

新潟県中越地震と宮城県沖地震における地震波特性

01A3772 藤井 浩一郎
 01A3786 山城 生
 担当教員 烏野 清

1. はじめに

2004年10月23日発生した新潟中越地震では、数多くの震度観測点で震度6弱以上の大きな地震を観測した。今回の地震は直下型地震であり、本震では特に川口町で震度7を記録し、数日経過しても震度6以上の余震が続いた。この地震での被害は死者40人、重軽傷者4546人に及び、新潟県全域での被害総額は約3兆円に達した。地震が起きた地域は丘陵地であり、斜面崩壊や地盤の隆起などの被害が目立っている。

2003年5月26日18時24分頃、宮城県沖の深さ71kmを震源とするマグニチュード(M)7.0の地震が発生し、岩手県南部や宮城県北部で震度6弱が観測された。本地震は東北地方に面した海側から陸側に向かって、斜めに沈み込んだ太平洋プレートの内部で圧縮力が働いたため、ひずみが溜まり、垂直方向のズレが発生した典型的な『プレート(内)型地震』である。最大余震はM4.9であった。この地震での被害は死者はなかったものの、負傷者174人で、特に岩手県と宮城県に集中した。マグニチュード(M)7クラスとしては大被害をもたらす直下型地震に比べ、被害規模は小さかった。これは直下型地震と異なり、震源が71kmと深かったことや、地域的に冬季の豪雪対策として施されている建物1階部分の強度が十分であったと思われる。

本研究は防災科学技術研究所が設置運営しているK-NETおよびKiK-netの震度観測点データの中から両者の地震波をダウンロードし、本震と余震の関係や地震波の特性について解析したものである。

2. 新潟県中越地震の特徴

図-1は新潟県中越地震の本震および余震の震源位置およびK-NETの地震観測点を示したものである。○は震源位置、●は解析対象とした観測点で 種地盤のNIG019(小千谷)、NIG020(小出)、NIG021(十日町)、種地盤のNIG022(塩沢)、種地盤のNIG025

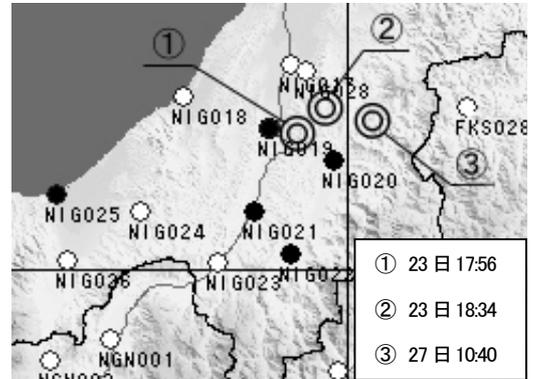


図-1 新潟県中越 震源と観測点

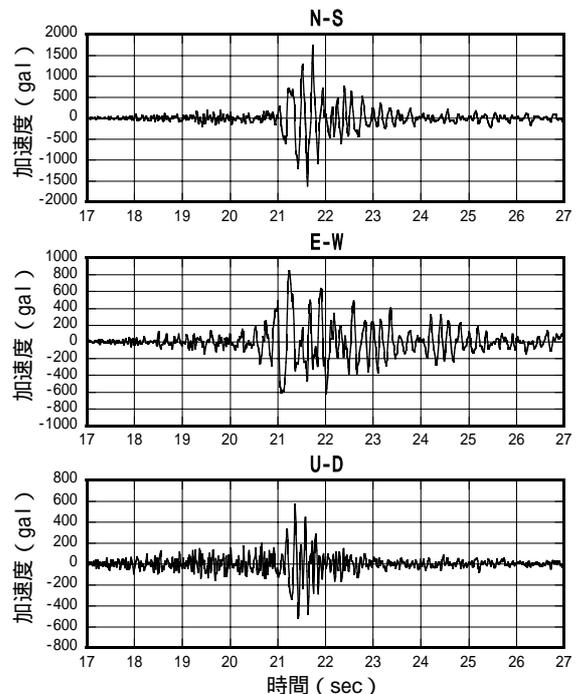


図-2 時刻歴 NIG021(十日町)

