

第4章 水路トンネル及び発電施設

4.1 水路トンネル（導水路・放水路含む）

4.1.1 水路トンネルの現状^{1)~4)}

国内の水力発電所は、明治21年に三居沢発電所(仙台)が、明治24年に蹴上発電所(京都)が発電を開始し、約120年の歴史を有している。初期の1890~1955年の間は、ベース負荷を受け持つ小規模な流込み式発電所や、負荷の変動に対応する日負荷調整用の小規模な調整池式発電所が数多く建設された。1950年代に入るとダム技術の進歩に伴い季節的に河水の自然流量を調整する大ダムを持つ貯水池式発電所、およびあまり大きな池容量は持っていないが、日負荷調整可能な調整池式発電所が需要のピーク部分を分担すべく建設された。1960年代に入ると、さらに旺盛な電力需要の増加ならびに需要構造の変化に対応するピーク負荷用供給力として、揚水式発電所が建設された。

図-4.1.1に水力発電所のイメージ(流込み式・調整池式)、表-4.1.1に発電方式別の地点数を示す。

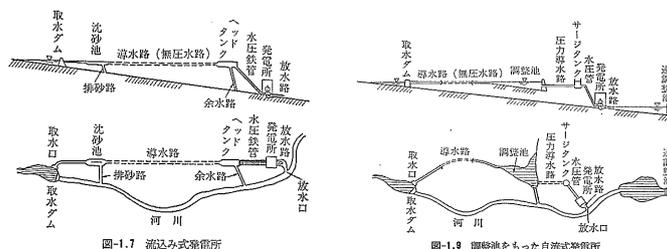


図-4.1.1 水力発電所のイメージ(流込み式・調整池式)¹⁾

表-4.1.1 発電方式別地点数¹⁾ 2004.3時点

発電方式	既開発			工事中			
	地点(箇所)	出力(kW)	電力量(MWh)	地点(箇所)	出力(kW)	電力量(MWh)	
一般水力	流込み式	1,146	5,174,699	27,684,877	17	70,753	325,309
	調整池式	467	10,119,547	45,163,628	2	107,000	543,236
	貯水池式	230	6,710,996	19,291,589	11	45,530	170,846
	小計	1,843	22,005,242	92,140,094	30	223,283	1,039,391
混合揚水	20	5,727,040	2,633,631	1	400,000	255,600	
計			94,773,725			1,294,991	

また、導水路・放水路などの水路トンネルは総延長が1997年時点で4,700kmに達している。その平均経過年数は約50年である。覆工には、一部にはレンガ積みや石材積みがあるものの、古い建設年代のものであっても通水の目的から場所打ちコンクリート造が多い。

図-4.1.2に国内の水力発電所水路トンネルの経年数別内訳を示す。

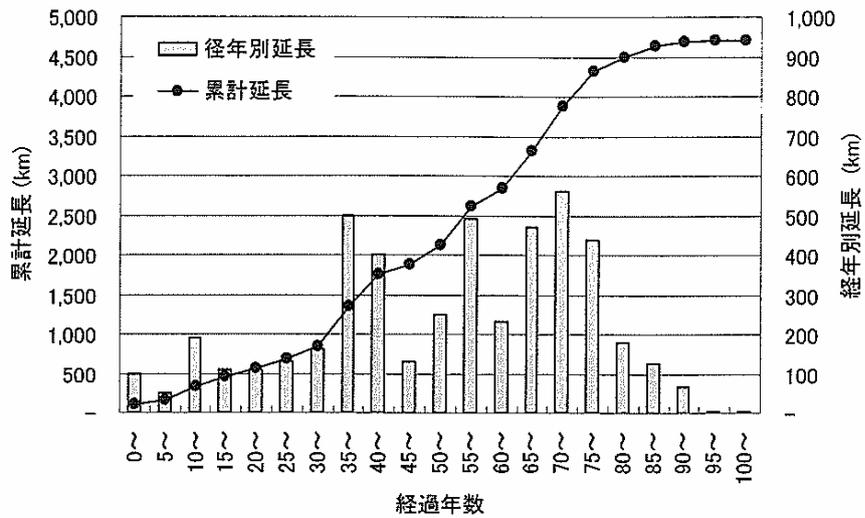


図-4.1.2 国内の水力発電所水路トンネル経年変化²⁾

次に、東京電力が保有する発電用水路トンネルについて、供用開始年ごとの延長推移と構造種別の割合を図-4.1.3、図-4.1.4に示す。東京電力保有の発電用水路トンネルは600km以上あり、大正年代から昭和10年代にその多くが建設されている。構造種別では、90%が無筋コンクリートであり、10%程度が鉄筋コンクリートとなっている。

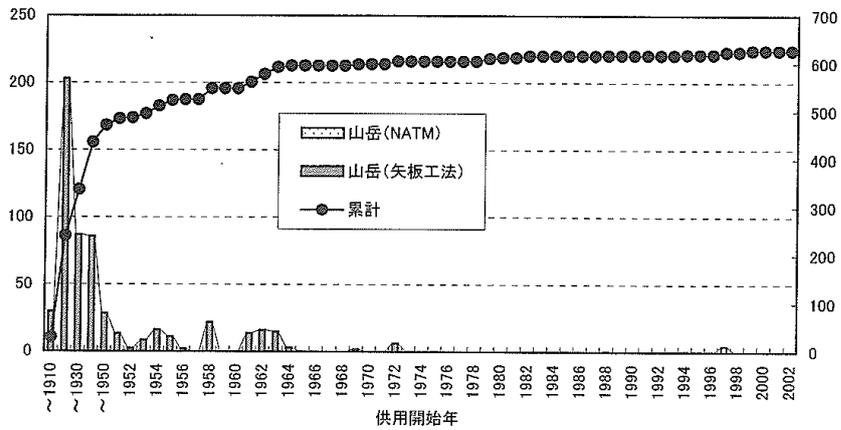


図-4.1.3 東京電力の水路トンネル 供用開始年別延長推移³⁾

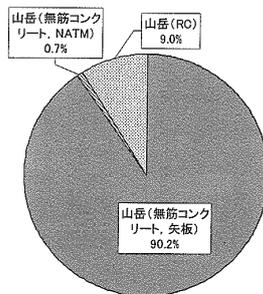


図-4.1.4 東京電力の水路トンネル 築造法別の割合³⁾

4.1.2 水路トンネルリニューアルの目的

取水口で取水された水は、発電に用いられたあと再びもとの河川に戻されるが、取水口から水槽までが導水路、水槽から発電所までが水圧管路、発電所から放水口までが放水路と呼ばれている。本書では、導水路と放水路を合わせて水路トンネルと称する。図-4.1.1 参照。

供用されている水路トンネルの変状は、その用途から、内面の磨耗や周辺地山の流出による覆工背面の空洞化など、道路・鉄道トンネルとは異なる変状が発生する点が特徴である。このような変状に対して発電所水路としての安定を維持するためにリニューアルが必要となる。リニューアルの目的としては、必要な通水断面・勾配の確保、通水抵抗の低減（粗度係数の低減）等があげられる。

なお発電用水力設備に関する技術基準を定める省令（平成9年3月27日通商産業省令第50号 最終改正年月日；平成21年3月16日経済産業省令第14号）によれば、放水路および導水路について下記のように定められている。平成18年4月1日以降は新設だけでなく既存の水路工作物についても適用されることとなっている。

（一般事項）

第二十五条

水路は、次の各号により施設しなければならない。

- 一 洪水、山崩れ、なだれ等により損傷を受けるおそれがないこと。
- 二 設計水量以上の水量が流入するおそれがある場合には、その水量を安全に排除できること。
- 三 流木、じんかい、土砂等の流入により著しく損傷を受けるおそれがないこと。
- 四 水路に使用するコンクリートの材料は、第九条各号によること。
- 五 水路に使用するコンクリート以外の材料は、水路に必要な化学的成分及び機械的性能を有するものであること。（以下一部省略）

（導水路）

第二十八条

導水路は、次の各号により施設しなければならない。

- 一 導水路は、自重、水の重量、水圧、地震力、土圧、載荷重、雪荷重、風荷重、温度荷重及び外圧に対し安定であり、かつ、これらの荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。
- 二 漏水により人家、田畑、道路等に悪影響を及ぼすおそれがないこと。
- 三 トンネル又は開きよを巻き立てない場合は、はだ落ち等により水路及び水車に著しい損傷を与えるおそれがないこと。
- 四 圧力導水路にあつては、次によること。
 - イ 取水設備及びサージタンクにおける水位が最低の場合の動水こう配線以下に位置すること。
 - ロ 圧力導水路に溪流取水等を合流させる場合は、空気の連行により水路及び水車に著しい損傷を与えるおそれがないこと。
 - ハ 充水する場合における空気の流出及び排水する場合における空気の流入が容易かつ確実な構造であること。

4.1.3 水路トンネルの調査診断技術^{4)~8)}

(1)水路トンネルの維持管理とリニューアルの現状

水路としての安定を維持するために維持管理、リニューアルが必要となる。リニューアルは大きく、補修、補強、改良・改築、増設に分けられる。これら用語の定義を以下に記述する。

- 補修 : 機能低下した構造物での機能劣化進行抑制、または機能復元させること。
補強 : 構造物の耐荷力を強化し、性能を高めることで変状の発生、進行を抑制すること、または健全度を向上させること。
改良・改築 : 必要な機能を満足しない構造物の一部またはすべての部位を取り壊し、復元させること。
増設 : 必要な機能を満足しない構造物に必要な機能を追加すること。

水路トンネル維持管理上の特徴は、次の2点があげられる。ひとつは、使用環境に対する留意点である。特に内圧が作用する水路トンネルでは、内圧の変化がトンネルを劣化させる要因となりうる。もうひとつは、点検、補修・補強における制約である。水路トンネルでは、定期的なメンテナンス時や補修・補強が必要な場合には、「空水」状態（供用停止して水を抜いた状態）とした上で作業を行う必要があり、電力の安定供給の点からも作業日数が限定される。

水路トンネルの維持管理を進めるにあたり、まず発電用水路トンネルに求められる機能を整理すると以下のようなになる。

- ① 必要な流水断面、勾配が確保されていること。
- ② 流水抵抗が少ないこと。
- ③ トンネル内への地下水の流入やトンネル外への流水の漏出がないこと。

東京電力が定めている水路トンネルの維持管理のフローを図-4.1.5に示す。

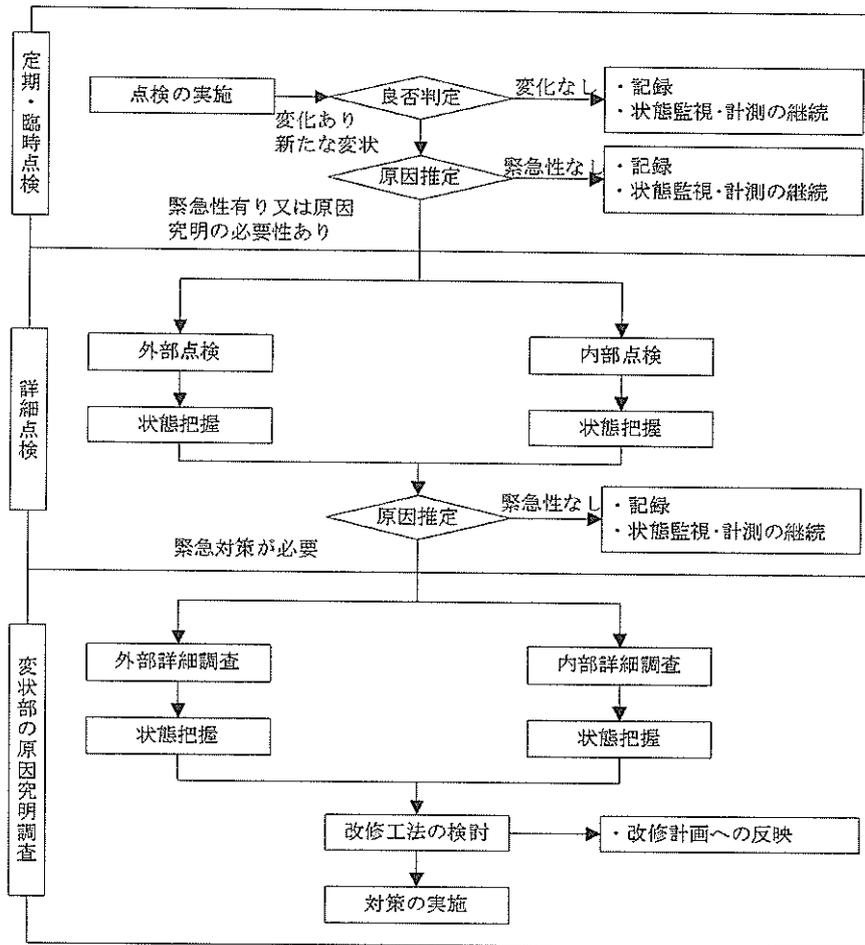


図-4.1.5 維持管理フローの例（東京電力）³⁾

水路トンネルで行われている点検の例（東京電力）を表-4.1.2に示す。東京電力では、一次点検と二次点検に分けている。一次点検では、電力用水路トンネルの設備機能の維持、回復ならびに事故の未然防止のためにトンネル覆工の欠陥の有無、進行状況などを定期的に把握することを基本とし、普通点検と精密点検を行うこととしている。また、設備の状態や環境変化などに応じて、必要により臨時点検を行うこととしている。

①普通点検

トンネル変状の進行による地上部の陥没の恐れ、周辺地山の地すべりなどの変状、あるいは開発の進行による水路トンネルへの影響などの観点から、主として外部から年1回の頻度を標準として実施する。

②精密点検

水路を断水して空水状態とし、トンネル内部からの目視および簡単な点検器具により覆工の変状やひび割れの発生状況、漏水などの進行の把握を3年に1回の頻度を標準として実施する。

③臨時点検

気象状況の異変時や地震の直後、設備異常を認めた場合などに、同種事故防止の観点か

ら、必要により点検を実施する。

二次点検（詳細点検）では、一次点検結果に基づいて行われる局部非破壊検査やひび割れ計測、内空変位測定、ボーリング調査、強度試験、材料劣化試験等を通して原因究明を実施し、対策の要否の詳細判定および改修工法の検討などの基礎情報収集を行うこととしている。

表-4.1.2 発電用水路トンネルの点検内容（東京電力）³⁾

		内 容
一次点検	名 称	点検
	目 的	発電用導水路としての機能維持、事故未然防止のための欠陥の有無、進行状況を把握
	頻 度	定期点検；1回／3年
	手 法	目視、打音、観察・測定
	適用基準	トンネル点検手引き他
	点検項目	ひび割れ、剥落、食い違い、打ち継ぎ目の目地切れ遊離石灰、材料劣化、変形、漏水など
	判定基準	機能（健全度）面；3段階の定性的評価 設備重要度、第三者被害；緊急補修必要性評価
二次点検	名 称	調査
	目 的	確認された変状に対し、原因究明を実施し対策要否の詳細判定、改修工法の検討などの基礎情報収集
	頻 度	点検結果に基づき実施
	手 法	非破壊検査(局部)、ひび割れ計測、内空変位測定、調査ボーリング、強度試験(覆工／地山)、劣化試験等
	適用基準	
	点検項目	変位速度、背面空洞の有無、巻厚、ひび割れ状況、覆工コンクリート強度、周辺地盤状況
	判定基準	調査に基づき、変状の進行性、周辺の地形・地質、覆工の劣化状況から個別に詳細評価を実施し判定

電力水路トンネルのマニュアルによると、調査は以下のように分類されている。

- ① 定期点検または臨時点検において確認された変状原因究明のための調査。
- ② 水路の全体的あるいは特定部分の安全性を評価する場合の健全性評価。
- ③ トンネル周辺環境が開発行為あるいは自然災害などにより変化した場合に行う調査。

トンネルで行う一般的な調査項目を表-4.1.3にまとめる。

表-4.1.3 一般的なトンネルでの調査項目³⁾

大分類	項目	摘要
資料・文献調査	設計・施工記録	
	点検履歴	
	補修・補強履歴	
環境・気象調査	降水量	
	気温	
	水質	
構造物調査	目視調査	
	打音調査	
	覆工・躯体表面調査	
	ひび割れ測定	
	覆工変位測定	
	覆工巻厚および覆工背面調査	
	覆工ひずみ測定	
	材料試験	
地形・地質調査	地山ボーリング調査	
	地山変位測定	
	湧水などに関する調査	

点検でトンネルの変状が確認されると、その点検結果に基づいて変状の判定を行う。応急処置が必要なもの、安全なもの、その他中間ランクとして、詳細調査が必要なもの、監視を継続するものなどに区分されている。東京電力の水路トンネルに関する健全度の区分については表-4.1.4に示す。

表-4.1.4 健全度の区分と判定（東京電力の場合）³⁾

ランク	設備健全度評価（設備劣化状況）
Aランク	食い違い、はらみ出し、クラック等の変状が著しく、かつ進行があり、早急に対策工を実施しないと陥没、落盤などの設備破壊の恐れがあるもの。 覆工背面地山が未固結層または地山被りが小さい等のために、地山陥没、落盤、地すべりなどが発生する可能性が高いもの。
Bランク	食い違い、はらみ出し、クラック等の変状が発生しており、陥没、落盤などの設備破壊の恐れがあるが、仮受支保工等の設置ならびに監視の強化により当面对策工の繰り延べが可能なもの。 覆工背面地山が未固結層または地山被りが小さい等のために、地山陥没、落盤、地すべりなどの恐れがあるものの、監視の強化により、当面对策工の繰り延べが可能なもの。
Cランク	食い違い、はらみ出し、クラック等の変状があり、当面監視を必要とするもの。 覆工背面地山が未固結層または地山被りが小さい等のために、当面監視を必要とするもの。

さらに健全度の判定は健全度システムを活用し、無筋コンクリートを対象として①残余耐力、②変状の進行性、③荷重の増大を考慮して総合的に実施されている。

ここで①残余耐力の評価は、さらに覆工内面のひび割れ発生パターンによる評価と、解析による評価を組合わせて実施されている。

ひび割れ発生パターンによる評価を図-4.1.6に示す。またトンネルの健全性を総合的に評価するための判定表を表-4.1.5に示す。詳細は東京電力(株)トンネル点検の手引き 2000年を参照されたい。

