

1. 目的 動的相互作用解析において、地震動はS波として取り扱われてきたが、表面波の振幅が大きいことも少なくなく、この仮定は正しくない。表面波の性質はS波とは異なるので、正しい取り扱いが必要である。本研究では、3次元非線形相互作用系に基づいて、表面波とS波によるビルの応答解析法を開発する。水平2成分を対象とし、表面波として基本モードラブ波を取り扱うが、他の表面波でも同様な取り扱いが可能である。仮想ゲレロ地震に対する、メキシコ市の軟弱地盤の ROMA-C ボアホール強震観測点における、25階建の高層ビルの応答を計算する (Iida, 2000b)。1985年のメキシコ地震においては、軟弱地盤の中層(5-15階建)ビルの被害が大きかったのに対し、高層ビルの被害は小さかった。波動をすべてS波とみなし、ビルの基礎を固定した従来の応答解析では、高層ビルは中層ビル以上に大きな応答となり、高層ビルの軽微な被害を説明できない (Iida, 2000a)。

2. 波動分離 強震動は主に、上昇S波、下降S波、表面波からなる。これらの波動を分離するために、木下(1999)の相互相関法を少し改良して、ボアホール観測点の地表と地下の加速度記録に適用する。

3. 表面波 表面波は、深さ数 km に及ぶメキシコ火山帯によって励起される、基本モードラブ波である (Chavez-Garcia et al., 1995; Shapiro et al., 1997; Iida, 1999a)。ラブ波の垂直方向の振幅分布と水平方向の位相速度を、地下構造をもとに計算し、観測記録によって確認する。波動の伝播速度と周期から、S波の波長が200m以下であるのに対し、表面波の波長は1000m以上である。

4. 波動合成 1985年の大地震に匹敵する、仮想ゲレロ地震に対する上昇S波と表面波の加速度波形を、すでに分離した上昇S波と表面波を経験的グリーン関数として合成する。震源のモデル化及び波動合成はすでになされた (Iida, 1998)。図-1に表面波とS波の合成加速度波形を示す。表面波では大振幅の後続相がさらに続く。表面波は地表付近での増幅が大きく、その周期はS波の周期より長い。

5. 相互作用系 有限要素法に基づく、3次元非線形相互作用系(図-2)を使用する。以前に使用 (Iida, 1998) した石原と三浦(1993)の相互作用系を、少し改良したものである (Iida, 2000a; 2000b)。25階建の鉄筋コンクリートビルを対象とする。上部構造は、線形で減衰なしとする。杭は、材料非線形と群杭効果を考慮して9本とする(図-2)。地盤は、線形で5%の減衰 (Iida, 1999b) を仮定する。図-1の60秒間における応答計算を実施する。25階建のビルの固有周期は、1次周期4.3秒、2次周期2.0秒、3次周期1.3秒であるから、より重要なのは表面波であると考えられる。

6. 表面波による外力 相互作用系において、(1)底面における入力加速度、(2)垂直方向の波動伝播(S波)による力、(3)重力、に加え、(4)水平方向の波動伝播(表面波)による力、を考慮する。水平方向の伝播として、ラブ波の卓越周期における位相速度による、一定速度での一方向伝播を仮定する。

7. 高層ビルの応答 4種類の入力として、(1)表面波のみの入力、(2)上昇S波のみの入力、(3)表面波と上昇S波の両方の入力、及び(4)地震動をすべて上昇S波とみなす従来の入力、を使用する。図-3にビル最上階の加速度応答を示す。ビルは、表面波の卓越周期に対応する、2次の固有周期で揺れる。従って、S波よりも表面波によってビルは大きく振動する。適切な(3)の入力を使用すると、従来の(4)の入力ほどビルは大きく揺れない。(4)の入力の場合、せん断力や層間変位から判断して、ビルは破壊すると考えられる。ビルの基礎を固定すると、応答はさらに大きくなる (Iida, 2000a)。

8. 結論 3次元非線形相互作用系に基づいて、表面波とS波によるビルの応答解析法を開発した。メキ

(キーワード) 応答法、ビル、表面波、S波、相互作用系

(連絡先) 113-0032 文京区弥生 1-1-1、Phone: 03-5841-5779、Fax: 03-5689-7265

シコ市の軟弱地盤において、大地震に対する高層ビルの応答を計算した。S 波よりも表面波によってビルは大きく振動し、適切な入力を使用すると従来の入力ほどビルは大きく揺れないことがわかった。

謝辞 防災科学技術研究所の木下繁男氏には波動分離の、日本国土開発技術開発研究所の石原哲哉氏には相互作用解析の、指導をいただきました。強震加速度記録はメキシコ国立防災センターの R. Quaas 氏より、高層ビルの構造情報は同センターの O. Lopez 氏と R. Duran 氏より、提供いただきました。

参考文献 Chavez-Garcia et al. (1995). BSSA, 85, 1116-1126. Iida (1998). EESD, 27, 1483-1502. Iida (1999a). JGR, 104-B4, 7329-7345. Iida (1999b). J. Geotechnical Geoenvironmental Eng., ASCE, 125, 727-740. Iida (2000a). EESD (submitted). Iida (2000b). J. Eng. Mechanics, ASCE (submitted). 石原・三浦 (1993). 土木学会論文集, 465, 145-154. Kinoshita (1999). BSSA, 89, 484-500. Shapiro et al. (1997). Geophys. J. Int., 99, 789-799.

