

微小セラミック球による電磁波散乱と輻射熱抑制効果の研究

Electromagnetic scattering by fine ceramic spheres and scattering-induced suppression of insolation heating

堀江 潤^{1*}, 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹, 武川 順一¹

HORIE, Jun^{1*}, MIKADA, Hitoshi¹, GOTO, Tada-nori¹, TAKEKAWA, Junichi¹

¹ 京都大学大学院工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University

1. 研究の背景・目的

在来型エネルギー資源が減耗し続け、代替エネルギー普及の目途もたっていない昨今、省エネルギーの徹底的な推進が重要である。電気エネルギーの主な消費源の1つが、夏場のエアコンの使用である。それを抑えることができるのであれば、大幅な省エネルギーの達成が期待できる。

夏場のエアコン使用を抑える方法の一つとして、輻射熱を抑制する遮熱塗料が注目されている。ミクロン単位の微小セラミック球が混ぜ込まれた塗料を金属の表面に塗ることで、日照射時の温度上昇が抑制される。これを建物の屋根や外壁に塗布すれば、夏の昼間の室温上昇が劇的に抑えられることが期待できる。本研究の目的は、遮熱塗料による輻射熱抑制効果を理論的に解明し、より効率のよい微小球の構造を検討することである。

2. 手法

本研究では、空気、塗料（微小セラミック球混入）、鉄板の三層を考え、空気層から振幅1の平面電磁波が入射したときの、鉄板に到達する波の強度を評価する。層境界における平面波の反射と透過には Fresnel の公式を、微小球による平面波の散乱には Mie の散乱理論を用いた。球の半径は4通り（0.5 μm, 0.4 μm, 0.3 μm, 0.3~0.5 μm[0.4 μmを中心にガウス分布]）考えて塗料層中にランダムに配置し、入射波長は近赤外線領域で計算を行った。

3. 結果

観測される波の強度を波長毎に計算した。観測強度は、球の直径程度の波長で最小値を取ることがわかった。これは、球のサイズを変えることにより特定の波長を選択的に弱めることができ得ることを示唆している。また、球のサイズに幅を持たせても観測強度にほとんど変化は出なかった。即ち、全ての球の半径を完全に同じにしなくても、その中間のサイズの球の散乱特性が得られる可能性があると考えられる。

4. まとめ

多様なモデルにおける入射波振幅1の平面波の観測強度を求めることができた。今後は、入射波振幅として日光の振幅を設定する等、実際に使われている遮熱塗料の散乱体系により近いモデルを想定し、その散乱特性を解析していきたい。

キーワード: 散乱, 電磁波, セラミック球, ミー散乱, 省エネルギー, 輻射熱

Keywords: scattering, electromagnetic wave, ceramic sphere, Mie scattering, energy saving, insolation heating

粒子法による亀裂内地震波動伝播シミュレーション Seismic wave simulation in fractured media using a particle method

武川 順一^{1*}, 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹

TAKEKAWA, Junichi^{1*}, MIKADA, Hitoshi¹, GOTO, Tada-nori¹

¹ 京都大学

¹Kyoto Univ.

The seismic wave propagation in fractured media with a particle method is presented. We use a Hamiltonian Particle Method (HPM) to simulate seismic wave propagation. It is easy to implement discontinuities in the particle method without numerical instability. Furthermore, spatial resolution can be improved only by dividing particles.

We simulate seismic wave propagation in a model with a random oriented single fracture, and implement arbitrary refinement technique to the model. The results are compared with the analytical solutions, and show good agreement with those. Next, we model the propagation of a plane wave through a well-defined fractured region. The results show good agreement with the formulae for effective moduli from existing theories. Our results show that the method is effective to simulate seismic wave propagation in fractured media.

