

## I-B149

## 1985年のメキシコ地震による、メキシコ市の軟弱地盤における被害の本質

東京大学地震研究所 正会員 飯田昌弘

1. 序 わが国の大都市の多くは、沖積平野の軟弱地盤に位置している。従って、軟弱地盤における地震被害を理解することは、きわめて重要である。最も参考になるのは、1985年のメキシコ地震( $M=8.1$ )による、メキシコ市の軟弱地盤における被害であると思う。建物の見地からの被害の解釈は、すでにいくつかの研究においてなされているが[例えば1)、2)]、当時は強震動や地盤の情報が十分ではなかった。これらの情報がいくらか蓄積された現在、被害を総合的・定量的に考察する。

2. 相互作用モデル メキシコ市の被害は、軟弱地盤の一部地域の中層ビル(5~15階建)に集中し[2)]、他の建物や地域では小さかった。被害地域の地盤の(1次の)卓越周期は、1.5~3.0秒であった[3)]。基礎固定モデルでは、軟弱地盤の中高層ビルの応答を、十分には表現できないと考えられる。ビルの下部構造に発生する被害[4)]に加え、暗黙に実体波(S波)を仮定しているため、表面波への対応もできない。そこで、図-1の3次元非線形相互作用モデルを使用する[5)]。モデルでは、上部構造・杭・土の非線形性が同時に考慮できる。応答解析は、重力が作用した状態で実施される。なお、メキシコでは、Romaによる2次元線形解析[6)]を除き、本格的な相互作用解析はなされていない。被害の大きかった、軟弱地盤のRoma-Cボアホール強震観測点で、低層から高層までの5種類のビルの応答解析を実施する[5)]。解析に使用するビルの階数と固有周期は、表-1に示されている。解析地点の地盤の(1次の)卓越周期は、浅い地盤構造(表-2)から約2.5秒と計算される。比較のために、3次元線形相互作用モデルと、基礎固定モデル(非線形及び線形の2種類)を加えた、計4種類の解析モデルで計算を実施する。

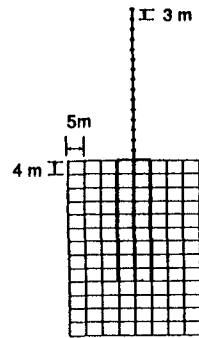


図-1 3次元非線形相互作用モデル  
(15階建の例)。

表-1 解析に使用する5種類のビル。  
階数 固有周期(秒)

|   |    |      |
|---|----|------|
| 1 | 3  | 0.41 |
| 2 | 9  | 0.95 |
| 3 | 15 | 1.41 |
| 4 | 25 | 2.04 |
| 5 | 40 | 2.84 |

表-2 解析地点の地盤構造。

| 深さ<br>(m) | P波速度<br>(m/s) | S波速度<br>(m/s) | 密度<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------|---------------|-----------------------------|
| 3-5       | 1430          | 90            | 1.2                         |
| 5-12      | 1430          | 30            | 1.1                         |
| 12-25     | 1430          | 55            | 1.1                         |
| 25-33     | 1430          | 80            | 1.2                         |
| 33-36     | 1430          | 200           | 1.4                         |
| 36-44     | 1430          | 130           | 1.4                         |
| 44-55     | 1780          | 400           | 1.5                         |
| 55-65     | 1580          | 250           | 1.5                         |
| 65-102    | 1750          | 430           | 1.7                         |

3. 強震動の性質 Roma-C観測点で、1995年9月の地震( $M=7.3$ )による強震記録が得られた(図-2)。記録の相互関係解析によると、周期2秒以下で実体波(S波)が優勢、周期3秒以上がほぼ表面波、強震動の卓越周期を含む周期2~3秒で両波が混在している[7)]。表面波は、深い構造(深さ数kmのメキシコ火山帯)を反映した基本モードラブ波で、伝播速度は数百m/秒以上である。従って、波長は1km(2秒×数百m/秒)以上なので、ビルの被害には直接関係しないと考えられる。

