

# 老朽トンネルにおけるクラック診断 システムの開発

安田 亨\*・谷口親平\*\*・亀和田俊一\*\*\*  
・岡野吾一\*\*\*\*

本報告は、トンネル坑壁の連続画像記録解析装置を基本とするクラック診断システムにより、老朽トンネルの概略の変状傾向を把握し、クラックの発生原因を推定したものである。本システムの特徴は、1) 迅速で、客観的な調査ができる、2) 画像記録・処理・分析にはパソコンを用いる等である。システムを適用した結果、クラックに着目し成分を分析することにより、ある程度の原因推定ができることがわかった。

**Keywords** : crack evaluation system, continuous image database

## 1. はじめに

平成2年2月に起きた国道127号線小山野トンネルの崩落事故を契機として、老朽トンネルの安全を確認する必要性が高まり、現在各地において緊急点検が実施されている<sup>1)</sup>。この点検は主としてクラックや漏水などの覆工の変状を中心に行われているが、調査現場では、狭く危険な作業環境の中で熟練調査員が煩雑な調査を手作業によって行っているのが実態である。このような方法では、

- ① 調査員の熟練度によるところが大きく正確さや客観性に欠ける、
- ② かなりの時間を要する、
- ③ 定量的に評価することが難しい、
- ④ 現地で即時的に判断できない、
- ⑤ 定期点検で定量的に追跡することが難しい、

等の点で問題がある。また、老朽トンネルの調査法は各機関から提案されており、維持管理のフロー、具体的な調査手法、判定基準等が報告されている<sup>2)~7)</sup>。この中には、調査から対策工の選定までをマニュアル化した研究<sup>5)</sup>や、トンネルの健全度や対策工をエキスパートシステムを用いて判定した研究<sup>6)7)</sup>があり、変状調査をシステム化しようとする気運が高まっている。

しかしながら、以上の研究においても、調査自体をシステム化するには至っておらず、先に述べた調査時の問題点は未解決のまま残り残されている。

そこで、筆者らはこの問題点を解決するための1手法として、トンネル坑壁の連続画像記録解析装置を基本と

するクラック診断システムを開発した。このシステムは概略の変状傾向を迅速、客観的に把握することを目的としており、クラック、漏水、目地異常等の坑壁の画像記録を取り込んだのち、比較的容易に変状傾向を知ることのできるクラックに着目し、クラック発生原因を推定しようとするものである。

このシステムは、次に示す点を開発目標としている。

- ① 短期間に全体の变状傾向を把握し、客観的なデータを提供する。
- ② 画像記録を定量的に扱う方式とし、パソコンによって画像処理・成分分析を行う。
- ③ 問題箇所の判定、変状原因の究明、健全度の判定、対策工の検討等を熟練者の知識を付加してデータベースを蓄積し、エキスパートシステムを構築する。

これらの目標のうち、現段階では②まで実用化している。

本報告では、このシステムによってクラックを記録し変状原因の推定を行うまでの一連の流れを、実施例を用いて紹介する。

## 2. システムの概要

本システムの概要を図-1のフローチャートに示す。

### (1) 連続画像記録方法

トンネル坑壁の画像記録装置として、CIMEDAS (Continuous IMAgE DAtabase System) を使用した。本システムは、ボーリングコア等の長尺の物体を画像フィルム化するために開発した装置で、一定幅の連続画像をスキヤニングによってデジタル的に取り込み、最終的に光ディスク上に画像データベースを構築することができる。本装置をトンネル坑壁調査に応用するため、専用のカメラヘッドおよび坑壁照明装置を制作し、全体を車載してトンネル坑内を走行するものとした。装置の構

\*正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 西日本事業本部第一技術部 (〒532 大阪市淀川区西中島 4-3-24)

