周期帯域別にみた横浜市内の地震動の特徴について

Investigation of Seismic Ground Motion at City Yokohama for Various Frequencies Using High Density Strong Motion Seismographs Network

石垣 祐三1

Yuzo ISHIGAKI 1

(Received March 12, 2010: Accepted June 28, 2010)

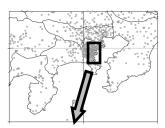
1 はじめに

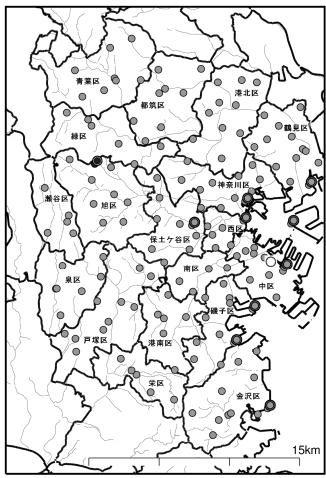
横浜市は、1996年以降、市内約150地点以上に強震観測網を整備し、得られた強震データを公開している。また、防災科学技術研究所は、2000年以降高感度地震観測網(Hi-net)を整備し、高感度地震計とともに地上・地中に強震計(基盤強震観測網(以下、KiK-netと記す))を設置している。中でも横浜市には地下約2000mに強震計があり、基盤が3000mと深い構造になっている関東地方で貴重な波形データが得られている(図1)。

本稿では、これらの強震データと横浜地方気象台の強震データを用い(以下、市内強震データと記す)、横浜市内の揺れやすさの特徴を調査したので報告する. 具体的には各震度観測点の強震波形データのフーリエ変換による振幅スペクトルをもとめ、基準とする KiK-net の地中強震波形データの振幅スペクトルと、各震度観測点の振幅スペクトルの比をとり、周期帯域別に特徴を抽出する.

また、石垣ほか(2005)は、全国の震度観測点について、観測された震度と、周辺で観測された震度と 比較することによって、震度観測点の揺れやすさを 調査した.この調査方法を横浜市内の震度観測結果 に適用し、前述の強震波形の振幅スペクトルを用い た調査結果との関係を調べた.

さらに、これらの揺れやすさに関する調査結果と 震度観測点の標高などの各種情報との関係について も調べた.





- ◎ 横浜市観測点
- 横浜市観測点(ボアホール)
- Kik-Net横浜(地上)
- Kik-Net横浜 (ボアホール)

〇 横浜地方気象台

図1 横浜市内の強震観測点 地中の観測点は地上の観測点の真下であるが,本来の 位置よりやや北東にずらして表示した.

¹ 横浜地方気象台,Yokohama Local Meteorological Observatory

2 調査方法

2.1 準備

本稿で主に検討するのは、強震波形をフーリエ変換した後の周波数領域における振幅スペクトル比較であるが、オリジナルの波形をいつでも確認できるように気象庁強震観測報告(例えば気象庁、2005)の html 形式にした. 波形のサンプリング周波数は、横浜市の強震観測網データが 200Hz、KiK-net が 100・200Hz 混在、気象庁が 100Hz であるが、比較の簡便さのために 100Hz に統一し、これをオリジナルデータとして検討を進める.

調査対象は KiK-net 横浜が運用された 2003 年以降に発生した地震とする. 2003 年以降, 例えば顕著な長周期地震動が発生するなど, 種々の興味ある地震が発生している. このため, 特定の地震等に対しても周波数帯域比較の観点でみていく.

2.2 震度の増分について

本稿では,震度増分を計算する方法として,強 震波形をフーリエ変換したスペクトルの比による 方法と,観測点の近傍の震度との差による方法を 用いた. ある場所(具体的には震度観測点)の揺 れやすさを表す指標として,震度の増分(震度増 分)を用いる. 震度の増分(Δ I)は,対象とする 観測点の震度と,基準とする震度の差とする. 基 準とする震度を Ib,対象とする観測点の震度を Isとすると震度の増分 Δ I は Is -Ib となる.

ある周期帯域において、対象とする観測点の加速度振幅が、基準とした観測点の加速度振幅 A の c 倍であったとすると震度増分 ΔI は

 $\Delta I = Is - Ib = (2log(zcA) + 0.94) - (2log(zA) + 0.94)$ =2log(c) (1)

(ここで, z:該当周期帯の震度利得率. log は常 用対数)

で与えられる.

2.3 フーリエ変換による震度増分

KiK-net 横浜の地中強震計データがある地震を対象に、市内強震データについて 81.92 秒分取り出し(足りない場合、後続の0を入れた)、高速フーリエ変換した後、水平2成分の振幅を合成し、KiK-net 横浜の地中強震計データの水平2成分の合成振幅で割る.これをもとに震度増分を計算し

た. 震度増分については、周期による特性を調べるために、周期帯域別 (0.1-0.4, 0.4-0.7, 0.7-1.0, 1.0-2.0 秒) の 4 つに分け計算した. この結果をもとに波形の周期・観測点・地震ごとに揺れやすさの調査を行った.

2.4 観測点近傍の震度の比較による震度増分

石垣ほか(2005)の手法を応用し、横浜市内の地上の揺れやすさを調査する. 概略は以下の通りである.

