

# 水道水利用のある水路トンネル補強工法 — 鋼板内張工法 (ステンレス鋼板) —

(株) フコー 専務取締役 深田 進也

## 1. はじめに

玉名平野は一部に畑や樹園地を含む約 4000ha の水田地帯で、頭首工より幹線水路を経てかんがいを行なっている。

しかし、建設後約 40 年以上経過した幹線水路の老朽化により日常点検・補修に多大の労力と経費を費やしている。

本報文は、施設の長寿命化を図るために実施された基幹水利施設ストックマネジメント事業のうち、水道水利用という水質条件がある水路トンネルの補強工法についてご紹介するものである。

平成 16 年より調査を開始し、計画・設計を経て工事は平成 22 年に竣工している。

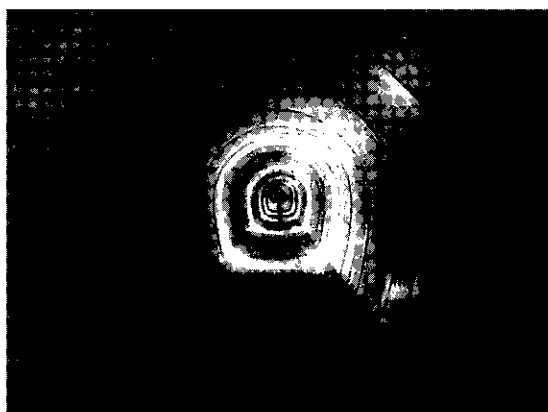


写真-1 完成状況

## 2. 構造物の概要

水路トンネルは、無圧の無筋コンクリートライニング馬蹄型断面で延長は約 100m である。

在来工法により山岳トンネルとして建設されて

いるが、地山はもともと花崗岩であるものの風化が進み、現在はマサ土化が著しくなっているため土砂地山トンネルといえる。

設計流量：4.800m<sup>3</sup>/s 施工時流量：0.366m<sup>3</sup>/s  
(水道用水 0.116m<sup>3</sup>/s, 消防水利等 0.250m<sup>3</sup>/s)

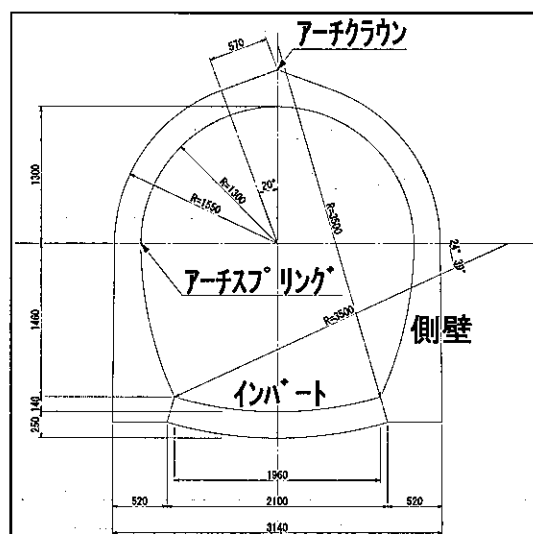


図-1 トンネル標準断面図

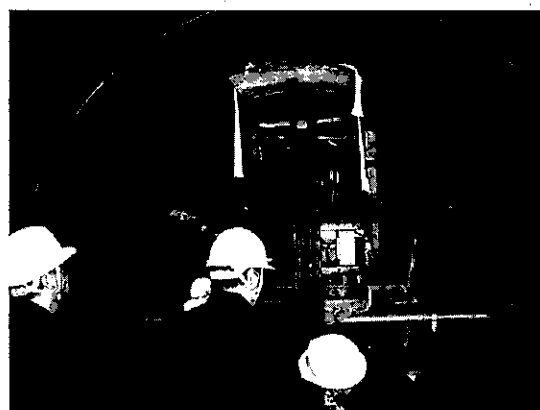


写真-2 鋼板設置治具

## 3. 変状

実施した調査項目は次のとおりである。

- ①外観調査（目視，打音）
- ②流量観測による現在の水理機能の把握  
粗度係数の推定
- ③水質試験（水道法基準）
- ④中性化試験（コア法）
- ⑤塩化物イオン総量試験
- ⑥反発強度試験
- ⑦圧縮強度試験