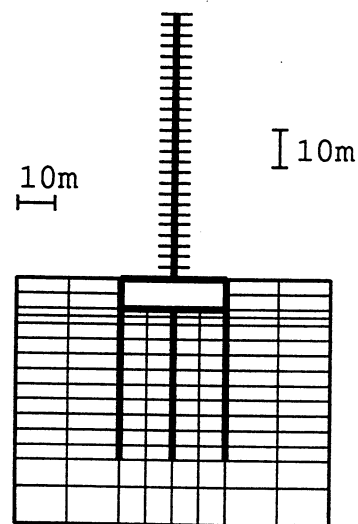
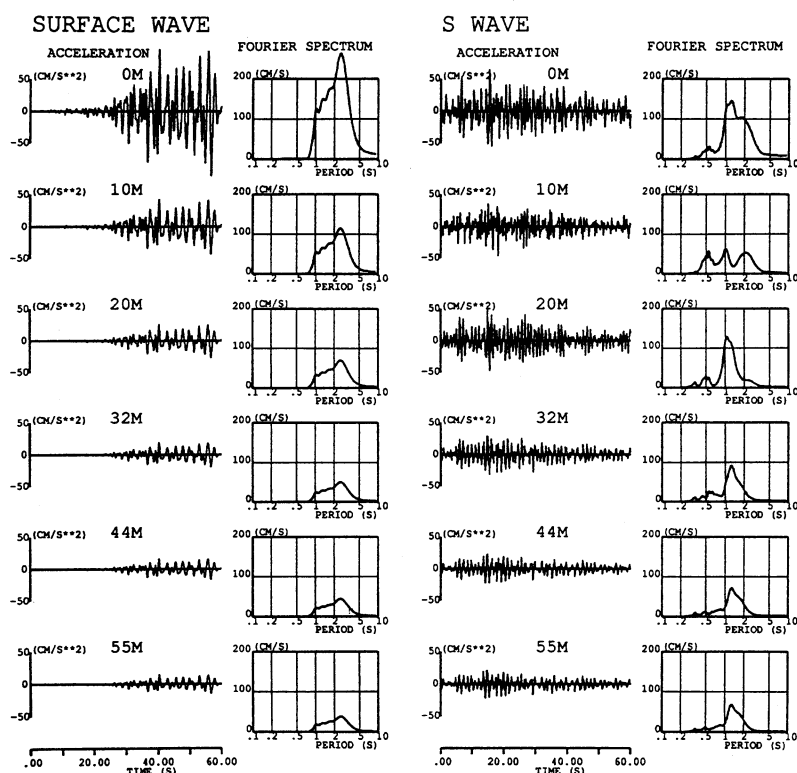


図-1 表面波 (左) と S 波 (右) の合成加速度波形 (EW 成分)。

図-2 3次元相互作用系。

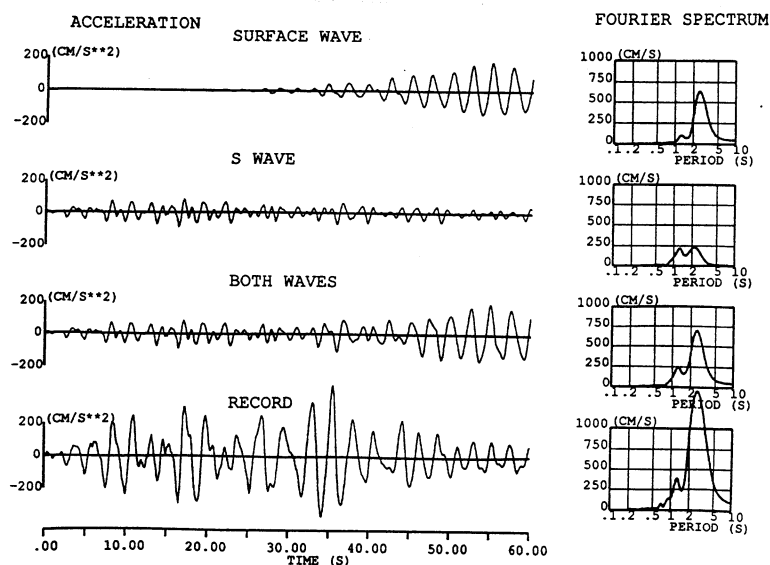


図-3 4種類の入力に対する、ビル最上階の加速度応答 (EW 成分)。