

阪神淡路大地震にみる浅発性直下型の被害と 震源近傍地震動の特徴

岩崎好規

正会員 MS 財) 大阪土質試験所 理事, 所長 (550 大阪市西区立売堀 4-3-2, E-mail iwasaki@geor.or.jp)

阪神淡路地震の教訓はなにか? 震災の帯がなぜできたのか? 典型的な木造家屋の被害を広域に調査すると, 地震断層から 6 km 程度までは被害は地盤によって異なるが, 同じ地盤では一定で, 6 km を超えると, 距離の増大と共に被害は減少していることが分った。埋設された水道管もほぼ同じようである。簡単な断層震源モデルによるシミュレーションによって, 深さ 5km 程度のアスペリティの考えると, 断層から 6-7 km の断層直近では, 大きな地震動で距離減衰が小さいが発生する。これが, 神戸地震の教訓である。今回は, 沿岸付近は, 液状化で地震動が減衰したために, 建物の被害も少なかった。もし, 液状化がなかったら, 福井地震のように断層から 6-7km までの範囲は大きな被害となっていたであろう。

Key Words: Kobe Earthquake, Near Fault Earthquake, Shallow Earthquake, Strong Ground Motion

1 木造家屋被害率 震災の帯

阪神淡路地震における地震被害は, 震災の帯と呼ばれる激震域が発生した。この地域は, 断層からほぼ 6km までの震源域の軟弱地盤であるが, 液状化の発生域地震動が弱められたために, 被害も少なく, 狭い帯状となったのである。木造家屋における被害については, 神戸, 西宮域の被害データを滋賀県の防災対策の調査で分析した結果を表一 および図一に示した。いずれの場合も, 沖積低地が被害最大で, ついで液状化域, 段丘, 岩盤域の順序となる。また, 築後年数の大きいほど, 被害は大きい。被害は, 地震断層からの距離 6-7km 付近まではほぼ一定であって, この距離より大きくなれば, 被害は低減し, 10km 以上になると, 距離による影響は見られない程度になる。震災の帯というのは, ほぼ沖積低地の地域に相当しているが, 細い幅となったのは, 海側では, 液状化が発生したために, 後述するように被害の程度が減少したためで, 液状化がなかったら, 幅は広く断層から 6, 7km 程度まで広がった筈である。

表一 地盤の違いによる震源域 (断層から 6-7km 以内) の木造家屋全壊率 (%)

築年齢	岩盤	硬質地	軟弱地	液状化
築 30 年	15	45	85	50
20-30	10	40	75	45
10-20	7	30	60	35
0-10	5	15	30	25

表二 地盤の違いによる震源域 (断層からほぼ 6-7 km 以内) の水道管の被害率 (西宮市域)

	岩盤	硬質地	軟弱地	液状化
被害率 ヶ/km	4	16	5	18

2 水道管路の被害

さて, 水道管の被害についてもものは, 日本水道協会から被害データの公表がなされている。そのうち, 西宮市域における被害のデータについて, 水道管路の被害の特徴について検討した。

被害は, 家屋と同じく大きく 4 つの地域に分けられる。岩盤域, 丘陵域, 沖積低地域, および液状化発生域である。断層からの距離 10km 以内の震源近傍域である。管種に拘わらず, すべての管についての被害についての各地域における被害 (発生) 率を表二に示した。水道管路の被害発生率をみると, 液状化発生域が最大で, 段丘域, 沖積地盤, 岩盤の順序になっている。

3 沖積低地における水道管の被害

沖積低地における平均被害率は, 5ヶ所/km で, 他地域のものと同じく小さい。これは, 基本的には, 地盤破壊が少ないためである。沖積低地をさらに細分して, 断層からの距離の関数として被害率を求めて表三に示した。断層距離によって低減し, 震源中心域では, 6ヶ/km が震源域の端部の断層距離 10km で約 2ヶ所/km と小さくなっている。このように, 少なくとも 6km 以遠では, 水道管被害にも距離減衰が見られることが特徴である。

