

北海道の3大地震と兵庫県南部地震の加速度 応答スペクトルについて

中井 健司¹・小林 将²・島田 武³・佐藤 昌志⁴

^{1,2,3}正会員 北海道開発局開発土木研究所(〒062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

⁴正会員 工博 北海道開発局開発土木研究所(〒062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震はマグニチュードが7.2と発表されている。この値は近年北海道周辺で発生した大規模地震のそれと比較すると小さいものである。にもかかわらず、兵庫県南部の淡路・阪神地域から瀬戸内海湾岸地区を中心に関東大震災以降で最大と言われる被害を出す結果となった。本稿は、地震波形の考察が地震による被害を検討するに重要な視点であると考え、兵庫県南部地震で観測された強震記録と北海道開発局の道路部門で管理している強震計の設置地点で観測された北海道における大規模地震の強震記録を比較し、地震波形に現れた各地震動の震動特性を検討するものである。

KeyWord: Seismic-motion, Direction of frequency, Acceleration response spectrum

1. 観測地震波

比較に用いる兵庫県南部地震と北海道周辺で発生した3つの大規模地震について、それぞれの強震記録より水平動方向の加速度波形を図-1に示す。また図-2は図-1の加速度波形の中で釧路沖地震と兵庫県南部地震について、主要部30秒区間を抜き出して時間軸の間隔を広げたものである。図-1より地震波の全体的形状は立ち上がり部分、主動部分、減衰部分に分けられその形は震源特性、表層地盤特性、地形等の影響を複雑に受けて変化すると考えられるが地震の震動特性を考える上で非常に重要な手がかりとなると考えられる。兵庫県南部地震の加速度波形は典型的な直下型地震の形状を示しており、他地震の加速度波形と比較して初期微動、主動の継続時間が極端に短く、それに比べて加速度振幅が非常に大きな値を示している。次に、図-2の主要30秒区間を抜き出した波形を比較すると、釧路沖地震のものは比較的周期が長くほぼ同程度の加速度振幅の波が約20秒間続き減衰している。それに対し、兵庫県南部地震のものは約2秒間初期微動が続いた後、振幅の非常に大きい主動が現れるが、その継続時間は非常に短く5秒程度である。図-3は釧路沖地震と兵庫県南部地震の加速度データよりフーリエスペクトルを求めたものである。釧路沖地震は、0.33Hz卓越振動数を持ち、1.5Hz付

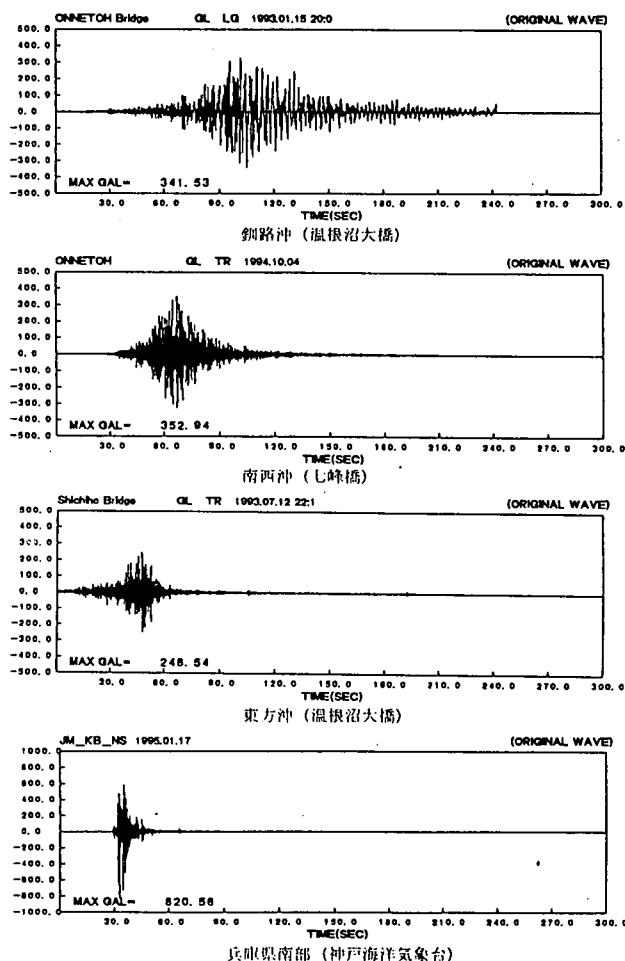
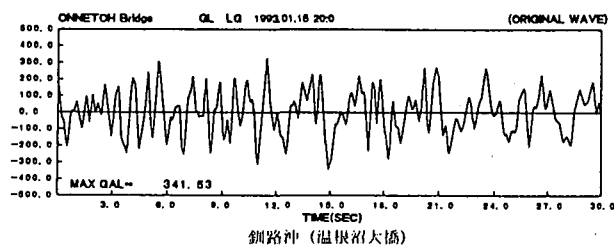
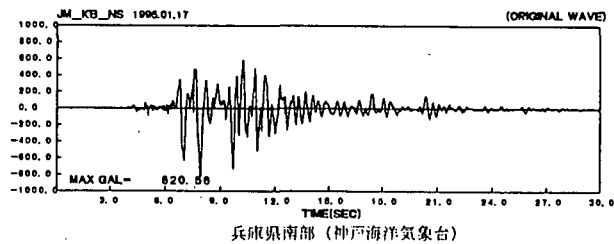


