

平成21年 4月 16日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18760357

研究課題名（和文） 超磁歪振動子を用いた岩盤斜面の安定性評価

研究課題名（英文）

Stability assessment for rock slope using giant-magnetostriction vibrator

研究代表者

川村 洋平（KAWAMURA YOUHEI）

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師

研究者番号：40361323

研究成果の概要：本研究では超磁歪振動子を入力に用いて岩盤斜面の安定性を評価するための手法を確立するために、コンクリートブロックの寸法推定実験及び実規模実験として凝灰岩の採石場にて凝灰岩の損傷検査を行った。解析手法として相互相関法、信号圧縮法、およびケプストラム解析を適用した。それぞれの解析の結果、ケプストラム解析が最も簡易な計測方法で良好な結果を得られることを確認した。また、その適用性を向上させるために、入力波形として連続した正弦波及び正弦波1波を適用し、入力波形に応じた改善策を提案した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	270,000	3,870,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：斜面

1. 研究開始当初の背景

日本では過去には多数の大規模・小規模な岩盤崩落事故が発生しており、ごく最近では地震の影響により岩盤斜面上の岩塊が落石となり、民家に衝突した事例や崩壊した岩盤が国道を直撃した事例も見られる。これ以上の被害を出さないためにも岩盤崩落問題への取り組みが課題とされている。

2. 研究の目的

本研究の目的は任意の超音波領域の高出力振動を岩盤斜面および転石に直接入力し、岩盤斜面および転石の安定性を評価する計

測手法を確立することである。そこで、本研究では大変位・高速応答で近年注目を集めている超磁歪体を起振子として使用する。本手法は任意の周波数成分を持つ衝撃弾性波を用いた岩盤、転石の周波数応答解析であり、岩盤の亀裂幅と周波数特性との関係を明らかにする。解析手法としてはケプストラム解析および信号圧縮法により岩盤亀裂のインパルス応答および位相速度の分散性を明らかにすることも目的としている。

3. 研究の方法

(1)ケプストラム解析

本研究では主たる解析手法としてケプストラム解析を適用している。ケプストラム解析とは、二つの信号が畳み込みの形で結合

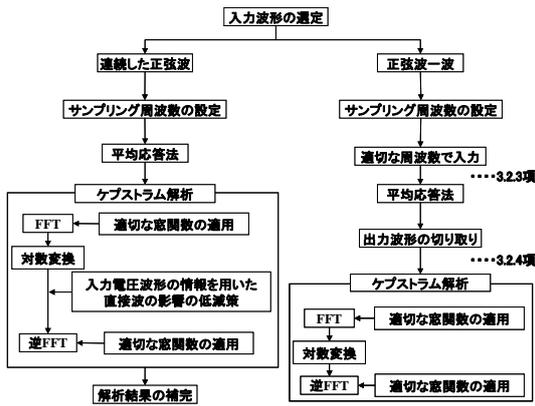


Fig.1 flow of improvement plan of applicability of cepstrum analysis

してできている信号に対して、結合している二つの信号を分離させる解析を可能にする信号処理技術である。本研究では、直接波と反射波の混在した出力波形から、反射波の検出を目的とした解析手法である。著者等はこれまで、ケプストラム解析の適用性を向上するために様々な改善策を提案してきたが、Fig.1 に提案してきた改善策およびケプストラム解析の適用性へ流れを示す。これまでの研究で、連続した正弦波を入力波形として用いた解析を行ってきたが、本論文では新たに正弦波一波を用いた解析手法を提案した。連続した正弦波と正弦波一波にはそれぞれ異なる利点・欠点があり、適用する対象によって選択する有効性がある。Fig.1 に示す改善策に対応する項にてここで示した適用性向上への流れの詳細を示す。

(2) 基礎実験

本実験では、岩盤斜面安定性評価の基礎実験として、コンクリートブロックの寸法推定実験を行った。岩盤斜面の亀裂からの反射波の検知をコンクリートブロック底面からの反射波の検知に見立てた基礎実験である。対象物として高さ 1200mm のコンクリートブロックを用いた。震源として任意波形を入力可能な超磁歪振動子を用い、P 波弾性波を発生させた。超磁歪振動子は電流駆動である。Fig.2 に実験の概略図を示す。対象物の表面に超磁歪振動子 (MORITEX 社製 AA-050H030-MS1) を設置し、その横に加速度計 (TEAC 社製 708LF) を設置した。

