

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 9日現在

機関番号：54701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2011

課題番号：20560456

研究課題名（和文） 耐震設計の高精度化を目的とした表層地盤の減衰パラメータ設定法の実用化

研究課題名（英文） Practical application of damping properties of subsurface ground towards high-precision aseismic design

研究代表者

辻原 治 (TSUJIHARA OSAMU)

和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：50188546

研究成果の概要（和文）：

地盤震動の鉛直アレー観測記録を用いて、地盤の減衰特性値(Q値)を同定する方法を開発した。地盤震動として、防災科学技術研究所のKiK-netによって観測された記録を利用し、地下の地震計のみならず、地表の地震計の設置方位補正を行った。また、KiK-netのサイトの現地調査を行い、地盤同定に適したサイトを中心にQ値の同定を行った。その結果を蓄積し、Q値の周波数に対するトレンドの抽出や、Q値が周波数非依存と考えた場合のモデル化を行った。

研究成果の概要（英文）：

A method for the identification of the damping parameter (Quality factor) in subsurface ground using array records of ground motions is developed. The ground motions have been recorded at observation stations of KiK-net which is employed by NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention). The records of ground motions, which are corrected for the azimuth error of bottom sensors as well as surface sensors, are used in the identification. The identification is carried for the observation stations which are regarded to be appropriate by field investigation. Accumulating the results of identification, the trends of the frequency dependency of quality factor are extracted and quality factor of frequency non-dependent type is modeled.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：耐震，地盤震動，減衰パラメータ，同定

1. 研究開始当初の背景

地表および地中の地震動特性は、震源機構，

伝播経路、サイト特性などの影響を受ける。とくに表層地盤の応答特性は地震動に複雑な影響を及ぼすため、地震時地盤の動特性を明らかにすることは耐震設計や被害予測の上できわめて重要である。

地盤の動特性は、従来、弾性波探査、PS検層や常時微動観測などから推定されている。しかし、そのような方法で推定される地盤の動特性は地震時のそれと必ずしも対応するものではない。原位置における土の拘束条件などを実験室で再現するのは困難であり、やはり実地震時の土の挙動を観測し、これより動特性を同定するのが最も合理的だと考えられる。

近年、地盤震動の鉛直アレー観測が実施されるようになり、これらを用いた地盤同定が行われるようになった。このような地盤同定を行う方法がいくつか提案されているが、水平成層地盤構造を仮定した場合にS波速度の構造を推定することについては成果を上げている。しかし、減衰パラメータの推定については、その精度向上が大きな課題となっており、耐震設計の際、地盤震動や地盤-構造物の連成解析に必要な地盤の減衰パラメータの適切な指標が未だ示されていないのが実情である。

## 2. 研究の目的

各種の土について、室内試験により剛性および減衰のひずみ依存性が調べられているが、原位置の状況を再現することが困難なため、そのような試験結果の信頼性については議論の多いところである。本研究の目的は、これまで困難とされてきた、地盤震動記録用いた実地盤の減衰パラメータを高精度で推定することであり、かつそれらのデータを蓄積して、地盤の減衰パラメータについて新たな指標を提案することである。これは、構造

物やライフラインの耐震設計をより高精度化に役立つのみならず、既設物の被害予測などに有効な資料を提供することにもなる。

## 3. 研究の方法

一地点において地下と地表で地盤震動の同時観測（鉛直アレー観測）記録が得られていれば、これらの記録を用いて、地表から地下の地震計までの地盤の構造が逆解析によって推定できる。

独立行政法人防災科学技術研究所の基盤強震観測網(KiK-net)では、地表と地中における地震動の鉛直アレー観測が実施されている。およそ700の観測サイトを有しており、これまでに膨大なデータが蓄積されている。KiK-netの記録はWebサイトからダウンロードできる。しかし、地盤同定に利用する際には、データの読み込みからはじまり、地中センサーの埋設方位ずれの補正、水平震動成分の震央直角方向成分への合成、波形の表示、解析対象区間の選択、動特性値の初期値の設定、最適化手法等による同定の計算、結果の表示、同定された動特性値の保存等の手続きが必要になる。KiK-netの膨大なデータのストックを利用して、同定結果を蓄積するためには、一連の処理が簡単な操作で実行できる地盤同定システムが必要不可欠となる。そこで、Microsoft Excel Macro等を用いて地盤同定システムを構築し、一部を除きマウスによる操作でデータの読み込みから結果の表示まで可能にした。