表三 沖積低地における水道管被害率の断層距離低減

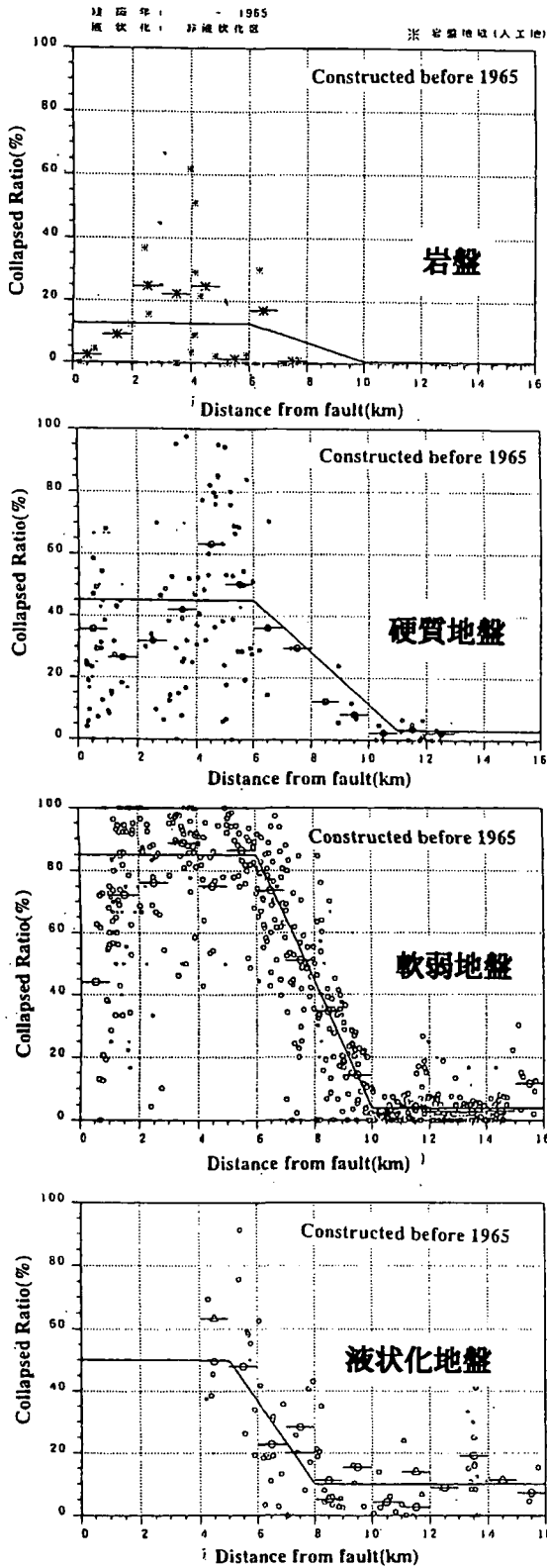
断層 距離(km)	5.5- 6.5	6.5- 7.5	7.5- 8.5	8.5- 9.5	9.5- 10.0
被害率	6	5	4	3	2

断層距離(km) ; 被害率 (ヶ所/km)

4 3 直下型地震の構造物被害

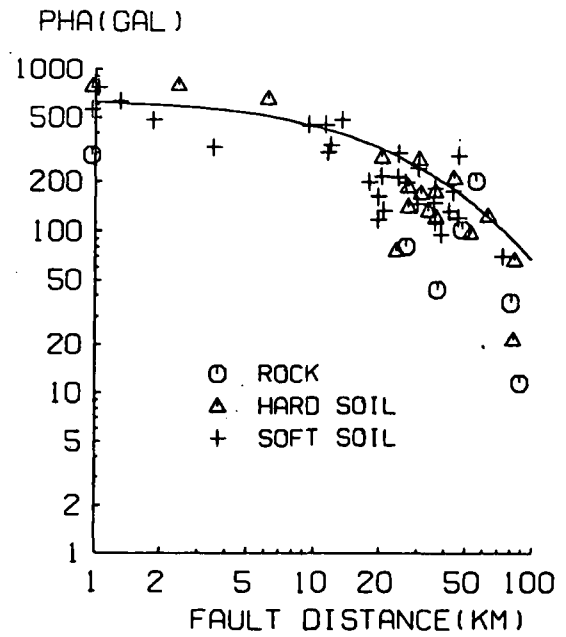
表一と表二をみると、大きくその特徴に違いが見られる。すなわち、独立系の地上建物では、沖積地盤に被害が集中し、西宮域でも断層から6-7km以

