

II-110 水撃圧の負圧について (第三報)

山梨大学工学部 正 員 荻原能男

山梨大学工学部 正 員 砂田憲吾

山梨大学大学院 ○学生員 近藤文夫

1. まえがき 水撃圧の負圧部分について第25回の年次講演会に於て水撃波速 a を水撃圧 H の関数として仮定を試みた。今回は、混入気体量に関係する項 H_c ($\neq \text{const}$)を考えることにより a を H と H_c の関数と仮定し特性曲線法を試みた。

2. 特性曲線 運動の方程式は、諸損失を無視した一次元のオイラーの運動方程式を変形することによって (Z-1) のように、又連続の方程式は (Z-2) のように各々求められる。

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (Z-1) \quad \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\rho a^2} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (Z-2)$$

ここに、 v , p , x , ρ はそれぞれ管内流速, 圧力, 管軸距離, 水の密度であり、また $a = \sqrt{1 / (E/b + 1/K)} \cdot D$ であり波速を示す。 D , b , E はそれぞれ管の内径, 肉厚, 弾性係数であり K は水の体積弾性係数である。通常の圧力状態にある時は、波速は一定である。

Joukowsky の公式 ($H = a/g \cdot v$) より示されるが、今定常状態の圧力を基準として正圧、負圧と名付けると限界の値を越えて流速が増す場合、負圧は絶対圧 0 以下には低下しないため、頭打ち現象を呈する。この時波速の遅延の現象が表われる。この原因は、水の体積弾性係数の変化によるものと考えられ極めて低圧の状態では水からの微小な気体が発生し気体の体積弾性係数 (K_g) も考慮する必要がでてくる。この仮定のもとに、連続の方程式は次のように改善できる。

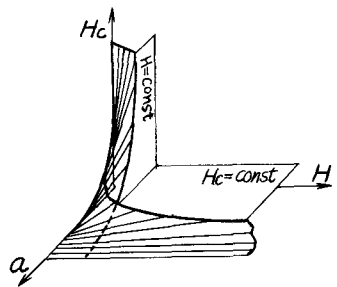


図-1 式Z-4で表われる曲面

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -\left\{ \frac{D}{Eb} + \frac{1}{K_w} + \frac{m_1}{P} - \frac{m_2}{K_w} \right\} \frac{\partial p}{\partial t} = -F(p, m_1, m_2) \frac{\partial p}{\partial t} \quad (Z-3)$$

m_1 : 混合気体の体積比
 m_2 : 気化した水の体積比

今式 (Z-1), (Z-3) から特性方程式を導けば次のようになる。

$$\frac{dx}{dt} = \pm a = \pm a_0 \sqrt{\frac{H}{H+H_c}} \quad (Z-4)$$

$$\pm \frac{g}{a_0} \sqrt{1 + \frac{H_c}{H}} \cdot dH + dv = 0 \quad (Z-5)$$

にたし a_0 : 混入気体のない状態 (高圧時) の波速
 $H_c = m_1 a_0^2 / g$ ($m_1 \gg m_2$ なる故 m_2 は省略) である。

式 (Z-4), (Z-5) は、直接図解法に関係するものであり、未知の項 H_c は長さの次元を有する混入気体量に関係する重要な値である。

3. 実験及び考察 実験装置の概要は、管路長 $L=106.3^m$

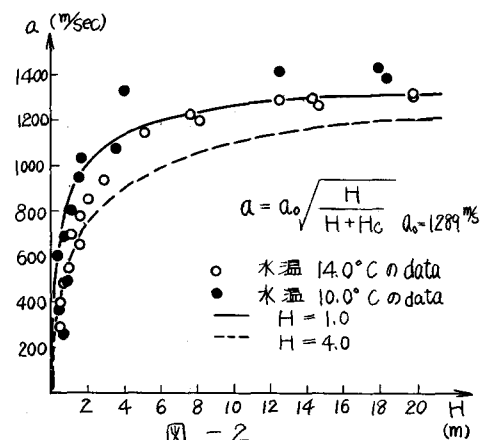


図-2

管内径 $D = 80\text{ mm}$, 管肉厚 $b = 4.55\text{ mm}$, 粗度係数 $n = 0.010$, 落差 $\Delta H = 13.23\text{ m}$, である。実験結果は波速 a , 圧力 H の資料を中心に解析した。 H_c と簡単に一定であると仮定すると, a - H 曲線は, 図-2 に示され, 高温時には波速遅延をうながす H_c の増加が蒸気圧の上昇からも説明される。また H_c が変化すると仮定した場合, H_c は圧力 H の低下と共に増加し波速 a の低下即ち負圧継続時間の増大により H_c が増加することが認められる。これらの関係を実験資料をもとに, m_2 が m_1 に比較して無視すべきでないと考え, $H_c = R / (H + S)^n$ と置いて, $n = 1.0$ とした場合最小自乗法により R, S を求めれば $R = 4.24, S = 0.0000250$ が得られる。以上により求め得る H_c は, (図-4) に表わされる。

