

2003年十勝沖地震の余震地動の強さ*

弘前大学 片岡俊一

1. はじめに

大規模な地震が起きた場合には、引き続き発生する大規模な余震の発生の可能性が高い。このような余震ではそれ自身の強震動により構造物が被災することが懸念される。さらに、余震による強震動は避難場所の指定あるいは復旧工事の仕様にも大きな影響を及ぼすと考えられる。現在では、東海地震や南海地震などの大規模地震の発生が懸念されており、本震だけでなく余震でもどの程度の地震動になるかを研究することは重要と思われる。2003年十勝沖地震 ($M_J: 8.0$) では、本震だけでなく直後に起きた最大余震 ($M_J: 7.1$) でも多くの強震記録が得られ、観測記録を基にこの問題を検討する良い題材となった。

特に、浦河をはじめいくつかの観測点では、最大余震の方が本震と比べて最大加速度や震度を観測した。さらに、青森県では最大余震の方が本震よりも大きな震度となり、震度5弱が観測されたために、県では災害対策連絡会が発足した。本報告では、最大余震においてこのような地震動指標が大きかった地点の特徴を検討した。

2. 地震および地震動の概要

表-1に地震の概要をまとめて示す。気象庁によれば、本震のマグニチュードは8.0、本震の約3時間後に起きた最大余震のマグニチュードは7.1とされている¹⁾。本震の震源メカニズムは地震・火山月報¹⁾に報告されている。また、破壊過程についても多くの研究があり、多くの研究では破壊は南東から北西に向かったとされている^{例えば2)}。一方、本震に引き続いて起きた最大余震（以下、混乱がない場合には余震と呼ぶ）の震源メカニズムについての記述は、地震・火山月報¹⁾にはない。これは、最大余震の約1分前に起きたM4.9の地震のためと思われる。そこで、F-net³⁾によるメカニズムを比較した。これによると、最大余震の方が深さが深いものの、メカニズムは本震と最大余震とでほぼ同様であることが分かる。ただし、最大余震の破壊過程についての研究はまだ目にしていない。

表-1 本震と最大余震の震源諸元

気象庁					F-net				
発生時刻	緯度	経度	深さ [km]	M	走向	傾斜	すべり角	深さ [km]	Mw
2003/9/26 4:50	41°46.7'	144°04.7'	42	8.0	31;249	78;15	81;127	23	7.9
2003/9/26 6:08	41°42.4'	143°41.7'	21	7.1	45;199	71;21	99;66	53	7.3

気象庁：平成15年9月 地震・火山月報

F-net：<http://www.fnet.bosai.go.jp/> の手動メカニズム決定結果

図-1は、K-NETの観測記録を用いて描いた最大加速度（以下、PGA）の分布である。ここで、最大加速度は、観測された水平成分の各最大加速度のいずれか大きい方を取っている。これを見

* Ground motion during the largest aftershock of the 2003 Tokachi Oki Earthquake by Shunichi Kataoka

