

JNC TJ7420 99-010

立坑壁面調査システム
に関する文献調査

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

1999年3月

株式会社 大林組

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section, Technology Management Division, Japan Nuclear Cycle Development Institute 4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan

立坑壁面調査システムに関する文献調査

畑 浩二*、大内 一*

【要 旨】

核燃料サイクル開発機構では岐阜県瑞浪市において超深地層研究所を設置する計画を平成8年度から進めている。本計画は、地表からの調査予測研究段階（第1段階）、坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）および坑道を利用した研究段階（第3段階）に分かれている。第2段階では、直径6 m、深度1,000 m程度の立坑が掘削される。

本研究の目的は、掘削と並行して立坑壁面の地質学的調査を実施するシステムを開発するための基礎資料を得ることにある。そこで、土木学会誌などの文献調査から壁面観察技術を調査し、立坑壁面観察システム案を提案した。

本報告書は、株式会社大林組が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

契約番号：10C1276

サイクル機構担当グループおよび担当者：東濃地科学センター 調査技術研究グループ
グループリーダー 宮田初穂

*：株式会社大林組 技術研究所 土木第四研究室

Literature investigation of the survey system around a shaft wall

K.Hata*, H.Ouchi*

【Abstract】

Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) is proposing the MIU Project from 1996. This project plane is split for three phase, the primary phase is investigation of the underground from the surface and making prediction of the underground geological environment. In the secondary phase, JNC proposes the research programs accompanied with the gallery excavation, and the final phase is the research to make use of the excavated galleries. In the secondary phase, the shaft of a diameter 6m, a depth 1000m is intended to be excavated.

The purpose of this literature investigation is to obtain fundamental data for developing a system that enables geological investigation of a shaft wall. Therefore, authors investigated tunnel wall and borehole observation technologies from literature of Journal of the Japan Society of Civil Engineers and another academic papers, and proposed plans of shaft wall observation system.

This work was performed by Obayashi Corporation under contact with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

Agreement No. : 10C1276

JNC Liaison : Tono Geoscience Center, Characterization Technology Development Group,

Group Leader, Hatsuho Miyata

* : Obayashi Corporation, Technical Research Institute

立坑壁面調査システムに関する文献調査

担当者一覧表

実施責任者： 大内 一

実施担当者： 畑 浩二

研究業務担当者：畑 浩二

立坑壁面調査システムに関する文献調査

目 次

	頁
1.はじめに	1
2.調査対象	2
3.調査項目	3
4.調査結果	4
5.調査結果に基づくシステム案	45
6.おわりに	48
7.参考文献	49

1.はじめに

地層科学研究のさらなる拡充を図るため、核燃料サイクル開発機構は岐阜県瑞浪市において超深地層研究所を設置する計画を平成8年度から進めている。本計画は、地表からの調査予測研究段階（第1段階）、坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）および坑道を利用した研究段階（第3段階）に分かれている。

第2段階では、直径6 m、深度1,000 m程度の立坑が掘削される。本文献調査の目的は、掘削と並行して立坑壁面の地質学的調査を実施するシステムを開発するための基礎資料を得ることにある。

2.調査対象

土木、地質の分野を中心に、以下に示す 29 の文献や雑誌から関連情報の収集に努めた。なお、各文献の調査対象とする刊行期間はおおむね 10 年程度とした。

- (1) 応用地質
- (2) 応用地質年報
- (3) 基礎工
- (4) 材料
- (5) 写真測量とリモートセンシング
- (6) 地すべり
- (7) 情報地質
- (8) 石油学会誌
- (9) 石油技術協会誌
- (10) 地質学雑誌
- (11) 地質と調査
- (12) 地質ニュース
- (13) 地熱
- (14) 地熱エネルギー
- (15) 電力土木
- (16) トンネル工学研究発表会論文・報告集
- (17) トンネルと地下
- (18) 土木学会誌
- (19) 土木学会年次学術講演会講演会概要集 3
- (20) 土木学会論文集（土木学会論文報告集）
- (21) 土木技術
- (22) 土木技術資料
- (23) 土木施工
- (24) 日本地熱学会誌
- (25) 非破壊検査
- (26) 岩の力学国内シンポジウム
- (27) 岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集
- (28) 画像ラポ
- (29) 大林組技術研究所報

3.調査項目

調査対象で示した文献、雑誌等から、以下に示す項目について情報を収集した。

- (1) 技術名称
- (2) 技術概要
- (3) 調査装置（ハードウェア、ソフトウェア）
- (4) 調査方法
- (5) データ解析方法
- (6) 適用例
- (7) 投稿論文
- (8) 所有者
- (9) 備考（技術の評価等）

4.調査結果

2章に示した調査文献・雑誌の内、以下に示す17種類について本業務に該当する技術が探索できた。収集した総論文数は35編であったが、同一技術であったり所有者が同じであった場合には、代表的な文献の記載に留めた。その結果、19の技術について詳細情報をまとめた。p.7以降にそれぞれの技術の詳細を記す。

- (1) 応用地質
- (3) 基礎工
- (8) 石油学会誌
- (9) 石油技術協会誌
- (10) 地質学雑誌
- (11) 地質と調査
- (13) 地熱
- (15) 電力土木
- (16) トンネル工学研究発表会論文・報告集
- (17) トンネルと地下
- (18) 土木学会誌
- (19) 土木学会年次学術講演会講演会概要集3
- (25) 非破壊検査
- (26) 岩の力学国内シンポジウム
- (27) 岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集
- (28) 画像ラボ
- (29) 大林組技術研究所報

文献調査の結果、立坑壁面調査システムに関連する技術は、大きく分けて4つの分野で実用されていることが判明した。それぞれの分野で実用されている技術の特徴を以下にまとめる。

- (1)山岳トンネルの分野では、観察と計測を主体とした情報化施工が行われている。特に観察は日常管理業務として位置づけられ、切羽観察が少なくとも1日1回実施されている。従来は、観察者の目視観察を基準に観察記録図を作成し、地山評価や支保規模選定に活用していたが、近年のコンピュータ機器や撮影装置の急速な進歩に伴い、切羽状況をデジタル画像で取扱い、コンピュータで迅速に切羽観察図や展開図の作成ができるようになりつつある。また、切羽等のデジタル画像からき裂などの不連続面を抽出し、3次元的な不連続面構造やキープロックの存在を予測する技術の開発が進められている。主たる作業フローを図4.1に示す。
- (2)不連続面測定装置の分野では、装置の電子化が進められており、現場での計測がかなり軽減される方向にある。ただし、あくまでも観察者が現場で装置を取り扱わなければならない、写真画像を利用するような自動化技術にまでは発展しづらい。主たる作業フローを図4.2に示す。
- (3)ボーリング孔壁面の観察分野では、従来直接写真撮影した原画像を張り合わせてき裂等を確認していたが、近年では大容量のデジタル画像を高速に取り扱えるようになり、スキャナ方式とBIP方式に集約されている。両方法とも十分な精度でき裂等を測定するためには、400 mm程度のボーリング孔までの対応となるが、現在トンネル空洞等への適用を踏まえての研究開発が行われている。主たる作業フローを図4.3に示す。
- (4)営業トンネル壁面の調査分野では、レーザー、赤外線カメラ、可視カメラ等が利用されており、これらを何らかの台車に搭載するなどの方法を探り、自動計測技術が進められている。主たる作業フローを図4.4に示す。

本研究で対象となる構造物は直径6 m規模の立坑であり、現状の技術レベルから考えると、山岳トンネルで用いられつつある切羽観察方法やボーリング孔壁面観察方法、さらには営業トンネルで利用されつつある赤外線カメラ等が利用可能と考えられる。

