

2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の震源のモデル化 (強震動生成域) (第 1 報)

釜江克宏、川辺秀憲

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分、三陸沖から茨城県沖にかけての太平洋沿岸でマグニチュード 9.0 という超巨大地震が発生しました。この地震は太平洋プレートの沈み込み帯で起こったプレート境界地震で 7m を超える津波が観測され、津波による甚大な被害が岩手県から茨城県に至る広域で生じた。一方、地震動による被害については、現時点では検証が困難であり、観測された地震観測記録に基づく検討からは、構造物の甚大な被害に結びつくものではなかった可能性が示唆されている。

ここでは、太平洋沿岸部での観測記録を用い、経験的グリーン関数法によって強震動生成域 (アスペリティと呼ぶ) のモデル化を行った。結果として、宮城県沖、岩手県南部沖、福島県沖、茨城県沖等の 5 カ所にアスペリティを配置したモデルを提案する。評価したモデルによって、岩手県沿岸から茨城県沿岸にかけての観測点における特徴的な観測波形がほぼ再現できた。ただし、これらの結果は暫定的なもので、今後余震記録などを使ってより定量的な検討が必要である。以下に簡単にモデル化の手順等を示す。

- 1) 0.1~10Hz の波形を対象として震源のモデル化を行った。
- 2) KiK-net の観測記録 (太平洋岸に沿って南北に並べる) によって、波群の伝播や到達時刻などから破壊過程 (アスペリティの位置や破壊時間) を推定。
- 3) その結果、最初の大きな破壊は宮城県沖の震源での破壊開始から 24 秒後に震源の西側で起こった (アスペリティ 1)。
- 4) その 35 秒後に 2 つ目の大きな破壊がやや北側で起きた (アスペリティ 2)。(2 つ目の波群の到達時間が北側の観測点でやや早いことから)。なお、アスペリティ 2 の破壊伝播は岩手県側の観測点での波形の包絡形や継続時間から北から南とした。
- 5) 4) より、アスペリティ 2 への破壊伝播は非常に遅かったと考えられる。また、3)、4) に示した 2 つの大きなアスペリティで宮城県から岩手県の観測波形がほぼ説明可能である。
- 6) 次に、宮城県南部から福島県、茨城県での観測記録の再現のため、3 つのアスペリティを設定した。福島県での記録の継続時間や茨城県での主要な波形を再現するためである。
- 7) 現状のモデルでは、5 つのアスペリティはそれぞれ想定宮城県沖地震の震源域 (陸側と海溝側)、福島県沖の 1938 年塩屋崎沖の地震群、茨城県沖の鹿島灘近傍に位置している。
- 8) 5 つのアスペリティの総地震モーメント量は本震 (Mw9.0 : $4.5 \times 10^{22} \text{N} \cdot \text{m}$) の 1 割程度となっており、今回考慮しなかった背景領域のみでなく、公開されているインバージョン結果における海溝側でのすべり量の大きい部分 (観測された強震動への寄与は小さい) からの寄与が想定される。
- 9) 今回のモデルでは断層面を 1 枚の平面として取り扱っており、プレートの潜り込み形状、特に陸側で傾斜角が大きくなることを正確に反映できていない。

2. 結果

図 1 には東北から関東にかけての太平洋沿岸部における観測波形（フィルター波形）と、波群の走時及びそれらから想定されるアスペリティの位置を示す。

表 1 には経験的グリーン関数として用いた地震の諸元を、図 2 にはフォワードモデリングの対象とした観測点（KiK-net 観測点）の位置、最終的に求めた震源モデル（アスペリティの位置）及び経験的グリーン関数として用いた地震の震央を示す。

図 3 及び表 2 には震源モデル及びその震源パラメータを示す。

図 4 には対象とした観測点での地中記録を使った合成波形と観測波形の比較（加速度、速度、変位）を示す。

図 5 には代表的な観測点での 5 つのアスペリティからの寄与をそれぞれ示す。

図 6 には合成波形と観測波形の擬似速度応答スペクトル（5 %減衰）での比較を示す。

3. おわりに

2011 年東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）の震源モデルを経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングによって評価した。非常に広大な震源域内で複雑な破壊を伴ったと想像でき、今回の結果は観測された強震動（0.1 から 10Hz）を説明するための初期モデルとして考えている。ただし、合成結果と観測結果の一致度は良く、陸域に近い複数のアスペリティ（強震動生成域）が定量化できたものと考えられる。なお、それらの位置は想定されている複数の震源域とも整合するものである。今後プレートの潜り込み形状等の考慮や、他の情報（短周期レベルや距離減衰特性、理論的評価など）も含め更に検討を加えていきたい。

謝辞

本研究では防災科学技術研究所による KiK-net 地震観測記録及び気象庁の震源データを使わせていただきました。記して感謝の意を表します。また、今回の地震では防災科学技術研究所や職員が被災したにもかかわらず、貴重な観測データを迅速に公開していただいたことに心から敬意を表しますとともに、お礼申し上げます。

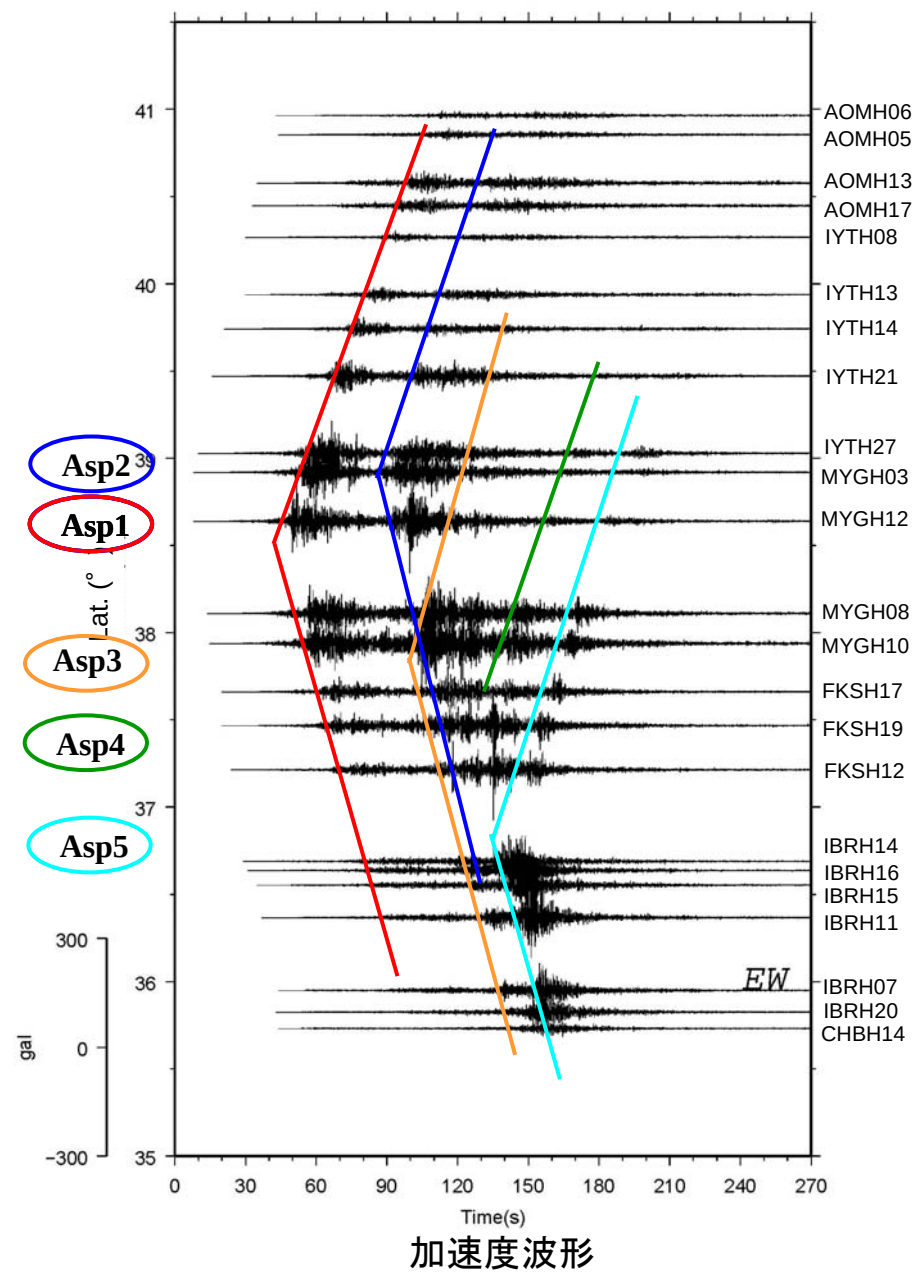
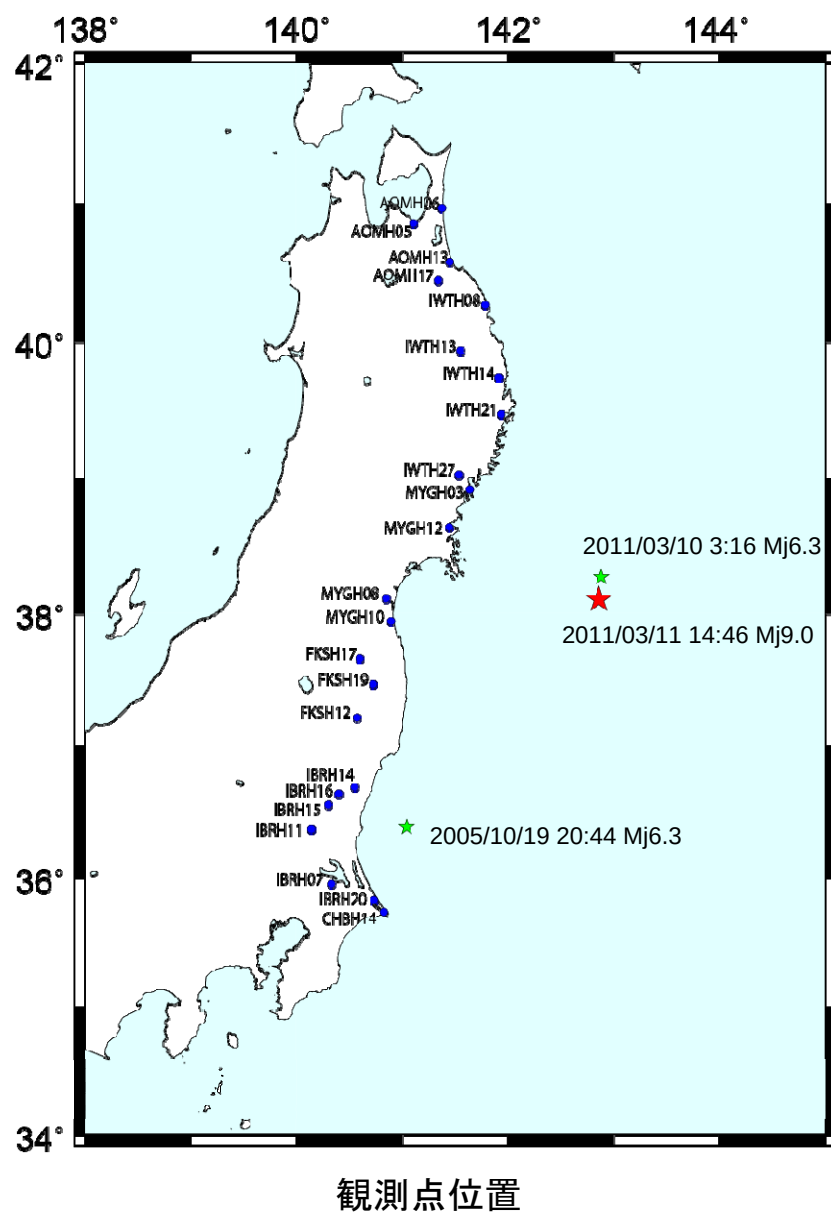