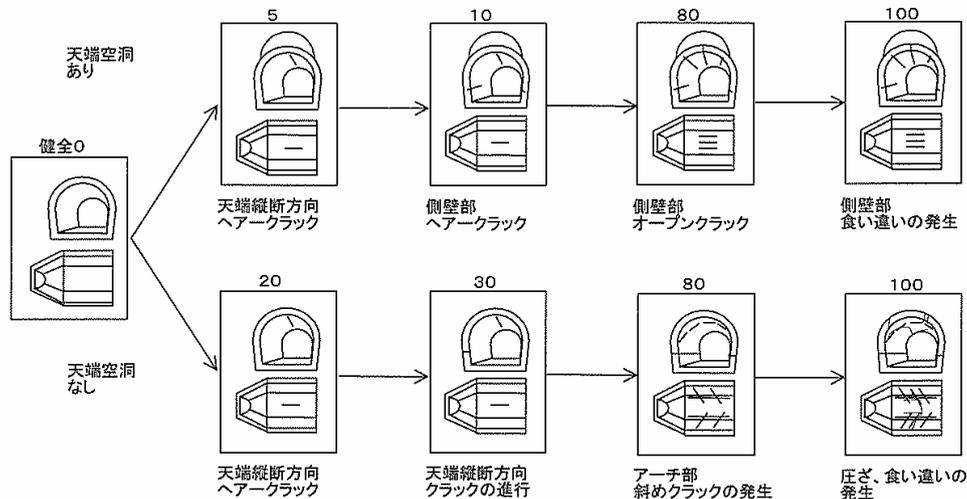


図-4.1.6 ひび割れ発生パターンの進行図の一例³⁾

表-4.1.5 総合的健全度ランク判定表 (東京電力の場合)³⁾

		A				B				C				D (無)				
		荷重増大の可能性評価				荷重増大の可能性評価				荷重増大の可能性評価				荷重増大の可能性評価				
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	
60以上	解析評価	80以上	I				I				II				II			
		60以上	I				I				II				II			
		40以上	II				II				II				II			
		0~40	II			III	II			III	II	III		IV	II	III		IV
40~60	解析評価	80以上	I				II				II				V			
		60以上	I				II				II							
		40以上	II		III	IV	II	III		IV	II	III		IV				
		0~40	II	III		IV	II	III		IV	II	III		IV				
40未満	解析評価	80以上	II				II				V				V			
		60以上	II	III		IV	II	III		IV								
		40以上	II	III		IV	II	III		IV								
		0~40	II	III		IV	II	III		IV								

以上に示すように定量的な評価が可能な仕組みとなっている。

(2) 調査診断技術

調査・診断は、①資料・文献調査、②環境・気象調査、③構造物調査、④地形地質調査がある。図-4.1.7に一般的なトンネルにおける調査項目を、表-4.1.6に主な変状調査に対する一般的な調査方法を示す。



図-4.1.7 一般的なトンネルにおける調査方法⁶⁾

トンネルの点検には、地上状況等のトンネル外部もその対象に含まれるが、水路トンネルの変状の特徴をふまえ、トンネル覆工コンクリートとその背面を内部から点検する作業について最新の技術を含め以下に記述する。

①目視

覆工の表面を目視により観察する。多くの場合、その変状が覆工表面に視認できる状態で現れる。したがって、トンネルの外観上の状態とその変化を調べる目視調査により変状原因の推定が可能であり、変状発見の第一歩として非常に重要である。

②打音調査

打音調査は、ハンマーで覆工表面を打撃し、その衝撃の程度や打撃音の音質などにより、覆工表面のはく離状況や表面近傍の内部変状の有無を調べる方法で目視調査と併用して行われることが多い。

表-4.1.1.6 主な変状現象に対する一

部位	形態	トンネルの変状現象	現象	工法※ 区分	資料 文献 調査	環境 気象 調査	調査項目													
							目視 調査	打音 検査	覆工表面 調査	ひび割れ 測定	覆工変位 測定	覆工内部 背面調査	覆工ひずみ 測定	材料 試験	地山ボーリ ング調査	地形・地質調査	湧水 調査			
覆工・躯体	損傷		目地切れ、目違い、段差、目開き	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
			ひび割れ、コールドジョイントの開口	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			剥離・剥落	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	変形		押し出し、横断面変形	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			移動、側壁転倒、沈下	山	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			石灰分の溶出	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	材料劣化・ 材質不良		ジャンカ、断面欠損	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			鉄筋の露出、鉄筋腐食	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			鋼製セグメント腐食、継ぎ手ホルトの腐食	都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	漏水・凍結		つらら、側水	山	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
漏水			山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
エフロレッセンス、錆汁			山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
表面付着物		パウチアスライム、煤煙、黒鉛、かび、汚泥	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		ひび割れ	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		隆起、沈下	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
路面・路盤	変形		トンネル軸方向の変形(動揺狂い)	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			排水溝の縁石の転倒	山	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			水盤	山	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
排水溝	流入水		漏水	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			噴泥、沈砂	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			パワチアスライム、汚泥	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
坑口部・開口部	損傷		ひび割れ、食い違い	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			前傾、沈下、移動	山	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			ひび割れ	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
構造変化部※※	損傷		目地切れ、目違い、段差、目開き	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			横断面変形、縦断変形	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			漏水	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
付帯設備	腐食		支持金物の腐食	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			取付部の緩み・脱落	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			浮き、ひび割れ、剥離・剥落	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
補修・補強材	劣化		腐食	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			トンネル周辺の押し出し	山	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			地表面沈下・陥没	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
地山	損傷		トンネル周辺の押し出し	山	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			地表面沈下・陥没	山・都	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
備考																				
																				山・…山岳トンネル(山岳工法によるトンネル)ノ都・…都市トンネル(シールド工法または開削工法によるトンネル)
																				この区分は、構造の概略上比較的生じやすい変状現象を挙げるものであり、区分されていない工法では該当する変状が生じないということではない。
																				※※ 具体的には、既設トンネルと新設トンネルの接合部、トンネルの分岐部、工法の変化部などである。

打音測定では、覆工表面を打撃したときの打診音の音質により、巻厚や覆工背面の空洞の有無を確認する技術が開発されている。図-4.1.8に空洞測定結果の展開図を示す。

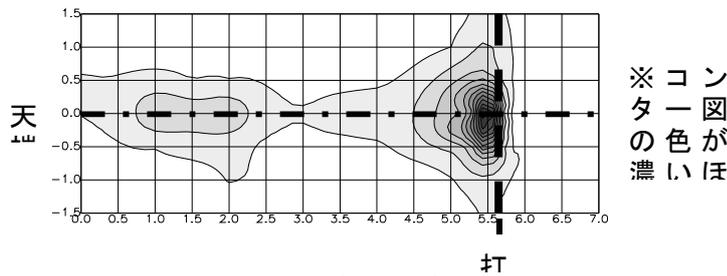


図-4.1.8 空洞測定

③覆工表面撮影

目視観察、部分的な写真撮影を補完する技術として、近年、覆工表面を連続的に撮影することにより連続写真を作成し、さらに、その結果を画像処理することによって変状展開図を作成する技術が確立されつつある。調査の方法には、ラインセンサカメラ（連続操作画像）、スリットカメラ、レーザー、赤外線カメラ、CCDカメラ、パノラマカメラがある。

新技術として、覆工点検システムを紹介する。このシステムは、図-4.1.9に示すように、レーザー光の照射、計測、記録装置を搭載した「レーザー計測車」と「画像処理機」により構成される。「レーザー計測車」は時速2kmでトンネル内を走行しながら、レーザー光の反射量を捕らえ、トンネル壁面の状況を高密度VTRに連続的に記録するものであり、このデータを「画像処理」で処理することにより、ひび割れの幅、長さなどを計測する。

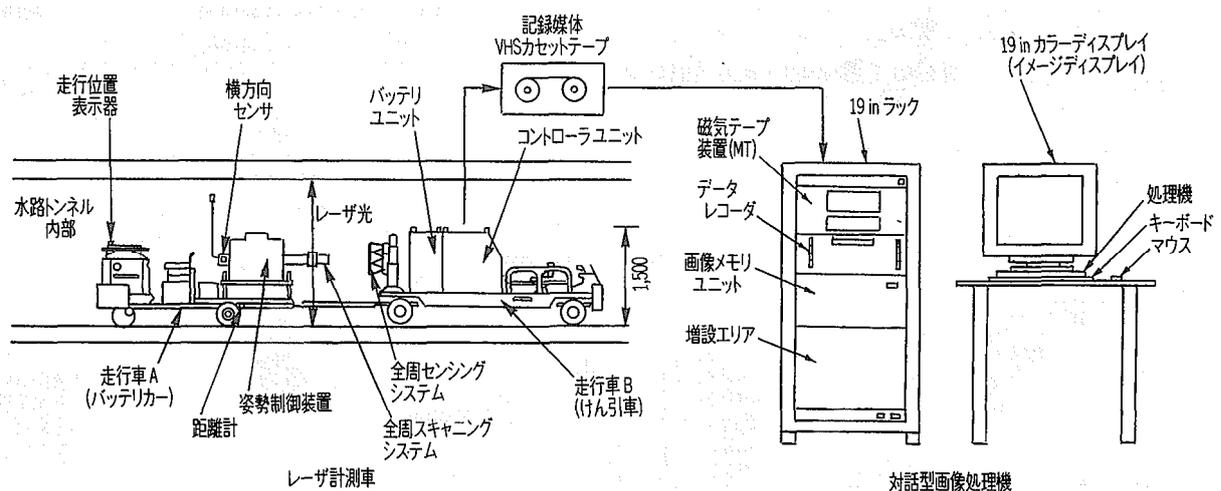


図-4.1.9 トンネル内壁面点検システム⁵⁾

④ひび割れ測定

ひび割れはトンネルの変状現象で最も一般的に見られるものであり、ひび割れの形態、規模、パターンなどを観察することにより荷重のかかり方、変状の進行状況、変状原因などがある程度推定することが可能となる。覆工表面のひび割れ測定に当たってはひび割れ幅、長さ、段差などについてテープやスケールおよびクランクスケールを使用して測定し、変状展

開図としてその分布状況を図示するのが一般的である。

⑤ 覆工変位測定

覆工変位測定は、覆工断面の変形状態を測定することにより、流水断面に対する余裕の確認や作用土圧の方向の推定を可能としたものである。

⑥ 覆工内部および覆工背面調査

覆工コンクリートの巻厚や背面の空洞および背面の地山状況を確認し、変状原因の推定および対策工の設計などに必要な資料を得ることを目的にした調査である。調査の方法には打撃音、超音波、電磁波などによる非破壊検査と、ボーリングにより覆工巻厚と覆工背面の空洞および覆工背面の地山状況、裏込めの有無などについて調べる局所破壊調査がある。表-4.1.7に非破壊調査方法とその項目を示す。

表-4.1.7 非破壊調査方法とその項目⁶⁾

検査法	特徴	主な検査項目
超音波法	周波数20kHz～200kHzの範囲にある超音波を2つの探触子を用いて送受信し、その超音波の伝播速度、共振周波数、回折波の位相等を測定し、コンクリート内部の欠陥を評価する方法	コンクリートの品質（強度・W/C）、ひび割れ、空洞、ジャンカ、コンクリート表面の浮き、剥離等
打音法	コンクリートを打撃して得られる打撃音をマイクロフォン（20Hz～20kHz）で測定し数値化・図化することでコンクリート内部の欠陥を評価する方法	コンクリートの部材厚さ、ひび割れ、背面空洞、浮き・剥離、材料劣化、ジャンカ、コールドジョイント等
衝撃弾性波法	コンクリートを打撃し、打撃地点近傍に設置したセンサにて反射波の到達時間と伝播速度から、部材の厚さや内部の損傷深さを評価する方法	コンクリートの部材厚さ、ひび割れ、内部空洞、浮き・剥離、ジャンカ等
電磁波法 (レーダー法)	コンクリート中に送信された電磁波が、電気的特性の異なる物質の境界で反射波を生じる性質を利用して、電磁波の伝播時間から反射物体までの距離を評価する方法	鉄筋ピッチ、鉄筋かぶり深さ、配管位置等
自然電位法	コンクリート中の鋼材が腐食を生じる活性状態にあるかどうかを診断する方法で、かぶりコンクリートにひび割れが発生するまでの初期段階の診断に有効	鉄筋腐食有無
赤外線法	測定対象物表面から放出される赤外線エネルギーを捉えて画像化し、表面温度の分布状況からコンクリートの内部欠陥を検出する方法で、トンネルで使用する場合には熱源が必要	浮き・剥離、ジャンカ等

新技術として東京電力で適用されている覆工探査システムを紹介する。

このシステムは図-4.1.10に示すとおり、地中レーダー装置およびそれを搭載するための走行装置より構成され、実用化がなされている。以下の特徴を有す。

- ・ 覆工厚は 50cm、空洞深さは 1 m までの探査が可能
- ・ 測定精度は応力解析上必要な ±5cm を確保
- ・ 内径 1.5～8m までの種々の規模のトンネルに適用が可能

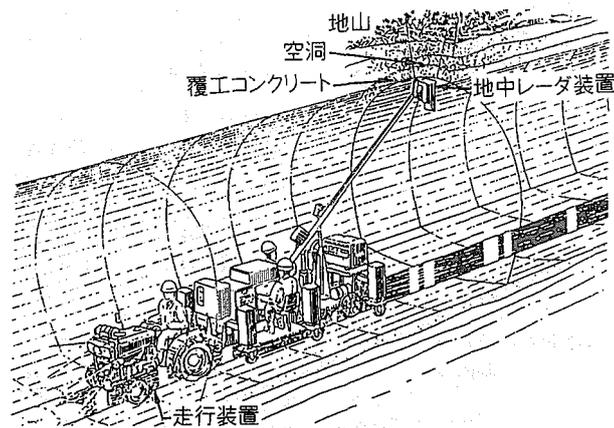


図-4.1.10 トンネル覆工探査システムの概要⁵⁾

⑦ 覆工ひずみ測定

覆工表面にひずみ計を取り付け、発生するひずみを測定するもので、主に近接施工時の影響監視に用いられる。

⑧ 材料試験

覆工コンクリートの材料試験は、覆工コンクリートの強度および材料劣化の有無を調べることを目的に行われる。

⑨ コンクリートテストハンマー

コンクリートの表面をばねのついた鋼棒で打撃し、飛び跳ねる距離（反発値 R）からコンクリートの強度を推定するものである。

(3) 調査診断技術事例

表-4.1.8 に電建協（現日建連）会員各社に依頼したアンケートにより収集した調査診断技術の一覧表を示す。

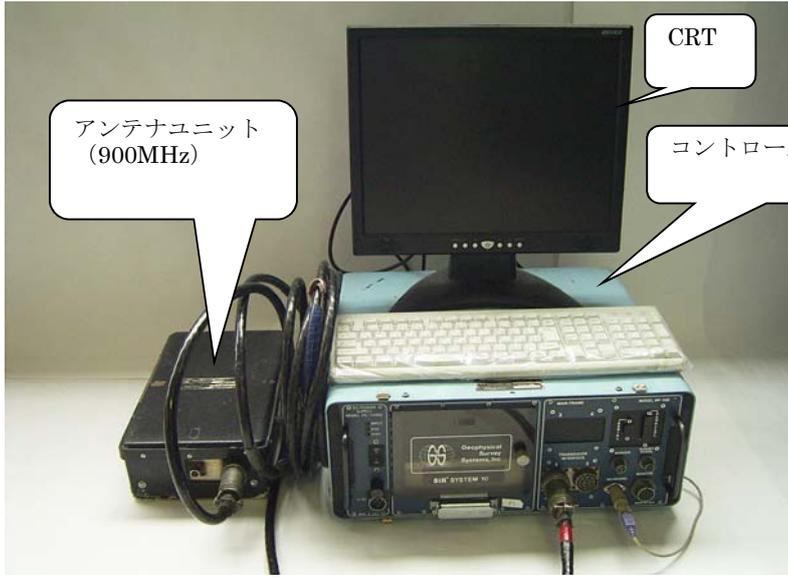
表-4.1.8 アンケートにより収集した調査診断技術

No.	調査対象	名称	掲載頁
1	コンクリート覆工内部 コンクリート覆工背面	既設トンネルの覆工厚及び覆工背面の空洞の測定機器	290
2	コンクリート覆工内部	健コン診断ポータブル	292
3	コンクリート覆工表面 コンクリート覆工内部	赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート構造物の健全度調査	294
4	コンクリート覆工表面 コンクリート覆工内部	コンクリート打音診断装置	296
5	コンクリート覆工背面	管渠周辺空洞調査システム	298
6	コンクリート覆工表面 コンクリート覆工内部	トンネル覆工自動打音調査システム（易打天）	300
7	コンクリート覆工内部	コンクリート切削面の損傷程度の評価方法	302
8	その他	トンネル浅層反射探査（SSRT）	304
9	コンクリート覆工内部	棒形スキャナ	306
10	コンクリート覆工内部	構造物検査用内視鏡	308
11	コンクリート覆工表面	き裂計測システム「KUMONOS」	310
12	コンクリート覆工背面	覆工背面空洞観察記録システム モール・スパイグラス	312
13	コンクリート覆工背面	モール・Mレーダー	314

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対 象 構 造 物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調 査 対 象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ コンクリート（覆工）背面 その他（ ）
調査・診断方法の名称	既設トンネルの覆工厚及び覆工背面の空洞の測定機器
開 発 会 社	株式会社 熊谷組、株式会社 建設企画コンサルタント
開 発 時 期	1993年 9月
特 許 の 有 無	特 許 有 り ・ 出 願 中 ・ 出 願 予 定 ・ 無 し
	実用新案 有 り ・ 出 願 中 ・ 出 願 予 定 ・ 無 し