図-1 各地震の加速度波形

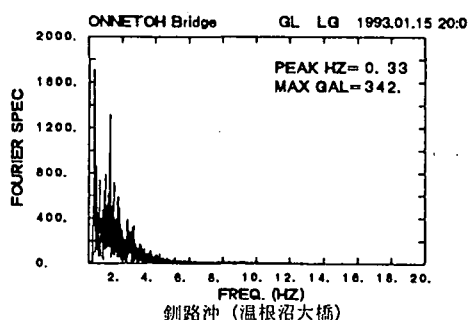


釧路沖 (温根沼大橋)

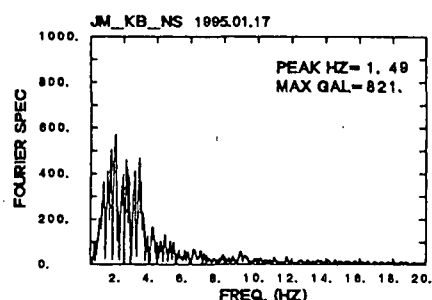


兵庫県南部 (神戸海洋気象台)

図-2 加速度波形の主要部拡大図

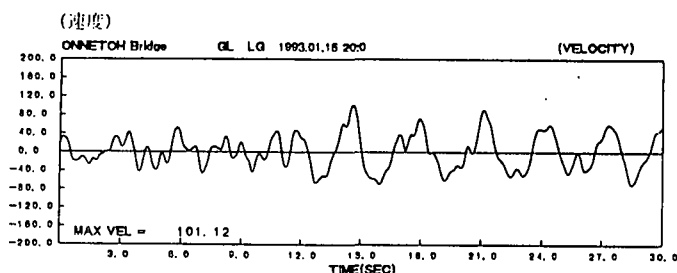


釧路沖 (温根沼大橋)

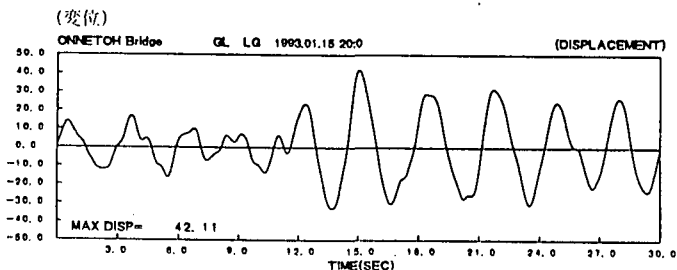


兵庫県南部 (神戸海洋気象台)

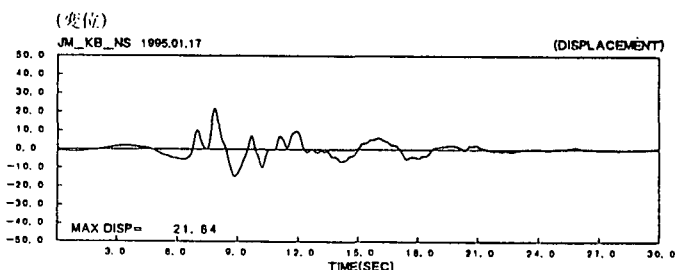
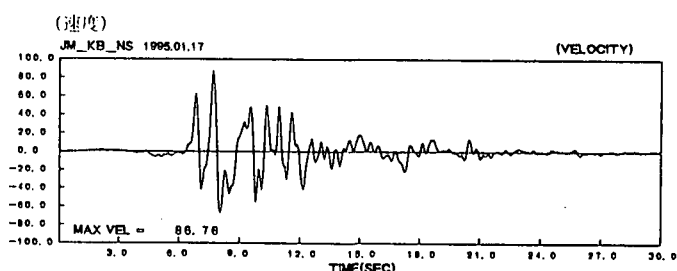
図-3 加速度フーリエスペクトル