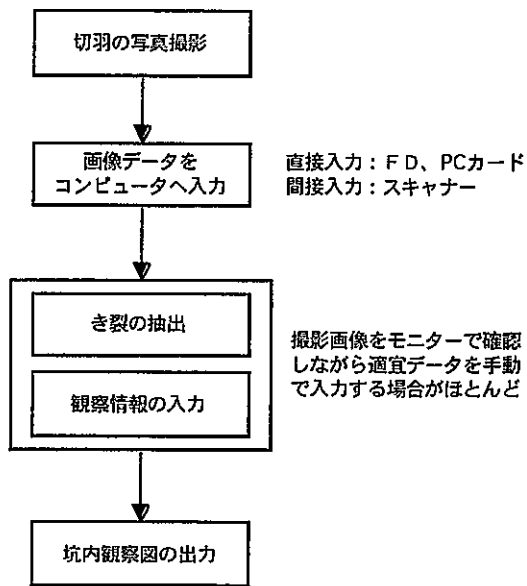


図 4.1 トンネル切羽観察作業フロー

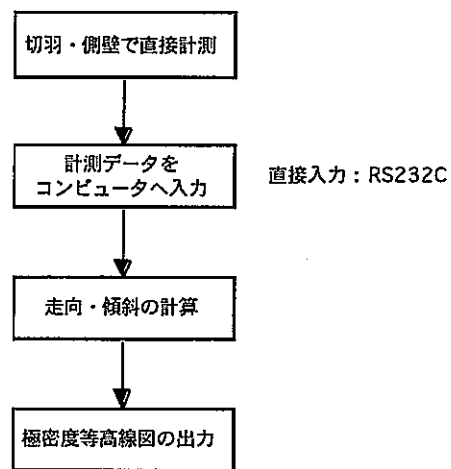


図 4.2 不連続面測定作業フロー

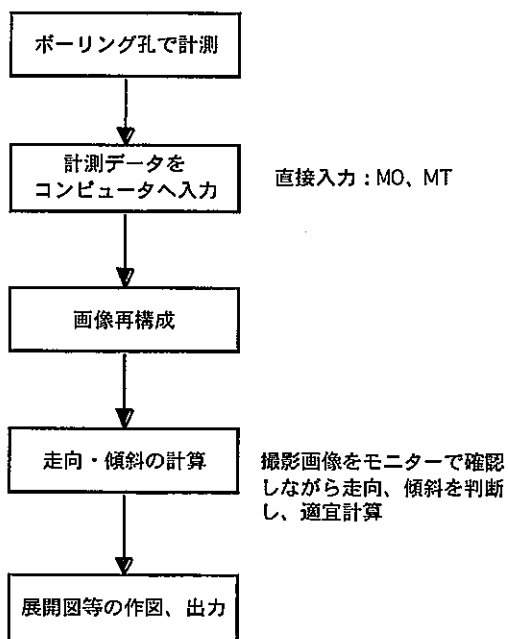


図 4.3 ボーリング孔壁面観察作業フロー

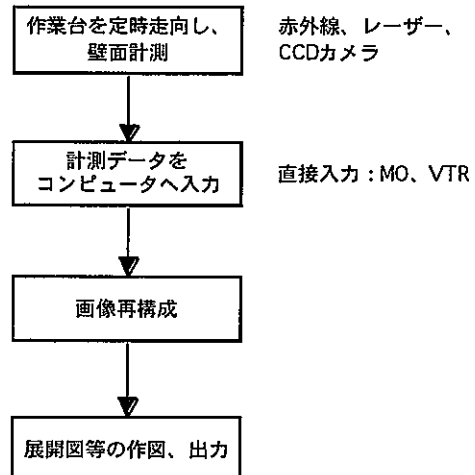


図 4.4 営業トンネル壁面作業フロー

No.1-1	
技術名称	トンネル支保規模選定支援システム
技術概要	山岳トンネルの施工中において、切羽観察、内空変位計測および数値解析結果に基づいて地山評価を行い、合理的な支保工規模の選定を支援するためのシステムである。デジタルカメラで撮影した切羽画像を中心に、全ての処理をパソコンで行うため省力化が図られる。また、工事報告にそのまま利用できるプリント出力やデータベースを備えている。
調査装置	【ハードウェア】 ハイバンドスチルビデオカメラ、ハイバンドスチルビデオプレーヤー、パソコン、モニター、プリンター、光ディスク 【ソフトウェア】 MS-DOS、ART-IM (エキスパートシステム)、画像処理ソフト、2次元弾塑性 FEM、C
調査方法	切羽の撮影には、一眼レフ方式ハイバンドスチルビデオカメラ(有効 38 万画素)を利用している。観察者が作業合間に切羽に赴き、手動にて撮影する。外部照明(ハロゲン光 1kW 程度)、低粉塵状況が必要。
データ解析方法	ハイバンドスチルビデオを介して撮影画像をパソコンに入力する。次いで、画像処理(各種鮮鋭化フィルタ、細線化処理、2 値化処理)を行い、切羽に存在するき裂を抽出する。切羽原画像ならびに 2 値化処理された画像はデータベース化される。
適用例	新第三紀中新世安山岩質地山など山岳トンネル現場 5ヶ所
投稿論文	畑 浩二、藤原紀夫、木梨秀雄、中尾通夫：トンネル支保選定エキスパートシステムの構築(その 1)、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第 1 巻、pp.65~70、1991。 Development for Detrmination System of Tunnel Support (Part 1) 畑 浩二、吉岡尚也：トンネル支保工選定支援システムの開発、トンネルと地下、Vol.27、No.1、pp.65~71、1996。 他
所有者	大林組
備考	実用化レベルにあるが、1998 年にシステムのバージョンアップを実施。堆積岩系ではおおむね色調が乏しいため画像処理によるき裂抽出は難しい。 分解能：約 1.6 cm/pict。(幅 10 m 程度のトンネルへ適用した場合)

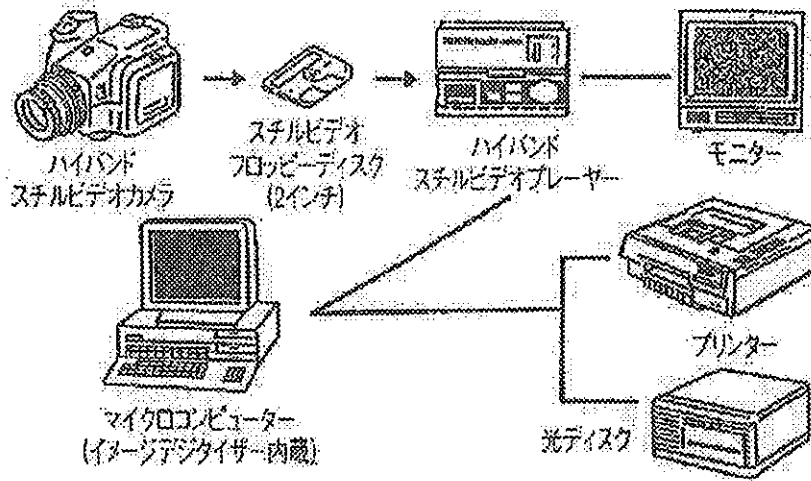


図 4.1-1 ハードウェア構成

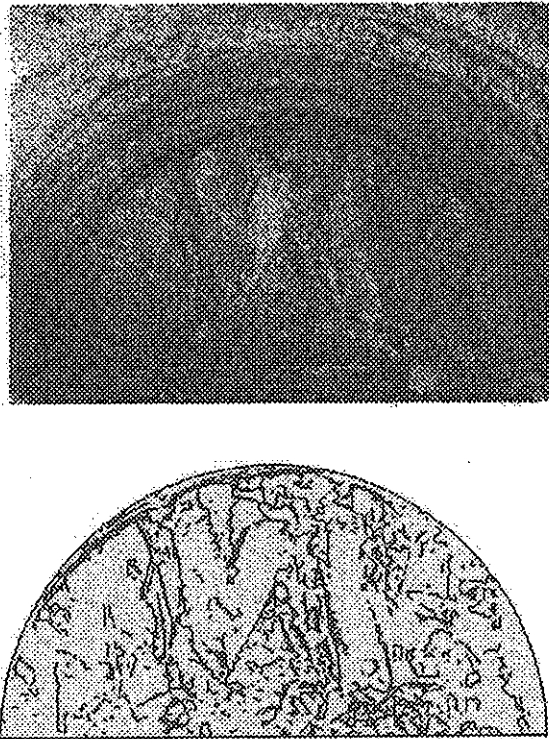


図 4.1-2 安山岩質トンネル切羽の撮影画像と処理画像

No.2-1	
技術名称	トンネル支保選定システム
技術概要	山岳トンネルの施工中において、切羽観察結果に基づいて地山評価を行い、合理的な支保規模の選定を支援するためのシステムである。選定される支保規模は、道路公団提案のマルチ支保パターンに準拠している。デジタルカメラで撮影した切羽画像を中心に、全ての処理をパソコンで行うため省力化が図られる。また、工事報告にそのまま利用できるプリント出力やデータベースを備えている。
調査装置	【ハードウェア】 デジタルカメラ、パソコン、プリンター 【ソフトウェア】 Windows 95、MS-Word、MS-Excel、Image-Server (画像表示)
調査方法	切羽の撮影には、一眼レフ方式デジタルカメラ（有効 130 万画素）を利用している。観察者が作業合間に切羽に赴き、手動にて撮影する。外部照明（ハロゲン光 1kW 程度）、低粉塵状況が必要。
データ解析方法	PC カードに記録された撮影画像をパソコンに入力する。次いで、画像を見ながら地山評価を行い、結果を出力する。切羽原画像はデータベース化される。画像処理には対応しない。
適用例	山岳トンネル現場 3ヶ所
投稿論文	トンネルと地下に投稿中
所有者	大林組
備考	トンネル支保規模選定支援システム (No.1) のバージョンアップ版で、道路公団の新標準支保パターンに対応している。Image-Server により撮影画像を直接書類に張り付ける。実用化レベル。 分解能：約 1 cm/pict. (幅 10 m 程度のトンネルへ適用した場合)

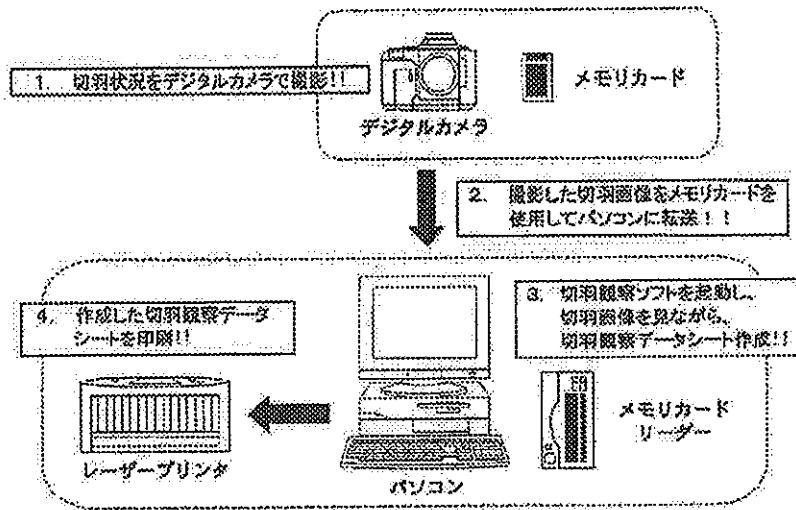


図 4.2-1 ハードウェア構成

非等義切装置

装置名		機種名		型番		メーカー	
デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ
メモリーカード	メモリーカード	メモリーカード	メモリーカード	メモリーカード	メモリーカード	メモリーカード	メモリーカード
パソコン	パソコン	パソコン	パソコン	パソコン	パソコン	パソコン	パソコン
メモリーカードリーダー	メモリーカードリーダー	メモリーカードリーダー	メモリーカードリーダー	メモリーカードリーダー	メモリーカードリーダー	メモリーカードリーダー	メモリーカードリーダー
レーザープリンタ	レーザープリンタ	レーザープリンタ	レーザープリンタ	レーザープリンタ	レーザープリンタ	レーザープリンタ	レーザープリンタ

項目	内容	単位	値
1. 切削速度	1000	mm/min	1000
2. 切削深度	0.5	mm	0.5
3. 送り速度	100	mm/min	100
4. 切削時間	10	min	10
5. 切削温度	100	°C	100
6. 切削音	100	dB	100
7. 切削振動	100	mm/s	100
8. 切削力	100	N	100
9. 切削電流	100	A	100
10. 切削電圧	100	V	100

項目	内容	単位	値
1. 切削速度	1000	mm/min	1000
2. 切削深度	0.5	mm	0.5
3. 送り速度	100	mm/min	100
4. 切削時間	10	min	10
5. 切削温度	100	°C	100
6. 切削音	100	dB	100
7. 切削振動	100	mm/s	100
8. 切削力	100	N	100
9. 切削電流	100	A	100
10. 切削電圧	100	V	100

図 4.2-2 結果出力の一例

No.3-1	
技術名称	3次元き裂分布可視化システム
技術概要	山岳トンネルや大規模の地下空洞の施工中において、切羽や天端さらには未掘削領域において発現する不安定ブロックを予測するために開発したシステムである。デジタルカメラで撮影した複数の切羽画像から CAD を利用してき裂などの不連続面を 3 次元的に把握し、不連続面で囲まれる岩盤ブロックを評価する。
調査装置	【ハードウェア】 デジタルカメラ、パソコン、プリンター 【ソフトウェア】 Windows 95、MS-Word、MS-Excel、Visual-Basic、Paint-Shop Pro、Auto-CAD
調査方法	切羽の撮影には、一眼レフ方式デジタルカメラ（有効 130 万画素）を利用している。観察者が作業合間に切羽に赴き、手動にて撮影する。外部照明（ハロゲン光 1kW 程度）、低粉塵状況が必要。
データ解析方法	PC カードに記録された撮影画像をパソコンに入力する。次いで、画像を見ながらき裂等の不連続線を選択する。ここまで処理された複数の切羽画像から、連続するき裂面を評価し CAD 上で描画する。さらに、き裂面と掘削予定面で構成されるブロックがあれば描画する。描画は、レンダリング法とワイヤーフレーム法に対応している。
適用例	山岳トンネル現場 2ヶ所（頁岩、砂岩）
投稿論文	畑 浩二、中尾通夫、北岸秀一：岩盤内不連続面可視化システムの開発、第 10 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.199～204、1998. 他 Development of Visualization System of Rock-Mass Discontinuities.
所有者	大林組
備考	大規模地下空洞用に改良中。試行レベル 分解能：約 1.6 cm/pict. (幅 10 m 程度のトンネルへ適用した場合)

