

HDV カメラによるボーリングコア遠隔観察システム

一岡 義宏¹² 原田 雅博³ 西永 望⁴ 田中 健二⁴

¹株式会社 オーク情報システム ²株式会社 大林組 ³東京エレクトロニクス株式会社

⁴独立行政法人 情報通信研究機構

要旨

HDV カメラによる遠隔監視やTV会議は、その通信時のデータが大容量となることから、従来、高速専用回線においてのみ限定的に利用されてきた。しかしながら、広帯域通信網の普及や近年の相次ぐ廉価な家庭用ハイビジョン映像機器の発売、MPEG-2の2倍以上の高圧縮を実現する動画圧縮規格H.264/MPEG-4の登場等により、高品位映像を利用したデジタルコンテンツやストリーミング映像配信がより身近なものになって来ている。と同時に、HDVカメラの利用分野も広がってきている。筆者等は、2000年からDVTSによる映像配信システムの研究をはじめ、その研究の一環として2003年頃からHDV方式による独自の映像伝送システムの開発と実験を行ってきた。本稿では、今回新たに開発した「HDVカメラによるボーリングコア遠隔観察システム」の概要を紹介するとともに、高精細動画映像によるリアルタイム遠隔土質診断の実用性について報告する。

HDV Remote Borehole Core Sample Speculation System

Yoshihiro ICHIOKA¹² Masahiro HARADA³ Nozomu NISHINAGA⁴ Kenji TANAKA⁴

¹Oak Information System Corporation ²Obayashi Corporation ³Tokyo Electron Device Limited

⁴National Institute of Information and Communications Technology

Abstract

Usage of HDV camera for remote surveillance and TV conference has been limited on high-speed private telecommunication line due to its requirement for wide bandwidth. However, according to recent rapid wide-broadband network progress, consecutive market installation of new reasonable high-vision devices for consumers, appearance of H.264/MPEG-4, a cordec which has two times more compression rate than MPEG-2, and so on, digital content and streaming video using high precision movie have become popular. Along with that, HDV camera utilization field has been expanded. Authors began to study digital video transport system or DVTS in 2000 and have developed and experimented their original digital video transport system with HDV format since 2003. This paper introduces a summary of their newly developed "HDV Remote Borehole Core Sample Speculation System" and reports usefulness of high precision movie for real time remote geological survey.

1. はじめに

「地上デジタル放送」の開始を受け、大型家電量販店においては、「地デジ対応」、「ハイビジョン対応」と表示された横長画面TVの販売合戦が繰り広げられている。「地上デジタル放送」と従来の「地上アナログ放送」との相違は、「地上デジタル放送」がデジタル情報による高品位（以下、HD:High Definition）映像を取り扱う点にある。HD映像の記録方式の規格のひとつであるHDV規格は、現行のDV(Digital Video)テープ上にHD映像を記録するための規格であり、HDVカメラは、このHDV規格に基づいた映像記録方式を採用したデジタルビデオカメラの総称である。

HDVカメラによる遠隔監視やTV会議は、その通信時のデータが大容量となることから、従来、高速専用回線においてのみ限定的に利用されてきた。しかしながら、

近年の広帯域通信網の普及や相次ぐ廉価な家庭用ハイビジョン映像機器の発売、MPEG-2の2倍以上の高圧縮を実現する動画圧縮規格H.264/MPEG-4の登場により、HD映像を利用したデジタルコンテンツやストリーミング映像配信がより身近なものになって来ている。同時に、HDVカメラの利用分野も広がってきている。筆者等は、2000年頃からDVTS(Digital Video Transport System)による映像配信システムの研究をはじめ、その研究の一環として2003年頃からHDV方式による独自の映像伝送システムの開発と実験を行ってきた。本稿では、HDVカメラによるHD映像の有効利用を促す目的で今回新たに開発した「HDVカメラによるボーリングコア(岩芯)遠隔観察システム」の概要を紹介するとともに、HD動画映像によるリアルタイム遠隔土質診断の実用性について報告する。

