

(200) 地域別の地震災害危険度評価に関する研究

— 仙台市と金沢市を対象に —

金沢大学工学部 池本敏和, 静岡県庁 栗田哲良
金沢大学工学部 宮島昌克, 金沢大学工学部 北浦 勝
金沢工業大学 鈴木 有

1. はじめに

本研究では、都市内での地震災害を考えるために、仙台市、金沢市の市街化地域を対象とした地震災害危険度評価を考える。これは、各種地震災害の相互作用を考慮してそれらを一貫して捉え、それぞれを総合的に定量評価して防災問題を解決するうえで役に立つものである。すべての地震災害の特徴を取り込むことはできないが、要点をつかみ、できるだけ実際に近く、かつ、簡便な手法を用いて被害予測を行なう。危険度評価法の検証として、1978年の宮城県沖地震を取り上げ、当時の仙台市に評価法を適用した結果と実際の被害との比較を行う。

2. 地域別地震災害危険度の評価問題の定式化

本研究では太田らの手法¹⁾を参考にして、「地震災害は地震動の強さと地域の持つ環境—地域特性—とによって一意的に決定される」との前提に立ち、地震災害の危険度評価という問題を定式化し、具体的な評価を試みる。地震によって発生する多様な被害を、その発生形態、被災系列（被害の発生過程のフロー）、特徴などで区分して、 y_i [$i=1, 2, \dots, m$] とおく。これに対応して、地域環境を特徴づける量を地域特性と定義して、 x_i [$i=1, 2, \dots, m$] とおく。また、地域特性 x_i をそれを規定する指標群 ξ_{ij} によって表わすとし、地域に作用する地震動強さを S とおくと、 y_i は S と x_i の関数として次式のように定式化される。

$$y_i = f_i \{ S; x_i; y_1, y_2, \dots, y_{i-1} \} \quad [i=1, 2, \dots, m]$$
$$x_i = g_i \{ \xi_{i1}, \xi_{i2}, \xi_{i3}, \dots \}$$

したがって、地域特性 $\{x_i\}$ を既知量として定めることができ、かつ各変量間の結合関係とその係数群が何らかの方法で決定できれば、地震被害の全様相 $\{y_i\}$ を、地震動強さ S をパラメータとして評価することができる。

3. 地震災害危険度の関連指標群

社会科学の分野においては、「地域特性」は「当該地域を他と識別して特徴づける要因群」を意味し、「地域を性格づけるために用いる特性量」と定義されている。当面する問題では、対象が地震であるので、地域を性格づける多くの特性量の中から、地震災害の発生の原因となり、これを加速し拡大あるいは抑制する要因を選別し、さらに、これらに関連する指標群を抽出した。ここでは、以上のような考えに基づき、【表1】に示す11個の地域特性を設定した。それぞれの特性量が右に示す指標群の組み合わせによって決定されるものとする。

設定した地震被害様相に関わる危険量を、その危険の質を考慮して数量化する方法に基づき加算し、さらに被害発生の時系列上の関連性を取り入れて、被害の諸様相に関わる各危険度を、簡潔性と合理性と被害量との対応に配慮しつつ、地域毎に相対的に定量評価する評価式を構築する。このようにして得られた地域特性値と危険度の評価式を、その設定の根拠とともに【表2】、【表3】に示した。各危険度はその地域の面積で除した「密度としての y_i 」の計算値を示し、全中区域の平均値が1になるよう基準化して、各中区域（ほぼ小学校区に相当）の値を定めた。

表1 地域特性の区分・指標群・入力指標値

地域特性		指標群 ξ_{ij}	[←換算/設定指標値]←入力指標値
地盤構造	X_1	揺れの差 揺れ積比 揺れ積比 揺れ積比 揺れ積比 揺れ積比	[←地盤の区分 ←地盤の区分 ←地盤の区分 ←地盤の区分 ←地盤の区分 ←地盤の区分]
ライフライン構造	X_{2W} X_{2G}	管種別 管種別 管種別 管種別 管種別	[←管種別 ←管種別 ←管種別 ←管種別 ←管種別]
道路構造	X_3	延長 延長 延長 延長	[←道路延長 ←道路延長 ←道路延長 ←道路延長]
転倒危険物	X_4	高さ 高さ 高さ 高さ	[←高さ ←高さ ←高さ ←高さ]
木造建物	X_5	壁量 壁量 壁量 壁量	[←壁量 ←壁量 ←壁量 ←壁量]
一般建物	X_6	換算必要耐力量 換算必要耐力量 換算必要耐力量 換算必要耐力量	[←換算必要耐力量 ←換算必要耐力量 ←換算必要耐力量 ←換算必要耐力量]
落下危険物	X_7	建物 建物 建物 建物	[←建物 ←建物 ←建物 ←建物]
道路利用	X_8	車種 車種 車種 車種	[←車種 ←車種 ←車種 ←車種]
火気使用	X_9	用途 用途 用途 用途	[←用途 ←用途 ←用途 ←用途]
人口	X_{10}	人間の行動能力 人間の行動能力 人間の行動能力 人間の行動能力	[←人間の行動能力 ←人間の行動能力 ←人間の行動能力 ←人間の行動能力]
ライフライン機能	X_{11W} X_{11G}	管種別 管種別 管種別 管種別	[←管種別 ←管種別 ←管種別 ←管種別]
地震動強さの危険度		S	[←標準地盤の最大応答加速度]←気象庁震度階

