

管路更生工法による農業用管水路の 水理機能への影響

荒木 将人¹

¹近畿農政局 亀岡中部農地整備事業所 工事課 (〒621-0805京都府亀岡市安町野々神31-5)

本論文は、農林水産省において推進している農業水利施設におけるストックマネジメントにかかる取り組みにおいて、実施上の課題となっている農業用管水路に対する補修工法施工時における水理機能への影響について、工事実施後の水路における実測及び損失の算出方法の検討を行い、これらの検証を行ったものである。

キーワード スtockマネジメント, 管路更正工法, 水理損失

1. はじめに

現在、農林水産省では施設の有効活用や長寿命化によりライフサイクルコストの低減を図るストックマネジメントの取り組みを推進している。このため、農業用施設の更新にあたっては、従来までの深刻な機能低下が起ってから再建設するといった対応のみでなく、施設機能診断による健全度評価に応じて補修・補強を行う予防保全的な対応についても検討し、近年ではこのような工法の採用も増えてきている。

本報文は、農業用施設のうち農業用管水路（以下、「農水管」という。）において、主な補修工法の1つである管路更生(反転)工法が農水管の持つ水理機能に及ぼす影響度及びその算出方法について検証を行い、その結果について取りまとめ、考察したものである。

2. 課題の概要

(1) 管路更生（反転）工法の概要

管水路の主な補修・補強工法である管路更生工法は数種類の工法に分類されるが、このうち反転工法は、基材に硬化性樹脂を含浸させた更生材を、空気や水の圧力を利用して既設管内に加圧反転させながら挿入し、既設管内で加圧状態のまま樹脂を硬化させることで更生管を構築するものである。近年では前述のストックマネジメントの取り組みにより、各地で農水管の補修工法としても採用されている。なお、反転工法の施工概要（熱硬化タイプ）の例を図-1に示す。

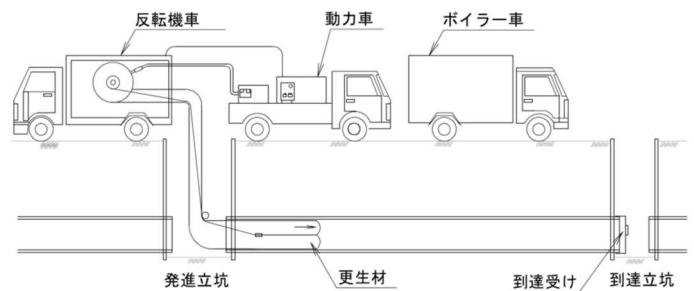


図-1 反転工法（熱硬化タイプ）の施工概要(例)

(2) 農水管に求められる機能と性能

農水管の目的は、必要な農業用水の送・排水であり、その機能は水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。また、これらの機能のほかに農業水利施設全般に求められる安全性・信頼性等の社会的機能がある。農水管の性能とは、これらを発揮する能力であり、漏水量、流量、たわみ量等個別の指標や総合的な健全度で表すことが出来る。農水管の機能と性能の例を表-1に示す。

表-1 農水管の機能と性能の種類(例)

| 機 能 | | 性能の例 | 指標の例 |
|-------|---------|-------------------------------|----------------------------|
| 本来機能 | 1)水利用機能 | 水利用に対する性能 送配水性 排水弾力性 | 送配水効率、自由度、調整容量 |
| | 2)水理機能 | 水理に対する性能 通水性 水理学的安全性 | 通水量、漏水量、損失水頭 |
| | 3)構造機能 | 構造に対する性能 力学的安全性 耐久性、安定性 | 管体のひび割れ幅、たわみ量、腐食 |
| 社会的機能 | | 安全性・信頼性 経済性 | 漏水・破損事故歴、補修歴、耐震性、建設費、維持管理費 |