2. 開発の経緯とねらい

筆者等は、広帯域通信網の普及や一般家庭へのPCの流通等により、教育分野における遠隔教育の需要が急速に高まっている実状を背景に、遠隔授業におけるIP伝送を用いたリアルタイム双方向通信の有効性を検証するために、太平洋間の広帯域通信実験回線APAN/Transpacと国内ギガビットネットワークJGNを接続し、スタンフォード大学学習研究所とメディア教育開発センター間でのDVTSを用いたトルクモータの遠隔操作実験や異文化間コミュニケーション実験[1][2][3]、ならびにスタンフォード大学と北海道大学間での情報通信研究機構が運営するJGN IIを利用したHDV方式のIP伝送システムによる国際間遠隔語学授業実験[4]を実施してきた。

DV方式のIP伝送実験では、モータの軸回転の様子が遠隔地から肉眼で確認できること、またジェスチャにおける手や体の細かな動作が認識できること等DV動画伝送の有効性を検証できた。さらに、HDV方式のIP伝送実験では、(1)HD映像であるため大型プロジェクトでの投影にも耐えられる、(2)レンズの水平方向の画素数が大きいので広角な映像が得られ、教室全体をカメラのパンをせずに固定位置で撮影ができる、(3)一度に多くの学生の表情を伝送ができ教室の臨場感が伝わる等遠隔授業におけるHDVカメラを用いる利点も確認できた。また、MPEG-2のフレーム間圧縮による符号化/復号化に起因する1秒程度の伝送遅延が生じるため、この遅延を考慮したコミュニケーションが必要であることも確認できた。

本研究では、映像コンテンツの利用を防犯や安全監視以外の分野へ広げることがをねらい、その一例としてHDV方式の映像伝送システムを利用した「ボーリングコア遠隔観察システム」を開発した。本システムにより、アクセスの不便な場所で実施されることの多いボーリング調査において、土木技術者や土質専門家が採掘現場へ足を運ぶことなく遠隔地から現場で採取したコア試料を観察することが可能となる。

表 3.3 DV規格とHDV規格の比較

DV規格とHDV規格の比較	DV	HDV(720p)	HDV(1080i)
メディア	DV規格ビデオカセットテープ		
画像フォーマット	480/60i	720/60p	1080/60i
フレームサイズ	720x480	1,280x720	1,440x1,080
アスペクト比	4 : 3	16 : 9	
映像圧縮方式	DV	MPEG-2 Video	
圧縮後の映像転送レート	約25Mbps	約19Mbps	約25Mbps
音声圧縮方式	-	MPEG-2 Audio Layer II	
音声量子化ビット数	16bit(2ch) 12bit(4ch)	16bit	
音声転送レート	約1.5Mbps	約348Kbps	
音声モード	ステレオ 2ch/4ch	ステレオ 2ch	

3. HDV over IP

現在、IPネットワークを介したHDV方式の映像配信(HDV over IP)に対応した代表的なアプリケーションソフトには次の2つがある。

- (1)DVTS(Digital Video Transport System)
- (2)RuffSystemsHDV

両者共に、IEEE1394でパソコンとビデオデッキやカメラなどを接続することで、HD動画配信システムを手軽に構築できる。

「DVTS」は、WIDEプロジェクトが1998年より開発を進めている無償ソフト[5]で、DV規格に基づく方式で圧縮された80バイトのDIFブロックの集合体にセグメント化されたビデオ映像データにリアルタイム転送のためのRTPヘッダを付加し、UDPを用いて伝送する。図3.1に「DVTS」のデータ形式を示す。DV映像の伝送には、

図 3.1 DVTS データ形式

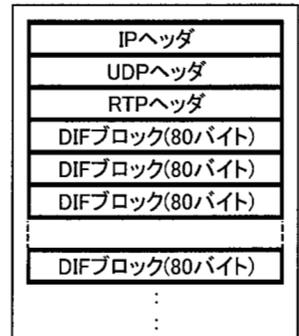
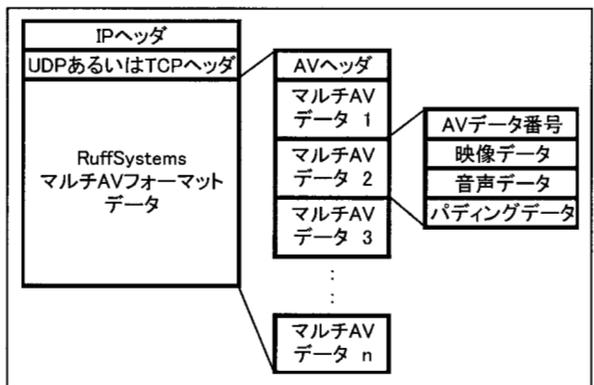


