

第6章 地震動上下成分波形の作成例

6.1 まえがき

本章では、第5章で提案した地震動上下成分波形の作成方法を用いて、表4.2.1に示す内陸被害地震の観測記録から地震動上下成分波形の作成を行なう。その数値計算結果をまとめる。

6.2 地震動上下成分波形の数値計算例

5.3で示した地震動上下成分波形の作成方法に従い、ここでは表4.2.1に示した9個の被害地震の断層最短距離20km以内にあるK-NET観測点の強震観測記録を用いて、地震動上下成分波形を作成する。式(4.2-1)~(4.2-3)で与えられる「平均値」($m=0$)、「平均値+標準偏差」($m=1$)、「平均値+2×標準偏差」($m=2$)のフーリエ振幅スペクトル比のモデル式からと観測記録の水平成分波形から、地震動の上下成分の振幅スペクトルを算出する。そして、観測記録の上下成分波形から因果性位相波を求め、算出した振幅スペクトルと因果性位相波から地震動上下成分の加速度波形を合成する。図6.2.1~図6.2.28にそれぞれの被害地震の観測記録から合成した地震動上下成分の加速度波形と観測された上下成分の加速度波形を示す。図の上段の2つは観測された水平成分(NS成分)と上下成分の加速度波形、下段の3つの波形は式(4.2-1)~(4.2-3)のフーリエ振幅スペクトル比のモデル式において定義した、 $m=0$ 、 $m=1$ 、 $m=2$ の場合のモデル式を用いて合成した上下成分の加速度波形となる。

6.2.1 鳥取県西部地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.1 に鳥取県西部地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.1～6.2.4）の最大加速度を示す。TTR007 は合成加速度波形が観測加速度波形より、正方向、負方向とも 100 (cm/s^2) 程度大きい。TTR008 では、 $m=1$ の合成加速度波形が観測加速度波形に最も近い。TTR009 は、合成加速度波形が観測加速度波形より正方向で 130 (cm/s^2)、負方向で 150 (cm/s^2) 程度大きい。また、観測加速度波形では正方向の最大加速度のほうが負方向の最大加速度より大きい、合成加速度波形では負方向のほうが若干大きくなる。SMN015 では $m=1$ の合成加速度波形が観測加速度波形をよく再現できている。

表 6.2.1 鳥取県西部地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
TTO007 (II種)	観測記録	404	292
	m=0	504	384
	m=1	86.2	659
	m=2	1223	934
TTR008 (III種)	観測記録	308	234
	m=0	275	203
	m=1	431	318
	m=2	586	433
TTR009 (II種)	観測記録	289	275
	m=0	412	427
	m=1	707	733
	m=2	1001	1038
SMN015 (II種)	観測記録	154	132
	m=0	87	80
	m=1	150	137
	m=2	212	194

