【討 議】

名合宏之 著 “シェル構造ゲートに作用する流体力特性に関する
基礎的研究” への討議および回答

(土木学会論文報告集第 267 号・1978 年 11 月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

—— 荻原 国宏 (東洋大学)

By Kunihiro Ogihara

著者の論文を興味深く読ませていただきました。開度が比較的小さくて、ゲートの厚さが大きい場合には理論解析と実験値との相関はかなりよいことがわかりました。

このことは著者が指摘しているように、はくり領域があまり大きくないことによるためと考えられます。はくり領域までを考えに入れた理論解析は難事と考えられる現在では著者のような手法を流用せざるを得ないかと考えております。

そこで筆者は、他の人が著者の解析手法を使用するときに、次の点についての解析結果をも示していただけたほうが都合かかと思ひますので御検討いただければと思ひます。

(1) 流速 q , 圧力 $F/\rho ga^2$ を与える式 (たとえば式 (9), (17)) における σ_1, σ_2 の値は、開度 a , リップ長 l , 上流水位 H_0 によって決まるとされていますが、式 (8) のような積分の中に入っている形ですと試算を繰返さないと決まらないことになります。

そこで、著者が決められたときの手法、あれば計算図表等を、特に B 型ゲートのリップ長 l と σ_2 について示していただければ幸いです。

(2) 著者の写像関数を使うと凸の角では $q=\infty$, 凹の角では $q=0$ となることになりましたが、このことはゲートの底面の流速分布は底面の傾斜角が変わっても、角

の点 (たとえば A 型ゲートの C 点) が同じ高さにあれば、同じ流速分布になってしまうと考えられます (図-1)。

この点をさけるために、これら角の点で有限の値をもつような解析手法ができないでしょうか。

以上の点について御教えいただければ幸いです。

a. と b. の分布が同じになる。

図-1

▶ 回答者 (Closure)

—— 名合 宏之 (岡山大学)

By Hiroshi Nagō

著者の論文を詳細に検討され、討議をいただいたことに感謝いたします。討議をいただいた二点について以下のように回答させていただきます。

(1) σ_1 および σ_2 の決定法

ゲート形状および水理条件が与えられた場合に、ゲート面上の流速あるいは圧力を理論的に求めるためには、著者の解析法では、補助平面 (ζ 平面) 上の B 点および

C 点の偏角 σ_1 および σ_2 を決定しなければならない。その具体的手法を B 型ゲートについて示せば以下のようである。

式 (7) より、BC 間および CD 間の長さがそれぞれ以下のよう表わされる。

$$(H_0 - a - l) / \sin \vartheta = \frac{2 C_c a}{\pi} \int_{\sigma_2}^{\sigma_1} \left(\frac{\sin \sigma_1 + \sin \sigma}{\sin \sigma_1 - \sin \sigma} \right)^{\delta/\pi} d\sigma$$

$$\cdot \left(\frac{\sin \sigma + \sin \sigma_2}{\sin \sigma - \sin \sigma_2} \right)^{(1/2 - \delta/\pi)} \tan \sigma d\sigma \dots\dots (21)$$

$$l = \frac{2 C_c a}{\pi} \int_0^{\sigma_1} \left(\frac{\sin \sigma_1 + \sin \sigma}{\sin \sigma_1 - \sin \sigma} \right)^{\delta/\pi} \cdot \left(\frac{\sin \sigma_2 + \sin \sigma}{\sin \sigma_2 - \sin \sigma} \right)^{(1/2 - \delta/\pi)} \cdot \tan \sigma d\sigma \dots\dots (22)$$

また、点Aでは、 $\sigma = \pi/2$, $\theta = 0$, $u = e^\pi = C_c a/H_0$ であることを考慮すると式 (6) より次式が得られる。

$$C_c = \frac{1}{(a/H_0)} \left(\frac{1 + \sin \sigma_1}{1 - \sin \sigma_1} \right)^{-\delta/\pi} \left(\frac{1 + \sin \sigma_2}{1 - \sin \sigma_2} \right)^{(\delta/\pi - 1/2)} \dots\dots (23)$$

ゲート形状として、 δ および l が与えられ、水理条件より a および H_0 が与えられるから、未知数は σ_1 , σ_2 および C_c である。式 (23) を式 (21) および式 (22) に代入し、 C_c を消去し整理すると次の二式が得られる。

$$\frac{l}{a} = \frac{1}{(a/H_0)} - 1 - 2 \sin \delta \cdot f(\sigma_1, \sigma_2) \cdot I_1 \dots\dots (24)$$

$$\frac{l}{a} = 2 f(\sigma_1, \sigma_2) \cdot I_2 \dots\dots (25)$$

ここに、 $f(\sigma_1, \sigma_2)$ は式 (23) の右辺であり、 I_1 および I_2 は次のように表わされる。

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \int_{\sigma_2}^{\sigma_1} \left(\frac{\sin \sigma_1 + \sin \sigma}{\sin \sigma_1 - \sin \sigma} \right)^{\delta/\pi} \cdot \left(\frac{\sin \sigma + \sin \sigma_2}{\sin \sigma - \sin \sigma_2} \right)^{(1/2 - \delta/\pi)} \tan \sigma d\sigma \dots\dots (26)$$

$$I_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\sigma_1} \left(\frac{\sin \sigma_1 + \sin \sigma}{\sin \sigma_1 - \sin \sigma} \right)^{\delta/\pi} \cdot \left(\frac{\sin \sigma_2 + \sin \sigma}{\sin \sigma_2 - \sin \sigma} \right)^{(1/2 - \delta/\pi)} \tan \sigma d\sigma \dots\dots (27)$$

