

### ストックマネジメント技術高度化事業の取組事例

(第 2 回)

(水路トンネル補強対策及びモニタリングについて)

東海農政局木曾川水系土地改良調査管理事務所 所 長 太田 勝也  
 保全技術課長 川端 伸博  
 機能診断係長 西谷 文孝

#### 1. はじめに

平成 20 年度から、ストックマネジメント高度化事業（以下「高度化事業」という。）が実施されており、東海農政局においても、施設の診断、劣化予測、評価手法の確立及び対策工法の有効性や耐久性の検証など、国営土地改良事業により造成された基幹的な農業水利施設の機能を効率的かつ適切に保全していくための技術を現場での実践を通じて確立すべく、各種の試みを進めている。

今回は、高度化事業の事業内容のうち「対策工法の適用と評価」をテーマに、水路トンネルの補強対策工法について、試験施工とその後のモニタリングに取り組んでおり、その実施状況等を報告させていただきます。

#### 2. 東海農政局管内の農業水利ストック

東海農政局管内の国営事業は、昭和 17 年から明治用水、尾張用水の 2 農業水利事業を嚆矢として木曾川、矢作川などの主要水系において実施さ

れ、国内でも有数の大規模な農業水利が古くから発達し、今日においてもなお重要な役割を担っている地域である。農政局管内の農業水利ストックは、再建設費ベースの試算で約 2.2 兆円であり、基幹的な用水路の延長は約 36 百 km を有し、全国の 11% を占めている（表 - 1）。

国営事業地区の主要な農業水利施設は、水資源機構管理の施設を除いて、ダム 2 施設、調整池 5 施設、頭首工 9 施設などの他、水路は約 390km となっている。このうち、構造形式別の水路延長は、表 - 2 に示すとおりであり、事業実施中の地区を除くと、管水路（PC）、開水路、トンネル、管水路（FRPM）の順となっている。

表 - 1 基幹的な農業水利施設の状況

	岐阜県	愛知県	三重県	東海計	全国
用水路：km	665	2,091	801	3,557	31,762
排水路：km	167	171	64	402	10,033
計	832	2,262	865	3,959	41,795

注）基幹とは受益面積 100ha 以上の水路  
 出典）東海食料・農業・農村のしおり（東海農政局）

表 - 2 国営地区主要構造形式別水路延長（東海農政局管内）

	開水路	水路橋	トンネル	管水路					サイホン・暗渠等	計
				鋼管	DCIP	PC	FRPM	RC		
延長：km (事業実施中地区除く)	40.0	0.3	39.9	8.6	12.5	62.4	31.7	2.1	64.1	261.6
構成比	15%	0%	15%	3%	5%	24%	12%	1%	25%	100%
延長：km (事業実施中地区含む)	63.6	0.3	54.4	12.5	16.3	62.7	93.8	2.8	82.2	388.6
構成比	16%	0%	14%	3%	4%	16%	24%	1%	21%	100%

注）サイホン・暗渠等は構造や形式が複雑であり、ここでは構造形式別に分類せず、一括りとした。

### 3. 高度化事業の実施方針

上記の膨大な国営造成施設を対象に効率的かつ計画的に高度化事業を実施するため、農政局としての実施方針が平成20年7月24日開催の東海農政局国営造成施設管理連絡調整会議において決定された。

その概略を紹介すると以下のとおりである。

○高度化事業のうち、「対策工法の適用と評価」及び「診断技術の適用と評価」に重点的に取り組む。

○基本的な考え方

- ・試験施工については、管内の施設別賦存量を考慮し、事業で実施している（実施が想定される）対策工法を選定し、耐用期間の確認等に主眼を置いて実施する。
- ・診断技術については、目視できない施設（パイプライン、ポンプ等）に係る診断技術の向上に主眼を置いて実施する。
- ・賦存量の多い施設、機能診断調査実施済みの施設、事故歴及び補修歴を考慮した被害リスクの高い施設等を対象施設として選定し、効率的、効果的な成果の取得と活用を図る。

○水路施設対する実施方針

- ・試験施工の分野においては、FRPM管・PC管・開水路は漏水対策補修工法について、トンネルは縦断クラック等ひび割れ対策補修工法について、青蓮寺地区、付知川地区など事業完了後のフォローアップが必要とされる地区を中心に実施する。
- ・診断技術の分野においては、管水路を中心に漏水調査方法、不断水診断技術を評価する。機能診断結果や漏水事故歴など効果的に評価可能な情報等が存在する地区で青蓮寺地区、矢作川総合地区などを中心に実施する。

### 4. 水路トンネル補強対策の試験施工

水路トンネルについては、過年度から実施されている国営造成水利施設保全対策指導事業等を通

じた機能診断等の調査結果から、外力によると考えられる変状（偏土圧及び緩み土圧によるひび割れ等）が複数地区のトンネルで存在することが判明している。

このため、既に管内の国営事業で使用された補修・補強対策工法、並びに今後使用が予想される対策工法について、変状が生じている施設を対象に試験的に施工するとともに、中長期にわたって継続してモニタリングすることにより、各工法の構造性能を評価していくこととした。

対象施設は、国営農地開発事業「付知川地区」（岐阜県中津川市）内の幹線水路のうち、対策工法を施工すべき変状が一定の区間で存在し、かつ抗口までのアクセスが比較的容易な「付知川右岸幹線水路大萱隧道5号トンネル」を選定した。

（参考）国営農地開発事業「付知川地区」の概要

岐阜県中津川市（旧恵那郡付知町、同福岡町）において、昭和28年から昭和40年にかけて実施された。東は付知川を境にして旧付知町苗木町及び旧福岡町大字下野、南は木積沢川を境にし、西は二ツ森山を越えて旧蛭川村となる南北約8km、東西1kmの細長い地区で、地勢は付知川に向かって傾斜し、標高500m～280mの地域である。

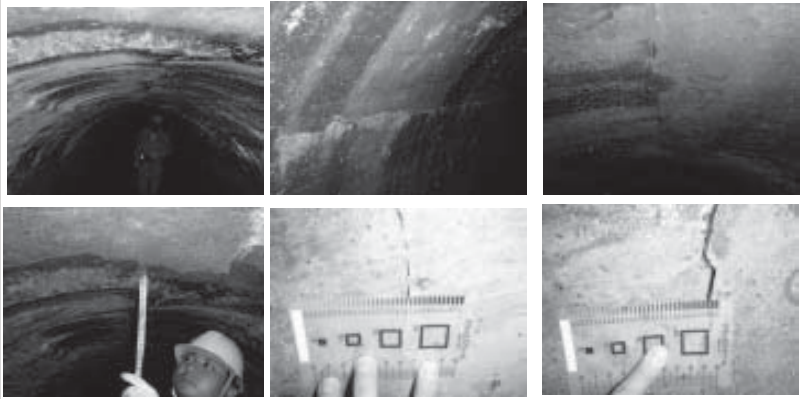
最大約1.9m<sup>3</sup>/sの用水を取水する柏原取水工及び付知川右岸頭首工の他、導水路0.5km、幹線水路13.9km（トンネル7.8km、暗渠5.6km、サイホン0.4km）、支線水路1.9km等を建設するとともに、536haの農地整備（開田208ha、開畑184ha、畑かん144ha）を実施した。