(3) 反転工法の水理機能上の課題

反転工法は、既設管内に新たな更生管を構築するという特徴から、更生管厚分の通水断面が減少する。また、同工法は下水道の分野で発展してきた工法であることから、マンホール間を直線でつなぐ下水道管に対し、路線間に屈曲部を有することも多い農水管では、この屈曲部において主に曲部の内側にシワが発生することがあり、これによる通水阻害が懸念される。これらのことから、同工法を農水管に採用する場合には、少なからず水理機能に影響を及ぼすものとする。

このうち通水断面の減少については、採用する工法により更生管の厚さが定まり、また各工法の協会等が発行する技術資料に水理計算に使用する係数が示されていることから、これらによりあらかじめ水理損失を想定することが可能である。一方、施工時に発生するシワについては、その発生の有無や程度を予測することは困難であり、また現時点で土地改良事業にかかる各種基準類においてシワの発生による損失の算出方法は定められていない。

3. 検証の概要

前章に記した反転工法の水理機能上の課題に対し、次のような検証を行った。

実際に反転工法を施工した管水路において、任意流量時の上下流分水の水位標高を水準測量により測定し、その水位差を求める。この水位差が同工法施工後の水路に実際に発生している水理損失と考え、これを水理計算により算出した損失水頭と比較する。これによりシワによる損失がどの程度発生しているかを推測する。また、水理計算によるシワによる損失水頭の算出を試み、これを実測水位差と比較することで算出方法の有効性を検証する。

4. 実測水位差の測定

実測水位差は、過去に反転工法を施工した近畿農政局管内A水路において、任意のタイミングで計9回実施した。A水路の諸元は下記のとおりであり、その概要を図-2に示す。

- 更生工法：蒸気硬化式反転工法（材質：樹脂含浸ポリエステル不織布）
- 口径：更生後の内径φ293.6（PC管φ300に反転工法を施工）
- 延長：L=119.646m（○号分水～△号分水間）
- 屈曲部の数：5箇所（曲管角度22.5°～90°）
- 調査時流量：Q=0.046～0.061m³/s、計9回（堰の越流水深から算出）

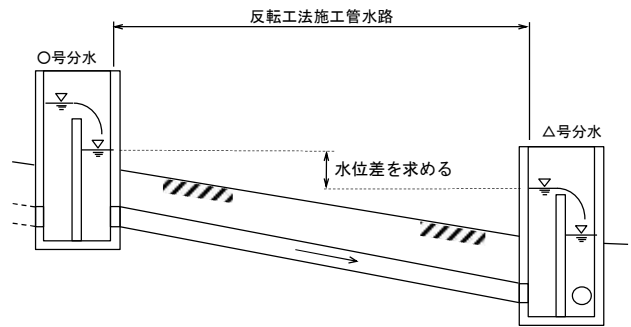


図-2 実測水位差測定の概要

5. 水理計算による損失水頭の算出

(1) シワ以外の水理損失の算出

A水路に生じている水理損失は、管路全延長における摩擦損失、分水工接続部における流入・流出による損失、屈曲部における屈折及び発生したシワによる損失が考えられる。このうちシワ以外の損失水頭は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「パイプライン」に基づき算出した。

a) 管内カメラによるシワの発生状況調査

各々の方法による算出に先立ち、シワの有無やその程度を把握するため、自走式管内カメラによる調査を実施した。調査の結果、5箇所の屈曲部（IP.1～5）すべてにおいて複数のシワが発生していることが確認できた。このシワの程度を定量的に把握するため、カメラの映像から各シワの最大高さ及び面積（通水断面に対する投影面積）、シワの間隔等を計測し、記録した（写真-1）。



写真-1 管内カメラ映像の例

b) シワによる水理損失の算出

次に示す2つの方法によりシワによる損失水頭を算出した。

1つ目の算出方法は、シワの発生による前後の断面変化に着目し、これを急縮・急拡管（図-4、図-5）とみなし損失水頭を算出した。計算には土木学会発行「水理公式集」に掲載されている下記の式を使用し、計算条件は、各屈曲部において発生しているシワのうち、概ね半周程

