

I-51 兵庫県南部地震の波形と近年の北海道で発生した地震波形記録に関する考察

北海道開発局留萌開発建設部 正員 吉 田 紘 一
 北海道開発局開発土木研究所 正員 岩 淵 武
 北海道開発局開発土木研究所 正員 西 弘 明
 (株) 構研エンジニアリング 正員 林 秀 人

1. はじめに

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沿岸地区を中心に関東大震災以降で最大といわれる被害を出す結果となった。このような状況をもたらした原因の1つとして、この地震のタイプが14kmという浅深部に震源深さを持った、都市直下型であったことが指摘されている。また、北海道においても1993年の釧路沖地震以来2回の大規模で大きな被害を出した地震が発生している。

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振動特性を検討するものである。

2. 各地震の概要

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、それぞれの諸元を表-1に示し、各観測地点での加速度、速度、変位の最大値を表-2に示す。表-2に示した観測記録についてはそれぞれの地震で得られた強震データの中で特に大きな動きを示したもので、なおかつ自由地盤と考えられる代表的なデータである。なお、記録の水平成分は兵庫県南部地震のみ、東西、南北方向であり、他のものは橋軸方向(LG)と橋軸の直角方向(TR)の成分を表している。

表-2の各最大値を比較すると、特徴的なこととして釧路沖地震の水平成分の最大加速度に対する最大速度、最大変位の値が非常に大きな値を示していることがわかる。また東方沖地震の最大加速度については、上下の成分値が水平の成分値を上回っている点も1つの特徴である。兵庫県南部地震についての各最大値は、どの値も非常に大きなものであるが、特にI種地盤として評価される強震観測点において、20cmを越える水平方向の変位と約10cmの上下方向の変位を示したことは地震被害を考える上で注目に値するであろう。

表-1 各地震の概要

地震名	1993 釧路沖地震	1993 北海道南西沖地震	1994 北海道東方沖地震	1995 兵庫県南部地震
発生年月日	1993年1月15日	1993年7月12日	1994年10月4日	1995年1月17日
	20時6分	22時17分	22時23分	午前5時46分
規模(JMA)	M7.8	M7.8	M8.1	M7.2
震源	緯度	N42度47分	N43度22分	N34度36分
	経度	E144度51分	E139度12分	E135度00分
	深さ	107km	34km	30km

表-2 各地震の強震観測記録

発生日	地震名	観測点	地盤種別	震央距離 (km)	最大加速度 (gal)			最大速度 (kine)			最大変位 (cm)		
					EW(LG)	NS(TR)	UD	EW(LG)	NS(TR)	UD	EW(LG)	NS(TR)	UD
93/ 1/15	釧路沖	温根沼大橋	Ⅲ種	100	341.5	363.1	114.5	86.8	92.6	14.7	42.1	44.9	4.1
93/ 7/12	南西沖	七峰橋	I種	156	235.3	248.5	96.8	11.4	13.0	6.0	2.1	1.7	1.4
94/10/ 4	東方沖	温根沼大橋	Ⅲ種	178	316.0	352.9	378.4	27.6	34.9	12.0	4.8	6.7	2.6
95/ 1/17	兵庫県南部	神戸海洋 気象台	I種	21	820.6	619.2	333.3	86.8	67.2	39.8	21.6	21.3	9.6

3. 観測地震波

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。

まず図-1に注目する。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、地震の振動特性を考える上で非常に重要な手掛かりとなるものである。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の主要部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に卓越振動数を持ち、1.5Hz付近から高周波領域に向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1.49Hzに卓越振動数を持つが1~3Hz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。積分値については震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101cm/sec、変位で片振幅で42cm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。

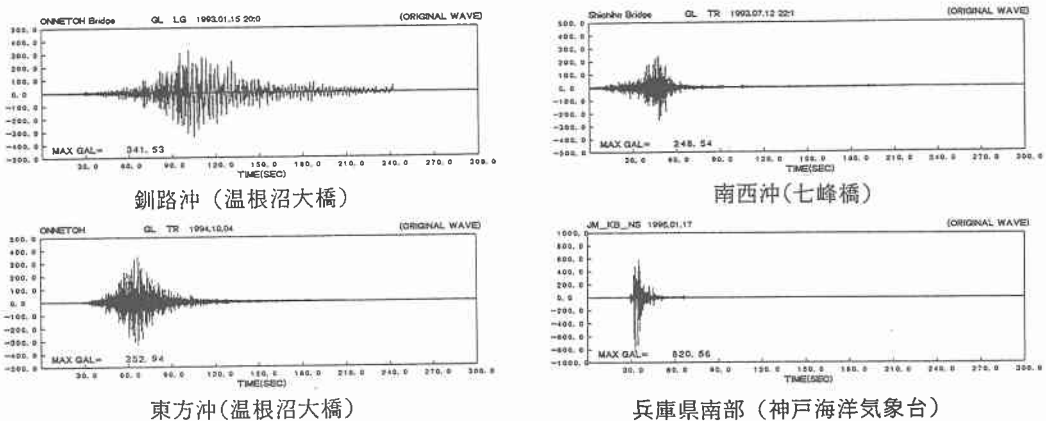
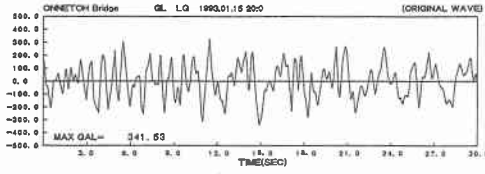
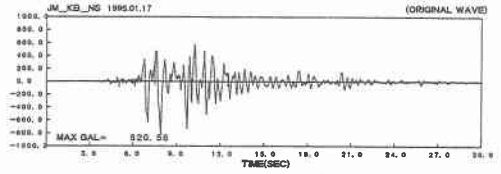


