

# 価値指標を用いた既設構造物の地震防災投資評価手法について

武蔵工業大学 学生会員 鈴木 慧

武蔵工業大学 正会員 小池 武

## 1. はじめに

レベル2地震動に対する耐震設計が行われていない既設構造物の耐震補強を検討する際には、数ある既設構造物と限られた地震防災予算の中、現時点での劣化状況や、構造物の供用残存期間、残存期間中の地震発生確率を考慮して、目標とする耐震補強水準を実現するための地震防災投資額を決定する。

本研究は、レベル2地震動を受ける既設構造物の目標耐震補強水準を実現するための地震防災投資額を設定する手法について述べる。

## 2. 価値指標の定義

既設構造物のライフサイクルにおける事業価値は、次式で定義する価値指標 $V_0$ により表現できる。

$$V_0 = B + I - C_E - C_D - C_M$$

ここで、 $B, I, C_E, C_D, C_M$ はそれぞれ社会的便益、事業収入、運営経費、減価償却費、維持管理費である。そして、減価償却費 $C_D$ は初期投資 $C_0$ に一致すると仮定する。

とくに、地震防災対策を考慮する場合には耐震投資 $C_S$ と地震時被害コスト $C_{EQ}$ を考慮して次式で書き改められる。

$$V = B + I - C_E - C_D - C_M - C_S - C_{EQ} \cdot 1_{EQ}(t)$$

ただし、

$$C_{EQ} = C_R + \Delta B + \Delta I$$

ここで、 $C_R, \Delta B, \Delta I$ はそれぞれ震後復旧コスト、復旧期間中の便益損失と収益損失。また、 $1_{EQ}(t)$ は地震発生時は1、非発生時は0となる関数である。

社会的便益は当該地域の人口や経済規模に応じて変化すると考えられるので、ここでは簡易的に国内総生産 GDP を用いて次式で評価する。

$$B = \int_{T_0}^{T_D} b_0 \frac{GDP(t)}{GDP(T_0)} dt$$

ただし、 $T_D, T_0, b_0$ はそれぞれ供用最終年度、事業開始年度、初年度社会的便益であり、次式で定義する。

$$b_0 = \frac{C_0}{T_D - T_0}$$

## 3. 価値指標 $V_0$ の確率分布特性

地震防災投資 $C_S$ を増加すれば地震時被害コスト $C_{EQ}$ の削減が期待される。その効果は地震発生確率 $P[EQ]$ を乗じた値として $C_{EQ} \cdot P[EQ]$ の形で評価されるが、その他の項 $B+I-(C_E+C_D+C_M+C_S)$ に比較して相対的に小さな値となり地震防災投資 $C_S$ の妥当性を判断する上で必ずしも適切な指標とならない。また、地震

発生が極値的な事象のため、その影響をみるには評価指標の中央値よりも周辺事象の発生確率を尺度とする方が適切と考えられる。

価値指標を構成する現時点 $T_p$ を境にして、建設当初から現時点までの指標は確定値となり、今後供用期間終了予定時点である $T_D$ までの指標は将来の経済事象に関するさまざまな変動要因が含まれることから不確定量となる。

いま、社会的便益から減価償却費を除いた項目の年間収支を関数 $f(t)$ により、価値指標を構成するその他の年間収支を関数 $g(t)$ を用いて下記のように定義すると、

$$\begin{aligned} f(t) &= b(t) - c_D(t) \\ g(t) &= i(t) - e(t) - c_M(t) \end{aligned}$$

現時点の前後の関数 $f(t), g(t)$ は模式的に Fig.1 に示す形となる。

関数 $f(t), g(t)$ を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} f(t) &= \begin{cases} \hat{f}(t) & T_0 \leq t \leq T_p \\ N(\mu_f, \delta_f) & T_p < t \leq T_D \end{cases} \\ g(t) &= \begin{cases} \hat{g}(t) & T_0 \leq t \leq T_p \\ N(\mu_g, \delta_g) & T_p < t \leq T_D \end{cases} \end{aligned}$$