\*\*正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 西日本事業本部第一技術部

\*\*\*正会員 (株) レアックス代表取締役

\*\*\*\*(株) レアックス業務部

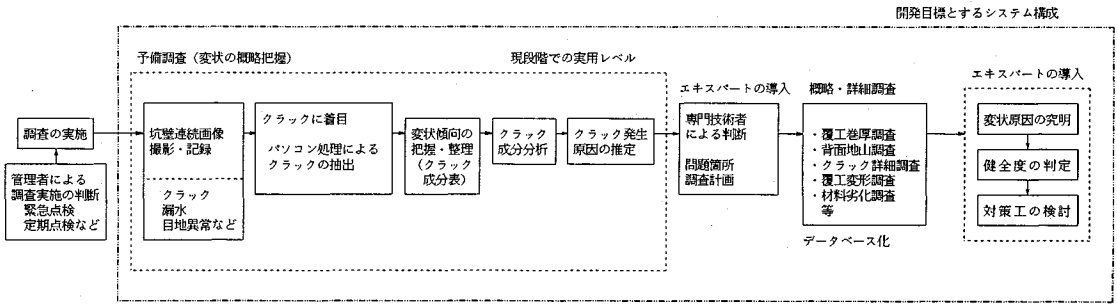


図-1 システム概要フローチャート

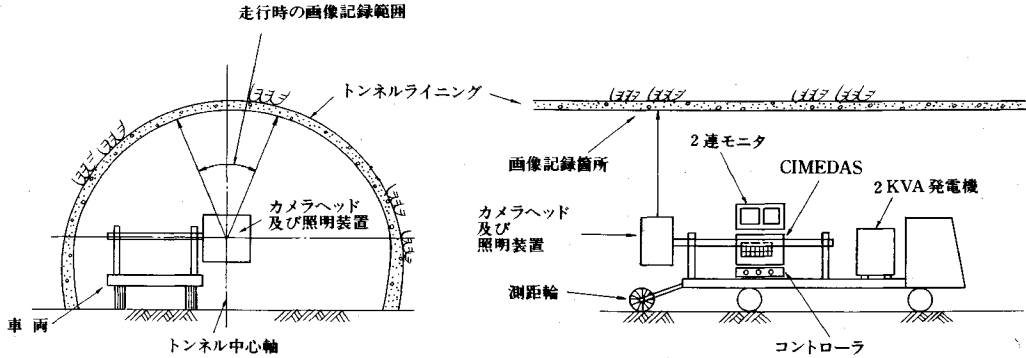


図-2 坑壁画像記録概念図

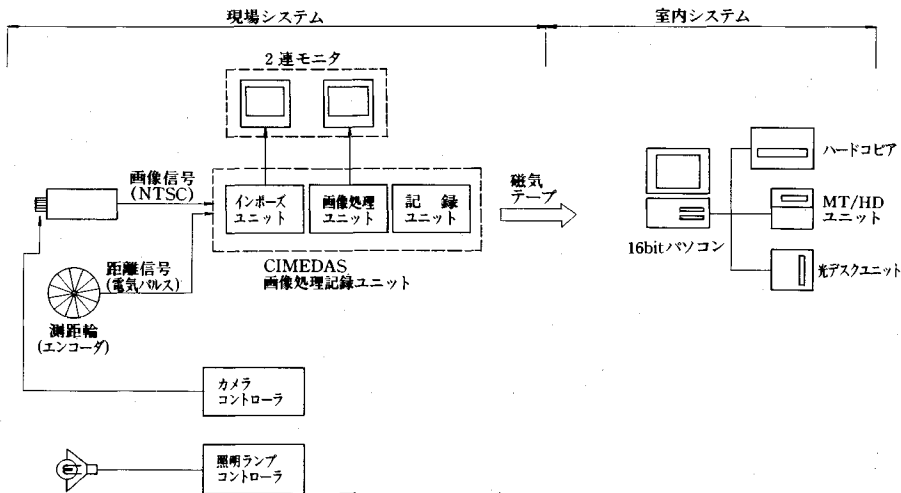


図-3 システムブロック図

成を図-2に示す。また、記録システムのブロック図を図-3に示す。

- 本装置によってトンネル坑壁を画像記録する場合には
- ① カメラヘッドがトンネル中心軸に位置するように車両上に固定する。
  - ② 車両をトンネル軸に沿って走行させ、一定軸の坑壁画像を連続的に取り込む。
  - ③ 画像処理装置によってリアルタイムにデジタル変