調査・診断方法（技術） の概要	<p>本探査技術は、電磁波探査法と呼ばれる方法で、電磁波を対象物に放射し、その反射波を計測、解析することにより対象物の内部構造及び、背面状況を知る方法である。送信器から数nsのモノパルス波を鋭い指向性を持ったアンテナに加えると、アンテナより発射されたパルス波は、表面であるものは反射し、その他はコンクリート中へと進んでいく。進行中均一の物質中では減衰しながら進み、空洞・岩盤など電気的特性が異なった物質の境界面に達した際に反射を起こし、一部はさらに透過する。構造物を構成する材質が異なるに伴い電気的特性も異なる。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<p>主な特徴は、下記のとおりです。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 構造物を破壊せずに、覆工厚及び覆工背面の空洞の位置・規模が迅速に測定・把握できる。 (2) 連続的に縦断方向、横断方向に調査ができる。 (3) 探査深度は、アンテナ（中心周波数）を変更することにより、対応できる。 (4) 支保工間隔の把握ができる。 (5) 鉄筋のかぶり厚把握ができる。 (6) 覆工背面の崩積土区間の把握ができる。
調査・診断方法（技術） の手順	<p>下記手順にて実施します。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 測線・マーキング位置設定 測線位置は、覆工巻厚不足や空洞が比較的存在し易いクラウン部（断面形状により1～3測線）とし、巻厚不足や空洞位置等を特定するために、数m間隔でマーキングを入力する。 (2) 機器搬入・組立て アンテナは作業台車上で保持して覆工面を走査するとし、本体、CRT、電源等は別途作業台車に搭載して、アンテナとケーブルで接続して電磁波レーダー探査装置の組立てを行う。 (3) 機器調整 アンテナを測線上で移動させ、覆工の減衰特性に合わせて計測機器の調整を入念に行う

<p>調査・診断方法（技術） 概要図</p>	<p>添付のとおり、主な構成はアンテナ、コントロールユニット、CRT、接続ケーブル、キーボード及び供給電源である。</p> 
<p>適用条件</p>	<p>適用条件は、以下のとおりです。</p> <p>(1) 自然条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・覆工表面が漏水等により、流水状態でないことが望ましい。（電磁波の透過が著しく低下するため） ・覆工の背面が地下水により満水状態の区間は、覆工厚は明瞭であるが、空洞の有無および、空洞深の判読は困難である。 <p>(2) 現場条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・覆工表面及び覆工内部に金属物（特に鉄板等）が存在しないこと。（スチールファイバー及びダブル鉄筋区間には、適用不可） ・覆工表面に電源ケーブル、パイプ等の突起物が存在しないこと。 <p>(3) 技術提供可能地域</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測定機材が搬入不可能な施設
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p><適用実績></p> <ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省 19件（建技評第92203号） ・その他公共機関 14件 ・民間 2件 <p><適用時期></p> <p>適用条件以外は、随時対応可能</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネルの覆工厚及び覆工背面の空洞の測定機器 トンネル覆工レーダ探査装置 建技評第92203号 ・電磁波探査法による覆工測定システムの開発 第48回年次学術講演会 土木学会 平成5年9月 ・トンネル覆工レーダ探査装置の開発 第4回建設ロボットシンポジウム 平成6年7月

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ コンクリート（覆工）背面 その他（ ）
調査・診断方法の名称	健コン診断ポータブル
開発会社	佐藤工業株式会社
開発時期	2008年
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

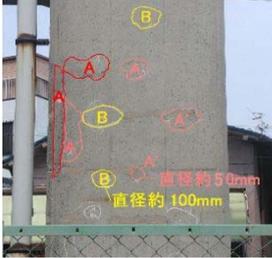
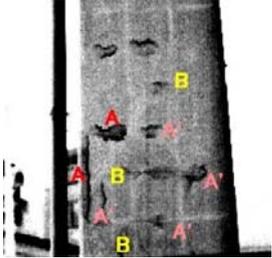
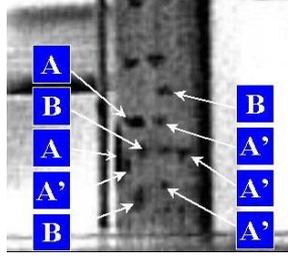
調査・診断方法（技術） の概要	本技術は、打音法を利用したコンクリート表層部の健全性を評価するシステムである。打音法は従来の叩き点検と異なり、ハンマーで叩いた音をマイクロホンで録音し、分析評価する手法のため、経験に頼らずに客観的な結果が得られ、さらに探査性能も向上している。打音法については、日本非破壊検査協会の基準NDIS2426-3になっている。
調査・診断方法（技術） の特徴	板の曲げ振動の大きさと板の厚さを推定する方法である。薄い板の場合は大きく振動し、厚い板の場合は小さく振動する。板の厚さと振動の大きさの関係は、曲げ板のインピーダンス式を用いて理論的に算出できる。本打音法では、曲げ振動をハンマーで起こし、振動はマイクロホンで捉えた音の振幅で評価する。はく離などの欠陥がある場合は、得られる部材厚さが薄くなることから欠陥を評価することが可能となる。さらに、インパクトハンマーという打撃力を測定できるハンマーを用いていることで、打撃力を基準化し、個人の打撃力の違いに左右されずに評価することができる。 なお、パソコンのバッテリーから電源を確保していることから、外部電源は不要である。
調査・診断方法（技術） の手順	調査における手順は以下のとおり。 ①調査位置の選定 調査位置は、事前に発注者と協議を行いある程度選定しておく。調査中に発見した異音部については別途調査を行う。 ②調査準備 調査準備は、打撃位置のマーキングおよび機器の準備である。 ③調査 マーキング位置の打撃および収録を行う。現場でのキャリブレーション（初期値）は不要である。パソコン上には、打撃した瞬間に推定部材厚としてデジタル値による結果が出力される。収録されたデータはパソコン上に格納され、後日、コンター図等の作成を行う。 ④片付け 健コン診断ポータブルその他使用した機材の片付けを行う。 ⑤簡易報告（随時） 現場にて発注者立会いのもとであれば、簡易的に結果報告を行う。 ⑥分析および報告書作成 デジタル値をもとに、コンター図作成と報告書作成を行う。

<p>調査・診断方法（技術） 概要図</p>	
<p>適用条件</p>	<p>適用条件は以下のとおり。 ①自然条件 降雨・降雪により機器が極度に濡れる場所での調査は不可。 ②現場条件 特になし。 ③適用範囲 コンクリート構造物全般。コンクリートの種類は問わない。内部欠陥・変状までの深さが25cmまで。 ④適用出来ない範囲 コンクリート表面から25cmより深い欠陥や変状。 コンクリート強度が著しく低い場合や高い場合。 コンクリート壁面等からの漏水が激しくセンサーに水がかかる場所。</p>
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>共同研究：コンクリート構造物の劣化診断に関する研究委員会（東京大学生産技術研究所）など他12件 調査関連：トンネル覆工調査、道路橋床版調査など他45件</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>①（社）日本非破壊検査協会：NDIS 2426-3 コンクリート構造物の弾性波法による試験方法－第3部：打音法，平成21年6月 ②伴 享，歌川 紀之，北川 真也，森濱 和正：打音法によるRC構造物の部材厚さの評価について－振幅ならびに周波数を用いた方法－，土木学会第58回年次学術講演会概要集，V-386，pp771-772，2003.9 ③北川真也，鍋谷雅司，歌川紀之：打音法を利用したコンクリート表層部健全性診断機器の開発，土木学会第65回年次学術講演会概要集，VI-158，pp315-316，2010.9</p>

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ コンクリート（覆工）背面 その他（ ）
調査・診断方法の名称	赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート構造物の健全度調査
開発会社	大日本土木（株）
開発時期	2004年 7月
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 <input type="radio"/> 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 <input type="radio"/> 無し

調査・診断方法（技術） の概要	<p>コンクリートが日射など外部からの熱エネルギーによって暖められると、はく離や内部欠陥が存在する位置では空隙層の断熱作用によって健全部よりも高い温度を呈する。赤外線サーモグラフィ法は、このコンクリート表面の温度の違いを赤外線カメラで撮影することによって測定し、コンクリートのはく離などの変状・欠陥を検出するものである。</p> <p>赤外線カメラは調査対象物に接触することなく離れたところから撮影するだけで物体の表面温度を測定できる。温度情報は色調あるいは濃淡の変化に置き換えられて画像表示される。この温度画像によって、はく離等の欠陥の大きさ、位置を測定することができる。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<p>携帯型の赤外線カメラ（後述）を使うことによって簡単に持ち運び効率よく調査することができる。当調査法の特徴をまとめる。</p> <p>①目視では発見することが難しい遠く離れた位置の欠陥を足場を用いることなく検出できる。</p> <p>②非破壊で非接触なため、広範囲の調査を短時間で行うことが可能である。</p> <p>③画像データなので異状箇所の位置や大きさが一目で把握でき、記録としてそのまま保存することができる。</p> <p>④調査対象物を供用したままの状態で行える。</p>
調査・診断方法（技術） の手順	<p>①資料調査 現地での調査に先立って、設計図書、施工計画書、維持管理記録などを参照して、調査対象構造物の形状寸法・構造様式・使用材料、劣化状況や使用状況、立地条件、周辺環境等に関して情報を収集し、調査計画を策定する。</p> <p>②目視・打診 赤外線サーモグラフィ法の精度確保のために、調査範囲の一部または全部について目視（双眼鏡、デジタルカメラ、近接目視）あるいは打音調査（たたき落としを含む）を実施することがある。</p> <p>③赤外線画像の撮影 赤外線カメラによって熱画像を撮影する。対象構造物の構造・形状、調査対象部位が面する方位、撮影時期・時間、気象条件等に留意する。</p> <p>④データ処理、画像処理 赤外線画像の情報から剥離・剥落や内部欠陥等の劣化損傷箇所の位置図の作成（たとえば、デジタルカメラによる可視画像との合成）などの処理を行う。</p> <p>⑤結果の整理 劣化損傷の範囲・程度を把握し、補修計画策定の資料や維持管理記録とする。</p>

<p>調査・診断方法（技術） 概要図</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">  <p>赤外線カメラ</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>赤外線カメラの仕様</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td>検出素子</td><td>マイクロボロメーター</td></tr> <tr><td>画素数</td><td>320×240=76,800</td></tr> <tr><td>検知波長</td><td>8～14μm</td></tr> <tr><td>最小検知温度差</td><td>0.1℃(30℃黒体にて)</td></tr> <tr><td>測定温度範囲</td><td>-20～300℃</td></tr> <tr><td>瞬時視野角</td><td>0.7mrad(望遠レンズ装着時)</td></tr> <tr><td>外形寸法・重量</td><td>115×142×220mm、約2kg</td></tr> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>はく離の可視画像</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>はく離の赤外線画像(1)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>はく離の赤外線画像(2)</p> </div> </div> <p>A: 離れたところからでも目視で確認できるはく離 A': 近接位置からの目視で確認できるはく離 B: 打音調査でしか確認でき</p> <p>黒色が高温部。目に見えないランクBのはく離も画像化されている。</p> <p>35m離れたところから撮影した赤外線画像。5cm大のはく離でも検出が可能</p>	検出素子	マイクロボロメーター	画素数	320×240=76,800	検知波長	8～14μm	最小検知温度差	0.1℃(30℃黒体にて)	測定温度範囲	-20～300℃	瞬時視野角	0.7mrad(望遠レンズ装着時)	外形寸法・重量	115×142×220mm、約2kg																														
検出素子	マイクロボロメーター																																												
画素数	320×240=76,800																																												
検知波長	8～14μm																																												
最小検知温度差	0.1℃(30℃黒体にて)																																												
測定温度範囲	-20～300℃																																												
瞬時視野角	0.7mrad(望遠レンズ装着時)																																												
外形寸法・重量	115×142×220mm、約2kg																																												
<p>適用条件</p>	<p>調査に適する条件は、気象(気温の日較差や日照)のほか、構造物の形状・寸法、調査対象部位が面している方位などによって異なる。下表に適用条件の概要をまとめ</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th rowspan="2">主な熱源</th> <th colspan="2">観測に適する条件</th> <th rowspan="2">留意点</th> </tr> <tr> <th>時間帯</th> <th>季節</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">柱梁</td> <td>日陰</td> <td>気温</td> <td>正午前後</td> <td>春～秋: 除梅雨</td> <td>天候、気温日較差</td> </tr> <tr> <td>日向</td> <td>日射</td> <td>限定なし</td> <td>特になし</td> <td>天候、日照</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">高欄地覆</td> <td>東側</td> <td>日射</td> <td>午前</td> <td>特になし</td> <td>天候、日照</td> </tr> <tr> <td>西側</td> <td>日射</td> <td>午後</td> <td>特になし</td> <td>天候、日照、背面の熱条件</td> </tr> <tr> <td>南側</td> <td>日射</td> <td>正午前後</td> <td>冬がより適</td> <td>天候、日照、背面の熱条件</td> </tr> <tr> <td>北側</td> <td>気温</td> <td>朝、夕</td> <td>春～秋: 除梅雨</td> <td>天候、気温日較差、背面の熱条件</td> </tr> <tr> <td>床版</td> <td>気温</td> <td>正午前後</td> <td>春～秋: 除梅雨</td> <td>天候、気温日較差</td> </tr> </tbody> </table>	部位	主な熱源	観測に適する条件		留意点	時間帯	季節	柱梁	日陰	気温	正午前後	春～秋: 除梅雨	天候、気温日較差	日向	日射	限定なし	特になし	天候、日照	高欄地覆	東側	日射	午前	特になし	天候、日照	西側	日射	午後	特になし	天候、日照、背面の熱条件	南側	日射	正午前後	冬がより適	天候、日照、背面の熱条件	北側	気温	朝、夕	春～秋: 除梅雨	天候、気温日較差、背面の熱条件	床版	気温	正午前後	春～秋: 除梅雨	天候、気温日較差
部位	主な熱源			観測に適する条件			留意点																																						
		時間帯	季節																																										
柱梁	日陰	気温	正午前後	春～秋: 除梅雨	天候、気温日較差																																								
	日向	日射	限定なし	特になし	天候、日照																																								
高欄地覆	東側	日射	午前	特になし	天候、日照																																								
	西側	日射	午後	特になし	天候、日照、背面の熱条件																																								
	南側	日射	正午前後	冬がより適	天候、日照、背面の熱条件																																								
	北側	気温	朝、夕	春～秋: 除梅雨	天候、気温日較差、背面の熱条件																																								
床版	気温	正午前後	春～秋: 除梅雨	天候、気温日較差																																									
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>1) 適用実績 『平成17年度鉄道施設・車両の特別建設工事 土木施設の保全防災工事のうち大阪線俊徳道～長瀬間赤外線カメラによる高架橋健全度調査工事』など。 調査対象として他に ①配水池タンクRCドーム屋根内面のはく離 ②モルタル吹きつけのり面の安全性評価 ③建築物外壁のはく離</p> <p>2) 調査精度 右表に、あらかじめ行った打音調査結果と赤外線調査結果を比較することによって求めた調査精度を示す(高架橋コンクリートの例)</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td>(1) 打音調査で検知されたはく離</td><td>47箇所</td></tr> <tr><td>(2) 赤外線調査で検出されたはく離</td><td>50箇所</td></tr> <tr><td>(3) (1)のうち、赤外線調査で検出された箇所</td><td>38箇所</td></tr> <tr><td>検知率=(3)/(1)×100</td><td>80.9%</td></tr> <tr><td>見逃し率=100%-検知率</td><td>19.1%</td></tr> <tr><td>的中率=(3)/(2)×100</td><td>76.0%</td></tr> <tr><td>見誤り率=100%-的中率</td><td>24.0%</td></tr> </table>	(1) 打音調査で検知されたはく離	47箇所	(2) 赤外線調査で検出されたはく離	50箇所	(3) (1)のうち、赤外線調査で検出された箇所	38箇所	検知率=(3)/(1)×100	80.9%	見逃し率=100%-検知率	19.1%	的中率=(3)/(2)×100	76.0%	見誤り率=100%-的中率	24.0%																														
(1) 打音調査で検知されたはく離	47箇所																																												
(2) 赤外線調査で検出されたはく離	50箇所																																												
(3) (1)のうち、赤外線調査で検出された箇所	38箇所																																												
検知率=(3)/(1)×100	80.9%																																												
見逃し率=100%-検知率	19.1%																																												
的中率=(3)/(2)×100	76.0%																																												
見誤り率=100%-的中率	24.0%																																												
<p>参考文献・資料等</p>	<p>金田甚右門, 藤巻恵, 畑一民, 坂井隆之: コンクリート構造物の健全度調査における赤外線サーモグラフィ法の適用性について, 土木学会, 土木建設技術シンポジウム2004論文集p315～316, 平成16年7月</p>																																												

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面・コンクリート（覆工）内部・コンクリート（覆工）背面 その他（ ）
調査・診断方法の名称	コンクリート打音診断装置
開発会社	株式会社フジタ、高環境エンジニアリング
開発時期	2001年 月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

調査・診断方法（技術） の概要	<p>トンネル覆工などのコンクリート構造物の打音検査では、ハンマーで叩いたときの音が清音か濁音かを検測者が聞き分けることによって、欠陥の有無を判定しているが、熟練を要するほか、人の聴覚に依存しているため、検測者による誤差が生じやすい。</p> <p>本装置はこのような打音検査を定量的に行い、検測における誤差を最小にするために使用する。</p> <p>本試験装置は、一定の力でコンクリートを叩く自動打撃装置と、マイクロホンで集音した打撃音の周波数解析から欠陥の有無を判定する打音診断装置で構成されており、打音検査を定量的に行うことができる。小型軽量でバッテリー駆動のため、野外においても簡単に打音検査が出来る。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<ol style="list-style-type: none"> ① コンクリート内の空洞を深さ50cm程度まで検出可能である。 ② 内蔵の判定プログラムにより、正常・注意・空洞の判定が出来る。 ③ 判定には対象周波数領域内でのピークスペクトル値と尖り度（ピーク値/平均値）を基準値として使用する。 ④ 3種類の判定基準値を画面で設定できる。 ⑤ 1000個の波形データを収録できるため、検測後の報告書作成、詳細解析等に活用できる。
調査・診断方法（技術） の手順	<p>管理者の点検マニュアルに準じるが、実施方法の一例を示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 内部の状態が確実に判定できるハンマーを用いて一箇所当たり3回以上たたく。 ② 打撃間隔は、50cm以内を目安に行う。 ③ 対象となるひび割れからおおむね20cm以内の範囲で実施する。 ④ 濁音が生じたときはさらに密に打音検査を実施し、清音を発する位置との境界を特定する。 ⑤ 変状展開図を作成する。 ⑥ 周波数の特性（尖り度）の判定条件を設定することで、打撃時に健全の有無を判定。 ⑦ 収集した波形データおよび周波数特性をパソコンに転送し、詳細な分析が可能。

