

10. トンネル維持管理のための調査・検討

10.1 はじめに

北海道内における道路トンネルは、昭和30年代後半から整備が進み、今や460箇所以上のトンネルが供用中である。これらのトンネルの内、今後老朽化の時期を迎えるものも少なくない。トンネルは供用下での改修や改築にかかる費用が高い場合も多く、近い将来膨大な維持更新費用が発生する可能性もある。限られた予算の中、合理的な維持管理を行っていくためには、トンネルの健全度を精度良く把握し、対策優先順位を決めるなどの維持管理計画検討が必要になる。現状のトンネル健全度判定は、定期点検においては「道路トンネル定期点検要領（案） 国土交通省」にもとづき行われているが、表10-1に示すように、その判定基準は定性的なものとなっている。トンネル点検は、専門技術者が行うものであり、その判定の精度は高いが、定性的な判定基準のもとでは、多少の個人差によるバラツキが出ることは否定できない。また、計画的な維持管理を行うためには、健全度を連続量としてとらえることが望ましいが、前述の点検要領（案）に限らず、一般的に健全度区分としてグレーディング法が採用されているため、定量化手法等の確立が望まれている。

以上を踏まえ、当ワーキンググループでは既設トンネルの計画的な維持管理および予防保全を行うため、健全度総合評価手法の提案と合理的な長寿命化技術の検討を平成13～15年度までに行った。ここでは、平成16～18年度の活動内容として、平成15年度までに提案した健全度評価手法の適用性検討結果と、検討過程で必要とされた点検・調査手法の高度化に関する調査・検討結果を報告する（図10-1）。

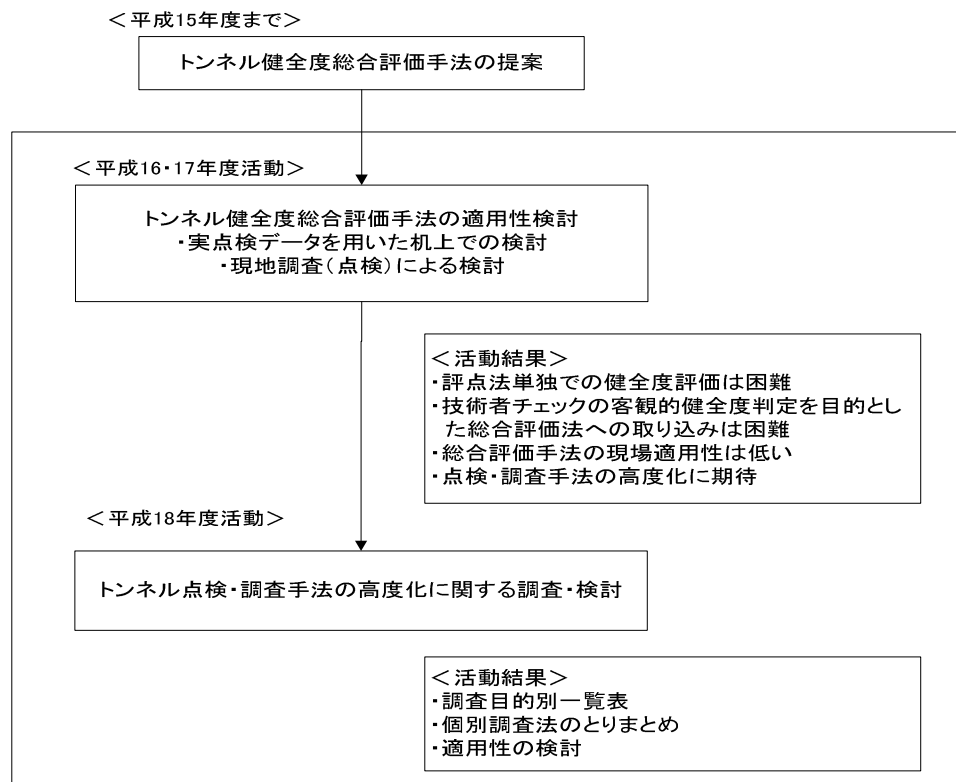


図10-1 活動の流れ

表 10-1 道路トンネル定期点検要領（案）*の判定基準（一部抜粋）

点検箇所	変状の種類	判定区分 A	判定区分 B
覆工	ひび割れ、段差	急激にひび割れが進行しており、ブロック化して落下する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合。	天端や肩部で幅 3mm 以上、延長方向に 5m 以上の規模を有する場合、または、ひび割れが多い場合。
	うき、はく離、はく落	コンクリートのはく離が発見された場合、あるいは、うきの部分のはく落する可能性があり交通の支障となるおそれがある場合。	はく落に結びつく、うき（圧ざ）が発見された場合。
	傾き、沈下、変形	目視により、明らかに傾き、沈下、あるいは変形している場合で、交通の支障となるおそれがある場合。	左記の場合で交通に支障のない場合。傾きの兆候と判断される輪切り状のひび割れが明瞭に見られる場合。
	打継目の目地切れ・段差	目地のずれ、開き、段差などにより止水板や、目地モルタルが落下し、引き続きその可能性があり交通の支障となるおそれがある場合。	左記の場合で交通に支障のない場合。
	漏水、つらら、遊離石灰、側氷	大規模な湧水、つらら、側氷で交通に支障のある場合。	左記の場合で交通に支障のない場合。
	．．．．	．．．．	．．．．

*国土交通省道路局国道課

なお、本文中、「点検技術者判定」は表 10-1 での判定を示すこととする。

10.2 トンネル健全度総合評価手法の現場適用性の検討

10.2.1 トンネル健全度総合評価手法の概要（平成15年度までの活動内容）

トンネル健全度評価手法は、トンネル定期点検において得られたスケッチ等から、亀裂等の変状を評点法により数値化し、それに専門技術者である点検者のチェック項目を加え、トンネル健全度を総合的に評価しようと試みたものである。評点法は、「区間比」と呼ばれる変状密度（表10-2）に変状の種類別・発生位置等により定められた補正係数（表10-3）を乗じ、覆工スパンごとに合算した評点に応じて、表10-4にしたがい健全度を判定する。なお、平成13年度～平成15年度報告書では、定量的評価法と表現しているが、手法内容から本報告書では評点法に変更する。

「評点」＝「区間比」×「補正係数」（覆工スパンごとに合算）

ここに、

「区間比」：単位面積または単位長あたりの変状密度

「補正係数」：（ウエイトⅠ）×（ウエイトⅡ）×（打音ウエイト）

表10-2 変状種と区間比算出式

変 状 種	区間比（変状密度）算出式
① ひび割れ	ひび割れ長／覆工面積
② 浮き・はく離	浮き・はく離面積／覆工スパン長
③ 漏水	漏水延長／覆工面積
④ 目地ズレ・開き	目地ズレ・開き延長／覆工面積
⑤ 豆板・空洞	豆板・空洞面積／覆工スパン長
⑥ 遊離石灰	遊離石灰延長／覆工面積

表10-3 ウエイト別係数

	内 容	係 数
ウエイトⅠ	変状種別の係数	①ひび割れ 1.0 ②浮き・遊離石灰 2.0 ③漏水 1.5 ④目地ズレ・開き 1.0 ⑤豆板・空洞 1.0 ⑥遊離石灰 1.0
ウエイトⅡ	発生原因・位置・状態による係数	①ひび割れ 外力 2.0、材料劣化 1.5、施工等 1.5 ②浮き・はく離、⑤豆板・空洞 アーチ部 2.0、側壁部 1.0 （漏水を伴うもの上記+0.5） ③漏水 にじみ 1.0、滴水 1.5、流下・噴出 2.0 （濁りを伴うもの上記+0.5）
打音ウエイト	打音検査による係数	清音・反発 1.0、鈍い音 1.5、こもる音 2.0

表 10-4 評点法による健全度判定区分（案）

判定区分	評点範囲	判 定 の 内 容
A	4.0 以上	変状が著しく通行車輛の安全を確保できないと判断され、応急対策を実施した上で補修・補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合。
B	1.0～4.0	変状があり、応急対策は必要としないが補修・補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合。
S	1.0 未満	変状はないか、あっても軽微で応急対策や標準調査の必要がない場合。

補正係数を算出する際の各ウエイトの係数および健全度判定区分の評点範囲は、複数のベテラン専門技術者の知見を取り入れて設定した。一方、技術者チェックは、トンネル専門技術者へのヒアリング結果から評点法により抽出困難な事象として抽出されたもので、表 10-5 に示すとおりである。

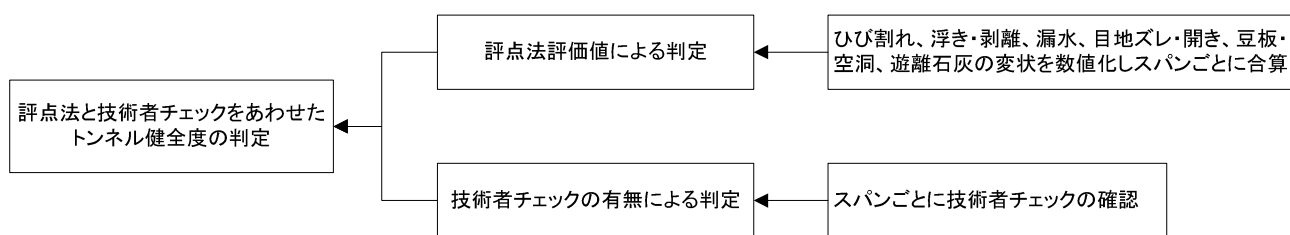
表 10-5 技術者チェック項目（評点法で抽出困難とされる事象項目）

番号	項目	内 容
①	隣接区間と連続性のある変状	隣接区間で B 以上の判定となる変状が、該当区間まで連続している場合、該当区間の変状程度が低くても、隣接区間と同様の判定とする場合がある
②	目地または補修用モルタルの浮き	目地や補修用モルタルに浮きがある場合、構造的に剥落しやすい。
③	閉合している亀裂や亀裂交差部の異音	閉合している亀裂や亀裂交差部に異音がある場合、短期間に剥落する可能性がある。
④	進行性が疑われる亀裂	過去の点検記録がなくても、供用開始直後のトンネルにおける亀裂は、進行性が疑われる等。
⑤	異音はないが鉄筋のさびによるコンクリートの変色等が認められる	有筋構造部で、鉄筋腐食が疑われる場合、変状が進行する可能性が高い
⑥	冬季に舗装面の不陸などにより滞水がある	冬季の路面滞水は、凍結により走行の支障となる可能性がある。
⑦	金網の設置などにより打音はできないが、外観上浮きが認められる	応急対策は実施されているが、追跡調査が必要。
⑧	地山由来と思われる土砂の堆積	湧水のあるトンネルで、側溝や側壁付近に地山由来が疑われる土砂が堆積している場合、緩み・背面空洞が疑われる。
⑨	坑口部のジャンカ	坑口部のジャンカは、凍結融解によりポップアウトが発生する可能性がある。

