

青森県内の強震観測点における計測震度の増幅度

○弘前大学・助教授 片岡俊一
(株)フォーカスシステムズ 山本博昭

青森県内の各種強震計による観測記録を有効に利用するために、計測震度に関する増幅度を観測点毎に求めた。青森県東方沖で起きた地震を対象とし、KiK-netの地中で観測された地震記録から震度を算出し、その距離減衰式を求めた。この回帰式を基準とし、地表観測点の記録との差を7つの地震で求め、その平均値を増幅度とした。結果は観測点毎には安定しており、0～2の範囲を取り、多くの観測点では1程度であった。

キーワード: 震度情報ネットワーク, KiK-net, K-NET, 計測震度

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、自治体による震度計の設置が進み、現在では各市町村に1台ずつの震度計が設置され、震度情報ネットワークと呼ばれている。これらの震度計からの通報は、自治体の防災担当部署と気象庁に接続され、気象庁を介して広報される。このように、震度情報ネットワークは、初動体制の整備などに有効に利用されている。しかしながら、これだけ密に設置されている震度計をより有効に利用できる可能性は高い。

現在では、各都道府県単位で考えると、K-NETやKiK-netが平均的に整備されており、さらに独立行政法人による観測点も少なからずある。ただし、後述するように青森県の場合では、その数を合わせても、震度情報ネットワークの数には及ばない。また、震度情報ネットワークは、自治体庁舎付近に設置されていることから、すくなくとも地勢的にはその地域の代表値となりうる。このようなことを考えると、自治体の震度情報ネットワークとし設置した震度計の記録を、更に利用することは、防災対策上有意義であると思われる。

震度計の記録を有効利用するためには、サイト増幅特性を明確にしておく必要がある。サイト増幅特性を厳密に定義するためには、振動数領域での議論が必要である。しかしながら、震度情報ネットワークでは、時系列データを常に回収することを念頭においたシステム構成ではないために、回収には膨大な時間がかかる。そこで、次善の策として、常に通報される計測震度あるいは最大加速度を利用することが考えられる。そこで、以下では、このような地震動指標に関する増幅特性を増幅度と称する。

増幅特性の評価には、基準となる点が必要である。また、広域の観測点の増幅特性を評価するためには、伝播経路特性も考慮する必要がある。このような問題の一番容易な解決策は、距離減衰式を作成し、その値から各観測点の値の差異をサイト増幅度とすることである。現在では地中にも強震計を設置したKiK-netが全国展開している。KiK-netの地中観測点の設置深度はS波速度を判断基準としていることから、これを基準として利用することができる。そこで、本報告ではKiK-netの地中観測記録を基準として増幅度を求めることとする。

地震動記録は震源特性の影響も含まれており、計測震度や最大加速度についてもその影響が現れることが想像される。青森県に被害をもたらす地震が発生する可能性が高い地域として、青森県東方沖が指摘されている。地震調査推進本部は、三陸北部で起こるプレート間大地震の発生確率は2002年1月から今後50年以内の場合に10～30%、それよりも規模が小さいマグニチュード7クラスの地震の発生確率は2002年1月から今後30年間に90%と発表している¹⁾。このように地震の発生危険性が高いので、本研究では、青森県東方沖を対象に、そこで起きた地震の地震記録を検討対象とする。この地域は、有感地震が比較的頻繁に起こり、最近3年間に

連絡先: 036-8561 弘前市文京町3 弘前大学理工学部地球環境学科 片岡俊一

Tel & Fax: 0172-39-3616, E-mail: kataoka@cc.hirosaki-u.ac.jp

限ってもマグニチュード5以上の地震が7つ発生している。

2. 使用したデータ

2.1 地震動記録

青森県では、県内の全67市町村(2004年3月現在)に独自に震度計を設置するか、あるいは他機関の震度計、強震計を利用して、青森県震度情報ネットワークを構成している。設置当初に県が設置した観測点は42地点であり、気象庁の震度計の利用が6地点、K-NETの利用が19地点であったが、2002年3月にはK-NET利用観測点の一部を県設置に置き換え、56地点に増やし、気象庁震度計6地点、K-NET利用5地点の構成で運用している。

