

農業水利施設の機能保全の手引き

「水路トンネル」

平成28年8月

目 次

第1章 水路トンネルの基本事項	1
1. 1 水路トンネルの特性を踏まえた検討	1
1. 1. 1 水路トンネルの構造	1
1. 2 水路トンネルの性能管理	11
1. 2. 1 水路トンネルの機能と性能	11
1. 2. 2 水路トンネルの性能に着目した管理	15
1. 2. 3 健全度指標	32
1. 3 施設の重要度評価	33
1. 4 リスク管理	35
1. 5 水路トンネルのストックマネジメントの流れ	38
第2章 日常管理	40
2. 1 日常管理	40
第3章 機能診断	42
3. 1 基本的事項	42
3. 2 事前調査（既存資料の収集整理等）	45
3. 3 現地踏査（巡回目視）	53
3. 4 劣化要因の推定	57
3. 5 現地調査（近接目視と計測）	62
3. 6 機能診断評価の視点	73
3. 7 施設の健全度評価	81
第4章 機能保全計画	86
4. 1 機能保全計画の策定プロセス	86
4. 2 対象施設のグルーピング	89
4. 3 劣化予測	91
4. 4 機能保全計画の策定	96
4. 4. 1 機能保全計画の作成	96
4. 4. 2 対策工法選定に当たっての留意事項	97
4. 4. 3 経済性による対策の検討	100
4. 4. 4 施設監視	103
4. 4. 5 情報の保存・蓄積・活用	111
4. 4. 6 関係機関による情報共有	111
用語の定義	112
参考文献	118

第 1 章 水路トンネルの基本事項

1. 1 水路トンネルの特性を踏まえた検討

水路トンネルの効率的な機能保全に向け、ストックマネジメントの各プロセスにおいて、水路トンネルの特性を十分に踏まえた検討を行うことが重要である。

【解説】

- ・ 水路トンネルは、水理特性、地山の地質特性、断面形、覆工形式や施工法等により複数のタイプに分類され、その分類ごとの特性に留意する必要がある。
- ・ また、水路トンネルの構造性能の低下は、コンクリートライニング（以下「コンクリート覆工」という）や鉄筋などの材料の劣化によるもの、地山からの外力によるコンクリート覆工や継目の変状によるものがあり、その要因ごとの特徴的な変状がある。
- ・ このため、水路トンネルの効率的な機能保全のためには、ストックマネジメントの各プロセスにおいて、水路トンネルの特性を十分に踏まえた検討を行うことが重要である。

特に、水路トンネル本坑のコンクリート覆工は、その多くが無筋コンクリート覆工であり、その場合、無筋コンクリートならではの特徴的なひび割れ等の変状に着目した調査手法等について検討することが重要である。また、変状の原因を特定するために、覆工背面空洞の有無、覆工の設計厚と出来形厚の差異等について十分に確認し対策を行うことが必要である。

1. 1. 1 水路トンネルの構造

水路トンネルは、水路の一部を構成し、農業用排水を安定的に所定の区域に送排水するために、開水路による送排水が困難な山地や起伏の大きい路線に設置されるものであり、トンネル本坑と坑口で構成される。

水路トンネルは、水理特性から無圧トンネルと圧力トンネルに、地山の地質区分から岩トンネルと土砂トンネルに分類され、この分類等により断面形や覆工形式、施工法が異なることに留意する必要がある。

トンネルの断面形は、水理的、経済的及び施工的要素から、円形、馬てい形、ほろ形の 3 タイプに分類され、各断面形ごとに水理特性や構造特性が異なることに留意する必要がある。

さらに、覆工形式や施工法による分類があり、各工法の特徴を把握することが重要である。

【解説】

- ・ 水路トンネルは、水理特性から無圧トンネルと圧力トンネルに、地山の地質区分から岩トンネルと土砂トンネルに分類され、この分類によりトンネル本坑の覆工形式が異なることに留意する。

さらに、覆工形式、支保工の構造については土かぶり、地山内部の応力バランスの状況に応じて使い分けられる。一般的に、十分な土かぶりが確保されており、地山内部の応力のバランスが取れている場所では、素掘り、モルタル・コンクリート吹付け、無筋コンクリート覆工が、土かぶりが不十分で地山内部の応力のバランスが取れない場所では鉄筋コンクリート覆工が採用されており、また、同様に支保工の構造も地山内部応力のバランスの状況に応じて使い分けられている。

- ・ また、トンネルの断面形は、水理的、経済的及び施工的要素から適切な断面形が選定されており、各断面形ごとに水理的・構造的な特徴がある。
- ・ 施工法には、矢板工法、吹付け・ロックボルト工法（New Austrian Tunneling Method 以下「NATM」という）、シールド工法や開削トンネル工法等があり、それぞれの設計思想が異なることに留意する必要がある。また、矢板工法の場合、施工上の特徴から覆工背面に空洞が生じやすいといったことに留意する必要がある。
- ・ 表1-1 に水路トンネルの分類を示す。
- ・ なお、本手引きにおいては、農業用排水を送水する目的で建設された水路トンネルを対象とし、ダム仮排水路トンネルについては対象としない。施工法では山岳工法によるトンネルを主に対象とする。また、トンネル本坑を主に取り扱い、坑口については補足的に触れる。なお、本手引きにおける坑口とは、開水路等他の工種との接続部において、地山の重量等上載荷重を受ける暗渠として設計された鉄筋コンクリート構造物とし、本坑とはトンネル工法による構造物とする。覆工形式ではコンクリート覆工形式を主に取り扱い、その他の形式については補足的に触れることとする。

表 1-1 水路トンネルの分類

	分類
水 理 特 性	無圧トンネル
	圧力トンネル
地山の地質 区 分	岩トンネル
	土砂トンネル
断 面 形	円形
	馬てい形
	ほろ形
覆 工 形 式	無筋コンクリート覆工形式（支保工有・無）
	鉄筋コンクリート覆工形式（支保工有）
	モルタル・コンクリート吹付け形式
	素掘り形式
	内張管形式
施 工 法	矢板工法
	吹付、ロックボルト工法

（１）水理特性のよる分類

１）無圧トンネル

- ・ 計画流量が自由水面をもって流れ、内水圧が作用しないトンネルである。

２）圧力トンネル

- ・ 計画流量が満流となり、内水圧が作用するトンネルである。
圧力トンネルは、コンクリート覆工形式と内張管形式に区分される。

（２）地山の地質区分による分類

１）岩トンネル

- ・ 比較的風化の進んでいない岩盤や、固結度の高い軟岩等からなる地山に構築されるトンネルで、覆工形式としては、素掘り、モルタル・コンクリート吹付け、無筋コンクリート覆工（支保工無）が採用される場合が多い。

２）土砂トンネル

- ・ 未固結の土層や固結度の低い軟岩等からなる地山に構築されるトンネルで、覆工形式としては、無筋コンクリート覆工（支保工有）、鉄筋コンクリート覆工（支保工有）が採用される場合が多い。

（３）トンネルの断面形による分類

- ・ 円形や馬てい形及びほろ形といったトンネルの断面形の違いによる構造特性を把握することは、機能診断調査の実施や対策工法の選定において重要な要素となる。

各断面形ごとの構造特性を把握することで、ひび割れ等の変状が外力によるものだけでなく、背面空洞や覆工巻厚不足等の要因が複合して発生しているのではないかとといった劣化要因の推定を比較的容易に行うことができ、これらに対応した機能診断調査や対策工を実施することが重要となる。

これらのことから、トンネルの断面形に留意することが重要となる。

- ・ 以下にトンネルの断面形ごとの特徴等について示す。また、図1-1 に内空断面形状図を示す。

1) 円形

- ・ 圧力トンネルの場合、内空断面形状は原則として円形が選定されるほか、シールド工法等の機械施工による場合は円形が選定される。
- ・ 円形断面は圧力の方向、大きさが変化しても（偏圧が作用する場合も含む）、同じ強さで抵抗できるほか、円形断面に作用する外力は、鉛直方向と水平方向に作用する力がほぼ同じならば大部分軸方向として作用し、大きな曲げモーメント及びせん断力を生じないといった特徴がある。
- ・ 円形は等圧分布を前提として設計されており、何らかの変状が発生している場合は、地圧等の外力による変状の要因を推定する際に、地山状態の変化に伴う背面空洞の有無や覆工巻厚不足の有無等を確認することが重要であり、背面空洞や覆工巻厚不足がある場合は、これらに対応した対策を実施する必要がある。
- ・ 一般に、大きな静水圧又は静水圧的性質をもつ地圧（膨張性地圧等）が作用する場合の内空断面は、円形又はこれに近い馬てい形が採用される。
- ・ なお、シールド工法により施工されたトンネルでは、施工直後に空洞が生じることは少ない。

2) 馬てい形

- ・ トンネルの内空断面の直径がおおよそ2.0 m 以上の無圧トンネルでは、馬てい形断面が選定される場合が多く、水路トンネルの多くは標準馬てい形である。
- ・ 馬てい形は円形と同じように等圧分布を前提として設計されており、何らかの変状が発生している場合は、地圧等の外力による変状の要因を推定する際に、背面空洞の有無や覆工巻厚不足の有無等を確認することが重要であり、背面空洞や覆工巻厚不足がある場合は、これらに対応した対策を実施する必要がある。
- ・ また、馬てい形断面は円形断面と比較して、ずり出しやコンクリート運搬等の作業を比較的容易に行えるといった特徴がある。
- ・ なお、圧力トンネルにおいても、内水圧が 0.1MPa (N/mm²) 未満の場合は、構造上の検討を行った上で馬てい形断面が選定される場合がある。

3) ほろ形

- トンネルの内空断面の直径がおおよそ2.0m未満の無圧トンネルでは、ほろ形断面が選定される場合が多い。ほろ形の場合、側壁部が直壁であるため構造的な弱点となりやすいので、構造的な不安定性に対しては、覆工を補強する対策（接着工法、全面・部分打換え工法）等を検討する必要がある。

側壁が垂直でインバートが平らなこの形状は、他の断面形と比較して、一般に施工が容易であるといった特徴がある。一方、側壁が直壁であるため構造的な弱点となる場合があり、一般に側圧が大きく作用するおそれのある地山には望ましくない。

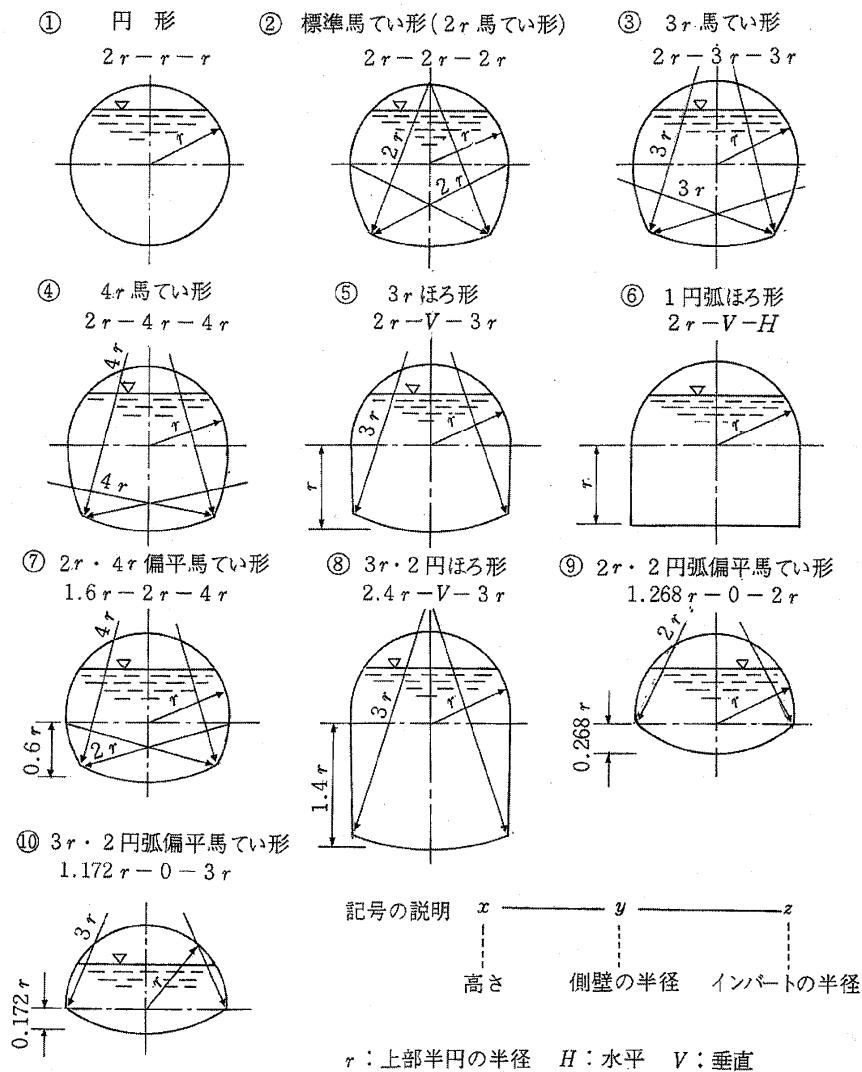


図 1-1 水路トンネル内空断面形状図

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」（平成 26 年 3 月），P. 174

(4) 覆工形式による分類

1) トンネル本坑

ア. 無筋コンクリート覆工形式（支保工有・無）

- ・ 無筋コンクリート覆工形式は、土かぶりが小さい等地山が安定していない部分を除き、通常、トンネル本体で採用されるケースが多い。

イ. 鉄筋コンクリート覆工形式（支保工有）

- ・ 鉄筋コンクリート覆工形式は、土砂トンネル等において、地山が安定していない場合に採用されているケースが多い。

ウ. モルタル・コンクリート吹付け形式

- ・ モルタル・コンクリート吹付け形式は、無圧トンネルや岩トンネルにおいて、地山が比較的安定している場合に採用されているケースが多い。

エ. 素掘り形式

- ・ 素掘り形式は、岩トンネルにおいて、地山が安定している場合に採用される。

オ. 内張管形式

- ・ 内張管形式は、圧力トンネルにおいて、地山が安定していない場合や内水圧が大きい場合に採用されているケースが多い。

2) 坑口

- ・ 坑口は鉄筋コンクリート構造物であり、開水路等他の工種との接続部において、地山の重量等上載荷重を受ける暗渠として設計されている。

(5) 施工法による分類

- ・ 水路トンネルの主な施工法には、矢板工法と合理的なトンネルの施工法である吹付、ロックボルト工法 がある。

1) 矢板工法

- ・ 鋼製アーチ支保工と木矢板等を主たる支保材とした剛構造支保工によって地山の荷重を支持してトンネルの安定を図る、という概念に基づく工法である。図1-2 に標準断面図を示す。