- ・ある観測点から見て遠い場所に発生した地震(例えば震央距離 100km 以上) に対して, 観測点の近傍(半径 15km 以内とする) にある震度観測値のグループを作成する. このグループを近傍観測点とよぶ.
- ・ある観測点が一定以上の震度(例えば 1.9 以上)の場合、その観測点の震度と近傍観測点の震度の差を求める.この時、地上で観測した震度の差のほかに、地下 30m相当での震度の差も求める.地下の震度は推計震度で用いている 1 km メッシュの地盤係数(以下メッシュ震度増分とよぶ)を使用し推定した.

地下で震度を比較する目的は、揺れやすさの特徴について、地盤を要因としては説明できない特徴(例えば震度計の設置環境)を抽出するためである.

各観測点について対象とした地震すべてについて近傍観測点との震度の差の平均をもとめ、これを当該観測点の震度の増分とする.

このように、ある観測点の近傍の震度を用いて求めた震度の増分を、本稿では、「近傍震度比較による震度増分」とよぶ.

横浜市整備の強震計は約160カ所であるが,震度情報で用いられている観測点は36カ所である. なお,約160カ所のうち9カ所は地上の強震計と対になった地中型(ボアホール型)であり,標高は-13~-67mである. 地中型は明らかに震度が小さく出るため,これを用いた場合と用いない場合に分けて震度増分を調査した. また,気象庁の震度情報に用いていない観測点も含めてこの方法を適用し,フーリエ変換による震度増分との比較などを行う.

3 震度増分の調査結果

3.1 KiK-net 横浜地中部と各地点との比較

本稿に用いるフーリエ変換は、加速度成分をフーリエ変換後、全体的な傾向を見るため 0.4Hz のスムージングをかけている.スムージングによって長周期側にピークが偏ることを防ぐため、波形全体の平均値を個々のデータから差し引いたもの

を使用した. 波形レベルでのノイズは, 個々には 除去していない.

図2に KiK-net 横浜地中部とその地上部・横浜地方気象台・金沢区八景島との比較を示す. KiK-net 横浜と横浜地方気象台の水平距離は14.3km,金沢区八景島とのそれは21.3kmであり,

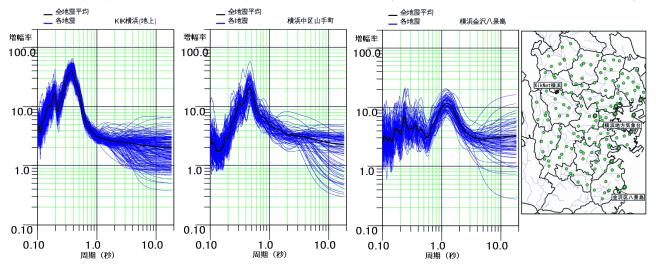


図2 KiK-net 横浜地中部とその地上部・横浜地方気象台 (横浜市中区山手町)・金沢区八景島との比較 各観測点のフーリエ変換後の水平2成分の振幅を合成したものを KiK-net 横浜地中部のそれで割ったものを両対 数目盛で示している。青い線が各地震を示し、黒い線はそれらを平均したものである。各観測点でよくまとまっていることと、ピークの周期が異なることが分かる。

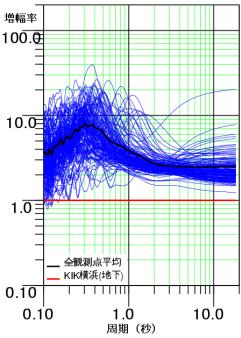


図3 KiK-net 横浜地中部と市内強震データの比較 図2と同様の手法を用い、横浜市内強震データのすべ ての各観測点の平均(青)を示した. 黒い線は全観測点 (KiK-net 横浜地中部以外のボアホール観測点を含む) の平均である.

ごく近距離~やや遠距離までのふるまいをみる意図である.

図2をみると KiK-net 横浜地上部はほぼ表示した範囲で平均値の回りによくまとまっている. ピークは周期 0.3-0.4 秒の短周期で地中の約 40 倍の増幅であり、この値は市内強震データの中で一番大きな増幅率である. 横浜地方気象台と八景島はKiK-net 地上部に比較するとごく短周期でばらつきが大きくなっているが、震度演算に影響の大きい周期 0.4-2.0 秒辺りでは他の帯域に比較してまとまっている. 横浜地方気象台は周期 0.5 秒に 20倍,八景島は周期 1.0 秒を超えた辺りに 10 倍のピークがある. 一方、周期 3.0 秒を超える辺りからは KiK-net 地上部を含め 3 地点ともかなりばらついている.

図3は,市内強震計データすべてを図2と同様の処理を行い,各観測点の平均値を青線,全観測点の平均値は太い黒線で示したものである.全観測点の平均増幅のピークは周期0.3-0.4秒の8倍程度であるが,各観測点でピークの位置は周期

0.2-1.2 秒程度にばらつき,各観測点の特性を表していると考えられる.このことは,次節で検討する周期帯域別震度増分マップなど全体的なマップを見るときに,個々の観測点の性質を確認する必要があることを示している.ここでは KiK-net 横浜地中部に対する地上観測点の増幅率は,震度で影響が及ぶ周期 0.4-2.0 秒程度でばらつきは少なく, KiK-net 横浜地中部が基準として適当であることを示した.

3.2 周期帯域別比較

4 種類の周期帯域別 (0.1-0.4, 0.4-0.7, 0.7-1.0, 1.0-2.0 秒) にフーリエ変換による震度増分マップを図 4 に示した.