このネットワークでは、計測震度に加え水平2成分、上下1成分の地動加速度をベクトル合成した最大値が県の防災消防課に通報される。そこで、本研究ではこの二つの指標のうち、計測震度に着目した。最大加速度に関しても、ここで報告するものと同様な検討は実施しているが、これについては別途報告する。また、データ数を増やすことは結果の安定性に大きく寄与すると考えられることから、K-NETとKiK-netの観測記録からも計測震度に相当する値を算出した。

K-NETは青森県内に29地点ある。この内青森県震度情報ネットワークに共有されている観測点においては、計測震度はK-NETの記録から算出した値を用いた。また、K-NET弘前(AOM016)では下に示す対象地震を一つも記録していない。そこで、本報告の対象から除外する。KiK-netは青森県内に18地点あるが後述する距離減衰式の精度を高めるため、北海道の1地点、秋田県の3地点、及び岩手県の5地点の観測記録も利用した。観測点の分布を図1に示す。

本研究ではKiK-netの地中記録を基準にしてサイト増幅度の評価を試みるが、青森県内の観測点における地中地震計設置位置のS波速度の平均は1069m/s(標準偏差484m/s)である。増幅特性を求めた既往の研究においては多くの場合工学的基盤が基準に用いられることから、S波速度600m/s程度が一つの目安となる。そこで本研究では地中のS波速度が600m/s以上の観測点を用いることにし、AOMH13(八戸)は地中観測点周辺のS波速度が430m/sであることから、この点の地中記録は距離減衰式作成時には除外した。青森県以外の観測点も、この基準は満たしている。

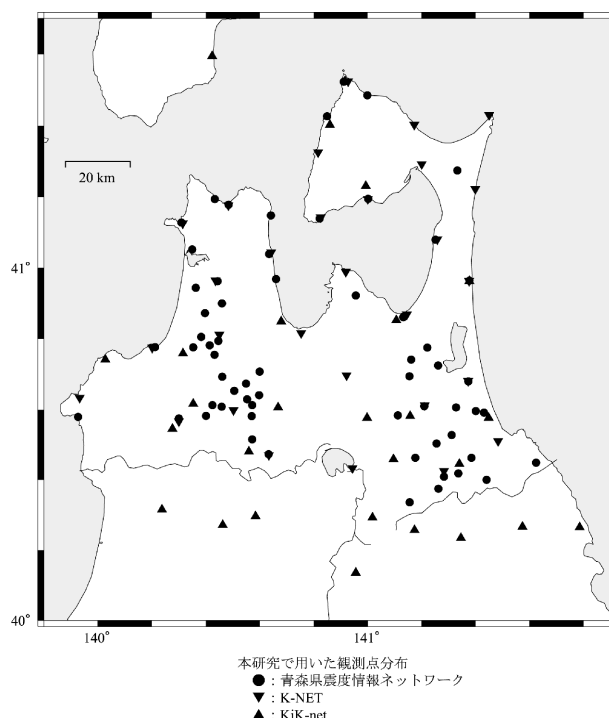


図1 強震観測点の位置

2.2 解析対象地震

本研究では、前述のように青森県東方沖の地震を対象としている。そこで、青森県内においてKiK-netの運用が開始された2000年8月以降に上記した観測点のほぼ全域で記録が得られた7個の地震(M5.0~6.4)について解析した。さらに規模の大きな地震での関係を調べるために2003年9月に発生した十勝沖地震の本震及び最大余震についても解析を行なった。気象庁によるこれらの地震についての震源要素、発震機構²⁾を表1に、震央分布を図2にそれぞれ示す。青森県東方沖の地震の場合EQ1を除いて全て逆断層であり、P軸の方向もほぼ同じである。この領域では、プレート間地震の発生が卓越すると考えるが、メカニズムもこのことを裏付けている。

