

I-529

ファジィ理論の橋梁架設工事の工程計画への適用

片山トテツ 正会員 夏秋義広 京都大学 正会員 古田 均
酒井鉄工所 正会員 武藤和好 横河技術情報 二宮弘行

1. まえがき 近年の鋼橋の長大化、大規模化にともない、架設工事における現場工程の計画・管理にもネットワーク理論に基づくPERT工程計画手法が用いられるようになってきた。従来のPERTでは、本来あいまいな各作業日数の見積りに確定的な一点見積りを行うため、算出されたネットワーク全体工期も不確実なものとなっている。本研究では、各作業日数に影響を及ぼす種々の不確定要因を言語変数として取扱い、ファジィ推論を用いて各作業の所要日数をファジィ集合として表す。これらにより構成された工程ネットワークを線形計画法により解き、全体工程の最適工期とその実行可能性を定量的に評価しようとするものである¹⁾。

2. ファジィ推論の評価ルール まず最初に、各作業の標準日数をクリスプに求めておく。所要日数は種々の要因により、標準日数より大きくなったり小さくなったりすると考える。標準日数から所要日数を算出するための評価ルールとしてファジィ推論²⁾を用いる。すなわち、ある作業Aに関して「要因E_iが良く(g)、要因E_iが所要日数に及ぼす影響の度合いが大きければ(e)、作業Aは標準日数より早く完了するであろう(n)」これを、一般的に推論の形で表現すれば、

$$\text{「if } G=g \text{ and } E=e \text{ then } N=n\text{」} \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、g, e, nは評価パラメータG, E, Nの度合を表す。

所要日数に影響を及ぼす要因として、表-1に示すように、作業員、設備、作業環境等に関して11要因を考慮し、これらの良否を言語変数G(=Good), M(=Middle), B(=Bad)と対応させる。さらに、熟練作業員へのアンケート調査に基づき、各作業項目に対する各要因の影響度の大きさを言語変数L(=Large), M(=Medium), S(=Small)を用いて表現する。評価の基本ルールとしては表-2に示す9通りを考え、各パラメータG, E, Nのメンバーシップ関数を図-1のように設定する。

3. 代数積と限界和によるファジィ集合の合成

($G_i \cap E_i$) $\cap N_i$ なる集合演算に対して、 G_i と E_i および、これらと N_i を独立と見なすと、代数積が妥当であると考えられる。また、 $N = N_1 \cup N_2 \cdots \cup N_n$ に対し、各 N_i が全従属で負従属であると考え、限界和が妥当であると考えられる。従って、各要因ごとの μ_G, μ_E, μ_N を以下の手順により一つに合成する。

$$\mu_{GEi} = \mu_{Gi} * \mu_{Ei}, \quad \mu_{ENi} = \mu_{Ei} * \mu_{Ni} \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに、iは要因番号を、記号・は代数積演算を示す。

次に、要因ごとの μ_{GE}, μ_{EN} を、それぞれ1つに合成する。

$$\mu_{GE} = \mu_{GE1} \oplus \mu_{GE2} \oplus \cdots \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\mu_{EN} = \mu_{EN1} \oplus \mu_{EN2} \oplus \cdots$$

ここに、記号 $\oplus$ は限界和演算を示す。

さらに、 μ_{GE} と μ_{EN} を合成して μ_{GN} を求める。

$$\mu_{GN} = \mu_{GE} * \mu_{EN} \quad \cdots \cdots (4)$$

表-1 所要日数に影響を及ぼす要因

記号	要因名	B	M	G
E _{p1}	作業員の技能	低い	普通	高い
E _{p2}	作業員の構成人数	少ない	普通	多い
E _{p3}	クレーンオペの技量	低い	普通	高い
E _{t1}	仮設備の質	悪い	普通	良い
E _{t2}	仮設備の規模	小さい	普通	大きい
E _{t3}	クレーンの機種	不適当	普通	適当
E _{t4}	施工数量	少ない	普通	多い
E _{n1}	作業環境	悪い	普通	良い
E _{n2}	気温	低い	普通	高い
E _{n3}	湿度	高い	普通	低い
E _{n4}	降雨量	多い	普通	少ない

表-2 評価の基本ルール

G	E	N
Good	Large Medium Small	Fast Relatively Fast Equal
Middle	Large Medium Small	Equal Equal Equal
Bad	Large Medium Small	Late Relatively Late Equal

