しかしながら、直立壁底面とちがって底部コンクリートが無く透水となっているものは、堤体に作用する揚圧力は直立壁底面と異なるものと考えられる。そのため今回は、セルラーブロック式防波堤のうち底部コンクリートと底版の無いものについて、揚圧力と壁体に作用する内圧の特性を水理模型実験によって明らかにし、その揚圧力の算定法と壁体の強度設計に用いる内圧について検討することを目的として実施した。この研究は漁港施設調査費により行ったものである。

2. 実験諸元と実験方法

実験は、当研究所の大型規則波造波水路(100.0m×2.0m×2.0m)内に勾配1/30および1/150の斜面を造り、その上に堤体模型を設置して行った。実験の対象とした堤体形状は、セルラーブロックが単層1室と単層2室、そして2層積みのものである。堤体模型の壁体と上部工部分は波圧測定模型のみアクリル製とし、他はコンクリート造である。中詰石は径5mm~10mmのものをを用いた。実験波は、単層1室及び2層積みセルラー堤に対して主に重複波を、単層2室に対して重複波から砕波の範囲までとした。また、実験水位は単層2室セルラー堤についてのみ±0cmと+2cmの2ケースを行ない、セルラーブロック内の空気の有無による揚圧力の差異を調べた。波圧の測定は、アクリル製模型の壁前面や内部に小型波圧計を取付けて行った。壁前面の水位変化を調べるために容量式波高計を設置した。波高記録と波圧記録はパソコン(OKI i f800)を用いてAD変換(16ch、サンプリングタイム3ms)後フロッピーに書き込み解析した。

3. 実験結果

底面での揚圧力分布は重複波圧領域で台形に近い形状をしているが、砕波圧が壁面に作用すると三角形に近いものとなっている(図1)。2層積みセルラー堤の継目部付近のそれは、底部からの透水の影響が大きいために矩形分布に近いものである。壁前面に波の谷が来た場合は、後隔壁における揚圧力と内圧は非常に小さく、ほとんど前隔壁に揚圧力と内圧が働く(図2)。以下の考察は水平力最大時の揚圧力を対象とする。

4. 考察

(1) 下端水平波圧と底面および上部工下面での揚圧力

底面における平均揚圧力 $\bar{p}_u$ と下端水平波圧 p_s は非常に相関性が高い。以下に $\bar{p}_u$ と p_s の関係を近似した式を示す(図3.4)。 単層1室及び2室セルラー堤: $\bar{p}_u=0.55\sim0.58 p_s$ 2層積みセルラー堤: $\bar{p}_u=0.35 p_s$

底面での平均揚圧力 $\bar{p}_u$ と上部工下面平均揚圧力 $\bar{p}_i$ 、及び中段での平均揚圧力 $\bar{p}_m$ の関係は以下の近似式で示される。 単層1室セルラー堤: $\bar{p}_i=0.8\bar{p}_u$ 2層積みセルラー堤: $\bar{p}_i=0.7\bar{p}_m$ $\bar{p}_m=1.0\bar{p}_u$

単層2室セルラー堤: $\bar{p}_i=0.7\bar{p}_u$ (W. L=±0cm) $\bar{p}_i=1.0\bar{p}_u$ (W. L=+2cm)

このように、堤体の設置水深が深くなるとその平均揚圧力も小さい。また水位が上部工下面より高くセルラーブロック内に空気がない場合には、上部工下面に働く平均揚圧力は底面での平均揚圧力にほぼ等しい。

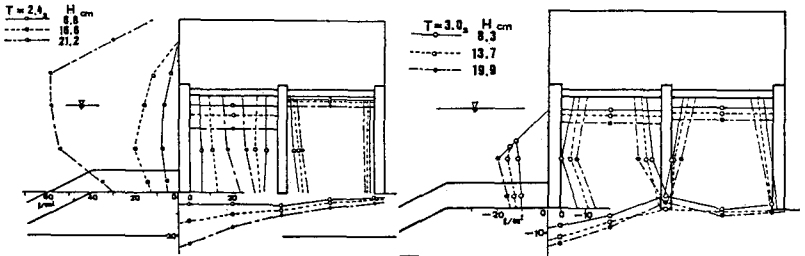


図1 水平力最大時の波圧分布

図2 水平力最小時の波圧分布

一方、水位が上部工下面よりも低いためにセルラブロック内に空気があると、空気の逸散や圧縮によって揚圧力は底面でのそれよりも2～3割程度減じて上部工下面に作用するものと考えられる。

(2) 設計に考慮すべき揚圧力

底面での揚圧力分布を三角形とし、上部工付近での揚圧力分布を矩形として、堤体全体に作用する全揚圧力合力は次のように計算される（図5）。 全揚圧力合力 $U = U_1 + U_2 + U_3 - U_4$

$$\text{壁厚を無視すると } (B=B_i) \quad U = \bar{p}_i \cdot B + \bar{p}_u \cdot B_e - \bar{p}_i \cdot B_e = \bar{p}_u \cdot B \left(\frac{\bar{p}_i}{\bar{p}_u} + \frac{B_e}{B} - \frac{\bar{p}_i}{\bar{p}_u} \cdot \frac{B_e}{B} \right)$$