周期 0.1~0.4 秒では、地中型を除くと臨海部で 震度増分の小さいところが多いが、その他は観測 点ごとに様々である.この帯域での最大の震度増 分は中区・磯子区・保土ヶ谷区などで+2.2~+2.3 である.臨海部で震度増分が小さいのは、そのほ とんどが埋め立て地であるので、短周期の地震波 の出にくい性質があるためと考えられる.観測点 ごとに様々であるのは、強震計の設置してある 個々の地盤の硬軟を表していると考えられる.

周期 0.4-0.7 秒は,人体に特に感じやすい周期帯である. +1.4 以上である黄色からの暖色系は市内全体にみられるが,西区とその周辺の区に+2.0 以上を示すオレンジが多くみられる. 北西部の青葉区、緑区などは相対的に震度増分が小さい.

周期 0.7~1.0 秒は,木造の家の棚が落ちるなど,室内の家具などに影響の大きい帯域で,さらに 1.0 秒に近いところではキラーパルスと呼ばれる帯域に近づく. 暖色系は市中部の中区(横浜地方気象台は+1.6)や南区に集中してみられ,一部離れて北部の港北区にみられる. 震度増分は南区の+2.6 が最大で,港北区は+2.2 前後である.

周期 1.0~2.0 秒は、木造家屋に影響のあるキラーパルスの帯域であるが、ほとんどの観測点が地中も含めて+0.8~+1.2 に収まっている. しかし、港北区の一部や臨海部の西区やそこから離れて金沢区などに+2.0 となっている地点がある. また、中区から南区にかけて相対的に震度増分が大きいところが集中している.

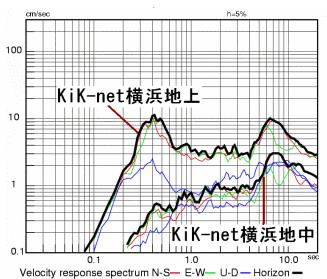


図 5 新潟県中越地震(2004/10/23, M6.8) における KiK-net 横浜(地上部と地中部)の速度応答減衰定数は 0.05 とした. 周期7秒前後に地上部・地中部ともにピークがみられる.

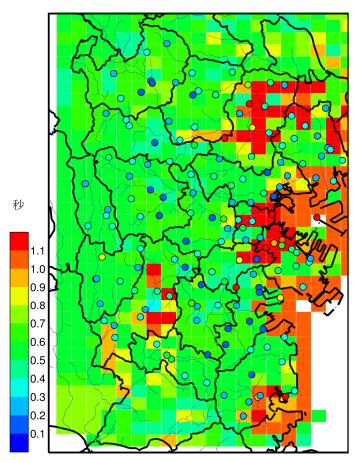


図 6 市内強震データの増幅卓越周期と 1 km メッシュの卓越周期

KiK-net 横浜地中部との比較における各観測点の震 度増分が一番大きい周期を示した.背景は内閣府ゆれ やすさマップの1kmメッシュの卓越周期である.

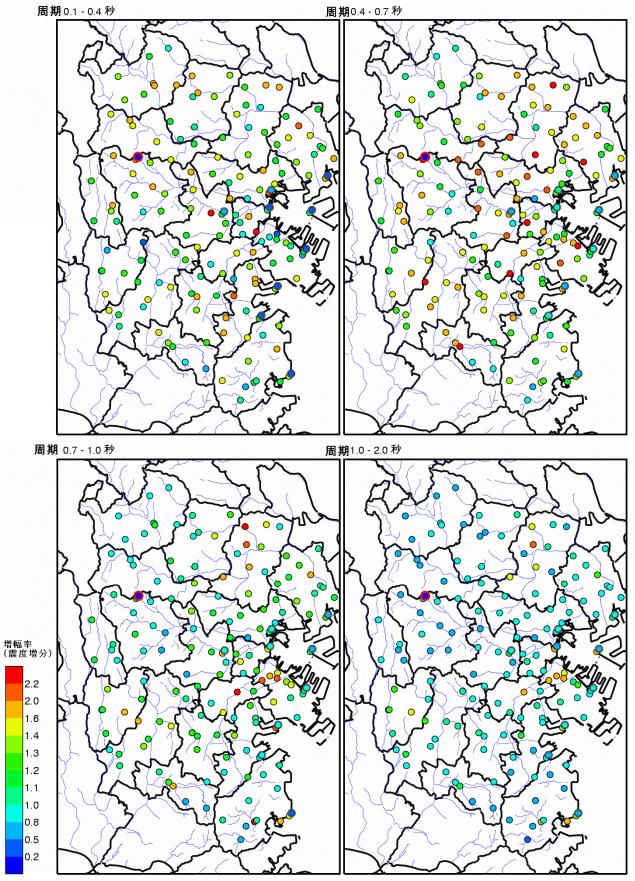


図4 周期帯域別にみた KiK-net 横浜地中部と比較した震度増分マップ

周期 1.0~2.0 秒の帯域が、ほかの3つの周期 帯域に比べて全体的に差が小さいのは, この帯域 になると距離減衰が少ないことに加えて, 基準と している KiK-net 横浜地中部でもこの帯域の地震 波が少なからず含まれていることによると考えら れる. 図5は、その帯域での様相を見るために、 新潟県中越地震時の KiK-net 横浜 (地上部と地中 部)の速度応答を示したものである.この地震で は関東平野一帯で周期5~7秒前後の盆地生成波 が観測されている. 地中部の速度応答をみると, 周期1秒未満の応答は小さいものの, 周期が長く なるにつれ大きくなり、地上と同じ周期7秒前後 のところでピークを持っている. 地上と地中の応 答の形状を比較すると、周期1秒より長い応答は ほぼ平行となり, 応答速度は 10 倍以内 (震度増分 にして+1.0以内)に収まっている.

