

(37) 鉄道沿線における近年の地震動記録とその特徴

(財)鉄道総合技術研究所 正員 齋田 淳
 (財)鉄道総合技術研究所 正員 中村 豊

1. はじめに

この2年ほどの間に、大きな被害地震が多発している。これらの地震の際には、時として1g近い記録が観測されるなど、非常に大きな加速度が記録されている。JRでは鉄道の沿線に400カ所以上の警報地震計を設置しており、こういった地震の際にはこれらの地震計により地震動が記録される。

ここでは、JR沿線で記録された近年の大加速度記録を集約し、加速度波形と速度応答スペクトルの特徴を述べるとともに、観測点周辺に生じた被害についても述べる。

2. 最大加速度波形の特徴と周辺の被害

対象とする記録を表1にまとめた。また各地震の断層の破壊方向と余震域、観測点の位置を図1に示す。なお、警報地震計の最大加速度値(発表値)は5Hz以下の成分に対するベクトル合成値である。これに対し、波形記録は10Hz以下の周波数成分を対象としているため、以下に示す加速度値は発表された最大加速度値とは値が異なっている。また、継続時間は加速度の振幅が最大加速度値の20%を超えている時間とした。各地震の際に最大加速度が観測された加速度波形を図2に、その波形から求めた速度応答スペクトル(減衰率 $\eta=5\%$)を図3に示す。各地震ごとの加速度波形と速度応答スペクトルの特徴、ならびに観測点周辺の被害概況は次の通りである。

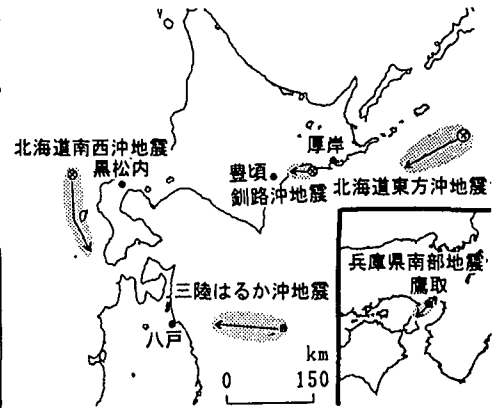


図1 対象地震の震源と観測点

表1 対象地震と最大加速度

地震名(発生日月)	規模 M_{JMA}	観測点名	発表最大加速度 (Gal)	震央距離 (km)	地震計種別
釧路沖地震(93/01/15)	7.8	豊頃駅	370	69	NEWS
北海道南西沖地震(93/07/12)	7.8	黒松内駅	480	91	NEWS
北海道東方沖地震(94/10/04)	8.1	厚岸駅	926	233	NEWS
三陸はるか沖地震(94/12/28)	7.5	八戸駅	425	194	NEWS改
兵庫県南部地震(95/01/17)	7.2	鷹取駅	635	14	SM-10A

釧路沖地震($M_{JMA}=7.8$): 豊頃駅 加速度波形は継続時間が約14秒で、比較的高い周波数が卓越している。速度応答スペクトルの水平方向では、周期が0.7秒や2秒で90kine程度となっているが、全体的に速度応答値は90kine以下となっている。また常時微動測定の結果によると、この観測点周辺の地盤の固有振動数は6Hzで増幅倍率は10倍と推定される。図3(a)にはこの固有振動数も同時に示しているが、速度応答スペクトルもここにピークがあり、表層

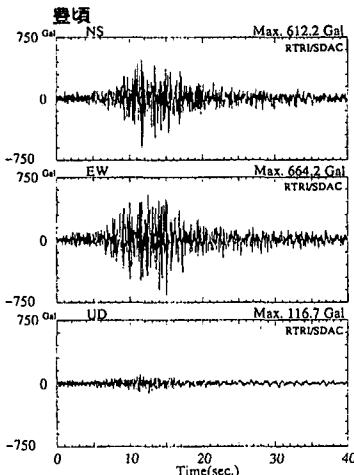


図2(a) 加速度波形(豊頃駅)