実験では電圧波形をファンクションジェネレータで作成し、コンバータを介して電圧波形を電流波形に変換し増幅させ超磁歪振動子に入力、起振させた。加速度計で受振した波形は増幅器で増幅しデータロガに取り込み、PC 上でフィルタ処理を行い余計な高周波成分をカットし、解析を行った。入力波形は正弦波一波である。入力周波数の範囲は

1kHz から 40kHz であり、フィルタ処理としては、PC 上で 50kHz のローパスフィルタをかけている。この処理により波形の周波数成分が大きく変化することはない。本研究ではサンプリング周波数をすべて 100kHz に統一して実験を行っている。これは 1~40kHz のデータを統一的に扱うためであり、サンプリング定理は満たしている。解析に用いたデータは超磁歪振動子が振動を開始してから 80ms までの間のデータである。

加速度計で得られた出力波形は直接波とコンクリート底面からの反射波、そしてコンクリート側面で多重反射した波の混在したものになる。多重反射した波は反射した分減衰も大きくなるため、反射波としてはコンクリート底面からの反射波が 1 番強く得られると考えられる。このような出力波形に対しケプストラム解析を適用し、その中からコンクリートブロック底面からの反射波の到達時間の検出を行う。

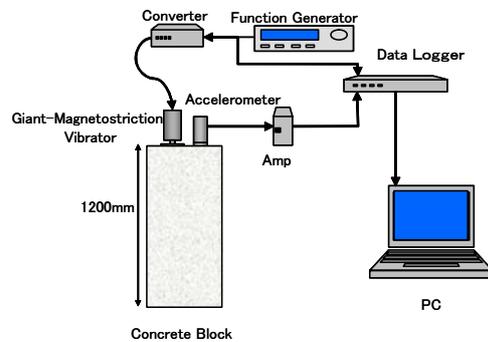


Fig.2 schematic of experimental set up

(3) 実規模実験

本実験では、岩盤斜面安定性評価の実規模実験として凝灰岩の採石場にて凝灰岩の損傷検査を行った。Fig.3 に実験の対象を示す。表面に超磁歪振動子と加速度計を設置し、表面から 1430mm のところに存在するひびからの反射波到達時間の検出を目的とした実験

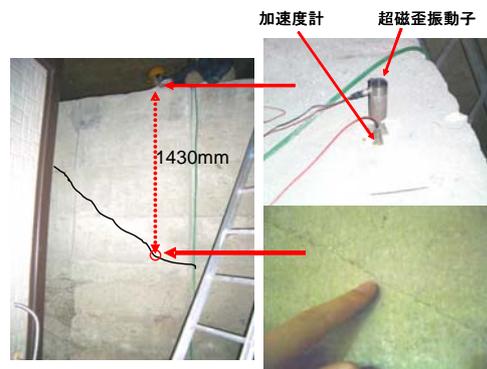


Fig.3 schematic of full-scale experiment

を行った。入力波形としては連続した正弦波は 3~40(kHz)の波を適用した。正弦波 1 波に関しては有効な周波数と選定された周波数の範囲内である 4~10(kHz)の波を適用した。

石中の超音波伝播速度に関しては採石場で切り出された石を用いて実験を行い算出したところ、約 3530m/s となった。

4. 研究成果

(1) 基礎実験の解析結果

コンクリートブロック中の P 波伝播速度を求めるため、相互相関法を用いてコンクリートブロック中の P 波伝播速度を測定した。推定された P 波伝播速度は約 3149m/s となった。ケプストラム解析によって算出された反射波到達時間と超音波の伝播速度から、コンクリートブロックの寸法推定を行う。

Fig.4 に出力電圧波形の周波数成分を示す。Fig.4 で見られるように、出力電圧波形は様々な周波数成分を含んでおり、正弦波一波の入力が連続波を入力した際に行ったケプストラム解析結果の補完と同様の効果をもたらす可能性がある。Fig.5 に波形に対してケプストラム解析を適用した結果を示す。0.77ms 付近でコンクリートブロック底面からの反射波によると思われるピークが検出された。

ここで得られた反射波到達時間とコンクリートブロック中の P 波伝播速度から底面までの長さを推定すると、推定寸法は約 1212mm となり、誤差は約 1% となった。

