

信頼性設計における評価手法に関する研究 - 送電設備を例にして -

岐阜大学 正員 森杉詩芳
岐阜大学 学生員 小川俊幸
岐阜大学 学生員 ○由利昌平

1 はじめに

送電線設備において、社会的評価を含む信頼性設計の考えを適用した計量的評価手法の研究はすでに発表した¹⁾が、既往の研究では、設備の状態を正常と破壊と言う2つの状態のみがあるものと仮定した。本研究では、破壊状態を“変位”と“倒壊”と言う2つの状態(正常状態を加えて3つ)に分類して再度のアンケート結果より、期待効用関数のパラメータ推定を行い、変位時、倒壊時の企業のイメージ低下による被害費用を等価的偏差E.Vの概念を用いて測定することを目的とする。

2. 信頼性設計における評価方法

本研究において、企業(電力会社)は、安全性、経済性といった価値観の他に、事故の際起こる停電などによる企業のイメージ低下である社会的評価の悪化をも考慮して決定される期待効用を最大化するような行動をとるものと仮定する。

3 企業の期待効用

3-1 期待効用関数の設定

ある送電系統において、鉄塔の少なくとも一基に倒壊が起こる場合(状態1)、変位のみがおこる場合(状態2)、そしてすべてが正常な場合(状態3)の3つの状態について考える。すべての状態において企業の効用を決定する要因は、費用(C)と企業の社会的信用低下レベル(δ)とする。まず正常時(状態3)では、企業にかかるコストは、建設コストCcのみで $\delta = 0$ であり、倒壊時(状態1)は建設コストCcと事故後修繕コストC_Fおよび信用低下が著しく低下し $\delta_F = 1$ とする。また変位時(状態2)は建設コストCcと事故コストC_Dがあり、信用低下レベルは“かなり低下”と“著しく低下”の2つ($\delta_{D1} = 1$ および $\delta_{D2} = 1$)を考える。最後に期待効用関数は、線形と対数線形を考えて以下のように定式化した。

i) 線形モデル

$$E U = P_1 (Cc + 0.317C_F + \beta_0 \delta_F) + P_2 (Cc + 0.317C_D + \beta_1 \delta_{D1} + \beta_2 \delta_{D2}) + P_3 Cc \quad (3-1)$$

ii) 対数線形モデル

$$E U = P_1 [\ln \{A (Cc + 0.317C_F)\} + \beta_0 \delta_F] + P_2 [\ln \{A (Cc + 0.317C_D)\} + \beta_1 \delta_{D1} + \beta_2 \delta_{D2}]$$

A、 β_0 、 β_1 、 β_2 : パラメータ

P_1 : 少なくとも1基が倒壊する確率

P_2 : 少なくとも1基が変位のみ起こる確率

P_3 : すべてが正常な確率

Cc: 初期建設コスト

C_F・C_D: 鉄塔の倒壊、変位時の事故コストで耐用年数50年の間に事故が起こる確率が一樣であるとして事故コストを現在価値に換算する。

すなわち、

$$\frac{1}{50} \int_0^{50} e^{-rt} dt = 0.317 \quad (r=0.06)$$

δ_F ・ δ_D : 社会的信用レベルを示しており、次の値をとる。

社会的信用	倒壊時	変位時
かなり低下	$\delta_F = 1$	$\delta_{D1} = 1$
著しく低下		$\delta_{D2} = 1$

3-2 社会的信用度の貨幣換算値

本研究では、コストタームで表すことが容易でないと考えられる社会的な信用度をE.Vと言う概念を用いて貨幣タームに換算することを試みた。

ここに、E.Vとは事故時の効用 $U(Cc + 0.317C_i, \delta)$ ($i=D, F$)を維持するという条件のもとで、社会的信用度(δ)の低下を防ぐために支払うに値すると思われる最大支払限度額とする。すなわち、E.Vは次のように表現される。

$$U(Cc + 0.317C_i + E.V, 0) = U(Cc + 0.317C_i, \delta) \quad (i=D, F) \quad (3-3)$$