#### （1）試験施工対象トンネルの現況

対象トンネルは、溶結凝灰岩中に掘削された水路トンネルで、供用開始後40年～50年が経過しているが、その間特に補修、補強は行われていない。標準馬蹄形3r = 2.7mを標準断面とし、計画通水量1.82m<sup>3</sup>/s、流速0.8m/s、勾配i = 1/3,000、延長L = 1,059mの諸元を有する。

平成16年度実施した目視調査やレーザー探査によると、トンネル内の多くの箇所アーチ部を中心に縦断クラックが発生しており、緩み土圧が生じている可能性があることが報告されている。更に、緩みの状態を把握して構造検討に反映させるため、平成20年には、目視調査、地質調査（ボーリング、密度試験、一軸圧縮試験、超音波伝播

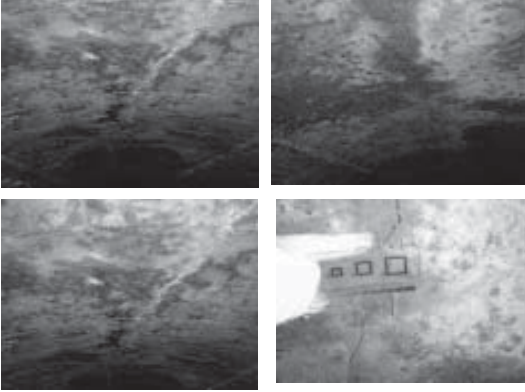
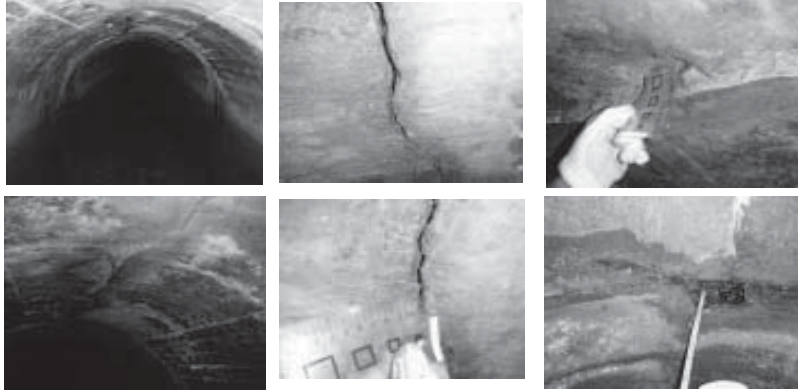
表-3 機能診断結果総括表 (1/2)

施設名		
主な変状	ひび割れ(縦断)	
測点	NO. 8+17~33	
写真		
目視状況	<p>クラウン部とサイド(左SL付近)に2.0~3.0mm程度の縦断的なひび割れが約12m区間に渡って生じている。 ひび割れは下側に10mm程度押し出されている箇所もあり、インバートより浸入水を伴う。コンクリートの状態は悪く、セメント分が不足していると推測される。30cm程度の欠損もあり、断面は大きく変形している。(横に広がる。)</p>	
発生原因	<p>高さ4.5mの崩積土圧により、覆工に過剰な応力が生じて破損に至っていると考えられる。クラウン部に開口クラック、側壁部に挫屈クラックが生じていることから、崩積土の一部が崩落した可能性がある。 また、覆工厚の不足(14cm不足)等の施工不良による強度不足も損傷の大きな要因である。</p>	
発生時期	不明	
進行性	<p>進行性が大きい PS検層より、周辺土質は、以下の3種類に分類される。 第1速度層 H=1.0m (PS:430~640m/s) 崩積土 [現在、覆工にかかっている] 第2速度層 H=3.5m (PS:1310m/s) しまった礫 [将来、覆工への圧力が増加する] 第3速度層 H=0.5m (PS:1790m/s) 岩盤 [岩盤] 第2速度層が3.5mと大きく、今後、覆工にかかる土圧が増大する恐れがある。</p>	
構造上の問題点	<p>崩積土圧によるひび割れと想定される。 ひび割れに段差等が見られことから崩積土の崩落による急激な変状の可能性もある。 覆工コンクリートは完全に破断されているので全面補強対策が必要である。</p>	
測定値	<p>クラック幅 2.0~3.0mm 変位測定 幅186cm 高169cm</p>	
評価点・判定	S2	
改修工法	全面補強	
コンクリート強度 一軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	右壁	28.2 N/mm <sup>2</sup> (シュミットハンマー)
	頂版	17.8 N/mm <sup>2</sup> (一軸圧縮試験)
	左壁	-
平均巻厚(cm)	設計値	3種 25cm
	現況測定値	11cm
中性化	深さ 1mm	
施設概要	NO. 8~NO. 10+59 L=105	

速度測定, PS 検層), コンクリート調査 (コア採取及びシュミットハンマーによる圧縮強度試験, 覆工背面地質目視調査, 中性化試験, 点荷試験) などの追加調査を行い, 機能診断結果総括表 (表-3) に示す調査結果を得ている。また, 当該トンネルの地質・構造的概況をまとめると以下のと

おりである。

- ① トンネル上部の地質は「溶結凝灰岩」「礫」「崖錐堆積物」の三タイプに分別できる。
- ② 「溶結凝灰岩」は自立した岩であり, トンネルに及ぼす物理的影響は無いと判断される。

