農業水利施設の機能保全に関する
調査計画の参考資料
（案）

［水路トンネル編］

平成３０年３月

農業水利施設の機能保全に関する調査計画の参考資料（案）
（水路トンネル編）

目　　次

２．　水路トンネル …………………………… トー1
2.1　水路トンネルの構成と特徴 …………………………… トー1
2.1.1　本資料の位置付け …………………………… トー1
2.1.2　水路トンネルの分類と構成要素 …………………………… トー1
2.1.3　水路トンネルの機能と性能 …………………………… トー3
2.2　機能診断調査 …………………………… トー6
2.2.1　事前調査（既存資料の収集整理等） …………………………… トー7
2.2.2　現地踏査（巡回目視） …………………………… トー16
2.2.3　現地調査（近接目視と計測） …………………………… トー24
2.3 機能診断評価 …………………………… トー56
2.3.1　評価の手順 …………………………… トー56
2.3.2　機能診断評価の方法 …………………………… トー57
2.4　専門的調査 …………………………… トー69
2.4.1　専門的調査への移行 …………………………… トー69

２．水路トンネル

2.1　水路トンネルの構成と特徴

水路トンネルは水路の一部を構成し、農業用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不可能な山地や起伏の大きい路線に設置されるもので、坑口とトンネル本坑（コンクリート覆工）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。

水路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、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。

水路トンネルの性能評価は、地山の地質特性や土被り、あるいは水理的特性から決まるトンネル形式の違いと要求性能の違いに留意する必要がある。

【解説】

2.1.1　本資料の位置付け

本資料では、農業水利施設のストックマネジメントのうち、現場での機能診断調査に関する理論及び技術を取りまとめるものである。本資料の対象は農業用用排水を送水する目的で建設された水路トンネルであり、ダム仮排水路トンネルについては対象としない。なお、現地での調査着手前の事前調査、調査結果に基づく機能保全対策の検討については、「計画編」に示す。

2.1.2　水路トンネルの分類と構成要素

水路トンネルは、トンネル本坑及び坑口から構成され、取水された必要な農業用水を所要地区に導水する目的で設置される水利施設である。

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被り、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。十分な土被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、土被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。

表-2.1.1に水路トンネルの分類、図-2.1.1に水路トンネルの構成要素を示す。

表-2.1.1　水路トンネルの分類

着目点	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　方　法	矢板工法
	吹付、ロックボルト工法（NATM）

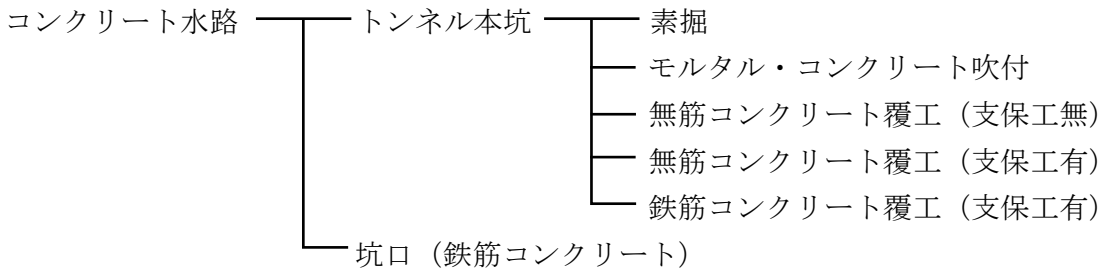


図-2.1.1　水路トンネルの構成要素

2.1.3　水路トンネルの機能と性能

水路トンネルは、農業用用排水を送水する目的を有し、その目的を果たすための機能は水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。なお、堆砂、ゴミ、雑草などを原因とした通水障害などのように、構造機能に帰結しない性能の低下は必要に応じ別途検討する。

※水路トンネルの場合は他の一般的な構造物における土圧と異なり、地盤の膨張など造山運動に関わる圧力を含むため、区別して地圧と呼ぶことが多いため、本資料でも水路トンネルについては地圧を用いる。

表-2.1.2　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

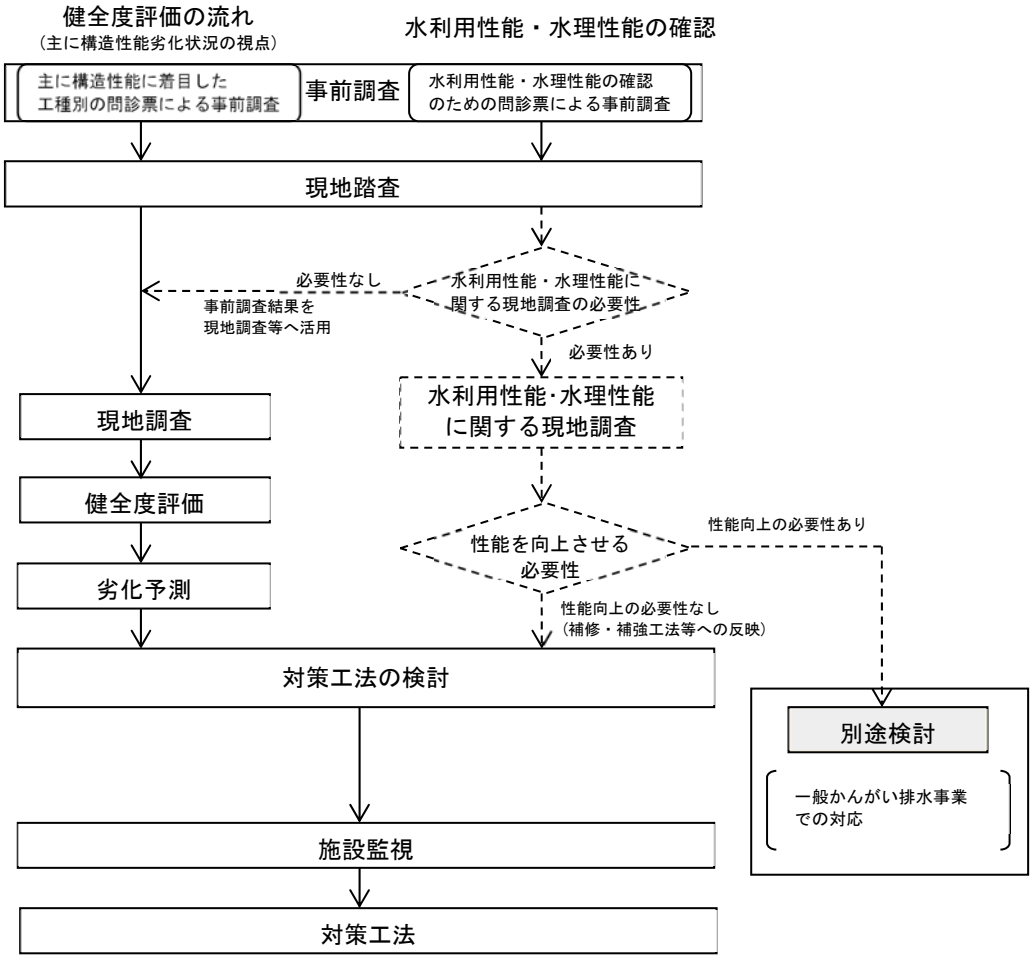
表-2.1.3　水路システム（用水）の機能の記述案

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。

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

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留意する必要がある。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、通常の健全度評価のプロセスと併せて進めていく必要がある。そのうえで、水利用性能・水理性能の調査結果より水理計算や水理設計を見直し、施設の構造的な対策工法の検討等に反映させていくことが重要である。

水利用性能・水理性能の確認フロー



2.2　機能診断調査

機能診断調査は、既往の資料や設計・施工図書、施設管理者からの聴き取りなどの事前調査、及び施設の状態の概略把握を行うための現地踏査を予め実施し、これらによって得られる情報を基に、現地調査の調査地点の選定や調査方法、及び劣化要因を検討し、効率的に現地調査を実施する。

調査の実施に当たっては、本編の他、「Ⅰ.計画編　2. 機能診断調査」を参考とする。

【解説】

事前調査、現地踏査、現地調査は図-2.2.1 に示す手順で実施する。

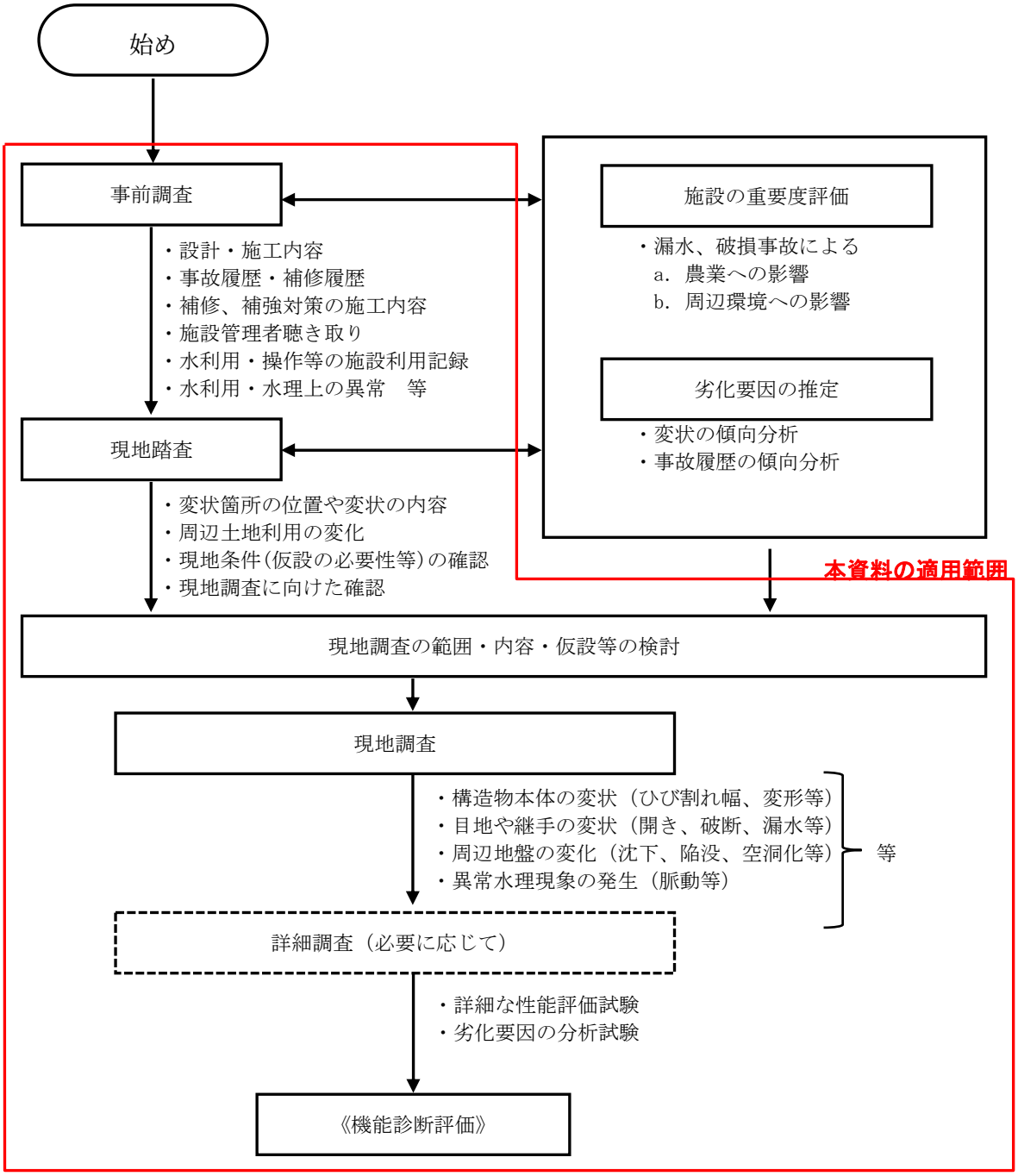


図-2.2.1　調査の手順

2.2.1　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を行うとともに、断水や減水通水の可能性等について施設管理者からの聴き取りを行う必要がある。

また、通水した状況で現地踏査・調査を行う場合は、その調査手法についても検討する必要がある。

【解説】

事前調査は、施設の概要と問題点を把握して機能診断評価を効率的に実施するとともに、施設の立地条件を参考に、個別の劣化現象の可能性を評価する目的で実施する。

施設管理者（土地改良区等の担当者）への聴き取りに当たっては、対象施設毎に事前調査票（問診票）を準備し、問診票の項目に従って、施設の現況を把握する。また、現地踏査及び現地調査の実施についてのアドバイスについても施設管理者から受ける。

問診調査等と併せて、電子化されたデータベースを活用し、施設基本情報や補修等履歴、既往の機能診断結果を参考にする。

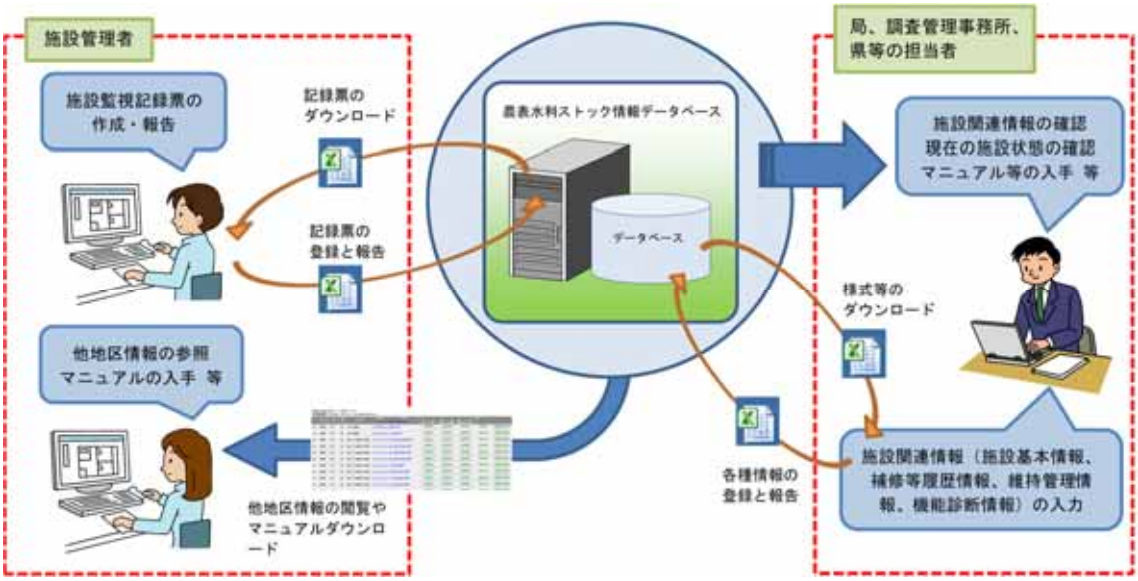


図-2.2.2　農業水利ストック情報データベースからの情報収集

(1) 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、過去の診断や自己・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、使用者や管理者、施工者に対して聴き取り調査を行う。

表-2.2.1　事前調査で収集する既存資料（例）

情報の種類			参考資料	データ収集元	備　　考
施設諸元	事業の目的・経緯		工事誌・事業誌	事業主体	事業の目的・経緯
			事業情報	ＤＢ	事業開始・竣工年、総事業費、受益面積
	施設量の把握		設計書・出来高図面	施設管理者	新設における施設構造、追加距離、工事名、コンクリート配合
			施工内容	事業主体	コンクリートの使用材料・配合、施工記録、各種試験記録
			施設管理台帳	施設管理者	土地改良区で管理台帳を作成していることが多い
			土地改良区管内図	施設管理者	特に規定されていないため縮尺は多様
			土地改良区パンフレット	施設管理者	概要を把握するのに有効
			施設基本情報	ＤＢ	ＤＢ上に登録されている施設を確認
					施工年・施設延長・設計流量・工事費・施工者・附帯施設
施設の補修履歴			土地改良施設維持管理適正化事業記録	施設管理者	土地改良区で実施した保全対策の記録の確認
			基幹水利施設管理事業記録	施設管理者	土地改良区で実施した保全対策の記録の確認
			災害復旧事業記録	施設管理者	既往災害及び復旧に関する記録
			補修等履歴情報	ＤＢ	ＤＢ上に登録されている過去の補修履歴を確認
					施工年・施工範囲・施工工法・施工理由・工事費
施設の日常管理			総代会議事録	施設管理者	日常管理の状況の確認
			日常の点検票	施設管理者	既往の日常点検票
			維持管理情報	ＤＢ	ＤＢ上に登録されている過去の維持管理費を確認
					管理体制、管理費
施設の機能診断結果			既往の機能診断報告書	事業主体	広域基盤整備計画調査などによる既往の施設機能診断結果
			機能診断情報	ＤＢ	ＤＢ上に登録されている過去の機能診断結果を確認
					施設変状発生箇所、総合評価結果
その他	供用状況	取水量・通水量	頭首工操作規則	施設管理者	取水・通水量の経年的な増減の履歴
			水利使用規則	施設管理者	取水・通水期間
		水質	既往調査結果	事業主体 施設管理者	水質に関する既往調査結果
		土砂混入状況	既往調査結果	事業主体	土砂堆積や摩耗に関する既往調査結果
	供用環境	地質条件	地質図・航空写真	事業主体 施設管理者	軟弱地盤、地すべり地形、地下水位に関する情報
		周辺利用	古地図・古い航空写真	事業主体 施設管理者	宅地化の進行や近接施工の有無
	地域特性	塩害の可能性	地形図	事業主体	海岸からの距離と地図上のおおよその位置
		凍害の可能性	地形図	事業主体	地図上のおおよその位置
		ＡＳＲの可能性	地形図と施工記録	事業主体	施工年代と地図上のおおよその位置

注１）表中のＤＢは農業水利ストック情報データベースを指す
注２）　緑の着色は、農業水利ストック情報データベースにより確認する情報

(2) 施設管理者に対する問診事項

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を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確認する。

施設製造以降、施設管理者が坑内に入ったことが無い場合は、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となる。なお、断水することが出来ず減水通水による場合において、水の供給量が不足する場合は、付近の調整池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、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-2.2.2）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-2.2.3 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-2.2.4 に水利システムの図の例を示す。

写真-2.2.1　施設管理者への聴き取り状況

(3) 通水状態での調査手法の検討

水路トンネルが上水道水や工業用水との兼用施設であるため、断水出来ない場合などは、通水状態での調査手法を検討する必要がある。

検討に当たっては、通水により目視確認できない箇所や通水量が多くて人が徒歩巡回できない場合などについて、台車の使用や水中カメラ等機械による調査方法を考慮する。

表-2.2.2　水路トンネルの事前調査票（問診票）の例

整理番号	1912001	調査年月日（今回）	平成 23 年 10 月 1 日
地 区 名	R地区	（前回）	平成　　年　　月　　日
施 設 名	w水路トンネル	記入者	○○コンサル㈱○○　○○
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	
		【特記】	
	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（　　） 2.異常無し	
		【特記】	
	トンネル上部地盤	1.異常有り ①地すべり、地盤の陥落が発生している 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	
		【特記】	
	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】	
確認事項	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		

水利用機能・水理機能の診断を行う場合には、次頁（表-2.2.3）の問診内容による

※1：覆工形式の○印を付けて、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-2.2.3　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

<table>
<tr><td colspan="2">整理番号</td><td>1912001</td><td>調査年月日</td><td>平成　　年　月　　日</td></tr>
<tr><td colspan="2">地 区 名</td><td>R地区</td><td>記　入　者</td><td>○○コンサル㈱○○　○○</td></tr>
<tr><td colspan="2">対象施設名</td><td>w水路トンネル</td><td>形　態</td><td>水路トンネル</td></tr>
<tr><td colspan="2">機能・性能項目</td><td colspan="2">異常の有無、内容</td><td>異常箇所</td></tr>
<tr><td rowspan="2">水利用機能</td><td rowspan="2">保守管理
・保全性</td><td colspan="2">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</td><td>3号支線</td></tr>
<tr><td colspan="3">【特記事項】
・除塵設備の破損により塵が流入し、維持管理に要する費用と労力が近年増加している。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">水理機能</td><td rowspan="2">通水性</td><td colspan="2">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</td><td>1号支線</td></tr>
<tr><td colspan="3">【特記事項】
・目地部から漏水が生じている</td></tr>
<tr><td rowspan="2">放余水性</td><td colspan="2">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</td><td>2号支線</td></tr>
<tr><td colspan="3">【特記事項】
・放水ゲートの老朽化によりゲート操作に不具合がある</td></tr>
</table>

【水利システムの図化】

水利用機能や水理機能の問診を実施する場合に当たっては、事前に図-2.2.4 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して活用する。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良い。

水利システム図は既存資料や問診調査結果に基づき、下記の手順を参考に作成する。なお、作成した水利システム図は、情報等に齟齬がないよう施設管理者に内容を確認してもらうことが望ましい。