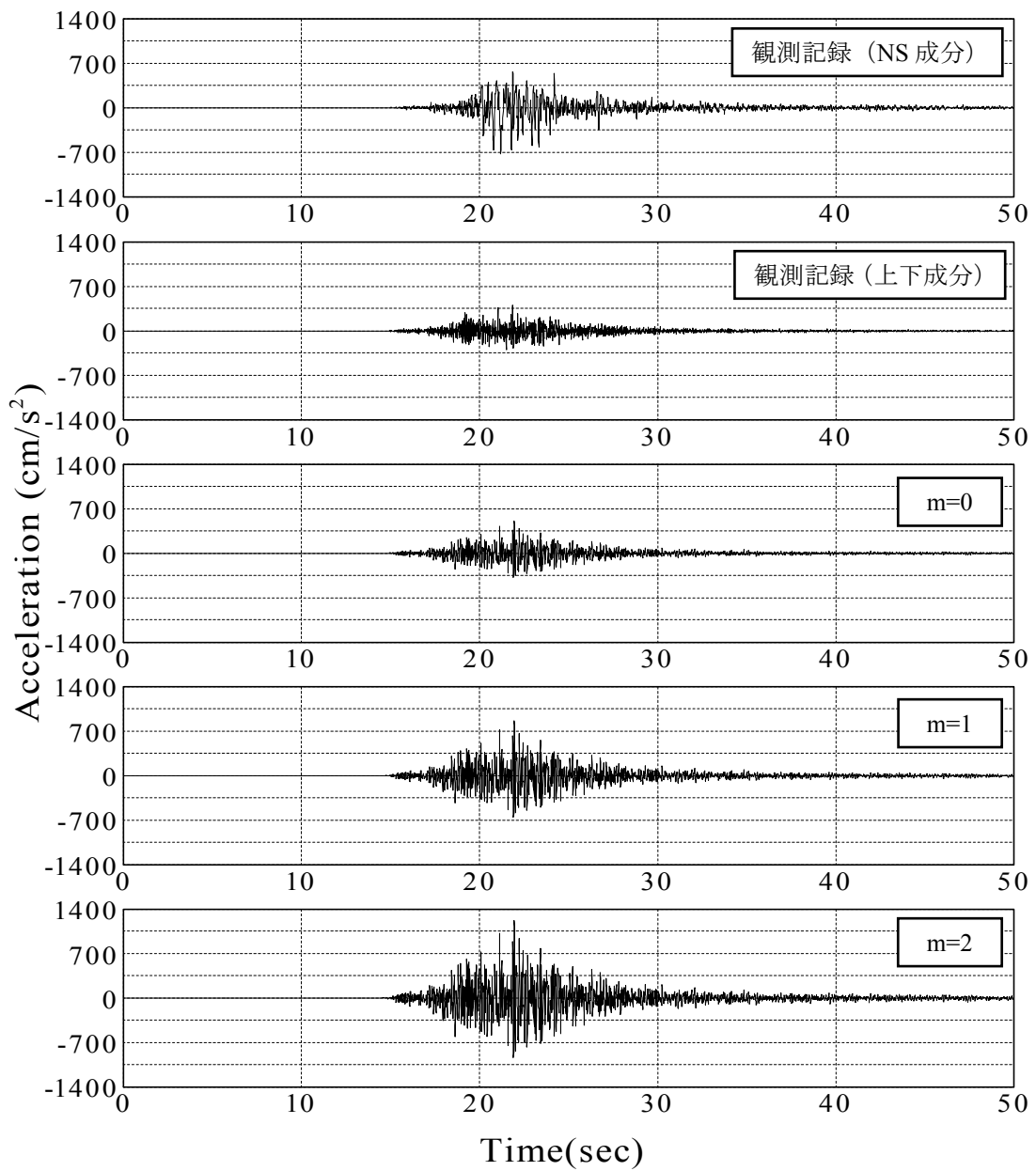


図 6.2.1 鳥取県西部地震における K-NET (TTR007) の上下地震動の比較

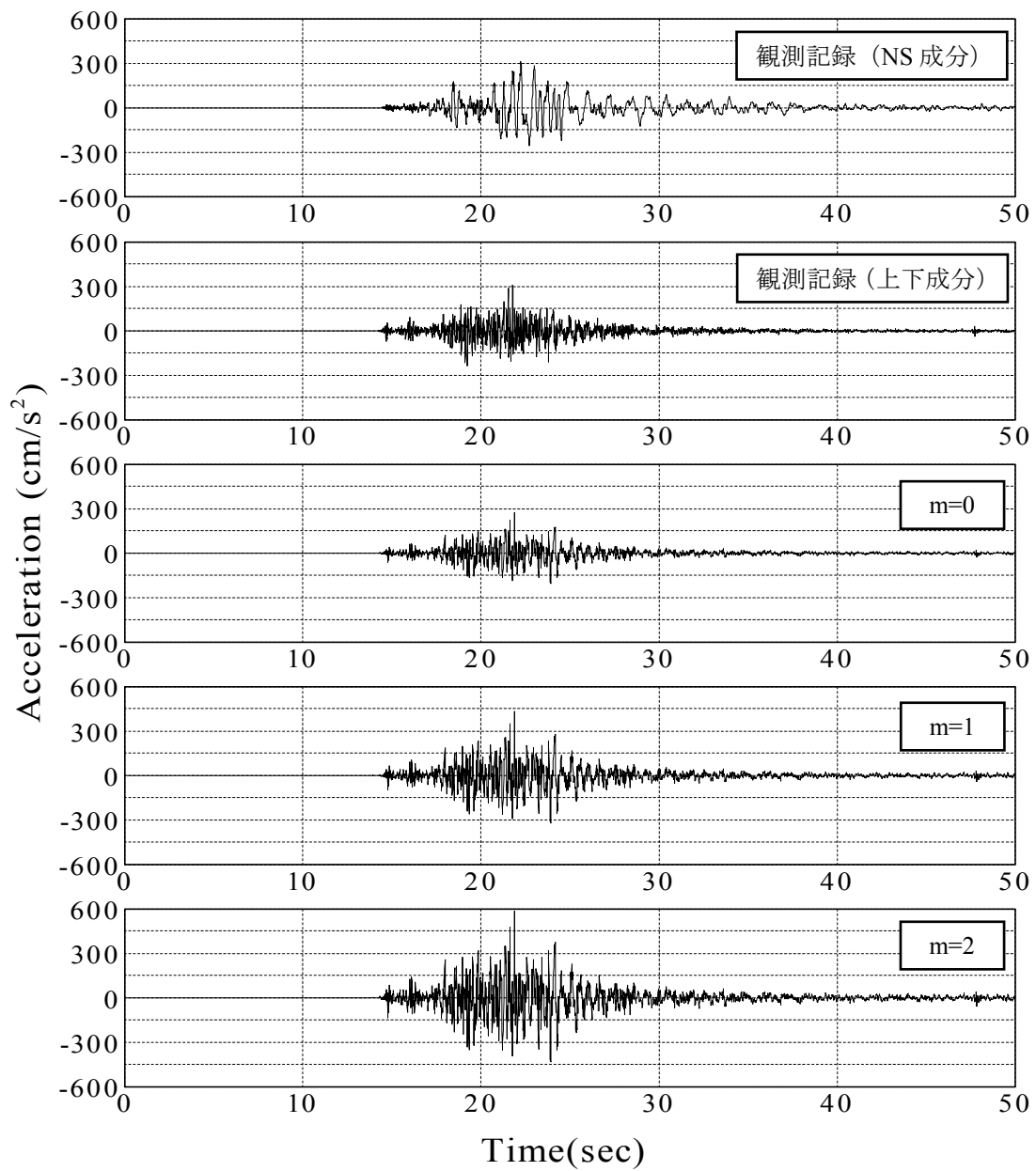


図 6.2.2 鳥取県西部地震における K-NET (TTR008) の上下地震動の比較

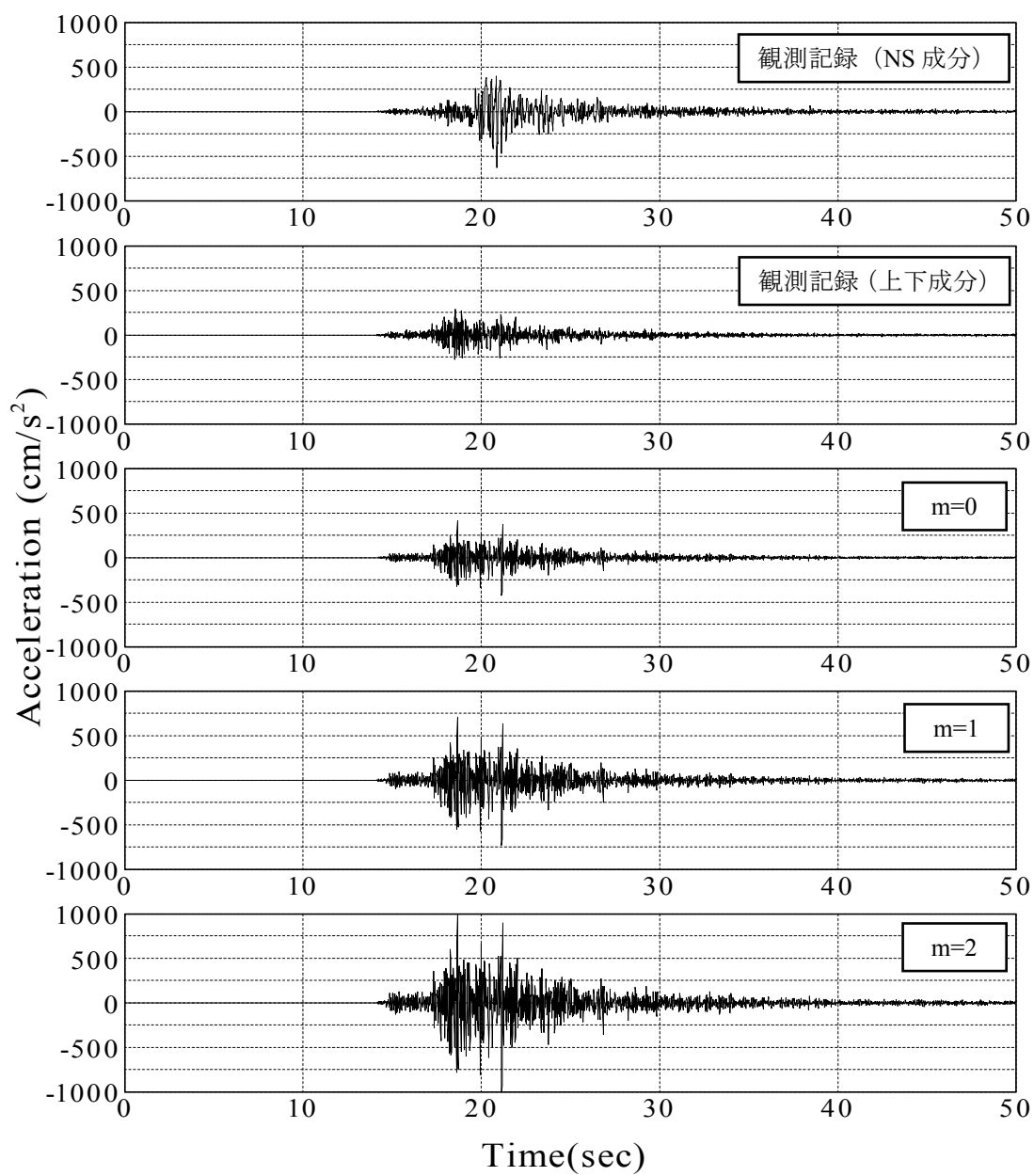


図 6.2.3 鳥取県西部地震における K-NET (TTR009) の上下地震動の比較

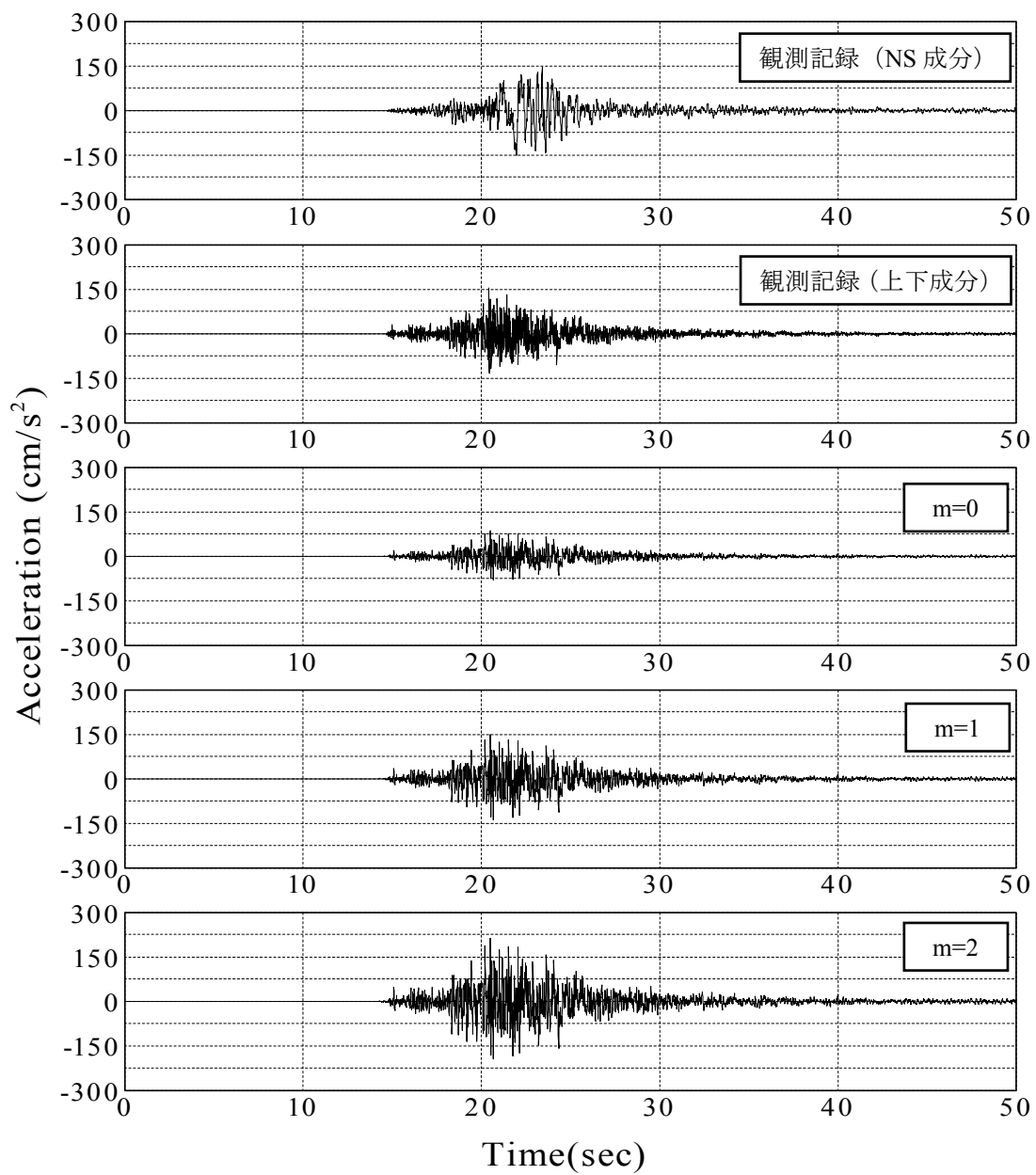


図 6.2.4 鳥取県西部地震における K-NET (SMN015) の上下地震動の比較

6.2.2 芸予地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.2 に芸予地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.5, 6.2.6）の最大加速度を示す。HRS019 は合成加速度波形が観測加速度波形より正方向、負方向ともに 100 (cm/s^2) 程度大きい。EHM007 では正方向は合成加速度波形が観測加速度波形より 70 (cm/s^2) 程度大きい、負方向は観測加速度波形をよく再現できている。

表 6.2.2 芸予地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
HRS019 (Ⅲ種)	観測記録	203	176
	m=0	302	283
	m=1	473	443
	m=2	443	602
EHM007 (Ⅱ種)	観測記録	255	222
	m=0	324	240
	m=1	555	412
	m=2	787	584

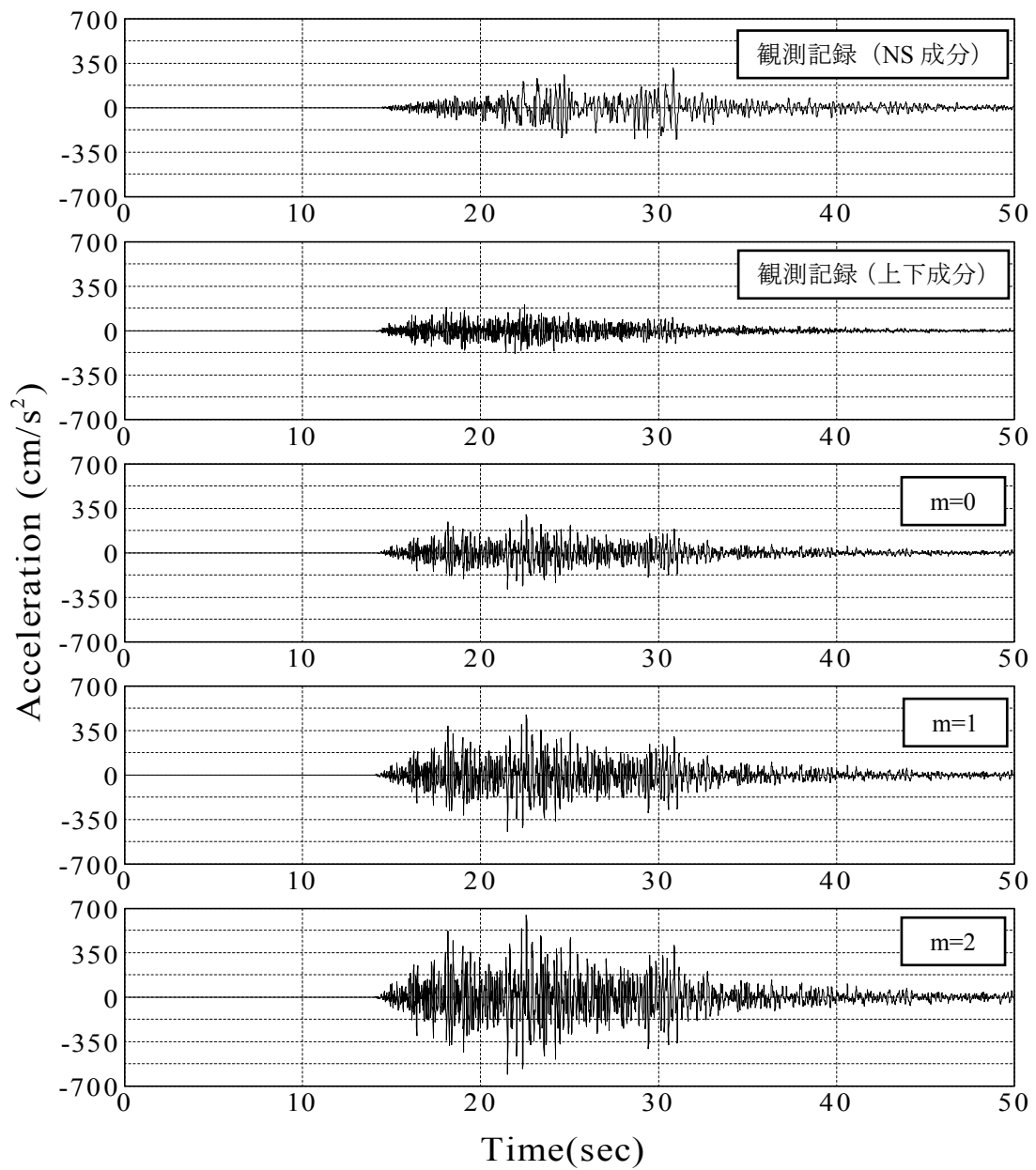


図 6.2.5 芸予地震における K-NET (HRS019) の上下地震動の比較

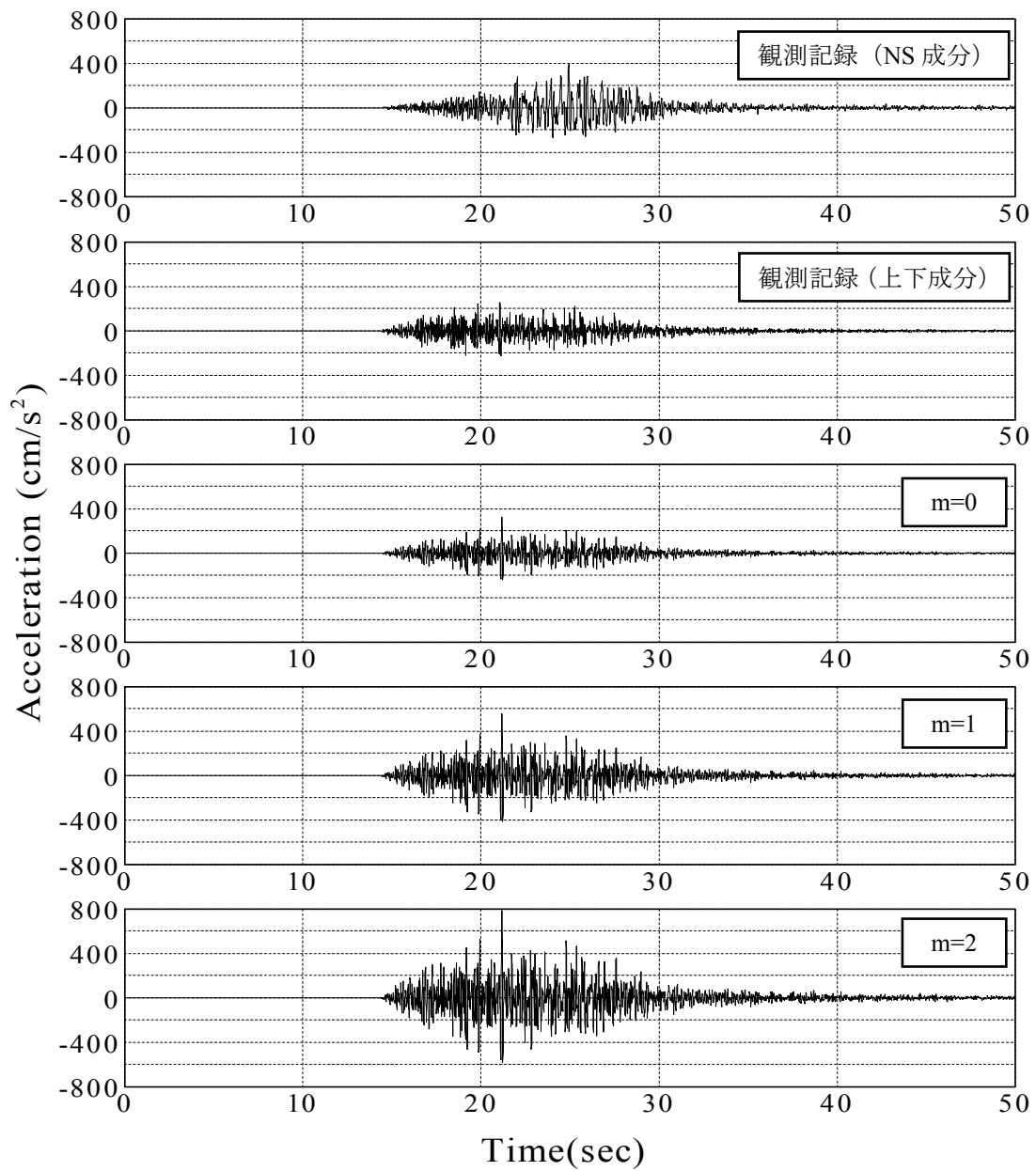


図 6.2.6 芸予地震における K-NET (EHM007) の上下地震動の比較

6.2.3 宮城県沖の地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.3 に宮城県沖の地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.7～6.2.9）の最大加速度を示す。MYG001 では、 $m=0$ の合成加速度波形と観測加速度波形の最大加速度の差は正方向で $90 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、負方向で $40 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ となり、 $m=0$ の合成加速度波形と観測加速度波形の最大加速度の差は正方向で $70 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、負方向で $160 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度となる。また、観測加速度波形では正方向の最大加速度が負方向より大きいですが、合成加速度波形では大小が逆転する。MYG002 では合成加速度波形が観測加速度波形より正方向、負方向ともに $100 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きくなる。IWT008 は、合成加速度波形が観測加速度波形より正方向、負方向ともに $70 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きくなる。

表 6.2.3 宮城県沖の地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
MYG001 (II種)	観測記録	344	322
	m=0	235	286
	m=1	402	488
	m=2	570	691
MYG002 (I種)	観測記録	339	312
	m=0	446	426
	m=1	688	6.29
	m=2	891	853
IWT008 (I種)	観測記録	128	155
	m=0	200	226
	m=1	300	339
	m=2	400	452

