

# 志河川ダムにおける Web 監視モニタリングシステム による堤体左岸法面の動態監視

A Dynamic Monitoring System on the Web for Slope Behavior of the Left Bank of Shikogawa Dam

庄司 泰章 <sup>*1</sup>	柏木 克之 <sup>*1</sup>	河野 尚司 <sup>*1</sup>	田雑 満孝 <sup>*1</sup>
Yasunori Shoji	Yoshiyuki Kashiwagi	Takashi Kawano	Mitsutaka Tazou
小林 薫 <sup>*2</sup>	松元 和伸 <sup>*2</sup>	塩谷 智基 <sup>*2</sup>	熊谷 幸樹 <sup>*2</sup>
Kaoru Kobayashi	Kazunobu Matsumoto	Tomoki Shiotani	Koki Kumagai

## 【要旨】

志河川ダムは、愛媛県西条市に位置し、かんがい用水の確保のために建設される重力式コンクリートダムである。ダム建設に際しては、堤体左岸法面の安定性が課題に挙げられた。左岸表層部には風化したD級岩盤が厚く分布しており、掘削面には泥質部よりやや硬いが割れ目のある珪質部が連続し、片理面と同方向へやや急傾斜の破砕部が頻繁に見られ、高角度亀裂の有無や湛水時までの長期安定性の確認のため、動態監視が実施されることとなった。各種計測結果をリアルタイムにインターネット上で確認できる Web 監視モニタリングシステムを導入し、異常発生時にはアラート情報をメールで発信し、早期対策が実施できる体制を構築した。計測開始より、1年8ヶ月経過した現在の地山の状況と計測監視システムの運用の状況について報告する。

【キーワード】 Web モニタリング 自動計測 遠隔監視 光ファイバセンシング 光学式地盤変位計

## 1. はじめに

我が国では、台風や近年多発している集中豪雨によって多くの法面崩壊や地すべりなどの災害が発生し、人災などの被害が後を絶たない状況である。また、高度経済成長期時代に建設されて老朽化が進んでいる道路、鉄道および電力施設などの社会インフラ施設の健全性を評価し、安全性と機能性の面からそれらの施設を効率的に更新していくことが重要となっている。崩壊した場合に多大な被害や施工工程への悪影響が考えられる岩盤法面の安全管理のための計測については、計測からデータ収集、評価・解析に至る一連の処理の迅速化および省力化を図るため、可能な限りの自動化が望まれている。法面崩壊や岩盤すべりによる被害・災害を未然に防ぐためには、法面の変状を早期に発見し、その進展状況を把握することが極めて重要であり、法面の変状状態、挙動特性を常時モニタリングできる監視システムが必要であると考えられる。

本稿では、志河川ダムの左岸切土法面の施工時から堪水試験までの長期にわたる挙動監視において適用した、1)光学式地盤変位計による地中変位計測。2)FBG 光ファイバ伸縮計センサによるの地表面計測。3)法面に発生するすべり挙動を監視する Web を用いた常時モニタリングシステムについて述べる。

2. 志河川ダムの概要

## 2.1 ダム概要

志河川ダムは、愛媛県西条市に位置し、二級河川中山川水系志河川に、道前道後平野水理事業に基づくかんがい用水の確保のために建設される重力式コンクリートダム(写真-1)である。工期は、平成16年8月～平成20年3月である。ダムの諸元を以下に示す。

堤高	48.2m
堤頂長	117.0m
堤体積	73,000m <sup>3</sup> (洪水吐け減勢工含む)
流域面積	17.23km <sup>2</sup>
総貯水量	1,300,000m <sup>3</sup>

1. 四国支店 志河川ダム作業所, 2. 技術研究所

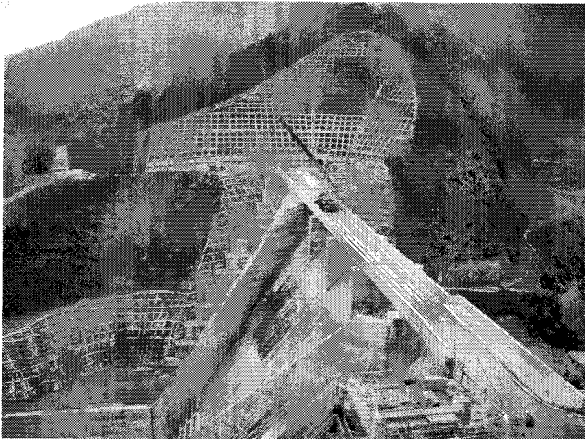


写真-1 左岸よりの全景 (H19.3)