設計書、図面、施設基本情報等から、水利系統、施設全般を俯瞰できる模式図を作成する。

↓

事業誌、地形図、航空写真、施設管理台帳、施設管理者聴き取り等から模式図に以下の情報を付加する。

・当初の受益面積、通水量
・現在の受益面積、通水量
・鉄道、主要道路、住宅密集地等の立地条件

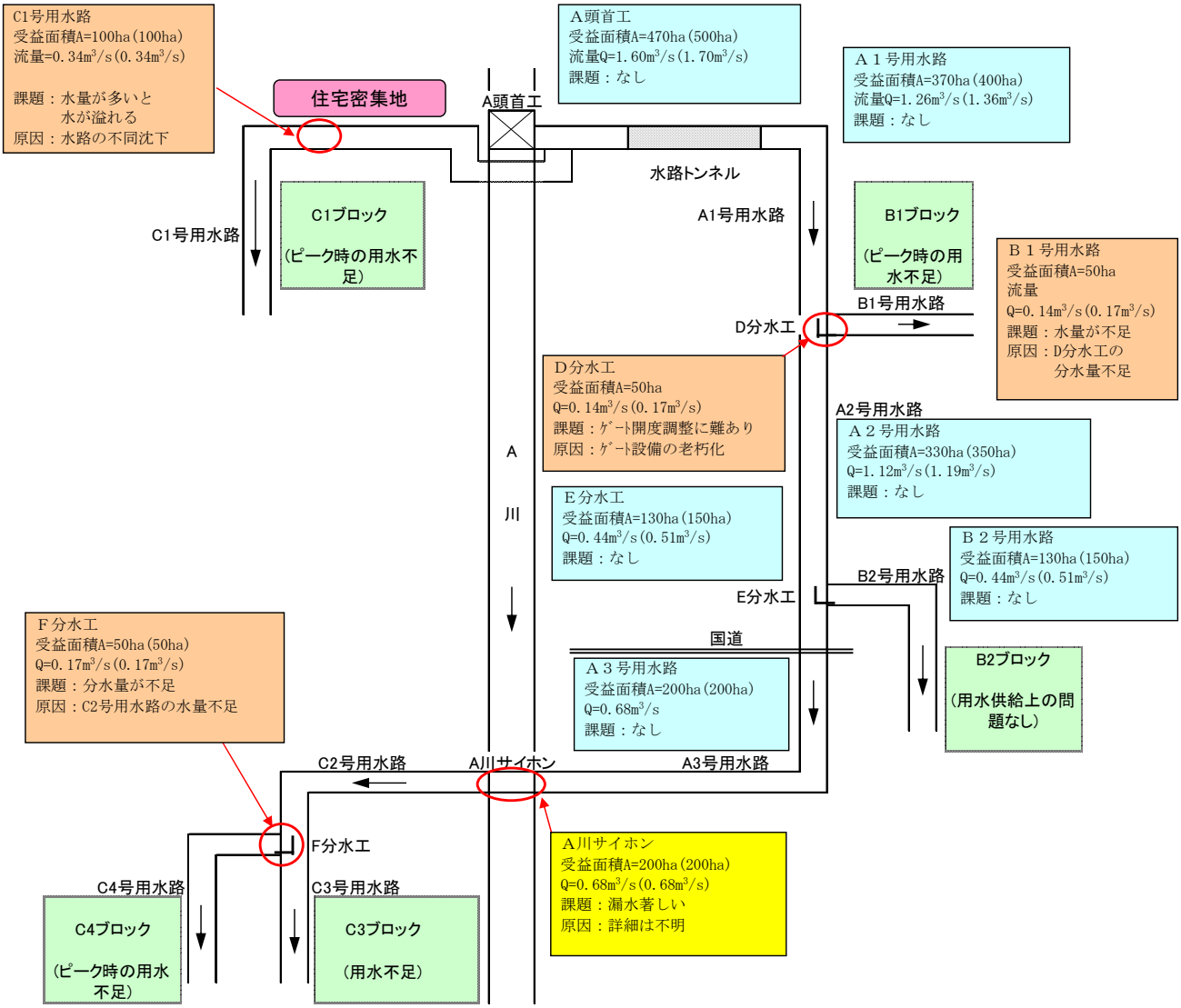
↓

問診調査結果により、現状の問題点や原因等の情報を模式図に付加し、原因の関連性等を整理する。
（問題の有無等により施設を色分けすると分かりやすい）

↓

作成した水利システム図を施設管理者に確認し、図内の情報等の整合を確認する。

図-2.2.3　水利システム図の作成手順（例）



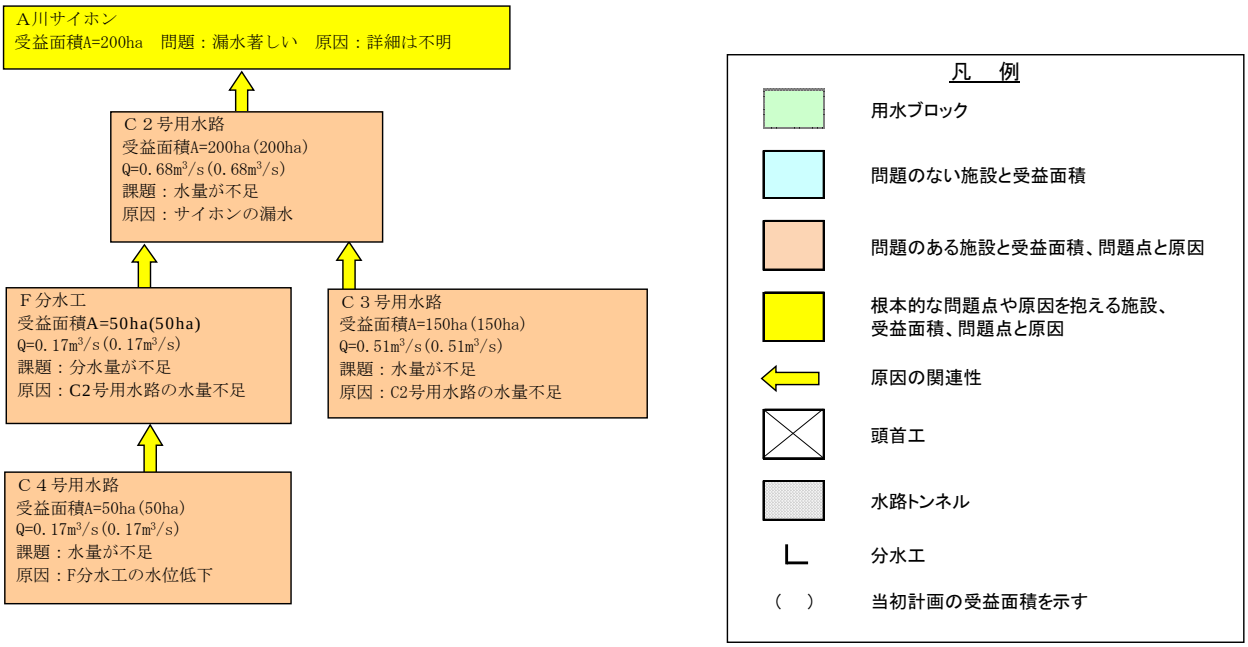


図-2.2.4　水利システム図（例）

(4) 施設情報の図化

過去のひび割れ状況等の現地踏査・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ことが望ましい。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。

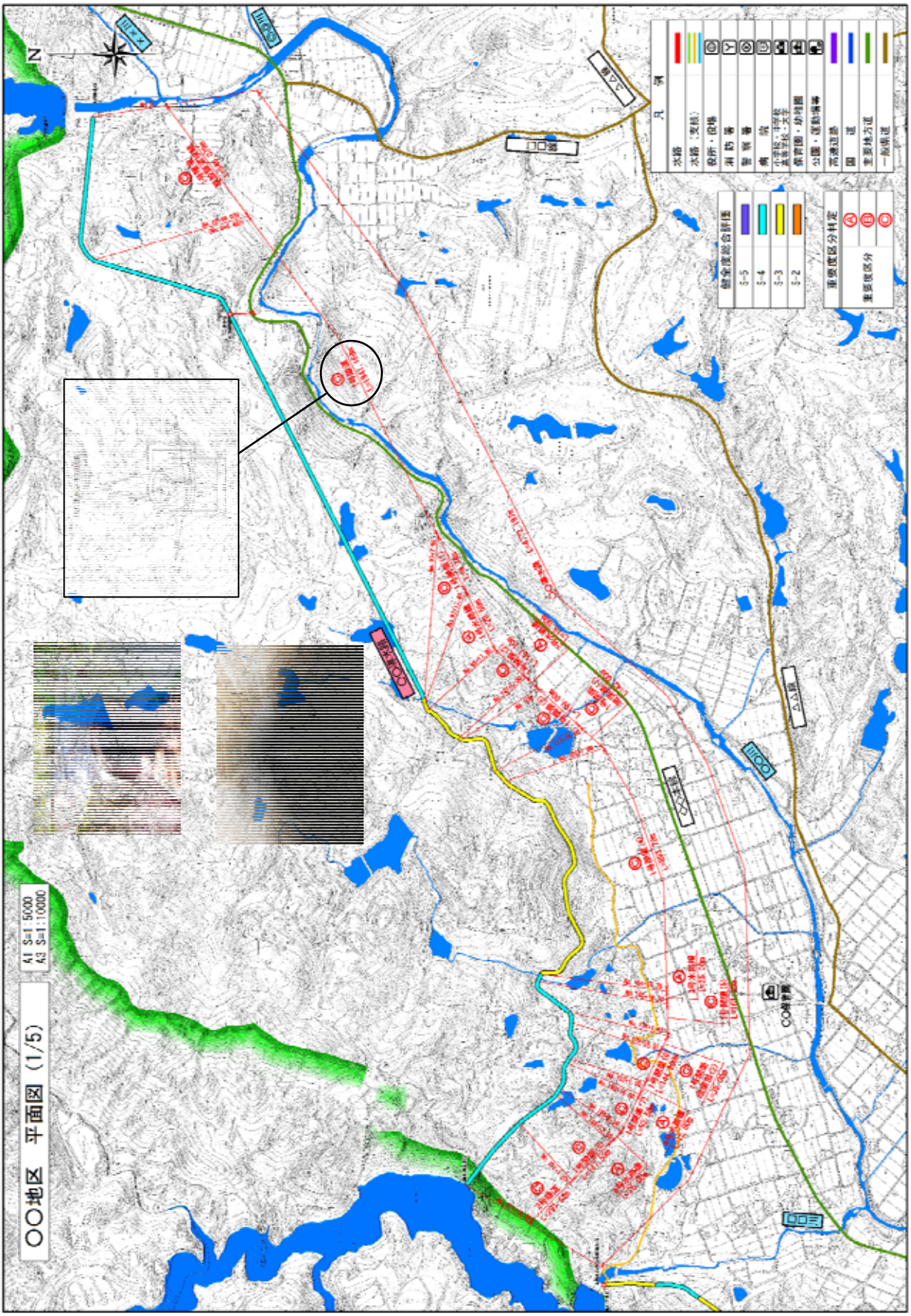


図-2.2.5　施設情報の図化（例）

2.2.2　現地踏査（巡回目視）

事前調査で得られた情報を参考とし、実際に全路線を原則として、徒歩巡回目視により現地を踏査し、変状箇所の位置や変状の内容、程度を概略把握し、現地調査地点、調査項目、調査方法を決定する。現地踏査は、専門的な知見を有した技術者を主体とし、日常管理（施設監視）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）と同行することが望ましい。

【解説】

(1) 現地踏査の目的及び留意事項

現地踏査は、事前調査で得られた情報をもとに、坑口周辺や水路トンネル坑内を徒歩巡回目視（通水状態での調査で、通水量が多く徒歩巡回が困難な場合を除く）により可能な限り全区間を観察し、水路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を行うとともに、現地調査を実施するのに適当な位置の確認や調査の範囲、定量的な調査項目の決定等、現地調査の実施方法を具体的に決定することを主目的として行う。

年間を通じて用水供給を必要とする水路トンネルにおいては、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。

水路トンネルの変状は、地山条件や地下水の流況に依存することが多く、線的構造物である水路トンネルの機能保全計画を検討する際には、区間毎に対策範囲を設定する必要があるため、簡易であっても全線を同じ視点で調査しておくことが重要になる。

ただし、水路トンネル延長が長く全線目視等の調査に一定の期間を要するなど、施設管理者が現地踏査に同行することが困難な場合は、現地踏査に先だって、事前に下見を行うことも検討する。

また、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。

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。

【現地踏査時の確認事項】

・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）

・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、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。

・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（特に水路トンネル断面がほろ形の場合は、側壁及び側壁との打継ぎ部の変状に留意）

・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

・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）

・周辺地盤の沈下、陥没

・水利用上、水理上の性能低下の状況

図-2.2.6 に曲げひび割れ、せん断ひび割れの模式図を示す。

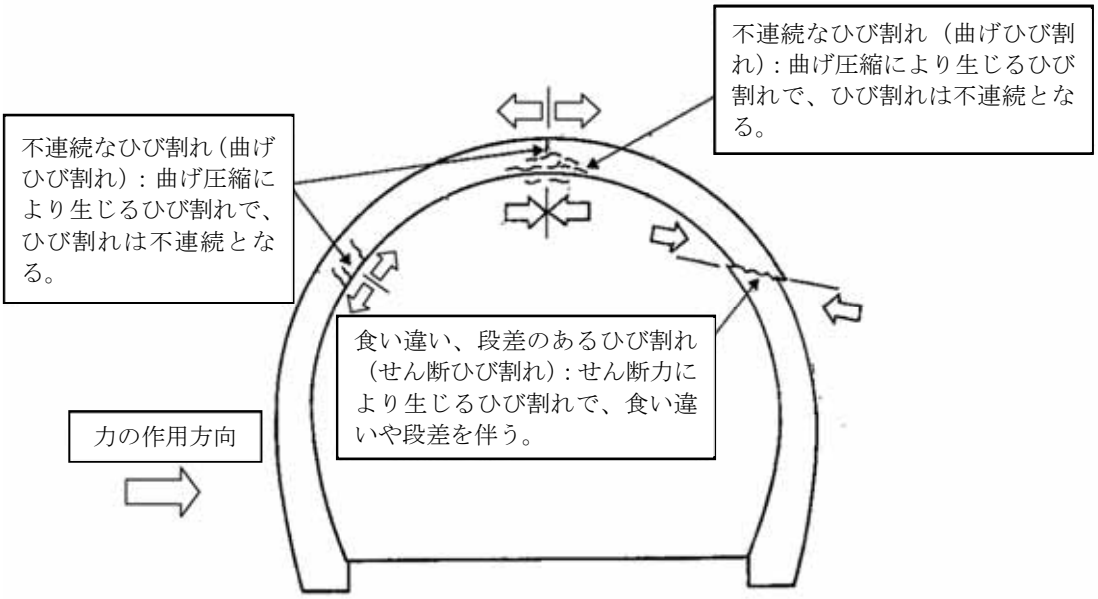


図-2.2.6　無筋コンクリート覆工における曲げひび割れ、せん断ひび割れの模式図

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

※本資料における食い違いとは、施工打ち継目等にずれが生じた状態をいい、段差とはひび割れ等により部材面に高低差がついた状態をいう。

(2) 踏査方法

・観察は、水路トンネル内と水路トンネル上部地盤を対象とし、原則として徒歩巡回目視により行う。

・水路トンネル上部地盤は、陥没や崩壊などの水路性能に影響を及ぼすような変状がないかについて観察する。

・現地が水路トンネルに沿って歩けない状況の場合は、概ね 10～15m程度離れた位置から確認できる変状について把握するものとし、それ以上の距離がある場合は双眼鏡などを用いて観察する。

写真-2.2.2　水路トンネル上部地盤から観察

(3) 変状箇所の表記方法

農業用水路の水路トンネルの多くは距離標がないか、あっても設置スパンが長いことが多い。このため、現地踏査に当たって、まず追加距離のマーキングを行う必要がある。

変状箇所は、測点（距離）、スパン番号、あるいは調査用に改めて付した番号で表示し、図上にも明記しておく。表記方法は地区の状況に応じてやりやすい方法を採用して構わないが、以後の継続調査の表記方法と整合性がとれるように留意する。

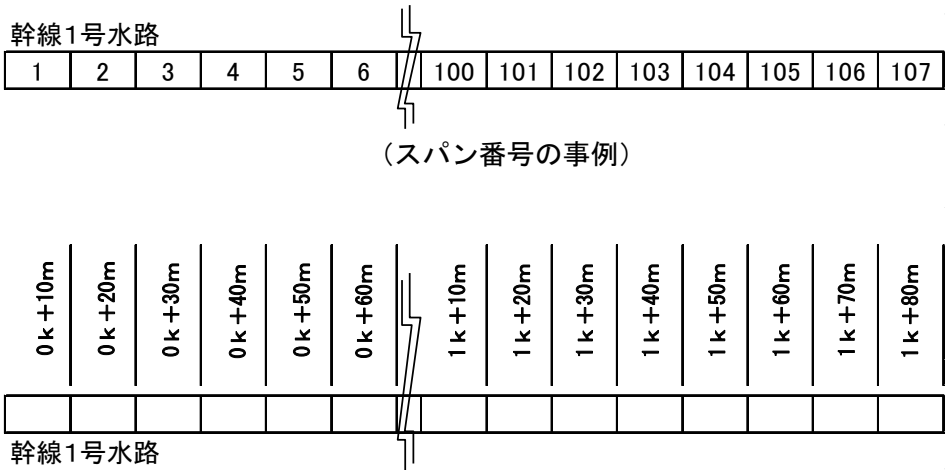


図-2.2.7　施設箇所の表記方法例

現地踏査では一つのグループを代表する定点を決定するが、現地踏査の結果を定点の決定に反映する一つの手法として、水路トンネル内の徒歩巡回目視により大まかな変状を把握し、変状の内容及び進行具合を整理した事例を表-2.2.4 に示す。この様な整理表を作成することで、定点の選定や現地踏査票の記載が行いやすくなり、現地調査（近接目視と計測）を円滑に進めることが可能となる。

表-2.2.4　現地踏査の整理事例

構成要素：水路トンネル（無筋コンクリート覆工）

調査延長＝1,140m

※「空欄」：該当なし、「1」：部分的に該当あり、[2]:該当あり全体的を示す

スパン番号または測点・距離	構造的な安定性					材料的劣化					継目の劣化		堆砂	上部地盤		評価				特記事項（○：必要、×：不要）		
	ひび割れの有無 □ク：クラウン □イ：インバート	ひび割れ形状	ひび割れ規模	鉄筋露出	不同沈下	剥落欠損	変色その他	摩耗・骨材の露出	析出物	漏水漏水痕跡	欠損段差破断	欠損崩壊鉄筋露出	堆砂	崩落地滑り	陥没痕跡	現地調査個所	適用範囲	詳細調査個所	補修対策箇所	仮設安全対策	壁面清掃	その他
1	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　□粗露　■粗剥　■全体												梯子、安全帯	○	滞水あり
2	□左　□右　■ク　□イ　□無	不連続	1			1	1	□細露　□粗露　■粗剥　■全体	1	1						選定		選定		進入時	○	滞水あり
3	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
4	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
5	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
6	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
7	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
8	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
9	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1	1											○	滞水あり
10	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
11	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
12	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
13	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
14	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
15	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
16	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
17	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
18	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
19	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
20	□左　■右　□ク　□イ　□無	食い違いや段差あり	1			1		□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1		1				1	選定		選定			○	滞水あり
～																						
110	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
111	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1												○	滞水あり
113	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体													○	滞水あり
112	□左　■右　□ク　□イ　□無	不連続	1			1		□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1							選定		選定			○	滞水あり
113	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1											撤収時	○	滞水あり
114	□左　□右　□ク　□イ　□無							□細露　■粗露　□粗剥　■全体	1											梯子、安全帯	○	滞水あり

(4) 現地調査地点の選定

現地調査の結果より、水路トンネルの現地調査地点は、以下の点に留意して選定する。

① 発生している変状の程度が顕著であり、何らかの対策が必要と判断される箇所
② 構成要素（構造形式や断面形状）が大きく異なる区間
③ 周辺地山を構成する地層帯の境界部
④ 発生している変状の程度が調査対象区間内で標準的な箇所

坑口（2 箇所）と中央部 1 箇所（1 スパン）、計 3 箇所の現地調査地点を選定する。延長が長い場合、調査地点間隔は概ね 1ｋｍ程度になるように調査地点数を調整し、調査地点数を増やす。

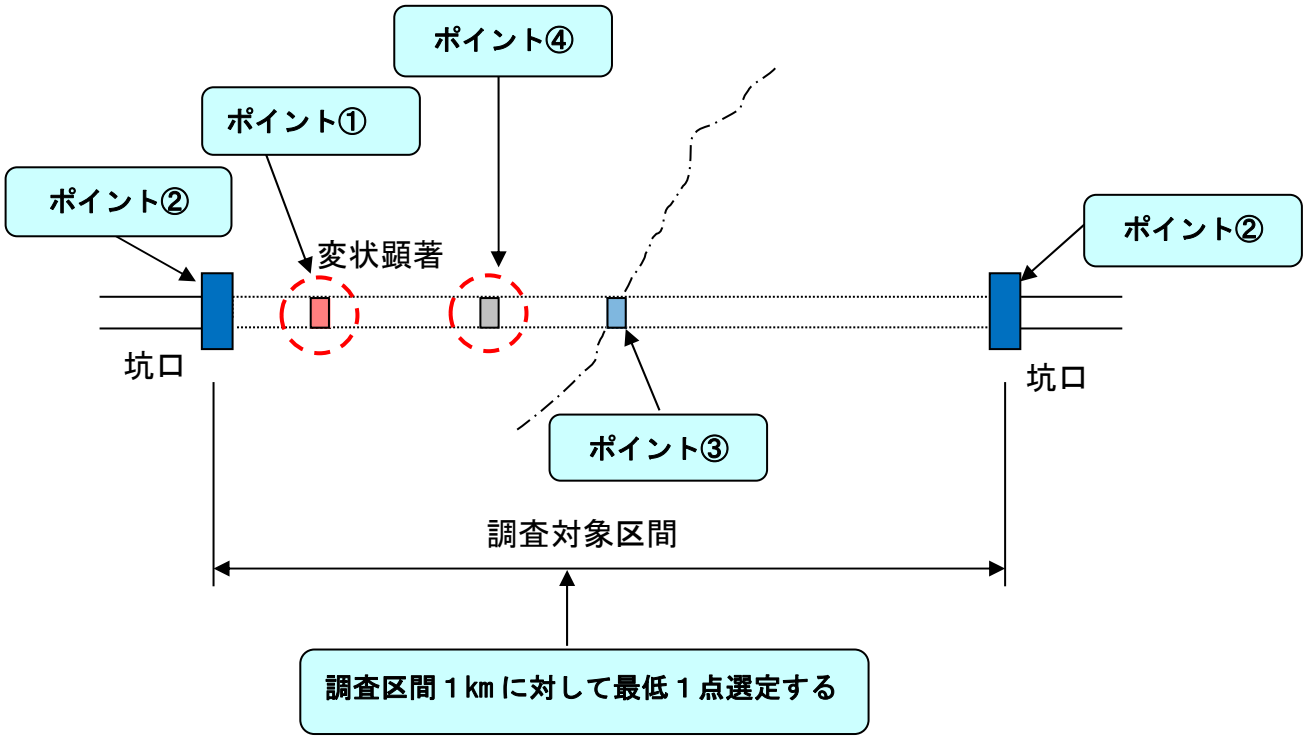


図-2.2.8　現地調査（定点調査）位置の考え方

(5) 現地踏査票

現地踏査票の記載に当たっては、事前調査を踏まえて、現地踏査において確認した施設や施設周辺についての変状の有無や変状の程度、変状箇所などの情報について整理した帳票を作成する。現地踏査票の例を表-2.2.5 に示す。