度以上に及んでいると見られるものを対象とし、そのシワの面積分の急縮・急拡が生じているものとみなし、これを箇所数分計上した。

【急縮による損失】

$$h_{sc} = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

ここに、 h_{sc} ：急縮による損失水頭(m)、 C_c ：縮流係数、 $f_{sc}=[(1/C_c)-1]^2$ ：急縮損失係数、 V_2 ：急縮後の管内流速(m/s)。

表-2 縮流係数 C_c と急縮損失係数 f_{sc}

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A_2/A_1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| C_c | 0.61 | 0.62 | 0.63 | 0.65 | 0.67 | 0.70 | 0.73 | 0.77 | 0.84 | 1.00 |
| f_{sc} | 0.41 | 0.38 | 0.34 | 0.29 | 0.24 | 0.18 | 0.14 | 0.09 | 0.04 | 0.00 |

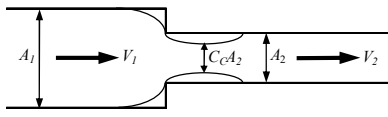


図-3 急縮管

【急拡による損失】

$$h_{se} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \frac{V_1^2}{2g} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g} \quad (2)$$

ここに、 h_{se} ：急拡による損失水頭(m)、 $f_{se}=[1-(A_1/A_2)]^2$ ：急拡損失係数、 V_1, V_2 ：急拡前後の管内流速(m/s)、 A_1, A_2 ：急拡前後の管断面積(m²)、 D_1, D_2 ：急拡前後の管径(m)。

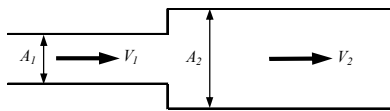


図-4 急拡管

2つ目の算出方法は、農林水産省が実施する官民連携新技術研究開発事業により検討された推定式を使用した。同推定式は、管路更生工法を取り扱う企業等が組織する「一般社団法人日本管路更生工法品質確保協会」が同事業の事業主体となり、試験研究機関である大学との連携により実施した研究開発の一環として行われた水理実験の結果から導き出された概略推定式である(以下、「品確協式」という)。実験は、曲管部に様々なシワを模した突起を設けた透明アクリル管に水を流し、曲管の上下流部に設置したピエゾメーターにより動水位を計測するものであり、得られた水頭差を基にシワによる損失係数及びその計算式が求められている。なお、同式の適用シワ条件は概ね半周程度に及んでいるものを対象としている事から、当検証においても対象とするシワは概ね半周程度に及ぶものを対象とした。

品確協式を下記に示す。

$$hw = fw \frac{v^2}{2g} \quad (3a)$$

$$fw = K \{ \alpha (d/D)^2 + \beta (d/D) \} \quad (3b)$$

$$K = \frac{\gamma (s/D) + \delta}{\gamma (50/300) + \delta} \quad (3c)$$

ここに、 hw ：シワによる損失水頭、 fw ：シワによる損失係数、 K ：シワ間隔補正係数、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ：定数(表-3)、 d ：シワ高さ、 s ：シワの間隔、 D ：管径

表-3 縮流係数 C_c と急縮損失係数 f_{sc}

| | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----------|
| | α | β | γ | δ |
| 90° 曲管 | -33.165 | 16.257 | 1.6835 | 1.0135 |
| 45° 曲管 | -37.45 | 12.752 | 0.4950 | 0.8182 |
| 22.5° 曲管 | -3.9644 | 5.0667 | 0.2560 | 0.4239 |

5. 水理計算による損失水頭の算出

(1) 比較検証の実施

比較検証にあたり、4.章において測定した「実測水位差」、シワ以外の損失水頭のみを計上した「シワ無し」、これに前章に示す各方法により算出したシワによる損失水頭をそれぞれ加算した「急縮・急拡式」及び「品確協式」の計4ケースを設定し、これらを計9回の実測時の流量毎に比較した。表-4にはある流量での4ケースの比較結果を示し、図-6には全比較結果を散布図として表したものを示す。

