



地震動記録に基づく青森県内の強震観測点のサイト増幅度

片岡俊一¹⁾、山本博昭²⁾

1) 正会員 弘前大学、助教授 博士(工学)

e-mail: kataoka@cc.hirosaki-u.ac.jp

2) 株式会社フォーカスシステムズ

要約

本研究では、青森県東方沖の地震を対象に、KiK-netの地中観測点の記録を回帰分析し、その値に対して、震度情報ネットワーク、K-NET、KiK-netの地表観測点の地震動指標(最大加速度、計測震度)がどの程度増幅されているかを求めた。得られた結果に対する統計的評価を行い、さらに実測値との比較、1994年三陸はるか沖地震の際のアンケート震度との比較を行った。これらを通して、本研究で得られた増幅度の妥当性を示した。

キーワード: 震度情報ネットワーク、K-NET、KiK-net、距離減衰

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、設置当時では各市町村に1台ずつの震度計が設置された。これらは震度情報ネットワーク¹⁾と呼ばれ、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、気象庁を介して報道機関を通じて広報される。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の記録は、さらに有効に利用できる可能性があると思われる。

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、加えて、港湾空港技術研究所と建築研究所が全国的観測網として設置した強震観測点がある場合もあり、地域特性を反映した地震動データの利用は可能であろう。しかしながら、その数を合わせても、青森県の場合では、震度情報ネットワークの数には及ばず、全国的に見てもこの傾向は変わらないと思われる。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、震度計の記録を更に利用することは、地震防災対策上有意義であろう。

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。但し、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のが一般的なようである。例えば、青森県のシステムでは、1地点60秒間のデータを回収するのに約15分程度かかる。このような状況では、全観測地点の地震動記録を収集

し、それを分析することは困難である。そこで、次善の策として、常に通報されている計測震度あるいは最大加速度の利用が考えられる。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、翠川・他²⁾が行ったように、観測記録に基づいて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。

例えば、大西・他³⁾は気象庁 87 型強震計で得られた最大加速度の距離減衰式から、日本各地の気象台のサイト増幅特性を評価している。しかしながら、この場合の増幅度は仮想的な平均的地盤からの増幅度であり、平均的な地盤というものを再度定義する必要がある。一方、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 は高感度地震観測網である Hi-net に併設されたものであるが、Hi-net の掘削深度は先第三系の基盤深度を参考にしている。また、観測点の PS 検層結果も多くが公表されている。よって、これを基準として利用すれば、基準点の定義が具体的になる。

KiK-net の地中の記録を基準とする考えには、地震動に下降波の影響が含まれているという欠点がある。下降波の影響がない場合とは、地中観測点そのまま露頭したと仮定した場合であるが、その場合は上昇波がその地点で反射し下降する。これにより、露頭地点で観測される地震動は、上昇波の振幅よりも大きくなる。一方、下降波があると上昇波と干渉することになるので、露頭している場合に比べて地震動あるいは地震動指標は小さくなる。サイト増幅特性を厳密に評価するには、この影響を除くことが必要である。しかしながら、この影響を除くのは容易ではない。S 波の鉛直下方からの入射を仮定すれば下降波の影響を取り除くことはできる。しかしながら、このように簡略化したとしても、地中観測点と地表との間の S 波速度と減衰特性を明かにする必要がある。そもそも、KiK-net 程度の埋設深度になると鉛直下方からの S 波入射という仮定が成立しない可能性もある。もう一つの代表的な方法として、地表面において観測された地震動記録のスペクトルを複数用い、適切な拘束条件を与えて、震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性に分離するものがある⁴⁾。この場合、距離減衰特性の形式を予め設定する必要があるが、後述するように青森地域の距離減衰は、県域全体について一律に与えることは不適切である。また、本論では地震動指標を取り扱っており、この分離手法で得られたスペクトルを地震動指標へ変換する必要もある。

このような考察をもとに、本論文では地中の観測記録から得られる地震動指標をそのまま用いることとした。ここで定めた増幅度は、対象観測点相互の比較や地中観測記録を得た場合の地震動予測に使用できると考えている。

加えて、地震動記録は震源特性や伝播経路の影響も受けており、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。例えば、2001 年 12 月 2 日に岩手県内陸南部の地震(M6.4)の際の東北、北海道における観測波形と理論波形の比較から、震源メカニズムとプレート構造の組み合わせにより、理論から期待される地震動よりも大きな地震動が地域的に発生していることを指摘している論文もある⁵⁾。このような特性を取り込むためには、震源域毎に増幅度を検討することが考えられる。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、青森県東方沖がある。地震調査委員会は、今後 30 年間に三陸沖北部において、1968 年十勝沖に類似したマグニチュード 8 クラスの地震が発生する確率は 0.04 ~ 7%、それよりも規模が小さい M 7 クラスの地震の発生確率は 90%と発表している⁶⁾。この 90%という値は、宮城県沖の地震に次ぐ発生確率であり、対応を急ぐ必要があると思われる。そこで、本研究では、青森県東方沖で起きた地震を対象とする。

以上まとめると、本研究では、青森県東方沖の地震を対象に、KiK-net の地中観測点の記録から得られる地震動指標（計測震度と最大加速度）を基準として、震度情報ネットワーク、K-NET、KiK-net の地表観測点の地震動指標がどの程度大きくなっているかを求める。

2. データ

2.1 解析対象観測点及び記録

青森県では、県内の全 67 市町村（2004 年 3 月現在）に震度計を設置し、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。設置当初は、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増幅度を求めたこととした。また、県設置の震度計ばかりでなく、K-NET と KiK-net の観測記録も利用した。

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、地震動指標は K-NET の記録から算出した値を用いた。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とし、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、この基準を満たすように選択した。

KiK-net のサンプリング周波数は 200Hz であるが、他の二つのネットワークでは 100Hz と異なって

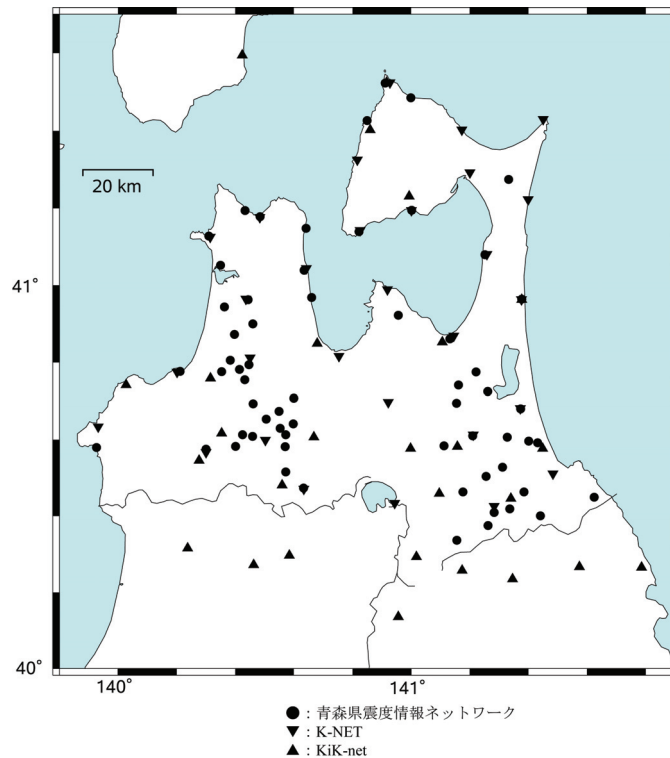


図 1 本研究で用いた観測点の分布。丸が青森県震度情報ネットワーク、下三角が K-NET、上三角が KiK-net。

いる。そのため、サンプリング周波数により最大値が異なることが懸念される。そこで本研究で用いた全記録からランダムに選んだ30地点分の地表と地中の計60データについて、原記録と100Hzでサンプリングし直したものについて、本研究で用いている指標を比較したところ、両者の差は大部分が1%前後であり大きくても5%程度であった。よって本研究では原記録のまま解析を行なった。

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2003年12月までの期間において、上記した観測点のほぼ全地点で記録が得られた7個の地震(M5.0~6.4)について解析した。気象庁⁷⁾によるこれらの地震の震源要素、発震機構を表1にまとめる。また、震央分布を図2に示す。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。なお、本研究では、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検討していることから、これらも合わせて示してある。

3. 距離減衰式の作成

3.1 回帰モデル

表1に示した青森県東方沖で発生した7地震について、地震毎に計測震度、最大加速度の距離減衰式を作成する。回帰モデルは計測震度を I 、最大加速度を PGA 、震源距離を X とし、以下のように仮定した。

$$I = a_I \times \log X + b_I \quad (1)$$

$$\log PGA = a_A \times \log X + b_A \quad (2)$$

表1 本研究で解析した地震の震源要素と発震機構⁶⁾

ID	Date	Time	Latitude (°)	Longitude (°)	Depth (km)	M	Mechanism
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