また、今後の調査時において、調査ポイントや過去の変状を容易に把握するため、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。

表-2.2.5　水路トンネルの現地踏査票の例

整理番号	02071000400008	調査年月日	平成　年　月　日
地区名	Ｓ地区	記　入　者	
施設名	Ｋ幹線（測点No.0～No.40＋2.5）　延長Ｌ＝2,002.5m		
位置情報	X=○○○○○．○○○　Y=△△△△△．△△△		
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	・ひび割れあり ・横断方向のひび割れ	測点No.5付近
	欠損・崩壊 傾き・変形・歪み 側壁・インバートの変形	・なし	
	鉄筋の露出	・対象外	
	不同沈下	・なし	
材料的劣化	コンクリート表面の剥落・欠損	・なし	
	変色などその他の変状	・なし	
	摩耗・骨材の露出	・粗骨材露出あり ・全体的に発生	・側壁流水部
	析出物	・あり（クラウン）	・測点No.5付近
	漏水・ひび割れ等からの漏水痕跡箇所	・あり（側壁）	・測点No.2＋10
	漏水・漏水痕跡 （異常な湿気・砂の吸出し）	・あり（側壁）	・測点No.2＋10
継目の劣化	欠損・段差・破断	・なし	
	欠損・崩壊・鉄筋の露出	・なし	
堆砂	通水阻害を起すような堆砂	・堆砂あり ※通水阻害はなし	・インバート
トンネル上部地盤	地盤の崩落、地すべり	・なし	
	地盤の陥没の痕跡	・なし	
評価	現地調査箇所 （現地調査を行うのに適当な箇所）	・No.2＋10、No.5付近スパン番号12、30（変状が顕著なスパン） ・No.2付近スパン番号100（標準的なスパン）	
	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）	・想定される劣化がないため詳細調査は不要と考えられる（定点調査時に必要性があれば別途検討）	
	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）	・なし	
特記事項	・水路内への進入のために仮設足場（梯子）の設置が必要。 ・壁面に汚れ（藻等）があるため清掃が必要。		

※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。

2.2.3　現地調査（近接目視と計測）

現地調査では、事前調査・現地踏査で得られた結果及び施設の重要度を勘案して、現地調査の範囲・調査地点の密度及び調査手法等を設定する。特に水路トンネルの場合、覆工背面の地山状態の良否が水路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。また、現地調査(近接目視と計測)事項については、標準とする調査事項と水路トンネル形式・断面形の特徴や地山の特性を踏まえた調査手法を選択するとともに、類似地区の事故事例や使用・劣化環境条件も参考にする必要がある。

【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結果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。

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。

以下に現地調査における留意点を示す。

(1.1) 水路トンネル変状の特徴

現地調査は、事前調査・現地踏査に基づき定められた調査項目について、現地で近接目視及び変状場所の写真撮影を行い、調査結果を調査票に記録する。

水路トンネルで一般に見られる変状には図-2.2.9 のようなものがある。

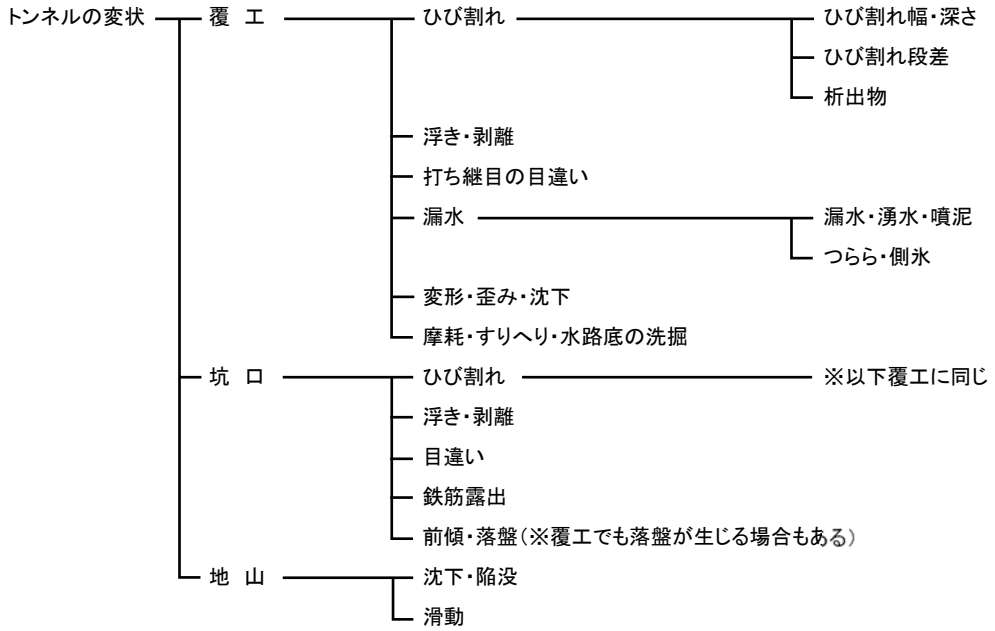


図-2.2.9　水路トンネルにおける一般的な変状

(1.2) 機能診断調査のポイント

水路トンネルは、コンクリート部材としての一般的な変状・劣化の他に、地山特性による地圧の状態によっても大きく影響を受ける。

地山特性に応じて覆工形式が異なり、例えば、地山の剥落防止を目的としたモルタル・コンクリート吹付けや、地山内部応力のバランスを補助するための無筋コンクリート覆工では、ひび割れの位置や方向が地山の特性（地圧の状況）と深い関係にある。土圧に抵抗するための鉄筋コンクリート覆工では、ひび割れ状況は地圧だけでなく鉄筋腐食との関連性が重要となるため、他の鉄筋コンクリート構造物に準じた調査も必要である。

水路トンネル内の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測定器を携帯し、また換気を充分に行う必要がある。またコウモリ等の生息生物に対する配慮も必要である。

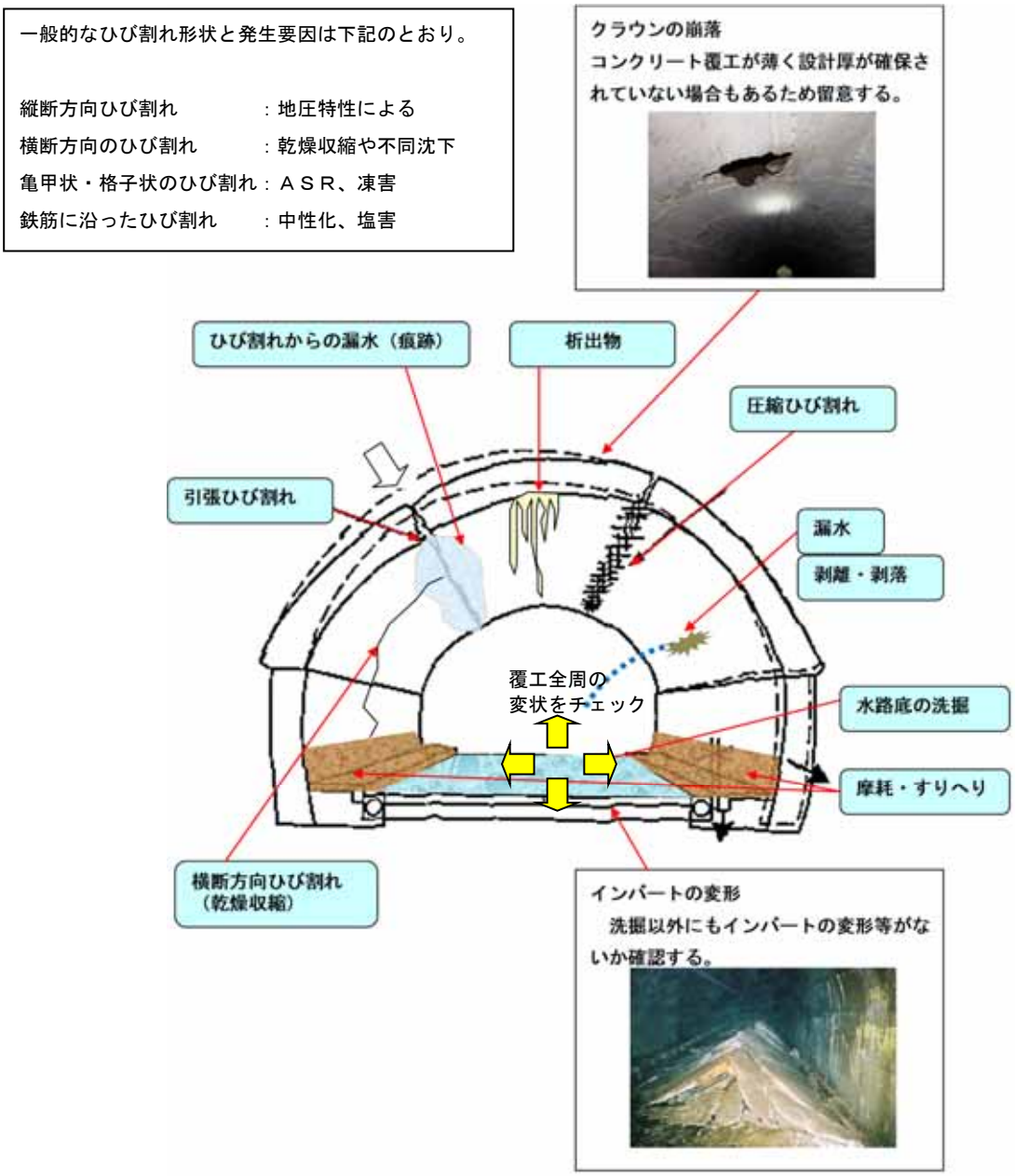


図-2.2.10　水路トンネルの調査のポイント

(2) 現場条件により調査に制約を受ける場合の取扱い

水路トンネルの内部要因を把握するための現地調査はできる限り断水し、水路トンネルに水がない状態で水路トンネル内から調査することが望ましいが、運用上断水ができない場合は、坑口外側からの遠方目視、上部地盤の変状確認、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) 調査地点の表示

(3.1) 現地調査(定点調査)地点番号

現地調査(定点調査)地点番号はデータベースに登録する番号となるので、4桁以内の通し番号を付す。スパン番号を流用しても構わない。

(3.2) 調査地点の確認方法

現地調査(定点調査)地点を以後の継続調査時に現地で容易に特定できるように、以下のような方法で現地調査(定点調査)地点を明確にしておく。

図-2.2.11　現地調査(定点調査)図例

1) 図上表示

現地調査(定点調査)地点を平面図に記載し現地調査における定点調査番号、施設番号・測点等をファイリングしておく。

2) マーキング

調査地点が現地で確認できるように、ピン、ペンキ等によってマーキングする。

3) ＧＩＳの利用

ＧＩＳの整備が進んでいる地区では、現地調査(定点調査番号)位置や調査地点の写真・調査記録等をＧＩＳの属性データとして登録しておくとよい(図-2.2.12参照)。

図-2.2.12　ＧＩＳの属性データ化例

(4) 調査項目と調査方法

(4.1) 調査項目

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-2.2.6 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。

現地調査の標準的な調査項目を表-2.2.6 に示す。

表-2.2.6　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（スケール等）	〃
			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
			エフロレッセンス（析出物）	〃	〃
			ゲルの滲出（析出物）	〃	〃
			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（スケール等）	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-2.2.7　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
		トンネルインバートの勾配	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。

(4.2) コンクリート表面の外観目視調査方法及び評価方法

コンクリート構造物はセメント、水、骨材、混和剤(材)、鋼材(鉄筋、鉄骨、PC 鋼材など)等の材料で構成されているため、発生する損傷の形態、発生原因も多岐にわたっている。そのため、構造的な原因により発生する損傷はその発生位置をある程度特定できるが、材料に起因した損傷は発生位置を予め推測することはできない。したがって、目視調査にあってはすべての部位を目視観察する必要がある。目視調査の方法は基本的に、コンクリート表面にできるだけ近接して入念に目視で観察する。

また、必要に応じてひび割れにおける段差や内部からの膨れ上がりの有無について、直接ひび割れに指を当て把握する必要がある。このような状況はアルカリシリカ反応を原因とする損傷に見られる。

コンクリート面が汚れている場合は、必要に応じて清掃するのが望ましく、夜間や暗い箇所を調査する場合は照明設備等により、できるだけコンクリート面を明るい状態にして観察するのがよい。

ひび割れ位置やその他の表面変状は、調査物表面に直接チョークで書き込むとともに、写真で記録しておき、写真記録と調査票から変状展開図を作成しておくのが効率的である。

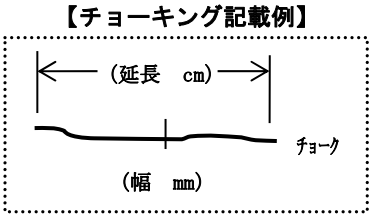


写真-2.2.3　記録写真例

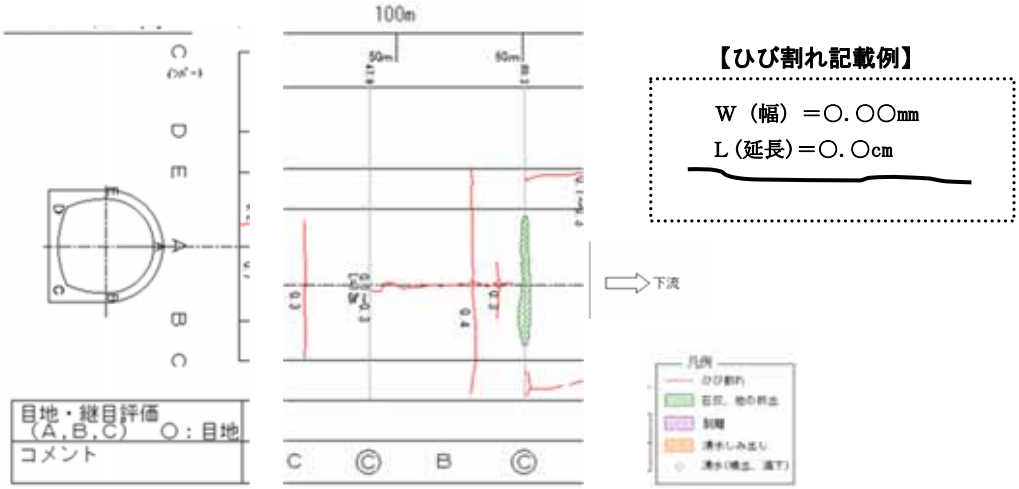


図-2.2.13　変状展開図の作図例

ひび割れ

インバートの変形

鉄筋露出

コンクリートの剥落・欠損

摩耗・骨材露出

漏水

析出物

漏水痕跡

地盤の崩落・陥没

写真-2.2.4　水路トンネルに生じる各種変状

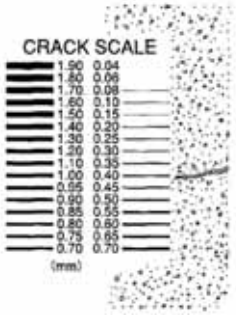
1）ひび割れ

■ひび割れ幅の測定

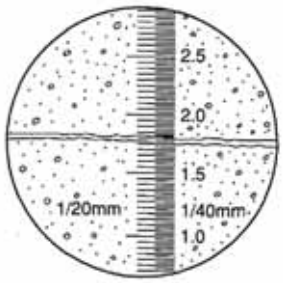
・図-2.2.14に示すようなクラックスケール、ルーペなどを用いて行う。

・測定値は最大幅とするが、最大幅を示す部分がひび割れの全長のうち、極めて僅かな一部分である場合などには、適当な数箇所のひび割れ幅を測定し記録しておく。

・測定単位は、mm単位とし、少数第2位まで0.05mmきざみで測定する。



クラックスケールによる測定



ルーペ（顕微鏡）による測定

図-2.2.14　ひび割れ幅測定器具

■ひび割れ長さの測定

・通常用いられるスケールなどを用いて、ひび割れに沿って測定する。
・ひび割れが分岐している場合は、それぞれのひび割れ長さを個別に測定する。
・厳密にひび割れの屈曲に沿った長さの測定をする必要はない。
・測定単位はcm単位とする。

■ひび割れタイプの判定

水路トンネルのひび割れは、乾燥収縮ひび割れなどの非進行性の初期ひび割れか、地圧などの外力やコンクリートの材質変化によって生じた進行性のものか、耐荷力の回復が必要かといったことが重要になる。さらに、鉄筋コンクリート覆工におけるひび割れの評価に当たってはひび割れをその発生メカニズム等から分類した上で評価を行う必要がある。分類は、事前調査における劣化要因判定表と現地調査によるひび割れの発生場所・形状などの結果に基づいて行う。

ひび割れは、大別すると、初期ひび割れ（温度応力・乾燥収縮ひび割れ）、外力によるひび割れ（地圧による曲げ・せん断ひび割れ）、鉄筋腐食先行型ひび割れ、ひび割れ先行型ひび割れの４タイプに分類することができる(表-2.2.8参照)。

地圧には以下のようなものがあり、ひび割れの発生場所や形状にそれぞれ特徴がある。

【塑性圧】

水路トンネル掘削によって周辺の地山が塑性化し、塑性領域の拡大に伴い地山が押し出すことにより作用する地圧。

【緩み圧】

水路トンネル掘削、支保工の沈下、覆工裏の空隙等により水路トンネル上方の地山が緩み、ある高さ相当の地山重量が水路トンネルの覆工に直接、鉛直方向の荷重として作用する地圧。

【偏圧】

水路トンネル横断面において左右非対称に覆工に作用する地圧の総称で、特に坑口部のような土被りが小さく地形が傾斜している場合に発生する地圧。

劣化要因を特定できるような特徴的な症状がなく、複合的な要因から生じているひび割れは、上記の４タイプに分類することができないため、劣化要因不特定ひび割れとする。

なお、ひび割れタイプの判定は「2.2.3（4.2）1）■ひび割れタイプの判断方法」を参考にされたい。

表-2.2.8　ひび割れのタイプ別分類表

ひび割れタイプ			発生メカニズム	特　徴
1）初期ひび割れ			乾燥収縮、温度応力ひび割れなどで、他に劣化要因がなければ数年で進行が止まる	①　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） ②　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）
供用開始後ひび割れ	外部要因（構造外力起因）	2）外力によるひび割れ（曲げ、せん断ひび割れ）	オーバーロードなど、外力によって部材が変形して生じるひび割れ ※外力との釣り合いでひび割れが進行しない場合もある	【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水路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、水路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）。 【せん断ひび割れ】 側壁打継ぎ部に食い違いが確認される。側壁あるいは水路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）。
	内部要因（材料劣化起因）	3）鉄筋腐食先行型ひび割れ	主に中性化･塩害による鋼材腐食によって生じるひび割れ	①　被りの薄い場所から鉄筋に沿ったひび割れが発生する ②　錆汁を伴うことが多い ③　エフロレッセンスなどの析出物を伴うことが多い
		4）ひび割れ先行型ひび割れ	ＡＳＲ、凍害、化学的腐食、疲労などによりコンクリートが劣化して生じるひび割れ	①　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していく ②　コンクリートの浮き、剥落が生じやすい ③　ＡＳＲの場合はゲルなどの析出物を伴う ④　鉄筋腐食が進むと鉄筋に沿ったひび割れが卓越してくる

