

強震動に与える東京湾の海水の効果

東京大学地震研究所 正会員 飯田昌弘

1. 序 海水が強震動にどのような効果を与えるかを調べた。それを1つの論文(Iida and Hatayama, 2007)にまとめた。これまでになじみがないテーマであり、専門的であるのに加えて、その論文は英語で書かれている。そこで、この研究をかみくだいて、わかりやすく紹介したい。この論文は、東京湾の海水の効果調べるのに加えて、もう1つ目的がある。それは、東京湾の埋立区域において、P波、SV波及びレーリー波の性質を調べることである。この論文の前に、東京湾の埋立区域において、SH波及びラブ波の性質を調べた研究(Iida et al., 2005)を実施しており、両者は一体である。

S波とラブ波は水中を伝播しない。そのため、第0近似として、強震動がすべてS波であると仮定すれば、海水の効果を見捨てることのできる。すなわち、海水は存在しない(空気と同じ)として扱えばよい。硬質地盤では、この扱いでよいと考えられる。

長周期(約5秒以上)地震動では、海水の効果調べる研究が割に多くある。しかしながら、この周期帯の地震動は、地震被害とはほとんど関係がない。他方、短周期(約2秒以下)地震動では、海水の効果調べる研究は、畑山(2004)のパラメトリックな研究があるだけである。これによると、地震動の周期が短いほど、海の水深が大きいほど、海水の効果は大きくなる。得られた結果に基づくと、水深が50mに満たない東京湾では、0.4秒以上の地震動において、海水の効果を見捨てる。

しかしながら、畑山が使用した構造モデルは、表層地盤も減衰も考慮していない。すなわち過去には、海水の効果調べる現実的な計算が、全く行われていないのである。ここでは、東京湾の埋立区域において実施された、海水の効果調べる現実的な計算を紹介する。さらには、海水の効果に関する一般論をまとめる。

2. 軟弱地盤で観測される波動の種類 強震動をすべてS波とする仮定は、軟弱地盤では適当でない。軟弱地盤では、強震動に多くの表面波が含まれる。その表面波は、地表付近で振幅がきわめて大きくなる。これまでに、軟弱地盤における表面波を調べた。数十mの軟弱地盤を有する東京湾の埋立区域では、ラブ波は多く存在するが、レーリー波の存在の有無を明確にすることができなかった(Iida et al., 2005)。東京湾の埋立区域よりも、さらに軟弱な地盤を擁するメキシコ市のLakebed区域では、ラブ波に加えてレーリー波が存在した(Iida and Kawase, 2004)。

東京湾の埋立区域では、地震動の卓越周期は約1秒である。波動のうち、P波とレーリー波だけが、海水中を伝播できる。P波の卓越周期は、陸上部で0.4秒以下、海水中で0.1秒以下である。この理由から、P

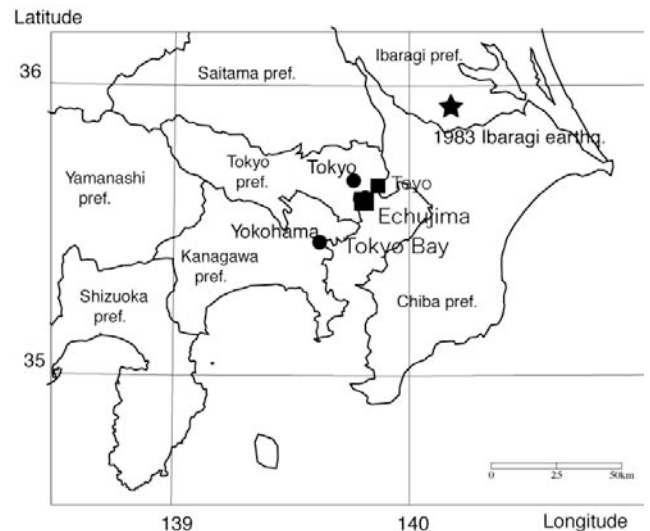


図1 関東地方の地図。越中島は使用したボアホール観測点であり、東陽はもう1つのボアホール観測点である。黒い星は、観測記録として使用した、1983年の茨城地震の震源を示す。