キーワード: 粒子法, 数値シミュレーション, 亀裂, 地震波動伝播

Keywords: particle method, numerical simulation, fractured media, seismic wave propagation

水平回転軸型アクロス震源を用いたP波とS波に対する合成記録の生成 Simultaneous and independent generation of P and S phases using rotational seismic source (ACROSS)

笠原 順三^{1*}, 伊藤 慎司², 羽佐田 葉子³, 高野 正充², アンドレ ギデイ², 鶴我 佳代子⁴, 藤井 直之¹

KASAHARA, Junzo^{1*}, Shinji Ito², HASADA, Yoko³, Masamitsu Takano², Andre Guidi², TSURUGA, Kayoko⁴, FUJII, Naoyuki¹

¹ 静岡大学理学部, ² NTT データ CCS (株), ³ 大和探査 (株), ⁴ 東京海洋大学

¹ Shizuoka University, ² NTTdataCCS Co. Ltd., ³ Daiwa Exploration and Consulting Co. Ltd., ⁴ Tokyo University of Marine Science and Technology

1. はじめに

自然地震ではP波とS波が発生するが、人工震源を用いて地下構造を調べるときには通常P波震源とS波震源を別々に用いる。パイロサイスやエアガンもP波震源である。著者らは地下の変動の常時監視のために偏心荷重が軸の周りに回転する方式を用いた弾性波アクロスを用いている。これまでに製作されたアクロス震源には回転軸が鉛直のものと水平のものがあるが、フィールド実験が行われたのは主に回転軸が鉛直のものであり、加震方向は水平面内であった。今回水平回転軸の弾性波アクロス震源を新たに製作し、フィールドでの観測記録から上下加震と水平加震に対する応答を取得する試みを行った。

2. 弾性波アクロス震源とスペクトル、加震方向

弾性波アクロスは1995年より熊沢峰夫氏や名古屋大学のグループなどによって開発が続けられている (Kumazawa et al., 2000, Kunitomo and Kumazawa, 2004)。実用型の弾性波アクロス震源は、偏心荷重を軸の周囲に回転させ、遠心力によって地震波を発生させるものである。これらの震源では、正回転、逆回転で得られた記録を合成する事により回転面内の任意の方向への力に対する応答を作り出すことができる。鉛直回転軸をもつアクロス震源は水平方向の力を発生するので、地下にS波を多く放射しP波の放射は少ない。S波だけでなくP波も同時に使い時間変化を求めることを目的として水平回転軸をもつアクロス震源を製作し、上下・水平加震を生成するフィールド実験を行った。この新型アクロスは10-50Hzの震動を発生できるが、今回は10-35Hzを試験した。

3. 上下・水平加震の合成

回転型アクロス震源は、1つの偏心荷重を持つ1台のモータを正逆回転し、それによる震動を観測してそれぞれの記録を合成する。正逆回転の和によって上下加震に対する応答が得られる基本原理はツインパイプレータと同様である。位相をずらして合成することで回転面内の任意の方向の加震に対する応答を得られる。

おもりの重心位置を $r(t)=[x,y,z]=[R\cos q(t), R\sin q(t), 0]$ と表す。zは回転軸方向、xは基準時刻のおもりの向き(鉛直下向き)、Rはおもりの回転半径、 $q(t)$ は震源の設計回転位相の時間関数である。このとき遠心力は $F(t)=-M\ddot{r}(t)$ となり、周波数領域では $F(\omega)=MR\omega^2[C(\omega), S(\omega), 0]$ となる。C(ω)とS(ω)は $\cos q(t)$ と $\sin q(t)$ のフーリエ変換である。逆回転では位相が $-q(t)$ となり、力は $F^-(\omega)=MR\omega^2[C(\omega), -S(\omega), 0]$ である。正回転の場合を F^+ と書く。

入力が震源の力で出力が観測点の地動である線形系 $U(\omega)=H(\omega)F(\omega)$ を考える。Uは地動変位または速度の3成分ベクトル、Hは求めるべき伝達関数を表す2階テンソルである。Hを3つのベクトル H_x, H_y, H_z に分解すると、 $U(\omega)=H_x(\omega)F_x(\omega)+H_y(\omega)F_y(\omega)+H_z(\omega)F_z(\omega)$ と表せる。このとき正・逆回転の地動スペクトルは

$$U^+(\omega)=H(\omega)F^+(\omega)=MR\omega^2\{H_x(\omega)C(\omega)+H_y(\omega)S(\omega)\}$$

$$U^-(\omega)=H(\omega)F^-(\omega)=MR\omega^2\{H_x(\omega)C(\omega)-H_y(\omega)S(\omega)\}$$

