

東京都立大学 正員 宇井 正和

東京都立大学 正員 安川 浩

1. まえがき 断面急変部を有するライザー内で、水面がそのスラブ面に衝突する場合の衝撃力は、ライザーの材質や水の弾性に依存し、その力を正確に求める事は困難である。しかし現実には、下水管マンホールの蓋飛び現象²⁾の原因と見られるこの衝撃力の算定は重要な問題としてその解明が求められている。多数のライザーが管路系の随所に付設されている場合には、一つのスラブへの衝突だけでなく、他管への影響も追跡するために、連続的に解析が進行するよう工夫が必要となる。そこで筆者等は、連続的な数値計算を可能にし、より信頼できる衝撃力を算定する方法として、不連続断面を微小な遷移区間 δ 内で断面が漸変するものと仮定した。この遷移区間 δ は小さい程実際の不連続断面に近づくものであるが、時間ステップ、断面変化率および水面上昇速度によって制限され無限に小さくすることはできない。ここでは、遷移区間 δ によって衝撃力がどのように変化し又数値計算が可能かを、管径比が $3/20$ の不連続断面をもつライザーを例にとり、実験と比較しながら検討したい。この解析では、水撃圧は考慮せず、単に流体の運動量の変化で解析した。

2. 解析方法 図1に示すように、ライザーの断面積が S_1 から S_2 へ変わる不連続部を微小区間 δ 内で2次式で接続し、上端は断面積 S_2 の管に接するものとした。故に接続部の断面積は図中の座標を用いて次式と表わせる。

$$S = (S_1 - S_2) \cdot (\delta - y)^2 / \delta^2 + S_2 \quad (1)$$

水面がこの区間を通過する時は、図2の真線で示すような検査面に運動量方程式、

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho S dv + \int \rho U^2 S dh = \int_S P dS - \int_V \rho g dv \quad (2)$$

を適用すると、圧力 P_1 に関する3)式が導びかれる。(Vは検査面に囲まれた体積)

$$\frac{d}{dt} \rho Q_r (\eta - h_1) + \rho Q_r^2 - \rho S_1^2 = P_1 S_1 - P_2 S - P_3 (S_1 - S) - \rho g S_1 (\eta - h_1) \quad (3)$$

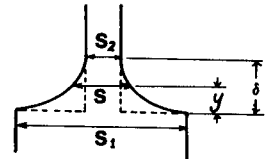


図1. 断面変化

ここで P_1 , P_2 , P_3 は各々検査面の下部と上部およびスラブ面からの圧力、 Q_r はライザーへの流入量、 S はライザーの断面積、 η は水位、 h_1 は検査面下部の高さ、 g は重力加速度である。この式中スラブ面からの力 P_3 は未知であり、 P_1 を求めるにはあらかじめ与えねばならないため次のように仮定した。即ち水面が上昇する時、検査面の aa' と断面変化部へ十分近づけると、3)式で $\eta - h_1 \approx 0$ となり、又 aa' 面中の圧力がスラブ面の圧力 P_3 とほぼ等しいと考えられ、 P_3 を4)式のように導びく事が出来る。

$$P_3 = P_2 - \rho Q_r^2 (1/S - 1/S_1) / S \quad (4)$$

水面が下降する時は、管内オリフス非定常流に関する筆者等の実験²⁾で確認されているように、 P_3 は下降噴流内部の圧力に等しいとした。故に水面の上昇と下降時での P_1 は次式のように求まる。

$$P_1 = \frac{\rho(\eta - h_1)}{S_1} \frac{dQ_r}{dt} + \rho \frac{S_1^2 - S^2 + S_1 S}{S_1^2 S^2} Q_r^2 + P_2 + \rho g(\eta - h_1) \quad (\text{水面が上昇}) \quad (5)$$

$$P_1 = \frac{\rho(\eta - h_1)}{S_1} \frac{dQ_r}{dt} + \rho \frac{1}{S_1 S} Q_r^2 + P_2 + \rho g(\eta - h_1) \quad (\text{水面が下降}) \quad (6)$$

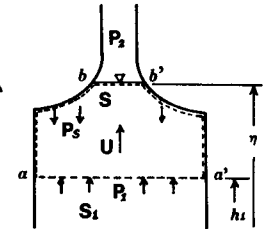


図2

管路系流体運動のための動水勾配線高度を求める時には、前記の検査面の aa' をライザー基部の位置まで拡張して運動量方程式を適用すればよい。

3. 実験との比較 ライザーの断面急変部を上記のように連続断面とみなして解析して水位変動、衝撃圧の結

果を、図3のようなライザーを有する管路系を作り、実験値と比較検討した。

管内振動の解析では、 $dQ_i/dt = A_i g/l_i \cdot (h_i - h_{i-1}) - g n_i^2 / A_i R_i \cdot Q_i^2$ と、連続式 $dQ_i/dt = (Q_{i+1} - Q_i) S_i$, $i=1, 2$ と Runge-Kutta-Gill の数値積分を用いて解析した。 A_i は管路断面積, l_i は管路長, n_i はマンニングの粗度係数, R_i は径深である。 h_i はライザー基部の動水勾配線高度であるが、5)式からわかるように h_i も dQ_i/dt ($Q_i = Q_{i+1} - Q_i$) を含んでいるので、陰的に dQ_i/dt を決める必要がある。