外観調査において図-2のイメージ図に示すような全延長にわたるひび割れの発生が見られた。

このひび割れは、コールドジョイント等の打継ぎ線とは一致していないこと、15m間隔の施工目地に関係なく連続していることから、施工に起因するものでないことが判断された。

無筋コンクリートという条件下で亀甲状のひび割れでは無いことから、アルカリ骨材反応（ASR）でも無いと考えられた。

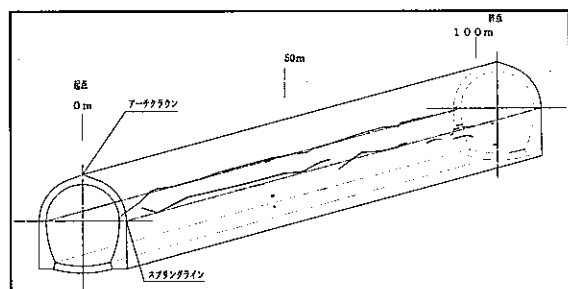


図-2 トンネルひび割れ状況イメージ図

前述の②の水理機能としては実測粗度係数が  $n=0.018$  と悪化しており、計算上満水状態で通水していることになり、水路トンネルの余裕高を満足していない。

③の水質は水道基準を満足しており水質による劣化は無い。

④の中性化は、坑内に湿気が多いため表面から1.5mmまでであり、 $\sqrt{t}$ 則により計算しても100年後に2.5mm程度と問題にならない。

⑤の塩化物イオン総量は鋼材発錆限界値の  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$  以上の  $2.8\text{kg}/\text{m}^3$  と多いが、無筋コンクリートのため問題にならない。

⑥の反発強度試験は  $12.9\text{N}/\text{mm}^2$  と低く、成分溶出によるコンクリート表層部の脆弱化と考えられる。

⑦の圧縮強度試験は、 $n=20$ 個のコア供試体の平均値で  $\sigma = 32.9\text{N}/\text{mm}^2$  もあり十分な強度を有している。

#### 4. 変状の原因推定

外観調査や試験結果から、ひび割れという劣化の原因として中性化、塩害、アルカリ骨材反応、凍害、化学的腐食等が除外されたため、変状の原因は「外力」によるものと判断した。

トンネルのひび割れの原因としては次の5つの①塑性圧、②緩み圧、③偏圧、④地震、⑤支持力不足がある。

このうち、①塑性圧は、地山が緩むことによりトンネル外部からかかる土圧のうち「側圧」が「鉛直圧」に卓越する場合で、アーチスプリング付近に縦断方向のひび割れがコンクリートの打継目で区切られることなく連続して発生する。

②緩み圧はその逆で「鉛直圧」が「側圧」に卓越する場合で、アーチクラウン部に縦断方向にひび割れが発生する。

③の偏圧はトンネル上部の地表面が傾斜しており、土圧が左右不均等にトンネルに作用する場合で、アーチ肩部に縦断方向のひび割れが打継目で区切られることなく連続して発生する。

④の地震は、地山に地層界があつて、これを境にずれが生じる場合である。

⑤の支持力不足は、横断方向に輪切り状のひび割れが発生する場合である。

(1) ひび割れの現状は、ライニングコンクリートの両側のアーチスプリング部付近にトンネル縦断方向に全線にわたり幅  $0.3\text{mm} \sim 6.0\text{mm}$  のひび割れが発生しており、両側においてほぼ同じ高さの



写真-3 アーチスプリング部のひび割れ

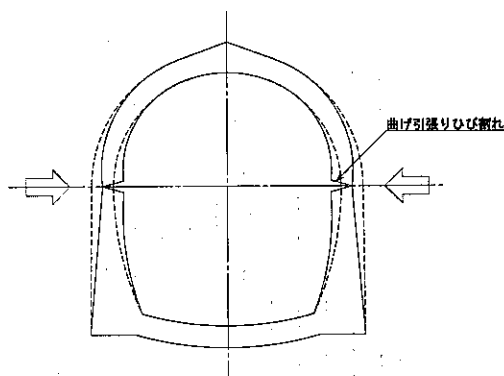


図-3 塑性圧ひび割れ状況概念図

位置である。

(2) 無筋ライニングコンクリートのひび割れ箇所のコア抜き結果では、ひび割れ幅がトンネル外側から内側に向かって大きくなっている。

(3) アーチクラウン部にはひび割れが無い。

(4) 地山はほぼ均一の土質である。

(5) トンネル底面支持地盤はN値50以上である。

①～⑤の原因と(1)～(5)の現状を照らし合わせると、地山のゆるみのうち側圧が鉛直圧より卓越する①の「塑性圧」によりひび割れが発生しているものと判断された。

この「塑性圧」によりアーチスプリング付近に曲げ引張力・せん断力が作用し、引張力に対して対抗できない無筋ライニングコンクリートにひび割れが発生したものと変状原因を推定した。