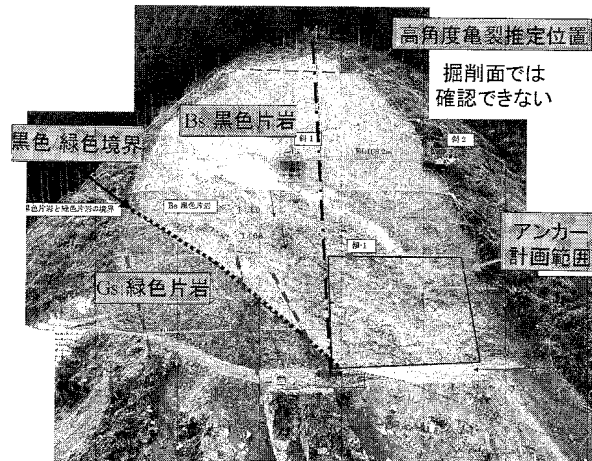


写真-2 左岸法面 (H17.2)

## 2.2 地質概要

写真-2および図-1に示すように、本法面で掘削面に現れた岩盤は風化を受けたC<sub>L</sub>級の黒色片岩が主体である。図-1の点線で表されている深部位置には、ボーリング調査の結果、黒色片岩と緑色片岩の境界が確認され、25~40°の下流傾斜で、境界面には50cm程度の劣化帯(D級)を伴っている。また、表層部には風化したD級岩盤が厚く分布している。掘削面には、泥質部よりやや硬いが割れ目のある珪質(砂質)部が連続し、片理面と同方向~やや急傾斜の破碎部が頻繁に見られる。志河川ダム堤体上部左岸法面は、施工前より高角度亀裂の存在や黒色片岩(Bs)/緑色片岩(Gs)境界劣化部の影響による不安定性が指摘されており、法面下部には当初、100tクラスのアンカー工による補強工の必要性が検討されていた。

その後のボーリング調査結果より、懸念されていた連続性のある明らかな高角度亀裂の存在は認められず、当初予想されていたBs/Gs境界劣化部の強度についても現在の安定した状況を考えて十分な強度が推定でき、長期モニタリングの結果から、安定性の確保が確認できたため、アンカー工による補強工は必要ないという結論に至った。

しかしながら、左岸法面の表層部にある風化したD級岩盤は厚く、今後不安定化する懸念もある。変状時に適切な対応をとるために、経年的に発生する大雨や台風・地震などの影響や、湛水時の法面の安定性を確認する必要があり、そのためにも継続的な左岸法面の動態観測が必要であると考えられた。そこで、以下に述べる各種の計測が採用された。

## 想定高角度亀裂

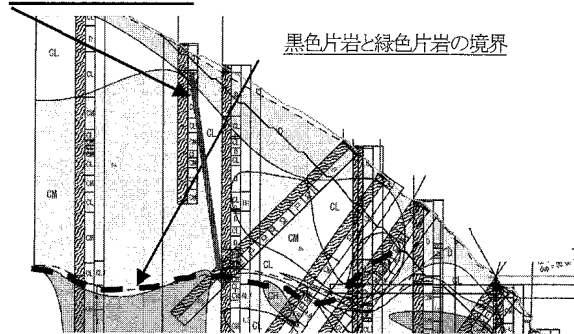


図-1 左岸地質断面図(ダム軸)

## 3. 左岸法面計測機器概要

ここでは、地山の挙動を把握するために左岸法面に設置したFBG光ファイバセンサと光学式地盤変位計の概要について述べる。

### 3.1 FBGケーブルセンサ<sup>1)</sup>

写真-3に、FBGケーブルセンサを示す。FBGケーブルセンサは、一定間隔(標準間隔;2.5m, 5.0m)でFBGが配置された直径約2mmのワイヤー状のセンサで、固定点間に位置するFBGのひずみの変化から、コンクリー