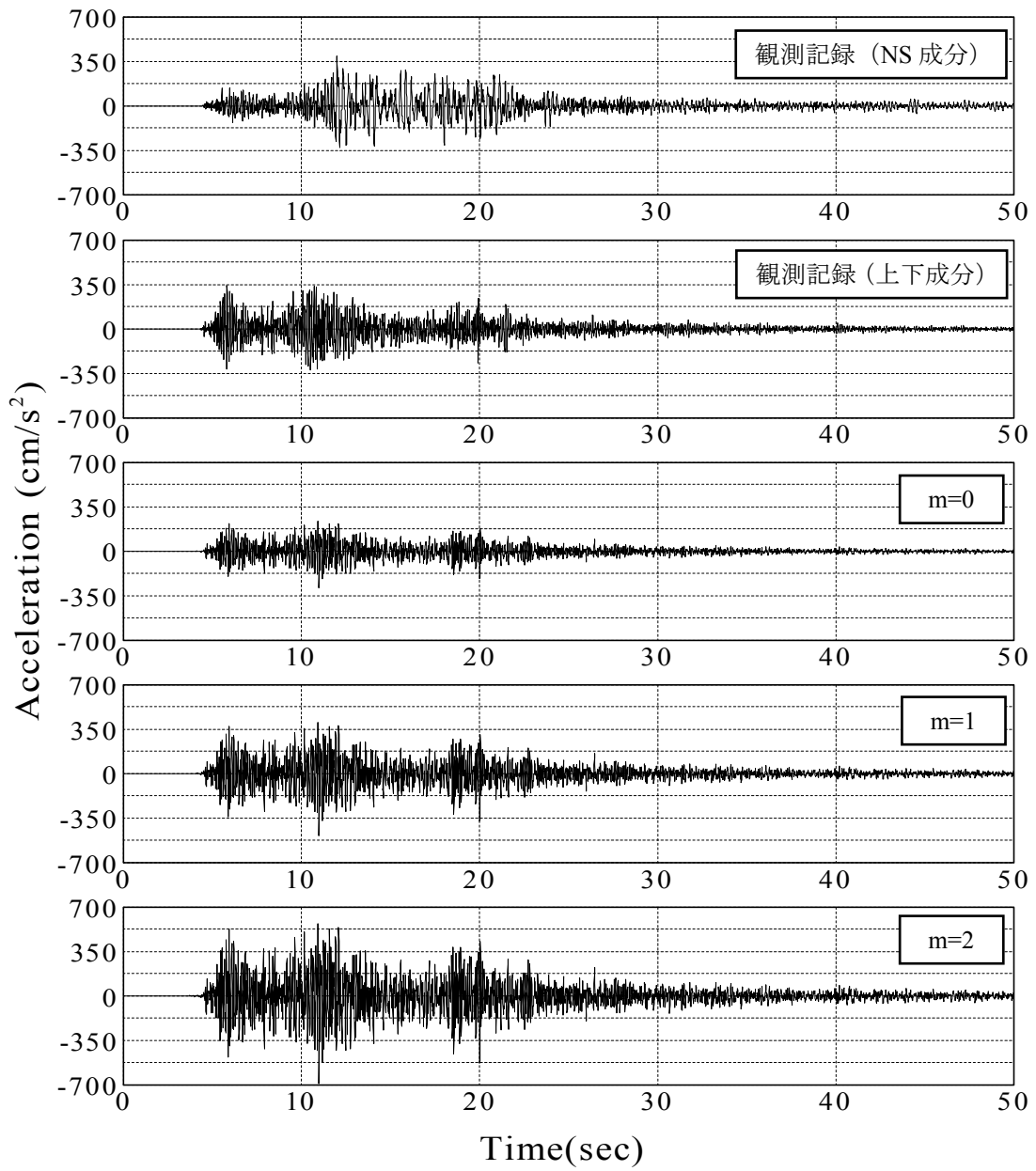


図 6.2.7 宮城県沖の地震における K-NET (MYG001) の上下地震動の比較

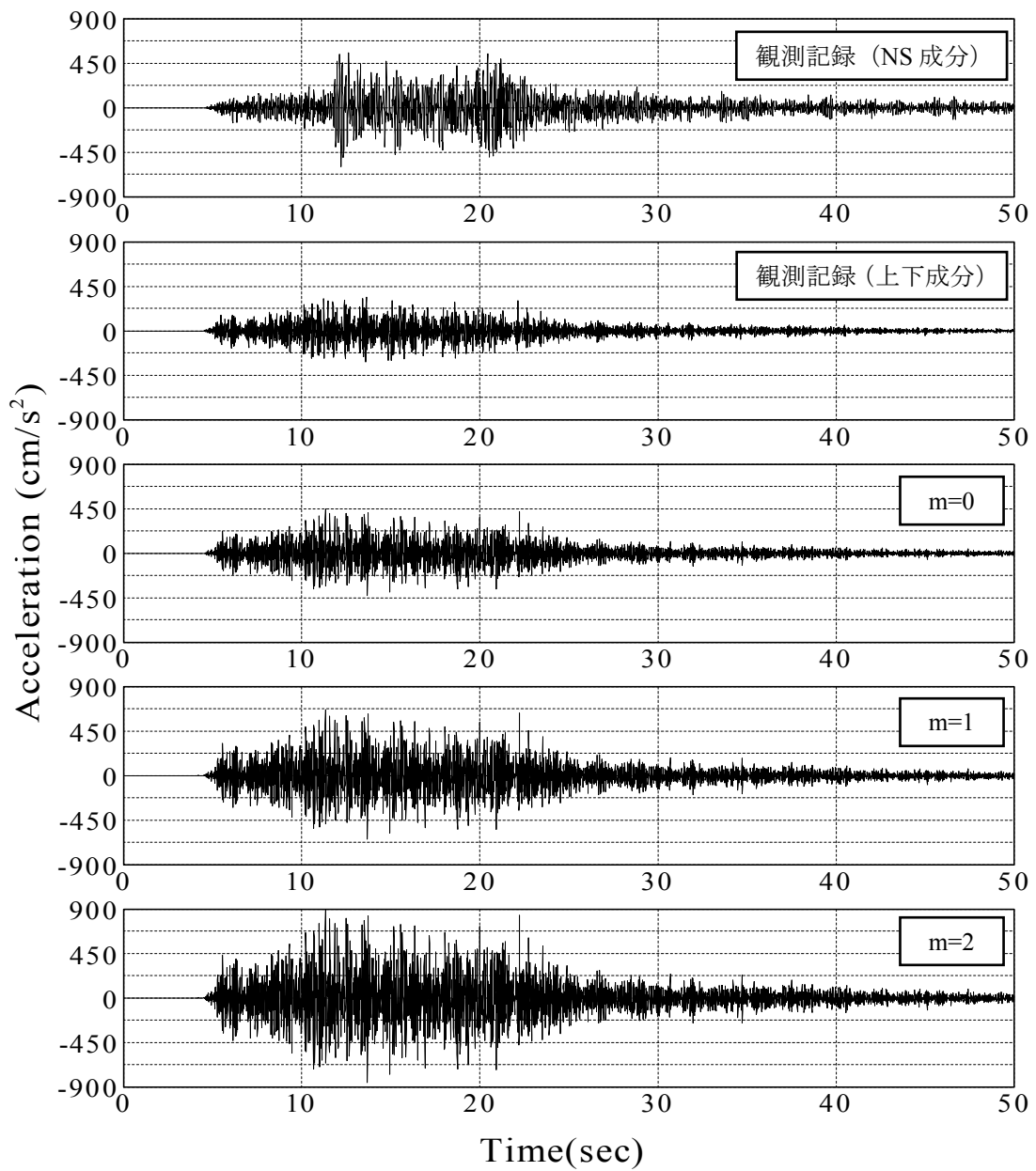


図 6.2.8 宮城県沖の地震における K-NET (MYG002) の上下地震動の比較

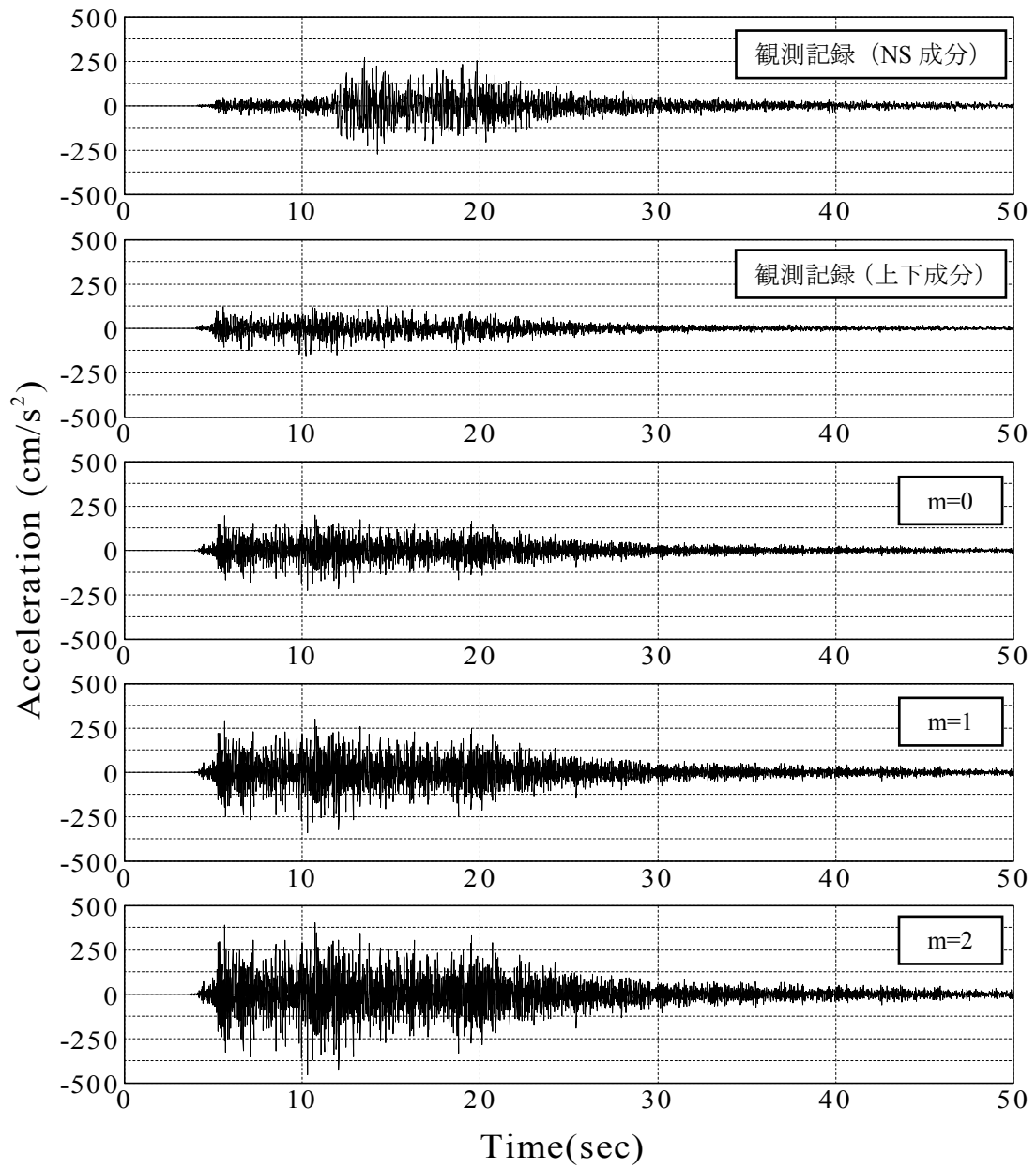


図 6.2.9 宮城県沖の地震における K-NET (MYG001) の上下地震動の比較

6.2.4 宮城県北部の地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.4 に宮城県北部の地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.10～6.2.12）の最大加速度を示す。MYG007 では、 $m=1$ か $m=2$ の場合の合成加速度波形が観測加速度波形に近い。MYG010 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形をよく再現できている。MYG012 は合成加速度波形が観測加速度波形より正方向で $90 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、負方向で $70 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きい。

表 6.2.4 宮城県北部の地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
MYG007 (I 種)	観測記録	147	147
	m=0	81	85
	m=1	122	127
	m=2	162	169
MYG010 (III 種)	観測記録	260	187
	m=0	275	251
	m=1	430	394
	m=2	586	536
MYG012 (III 種)	観測記録	171	170
	m=0	26.2	241
	m=1	412	377
	m=2	560	513

