

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。

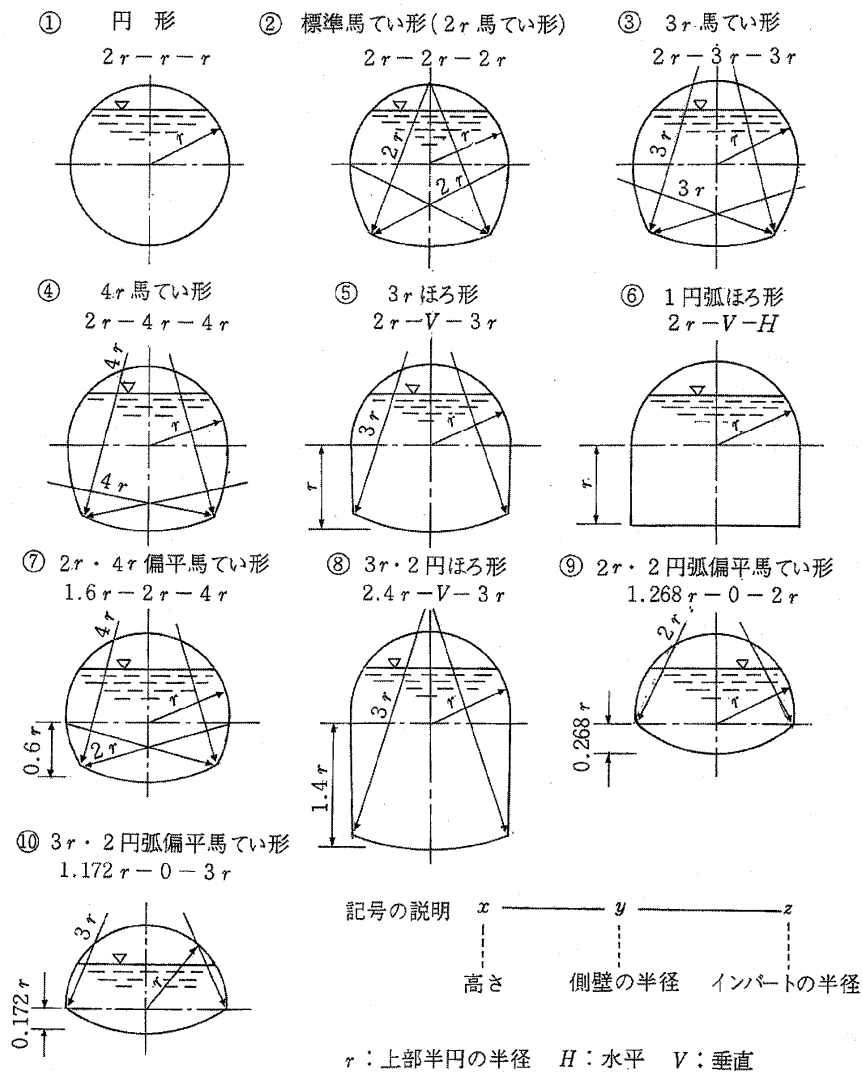


図 1-1 水路トンネル内空断面形状図

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。

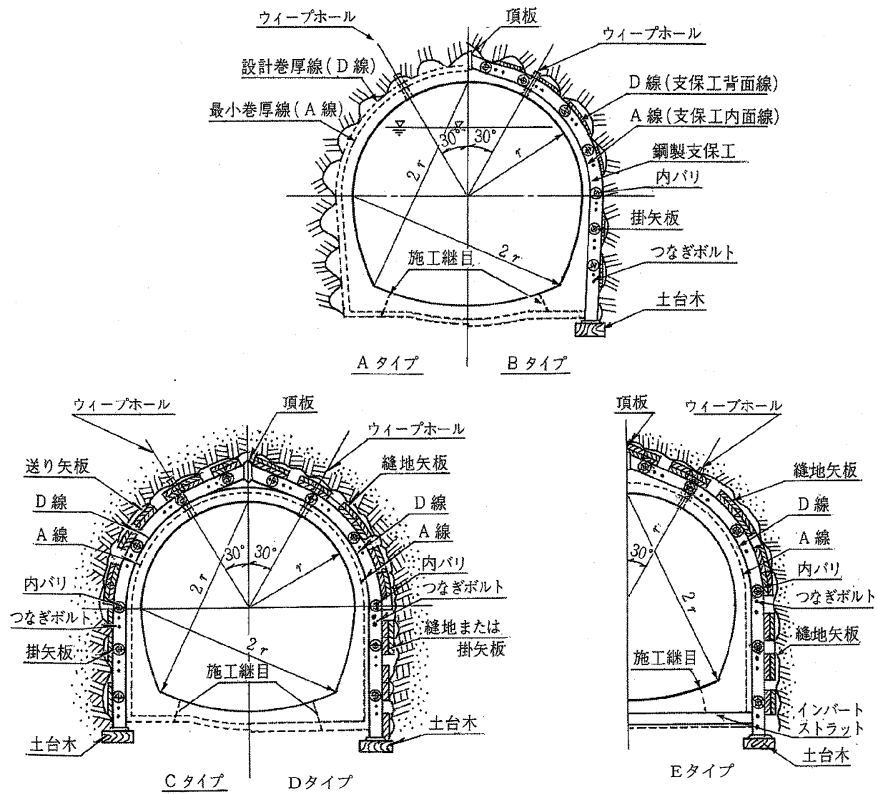


図 1-2 矢板工法標準断面図（標準馬てい形の場合）

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。

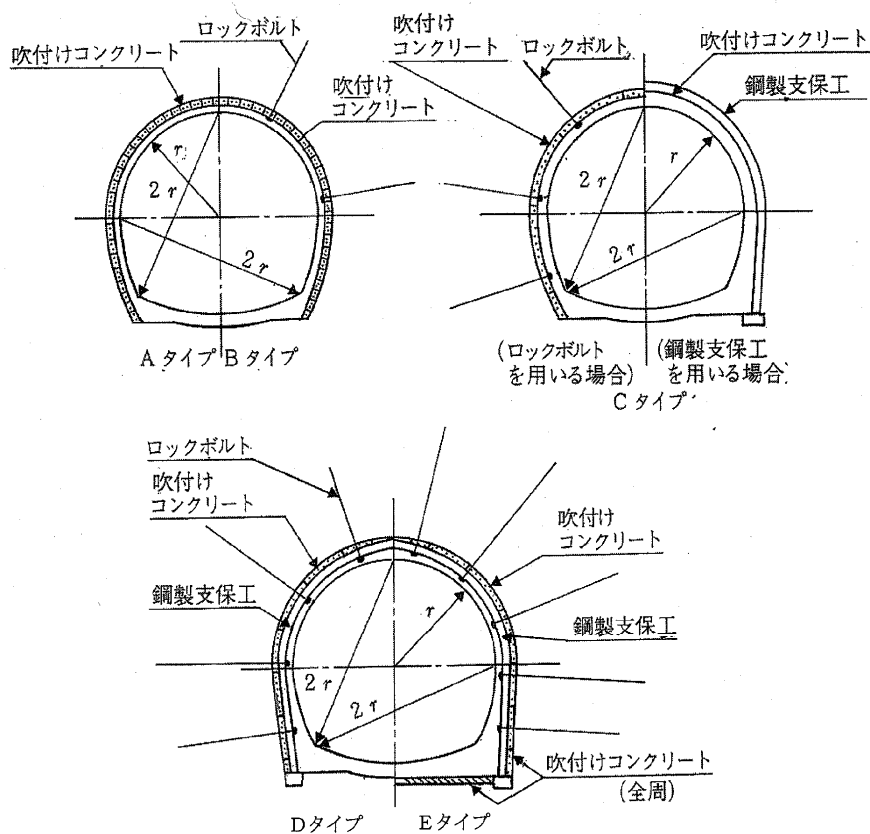


図 1-3 吹付、ロックボルト工法標準断面図（標準馬てい形の場合）

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
周方向 (m)	延長方向 (m)										
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	0.4D _e '	1.5	2.0	-	無筋コンク リート
	B2					10			1.5		
C		風化岩、破碎帯、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	0.5D _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 層破碎 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	0.6D _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		0.8	0.8 (H-100 程度)		鉄筋コンク リート

※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 破碎状況	α ：亀裂多く所々小断層をはさみ、場所によっては破碎質帯 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_H, 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、破碎質や湧水で作用することあ り			
C	風化岩、破碎 帯、硬土	亀裂、破碎、 軟質状況	α ：破碎帯 β ：破碎帯もしくは、亀裂や小断層が多い γ ：亀裂が多く破碎帯又は軟岩 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_H, 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、断層破碎 帯、軟質土砂	亀裂、破碎、 軟質状況	$\alpha \cdot \beta$ ：破碎帯及び湧水区間 γ ：破碎帯又は軟質岩で固結度が低い δ ：破碎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碎 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_L, 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。

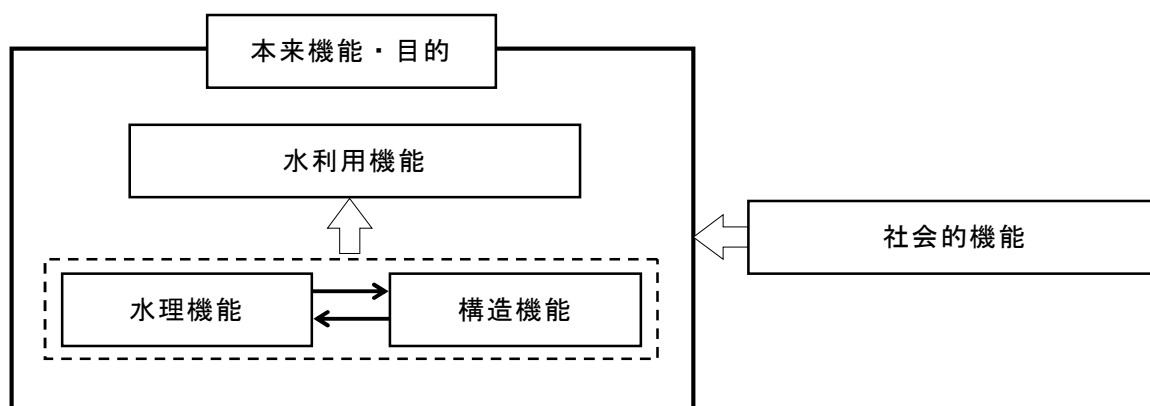


図 1-4 基本的機能のイメージ

- 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。

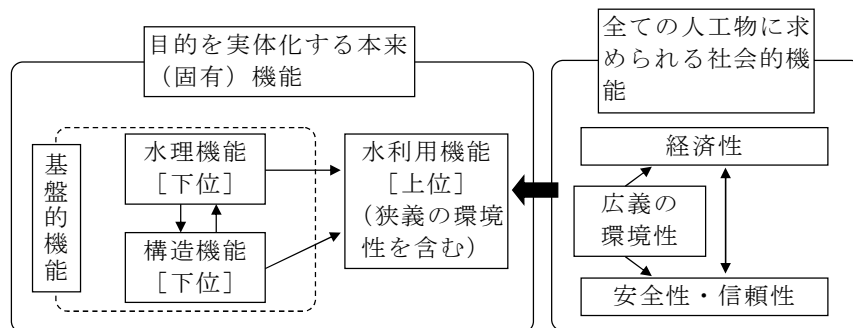


図 1-5 水路システム（用水）の基本的機能の構造化案

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。

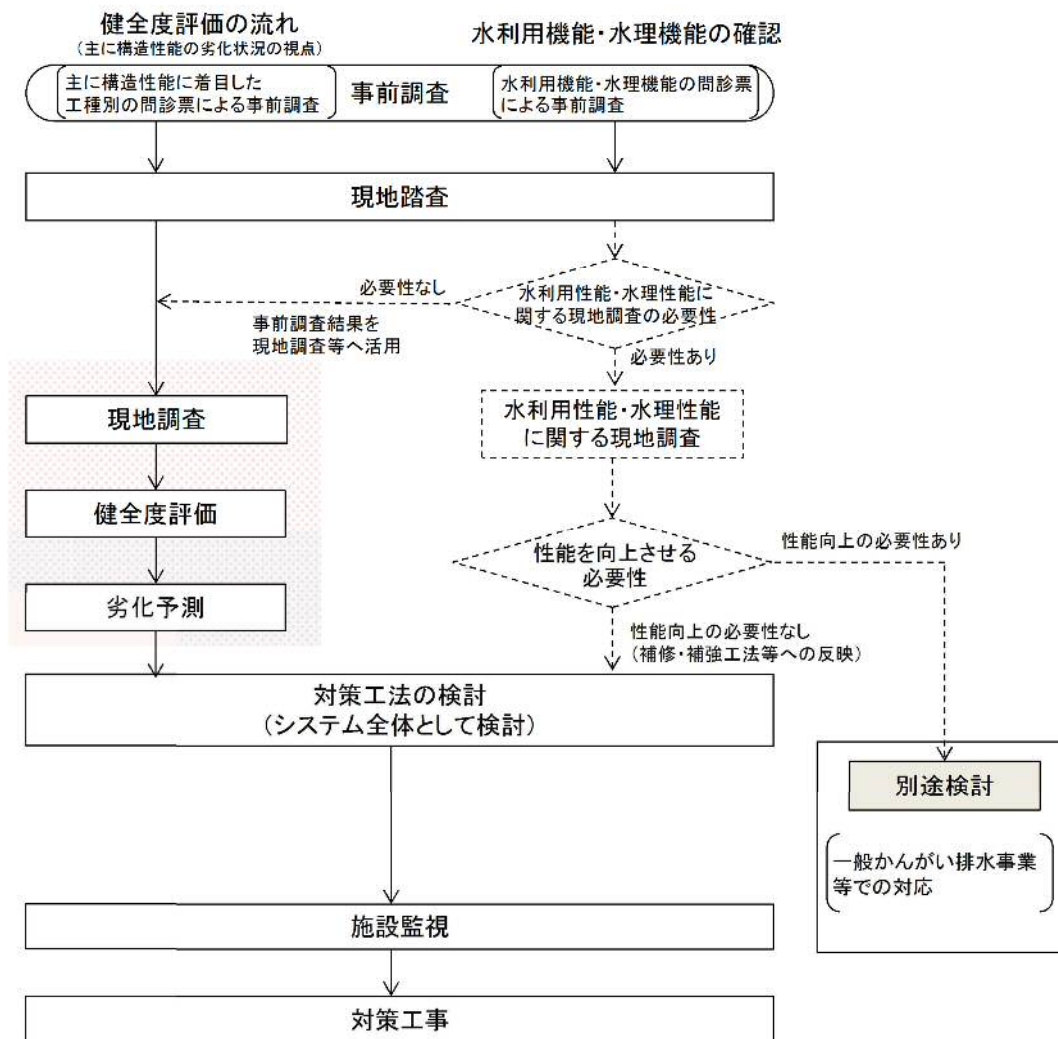


図 1-6 水利用機能・水理機能の確認フローの例

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。

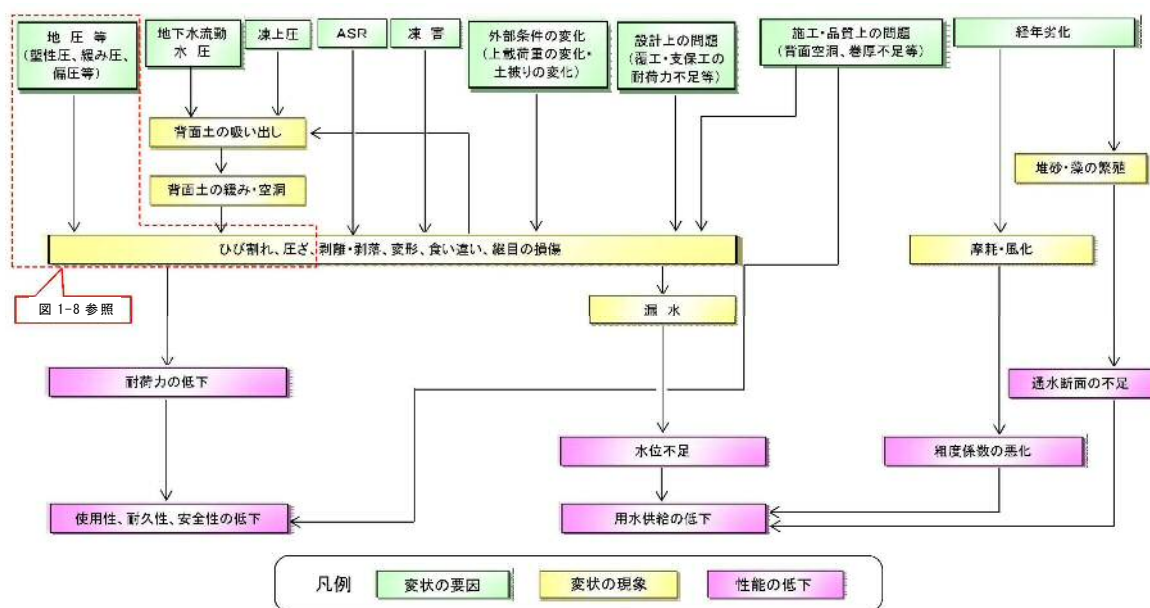


図1-7 「無筋コンクリート覆工形式（支保工有・無）」の性能低下プロセスの例

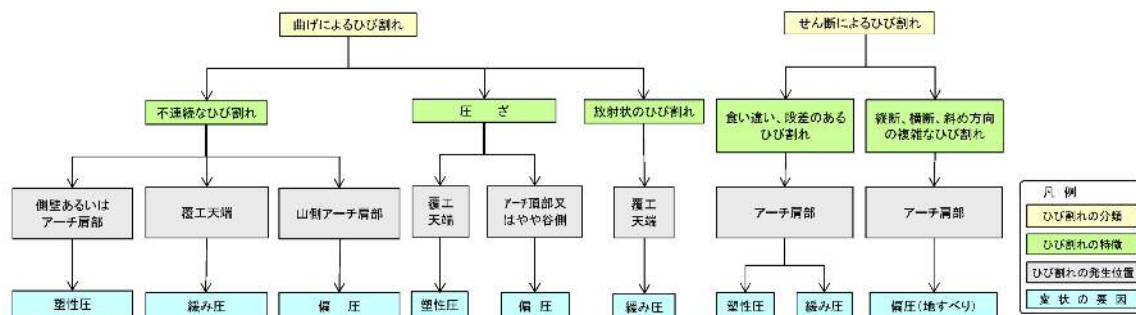


図1-8 ひび割れの分類に基づいた変状の要因の推定の例

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。

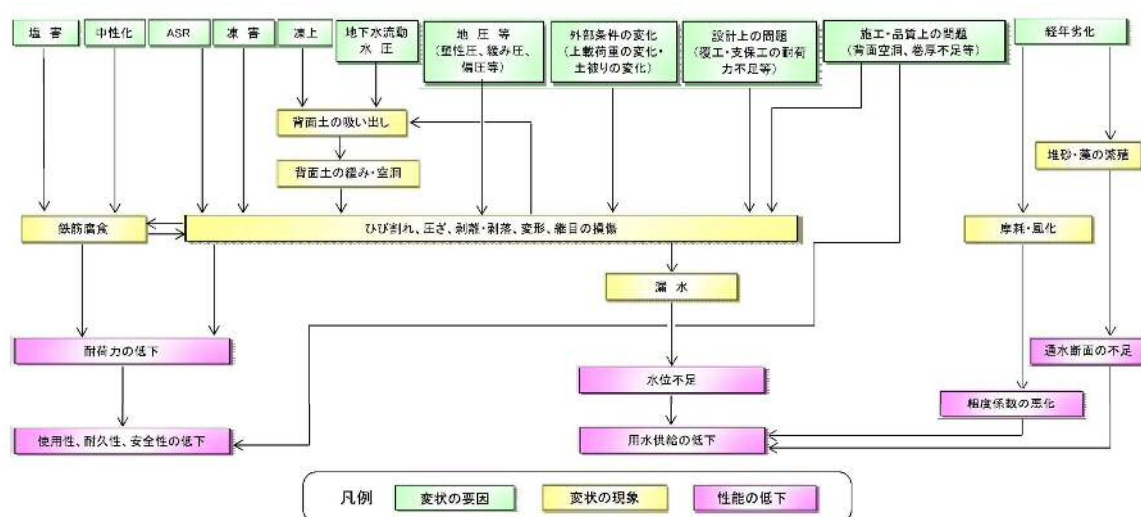


図 1-9 「鉄筋コンクリート覆工形式（支保工有）」の性能低下プロセスの例

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。

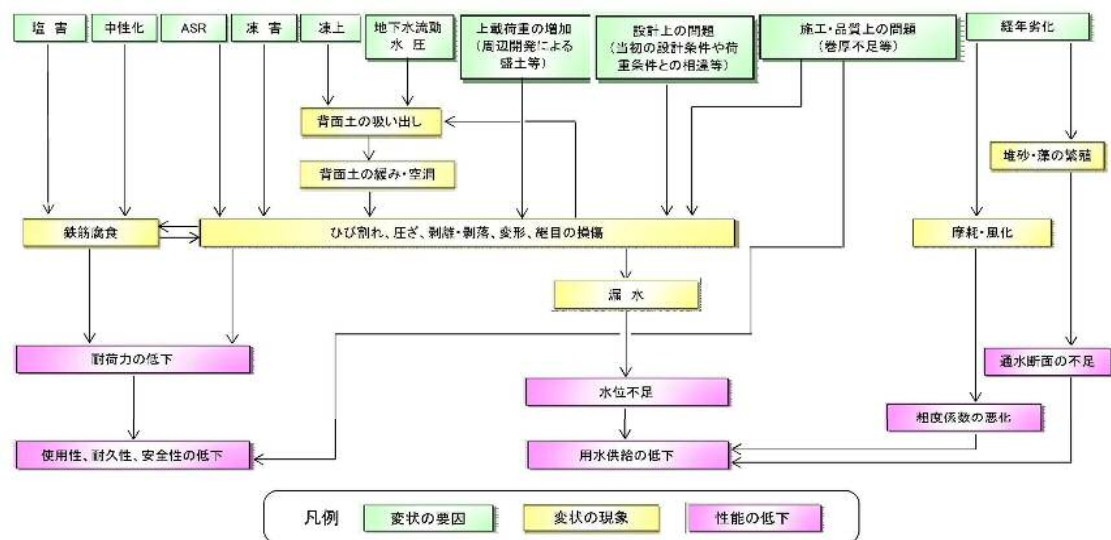


図 1-10 坑口の性能低下プロセスの例

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。

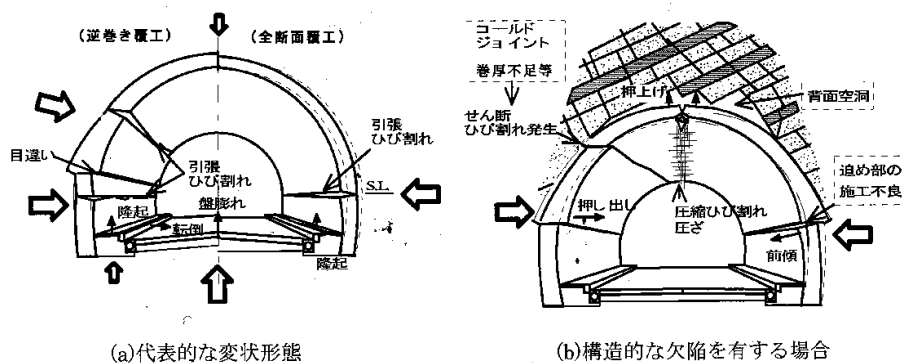


図 1-11 塑性圧による代表的な変状形態模式図

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。

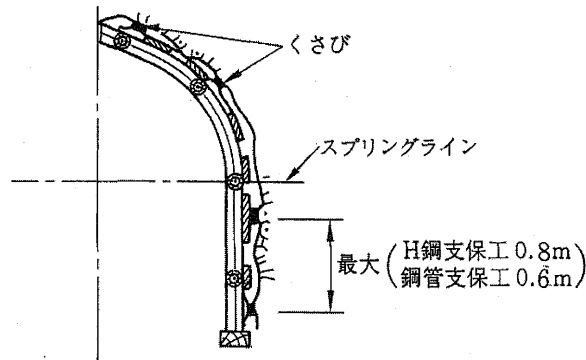


図 1-12 ブロッキングポイント（くさびの位置）

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、両者を明確に区分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。