となる。従って伝達関数は以下の式で計算できる。

$$H_x(\omega)=\{U^+(\omega)+U^-(\omega)\}/\{MR\omega^2C(\omega)\}$$

$$H_y(\omega)=\{U^+(\omega)-U^-(\omega)\}/\{MR\omega^2S(\omega)\}$$

回転型のアクロス震源では $H_z(\omega)$ は計測できない。時間波形はフーリエ逆変換により計算する。

4. 結果

得られた伝達関数において、観測点#7の上下加震のUD成分では0.2秒にP波、水平加震のNS成分は0.5秒にS波が到達していると考えられる。NS・EW成分での到達時間の差は異方性の影響か、或いは違う波群なのかは明確でない。全点の観測記録を震源からの距離に従って並べるとP波、S波の分離が明瞭である。上下加震のUD成分はP波が、水平加震のEW成分ではS波が卓越している。P波は1.6km/sの大坂層群、2.5km/sの神戸層群、4.0km/sの花崗岩を伝搬した屈折波と反射波からなると解釈できる。以上から、上下・水平加震に対応する記録を正・逆回転の記録から合成できていることを確かめた。

4. 結論

フィールド実験により、1台の回転型震源によってP波震動とS波震動を適切に合成できることを確認できたと思う。今後地震探査において極めて有用な技術となるだろう。

謝辞

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



STT56-03

会場:203

時間:5月20日 16:00-16:15

本研究はJCCPの事業費によって行った。ご理解とご支援に対し深く感謝する。

キーワード: P波, S波, 回転型震源, PS, 同時生成, アクロス

Keywords: P-wave, S-wave, Rotational Source, PS, Simultaneous generation, ACROSS

簡便な動コイル型地震計による CCA 法の為の計器補正について On the system correction for CCA method using simple moving coil type seismometers

横井 俊明^{1*}

YOKOI, Toshiaki^{1*}

¹(独) 建築研究所国際地震工学センター

¹IISEE, BRI, Japan

CCA 法 (Cho et al. (2006), Tada et al. (2006) 等) は、小口径アレイを使った微動観測によってアレイ径の数十～数百倍の波長を持つレーリー波の分散曲線を推定できるとされる。小口径アレイによる観測では、各地震計からの信号の微小な位相差・振幅差を正確に測定する必要があることは想像に難くない。ところが、簡便な動コイル型地震計の出荷の際の特性は、それ程正確には調整されていない。また地震計の設置状況や設置点直下の非常に局所的な増幅等の影響等も考慮する必要がある。本発表では、これらの影響を観測記録自身とハドルテスト記録を使って補正する為の下記の定式化と、それを検証する為の実験結果を紹介する。

この定式化で補正が可能であるためには、次の二つの条件が必要であると考えられる、i) 非常に局所的な増幅の影響を除いて全地震計への入力地動のパワースペクトルは共通である。ii) 設置や局所的な増幅の影響に因る地震計間の位相差は無視できる。後者は、実観測の際の水平台等を使った注意深い地震計設置の必要性を示唆する。現場では気泡管式水準器による地震計設置状態の調整しかできないため、固有周波数付近の急激な位相特性の変化を適切なシャント抵抗の使用により予め抑制しておくことも場合によっては有効と考えられる。

キーワード: 微動, 小口径アレイ, 計器特性補正, 分散曲線, コヒーレンス

Keywords: Microtremor, Miniature Array, System Correction, Dispersion Curve, coherence

【定式化】計器補正の為に、次式で示す中間的な量 $R_{ik}(f)$ を観測記録のクロススペクトル

$C_{ik}^{obs}(f)$ の代わりに用いて CCA 係数を周波数領域で計算する。

$$R_{ik}(f) = C_{00}^{obs}(f) \cdot C_{ik}^{obs}(f) \cdot \overline{Cor_{ik}^{huddle}(f)} / \sqrt{C_{00}^{obs}(f) \cdot C_{kk}^{obs}(f)}$$

ここに $C_{00}^{obs}(f)$ は、バンドパスフィルターとして使う代表チャンネルのパワースペクトル。

$$\overline{Cor_{ik}^{huddle}(f)} = \exp\left\{j/N \sum \text{Arg}\left(\sqrt{C_{ii}^{huddle}(f) \cdot C_{kk}^{huddle}(f)} / C_{ik}^{huddle}(f)\right)\right\}$$

は、ハドルテスト記録から計算した補正係数を示す。ただし、 j は虚数単位、総和はハドルテスト記録のプロセッシングに使う時間ブロックに対して取る。上記2つの条件下で、近似