付知川右岸用水 5号トンネル	
ひび割れ(縦断)	ひび割れ(縦断)
NO. 8+92~NO. 9+9	NO. 9+36~41
	
<p>頂版部に1~2mm程度ひび割れが約17m区間に渡って生じている。その他の変状は特に認められず、断面の変形も小さい。</p>	<p>トンネル天端に2.0~4.0mm程度の縦断的なひび割れが約5m区間に渡って生じている。ひび割れは下側が20mm程度押し出されている箇所もある。天端部分は崩積土であり、断面は大きく変形している。(横に広がる。)</p>
<p>覆工厚の不足(10cm不足)等の施工不良及び崩積土圧が原因と考えられる。</p>	<p>クラウン部の開口クラックの状況から、崩積土による覆工の損傷が考えられる。また、覆工厚が13cm不足しており、施工不良による強度不足も損傷の大きな要因と考えられる。</p>
不明	不明
<p>進行性は少ないと考えられる。</p> <p>PS検層より、周辺土質は、以下の3種類に分類される。</p> <p>第1速度層 H=0.5m (PS:510m/s) 崩積土                  第2速度層 H=1.0m (PS:1540m/s) しまった礫                  第3速度層 H=1.1m (PS:1890m/s) 岩盤                  第2速度層が1.0mと比較的に小さく、今後、覆工にかかる土圧が増大する恐れは少ない。</p> <p>劣化の進行は少ないが、覆工コンクリートは破断されているため、機能回復が必要である。</p>	<p>進行性が大きい</p> <p>PS検層より、周辺土質は、以下の3種類に分類される。</p> <p>第1速度層 H=1.0m (PS:600m/s) 崩積土                  第2速度層 H=3.0m (PS:1690m/s) しまった礫                  第3速度層 H=1.0m (PS:2150m/s) 岩盤                  第2速度層が3.0mと大きく、今後、覆工にかかる土圧が増大する恐れがある。</p> <p>崩積土圧によるひび割れと想定される。ひび割れに段差等が見られことから崩積土の崩落による急激な変状もしくは崩積土圧の偏圧の可能性も考えられる。覆工コンクリートは完全に破断されているので全面補強対策が必要である。</p>
<p>クラック幅 1.0~2.0mm                  変位測定 幅183cm 高171cm</p>	<p>クラック幅 4mm、段差 2cm                  変位測定 幅186cm 高171cm</p>
S2	S2
部分補強	全面補強
23.4 N/mm <sup>2</sup> (シュミットハンマー)	26.7 N/mm <sup>2</sup> (シュミットハンマー)
16.5 N/mm <sup>2</sup> (シュミットハンマー)	28.5 N/mm <sup>2</sup> (一軸圧縮試験)
-	-
3種 25cm	3種 25cm
15cm	12cm
-	深さ 1mm
59.00m 計画通水量 1.82m <sup>3</sup> /s 流速 0.8m/s 標準馬蹄形3r=2.7m 施工年度S.28~40	

- ③ 「礫」は「緩み土」と「しまった礫」の2種類に区分できる。
- ④ 「崖錐堆積物」は坑口付近の表層土であり、直接土圧としてトンネルに影響している。
- ⑤ 「緩み土」はトンネルに直接土圧として影響を与えており、「しまった礫」はトンネル

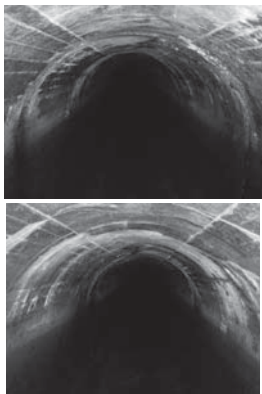
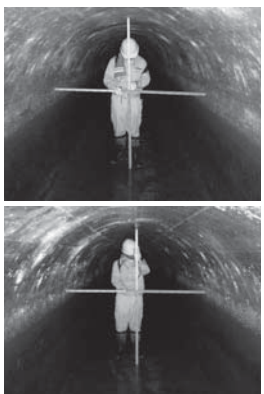
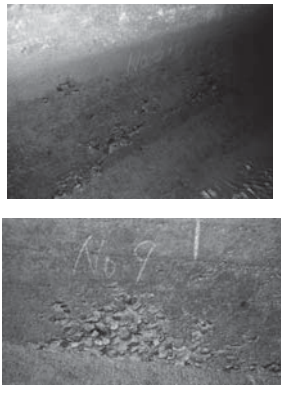
への影響は無いものの、将来「緩み土」に変化し、トンネルに土圧として影響を与えるものと考えられる。

(2) 補強工法の選定

トンネルの補強対策には、トンネル全体の变形



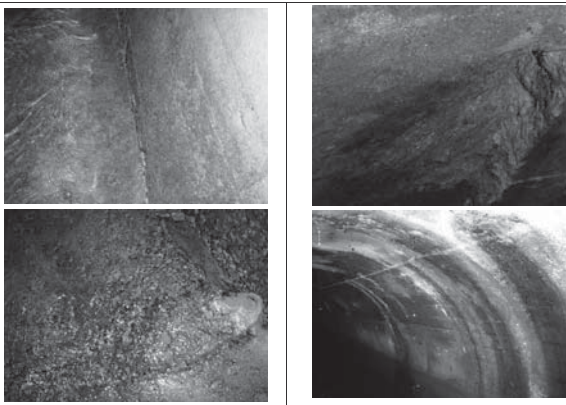
表-3 機能診断結果総括表 (2/2)

施設名		付知川右岸用水 5号トンネル			
主な変状		全般	変形	初期欠陥	
測点		NO.8~NO.10+59			
写真					
目視状況	<p>底版部付近は流水による摩耗が見られる。所々にクラックや遊離石灰の噴出が見られる。全体的に、老朽化の進行が進んでいる。</p>		<p>一部を除いて、全体的に問題となる変形ゆがみは見られない。</p>		<p>側壁とインパートの付根部分にジャンカが見られる。</p>
発生原因	-		-		
発生時期	-		不明		
進行性	-		<p>地質調査から全般的に0.5~1.0mの崩積土が覆工に掛かっていると推定される。現状では、一部を除き、おおきな損傷は見られないが、今後、トンネルに掛かる崩積土が増えれば、変形が進行する可能性はある。</p>		<p>初期欠陥は、進行性はないが、劣化が急速に進む恐れがある。</p>
構造上の問題点	-		-		
測定値	<p>変位測定 設計値 幅180.0cm 高172.0cm NO.8 幅180.0cm 高174cm NO.8+25 幅183.0cm 高169cm NO.8+32 幅186.0cm 高169cm NO.8+40 幅178.0cm 高172cm NO.8+60 幅178.5cm 高172cm</p>		<p>NO.8+73 幅179.0cm 高171cm NO.9+7 幅183.0cm 高171cm NO.9+38.2 幅186.0cm 高171cm NO.9+95 幅179.0cm 高172cm NO.10+59 幅177.0cm 高172cm</p>		<p>ジャンカ 13箇所</p>
評価点・判定	-		-		
改修工法	-		全面補強		
コンクリート強度 一軸圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	右壁	23.4~30.0N/mm <sup>2</sup> (シュミット) (平均26.8N/mm <sup>2</sup> )			
	頂版	17.8~42.1N/mm <sup>2</sup> (一軸圧縮試験) (平均28.2N/mm <sup>2</sup> )			
	左壁	-			
平均巻厚(cm)	設計値	1種:15cm、2種:20cm、3,4種:25cm			
	現況測定値	11~16cm (平均14cm)			
中性化	-				
背面地質	礫				
施設概要	NO.8~NO.10+59 L=1059.00m 計画通水量 1.82m <sup>3</sup> /s 流速 0.8m/s				

を抑制する対策と、覆工コンクリート自体の変状(初期欠陥・凍害・ASR・化学腐食等)対策に大別される。トンネル全体の変形は地圧など外的要因により生じるものであり、緩み土圧もこの要因