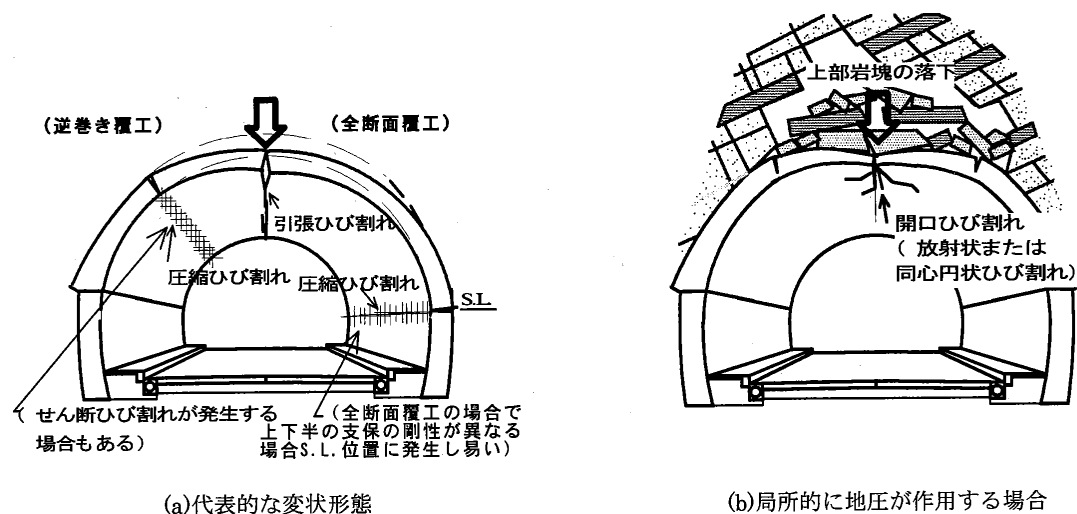


図 1-13 緩み圧による代表的な変状形態模式図

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。

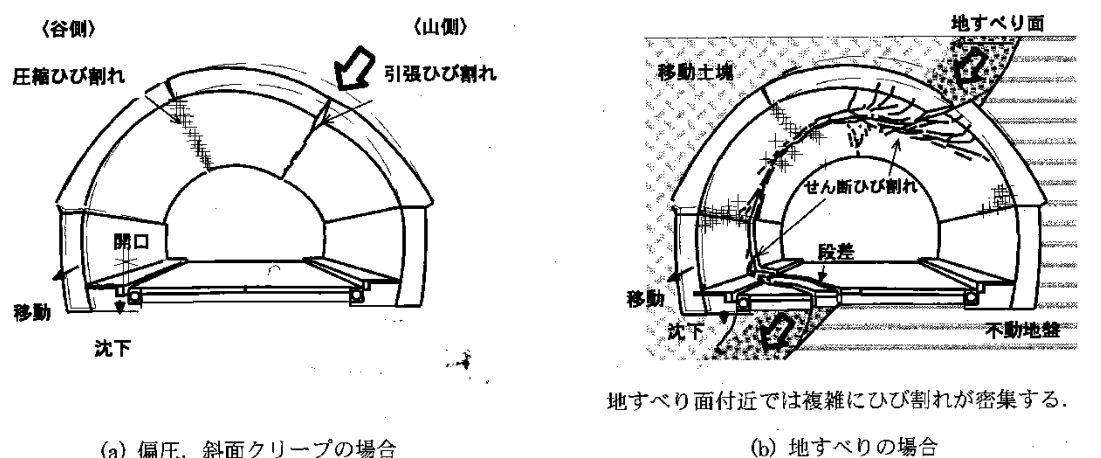
トンネル覆工に偏圧が作用した場合の変状現象は、以下のようになる。

- 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。

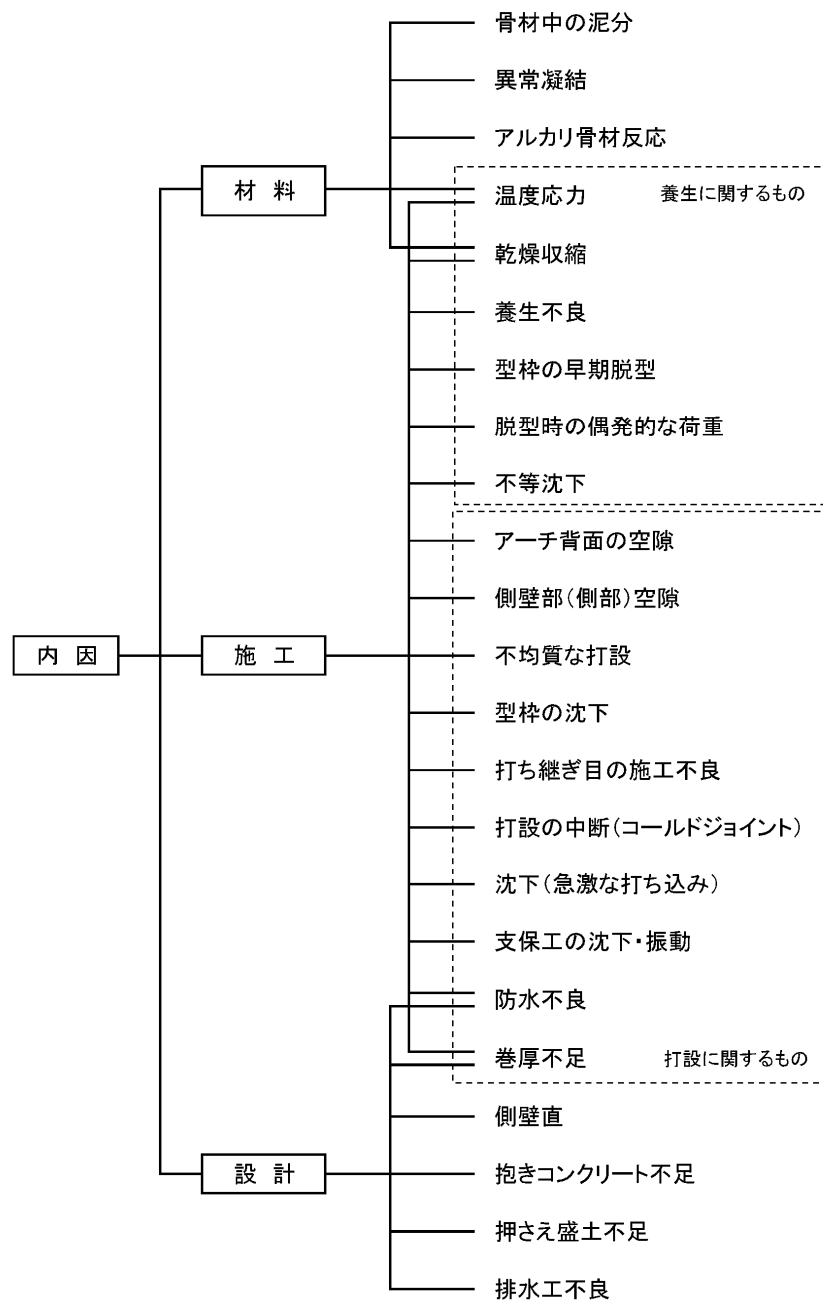


図1-15 水路トンネルの変状原因（材料・施工・設計）例

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

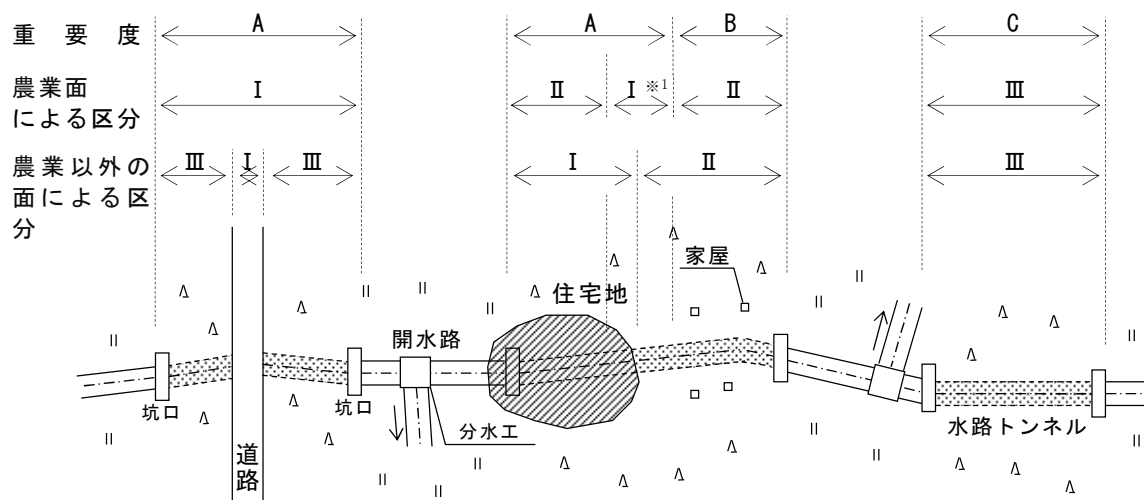


図 1-16 施設の重要度の設定イメージ

※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障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。

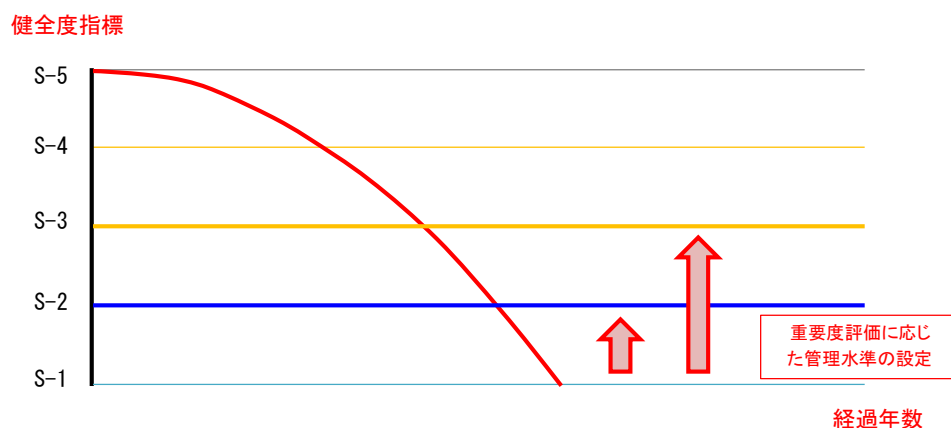


図 1-17 健全度による管理水準の設定を行う場合の例

(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、調査の可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

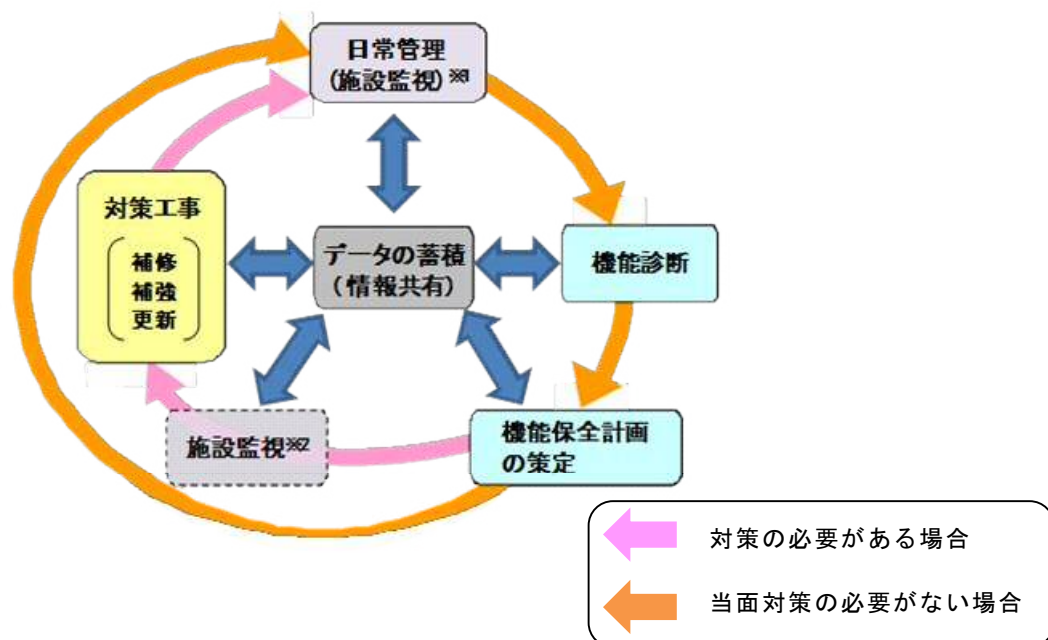
- ・ 機能保全対策を検討・実施しようとする場合、施設造成者、施設管理者等の関係者間で情報を共有するとともに、適切な役割分担の下に合意形成を図ることが必要である。
- ・ 適切な合意形成を図るため共有すべき情報としては、機能診断や施設監視の結果として得られる施設の劣化状態、それに応じた機能保全対策が基本となるが、施設の重要度や周辺環境から施設が保有するリスクを評価し、リスクが大きい施設（重要度の高い施設）で事故が発生した場合にどのような影響があり得るのか等、リスクに関する情報も含めて極力具体的に説明し、共通の理解を醸成していくリスクコミュニケーションが重要である。
- ・ また、水路トンネルは、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。

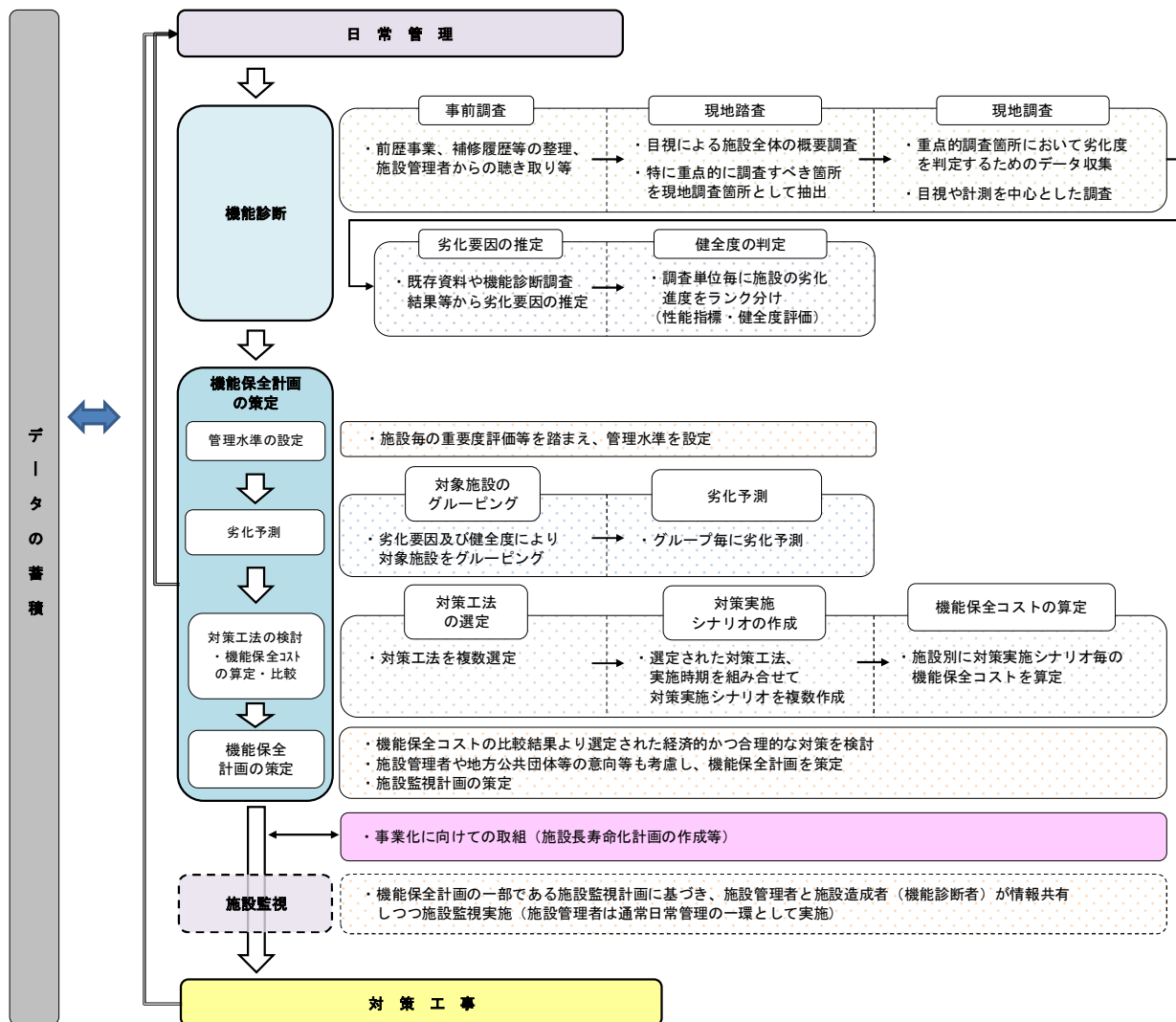


図 1-19 水路トンネルのストックマネジメントのプロセス

※ 《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(住所又は〇〇橋近傍の左岸)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。

第3章 機能診断

3. 1 基本的事項

機能診断調査は、対象となる水路トンネルの機能全般について把握するとともに、施設の劣化予測や劣化要因の特定及び対策工法の検討に必要な事項について調査を行うものである。

水路トンネルの機能診断で実施する調査項目や調査範囲の選定に当たっては、地山の特性やトンネル形式・断面形の特性、地下水や漏水の状態等を踏まえ、調査の制約条件等も考慮しつつ、調査の目的を明確にした上で、その目的に対応した最適な手段を選択する必要がある。

【解説】

(1) 機能診断調査の基本的な考え方

- 機能診断調査は、その調査の目的を明確にした上で、目的を達成するのに必要な成果を得るためには、どのような調査手法が効率的であるかとの観点から、調査全体を検討することが重要である。

また、調査内容を決定する際にも、当該調査により何を明らかにしようとしているのかといった、調査のねらいを明らかにすることが重要である。その際、調査の結果により判定できる事実がもたらすコストの縮減やリスクの回避といった効果と、調査に要する費用等が見合うものであるか、との視点での検討も必要である。

このため、水路トンネルの機能診断調査に当たっては、地山特性やトンネル形式・断面形の特性、地下水や漏水の状態等を踏まえた上での調査や通年通水等による制約を考慮した調査を実施することが重要である。

- また、機能診断調査によって得た診断情報は、電子化されたデータベースに蓄積するとともに、次の段階の調査に当たっては、これらを参照して施設の状態を把握するための基礎情報として活用を図る。
- なお、水路トンネルの構造性能の低下は、漏水の発生、粗度係数の低下、有効断面の減少等による断面閉塞等による通水性能の低下など、水利用性能及び水理性能の低下としてマクロ的に顕在化することも多い。水利システムを俯瞰した問診等により水利用性能及び水理性能を把握しておくことは、後の対策工法の検討等のプロセスの効率的な実施にもつながることから、こうした問診を行うことも重要である。水利システムの水利用性能及び水理性能の診断は、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。

(2) 機能診断調査の手順

- ・ 水路トンネルの機能診断調査は、効率的に施設を把握する観点から、
 - 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を基本とし、必要に応じて詳細調査を実施する。

1) 事前調査

- ・ 事前調査は、設計図書、管理・事故・補修記録等の文献調査やデータベースの参照、施設管理者からの聴き取り調査等により、施設の重要度評価やリスクの把握に必要な情報を含む機能診断調査に関する基本的情報を効率的に収集し、現地踏査や現地調査等の内容を検討し実施する。

2) 現地踏査

- ・ 現地踏査については、専門的な知見を有する技術者がトンネル坑内の巡回目視、トンネル外部遠隔目視等を行い、変状が生じている位置や程度等を大まかに把握するとともに、劣化要因の推定を行う。これらを踏まえ、現地調査の単位、定量的な調査項目等を決定しつつ、安全対策の必要性の有無など、現地調査の具体的な実施方法を検討する。

3) 現地調査

- ・ 現地調査は、事前調査と現地踏査の結果を踏まえ、専門的な知見を有する技術者による近接目視による調査のほか、施設の劣化予測や対策工法検討のために必要な指標について、定量的な調査を実施する。現地調査による調査結果だけでは判定できない特殊な状況にあるなど、特に必要がある場合には、専門家や試験研究機関などによる詳細調査を実施する。

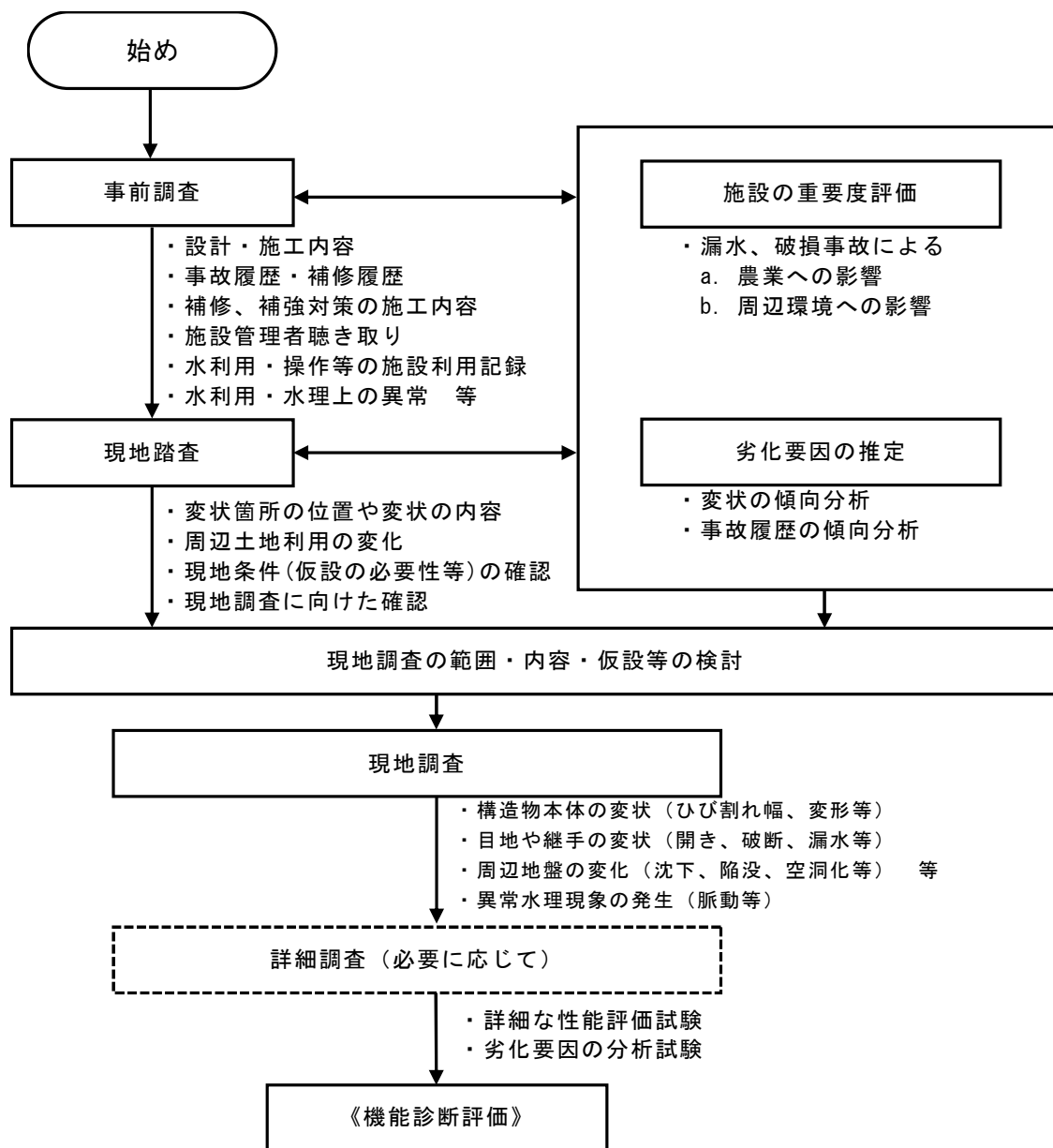


図 3-1 機能診断調査の実施フロー

3. 2 事前調査（既存資料の収集整理等）

事前調査では、現地踏査・現地調査の実施方法を検討するために必要な基本情報を収集する。具体的には、施設の設計諸元、図面、施工記録、完成図書、地域特性、地山の特性、過去の診断履歴、事故・補修履歴等の既存資料の収集と施設管理者からの聴き取りを行う。

【解説】

（１）既存資料の収集・整理

１）資料の活用方法

- ・ データベースの情報、前歴事業の設計図書、施設の補修等履歴情報、通水量の変動情報、水質等の施設供用環境に関する情報、地域の気象情報、地形・地質的な地域特性等を把握することにより、機能診断調査を効率的に実施することが重要である。また、収集・整理した資料は機能保全計画作成において施設現況調査の基礎資料として活用する。

２）設計、施工内容に関する既存資料の収集整理

- ・ 設計、施工内容に関する調査では、水路トンネルの設計図書（設計図、業務報告書）、施工記録（施工方法・技術、使用材料）、完成図書（竣工図、出来形調書、品質管理記録等）、地形・地質データ、過去の診断や事故・補修履歴等の資料を可能な限り収集するとともに、必要に応じて、構造物の設計者、施設の利用者や管理者、施工者に対して聴き取り調査を行う。主な調査項目は次のとおりである。

ア．水路トンネルの名称、所在地、設計者及び施工者

この項目は調査対象の構造物の基本事項であり、必要に応じて設計者や施工者への聴き取り調査を行う。

イ．竣工年月

設計図書、竣工図面等を参考に、竣工年月（施工時期）を調査する必要がある。劣化現象は経年的に進行するものであるため、竣工後の経過時間を把握することにより、劣化現象の原因の把握、今後の予測などを行う基礎的資料となる。また、施工当時の各種基準、材料特性などを把握することができ、それにより劣化要因を推定することが可能となる場合もある。

ウ．設計内容

設計図、業務報告書、完成図書等の設計図書等を参考に、構造物の用途・規模・構造等、当初の設計条件、荷重条件、地山条件、部材諸元等を調査し、設計内容の妥当性の確認を行うとともに、当初と現在の設計基準・規格内容を比較し、必要に応じて現在の設計基準により安全性の確認を行う。また、現地踏査及び現

地調査結果と比較することにより、設計条件との違いが明らかになり、それにより劣化要因を想定することが可能となる。

特に、ほろ形断面等、側壁が直壁で側圧の影響を受けやすい場合に、変状を生じている事例が多いため、水路トンネルの断面形を把握することは重要である。

また、掘削時等における岩種変更等に伴い、覆工巻厚を厚くしたり、無筋から鉄筋コンクリート覆工への変更等、設計を変更した箇所やその理由等を把握することは重要である。

エ．施工方法

山岳工法による水路トンネルの標準施工法には、矢板工法とNATM があるが、覆工背面の空洞の残存、ブロッキングポイントの応力集中といった現象を生じやすい矢板工法の場合、地質が良質でない区間で覆工背面の空洞が十分に充填されていないと塑性領域や緩み領域が拡大助長されトンネルの変状の原因となるなどの特性があり、施工法を把握しておくことは重要である。

オ．施工内容

水路トンネルの基準高、中心線とのずれ等を記録した出来形調書や、ひび割れ調書等を入手しておく。これと、機能診断調査の診断結果との比較により、変状やひび割れの経年変化量を算定することができ、進行性の度合いの推定が可能となる。

また、コンクリート使用材料・配合、施工記録等を分析することにより、材料、施工に起因した劣化要因の推定が可能となる。

ア) コンクリート使用材料・配合

コンクリートの品質が低いと、変状につながるが多くなることから、コンクリートの配合報告書等を収集し、使用材料、配合の内容を調査しておく。コンクリートの使用材料の調査内容を、表3-1 に示す。

表3-1 コンクリート使用材料の調査内容

材 料	調査内容例
セメント	種類及び銘柄、物理・化学試験成績表
骨 材	種類、産地、岩種、岩質、粒度分布、密度、吸水率、不純物（粘土塊、有機不純物、塩分、洗い試験で失われるものなど）、アルカリ骨材反応性
混和材料	種類及び銘柄、試験成績表、標準使用量
水	種類、水質試験表

出典：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針（2013年），P. 19

イ) 施工記録

工事誌・工事記録等を参考に掘削工法、支保パターン、補助工法の有無、地山の状態（断層破碎帯、未固結地山等）、湧水が顕著であった箇所などを整理する。また、施工記録等により、調査可能な範囲において出来形（覆工厚等）、コンクリートの練混ぜ時間、運搬時間、待ち時間、打込み時間、打込み量、打込み方法、打込み方向、打込み順序、締め固め方法、仕上げ方法、養生方法等を調査する。

さらに、坑口が開削工法により施工されている場合は、埋戻しの時期、埋戻し方法、埋戻し材料等について調査する。

ウ) 各種試験記録

試験記録等により、調査可能な範囲において、スランプ、空気量、1週・4週圧縮強度、塩分濃度等を調査する。

3) 事故履歴・補修履歴の収集整理

- ・ 事故履歴、補修履歴の調査については、施設管理者から資料を収集し、破損の状態、補修・補強の方法、場所等を平面図、縦断図に記入するなどして整理し、範囲ごとの変状の特徴等の分析を行う。

事故・故障履歴、補修履歴を調査することにより、現在発生している変状が、過去の変状と類似の原因によるものかどうか、補修による効果がどの程度あるのかを推定することが可能である。