$R_{ik}(f) \approx \{C_{00}^{obs}(f)/P(f)\} \cdot C_{ik}(f)$ が成立し、CCA 係数は $R_{ik}(f)$ を用いて計算できる。ただし

$P(f)$ は、全チャンネルに共通の地動入力のパワースペクトルを示す。

$$\sigma_{CCA} = \frac{\sum C_{ik}(f)}{\sum C_{ik}(f) \exp\{-j(\alpha_i - \alpha_k)\}} \approx \frac{\sum R_{ik}(f)}{\sum R_{ik}(f) \exp\{-j(\alpha_i - \alpha_k)\}}$$

東日本大震災前後における河川堤防の浅部物性変動

Change of the near-surface geophysical properties along levee systems before and after the 2011 East Japan Earthquake

稲崎 富士^{1*}

INAZAKI, Tomio^{1*}

¹ 土木研究所 地質・地盤研究グループ

¹ PWRI, Geology and Geotechnical Engineering RG

筆者らは河川堤防の安全性評価のための原位置調査手法として、ランドストリーマー方式高精度表面波探査と、牽引式比抵抗探査あるいはスリングラム法電磁探査を組み合わせた「統合物理探査」を提唱し、さらにその普及のための技術情報のとりまとめ・開示を進めてきた(稲崎, 2006; 稲崎ほか 2010)。これまでに14河川系39測線区間47kmにおいて実証調査を行ない、堤防縦断方向に存在する数10m規模の異常部を検出することが可能であることを明らかにしてきた。開発した統合物理探査の解析にあたっては、計測物性値から堤防および基礎地盤の浸透に対する安全性を評価することを前提としていたが、S波速度分布を求めることから、当初から地震に対する安全性も評価することが可能であることを指摘していた(稲崎ほか, 2008)。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による東日本大震災では、東北地方のみならず関東地方でも多くの堤防区間で深刻な被災が発生したが、そのなかには地震以前に統合物理探査を適用していた堤防区間も含まれていた。そこで同一区間において新たに同一条件で統合探査を実施し地震前の探査結果と比較検討した。比較探査を実施したのは小貝川左岸35km付近の約1.8kmの区間と江戸川左岸58km付近約3kmの区間の2区間である。前者では旧河道横断部約80mの区間で堤防天端が最大70cm沈下し、のり尻部に数条の縦断クラックが発生し小規模な噴砂も認められた。後者では堤体川表側に数条のクラックが発生し、約200mの区間で堤体のり部が最大1.5mすべり崩壊した。この2区間では2005年9月に統合物理探査を適用し、これらの地震被災区間に物性的異常部を見出していた。

比較探査は2011年7月から8月にかけて実施した。その結果、小貝川左岸35km付近の地震被災区間は相対的に低S波速度かつ低比抵抗で特徴づけられること、地震前後においてもその物性的特徴は共通していることがわかった。また測線全区間において、堤体部基礎地盤部ともS波速度が地震後に低下する傾向が認められた。地震による表層部の剛性率低下を捉えているとの解釈も可能である。一方比抵抗値は飽和帯である基礎地盤部ではほとんど変化していなかったが、堤体部では全域において比抵抗値が高くなる傾向が認められた。不飽和帯の比抵抗は湿潤状態の変化の影響を受けやすいことが知られている。堤体部の比抵抗変化はそれを捉えたものと解釈することができる。

江戸川左岸58km付近の被災は、地震前の探査で堤体下半に認められた高比抵抗異常区間の一部で発生した。この異常区間はS波速度が相対的に低く、低S波速度かつ高比抵抗で特徴づけることができる。堤体上半部においてはS波速度、比抵抗とも地震前後においてほぼ同じであり明瞭な変化は認められなかった。一方堤体下半部ではS波速度構造、比抵抗構造とも顕著な変動が認められた。特に被災区間を含む約600mの区間で比抵抗値が大きく低下していた。なおこの探査区間では堤防高さが10m以上あり、基礎地盤部の物性情報はわずかしが得られていない。また地震を挟んだ探査の間に、堤体の川表側に全測線区間にわたって腹付け盛土が施工されていた。地震時の法すべりはこの新規盛土部において発生している。探査結果からは堤体内部の不均質物性構造が法すべりの原因となった可能性が示唆された。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 物理探査, 河川堤防, 物性変化

Keywords: East Japan Earthquake, geophysical survey, levee system, change in geophysical properties