調査・診断方法（技術）

概要図



コンクリート打音診断装置



自動打撃装置

装置仕様

機器名称	型式	機器仕様	
コンクリート打音診断装置	FSA-1000	診断方式	スペクトルのピーク値及び上限、下限周波数
		信号入力	サンプリング 50kHz、1024点、20msec.
		データの記録	フラッシュメモリー内蔵、1000波形の信号およびスペクトルの記録
		LED表示画面	判定結果の表示（正常、注意、空洞）320mm×240mm
		データ通信	RS-232C、Windows95、98対応ソフト使用
		ブザー警報	電子ブザー
		電源方式	DC12VまたはAC100V
		寸法、重量	280mm×190mm×51mm、1.9kg
自動打撃装置	TT-500	打撃周期	2回/秒
		打撃力	1500N(15kg)、鋼球25φ使用
		マイク周波数	40Hz～16,000Hz
		ケーブル	長さ 3m
		寸法、重量	160mm×220mm×103mm、1.8kg
インパクトハンマー	IM-305	サイズ	鋼球30φ、柄の長さ500mm、手動打撃検査時使用
マイクロホン	ECM-10	周波数	40Hz～16,000Hz
ACアダプター	PA-08	入力	AC100V 50Hz/60Hz、
バッテリー（充電器）	BQ-100	種類	小型ニッケル鉛蓄電池 DC12V 6.5Ah
		連続使用時間	自動打撃装置使用時 4時間
		充電時間	約10～12時間
プリンター	MP-04	印字内容	波形データの印字（832ドット）用紙幅112mm

適用条件

- ①構造物の部位を選ばず適用可能である。
 ①コンクリート表面近傍の剥離・空洞・ひび割れを検出する
 ②覆工厚さ300～400mmまでのコンクリート背面の空洞、コンクリート中の空洞の検出できる。
 ③鋼板背面のコンクリート充填有無の判定が可能である。
 ④補修・補強工法の剥離診断などに適用できる。
 ⑤検査者が打撃部を検査対象に設置するため、高所の場合は足場や仮設、作業車が別途必要となる。
 ⑥コンクリート表面に汚れや付着物がある場合は除去することが、コンクリート表面が湿潤である場合は検査は可能であるが、雨天時や著しい漏水がある場合は、打音診断装置の養生が必要となる。

適用実績

および

適用時期

- ①2001年1月、日本道路公団、覆工コンクリート供試体に対する性能比較試験・調査における適用（トンネル覆工コンクリートの非破壊検査手法に関する性能把握と今後の品質管理手法への適用可否を検討において試験的に適用）
 ②2001年、東京大学生産技術研究所、コンクリート構造物の劣化診断に関する研究における適用
 ③2003年～2006年、水路トンネル覆工コンクリートの定量的評価手法の検討における適用

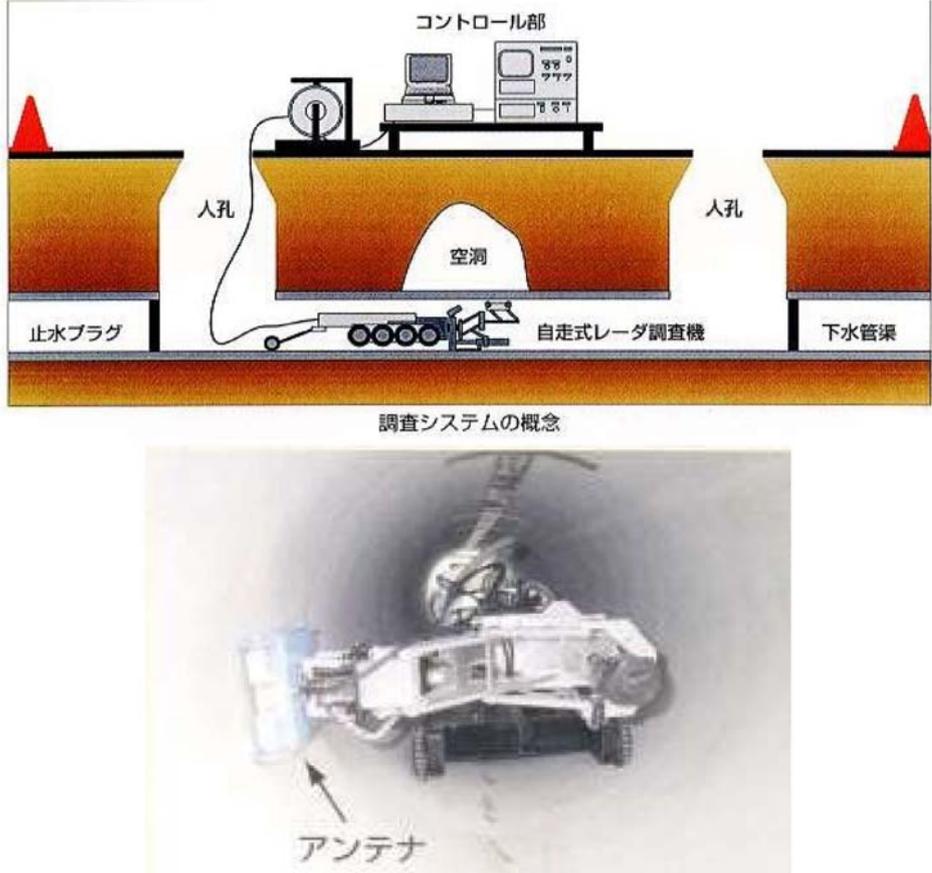
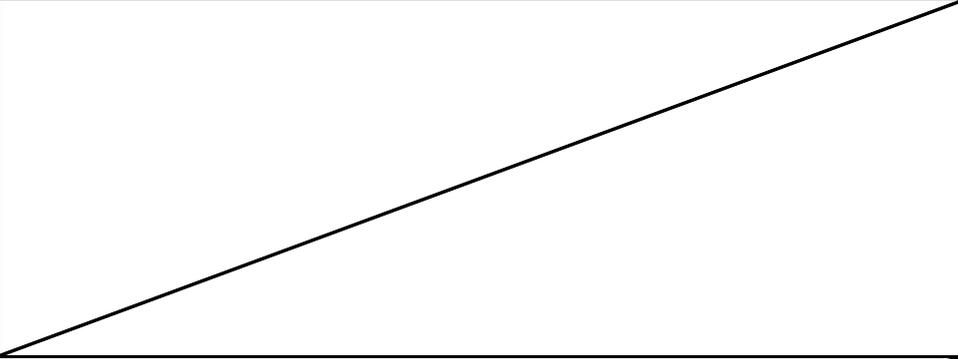
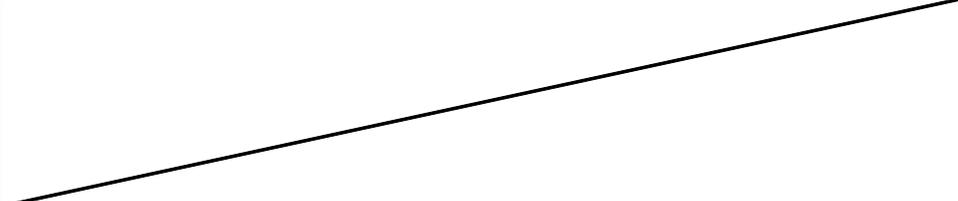
参考文献・資料等

なし

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法(技術)に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設(発電機基礎、その他())
調査対象	コンクリート(覆工)表面 ・ コンクリート(覆工)内部 <u>コンクリート(覆工)背面</u> その他()
調査・診断方法の名称	管渠周辺空洞調査システム
開発会社	東京都下水道局・鹿島建設・リテックエンジニアリング共同開発
開発時期	年 月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

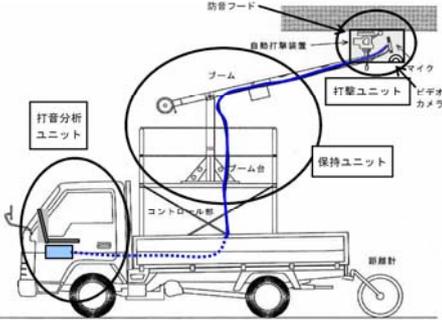
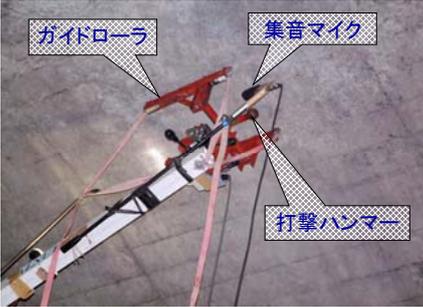
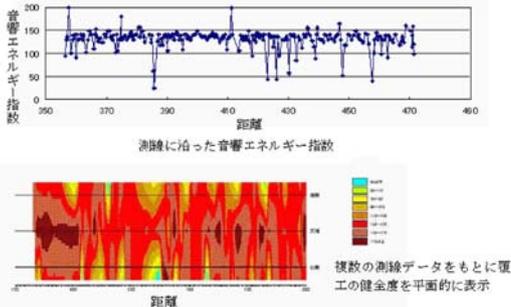
調査・診断方法(技術)の概要	調査方法は、空洞部調査方法として従来から存在する電磁波探査である。電磁波の入射・反射・回析状況等から、空洞の存在や異常部を検出する。
調査・診断方法(技術)の特徴	本システムは、電磁波レーダを搭載して管内を自走する調査機と、地上のコントロール部とで構成されている。従来の地上から行う地中レーダ調査では、調査深度に限界があったり、地表面と管渠の間に埋設物があると調査が困難であった。本システムは、小型自走式調査機を管内に搬入し遠隔操作するので、人が入れない小口径管周辺の空洞や、土被りが大きく地表から探査できない場合に適用可能である。 また空洞検知性能の高いレーダアンテナと併せて、空洞を自動抽出するソフトを開発したことにより、容易に空洞調査を実施することが出来る。
調査・診断方法(技術)の手順	1.機材搬入 自走式レーダ調査機を調査範囲付近に搬入。 2.機械操作 調査範囲まで調査機を遠隔操作。移動はTVカメラによる画像を確認しながら行う。 3.レーダセット・測定 調査対象範囲、管渠内側にレーダアンテナを密着させる。電磁波を発生させ、入力波・反射波等を計測する。 4.評価 測定したレーダ画像から自動的に空洞を抽出。現地パソコンモニターにて確認可能。空洞の位置や規模を評価する。

<p>調査・診断方法(技術) 概要図</p>	 <p>調査システムの概念</p>
<p>適用条件</p>	<p>管径Φ250～800mmに対応可能。 レーダアンテナ部は、回転機構を有するので天端など管内360°の管周計測に対応可能。</p>
<p>適用実績 および 適用時期</p>	
<p>参考文献・資料等</p>	

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ コンクリート（覆工）背面 その他（ ）
調査・診断方法の名称	トンネル覆工自動打音調査システム（易打天）
開発会社	安藤ハザマ、ダイヤコンサルタント、ウォールナット
開発時期	2002年
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

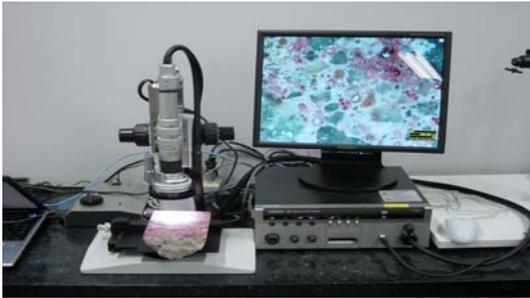
調査・診断方法（技術） の概要	<p>本技術は、新開発の自動打撃装置、音響エネルギー分析装置を保持ブームに取り付けることにより、打音調査を自動化し、迅速で客観的な調査を実現したトンネル覆工自動打音調査システムである。</p> <p>人力によるハンマー打撃で対応していた従来の打音調査に対して、本技術は、打撃エネルギーを一定に保ちながら、トンネル軸方向に連続調査を行い、集音マイクにより取得された打撃音を分析して、覆工の健全性を評価するものである。</p> <p>本技術の活用により、客観的・定量的な評価や迅速な調査によるコスト縮減が期待できる。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人力によらず自動打撃装置で覆工を一定の打撃力で打撃する ・ 打撃音を解析し、覆工の健全性を数値（音響エネルギー指数）で評価する ・ 測定データ（音響エネルギー指数）をリアルタイムに出力し、その場で評価が可能 ・ 打撃音データの保存が可能 ・ 複数測線の調査結果をもとに覆工健全性の展開図を作成 ・ レーダー調査との併用が容易で、覆工の表層および内部の情報から総合的な評価が可能 ・ 専用調査車両は不要で、小断面～大断面トンネルの調査に適用可能 ・ 迅速な調査が可能（時速：1～2km/hr、打点間隔：30～45cm、適用範囲：側壁～天端） ・ 少人数での調査が可能で大幅な省力化を実現し、苦渋作業からも解放
調査・診断方法（技術） の手順	<p>1. 現地作業</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 機材は分解して現地付近（規制区域内坑口付近、最寄りの駐車スペースなど）までワゴン車等で陸送する。 ② 調査用車両に調査システムを取り付ける。 ③ 調査測線を設定する。 ④ 参照用データとなるデータを側壁部等で取得する。 ⑤ 打撃ユニットの微調整を行う。 ⑥ 各測線ごとに順次調査を実施する。 ⑦ 調査終了後、システムを分解・撤去する。 <p>2. 後処理</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 取得データの確認 ② 前処理（無効データ等の除去） ③ 解析 ④ 展開図の作成 ⑤ 報告書の作成

<p>調査・診断方法（技術） 概要図</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>自動打音調査システム構成例</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>調査実施状況</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>打撃ユニット</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>調査結果出力例</p> </div> </div>
<p>適用条件</p>	<p>①自然条件 ・ 通常の使用環境（温度：0～40℃、湿度：20～80%）であれば対応可能</p> <p>②現場条件 ・ ハンマーによる打撃に耐えられる強度、厚さを有する覆工コンクリート ・ トンネル寸法：高さ1m～10m（使用する移動台車および保持ユニットにより調整する） ・ トンネル形状：一般のトンネル（馬蹄形、アーチ断面）、ボックスカルバート等に適用可能 ・ 一般の供用下の騒音・振動条件での調査可能 ・ 覆工表面形状に著しく凹凸がある場合は、正確な測定ができない場合がある</p>
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>①適用実績：既設道路トンネル 適用時期：建設後30年以上経過</p> <p>②適用実績：新設歩道トンネル 適用時期：竣工時</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>・ 笠、小泉、稲垣：トンネル覆工の自動打音調査システムの開発、土木学会トンネル工学研究 論文・報告集、vol. 13、pp. 343-348、2003. 11. ・ 武石、小泉、新：自動打音調査システム「易打天」、平成16年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集、pp. 203-208、2005. 1.</p>

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

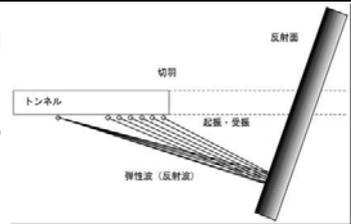
対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ <u>コンクリート（覆工）内部</u> ・ コンクリート（覆工）背面 その他（ ）
調査・診断方法の名称	コンクリート切削面の損傷程度の評価方法
開発会社	株式会社フジタ
開発時期	2004年
特許の有無	特許 有り ・ <u>出願中</u> ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 <u>無し</u>

調査・診断方法（技術） の概要	<p>トンネル覆工等のコンクリート構造物の補修・補強工事において、劣化部分をはつり処理し、新たなコンクリートやモルタルの打継ぎを行うケースは多く、一般的にはつり処理として人力切削や各種機械的切削工法が実施されている。しかし、切削工法によっては、切削後の既存コンクリートに損傷を与え、新旧コンクリートの一体化性状を損なう場合があることが報告されている。</p> <p>本調査法は、コンクリート表面のマイクロクラックの発生状況を観察することにより、既存コンクリートの損傷程度を把握することを目的としている。各種切削工法による損傷の程度を事前に把握して、新旧コンクリートの打継ぎ部の健全性を評価し、合理的で経済的な切削方法を選定できる。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<p>本調査法の特徴を、以下に示す。</p> <p>①コンクリート切削面に存在するマイクロクラックの発生範囲、長さや幅を把握できる。</p> <p>②各種切削方法とその損傷の程度を把握・比較することで、合理的な切削方法を選定できる。</p> <p>③切削により生じた損傷だけでなく、乾燥収縮や水和熱、経年劣化により生じたマイクロクラックの状況を把握しておくことができる。</p> <p>④コンクリート中のマイクロクラックは顕微鏡では観察困難であるが、特殊な探傷液を塗布することにより、マイクロクラックを浮かび上がらせ、容易な観察が可能となる。</p>
調査・診断方法（技術） の手順	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>調査方法のフロー</p> <pre> graph TD A[切削作業の実施] --> B[モルタル塗布] B --> C[コア採取] C --> D[観察用試験片切断] D --> E[コア断面鏡面研磨] E --> F[コア断面探傷液塗布] F --> G[コア断面顕微鏡観察] G --> H[マイクロクラック顕微鏡観察] </pre> </div> <div style="text-align: center;"> <p>観察領域の概念図</p> </div> </div>

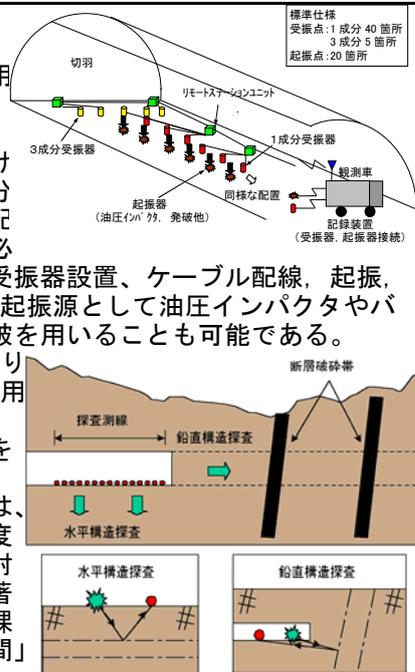
<p>調査・診断方法（技術）</p> <p>概要図</p>	 <p>顕微鏡観察の状況</p>  <p>マイクロクラックの発生状況</p>
<p>適用条件</p>	<p>マイクロクラックの観察には、平滑な面を持つコンクリート試料が必要である。そのため、既設構造物からコアまたは試験片を採取して、観察を行う。</p>
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>・橋脚におけるマイクロクラックの発生状況と劣化コンクリートの切削作業に伴う損傷程度の評価検討業務（受託研究、2件）</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>1) 藤倉裕介、青景平昌、中野浩之、渡部幸浩：補修・補強工事に伴うコンクリート切削面の損傷程度に関する実験的検討、日本構造物診断技術協会、構造物の診断と補修に関する第17回技術・研究発表会論文集、pp. 54-60、2005. 9 2) 藤倉裕介、青景平昌：補修・補強工事におけるコンクリート切削面の損傷程度が打ち継ぎ後の付着強度に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 28、2006. 7</p>