換し、磁気テープに記録する。

- ④ 以上の作業をカメラヘッドの方向を変化させながら繰り返し、坑壁全体の画像（必要に応じて路面も）を記録する。
- ⑤ 室内処理装置によって光ディスク上に画像データベースを作成し、これを基に坑壁全体のハードコピーを出力する。

以上の作業は、画像精度にもよるが1~2 km/h程度

表一 クラックの定量化項目

分類	項目	成分
1. クラック	1-1 ナンバリング	クラック毎に付ける
	1-2 測点	坑口からの距離
	1-3 位置	天端、45°、スプリングライン、側壁
	1-4 種別	引張、圧縮、せん断 (現地で補足)
	1-5 長さ	m単位
	1-6 幅	mm単位 (現地で補足)
	1-7 方向	縦断、横断、斜め等の方向角
	1-8 パターン	単独、3方向、4方向、亀甲状
	1-9 深度	貫通度 (現地で補足)
	1-10 進行性	新旧(時間経過) (現地で補足)

の走行速度で行うことが可能で、またカメラヘッドを車両に対してオフセットして取り付ければ、片側車線規制の状態で作業することができる。

## (2) クラックの定量化項目

老朽化の進んだトンネルにはクラックが発生していることが一般的である。

この原因として、材料劣化、施工上の不備、外力の作用などが挙げられる。

一般に、不良地山、断層部、偏地形、低土被りなどの条件下では、トンネルの覆工は外力を受けることになり断面変形、大規模なクラックの発生、目地異常などの変状がある程度の区間にわたって生じることが多い。地山情報が残っていない古いトンネルでは、上記の変状原因を探る上で、まずクラックに着目し、クラックの方向、パターン、種別、長さ、密度などを整理することは、有力な手がかりとなる。また、クラックの成分を定量的に評価しておくことは、時間的経過に伴う変状の進行を調査する場合などに有効である。

以上の点を踏まえ、表一に示す定量化項目をクラック情報として位置付ける。なお、画像では十分に読み取ることのできない項目について(例えば、表一の種別、深度、進行性)は、現地にて熟練者が判断し、データを補足する。

## (3) クラックの画像処理方法

画像は、任意幅に対して256 dot/lineの精度で連続的に取り込まれることになり、分解能は一回の取り込み幅を画角30°とすれば0.12°/dotとなる。検出能力は分解能をかなり上回るので、肉眼でも見えるものについてはほぼ画像化が可能である。画像の深みは、各画像当たりRGB各8bit(256階調)あり、ほぼ自然色での表示が可能である。この場合の情報容量は100mあたり20-40MB程度を必要とする。

画像化の結果から、クラックをパソコン上で対話型式

により読み取り、位置・長さ・方向等のデータを自動検出する。なお、画像のみでは読み取れないデータについては、現地で補い手入力する。

## (4) 成分分析

画像処理および現地での補足により得られたクラック成分を、パソコンにより成分分析する。この分析により変状の傾向を把握し、クラックの発生原因を概ね推定する。この資料を専門技術者に提供し、問題箇所、調査計画等を判断する流れとなる。

具体的方法は、成分表のデータを用いて次の項目等に関するグラフを作成し、傾向を分析するものである。

- ① 連続性の明瞭な長いクラックの発生位置
- ② 縦断方向クラックの卓越している箇所
- ③ クラックの断面的な発生位置(特に縦断方向)
- ④ 長さでクラック幅の関係
- ⑤ クラック種類とクラックパターンの関係
- ⑥ クラック密度の高い箇所
- ⑦ 新しいクラックの発生箇所等