図 3.2 RuffSystemsHDV データ形式



約 30Mbps の帯域を必要とする。現在、非公式ではあるが、WindowsXP 用の HDV カメラ対応版が公開されている。一方、「RuffSystemsHDV」は、東京エレクトロンデバイスと独立行政法人情報通信研究機構が共同開発した有償ソフト[6][7]で、DV 映像データに加え、HDV 規格で定められた 720p と 1080i の映像データの伝送に対応している。伝送には、前者で約 21Mbps、後者で約 28Mbps の帯域を必要とする。「RuffSystemsHDV」は、HDV カメラにより MPEG-2 圧縮された映像データを AV ヘッドと映像/音声データとパディングデータを一組とする n 個のマルチ AV ヘッドに変換し、UDP/TCP どちらか（選択可能）の転送プロトコルヘッドを付加してネットワークへ送出する。「RuffSystemsHDV」のデータ形式を図 3.2 に示す。また、表 3.3 には、DV 規格と HDV 規格の主な項目を対比した。

4. ボーリングコア遠隔観察システム概要

建設分野での地盤調査（岩盤調査）は、物理探査・ボーリング調査・原位置調査・室内試験などからなり、ボーリング調査はその中でも代表的な手法である。ボーリング調査の目的は、基本的には土や岩石のコア試料を採取することであり、コア試料により直接地盤材料を眼で確認でき、その特徴を把握できること、またコア試料を試験・分析用試料として提供することにより、地質特性や地盤の物理・力学・水理特性を判断することが可能となる。

コア観察は、主として以下の観点から実施している。
 (1) 岩石組織・鉱物判定・堆積構造などによる岩石名

称の判断

(2) 鉱物の変質状態・微細な熱水脈・風化変質に伴う色調などに基づく風化・変質特性の判断

(3) 亀裂面に伴う薄いフィルム状の粘度鉱物の有無、亀裂面から岩石中への変質作用の広がりの有無

(4) コアの形状・割れ方、棒状コアの長さ、割れ目の形状などによるコア採取率・RQD などの判断

(5) コアの新鮮度、風化変質の程度に基づく相対的な硬軟の判断

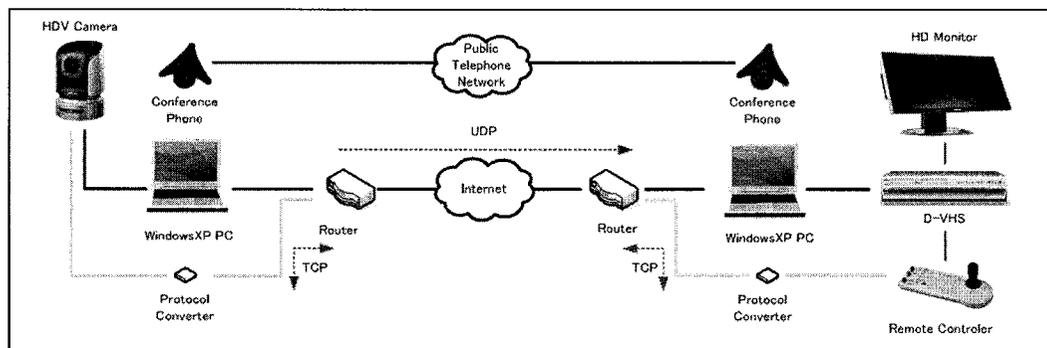
(6) 以上に基づくコアの地質・岩盤的な見地に基づく総合判断

(7) 以上に基づく岩級区分の判断

これらの中で、(1)～(3)ではかなり微細な構造まで観察する場合も多く、通常ルーペなどを利用した観察が行われている。

本研究において開発した「ボーリングコア遠隔観察システム」の構成図を図 4.1 に示す。本システムは、映像伝送ソフトに「RuffSystemsHDV」、HDV カメラに SONY 製 BRC-H700（1080i 方式、有効画素数約 102 万画素）、映像の配信サーバと受信クライアントに WindowsXP PC を採用している。映像は、送信時に HDV カメラに搭載されたハードウェアエンコーダにより符号化され、受信時にクライアント PC に接続された D-VHS に搭載されたハードウェアデコーダにより復号化される。図 4.2 に受信側機器類、図 4.3 に送信側機器類の写真を記載した。カメラ制御には、VISCA (Video System Control Architecture) 規格対応の SONY 製 RM-BR300 リモートコントロールユニットを用いた。VISCA は、ソニーが開

