

2011年東北地方太平洋沖地震で観測された
宮城県における地震動の特性

○張 文進¹・松崎 裕²・川島 一彦³

¹東京工業大学 大学院理工学研究科 土木工学専攻（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）
²正会員 博（工） 東京工業大学助教 大学院理工学研究科 土木工学専攻（同上）
³フェロー 工博 東京工業大学教授 大学院理工学研究科 土木工学専攻（同上）

1. はじめに

防災科学技術研究所と気象庁によって公開されている東北地方太平洋沖地震の強震記録に基づき、地震動加速度および加速度応答スペクトルの観点から、宮城県北部仙台平野地区の強震記録を検討した結果を報告する。

気象庁の遠地波形分析によると、本地震は最低三箇所の地殻が連続的に破壊して発生したと考えられている。そのため、各地の観測点では少なくとも2つの波群を有する地震動が観測されており、岩手県では前半の波群が、福島県以南では後半の波群が卓越しているのに対して、宮城県では2つの波群が同程度に卓越している。宮城県、福島県、茨城県、栃木県の広範囲で気象庁震度は6以上となり、宮城県栗原市築館では震度7と言われている。

表-1 解析対象とした強震記録

	観測点	最大加速度 (m/s ²)		
		EW	NS	UD
K-NET	築館	12.7	27.0	18.8
	古川	5.71	4.44	2.38
	豊里	6.50	5.68	2.42
	石巻	3.76	4.58	3.31
	塩竈	19.7	7.58	5.00
	仙台	9.82	15.2	2.90
	大和	5.48	4.50	2.16
KiK-net	田尻	2.63	2.46	1.92
	小野田	4.07	4.87	2.70
気象庁	登米市中田町	4.33	3.46	3.37
	大崎市古川三日町	4.56	5.49	3.21
	涌谷町新町	4.38	4.05	3.45
	石巻市泉町	5.97	4.62	4.43
	松島町高城	3.36	3.59	3.18
	仙台宮城野区五輪	3.17	4.09	2.51

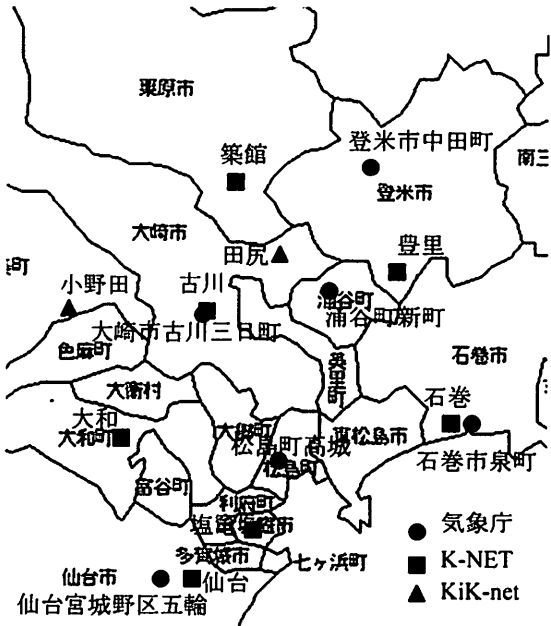


図-1 観測点地図

宮城県の北部には北上川、迫川、江合川、鳴瀬川等の河川流域で軟質な沖積低地から構成される仙台平野がある。ここでは主に図-1に示す仙台平野で観測された表-1に示す15地点の強震記録を解析対象とする。

2. 前半と後半に分けられる波群の特性

図-2は栗原市築館における強震記録（K-NET）である。観測点における地盤条件は図-3の通りであり、岩盤と区分されているが、N値やVsから判断すると風化された岩盤のように見える。Vsは地表から4mの範囲では100~200m/s、それから少なくとも10mまで約550m/sとなっている。地震加速度は約50s離れて