※複合的な要因から生じており、劣化要因を特定できるような特徴的な症状がなく、上記のタイプに分類できない場合は、「劣化要因不特定ひび割れ」とする。

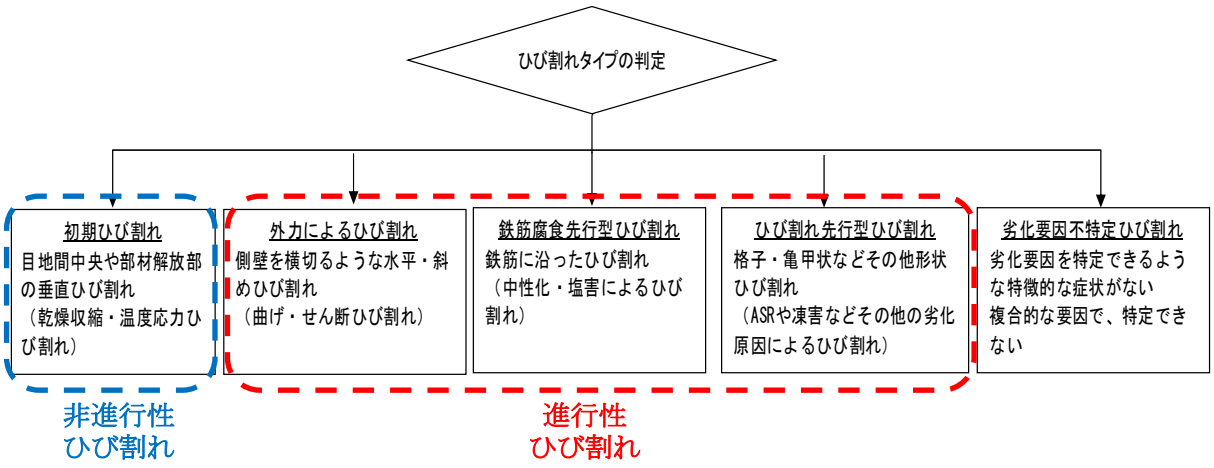
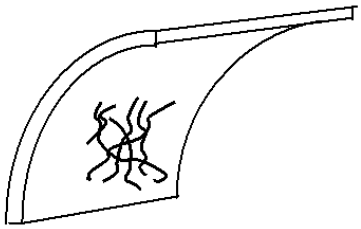
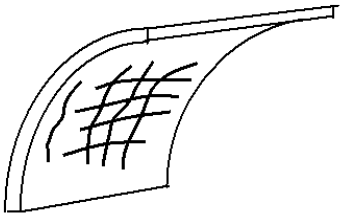
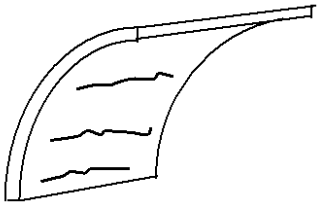
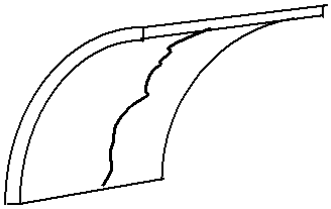
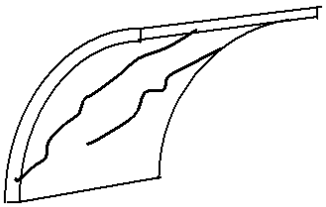


図-2.2.15　　ひび割れタイプ分類

表-2.2.9　水路トンネルにおける代表的なひび割れの特徴

ひび割れタイプ	外観変状の特徴	ひび割れ原因
①不規則なひび割れ 	コンクリート硬化中に網目状ひび割れが発生	骨材の泥分
	比較的短めの微細ひび割れ（打設後早期）	セメントの異常凝縮
	乾燥ひび割れより大き目の網目状ひび割れ	アルカリシリカ反応 硫酸塩鉱物の生長
	微細な網目状ひび割れ	養生中の急激な乾燥
	微細な網目状ひび割れ、剥離・剥落	凍害
②直線状又は方形状のひび割れ 	鉄筋部分で、鉄筋方向に直線状または方形状のひび割れが発生 錆汁を伴うことが多い	中性化 塩害
③水平方向のひび割れ 	コンクリートの沈降により発生	急激な打込み
	局所的な引張りひび割れが発生	型枠の早期脱型、沈下
	打込みを中断した時の不連続面に発生	コールドジョイント
	頂部やアーチ部に水平にひび割れが発生	温度応力の発生
④横断方向ひび割れ 	スパン中央に規則的に発生	温度応力の発生 乾燥収縮
	不同沈下により目地部に段差が生じている場合は、目地部周辺にもひび割れや欠損が生じる	不同沈下
⑤斜め方向ひび割れ 	打込みを中断した時の不連続面に発生	コールドジョイント
	右記の原因でも、現場の条件によってひび割れが斜めに発生することがある	急激な打込み 温度応力 型枠の早期脱型、沈下 不同沈下
⑥目地付近のひび割れ・欠損	横断目地付近のひび割れやコンクリートの剥落、欠損	コンクリートの温度膨張 コンクリートの不十分な充填 漏水による目地部侵食 不同沈下による段差

■ひび割れタイプの判断方法

各ひび割れタイプの特徴を以降に示す。

①-1 初期ひび割れ（乾燥収縮・温度応力による）の特徴

一般に、開水路と同じように目地間に垂直にひび割れが発生するが、養生中に急激な乾燥があると、不規則な網目状の乾燥収縮ひび割れが発生する。

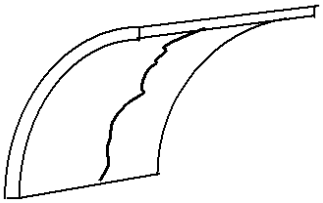
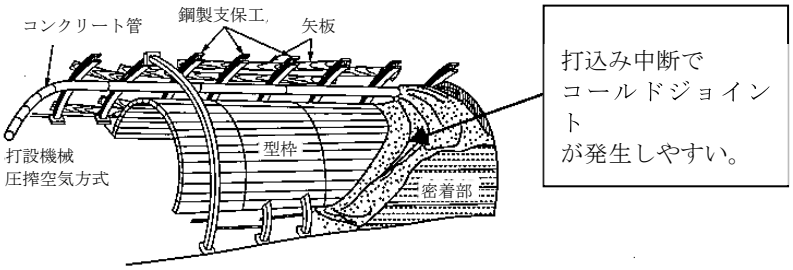


図-2.2.16　乾燥収縮・温度応力ひび割れ発生位置　写真-2.2.5　不規則なひび割れ

①-2 初期ひび割れ（コールドジョイントによる）の特徴

コンクリートの打込み中断時に不適切な打継目処理を行うとコールドジョイントが発生する。コールドジョイントによるひび割れは、他の劣化要因を誘発しやすいので、同じ初期ひび割れでも注意が必要である。

写真-2.2.6　水路トンネル覆工のコールドジョイントによるひび割れ発生状況



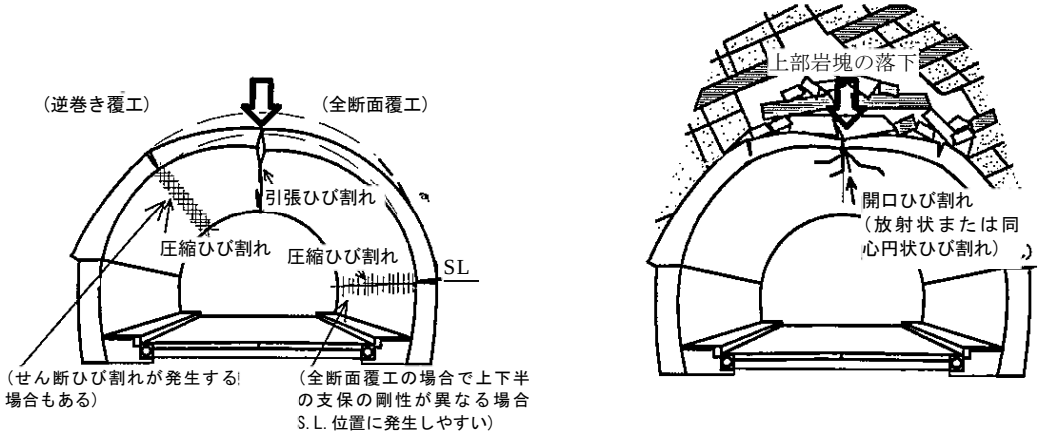
引抜き管方式の覆工打込み(笹尾原図)

図-2.2.17　水路トンネルでのコールドジョイント発生例

②-1 外力によるひび割れ（緩み土圧、突発性の崩壊による）の特徴

緩み土圧は、水路トンネル掘削、支保工の沈下、覆工裏の空隙等により水路トンネル上方の地山が緩み、ある高さ相当の地山重量が水路トンネルの覆工に直接、鉛直方向の荷重として作用する場合の土圧である。緩み土圧による変状の中には、覆工背面に比較的大きな空洞がある状態で上方の緩んだ岩塊が崩落することで、突発的に覆工が破損・崩壊する現象（突発性の崩壊）も含まれる。

ひび割れの特徴としては、水路トンネル天端付近に引張りひび割れ（開口ひび割れ）が見られ、この影響を受けて側壁等に圧縮ひび割れの現象が見られる。塑性土圧との違いは、盤ふくれ等の現象が発生しないのが特徴である。



(a)代表的な変状形態　　(b)局所的に地圧が作用する場合

図-2.2.18　緩み土圧による代表的な変状形態模式図

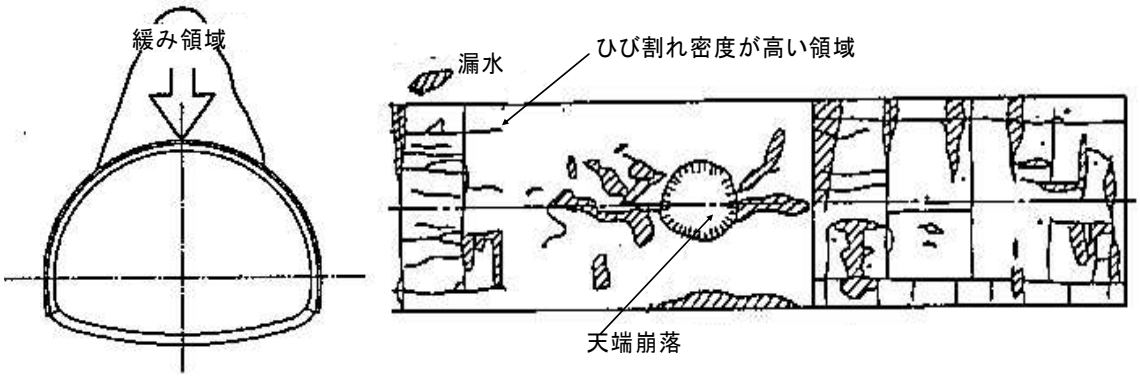


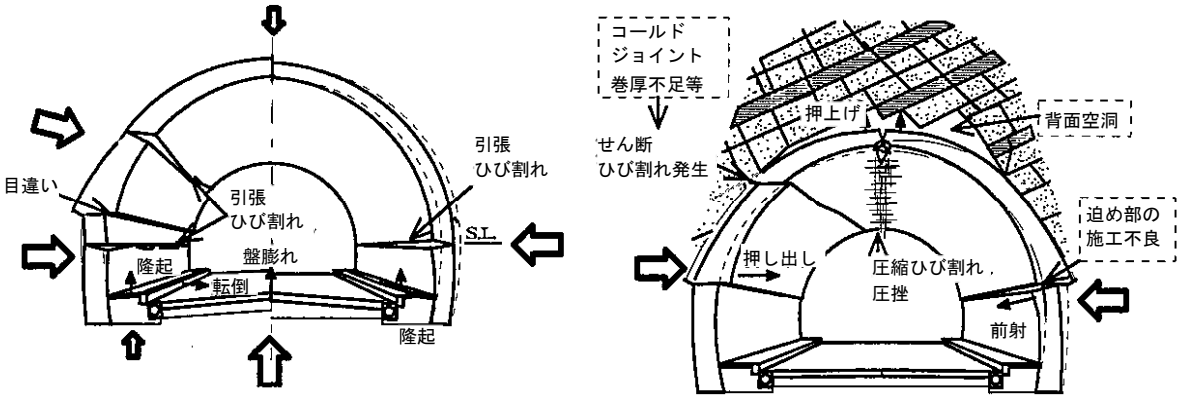
図-2.2.19　緩み土圧による典型的な変状例

写真-2.2.7　緩み土圧によるひび割れ

②-2 外力によるひび割れ（塑性土圧、水圧、凍上圧による）の特徴

水路トンネル掘削によって周辺の地山が塑性化し、塑性領域の拡大に伴い地山が押し出すことにより覆工に塑性土圧が作用する。塑性土圧が発生しやすい地質としては、泥岩、頁岩、蛇紋岩、温泉余土などがある。

ひび割れの特徴としては、側壁あるいはアーチ肩部に水路トンネル縦断方向に引張りひび割れ（開口ひび割れ）が確認される。施工目地付近でのずれ等も見られ、盤ぶくれを伴っている場合もある。



(a)代表的な変状形態　　(b)構造的な欠陥を有する場合

図-2.2.20　塑性土圧による代表的な変状形態模式図

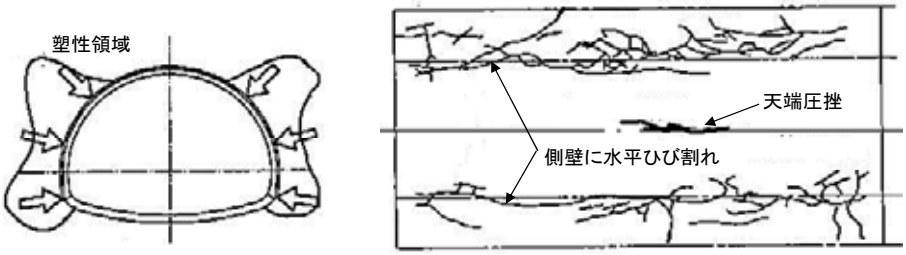


図-2.2.21　塑性土圧による典型的な変状事例

写真-2.2.8　塑性土圧によるひび割れ

②-3 外力によるひび割れ（偏土圧、地すべりによる）の特徴

偏土圧とは水路トンネル横断面において左右非対称に覆工に作用する地圧の総称で、特に坑口部のような土被りが小さく地形が傾斜している場合に発生しやすい。地すべりによる変状では、特に地すべり面付近で水路トンネルがせん断される箇所で複雑なひび割れが発生する可能性がある。

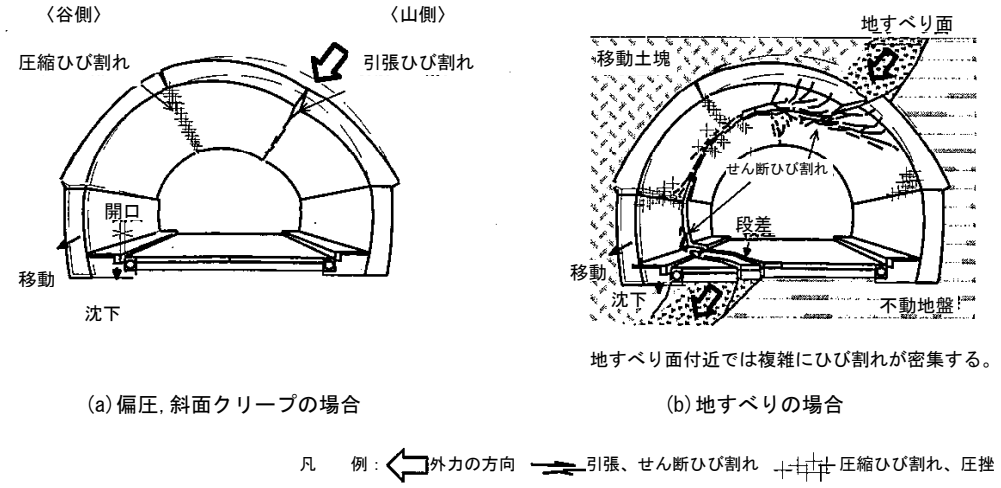


図-2.2.22　偏土圧、地すべりによる代表的な変状形態模式図

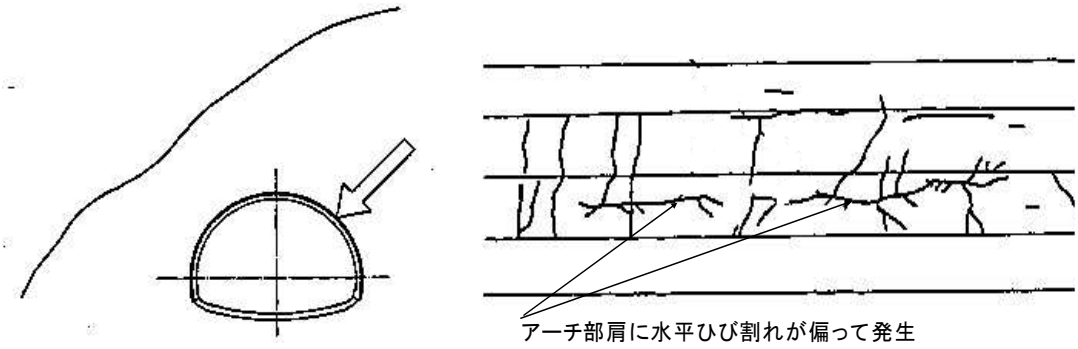


図-2.2.23　偏土圧による典型的な変状事例

写真-2.2.9　偏土圧による水平ひび割れ

②-4 外力によるひび割れ（近接施工による）の特徴

水路トンネルに近接して、水路トンネルの併設（または交差)、水路トンネル上部～側方部の盛土（または開削)、発破振動、アンカーのプレストレスなどによって、既設の水路トンネルが影響を受ける場合がある。

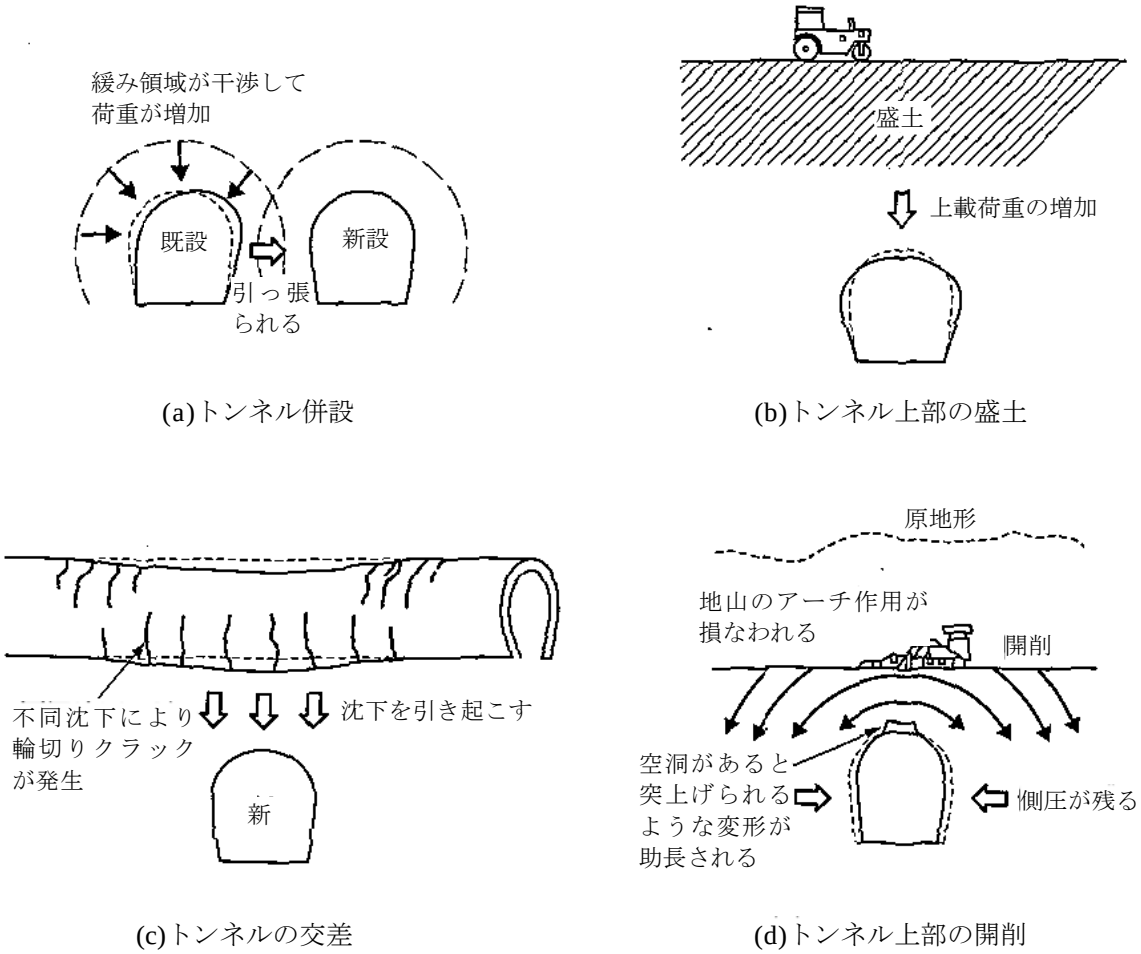


図-2.2.24　主な近接施工による変状形態模式図

出典：「トンネル維持管理の実際」猪熊明著

③鉄筋腐食先行型（中性化・塩害）ひび割れの特徴

坑口やRC覆工では、鉄筋被りの薄い場所から鉄筋に沿ったひび割れが発生する。ひび割れ周囲が膨張しているのが特徴的である。

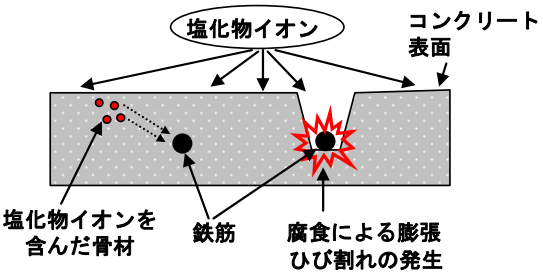


図-2.2.25　塩害のメカニズム

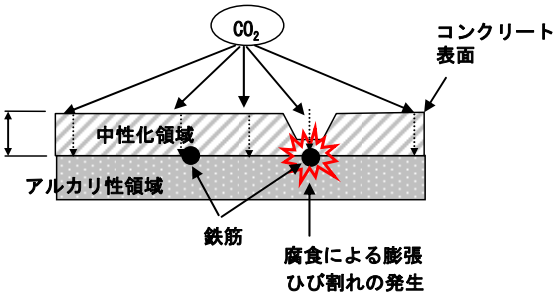


図-2.2.26　中性化のメカニズム

写真-2.2.10　中性化
（鉄筋に沿ったひび割れ）

写真-2.2.11　塩害（鉄筋に沿ったひび割れ）

④ひび割れ先行型（ＡＳＲ・凍害）ひび割れの特徴

格子状や亀甲状に不規則にひび割れが発達する。鉄筋腐食が併発すると、腐食先行型と同様に鉄筋に沿ったひび割れも発生し、浮き、剥離・剥落が激しくなる。

アルカリシリカ反応は、骨材中の反応性鉱物とセメントに含まれるアルカリ金属イオンが反応し、吸水膨張性の反応ゲルが生成することによってコンクリートが膨張し、ひび割れを生じる現象である。比較的劣化の早い時期にひび割れやゲルの浸出が見られるため、外観目視で発見しやすい。