## 3. 実施例

図一4は、本システムを用いてトンネル上半部の連続画像をパソコン処理して作成したクラック全体展開図である。本トンネルは昭和17年に鉄道トンネルとして築造されたが(築後49年)、廃線後現在まで道路トンネルとして供用している。今後も道路トンネルとして供用し続けることの可否を検討するという目的のため、調査を行った。

### (1) 変状傾向

図一4に示すように、特徴的なクラックは両坑口部に多く発生している。中間部については比較的クラックは少なく、連続的な縦断方向クラックや集中的に発生している横断方向クラックがないため図示は省略した。

起点側の坑口部は、クラック幅が小さいものの比較的連続性がある数が多く、縦断方向が卓越している。この区間は、覆工コンクリートの内側に吹付けコンクリートが施工されており、先のクラックは、吹付けコンクリートに発生しているものである。

終点側はNO.250~300(m)の間に起点側から見て左から右へ斜交する方向に、連続性が非常に顕著なクラックが発生している。

クラック発生は様々な原因が複合されているために、引張り、せん断などのクラックの種別を断定することは難しいが、現地での目視によりこの斜め方向クラックはせん断的傾向が強いと判断した。

また、終点側の左肩部には、比較的連続性が明瞭な縦断方向クラックが見受けられること等が特徴として挙げられる。

図一5は、図一4に丸印で示した箇所をズームし

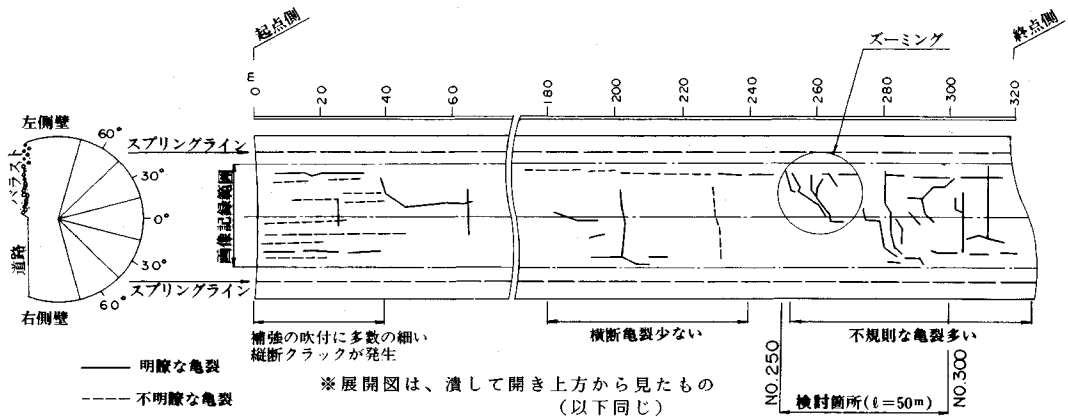


図-4 クラック全体展開図

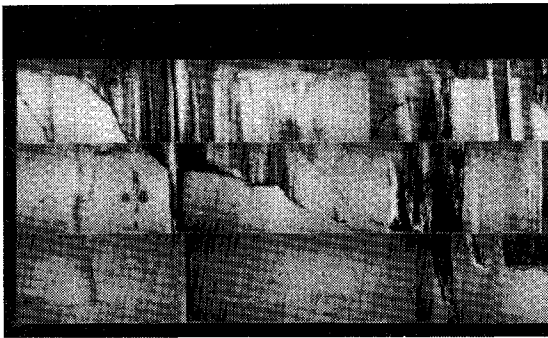


図-5 ズーミングした画像記録

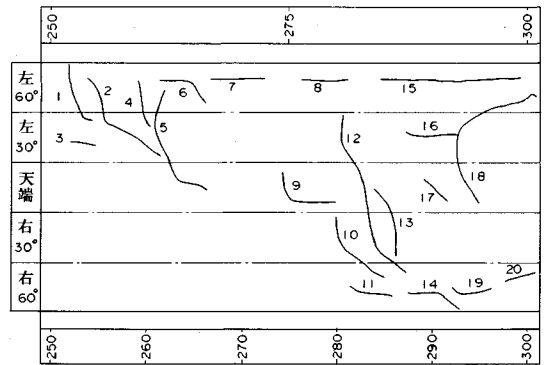


図-7 クラックマップ

