

ファジィ理論の鋼橋架設工程計画への適用

APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO PROJECT SCHEDULING OF STEEL BRIDGE ERECTION

夏秋義広*

古田 均**

武藤和好***

二宮弘行****

By Yoshihiro NATSUAKI, Hitoshi FURUTA, Kazuyoshi MUTOH and Hiroyuki NINOMIYA

Steel bridges are enhanced in their size and scale in these days. As a result, PERT technique based on a network theory is applied to the project scheduling for joint-venture construction works and the like. The activity duration for each of the separate erection process is intrinsically indefinite, and for this reason, the overall project duration as computed also becomes inevitably indefinite. In the conventional PERT technique, however, definite crisp evaluation is carried out to estimate such activity duration. The present research treats various kinds of uncertainties which influence the activity duration in terms of fuzzy set. Then, necessary number of days for the completion of the erection can be obtained as fuzzy quantities by using fuzzy reasoning. On the basis of the fuzzy network thus arranged, linear programing is used to calculate the overall project duration and its certainty.

Key Words: Fuzzy Reasoning, Linear Programing, Project Scheduling

1. まえがき

橋梁の架設工事における現場工程の計画・管理は、一般にバーチャート方式によることが多い。それは、作業工程が比較的少なく、作業手順も直線的であるため、簡便な手法でも十分対処できるからである。しかしながら、近年の鋼橋の長大化、大規模化にともない、JV工事等の複雑な現場架設の工程管理計画では、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した後、これらにより構成された工程ネットワークを解くことを試みたものである。まず最初に、ファジィ集合演算としてMAX-MIN演算と代数積・限界和演算による結果を比較し、どちらの演算手法がファジィ所要日数の算出上より妥当であるかを検討する。次に、ファジィ所要日数を有する作業要素から成る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。さらに、数値計算例として、本手法を実橋の架設工程計画に適用した結果を報告する。

* 工博 片山ストラテック㈱ 橋梁設計部設計1課 〒551 大阪市大正区南恩加島6-2-21

** 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科 〒606 京都市左京区吉田本町

*** ㈱酒井鉄工所 橋梁設計部橋梁設計課 〒590 堺市出島西町3-1

**** ㈱横河技術情報 橋梁技術部設計第1課 〒273 千葉県船橋市山野町27番地

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。そこで、標準日数から所要日数を算出するための評価ルールを構成するパラメータを次のように設定する。

1) 評価に影響を与える要因の良否 (P)

例えば、作業員の技能が低い、普通、高いなど。

2) 個々の要因が評価に及ぼす影響度の大きさ (Q)

例えば、作業員の技能が所要日数に及ぼす影響は大きい、普通、小さいなど。

3) 評価 (R)

例えば、所要日数が標準日数と比較して短くなる、同程度、長くなるなど。

評価ルールとしてファジィ推論ルール¹⁾を用いる。すなわち、ある作業Aに関して「要因F_iが良く(p)、要因F_iが所要日数に及ぼす影響の度合いが大きければ(q)、作業Aは標準日数より早く完了するであろう(r)。」これを、一般的に推論の形で表現すれば、

「if P=p and Q=q then R=r」 (1)

ここに、p, q, r はパラメータP, Q, Rの評価の度合を表す。

所要日数に影響を及ぼす要因として、表-1に示すように、作業員の技能に関して3要因(F_{P1}~F_{P3})、設備の質と量に関して5要因(F_{t1}~F_{t5})、作業環境に関して4要因(F_{n1}~F_{n4})を考慮し、その良否を言語値G(=Good)、M(=Middle)、B(=Bad)と対応させる。

熟練作業者へのアンケート調査²⁾³⁾に基づき、表-2に示す各作業項目に対する各要因の影響度の大きさを言語値L(=Large)、M(=Medium)、S(=Small)を用いて表現すると、表-3に示すようである。

評価Rのパラメータrの値は、PおよびQに影響を受ける。従って、PおよびQの評価度合がそれぞれ3段階に分かれているため、評価の基本ルールとしては3×3=9通りが考えられる。しかしながら、ファジィ理論を用いてあいまいさを評価する場合、メンバシップ関数をいたずらに複雑化するのは意味がないため、本研究ではパラメータRの言語値としては表-4に示すようにF(=Fast), RF(=Relatively Fast), E(=Equal), RL(=Relatively Late), L(=Late)の5段階に留めている。