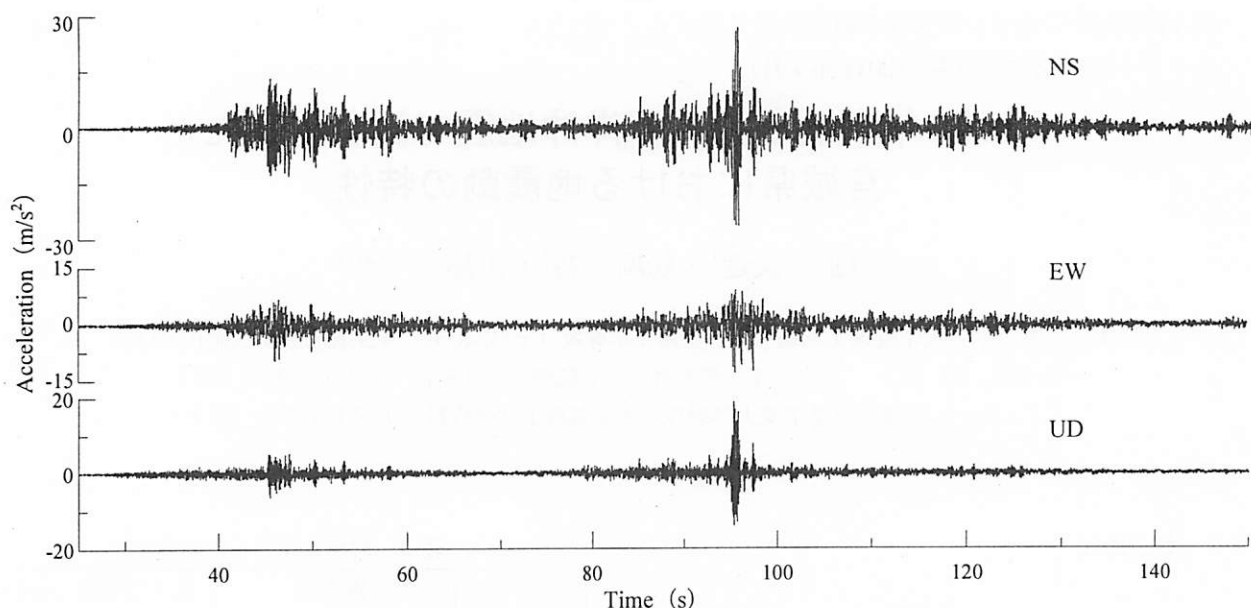


図-2 築館における強震記録

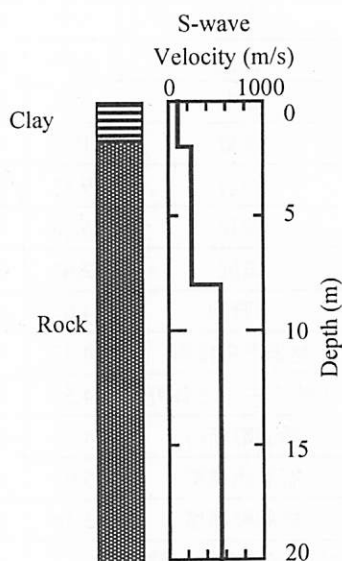


図-3 築館 (K-NET) 観測点
における地盤構成

前半部と後半部に大きな波群を有している。前半部と後半部の波群の中から、前後10s間の主要動加速度を示すと、図-4のようになる。前後半部で加速度振幅は異なっており、一般に、後半部の方が加速度振幅は大きい。

この記録の加速度応答スペクトルを前半部 (0~75s) と後半部 (75~150s) に分けて計算し、これを地震動全体に対して計算した結果と比較すると、図-5のようになる。周期的には前半部と後半部でそれほど変わらないが、加速度応答振幅は後半部の方が前半部より2倍程度大きい。地震動全体の加速度応答スペクトルは周期0.1~0.2sで、 130m/s^2 に達する大きな値とな

っているが、周期1sになると 10m/s^2 以下と小さくなり、構造物に対して影響の大きな地震動ではない。

築館ではほとんど家屋の被害が生じておらず、毎回の地震の度に指摘されているように気象庁震度階と家屋被害の関係があてにならないことを示している。構造物の被害を議論する際には気象庁震度階を用いてはならないと考えられる¹⁾。

15記録に対して、図-5と同じ解析をした結果が図-6である。多くの記録では固有周期0.2~0.5sの短周期領域で加速度応答スペクトルが卓越しており、 30m/s^2 を超える地点も多い。構造物の耐震性評価に重要な周期1~2sの領域に着目すると、応答スペクトル値は後半部の方が前半部より大きい。周期1.2sで 22m/s^2 と大きな応答スペクトル値となるのは大崎市古川三日町 (JMA) における記録、2.2sで 8m/s^2 となるのは涌谷町新町 (JMA) の記録である。ともに軟質地盤上の記録である。これらについては後述する。

3. 軟質地盤上の強震記録の特徴

(1) 古川地区

図-1に示すように、K-NETの古川とJMAの大崎古川三日町間の距離は1.3kmと比較的に近くに位置しており、さらに、ともに自然堤防上に位置している。古川観測点の地盤条件は図-7の通りであり、地表から17mまでは V_s が 130m/s^2 以下の軟質なシルトと砂の互層である。一部に有機質土が存在する。被害調査によると、この周辺地区では液状化による地盤被害が生じていると言われている²⁾。