釧路沖 (温根沼大橋)



釧路沖 (温根沼大橋)



兵庫県南部 (神戸海洋気象台)

図-4 速度および変位主要部波形 (水平動)

近から高周波領域にむかって緩やかに減少の傾向を見せている。兵庫県南部地震のものは1.49 Hzに卓越振動数を持つが1~3 Hz程度までは、ほぼ同程度の値を有している。図-4は釧路沖地震と兵庫県南部地震の速度・変位記録を示すものである。

速度、変位の求め方は直接積分法により基線補正を行っている。積分値については振動台に変位計を取り付けて検証している。温根沼大橋の記録は加速度は神戸海洋気象台の記録より小さいものの、低周波成分の波が比較的多く含まれていることから、速度で101 cm/sec、変位で片振幅で42 cmと神戸海洋気象台の記録を大きく上回っている。しかしながら、変位の立ち上がりでは神戸海洋気象台が0.2 (1/4波長) secと鋭いことから、加速度記録での加速度変化率(加加速度)が非常に大きな値となっている。

2. 加速度応答スペクトルとスペクトル強度

図-5に各地震動の水平方向成分の加速度応答スペクトルを示す。なお、応答スペクトルは上位より減衰定数を0、2、5、10、20%と変化させた値を示すものである。釧路沖の応答スペクトルは0.5~0.8秒にピークを持つが明らかな減少は3秒付近から始まっている。南西沖地震の応答スペクトルでは0.2秒付近にピークを持ちそのピークをすぎると減少の傾向を見せている。東方沖地震の応答スペクトルは0.2~0.6秒にピークを示している。兵庫県南部地震の応答スペクトルは他のデータより明らかに応答値が高く、減衰定数の変化による応答加速度値の変化する割合が小さいものとなっている。言い換えると、地震波が入力した後に比較的振動が減衰しやすい構造物についても、強制振動と

して大きな外力が加えられるということを示すものと考えられる。また、ピークは0.35秒付近であるが1.0秒より小さい短周期の成分については、非常に高い応答値を示している。通常、硬い地盤は卓越周期が短く短周期のところで鋭いピークをもち、その後急な減少傾向を示し、軟地盤では長周期の部分でなだらかな減少傾向を示すが、本データにおいても同様な傾向が見られる。建築、土木構造物はその固有周期に等しい周期の成分を優勢に持った地震動を受けると共振作用が生じて大きな力が加わることになる。そのような意味で、兵庫県南部地震のスペクトルレベルは、一般的な構造物の固有周期に近い周期の範囲で他の地震の応答加速度をはるかに上回っており、構造物に与えた影響は非常に大きかったであろうと思われる。

を考えると非常に高い値を示している。

表-1 各地震のスペクトル強度

	釧路沖地震 (温根沼大橋)	北海道南西沖地震 (七峰橋)	北海道東方沖地震 (温根沼大橋)	兵庫県南部地震 (神戸海洋気象台)
S1 (h=0%)	449.1	53.3	134.2	255.3
S1 (h=5%)	145.8	25.7	59.8	169.8
S1 (h=10%)	106.7	21.3	49.6	143.8
S1 (h=0%)-S1 (h=10%)	342.4	32.0	84.6	111.5

(単位: kine)

3. フーリエおよび応答スペクトルの特性

各地震の強震記録の水平方向成分を用いてフーリエスペクトルおよび加速度応答スペクトルを算出し、統計処理を行った。フーリエスペクトルは北海道の3大地震で得られたもののみを用いた。また、加速度応答スペクトルは、加速度応答スペクトル値を最大加速度で除し、無次元倍率で整理したものである。なお、統計処理は各スペクトル値の分布状態が全て正規分布に従うものと仮定して平均値及び分散を算出している。まず、図-6の地盤別にまとめたフーリエスペクトルを比較する。図中の下線は平均値(m)、上線は分散(95%確率、m+σ)を示している。I種地盤での卓越周波数は2.00Hz(0.5秒)となっているが明確な傾向はみられない。また、分散についても周波数毎にほぼ様な分布となっていることからI種地盤においては地震の特性が卓越し地盤の特性が現れていないと考えられる。II種、III種地盤での卓越周波数はそれぞれ0.56Hz(0.8秒)、0.70Hz(1.4秒)であり、分散については高周波域に向かって徐々に減少していくようなスペクトル特性となっている。

