

II-209

シェル構造ローラゲートの鉛直方向水理力に関する研究

石川島播磨重工業(株) 正員 上田幸彦
東洋大学 工学部 正員 荻原国宏

1. ま え が き

スキンプレートを下流側に配置したシェル構造ローラゲートは、高圧ゲートと構造形式が異なりゲート自体が巨大な水室を構成するため、ゲート底板下面の圧力だけでなくゲート内水の挙動が開閉機能上極めて重要な問題となる。スキンプレートを下流側に配置した後面スキンプレート形シェル構造ローラゲートの底板形状には、底板が約20°傾斜した直線状で、その上流端に円弧を設け下流端にリップを突出する場合とゲート底板下の境界層のはく離を嫌って放物線状とする場合がある。本報告は、ゲート底板形状が放物線で表わされる後面スキンプレート形1段式シェル構造ローラゲートの定常流状態ならびに開閉中における鉛直方向水理力について検討した結果の概要である。

2. 下端放流時の鉛直方向水理力

(1) 定常流状態での鉛直方向水理力 ゲートの底板は、曲線の始端を原点とし横軸を x 、縦軸を y とするとき、 $y = k \sqrt{x}$ で表わされる放物線とする。いまゲートの厚さを D_0 、径間を B_0 、開度を a 、上流水深を H 、ゲート下流側のせき上げなしとし、定常流状態ではゲート内水位が通水孔の位置 b における圧力水頭 h_b に一致するとすれば、ゲートに働く鉛直方向水理力 P_s は次式で表わされる。

$$P_s = \tau B_0 \left\{ \frac{2}{K^2} C_0^2 a^2 (H-a) \left(\log \frac{a}{y_0 + a} + \frac{y_0}{a} - \frac{C_0^2 a^2 (H-a) D_0}{(y_0 + a - k \sqrt{x_b})^2} \right) \right\} \dots (1)$$

ここに、 C_0 : 流量係数、 $y_0 = k \sqrt{D_0}$ である。ゲート内水位が x 軸よりも低下する場合 P_s は次式で与えられる。

$$P_s = \tau B_0 \left\{ \frac{2}{K^2} C_0^2 a^2 (H-a) \left(\log \frac{a}{y_0 + a} + \frac{y_0}{a} - \frac{C_0^2 a^2 (H-a) D_0}{(y_0 + a - k \sqrt{x_b})^2} \right) + \frac{1}{3k^2} \left\{ \frac{C_0^2 a^2 (H-a)}{(y_0 + a - k \sqrt{x_b})^2} - H + y_0 + a \right\}^2 \right\} \dots (2)$$

式 (1) と (2) において、 $P_s > 0$ ならばダウンプルフォースと呼ばれる下向き水理力、 $P_s < 0$ ならばアップリフトフォースと呼ばれる上向き水理力である。

(2) ゲート開閉中の残留水重(または残留浮力) ゲートをおある速度で巻上げてきて、開度 a に達したとき残留水深を $|hr|$ とすれば、残留水重 $|Pr|$ は次式で表わされる。

$$|Pr| = \tau B_0 D_0 |hr| \dots (3)$$

式 (3) で表わされる $|Pr|$ は、ゲートを巻下げてきたとき残留浮力として作用することになる。ゲート内水位が x 軸よりも低下する場合、 $|Pr|$ は次式で与えられる。

$$|Pr| = \tau B_0 \left[D_0 - \frac{1}{k^2} \left\{ \frac{C_0^2 a^2 (H-a)}{(y_0 + a - k \sqrt{x_b})^2} - H + y_0 + a \right\}^2 \right] \cdot |hr| \dots (4)$$

残留水深 $|hr|$ は、通水孔の流量係数を C 、通水孔の総数を n 、通水孔1個の断面積を a_0 とすれば次式で表わされる。

$$|hr| = \frac{1}{2g} \cdot \frac{D_0^2 B_0^2}{C_1^2 n^2 a_0^2} \cdot V_0^2 \cdot \left(\frac{dh_b}{da} \right)^2 \dots (5)$$

ゲート内水位が x 軸よりも低下するとき、 $|hr|$ は次式で与えられる。

$$|hr| = \frac{1}{2g} \cdot \frac{B_0^2}{C_1^2 n^2 a_0^2} \left[D_0 - \frac{1}{k^2} \left\{ \frac{C_0^2 a^2 (H-a)}{(y_0 + a - k \sqrt{x_b})^2} - H + y_0 + a \right\}^2 \right] \cdot V_0^2 \cdot \left(\frac{dh_b}{da} \right)^2 \dots (6)$$

さらに $|hr|_{\max}$ を求めれば次式で表現される。

$$|hr|_{\max} = \frac{1}{2g} \cdot \frac{D_0^2 B_0^2}{C_1^2 n^2 a_0^2} \cdot V_0^2 \cdot \left[\frac{D_0^2 H^2 (8H+9(y_0-k\sqrt{x_b}))}{27(y_0-k\sqrt{x_b})(H+y_0-k\sqrt{x_b})^2} + 1 \right] \dots (7)$$