表-1 所要日数に影響を及ぼす要因

記号	要 因 名	B	M	G
F _{P1}	作業員の技能	低い	普通	高い
F _{P2}	作業員の構成人数	少ない	普通	多い
F _{P3}	クレーンオペの技量	低い	普通	高い
F _{t1}	仮設備の質	悪い	普通	良い
F _{t2}	仮設備の規模	小さい	普通	大きい
F _{t3}	クレーンの機種	不適當	普通	適當
F _{t4}	ベントの高さ	高い	普通	低い
F _{t5}	施工数量	少ない	普通	多い
F _{n1}	作業環境	悪い	普通	良い
F _{n2}	気温	低い	普通	高い
F _{n3}	湿度	高い	普通	低い
F _{n4}	降雨量	多い	普通	少ない

表-2 作業項目一覧

項目	作業名
イ	準備工
ロ	橋台足場組立工
ハ	杓据付工
ニ	桁仮受け架台設置工
ホ	桁架設工
ヘ	キャンバー調整工
ト	高力ボルト本締工
チ	塗装用足場組立工
リ	高力ボルト頭塗装工
ヌ	現場塗装工(中・上塗)
ル	桁ジャッキダウン工
ヲ	杓固定工
ワ	塗装用足場解体工
カ	高欄工
コ	伸縮継手工
タ	橋台足場解体工
レ	跡片付け

ここで、各パラメータP,Q,Rをファジィ集合と考え、言語値と対応付けるメンバシップ関数を図-1のように設定する。

表-3 各要因が評価に及ぼす影響度の大きさ

作業 項目	F _F 要因			F _t 要因					F _n 要因			
	F _{F1}	F _{F2}	F _{F3}	F _{t1}	F _{t2}	F _{t3}	F _{t4}	F _{t5}	F _{n1}	F _{n2}	F _{n3}	F _{n4}
イ	M	S	S	S	S	S	S	S	M	S	S	M
ロ	L	M	S	M	M	S	S	S	L	S	S	M
ハ	M	M	M	S	S	M	S	S	M	S	S	M
ニ	M	M	M	S	S	M	S	M	M	S	S	M
ホ	L	L	L	S	S	L	L	M	L	S	S	M
ヘ	M	M	S	S	S	S	S	M	S	S	S	M
ト	M	L	S	S	S	S	S	M	S	S	S	L
チ	L	M	S	S	S	S	L	S	L	S	S	M
リ	M	M	S	S	S	S	S	L	S	L	L	L
ヌ	M	M	S	S	S	S	S	L	S	L	L	L
ル	L	M	L	S	S	L	M	M	L	S	S	M
ヲ	M	M	S	S	S	S	S	L	S	L	S	M
ワ	L	M	S	S	S	S	L	S	L	S	S	M
カ	M	M	S	S	S	S	S	M	M	S	S	M
ヨ	M	M	M	S	S	S	S	M	M	S	S	M
タ	L	M	S	S	S	S	S	S	L	S	S	M
レ	M	S	S	S	S	S	S	S	M	S	S	M

表-4 評価の基本ルール

No	P	Q	R
1	G	L	F
2	G	M	R F
3	G	S	E
4	M	L	E
5	M	M	E
6	M	S	E
7	B	L	L
8	B	M	R L
9	B	S	E

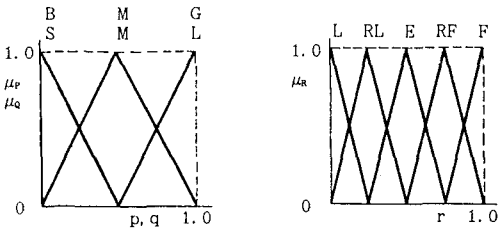


図-1 各言語値のメンバシップ関数

3. ファジィ集合演算

ここでは、各要因ごとの μ_P, μ_Q, μ_R を一つに合成する方法として、MAX-MIN演算と代数積・限界和演算の2方法を適用し、比較検討を行う。

(1) MAX-MIN演算

まず、各要因ごとにP,Q間およびQ,R間のファジィ関係行列を作成する。評価パラメータPとQの関係はandにて結び付けられる。従って、両者の関係を積集合にて表現する。QとRの関係も同様に考える。

$$\begin{aligned} (P, Q)_i &= P_i \times Q_i \\ (Q, R)_i &= Q_i \times R_i \end{aligned} \quad \dots\dots (2)$$