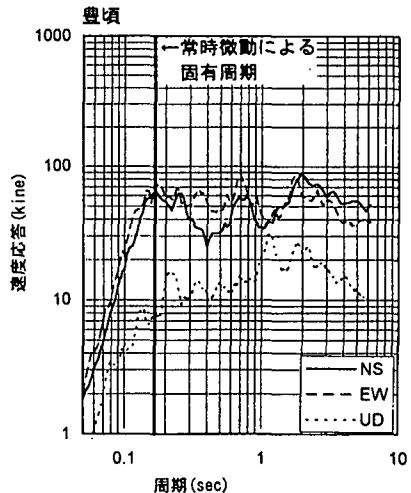


図3(a) 速度応答スペクトル(豊頃駅)

地盤の振動特性の影響が考えられる。豊頃駅では信号機柱が傾斜したほか、周辺で軌道変状が3カ所、伏せび変状が1カ所など地盤に関連した被害も発生している。さらに付近の利別川橋梁(鉄道橋)に可動柵の損傷および桁固定端部のひび割れが多数生じたほか、池田大橋(道路橋)も被害を受けている。

北海道南西沖地震($M_{JMA}=7.8$): 黒松内駅 加速度波形は比較的長周期が卓越する不規則な波形で、継続時間は約62秒と長くなっている。また波形の中には顕著な波群が2~3みられる。これらの現象は、170km×40kmと大きな断層の破壊に起因している。すなわち、この観測点は断層破壊が遠ざかる位置にあるため震動継続時間が長くなっており、また、顕著な波群は断層上の大きな破壊に対応すると考えられる。速度応答スペクトルによると、約4秒で100kineを超えている。4秒より低くなると応答は小さくなり、1秒以上の長周期では50~60kineに下がっている。常時微動測定の結果によると、地盤の固有振動数はおよそ2.5Hzで増幅倍率は12倍と推定される。速度応答スペクトルはこの地盤の固有振動数で最も大きなピークを示しており、表層地盤の振動特性が現れているものと推測される。黒松内駅周辺においては、二股一炭岱間の盛土が長さ360mにわたり最大1.2m沈下する被害が生じている。

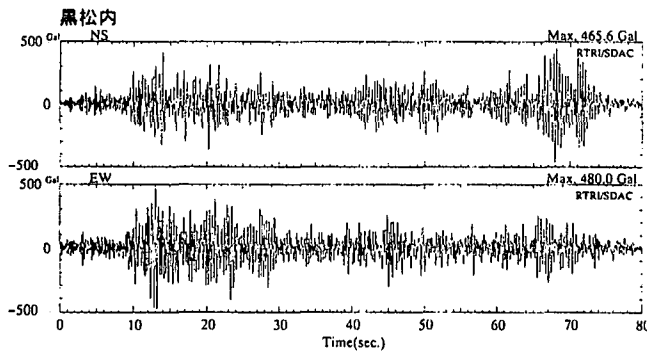


図2(b) 加速度波形(黒松内駅)
(ただしUD成分は再生不良)

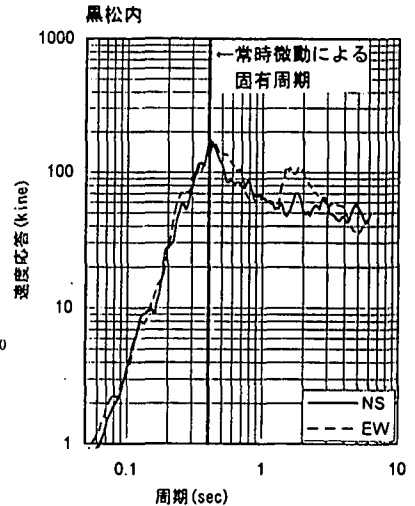


図3(b) 速度応答スペクトル(黒松内駅)