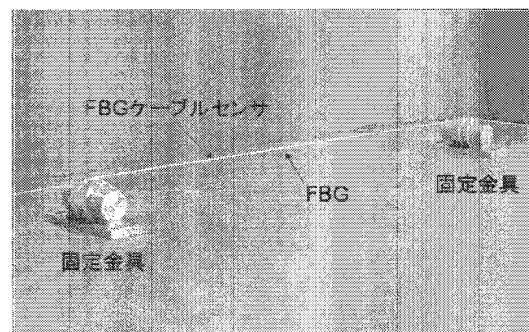


写真-3 FBGケーブルセンサ

トや岩盤の2点間の相対変位を計測するのに適したセンサである。このセンサの設置手順は以下の通りである。まず被測定物にアンカーボルトで専用金具を固定し、次に専用金具にセンサを巻き付け、ケーブルに2,000 $\mu$ 程度の初期緊張を付与して固定する。

今回設置したFBG光ファイバ伸縮計は、写真-4に示す固定金具で緊張されたFBGケーブルセンサの2点間のひずみ変化から相対変位を測定する計測器である。図-2に示すように、FBG光ファイバ伸縮計を、ダム軸を中心に計5系統(合計27測線)配置した。これらの内、系統1と系統3は、開口した地層境界層の挙動を監視する目的で、系統2、系統4および系統5は、法面全体の挙動を監視する目的で設置した。また、温度変化に伴ってFBG自身に発生するひずみを補正するため、無応力状態のFBGセンサをそれぞれの系統に沿って配置している。なお、系統2、系統4および系統5については、系統の最上部を固定端部とするため、掘削の影響範囲外の地山にそれぞれの固定端部を設けることとした。

### 3.2 光学式地盤変位計<sup>2)</sup>

写真-2に示した左岸法面山側の高角度亀裂は、最上

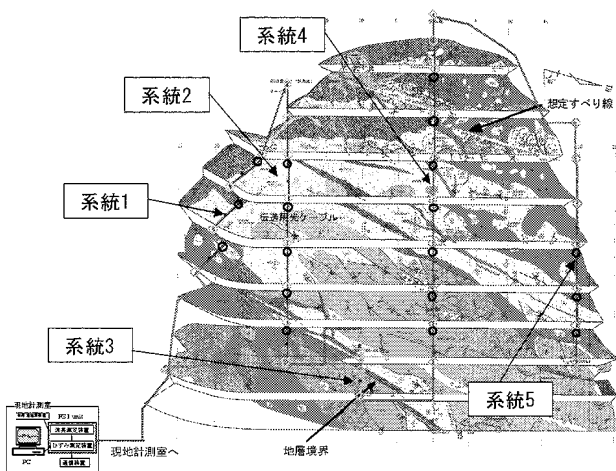


図-2 地質および計測器配置展開図

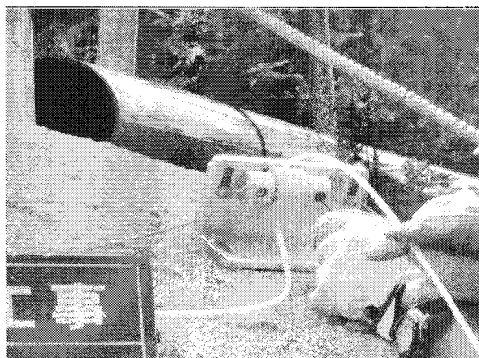


写真-4 固定端部の設置状況

部での切土深度が浅く、掘削面は土砂状の強風化帯(D級)であり、高角度亀裂の有無の判定は掘削面では困難であった。そこで、ダム軸及びDC+20m付近で山側の高角度亀裂に向かう斜めボーリングを実施し、ボアホールカメラにより亀裂状況を把握することとした。さらに、動態監視のために別途鉛直ボーリング孔を削孔し、従来型の傾斜計を用いて孔内傾斜を計測する予定であった(図-3参照)。

そこで、斜めボーリング孔の有効利用を図るため、全方位計測可能な光学式地盤変位計(図-5)を用いて、斜めボーリングにガイドパイプ(計測管)を設置し、岩級境界(D級とCL級)での想定すべりの挙動を監視することとした(図-3、図-4)。従来型の傾斜計は、傾斜測定方式として振り子式を採用しているため、斜めボーリングに対応できないが、本地盤変位計は、CCDカメラによりガイド管内部の傾斜を傾斜検出軸先端のミラーコーンの移動量から検出するため、ボーリング孔の方向に制限無く対応可能な方式である。写真-5には、ダム軸において、光学式地盤変位計の斜めボーリングへの挿入状況を示す。