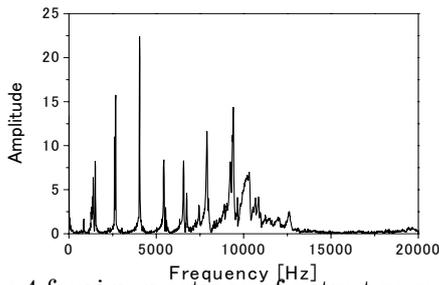


Fig.4 fourier spectrum of output waveform

(2) 最適な入力周波数の選定

入力波形に正弦波一波を適用した際の入力周波数による解析結果のばらつきの検証を行った。Fig.6(a)に、連続した正弦波を入力波形として用いた際の入力周波数と 0.77ms 付近でのコンクリートブロック底面からの反射波によるピークの値の関係を示す。次に Fig.6(b) に正弦波 1 波を入力波形として用いた場合の関係を示す。0.77ms 付近で反射波によるピークが観測されなかった周波数についてはピーク値の値を 0 としている。

Fig.6(a)で示されたように、連続波を入力とした際には異なる周波数の間で反射波到達時間におけるピーク値にかなりばらつきがあるのに対して、一波を入力とした際にはばらつきが抑えられたことがわかる。連続波の場合、周波数成分はほぼ単一のものになるため機器の特性や対象物の特性の影響を受け、解析結果がばらついてしまうと考えられる。一方、一波での解析は多数の周波数成分を含

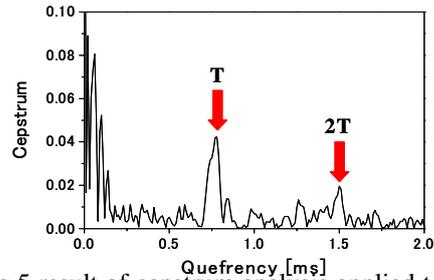


Fig.5 result of cepstrum analysis applied to 8kHz 1 cycle sin-wave form

むため安定して良好な結果が得られたと考えられる。また、20~40(kHz)の高周波では減衰が大きいため連続した正弦波を入力として用いた場合の方が大きなピーク値が得られることを確認した。

次に、距離分解能と出力の大きさを考慮した適切な入力周波数の選定を行った。連続した正弦波を入力波形として適用した場合、入力周波数によって解析結果の予期せぬばらつきが見られたが、正弦波一波を適用した場合、そのようなばらつきがない。よって、距離分解能と出力の大きさに応じた適切な周波数の選定がしやすくなる。

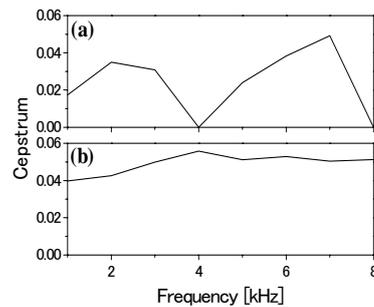


Fig.6 peak value at the arrival time of reflected wave of cepstrum analysis

(a) continuous wave, (b) 1 cycle wave

入力したすべての周波数で解析結果を比較したところ、4~15kHz を入力周波数として用いた場合にピークの明瞭さ、大きさ共に良好な結果が得られることが分かった。4kHz 以下の周波数では波長が長すぎるためピークの明瞭度が悪くなり、15kHz 以上の周波数では出力が弱すぎるためピーク値が小さな結果が得られたと考えられる。

(3) 実規模実験の結果

Fig.7 に出力波形に対して提案したケプストラム解析および提案した改善策の適用結果結果を示す。石中の超音波伝播速度と亀裂の深度から推定すると振動子直下の亀裂からの反射波到達時間は 0.8ms 付近であると考えられるが Fig.7 においても 0.8ms でピークが確認される。また、本実験では 20~40kHz の高周波を用いた解析で良好な結果が確認された。本実験の対象は平面的に広がった形状をしており、超音波の指向性を考慮した場合、加速度計では指向性内からの反射波を受振し、振動子直下の亀裂からの反射波の

検出が困難になると考えられる。検知対象の亀裂は横に広範囲に入っているため指向性内の亀裂からの反射波が多数存在するはずである。そこで、相対的にサンプリング周波数が低くなる高周波を入力波形として、そのような成分をカットする解析が有効になった可能性がある。

