

常時微動測定結果に基づくハザードマップ

上半 文昭¹ ・ 富田 健司²

¹正会員 工修 (財) 鉄道総合技術研究所 ユレダス開発推進部 (〒185 東京都国分寺市光町2-8-38)

²正会員 (財) 鉄道総合技術研究所 ユレダス開発推進部 (〒185 東京都国分寺市光町2-8-38)

ハザードマップは災害ポテンシャルの全体傾向や地域特性の把握に役立つ。被災対象の年代や構造種別に基づくハザードマップはすでに多くの自治体などで採用されている。それらのハザードマップは過去の経験や理論から得られたモデルに基づいて被災危険度を判定している。それに対して常時微動測定結果に基づくハザードマップは、個々の危険度判定対象の実測による動特性に基づいて被災危険度を判定するため、より実態に見合った弱点箇所を抽出することができる。

ここでは、地盤の常時微動測定結果に基づくハザードマップの作成手法を述べるとともに、作成したハザードマップを利用して、実地震被害の分布と常時微動測定結果の相関性について考察し、常時微動測定結果を用いたハザードマップの有効性を検証する。

Key Words: Hazard map, Microtremor, Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, Risk index, Ground motion characteristics

1. はじめに

ハザードマップは災害ポテンシャルの全体傾向や地域特性の把握に役立つ。鉄道総研では兵庫県南部地震以降、多くの地点の常時微動測定を神戸市周辺を中心に行ってきた。常時微動測定結果から得られる情報は全て数値的な内容であるが、これを誰もが容易に理解できるかたちで表現する手法としてグラフや表によらないハザードマップのかたちを採用してみた。

被災対象の年代や構造種別に基づくハザードマップは各自治体などで採用されている。それらのハザードマップは過去の経験や理論から得られたモデルに基づいて被災危険度を判定している。それに対して常時微動測定結果に基づくハザードマップは、個々の危険度判定対象の実測による動特性に基づいて被災危険度を判定しているため、より実態に見合った弱点箇所を抽出できるという長所を持っている。

ここでは、地盤の常時微動測定結果に基づくハザードマップの作成手法を述べるとともに、作成したハザードマップを利用して、実地震被害の分布と常時微動測定結果の相関性について考察し、常時微動測定結果を用いたハザードマップの有効性を検証する。

2. ハザードマップの作成手法

(1) 常時微動利用の有効性

まず、対象とする災害に対して常時微動の利用が有効かどうかを検討する。常時微動測定結果は地盤や構造物の振動によって引き起こされる災害と密接な関係のあることがこれまでの研究から明らかになっている。地震動による地盤災害には、液状化、側方流動、地割れ、盛土・斜面崩壊などがある。また、落石、ライフライン被害、基礎の被害、高架橋や建築物などの構造物の被害に関しても常時微動をうまく活用することによってその要因を究明することができる。常時微動測定結果と災害を結びつけるのが以下に述べる被災危険度指標である。

(2) 常時微動に基づく被災危険度指標

対象とする災害の発生メカニズムを理論的または経験的に考察し、常時微動測定結果を用いて災害予測に有効な指標を導出する。

鉄道総研では常時微動測定結果に基づく指標として、卓越振動数、増幅倍率、および各種の危険度指標を提案してきた。中村¹⁾は常時微動の水平・上下スペクトル比(QTS)が地盤の伝達関数を近似していると仮定し、微動記録から表層地盤の卓越振動数と増幅倍率を求める方法を提案している。1点で記録された常時微動の水平成分と上下成分のスペクトル

