

## 1. はじめに

2000年10月6日午後1時30分に鳥取県西部で発生した鳥取県西部地震( $M_{JMA}$ 7.3)は、そのマグニチュードが兵庫県南部地震よりも大きいにもかかわらず、震源域において二百数十棟程度の家屋を大破・崩壊させたにとどまり、建築構造物に対しては大きなインパクトは生じなかった(ただし道路崩壊等はかなり顕著であった)。本章では、地震の際に防災科学技術研究所の強震観測ネットワーク、K-Netおよび基盤強震観測ネットワークKiK-Netにより観測された震源域の強震記録の概要を示しその特徴を分析した後、これら観測記録を入力とした構造物群の非線型応答解析を行い、その構造物破壊能を兵庫県南部地震の際の震源域強震動の破壊能との相対関係として評価した結果を報告する。

## 2. 地震と被害の概要

気象台の決めた震央は当初北緯  $35.3^\circ$  東経  $133.4^\circ$  で、震源深さは10kmであったが、防災科技研の暫定解析によると(<http://www.hinetdata.bosai.co.jp>)、北緯  $35.27^\circ$  東経  $133.35^\circ$  震源深さ7.8kmとされている。気象庁マグニチュードは  $M_{JMA}$ 7.3と発表され、地震モーメントから決めたモーメントマグニチュード  $M_w$  は6.6(NIED, Harvard)あるいは6.8(京大防災研の岩田氏らによる)と報告されている。

本震の発震機構は、北東—南西と北西—南東を節面にもつ横ずれ型である。その方位はいずれの解も  $N240^\circ$  と  $N150^\circ$  前後で、余震の分布から走向  $N150^\circ$  の断層面上での左横ずれ地震であることがわかった。余震発生面はほぼ鉛直で、わずかに正断層成分を有している。その余震は長さ25-30kmの直線上に分布している。

鳥取県と島根県のWebサイト([www.pref.tottori.jp](http://www.pref.tottori.jp)・[www.pref.shimane.jp](http://www.pref.shimane.jp))によれば、この地震によって鳥取県では重傷20人を含む100人弱の、島根県では重傷2人を含む10人弱の負傷者が出たとされている。被害総額は鳥取県で47億円、島根県で57億円であり、そのうち道路港湾関連の被害が約半分を占めている。鳥取県の全壊住宅棟数は360棟、半壊棟数は2,200棟である。一方島根県ではそれぞれ、34棟および535棟であった。

気象庁発表の震度は、95型震度計により震央付近および境港の測候所で最大値6強が観測された。この妥当性について疑問の声が出され、気象庁は国土庁と合同で委員会を作って検討する予定といわれている(東工大翠川氏による)。なお、後述するKiK-Net観測点のTTRH02の記録は震度7相当である。

## 3. 観測された震源域の強震動の概要

兵庫県南部地震以降、K-Netと称される約1,000点の全国に均質に分布した強震計ネットワークが整備され、観測強震波形が回収と同時にインターネットで公開されるようになった。本年8月からは高感度地震計を埋設したボーリング孔を利用して、地中と地表の上下2点アレー観測となっている基盤強震観測ネットワークKiK-Netのデータも公開されるようになっていた。今回の地震ではじめてKiK-Netによる大量のデータが提供されることとなったが、その恩恵は計り知れないものがある。ここではその中から図1に示した震源域の代表的な地点9地点の記録を図2～図4に示す。ここで各波形は上からNS成分、EW成分、UD成分の順でなっており、これらの図は公表された加速度波形に基線補正と20秒のローカットフィルターを作用させたものである。図5～図7には各波形を1度積分した速度波形を示す。最大加速度は300～920Gal、最大速度は20～130cm/secの範囲に分布している。強震部分の継続時間は破壊域の大きさを反映して全体に短く、多くの観測点ではコーダを含め10～15秒である。図を一見して明らかなことは短周期成分に富むことであり、速度波形にしてもなお、かなり短周期成分の卓越が目立つ。なお観測加速度記録の最大値を日本の地震でよくあうといわれているFukushima and Tanaka (1990)の回帰式と比較すると $M_{JMA}7.3$ の経験式を使う限り非常によく対応するとされる(清水建設福島美光氏による)。

これらの観測記録のうち震源域のK-Net記録TTR007(江府)とTTR009(日南)のNS成分の擬似速度応答スペクトルを代表として図8に示す。比較のため兵庫県南部地震での神戸海洋気象台記録のスペクトルを重ね書いた。図から鳥取県西部地震では約2.5秒のやや長周期域、および0.5秒のやや短周期域にピークが2つあることがわかる。この間は谷であって周期1秒前後のパワーはそこにピークがある神戸の記録に比べると1/10に過ぎない。またピークレベルは150cm/sec程度で、神戸の約半分である。

これに対し震源直上の観測点TTRH02(日野下黒坂)では図9に示した擬似速度応答スペクトルが得られる。ここで太線はNS成分、細線はEW成分で、大きい方が地表の応答スペクトル、小さい方が地中のそれである。周期2秒付近に第一ピークがあるのは同じであるが、そのレベルは先の観測点の約2倍となっている。これは破壊方位性(ディレクティビティ)効果のためと考えられる。ここで周期1秒付近を見てみると地中ではやはり谷となっており、先の観測点と同様である。しかし地表では周期0.7～0.8秒で300cm/sを超える大きな値となっており、図10に示したように神戸海洋気象台の記録を上回るものとなっている。地表と地中のこの周期帯域での比は5倍以上ある。これはこのサイトにおいては約10mの湖岸の軟弱な堆積層(砂礫層)があり、さらにその下には風化花崗岩の層があるので、これらの層による増幅が原因と考えられる。図11にはKiK-Netのウェブサイトに掲載されている地盤調査結果を示した。最表層のS波速度と地動最大速度から見て、表層地盤はかなりの剛性低下を示したことは間違いなく、湖水の水位とほぼ同レベルであることから液状化したことも考えられる。実際、現地サイトを検分したところ、周辺で多数の地割れが見つかっている。また砂礫部の幅は山肌と湖の間の平坦部、約30m程度だけと推測され、その二次元的な形状の影響はないのか現在検討中である。

#### 4. 観測強震動の構造物破壊能

これら観測された震源域の強震動がどの程度の構造物破壊能をもっているかを把握するため、兵庫県南部地震の被害を模擬できるようにその保有耐力およびその分布をチューニングしたRC造モデル構造物群を用いて、非線型応答解析を行った。モデルの詳細については長戸・川瀬(2000)を参照されたい。但しモデルの耐力はその後比較対象の被害率を見直したので若干修正されている。このモデルに松島・川瀬(2000)が得た灘区・東灘区の再現地震動を入力すると観測された被害率がほぼ階数別に再現できる。従って、以下で比較対象としている兵庫県南部地震に対する計算被害率は実際の観測被害率に等しいと考えてよい。

図12には構造物の耐力として新耐震以前の構造物の推定最頻値を仮定した標準モデルにTTR007およびTTRH02の観測加速度波形(NS成分)を入力したときの各層の最大層間変形分布(cm)を示す。図13には比較のため同じモデルに兵庫県南部地震の神戸海洋気象台の記録、および神戸市東灘区での再現波形(N33°W成分、震災の帯の内部、最大速度124cm/sec)を入力した場合を示した。この結果から鳥取県西部地震の通常の観測波形は、神戸市内の最大推定地動に比べると構造物破壊能はかなり小さいことがわかる。TTR009の波形をいれた場合もTTR007の場合とほとんどかわらない。しかしTTRH02の破壊能は再現波形の最大級レベルの破壊能をも上回っている。

図14には震源域の代表的な記録9地点の加速度波形(NS・EW)を、耐力の頻度分布を考慮したモデル構造物群に入力した場合の大破以上の被害率(最大層間変形角が1/30以上となった建物の比率)を兵庫県南部地震の再現波を用いた計算結果と比較して示す。図から、鳥取県西部地震の場合トータルの被害率で見るとほぼ兵庫県南部地震の灘・東灘での被害率に相当する被害が予測されている。しかし、鳥取県西部地震の被害率はすべてTTRH02の地表記録によるものである。先に指摘したように、この記録は表層の大きな増幅により、周期1秒付近の地動が著しく増大したものであり、神戸海洋気象台観測波に匹敵する応答スペクトルを有している。逆にいえば、他の記録も周期1秒付近で大きなサイト増幅があれば同じような構造物破壊能を示したはずであり、結局被害の程度はサイトの増幅率によって支配されていることが強く示唆される。

