

入力波動場に基づく 3 次元非線形地盤応答解析法

東京大学地震研究所 正会員 飯田昌弘

1. 序 地盤応答解析や建物応答解析において、入力地震動は不合理で、入力波動場を使用する必要がある。波動場というのは、3次元空間を伝播している地震波をいう。その内容を論文 (Iida, 2006) (以下論文 A) にまとめた。扱うテーマは、なじみがなく専門的であるのに加え、論文 A は英語で書かれている。そのため、この原稿では、内容をかみくだいてわかりやすく紹介したい。入力地震動が不合理であるのは、表面波を適切に取り扱うことができないからである。表面波は、軟弱地盤においては、短周期領域 (例えば 2 秒以下) でもかなり多く存在する。

一般に、地盤応答解析では、表層地盤の小領域をモデル化する。その小領域における表面波の挙動は、ずっと深い地下構造の物性に依存するのである。その理由は、表面波が水平方向に伝播するためであり、依存の特徴は波動方程式から理解でき

る。そのため、入力地震動は理論的に正しくない。問題は、このことによる実際の影響の大きさである。軟弱地盤の地震動を調べると、その影響がかなり大きい事が明らかになった (Iida and Kawase, 2004 ; Iida et al., 2005)。そこで、小領域における正しい地盤応答解析法を提案し、その効果を実証する。

2. 地震動 メキシコ市の Lakebed 区域と、東京湾の埋立区域を対象地域とする。前者では、表層地盤が高強度粘度で、地盤が基本的に線形挙動をするため、線形応答解析のみを実施する。後者では、線形、非線形、液状化応答解析を実施する。

前者における地震動の性質を 1 つの論文 (Iida and Kawase, 2004) に、後者における地震動の性質を別の論文 (Iida et al., 2005) にまとめた。その地震動の特徴は、(1) 多くの表面波が含まれることである。次に、(2) 地表付近の軟弱地盤において、表面波は S 波に比較して振幅がきわめて大きくなることである。つまり、表面波は S 波よりも危険なのである。さらに、(3) 地表付近の軟弱地盤における表面波の挙動は、深い地下構造の物性の影響を強く受けることである。

3. 線形応答法 使用する 3 次元応答法は、論文 A に記述されている。論文 A では、メキシコ市の Lakebed 区域の 2 地点において、M7 強の 1 地震を対象にし、東京の埋立区域の 2 地点において、3 つの大地震を対象にしている (図 1)。この原稿では、東京の越中島地点において、1923 年関東地震 (M8.1) のみを対象にしている。

越中島地点における地震動の振幅は、もう 1 地点 (東陽) における振幅よりもかなり大きく、東京湾の埋立区域内で最大であろうと推定される。その理由は、越中島地点の地震動が、地表付近で振幅がより大きくなる表面波をたくさん含むからである。

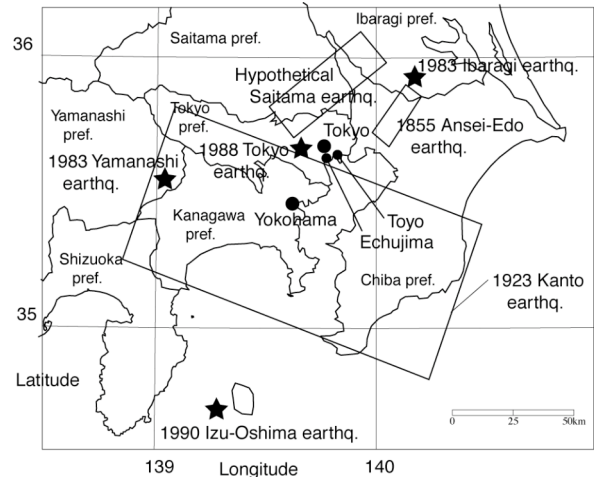


図 1 関東地方の地図。3 つの大地震の断層モデル、4 つの小地震の震央 (黒い星印)、及び 2 つのボアホール観測点 (小さな黒丸)。

(キーワード) 地盤動力学、表面波、地下構造、線形解析、非線形解析、液状化解析。

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

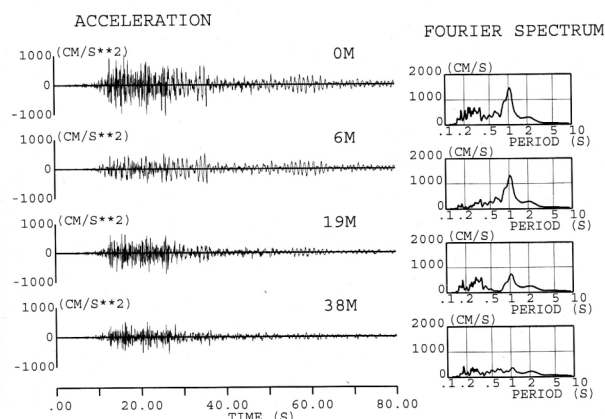


図2 理論地震動。

図2の波動場を、深さ60mの地盤モデルに入力すると、線形応答解析によって元の波動場をよく再現できる。他方、地盤モデルの底面に入力地震動を作用させても、この波動場をうまく再現できない。表面波の適切な取り扱いができないからである。

4. 非線形応答法 次に、非線形応答解析、液状化応答解析を実施する。使用する3次元応答法は、論文Aに記述されている。我々の目的は、入力波動場による応答解析を実施することであるので、非線形モデル、液状化モデルは単純なものを使用している。2つの応答解析は、数学的には正しく実行できる。物理的には、今後よりよいモデルの追求が必要であろう。

非線形応答解析（バイリニアモデル）では、線形応答解析に比較して、地盤の応答がいくらか小さくなる。他方、液状化応答解析（単純な完全液状化モデル）では、理論地震動の振幅はたいへん大きくなる。その理由は、表面波の振幅が、液状化によってきわめて大きくなるからである。この液状化時の波動場による地盤応答は、合理的な結果であると解釈できる。

5. まとめ (1) 地盤応答解析において、表面波の適切な取り扱いをするために、入力地震動でなく、入力波動場を使用する必要がある。(2) 地盤液状化時には、表面波の振幅がきわめて大きくなる可能性に留意すべきである。(3) 参考のため、入力波動場を使用した建物応答解析が可能である。

謝辞 東京ソイルリサーチの福元俊一氏には、地盤に関するアドバイスをいただきました。使用した強震記録は、震災予防協会のアレイ強震記録のデータベース(No. 2、1995)に含まれるもので、清水建設により提供されたものです。

参考文献 Iida and Kawase (2004). A comprehensive interpretation of strong ground motions in the Mexican Volcanic Belt, Bull. Seism. Soc. Am. 94, 598-618.

Iida, Yamanaka and Yamada (2005). Wave field estimated by borehole recordings in the reclaimed zone of Tokyo Bay, Bull. Seism. Soc. Am. 95, 1101-1119.

Iida (2006). Three-dimensional linear and simplified nonlinear soil response methods based on an input wave field, Int. J. Geomechanics, Am Soc. Civil Eng. 6, 342-355.