今回の比較においては、II種とIII種地盤に有為な差異は認められず、I種地盤についてもデータ数が少ないことから地盤種別毎の周波数特性は明確にならなかったと考えられる。

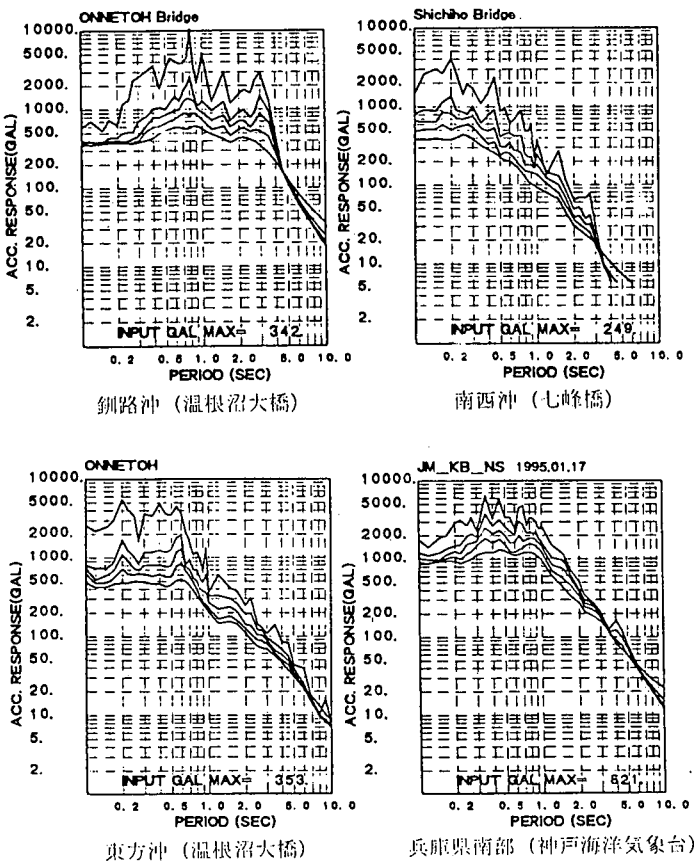
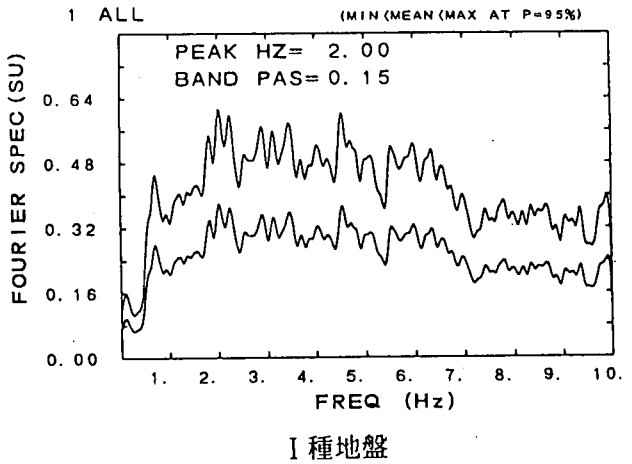
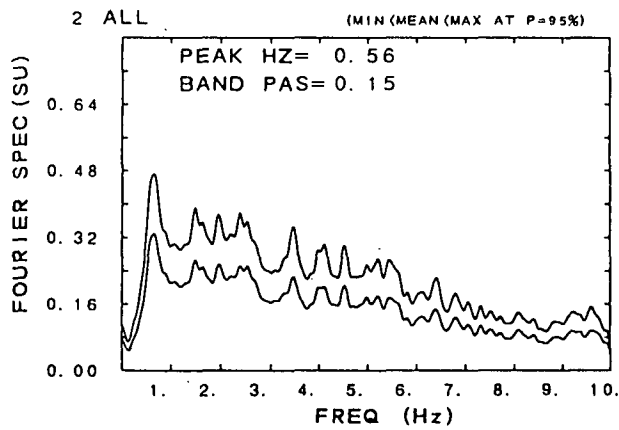