表-4 実測水位差と算出損失水頭との比較例 ($Q=0.051\text{m}^3/\text{s}$)

| 比較ケース | 流量 (m ³ /s) | 流速 (m/s) | 損失水頭/水位差(m) | | | | 計 |
|--------|---------------------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 摩擦 | 流入 | 流出 | 屈折 | |
| 実測水位差 | 0.051 | 0.754 | | | | | 0.510 |
| シワ無し | | | 0.195 | 0.015 | 0.030 | 0.029 | 0.269 |
| 急縮・急拡式 | | | 0.195 | 0.015 | 0.030 | 0.029 | 0.294 |
| 品確協式 | | | 0.195 | 0.015 | 0.030 | 0.029 | 0.225 |

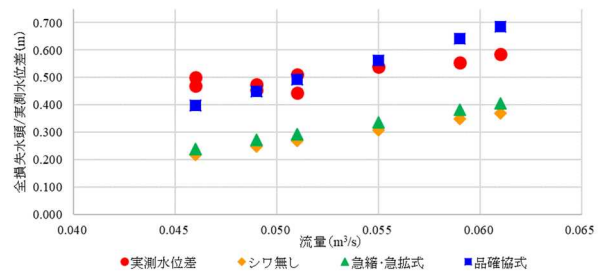


図-5 実測水位差と算出損失水頭との比較 (散布図)

(2) 結果の考察

結果を見ると、「実測水位差」は、シワによる損失を見込まない「シワ無し」と比較すると1.6倍～2.3倍と大きな数値となった。この差がすべてシワによる損失とは断定できないものの、反転工法を施工した当該水路においてシワによる損失が相当量発生しているものと推測する。

「急拡・急縮式」では、算出したシワによる損失水頭は屈折による損失水頭とほぼ同等の値となり、全損失水頭では「シワ無し」とさほど変わらず、「実測水位差」に比べ相当小さい値となった。このことから、同計算方法はシワによる損失を算出するには適さないと考える。

「品確協式」では、算出したシワによる損失水頭は屈折による損失水頭の約8倍もの大きな値となったが、全損失水頭は概ね「実測水位差」に近い値となり、「急縮・急拡式」に比べると事象の再現性は高いといえる。ただし、データの傾向をみると、「実測水位差」は流速（＝流量）の増加に伴い傾きの緩い一次直線的な増加を示すものの、「品確協式」では式の特性上二次曲線的な増加となり、流速の小さい領域では実測より小さな値を示し、ある点（ $0.052\text{m}^3/\text{s}=0.768\text{m/s}$ あたり）を境に実測値を超える値を示している。このことから、更に流速の速い水路においては損失を過大評価してしまうことが懸念される。また、同式が実測値と比較的近い計算結果となった要因として、品確協が実験を行った管路と今回検証を行った管路の口径やシワの形状がほぼ同等であったことも一因であると考えられる。このことか

ら、今後異なる口径の管路での検証も必要である。

3. おわりに

今回の検証結果は管径や延長、屈曲の箇所数等限られた条件下に限定したものであるものの、反転工法の施工により通常想定される以外の損失が発生し、またその影響は小さくないことが確認できた。このことから、屈曲部を含む管水路に同工法を採用するにあたっては、シワによる損失を見込むことを検討する必要があると考える。また、今回の検証で実測値と比較的近い計算結果となった品確協式は、発生したシワの調査結果に基づき事後に損失を算出する手法であるため、設計段階であらかじめ損失を見込むことはできない。このことから、今後同工法施工後のシワ発生状況調査を継続し、蓄積したデータから管径や曲率によるシワの発生傾向を把握し、定量化することができれば、同計算式が有効な計算手法となるであろう。

※本論文は、前所属の近畿農政局土地改良技術事務所保全技術課における業務内容を取りまとめたものである。

参考文献

- 1) 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル(パイプライン編)(案),農水省,2017
- 2) 管路更生 No.26,日本管路更生工法品質確保協会,pp.21-33,2013
- 3) 水理公式集,土木学会,p.372,1999