

# 兵庫県南部地震における神戸市域の被害度に 地盤特性値が及ぼす影響について

馮 少孔・石川 浩次・緒方信一・細矢卓志

中央開発株式会社 (〒169-8612 東京都新宿区西早稲田 3-13-5)

1995年兵庫県南部地震において、震度5以上の被害が神戸市全域に及び、震度7以上の被害は带状または島状に複雑に生じた。筆者等は、神戸市域全域の表層地盤の厚さ(H)と表層地盤のS波速度(Vs)から地盤特性値( $T_g=4H/V_s$ )を求め、 $T_g$ 分布と被害分布との関係を調べた。その結果、両者は密接な関係があり、特定の周波数帯域  $T_g=0.12$  秒、 $0.24$  秒、 $0.36$  秒付近では被害が大きく、一方  $T_g=0.20$  秒、 $0.32$  付近では被害の低くなる傾向がみられた。また、当該地震の強震記録及び地震計設置場所における表層地盤特性値  $T_g$  から求めた経験式を用いて  $T_g$  分布から神戸市域全域の最大加速度分布を推測した。推測加速度分布は被害分布と良く対応しており、地盤特性値の被害に及ぼす影響を示した。

**Key Word:** seismic damage, characteristic value, surface layer, acceleration distribution

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震の直後、筆者らは現地に入って詳細な被害調査を行い、図1に示すような被害分布図を作成した<sup>1,2)</sup>。更に、この調査により得られた詳細な被害分布及び震災前後に各機関が実施した地質調査結果を収集整理して、強震動シミュレーション及び統計的な手法により“震災の帯”の成因について検討してきた。この内、強震動シミュレーションは地震基盤までの地質構造を考慮する2次元及び準三次元動的解析により深部地質構造の震災に及ぼす影響を明らかにした<sup>3,4)</sup>。また、神戸市域における当該地震の強震記録及び地震計設置場所の地盤条件から図2に示すような結果を求め、強震動と表層地盤特性値  $T_g$  の関わりについて示唆した<sup>5,6)</sup>。また、神戸市域にわたる13精査ラインの被害調査結果から図3に示す建築物倒壊率と表層地盤特性値の関係が得られた<sup>7,8)</sup>。これらの研究成果を踏まえ、筆者等は神戸市地盤柱状図データベース(神戸JIBAN君<sup>9)</sup>)を利用して神戸市域全域250m×250mメッシュに代表ボーリングを抽出し、表層地盤特性値を求め、被害との関係を調べた。

本論文は検討結果について報告するものである。また、本研究はN値が50を超える地層の上面を、いわゆる“工学的基盤上面”と位置付け、これを覆う軟弱な未固結層を表層地盤と称する。

