

ファジィ理論による送出し架設反力調整システム

ADJUSTING SYSTEM FOR REACTION FORCE INTRODUCED IN A GIRDER UNDER "PUSH-OUT" ERECTION
METHOD, BASED ON THE FUZZY THEORY

下田幸義* 三浦芳雄** 山西弘剛*** 田中喜隆**** 古田均*****

By K. Shimoda, Y. Miura, H. Yamanishi, Y. Tanaka, and H. Furuta

In the "push-out" method, frequently used for the erection of bridge girders, the girder reaction force is adjusted by means of a jack, and very often, the amount of correction is decided empirically or by trial and error.

However, human judgement does not allow the precise and speedy decision of the correction amount, especially in case of curved girders or girders with a comparatively large number of supports.

In the present research, a technique for deciding an optimum adjusting amount of the girder reaction force during the "push-out" erection is computerized by applying the fuzzy theory.

Key Words: erection of bridge girders, fuzzy control, adjusting system

1. まえがき

送出し架設は、橋下空間に制約がある場合などによく適用される工法である。架設時における反力調整のためのジャッキ操作量は、現状では経験的あるいは試行錯誤的に決定されることが多い。しかしながら、曲線桁や支点の多い桁などでは、人間の判断のみでは調整量を決定することには限度がある。また、ある反力誤差を調整するための方法は無限に存在するため、この中から最適な調整量を見つけることは容易ではない。

本研究ではこのような送り出し架設時における最適な反力調整量の決定にファジィ理論を適用してシステム化した。

送出し架設時には所定の縦断および横断形状が得られるか、あるいは受け点の反力にアンバランスが生じないかを管理しながら順次送出し、所定の位置へ架設を進めていく。(図-1, 2) 形状および反力の管理は現状では各架設段階の反力を予定反力として前もって解析で求めておき、実際の送出し時にその反力となることを確認することにより照査している。所定の反力が得られないときはジャッキ操作を行い予定反力と

*	松尾橋梁(株)	(〒551 大阪市大正区鶴町)
**	(株)横河ブリッジ	(〒592 堺市築港新町2丁)
***	パシフィックコンサルタンツ(株)	(〒532 大阪市淀川区西中島)
****	コスモ技研(株)	(〒550 大阪市西区南堀江)
*****	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)

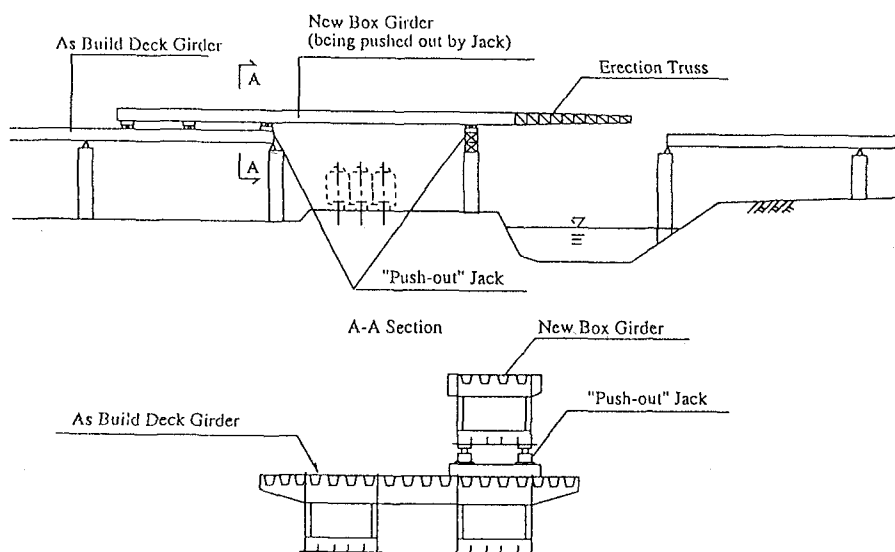
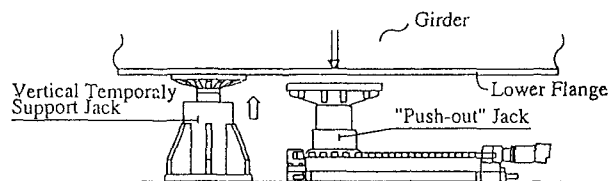
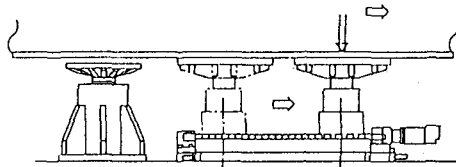