同様に距離減衰が見られている。

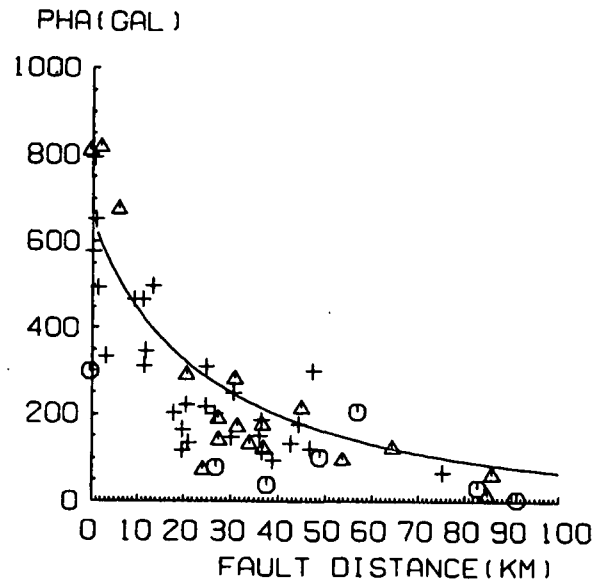


図一 1 地盤別木造家屋の倒壊率の断層距離による減少 (1965年以前に建築されたもの)

内の被害では、大きな被害、6km 以遠では、距離減衰が見られた。また、地中連続構造物の水道管でも、



図一 2 観測された最大水平加速度の距離減衰 (対数目盛)



図一 3 観測された最大水平加速度の距離減衰 (普通目盛)

5 地震動の距離減衰

地震動の距離減衰は、図一 2 に示したように、既往の地震観測結果から得られている距離減衰 (福島 (1994)) と比べて比較的によくあっているとされている。対数目盛上では、地震断層からの距離 10km 以内では、最大地震動はほぼ一定であるといえるように見える。図一 3 は同じ図面を普通目盛で示したものである。被害との対応を考えると 6km 程度に限界距離が存在するのではないかとと思われる。図一 4、図一 5 は、地盤種別に距離減衰を示したものである。

表-4 震源近傍の最大地震動 (6 km以内と10-12km)

		軟弱	硬質	岩盤
		6 km以内	加速度 600-800	400-800
	速度	80-180	80-100	50
10-12km	加速度	300-500	300	100-200
	速度	50-70	25-35	30

加速度(gal) 速度(kine)

6 震源モデルによる震源近傍距離減衰の検討

断層震源モデルを用いて距離減衰の検討を行ってみる。断層は、傾斜角が90度の水平ずれタイプとし、震源深さを5kmとする。アスペリティとして約1kmの長さを有する震源を、0.25kmの要素長さの微小要素を4つ並べて合成する。断層要素でのすべり速度は一般的な100cm/sec、震源時間関数として単純なパルスを仮定し、破壊の伝播速度 $V_r=3.0\text{km/sec}$ で進行させて計算した。図-3には、地表面での水平動の軌跡を示しているが、震源は左端中心から下方にむけて破壊が伝播したので、断層面に沿う方向の地表面位置では、断層直交方向に動き、しかも、破壊伝播方向の震源から下方地点の方が振幅が大きい(破壊

の伝播による振幅方向性(Directivity))。振幅の平面的な変化を見ると、震源断層と観測点位置の関係による地震動の卓越方向は、いわゆる放射振幅特性(Radiation Pattern)によっている。断層面から3km程度離れた大部分の地点での地震動軌跡は断層直交方向が卓越している。しかしながら、3km以内の地点で、破壊点直上の付近の断層面から離れる地点では、断層平行方向の軌跡もあるから、断層直交方向が常に卓越するわけではないことも念頭に入れておく必要がある。

