

## 入力地震波動場に基づく、3次元建物-地盤相互作用解析法

東京大学地震研究所 正会員 飯田昌弘

1. 目的 S波と表面波の卓越周期は通常同じであるが、増幅は異なるので両波を分けて扱う必要がある。相互作用系への表面波入射は、局地表面波には有効であるが、深い構造に励起される地震の表面波には効果がない。軟弱地盤で重要なこの問題に対応するために、入力地震波動場（地震波動が伝播している3次元空間）に基づく、3次元建物-地盤相互作用解析法を提案する。方法では、大地震時の波動場を評価し、その波動場において3次元建物-地盤相互作用解析を実施する。第一歩として、水平地震動だけを受ける多層地盤において、線形の相互作用解析を実施する（Iida, 2004）。メキシコ市の Lakebed 区域において、大地震時の低層から高層の鉄筋コンクリート（RC）ビルの線形応答を評価する。

2. 波動場 まず、Lakebed 区域の Roma-C ポアホール観測点の地震動の性質を解釈する（Iida and Kawase, 2004; 飯田, 2003a）。地盤の卓越周期（2.5 秒）における大きな増幅は、S波では説明できず、主に深い構造に励起されるラブ波と解釈できる。他方、相互相関法である木下法（Kinoshita, 1999）を改良して、地表加速度記録を S 波部分と表面波部分に分離する。記録の後半部分や 2 秒以上の長周期帯域では、地震動は表面波である。次に、大地震時の波動場を評価する（Iida, 2004）。経験的グリーン関数法（Iida, 1998）を使用して、仮想ゲレロ地震（ $M = 8.1$ ）の地表の S 波と表面波の加速度波形を合成する。弾性波動論により S 波と表面波の波動場を評価する。全体波の波動場は、両波動場の和である。軟弱地盤により、表面波は大きく増幅する。

3. 相互作用法 入力波動場による相互作用解析を実施する（Iida, 2004）。比較の入力地震動による解析では、相互作用系の底面に、地震動を慣性力として作用させる。図1に、3次元相互作用系（水平2方向に同じ）の一例を表す。上部構造は集中質量のせん断モデル、摩擦杭に支えられる基礎は剛体である。杭は円筒要素、土は3次元の直方体要素でモデル化される。系全体で一定の減衰が使用される。Roma-C 観測点において、1985 年以前の平均的な 5 種類（3、9、15、25、40 階建）の RC ビルを使用する。計算の制約から複数の杭を 1 本のモデル杭に置き換え、各建物の杭の本数を 9 本とする。3 階建のビルは杭をもたない。

4. ビルの応答 まず、入力波動場による地盤応答が元の波動場を再現できることを確認する。他方、入力地震動では地盤応答は過小評価される（飯田, 2003b）。次に、3次元線形相互作用解析（Iida, 2004）の結果を表1にまとめる。入力波動場による 9 階建と 15 階建のビルの最上階加速度は大きい。3 階建の層間変位と、25 階建と 40 階建のせん断力/せん断強度比は小さい。入力地震動の場合、地震動は過小評価されるが、高いビルの最上階加速度は過大評価され、層間変位も大きい。15 階建のビルは、卓越周期（2.5 秒）での過度の共振に対する十分なせん断強度をもたない。図2の9階建のビルの応答では、入力波動場

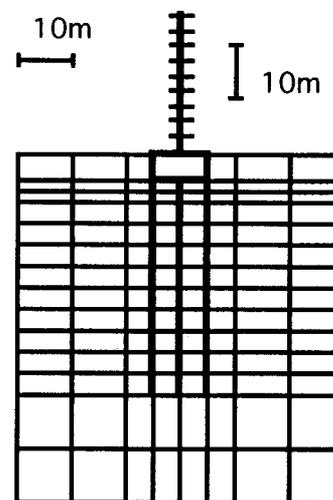


図1 3次元相互作用システム

（キーワード） 入力地震波動場、相互作用解析法、表面波、S波、軟弱地盤。

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

表1 入力波動場と入力地震動による、5種類のビルの上部構造の最大応答値（EW成分）。

建物（階数）	入力波動場					入力地震動				
	3階建	9階建	15階建	25階建	40階建	3階建	9階建	15階建	25階建	40階建
最上階加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	240	408	551	270	142	268	443	954	473	330
層間変位 (cm)	1.1	5.3	12.8	15.0	9.8	0.9	4.7	23.9	24.9	35.9
1階のせん断力の降伏強度に対する比 (%)	101	131	106	63	39	72	79	209	42	28