ここで、 $\hat{f}(t), \hat{g}(t)$ は関数 $f(t), g(t)$ の確定値、 $N(\mu_x, \delta_x)$ は、変数 $X$ が平均 $\mu_x$ 、変動係数 $\delta_x$ の正規分布に従うことを意味する。

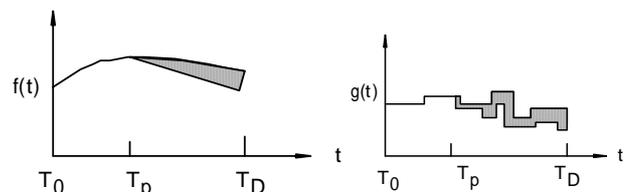


Fig.1 Schematic profile of annual cash flow

価値指標 $V_0(t)$ の確率分布 $F_{V_0}(v, t)$ は、時点 $t$ において事業終了時点 $T_D$ における価値指標を推定した場合の確率分布である。時点 $t$ が $T_D$ に近づくに従い $F_{V_0}(v, t)$ の変動幅が狭まる。その傾向を Fig.2 に示す。

## 4. 価値指標 $V$ の価値損失確率

地震防災投資 $C_S$ を現時点 $T_p$ で実施するとき、残存期間中に地震発生とそれによる地震時被害損失の可能性を考慮しつつ、供用期間最終時点 $T_D$ において事業価値の収支が負値になる可能性がどの程度であるかは地震防災投資判断において重要な指標となる。この指標は価値指標が負値となる確率として次式で求められる。

キーワード: 価値指標 既設構造物 地震防災投資評価

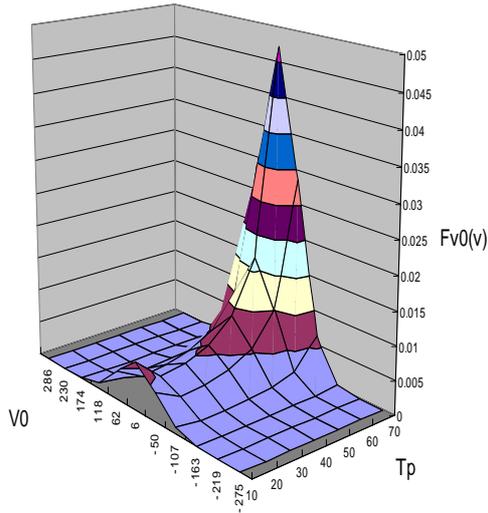


Fig.2 Schematic profile of probability distribution of the value index  $V_0$

$$P_V \equiv P[V < 0] = P[V_0 < C_S | EQ] \cdot P[EQ] + P[V_0 < C_S + C_{EQ} | Damage] \cdot P[Damage | EQ] \cdot P[EQ] + P[V_0 < C_S | Damage] \cdot P[Damage | EQ] \cdot P[EQ]$$

ここで、

$$P[EQ] = 1 - \left(1 - \frac{1}{R_T}\right)^{(T_D - T_p)}$$

$$P[Damage | EQ] = \frac{1}{T_D - T_p} \sum_{T_p}^{T_D} P[R(t) - L < 0 | EQ]$$

ただし、 $R_T, R(t), L$ はそれぞれレベル2地震の再帰期間、劣化特性を持つ構造物の時点 $t$ における強度特性値、レベル2地震動による作用加重である。

5. 数値計算例と考察

対象構造物は、供用年数80年間、現時点 $T_p$ =供用開始後38年目にあり、想定する地震の再帰年数を475年に設定する。

Figs. 3-6は経年劣化状態にある既存構造物に対して、現時点 $T_p$ において地震防災投資 $C_S$ を行った時の価値指標損失確率および構造物の破壊確率を求めたものである。