このような震源モデルで種々パラメータを変化させて検討して、断層からの距離25km地点を基準点として、この基準点における振幅に対する振幅比をとって、最大振幅の距離減衰を図-4に示した。これを見ると、2つのことが分る。一つは、断層からの距離が5kmまでは凸凹状態ながら比較的の高い振幅で飽和しており、5km以遠では漸減している。この凸凹になっている状態は、二つのモードが混在しているからである。一つはその最大振幅値が断層直交方向にあるもので、これは断層からの距離2km以内で卓越する。もう一つは、最大振幅値が断層平行方向に見られるもので3km以遠において卓越していることが分る。

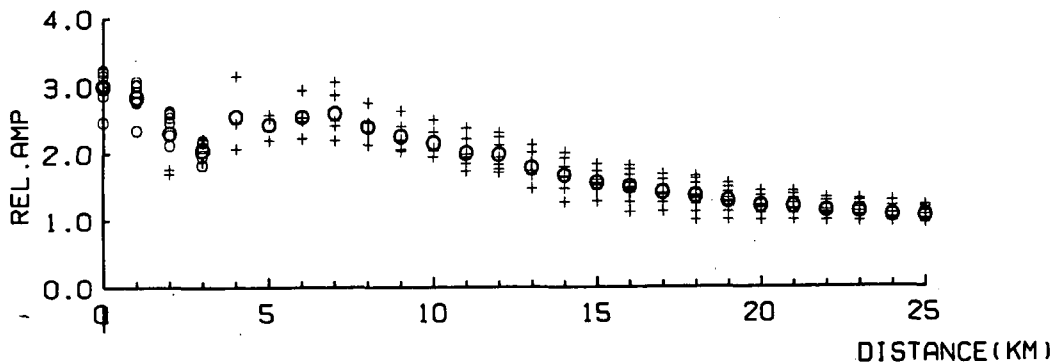


図-3 ダブルカップル断層モデルシミュレーションによる最大振幅の距離減衰 (25km地点振幅=1)
(水平ずれ断層, 断層傾斜角90度, 震源深さ5km, 断層要素長さ0.5km x 5要素, パルス波)

