

S波と表面波の波動場における、ビルの3次元相互作用解析法

東京大学地震研究所 正会員 飯田昌弘

1. 目的 現実には、ビルの上部構造には地震動は作用せず、地盤の振動によってビルが振動する。従って、ビルの上部構造のみを取り扱う応答解析は、振動の本質を考慮していない。また、相互作用解析においては、相互作用系に入力地震動を作用させるが、現実には地震波動が伝播する。従って、従来の相互作用解析の応答は、現実の応答とは異なるものになる。特に、深い構造を反映する表面波に対して、従来の相互作用解析は不十分であろう。昨年の学術講演会では、S波と表面波を分離して取り扱うビルの応答解析法を提案した (Iida, 2000a; Iida, 2001a)。本研究 (Iida, 2001b) では、これを発展させ、S波と表面波の波動場における、ビルの3次元相互作用解析法を開発する。入力地震動は使用せず、相互作用系内にS波と表面波を伝播させる。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いて、仮想 Gurrero 地震に対する、低層から高層までの5種類の鉄筋コンクリートビルの応答を計算する。また、従来の相互作用解析の限界を実証する。水平2成分を対象とする。
2. 波動分離・波動合成 以前に、木下 (1999) の相互相関法を Roma-C ボアホール観測点の地表と地下の加速度記録に適用し、地表記録をS波と表面波に分離した (Iida, 2000b)。ここでは、同方法を少し改良し、再度地表記録をS波と表面波に分離する。次に、1985年の Michoacan 地震に規模とメカニズムがほぼ等しい、仮想 Gurrero 地震に対する地表のS波と表面波の加速度波形を、ここで分離した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法は、以前の研究に示されている (Iida, 1998)。
3. 波動場 表面波は、深さ数 km の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, 2000b)。従って、ここでは基本モードラブ波を取り扱うが、他の表面波も同様に扱う。弾性波動論に基づき、S波と表面波の合成地表加速度波から、相互作用系内のS波と表面波の加速度波を計算する。計算した波動場は、ボアホール記録によって確認できる。図-1、2に、S波と表面波による地盤の加速度波 (120秒間) を示す。表面波は、S波よりも優勢で後続波が特徴的であり、地表付近での増幅がきわめて大きい。
4. 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-3) 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ている。本研究では、波動場の効果を調べるため、線形計算を実施する。1985年の地震では、メキシコ市の軟弱地盤の中層 (5-15階建) ビルの被害が大きかった。そこでここでは、9階建の鉄筋コンクリートビル (固有周期1.3秒) の場合を示す。杭は、群杭効果を考慮して9本とする。応答計算の前に、重力による初期応力解析を実施し、120秒間の応答計算を実施する。
5. 地盤とビルの応答 比較のための従来の解析では、ボアホール底 (深さ102m) の記録をすべてS波とみなし、経験的グリーン関数法により大地震の加速度波を合成する。その加速度波を、弾性波動論により相互作用系底面に移動して入力する。図-4に、従来の解析による地盤の応答加速度波を示す。図-1、2の波動場に比較して、後続波である長周期成分がかなり不足している。これに対し、波動場による本方法では、適切な減衰を与えれば、S波と表面波をとともに適切に評価できる。S波と表面波を同時に計算することもできる。図-5に、9階建ビルの最上階の応答加速度波を比較する。地盤の応答を反映して、ビルはS波よりも表面波によって大きく振動する。従来の解析では、ビルの振動が小さく、被害を受けない結果となる。
6. 結論 S波と表面波の波動場における、ビルの3次元相互作用解析法を開発した。メキシコ市の軟弱地盤において、大地震に対する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た。従来の解析では、表面波による地盤応答を適切に評価できないので、地盤とビルの応答が小さくなることがわかった。

(キーワード) 波動場、S波、表面波、相互作用解析法、地盤

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

謝辞 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、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.

飯田 (2000a). 建築学会学術講演梗概集 B2, 513-514. Iida (2000b). BSSA, 90, 1268-1280. Iida (2001a). J. Eng. Mechanics, ASCE (submitted). Iida (2001b). EESD (in preparation). 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.

