

東京大学 生産技術研究所 正員 童 華南

東京大学 生産技術研究所 正員 山崎 文雄

はじめに 1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は、都市の直下型地震であるため、マグニチュードが7.2(北海道東方沖地震M8.1)であるにもかかわらず、関東大震災以降で最悪の被害地震となった。この地震は、これまで経験した地震と比べあまりにも被害が大きく、各種構造物の耐震設計法の見直しも検討される程度である。本稿では、兵庫県南部地震で観測された神戸海洋気象台の強震記録を中心として、これまで日米の震央近傍で得られた4つの極めて強い地震動を用いて、直下型地震動の特徴、特にその破壊力に関連する特徴について考察する。

4つの地震動の概要 比較に用いる4つの地震動について、それぞれの地震の諸元と観測地点での加速度、速度および変位の最大値を表1に示す。釧路沖地震の釧路気象台の記録は、87型強震計の設定地点が特別に揺れやすいと考えられるため、同じ構内の建築研究所の記録を使用した。これらの地震動は、いずれも各地震において自由地盤上で観測された代表的な記録と考えられるものである。記録の水平成分は必ずしも東西(EW)、南北(NS)とはなっていない。表の各最大値を比較すれば分かるように、Sylmarでの記録は、神戸気象台の記録と非常によく似ている。ここで用いた地震動は、地盤増幅の影響がそれほど大きくないと思われるものばかりである。被害状況も付近にどのような構造物があるかによって変わるので、直接比較はできないが、神戸とSylmarの地震動は、釧路や乙部町より破壊力が大きかったといえる。表1を見るかぎり、神戸気象台の記録が他の全ての記録を上まわっているのは、上下方向の最大速度(40cm/s)だけである。

表1 比較に用いた4つの地震動の諸元

日付	地震	観測点	M	震源 深さ (km)	震源 距離 (km)	最大加速度 (cm/s/s)			最大速度 (cm/s)			最大変位 (cm)		
						EW	NS	UD	EW	NS	UD	EW	NS	UD
95/1/17	阪神・淡路	神戸気象台	7.2	14	21	617	818	332	75	91	40	18.1	19.7	12.1
94/1/17	Northridge	Sylmar	6.8	18	23	592	827	525	76	126	18	14.3	30.3	7.5
93/1/15	釧路沖	釧路気象台	7.8	107	108	713	600	369	34	41	14	4.5	9.2	1.3
93/8/8	北海道南西沖の 最大余震	乙部町	6.5	26	32	1520	380	523	54	16	18	5.5	9.5	3.4

地震動波形の比較 4つの記録からそれぞれ水平2成分でのパワーの強い成分を1つ選んで、加速度波形を図1に、速度波形を図2に、変位軌跡を図3に示す。変位軌跡図には○を付けた点が3次元の合成最大値に対応しており、点線で結んでいる鉛直断面の点と水平面の点が同時刻のものである。非常に奇妙な乙部町の変位軌跡を見れば、その異常に大きな最大加速度が生じる原因が分かる。震源の動きは、こんなに細かなものでないと思われ、観測点近くの何かの影響によるものと考えられる。その結果、図1に示すような髭状の大きなピーク値が出たものと思われる。この髭状のピークをカットすれば、最大加速度が半分以下になる。釧路の方がかなり強く見えるが、その数多い針のような波形より、神戸とSylmarの方の斧のような波形の方が強力であることが理解できる。各記録の同じ成分の速度波形(図2)ではその差が明白に映され、振幅の大きさにしても、周期の幅にしても、神戸の記録が釧路や乙部町より遙か大きなものとなっている。

ランニング応答スペクトル 阪神・淡路大震災では家屋や埋設管などの被害が目立っている。それらの被害は最大速度やSI値などの速度系の指標と相関が高いことが報告されている。ここで、各周期ごとの最大応答だけでなく、どの時点にその最大値が生じたかも考察できるランニング速度応答スペクトルで4つの強震動を比較する(図4、減衰定数5%)。釧路気象台の記録は、ホリウムがあるものの、最大応答の引き起こした時刻は、周期によってばらばらである。乙部町の記録は、震源の近傍であるが、マグニチュードがやや小さいことと震源深さが兵庫県南部地震よりやや深いので、ある時刻と周期を限ると大きな応答を示すが、少し周期をずらせばパワーが一気に小さくなる。それに対しては神戸とSylmarの記録は、一瞬に広い周期帯域の応答を引き起こした。図5は0.1秒～2.5秒の周期範囲における平均速度応答の時間変化を示