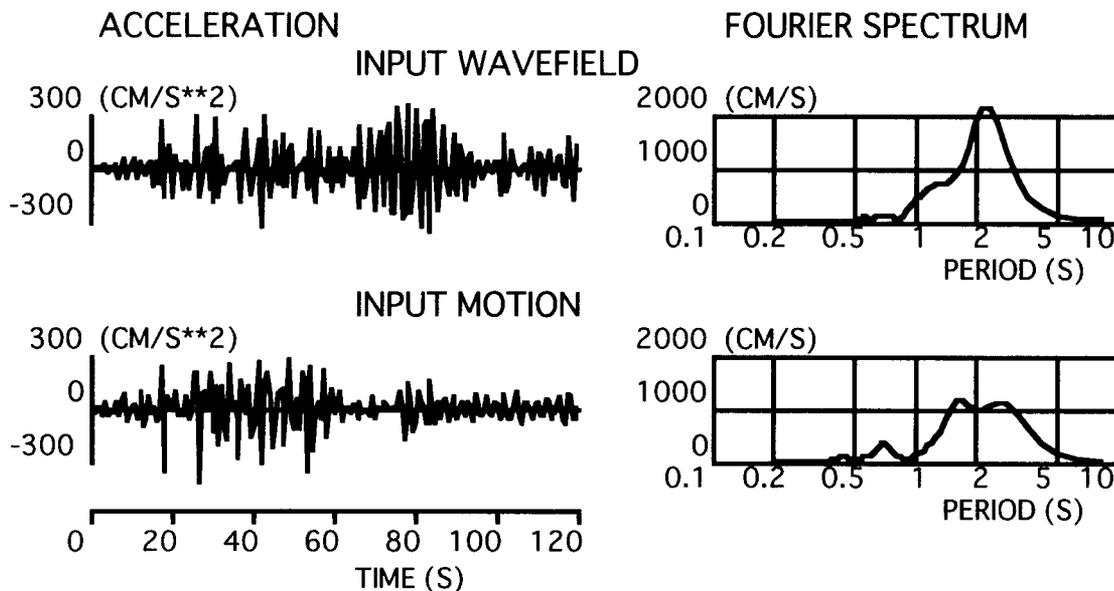


図2 入力波動場と入力地震動による、9階建のビルの最上階加速度（EW成分）。

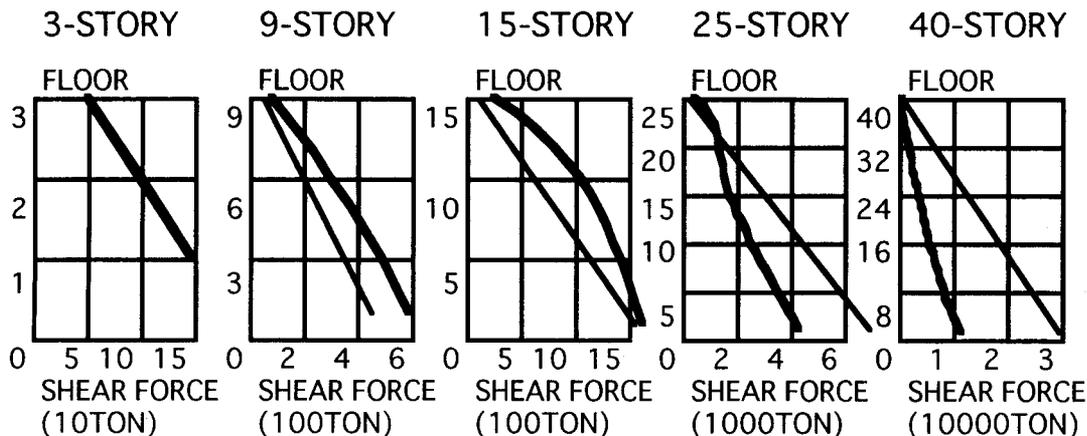


図3 入力波動場による、5種類のビルの最大せん断力の垂直分布（EW成分）。

では地盤の卓越周期で共振し、入力地震動では後半の大きな応答を表現できない。図3の入力波動場による9階建と15階建のビルの降伏強度を超える大きなせん断力は、実際の被害と整合する。

5. 結論 (1) 入力波動場による解析では、中層ビルが大きく振動し、実際の被害とよく整合する。

(2) 入力地震動による解析では、表面波の大きな増幅を評価できず、適切なビルの応答を計算できない。

参考文献 Iida (1998). EESD, 27, 1483-1502. 飯田 (2003a). 土木学会第58回年次学術講演会, I-263. 飯田 (2003b). 土木学会第27回地震工学研究発表会, 論文番号3. Iida (2004). J. Structural Eng., ASCE (submitted). Iida and Kawase (2004). BSSA (in print). Kinoshita (1999). BSSA, 89, 484-500.