

㈱奥村組 電算センター ○正会員 森尾 敏
 ㈱奥村組 電算センター 正会員 北角 哲

1. まえがき

1995年1月17日午前5時46分52秒に発生した兵庫県南部地震は、気象庁によると M=7.2、震源は淡路島北端で、深さは約14 Km である。この地震で主な揺れが続いたのは10秒弱。この間に地面は5～8回大きく動き、うち強烈な揺れは2～3回である。また、震源断層は N65E の走行を有する右横ずれで、II型の点震源と考えることができる¹⁾。

この地震では、RC 中層建築物の中間層の破壊が数多くみられたが、原因の1つに水平動に激しい上下動が加わったことが指摘されている。また、地盤中の土要素の応力経路を考えると、水平動と上下動の位相差によって、モール・クーロンの破壊線への接近度が異なる。このように、水平/上下動の位相

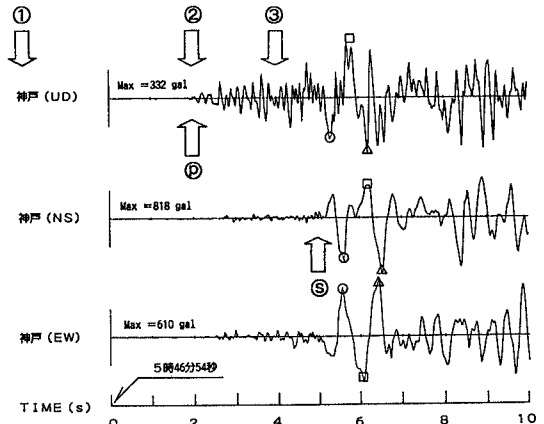


図-1 神戸海洋気象台での加速度記録

特性の評価は、地盤、構造物を問わず耐震工学における重要な課題の1つである。本報告では、直下型地震における震源近傍の貴重な強震記録である神戸海洋気象台（震央距離 19.2 Km、震度VIIのいわゆる「震災の帯」の北側に位置する）の加速度波形のデータ解析に基づき、水平動と上下動の位相特性について調べた。

2. 加速度記録 菊地²⁾は、淡路島側から神戸側へ3つの断層が11秒間に次々と動いて地震が起きたと分析している。まず、淡路島北部の第1の断層が動き、その動き始めから4秒後に神戸側の第2の断層が、その2秒後に第3の断層が動き出したとしている。図-1に、5時46分54秒から10秒間の神戸海洋気象台の加速度記録を示す。同図では、各成分の最大値を同一振幅にして描いている。図中の①～③は、上述の3つの断層が動き始めた時刻、また、④と⑤はP波およびS波が到達したと考えられる時刻である。震源からの直線距離を24 Km、①

～④間の時間遅れを4秒とすると、平均P波速度 $V_p = 6 \text{ Km/s}$ が、また④～⑤間の時間遅れを3秒として大森公式を用いると、平均S波速度 $V_s = 3.23 \text{ Km/s}$ が得られる。この両弾性波速度は、岩盤の値として妥当な値と考えられよう。

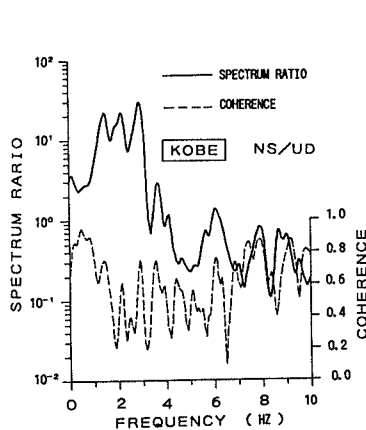


図-3 SPECTRUM RATIO

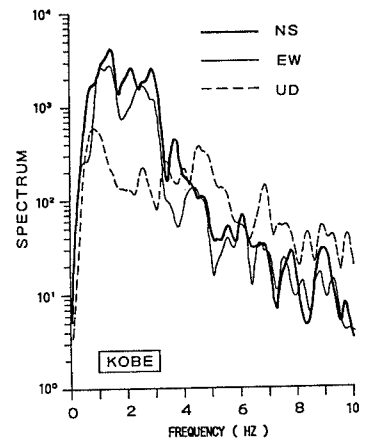


図-2 POWER SPECTRUM

また、図-1において、○、□、△印の主要動（S波）はひどく単純で、北北西-南南東方向に2サイクル程度振動するだけであること、その周期は加速度記録としては異例に長く1s程度であることが分かる。一方、引き続いて現れる第2の主要動の周期は半分程度で、振動回数は4～5回である³⁾。

3. データ解析

神戸海洋気象台の加速度波形のうち5時46分54秒から60秒間のデータ（ $dt=0.02s$, $N=3000$ 個、FFTに使用するデータ数=4096個）を用いてスペクトル解析を行った。スペクトルウィンドウとしてParzenウィンドウ（バンド幅0.4 Hz）を用いた。