評点法評価と技術者チェックを表10-6に示すような判定表に記入し、両者を総合的に評価し健全度を判定する。総合評価手法による健全度判定のイメージは図10-2に示すとおりである。

表10-6 トンネル健全度総合判定表（案）

トンネル名	〇〇トンネル					
スパン番号	△スパン					
評点法評価						
項目	×年×月		年 月		年 月	
	実測値	評点	実測値	評点	実測値	評点
ひび割れ	0.19	0.35				
浮き・剥離	0.09	0.36				
漏水	0.00	0.00				
目地ずれ・開き	0.00	0.00				
豆板・空洞	0.00	0.00				
遊離石灰	0.00	0.00				
評価点合計	0.28	0.71				
評点法による判定		S				
技術者チェック			年 月	年 月	年 月	
隣接区間と連続性のある変状がある						
亀裂に進行性が疑われる						
地山由来と思われる土砂が堆積している						
目地または補修用モルタルに浮きが発生している			○			
亀裂交差部に浮きが発生している						
浮きがブロック化している						
さびによると思われるコンクリートの変色がある						
漏水に伴い路面凍結が懸念される						
応急処置が完了しているが外観上浮きがある						
坑口部や凍結融解懸念箇所にジャンカがある						
その他(トンネル肩部に連続した浮きがある)			○			
総合評価			B			



※具体的な判定方法は試行により検討

図10-2 総合評価手法による健全度判定のイメージ

10.2.2 トンネル健全度総合評価手法の適用性検討

評点法で得られた数値に、技術者チェックをどのように取り込み、健全度を総合的に判定するか、実際の点検結果を用いた机上シミュレーションと現地点検により検討を行った。

(1) 机上シミュレーションによる適用性の検討

机上シミュレーションは、表10-7に示す箇所で、過去に実施された点検のスケッチおよび現地写真等に基づき実施した。

表10-7 机上シミュレーション対象トンネル

トンネル工法	在来工法	NATM	計
トンネル数	41	6	47
スパン数	526	91	617

まず、評点法による健全度判定と点検技術者による健全度判定が一致した割合を図10-3に示す。

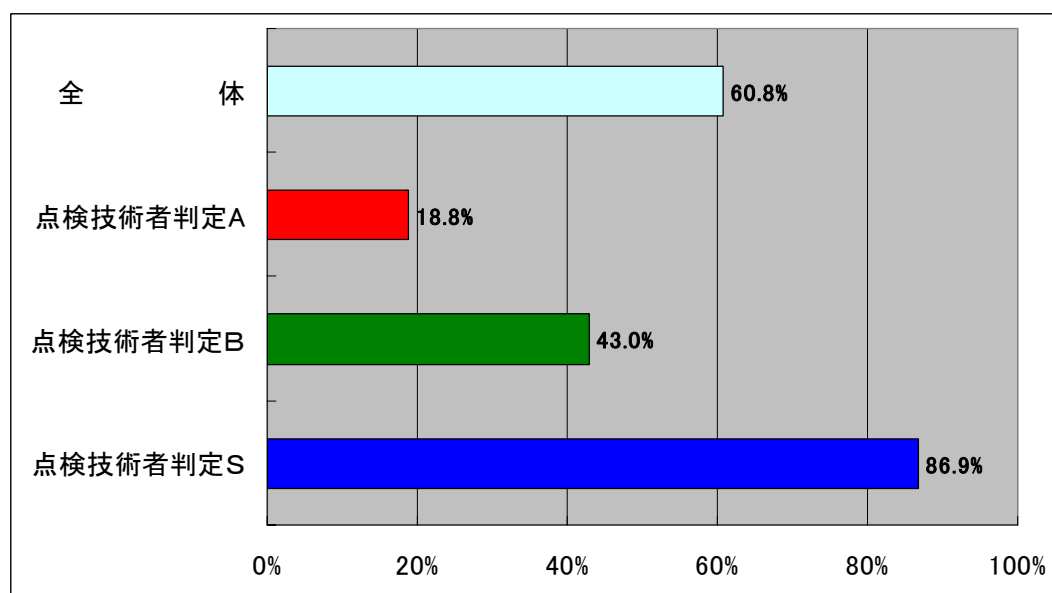


図10-3 評点法による健全度判定と点検技術者による健全度判定が一致した割合

全体平均としては61%程度の一致が確認されているが、点検技術者判定別に見ると、判定Sで87%、判定Bで43%、さらに判定Aでは19%と、健全度が低くなるにつれ、一致率は大幅に低下することから、変状のある程度進行したトンネルにおいては、評点法だけでは健全度評価を行うことが難しいことがわかる。次に、この一致率の低下を、技術者チェック有無を用いて総合評価し、点検技術者判定に近づけることができるかどうかを検討する。点検技術者の判定と技術者チェックの有無の関係を示せば表10-8のとおりである。

表 10-8 点検技術者の判定と技術者チェック有無の関係（スパン数）

点検技術者の判定 技術者チェック有無	判定A	判定B	判定S
有	1 5	3 3 3	4
無	1	9	2 5 5
合 計	1 6	3 4 2	2 5 9

同様に、評点法の判定と技術者チェックの有無の関係を示せば表 10-9 のとおりである。

表 10-9 評点法の判定と技術者チェック有無の関係（スパン数）

評点法の判定 技術者チェック有無	判定A	判定B	判定S
有	3 8	1 5 8	1 5 6
無	3	2 9	2 3 3
合 計	4 1	1 8 7	3 8 9

表 10-8 をみると、点検技術者の判定 S で技術者チェックがわずかであり、判定 B および A で技術者チェックが有ることがわかる。すなわち、健全度の判定にたいし技術者チェックの有無が大きく関与していることを示している。一方、表 10-9 では、評点法による判定結果と技術者チェックの有無に明確な関係は認められない。

次に、技術者チェックの総合評価法への取り込み方法について、まず、技術者チェックの数が健全度判定に影響を与えるかどうか調べる。表 10-10 に、技術者チェック数と評定法評価値の範囲、健全度判定別割合の関係を示す。

表 10-10 技術者チェック数と評定法評価値の範囲と健全度判定別割合の関係

技術者 チェックの数	評定法による				
	評価値のとり範囲	健全度判定の割合			
		A	B	S	
1	0.03 ～ 16.7	10.8%	40.8%	48.4%	
2	0.11 ～ 13.3	13.1%	44.3%	42.6%	
3～4	0.34 ～ 5.43	15.0%	45.0%	40.0%	

上表から、技術者チェックの数が多くなるにともない、健全度判定も B または A の割合がやや多くなる傾向が認められるものの、その程度はわずかである。評価値のバラツキの大きさから、技術者チェック数の大小を数値化しても、健全度判定に反映させることは困難であり、総合評価法には取り込められないと考えられる。また、この他にも、個々の技術者チェックを数値化して、総合評価法へ取り込める可能性があるかどうかの検討を行ったが、同じように、評定法による健全度判定と技術者チェックの有無の間に特徴的な関係は確認できなかったため、困難であると判断した。

以上、点検データを用いた机上シミュレーションからは、総合評価手法を用いて客観的にトンネル健全度を判定することは困難であるとの結果になった。但し、技術者チェックの有無が健全度判定を左右することは、表 10-8 から明かであるため、点検時の重要確認項目

として、技術者チェックを用いることは極めて有効であると考えられる。また、各スパンで個別に、「評点法判定がSで、技術者チェック項目が1つ以上ある場合判定をBとする」といった方法をとれば、客観的な判定ではないが、点検技術者判定を再現させることも可能と考えられる。

(2) 現地点検による適用性の検討

机上シミュレーションでは、総合評価法の客観的健全度判定は困難と判断されたが、技術者チェックは健全度判定に大きく関与していることがわかったため、現地での適用性を確認することを目的として、供用中の道路トンネル（表10-11）を対象に現地調査（点検）を実施した。現地調査では、表10-6に示したトンネル健全度総合判定表（案）と展開図を用い、トンネルに関する専門技術者5名による遠望目視点検を実施した。

表10-11 現地調査対象トンネルの諸元

トンネル名	工法	延長	施工年次	抽出スパン数
Aトンネル	在来工法	541m	昭和35年	12
Bトンネル	NATM	940m	平成6年	44

図10-4にAトンネル（在来工法）、図10-5にBトンネル（NATM）の現地点検の結果を示す。横軸が評点法評価値、縦軸が現地点検で専門技術者が与えた技術者チェックの数である。また、点検技術者判定は今回行ったものではなく、定期点検の結果であり、青色が判定B、桃色が判定Sである。

