

I-B 353 常時微動を用いた兵庫県南部地震による震災の帯に関する考察

鉄道総合技術研究所 正会員 上半 文昭
 鉄道総合技術研究所 正会員 中村 豊

はじめに 兵庫県南部地震で生じた震災の帯の発生原因は、諸説論じられている。深い地盤の構造を震災の帯の主要な発生原因とする文献¹⁾では、帯状地帯よりも軟弱な海側の地盤が震災の帯から外れることを根拠に震災の帯と表層地盤の関係を否定するものも見られる。しかし、著者らはこの現象も従来通り表層地盤の地震動増幅特性により説明できるものと考え、1995年2月から1996年2月にかけて神戸周辺で常時微動測定調査を実施し²⁾、図

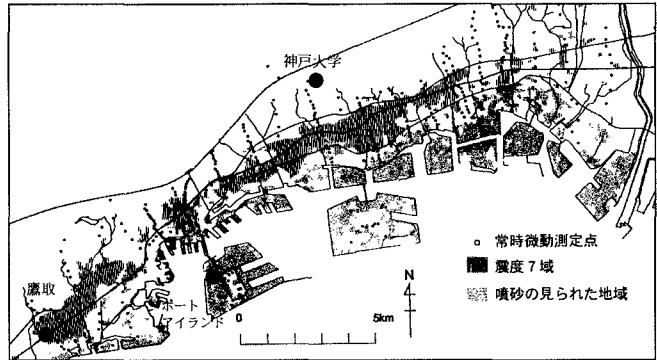


図1 常時微動測定点と地震被害

1に示した計25の測線とポートアイランド、六甲アイランドのふたつの人工島で常時微動のQTS³⁾(H/V)を用いて表層地盤の卓越振動数と増幅倍率を推定した。さらに、震災の帯を構成する家屋の倒壊について検討するために家屋の常時微動測定も実施した²⁾。ここでは、地盤の常時微動測定結果を用いて震災の帯地域とその他の地域の表層地盤の地震動増幅特性の違いを明らかにする。さらに、海側の軟弱地盤地帯が被害の帯から外れた理由を、家屋の常時微動測定結果とポートアイランドの鉛直アレー記録を用いて説明する。

表層地盤の地震動増幅特性 まず、被害の帯の山側、带上、海側の表層地盤の地震動増幅特性を3地域（①山側地域・②帯地域・③海側地域）に分類して比較する。各微動測定点を3種に分類する際に建設省建築研究所による建築被災状況図を用いて各測定点周辺の建築の倒壊率を求め、①被害の帯より山側で建築被害の生じなかった地盤、②被害の带上で建築の倒壊率が50%以上の地盤、③被害の帯より海側で建築被害の生じなかった地盤、の3種類に当てはまる測定点のデータのみを扱うことにし、①～③のそれぞれに当てはまるデータを選び出してその分布を示したものが図2である。データの分布を見ると明らかに3種の地盤の地震動増幅特性は異なっている。被害の帯地域に対して、山側地域は固い良好な地盤である。海側地域は軟弱な地盤であり、新しい人工島とその他の海岸沿いの軟弱地盤の間にも特性の差が見られる。卓越振動数の平均値は①が5.33Hz、②が1.95Hz、そして③が0.66Hzとなっている。この結果から山側地域では帯地域よりも高い振動数が卓越し、破壊エネルギーが小さいため被害が小さくなったものと説明できる。海側の軟弱地盤で建築被害が発生しなかったのは、軟弱地盤に強い地震動が入力されて地盤が非線形化して大きな地震動を地表面の構造物に伝えにくくなったためと考えられる。地震時に表層地盤に発生するせん断ひずみ γ_g は表層

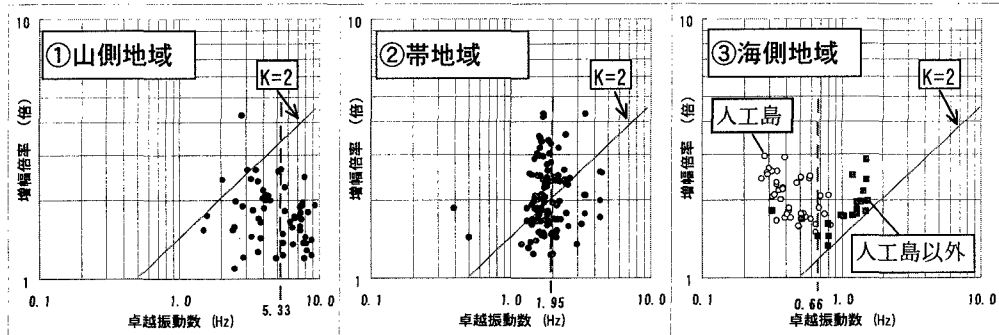


図2 表層地盤の地震動増幅特性の比較

地盤の卓越振動数を F 、増幅倍率を A 、基盤での S 波速度を V_b 、基盤加速度を α_b と表せば、 $\gamma_g = K \alpha_b / \pi^2 V_b$ ($K = A^2 / F$) で求められる³⁾。 $\alpha_b = 200 \text{ Gal}$ 、 $V_b = 400 \text{ m/s}$ （洪積砂礫層を仮定）とすれば上式の $K \approx 2.0$ で地盤のひずみが 10^{-3} に達し、地盤が非線形化するものと考えられる。図2を見ると、①の地盤はわずかな例外を除き $K < 2$ である。逆に③の地盤はすべて $K > 2$ であり、実際ほとんどの地盤で液状化が確認されている。ただし、②の地盤も約半数が $K > 2$ であるが液状化は確認されておらず、液状化するか否かの境界を明らかにするためには、地盤の土質、年代、水位など液状化に影響する要因を考慮してより詳細に検討する必要がある。

