

栈橋床版に働く揚圧力の数値計算モデルについて

大阪大学工学部 正 員 榎 亨
 大阪大学工学部 正 員 ○後野正雄
 大成建設(株) 正 員 高久雅喜

1. まえがき: 既に著者らは水平床版に作用する揚圧力と実栈橋と同様床版下面にリブを有するリブ付床版に作用する揚圧力の特性が異なるものであることを示し、更に最も強大な揚圧力の生じる岸壁直前のリブブロック(床版とリブに囲まれた部分)を対象とした実験により、リブ付床版に作用する揚圧力が i) 水面が直接床版に衝突する Wagner 型, ii) リブブロック内の空気圧縮による Bagnold 型, iii) 両者が混在して生じる揚圧力の3つの代表的な発生機構の存在することを明らかにした。Wagner 型, Bagnold 型の波圧はそれぞれ異なる相似則に従うものであることから、模型実験により得られた波圧を現地の値に換算することが困難である。従って、リブブロックの形状、リブブロック内の水面の運動ならびに空気の挙動まで考慮した解析解、数値解が望まれる。本研究は岸壁直前のリブブロックに作用する揚圧力を算定するための数値計算法について述べたものである。

2. 算定モデルの構築: Wagner 型, Bagnold 型の波圧はどちらもしリブブロック内の水面の挙動により求めることができる。しかしこの水面の挙動はリブブロック内の空気、リブブロックの相互干渉効果が含まれたものであり、水域全体を同時に解くことは困難である。そこで本算定モデルは付加質量の概念を拡張応用し、簡単な物理モデルを種々組み合わせることによって水面の挙動を求め、既存の解析解を用いることによって波圧を求めようとしたものである。まずリブブロック内の現象を「水面の運動」、「空気の圧縮」、「空気の漏出」の3つの部分に分け、それぞれを以下のようにモデル化する。A: 水面の運動・リブブロックの下方において波動場より独立し、図-1に示すように水面と一体となって運動する水塊(以後付加質量水と呼ぶ)を考える。ここで K_w は波と空気層の相互作用による付加質量水を表し、 K_e はリブの存在の影響度を表す付加質量水である。本研究では $K_w = R_w$ (リブ間隔) とし、 K_e は実験結果より定めた。この付加質量水は鉛直上下方向のみに運動するものとし、これを微小幅の水柱に分割し、この水柱の上下運動により水面の挙動を表す。水柱に作用する外力は水面に作用する空気圧 P_a と、付加質量水の最下面に作用する流体圧 P_b の2つとする。ここで流体圧と呼んでいる外力は実際には先述の水域全体を解いて求めるべきものであるが、本モデルでは簡単に床版がない場合の波面位置とリブブロック内の水面位置との差に相当する静水圧に等しいものとする。B: 空気の圧縮・リブブロック内の空気の圧力、圧力の時間変化はリブブロック内で一様とし、断熱圧縮過程に従うものとする。ただし圧力の算定においては体積変化のみならずリブブロックの沖側リブ下端より漏出した空気量も考慮している。C: 空気の漏出・空気の漏出はリブブロック沖側のリブ下端と水面が離れている状態で生じ、リブ下端と水面との間で漏出速度は一定とみなす。漏出速度は十分短い時間内(数値計算の時間のきざみ幅)では圧縮性流体の定常流れの

Toru SAWARAGI, Masao NOCHINO, Masaki TAKAKU

ベルヌーイの式が適用できるものとして求めた。以上のモデル化により微小幅の付加質量水柱の運動量式と漏出する空気に関する運動量式がリブブロック内の空気圧を決定するための空気の体積と漏出空気量を算定する際に結びつけられ、結局9元連立常微分方程式となる。初期条件としてはリブブロックの岸側リブ下端に水面が接した時を選び、その時の水面位置と初期速度は部分重複波のストークスの第3近似解を用いた。背後岸壁の反射率は既往の研究成果と実験装置を考慮して0.85を用いた。数値計算の結果、リブブロック内の水面が床版と接することなく下降し始めた場合には計算の途中で生じた最大空気圧をもってBagnold型の圧力であるとし、水面が床版と接した場合には、その時の速度と水面の傾斜角度よりWagnerの理論式より波圧を算出し、最大空気圧と比べ、大きな方の値をもって揚圧力とした。

3. Keの決定方法: Keはリブによる影響を表現するものである。本研究ではKeがリブ間隔 R_w とリブ厚さ R_b の比 R_w/R_b の関数 $Ke = R_b \cdot f(R_w/R_b)$ を仮定した。更に $R_w/R_b \rightarrow 0$ の極限で $Ke = R_b$ 、 $R_w/R_b \rightarrow \infty$ でBagnold数に用いられる $Ke = \frac{\pi}{2} R_w$ となること及び R_w/R_b の異なる3ケースの実験値よりKeを次式のように定めた。 $Ke = R_b \cdot \left\{ \frac{\pi}{2} \frac{R_w}{R_b} + \frac{1}{2} \log \left(\frac{R_b/R_w}{6.3} \right) + 1 \right\}$
以下の計算は上式を用いて行なったものである。

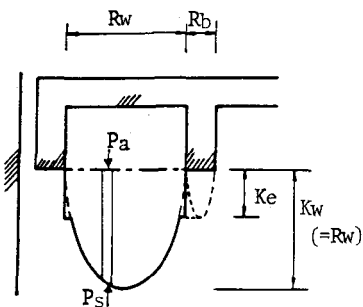


図-1

4. 実験結果との比較: 図-2は以上で述べた算定モデルによる計算結果と模型実験結果を揚圧力の絶対値について比較したものである。横軸に実験値を、縦軸に計算値をとっている。また図中白抜きは実験での波圧の発生形式(Bagnold型Wagner型)を計算において再現できたケースを、黒塗は再現できなかったケースを示している。更に、図中実線は実験と計算とで値が等しい場合を、破線は実験値が計算値の2倍の場合と半分の場合を示している。この図より揚圧力の発生機構については、計算値は実験値をうまく表現しているが、揚圧力の絶対値については実験値を2倍もしくは半分の精度内で予測できることがわかる。このことは、揚圧力が衝撃的な力であることと本算定モデルが簡単な物理モデルを用いていることを考え合わせると、一応の満足すべき精度であると考えている。

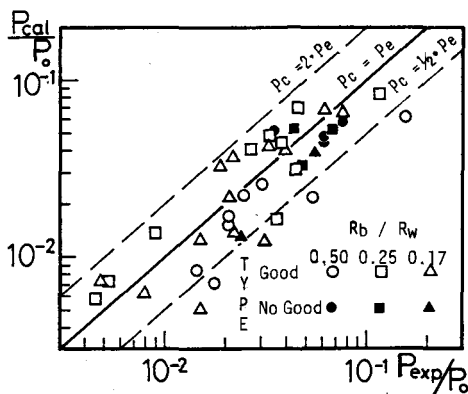


図-2

5. 本算定モデルの問題点と今後の展望: 本研究で提案する算定モデルは、付加質量水の形状の設定の仕方に極めて敏感である欠点を有している。従って、本算定モデルを現地橋樑に働く揚圧力を算定するために用いる際には、付加質量水の形状を現地スケールに対する検討も含めて詳細に検討する必要がある。