ゲルはエフロレッセンスのように白化した汚れであるが、網状に展開するのでその違いは比較的容易に判別できる。

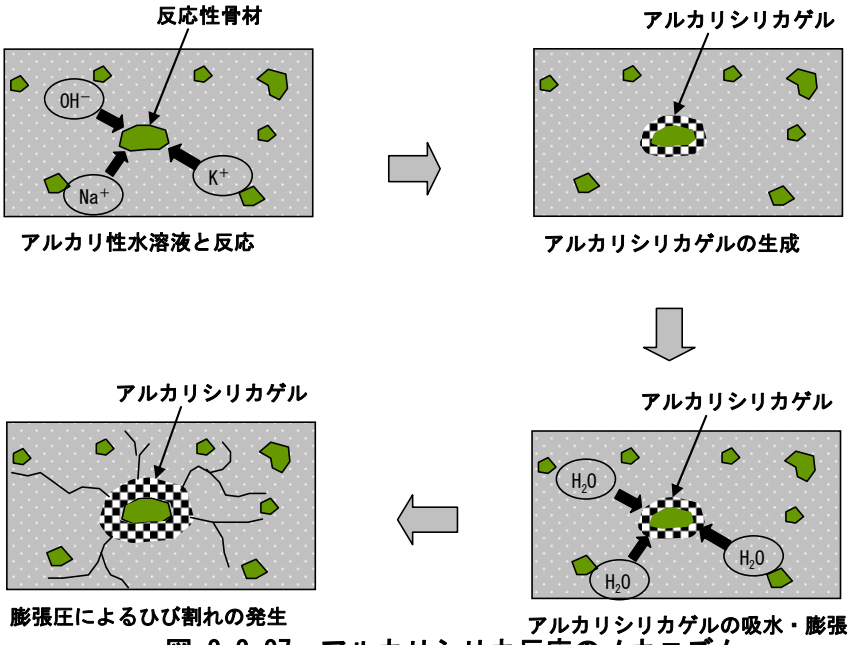


図-2.2.27　アルカリシリカ反応のメカニズム

ゲルの生成
（初期）

ゲルがえぐられひび割れ発生
（中期）

錆汁がひび割れから滲出
（後期）

写真-2.2.12　ASR の進展過程

凍害は、コンクリート中の自由水や吸水率が大きい骨材の水分が凍結融解作用を繰り返し受けることによってクラックが生じたり、表層部が剥離（スケーリング）したりして、表層に近い部分から破壊し、次第に劣化していく現象である。一般に水が拘束のない自由な状態で凍結した場合、その膨張量は 9%といわれている。

地山の凍結や寒気の流入による乾燥・収縮などにより、土被りの浅い坑口部周辺や漏水が発生している覆工コンクリートでは凍害が生じやすいので注意を要する。

写真-2.2.13　漏水・ひび割れ・剥離（凍害）

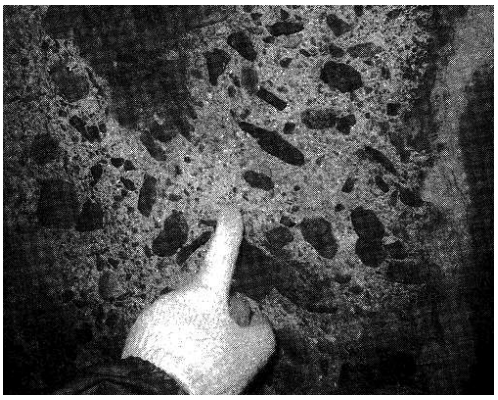


写真-2.2.14　剥落により粗骨材露出（凍害）

■ひび割れの進行性の判断

ひび割れには、前述したようにひび割れタイプから進行性と非進行性に大別されるが、これは、ひび割れ進行に関する潜在的な性質を指すものであって、実際にひび割れが進行しているかどうかを意味したものではない。進行性のひび割れであっても、一時的に安定して見かけ上、非進行性のような性質を示す場合があり、非進行性のひび割れであっても、複合的な要因によってひび割れが進行する場合がある。

したがって、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どう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の把握は、ひび割れ展開図の比較によって行う。

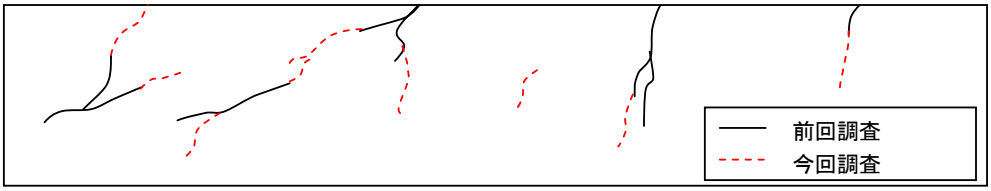


図-2.2.28　ひび割れの進行性

なお、写真はレンズの歪み、撮影地点などによって変状の微妙な形状や位置がずれてしまうので、展開図作成のための基礎資料にとどめる。

■ひび割れ規模の評価方法

ひび割れ規模の判定は、ひび割れ密度とひび割れの分布により行う。

ひび割れ分布の部分的か全面的かの判断は、下図に示すように、右岸側壁、左岸側壁、底版それぞれについて、ひび割れ展開図上で、ブロック間隔が等分になるよう、概ね1m幅を目安にブロック化し、それぞれのブロックごとのひび割れ密度を求める。

ブロック別ひび割れ密度＝幅 0.2mm以上のひび割れ総延長（cm）／（L×B）

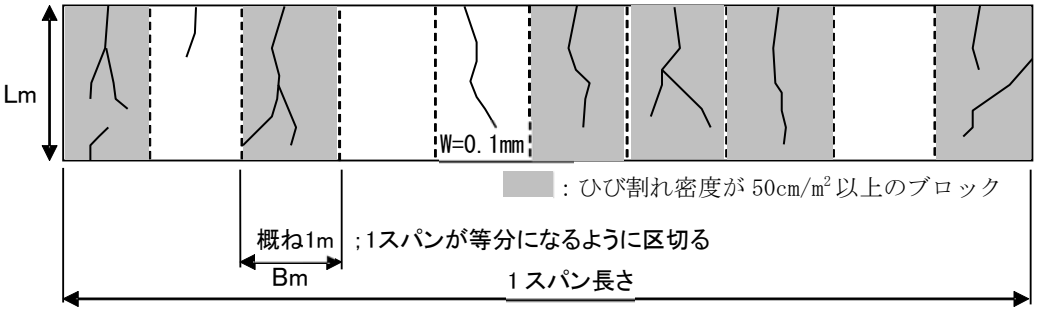


図-2.2.29　ひび割れ規模の考え方

ひび割れ密度が 50cm/m²以上のブロックが 50%以上ある場合を全面的(図-2.2.29)、50%未満を部分的と判断する。なお、左右側壁、底版それぞれについてひび割れ密度とひび割れ分布を求めるが、水路としての評価は、例えば、右岸側壁 50%、左岸側壁 20%、インバート 10%、クラウン 10%の場合は、右岸側壁の 50%で評価して「全面的」とする、というように、最も厳しい評価となる部位を採用する。なお、ひび割れ以外の変状の部分的か、全面的かの判断方法もひび割れ規模の判定に順じて行う。

2）ひび割れ以外の変状

■析出物（エフロレッセンス等）

セメント中の可溶性成分（カルシウム塩やアルカリ塩）が水分の移動によってコンクリートの表面に溶出し、水分の蒸散や空気中の炭酸ガスなどの吸収によって析出したもの。エフロレッセンスその自体がコンクリート部材性能を低下させることは少ないが、エフロレッセンスは水分移動との関係が深い。従ってコールドジョイント等の初期欠陥や各種のひび割れを伴っていることが多いため、その他の変状・劣化の発生を疑う必要がある。

写真-2.2.15　エフロレッセンス＋ひび割れ

写真-2.2.16　漏水箇所の水酸化カルシウム

■摩耗・すりへり

摩耗は、一般に以下のレベルで進行する。

レベル１　モルタルがはがれて細骨材が露出している状態で、構造的な耐久性の問題は少ない。

レベル２　粗骨材が露出した段階で、耐荷力は保持しているが、摩耗の進行が早まり耐久性に問題を生じる可能性がある。

レベル３　粗骨材が剥落し断面が小さくなる段階なので、摩耗範囲が全面的に展開した場合は、耐荷力の低下をきたす恐れがある。

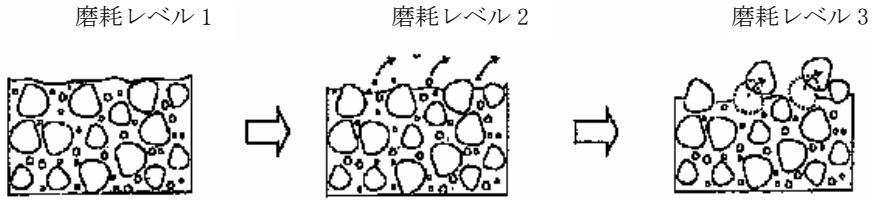


表-2.2.10　摩耗レベルと評価

レベル	状態	部分的な場合	全面的な場合
1	細骨材露出	S-5	S-4
2	粗骨材露出	S-4	S-3
3	粗骨材剥落	S-3	S-2

■背面の空洞化

目視調査する際にハンマーなどを用いた打音法を併用することにより、コンクリート表面近傍の浮き、剥離、空洞の有無をある程度把握できる。打音法はコンクリート表面をハンマーで打撃し、その音質によりそれらの有無を推定する方法である。

表-2.2.11　音質と空洞化の関係性

音　　質	空洞化の可能性
カンカン・キンキンなど硬い音	なし
ボコボコのように鈍い音	あり

■変形・歪み

構造物全体の傾斜や沈下などの損傷の有無について、目視観察で把握できる範囲で観察し記録する。水路トンネル覆工の変形は目視観察だけではわからない場合が多いが、水路トンネル縦断方向に水平ひび割れが多数発生している場合には覆工変形が進んでいる可能性が高いので、このような場合は、別途断面計測を行っておくことが望ましい。

変形歪みの調査は下記のとおり。

・変形・歪みが発生している箇所の最大量を測定・記録する。
・下げ振り、水平器、メジャー、簡易な測量器具等を利用する。
・たわみ量の測定単位は、mm単位とする。
・コンクリート面に近接して目視しても分からない場合があり、構造物全体が観察できる位置から各構造部位を目視する必要がある。

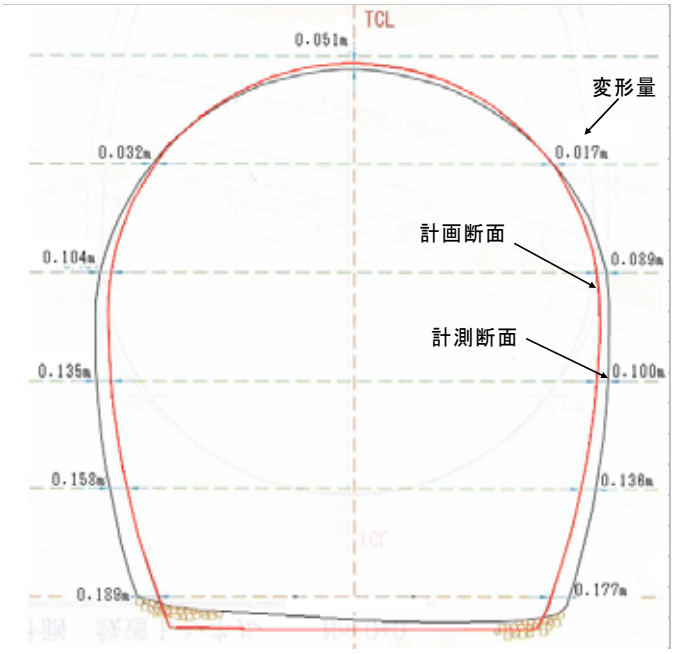


図-2.2.30　水路トンネル覆工の断面変形事例

3）圧縮強度

コンクリートの表面をリバウンドハンマーによって打撃し、その反発硬度から圧縮強度を推定する方法である。（日本コンクリート工学会による）

■調査箇所の選定

リバウンドハンマーの調査位置は、左右側壁 1 箇所について選定する。なお、表面が平坦で縁部から 5cm 以上離れた位置を選択する。部材厚さが 10cm 以下となる所や、部材幅が 15cm 以下となるような小寸法の箇所は、打撃エネルギーが逸散して測定結果に影響を及ぼすので選定しない。また、浮きや剥離、ひび割れ、気泡等によって反発の程度に影響を及ぼす可能性のある箇所は避ける。

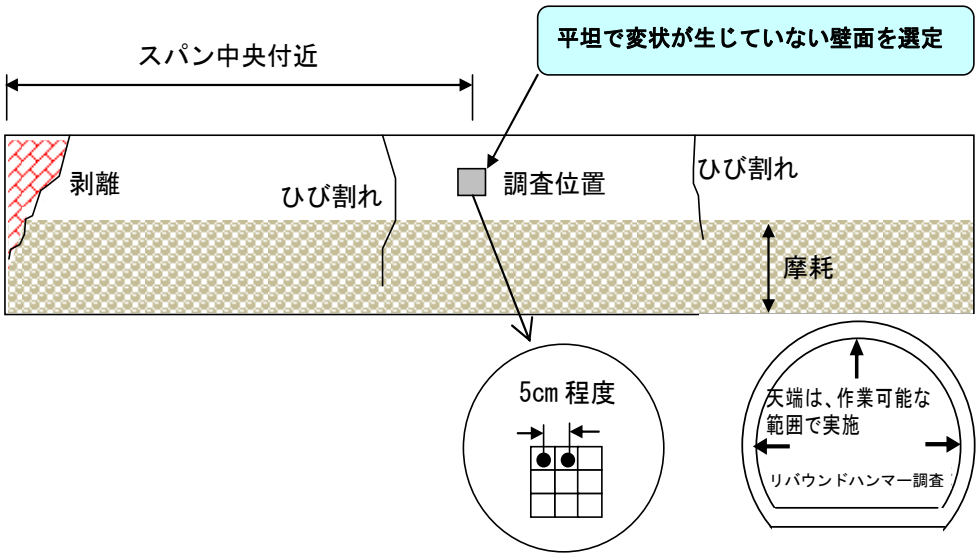


写真-2.2.17 リバウンドハンマー試験

図-2.2.31　水路トンネルにおけるリバウンドハンマー調査位置

■測定器の検定

測定を開始する前には反発度の既知なテストアンビルを用いて検定を行う。一度に多数の測定を行う場合には測定中であっても 500 回に 1 回程度、検定を繰り返し、所定の反発度が得られているかを確認する。

写真-2.2.18　テストアンビル

■表面処理

表面の凹凸、塗膜、打込み面のブリーディング、付着物があるような場合には砥石等を用いてこれらを除去する。

■測定

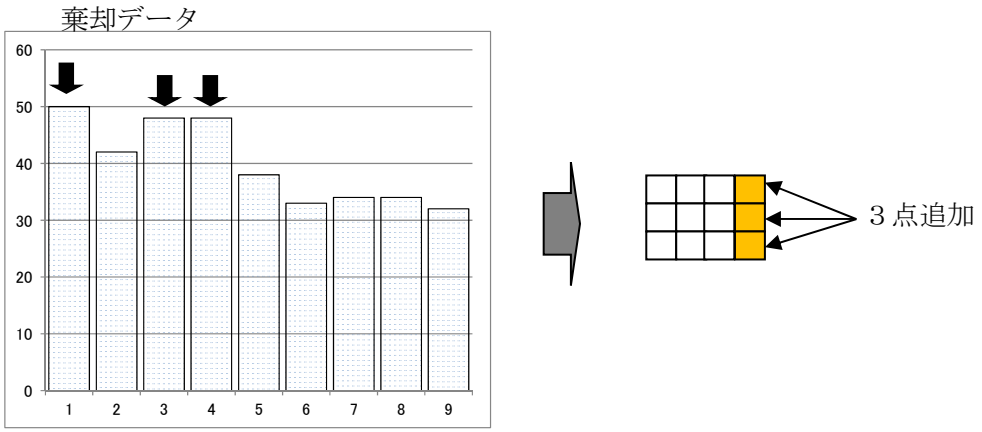
1箇所の測定では、互いに2.5cm～5cmの間隔をもった9点について測定し、同一点は打撃しない。反響やくぼみ具合などから判断して明らかに異常と認められる値、または、その偏差が平均値の20%以上になる値があれば、その反発度を捨て、これに代わる測定値を補うものとする。事前に碁盤目状にマーキングを行っておけば、効率よく測定を行うことができる。打撃は、測定器を測定面に対して垂直に配置し、ゆっくり壁面に押し付けるようにして打撃する。

■計算

各測定箇所の反発度は有効な9回の測定値の平均値とする。

【参考】　測定結果

・記録紙式（自動計測するものを除く）の場合、有効データが９点に満たない場合は調査点数を追加する。



・有効データの範囲

平均値	平均－20%	平均＋20%
20	16	24
30	24	36
40	32	48
50	40	60
60	48	72
70	56	84
80	64	96

■強度の推定

現地調査後に反発度を集計し材齢補正、角度補正、乾湿状態に応じた補正を行い、以下の換算式により推定強度を求める。

$F = F_0$

$F_0 = 1.27 \times (R + R_1 + R_2) - 18.0$

ここに、F　：推定強度(N/mm²)

R　：平均反発度（有効反発度の平均値）

R_1：打撃角度による補正値

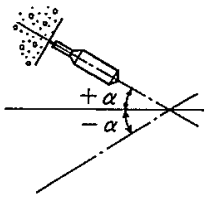
R_2：コンクリート表面の乾湿による補正値

各補正係数、補正値は以下のように求める。

・R_1角度補正

打撃角度(α)が水平でない場合、平均反発度(R)に角度補正値(R_1)を加える。

表-2.2.12　打撃角度による補正値(R_1)

打撃角度(α)／平均反発度(R)	+90°	+45°	±0°	-45°	-90°	備考
10	—	—	—	+2.4	+3.2	
20	-5.4	-3.5	—	+2.5	+3.4	
30	-4.7	-3.1	—	+2.3	+3.1	
40	-3.9	-2.6	—	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.1	—	+1.5	+2.2	
60	-2.3	-1.6	—	+1.3	+1.7	

※なお、使用機材のマニュアル等に補正係数が示されている場合はこれを用いる。

・R_2コンクリート表面の乾湿による補正

現地調査時に乾燥状態にあるコンクリート表面が得られない場合などは、打撃面の状態に応じて表-2.2.13に示す補正を行う。

表-2.2.13　コンクリート表面の乾湿による補正値(R_2)

打撃面が気乾の場合	補正なし
打撃面が湿っており打撃の跡が黒点になる場合	平均反発度(R)に3を加える
打撃面が濡れている場合	平均反発度(R)に5を加える

(財)国土開発技術研究センター：ＪＩＣＥ1986 年で、圧縮強度と劣化度の関係を表-2.2.14 のように規定している。これに基づき、ＲＣ、無筋構造のそれぞれの評価を表-2.2.14 右欄のように設定する。

表-2.2.14　材料別圧縮強度と劣化度

劣化度	設計基準強度比	設計基準強度		評価
		ＲＣ構造 21Ｎ／ｍｍ²	無筋 18Ｎ／ｍｍ²	
Ⅰ；なし	100%以上	21 以上	18 以上	Ｓ-5
Ⅱ；中度	75%以上 100%未満	15≦σ＜21	12≦σ＜18	Ｓ-4
Ⅲ；重度	75%未満	15 未満	12 未満	Ｓ-3

※小数点以下は切り捨て表示とした。

【参考】コンクリートテスターによる圧縮強度試験

コンクリートテスターは、独自の研究により表面劣化の影響を受けにくいコンクリートの強度を推定することが可能である。試験が容易であること（足場の不安定な調査地でも実施可能）、測定結果はパソコンで抽出・加工ができる等の利点があるが、従来のリバウンドハンマーの測定値との相関性が確立されていないことから、使用に当たっては、同一施設内でリバウンドハンマー測定値との相関を把握した上で参考値扱いとする等注意が必要である。