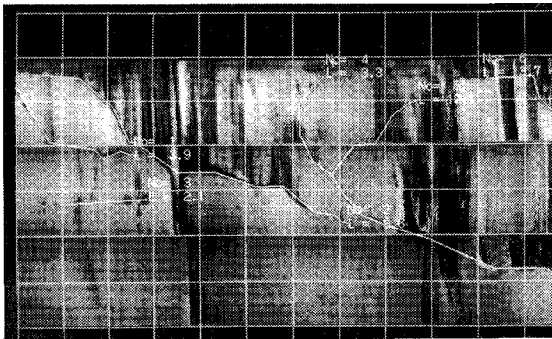


図-6 処理後のクラック展開図

た画像記録である。

図-6は、図-5の画像記録をパソコン上で対話式により抽出したクラック展開図である。図-6の格子は画像に落とした座標軸であり、実線がマウスによるプロットで作成したクラックである。

## (2) クラック発生原因の推定

先に述べた変状傾向を整理すると、両坑口部がクラック発生原因推定の検討対象として考えられる。しかし、起点側は、内巻の吹付けコンクリートのクラックである

こと、覆工コンクリートの変状は不明であること等の特殊性から、本システムによる表面の情報のみでは検討が不十分であるため、終点側のクラックを例にとり、以下に推定の手順を紹介する。

検討対象とした区間は図-4に示すようにNO.250～300(m)である。図-7は本区間のクラックのうち、目地切れ、ヘアークラックなどを除去して作成したクラックマップで、クラックNO.を併記してある。これをもとに表-1の定量化項目にしたがって作成したクラック成分表が、表-2である。このクラック成分を、2.(4)に示した観点から分析していく。

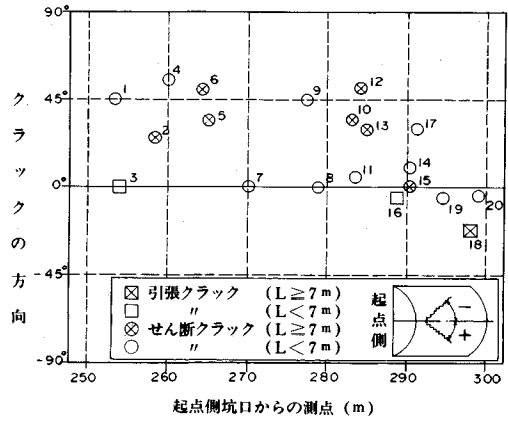
本検討箇所でのクラック成分分析図の1例を図-8に示す。同図は斜交クラック(図-7に示すNO.2, 5, 10など)の発生原因を推定するために、クラック発生位置、クラック方向、クラック種類、長さの関係を図示したものである。これによれば右方向(30-50°)に長いせん断クラックが卓越していること、また終点側に上記のせん断クラックに直交する方向(-25°)に引張クラックが発生していることが分かる。また左側壁部に縦断方向クラックが連続して発生しており、右側壁部にはクラックNO.10, 12などの斜交クラックが終了した位置

