

## (153) 都市における地域別の地震災害危険度評価法の開発

金沢大学工学部 北浦 勝  
金沢工業大学 鈴木 有  
金沢大学工学部 宮島 昌克  
金沢市 山本 晃市

### 1. はじめに

現代社会の災害脆弱性の象徴として、従来の自然災害と態様の異なる都市型災害連鎖の発生が挙げられる。都市において災害危険度の予測をする場合、この特徴を捉えることが重要である。都市型震災の特徴は、都市を形成する人の活動、活動のための都市空間、さらに都市機能を支援する種々の都市基盤施設が同時に地震動の影響を受けるところにあり、多様な被害の同時多発、波及、相互影響という性質を持つため、その予測・防止・軽減のためには各方面からの多角的な分析を行う必要がある。

本研究では、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する方法を開発することを目的とする。ここでは全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うことを心がける。具体的には、対象とする地域をいくつかの中区域からなる金沢市の市街化区域として、そこに発生が予測される多様な地震災害の種類別危険度を、過去の被災事例に基づいて可能な限り定量的に、しかも各中区域について相対的評価ができる方法を考える。ここで、中区域とは町丁が約10程集まったその地域のまとまりとなる区域のことであり、小学校区とはほぼ同じ規模である。

### 2. 危険度評価の定式化

本研究では、太田らの手法<sup>1)</sup>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-地域特性一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 $y_i$ を、地震動の強さ $S$ 、 $y_i$ に関わる地域特性 $x_i$ および時系列上でそれ以前に発生する $(i-1)$ 個の被害 $\{y_j\}$ により表すことができると考える。また、地域特性 $x_i$ を、これを規定する指標群 $\xi_{ij}$ によって表すとすると、次のように定式化することができる。

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

$$x_i = g_i \{\xi_{i1}, \xi_{i2}, \xi_{i3}, \dots\}$$

なお、本研究では、 $\{y_i\}$ を予め設定した標準の地域に対する被害発生相の相対的危険度と定義し、関数形 $\{f_i, g_i\}$ を四則演算式で簡潔に表現するよう試みた。

### 3. 地震被害相と地域特性

地震被害の発生過程をマクロに捉えながら計算にのせるという危険度評価の目的に照らして、被害の多様性は重視するが、被害の種類は余り大きくしないという立場から、被害相相互の関連を地域特性を含めてなるべく簡潔に示そうと試みたフローチャートが図1である。このフローチャートは左から右への地震災害の流れを示しており、時系列に対応して左から右へ一方方向にのみ地震災害が生ずるものとする。地震の発生(地震入力)と共にフローは始まり、それは直接地盤破壊を引き起こす。次に地震入力と地盤破壊が線的な構造物すなわちライフライン、道路と塀と、点で存在する構造物すなわち建物(木造、一般)と車両を破壊する。線で存在する構造物には地盤破壊の、点で存在する構造物には地震入力の影響が強いと考えられる。窓ガラスの破壊は建物破壊に影響を受ける。このような物的被害までが1次災害である。つぎに、1次災害が

原因で発生する災害と、1次災害である構造物の破壊によって生ずる構造物の機能障害とがある。前者としては地震火災や人身傷害が、後者としてはライフラインや道路の機能破壊がそれぞれ考えられる。以上を2次災害と考えるが、今回は機能破壊のうちでも地震直後のもののみを2次災害として取り上げた。3次災害は2次災害で起こった影響によって総合的、長期的に受ける災害のことであるが、これについては別途検討する。

つぎに、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、これを加速し拡大するあるいは抑制する要因を選別して、さらに、これらに関連する指標群を抽出しなければならない。ここでは、以上のような観点に立ち、図1に示した被害様相に対応した表1に示す12個の地域特性を設定した。それぞれの特性量が右側に示す指標値の組合せによって決定されるものと想定する。

#### 4. 危険度の評価式

まず、地震動の強さをつぎのように考える。地震動強さSは気象庁震度階級を指標として以下のように表現する。ここで、各震度階はさらに〔下、中、上〕の3階級に分け、例えば、震度Vは〔V<sup>-</sup>、V<sup>0</sup>、V<sup>+</sup>〕と表現し、数値を用いて5.17、5.50、5.83のように表示する。そして、気象庁震度階における各震度の目安となる地震動の最大加速度の対応領域を介して、これらを最大加速度に変換する。このとき、各震度の「下」階級を対応する最大加速度の領域の下限値に設定し、加速度の対数軸上で直線補間を行なって、他の階級の加速度値を定めた。

ここで、標準となる震度をV<sup>0</sup>に定め、地震動強さSを、このV<sup>0</sup>のときの最大加速度に対する各震度階級の最大加速度の比によって定めることにする。よって、Sは「標準震度（V<sup>0</sup>）を基準として、最大加速度で測った標準地盤での揺れの強さの割合」を表わす危険度を意味する。これを表2に示した。

つぎに、地盤破壊特性値と地盤破壊危険度を以下のように考えた。まず、地盤破壊が起こる原因として、地盤の揺れ、地盤液化化、斜面崩壊を考え、地盤破壊特性値を次のように設定した。

