

リアルタイム Web モニタリングシステム によるダム堤体左岸法面の動態監視

庄 司 泰 章・柏 木 克 之・松 元 和 伸

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、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にて発信し、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：ダム，堤体法面，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

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、運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。

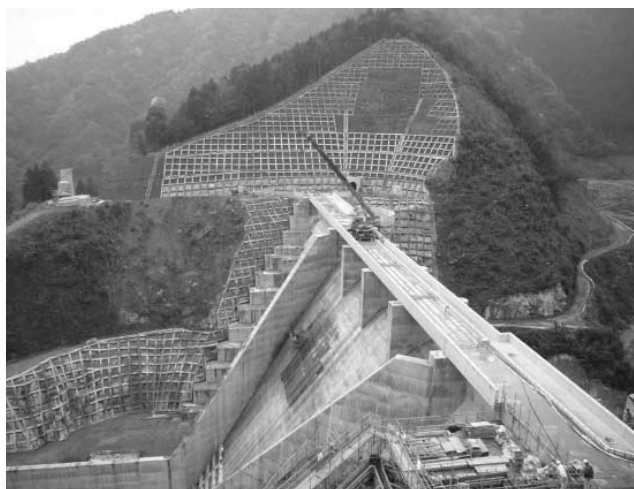
本稿では、志河川ダムの左岸切土法面の施工時から堰水試験までの長期にわたる挙動監視において適用している、FBG 光ファイバ伸縮計センサによる地表面計測について、さらに、法面に発生するすべり挙動を監視するための Web を用いた常時モニタリングシステムについて述べる。

2. 志河川ダムの概要

(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。

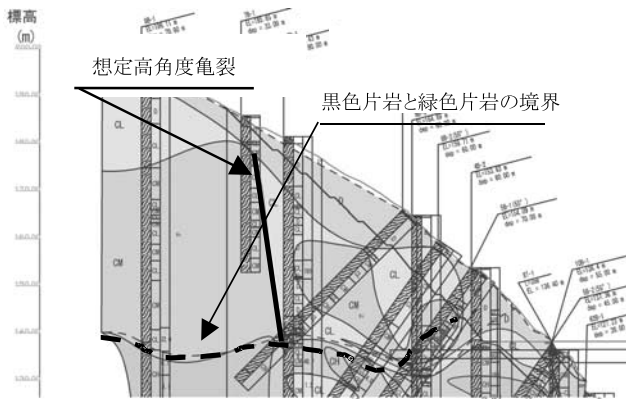
堤高	48.2 m
堤頂長	117.0 m
堤体積	73,000 m ³ （洪水吐け減勢工含む）
流域面積	17.23 km ²
総貯水量	1,300,000 m ³



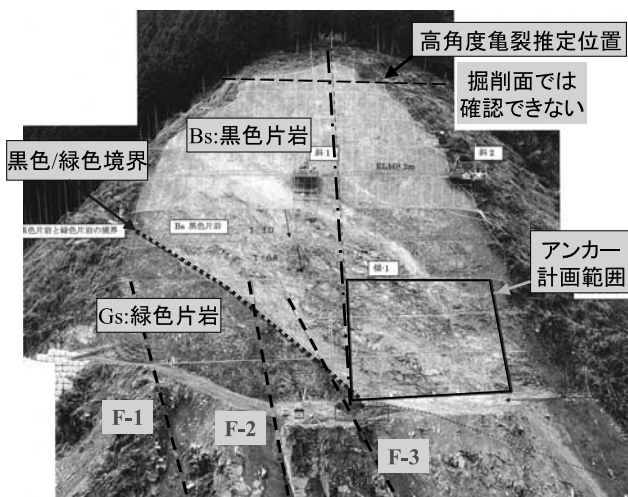
写真—1 左岸よりの全景（H19.3）

(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_L 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 50 cm 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斜面は、施工前より高角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、斜面下部には当初、100 t 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。



図—1 左岸地質断面図 (ダム軸)



写真—2 左岸法面 (H17.2)

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再考の余地

があると指摘され、長期的モニタリングの結果も踏まえ、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ている。

