

極少頻度巨大地震の設定上限規模に関する計画論的考察

京都建築専門学校 学生会員 ○木下直大
鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行
鳥取大学工学部 正会員 谷本圭志

1. はじめに

すべての巨大災害に対応しようとして過大な防災投資を行うと住民の日常生活に支障をきたす可能性があるが、逆に過小な防災投資では被災時に地域社会が崩壊してしまう恐れがある。そこで地域社会が被災した時それ自身を維持するために必要な資源、つまり修復機能が発揮できるような資源が残るように防災投資水準を決定し、その下で実現可能な設計地震動を合理的に設定する必要がある。

本研究では、被災しても地域社会が維持できる限りいずれば復興できるとの考えに基づき、住民が地域社会の崩壊を避けるために投じてよいと考える防災投資によって対応しうる災害規模の上限に着目し、防災対策で対象とすべき設計地震動の設定法を開発する。

2. 計画学的観点から見た設計地震動

冗長性を有するシステムの場合、あるユニットが破壊してもまだ、それ以外の必要最小限の機能が働くため、機能の喪失は破壊された部分のみに留まりシステムはそのものは機能を発揮する。しかし、その全てのユニットが破壊された場合は、システム全体の機能が喪失する。「システムの崩壊」とは、それを構成する構造物の破壊によって当該システムが一定水準以下の機能低下に陥ることである。

地域社会はそれ自身を維持するための修復機能を保有している。そこで施設事故や災害などが生じた際はこの機能を発揮させて救援や修復を行う。この場合、救援や修復のシステムが健全に機能していることが前提となる。もし事故や災害の規模が甚大かつ広範囲に及ぶと、システムそのものに被災し「システムの崩壊」が生じてしまう。すると、修復機能を発揮できず地域社会を維持することが困難な状況に陥る。このように地域社会が大きく被災してそれ自身を維持することができなくなり、地域社会が崩壊することとなる。

上記で述べたように地域社会はそれ自身を維持するた

めの修復機能を保有しているので、地域社会が被災しても、それ自身が維持しうる状態である限りいずれば復興することができる。しかし、災害の規模が甚大かつ広範囲に及び、「システムの崩壊」が生じてしまうと修復機能自体も損なわれてしまい地域社会そのものが崩壊することとなる。したがって、まず回避すべきことは地域社会の崩壊であり、できることならばどのような地震動に対しても地域社会が崩壊しない程度の損傷に留まるような耐震性を構造物に与えることが理想的である。しかし、耐震性には限界があり無限大の地震動に対応することは費用制約上不可能であり現実的ではない。リスク回避に対する地域社会の支払い意思額等を勘案し、合理的な設計地震動の設定を行うべきであろう。

3. モデル

3.1 予備検討モデル（モデル1）

簡単のため、1人の住民からなる地域を想定し、期間内に災害規模 g の災害が必ず1回起こるとする。この地域は富 W を保有し、それを合成財 I と災害規模 G が起こっても壊れない防災投資の最小費用 $c(G)$ とに配分して消費する。地域社会を維持するのに必要最低限の合成財の消費水準 I_0 があり、 $I \leq I_0$ のとき地域社会が崩壊する。災害規模 g の災害が発生した時の損害額 D は g と G によって定まるので $D(g, G)$ となる。被災後に地域社会の崩壊が生じないためには

$$W - c(G) - D(g, G) \geq I_0 \quad (1)$$

でなければならない。このもとで地域社会の崩壊が生じることのない最大の災害規模 G_s を求める。

3.2 基本モデル（モデル2）

災害規模 g が期間内に確率密度 $p_E(g)$ で1回のみ起こるとし、地域社会が崩壊する確率 p_C を求める。この生起確率 p_C を δp_C 下げるために住民がどの程度合成財 I を減らし防災投資 $c(G)$ を行っても良いかと考える支払い意思額

δW は次式¹⁾より与えられる。

$$\delta W = m(p_C) \cdot \delta p_C$$

$$m(p_C) = \frac{U}{(1 - p_C) \partial U(W) / \partial W} \quad (2)$$

ここでの $U(W)$ は地域の富に関する効用関数である。つまり、地域社会が崩壊する確率を下げることに對する支払い意思額 δW と確率を下げることによって増えた防災投資に必要な限界費用 $\delta c(G)$ が等しくなるところが地域社会の崩壊を防ぐべき災害規模 G_s^* である。