また、この工法の場合、施工上の特徴から覆工背面に空洞が生じやすいといった特徴がある。

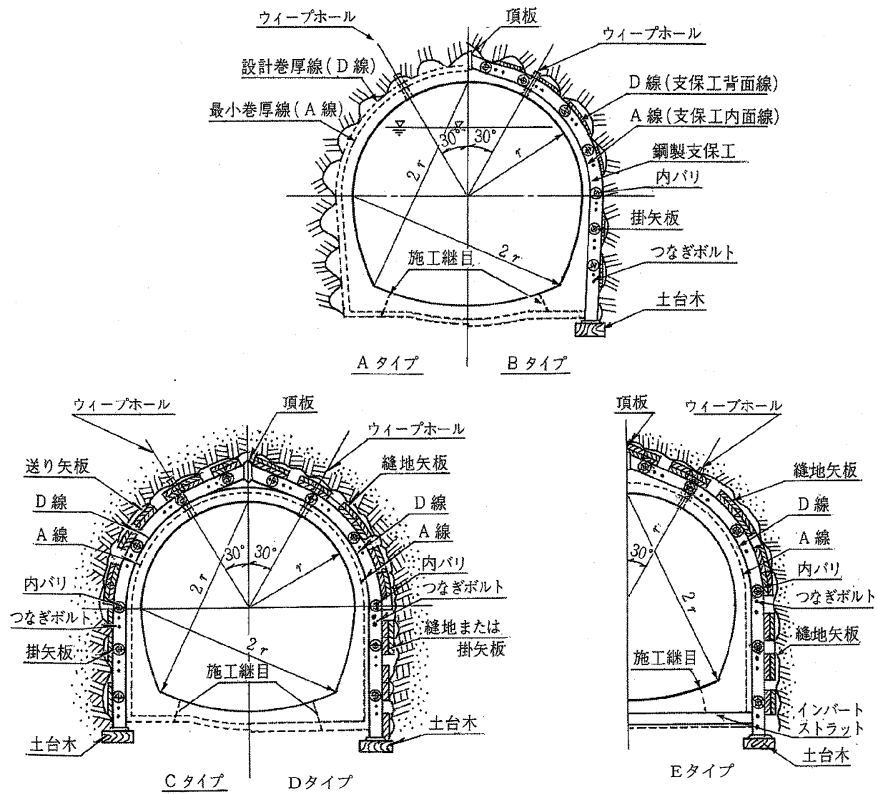


図 1-2 矢板工法標準断面図（標準馬てい形の場合）

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」（平成 26 年 3 月），P. 35

2) 吹付、ロックボルト工法

- 地山が持つ固有の強度を積極的に利用し、地山自体の支保力によってトンネルの安定を図るという概念に基づき、地山に密着した吹付けコンクリートとロックボルト及び鋼製支保工を機能的に組み合わせ柔構造支保工を掘削直後に構築して、トンネル周辺破壊域を早期に抑制する工法である。

図1-3 に標準断面図を示す。

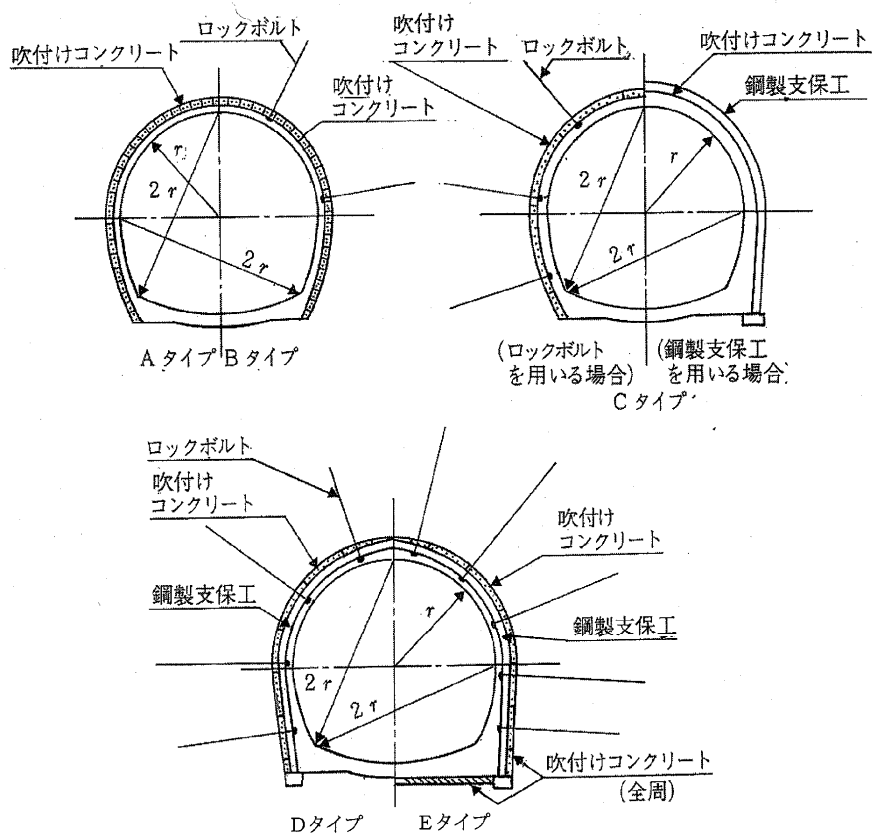


図 1-3 吹付、ロックボルト工法標準断面図（標準馬てい形の場合）

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」（平成 26 年 3 月），P. 37

【参考】

「設計基準」では、地質状況、ライニングの有無及び材質、支保工の有無及びその型式、種類等によってトンネルタイプがA～E に分類される。トンネルタイプの分類を表1-2 に、トンネルタイプ判定基準を表1-3 に示す。

表 1-2 トンネルタイプの分類

トンネル タイプ		地 質 状 況		矢板工法による場合		吹付け・ロックボルト工法による場合					
				支保工	ライニング	吹付け厚 (cm)	ロックボ ルト長さ (cm)	ロックボルト間隔		鋼製支保工 建込間隔 (m)	ライニング
A		亀裂の少ない新鮮な岩		無支保又はロ ックボルト	無筋コンク リート又は 吹付けコン クリート	0又は5	-	-	-	-	無筋コンク リート又は 吹付けコン クリート
B	B1	亀裂のあるやや風化した岩、又は 軟岩		鋼製支保工 (アーチ、側 壁とも掛矢 板)	無筋コンク リート	5	0.4 D_e	1.5	2.0	-	無筋コンク リート
	B2					10			1.5		
C		風化岩、破砕帯、硬土		鋼製支保工 (アーチ： 送り矢板 側壁：掛矢 板)	無筋コンク リート	10	0.5 D_e	1.2～ 1.0	1.2	1.2 (H-100 程度)	無筋コンク リート
D	D1	著しい風 化岩、断 層破砕 帯、軟質 土砂等	切羽が自立する地山	鋼製支保工 (アーチ： 送り矢板、 側壁：掛矢 板及び継地 矢板)	無筋コンク リート	15	0.6 D_e	1.0以下	1.0	1.0	無筋コンク リート
	D2			鉄筋コンク リート	鉄筋コンク リート						
E				切羽が自立しないため に鎮止めが必要となっ たり、支保工が沈下し たり、押出しがあるよ うな地山	鉄筋コンク リート	鉄筋コンク リート			20		

※注意書きは省略

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」（平成26年3月），P.29

表 1-3 トンネルタイプ判定基準

タイプ	地 質 状 態			弾性波速度 (km/s)	見かけの地山 強度比 F_c'	岩盤等級 (参考)
A	亀裂の少ない 新鮮な岩	亀裂状態	α ：マッシュプなもののから、かなり多いものまでの範囲 β ：少ないものから多少ある程度のものまで γ ：ほとんどない	α 群：4.5以上 β 群：4.0以上 γ 群：3.0以上	10以上	A, B
		岩石試料 圧縮強度	α ：120MN/m ² 以上 β ：80MN/m ² 以上 γ ：50 MN/m ² 以上			
		地山ポー ソン比	0.16～0.23			
		地 圧	作用しない			
B	亀裂のあるや や風化した岩 又は軟岩	亀裂及び 破砕状況	α ：亀裂多く所々小断層をはさみ、場所によっては破砕質帯 β ：亀裂多く所々小断層をはさむ γ ：亀裂が多少ある軟岩 δ ：軟岩	α 群：3.0～4.5 β 群：2.5～4.0 γ 群：2.0～3.0 δ 群：2.0以上	6～10	C_B, C_M
		岩石試料 圧縮強度	α ：60～120 MN/m ² β ：40～100 MN/m ² γ ：20～50 MN/m ² δ ：5～20 MN/m ²			
		地山ポー ソン比	0.18～0.35			
		地 圧	一般には作用しないが、破砕質や湧水で作用することあ り			
C	風化岩、破砕 帯、硬土	亀裂、破砕、 軟質状況	α ：破砕帯 β ：破砕帯もしくは、亀裂や小断層が多い γ ：亀裂が多く破砕帯又は軟岩 δ ：軟岩又は固結度の悪いもの（よく締まった硬土砂も 含む） 一般に切羽全面又は一部が崩壊してくるような場合に 適用する	α 群：1.8～3.0 β 群：1.5～2.5 γ 群：1.0～2.0 δ 群：0.8～2.0	2～6	C_W, C_L
		岩石試料 圧縮強度	5 MN/m ² 以下			
		地 圧	作用する			
D, E	著しい風化 岩、断層破砕 帯、軟質土砂	亀裂、破砕、 軟質状況	$\alpha \cdot \beta$ ：破砕帯及び湧水区間 γ ：破砕帯又は軟質岩で固結度が低い δ ：破砕帯又は固結度が非常に悪い 一般に未固結の堆積土等で、切羽全面が湧水により自立 せずに流動化するような場合や、湧水が著しく多い破砕 帯に適用する	α 群：1.8以下 β 群：1.5以下 γ 群：1.0以下 δ 群：0.8以下	2.0以下	C_D, D
		岩石試料 圧縮強度	5 MN/m ² 以下			
		地 圧	作用する			

※注意書きは省略

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」（平成26年3月），P.33

断面形ごとの応力のかかり方に関する資料を以下のとおり示す。

[参 考] 地山が硬岩盤で無支保断面の場合、その形状は任意のものでよいと考えられがちであるが、弾性理論や光弾性実験の結果から次のようなことがいえる (p_2 , p_3 については、表-3.5.1 参照)。

- ① 圧縮応力の最大値は、円形や長円形断面の場合は側壁の中央に現れるが、断面形に角がある場合はその付近に現れ、側壁にもかなり大きな圧縮応力が生ずる。圧縮応力の最大値は断面の形によって異なるが、表-3.5.1 に示した断面形で、C 点のような側壁と底盤の接合部では p_3 の 3~5 倍となることもある。
- ② p_3 が垂直で p_2 の絶対値が 0 から増加するにつれて天井や床の引張応力の現れる範囲が狭くなり、最大値が減少し、やがて引張応力は消滅し、どこにも圧縮応力が生ずるようになる。断面の角に現れる圧縮応力は p_3 の絶対値の増加とともに増加する。断面形の角がとがっているとそこに非常に大きい応力が集中し、丸味がついていると応力集中度は低下する。
- ③ p_3 が垂直か垂直に近い場合、断面形の幅より高さが高いほど応力集中度は低い。しかし、地山の主応力の方向がわからなかったり、垂直に近い主応力と水平に近い主応力のどちらが大きいかわからない場合、幅と高さがほぼ等しい断面形が望ましい。