## 5. 対策工法の比較検討

### 5.1 前提条件

(1) 一般的に行われる平面上におけるボックス

カルバート等による新設暗渠バイパス施工は、用地・経済的条件の理由によりできない。

(2) 水路トンネル直上部に並行して県道があり開削工法は採用できない。

(3) 農業用水以外に水道水としての利用があり、水質基準において不安がある材料は適用できない。(例:フッ素及びその化合物, ガラス繊維)

(4) 頭首工からの取水において沈砂池が無い耐摩耗性が要求される。

(5) 施工期間中も最低通水量の  $Q=0.366\text{m}^3/\text{s}$  を確保する必要がある。

前出の(1)および(2)の条件から既設トンネルを補強する方針とした。

### 5.2 補強工法選定

#### (1) 工法選定

水道水への利用という特殊条件および土砂混入水による摩耗作用を考慮して次の4工法を比較検討した。

- ①鋼板内張工法 (ステンレス)
- ②鋼板内張工法 (SM400+ ポリマーセメントモルタル塗装)
- ③SPR工法
- ④FRP M工法

#### (2) 部材性能の設定

トンネルに作用している応力を算定するために、変状に近い変位図、曲げモーメント図となる「地山のゆるみ高さ」をフレーム解析により試算し、曲げ応力およびせん断力を算定した。

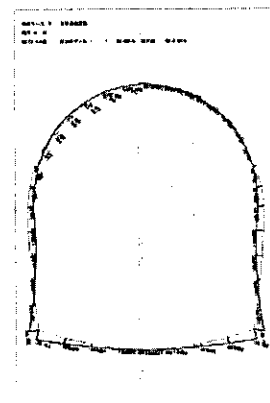
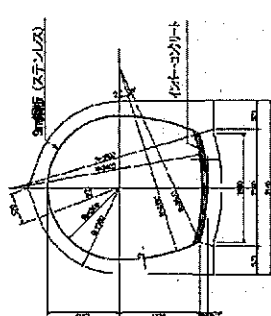
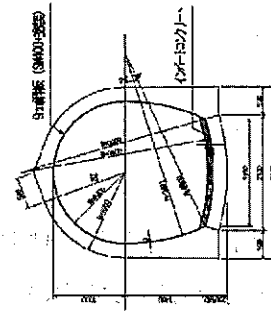
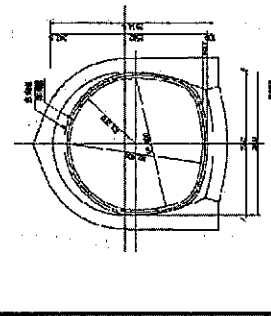


図-4 曲げモーメント図

検討の結果、通水能力、経済性、維持管理の難易、LCC等の総合的観点から「鋼板内張工法（ステンレス）」を採用した（表-1参照）。

表-1 補強工法比較選定表

表	鋼板内張工法(ステンレス) 耐用年数:50年	鋼板内張工法(SM400+塗装) 耐用年数:30年(セメント塗装)	FRPM工法 耐用年数:50年
開口部	 鋼板内張工法(ステンレス) 耐用年数:50年	 鋼板内張工法(SM400+塗装) 耐用年数:30年(セメント塗装)	 FRPM工法 耐用年数:50年
相対係数	$n=0.012$	$n=0.0135$ (合成相対係数)	$n=0.012$
水理機能	通水量 $5.927m^3/s > 4.8m^3/s$ OK ○	通水量 $5.322m^3/s > 4.8m^3/s$ OK ○	通水量 $4.583m^3/s < 4.8m^3/s$ OUT ×
耐摩耗性	○	○	○
水道水安全性	◎	○	○
維持管理の難易	△	○	○
実施	○	○	○
補修費	0	5700万円/(30年・回)	0
工期	225日	234日	206日
工事価格	1億4500万円	1億4200万円	1億3000万円
LCC	1億3900万円	1億5300万円	-
総合評価	○ 採用	△ (補修費, LCC, 開口部)	× (水理機能)