比を求め、そのピーク値が表層地盤の卓越振動数と工学的基盤に対する増幅倍率を表しているものとする。そして、基盤上に表層地盤がのった2層構造モデルを考え、その表層地盤の部分に生じる平均的なせん断ひずみに着目し、次のような危険度指標（K値）を提案している。

$$(\text{危険度指標：K 値}) = C \times (\text{増幅倍率})^2 / (\text{卓越振動数})$$

$$(C = 1 / \pi^2 / \text{基盤S波速度})$$

この危険度指標の値が大きいほど地震時に地盤に大きなひずみが発生する。地盤に発生するひずみ量と土の力学的性状の関係より、この危険度指標を用いて液状化等の地盤災害の危険度を判定することができる。また、このK値は液状化や側方流動に起因する基礎の被害、地中埋設管などのライフラインの被害にも応用できるものと考えられる。さらに、表層地盤の地震動増幅特性を用いるため構造物被害も判定できる場合がある²⁾。

なお、建築物などの構造物の危険度を判定する場合には、構造物と地盤の微動を同時測定する手法^{1) 2)}が有効であるが、ここでは説明を省略する。

(3) 常時微動の測定および解析

常時微動の測定および解析を実施する。測定に用いるセンサの特性やスペクトルの平滑化手法など、各測点の測定条件およびデータの解析条件が変わらないよう注意する。

(4) 有効性の検証

a) 実被害との相関分析

分析結果と過去の災害データ（過去の災害データが無い場合には、年代や構造種別などのデータ）との相関関係を調べ、仮定した指標の有効性を検証する。相関が期待した水準よりも低い場合には用いた指標が妥当であるかどうか再検討する。

b) 従来データの利用

常時微動による指標だけでは被害をうまく説明できない場合には、被害との相関が高い他のデータを利用した測定結果の重み付けを検討する。従来の経験・理論モデルに基づくハザードマップに用いられてきた被害と相関の強いデータを用いて常時微動による指標に重み付けをすれば、従来のハザードマップに常時微動で抽出した弱点箇所を取り込んだマップが出来上がる。

(5) 地震動の取り扱い

ここまで述べてきた常時微動測定結果に基づくハザードマップは弱点箇所を抽出したマップ（弱点箇所抽出マップ）である。このマップに想定地震動の影響を取り入れれば想定地震に対する被害の発生状況を推定したマップ（被災危険度マップ）になる。

鉄道総研が提案している危険度指標¹⁾は、推定基盤入力加速度を乗じれば対象物に生じるひずみ量が求まるよう工夫されているため、比較的容易に地震動の影響を取り入れることができる。この考え方は現在開発中の第2世代ヘラス（災害予測・復旧支援システム）³⁾に応用されている。