北海道東方沖地震($M_{JMA}=8.1$): 厚岸駅 加速度波形は比較的周期の揃った地震動が約28秒継続している。EW

方向では最大値が700Gal弱なのに対し、NS方向では1000Galを超えている。この観測点は図4に示すとおり背後に緩やかな斜面があり、この影響のために振動方向による差が生じたものと考えられる。また上下方向は最大値が100Gal程度であり、水平成分に対して上下成分が非常に小さくなっている。速度応答スペクトルはNS方向成分が0.3秒周辺で300kine以上の非常に大きなピークを持っているのに対して、EW方向成分は0.2~0.3秒で150kine程度のなだらかなピークを持っており、全体的にはほぼ100kine程度の応答を示しているが、加速度波形と同様NS方向とEW方向で異なった性状をしている。常時微動測定によると観測点付近の地盤の固有振動数は5Hzで、10倍以上

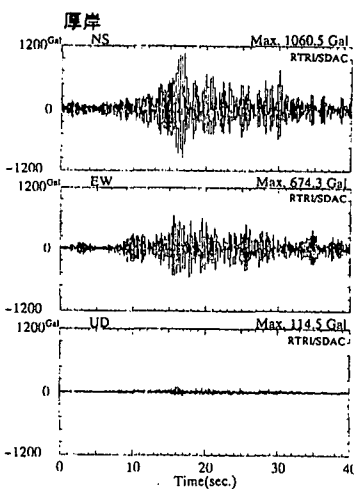


図2(c) 加速度波形(厚岸駅)

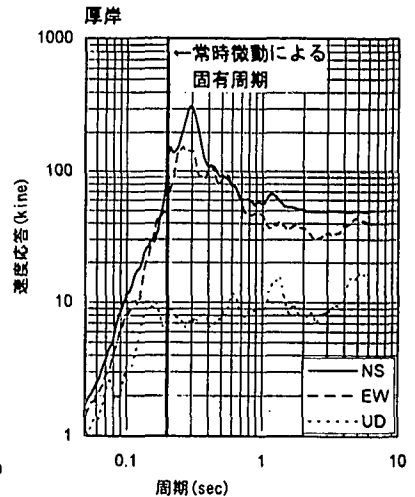


図3(c) 速度応答スペクトル(厚岸駅)

の増幅倍率と推定される。この固有振動数における速度応答スペクトルはNS方向では小さなピークになっているものの、大きなピークはこれよりも長周期側になっており、地盤の非線形化の影響が考えられる。なお、地震後の調査によると、地震計ハット内の地震計を載せたコンクリート台が台周辺の床ブロックに衝突した跡がある。しかし記録された地震波形には非常に高い周波数を持ったパルスノイズが記録されているだけで、10Hz以下の周波数特性の記録への影響は小さかったものと考えている。また観測点付近では特に大きな被害は発生していない。

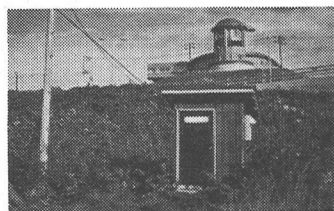


図4 厚岸駅観測点

三陸はるか沖地震($M_{JMA}=7.5$): 八戸駅 加速度波形は比較的高い周波数の地震動が約12秒続いている。この

観測点は図1に示すとおり断層破壊の進行方向に位置しており、継続時間が短くなっていると考えられる。速度応答スペクトルは0.2秒で100kineを超えているが、おおむね20kine程度以下の小さい値となっている。また常時微動から推定される観測点周辺地盤の固有振動数は約1Hzで、増幅倍率は約5倍である。この固有振動数は速度応答スペクトルの最大ピークよりも高くなっている。八戸市内では鉄筋コンクリート一部地上4階、地下1階建てのビルの1階部分が