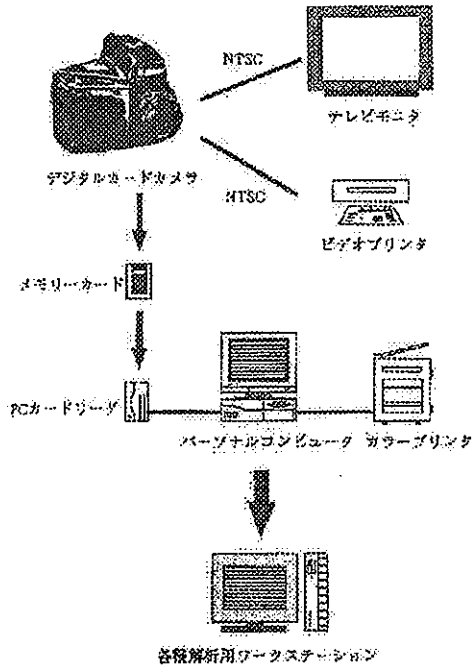
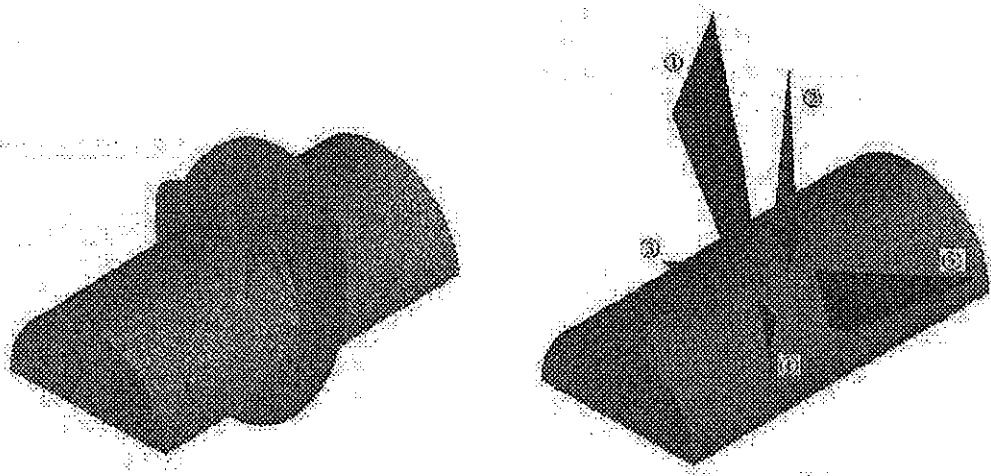


図 4.3-1 ハードウェア構成



不連続面の可視化

岩盤ブロックの可視化

図 4.3-2 結果出力の一例

No.4-1	
技術名称	切羽観察システム
技術概要	山岳トンネルの施工中において、通常のカメラで撮影した切羽画像をパソコンにスキャナー入力し、この画像に基づき切羽観察記録を作成する。また、切羽の地質展開図、地質縦断図の作成を行う。
調査装置	【ハードウェア】 イメージスキャナー、パソコン、プリンター 【ソフトウェア】 Windows 95、Visual-Basic、MS-Access
調査方法	目視観察ならびに切羽の写真撮影を利用している。
データ解析方法	切羽写真をイメージスキャナーでパソコンに入力し、これを下絵としてパソコン上で切羽スケッチを描く。
適用例	高規格 127 号富津館山道路竹岡第 1 トンネル（泥岩）で適用。
投稿論文	篠川俊夫、福島晴夫、田中康弘、今村仁悟、林 稔：切羽観察システムの開発、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第 6 巻、pp.263~268、1996. Development of Tunnel Face Observation System.
所有者	佐藤工業
備考	イメージスキャナー入力では即時性に乏しいので、デジタルカメラの利用を検討している。実用化レベル。 分解能：約 2 cm/pict.（幅 10 m 程度のトンネルへ適用した場合）

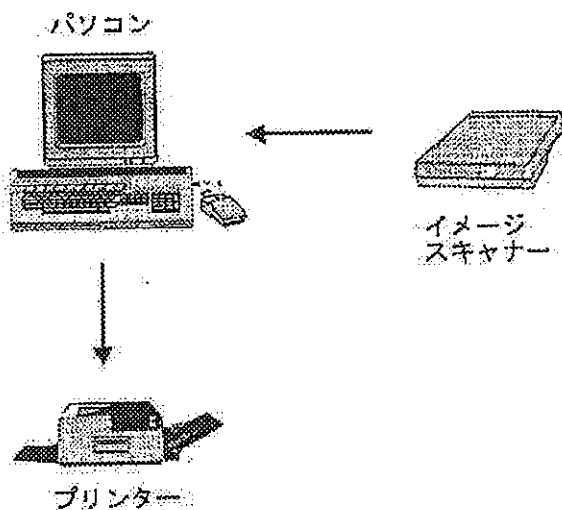


図 4.4-1 ハードウェア構成

作業票1 シンキ工事 印刷機給紙検査

平成 6年 6月 14日

監督 職名	監督 姓 名
現場代理人	佐村 仁雄
作 業 者	白根 貞雄

作業票 No. 500-01

NO.	品名	規格	数量	単位	備 考
1	紙
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

印刷機給紙検査

図 4.4-2 結果出力の一例

No.5-1	
技術名称	トンネル切羽画像処理システム
技術概要	山岳トンネルの施工中において、デジタルカメラで撮影した切羽画像に基づき切羽観察記録を作成する。
調査装置	<p>【ハードウェア】 デジタルスチルカメラ、パソコン、メモリーカードプロセッサ、プリンター、光磁気ディスク、フルカラーフレームバッファ</p> <p>【ソフトウェア】 不明</p>
調査方法	切羽の撮影にデジタルカメラを利用している。
データ解析方法	デジタルカメラにより撮影した切羽画像をパソコンに入力し、これを下絵としてパソコン上で切羽スケッチを描く。
適用例	不明
投稿論文	<p>泉谷泰史、傳田 篤、藤田清一、安藤知明、桑嶋隆夫：トンネル切羽画像処理システムの開発、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第3巻、Vol.1、pp.191~194、1993.</p> <p>New Tunnel Observation System with Gigital Still Camera</p>
所有者	清水建設
備考	<p>切羽画像の連続表示や地質の立体表示について開発中。 実用化レベル。 分解能：約1 cm/pict. (幅10 m程度のトンネルへ適用した場合)</p>

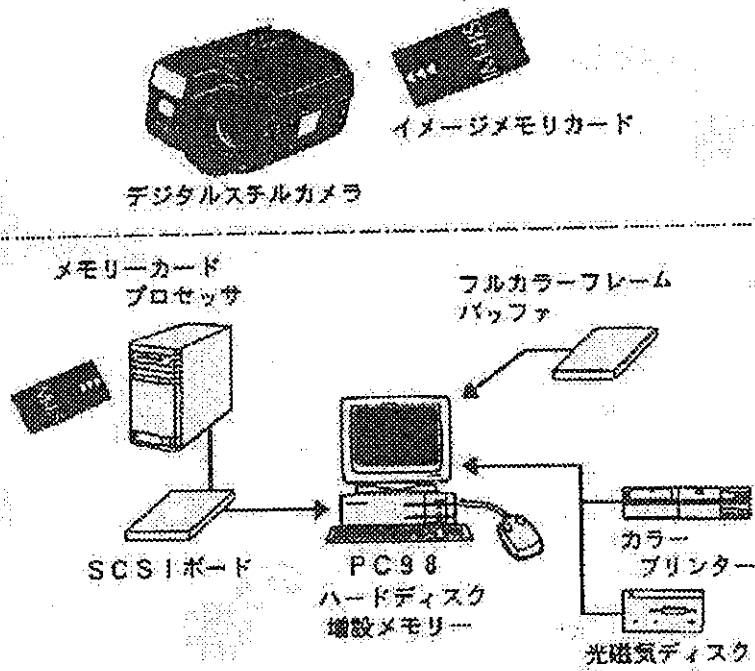


図 4.5-1 ハードウェア構成

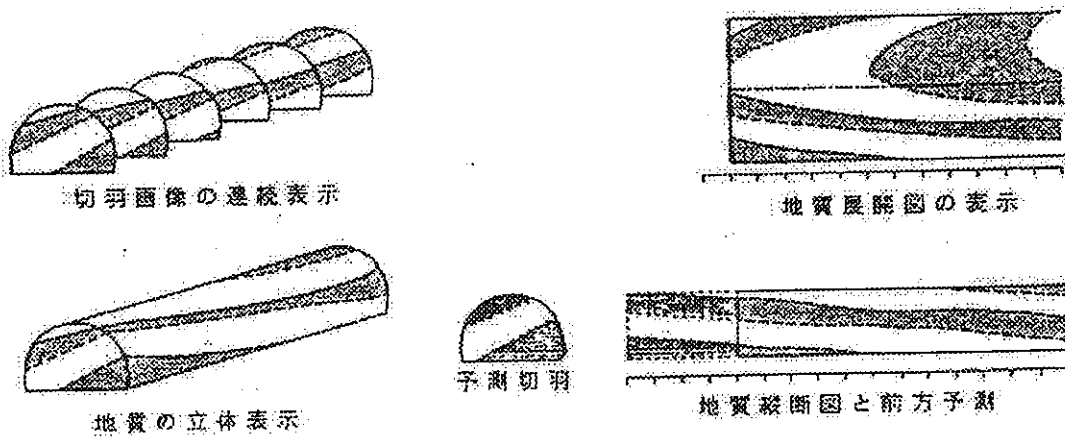


図 4.5-2 結果出力の一例 (開発中)

No.6-1	
技術名称	切羽画像処理システム
技術概要	山岳トンネルの施工中において、デジタルカメラで撮影した切羽画像に基づき切羽観察記録を作成する。また、地質展開図と地質変化表示を出力可能。
調査装置	【ハードウェア】 デジタルカメラ（約130万画素）、パソコン、プリンター、光磁気ディスク 【ソフトウェア】 不明
調査方法	切羽の撮影にデジタルカメラを利用している。
データ解析方法	デジタルカメラにより撮影した切羽画像をパソコンに入力し、画像処理を施すことによって割れ目を抽出している。
適用例	北海道小樽市望洋台トンネル（6分割CD-NATM）で適用。岩種は、凝灰岩
投稿論文	岡村光政、内藤将史：未固結地山トンネルにおける切羽画像処理システムの適用事例、応用地質、Vol.38、No.6、pp.401～410、1998. Application Case of The Face Image Processing System in an Uncomposed Mass Tunnel.
所有者	戸田建設
備考	切羽画像の連続表示や地質の立体表示について開発中。 実用化レベル。 分解能：約1 cm/pict.（幅10 m程度のトンネルへ適用した場合）

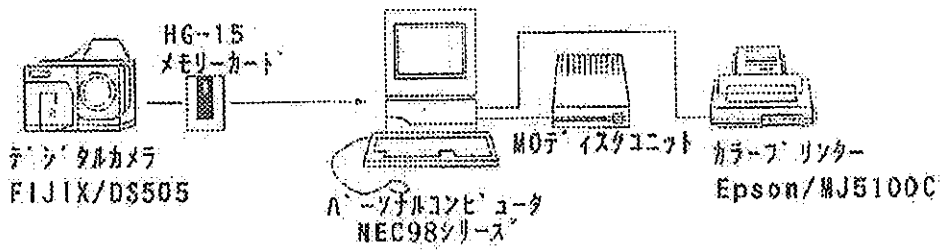


図 4.6-1 ハードウェア構成

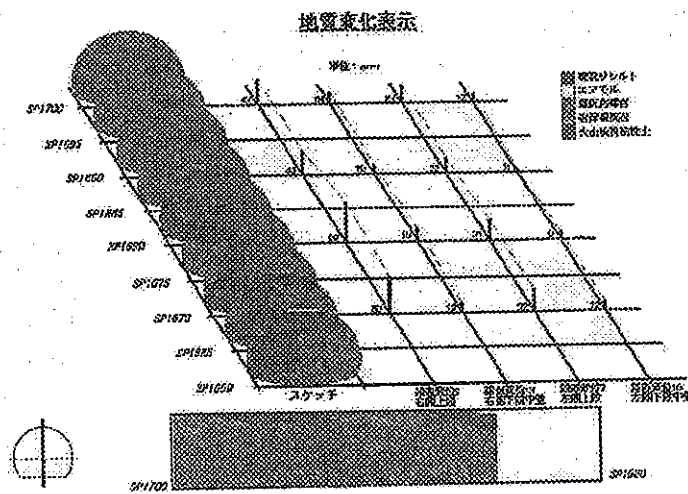
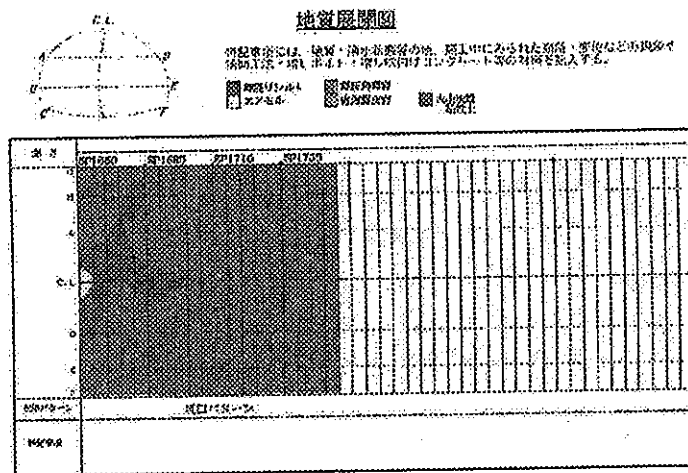


