

ミクロな空間変動を有する地震波動場のモデル化手法の開発 —高速道路構造物の地震被害予測の高精度化を目指して—

東京工業大学 盛川 仁
京都大学 後藤 浩之

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では太平洋沿岸の津波被害だけでなく、東北地方から関東地方にかけての広い範囲において内陸部でも地震動による被害が発生した。震度6強を観測した宮城県大崎市古川地区では、地震動による建物被害、液状化被害が顕著であったことが報告されている(たとえば, Goto and Morikawa [1] など)。地区内でも被害の顕著な地域は限定的であったため、地盤震動特性の違いによる影響が考えられていた。そこで、古川地区内の地盤震動特性を評価する事を目的として、同地区内で超高密度地震観測を展開した[2]。2011年9月に観測を開始して以降、観測点数を徐々に増やしながら観測を継続し、2014年3月現在までに図1に▲で示す36地点で稼働している。なお、図中の★は2011年東北地方太平洋沖地震の本震時に設置されていた強震観測点(気象庁およびK-NET観測点)である。観測網は古川地区市街地を中心として東西2km, 南北3kmのエリアをカバーしており、従来の高密度地震観測と比べても1桁密な観測網を実現している。センサーにはGPS信号を用いて時刻同期をすることができるITK-002を採用して、インターネットへの常時接続回線を利用したリアルタイム連続観測を実現している。イベント記録は、連続記録からポストトリガーで切り出して処理しており、2014年2月までに92イベントの記録を公開している[3]。

2. 地域ごとの揺れやすさの違い

密に地震観測をすることで、直接的にその場所が地震の際にどの程度揺れやすいかが明らかとなってきた。揺れやすさとは、地下数十mくらいの深さまでの地盤がどれく

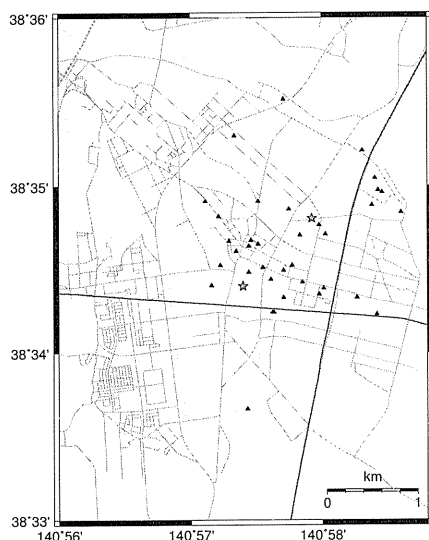


図1: 観測点の配置

らい地震の揺れを増幅させるかを表したものであるが、どのような揺れ(地震動指標)を対象とするかによって「揺れやすさ」の評価結果が異なる。地震動指標の代表的なものとして、最大加速度(PGA), 最大速度(PGV), そして計測震度が挙げられる。計測震度は、地震が発生すると気象庁から発表される震度と同じ計算手順にしたがって記録波形から求めたものである。PGAは、地震の揺れにより建物が受ける瞬間的な力の大きさに相当し、比較的短い周期の波についての揺れの強さを表す。一方、PGVは地震の揺れがもつエネルギーに関わる物理量と言え、加速度よりも比較的建物に影響を及ぼしやすい周期の波についての揺れの強さを表すと考えられている。

それぞれの指標についての揺れやすさを求めた結果を図2に示す。図中に赤く色付けした地域は地区の中でも揺れやすいところ、青く色付けした地域は揺れにくいところを表す。図2の作成にあたっては、地震毎に記録される各地点での地震動指標の値の平均を取り、その平均からの差を偏差値として求める。次に、すべての地震記録について偏差値を求めたのちに、各地点ごとに偏差値の期待値を求めている。従って、青と赤の境界の白い部分は地域のほぼ平均的な揺れ方をしている場所に対応する、と理解できる。いずれの指標についても市街地の中心部では揺れやすい傾向にあることがわかる。また、このような揺れの大きな地域は、2011年東北地方太平洋沖地震でも建物被害が多く発生していたところとほぼ対応している。