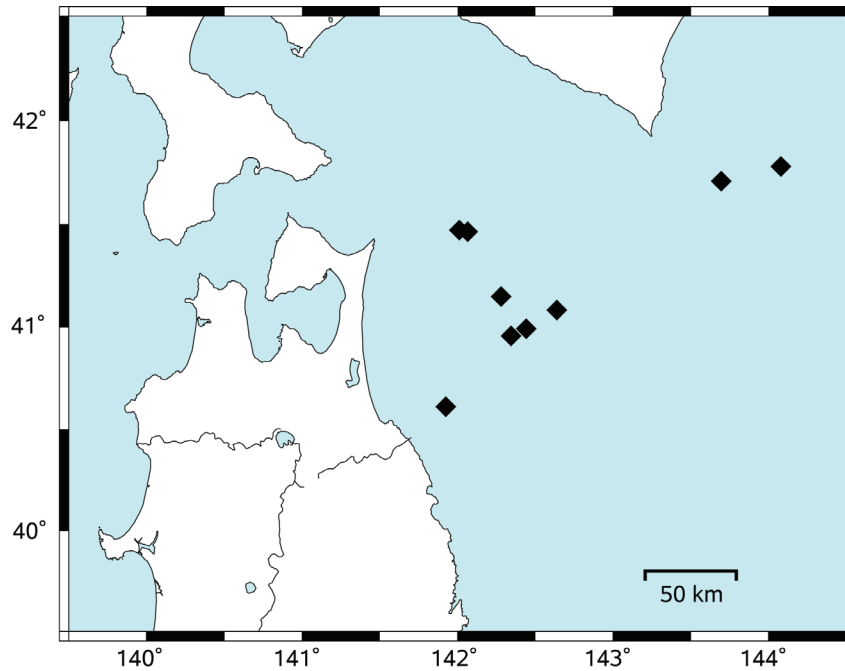


図2 本研究で利用した地震の震央分布

ここで、 a 、 b は回帰係数である。

地震動指標の距離減衰に関する最近の研究では、幾何減衰と粘性減衰とに分けた表現を用いることが多い。たとえば、地震動指標を A とし、粘性減衰を k とすると式(2)の形式は式(3)ようになる。

$$\log A = a \times \log X + kX + b \quad (3)$$

しかしながら、ここでは以下の理由によりこの形式を用いなかった。本研究では、対象とする観測点が太平洋岸から日本海側までに分布している。以前より、島弧の前弧側と背弧側では減衰特性が異なることが指摘されており、これは東北日本島弧の構造を反映したものと解釈されている⁸⁾。本研究の場合、地震と観測点の位置関係を考えると、地震波は島弧を横切ることになり、その距離減衰の物理性状が途中で異なることになる。このような現象を物理的に適切なモデルとするためには、例えば式(3)の k を火山フロントの前後によって変化させるような工夫⁹⁾が必要がある。しかしながら、本研究の目的は地中観測記録との差、比を求めることであり、物理的な厳密さはそれほど必要ではないと考えた。さらに、地震発生地域を限っていることから、震源特性・伝播経路特性が異なることも想像し難い。このような考察に基づき、本研究では簡単な式での回帰分析を行なった。

3.2 回帰分析結果

一例として、図3に7地震のうち最大規模の地震 (EQ2) の計測震度及び、最大加速度の分布を示す。図には、地中・地表の記録に対する回帰曲線も引いてある。計測震度、最大加速度とも、地中と地表の回帰曲線はおおよそ平行の関係にあることが分かる。ここでは、既往の距離減衰式との比較は示さないが、我々は青森県内のみのデータを用いてEQ1、EQ2における距離減衰式を求め、既往の距離減衰式との比較を行っている¹⁰⁾。具体的には、計測震度についてはShabestari・山崎の提案式¹¹⁾、最大加速度については福島 の提案式¹²⁾との比較を行ない、EQ1、EQ2の減衰勾配が既往の式よりも大きいことを指摘している。

7地震全ての記録についての回帰分析結果として、表2に回帰係数 a 、 b と相関係数を示す。7地震における地表と地中の回帰係数 a の値は両指標ともEQ1、EQ2と同程度になることが分かる。つまり、

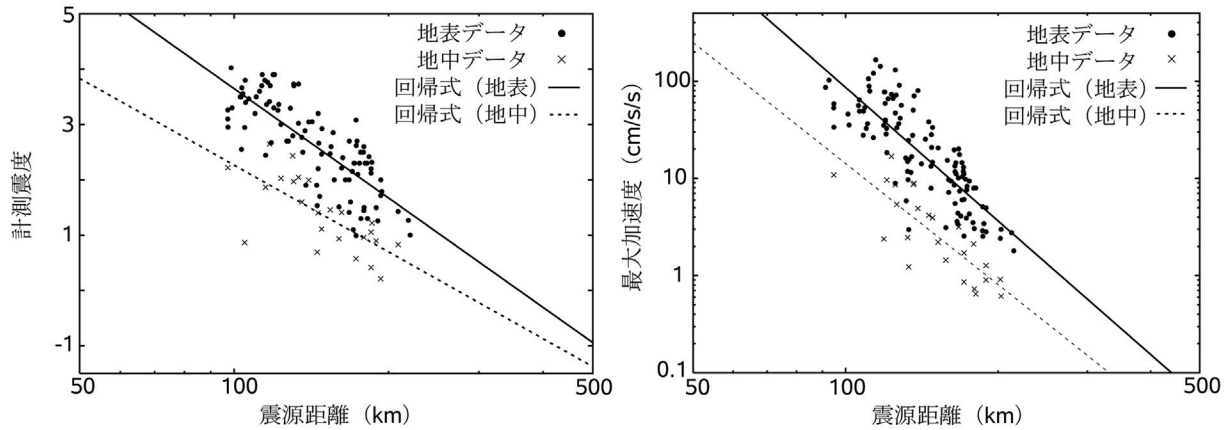


図3 2001年8月14日の地震(M6.4)における計測震度と最大加速度

表2 地震毎の距離減衰式の係数と相関係数

	M	計測震度						最大加速度					
		地表			地中			地表			地中		
		a	b	相関係数	a	b	相関係数	a	b	相関係数	a	b	相関係数
EQ1	5.5	-6.82	16.26	0.80	-6.88	15.23	0.87	-4.17	9.73	0.83	-4.13	8.96	0.88
EQ2	6.4	-6.57	16.78	0.79	-5.21	12.69	0.70	-3.79	9.46	0.82	-3.35	7.80	0.79
EQ3	5.0	-5.15	12.57	0.63	-5.81	12.76	0.71	-3.10	7.47	0.70	-3.66	8.04	0.76
EQ4	5.3	-4.75	12.18	0.59	-5.37	12.18	0.75	-3.18	7.86	0.69	-3.72	8.33	0.79
EQ5	5.0	-5.41	13.28	0.64	-5.01	11.10	0.66	-3.32	7.95	0.71	-3.16	6.87	0.71
EQ6	6.1	-8.08	19.91	0.78	-6.46	15.19	0.77	-4.56	11.06	0.82	-4.13	9.42	0.81
EQ7	5.6	-6.26	15.20	0.75	-6.15	13.85	0.80	-3.74	8.82	0.79	-3.87	8.44	0.86
平均		-6.15		0.71	-5.84		0.75	-3.69		0.77	-3.72		0.80

既報⁹⁾の結果は、EQ1、EQ2に限った特異な現象ではなく、青森県東方沖で発生する地震と青森県の関係における特徴とすることができる。ただし、詳細に表を検討すると、地震の規模が小さくなると傾きが小さくなり、さらに相関が低くなる傾向がある。これはK-NET、KiK-netがトリガー式であるためと考えられる。地震の規模が小さくなると、遠方の観測点では地震動が小さくなりトリガーレベルを超えず、結局地震動記録が得られないことが起こる。つまり、トリガーレベルを下回る地震動は観測されない。遠距離においては、トリガーレベルを超えた観測点では観測記録があり、超えない地点では記録がないと、観測結果は距離について水平に分布するようになる。この結果、本来の勾配よりも傾きが小さくなる。なお、次章で必要となる地中観測記録に対する回帰式を得るに当たっては、観測点の組み合わせを数種変えた検討も行ったが、それらの結果は表2とほぼ同様であった。