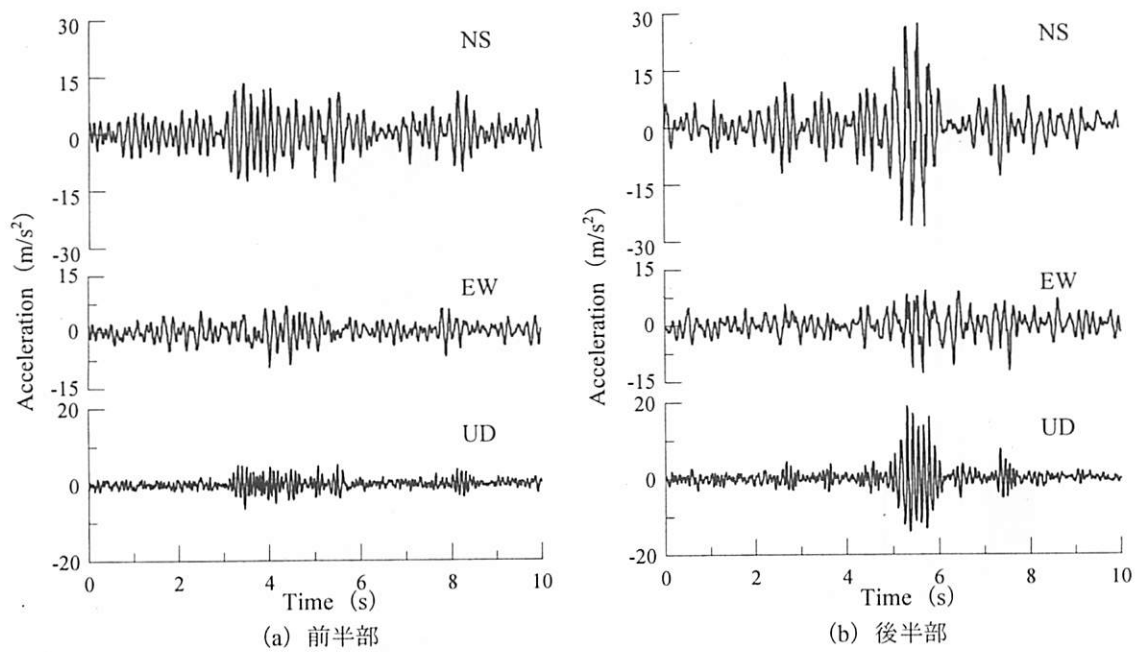


図-4 前半部および後半部の10s間の地震動加速度（築館）

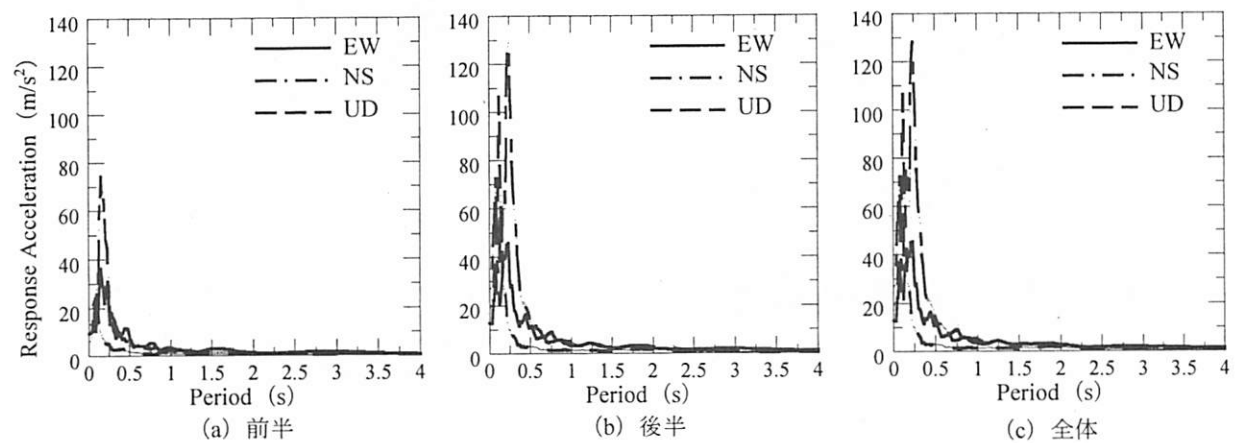


図-5 前半部、後半部及び全体の加速度応答スペクトル（築館）

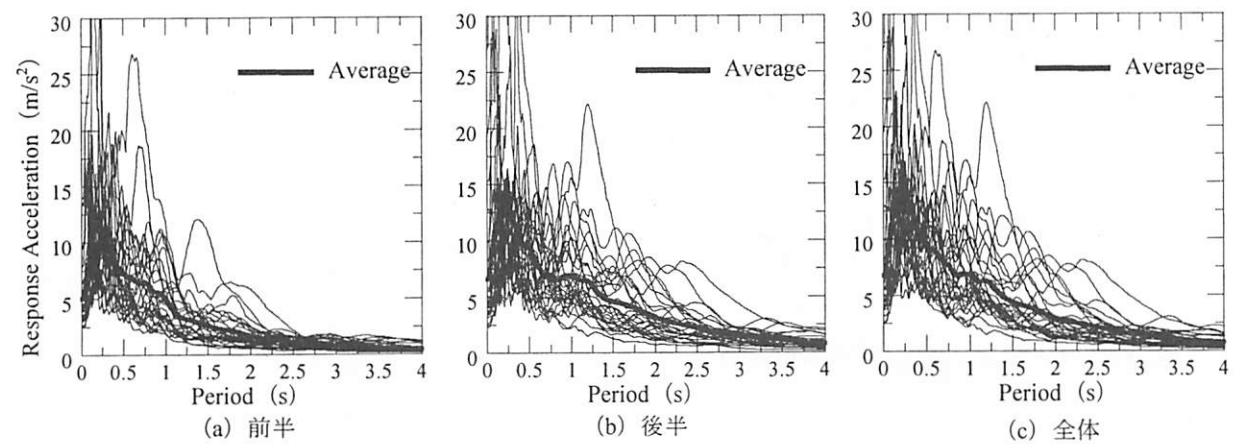


図-6 表-1 に示した15地点における強震記録の加速度応答スペクトル

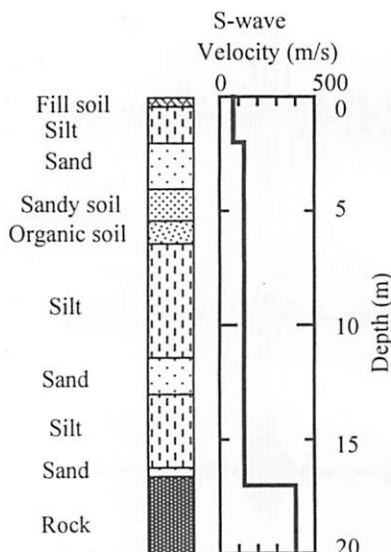


図-7 大崎市古川 (K-NET) 観測点における地盤構成

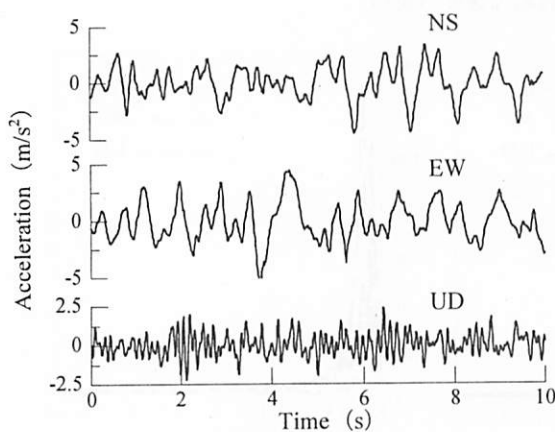


図-8 古川 (K-NET) における強震記録 (後半部)

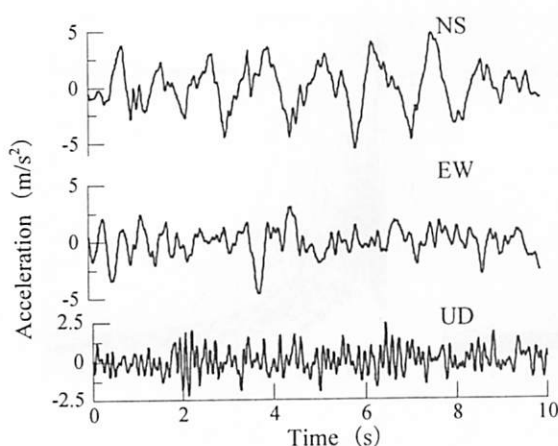
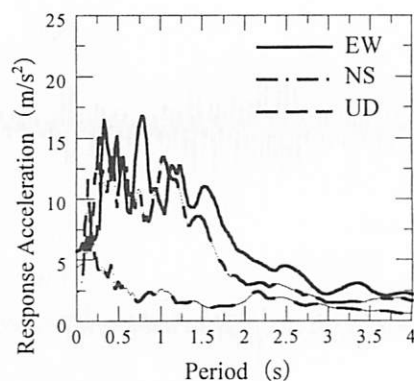
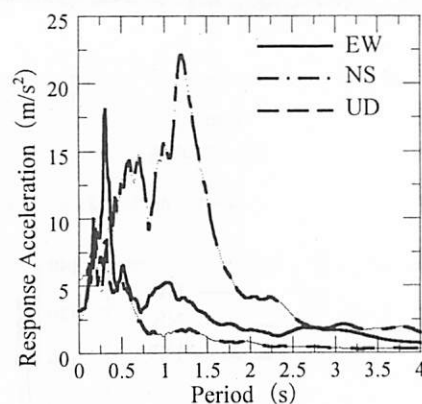


図-9 大崎市古川三日町 (JMA) における強震記録 (後半部)



(a) 古川 (K-NET)



(b) 大崎市古川三日町 (JMA)

図-10 加速度応答スペクトル

図-8、図-9に2か所で記録された地震動加速度のうち、最大値となる時間を含む前後10秒間の波形を示す。2か所の地震動加速度を比較すると、EW成分の3.7sやNS成分の5.9sのように2か所に共通して特徴のある波形がみられる。また、各地点における加速度応答スペクトルを図-10に示す。K-NET古川で観測された地震動は、周期0.3～1.5sにおいて卓越し、この間では加速度応答スペクトルは10～17 m/s^2 となる。JMA古川三日町で観測された地震動においては、周期1.2s付近で22 m/s^2 に達する大きな応答加速度がNS成分に生じている。地盤条件の影響を反映しているものと考えられる。

カットオフ振動数を0.1Hz、49Hzとして、フーリエ変換により2回積分して求めた地震動変位を図-11に示す。最大変位は、古川ではEW方向に0.3m、NS方向に0.16mであるのに対して、古川三日町ではEW方向に0.26m、NS方向に0.23mである。

