

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 $F(t)=-Md^2r(t)/dt^2$ となり、周波数領域では $F(w)=MRw^2[C(w), S(w), 0]$ となる。C(w)とS(w)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 $F^-(w)=MRw^2[C(w), -S(w), 0]$ 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 $U(w)=H(w)F(w)$ 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、 $U(w)=H_x(w)F_x(w)+H_y(w)F_y(w)+H_z(w)F_z(w)$ と表せる。このとき正・逆回転の地動スペクトルは

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

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

となる。従って伝達関数は以下の式で計算できる。

$$H_x(w)=\{U^+(w)+U^-(w)\}/\{MRw^2C(w)\}$$

$$H_y(w)=\{U^+(w)-U^-(w)\}/\{MRw^2S(w)\}$$

回転型のアクロス震源では $H_z(w)$ 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