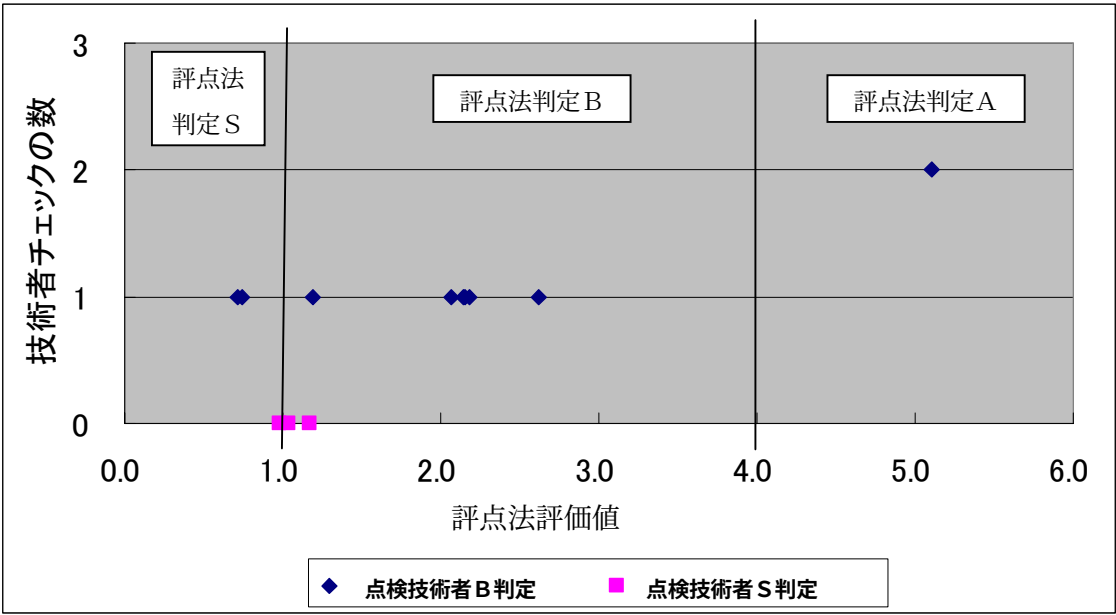


図10-4 現地調査点検の結果（在来工法）

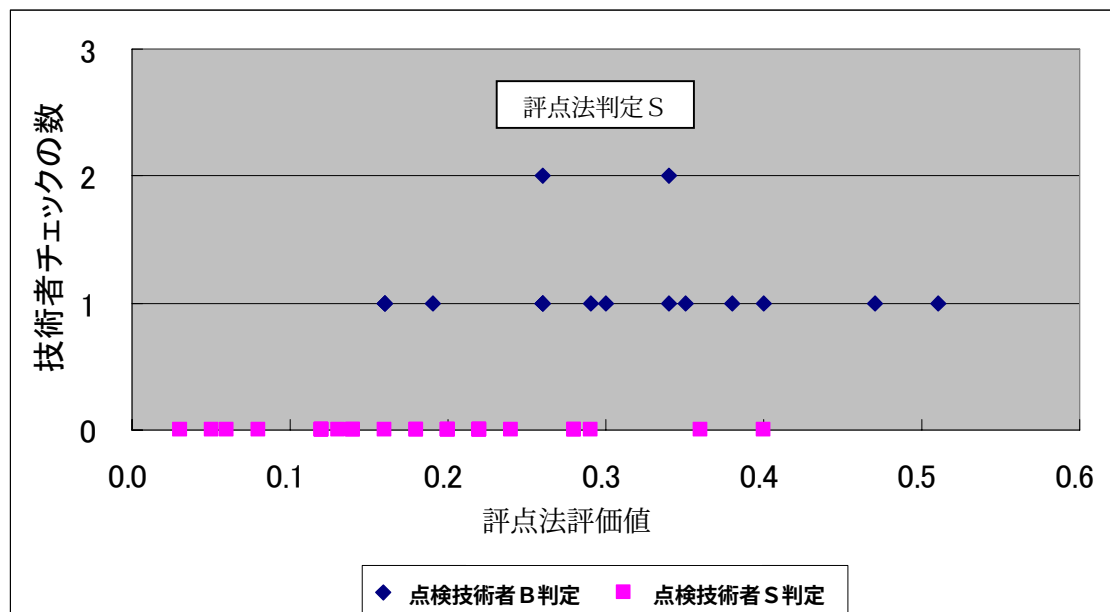


図 10-5 現地調査点検の結果 (NATM)

両図から、従来手法で点検技術者がBと判定したスパンの全てで、1項目以上の技術者チェックが与えられていることがわかり、現地点検結果からも、机上シミュレーションと同様、技術者チェック項目は、点検技術者の健全度判定に大きく関与していると判断される。ただ、この場合も評点法評価値のバラツキが大きく、技術者チェックとあわせた総合的評価による客観的健全度判定はできていない。

以上、点検結果を用いた机上シミュレーションと実際の現地点検から、平成15年度に提案した健全度評価法の現場適用性について検討を行ったが、当初目標としていた、技術者チェック数を数値化し、評点法評価値に加え、より客観的な判定を行うという試みでは、点検技術者の判定と一致させることは困難であるとの結果となった。これは、点検技術者の健全度判定基準が第三者被害を最重要視しているためと考えられる。したがって、技術者チェック項目に着目してトンネル点検を行う有効性は認められたものの、提案した総合評価手法を用いて、現在の点検要領に沿った健全度を客観的に判定することは困難であり、総合評価法の現場への適用性は低いものと判断される。但し、評点法は変状の程度を数値的に表現してくれることから、同一トンネル内の区間相互の比較や、特定区間の経時的な比較を相対的に行うことにより

- ① 重点箇所の抽出や補修検討がより簡便になる
- ② 健全度（老朽度）の経時変化の監視がより容易になる

など、維持管理計画に利用できる可能性もある。いずれにしても、今後の点検データ蓄積による検討が必要である。なお、現地点検の検討の中から、専門技術者の判断により、以下の2項目を技術者チェックに追加することとした。

- ・トンネル肩部に連続した浮きがあり、圧ぎによる変状が疑われる
- ・NATM トンネルで漏水が発生しており、防水機能が失われている

現状の定期点検は、点検技術者が行う近接目視と打音検査点検を主としているため、一般論として、スケッチ図等の維持管理の基本データに、多少の個人差が入ることは否定できない。また、点検技術者は作業性の悪さから、省人化等の効率化に期待を寄せているのが実情である。そこで次節では、トンネル点検、調査手法の高度化に関わる最新技術について、動向を調査し、資料収集を行った結果について述べることにする。

10.3 トンネル点検・調査手法の高度化に関する調査・検討

10.3.1 点検・調査手法の現状と最新技術の動向

(1) トンネル定期点検の現状

トンネル定期点検は、「道路トンネル定期点検要領（案）：平成14年4月国土交通省道路局国道課」に基づき、遠望目視や近接目視により、本体工の変状を把握して、打音検査により利用者被害の可能性のある「うき・はく離」箇所を除去するなどの応急措置を講じる。また、必要に応じて応急対策および標準調査の必要性を判定して点検記録を作成し、効果的な維持管理を行うことを目的としている。

現在実施されている点検手法は、基本的に点検員の判断によるところが多く、個人による精度のバラツキや作業性など、改善が必要な面もあり、今後、点検の効率化や省力化を図る上でも、機械等による調査手法の適用性の検討が重要になってくる。

(2) 定期点検の課題

トンネル定期点検は、片側交通規制のもとで、点検員が目視によりひび割れ展開図を作成し、点検ハンマーによる打音検査で、「うき・はく離」箇所を抽出している。限られた狭い空間と作業時間内での点検のため、多大な人力を投入して実施せざるを得ない上、点検員の数を増やし短時間で作業を実施するほど、点検結果の統一や作業効率が低下するなどの問題もでてくる。点検を実施した経験から、現在の点検手法の効率化や精度向上を目的とした場合の課題を下記に示す。

- ① 型枠の目や施工目地、付属施設などの位置を目安にひび割れ展開図を作成しているため、微細なひび割れの延長やひび割れ幅の経年変化を追跡するのは容易ではない。
- ② 微細なひび割れの箇所や変化は、トンネル内の覆工面が煤煙で汚れている場合や季節変動によって目視で確認できない場合があるので、ひび割れ位置の精度が劣る。
- ③ うき・はく離箇所の判定区分はあくまでも点検員の判断によるところが多いため、点検員によって、評価に多少のばらつきが発生する場合もある。
- ④ 点検ハンマーによる打音は点検員の視覚や聴覚、打撃感覚で評価するため、その結果を第三者に定量的に示すことが困難である。
- ⑤ 内部欠陥や覆工巻厚不足など、亀裂面が確認できないにも関わらず、うきの音が確認される場合があることから、覆工面全体を打音検査で確認するため、作業効率が非常に悪い。

(3) 点検・調査手法の技術的動向

以上の課題に対する新しいトンネル点検技術の概要は下記のとおりである。

覆工壁面に非接触で実施する覆工画像撮影技術は、デジタルカメラやビデオ、あるいはハイビジョンカメラ等のデジタル画像を用いて劣化状況を判断する方法が多くなっているが、その他に、レーザ光等を利用した画像撮影技術も開発されている。これらの技術は、トンネル坑内の特殊性（狭小な作業空間、短い作業時間など）から広範囲をできるだけ早く調査する迅速性、微細な劣化も検出可能といった調査精度の向上、およびデータの可視化と電子化といった三つの方向性を持って技術開発が進んでいる。

コンクリート表面のうき・剥離検知を行う技術については、打音検査技術の開発が多く、特に打撃ロボット等を使用して覆工コンクリートの点検を自動で行い、その打撃音をそれぞれの手法で判定する技術が増加してきている。また、赤外線カメラを用いた検査技術も増加しており、打音検査と同程度の精度を有する技術も開発されている。