#### 5. まとめ

鳥取県西部地震で得られた強震観測記録の基本的特徴を分析し、その波形を入力として用いて、構造物破壊能について検討した。その結果、兵庫県南部地震の観測地動に匹敵する破壊能を持つ地動が観測された地点TTRH02もあるが、平均的にはその破壊能は兵庫県南部地震での神戸市内のそれよりもはるかに小さいと推定された。その原因は第一義的には地盤特性によるものと考えられる。今後、TTRH02において表層の影響を取り除き、他の観測点と同様ある程度堅い基盤レベルではやはりその最大加速度・最大速度は小さかったことを示すとともに、震源モデルによるシミュレーションを通して、いずれの場所においても大きな被害は期待されなかったであろうことを定量的に示したい。

参考文献

- 1) 長戸健一郎・川瀬博, 2000, シミュレーション波と建物被害データを用いた既存建物の耐力推定, 日本建築学会秋季大会, B-2, 21065.
- 2) 松島信一・川瀬博, 2000, 1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第534号, 111-118.

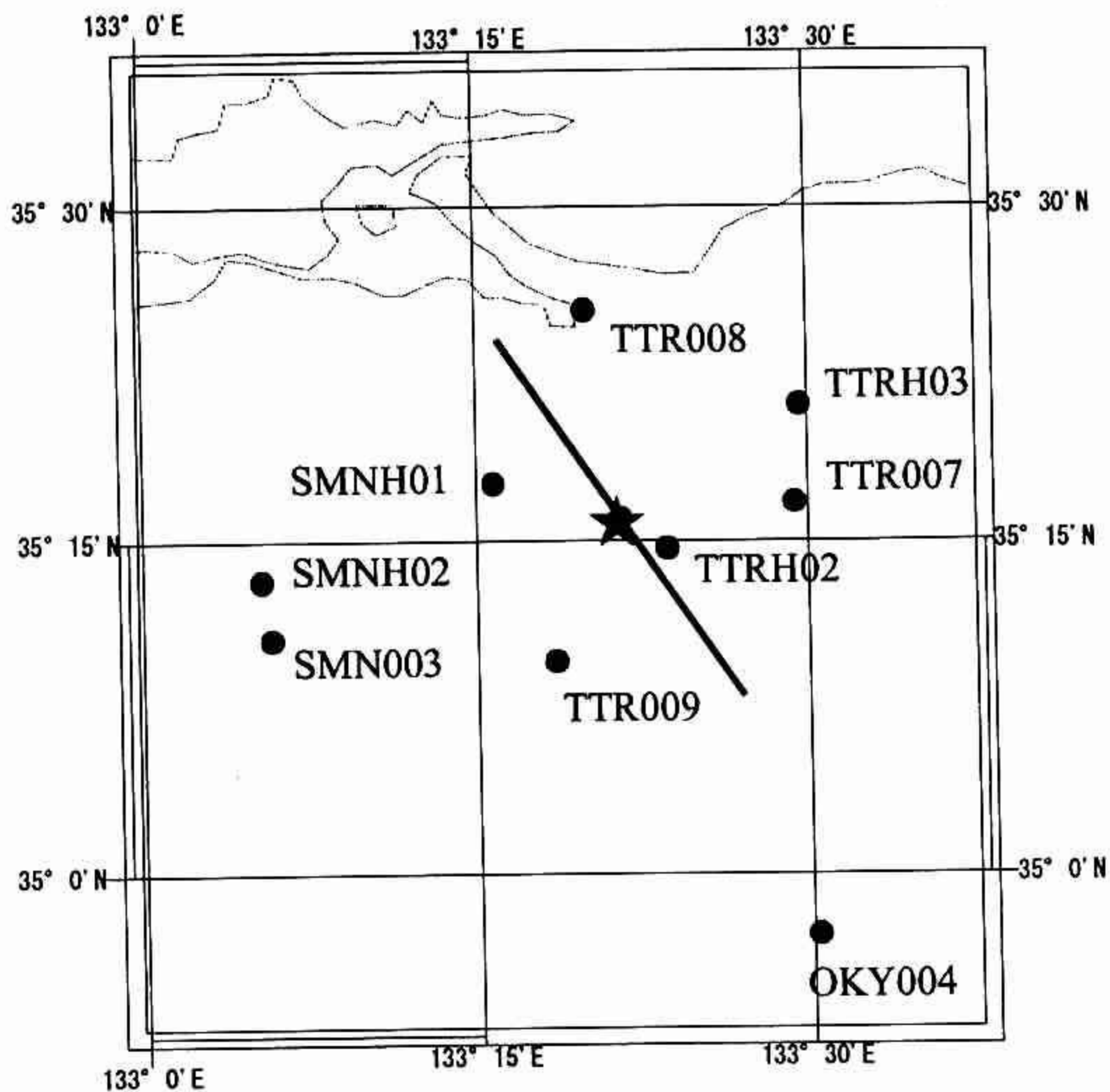


図1 鳥取県西部地震の震央(★)と K-Net・KiK-Net の強震観測点 (●印が以下で用いた観測点)

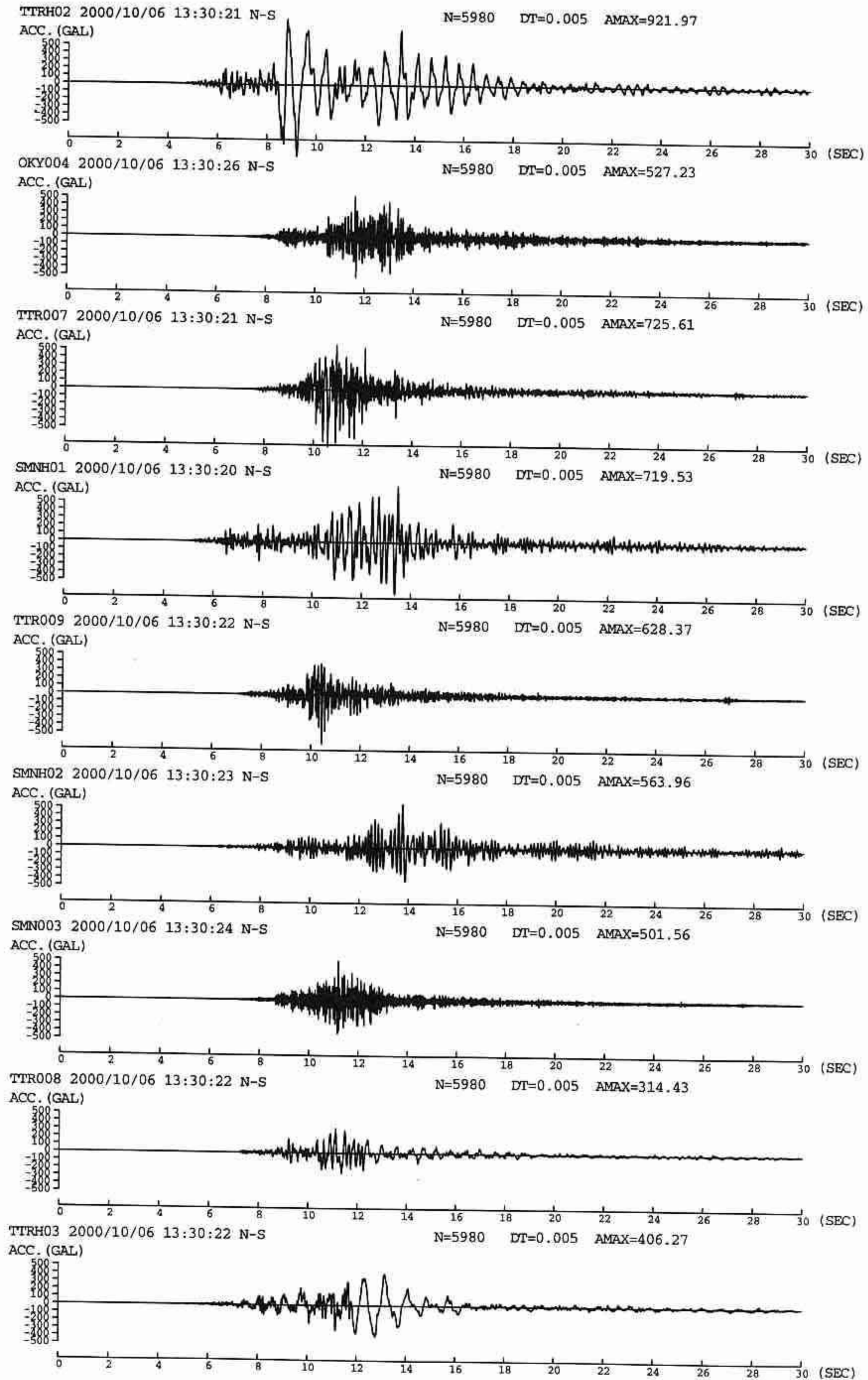


図2 震源域の代表的な9地点での観測加速度波形 (N S成分)