(6) 作成のフロー

作成の手順を図1にまとめる。

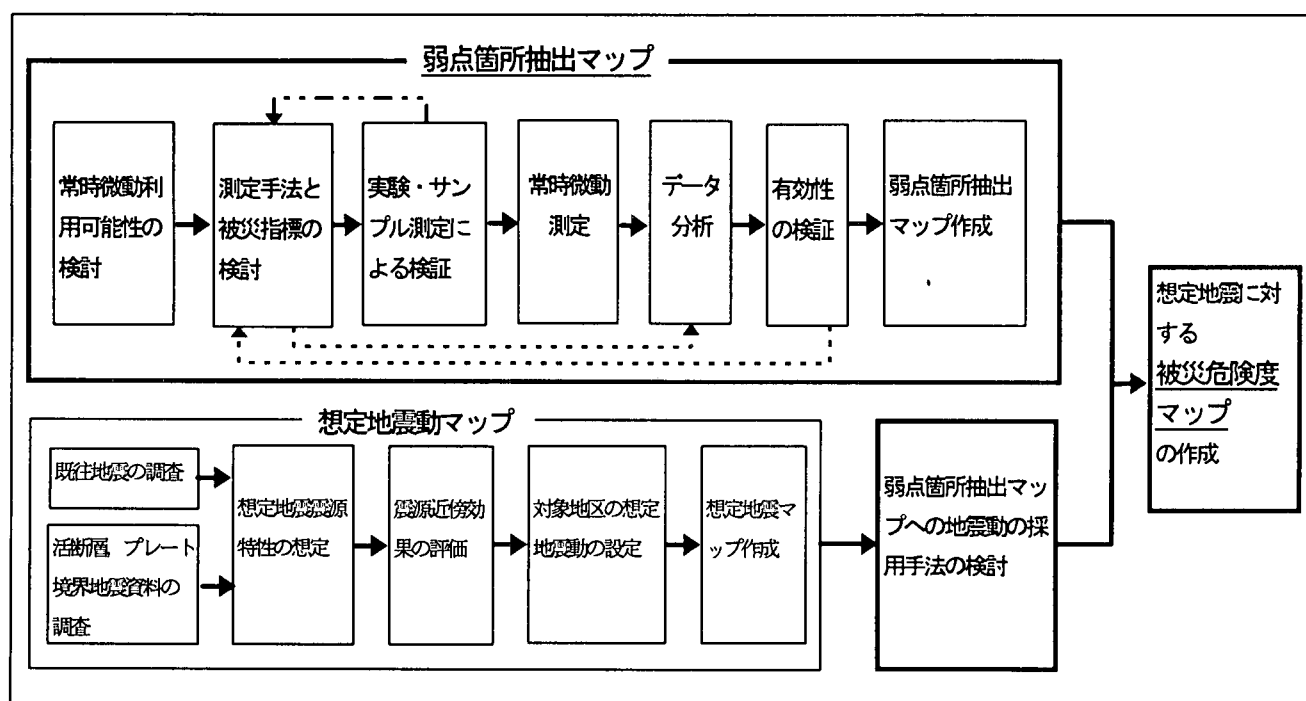


図1 常時微動測定結果に基づくハザードマップの作成手順

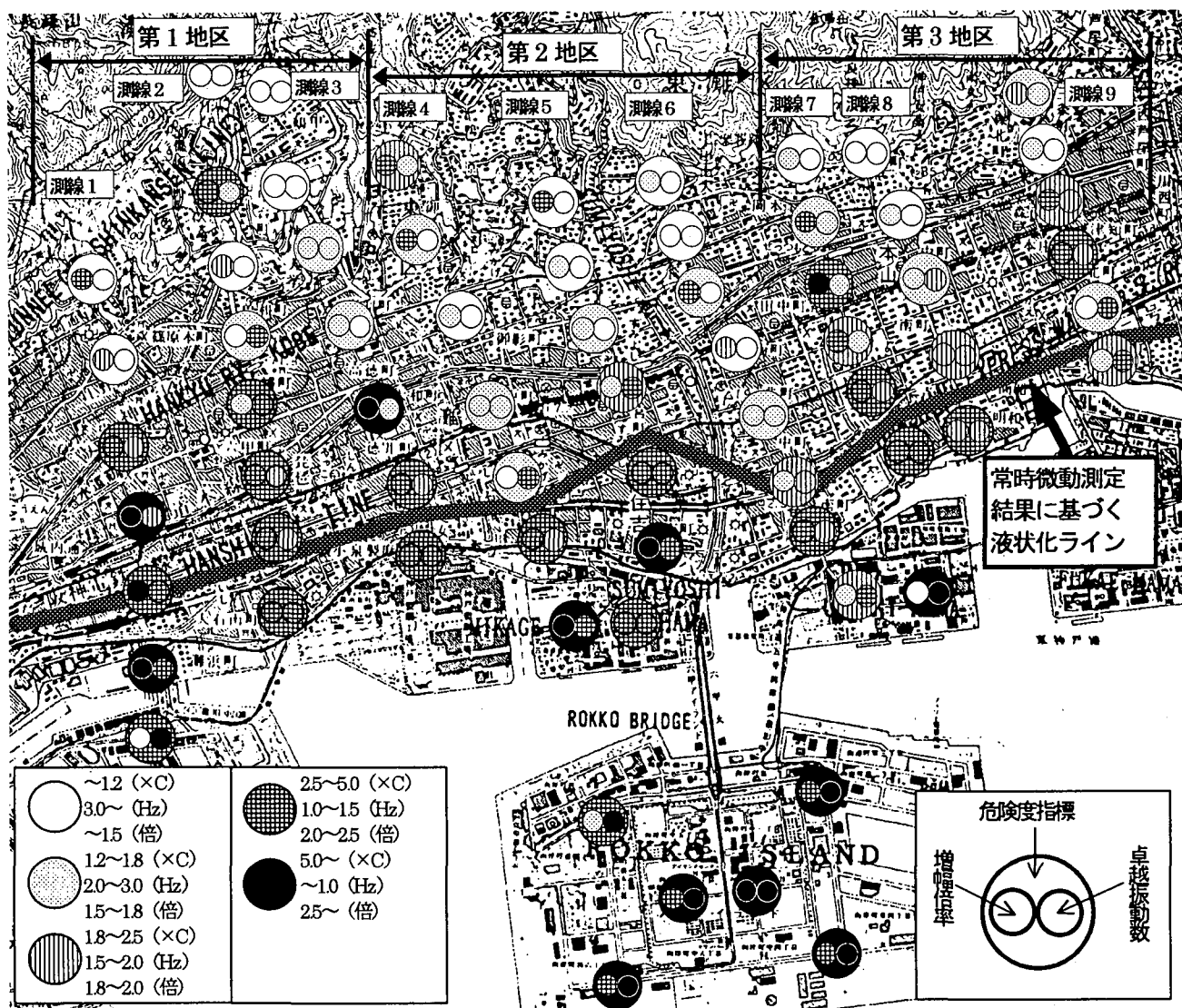


図2 灘区・東灘区の弱点箇所抽出マップ

3. 実施例

(1) ハザードマップ

一例として図2に神戸市灘区、東灘区の常時微動測定結果に基づくハザードマップを示す。常時微動測定は1995年2月から1996年2月にかけて数回に分けて実施した²⁾。

このマップでは卓越振動数、増幅倍率、危険度指標の3指標を示した。図2を見ると、卓越振動数が低い（ため危険度指標が大きい）測点と、倍率が大きい（ため危険度指標が大きい）測点がある。兵庫県南部地震の被害と照らし合わせれば、前者周辺では液状化が生じており、後者周辺では構造物被害が著しい。このことも考慮して卓越振動数が1.6Hz以下、危険度指標2.0×C以上（基盤加速度200~300galで液状化することに相当、 $C=1/\pi^2/\text{基盤S波速度}$ ）の条件で兵庫県南部地震による液状化ラインを推定し、図2中に示した。

(2) 被害と常時微動測定結果の相関

a) 液状化との相関