非破壊による巻厚・背面空洞の探査技術は、超音波、電磁波レーダおよび弾性波を用いたものに大別でき、調査の迅速性ととも、調査深度や精度の向上に向けて開発が進められている。

次節以降では、収集した最新点検・調査手法およびその適用の可能性などについて述べることにする。

10.3.2 最新点検・調査手法の事例収集

定期点検の効率化および精度向上の検討および詳細調査時の手法選定の資料作成を目的に、最新点検・調査手法の事例収集を行った。関連する文献・カタログ・ホームページ・NETIS から、各手法の目的・概要、精度、適用範囲、標準単価、作業性、特許等登録状況の情報収集を行った。また、適用に当たっての留意点を確認するため、上記情報に対し、開発者にヒアリングを実施した。特に、調査数量(延長)別の単価や適用上の留意点は、採用検討にあたり大きな条件となることから、可能な限り詳細に聞き取りを行った。各手法は、調査目的別に各情報を一覧表形式としたほか、比較しやすいよう、同一書式で個別にとりまとめた。これら事例収集結果は、資料編として章末にまとめて示す。

表10-12 収集した点検・調査件数

	件 数	個別調査票番号
覆工クラック・打音調査	3	A-1～A-3
覆工クラック調査	5	B-1～B-5
覆工打音調査	5	C-1～C-5
覆工背面空洞調査	2	D-1,2
その他	5	E-1,2 F-1,2 G-1
計	20	

10.3.3 定期点検の効率化・精度向上への適用可能性検討

収集した調査・点検手法の事例から、定期点検の調査目的別に効率化・精度向上に着目し適用の可能性を検討する。定期点検の内容から調査手法を、覆工クラック調査・覆工打音調査およびその他に分類し、各々の特徴を以下に示す（詳細は資料編参照）。

1) 覆工クラック調査

- ・ 最終的なひび割れ確認は人力による確認が必要であるが、ひび割れ位置の精度や経年変化の追跡については有効性が高い。
- ・ 作業効率は、現在の点検方法に比べて、5倍～10倍程度点検速度が速いと想定される。
- ・ 点検精度（ひび割れの位置確認）や点検速度は優れるが、調査費用が高いものもある。夜間照明の消灯が必要な機種、水による点検機械の防護、交通規制の協力など、制約条件を解決ができれば、適用の可能性は高い。

2) 覆工打音調査

- ・ 自動化は熟練技術者が不足の中、省力化の意味では有効と考えられる。
- ・ 打音を定量的に示すことが可能なため、第三者への説明は有効と考えられる。
- ・ 動打音システムは従来の点検方法と比較して、点検速度や点検費用はほぼ同等であり、省力化が図れる上、定量的な評価結果をだせるため、有効性は高い。
- ・ 但し、実績数が少なく、打撃音の違いによる変状種（うき、豆板、内部欠陥、空洞など）の個別判断がどの程度可能か従来点検手法結果との比較等、現場での試行が必要と思われる。
- ・ 音の点検棒については、建築などでタイルの浮きを確認するときによく使用される棒であるが、トンネル覆工面では、熟練技術が必要である。

3) その他

- ・ 超音波探査は、ひび割れ深度を測定するのに有効であるが、微細なひび割れでは精度が低下する。また、ひび割れの方向が覆工面と直交していない場合も精度が劣る可能性がある。今後、詳細調査時に併用して、適用性を検討することが望ましい。
- ・ 電磁波探査は、覆工厚や覆工背面空洞を調査する場合によく採用されている工法である。但し、漏水防止板が設置されている場合や鉄筋を含む覆工など、金属部分で乱反射が発生する場合があるので、使用には注意を要する。
- ・ クラックスケール内蔵の計測機器は、ひび割れの詳細調査時には有効であるが、トンネル定期点検内の限られた時間内では、作業性に劣る。
- ・ 超音波、電磁波、光ファイバー、測量機器については、いずれも詳細調査時には有効であるが、トンネル全体を概略的に把握する定期点検内では、調査に時間を要することから、適用性に劣ると考えられる。

覆工クラック調査および覆工打音調査は、専用の調査機を用いるのが主体となっており、省人化・作業スピードなどに対する効率化が期待できる。精度については、覆工クラック調査は実績数も多数あることから、十分確保されていると判断され、実用レベル段階に入っていると考えら

れる。一方、覆工打音調査は実績数が少なく、従来の打音調査に比べ同等程度以上の精度が確保されるか、点検結果との比較を行い検証する必要がある。第三者被害に直結する「うき・はく離」はその大部分が打音調査で発見されることから、採用に当たっては十分な注意が必要となる。その他の調査法については、詳細調査を実施する場合に適用するのが望ましく、手法によっては、調査に時間がかかる、一度の調査範囲が狭い、など効率性が悪く定期点検への適用性は劣ると考えられる。

10.4 まとめ

以下に、トンネル健全度総合評価手法の現場適用性検討およびトンネル点検・調査手法の高度化に関する調査・検討の活動内容について結果を列記する。

(1) トンネル健全度総合評価手法の現場適用性

- 1) 総合評価法により客観的に健全度を判定することは、技術者チェックの数値化が困難であることから、その適用性は低い。
- 2) 技術者チェック項目は、健全度判定に大きく関与していることから、点検時に最重要確認項目として用いることは有効と思われる。
- 3) 評定法は、健全度が低くなるにつれ点検技術者判定との一致率が低下するが、同一トンネル内の区間相互の比較や、特定区間の経時的な比較を相対的に行うことにより
 - ① 重点箇所の抽出や補修検討がより簡便になる
 - ② 健全度（老朽度）の経時変化の監視がより容易になるなど、維持管理計画に利用できる可能性もある。

(2) トンネル点検・調査手法の高度化に関する調査・検討

- 1) 最新の点検・調査手法を、文献・カタログ・ホームページ・NETIS から20事例収集を行った。
- 2) 開発元へのヒアリングを実施し、精度・適用範囲、標準単価、作業性等を調査目的別一覧表および同一書式の個別帳票にとりまとめを行った。
- 3) 定期点検への適用性についての検討結果は現段階では以下のとおり整理できる。
 - ① 覆工クラック調査および覆工打音調査は、省人化・作業スピード向上等に対する効率化が期待できる。
 - ② 覆工クラック調査の精度は、実績も多数あることから十分確保されていると判断される。
 - ③ 覆工打音調査は、実績数が少なく、従来の打音調査との比較により検証が必要。
 - ④ 超音波探査等その他の調査は、詳細調査を実施する場合に適用するのが望ましく、時間がかかる・調査範囲が狭いなど効率性が悪く定期点検への適用性は劣る。

