

I-507 震源特性を考慮した短周期上下動の推定法

清水建設 原子力本部 正会員 赤尾 嘉彦

1. はじめに

現在の耐震設計法は、特別な構造物を除いて原則として水平地震荷重だけを想定し、鉛直地震荷重は考慮されていない。ところが、1979年のインペリアルバレー地震では断層のすぐ近くで1.7gの上下動を記録しているし、1984年の長野県西部地震・他の地震では震源域(地震断層の直近)での強い上下動によりいくつかの石が飛んだことが報告されている。このような強い上下動を生じた地震では、意外にも地動による構造物の被害はそれほど大きくはなかった。水平荷重しか考慮していない構造物が本当に上下動に対して安全なのか、たまたま被害がなかったのか不明な点が多く、充分に調査する必要がある。

一般に、近地地震の地震動はその到着時刻順に①直達P波による初動部、②直達S波による主要動部、③コーダ波(表面波など)による後続部に分けることができる。本研究では、震源域での強い上下動が直達P波によって発生すると仮定した。その理由はいくつかある。たとえば、実体波の波線はFig.1のように地表付近ではほぼ真上を向くため、初動部では上下動が卓越し、主要動部では水平動が卓越する。もし、S波や表面波などで重力加速度を越える強い上下動が生じれば水平動も同等以上に大きくなり、震源域の構造物はかなりの被害を受けるのではないだろうか。また、重力加速度以上の上下動の記録が1例しかないのは、通常の強震計がトリガー式地震計であるため初動部の強い上下動を記録し損なっているとも考えられる。このような理由により、強い上下動がP波に起因すると考えることは無理な仮説とは言えないであろう。

2. 地震観測と震源スペクトルの推定

解析に用いた記録は、東京・芝浦(東経139.77°,北緯35.65°)の地中アレー地震観測で得られた記録の一部である²⁾。この場所ではGL-30mに土丹層と呼ばれる京浜地域特有の泥岩層が現れ、ここより下は比較的均質な堆積性の軟岩層が続くと思われる。解析には表層の影響が少ないGL-60mの観測点の記録を用いた。

観測システムでは地動の信号は地震計(transducer)で電気変換された後、増幅器と3秒間の遅延装置を経由して、アナログ式データレコーダーに収録される。システムの特徴から計器補正の必要はなく、表層地盤の影響も無視した。

1976年から1980年までの観測期間中に得られた44地震の記録の中から、約1.5gal以上の比較的小明瞭な28記録を選んだ。この中で目視によって初動部が識別できるものが8記録、主要動部が

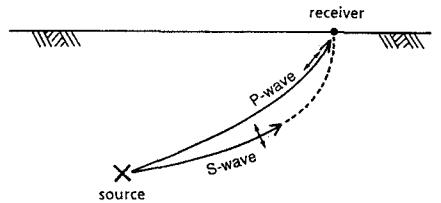


Figure 1. Schematic view of ray paths for directly propagating P- and S-waves.

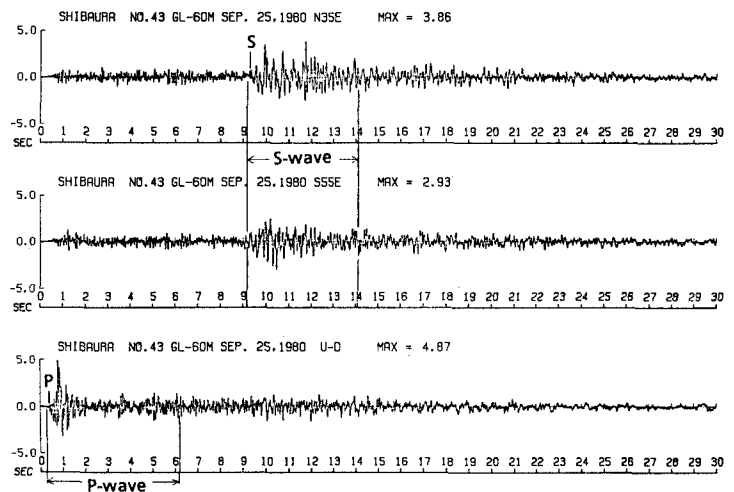


Figure 2. Acceleration record (M_j 5.3) in which direct P- and S-waves are distinguishable.