3. P_s の計算値と実験値の比較

実験の対象となった想定実機は、 $H=4.5\text{m}$ 、 $D_0=3.6\text{m}$ 、 $B_0=41.4\text{m}$ 、ゲート底板形状 $y=1.349\sqrt{x}$ （ゲート下端における底板の接線傾斜角 $\theta \approx 19.57^\circ$ ）の1段式シェル構造ローラゲートで、図-2はその断面である。図-3は定常流状態での鉛直方向水理力 P_s と開度 a の関係を示したものである。図中実線は式(1)、(2)から求められた計算値、●印はゲート底板下面の圧力水頭とゲート内水位の測定値から求められた実験値で、両者はほぼ一致するとみてよい。

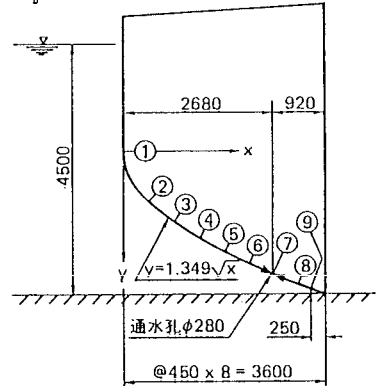


図-1 実機ゲートの形状とピエゾメータの位置

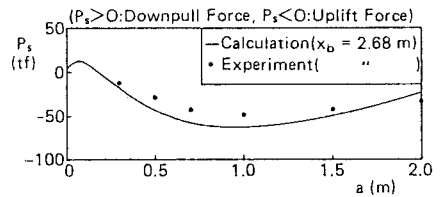


図-2 P_s と a の関係

4. 通水孔の位置と総面積の影響

ここでは、前述の想定実機の鉛直方向水理力に対する通水孔の位置と総面積の影響について検討する。まず通水孔の位置 x_b が P_s に与える影響を調べるために、式(1)、(2)から x_b/D_0 をパラメータとして P_s と a 、ダウンプル係数 $\alpha_s (=P_s/\gamma H B_0 D_0)$ の関係を求めたのが図-3である。図から明らかなように P_s は通水孔の位置によって著しく変化し、通水孔の位置を適当に選定することによって大幅に小さくできる。ダウンプルフォースとアップリフトフォースの最大値がほぼ等しくなるときの通水孔の位置は、 $x_b \approx 0.65 D_0$ である。因にこのときの最大ダウンプル係数は約 0.034 である。次に、通水孔の位置と総面積が残留水深に与える影響を調べてみる。通水孔の流量係数 C_1 は、荻原の実験から $C_1 \approx 0.5$ 、開閉速度 $V_0 = 0.3\text{m/min}$ とし、式(9)から x_b/D_0 をパラメータとして $n a_0/D_0 B_0$ と $|hr|_{\max}$ の関係を求めたのが図-4である。図から明らかなように通水孔をスキムプレートに近づけすぎると $|hr|_{\max}$ が著しく大きくなり、過大な残留水重また残留浮力が生じることになる。また $|hr|_{\max}$ をある一定値に設定するとき、通水孔がスキムプレートに近づくほど通水孔の総面積を大きくしなければならない。通水孔の総面積は、構造強度上の制約からゲートの鉛直投影面積の数%におさえることが必要である。一方最大残留水深は開閉機容量の増大ならびに締切力不足を避けるために実用上は、0.1 m 程度にすることが望ましい。

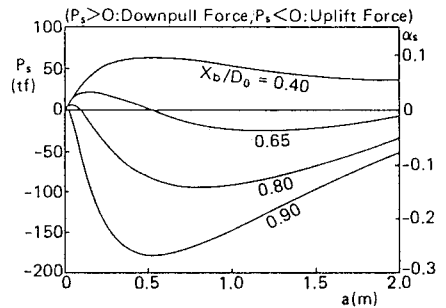


図-3 通水孔の位置が P_s に与える影響

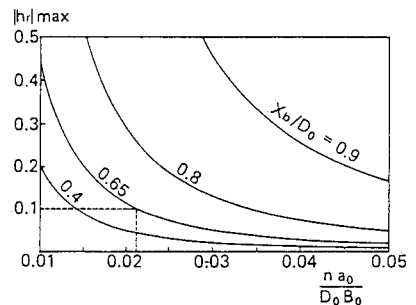


図-4 $\frac{n a_0}{D_0 B_0}$ と $|hr|_{\max}$ の関係

そこで $|hr|_{\max} = 0.1\text{m}$ とし、 $x_b/D_0 = 0.65$ のときの通水孔の総面積を求めれば、 $n a_0 = 0.0213 D_0 B_0$ を得る。