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 その他（ ））
工事種類	補修 ・ 補強 ・ 改築 ・ その他（増設）
工法（技術）名称	トンネル浅層反射探査（SSRT）
開発会社	株式会社フジタ、株式会社地球科学総合研究所
開発時期	平成 13年 10月
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

工法（技術）の概要	<p>トンネル浅層反射法探査（SSRT）は、トンネル坑内において弾性波反射法を実施し切羽前方地質を予測する手法であり、原理的にはボーリング孔を利用した弾性波探査法であるVSP(Vertical Seismic Profiling)技術をトンネル坑内に応用したものである。トンネル坑内弾性波反射法とは、図に示すようにトンネル坑内において起振し、弾性波を岩盤内に伝播させ、トンネル切羽前方およびトンネル周辺に存在する弾性波速度の境界面で反射した弾性波（反射波）を同じくトンネル坑内に設置した受振器により受振し、地質状況、特に断層破碎帯の位置や規模を把握する探査法である。トンネル坑内弾性波反射法には主なものとしてTSP（スイス・アンベルグ社製）とトンネルHSP（旧建設省土木研究所と民間数社が共同開発）が挙げられる。SSRTも原理的にはTSPやHSPと同様にVSPを応用した手法であるが、TSP、HSPがともに起振源が発破に限定されるのに対し、SSRTは非爆薬振源が利用可能であることが特徴である。受振器、測定配置および解析手法などは各手法で多少異なり、その相違点が各手法の特徴となっている。</p> 
-----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

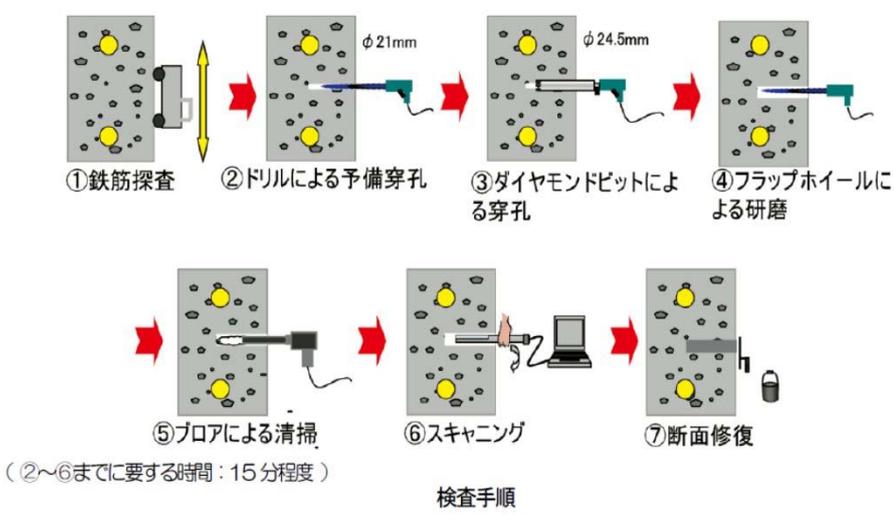
工法（技術）の特徴	<p>①発破使用が制限される区域での探査が可能である。 ②硬質な岩盤はもとより、軟弱地盤や坑口部、低土被り区間での探査が可能である。 ③切羽後方の探査も可能なため、掘削実績と対比することで、切羽前方をより精度よく評価することが可能である。 ④地山状況に応じた解析方法を用いることにより、多角的に地盤の評価が可能である。</p>
-----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

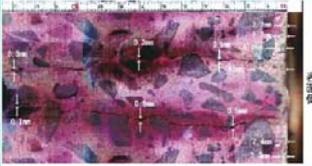
施工方法	<p>SSRTは図に示すように、受振器を掘削底盤に一定間隔に配置し、受振器の近傍を順次起振していく多点起振・多点受振の測定配置を採用する。受振器はトンネル軸方向に100Hz上下動1成分受振器を、最も切羽側のトンネル横断方向に10Hz 3成分受振器を設置する。坑内における標準的な測定では、1成分受振器40点、3成分受振器5点、起振点20点を測線長約60m区間に配置する。本手法は発破孔・受振孔を削孔する必要がないため測定が簡便であり、作業時間は受振器設置、ケーブル配線、起振、片付けを1日弱で可能である。なお、本手法は起振源として油圧インパクトやバイブロサイスのような非爆薬振源のほか、発破を用いることも可能である。</p> <p>解析方法は図に示すように、CMP重合法により探査測線直下の大局的な水平構造を、VSPを応用した処理により切羽前方の鉛直構造を把握し、両者を総合的に判断して切羽前方の地質構造を推定する。</p> <p>抽出された反射面の切羽前方での出現位置は、反射面到達時間と探査測線区間の弾性波速度を乗じて算出される。反射面の評価方法は反射面の分布状況より、「反射面が多い区間」を著しい地山変化、すなわち破碎帯と考え施工上課題となる区間と想定し、「反射面が少ない区間」は岩質が一様で安定した区間と想定する。</p> 
------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>施 工 概 要 図</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>油圧インパクト</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>油圧インパクト起振状況</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>受振器設置状況</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>観測車内:測定状況</p> </div> </div>		
<p>適 用 条 件</p>	<p>特に制約条件はない。</p>		
<p>施 工 実 績 お よ び 施 工 時 期</p>	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> 2005 中日本高速道路(株) 2005 国土交通省 2004 和歌山県 2003 日本道路公団 2001 国土交通省 2001 京都府 2001 鳥取県 2000 広島高速道路公社 1998 埼玉県 </td> <td style="vertical-align: top; padding-left: 20px;"> 第二東名高速道路島田第一トンネル下り線工事 三遠南信別所トンネル工事 高田相賀線仮称高田1号トンネル 第二東名高速道路静岡第一トンネル 下諏訪・岡谷バイパス長地トンネル 一般国道372号天引トンネル 主要地方道鳥取鹿野倉吉線三朝トンネル 広島高速4号線己斐トンネル 皆野寄居バイパス美の山トンネル </td> </tr> </table>	2005 中日本高速道路(株) 2005 国土交通省 2004 和歌山県 2003 日本道路公団 2001 国土交通省 2001 京都府 2001 鳥取県 2000 広島高速道路公社 1998 埼玉県	第二東名高速道路島田第一トンネル下り線工事 三遠南信別所トンネル工事 高田相賀線仮称高田1号トンネル 第二東名高速道路静岡第一トンネル 下諏訪・岡谷バイパス長地トンネル 一般国道372号天引トンネル 主要地方道鳥取鹿野倉吉線三朝トンネル 広島高速4号線己斐トンネル 皆野寄居バイパス美の山トンネル
2005 中日本高速道路(株) 2005 国土交通省 2004 和歌山県 2003 日本道路公団 2001 国土交通省 2001 京都府 2001 鳥取県 2000 広島高速道路公社 1998 埼玉県	第二東名高速道路島田第一トンネル下り線工事 三遠南信別所トンネル工事 高田相賀線仮称高田1号トンネル 第二東名高速道路静岡第一トンネル 下諏訪・岡谷バイパス長地トンネル 一般国道372号天引トンネル 主要地方道鳥取鹿野倉吉線三朝トンネル 広島高速4号線己斐トンネル 皆野寄居バイパス美の山トンネル		
<p>参考文献・資料等</p>	<p>・トンネル工学報告集、第16巻、2006. 12、TBM先進導坑内における切羽前方探査の適用</p>		

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ コンクリート（覆工）背面 その他（コンクリート構造物、鋼構造物、グラウンドアンカー他）
調査・診断方法の名称	棒形スキャナ
開発会社	佐賀大学、(株)計測リサーチコンサルタント、西松建設(株)
開発時期	2005年 4月
特許の有無	特許 有り 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

調査・診断方法（技術） の概要	<p>一般のコア抜きによるコンクリート検査では、穿孔の際に鉄筋を切断する可能性があります。棒形スキャナは、小径の検査孔を穿孔し、孔内にイメージセンサを挿入してコンクリート内部をスキャンすることにより、鉄筋を切断することなく簡易にコンクリート内部の展開画像を作成できる検査技術です。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■調査時の構造物へのダメージを抑えることが可能 センサー挿入用の小口径ドリル孔（φ24.5mm）を用いて検査することが可能である。 ■検査後の補修が容易 検査孔が小径であることから、検査後の補修が簡易に行える。 ■多くのデータを得ることが可能 一般的なコア抜き調査に比べて、多くの検査点を取れ、構造物の内部情報を多く入手することが可能である。 ■作業性に優れる 検査装置が小さく、操作が簡単であり、一人で検査し、原位置でひび割れ幅を正確に測定することが可能である。
調査・診断方法（技術） の手順	 <p style="text-align: center;">検査手順</p> <p style="text-align: center;">（②～⑥までに要する時間：15分程度）</p>

<p>調査・診断方法（技術） 概要図</p>	 <table border="1" data-bbox="488 371 1110 495"> <tr> <td>形状</td> <td>80×70×655mm</td> <td>読取り解像度</td> <td>600×600dpi</td> </tr> <tr> <td>重さ</td> <td>1,040g</td> <td>読取りサイズ(1スキャン)</td> <td>105×231mm</td> </tr> <tr> <td>センサタイプ</td> <td>密着型イメージセンサ</td> <td>最大検出長</td> <td>330mm</td> </tr> </table> 	形状	80×70×655mm	読取り解像度	600×600dpi	重さ	1,040g	読取りサイズ(1スキャン)	105×231mm	センサタイプ	密着型イメージセンサ	最大検出長	330mm
形状	80×70×655mm	読取り解像度	600×600dpi										
重さ	1,040g	読取りサイズ(1スキャン)	105×231mm										
センサタイプ	密着型イメージセンサ	最大検出長	330mm										
<p>適用条件</p>	<p>■自然条件 棒形スキャナは防水性能がないため、激しい降雨時での屋外での使用はできません。</p> <p>■現場条件 作業スペース 2m²、装置の長さ662mm。</p> <p>■技術提供可能地域 技術提供地域については制限なし。</p> <p>■関係法令等 特になし。</p>												
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>国土交通省：2件 その他公共機関：8件 民間等：3件</p>												
<p>参考文献・資料等</p>	<p>原田耕司、伊藤幸広、宮本則之：棒形スキャナによるコンクリート構造物検査技術の開発、西松建設技報、Vol. 32、pp. 97-98他</p>												

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ コンクリート（覆工）背面 その他（コンクリート構造物、鋼構造物、グラウンドアンカー他）
調査・診断方法の名称	構造物検査用内視鏡
開発会社	佐賀大学、西松建設(株)
開発時期	2003年 4月
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

調査・診断方法（技術） の概要	<p>小径のドリル孔を利用して、構造物にダメージを与えずコンクリート内部を検査する「微破壊検査技術」が注目されています。「構造物検査用内視鏡」は、ひび割れや中性化などを目視観察することが可能な、内視鏡を利用した「微破壊検査技術」です。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■調査時の構造物へのダメージを抑えることが可能 構造物検査用内視鏡を挿入するためのドリル孔（φ14.0mm）を用いて検査することが可能です。 ■構造物検査用内視鏡により正確な情報を得ることが可能 孔壁との焦点距離を一定に保つことができ、コンクリート内部の情報（クラック幅等）を正確に入手することが可能です。 ■取扱いが簡単 検査用内視鏡の構造がシンプルであり、現場の作業性に優れ、検査に熟練を必要としません。
調査・診断方法（技術） の手順	<p>①鉄筋探査 ↓ ②ドリル削孔（φ14.0mm） ↓ ③孔内清掃 ↓ ④ 検査 ↓ ⑤断面修復（孔埋め）</p> <div style="text-align: right;">  </div>

<p>調査・診断方法（技術） 概要図</p>	 <p>The diagram shows a long, thin probe with various components labeled: 計測プローブ (Measurement probe), 側視ミラー (Side-view mirror), 撮影補助器具 (Photography auxiliary tool), 紫外線LEDライト (Ultraviolet LED light), 硬性鏡 (Hard lens), 接続リング (Connection ring), デジタルカメラ (Digital camera), and 白色LEDライト (White LED light). To the right, a circular inset shows a close-up of a crack in a surface, labeled 検査例（ひび割れ） (Inspection example (crack)), with a red arrow pointing to the crack.</p>
<p>適用条件</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■自然条件 構造物検査用内視鏡は防水性能がないため、激しい降雨時での屋外での使用はできません。 ■現場条件 作業スペース 2 m²、装置の長さ662mm。 ■技術提供可能地域 技術提供地域については制限なし。 ■関係法令等 特になし。
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>なし。</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>原田耕司：コンクリート内部を目視する新しい維持管理技術について、第54回電力土木講習会テキスト、pp. 67-76他</p>

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面・コンクリート（覆工）内部・コンクリート（覆工）背面 その他（コンクリート構造物、鋼構造物、グラウンドアンカー他）
調査・診断方法の名称	き裂計測システム「KUMONOS」
開発会社	関西工事測量株式会社
開発時期	2006年 6月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

調査・診断方法（技術） の概要	<p>従来コンクリート表面のひび割れ調査は人間によるスケッチ、クラックスケールによる幅の測定が行われている。</p> <p>KUMONOSは、光学測量器のファインダーに内蔵されたクラックスケールにより、き裂幅を測定するとともに、き裂位置（両端部等）の三次元座標（任意座標）を記録する。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<p>これらの計測は遠隔操作が可能であり、高所や離れた場所への適用が容易である。20m離れた位置のき裂幅を0.1mmの高精度で測定できる。また、き裂の位置・長さ・形が把握でき、調査対象のコンクリート壁面などのき裂分布のデジタル化に役立つ。</p>
調査・診断方法（技術） の手順	<ol style="list-style-type: none"> 1) トンネル内の調査対象面を直視できる場所に設置 2) 測量器にてき裂の延長上に沿って3次元座標を複数ポイント記録する。あわせてファインダー内でき裂幅を測定し記録する。 3) 個々のき裂データは計測した順にメモリカードに保存されるので、これをPCにアップロードする。 4) 専用のソフトウェアによりCADの画面上でき裂分布を自動で描画できる。2次元および3次元の描画が可能。

調査・診断方法（技術）

概要図

離れた場所からひび割れを調査できるのは、
KUMONOS
 新ひび割れ計測システム

トンネル、建物外壁などのコンクリート建築物。そのひび割れ調査には膨大なコストと時間がかかります。KUMONOS(クモノス)なら離れた場所から高精度で測定可能。ひび割れ位置の把握を行う最も効率的な測定システムです。

世界初! 内蔵クラックスケール



世界で初めて、ノンプレス式非接触測量に同心円状のクラックスケールを内蔵。焦点面に付けられたクラックスケールの目盛りと光波測距器を通して直接で検出できるひび割れを数値化し、幅が一定なクラックスケールの番号を抽出。この「番号」と「替換設置点からひび割れまでの距離」の関係から、測定対象ひび割れ幅を測定します。

調査精度がアップ

ひび割れ幅 0.3mm から 40m、0.2mm なら 45m、0.1mm なら 20m 離れていても測定可能。運用範囲の拡大により、従来、危険現場や悪所作業場が必要だった場所をひび割れ調査が困難だった場所でも、安全・確実なひび割れ計測が可能になります。

※距離精度は距離・距離係数・距離補正係数に依存

距離からの距離 (m)	1.5	5	10	15	20	25	30	35
最小ひび割れ (mm)	0.097	0.022	0.044	0.066	0.088	0.110	0.132	0.155
距離からの距離 (m)	40	45	50	60	70	80	90	100
最小ひび割れ (mm)	0.177	0.199	0.221	0.263	0.305	0.353	0.397	0.441

上記は標準状態での測定精度を示す値であり、測定精度は測定距離で50%増減する場合があります。
 ※本製品の測定精度は距離係数により異なりますが、最小ひび割れ値とは限りません。



KUMONOS測定状況

適用条件

- ・動作温度：-20～+50℃
- ・保存温度：-40～+70℃
- ・防塵／防水：IP55
- ・防湿：95%（結露がないこと）
- ・測距範囲：1000m
- ・距離精度：2mm+2pp m/代表値3s
- ・作業範囲：5～150m
- ・位置精度：100mで5cm

適用実績

および

適用時期

- ・高速道路トンネル（工事名公表不可） 経年劣化クラック調査（初期調査）他多数

参考文献・資料等

HP:<http://www.kankou.co.jp/kumonos/8/>
 紹介ビデオ：<http://www.kankou.co.jp/kumonos/16/>

発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ <u>コンクリート（覆工）背面</u> その他（コンクリート構造物、鋼構造物、グラウンドアンカー他）
調査・診断方法の名称	覆工背面空洞観察記録システム モール・スパイグラス
開発会社	三井住友建設株式会社
開発時期	2014年 10月
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 <u>・ 無し</u>
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 <u>・ 無し</u>

調査・診断方法（技術） の概要	<p>確実なトンネル覆工背面空洞充填のためには、空洞寸法だけでなく、空洞状況を事前に確認することが望ましい。すなわち、空洞に礫などの堆積はないか、地下水の流動はないか等を事前に確認し、これに応じた充填法を採択することが望ましい。</p> <p>モール・スパイグラスは覆工に損傷を与えないφ25mm程度の孔から、LED照明付きCCDカメラを挿入し、先端を潜望鏡(Spy glass)のように90度まで首折れさせて覆工背面空洞状況等を調査する観察システムである。モニターにPC Tabletを採用したため、大画面で空洞状況をモニタリングし、そのまま動画・静止画として記録することができる。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調光機能付きLEDと自動焦点CCDの採用で、空洞寸法や空洞状況に応じた鮮明な画像を、最大10m程度までモニタリングできる。 ・ φ25mm以上の孔であれば、容易に観察できるため、調査孔削孔による覆工を損傷を抑制できる。 ・ モニターにPC Tabletを採用したため、大画面でのモニタリングが可能で、そのまま静止画や動画に記録できます。
調査・診断方法（技術） の手順	<pre> graph TD START([START]) --> A[調査孔穿孔 (既存孔の利用も)] A --> B[空洞調査] B --> C{要記録} C --> D[画像記録] D --> E([END]) C --> E </pre>