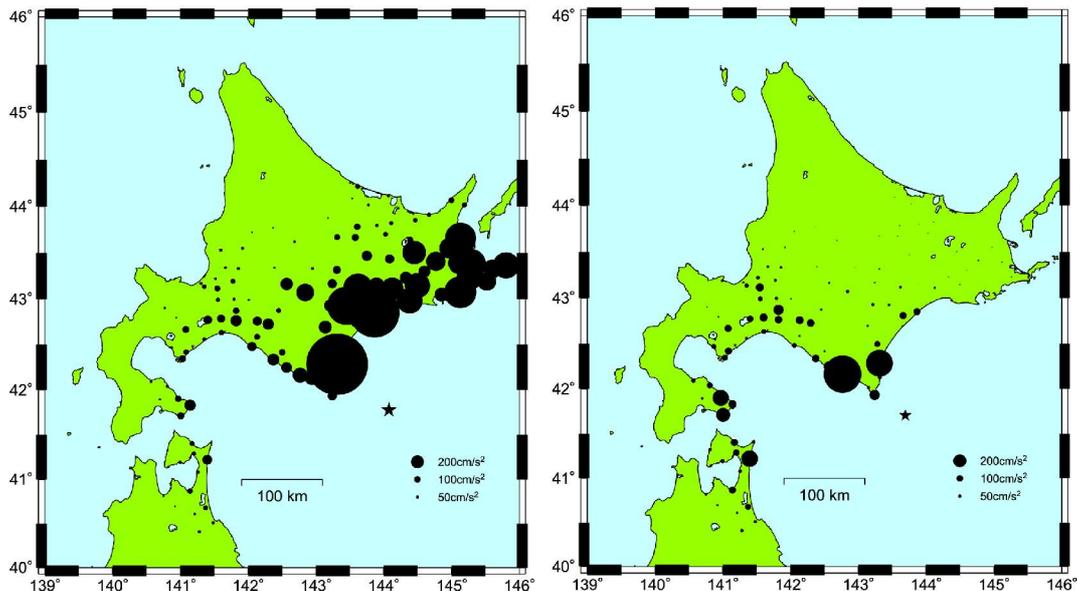


図-1 本震（左）と最大余震（右）の最大加速度

ると、大きなPGAを観測した地点数は、断然本震の方が多い。また、本震では震央の西側で大きな最大加速度が観測されているが、これは破壊が震央から北西に伝播したことと対応している。一方最大余震では、大きなPGAは最大余震の震央の西側に見られる。特に、浦河や北海道の亀田半島、青森県の下北半島の観測点では最大余震のPGAの方が本震よりも大きいことが分かる。

余震の強震動がどの程度であったかを判断するために、図-1に示したPGAを距離減衰の形で整理して図-2に示す。図中には、司・翠川⁴⁾による距離減衰式も示す。この式では、モーメントマグニチュードを利用してはいるが、これはF-netの値を用いた。また、深さについてもF-netの値としたので、横軸は等価震源距離としている。本震の最大加速度の距離減衰は平均的なものと言われている⁵⁾が、余震はやや勾配が大きいようにも見える。これは、200~300kmの範囲でPGAの値の幅が大きいためとも思われる。また、広い範囲でばらつきが大きいことも特徴である。ただし、観測値は既往の距離減衰から一方的に偏ってはいないので、敢えて言えば一般的なPGAであったと言えよう。

図には、本震を想定した距離減衰式の結果も記入してある。いま、モーメントの差は0.6 (7.9-7.3)であるが、既往の式で検討すると、PGAが100cm/s/sとなるためには、Mw7.9の場合は等価震源距離が170km、Mw7.3の場合は130kmとなる。

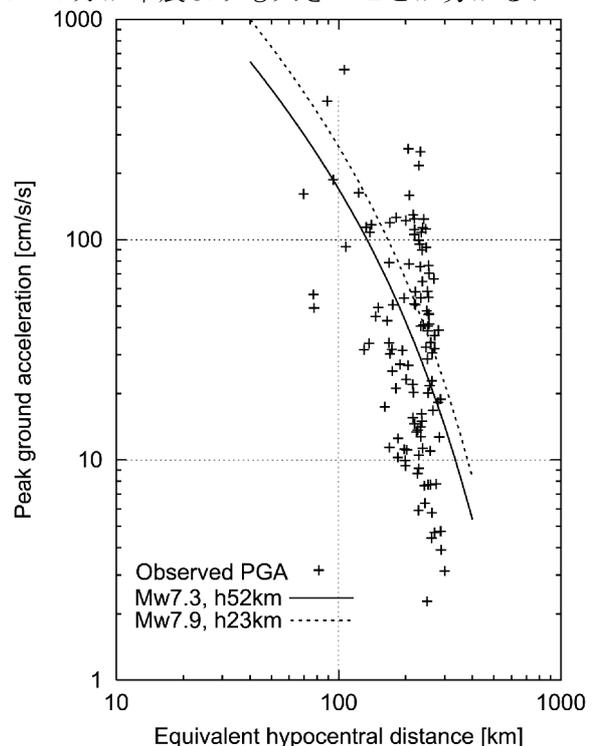


図-2 最大余震の観測最大加速度。図中の直線は司・翠川による距離減衰式（実線：最大余震、破線：本震）

この距離の差は、本震の断層の大きさよりも小さいので、距離減衰式から判断すると、本震よりも大きな加速度を観測する可能性は十分にある。

3. 浦河における地震動

地震直後から、浦河では余震の地動の方が大きいことが指摘されていた。そこで、K-NET 浦河 (HKD109) における本震・余震の観測記録のうちNS成分を図-3に示す。地震動の継続時間は本震の方が長いが、最大加速度は余震で592cm/s/sと本震の約3倍になっている。余震は詳細に見ると、波形が尖っており地盤が非線形性状を示しているよう見え、最大加速度が大きいのもこの為とも考えられるが、気象庁の浦河観測点における記録でも計測震度、3成分合成の最大加速度とも余震の方が大きい(順に、5.6;5.8, 368.0;507.7)⁴⁾。このことから、余震の地震動指標が大きいことは、K-NET 浦河周辺の局地的な影響とは考えにくい。