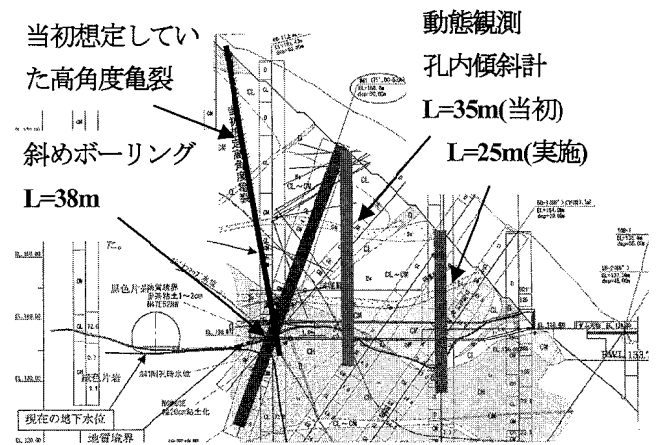


図-3 ダム軸におけるボーリング位置

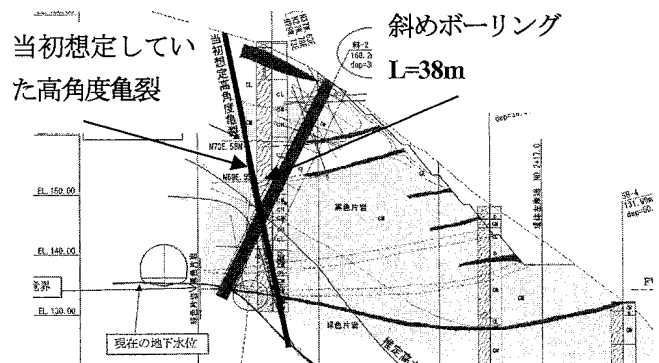


図-4 ダム軸+20mにおけるボーリング位置

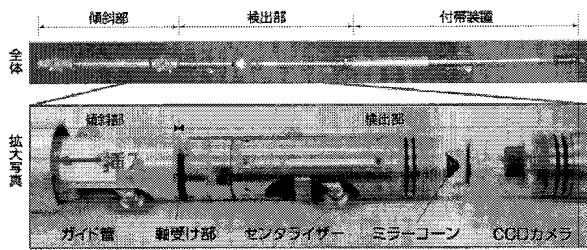


図-5 光学式地盤変位計

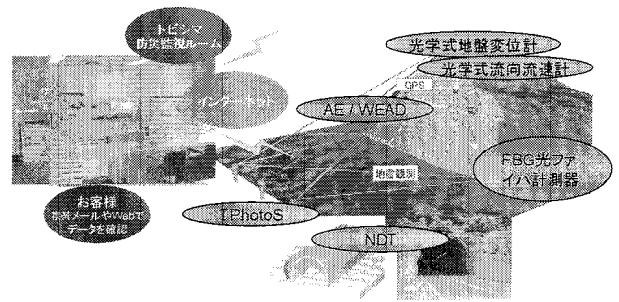


図-6 Web モニタリングシステム概要図

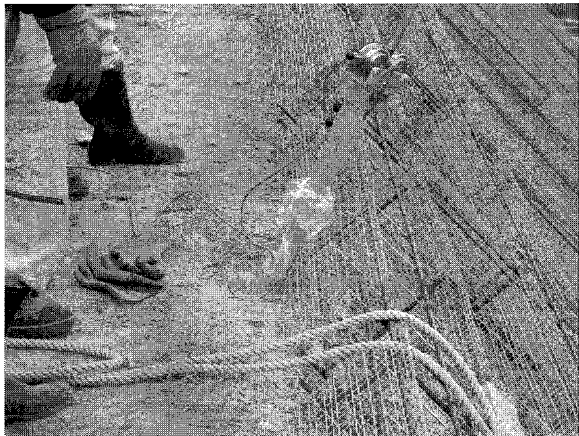


写真-5 計測機器挿入状況

## 4. Web モニタリングシステムの概要<sup>3)</sup>

### 4.1 Web モニタリングシステムの概要

図-6に Web モニタリングシステムの概要図を示す。各監視サイトで計測されたデータは直ちに防災監視ルームのサーバへ転送され、クライアントはインターネット上で現況を常時監視できる。各監視サイトで設定された管理基準値を超えるデータが計測されると、事前に登録されたアドレスに警報メールを送信するとともに、防災監視ルームで一元管理している管理者が計測データを分