となる。具体的には、効用関数(3-1),(3-2)を上式に代入して

$$I V = \beta \delta \quad (3-4)$$

ii) 対数モデル

$$I V = (A \cdot C c 0.317 C i) [1 - \exp(\beta \delta)] \quad (3-5)$$

となる。

4 ケース・スタディー

4-1 アンケート調査

今回のアンケートの内容は、延長約100km程度、総計200基程度の送電鉄塔の建設を想定したもので、企業(電力会社)に対して、総建設コスト、事故コスト、企業のイメージ低下レベル、変位・倒壊確率を変化させるといった一対比較の質問を行った。

4-2 推定結果と考察

(1) パラメータ推定

パラメータ推定の結果を表-1に示す。鉄塔の状態を変位、倒壊、正常の3つのケースに分類した場合のパラメータ推定におけるt値、Hit R、尤度指数は、どれも良い値が得られた。また、線形と対数線形を比較した場合、同程度の精度が得られた。

(2) 信用低下の被害費用

(3-4),(3-5)式に推定値を代入して、変位、倒壊、それぞれの形態別の信用低下の被害費用を計算したものが表-2である。線形の場合、変位時における社会的信用が、かなり低下する時のイメージ低下費用は1010億円と常識に合致する値であるが、倒壊の場合は4兆864億円と天文学的数値となった。一方、対数線形の場合における変位では線形よりやや小さな値を得た。また、倒壊の被害費用は約2700億円と比較的常識的な値を得た。このように倒壊の

被害費用が線形と対数線形とで著しく異なるのは、前者が支払限度額を考慮していないのに対して、後者は対数内の定数 $\Lambda = 5000$ 億という数字によって、それを考慮しているためであると考えられる。この $\Lambda = 5000$ 億は、尤度比がもっとも高くなる値として該当しているので $\Lambda = 5000$ 億円がアンケート調査結果によく適合するような支払限度額であるとみなすことができる。従って、変位という状態での被害費用の計測では、線形効用関数は対数線形より優れると言えるが倒壊という最悪状態の被害費用を計算する際には、それが支払限度額を考慮していないという致命的欠点を持つ。この点では若干精度がおちるけれども、線形効用関数より対数線形の方が信頼性設計の評価関数としては望ましいと思われる。

5 おわりに

今後の課題として、今回推定した結果を用いて以下のことを試みる予定である。

(1) 力学的設計計算より導出される変位-倒壊確率と建設費用との関係を知り、この関数形を用いて最適な変位-倒壊確率を求めること。

(2) 同時に、フーチングの最適根入長の計算を行って本評価法の実用性を検討すること。

また、倒壊時における社会的信用低下レベルの設定に関して再検討し、企業のイメージ低下による被害費用をうまく説明できるような効用関数形を開発することも今後の課題の一つである。

【参考文献】

- 1) 森杉詩芳,小川 裕:土木学会中部支部研究発表会講演概要集,pp.308~309

表-1 パラメータの推定結果

モデル	Λ	α	$\alpha\beta_1$	β_1	$\alpha\beta_2$	β_2	$\alpha\beta_0$	β_0	Hit R	尤度指数	データ数
線形	5000	-0.01873 (7.216)	-18.92 (2.812)	1010	-51.64 (5.976)	2757	-765.4 (7.974)	40864	0.7639	0.3333	288
対数線形		49.10 (7.241)	-16.67 (2.517)	-0.3395	-49.02 (5.781)	-0.9983	-736.9 (7.780)	15.01	0.7639	0.3309	288

():t値

表-2 企業のイメージ低下費用(億円)

モデル	変位(かなり低下)	変位(著しく低下)	倒壊(著しく低下)
線形	1010	2757	40864
対数線形	850	1864	2683