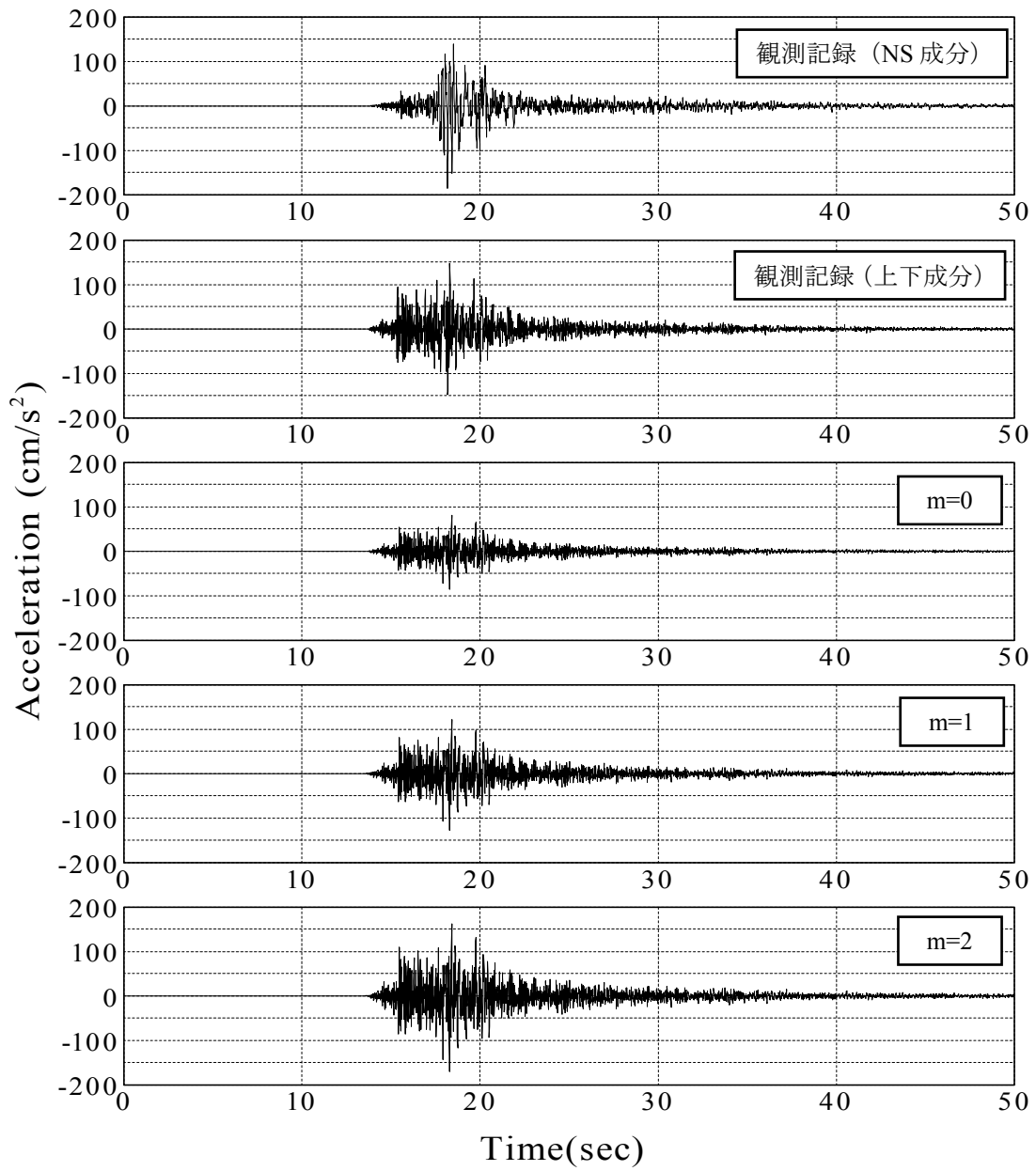


図 6.2.10 宮城県北部の地震における K-NET (MYG007) の上下地震動の比較

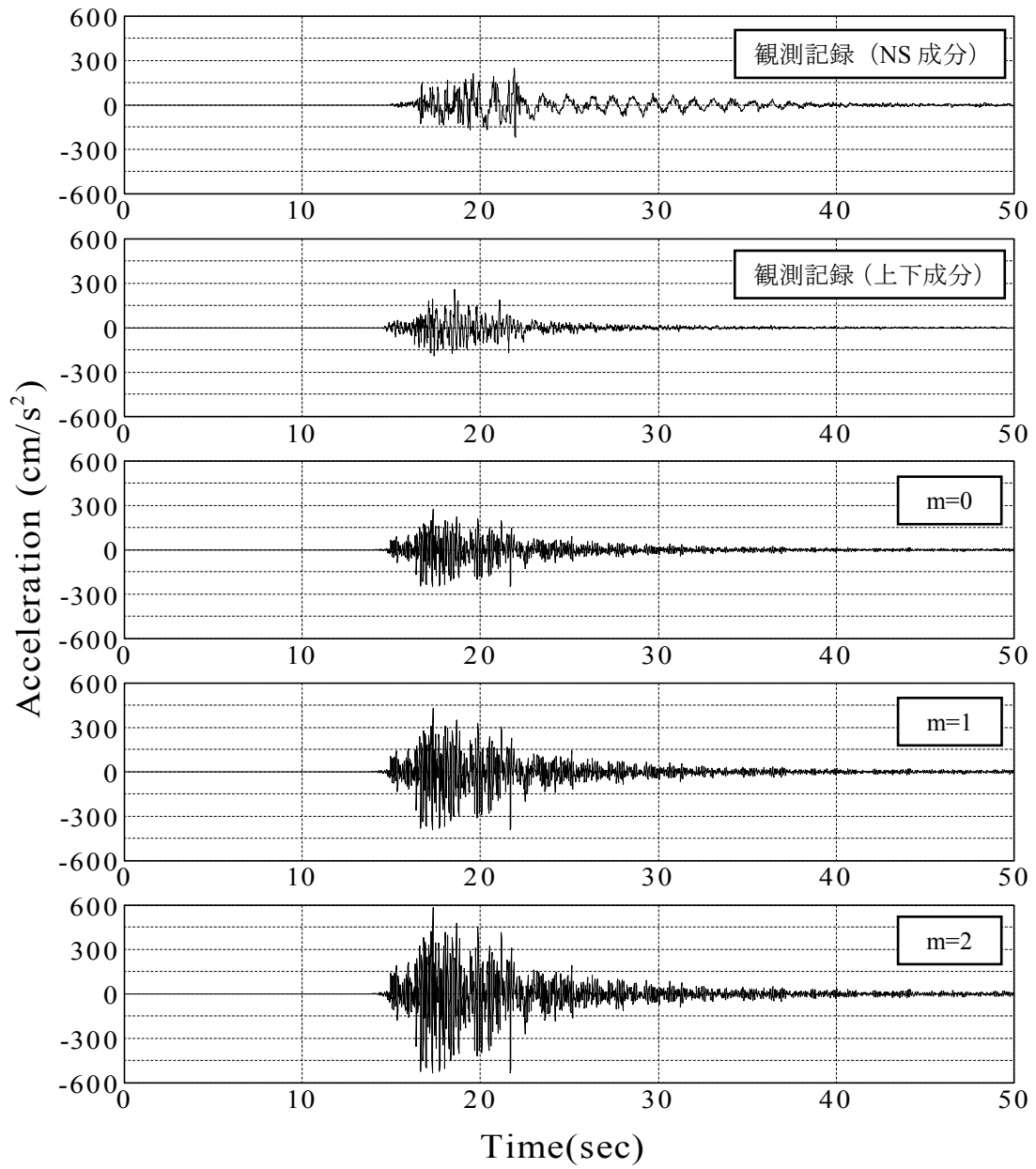


図 6.2.11 宮城県北部の地震における K-NET (MYG010) の上下地震動の比較

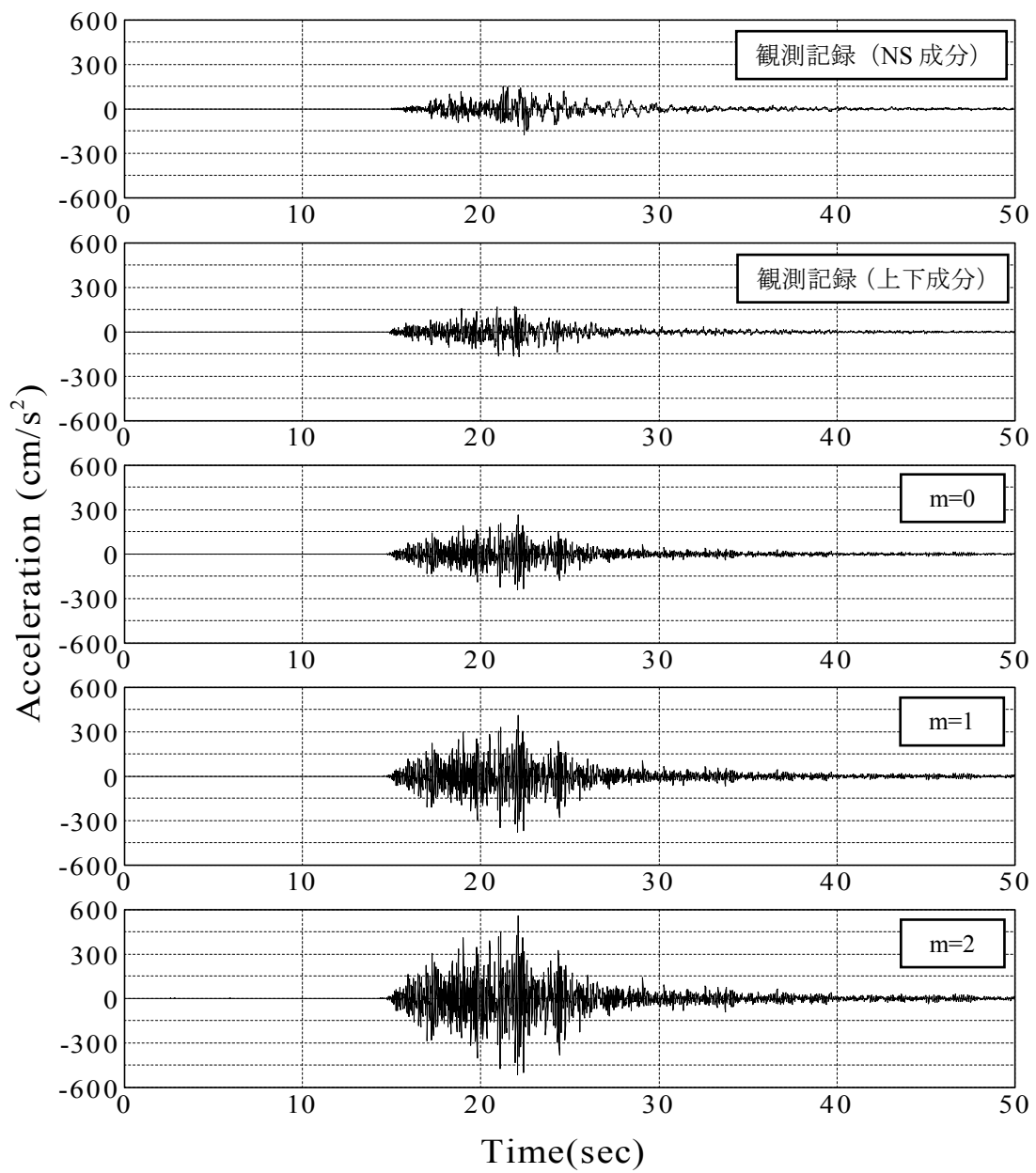


図 6.2.12 宮城県北部の地震における K-NET (MYG012) の上下地震動の比較

6.2.5 新潟中越地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.5 に新潟中越地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.13～6.2.16）の最大加速度を示す。NIG017 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形をよく再現できている。NIG019 では正方向では $m=2$ の合成加速度波形が観測加速度波形の最大加速度と近いが、負方向では $m=1$ の合成加速度波形のほうが近い。観測加速度波形では正方向と負方向の最大加速度が $300 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ とかなり正方向に最大加速度の偏りがみられるが、合成加速度波形ではその偏りが小さくなる。NIG020 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形をよく再現できている。NIG021 では $m=0$ の合成加速度波形で、正方向では $350 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ とかなり大きな差があるが、負方向では $100 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ と差が小さくなる。

表 6.2.5 新潟中越地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
NIG017 (II種)	観測記録	331	266
	m=0	290	259
	m=1	497	444
	m=2	705	629
NIG019 (II種)	観測記録	820	545
	m=0	384	345
	m=1	659	591
	m=2	933	837
NIG020 (II種)	観測記録	312	267
	m=0	273	232
	m=1	469	397
	m=2	664	56.2
NIG021 (II種)	観測記録	564	521
	m=0	910	623
	m=1	1561	1068
	m=2	2211	1512