3.3 効用関数の特定化

モデル2において地域社会が崩壊する確率 p_C を δp_C 下げることに對する支払い意思額 δW に、富に関する効用関数 $U(W)$ の曲率が重要な影響を及ぼす。そこで本研究において絶対的危険回避度一定、相対的危険回避度一定となる効用関数としそれぞれ式(3)(4)のように特定化する。このとき $U(W)$ は危険回避的でなければならないので、 $\alpha > 0$, $0 < \beta < 1$ となる。

$$U(W) = 1 - \exp(-\alpha W) \quad (3)$$

$$U(W) = W^{1-\beta} \quad (4)$$

4. 数値分析

モデル1において防災投資水準 G と地域社会の崩壊を防ぐべき災害規模の上限 G_s の関係を図1に示す。この図より G の増加に伴って G_s は増加するが、最大値 $G = 554.8$ を境に減少していることがわかる。このとき地域社会の崩壊が生じることのない最大の災害規模 G_s は563.4となる。よって、 $G = 554.8$ より大きな地震動に対する防災投資を行っても地域社会が耐えうる最大の災害規模 G_s はかえって減少するので意味がない。

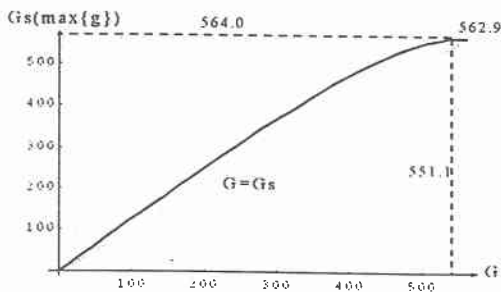


図1: モデル1の G - G_s 関係

本研究では極少頻度の巨大災害を想定しているので富に関する効用関数の危険回避度はあまり大きくはないと考える。そこでモデル2で数値分析を行う際には絶対危険

回避度 α と相対的危険回避度 β の範囲をそれぞれ $0.0003 \leq \alpha \leq 0.0007$, $0.3 \leq \beta \leq 0.7$ とする。

地域社会の崩壊を防ぐべき災害規模の上限 G_s^* は、地域社会が崩壊する確率を下げることに對する支払い意思額 δW と確率を下げることによって増えた防災投資に必要な限界費用 $\delta c(G)$ が等しくなるところである。このときのそれぞれの効用関数における G_s^* と支払い意思額 δW 、限界費用 $\delta c(G)$ との関係を図2、図3に示し、このときの曲線の交点が G_s^* の値である。この図より危険回避度が大きくなればなるほど住民は危険回避的となるので、地域社会の崩壊を防ぐべき災害規模の上限 G_s^* は大きくなることがわかる。

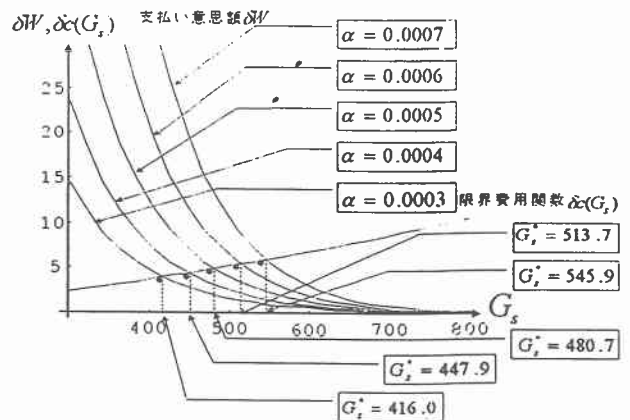


図2: 絶対的危険回避度一定の場合

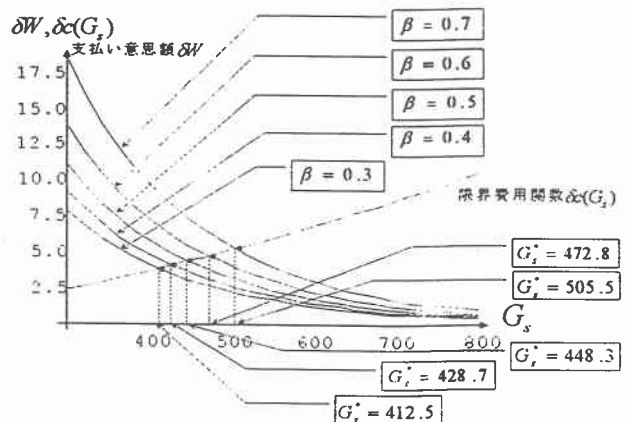


図3: 相対的危険回避度一定の場合

5. おわりに

本研究では、計画的観点から防災計画で対象とすべき地震動の設定上限規模を選定するための方法論を提案した。今後の課題として防災投資費用や損害額についてさらに検討を加え、より実的なモデルに改良する必要がある。

¹⁾ 中村英夫(編) 道路投資評価研究会(著):道路投資の社会的評価, pp214-218.