

VI-16

模擬岩盤斜面での変状実験と計測サンプリング間隔の検討

北海道開発局開発土木研究所 正会員 池田 憲二

北海道開発局開発土木研究所 正会員 日下部 裕基

北海道開発局開発土木研究所 正会員 中井 健司

(株)構研エンジニアリング ○正会員 田尻 太郎

1. はじめに

平成8、9年に発生したトンネル崩落事故を契機に、斜面変状観測に関する各種の調査、検討が行われている。本論文は平成11年に行われた模擬岩盤の強制変位実験において、すでに現場等で使用されている既往の計測器測定値と模擬岩盤に与えられた強制変位との関係を、計測サンプリング間隔に注目して報告するものである。既往の計測器としては、表面に設置される計測器として3次元表面クラック変位計、内部の変状等を捉える計測器として孔内ひずみ計をとりあげる。各計測器のサンプリング間隔は100Hzであり、実測100HzのSTFT(Short Time Fourier Transformation¹⁾)と1秒～5分抽出時系列について検討する。

2. 計測器の配置状況および実験方法

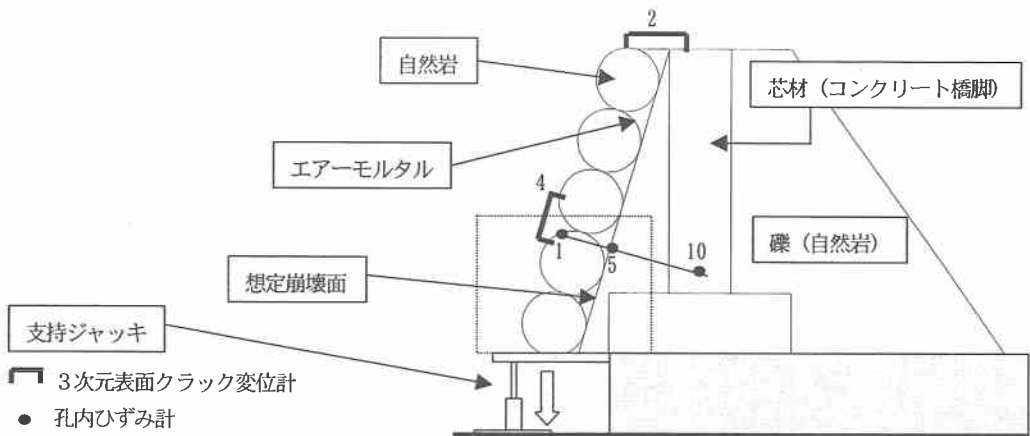


図-1

図-1に模擬岩盤の概念図を示す。模擬岩盤は、自然岩(水冷破碎岩)、礫(自然岩)、芯材(鉄筋コンクリート橋脚)よりなり、エアームタルは各部をつなぐ間詰め材として用いられた。図上想定崩壊面から左側のジャッキ変位に応ずる部分を岩体ブロック、想定崩壊面から右側の芯材を含む部分を地山と呼ぶ。実験は支持ジャッキを降下させることにより、岩体ブロックに自重による強制変位を与え、岩盤への強制変位の影響を測定した。岩盤変状は上図の点線枠で囲んだ部分で起こり、主な変状(幅1cm程度のクラック)は間詰め材のエアームタルにおいて起こったので、変状の中心部は、ほぼ想定崩壊面の近傍と思われる。エアームタルの強度、弾性係数は事前に岩石試験を行い、自然岩の諸元に近い配合を行った。3次元表面クラック変位計は、地山と岩体ブロックの相対変位をはかる表面クラック変位計2および、岩体ブロック底部に設置された4について報告する。孔内ひずみ計は、岩盤表面付近の1、想定崩壊面付近の5、芯材内部の10である。