写真-2.2.19　　コンクリートテスター

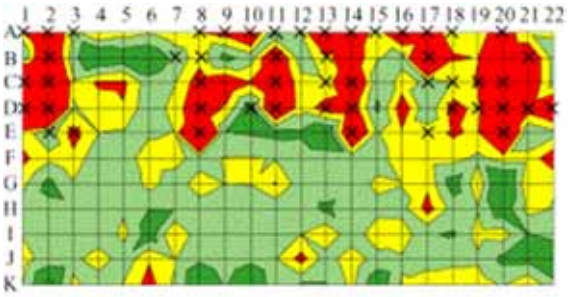


図-2.2.32　コンクリートテスター測定結果例

4）中性化深さ

ドリルでコンクリートを削孔し、試薬（1%フェノールフタレイン溶液）をしみ込ませた試験紙の反応から中性化深さを測定する。削孔径が小さいので、構造物に対する負担が少なく、非破壊検査に分類されている。なお、調査実施の際には、試薬の反応速度に見合った削孔速度で行い、正確な中性化深さを確認できるように注意する。

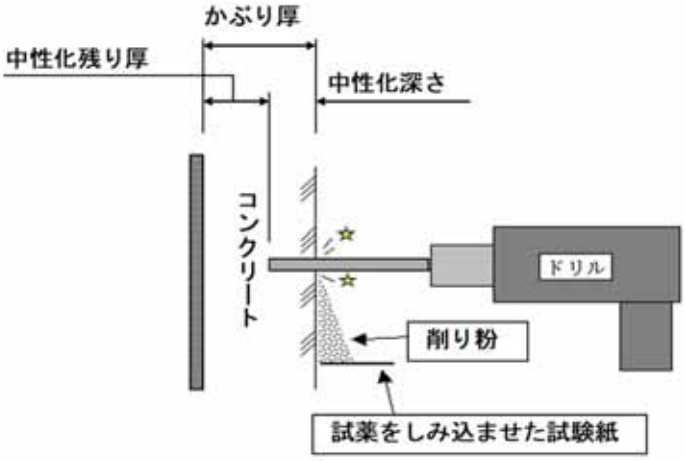


図-2.2.33　ドリル法による中性化試験

写真-2.2.20　ドリル法による中性化試験

中性化残りは、これまでの実験結果より、15mm以下では鋼材腐食が始まる可能性が高まり、10mm以下では鋼材腐食の進展が見られるとされている。塩害の条件がある場合はさらに発錆条件が厳しく、基準によって中性化残りの限界値の設定 10～15mmの間でばらつきが見られるが、本資料では、10mmを基準値とし、10mm以上では対策不要、10mm未満では対策が必要と評価するものとした。

(4.3) 水利用機能と水理機能の調査方法及び評価方法の例

1) 水位（余裕高）調査

■水路断面

水路断面はスタッフやポール等を用いて計測し、施工図面との整合を確認する。

■水深

水深は、コンベックスやポイントゲージ等を用いて、側壁天端高から水面までの高さを計測し、既知の側壁高さより差し引くことで算定する。

■留意点

計画流量や計画分水量が確保されているか確認するため、設計報告書等からステージ毎の計画流量を事前に把握しておく必要がある。水路トンネルでは、通水時におけるトンネル内での調査は困難な場合は、坑口付近で測定を行う。

2) 流量観測

現場粗度係数を算定するために、水路トンネルの断面各部の流速を測定し、縦流速曲線と等流速曲線を描くことにより縦断面の流速分布と横断面の流速分布の状態を観察する。

なお、正確に水路の粗度係数を計測するためには、水路敷高の縦断測量が不可欠であるが、水路敷高の縦断測量には水路を断水する必要があるため、難しい場合は、設計図書を参考とする。ただし、経年的に沈下が著しい水路では底版の不陸が大きく、竣工図と現在の縦断勾配が大きく異なる場合があるので留意する。

■計画準備

現場粗度係数を評価するためには以下の条件が整う区間を抽出する。なお、計測は降雨がなく、また、水路の流量の変化のない日に実施する。

・断面が一定かつ直線（200m以上）の区間
・他水路からの流入・流出のない区間
・橋梁などがあり、水路を横断しての計測が容易な箇所を有する区間

これらの区間を選定するためには、あらかじめ平面図で区間を選定するほか、対象区間の標準断面図を入手しておく。

■流速計の検定

流速計は毎年１回、懸念があるときは随時、検定を行い、回転式流速計では回転子の回転数から流速に換算するための回帰式の係数の妥当性を保っておかなければならない。(「建設省河川砂防技術基準(案)同解説　調査編」P.43、建設省河川局監修、S51.6)

■流量観測

流量観測を行う際、横断方向には水路幅の２０％程度の断面分けを行い、水路幅に応じて測定ピッチを設定する（例：５m水路の場合は１m毎、３m水路の場合は６０ｃｍ毎等)。流量観測は、流入・流出のない区間であれば、１箇所実施する。

流量観測は、電磁流速計などの流速計を水流の中に挿入することで計測する。流速計測は、1 計測点に対して 5～10 回計測し、平均値を求める。

(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当っても、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。

(6) 機能診断調査時の装備・携行品

水路トンネルを対象とした機能診断調査の際には、その危険性を考慮した装備・携行品を準備する。水路トンネル調査時における調査員の標準的な装備・携行品を表-2.2.15 に示す。

表-2.2.15　調査時の装備・携行品一覧

項目	必要	名称	備考
装備品	☆	ヘルメット	
	☆	ヘッドライト	
	☆	胴長又はウエットスーツ	水路内で 50cm 以上の水位があり、かつ流速のある場合は胴長の使用は注意する。
	☆	ライフジャケット	
	☆	安全帯	
	☆	ゴム手袋	
		雨合羽	胴長を着用する場合に準備する。雨天でなくとも、頭上から水滴や噴水がある場合がある
携行品	☆	懐中電灯	
	☆	ガス検知器	一酸化炭素、亜硫酸ガス、酸素濃度計測用
	☆	笛又はハンドスピーカー	非常時の連絡手段として
	☆	デジタルカメラ	電池式の場合は、予備電池も忘れずに
	☆	黒板・チョーク・黒板消し	防水チョークが望ましい
	☆	防水野帳・筆記用具	
	☆	コンベックス	5m まで計測可能なもの
	☆	クラックスケール	ひび割れ幅の計測用
	☆	ノギス	幅・深さ計測用。150mm まで計測可能なﾃﾞｼﾞﾀﾙﾉｷﾞｽが便利
	☆	点検用ハンマー	小型のものと大型のもの双方があることが望ましい
	☆	タオル又はウェス	チョークを拭き取ったり、泥を除去する際に使用
	☆	掛けカバン又はリュックサック	安全上、両手が空けられることが望ましい
		画板・スケッチノート	
		ブルーシート	
		脚立	
		デッキブラシ・ほうき・ワイヤーブラシ	壁面の藻や汚れの除去が必要な場合
		バケツ	モルタルを練る必要がある場合など
		ロープ	
		携帯電話	
		執務参考資料（案）ポケット版構造図面集等	
調査器具		スタッフ又はポール	
		メスシリンダー	漏水量調査用。プラスチック製の 100ml 計測用が望ましい
		ストップウォッチ	時計に付属しているものでもよい
		巻尺	30～50m 程度計測可能なもの
		下げ振り	
		リバウンドハンマー	
		配筋調査用レーダ	
		中性化試験用器具	
		流量計	

☆は、必須なもの

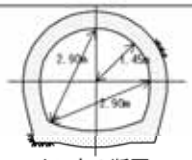
(7) 現地調査票

水路トンネルの現地調査票の記載例を以降に示す。

表-2.2.16　水路トンネルの現地調査(定点調査)票 (1/3)　記載例

整理番号	1812	調査年月日	平成25年12月3日
地区名	R地区	記入者	○○コンサルタンツ㈱ ○○ ○○
施設名	M水路トンネル	調査地点(測点表示等) 例:No.○+○～No.○+○	No.5+0.5～No.05+12.05
定点調査番号	1801		
土被り	10.0　m　(トンネル掘削径:　2.9　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)		劣化要因	評価	特記事項(可能性のある劣化要因等)
	外部	塑性圧(◎・○・△・なし)	△	
		緩み圧(◎・○・△・なし)	△	
		偏圧(◎・○・△・なし)	△	
	内部	摩耗風化(○・△・なし)	○	
		中性化(○・△・なし)	△	
		ASR(○・△・なし)	△	
		凍害(○・△・なし)	なし	
		塩害(○・△・なし)	なし	
		化学的腐食(○・△・なし)	なし	

調査部位	規格	調査施設概要図
	隧道　R=2.90m	 トンネル断面

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(I評価)【無筋・鉄筋】			I-5		
	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 ☐圧さ性ひび割れ・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	0.10	(mm)
	最大幅ひび割れの延長			1.5		(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		
				☐厳しい腐食環境		
		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、漏水跡、滴水　☐流水、噴水　☐なし		

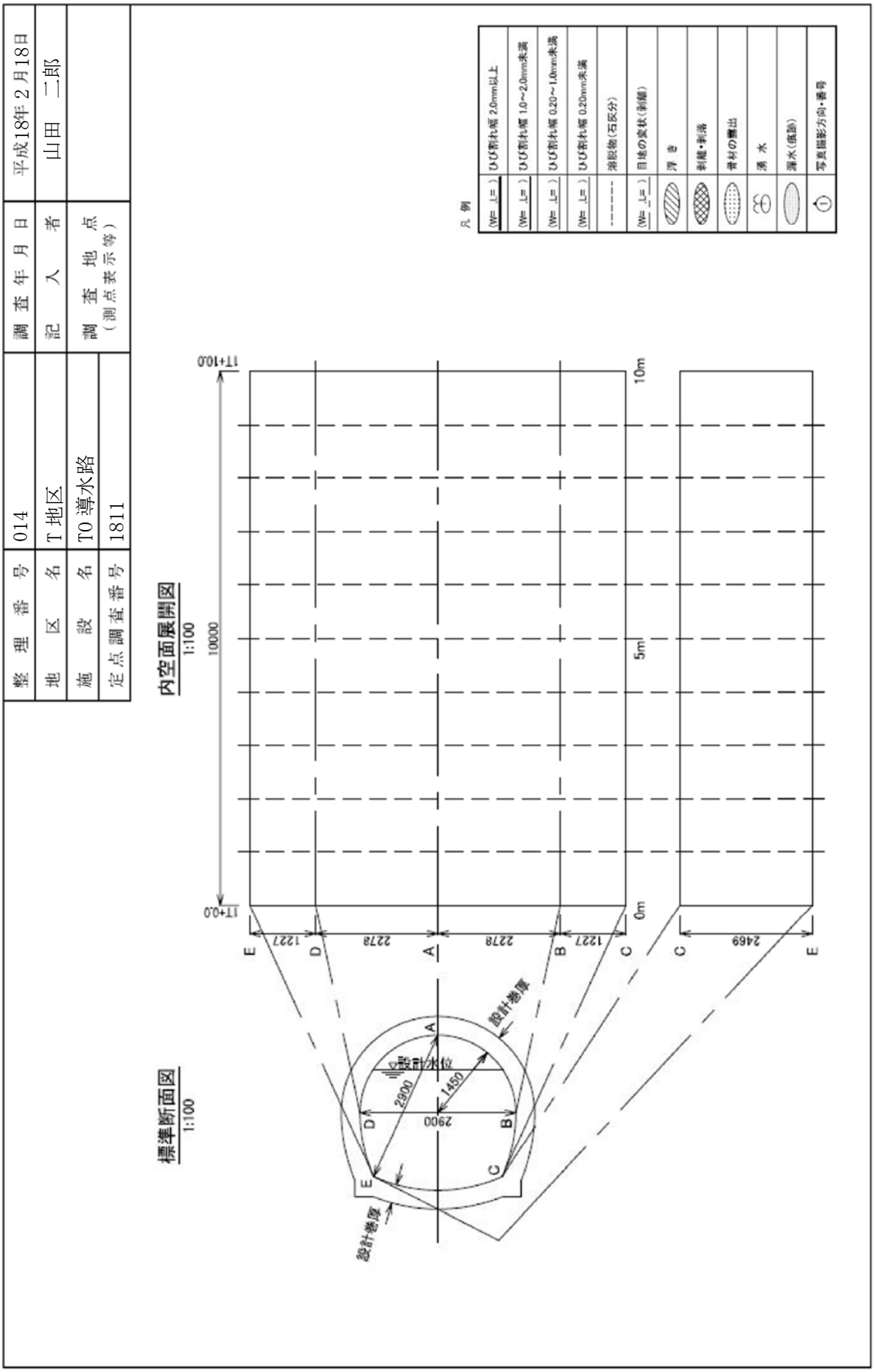
表-2.2.17　水路トンネルの現地調査(定点調査)票 (2/3)　記載例

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) ☐ 全体的(変状が構造物全体にある)	☐ なし	
継目	継目の開き	☑ 局所的(施設の一部のみで発生) ☐ 全体的(変状が構造物全体にある)	☐ なし	1.0 (mm)
	継目の食い違い	☐ 局所的(施設の一部のみで発生) ☐ 全体的(変状が構造物全体にある)	☑ なし	(mm)
	止水板の破損	☑ あり	☐ なし	1 (箇所)
	継目からの漏水の状況	☑ 滲出し、漏水跡、滴水 ☐ 流水、噴水	☐ なし	2 (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) ☐ 全体的(変状が構造物全体にある)	☑ なし	0 (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) ☐ 全体的(変状が構造物全体にある)	☐ なし ☑ 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) ☐ 全体的(変状が構造物全体にある)	☑ なし	
	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 ☐ 目地・ひび割れから背面土砂が流出している	☑ なし	
ひび割れ以外の変状	浮き	☐ 部分的(表面の50%未満) ☐ 全体的(表面の50%以上)	☑ なし	0 (m^2)面積
	剥離・剥落・スケーリング	☑ 部分的(表面の50%未満) ☐ 全体的(表面の50%以上)	☐ なし	21.0 (m^2)面積 1.0 (cm)深さ
	析出物 (エフロレッセンス・ゲルなど)	☐ 部分的(表面の50%未満) ☐ 全体的又は鉄筋に沿った部分的(表面の50%以上)	☑ なし	0 (箇所)
	錆汁【鉄筋・坑口】	☑ 部分的 ☐ 全体的	☐ なし	3 (箇所)
	摩耗・すりへり	☑ 細骨材露出 ☐ 粗骨材剥離 ☐ 全体的(表面の50%以上) ☐ 水理機能・水利用機能への支障有り	☐ 粗骨材露出 ☐ なし	30.0 (m^2)面積
	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1/2以上	☐ 洗掘深が覆工厚の1/3～1/2 ☐ なし	
	鉄筋露出 【鉄筋・坑口】	☐ 部分的(表面の50%未満) ☐ 全体的(表面の50%以上)	☑ なし	(箇所)
圧縮強度	反発硬度法	測定No. L-1 測定No. R-1		24.3 25.2 (N/mm^2)
	平均値【鉄筋・坑口】 (設計基準強度比)	☑ 21N/mm2以上 (100%以上)	☐ 15N/mm2～21N/mm2 (75%以上100%未満)	☐ 15N/mm2未満 (75%未満)
	平均値【無筋】 (設計基準強度比)	☐ 18N/mm2以上 (100%以上)	☐ 13N/mm2～18N/mm2 (75%以上100%未満)	☐ 13N/mm2未満 (75%未満)
中性化深さ【鉄筋・坑口】	ドリル法	測定No.		5 (mm)
	鉄筋被り(測定値または設計図書による)			50.0 (mm)
	中性化残り＝鉄筋被り－中性化深さ			45 (mm)
	平均値	☑ 中性化残り10mm以上	☐ 中性化残り10mm未満	

表-2.2.18　水路トンネルの現地調査(定点調査)票 (3/3)　記載例

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-2.2.19　定点調査票　スケッチ図



2.3　機能診断評価

2.3.1　評価の手順

施設の機能診断評価は、施設の状態からみた健全性の評価によって行うが、当該施設の性能低下をもたらす要因によって、その後の劣化進行が大きく変わることから、当該施設の性能低下の主要な要因（支配的要因）を特定し、当該要因に適した手法によって、現在の健全度の評価及び劣化の予測を行う。

このため、施設の種類に応じて、構造部材の劣化による性能低下（内部要因）、地盤沈下や荷重など外部の要因による性能低下（外部要因）、その他の要因による性能低下と、大きく分類し、検討を行う。

なお、農業水利施設の目的は、水利用機能の発揮であることから、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】

施設の性能低下には、かならずその要因が存在し、当該要因の内容如何により、現状評価や劣化予測の手法が自ずと異なることとなる。このため、まず主要な要因を大きく以下の３つに分類し、これについてその後の検討を行う。

(1) 性能低下の要因

・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
・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
・その他の要因
　継目の損傷等など

なお、堆砂、ゴミなどによる構造的劣化に帰結しない水理性能低下は検討の対象外とする。

(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、性能低下予測、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。

2.3.2　機能診断評価の方法

施設の健全度評価は、施設種類、構造等を踏まえて、施設の性能低下に関係するそれぞれの要因についての評価区分を設定した施設状態評価表を用い、機能診断調査の結果により行う。複数の要因が影響している場合には、劣化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を考慮して評価する。

【解説】

機能診断評価は、工種別の現地調査（近接目視・計測）結果を施設状態評価表に当てはめることで実施する。この施設状態評価表は、個別の変状項目について施設の機能に与える影響を勘案して、点数付けがされており、項目間の相対的なバランスが確保されている。

水路トンネルの健全度の評価に当たっては、水路トンネル形式・断面形や地山の特性、地下水や漏水の状態等を踏まえて評価を行う。また、施設の状態評価は、「構造物自体」、「構造物周辺」、「その他の付随設備」のそれぞれについて実施し、総合化して全体評価を行う。なお、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、水路トンネルの健全度評価を行うことが重要である。

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ことから、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。

【参考】エンジニアリングジャッジの例

・スプリングラインに縦断方向のひび割れ（1mm以上、段差有）が発生していることから、S-2評価となる。ただし、S-2評価は、天端の段差や食い違いあるいはインバートの盤膨れが発生するなど、変状が構造物全体に及んでいる状態を指している。今回確認された変状はスプリングラインのみであり、天端やインバート部など構造物全体に変状が見られないことから、定点単位の評価はS-3評価とした。

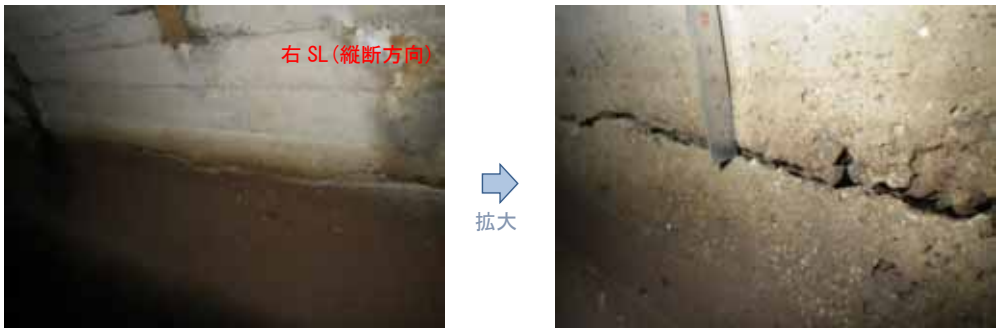


写真-2.3.1　スプリングラインのひび割れ

表-2.3.1　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で漏水は滲出程度。	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り、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-2.3.2　機能診断調査結果に基づく施設状態評価表（水路トンネル・無筋）　記載例

地区名	M地区	評価年月日	
施設名	T水路トンネル	評価者	山田 太郎
定点調査番号	0012	調査地点（測点等）	No.103～No.105

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。				S-3	S-3	S-3
外部要因	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)	S-3		
外部要因	その他の変状	継目変状	継目からの漏水または止水板の損傷	無	滴水	流水、噴水 止水板の損傷		S-4		
外部要因	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)		S-5		
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	ひび割れの有無	無	部分的 注2)	全体的 注2)		S-2	S-2	
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	ひび割れ付随物 （析出物、浮き）	無	有					
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	ひび割れからの漏水	無	滴水	流水、噴水				
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	ひび割れ段差	無			有			
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	浮き	無	部分的 注2)	全体的 注2)		S-3		
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	剥離・剥落	無	部分的 注2)	全体的 注2)				
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	析出物（ｴﾌﾛﾚｯｾﾝｽ・ｹﾞﾙなど） （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 注2)					
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	摩耗・すりへり	無又は 細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥離				
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	摩耗・すりへり	全体的の場合、1ランクダウン 注9)						
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	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			
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	圧縮強度	反発硬度法 （圧縮強度換算）※設計強度　18N/mm2の場合	18N/mm2以上 （設計基準強度比100%以上）	13N／mm2以上～ 18N／mm2未満 （設計基準強度比75%以上100%未満）	13N/mm2未満 （設計基準強度比75%未満）		S-5		

（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）

スプリングラインの縦断方向のひび割れが段差を伴うことからS-2評価となるが、S-2評価は、天端の段差や食い違いあるいはインバートの盤膨れが発生する等の変状が構造物全体に及んでいる状態を指すことであり、今回確認された変状はスプリングラインのみで天端やインバート部などの構造物全体に変状が見られないことから、エンジニアリングジャッジにより評価をS-3とした。

注1）本表は、無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。

表-2.3.3　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 ㎜以上1.0 ㎜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で漏水は滲出程度。	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1.0㎜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1.0㎜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1.0㎜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。 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-2.3.4　機能診断調査結果に基づく施設状態評価表（水路トンネル・鉄筋）　記載例