析し、管理レベルに応じた対応を迅速に提示することができる。

図-7は、Web 管理者用の画面であり、日本地図上にクライアントサイトの位置が示され、その左側には各クライアントの現在の状態が表示される。管理レベル I 以内の状況であればアラート情報無しと表示され、管理基準値を超えた場合（管理レベル I～III）はアラート情報が表示され、サイトの状況を把握することができる。図-8は、Web 上の各監視サイトでの初期画面（この図は志河川ダム）であり、計測データがリアルタイムに更新され、管理基準値を超えた場合には画面の数字の色が管理レベルに応じて変化して異常を知らせる。また、図-9に示す各測線の変位経時変化グラフであり、任意の計測位置を画面上で選択すれば表示閲覧できる。また、図-10には、傾斜計の計測結果を示している。なお、本法面監視サイトでは、携帯電話による通信回線を使用した Web 監視システムを用い、遠隔地からの完全なリモートコントロールを実現している。

### 4.2 長期的な法面挙動監視結果とその考察

図-11に、計測開始（平成17年3月14日）から、1年6ヶ月後までの、光学式地盤変位計の計測結果を示す。

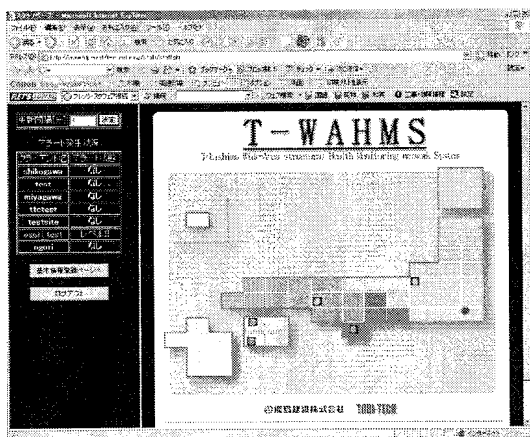


図-7 Web 監視管理者画面

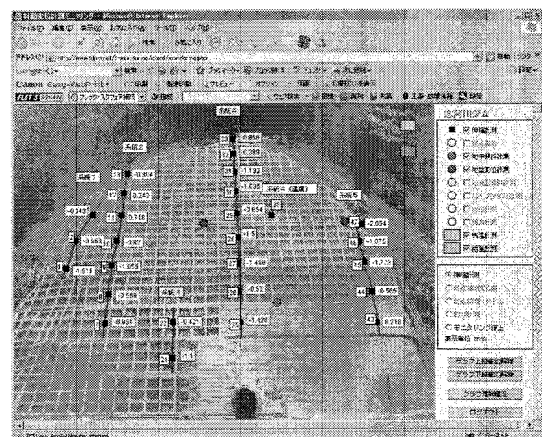


図-8 監視サイトごとの初期画面

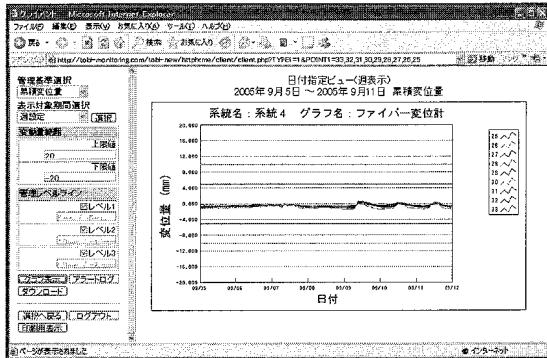


図-9 各測線の変位経時変化画面

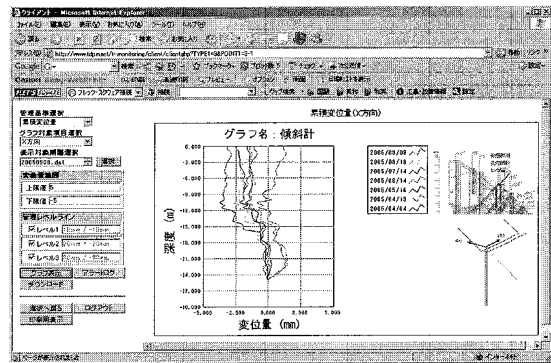


図-10 傾斜計の計測結果画面

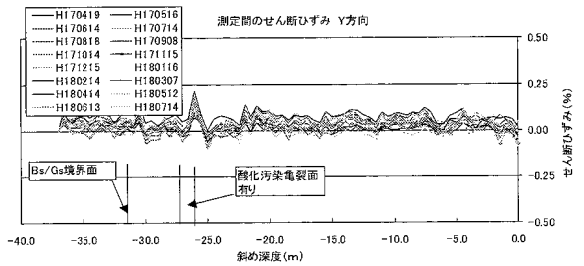