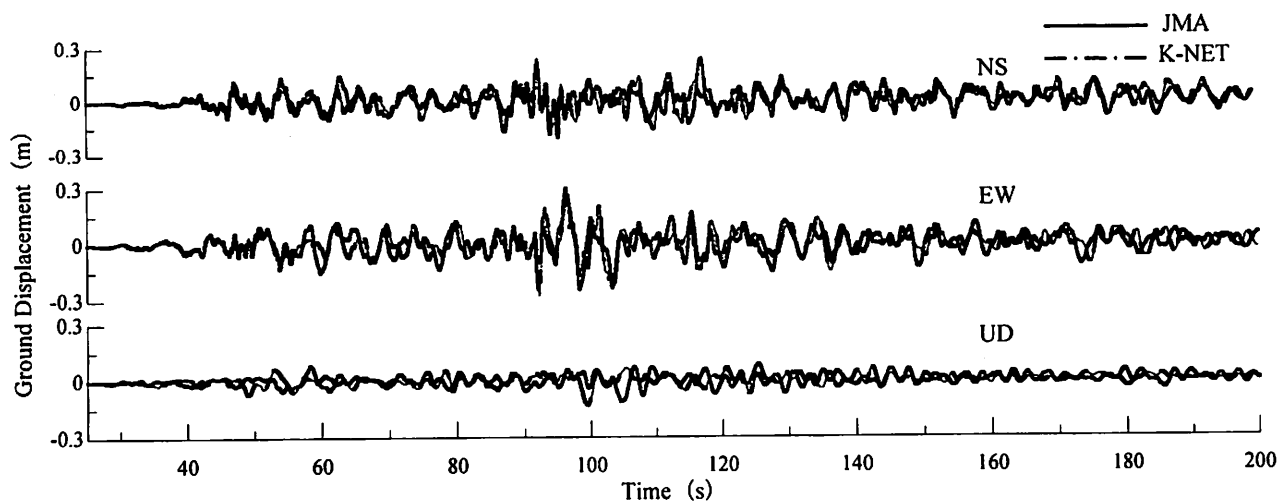


図-11 古川における2か所の変位の比較

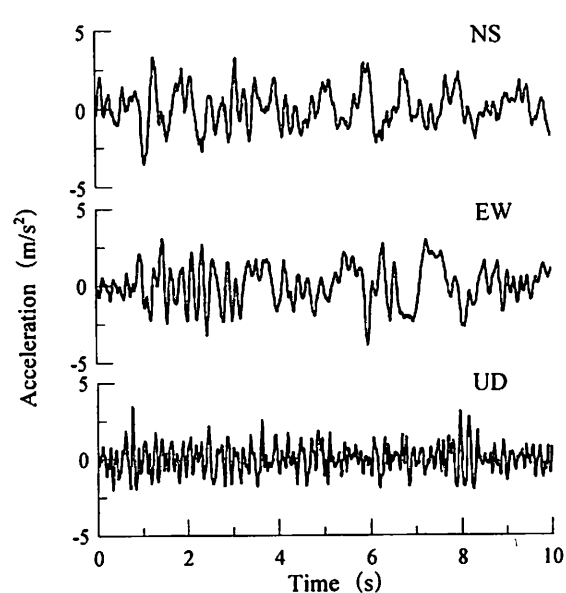


図-12 後半部の10s間の地震動
(涌谷町新町)

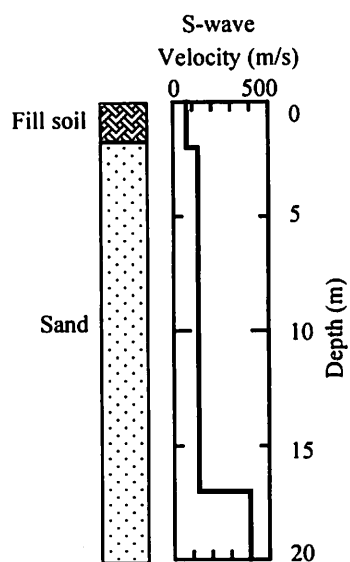


図-14 石巻 (K-NET) 観測点
における地盤構成

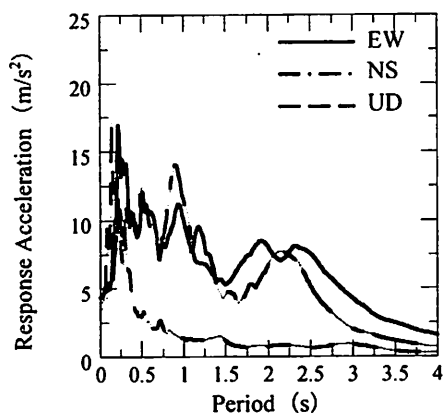


図-13 加速度応答スペクトル
(涌谷町新町)

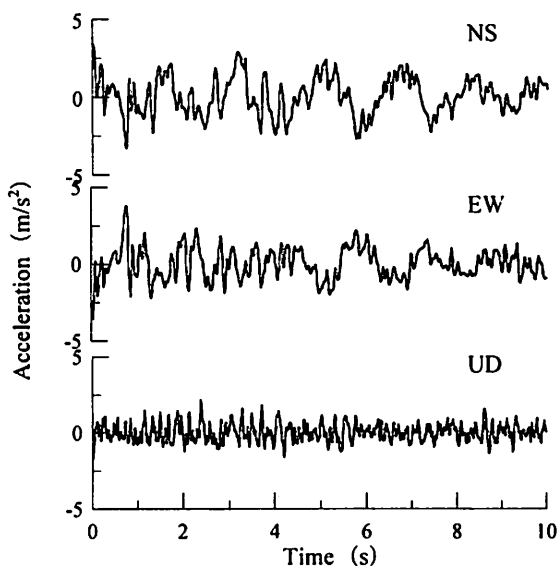


図-15 後半部の10s間の地震動 (石巻)