地区名	R地区	評価年月日	
施設名	M水路トンネル	評価者	山田 太郎
定点調査番号	1801	調査地点（測点等）	No.25+1.40～No.25+15.7

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。				S-5	S-2	S-2
外部要因	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)	S-2		
外部要因	その他の変状	継目変状	継目からの漏水または止水板の損傷		無	滴水	流水、噴水 止水板の損傷		S-3		
外部要因	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)		S-5		
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：初期ひび割れ 形状：継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	S-5	S-4	S-2
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：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			
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：ひび割れ先行型ひび割れ 形状：格子状・亀甲状などのひび割れ 原因：ASRや凍害などの劣化原因	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			
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：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			
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	進行性（前回との変化）		有りの場合1ランクダウン						
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	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)				
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	ひび割れ付随物 （析出物、錆汁、浮き）		無	有					
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ	ひび割れからの漏水		無	滴水	流水、噴水				
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	浮き		無	部分的 注2)	全体的 注2)		S-4		
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	剥離・剥落		無	部分的 注2)	全体的 注2)				
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	析出物（ｴﾌﾛﾚｯｾﾝｽ・ｹﾞﾙなど） （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)					
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	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)					
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	摩耗・すりへり		無又は 細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥離				
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	摩耗・すりへり		全体的の場合、1ランクダウン 注9)						
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	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			
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	ひび割れ以外の劣化	鉄筋露出の程度		無		部分的	全体的			
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	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）		S-5		
内部要因	構造物自体の材料的な劣化	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。

表-2.3.5　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 ㎜以上1.0 ㎜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1.0㎜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1.0㎜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-2.3.6　機能診断調査結果に基づく施設状態評価表（水路トンネル・坑口）　記載例

地区名	T地区	評価年月日	
施設名	宮水路	評価者	山田 太郎
定点調査番号	1802	調査地点（測点等）	トンネル工 各口側SP1848.15～1888.15

評価項目				評価区分				評価の流れ一		
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7)	施設状態評価
外部要因	構造耐力に直接影響する現象	ひび割れに関する評価	変状の原因	**設定以上の土載荷重が作用したことによる変状の代表的なパターン** 地震や近接施工で盛土がなされる等、過剰な間隙圧が未調して発生する。	 □ 天端のひび割れ幅 [0.2mm以上～0.6mm未満] 注5) 0.2mm以上～1.0mm未満	 ☑ 天端 [0.6mm以上] 注5) 1.0mm以上	 □ S-3に該当するものが全体的	S-2	S-2	S-2
				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。	ひび割れ幅0.2mm未満もしくはひび割れなし	☑ 施工時の温度応力等で発生した横断ひび割れ				
			地山の平安定性の評価	□ 坑口付近の地盤が他すべり地盤にある場合はｔランクダウンとする。注3)						
			施工時の記録	☑ 施工時の記録で周辺地表の沈下や陥没などがあった場合はｔランクダウンとする。注3)						
		線目	円周方向の線目の開口・食い違い・段差	無	部分的 注4)	全体的 注4)		S-4		
			円周方向の線目の漏水・止水板の損傷	無	漏水	流水、噴水 止水板の損傷				
		周辺地盤	地盤の沈下・陥没・ひび割れ	無	局所的 注6)	全体的 注6)		S-5		
			背面土砂の流出	無	坑地・ひび割れから背面土砂が流出している可能性がある。	坑地・ひび割れから背面土砂が流出している。				
内部要因	材料劣化による現象	ひび割れ	**覆工の材料的な劣化** タイプ：ひび割れ先行型ひび割れ 形状：格子状・亀甲状等のひび割れ 原因：ASR や凍害などの劣化原因	無又は 最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 注5) [0.2mm以上～0.6mm未満] 0.2mm以上～1.0mm未満	最大ひび割れ幅 注5) [0.6mm以上] 1.0mm以上	S-3に該当するものが全体的	S-5	S-3	
			覆工の材料的な劣化 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			
		ひび割れ以外の劣化	浮き	無	部分的 注4)	全体的 注4)		S-3		
			剥離・剥落	無	部分的 注4)	全体的 注4)				
			析出物（ワロシャナンス・ゲルなど） （ひび割れを含むものを除く）	無又は部分的 注4) （S-4の場合以外）	全体的又は鉄筋に沿った部分的 注4)					
			鉄汁（ひび割れを含むものを除く）	無又は部分的 注4)	全体的 注4)					
			漏水	無	漏水跡、滲出し、流水	流水、噴水				
			洗掘 注10)	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		鉄筋が「部分的」に露出	鉄筋が「全体的」に露出 断面欠損、構造機能低下			
	圧縮強度		反発強度法 （圧縮強度推算） ※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）		S-5		
	中性化		ドリル法（中性化残り）	残り10mm以上		残り10mm未満		S-5		

（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11)

注1)　本表での「坑口」とは、暗渠構造で構築された範囲を示す。
注2)　本表は、坑口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3)　「1ランクダウン」については、1変状項目あたり1回のみ有効であり、複数の「1ランクダウン」があってもランクダウンは1階級のみとする。
注4)　「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5)　ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合適用する。
注6)　「地盤の沈下・陥没・ひび割れ」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示し、「全体的」とはそれが構造物全体に及んでいる状態を示す。
注7)　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。
総合評価については、今後の性能低下により影響されると思われる支配的要因を検討し、その評価区分を採用する。
注8)　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9)　圧縮強度及び中性化・化学的腐食等の調査は、必要に応じて実施する。
注10)　洗掘とはトンネルのインバートが流水や土砂によって深くえぐれる現象を示す。
注11)　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。

■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、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以下の手順により推定した上で、図-2.3.3に示す健全度の区分と現地調査結果などから、表-2.3.2、表-2.3.4、表-2.3.6に示す施設状態評価表に基づいて水路トンネルの健全度を総合的に評価する。

1）構造的な安定性の区分

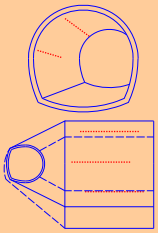
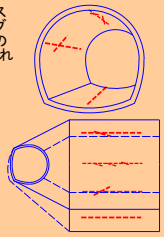
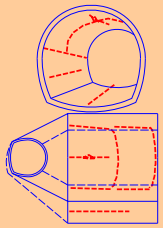
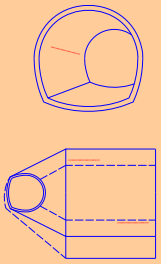
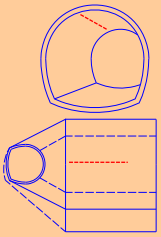
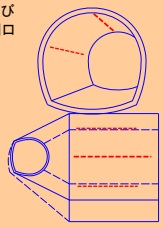
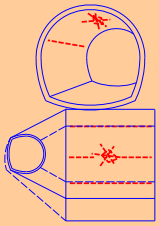
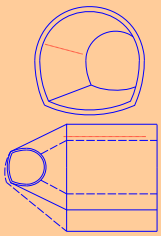
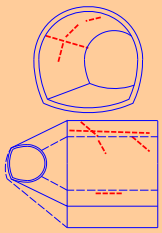
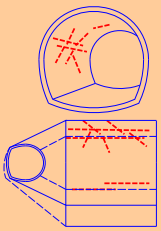
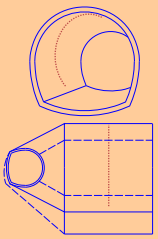
水路トンネル覆工の構造耐力に係る覆工変状の現況については、水路トンネル覆工に生じるひび割れや継目の状態で、ある程度評価できる。構造的な安定性の区分を表-2.3.8に示すとおり I-2～I-5 で表すこととし、現地調査結果を基に、表-2.3.7 により区分するものとする。

表-2.3.7　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 ・圧挫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-2.3.8　構造的な安定性の区分の例

	Ⅰ－5	Ⅰ－4	Ⅰ－3	Ⅰ－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、断層破砕帯、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 継目の開口 **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 継目の開口	 **無筋コンクリート覆工** 天端・側壁ひび割れ 天端・圧ざ性の損傷発生 斜めひび割れ インバート盤膨れ・側壁の押し出し 継目に開口・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・圧ざ性の損傷発生 斜めひび割れ：幅1.0mm以上 インバート盤膨れ・側壁の押し出し 継目に開口・段差・食い違いが発生
緩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） 継目の開口 **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） 継目の開口	 **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 継目の開口・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 継目の開口・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）地質の良否による区分

岩種に応じて、地質の良否を区分する。

表-2.3.9　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。

※ 断層破砕帯、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。

3）土被りと地質の良否による地山条件の区分

土被りの大きさに応じて、危険度を区分する。

表-2.3.10　土被りによる危険度の区分

土被り：Dc	危　　険　　度
Dc＜5D	危険度 大：トンネル変状の危険性がある。
Dc≧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）の最小土被り厚さ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。

この土被りの区分と地質の良否の区分から、地山条件の区分を図-2.3.1 のように区分する。

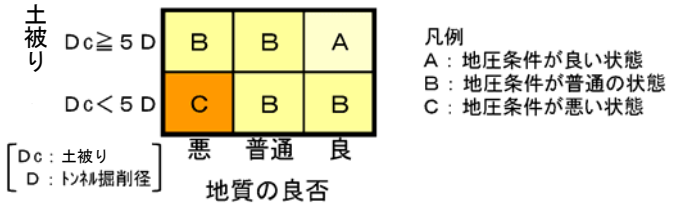


図-2.3.1　（土被りと地質の良否による）地山条件の区分

4）覆工背面の空洞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。

表-2.3.11　覆工背面の空洞有無の判断区分

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区分と、地山条件の区分から地山等の外部条件を図-2.3.2のように区分する。

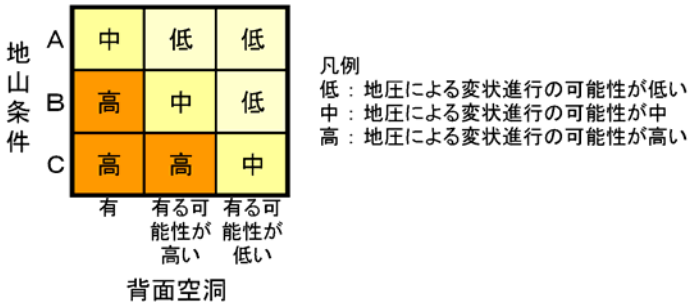


図-2.3.2　地山等の外部条件の区分

5）地圧による変状進行の可能性による健全度の区分

水路トンネルの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に基づく健全度を図-2.3.3のように評価する。

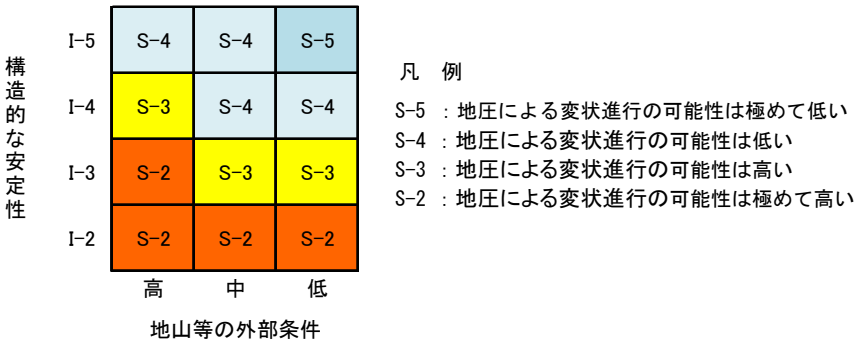


図-2.3.3　地圧による変状進行の可能性の推定に基づく健全度の区分の例

表-2.3.12　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

岩種に応じた地質の良否の区分

地質や地山条件	地質の良否	check
固結度が高く、風化がしにくい岩 花崗岩類、安山岩、玄武岩、石灰岩、第三紀砂岩、鍋岩など	地山の良否：良 進行性の地圧は発生しにくい。	☑
やや風化が進みやすい岩 はんれい岩、輝緑岩、第三紀砂岩角礫岩など	地山の良否：普通 進行性の地圧が発生する可能性がある。	□
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、中古生層の頁岩・粘板岩、蛇紋岩、温泉余土など熱変成岩類など	地山の良否：悪 進行性の地圧は発生しやすい。	□

※断層破砕帯、痕圧、斜面クリープ、微弱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がある場合は、地質良否を「悪」とする。
※漏上圧が発生する場所では、地質の良否を「悪」とする。

土かぶりによる危険度の区分

土かぶり：Dc	危険度	check
Dc≧5D	危険度　小 トンネル変状の危険性は小さい。	☑
Dc<5D	危険度　大 トンネル変状の危険性がある。	□

※表中のDは、トンネル掘削断面の直径を表す。
※飛圧コンクリートライニング断面（飛支床）の最小土かぶり厚さ3Dに若干の余裕を考慮して3D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、鋼管り及びキルタル・コンクリート吹付けトンネル、また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。

地質の良否

土かぶりによる評価	悪	普通	良
危険度　小　Dc≧5D	B	B	A
危険度　大　Dc<5D	C	B	B

（地山条件の凡例）
A：地山条件が良い状態
B：地山条件が普通の状態
C：地山条件が悪い状態

判定　A

覆工背面の空洞の有無の判定区分

空洞の有無	判定区分	check
NATM工法で施工した場合、または真面の空洞調査で空洞が発見されなかった場合	有る可能性が低い	☑
発板工法で施工した場合	有る可能性が高い	□
真面の空洞調査で空洞が発見された場合	有	□

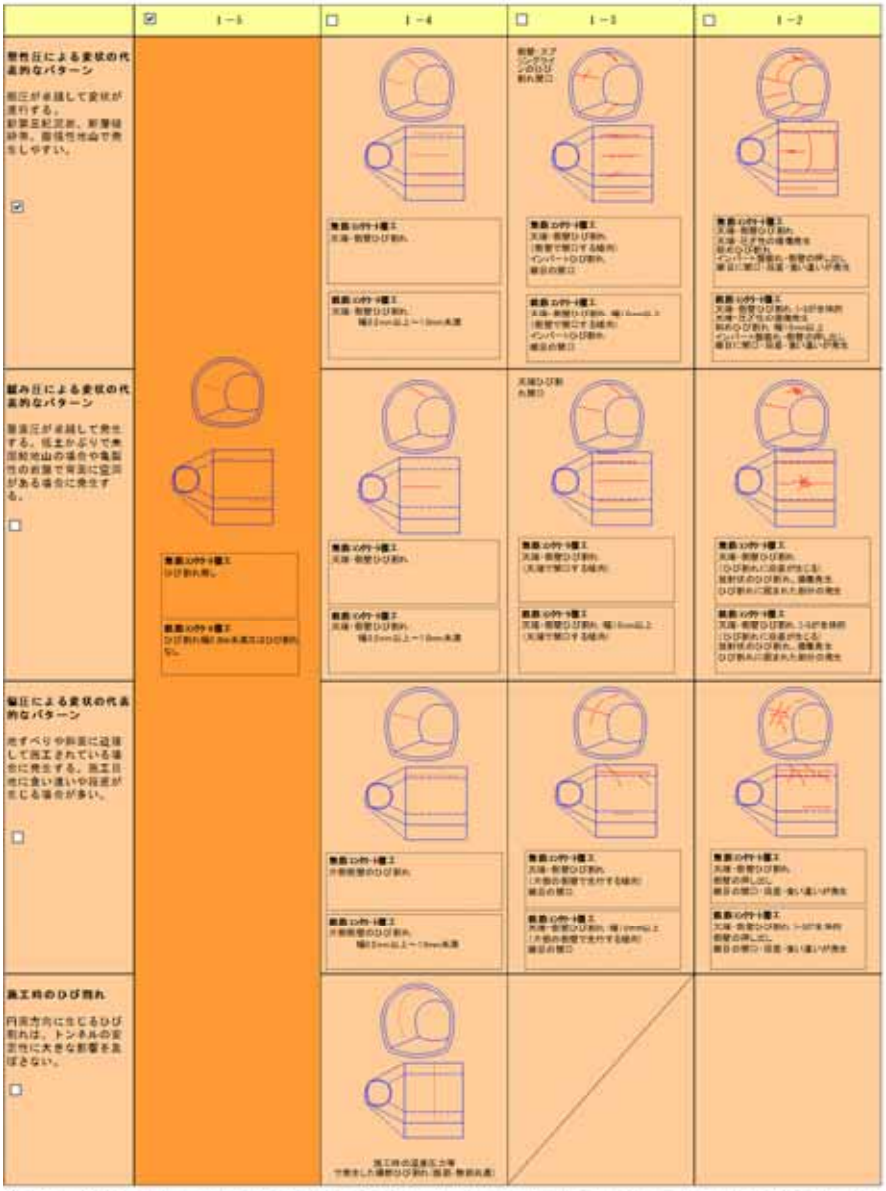
地山条件

空洞の有無	C	B	A
可能性低い	中	低	低
可能性高い	高	中	低
有	高	高	中

判定　低

地山等の外部条件による凡例
低：地山等の外部条件による危険度が低レベル
中：地山等の外部条件による危険度が中レベル
高：地山等の外部条件による危険度が高レベル

構造的な安定性の区分



構造的な安定性

地山等の外部条件

	高	中	低
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

判定　S-5

※ひび割れパターン連続図は、（社）土木学会発行「トンネルの変状メカニズム」（平成15年9月）を参考に、農業用水路トンネルの特性を踏まえ作成したものであり、適用にあたっては、現場条件等を考慮し総合的に判断する必要がある。

2.4　専門的調査

専門的調査を実施している、あるいは計画している施設では、機能診断調査の現地調査地点を同一地点とし、調査の合理化と機能診断調査手法の精度向上に資することが望ましい。

また、機能保全対策を具体的に実施する段階では、**「農業水利施設のコンクリート構造物調査・評価・対策工法選定マニュアル」**、**「農業水利施設の長寿命化の手引き」**を参考に専門的調査を実施し、適切な対策工法の選定を行う必要がある。

【解説】

2.4.1　専門的調査への移行

機能保全対策の長期計画や基本計画段階では、外観目視調査を主体とする調査で十分であるが、具体的に機能保全対策を実施する段階では、ひび割れの発生場所、幅、形状、規模（密度）の他に、ひび割れ深さやコンクリート材質の劣化、鉄筋の腐食状況などの情報が必要となる場合が少なくない。

例えば、表-2.4.1 は鉄筋コンクリートの劣化判定基準の例であるが、判定項目はひび割れ深さ、全塩化物量、中性化残り、自然電位が用いられているように、専門的調査でなければ得られない項目が判定基準として用いられている。

このように、機能保全対策の具体的実施段階では、評価の精度を上げるために専門的調査が必要であるが、機能診断調査でも、評価精度を向上するために、専門的調査を実施している施設の調査結果の有効活用や、必要に応じてサンプル調査を実施することが望ましい。

表-2.4.1　鉄筋コンクリートの劣化判定基準例

損傷度	ひび割れ深さ d	全塩化物量 Cℓ	中性化残り Xc	自然電位 E（mV）（鉄筋の腐食計測）
Ⅰ	1/2 被り＞d	0.3 kg/m^3＞Cℓ	Xc≧1/2 被り	E＞－150
Ⅱ	被り＞d≧1/2 被り	1.2＞Cℓ≧0.3 kg/m^3	1/2 被り＞Xc≧10 ㎜	－150≧E＞－250
Ⅲ	d≧被り	2.5＞Cℓ≧1.2 kg/m^3	10＞Xc≧0	－250≧E＞－350
Ⅳ	d≧被り	Cℓ≧2.5 kg/m^3	0＞Xc	－350≧E

Ⅰ補修不要　Ⅱ補修が望まれる　Ⅲ早い時期の補修　Ⅳ緊急の補修・補強対策

出典：「コンクリート構造物の補修・補強技術の現状と今後の展望」
H14 年度，P.4，（社）日本土木工業協会

施設状態から見た専門的調査方法の目安を表-2.4.2に示す。

表-2.4.2　施設の状態から見た専門的調査方法の目安

変状タイプ		専門的調査の方法の目安	
		健全度　Ｓ－３	健全度　Ｓ－２、Ｓ－１
ひび割れタイプ	初期ひび割れ	・他の変状が伴っていない場合はひび割れ幅、深さ、範囲を精査する程度で、特に専門的調査は必要としない。 ・析出物等の他の変状が伴っている場合は、コア（又は小口径コア）採取による物性試験（圧縮強度、塩化物イオン濃度、中性化深さ等）を実施し、他の劣化要因が併発していないかどうかを把握するのが望ましい。	・他の変状が伴っていない場合はひび割れ幅、深さ、範囲を精査する程度で、特に専門的調査は必要としない。 ・析出物等の他の変状が伴っている場合は、コア（又は小口径コア）採取による物性試験（圧縮強度、塩化物イオン濃度、中性化深さ等）を実施するのが望ましい。
	鉄筋腐食先行型	・コア（又は小口径コア）採取による物性試験（圧縮強度、塩化物イオン濃度、中性化深さ等）を実施するのが望ましい。	・コンクリートはつりによる鉄筋腐食状況調査を実施するのが望ましい。 ・同時に塩化物イオン濃度、中性化深さ、自然電位の精査を行うのが望ましい。
	ひび割れ先行型	・剥離・スケーリング深さを計測する。 ・析出物等の他の変状が伴っている場合は、コア（又は小口径コア）採取による物性試験（圧縮強度、塩化物イオン濃度、中性化深さ等）を実施し、他の劣化要因が併発していないかどうかを把握するのが望ましい。	・コア採取（又は小口径コア）による物性試験（圧縮強度、塩化物イオン濃度、中性化深さ等）を実施する。 ・錆汁、析出物等のその他の変状が併発している場合は、コンクリートはつりによる鉄筋腐食状況調査を実施するのが望ましい。
	外力によるひび割れ	・荷重条件のチェックを行う。 ・析出物等の他の変状が伴っている場合は、コア（又は小口径コア）採取による物性試験を実施し、他の劣化要因が併発していないかどうかを把握するのが望ましい。	・荷重解析（構造の安定解析）を行う。 ・析出物等の他の変状が伴っている場合は、コア（又は小口径コア）採取による物性試験を実施し、他の劣化要因が併発していないかどうかを把握するのが望ましい。
変形・傾き・不同沈下		・構造物の形状計測により変形・傾き・不同沈下を精査する。	・構造物の形状計測により変形・傾き・不同沈下を精査するとともに、構造の安定解析を行うのが望ましい。
目地の変状		・目地周辺の本体工や地盤に変状が及んでいない場合は、特に専門的調査は必要ない。 ・周辺地盤の変状が疑われる場合には、背面土の掘削による確認を行う。	－
地盤の変状		・背面土を掘り起こし、空洞化の有無をチェックする。	－