一方で、地震の規模が大きくなると観測値は大きくなる。本研究では、回帰式の形状からy切片、つまり回帰係数bの値がこの影響を表わしている。そこで、図4にマグニチュードと回帰係数bの関係を示す。データ数は多くなく、最大マグニチュードの地震の係数がそれ以外と異なった傾向にも見えるが、計測震度ではマグニチュードが1増えるとbの値は4程度大きくなり、最大加速度の場合には2程度大きくなる。つまり、計測震度の方がマグニチュードへの依存性が高いことが分かる。計測震度の方が最大加速度よりもマグニチュードへの依存性が高いことは、地震動指標に関する距離減衰特性として、従来から指摘されていたことと対応している。ただし、この値は従来から指摘されていた値に比べると非常に大きなものとなっている。例えば、神田・他¹³⁾では震度を用いて震源特性をインバージョンする際に、式(1)と同じ形式の式(4)を用いているが、式(4)中のMの係数は1.1である。

$$I = 1.1M - 4.1 \log X + 4.6 \quad (4)$$

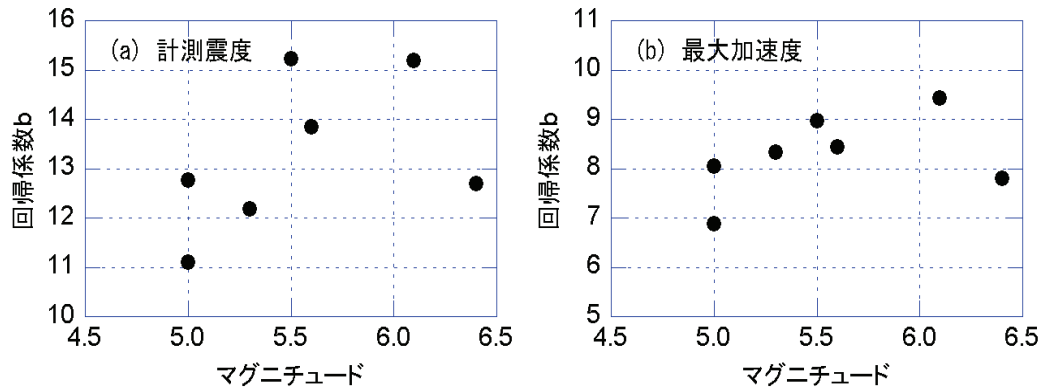


図4 マグニチュードと回帰係数 b との関係

回帰係数 b のマグニチュードへの依存の度合いが既往の式よりも高い理由を求めることは、データの蓄積を待つことも含めて今後の検討課題としたい。現時点で考えられる可能性の一つとして、伝播特性が途中から変わるべきものを無視して単純な距離減衰式で現象を表現したことが挙げられよう。別の可能性として、M6.4の地震が他のものの傾向と異なるように見えることから、M5.0~M6.1の範囲の地震が励起した地震動の振動数帯域とM6.4の地震の励起したそれがやや異なり、前者がより短周期側を励起したために増幅度、特に加速度の増幅度が大きくなったことも考えられる。ただし、本研究の結果得られた増幅度のばらつきは小さいことから、この可能性は低いと判断している。

4. サイト増幅度

4.1 増幅度の定義

地表と地中の回帰式の傾きがほぼ等しいことは、地表と地中で伝播経路による影響（地震波の減衰等）が平均的に見てほぼ等しいことを表わしている。さらに地震毎に求めているため、地表と地中の回帰式を比較することは震源の影響も相殺されると考えられる。そこで本研究では、地中記録の回帰式を増幅度の基準値と定義し、計測震度の場合は地表の実測値と同距離にある地中の回帰式から求められる値との差を増幅度とした。最大加速度の場合は地表の実測値と地中回帰式の比を増幅度とした。

4.2 増幅度の算定結果

4.1の定義に従って求めた増幅度を地震毎にもとめ、さらに観測点毎に増幅度の平均値、標準偏差、変動係数を求めた。表3にその結果を示す。なお、表3における震度情報ネットワークの観測点名は、2006年3月時点のものを用いている。最近、青森県においても市町村合併が進み、市町村数はかなり減ったが、震度情報ネットワークの観測地点数に変更はない。多くの震度観測点は場所も同じであるが、つがる市木造、つがる市車力町、東通村砂子又、青森南部町平は設置環境改善のため、庁舎敷地内の別の場所に移設されている。

AOM016 (弘前) は、対象とした青森県東方沖の地震すべてに対してトリガーしていないために、増幅度を記していない。AOM016は、国道7号線に隣接しているためか、トリガーレベルが 6cm/s^2 と高く設定されている¹⁴⁾。このため、起動しなかったものと考えられる。なお、担当者への問い合わせの回答によると、何度かトリガーレベルを下げる試みはしたが、誤トリガーが多いために現状の値になっているとのことであった。AOM016の地震動特性については、別途検討しているが¹⁵⁾、起動レベルを超えれば、周辺の記録と比較して、特に変わった様子は見られない。

AOMH02 (佐井) は震度の増幅度の平均値が負となっている。これ以外に、推定した増幅度が負（計測震度の場合）、あるいは1.0以下（最大加速度の場合）である観測点はない。AOMH02 (佐井) における実測値の比較では、かならず地表の方が地中に比べて大きな地震動指標になっている。しか

しながら、上記した手順に従って増幅度を評価すると、記録がある6つの地震のうち、4つの地震で地表の方が計測震度が小さくなり、残りの2地震では地表の方が大きな値になる。地表の方が小さい場合の平均値は-0.3である。公表されている地盤柱状図¹⁶⁾によると、地中観測点周辺のS波速度が2270m/s、表層2m (Vs: 300m/s) の下は、玄武岩 (Vs: 1350m/s) となることから、本観測点の地盤は極めて堅固である。このことから、地震動の増幅が少ないために、本論のような評価方法では、計測震度が増幅しないということになったと考えられる。

さらに表3には、青森県震度情報ネットワークの観測点になっていない、気象庁の観測点の結果も参考のために記してある。但し、これらの観測点における対象地震の最大加速度は不明なため記しておらず、また以下に記す検討からも省いている。

4.3 増幅度の大きさ

表3から得られる増幅度の頻度分布を図5に示す。震度増幅度の頻度は、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となるの観測点が最も多く、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。なおここでは、震度の増幅度が負となったAOMH02(佐井)の結果は示していない。計測震度の増幅度の最大値は、KiK-netのAOMH16(新郷)の2.3であった。この点以外に増幅度が2を超えた観測点としては、大きい順にKiK-netのIWTH01(二戸東)、名川町平(現在の呼称は、青森南部町平)、KiK-netのAOMH05(野辺地)がある。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レベルの振幅¹⁷⁾に直すと10倍増幅されることになる。

一方、加速度の増幅度は全地点で1を超え、その頻度は対数刻みで区切っているが、最頻値は3~6にある。つまり、地中に比べて3倍から6倍大きくなる観測点が最も多く、全体の約40%を占める。また、分布形状は震度増幅度と同様に、最頻値の階級を中心に左右対称には分布しておらず、より大きな増幅度の観測点が多いことが分かる。先に、震度の増幅度からは加速度レベルが10倍程度増幅することが想像されたが、それよりもさらに大きな増幅度が存在し、最大はKiK-netの新郷(AOMH16)の19であった。

図6は、計測震度と最大加速度の増幅度の関係を見たものである。縦軸である最大加速度の増幅度は対数で示されているが、両者はグラフ上では直線関係があるように見える。特に、増幅度が大きな観測点ではその傾向が強い。増幅度が大きい点は、先に述べた点であるが、これらのうち、地下構造が公開されているKiK-net観測点について見てみると、AOMH05、AOMH16ともに、表層はS波速度が80m/sという極めて遅い火山噴出物で覆われている。また、IWTH01も表層のS波速度は170m/sである。さらに、3地点ともその直下の層のS波速度とのコントラストが強いことが分かる。つまり、