On Sampling Frequency of Simulation modeling Rock Bed fluctuated

by Kenji Ikeda, Yuki Kusakabe, Kenji Nakai and Taro Tajiri

3. 実測 100Hz の STFT 結果

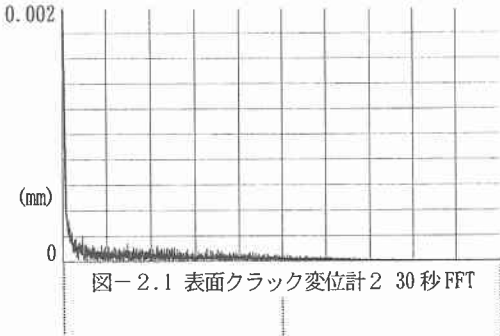


図-2.1 表面クラック変位計2 30秒FFT

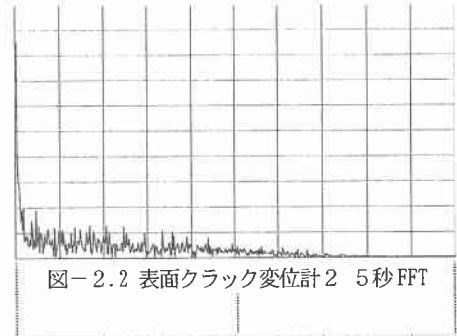


図-2.2 表面クラック変位計2 5秒FFT

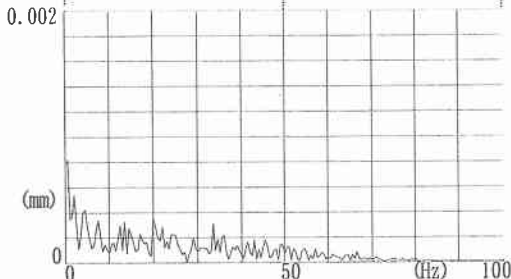


図-2.3 表面クラック変位計2 2秒FFT

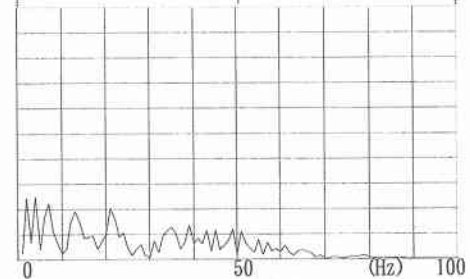


図-2.4 表面クラック変位計2 1秒FFT

100Hz の実測値時系列については、音響学、非破壊検査、地震学などでラングスベクトルとして知られる STFT を用いた¹⁾。図-2.1～2.4 は、最も変位の大きかった表面クラック変位計 2 の実験開始 8 分後における、1 秒～30 秒時系列の FFT 結果である。2 秒以上では低周波域に周波数と逆比例するようなフーリエ振幅がみられ、時系列の平均的運動を含むことがわかる。時系列長さ 1 秒以下の STFT で変位の振動成分のみを捉えられと判断した。STFT 時系列は変位計記録などから判断して、岩盤に最も大きな影響を与えたと思われる実験開始からの 1 時間について、時系列に 1 秒区間のガウス窓をかけた FFT を 3600 回行って作成した。図-3.1～3.5 に表面クラック変位計 2、4 および孔内ひずみ計 1、5、10 の STFT 時系列を、図-3.6 と 3.7 に平均ジャッキ変位の STFT と実測値の 1 秒抽出時系列を示す。表面クラック変位計については 3 次元の合成変位を使用した。また各 STFT 時系列は最大振幅を 1 とし、振幅値 0～1 を 40 分割して等高線を描いた。横軸は時間であり、縦軸が分解周波数となる。

(1) 芯材内部の孔内ひずみ計 10 は全時間でフーリエ振幅がほぼ 0 であり、ジャッキ変位に対して追従または応答していない。よって芯材を含む地山側は、岩体ブロックに関してほぼ不動点となったと思われる。