Acc. [cm/s/s]

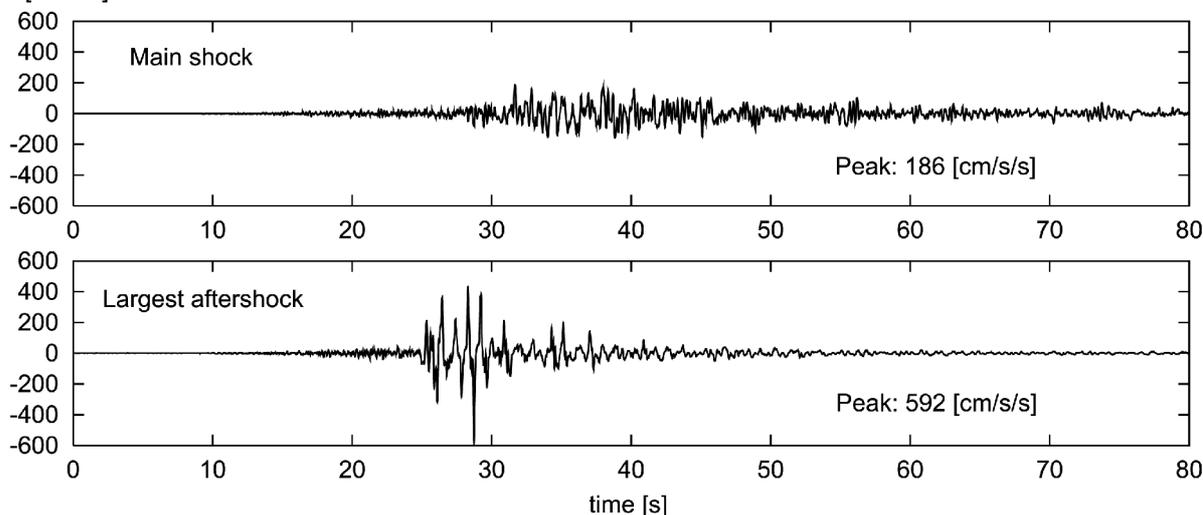


図-3 K-NET 浦河 (HKD109) における本震と最大余震の観測記録 (NS成分)

さらに、減衰定数5%とした2次元加速度応答スペクトルを図-4に示す。図より余震地動は、周期0.5秒付近にピークを有し、応答加速度は1000cm/s/sを超すことが分かる。さらに、周期0.05秒から1.5秒の範囲にかけて、本震地動よりも応答振幅が大きいことも分かる。極短周期の加速度応答値は最大加速度によって規定されるため、本震よりも大きいことは観測値からして当然であるが、周期1.5秒まで大きいことは注目し値する。長周期領域で振幅の大小関係が交代するのは、地震の規模によるためであろう。

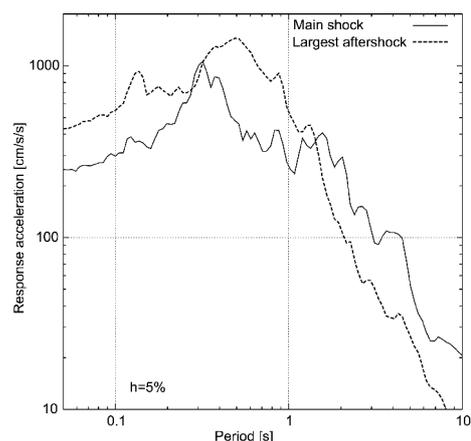


図-4 K-NET 浦河 (HKD109) における観測記録の2次元加速度応答スペクトル (減衰定数5%)