各測点周辺の被害を次の5階級に分類し、常時微動測定結果に基づく各指標との相関を分析し、結果を表1に示す。被害の分類には測定調査時の記録と濱田他⁴⁾の資料を参考にして次のように決めた。

（地盤変状が全く見られない：0点。路面のクラックなど小規模な変状が見られる：1点。周囲50m圏内に陥没、地盤れなどが見られる：2点。極近傍に陥没、地盤れなどが見られる：3点。完全に液状化している：4点。）

被害の分類が地盤の非線型化の程度を十分に反映できていない可能性もあり判断が難しが、被害と微動測定結果の間には相関が見られる。

兵庫県南部地震では、旧海岸線より南、特に明治以降の埋め立て地での液状化が顕著であった。このことを利用してデータに重み付けした場合（ W_1 ：縄文海岸線~明治初期海岸線の区間の重み係数、 W_2 ：明治初期海岸線以南の地区の重み係数）の結果を従来データの利用の一例として表1に合わせ示す。

b) 低層建物倒壊率の分析

文献2)では鷹取駅周辺の家屋倒壊率と常時微動測定結果に基づく地盤の危険度指標の間に強い相関があることを示した。灘区、東灘区の倒壊率と地盤の危険度指標の間にも相関があるかどうか確かめ表2に示した。倒壊率は建設省建築研究所報告書⁵⁾の低層建物の倒壊率を参考に次のように階級分けした。なお、液状化による地震動の頭打ち⁶⁾の影響を除くため、非液状化域のデータのみを用いた。