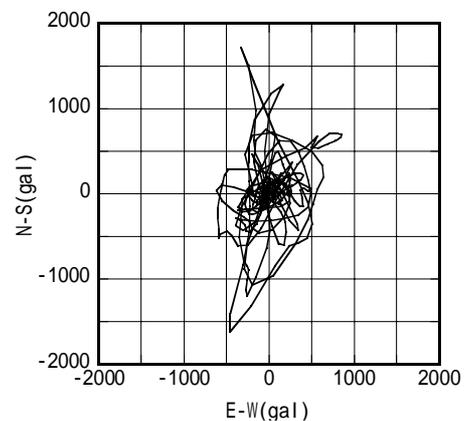


図-3 地震動水平軌跡 NIG021(十日町)

表-1 最大加速度(gal)

日付	時刻	マグニチュード(M)	震源深さ(km)	NIG019 小千谷 I(12.2)	NIG020 小出 I(6.0)	NIG021 十日町 I(8.3)	NIG022 塩沢 II(2.1)	NIG025 直江津 III(1.5)
10月23日	17:56	6.8	13	1307.9	521.4	1715.5	342.1	200.4
10月23日	18:12	5.9	12		275.9		77.7	83.9
10月23日	18:34	6.3	14		526.6	815.5	231.9	115.8
10月23日	19:46	5.9	12	432.1	150.6	83.5	50.7	40.5
10月27日	10:40	6.1	12	495.8	530.3	226.7	130.3	46.9

I、II、IIIは地盤種別 ()内は地盤の固有振動数Hz

(直江津)を示す。地盤種別は観測点における地盤特性を用いて、式 $T_G = H_i/V_{si}$ (i :層数)より算出する地盤の固有周期 T_G (sec)をもとに、I種地盤 $T_G < 0.2$ 、II種地盤 $0.2 < T_G < 0.6$ 、III種地盤 $0.6 < T_G$ により区別した。

表-1に解析した観測点の最大加速度を示す。本地震の特徴は震源深さ12~14kmと浅く、本震後、比較的短期間に連続してかなり大きな余震が

発生したことであり、最大加速度は十日町で1715.5galとなっており、M7.2の兵庫県南部地震の最大加速度に比べ、マグニチュード(M)が小さいにも関わらず、約2倍近い加速度となっている。これは地震波の卓越振動数が高いだけでなく、地震観測網が整備されたことや、地震計そのものの精度が向上したことによるものと思われる。

図-2は十日町で観測された地震波の時刻歴を示す。主要動の継続時間が2秒程度と非常に短い。図-3は、図-2のN-S成分とE-W成分を合成した地震動の水平軌跡を示したもので南北方向の振動が卓越していることが判る。

図-4は十日町で観測された本震およびM6以上の余震の地震波形から、減衰定数 $h=0.05$ として求めた加速度応答スペクトルである。10月27日を除けば、固有振動数4~5Hzの構造物が大きく共振することが判る。一方、木造住宅などの固有振動数である2~3Hzではスペクトルが小さくなっており、兵庫県南部地震に比べて一般住宅の被害が少なかった理由の1つと考えられる。

図-5は本震における地盤種別ごとの地震波のフーリエスペクトルを示す。震源が内陸であるため、III種地盤の観測点では大きな加速度が測定されているが、I種地盤ではかなり小さいものであった。これらの観測点のI種地盤では4~5Hz、II種地盤では1.5~5Hz、III種では1.7Hzが卓越している。

図-6は図-2の十日町で観測されたN-S方向の加速度を、K-WAVEで積分し算出した速度を示す。同様に、図-7も小千谷の加速度から算出した速度である。両者を比較すると、最大加速度は十日町が大きいですが最大速度は小千谷が上回っている。これは、小千谷における地震波の卓越振動数が小さいためと考えられる。

