

I-485 位相差入力による基礎—建屋応答の低減

(財) 電力中央研究所 正会員○佐藤清隆
同 上 同 上 岩楯敏広

1. まえがき

一般に、建物の地階や基礎における地震動は地表面におけるそれよりも小さな振幅を示すことが、強地震観測から指摘されている。この原因を解明し、原子炉建屋基礎へ実際に入力される地震動（ここでは、これを実効入力と呼ぶ）を評価するために、軟岩上の平面アレイ観測記録より地震動の位相特性を分析し、斜め入射の位相差入力による基礎—建屋の応答特性について検討した。

2. 検討方法

これまで検討してきた硬岩中の高密度平面アレイ観測に加えて、図-1に示すNME地点の軟岩（ V_s は523m/s）上でほぼ同一直線上に4測点の平面アレイ観測を行い、震度3程度の2地震の波形（1点3成分）が記録された。これらの波形を用いて、地震動のS波部分に相当する主要動部分を抽出し、震央方向に一致するL成分と震央方向に直交するR成分に変換し、各成分における位相差の特性を分析した。位相差は、S1測点を基準とする他の測点との波形のスペクトル比より求め、その周波数特性を下式のように求めた。

$$R(f) = S_j(f) / S_1(f) \quad \{j=0, 2, 3\} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 $S_j(f) = F_j(f) \exp(\theta_j(f)) \quad \{j=0 \sim 3\}$ より

$$\theta(f) = \theta_j(f) - \theta_1(f) \quad \text{----- (2)}$$

さらに、この観測値の位相差を一定の位相速度による見かけの位相差に等しいと仮定し、2測点間の波形の相互相関分析より相関係数が最大の時の位相速度を求めた。また、震源の位置と観測点の位置の相対関係より気象庁の標準走時表を用いて、観測地点への入射角を推定し、平面波の斜め入射で地震動の位相差を模擬した。以上の両者より推定した位相差と(2)式より求めた観測値による位相差を比較し、斜め入射による位相差入力の妥当性を検討した（図-3）。

最後に、斜め入射による基礎—建屋—地盤の2次元モデルの応答解析を行い、位相差入力による基礎の制震効果を明らかにし、基礎建屋の低減について検討した。本著では、半無限地盤上に幅80mブロック基礎と高さ70mの建屋質点系モデルを想定し（図-4）、地

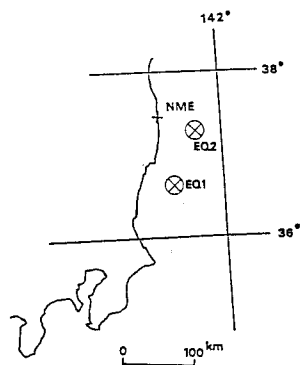


図-1 観測位置と震源位置

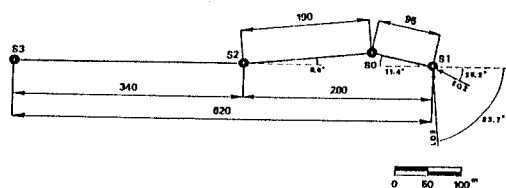


図-2 観測位置と観測された地震の入射方向の関係図

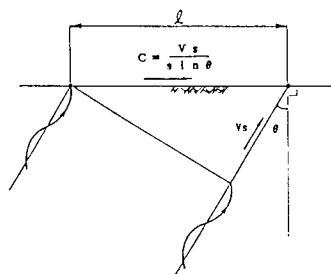


図-3 平面波の斜め入射による波動

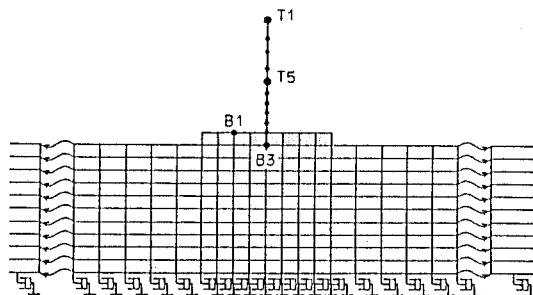


図-4 基礎—建屋モデル

盤のS波速度を軟岩、硬岩のような基礎地盤を対象とした500,1000,2000m/sの3ケースとし、標準設計用地震動の近地型地震波 ($M=6.5$, $\Delta=7.2\text{km}$, $a_{\max}=270\text{gal}$) を入射角 0° , 15° , 30° , 60° で入力し、基礎-建屋の応答解析を行った。境界条件は、側方を伝達境界、下方を粘性境界とした。これらの検討結果より、基礎の制震効果による基礎-建屋応答の低減とその特性に与える地盤物性と入射角の影響を考察した。