一方,この帯域で中区などに集中している震度 増分が大きいところは数 km 程度の広がりをもっ たやや中規模の地盤の影響だと考えられる.

図6は4つの周期帯に限らず,0.1~20.0秒の間で各観測点の震度増分がどの周期帯にピークをもつか表示したものである.0.8秒より長い周期をもつ黄色から暖色系も中区~南区に集中してみられる.図6でこの他ピーク周期の長いところは港北区と金沢区の一部にみられる.

3.3 主な地震における各観測点の震度増分

3.2 節では、各観測点の平均的な震度増分をみたが、地震ごとに特徴がみられないかという観点で、主な地震について計算した各観測点の震度増分から、平均の震度増分(全地震の震度増分の平均)を差し引いたものを図7に示した。図7では地中の観測点は除いて表示し、震度の一般的な帯域である0.1~1.0 秒の帯域で比較した.

取り上げた地震は、以下の9地震である.

- ①2005/8/16 宮城県沖 M7.2 プレート境界
- ②2005/11/15 三陸沖 M7.2 太平洋プレート内
- ③2003/11/12 三重県南東沖 M6.5 太平洋プレ ート内深発地震
- ④2004/10/23 新潟県中越地方 M6.8 地殼内
- ⑤2007/7/16 新潟県中越沖 M6.8 地殼内
- ⑥2008/6/14 岩手県内陸南部 M7.2 地殼内
- ⑦2007/10/1 神奈川県西部 M4.9 フィリピン

海プレート (あるいは境界)

- ⑧2004/9/7 三重県南東沖 M7.4 フィリピン海 プレート内
- ⑨2009/8/11 駿河湾 M6.5 フィリピン海プレート内

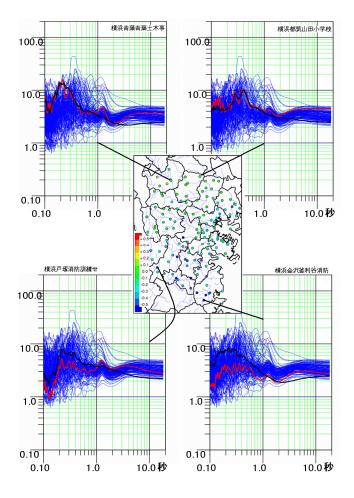


図8 2007年の新潟県中越沖地震における周期別増幅 青:新潟県中越沖地震の他の観測点の周期別増幅,黒: 当該観測点の他の地震も含めた平均,赤:新潟県中越沖 地震の当該観測点の増幅

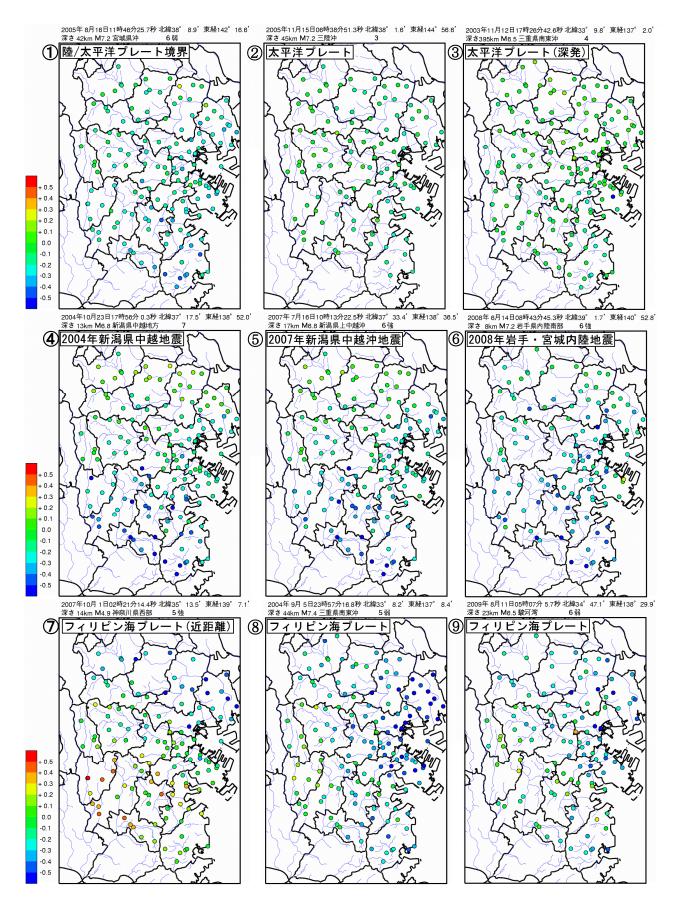


図7 周期帯域 0.1-1.0 秒における各観測点の平均震度増分と地震毎の震度増分の差

①~③の太平洋プレートに関する地震は全般的に平均的な様相を示す. ①のプレート境界の地震はやや市南部の増幅が低い傾向がある.

④~⑥の遠距離の内陸地殻内地震は共通して市南部の増幅が低い. 市北部は平均的である.

⑦は取り上げた9つの地震の内,一番横浜市に 近距離で発生した地震である.短周期波の減衰が 出たためか,震源に近い市西部の増幅が大きく, 東部側で低い値となった. ⑧~⑨は市西部が標準 的で,市東部がかなり低いという共通した特徴を 持つ.