<資料編>

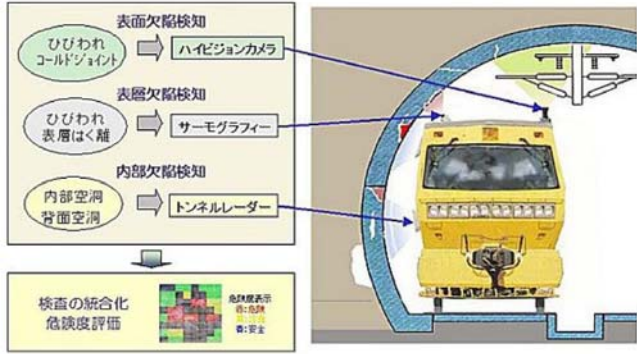
・調査目的別一覧表

用途	番号	技 術 名	目 的	経 済 性（直接調査費）		適 用 範 囲		精 度 （測定精度やその客観性など）	作 業 性 （調査のスピード）	実 績	そ の 他		
				トンネル延長当たり		使 用 範 囲	留 意 点				特許登録	NETIS登録	審査照明
クラック調査 うき・剥離調査	A-1	走行式コンクリート点検システム	トンネル定期点検	L=200m当たり	13,500円/m	・車線規制が必要 ・検査車両が走行できる直径2.0m 以上を有すること	・コンクリート表面を洗浄する必要がある ・漏水が激しい部分は、サーモグラフィの判定が不可能	・ひび割れ幅0.3mm以上	・ハイビジョン 撮影5km/h ・サーモグラフィ撮影2km/h	6件	P2002-257744A	KK-040082	無
				L=500m当たり	12,000円/m								
				L=1,000m当たり	10,000円/m								
	A-2	TIPS赤外線画像解析法	コンクリート構造物の浮き、剥離、ひび割れの検出	L=200m当たり	10,000円/m	・コンクリート構造物一般 ・片側交通規制が必要 ・対象物付近の一日の気温変化が3℃以上あること。	・コンクリート表面が濡れていると劣化部の温度差を検出できない。 ・照明付近は、対象物の表面温度への影響が大きいため適応できない。 ・トンネルの中は一般に外より温度差が小さいが、とくに長いトンネルでは中央部付近の温度変化が小さく検出精度が落ちる。	・最小クラック検出幅：0.2mm以上 ・最小浮き部：5cm角以上	0.5km/ 1 日程度 (画像処理・解析処理は、トンネル延長100mあたり12日必要)	国土交通省: 2件 その他公共機関:19件 民間:9件	出願予定	CG-020015	無
				L=500m当たり	8,400円/m								
				L=1,000m当たり	7,500円/m								
	A-3	全周画像を用いたトンネル検査システム	トンネル変状、ひび割れ、ジャンカの検出	L=200m当たり	8,000円/m	・交通規制が必要 ・道路センターに障害物がある場合は撮影が困難である。	・目視検査を画像で行うのと同じため、汚れなどで見えない部分は目で見たまの画像となる。 ・撮影機材に漏水などに対する対策が必要となる場合がある。	・直径2.0mのトンネルで最小ひび割れ約0.2mm ・直径10. mのトンネルで最小ひび割れ約1.0mm ・直径5.5mの場合最小ひび割れ約0.5mm	撮影:時速 2 km/h～4km/h (組立・キャリブレーションに1.5時間片付けに1時間必要。)	3件	出願中	未登録	無
				L=500m当たり	6,000円/m								
				L=1,000m当たり	4,000円/m								
クラック調査	B-1	トンネルレーザ画像計測クラック解析システム	ひび割れ展開図の作成	・トンネル延長等により大幅に異なる。		・トンネル断面寸法による制約はなし。	・撮影機材に雨及び漏水の影響がないこと	・クラック幅確定精度1mm（標準）	・標準計測速度25 km/h ・最大計測速度60 km/h	約770件	1988748	KT-980686	無
	B-2	コンクリート構造物の損傷・劣化検出システム	ひび割れ展開図の作成	・6,285千円／1 k m		・走行2車線（幅6m×頂版高さ約8m） ・トンネル径2m以上15m以下 ・横断方向トンネル半周，縦断方向約2m幅 ・温度0～40℃、湿度80%以下で使用可	・撮影機材に雨及び漏水の影響がないこと ・撮影時には一般に道路規制が必要であるが、ひび割れの検出精度によっては規制なしでも可能である	・ひび割れ幅0.1mm: 時速5km/h ・ひび割れ幅0.3mm: 時速10～20km/h ・ひび割れ幅0.5mm: 時速50km	・長大トンネルにおいても1日で作業完了（車両走行速度5～50km/h）	国土交通省: 2件 その他公共機関:20件 民間:15件	3276621	QS-020025-A	無
	B-3	連続展開画像によるトンネル調査	ひび割れ展開図の作成	150m～300m	9,000円/m	・調査車両が通行可能なトンネル ・調査は、交通量を考慮し、少ない時間帯に実施可能	・撮影機材に雨及び漏水の影響がないこと ・表面に汚れがある場合はひび割れ検出精度が低下する。	・ひび割れ幅0.2mm以上	・車両走行速度5km/h	約25件	出願中	TH-90024（画像編集技術）	無
				300m～500m	8,000円/m								
				500m～700m	7,000円/m								
	B-4	表面変状調査システム	ひび割れ展開図の作成	L=200m当たり	12,000円/m	・原則として、戸田建設、西松建設施工のトンネル覆工コンクリート竣工前検査および径時変化調査用に適用 ・定期点検における要点検箇所を追跡調査	・トンネル中央ににおいて、調査するのが望ましい ・交通規制が必要 ・トンネル内面の清掃が必要な場合は別途検討が必要	・ひび割れ幅0.2mm	・調査速度：20～30m/h ・画像合成：1km/3日 ・展開図作成：50～100m/日	7件	出願中	未登録	無
				L=500m当たり	6,000円/m								
				L=1,000m当たり	6,000円/m								
	B-5	ハイビジョンカメラを用いたトンネル覆工点検システム	ひび割れ展開図の作成	・L=1,000mを1日で 撮影し、展開図作成まで400～500万円		・片側交通規制が必要	・撮影機材に雨及び漏水の影響がないこと	・ひび割れ幅0.3mm程度	・撮影時走行速度20～30km/h	24件	未登録	申請中	無
打音調査	C-1	トンネル覆工打音診断システム	覆工打音検査	L=200m当たり	7,000円/m	・円形断面のみ（Box不可） ・片側規制で、内空4.5～7.5mまで適用可能 ・側壁部は路面より2m程度の高さまで打音可能 ・診断装置の運転は、産業用ロボット特別教育受講者が必要	・照明等の障害物は打音不可 ・湿潤程度は問題なし ・トンネル高さの限界7.95m	・30cm×30cmの範囲に1打点 ・判定は3段階（健全、中間、不健全） ・覆工厚が10cm程度以上あると、健全と判定	・延長方向18m/時間程度 ・周方向 30m/時間程度 （トンネルCLより4.5m程度の範囲を調査する場合）	12件	出願中	TS-020012	無
				L=500m当たり	5,000円/m								
				L=1,000m当たり	4,800円/m								

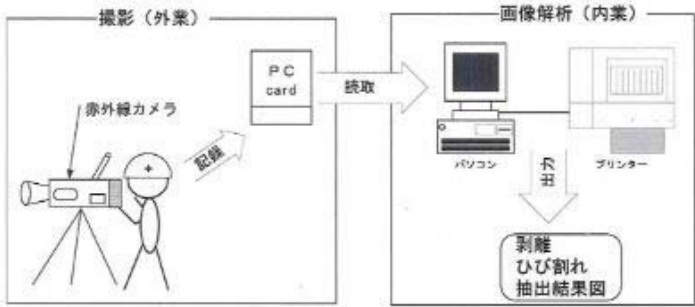
用途	番号	技 術 名	目 的	経 済 性（直接調査費）		適 用 範 囲		精 度 （測定精度やその客観性など）	作 業 性 （調査のスピード）	実 績	そ の 他		
				トンネル延長当たり		使 用 範 囲	留 意 点				特許登録	NETIS登録	審査照明
打音調査	C-2	トンネル覆工打音検査 自動化システム	覆工打音検査	L=200m当たり	2,450円/m	・一般的な道路トンネル断面寸法にて適用可能 ・高所作業者のブーム稼働範囲外では測定不可能 ・片側規制が必要	・電子機器を用い埒いるため、覆工面からの漏水が激しい箇所では調査不可 ・気温が氷点下の場合、電子機器の動作に不具合が生じる可能性有り ・覆工表面の凹凸が激しい場合は、打温および集音に支障が出る可能性有り	・測定可能覆工厚：30cm程度	・70m/1時間（50cm間隔測定）	1件 新潟県	出願中	HR-030018-A	無
				L=500m当たり	1,680円/m								
				L=1,000m当たり	1,070円/m								
	C-3	トンネル覆工自動打音調査システム	覆工打音検査	標準調査費用（トンネル延長1km×10測線）としてC=4,550,000円		・トンネル高10m程度まで ・天端、側壁など、角度による制約は特でない ・片側規制が必要 ・馬蹄形、Boxの調査可能 ・通常の使用環境（温度0～40℃、湿度20～80%）であれば対応可能	・ハンマーによる打撃に耐えられる強度、厚さを有するコンクリートであること ・湧水の凍結により、コンクリートを直接打撃出来ない場合は、水の除去が必要 ・覆工表面に著しい凹凸がある場合は、正しい測定が出来ない場合がある	・自動打撃装置により、一定打撃力でのハンマー打撃を可能にしたことから、調査のバラツキを低減 ・音響エネルギー指数による客観的、定量的な判断が可能	・1km/1時間/測線、打点間隔50cm（人力による打音調査と比較し、約30%程度の作業工程短縮。）	1件	出願中	KT-040070-A	無
	C-4	超音波試験	トンネル覆工コンクリートの剥落検知	十分な実用化までには至っていないため、現段階では費用不明。		・特に制限はない	・赤外線カメラでの評価なので補修部と剥離部の判別は困難な場合がある。	・剥離深さ：50mm ・ひび割れ幅：0.3mm（目標）	・検査速度：最大4km/h（目標）	試験的な使用段階	出願中	未登録	無
	C-5	Tunnel Lining Inspection System	トンネル覆工の劣化診断	3972000円/6250m2		・交通規制が必要 ・高所作業車が必要であり、路盤は高所作業車が通行できる程度の不陸状態とする。 ・比較的断面が大きく、障害物が少ないトンネル	・漏水などに対しての水対策が必要な場合もある。 ・位置出しのために事前に簡単な測量が必要である。 ・調査を行う前に、健全であると判断される場所を打撃し、判定の基準となる健全部の打撃音の収録をする必要がある。	・50cm×50cmの範囲に1打点 ・判定は健全、要確認、劣化の3段階	・2分/1側線（5打点、延長2.5m） ・50cm×50cmの範囲で約40m ² /h	約20件	出願中	KT-050089-A	無
覆工背面の空洞調査	D-1	電磁波法によるトンネル覆工背面調査	トンネルの覆工厚及び覆工背面の空洞の測定	4,000円/m（従来調査の約1/3）		・片側交通規制ではセンター50cmは不可 ・支保工間隔は60cm以上 ・調査可能最大覆工厚：800mm	・キャリブレーションが重要 ・崩壊土砂の裏側が困難	実験での空洞有無の的中率94%（16箇所中）	・12日/km（解析含む） 現地調査：1h/km	約200件	出願中	KT-980699	建設省92204号
	D-2	電磁波法によるトンネル覆工背面調査	トンネルの覆工厚及び覆工背面の空洞の測定	3,600円/m		・覆工厚最大90cm程度（中心周波数400mHz） ・支保工ピッチは最小50cm	・覆工表面および内部に金属がないこと ・測線の設定は天端付近を主体として行う	・調査深度：5cm	・2日/km	国土交通省：19件 その他公共機関：14件 民間：2件	未登録	KT-980444-A	建設省92203号
内空の変位調査	E-1	光ファイバー法	トンネル内空変位の自動計測	約1,000万円（延長300m、3断面×3センサ）		・計測長：0.15～10m ・計測範囲：計測長の0.5% ・温度条件：-20～60℃ ・水中、海中も可 ・地盤、コンクリートなどに埋め込み可能	・ワイヤブラシなどによる清掃は不可 ・センサーに物理的外力が加わる状況は不可	・±0.02mm～±0.004mm	・サンプリング周波数：20～200Hz（リアルタイム計測） ・3断面/日（センサー設置、その他準備含む）	トンネル：18件 斜面：6件 橋梁：65件 その他：45件	2509255	KT-000059	無
	E-2	光ファイバー法	トンネル内空変位の自動計測	1,000万超（大部分は計測機器のイニシャルコスト）		・積雪地（北海道）も適応可能	・取付方法により精度が大きく異なる ・測点の配置に十分な検討が必要である	・高精度型：±4μ ・連続型：±100μ	・リアルタイム計測	2件	3668199	未登録	無
クラック深度調査	F-1	超音波試験	クラック深度検査 コンクリート物性調査	単価1,100千円（リース 4,000円/日）		・RCの場合はクラック深度は鉄筋被りまで ・－10℃～＋60℃	・ノイズの影響が出る ・機材に漏水、雨対策が必要な場合がある。	探査可能最大コンクリート厚：50cm（実験室レベル）	実計測 1分/箇所（事前に表面の平滑化を図るための準備がある。）	不明	未登録	申請中	無
	F-2	超音波試験	クラック深度検査 厚さ測定	・条件が良ければ、1日に40測定点程度は、測定可能 ・通常日割り単価で、20万程度/日（現場、報告書込み、関東地区の交通費）		・深さ5mm～1.5mのひび割れ深さ（コンクリート厚さ）に対応可能 ・ただし、トンネルのように防水シートがある場合は、防水シートより奥は測定不可	・湧水、氷結、エフロエッセンス等が、クラック内部にある場合は、測定不可 ・センサの保証温度は-5℃以上	・クラック幅0.03mm以上を検知 ・機械精度±10%	・5分/1測定点（ただし、現場状況によって変化有り）	1件 群馬県	1167551	未登録	無
ひび割れ幅と位置の測量	G-1	精密測量技術	測量機械を用いたひび割れ幅と位置の測定	2,500円/m		・片側交通規制が必要（広い歩道があれば規制不要）	・機材が雨などで濡れないように対策を講じる。	・±0.1m程度（個人差有）	・4日で100m程度	2件	不明	申請中	無