- ・ なお、調査計画の策定に当たっては、使用・供用環境が類似している範囲に同様の劣化の可能性が考えられることから、これらに関する資料整理も重要である。

4) 地山の特性に係る資料の整理

- ・ トンネルの場合は、地山の特性が構造機能に及ぼす影響が大きいため、事前にトンネル縦断図や地形図、広域地質図等既往の資料により地質構造を把握し、地山の特性、各部位の土かぶり、沢部の横断箇所、地すべり地域の想定、偏圧のかかりやすい箇所などを整理しておくことが必要である。
- ・ 一般に地圧による変状は、塑性圧、偏圧・斜面クリープ、地山の緩みによる鉛直圧などが代表的な要因であり、地圧の種類によってそれぞれ特徴的な変状を示すので、地山の特性を把握することは重要である。

塑性圧の作用する地山では、以下のような要因により覆工の変状が生じる場合がある。

- a. 収束までの時間が長期化する。
- b. 周辺地山の応力再分配の過程で塑性領域の発生・拡大を生じ、覆工打設後

に想定していない外力が作用する。

- c. 空洞がある場合、地下水変動や膨張性地山における吸水膨張といった要因により、トンネル周辺の塑性領域が時間とともに拡大し、地山強度や剛性の低下を引き起こし、そのことがさらに塑性領域を広げる。

緩み圧の作用する地山では、地下水流入による周辺地山の風化、覆工と地山との間の空洞の影響等によって、トンネル上方の地山の緩み高さが時間とともに拡大し、トンネル上部の緩んだ地山が荷重として覆工に作用し、緩み領域の拡大とともに地圧が徐々に増加し、覆工にひび割れが発生・進展する場合がある。

- また、地下水等に起因する地すべりや斜面裾の切取り等によって水路トンネルに外力（偏圧）が作用したり、雨水の浸透による地下水位の上昇により一時的に水圧が作用したり、地下水流動に伴う地山の強度劣化を生じる場合がある。

5) 地域特性に係る資料の収集整理

- 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、広域地質図等から周辺の地形・地質的な特性、断層の有無などを確認する。

また、コンクリート構造物における塩害、アルカリシリカ反応、凍害については、対象施設の位置する地域の気象データや使用骨材の試験成績書等を収集した上で、これらの要因が該当する可能性の高い地域区分を示す図表（農業水利施設の長寿命化のための手引き（平成27年11月 農林水産省農村振興局整備部設計課）等を参照）と照らし合わせることで、地域特性による性能低下の要因を推定することが可能となる。

さらに、水質や流下する塵芥物の多寡など地域特性や当該施設の設置されている箇所を把握しておくことも重要である。

6) 施設管理者に対する問診事項及び取りまとめ方法

- 施設管理者に対する問診事項としては、施設のどの位置に、どのような変状が発生しているか聴き取ることを基本とするが、可能な限り変状の程度や発生時期、発生条件、水管理・保守上の課題、近接施工の有無、維持補修費用等までを確認することが望ましい。

施設造成以降、施設管理者が坑内に入ったことがない場合は、既往の調査の履歴や管理上の課題を中心に聴き取りを行う。

- また、現地踏査等のために断水や減水通水が必要な場合は、利水者に影響がないように、断水あるいは減水通水の時期や期間（時間）に関する資料の収集が必要である。なお、断水することが出来ず減水通水する際に水の供給量が不足する場合は、付近の調整池等からの一時的な水の供給等が可能かどうか確認しておく必要がある。

- ・ 近接施工の有無については、トンネル直上での切土や盛土作業、トンネル周辺の斜面の切取り作業等が地圧発生の要因となり得るので、確認しておくことが大切である。

また、施設周辺の開発・都市化等による地形や建設物等の変化、事故等による社会的影響、施設の危険度についても聴き取りを行い、施設の重要度評価の基礎資料とする。変状が顕在化している箇所では、対策工の緊急性等について施設管理者の意識・要望等を把握する。施設管理者への問診は、通常、**表2-1**に示すような日常点検票に施設管理者が定期的（施設の変状の程度に応じて設定）に記入し、それらの日常点検票を機能診断調査の実施者が収集・整理する。収集した日常点検票については、施設単位での事前調査票（問診票）（**表3-2**）の作成や、平面図に異常箇所やその内容等を書き込むなどして現地踏査における予備知識として活用できるように整理する。

- ・ なお、現状の施設に対して水利用機能や水理機能が適正に発揮されているかについても問診の対象とする必要がある。日常点検票の水利用・水理の記載を確認した上で、水利用機能・水理機能の問診票を用いて下流への配水不足等の問題の有無を確認する。問診に当たっては、水利システム図等を活用する。
- ・ **表3-3** に水路トンネルにおける水利用機能・水理機能の問診票の例と、**図3-2** に水利システムの図の例を示す。

7) 施設情報の図化

- ・ 過去のひび割れ状況等、現地踏査・現地調査に必要な情報は、平面図・縦断図、展開図等に記載し整理する。なお、情報の図化に当たっては、写真や農地地図情報（GIS）の活用も有効である。

表3-2 トンネルの事前調査票（問診票）の例

整理番号		調査年月日（今回）	平成 年 月 日
地区名		（前回）	平成 年 月 日
施設名		記入者	
覆工形式 ^{※1}	(a) 無筋コンクリート覆工 (b) 鉄筋コンクリート覆工 (c) 坑口		
項目	異常の有無、内容 ^{※2}		異常箇所 ^{※3}
構造上の 変状	覆工	1. 異常有り ①覆工が崩落している ②インバートが盤膨れしている ③覆工が変形している ④コンクリートの欠損、剥落、多数のひび割れが見られる ⑤漏水痕跡がある ⑥その他の異常が見られる（ ）	
		2. 異常無し	
	継目部	1. 異常有り ①継目部の欠損、ずれ、段差が著しく、漏水の痕跡がある ②継目部のずれ、段差が見られる ③その他の異常が見られる（ ）	
		【特記】	
	トンネル 上部地盤	1. 異常有り ①地すべり、地盤の陥没が発生している ②その他の異常が見られる（ ）	
		2. トンネル上部・周辺の改変 ①土地利用の変化（ ） ②近接施工の有無（ ） 3. 異常無し	
【特記】			
水理・水 利用上の 異常	通水性	1. 異常有り ①所定の通水量が確保できない ②通水量が安定しない（管理が難しい） ③漏水が発生している ④トンネル内の異常堆砂 ⑤側壁・インバートへの水生生物等の付着 ⑥その他の異常が見られる（ ）	
		2. 異常無し	
	水位の維持	1. 異常有り ①水位の異常上昇が見られる ②水位の異常低下が見られる ③水位が安定しない ④その他の異常が見られる（ ）	
		2. 異常無し	
【特記】			
確認 項目	通水期間	1. 非通水期間であるため断水の必要はない 2. 通水期間中である（通水期間： ～ ） 3. 通年通水のため断水できない	
	残水状況	1. 自然流下によりトンネル内に残水はない 2. トンネル内に残水有、ポンプ排水が必要（残水量： ）	
	機材等の搬入	1. 人肩で可能である 2. クレーン等が必要である 3. 特殊な仮設が必要	
	過去の 調査実績	1. 調査実績なし 2. 調査実績あり（留意点： ）	
	特記事項		

※1：覆工形式に○印をつけて、該当する項目について問診する。

※2：異常の有無、内容は、該当する番号に○印をつける。

※3：異常箇所は、測点、又は大まかな位置を記入する。

表 3-3 水路トンネルにおける水利用機能・水理機能の問診票の例

整理番号			調査年月日	平成 年 月 日
地区名			記入者	
対象施設名			形態	水路トンネル
機能・性能項目		異常の有無、内容		
水 利 用 機 能	保守管理 ・ 保全性	1. 異常あり ・ 日常的な保守管理に要する費用や労力が増加している ・ 保守管理に必要な施設(坑口までの管理用道路、除塵(スクリーン)等)が不足している 2. 異常なし		異常個所
		【特記事項】		
水 理 機 能	通水性	1. 異常あり ・ 所定の流量流下時に不安定な流況が生じる時がある ・ 所定の流量流下時に余裕高が不足する(天端付近まで水位が上昇する) ・ 水路の沈下や変形、異常堆砂等により、安全に水が流れない区間がある ・ 漏水が生じている(又は漏水が疑われる個所がある) ・ 必要な水位が確保できていない 2. 異常なし		
		【特記事項】		
		放余水性	1. 異常あり ・ 放流施設の不具合により豪雨、洪水時等の余水放流が適切にできない ・ 余水放流施設が不足している 2. 異常なし	
		【特記事項】		

【参考】水利システムの図化

機能診断に当たっては、事前に対象施設がどのような水利システムとして成り立っているかを把握することが望ましい。例えば、下図のような水利系統や各水利施設が俯瞰的に把握できる模式図を作成することが考えられる。作成に当たっては、施設の受益面積や水量の当初と現在を記入するとともに、鉄道や主要道路、住宅密集地など立地条件の情報を記入し、水利システムと地域社会との繋がりを明らかにしておくとの良い。

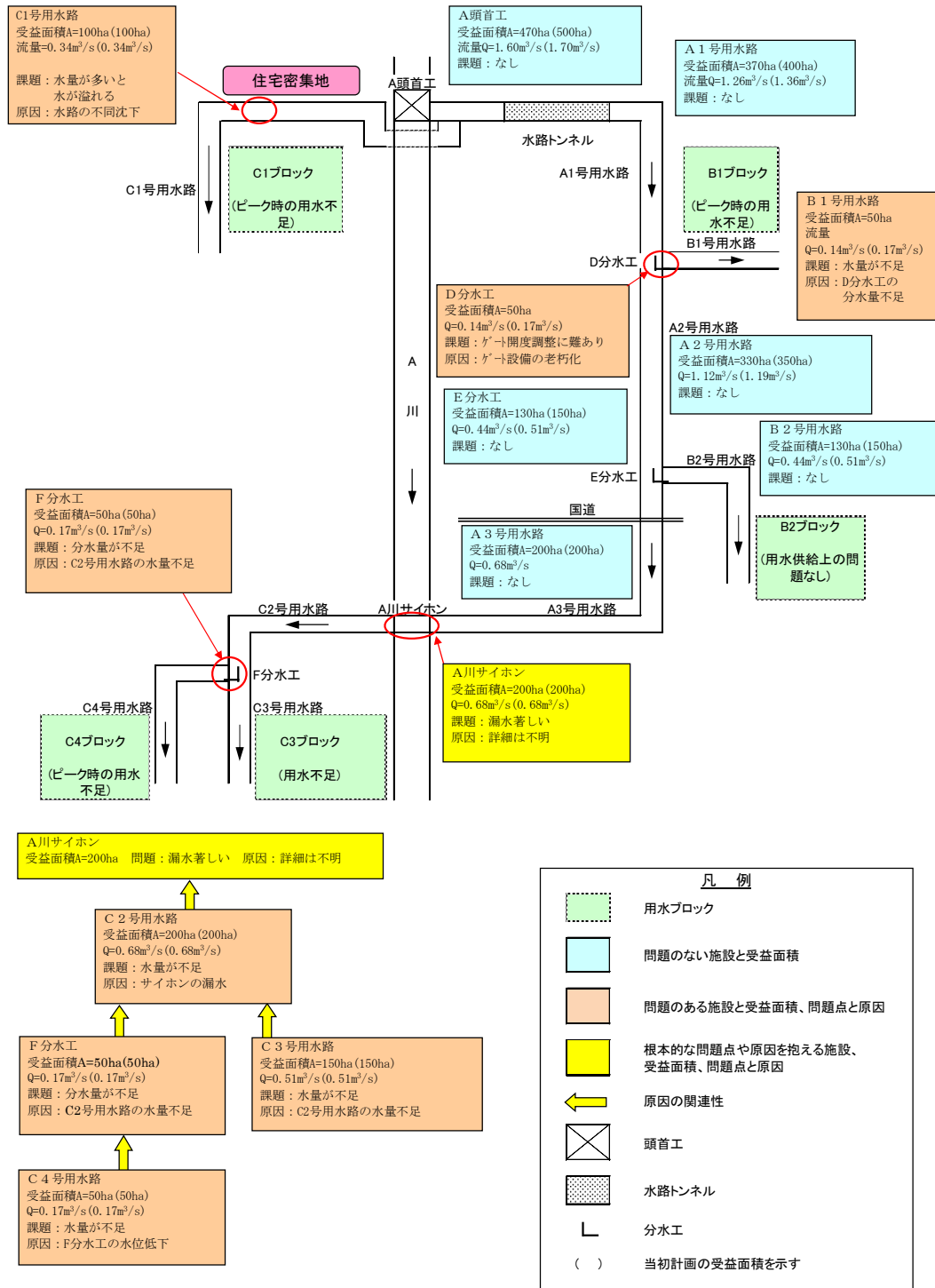


図 3-2 水利システム図 (例)

3. 3 現地踏査（巡回目視）

現地踏査では、事前調査で得られた情報を基に実際に現地を巡回目視により変状が生じている位置や程度等を大まかに把握するとともに、劣化要因の推定を行う。これらを踏まえて、現地調査の単位、定量的な調査項目等を決定しつつ、安全対策の必要性の有無など現地調査の具体的な実施方法等を検討する。

【解説】

（１）現地踏査の基本的な考え方

- ・ 現地踏査は、事前調査で得られた情報を基に、坑口周辺やトンネル坑内を巡回目視（通水状態での調査で、通水量が多く巡回が困難な場合を除く）により可能な限り対象路線全区間を観察し、トンネル上部をはじめ施設周辺の土地利用の変化等を確認しつつ、変状の有無や変状箇所の特定制を行うとともに、現地調査を実施する適切な位置や調査単位、調査地点（定点）、安全対策の必要性の有無、想定される劣化要因等を具体的に決定することを主目的として行う。なお、定点の設定は水理ユニットや同一構造区間を代表する箇所（劣化の程度が標準的な箇所）及び変状が顕著な箇所とすることを基本とする。

年間を通じて用水供給を必要とする場合においては、一時的な断水、減水通水が可能な時期や期間（時間）を把握し、水の供給不足が生じないように計画的な調査実施方法を検討する必要がある。また、部分目視や水中カメラなどの装置を用いて調査を行ってもよい。

なお、水路トンネル坑内の踏査に当たっては、酸欠、有毒ガスによる生命の危険を避けるため、踏査開始前に有資格者による酸素濃度等の測定や、換気を十分に行うなどの配慮が必要である。

- ・ また、今後実施する現地調査に当たっては、調査用台車等の仮設を必要とする場合があるため、現地踏査において、診断項目に沿った調査の実施に必要な仮設の要否を十分に検討しておくことが重要である。
- ・ 現地踏査は、専門的な知見を有する技術者が主体となって行う。また、日常管理を通じて平常時の状況を熟知する施設管理者（土地改良区等）と一緒に実施することが望ましい。事前調査において下流への配水不足等、水利用機能及び水理機能に問題があると判断された場合は、現地踏査等の際に、水路トンネルの余裕高等を調査する。

現地踏査に当たっては、以下の点に留意して巡回目視を行う。

- ① ひび割れ、摩耗などの表面変状及びひび割れからの漏水の有無、程度（範囲）
- ② ひび割れの分類（曲げひび割れ、せん断ひび割れ）

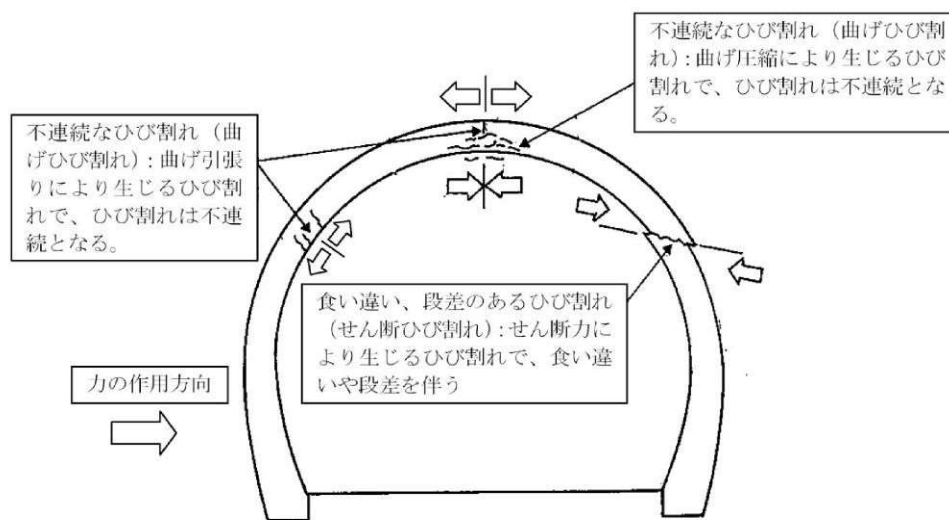
※無筋コンクリート覆工においては、曲げひび割れの場合はひび割れが不連続となり、せん断ひび割れの場合は食い違いや段差が生じる。

- ③ 構造物の変形（側壁の押し出し、インバート部の盤膨れ等）の有無、程度（特にトンネル断面がほろ形の場合は、側壁部の変状に留意）
- ④ 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
- ⑤ 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）
- ⑥ 周辺地盤の沈下、陥没
- ⑦ 水利用上、水理上の性能低下の状況

- ・ 図3-3 に曲げひび割れ、せん断ひび割れの模式図を示す。

また、事前調査で整理された情報や認識されている変状等を基に、踏査箇所や確認すべきポイントを予め整理した帳表を作成する。現地踏査票の例を表3-4に示す。

- ・ 今後の現地調査及び継続調査時においては、調査ポイントや過去の変状を容易に把握するため、事前調査段階で作成した施設情報が記載された平面図・縦断図、展開図等を活用することが望ましい。



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. 556, 557に加筆
 図3-3 無筋コンクリート覆工における曲げひび割れ、せん断ひび割れの模式図

※本手引きでは、食い違いとは打ち継目にずれが生じた状態をいい、段差とは部材面に高低差がついた状態をいう。

表3-4 水路トンネルの現地踏査票の例

整理番号			調査年月日	平成 年 月 日
地区名			記入者	
施設名				
覆工形式 ^{※1}	(a) 無筋コンクリート覆工 (b) 鉄筋コンクリート覆工 (c) 坑口			
	変状項目	変状の程度	変状箇所 ^{※2}	
構造的な 安定性	ひび割れ・進行性 曲げひび割れ等の異常なひび割れ			
	欠損・崩壊 傾き・変形・歪み 側壁・インバートの変形			
	鉄筋の露出			
	不同沈下			
材料的劣化	コンクリート表面の剥落・欠損			
	変色などその他の変状			
	摩耗・骨材の露出			
	析出物			
	漏水・ひび割れ等からの漏水痕跡箇所			
	漏水・漏水痕跡 (異常な湿気・砂の吸出し)			
継目の劣化	欠損・段差・破断			
	欠損・崩壊・鉄筋の露出			
堆砂	通水障害を起こすような堆砂			
トンネル 上部地盤	地盤の崩落、地すべり			
	地盤の陥没の痕跡			
評価	現地調査箇所 (現地調査を行うのに適当な箇所)			
	詳細調査箇所 (補修対策の必要有無を判定するための詳細調査が必要な箇所)			
	補修対策の必要箇所 (早急に補強・補修工事を必要とする箇所)			
特記事項				

※1：覆工形式等（a, b, c）には○印をつけて、該当する変状項目について調査を行う。

※2：変状箇所は、路線測点番号、施設番号、調査平面図に付した番号等のいずれかを記入し、今後の経年調査で場所が照合できるようにする。

（２）現地調査箇所選定の考え方

- 水路トンネルは線的構造物であり、延長が長いことから、効率的な現地調査を行うためには、対象とする施設の重要度に応じた調査を行うとともに、現地踏査結果に基づいてひび割れの発生が多い区間や漏水している区間、又は比較的大きな変状が発生している区間、あるいは事故歴等がある区間を選定して調査する必要がある。また、現地調査対象区間は、地形・地質、土地利用条件等が大きく変わる変化点において、単位分割したものを基本区間として選定する。

- 現地調査の調査地点（定点）は、上記の基本区間を代表する箇所（劣化の程度が代表的な箇所）及び変状が顕著な箇所を基本とする。

なお、過去に施設の機能診断調査が実施されている場合には、調査の効率性を確保するとともに、経年変化の分析が行えるようにするため、極力、当該調査地点を活用するようにする。

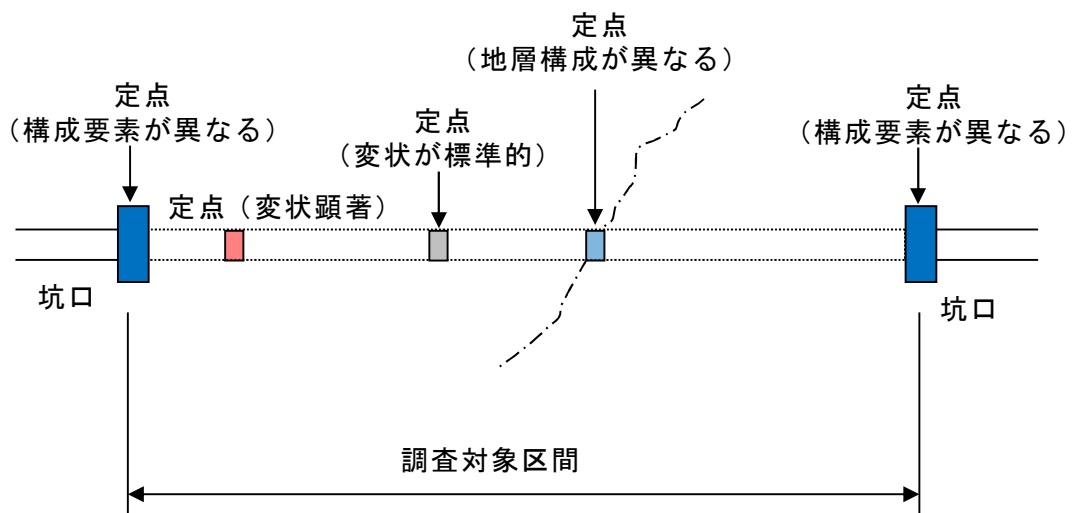


図 3-4 定点調査地点の設定（例）

3. 4 劣化要因の推定

現地調査における調査項目の設定や調査地点の選定を効率的に行う観点から、事前調査、現地踏査で得られた情報を基に、施設の重要度を評価するとともに、着目する劣化要因を推定する。

【解説】

- ・ 現地調査における調査項目の設定や調査範囲の選定を効率的に行う観点から、事前調査や現地踏査で得られた情報を基に、地下水や漏水の状態、地山の特性や使用環境との劣化要因の関連性を整理し、表3-5 に示すような「劣化要因推定表」を用いて、当該施設における主たる劣化要因を推定する。

主たる劣化要因は、「劣化要因推定表」の関連性の高さで判断されるが、関連性が低い要因であっても、過去の機能診断結果や事故原因調査等から性能低下要因が特定されている場合は、関連資料の追加収集や現地調査計画に反映させる。

表3-5 水路トンネルが置かれた環境と劣化要因の関連性（劣化要因推定表）の例

劣化要因 使用環境		内部要因			外部要因					
		塑性 圧	緩み 圧	偏圧	中性 化※1	塩害 ※1	ASR ※2	凍害	化学 的腐食	摩耗 風化
背面地山の地質 (岩種)	①やや風化が進みやすい岩 はんれい岩、輝緑岩、第三紀凝灰角礫岩等	△	△	△						
	②固結度が低く、風化が進みやすい岩 新第三紀層泥質岩、未固結堆積物、中生層の頁岩・粘板岩、蛇紋岩、温泉余土など熱変成岩類等	○	○	○						
特殊地山 条件の有無	断層破砕帯、偏圧・斜面クリープ、膨張性地山に位置する	◎	○	◎						
周辺地形	地すべり地形内を通過している 地すべり地形に近接している	○	○	◎						
事故履歴	過去に凍上圧による変状が発生した	◎	◎	○						
土かぶり	Dc < 5D Dc：土被り D：トンネル掘削径	○	○	○						
施工方法・過去の調査における空洞の有無の可能性	①矢板工法で施工された	△	△	△						
	②実際の空洞調査で空洞が発見された	○	○	○						
供用年数	①40年以上				○	○	○	○	○	○
	②20～40年未満				△	△	△	△	△	△
施工年	①1986年以前（塩分総量規制、ASR対策）					△	△			
	②1978年以前（鉄筋被り、設計基準強度）				△					
地域	①塩害を起こしやすい（起きた）地域					△				
	②ASRを起こしやすい（起きた）地域						△			
	③凍害を起こしやすい（起きた）地域							△		
	④ASR、塩害複合劣化地域					△	△			
	⑤塩害、凍害複合劣化地域					△		△		
	⑥凍害、ASR複合劣化地域						△	△		
材料	①水セメント比60%以上				△	△		△		
	②海砂の使用					△				
	③反応性骨材の使用						△			
水質	①水質が酸性								○	
	②海水の流入あり					○				
摩耗条件	①流速が2m/s以上									○
	②土砂の流入が多い									○

【関連性：高 ← ◎・○・△・なし → 低】

※1 無筋コンクリートの場合は劣化要因としない。

※2 1986年以降の施工の場合は劣化要因としない。

- また、地圧による変状進行の可能性の有無を推定するため、区間毎に、地質の良否、土かぶり、覆工背面の空洞の有無を組み合わせ「地山等の外部条件」の状態を区分する。

(1) 地質の良否による区分

- 岩種に応じて、その地質の良否を区分する。

なお、地形勾配変換点（山地部から平野部など）などで地下水が大きく流動している可能性がある場合や施工記録等から湧水が多いと判断される場合等においては、地下水の影響に留意する必要がある。

表3-6 岩種に応じた地質の良否の区分

岩 種	地 質 の 良 否
花崗岩類、安山岩、玄武岩、石灰岩、第三紀砂岩、礫岩等	良：進行性の地圧は発生しにくい。
はんれい岩、輝緑岩、第三紀凝灰角礫岩等	普通：進行性の地圧が発生する可能性がある。
新第三紀層泥質岩、未固結堆積物、中古生層の頁岩・粘板岩、蛇紋岩、温泉余土など熱変成岩類等	悪：進行性の地圧は発生しやすい。

※ 断層破碎帯、偏圧・斜面クリープ、膨張性地山である場合や周辺地山に地すべりや陥没等の変状履歴がある場合は、地質の良否を「悪」とする。

※ 凍上圧が発生する場所では、地質の良否を「悪」とする。

- 断層破碎帯とは、地殻変動により地殻に派生した断裂で、多少とも面に沿ってすべり変位の認められる断層面に沿う不規則な割れ目の帯状の集合のことであり、突然多量の湧水が出たり、断層角礫や粘土の軟弱帯がトンネル内に押出してきたり、噴出したりすることがある。
- 膨張性地山とは、山岳トンネルの掘削に当たってトンネル内空を縮小するようにはらみ出してくる地山のことをいい、粘土鉱物を含有する地山の体積膨張や地山応力による塑性変形等が要因となってトンネル周辺地山のはらみ出しが生じると考えられている。泥岩、頁岩、蛇紋岩、温泉余土等の地山は、トンネル掘削に当たって膨張性を示すことが比較的多い。このような地山で、支保工や覆工に作用する地圧のことを膨張性地圧という。
- また、斜面クリープとは、斜面を構成している地山の表層部が気温や含水量等の変化により、徐々に下方に重力移動する現象のことをいい、この移動量が大きいものを地すべりという。