図1 本震の防災科学技術研究所・KiK-net強震計の観測記録(地中、フィルター:0.1-10Hz)

表1 グリーン関数として使用した地震の震源パラメータ

Origin Time (JST)*	2005/10/19 20:44	2011/3/10 3:16
Latitude (deg.)*	36.382	38.271
Longitude (deg.)*	141.043	142.879
Depth (km)*	48.3	28.9
Mj*	6.3	6.4
Mo (Nm)**	3.18×10^{18}	2.21×10^{18}
Strike/dip/rake** (deg.)	25/68/88 209/22/94	22/70/91 199/20/87

*気象庁, **F-net

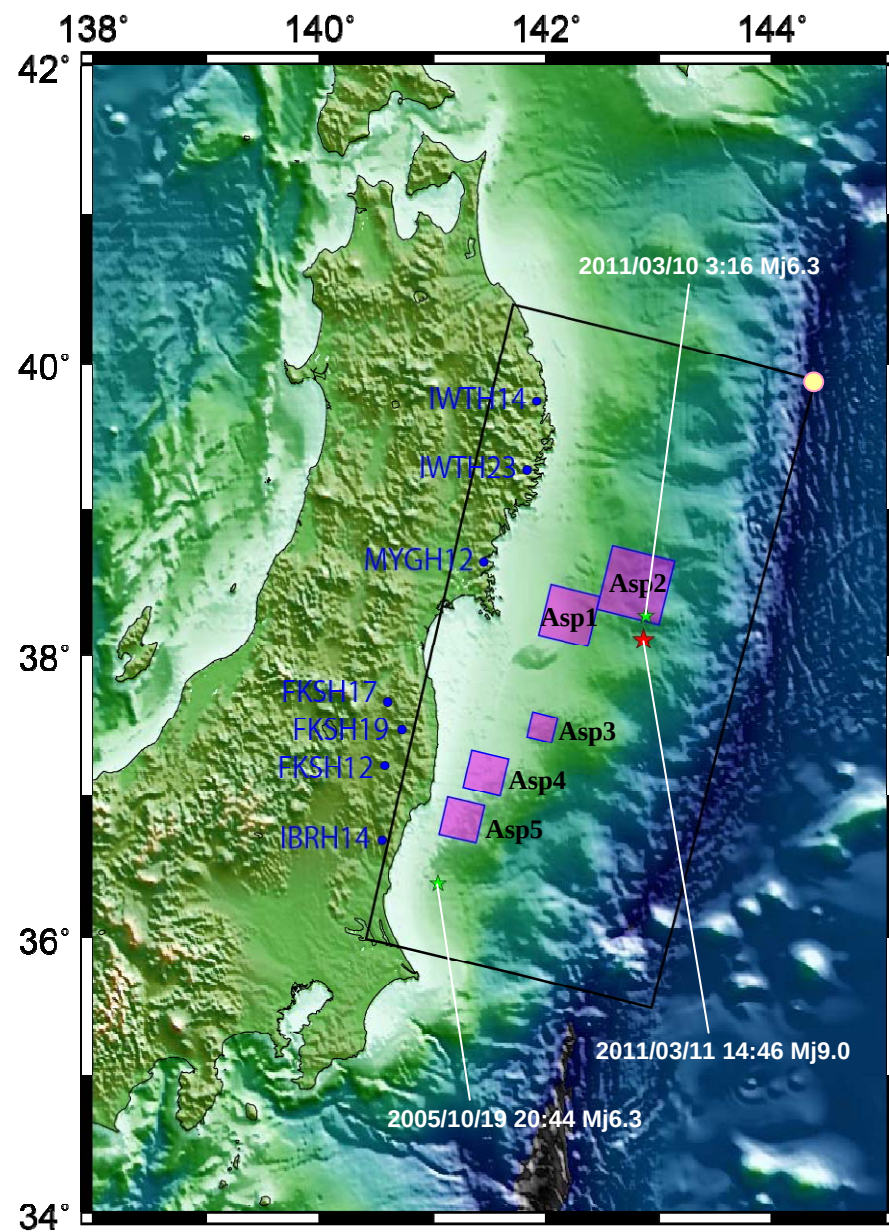


図2 本震及びグリーン関数として使用した地震の震央位置、KiK-net観測点、並びにアスペリティの位置

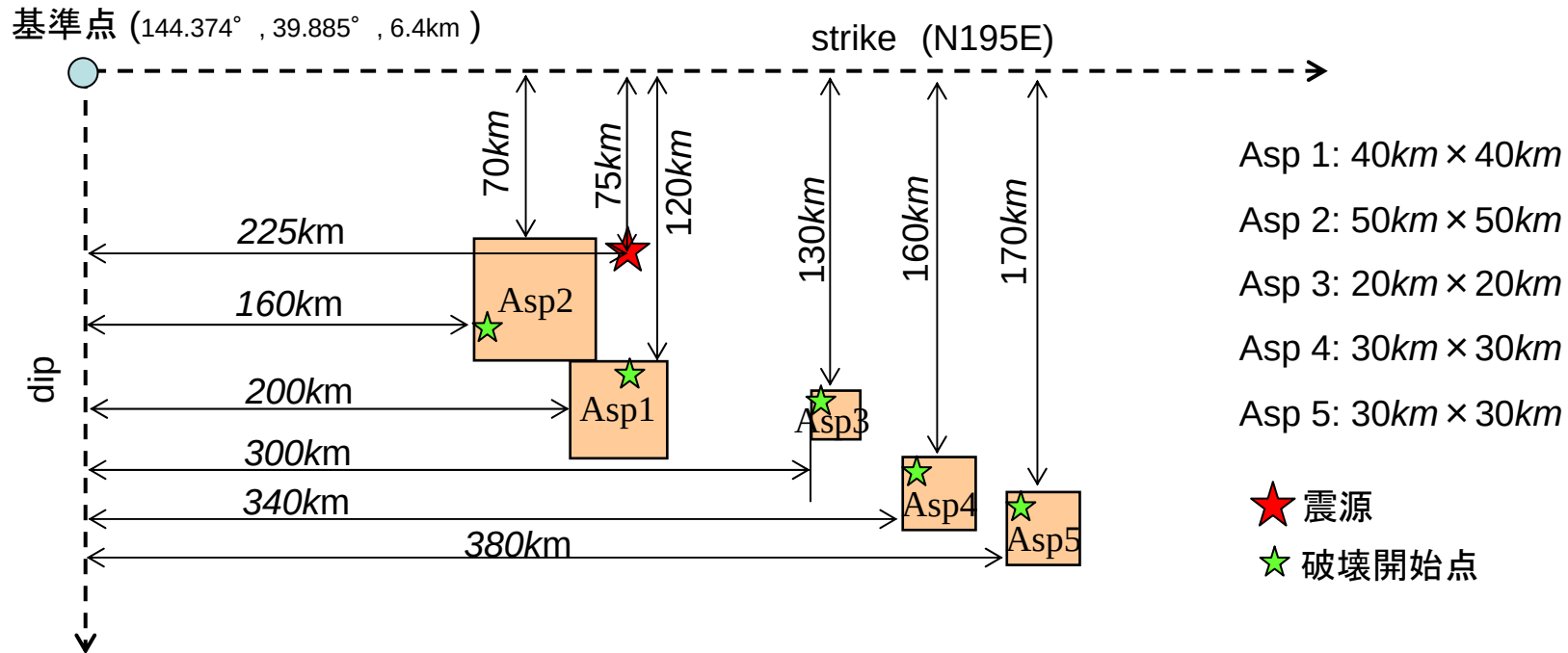


図3 東北地方太平洋沖地震の5つのアスペリティからなる震源モデル

表2 震源パラメータ

	Asp1	Asp2	Asp3	Asp4	Asp5
走行 (°)	195	195	195	195	195