図-11 深度毎の区間ひずみ分布

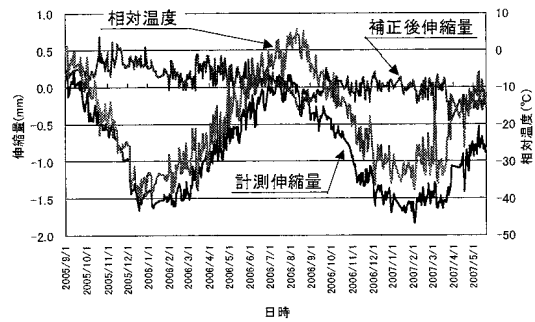


図-12 ダム軸最下部の計測結果

同図には、斜めボーリング1における上下流方向の区間ひずみ量を示すが、その量は0.1~0.2%と小さくその変動量も小さいことから法面の安定性は確保されていると判断し、当初計画通り、地表面自動計測による全体法面管理に移行することとした。図-12に、計測開始(平成17年9月1日)から1年8ヶ月間の系統4の最下端部における地表面変位の計測結果例を示す。なお、伸縮量は正が伸びを示す。同図より、この期間中では1.5mmの収縮変位が計測されていることがわかる。これは、伸縮計端部をコンクリート法枠に固定しているため、コンクリート法枠自身の温度変化に伴う変形を計測していたと考えられる。コンクリート法枠の線膨張係数を $10\mu\text{C}$ と仮定し、伸縮量を補正した結果を同図の青線で示す。補正後の経時変化を見ると、収縮量は0.5mm以内で推移しており、この期間では変状の進展はなかったものと判断できる。

また、図-13には、系統4の全測線における伸縮量の計測開始後1年8ヶ月間の経時変化を相対気温の変化と併せて示す。この図から、各測線は気温変動に応じて収縮もしくは伸長しながら緩やかに変動し、2007年の5月末時点で約1mm程度の縮みで推移していることがわかる。

#### 4.3 Web モニタリング運用時の異常

これまで、変状に伴うアラート警報のメール通知は発

生していないが、動物によるファイバ破断による警報発令が3件発生した(写真-6)。ファイバ線自体はP型U字溝で保護し、伝送部分は合成樹脂可とう二重電線管(PFD管)によって保護しているが接続部を引っ張り出して噛んでおり、その後有刺鉄線などによる保護対策を実施している。