現状は比較的安定していると考えられる左岸斜面ではあるが、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。加えて、経年的に発生する大雨や台風・地震などの影響による斜面の挙動を監視し、変状時の適切な対応を図るとともに、湛水時の最終的斜面の安定性を確認するために、継続的な左岸斜面の動態観測が採用されたものである。

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 光ファイバセンサの概要について述べる。

(1) FBG ケーブルセンサ¹⁾

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; 2.5 m, 5.0 m) で FBG が配置された直径約 2 mm 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 μ 程度の初期緊張を付与して固定する。



写真—3 FBG ケーブルセンサ

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。これらのうち、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。



写真-4 固定端部の設置状況

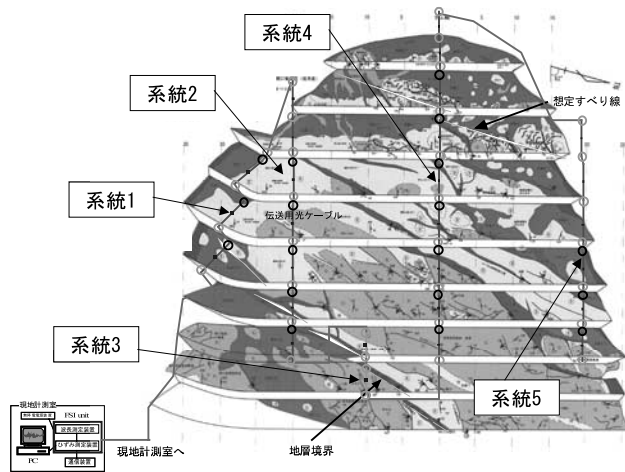


図-2 地質および計測器配置展開図

4. Web モニタリングシステムの概要²⁾

(1) Web モニタリングシステムの概要

図-3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。

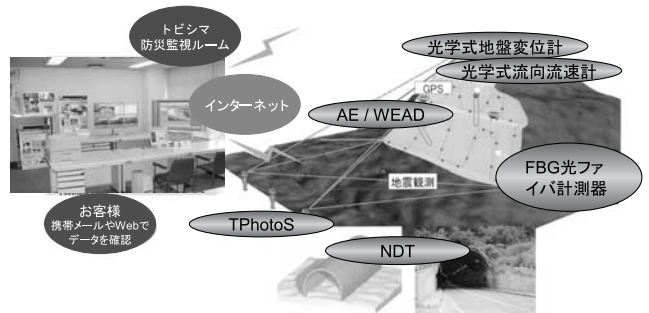


図-3 Webモニタリングシステム概要図

図-4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-5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上の数値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-6は各測線間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-7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、通信速度の向上を目的として、携帯電話を用いた通信回線を使用してWeb監視システムの運用を行い、遠隔地からの完全リモートコントロールを実現し

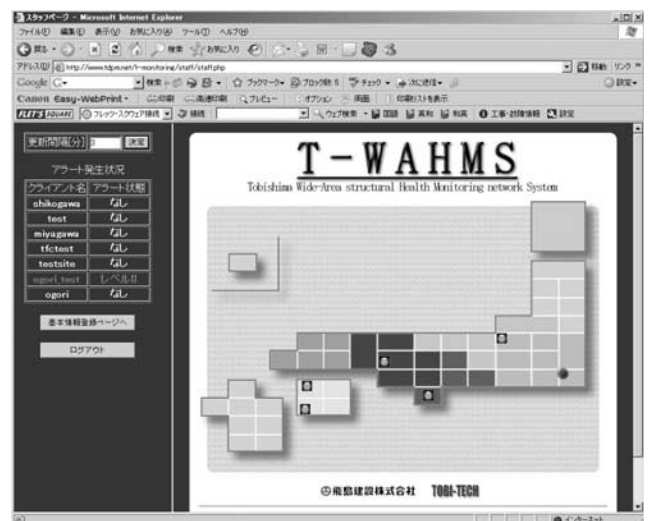
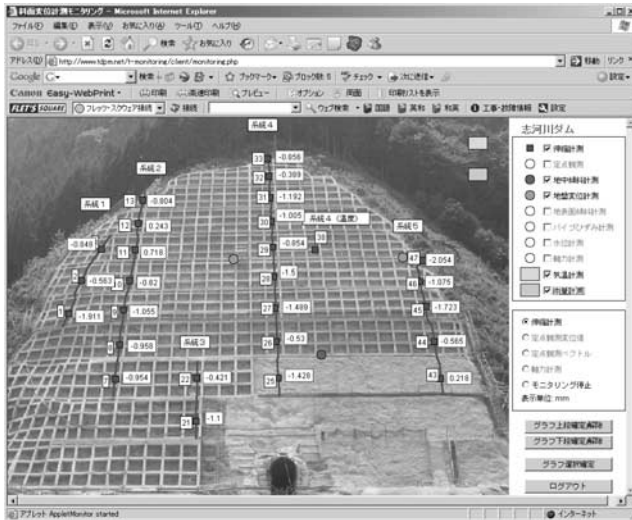
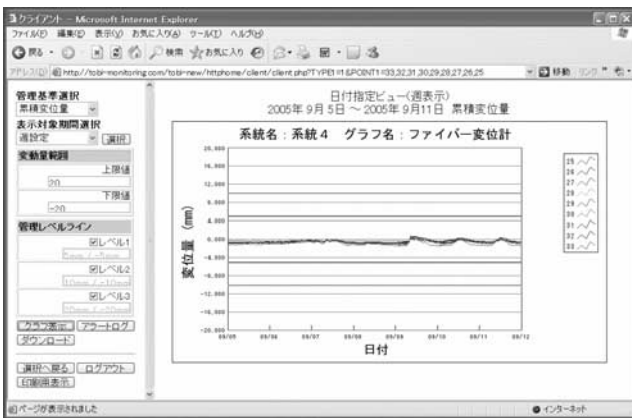