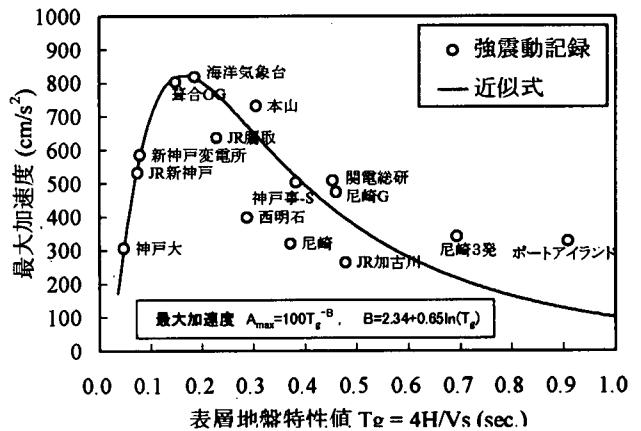


図2 最大加速度及び観測点における表層地盤特性値

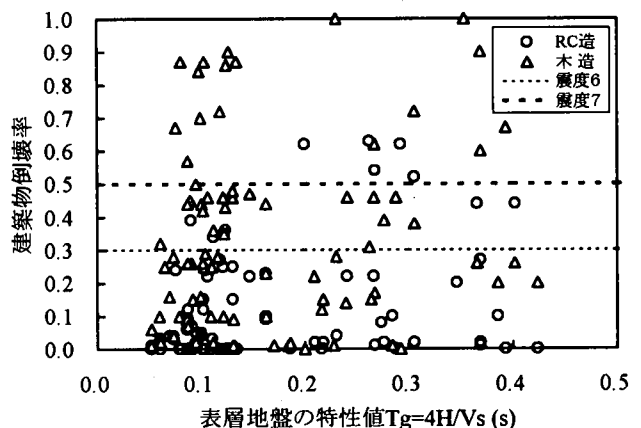


図3 建築物倒壊率と表層地盤特性値との関係

## 2. 表層地盤モデルの作成及び Tg の計算

### 2. 1 表層地盤モデルの作成

神戸市地盤柱状図データベース「神戸 JIBAN 君」(市街地ボーリング約 3800 本、PS 検層資料 220 本)を用いて神戸市東西方向ではほぼ全域、南北方向では基盤岩が露出する北側山地部を除く低地部のほぼ全域にわたって表層地盤の厚さ(いわゆる工学的基盤の目安となる  $N \geq 50$ 、層厚  $\geq 5\text{m}$  層までの厚さ)、N 値及び表層地盤地質を評価し、 $250\text{m} \times 250\text{m}$  メッシュに代表ボーリングを抽出した。代表ボーリングはメッシュ内のすべてのボーリングを解釈するうえ、原則として一番深いボーリングを選定した。表層地質は各ボーリングデータから最小層厚 2m としての地質構成を解釈し、代表的な地質構成を当メッシュの表層地盤地質構成とした。また、N 値は工学的基盤面以上における各層の N 値の平均値を用いた。

### 2. 2 表層地盤特性値 Tg の計算

表層地盤特性値は

$$T_g = 4H/V_s$$

で計算した。ここで、H は代表ボーリングにおける表層の厚さ、 $V_s$  は代表ボーリングにおける表層の S 波速度の平均値である。但し、ほとんどのメッシュには PS 検層のデータがないので、 $V_s$  は平均 N 値から推測した。

また、 $V_s$  の推定は以下に示す地質構成別の式を利用した。

$$V_s = 105.43N^{0.3079} \quad (\text{粘性土})$$

$$V_s = 114.47N^{0.2682} \quad (\text{砂質土})$$

$$V_s = 108.96N^{0.2551} \quad (\text{礫質土及び盛土})$$

これらの式は「都市地震防災地盤図検討委員会」によりまとめたものである<sup>10)</sup>。

## 3. 被害度と表層地盤特性値の関係

被害分布と表層地盤特性値との関係を検討するために、まず被害調査による詳細な被害分布を表層地盤と同様に  $250\text{m} \times 250\text{m}$  のメッシュでグリッド化し、各メッシュにおいて 1/2 以上の面積を占める震度階をメッシュの震度階とした。続いて震度階ごとに  $T_g$  の出現頻度を求めた。それらの結果を図 4、図 5 及び図 6 に示す。