傾斜角 (°)	13	13	13	13	13
面積 (km ²)	40 × 40	50 × 50	20 × 20	30 × 30	30 × 30
地震モーメント (N・m)	9.9×10^{20}	2.21×10^{21}	1.77×10^{20}	2.39×10^{20}	2.58×10^{20}
応力降下量 (MPa)	37.8	43.2	54	21.6	23.1
ライズタイム (s)	3.6	4.5	1.8	2.7	2.7
破壊開始時間 (s)	0.0	35.0	57.0	87.0	102.0
経験的グリーン関数 として用いた地震	2011/03/10 3:16 M6.3	2011/03/10 3:16 M6.3	2011/03/10 3:16 M6.3	2011/03/10 3:16 M6.3	2005/10/19 20:44 M6.3

IWTH14

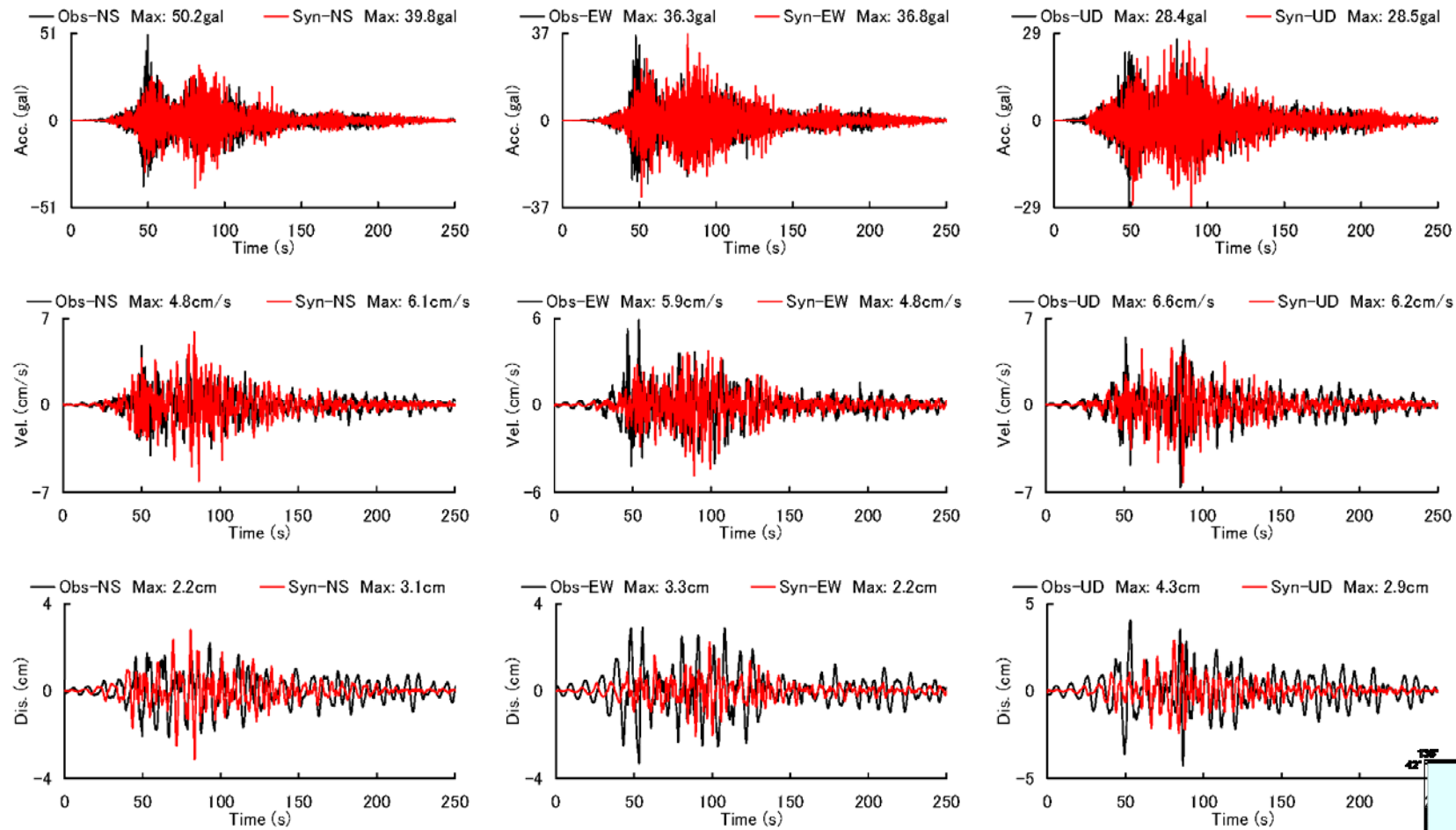
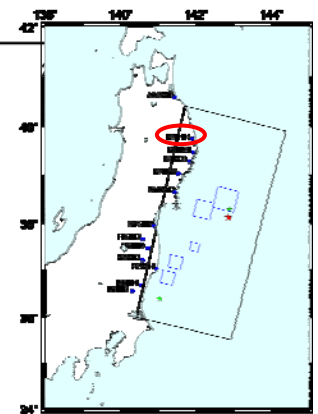


図4-1 観測波形(黒線)と合成波形(赤線)の比較 (IWTH14)



IWTH23

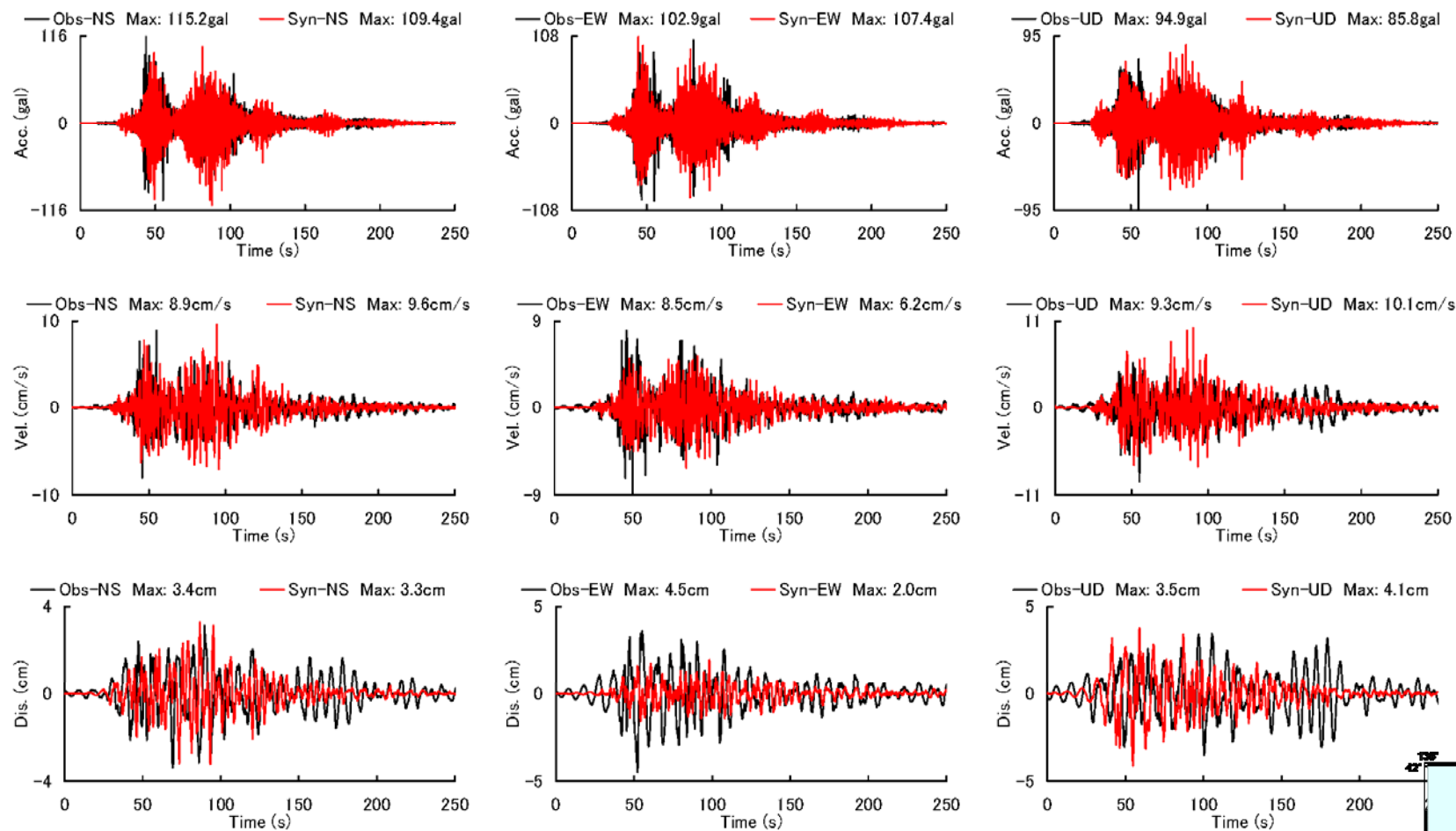
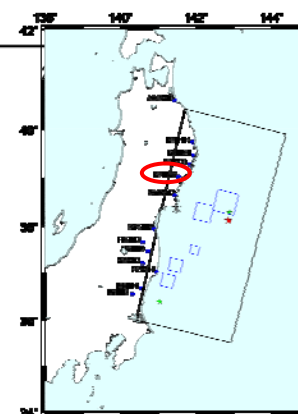