識別できるものが17記録、主要動部と後続部の区別が難しいものが3記録あった。Fig. 2は初動部から完全に記録された理想的な波形の例である。遅延装置のある地震計でも、このような完全な初動部の記録を得ることは難しい。初動部の記録の不足を補うためにS波記録(主要動部の水平動成分)から震源特性を回帰推定し、この結果とP波記録(初動部の上下動成分)の結果を比較して上下動推定の可能性を探ることにする。推定する震源特性としては、確率的な事象の強さを表す高周波加速度震源スペクトルの振幅高さとする。Fig. 3に同じ記録から求めたP波とS波のフーリエ・スペクトル振幅を示す。解析では、観測システムのノイズレベル(0.01 gal sec 前後)になる高周波側と断層の巨視的なパラメータの影響を受ける低周波側は無視する。一般に、同一地震のS波のスペクトル振幅はP波の振幅より大きい、20~30 Hz以上の高周波数側では逆にP波の振幅の方が大きくなる。本来、P波もS波も同一の震源スペクトルを持つはずであるから、観測スペクトルの相違は主に伝播途中の媒質の粘性減衰のためと考えられる。一観測点の記録から震源スペクトルを推定するための前提条件とし、各地層内のQ値が周波数に依存せず、高周波加速度震源スペクトルの振幅高さが地震ごとに一定と仮定する³⁾。観測された加速度スペクトルに距離減衰と粘性減衰の補正をしたものを「規準化加速度スペクトル」と呼ぶことにする。S波の規準化加速度スペクトル振幅 A_s の気象庁マグニチュード M_J に対する回帰式を求めると、

$$\log A_s (\text{gal sec km}) = 0.41 M_J - 0.17$$

が得られる⁴⁾。この回帰式とP波の規準化加速度スペクトル振幅の比較を Fig. 4 に示す。震源メカニズムとして複双(ダブルカップル)力型を仮定すると、S波の規準化振幅は加速度震源スペクトル振幅の $1/4\pi\rho\beta^3$ 倍、P波の規準化振幅は $1/4\pi\rho\alpha^3$ 倍に相当する(ρ は密度、 α, β はP波、S波速度)。従って、P波とS波の振幅の比は β^3/α^3 倍(約1/5.2倍)でなければならないが、図を見るとP波の値はS波の回帰式の約1/3倍で1/5.2倍の線を有意に上回っている。この結果は、震源においてダブルカップルではない事象が発生し、短周期のP波を励起したと考えるのが妥当であろう。

3. 結論および考察

観測記録の解析から、直達P波は周波数20~30 Hz以上の短周期領域で直達S波より振幅が大きくなる。これが大加速度の上下動を発生させる原因であれば、一般の構造物の固有周期よりも短いのでそれほど心配する必要はないであろう。ただし、震源の特性や観測点との位置関係それに内部減衰などの条件によって、予想外に大きくなることもあり得る。また、短周期のP波がどのような原因で発生するのか調査する必要がある。これらの観点より、多くのデータによる検討が必要である。

[参考文献]

- 1) 黒磯章夫・他(1985). 地震学会予稿集(春季大会), A17.
- 2) 横田治彦・他(1979) 清水建設技術研究所報告, 30号.
- 3) Anderson, J.G. and S.E. Hough (1984). *Bull. Seism. Soc. Am.*
- 4) Akao, Y. (1986). *Proc. of 7th Jap. Earthq. Eng. Symp.*

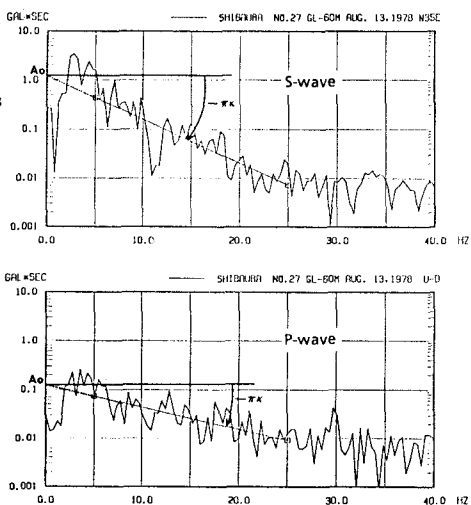


Figure 3. Spectra of Fourier amplitude caused by direct body-wave components.

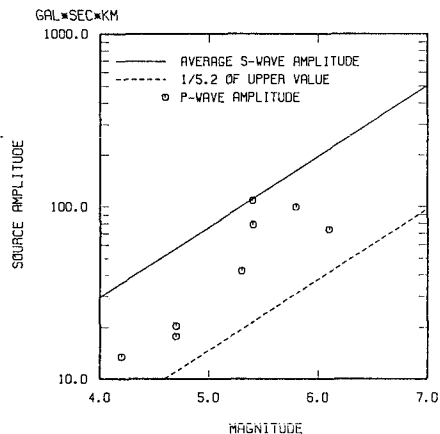


Figure 4. Normalized amplitudes of P-wave components are drawn versus the JMA magnitudes and compared to the regression value of S-wave components.