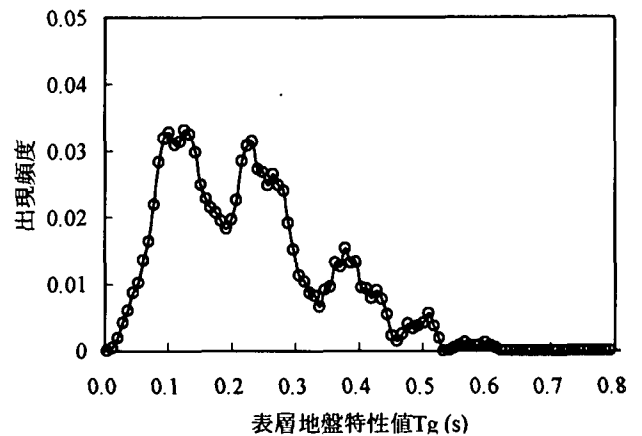


図 4 震度 7 以上域における表層地盤 Tg 分布

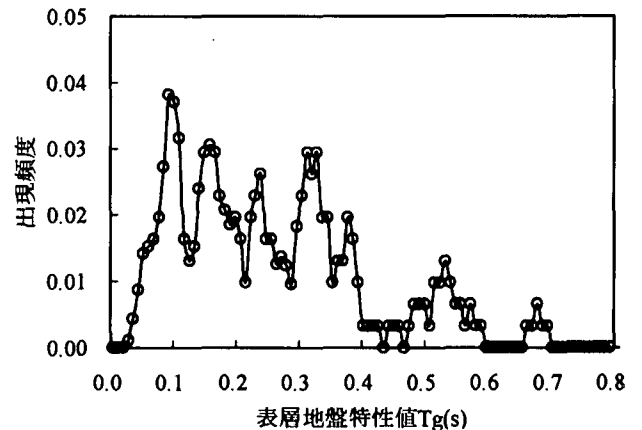


図 5 震度 5~6 域における表層地盤 Tg 分布

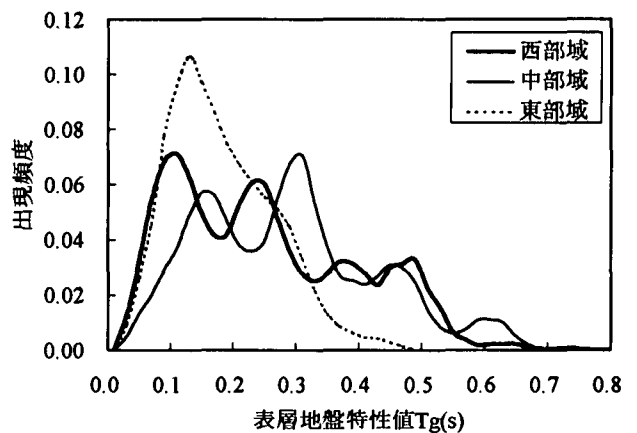


図 6 地域別震度 7 以上域における Tg の分布

図 4 に示すように、震度 7 以上の分布域における  $T_g$  の頻度分布は 0.12 秒、0.24 秒及び 0.36 秒付近において明白なピークがあり、図 3 に示す震災精査ラインの解析結果と一致している。つまり、神戸市域全域にわたって震度 7 以上の被害はある固有周期及びその高次モードで増幅された地震波によるもの

と考えられる。一方、図5によれば、震度5~6の分布域におけるTgの頻度分布は0.10秒、0.14秒、0.21秒、0.25秒等多くのピークを持つ複雑なパターンとなっている。また、Tg=0.54秒付近において頻度のピークがあり、軟弱地盤に発生した被害を示している。

また、後背湿地理型表層地盤を主とする西部域（JR鷹取駅付近）、沖積・洪積砂地盤を主とする中部域（有馬通～旧生田川一帯）及び沖積・洪積礫地盤を主とする東部域（三宮以東の灘区・東灘区一帯）の統計解析結果を図6に示す。図6によれば、震度7以上の被害域におけるTgの頻度分布ピークは、西部域では0.12秒、0.24秒及び0.36秒付近、中部域では0.15秒、0.30秒及び0.45秒付近、東部域では0.13秒付近のみ出現し、地域の差が見られる。

#### 4. 推測加速度と被害分布の関係

図2に示す経験式を用いてTg分布から全域における最大水平加速度の分布を推定し、図1に示す被害分布と併せて**加速度分布と被害分布の関係**を検討した。その結果を図7に示す。

図7によると、Tgから推定した最大加速度分布は、海岸沿いは低く（600 cm/s<sup>2</sup>以下）、海岸部と北側の山地の間は高く（600 cm/s<sup>2</sup>以上）、600 cm/s<sup>2</sup>以上の分布域は東西方向の幅1~2 kmの帯状となっており、700 cm/s<sup>2</sup>以上の分布域はこの帯の中に島状に分布している。この最大加速度の分布パターンは図1に示す被害分布と良く一致しており、“震災の帯”の中の被害の差は主に表層地盤の動的特性の差によるものと考えられる。

図8及び図9に示すのは推定加速度分布から求めた最大加速度と地震度の統計的結果である。図8から震度7以上の被害を受けた域における最大加速度は800 cm/s<sup>2</sup>前後で頻度が最も高いことが分かる。また、図8に400 cm/s<sup>2</sup>~500 cm/s<sup>2</sup>の加速度も示されているが、これは加速度の推定精度及び建物の老朽の影響によるものと考えられる。一方、図9によると、震度5~6の被害を受けた域における最大加速度は約570 cm/s<sup>2</sup>前後で頻度が一番高いことが分かる。