の1つに挙げられる。

補強対策の選定にあたっては、劣化の状態・要因に適した工法とする他、耐久性・経済性・環境性・施工性等に優れた対策工法を選定することが

材料劣化	欠損・漏水
	
底板付近は流水により磨耗している。	欠損部の数は少ないが、比較的大きなクラックの周辺部に欠損が見られる。 一般的に水が染み出る程度の漏水が見られる。
流水	応力による破損(欠損) 外水圧(漏水)
経年劣化	不明(欠損) 経年劣化(漏水)
進行性がある 常に流水があるため、磨耗は進行する。	- 欠損自体は、一時的な現象であるが、覆工の強度が低下するため、土圧等の応力の増加により、欠損が増える可能性がある。 漏水は、外水圧の影響が大きいため、外水圧の増加がなければ進行性は少ないと考える。
磨耗は構造上への影響は少ないが、粗度係数の悪化により、通水性が低下する。そのため、流速が落ち、土砂等の堆積物がたまりやすくなる。 通水機能確保の観点から、補修対策が必要である。	欠損・漏水は、トンネル構造の強度を低下させ、連鎖的に変状を起こす要因となる。 強度の確保から、補修対策が必要である。
側壁・インバート部が全体的に磨耗	欠損 3箇所 漏水 28箇所
-	-
部分補修	部分補修
mm <sup>2</sup> )	
mm <sup>2</sup> )	
標準馬蹄形3r=2.7m 施工年度S.28~40	

求められ、以下の事項に留意して選定している。

- a. 劣化状態・健全度 (S5 ~ S1) に対応した補強工法
- b. 劣化要因に対応した補強工法

- c. 余寿命を考慮した経済的な補強工法
- d. 地域環境に影響を与えない、一般的な(特殊でない)補強工法
- e. 現場条件に適合し、迅速な施工が可能な補強工法

対象トンネルについては、覆工背面が空洞または崩積土状態で不安定となり、グラウンドアーチが形成されず、縦断ひび割れが発生し、損傷した覆工コンクリートも所定の機能(耐力)が確保されていないと推定されることから、補強工法は大別すると以下 A, B の2案の工法選定が考えられるが、下記の状況も考慮して、当面は B 案主体の工法を実施することとした。

A 案：地山の安定を確保する工法(裏込め注入工, ロックボルト補強工)とコンクリート覆工の機能を修復(内面補強工法, 内面増厚工法, 二重巻工法, 巻替工法)する工法の組合せ

B 案：コンクリート覆工の機能を改善(内面補強工法, 内面増厚工法, 二重巻工法, 巻替工法)し、補強した覆工のみで地圧・偏圧による引張応力に対抗する工法

- ・緩み土圧に対する補強対策工法の試験施工を行い、その評価のためのモニタリング実施という目的を考慮すれば、本区間で裏込(グラウト)注入工やロックボルト補強工を実施した場合には、補強工法としては適切であっても、土圧自体が改善され、補強工法の正確な評価ができないことが懸念されること。
- ・試験施工は1工法30mピッチで計画しているが、裏込(グラウト)注入工は途中で施工を区分(30mのみの施工)することは困難であること。
- ・ロックボルト補強工は、本トンネルの断面(3r = 2.7m)より施工が難しいことと、経済的に高価となること。

具体的な工法の検討は、特に以下の事項に留意し、詳細な比較検討を行い決定した。(表-4参照: 8工法)

- ・水理的・構造的有効性、維持管理の容易性

表-4 採用補強工法一覧表 (1/2)

項目	平成20年度施工		検討工法	
	①FRPグリッド(炭素繊維格子)補強内巻工法		②鉄筋補強内巻工法	
概念図				
補強対象	アーチ部補強		アーチ部補強	
工法の概要	<p>格子状の炭素繊維を補強材とし、付着力の高い特殊ポリマーセメントモルタルを吹き付け、覆工コンクリートと一体化させる。主に曲げ引張耐力の増加効果が大きい。</p> <p>橋梁や道路トンネル用に開発された工法であるが、水路構造物への適用性もある。</p>		<p>劣化した覆工コンクリート表面に鉄筋を配筋し、マグネラインを吹き付け、コテ塗りして既設の覆工コンクリートと完全に一体化する工法。</p>	
他工法との相違点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弾性率の高いグリッドを使用しており、被覆厚が12mmと薄くできるため、通水性能が高い。</li> <li>・施工法を吹き付け工法とする。</li> <li>・湿潤面では、プライマーを使用せず水打ちとする。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・補強材として、鉄筋を使用しており、最も汎用性の高い工法であるといえる。</li> <li>・施工法はコテ塗りとする。</li> <li>・プライマー(接着剤)は使用しない。</li> <li>・被覆厚は18.5mmと最も大きくなり、通水性能は劣る。</li> </ul>	
評価の観点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工後の定期的な目視調査を行い、補強材の変状を記録する。</li> <li>・ひずみ計により、各補強部材としての効力を検証する</li> <li>・工法の歩係を調査し、施工性の違いを検証する。</li> </ul>		同左	
使用材料	被覆材	ポリマーセメントモルタル(サーブ15D) t = 12mm 圧縮強度 30N/mm <sup>2</sup>	補強材	マグネライン t = 18.5mm 圧縮強度 23.5N/mm <sup>2</sup>
	補強材	(FRPグリッド-CR4) 引張強度 1400N/mm <sup>2</sup>	充填材	SD295A D6 引張強度 295N/mm <sup>2</sup>
	合計厚さ	12mm	合計厚さ	22.5mm
	曲面加工	可能	曲面加工	可能
	アンカーの有無	リベットアンカー	アンカーの有無	鉄筋取付アンカー
	補強材の強度が高いため、補強工の増厚が最も低くできる。		鉄筋を使用するため、3工法の内最も増厚が大きい。	
施工性	施工一般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工表面の多少の段差、凹凸も施工可能である。</li> <li>・漏水や、覆工の損傷の下処理が必要である。</li> <li>・吹付け作業では、防塵対策が必要である。</li> </ul>	同左	
	重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量で分割されているので人力の作業性はよい。</li> <li>・取付など施工用の大型機械不要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・D6を使用しており、軽量で施工性はよい。</li> <li>・取付など施工用の大型機械不要。</li> </ul>	
	固定方法	リベットアンカーで炭素繊維を固定	鉄筋取付アンカーで鉄筋を固定	
	取付機械	人力取付	同左	
	評価	今回は、小断面(3R = 2700)の作業であるため、吹き付け施工は防塵等の対策が必要。	今回は、小断面(3R = 2700)の作業であるため、コテ塗りによる施工が有利。	
耐久性・耐食性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水路用のモルタルではない。</li> <li>・炭素繊維は腐食しにくく、鉄筋のように錆が発生しない。</li> <li>・透水性があるため背面の水が表面に浸透する。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・水路用のモルタルではない。</li> <li>・鉄筋を使用しているため環境条件によっては、錆が発生する可能性がある。</li> <li>・透水性があるため背面の水が表面に浸透する。</li> </ul>	
	水路の実績が少なく、水流による影響データは少ない。		水路の実績は少ないが、摩耗による耐食性(補償値)は高い。	
直接工事費	30 m	2,663 千円	5,571 千円	
	m 当り	89 千円 / m	186 千円 / m	
	m <sup>2</sup> 当り	42,758 円 / m <sup>2</sup>	40,582 円 / m <sup>2</sup>	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工コンクリートと一体化するため、覆工コンクリートの変状に対して、追随した変状が見られる。</li> <li>・従来の工法による補修が可能である。</li> <li>・重ねての補強が可能である。</li> <li>・再施工の場合、モルタル分は超高压水により除去可能。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工コンクリートと一体化するため、覆工コンクリートの変状に対して、追随した変状が見られる。</li> <li>・従来の工法による補修が可能である。</li> <li>・重ねての補強が可能である。</li> <li>・再施工の場合、モルタル分は超高压水により除去可能。</li> </ul>	