- ξ<sub>11</sub>: 3種地盤を基準とした地表面での加速度応答倍率の比
- ξ<sub>12</sub>: 可能性小の場合を基準にしたときの、斜面崩壊の発生の可能性
- ξ<sub>13</sub>: 可能性小の場合を基準にしたときの、地盤液化化の発生の可能性

各指標値を表3に示す。まず、地盤の揺れによる地盤破壊の可能性は地盤の違いによる地表面の揺れの程度に大きく左右されると考えられる。そこで、旧建築基準法施行例に定められていた地盤種別を指標に用いて、これを基準を共通にして当該地盤が地層にのるときの地表面での平均的な加速度応答増幅率に変換し、指標値とする。つぎに、地盤液化化あるいは斜面崩壊についてはそれぞれの発生の可能性を指標にとり、これを「なし、小、中、大」の4つに区分して、それぞれ可能性小の場合を基準とし、指標値ξ<sub>12</sub>、ξ<sub>13</sub>を定める。ここに、各指標値は次のように考えて定めた。地盤破壊（の危険度）は次の段階のライフライン、道路構造、転倒危険物、木造住宅、一般建物、落下危険物の危険度を求める際には、各系（特性）への入力量（作用地震力）として扱われる。斜面崩壊と液化化の可能性はこれらが発生したときの地盤破壊の被害の程度をも表しているとみなして、これらの被害が次の段階でどの程度の物的被害を生じるかを考察した。そして、仮に地盤破壊なしに同程度の物的被害を生じるには、可能性（被害程度）小の場合を基準にして、作用地震力の大きさが何倍くらいになったときに相当するのかを推定し、その倍率を指標値に採用した。このとき、このようにして換算した作用地震力の大きさは、斜面崩壊の可能性大のときには液化化の可能性大のときのおよそ2倍に相当するとした。したがって、これらの指標値は、「発生の可能性小の場合を基準にした換算作用地震力の比」を意味する。