ア) 波力の算定に用いる設計潮位>上部工下面の高さ（セルラブロック内に空気が無い場合）

$$\bar{p}_i / \bar{p}_u = 1.0 \text{ を上式に代入して} \quad U = \bar{p}_u \cdot B (1 + B_e/B - B_e/B) = \bar{p}_u \cdot B \quad B_e: \text{中詰石の受圧有効幅}$$

イ) 波力の算定に用いる設計潮位<上部工下面の高さ（セルラブロック内に空気が有る場合）

$$\bar{p}_i / \bar{p}_u = 0.75 \text{ を代入して} \quad U = \bar{p}_u \cdot B (0.75 + 0.25 \cdot B_e/B)$$

ここで、中詰石の空隙率を45～50%と仮定し B_e/B を求めると $B_e/B = 0.64$ であるから $U = 0.9 \bar{p}_u \cdot B$
底面後端の回りのモーメント M は $M = \bar{p}_u \cdot B_e \cdot 2/3 \cdot B + \bar{p}_i \cdot (B - B_e) \cdot B/2$ であるから、揚圧力合力の作用位置 l_0 は M/U で求められる。以上全揚圧力合力とその作用位置を求め、表1にまとめた。

(3) 現在の設計法に対する検討

底面での揚圧力と合式による直立壁底面の前端揚圧力 $p_{u.g}$ （計算値）を比較すると次のようになる。

$$\text{単層1室及び2室セルラ堤: } p_u^* = 2 \cdot \bar{p}_u = p_{u.g} \quad \text{2層積みセルラ堤: } p_u^* = 2 \cdot \bar{p}_u = 0.7 \cdot p_{u.g}$$

ア) 堤体の設置水深が比較的深くない場合に、波力の算定に用いる潮位が上部工下面よりも高いと全揚圧力合力は、ケーソン式と同様に直立壁底面とみなして算定した揚圧力合力に等しいが、潮位が上部工下面よりも低いと、全揚圧力合力は、セルラ堤を直立壁底面とみなして算定した値よりも1割程小さい。

イ) 堤体の設置水深が深い場合は、堤体に作用する全揚圧力合力は、潮位が上部工下面よりも高いとセルラ堤を直立壁底面とみなして算定した値よりも3割程度、また、潮位が上部工下面よりも低いときには4割程度も小さくなり、現設計法は揚圧力を過大に評価する恐れがある。

ウ) 現設計法では、合力の作用位置は底面の後端から堤幅の2/3のところとしているが、これはやや安全側を与える。2層積みのように上層部分に作用する全揚圧力合力の作用位置は、堤体幅の中央である。

(4) 揚圧力と内圧の関係

波の谷が来た場合、側壁に外から働く水平波圧は、この水位低下量 η を $H/2$ とし水面下で $-wH/2$ の一様な分布で近似できる。（図6）2室セルラ堤について、底面での揚圧力を隔壁付近でゼロとする三角形で近似したときの前端揚圧力を $p_{u.}^*$ として $p_{u.}^*$ と下端水平波圧 $p_{s.}^*$ の関係は、 $p_{s.}^*$ に対する $p_{u.}^*$ の変動幅が大きいものの平均的には $p_{u.}^* = 0.75 \cdot p_{s.}^* = -0.75 \cdot wH/2$ である。

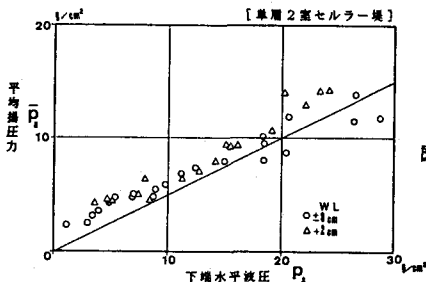


図3 底面での平均揚圧力と下端水平波圧

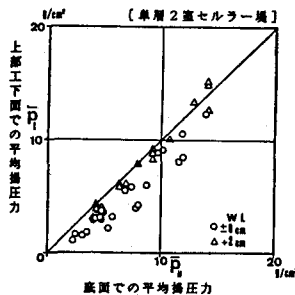


図4 上部工下面での揚圧力と底面での揚圧力

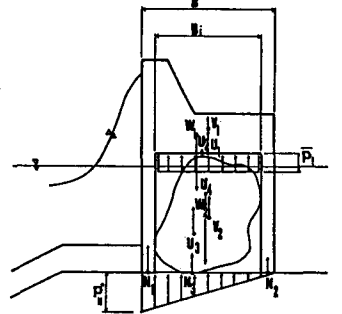


図5 堤体に作用する全揚圧力合力の説明図

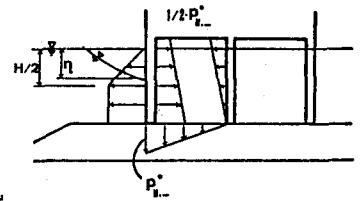


図6 波の谷が来たときの内圧分布
表1 全揚圧力合力とその作用位置

セルラブロック室内の空気	揚圧力合力		合力の作用位置 l_0/B		
	2層積みの上層	2層積みの下層	1室セルラ堤	2室セルラ堤	2層積みの上層
無	$\bar{p}_u \cdot B$	$\bar{p}_u \cdot B$	0.60	0.65	0.5
有	$0.9 \bar{p}_u \cdot B$	$0.9 \bar{p}_u \cdot B$	0.62	0.66	0.5

※揚圧力合力の作用位置 l_0 は底面後端からの距離