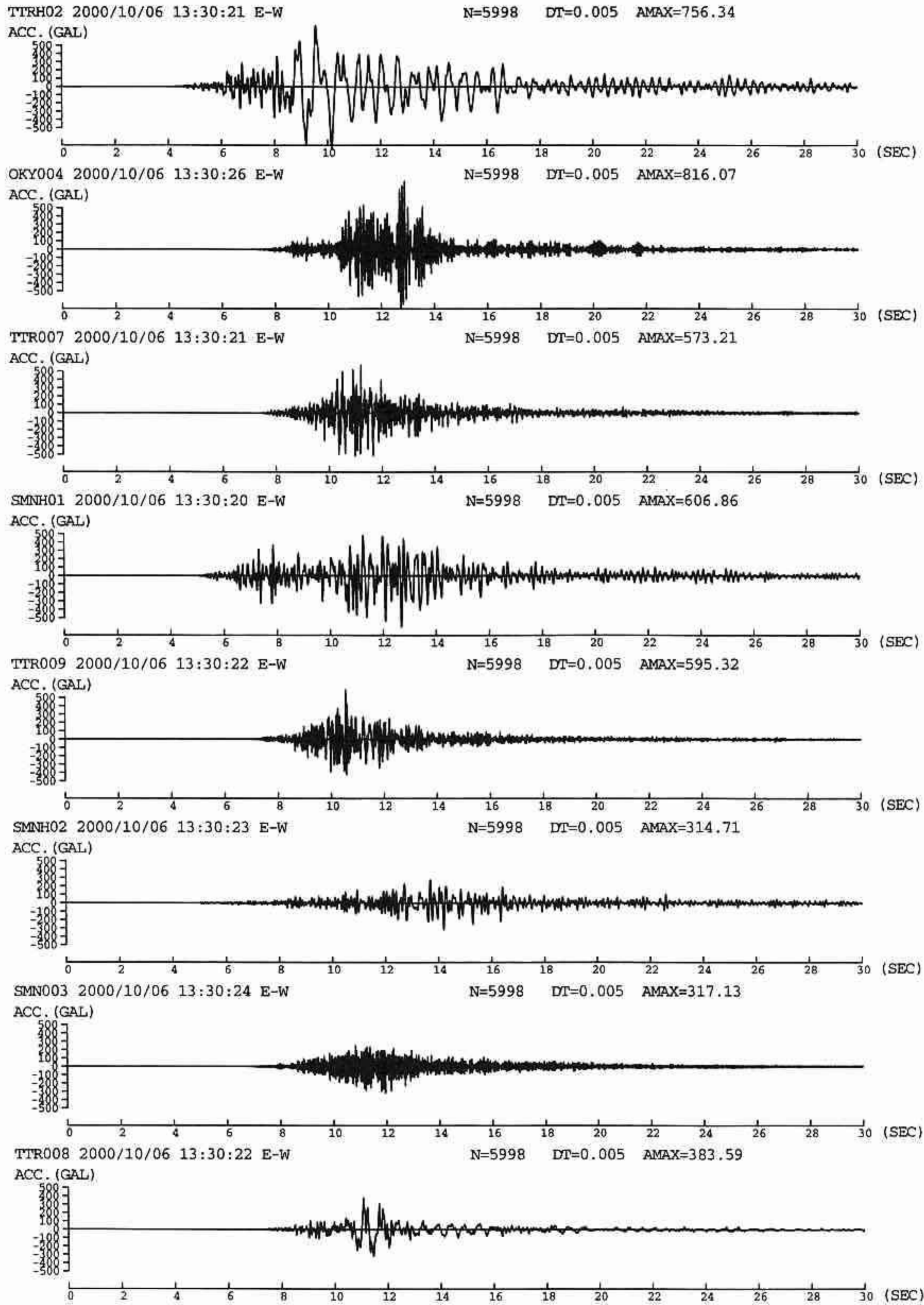


図3 震源域の代表的な8地点での観測加速度波形 (E-W成分、TTRH03は欠測)

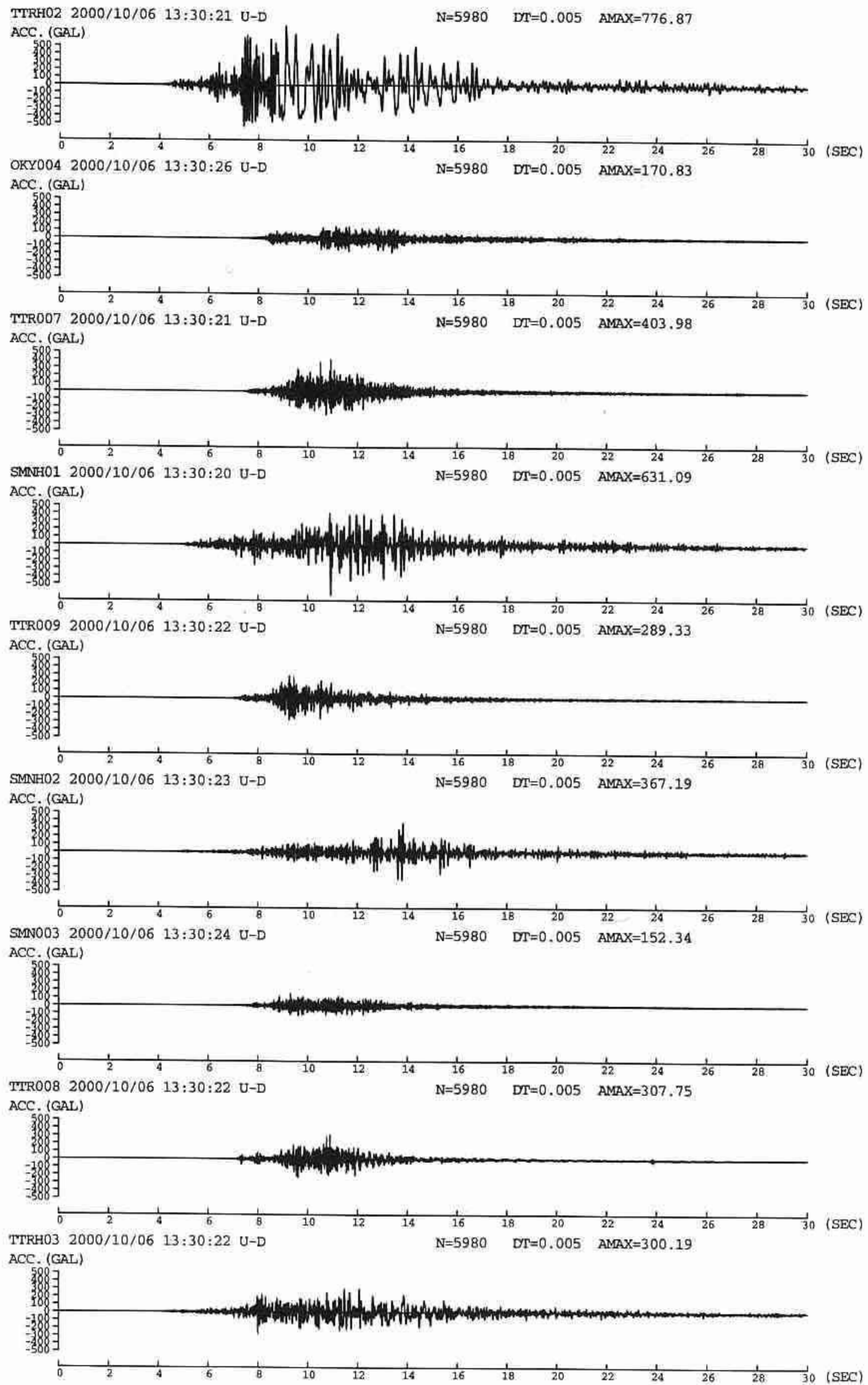


図4 震源域の代表的な9地点での観測加速度波形 (UD成分)