図4-2 観測波形(黒線)と合成波形(赤線)の比較 (IWTH23)



MYGH12

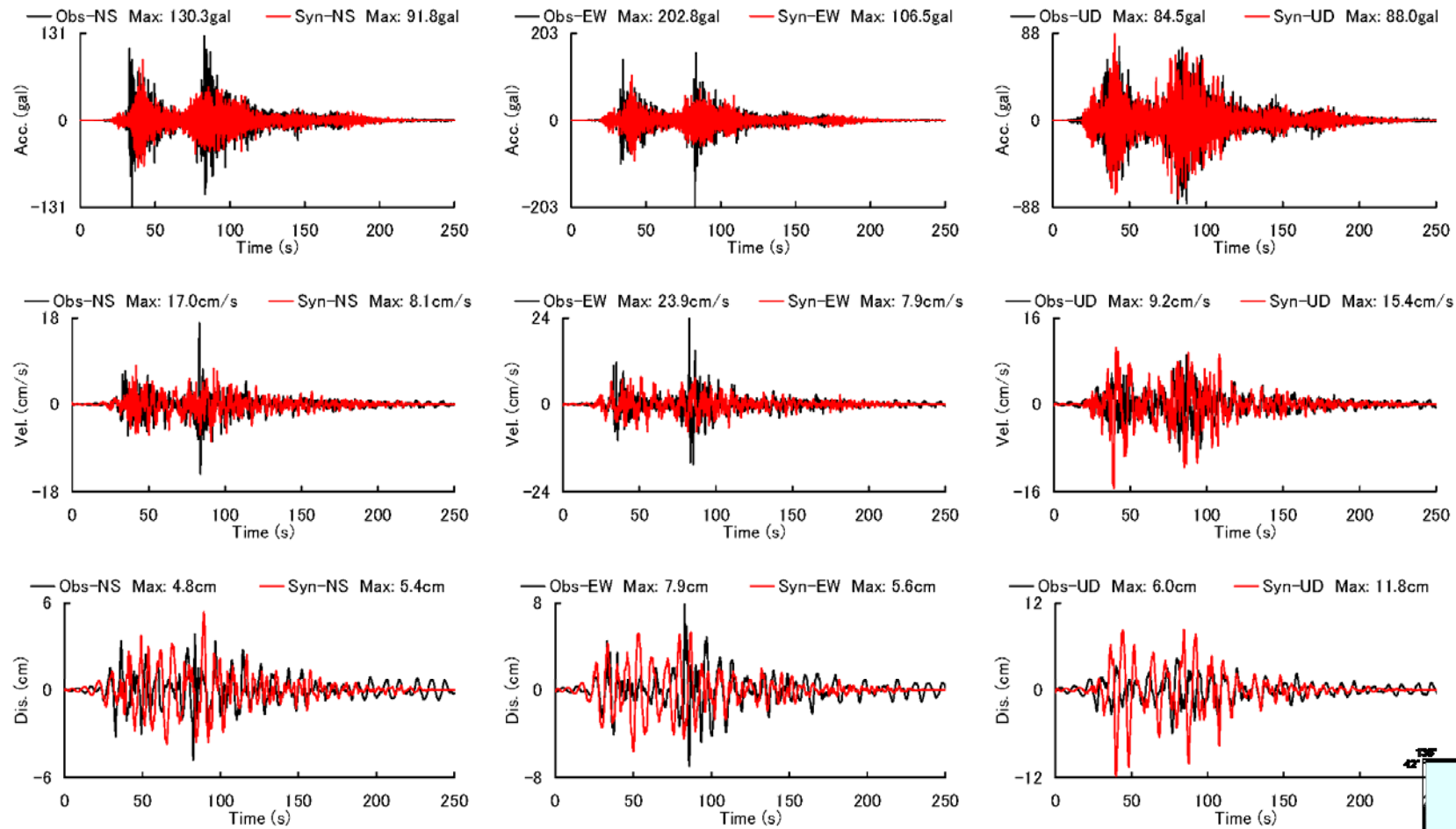
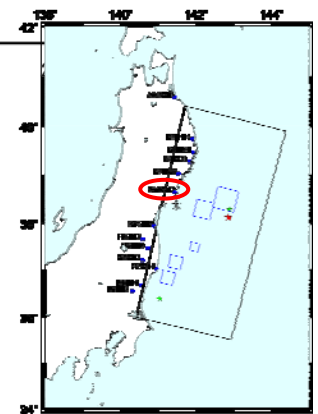


図4-3 観測波形(黒線)と合成波形(赤線)の比較 (MYGH12)



FKSH17

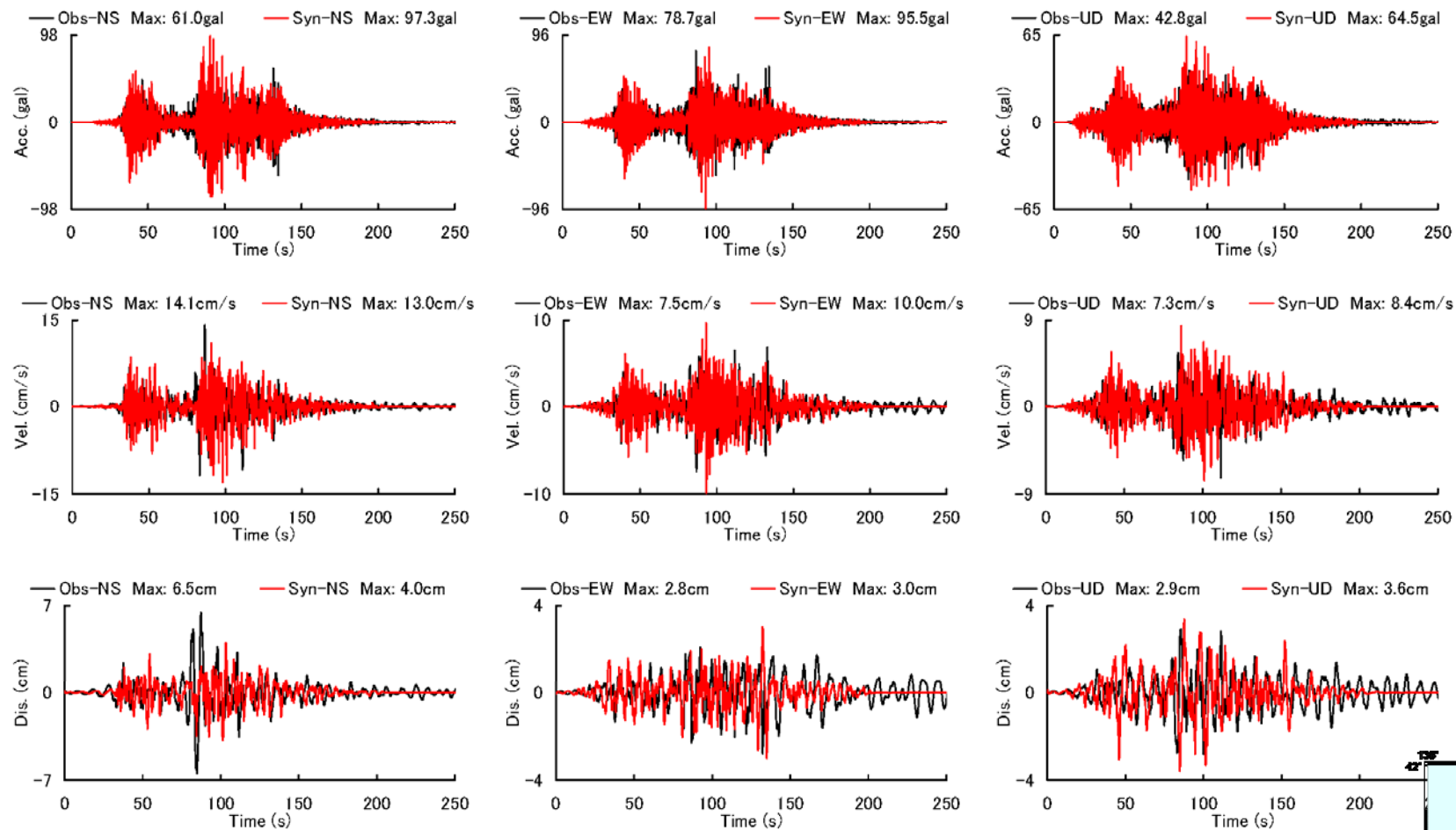
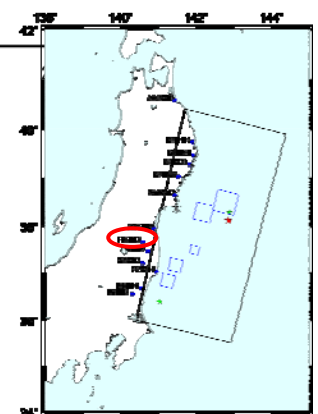