(2) 土かぶりと地質の良否による地山条件の区分

- 土かぶりの大きさに応じて、その危険度を区分する。

表3-7 土かぶりによる危険度の区分

土かぶり : D_c	危険度
$D_c < 5D$	危険度 大 : トンネル変状の危険性がある。
$D_c \geq 5D$	危険度 小 : トンネル変状の危険性が低い。

※表中のDは、トンネル掘削断面の直径を表す。

※無圧コンクリートライニング断面（無支保）の最小土かぶり厚さ3Dに若干の余裕を考慮して5Dを区分の境界条件としている。

※本表は、鉄筋及び無筋コンクリート覆工の場合に適用するものとし、素掘り及びモルタル・コンクリート吹付けトンネル、又は圧力トンネルの場合は、別途検討するものとする。

※地質の状況等によっては、必ずしもこの基準によらないものとする。

【参考】最小土かぶり厚について

無圧トンネルの場合、この高さについては各種実験及び弾性理論による理論解等から、一般にトンネル掘削断面の直径の5倍程度とされているが、これは地山の地質、ライニングの有無とその材質、支保工の種類によって異なるので、次の値（表-2）を標準とする。

表-2 トンネルの最小土かぶり厚さ (D_c) の標準

区 分	岩トンネル	土砂トンネル
素掘り及びコンクリート吹付け断面	10 D_e 、ただし 最小30m	—
無筋コンクリートライニング断面 (無支保)	3 D_e	—
無筋コンクリートライニング断面 (有支保)	2 D_e	3 D_e
鉄筋コンクリートライニング断面 (有支保)	中間部	1.0 D_e
	坑口部	2m
		3m

(注) ① D_e : トンネル掘削断面の直径 (m) (余掘りを含む)

② 土かぶり厚さはトンネル本体上端から地表までの高さ

出典：土地改良計画設計基準・設計「水路トンネル」(平成26年7月), P. 17

- 上記と(1)地質の良否による区分による地山条件の区分を、図3-5に示す。

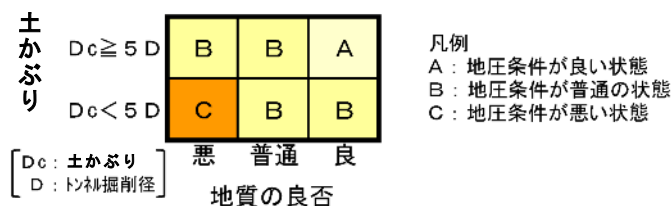


図3-5 (土かぶりと地質の良否による) 地山条件の区分

（３）覆工背面の空洞の有無と地山条件による外部条件の区分

- ・ 空洞の有無による区分を行う。トンネル覆工背面の空洞の有無については、全線を調査することが困難な場合があるため、未調査箇所については施工方法等により、空洞の有無を推定する。

なお、目視点検により、ひび割れや湧水等のトンネル変状があり、空洞があるおそれがある箇所については、実際に空洞調査を行うことが望ましい。

表3-8 覆工背面の空洞の有無の判断区分

空洞の有無	判 定 区 分
有	実際の空洞調査で空洞が発見された場合
有る可能性が高い	矢板工法で施工した場合
有る可能性が低い	NATMで施工した場合、又は実際の空洞調査で空洞が発見されなかった場合

- ・ この覆工背面の空洞の有無の判定区分を、地山条件の判定区分と組み合わせて、「地山等の外部条件」を区分する。

図3-6 に地山等の外部条件による区分を示す。

地 山 条 件	A	中	低	低
	B	高	中	低
	C	高	高	中
		有	有る可 能性が 高い	有る可 能性が 低い
		背面空洞		

凡例
 低：地圧による変状進行の可能性が低い
 中：地圧による変状進行の可能性が中
 高：地圧による変状進行の可能性が高い

図3-6 地山等の外部条件の区分

（４）施設の影響度、地山等の外部条件の区分の整理

- ・ 施設の影響度と地山等の外部条件の区分の整理は、竣工図書・工事記録（トンネル縦断図、平面図、工事誌等）及び現地踏査結果を踏まえ、下表に示す評価区間毎に評価を行い整理表（表3-9参照）を作成する。現地調査により修正があった場合は、速やかに修正・追記等を行い整理する。

なお、評価区間単位は1 スパン、又は10mを基本とし、スパン延長や地質の良否等、施設・地域の特性に応じて設定する。

表3-9 施設の影響度評価と地山等の外部条件整理表

位置情報			覆工 形式	重要度評価					地山等の外部条件				備考
				条件				評価	条件			評価	
スパン	距離	追加 距離		受益 面積	工水・上水 共用施設	直上の 土地利用	復旧 難易度		岩種	土かぶり (m)	覆工 背面空洞		

3. 5 現地調査（近接目視と計測）

事前調査・現地踏査で得られた情報を踏まえ、調査施設の特徴（水路トンネル形式・断面形の特徴）や地山等の外部条件による区分、影響度等を勘案して、調査項目や調査単位（調査地点の密度）を設定する。特に水路トンネルの場合、覆工背面の地山状態の良否がトンネルの変状に大きく関わってくるため、地山の状態を把握するための調査手法が重要となる。なお、現地調査に当たっては類似地区の事故事例や使用・劣化環境条件も参考にすることも考慮する。

【解説】

（１）現地調査の基本的な考え方

- ・ 現地調査は、事前調査・現地踏査で得られた情報や地山等の外部条件による区分及び施設の重要度や経過年数等を踏まえ、適切な調査範囲において実施するもので、施設の性能低下状態やその要因について定量的な調査を行う。現地調査による調査結果だけでは判定できず、更に詳細な調査が必要であると判断された場合には、専門家や試験研究機関等による調査（詳細調査）を実施する。
- ・ トンネル坑内の現地調査に当たっては、酸欠、有毒ガスによる生命の危険を避けるため、調査開始前に有資格者による酸素濃度等の測定や、換気を十分に行うなどの配慮が必要である。
- ・ また、調査費用と求めたい結果との費用対効果についても十分検討し、施設の重要度が低く、事故歴や変状が無い場合や機能診断調査を行うよりも事後保全の方が明らかに経済的と判断される場合には、現地調査項目を絞り込むこともできる。

（２）現場条件により調査に制約を受ける場合の取扱い

- ・ 水路トンネルの現地調査はできる限り断水し、トンネル坑内に水がない状態で調査することが望ましいが、運用上の理由により、やむを得ず通水した状態で調査を行う場合には、調査用台車や水中カメラの使用など、通水状態での調査手法を検討するとともに、合理的な調査となるように調査可能な項目や範囲、経済性などについても留意する。

（３）調査項目及び調査内容

- ・ 現地調査では、事前調査、現地踏査の結果を踏まえ、劣化の状況や主要な劣化要因等を特定するために必要な調査項目を設定する。

特に、トンネルの変状に大きく影響する覆工背面の地山の状態は、直接目視できないため、その調査手法が重要となる。トンネル内に進入できない場合では、周辺地山の沈下・陥没・ひび割れやトンネル上部の土地利用状況など、周辺状況の情報収集に重点を置いた調査を行うものとする。トンネル内に進入できる場合では、表3-10に掲げる調査項目を標準とし、事前調査や現地踏査で得られた情報を踏まえ、必要に応じ

て劣化の状況や主要な劣化要因等を特定するために必要な項目を追加する。ただし、当該施設における調査項目の有効性や施設の置かれた状況を勘案して、調査項目を絞り込むこともできる。

- なお、コンクリート覆工形式の水路トンネルでは、劣化要因推定表によって得られた主要な劣化要因を踏まえ、ひび割れ、材料劣化、変形・歪み、継目の劣化などについて調査する。
- また、農業水利施設の構造性能の低下は、水利用性能・水理性能の低下としてマクロ的に顕在化することも多い。水理システムを俯瞰した問診等により水利用性能及び水理性能を把握しておくことは、後の対策工法の検討等のプロセスの効率的な実施にもつながることから、こうした問診を行うことも重要である（表3-11参照）。

表 3-10 構造機能に関する標準的な現地調査項目例

機能	性能	区 分	調査項目	調査手法	記録手法
構 造	力学 安全 性	ひび割れ	ひび割れ最大幅	定量計測 (クラックスケール)	定量記録、写真記 録、図化
			ひび割れ延長	定量計測 (スケール)	〃
			ひび割れタイプ	タイプ判別	〃
			ひび割れ段差	目視による有無 定量計測 (スケール)	
		変形・ 歪み	内空断面の変位	目視による有無、簡易計測 (下げ 振り、ポール等)	定量記録、写真記 録、図化
		圧縮強度	圧縮強度 (反発硬度)	簡易計測 (リバウンドハンマ法、 機械インピーダンス法等)	定量記録、写真記 録
	耐久 性	材料劣化	浮き	目視による有無、 打音調査	写真記録、図化
			剥離・剥落・スケーリ ング	目視による有無、 簡易計測 (デプスゲージ等)	定量記録、写真記 録、図化
			ポップアウト	目視による有無	写真記録、図化
			(析出物)エフロレッ センス	〃	〃
			(析出物)ゲルの滲出	〃	〃
			錆汁	〃	〃
			変色	〃	〃
			摩耗・風化	目視による有無、 簡易計測 (デプスゲージ等)	定量記録、写真記 録、図化
			漏水(痕跡)	目視による有無	写真記録、図化
			鉄筋露出	〃	〃
		中性化	中性化深さ／中性化 残り	ドリル法	〃
			鉄筋被り	設計図書の確認、 定量計測 (鉄筋探査)	定量記録、写真記 録、図化
	安定 性	漏水・湧水 背面土砂 吸出し	漏水、濁り	目視による有無	写真記録、図化
		不同沈下	沈下、蛇行	目視による有無 簡易計測 (スケール等)	定量記録、写真記 録、図化
	上記性能を含む構造性能	地盤変形	覆工背面の空洞化	打音調査	写真記録、図化
			周辺地山の沈下・陥没 ・ひび割れ	目視による有無	写真記録、図化
		継目の 損傷	継目の開き	目視による有無、簡易計測 (スケ ール)	定量記録、写真記 録、図化
			継目の段差	〃	〃
			止水板の破断	目視による有無	写真記録、図化
			継目からの漏水	〃	〃
			周縁コンクリートの 欠損等	目視による有無、簡易計測 (スケ ール等)	定量記録、写真記 録、図化

表3-11 水利用機能及び水理機能に関する標準的な現地調査項目の例

機能	性能	調査項目	調査手法	記録手法	備考
水利用	保守管理・保全性	保守管理に必要な施設(排水施設、安全施設等)の有無、状態	目視による有無	状態記録、写真記録	非かんがい期
		保守管理の安全性(酸素濃度、有毒ガス、湧水等)の有無、状態	ガスの定量計測(探知機等)、湧水の目視による有無	定量記録、写真記録	〃
水理	通水性	流量	定量計測結果より算定(水位(スケール等)と流速(電磁流速計等)を計測し流量を算定する)	定量記録、写真記録	かんがい期
		水位(余裕高)	定量計測(スケール・コンベックス等)	〃	かんがい期
		水路断面	定量計測(スタッフ等)、土砂堆積の有無	〃	非かんがい期
		トンネルインバー트의勾配	縦断勾配計測(レベル等)	定量記録、写真記録、図化	〃
		摩耗・すりへり※	目視による有無	写真記録、図化	〃
		変形・歪みの有無※	目視による有無 定量計測(下げ振り等)	定量記録、写真記録、図化	〃
	水理学的安定性	坑口付近の水面動揺	目視による有無	状態記録、写真記録	かんがい期

※定点における施設状態評価表を用いた調査の項目にも該当。

- ・ 打音調査により覆工背面の空洞が想定される場合、段差が生じているひび割れの代表的な箇所等において、詳細調査としてドリル削孔やコアボーリングなどにより、覆工背面の地山の状態を調査することも考慮する。また、この調査孔を利用して空洞の有無、覆工巻厚、ひび割れの深さ等を調査し、いち早く変状の進行状態や劣化要因を推定することも重要である。
- ・ ひび割れの調査においては、その発生位置、方向等からひび割れタイプを特定し、劣化要因が推定できるようにする必要がある。特に、無筋コンクリート覆工においては、発生したひび割れが、曲げひび割れかせん断ひび割れかを特定し、例えば、曲げひび割れが発生している場合では、覆工背面に空洞が残存しているからではないか、また、せん断ひび割れが発生している場合では、地山条件等により偏圧が作用しているためではないかといった、ひび割れの分類に基づいた調査を行うことも重要である。

さらに、無筋コンクリート覆工に発生するひび割れは、曲げによる場合は不連続なひび割れが発生し、一方せん断による場合は食い違いや段差のあるひび割れが発生するので、曲げひび割れかせん断ひび割れかを特定し、なぜそれが起こっているのかといった視点で調査を行うことも重要である。
- ・ **表3-12** に水路トンネルのひび割れの分類（曲げ、せん断）に基づく調査手法の一例を示す。なお、トンネルの断面形がほろ形の場合、側壁部に変状が発生しやすいため、重点的に調査することも重要である。

また、地圧に因るものなど、ひび割れタイプの特定が困難な場合には、覆工背面の空洞調査や覆工巻厚の測定など必要に応じて詳細調査を行うことを考慮する。

表 3-12 水路トンネルのひび割れの分類（曲げ、せん断）に基づく調査手法の一例

ひび割れの分類	ひび割れの特徴	ひび割れ発生箇所	推定されるひび割れの要因	調査のポイント	備 考
曲げによるもの	不連続なひび割れで、トンネル縦断方向の引張りひび割れ（開口ひび割れ）	側壁あるいはアーチ肩部インバート（盤膨れによる）	塑性圧	地質調査データ 地下水の状況 背面空洞の有無 断面形 巻厚の測定 設計図書の確認	地圧等（塑性圧、緩み圧、偏圧）の外力の変状要因別の対策工法については、「手引き 4.4.2 対策工法選定に当たっての留意事項」の代表的な対策工法の例を参照のこと
		山側アーチ肩部	偏圧	地形・地質図等 近接施工の有無	
		覆工天端	緩み圧（側壁の押し出しや盤膨れ等の現象がみられない場合）	地質調査データ 地下水の状況 施工方法 近接施工の有無	
	不連続なひび割れで、トンネル縦断方向の圧縮ひび割れ	アーチ肩部からスプリングライン付近	緩み圧（覆工の変形が進行している場合）	地質調査データ 地下水の状況 施工方法 近接施工の有無	
	圧ざの発生	覆工天端	塑性圧、背面空洞	背面空洞の有無	
		アーチ頂部、またはやや谷側	偏圧	地形・地質図等 近接施工等	
	放射状のひび割れ	覆工天端	緩み圧（岩塊の落下・堆積による場合）	背面空洞の有無	
せん断によるもの	食い違い、段差のあるひび割れ	アーチ肩部	塑性圧、緩み圧、巻厚不足等	巻厚の測定 設計図書の確認	
	水平・横断・斜め方向の複雑なひび割れ、食い違いのあるひび割れ	アーチ肩部	偏圧（地すべり）	地形・地質図等 地すべり地帯 地下水の状況	
	放射状のひび割れ（周方向）	覆工天端	緩み圧（岩塊の落下・堆積による場合）	背面空洞の有無	

(4) 現地調査票

- 現地調査結果は、調査項目ごとに整理を行う。なお、現地調査に当たっては、中長期の変状を継続的に調査することが望ましいため、定点ごとの調査票から取りまとめるを行う。現地調査（定点調査）票を表3-13～表3-15及び表3-16に、詳細調査票を参考資料に示す。

表 3-13 コンクリート覆工形式の水路トンネル及び坑口の現地調査（定点調査）票の例（1/3）

整理番号			調査年月日		
地区名			記入者		
施設名			調査地点(測点表示等) 例: No. ○+○～No. ○+○		
定点調査番号					
土被り	m (トンネル掘削径: m)				
覆工形式	☐ (a) 無筋コンクリート覆工 ☐ (b) 鉄筋コンクリート覆工 ☐ (c) 坑口				
劣化要因の推定 (劣化要因推定表による)	外部	劣化要因		評価	特記事項(可能性のある劣化要因等)
		塑性圧(◎・○・△・なし)			
		緩み圧(◎・○・△・なし)			
	内部	偏圧(◎・○・△・なし)			
		摩耗風化(○・△・なし)			
		中性化(○・△・なし)			
		ASR(○・△・なし)			
		凍害(○・△・なし)			
		塩害(○・△・なし)			
		化学的腐食(○・△・なし)			
調査部位	規格		調査施設概要図		
データ整理No.	スケッチ	☐ あり ☐ なし		No.	
	写真	☐ あり ☐ なし		No.	
変 状 項 目			変状の状態・程度		
ひび割れ	構造的な安定性評価(1評価)【無筋・鉄筋】				
	ひび割れ段差			☐ あり ☐ なし	
	ひび割れ最大幅 ※()の値は厳しい腐食環境の場合に適用する。	無筋	☐ ひび割れ無し ☐ ひび割れあり ☐ 開口ひび割れ ☐ 圧ざ性ひび割れ・段差ひび割れ ☐ 部分的 ☐ 全体的		
		鉄筋・坑口	☐ ひび割れ無し ☐ 0.2mm未満 ☐ 0.2mm以上～1.0mm未満 ☐ 1.0mm以上 ☐ (0.2mm未満) ☐ (0.2mm以上～0.6mm未満) ☐ (0.6mm以上)		
				実測値	(mm)
	最大幅ひび割れの延長			(m)	
	ひび割れタイプ ※複数指定可	1.曲げによる不連続なひび割れ【無筋】	☐ あり ☐ なし	ひび割れ最大幅	(mm)
			☐ 全体的		
		2.せん断による食い違いや段差のあるひび割れ【無筋】	☐ あり ☐ なし	ひび割れ最大幅	(mm)
			☐ 全体的		
		3.継目間中央や部材解放部の垂直ひび割れ【鉄筋】	☐ あり ☐ なし	ひび割れ最大幅	(mm)
			☐ 全体的		
		4.特徴的な形状を示さないひび割れ【鉄筋】	☐ あり ☐ なし	ひび割れ最大幅	(mm)
			☐ 全体的		
		5.格子状・亀甲状などのひび割れ【鉄筋】	☐ あり ☐ なし	ひび割れ最大幅	(mm)
		☐ 全体的			
	6.鉄筋に沿ったひび割れ【鉄筋・坑口】	☐ あり ☐ なし	ひび割れ最大幅	(mm)	
		☐ 全体的			
進行性(前回との変化)			☐ あり ☐ なし		
ひび割れ規模(ひび割れ幅0.2mm以上)【鉄筋・坑口】			☐ 部分的 ☐ 全体的 ☐ なし		
ひび割れ付随物(析出物、錆汁、浮き)			☐ あり ☐ なし		
ひび割れからの漏水			☐ 滲出し、漏水跡、滴水 ☐ 流水、噴水 ☐ なし		

表 3-14 コンクリート覆工形式の水路トンネル及び坑口の現地調査（定点調査）票の例（2/3）

変状項目		変状の状態・程度			
		※いずれか該当するチェックボックスに印をつけ、右欄に計測値を記入する。			
不同沈下	構造物の沈下・蛇行	☐ 局所的（施設の一部のみで発生） ☐ なし ☐ 全体的（変状が構造物全体にある）			
継目	継目の開き	☐ 局所的（施設の一部のみで発生） ☐ なし ☐ 全体的（変状が構造物全体にある）			(mm)
	継目の食い違い	☐ 局所的（施設の一部のみで発生） ☐ なし ☐ 全体的（変状が構造物全体にある）			(mm)
	止水板の破損	☐ あり ☐ なし			(箇所)
	継目からの漏水の状況	☐ 滲出し、漏水跡、滴水 ☐ なし ☐ 流水、噴水			(箇所)
	周縁コンクリートの欠損等	☐ 局所的（施設の一部のみで発生） ☐ なし ☐ 全体的（変状が構造物全体にある）			(箇所)
周辺地盤の変状	背面の空洞	☐ 局所的（施設の一部のみで発生） ☐ なし ☐ 全体的（変状が構造物全体にある） ☐ 不明			
	周辺地盤の陥没ひび割れ	☐ 局所的（施設の一部のみで発生） ☐ なし ☐ 全体的（変状が構造物全体にある）			
	背面土砂の流出	☐ 目地・ひび割れから背面土砂が流出している可能性がある ☐ なし ☐ 目地・ひび割れから背面土砂が流出している			
ひび割れ以外の変状	浮き	☐ 部分的（表面の50%未満） ☐ なし ☐ 全体的（表面の50%以上）			(m ²)面積
	剥離・剥落・スケーリング	☐ 部分的（表面の50%未満） ☐ なし ☐ 全体的（表面の50%以上）			(m ²)面積
					(cm)深さ
	析出物 （エフロレンス・ゲルなど）	☐ 部分的（表面の50%未満） ☐ なし ☐ 全体的又は鉄筋に沿った部分的（表面の50%以上）			(箇所)
	錆汁【鉄筋・坑口】	☐ 部分的 ☐ なし ☐ 全体的			(箇所)
	摩耗・すりへり	☐ 細骨材露出 ☐ 粗骨材露出 ☐ 粗骨材剥離 ☐ なし			(m ²)面積
		☐ 全体的（表面の50%以上） ☐ 水理機能・水利用機能への支障有り			
	漏水【坑口】	☐ 漏水跡、滲出し、滴水 ☐ 流水、噴水 ☐ なし			
水路底面の洗掘	☐ 洗掘深が覆工厚の1/3未満 ☐ 洗掘深が覆工厚の1/3以上～1/2未満 ☐ 洗掘深が覆工厚の1/2以上 ☐ なし				
鉄筋露出 【鉄筋・坑口】	☐ 部分的（表面の50%未満） ☐ なし ☐ 全体的（表面の50%以上）			(箇所)	
圧縮強度	反発硬度法	測定No.			(N/mm ²)
		測定No.			
	平均値【鉄筋・坑口】 （設計基準強度比）	☐ 21N/mm ² 以上 ☐ 15N/mm ² 以上～21N/mm ² 未満 ☐ 15N/mm ² 未満 （100%以上） （75%以上100%未満） （75%未満）			
	平均値【無筋】 （設計基準強度比）	☐ 18N/mm ² 以上 ☐ 13N/mm ² 以上～18N/mm ² 未満 ☐ 13N/mm ² 未満 （100%以上） （75%以上100%未満） （75%未満）			
中性化深さ 【鉄筋・坑口】	ドリル法	測定No.			(mm)
	鉄筋被り（測定値又は設計図書による）				(mm)
	中性化残り＝鉄筋被り－中性化深さ				(mm)
	平均値	☐ 中性化残り10mm以上 ☐ 中性化残り10mm未満			

表 3-15 コンクリート覆工形式の水路トンネル及び坑口の現地調査（定点調査）票の例（3/3）

点検担当者の主観的な評価	
対策の必要性	1.対策必要有(以下から選択) ☐ ①早急に詳細調査を実施し、補修対策を実施する必要有り。 ☐ ②詳細調査を実施し、対策の必要有無を検討するのが望ましい。 ☐ ③緊急の対策、調査は必要ない。 ☐ 2. 対策必要無し 【特記事項】
想定される 主な劣化要因 ※複数指定可	【劣化要因】 ☐ 1.外力(塑性圧) ☐ 2.外力(緩み圧) ☐ 3.外力(偏圧) ☐ 4.初期欠陥 ☐ 5.中性化 ☐ 6.塩害 ☐ 7.アルカリ骨材反応 ☐ 8.凍害 ☐ 9.化学的腐食 ☐ 10.摩耗・風化 ☐ 11.過荷重(地震含) ☐ 12.近接施工 ☐ 13.支持力不足 ☐ 14.その他 【特記事項】 ※14.その他にチェックした場合は、特記事項にその内容を必ず記載すること。

表 3-16 定点調査票 スケッチ図

整理番号	調査年月日	平成 年 月 日
地区名	記入者	
施設名	調査地点 (測点表示等)	
定点調査番号		

標準断面図
1:100

内空面展開図
1:100

凡 例

(We_L=)	ひび割れ幅 2.0mm以上
(We_L=)	ひび割れ幅 1.0~2.0mm未満
(We_L=)	ひび割れ幅 0.20~1.0mm未満
(We_L=)	ひび割れ幅 0.20mm未満
----	剥離面(石灰分)
(We_L=)	目地の変状(剥離)
	浮き
	新亀・新溝
	骨材の露出
	湧水
	漏水(浸蝕)
①	写真撮影方向・番号

（５）調査頻度

- ・ 機能診断の頻度は、水路トンネルの劣化状況や偶発的な事故により、農業や周辺環境にどのような影響があるのか、その影響がどの程度までなら許容できるのか、修復の難易度や所要時間はどの程度かといった視点で検討を行い、調査に要する経費を加味して検討を行い、施設ごとに定められた重要度や健全度、調査に要する経費との関連も含めて適切に設定する必要がある。

また、劣化があまり進行しておらず、偶発的な事故によるリスクが小さい場合であっても、当該施設が今後どのような劣化過程をたどるのかを観察し予測するため、定期的な機能診断を実施する必要がある。

3. 6 機能診断評価の視点

機能診断評価は、劣化予測や対策工法の検討を行うため、機能診断調査の結果明らかとなった「施設状態」に基づき、対象施設の「健全度評価」を行う。健全度評価は、主に構造性能に係る指標に基づいて、対象施設の変状がどの程度のレベルにあるかを総合的に評価することを基本とするが、状況に応じて水利用性能、水理性能に係る指標も併せて考慮する。

【解説】

- ・ 機能診断評価は、機能保全計画を策定するために必要となる施設・設備の性能低下について、その状態と要因を把握するために実施する。また、施設・設備の状態から水路トンネルが総合的にどの程度の健全性を有するかについて評価を行うために実施する。
- ・ 健全度は、施設に求められる様々な性能の状態を包括的に評価することを意図しており、水利用性能、水理性能を支える関係にある構造性能に係る指標を中心に評価を行う。
- ・ また、施設の劣化はコンクリートなどの材料そのものの劣化、外力による変形・変位、目地の変状等、様々な要因により引き起こされるが、施設の健全度評価は、こうした劣化の主要因を見極めた上で適切に評価する。ただし、ゴミ、雑草などに起因する水利用性能及び水理性能の低下は、維持管理による対応を別途検討するものとし、健全度評価においては考慮しない。