図8は、周期帯域による特徴をみるために、市内4か所の観測点の周期-増幅率の図で、特定の地震の色を変えて表示したものである。特定地震としては2007年新潟県中越沖地震を例に示す。赤い表示が2007年新潟県中越沖地震で、青い表示が他の観測点の周期別増幅率、黒が当該観測点の他の地震も含めた平均の周期別増幅率である。なお、付録CD-ROMでは、図の類は本文に明示したものも含め、html形式で全般に閲覧できる形式にしてある。

図8をみると、市北部の観測点は、周期1秒より短い帯域でほとんどその観測点の平均的なふるまいと同じ様相を示し、それより長い周期帯で平均より数倍程度増幅している。市南部の観測点においては、周期1秒より短い帯域全般に平均の半分程度の増幅率となっている。それより長い周期帯では、市北部と同じような増幅の仕方となっており、この地震全般の特徴といえる。

この他の地震を含めて全般的に周期1秒より長い帯域だけをみると、関東地方特有の周期7秒前後が卓越するような盆地生成波が観測されるような地震では、全般に平均的なふるまいより、より大きく揺れる傾向が見られた.一方、周期1秒より短い帯域は市北部一南部、市東部一西部のように地域的な揺れの偏りがあった.これらの原因については後ほど他の資料を含めて考察する.

3.4 近傍震度比較による震度増分

2.4 項でのべたように、震央距離 100km 以上、 当該観測点の震度 1.9 以上の地震について半径 15km 以内の震度との比較(近傍震度比較)をし、 各観測点の震度増分をもとめた. 比較対象として用いる近傍の観測点を以下の3 通りに分けて行った.

対象① 近傍観測点すべての観測点

対象② 近傍観測点から地中観測点を除いた地 上観測点

対象③ 震度情報発表対象の観測点

これらの結果を図9に示す.

まず、近傍観測点すべての観測点を用いた場合(図9①)では、KiK-net 横浜地中部をはじめとして地中の観測点の震度増分がすべてマイナスの値となっている(-0.13~-0.93). KiK-net 横浜地中部の震度増分は-0.93である. 地中の観測点は10点と少ないものの、低い震度になるという一定の特性を持っているため周辺観測点との比較には不向きである. 次に近傍観測点から地中観測点を除いて比較したものが図9②である. なお、気象庁が全国に展開している震度観測網ではひとの震度観測点の周辺15km以内の観測点数は約16点であるのに対し、市内強震計データを用いた場合は140点程度になり、より真値に近い値が期待できる.

また、図9④は図9②と同じ地中観測点を除いた結果であるが、1 km メッシュの地盤情報(基盤から地表までの震度増分.以下メッシュ震度増分と呼ぶ.内閣府ゆれやすさマップによる)から、この地域の平均値+0.7947を差し引いた値を背景に重ねて表示した.メッシュの値と近傍震度比較結果は一部の違いを含むものの大体の傾向は一致しており、特に横浜市中東部、横浜市北部の震度増分が高いメッシュと近傍震度比較による震度増分が一致している.

近傍震度比較により求めた震度増分とフーリエ変換により求めた震度増分との比較を行った.フーリエ変換により求めた震度増分は、横浜地中部の波形を基準としているが、近傍震度比較による横浜地中部の震度増分は-0.93 あるので、フーリエ変換によりもとめた各点の震度増分から 0.93 を差し引いた値と近傍震度比較による震度増分(地中観測点を除いた場合のもの. 図9の②)を比較する. 両者の差分を図10に示した. 周期0.7~1.0秒及び周期1.0~2.0秒の比較的長めの周期では両

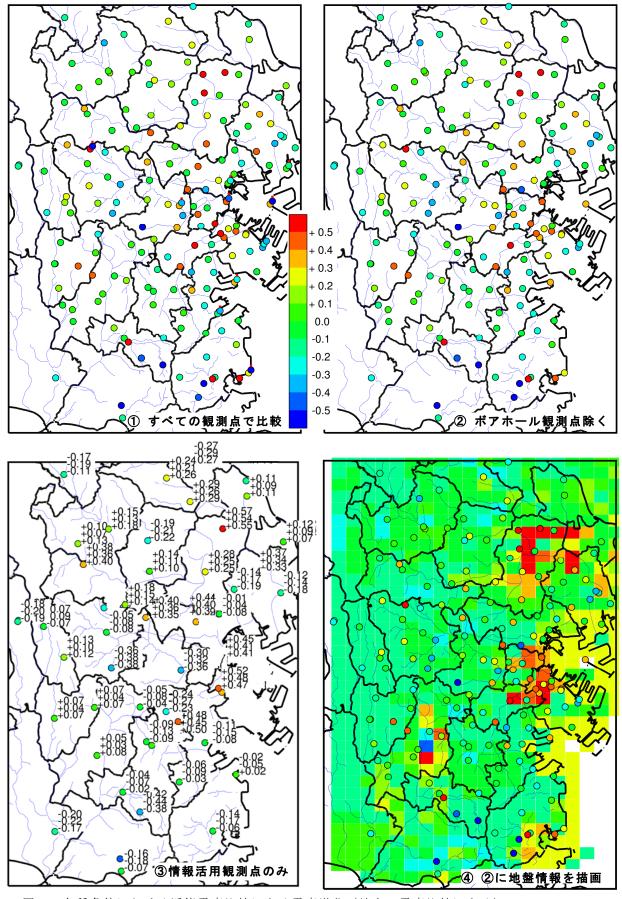


図9 各種条件における近傍震度比較による震度増分(地上の震度比較による) ③情報活用観測点のみについては、主な地点の震度増分の数値を右肩に示した.