(2) 孔内ひずみ計 10 を除いた岩体ブロック側計測器では、STFT 時系列はジャッキ変位のそれとよく似た傾向を示す。変位計 2 と 4 では岩体ブロックと不動点との変位をはかった 2 のほうが、4 よりも明確に似た傾向を示し、4 のほうが平坦な時系列となった。変位計 4 は、岩体ブロック内部点どうしの相対変位をはかったため、振幅が小さくなったと判断できる。従って岩体ブロックは剛体的に変位してジャッキ変位に追従したと考えられる。孔内ひずみ計 1 と 5 でもその時系列に顕著な差はなく、岩体ブロックが剛体的に変位したことを示唆する。

(3) 図-3.7 のジャッキ変位急変点（実験開始から 17 分と 59 分）に対して岩体ブロック側計測器では、同時刻に時系列の急変点があり、小規模なジャッキ変位の変動に対しても対応する変化部がある。しかしながらジャッキ変動が原因になったと思われる特徴的な周波数領域は、確認できない。

以上より 1 秒以下の振動成分に関しては、岩盤は剛体的にジャッキ変位に追従し、特徴的な応答はみられなかった。実験は全体で 2 時間程度であり、このような自然状態に比べてきわめて短時間と考えられる入力変動では、岩盤が応答できなかった可能性がある。