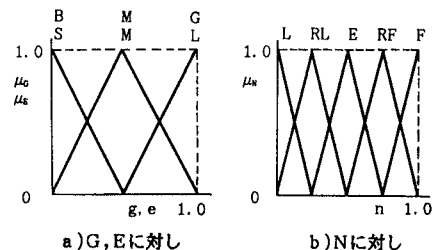


図-1 要因メンバーシップ関数

最終評価されたメンバシップ関数 $\mu_{\alpha N}(n)$ の横軸は、標準日数より早く作業が完了するかどうかの度合を表し、その面積は確からしさの度合を表していると考え。従って、重心 n_g と面積 A を用いて、次式により所要日数メンバシップ関数を作成する。

$$m = T - 2\beta(n_g - 0.5), \quad \alpha = \beta A \quad \dots\dots (5)$$

ここに、 T :標準日数、 β :最大変動日数、 m, α :図-2参照。

4. ネットワーク全体工期のLP計算

ネットワークを構成する作業要素 (i, j) において、作業の開始日は S_{ij} , 完了日は F_{ij} , 所要日数 $t_{ij} = \tau_{ij}$, 節点 i, j の節点日時はそれぞれ T_i, T_j であるとき、従来型PERTの最早プランは、ネットワーク日数 $Z = \sum T_i + \sum (F_{ij} + S_{ij})$ を最小にする問題と等価である。作業要素 (i, j) の所要日数が図-2に示すファジィ集合であるとき、ファジィPERTの最早プランは式(6)で表される^{*)}。

$$\text{Maximize} \quad Z_0 = \lambda$$

$$\text{subject to} \quad T_i = 0, T_i \leq F_{ij}, T_j \geq S_{ij}, T_i \geq 0, S_{ij} \geq 0,$$

$$F_{ij} \geq 0, \lambda \geq 0, 1 - \frac{\tau_{ij} - F_{ij} + S_{ij}}{\tau_{ij} - d_{ij}} \geq \lambda \text{ and}$$

$$1 - \frac{\sum T_i + \sum (F_{ij} + S_{ij}) - Z_i}{Z_u - Z_i} \geq \lambda \quad \dots\dots (6)$$

5. 数値計算例

実橋への適用例として、橋長8.5m、総幅員13m、鋼重37tの単純鋼床版I桁の架設を示す。架設工法はトラッククレーン工法である。本橋の作業工程ネットワークを図-3に示す。計算ケースとして、Case 1は要因が全て良好 (All

Good)である場合、Case 2は降雨量が少ない ($E_{n4} = \text{Good}$) という要因を除いた他の要因が全て普通 (Middle) の場合、Case 3は全要因が悪い (All Bad) の3ケースを考える。計算に際し、最大変動日数 β は標準日数 T の1/2とした。所要日数のメンバシップ関数から d_{ij}, D_{ij} を求め、従来型PERTでネットワーク日数を計算すれば、各ケースについて、 Z_u, Z_i を得る。このようにして得られた $\tau_{ij}, d_{ij}, Z_u, Z_i$ を用いて式(6)に基づき線形計画問題としてシンプレックス法により解いた結果を表-3に示す。

条件の良い場合 (Case 1) は、条件の悪い場合 (Case 3) の約半分の工期で済み、普通の場合 (Case 2) にはそれらの中間にある。また、Case 2では、 λ の値が他のケースより小さい。この理由は、Middle のメンバシップ関数が Good あるいは Bad のそれらより面積が大きいため、所要日数推定の変動幅 (α) に影響を及ぼすためである。Case 2において、 Z_u, Z_i の値を変化させて、工期 (T_{END}) と実行可能性 (λ) を計算した結果を図-4に示す。図より、 $\lambda = 0.8$ 程度を確保するためには、 $T_{END} = 29.4$ 日を要することが分かる。

6. あとがき

本研究では、「良い、普通、悪い」といった直感的であいまいな評価要因が鋼橋現場架設工期に及ぼす影響をファジィ理論を用いて取扱った。この手法により、全体工程の最適工期とその実行可能性を定量的に評価できるため、より具体的な工程管理計画が可能である。なお本研究は文献¹⁾に示す土木学会関西支部共同研究グループの研究成果の一部であり、亀井正博(大阪市)、家村剛(NKK)、高瀬和雄(駒井鉄工)の各氏の助力を得たことを付記する。

【参考文献】 1) 三上他：土木構造物の知識情報処理に関する調査研究報告書, H4. 2) 杉山他：既設橋梁の洪水時安全度の判定, 構造工学論文集, Vol. 35A, pp. 1069-1080, 1989. 3) 樗木他：作業日数のあいまいさを考慮した工程計画手法FPERTの提案とその応用, 土木学会論文集, 第419/M-13, pp. 115-122, 1990.

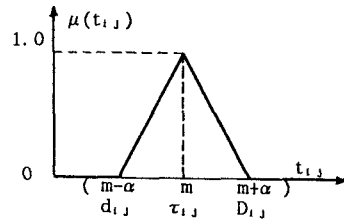


図-2 所要日数メンバシップ関数



表-3 計算結果

	Z_u	Z_i	T_{END}	λ
Case 1 (All G)	886.4	521.5	21.91	0.689
Case 2 (11M, 1G)	1187.4	667.0	28.44	0.687
Case 3 (All B)	1336.6	998.8	37.63	0.703

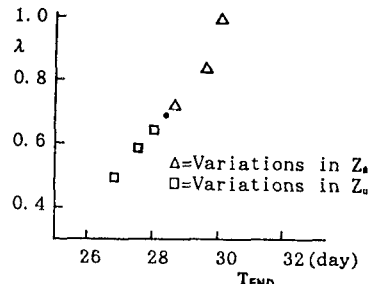


図-4 T_{END} と λ との関係