

応力解析結果の弾性係数を利用した伝播速度による水撃解析

東北学院大学工学部 正会員 河野 幸夫
 学生員 山川 秀次

I. まえがき

水撃圧の理論的分野、および、トンネル工学の応力解析の分野、共に独自の発展を遂げまじいものがあるが2つの分野を統合したところにある。水撃圧は圧カトンネルに作用する応力解析については、未だ研究がなされていないようである。本研究では動的応力解析、静的応力解析内の、静的応力解析に適用されるケース、いわゆる、圧カトンネルの延長が比較的長く、弁またはゲートの閉塞時間が比較的遅い緩閉塞の場合の理論解析を行い、そこから得られた微小断面積を用いて、真の伝播速度の算出を行った。

取水口から圧カトンネル内を流下した水が下流端に設けられた弁またはゲートが閉塞されることにより、発生した水撃波が圧カトンネル内の岩盤に加圧しながら上流部の取水口めがけて伝播する場合、各断面における岩盤に作用する応力および岩盤の変位について静的解析を行う。水撃圧の解析については特性曲線法を用い、圧カトンネルの延長方向(x軸)の各断面に作用する水撃圧の時間的変化(t軸)を求める。岩盤に作用する応力解析とは、水撃圧で代わられた、ある時間における、各断面に作用する水撃圧を使用し、有限要素法による2次元(x-y断面)の静的解析を行った。

II. 水撃圧の理論と解析

1. Wave Speed (a)の理論値

Wave Speed は①の式で表される

$$a = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + 2(K/E)(1 + \mu)}} \quad \text{--- ①}$$

$D(\text{トンネルの内径}) = 6\text{m}$ $K(\text{水の弾性係数}) = 2.07 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$
 $\rho(\text{水の密度}) = 101.97 \text{ kg/cm}^3$
 $E(\text{岩盤の弾性係数}) = 5.27 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ $\mu(\text{ポアソン比}) = 0.3$

以上の数値を①の式に代入すると、 $a = 1002.164 \text{ m/sec}$ となった。

2. 水撃圧の理論

管内に及ぶ水撃理論は一般に一次元非定常流として取り扱う。Eulerの運動方程式②式と連続方程式③式の、

Linear Combination ととり、

$$\frac{dV}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial S} + g \frac{\partial z}{\partial S} + \frac{f}{2D} \cdot V|V| = 0 \quad \text{②}$$

特性曲線法による2次元解析とよくなる。

なる。

$$2 \cdot \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \text{③}$$

III. 結果

使用した解析モデルの結果として次のようになった。弁閉塞15秒における最大水撃圧13.37%は、弁閉塞開始後1.986秒にトンネルの断面16.11%に発生し、その時の断面の最大主応力(S1)17.652%は、要素番号68に発生した。最大変位1.508mmは、要素番号74に発生した。ここで最大主応力が、最大水撃圧と大きく相違していることが着目すべき点であり、この要因として、要素内部で、引張り、圧縮が起り、要素に加わった衝撃より、大きな内部応力が発生するものと考えられる。

水撃圧より変位した断面積差により、求められた伝播速度は1052.5 m/sec となり理論値を上回る結果を得ることができた。