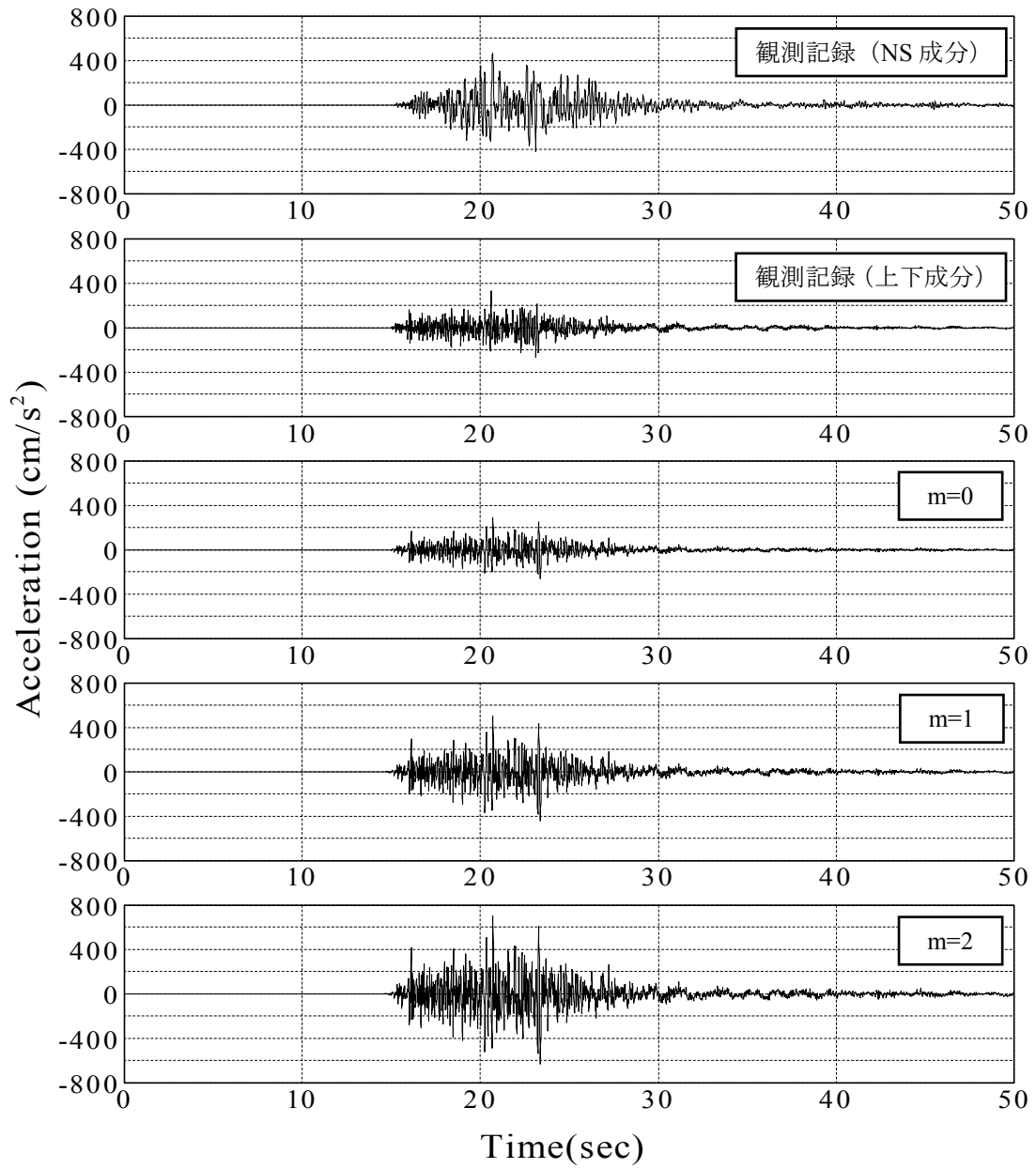


図 6.2.13 新潟中越地震における K-NET (NIG017) の上下地震動の比較

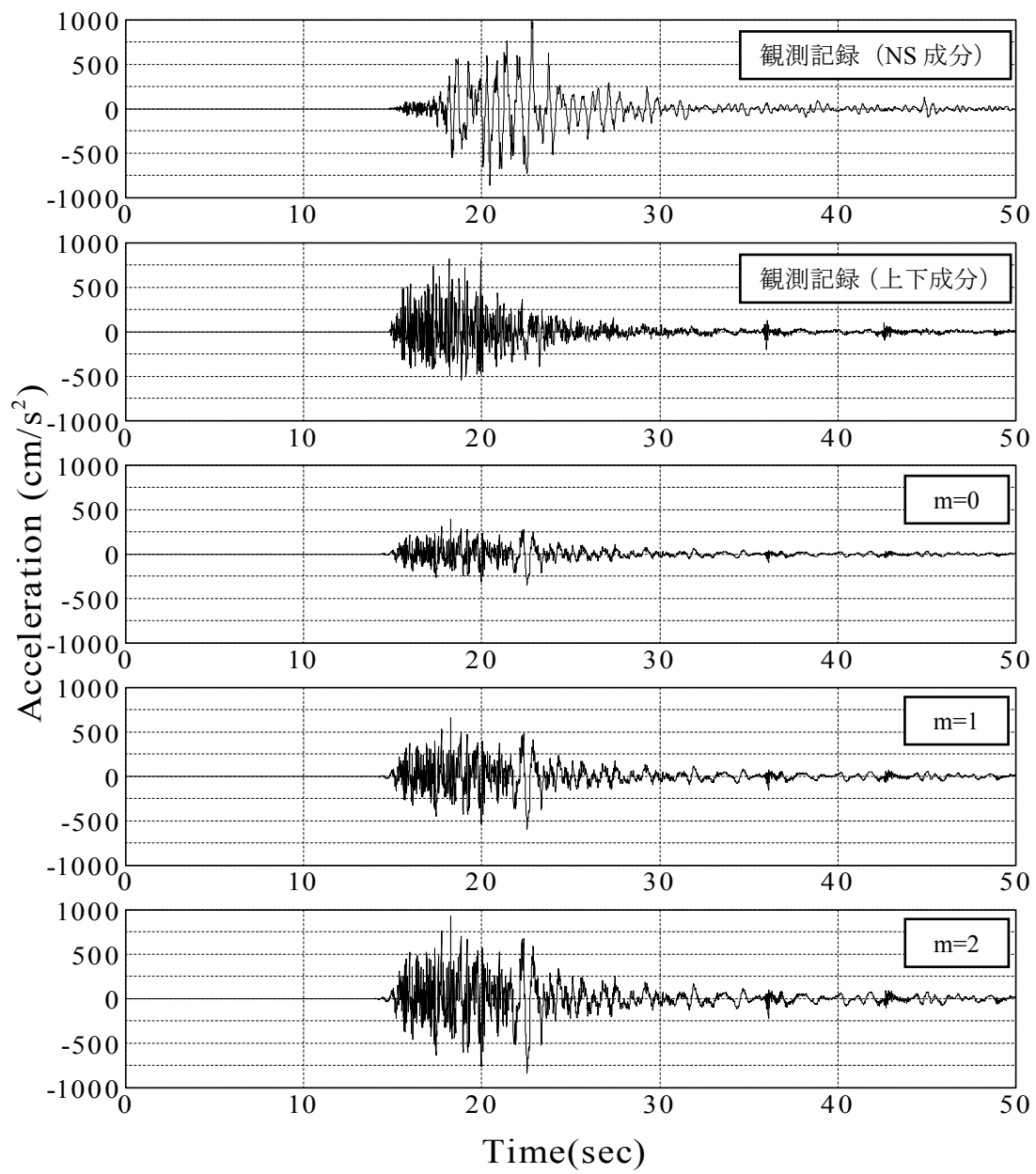


図 6.2.14 新潟中越地震における K-NET (NIG019) の上下地震動の比較

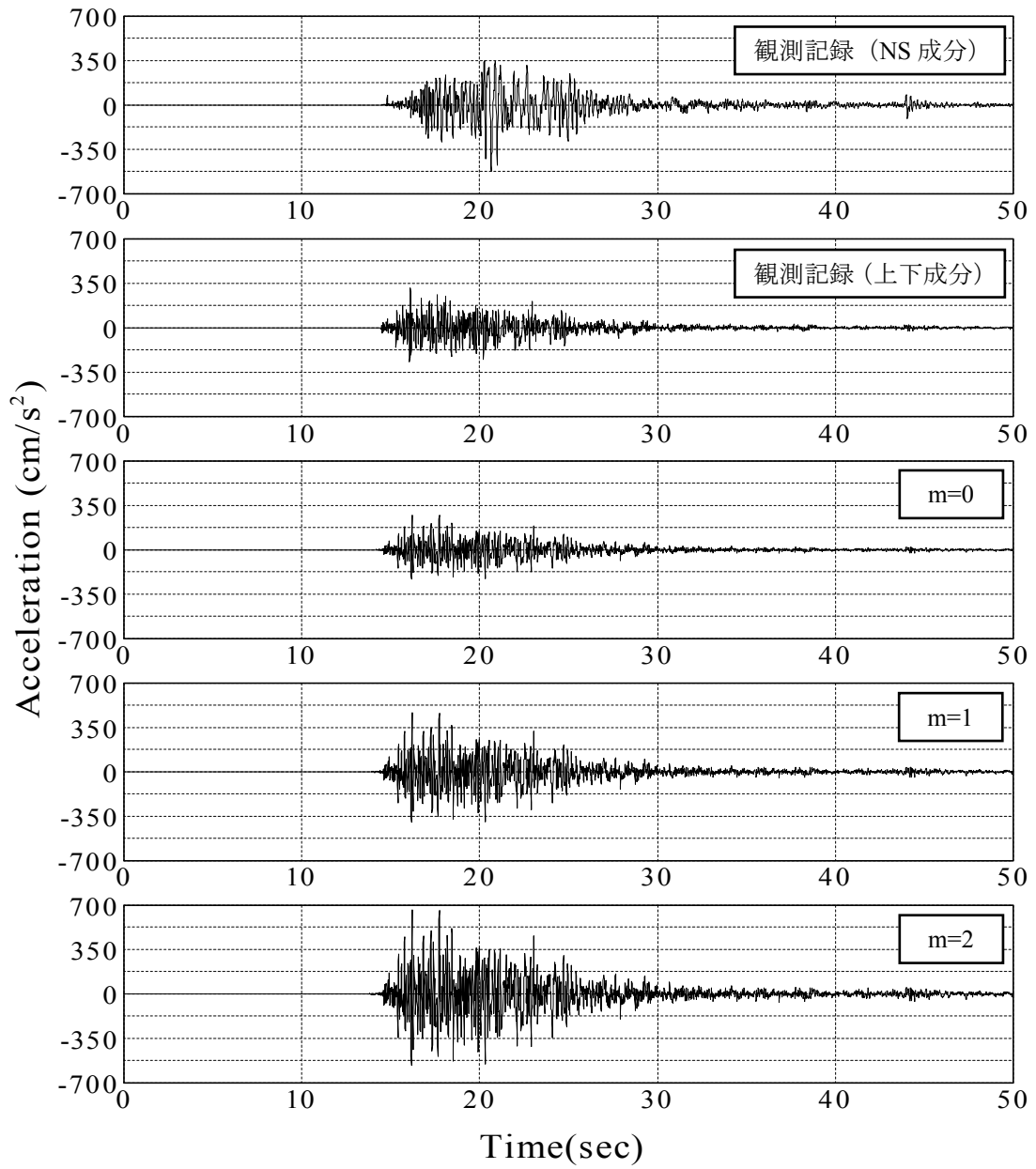


図 6.2.15 新潟中越地震における K-NET (NIG020) の上下地震動の比較

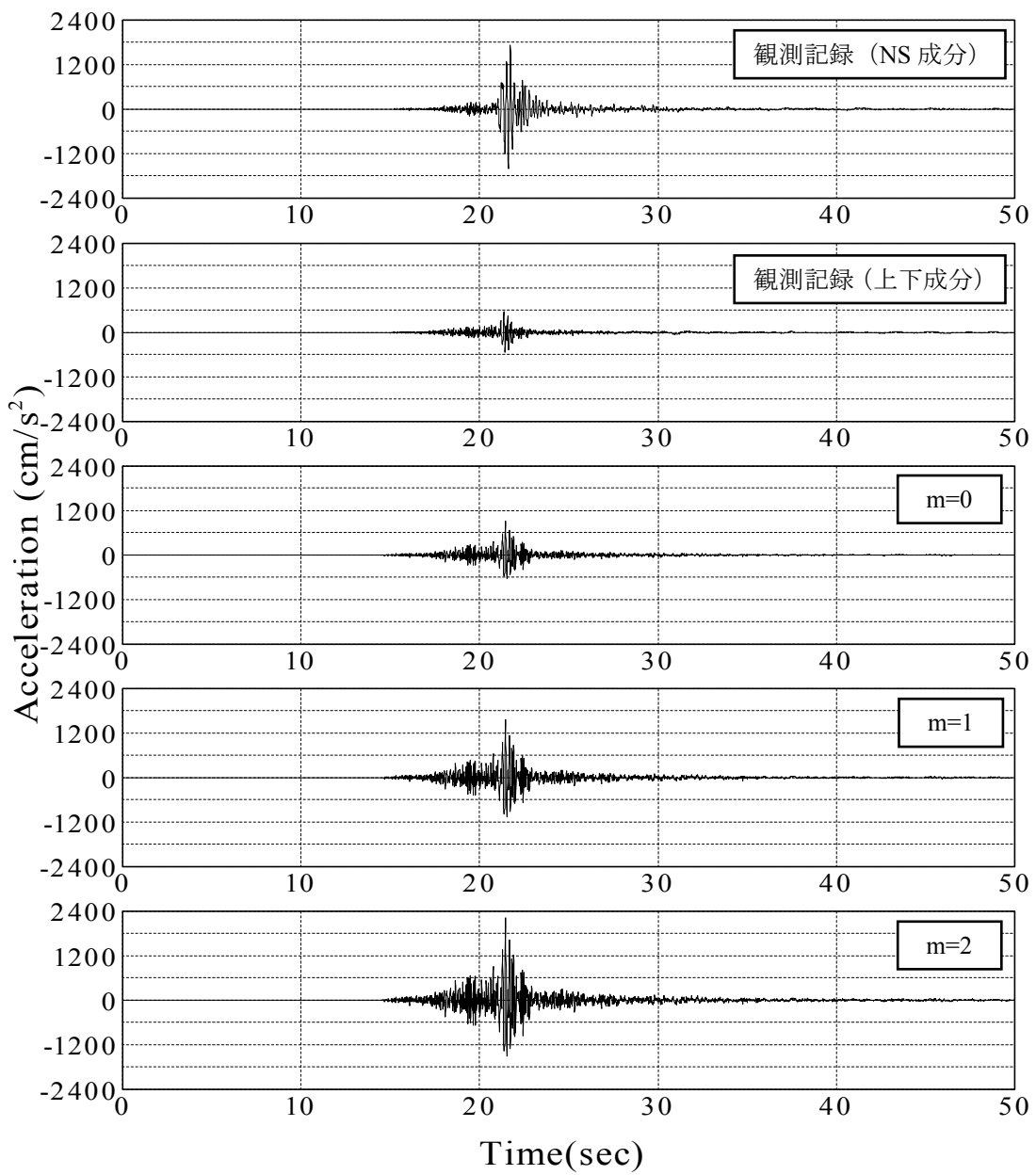


図 6.2.16 新潟中越地震における K-NET (NIG021) の上下地震動の比較

6.2.6 福岡県西方沖地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.6 に福岡西方沖地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.17, 6.2.18）の最大加速度を示す。FKO006, FKO007 とともに m=0 の合成加速度波形は観測加速度波形をよく再現できている。

表 6.2.6 福岡県西方沖地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
FKO006 (Ⅲ種)	観測記録	122	138
	m=0	137	166
	m=1	214	259
	m=2	292	353
FKO007 (Ⅱ種)	観測記録	169	174
	m=0	123	134
	m=1	211	230
	m=2	299	326