図4-4 観測波形(黒線)と合成波形(赤線)の比較 (FKSH17)



FKSH19

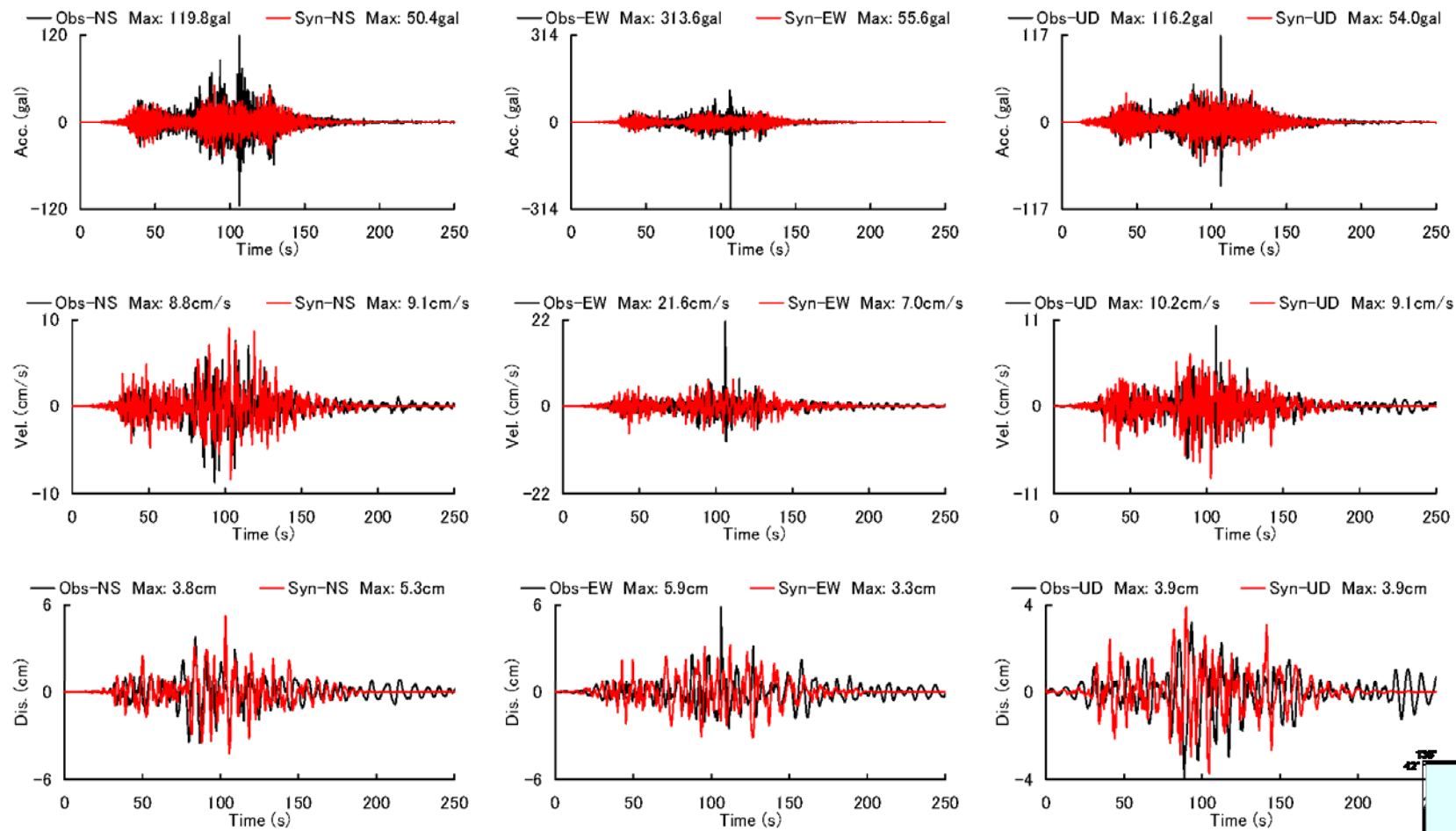
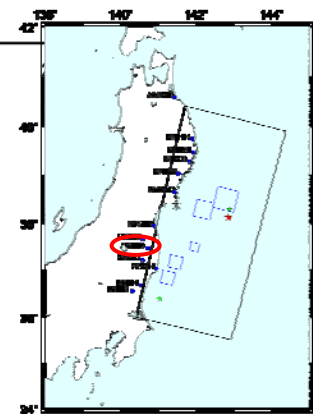


図4-5 観測波形(黒線)と合成波形(赤線)の比較 (FKSH19)



FKSH12

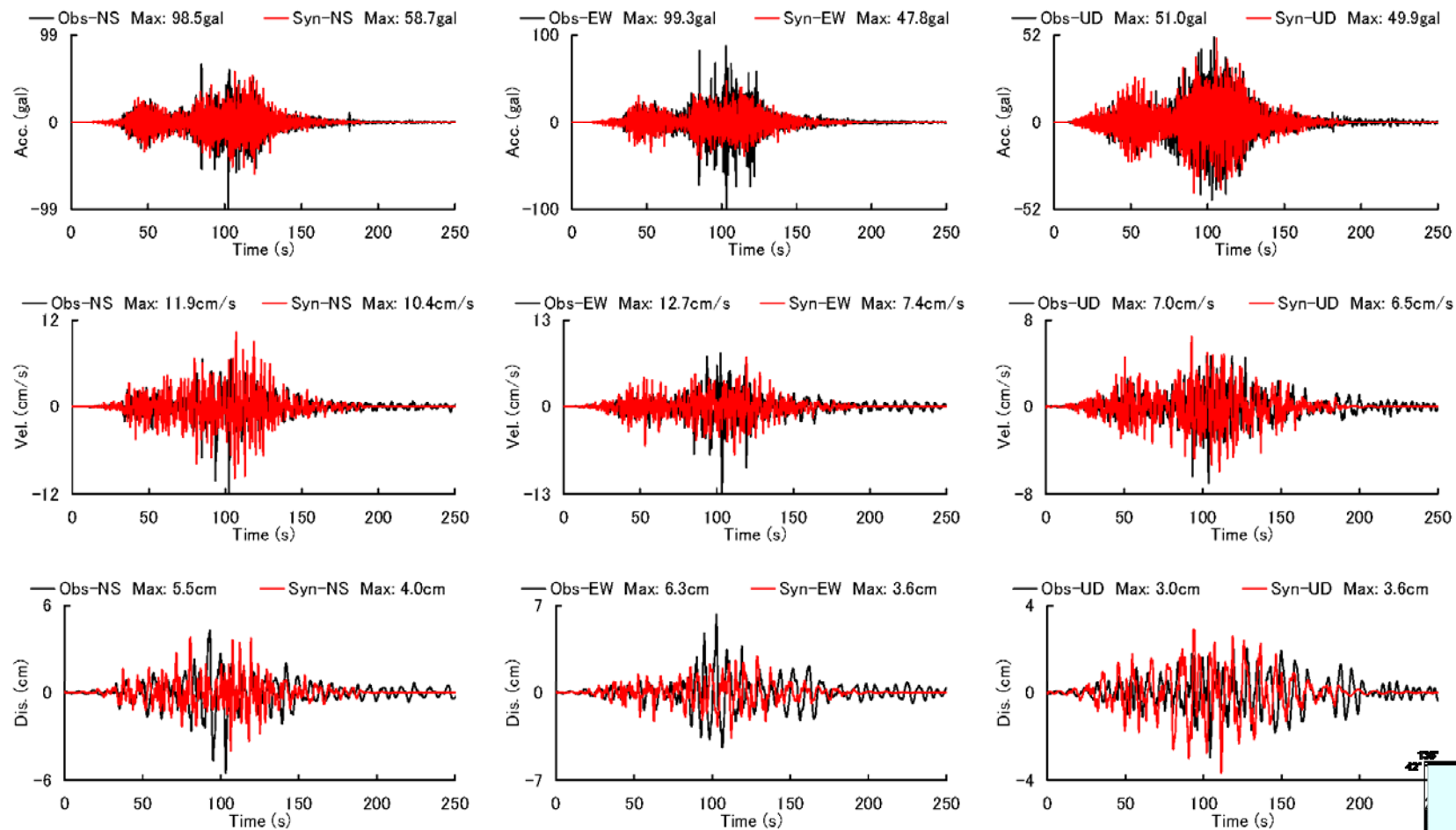
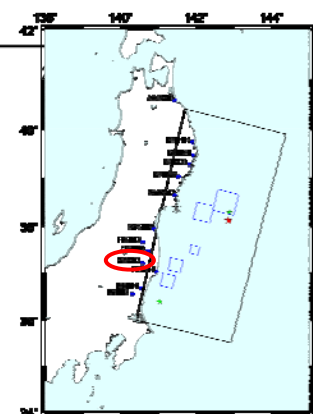


