

多目的最適化を用いた液状化対策事業における合意形成手法の提案

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は、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、本研究では二つの目的を設定する。第一の目的は、対象地区の住民の液状化対策費用を軽減し、地域一体の液状化対策事業を進めるにあたり、合意形成を円滑化することである。液状化対策の便益を直接受けることになる対象範囲内の住民と、直接の受益者ではないにもかかわらず、公的費用の裏付けは行うことになる対象範囲外の住民の損得を定量的に評価し、補助として妥当とみなしうる対策費用負担割合を見つけることを目指す。第二の目的は、液状化対策の有無が対象範囲内外の住民の損得にどのような影響を与えるのかを、独自に設定した指標と式により定量的に評価し、かかるコストに対する効果を示すことである。これは、住民の事業への理解促進を図るためのものと位置づける。

2. 対象地域

対象地域は、千葉県のみ孫子市、千葉市、習志野市である。図-1のように、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50%を超え、液状化しやすさマップにおいて、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

対象とする地域のデータから、液状化対策事業の対象範囲内外の住民の損得計算を行い、両者のトレ

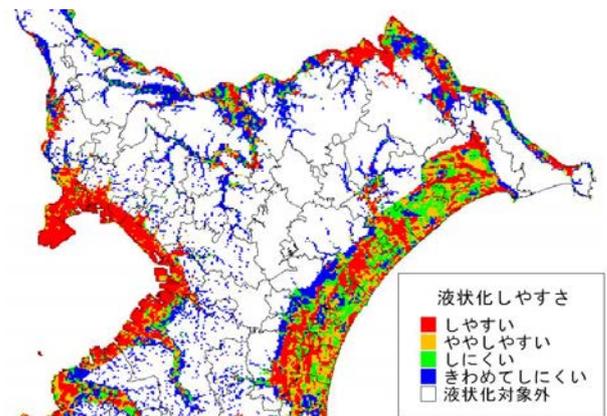


図-1 千葉県の巨大地震(震度6弱)による液状化しやすさ(千葉県)¹⁾

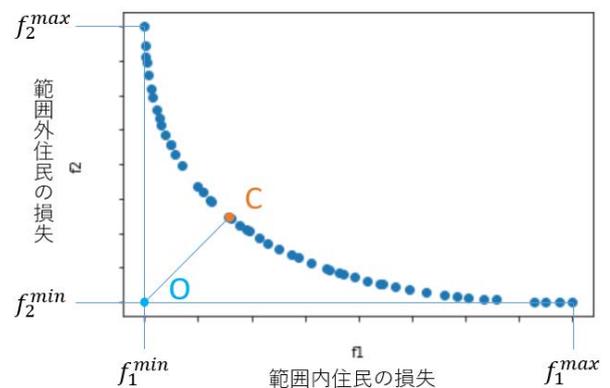


図-2 パレート解集合のイメージ

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]

ードオフの関係から多目的最適化によって事業費用の負担割合を決定する。対策規模や負担割合などの影響で多数の解が考えられる。そこで本研究では、Pythonの多目的最適化のフレームワークのひとつである「Platypus-opt」を用いて、パレート解のみを探索する。このとき得られる解集合のイメージ図を図-2に示す。探索されたパレート解の中から、範囲内外双方の合意が得られそうところを解とし、これを提案における負担割合とする。具体的には、範囲内の住民の損失を最小化する解と範囲外の住民の損失を最小化する解から、理想点である点Oを設け、パレート解においてこの点に一番近い点Cを探索する。

表-2 設計変数、定数項および制約条件

設計変数		制約条件・選択肢
s1	民有地の対策範囲の規模 [m ²]	下限：0, 上限：液状化しやすさ(しやすいとややしやすい)
s2	公有地の対策範囲の規模 [m ²]	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 ²]	格子状地中壁工法(38,000円/m ²)
h1	範囲内住民の数 [世帯]	対策範囲の規模に応じて
h2	範囲外住民の数 [世帯]	市内の世帯数
	震度 [-]	6弱のみ
i	被災時生活困難 [円/世帯]	30.53万円
l1	民有地の被災損失額 [円/世帯]	原単位に被災量と被災確率を乗ずる(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%を土地価格に乗ずる
e2	範囲外の被災時地価変動 [円/世帯]	地価の減率4%を土地価格に乗ずる
p1	範囲内住民の負担額 [円/世帯]	下限：(s2×m+s1×m)/(h1+h2), 上限：s1×m/h1+s2×m/(h1+h2)
p2	範囲外住民の負担額 [円/世帯]	下限：s2×m/(h1+h2), 上限：(s2×m+s1×m)/(h1+h2)

4. 多目的最適化

本研究では、多目的最適化における目的関数を表-1のように設定した。また、これらを次式のように表す。

$$f_1 = p_1 - \beta \left(i + e_1 + l_1 + \frac{l_2}{h_1 + h_2} \right) \quad (1)$$

$$f_2 = p_2 - \beta \left(e_2 + \frac{l_2}{h_1 + h_2} \right) \quad (2)$$

ここで、 β はある年数あたりの震度6弱以上の地震発生超過確率である。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。 β の掛かるものは、地震が起こった場合に軽減できる損失額を、実質的な利益として捉えたものである。

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。表内の負担額 p の制約式は以下である。

$$p_1 = \frac{s_1 \times m - s_1 \times m \times a}{h_1} + \frac{s_2 \times m + s_1 \times m \times a}{h_1 + h_2} \quad (3)$$

$$p_2 = \frac{s_2 \times m + s_1 \times m \times a}{h_1 + h_2} \quad (4)$$

かかるコストに対する効果を示すために用いる式も式(1)、式(2)と同様である。 β に超過確率を入れることにより、何年以上で採算がとれる事業なのかを判定する。

定数項のうち、特殊な評価方法を用いるものは三つある。まず一つ目は被災時生活困難で、これはライフラインの便益によって評価する。梶谷ら²⁾によりCVM型アンケートを用いて推計された、ある日数あたりのライフライン途絶回避に対するWTPを参考に、東日本大震災での停止日数の記録も踏まえ、電力が10日間、ガスが30日間、上水道が30日間停止するとしたときのWTPの平均値30.53万円が、全被災世帯に一律に掛かるものと設定した。二つ目

は被災損失額で、民有地は建物の損傷度別で考え、原単位に被災量と液状化による被災確率を乗じ、公有地は下水道、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。そのために、東日本大震災での被災状況と、液状化再現計算から求められたPL値をもとに、PL値を指標とした液状化による被災確率を計算する。そして、震度6弱の巨大地震を想定した液状化しやすさマップのPL値に基づいて被災確率を求める。このPL値とは、液状化指数と呼ばれるもので、地震の震度と地盤の液状化強度を情報として持つ、地盤の液状化のしやすさを示す指標である。三つ目は被災時地価変動で、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、液状化対策範囲内で15%、範囲外で4%の減率と設定した。

5. おわりに

発表時までには各構造物の被災確率を算出して多目的最適化を行い、最適な負担割合と何年で採算のとれる事業なのかを示す。

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、より精度高く液状化被災確率を求めるための脆弱性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

- 1) 平成26・27年度千葉県地震被害想定調査報告書
- 2) 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