#### 5. おわりに

計測開始より1年8ヶ月経過した時点で大きな変状も発生することなく、Web モニタリングシステムは安定して運用されている。今後も大雨や地震などの自然災害に

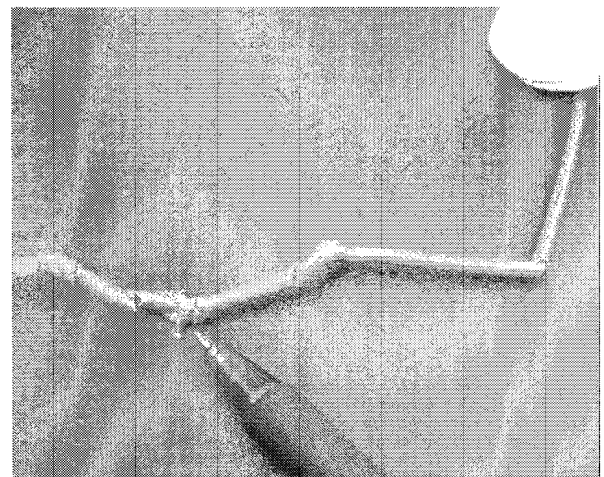


写真-6 動物によるファイバ断線

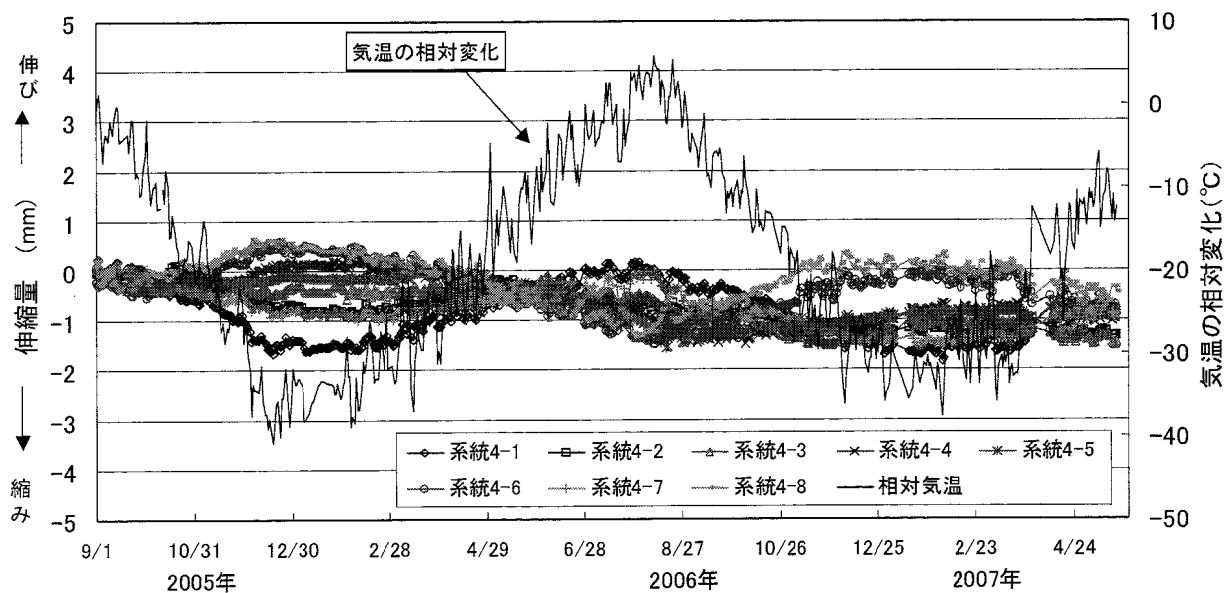


図-13 ダム軸上の系統4におけるFBG光ファイバ伸縮計の長期計測結果, 2005/9~2007/5

よる影響や堪水試験時の切土法面への影響を確実にリアルタイムに把握し、迅速に適切な対策を取れるようにモニタリングを継続していきたいと考えている。また、今回の適用において発生した当 Web モニタリングシステムの不具合を抽出して、改善・改良を加え当技術の展開に随時フィードバックさせていきたい。

3) 神谷,青木,柏木,加藤,松元,熊谷:ダム切土法面の動態監視にWEB 常時モニタリングシステムを適用,地盤工学会,第 41 回地盤工学研究発表会, pp.2249-2250, 2006.7.

#### 【参考文献】

- 1) 熊谷,塩谷,田村:時間分割多重化によるFBG光ファイバ計測システム,電力士木,No.323,pp.88-90,2006.5.
- 2) 松元, 近久, 熊谷:光学式地盤変位計測システムのトンネルゆりみ計測への適用について, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集/Ⅲ, pp.1451-1452, 2002.9.

**Summary:** Shikogawa Dam, a concrete gravity dam located in Saijo city, Ehime Prefecture, was constructed with a view to secure an enough amount of water for irrigation. The problem that confronted us was the stability of the slope on the left bank of the dam. Weathered D-class rock mass thickly covered the slope, while cracky silicified parts that are harder than pelitic parts appeared continuously on the excavated surfaces, with crushed zones slanting to an angle equal to or slightly steeper than the schistosity plane being frequently seen. Dynamic observation was therefore carried out to detect high angle cracking and check the slope stability during impounding. A self-developed new real-time web monitoring system was introduced for this purpose, whereby alert mail is automatically sent in case of abnormality to enable quick countermeasures. This paper reports on the results of slope measurement and the state of system operation over the past 20 months since the beginning of measurement.

**Keywords :** web monitoring, automatic measurement, fibre optical sensing, optical displacement meter