式 (24) および式 (25) において、 δ , a/H_0 および l/a が与えられると σ_1 および σ_2 の 1 組の値が決まるわけであるが、実際の計算では、 l/a をあらかじめ与えることは、討議者が述べておられるように、計算がきわめて

図—23 σ_1 , σ_2 , l/a および a/H_0 の関係 ($\delta=30^\circ$)

図—24 σ_1 , σ_2 , l/a および a/H_0 の関係 ($\delta=45^\circ$)

図—25 σ_1 , σ_2 , l/a および a/H_0 の関係 ($\delta=60^\circ$)

複雑になることが予想される。そこで著者は、 δ および a/H_0 が与えられた条件のもとで、まず σ_2 を与え、次に σ_1 ($>\sigma_2$) を変化させ、両式の右辺がひとしくなる場合の σ_1 と σ_2 の組を求め、同時に l/a および C_c を求めるという手法を採用した。

このようにして計算された σ_1 , σ_2 , l/a , a/H_0 および δ の関係を、著者が解析で対象とした $\delta=30^\circ$, 45° および 60° の場合について示すと図—23, 24 および 25 のようである。同時に計算される C_c の値についてはすでに報告しているのでここでは省略する^{13), 14)}。

なお、式 (26) および式 (27) の積分は数値積分によったが、式 (26) では積分区間の上・下限で、また、式 (27) では上限において被積分関数の値が無限大となり、このままの形では数値積分が不可能である。この点に関

図—26 I_1

図—27 I_2

しては、次のような変数変換を行ってこのような特異性を除去した¹³⁾。

積分 I_1 については、積分区間を $\sigma = \sigma_m$ ($\sigma_2 < \sigma_m < \sigma_1$)、で二つの区間に分け、 $\sigma_2 < \sigma < \sigma_m$ では、

$$t = (\sin \sigma - \sin \sigma_2)^{(1/2 - \delta/\pi)} \quad \dots\dots\dots (28)$$

$\sigma_m < \sigma < \sigma_1$ では、

$$t = (\sin \sigma_1 - \sin \sigma)^{\delta/\pi} \quad \dots\dots\dots (29)$$

積分 I_2 については、

$$t = (\sin \sigma_2 - \sin \sigma)^{(1/2 - \delta/\pi)} \quad \dots\dots\dots (30)$$

図—26 および 図—27 は、 I_1 および I_2 の計算結果の一例を示したものである。

(2) ゲート面上の流速分布

討議者は、角の点の高さが同じであれば、その点にはさまれるゲート面上の流速は傾斜角に関係なく、鉛直高さのみの関数になると考えておられるようですが、本論文で示された理論解析結果ではそのような結論は得られない。流速分布が同一ということは圧力分布も同一ということであるから、もし討議者のような結論になるとす

れば、底面に作用する全圧力の静水圧に対する比 F/F_s は、たとえば、A型ゲートの場合 ($q_c = \infty$, $q_D = 1$)、 $d/a = 1.0$ で $\delta = 60^\circ$ の場合と $d/a = 3.0$ で $\delta = 30^\circ$ の場合とで同じになるはずである。ところが、図—17, 18 および 19 からわかるように ($d/a = 3.0$ については、 $d/a = 2.0$ と 4.0 の値を内挿して推定)、この値は傾斜角の大きいほうが大きくなっており、同じ高さの点で作用する圧力、したがって、またその点の流速も傾斜角によって変化しているといえる。また、図—20, 21 および 22 から、B型ゲート ($q_B = 0$, $q_C = 0$) についても同様のことがいえる。さらに、図—28 に示される傾斜水門の場合について考えてみると、このことはよりいっそう明確である。この場合は討議者が示されたゲート形状とは異なるが、ゲート底面の両端 (B および C) が同じ高さにあり、それぞれの点の流速が $\delta = 30^\circ$ の場合も $\delta = 60^\circ$ の場合も同じである ($q_B = 0$, $q_C = 1$) という点では問題の性質は同様である。図から明らかなように、同じ高さの点では、傾斜角が大きいほど流速は小さくなり、圧力が大きくなることがわかる。

このように、角の点で流速が ∞ あるいは 0 となることは、底面の流速分布形したがってまた圧力分布形が同一になるという意味の不合理を生じるものではない。ただ、角の点近傍における実際の流速との対応という点では、本研究で行ったような連続流としての取り扱いでは、はく離現象が著しい場合、理論値は実際の値とかなり異なった値を与える。このような流速分布の差が圧力分布に及ぼす影響については本文で述べたとおりである。

このように、角の点で流速が ∞ あるいは 0 となることは、底面の流速分布形したがってまた圧力分布形が同一になるという意味の不合理を生じるものではない。ただ、角の点近傍における実際の流速との対応という点では、本研究で行ったような連続流としての取り扱いでは、はく離現象が著しい場合、理論値は実際の値とかなり異なった値を与える。このような流速分布の差が圧力分布に及ぼす影響については本文で述べたとおりである。

なお、凸角部で $q = \infty$ となり、凹角部で $q = 0$ となるのは、写像関数の問題ではなく、完全流体の連続流を仮定した場合の必然的な帰結である。したがって、このような仮定のもとでは角の点の流速に ∞ あるいは 0 以外の値を与えることはできない。ただ、より現実の流速に近い値を与え、圧力分布の理論値の精度を向上させるためには、流線のはく離を考慮した不連続流としての取り扱いあるいは形状自体にわずかな丸みをもたせた連続流としての取り扱いなどが考えられ、これらの具体的な解析手法については今後検討をすすめていくことが必要と考えている。

参 考 文 献

- 14) 名合宏之：水門形状の流量係数に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文報告集，第 270 号，1978 年 2 月。

図—28 傾斜水門の流速分布および圧力分布