

集中荷重により開水路側壁に生じるせん断たわみ

Shear deflection caused by concentrated force applied on sidewalls of open channel

○石井 将幸*, 兵頭 正浩**, 緒方 英彦***, 別當 欣謙****, 金子 英敏*****

ISHII Masayuki, HYODO Masahiro, OGATA Hidehiko, BETTO Yoshinori and KANEKO Hidetoshi

1. 背景と目的

筆者らは開水路の状態を非破壊で診断する手法として、水路壁載荷法の開発を進めてきた。この手法では、開水路側壁の上端近くに載荷を行い、生じるたわみの大きさを測定する。そして荷重-たわみ関係の傾きから水路躯体が持つ剛性を評価し、健全性を判断しようとするものである。

荷重-たわみ関係の傾きに影響する要因として、水路躯体の形状と使用される材料の弾性係数が挙げられる。測定から得られた傾きがこれら2要因のみで説明できるならば、開水路の挙動は理論どおり、すなわち概ね健全な状態であると判断することができる。

これまでに、水路側壁が全長にわたって均一にたわむと仮定した式¹⁾や、無限の幅を持つ板の変形理論から誘導された式を用い²⁾、曲げ変形で生じるたわみ量の計算を行って、数値計算の結果や実測値との比較を行ってきた。その過程において、均一のたわみを仮定する式はスパンが短い水路にしか適用できないこと、無限幅の式はスパン長と側壁高の比 L/h が3を超える長いスパンの水路に対し実用上十分な精度を持ち得ること、が確認された。しかし実測値と計算値の比較では、特に長スパンの水路において、たわみの計算値が実測値より小さいという傾向がみられた。

予備的な検討の結果、長スパンの水路ではせん断変形によるたわみが無視できない大きさとなることが明らかになり、計算値と実測値の差の要因となっている可能性が示された。そこで本研究では、特にスパンの長い水路を対象とし、集中荷重によって水路側壁に生じるせん断たわみの大きさを求めるとともに、曲げたわみの大きさとの比較を行った。

2. 解析の概要

数値解析に用いたプログラムは、Femap with NX NASTRAN 2406 である。これを用いて二次元の弾性解析を行い、面外変形の大きさを求めることにした。水路壁載荷法では、水路スパンの中央、側壁の上端近くに載荷するため、側壁に生じる変形はスパン中央に対して対称となる。そこで解析対象を側壁の半分、長方形の領域とし、対称軸となる辺にはスパン軸方向固定と鉛直方向を軸とした回転の固定を、側壁基部には完全固定を条件として与えた。残る2辺は自由とした。

使用した要素はプレート要素と曲げ要素の2種類であり、前者では曲げ変形とせん断変形の両方が、後者では曲げ変形のみが生じる。プレート要素で得られたたわみ量から曲げ要素によるたわみ量を引くことによって、せん断たわみの大きさを求めた。有限要素法で求まるせん断変形は要素分割や補間関数に強く依存することから、8節点の四角形二次要素を用いるとともに、要素一辺の大きさを約0.025mとして、解析対象である水路側壁を細かく分割した。

たわみの大きさが荷重の大きさに比例、材料の弾性係数に反比例することを確認できたため、荷重の大きさを0.01kN、弾性係数を0.1GPaとし、実際の状況に合わせることはしなかった。載荷箇所はスパン中央の側壁上端、たわみの計算箇所は水路壁載荷装置の変位計位置に合わせた載荷箇所より0.107m離れた側壁上端である。ポアソン比はコンクリートを想定し0.2とした。

*島根大学学術研究院 Academic Assembly, Shimane University **鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University

***鳥取大学大学院連合農学研究科, United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University

****株式会社栗本鐵工所, KURIMOTO LTD. *****サンコーテクノ株式会社, SANKO TECHNO CO., LTD.

キーワード: 水路壁載荷法, せん断変形, 曲げ変形, 有限要素法

解析で設定した側壁の高さは 0.6m、0.8m、1.0m、1.2m、1.4m、1.7m と 2.0m の 7 とおりである。それぞれに対し、解析領域の幅を 0.5m から始め、1.25 倍ずつ拡大しながら 12 とおりの解析を行った。解析で模擬されたスパン長は 1.0m から 11.6m までである。側壁の厚さは 0.2m とした。