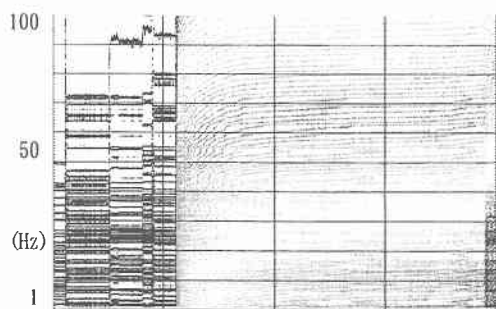


図-3.1 表面クラック変位計 2 STFT 時系列

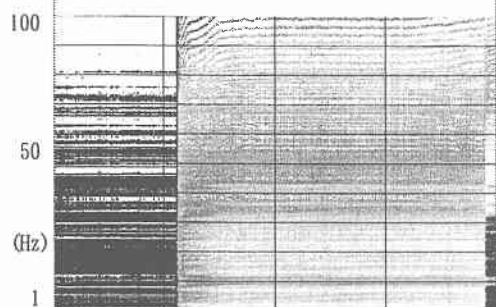


図-3.2 表面クラック変位計 4 STFT 時系列

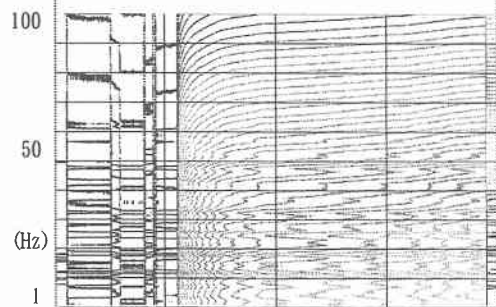


図-3.6 平均ジャッキ変位 STFT 時系列

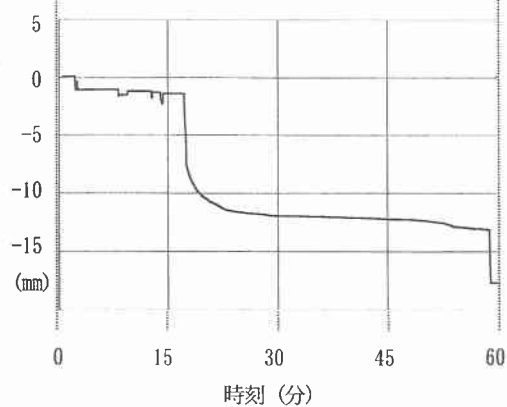


図-3.7 平均ジャッキ変位 時系列

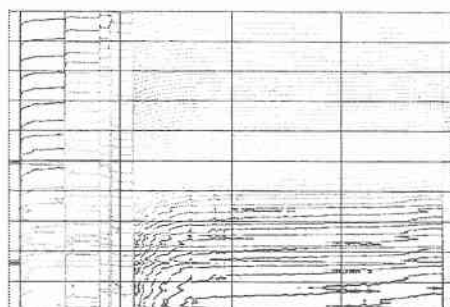


図-3.3 孔内ひずみ計 1 STFT 時系列

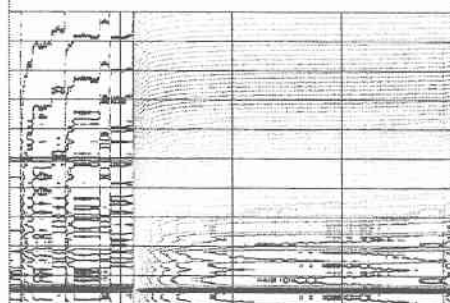


図-3.4 孔内ひずみ計 5 STFT 時系列

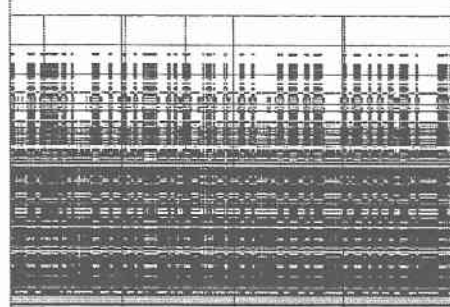


図-3.5 孔内ひずみ計 10 STFT 時系列

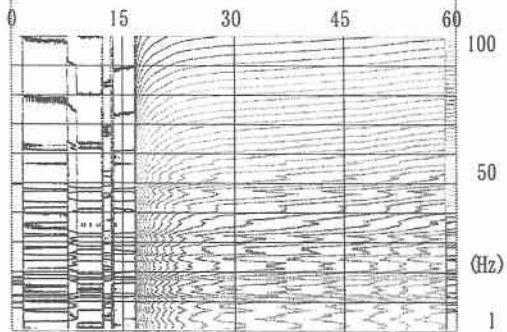


図-3.6 平均ジャッキ変位 STFT 時系列



4. 1秒～5分の抽出データ時系列

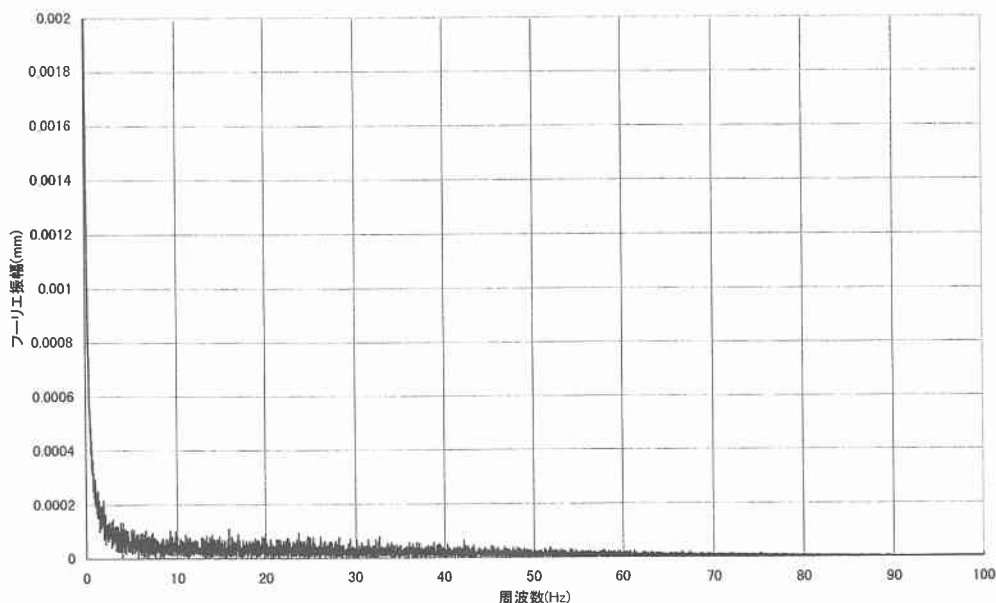


図-4 60秒区間のFFT

図-4に60秒区間のFFT結果を示す。図-2.1～2.3でも示したように1秒以上の長さの時系列では、低周波領域が卓越し、フーリエ振幅は周波数に逆比例する形でなだらかに減少する傾向にある。上記のようなフーリエスペクトルでは、時系列の平均的運動が支配的と考えられるので、1秒以上の長さで時系列を検討する場合は、時間領域を直接扱うこととした。