図 4.6-2 結果出力の一例

No.7-1	
技術名称	画像解析システム
技術概要	山岳トンネルの施工中において、スチルビデオカメラで撮影した切羽画像に基づき切羽観察記録を作成する。
調査装置	【ハードウェア】 スチルビデオカメラ、スチルビデオプレーヤー、パソコン、プリンター、光磁気ディスク、モデム 【ソフトウェア】 不明
調査方法	切羽の撮影にスチルビデオカメラを利用している。
データ解析方法	スチルビデオカメラにより撮影した切羽画像をパソコンに入力し、画像処理を施すことによって割れ目を抽出している。
適用例	中古生層・新第三紀層の堆積岩で試行
投稿論文	御手洗良夫、岩井孝幸、村田 均、川越 健：画像解析を用いた山岳トンネル総合施工管理システムの開発、電力土木、NO.250、pp.121~123、1994.3.
所有者	熊谷組
備考	モデムを利用して、現場と研究所をつなぎデータの送受信を行う。実用化レベルに近い。 分解能：約 1.6 cm/pict. (幅 10 m程度のトンネルへ適用した場合)

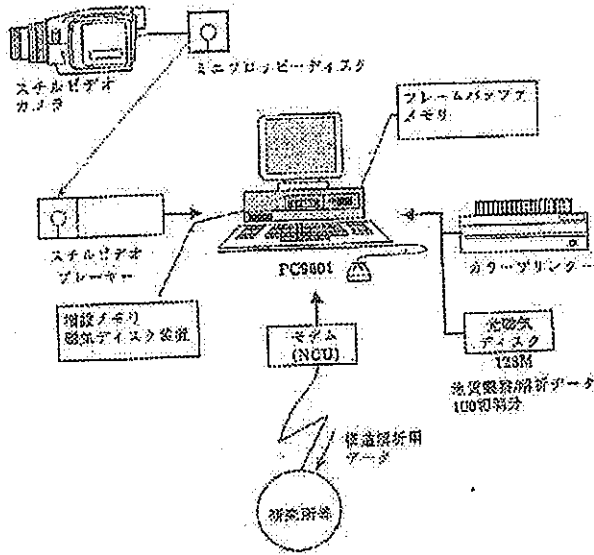


図 4.7-1 ハードウェア構成

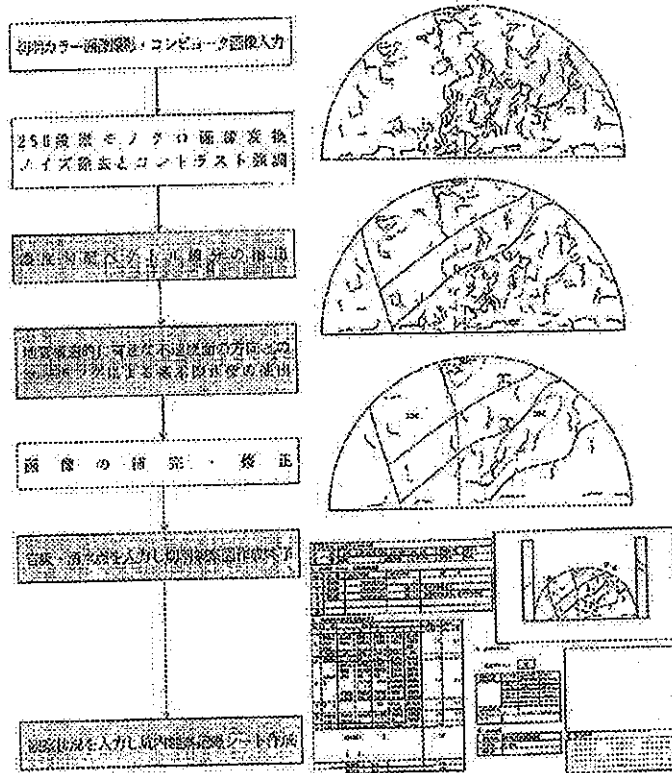


図 4.7-2 切羽観察図処理フロー

No.8-1	
技術名称	岩盤節理調査・評価システム
技術概要	山岳トンネルをはじめとする不連続性岩盤で節理の調査ならびに評価に利用される。
調査装置	【ハードウェア】 スキャナー、パソコン、プリンター、光磁気ディスク 【ソフトウェア】 不明
調査方法	ステレオペア写真を利用している。
データ解析方法	ステレオペア写真をパソコンに入力し、画像処理を施すことによって割れ目を抽出している。
適用例	不明
投稿論文	大橋俊行、草深守人：画像処理による岩盤節理調査・評価システムの開発、第 19 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp396~400、1987。 Development of Fracture Investigation and Characterization System Using Image Processing Technology.
所有者	間組
備考	キーブロック解析との組み合わせを開発中。試行レベル 分解能：約 1.6 cm/pict. (幅 10 m程度のトンネルへ適用した場合)

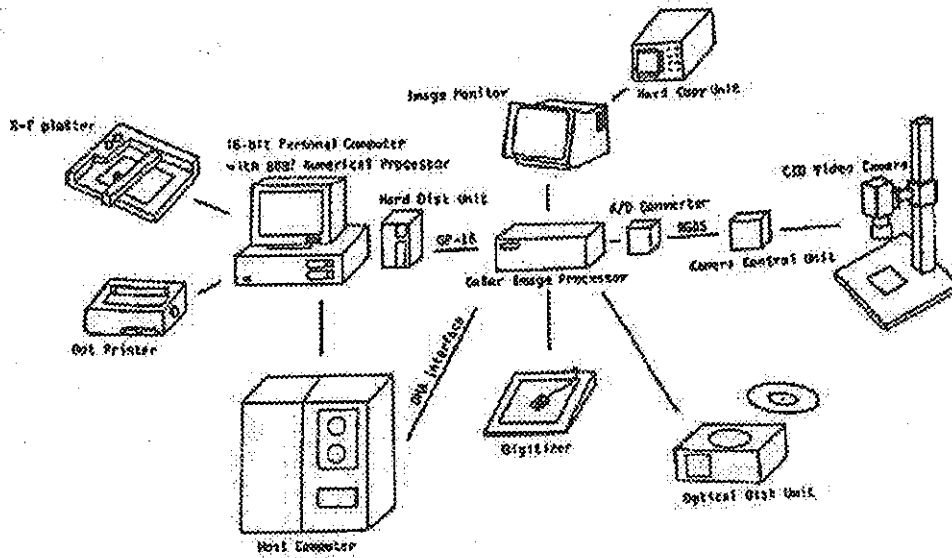
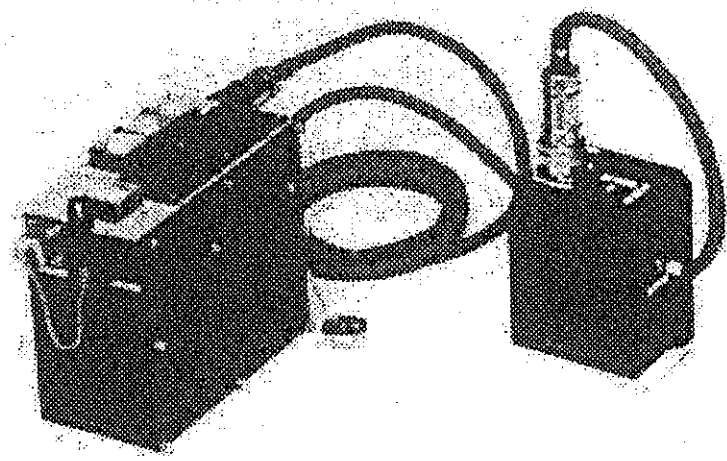


図 4.8-1 ハードウェア構成

No.9-1	
技術名称	不連続面測定器
技術概要	岩盤に存在する不連続面の走向と傾斜を専用機器であるクリノメータによって直接測定する。
調査装置	<p>【ハードウェア】 クリノメータ(姿勢認識に加速度センサとジャイロセンサを利用)</p> <p>【ソフトウェア】 RS232C を用いて測定データをパソコン入力</p>
調査方法	計測部と制御部からなる不連続面測定装置を現場へ持ち込み、測定対象となる不連続面に直接計測部を当て、走向と傾斜を測定する。制御部には記憶装置を含み、約 300 個のデータを保存できる。
データ解析方法	現場で計測したデータを RS232C でパソコンに取り込み、極密度コンター等を表示する。
適用例	某水力発電所の仮排水路トンネル坑内で適用。
投稿論文	<p>廣川隆男、青木俊朗、藤川富夫：不連続面測定器の開発と応用、第 10 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp193～198、1998.</p> <p>Development and Application of New Device for Survey of Discontinuities.</p>
所有者	東急建設
備考	実用化レベル。



制御部

計測部

図 4.9-1 ハードウェア構成

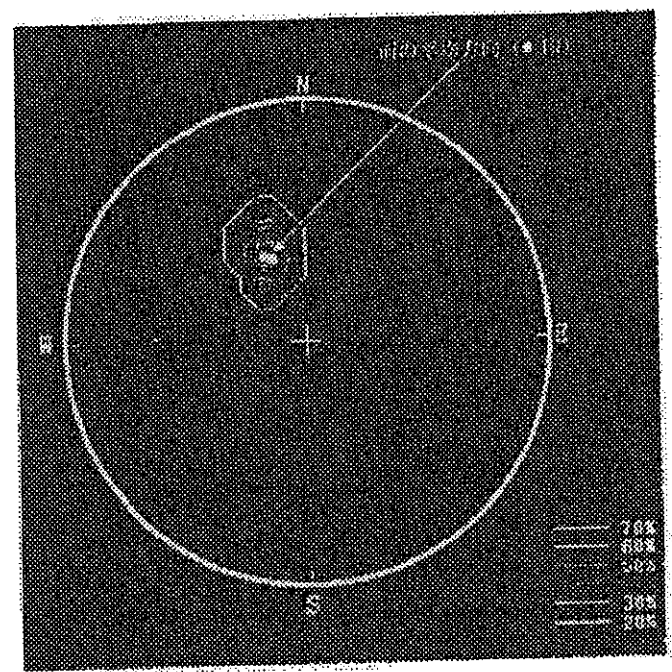


図 4.9-2 極密度コンターの一例

No.10-1	
技術名称	電子式クリノメータ
技術概要	岩盤に存在する不連続面の走向と傾斜を専用機器であるクリノメータによって直接測定する。
調査装置	【ハードウェア】 クリノメータ（三軸型磁気センサと重力センサを内蔵） 【ソフトウェア】 RS232C を用いて測定データをパソコン入力
調査方法	現場へ持ち込み、測定対象となる不連続面に直接計測部を当て、走向と傾斜を測定する。1回の測定時間は5秒以内であり、約50個のデータを保存できる。
データ解析方法	現場で計測したデータはパソコンに出力可能で、事後解析により極密度コンター等を表示する。
適用例	現場露頭で適用。
投稿論文	福島晴夫：電子式クリノメータの開発と岩盤計測への適用、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.265～270、1994. Development of Automatic Clinometer and application to the field survey. 福島晴夫、柴田和広、柴田秀昭：電子式クリノメータを利用した岩盤法面安定評価システム、電力土木、No.252、pp.114～118、1994.
所有者	佐藤工業
備考	計測部と制御部が一体となった構造である。キーブロック解析と連動させることが可能。実用化レベル。