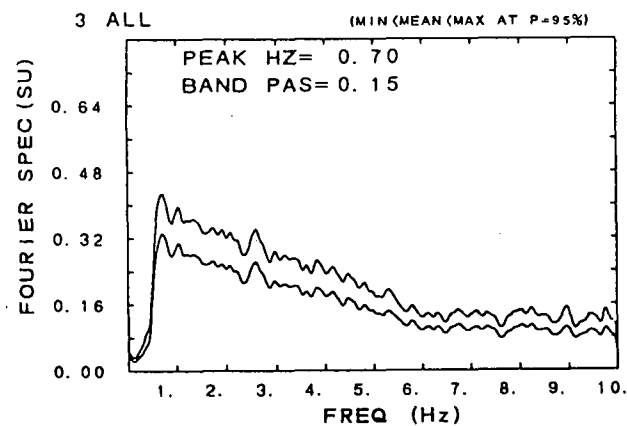
図-5 加速度応答スペクトル

表-1は通常、水平方向成分のスペクトル強度の値を各地震動について算出したものである。なお、スペクトル強度はある程度剛性の高い構造物では主要な周期は0.1~2.5秒の間にあるものと考え、この間のエネルギーの総量を表す積分値である。スペクトル強度は減衰定数の増加に伴いその値を減少させるが、表-1より兵庫県南部地震のものについては、減衰定数の変化の割にスペクトル強度の変化の割合が小さく、弾性域における構造物の減衰定数





Ⅱ種地盤



Ⅲ種地盤

図-6 フーリエスペクトル (地盤別)

次に図-7の各地震毎の加速度応答スペクトルを比較する。図中の実線が平均値 (m)、破線が分散 (95%確率、 $m + \sigma$ および $m - \sigma$) を示している。釧路沖地震は3.0秒付近まではほぼ同程度の加速度応答値を示しており、そこから急激に減少している。これに対し南西沖、東方沖地震は0.6秒、0.6~0.9秒付近まではほぼ同程度の値を示し、そこから長周期域に向かって緩やかに減少している。

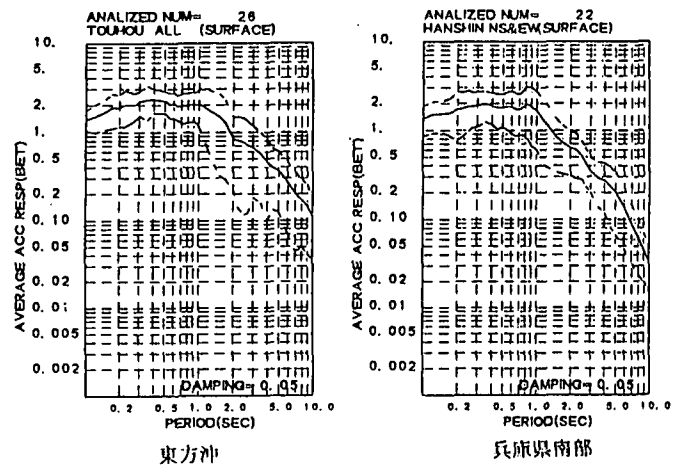


図-7 加速度応答スペクトル倍率 (地震別)

また、兵庫県南部地震については0.8秒付近まではほぼ同程度の値でそこから減少傾向を示すが、その減少傾向は他の地震と比較すると直線的で急なものである。

4. まとめ

兵庫県南部地震において観測された地震波形は、近年北海道周辺で発生した地震波形記録との比較により以下のような特徴が認められる。なお、比較は代表波形を対象として行ったものである。

- 1) P波とS波の継続時間が極端に短い、加速度、速度、変位振幅は非常に大きい。
- 2) 加速度が大きい割に速度、変位は相対的に小さい。
- 3) 変位の立ち上がりが大きいことから加速度変化率が非常に大きい。
- 4) 材料及び構造物について減衰効果の期待が薄い衝撃的な波形と考えられる。
- 5) 周波数特性として構造物の固有周期に近いものを多く含み、その周期の各応答値は非常に高い。

今回の検討では兵庫県南部地震のデータとして神戸海洋気象台のものを用いたが、今後は他の強震観測点についても地盤情報を含めて地震波と被害との詳細な検討を進めたい。

参考文献

- 1) 平成6年度北海道東方沖地震速報：北海道開発局 開発土木研究所 構造部 構造研究室
- 2) 地震と建築：大崎順彦
- 3) 新地震動のスペクトル解析入門：大崎順彦
- 4) 兵庫県南部地震波形データ：(財)日本気象協会