図-5.1～5.6に、表面クラック変位計2の1秒、10秒、30秒、1分、2分、5分抽出時系列を、図-6.1、6.2に、平均ジャッキ変位の1秒抽出時系列を示す。表面クラック変位計2についてはX、Y、Zの3方向成分を持っているので、3成分を表示した。

(1) 変位計時系列の1秒、10秒、30秒抽出では、ジャッキ変位の急変点に対応する階段状の段差があり、小規模なジャッキ変動に対しても明確な対応点を持つ。5.1と5.3で30倍の抽出間隔の差があるにも関わらず、いずれも時系列グラフに顕著な差はない。

(2) 変位計時系列の1分以上の抽出では、1分と2分で2倍、2分と5分で2.5倍と(1)に比較して小さな抽出間隔差であるにも関わらず、2分と5分ではジャッキ変位の変動を明確に捉えていないと思われる。1分では(1)の30秒抽出と余り差がない。ジャッキ変位の変動時間がおよそ1分間であり、1分を越える抽出間隔ではジャッキ変動に対して相対的に、抽出時系列の精度が急激に悪化したためと考えられる。

以上より時系列の平均的運動を重視する場合、入力変動の代表的変動時間以内で抽出すれば、相対的に時系列の精度は低下しにくく、変動時間以上での抽出では急激に精度が悪化すると考えられる。