水路トンネルにおける機能診断評価のフローを図3-7 に示す。

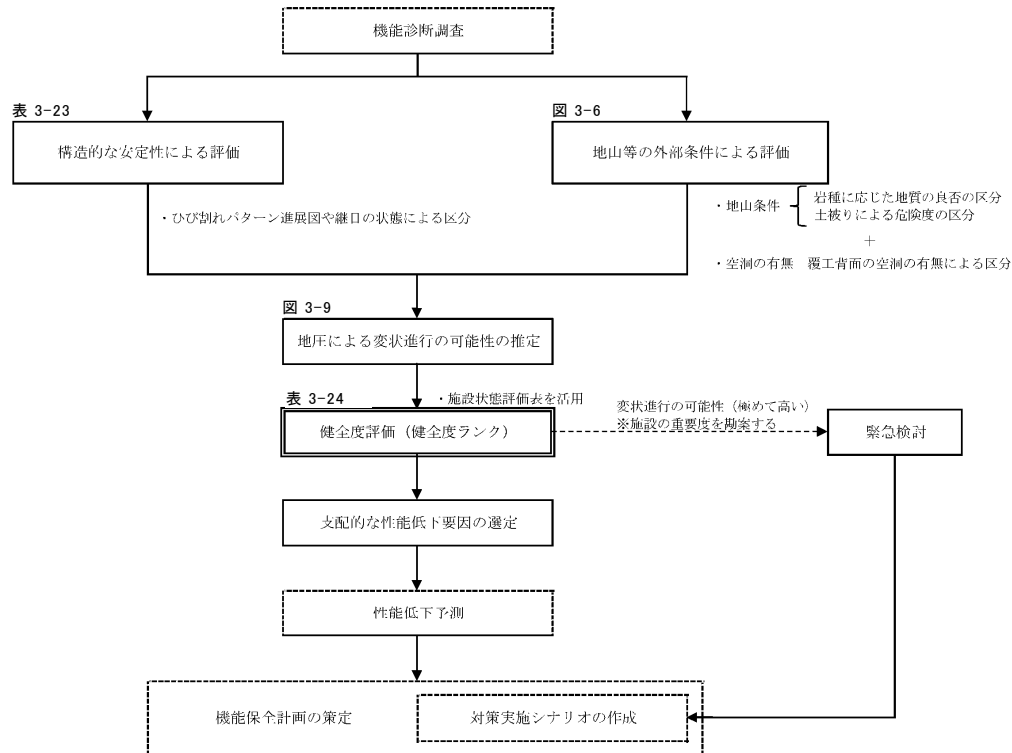


図 3-7 機能診断評価のフロー

- 水路トンネルの場合、地圧の作用によって変状を生じることが多いため、地圧の影響を考慮した上で、トンネルの健全度評価を行うことが重要である。また、鉄筋コンクリート覆工では、ひび割れは地圧だけでなく鉄筋腐食との関連性も重要となることから、鉄筋コンクリート構造物と同様の調査も必要となるほか、坑口では、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、暗渠構造物としての調査も必要となる。

- 施設の性能低下は供用期間中に生じた様々な要因によって進行しているため、それぞれの要因について進行性があるかどうかを含めて把握することが重要である。

さらに、コンクリート覆工の劣化特性については、ひび割れタイプや外部環境によって大きく異なるため、これらを考慮して検討を行うとよい（表3-17）。

なお、水路トンネルの健全度ランクの設定を表3-18～表3-21 に示す。

（１）性能低下の要因

- ① 外部要因（構造物の変形・変位・損傷など）
 - ・ 地震、地圧、水圧、覆工背面の空洞、地すべりなど
- ② 内部要因（コンクリート等材料そのものの劣化）
 - ・ コンクリートの摩耗、化学的侵食、塩害、中性化、凍害、複合的な要因による劣化など
- ③ その他の要因
 - ・ 継目の損傷等など

（２）ひび割れタイプ

- ・ 水路トンネルの性能低下には、内部要因や外部要因があるが、いずれの場合においてもひび割れのタイプや進行と密接な関係があるため、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（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、総合的に要因の推定を行う。

特に、無筋コンクリート覆工に発生するひび割れは、曲げによる場合は不連続なひび割れが発生し、一方せん断による場合は食い違いや段差のあるひび割れが発生するので、曲げひび割れかせん断ひび割れかを特定し、なぜそれが起こっているのかといった視点で要因の推定を行うことも重要である。

また、鉄筋コンクリート覆工に発生するひび割れは、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留意する必要がある。

- ・ ひび割れは進行性と非進行性に大別されるが、ひび割れタイプによる潜在的なひび割れの進行性、非進行性の評価に加え、実際にひび割れが進行しているかを継続調査により把握することが重要である。ひび割れの進行状況はひび割れ展開図の比較によって行う。

ひび割れ規模の判定は、ひび割れの分布により「全面的」、「部分的」について判断する。

（３）外部環境

- ・ 外部環境の影響を考慮するためには、地山等の外部条件による評価を行うとよい。
- ・ また、コンクリート覆工形式以外の水路トンネルの評価における留意点は次のとおりである。

１）モルタル・コンクリート吹付け形式

- ・ モルタル・コンクリート自体のひび割れや浮き・剥離・剥落など表面ライニング機能を重点的に評価するとともに、建設当時の使用材料や施工方法等についても留意するとよい。

なお、地圧による変状が認められる場合には、早急に別途検討が必要である。

2) 素掘り形式

- ・ 岩トンネルの場合において、多く採用されるトンネル形式で、岩盤の風化による浮き・剥離・剥落などの表面的な変状を重点的に評価する。

なお、地圧による変状が認められる場合には、早急に別途検討が必要である。

3) 内張管形式

- ・ 内張管の管種に応じて、摩耗の状態、塗装の状態、腐食の状態を重点的に評価する。

なお、内張管に変形や歪みの変状が認められる場合には、別途検討が必要である。

表 3-17 ひび割れタイプの分類とその特徴の例

ひび割れタイプ		特 徴
外力によるひび割れ	曲げひび割れ	不連続なひび割れで、側壁あるいはアーチ肩部にトンネル縦断方向の引っ張りひび割れ（開口ひび割れ）が確認される（塑性圧の可能性が高い）。 不連続なひび割れで、トンネル天端付近に縦断方向の引っ張りひび割れ（開口ひび割れ）が確認される（盤膨れが発生していない場合は緩み圧の可能性が高い）。 圧さを伴う圧縮ひび割れで、塑性圧や膨張圧による変状が進行すると、天端に発生する。 放射状のひび割れで、突発性崩壊により天端に集中荷重が作用した場合に発生する。背面に空洞がある場合が多い。
	せん断ひび割れ	側壁施工打継ぎ目に食い違いが確認される。 側壁あるいはトンネル天端付近に段差のあるひび割れが確認される（ひび割れの発生位置が左右非対称の場合は偏圧の可能性が高い）。 周方向の放射状のひび割れで、突発性崩壊により天端に集中荷重が作用した場合に発生する。背面に空洞がある場合が多い。
初期ひび割れ		部材開放部に鉛直にひび割れを生じる（乾燥収縮ひび割れ）。 部材拘束部に鉛直にひび割れを生じる（温度応力ひび割れ）。
劣化要因不特定ひび割れ		劣化要因を特定できるような特徴的な症状がない複合的な要因で、特定できない。
鉄筋腐食先行型ひび割れ		被りの薄い場所から鉄筋に沿ったひび割れを生じる（中性化、塩害によるひび割れ）。
ひび割れ先行型ひび割れ		表面からひび割れが進行し、格子状・亀甲状とひび割れが細網化（化学的侵食、ASR や凍害などその他劣化原因によるひび割れ）。

表 3-18 水路トンネル（無筋コンクリート覆工）の健全度ランクの設定例

健全度 ランク	施設の状態	現 象 例	対応する※ 対策の目安
S-5	変状がほとんど認められない状態	① S-4 以上の変状がない状態。	対策不要
S-4	軽微な変状が認められる状態	① 覆工天端・側壁縦断方向にひび割れが生じている（曲げによる可能性が高い）。 ② 施工時の温度応力等で発生した横断ひび割れが生じている。 ③ コンクリート覆工に軽微な摩耗が生じている。 ④ 継目に軽微な変状や軽微な摩耗が認められるが、通常の使用に支障がない状態、漏水は滲出程度。	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態	① 覆工天端・側壁縦断方向にひび割れが発生している（ひび割れは開口する傾向にある）（曲げによる可能性が高い）。 ② インバートにひび割れが生じている（曲げによる可能性が高い）。 ③ コンクリート覆工の剥離・剥落が全体的に生じている。 ④ 継目の劣化により地下水が流水又は噴水している。	補修・補強
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	① 施工打ち継目に食い違いが生じていたり、天端・側壁部に開口ひび割れが生じており、ひび割れに段差が生じている（開口ひび割れは曲げ、食い違いやひび割れの段差はせん断による可能性が高い）。 ② アーチ部に斜めひび割れが生じている（曲げによる可能性が高い）。 ③ 地圧等の外力によりインバートに盤膨れが生じている（曲げによる可能性が高い）。	補強・補修
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 近い将来に施設機能が失われる、又は著しく低下するリスクが高い状態	① 施工打ち継目に大きく食い違いが生じていたり、天端・側壁部に大きな段差のひび割れが発生している（せん断による可能性が高い）。 ② S-2に評価される変状が更に進行した状態。 補強で対応するよりも、更新した方が経済的に有利な状態。	更 新

※ 補修は耐久性を回復又は向上させること、補強は構造的耐力を回復又は向上させることである。

※ 同欄の記載内容は目安として示したものであり、健全度ランクに対応する対策の必要性の有無及びその内容は、水理性能に与える影響、重要度、リスク、劣化要因、劣化の進行状況などに応じて検討する。

※ 例えば以下のような場合については別途の観点からの検討が必要となる場合があるので、留意が必要である。

- ① S-3 評価をした場合でも、その劣化要因が外力によるものであり、劣化の程度が軽い状態でも構造的耐力を回復又は向上させる対策（補強）を検討する必要がある場合。
- ② S-2 評価をした場合でも、摩耗により粗度係数が大きくなったため通水量が確保できなくなったり、目地の損傷により漏水量が著しく多くなり、水理機能を回復させる対策（補修）を検討する必要がある場合。
- ③ その他、劣化要因等を考慮し、健全度ランクにとらわれず対策を検討すべき場合。

表 3-19 水路トンネル（鉄筋コンクリート覆工）の健全度ランクの設定例

健全度 ランク	施設の状態	現 象 例	対応する※ 対策の目安
S-5	変状がほとんど認められない状態	① S-4 以上の変状がない状態。	対策不要
S-4	軽微な変状が認められる状態	① 覆工天端・側壁縦断方向に幅0.2 mm以上1.0 mm未満のひび割れが生じている（曲げによる可能性が高い）。 ② 施工時の温度応力等で発生した横断ひび割れが生じている。 ③ コンクリートに軽微な摩耗が生じている。 ④ 継目に軽微な変状や軽微な摩耗が認められるが、通常の使用に支障がない状態、漏水は滲出程度。	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態	① 覆工天端・側壁部に幅1.0mm以上の引張ひび割れが発生している（曲げによる可能性が高い）。 ② インバートにひび割れが生じている（曲げによる可能性が高い）。 ③ 鉄筋に達するひび割れが生じているか、又は鉄筋腐食によるコンクリートの剥離・剥落が生じている（曲げによる可能性が高い）。 ④ 継目の劣化により地下水が流水又は噴水している。	補修・補強
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	① 覆工天端・側壁部に幅1.0mm以上のひび割れがコンクリート覆工の全体的に生じている（曲げによる可能性が高い）。 ② アーチ部に幅1.0mm以上の斜めひび割れが生じている（曲げによる可能性が高い）。 ③ 鉄筋が全体的に露出している。 ④ 地圧等の外力によりインバートに盤膨れが生じている（曲げによる可能性が高い）。	補強・補修
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 近い将来に施設機能が失われる、又は著しく低下するリスクが高い状態	① 貫通したひび割れが拡大し、鉄筋の有効断面積が大幅に縮小した状態。 S-2に評価される変状が更に進行した状態。 ② 補強で対応するよりも、更新した方が経済的に有利な状態。	更 新

※ 補修は耐久性を回復又は向上させること、補強は構造的耐力を回復又は向上させることである。

※ 同欄の記載内容は目安として示したものであり、健全度ランクに対応する対策の必要性の有無及びその内容は、水理性能に与える影響、重要度、リスク、劣化要因、劣化の進行状況などに応じて検討する。

※ 例えば以下のような場合については別途の観点からの検討が必要となる場合があるので、留意が必要である。

- ① S-3 評価をした場合でも、その劣化要因が外力によるものであり、劣化の程度が軽い状態でも構造的耐力を回復又は向上させる対策（補強）を検討する必要がある場合。
- ② S-2 評価をした場合でも、摩耗により粗度係数が大きくなったため通水量が確保できなくなったり、目地の損傷により漏水量が著しく多くなり、水理機能を回復させる対策（補修）を検討する必要がある場合。
- ③ その他、劣化要因等を考慮し、健全度ランクにとらわれず対策を検討すべき場合。

表 3-20 水路トンネル（素掘り、モルタル・コンクリート吹付け、内張管方式）の
健全度ランクの設定例

健全度 ランク	施設の状態	現 象 例	対応する※ 対策の目安
S-5	変状がほとんど認められない状態	① S-4 以上の変状がない状態。	対策不要
S-4	軽微な変状が認められる状態	① モルタル・コンクリート吹付けに軽微なひび割れや摩耗が生じている。 ② 岩盤に軽微な肌落ちが生じている。 ③ 漏水や管内面等に軽微な変状が生じているが当面の使用には支障がない状態。	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態	① モルタル・コンクリート吹付けに顕著なひび割れや剥離・剥落が生じているか、又は顕著な摩耗が生じている。 ② 岩盤に顕著な剥離・剥落が部分的に生じている。 ③ 漏水や管内面の腐食等、深刻でない変状が顕著に生じている。	補修・補強
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	① モルタル・コンクリート吹付けに顕著なひび割れや剥離・剥落が生じているか、又は顕著な摩耗が生じている。 ② 岩盤に顕著な剥離・剥落が全体的に生じている。 ③ 管内面の腐食や摩耗が著しく進行している。 ④ 地圧等による外力により、トンネル断面や内張管に明らかな変形・歪みが生じている。	補強・補修
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 近い将来に施設機能が失われる、又は著しく低下するリスクが高い状態	① S-2に評価される変状が更に進行した状態。 補強で対応するよりも、更新した方が経済的に有利な状態。	更 新

※ 同欄の記載内容は目安として示したものであり、健全度ランクに対応する対策の必要性の有無及びその内容は、水理性能に与える影響、重要度、リスク、劣化要因、劣化の進行状況などに応じて検討する。

※ 補修は耐久性を回復又は向上させること、補強は構造的耐力を回復又は向上させることである。

※ 例えば以下のような場合については別途の観点からの検討が必要となる場合があるので、留意が必要である。

- ① S-3 評価をした場合でも、その劣化要因が外力によるものであり、劣化の程度が軽い状態でも構造的耐力を回復又は向上させる対策（補強）を検討する必要がある場合。
- ② S-2 評価をした場合でも、摩耗により粗度係数が大きくなったため通水量が確保できなくなったり、目地の損傷により漏水量が著しく多くなり、水理機能を回復させる対策（補修）を検討する必要がある場合。
- ③ その他、劣化要因等を考慮し、健全度ランクにとらわれず対策を検討すべき場合。

表 3-21 水路トンネル（坑口）の健全度ランクの設定例

健全度 ランク	施設の状態	現 象 例	対応する※ 対策の目安
S-5	変状がほとんど認められない状態	① S-4 以上の変状がない状態。	対策不要
S-4	軽微な変状が認められる状態	① 天端に幅0.2 mm以上1.0 mm未満のひび割れが生じている（曲げによる可能性が高い）。 ② 施工時の温度応力等で発生した横断ひび割れが生じている。 ③ コンクリートに軽微な摩耗が生じている。 ④ 継目に軽微な変状や軽微な摩耗が認められるが、通常の使用に支障がない状態、漏水は滴水程度。	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態	① 天端・側壁部に幅1.0mm以上の引張ひび割れが発生している（曲げによる可能性が高い）。 ② 鉄筋に達するひび割れが生じているか、又は鉄筋腐食によるコンクリートの剥離・剥落が全体的に生じている（曲げによる可能性が高い）。 ③ 継目の劣化により地下水が流水又は噴水している。	補修・補強
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	① 天端・側壁部に幅1.0mm以上のひび割れがコンクリート覆工の全体的に生じている（曲げによる可能性が高い）。 ② 天端部に放射状のひび割れが生じている。 ③ 鉄筋が全体的に露出している。	補強・補修
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 近い将来に施設機能が失われる、又は著しく低下するリスクが高い状態	① 貫通したひび割れが拡大し、鉄筋の有効断面積が大幅に縮小した状態。 ② S-2に評価される変状が更に進行した状態。 補強で対応するよりも、更新した方が経済的に有利な状態。	更 新

※ 同欄の記載内容は目安として示したものであり、健全度ランクに対応する対策の必要性の有無及びその内容は、水理性能に与える影響、重要度、リスク、劣化要因、劣化の進行状況などに応じて検討する。

※ 補修は耐久性を回復又は向上させること、補強は構造的耐力を回復又は向上させることである。

※ 例えば以下のような場合については別途の観点からの検討が必要となる場合があるので、留意が必要である。

- ① S-3 評価をした場合でも、その劣化要因が外力によるものであり、劣化の程度が軽い状態でも構造的耐力を回復又は向上させる対策（補強）を検討する必要がある場合。
- ② S-2 評価をした場合でも、摩耗により粗度係数が大きくなったため通水量が確保できなくなったり、目地の損傷により漏水量が著しく多くなり、水理機能を回復させる対策（補修）を検討する必要がある場合。
- ③ その他、劣化要因等を考慮し、健全度ランクにとらわれず対策を検討すべき場合。

3. 7 施設の健全度評価

水路トンネルの健全度の評価は、トンネル形式・断面形や地山の特性、地下水や漏水の状態等を踏まえた機能診断調査の結果に基づいて、施設の性能低下に関係するそれぞれの要因及び地圧による変状進行の可能性とその評価区分を設定した施設状態評価表を用いて行う。複数の要因が影響している場合には、性能低下を進行させる、より支配的な要因や施設全体の機能に及ぼす影響度を考慮して評価する。

【解説】

- ・ 水路トンネルの健全度の評価に当たっては、トンネル形式・断面形や地山の特性、地下水や漏水の状態等を踏まえて、施設ごとの性能低下に関係する要因とその評価区分を設定した施設状態評価表を活用する。
- ・ 施設状態の適切な評価のためには、各施設や地域の条件等を加味することが必要となる。ストックマネジメントに係る基礎的なデータ蓄積のため、基本的な評価項目と評価区分を共通化することとし、水路トンネルの基本例として、トンネル形式ごとの施設状態評価表を表3-24及び参考資料に示す。
- ・ 評価の流れとしては、施設状態評価表を用いて、調査定点ごとに、個別の変状から変状別評価を行い、これらの評価を基に主要因別の評価を行う。最終的には、主要因別評価から施設状態の評価を行うものとし、主要因別評価から施設状態評価を行う際には、水路トンネルにおける変状の場合、進行性の地圧による影響が大きいため、地圧による変状進行性の可能性の評価結果に重点をおいて評価することが重要である。
- ・ 健全度の評価において、各要因に対する評価区分が異なる場合には、基本的に最も厳しい評価（例えば、S-4とS-3があれば、S-3）を採用する。

また、施設状態評価表に基づく評価だけでは施設の状態を適切に表現しきれない場合もあるため、様々な要因を含めた最終的な評価を下すため、健全度の総合評価を行う。健全度の総合評価は、それまでの評価の過程を検証し、必要に応じて現場条件等の確認や専門的な知見を有する技術者の協力を得るなどして、総合的な技術的判断（エンジニアリングジャッジ）を踏まえたものとして行う。

なお、支配的要因の検討やエンジニアリングジャッジ等の結果により、施設状態評価表で定量的に区分される評価とは異なる評価区分を採用する際には、定量的な計測等の結果も記録した上で、どのような考え方にに基づきその評価を行ったのかについて、記録しておくことが重要である。

(1) 地圧による変状進行の可能性の評価

- 水路トンネルの場合、地圧による外力が構造機能に及ぼす影響が大きいため、地山の安定性を把握する必要がある、構造的な安定性と地山等の外部条件により地圧による変状進行の可能性を推定した上で、トンネルの健全度評価を行うことが重要である。

推定は以下の手順で行う。

1) 構造的な安定性の区分

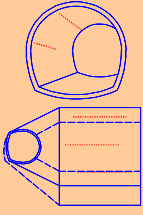
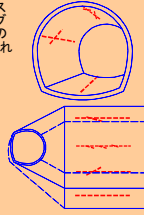
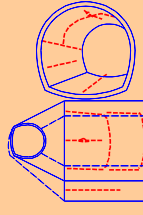
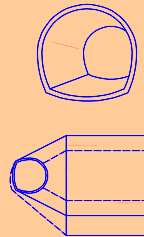
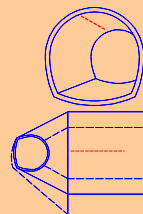
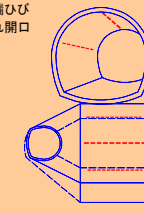
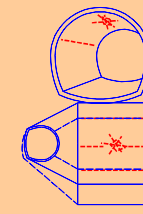
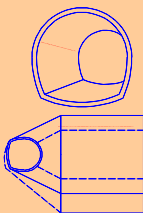
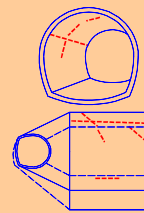
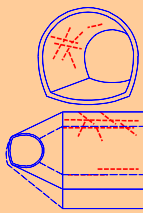
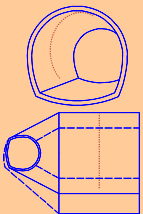
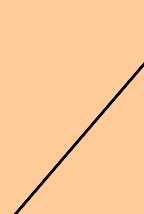
- トンネル覆工の構造耐力に係る覆工変状の現況については、トンネル覆工に生じるひび割れや継目の状態である程度評価できる。構造的な安定性の区分を表3-22に示すとおりI-2～I-5で表すこととし、現地調査結果を基に、表3-23により区分するものとする。

表 3-22 施設の状態による構造的な安定性の区分

レベル	施 設 の 状 態
I - 5	・変状がほとんど認められない状態 (ひび割れ幅0.2mm未満)
I - 4	・天端もしくは側壁にひび割れが発生している状態 (ひび割れ幅0.2mm～1.0mm未満) ・施工時の温度応力等で発生した横断ひび割れが発生している状態
I - 3	・天端もしくは側壁にひび割れが発生しており、ひび割れは開口する傾向にある状態 (ひび割れ幅1.0mm以上) ・インバートひび割れや継目の開口が生じている状態
I - 2	・天端や側壁に段差のあるひび割れが発生している状態 ・圧ざや食い違いあるいはインバートの盤膨れが発生しており、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

* () 内の数値は鉄筋コンクリート覆工におけるひび割れ幅を表す。

表 3-23 構造的な安定性の区分

	1-5	1-4	1-3	1-2
塑性圧による変状の代表的なパターン 側圧が卓越して変状が進行する。新第三紀泥岩、断層破碎帯、膨張性地山で発生しやすい。		 無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ: 幅0.2mm以上～1.0mm未満	側壁・スプリングラインのひび割れ開口  無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ (側壁で開口する傾向) インバートひび割れ 縦目の開口 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ:幅1.0mm以上 (側壁で開口する傾向) インバートひび割れ 縦目の開口	 無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ 天端・圧縮性の損傷発生 斜めひび割れ インバート膨れ・側壁の押し出し 縦目に開口・段差・食い違いが発生 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ:I-3が全体的 天端・圧縮性の損傷発生 斜めひび割れ:幅1.0mm以上 インバート膨れ・側壁の押し出し 縦目に開口・段差・食い違いが発生
縦み圧による変状の代表的なパターン 垂直圧が卓越して発生する。低土かぶりで未固結地山の場合や亀裂性の岩盤で背面に空洞がある場合に発生する。	 無筋コンクリート覆工 ひび割れ無し 鉄筋コンクリート覆工 ひび割れ幅0.2mm未満又はひび割れなし	 無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ: 幅0.2mm以上～1.0mm未満	天端ひび割れ開口  無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ (天端で開口する傾向) 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ:幅1.0mm以上 (天端で開口する傾向)	 無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ (ひび割れに段差が生じる) 放射状のひび割れ・損傷発生 ひび割れに囲まれた部分の発生 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ:I-3が全体的 (ひび割れに段差が生じる) 放射状のひび割れ・損傷発生 ひび割れに囲まれた部分の発生
偏圧による変状の代表的なパターン 地すべりや斜面に近接して施工されている場合に発生する。施工目地に食い違いや段差が生じる場合が多い。		 無筋コンクリート覆工 片側側壁のひび割れ 鉄筋コンクリート覆工 片側側壁のひび割れ: 幅0.2mm以上～1.0mm未満	 無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ (片側の側壁で先行する傾向) 縦目の開口 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ:幅1.0mm以上 (片側の側壁で先行する傾向) 縦目の開口	 無筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ 側壁の押し出し 縦目の開口・段差・食い違いが発生 鉄筋コンクリート覆工 天端・側壁ひび割れ:I-3が全体的 側壁の押し出し 縦目の開口・段差・食い違いが発生
施工時のひび割れ 円周方向に生じるひび割れは、トンネルの安定性に大きな影響を及ぼさない。		 施工時の温度応力等で発生した横断ひび割れ(鉄筋・無筋共通)		

2) 地山等の外部条件の区分

- 図3-6 (p. 60) で用いた地山等の外部条件の区分による。

地 山 条 件	A	中	低	低
	B	高	中	低
	C	高	高	中
		有	有る可 能性が 高い	有る可 能性が 低い
		背面空洞		

凡 例
 低：地圧による変状進行の可能性が低い
 中：地圧による変状進行の可能性が中
 高：地圧による変状進行の可能性が高い

図 3-8 地山等の外部条件の区分

3) 地圧による変状進行の可能性による健全度の区分

- 表3-23 に示すトンネルの構造的な安定性と図3-8 に示す地山等の外部条件から、地圧による変状進行の可能性に基づく健全度を図3-9 のように評価する。

構 造 的 な 安 定 性	I-5	S-4	S-4	S-5
	I-4	S-3	S-4	S-4
	I-3	S-2	S-3	S-3
	I-2	S-2	S-2	S-2
		高	中	低
		地山等の外部条件		

凡 例
 S-5：地圧による変状進行の可能性は極めて低い
 S-4：地圧による変状進行の可能性は低い
 S-3：地圧による変状進行の可能性は高い
 S-2：地圧による変状進行の可能性は極めて高い