表2 地域特性値の評価式

地域特性値	X_i	評価式	評価式設定の根拠
地盤構造	X_1	$X_1 = \xi_{11} \times (\alpha_{12} \times \xi_{12} + \xi_{13} + \xi_{14} + 1) / \bar{X}_1$	→ 地表面での揺れと、地盤破壊を振動のみによって生じると換算した作用地震力の大きさに比例する
ライフライン構造	X_2	上水道: $X_{2W} = \xi_{21W} \times \xi_{22W} / \bar{X}_{2W}$ ガス: $X_{2G} = \xi_{21G} \times \xi_{22G} / \bar{X}_{2G}$	→ 管種別の壊れやすさと管路の敷設延長に比例する
道路構造	X_3	$X_3 = \xi_{31} \times \xi_{32} / \bar{X}_3$	→ 道路面積に比例し、道路構造の耐力に比例する
転倒危険物(塀)	X_4	$X_4 = \xi_{41} \times \xi_{42} \times \xi_{43} / \bar{X}_4$	→ 作用転倒モーメントに比例し、耐力に反比例する
木造建物	X_5	$X_5 = \xi_{51} \times \xi_{52} \times \xi_{53} \times \xi_{54} / \bar{X}_5$	→ 建物全体に働く全地震力(1階層せん断力)に比例し、建設経過年数に応じて増大する
一般建物	X_6	$X_6 = \xi_{61} \times \xi_{62} \times \xi_{63} \times \xi_{64} / \bar{X}_6$	→ 建物全体に働く全地震力(1階層せん断力)に比例し、建設経過年数に応じて増大する
危険物(窓ガラス)	X_7	$X_7 = \xi_{71} \times \xi_{72} \times \xi_{73} \times \xi_{74} \times \xi_{75} / \bar{X}_7$	→ 建物の層間変位の大きさに比例し、ガラスと窓の取り付け方に支配される
道路利用	X_8	$X_8 = \xi_{81} \times \xi_{82} / \bar{X}_8$	→ 車両密度と事故発生率に比例する
火気利用	X_9	住宅: $X_{9H} = \xi_{91H} \times \xi_{92H} / \bar{X}_9$ 建物: $X_{9B} = \xi_{91B} \times \xi_{92B} / \bar{X}_9$ 車両: $X_{9V} = \xi_{91V} \times \xi_{92V} / \bar{X}_9$	→ 火気器具使用建物数と存在車両に比例し、用途別火災発生率に比例する
人口	X_{10}	道路上: $X_{10R} = \xi_{101} \times \xi_{102R} / \bar{X}_{10}$ 車両中: $X_{10V} = \xi_{101} \times \xi_{102V} / \bar{X}_{10}$ 建物内: $X_{10B} = \xi_{101} \times \xi_{102B} / \bar{X}_{10}$ 住宅内: $X_{10H} = \xi_{101} \times \xi_{102H} / \bar{X}_{10}$	→ 区域内の人口に比例し、人間の性別×年代別行動力差に比例する
ライフライン機能	X_{11}	上水道: $X_{11W} = \xi_{111W} \times \xi_{112W} \times \xi_{113W} / \bar{X}_{11W}$ ガス管: $X_{11G} = \xi_{111G} \times \xi_{112G} \times \xi_{113G} / \bar{X}_{11G}$	→ 断水を受ける期間に比例し、区域内の利用人口に比例する

[注] \bar{X}_1 = 全中区域の平均値
 $\bar{X}_2 = \bar{X}_{2W} + \bar{X}_{2G} + \bar{X}_{2V}$
 $\bar{X}_{10} = \bar{X}_{10R} + \bar{X}_{10V} + \bar{X}_{10B} + \bar{X}_{10H}$