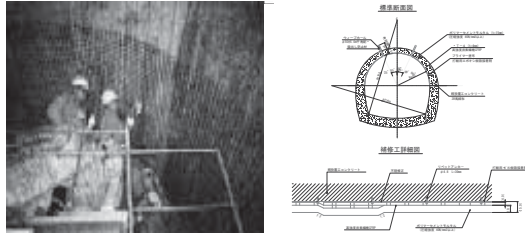
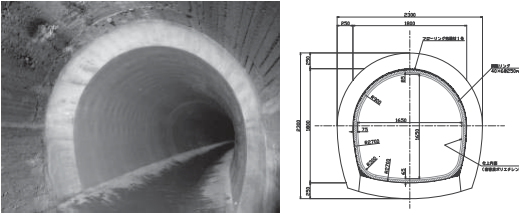
平成 21 年度以降			
③ FRP グリッド (炭素繊維格子) 補強内巻工法		④ 製管工法 (バルテム・フローリング工法)	
			
アーチ部補強		全面補強	
<p>格子状の炭素繊維を補強材とし、水路構造物用に開発された付着力の高い特殊 AG モルタルを吹き付け、覆工コンクリートと一体化させる。主に曲げ引張耐力の増加効果が大きい。</p>		<p>既設隧道内で組み立てた鋼製リングに高密度ポリエチレン製のかん合部材・表面部材とを組み付ける。その表面部材と既設隧道内壁との間に高流動・高強度充填材を充填することで既設隧道の更新を図る工法。</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>水路構造物用に開発されたモルタルを使用しており、圧縮強度は 40N/mm<sup>2</sup> と最も高い数値である。</li> <li>施工法はコテ塗りとする。</li> <li>炭素繊維グリッドとモルタルの接着には湿潤面でも、AG プライマー (特殊エポキシ樹脂接着剤) を使用する。</li> <li>グリッドにも AG プライマーを塗布し、グリッドと AG モルタルの接着の向上を図る。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>水路構造物用に開発された工法の専用充填材を使用しており、圧縮強度は 40N/mm<sup>2</sup> と最も高い数値である。</li> <li>補強材として鋼製リング (SS400 製) を使用しており、強度復元も可能である。</li> <li>施工法は特殊な施工設備は用いず人力施工とする。</li> <li>仕上内面が高密度ポリエチレン製となるため、既設隧道と比較し、粗度係数が向上する。</li> <li>既設隧道の曲線部・段差部にも容易に対応が可能である。</li> </ul>	
同左		同左	
補強材	AG モルタル t = 13.5mm 圧縮強度 40N/mm <sup>2</sup>	被覆材	高密度ポリエチレン t = 25mm 粗度係数 n = 0.010 以下
充填材	(AG グリッド HT - 4) 引張強度 1330N/mm <sup>2</sup>	充填材	セメント系充填材 アーチ部 t = 60mm, 底版部 t = 40mm
合計厚さ	13.5mm	合計厚さ	アーチ部 t = 85mm, 底版部 t = 65mm
曲面加工	可能	曲面加工	可能 (特別な材料・資材は不要)
アンカーの有無	リベットアンカー	アンカーの有無	アンカーボルト
補強材の強度が、①工法よりやや劣るため、増厚分がやや厚くなる。		鉄筋コンクリート構造 (不とう性管) となるため、鋼板巻工法と比較すると、増厚が厚くなる傾向となる。(設計条件によって更生仕様は変更となる可能性がある。)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>覆工表面の多少の段差、凹凸も施工可能である。</li> <li>漏水や、覆工の損傷の下処理が必要である。</li> <li>コテ塗りによる作業が可能である。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>覆工表面の多少の段差、凹凸も施工可能である。</li> <li>曲線部の施工も容易に対応が可能である。</li> <li>施工時の騒音、振動が非常に少ない。</li> <li>漏水や、覆工の損傷の下処理が必要である。</li> </ul>	
同左		<ul style="list-style-type: none"> <li>施工材料は軽量で分割されているので人力の作業性は良い。</li> <li>施工時の特殊な施工設備は不要である。</li> </ul>	
同左		既設覆工と更生材は一体化する。	
同左		人力取付	
今回は、小断面 (3R=2700) の作業であるため、コテ塗りによる施工が有利。		補強材が軽量に分割されているため、施工性が良い。	
<ul style="list-style-type: none"> <li>水路用に開発されたモルタルであり、流水による耐磨耗性は高い。</li> <li>炭素繊維は腐食しにくく、鉄筋のように錆が発生しない。</li> <li>透水性があるため背面の水が表面に浸透する。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート構造であるため、鋼製リングには覆工内面に生じる引張応力を受け持たせ、曲げひび割れの開口を抑制する効果が期待でき、はく落防止の効果も期待できる。鉄筋コンクリート構造物であるため、品質が高く、維持修理費も抑制することができる。</li> </ul>	
水流による影響を考慮した工法であり、摩擦等の耐食性が高い。		<ul style="list-style-type: none"> <li>仕上内面が高密度ポリエチレン製であるため、被覆効果により内空間からの劣化を抑制できる。</li> <li>仕上内面が高密度ポリエチレン製であるため、耐磨耗性も有する。</li> </ul>	
2,897 千円		13,220 千円	
97 千円 / m		441 千円 / m	
43,886 円 / m <sup>2</sup>		73,444 円 / m <sup>2</sup>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>覆工コンクリートと一体化するため、覆工コンクリートの変状に対して、追随した変状が見られる。</li> <li>従来の工法による補修が可能である。</li> <li>重ねでの補強が可能である。</li> <li>再施工の場合、モルタル分は超高压水により除去可能。</li> </ul>		<ol style="list-style-type: none"> <li>既設隧道の劣化状況に応じて RC 断面での強度設計が可能。</li> <li>連続曲線部にも容易に対応が可能。</li> <li>あらゆる断面形状 (円形、矩形、馬蹄形等) に対応が可能。</li> <li>アーチ部、側壁部のみ補強する円形施工も対応が可能。</li> <li>施工後の内面は粗度係数が向上するため流下性能が向上する。</li> <li>仕上内面が高密度ポリエチレン製となるため、耐久性・耐磨耗性を有する。</li> <li>JWWA K-138 に適合する材料を保有しているため、水質的な問題がない。</li> </ol>	



表-4 採用補強工法一覧表 (2/2)