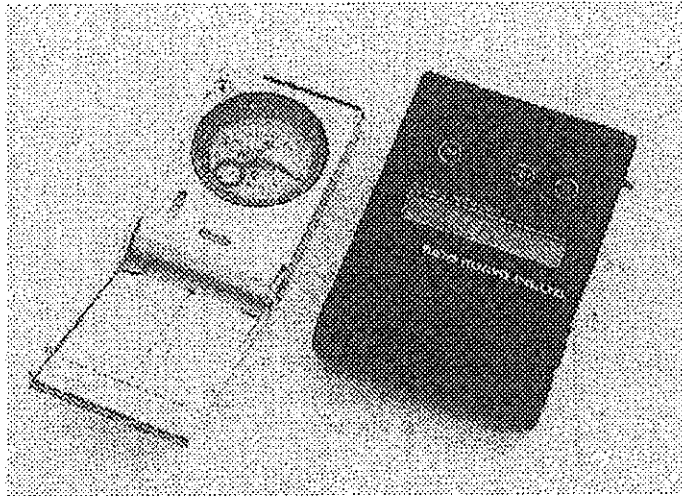


図 4.10-1 従来のクリノメータ（左）と電子式クリノメータ（右）

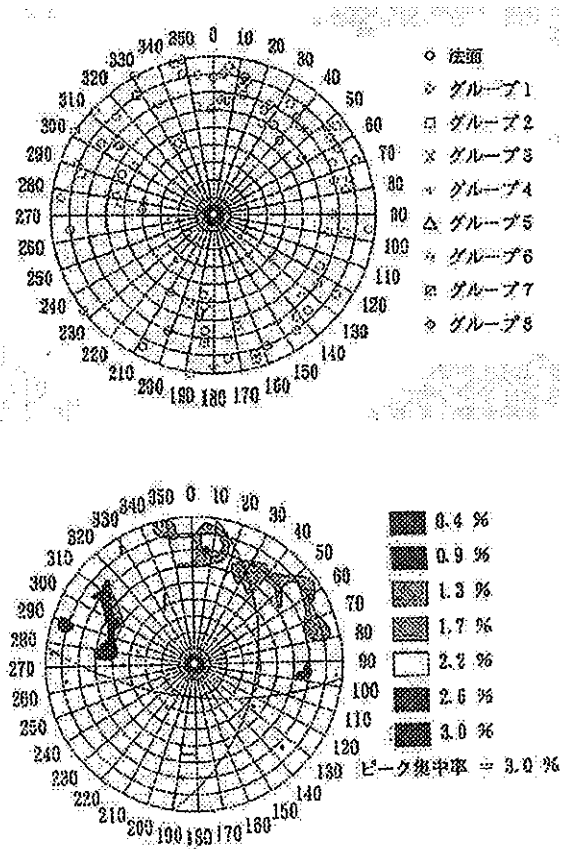


図 4.10-2 結果出力の一例

No.11-1	
技術名称	ボアホールテレビ
技術概要	超小型テレビカメラ、反射鏡、方位方向計を内蔵したゾンデをボーリング孔に挿入し、孔壁面を直接観察する方法である。最小径65 mmのボーリング孔で使用可能。
調査装置	【ハードウェア】 ゾンデ、制御器、昇降装置、記録装置 【ソフトウェア】 なし
調査方法	ゾンデをボーリング孔に挿入し、昇降させながら超小型テレビカメラでボーリング孔壁面を撮影し、VTRで記録する。
データ解析方法	記録された壁面画像をプリントアウトし、壁面展開連続図を作成する。全周を観察するためには、約8枚の画像が必要。この壁面展開連続図に基づいて、目視によってき裂の位置、幅を検出する。
適用例	多数。
投稿論文	平間邦興、丸山 誠、畑 浩二、桑原 徹：ボアホールテレビの岩盤調査への適用、大林組技術研究所報 No.26、pp.84~87、1983. Application of Borehole TV System to Investigation of Bedrock. 三木幸蔵：ボアホールテレビ、地質と調査、第一号、pp.48~53、1988.
所有者	川崎地質
備考	膨大な量のフィルム処理のため、現在この方式は使用されていない。 分解能：約1 mm（目視観察）

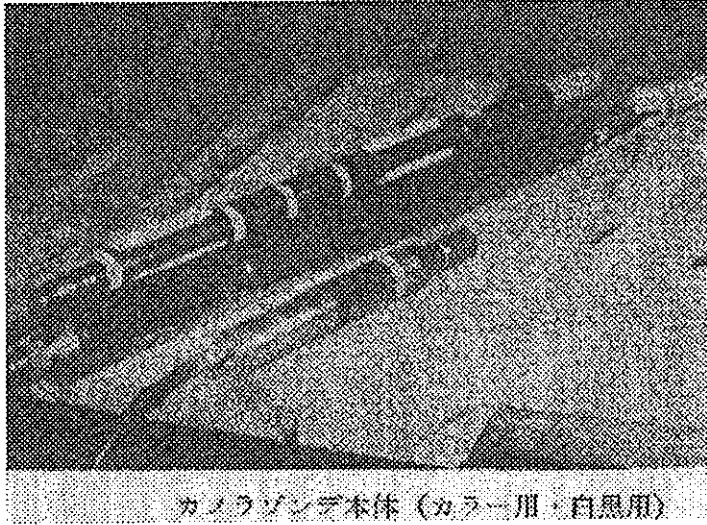


図 4.11-1 ハードウェア構成



図 4.11-2 測定結果の一例

No.12-1	
技術名称	ボアホールスキャナー
技術概要	反射鏡、方位方向計等を内蔵したゾンデをボーリング孔に挿入し、孔壁面を観察する方法である。原理は、反射鏡を高速回転(3000回転/min.)させ、孔壁面の連続した点の明るさをスポットセンサで計測するもので、最小径65mmのボーリング孔で使用可能。
調査装置	【ハードウェア】 ゾンデ、制御器、昇降装置、モニターTV、VTR 【ソフトウェア】 専用解析システム
調査方法	ゾンデをボーリング孔に挿入し、昇降させながらスポットセンサでボーリング孔壁面を撮影する。ゾンデ内でデジタル変換されたデータは地上部の画像メモリーで記録される。
データ解析方法	記録された壁面画像データをモニターで観察しながら、目視によってき裂の位置、幅を検出する。
適用例	多数。
投稿論文	西口重男、池内憲造、鳥山忠次、飯塚友之助：ボアホールスキャナー、基礎工、Vol.17、No.10、pp78~82、1989。 丸山 誠、村上 治：地面の地下を探る -ハイテク地質調査機器ボアホールスキャナーと地質画像処理システムの概要-、画像ラボ、pp.23~26、1992.
所有者	コア
備考	最大深度200m、観察速度最大72m/h、実用化レベル。 分解能：約0.1mm

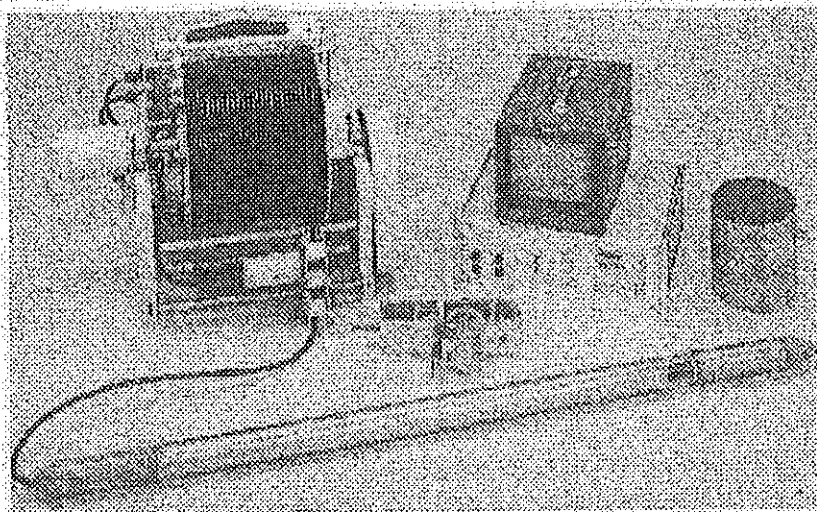


図 4.12-1 ハードウェア構成

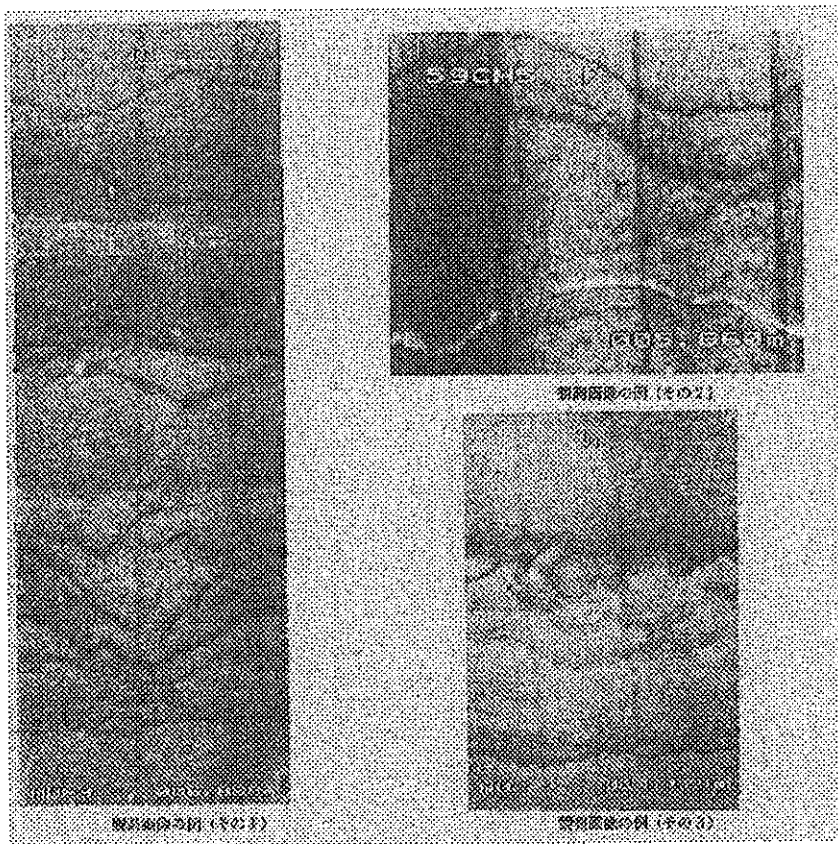


図 4.12-2 測定結果の一例

No.13-1	
技術名称	BIP システム
技術概要	コーン型反射鏡と CCD カメラ（正対状態）を内蔵したゾンデをボーリング孔に挿入し、孔壁面を観察する方法である。コーン型反射鏡にはボーリング孔壁面の全周が写り込み、ゾンデを昇降させることによって連続画像を取得することができる。
調査装置	【ハードウェア】 ゾンデ、制御器、昇降装置、2 連モニターTV、展開画像処理記録装置、光磁気ディスク 【ソフトウェア】 専用解析システム
調査方法	ゾンデをボーリング孔に挿入し、昇降させながら CCD カメラでボーリング孔壁面を撮影する。画像は地上部の MT で記録される。
データ解析方法	記録された壁面画像データをモニターで観察しながら、目視によってき裂の位置、幅を検出する。
適用例	多数。
投稿論文	亀和田俊一、遠藤 努、国分英彦、西垣好彦：BIP システムの装置とその能力について、第 21 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.196～200、1989。 The device and features of BIP system. 亀和田俊一、遠藤努、西垣好彦、杉江剛史：ボーリング孔壁画像処理とその解析について、応用地質、Vol.34、No.6、pp.49～57、1994。 Image Processing Technique for Borehole Walls and Its Image Recognition.
所有者	レアックス
備考	計測可能口径 66～116 mm、最大深度 300 m、観察速度最大 72 m/h、実用化レベル。 分解能：約 0.6 mm