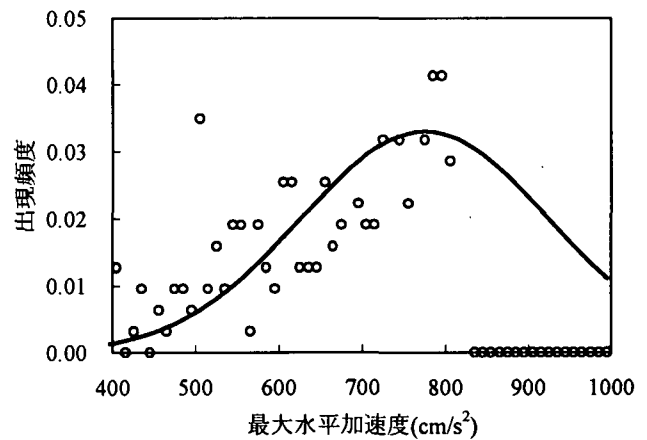


図9 震度 $\geq 7$ 域における最大加速度の分布頻度

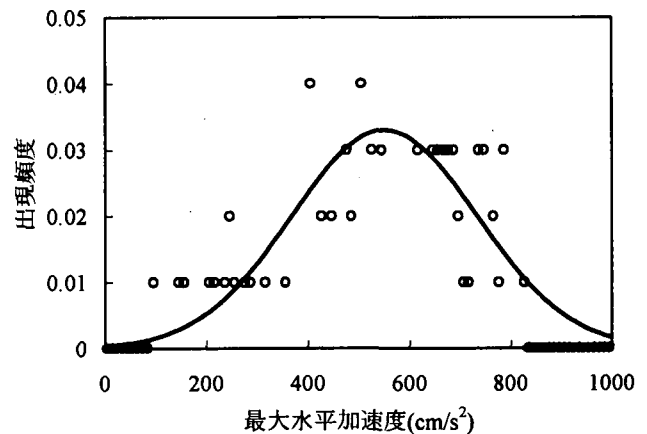


図10 震度5~6域における最大加速度の分布頻度

#### 5. まとめ

1995年兵庫県南部地震による神戸市域に生じた帯状・島状甚大被害域の成因について、神戸市地盤柱状図データベースを利用して神戸市域全域250 m×250 mメッシュに代表ボーリングを抽出し、Tgを求め、被害との関係を調べた。更に、経験式を用いてTgから最大加速度分布を推定した。検討結果から以下のことがまとめられる。

(1) 震度7以上の被害域におけるTgは0.12秒、0.24秒及び0.36秒付近において頻度が最も高く、明白なピークとなっており、震度7以上の被害はある固有周期及びその高次モードで増幅された地震波によるものと考えられる。