3. 解析結果

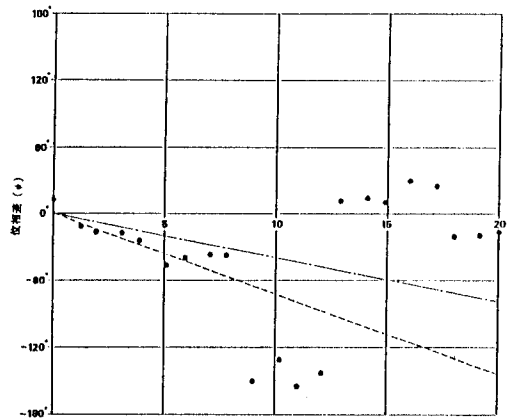
観測波のスペクトル比より求めた位相差と相互相関分析および震源からの標準走時より求めた位相速度から推定した位相差とを比較した結果、周波数約10Hz範囲まで各々の位相差は良好な一致が見られる。しかも、標準走時より求めた位相差は、観測データによる位相差よりも大きめの値を示し、硬岩と同様に、軟岩地点の地震動の位相差も、平面波の斜め入射で模擬できることがわかった（図-5）。

このような、斜め入射の位相差を有する地震動による原子炉建屋を対象とした基礎-建屋の応答特性を分析した結果、基礎の制震効果は、高周波成分程、基礎-建屋の応答が低減するローパス・フィルター効果を示し、その低減率は入射角が大きく、地盤のS波速度が小さい程、高くなる傾向を示した。図-6は、 V_s が1000m/sの時の各入射角における基礎の加速度応答スペクトルである。基礎の加速度応答スペクトルは、そのピーク時の周波数約7Hzにおいて入射角 15° で1.5割、入射角 30° で5割の低下が認められた。

これらの低下傾向を把握するため、鉛直入射に対する各入射角での基礎、建屋の応答倍率を求めた結果、一定の伝播速度をもつ地震動の波長に依存することが認められた。図-7に示す入射 15° の基礎寸法と波長との比に対する応答倍率は、ほぼ一定の特性を示しており、これを基礎の制震効果のフィルター関数として定量化することにより、実効入力の評価が可能であると考えられる。

4. 参考文献

市川政治、望月英志；近地震用走時表について、気象庁研究所報告第22巻、第3-4号、pp229-290、昭和46年11月



2測点間の位相差 (EQ1-S0地点-R成分)

図-5 2測点間の位相差

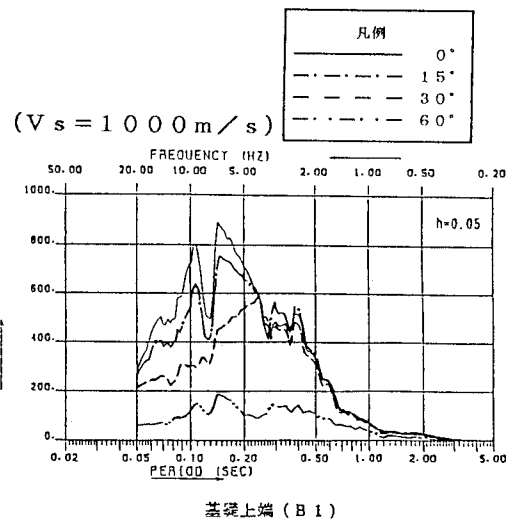


図-6 基礎の応答スペクトル (水平成分)

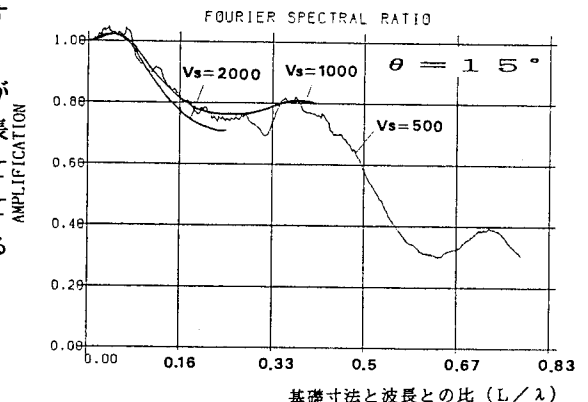


図-7 基礎寸法と波長との比に対する伝達率 (水平動)