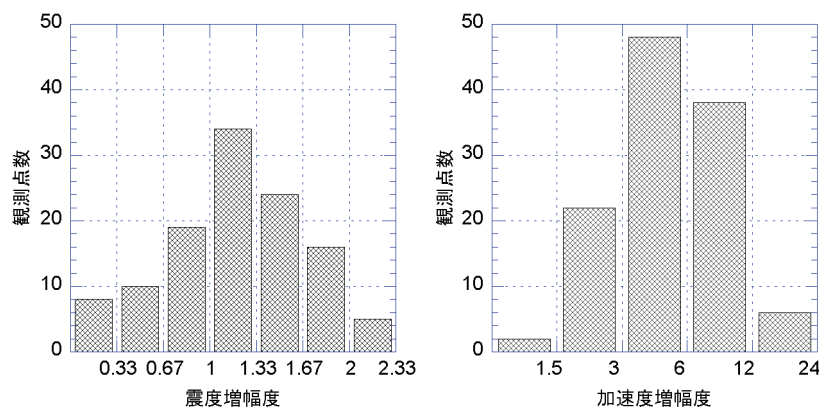


図5 増幅度の頻度分布

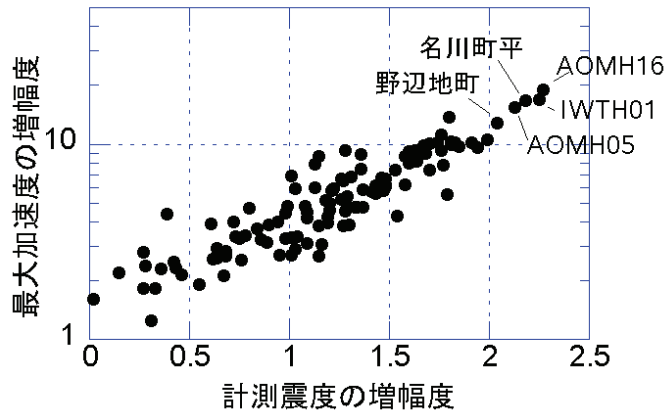


図6 計測震度の増幅度と最大加速度の増幅度の関係

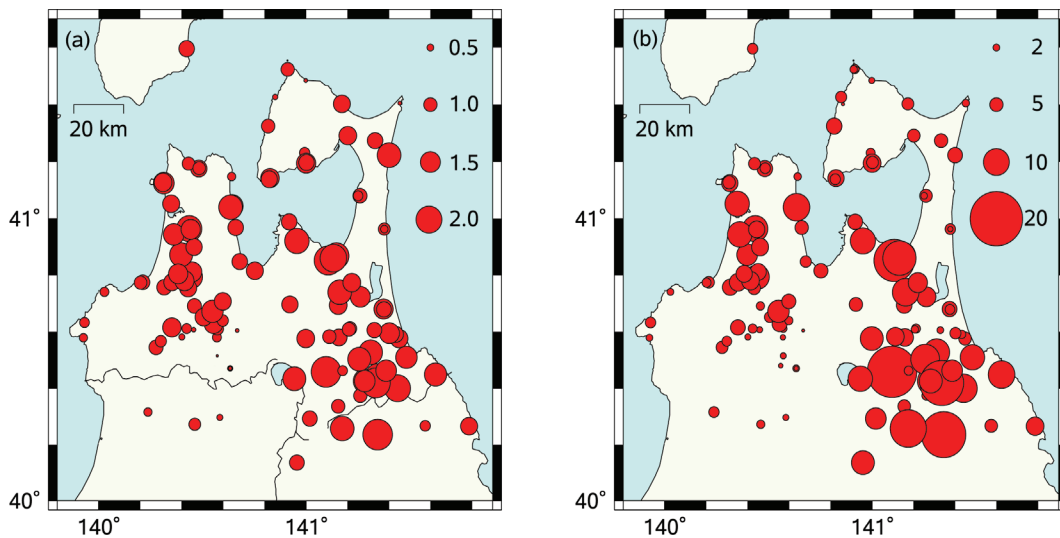


図7 増幅度の空間分布。増幅度の大きさを観測点位置に記した円の半径に比例させて表現している。(a)：計測震度、(b)：最大加速度

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。詳しくは4.6節で述べる。

図7には得られた増幅度の平均値の地域分布を示す。図7では円の大小で増幅度の大小を表わしているが、両指標とも青森県南東部から野辺地にかけての地域、津軽半島の中央部で増幅度が大きくなっていることが分かる。

4.4 増幅度の妥当性の評価

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）と先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8に示すが、この図には基準とした地中の回帰式を作成する際には用いていない、S波速度の遅い観測点の結果も含まれている。図8から、計測震度では両者は、 ± 0.5 の範囲、最大加速度では $1/2 \sim 2$ 倍の範囲で一致していることが分かる。

図8に見られる本研究の増幅度と実測の増幅度の違いを KiK-net の地中観測点の周辺 S波速度で整理したものが図9である。図では横軸に KiK-net の地中観測点の周辺 S波速度を取っている。計測震度の場合の縦軸は、本手法で推定した増幅度と実測値からもとめた増幅度との差である。最大加速度の場合には本手法で推定した増幅度と実測値から求めた増幅度との比の対数を縦軸としてある。計測震度の

場合、差の平均は0.01であり、最大加速度の場合は比の対数値の平均値は0.06となる。両者ともに平均値はほぼ0であることから、本手法で推定した増幅度はKiK-netの観測増幅度とは平均的に等しいと言える。ただし、計測震度ではS波速度が大きくなると、差が小さくなる弱い傾向が見られる。この傾向を回帰すると式(6)が得られるが、差(式中のError)が0となるS波速度は1080m/sとなり、基準を作成する際に用いた観測点のS波速度の平均とほぼ一致する。最大加速度の増幅度は地中地震計の周辺S波速度には依存しないようである。このことは、最大加速度の増幅度にはより浅い地盤の影響が強いことを意味していると理解できよう。

$$Error = 2.65 - 0.87 \log V_s \quad (6)$$

ついで変動係数により、増幅度のばらつき具合を検討した。図10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、最大加速度のそれは0.2~0.3にそれぞれするどいピークを持っており、青森県東方沖で発生した地震については規模(M5.0~6.4)によらず増幅度がほぼ一定であると言える。

4.5 規模の大きな地震に対する適用性

前述したように、青森県東方沖ではM7~8クラスの地震の発生が危惧されている。本研究で求めた

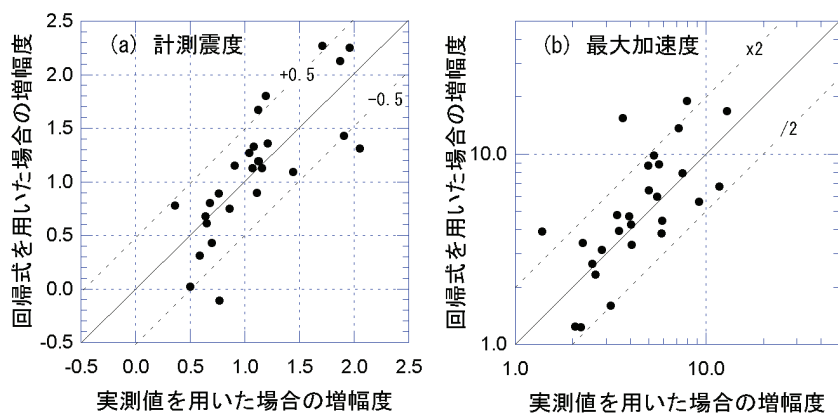


図8 KiK-net観測点における実測値から求めた増幅度と回帰式から求めた増幅度(本研究)との比較(左:計測震度、右:最大加速度)

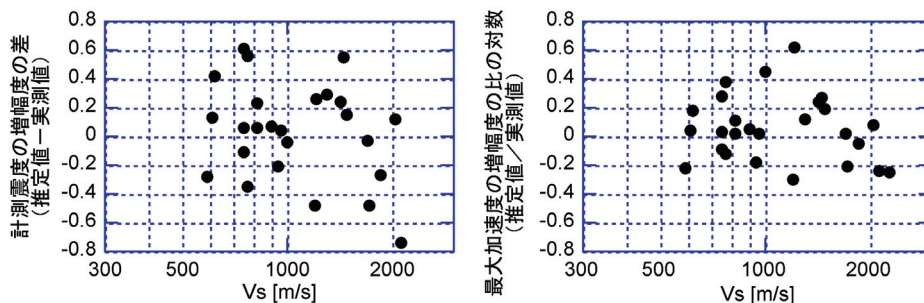


図9 地中地震計の周辺S波速度と増幅度の誤差との比較(左:計測震度、右:最大加速度。計測震度は実測値との差、最大加速度は実測値との比の対数を縦軸に取っている)。

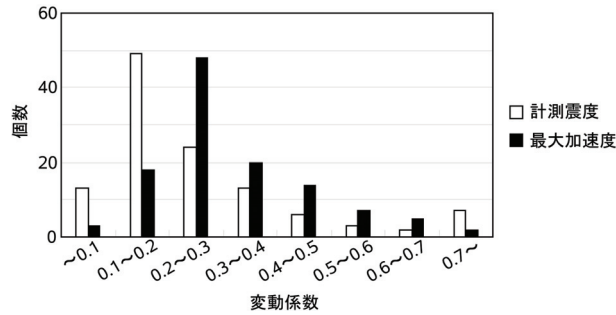


図 10 増幅度の変動係数の頻度分布

ものは、規模が M5~6 クラスにおけるものであるので、大規模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。ここでは、2つの方法を用いて適用性を検討した。

まず、2003年9月26日に発生した十勝沖地震の本震 (M8.0) と最大余震 (M7.1) の観測記録を用いてみた。ただし、青森県と周辺の観測点だけでは本震、最大余震のどちらの場合でも震源距離が 300km 前後にまともになってしまうため、本論で行ったような地中記録の距離減衰式を基準とした評価では適切な評価ができない。そこで KiK-net 観測点に対して実測増幅度を求め、本研究で行った青森県東方沖の地震の増幅度と比較を行なった。図 11 に結果を示す。

図 11 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、地震動の卓越振動数が異なっているためと考えられる。日高地方から亀田半島にかけての北海道南東側において、高振動数域で増幅するサイト特性を有する観測点では、最大余震の最大加速度の方が本震のそれよりも大きいことが分かっている¹⁸⁾。つまり、最大余震の方が本震よりも高振動数成分に富んでいたために、最大加速度や計測震度が大きくなったのであろう。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、予測結果を防災対応に使う側からみると安全側の判断と言える。

青森県周辺では被害地震がしばしば起こっており、その都度アンケート震度調査がなされている。そこで、本研究で対象とした青森県東方沖で起きた 1994 年三陸はるか沖地震の際の青森県内のアンケート震度調査^{19), 20)}と震度増幅度の関係を調べた。1994 年三陸はるか沖地震 (マグニチュード: 7.5) は、1994 年 12 月 28 日 21 時 19 分に起きた。アンケート震度調査は、1 月 7 日に起きた最大余震の後に、各市町村の防災関係課宛に送付したとある¹⁹⁾。本研究で求めた震度増幅度は、各観測点におけるものである。震度情報ネットワークの観測点は、原則的には市町村役場に設置されていることから、アン