(2) Tg分布から推定した最大加速度分布は被害分布とよく一致しており、震度7以上域の帯状・島状分布は表層地盤の動的特性の差によるものであると推定出来る。

(3) 震度7以上の被害を受けた域における最大加速度は800cm/s<sup>2</sup>前後で頻度が最も高く、震度

5~6の被害を受けた域における最大加速度は約570cm/s<sup>2</sup>前後で頻度が最も高い。

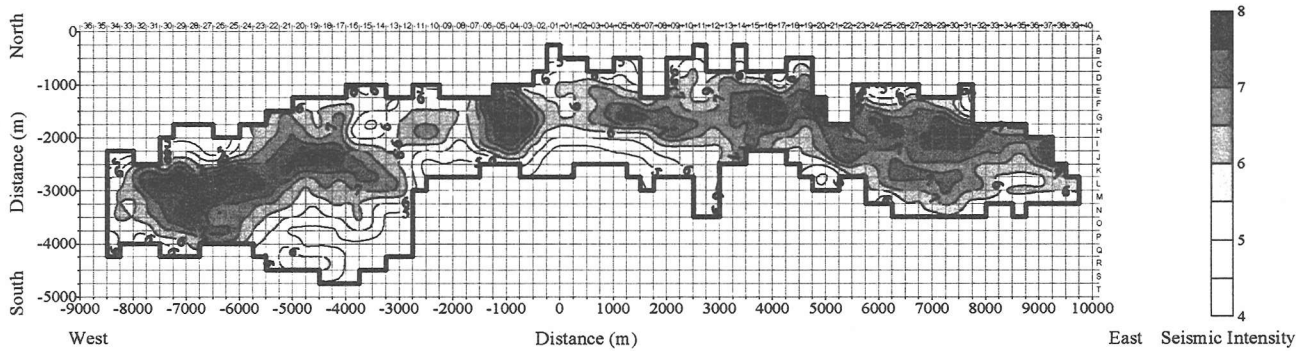


図1 1995 兵庫県南部地震による神戸市域の地震被害分布

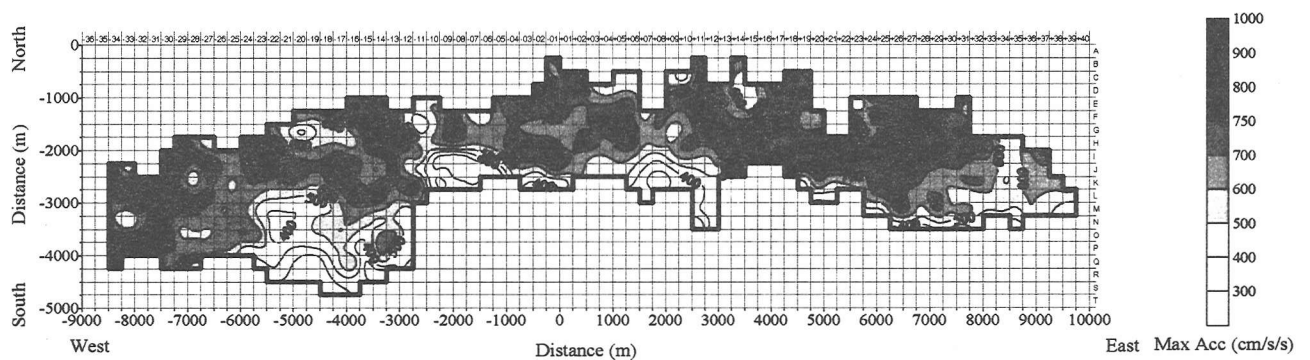


図7 強震記録を利用して表層地盤特性値 Tg から推定した最大加速度分布

参考文献

- 1) 中央開発株式会社 (1995) : 1995 年兵庫県南部地震・阪神大震災災害調査報告書
- 2) 石川浩次・溝口昭二・大鹿明文 (1998) : 1995 年兵庫県南部地震における建築物の被害判定とその分布調査、地質学論集、51、pp55-66.
- 3) 馮少孔・鍛冶義和・石川浩二 (1996) : 波動シミュレーションを用いた“震災の帯”についての検討、物理探査学会第94回(平成8年度春季)学術講演会講演論文集、pp22-26.
- 4) 石川浩次・馮少孔・横田裕・東貞成 (1998) : 兵庫県南部地震の被害と地盤の動的特性の影響、日本応用地質学会平成10年度研究発表会講演論文集、pp281-284.
- 5) 馮少孔・石川浩次・緒方信一 (1998) : 1995 年兵庫県南部地震における表層地盤の動的特性及び地震動の評価、第33回地盤工学会研究発表会講演集、p207-208.
- 6) 石川浩次・馮少孔・緒方信一・細矢卓志 (1999) : 兵庫県南部地震の被害分布と断層構造及び地盤特性の影響、土と基礎、Vol.47, No.2 Ser.493, p9-12.
- 7) 馮少孔・石川浩次・緒方信一・細矢卓志 (2000) : 兵庫県南部地震における建築物の倒壊率に及ぼす各種地盤特性の影響、日本応用地質学会平成12年度研究発表会講演論文集、pp357-360.
- 8) 石川浩次・細矢卓志・緒方信一・馮少孔(2000) : 地震被害と地形・表層地質・地盤特性—“震災の帯”の中の被害差の原因について、第四紀研究、39(4)、pp389-400.
- 9) 神戸市 (1999) : 神戸 JIBAN 君 (地盤データベース)
- 10) 都市地震防災地盤図検討委員会 (2000) : 「都市地震防災のための深部地盤モデル」に関するシンポジウム講演集、日本応用地質学会・(社)全国地質調査業協会連合会、pp15.