ここに、iは作業項目番号を、×は積集合演算を示す。

次に、要因ごとの(P,Q)行列、(Q,R)行列をそれぞれ1つに合成する。種々の要因を考慮しても、最終評価は影響の大きな少数の要因に強く左右され则认为られる。従って、個々の要因ごとに得られた(P,Q)行列、(Q,R)行列の和集合を求め、それぞれ1つに合成する。

$$\begin{aligned} (P, Q) &= \max \{ (P, Q)_i \} = \{ (P, Q)_1 \cup (P, Q)_2 \cup \dots\dots \} \\ (Q, R) &= \max \{ (Q, R)_i \} = \{ (Q, R)_1 \cup (Q, R)_2 \cup \dots\dots \} \end{aligned} \quad \dots\dots (3)$$

さらに、(P, Q) 行列と (Q, R) 行列を max-min 合成して (P, R) 行列を求める。

$$(P, R) = \max \{ \min ((P, Q), (Q, R)) \} \quad \dots\dots (4)$$

最後に、(P, R) 行列の各列の最大値を取って、所要日数が標準日数よりどのくらい早く完了するかの度合を表すメンバーシップ関数 μ_{PR} を求める。

$$\mu_{PR}(r) = \max_j \{ (P, R) \} \quad \dots\dots (5)$$

ここに、j は (P, R) 行列の列を示す。

(2) 代数積・限界和演算

$(P_i \cap Q_i) \cap R_i$ なる集合演算に対して、 P_i と Q_i および、これらと R_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、 $R = R_1 \cup R_2 \dots \cup R_n$ に対し、各 R_i が完全負従属であると考ええると、限界和が妥当であると考えられる⁴⁾。従って、各要因ごとの μ_P, μ_Q, μ_R を以下の手順により一つに合成する。

$$\begin{aligned} \mu_{PQ_i} &= \mu_{P_i} \cdot \mu_{Q_i} \\ \mu_{QR_i} &= \mu_{Q_i} \cdot \mu_{R_i} \end{aligned} \quad \dots\dots (6)$$

ここに、i は要因番号を、記号 $\cdot$ は代数積演算を示す。

次に、要因ごとの μ_{PQ}, μ_{QR} を 1 つに合成する。

$$\begin{aligned} \mu_{PQ} &= \mu_{PQ_1} \oplus \mu_{PQ_2} \oplus \dots\dots \\ \mu_{QR} &= \mu_{QR_1} \oplus \mu_{QR_2} \oplus \dots\dots \end{aligned} \quad \dots\dots (7)$$

ここに、記号 $\oplus$ は限界和演算を示す。

さらに、 μ_{PQ} と μ_{QR} を合成して μ_{PR} を求める。

$$\mu_{PR} = \mu_{PQ} \cdot \mu_{QR} \quad \dots\dots (8)$$

(3) ファジィ所要日数の算出

最終評価されたメンバーシップ関数 $\mu_{PR}(r)$ には、全ての要因の影響が含まれている。すなわち、このメンバーシップ関数の横軸は、標準日数より早く作業が完了するか、遅れるかの度合を表し、 $r=0.5$ であれば丁度標準日数と一致することを示していると考えられる。また、その面積は、確からしさの度合を表していると考ええる。従って、図-2 に示す総合評価のメンバーシップ関数 μ_{PR} の重心 r_g と面積 A を用いて、式(9)により所要日数のメンバーシップ関数(図-3)を作成する。

$$\begin{aligned} m &= T - 2\beta(r_g - 0.5) \\ \alpha &= \beta A \end{aligned} \quad \dots\dots (9)$$