表1 検討に用いた地震の震源要素など

記号	年月日	時分	緯度	経度	深さ (km)	M	発震機構
EQ1	2001.04.03	04:54	40.6100	141.9233	63	5.5	正断層(ほぼ南北方向にT軸)
EQ2	2001.08.14	05:11	40.9917	142.4400	38	6.4	逆断層(東西方向にP軸)
EQ3	2002.02.14	10:12	41.4633	142.0650	64	5.0	逆断層(北北西-南南東にP軸)
EQ4	2002.04.04	08:42	41.4700	142.0117	59	5.3	逆断層(西北西-東南東にP軸)
EQ5	2002.08.12	06:55	41.0833	142.6383	26	5.0	逆断層(東北東-西南西ないし、 東西方向にP軸)
EQ6	2002.10.14	23:12	41.1483	142.2800	53	6.1	逆断層(西北西-東南東にP軸)
EQ7	2003.04.17	02:59	40.9567	142.3450	40	5.6	逆断層(西北西-東南東にP軸)
EQ8	2003.09.26	04:50	41.7783	144.0783	42	8.0	逆断層(西北西-東南東にP軸)
EQ9	2003.09.26	06:08	41.7067	143.6950	21	7.1	データ無し

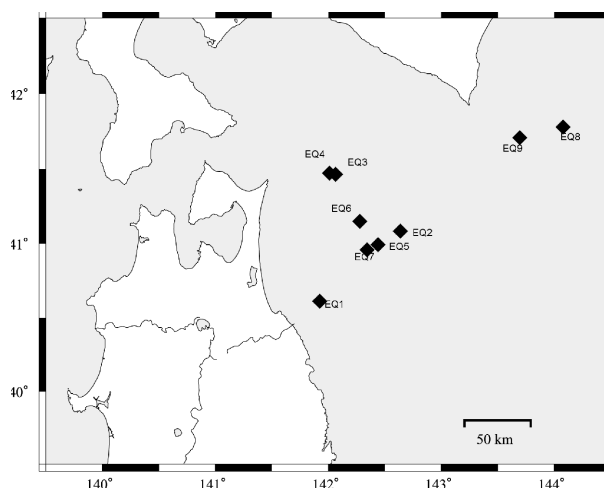


図2 解析対象の地震の震央位置

3. 増幅度

表1に示した青森県東方沖で発生した7地震について、次式のような距離減衰式を地震毎に作成し、それを基に各観測点の増幅度を求めた。

$$I = a \times \log X + b \quad (1)$$

ここで、 I は計測震度、 X は震源距離、 a, b は回帰係数である。この式は、非常に単純な式であるが、本研究の目的は地中観測記録との差を求めることであり、距離減衰式の形式は重要ではないと判断して用いている。

各観測点の増幅度は、各地震毎の増幅度の平均とした。その結果、増幅度の範囲は、-0.1から2.3の範囲に分布した。このうち、-0.1はKiK-netの佐井(AOMH02)であるが、この観測点では記録がある6地震のうち、4地震で地表面の計測震度が地中よりも小さくなったため、このような値になっている。地表が地中よりも小さくなる逆転現象は、最大加速度や積分して求めた最大速度でも起きていた。KiK-netの佐井は、地盤柱状図によると表層2m程度が砂礫であるが、その下はS波速度が1km/sを超える岩となっている。良質な観測点ゆえ、増幅度が小さいのであろうが、地震動指標の逆転現象については、スペクトル特性を含めて検討する必要がある。なお、これ以外に、増幅度が負となる観測点はない。

図3に増幅度の頻度分布を示す。増幅度を0.33毎に区切って評価しているが、増幅度が1~1.33、つまり、地中と地表の震度差が1となるの観測点が多く、全体の30%を占める。また、分布はこの階級を中心に左右対称となっておらず、増幅度が1以上の観測点の方が1以下の観測点よりも多いことが分かる。本検討で求めた増幅度の最大値は、KiK-netの新郷(AOMH16)の2.3であった。計測震度の差が地中と地表で2違うことは、計測震度の基となる加速度の振幅³⁾に直すと大凡15倍増幅されることになる。この点以外に増幅度が2を超えた観測点としては、KiK-net二戸東(IWTH01)、名川町、KiK-net野辺地(AOMH05)がある。これらのうち、柱状図が公開されているKiK-net観測点について地下構造を見ると、いずれも表層は火山噴出物であり、S波速度が非常に遅く、さらにその直下のS波速度とのコントラストが強いことが分かる。つまり、このインピーダンス比の影響で増幅度が大きくなったものと思われる。また、火山噴出物は脊梁山脈から運ばれてきたことは間違いなく、この大きな増幅度はこの地域特有のものとして判断される。