図4-6 観測波形(黒線)と合成波形(赤線)の比較 (FKSH12)



IBRH14

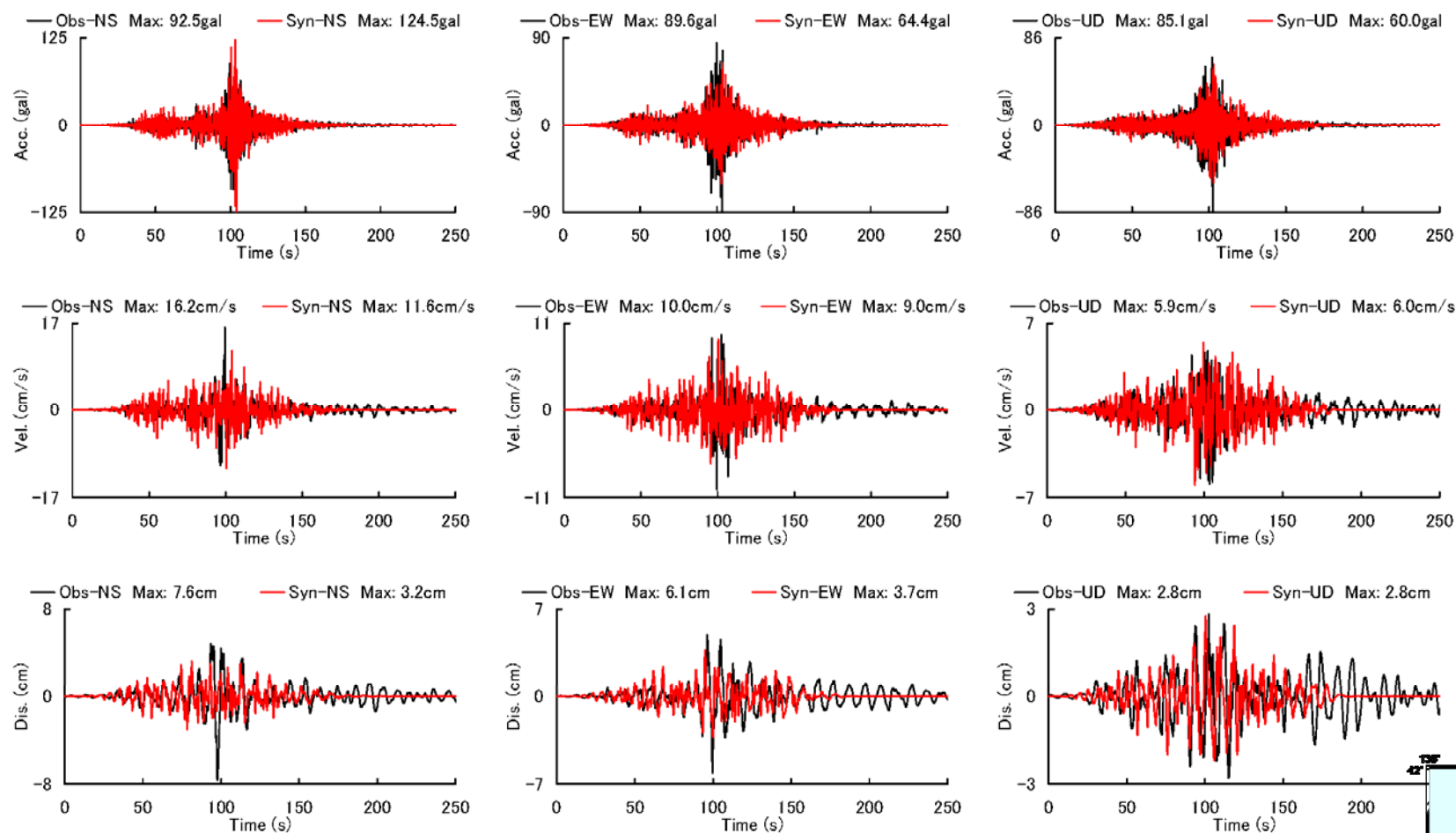
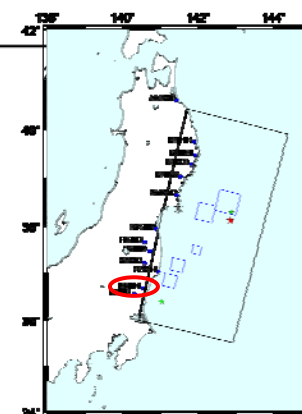


図4-7 観測波形(黒線)と合成波形(赤線)の比較 (IBRH14)



IWTH14

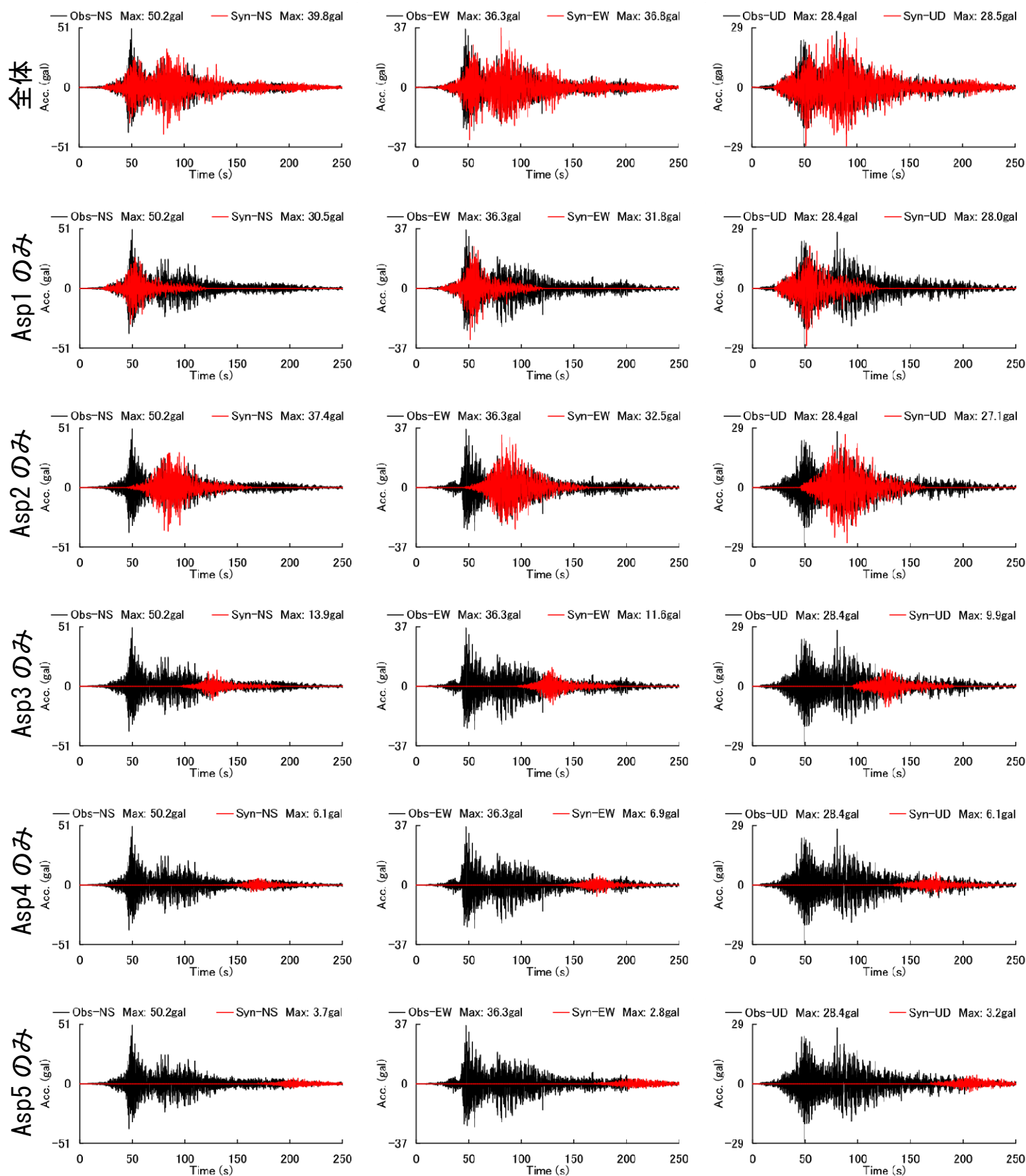


図 5-1 各アスペリティからの波形 (IWTH14)

