

1. 目的

流体が流れている管路の弁を急閉鎖した場合、管内に急激な圧力上昇が発生する。これが水撃現象と呼ばれているものである。本研究では、全長約 60m の管路において高さ約 12m の上部水槽から水を自然流下させ、管路の弁を急激に遮断することによって発生する水撃圧を測定する。理論においては、Fortran による特性曲線法を用いてプログラム解析を行い、高さや全長、流速など実験装置と同じ数値を入力し実行する。そのときの実験波形と理論波形を重ね合わせることによって実験値と理論値を比較し、この特性曲線法によるプログラムが実際の水道管路への適用性について検討する。

2. 水撃圧の実験

2-1 実験装置図

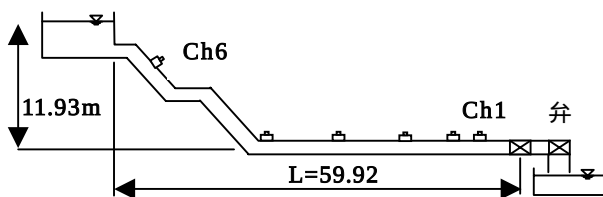


図1 実験装置図

2-2 実験方法

下部水槽から電動ポンプで水を上部水槽に汲み上げる。その際、上部水槽の水位を一定に保つため上部水槽をオーバーフローさせる。緊急遮断弁が全開になっているのを確認し、管路中に取り付けてある栓を閉める。動歪計の電源が入っていないのを確認し、管路に圧力変換器を取り付ける。動歪計の電源を入れ、ゼロ設定した後、管路中に取り付けられた栓を開け水を流す。流速を測定し、水槽に流出する流量が安定した時点で実験装置につながれた記録装置が正しく機能するか確認する。緊急遮断弁を閉鎖し同時に圧力計測を開始する。発生した圧力が正しく記録されているかを確認し、保存する。

3. 水撃圧の理論

3-1 特性曲線法(Method characteristic)

特性曲線法とは、水撃の理論として用いる解析方法であり、特性法を用いた線形結合による解析方法である。

$$\frac{\partial V}{\partial x}V + \frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} + f \frac{V|V|}{2D} = 0 \quad \dots (1)$$

$$\left(\frac{a^2}{g}\right) \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x}V + \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial Z}{\partial x}V = 0 \quad \dots (2)$$

3-2 解析内容

以下の内容でプログラムを実行する。

管の分割数 NPARTS = 30 管の全長 L=59.92(m)

管の内径 D=0.052(m) 摩擦損失係数 F=0.02

伝播速度 A=1342.45(m/sec) 貯水槽の高さ H=11.93(m)

管の上流端の高さ ELEVUP=7.050(m)

管の下流端の高さ ELEVDN=0(m) 初速 V=0.5(m/sec)

シミュレーションの最大時間 Tmax=3(sec)

弁の閉鎖時間 Tclose=0.015(m/s)

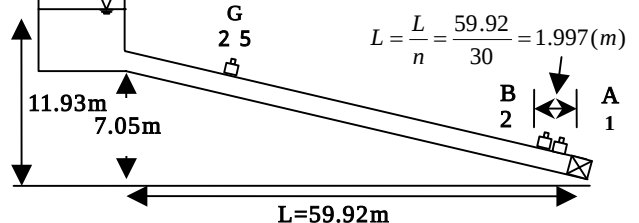


図2 プログラム解析について

NPARTS=30 のため 1 区間は約 2m となる。

4. 理論波形と実験波形との比較

v=0.5m/sec のときの理論波形及び実験波形を比較し、両者の重ね合わせを行い検討を行う。

4-1 v=0.5(m/sec)の理論波形

図3 は流速 v=0.5(m/sec)の時の理論波形である。最大水撃圧は t=0.020(sec)のとき H=83.085(m)であった。

伝播速度を求めると以下ようになる。

B 点での伝播速度 (往復)