表-3.5.1 トンネル壁面上の各点における応力比 σ_t/p_3

トンネル掘削前の 水平方向の主応力 (p_2)	トンネル掘削後の応力比 (σ_t/p_3)		トンネル断面形状
	A	B	
$p_2 = p_3$ の場合	2.0	2.0	
$p_2 = \frac{p_3}{2}$	0.5	2.5	
$p_2 = \frac{p_3}{3}$	0.0	2.7	
$p_2 = 0$	-1.0	3.0	
$p_2 = p_3$	2.2	1.3	
$p_2 = \frac{p_3}{2}$	0.6	1.8	
$p_2 = \frac{p_3}{3}$	0.1	1.9	
$p_2 = 0$	-1.0	2.2	
$p_2 = p_3$	1.1	1.1	
$p_2 = \frac{p_3}{2}$	0.1	1.6	
$p_2 = \frac{p_3}{3}$	-0.3	1.8	
$p_2 = 0$	-0.1	2.1	
$p_2 = p_3$	1.8	0.7	
$p_2 = \frac{p_3}{2}$	0.4	1.2	
$p_2 = \frac{p_3}{3}$	-0.1	1.3	
$p_2 = 0$	-1.0	1.7	
$p_2 = p_3$	0.7	1.8	
$p_2 = \frac{p_3}{2}$	-0.2	2.3	
$p_2 = \frac{p_3}{3}$	-0.4	2.4	
$p_2 = 0$	-1.0	2.8	

注 1) 本表は円形トンネルの場合以外は、岩の力学国内シンポジウム 1964 講演集「地下空洞周辺の岩盤内応力について」平松良雄外 3, によった。

- 2) p_2 …トンネル掘削前の水平方向の地山主応力
 p_3 …トンネル掘削前の鉛直方向の地山主応力
 σ_t …壁面の各点における接線方向の主応力
 応力比中マイナスは引張応力を示す。

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」(平成 26 年 3 月), P. 175

1. 2 水路トンネルの性能管理

1. 2. 1 水路トンネルの機能と性能

水路トンネルは、農業用排水を送水する目的を果たす機能を有し、これらの機能は水利用機能、水理機能、構造機能等に分類される。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・信頼性等といった社会的機能がある。

水路トンネルの性能は、これらの機能を発揮する能力であり、ひび割れ幅、変形などといった複数の性能指標で表すことができる。

【解説】

- 水路トンネルは、農業用排水を送水する目的を果たす機能を有し、その目的を果たすための機能は水利用機能、水理機能、構造機能等に分類される。農業水利施設の目的は、水利用機能の発揮であり、水理機能、構造機能は、水利用機能の発揮を支える関係にある。また、これらの機能のほかに自然災害や事故等におけるリスクなどに対する安全性・信頼性や経済性、環境性等といった社会的機能がある（図 1-4）。これらの機能を発揮する能力が性能であり、指標として具体的な数値等で表すことができる。

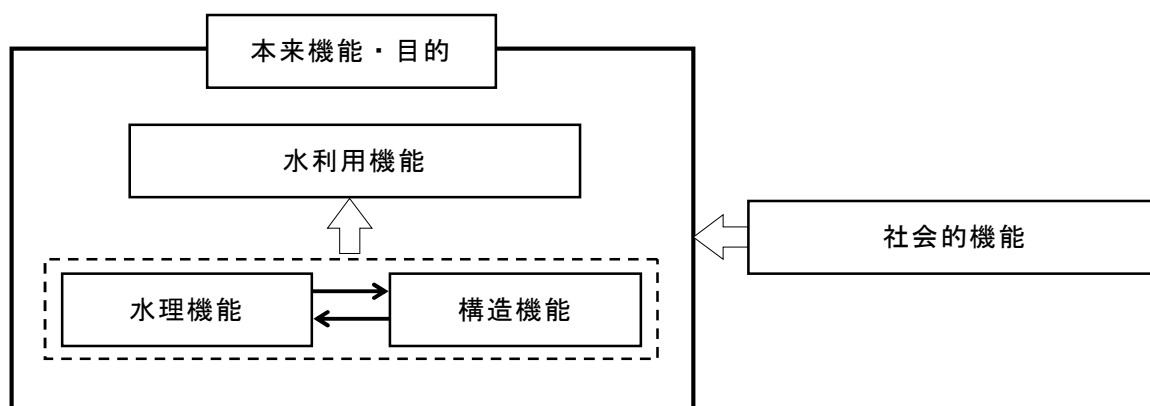


図 1-4 基本的機能のイメージ

- 本来的な機能に関する性能は、ひび割れ幅、変形等の物理的状態を指標として具体的に表すことができる。社会的機能に関する性能項目には、事故の発生による人的被害や周辺施設への社会的影響から、破損事故履歴、補修履歴等を指標とする安全性・信頼性、維持管理経費、補修費等を指標とする経済性及び景観、親水性等を指標とする環境性がある。

- ・ 水路トンネルの機能と性能及び指標の例を表1-4に示す。

表 1-4 水路トンネルの機能と性能及び指標の例

機 能		性 能 の 例		指 標 の 例
本 来 的 機 能	1) 水利用機能	水利用に対する性能 (水利用性能)	保守管理・保全性	保守管理頻度(費用)、容易性(補修等の難易度、用水の止水性及び排水性)、維持管理の安全性(酸素濃度、有毒ガス等)
	2) 水理機能	水理に対する性能 (水理性能)	通水性	通水量、漏水量、粗度係数、トンネルインバートの勾配、水位、水面動揺、掃流力(堆積物の流送)
	3) 構造機能	構造に対する性能 (構造性能)	力学的安全性 耐久性 安定性	ひび割れ幅、変形量、断面破壊に対する安全性、継目の開き、段差、摩耗量、鉄筋腐食量、湧水、地圧の有無、覆工背面の空洞の有無、地山の地すべり・陥没、地山の風化度
社会的機能			安全性・信頼性 経済性 環境性	漏水・破損・地表面陥没事故履歴(率・件数)、補修履歴、耐震性、建設費、維持管理経費、補修費、歴史・文化的価値、動物の生息場

【参考】水路システムの機能

「農業水利のための水路システム工学－送配水システムの水理と水利用機能－」(中達雄、樽谷啓之)では、水路システムの機能について以下のとおり整理されている。

○水路システムの基本的要求機能として、用水の供給機能すなわち水利用機能がその施設の本来的な固有の機能に位置付けられる。階層的には、これが上位機能になり、この機能を実現する下位の機能として水理機能と構造機能が構造化されている。

○近年では、環境性に対する社会的価値が増大し、この機能・性能の位置付けの議論も重要である。このため、施設の周辺に対する狭義の環境性を水利用機能に位置付け、一方、システム全体が発揮し、その影響が広域に及び洪水緩和や地下水涵養などの広義の環境性である多面的機能は、社会的機能に位置付けられている。

○水利用機能を実現する基盤的機能としてシステムを構成している各水利構造物に対して水理機能と構造機能が求められる。この本来機能のほかに全ての人工物には、社会的に経済性と安全性・信頼性が要求され、近年では環境性が重要視される。

表 1-5 水路システム（用水）の機能の記述案

区分	具体的記述案	内容
目的	管理者が水源から目的地まで、所定の水量と水頭を維持して、用水を送水・配水することにより、水源から離れた所に位置する圃場、分水口又は、使用者に必要な用水を適時供給する。（本来機能：水利用）	構造物に要求される性能内のある特定のもの（例えば構造機能）についての社会的最終目標を、一般的な言葉で表現したもの。
機能規定	(1) 水利用機能 水源から分水口又は、圃場まで適時、適量の用水を無効放流することなく効率的、公平かつ均等に送水・配水する。（狭義の環境性を含む） (2) 水理機能 用水を安全に流送、配分、貯留する。 (3) 構造機能 (1)、(2)の機能を実体化するための水利構造物の形態を保持する。 (4) 社会的機能 ①安全性・信頼性 定められた期間中に一定条件の使用環境のもとで、その機能を正常に果たす。 ②広義の環境性（多面的機能等） ③経済性	目的が満たされるために構造物が供給する機能を一般的な用語で説明する。

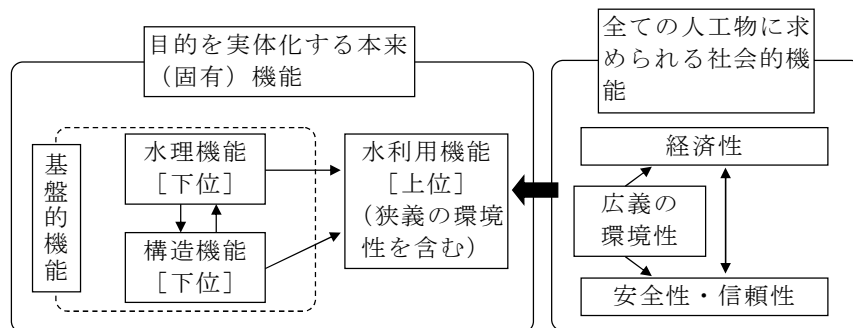


図 1-5 水路システム（用水）の基本的機能の構造化案

出典：農業水利のための水路システム工学-送配水システムの水理と水利用機能-中達雄、樽屋啓之
（平成 27 年 8 月 20 日），P. 36, 37 に加筆

【参考】水利用機能、水理機能の診断について

ストックマネジメントにおいては、主に構造性能に関わる性能指標を総合した健全度指標により施設の劣化状態を定性的に管理するという手法が用いられているが、水利用性能・水理性能の状況に留意することが重要であり、機能診断等を実施するプロセスの中で、水利用性能・水理性能についても併せて確認していくことが望ましい。

水利システムの水利用性能、水理性能の診断は、構造性能の機能診断手順と大きく変わることなく実施でき、①資料収集や施設管理者からの聴き取りによる事前調査、②巡回目視により概況の把握を行う現地踏査、③近接目視、計測、試験等により定量的な調査を行う現地調査、の3段階で実施することが基本となる（図 1-6）。ただし、機能診断の実施時期については、水利用性能・水理性能の調査・機能診断は主に通水時に実施する一方、構造性能の調査・機能診断は主に断水時に実施することになる。

なお、水利用性能・水理性能の確認を行う場合は、個々の施設の性能だけでなく、水利システム全体として捉えつつ、通常健全度評価のプロセスと併せて進めていく必要がある。その上で、水利用性能・水理性能の調査結果より水理設計を見直し、施設の構造的な対策工法の検討等に反映させる。