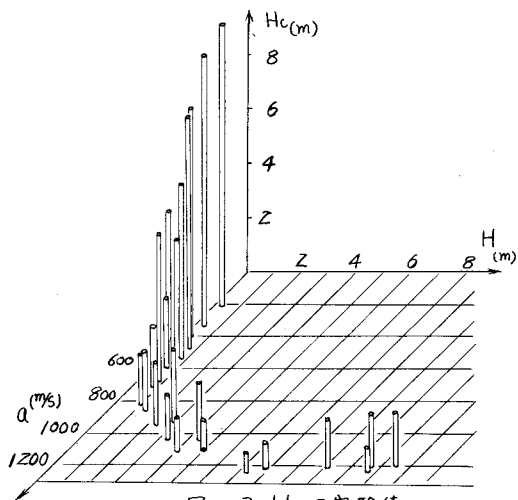


図-3 H_c の実験値

4. まとめ 圧力 H の関数として波速 a が定められ, 式 (2-5) を積分することによって図解法の圧力軸が用意される。混入気体の体積比 m_1 , 気化した分の水の体積比 m_2 は, 極めて低圧の場合には, $m_1 \gg m_2$ である。ここで $H \rightarrow 0$ のとき $m \rightarrow \infty$, $H_c \rightarrow \infty$ であることにより H_c は簡単に次のように表わすことができる。 $H_c = R / H^n$

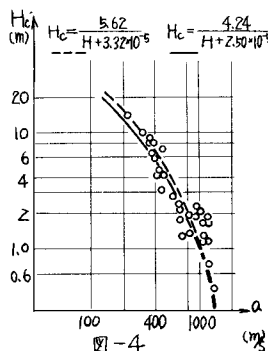


図-4

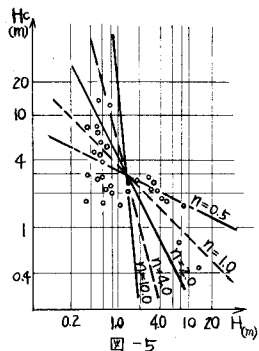


図-5

実験資料により, 次数 n に対応する R を決定すると, それぞれの n について図解法の圧力軸を得ることができる。この圧力軸を使用して図-6 に図解法を試みた。図-6 からは, 図-5 で近似したそれぞれの n の値に対応する図-6 の左側の曲線を使用することによって負圧の値が求められる。またこの図解法に於て $n = 1$ 一定とした場合, 負圧に対する波速が実験値と一致しない。これは, 次数 n が, 圧力水頭 H に関係するものと考えられる。

圧力軸を計算する場合, H_c の決定には n と H の関数として適当に定めるか, あるいは列の新しい関数型の導入も考えられて, さらに充分検討する必要がある。この点が今後に残された問題である。

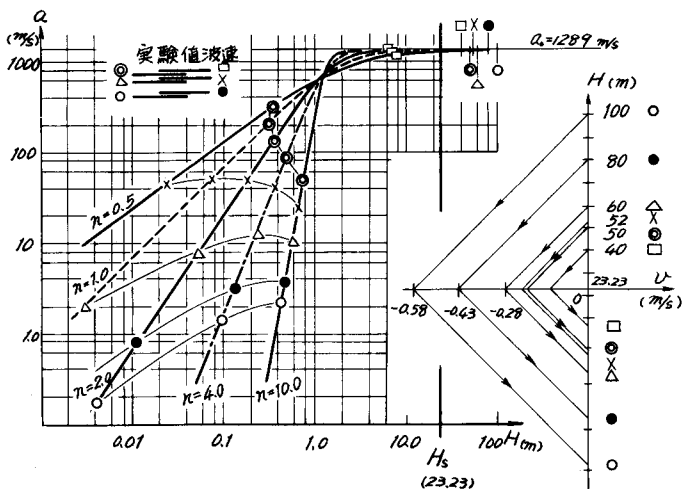


図-6