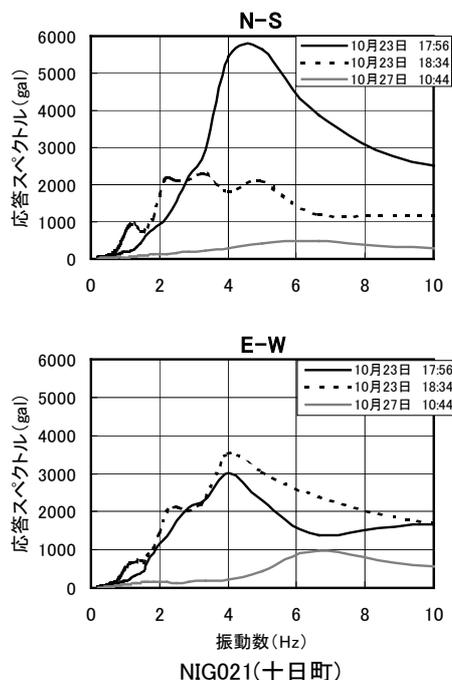


図-4 加速度応答スペクトル ($h=0.05$)

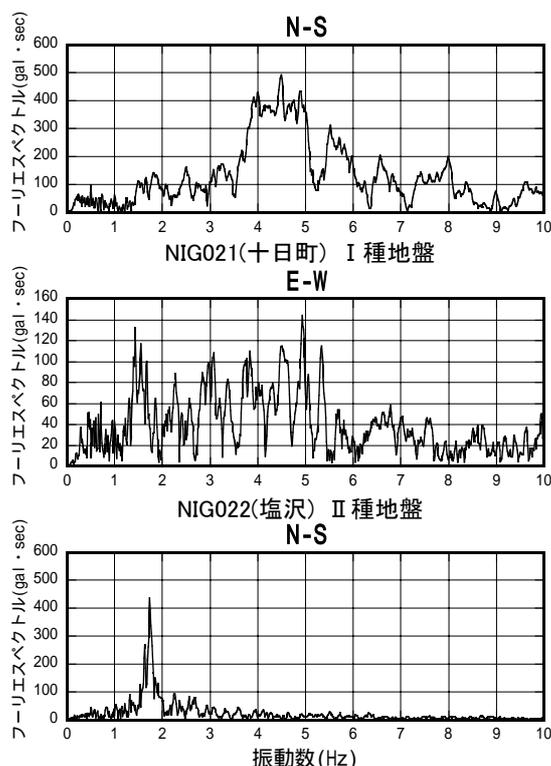


図-5 地盤種別フーリエスペクトル

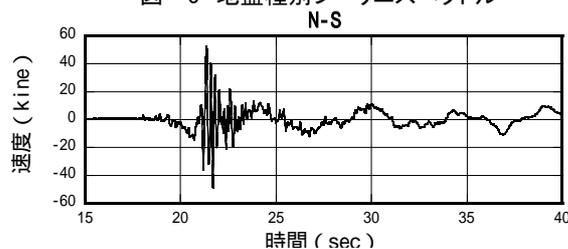


図-6 NIG021(十日町)速度

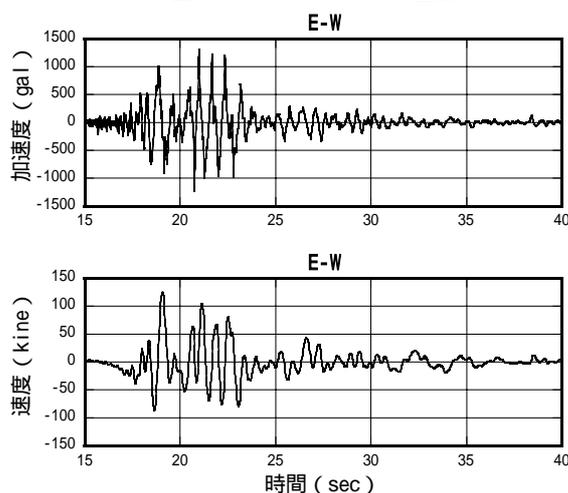


図-7 NIG019(小千谷)加速度と速度

図 - 8 に示す共役断層により、本震で地盤沈下した箇所が 10 月 27 日の余震では隆起したという情報が得られたことから、地震波形を比較することとした。観測点は図 - 1 および表 - 1 より、各震源に等距離で、しかも最大加速度がほぼ等しい小出の観測波形を用いた。図 - 9 は本震と M6 以上の余震の地震波形の主要動部分の時刻歴を比較したものである。N - S 方向ではどの波形も酷似しており、E - W 方向では 17:56 と 18:36 の波形は類似しているが、27 日の波形はほぼ逆位相に近い形状になっている。本震と余震の地震波形がこれだけ一致することは珍しいことといえる。ただし、他の観測点ではこの傾向は明確に現れなかった。今回の断層活動は図 - 8 のように本震、余震と共に両側から圧力を受けて、片方がもう片方へ乗り上げるように動く「逆断層型」であり、波形からも図 - 8 に示す共役断層であることが確認された。