図 3-9 地圧による変状進行の可能性の推定に基づく健全度の区分

- なお、トンネルの健全度評価は、図3-9 に示す健全度の区分と現地調査結果などから、表3-24及び参考資料に示す施設状態評価表に基づいて総合的に評価する。

表 3-24 水路トンネル（鉄筋コンクリート覆工）の施設状態評価表

地 区 名						評 価 年 月 日						
施 設 名						評 価 者						
定 点 調 査 番 号						調 査 地 点 (測 点 等)						
評価項目						評価区分				評価の流れ→		
健全度ランク						S-5	S-4	S-3	S-2	変状別 評価	主要因別 評価 (注4)	施設状態 評価 (注7)
外部 要因	地圧による変状進行の可能性による健全度の区分					「地圧による変状進行の可能性による健全度の区分に関する補表」に基づいて、地山等の外部条件及び構造的な安定性から健全度を評価する。				—	—	
	その他の 変状	不同沈下	構造物の沈下、蛇行			無		局所的 注3)	全体的 注3)	—		
		縫目変状	縫目からの漏水又は止水板の損傷			無	滴水	流水、噴水 止水板の損傷		—		
		周辺地盤の変状	周辺地盤の沈下・陥没・ひび割れ			無	局所的 注3)	全体的 注3)		—		
内部 要因	構造 物 自 体 の 材 料 的 な 劣 化	ひび割れ 形状 と 幅	タイプ：初辟ひび割れ 形状：縫目間中央や部材解放部の垂直ひび割れ 原因：乾燥収縮・温度応力	無又は 最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 0.2mm以上～1.0mm未満	最大ひび割れ幅 1.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的	—				
			タイプ：劣化因子不特定のひび割れ 形状：特徴的な形状を示さないひび割れ 原因：症状が複合的であり劣化因子を特定できないもの	無又は 最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 0.2mm以上～1.0mm未満	最大ひび割れ幅 1.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的					
			タイプ：ひび割れ先行型ひび割れ 形状：荷子状・亀甲状などのひび割れ 原因：ASPや塗布などの劣化原因	無又は 最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 0.2mm以上～1.0mm未満	最大ひび割れ幅 1.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的					
			タイプ：鉄筋腐食先行型ひび割れ 形状：鉄筋に沿ったひび割れ 原因：中性化・塩害	無		有	S-3に該当するものが 全体的					
			進行性（前回との変化）			有りの場合1ランクダウン						
			ひび割れ規模（ひび割れ幅0.2mm以上）			無	部分的 注2)			全体的 注2)		
		ひび割れ以外の 劣化	ひび割れ付随物 （析出物、錆汁、浮き）	無	有							
			ひび割れからの漏水	無	滴水	流水、噴水						
			浮き	無	部分的 注2)	全体的 注2)						
			剥離・剥落	無	部分的 注2)	全体的 注2)						
			析出物（エロッセ・ゲルなど） （ひび割れを含むものを除く）	無又は部分的 注2) （S-4の場合以外）	全体的又は鉄筋に沿った 部分的 注2)							
			錆汁（ひび割れを含むものを除く）	無又は部分的 注2)	全体的 注2)							
			摩耗・すりへり	無又は 細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥離						
				全体的の場合、1ランクダウン 注9)								
			洗掘	無	洗掘深が覆工厚の 1/3未満	洗掘深が覆工厚の 1/3以上～1/2未満	洗掘深が覆工厚の 1/2以上					
			鉄筋露出の程度	無		部分的	全体的					
			圧縮強度	反発硬度法（鉄筋） （圧縮強度換算）※設計強度 21N/mm2の場合	21N/mm2以上 （設計基準強度比100%以上）	15N/mm2以上～ 21N/mm2未満 （設計基準強度比75%以上 100%未満）	15N/mm2未満 （設計基準強度比75%未満）	—				
中性化	ドリル法 （中性化残りで判定）	残り10mm以上		残り10mm未満	—							

（評価の流れにおける、主要因別評価及び施設状態評価の判定の考え方） 注8)

注1) 本表は、鉄筋コンクリート覆工の水路トンネルにおける基本的な評価項目と評価区分を示したものであるため、必要に応じて評価項目の追加や評価区分の設定を行うこと。

注2) 「部分的」とは概ね全体の50%未満を示し、「全体的」とは全体の50%以上を示す。

注3) 「周辺地盤の変状」などにおける「局所的」とは施設の一部で当該変状が生じている状態を指し、「全体的」とはそれが構造物全体に及んでいる状態を指す。

注4) 変状別評価から主要因別評価を行う場合は、最も健全度が低い評価を代表値とする。

注5) S-1の評価は、この評価表によらず評価者が技術的観点から個別に判定する。

注6) 圧縮強度及び化学的腐食の調査は、必要に応じて実施する。

注7) 主要因別評価から施設状態評価を行う場合は、最も健全度が低い評価を代表値とすることを基本とする。

なお、今後、性能低下を進行させる、より支配的な要因や、施設の機能に及ぼす影響がある場合には、これらを考慮して評価する。

注8) 評価の判定の考え方の欄には、「変状別評価」から「主要因別評価」を下すもととなった変状別評価項目、及び「主要因別評価」から「施設状態評価」を下すもととなった主要因別評価項目を記入し、その判定の考え方を記述する。特に、最も健全度が低い評価項目が複数ある場合には判定の考え方が明確となるよう留意すること。

注9) 摩耗・すりへりの1ランクダウンについては、水理機能・水利用機能に支障がなく、他の変状別評価項目がS-4以上であれば、1ランクダウンは行わないものとする。

第4章 機能保全計画

4. 1 機能保全計画の策定プロセス

機能保全計画書は、原則施設毎に策定するものであり、「劣化予測」、「対策工法」、「対策実施シナリオ」、「機能保全コスト」及び「施設監視計画」についてそれぞれ取りまとめる。

【解説】

- ・ 機能保全計画の検討に先立ち、施設管理者や関係機関の意向を踏まえた上で、リスク管理の視点も考慮して施設ごとの重要度評価等に応じた管理水準を設定する。
- ・ 「劣化予測」では、当該施設の劣化状況等を踏まえ、同一の検討を行うことが可能な単位ごとに分類（グルーピング）し、劣化要因に応じてそれぞれのグループの状況に適した手法で検討する。
- ・ 水路トンネルでは、地圧による外力が性能低下の原因となるが、地圧の測定や地圧変化の予測が難しく、機能診断や劣化予測が困難な場合がある。この場合においては、施設の監視を当面の内容とした機能保全計画とし、次回以降の機能診断を通じて、精度を高めていくことが必要となる。
- ・ 「対策工法」の検討では、機能診断、劣化予測等の結果を踏まえ、水利用性能、水理性能、構造性能等における要求性能の確保の観点や、施工性等の観点から妥当性が見込まれる対策工法を検討する。この際、極力複数の案を検討する。
- ・ 「対策実施シナリオ」の作成では、上記の検討結果を踏まえ、対策工法とその実施時期を組み合わせたシナリオを作成する。この際、技術面・経済面等も含め妥当であると考えられる対策の組み合わせを検討し、極力複数のシナリオを設定する。
- ・ 「機能保全コスト」は、対策実施シナリオごとに算出する。シナリオを選定する際には、機能保全コストが最も経済的となるシナリオの選定を基本とする。しかしながら、経済性のみで判断するのではなく、重要度など施設の有するリスク、環境への影響、維持管理面等に関する施設管理者や関係機関等の意向等も考慮し、総合的に判断する必要がある。
- ・ 「施設監視計画」は、監視を行う測点（部位）、監視内容・項目、頻度、監視に当たっての留意事項、監視実施者、監視結果の記録、異状時の措置、次回予定診断時期について施設造成者（機能診断者）と施設管理者が情報共有しつつ策定する。なお、対策工事を当面実施しない施設において施設監視（継続監視）とする対応もストックマネジメントの重要な取組のひとつである。

- ・ なお、地圧による変状進行の可能性が高いと評価され、危険度が高く早急に対策を検討する必要があると判断された施設は、劣化予測のプロセスを経ることなく機能保全対策の実施シナリオの作成検討を行うことを基本とする。

水路トンネルの機能保全計画の策定フローを図4-1 に示す。

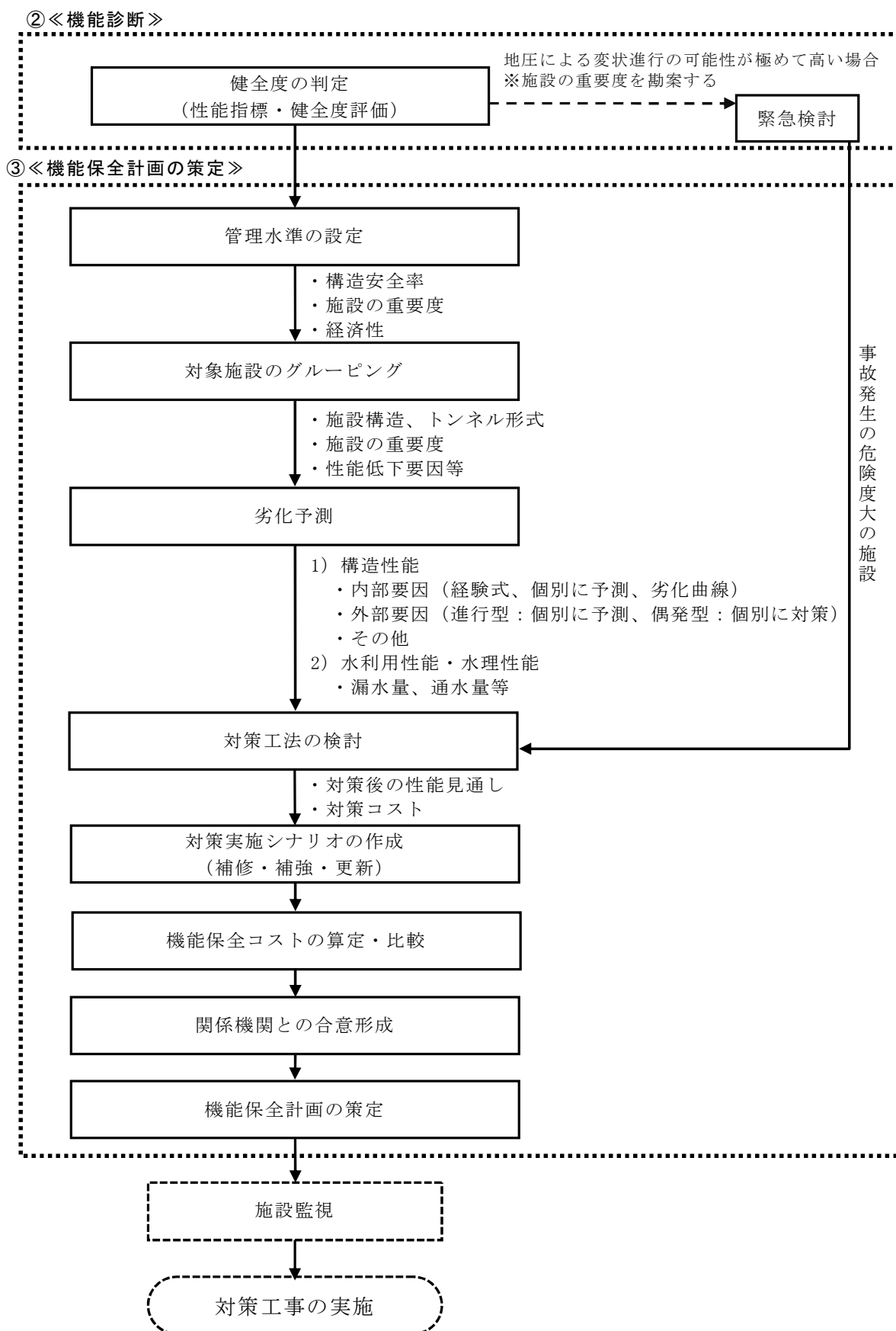


図 4-1 機能保全計画の策定フロー

4. 2 対象施設のグルーピング

対策の要否や対策工法の比較検討等を効率的に行うため、地質区分、施工方法、構造、設計条件、建設時からの経過年数、主な変状等の要因や劣化の進行状況等により同一の対策検討等を行うことが可能な施設群に分類し、グルーピングを行う。また、施設の重要度により管理水準が異なる場合も、これを区分する必要がある。

【解説】

- グルーピングとは、機能診断調査や機能保全計画の策定対象施設について、地山や地質の特性、材料、構造形式、設計条件、建設時からの経過年数、変状の要因や覆工の変状の進行状況等の類似性から、劣化予測や対策工法の検討を同一のものとして行うことが可能な範囲・区間群を束ねることである。効率的に機能保全計画を策定するためには、このグルーピングを適切に行うことが重要となる。グルーピングは、地山や地質の特性、材料、構造形式のほか、地圧や地下水等の変状要因、覆工の変状の進行状況、地圧による変状進行の可能性や健全度評価結果に着目して分類する。

なお、グループを細分化すると精緻な検討が可能となる一方、劣化予測や対策工法の検討に要する時間や経費が増加してしまうことから、当該機能診断調査や機能保全計画に求められる精度に応じ、適切なグルーピングを設定することが重要である。グルーピングに当たって、施設構造、健全度及び変状要因の3つは必要最小限の要素となる。

- グルーピングは、機能保全計画の策定を進める際に、対策の要否や対策工法の比較検討を効率的に行うためのものであることから、対策工事の実施段階において、より詳細な区分で検討することもあり得る。

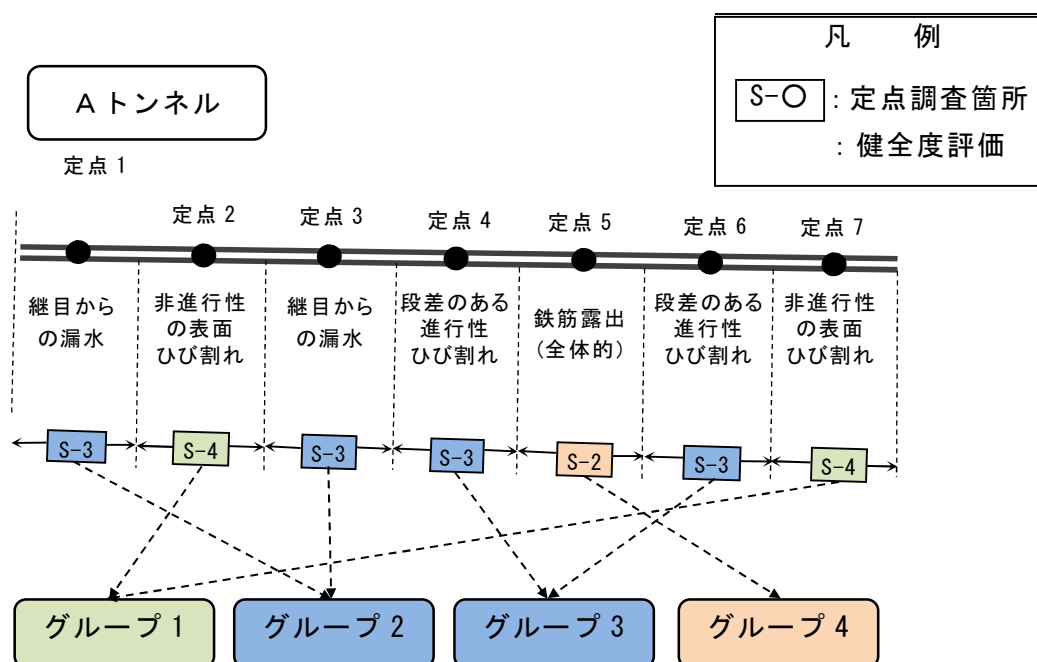


図 4-2 グルーピングの例

【参考】グルーピングの具体例

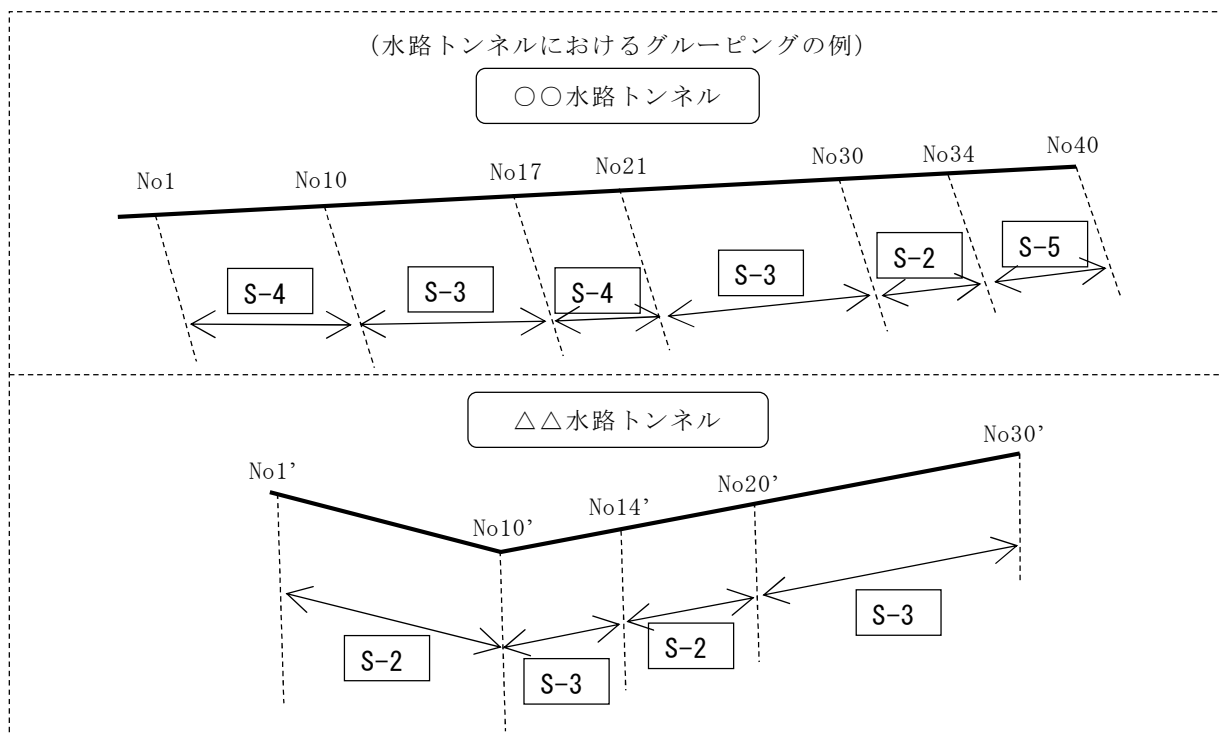


表 4-1 グルーピングの具体例

〔機能診断調査結果〕

対象施設（構造）	区間	健全度評価	延長（m）	グループ番号
〇〇水路トンネル	No 1 ～ 1 0	S-4	9 0	2
（無筋コンクリート覆工）	1 0 ～ 1 7	S-3	7 0	3
	1 7 ～ 2 1	S-4	4 0	2
	2 1 ～ 3 0	S-3	9 0	3
	3 0 ～ 3 4	S-2	4 0	4
	3 4 ～ 4 0	S-5	6 0	1
△△水路トンネル	No 1' ～ 1 0'	S-2	9 0	2 0
（鉄筋コンクリート覆工）	1 0' ～ 1 4'	S-3	4 0	1 0
	1 4' ～ 2 0'	S-2	6 0	2 0
	2 0' ～ 3 0'	S-3	1 0 0	1 0

〔機能診断調査結果を基にグルーピング〕

グループ番号	健全度評価	延長（m）
〇〇水路トンネル		
1	S-5	6 0
2	S-4	1 3 0
3	S-3	1 6 0
4	S-2	4 0

グループ番号	健全度評価	延長（m）
△△水路トンネル		
1 0	S-3	1 4 0
2 0	S-2	1 5 0

4. 3 劣化予測

劣化予測は、対策が必要となる時期や方法の比較検討を行う目的で実施する。性能低下は、施設の内部要因、外部要因、その他の要因に影響されて進行し、これらのうち支配的な要因を判定し、これに基づく劣化予測を行う。地圧が支配的な要因となる場合の劣化予測については、地圧による変状進行の可能性に基づく予測を行うものとする。

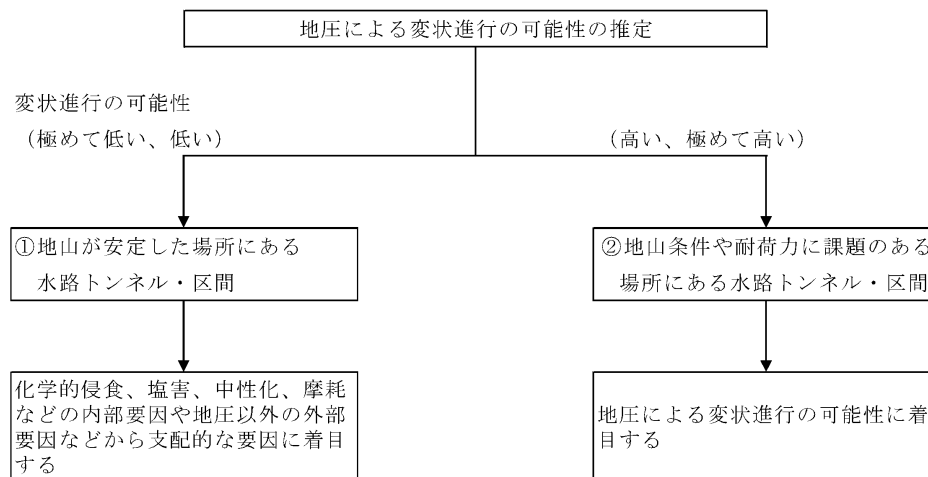
なお、機能診断を複数回行っている施設については、診断ごとの状況変化から劣化の支配的な要因を推定できる場合には、その要因の経過観察の結果に基づいて劣化予測を行うなど機能診断結果の蓄積による予測精度の向上に努める。

【解説】

- ・ 機能保全計画は、検討対象期間（40 年間又は工事期間＋40年間）を対象として策定するものであり、劣化予測が重要な役割を果たす。
- ・ 性能低下のうち、コンクリートの中性化、塩害によるものは経験式が作成されているため、これを活用する。その他の劣化要因が複合的な場合や、経験式等が確立されていない場合、
 - ①過年度の状況変化についての情報を基に将来の劣化を推定する方法
 - ②情報不足のため推定が困難な場合には、経過観察によって劣化状態の変化を把握した上で将来の劣化を推定する方法等、それぞれの条件に適した方法を選択することが必要である。
- ・ 上記の方法による予測が困難な場合は、機能診断の実測値により劣化曲線（単一劣化曲線モデル）を作成し、将来の劣化を推定する。

なお、初回の機能診断で機能診断評価がS－5となった場合は劣化曲線が作成できないため、標準的な劣化曲線を用いて劣化予測を行ってもよい。
- ・ さらに、機能診断後、継続して施設監視を行い、実際の施設の劣化進行状況をきめ細かく見極めた上で、適時に適切な対策を実施することが重要である。

- ・ 水路トンネルにおいては、構造的な安定性と地山等の外部条件から地圧による変状進行の可能性を推定した上で劣化予測の手法を区分し、地圧が支配的要因となる場合は、地圧による変状進行の可能性に着目して劣化予測を行うことが重要である。



※変状進行の可能性による区分は、図 3-9 による。

図 4-3 地圧による変状進行の可能性を考慮した劣化予測の流れ

- ・ 以下に、主要因別の劣化予測について示す。

(1) 外部要因

1) 地圧による変状

- ・ 地圧は、地質・地形や土かぶり等の地山条件、覆工背面の空洞、地下水の変動及び近接施工等に起因して発生するため、地圧による変状に伴う劣化予測を行うに当たっては、関連する種々の条件を、技術的な観点から総合的に検討する必要がある。

2) 偶発的な外力による変形・変位・損傷等

- ・ 偶発的な要因による変形・変位・損傷等については、当該変状が施設性能に及ぼす影響を個別に判断するとともに、今後の時間経過により進行する可能性があるかどうかを判断する。
- ・ また、鉄筋コンクリート覆工、坑口については、ひび割れが大きい場合、鉄筋の腐食を誘発することがあるため、このような懸念がある場合には、個別に対策の要否を判定する。

3) 不同沈下、トンネル周辺の開発などに伴う変形・変位・損傷等

- ・ トンネルが建設された箇所の地山条件等の個別条件によりコンクリート覆工の性能低下の進行が大きく異なるため、過去の調査履歴や建設当初からの変化の状況、施設管理者からの時系列情報等を基に、変形量等と経過時間との相関関係を推定す

るなどの方法により、水利用機能に支障を来すまでの期間を個別に予測する。

例えば、地盤の不同沈下によるコンクリート覆工の変位は、既に落ち着いている状態にあるのか進行性であるのかという点が重要であるため、建設当初との比較だけでなく、調査履歴や施設管理者からの聴き取り等でその状態を把握する必要がある。また、十分な情報が得られない場合には、数年をおいて継続的に調査を行うことで状態の変化を把握することが必要となる。

（２）内部要因

１）性能低下過程の経験式が存在するもの（コンクリートの化学的侵食、中性化、塩害）

- ・ 主要な劣化要因が化学的侵食、中性化や塩害に特定される場合には、性能低下過程が経験的に判明しており経験式が得られているため、これを用いて劣化予測を行う。具体的な手法については、コンクリート標準示方書[維持管理編]（2013年制定）を参照する。

【化学的侵食による劣化進行予測式】

＜コンクリートの侵食深さが時間の平方根に比例する場合における進行予測式＞

$$y = \gamma c (a \cdot \sqrt{t} + b)$$

ここに、 y ：コンクリートの侵食深さ（mm）

t ：化学的侵食をもたらす物質に曝される期間（年）

a ：コンクリートの侵食速度係数（mm/√年）

b ：係数（初期から劣化が進行する場合、 $b=0$ ）

γc ：予測の精度に関する安全係数（一般的に1.0）

＜コンクリートの侵食深さが時間に比例する場合における進行予測式＞

$$y = \gamma c (c \cdot t + d)$$

ここに、 y ：コンクリートの侵食深さ（mm）

t ：化学的侵食をもたらす物質に曝される期間（年）

c ：コンクリートの侵食速度係数（mm/√年）， $c = e \cdot [H_2S] + f$

$[H_2S]$ ：硫化水素濃度（ppm）

d, e, f ：係数（初期から劣化が進行する場合、 $d=0$ ）

γc ：予測の精度に関する安全係数（一般的に1.0）

【中性化の潜伏期における進行予測式】

$$y = b \sqrt{t}$$

ここに、 y ：中性化深さ（mm）

t ：中性化期間（年）

b ：中性化速度係数（mm/√年）

【塩害の潜伏期における塩化物イオンの拡散予測式】

$$C(x,t) = \gamma_{cl} \cdot \left[C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) + C_i \right]$$

ここに、 $C(x,t)$ ：深さ x (cm)、時刻 t (年)における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_i ：初期含有塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_0 ：表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

d ：塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm²/年)

erf ：誤差関数

γ_{cl} ：予測の精度に関する安全係数 (一般的に 1.0)

2) 個々の変状から個別に劣化の進行を推定するもの

- ・ 施設構造や立地条件等の個別条件によりコンクリート覆工の性能低下の進行が大きく異なる場合には、過去の調査履歴や施設建設当初からの変化の状況、施設管理者からの時系列情報等を基に、個別に性能低下を予測する。

3) 複合的な要因で劣化が進行しているもの

- ・ コンクリート覆工の性能低下は、材料、施工時の状況、立地条件（地盤強度、地下水位等）、環境条件（温度、湿度、塩分等）等の要因が複合的に働いて進行するのが一般的であり、特定の要因に着目した劣化予測は現状においては困難なことが多い。

このため、複合的な要因の劣化予測は水路トンネルの標準的な劣化曲線を適用するなどの手法を用いる。

(3) その他の要因

- ・ その他の要因としては、例えば、継目の劣化が挙げられる。継目は、劣化による漏水や、漏水による地盤浸食等が、施設としての性能低下に大きく影響する場合があることから、コンクリートと区分して劣化予測を行う。