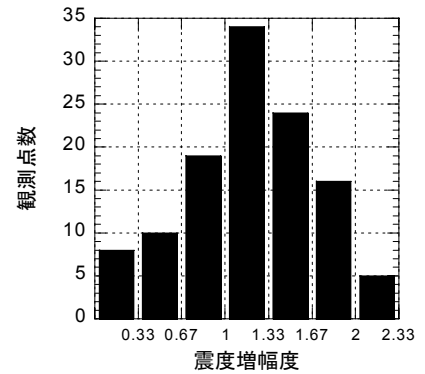


図3 計測震度の増幅度の頻度分布

図4は増幅度の地域分布を示したものである。増幅度の大きさは円の半径で示している。この図からも県南地方から野辺地にかけての地域で増幅度が大きいことが分かる。また、津軽半島の西部でも増幅度は大きい。

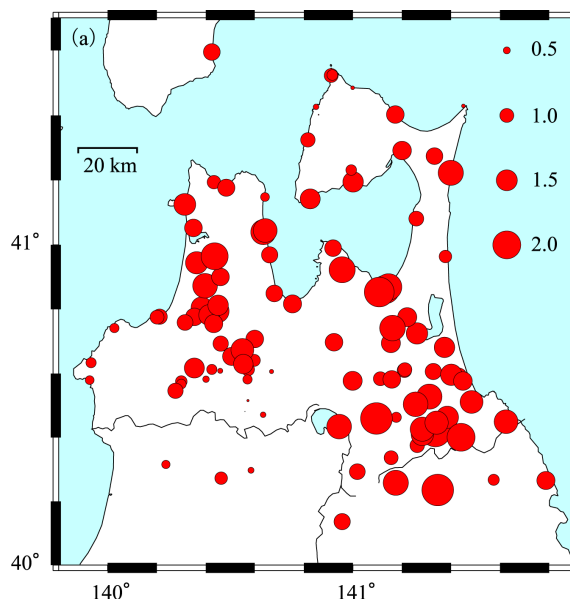


図4 計測震度の増幅度の地域分布

4. 増幅度の評価

4.1 増幅度のばらつき

変動係数により、増幅度のばらつき具合を検討した。図5に変動係数の頻度分布を示す。図から計測震度の増幅度に関する変動係数は0.1~0.2にするどいピークがあることが分かる。つまり、本検討で推定した増幅度が安定しているものであることが確認される。前述したように、類似の検討を最大加速度でも行っているが、最大加速度の増幅度の変動係数も図5と同様の傾向で、変動係数が0.3の時に最頻値であった。このことより、青森県東方沖で発生した地震については今回の地震規模の範囲(M5.0~6.4)では、増幅度がほぼ一定であることが指摘できる。

4.2 実測との比較

ここで、もとめた増幅度はKiK-netの地中記録を基準としており、S波速度700m/s以上という基準はあるものの、これまでに評価された増幅度とは基準が異なっている。その為、既往のデータとの比較ができない。しかしながら、KiK-net観測点では地表と地中で同時観測を行なっているので、実測値による比較が可能である。そこで基準値を地中記録の実測値として求めた増幅度(以下実測増幅度とする)と本研究の増幅度との比較をKiK-net観測点に対して行なった。結果を図6に示す。図からは増幅度が小さい場合と大きい場合でばらつきが大きいですが、両者は概ね一致していることが分かる。全体については ± 0.5 の範囲に収まり、増幅度が1から1.5の範囲ではばらつきは非常に小さい。このことから本研究で求めた増幅度は、KiK-netの地中地震計が設置されている平均的な層から地表までの増幅を適切に表わしていると言えよう。

4.3 大規模地震との比較

青森県東方沖ではM7~8クラスの地震が過去に何度も発生している。このことを考えると、本研究で求めたM5~6クラスにおける増幅度と規模が大きな地震における増幅度との間がどのような関係にあるかを調べておくことは重要である。しかし、青森県内に高密度な地震観測網が整備されて以降、そのような地震は発生しておらず記録から評価することはできない。そこで2003年9月26日に発生した十勝沖地震の本震と最大余震(M8.0, 7.1)を用いた。