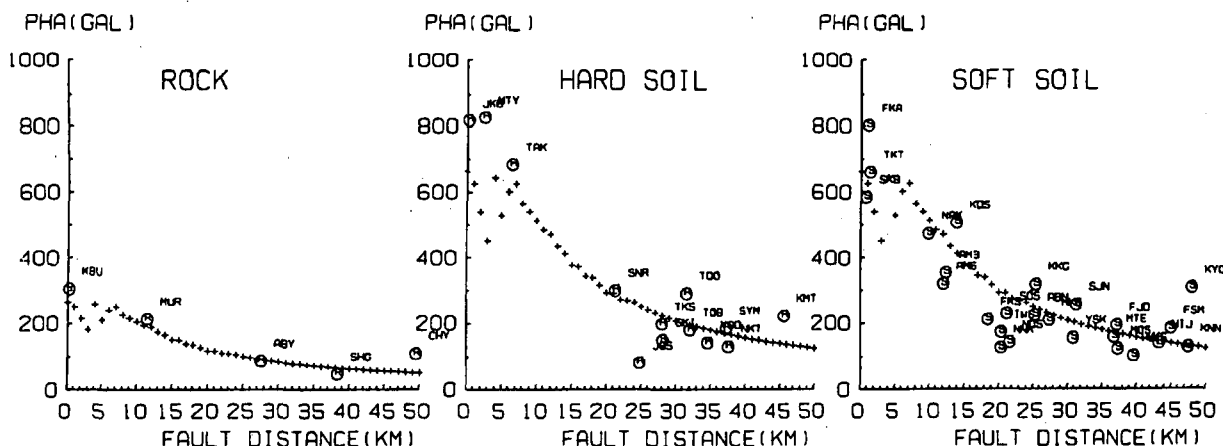
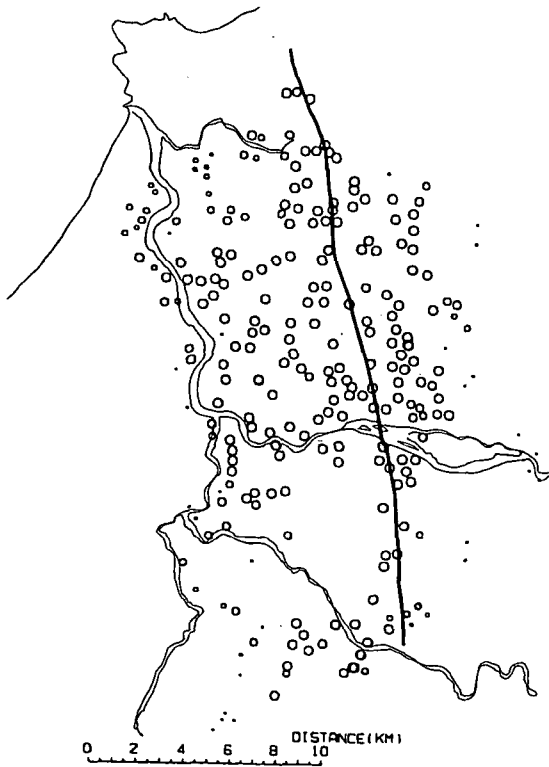
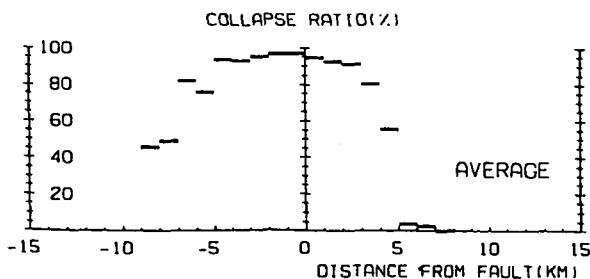


図-4 断層近傍の地震動観測値と断層モデルによる距離減衰特性



図一5 福井地震の地震断層と軟弱地盤における家屋倒壊



図一6 福井地震における家屋倒壊率と地震断層からの距離

このようにして求められた距離減衰の関係を計測された地盤種ごとの最大加速度にフィットさせると図一4になる。やや小さ目の値となっているが、不明なことの多いなかで、第一近似としての可能性を示唆している。

図-4に福井地震における軟弱地盤における全壊率と断層距離との関係を示した。福井平野は、岩盤で周囲を囲まれた盆地であって、水平ずれ断層が、盆地のやや東側に走ったとされている。ここでも5-6 kmを被害限界距離として見る事が出来ることを示している。

今回の神戸地震は、震源において発生した波動の主要周期は、マグニチュードに相応の変位と思われる0.5-1.0mの横ずれの特徴に起因するものと思われる。すなわち、これらのすべりの立ち上がり時間は、すべり速度を100cm/secとすると、 $\Delta t=0.5-1.0$ sec程度になり、断層直近では、これが非常に大きな地震力となって作用したものである。

7 結論

実被害の震源近傍付近での集中と限界値の存在は、浅発性地震の地震動の特性として規定できようが、神戸地震では限界距離は約6 kmで、この付近から、距離の増大による被害の減少が見られている。

簡単な震源モデルを用いて断層近傍の地震動の距離減衰特性を検討したところ、震源深さ5km、長さ2.5km程度の断層面によって集中的に地震動が放出されることによる距離減衰特性でほぼ説明が可能であると言う結果を得た。

Damage caused by shallow earthquake of Kobe Quake and Characteristics of Near Fault Ground Motion

by Yoshinori IWASAKI

The damage characteristics show very concentrated damages in a limited zone within a distance of about 6km from the earthquake fault. Within this critical distance the damages are more or less constant and depend upon geotechnical conditions. Damages in area at greater than this critical distance, damage was found decreased with the increase of the distance. The attenuation computed by a simple double couple source model at a depth about 5km and with a dimension of 2.5km could give one of the possible solution to explain attenuation characteristics.