$$\frac{57.92 \times 2(m)}{0.097 - 0.003(sec)} = 1232.340(m/sec)$$

B 点から上部水槽までの伝播速度

$$\frac{57.92(m)}{0.053 - 0.003(sec)} = 1158.400(m/sec)$$

上部水槽から B 点までの伝播速度

$$\frac{57.92(m)}{0.097 - 0.053(sec)} = 1316.364(m/sec)$$

以上の計算から、水撃圧が上部水槽まで伝わる伝播速度よりも上部水槽から弁付近にある B 点まで伝わる伝播速度の方が速いという結果が得られた。

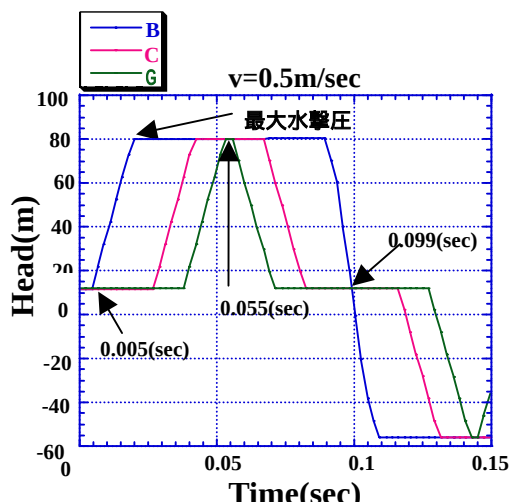


図 3 v=0.5(m/sec)の理論波形

4-2 v=0.5(m/sec)の実験波形

最大水撃圧 t=0.136(sec)のとき H=83.496(m)となった。

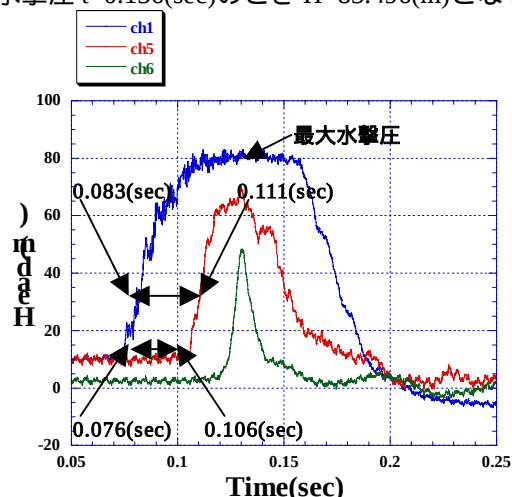


図 4 v=0.5(m/sec)の時の実験波形

H=40m のとき

$$\frac{36.83(m)}{0.111 - 0.083(\text{sec})} = \frac{36.83(m)}{0.028(\text{sec})} = 1315.357(m/sec)$$

H=20m のとき

$$\frac{36.83(m)}{0.106 - 0.076(\text{sec})} = \frac{36.83(m)}{0.030(\text{sec})} = 1227.667(m/sec)$$

と の平均から、伝播速度は 1271.512(m/s)となった。

4-3 v=0.5(m/sec)の理論波形と実験波形の重ね合わせ

実験波形の最大水撃圧は H=83.496(m)、理論波形の最大水撃圧は H=80.085(m)となり、伝播速度は L=58.02(m)を用いると以下ようになる。

ch1 での伝播速度（往復）

$$\frac{58.02 \times 2(m)}{0.181 - 0.076(\text{sec})} = 1105.143(m/sec)$$

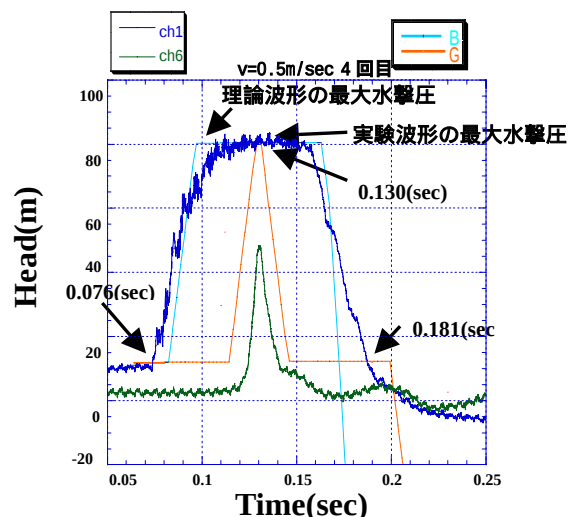


図 4 v=0.5(m/sec)の理論波形と実験波形の重ね合わせ

4-5 伝播速度 A=1271.512(m/sec)での重ね合わせ

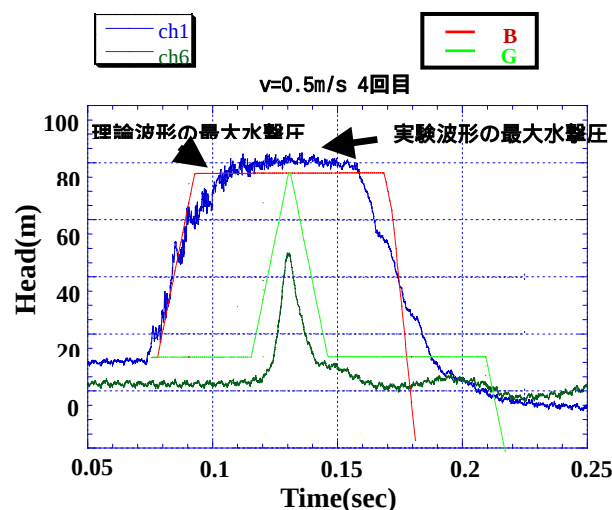


図 5 実験結果の伝播速度 A=1271.512(m/sec)でプログラムを実行したときの理論波形との重ね合わせ

実験波形の最大水撃圧は H=83.496(m)、理論波形の最大水撃圧は H=76.164(m)となった。

5.結論

実験波形を理論値の伝播速度 A=1342.45(m/sec)で算出した理論波形と比較すると、最大水撃圧の差は 3.411(m)と近い値になったが、伝播速度に関しては理論波形よりも遅くなった。よって実験結果の伝播速度 1271.512(m/sec)でプログラムを実行したときの理論波形と比較すると、最大水撃圧の差は A=7.332(m)と大きくなるが、伝播速度では理論波形と近い形が得られた。

参考文献

竹鼻巨樹:水撃圧による管破壊時の圧力の減少について、東北学院大学工学部環境土木工学科，卒業論文，2005