<p>調査・診断方法（技術） 概要図</p>	
<p>適用条件</p>	<p>・ f 25mm以上の覆工貫通孔を穿孔のこと</p>
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>製紙会社 発電水路トンネル補修工事 政令指定都市 道路トンネル補修工事</p>
<p>参考文献・資料等</p>	

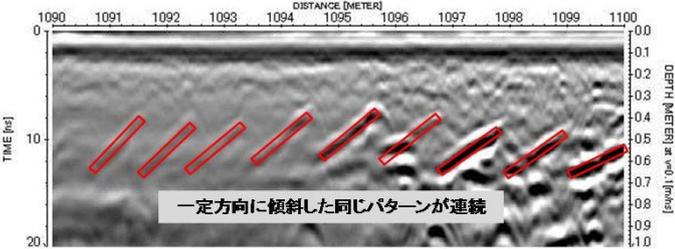
発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ <u>コンクリート（覆工）背面</u> その他（コンクリート構造物、鋼構造物、グラウンドアンカー他）
調査・診断方法の名称	モール・Mレーダー
開発会社	三井住友建設株式会社
開発時期	2009年 10月 実用化
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ <u>無し</u>
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ <u>無し</u>

調査・診断方法（技術）の概要	トンネル覆工背面空洞探査のための電磁波レーダーにおいて、発信電磁波の周波数帯を1GHz帯、および400MHz帯の多重周波数（Multi-frequency）とすることで、探査可能深度を2m程度まで拡大するとともに、両周波数帯の反射画像をコントラスト調整することで、従来、同定が困難であった矢板などの支保構造等の把握を可能とする。
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

調査・診断方法（技術）の特徴	現在、トンネル覆工背面空洞探査に用いられている1GHz周波数帯の電磁波レーダー探査は分解能が高く、反射映像の読影が容易だが、その可能深度は、覆工の電磁誘導率にもよるが、概ね1m未満である。このため、覆工厚の厚い矢板工法トンネル等では空洞を把握できない場合がある。モール・Mレーダーは1GHz帯のレーダー探査と同時に、2m以上電磁波が到達可能な400MHz帯のレーダー探査を平行して実施することにより、背面空洞探査漏れをほぼ途絶できる。さらに、両周波数帯の反射波映像をコントラスト調整することで、これまで位置同定が困難であった木製矢板、木製支保工等の同定も可能となった。
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

調査・診断方法（技術）の手順	<pre> graph TD START([START]) --> 1GHz探査[1GHz帯レーダー探査] START --> 400MHz探査[400MHz帯レーダー探査] 1GHz探査 --> 1GHz解析[1GHz帯画像解析] 400MHz探査 --> 400MHz解析[400MHz帯画像解析] 1GHz解析 --> 1GHz画像[1GHz帯反射画像] 400MHz解析 --> 400MHz画像[400MHz帯反射画像] 1GHz画像 --> 調整[コントラスト調整] 400MHz画像 --> 調整 調整 --> 同定[空洞幅、覆工厚、支保構造同定] </pre>
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>調査・診断方法（技術）</p> <p>概要図</p>	 <p>250MHz帯用 1GHz帯用</p> <p>探査に使用するレーダーアンテナ</p> 
<p>適用条件</p>	<p>・400MHz帯レーダーによる、トンネル円周方向の探査はトンネル内空断面5m²以上のこと</p>
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 化学工場 工業用水トンネル 2009年10月 ・ 製紙工場 発電用水トンネル 2010年 7月 ・ 民間開発センター 道路トンネル 2012年 1月
<p>参考文献・資料等</p>	

(4) 調査診断技術の開発動向と今後の課題

① 調査診断技術の開発動向

点検および調査結果をもとに、経験を積んだ技術者や専門家が構造物の耐久性を診断し、対策の要否および対策工を決定するのが通常の方法である。近年は、これらの検査結果をデータベース化し、熟練技術者に代わるエキスパートシステムを構築する取り組みが行われている。また解析技術を利用することにより、合理的な判断を支援するシステムの開発も行われ運用されている。

発電用水路トンネルを対象とした管理支援システムを図-4.1.11 に示す。このシステムは東京電力が開発したもので、水路トンネルの健全度を判定し、その結果をもとに変状原因推定と対策工の選定を行う診断システムと既往の調査データ・構造諸元、修理経歴などの各種データを管理する水路データベースシステムから構成されている。健全度判定においては構造解析手法を用いて定量的な診断を行うなど、客観的、合理的な診断法の取り組みが行われている。

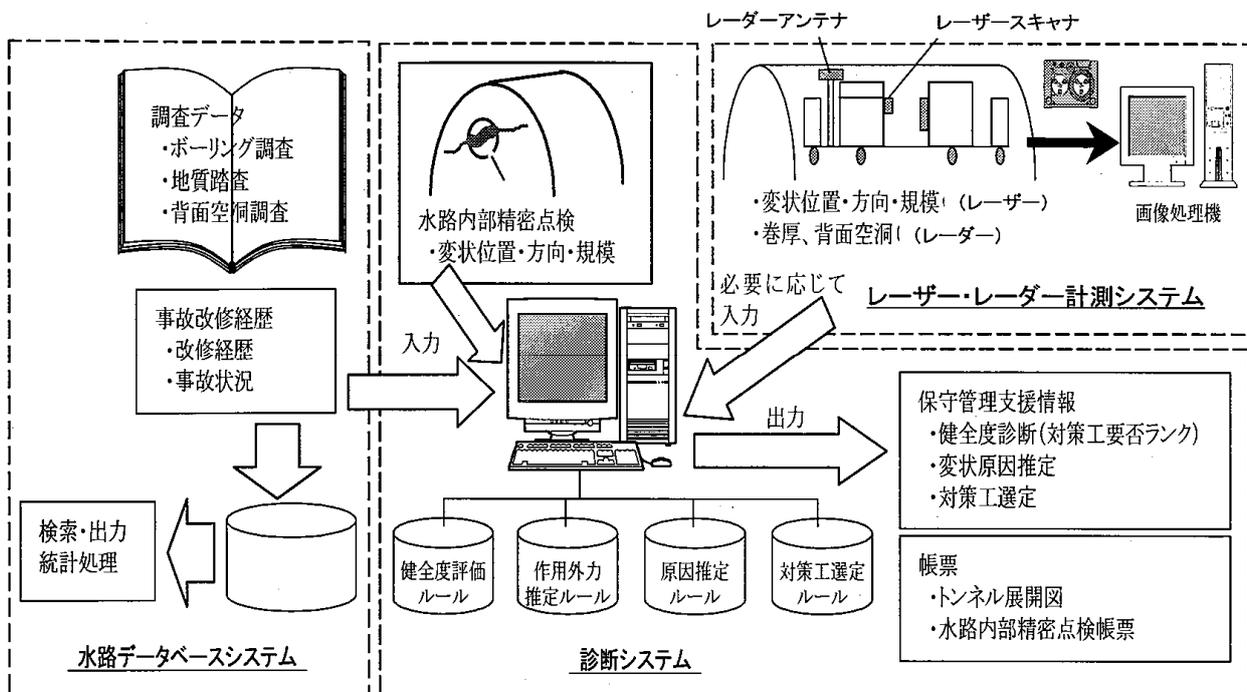


図-4.1.11 水路トンネル管理支援システム⁶⁾

② 今後の課題

- ・点検技術の信頼性の向上

自動化・デジタル化等にもつれた新技術は、省力化・標準化・高速化・電子化の面では非常に有効である。しかし、測定条件等によっては計測精度に課題が残っているものがあり、さらにその精度向上技術が望まれる。したがって、必要に応じて他の計測方法を併用するなど、点検結果の信頼性を向上させていくことが重要である。

- ・点検技術の多機能化

トンネルの点検・調査技術は、道路・鉄道・水路等の各事業者がそれぞれの用途に応じ

た専用点検装置として開発が進められている。しかし、単一の手法を装置化したものが多く、計測目的ごとに異なった装置を用いることになり効率が必ずしも良くない。水路トンネルでは、レーダーとレーザーを搭載した水路用点検車などが開発されているが、このような多機能化が今後さらに望まれる。

- ・点検結果の可視化

昨今の新技術により目視や打音調査の計測結果がコンピューターにより数値化され、定期検査ごとに経時的变化を追跡することが可能になったといえる。但し、膨大な情報量をもとに健全度を判定する際、重要なデータを見落とすことも考えられる。状況を正確に把握するために結果を図表化する効果的なソフト開発が必要である。

4.1.4 水路トンネルのリニューアル技術³⁾

(1) リニューアル技術

電力の水路トンネルに発生している主な変状は、覆工のひび割れ、覆工の変形・沈下（食い違い）、覆工の剥離・剥落、湧水・漏水である。これらの変状対策を選定するにあたり、下記の項目を考慮する必要がある。

- ① 変状状況（変状の内容、規模、程度、進行性）
- ② 変状原因（外力、材料劣化、漏水、その他）
- ③ トンネルの環境条件（トンネル周辺の地形・地質、気象、土地利用）
- ④ トンネルの構造、形状、経歴など
- ⑤ 施工性（施工条件、施工の安全性）
- ⑥ 耐久性、経済性

水路トンネルで、一般的に行われている対策工を表-4.1.9に示す。

表-4.1.9 電力水路トンネルの対策工例

変状原因	対策工の例
外力	覆工の巻替え・内巻き、鋼製支保工による補強、覆工背面空洞注入ロックボルトによる補強
材質変化	覆工の巻替え・内巻き、鋼板・FRP板による内張り モルタル・コンクリート吹付け

(2) リニューアル技術事例

表-4.1.10 電建協（現日建連）会員各社にアンケートにより収集したリニューアル技術の一覧を示す。

表-4.1.10 アンケートにより収集したリニューアル技術（水路トンネル）

No.	工事区分				適用した工法名称	掲載頁
	補修	補強	改築	他		
1		○			サポートライニング工法	320
2		○			ダクティル覆工板工法	322
3		○			PPファイバーショット	324
4	○				AZ グラウト工法（可塑性注入材）	326
5	○				スーパーエコマックス（可塑性注入材）	328
6	○				リニューアルハツリ機「ハツロー」	330
7			○	増設	FONドリル工法	332
8	○				ネットバリヤー工法（C2）	334
9			○		3Sセグメント工法	336
10	○	○			パルテム・フローリング工法	338
11		○			トンネル対応覆工全断面切削機	340
12	○	○			アクアグラウト工法	342
13	○	○			PIC フォーム工法	344
14	○				スムーズボード工法	346
15	○				スペースパック工法	348
16	○				ジョッツ・クリート工法	350
17	○	○			モール・シールドビルダー工法	352
18	○	○			モール・グラウト WL 工法	354
19	○	○			モール・グラウト WQ 工法	356
20	○	○			モール・ボルディング工法	358
21	○				馬蹄形トンネル鋼板内巻改修工法（STM）	360

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
工法（技術）名称	サポートライニング工法
開発会社	㈱熊谷組、日本コンクリート工業㈱、太平洋セメント㈱
開発時期	2004年 3月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

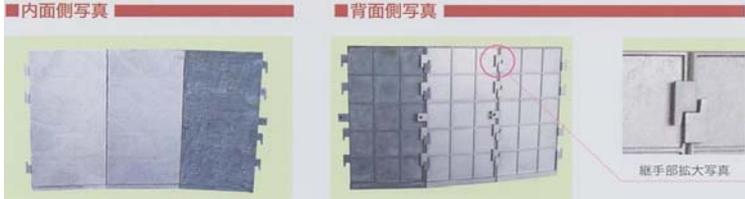
工法（技術）の概要	<p>鋼製アーチ支保工と現場打ちコンクリートの内巻き工により補強するもので、最小補強厚さが10cmであるため必要内空断面を確保したまま、確実な補強をすることができる。コンクリート打設用の内型枠は超高強度繊維補強コンクリート製の埋設型枠（ダクトル覆工板）を使用する。コンクリートは高流動コンクリートを基本とするが、たまり水のある場合や漏水箇所では水中不分離性コンクリートの使用も可能である。</p>
工法（技術）の特徴	<p>1. 確実な補強効果 鋼製アーチ支保工とコンクリートの内巻き工により確実な補強効果が得られ、想定荷重に応じた補強工を設計することができる。</p> <p>2. 裏込めコンクリートの良好な充填性 通常は、高流動コンクリート等の流動性を高めたコンクリートを使用し、2インチの配管で狭隘な空間へも裏込めコンクリートを確実に充填することができる。また、水中不分離性混和剤の使用によりたまり水や漏水箇所での施工も可能性である。</p> <p>3. 薄く、軽い覆工板 覆工板は高強度であるため、厚さを薄く（軽量化）でき、以下のようなメリットがある。</p>
施工方法	<pre> graph TD A[鋼製アーチ支保工建て込み] --> B[鉄筋組み立て] B --> C[ダクトル覆工板取り付け] C --> D[支保材・切梁取り付け] D --> E[裏込めコンクリート打設（充填）] E --> F[天端グラウト注入] </pre>

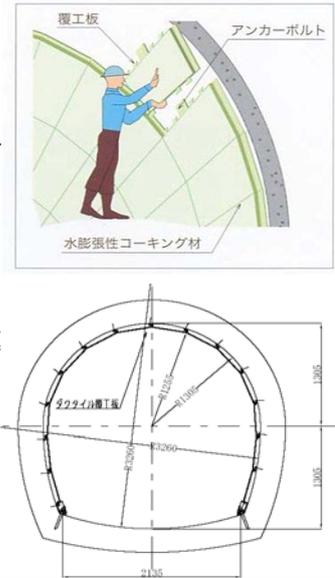
<p>施 工 概 要 図</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>施工性確認の室内実験</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>コンクリート打設（充填）状況</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>覆工板</p> <p>(1) 形状：長さ1.47m×高さ45cm×厚さ1cm (2) 質量：約30kg (3) 材料：鋼繊維補強超高強度モルタル (ダクタル) (4) 強度特性 圧縮強度：190～240N/mm² 曲げ強度：35～40 N/mm²</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>裏込めコンクリート</p> </div> </div>
<p>適 用 条 件</p>	<p>水路トンネルでは、降水量の少ない冬期の一定期間流水を止めるか、水量を少なくできること。 下水道の管渠更生工法としては不適切である。</p>
<p>施 工 実 績 および 施 工 時 期</p>	<p>工事名称：東上田発電所水路トンネル修繕工事 施工時期：2003. 10. 1～2004. 3. 19 発注者：中部電力</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>鋼製支保工と内巻き工を併用したトンネル補強工法の開発、森康雄、野中 英、濱田真、緒方明彦、熊谷組技術研究所報告第63号/2005. 2、p101～107</p>

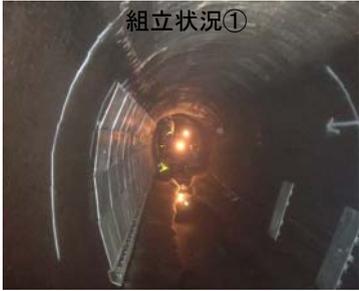
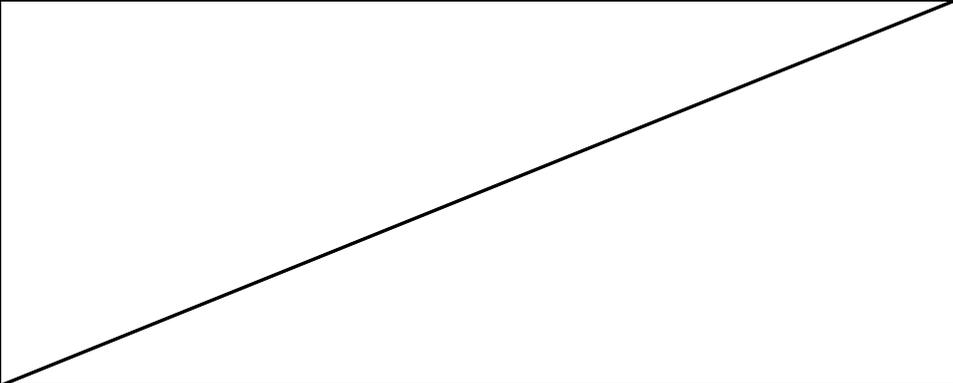
発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 その他（ ））
工事種類	補修 ・ 補強 ・ 改築 ・ その他（ ）
工法（技術）名称	ダクタイトイル覆工板工法
開発会社	㈱熊谷組・テクノス㈱
開発時期	2003年 11月
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

工法（技術）の概要	<p>ダクタイトイル覆工板工法の概要</p> <p>ダクタイトイル覆工板工法は、劣化した既設トンネル覆工の内側にダクタイトイル鑄鉄製覆工板を1枚づつ、アンカーボルト1本で既設覆工面に固定し、既設覆工面との隙間に無収縮モルタルを充填する技術です。</p> <p>充填材とダクタイトイル覆工板が一体となって、アーチ効果により既設トンネル覆工を補強する。</p>
-----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

工法（技術）の特徴	<p>ダクタイトイル覆工板工法の特徴</p> <p>覆工板が軽く施工は人力であり、トンネル軸方向に継手がない単リングモデルのためトンネル断面変化にも対応可能であることから施工性が良い。また、同一形状のパネルを使用するので複数箇所での同時施工ができ工期短縮が計れる。</p> <p>◇ダクタイトイル覆工板</p> <ul style="list-style-type: none"> ①材質：FCD450（JIS Z5502） ②パネル形状：幅420mm×長さ820mm×厚さ8mm（リブ高6mm 計14mm） ③パネル重量：23kg/枚 ④防錆塗装：亜鉛めっき塗装またはカチオン電着塗装 <p>■内面側写真 ■背面側写真</p> 
-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