項目		検討工法			
		平成22年度以降			
		⑤鋼板全巻工法		⑥鋼製薄肉補強工法	
概念図					
補強対象	全面補強		アーチ部補強		
工法の概要	既設覆工形状に合わせて任意の形状に分割成形した鋼板を持ち込み、組み立て、溶接接合することで、全溶接構造の鋼製トンネルを構築する工法である。鋼板は既設覆工の強度は無いものとした自立構造となる。既設と新設の空隙部には外面防食と既設覆工からの荷重伝達の目的で、モルタルを充填する。		側壁からクラウン部の既設覆工形状に合わせて任意の形状に加工した補強板を嵌合継ぎ手による溶接レスで組み立てる工法である。鋼板は既設覆工の強度は無いものとした自立構造とし、底部両端に設けた受け梁に荷重を伝達させる。既設と新設の空隙部には外面防食と既設覆工からの荷重伝達の目的で、モルタルを充填する。		
他工法との相違点	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼板の板厚は、土圧、水圧等の既設覆工に作用する荷重をもとに決定する。</li> <li>老朽化した既設覆工の部分撤去などを行うことなく、鋼板を設置するので、施工中、地山の崩壊などの危険が無く、安全な施工ができる。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼板の板厚は、土圧、水圧等の既設覆工に作用する荷重をもとに決定する。</li> <li>老朽化した既設覆工の部分撤去などを行うことなく、鋼板を設置するので、施工中、地山の崩壊などの危険が無く、安全な施工ができる。</li> </ul>		
評価の観点	同左		<ul style="list-style-type: none"> <li>施工後の摩耗の度合いを計測して、各モルタルの耐久性を検証する。</li> <li>ひずみ計により、各補強部材としての効力を検証する</li> <li>工法の歩掛を調査し、施工性を検証する。</li> </ul>		
使用材料	構造部材	鋼板 t = 7mm 粗度係数 n = 0.012		構造部材	鋼板 t = 7mm 粗度係数 n = 0.012 (底板のぞく)
	充填材	モルタル 50mm		充填材	モルタル 50mm
	合計厚さ	約 60mm		合計厚さ	約 60mm
	曲面加工	可能		曲面加工	なし
	アンカーの有無	なし		アンカーの有無	アンカーボルト
			作用荷重に応じた必要厚みとすることができる		作用荷重に応じた必要厚みとすることができる
施工性	施工一般	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆工表面の多少の段差、凹凸も施工可能である。</li> <li>漏水や、覆工の損傷の下処理が必要である。</li> </ul>		同左	
	重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼板重量が重いので、施工性に劣る。</li> <li>溶接接合のため、現地接合箇所の塗装作業が必要</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼板重量が重いので、施工性に劣る。</li> <li>小片化すれば大型機械を使用する必要はない。</li> </ul>	
	固定方法	自立		自立	
	取付機械	機械取付		機械取付または人力施工も可	
	評価	鋼板であるため、強度に優れているが、重量、溶接、塗装等で施工性に劣る。		上記工法の欠点を改良した工法。鋼板を細かく分割して組立、溶接が必要でないため、施工性が向上している。	
耐久性・耐食性	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設覆工に作用する荷重、あるいは将来予想される荷重など任意の荷重条件に対する設計が可能で、強度面での機能回復ができる。</li> <li>鋼板の防食のため、定期的に塗装する必要がある。</li> </ul>		同左		
	昭和63年 信濃川左岸二期農業水利事業4号トンネル改修工事で採用以来96件の実績を有する		水路の実績が少なく、水流による影響データは少ない。		
直接工事費	30 m	18,808 千円		21,150 千円	
	m 当り	627 千円 / m		705 千円 / m	
	m <sup>2</sup> 当り	104,489 円 / m <sup>2</sup>		117,500 円 / m <sup>2</sup>	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設覆工の強度を期待しない、強度面での機能回復、補強ができる。</li> <li>作用する荷重に応じた最適設計が可能である強度面での機能回復ができる。</li> </ul>		同左		

⑦ SPR 工法		⑧高強度プレキャストコンクリート板ライニング工法	
			
アーチ部補強		アーチ部補強	
<p>既設管内に硬質塩化ビニル材をスパイラル状に嵌合しながら製管し、次に、既設管路と更生管（製管した管）の間隙に特殊裏込め材を充填して、既設管路と一体化した強固な複合管として更生する工法である。</p>		<p>既設覆工形状に合わせて任意の形状に分割成形した超高強度繊維補強コンクリートパネルを持ち込み、組み立てて構築する工法である。既設と新設の空隙部には外面防食と既設覆工からの荷重伝達の目的で、流動化モルタルを充填する。</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要な強度に応じて裏込め材の選定が可能である。(最大圧縮強度 55N/mm<sup>2</sup>)</li> <li>・更生材を機械製管により嵌合していくため、品質のパラツキが少なく安定した品質を確保できる。</li> <li>・仕上がり内面が硬質塩化ビニル樹脂製となるため、既設隧道と比較し、粗度係数が向上する。</li> <li>・通水しながらの施工ができる。(最大水深 60cm)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・流動化モルタルの設計基準強度は 21N/mm<sup>2</sup> という数値である。</li> <li>・施工法は特殊な施工設備もしくはは人力施工も出来る。</li> <li>・仕上内面が超高強度繊維コンクリート製となるため、既設隧道と比較し、粗度係数が向上する。</li> <li>・既設隧道の曲線部・段差部にも容易に対応が可能である。</li> </ul>	
同左		同左	
構造部材	硬質塩化ビニル樹脂 t = 21.5mm 粗度係数 n = 0.010 以下	被覆材	超高強度繊維補強コンクリート t = 25mm 粗度係数 n = 0.0103
充填材	モルタル アーチ部) t = 76.5mm, 底版部) t = 30.5mm	充填材	流動化モルタル (1:2) t = 50mm
合計厚さ	アーチ部) t = 98mm, 底版部) t = 52mm	合計厚さ	t = 75mm
曲面加工	可能 (特別な材料・資材は不要)	曲面加工	可能 (特別な材料・資材は不要)
アンカーの有無	なし	アンカーの有無	なし
<p>鉄筋コンクリート構造 (不とう性管) となるため、銅板巻工法と比較すると、増厚が厚くなる傾向となる。 (設計条件によって更生仕様は変更となる可能性がある。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通水しながら施工が可能である。</li> <li>・覆工表面の多少の段差、凹凸も施工可能である。</li> <li>・曲線部の施工も容易に対応が可能である。</li> <li>・施工時の騒音、振動が非常に小さい。</li> </ul>		<p>コンクリート構造物であるため、銅板巻工法と比較すると、増厚が厚くなる傾向となる。また、コンクリート板の柔軟性はほとんど無いため、施工には十分な管理が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工表面の多少の段差、凹凸も施工可能である。</li> <li>・漏水や、覆工の損傷の下処理が必要である。</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 60cm 程度の開口部や既設分水路を利用して機材や資材を搬入することができ、大型機械がなくても施工でき作業性が極めてよい。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量で分割されているので人力でも施工は可能。</li> <li>・取付など施工用の大型機械不要。</li> </ul>	
既設覆工と更生材は一体化する。		自立	
機械取付		機械取付も可能	
機械による自動施工であるため、流水があっても施工が可能。		コンクリートパネルは柔軟性が乏しいため施工性が劣る。	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋コンクリート構造であるため、スチール補強材には覆工内面に生じる引張応力を受け持たせ、曲げひび割れの開口を抑制する効果が期待でき、はく落防止の効果も期待できる。鉄筋コンクリート構造物であるため、品質が高く、維持修理費も抑制することができる。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼繊維は腐食しにくく、鉄筋のように錆が発生しない。</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・仕上内面が硬質塩化ビニル樹脂製であるため、被覆効果により内空側からの劣化を抑制できる。</li> <li>・仕上内面が硬質塩化ビニル樹脂製であるため、耐摩耗性も有する。</li> </ul>		水路の実績は少ないが、摩耗による耐食性 (補償値) は高い。	
13,432 千円		13,250 千円	
448 千円 /m		442 千円 /m	
74,622 円 /m <sup>2</sup>		73,667 円 /m <sup>2</sup>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 既設管きよの劣化状況に応じて RC 断面での強度設計が可能。</li> <li>2. 曲線部にも容易に対応が可能。</li> <li>3. あらゆる断面形状 (円形、矩形、馬蹄形等) に対応が可能。</li> <li>4. 施工後の内面は粗度係数が向上するため、流下性能が向上する。</li> <li>5. 仕上内面が硬質塩化ビニル製となるため、耐久性・耐摩耗性を有する。</li> <li>6. 通水しながら施工が可能である。</li> </ol>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工コンクリートと一体化するため、覆工コンクリートの変状に対して、追随した変状が見られる。</li> <li>・従来の工法による補修が可能である。</li> <li>・重ねての補強が可能である。</li> <li>・再施工の場合、モルタル分は超高压水により除去可能。</li> </ul>	