【参考】標準劣化曲線について

標準的な劣化曲線は、これまで国営造成施設（農業水利施設）で実施された機能診断調査結果を用いて設定されている（図 4-4）。

しかしながら、標準的な劣化曲線の設定の基礎となったデータは、ばらつきが大きいことから、これを利用する際にはそのことに留意し、慎重に取り扱うことが必要である。なお、標準的な劣化曲線の在り方については、今後のストックマネジメントの実践とデータ蓄積により、随時検討を行うこととしている。

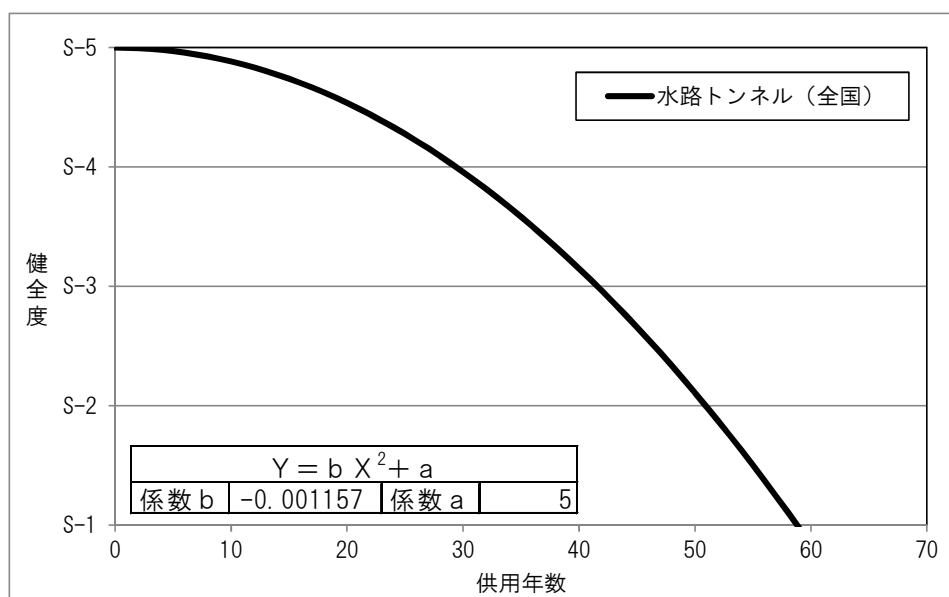


図 4-4 農業水利施設における標準的な劣化曲線（水路トンネルの例）

4. 4 機能保全計画の策定

4. 4. 1 機能保全計画の作成

機能保全計画の策定に当たっては、着目する管理水準が必要な範囲に留まるよう、その劣化予測等から技術的・経済的に実施可能と考えられる対策工法とその実施時期の組み合わせ（以下「シナリオ」という）を複数仮定し、これらに要する機能保全コストを比較する。

【解説】

- ・ 機能保全計画については、着目する性能の管理水準を必要な範囲にとどめることができるシナリオを複数仮定し、これらの方策を実施するために必要なコストを比較することにより行う。
- ・ 水路トンネルの機能保全対策の実施に際しては、通年取水等の制約により断水時間の制限や減水通水の必要等が生じる場合がある。このため、仮設工事の方法や範囲、減水時の必要水量などについて十分検討し、将来の保守管理・保全性を考慮した上で計画を策定する必要がある。
- ・ なお、地圧による変状進行の可能性が高いと評価され、危険度が高く早急に対策を検討する必要があると判断された施設は、劣化予測のプロセスを経ることなく、機能保全対策の実施シナリオの作成検討を行うことを基本とする。

（１）対策実施後の性能低下の見通し

- ① 予防的な保全対策の実施後の劣化予測は、過去の実績や類似の事例などから想定してこれを設定する。
- ② 全面的な更新の場合には、新設の場合と同等の標準的な耐用年数を想定する。
ただし、地区の環境などの特性により、十分な評価、検討を行った上で、これを補正することが可能な場合には、補正を行う。

（２）対策の実施時期

- ・ 対策工事の実施時期が異なるシナリオの設定、特に劣化予測を基礎として後年度に対策を行うシナリオを設定する場合には、当該劣化予測の信頼性（振れ幅）を十分に考慮した検討を行う必要がある。例えば、重要度が高く、一定以上のリスクを許容できる余地が少ない場合などにあつては、現時点における対策の必要性も考慮して、対策の実施時期を設定する。

4. 4. 2 対策工法選定に当たっての留意事項

対策工法は、水利施設全体が一つのシステムとして要求性能を確保する必要があることに留意して検討する。

水路トンネルの機能保全対策は、断水できないこと等による制約を受けることが多いため、類似工法の実績などの情報を可能な限り加味して、適切な対策工法の選定を行う。採用する対策工法については、機能診断結果に基づく施設の劣化予測を踏まえ、技術面・経済面・リスク面でも妥当であると考えられる対策の組み合わせを、検討のシナリオとして複数設定する。

【解説】

- ・ 対策の必要性があると判断された施設については、機能診断調査・評価により施設の性能低下の要因、程度を十分把握し、耐荷性等の構造機能、通水性等の水理機能、保守管理・保全性等の水利用機能に応じ、これらの性能の回復、維持に適し、施工可能な工法・材料を選定する。
- ・ 対策工法の検討は、水利用性能（送配水性、保守管理保全性等）、水理性能（通水性等）、構造性能（力学的安定性、耐久性、安全性等）等における要求性能が、個々の施設のみならず施設を構成する水利システム全体としての均衡がとれた上で確保され、また合理的な水管理ができるよう総合的に検討を行う必要がある。
- ・ 水路トンネルの対策工法選定に当たっての留意点は、以下のとおりである。

（地圧による変状進行の可能性）

地圧による変状進行の可能性による区分を行う。①変状進行の可能性が低いと評価されたトンネルでは、支配的な劣化要因に基づいた対策工法を選定する。②変状進行の可能性が高いと評価されたトンネルでは、施設の重要度を勘案した上で、劣化予測のプロセスを経ることなく機能保全対策の実施シナリオの作成検討を行うことを基本とする。

地圧による変状進行の可能性がある場合等では、早期に裏込注入等の対策を行うなど、適時・適切な対策を行うことにより、将来的に大掛かりな補強や更新を行う必要がないよう、留意する必要がある。

また、進行性の地圧等による変状に対し、覆工の補強等の対策を行う場合には、対策時の覆工の応力状態を考慮して設計するよう、留意する必要がある。

なお、緊急に補強等の対策が必要な場合においては、変状の要因を把握し、覆工の応力状態を考慮した上で、適切な対策工法を選択し、実施する必要がある。

（多様な劣化要因の存在）

水路トンネルは線的構造物であり、延長が長いこと、荷重条件、地盤条件等が場所

により異なっていることが多い。変状の要因も流水や荷重の影響、地盤条件、温度変化、腐食物質の流入など多様で、さらにこれらが複合していることもあり、変状の種類や程度が場所により異なる可能性がある。

変状の要因として複合的な劣化が予想される場合には、①各性能低下のメカニズムに共通した対策工法を選択する、②複数の工法を併用するなどの対応方法を検討する。

（施工条件に適した材料の選定）

裏込注入等を行う場合、地下水による材料分離が生じることのないよう、その材料の選定に当たっては留意する必要がある。

（施工性、維持管理性の確保）

同一路線で、場所によって変状の種類や程度が異なる場合には、基本的には個々の変状に応じた対策を行う。ただし、対策の内容が類似している場合は、施工性、維持管理の観点から対策工法の種類を少なくする方が良いこともあるので、当該工法の劣化の特性、施工性、経済性、維持管理のしやすさを含む総合的な観点で工法選定を行うことが望ましい。

（仮設工事）

対策工事を行うに当たって、運用上断水できない区間については、水路の仮切回し等の検討を必要とする場合がある。このような施設の対策工事においては、施工の方法や位置、期間、費用について十分な検討を行い、必要に応じて施工後における緊急用あるいは保守管理用のバイパストンネルとしての活用などについても考慮しておくことが望ましい。

（工事期間）

特に通年取水を実施している地区については、断水あるいは減水による影響とその期間について、施設管理者と十分に調整し、対策工法を選定する必要がある。

（文化的価値、景観の保全）

水路トンネルの中には、歴史的な価値がある場合等があるので、対策工法を選定に当たっては、現状保存が可能か、補修・補強で原形復旧が可能かなどについても考慮しておく必要がある。

（環境との調和への配慮）

水路トンネルの対策工法を選定に当たっては、当該対策工法を選択によって地域の生態系や景観などにどのような影響があるかについても考慮し、環境との調和に配慮したものとなるよう検討する。景観に関しては「農村における景観配慮の技術マニュアル(H22.3)」、「農業農村整備事業における景観配慮の手引き(H18.8)」等、また、生態系に関しては「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針(H27.5)」等を参照して検討する。

(新技術の適用)

近年、機能診断や施設の補修・補強に係る新技術が多数開発、提案されている。効率的な機能保全のためには、これらの技術の現場適用性や耐用年数等の効果について適切な評価を行うことが必要である。また、類似工法や機器の事例調査について学識経験者等の意見を求めることが望ましい。

新工法を大規模に適用する場合には、適用する構造物の立地環境や施工状況に応じた試験施工を行い、施工性や対策工法の効果・信頼性を確認することが必要である。

4. 4. 3 経済性による対策の検討

経済性による対策の検討は、機能保全コストの比較により行う。

【解説】

- 機能保全コストは、対策工法の検討により作成されたシナリオについて算定し、経済比較を行う。具体的には、以下のとおりである。
 - ① シナリオごとに、それぞれの対策工法に要する経費を整理する。
 - ② 通常必要となる維持管理経費（オペレーションのための人件費や管理の範疇の軽微な補修経費、電気料金、油脂料金等）について、整理する。なお、全てのシナリオにおいて維持管理経費に大きな差が生じない場合には、これを省略しても差し支えない。
 - ③ 検討対象期間（40年間又は工事期間＋40年間とすることを原則）の最終年度における既存施設の残存価値を減価償却の考え方により算定し、上記経費から控除する額として整理する。
 - ④ 検討対象期間の各年度における上記の合計額について、基本的に社会的割引率（年4%）により現在価値に換算した上で、累計することにより、機能保全コストを求める。

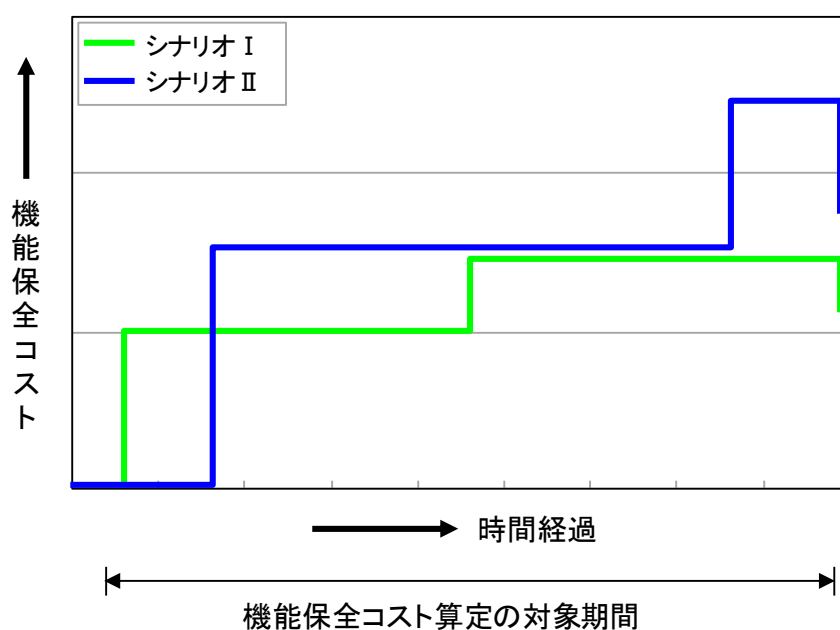


図 4-5 機能保全コストの比較

【参考】水路トンネルにおけるシナリオ設定と機能保全コスト比較の検討例

- ・ 変状が進行している水路トンネルについて、機能診断に基づく劣化予測をしたところ、
 α （補修を必要とする（S-3 到達）までの期間）＝ 0 年（現時点で S-3）
 β （補強を必要とする（S-2 到達）までの期間）＝ 7 年
 との結果が得られたとする。

（対策工法の検討とシナリオ作成）

技術的な視点から検討した当該施設に適用可能な対策工法と検討のシナリオとして、以下の 2 つのケースを検討。

- ・ シナリオⅠ：S-3 段階で補修工法（断面修復・ひび割れ修復）を施し、以後 10 年間隔で補修工法を繰り返すシナリオ
 2017、2027、2037、2047 補修（耐用期間 10 年）
 ※計画策定の 2 年後から対策を実施
- ・ シナリオⅡ：S-2 段階で補強工法（製管工法）を施し、以後 30 年間隔で補修工法を繰り返すシナリオ
 2022、2052 補強（耐用期間 30 年）

※耐用期間が不明な場合は、メーカーへの聴き取りや近傍地区の事例等に基づいて設定する。

このシナリオ毎の健全度の経過をグラフに表せば、図 4-6 のとおりとなる。

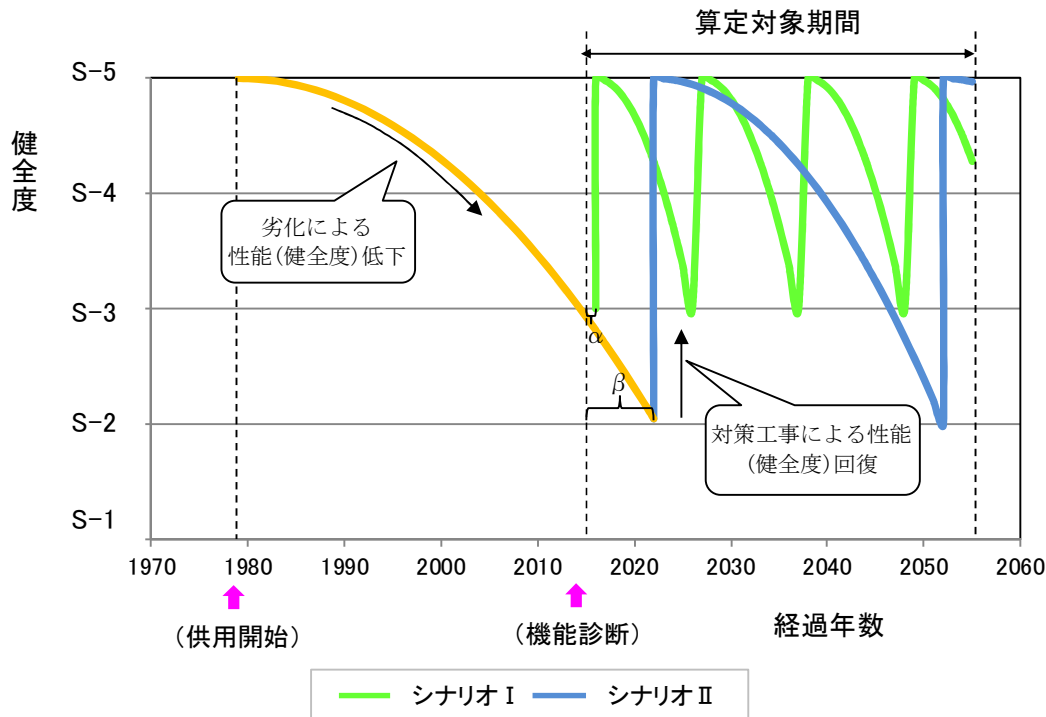


図 4-6 シナリオ毎の健全度の経過

(比較チャートの作成)

上記までの検討経過を比較チャートに整理する。

- ① シナリオごとに、支出年度ごとのそれぞれの対策工法に要する経費を社会的割引率（４％）により現在価値に換算する。
- ② 算定対象期間最終年度における施設の残存価値を減価償却の考え方により算定する。
- ③ 上記①から②を控除し、算定対象期間の機能保全コストとする。

このシナリオごとの機能保全コストの比較をグラフに表せば、図 4-7 のとおりとなる。

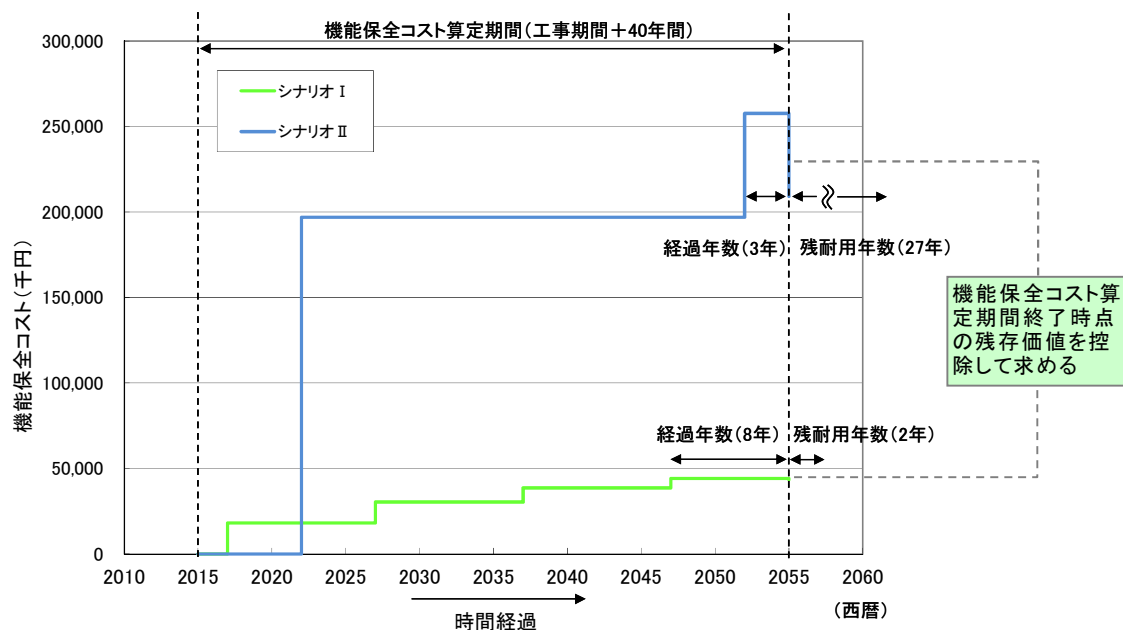


図 4-7 シナリオ毎の機能保全コストの比較

表 4-2 比較チャート

(単位:千円)

シナリオ	対策時期		グループ番号又は部位	数量	対策工法	保全対策費用	現在価値した対策費用	検討期間末の残存価値	機能保全コスト	評価	評価概要
	(供用経過年数)	(西暦)									
I	38年	2017年	水路トンネル	一式	対策①	19,607	18,129	0	18,129	1	S-3段階で補修工法(断面修復・ひび割れ修復)を施し、以後10年間隔で補修工法を繰り返すシナリオ。
	48年	2027年	水路トンネル	一式	対策①	19,607	12,247	0	12,247		
	58年	2037年	水路トンネル	一式	対策①	19,607	8,274	0	8,274		
	68年	2047年	水路トンネル	一式	対策①	19,607	5,590	817	4,773		
			小計			78,428	44,240	817	43,423		
II	43年	2022年	水路トンネル	一式	対策②	259,124	196,908	0	196,908	2	S-2段階で補強工法(製管工法)を施し、以後30年間隔で補強工法を繰り返すシナリオ。
	73年	2052年	水路トンネル	一式	対策②	259,124	60,713	48,578	12,135		
			小計			518,248	257,621	48,578	209,043		

※ 初回の対策工法の耐用期間が経過した時点での2回目の対策工法を仮定するに当たっては、当該対策が技術的に可能であるかどうかを十分に検討しておく必要がある。

4. 4. 4 施設監視

施設監視は、施設の劣化の進行状況を見極め、最適と判断される時点（適時）に適切な対策工事を実施できるようにすることなどを目的として行うものであり、施設管理者が施設監視計画に基づき実施するほか、施設造成者がその情報を適切に把握することも施設監視に含まれる。

施設監視計画の策定に当たっては、具体の監視内容・項目等について適宜検討し、定めておくことが重要である。

【解説】

（１）施設監視の目的と対象

- 施設監視は、機能保全計画（施設監視計画）の策定から対策工事を実施するまでの間に、対象施設の状態等を継続して監視し、対象施設の劣化の進行や対策工事の必要性（実施時期の見極め）を把握することを目的としている。

また、施設監視の実施は、施設監視結果を次回の機能診断に活用することも念頭において実施する必要がある。

- 施設の監視対象は、原則機能診断の定点となるが、通常は１つの施設に多数の定点が設定されているため、施設の劣化状況により、１施設（１機能保全計画）あたり１定点以上を重要度、健全度評価、劣化の進行性の有無等を勘案し、施設監視の対象として施設監視計画に位置付けることを基本とする。なお、当該定点を選定した理由について整理する。

（２）施設監視手法

- 施設監視の手法は、目視や写真撮影を基本とし必要に応じて計測等を併せて行う。
- 施設造成者（機能診断実施者）は、機能保全計画（施設監視計画）策定時等に、必要に応じて、当該施設における具体的な施設監視手法を整理（表 4-3 施設監視のポイント等（水路トンネルの例）、表 4-4 施設監視のための準備作業（例）参照）した上で施設管理者に提供することが望ましい。また、監視の結果を記録する様式について、表 4-9、表 4-10 の施設監視記録票の例を参考に、施設管理者と調整の上、実施可能な範囲で作成する。なお、従来から実施していた点検記録票がある場合は、作成例によらず写真撮影等の必要な事項を追加して取り組むことができる。
- 施設管理者は、施設監視計画に基づき、施設造成者から提供された具体的な施設監視手法を参考に施設監視を実施し、施設監視記録票等に記入を行う。なお、施設管理者は、施設監視の結果を適宜施設造成者等に情報共有するなどして、施設造成者も施設の状況を適切に把握することが重要である。

（３）施設監視のポイント等

- 施設造成者（機能診断実施者）は、機能保全計画策定時に、機能保全計画の総括表（施設状態の概要）、施設監視計画、施設監視のポイント等（表 4-3）を施設管理者に提示しつつ、施設監視のポイントを共有することが重要である。

表 4-3 施設監視のポイント等（水路トンネルの例）

項 目	内 容
施設監視のポイント	- トンネル始終点からの目視やトンネル内への進入が可能な場合には、覆工や継目部等の項目について確認を行う。 - 摩耗による粗骨材の剥落の進行が想定されるので、変化を確認する。 - 鉄筋露出によるコンクリート強度の低下が懸念されるため、鉄筋露出の進行を確認する。 - ひび割れによる鉄筋腐食が懸念されるため、明らかな幅や長さの変化を確認する。 - 凍害によるコンクリートの欠損が懸念されるので、変化を確認する。 - 新たなひび割れや欠損などの変状の有無を確認する。 - トンネル上部の周辺地盤における沈下・陥没、土地利用状況の変化や用水の濁度・量の変化の有無を確認する。
施設監視手法	- 目視、施設監視記録票の記録、写真撮影により実施する。 - 定点調査結果の変状展開図を現場に携行し、その進行程度や新たな変状の有無を確認し、必要に応じて計測等を行う。 - 写真は、①周辺状況を含む全景、②主要な変状（全景・近景）、③新たに確認された変状（全景・近景）について撮影する。 - 監視結果を経年的に記録するため、写真撮影位置を図面等に記録しておく。 ※ 撮影時にはコンベックス、テープ、ポール、クラックスケール等を当てる。 ※ 施設監視の結果を展開図（機能診断結果）に追記するなどの記録を行う。 - 施設に異常が見受けられた場合は、〇〇へ連絡する。

（４）施設監視のための準備作業

- 施設造成者は、施設監視を適切に実施するため、施設監視に当たっての準備作業の内容を整理し、施設管理者に情報を提供することが重要である。想定される準備作業の例を表 4-4 に示す。

表 4-4 施設監視のための準備作業（例）

施設名	工種	施設監視のための準備作業
〇 〇 導水路	水路 トンネル (S-3)	・監視する定点までのルートを明確にし、必要に応じて仮設足場の設置や安全対策について整理する。併せて、進入のための人孔の状況についても確認する。 ・監視する定点周辺の雑木、雑草の繁茂状況を明確にし、必要に応じて伐採等の対策の必要性についても整理する。 ・壁面に汚れや水草が付着し変状が確認できない場合があるため、壁面清掃の必要性についても整理する。 ・前回実施した施設監視記録を確認し、写真撮影の場所や対象を明確にしておく。

（５）施設監視の頻度等

- ・ 施設監視の頻度は、年１回以上を基本とし、明らかに劣化の進行が認められる場合には監視の頻度を増やす等の対応を検討する。
- ・ 施設監視は、対策工事の着手又は次回機能診断が実施されるまで継続して施設管理者が実施する。
- ・ なお、シナリオ到達年度に到達していない施設に対しては、施設管理者への負担や効率性を考慮し、例えば、日常管理の一環として行う巡視、遠隔目視等による確認と通常の管理日誌等への記録などの簡易な方法で実施してもよい。

(6) 施設監視計画の作成

- 施設監視計画は、「(3) 施設監視のポイント等」を踏まえ、表4-5の項目について整理し作成する。作成例を(参考)表4-6～表4-8に示す。

表 4-5 施設監視計画の取りまとめ留意点

番号	項目	記載内容
①	定点調査番号	・監視対象の定点番号など
②	測点、部位等	・定点の位置情報、特に注視すべき部位、構造、機能診断時の健全度評価など
③	監視内容・項目	・監視対象(変状項目)及び変状項目ごとの監視内容
④	監視頻度	・施設の重要度や管理水準等を踏まえた監視頻度
⑤	監視の留意事項	・監視手法 ・対象の変状ごとの地域特性や施設の実態に応じた監視上留意すべき点
⑥	監視実施者	・実施者が属する組織名等(個人名は記載しなくてよい)
⑦	異常時の措置	・施設管理者と施設造成者の連絡体制 (劣化の進行が確認された場合のみではなく、自然災害による施設機能の喪失や二次的被害が想定される変状が確認された場合の措置も含めた記載とする。)
⑧	次回予定診断時期	・策定された機能保全計画で予定されている次回の機能診断時期

(参 考)

表 4-6 施設監視計画記載例（水路トンネル）S-4 の例

① 定点調査 番号	② 測点 部位等	③ 監視内容・項目	④ 監視 頻度	⑤ 監視の留意事項	⑥ 監視実施者	⑦ 異常時の措置	⑧ 次回予定 診断時期
T0002	No51+25～ No51+35 (側壁) 無筋コンクリート 覆工 (S-4)	◇監視対象 【摩耗すり減り】 ◇監視内容・項目 ・骨材の露出状況 ◇監視対象 【周辺地盤の変状】 ◇監視内容・項目 ・周辺地盤の沈下・陥没	1回／年	・目視、写真撮影により監視を行う。 ・目視、写真撮影により監視を行う。 ・沈下・陥没の範囲が大きくなった場合には、右記の異常時の措置をとる。	〇〇土地改良区 〇〇課	・〇〇土地改良調査管理事務所 保全計画課 へ連絡	2023年