実験に用いたライザーはアクリル製で、直径20 cmの管上に直径3 cmの細管を接続し、その接続部のスラブ面には図中に示したように圧力計を取り付け、水面が通過する時の衝撃圧を測定した。この圧力計は固有振動数が300 Hzであるが、この種の衝撃力には十分応答できるものと考えられる。管内振動は、まず下流端ゲートの開度に応じた管内定常流を作っておりその後ゲートの開閉によって振動を生じさせた。

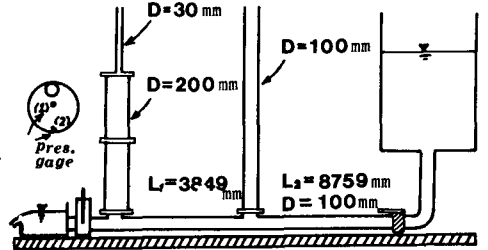


図3 管路模型

図4は、遷移区間 δ と変えし時の水位変動とスラブ面での圧力を示したものである。大きな振巾の実線は解析水位であり、小さい振巾の実線は圧力である。左側の縦軸は、水位が管径で無次元化して表わしてあり、右側の縦軸は圧力である。横軸は時間軸であるが、ここでは単位を秒にとってある。 δ の値は管径によって無次元化して量で表わしてある。

図4によって、水位変動も圧力もよく実験値と適合し、解析方法の妥当性を証明している。水位変動の遷移区間 δ の違いによる変化はほとんど見られないが、スラブ面圧力は変化している事がわかる。 δ が0.05の時の最大圧力は13.68であるが δ が0.008において14.98を与える。しかし、さらに小さな δ の0.005では14.20と減少していき、必ずしも遷移区間を小さくすれば実験値に近づくわけではない事を示している。この図では解析値が実験値より小さくでているが、他のケースでは解析値の方が上回る場合もある。実験においては、衝突時の水面の傾

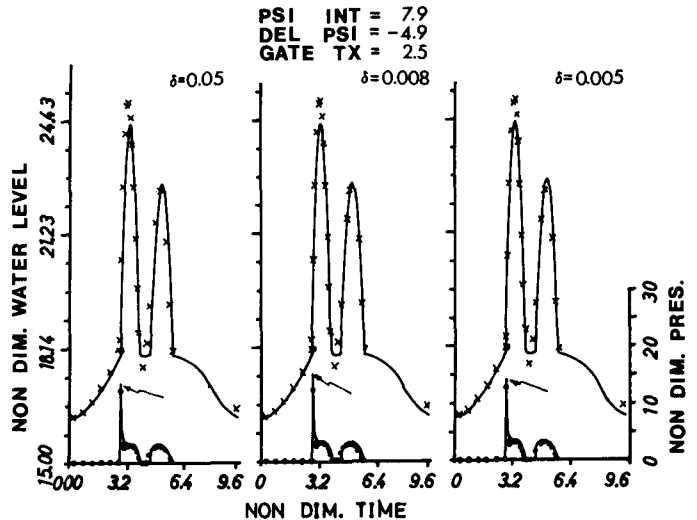


図4. 水位、圧力変動

きも最大圧力にバラツキを与えるようである。しかし、解析上の最大圧力に影響も及ぼすのは、水面上昇速度は当然であるが、衝突を起す際の水面の位置と与えられる。衝突時の1時間ステップに於て、水位が遷移区間の入口近くにある場合と、区間の上部に達する場合とでは値に大きな差が生じる。水面が衝突した後の解析では時間ステップ(0.01)を1/10に細かくしたが、水面位置の差による値の違いを小さくする意味でも、より細かい時間ステップが必要であったと思われる。

4. まとめ ライザー内の断面急変部を遷移区間 δ をもつ2次式で結合し、管内振動および衝撃圧の算定に良好な結果を得た。遷移区間は小さい値が望まれるが、それに対応した時間ステップの取り方が重要である。今回の実験では3/20の管径比のライザーを用いたが、管径比の違いによる遷移区間の検討が必要である。

5. 参考文献 1) 水理講演会論文集, 安川他, (1980) 2) 都立大工学部記要, 安川, 宇井 (1981)