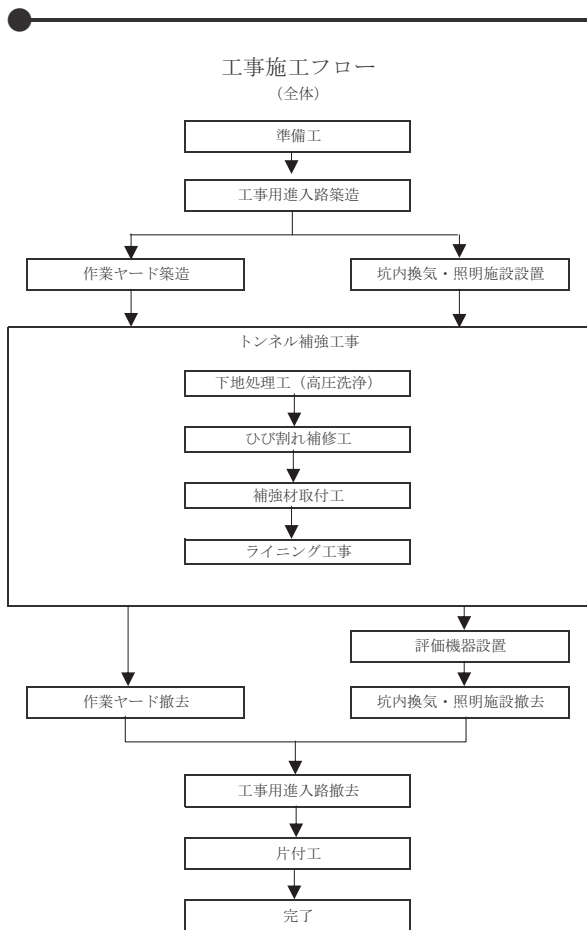


図-1 試験施工 工事フロー (共通)

- ・補修後の余寿命を含めた経済性 (ライフサイクルコスト)
- ・施工性 (施工日数, 現地との適合性)
- ・現場制約条件: 通水停止可能期間, 進入道路, 周辺環境 (住宅等), 資材の搬入, 工事用機械の進入

特に, 工期的な制約としては, 受益地 (畑) において冬期も用水需要があり, 過去の断水実績でも最大7日程度しかないことから, 関係者との調整により, 断水2箇月以内, 施工時期1月~2月の条件で了解を得た。これにより, 施工延長は2工種60mとすることとした。

また, 制度導入の初年度で設計と施工を同一年度を実施することから, 工場製作等に日時を要する工法は避け, 現場へ材料搬入のみで施工できる工法として「鉄筋補強内巻工法」「鋼繊維補強内巻工法」を実施した。

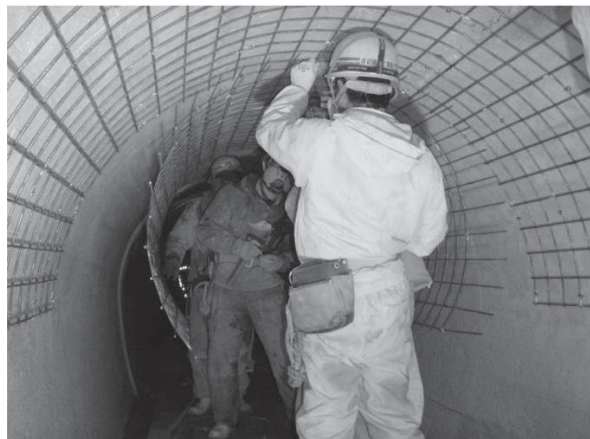


写真-1 鉄筋補強内巻工法 (施工状況1)



写真-2 鉄筋補強内巻工法 (施工状況2)

### (3) 補強工法の実施

平成20年度に施工した工法は, 以下のとおりである。

共通の工事フローを図-1に示す。

#### ① 鉄筋補強内巻工法

鉄筋による補強は橋梁, 橋脚の耐震補強等に使用されており, このノウハウをトンネル補強にも活用した工法。湿潤状態での施工が可能で覆工コンクリートと一体化が確実にできる。(写真-1, 2参照)

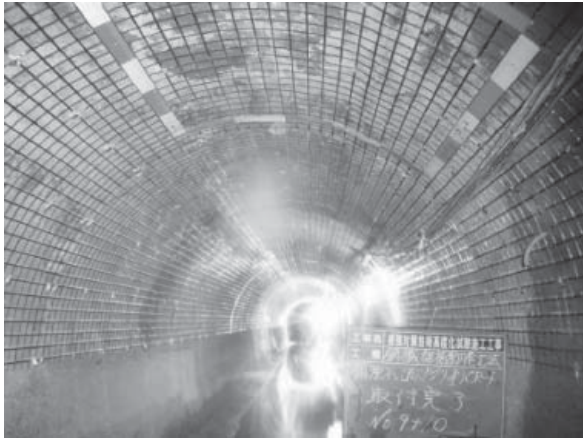


写真-3 FRP グリッド補強内巻工法  
(施工状況 1)



写真-4 FRP グリッド補強内巻工法  
(施工状況 2)