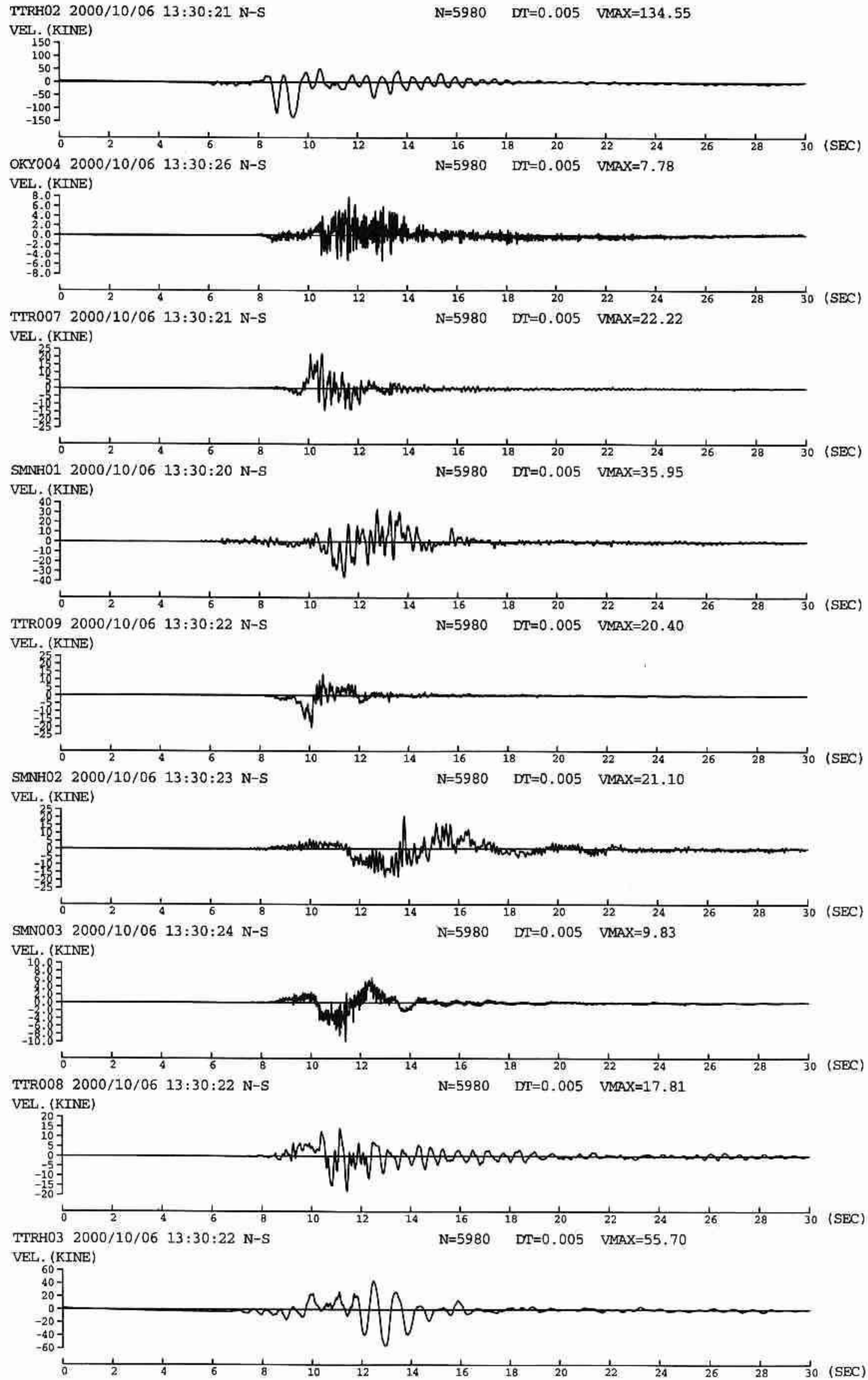


図5 震源域の代表的な9地点での観測速度波形 (NS成分)



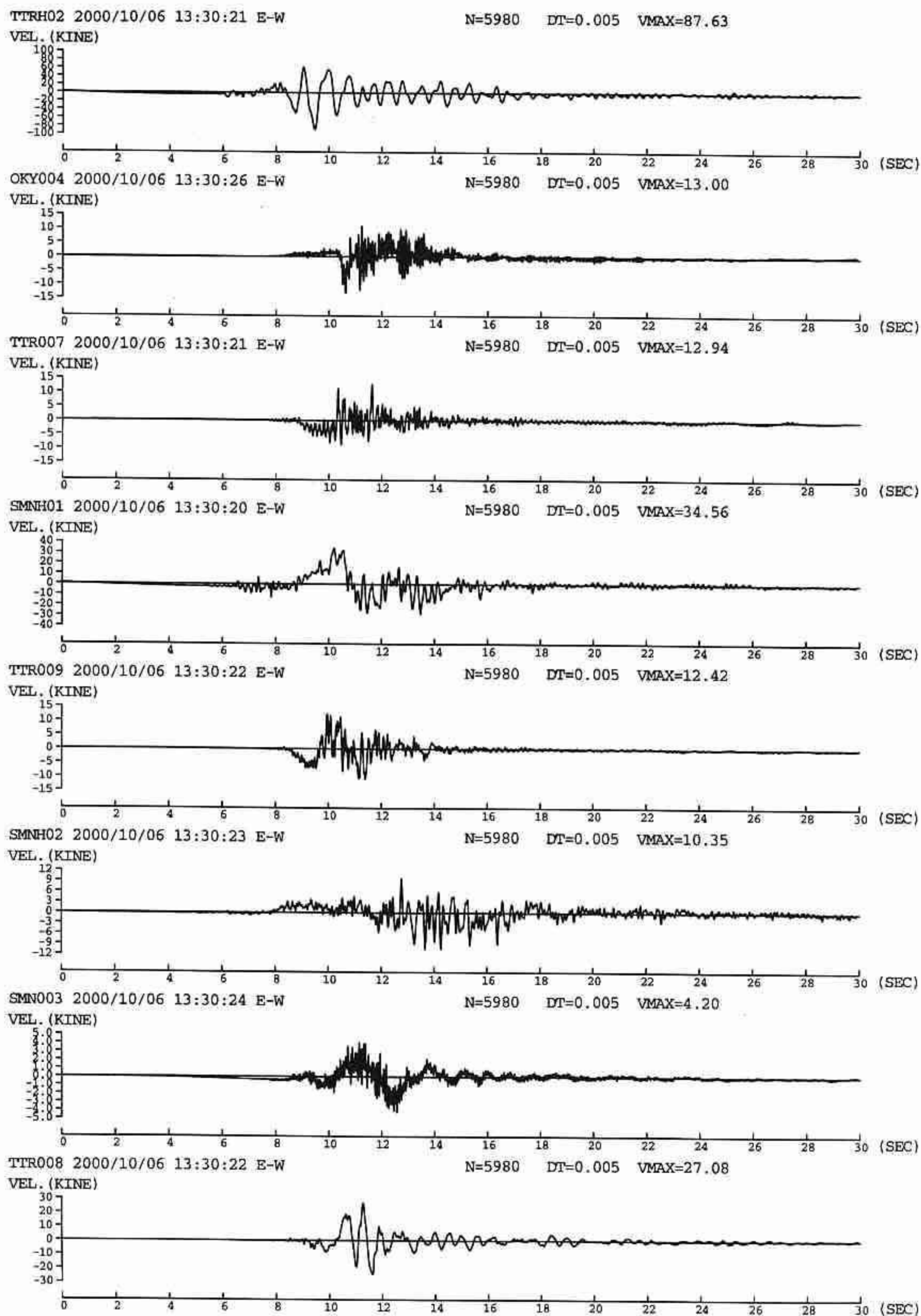


図6 震源域の代表的な8地点での観測速度波形 (E-W成分、TTRH03は欠測)