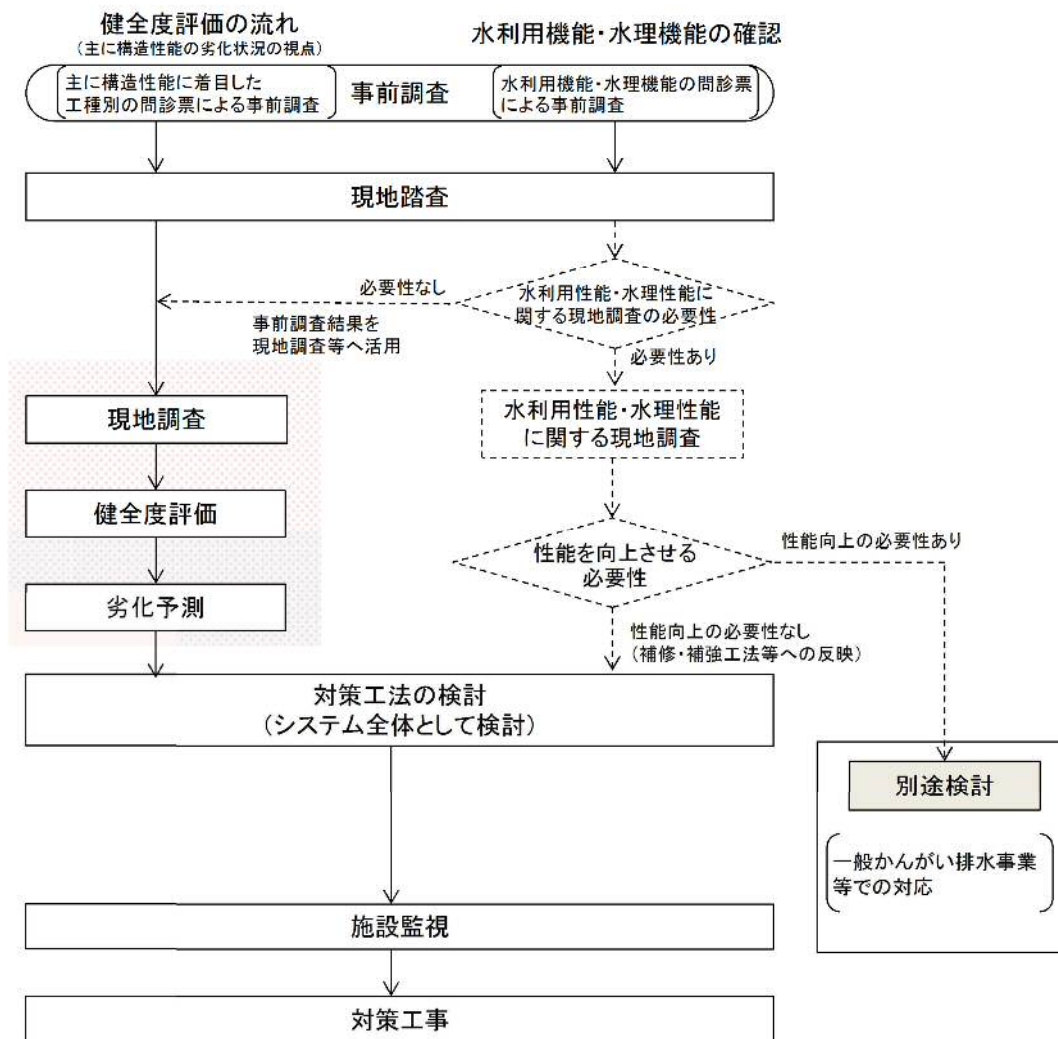


図 1-6 水利用機能・水理機能の確認フローの例

1. 2. 2 水路トンネルの性能に着目した管理

水路トンネルの性能管理は、トンネル形式ごとに着目した性能について、要求が満たされるよう管理していくことが求められる。

また、性能管理の指標は可能な限り定量的な個別の指標を用いることとする。

この際、個々の施設に応じた重要度や許容し得るリスク等を勘案して、性能低下を許容できる性能水準（管理水準）を設定する必要がある。

【解説】

（１）水路トンネルの性能管理

１）水路トンネルの性能管理

- ・ 水路トンネルは、地山や地下水条件等によりトンネル形式が異なるという特性を持っている。地山の特性が水路トンネルの構造機能に及ぼす影響は大きく、地圧がどのように作用しているのかを把握することが重要である。一方、将来の地圧の影響の予測は困難であるが、性能管理に当たっては、調査時の覆工のひび割れの発生状況と地圧等の外部条件を評価した上で、その関連性から地圧による変状進行の可能性を考慮して行う。
- ・ 水路トンネルの変状は、地山や地下水条件、支保工の有無、支保工間隔等に応じ、覆工の変状として現れる場合が多いので、覆工のひび割れや変形などに着目した性能管理を行う。
- ・ また、建設当時と現在の設計思想の相違等から、暗渠として設計されるべきものがトンネルとして設計されたために、ひび割れ等の変状が生じている場合があるので留意する必要がある。このような場合においては、現地の実態に応じた適切な対策を検討する必要がある。
- ・ 発生する変状は覆工形式ごとに特徴的であるため、以下に覆工形式ごとに着目すべき点について示す。なお、坑口は暗渠構造であることを踏まえた性能管理を行う必要がある。

ア. トンネル本坑

ア）無筋コンクリート覆工形式（支保工有・無）

- ・ 無筋コンクリート覆工形式は、土かぶりが小さい等地山が安定していない部分を除き、通常、トンネル本体で採用されるケースが多く、地圧（塑性圧、緩み圧、偏圧）によるひび割れや変形といった外形的な構造状態に着目した性能管理を行うことを基本とする。
- ・ なお、圧力トンネルの場合では、内水圧によりひび割れや変形を生じる場合

があることに留意する必要がある。

イ) 鉄筋コンクリート覆工形式（支保工有）

- ・ 鉄筋コンクリート覆工形式は、地山が安定していない場合に採用されているケースが多く、その構造機能の低下は、地圧の影響に大きく左右される。このため、地圧（塑性圧、緩み圧、偏圧）によるひび割れや変形といった外形的な構造状態に着目した性能管理を行うことを基本とする。
- ・ なお、圧力トンネルの場合では、内水圧によりひび割れや変形を生じる場合があることに留意する必要がある。

ウ) モルタル・コンクリート吹付け形式

- ・ モルタル・コンクリート吹付け形式は、無圧トンネルや岩トンネルにおいて、地山が比較的安定している場合に採用され、地圧による影響を受けるケースが比較的少ないため、モルタル・コンクリート自体の材料劣化によるひび割れや剥離・剥落といった外形的な構造状態に着目するとともに、摩耗・風化による粗度係数の増大に伴う通水量の低下など水理機能に着目した性能管理を行うことを基本とする。

エ) 素掘り形式

- ・ 素掘り形式は、岩トンネルにおいて、地山が安定した状態にある場合に採用される工法である。

素掘りの性能管理は、地山の風化度合いによる肌落ちや小規模な崩落といった構造的安全性に着目するとともに、肌落ちや崩落による通水断面の不足に伴う通水性能の低下など、水理機能に着目した性能管理を行うことを基本とする。

オ) 内張管形式

- ・ 圧力トンネルの内張管形式のトンネルにおいては、内張管の摩耗や塗装の状態、又は腐食の度合いなどに着目した性能管理を行うことを基本とする。

イ. 坑口

- ・ 坑口は、鉄筋コンクリート構造物であり、地山の重量等上載荷重を受ける暗渠として設計されていることから、上載荷重の増加等に伴う鉄筋コンクリートのひび割れや変形といった外形的な構造状態に着目した性能管理を行うことを基本とする。

2) 地圧の影響によるトンネルの安定性の区分

- ・ トンネルの安定性は、地山の安定性に依存している部分が多いので、地圧の状況など地山の特性を把握することが重要であるが、将来その地圧がどのように水路トンネルに作用してくるのかを正確に予測することは困難である。

このような水路トンネルの変状特性を踏まえ、効率的に適切な性能管理を行うためには、

- ①地山が安定した場所にある水路トンネル・区間
- ②地山条件や耐荷力に課題のある場所にある水路トンネル・区間

に区分して、区分毎に適切な性能管理手法を適用することが重要である。

- ・ このため、本手引きでは、p. 82～84 に示すように「構造的な安定性」と「地山等の外部条件」の2つの項目に着目することとする。

①に区分された水路トンネルでは、地圧による影響が小さいため、コンクリート覆工の変状は、コンクリートの化学的侵食、塩害、中性化、凍害、ASR や摩耗といった内部要因や地圧以外の外部要因など、支配的な要因に基づく性能管理を行うことを基本とする。

②に区分された水路トンネルでは、地圧による影響が大きいため、地圧による変状進行の可能性に基づく性能管理を行うことを基本とする。

3) その他

- ・ その他、水理特性、断面形、施工法、重要度といった条件の特性を踏まえて、適切な性能管理を行う必要がある。

(2) 水路トンネルの性能低下

1) 水路トンネルの性能低下

- ・ コンクリート覆工形式の水路トンネルの変状は、内部要因によるものや外部要因によるものがあり、いずれもひび割れのタイプや進行と密接な関係があるため、ひび割れの特徴（曲げひび割れ、せん断ひび割れ、場所、長さ、方向、進行性等）を踏まえた上で、支配的な要因を判定して、劣化予測等を行うことが基本となる。

また、素掘り、モルタル・コンクリート吹付け形式や内張管形式の水路トンネルの変状の要因は、それぞれのトンネル形式ごとに異なることに留意する。

- ・ 水路トンネルの変状は、内部要因によるものや外部要因によるものがあるが、その要因は施工方法や地山条件等に起因しており、ひび割れのタイプや進行等の変状となって現れる。

このため、施工方法や地山条件等により、発生しやすい変状の要因を把握することが重要となる。施工方法においては、矢板工法とNATM による施工方法があるが、矢板工法の場合、施工上の特徴から覆工背面に空洞が生じやすく、この空洞を充填していない場合は、空洞が残存した状態となっている。また、矢板が腐食して空洞を生じることもあり、これら覆工背面の空洞が進行した場合は、地山の緩みを促進させ、緩み圧や塑性圧、偏圧の発生要因となる。一方、地質や地山条件等における発生しやすい変状の要因としては、表1-6 に示すようなことが考えられる。

特に、水路トンネル本坑のコンクリート覆工は、その多くが無筋コンクリート覆工であることを踏まえた検討を行うことが重要である。無筋コンクリート覆工に発生するひび割れで留意すべき点は、それが曲げ（部材がわん曲し、曲率変化が生じる現象）によるものか、せん断（物体や構造部材の内部の面に沿って、面の両側に反対方向の力が加わり、内部にずれが生じる現象）によるものかといったことであり、ひび割れの形状からトンネルにどのような要因の変状が起こっているかを推察することが重要である。

一方、鉄筋コンクリート覆工の場合は、ひび割れからの水分の浸入・乾燥の繰り返しなどによる鉄筋腐食に伴う変状に留意する必要がある。

表 1-6 地山条件等による発生しやすい変状の要因

地山条件等	発錆しやすい変状の原因
新第三紀の泥質岩・凝灰岩、蛇紋岩、風化・変質を受けた結晶片岩・片岩類、変質岩（温泉余土）、変朽安山岩、断層破碎帯、膨張性地山における吸水膨張等	塑性圧（膨張圧）
未固結地山、崖錐堆積物等	緩み圧
新第三紀の砂岩・泥岩互層、黒色片岩、緑色片岩、地すべり地形、斜面地形等	地すべり（偏圧）
強い風化帯、軟岩（泥岩、頁岩、片岩等）、崩壊地、斜面地形、斜面裾の切取り等	偏圧
新第三紀鮮新世～洪積世の堆積岩及びローム質の新期火山碎屑物等	凍上圧

出典：トンネル補修・補強マニュアル 財団法人 鉄道総合技術研究所 平成 19 年 1 月、P.62～99 より
整理

ア. トンネル本坑

ア) 無筋コンクリート覆工形式（支保工有・無）

- ・ 無筋コンクリート覆工形式の性能低下は、コンクリートの材料劣化に起因するものや地圧によるものなどがあるが、いずれの場合にも「ひび割れ」と密接な関係があり、劣化要因ごとに特徴的なひび割れの変状を示す。このため、無筋コンクリート覆工の調査・評価、劣化予測、対策工法の検討においては、ひび割れの特徴を踏まえた上で、劣化要因の推定を行うことが重要である。

- ・ また、圧力トンネルにおいては、内水圧による影響を評価する必要がある。
「無筋コンクリート覆工形式（支保工有・無）」の性能低下プロセスの例を図1-7に、ひび割れの分類に基づいた変状の要因の推定の例を図1-8に示す。

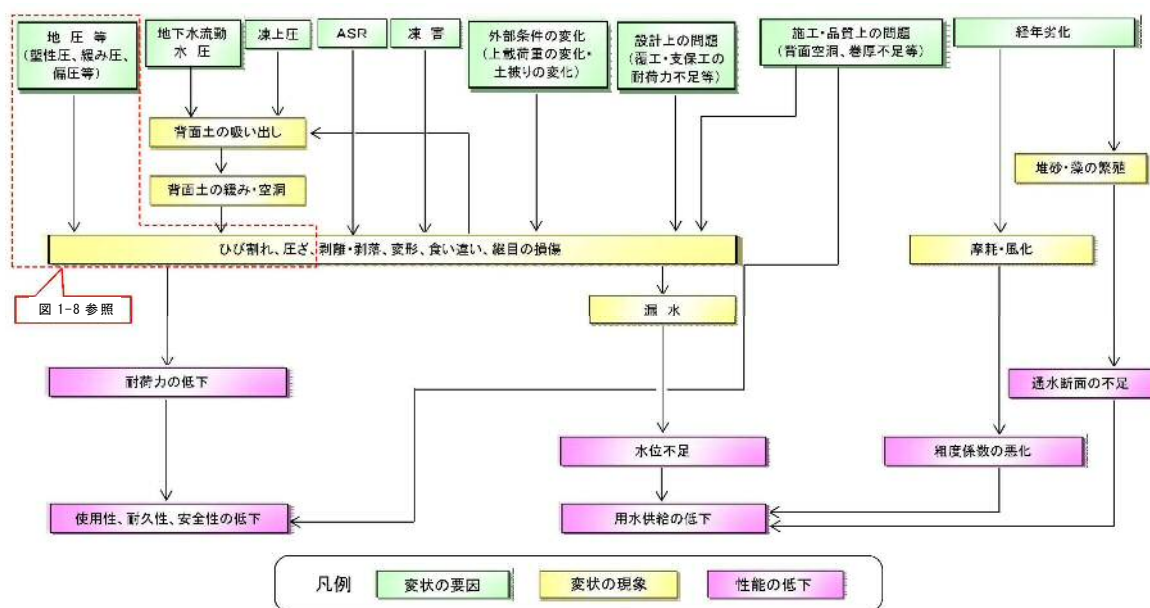


図 1-7 「無筋コンクリート覆工形式（支保工有・無）」の性能低下プロセスの例

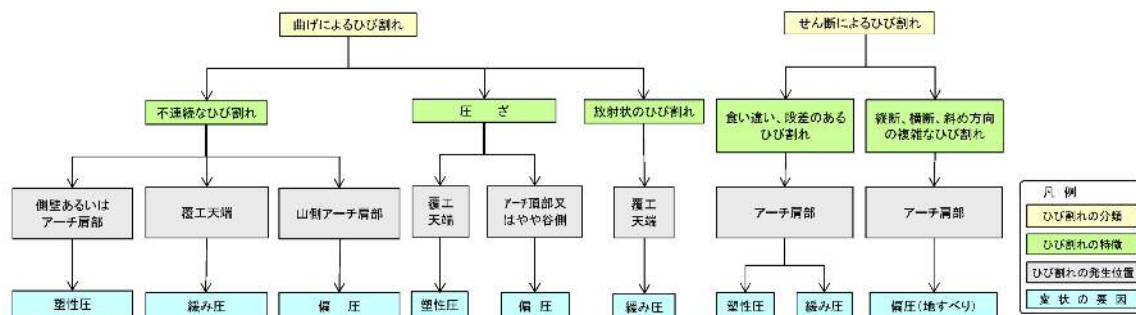


図 1-8 ひび割れの分類に基づいた変状の要因の推定の例

イ) 鉄筋コンクリート覆工形式（支保工有）

- 鉄筋コンクリート覆工形式では、鉄筋の腐食により劣化が急速に進展する性質がある。また、地圧による外力が作用することにより、劣化が進行する特徴がある。
- 鉄筋の腐食や地圧による変状は、コンクリート覆工に「ひび割れ」として現れ、その発生場所や方向等の特徴（ひび割れタイプ）は、劣化要因と密接な関係がある。このため、鉄筋コンクリート施設の調査・評価、劣化予測、対策工法の検討においては、ひび割れの特徴を踏まえた上で、劣化要因の推定を行うことが重要である。
- また、圧力トンネルにおいては、内水圧による影響を評価する必要がある。
- なお、「鉄筋コンクリート覆工形式（支保工有）」の性能低下プロセスの例は、図1-9 に示すとおりである。