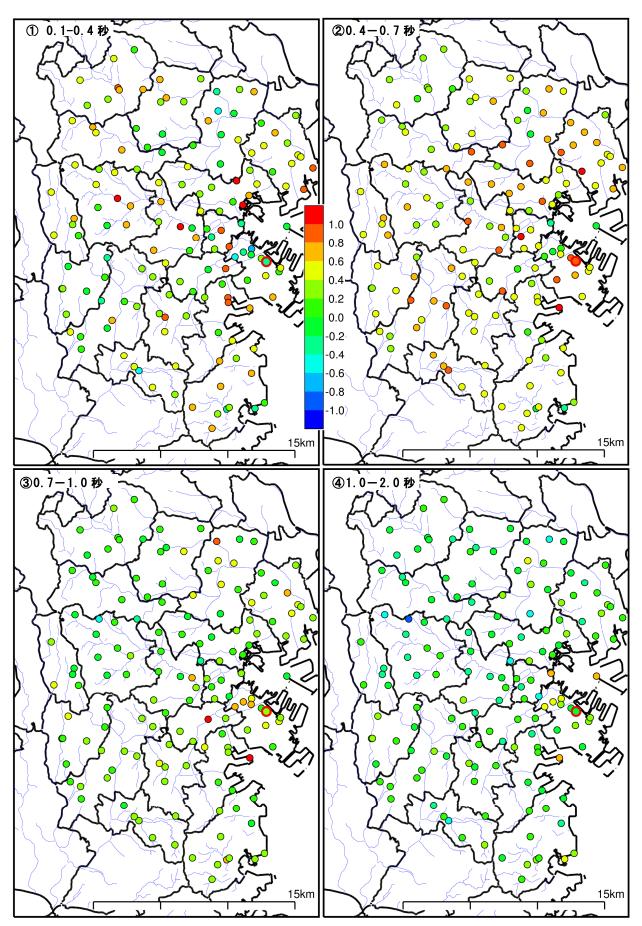


図 10 フーリエ変換による震度増分と近傍震度比較による震度増分(地中観測点を除く)の差

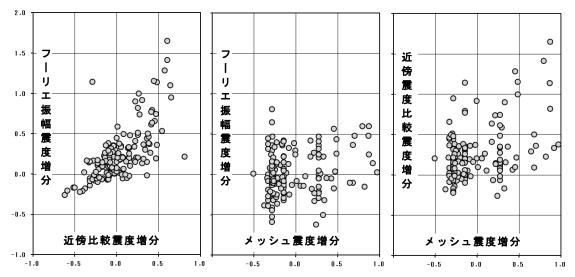


図 11 ゆれやすさマップ・フーリエ震度比較(0.7-1.0 秒)・近傍震度比較のそれぞれの関係

者のばらつきは少ない.これは,近傍震度比較で対象とした地震が,フーリエ変換による震度比較で対象とした地震に加え,震央距離 100km 以上も対象としているため,短周期の波が減衰し,より長い周期の波での比較をしているためであると考えられる.これに加えて 3.3 節でみたように遠距離の地殻内地震は主に市南部で短周期の増幅が低く出る等の特性がある.このため,近距離も含めたフーリエ変換による震度増分より全般に直接の震度比較が小さめに出た可能性がある.

図9③は、情報に活用している観測点のみを用いて震度比較を行った結果である.対象①~③の結果(震度増分の値)を図中の各観測点の隣に上から対象①~③の順で示した.

対象①と対象②の結果を比べると、対象②は対象①よりほとんどの観測点でわずかに震度増分が小さくなる傾向がある(平均-0.028). これは地中の観測点を比較対象から除いた効果と考えられる. -方、対象②と対象③の差は、ほぼ ± 0.1 以内に収まっている(94%が ± 0.1 以内). ± 0.2 以上より大きな変化になった観測点はなかった. 震度情報発表対象の観測点の配置間隔は、全国的にはおおよそ同程度と仮定すると、全国の他の地域で近傍震度比較を行う場合はこの程度(± 0.1)の精度で推定できていると考えられる.

各地上観測点の震度増分の標準偏差と,地下30m相当の震度増分の標準偏差の比較を行った. 条件②の場合ではほとんどの地上観測点の標準偏差が地下30m相当の標準偏差より小さかった(53地点中49地点の92%)のに対し,条件③では大半が地上観測点のほうが大きかった(53地点中15地点の16%).

この要因は、地下 30m における 3 次(1 km)メッシュ震度増分が、観測点間隔が $2 \sim 3$ km である市内強震データ観測点には適合が悪く、観測点間隔が $5 \sim 10$ k m程度の震度情報発表対象観測点のほうが適合がよいためと思われる.