MYGH12

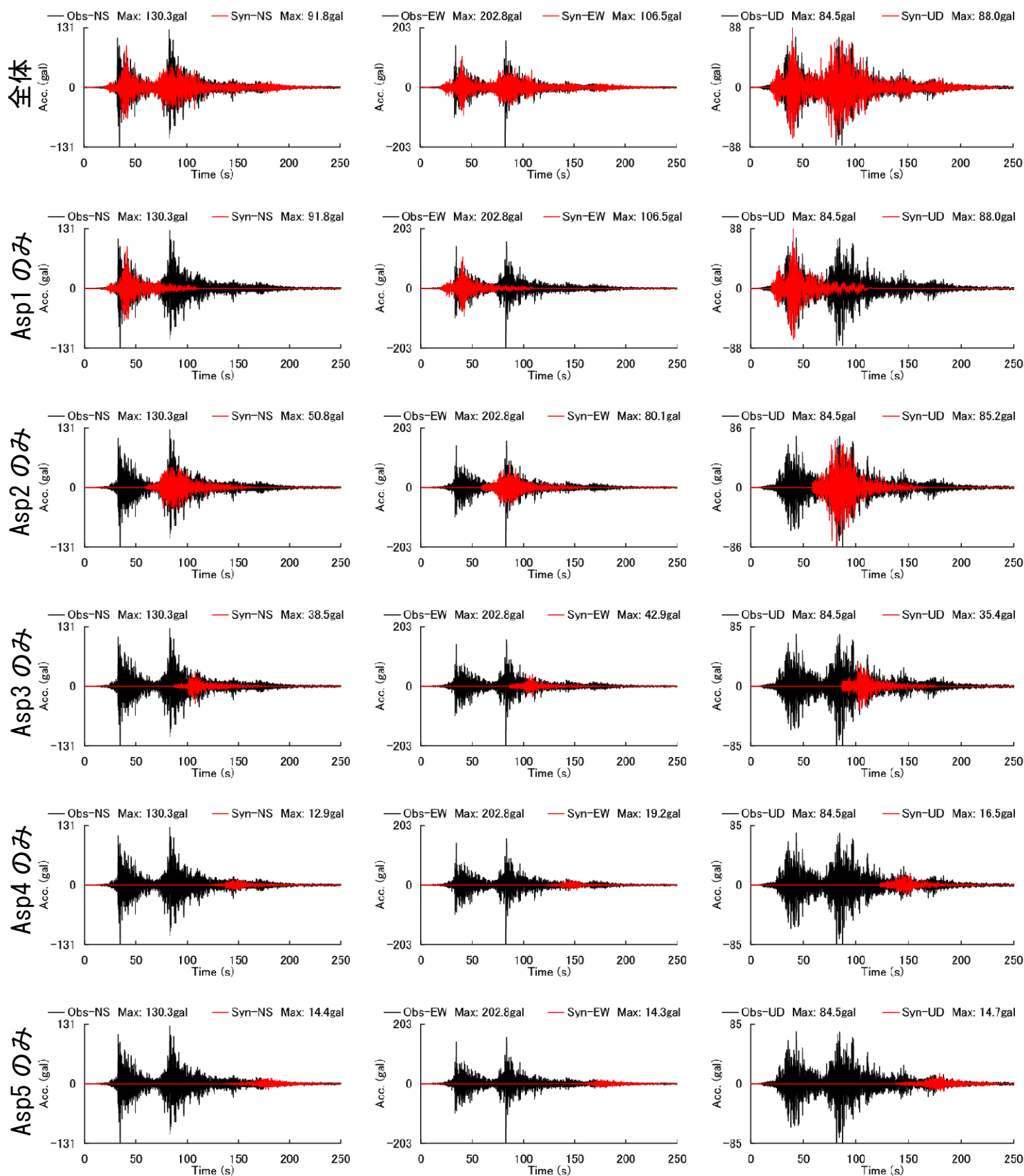


図 5-2 各アスペリティからの波形 (MYGH12)

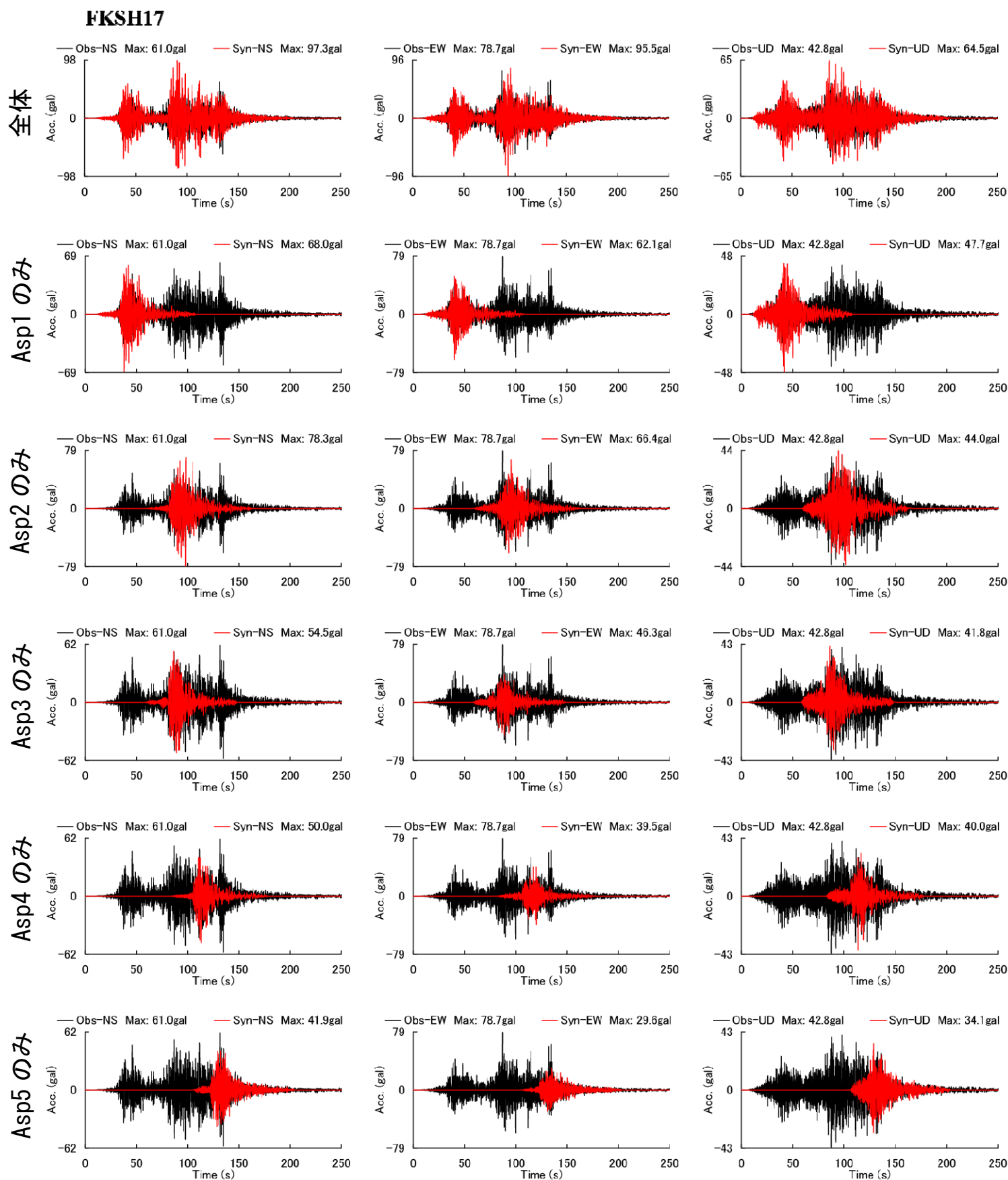


図 5-3 各アスペリティからの波形 (FKSH17)

