# 受圧面の変位によるバグノルド型衝撃波圧の低減効果

東亜建設工業株式会社 設計部西日本設計室 正会員 〇津田 宗男 京都大学防災研究所教授 気象・水象災害研究部門 フェロー 高山 知司

## 1. はじめに

衝撃波圧による防波堤の直立壁や桟橋構造物の床版の被災が問題となっており,衝撃波圧の研究が進められ ている.衝撃波圧は衝突する波面と壁面の間に空気層を介在するか否かによって特性が異なる.代表的な波圧 理論には波面が受圧面に直接衝突する Wagner 理論と封入空気層の圧縮を考慮した Bagnold 理論がある<sup>1)</sup>.衝 撃波圧は波面の衝突時の壁面変位によって衝撃が吸収される<sup>1)</sup>ものと言われているが,定量的な波圧低減効果 は明らかではない.ここでは,Bagnold(空気圧縮)モデル<sup>2)</sup>に壁面の弾性変位を考慮した衝撃波力の検討を行 い,ケーソン壁や桟橋床版に衝撃波圧が作用する場合の波圧低減効果について検討を行っている.

#### 2. 衝撃波圧の算定モデル

Bagnold 理論は壁面と衝突する砕波波面の間の封入空気層をモデル化し、空気圧縮によるクッション効果を 考慮した衝撃波圧理論である.これを拡張し、封入空気層の圧縮と壁面の弾性変位を考慮したモデルで衝撃波 圧を算定する.

図-1に示すように、付加質量の換算長Kの水塊が速度 $V_0$ で衝突し、壁面との間に封入された厚さDの空気層を圧縮するモデルを想定する、受圧面は弾性係数 $\xi$ の一様な分布バネに支承された壁面とする、衝突前の封入空気の圧力を大気圧 $p_0$ とし、断熱圧縮( $\gamma$ =1.4)、空気層の厚さx(=D-X)、水塊の移動量X、壁面の移動量x、どすると、圧縮された空気層の圧力p、衝突水塊の運動方程式、受圧壁面の運動方程式は、それぞれ式(1)~(3)で示される.

$$p = p_0 \left(\frac{D}{x - x'}\right)^{\gamma} \tag{1}$$

$$\rho_{w}K\frac{d^{2}x}{dt^{2}} = p - p_{0} \tag{2}$$

$$-\xi x' = p - p_0 \tag{3}$$

空気圧縮モデルの解法(Mitsuyasu, 1966)に倣い,級 数展開によってこれらの式を解くと,式(4)~(6)に示 す波圧 pの時間変化とその最大値  $p_{max}$ が得られる.



図-1 衝撃波力の算定モデル

$$p - p_0 = \rho K V_0 \sigma' \left\{ \sin \sigma' t + \frac{\alpha' (\gamma + 1)}{2\kappa D} \sin^2 \sigma' t \right\}$$
(4)

$$\frac{p_{\max}}{p_0} = 1 + 1.18 \left( \frac{\rho_w K V_0^2}{\kappa p_0 D} \right)^{1/2} + 1.2 \left( \frac{\rho_w K V_0^2}{\kappa p_0 D} \right)$$
(5)

$$\alpha' = \sqrt{\frac{\kappa \rho_w K V_0^2 D}{p_0 \gamma}}, \quad \sigma' = \sqrt{\frac{p_0 \gamma}{\kappa \rho_w K D}}, \quad \kappa = \frac{D \gamma \xi - p_0}{D \gamma \xi}$$
(6)

受圧壁面が変位しない剛体のケースと比較すると,波圧の時間変化の振幅と周期がともに κ<sup>-1/2</sup> 倍となって いる.

キーワード 衝撃波圧, Bagnold 理論, 空気圧縮モデル, 壁面の弾性変位

連絡先 〒550-0004 大阪市西区靱本町 1-5-15(第二富士ビル) 東亜建設工業(株)西日本設計室 TEL.06-6443-8164

#### 2-083

## 3. 弾性変位の効果

理論値と模型実験によって得られた衝撃波圧<sup>2)</sup>を図-2に示 す.実験は幅40cmと細い梁を対象としており空気が逃げやすい ことを考慮して,理論計算の封入空気厚は2cmとしている.梁 のたわみ剛性*EI*が小さくなると衝撃波圧が低減されることが, 理論計算においてもよく再現されている.

衝突水塊厚 K=3.9m,空気層厚 D=0.2mとしたときの算定された衝撃波圧の時間変化を図-3に示す.ここで,弾性係数は RC 部材を両端固定梁とした場合の荷重と梁中央におけるたわみの比で定義している.  $\xi$ =166 MN/m<sup>2</sup>は壁厚 0.5m,隔壁スパン5mの標準的な RC ケーソン壁を想定しているが,変位のない剛体壁( $\xi$ =∞)と比較して最大波圧で 0.2%の低下に留まっている. ケーソン壁厚 0.3m ( $\xi$ =36 MN/m<sup>2</sup>)としても最大波圧はほとんど低下していない.

同じ衝突水塊厚に対して空気層厚を 1.0~0.1mとしたとき の,たわみ弾性係数と衝撃波圧の最大値を図-4に示す.波圧の 最大値は,空気層厚ごとに剛体壁のケースの最大波圧で無次元 化している.空気層厚によらず,壁面の弾性係数が小さいほど 波圧の最大値が小さくなる傾向を示している.また,封入空気 の層厚が小さくなると弾性定数の低下に対する波圧の低減が顕 著となっている.これは,空気層が薄くなると壁面の弾性係数 に対して相対的に硬く,空気層のクッション効果が小さくなり, 弾性変位の効果が卓越するためである.

## 4. ケーソン壁への適用

**表**-1は、ケーソン壁や桟橋床版の形状と両端固定梁に 100kN/m<sup>2</sup>の等分布荷重を載荷したときの梁中央におけるたわみ とそれに対応するたわみ弾性係数を示している. 図-4から, 一 般的な壁面より隔壁スパンが長い Case-1 であっても衝撃波圧の 低減は3%に過ぎないことが分かる. 通常のケーソン形状では, 弾性係数が 100~1000MN/m<sup>2</sup>で弾性変位も1mm 以下であるため, 受圧壁面の弾性変位による衝撃波圧の低減効果は小さいものと 思われる.

## 5. おわりに

ケーソン壁や桟橋床版に衝撃波圧が作用した場合の部材 変位による波圧の低減効果について検討した結果,一般的 なケーソン壁や桟橋床版の形状では,弾性変位による衝撃 波圧の低減効果はほとんどないことが分かった.



1) 高橋重雄・津田宗男・横田弘・高野忠志・清宮理(1999): 衝撃波力によるRC版の破壊メカニズムに関す る基礎実験-水面付近の梁に作用する衝撃揚圧力-,海岸工学論文集, Vol. 46, pp. 811-815.

2) Mitsuyasu, H. (1966): Shock Pressure of Breaking Wave, Proc. 10th Conf. on Coastal Eng., Vol. II, pp. 268-283.



表-1 壁面の形状と弾性係数

| 梁モデル                     | Case-1 | Case-2 | Case-3  | Case-4  |
|--------------------------|--------|--------|---------|---------|
| スパン長(m)                  | 6.00   | 5.00   | 4.50    | 4.00    |
| 厚さ(m)                    | 0.40   | 0.50   | 0.80    | 1.00    |
| 弾性係数(MN/m <sup>2</sup> ) | 41.04  | 166.21 | 1037.63 | 3246.25 |
| 最大たわみ(mm)                | 2.39   | 0.59   | 0.09    | 0.03    |