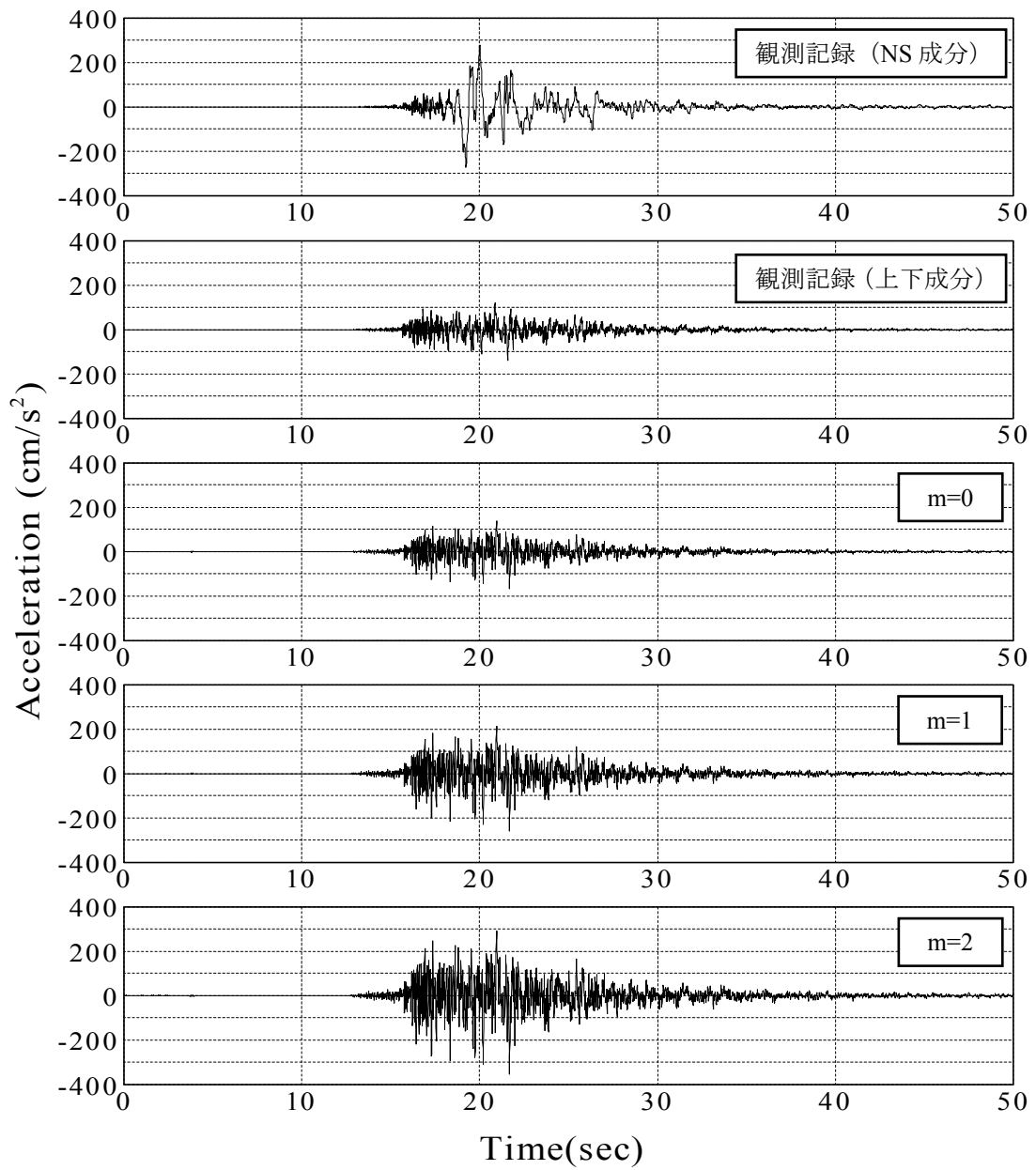


図 6.2.17 福岡県西方沖地震における K-NET (FKO006) の上下地震動の比較

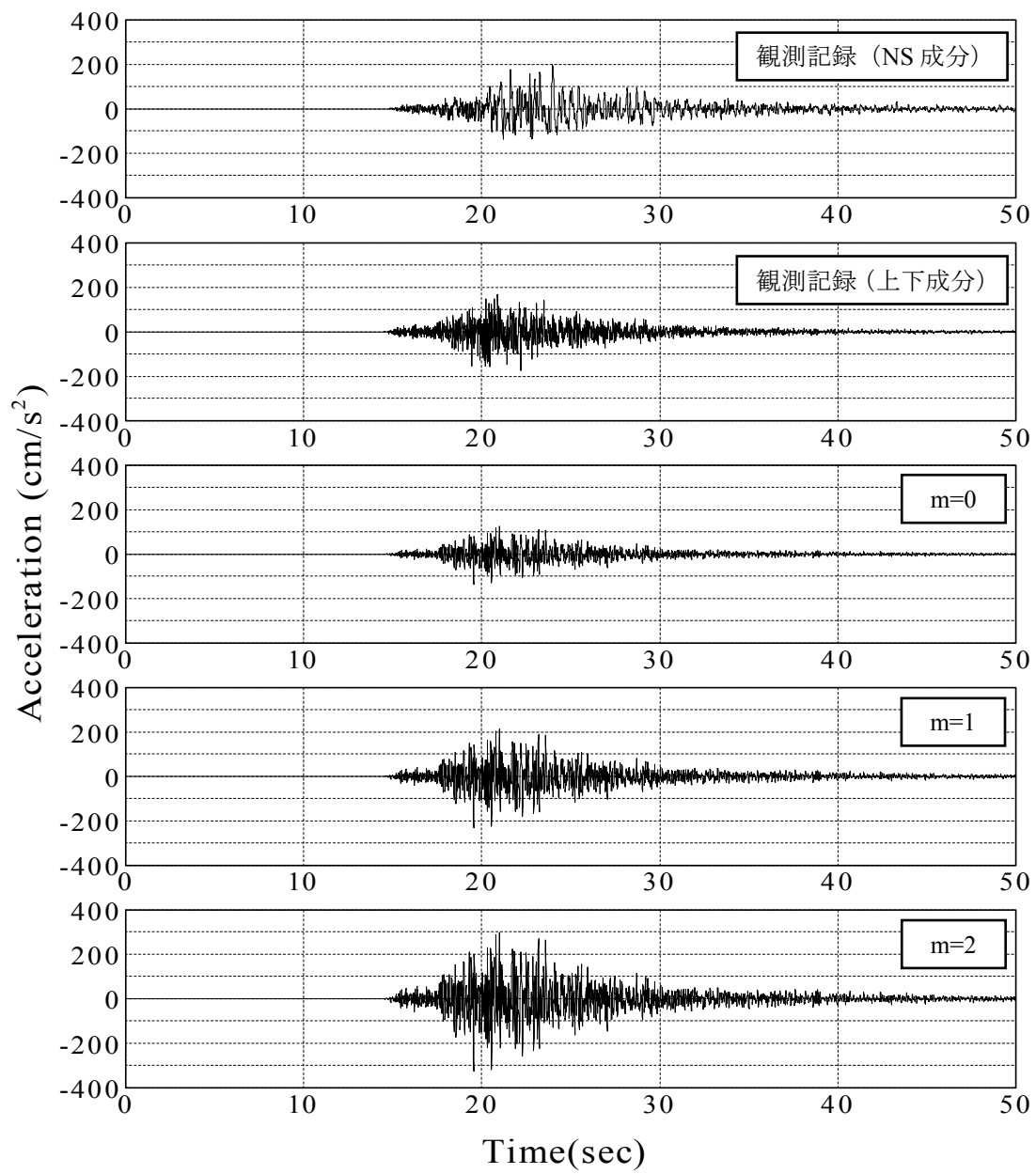


図 6.2.18 福岡県西方沖地震における K-NET (FKO007) の上下地震動の比較

6.2.7 能登半島沖地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.7 に福岡西方沖地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.19～6.2.21）の最大加速度を示す。ISK003 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形より $90 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きい。ISK005 では、 $m=1$ の合成加速度波形は観測加速度波形の最大加速度より正方向で $70 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、負方向で $120 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度小さくなり、 $m=2$ の合成加速度波形は正方向で $100 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きくなるが、負方向では $2 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ となり、最大加速度をよく再現できている。ISK006 では $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形より正方向で $60 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、負方向で $40 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度小さくなる。

表 6.2.7 能登半島沖地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
ISK003 (I 種)	観測記録	121	141
	m=0	217	226
	m=1	326	339
	m=2	434	453
ISK005 (III 種)	観測記録	556	467
	m=0	309	218
	m=1	483	342
	m=2	658	465
ISK006 (I 種)	観測記録	462	391
	m=0	397	351
	m=1	595	527
	m=2	794	702

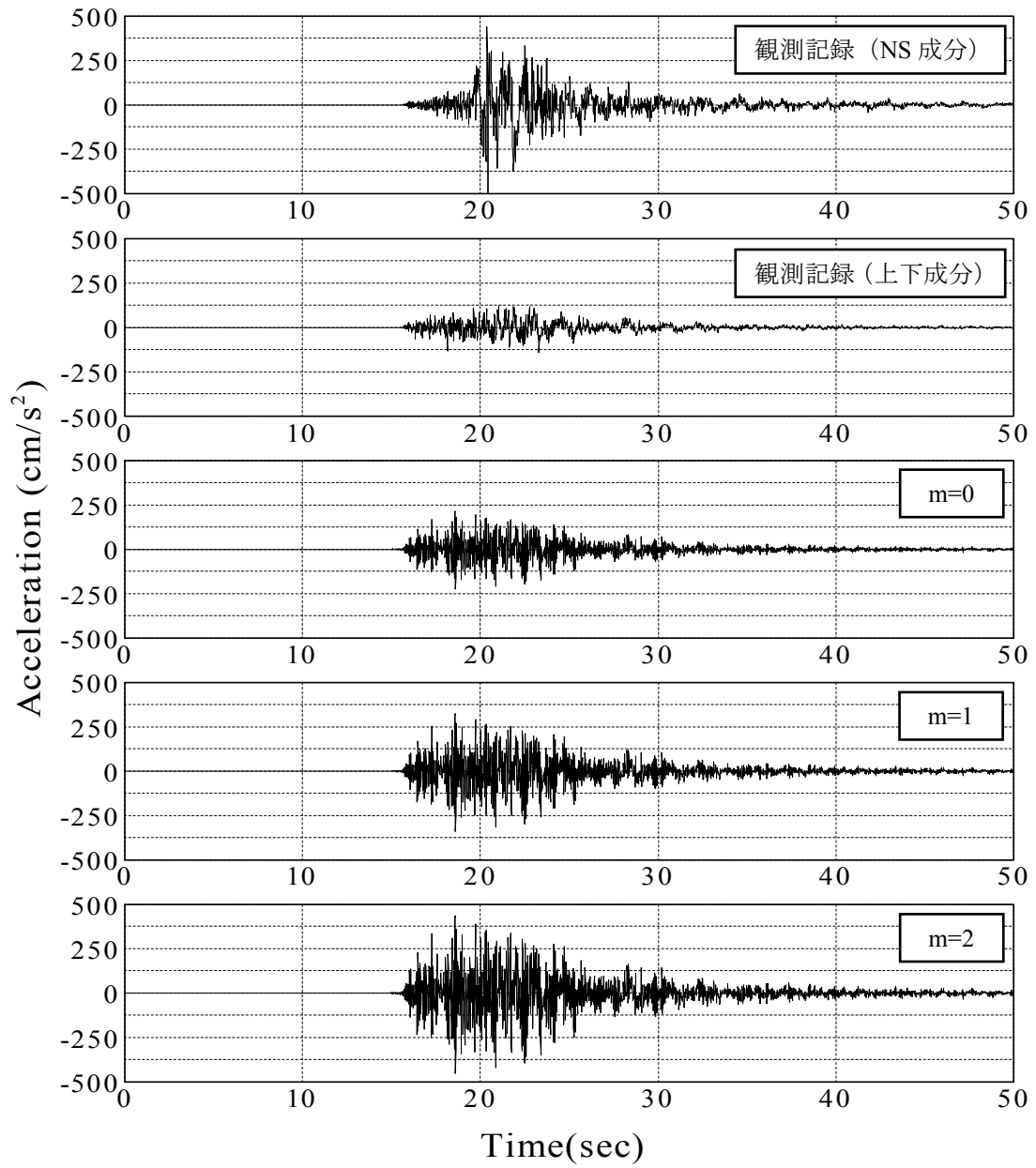


図 6.2.19 能登半島沖地震における K-NET (ISK003) の上下地震動の比較

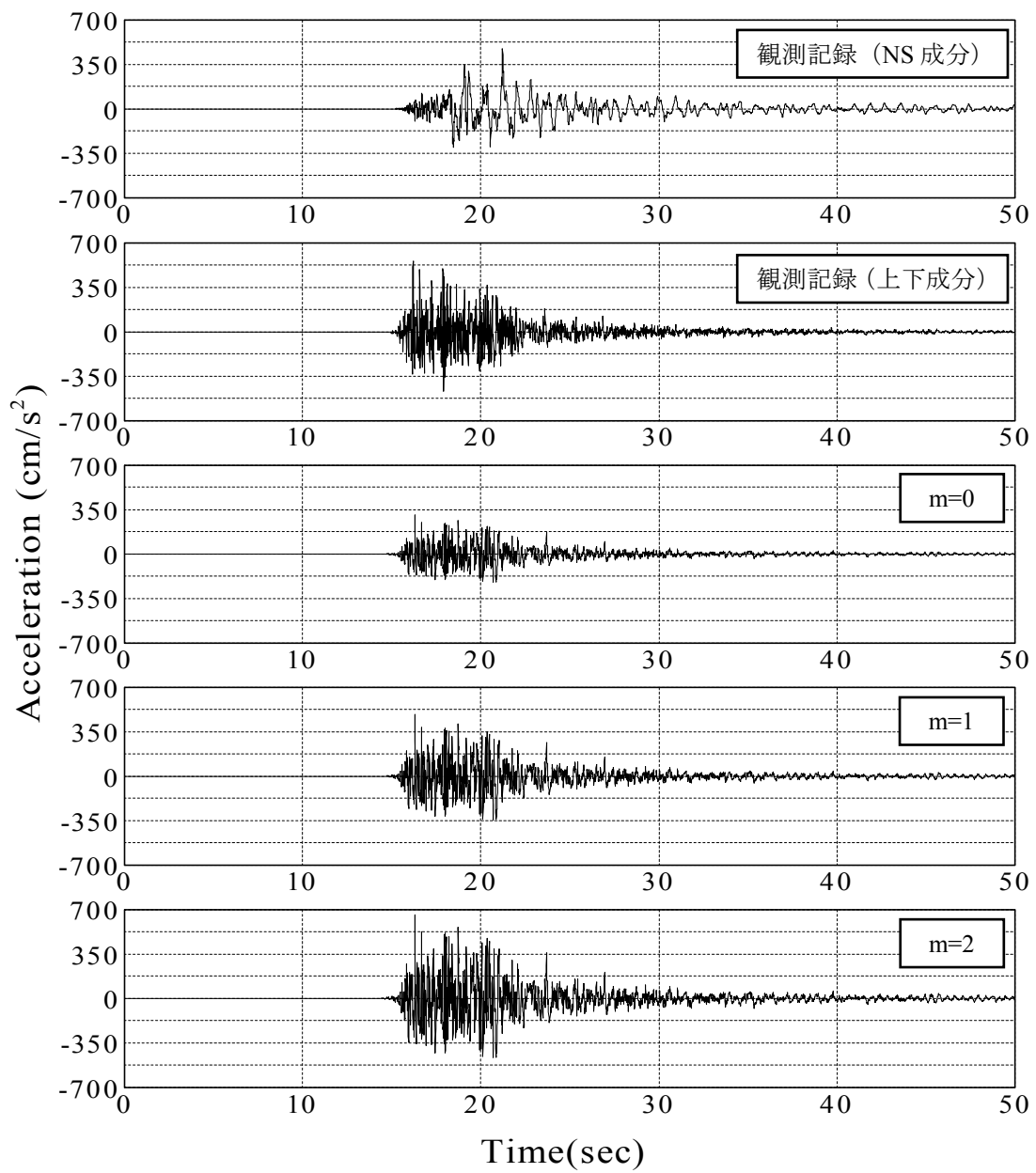


図 6.2.20 能登半島沖地震における K-NET (ISK005) の上下地震動の比較

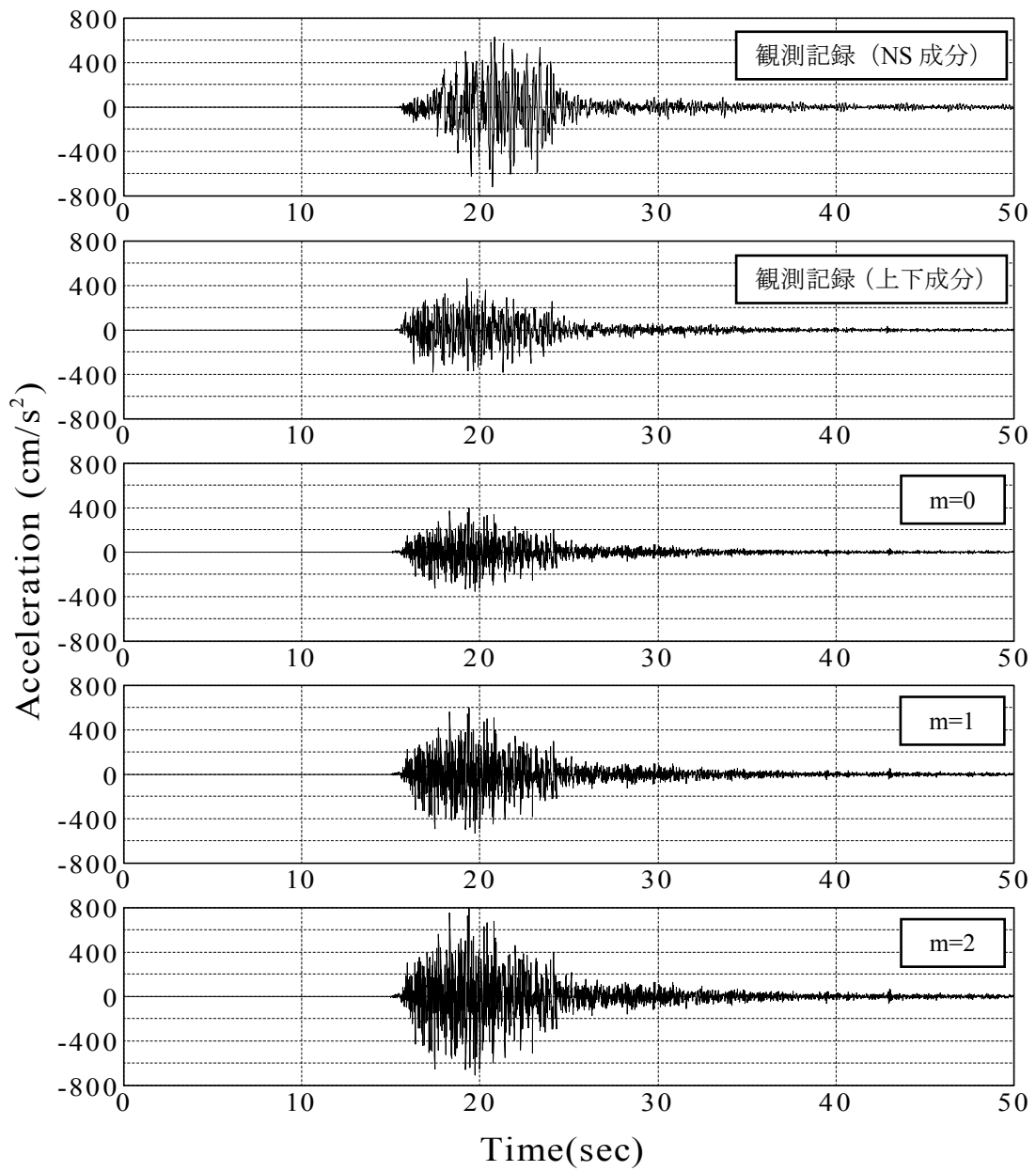


図 6.2.21 能登半島沖地震における K-NET (ISK006) の上下地震動の比較

6.2.8 新潟中越沖地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.8 に新潟中越沖地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.22, 6.2.23）の最大加速度を示す。NIG016 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形より正方向で $60 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、負方向で $80 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きくなる。NIG018 では $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形より正方向で $50 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 、負方向で $30 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きくなる。