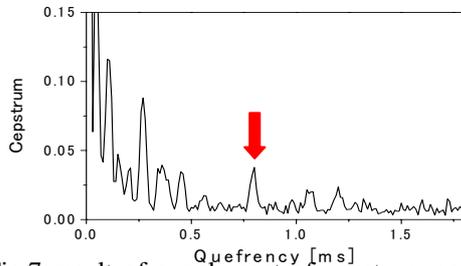


Fig.7 result of supplement of cepstrum analysis applied to continuous sin-wave

(4)研究成果のまとめ

解析結果から実規模実験においても亀裂からの反射波到達時間の検出が可能であることを確認し、本システムを用いてコンクリート構造物の損傷の検知および岩盤斜面の亀裂の分布の推定を行うことができる可能性を示した。今後は実際にコンクリート構造物および岩盤斜面に適用し亀裂からの反射波到達時間が本システムで検出可能かどうか検証する必要がある。それによって亀裂から反射波到達時間を検出することができれば将来、亀裂面の映像化も可能であると考えられる。

また、対象によって入力波形を選択する有効性も確認された。平面的に広がった形状のものが対象となる場合は実規模実験で良好な結果が得られたように、連続した正弦波を高周波で入力する手法が有効である。一方で杭などの柱状のものが対象となった場合、正弦波一波を入力波形として適用する手法が有効であり、本研究の基礎実験で示したような良好な結果が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- 1)川村洋平, 浅香充慶, 河宜成, 大川浩一, 水谷孝一: 超磁歪振動子を用いたコンクリート構造物・岩盤斜面に対する非破壊検査におけるケプストラム解析の適用性, Journal of MMIJ, Vol.124, pp.452-458, 2008年, 査読有
- 2)Y.Kawamura, M.Tsurushima, Y.Ito, K.Mizutani, S.Yamachika, N.Aoshima, E.Ha: Fundamental Study on Ultrasonic Measurement System to Detect Penetration of Boulders Using Cepstrum Analysis, Ultrasonics, Vol.46, pp.260-269, 2007年, 査読有
- 3)Y.Kawamura, Y.Ito, K.Mizutani,

S.Kuraoka, and M.Ujihira: Accuracy Improvement of Cepstrum Analysis for Detecting Penetration of Foundation Piles Using Ultrasonic Wave, Journal of Applied Mechanics, Vol.9, pp.1131-1138, 2006年, 査読有
〔学会発表〕(計6件)

- 1)M.Asaka, Y.Kawamura, H.Okawa and K.Mizutani: Accuracy Improvement of Cepstrum Analysis Using Giant-magnetostriction Vibrator Applied to Non-destructive Testing for Crack of Rock Slope, Pro. 17th Int. Symposium on MPES, 2008年10月22日, 北京(中国)
- 2)浅香充慶, 川村洋平, 中里慎吾, 大川浩一, 水谷孝一: 超磁歪振動子を用いた岩盤亀裂推定に関する研究, 資源・素材学会平成20年春季大会, 2008年3月27日, 東京(東京大学生産技術研究所)
- 3)M.Asaka, Y.Kawamura, S.Nakasato, H.Okawa, and K.Mizutani: Applicability in Cepstrum Analysis Applied to Non-destructive Testing for Crack of Rock Slope Using Giant-Magnetostriction Vibrator, The 28th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2007年11月15日, 茨城県つくば市(つくば国際会議場)
- 4)S.Nakasato, Y.Kawamura, M.Asaka, H.Okawa, and K.Mizutani: Fundamental Study for Estimation of Crack Distribution in Rock Slope Using Giant-magnetostriction Vibrator, The 28th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2007年11月15日, 茨城県つくば市(つくば国際会議場)
- 5)川村洋平, 浅香充慶, 河宜成, 伊藤優, 水谷孝一: 超磁歪振動子を用いたコンクリート構造物損傷検査におけるケプストラム解析の適用性, 資源・素材学会平成19年春季大会, 2007年3月31日, 東京(早稲田大学)
- 6)Y.Kawamura, M.Asaka, E.Ha, Y.Ito, K.Okawa, and K.Mizutani: Detection of Concrete Crack Using Giant-Magnetostriction Vibrator, The 27th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2006年11月15日, 愛知県名古屋(名古屋国際会議場)

〔その他〕

ホームページ等

<http://gsl.iit.tsukuba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

川村 洋平 (KAWAMURA YOUHEI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師
研究者番号: 40361323