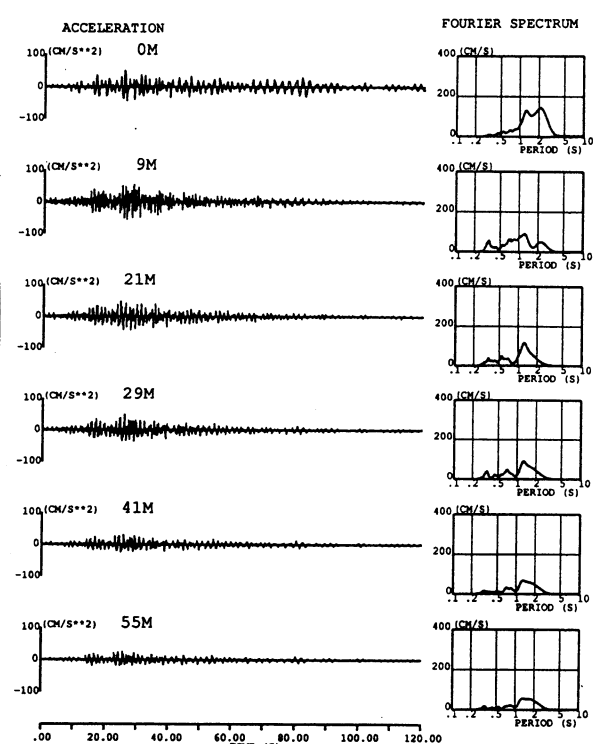


図-1 S波による地盤の加速度波 (EW 成分)。

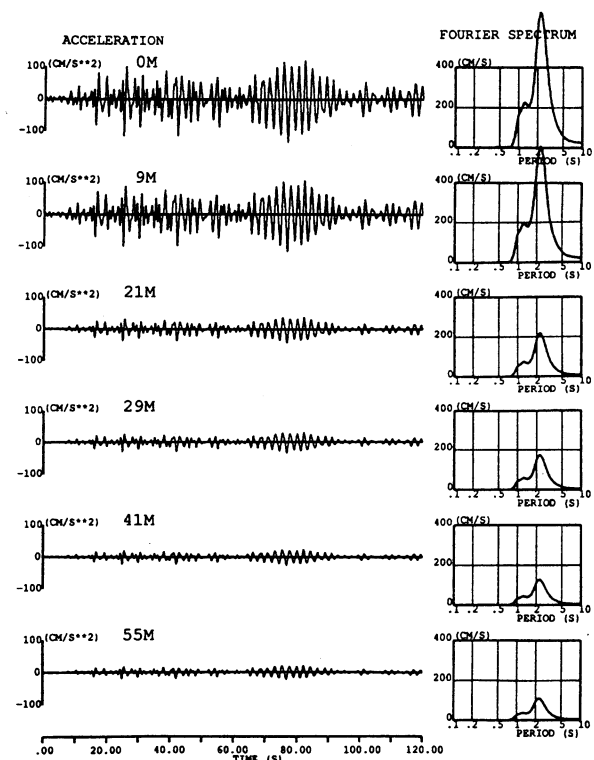


図-2 表面波による地盤の加速度波 (EW 成分)。

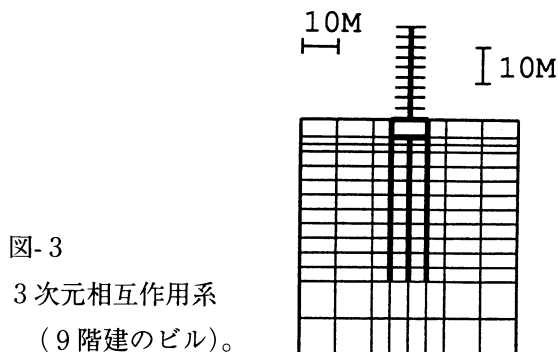


図-3

3次元相互作用系
(9階建のビル)。

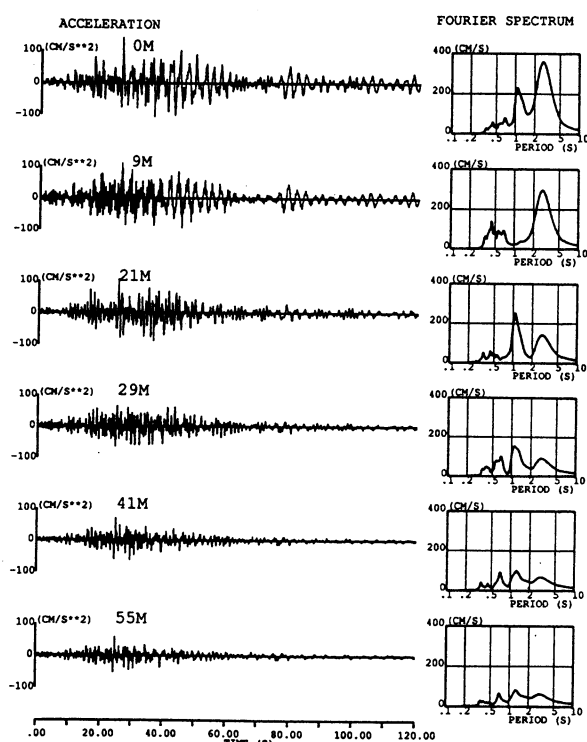


図-4 従来法による地盤応答の加速度波 (EW 成分)。

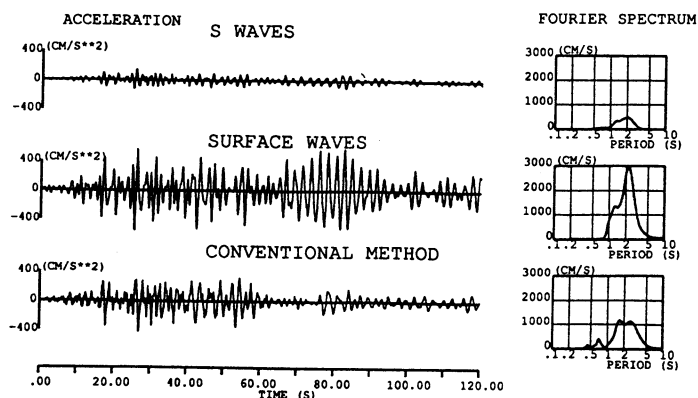


図-5 9階建ビルの最上階の応答加速度波 (EW 成分)。