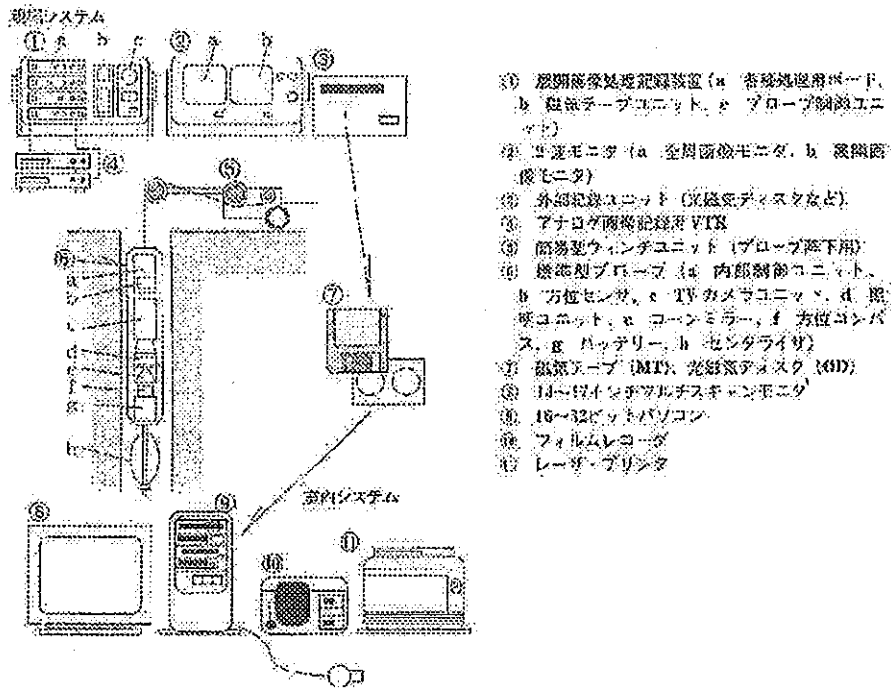


図 4.13-1 ハードウェア構成

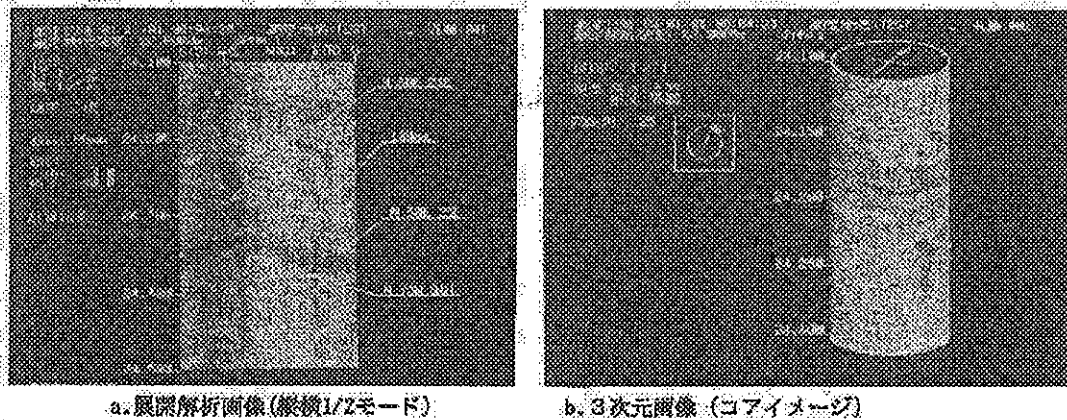


図 4.13-2 測定結果の一例

No.14-1	
技術名称	トンネル検査システム
技術概要	営業中の鉄道トンネルの保守・管理を目的に、スリットカメラを利用してトンネル覆工面全周を写真撮影し、ひび割れ、剥離、漏水ヶ所等の調査を行う。得られる情報は客観的であり再現性がある。また、徒歩巡回に比較して効率的である。
調査装置	<p>【ハードウェア】</p> スリットカメラ、保線用台車、モーターカー、コントローラ、照明6灯、非接触式距離計
	<p>【ソフトウェア】</p> なし
調査方法	スリットカメラを保線用台車に固定し、支持架台を移動させることによって路盤部を含めたトンネル覆工面全周の撮影を行う。被写体の移動速度とフィルムの送り速度を同期させることによって、縦横同一縮尺比の連続画像を得ることができる。
データ解析方法	各撮影面を展開図として合成し、目視によりひび割れ、剥離、漏水ヶ所等を判断する。
適用例	不明。
投稿論文	小野田 滋、菊池保孝、松下英教、小寺信行、谷黒 亘：トンネル検査におけるスリットカメラの適用とその考察、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第1巻、pp.217~222、1991. Applicability of Slit Camera System for Railway Tunnel Inspection and Its Problems.
所有者	JR 総合研究所、西日本旅客鉄道、パスコ
備考	膨大な量のフィルム処理（現像→焼付け→解析→保管）が問題

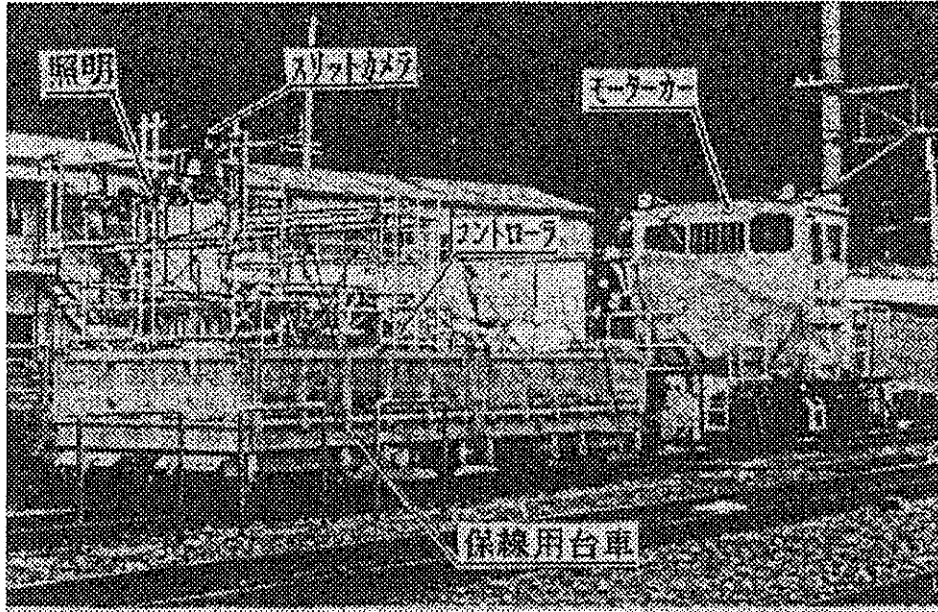


図 4.14-1 ハードウェア構成

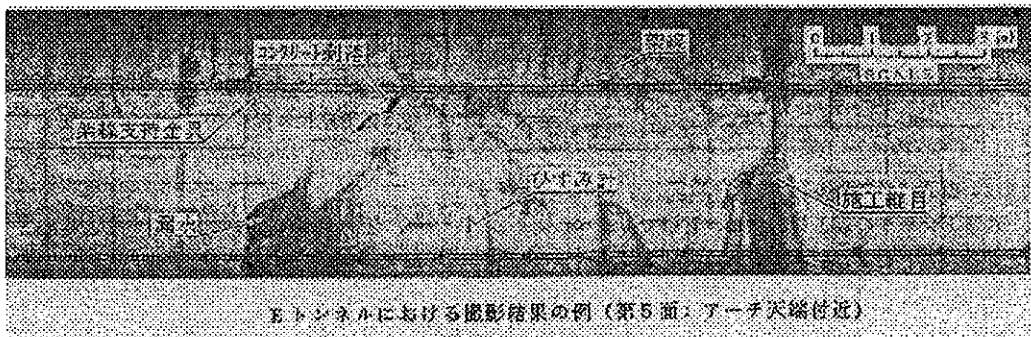


図 4.14-2 測定結果の一例

No.15-1	
技術名称	トンネル覆工表面撮影装置
技術概要	営業中の鉄道トンネルの保守・管理を目的に、レーザービームでトンネル覆工面全周を走査し、その反射光を利用してひび割れの有無や位置、幅、長さを検出する。徒歩巡回に比較して効率的である。
調査装置	【ハードウェア】 レーザー発振器、制御装置、保線用台車、冷却ユニット、記録装置 【ソフトウェア】 不明
調査方法	レーザー発振器を保線用台車に搭載し、支持架台を移動させることによってトンネル覆工面全周の走査を行う。撮影装置の記録方式にはフライング・スポットイメージ法（対象物表面を高速走査し、計測ピッチ毎の反射光量を高感度光センサで受光）を採用している。
データ解析方法	デジタル記録されたレーザービームの反射光量を専用のデータ処理装置で画像として再生させる。
適用例	不明。
投稿論文	トンネルの新しい検査手法(2)、トンネルと地下、pp.51~63、1996.
所有者	JR 東日本
備考	スリットカメラを利用したトンネル検査システム (No.14) の後継技術。試行レベル。 精度：1 mm

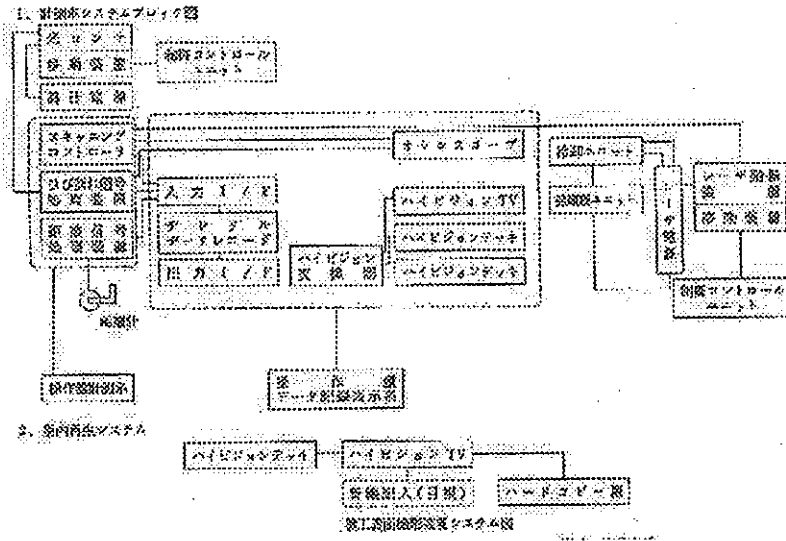
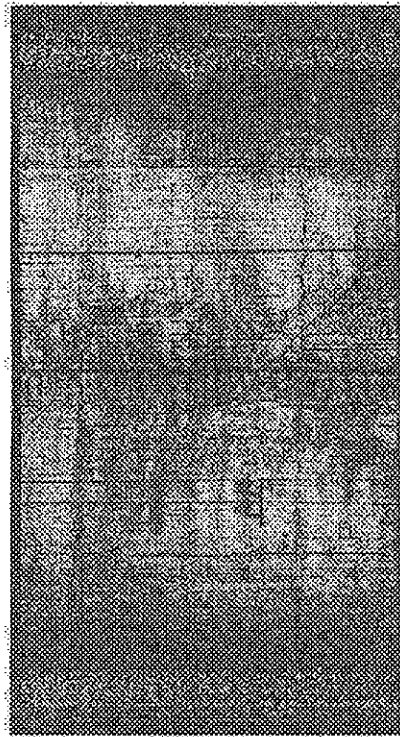