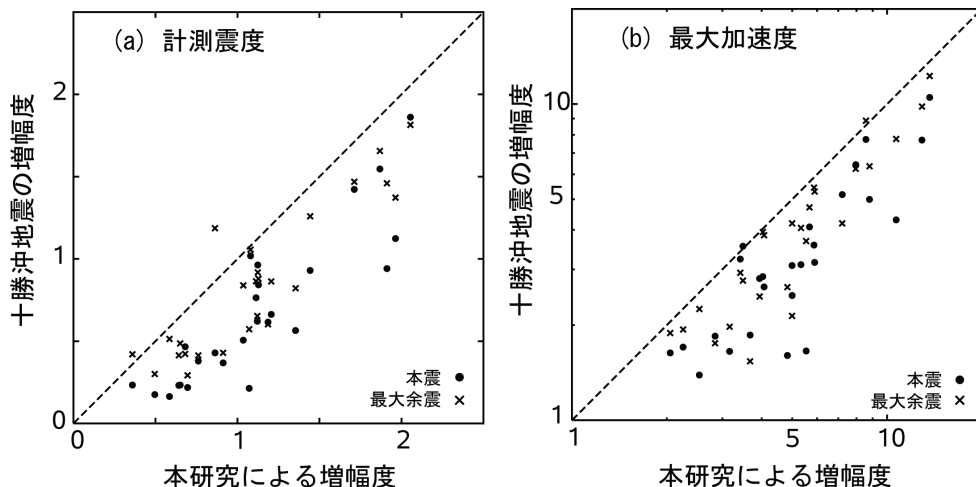


図 11 本研究による増幅度と 2003 年十勝沖地震の際の増幅度との比較。左：計測震度、右：最大加速度

ケート送付先の各市町村の防災担当者が在職中であれば、比較を行うのに好都合である。しかしながら、地震発生は、年末休暇前日の夜間であるので在職中であった可能性は高くはない。ただし、近接した市町村でのアンケート震度の大小関係と本研究の震度増幅度との関係を調べるのであれば、必ずしも市町村庁舎における震度は必要ではないと考えた。

図12は、アンケート震度の結果を示したものである²⁰⁾。言うまでもなく、震度の大小は震源からの距離とサイトの増幅度で決まる。そこで、比較的近接していると思われる観測点(市町村)を図のようにまとめ、比較することとした。各市町村の震度と増幅度との関係を描いたものが、図13である。ここでは、各エリア毎にマークを変えている。各エリア毎(各マーク毎)に、右上がりの関係が見られれば、本研究の増幅度は妥当なものと言えよう。図からは、県の西側のArea Eでは右上がりの傾向が見て取れる。これに隣接するArea Dではほぼ一定値であるが、Area Eと併せると右上がりにも見える。震度が大きな領域では、Area Aは観測点数が少ないが、右上がりの傾向となっている。しかしながら、B、Cでは残念ながら逆の傾向になっている。Area B、Cで良い結果が得られなかった理由としては、次のように考えることができよう。つまり、アンケート震度はある地域の平均値としての値である。アンケート震度が対象とした地域の表層地盤の増幅特性が複雑であれば、特定の地点の情報である、震度観測点の震度と異なることが十分に考えられる。Area D、Eは大規模な平野である津軽平野に位置しており、表層地盤の増幅特性と対応するとされている微地形区分は大きく変動しない。一方、Area B、Cは海岸沿いの低地と台地、谷低平野が複雑に入り組んでいる。このことが本結果に影響していると考えられる。

4.6 増幅度の大きな KiK-net 観測地点の振動数特性

4.3節で取り上げた増幅度が大きく、地下構造が公開されている KiK-net 観測点に追加検討を行った。AOMH05、AOMH16では表層はS波速度が80m/sという極めて遅い火山噴出物で覆われており、その直下の層のS波速度は各々280m/s、250m/sとなっており、S波速度のコントラストが強い。また、IWTH01における表層のS波速度は170m/sであり、その直下の層のS波速度は280m/s、850m/sと続く。つまり、インピーダンス比の影響で3地点とも増幅度が大きくなったものと思われる。例えば、AOMH16における表層層厚は4mであるので、表層だけを取り上げた場合の卓越振動数は、4分の1

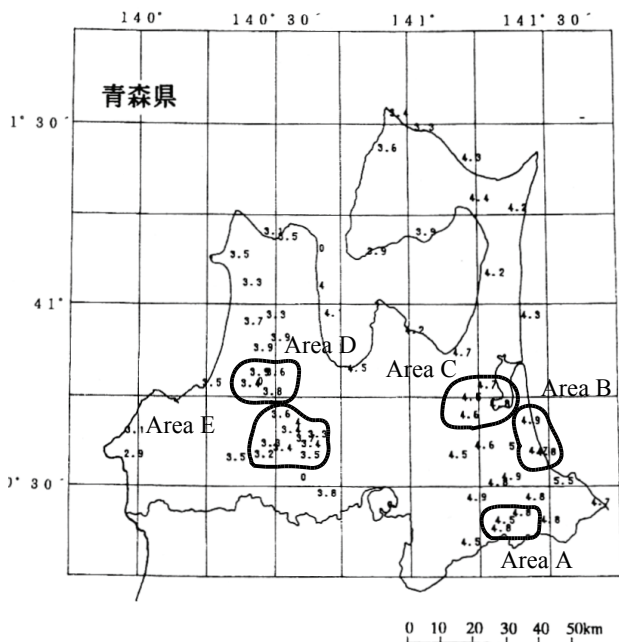


図12 1994年三陸はるか沖地震の際の市町村別震度分布 (文献20に加筆)

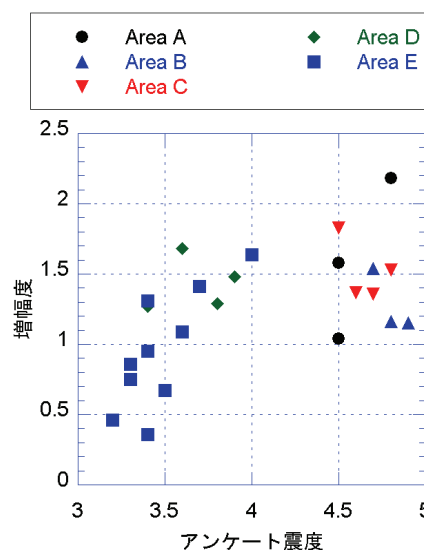


図13 1994年三陸はるか沖地震のアンケート震度と震度増幅度との関係

波長則から推測すると5Hzとなる。図14にAOMH16におけるEQ3に地震動記録を示すが、波形の主要動部にも後半部分にも5~6Hzの振動成分が顕著に見られる。本研究で取り扱った計測震度は、継続時間の影響も取り入れた加速度レベルを用いているが、インピーダンスが強いために、この3地点では図14のような単振動的な振動となり、計測震度も最大加速度も大きくなったのであろう。

このような卓越がどの程度大きいのかを確認するために、スペクトルを用いて検討した。図15は地中と地表の観測記録のスペクトル比である。ここでは、主要動の始まりから約40秒を用いており、水平2成分を考慮するために、振動数毎に振動主軸方向の振幅を算出できるベクトルスペクトル²¹⁾の比として評価している。また、スペクトルはバンド幅0.2HzのParzenウィンドで平滑化を行った。図から3地点とも5Hz付近に卓越があることが分かる。AOMH16と同様に4分の1波長則から表層のみの卓越振動数を求めてみると、AOMH05の卓越振動数は表層層厚が4mであるので5Hzとなる。IWTH01は表層だけでは11Hz程度であるが、その下の260m/sの層までを含めると5.6Hzとなる。このように、これら3地点の卓越振動数、増幅特性には火山噴出物である極表層のS波速度の遅い層の影響が極めて強いことが分かる。

地下構造を挙げて議論したので、この3地点について地中記録のスペクトルを求めてみた。前述したように、地中記録には上昇波と下降波の影響が含まれており、両者が干渉することにより、その地点が露頭した場合よりも地中の記録は小さくなる。図16は地中記録のフーリエスペクトルと、その地点が露頭した場合と地中である場合の理論スペクトル比を重ねて描いたものである。フーリエスペクトルは、主要動から約40秒を使って算出した。ただし、平滑化のために40秒のデータを前半、中盤、後半の20秒に分けて各々から算出したフーリエスペクトルを平均している。理論スペクトル比は、S波の鉛直入射を仮定し、地下構造は公表値を用い、減衰は各層振動数によらず2%としている。理論スペクトル比は、上昇波と下降波の干渉により特定の振動数で0となる。しかしながら、観測スペクトルにおいて振幅が極めて小さくなる振動数は存在しない。AOMH16では理論の3Hzと観測の2.5Hz付近の谷が対応するようにも見えるが、他の観測点ではこのような明確な対応は見つけれない。

図16に示した地中観測記録のスペクトルの特徴として、低振動数成分に比べて高振動数成分の振幅が小さくなることも挙げられる。特に、IWTH01で顕著である。この現象は下降波の影響が少なくなったことに起因すると考えられる。いずれにしても、両者の比較に関しては、地下構造の再確認とともに、地震動の入射角についても検討する必要がある、今後の課題としたい。

5. まとめ

本研究は青森県内の観測点におけるサイト増幅特性の評価を目的としたものである。近い将来M7クラスの地震の発生が危惧されている青森県東方沖を対象に、KiK-netの地中観測点の記録から距離減