表 4-7 施設監視計画記載例（水路トンネル）S-3 の例

① 定点調査 番号	② 測点 部位等	③ 監視内容・項目	④ 監視 頻度	⑤ 監視の留意事項	⑥ 監視実施者	⑦ 異常時の措置	⑧ 次回予定 診断時期
T0001	No20+50～ No20+60 (アーチ) (側壁) 無筋コンクリート 覆工 (S-3)	◇監視対象 【ひび割れ】 ◇監視内容・項目 ・ひび割れ幅・長さ ・ひび割れ密度(範囲) ◇監視対象 【周辺地盤の変状】 ◇監視内容・項目 ・周辺地盤の沈下・陥没	1回／年	・目視、写真撮影、簡易計測(クラックスケール・コンベックス等)により監視を行う。 ・曲げひび割れは開口する傾向にあるため留意する。 ・ひび割れが全体的に拡大し、進行性が確認された場合は右記の異常時の措置をとる。 ・目視、写真撮影により監視を行う。 ・沈下・陥没の範囲が大きくなった場合には、右記の異常時の措置をとる。	〇〇土地改良区 〇〇課	・〇〇土地改良調査管理事務所 保全計画課 へ連絡	2018年

表 4-8 施設監視計画記載例（水路トンネル）S-2 の例

① 定点調査 番号	② 測点 部位等	③ 監視内容・項目	④ 監視 頻度	⑤ 監視の留意事項	⑥ 監視実施者	⑦ 異常時の措置	⑧ 次回予定 診断時期
T0003	No63+20～ No63+25 (側壁) 無筋コンクリート 覆工 (S-2)	◇監視対象 【ひび割れ】 ◇監視内容・項目 ・ひび割れ段差 ◇監視対象 【構造物の不同沈下】 ◇監視内容・項目 ・構造物の沈下・蛇行	1回／年	・目視、写真撮影、簡易計測(クラックスケール・コンベックス等)により監視を行う。 ・ひび割れ段差が拡大した場合は右記の異常時の措置をとる。 ・目視、写真撮影により監視を行う。 ・構造物の沈下・陥没の状況が現状よりも大きくなった場合には、右記の異常時の措置をとる。	〇〇土地改良区 〇〇課	・〇〇土地改良調査管理事務所 保全計画課 へ連絡	2017年

(7) 施設監視の実施

- ・ 施設管理者が行う施設監視は、施設監視計画に基づき、基本的に日常管理の一環として実施する。施設監視は、目視や写真撮影を基本とし、チェックリスト、写真、所見等を施設監視記録票等に記録する。写真の撮影は、施設の状態や状況の経年変化を後からも視覚的に確認できるのが望ましいことから、必要に応じてクラックスケール等を当てて計測している状況も併せて撮影することも有効である。

監視の結果、異常が発見された場合には、直ちに「異常時の措置」に記載のある連絡先に連絡を行う。施設監視記録票の例を表 4-9、表 4-10 に示す。

(8) 施設監視結果の共有

- ・ 施設監視の結果を踏まえ、対策工事の実施時期を変更する場合は、そのことにより生じるリスクや、不測の事態が発生した場合の対応方策等について、施設管理者をはじめとする関係者間で情報を共有し、合意形成するよう努めるとともに、適切な時期に対策を実施できるよう関係者との調整を進めておくことが重要である。

表 4-9 施設監視記録票（水路トンネル）（1/2）

施設監視記録票(水路トンネル)														
施設名	〇〇幹線用水路				[住所]	△△市××地先								
点検日時	[今回]	平成	年	月	日	[前回]	平成	年	月	日				
点検者	■■土地改良区 氏 名				施設情報	重要度:	B	健全度:	S-5	S-4	S-3	S-2	S-1	
構造・規模	無筋コンクリート覆工(標準馬蹄形 2r=3.2m)													
工種	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	確認できず						
			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	確認できず						
			インバートの膨れ				☐ 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	確認できず						
			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	地盤の陥没が認められた(No.19+45.0付近:2箇所)						
			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	定番号	T0001(No.19+40～No.19+50)				健全度	S-3							
	位置情報	緯度(N)	〇〇	°	〇〇	'	〇〇	°	〇〇	'	〇〇	°	〇〇	'
		経度(E)	〇〇〇	°	〇〇	'	〇〇	°	〇〇	'	〇〇	°	〇〇	'
	写 真 状 況	【施設監視計画で記載されている定点で実施】												
		 上部地盤陥没部全景写真(その1)					 上部地盤陥没部全景写真(その2)							
		コメント					コメント							
所 見	【例】上部地盤の陥没規模が大きく、早急に詳細調査を実施する必要がある。													
特記事項 (※2)	〇〇調査管理事務所保全課、陥没が確認された周辺住民への連絡。 〇〇調査管理事務所保全課より、早急に詳細調査を実施するとの回答を得た。													

※1: 位置情報(住所又は〇〇橋近傍の左岸)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。

表 4-10 施設監視記録票（水路トンネル）（2/2）

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（住所又は〇〇橋近傍の左岸）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。

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（住所又は〇〇橋近傍の左岸）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。

その他特記事項										
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4. 4. 5 情報の保存・蓄積・活用

施設の劣化予測の精度を向上させ、適切な対策工法を検討するためには、造成時の設計・施工情報、過去の機能診断調査や補修の履歴情報等が必要となる。このため、施設ごとに履歴情報を保存・蓄積したデータベースより、機能診断や対策工法の検討等の場面で、その活用を図ることが重要である。

【解説】

- ・ 施設基本情報、補修等履歴情報、維持管理費情報、機能診断情報等に関するデータベースにより、日常管理や機能診断時における情報の利用はもとより、機能診断精度向上のための集計・分析や、適切な対策工法を検討するための事例収集、災害や突発事故発生時における迅速な施設諸元情報の確認など、様々な場面での利活用が可能となる。

4. 4. 6 関係機関による情報共有

機能保全計画と日常管理（施設監視含む）に関する情報やリスクに関する情報は、関係機関（土地改良区、行政機関等）において共有されることが、将来にわたって施設の機能を保全していくために重要である。

【解説】

- ・ 施設の機能診断や日常管理（施設監視含む）による劣化状況等の施設情報を体系的かつ継続的に整理し、施設造成者、施設管理者及び関係者間で情報共有を行い、定期的な意見交換等を実施することにより、施設の機能保全の取組に係る認識の共有化を図ることは、リスク管理を行いつつストックマネジメントの取組を着実に実施し、将来にわたって施設の機能を保全していくために重要である。
また、定期的な情報共有の一環として、リスクコミュニケーションを実施することが有効である。

用語の定義

本手引きで使用している総論的な各用語の定義を用語表 1 に示す。

用語表 1 総論的な用語の定義

用 語	定 義	解 説
ストックマネジメント	施設の管理段階から、機能診断を踏まえた対策の検討・実施とその後の評価、モニタリングまでをデータベースに蓄積された様々なデータを活用しつつ進めることにより、リスク管理を行いつつ施設の長寿命化とLCCの低減を図るための技術体系及び管理手法の総称。	農業農村整備事業における固有の用語として新たに定義したもの。 また、この取組の充実により、補修・更新等に係る経費について、長期的な視点での平準化を図ることも可能となる。
アセットマネジメント	アセットマネジメントとは、一般的には金融資産や不動産などを管理・運用すること（広義のアセットマネジメント）を指す。近年では公共事業により造成された施設について、維持管理や補修などをどのように効率的に行うかといった技術体系及び管理手法の総称（狭義のアセットマネジメント）として使われている。	2014 年 1 月、ISO55000 シリーズが発行し、下水道等の社会インフラ分野でアセットマネジメントの考え方に基づく取組が始まりつつある。農業水利施設については、機能診断や機能保全対策を実施する者と施設管理者とが異なる場合が多いため、施設の状態についての情報共有や対策についての合意形成に向けた丹念な調整が課題となる。
機能保全	全施設又は施設系の機能が失われたり、性能が低下することを抑制又は回復すること。	
長寿命化	施設の機能診断に基づく機能保全対策により残存の耐用年数を延伸する行為。	
施設管理者	施設造成者から管理委託や譲与を受けた農業水利施設を管理する者。	土地改良区がその役割を担うことが多いが、地方公共団体が施設管理者となっているものもある。
施設造成者	当該農業水利施設を造成した者。	農業水利施設においては、施設造成者が機能診断や機能保全計画策定を行うことが多いが、譲与済の施設において、施設の所有者がこれらを行う場合もあることから、事前に関係者に確認を行うことが重要である。
ライフサイクルコスト（LCC）	施設の建設に要する経費に、供用期間中の運転、補修等の維持管理に要する経費及び廃棄に要する経費を合計した金額。	一般的に、過去の投資は支出済み費用換算係数により、将来に発生する経費は社会的割引率により現在価値に換算して算定する。 農業水利施設ではその機能を永続的に確保することを前提としているためライフサイクルをいつからいつまでと設定し難いこと、また、ストックマネジメントの対象が既存施設であり建設費用等の支出済みの経費は今後の対策工法選定に大きな意味を持たないことから、機能保全コストを用いた検討を行う。
機能保全コスト	施設を供用し、機能を要求する性能水準以上に保全するために必要となる建設工事費、補修・補強費等の経費の総額。	経済性の検討を行う場合、一定期間に要するコストの総額を比較する必要がある。そのため、本手引きにおいては、LCCのうち、支出済みの経費と一定期間後に発生する経費を控除した経費を機能保全コストと定義し、比較分析を行うこととする。なお、一定期間中に大規模な更新が発生する場合には、これを含めて検討の対象とするとともに、検討期間終了時に残存価値がある場合には、これを控除する。

用語表 1 総論的な用語の定義

用 語	定 義	解 説
耐用年数 (耐用期間)	施設の水利用性能、水理性能、構造性能が低下することなどにより、必要とされる機能が果たせなくなり、当該施設が供用できなくなるまでの期間として期待できる年数。	施設管理者が通常行う標準的な施設管理や軽微な補修等を行うことによって、実現される耐用期間の平均的な年数。標準耐用年数とは直接関係しない。日常管理費の増加などによる経済的不利の発生、営農形態の高度化等による施設に要求される機能・性能の向上などで施設の陳腐化が急速に進めば標準耐用年数よりも短い場合もある。
供用年数	施設を供用する年数。	必ずしも使用に耐えうる耐用年数と同じではないことに留意が必要。
標準耐用年数	「土地改良事業における経済効果の測定に必要な諸係数について（昭和60年7月1日60構改C第690号）」で示されている施設区分、構造物区分毎の設計時に規定した供用目標年数。	左記の通知は、所得税法及び法人税法の減価償却資産の償却期間を定めるため財務省令で定められたものを基礎として、農林水産省が定めたもの。 税法上の減価償却期間を規定するものであることから、耐用年数の検討の目安として活用できる。しかしながら、必ずしも供用できなくなるまでの標準的期間でないことに留意が必要。 本来であれば、施設の重要度等に応じて、要求性能と設計耐用年数(設計時において施設がその目的とする機能を十分果たさなければならないと想定した期間)を設定して設計を実施すべきである。設計耐用年数を設定するためには、劣化メカニズムの解析や調査データなどから劣化予測を行い、施設の劣化期間を把握する必要がある。しかしながら、現時点では劣化期間を把握することは難しいことから、当面設計耐用年数は標準耐用年数を準用して設定するものとする。ただし、個別に設定できる場合はこの限りではない。
施設の機能	施設の設置目的又は要求に応じて、施設が果たすべき役割、働きのこと。	農業水利施設では、水利用機能、水理機能、構造機能など。
施設の性能	施設が果たす役割（施設の機能）を遂行する能力のこと。	性能は、その能力を数値で示すことができる。水利施設の水理機能を遂行する能力である、通水性、水理学的安定性など。
要求性能	施設が果たすべき機能や目的を達成するために必要とされる性能。	
性能低下	経時的に施設の性能が低下すること。	構造物の変状やその他の要因により、施設機能を発揮する能力である性能（通水性、安定性、耐久性等）が低下していること。
機能診断	機能診断調査と機能診断評価を合わせた概念。	
機能診断調査	施設の機能の状態、劣化の過程及びその原因を把握するための調査。	機能の状態の調査には、性能低下の状況を調べることと、不足する機能を調べることの両方を含む。
定点	現地調査を行う際に設定する調査地点。	定点は各施設において継続的に機能診断や施設監視等を行う地点として用いる。 定点の設定は、水理ユニットや同一構造区間を代表する箇所（劣化の程度が標準的な箇所）及び変状が顕著な箇所とすることを基本とし、過去の調査記録の継続性等を勘案する。

用語表 1 総論的な用語の定義

用 語	定 義	解 説
変状	初期欠陥、損傷、劣化を合わせたもの。	施設が健全な状態で本来期待されている機能や状況と比較して、異なっている状況。具体的には、ひび割れ、剥離、欠損などの状態。 「異状」に近い概念であるが、施設に求められる性能が低下しているか否かという評価を必ずしも含まない。
劣化	立地や気象条件、使用状況（流水による浸食等）等に起因し、時間の経過とともに施設の性能低下をもたらす部材・構造等の変化。	
初期欠陥	施設の計画・設計・施工に起因する欠陥。	コンクリートでは、施工不良等を含み、供用前又は供用後に発生する乾燥収縮によるひび割れ、豆板、コールドジョイントなど。
損傷	偶発的な外力に起因する欠陥。	時間の経過とともに施設の性能低下が起きたものでないもの。衝突や地震等に起因する欠陥。
機能診断評価	機能診断調査の結果を評価すること。	性能低下の状況を判定し、機能保全対策を検討するための根拠とする行為。
機能保全計画	性能指標や健全度指標について管理水準を定め、それを維持するための中長期的な手法を取りまとめたもの。	
機能保全対策	機能保全計画に基づく工事等のこと。	
予防保全	当該施設に求められる性能が、管理水準以下に低下する前に、リスク管理を行いつつ、機能保全コストの低減、リスク軽減等の観点から、経済的に耐用年数の延伸を図る目的で実施する対策。	「コンクリート標準示方書維持管理編(2013年制定)」では、構造物に劣化を発生あるいは顕在化させない、又は、性能低下を生じさせないための予防的処置を計画的に実施する維持管理とされているが、農業水利施設の場合、施設を構成する部分毎には変状が顕在化しているものの、施設系としての機能障害が顕在化していない段階での対策であることが通常。また、農業水利施設は様々な施設群で構成されるが、個々の施設としては機能障害が発生し事後保全であっても、施設群全体の水利システムとしては予防保全であると表現する場合もある。
事後保全	当該施設に求められる性能が、管理水準以下に低下した後に実施する対策。	当該施設の機能に支障が生じた後に対策を講じること。
時間管理保全 (TBM)	予定の時間計画（スケジュール）に基づく予防保全の総称。予定の時間間隔で行う定期保全と設備や機器が予定の累積稼働時間に達したときに行う経時保全に大別される。	計画的に実施する定期点検（月点検・年点検）や定期整備（定期的な部品等の取替えを含む）は、時間計画保全に含まれる。
状態監視保全 (CBM)	施設の状態を診断・監視し、その結果に応じて保全を実施するもの。施設機械においては、運転中の設備の状態を計測装置などにより観測し、その観測値に基づいて保全を実施するもの。	常に設備状態の傾向を監視・分析することにより、適切な時期に保全を実施することが可能である。日常点検、定期点検及び機能診断調査時に得られた測定データの活用による劣化傾向の把握（傾向管理）も状態監視保全に含まれる。

用語表 1 総論的な用語の定義

用 語	定 義	解 説
補修	主に施設の耐久性を回復又は向上させること。	劣化の進行を抑制したり、部分的な施設の欠損等を実用上支障のない程度まで回復又は向上させることで、施設の寿命を長くすること。 目地の修復、塗装等がこれに当たる。施設の一部に対する行為に関する概念。修繕と同義。耐久性（構造物の劣化に対する抵抗性）を回復又は向上させることで、構造的耐力（力学的性能）の向上を必ずしも伴うものではない。 なお、補修・補強については、性能を回復する行為を補修、性能を向上させる行為を補強と定義する考え方もあるが、本手引きでは「コンクリート標準示方書維持管理編(2013年制定)」の記述も参考に左記のとおりとした。
補強	主に施設の構造的耐力を回復又は向上させること。	コンクリート増厚、強化繊維素材の貼付け等がこれに当たる。施設の一部に対する行為に関する概念。
改修	失われた機能を補い、又は新たな機能を追加すること。	更新は既存の施設を撤去し新しいものを建設することを念頭に置いているが、改修は必ずしも既存施設が撤去されることを前提としていない点が異なる。
更新	施設又は設備を撤去し新しく置き換えること。なお、施設系全体を対象とした場合は、施設系を構成する全施設を更新する場合だけではなく、補修、補強等を包括して行うことも更新という。	
水利システム	農業用排水を取水、配水、排水するための一連の施設体系。	貯留施設、取水施設、送配水施設、排水施設、調整施設、管理制御施設といった施設により構成される総合的な水利用のための施設体系。
水理ユニット	境界条件によって一体化して取り扱わなければならない施設群。	パイプラインでの水理ユニットは、その対象管路の上流端及び下流端に水位又は流量の境界が存在し、この二つの境界条件を基に、水理計算をすることができる水理学的な単位である。 開水路では、水位・水量調整施設等に挟まれた水路区間が同等のものとして定義される。
リスク	目的に対する不確かさの影響。	農業水利施設では、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・故障し、本来機能の停止のほか二次災害や第三者被害等が活性するなどのリスクが考えられる。
リスク管理 (リスクマネジメント)	リスクについて、組織を指揮統制するための調整された活動。 なお、リスクマネジメントプロセスは、コミュニケーション、協議及び組織の状況の確定の活動、並びにリスクの特定、分析、評価、対応、モニタリング及びレビューの活動に対する、運用管理方針、手順及び実務の体系的な運用。	農業水利施設のリスク管理においては、施設が本来果たすべき機能への影響に加えて人命・財産等の第三者被害への影響も併せて考慮しつつ、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。
リスクコミュニケーション	リスクの運用管理について、情報の提供、共有又は取得、及びステークホルダとの対話を行うために、組織が継続的に及び繰り返し行うプロセス。	農業水利施設においては、リスクに関する情報を施設造成者、施設管理者、地方公共団体等の関係機関で共有し、共通の理解を醸成する取組。

土地改良事業計画設計基準・設計「水路トンネル」に記載の水路トンネル用語集のうち、本手引きで使用している各用語の定義を用語表 2 に示す。必要に応じて、土地改良事業計画設計基準・設計「水路トンネル」に記載の水路トンネル用語集を参照のこと。

用語表 2 水路トンネルに関する用語の定義

用 語	定 義
圧力トンネル	水理上のトンネル分類で、計画流量が満流となり、内圧力が作用するトンネル。
インバート	底盤に打った逆アーチコンクリートをいう。また、底盤の部分をもいうこともある。
岩トンネル	地質上のトンネル分類で、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。
グラウト	流動性に富み、地盤に圧入、充填された後、一定期間を経て硬化する性質を持つ材料の総称。
クラウン	一般には、掘削面ないし構造物の上端面をいう。トンネルでは、掘削断面最上部のアーチクラウン（部）を指す。
グランドアーチ	トンネルのゆるみ領域の外側にそれより上部の土かぶり荷重を周りの地山へ伝達するアーチ状の領域が形成されるが、そのアーチ状の地山の部分をいう。
坑口	トンネルの出入口部の総称。
洪積層	第四紀のうち約 200 万年以降から約 1 万年前の間に形成された地層。
逆巻き	覆工の施工方法の順序を示すもので、上部半断面先進工法、底設導坑先進上部半断面工法の場合に用いられるようにアーチコンクリートを打設してから側壁コンクリートを打設する工法をいう。
山岳工法	一般には、爆破掘削を主体にトンネルを掘削する工法を意味する。鋼アーチ支保工、ロックボルト、吹付けコンクリートなどの支保工類と、覆工コンクリートを用いる工法をいう。この工法は、山岳、山麓地帯における山岳トンネルに多く用いられていることから名付けられているが、海底トンネル、都市トンネルにおいても施工可能な場合には用いられることもある一般的な工法である。
山岳トンネル	鉄道、道路、水路等山岳や丘陵を貫通するために設けられるトンネルをいい、都市トンネルや水底トンネルと対比させて建設場所の違いを表す呼称である。
地（土）圧	トンネルにおいては岩石の破壊や強度の劣化といった、通常の土圧の概念では処理できないような現象が見られるので、山岳トンネルではこれを地圧と称し、一般に用いられている土圧と区分し用いている。山岳トンネルの施工中に見られる地圧現象は、ゆるみ地圧と真の地圧に分けられるが、明瞭に区別することは難しい。
地山分類	定量的な因子と経験的な指標にもとづいて地山を総合的に評価し分類することをいう。地山評価の一手法で、地山区分とも呼ばれる。
蛇紋岩	超塩基性岩が蛇紋岩化作用により生成された岩石をいう。源岩のかんらん石、輝石などが残っているものもある。構造線又はこれに平行に貫入することが多い。岩塊は葉片状をなすものと、塊状をなすものがある。トンネル工事において膨張性地質として忌避される岩石である。特に、葉片状の蛇紋岩は難工事となることが多い。
スプリングライン	トンネルの内空面で、上半アーチの始まる線。シールドトンネルでは、一般的に、最も幅の広い箇所を指す。
素掘り	鋼アーチ支保工、ロックボルト、吹付けコンクリート、土留め支保工などを施工しないで、裸のままトンネル地山を掘削することをいう。
塑性地圧	トンネルを掘削したときに生じた二次応力が、地山の固有強度を超えて、塑性限界あるいは破壊に達した場合や、潜在的に塑性状態の地山を掘削したときに生じる地圧をいう。
第三紀層	約 6500 万年～約 200 万年前に形成された岩層をいう。古第三紀は主要炭田を形成し、新第三紀は主要油田を形成した。

用語表 2 水路トンネルに関する用語の定義

用 語	定 義
第四紀層	約 200 万年前～現在までに形成された地層をいう。洪積層や沖積層が含まれる。第四紀は地球の歴史からみれば瞬時に等しいが、地盤工学上多くの重要な意味を持っている。
地質	地質学上の観点及び方法によって捉えられるある地域の性質、特徴をその地域の地質という。
地質構造	地殻変動によって変形、変位を生じた地層、岩石、岩体の相互関係をいう。地質構造の基本的要素は、面構造（地層面、片理面、断層面など）と線構造（地質の流痕、片理面の条痕など）である。トンネル工学においては、特に断層、褶曲などにより形成された構造及び層理、片理、節理、亀裂などの走行、傾斜、卓越方向などが重要な意味をもつ。
地層	堆積物の積み重なりを指す。
沖積層	第四紀のうち約 2 万年前の最終氷期以降の一連の海面上昇時の堆積物をいい、軟弱地盤を形成している。
天端	一般的には、掘削面ないし構造物の上端面をいう。トンネルでは、掘削断面最上部のアーチクラウン（部）を指す。
土かぶり（圧）	地中のある点において、その上方にある岩盤又は地盤を土かぶりという。土かぶりの岩盤等の重量によって生じる鉛直圧力を土かぶり圧という。
N A T M	地山の強度的劣化を防止し、トンネル周辺地山が本来有している耐荷能力を積極的に活用するために、吹付けコンクリートやロックボルトを主たる支保部材として、現場計測による管理のもとトンネルを掘進させる工法をいう。1963 年、オーストリアのラブセビッツ教授によって命名され、新オーストリア工法の頭文字をとって、N A T M と呼ばれている。わが国の技術基準書では「吹付け・ロックボルト工法」として取扱っている。
盤ぶくれ	トンネルの掘削に伴い、底盤部分が内空にふくれ上がる現象をいう。膨張性を有する地山や強度の低い地山等で塑性流動する場合や側壁背面の地山が回り込む場合に生じる。
吹付けコンクリート	圧縮空気や機械力によって吹付けられたコンクリートをいう。トンネルの N A T M 工法では支保工部材として使用され、また覆工としての利用もある。
覆工	地山の变形や崩落の抑制、防止など地山安定の確保、湧水や漏水の処理、トンネル内空の整齊や美観などの目的のためにトンネルの掘削面を被覆する構造体又はその構造体を構成することをいう。巻立てあるいはライニングともいう。
ブロッキング	支保工と地山の間に挿入し荷重を均等に支保工に伝え、かつ地山のゆるみを防止するための木製ブロック。くさび、バックキングともいう。このくさびは支保工のアーチ作用を確保するのに欠かせないものであり、確実に締めるようにする。
偏（土）圧	トンネル等に対する土圧が左右対称でなく、著しく偏って作用する場合をいう。一般の場合でも、トンネルの荷重は支保工、覆工に対して対称、かつ一様に働くとは限らないが、特にトンネル上部の土かぶりが小さく、しかも傾斜している場合、地層がトンネル断面に対して傾斜している場合、地質が均一でない場合、膨張性地質で片側からより強く押される場合等では偏土圧が作用する場合が多い。
巻厚	覆工の厚さをいう。普通掘削工法では掘削面に凹凸ができるため覆工厚さは一定とならないので、通常、力学的あるいは耐久性などの点から設計上必要な厚さで覆工の厚さを表現する。設計巻厚ということもある。設計巻厚の中には木材など覆工の強度に影響を与えるような部材が入ることは許されない。したがって、縫地、掛矢板などの矢板のかけ方によって設計巻厚の取り方は違ってくる。
無圧トンネル	水理上のトンネルの分類で、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。
緩み土（地）圧	トンネル掘削に伴う爆破、支保工の沈下及び覆工裏の空隙等によりトンネル上方の地山がゆるんで、ある高さ相当の地山重量がトンネルの支保工又は覆工に直接荷重として作用する土圧をいう。ゆるみ荷重ともいう。
ライニング	地山の变形や崩落の抑制、防止など地山安定の確保、湧水や漏水の処理、トンネル内空の整齊や美観などの目的のためにトンネルの掘削面を被覆する構造体又はその構造体を構成することをいう。覆工あるいは巻立てともいう。

引用文献・参考文献

【引用文献】

- ・ 食料・農業・農村政策審議会農業農村整備部会技術小委員会：農業水利施設の機能保全の手引き（平成 27 年 5 月）
- ・ 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準・設計「水路トンネル」基準書・技術書（平成 26 年 7 月）
- ・ 社団法人土木学会：トンネルライブラリー第 14 号 トンネルの維持管理（平成 17 年 7 月）
- ・ 社団法人土木学会：トンネルの変状メカニズム（平成 15 年 9 月）
- ・ 財団法人鉄道総合技術研究所：トンネル補修・補強マニュアル（平成 19 年 1 月）
- ・ 公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（2013 年制定）
- ・ 公益社団法人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（2013 年）
- ・ 中達雄、樽屋啓之：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－（平成 27 年 8 月）

【参考文献】

- ・ 社団法人土木学会：トンネル標準示方書（平成 18 年 7 月）
- ・ 社団法人土木学会：トンネルライブラリー第 12 号～山岳トンネル覆工の現状と対策～（平成 14 年 9 月）
- ・ 社団法人土木学会：水路トンネルの維持管理支援エキスパートシステム（平成 7 年 2 月）