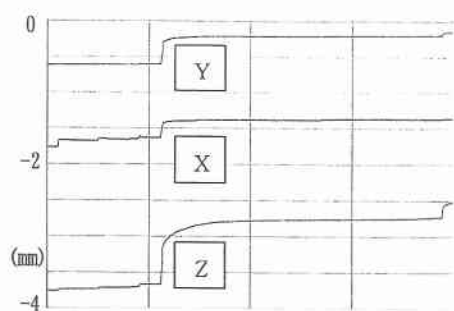


図-5.1 表面クラック変位計 2 1秒抽出



図-5.4 表面クラック変位計 2 1分抽出

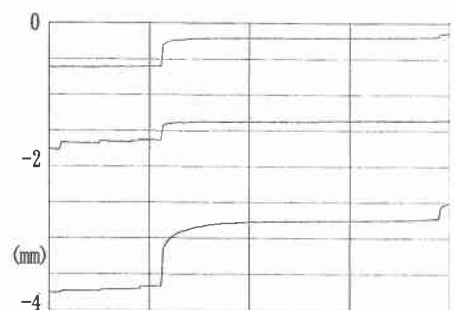


図-5.2 表面クラック変位計 2 10秒抽出

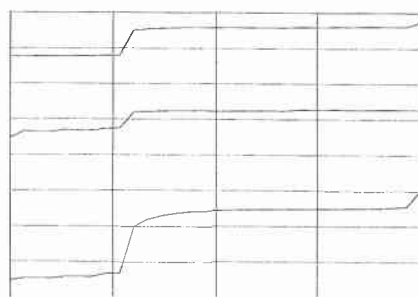


図-5.5 表面クラック変位計 2 2分抽出

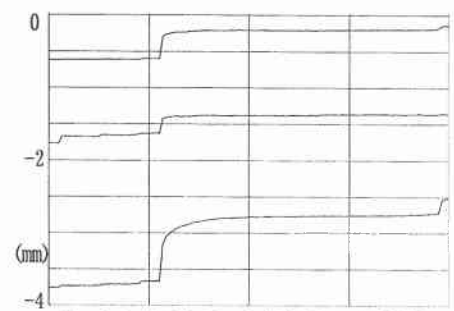


図-5.3 表面クラック変位計 2 30秒抽出

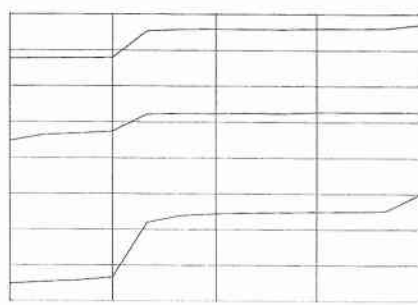


図-5.6 表面クラック変位計 2 5分抽出

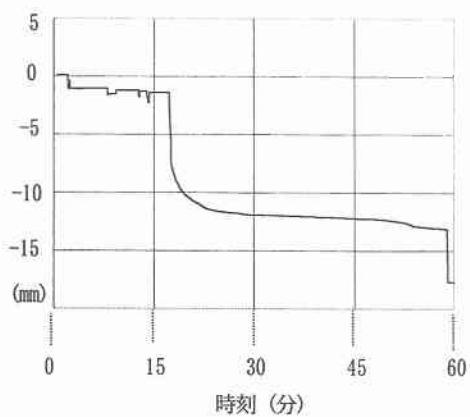
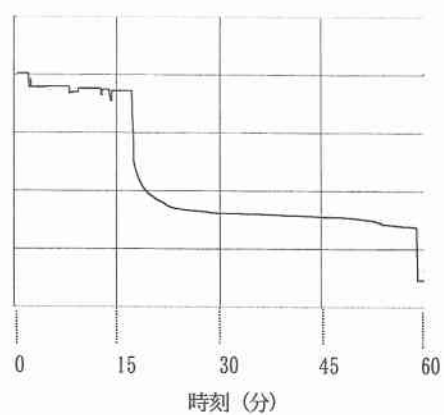


図-6.1, 6.2 平均ジャッキ変位 1秒抽出



5. まとめ

自然岩（水冷破碎岩）、礫（自然岩）、芯材（鉄筋コンクリート橋脚）およびエアームタルより模擬岩盤を作成して強制変位を与え、3次元表面クラック変位計、孔内ひずみ計により、その影響を計測した。岩盤変状は、エアームタル部で主に生じた。主たる変状部であるエアームタルと、北海道の代表的岩盤組成である水冷破碎岩の物性値を次に示す。水冷破碎岩は一般値であり、エアームタルは試験結果に基づく。

[水冷破碎岩とエアームタルの物性値]²⁾

岩質	ヤング率	せん断弾性係数	ポアソン比	単位体積重量
水冷破碎岩	20000kgf/cm ²	5500kgf/cm ²	0.3	2.3tf/m ³
エアームタル	17000kgf/cm ²	7000kgf/cm ²	0.2	0.8tf/m ³

上記表より水冷破碎岩とエアームタルの物性値はかなり近いので、3. と4. で得られた結論は、ある程度は自然岩盤にも成立する可能性がある。

- (1) 適当な広さを持つ単純なガウス窓を用いたSTFTで、岩盤への入力変動に対応した振動成分出力を表す、明確なフーリエスペクトル時系列を構成することが可能と思われる。ただし当実験では、入力変動が原因と考えられるような特徴的な応答周波数は確認できなかった。
- (2) 時間領域では、入力 of 代表的変動時間以内の計測サンプリング間隔であれば、岩盤の平均的運動はじゅうぶん捕捉可能と思われる。
- (3) 当実験では、振動成分の卓越する1秒以下の時系列で特徴的な出力応答周波数は確認されず、平均運動が支配的な1秒以上の時系列では、代表的変動時間が1分程度であるので、最も効率的な計測サンプリング間隔は1分と考えられる。

変状原因の明らかな模擬岩盤実験において計測サンプリング間隔の効率化を試みたが、今後は自然崩壊を起こした岩盤についても同様の解析を行いたいと考える。

[参考文献]

1) 時間一周波数解析, Leon Choen, 平成10年, 朝倉書店
2) 道路トンネル設計施工要領, pp.19～20, 北海道開発局建設部道路建設課監修, 平成7年6月, (社)北海道開発技術センター