表 6.2.8 新潟中越沖地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
NIG016 (II種)	観測記録	53	55
	m=0	115	136
	m=1	198	234
	m=2	281	332
NIG018 (III種)	観測記録	369	265
	m=0	420	282
	m=1	657	442
	m=2	895	602

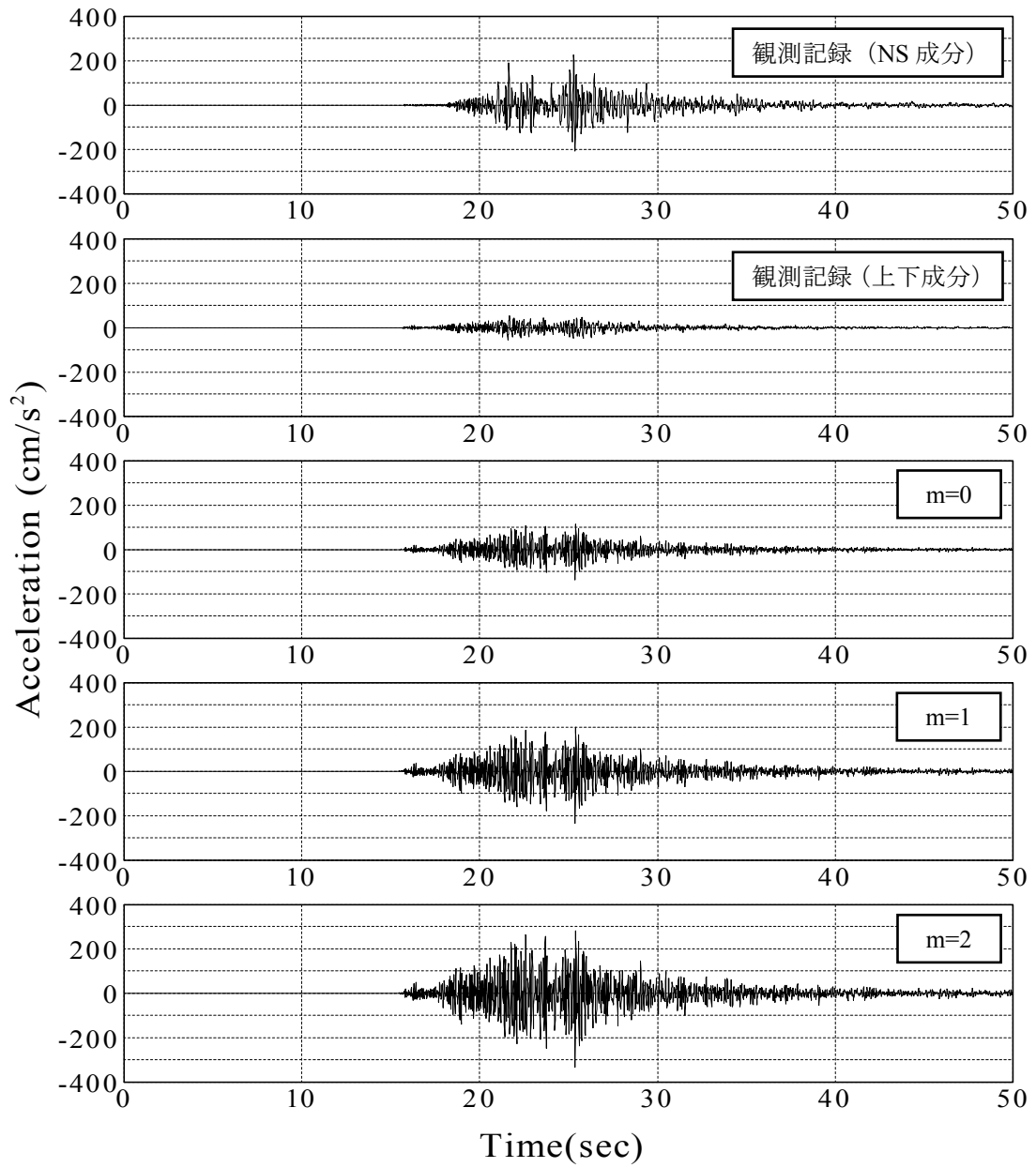


図 6.2.22 新潟中越沖地震における K-NET (NIG016) の上下地震動の比較

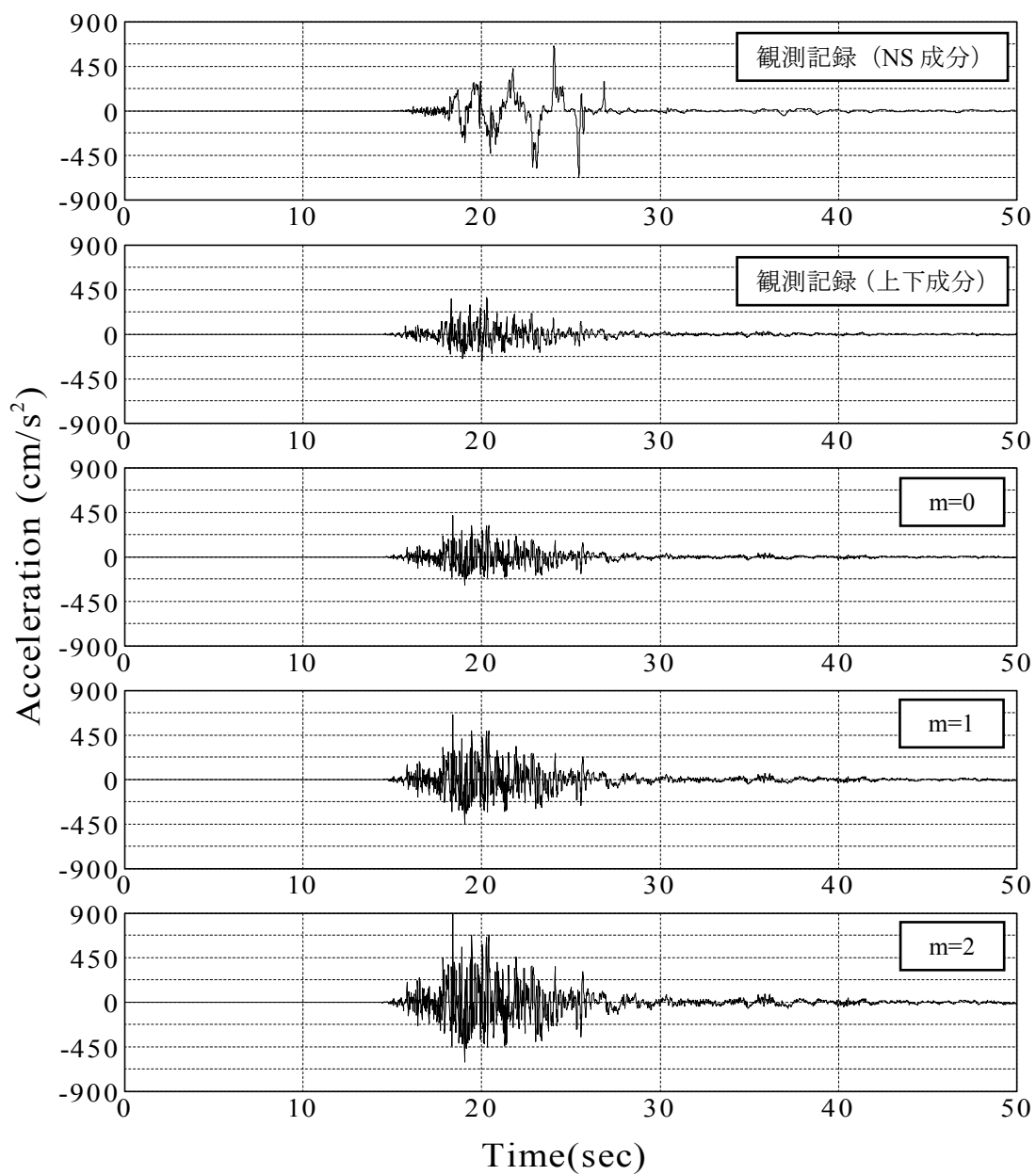


図 6.2.23 新潟中越沖地震における K-NET (NIG018) の上下地震動の比較

6.2.9 岩手・宮城内陸地震の地震動上下成分波形の作成

表 6.2.9 に岩手・宮城内陸地震において各観測点で観測された上下成分の加速度波形と、合成した上下成分の加速度波形（図 6.2.24～6.2.28）の最大加速度を示す。AKT023 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度より正方向，負方向ともに $80 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きい。IWT010 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形より正方向で $30 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ ，負方向で $50 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度小さくなり， $m=1$ の合成加速度波形では正方向で $60 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ ，負方向で $40 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きくなる。IWT011 では， $m=1$ の合成加速度波形が観測加速度波形をよく再現できている。MYG004 は $m=0$ の合成加速度波形が観測加速度波形より正方向で $90 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ ，負方向で $70 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ 程度大きくなる。MYG005 は $m=2$ の合成加速度波形が観測加速度波形をよく再現できている。

表 6.2.9 岩手・宮城内陸地震における地震動上下成分の最大加速度の比較

K-NET 観測点		最大加速度（正方向） (cm/s^2)	最大加速度（負方向） (cm/s^2)
AKT023 (II種)	観測記録	233	248
	m=0	310	326
	m=1	532	559
	m=2	753	792
IWT010 (I種)	観測記録	201	210
	m=0	172	165
	m=1	258	247
	m=2	344	330
IWT011 (II種)	観測記録	213	203
	m=0	149	110
	m=1	256	189
	m=2	36.2	267
MYG004 (I種)	観測記録	222	224
	m=0	308	291
	m=1	462	438
	m=2	616	584
MYG005 (I種)	観測記録	511	666
	m=0	267	285
	m=1	400	427
	m=2	534	570