図 4.15-1 ハードウェア構成



測定結果の印刷出力

図 4.15-2 測定結果の一例

No.16-1	
技術名称	赤外線画像処理による覆工劣化検知
技術概要	営業中の鉄道トンネルの保守・管理を目的に、赤外線カメラでトンネル覆工面全周を撮影し、処理画像を基に覆工の剥離や劣化状況を検出する。徒歩巡回に比較して効率的である。
調査装置	【ハードウェア】 赤外線カメラ、可視カメラ、記録装置、台車 【ソフトウェア】 不明
調査方法	赤外線カメラとラインセンサーカメラを保線用台車に搭載し、支持架台を移動させることによってトンネル覆工面全周の撮影を行う。
データ解析方法	磁気テープ等に記録された画像は2値化処理された後、赤外線・可視画像による劣化抽出結果を合成し、トンネル変状展開図を作成する。
適用例	不明。
投稿論文	トンネルの新しい検査手法(2)、トンネルと地下、pp.51~63、1996.
所有者	帝都高速度交通営団
備考	実用化レベル。

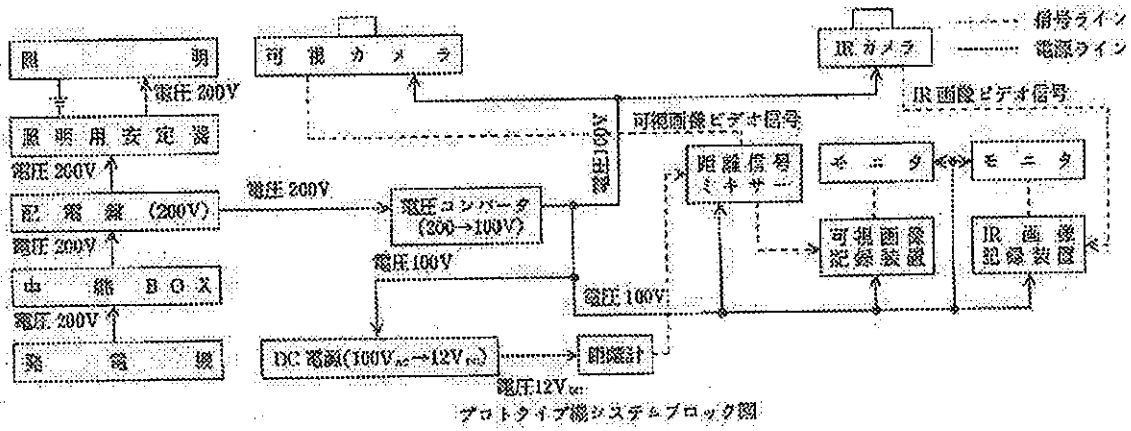
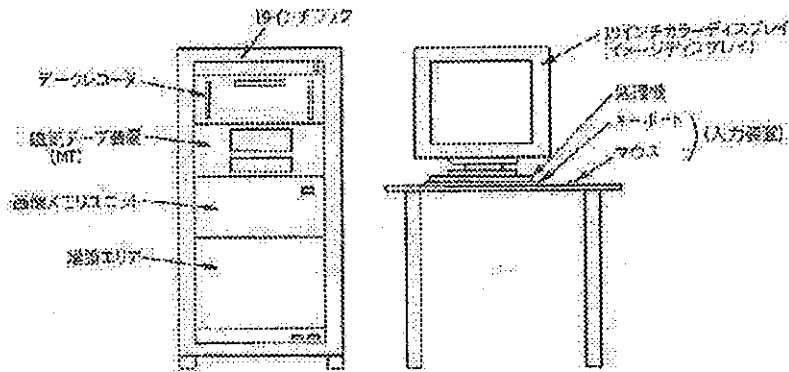
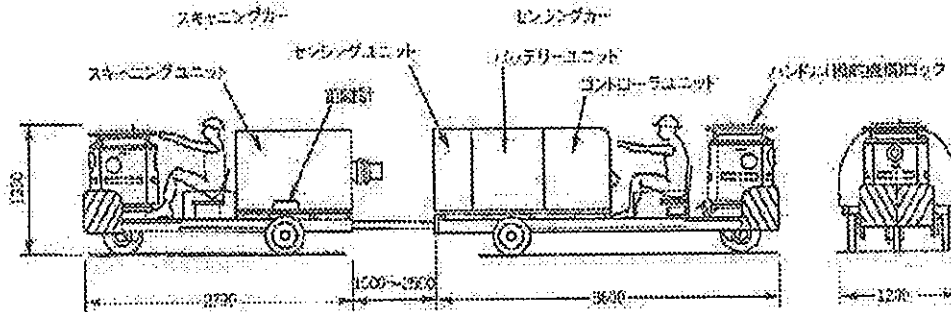


図 4.16-1 ハードウェア構成

No.17-1	
技術名称	水路トンネル内面クラック探査システム
技術概要	水路トンネルの保守・管理を目的に、レーザービームでトンネル覆工面全周を走査し、その反射光を利用してひび割れの有無や位置、幅、長さを検出する。徒歩巡回に比較して効率的である。
調査装置	【ハードウェア】 スキャニングユニット、センシングユニット、距離計 【ソフトウェア】 不明
調査方法	レーザー発振器を計測車に搭載し、1 km/h 程度の速度で走行しながらトンネル覆工面全周の走査を行う。レーザービームの反射光量をセンサにより受光し電気信号に変換し、特殊高密度 VTR で記録する。
データ解析方法	記録されたレーザービームの反射光量のデータに対話方式の画像処理を施し、ひび割れの位置、幅、高さを検出する。
適用例	不明。
投稿論文	トンネルの新しい検査手法 (2)、トンネルと地下、pp.51~63、1996.
所有者	東京電力
備考	実用化レベル。 検出ひび割れ：最小 0.3 mm (内径 5 m トンネルに適用の場合)



対称型測距レーダー計測システム構成図

図 4.17-1 ハードウェア構成

No.18-1	
技術名称	小断面水路トンネル内部点検ロボット
技術概要	走向車にカメラ・VTR デッキを取り付け、無人で走行しながら小断面トンネル覆工表面の劣化・湧水・ひび割れの状況を点検、記録する。徒歩巡回に比較して効率的である。
調査装置	【ハードウェア】 撮影ユニット（前輪、駆動、後輪）、牽引装置 【ソフトウェア】 不明
調査方法	2 km/h 程度の速度で無人走行しながら、駆動ユニットに取り付けられた4台のビデオカメラで前方、右面、左面、上面の壁面をそれぞれ撮影し、VTR で記録する。
データ解析方法	記録された壁面画像を再生し、目視によってひび割れの位置、幅、高さを検出する。
適用例	不明。
投稿論文	トンネルの新しい検査手法(3)、トンネルと地下、pp.47~53、1996.
所有者	東京電力
備考	実用化レベル。 検出ひび割れ：3 mm（内径 1.5 m トンネルに適用の場合）



図 4.18-1 ハードウェア構成

No.19-1	
技術名称	健全度調査用ロボット
技術概要	カメラ、勾配測定用圧力センサ、H ₂ S ガス濃度測定用採取口が取り付けられた台車を遠隔操作して、覆工表面の劣化・湧水・ひび割れの状況を点検、記録する。250～800 mmまでの管渠で使用可能である。
調査装置	【ハードウェア】 台車（カメラ、照明、駆動装置）、地上装置（通信制御、電源） 【ソフトウェア】 なし
調査方法	2 m/min.程度の速度で遠隔操作による走行を行いながら、ビデオカメラで管渠壁面を撮影し、VTR で記録する。
データ解析方法	記録された壁面画像を再生し、目視によってひび割れの位置、幅、高さを検出する。
適用例	不明。
投稿論文	トンネルの新しい検査手法 (3)、トンネルと地下、pp.47～53、1996.
所有者	東京都下水道局
備考	実用化レベル。 検出ひび割れ：0.1 mm程度（内径 1.5 mトンネルに適用の場合）

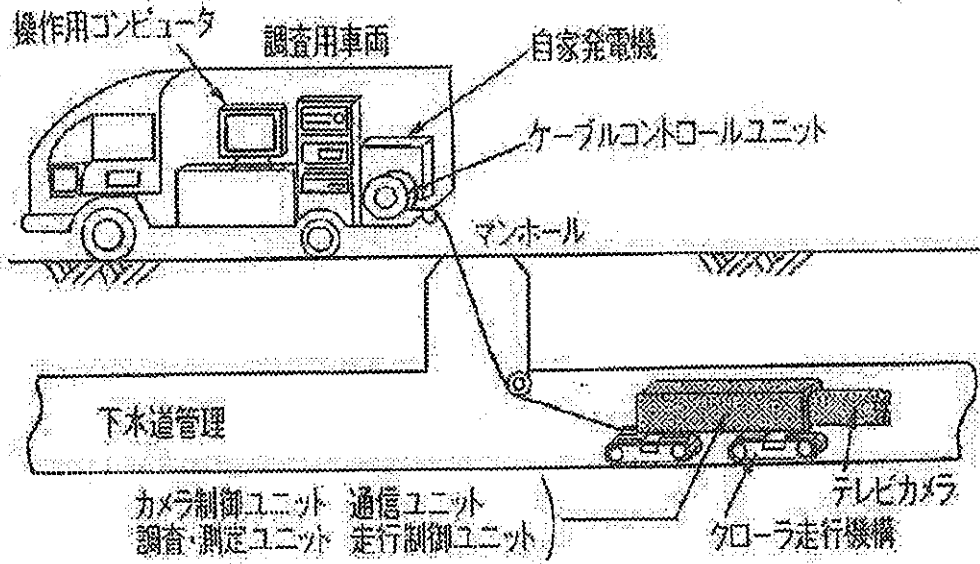


図 4.19-1 ハードウェア構成

5.調査結果に基づくシステム案

岩盤壁面調査では、き裂などの不連続面分布（走向、傾斜）や湧水状況、さらには風化状況等の抽出が重要と考えられる。き裂の抽出においては、分解能の観点から高精細な観察装置が必要である。湧水状況や風化状況を抽出するためには、対象物の色情報を判断する装置が必要となろう。以上のことを勘案して、観察装置にはデジタルカメラを利用する方法が最も効果的と判断した。以下に、デジタルカメラを利用した立坑壁面調査システム案を2例示す。なお、これら調査システムによって撮影された立坑壁面の画像はコンピュータにデジタルデータとして取り込む。撮影画角にもよるが、4～6枚の写真で立坑1周をカバーすることが可能である。その後、コンピュータに取り込んだ画像データをつなぎ合わせ、壁面展開図や3次元柱状図を作成することになる。