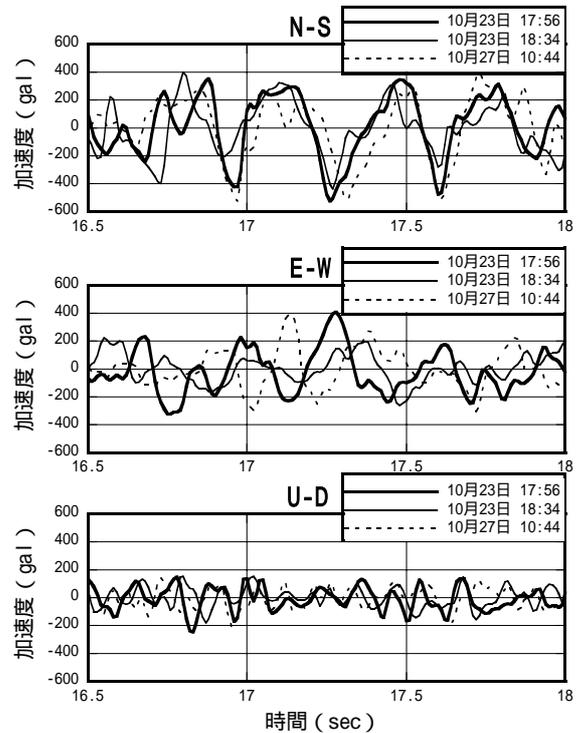
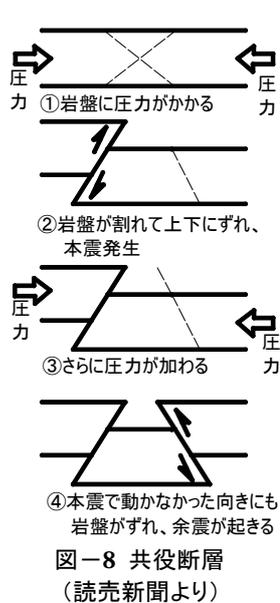


図 - 9 NIG020(小出)時刻歴の比較

3. 宮城県沖地震の特徴

図 - 10 は宮城県沖地震の震源位置および KiK - net の地震観測点を示したものである。震源位置は解析対象とした観測点で、種地盤の MYGH03(唐桑)、MYGH04(東和)、種地盤の IWTH02(玉山)、IWTH04(住田)、IWTH05(藤沢)、IWTH21(山田)、IWTH27(陸前高田)を示す。

表 - 2 に解析対象とした KiK - net の地震観測点における最大加速度を示す。本地震の特徴はプレート型地震の特徴として震源深さが 71km と深く、観測地点により震源までの距離に関係なく最大加速度にばらつきがみられる。

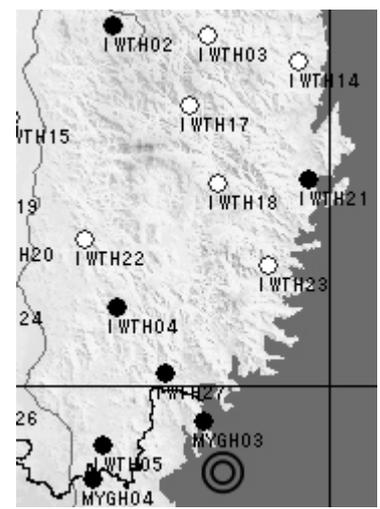


図 - 10 宮城県沖 震源と観測点

国土地理院のGPS観測でも震央に近いところで地表変位量は小さく、約 30km離れたあたりで変位量が最大約 1.5cm、さらに震央から遠ざかるにつれて再び小さくなっているという結果が報告されている。