地盤の液状化による家屋被害率の低減効果の試算 ポートアイランドでは、地表面（GL）、深さ 16m（GL-16）、32m および 83m での鉛直アレー観測に成功している¹⁾。その記録には、GL-16（NS：570Gal）と GL（NS：340Gal）間の埋土層の液状化による水平動の低減が見られた。GL および GL-16 で観測された地震動の NS 成分の加速度応答スペクトル（減衰定数 5%）を図3に示す。家屋被害に対する影響の大きい 1Hz 以上の最大加速度応答が GL-16 に対して GL ではかなり低減されている。

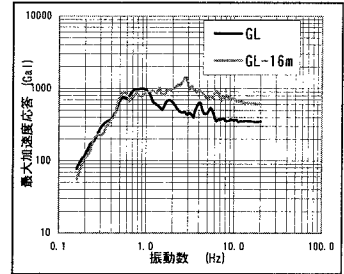


図3 加速度応答スペクトル (NS 方向)

この最大加速度応答の低減が家屋の被害率にどの程度影響するかを調べるために、上記の応答スペクトルと家屋の常時微動測定（下食満地区：震央距離約 40km）²⁾ で得られた 24 軒の木造家屋の卓越振動数とを用いて地震時に各家屋に発生するせん断ひずみを試算する。図4は1階層破壊に着目して1自由度系にモデル化した2階建て家屋の地震時のせん断変形を表している。地震加速度 α が卓越振動数 F_s の家屋の有効質量 M に作用

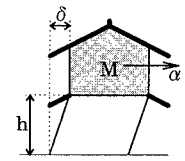


図4 家屋の変形

した場合の変位量 δ は、系のバネ定数を k と表せば、 $\delta = M \alpha / k = \alpha / (2 \pi F_s)^2$ で求められ、1階層のせん断ひずみ γ_s は2階面の高さを h と表せば、 $\gamma_s = \alpha / (4 \pi^2 F_s^2 h)$ で求められる。表1にJR鷹取、神戸大学、ポートアイランド GL および GL-16 での観測波に対する家屋の最大応答値（せん断ひずみ）を示す。JR鷹取観測点付近の倒壊率（約 40%）を参考にして家屋倒壊の基準値となるせん断ひずみ量を仮に $7,300 \mu$ と決めれば、神戸大学の地震波に対してはいずれの家屋の応答値も基準値を下回っている。地盤が地上より良好な神戸大学で家屋被害が小さくなることは容易に理解できる。また、ポートアイランド GL の地震波に対しても全家屋の応答値は基準値を下回っているが、ポートアイランド GL-16 の地震波に対しては 5 軒のせん断ひずみが基準値を越えており、これは倒壊率約 21% に相当する。もし層厚 16m の表層が液状化せずにさらに地震波を増幅していたならば家屋被害率はさらに

House No.	Predominant Frequency	Takatori GL	Kobe Univ. GL	Port Island GL	Port Island GL-16
1	3.39	10509	4204	3807	9526
2	3.47	10030	4012	3352	8577
3	3.49	9915	3966	3313	8479
4	3.52	9911	3964	3931	7548
5	3.56	9689	3876	3843	7379
6	3.66	9129	3652	4068	6696
7	3.66	9129	3652	4068	6696
8	3.91	7482	2993	3895	6130
9	3.96	7579	3031	4084	6289
10	3.96	7294	2918	4084	6289
11	3.96	7294	2918	4084	6289
12	4.00	7149	2860	4003	6164
13	4.03	7043	2817	3943	6073
14	4.08	7377	2951	3847	5925
15	4.15	7130	2852	3681	5367
16	4.22	6895	2758	3560	5190
17	4.88	6254	2502	1967	2913
18	4.96	5934	2374	1904	2820
19	5.08	4758	1903	1911	2917
20	5.08	5771	2309	1911	2917
21	5.25	5301	2120	1900	2778
22	5.30	4916	1966	1864	2726
23	6.71	3067	1227	847	1911
24	6.98	2046	819	763	1510

大きくなり震度VIIレベルに達した可能性がある。このことから、地上よりも軟弱な海側の軟弱地盤地帯で倒壊率が小さくなったのは液状化による地表面加速度の低減のためであると考えられる。

まとめ 阪神大震災の震災の帯の山側、地上、および海側の3地域の表層地盤の特性には明らかな差があることが確認された。震災の帯は、带状地帯の山側は良好地盤のため家屋被害が小さく、海側は軟弱地盤の液状化によって家屋被害が低減されたために現れた。したがって、海側の軟弱地盤が被害の帯から外れることを阪神大震災の被害と表層地盤の地震動増幅特性の関係を否定する根拠として挙げるのは不適当であり、震災の帯、つまり阪神大震災の地震被害も表層地盤の地震動増幅特性で説明できるものと考えられる。

参考文献：1) 地盤工学会阪神大震災調査委員会：阪神淡路大震災調査報告書（解説編），pp130-150、2) F. Ueha and Y. Nakamura：Ground motion characteristics around Kobe City detected by microtremor measurement -The Great Hanshin Earthquake Disaster-, Proceedings of 11th WCEE, 1996、3) 中村 豊：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動増幅特性の推定、鉄道総研報告、Vol. 2, No. 4, pp. 18-27, 1988年4月。