FKSH12

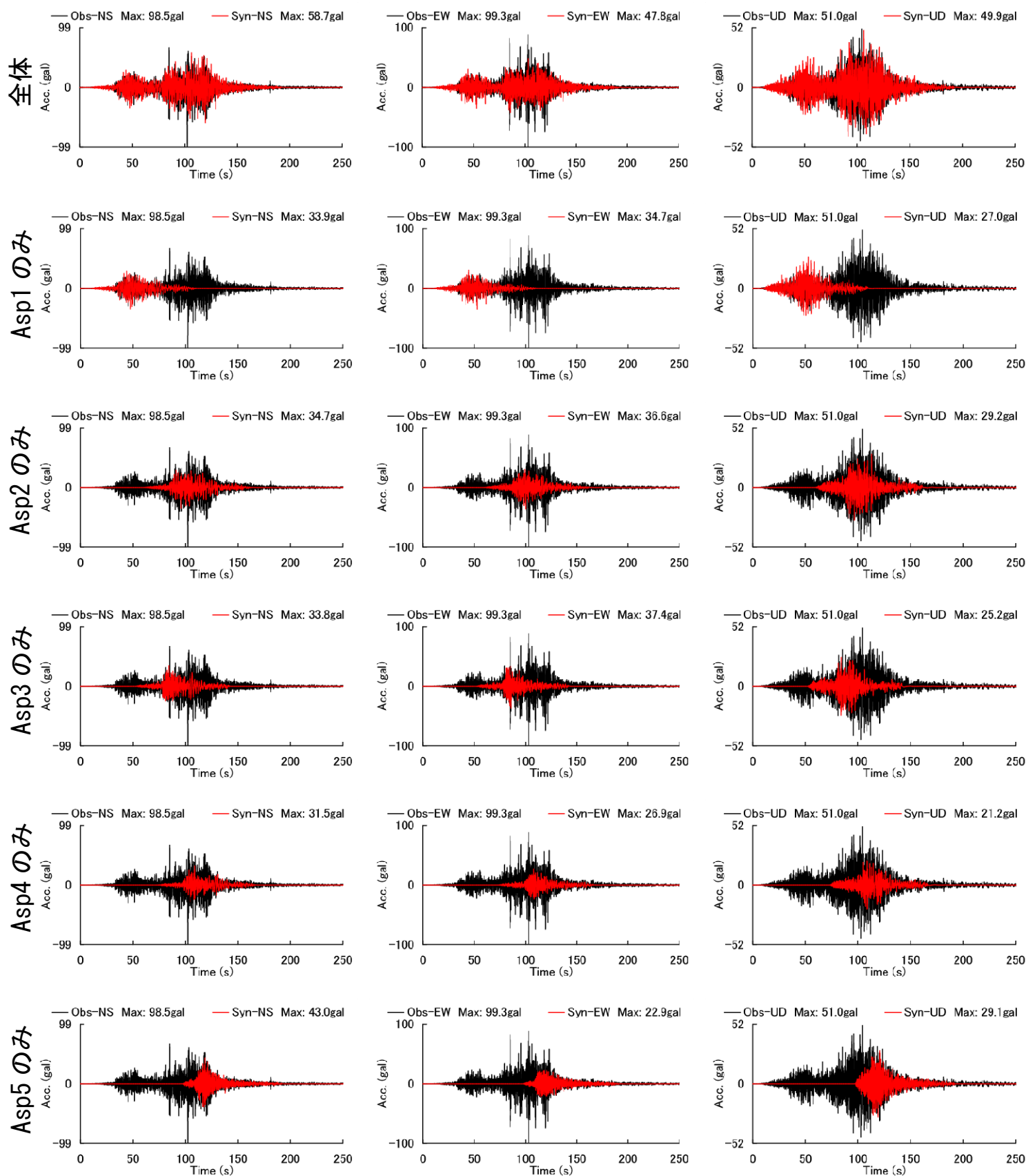


図 5-4 各アスペリティからの波形 (FKSH12)

IBRH14

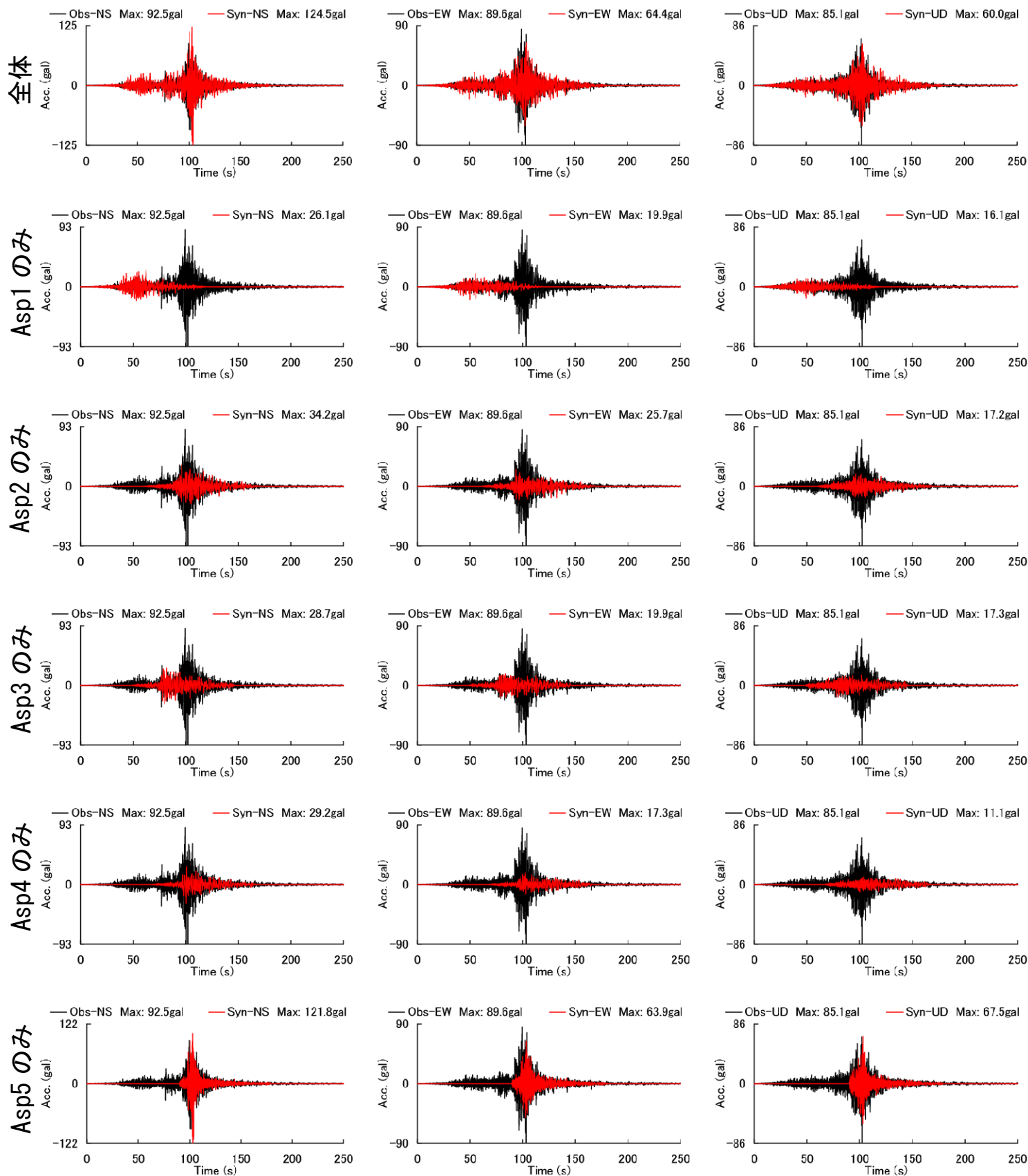


図 5-5 各アスペリティからの波形 (IBRH14)

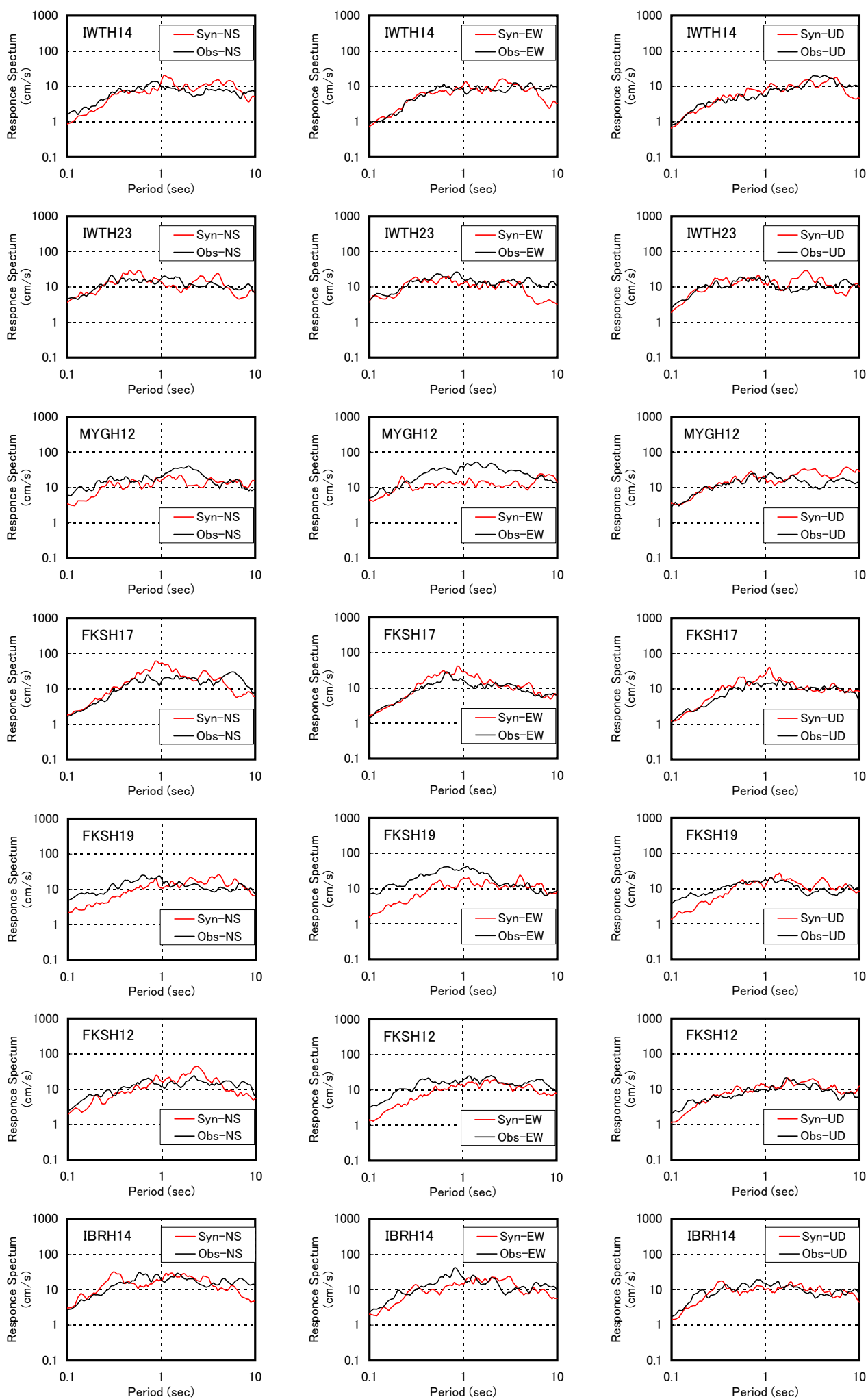


図6 観測波形と合成波形の疑似速度応答スペクトルの比較(減衰:5%)