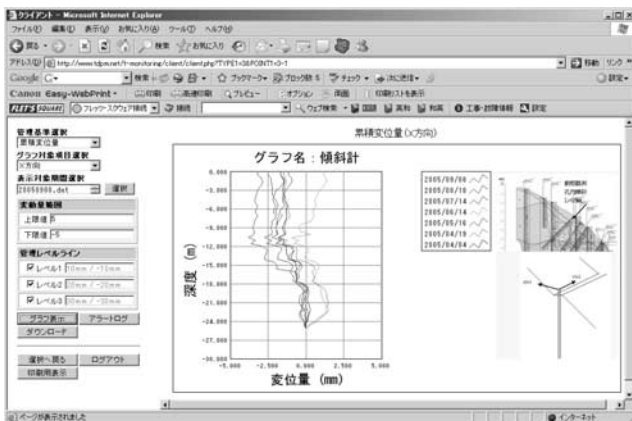
図-4 Web監視管理者画面



図一五 監視サイトごとの初期画面



図一六 各測線間の変位経時変化画面



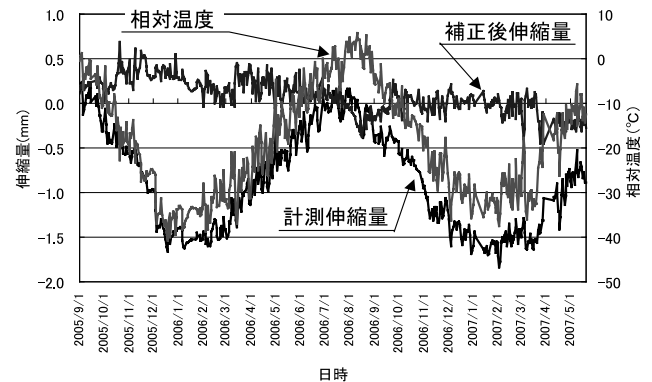
図一七 傾斜計の計測結果画面

ている。

(2) 長期的な法面挙動監視結果とその考察

別途計測していた地中内の傾斜計測結果より地中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斜面管理に移行することとし

た。図一八に、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 1.5 mm 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補正後伸縮量で示す。補正後の経時変化を見ると、収縮量は 0.5 mm 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。



図一八 地表面変位の計測結果例

また、図一九には、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 1 mm 程度の縮みで推移していることがわかる。

(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（写真一 5）。ファイバ線自体は P 型 U 字溝で保護し、伝送部分は 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さらな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