近傍震度比較による震度増分、フーリエ変換による震度増分、メッシュ震度増分(内閣府のゆれやすさマップによる3次メッシュの震度増幅値)の3つの震度増分の相互の比較を図11に示した.フーリエ変換による震度増分は周期帯が0.7-1.0秒のものを用いた.まず,近傍震度比較による震度増分を図11左端に示すが,相関がよい(図10③でも同様の傾向がみられる).メッシュ震度増分を横軸,縦軸にフーリエ変換による震度増分を横軸,縦軸にフーリエ変換による震度増分をプロットした図11中央と右端の2つの図は同じ傾向を示す.すなわち全体では正の相関を示すものの縦軸に平行に線が2~3本みえる.これは3次メッシュの震度増幅値は1kmメッ

表 1.	各種調査結果の抜粋	*と3次メ	ッシュの値
------	-----------	-------	-------

地点	近接点 に 度度 較* ¹		0.7秒	0.7- 1.0秒 震度増 分	1.0- 2.0秒 震度増 分	地盤種	標高 (m)	メッ シュに ま 増分	メッ ッュ は 間 (秒)	傾斜(度)	フエに最幅がいる増期
		フーリエ変換による比較*2				3 次メッシュの値 ^{*3}				(秒)	
KIK横浜(地上)	+0. 81	+1.06				丘陵地	65.7	+0.66		7.4	0.36
横浜中区山手町 (横浜地方気象台)	+0. 42	+0. 10	+1.34	+0.64	+0.30	埋立地 · 干拓地	12. 1	+1.02	1.00	7.4	0. 45
横浜金沢八景島	+0. 28	+0.19	+0. 21	+0. 74	+1.02	埋立地 · 干拓地	1.5	+1.07	1.09	データ なし	1. 25

抽出した3地点は、図4と同じである.

*1:ボアホール観測点を除いた相互比較の値 *2:各周期帯の震度増分から KiK-net 横浜地中部の相対震度-0.93 を差し引いた値 *3:この地域(図 12の範囲)の平均値 0.74 を引いた値

シュで値をもっているものの、実際の分解能は市内強震計データの $2 \sim 3 \text{ km}$ メッシュよりも粗いためである。図 11 の右 2 つの図に見える線は、メッシュ震度増分が同一値となるが、フーリエ変換による震度増分,近傍比較震度による震度増分が様々な値を取るためと考えられる。

この項では、近傍震度比較による震度増分とフーリエ変換による震度増分がほぼ同じ傾向を取ること、ゆれやすさマップの震度増分の分解能は横浜市付近で2~3kmより粗いことが分かった.

4. 各種データと周期帯域別比較結果の比較

3節では、フーリエ変換による震度増分の周期帯域別比較を行い、周期 0.1~2.0 秒程度までの横浜市内の相対的なゆれやすさを比較した. また、近傍震度比較により、KiK-net 横浜地中部の震度が他の観測点に比べて 0.93 低く出ることが見積もられた. これらの調査結果と系統的に関連する要因がないか探してみる. 内閣府のゆれやすさマップは標高、河川からの距離、表層地質などをパラメータとして、回帰的にその場のゆれやすさを求めている. このため、3次メッシュの各種情報のうち、標高、地表の傾斜角度、地盤種と 0.7-1.0 秒の震度増分 (フーリエ変換による震度増分. 図4から値を 0.93 分引いてある)を重ねた(図 12). また、参考のため、標高等の各種情報との震度増

分を比較したグラフで示すとともに、横浜市の基盤深度、走時遅れ、浸水予測(横浜市による調査)もあわせて示している. なお、横浜市の基盤深度は反射波地震探査や微動アレイ、横浜市強震ネットワークの解析を駆使して求めたものである. また、三浦・翠川 (2001) は横浜市強震ネットワークと周辺の強震計の PS 変換波の解析から同様の地下構造が得られている.

これらをみると、標高等どの要素とも、震度増分と1対1に対応するような傾向はないが、傾斜角度の大きなところや基盤深度が深いところに、 震度増分が大きい観測点が多いこと等の傾向が見える.

標高については、横浜市内の標高(ほとんどが 100m以下)ではほとんど影響がないといえる.標高が低いところで震度増分が大きい傾向があるが、これは地盤が埋立地であることによる見かけのものだと考えられる.

傾斜角度に関しては、その値が大きいことにより、地震動の水平成分が上下成分に影響を与える等の効果のほか、埋立地で地震動の増幅が大きいところの傾斜角度が低いという相反する面がある。また、市南部など傾斜角度が大きい割に震度増分が低く、傾斜角度が高いからといって必ずしも震度増分が高いともいえない。地盤種については、横浜市の場合、臨海部は埋立地・干拓地、人工改

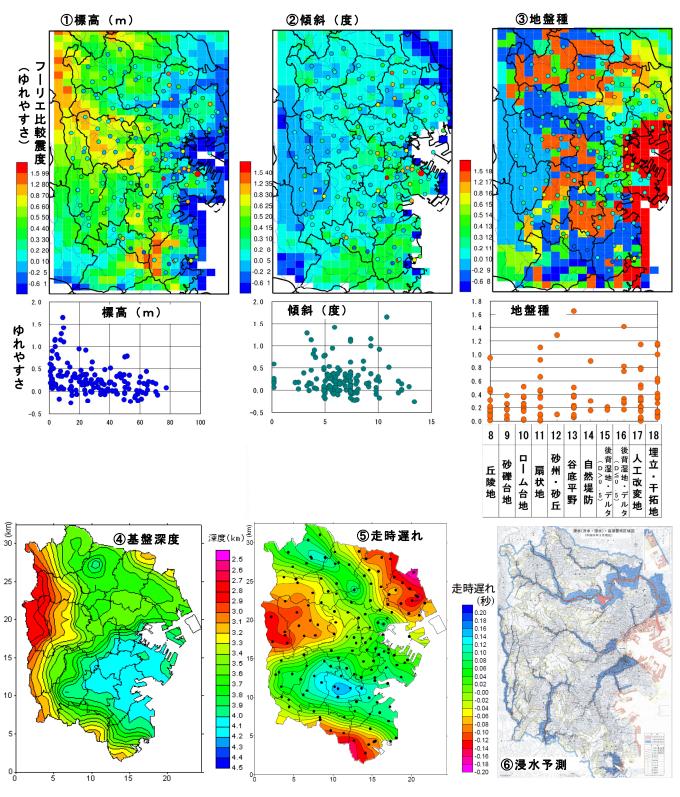


図 12 各種地盤情報と 0.4-0.7 秒震度増幅マップ (①~③) ① 3 次メッシュ標高 (m) ② 3 次メッシュ傾斜 (度) ③ 3 次メッシュ地盤種 以上は内閣府による ④ 基盤深度 (km) ⑤ 走時遅れ (秒) ⑥ 浸水予測図 以上は横浜市による