表3 地震災害危険度の評価式

危険度	Y_i	評価式
地盤破壊	Y_1	$Y_1 = S \times X_1$
ライフライン破壊	Y_2	上水道: $Y_{2w} = (0.5 X_{2wm} + 0.5 X_{2wo}) \times Y_1$ ガス: $Y_{2g} = (0.5 X_{2gm} + 0.5 X_{2go}) \times Y_1$
道路破壊	Y_3	$Y_3 = X_3 \times Y_1$
危険物の転倒	Y_4	$Y_4 = X_4 \times Y_1$
木造建物破壊	Y_5	$Y_5 = X_5 \times Y_1$
一般建物破壊	Y_6	$Y_6 = X_6 \times Y_1$
危険物の落下	Y_7	$Y_7 = X_7 \times Y_1$
車両破壊	Y_8	$Y_8 = X_8 \times (0.8 Y_5 + 0.1 Y_4 + 0.1 Y_7)$
出火	Y_9	$Y_9 = X_{9H} \times Y_5 + X_{9B} \times Y_6 + X_{9V} \times Y_8$
人身傷害	Y_{10}	$Y_{10} = X_{10R} \times (0.3 Y_3 + 0.2 Y_4 + 0.3 Y_7 + 0.1 Y_5 + 0.1 Y_6) + X_{10H} \times (0.3 Y_5 + 0.7 Y_6) + X_{10B} \times (0.3 Y_5 + 0.7 Y_6) + X_{10V} \times Y_8$
ライフライン破壊	Y_{11}	上水道: $Y_{11w} = X_{11w} \times Y_{2w}$ ガス: $Y_{11g} = X_{11g} \times Y_{2g}$

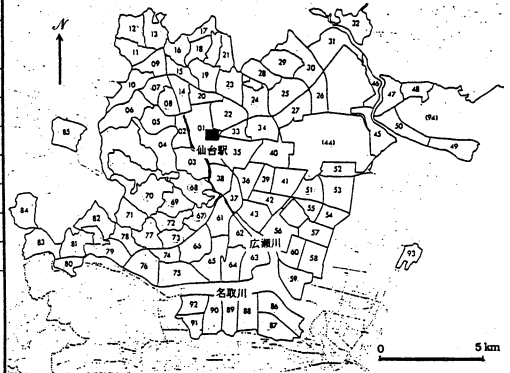


図1 仙台市住区分

4. 仙台市への適用と評価法の検証

評価式による危険度と実際の被害とが一致するかを検証する必要がある。そこで地震災害危険度の評価式の妥当性を検証するために、1978年の宮城県沖地震で被害を受けた仙台市の資料を収集し、評価式を適用して当時の被害と比較する。このとき当時の仙台市の統計資料と被害報告などを出来るかぎり収集した²⁾。

4.1 適用対象地域

仙台市を94の住区に分割し、危険度評価の適用対象地域とする。これらの地域は仙台市の昭和54年現在の市街化区域と平成12年の市街化予想区域を網羅している。住区は面積がほぼ1 km²、人口が1万人程度を基準としており、各住区がほぼ小学校区に該当する大きさである。この住区を中区域として扱い、危険度評価を行う。仙台市の住区分図を【図1】に示す。ここでは原町東部(住区番号44)と港(同94)は産業地であるため、同様に荒井南(同54)と田中(同57)は市街化調整区域であり、ほとんどが農用地域であるので対象区域から除外する。

4.2 評価結果と実被害との比較

評価例として地盤破壊を取り上げ、その評価結果を実際の被害と比較する。【図2】に地盤破壊危険度の評価結果と、実際の被害として崖崩れと宅地被害の発生件数を示す。図より次のようなことがわかる。すなわち、(1)地盤破壊危険度は、宅地造成による盛土地盤の影響と斜面崩壊の影響を強く受けた結果となっており、実際の被害と良い対応がある。(2)一部の地域では、斜面崩壊の影響が過大評価されている。すなわち、今回の評価では斜面崩壊の影響する面積に関する資料が得られず、影響面積比(α_{12})を考慮せず評価を行ったことから、斜面崩壊という局所的な災害が、住区全体に発生するかのように評価されているためである。(3)今回の危険度評価において、データが入手できなかったことから液化化発生の可能性がないとしたこと、斜面崩壊の影響面積比が取り入れられておらず過大評価されたこと、実際の被害が仙台市に報告されているものに限られていることを考慮すれば、地盤破壊危険度の評価式はほぼ妥当であるといえる。