図-1 各地震の加速度波形

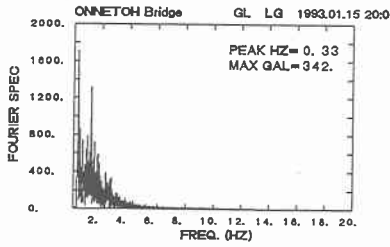


釧路沖（温根沼大橋）

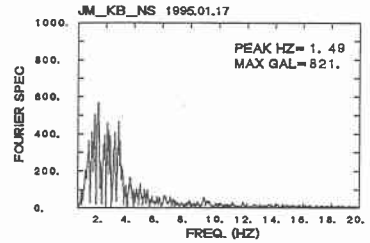


兵庫県南部（神戸海洋気象台）

図-2 加速度波形の主要部拡大図

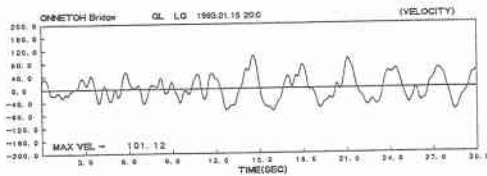


釧路沖（温根沼大橋）

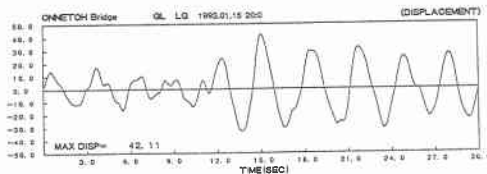
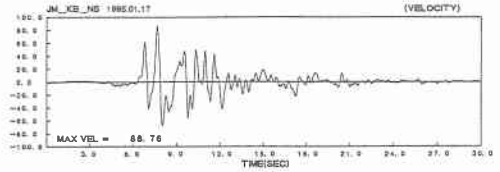


兵庫県南部（神戸海洋気象台）

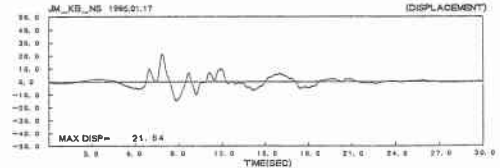
図-3 加速度フーリエスペクトル



速度



変位



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）

4. 加速度応答スペクトルとスペクトル強度

図-5に表-2で示した観測位置における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過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も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である。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の傾向が見られる。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。

表-3は通常、地震動の破壊力を表す1つの指標として提案されている水平方向成分のスペクトル強度の値を表-2の各地震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-3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を考えると非常に高い値を示している。

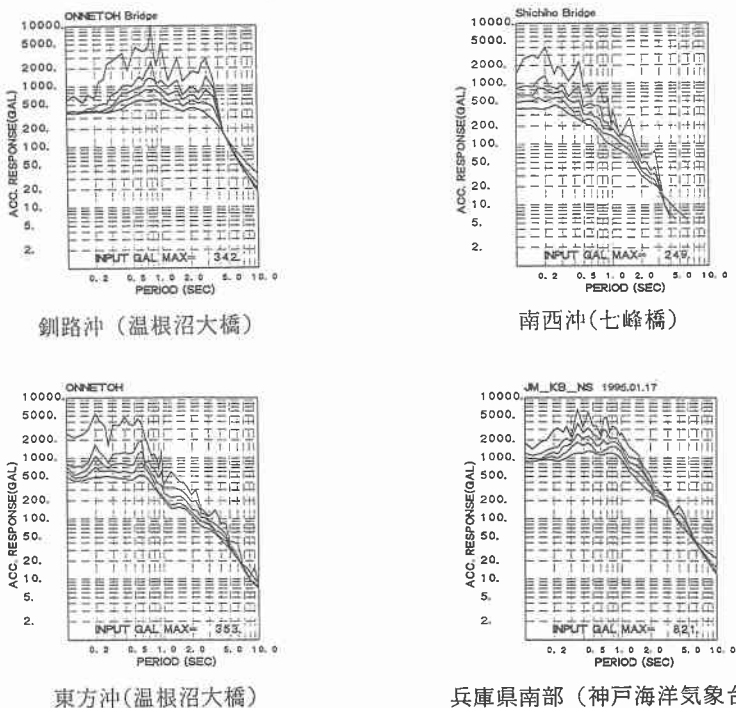


図-5 加速度応答スペクトル

表-3 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)
S I (h = 0%)	449.1	53.3	134.2	255.3
S I (h = 5%)	145.8	25.7	59.8	169.8
S I (h = 10%)	106.7	21.3	49.6	143.8
SI(h=0%)-SI(h=10%)	342.4	32.0	84.6	111.5