(キーワード) 海水、強震動、東京湾、短周期、レーリー波、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

波は、地震動の主成分ではないことがわかる。従って、問題になるのはレーリー波である。他方、S波、ラブ波、レーリー波の卓越周期は、いずれも約1秒である。そのため、卓越周期だけからでは、レーリー波の存在を判断することができない。以上を整理すると、第1に、レーリー波が励起されるかどうかである。第2に、励起されたレーリー波が、海水の影響を受けるかどうかである。

3. 理論計算とその結果 理論計算は、2次元のP-SV波動場を考える。畑山(2002)の境界積分方程式法に基づく。観測点は、東京湾の海岸線近くに位置する、江東区の越中島ボアホール観測点を対象にする。畑山の構造モデルは、陸上部と海上部からなり、それぞれ多層構造からなる。海上部の最上層は海水層である。東京湾の水深は約25mである。各層の減衰を考慮するが、海水層は減衰なしの仮定が妥当である。複数の構造モデルを使用した。これらのモデルでは、海水層や軟弱地盤の有無などの違いがある。

以下に、主な計算結果をまとめる。第1に、すべての構造モデルにおいて、観測点で計算された地震動は、レーリー波が卓越する。言い換えれば、P波とSV波は地震動の主成分ではない。第2に、海水層を有するすべてのモデルにおいて、海水層の影響は全くない。つまり、海水は存在しないものとして扱えばよい。第3に、震源位置を変化させても、計算結果は、あまり震源位置に依存しない。また、計算結果は、構造モデルのパラメータに対して敏感ではない。従って、計算結果は、東京湾の埋立区域全域に適用できる。

ところで、この計算においてはレーリー波が卓越したが、計算ではSH波とラブ波が取り扱われていない。そこで、計算結果を観測された地震動と比較した。第4に、計算されたレーリー波の垂直方向の振幅の増加は、観測された地震動のそれよりもかなり小さい。すなわち、レーリー波は、観測された地震動の主成分ではないことがわかる。

4. 議論と結論 さらに、短周期領域で得られた以上の計算結果に基づいて、レーリー波の励起と海水の効果とを、一般的に考察する。第1に、硬質地盤では、レーリー波が大いに励起したという報告はない。従って、海水の効果は無視できる。第2に、東京湾の埋立区域のような軟弱地盤（地盤の卓越周期が約1秒）では、レーリー波の励起はあまり大きくない。他方、東京湾のような浅い海では、海水の効果は無視できる。第3に、東京湾の埋立区域の地盤よりも、さらに軟弱な地盤の場合には、地盤の卓越周期が伸びて、レーリー波が励起することが予想される。この時、東京湾のような浅い海の場合には、地震動の卓越周期が伸びて、レーリー波は海水の効果を受けにくくなる。従って、海水の効果は無視できる。第4に、第3の場合において、海の水深がかなり大きく（数百メートル以上）なれば、海水の効果が現れる可能性が大きい。

我が国の大都市の多くは、浅い海に面した堆積平野の軟弱地盤上に位置する。すなわち、東京とよく似た地質環境にある。第5に、こうした大都市においては、東京湾で得られた計算結果を利用できる。第6に、大都市が面する海が深い場合には、適切な構造モデルに基づく計算を実施して、海水の効果を確認するべきである。

謝辞 本稿は、これまでになじみがないテーマを扱った論文(Iida and Hatayama, 2007)の、わかりやすい紹介です。論文の共同研究者である、総務省消防庁の畑山健氏に感謝いたします。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、清水建設によって提供されたものです。

参考文献 畑山(2002)。海と地層からなる水平成層構造に対する境界積分方程式- 超特異積分の出現-、日本地震学会秋期大会、横浜、P097。 Hatayama (2004). Theoretical evaluation of effects of sea on seismic ground motion, Proc. 13th World Conference Earthquake Engineering, Vancouver, paper no. 3229. 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 and Hatayama (2007). Effects of seawater of Tokyo Bay on short-period strong ground motion, Bull. Seism. Soc. Am. 97, 1324-1333.