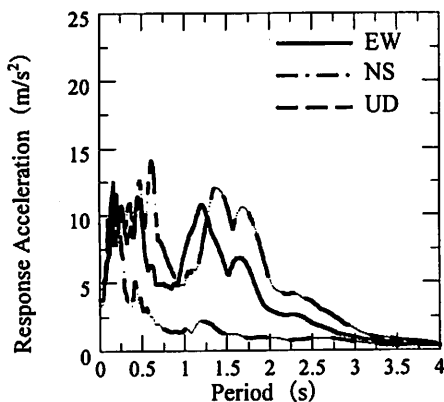


図-16 加速度応答スペクトル (石巻)

(2) 涌谷地区

涌谷においては地盤柱状図が得られないが、周辺の地形条件から非常に軟質な地盤条件の個所と推定される。図-12および図-13は地震動加速度および加速度応答スペクトルである。応答加速度は周期0.1~1s間で 10m/s^2 程度であり、周期1.8~2.5sにおいて 8m/s^2 程度と大きな値となっている。

(3) 石巻地区

図-14は石巻 (K-NET) 観測点の地盤条件であり、砂質地盤が地表から少なくとも20m続いている。Vsは $300\sim 320\text{m/s}$ である。地震動加速度及び加速度応答スペクトルを示すと、それぞれ図-15、図-16の通りである。周期0.1~0.6s及び1.1~1.8sにおいて応答加速度は 10m/s^2 程度となっている。

(4) 登米市中田町地区

登米市中田町 (JMA) の地震動加速度及び加速度応答スペクトルを図-17、図-18に示す。応答加速度は周期0.1~0.5sの範囲で最大 22m/s^2 と卓越しているが、周期1s及び1.5~2sの範囲でも $8\sim 9\text{m/s}^2$ と大きな応答となっている。

(5) 仙台地区

図-19に示すように、地表面から5mまでN値が5以下のシルト質土 (Vsは $70\sim 170\text{m/s}$ の範囲) であり、その下は地表面下14mまでが礫層、さらにその下は岩盤となっている。礫層のVsは 400m/s である。地震動加速度及び加速度応答スペクトルを図-20、図-21に示す。波形の特徴から、液状化が生じたと考えられる。応答加速度は周期0.1~1sの範囲で 15m/s^2 (最大 27m/s^2) と大きな値となっている。

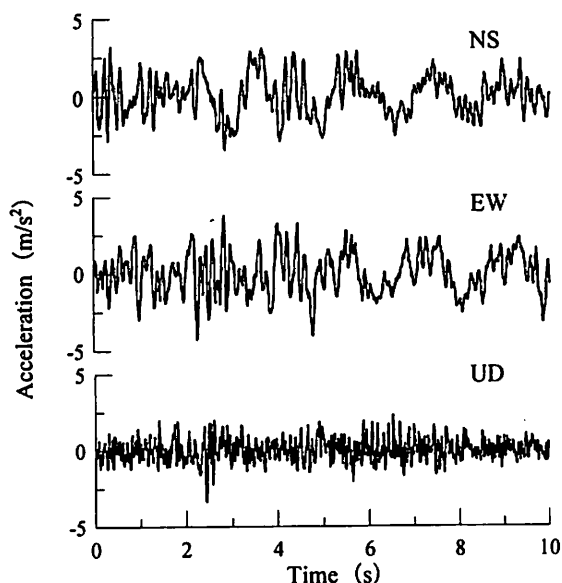


図-17 後半部の10s間の地震動
(登米市中田町)

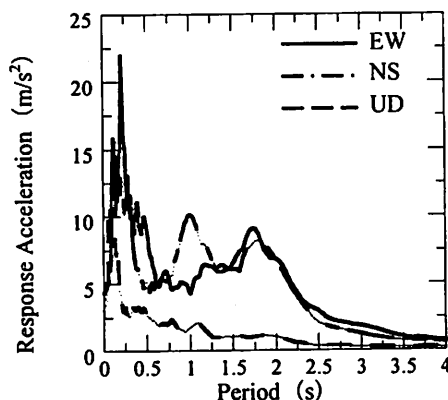


図-18 加速度応答スペクトル
(登米市中田町)