・個別調査票

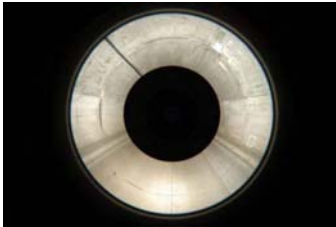
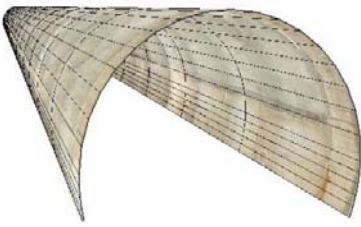
技術名：A-1 走行式コンクリート点検システム

目 的： トンネル定期点検		
概 要： ・点検調査車両にはハイビジョンカメラ、サーモグラフィ、トンネルレーダーを搭載。 ・ハイビジョンカメラにより、コンクリート表面のひび割れ、コールドジョイントなどの表面欠陥を確認。 ・サーモグラフィにより、ひび割れ方向や表層剥離などコンクリート表層部の欠陥を確認。 ・トンネルレーダーにより、背面空洞、内部空洞、内部剥離などのコンクリート深部の欠陥を確認。 ・得られた点検データを評価・診断プログラムに入力して、トンネル壁面メッシュ（1m×1m）ごとに補修の緊急度を判定。		
 点検イメージ図		
調査精度： ひびわれ幅0.3mm以上	特許登録： P2002-257744A	NETIS登録： KK-040082
適用範囲： コンクリート表面を洗浄する必要がある	審査証明： 無	
標準単価： 10～13.5千円/m	採用実績： 6件	
作業性： ハイビジョン撮影 車両走行速度5km/h、サーモグラフィ撮影 車両走行速度2km/h		

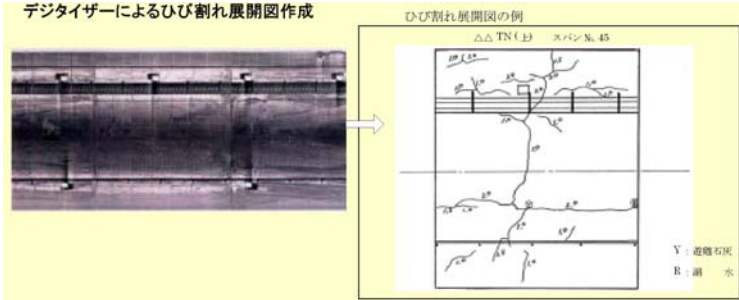
技術名：A-2 TIPS赤外線画像解析法

目 的： コンクリートの浮き、剥離、ひび割れの検出		
概 要： ・コンクリート構造物に対して、表面の温度分布を赤外線カメラで撮影、画像解析することでコンクリートの浮き・剥離、ひび割れなどの劣化状況を調査。 ・トンネル覆工をはじめ吹付法面、橋梁など幅広く適用できる。 ・主な使用機材は、ハンディな赤外線カメラと手押し台車（必要に応じて）程度であり、従来の近接目視・打音調査と比べてコンパクトである。		
 トンネル撮影状況  システム概要		
調査精度： 最小クラック検出幅0.2mm以上 最小浮き部5cm角以上	特許登録： 出願予定	NETIS登録： CG-020015
適用範囲： 片側交通規制が必要。対象物付近の一日の気温変化が3℃以上あること。	審査証明： 無	
標準単価： 7.5～10.0千円/m	採用実績： 国土交通省2件、その他公共機関19件、民間9件	
作業性： 0.5km/1日程度（画像処理・解析処理は、トンネル延長100mあたり12日必要）		

技術名： A-3 全周画像を用いたトンネル検査システム

目 的： トンネル変状、ひび割れ、ジャンカの検出			
概 要： ・360°全方位を撮影することの出来るトンネル等空間構造物を撮影し画像処理により劣化状況を診断する。 ・トンネル全周をワンショットで画像として取り込み、それらの画像を展開・貼りあわせることで、トンネル全体の画像展開写真を得る ・診断結果はデータベース化することが可能 ・画像展開・歪み補正・画像貼り合わせ・ひび割れ認識などソフトが充実している。			
 TIS360撮影装置  オリジナル画像  3D展開画像			
調査精度： 最小ひび割れ0.2mm以上（直径2.0mのトンネル）		特許登録：	出願中
適用範囲： 交通規制が必要。道路センターに障害物がある場合は撮影が困難である。		NETIS登録：	未登録
標準単価： 4.0～8.0千円/m		審査証明： 無	
作業性： 撮影 2km/h～4km/h （組立・キャリブレーションに1.5時間、片付けに1時間）		採用実績： 3件	

技術名： B-1 トンネルレーザ画像計測クラック解析システム

目 的： ひび割れ展開図の作成			
概 要： ・トンネル画像計測車「トンネルキャッチャー」と「クラック解析システム」から構成。 ・レーザ光線をトンネル壁面に照射することにより、壁面画像を計測。 ・計測中でもリアルタイムに計測データの確認が可能。			
デジタルサイザによるひび割れ展開図作成  壁面画像、ひび割れ展開図 ひび割れ展開図の例  調査状況			
調査精度： クラック幅確定精度1mm（標準）		特許登録：	1988748
適用範囲： トンネル断面寸法による制約なし、撮影機器に雨及び漏水の影響がないこと		NETIS登録：	不明
標準単価： トンネル延長等により大幅に異なる		審査証明： 無	
作業性： 標準計測速度25km/h、最大計測速度60km/h		採用実績： 770件	

技術名：B-2 コンクリート構造物の損傷・劣化検出システム

目 的： ひび割れ展開図の作成		
概 要： - 点検撮影車にデジタルビデオカメラを配置し、5～50km/h走行で覆工壁面を撮影。 - 鮮明で詳細なカラー画像による計測データが保存されるため、漏水、遊離石灰等の外観変状についても計測可能である。 - 付帯設備の腐食、ボルト欠損等の損傷劣化状況についても確認可能である。		
計測画像、ひび割れ展開図		調査状況 調査模式図
調査精度：	ひび割れ幅検出精度0.1mm以上（走行速度50km/hの場合0.5mm以上）	特許登録： 3276621 NETIS登録： QS-020025-A
適用範囲：	4t車が通行可能であること、撮影機材に雨及び漏水の影響がないこと	審査証明： 無
標準単価：	6千円/m	採用実績： 国土交通省2件、その他公共機関20件、民間15件（平成18年9月現在）
作業性：	長大トンネルにおいても1日で作業完了（車両走行速度5～50km/h）	

技術名：B-3 連続展開画像によるトンネル調査

目 的： ひび割れ展開図の作成		
概 要： - 複数のハイビジョンカメラによる覆工表面劣化調査。 - ビデオ画像から連続静止画像を自動作成。 - デジタルハイビジョンビデオカメラを使用するため高精細画像の出力が可能。		
画像表紙システムのイメージ		
調査精度：	ひび割れ幅0.2mm以上	特許登録： 出願中 NETIS登録： TH-90024
適用範囲：	調査車両が通行可能なトンネル	審査証明： 無
標準単価：	7～9千円/m	採用実績： 約25件
作業性：	車両走行速度5km/h	

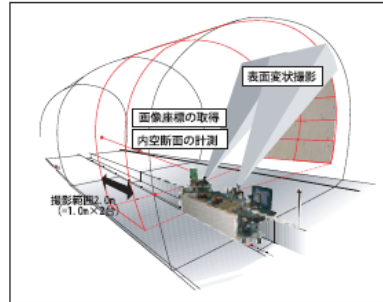
技術名：B-4 表面変状調査システム

目 的： ひび割れ展開図の作成

概 要： ・専用台車搭載のデジタルカメラにて壁面計測。
・台車及び画像の位置座標が取得可能。
・赤外線法、レーザー法との組合せて、浮き・はく離の調査も可能。



調査機器



調査イメージ



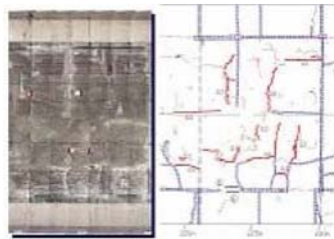
計測画像

調査精度： ひび割れ0.2mm以上	特許登録： 出願中	NETIS登録： 未登録
適用範囲： 原則として、戸田建設、西松建設施工のトンネル覆工コンクリート竣工前検査および経時変化調査用	審査証明： 無	
標準単価： 6～12千円/m	採用実績： 7件	
作業性： 調査速度20～30km/h、画像合成1km/3日、展開図作成50～100m/日		