図 - 11 に陸前高田の地上で観測された N - S 方向の加速度から算出した速度を示す。図 - 12 は同様に住田の地上における加速度と速度である。両者を比較してみると、最大加速度は陸前高田では N - S 方向に 888.1gal あり、住田の E - W 方向に 722.9gal よりも大きい。しかし、速度は陸前高田の最大値が 15.1kine、住田が 31.3kine と逆になっている。両者とも種地盤であるが、陸前高田の地盤の固有周期が $T_G = 0.272(\text{sec})$ 、住田は $T_G = 0.408(\text{sec})$ となっており、この地盤の固有周期による違いが要因であると推測される。

図 - 13 では、種地盤である観測点を本震の地震波形から減衰定数 $h=0.05$ として求めた地上の加速度応

表 - 2 最大加速度 (gal)

日付	時刻	マグニチュード (M)	震源深さ (km)	MYGH04	MYGH03	IWTH04	IWTH27	IWTH05	IWTH02	IWTH21
				東和	唐桑	住田	陸前高田	藤沢	玉山	山田
5月24日	18:24	7.0	71	I (6.5)	I (8.0)	II (2.5)	II (3.7)	II (2.9)	II (2.6)	II (3.1)
				664.7	809.1	1279.9	888.1	615.0	795.6	711.1

I、II、IIIは地盤種別 ()内は地盤の固有振動数Hz

答スペクトルを N - S 方向、E - W 方向ごとにまとめ、それぞれを比較した図である。住田、玉山を除くと、固有振動数 6 ~ 8Hz の構造物が大きく共振することが判る。

4. 地震の比較

表 - 3 は新潟県中越地震、宮城県沖地震、兵庫県南部地震の N - S 方向、E - W 方向、U - D 方向での最大加速度と最大速度を観測した地点を示したものである。小千谷の E - W 方向の速度は 125.5kine と兵庫県南部地震で観測された最大速度と同じ程度の値が得られていた。

表 - 4 は解析した両地震と兵庫県南部地震の各最大速度値から建物被害の木造建物全損確率と非木造建物全損確率を算出したものである。建築基準法が設計式や配筋の強化を始めた昭和 47 年、新耐震設計法が導入された昭和 57 年で分類されている。宮城県沖地震では最大速度が小さく、木造建物、非木造建物共に全損がほぼ無いと予測されており、実際の住宅被害も全壊 2 棟、半壊 21 棟、一部破壊 2404 棟であった。一方、新潟県中越地震において昭和 57 年以前の建物は全体的に大きな被害と予測されており、実際の住宅被害は全壊 2867 棟、半壊 9349 棟、一部損壊 92111 棟と宮城県沖地震に比べ大きくなっている。兵庫県南部地震の被害は全壊 104906 棟、半壊 144274 棟、一部破壊 263702 棟である。最大速度は新潟県地震を下回っているが、被害は大きい。これは兵庫県南部地震が古い木造住宅が多く、建物が密集している都市で起こった為だと考えられる。

5. まとめ

新潟県中越地震では、本震および余震の地震波形において類似性が認められた。

《参考》強震ネットワーク K - NET <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>

基盤強震観測網 KiK - net <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>

内閣府防災部門 「地震被害想定支援マニュアル」

<http://www.susono.info/~new/nsvc/siryu/manual/>

表 - 3 地震の最大加速度と最大速度

地震名	日時	観測点名	最大加速度(gal)			最大速度(kine)		
			N-S	E-W	U-D	N-S	E-W	U-D
新潟県中越地震	2004.10.23 17:56	小千谷(NIG019)	1147.4	1307.9	820.2	98.8	125.5	28.5
		十日町(NIG021)	1715.5	849.6	564.4	52.8	50.0	13.6
宮城県沖地震	2003.5.26 18:24	住吉(IWTH04)	729.6	723.0	1279.9	31.1	31.3	14.4
		陸前高田(IWTH04)	888.1	556.1	636.5	15.1	11.7	8.1
兵庫県南部地震	1995.1.17 5:46	神戸海洋气象台	617.3	818.0	332.2	80.3	96.5	42.9
		葦台	688.0	800.7		59.6	126.9	