4. 応答解析 近い将来に発生が予想され、1985年のメキシコ地震に匹敵する規模の、仮想グレロ地震を対象とする。実体波

キーワード： 軟弱地盤、相互作用モデル、3次元非線形解析、S波、表面波。

連絡先： 113-0032 文京区弥生1-1-1 Phone: 03-3812-2111(5779) Fax: 03-5689-7265

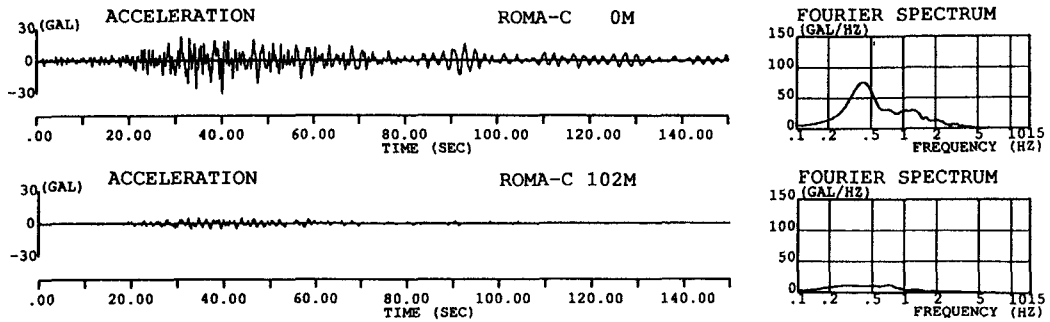


図-2 1995年9月の地震の、地表と地中(102m)の強震記録(NS成分)とそのスペクトル。

(S波)を仮定して、ボアホール強震計の設置されている102mの深さで、経験的グリーン関数法により強震動を合成し、相互作用モデルに下面より入力する[5]。計算された、ビルの最上階の最大応答加速度を図-3に示す。非線形相互作用モデルのみ、中層ビルの最大応答加速度が、高層ビルのそれよりも大きくなる。層間変位やせん断力も、同様の傾向がある[5]。

##### 5. 強震動と地盤の見地からの考察

強震記録の2~3秒の周期帯で表面波が混在し、3秒以上の周期帯ではほぼ表面波のみとなる。従って、実際の高層ビルは、応答解析の結果ほど大きくは揺れないと考えられる。つまり、1985年の地震における中層ビルの被害が、適切に解釈できる。他方、102mの深さの強震記録に1秒弱以上の周期成分が多く含まれていること、地盤の2次の卓越周期が約1.0秒であること[7]が、中層ビルの被害と大いに関係している。

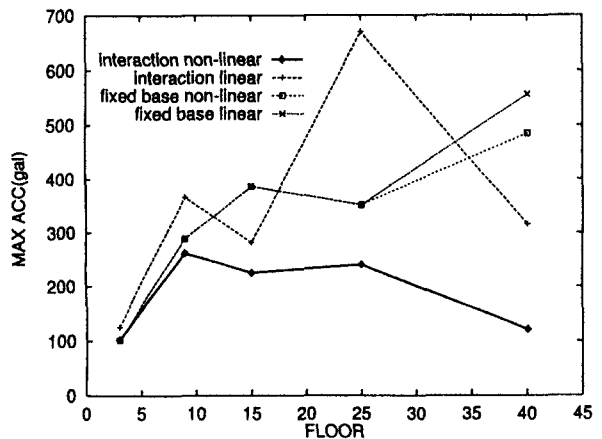


図-3 4種類の解析モデルによる、5種類のビルの最上階の最大応答加速度(NS成分)。

6. まとめ 1) 相互作用モデルを使用する必要がある。 2) 強震動の種類と性質、その卓越周期を把握する必要がある。 3) 地盤への入射波の周期成分と地盤の2次の卓越周期が、被害と関係している。

参考文献: 1) 金山他 (1986). 第7回日本地震工学シンポジウム, 1675-1680. 2) Meli, R. and Avila, J.A. (1989). Earthquake Spectra, 5, 1-17. 3) Kobayashi, K. et al. (1986). Report on Seismic Microzoning Studies of the Mexico Earthquake of September 19, 1985, Tokyo Institute of Technology. 4) Mendoza, M.J. and Auvinet, G. (1988). Earthquake Spectra, 4, 835-853. 5) Iida, M. (1998). Earthquake Engng. Struct. Dyn., 27, 1483-1502. 6) Romo, M.P. (1995). Proc. 3rd Int. Conf. Recent Advances Geotechnical Engng. Soil Dynamics, 25-42. 7) Iida, M. and Kinoshita, S. (1998). Proc. 2nd Int. Symp. Effects Surface Geology Seismic Motion, 2, 357-364. or Iida, M. and Kinoshita, S. Bull. Seism. Soc. Am. (submitted for publication).