この同定システムを利用してKiK-netのデータを精力的に解析し、整理・分析を行い、耐震設計等に際して用いる地盤の減衰パラメータを設定するための指標の信頼性を明らかにし、実用化に向けて、地盤の他の動特性値等との関連で減衰パラメータのモデル式を構築する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 地盤同定問題におけるスイープ法の改良

地盤同定問題は一般に最適化問題として扱われるが、著者らは評価関数に対する  $Q$  値の感度を利用したスイープ法を提案した。これは、評価関数に対して  $Q$  値の感度の低い周波数点について、設定された上下限値の範囲外に自動的に掃き出され、結果として有意な感度を持つ周波数点の  $Q$  値が抽出されることを期待するものである。この方法を KiK-net の観測点の地盤同定に適用し、周波数に対する  $Q$  値のトレンドをある程度抽出できるものの、そのばらつきは無視できず、 $Q$  値の周波数に対するトレンドを明瞭に抽出するまでには至っていない。このような  $Q$  値の推定値のばらつきに対して、どのように考えて処理し、また評価するのかについて課題が残っていた。

本研究では、最適化問題として定式化した地盤同定問題において、スイープ法によって同定された周波数点ごとの減衰パラメータ ( $Q$  値) に対して、その感度による重み付き平均を行うことによって、より安定した推定値が得られるように手法を改良した。

KiK-net 観測点のうち 5 地点について、それぞれ複数の地震による地盤震動の鉛直アレー観測記録を用いて当該地盤の同定に改良スイープ法を適用した結果、それぞれの地点において、 $Q$  値の推定値のばらつきが十分に小さいとは言えないまでも、 $Q$  値の周波数に対するトレンドをより明確に抽出することができた。

##### (2) KiK-net 地下地震計の埋設方位ずれの推定

独立行政法人防災科学研究所は基盤強震観測網 KiK-net を全国に展開しており、約 700 の観測サイトにおいて地表と地下の地盤震

動を同時観測し、データをオンラインで集約している。これらのデータはウェブサイトからダウンロードでき、地盤動特性の同定など種々の用途に利用されている。地下に設置された地震計については、設置方位の調整が困難なことから、その埋設方位がずれている場合があり、同研究所によって設置誤差が推定され公開されている。しかし、地下の地震計のみならず、地表地震計についても設置方位に誤差があるケースが指摘されている。

本研究では、623 の観測サイトにおいて地表に設置されている地震計の設置方位を推定した。その結果、設置方位のずれが 5 度未満の観測サイトが全体の 56% で、20 度以上ずれている観測サイトが 7% あることがわかった。

##### (3) KiK-NET 観測点の周辺地形調査と可同定性の評価

KiK-NET 観測点は、平地のみならず山間部や斜面にも設置されている。一方、地盤同定問題の定式化においては、水平な多層地盤を仮定していることから、同定の精度は観測点の周辺地形と関係する。

本研究では、近畿、東海、四国、九州の各地方を中心に KiK-net 観測点の現地踏査を行い、周辺地形を調査するとともに、同定に適する地点かどうかの評価を行った。

##### (4) $Q$ 値の周波数依存性の同定

KiK-net 観測点のうち数地点について、それぞれ複数の地震による地盤震動の鉛直アレー観測記録を用いて当該地盤の同定を行った。それぞれの地点において、 $Q$  値の推定値のばらつきが十分に小さいとは言えないまでも、 $Q$  値の周波数に対するトレンドをより明確に抽出することができた。

##### (5) $Q$ 値のモデル化

$Q$  値が周波数に依存しないモデルを用いると、地表から地下 100m 程度までの地盤構

造と地表から地下 150m 程度以上の地盤構造では、Q 値の同定結果に違いがあることを示唆する結果が得られた。39 の地震の際に 16 の KiK-net 観測点で得られた地震記録を用いて 60 ケースの同定結果を分析したところ、地下 100m 程度までの地盤であれば、地盤構造に依存せず Q 値は同程度の値となり、地下 150m 程度までの地盤であれば、平均 S 波速度にほぼ比例して Q 値が大きくなるという傾向があることがわかった。