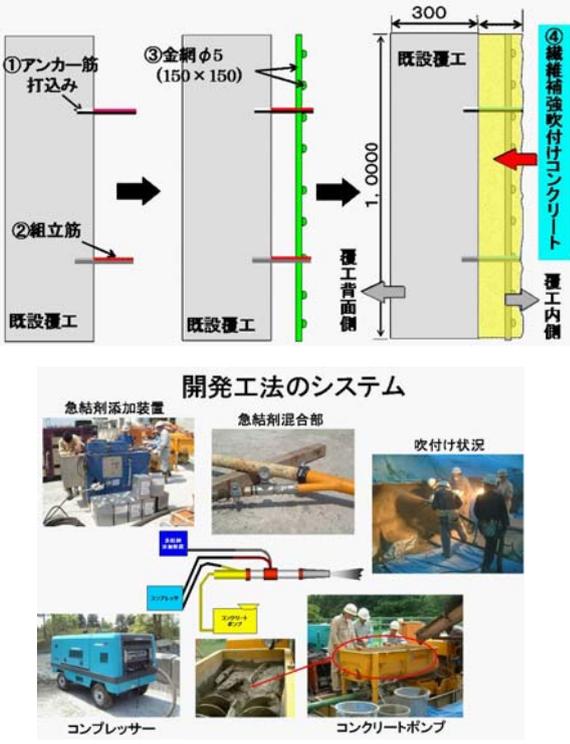
施工方法	<p>ダクタイトイル覆工板工法の施工手順は、①～⑤のとおりである。</p> <p>手順①始端側鋼製架台取付 足付部に加工した台形鋼材をインパートに樹脂アンカーで固定する</p> <p>手順②ダクタイトイル覆工板組立 人力により覆工面に沿って、覆工板の継手部を噛み合せてアンカーで固定する</p> <p>手順③終端側鋼製架台取付</p> <p>手順④充填材止枠取付 既設覆工面にR加工した形鋼を固定し、止め枠とする。</p> <p>手順⑤充填材充填 覆工板と既設覆工面との隙間に無収縮モルタルを充填する。</p> 
------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>施 工 概 要 図</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>組立状況①</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>組立状況②</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>充填材充填状況</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>施工完了</p> </div> </div>
<p>適 用 条 件</p>	
<p>施 工 実 績 お よ び 施 工 時 期</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 株式会社戸高鉱業社 T-3BC坑道補修工事 平成16年7月26日～平成16年11月30日 ・ 東京都交通局 都営浅草線高輪シールド強化工事 平成16年12月27日～平成17年5月13日 <p>ほか</p>
<p>参考文献・資料等</p>	

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
工法（技術）名称	PPファイバーショット
開発会社	独立行政法人土木研究所、戸田建設、西松建設
開発時期	2005年 3月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

工法（技術）の概要	<p>トンネルの補強を目的とした、ポリプロピレン短繊維を用いた繊維補強吹付けコンクリート工法である。補強のための覆工厚さを薄くできるため、既設トンネルの内空断面に余裕のない場合でも、低コストで十分な補強効果を実現できる。</p> <p>本工法では、新しく開発したポリプロピレン短繊維を混入した繊維補強コンクリートを既設覆工内面に吹き付けることにより、覆工コンクリートに曲げ靱性を付与して十分な剥落防止効果を確保します。なお、既設覆工との一体性の確保にはアンカーと溶接金網等を用いる。</p>
工法（技術）の特徴	<p>1、新しいポリプロピレン製短繊維 繊維とコンクリートとの付着強度向上を目的として、繊維の断面を十字にし、延長方向にはエンボス加工（凹凸加工）を施している。</p> <p>2、高い曲げ靱性性能の付与 新しいポリプロピレン製短繊維を、フレッシュコンクリートに0.3vol%混入し、攪拌・打設することで、高い曲げ靱性を付与し、コンクリート片の剥落を防止できる。</p> <p>3、施工性（繊維の高い分散性） コンクリート中の繊維の分散性（均一性）向上を目的として、専用の繊維投入機を使用し、ファイバーボールの発生を抑制している。</p> <p>4、工事費の低減 新しいポリプロピレン製短繊維の単価は、従来の同等品と比較して安価に設定しているため、全体工事費の低減が可能ある。</p>
施工方法	<p>①補強対象の覆工コンクリート表面の清掃、目荒らし ②アンカー設置 ③アンカーを利用して金網を設置する。 ④コンクリートの搬入（工場または現場にて繊維投入）。 ⑤繊維混入コンクリートの吹付け。 ⑥通常の養生実施。 ⑦完了。</p>

<p>施工概要図</p>	
<p>適用条件</p>	<p>①水路断面の縮小を伴う。 ②流下水量確保を目的（粗度係数低減）は別途考慮する。</p>
<p>施工実績 および 施工時期</p>	<p>水路トンネルは実績なし (道路トンネルに実績1件)</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>共同研究報告書</p>

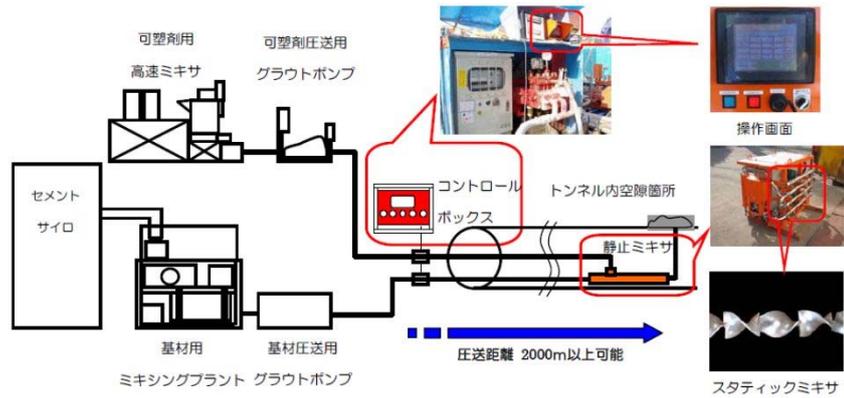
対 象 構 造 物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工 事 種 類	補修・補強・改築・その他（ ）
工法（技術）名称	AZグラウト工法（可塑性注入材）
開 発 会 社	(株)熊谷組
開 発 時 期	2010年 3月
特 許 の 有 無	特 許 有 り ・ 出 願 中 ・ 出 願 予 定 ・ 無 し
	実 用 新 案 有 り ・ 出 願 中 ・ 出 願 予 定 ・ 無 し

工法（技術）の概要	AZグラウトは、在来工法で作られたトンネルの覆工背面に多く見られる空洞などに充填する可塑性の注入材です。 基材と可塑性を別系統の配管で圧送し注入箇所付近で両者を配管内でスタティックミキサー（静止）により混合するインラインミキシング方式を採用しています。
-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

工法（技術）の特徴	①優れた汎用性：配合を変えることにより「長距離圧送タイプ」、「高強度タイプ」、「軽量化タイプ」などさまざまな条件・用途に合わせることができます。 ②コンピュータ制御による充填管理：AZグラウトの充填量と注入圧は、コントロールボックスに搭載されたコンピュータ制御で管理しているため、鉤一で高品質な充填ができます。 ③空洞の確実な充填：水中不分離性、非収縮性、非漏出性に優れるため確実に空洞を充填することができます。
-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

施 工 方 法	<pre> graph TD A[準備工] --> B[充填孔削孔工] B --> C[充填管設置工] C --> D[充填工] D --> E[孔埋め工] E --> F[撤去・片付け] </pre>
---------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

施工概要図



長距離タイプ施工プラント例（圧送距離 2000m以上可能）

適用条件

充填の目的によって下記配合を選定する。

項目	長距離配合	高強度配合	軽量配合
W/C %	140	50	50
可塑性 A C×%	0.2	0.05	0.05
可塑性 B C×%	2.5	0.5	0.5
可塑性 C W×%	0.33	0.25	0.5
減水材 C×%	0.25	0.25~0.5	0.25~0.5
空気混入 %	-	-	40
設計強度 N/mm ²	1.5 以上	24 以上	1.5 以上

※ Cはセメント重量 Wは水重量 減水剤はW/Cの計算に含まれない

施工実績
および
施工時期

両筑二期寺内導水路改築工事 : 水資源機構 : 2009.12~2010.3
 広瀬水路第三隧道改修工事 : イビデン(株) : 2011.9~2011.11
 N発電所導水路修繕工事 : N電力(株) : 2013.8~2013.12
 Y発電所導水路トンネル補強工事 : 2013.10
 他

参考文献・資料等

熊谷組技報2011.12 「透水性の高い地盤における導水路トンネルの改修 ー両筑二期寺内導水路改築工事施工報告ー」

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

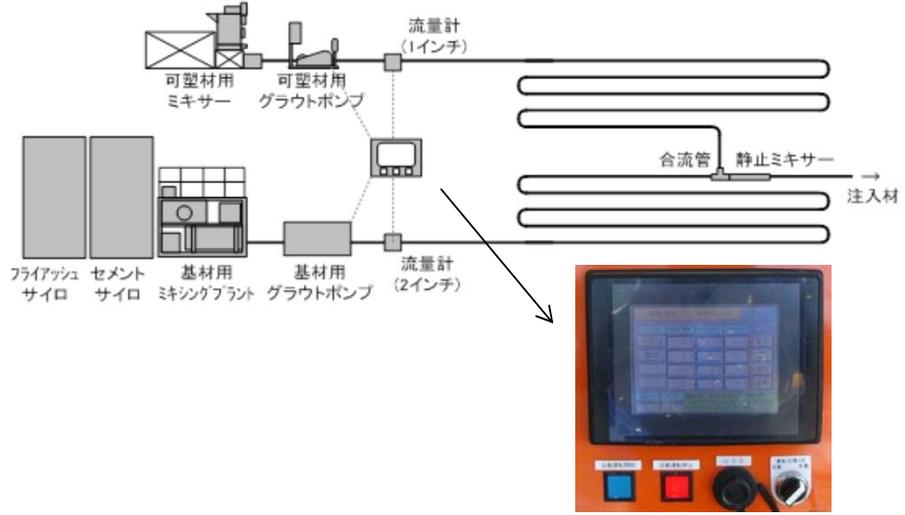
対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
工法（技術）名称	スーパーエコマックス（可塑性注入材）
開発会社	（株）熊谷組
開発時期	2013年3月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・ 無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・ 無し

工法（技術）の概要	スーパーエコマックスとは、在来工法で作られたトンネル覆工背面の空洞箇所などに充填するフライアッシュを混合した可塑性の注入材です。基材と可塑性を別系統の配管で圧送し注入箇所付近で両者を配管内でスタティックミキサ（静止）により混合するインラインミキシング方式を採用しているため長距離圧送が可能となります。
-----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

工法（技術）の特徴	<p>①【産業副産物の有効利用】火力発電所から発生するフライアッシュを大量に使用するため、循環型社会への貢献が期待できます。</p> <p>②【長距離圧送が可能】坑外にプラントを設置し、基材と可塑性を別系統の配管で圧送することで3,000m程度長距離圧送が可能となり、トンネルの規模・延長に制約を受けることが少なくなります。</p> <p>③【コンピュータ制御による充填管理】基材・可塑性・エアの流量および圧力をタッチパネル式充填管理操作盤で操作し施工するため材料品質の安定化と施工の安全性向上が図れます。</p> <p>④【優れた水中不分離性】地下水が豊富な環境下でも品質を確保したまま充填が可能です。</p> <p>⑤【充填性の向上】優れた非漏出性および非収縮性により、材料のクラックからの流出がなく、確実に空洞を充填できます。</p>
-----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

施工方法	<pre> graph TD A[準備工] --> B[充填孔削孔工] B --> C[充填管設置工] C --> D[充填工] D --> E[孔埋め工] E --> F[撤去・片付け] </pre>
------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

施工概要図



タッチパネル式
充填管理操作盤

【材料特性】

NEXCO品質規格

項目	規格項目	規格値	試験方法	試験結果
流動性	フロー値 (静置)	Jフロー値 80mm ~ 155mm 60分後のフロー値：100mm 以下	JHS 313 コンシステンシー試験方法のシリンダー法	134mm
	フロー値 (打撃)	フロー値：130mm ~ 205mm 60分後のフロー値：170mm 以下	JIS R5201 フロー試験 フローコーンに代わって JHS 313 コンシステンシー試験方法のシリンダー法で適用する硬化プラスチック製シリンダーを用いる。	191mm
強度	一軸 圧縮強度	$\sigma_{28} = 1.5 \text{N/mm}^2$ 以上	1. 供試体の作り方 JHS 313 の 3. 圧縮強度試験方法 (40mm×40mm×160mm) あるいは JSCE-F 561 ($\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$) とする。 2. 圧縮強度試験方法 JIS A 1108	2.4N/mm ²
比重	比重	エア系：11 ~ 12KN/m ³ エア系以外：11 ~ 15KN/m ³	質量法	1.44kN/m ³
水中 分離 抵抗性	PH	注入直後からの60分経過後のPH 測定比率が±10%であること。	「矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領」の 4.8 試験方法による	7.70 (10分) 7.69 (30分) 7.65 (60分)

施工実績
および
施工時期

F 発電所ダム擁壁基礎空洞注入 2012. 9

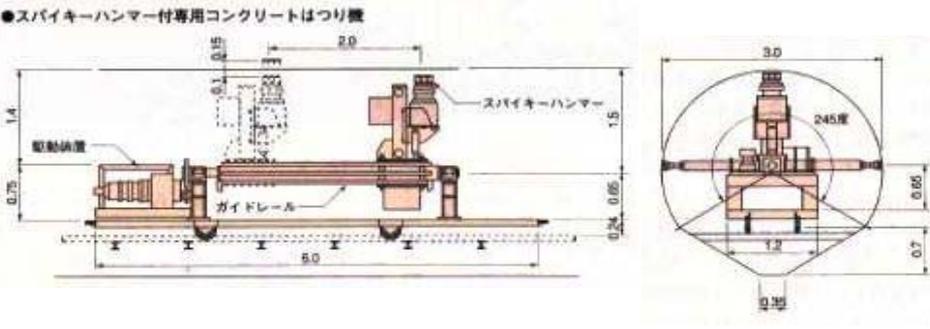
参考文献・資料等

電力土木 (H25, 9 No.367) フライアッシュを利用した長距離圧送型可塑性グラウトの開発とその適用事例

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
工法（技術）名称	リニューアルハツリ機「ハツロー」
開発会社	安藤ハザマ
開発時期	2000年
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

工法（技術）の概要	<p>本技術は、切削部にロータリー式、または打撃式のカッタを搭載し、旋回によって劣化コンクリートを除去する自走式自動ハツリ機により、劣化コンクリートのハツリを行う工法である。</p> <p>劣化コンクリートのリニューアル工事において、本技術を活用することにより、人力による従来のハツリ作業に対して、施工性・安全性・作業環境の改善が期待できる。</p>
工法（技術）の特徴	<p>①送り速度の調整によりはつり厚さ管理が容易である。</p> <p>②位置決め作業が不要。</p> <p>③衝撃吸収により機械の耐久性を向上。</p> <p>④均一な仕上げ面を確保できる。</p> <p>⑤円形断面、長距離トンネルに適用できる。</p> <p>⑥省力化（苦渋作業の低減）が図れる。</p> <p>⑦機械の小型化により、小断面トンネルに適用できる。 （トンネル内径2.5m以上）</p> <p>⑧鋼管等により水替えを行うことで、供用下での機械化施工が可能である。 （トンネル内径3.0mの場合、供用管径は1.1mまで適用可能）</p> <p>⑨脱着式のずり受け装置により、切削ずりを搬出できる。</p>
施工方法	<p>①トンネル内に鋼管等を利用して水替工を行う。</p> <p>②トンネル内にハツローを設置する。</p> <p>③ハツロー本体部がトンネル進行方向を一定速度でスライドしながら、円周方向にカッター部が旋回して劣化コンクリートを削り落としていく。</p> <div style="text-align: center;">  <p>施工状況</p> </div>

<p>施工概要図</p>	<p>●スパイクハンマー付専用コンクリートはつり機</p>   
<p>適用条件</p>	<p>①機械の小型化により、小断面トンネルに適用できる。 (トンネル内径2.5m以上) ②鋼管等により水替えを行うことで、供用下での機械化施工が可能である。 (トンネル内径3.0mの場合、供用管径は1.1mまで適用可能)</p>
<p>施工実績 および 施工時期</p>	<p>①施工実績：高松污水幹線防食塗装改修工事（神戸市発注） 施工時期：平成11年11月27日～平成12年3月31日</p>  
<p>参考文献・資料等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・関、芳賀：スパイクハンマー付きコンクリートはつり機の開発、平成12年度建設機械と施工法シンポジウム論文集、pp. 240-243. ・関：スパイクハンマー付きコンクリートはつり機、建設の機械化、No. 606、pp. 67-68、2000. 8. ・関、樋口、芳賀：スパイクハンマー付きコンクリートはつり機による下水道改修工事、建設の機械化、No. 610、2000. 12.