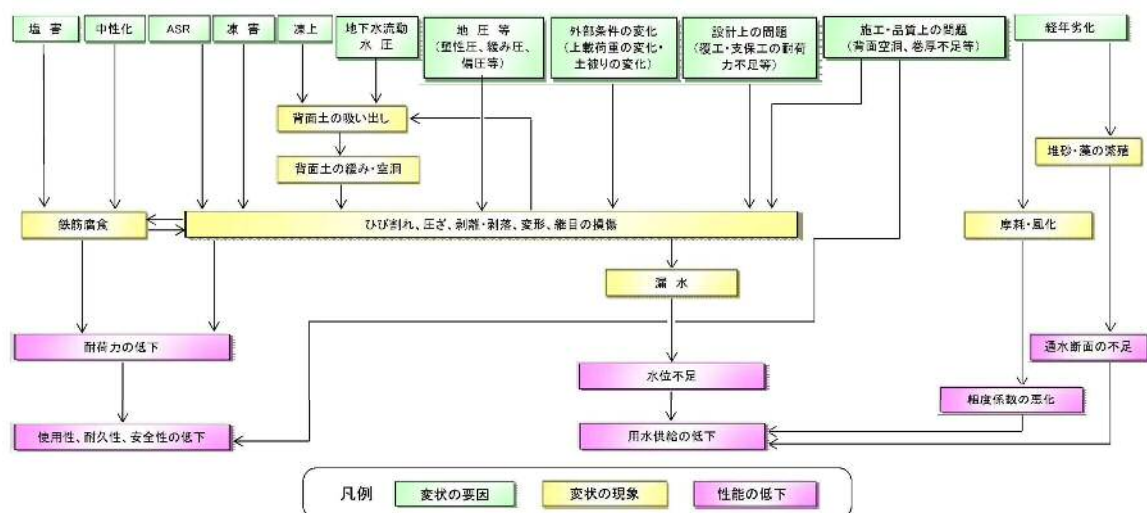


図 1-9 「鉄筋コンクリート覆工形式（支保工有）」の性能低下プロセスの例

ウ) モルタル・コンクリート吹付け形式

- モルタル・コンクリート吹付け形式の水路トンネルの性能低下は、モルタルやコンクリート自体の風化によるひび割れや剥離・剥落によるもので、これらの変状の進行の程度を把握することが望ましい。また、建設当時の使用材料や施工方法等について把握することは、劣化要因の推定において必要である。
- また、モルタル・コンクリート吹付けの剥離・剥落により、通水障害を起こす場合もあるので、通水量などに着目した性能管理について検討することも必要である。

- ・ なお、地圧が作用して、変状が生じている場合には、早急に対策工法等について検討する必要がある。

エ) 素掘り形式

- ・ 素掘り形式の水路トンネルの性能低下は、地山の風化による肌落ちや局所的な崩落、地下水の噴出などと直接的な関係がある。このため、必要に応じて、トンネル内の地山の試料採取を行い、試験して、地山の状態を把握することも必要である。
- ・ また、肌落ちや局所的な崩落により、通水障害を起こす場合もあるので、通水量などに着目した性能管理について検討することも必要である。
- ・ なお、地圧の影響による変状が生じている場合には、早急に対策工法等について検討する必要がある。

オ) 内張管形式

- ・ 内張管形式の水路トンネルの性能低下は、内張管の摩耗や塗装剥離又は内張管の腐食等の変状に現れる場合が多いため、これらの進行の度合いを把握することが重要である。
- ・ なお、内張管に変形等の大きな変状が生じている場合は、地下水圧や内水圧等について詳細調査を実施する必要がある。

イ. 坑口

- ・ 坑口は、鉄筋コンクリート構造物であることから、鉄筋の腐食により劣化が急速に進展する性質があるほか、地山の重量等上載荷重を受ける暗渠として設計されていることなどから、周辺開発による盛土等による上載荷重の増加に伴い劣化が進行する特徴がある。
- ・ 地圧や鉄筋の腐食による変状は、コンクリート覆工に「ひび割れ」として現れ、その発生場所や方向等の特徴（ひび割れタイプ）は、劣化要因と密接な関係がある。このため、鉄筋コンクリート構造物の調査・評価、劣化予測、対策工法の検討においては、ひび割れの特徴を踏まえた上で、劣化要因の推定を行うことが重要である。
- ・ また、圧力トンネルにおいては、内水圧による影響を評価する必要がある。
- ・ なお、坑口の性能低下プロセスの例は、図1-10 に示すとおりである。

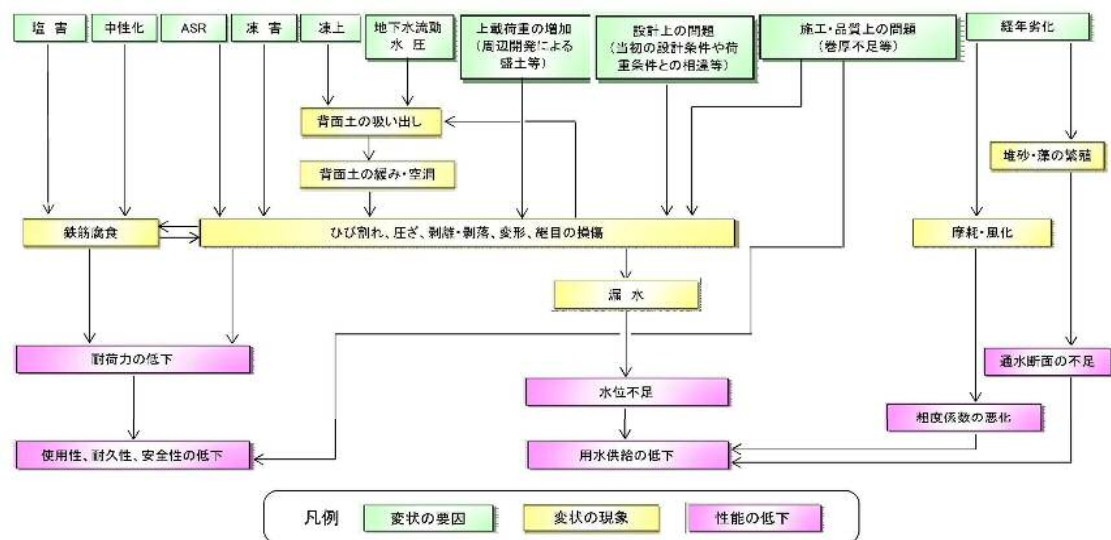


図 1-10 坑口の性能低下プロセスの例

2) 地圧による性能低下 [参考資料：トンネルの変状メカニズム 平成15 年9 月 土木学会に加筆]

ア. 塑性圧による変状発生機構

- ・ トンネルの建設後に塑性圧の作用によりトンネルが変状する場合の変状原因に関しては、以下のようなものがある。

ア) トンネル周辺地山の風化（塑性化、強度低下）

- ・ 膨張性粘土鉱物を含有した膨張性地山でのスウェリング現象（トンネル掘削に伴う二次応力が周辺地山の強度を超えて塑性化し、著しい押し出しが生じて支保工あるいは覆工が変形する現象）（新第三紀、泥質岩、凝灰岩、蛇紋岩等）における吸水膨張や地山強度比の小さい強度劣化の著しい地山におけるスクイーミング現象（膨張性粘土鉱物が吸収膨張することで覆工に荷重が作用する現象）に代表されるように、トンネル掘削に伴う応力解放により生じた塑性領域がトンネル周辺に徐々に拡大し、結果的に覆工に大きな外力として作用する。

イ) 塑性領域の拡大助長

- ・ 矢板工法のように覆工背面に空洞が残りやすい施工法で建設されたトンネルでは、空洞充填の不足等が塑性領域の拡大を助長し、長い時間スパンで荷重が作用する。

ウ) 覆工（支保工）の耐荷力不足

- ・ 支保・覆工設計時の設計荷重の設定誤りや見込み違い、構造的欠陥（施工時の巻厚不足や材料の品質不良）又は経年劣化に伴い覆工自体の耐荷力が確保できない場合には作用荷重に耐えられず変状を生じる。

特に、構造的には側壁が直壁の場合、側圧による影響を受けやすい。また、上記の変状原因は1つの要因だけではなく、複合的に関連して変状を引き起こすものと考えられる。したがって、これらの複合的な変状原因の関係を整理し変状メカニズムを分析する必要がある。

塑性圧による変状が発生する場合の変状原因を表1-7 に示す。

表 1-7 塑性圧による変状が発生する場合の変状原因

		自然的要因	人為的要因
外因	外力	地質：塑性化しやすい地山（泥岩、頁岩、未固結地山等）、膨張性粘土鉱物の含有（泥岩、蛇紋岩、温泉余土） 地下水：吸水膨張 その他：地震、地殻変動に伴う緩み領域増大、初期応力大	—
	環境	経年：周辺地山の風化の進行、材料劣化 地下水：地下水浸潤に伴う風化の進行、塑性領域の増大 その他：塩害、有害水	—
内因	材料	—	覆工材料の品質不良
	施工	—	所定の品質が確保されない施工（覆工背面の空洞、覆工巻厚不足、施工時の緩み領域の拡大）
	設計	—	外因を考慮しない設計（支保工、覆工・インバートの設計条件の誤り）

イ. 塑性圧による変状の特徴

- 塑性圧による変状の特徴としては突発的な破損は少ないものの、作用する地圧（真の土圧）そのものが大きく、長期にわたり作用するために、変状現象が時間とともに進展していくことが挙げられる。
- トンネルの覆工に塑性圧が作用してひび割れ等の変状が発生する場合、トンネルの坑内において確認される特徴は以下のとおりである。
 - ① 側壁あるいはアーチ肩部にトンネル縦断方向に引っ張りひび割れ（開口ひび割れ）が確認される。
 - ② 側壁の押し出しに伴う内空幅の減少や施工継目のずれが確認される。
 - ③ 盤膨れ現象が確認される。
 - ④ 天端部分における圧ざ（曲げ圧縮力により生じるひび割れで、破壊面は不明瞭であり、剥離・剥落を伴うことがある）の発生が確認される。

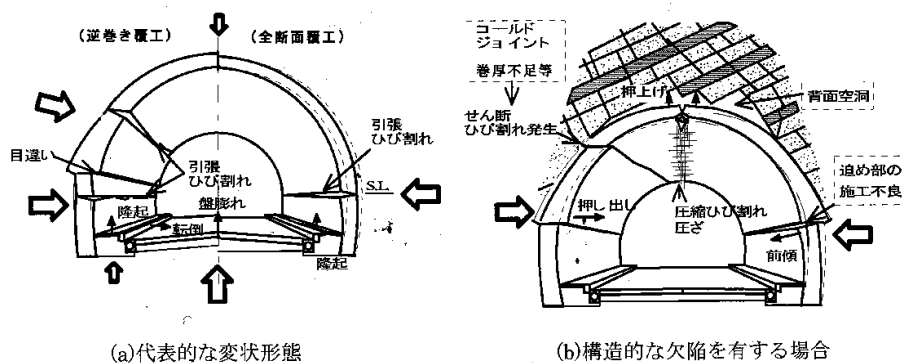


図 1-11 塑性圧による代表的な変状形態模式図

出典：トンネルの変状メカニズム 社団法人土木学会（平成 15 年 9 月），P. 55

ウ. 緩み圧による変状発生機構

- ・ トンネルの構築後に、緩み圧によってトンネルが変状する場合の変状原因は、以下になる。

ア) トンネル周辺地山の風化（強度低下）

- ・ 新第三紀～第四紀の地質の場合、岩盤の物理特性で地下水の流入による風化（強度低下）が進行しやすい。

イ) 緩み領域の拡大助長

- ・ トンネル施工方法で、特に覆工背面の空洞の残存、ブロッキングポイント（鋼製支保工と地山との間に打ち込んだくさびの位置）の応力集中といった現象が生じやすい矢板工法により施工されたトンネルで、覆工背面空洞の充填等が行われていない場合、緩み領域が拡大助長されやすい。