ここに、T：標準日数、 β ：最大変動日数、 m, α ：図-3 参照。

なお、図-2 で示される総合評価メンバーシップ関数の面積 A がゼロである場合、式(9)より $\alpha=0$ となり、その作業の所要日数はクリスプとなる。また、重心 r_g が 0.0 あるいは 1.0 の上下限值の場合には、所要日数のメンバーシップ関数の中央値 m の値は標準日数 T より $\pm\beta$ 移動することになる。実際には、 m の値は重心 r_g に応じて T と $\pm\beta$ の間にあり、 α の値は面積 A に応じて β 以下となる。このように、所要日数メンバーシップ関数の値は最大変動日数 β に影響されるため、その設定に際しては実際の工事データを蓄積して適切に定める必要がある。

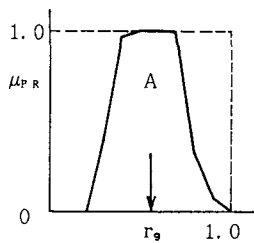


図-2 総合評価メンバシップ関数

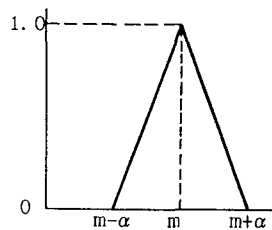


図-3 所要日数メンバシップ関数

(4) 比較検討

両演算方法に対する比較検討として、表-2に示す作業項目のうち、要因影響度の大きさ(表-3)にL, M, Sが適度に混在している作業ホを例に用いる。計算は、表-5に示すように、各要因の良否を変えて6ケース行った。

両演算方法による合成メンバシップ関数を図-4に示す。また、標準日数 $T=5$ 日、最大変動日数 $\beta=T/2=2.5$ 日として算出した所要日数メンバシップ関数の値を表-6に示す。

表-5 計算ケース

Case No.	F _p 要因			F _t 要因					F _n 要因			
	F _{p1}	F _{p2}	F _{p3}	F _{t1}	F _{t2}	F _{t3}	F _{t4}	F _{t5}	F _{n1}	F _{n2}	F _{n3}	F _{n4}
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
2	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
3	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
4	B	B	B	G	G	B	B	M	B	G	G	M
5	G	G	G	B	B	G	G	M	G	B	B	M
6	G	M	B	G	M	G	G	G	G	B	B	B

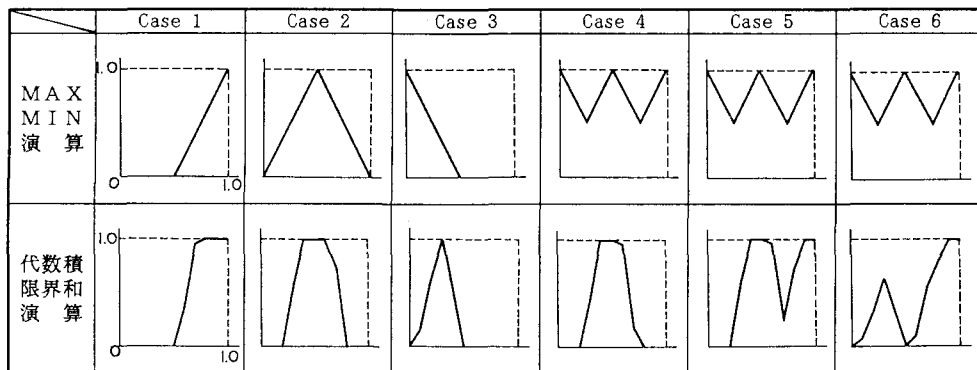


図-4 合成メンバシップ関数

表-6 所要日数メンバシップ関数

	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4		Case 5		Case 6	
	m	α	m	α	m	α	m	α	m	α	m	α
MAX-MIN演算	3.33	0.62	5.00	1.25	6.67	0.63	5.00	1.90	5.00	1.90	5.00	1.90
代数積・限界和演算	3.48	0.95	4.96	1.07	6.11	0.57	5.07	0.88	4.35	1.49	4.19	1.11

