

九州大学 工学部 学生員 ○入江 達雄

〃 〃 正 員 園田 敏夫

〃 〃 〃 島野 清

1. まえがき

火力発電所・原子力発電所などは立地条件の困難性から、従来の強固な地盤から次第に海岸の軟弱地盤地帯への建設が余儀なくされているが、さらに近年においては内陸での建設に種々の問題を生じているため、海岸沖合に人工島を築造し、これに発電所を建設せざるを得ない方向にある。しかし、海洋埋立地では水深も深く、その護岸構造物の耐震性の確保には技術的に問題が多い。海洋埋立地における護岸構造物の特徴は、自己の慣性力の他に、腹背から動水圧をうけ、さらに土圧をうけて、その安定性をおびやかす外力が大きいことおよび基礎地盤の動的特性の把握が困難なことである。本研究は捨石上に築造された重力式護岸に働く動水圧と種々の基礎条件下および形状の下に解明し、護岸の耐震計算の基礎資料を得ようとするものである。

2. 模型実験

図-1に示すように、振動方向長さ2.5 m、巾1.5 m、深さ1 mの鋼製箱を振動台上に設置し、箱内に厚さ30 cmの捨石層を敷き、この上に振動方向30 cm、深さ70 cmの鋼製模型護岸を設け、護岸の前面5個所に動水圧計を取りつけた。図-2は動水圧計の構造を示す。直径2.3 cmのリングに嵌んだリン青銅板に直交ひずみゲージを貼りつけ、水圧変化をひずみに変換して測定した。なお、ひずみと水圧との関係は測定に先立ち、静水圧を加えて較正した。

今回の実験に使用した礫層は粒径2~4 cmの卵石である。図-3は種々の礫層状態に対する護岸前面の動水圧の鉛直分を示す。礫層の透水係数は大きい。護岸基礎下に礫層がある場合には、底面が不透水層の場合と同じ動水圧を示している。また、護岸前面に礫層があっても、動水圧は護岸前面に礫層がない場合とほとんど等しい値を示し、この程度の大きさの透水係数の礫層が護岸前面にあっても動水圧値にはWestergaardの動水圧をそのまま用いてよいことがわかる。

3. 礫層内直立壁に働く動水圧の理論

図-4に示すように、護岸の水深をH、直角座標をx, z、座標方向の水分子の変位をu, w、水の単位体積重量を γ_w 、重力加速度をg、動水圧をp、水の体積弾性率を E_w 、地震の水平変位を u_g 、水分子と礫層との相対速度に比例する抵抗係数をC、時間をもとすれば、水分子の運動方程式は次式で表わされる。

$$\frac{\gamma_w}{g} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} - C \frac{\partial}{\partial t} (u - u_g) \quad (1)$$

$$\frac{\gamma_w}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial z} - C \frac{\partial w}{\partial t} \quad (2)$$

(1), (2)をそれぞれ、xおよびzで微分して加えると、pに関する次の偏微分方程式が得られる。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{C}{E_w} \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\gamma_w}{g E_w} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (3)$$

これを解くに当たっての境界条件は、地震変位を $(d g / w^2) \sin \omega t$ とすれば、

$$\left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)_{x=0} = d \gamma_w \sin \omega t = \operatorname{Re} (-d \gamma_w i e^{i \omega t})$$

$$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial z}\right)_{z=0} = 0, \quad (\sigma)_{z=h} = 0$$

である。(3)式を上記条件下に解けば壁面に働く動水圧 σ が下記のようを得られる。

$$\sigma = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4dW_0 H (-1)^{m+1}}{(2m-1)\pi \sqrt{a_m^2 + b_m^2}} \cos \frac{(2m-1)\pi z}{2H} \sin(\omega t - \varphi_m) \quad (4)$$

$$\text{ここに } \varphi_m = \tan^{-1}(b_m/a_m)$$

$$\left. \begin{matrix} a_m \\ b_m \end{matrix} \right\} = \sqrt{\frac{\pm \left[\frac{(2m-1)\pi}{2} \right]^2 + \sqrt{\left[\frac{(2m-1)\pi}{2} \right]^4 + \left(\frac{CWH}{E_v} \right)^2}}{2}}$$

または

$$\sigma = -\frac{4dW_0 H}{\pi} \left[\sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1} a_m}{(2m-1)(a_m^2 + b_m^2)} \cos \frac{(2m-1)\pi z}{2H} \sin \omega t - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1} b_m}{(2m-1)(a_m^2 + b_m^2)} \cos \frac{(2m-1)\pi z}{2H} \cos \omega t \right] \quad (5)$$

全動水圧合力 P は、上式を $0 \sim H$ に積分して

$$P = -\frac{8dW_0 H^2}{\pi^2} \sqrt{\left\{ \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m}{(2m-1)^2 (a_m^2 + b_m^2)} \right\}^2 + \left\{ \sum_{m=1}^{\infty} \frac{b_m}{(2m-1)^2 (a_m^2 + b_m^2)} \right\}^2} \sin(\omega t - \varphi) \quad (6)$$

ここに

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{b_m}{(2m-1)^2 (a_m^2 + b_m^2)}}{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m}{(2m-1)^2 (a_m^2 + b_m^2)}}$$

(6)式の値を種々の C の値に対して求めると図-5が得られる。過去の研究によると、 C の値として $g\lambda/\alpha$ (α : 透水係数, λ : 礫の空隙率) が用いられている。本実験の場合 $\alpha=1 \sim 10$ cm/s, $\lambda=0.5$ として $C=4.9 \sim 49$ t/s/m, $CWH^2/E_v = 0.0017 \sim 0.017$ となり、礫の存在は動水圧に影響しない。