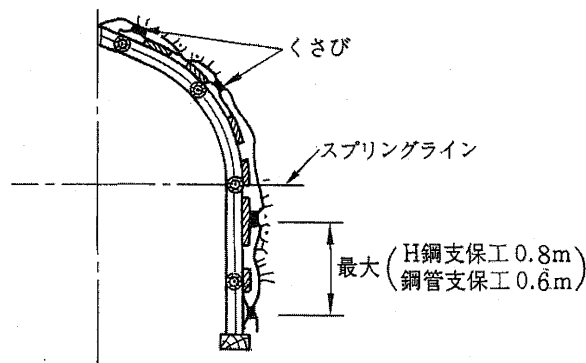


図 1-12 ブロッキングポイント（くさびの位置）

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」（平成 26 年 3 月），P. 242

ウ) 地震、近接施工による鉛直荷重の増大

- ・ 地震、近接施工（トンネル上部の盛土・切土等）によって鉛直地圧が増加・減少することにより、緩み圧が増加する場合がある。

なお、塑性圧でもトンネル覆工に荷重が作用するが、これはトンネル掘削に伴う応力の再分配によって発現するものであるのに対し、緩み圧はあくまでトンネル上部の緩み領域の地山の自立性が低下することで地圧が発生するという、地圧発生メカニズムが異なることに注意する必要がある。ただし、塑性圧が作用するトンネルにおいても上部の緩み領域の地山に対して重力が作用し、緩み圧が複合して発生していることから、両者を明確に区別することができないのも事実である。

緩み圧による変状が発生する場合の変状要因を表 1-8 に示す。

表 1-8 緩み圧による変状が発生する場合の変状原因

		自然的要因	人為的要因
外 因	外力	地質：緩みやすい地山（未固結地山等） その他：地震による緩み領域の拡大	近接施工：上部の盛土による荷重増加あるいはアーチ効果の低下による緩み領域の拡大
	環境	経年：周辺地山の風化の進行、材料劣化 地下水：地下水浸潤による風化促進、緩み領域の拡大	—
内 因	材料	—	覆工材料の品質不良
	施工	—	所定の品質が確保されない施工：覆工背面の空洞残存による緩み領域の拡大
	設計	—	外因を考慮しない設計：支保工、覆工の設計荷重設定の誤り

エ．緩み圧による変状の特徴

- トンネルの覆工に緩み圧が作用して、ひび割れ等の変状が発生する場合、トンネル坑内において確認される特徴は以下のとおりである。
 - ① 天端付近に、トンネル縦断方向に引っ張りひび割れ（開口ひび割れ）が確認される（塑性圧でも同様なひび割れが発生する場合があるが、側壁の押し出し、盤膨れ等の現象が見られない場合は、変状原因が緩み圧による可能性が高い）。
 - ② 覆工の変形が進行すると、アーチ肩部からスプリングライン（S.L）付近でトンネル縦断方向に圧縮ひび割れが発生する場合がある。
 - ③ こうしたひび割れは覆工の状態によって、コールドジョイントに制限され位置がずれたり、覆工巻厚が極端に変化する位置でせん断ひび割れとして確認される場合がある。
- なお、矢板工法で施工されたトンネルでは、覆工背面に空洞が残存するケースが多い。このような場合の緩み圧による変状形態として、トンネル上方の緩んだ岩塊が崩落し、瞬時に覆工に大きな荷重が作用することで、突発的に覆工が破損する場合もある。

このようなケースでは、覆工天端付近に全くひび割れ等の変状が発生していない（岩塊が崩落する直前までは）場合や、崩落した岩塊が堆積した箇所のみで、局所的に放射状のひび割れが確認される場合がある。

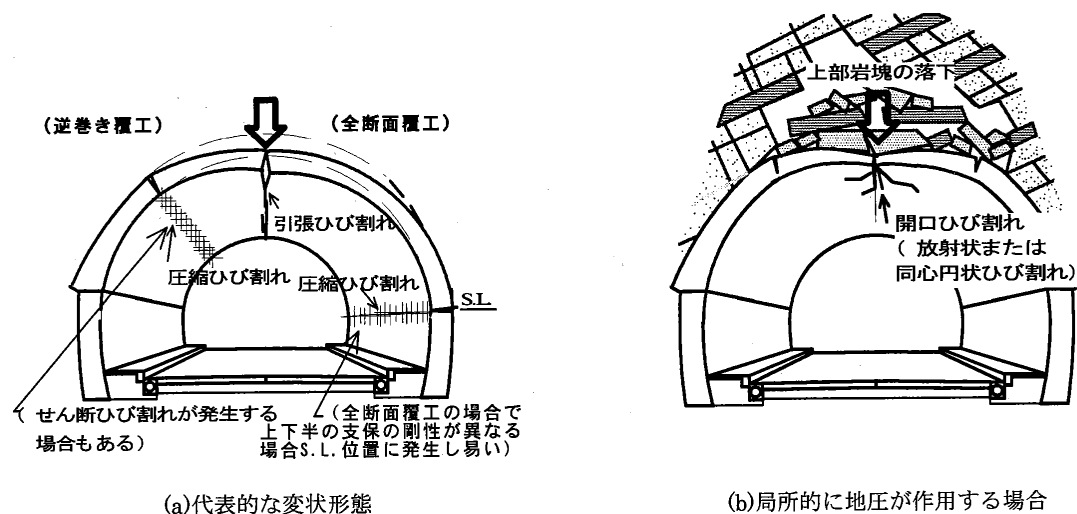


図 1-13 緩み圧による代表的な変状形態模式図

出典：トンネルの変状メカニズム 社団法人土木学会（平成 15 年 9 月），P. 93

オ．偏圧による変状発生機構

- 偏圧とは、何らかの原因によって発生した地圧がトンネルに著しく偏った状態で作用する現象であり、地圧の作用方向を表すものであるから、地圧そのものの発生原因は塑性圧や緩み圧に起因し、その地圧が何らかの原因によってトンネルに作用する方向が著しく偏るために偏圧として作用するものと解釈できる。

偏圧による変状が発生する場合の変状要因を表 1-9 に示す。

表 1-9 偏圧による変状が発生する場合の変状原因

		自然的要因	人為的要因
外因	外力	斜面に平行、土かぶり小、崖錐、崩壊地、地すべり地、岩盤クリープ、河川の攻撃斜面上	斜面裾の切取り（道路等）、宅地造成、ダム湛水による水位上昇あるいは急激な水位低下を伴う斜面崩壊等
	環境	豪雨、地震、強い風化帯、軟岩（泥岩、頁岩、片岩等）、流れ盤・地すべり土塊	—
内因	材料	—	覆工材料の品質不良
	施工	—	覆工背面の空洞、施工継目部不良、巻厚不足、落盤後の充填不足
	設計	—	抱きコンクリート、押さえ盛土、上部切取りの不足、谷側側壁根入れ不足、側壁直

カ. 偏圧による変状の特徴

- ・ 偏圧による変状の特徴としては、左右不均等な荷重がトンネル覆工に作用することから、トンネル内の左右で異なった変状が現れることが挙げられる。

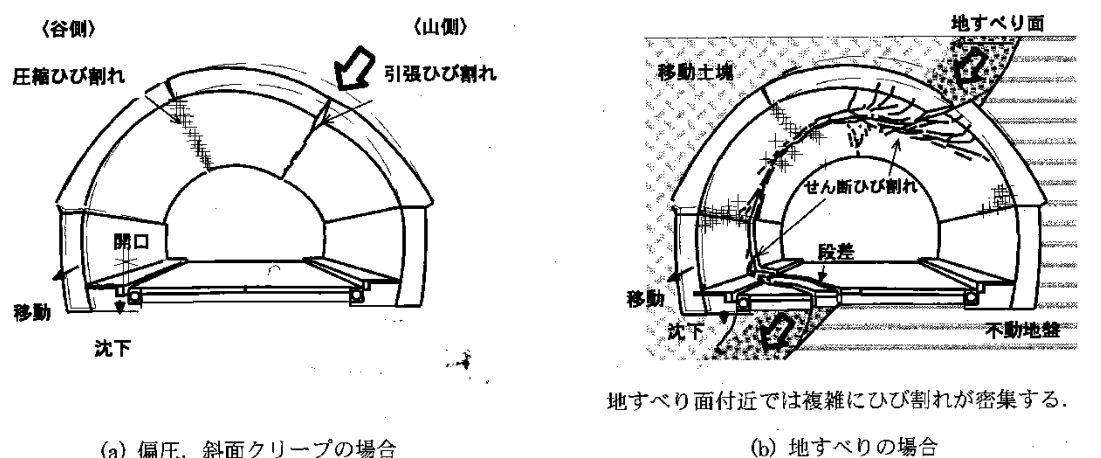
トンネル覆工に偏圧が作用した場合の変状現象は、以下のようになる。

- ① 山側アーチ肩部に水平開口ひび割れが発生する。
- ② アーチ頂部、又はやや谷側に圧ぎが発生する。
- ③ 山側の逆巻き施工継目部に食い違いが発生する。
- ④ 断面軸が回転するとともに、谷側へトンネルが変形する。
- ⑤ 谷側の側壁部に水平開口ひび割れが発生する。

ひび割れや圧ぎについては、塑性圧の変状で見られたものもあるが、その発生位置が左右非対称となるところに偏圧による変状の特徴が見られる。また、偏圧地形に起因する変状の場合には、上記④に示したように谷側へトンネル覆工や周辺地山が変形することがある。

なお、すべり面がトンネルと交差した地すべりにより変状が発生する場合には、上記に加え以下のような変状の特徴を有する。

- ⑥ すべり面とトンネル交差付近でせん断破壊（水平・横断・斜め方向の複雑なひび割れ、食い違い、剥離等）が生じる。



凡 例: ← 外力の方向 → 引張、せん断ひび割れ + 圧縮ひび割れ、圧ぎ

図 1-14 偏圧による代表的な変状形態模式図

出典：トンネルの変状メカニズム 社団法人土木学会（平成 15 年 9 月），P.117

3) 材料等に起因する性能低下

ア. 材料に起因する性能低下

- ・ 水路トンネルの鉄筋コンクリート覆工の化学的侵食や中性化による内部鉄筋の腐食、アルカリ骨材反応等に伴う性能低下がある。

イ. 施工に起因する性能低下

- ・ 水路トンネル覆工の変状の要因には、トンネル施工時に生じた初期欠陥による性能低下がある。打設時には、打設中断によるコールドジョイントや充填・締固め不足によって生じる豆板などが生じる。また、養生時には温度応力や乾燥収縮によるひび割れ、型枠脱型時のひび割れなどが生じる。覆工背面の空洞や巻厚不足も施工時に生じる変状の要因の1つである。

これらの初期欠陥は、長期的なトンネルの機能保全にも悪影響を及ぼす可能性があることから、程度に応じて適切に補修することが望まれる。

ウ. 設計に起因する性能低下

- ・ 水路トンネル建設当初と現在の設計基準の違いや現場条件の変化等の影響で、種々の項目において設計内容が現在の状況に合わなくなることにより、性能低下を生じることがある。

エ. 経年による性能低下

- ・ 経年的な摩耗・風化による性能低下がある。特に、流速が速く、土砂の流入が顕著な水路トンネルではインバートの摩耗が問題となる場合もある。

4) その他の性能低下

- ・ 水路トンネル自体の性能低下が認められない場合でも、地下水の流動に伴い覆工背面の空洞等が水みちとなって、トンネル上部の地盤の陥没を引き起こす場合等がある。

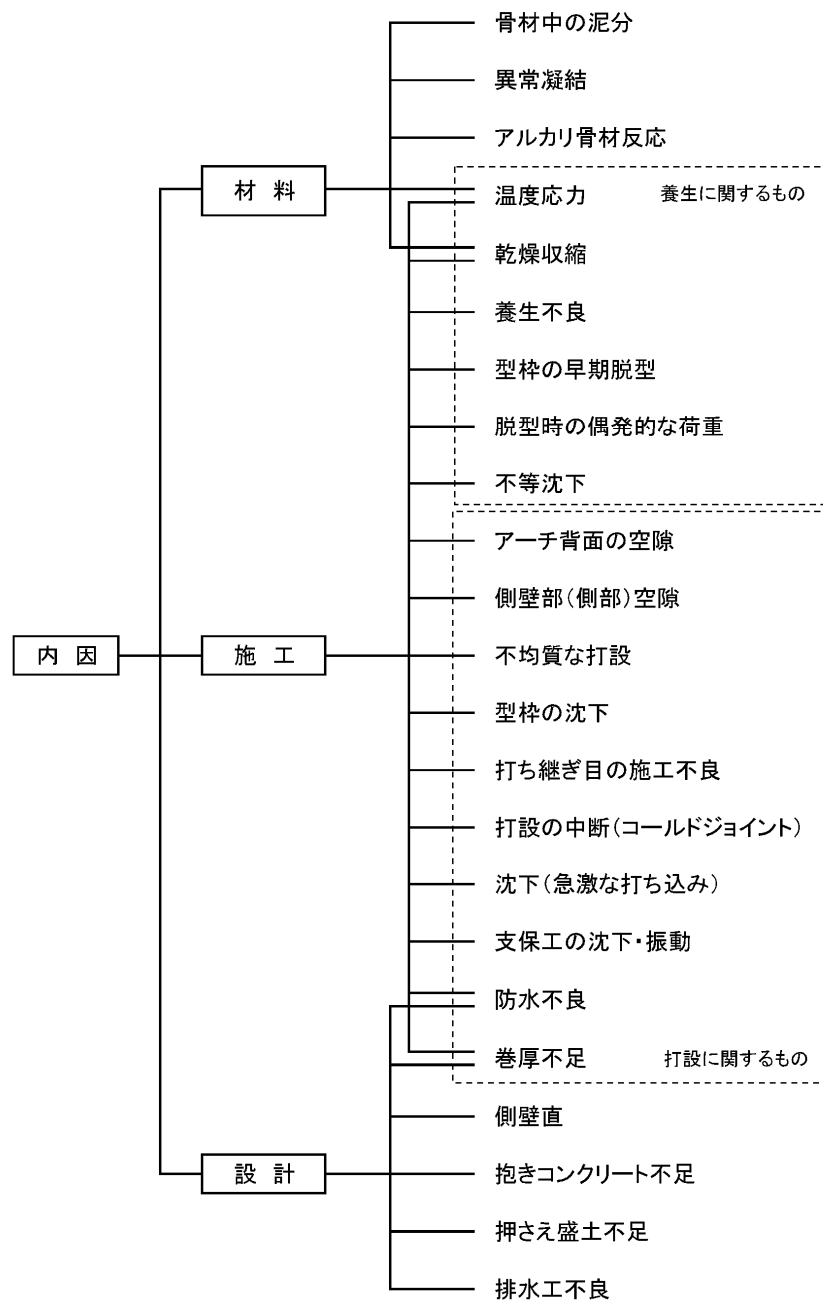


図1-15 水路トンネルの変状原因（材料・施工・設計）例

出典：トンネル・ライブラリー第14号 トンネルの維持管理 土木学会 平成17年7月，P. 36に加筆

1. 2. 3 健全度指標

水路トンネルの健全度評価は、機能診断調査結果から対象施設がどの健全度に該当するか判定することにより行う。農業水利施設のストックマネジメントにおいては、主に健全度指標を用いる。

