

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

Formulation of deflection caused by concentrated force applied on sidewalls of long-span 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. 本研究の背景と目的

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。

先行研究¹⁾では、載荷によって水路側壁が全長にわたって均一にたわむと仮定し、はり理論に基づいて水路の形状とコンクリートの弾性係数からたわみ量を求める式が誘導された。そしてこの式による値が、二次製品フルームで行った試験結果と概ね一致することが確認された。しかしその後、スパンの長い現場打ち開水路に対して水路壁載荷法を適用したところ、試験で得られるたわみ量がはり理論による値より必ず大きくなることが確認された。これはスパンの長い水路側壁のたわみは一様ではなく、載荷点近くのみが大きいたわむことを表している。

そこで本研究では、板の変形理論から誘導された理論式を用い、この式から得られるたわみ量とスパン長を変化させた FEM 解析の結果を比較した。そして開水路の形状、特にスパン長がたわみの大きさに与える影響と、この式の適用限界について検討を行った。

2. 板の曲げ理論によるたわみ量の式

長方形の板を対象とし、板の曲げ理論に基づいて面外方向へのたわみ量を求める式は、板の支持条件に応じた様々なものが誘導され成書²⁾にまとめられている。その一方、この本で扱われなかった支持条件として、一辺が固定支持、残る三辺が自由である **cantilever plate** と呼ばれるものがある。この条件は、歯車の歯の支持条件を近似する際などに用いられてきた。

集中荷重を受ける **cantilever plate** の変形量や断面力を定式化させた研究として、藤田³⁾によるものが挙げられる。この研究では他の類似の研究と同様に、自由辺の境界条件を処理する目的で、固定辺に沿った板の長さが無限大に取られている。これは、スパンが長い開水路側壁のたわみを算出する目的に合致したものであると言えるが、当然ながら実際のスパン長は有限であるため、実水路への適用性を確認しなければならない。開水路側壁基部を固定辺とみなして藤田の式を適用すると、(1)式ようになる。

$$y = k \frac{Ph^2}{\pi N} \quad (1)$$

y : たわみ(mm) P : 荷重(kN) h : 側壁高さ(mm) N : 板の曲げ剛性(kNm)

係数 k は側壁高さ、載荷点の側壁天端からの距離、たわみ測定箇所側の側壁天端と載荷点からの距離、および材料のポアソン比に影響される値である。

*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, 曲げ変形, 理論式, 有限要素法

k を算出するためには、上記要因の値を代入した関数に対し、積分区間が0から無限大までの広義積分を行う必要がある。しかしこの関数の原始関数を定式化できないことから、区分求積法による数値積分を行うプログラムを作成して k の値を求め、藤田が示した値と比較することとした。

Table 1 プログラムで求めた k の値

		Value of coefficient k				
距離	0	$h/4$	$h/2$	h	$2h$	$3h$
藤田	0.527	0.478	0.382	0.219	0.050	0.007
本研究	0.523	0.469	0.381	0.215	0.049	0.009

载荷点とたわみ測定点がともに側壁上端の場合について得られた k の値を、载荷点からたわみ測定点までの距離を側壁高さ h で正規化して Table 1 に示す。プログラムで求められた値が藤田のものと同様に非常に近くなったことから、正しい値を求めていると判断した。そしてこのプログラムを用いて、水路壁载荷装置の諸元ならびに FEM 解析の条件(载荷点からたわみ測定点までの距離 0.107m、ポアソン比 0.2)に相当する k の値として 0.483 を得た。

3. 载荷試験の FEM 解析による再現

スパン長無限大を仮定した(1)式の適用範囲を調べるために、スパン長を変化させた FEM 解析を実施し、得られたたわみを(1)式による値と比較することにした。側壁高さ h が 0.8m、1.0m、1.25m のそれぞれについて、スパン長 L を 0.268m から 18.626m まで変化させた。解析においては、理論式が曲げ変形のみを考慮していることに合わせ、曲げ変形のみが生じ、せん断変形は生じない種類の二次元要素を用いた。载荷点をスパン中央の側壁上端、測定点を载荷点から 0.107m 離れたスパン上端とし、対称性を用いてスパン半分の側壁のみを解析対象とした。

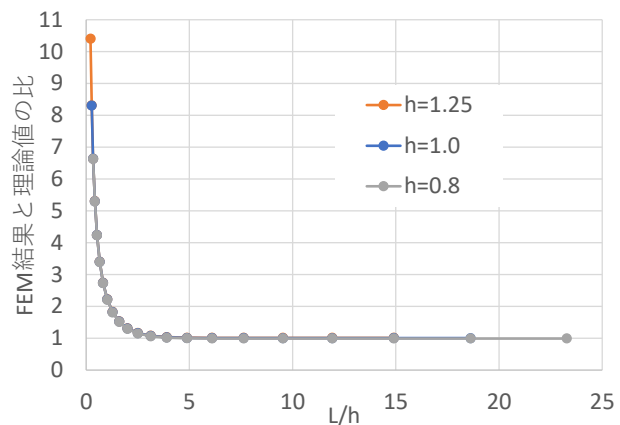


Fig. 1 FEM と理論式で求めたたわみの比
Ratio of deflection by FEM and analytical function

FEM の結果と理論値との比を Fig. 1 に示す。3 種類の側壁高さ h によるグラフは完全に重なり、スパン長と側壁高さの比 L/h だけを使った整理が可能であることがわかる。 L/h が小さく、側壁全体の曲

げ剛性が低い場合のたわみは理論値と比較して大きいものの、 L/h が大きくなるにつれて FEM と理論式のたわみは急速に近づく。そして両者の比は $L/h = 3.125$ で 1.10 を、4.882 で 1.01 を下回った。 L/h が 3 より大きい水路では、 $k = 0.483$ とした(1)式でたわみを求めることが可能と言える。

4. 今後の課題

2 現場計 5 スパンの水路を対象とした実測で得られた荷重たわみ曲線の傾きを、本研究で求めた k の値と(1)式、および採取したコアの弾性係数から計算した傾きと比較した。1 つのスパンではよく一致したものの、残る 4 スパンでは実測値の方が傾きが小さい、つまり実水路の方が大きく変形するという結果となった。スパンが長く、曲げ剛性の大きい水路側壁ではせん断変形の大きさを無視できないことが FEM 解析でわかっている。せん断変形を考慮し、より正確なたわみ量を求めることが可能な手法が必要であると考えられる。

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：水路壁载荷法によるコンクリート開水路の構造的な安全性評価手法の開発 — コンクリート二次製品のフリユームを用いた水路壁载荷法の基礎的研究 —。農業農村工学会論文集, 308 : 1_123-I_129, 2019.6 2) チモシェンコ・ヴォアノフスキー著・長谷川節訳：板とシェル論(上)。ブレイン図書出版株式会社, 1973 3) 藤田公明：クラウニングした歯車の歯元応力。日本機械学会論文集, 163, pp430-440, 1960