表 - 4 最大速度の予測全損率(建築年別)

	観測点	最大速度(kine)	木造建物			非木造建物	
			~昭和46年	昭和47年~56年	昭和57年~	~昭和56年	昭和57年~
兵庫県南部地震	神戸海洋气象台	90.0	59%	30%	11%	13%	3%
宮城県沖地震	WITH04(住田)	31.3	2%	0%	0%	0%	0%
新潟県中越地震	NIG020(小千谷)	125.0	84%	56%	25%	24%	6%

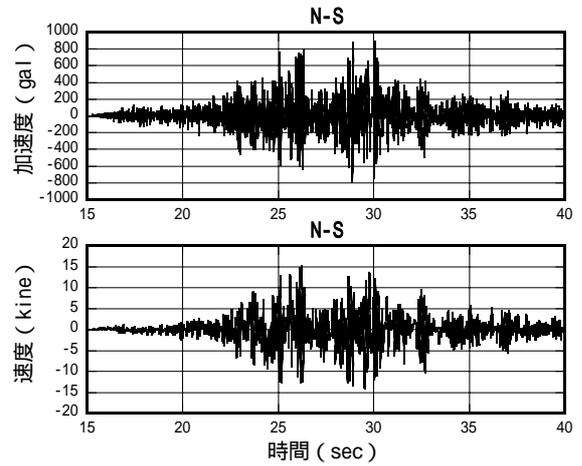


図 - 11 IWTH27(陸前高田) 5月26日 18:24 地表

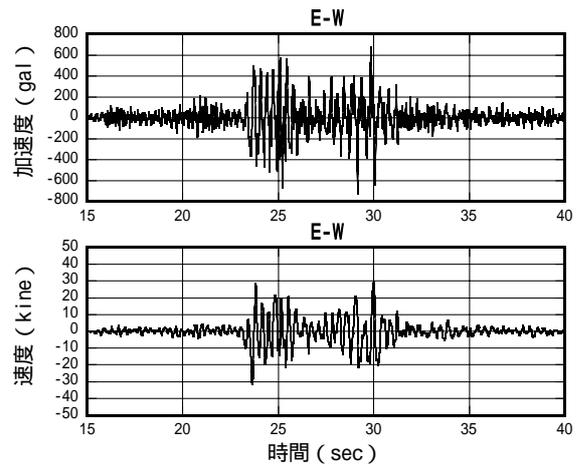


図 - 12 IWTH04(住田) 5月26日 18:24 地表

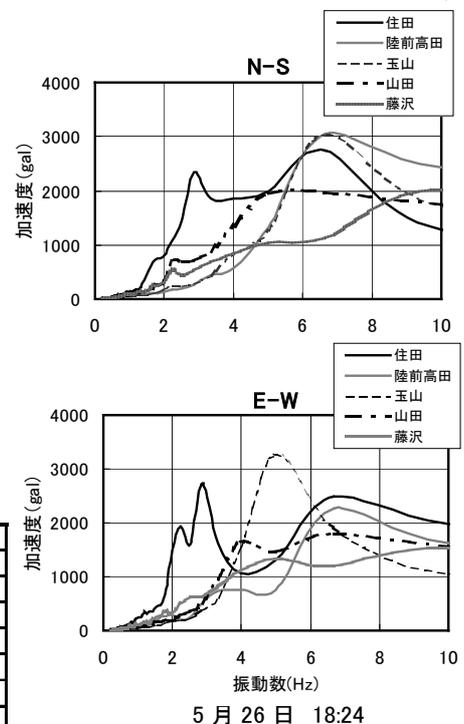


図 - 13 加速度応答スペクトル比較 地表