地盤破壊の地域特性をまず町丁単位で算出する。当該町丁の地盤の特性を表わす値x<sub>1i</sub>を次式で与える。

$$x_{1i} = \xi_{11i} (\xi_{12i} + \xi_{13i} + 1)$$

ここで、添え字iは中区域内の各町丁を表す。この式は、「地盤特性は斜面崩壊と液化化の可能性に応じ

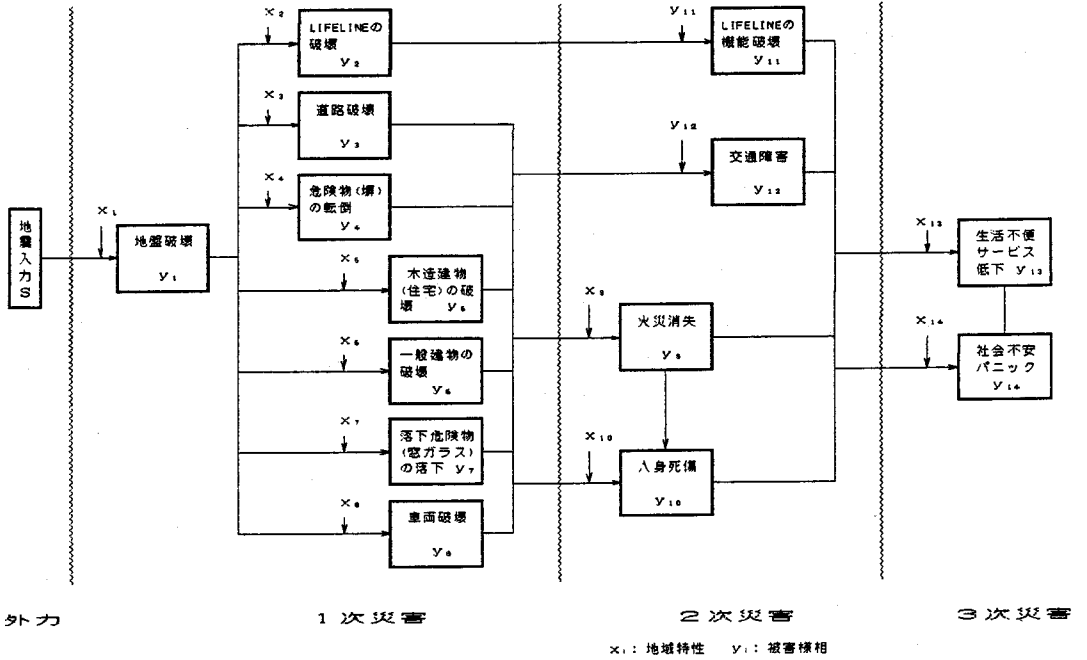


図1 被害様相と地域特性の相互関連を示すフローチャート

表1 地域特性と関連指標値

|    | 地域特性             | 指標値                                                                                                   |
|----|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 地盤               | 地盤種別、液状化可能性、斜面崩壊可能性                                                                                   |
| 2  | 道路               | 幹線道路延長・平均幅員、生活道路延長・平均幅員、交通量<br>橋梁形式、落橋防止装置の有無、橋梁支間長                                                   |
| 3  | ライフライン           | 幹線水道配水管・枝線水道配水管延長、幹線・枝線水道配水管<br>の単位長さ当り破壊箇所数<br>幹線ガス管・枝線ガス管延長、幹線・枝線ガス管の単位長さ当<br>り破壊箇所数<br>電柱数<br>電話柱数 |
| 4  | 危険物(塀)<br>の転倒    | 塀の長さ、高さ、転倒難易度                                                                                         |
| 5  | 木造建物             | 木造建物数、建設年次、階数、建築面積、屋根区分                                                                               |
| 6  | 一般建物             | 一般建物数、建設年次、階数、建築面積、構造種別                                                                               |
| 7  | 危険物(窓ガ<br>ラス)の落下 | 窓ガラス取り付け建物の諸元、窓ガラスの取り付け方(パテの<br>違い)                                                                   |
| 8  | 道路利用             | 車両交通量、交通事故統計                                                                                          |
| 9  | 火気使用             | 常時火気使用建物数、火災発生件数統計                                                                                    |
| 10 | 人口               | 性別、年代別人口、人口分布                                                                                         |
| 11 | ライフライン<br>機能破壊   | ライフライン関連施設諸元、ライフライン系統                                                                                 |
| 12 | 交通障害             | 道路、塀、窓ガラス、車両の被害                                                                                       |

表2 各震度階級による指標値と対応する地震動強さ

| 指標    | 震度階級   | IV <sup>-</sup> | IV <sup>0</sup> | IV <sup>+</sup> | V <sup>-</sup> | V <sup>0</sup> | V <sup>+</sup> | VI <sup>-</sup> | VI <sup>0</sup> | VI <sup>+</sup> | VII <sup>-</sup> |
|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|       | 連続量表示  | 4.17            | 4.50            | 4.83            | 5.17           | 5.50           | 5.83           | 6.17            | 6.50            | 6.83            | 7.17             |
| 指標値   | 最大加速度* | 25              | 37              | 54              | 80             | 117            | 171            | 250             | 292             | 342             | 400              |
| 地震動強さ | S      | 0.214           | 0.315           | 0.464           | 0.684          | 1.00           | 1.46           | 2.14            | 2.50            | 2.92            | 3.42             |

[\* 単位 = cm/sec<sup>2</sup>]

表3 地盤破壊特性

a 地盤種別による指標値

| 指標       | 地盤種別       | 第1種 | 第2種 | 第3種 | 第4種 |
|----------|------------|-----|-----|-----|-----|
| 加速度応答増幅率 |            | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.5 |
| 指標値      | $\xi_{11}$ | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.5 |

b 斜面崩壊または液状化の可能性による指標値

| 指標  | 斜面崩壊または液状化の可能性 | なし | 小 | 中   | 大 |
|-----|----------------|----|---|-----|---|
| 指標値 | $\xi_{12}$     | 0  | 1 | 2   | 4 |
|     | $\xi_{13}$     | 0  | 1 | 1.5 | 2 |

て、地盤の被害程度が仮に振動のみによって生じるとして換算した作用地震力の大きさを表す」、「一般に斜面崩壊と液状化は同時に起こらない」、「斜面崩壊と液状化のいずれも起こらないときを基準にとる」と考えて、 $\xi_{12i}$  と  $\xi_{13i}$  の和を  $\xi_{11i}$  の倍率とし、定数項 + 1 を ( ) 内に付加して定めている。

対象中区域内の地域特性  $x_i$  は、面積で重みを付けて合計し、次式で得られる。

$$x_i = \left( \sum_{i=1}^n x_{11i} \cdot A_i \right) / \sum_{i=1}^n A_i$$

ここに、 $A_i$  は各町丁面積、 $n$  は対象中区域内の町丁数である。

地盤破壊の可能性は地震動強さに比例すると考えられるので、各中区域の地盤破壊の危険度  $y_1$  を求める式を次式で設定する。

$$y_1 = S \cdot x_i$$

したがって、 $y_1$  は、「標準の地震（震度 V<sup>0</sup>）発生時に、標準の地盤（第3種）で斜面崩壊と液状化のどちらも発生の可能性がないところを基準（危険度  $y_1 = 1$ ）にしたときの、当該地盤の作用地震力の大きさに換算した相対的な被害程度の比」を意味する。

同様にして、図1に示した各構造物の地域特性と破壊危険度の評価式を構築する。

## 5. おわりに

1次災害について地域特性と破壊危険度の評価式を構築し、金沢市の特徴的な数地区に適用したところ、立地条件と危険要因のもと環境特性をうまく反映していた。今後はこの評価方法を3次災害まで評価できるように拡張するとともに、宮城県沖地震の際の仙台市の震害などに適用し、評価方法の精度を検証する必要がある。

最後に、本研究を遂行するにあたり貴重な資料を提供していただきました金沢市を始めとする関係各位に深謝いたします。

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—都道府県の場合—、自然災害資料解析 9、1982.9、pp. 1~14.