4. 本震と最大余震との広域的な比較

浦河のように余震の地動の方が大きい点がどのように分布しているかを確認するために、本震のPGAに対する余震

のPGAの比を求めた。その比の大きさを色分けして地図上に描いたものが図-5である。ここでは、本震・余震独立に水平2成分のうち大きい方の最大加速度を用いて比を取っており、必ずしも同一の成分での比となっている訳ではない。図には本震、余震ともにPGAが100cm/s/sを超え、かつ余震のPGAの方が大きい地点のコードも記してある（以下、これらの観測点をグループ1と呼ぶ）。例えば、札幌市や青森市周辺などのような遠距離の地点においても、比が1を超える地点はあるが、これらは実振幅が小さいために、工学的な考察には不要と考え、前述のような規準を設けた。結局、このような地点は余震の震央の西側に8地点あった。さらに、北海道内ではPGA比が1以上と1以下、つまり本震のPGAの方が小さかった地点と大きかった地点が隣接して存在することも分かった。そこで、グループ1との対比を見るために、グループ2の観測点に隣接してPGA比が1未満の6カ所の観測点を選んだ（以下、グループ2）。選択した観測点のコードは、図-5に斜体で記してある。

グループ1に関してPGAと最大速度(PGV)の関係を見たものを図-6に示す。ここで、最大速度は周期20秒、減衰定数0.707の1自由度の振り子の応答速度の最大値を用いている。さらにPGAとの対応をとるために、PGAが出現した時間を中心に±2秒の範囲で最大速度を検索している。以下、説明のために、このようにして求めたものをpPGVと称する。本震地動では、本来の最大速度は、pPGVよりも後の時刻に、より大きな値で出現するが、余震地動では本来の最大速度とpPGVは同じであった。この違いは、長周期成分の震源での励起の違いに起因していると考えられる。ここでは、後述するような卓越振動数を算出することを考えて、このような最大速度(pPGV)を用いる。

図-6によると、HKD109(浦河)はPGVが40cm/sを超えかなり大きな値であるが、それ以外の観測点ではPGAは大きいものの、最大速度はそれほど大きなものではない。つまり、高振動数に富んだ地震動であることが推察される。

そこでPGAとPGVとの比からみかけの卓越振動数 f_p を本震、余震で求めてみた。

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \frac{PGA}{PGV}$$

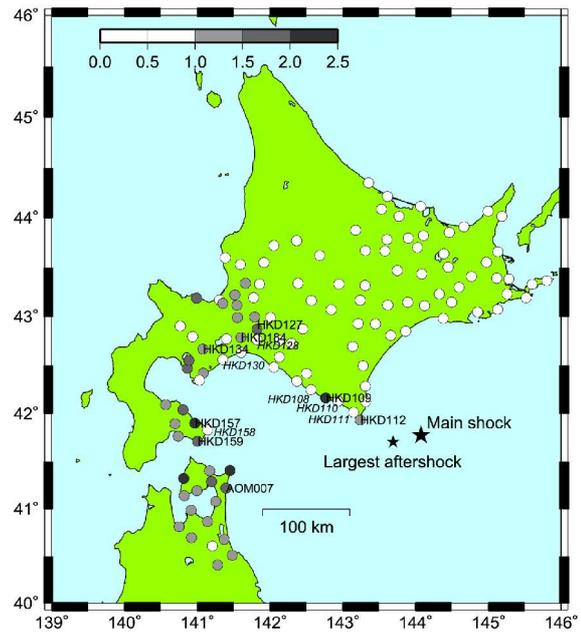


図-5 K-NET観測点における本震と最大余震のPGAの比

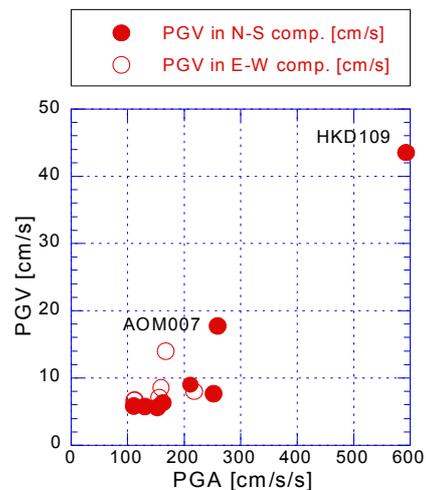


図-6 グループ1における最大加速度(PGA)と最大速度(PGV)との関係

結果を図-7に示す．ここで示すみかけの卓越振動数は、震源特性とサイト特性との両者を含んだものである．その結果、みかけの卓越振動数 f_p は概ね一致するものの、本震と余震ではやや異なり、最大余震の方が大きな値を示す．つまり、最大余震の地震動の方が本震の地震動に比べて高振動数成分に富んでいることが分かる．また、○で示したグループ2はほぼ同じ領域に位置しているが、●で示したグループ1はそれよりも大きな値となっている．つまり、グループ1の観測点の特性として高振動数成分が卓越することを示していると言える．ただし、最大速度の大きかったHKD109やAOM007は、 f_p は1~2Hzとなり、グループ2の領域に近い．

