

## 市街地液状化対策事業における最適な対策範囲と負担費用補助率の決定手法の提案

中央大学 学生会員 ○岩崎 俊  
中央大学 正会員 佐藤 尚次

## 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、震源から離れている首都圏でも大規模な液状化被害が生じた。住宅被害に加え、道路や水道管などのインフラも多大な被害を受けたことから、被災者は災害発生から復旧に至るまで困難な生活を強いられる結果となった。

今後予想される液状化に関して、人口が多く資産も集積している首都圏において、依然として被害が甚大化しやすい状況にある。しかし、対策費用がかさみ住民負担が大きく同意を得られないなどの理由で、策定された対策事業を縮小・断念せざるを得ない市が多くある。そのため、住民が負担する費用を軽減するための打開策が必要とされている。また、液状化に対する地盤改良は、その土地の所有者の支払いによりなされるのが原則ではあるが、一部のみ地盤改良が行われても、周辺が液状化してしまえば結果的にその影響を受けることになる。

これらのことから、本研究では地域での民有地公有地一体の液状化対策事業を進める際の合意形成を円滑化することを目的とし、対象地区の住民の液状化対策費用を軽減することと、液状化対策の有用性を示すことを目指す。

## 2. 対象地域

対象地域は、千葉県の我孫子市、千葉市、習志野市である。来たる大型地震による液状化リスクが高いことや、開発が進んでおり資産が集積していること、住民が多いために影響が大きくなることから着目した。

以上3つの市から、液状化対策を行う場所として合計31地区を選定した。選定地区は、いずれも2020年8月時点の確率論的地震動予測地図において震度6弱以上の地震の30年超過確率が70%を超え、液状化しやすいマップにおいて、震度6弱の巨大地震での液状化が「しやすい」「ややしやすい」とされ、かつ第一種低層住居専用地域に指定されている場所である。

## 3. 研究手法

負担費用補助には自治体の予算が充てられるため、本来液状化対策の直接の受益者ではない対策範囲外の住民にも負担を強いることになる。とはいえ、近隣地区の液状化対策によって間接的に利益が得られることも事実である。そこで本研究は、液状化対策の範囲内外の住民の損得計算を行い、両者のトレードオフの関係から適切な住民の負担費用の補助率を決定する。このとき対策規模や補助率などの影響で多数の解が考えられるため、Pythonの多目的最適化ライブラリの「Platypus-opt」を用いてパレート解を探索し、最適解を得る。

## 4. 多目的最適化

本研究では目的関数を表-1のように設定した。またこれら表す基本となる式は以下である。

表-1 目的関数

| 評価項目 | 目的関数 |                  |
|------|------|------------------|
| 損失額  | f1   | 範囲内住民の損失額 [円/世帯] |
|      | f2   | 範囲外住民の損失額 [円/世帯] |

$$f_1 = p_1 - \frac{1}{h_1} \sum_{i=1}^n \beta_i h_{1i} (i + e_1 + l_{1i}) \frac{s_{1i}}{s_{1imax}} - \frac{1}{h_1 + h_2} \sum_{i=1}^n \beta_i l_{2i} \frac{s_{2i}}{s_{2imax}} \quad (1)$$

$$f_2 = p_2 - \beta e_2 \frac{\sum_{i=1}^n (s_{1i} + s_{2i})}{\sum_{i=1}^n (s_{1imax} + s_{2imax})} - \frac{1}{h_1 + h_2} \sum_{i=1}^n \beta_i l_{2i} \frac{s_{2i}}{s_{2imax}} \quad (2)$$

$n$ は対象地域内の対象地区の数である。また $\beta$ は各対象地域、対象地区におけるある年数あたりの震度6弱以上の地震発生超過確率で、 $s_{1imax}$ 、 $s_{2imax}$ は各対象地区の対策範囲全域の面積である。上式においてプラスで加算されている項は液状化対策により損失として、マイナスで加算されている項は利益として与えられるものを表している。このマイナスの項に $\beta$ が掛かっているのは、地震が起こった場合に軽減できる損失額を実質的な利益とみなしていることを意味する。

目的関数内に含まれる設計変数と定数項、および制約条件を表-2に示す。多目的最適化は設計変数を $a$ のみとしたときと、 $a$ と $s_{1i}$ 、 $s_{2i}$ としたときの2通りで行う。また負担額 $p$ の式は以下である。

$$p_1 = \frac{(1-a)m \sum_{i=1}^n s_{1i} + m(\sum_{i=1}^n s_{2i} + a \sum_{i=1}^n s_{1i})}{h_1} \quad (3)$$

$$p_2 = \frac{m(\sum_{i=1}^n s_{2i} + a \sum_{i=1}^n s_{1i})}{h_1 + h_2} \quad (4)$$

被災時生活困難はライフラインの便益によって評価する。梶谷ら<sup>1)</sup>によりCVM型アンケートを用いて推計された、ある日数当たりのライフライン途絶回避に対するWTPを参考に、30.53万円と設定する。被災損失額について、民有地は建物の損傷度別で考え、被害額に液状化による損傷度別の被災確率を乗ずることで、公有地は下水道と道路の原単位に被災量と液状化による被災確率を乗ずることで評価する。被災時地価変動は、東日本大震災で浦安市において計測された土地価格減率を参考に、液状化範囲内で15%、範囲外で4%と設定する。

## 5. 計算結果

図-1は設計変数を $a$ のみ、図-2は設計変数を $a$ と $s_{1i}$ 、 $s_{2i}$ として、6弱地震の30年あたりの超過確率で多目的最適化を行って得られたパレート解である。