また、管理水準は健全度指標により設定することができる。

【解説】

- ・ 施設機能の性能管理を行う代表指標として、主に構造性能に影響する対象施設の変状等のレベルを指標化した「健全度指標」を用いる。
- ・ 水路トンネルは、地山等の条件や構造形式によって許容される変状・損傷の程度が異なることから、水路トンネル形式や地圧条件、供用期間等を勘案して評価を行うものとする。

表 1-10 健全度指標と施設の状態

健全度指標	施設の状態
S-5	変状がほとんど認められない状態
S-4	軽微な変状が認められる状態
S-3	変状が顕著に認められる状態
S-2	施設の構造的安定性に影響を及ぼす 変状が認められる状態
S-1	施設の構造的安定性に重大な影響を及ぼす変 状が複数認められる状態

1. 3 施設の重要度評価

リスク管理の観点から、ストックマネジメントの各プロセスの取組を効率的に行うため、施設の重要度を評価する。重要度は、農業・農業以外に与える影響等を総合的に勘案し、施設管理者との協議を踏まえ定める。

【解説】

- ・ 施設の重要度は、農業面では農業への影響度や復旧の難易度（費用・期間）を、農業以外の面では住宅地、公共機関等の周辺施設の立地条件から、事故が起こった場合の被害等を踏まえて評価することができる。
- ・ なお、重要度は、当該施設における重要度評価の目的や施設が置かれた状況等を総合的に勘案した上で、施設管理者と協議の上定める。
- ・ 施設の重要度評価に当たっては、図 3-2 に示すような水利システム図を活用するなどし、対象施設が水利システム全体でどのような機能を発揮しているかに留意する必要がある。
- ・ 農業面における施設の重要度評価については、水路トンネルが農業用水及び農用地等からの排水を流送する目的を果たす施設であることから、施設規模、地区内水源の有無や水利システムの目的（用排水の別、水田、畑地といった水利用の目的や、分水・流量制御設備による流量の変化）など農業面への影響度や、復旧の難易度（復旧に際し、用水の仮回しが必要な場合、坑口から変状箇所までの距離が遠く、大掛かりな仮設工事が必要となる場合、特殊な工法の採用が必要となる場合等）、代替策の有無及びその難易度といった要素を考慮して評価する。
- ・ また、農業以外（施設周辺環境等）の面では、事故が起こった場合の周辺施設への社会的被害の度合いを勘案し、住宅や道路、鉄道等の公共機関等の立地条件といった要素を考慮して評価するものとする。
- ・ 重要度の設定例を示し、重要度評価の方法を例示する。

〔影響度区分の評価基準〕

- ここでは、農業面における影響度や復旧の難易度、農業以外の面における立地条件に伴う事故発生時の社会的被害について、表 1-11 に評価基準の例を示す。復旧難易度は、仮切り回し水路の必要性や坑口から変状箇所までの距離、施工材料や施工方法によって評価する。

表 1-11 影響度区分の評価イメージ

区分	(農業面) 農業への影響度 復旧の難易度	区分	(農業以外の面) 社会的被害 立地条件
I	農業被害額が非常に高い 復旧難易度が非常に高い	I	社会被害の可能性大
II	農業被害額が高い 復旧難易度が高い	II	非農業部門への影響あり
III	農業被害額が比較的低い 復旧作業が容易	III	非農業部門への影響なし

〔重要度の総合評価の判定基準の例〕

- 農業面と農業以外の面（施設周辺環境等）に与える影響を基に、表 1-12 に示す判定基準を踏まえ施設の重要度を総合評価する。詳細の判定は、当該施設の位置する地域の状況等により、様々な可能性があるが、路線区間ごとに施設の重要度を設定したものの一例を図 1-16 に示す。

表 1-12 重要度の総合評価判定イメージ

		農業面		
		I	II	III
農業以外の面 社会的被害 (立地条件)	I	A	A	A
	II	A	B	B
	III	A	B	C

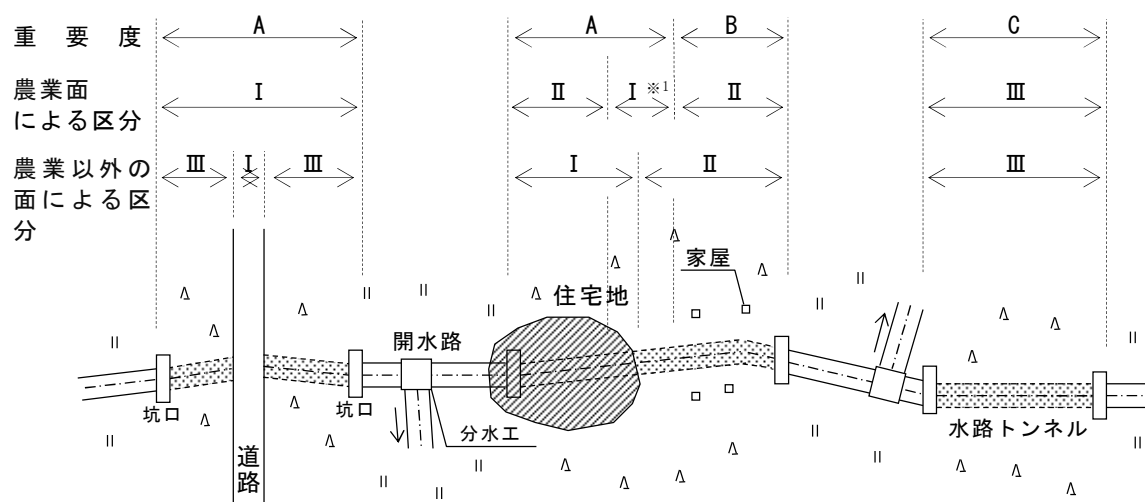


図 1-16 施設の重要度の設定イメージ

※1 当該区間は用水の仮切り回しや大掛かりな仮設工事が必要と想定。

1. 4 リスク管理

水路トンネルでは、施設の劣化や自然災害などにより、施設機能が低下して施設が損壊し、本来の機能の停止のほか二次災害や第三者被害等が発生するなどのリスクが考えられる。リスク管理を行いつつストックマネジメントを推進するため、リスクの評価を踏まえた管理水準の設定等機能保全対策への反映とともに、リスクコミュニケーションについて考慮することが重要である。

【解説】

（１）基本的考え方

- ・ 水路トンネルのリスクとしては、劣化や偶発的な外力（設計・施工条件で想定していない外力）、周辺環境の影響などの要因により施設の損壊などの事象が発生し、農業面では本来機能（水利用機能等の施設機能や営農活動等）に与える影響、農業以外の面では第三者被害や地域の経済活動への影響などが想定される。
- ・ 水路トンネルにおいて想定される具体的な事象としては、斜面災害による坑門あるいは坑口付近の覆工の変状・崩壊、トンネル上部の土地利用の変化による覆工天端部の崩落や盤ふくれに伴う通水阻害や用水の流出などがある。
- ・ 水路トンネルのリスク管理においては、リスクを特定した上で、そのリスクを施設造成者、施設管理者双方の視点で分析・評価し、施設監視、機能保全対策の実施等の手段によってリスク対応を図ることが基本となる。

【参考】水路トンネルの事故発生数と事故原因

平成 5 年度から平成 26 年度までの事故報告事例をみると、農業水利施設全体の事故件数 10,816 件のうち、水路トンネルの事故件数は 34 件と極めて少ない。

（２）管理水準での考慮

- ・ リスクを効率的に抑制する観点から、水路トンネルの重要度評価等を踏まえた潜在的リスクの大きさを考慮した上で、施設管理者や関係機関等の意向も踏まえ、管理水準を適切に設定する。
- ・ 健全度指標による管理水準を設定する場合、施設の重要度評価等を踏まえた潜在的リスクの大きさを考慮して、管理水準をそれよりも上げる対応が考えられる。

水路トンネルにおいては、水路トンネルの上部に重要な道路や住宅が存在する場合、復旧に際し用水の仮回しが必要な場合、坑口から変状箇所までの距離が遠く大掛かりな仮設工事と特殊な工法を採用する必要が想定される場合、上水道・工業用水道などの共同区間である場合等に管理水準を上げる対応が考えられる。

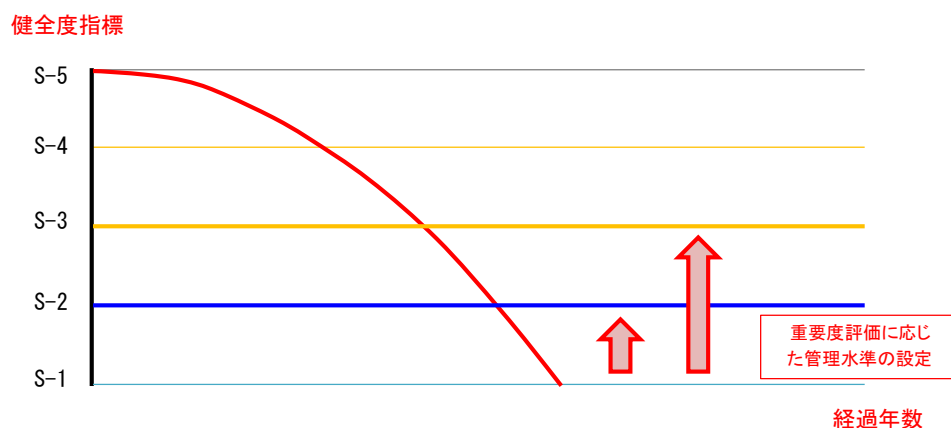


図 1-17 健全度による管理水準の設定を行う場合の例

(3) リスクコミュニケーション

- ・ 施設造成者、施設管理者、地方公共団体等の関係機関でリスクに関する情報の共有を図り、関係者の合意形成の下、効果的に機能保全対策の取組を進めるリスクコミュニケーションを推進していくことが、リスク管理を強化していく上で重要である。
- ・ リスクコミュニケーションにおいて共有すべき情報としては、①水路トンネルの重要度に関する評価、②日常管理における維持修繕の状況や継続的な施設監視結果（対策工事を実施するまでの施設監視結果を含む）、③機能診断に基づく劣化予測とその精度等に関する情報、④崩壊事故が発生した場合に想定される影響と対応計画、⑤事業の実施に向けた課題等を挙げることができる。これらの情報を分かりやすく整理・提供し、関係者で十分な理解を醸成することが重要となる。

(4) 緊急事態における対応の検討

- ・ 施設造成者、施設管理者等は、施設の崩壊や用水流出等が発生した場合の影響を極力抑制することができるよう、施設が保有するリスクが顕在化した場合を想定して、対応手順の策定及び準備を行い、被害の低減を図るための備えをとることが重要である。
- ・ コンクリート覆工の崩落事故などが発生した場合には、施設管理者はその状況把握と二次被害の防止のため、送水停止や避難指示などの必要な対策を講じる必要がある。なお、特に重要な施設においてこれらの事態が発生した場合、その対応を円滑に進めるためのハザードマップ等を事前に用意し、地域住民や関係機関も含めた意識の啓発を行っておくことが望ましい。

事故の発生要因を調査することにより、類似の事故防止のための知見が得られるばかりでなく、材料や使用環境に応じた変状メカニズムの解明や今後の劣化予測等の技術の高度化を図ることが可能である。このため、施設管理者は、施設造成者へ通報するとともに、調査の要否や実施する場合の内容などについて、協議することが求められる。