図-2に、NS、EW、UD成分のパワースペクトルを、図-3にNS/UDのスペクトル比とコヒーレンスを示す。水平動において、1~3 Hz程度の低振動数領域の卓越が特徴的であるが、この間の水平/上下のコヒーレンス（相関性）は逆に低い。

図-4にNS/UD、EW/UDのALL PATHの相互相関を示す。両者とも相関はあまり高くないが、0.3 s程度の時間遅れがみられる。前述の図-1の主要動に付けた○、□、△印は、対応すると考えられるピークである。これらの印の水平動と上下動の時間遅れを細かくみると、ほぼ0.3 sであり、図-4と整合している。

図-5にNS/UDのフェイズを示す。参考のため大阪管区気象台（震央距離48.6 Km）のNS/UDのフェイズを下段に示した。神戸では、振動数が高くなるに従って位相が遅れる規則性がかかなり明瞭にみられるのに対し、大阪のフェイズではこの傾向はみられない。図-5の縦軸の+180°と-180°は、同位相を意味する。このため、図-5の神戸の位相遅れを延長して図-6を描くことができる。図中に、EW/UDのフェイズも併記した。図-6の位相遅れに関して、次の2つの可能性を指摘することができよう。

- ①：粒子軌跡の回転方向が振動数に応じて単に規則的に変化していること。これは、Multiple shockによる放射パターンを含めた震源過程に起因するものであろう。
- ②：同じ波形がある時間遅れ t_a を有して伝播していること。この場合、 $t_a = \theta / (360 f)$ から得られる時間遅れは0.3 sであり、この直線を図中に併記した。また、この $t_a=0.3s$ は、図-4、図-1とも一応整合している。ここに、 f は振動数、 θ は位相遅れである。②の要因として、SV波が岩盤と洪積層の境界等の不連続面に斜め入射（入射角 β ）するとき発生するモード変換されたP波とS波を考えることができる。

以上、水平/上下動の位相特性にみられる規則性について述べたが、今回の地震では、SV波が地表面へ臨界角 β 。近傍で斜め入射する場合の検討も重要であろう。ちなみに、 $V_p/V_s = \sqrt{3}$ のとき β_c は約35°であり、震源位置から判断して $\beta \cong \beta_c$ とし

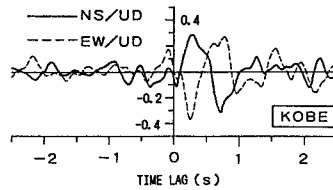


図-4 CROSS CORRELATION

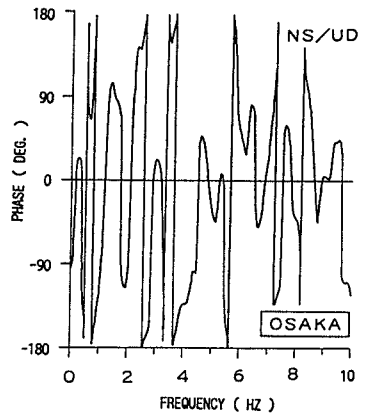
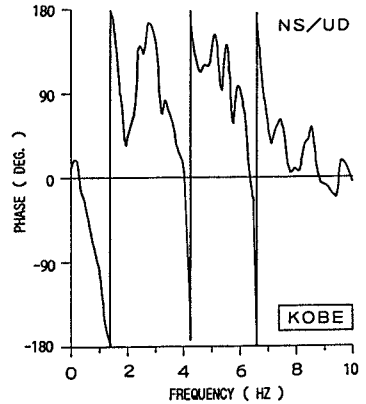


図-5 PHASE SPECTRUM

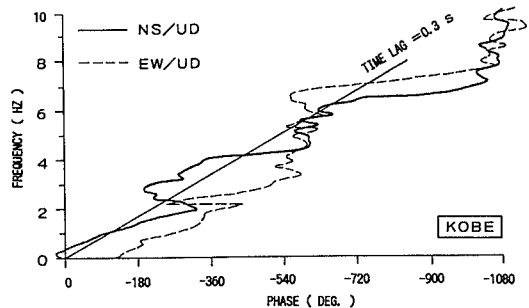


図-6 PHASE SPECTRUM

てもそれ程おかしくない。このとき、水平動は入射波の約4.9倍にも達し、地震被害との関連性も想定される。今後、震源近傍の他の記録波形から同様の検討を行い、水平動/上下動の位相特性について検討すると共に、神戸域沿岸の地下構造、SV波の斜め入射と被害の関係についても調べたい。

参考文献 1)岩崎、土と基礎、43-3, pp. 2-6 2)菊地、科学朝日、pp. 9-11, 1995. 3 3)藤織、科学朝日、pp. 11-14, 1995. 3