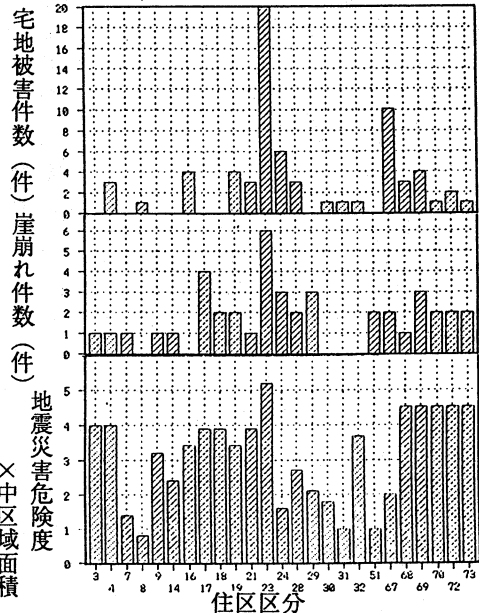


図2 仙台市における地盤の地震災害危険度と被害件数

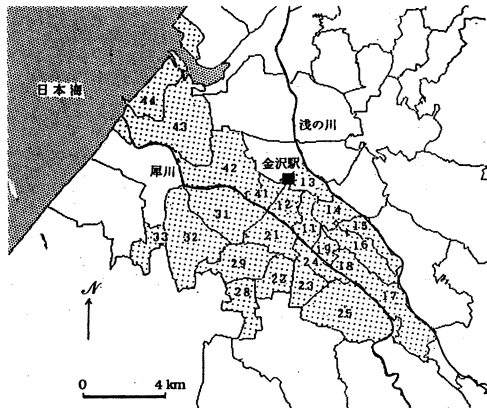


図3 金沢市住区分

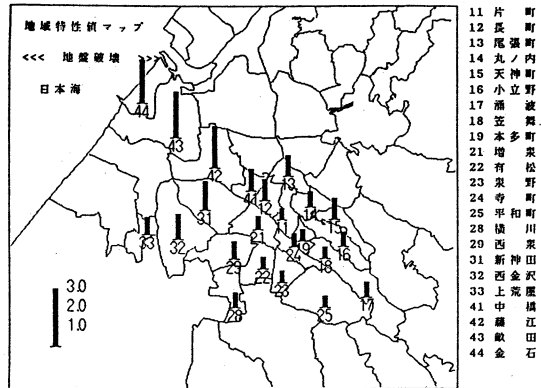


図4 金沢市における地盤特性値マップ

5. 金沢市への適用

金沢市については過去の地震による被害報告がないので、地域の実情を考慮しながら評価結果を考察し、評価式の妥当性も検証する。

5.1 適用対象地域

金沢市を48の中区域に分割し、危険度評価の対象地域として、ほぼ市街化区域を網羅するように23の中区域を選んだ。金沢市の住区分図を【図3】に示す。金沢市をはじめとする各種公共団体および公共性の強い企業が保有している統計資料等から、それぞれの評価に必要な指標群を数量化した。

5.2 評価結果と考察

評価例として地震動の強さを標準「震度5⁺」（震度5のほぼ中央の強さ）としたときの地盤特性値、地盤破壊危険度を計算し、地図中に図化したものを【図4】、【図5】に示す。これらの図より次のようなことがわかる。(1) 地盤種類の弱い地域が液状化の可能性が高いため、地盤破壊の危険度も高くなる。(2) 金沢市の評価では斜面崩壊の影響面積比 (α_{12}) を導入した。これにより過大評価が避けられ適切な評価ができたと思われる。(3) 各中区域の実情から得られる直感的な認識と危険度の大小関係は、かなり一致しているものと判断できる。しかしながら液状化のような局所的な災害を面積の広い町丁単位で一律に評価しているため、危険度を過大評価しているという問題はある。これについては、斜面崩壊と同様に影響面積比を導入することを今後検討する予定である。

6. おわりに

都市空間において被害の諸様相に関わる各危険度を、簡潔性と合理性と被害量との対応に配慮しつつ、地域毎に相対的に定量評価する方法を提案した。評価方法の妥当性の検証として地盤破壊を取り上げ、仙台市の宮城県沖地震の被害と適用例とを比較検討した結果、本評価法の妥当性が検証された。また金沢市への適用例によれば、特性値と危険度の評価結果は地域の実情をよく反映しており、危険度相互の量的な関係もほぼ適切に表現されていることから、本評価法の妥当性と有効性を確認できた。

参考文献

- 1) 太田裕：地域統計資料にもとづく行政区別耐震性評価の試み—都道府県—、自然災害資料解析，9，pp.1~14，昭57。
- 2) 仙台市総務局防災対策室：78年宮城県沖地震(1)災害の記録，pp.11~13，pp.64~66，昭54。
- 3) 北浦 勝・鈴木 有 他：都市における地域別の地震災害危険度評価に関する基礎的研究，第8回日本地震工学シンポジウム講演集，pp.2235~2240，平2。