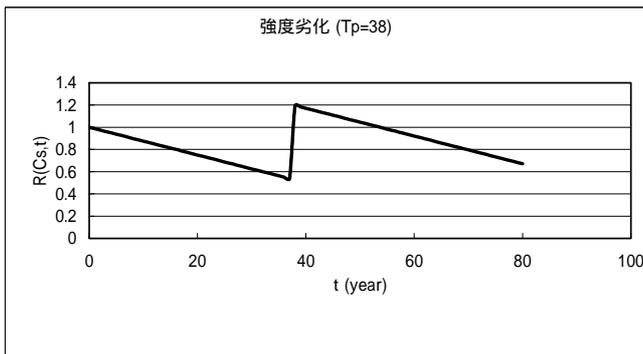


Fig.3 Deterioration pattern of structural resistance

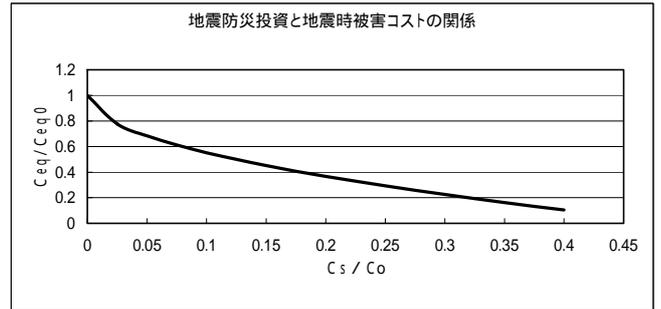


Fig.4 Relationship between the seismic investment and restoration cost

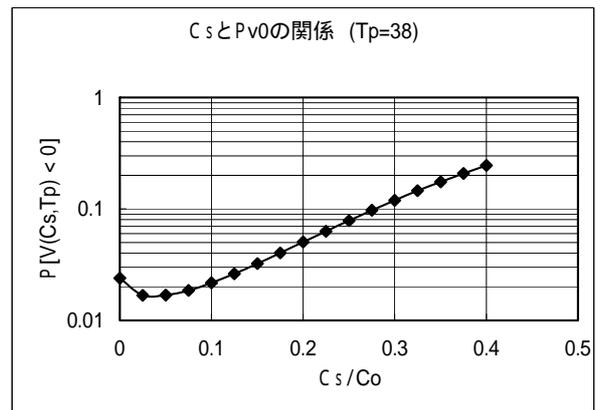


Fig.5 Probability of value loss for seismic investment

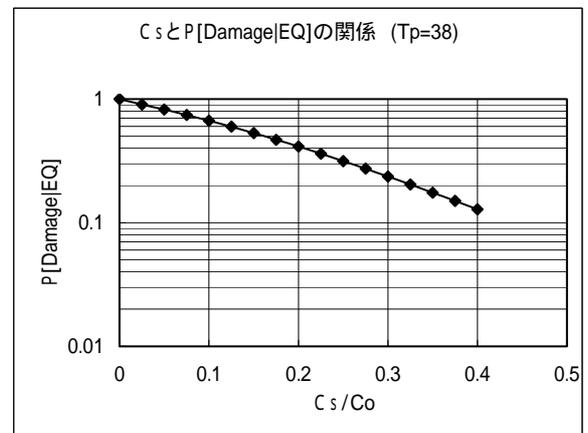


Fig.6 Probability of failure for seismic investment

上図によれば、地震防災投資の増加による、価値指標損失確率の増加(Fig.5と破壊確率の減少(安全性が増加, Fig.6)を同時に評価できることから、この情報は地震防災投資判断に有用となる。

6. 結論

提案した価値指標を用いた地震防災投資評価手法は、地震防災投資に対する事業価値の良否、構造物の破壊確率、投資時期、構造物経年劣化の影響など、構造物の維持管理戦略のための有用な情報を提供する上で効果的であることが判明した。