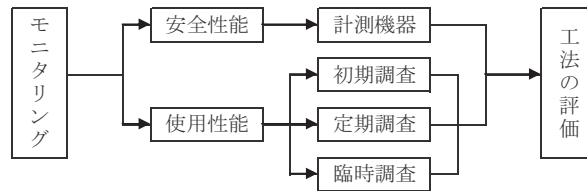


図-2 モニタリングのフローチャート

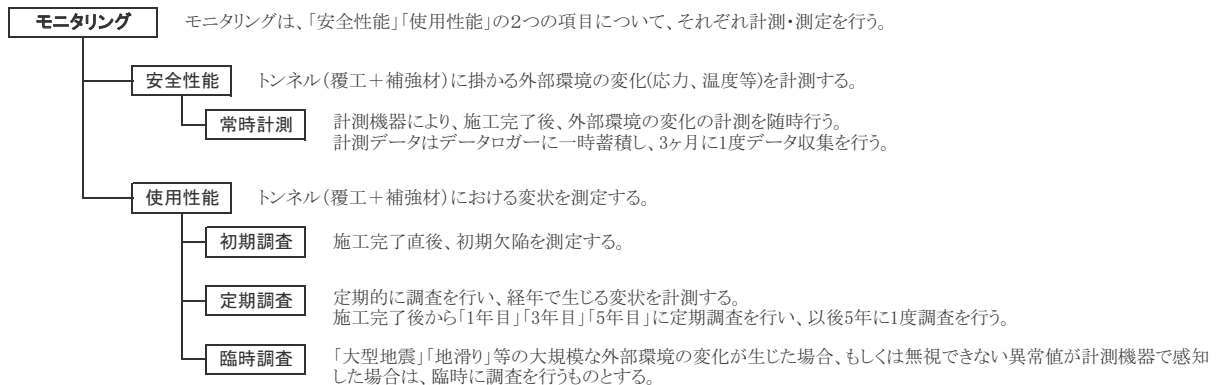


図-3 モニタリング計画

② FRP グリッド補強内巻工法

格子状の炭素繊維を補強材とし、付着力の高い特殊ポリマーセメントモルタル(サーブ15D)を吹き付け、覆工コンクリートと一体化させる工法。主に曲げ引張耐力の増加効果が期待できる。(写真-3, 4 参照)

補強対策を目的としたことから、評価項目として安全性能(力学性能)、使用性能(耐久性能)を計測して、総合的に判断して工法の評価を行うこととした。

5. 試験施工の評価とモニタリング計画

農業水利施設の性能評価項目として水理性能、安全性能、使用性能(水利用性能・耐久性能)環境性能と区分されるが、本試験施工においては、

(1) モニタリング方法

「安全性能」「使用性能」の2つの側面から評価を行うため、「安全性能」については、水路トンネル内に計測機器を設置して常時計測を行い、「使用性能」については、定期的に目視調査等を行う計画とした。(図-2, 3 参照)



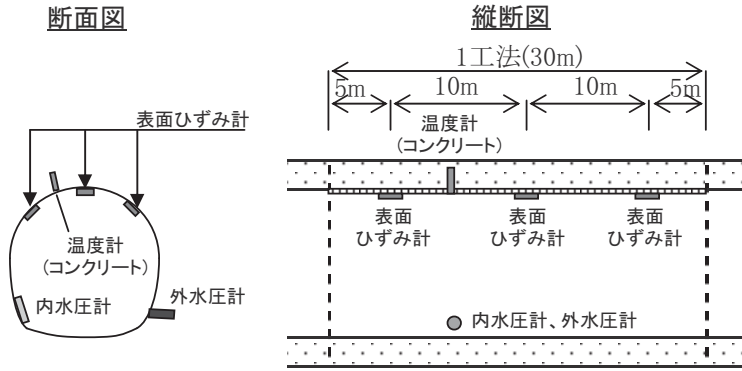


図-4 計測機器の設置計画

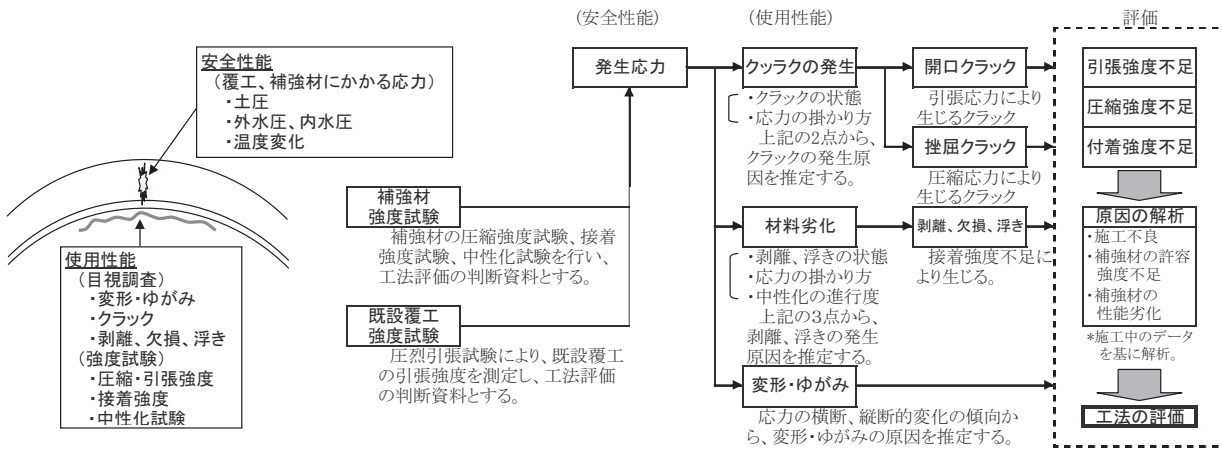


図-5 評価の基本スキーム

とを想定している。(図-5 参照)

### (2) 計器の設置計画

安全性能については、常時計測を主体にモニタリングする。工法毎に表面ひずみ、内水圧、外水圧、コンクリート内温度、トンネル内温度を測定するため計器を設置する。特に表面ひずみ計は、応力の変化の傾向を把握するため、縦断方向、横断方向に各3箇所設置することとした。

また、内水圧、外水圧、コンクリート温度は施工区間内で急激な変化が生じないと判断されることから、工法毎に1箇所設置することとする。(図-4 参照)

### (3) 評価方法

各工法の評価に至るまでには、相当の期間のデータの蓄積を要すると想定されるが、具体的には「覆工、補強材に掛かる応力」「変形・ゆがみ」「クラック、剥離等破損」の有無を基に評価を行うこ

### (4) モニタリングの現状

設置後6箇月が経過したが、各種計測機器のデータ分析には至っていない。定期的にデータロガーからデータを収集している。落雷にともない、一部観測器に部分的に欠測が発生しているが、年度末には周辺気象状況(雨量、落雷)等と併せて施工後1年間の計測データの分析を計画している。

## 6. おわりに

今後、さらに未施工の工法を計画的に実施していくとともに、モニタリング計画に則り、継続的に監視しついでいき、各種データを分析し各工法の安定性能及び耐久性能を評価していくことで、ストックマネジメント技術の向上に資することとしたい。