(倒壊建物なし: 0点, 倒壊率0~12%: 1点, 倒壊率12~25%: 2点, 倒壊率25~50%: 3点, 倒壊率50%: 4点)

鷹取周辺(相関係数0.8以上)ほどの強い相関は見られないものの、低層建物の倒壊率と常時微動測定結果に基づく指標の間には相関が見られる。建築物の建設年代や構造形式のデータを用いて重みを付ければ相関はさらに高くなるものと予想される。また、文献2)のように家屋と地盤の同時測定を実施すれば個々の建築物の倒壊危険度を判定することができるであろう。

表1 液状化被害と常時微動測定結果に基づく指標の相関

	危険度指標との相関係数	卓越振動数との相関係数	増幅倍率との相関係数
第1地区	0.49	-0.53	0.14
第2地区	0.63	-0.65	0.32
第3地区	0.47	-0.54	0.12
全体	0.58	-0.55	0.20
重み付け後全体1 W ₁ =1.2, W ₂ =1.5	0.64	-0.57	0.44
重み付け後全体2 W ₁ =1.5, W ₂ =2.0	0.70	-0.60	0.54

表2 低層建物倒壊率と常時微動測定結果に基づく指標の相関

	危険度指標との相関係数	卓越振動数との相関係数	増幅倍率との相関係数
測線1	0.50	-0.53	0.59
測線2	0.58	-0.62	0.43
測線3	0.68	-0.55	0.51
測線4	-0.02	-0.56	-0.51
測線5	0.62	-0.67	-0.20
測線6	0.75	-0.67	0.56
測線7	0.73	-0.65	0.52
測線8	0.53	-0.59	0.30
測線9	0.38	-0.46	0.34
全体	0.39	-0.51	0.28

4. まとめ

常時微動測定結果に基づくハザードマップの作成方法について述べるとともに、神戸市灘区、東灘区での常時微動測定結果を用いてハザードマップの有効性について考察した。

常時微動に基づく被災危険度指標と兵庫県南部地震による被害の間には相関があり、常時微動測定結果に基づくハザードマップは被害推定に有効であると考えられる。

従来のハザードマップに用いられてきた被害と相関の強いデータを用いて常時微動測定結果に基づく指標に重み付けをすれば、従来のハザードマップと常時微動測定結果に基づくハザードマップの両者の長所を生かしたハザードマップを作成することができる。

被災危険度指標の深度化など、常時微動利用技術の理論的な追求を今後の課題としたい。

なお、本研究は、運輸省の補助金を基に「鉄道の安全性のさらなる向上に関する技術開発」の一環として進められている。

謝辞：本年3月に鉄道総研を退職された中村 豊 前ユレダス開発推進部長にはさまざまなご意見、ご指導をいただきました。記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村 豊, 研究展望: 総合防災システムの研究, 土木学会論文集 No. 531, I-34, 1996年1月.
- 2) Ueha, F., Y. Nakamura, Ground Motion Characteristics Around Kobe City Detected by Microtremor Measurement - The Great Hanshin Earthquake Disaster -, Proceeding of the 11th WCEE, No. 714, Jul. 1996.
- 3) 富田 健司他, HERAS (ヘラス) の災害発生予測手法 第24回地震工学研究発表会, 1997年7月.
- 4) Hamada, M., et al. The 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake - Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area -, Aug. 1996.
- 5) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書, 平成7年8月.
- 6) Ueha, F., Y. Nakamura, SEISMIC HAZARD ANALYSIS IN AND AROUND KOBE CITY USING MICROTREMORS, Reports of Annual Symposium of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Mar. 1997.