図-4および表-6の結果より、以下のことが明らかとなった。

MAX-MIN演算では、各要因が評価に及ぼす影響度の大きさ(表-3)に Large, Middle, Smallがどのように混在していても、計算に際し、所要日数に影響を及ぼす要因(表-1)に Goodがあれば Goodの、Badがあれば Badのメンバシップ関数が最後まで残る。従って、要因に Good, Middle, Badが二つ以上混在する場合、合成メンバシップ関数の形は、図-4に示すように、必ず多峰性を有することになる。また、表-3に示す「各要因が評価に及ぼす影響度の大きさ」によれば、作業ホに対し Large = 6個、Middle = 2個、Small = 4個が割り当てられており、全体の影響度は「やや大きい」にもかかわらず、Case 2 (All Middle) の所要日数が標準日数と一致し、Case 3 (All Bad) の所要日数が Case 1 (All Good) の丁度2倍となっている。さらに、Case 4~Case 6に示されるように、Good, Middle, Badが全て混在する場合、その割当て方法には無関係に、どのケースも同じ結果となり、感覚的に受け入れられない結果となっている。

一方、代数積・限界和演算を用いると、要因に Good, Middle, Badが混在する Case 4の場合でも、合成メンバシップ関数の形は図-4に示すようにピークがただ一つである。Case 5と Case 6の場合にピークが2ヶ所見受けられるが、MAX-MIN演算のような解釈上の困難さはない。また、要因が All Middle (Case 2) の場合でも、所要日数は標準日数よりやや短くなる方へずれており、各要因が評価に及ぼす影響度の大きさ(L, M, S)の混在割合と感覚的に一致する。Case 4は要因に Badの数が多いため、所要日数が標準日数より長くなっている。さらに、Case 5, Case 6と Case 1との比較より、所要日数メンバシップ関数作成には代数積・限界和演算が感覚的に良く合うと言える。

以上の比較検討より、本研究では代数積・限界和演算を用いることとした。

4. ネットワーク全体工期のLP計算

図-5に示す作業要素から構成されるネットワークを考える。作業要素(i, j)の開始日は S_{ij} 、完了日は F_{ij} 、所要日数は t_{ij} 、節点i, jの節点日時はそれぞれ T_i 、 T_j である。従来型PERTの最早プランは、ネットワークのトータル日数Zを最小にする最適化問題として与えられ、式(10)で表される。

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & Z = \sum T_i + \sum (S_{ij} + F_{ij}) \\ \text{Subject to} \quad & T_i \leq S_{ij}, T_j \geq F_{ij}, \\ & F_{ij} - S_{ij} = t_{ij}, \\ & T_i \geq 0, S_{ij} \geq 0 \text{ and } F_{ij} \geq 0 \quad \dots\dots (10) \end{aligned}$$

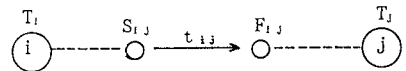


図-5 作業要素(i, j)のアロダイヤグラム

作業要素(i, j)の所要日数が図-6に示すようなファジィ集合であるとき、ファジィPERTの最早プランは、各作業の所要日数の確信度をできるだけ大きくしながらネットワークのトータル日数をできるだけ小さくする問題として与えられ、式(11)で表される⁹⁾。

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & Z_o = \lambda \\ \text{subject to} \quad & T_i = 0, T_i \leq S_{ij}, T_j \geq F_{ij}, \\ & 1 - \frac{\tau_{ij} - F_{ij} + S_{ij}}{\tau_{ij} - d_{ij}} \geq \lambda, \\ & 1 - \frac{\sum T_i + \sum (F_{ij} + S_{ij}) - Z_o}{Z_u - Z_l} \geq \lambda, \\ & T_i \geq 0, S_{ij} \geq 0, F_{ij} \geq 0 \text{ and } \lambda \geq 0 \quad \dots\dots (11) \end{aligned}$$

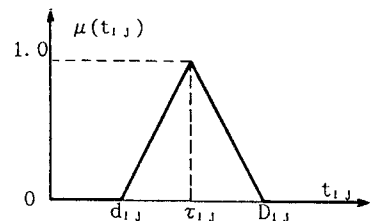


図-6 作業要素(i, j)のメンバシップ関数

ここに、 Z_u, Z_l はそれぞれZの最大値、最小値であり、便宜的に $t_{ij} = D_{ij}, t_{ij} = d_{ij}$ において従来型PERTで計算した最遅プランおよび最早プランのネットワークトータル日数Zを用いる。式(11)において、制約条