詳しく見ると、計測震度, PGA, PGVの3つの指標の結果はやや異なるが、計測震度とPGVはよく似ている。このことから、古川地区では、震度の大きさが最大速度とよい対応をしており、言い換えれば、震度の大きさが建物被害の大きさに直接関係する可能性が高いと考えることができる。ただし、ここで示した揺れやすさとは古川地区の平均的な揺れやすさに対する相対的なものである。したがって、古川地区そのものが全体としてどれくらい揺れやすいか、ということは別の揺れやすさに関する資料(例えば, J-SHIS [4] など)を参照する必要があることには注意が必要である。

しかし、同じ場所での揺れ方を地震ごとにみると、平均に対して大きくばらついている。図3はSI値(spectral intensity; これは一般にPGVとよい相関をもち、速度応答スペクトルの面積として定義される)について、各地点の地震ごとの値を示したものである。中央の1より小さい部分が平均より小さいSI値, 1より大きい部分が平均より大きいSI値を表わしている。これをみると、場所による揺れやすさの違いが傾向としてあることはわかるが、同時に非常に大きなばらつきがあることもわかる。このような大きなばらつきのもとでは、地点ごとの揺れやすさの違い

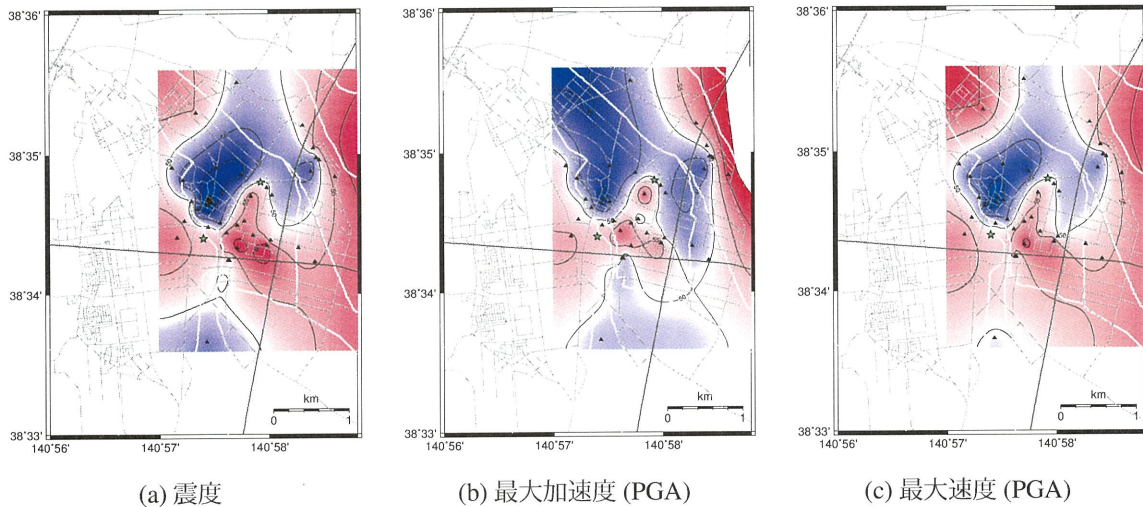


図 2: 場所ごとの揺れやすさの違い

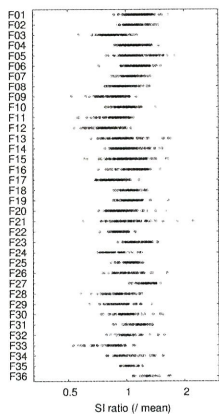


図 3: SI 値のばらつき

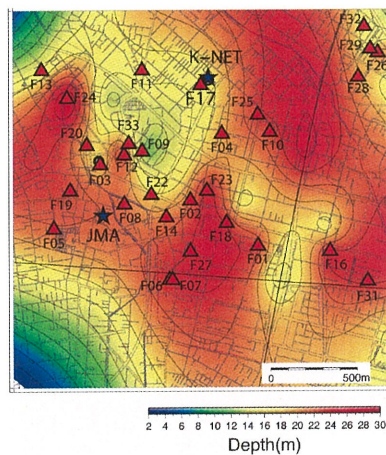


図 4: 推定された地盤構造

が統計的に有意であるか、について今後は統計学的な議論が必要である。

3. 表層地盤構造の推定

統計学的な有意差についての議論は現時点では不十分ではあるものの、定性的には地域によって揺れやすさが異なることが明らかとなってきた。これには当然のことながら、物理的要因があるはずである。地震の揺れは、どのような地震が発生したか(震源特性)、震源がどれだけ離れているか(伝播経路特性)、そしてその場所の地盤がどれだけ揺れやすいか(サイト特性)の3つの要素で決まると考えられている。このうち、本研究で対象としているような地震動のマイクロな空間変動、すなわち、古川地区といった非常に狭い範囲の地震動であれば、震源からの距離の違いはほぼ無視できるので揺れやすさの違いはサイト特性の違いが主たる要因であると考えられる。地盤は地表面から深くなるにつれて一般的には硬くなり、岩盤に達する。岩盤より浅いところ(表層地盤)がどの程度揺れやすいか、ということがサイト特性である。表層は柔らかく厚いほど揺れやすいことが知られている。すなわち、地域の揺れやすさを理解するためには、表層の柔らかさや厚さを調べる事がとても重要となる。