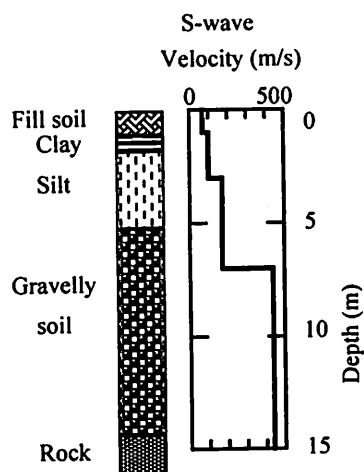
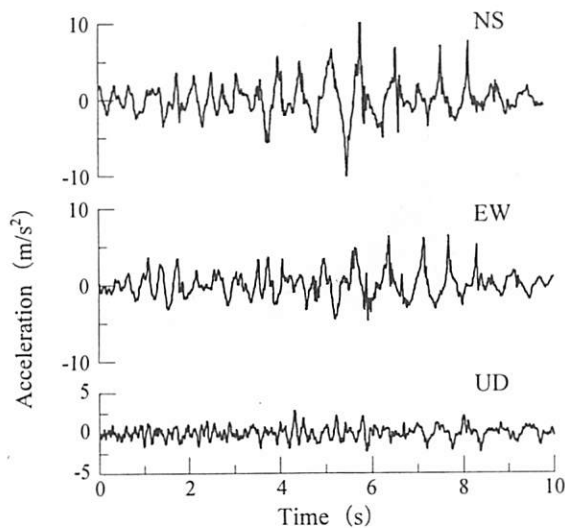
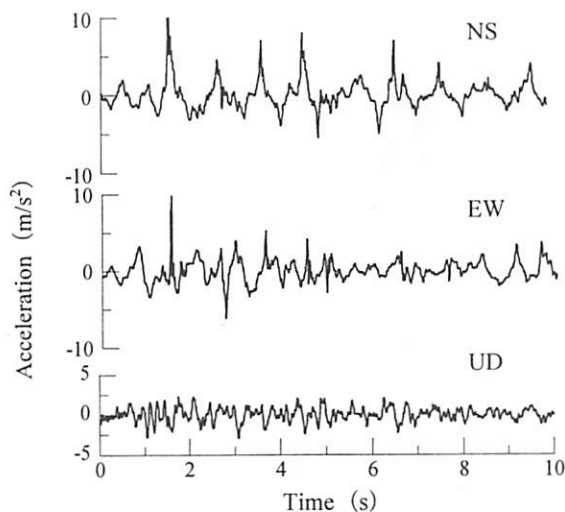


図-19 仙台 (K-NET) 観測点における地盤構成



(a) 前半部



(b) 後半部

図-20 前半部及び後半部の10s間の地震動(仙台)

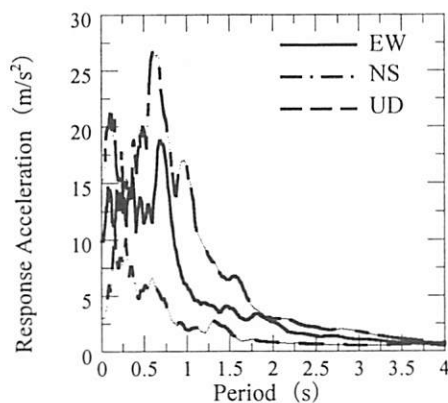


図-21 加速度応答スペクトル(仙台)

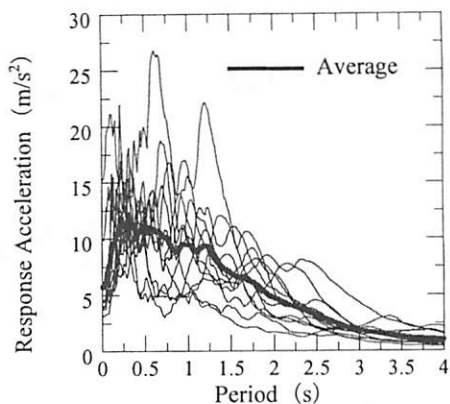


図-22 軟質な地盤における加速度
応答スペクトル

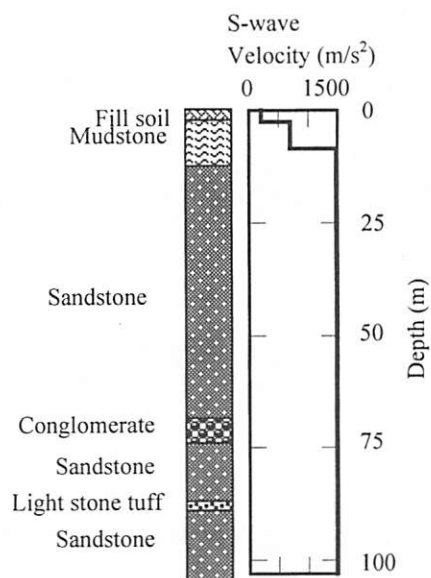


図-23 田尻 (KiK-net) 観測点に
おける地盤構成

(6) 以上6地点の地震動の特徴

以上の6地点の地震動の加速度応答スペクトルを示すと、図-22のようになる。

4. 地中の地震動の特性

宮城県大崎市田尻町ではKiK-netの観測点として、地表の他に地表面下100mで地震動加速度が得られている。地盤条件は図-23に示す通りであり、砂岩、泥岩、礫岩、凝灰質砂岩を主体とし、 V_s は1480m/s程度である。

図-24、図-25は地表及び地中における加速度記録及び加速度応答スペクトルである。地盤条件が良いため、地震動加速度、加速度応答スペクトルともに地表から100m位置においては地表の70%程度の値となっている。