すものである。これを見れば直下型地震は広い周期帯域で短い時間に大きなパワーを出したことが分かる。弾性→塑性→ひび割れ→倒壊のような単純化した震動による構造物の破壊過程を考えれば、このような地震動こそ、破壊進行中で固有周期が大きく伸びていく構造物への連続的なエネルギー供給を可能にし、破壊を一気に進行させてしまうものと思われる。

まとめ 本稿では、震央近傍の4つの極めて強い地震記録を用いて、直下型地震動はあるレベル以上の振幅だけではなく、水平と上下、異なる周期成分ともに短期間に集中していることに焦点を当てた。この特徴は直下型地震の地震動の最大値だけで想像できない破壊力と結びついていると考えられる。今後、耐震設計には塑性域に入った構造物の周期の変化および破壊の進行時間などが重要な研究課題となるとと思われる。

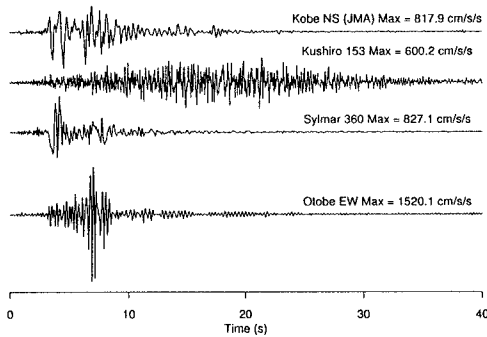


図1 4つの強震動の水平成分の加速度波形

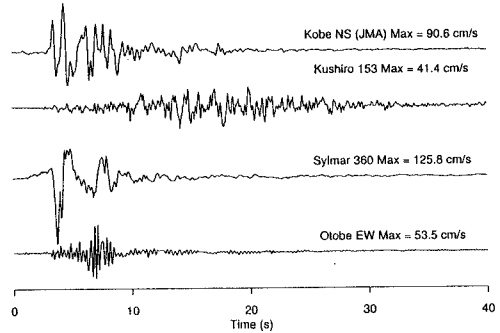


図2 4つの強震動の水平成分の速度波形

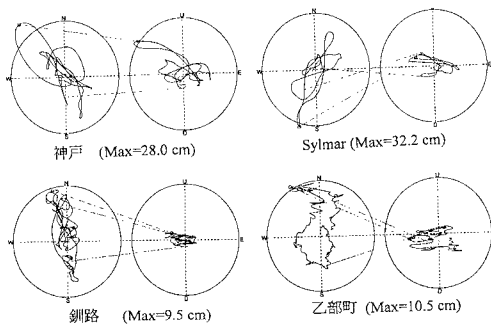


図3 4つの強震動の変位の軌跡

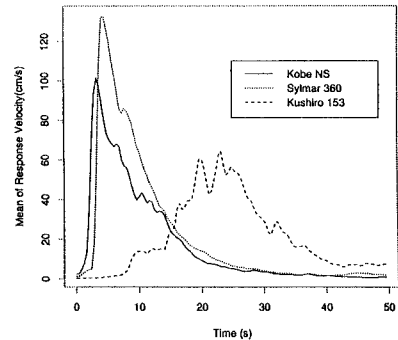


図5 平均速度応答の時刻変化

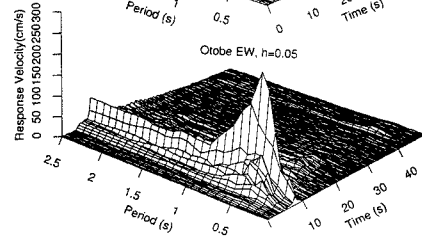
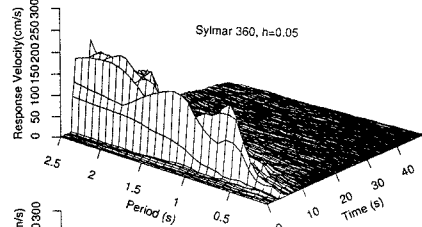
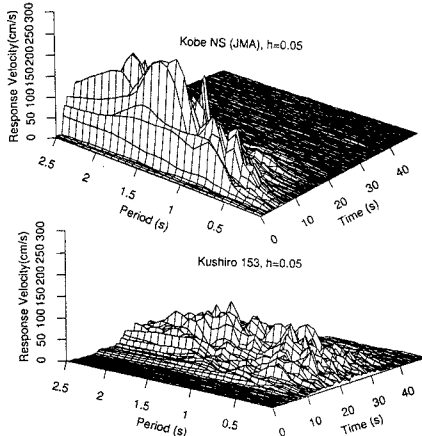


図4 4つの強震動のランニング速度応答スペクトル