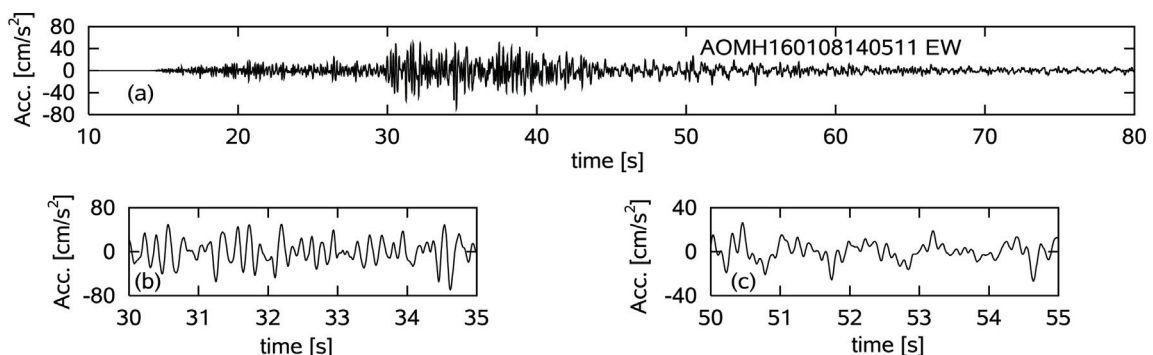


図14 AOMH16におけるEQ3(2001年8月14日)の地表におけるEW成分の地震動記録。記録開始から80秒(a)と主要動部分(b)、後半部分(c)の拡大図。

衰式をもとめ、それを基にして各観測点の増幅度を求めた。さらに、用いた地震規模が6程度以下であったために、規模が大きな地震における増幅度との関係についても考察した。その結果、以下のことが指摘できた。なお、増幅度を評価するために用いた距離減衰式は、青森県東方沖で起きた地震と青森県周辺の観測点との組み合わせで求めたものであり、一般の利用に供すことは適切ではない。

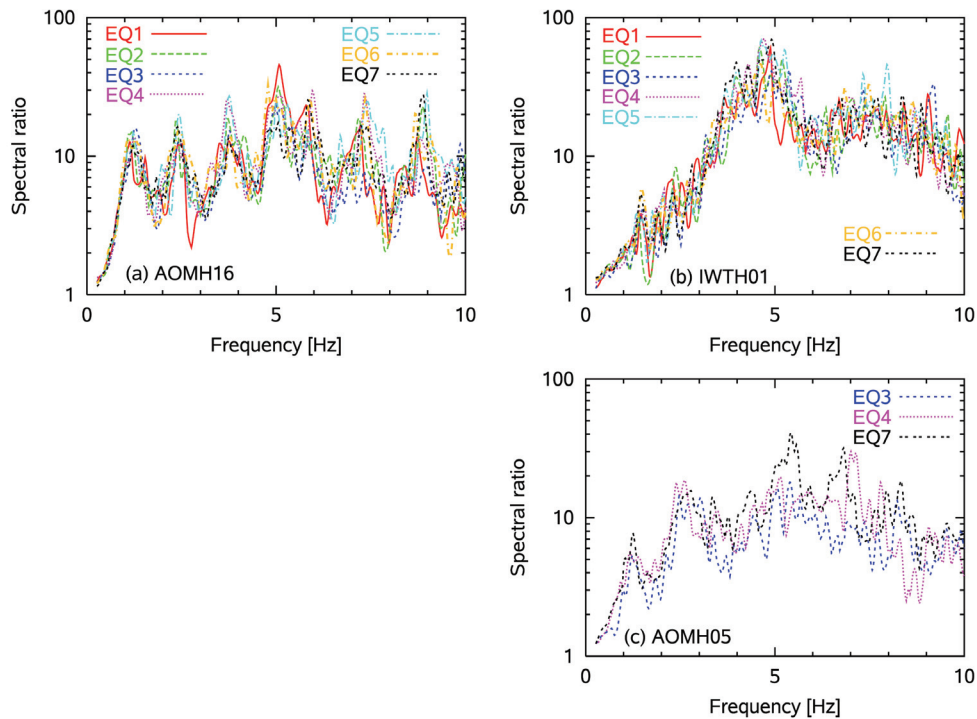


図 15 KiK-net 観測点における地中と地表のスペクトル比

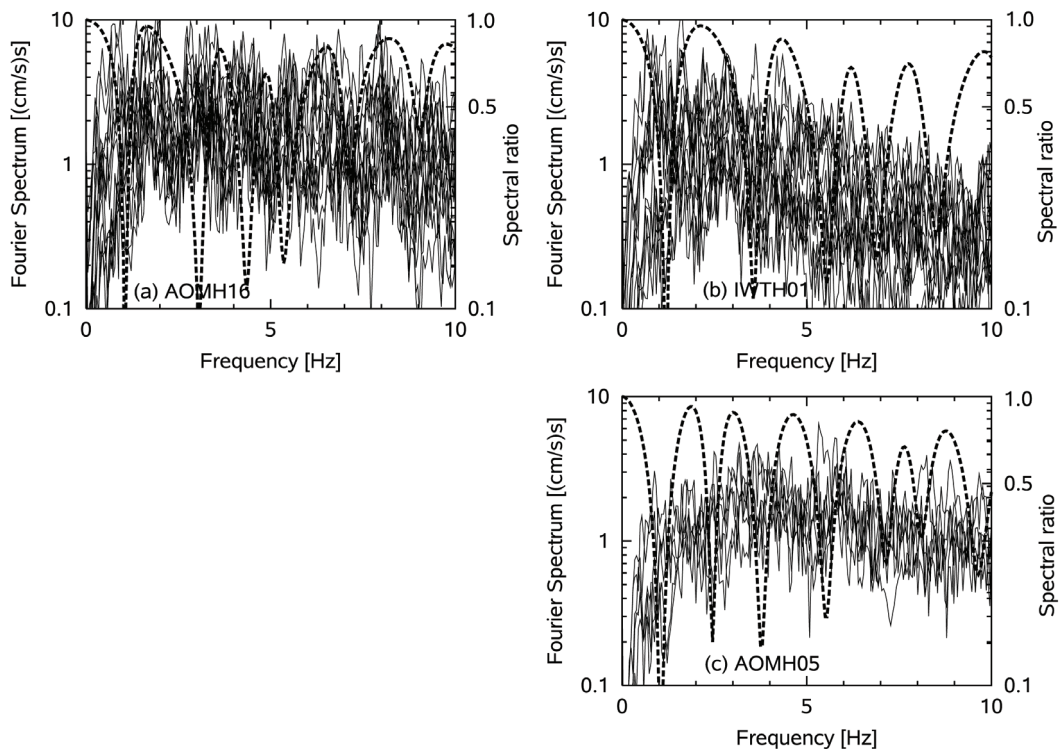


図 16 KiK-net 観測点の地中記録のフーリエスペクトル（細線）と地中観測点における理論スペクトル比（太破線）。フーリエスペクトルは左縦軸を利用、理論スペクトル比は右縦軸を利用。

- 1) 青森県東方沖で発生した地震における距離減衰式は既往の経験式よりも傾きが有意に大きいことが示された。但し、地震の規模が小さくなると距離減衰の傾きが小さくなる傾向が得られた。この傾向はトリガーレベル以下の地震動が観測できないために生じたものと考えられる。
- 2) 地中の観測値を用いた距離減衰式を基準にして、地震毎に地表観測値の増幅度を求めた結果、ばらつきは小さく地震によらずほぼ一定であった。KiK-net 観測点について実測値による増幅度との比較を行なったところ両者は概ね一致していた。こららのことより、ここで求めた増幅度は定義に基づいた使用範囲においては十分に適用できるものと考えられる。
- 3) 規模が大きな地震での増幅度と青森県東方沖の地震での増幅度の関係について検討した。2003年十勝沖地震による記録に対しては、青森県東方沖の地震での増幅度の方が2倍程度大きかった。このことは予測結果を防災対応に使う側からみると安全側の判断と言える。1994年三陸はるか沖地震についてアンケート震度と震度増幅度との関係を調べたところ、青森県西部においては増幅度は妥当であることが分かった。

地震動増幅に関しては地下構造と対比して議論する必要がある。K-NETやKiK-netでは地下構造が発表されているが県域を考えるとその量は十分ではない。我々は、震度情報ネットワークの観測点において地下構造を知るために、アレー微動探査を行っている²²⁾。今後は、地下構造と本研究で求めた増幅度との関係について検討する予定である。増幅度と地下構造や微地形区分との間に何らかの関係が得られれば、サイスミックマイクロゾーニングにつながるものと考えている。

謝辞

本研究では青森県震度情報ネットワークの観測記録、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netの観測記録を利用させて頂きました。また、計測震度の算出には久田嘉章氏作成のFORTRANプログラムを使用しました。関係者各位に感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 長尾一郎：震度情報ネットワークの整備、日本地震学会ニューズレター、10、1998、16-17。
- 2) 翠川三郎、松岡昌志、作川孝一：1987年千葉県東方沖地震の最大加速度・最大速度にみられる地盤特性評価、日本建築学会構造系論文報告集、第442号、1992年12月、71-78。
- 3) 大西淳一、山崎文雄、若松加寿江：気象庁地震記録の距離減衰式に基づく地点増幅特性と地形分類との関係、土木学会論文集、No.625/I-48、1999、79-91。
- 4) 岩田知孝、入倉孝次郎：観測された地震波から震源特性・伝播経路特性・及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み、地震2、vol.39、1986、579-593。
- 5) 小菅正裕：高密度観測網から見た東北・北海道地方における地震波振幅異常の分布、月刊地球、vol.25、No.8、2003、604-609。
- 6) 地震調査委員会のホームページ。<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>のうちの地震の長期評価結果。
- 7) 気象庁：地震・火山月報（防災編）のうち該当する各月のもの。
- 8) 伊神輝：日本の火山前線下における地震波の減衰、地震2、vol.28、1975、61-73。
- 9) 川瀬博：北海道内の各地気象台における強震動特性、日本建築学会構造系論文集、No.459、1994、57-64。
- 10) 片岡俊一・山本博昭：青森県周辺における地震動指標の距離減衰特性とサイト増幅特性、第11回日本地震工学シンポジウム、CD-ROM、2002。
- 11) Khosrow T. Shabestari・山崎文雄：Attenuation of JMA Intensity Based on JMA-87-type Accelerometer Records、第2回都市直下地震災害総合シンポジウム、pp.153-156、1997。
- 12) 福島美光：地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測、ORI研究報告 93-

- 07、1994。
- 13) 神田克久、武村雅之、宇佐美龍夫：震度データを用いた震源断層からのエネルギー放出分布のインバージョン解析、地震2、vol.56、2003、39-57。
- 14) K-NET ホームページ。http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/
- 15) 片岡俊一、鳴海央子：観測記録に基づく弘前市内4地点の地震動特性の比較、第23回日本自然災害学会学術講演会、I-5-1、2004、49-50。
- 16) http://www.kik.bosai.go.jp/kik/ftppub/sitepdf/AOMH02-J.pdf
- 17) 気象庁監修：震度を知る、基礎知識とその活用、ぎょうせい、1997、238p
- 18) 片岡俊一：2003年十勝沖地震の余震地動の強さ、東北地域災害科学研究、第41巻、2005年・3月、49-54。
- 19) (社)地盤工学会三陸はるか沖地震災害調査委員会：平成6年(1994年)三陸はるか沖地震災害調査報告書、1.3 詳細震度分布、1996年、39-42。
- 20) 齊藤徳美・山本英和・坂尻直巳・鏡味洋史・野越三雄：1994年三陸はるか沖地震時の強震動・震度に関する調査、平成6年度文部省科学研究費(総合研究A)研究成果報告書、1994年三陸はるか沖地震とその被害に関する調査研究、長谷川昭(研究代表者)、1995年、105-114。
- 21) 中村晋：ベクトルスペクトルによる地震動の増幅特性評価とその適用、土木学会論文集、No.519 / I-32、1995、161-173。
- 22) 片岡俊一・菅原郁美：青森県津軽地域の震度観測点における表層地盤の平均S波速度の推定、第38回地盤工学研究発表会(秋田)、2003年、2091-2092。

(受理：2006年3月28日)

(掲載決定：2007年1月29日)

Amplification factors of ground motion indices in Aomori prefecture estimated from observed ground motion

Shunichi Kataoka¹⁾ and Hiroaki Yamamoto²⁾

1) Member, Associate Professor, Hirosaki University, Dr. Eng.

2) Focus systems

ABSTRACT

In this study, amplification factors of seismic intensity and peak ground acceleration(PGA) are studied. These indices are obtained by K-NET, KiK-net and seismic intensity information network stations in Aomori prefecture during seven earthquakes which occurred east off Aomori prefecture. At first, regression analysis using underground data of KiK-net is performed. Then amplification factors are estimated by this empirical relation. Range of amplification factor of seismic intensity is from 0.0 to 2.5. Meanwhile, amplification factor of PGA is ranged from one to 20. As coefficient of variation of these indices is around 0.2, we think that this value is not large to estimate a site amplification. We also show validity of the amplification factor using ground motion data from the 2003 Tokachi-Oki earthquake and the 1994 Sanriku Haruka Oki earthquake.

Key words: Seismic information network, K-NET, KiK-net, Attenuation relation

表3 各観測点の増幅度。観測点名に*が付いているものは2002年3月からの観測点。ネットワークのAは青森県震度情報ネットワーク、KはK-NET、HはKiK-net、Jは気象庁独自のもの。

観測点名 (観測点コード)	設置機関	ネット ワーク	地 震数	計測震度			最大加速度		
				平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
弘前市和田町	気象庁	A	4	0.36	0.29	0.81	2.31	0.84	0.36
黒石市市ノ町	青森県	A	7	0.86	0.25	0.29	3.23	1.15	0.36
五所川原市栄町	気象庁	A	5	1.68	0.06	0.04	8.96	1.51	0.17
十和田市西十二番町*	青森県	A	4	1.03	0.36	0.35	2.90	1.45	0.50
三沢市桜町*	青森県	A	4	1.15	0.43	0.38	3.80	1.44	0.38
平内町小湊	気象庁	A	7	1.85	0.29	0.15	9.72	2.92	0.30
外が浜町蟹田*	青森県	A	4	1.81	0.14	0.08	10.26	1.78	0.17
今別町今別*	青森県	A	4	0.94	0.14	0.14	4.02	0.66	0.16
蓬田村蓬田	青森県	A	7	1.18	0.20	0.17	5.13	1.61	0.32
外が浜町平館	青森県	A	6	0.64	0.35	0.55	2.92	1.47	0.51
外が浜町三厩	青森県	A	7	0.98	0.23	0.23	4.42	2.43	0.55
鱒ヶ沢町本町	気象庁	A	6	1.09	0.13	0.12	4.19	0.78	0.19
つがる市木造	青森県	A	7	1.48	0.20	0.14	6.07	1.60	0.26
つがる市森田町	青森県	A	7	1.27	0.12	0.10	6.56	1.14	0.17
深浦町岩崎	青森県	A	2	0.64	0.17	0.27	2.60	0.55	0.21
つがる市柏	青森県	A	7	1.48	0.16	0.11	6.65	1.61	0.24
つがる市稲垣町	青森県	A	6	1.77	0.23	0.13	7.83	1.79	0.23
つがる市車力町	青森県	A	7	1.60	0.14	0.09	9.22	1.51	0.16
弘前市賀田	青森県	A	4	0.75	0.28	0.37	3.27	1.15	0.35
弘前市五所	青森県	A	4	0.46	0.33	0.70	2.15	0.82	0.38
西目屋村田代*	青森県	A	3	0.84	0.31	0.37	3.67	1.75	0.48
藤崎町西豊田	青森県	A	7	1.30	0.23	0.18	3.87	0.86	0.22
大鰐町大鰐	青森県	A	4	0.15	0.12	0.80	2.19	0.32	0.15
平川市猿賀	青森県	A	7	0.95	0.24	0.25	2.69	0.79	0.30
青森市浪岡	青森県	A	7	1.28	0.20	0.15	5.30	1.34	0.25
平川市柏木町	青森県	A	5	0.67	0.14	0.21	2.11	0.57	0.27
藤崎町水木	青森県	A	7	1.64	0.29	0.18	8.13	3.24	0.40
田舎館村田舎館	青森県	A	5	1.41	0.29	0.21	5.75	1.01	0.18
平川市碓ヶ関*	青森県	A	2	0.27	0.11	0.42	1.83	0.20	0.11
板柳町板柳	青森県	A	6	1.09	0.28	0.26	3.10	0.85	0.27
五所川原市金木町	青森県	A	7	1.26	0.08	0.06	6.61	1.61	0.24
中泊町中里*	青森県	A	4	1.47	0.14	0.10	6.28	1.28	0.20
青森鶴田町鶴田	青森県	A	7	1.29	0.21	0.16	4.75	1.16	0.25
五所川原市相内	青森県	A	5	1.28	0.25	0.19	9.27	2.06	0.22
中泊町小泊*	青森県	A	4	1.37	0.22	0.16	4.77	0.66	0.14
野辺地町野辺地*	青森県	A	4	2.04	0.42	0.21	12.83	5.17	0.40

表3 各観測点の増幅度。観測点名に*が付いているものは2002年3月からの観測点。ネットワークのAは青森県震度情報ネットワーク、KはK-NET、HはKiK-net、Jは気象庁独自のもの。

観測点名 (観測点コード)	設置機関	ネット ワーク	地 震数	計測震度			最大加速度		
				平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
七戸町七戸	青森県	A	7	1.37	0.39	0.29	5.83	2.06	0.35
おいらせ町上明堂	青森県	A	7	1.16	0.26	0.22	3.05	0.76	0.25
十和田市奥瀬	青森県	A	7	1.01	0.22	0.22	6.85	1.75	0.26
六戸町犬落瀬	青森県	A	7	1.15	0.22	0.19	2.67	0.63	0.24
横浜町寺下*	青森県	A	4	0.76	0.27	0.36	2.55	0.59	0.23
東北町上北南	青森県	A	6	1.53	0.35	0.23	7.34	2.13	0.29
東北町塔ノ沢山	青森県	A	7	1.36	0.35	0.26	7.42	2.13	0.29
おいらせ町中下田	青森県	A	7	1.54	0.22	0.14	4.26	1.13	0.26
七戸町森ノ上	青森県	A	7	1.83	0.53	0.29	10.15	7.08	0.70
六ヶ所村尾駸	気象庁	A	7	0.62	0.36	0.58	2.59	1.09	0.42
むつ市川内町*	青森県	A	4	1.20	0.13	0.11	4.60	0.89	0.19
大間町大間*	青森県	A	4	1.01	0.18	0.18	2.70	0.80	0.30
東通村砂子又	青森県	A	6	1.20	0.60	0.49	4.98	3.18	0.64
風間浦村易国間	青森県	A	6	0.28	0.30	1.06	2.39	1.40	0.59
佐井村佐井	青森県	A	6	0.39	0.37	0.96	4.36	2.85	0.65
むつ市脇野沢*	青森県	A	4	1.27	0.19	0.15	3.83	1.29	0.34
三戸町在府小路	青森県	A	7	1.04	0.19	0.18	3.38	0.87	0.26
五戸町古館	気象庁	A	7	1.81	0.25	0.14	10.00	3.06	0.31
田子町田子	青森県	A	7	0.99	0.14	0.14	4.81	0.76	0.16
青森南部町平	青森県	A	7	2.18	0.18	0.08	16.66	3.93	0.24
青森南部町沖田面*	青森県	A	4	1.58	0.31	0.20	8.70	2.22	0.26
階上町道仏	青森県	A	7	1.70	0.60	0.36	10.10	7.35	0.73
青森南部町苜米地	青森県	A	7	1.60	0.24	0.15	7.95	1.84	0.23
八戸市南郷区	青森県	A	7	1.99	0.37	0.19	10.54	3.02	0.29
五戸町倉内中市	青森県	A	7	1.76	0.39	0.22	11.11	5.00	0.45
新郷村戸来	青森県	A	7	0.73	0.29	0.39	3.38	0.81	0.24
AOM001 (大間)	防災科研	K	4	0.33	0.21	0.64	1.83	0.44	0.24
AOM002 (福浦)	防災科研	K	7	1.03	0.51	0.49	5.92	4.33	0.73
AOM003 (大畑)	防災科研	K	4	1.28	0.29	0.23	4.55	1.98	0.43
AOM004 (尻屋)	防災科研	K	7	0.27	0.33	1.24	2.78	1.47	0.53
AOM005 (むつ)	防災科研	K	6	1.34	0.16	0.12	4.78	1.43	0.30
AOM006 (川内)	防災科研	K	7	1.46	0.27	0.18	6.71	3.17	0.47
AOM007 (南通)	防災科研	K	6	1.79	0.22	0.12	5.53	1.90	0.34
AOM008 (横浜)	防災科研	K	7	1.08	0.27	0.25	4.81	2.22	0.46
AOM009 (六ヶ所)	防災科研	K	7	0.55	0.33	0.61	1.90	0.56	0.30
AOM010 (野辺地)	防災科研	K	7	1.91	0.35	0.18	10.18	2.36	0.23

表3 各観測点の増幅度。観測点名に*が付いているものは2002年3月からの観測点。ネットワークのAは青森県震度情報ネットワーク，KはK-NET，HはKiK-net，Jは気象庁独自のもの。

観測点名 (観測点コード)	設置機関	ネット ワーク	地 震数	計測震度			最大加速度		
				平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
AOM011 (三沢)	防災科研	K	7	1.47	0.41	0.28	5.78	2.02	0.35
AOM012 (八戸)	防災科研	K	7	1.63	0.21	0.13	9.26	3.07	0.33
AOM013 (南部)	防災科研	K	7	1.74	0.30	0.17	10.23	4.13	0.40
AOM014 (子の口)	防災科研	K	7	1.76	0.24	0.13	9.24	2.53	0.27
AOM015 (碓ヶ関)	防災科研	K	2	0.42	0.15	0.35	2.49	0.08	0.03
AOM016 (弘前)	防災科研	K	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
AOM017 (深浦)	防災科研	K	2	0.72	0.07	0.10	4.01	0.54	0.13
AOM018 (鱒ヶ沢)	防災科研	K	2	0.98	0.05	0.05	3.29	0.07	0.02
AOM019 (五所川原)	防災科研	K	7	1.48	0.18	0.12	6.18	1.02	0.17
AOM020 (青森)	防災科研	K	6	1.29	0.23	0.18	5.40	1.79	0.33
AOM021 (十和田)	防災科研	K	6	1.01	0.25	0.24	3.31	0.83	0.25
AOM022 (東田沢)	防災科研	K	7	1.21	0.20	0.17	5.76	2.26	0.39
AOM023 (中里)	防災科研	K	7	1.94	0.11	0.06	9.61	2.14	0.22
AOM024 (蟹田)	防災科研	K	7	1.70	0.20	0.12	7.36	1.10	0.15
AOM025 (今別)	防災科研	K	3	1.22	0.38	0.31	5.94	3.16	0.53
AOM026 (小泊)	防災科研	K	6	1.58	0.27	0.17	6.23	2.42	0.39
AOM027 (脇野沢)	防災科研	K	7	1.43	0.15	0.11	6.12	2.01	0.33
AOM028 (八甲田)	防災科研	K	7	1.26	0.19	0.15	5.20	1.28	0.25
AOM029 (西目屋)	防災科研	K	3	0.68	0.28	0.41	2.81	1.19	0.42
AOMH01 (大間)	防災科研	H	7	0.75	0.26	0.35	3.34	0.68	0.20
AOMH02 (佐井)	防災科研	H	6	-0.11	0.31	-2.91	1.23	0.83	0.68
AOMH03 (川内)	防災科研	H	7	0.78	0.26	0.33	3.40	1.44	0.42
AOMH04 (青森)	防災科研	H	7	1.19	0.14	0.12	4.25	0.91	0.21
AOMH05 (野辺地)	防災科研	H	3	2.13	0.28	0.13	15.46	6.96	0.45
AOMH06 (六ヶ所)	防災科研	H	7	0.90	0.44	0.49	3.84	1.84	0.48
AOMH07 (深浦)	防災科研	H	7	0.68	0.16	0.24	2.66	0.40	0.15
AOMH08 (鱒ヶ沢)	防災科研	H	7	1.13	0.14	0.12	5.96	1.63	0.27
AOMH09 (岩木)	防災科研	H	6	1.43	0.28	0.19	5.61	1.40	0.25
AOMH10 (黒石)	防災科研	H	7	0.31	0.16	0.51	1.24	0.19	0.16
AOMH11 (十和田湖西)	防災科研	H	7	1.36	0.31	0.23	8.85	2.55	0.29
AOMH12 (十和田湖東)	防災科研	H	7	1.27	0.23	0.18	6.47	1.38	0.21
AOMH13 (八戸)	防災科研	H	7	1.33	0.23	0.17	4.77	2.07	0.43
AOMH14 (西目屋)	防災科研	H	7	1.09	0.26	0.24	4.48	1.08	0.24
AOMH15 (大鱒)	防災科研	H	7	0.02	0.12	6.41	1.60	0.43	0.27
AOMH16 (新郷)	防災科研	H	7	2.27	0.24	0.11	18.99	4.34	0.23

表3 各観測点の増幅度。観測点名に*が付いているものは2002年3月からの観測点。ネットワークのAは青森県震度情報ネットワーク，KはK-NET，HはKiK-net，Jは気象庁独自のもの。

観測点名 (観測点コード)	設置機関	ネット ワーク	地 震数	計測震度			最大加速度		
				平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
AOMH17 (名川)	防災科研	H	7	1.67	0.27	0.16	9.85	2.15	0.22
AOMH18 (田子)	防災科研	H	7	1.13	0.15	0.14	7.93	0.93	0.12
OSMH01 (知内)	防災科研	H	7	1.19	0.35	0.30	3.96	2.06	0.52
AKTH08 (藤里)	防災科研	H	2	0.61	0.02	0.04	3.91	0.01	0.00
AKTH09 (田代)	防災科研	H	7	0.89	0.24	0.27	3.15	0.97	0.31
AKTH10 (大館)	防災科研	H	5	0.43	0.15	0.35	2.32	0.54	0.23
IWTH01 (二戸東)	防災科研	H	7	2.25	0.17	0.07	16.86	3.84	0.23
IWTH06 (二戸西)	防災科研	H	7	1.80	0.31	0.17	13.72	6.28	0.46
IWTH07 (軽米)	防災科研	H	7	0.80	0.29	0.37	4.72	1.57	0.33
IWTH08 (久慈北)	防災科研	H	6	1.31	0.60	0.45	6.78	4.56	0.67
IWTH10 (安代)	防災科研	H	7	1.15	0.17	0.15	8.70	1.89	0.22
青森市花園	気象庁	J	7	1.31	0.21	0.16	N.A.	N.A.	N.A.
八戸市湊町	気象庁	J	7	1.32	0.33	0.25	N.A.	N.A.	N.A.
むつ市金曲	気象庁	J	7	1.34	0.20	0.15	N.A.	N.A.	N.A.
深浦町深浦	気象庁	J	4	1.06	0.20	0.19	N.A.	N.A.	N.A.
むつ市大畑町	気象庁	J	7	0.45	0.24	0.54	N.A.	N.A.	N.A.