表一2 クラック成分表

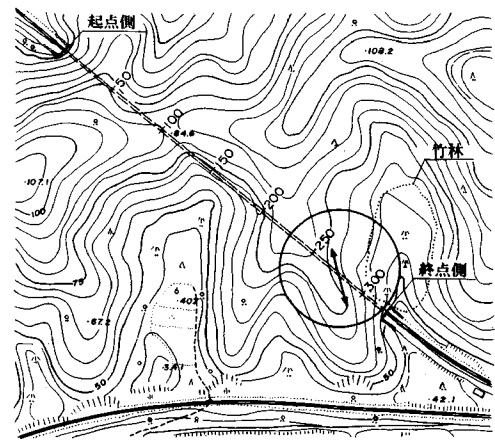
NO.	始点 (測点)	終点 (測点)	位置					種別	長さ (m)	幅 (mm)	方向 (°)	バタ ーン	深度	進行性
			1	2	3	4	5							
1	251.8	254.5	1	1	1	1	3	3.9	3.0	45	1	1	1	
2	253.8	262.0	1	1	1	1	3	9.6	3.0	25	2	1	1	
3	252.0	255.3	1	1	1	1	1	2.1	2.0	0	1	2	1	
4	259.0	261.0	1	1	1	1	3	3.3	0.5	55	2	1	1	
5	262.8	266.5	1	1	1	1	3	10.1	1.0	35	2	1	1	
6	261.0	266.3	1	1	1	1	3	3.7	2.0	50	2	1	1	
7	266.5	273.0	1	1	1	1	3	6.3	2.0	0	1	1	1	
8	275.5	282.0	1	1	1	1	3	6.5	2.0	0	1	1	1	
9	274.3	280.0	1	1	1	1	3	5.5	1.0	45	1	1	1	
10	280.0	286.0	1	1	1	1	3	8.8	2.0	35	1	1	1	
11	281.5	285.5	1	1	1	1	3	4.0	2.0	5	1	1	1	
12	280.8	287.5	1	1	1	1	3	11.6	2.0	50	2	1	1	
13	283.5	286.3	1	1	1	1	3	7.8	1.0	30	2	1	1	
14	287.3	293.5	1	1	1	1	3	6.7	2.0	10	1	1	1	
15	284.0	297.5	1	1	1	1	3	13.8	2.0	0	1	1	1	
16	287.5	292.5	1	1	1	1	1	5.0	3.0	-5	2	2	1	
17	289.8	292.5	1	1	1	1	2	4.5	0.5	30	1	2	1	
18	295.5	300.0	1	1	1	1	1	15.2	2.0	-25	2	2	1	
19	292.0	297.0	1	1	1	1	3	4.8	2.0	-5	1	1	1	
20	298.0	300.0	1	1	1	1	3	2.0	2.0	-5	1	1	1	

凡例: 位置 1-左60° 種別 1-引張 クラックの方向(°)  
 2-左30° 2-圧縮 トンネル軸線に対して起点側  
 3-天端 3-せん断 から見て  
 4-右30° 左方向が(-)  
 5-右60° 右方向が(+)

深度 1-貫通 進行性 1-旧 パターン 1-単独  
 2-非貫通 2-新 2-3方向  
 3-4方向  
 4-亀甲状



図一8 クラックの成分分析図の1例



図一9 終点側坑口付近平面図

から、縦断方向クラックが発生していることなどが分かる。

以上から、斜交クラックについては、クラックの規模(長さ、幅)から考えて、外力を受けて発生したものと考えられ、方向が一樣であること等からトンネル軸に対して斜め方向にせん断されたことがクラックの発生原因であると推定した。

なお、終点側坑口部の地形は図一9に示すように偏地形となっており、トンネルは斜面上に斜交して取り付けられている。また斜面上の植生に変状が見受けられ斜面クリープの可能性があること、および斜交クラックの方向が斜面上にほぼ平行していることなども、原因を推定する上で参考にした。

4. おわりに

(1) 成 果

本報告は、クラックの成分に着目し、トンネル坑壁の連続画像記録解析装置を用いてクラックの診断システムを開発したものである。システムとしてはまだ不十分で

はあるが、現段階において次の成果が得られた。

- ① 本システムは現地作業の問題点を解決することを目的の一つに挙げているが、迅速性、客観性の向上という点で一応の評価ができた。
- ② 本システムは予備調査として位置付けているため、クラックの発生原因を明確に究明するには力量不足である。しかし、クラックに着目し成分を分析することにより、ある程度の原因推定はできたと考えている。
- ③ 本画像記録装置は、クラック位置・長さ・方向などを客観的かつ機械的に取り込むことができるため、パソコン処理に馴染み易い点で評価できた。