しかし、このことに対する物理的な裏付けができておらず、上述の仮説が成り立つか否かについては、同定結果を蓄積しながら検証する必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- 1) Identification of Engineering Bedrock Using H/V Spectral Ratio of Microtremors, *Modern Methods and Advances in Structural Engineering and Construction*, Research Publishing, 査読有, pp.615-620, **2011.6**, Terumasa OKAMOTO and Osamu TSUJIHARA.
- 2) Study on estimation of direction error of KiK-net surface seismograph, *Modern Methods and Advances in Structural Engineering and Construction*, Research Publishing, 査読有, pp.673-678, **2011.6**, Osamu TSUJIHARA.
- 3) Quality factor in sedimentary layers, *Proceedings of the 14th European conference on Earthquake Engineering*, 査読有, paper No.828, pp.1-8 (in DVD), **2010.9**, Osamu TSUJIHARA.
- 4) ESTIMATION OF DEPTH OF ENGINEERING BEDROCK USING MICROTREMORS OBSERVED ON GROUND SURFACE, *Proceedings of the 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, 査読有, Paper No 780, pp.1-10 (in DVD), **2010.7**, Terumasa OKAMOTO, Osamu TSUJIHARA.
- 5) COHERENCY OF QUALITY FACTOR OF SUBSURFACE GROUND IDENTIFIED USING VERTICAL ARRAY RECORDS OF EARTHQUAKE MOTIONS, *Proceedings of the 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, 査読有, Paper No 838, pp.1-10 (in DVD), **2010.7**, Osamu TSUJIHARA and Yusuke YAMANAKA.
- 6) 地盤同定問題におけるスイープ法の改良とその適用性について, *土木学会地震工学論文集*, 査読有, 第 30 巻, pp.195-201, **2009.12**; 辻原治, 山中悠資.
- 7) Identification of frequency dependency of quality factor in subsurface ground, *Proceedings of the 5th International Structural Engineering and Construction conference*, 査読有, pp.321-326, **2009.9**, Osamu TSUJIHARA.
- 8) IDENTIFICATION OF Q IN SUBSURFACE GROUND BY SWEEPING METHOD USING VERTICAL ARRAY RECORDS OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS, *Proceeding of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 査読有, pp.1-8 (in CD-ROM), **2008.10.**; Osamu TSUJIHARA and Tsutomu

SAWADA.

[学会発表] (計 8 件)

- 1) 四国地方の KiK-net 地表地震計の設置方位について, *土木学会四国支部第 17 回技術研究発表会講演概要集*, I-20, pp.39-40, **2011.5**; 岡本輝正, 辻原治.
- 2) 短周期微動の H/V スペクトル比に基づく表層地盤特性の概略推定, *土木学会四国支部第 16 回技術研究発表会講演概要集*, I-46, pp.91-92, **2010.5**; 岡本輝正, 辻原治.
- 3) KiK-net 地表地震計の設置方位について, *第 15 回高専シンポジウム講演要旨集*, p.206, **2010.1**; 片家啓, 辻原治.
- 4) KiK-net 同一サイトで推定した地盤の Q 値の整合性, *第 15 回高専シンポジウム講演概要集*, p.205, **2010.1**; 平野史也, 辻原治.
- 5) 地盤震動の同時観測記録を用いて推定した地盤の減衰パラメータについて, *土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集*, pp.651-652, **2009.9**; 山中悠資, 辻原治.
- 6) 地盤震動の同時観測記録を用いた地盤の減衰パラメータの同定への G A の適用性について, *第 14 回高専シンポジウム講演概要集*, p.260, **2009.1**; 山中悠資, 辻原治.
- 7) 近畿南部における KiK-net 地表地震計の設置方位について, *土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集*, pp325-326, **2008.9**; 嶋本智文, 辻原治.
- 8) 三重県における KiK-net 地表地震計の設置方位について, *平成 18 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集*, I-50,

**2008.5**; 嶋本智文, 辻原治.

[その他]

ホームページ等

<http://www.wakayama-nct.ac.jp/gakka/kankyou/kankyou-gaiyou/kankyou-gaiyou.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻原 治 (TSUJIHARA OSAMU)

和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号: 50188546

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: