

2. 長周期地震動情報抽出のための観測記録諸元の整理

佐武 直紀

1. はじめに

緊急地震速報において、速報での予測震度が小さくても遠方での大規模地震の場合、長周期地震動による影響が懸念される。特に、我が国の三大都市圏が立地する関東・濃尾・大阪平野をはじめとする堆積平野において、その深い地盤構造ゆえに表面波が励起され、長周期地震動を生じやすい。このような状況の下で、地盤と構造物の卓越周期が近接すると、構造物の共振に伴う想定外の応答が懸念される^{1),2)}など。2003年十勝沖地震時の苫小牧での石油タンク火災や、2004年新潟県中越地震時の東京都心での高層建物内エレベータの損傷などは、いずれも長周期地震動に起因する被害として記憶に新しい。仮に将来、東海・東南海・南海連動型の巨大地震が発生した場合、名古屋市中心部に建つ30階建の建物では、片振幅2～3mもの大揺れが、長時間に渡り継続すると予測されている^{例えば3)}。これらの背景から、長周期地震動に関する解析面、実験面からの様々な検討が実施されるとともに、長周期地震動の怖さを啓発する体験用機材の開発^{例えば4)}も試みられている。

当学地域防災研究センターでは、発足からの5年間で多くの地震観測記録が蓄積され、緊急地震速報への活用などがなされている。しかし、長周期地震動の観点も含め、記録の分析に関しては、今後委ねられている部分が多い。今回、緊急地震速報の高度化に向けた研究の一環として、愛知県内で得られた観測記録を対象に、長周期地震動情報の抽出へ向けての観測記録諸元の整理と周波数（周期）特性に関する分析を行ったので報告する。

2. 対象とした地震観測記録と整理・分析項目

(1) 対象観測記録

- ①防災科研 K-NET の愛知県内 2 観測点（名古屋，豊田）における、1996 年以降に発生した 14 の地震（近距離地震 6，遠距離大地震 8）の記録
- ②当学 AI-NET の ETNA 地震計による全観測点（30 地点）における、2007 年に発生した 2 つの地震（近距離地震の代表例として 4 月 15 日の三重県中部の地震、遠距離大地震の代表例として 7 月 16 日の新潟県中越沖地震）の記録

(2) 整理・分析項目

- ①地震の諸元（マグニチュード M，震源深さ D，震源距離 Δ ）
- ②観測記録の諸元（水平・上下 3 方向の最大加速度，計測震度相当値）
- ③観測波形とその周波数特性（速度応答スペクトル）

3. 防災科研 K-NET 観測記録に対する整理・分析

(1) 対象地震および観測記録の諸元

当学 AI-NET の観測開始は 2005 年 1 月で、三河地区で長周期地震動となる可能性がある遠距離大地震の記録は、現時点ではあまり多くない。そこで、後述する AI-NET 観測記録の整理・分析に先立ち、より多くの地震を対象とすべく、AI-NET の観測開始以前の 1996 年から記録が得られている防災科研 K-NET 観測点を対象に、観測記録の整理・分析を行った。対象観測点は、愛知県内の K-NET 観測点全 18 地点のうち、県都である名古屋市（観測点記号 AIC004）および当学が位置する豊田（同 AIC009）の 2 地点とした。また対象地震には、記録が得られている 1996 年以降に発生した震源深さ $D = 120\text{km}$ 以内の地震のうち、近距離地震および遠距離大地震を以下の基準で定め、それぞれ 6 地震、8 地震を選定した。対象地震の諸元（M, D, Δ ）を、両地点で得られた最大加速度と計測震度相当値とともに表 -1 に示す。

①近距離地震

上記2地点のいずれかで観測された地震のうち、 $M = 5.0$ 以上でかつ北緯 $34 \sim 36^\circ$ 、東経 $136 \sim 138^\circ$ の範囲に震源を有する地震とした。

②遠距離大地震

上記2地点（名古屋，豊田）のいずれかで観測された地震のうち、 $M = 6.5$ 以上の地震とした。表-1より、結果的に全て震源距離 $\Delta = 200\text{km}$ 以上の遠距離地震が選定されている。

(2) 観測波形および応答スペクトル

観測波形とその速度応答スペクトルを、観測点および地震種別（近距離地震，遠距離大地震）ごとに以下の通り示す。紙面の都合で、幾つかの観測記録を選択し、水平2方向のうち加速度が大きい1方向を対象に示した。図化には K-NET Viewer を使用した。

- ・名古屋：近距離地震 → 図-1、遠距離大地震 → 図-2
- ・豊田：近距離地震 → 図-3、遠距離大地震 → 図-4

各波形の速度応答スペクトルより、概ね以下の傾向が伺える。

まず、名古屋での観測波形についてみると、図-2の遠距離大地震では、 $0.3 \sim 1\text{Hz}$ の低振動数（長周期）域でいくつかの卓越振動数が認められ、特に 0.3Hz （3秒）付近では、全ての地震で顕著なピークが認められる。これに対し、図-1の近距離地震では、卓越周波数が全体に高振動数（短周期）側に移り、 $0.6 \sim 0.7\text{Hz}$ から $6 \sim 7\text{Hz}$ にかけての帯域となっている。遠距離大地震で見られた 0.3Hz のピークも、それほど顕著でない。

次に、豊田での観測波形についてみると、図-4の遠距離大地震では、いずれの地震も 1Hz （1秒）付近に顕著なピークが認められる。一方、図-3の近距離地震では、 1Hz 付近のほか 1Hz から $6 \sim 7\text{Hz}$ 位までの振動数域でも幾つかのピークが認められる。

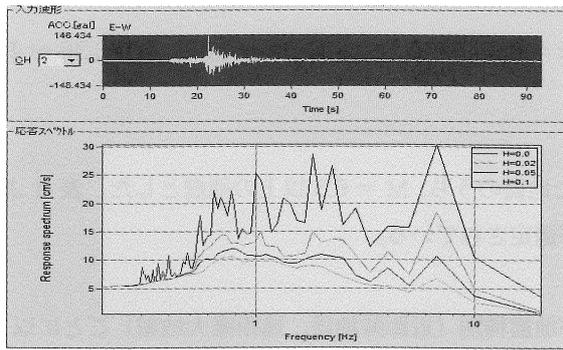
以上の結果から、遠距離大地震では観測点での震度は小さいものの、長周期成分（名古屋では約3秒、豊田では約1秒）が卓越する傾向が明らかに認められる。また、名古屋と豊田の2点間で、遠距離大地震における長周期成分の卓越振動数域を比べると、名古屋の方がより大きいように思われる。

表-1 対象地震と K-NET 観測記録の諸元

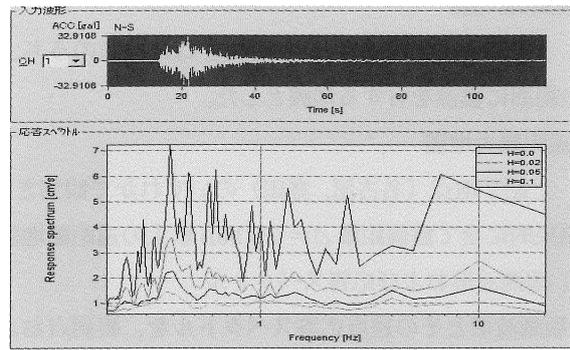
| 地震種別 | 発生年月日 | 地震名 または震源 | マグニチュード M | 震源 深さ D (km) | 名古屋(AIC004) | | | | 豊田(AIC009) | | | | | |
|--------|------------|-----------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|------|------|-----------------|--------------------------------|----------------|------|------|-----------------|
| | | | | | 震源 距離 Δ_1 (km) | 最大加速度 (Gal) | | | 計測 震度 相当値 | 震源 距離 Δ_2 (km) | 最大加速度 (Gal) | | | 計測 震度 相当値 |
| | | | | | | NS | EW | UD | | | NS | EW | UD | |
| 近距離地震 | 1997.03.16 | 愛知県東部 | 5.8 | 39 | 52 | 126 | 148 | 86.6 | 3.9 | 38 | 159 | 138 | 46.9 | 4.4 |
| | 1997.05.24 | 遠州灘 | 5.3 | 22 | 78 | 6.5 | 5.4 | 4.4 | 1.6 | 71 | 13.1 | 15.5 | 5.5 | 2.2 |
| | 1998.04.22 | 三重県北部 | 5.4 | 10 | 40 | 32.9 | 26.0 | 27.9 | 2.3 | 54 | 13.6 | 18.9 | 11.4 | 2.2 |
| | 2000.10.31 | 三重県南部 | 5.5 | 44 | 103 | 29.8 | 29.4 | 13.9 | 2.8 | 114 | 19.6 | 26.9 | 9.4 | 2.8 |
| | 2004.01.06 | 熊野灘 | 5.4 | 37 | 96 | 22.8 | 16.8 | 10.8 | 2.4 | 103 | 16.9 | 13.6 | 6.6 | 2.2 |
| | 2007.04.15 | 三重県中部 | 5.4 | 16 | 60 | 12.3 | 11.9 | 10.2 | 2.1 | 74 | 16.0 | 8.8 | 7.4 | 2.2 |
| 遠距離大地震 | 2000.10.06 | 鳥取県西部 | 7.3 | 11 | 330 | 4.0 | 3.6 | 2.3 | 1.9 | 345 | 7.1 | 8.2 | 2.5 | 2.3 |
| | 2004.09.05 | 紀伊半島南東沖 ¹⁾ | 6.9 | 38 | 227 | 40.9 | 34.2 | 24.8 | 3.1 | 230 | 36.5 | 32.3 | 19.6 | 3.1 |
| | 2004.09.05 | 東海道沖 ^{1),2)} | 7.4 | 44 | 212 | 52.7 | 53.5 | 29.3 | 3.5 | 213 | 55.1 | 55.5 | 23.7 | 3.6 |
| | 2004.10.23 | 新潟県中越 ²⁾ | 6.8 | 13 | 302 | — | — | — | — | 292 | 3.3 | 3.8 | 1.3 | 1.8 |
| | 2005.08.16 | 宮城県沖 | 7.2 | 42 | 586 | 2.7 | 2.8 | 1.2 | 1.7 | 573 | 3.3 | 2.3 | 1.3 | 1.8 |
| | 2007.03.25 | 能登半島 | 6.9 | 11 | 243 | 9.9 | 6.9 | 4.3 | 2.4 | 243 | 10.7 | 10.2 | 5.2 | 2.4 |
| | 2007.07.16 | 新潟県中越沖 | 6.8 | 17 | 314 | 3.2 | 3.2 | 2.1 | 1.9 | 306 | 8.2 | 7.2 | 2.8 | 2.5 |
| | 2008.05.08 | 茨城県沖 | 6.7 | 40 | 447 | — | — | — | — | 432 | 10.7 | 11.3 | 5.1 | 0.9 |

【註】 1) この2つの地震は、同一地震の本震・余震という見方もあるが、ここでは別の地震として扱い、いずれも対象に含めた。

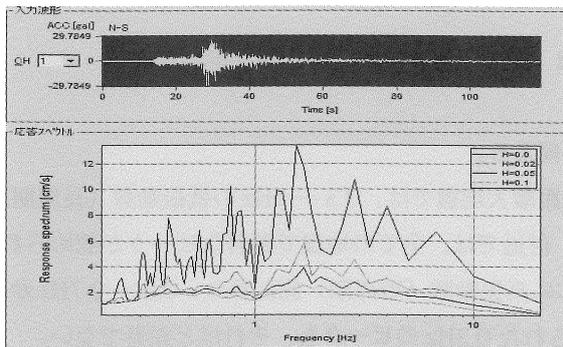
2) この2つの地震には、 $M=6.5$ 以上の余震が1つずつあるが、いずれも対象から外した。



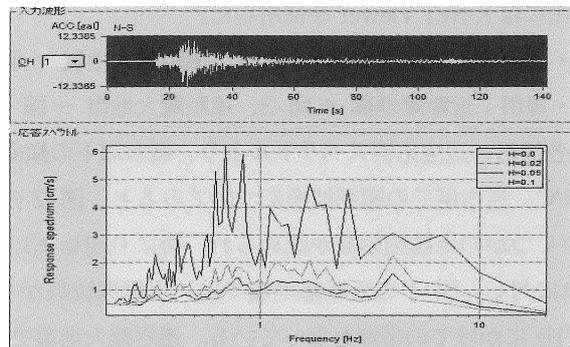
(a) 1997.3.16 愛知県東部の地震:EW 方向



(b) 1998.4.22 三重県北部の地震:NS 方向

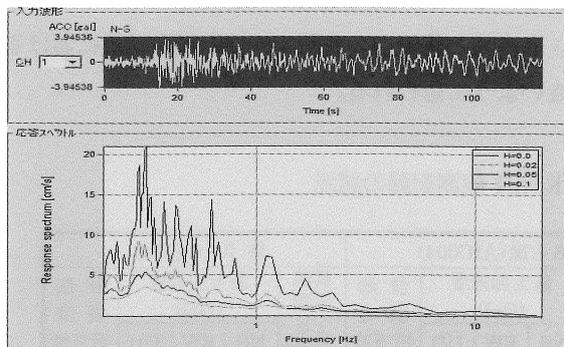


(c) 2000.10.31 三重県南部の地震:NS 方向

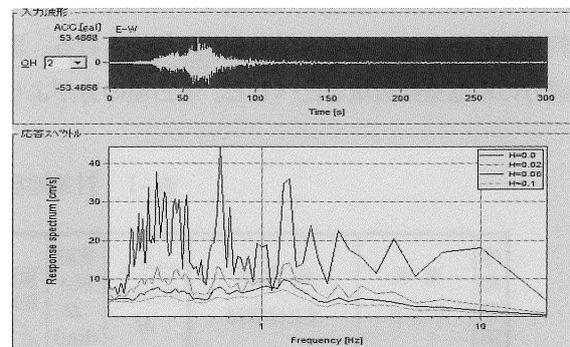


(d) 2007.4.15 三重県中部の地震:NS 方向

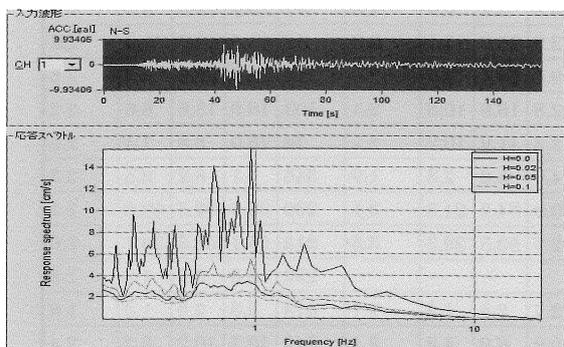
図-1 観測波形と速度応答スペクトル (K-NET 名古屋観測点, 近距離地震)



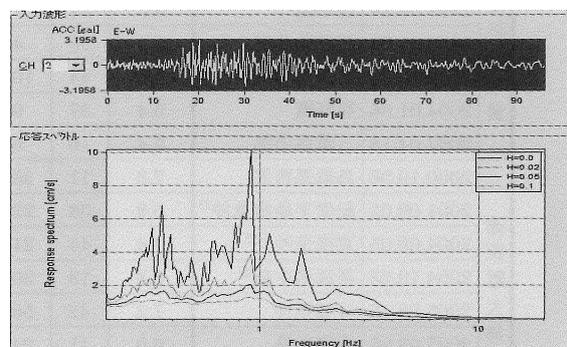
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震:NS 方向



(b) 2004.9.5 東海沖の地震:EW 方向

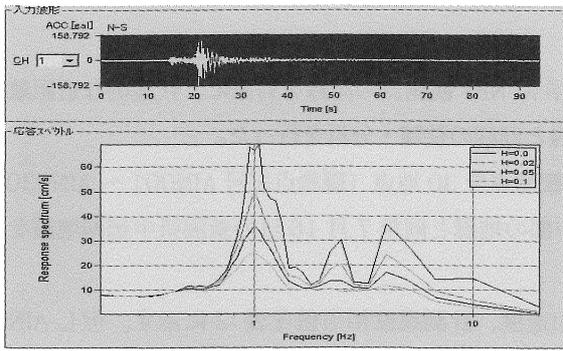


(c) 2007.3.25 能登半島地震:NS 方向

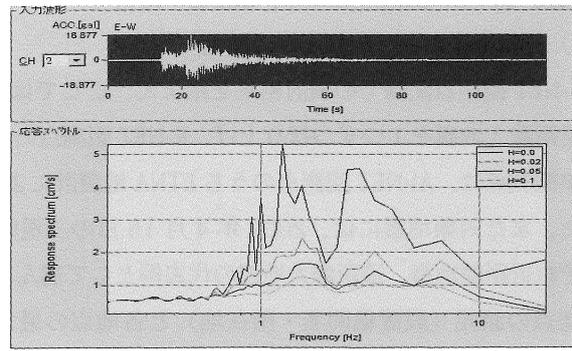


(d) 2007.7.16 新潟県中越沖地震:EW 方向

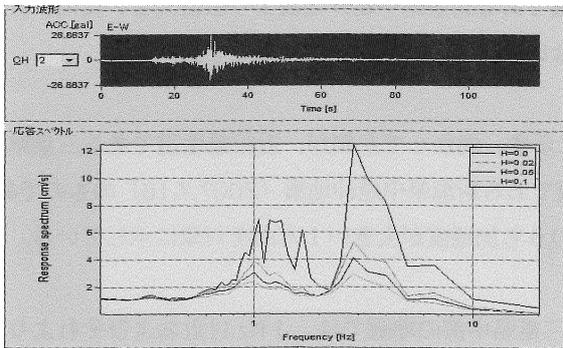
図-2 観測波形と速度応答スペクトル (K-NET 名古屋観測点, 遠距離大地震)



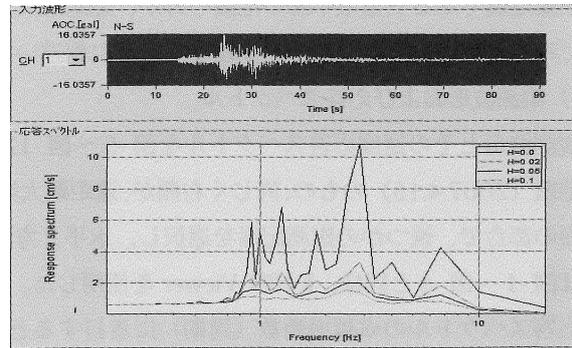
(a) 1997.3.16 愛知県東部の地震: NS 方向



(b) 1998.4.22 三重県北部の地震: EW 方向

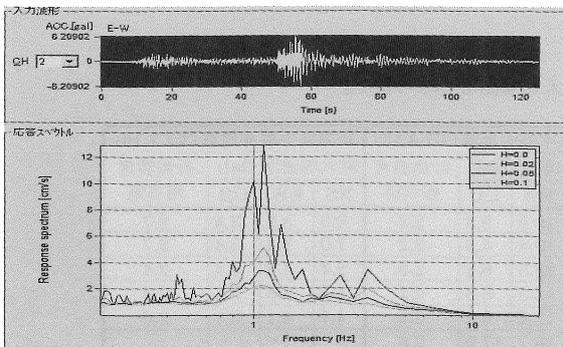


(c) 2000.10.31 三重県南部の地震: EW 方向

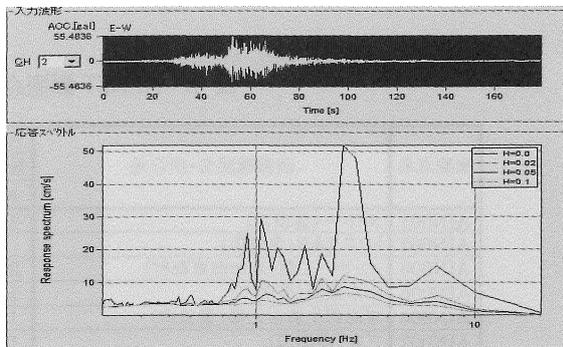


(d) 2007.4.15 三重県中部の地震: NS 方向

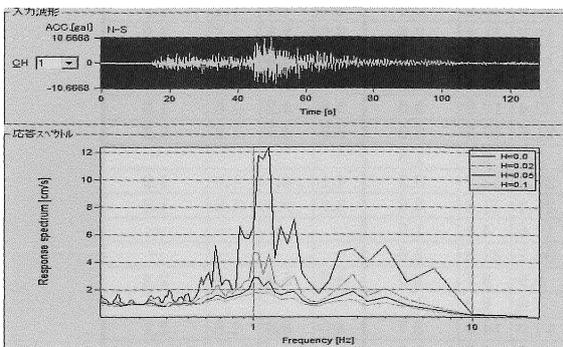
図-3 観測波形と速度応答スペクトル (K-NET 豊田観測点, 近距離地震)



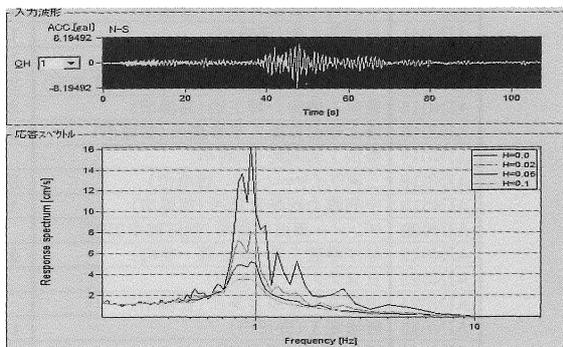
(a) 2000.10.6 鳥取県西部地震: EW 方向



(b) 2004.9.5 東海道沖の地震: EW 方向



(c) 2007.3.25 能登半島地震: NS 方向



(d) 2007.7.16 新潟県中越沖の地震: NS 方向

図-4 観測波形と速度応答スペクトル (K-NET 豊田観測点, 遠距離大地震)

4. 当学 AI-NET 観測記録に対する整理・分析

(1) 対象地震および観測記録の諸元

K-NET 観測点記録での検討結果を踏まえ、ここでは当学 AI-NET 観測点の記録を対象に、代表的な近距離地震と遠距離大地震を1つずつ採り上げ、K-NET 観測点の記録と同様の整理・分析を行った。

対象観測点は、AI-NET 観測点のうち ETNA 地震計による観測点全 30 地点（観測点記号 AIN001～AIN030）とした。また対象地震には、2007 年 4 月 15 日の三重県中部の地震と同年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震を、それぞれ近距離地震、遠距離大地震の代表例として選んだ。

観測点の諸元（設置機関名・所在地）と各地点の最大加速度、計測震度相当値を表-2 に示す。但し AIN004, AIN013, AIN021 の 3 地点は、いずれの地震とも観測記録が得られなかったので省いた。最大加速度をみると、近距離地震である三重県中部の地震の方が、遠距離大地震である新潟県中越沖地震より数倍大きい反面、計測震度でみると両地震とも概ね 2～3 程度で、それ程違いはない。

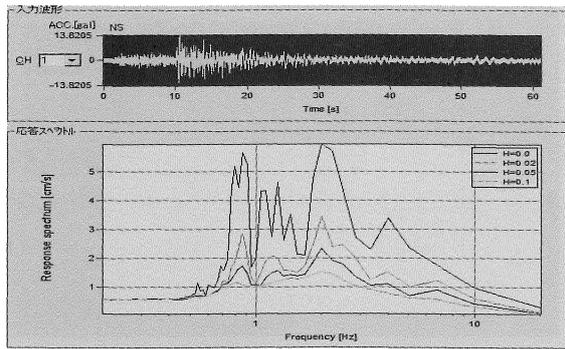
(2) 観測波形および応答スペクトル

観測波形とその速度応答スペクトルを図-5～図-12 に示す。向かって左側が、近距離地震である三重県中部の地震（2007.4.15）のもの、同じく右側が、遠距離大地震である新潟県中越沖地震（2007.7.16）のものである。紙面の都合で、幾つかの観測記録を選択し、水平 2 方向のうち加速度が大きい 1 方向を対象に示している。図化には図-1～図-4 と同様、K-NET Viewer を使用した。

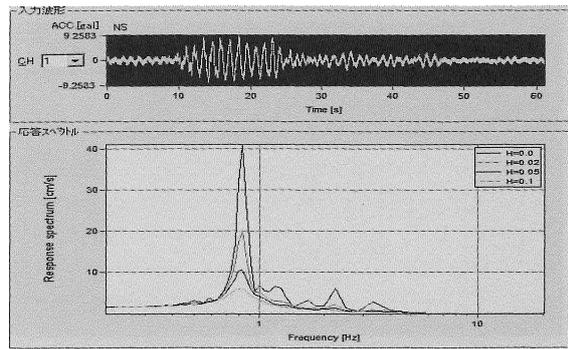
応答スペクトルの卓越振動数（周期）に着目すると、三重県中部の地震では、1 Hz 付近およびそれより高振動数（短周期）側にピークが見られる地点が多いのに対し、新潟県中越沖地震では、1 Hz 付近およびそれより低振動数（長周期）側にピークが見られる地点が多い。表-2 で、新潟県中越沖地震の方が、最大加速度の割に計測震度が大きい、長周期成分の影響が大きいことを示すものと思われる。また、この地震で卓越する長周期成分は、名古屋市中心部で卓越すると言われる 3 秒付近のほか、1 秒以上の長周期域でも認められる。

表-2 AI-NET 観測点および観測記録の諸元

| 観測点名 | 設置機関名・所在地 | 三重県中部の地震(07.4.15) | | | | 新潟県中越沖地震(07.7.16) | | | |
|--------|---------------------|-------------------|------|---------|-----|-------------------|-----|---------|-----|
| | | 最大加速度(Gal) | | 計測震度相当値 | | 最大加速度(Gal) | | 計測震度相当値 | |
| | | NS | EW | UD | | NS | EW | UD | |
| AIN001 | メイデー(豊田市) | 13.8 | 10.2 | 8.3 | 2.2 | 9.3 | 5.9 | 3.4 | 2.7 |
| AIN002 | トヨタ T&S(豊田市) | 8.7 | 10.4 | 4.3 | 2.2 | 7.0 | 8.4 | 3.4 | 2.7 |
| AIN003 | コンドー工業(愛知郡東郷町) | 24.8 | 28.5 | 6.2 | 2.6 | 5.4 | 4.3 | 3.4 | 2.4 |
| AIN005 | 山本鋼業(豊明市) | 14.1 | 13.5 | 5.9 | 2.2 | 6.8 | 3.3 | 2.4 | 2.3 |
| AIN006 | 東海理化豊田工場(豊田市) | 13.3 | 12.6 | 8.7 | 2.2 | 4.7 | 3.1 | 2.4 | 2.0 |
| AIN007 | 三友(東海市) | 15.4 | 16.7 | 17.9 | 2.6 | — | — | — | — |
| AIN008 | デンソー高棚製作所(安城市) | — | — | — | — | 3.4 | 4.8 | 1.6 | 2.1 |
| AIN009 | 中部電力刈谷営業所(刈谷市) | 12.4 | 13.4 | 13.7 | 2.3 | 4.0 | 4.2 | 2.0 | 2.2 |
| AIN010 | 中部電力安城営業所(安城市) | 23.2 | 23.5 | 10.9 | 2.6 | 4.4 | 4.1 | 1.4 | 1.9 |
| AIN011 | 丹羽鉄工所(岡崎市) | 14.5 | 19.2 | 11.9 | 2.8 | 3.5 | 3.5 | 1.5 | 1.9 |
| AIN012 | 並松専務宅(半田市) | 16.1 | 14.0 | 13.0 | 2.5 | 3.4 | 3.3 | 1.4 | 1.8 |
| AIN014 | 半田市医師会健康管理センター(半田市) | 22.1 | 21.4 | 11.4 | 2.5 | 3.6 | 3.2 | 1.1 | 2.0 |
| AIN015 | 豊田工機田戸岬工場(高浜市) | 33.3 | 33.4 | 17.9 | 3.0 | 3.8 | 4.2 | 1.6 | 1.9 |
| AIN016 | 清水建設安城工事事務所(安城市) | 23.5 | 21.8 | 17.5 | 2.6 | 2.8 | 4.5 | 1.2 | 2.2 |
| AIN017 | 豊田工機岡崎(岡崎市) | 7.7 | 9.1 | 9.7 | 1.5 | — | — | — | — |
| AIN018 | 三洲ワイヤーハウス(碧南市) | 36.1 | 20.5 | 17.7 | 3.2 | 4.1 | 4.7 | 1.6 | 1.9 |
| AIN019 | 中部電力西尾営業所(西尾市) | 19.2 | 25.3 | 11.8 | 2.6 | 3.2 | 2.5 | 1.0 | 1.6 |
| AIN020 | デンソー幸田営業所(額田郡幸田町) | 8.6 | 10.5 | 4.4 | 1.5 | — | — | — | — |
| AIN022 | 杉江建設工業(幡豆郡一色町) | 25.4 | 33.2 | 31.8 | 2.8 | — | — | — | — |
| AIN023 | 日立テクノス(豊橋市) | 9.3 | 8.9 | 3.7 | 2.0 | 3.7 | 5.6 | 1.5 | 2.4 |
| AIN024 | 中部電力豊橋営業所(豊橋市) | 4.7 | 4.6 | 2.3 | 1.7 | — | — | — | — |
| AIN025 | 野場電工(豊田市) | 18.1 | 17.0 | 14.0 | 2.7 | 4.5 | 6.0 | 1.8 | 2.1 |
| AIN026 | アスモ本社(湖西市) | 5.5 | 5.8 | 2.7 | 1.6 | — | — | — | — |
| AIN027 | 明石会(蒲郡市) | 13.0 | 12.4 | 6.9 | 1.9 | — | — | — | — |
| AIN028 | 三洲電線西尾工場(西尾市) | 50.9 | 36.3 | 18.5 | 2.9 | 3.9 | 4.7 | 2.4 | 2.1 |
| AIN029 | 愛三工業安城工場(安城市) | 17.5 | 19.8 | 18.6 | 2.4 | 3.3 | 2.8 | 1.7 | 1.8 |
| AIN030 | 豊橋創造大学(豊橋市) | 8.9 | 9.2 | 3.5 | 2.2 | 5.2 | 4.4 | 2.2 | 2.2 |

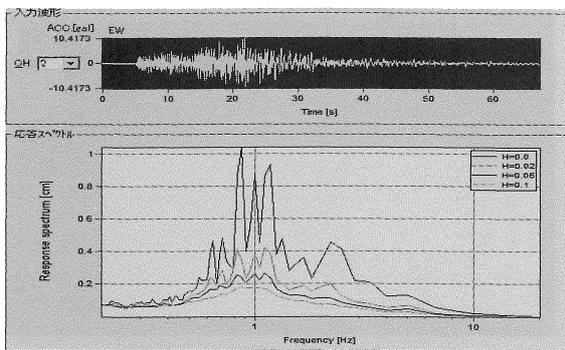


(a)三重県中部の地震(2007.4.15):NS方向

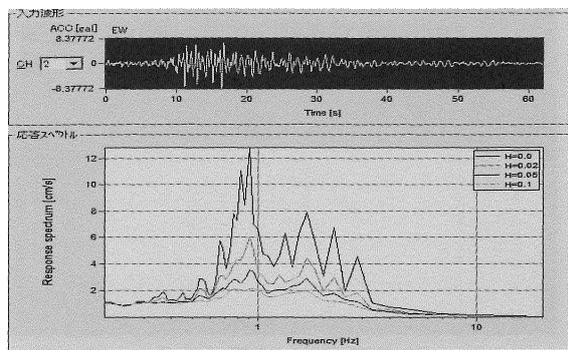


(b)新潟県中越沖地震(2007.7.16):NS方向

図-5 観測波形と速度応答スペクトル(観測点 AIN001)

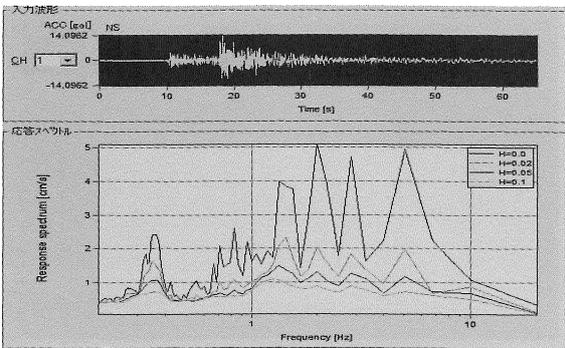


(a)三重県中部の地震:EW方向

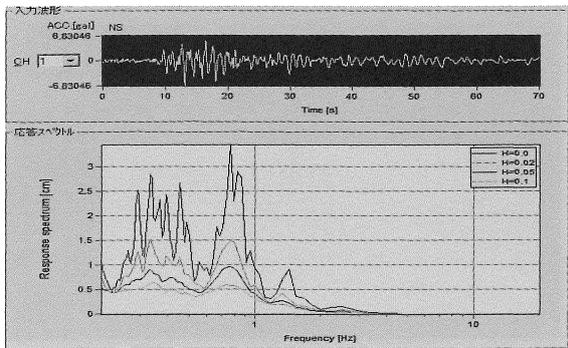


(b)新潟県中越沖地震:EW方向

図-6 観測波形と速度応答スペクトル(観測点 AIN002)

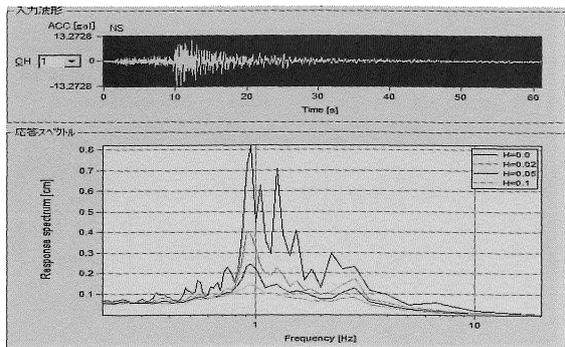


(a)三重県中部の地震:NS方向

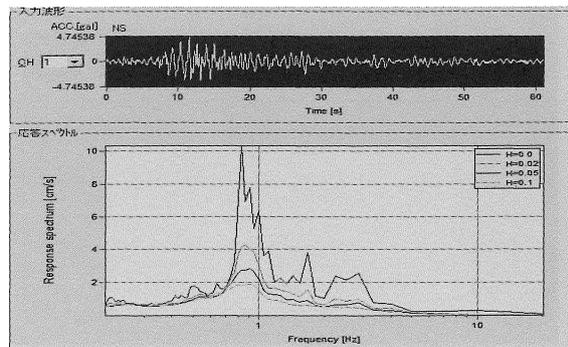


(b)新潟県中越沖地震:NS方向

図-7 観測波形と速度応答スペクトル(観測点 AIN005)

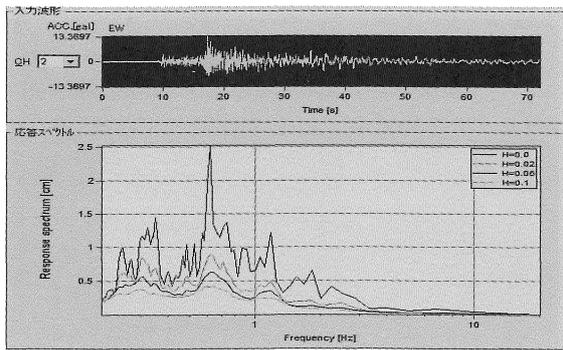


(a)三重県中部の地震:NS方向

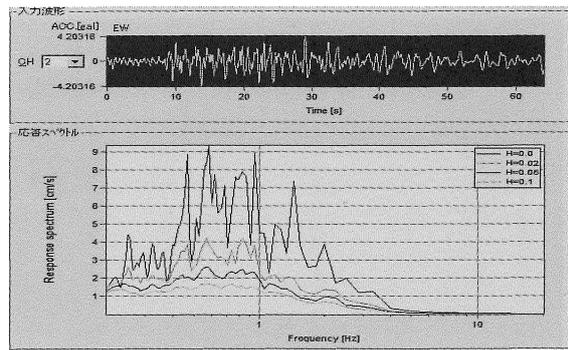


(b)新潟県中越沖地震:NS方向

図-8 観測波形と速度応答スペクトル(観測点 AIN006)

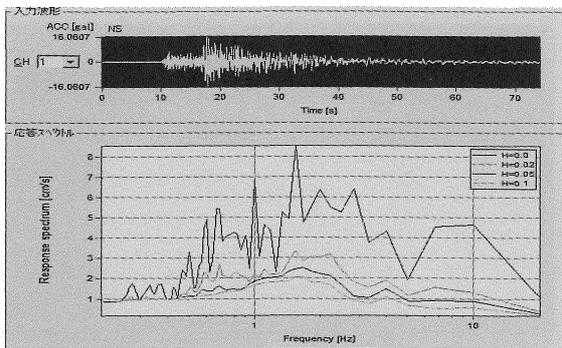


(a) 三重県中部の地震:EW 方向

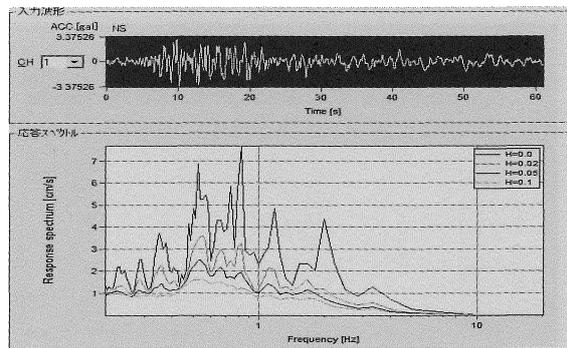


(b) 新潟県中越沖地震:EW 方向

図-9 観測波形と速度応答スペクトル (観測点 AIN009)

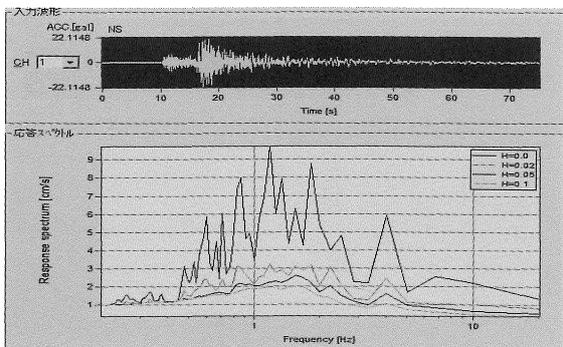


(a) 三重県中部の地震:NS 方向

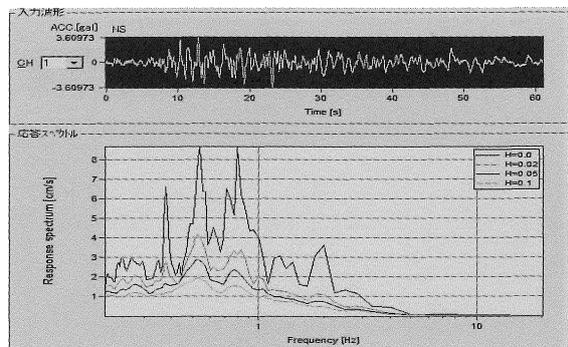


(b) 新潟県中越沖地震:NS 方向

図-10 観測波形と速度応答スペクトル (観測点 AIN012)

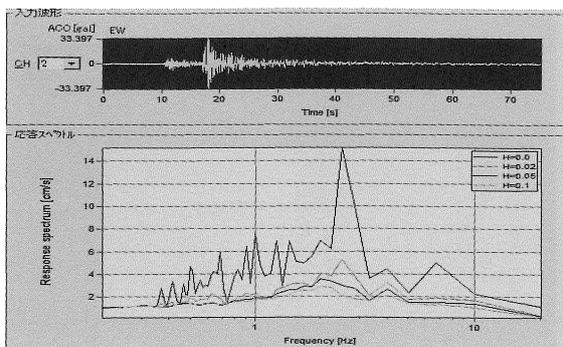


(a) 三重県中部の地震:NS 方向

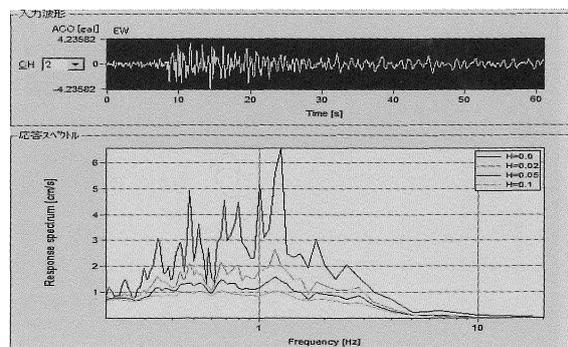


(b) 新潟県中越沖地震:NS 方向

図-11 観測波形と速度応答スペクトル (観測点 AIN014)



(a) 三重県中部の地震:EW 方向



(b) 新潟県中越沖地震:EW 方向

図-12 観測波形と速度応答スペクトル (観測点 AIN015)

5. むすび

愛知県内で得られた、防災科研の K-NET 観測点および当学 AI-NET 観測点での地震記録を対象に、長周期地震動情報の抽出へ向けての観測記録諸元の整理と若干の分析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 観測記録の諸元について、近距離地震と遠距離大地震を比較すると、遠距離大地震の方が、最大加速度の割に計測震度相当値が大きい。
- ② 周波数（周期）特性について、速度応答スペクトルを用いて近距離地震と遠距離大地震を比較すると、遠距離大地震では主に 1 Hz より高振動数（短周期）側に、近距離地震では主に 1 Hz より低振動数（長周期）側に、それぞれ卓越振動数（周期）が認められる。
- ③ ①, ②より、遠距離大地震では長周期地震動の影響が少なからず存在すると言える。

これらの結果から、愛知県内の観測記録についても、長周期地震動の影響を無視出来ないことを示し得たと思われる。但し以上の内容は、観測記録における長周期地震動の特徴のごく一部を示したに過ぎない。本来の目標である、緊急地震速報の高度化に向けての情報抽出の観点で、引き続き検討を進める必要がある。

【参考文献】

- 1) 土木学会，日本建築学会：海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言，2006.11
- 2) 佐武直紀：設計用地震動の変遷と長周期地震動，建築と社会，No.1041，pp.24～25，日本建築協会，2008.12
- 3) 日本建築学会：巨大地震時に予想される長周期地震動とその耐震問題，日本建築学会大会（近畿）特別調査部門研究協議会資料，2005.9
- 4) 福和伸夫，佐武直紀，原徹夫，太田賢治，飯沼博幸，鶴田庸介，飛田潤：長周期構造物の応答を再現するロングストローク簡易振動台の開発，日本建築学会技術報告集，第 25 号，pp.55～58，2007.6