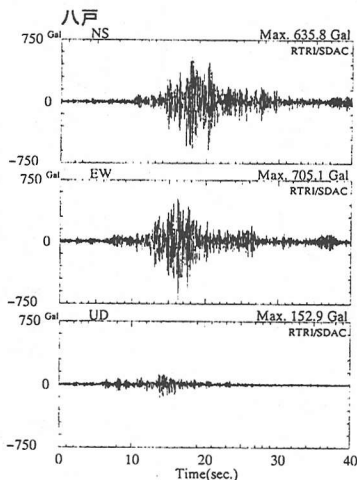


図2(d) 加速度波形(八戸駅)

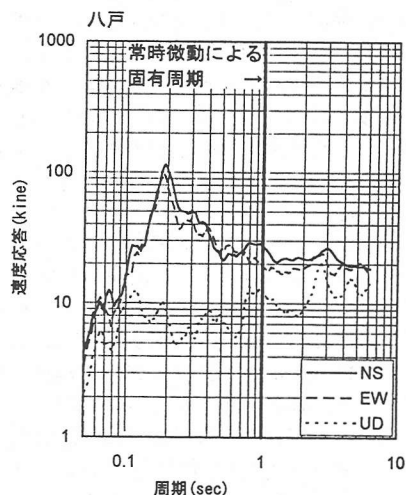


図3(d) 速度応答スペクトル(八戸駅)

が崩壊して死者が出るなど、建築物への被害が多発した。また、鉄道では八戸—陸奥市川駅間で長さ37mにわたり盛土が崩壊し、土砂が1500m³流出する被害が発生している。なお、この被災盛土は、1968年十勝沖地震($40.7^{\circ}N$, $143.7^{\circ}E$ 、深さ約20km、 $M_{JMA}=7.8$)の際にも崩壊している。

兵庫県南部地震($M_{JMA}=7.2$): 鷹取駅 加速度波形は長い周期で約11秒間続いている。この波形の後半部には

鋭いパルス状の特徴的な波形があらわれている。これは模型実験による液状化時の波形と類似しており、観測点周辺で地盤が塑性化したものと推測される。速度応答スペクトルは、0.3秒以上で100kine以上の大きな速度応答値を示しており、約2秒で400kineの最大応答を示している。常時微動から推定した観測点周辺地盤の固有振動数は1.8Hzで、増幅倍率は3~4倍となっている。速度応答スペクトルはこの周波数でも小さなピークを示しているが、最大ピークは長周期

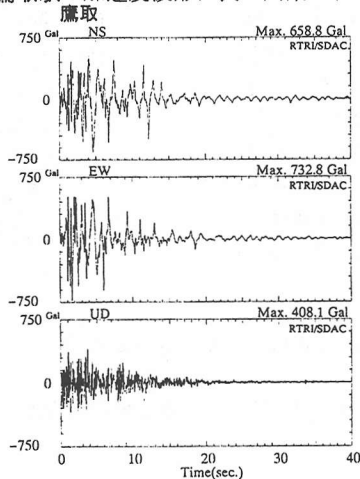


図2(e) 加速度波形(鷹取駅)

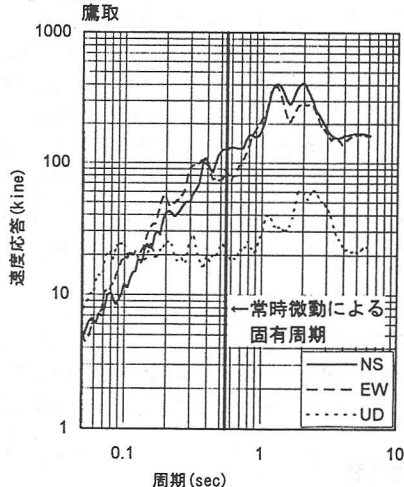


図3(e) 速度応答スペクトル(鷹取駅)

側になっており、このことから観測点周辺地盤の非線形化の影響が考えられる。また、観測点周辺では市街が壊滅的な被害を受けたほか、鉄道関係でも周辺を走行中の列車や操車場・工場内に留置してあった多数の車両が脱線・転覆した。