表-2 設計変数と定数項

| 設計変数 |                               | 制約条件・選択肢                      |
|------|-------------------------------|-------------------------------|
| s1i  | 私有地の対策範囲の規模 [m <sup>2</sup> ] | 下限：0, 上限：液状化しやすさ(しやすいとややしやすい) |
| s2i  | 公有地の対策範囲の規模 [m <sup>2</sup> ] | 下限：0, 上限：液状化しやすさ(しやすいとややしやすい) |
| a    | 自治体補助率                        | 下限：0, 上限：1                    |

| 定数項 |                          | 決定方法・値                            |
|-----|--------------------------|-----------------------------------|
| m   | 対策工法 [円/m <sup>2</sup> ] | 格子状地中壁工法(38,000円/m <sup>2</sup> ) |
| h1  | 範囲内住民の数 [世帯]             | 市内の全対象地区の世帯数                      |
| h2  | 範囲外住民の数 [世帯]             | 市内の世帯数-市内の全対象地区の世帯数               |
|     | 震度 [-]                   | 6弱のみ                              |
| i   | 被災時生活困難 [円/世帯]           | 30.53万円                           |
| l1  | 私有地の被災損失額 [円/世帯]         | 被害額に被災確率を乗ずる(損傷度別)                |
| l2  | 公有地の被災損失額 [円]            | 原単位に被災量と被災確率を乗ずる                  |
| e1  | 範囲内の被災時地価変動 [円/世帯]       | 地価の減率15%                          |
| e2  | 範囲外の被災時地価変動 [円/世帯]       | 地価の減率4%                           |

aのみを変数とするときの結果からは、対策範囲を全域として行った場合の補助率の選択肢と、その補助率での各世帯の負担額と損失額を得た。

aとs<sub>1i</sub>, s<sub>2i</sub>の結果からは、千葉市と習志野市では対象地域の全域を行うこと、我孫子市でも概ね全域で行うことが最適だということが分かった。我孫子市は他の2市と比べて地震発生超過確率が低いことから多少の差が出たと考えられる。またこのことに加え、その対策範囲を取ったときの補助率と各世帯の負担額、損失額が得られた。

## 6. 提案する解

前章において全域での液状化対策が有効だという結果が得られたため、私有地と公有地の一体的な対策を推進するという本来の目的に基づき、全域で対策を行う場合である図-1のパレート解の中から補助率を提案する。

本研究では解の決定方法を3種類考案し、それらを用いて各対象地域において補助率を選択する。一つ目が液状化対策での採算が見込める年数が一致する補助率で、二つ目が範囲内外両者とも損失額が中間となる補助率、三つ目が範囲内外両者の損失額が一致する補助率である。これにより選ばれた補助率を表-3に示す。

## 7. おわりに

今後の課題は、本研究に合ったWTPを独自に推計すること、ライフラインの停止確率と停止日数を算出すること、データをさらに収集してより精度高く液状化被災確率を求めるためのフラジリティ曲線を作成することである。また多目的最適化の内容に関しては、現在設定している部分も含め改善の余地がある。今後も随時見直しや設計変数の追加を行い、多目的最適化の内容をより現状に近づけたい。

## 参考文献

- 梶谷義雄, 多々納裕一: 災害時の複数供給系ライフライン途絶による住民への経済影響の調査, 土木計画学研究・論文集, Vol. 24-No. 2, pp. 243-250, 2007

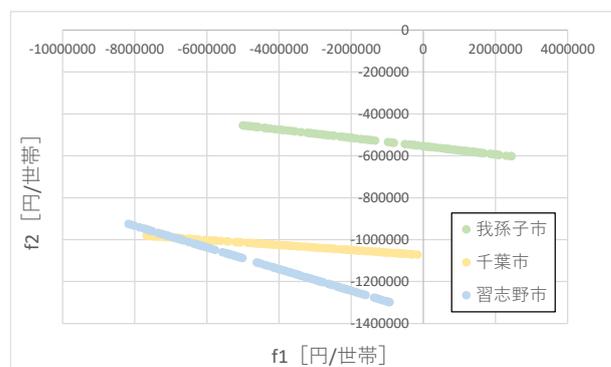


図-1 aのみを変数とするときのパレート解

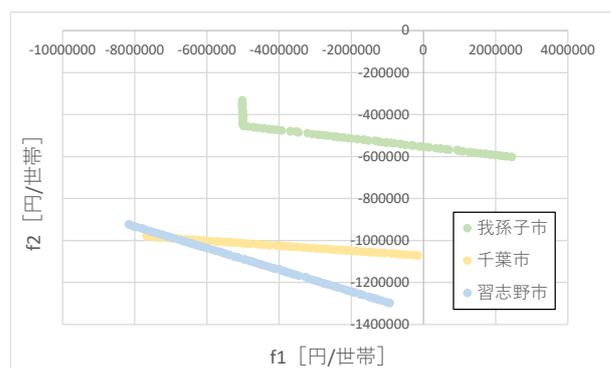


図-2 aとs1, s2でのパレート解

表-3 提案する補助率

| 我孫子市 | 採算      | 0.829 | 千葉市 | 採算      | 0.890 |
|------|---------|-------|-----|---------|-------|
|      | 中間      | 0.508 |     | 中間      | 0.498 |
|      | f1 ≒ f2 | 0.397 |     | f1 ≒ f2 | 0.122 |

| 習志野市 | 採算      | 0.726 |
|------|---------|-------|
|      | 中間      | 0.494 |
|      | f1 ≒ f2 | 0.044 |