図 4.1 システム構成図



機器項目	製品名称および型番等
HDV Camera	SONY HD 3CCD カラービデオカメラ BRC-H700
Remote Controller	SONY RM-BR300
Protocol Converter	モディアシステムズ RS232C-EtherNetプロトコルコンバータ MDC-iT10
D-VHS	ビクター デジタルハイビジョンビデオ HM-DHX2
HD Monitor	Dell 24インチワイドモニター 2405FP
Conference Phone	Polycom SoundStation

発した、パソコンでAV機器を制御するためのプロトコル規格で、RS-232CやRS-422のシリアルインターフェイスに対応している。本システムでは、HDVカメラを遠隔地からインターネットを介して制御できるようにするため、モディアシステムズ製RS-232C/EtherNetプロトコルコンバータを利用し、VISCAコマンドによる通信をTCP上で行えるようにした。また、リモートコントロールユニットを用いずに受信クライアントPCからVISCAコマンドにより直接HDVカメラを制御できる独自の制御プログラムも開発した。制御プログラムの基本画面例を図4.4に示す。この制御プログラムにより、インターネットに接続されたPCから、HDVカメラの電源のオン・オフをはじめ、パン（左右:170度）・チルド（上:90度、下:30度）角および光学（12倍）・デジタルズーム（4倍）値の変更が可能である。実用検証のための接続実験では、送信、受信側ともにNTTの光ブロードバンドサービスBフレッツ（ハイパー

ファミリータイプ）をインターネットへのアクセス回線として用いる事により行われた。この通信サービスは100Mbpsのベストエフォートサービスであり、回線状況に応じて利用可能な帯域幅が異なる。安定した専用線ベースのネットワークにおいては、トランスポート層プロトコルとしてパケット損失を補償し自律的な粒度調整機構を持つTCPを用いることにより安定した高品位な映像伝送が可能なことは良く知られている。しかし、TCPは、一般のベストエフォート回線において、パケット損失とネットワーク輻輳が識別できず、少量のパケット損失でも輻輳制御機構が働き、送信スループットを抑制する。このため、パケット往復時間に依存するが、結果として、極めて低いスループットしか得られない。このようなネットワークにおいて、圧縮率の高い映像符号化方式を用いた場合、受信側で送信画像を再構築できないことが多い。一方、送信データの保障をしないUDPプロトコルを用いた場合は、

図 4.2 受信側機器

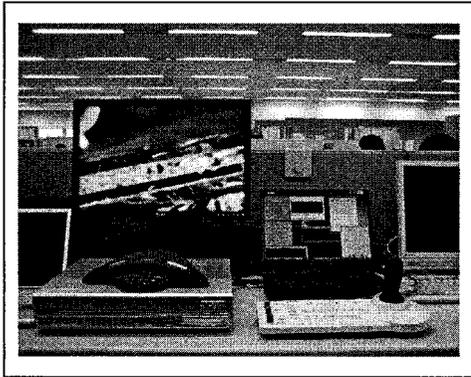
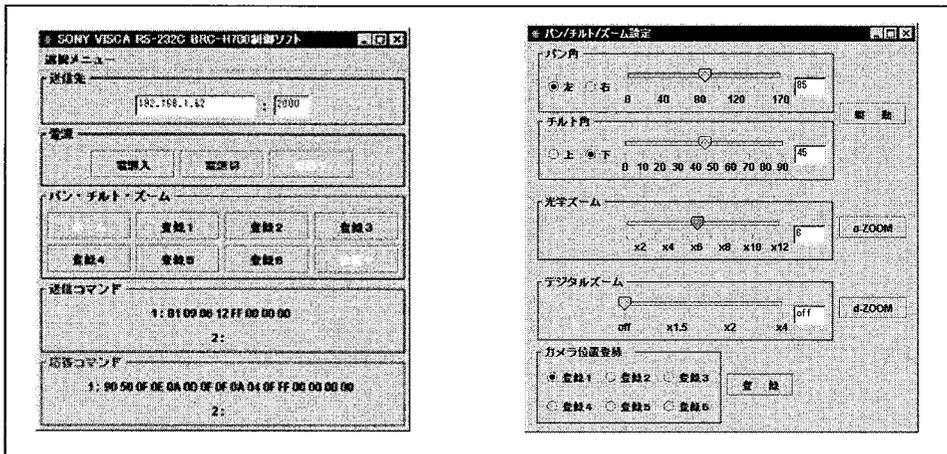


