

東北学院大学工学部 正会員 ○河野幸夫
熊谷組 渡辺 晃
佐伯建設工業 鈴木 新

I. まえがき

水撃圧の解析について, Wylie & Streeter による Euler equation と continuity equation を特性曲線法にて Computer 解析する方法が用いられて以来, 応用面が急速に発展された。しかし, その反面減衰に關してなどの基礎的な研究はあまりなされていない。そこで, 本研究では実験装置内に水撃を発生させ水撃圧の減衰係数を最小自乗法にて決定し, 水柱分離の発生する場合と発生しない場合とに於ける減衰状態の比較検討をおこなった。

II. 水撃圧実験

1. 実験装置

図-1 のように上の水槽 (1.7m x 3m x 1.2m) より下の水槽 (1m x 1m x 1m) に銅管 (管径 52.35 mm, 厚さ 4.23 mm) でつなぎ, 下の水槽より 3.5 m 上流部に Lx 断弁を取り付け, その手前 30 cm に圧力変換器を取り付ける。下の水槽に落ちた水はポンプにより上の水槽に上げられ, 上の水槽の水位を一定に保つことができるようになっている。

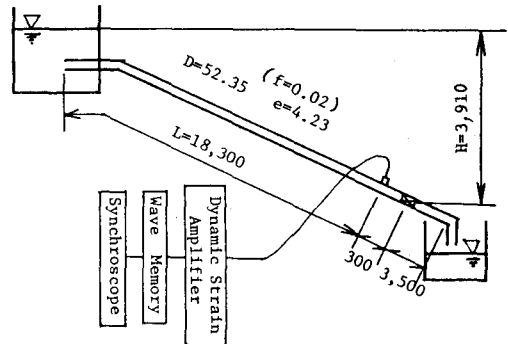


図-1 実験装置 (mm)

2. 実験方法

落差約 4m を利用し, 自然流下式にて流速 0.02, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 m/s を管内に作り出し, Lx 断弁にて急激に閉塞することにより水撃圧を発生させた。弁の閉塞時間は各流速でもっとも 0.0018, 0.0055, 0.0148, 0.0203, 0.0314 s で流速 1.5 m/s の 0.0314 s をのぞいて他は全て急閉条件 $t = 2L/a = 0.0265$ 以下で急閉塞であった。発生した水撃圧は圧力変換器より動いず計測し, Digital memory にて波形を記憶させ, Synchroscope で check した後, Pen recorder にて書き出した。

III. 水撃圧の理論と解析

1. Wave speed の理論値

Wave speed (a) は (1) 式で表され, C は管の固定条件によつて異なる。

$$a = \sqrt{\frac{K/S}{1 + (K/E)(D/e)C}} \quad (1) \quad \text{in which, } D = \text{管径 } e = \text{管の厚さ}$$

$E = \text{銅管の弾性係数} = 2.11 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
 $K = \text{水の体積弾性係数} = 2.11 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$, $S = \text{水の密度} = 101.97 \text{ kgf/cm}^3$ $\mu = \text{poisson's ratio} = 0.30$ $C = \text{上端の拘束} = 1 - \frac{\mu}{2} = 0.85$

以上の値を (1) 式に代入すると Wave speed a は 1368.1 m/s となった。

2. 水撃圧の理論

管内における水撃理論は一般に一次元非定常流として取り扱い, Euler の運動方程式 (2) 式と連続方程式 (3) 式の Linear combination をとり, 特性曲線法にて Computer 解析をおこなう。

$$\frac{\partial V}{\partial s} V + \frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial s} + \frac{f}{2D} V^2 = 0 \quad (2)$$

$$\frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial s} + \frac{\partial H}{\partial s} V + \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial s}{\partial s} V = 0 \quad (3)$$

Upstream Boundary Condition は水槽なので Head はその静水圧を用いる。Downstream Boundary Condition は遮断弁（手動）で独特の流量特性をもっているのではあるが、ここでは瞬間的に閉塞をするので弁は直線的に閉塞するものと仮定して解析を行なう。