図7に、KiK-net観測点における実測増幅度と本検討の増幅度との比較を示す。図から本震、最大余震のどちらも青森県東方沖の地震から求めた増幅度の方が2倍前後大きく、ほぼ上限となっていることが分かる。詳細にみると、最大余震の増幅度が本震よりも大きい。これは、卓越振動数が異なっている可能性を示唆していると言えよう。つまり、本震の方が最大余震よりも卓越振動数が低く、そのために最大加速度や計測震度が地表面で大きくならなかったのであろう。いずれにしても、頻繁に発生する中規模地震の増幅度の方が大きいという結果は、地震動予測の観点から見ると安全側の判断と言える。

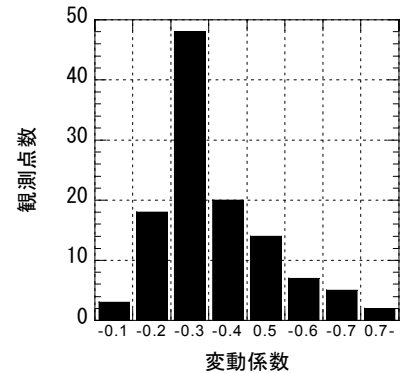


図5 計測震度の増幅度に関する変動係数.

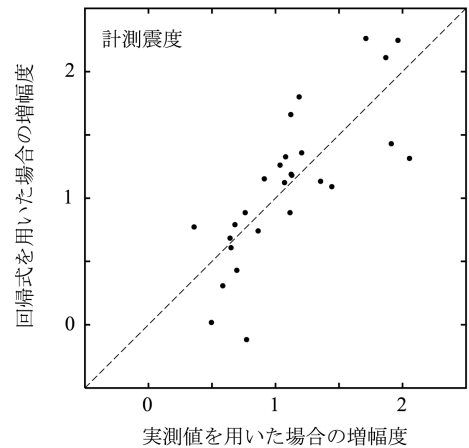


図6 KiK-netデータを用いた実測増幅度と本研究の増幅度との比較

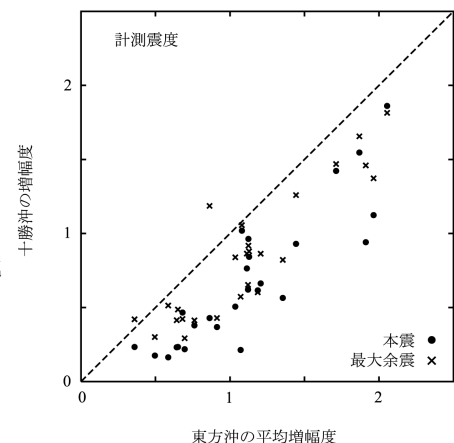


図7 十勝沖地震とその最大余震の際の増幅度と本研究との比較

5. まとめ

青森県内の強震観測点、特に震度情報ネットワークの観測点における観測記録を有効に利用するために、各観測点毎の震度増幅度を算出した。基準は、KiK-netの地中観測点の記録から算出した計測震度である。その結果、計測震度の増幅度は-0.1から2.3の範囲にばらつくものの、各観測点でのばらつきは少ないことが分かった。また、この結果は実測結果とも整合しており、今後の利用が期待されるものと言える。

さらに規模地震への適用性を確認するために、十勝沖地震の本震と最大余震の実測データを検討した。その結果、十勝沖地震の本震および最大余震と増幅度は、本報告のそれよりも半分程度の小さな値となった。この結果は、見かけ上は安全側であるので、今回の増幅度の有用性を否定するものではない。また、増幅度が小さくなる理由としては、地震動の卓越振動数が考えられる。想定されている三陸沖北部で起きる地震に関しては、規模が大きいことに加え、地震動が強いことから地盤が非線形性を呈することが想定される。今後は、このような点に留意して、大規模地震に関しての増幅度の評価を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 地震調査推進本部:三陸沖から房総半島にかけての地震活動の長期評価について、<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>, 2002年.
- 2) EQ1: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成13年4月号, 2001年.
EQ2: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成13年8月号, 2001年.
EQ3: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成14年2月号, 2002年.
EQ4: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成14年4月号, 2002年.
EQ5: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成14年8月号, 2002年.
EQ6: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成14年10月号, 2002年.
EQ7: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成15年4月号, 2003年.
EQ8: 気象庁:地震火山月報(防災編), 平成15年9月号, 2003年.
- 3) 気象庁監修:震度を知る, 基礎知識とその活用, 238p, ぎょうせい, 1997年