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（増設）
工法（技術）名称	FONDドリル工法
開発会社	株式会社フジタ
開発時期	平成8年12月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定 無し

工法（技術）の概要

FONDドリル工法の概要
 FONDドリル工法は、発破を使用しないで硬岩地山やコンクリートを掘削する割岩工法において、効率的に自由面を形成する技術である。本工法は、専用機械は不要であり、SABロッド(Spinning Anti-Bend Rod)を汎用ドリルジャンボに取り付けるのみの構造である。SABロッドは着脱可能で、連続孔穿孔、割岩孔穿孔及びロックボルト打設を同一ドリルジャンボで行う点に特長がある。自由面形成時には、SABロッドとビットとが接触・打撃することにより、連続性に優れた自由面を形成可能としている。また、SABロッドは回転可能な構造となっており、これより汎用ドリルジャンボの能力が最大限発揮され、高速施工が可能となる。掘削対象の外周に自由面を形成することにより、掘削対象近傍の岩盤やコンクリートに損傷をほとんど与えないことが可能となる。

適用場所としては、極力振動を低減させなければならない営業（供用）地内でのトンネル改築工事や、掘削領域外に損傷を与えられないダム堤体内での監査路や放水口の設置、コンクリート構造物の補修工事などである。

工法（技術）の特徴

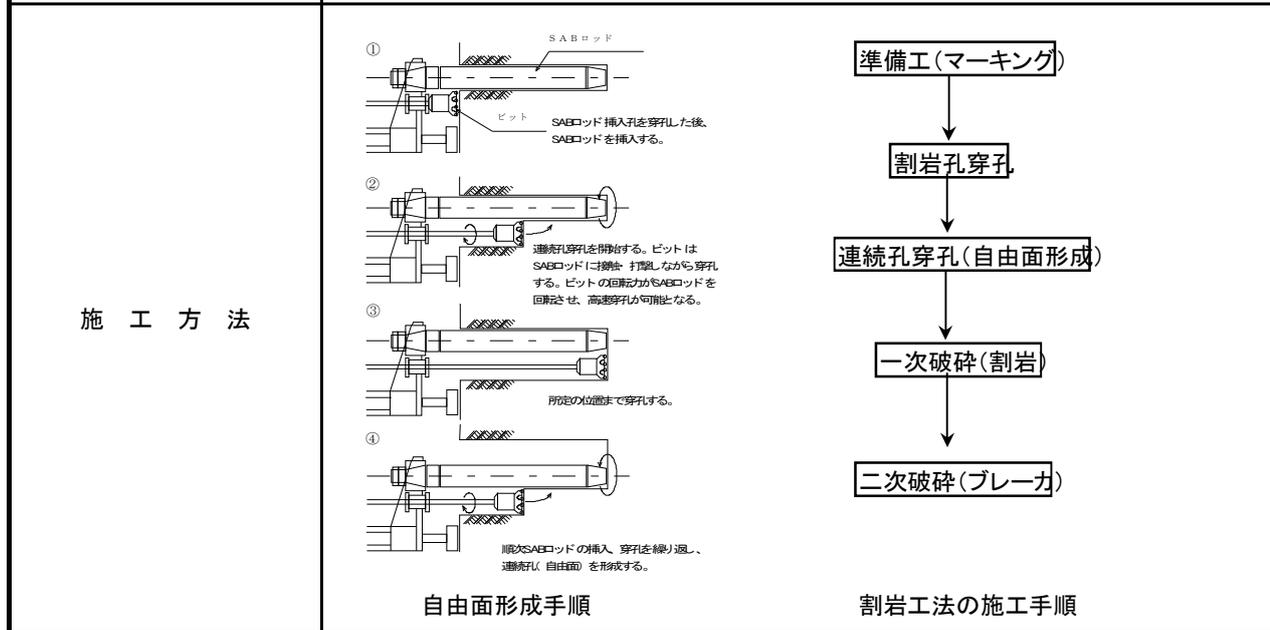
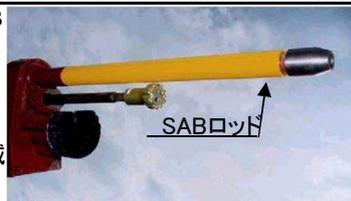
① 汎用ドリルジャンボのドリフター先端にSABロッドと呼ばれるガイドとなるロッドを取り付ける機構のため、自由面形成において専用機は不要であり、自由面形成・割岩孔穿孔・ロックボルト打設まで同一機械による施工が可能

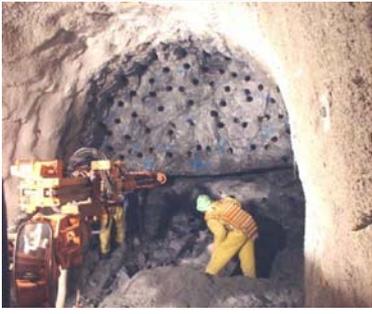
② 機械の大きさ、性能を問わず、どんな汎用機械にでも取り付けて施工が可能のため、大断面から小断面のあらゆる断面に対応でき、さらに地山性状に合わせた適切な汎用機械を選定可能

③ ビットがSABロッドを打撃しながら連続孔を穿孔するため、形成される自由面の連続性に優れ、形成される自由面の幅も在来工法より広いため、割岩時の施工性が高い

④ 大断面トンネルの実績では、一軸圧縮強度200MPaを超過する硬質な岩盤においても、170kg 超級のドリフターの使用により1ブームあたり3.7m²/h以上の自由面形成能力があり、効率的なトンネル掘削が可能

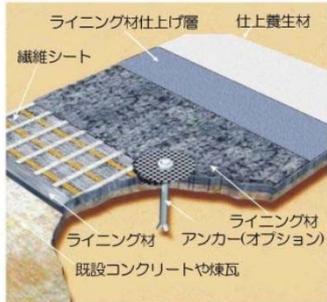
⑤ 掘削対象以外の岩盤・コンクリートにほとんど損傷を与えない



<p>施 工 概 要 図</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>穿孔後の切羽(2車線道路トンネル、掘削断面65m²)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>自由面形成状況(避難連絡坑、掘削断面10m²)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>油圧クサビによる割岩(避難連絡坑、掘削断面20m²)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>ブレーカによる二次破碎(避難連絡坑、掘削断面20m²)</p> </div> </div>
<p>適 用 条 件</p>	<p>特に制約条件はない。</p>
<p>施 工 実 績 および 施 工 時 期</p>	<p>1994/12～1996/09 広島県 上二河トンネル工事 1999/03 建設省中国地建 休山トンネル西工事 2002/02 鳥取県 三朝トンネル 2004/09～11 日本道路公団 日野山トンネル避難連絡坑 2004/10～12 日本道路公団 金近トンネル避難連絡坑</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電力土木、1996. 9、高精度連続孔穿孔工法「FONDリル工法」 ・ トンネル工学報告集、第15巻、2005. 12、硬岩の小断面避難連絡坑における割岩掘削

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設、 発電機基礎 、その他（ ）
工事種類	補修 ・補強・改築・その他（ ）
工法（技術）名称	ネットバリアー工法（C2）
開発会社	（株）フジタ、（株）高環境エンジニアリング、（株）リノテック
開発時期	2000年 月
特許の有無	特許 有り（専用実施権） ・出願中・出願予定・無し 実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

工法（技術）の概要	<p>ネットバリアー工法（C2）は、アラミド繊維とビロン繊維の格子状のネットにポリプロピレンの不織布を合体した連続繊維シートを、無機系のポリマーセメントモルタルでコンクリート等の構造物躯体に接着する劣化コンクリートの剥落防止工法である。中小規模のコンクリートが落下して災害を引き起こすのを防止すると同時に、コンクリート劣化促進要因である二酸化炭素や塩化物イオンなどの侵入を遮断することができる。</p> <p>本工法の施工対象としては、トンネル覆工コンクリートの中小規模の剥落防止対策をはじめ、コンクリート構造物からの劣化片の剥落対策としての補修工事や高耐久化技術として適用できる。</p>	 <p>工法の概念図</p>
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------

工法（技術）の特徴	<p>本工法は、無機系のポリマーセメントモルタルを使用するため、以下のような特徴を有する。</p> <p>【本工法の特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・繊維シートは十分な引張強度を有し、剥落防止効果がある。 ・ポリプロピレン不織布によりモルタルのひび割れを低減する。 <p>【耐久性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・紫外線に対する劣化対策が不要である。 ・温度変化や化学物質に対する耐久性が樹脂系の材料よりも向上する。 <p>【施工性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート表面凹凸の不陸修正が不要で、表面が湿潤であっても施工が可能。 ・使用材料の種類が少なく、工程間の待ち時間も少ないため、経済的で効率的 ・有機溶剤を使用しないので、人や周辺環境に及ぼす影響が少ない。
-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

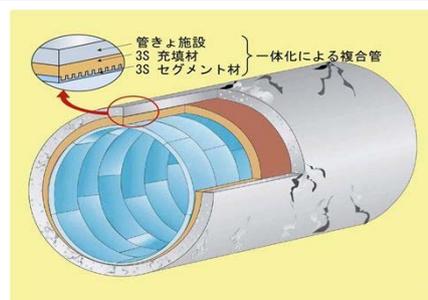
施工方法	<table border="1"> <thead> <tr> <th>施工工程</th> <th>施工間隔</th> <th>作業内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>事前処理</td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・はつり処理 ・表面処理（ディスクサンダーなど） ・防錆処理 ・断面修復 </td> </tr> <tr> <td>吸水防止材塗布（シーラ）</td> <td>2時間～1日</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・ライトファイバー混和液(1.5倍液)を使用 ・使用量 60g/m²をローラー、ハケを用いて塗布 </td> </tr> <tr> <td>貼付モルタル下塗り</td> <td>0～40分</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・シーラの指触乾燥を確認して施工する。 ・平均厚さ2.5mmでコテ塗り。 ・1袋当りの施工面積は3.0m²以内。 </td> </tr> <tr> <td>繊維シート貼付け</td> <td>不要</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・不織布を内側にして貼付け。 ・0.5mm程度モルタル内にコテ（ローラー）で押え込む。 ・モルタル厚さ2.5mmを定規で確認する。 </td> </tr> <tr> <td>アンカー打設</td> <td>貼付モルタル施工後 1～24時間 を自安</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・不織布を巻かないように注意して削孔する。 </td> </tr> <tr> <td>仕上モルタル上塗り</td> <td></td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・平均厚さ1.0mmでコテ塗り。 ・長時間放置して界面に埃がつかないように注意する。 ・1袋当りの施工面積は8.0m²以内 </td> </tr> <tr> <td>仕上養生材塗布</td> <td>2時間以上</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・接着力を強化するためのシーラ塗布 (0.1kg/m²) ・指触乾燥後、養生材塗布 (0.1kg/m²) ・色むらを防ぐためまとまった数量を一挙に施工する。 </td> </tr> </tbody> </table>	施工工程	施工間隔	作業内容	事前処理		<ul style="list-style-type: none"> ・はつり処理 ・表面処理（ディスクサンダーなど） ・防錆処理 ・断面修復 	吸水防止材塗布（シーラ）	2時間～1日	<ul style="list-style-type: none"> ・ライトファイバー混和液(1.5倍液)を使用 ・使用量 60g/m²をローラー、ハケを用いて塗布 	貼付モルタル下塗り	0～40分	<ul style="list-style-type: none"> ・シーラの指触乾燥を確認して施工する。 ・平均厚さ2.5mmでコテ塗り。 ・1袋当りの施工面積は3.0m²以内。 	繊維シート貼付け	不要	<ul style="list-style-type: none"> ・不織布を内側にして貼付け。 ・0.5mm程度モルタル内にコテ（ローラー）で押え込む。 ・モルタル厚さ2.5mmを定規で確認する。 	アンカー打設	貼付モルタル施工後 1～24時間 を自安	<ul style="list-style-type: none"> ・不織布を巻かないように注意して削孔する。 	仕上モルタル上塗り		<ul style="list-style-type: none"> ・平均厚さ1.0mmでコテ塗り。 ・長時間放置して界面に埃がつかないように注意する。 ・1袋当りの施工面積は8.0m²以内 	仕上養生材塗布	2時間以上	<ul style="list-style-type: none"> ・接着力を強化するためのシーラ塗布 (0.1kg/m²) ・指触乾燥後、養生材塗布 (0.1kg/m²) ・色むらを防ぐためまとまった数量を一挙に施工する。 	<p>☐内は同日施工も可能</p>
	施工工程	施工間隔	作業内容																							
事前処理		<ul style="list-style-type: none"> ・はつり処理 ・表面処理（ディスクサンダーなど） ・防錆処理 ・断面修復 																								
吸水防止材塗布（シーラ）	2時間～1日	<ul style="list-style-type: none"> ・ライトファイバー混和液(1.5倍液)を使用 ・使用量 60g/m²をローラー、ハケを用いて塗布 																								
貼付モルタル下塗り	0～40分	<ul style="list-style-type: none"> ・シーラの指触乾燥を確認して施工する。 ・平均厚さ2.5mmでコテ塗り。 ・1袋当りの施工面積は3.0m²以内。 																								
繊維シート貼付け	不要	<ul style="list-style-type: none"> ・不織布を内側にして貼付け。 ・0.5mm程度モルタル内にコテ（ローラー）で押え込む。 ・モルタル厚さ2.5mmを定規で確認する。 																								
アンカー打設	貼付モルタル施工後 1～24時間 を自安	<ul style="list-style-type: none"> ・不織布を巻かないように注意して削孔する。 																								
仕上モルタル上塗り		<ul style="list-style-type: none"> ・平均厚さ1.0mmでコテ塗り。 ・長時間放置して界面に埃がつかないように注意する。 ・1袋当りの施工面積は8.0m²以内 																								
仕上養生材塗布	2時間以上	<ul style="list-style-type: none"> ・接着力を強化するためのシーラ塗布 (0.1kg/m²) ・指触乾燥後、養生材塗布 (0.1kg/m²) ・色むらを防ぐためまとまった数量を一挙に施工する。 																								

<p style="text-align: center;">施 工 概 要 図</p>	<p style="text-align: center;">【暗渠施工事例】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="display: flex; justify-content: space-around;"> コンクリート剥離状 シート貼り付け状 施工完了 </p> <p style="text-align: center;">【レンガ覆工トンネルでの施工事例】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="display: flex; justify-content: space-around;"> モルタル塗布状況 シート貼付状況 施工完了 </p> <p style="text-align: center;">【鉄道高架橋の事例】</p> 
<p style="text-align: center;">適 用 条 件</p>	<p>①適用可能な構造物</p> <ul style="list-style-type: none"> ・トンネル覆工コンクリート、煉瓦、橋梁の下部工、上部工（梁、スラブ、高欄など） <p>②期待できる効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中小規模のはく落防止、耐久性向上に適するが、補強・耐震補強には適さない。 <p>④施工条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モルタル使用のため、養生温度はコンクリートと同様の4℃以上が望ましい。 ・トンネルなど施工表面が多少湿潤であっても施工は可能であるが、激しい漏水や寒中期には施工部位の養生を必要とする。 ・人力作業となるため、足場が必要な場合がある。
<p style="text-align: center;">施 工 実 績 および 施 工 時 期</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・建設省東北地建 森吉山ダム転流工第二期工事（平成12年7月） ・日本道路公団 松山自動車道千羽ヶ岳トンネル工事（平成13年8月） ・帝都高速度交通営団 東西線高架橋補修工事（平成15年3月、平成16年1月） ・JR東日本旅客鉄道（株） 京葉線コンクリート補修工事（平成15年9月） ・東京急行電鉄（株） 田園都市線高架橋補修工事（平成17年9月、平成18年8月） <p>ほか 平成18年8月現在 適用件数76件、施工累計48,026m²</p>
<p style="text-align: center;">参 考 文 献 ・ 資 料 等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・藤倉裕介、伊藤祐二、秩父顕美：無機系材料による剥落防止工法の押し抜き耐力の評価法、コンクリート工学年次論文集、Vol. 26, pp. 1487-1492, 2004. 7 ・藤倉裕介、吉川和行、岡野法之、津野究：無機系材料による剥落防止工法のレンガ積み覆工トンネルへの適用性に関する実験、コンクリート工学年次論文集、Vol. 27, pp. 1567-1572, 2005. 6

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、その他（ ））
工事種類	補修・補強・改築・その他（ ）
工法（技術）名称	3S（サス）セグメント工法
開発会社	株湘南合成樹脂製作所、前田建設工業株、西松建設株、日本ヒューム株
開発時期	2004年 3月
特許の有無	特許 有り・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

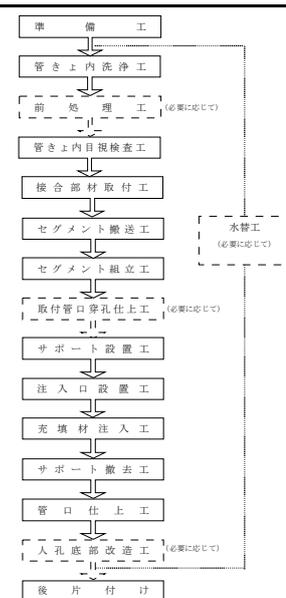
工法（技術）の概要	<p>3Sセグメント工法は、老朽化した水路トンネルを透明で軽量なプラスチック製セグメントで覆工することにより更生させる技術です。トンネルの形状（円形や馬蹄形等）にあわせた軽量セグメントは人力で搬入でき、しかもボルト・ナットの締結だけで組み立て可能です。リング状に組み上げたら、あとは既設トンネルとの隙間にセメント系充填材を注入して、既設トンネル・充填材・3Sセグメント材が一体化した複合管を構築します。</p>
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



工法概念図

工法（技術）の特徴	<p>本工法の特徴は以下のとおり。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① セグメント材を透して充填材の注入状況が目視で確認できるため、確実な充填が可能です。 ② セグメント材は1ピース約4kg弱と軽量であり、狭いトンネル内でも取り扱いが容易です。 ③ 大掛かりな機械設備を要しないため、資機材ヤードを小さくできます。 ④ 水路を供用している状態（流水下）でも施工が可能です。 ⑤ セグメントを地組して分割ピース化したり中央から上下流方向へ同時組立を行う等により工期短縮が図れます。 ⑥ 曲線部の施工が可能です。 ⑦ トンネルの局所的な更生や時間の制約等による任意の位置での施工の中断も可能です。 ⑧ 用途に応じて、セグメント材の樹脂材質と色の選定が可能です。 ⑨ 円形のほか馬蹄形のトンネルにも対応可能です。
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

施工方法	<p>施工フローを右図に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○管きよ内洗浄工 高圧洗浄車で壁面を洗浄する。 ○管きよない目視検査工 壁面の状況を確認する。 ○接合部材取付工 セグメントに接合部材を取り付ける。 ○セグメント搬送工 所定の組み立て位置までセグメント材を搬送する。 ○セグメント組立工 I7-ハンドツールを使って、セグメント材を組み立てる。 ○サポート設置工 充填材注入時の変形を抑えるためサポートを設置する。 ○注入口設置工 注入用の孔を穿孔する。 ○充填材注工 グラウトポンプにて充填材を注入する。 ○サポート撤去工 充填材硬化後、サポートを撤去する。 ○管口仕上げ工 セグメント材端部をモルタル等により仕上げる。
------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



<p>施 工 概 要 図</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>セグメント組み立て</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>充填材注入</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>セグメント組立完了</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>管口仕上げ完了</p> </div> </div>
<p>適 用 条 件</p>	<p>本工法の適用範囲は以下のとおり。 覆 工：コンクリートあるいは鉄筋コンクリート 形 状：円 形 呼び径800～2600（2600以上も可） 非円形（馬蹄形等）上記と同様な大きさ トンネル状態：段差やずれが呼び径の2%以内、流水下水深25cm以内、曲率半径R=8m以上 施工延長：制限なし</p>
<p>施 工 実 績 および 施 工 時 期</p>	<p>下水道管きょにおいて、呼び径800、1500、2600や矩形きょ等 平成17年9月現在で13件（施工延長447m）の実績あり。 発電所での実績はなし。</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電力土木、2005.3、管路の更生技術「3Sセグメント工法」 ・ 基礎工、2005.8、3Sセグメント工法：硬質塩化ビニル製セグメントによる管きょ更生工法 他