図5は各観測点における速度応答スペクトルの水平2成分の自乗平均平方根を重ねて表示したものである。一般に速度応答スペクトルは固有周期の長い方でほぼ一定の値となるが、各地震ともピークよりも低い周波数ではほぼ一定の値になっていく様子がわかる。一般にマグニチュードが大きくなるとピークの周期は長くなるが、今回のスペクトルを見ると、必ずしもそうなっているわけではない。前述したように、これは観測点によって速度応答スペクトルが観測点地盤の表層地盤の振動特性に影響されているものがあるためと考えられる。釧路沖地震の豊頃駅のスペクトルのように他の地震と比べてあまり大きなピークを持たないものもあるが、他の地震では0.2~0.7秒の間にピークを持っている。これに対して、兵庫県南部地震の鷹取駅におけるスペクトルはピークとなる周波数が1.2秒と高くなっている。また、速度応答スペクトルが長周期側で一定になる値も、兵庫県南部地震以外は70kine程度、三陸はるか沖地震の八戸駅では30kine程度となっているのに対して、鷹取駅では200kineを超えている。さらにピークまでの高い周波数帯域では、鷹取駅のスペクトルは0.5秒よりも短い周期で他の地震のスペクトルよりも下回っており、他の地震のスペクトルが周期の2乗に比例するようにして増加するのに対し、鷹取駅のスペクトルは周期に比例するようにして増加している。図6に示すように、上下方向の速度応答スペクトルは各観測点でピーク時に20~30kineとなっている他は10kine以下となっているのに対し、鷹取駅のスペクトルは0.07秒よりも長周期側で20kine以上の値になっており、1~2秒周辺では最大60kineと大きな値になっている。上下方向の応答が他に比べて大きくなっていることも鷹取駅の記録の特徴としてあげることができる。

以上述べたように、兵庫県南部地震の鷹取駅におけるスペクトルは他の地震の記録に対していくつかの相違点があるが、特に低い周波数帯域で大きな応答を示していることに大きな特徴がある。

3. おわりに

ここでは、これまでにJR沿線で記録された大きな地震動を例示した。今後これらのデータを元に、地震動の持つ破壊力について検討を加えていく予定である。

最後になりましたが、地震計の保守管理を担当しているJR各社の現場の方々に深甚なる謝意を表します。

参考文献

(財)鉄道総合技術研究所：「JR地震情報」, No. 18(釧路沖地震), 19b(北海道南西沖地震), 21b(北海道東方沖地震), 22(三陸はるか沖地震<印刷中>), 23b・23c(共に兵庫県南部地震)

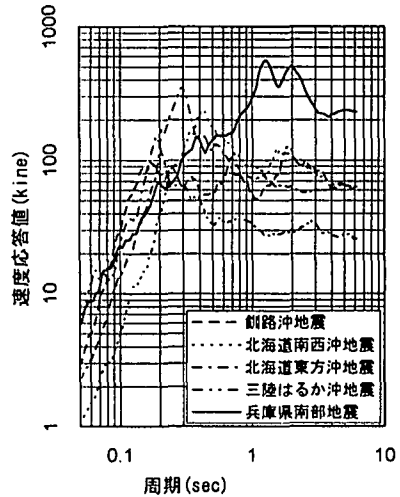


図5 速度応答スペクトル
(水平成分合成：各観測点)

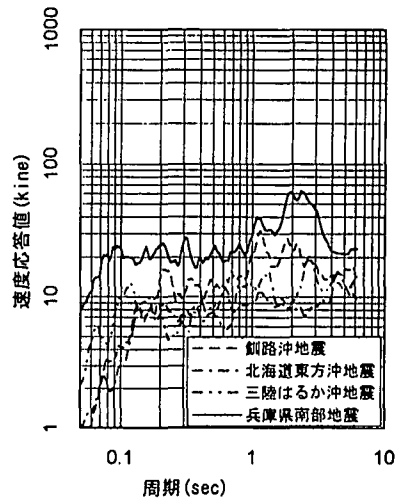


図6 速度応答スペクトル
(上下成分：各観測点)