技術名：B-5 ハイビジョンカメラを用いたトンネル覆工点検システム

目 的： ひび割れ展開図の作成

概 要： ・点検撮影車にハイビジョンカメラを配置し、50km/hで覆工壁面を連続撮影。
・映像から展開画像を作成し、自動的にひび割れを抽出し、展開図を作成。



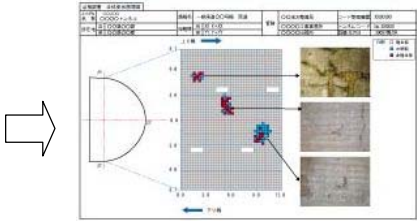
計測画像、ひび割れ展開図



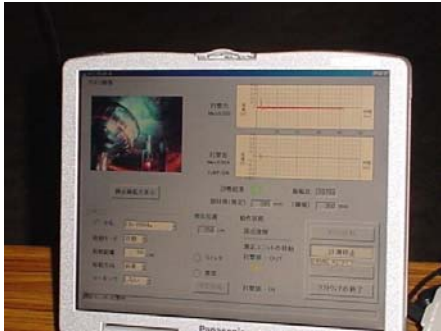
調査状況

調査精度： ひびわれ幅0.3mm程度以上	特許登録： 未登録	NETIS登録： 申請中
適用範囲： 片側交通規制が必要、撮影機材に雨及び漏水の影響がないこと	審査証明： 無	
標準単価： 5千円/m (L=1,000mを1日で撮影し、展開図作成まで)	採用実績： 24件	
作業性： 撮影時走行速度20～30km/h		

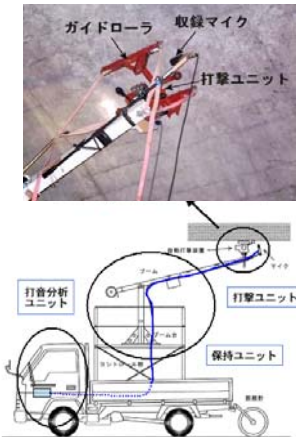
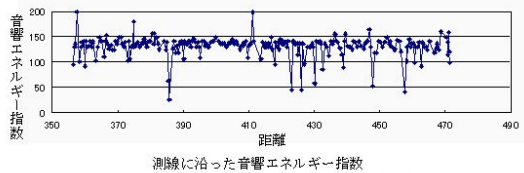
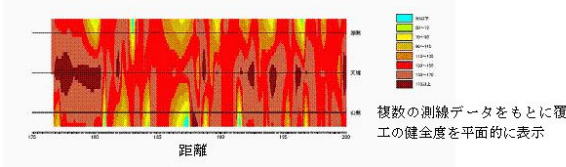
技術名：C-1 トンネル覆工打音診断システム

目 的： 覆工コンクリートの診断		
概 要： ・油圧駆動の打撃装置によりトンネル覆工コンクリートから発生する打音を人間の聴覚アルゴリズムを利用した手法によって解析。 ・診断位置は、レーザーを用いた測量装置により自動的に計測。 ・診断結果は、健全部・不健全部の判定結果を診断位置測量装置による3次元位置情報と照合して図表上に出力させ、その場で確認することが可能。 ・トンネルの健全度を健全域・中間域・不健全域の3区分に判定。 ・診断したその場で瞬時に判定し診断マップにより確認可能。		
 調査状況	 診断マップ	 作業手順
調査精度：	判定は3段階、覆工厚さが10cm以上で健全と判定	特許登録： 出願中 NETIS登録： TS-020012
適用範囲：	円形断面のみ（Boxは不可）。片交規制で内空高4.5m～7.5mまで適用可能。 診断装置の運転は、産業用ロボット特別教育受講者が必要。	審査証明： 無
標準単価：	4.8～7千円/m	採用実績： 12件
作業性：	延長方向18m/時間、周方向30m/時間	

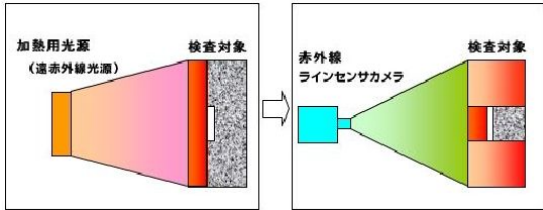
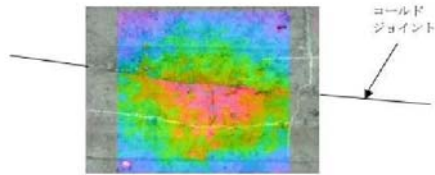
技術名：C-2 トンネル覆工打音検査自動化システム

目 的： 覆工コンクリートの診断		
概 要： ・打音検査における、打撃・打撃音の収録・評価・診断結果までを自動化。 ・最大打撃力で基準化した打撃音から、一定精度で定量的かつ客観的に評価。 ・熟練工は必要としない。		
 調査概要	 遠隔操作・処理状況	
調査精度：	厚さ30cm程度までの覆工厚を測定可能。	特許登録： 出願中 NETIS登録： HR-030018-A
適用範囲：	高所作業者ブーム稼動範囲外では測定不可能、片側交通規制が必要	審査証明： 無
標準単価：	1.1～2.5千円/m	採用実績： 1件
作業性：	70m/時間	

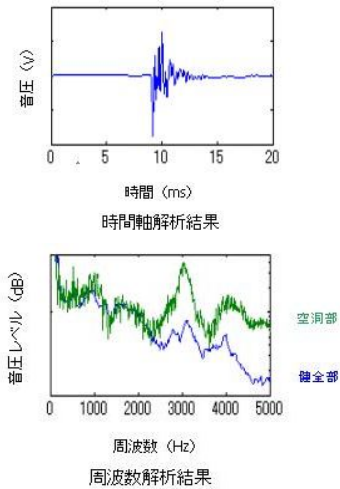
技術名：C-3 トンネル覆工自動打音調査システム

目 的： 覆工コンクリートの診断		
概 要： - トンネル覆工を自動的にハンマーで打撃して、打撃音の音響分析から健全性を評価。 - 音響エネルギー指数により客観的、定量的な診断が可能。 - 覆工表層部の浮き、剥離、材料劣化などを把握可能。		
 ガイドローラ 収録マイク 打撃ユニット 打撃分析ユニット 打撃ユニット 保持ユニット  音響エネルギー指数 距離 測線に沿った音響エネルギー指数  複数の測線データをもとに覆工の健全度を平面的に表示 覆工健全度の分析例		
システム概要		
調査精度： 調査中	特許登録： 出願中	NETIS登録： KT-040070
適用範囲： 気温が氷点下の場合電子機器の動作に不具合が生じる可能性有り。 覆工表面の凹凸が激しい場合は、打撃及び集音に支障が出る場合がある。 トンネル内空高1～10m。ボックスカルバートも対応可能。	審査証明： 無	
標準単価： 4.5千円/㎡（解析・報告書作成含む）	採用実績： 1件	
作業性： 1km/時間		

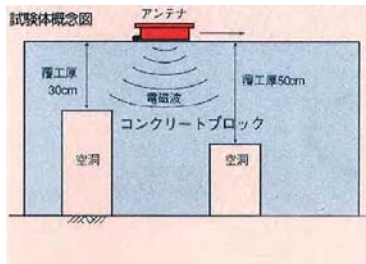
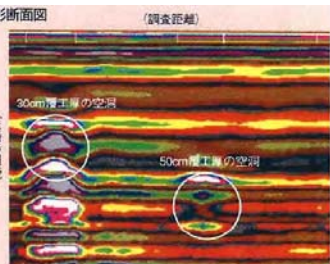
技術名：C-4 遠赤外線照射法によるトンネル覆工調査

目 的： トンネル覆工コンクリートの剥離検知		
概 要： - 遠赤外線照射により深さ50mmで発生したコンクリート剥離を検知 - トンネル内を走行しながら測定可能		
（管地下鉄ホームページより転用） （原理図）  加熱用光源 （遠赤外線光源） 検査対象 赤外線 ラインセンサカメラ 検査対象  コールド ジョイント 図1 遠赤外線光源を利用した剥離検知の原理図 図2 剥離検出例 （図1の説明） - 加熱用遠赤外線光源により発生した遠赤外線が、コンクリート表面に照射される。 - 内部に空隙が存在すると、コンクリート表面温度に微弱な温度差が生じる。 - これを赤外線ラインセンサカメラで撮影することにより剥離の検知が可能。		
調査精度： 剥離深さ50mm	特許登録： 出願中	NETIS登録： 未登録
適用範囲： 特になし	審査証明： 無	
標準単価： 実用化には至っていないため不明	採用実績： 試験的な使用段階	
作業性： 検査速度4km/h（目標値）		