そこで、古川地区内にあるボーリングデータと本研究で得られた地震記録を利用して、地震記録の特徴を再現でき

るように表層地盤構造を推定した。図 4 に支持基盤までの深さを示す。支持基盤までの深さが表層地盤の厚さに相当する。地域内で厚さは 15-25m くらいの範囲で変化しているため、最大で 2 倍ほど表層地盤の厚さが異なることを意味している。特に表層地盤が厚いと推定された地域は、先に示した図 2 でも揺れやすい地域に対応しており、東北地方太平洋沖地震の際に被害が大きかった地域にも対応している。表層地盤が揺れやすさに関係することは今までも理論的に議論されてきたことであり、また、地震観測記録からも経験的に知られていたことである。そのため、地震ハザードマップを作成するために地盤の情報が活用されてきた。本研究は、これを実際の市街地において検証する事ができた貴重な事例といえる。

4. おわりに

古川地区における地盤震動特性の空間的変化の傾向を明らかにした。また、PGA 等の地震動指標についてその大きさを観測点毎に統計的に分析した結果、当該地域では PGV と計測震度は似た傾向を示すこと、被害の顕著であった地域でいずれの値も大きくなる傾向にあることが確認された。ただし、地震動指標の増幅度を反映すると考えられる空間平均からの偏差はイベント毎に大きくばらついていた。今後は各観測点ごとの揺れやすさの違いの有意性を統計的に議論するとともに、適切な地震動の空間変動モデルの構築をすすめていく必要があることもあわせて明らかとなった。

参考文献

- [1] Goto, H. and Morikawa, H., "Ground motion characteristics during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake," *Soils and Foundations*, **52**(5), 769-779, 2012.
- [2] Goto, H., Morikawa, H., Inatani, M., Ogura, Y., Tokue, S., Zhang, X.-R., Iwasaki, M., Araki, M., Sawada, S., and Zerva, A., "Very dense seismic array observations in Furukawa district, Japan," *Seism. Res. Lett.*, **83**(5), 765-774, 2012.
- [3] 大崎市古川高密度地震観測プロジェクト：
<http://sn.catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/>
- [4] 地震ハザードステーション：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>