図 4.3 送信側機器



図 4.4 VISCA 対応カメラ制御ソフト



データが欠落したときにフレーム単位で正常に表示されないため、映像が突然途切れる場合があるものの、鮮明な映像が安定して得られたため、本実験においては映像伝送にUDPプロトコルを採用した。本システムで用いた「Ruff SystemsHDV」は、音声の伝送も可能としているが、2地点間の双方向通信となり送信と受信にそれぞれ通信回線が必要となることから、一般加入電話回線を使った電話会議システム（Polycom SoundStation）を利用した。

表 4.5 に、実用検証のための接続実験で得られた結果を従来の肉眼観察と比較して整理した。また、図 4.8 に、コア試料の拡大部の DV 画像例、図 4.9 に、同一被写体による HDV 画像例を示した。コア試料の拡大部は花崗岩である。DV 画像は DV カメラにより静止画撮影した画像から切り出し、HDV 画像は本システムにより伝送された動画映像から静止画像を切り出した。両者を見比べて明らかなように、画素数の多い HDV カメラの方が微小な亀裂まで鮮明に捕らえているのが判る。コア観察においては、コアの表面が乾燥すると岩石組織等の判別が非常に難しくなるので、通常「霧吹き」などでコア表面を水で湿らせて観察を行う。この時、特に写真撮影の照明を当てている場合は、微妙な光の反射により、しばしば見えにくい状況が生じる。静止画像では、たとえその画像の解像度が高くても、このような反射を避けて見る事ができないが、カメラ撮影による動画映像では、コアの角度を変えながら連続的に観察できるので、微妙な反射を避けながら自由度の高い観察が可能となる。開口亀裂の観察においても、亀裂表面の充填物などを様々な角度から観察可能であり、HD 動画映像は極めて有効である。

さらに、本システムによりリアルタイムでのコア映像の伝送が可能であるので、遠隔地に居ながらあたかも現場に居るような臨場感の高いコミュニケーション空間を創り出すことができ、(1)画像を基にした現場との迅速な情報共有が図れる、(2)発注者との意志疎通を含め、迅速な判断と指示が可能となり、リスク低減・危機管理に役立つ、(3)現場での立会いを減らすことが出来るのでコスト削減に繋がる等の利点が認められる。

5. おわりに

本稿では、「HDV カメラによるボーリングコア遠隔観察システム」の概要を紹介し、HD 動画像によるリアルタイム遠隔土質診断の実用性について報告した。現実には、ハンマーの刃先で叩いて岩質の硬軟を判断したりするなど手先の触診による検証のように現地に居ないとできない作業もあるが、コア観察における HD 動画像の有効性ならびに遠隔診断の利点が確認できた。大都市圏の道路地下は、鉄道、電気、ガス、通信、上下水道等のトンネルや管路の埋設で近年大変な混雑を呈しており、地下 40m を超える大深度地下の公共利用の検討が進められている[8]。地下空間は、

外界からの影響を受けにくく、また地上の災害や騒乱から隔離されているため、安らぎと落ち着きを創りやすいといった利点がある反面、地上から隔絶されたことによる閉塞感や圧迫感が日常生活に与えるマイナス面も議論されている。このため、地上映像を大深度地下施設へリアルタイム伝送し地上との隔絶感を取り除くといった空間デザインの工夫が地下空間のアメニティー向上に大変重要であると考えられている。HD 映像の IP 伝送技術は、地下空間において地上に居るような臨場感を演出するうえで今後欠かせない技術となり、その利用は、防犯や安全監視分野以外へ今後ますます拡大していくと考える。