(2) 今後の課題

今後は以下の課題に取り組んでいきたいと考えている。

- ① 坑壁記録技術の改良

現在のシステムを使用して、延長500m程度のトンネルの坑壁画像記録は、片側車線規制の状態ですら、5~6時間程度で完了することができる。しかし、トンネルの

交通量によっては長時間の車線規制が困難である場合もあるので、現場での作業性を極力向上させることが必要である。このため、同時に多方向の撮影記録を可能とし、往復1回程度の車両走行によって作業が完了するよう改良する計画である。さらに、維持管理の目的で画像記録を行うためには、同一地点の詳細画像を繰り返し記録するような工夫も必要であると考えられる。

### ② 画像処理技術の改良

変状の迅速な判断のためには、現場でのハードコピーの出力が必要である。このため現場での合成処理、連続したハードコピーの出力装置などの追加が必要である。

### ③ エキスパートシステムの構築

トンネルの健全度を診断するための有効な他の定量化項目として、材料劣化、覆工巻厚、覆工背面の空洞・岩質・ゆるみ状況、漏水、目地のずれ、側溝の変状および地形・地質状況、地層の走行傾斜、断層位置などが考えられる。

特に覆工背面は重要で、レーダーを用いる方法やボーリングを行ってボアホールカメラ (BIPS: Borehole Image Processing System)<sup>8)</sup>を用いる方法などでクラックデータを補完することは有効となろう。

本システムの実用レベルは、予備調査の段階までである。今後は開発目標に述べたように、上記の項目や、専

門技術者の判断、実施例などを組み入れて、老朽トンネルの健全度を診断し、適切な対策工が示唆できるエキスパートシステムに発展させていく計画である。

最後に、本研究の実施にあたって名古屋大学川本眺万教授の御指導を頂いたことを記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 猪熊 明：道路トンネルの緊急点検と今後の維持管理、トンネルと地下, Vol. 21. 10, pp. 35-40, 1990.10.
- 2) 日本道路協会：道路震災対策便覧, 1988. 2.
- 3) 日本道路協会：トンネル技術基準 (構造編), pp. 265-272, 1987.
- 4) 国鉄・道路公団他：トンネルの保守・維持管理シリーズ (1)~(9), トンネルと地下, Vol. 15.
- 5) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル, 1990.
- 6) (社)日本トンネル技術協会：山岳トンネルの老朽対策に関する調査研究 (その2) 報告書 (日本道路公団委託), 1991. 2.
- 7) 柴田・松本・安藤：「水力発電所導水路トンネル健全度診断・改修工法選定システム」の開発, 電力土木 No. 232, pp. 14-24, 1991. 5.
- 8) 谷口・亀和田・米田：既設トンネル周辺岩盤の調査手法と設計への応用, 土木学会論文集IV, No. 409, pp. 139-144, 1989. 9.

(1991. 1. 21 受付)

## DEVELOPMENT OF A CRACK EVALUATION SYSTEM FOR SUPERANNATED TUNNELS

Toru YASUDA, Sinpei TANIGUCHI, Shunichi KAMEWADA and Goichi OKANO

In this report the crack evaluation system for analyzing the condition of superannated tunnels is discussed. This system is based on analysis of continuous image recording of tunnel walls. The system is characterized as follows :

- 1) It enables quick and objective investigation ;
- 2) Personal computer are adequate for the image recording, processing, and analysis ;
- 3) It aims to provide for the structuring of an expert system for finding causes of deformation.

In applications of the system we found that analysis of crack elements was useful in finding the causes of deformation.