コンクリート構造物における専門的調査方法の例を表-2.4.3～表-2.4.5 に示す。また、水路トンネルに関する詳細調査の例も参考として併せて示す。

表-2.4.3　コンクリート構造物の専門的調査方法（1/3）

調査内容	検査・試験項目	検査・試験方法	調査概要
引張・圧縮強度	コア強度	圧縮試験方法 JIS A 1107,1108	コア試料による圧縮強度試験により、構造体の強度を評価する。
	局部破壊試験による強度推定	プルオフ法	コンクリート表面に鋼製ディスクを接着し,ディスク外のコンクリート表面に反力をとってディスクに接着されたコンクリートを引張破断させ,最大引張荷重により求めたプルオフ強度から圧縮強度を推定する。
		プルアウト法	コンクリート表層に埋込み具をセットし、反力リングを用いて円錐台状のコンクリートコーンを引き抜き、引き抜くのに要する最大荷重(引抜き耐力)から圧縮強度を推定する。
		ブレークオフ法	コンクリート表層にコアスリットを設け、コア上端部を加力してコア底部を曲げ破壊させ、 破壊時の曲げ折り耐力から圧縮強度を推定する。
	弾性係数	弾性係数	静的載荷によって得られた応力－歪み曲線から求める静弾性係数とコンクリートに縦振動またはたわみ振動を与えてコンクリート中に伝播する弾性波速度から求める動弾性係数がある。
	超音波パルス速度	超音波パルス速度	超音波伝搬速度(音速)を求め、コンクリート強度の管理及び構造体コンクリートの強度推定を行う。
鉄筋腐食	中性化深さ	コア法	中性化深さを測定し、コンクリート構造物の劣化予測を行う。
		はつり法	
	塩化物イオン含有量	ドリル法	ドリル削孔粉による塩化物イオン量を測定し、塩害やアルカリ骨材反応の劣化予測を行う。
		重量法(塩化銀沈殿法)	硫酸塩溶液中で,塩化物イオンが銀イオンと反応して生じる塩化銀(沈殿物)の重量を測定することにより、塩化物イオン量を算出する。
		クロム酸銀吸光光度法	含有塩化物イオン量を測定し、塩害やアルカリ骨材反応の劣化予測を行う。
		電位差滴定法	含有塩化物イオン量を測定し、塩害やアルカリ骨材反応の劣化予測を行う。
		モール法	指示薬としてクロム酸カリウムを用い、硝酸銀溶液で塩化物イオンを滴定する。
	鉄筋腐食量	腐食面積率の算出	コンクリート中の鉄筋の重量減少率を調べることにより、鉄筋の腐食状態を把握でき、そのコンクリート構造物が保有している耐荷性能や耐久性能を評価する。
		鉄筋重量減少率の算出	コンクリート中の鉄筋の腐食面積率を調べることにより、鉄筋の腐食状態を把握でき、そのコンクリート構造物が保有している耐荷性能や耐久性能を評価する。
	腐食の可能性	自然電位法 JSCE-E601-2000、 ASTM C876	鉄筋が腐食することによって変化する鉄筋表面の電位から、鋼材腐食を診断する。

表-2.4.4　コンクリート構造物の専門的調査方法（2/3）

調査内容	検査・試験項目	検査・試験方法	調査概要
鉄筋腐食	腐食速度	分極抵抗法	コンクリート表面に当てた外部電極から内部鉄筋に微弱な電流または電位差を負荷したときに生じる電位変化量または電流変化量から、腐食速度(腐食電流密度)と反比例の関係にある分極抵抗を求め、内部鉄筋の腐食速度を推定する。
	腐食性評価	電気抵抗法	被りコンクリートの電気抵抗を測定することによって、その腐食性及び鉄筋の腐食進行のしやすさについて評価する。
アルカリシリカ反応	アルカリ量	水溶性アルカリ	コンクリート中のアルカリ量を振とう溶出法により測定することによって、アルカリシリカ反応の可能性を予想する。
		酸溶性アルカリ	コンクリート中のアルカリ量を酸溶解法により測定することによって、アルカリシリカ反応の可能性を予想する。
	アルカリシリカ反応性	化学法 JIS A 1145	コンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性を、化学的な方法によって判断する。
		モルタルバー法 JIS A 1146	モルタルバーの長さ変化を測定することによって、骨材のアルカリシリカ反応性を判定する。
		迅速法 JIS A 1804	主としてコンクリートの生産工程管理用に適用するもので、モルタルバーを高温・高圧で養生し、その特性の変化を測定することによって、骨材のアルカリシリカ反応性を迅速に判定する。
		促進モルタルバー法 ASTM C 1260	迅速にモルタルバーの長さ変化を測定することによって、骨材のアルカリシリカ反応性を判定する。
	アルカリシリカゲルの判定	走査型電子顕微鏡観察 (SEM-EDS)	電子顕微鏡によりコンクリートに生じているアルカリシリカゲルを、遊離石灰やエフロレッセンスと識別する。
	残存膨張量(コアの促進養生試験)	JCI-DD2 法	解放膨張率及び残存膨張率を測定する(湿気槽にて試験する方法)。
		デンマーク法	解放膨張率及び残存膨張率を測定する(外部から NaOH が供給される条件下で試験する方法)。
		カナダ法 (NBRI 法)	解放膨張率及び残存膨張率を測定する(外部から NaCl が供給される条件下で試験する方法)。
コンクリートの配合		セメント協会法	コア試料を採取し、セメント量、水量、骨材量を定量分析し、コンクリートの配合を把握する。
		ＩＣＰを用いる方法	コア試料を採取し、セメント量、水量、骨材量を ICP 装置(誘導プラズマ発光分光分析装置)により測定を行うものである。
コンクリートの微細構造	骨材の岩種及び反応性鉱物の種類	偏光顕微鏡観察	コンクリートの劣化に関係する骨材の観察。
		粉末Ｘ線回折	水和物、骨材などを問わず、その含有鉱物の定性、定量を行う。
		赤外線吸収スペクトル分析	各種結晶における原子団の存在や、構成原子間の相互の結合状態を確認検討する。
		走査型電子顕微鏡 (SEM)	粗骨材周囲の内部、ゲル、粗骨材の割れの観察を行う。

表-2.4.5　コンクリート構造物の専門的調査方法（3/3）

調査内容	検査・試験項目	検査・試験方法	調査概要
コンクリートの化学成分		電子線マイクロアナライザー（EPMA）	Ｘ線などでは分析が難しいアルカリ骨材反応に関連する骨材の含有鉱物を観察する。
ひび割れ・剥離・空洞	赤外線法	サーモグラフィー	物体の表面温度分布を映像として記録できる温度計装置を用い、浮き(剥離)、漏水調査等を行う。
	弾性波法	超音波法	使用周波数が 20kHz 以上の超音波域と呼ばれる周波数帯を主に使用し、到達時間、波形、周波数、位相などの変化を測定装置で読み取ることにより表面ひび割れ深さ内部の空隙及び鉄筋及び鉄筋位置を測定する。
		衝撃弾性波法	ハンマーなどによりコンクリート表面を打撃して弾性波を発生させ、これを受振子で測定し、ひび割れ深さ及び内部欠陥を検出。
		打音法	打撃によって生じる空気振動を音響機器を使用して検出し、ひび割れ、剥離、空洞を測定する。
		アコースティックエミッション法（AE）	ひび割れ発生や既存ひび割れ面のこすれのような音源からの AE を、対象物に設置した AE 変換子(センサ)によって検出し、コンクリート構造物内部におけるひび割れ進展を空間的に調査する。
	電磁波レーダー法	電磁波レーダー法	電磁波をコンクリート内へ放射し、躯体厚・空洞の調査を行う。
鉄筋･被り・埋設物	電磁誘導試験	電磁誘導法	鉄筋との間に発生する電磁誘導現象を利用してコンクリート中の鉄筋、埋設金属の探査を行う。
		電磁波レーダー法	電磁波をコンクリート内へ放射し、コンクリートと電気的性質の異なる物体(鉄筋、埋設管)を検知する。
		Ｘ線透過撮影法	構造物に対して一方から X 線を照射し、対向する裏面にフィルムを配置することによって透過像を撮影し、鉄筋径、鉄筋配置、鉄筋被り、埋設物を把握する。
凍害	凍結融解試験（試料作成）	JIS A 1148-5001	コンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性を、供試体を用いて凍結及び融解の急速な繰り返しによって試験する。

【参考】水路トンネル背面レーダ探査

水路トンネルの安定性に影響が大きい覆工コンクリートの厚さ、ならびに覆工コンクリート背面の空洞の状況を連続的に把握することを目的として、覆工厚及び覆工背面空洞のレーダ探査を行う。

調査では、天頂部の１測線を計測する。計測は、図-2.4.1に示すように、単管で組んだ台車上にアンテナ等の計測装置を組立て、電動牽引車で牽引し、1km/h～2km/h程度で移動しながら計測する。

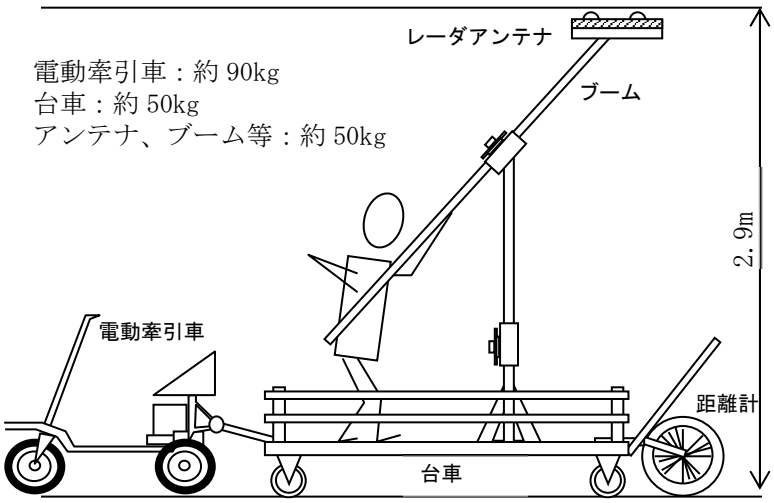


図-2.4.1　レーダー探査実施状況

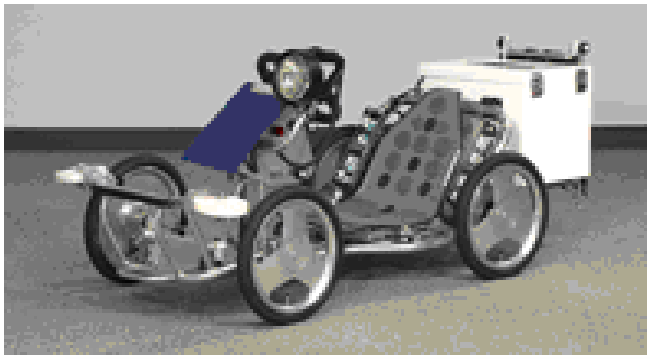


図-2.4.2　電動牽引車

導水路途中の堰（高さ 0.3m 程度）は、人肩で乗り越える。

図-2.4.3　導水路途中にある堰

調査結果は、覆工厚及び空洞等の分布状況縦断図として整理する。

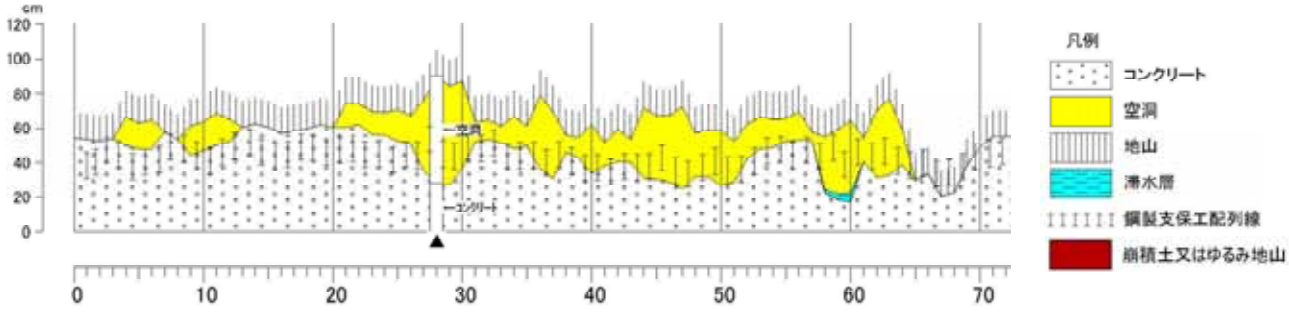


図-2.4.4　レーダー探査結果による分布状況縦断図例

【参考】内視鏡測定

地山の状態・崩積土・空洞高を把握するために、内視鏡調査を用いる。内視鏡調査は、覆工コンクリート背面の地山の状態や崩積土の有無、空洞高を実際に確認すること目的として実施する。調査対象箇所は、レーダ探査による空洞発生箇所や縦断ひび割れ発生箇所とし、監督職員と協議のうえ決定する。

調査では、覆工コンクリートにコアカッターで削孔し、削孔孔からドリル削孔用の広角カメラを用いて空洞内の状況を撮影する。ドリル削孔用の広角カメラは、ファイバースコープに比べて、光量が大きく、かつ視野角が広いため、背面空洞の状況をより的確に評価することが可能である。

資機材(5kg 程度)の坑内での運搬は、人肩で実施する。

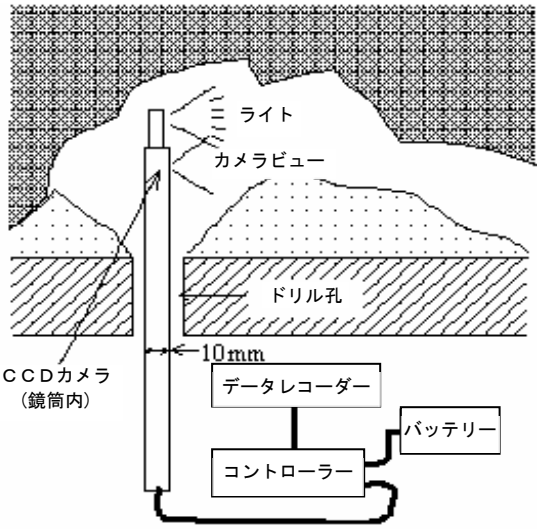


図-2.4.5　広角カメラを用いた覆工背面空洞状況の確認

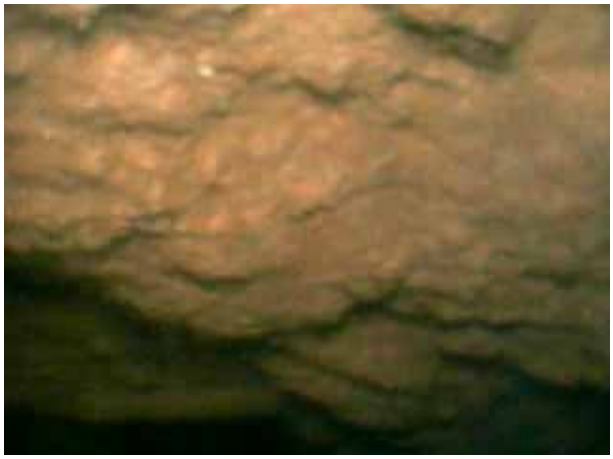


図-2.4.6　広角カメラ撮影画像例

【参考】レーザー壁面連続画像計測装置

水路トンネルの維持管理の高精度化、効率化を目的として、水路トンネル壁面の画像計測を行う。

計測では、レーザー壁面連続画像計測装置を使用する。本装置は、暗所でも水路トンネル覆工に生じている0.2mm以上のひび割れを検出することが可能であり、時速1kmの速度で水路トンネルアーチ部・側壁部の変状をデジタル画像として連続的に記録することができ、詳細な壁面展開図を作成する際に有効である。

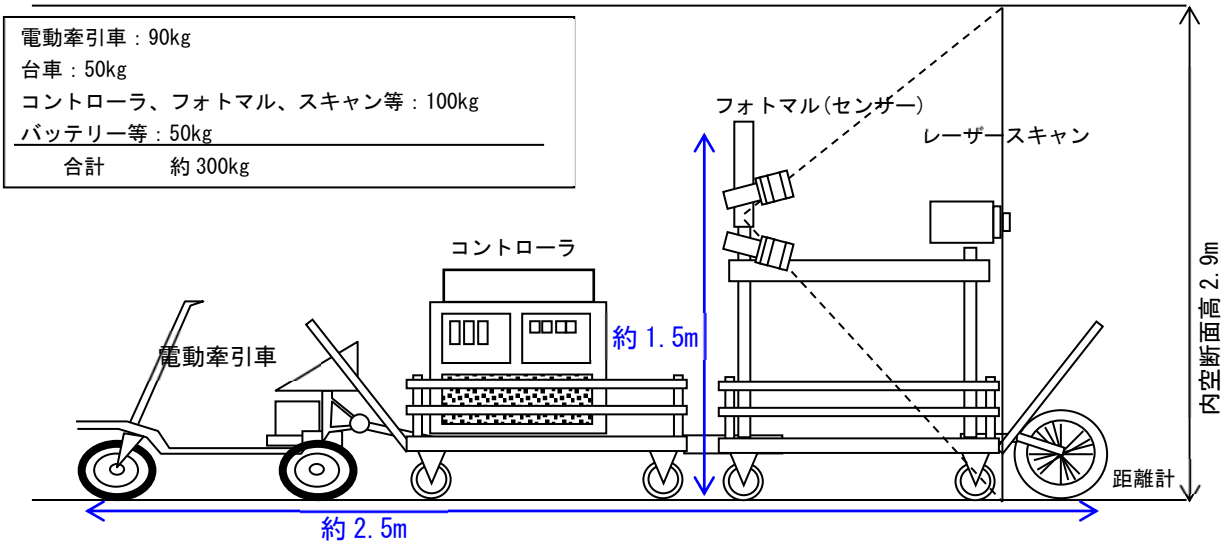


図-2.4.7　レーザー壁面連続画像計測装置による計測状況

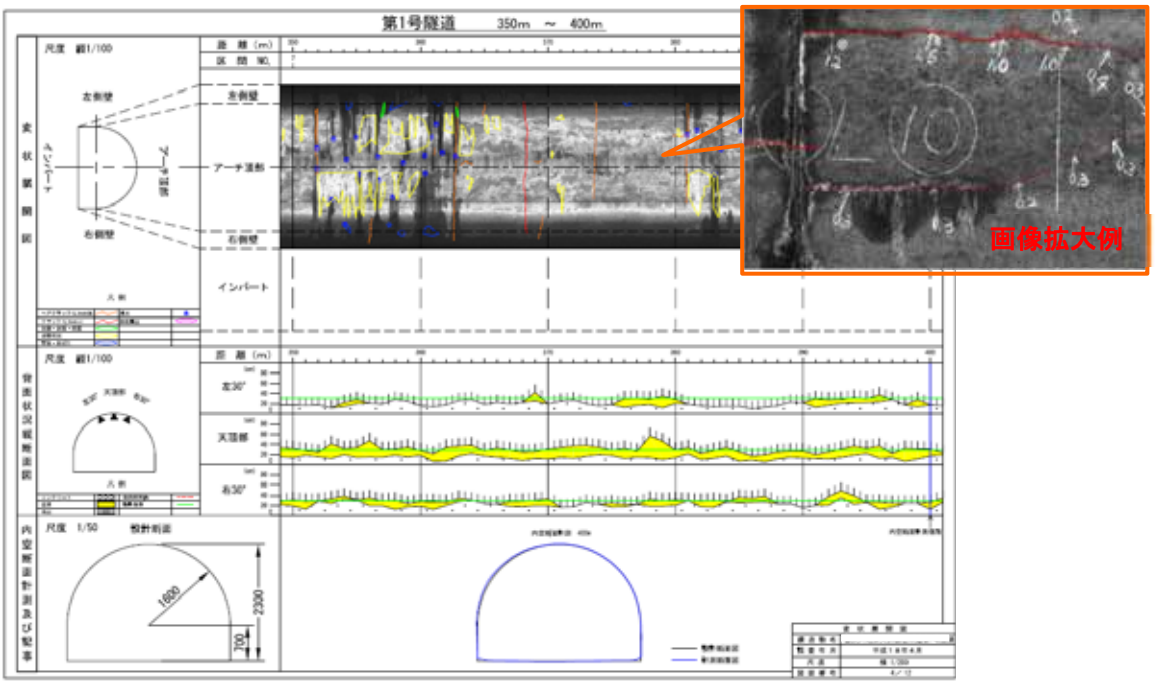


図-2.4.8　壁面連続画像計測結果整理例（レーダー調査結果との比較展開図）