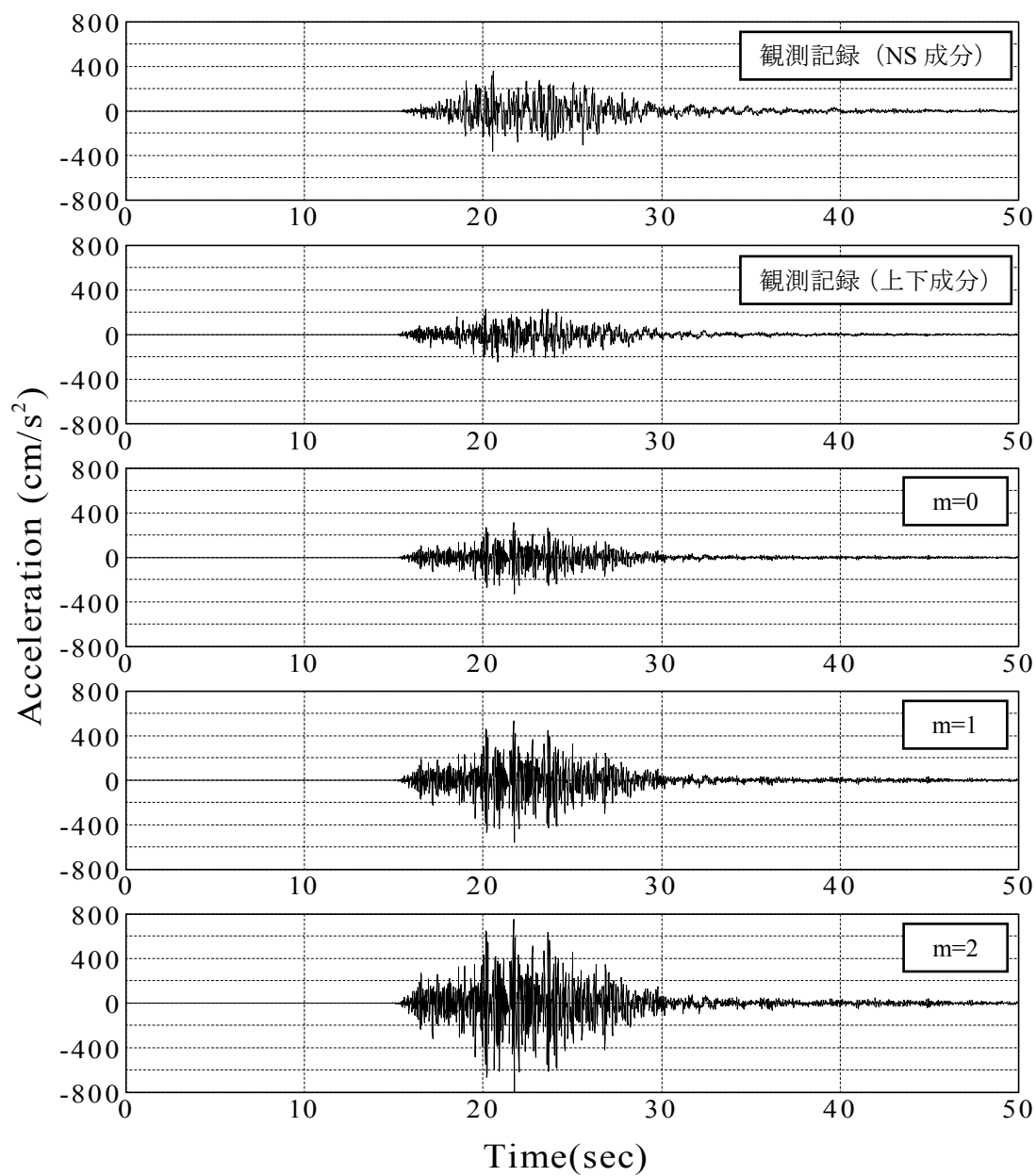


図 6.2.24 岩手・宮城内陸地震における K-NET (AKT023) の上下地震動の比較

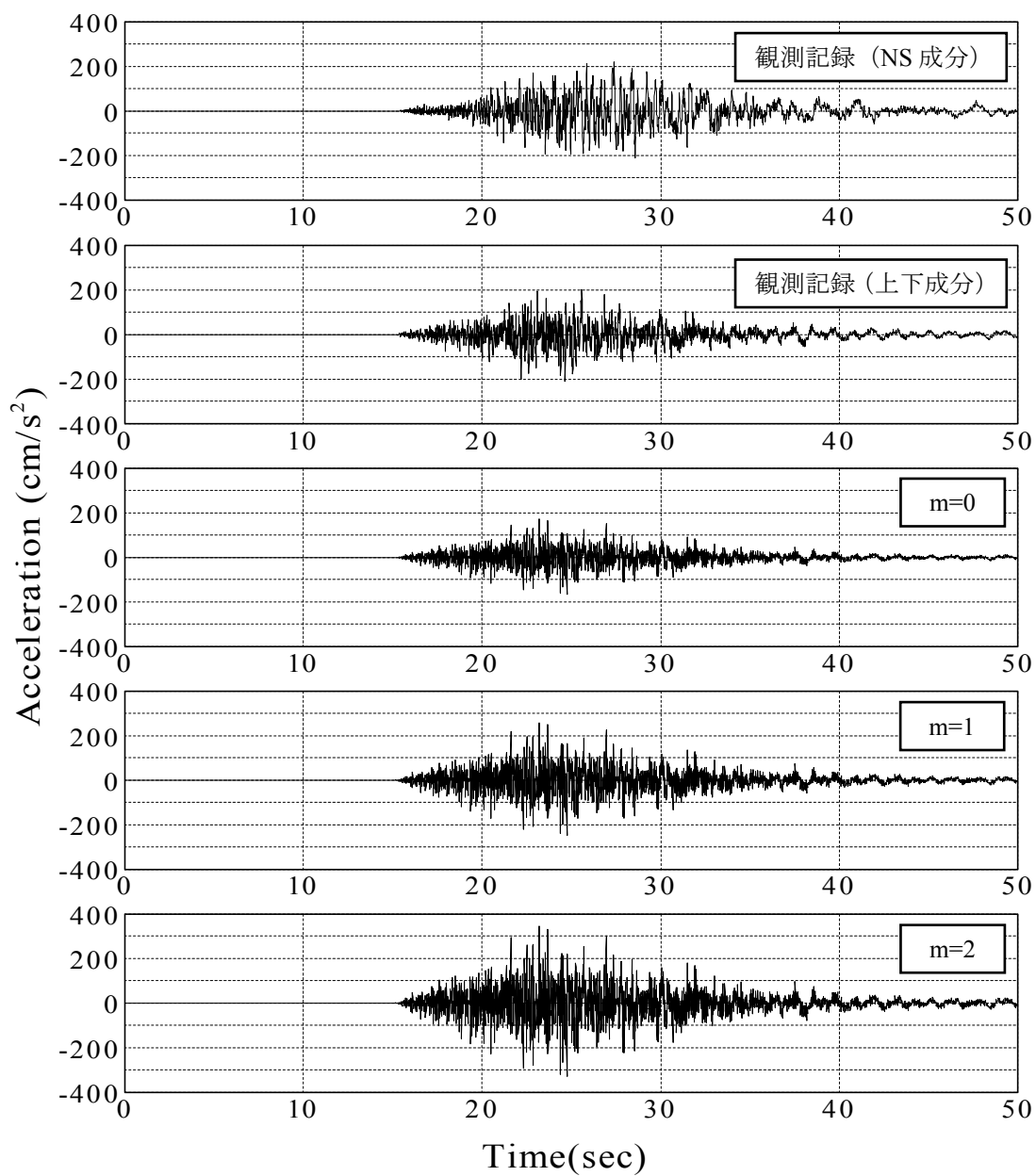


図 6.2.25 岩手・宮城内陸地震における K-NET (IWT010) の上下地震動の比較

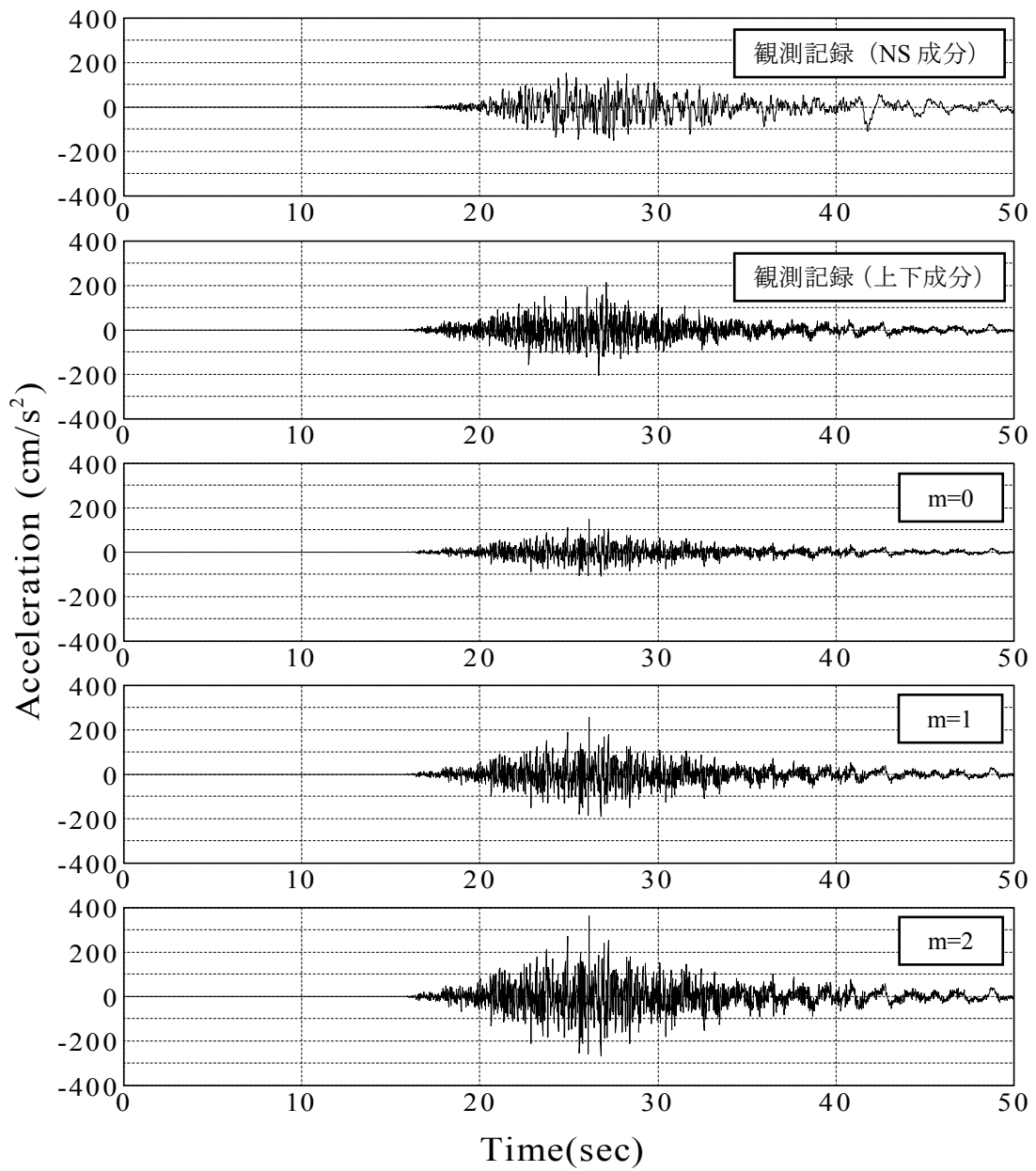


図 6.2.26 岩手・宮城内陸地震における K-NET (IWT011) の上下地震動の比較

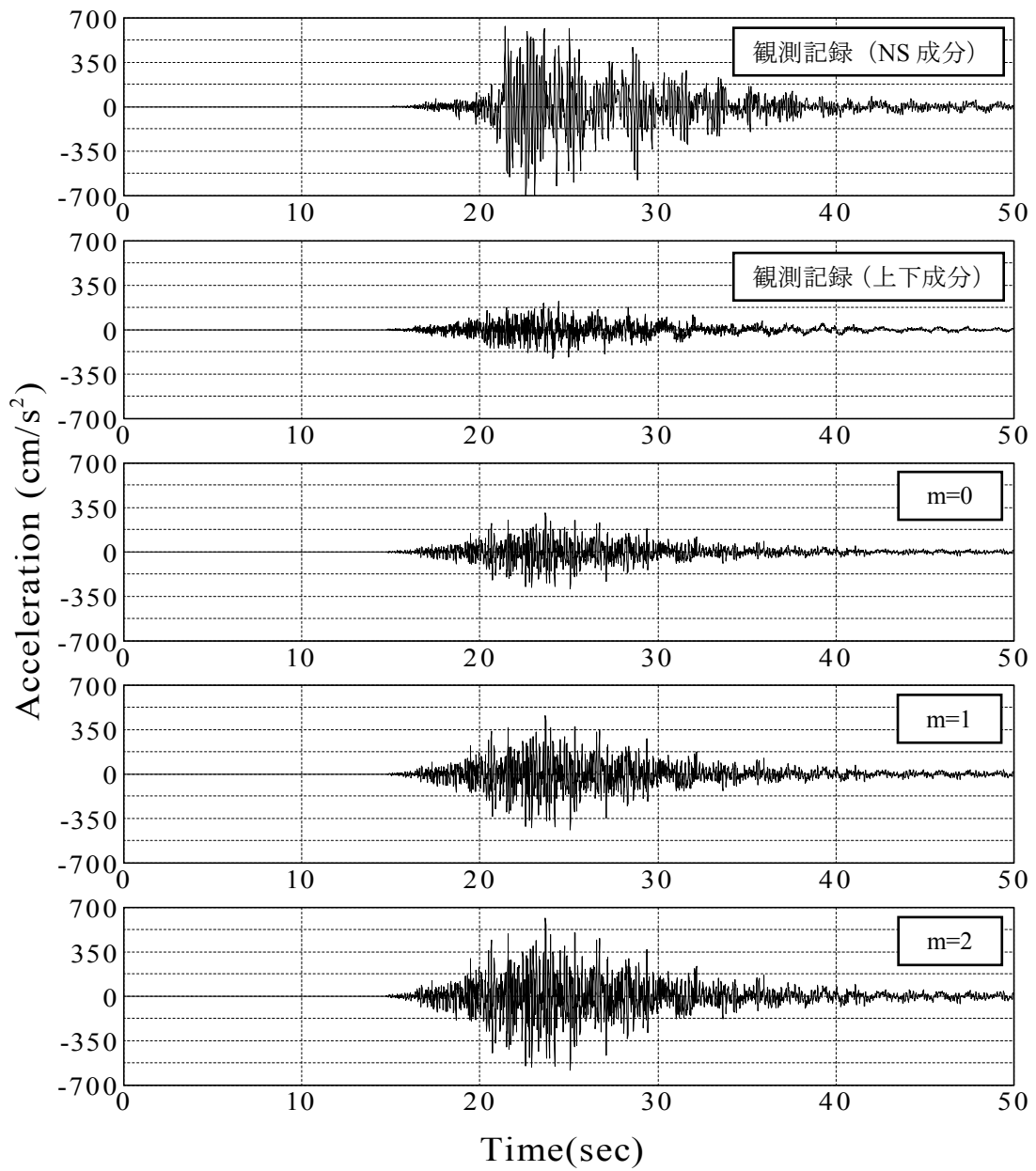


図 6.2.27 岩手・宮城内陸地震における K-NET (MYG004) の上下地震動の比較

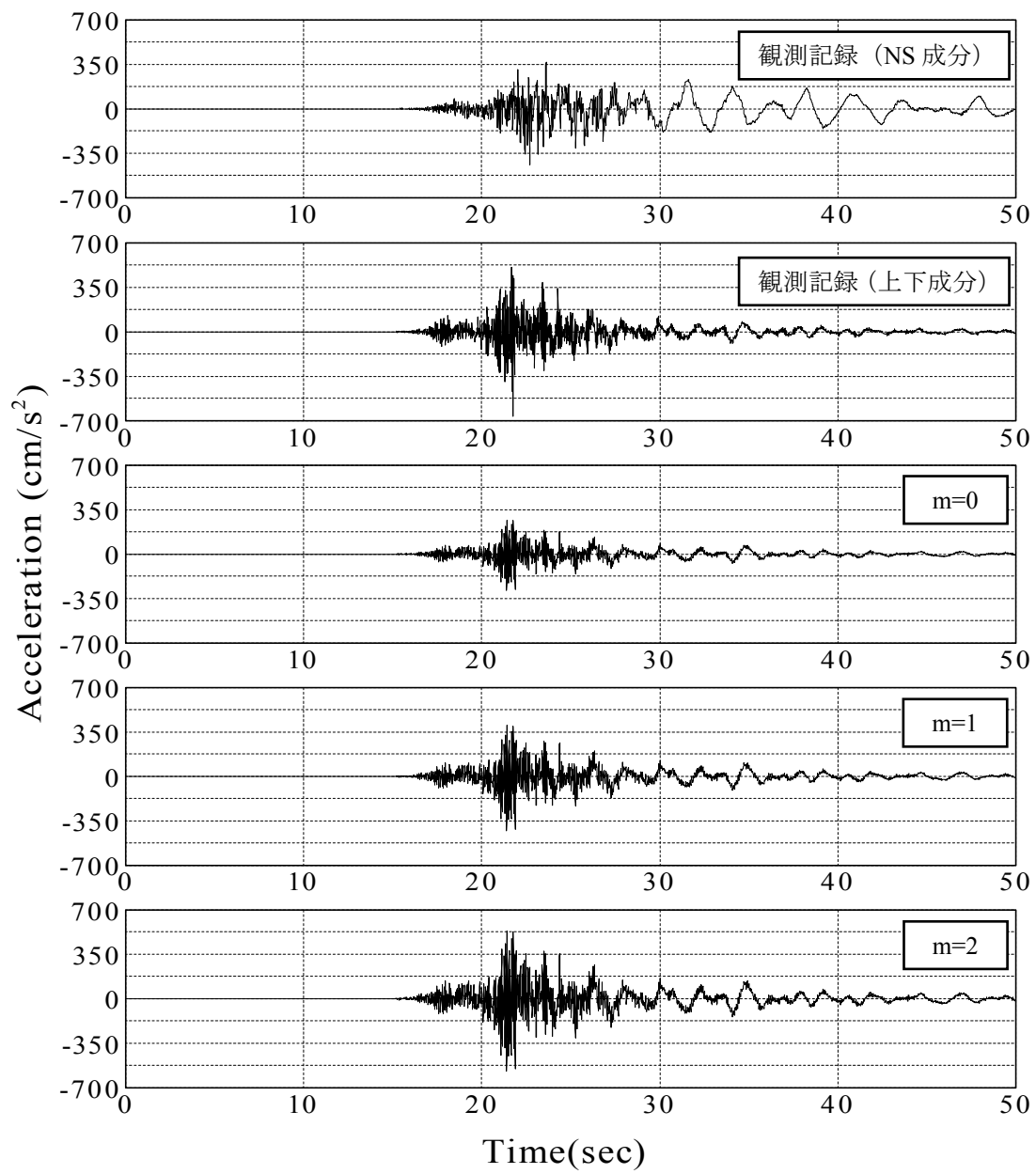


図 6.2.28 岩手・宮城内陸地震における K-NET (MYG005) の上下地震動の比較

6.3 まとめ

本章では、**第5章**で提案した因果性位相波と**第4章**で求めた地震動上下成分と水平成分のフーリエ振幅スペクトル比 $|V(T)|/|H(T)|$ ，地震動水平成分波形を用いた地震動上下成分波形の作成方法の妥当性の検証のため，表 4.2.1 に示した 9 個の内陸被害地震の観測記録を用いて，地震動上下成分の加速度波形の作成を行なった．フーリエ振幅スペクトル比のモデル式は，「平均値」 ($m=0$) ，「平均値+標準偏差」 ($m=1$) ，「平均値+2×標準偏差」 ($m=2$) とし，それぞれの場合について地震動上下成分波形を作成した．そして，本論文で提案した，地震動水平成分波形と因果性位相波を用いた地震動上下成分波形の作成方法により，地震動上下成分波形の作成が可能となることを示した．