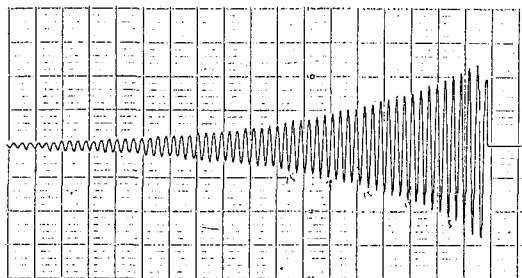


図-2 水柱分離の起らない場合の水撃波形

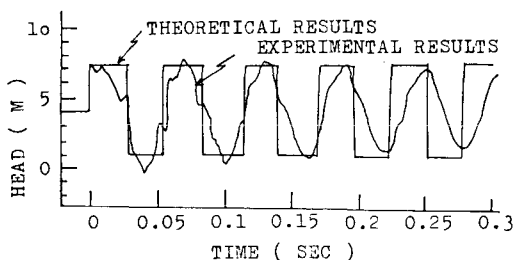


図-3 理論値と実験値 (流速 0.02 m/s)

IV. 実験結果およびその考察

図-2 は水柱分離の起らない場合、流速 0.02 m/s における水撃波形の典型的なもので、図-3 において初めの数ピークについて理論値と比較している、実験値が顕著に減衰しているのに対し理論値ではほとんど減衰していない。

図-4 は水柱分離の起こる場合、流速 1.0 m/s における水撃波形の典型的なもので、図-5 において水柱分離の起らない場合の理論値と比較している。水柱分離が起こらない場合に比べて、水撃圧の減衰による変化のみでなく、時間軸（横軸）においても変化していることがわかる。

図-2、図-4 のような各 Data の各 Peak を片対数グラフに Plot し最小自乗法にて減衰係数を決定したのが図-6 である。水柱分離が発生する範囲での減衰係数は $y = ce^{Ax}$ の A が約 -0.4 となり、大体 1 kgf/cm^2 が critical point で、それ以下では A が約 -0.06 となる、critical point 以下ではその slope を維持し、静水圧 0.4 kgf/cm^2 まで減衰して安定する。又、水柱分離の発生しない場合には A は約 -0.015 と一定である。

参考文献

- 1) 河野, 渡辺, 鈴木, 水撃圧の減衰について, 昭和 57 年 3 月東北支部研究発表会
- 2) 日比谷, 萩原, 斎藤, 低圧時の水撃現象における気泡発生と波速についての研究, 昭和 56 年 10 月, 第 36 回年次学術講演会

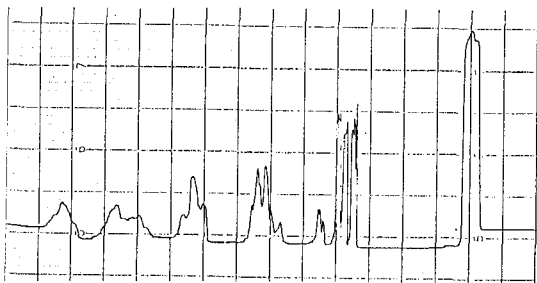


図-4 水柱分離の起こる場合の水撃波形

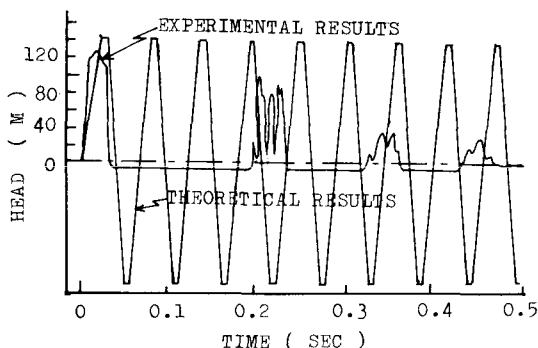


図-5 理論値と実験値 (流速 1.0 m/s)

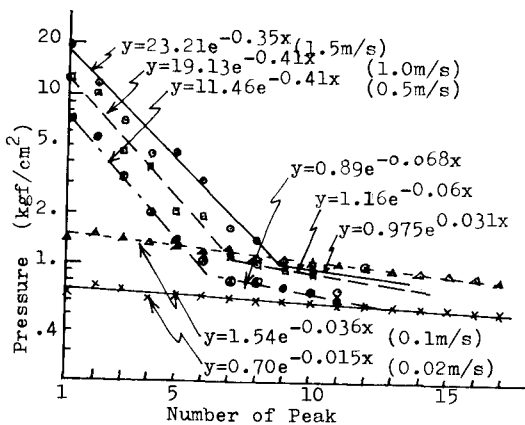


図-6 減衰係数