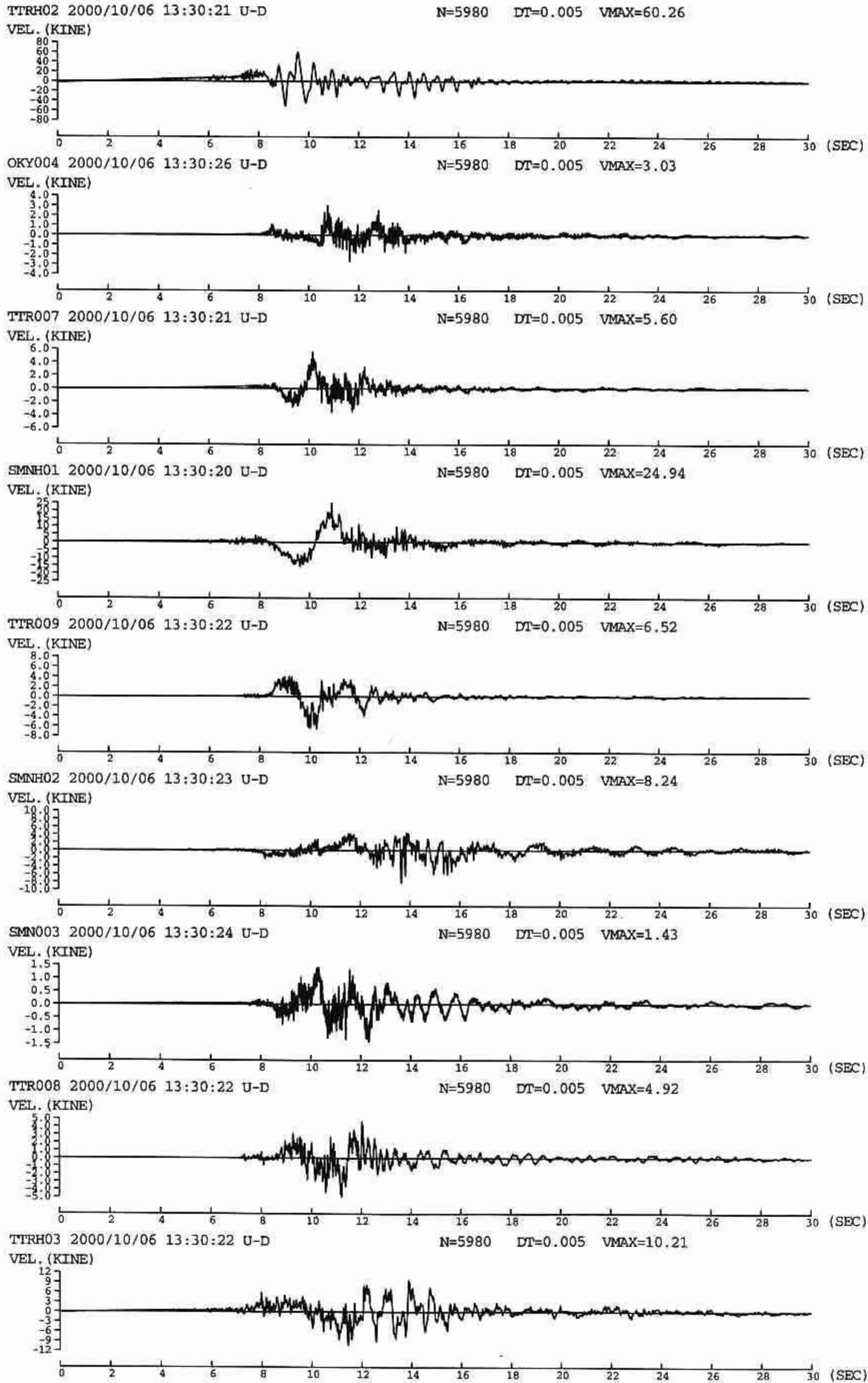


図7 震源域の代表的な9地点での観測速度波形 (UD成分)