(5) 関係者間での情報共有と対策実施の役割分担

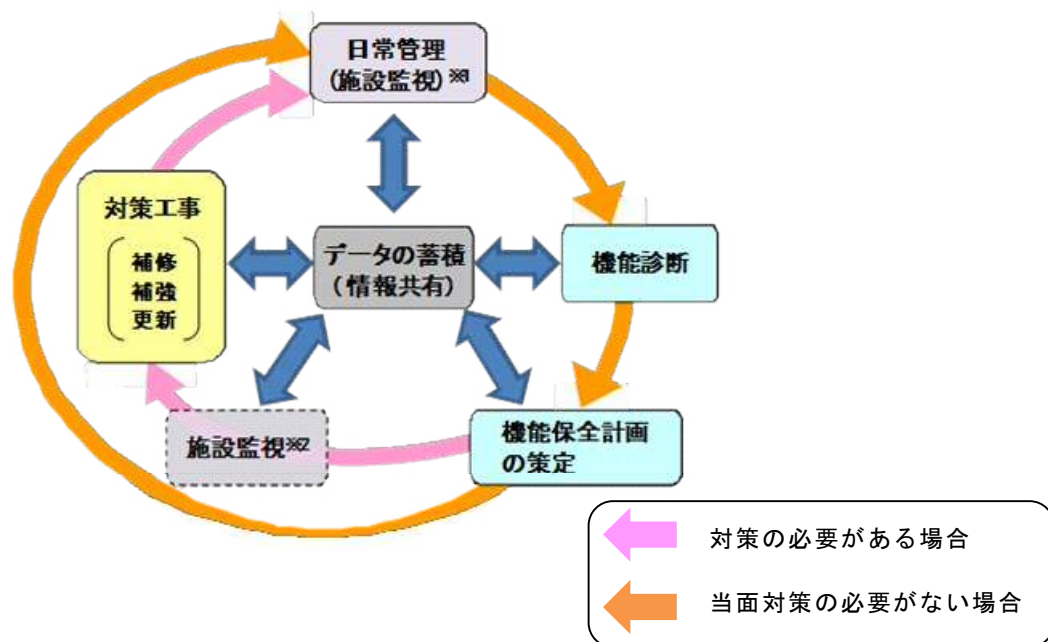
- ・ 機能保全対策を検討・実施しようとする場合、施設造成者、施設管理者等の関係者間で情報を共有するとともに、適切な役割分担の下に合意形成を図ることが必要である。
- ・ 適切な合意形成を図るため共有すべき情報としては、機能診断や施設監視の結果として得られる施設の劣化状態、それに応じた機能保全対策が基本となるが、施設の重要度や周辺環境から施設が保有するリスクを評価し、リスクが大きい施設（重要度の高い施設）で事故が発生した場合にどのような影響があり得るのか等、リスクに関する情報も含めて極力具体的に説明し、共通の理解を醸成していくリスクコミュニケーションが重要である。
- ・ また、水路トンネルは、地中構造物であり、通年通水等の制約条件により目視での日常点検や施設監視が困難な場合が多い。また、水路トンネルは地山の特性に影響を受けることが多いため、トンネルの覆工形式、地山の特性、地下水や漏水の状態、トンネル周辺の土地利用状況の変化等について情報を共有しておくことも重要である。

1. 5 水路トンネルのストックマネジメントの流れ

水路トンネルのストックマネジメントでは、日常管理、機能診断、機能保全計画の策定、対策工事、データの蓄積のサイクルを、リスク管理を考慮しつつ段階的・継続的に実施する。

【解説】

- ・ スtockマネジメントのサイクルは、施設管理者等による日常管理（継続的な施設監視を含む）、施設の状態を継続的に把握するために施設造成者等が定期的に行う機能診断、診断結果に基づく劣化予測、効率的な対策工法の比較検討、これらを取りまとめた機能保全計画の策定、施設監視計画等に基づく施設監視（施設管理者は通常「日常管理」の一環として行う）及び機能保全計画並びに施設監視結果を踏まえた適時・適切な対策工事の実施の各取組について、関係者が連携・情報共有を図りつつ継続的に実施するプロセスによって構成されている。このプロセスの中で、例えば、施設の重要度評価を踏まえた機能保全計画の策定と対策の実施など、リスク管理の視点を取り入れていくことが求められる。この際、電子化されたデータベースに機能診断調査結果や対策工事の実施内容などのデータを蓄積し、機能診断精度向上のための集計・分析への反映や、ストックマネジメントの各段階の取組で活用を図る。このストックマネジメントのサイクルを図で示すと図1-18のとおりとなる。



※1 日常管理の一環として継続的に行う施設監視（結果は機能診断・機能保全計画策定等に活用）

※2 機能保全計画の精度を高め、適期に対策工事を実施するために継続的に行う施設監視

図 1-18 スtockマネジメントのサイクル

水路トンネルのストックマネジメントのプロセスを図 1-19 に示す。

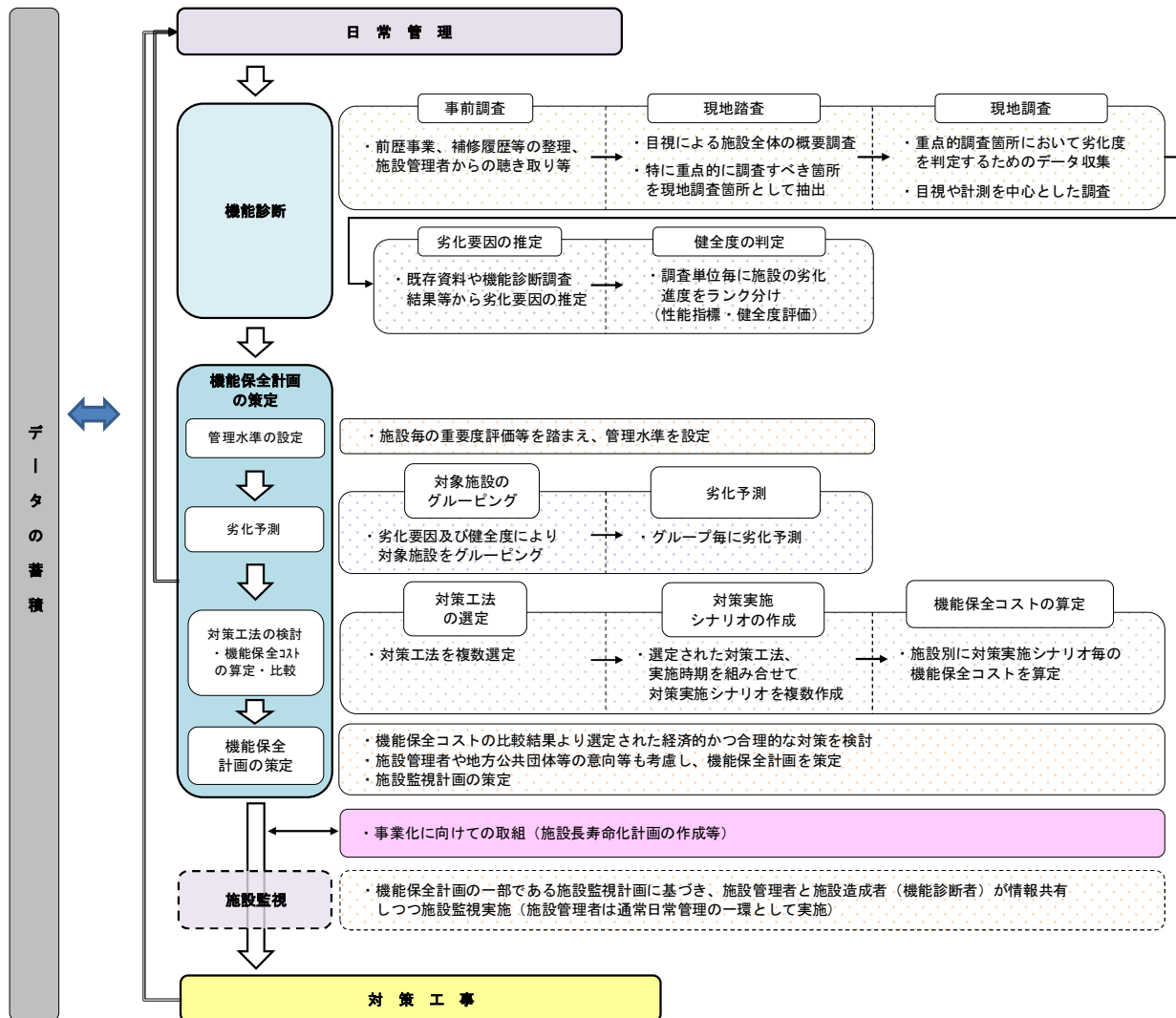


図 1-19 水路トンネルのストックマネジメントのプロセス

※ 《機能保全対策の実施》についての基本的な考え方は、「農業水利施設の機能保全の手引き」（平成 27 年 5 月）を参照。

第2章 日常管理

2. 1 日常管理

施設管理者は、日常管理（施設監視を含む）を通じて常に施設を良好な状態に保つことを心がけなければならない。その際、通水記録、事故、点検、整備等の履歴を適切に整理し、保存する必要がある。機能診断の結果を踏まえて、専門的な知見を有する技術者から点検（監視）の中で留意すべき事項について助言を受けておくことが望ましい。

【解説】

- ・ 水路トンネルの日常管理においては、通常時の状況と異なる現象が生じていないかを常に意識しつつ、点検に臨む必要がある。具体的には、

- ① 所定の通水量が確保できない、
- ② トンネル内の異常堆砂や水生植物の繁茂、
- ③ 本来機能に影響のある構造物の崩壊、
- ④ 構造物の変形（側壁の押し出し、継ぎ目部の食い違い、インバート部の盤膨れ等）の有無・程度、
- ⑤ モルタル吹き付け、コンクリート覆工の剥離、剥落の有無・程度、
- ⑥ 継目部の変状（段差、止水板の破損、周縁コンクリートの欠損、漏水痕跡、背面土の吸出しの痕跡）、
- ⑦ 施設周辺地盤の沈下、陥没等

等に留意する。

表 2-1 に、水路トンネルにおける日常点検票の例を示す。

表 2-1 水路トンネルの日常点検票の例

施設名			[住所]								
点検日時	[今回]		[前回]								
点検者			施設情報	重要度:		健全度:	S-5	S-4	S-3	S-2	S-1
構造・規模							箇所	箇所	箇所	箇所	箇所

工程	点検項目	点 検 内 容	異常の有無	位置その他(※1)				
日常点検	水利用・水理	通水性	所定の通水量が確保できない	☐ 有 ☐ 無				
			通水量が安定しない	☐ 有 ☐ 無				
			漏水	☐ 有 ☐ 無				
			トンネル内の異常堆砂※	☐ 有 ☐ 無				
			トンネル内の水生植物の繁茂※	☐ 有 ☐ 無				
			その他の異常	☐ 有 ☐ 無				
	トンネル本体	水位の維持	水位の異常上昇	☐ 有 ☐ 無				
			水位の異常低下	☐ 有 ☐ 無				
			水位が安定しない	☐ 有 ☐ 無				
			その他の異常	☐ 有 ☐ 無				
		覆工※	覆工の崩落・変形	☐ 有 ☐ 無				
			インバートの盤膨れ	☐ 有 ☐ 無				
			欠損・損傷、ひび割れ等の変状	☐ 有 ☐ 無				
			漏水痕跡	☐ 有 ☐ 無				
			その他の異常	☐ 有 ☐ 無				
			継目部※	欠損、ずれ、段差	☐ 有 ☐ 無			
		漏水痕跡		☐ 有 ☐ 無				
		コンクリートの欠損、崩壊		☐ 有 ☐ 無				
		鉄筋露出		☐ 有 ☐ 無				
		その他の異常		☐ 有 ☐ 無				
		上部地盤		地滑り、地盤の陥没	☐ 有 ☐ 無			
			トンネル上部、周辺の改変	☐ 有 ☐ 無				
			住宅、道路等の建造物の新設	☐ 有 ☐ 無				
			地上部土地利用状況の変化	☐ 有 ☐ 無				
	近接施工の有無		☐ 有 ☐ 無					
	その他の異常		☐ 有 ☐ 無					
	その他	環境等	異常な騒音・振動	☐ 有 ☐ 無				
			周辺住民からの苦情	☐ 有 ☐ 無				
※トンネル始終点などで目視が可能な場合、落水後トンネル内への進入が可能な場合は記載する。								
施設監視※3	定点番号				健全度			
	位置情報	緯度(N)		°		'		"
		経度(E)		°		'		"
	写 真 状 況	【施設監視計画で記載されている定点で実施】						
		コメント				コメント		
所 見								
特記事項(※2)								

※1: 位置情報(住所又は○○橋近傍の左岸)と合せ、前回点検時からの水位・ひび割れ・施設周辺状況等の変化などを記載。枠内に収まらない場合は別紙にて整理。
 ※2: 異常が確認された場所の対応(要観察、関係部局へ連絡し対策を検討など)などを記載。異常が確認された場合は、本点検票と合せ、異常箇所の状況を写真にて記録・整理し保存しておくこと。
 ※3: 機能保全シナリオ上の対策時期を超過しているが、対策工事に着手していない場合は、「施設監視」の項目を重点的に実施。