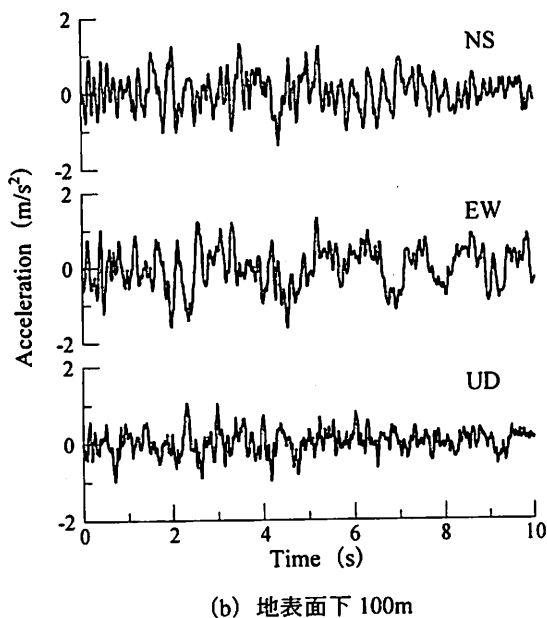
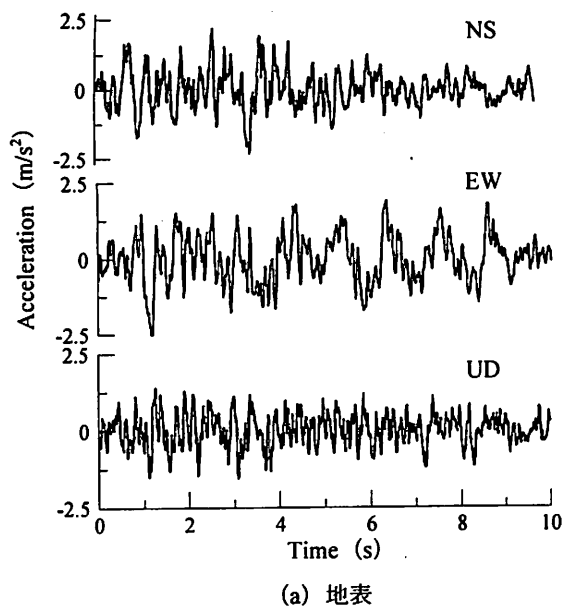


図-24 田尻における後半部の10s間の地震動

5. 結論

2011年東北地方太平洋沖地震により、仙台平野でK-NET、KiK-net及びJMAにより観測された合計15点の強震記録をもとに、地震動を検討した。検討結果をまとめると、以下の通りである。

- (1) K-NETの強震記録には、固有周期0.3s以下で卓越し、周期1sになると応答加速度が 5m/s^2 以下となる記録も多数あり、これが、総じて建築物も含め橋梁等構造物の地震動による被害が限定的であった理由の1つと考えられる。

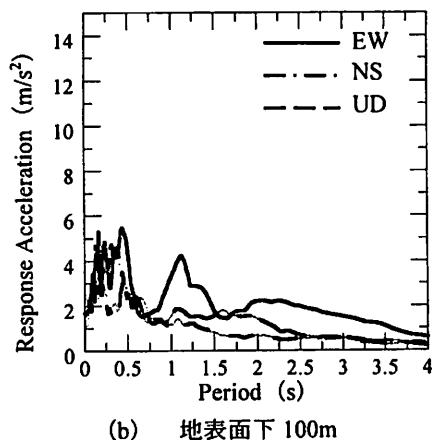
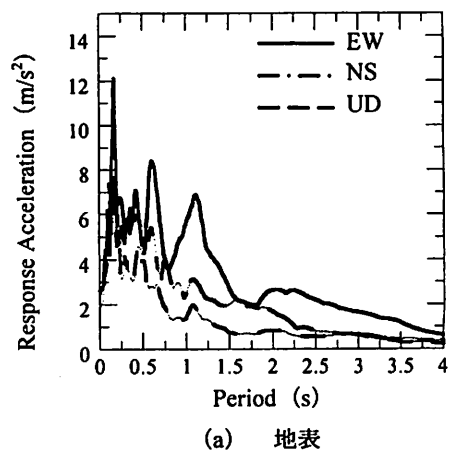


図-25 田尻における地表及び地中
加速度応答スペクトル

- (2) しかしながら、古川、涌谷、石巻、登米、仙台など、軟質な地盤上では、周期1sにおいて応答加速度は 10m/s^2 以上と大きく、中には 13m/s^2 以上となる地点もある。地震動と構造被害の関係は、もう少しミクロに検討する必要がある。
- (3) 断層の破壊特性により、前半部と後半部に分かれて2つの波群がある。加速度振幅については、これらの大小関係があるが、周期特性について両者間に顕著な違いは認められない。

謝辞：本検討には防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net及び気象庁の強震記録を使用させて頂いた。関係者のご努力に厚く敬意と謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会：地震動研究の進展を取り入れた土木構造物の設計地震動の設定法ガイドライン(案)，2009。
- 2) 土木学会地震工学委員会：土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書，2011。