H = 0.050

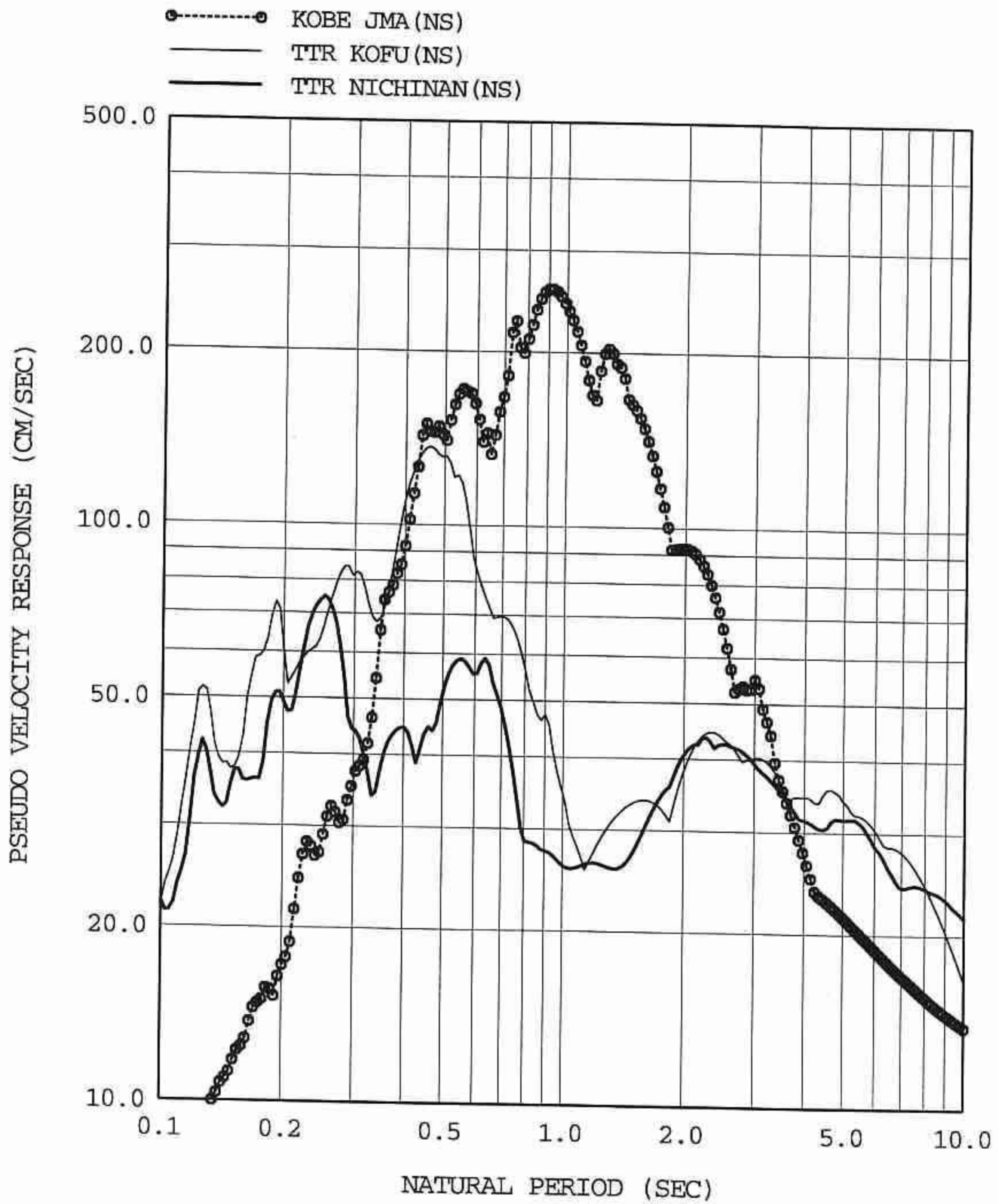


図8 江府 TTR007 と日南 TTR009、および神戸海洋気象台記録 JMA の擬似速度応答スペクトル

H = 0.050

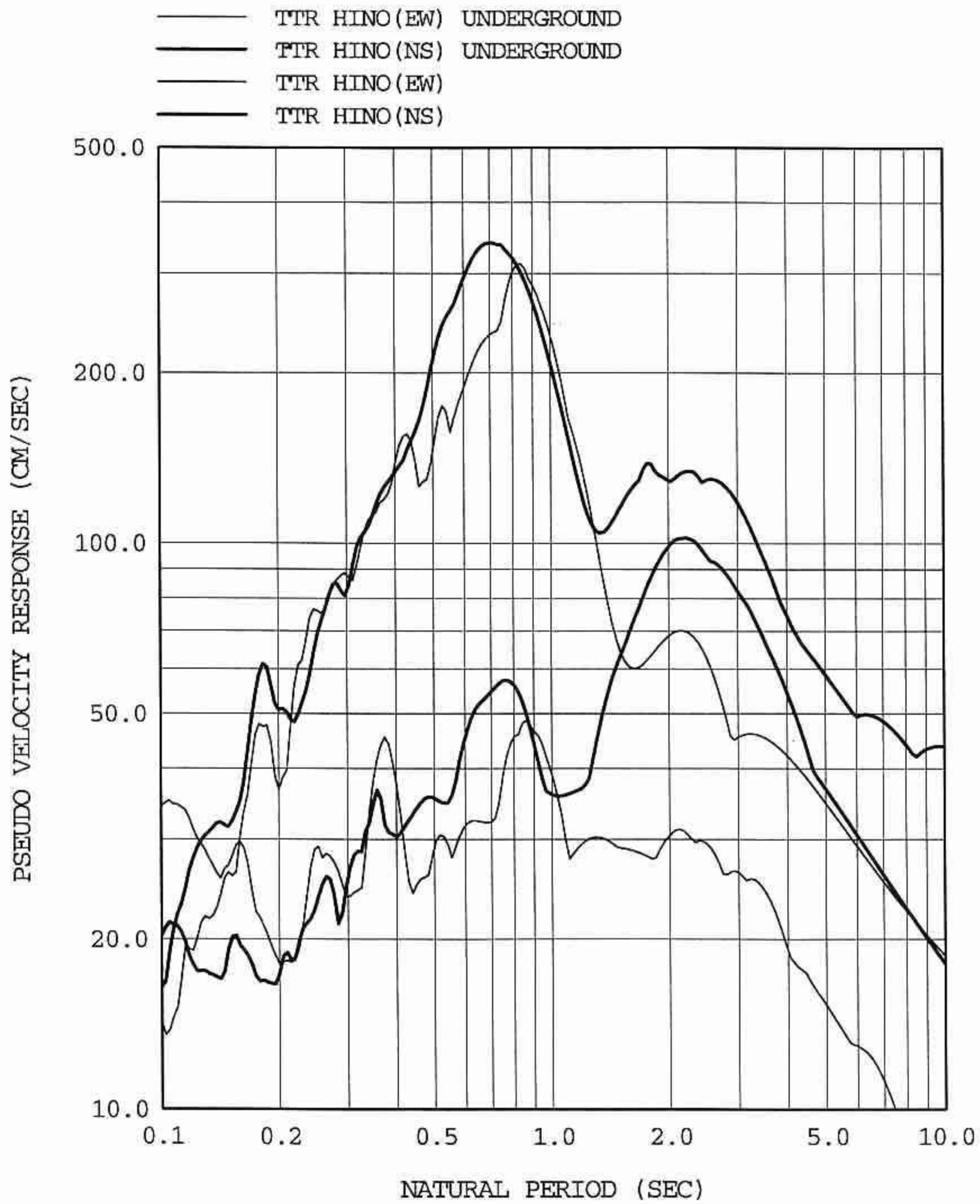


図9 日野 TTRH02 の地中と地表の擬似速度応答スペクトル

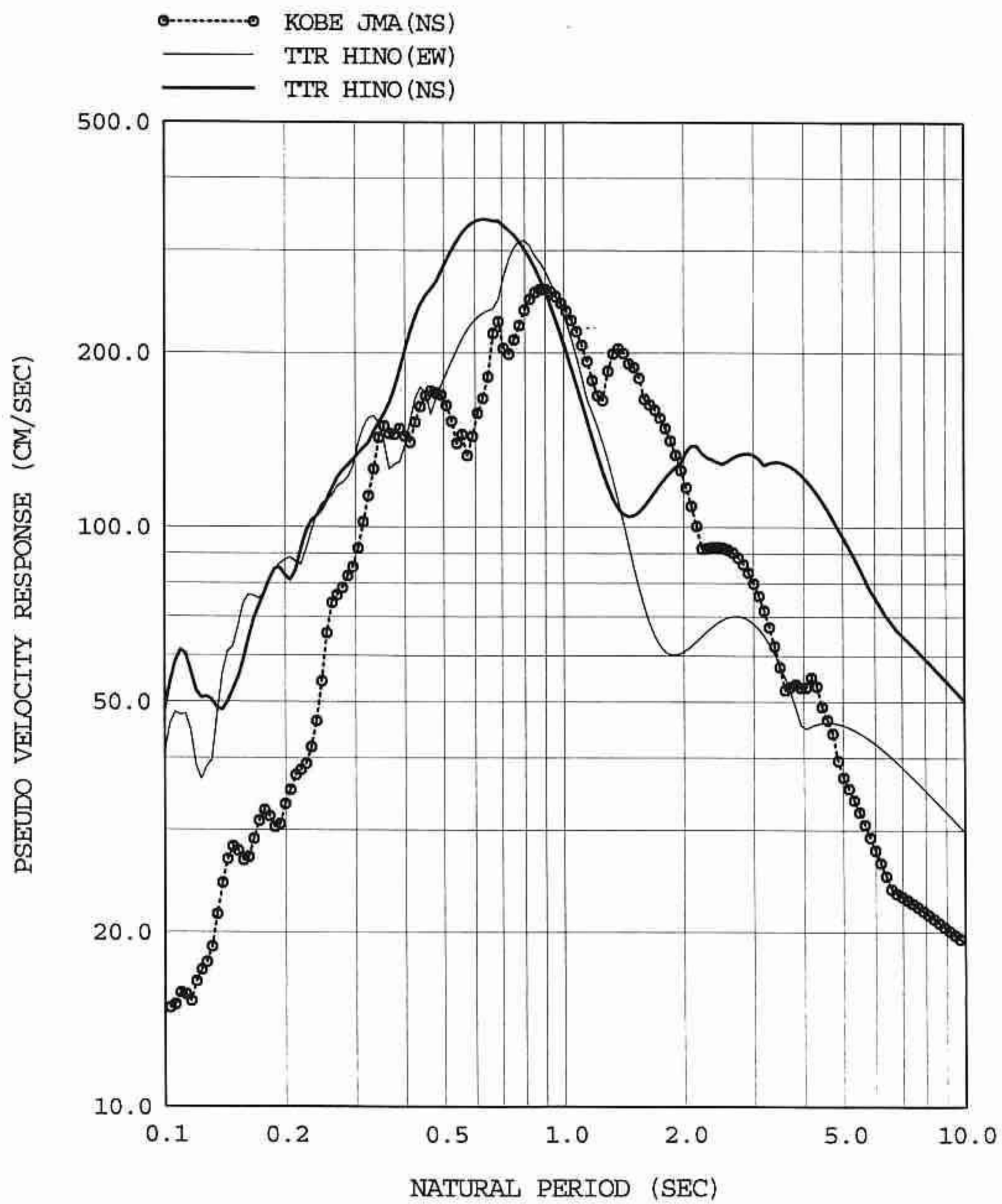


図10 日野 TTRH02 地表と神戸海洋気象台記録 JMA の擬似速度応答スペクトルの比較

# ボーリング柱状図

観測点名：日野（ひの）

所在地：鳥取県日野郡日野町下黒坂1251-2

緯度：35° 14' 40.0"