謝辞

本研究を進めるに当たり、(株)アーステック 東洋の松本淳氏、越智稔氏、岩江夏彦氏、(株)大林組 技術研究所の桑原徹氏、畑浩二氏、同土木技術本部の納多勝氏に多大なるご支援とご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 一岡義宏, 加藤浩, 大西仁, 田中健二, 福田収一, 西堀ゆり, 岡部成玄, 山本裕一, “国際高速回線による遠隔協調”, 日本教育工学会 第 17 回全国大会 2p24-07, pp. 759-760, November 2001.
- [2] Ichioka, Y., Tanaka, K., Harris, D., Leifer, L., Nishihori, Y., Fukuda, S., Kato, H., Nagaoka, K., “Collaborative Distance Learning using International Broadband Network between NIME and Stanford”, 18th JAPET, November 2002.
- [3] Ichioka, Y., Nishinaga, N., Nishihori, Y., Nagaoka, K., Tanaka, K., Okabe, S., Yamamoto, Y., Leifer, L., Harris, D., “Cross-Cultural Learning Experiments through the Utilization of the Transpacific IP Network”, 25th Annual Conference of the Pacific Telecommunication Council, January 2004.
- [4] 西永望, 西堀ゆり, 永岡慶三, コーリヤ佐貫・葉子, 青木美穂, 山本裕一, 原田雅博, 田中健二, JGN II を用いた国際間遠隔授業の実証実験, 情報通信研究機構季報 Vol.51 Nos.3/4, pp.161-168, 2005.
- [5] WIDE プロジェクト DVTS
<http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>
- [6] 東京エレクトロニクス 高品位映像配信ソリューション
<http://www.tel.co.jp/cn/solution/streaming.html>
- [7] 原田雅博, HDV による高画質映像伝送, 情報処理学会 会報 Vol.47, No. 2, pp. 127-132, 2006.
- [8] 国土交通省 大深度地下利用
<http://www.mlitt.go.jp/crd/daisindo/index.html>

表 4.5 実験結果

光学ズーム倍率	観察可能な項目	通常の肉眼観察との比較	画像事例
×1	1) 1m 長のコアの全体的な状況把握		-
×3	1) コアの形状 2) 亀裂分布 3) 亀裂の形態 4) RQD*計測(概略) 5) コア採取率(概略)	コア全体の概要観察に相当する	-
×6	1) 岩石組織の特徴 2) 鉱物粒径の大きさ(相対的) 3) 亀裂の形態(詳細) 4) 微細亀裂(マイクロクラック)の分布	通常の肉眼観察における標準に相当する	図 4.6
×12	1) 鉱物粒径の詳細(特に細粒鉱物) 2) 鉱物(石英、長石、黒雲母、角閃石、スメクタイトなど)の詳細判定 3) 変質作用(緑色、白色変質など)の識別 4) 亀裂充填物、粘土細脈の微細特徴 5) 作業用の観察記録、地質柱状図の確認(手書き文字の識別)	通常の肉眼観察において、ルーペを利用して微細構造を観察するが、概ねこのルーペ観察に相当する 手書きも文字も問題なく認識でき、作業内容への指摘・指示も可能である。	図 4.7

*RQD とは岩盤の割れ目の多さを表す指数

図 4.6 画像事例1(光学ズーム倍率 ×6)

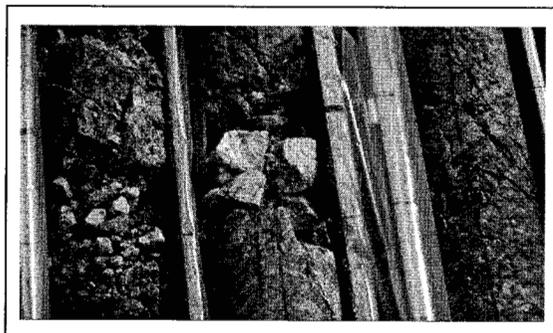


図 4.8 コア DV 画像例



図 4.7 画像事例1(光学ズーム倍率 ×12)

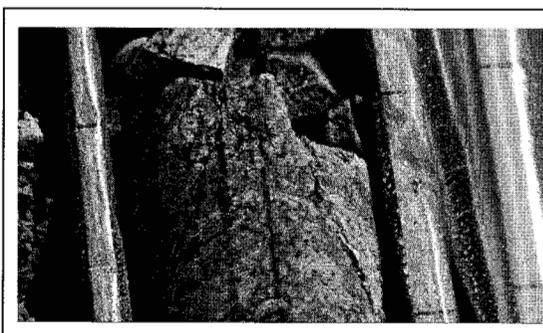


図 4.9 コア HDV 画像例