件式の2行目は各作業の所要日数に関する条件を、3行目はネットワークトータル日数に関する条件を示している。

式(11)を解いた結果の λ は、ネットワークを構成する各作業の所要日数メンバシップ関数のうちの最小値を与える。従って、 λ が小さすぎると、そのプランの実行可能性は不確実なものとなる。そのような場合には、 Z_u 、 Z_l の値を変えることにより Z の拘束を変更し、結果として λ の大きさを調整することが可能である。なお、 λ の値としては、例えば0.7～0.8程度は必要であると考えられるが、実際には過去の類似工事等のデータを参考にして、工事内容や工期を勘案して計画者が判断する必要がある。

5. 実橋への適用例

実橋への適用例として、橋長8.5m、総幅員13.03mの単純鋼床版桁の架設を例に採る。架設工法はトラッククレーン工法である。施工数量を表-7に、作業工程ネットワークを図-7に示す。図中の作業項目は表-2に対応している。

表-7 施工数量

種 別	単位	数量	備 考
主 桁 重 量	t	29.1	6本
脊 重 量	t	1.2	12基
高力ボルト	本	1480	
現 場 塗 装	m ²	74	中・上塗
高 伸 縮 継 手	m	8.4	
	m	26	

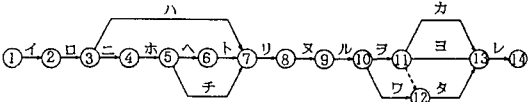


図-7 作業工程ネットワーク

各作業の標準日数は、橋梁架設工事の積算基準⁹⁾に基づいて算出した。計算ケースとして以下の3ケースを考えた。

- Case 1 : 要因が全て良好(All Good)である場合、
- Case 2 : 降雨量が少ない(F_{n4} =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 : 全要因が悪い(All Bad)場合

各作業項目の所要日数メンバシップ関数の計算結果を表-8に示す。なお、計算に際し、最大変動日数 β は標準日数 T の1/2とした。また、クリティカルパス上の作業日数の合計を表-9に示す。

表-8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_l を得る。このようにして得られた Z_u 、 Z_l および τ_{ij} 、 d_{ij} を用いて式(11)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-10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。 λ の値は α および m に影響を受ける。すなわち、 m が小さいほど、また α が大きいほど λ は小さくなり、不確実性が増大する。Case 2の場合、表-8および表-9より、 m はCase 1より大きいにもかかわらず、 α が3ケース中で最も大きいため λ の値が他のケースより小さくなっている。Case 2の α が大きい理由は、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。すなわち、普通という概念は、あいまいさが大きいと言える。

さて、Case 2において、 λ の値を改善することを試みてみる。式(11)の Z_u 、 Z_l の値は従来型PERTの最遅プランおよび最早プランにより便宜的に求めたネットワークトータル日数の最大値および最小値であり、この範囲内であれば自由に動かし得る。従って、これらの値を変えて式(11)のLP計算を行えば、新しい工期

(T_{END})と実行可能性(λ)を得ることができる。計算結果を表-11、図-8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。

また、表-9および図-8により、 $\lambda=1.0$ において T_{END} がクリティカルパス上の作業日数の合計値と一致することがわかる。すなわち、式(11)で定式化された最適化問題では、ネットワークトータル日数を最小化することにより、必然的にクリティカルパス上の工程も最小化されるため、確信度 $\lambda=1.0$ の場合(式(10)を解くことと同じ)には、従来型PERTの最早プランに一致する。このように、本手法によればクリティカルパスを求めることなく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。