(単位 : kine)

5. 加速度応答スペクトル倍率

各地震の強震記録の水平方向成分を用いて加速度応答スペクトルを算出し、統計処理を行った。各地盤種別毎にまとめたものを図-6に示し、各地震種別毎にまとめたものを図-7に示す。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、地盤種別毎に整理したデータについては、北海道の3大地震で得られたもののみを用いた。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。図中の実線が平均値(m)、破線が分散(95%確立、 $m + \sigma$ および $m - \sigma$)を示している。また、図には減衰定数5%の場合の結果を示した。

まず、地盤種別毎の加速度応答スペクトル倍率を比較する。I種地盤の場合は、0.2秒から0.4秒で最大値を示し、その後減少の傾向を示している。これに対してII種地盤及びIII種地盤では、ほぼ同様の傾向を示し、0.2から1.0秒まではほぼ一定の値を示し、その後3.0秒付近まで緩やかに減少しそこから急激に減少している。今回の比較においては、少なくともII種とIII種地盤に有為な差異は認められないが、地盤が軟らかい程、応答が長周期化するという傾向は確認できる結果が得られた。

次に各地震毎に比較すると、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。これは前に示したIII種地盤の形に非常に似た傾向である。これに対し南西沖地震は0.6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。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、その減少過程は他の地震と比較すると直線的で急なものである。これは前に示したI種地盤の応答に似た傾向である。

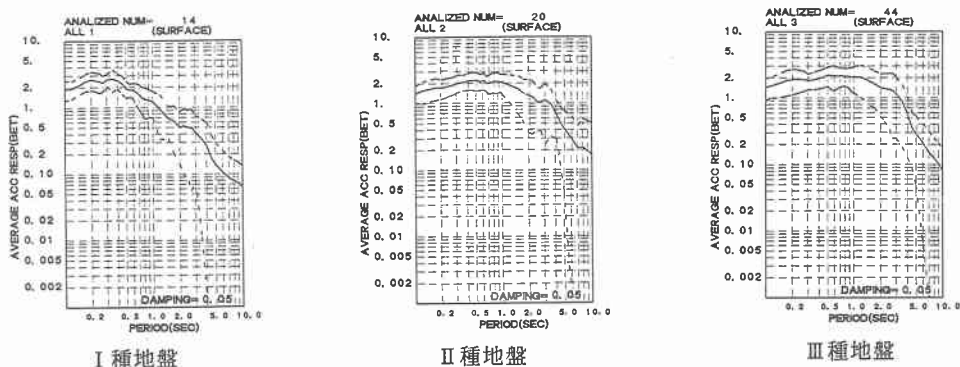
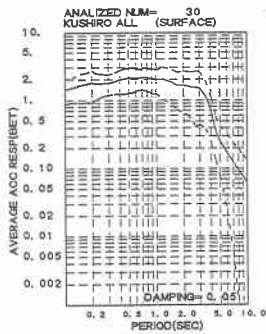
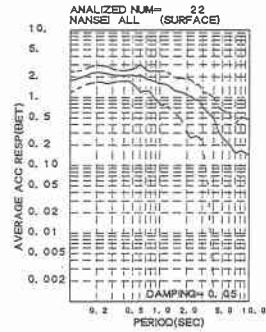


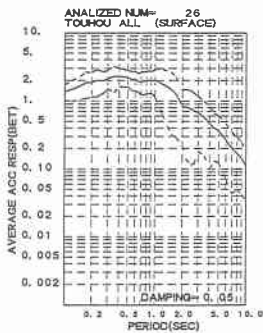
図-6 加速度応答スペクトル倍率(地盤別)



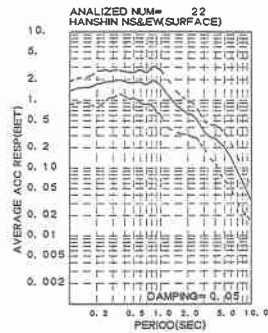
釧路沖



南西沖



東方沖



兵庫県南部

図-7 加速度応答スペクトル倍率（地震別）

6. まとめ

兵庫県南部沖地震において観測された地震波形記録は、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波の継続時間は極端に短い、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である。
- 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。

終りに、本論文をまとめるにあたり開発土木研究所構造研究室の方々に大変お世話になりました。記してお礼を申し上げます。

参考文献

- 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
 地震と建築：大崎順彦
 新地震動のスペクトル解析入門：大崎順彦
 兵庫県南部地震波形データ：（財）日本気象協会