3. 曲げたわみとせん断たわみの大きさ

曲げたわみの大きさはスパンが長くなるにつれて単調に減少し、ほぼ一定の値に収束する²⁾。しかし Fig. 1 に示すように、せん断たわみには大きさが最小となる L/h があり、 L/h がこれを超えると値が増加した後、ほぼ一定となった。

せん断たわみと曲げたわみの比を Fig. 2 に示す。比の値は L/h が大きくなるにつれて増加し、やがて一定となる。比の最大値は側壁高によって異なり、側壁が低いほど大きく、高いほど小さい値を取る。

Fig. 2 に示した比は側壁の厚さが 0.2m のときの値である。曲げ変形は壁厚の 3 乗に反比例、せん断変形は 1 乗に反比例するため、0.2m より側壁が厚い水路ではせん断変形の比が図の値より大きくなる。

それぞれの側壁高 h に対し、最大の L/h で得られたせん断たわみの大きさには、水路壁高との間に決定係数を 0.9965 とする高い線形関係がみられた。回帰式を求め、荷重の大きさ P (kN)、弾性係数 E (GPa) と壁厚 t (m) を用いることによって、水路壁載荷装置のたわみ計測位置におけるせん断たわみ d_s (m) の推定式が以下のように得られた。

$$d_s = \frac{P}{1000Et} (5.974h + 11.09)$$

4. 実測結果との比較と今後の課題

先行研究による曲げたわみの式と本研究で得たせん断たわみの式を使い、2 つの実水路の荷重たわみ曲線の傾きを推定した。片方の水路では、実測値と比較した傾きの誤差は 3 つのスパンでそれぞれ 10%、1.1% と 2.5% となり、高い推定精度が得られた。しかし他方の現場では、2 つのスパンで誤差がそれぞれ 20% と 30% となり、実水路の剛性は推定より低いという結果が得られた。この誤差が実水路の変状によるものなのか、底版のたわみなど推定手法で考慮していない変形によるものなのかについて、さらなる検討が必要である。

なおこの研究を進めるにあたり、国土交通省中部地方整備局の木村亮太氏に多大なご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 藤本光伸・兵頭正浩・石井将幸・清水邦宏・緒方英彦：水路壁載荷法によるコンクリート開水路の構造的安全性評価手法の開発 ― コンクリート二次製品のフリームを用いた水路壁載荷法の基礎的研究 ―。農業農村工学会論文集, 308 : I_123-I_129, 2019.6 2) 石井将幸・兵頭正浩・緒方英彦・別當 欣謙・金子英敏：集中荷重により長スパン開水路の側壁に生じるたわみ量の定式化。第 73 回農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 2024.8

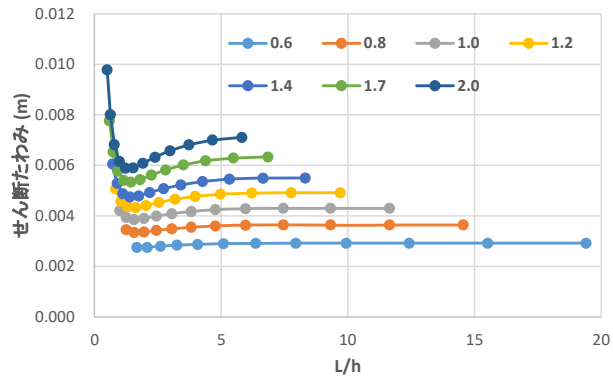


Fig. 1 水路側壁に生じるせん断たわみの大きさ
Shear deflection on sidewalls of open channel

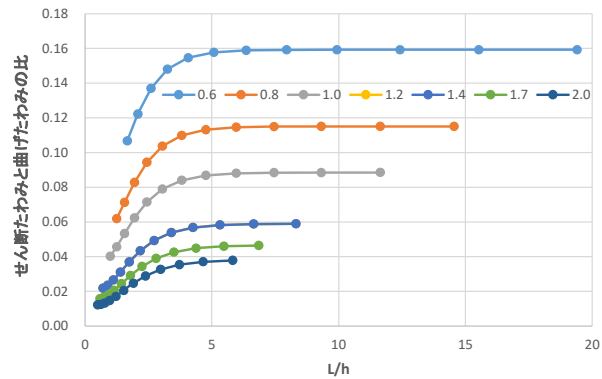


Fig. 2 せん断たわみと曲げたわみの比
Ratio of shear and bending deflections