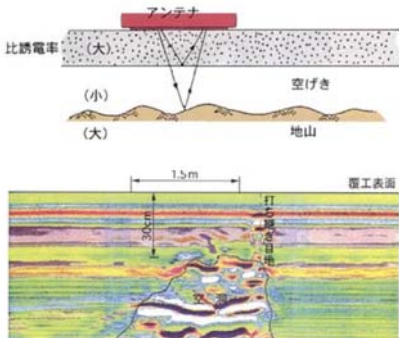
技術名：C-5 Tunnel Lining Inspection System

目 的： トンネル覆工の劣化診断 概 要： ・機械化した打撃装置による打撃音を解析し、劣化の有無等を定量的に判定。 ・はく離厚さ10cm以下、コンクリート表面から10cm以下の範囲にある空洞やジャンカの存在の可能性を判定。		
 診断状況  打撃装置  時間軸解析結果 周波数解析結果		
調査精度： 判定は健全、要確認、劣化の3段階。	特許登録： 出願中	NETIS登録： KT-050089
適用範囲： 交通規制が必要。高所作業車が必要であり、路盤は高所作業車が通行できる程度の不陸状態とする。比較的断面が大きく、障害物が少ないトンネル	審査証明： 無	
標準単価： 397.3万円/6250m ²	採用実績： 約20件	
作業性： 2分/1測線(5打点、延長2.5m) 50cm×50cmの範囲で約40m ² /h		

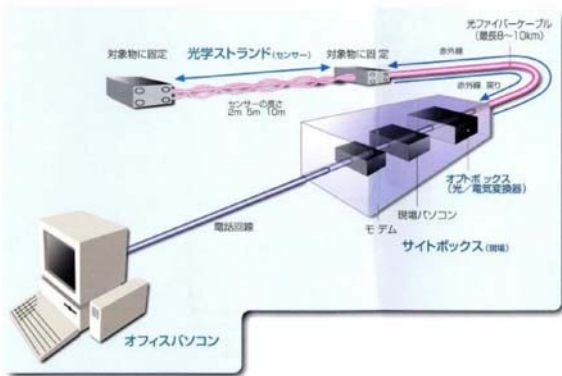
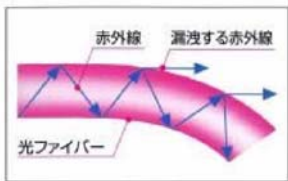
技術名：D-1 電磁波法によるトンネル覆工背面調査

目 的： トンネルの覆工厚及び覆工背面の空洞の測定 概 要： ・電磁波反射法を利用してトンネル覆工厚および背面空洞の位置・規模を検知。 ・ボーリングを必要としない非破壊試験。（キャリブレーション用のコア抜きは必要） ・送信周波数が一定のため、データの安定度が高い。 ・データは、ほぼリアルタイムで画像処理してモニタに表示可能。		
 調査状況  調査手法概念図  解析結果		
調査精度： 実験での空洞有無の的中率94%（16箇所）	特許登録： 出願中	NETIS登録： KT-980699
適用範囲： 片側交通規制ではセンター50cmは不可。支保工間隔は60cm以上。	審査証明： 建設省 92204号	
標準単価： 4千円/㎡（従来調査の約1/3）	採用実績： 約200件	
作業性： 12日/㎞（解析等含む。従来調査の約4割）	現地調査は1hr/㎞。	

技術名：D-2 電磁波法によるトンネル覆工背面調査

目 的： トンネルの覆工厚及び覆工背面の空洞の測定		
概 要： ・電磁波反射法を利用してトンネル覆工厚および背面空洞の位置・規模を検知。 ・ボーリングを必要としない非破壊試験。（キャリブレーション用のコア抜きは必要） ・覆工内部のジャンカ部も検出可能。 ・調査結果は、デジタルレコーダーに自動機録保存。		
		
測定器外観	調査状況	調査手法概念と解析結果
調査精度： 調査深度5cm	特許登録： 未登録	NETIS登録： KT-980444-A
適用範囲： 覆工厚最大90cm程度（中心周波数400MHzの場合）。覆工表面および内部に金属がないこと。支保工ピッチは最小50cm。	審査証明： 建設省 92203号	
標準単価： 3.6千円／m	採用実績： 国土交通省19件、その他公共機関14件、民間2件	
作業性： 2日／km		

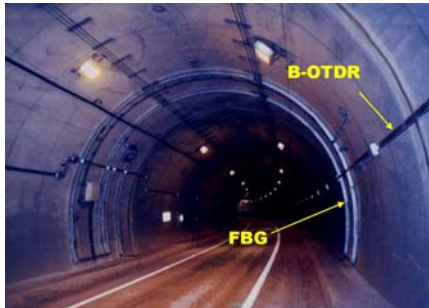
技術名：E-1 光ファイバー法

目 的： トンネル内空変位の自動計測		
概 要： ・光ファイバーのマイクロベンディングの原理を利用し、光ファイバを変位センサとして用いる。 ・電気信号を用いないため、高精度で安定したデータが得られる（電氣的ノイズや電磁波の影響を受けない）。 ・センサの劣化非常に少なく、厳しい条件下での長期間使用が可能。 ・データは、リアルタイムにP C上でモニタリング可能。		
		
基本構成	トンネル内壁への設置状況	マイクロベンディング
調査精度： $\pm 0.02\text{mm} \sim \pm 0.004\text{mm}$	特許登録： 第2509255	NETIS登録： KT-000059
適用範囲： 計測長:0.15～10m 計測範囲:計測長の0.5% 温度条件:-20～60℃。水中、海中も可。	審査証明： 無	
標準単価： 約1,000万円（延長300m 3断面×3センサ）	採用実績： トンネル18件、斜面6件、橋梁65件、その他43件	
作業性： サンプル周波数:20～200Hz（リアルタイム計測）		

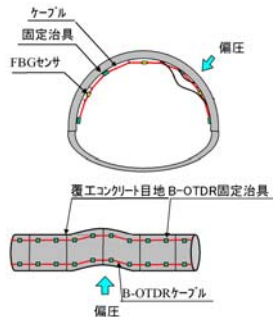
技術名： E-2 光ファイバー法

目 的： トンネル内空変位の自動計測

概 要：	・ 広大な範囲の線的、面的監視が可能。 ・ 数十キロにおよぶ長距離の信号伝送が可能。 ・ 既存の通信用光ファイバ網の有効利用が可能。 ・ 計測対象現地に電気・通信設備の必要がない。 ・ 腐食部がなく、長期耐久性に優れている。
------	--



トンネル壁面設置例



調査精度： 高精度型：±4 μ 連続型：±100 μ	特許登録： 3668199	NETIS登録： 申請中
適用範囲： 取付方法により精度が異なる。積雪地（北海道）も可。	審査証明： 無	
標準単価： 1,000万円超（大部分は計測機器のイニシャルコスト）	採用実績： 2件	
作業性： リアルタイム計測が可能。		

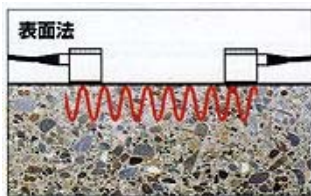
技術名： **F-1 超音波試験**

目 的： クラック深度探査・コンクリート物性調査

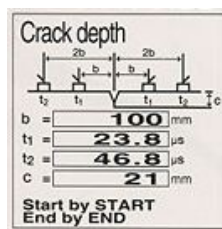
概 要： ・異なる2測線の超音波伝播時間を測定し、クラック深度を求める。
・シュミットハンマーの反発値を併用し、コンクリートの強度を計算。



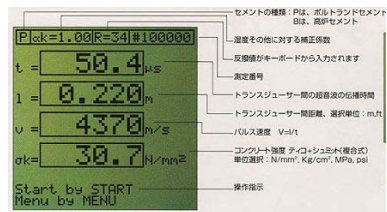
試驗機外觀



探査イメージ（パルス利用）



- bの距離を入力する。
- t₁t₂間の伝播時間を入力する
- t₂t₃間の伝播時間を入力する
- クラック深さ(C)が自動的に計算され、表示される。



出力表示例（上：クラック深度，下：コンクリート強度）

調査精度： 探査可能最大コンクリート厚 50cm (実験室レベル)	特許登録： 未登録	NETIS登録： 申請中
適用範囲： R Cの場合は、クラック深度は鉄筋被りまで。	審査証明： 無	
標準単価： 単価1,100千円 (リース 4,000円/日)	採用実績：	
作業性： 実計測 1分/箇所 (事前に表面の平滑化を図るための準備がある。)		

技術名：F-2 超音波試験

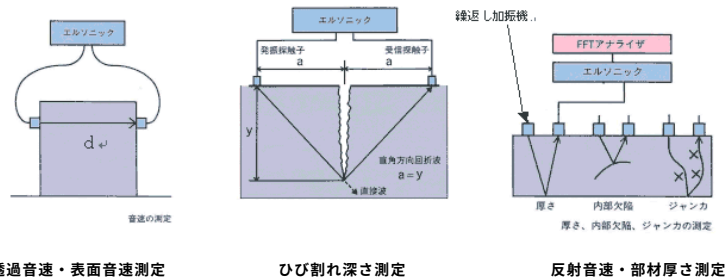
目的： クラック深度検査・厚さ測定

概要： ・超音波を用いてコンクリート構造物のひびわれ深さと厚さを測定する。

(東横エルメスホームページより転用)



エルソニックフルセット (ESI/P-10)



調査精度： クラック幅0.03mm以上	特許登録： 1167551	NETIS登録： 未登録
適用範囲： 深さ5mm～1.5m、防水シート背面は測定不可	審査証明： 無	
標準単価： 20万円/日	採用実績： 1件	
作業性： 40測点/日		

技術名：G-1 精密測量技術

目的： 測量機器を用いたひび割れ幅と位置の測定

概要： ・光波測量器にクラックスケールを内蔵し、離れた場所からもクラック幅の測定が可能。
・高精度の位置座標を計測データを、CADデータへ自動的に変換可能。
・経年的に調査することにより、ひび割れの成長度を定量的できる。
・三次元的なデータ処理が可能。



調査機器外観



データ処理例



従来調査との比較

調査精度： ±0.1m程度（個人差あり）	特許登録： 不明	NETIS登録： 出願中
適用範囲： 片側交通規制が必要である。	審査証明： 無	
標準単価： 2.5円/m	採用実績： 2件	
作業性： 100m/4日		