孔口標高：+410m

観測点コード：TTRH02

経度：133° 23' 37.0"

総掘進長：103.00m

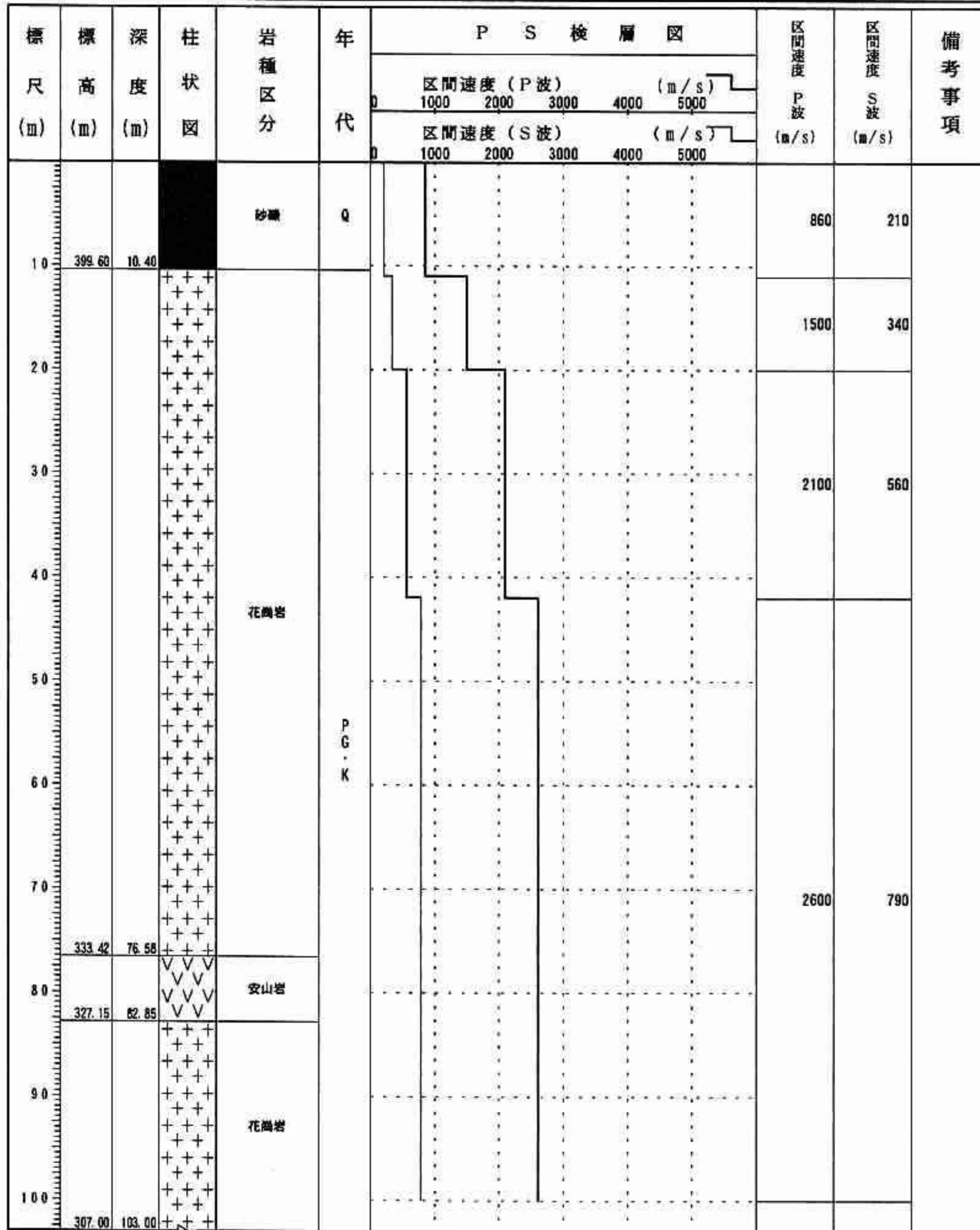


図 1 1 TTRH02 の地下構造(防災科学技術研究所による)

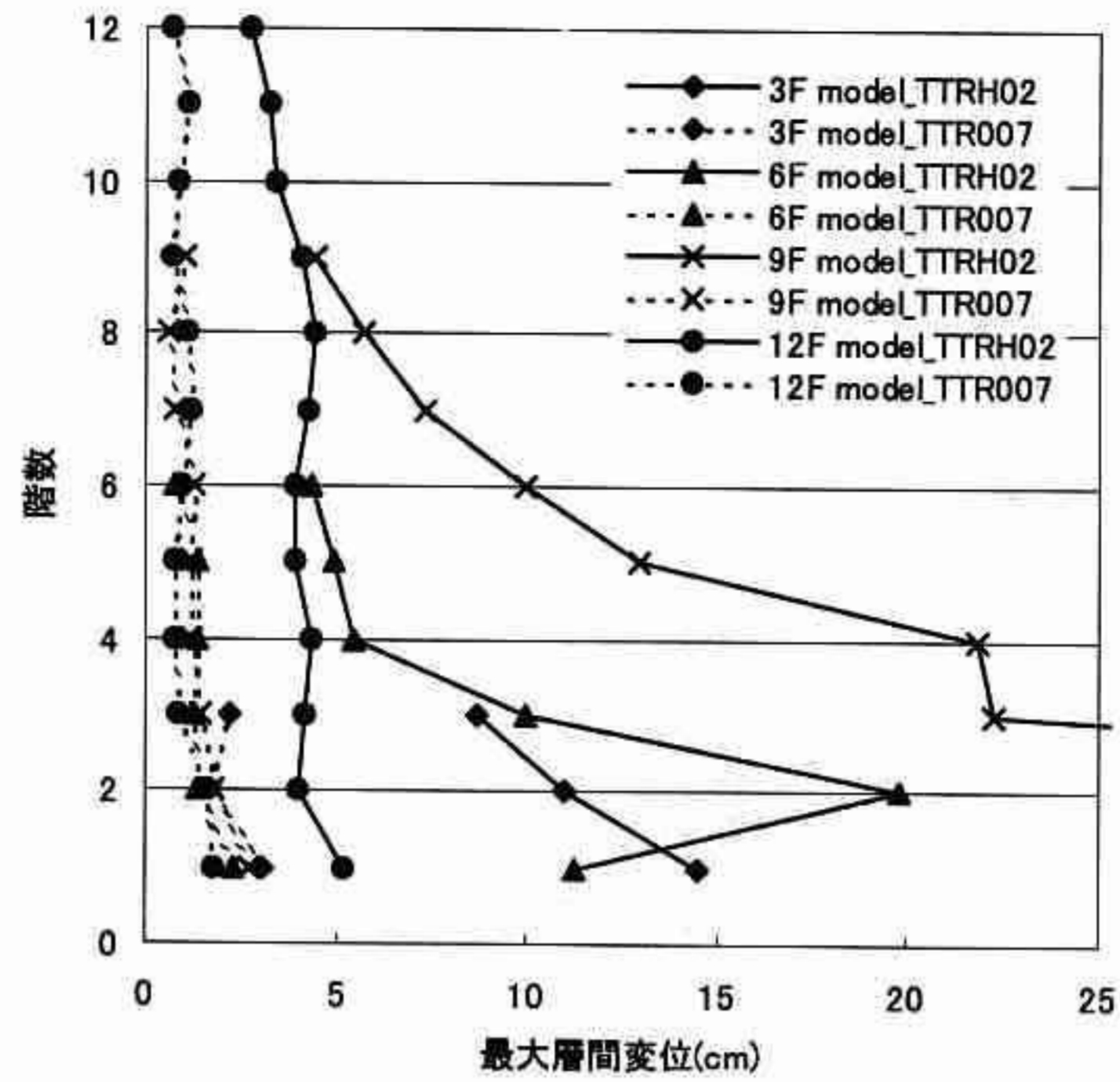


図 1 2 TTRH02 と TTR07 の観測波を標準モデルに入力したときの最大層間変形分布 (3, 6, 9, 12F モデル)