表-8 各作業項目の所要日数メンバシップ関数

作業項目	標準日数	Case 1 (All G)		Case 2 (11M,1G)		Case 3 (All B)	
		m	α	m	α	m	α
イ	2.6	2.020	0.258	2.587	0.620	3.175	0.390
ロ	5.0	3.572	1.055	4.841	1.282	6.127	0.790
ハ	1.6	1.230	0.285	1.567	0.428	1.970	0.285
ニ	6.5	4.996	1.157	6.368	1.739	8.004	1.157
ホ	3.2	2.222	0.607	3.037	0.768	3.907	0.365
ヘ	0.8	0.619	0.111	0.790	0.201	0.978	0.130
ト	0.8	0.567	0.144	0.785	0.196	0.978	0.118
チ	0.6	0.410	0.102	0.585	0.143	0.729	0.072
リ	1.0	0.693	0.188	0.918	0.261	1.219	0.116
ヌ	1.6	1.109	0.301	1.468	0.418	1.950	0.186
ル	0.8	0.568	0.165	0.766	0.198	0.983	0.114
ヲ	2.6	1.836	0.525	2.524	0.645	3.184	0.380
ワ	0.4	0.274	0.068	0.390	0.095	0.486	0.048
カ	0.7	0.503	0.139	0.683	0.179	0.857	0.112
ヨ	5.2	4.020	0.811	5.106	1.359	6.362	0.884
タ	4.0	2.735	0.681	3.902	0.953	4.860	0.480
レ	1.8	1.398	0.179	1.791	0.429	2.198	0.270

表-9 クリティカルパス上の作業日数

	Σm	$\Sigma \alpha$
Case 1(All G)	23.62	5.50
Case 2(11M,1G)	30.98	8.12
Case 3(All B)	39.07	4.90
標準日数	31.90	—

$\Sigma = \text{イ} + \text{ロ} + \text{ニ} + \text{ホ} + \text{ヘ} + \text{ト} + \text{リ} + \text{ヌ} + \text{ル} + \text{ヲ} + \text{ヨ} + \text{レ}$

表-10 計算結果

	Z_u	Z_l	T_{END}	λ
Case 1	886.4	521.5	21.91	0.689
Case 2	1187.4	667.0	28.44	0.687
Case 3	1336.6	998.8	37.63	0.703

表-11 Z_u, Z_l 変化による T_{END} と λ

	Z_u	Z_l	T_{END}	λ
Z_l 変化	1187.4	900.0	30.92	0.992
	1187.4	800.0	29.63	0.833
	1187.4	700.0	28.69	0.718
初期値	1187.4	667.0	28.44	0.687
Z_u 変化	1100.0	667.0	28.11	0.646
	1000.0	667.0	27.60	0.584
	900.0	667.0	26.88	0.496

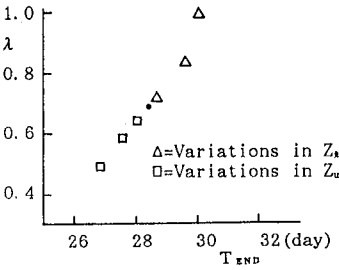


図-8 T_{END} と λ との関係 (Case 2)

6. 結論

本研究では、種々の不確定要因が鋼橋の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。本研究で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 「良い、普通、悪い」といった直感的であいまいな評価要因が、現場架設工期に及ぼす影響をファジ理論を用いて取り扱うことができる。
- (2) 各作業の所要日数メンバーシップ関数の算出には、MAX-MIN演算より代数積・限界和演算の方が感覚的に良く一致する。
- (3) ファジ所要日数を有する作業から成る工程ネットワークを線形計画法で解くことにより、クリティカルパスを求めることなく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。
- (4) ネットワークのトータル日数の拘束条件を種々変化させることにより、実行可能性と工期との関係を総合的に判断できるため、より具体的、実地的な工程管理が可能である。

なお、本論文は文献²⁾³⁾に示す土木学会関西支部共同研究グループでの研究成果に基づいたものであり、研究に際し亀井正博（大阪市）、高瀬和男（駒井鉄工）、家村剛（NKK）の各氏の助力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 杉山俊幸・深沢泰晴・谷内茂浩・小松弘文：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.
- 2) (社)土木学会関西支部平成3年度共同研究グループ：橋梁構造物の設計・施工のシステム化に関する調査研究報告書，pp.119-148，1992.
- 3) (社)土木学会関西支部平成4年度共同研究グループ：土木構造物の知識情報処理に関する調査研究報告書，pp.131-149，1993.
- 4) 間瀬重昭：メンバーシップ関数の一解釈とファジ集合演算についての一提案，第6回ファジシステムシンポジウム講演論文集，pp.121-124，1990.
- 5) 樺木武・Mohamed TATISH・黄文吉・池田総司：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/N-13，pp.115-122，1990.
- 6) (社)日本建設機械化協会：橋梁架設の積算，平成3年度版

(1993年9月16日受付)