(1) 第1案

壁面観察装置に600万画素のデジタルカメラを用い、エンコーダー等により回転制御して壁面を撮影する。4～6枚の写真で立坑1周をカバーした場合、2mm程度の分解能が見込まれる。図5.1に立坑掘削装置であるスカフォードに組み込んだ装置全体を、図5.2に調査装置を示す。具体的には、予定深度まで掘削した後、図5.2に示す装置を底面まで下ろす。その後、手動にて水平調整し、壁面撮影を行う。水平調整、エンコーダ回転、写真撮影（ピント、露出調整）は手動で行う。作業の概略フローを図5.3に示す。なお、壁面撮影データについては事務所等に持ち帰り、画像のつなぎ合わせ処理を行った後、壁面展開図や3次元柱状図を作成する。

(2) 第2案

第1案の自動計測版である。壁面観察装置には同様の600万画素のデジタルカメラを用いる。第1案で手動調整であった水平調整、エンコーダ回転、写真撮影（ピント、露出調整）については、自動整準器、光波距離計、ジャイロ等を組み合わせることにより、観察位置や方位等を含めた自動計測が可能となる。装置概略を図5.4に示す。作業フローは第1案とおおむね同じであり（図5.3参照）、予定深度まで掘削した後、本装置を底面まで降ろし撮影する。

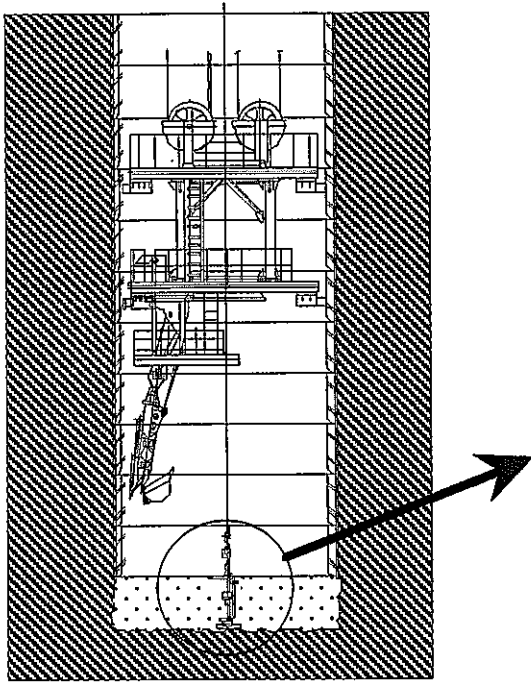


図 5.1 スカフォードに組み込んだ装置全体

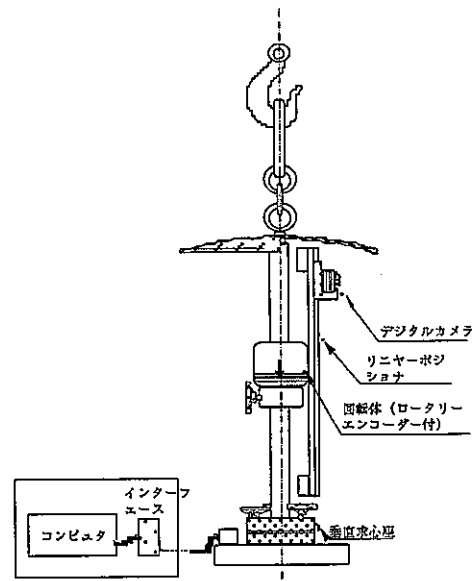


図 5.2 調査装置 (第1案)

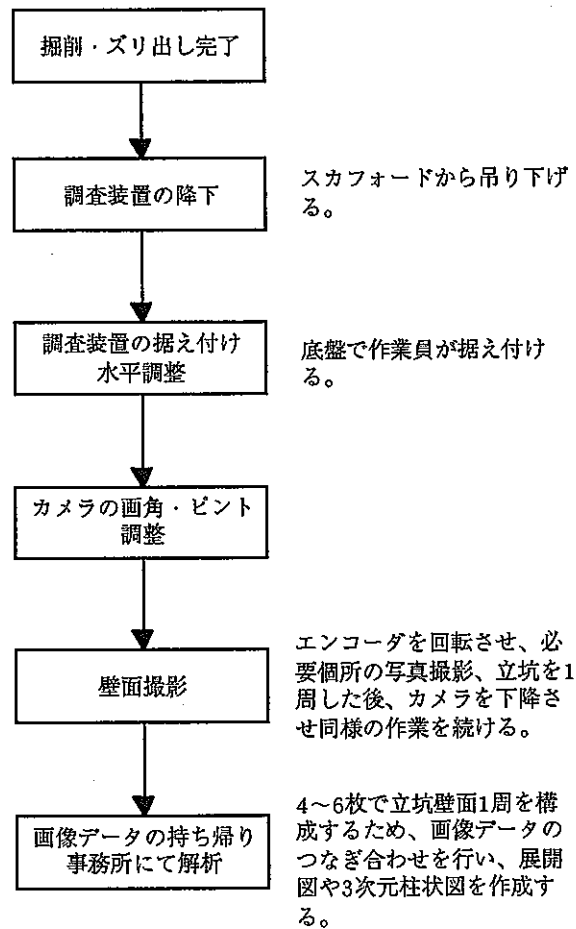


図 5.3 作業の概略フロー

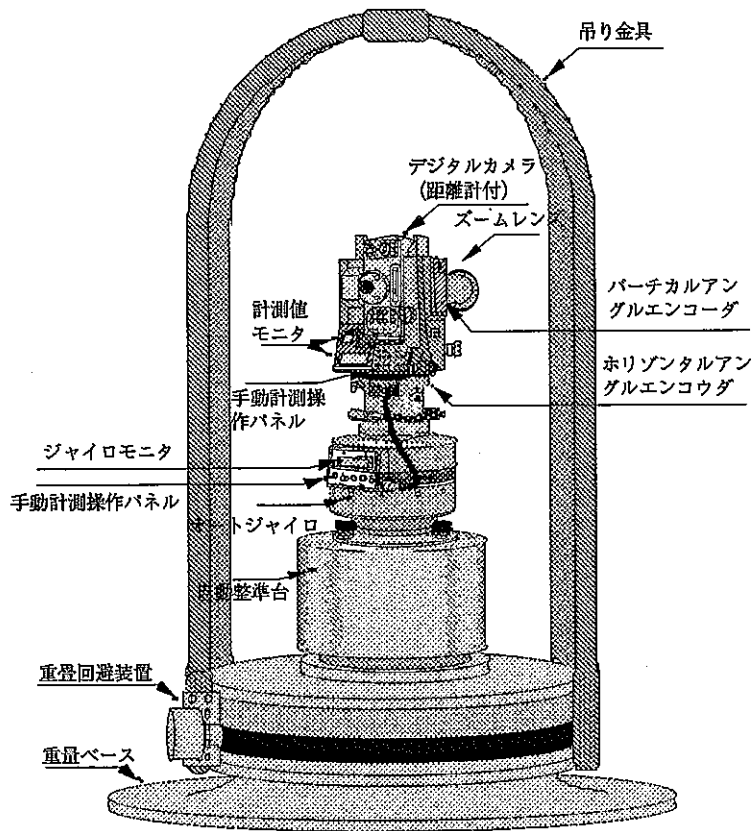


図 5.4 調査装置 (第 2 案)

6.おわりに

直径 6 m、深度 1,000 m 程度の立坑掘削と並行して、立坑壁面の地質学的調査を実施するシステムを開発するための基礎資料を得ることを目的に、29 の文献や雑誌から関連情報の収集を行った。その結果、本業務に該当する 19 の技術情報が収集できた。主たる技術は、山岳トンネルの分野で実施されている切羽観察方法、電子化された不連続面測定装置、ボーリング孔壁面観察装置および営業トンネル壁面の調査であった。これらについては、技術名称、技術概要、調査装置、調査方法、データ解析方法、適用例、投稿論文、所有者および備考（技術の評価等）の観点から整理した。

収集した技術情報から現実的な岩盤壁面調査を勘案し、観察装置にデジタルカメラを利用する方法を 2 案提案した。使用装置の組み合わせによっては手動式から完全自動化されたものまで考えられる。今後、直径 6 m、深度 1,000 m 程度の立坑が掘削される際の壁面調査装置開発の一助になれば幸いである。

7.参考文献

- 1) 畑 浩二、藤原紀夫、木梨秀雄、中尾通夫：トンネル支保選定エキスパートシステムの構築（その1）、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第1巻、pp.65～70、1991.
- 2) 畑 浩二、吉岡尚也：トンネル支保工選定支援システムの開発、トンネルと地下、Vol.27、No.1、pp.65～71、1996.
- 3) 畑 浩二、中尾通夫、北岸秀一：岩盤内不連続面可視化システムの開発、第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.199～204、1998.
- 4) 篠川俊夫、福島晴夫、田中康弘、今村仁悟、林 稔：切羽観察システムの開発、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第6巻、pp.263～268、1996.
- 5) 泉谷泰史、傳田 篤、藤田清一、安藤知明、桑嶋隆夫：トンネル切羽画像処理システムの開発、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第3巻、Vol.1、pp.191～194、1993.
- 6) 岡村光政、内藤將史：未固結地山トンネルにおける切羽画像処理システムの適用事例、応用地質、Vol.38、No.6、pp.401～410、1998.
- 7) 御手洗良夫、岩井孝幸、村田 均、川越 健：画像解析を用いた山岳トンネル総合施工管理システムの開発、電力土木、NO.250、pp.121～123、1994.
- 8) 大橋俊行、草深守人：画像処理による岩盤節理調査・評価システムの開発、第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.396～400、1987.
- 9) 廣川隆男、青木俊朗、藤川富夫：不連続面測定器の開発と応用、第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.193～198、1998.
- 10) 福島晴夫：電子式クリノメータの開発と岩盤計測への適用、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.265～270、1994.
- 11) 福島晴夫、柴田和広、柴田秀昭：電子式クリノメータを利用した岩盤法面安定評価システム、電力土木、NO.252、pp.114～118、1994.
- 12) 平間邦興、丸山 誠、畑 浩二、桑原 徹：ボアホールテレビの岩盤調査への適用、大林組技術研究所報 No.26、pp.84～87、1983.
- 13) 三木幸蔵：ボアホールテレビ、地質と調査、第一号、pp.48～53、1988.
- 14) 西口重男、池内憲造、鳥山忠次、飯塚友之助：ボアホールスキャナー、基礎工、Vol.17、No.10、pp.78～82、1989.

- 15) 丸山 誠、村上 治：地面の地下を探る ―ハイテク地質調査機器ボアホールスキャナーと地質画像処理システムの概要―、画像ラボ、pp.23～26、1992.
- 16) 亀和田俊一、遠藤 努、国分英彦、西垣好彦：B I Pシステムの装置とその能力について、第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.196～200、1989.
- 17) 亀和田俊一、遠藤努、西垣好彦、杉江剛史：ボーリング孔壁画像処理とその解析について、応用地質、Vol.34、No.6、pp.49～57、1994.
- 18) 小野田 滋、菊池保孝、松下英教、小寺信行、谷黒 亘：トンネル検査におけるスリットカメラの適用とその考察、トンネル工学研究発表会論文・報告集 第1巻、pp.217～222、1991.
- 19) トンネルの新しい検査手法 (2)、トンネルと地下、vol.27、No.9、pp.51～63、1996.
- 20) トンネルの新しい検査手法 (3)、トンネルと地下、vol.27、No.10、pp.47～53、1996.