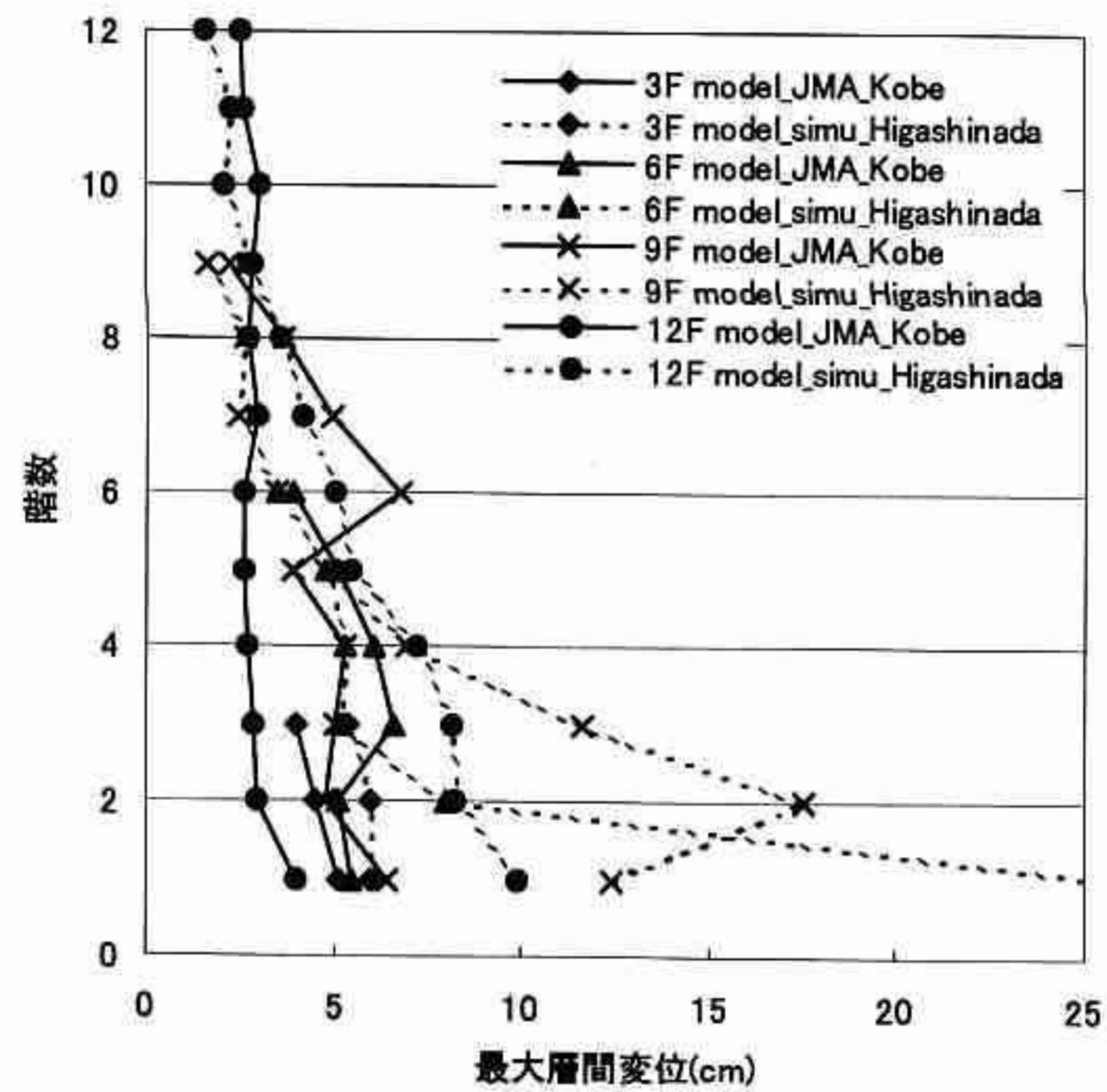


図 1 3 神戸海洋気象台波および東灘区の最大の再現波を標準モデルに入力したときの最大層間変形分布 (3, 6, 9, 12F モデル)

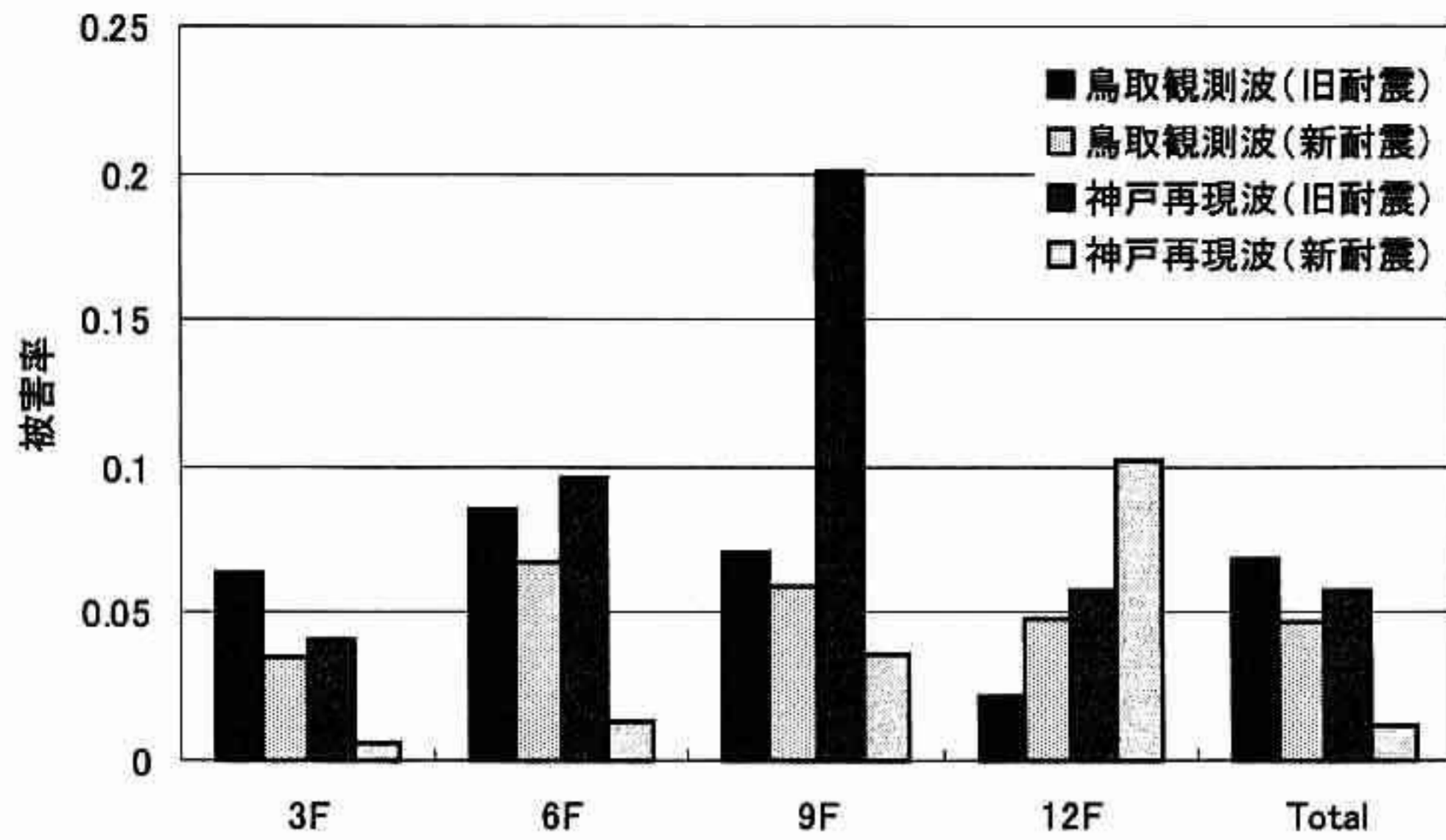


図 1 4 兵庫県南部地震の東灘区での再現波をモデル構造物群に入力した場合の計算被害率 (=ほぼ観測被害率)と鳥取県西部地震の震源域での記録9波を入力した場合の計算被害率の比較(構造物群モデルは新耐震以前と以後の2つ)