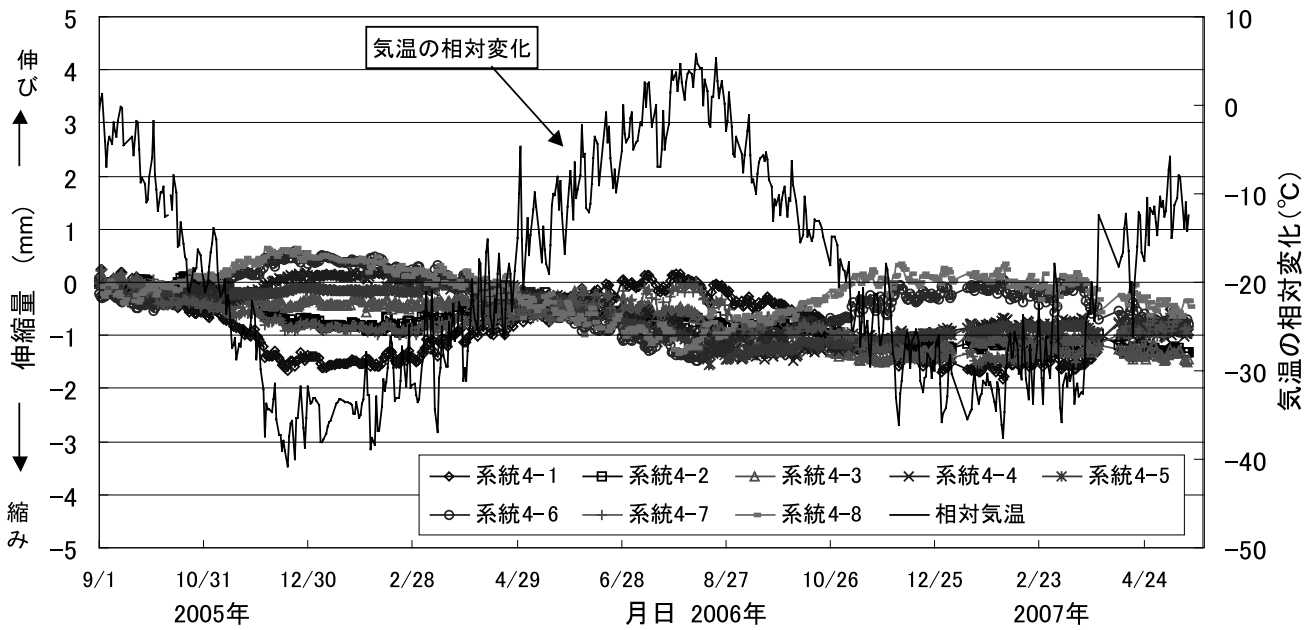


図-9 ダム軸上の系統4におけるFBG光ファイバ伸縮計の長期計測結果、2005/9～2007/5

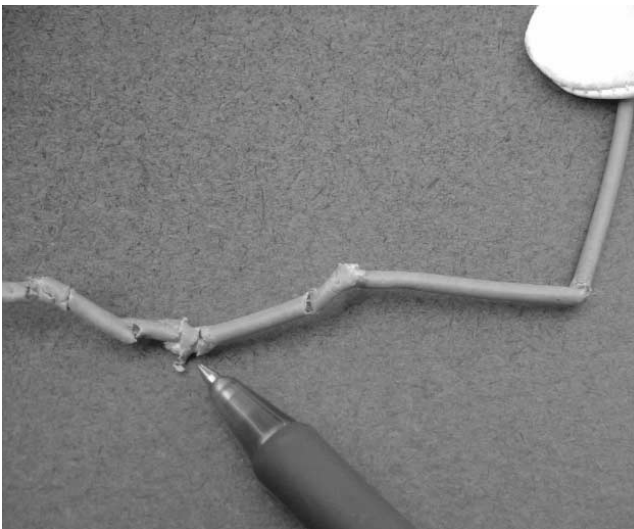


写真-5 動物によるファイバ断線

然災害に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。

JCMA

《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, 電力土木, No.323, pp.88-90, 2006.5
- 2) 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

[筆者紹介]



庄司 泰章 (しょうじ やすのり)
飛鳥建設
四国支店 志河川ダム作業所 所長



柏木 克之 (かしわぎ よしゆき)
飛鳥建設
四国支店 志河川ダム作業所 課長



松元 和伸 (まつもと かずのぶ)
飛鳥建設
技術研究所 第一研究室 室長