変地で、内陸中部は丘陵地、人工改変地、西部は砂礫台地で代表される.港北区で震度増分が大きいところは人工改変地となっている.主に埋立地、人工改変地で震度増分が大きい傾向があるが必ずしもはっきりとはしていない.

標高と傾斜角度がともに低いのは埋立地や河川のそばである.浸水予測図と比較すると港北区に標高が低く,傾斜角度が低いところが内陸に入り込んでいるところがある.内陸のこのようなところは,主要河川に近く,さらに平坦な場所であり、柔らかい堆積層が厚くなっていると考えられる.一方,図4でみたとおり、港北区の一部は0.7秒より長い周期帯で震度の増分が大きくなっている.

図情報だけでははっきりしないので,表1に図 2で抜き出した3地点について調査結果と3次メ ッシュの値を抜き出した. フーリエ変換による震 度増分をみると、KiK-net 横浜が短周期で震度増 分が大きく, 八景島がやや長周期で震度増分が大 きく、横浜地方気象台がその中間的な値となって いる. 標高は KiK-net 横浜>横浜地方気象台>八 景島であり、KiK-net 横浜は丘陵地、八景島は完 全な埋立地であり、横浜地方気象台は、埋め立て 地の近くではあるが、本来地盤に位置している. つまり標高が高く固い地盤(丘陵地)が短周期卓 越で地震波が増幅し、標高低く軟らかい地盤が長 周期側で増幅傾向となっている. フーリエ変換に よる卓越周期の並びも3次メッシュの卓越周期の 並びと同じである. メッシュによる震度増分はフ ーリエ変換の震度増分 0.7-1.0 秒の傾向にあって いる. 傾斜角度に関しては、図情報と同じではっ きりしない. ここでは、地盤種、標高に関して定 性的な傾向はあっていること, メッシュによる震 度増分傾向は 0.7-1.0 秒の値に近いことが分かっ た.

5. まとめ

横浜市強震ネットワーク, KiK-net 横浜, 横浜 地方気象台の強震データを用いて調査を行い, 以 下のことが成果として得られた.

・ 2000mの深さにある KiK-net 横浜地中部のデータを基準として, 周期帯域別のフーリエ変 換による震度比較を行い, 横浜市内のゆれや すさの状況 (震度増分) を示した. 特に周期

- 0.7 秒以上で揺れやすいところは臨海部,臨海部の埋立地,港北部の一部に点在する.
- ・ 石垣ほか (2005) の方法による近傍震度比較を 高密度に震度観測点のある横浜市地域に適用した. その結果, フーリエ変換による震度比較と ほとんどは大差なく(震度差±0.1 以内), 近傍震 度比較の方法が使用できることが分かった.
- ・ 3次メッシュ(内閣府ゆれやすさ調査)による 震度増分と調査結果の震度増分との比較を行い、 フーリエ変換による震度増分,近傍震度比較に よる震度増分ともに、正の相関関係が得られる が、3次メッシュの分解能が横浜市付近では市 内強震データのメッシュ(2~3km)より粗い ことが分かった.
- ・ 震度増分と各種の表層地盤,地形等との関連を 調べた. はっきりとした対応が得られたデー タはないが,丘陵部では短周期がゆれやすく, 臨海部ではやや長周期が揺れやすいなどの傾 向が確かめられた.

謝辞

横浜市強震ネットワーク及び防災科学技術研究 所 KiK-net のデータを使用させて頂いた. また, 本稿作成に当たっては, 気象研究所干場充之室長 に査読して頂き, 図の作成には加藤輝之氏による プログラム PLOTPS を使用した.記して謝意を示す.

付録 CD

図 $2 \sim 20$ 4 、図 $7 \sim 8$ を各観測点について示した. 波形については容量が大きいため、 KiK-net 横浜地中部の波形を特定の地震について表示した.

文献

石垣祐三・柿下毅・高嶺透 (2005):全国の震度計設置環境調査,日本地震工学会大会 2005 梗概集, 26-27.

加藤輝之 (2004): PostScript コードを生成する描画 ツール"PLOTPS"マニュアル, 気象研究所技術報 告,44,97pp

内閣府(2005):「表層地盤のゆれやすさ全国マップ」 について,

http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/yureyasusa/ 三浦弘之・翠川三郎(2001): 3 次元深部地下構造

周期帯域別にみた横浜市内の地震動の特徴について

がやや長周期地震動の特性に及ぼす影響, 地震,

54 [3], 381-395

横浜市(2000):横浜市地下構造調查,

http://www.city.yokohama.jp/me/shobo/kikikanri/map

 $01_1.pdf$

横浜市(2004):浸水(洪水・滞水)・高潮警戒区域図,

http://www.city.yokohama.jp/me/shobo/kikikanri/hmap/