## 6. 補強工法の概要

応力度、基準書の最小板厚、市場性などから決定した鋼板厚  $t = 9\text{mm}$  のステンレス鋼板による鋼板内張工法の標準断面図を次に示す。

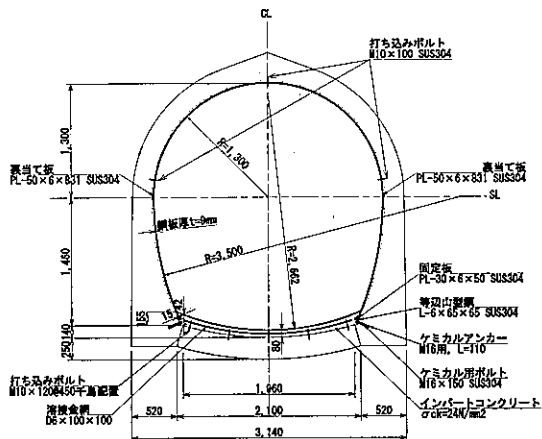
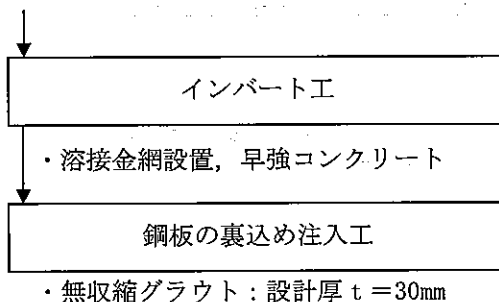
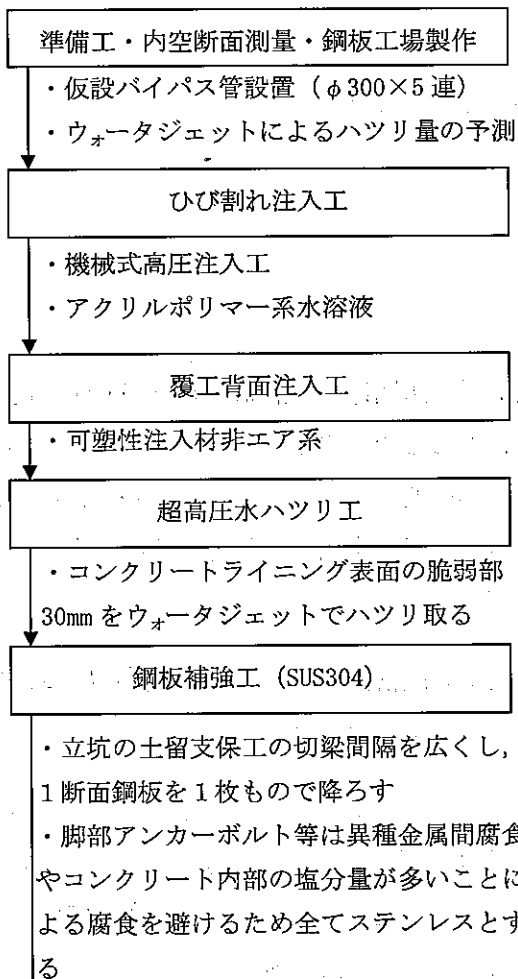


図-5 鋼板内張工標準断面図

施工手順は次のとおりである。



## 7. おわりに

設計終了後、レアメタルの高騰でステンレスの価格が急騰し、設計の見直しを迫られることもあったが、その後、価格が沈静化して胸をなでおろしたことを覚えている。

一般的な話になるが、補修・補強設計で感じる問題点は、①設計委託や工事の積算基準を整備している発注者が少ない、②積算根拠が無ければ見積聴取となるが、昨今の社会情勢から見積聴取がしづらい、③土木分野での統一した指針、品質規格が未整備状態である等である。

特に表面保護工のうちの表面含浸工法においては材料製造業者の仕様に頼るしかない。

最後に本計画・設計・工事でお世話になった関係者の皆様方に謝意を申し上げる。

## 参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準「水路トンネル」
- 2) (社) 農業土木事業協会：農業水利施設の機能保全の手引き
- 3) 日本道路公団：設計要領第三集（トンネル）
- 4) (社) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針
- 5) (社) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術