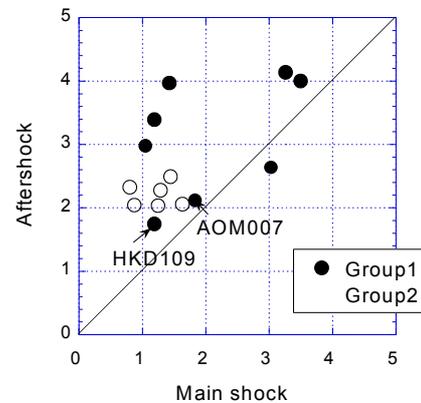


図-7 PGA と PGV から算出した卓越振動数

北海道内で余震におけるPGAが大きかった地点では、短周期が卓越することが分かった．これは、地表付近の増幅のためと考えられる．そこで、KiK-netの地中観測記録をもとに、図-3と同様の図を作成し、図-8に示す．北海道の日高地域においては、観測点間隔が広いために、K-NET観測点との厳密な比較はできないが、地中において余震の方がPGAが大きい地点は存在しない．しかしながら、亀田半島や青森の太平洋岸では地中においても余震の最大加速度が大きい地点が散見される．

5. まとめ

2003年十勝沖地震では、最大余震の際に本震よりも大きな加速度を観測した地点が少なからずあった．このような地点を検討した結果以下のことが分かった．

- 1) このような地点は震央の西側にのみ存在している．
- 2) 最大加速度と最大速度の関係、あるいはこの両者から得られるみかけの卓越振動数を検討した結果によると、指摘された多くの観測点はサイト特性として高振動数領域のみが増幅し易い地点と思われる．
- 3) 上記の事項はKiK-netの地中観測点の記録からも妥当と判断された．

このうち2)の結果、つまり高振動数だけの卓越は、構造物の被害とは結びつきにくいと考えられ、当初懸念していた問題はそれほど深刻ではないのかもしてない．ただし、浦河 (HKD109) のように、PGAもPGVも大きい地点は存在するので、このような地点の地震動の発生メカニズ

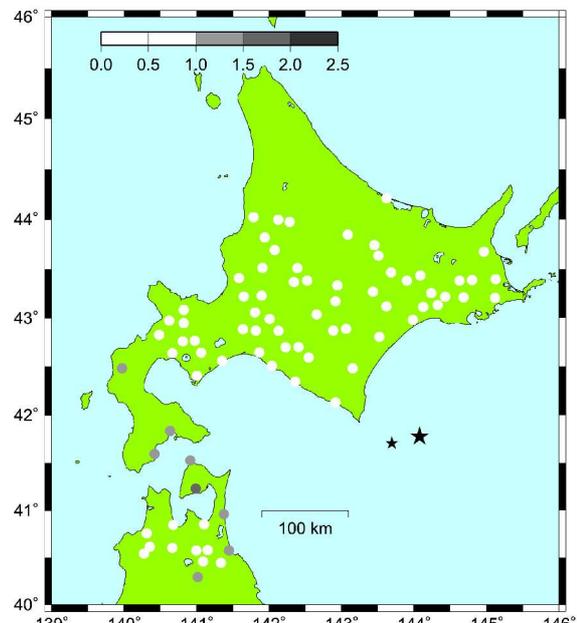


図-8 KiK-net 地中観測点における本震と最大余震のPGAの比

ムについて震源の破壊過程や周辺のやや深い地下構造も含めて更に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 気象庁：平成15年9月地震火山月報
- 2) <http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/Japan20030926/japan20030926-j.html>
- 3) <http://www.fnet.bosai.go.jp>
- 4) http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2003_09_26_tokachi/acc_data/table_200309260450.html
- 5) 司宏俊・翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，No.523，63-70，1999.
- 6) 石川裕・小長井一男・片岡俊一・本田利器：地震および地震動，2003年十勝沖地震被害調査団調査報告（PDF），土木学会，2003（<http://www.jsce.or.jp/report/frameset.htm>）。