図-1 送出し架設

STEP-1 Support Girder by Jack



STEP-2 Pushout Girder by "Push-out" Jack



STEP-3 Return to the Initial Position

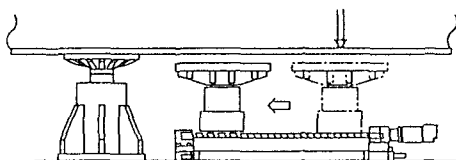


図-2 送出しジャッキ

なるように各ステップで調整が行われ、次ステップに進む。しかしながら、曲線桁、あるいは多支点を有する桁の送出し架設においては次のような問題点がある。

- ① 曲線桁の場合や多くの支点で支持されているような高次不静定構造系の送出し架設の場合、製作誤差及び施工誤差による反力誤差が生じ易く管理が難しくなる。
- ② 反力調整時に桁が多くの支点で支持されている場合、反力調整時のジャッキ操作が複雑であり、どのジャッキの反力を増加させ、またどのジャッキの反力を減少させればよいか、経験また試行錯誤的に調整しているのが現状である。
- ③ 反力調整時には高さ、捻れ変形等の形状管理を行い桁が正常に送出されているかの安全面からのチェックを行っているが、精度の良い管理は現状では困難である。

これらのことより、特に曲線桁あるいは支点数の多い送出し架設における反力管理においては反力誤差に対する的確なジャッキ反力調整法の確立が不可欠であり、効率的な架設管理システムの構築が必要であった。そこで、第一段階として、ジャッキ操作量をできるだけ少なくすることに着目して、最小自乗法による反力調整システムを試作した。この段階では製作誤差、施工誤差などの力学的に解が得られない反力誤差については考慮していない。第二段階として、ファジィ理論を応用することにより、製作誤差、施工誤差による反力誤差と形状誤差を考慮してジャッキの最適な調整量を求める反力調整システムを作成した。

2. 最小自乗法による調整システム

ここでは、支点調整と内容が類似しているニールセン橋等のシム調整量計算システムを改造し利用した。なおシム調整量計算システムについては、すでに他の文献で報告されているのでここでは説明を省略する²⁾。以下に本システムの概要について述べ、図-3にそのシステムフローを示す。

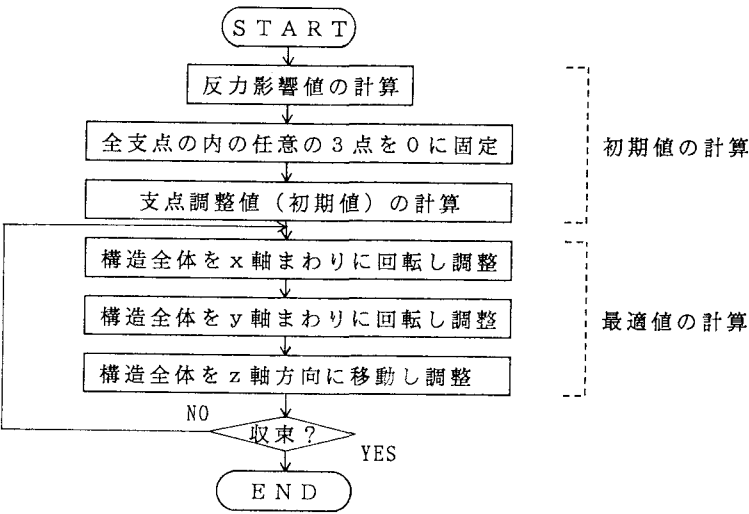


図-3 誤差調整システムのフロー

1) 支点調整値計算システムに固有の問題

シム調整量計算システムを利用して支点調整を行うには変位変化量マトリックスを各支点の反力マトリックスに置き換えて、求まったシム調整値を支点の調整値とすればよいはずである。しかしながら、この調整値は無数に存在する解の一つにすぎない。なぜならば、この段階では単に各支点間の相対的な調整値が決定されてるだけであり、この状態から構造全体を任意の軸まわりに回転させたり、上下に移動させたものもすべて解となるためである。すなわちこのままでは解は不定となる。

この問題を解決するため、本システムではあらかじめ構造全体の回転および移動を拘束することにした。各支点間の相対的な位置関係を保持したまま構造全体を拘束するには、全支点の中から一直線にならない任意の3点を選び、これらの調整値を0に固定すればよい。このような処理を行えば解を求めることは容易であるが、やはりこれも解の一つにすぎない。したがって、本システムではこの次の処理として最適値を計算するプログラムを追加した。

2) 最適値計算プログラム

シム調整量計算システムを利用して求めた解を初期値として、以下に示す方法により最適値を計算する。修正後の調整値は(1)式で表わされる。

$$Z_i^* = Z_i + dz - x_i \cdot \sin \theta_y - y_i \cdot \sin \theta_x \quad (1)$$

ここに

- Z_i^* : 修正後の調整量 (i 番目支点)
- Z_i : i 番目支点の調整値の初期値
- dz : z 方向 (鉛直方向) 全体修正量
- θ_x : x 軸まわりの全体修正回転角
- θ_y : y 軸まわりの全体修正回転角
- x_i : i 番目支点の x 座標値
- y_i : i 番目支点の y 座標値

a) 修正量の決定手順

イ) 全支点の座標値を (x_i , y_i , z_i) とする。

ロ) x 軸まわり, y 軸まわりの修正回転は、それぞれ y-z 平面、x-z 平面に投影されたそれら支点の節点群に対し、最小自乗法で決定される直線勾配とする。

ハ) ロ) で計算された量だけ回転させた節点群に対し、z 方向への全体移動量 δ_z を求める。回転後の節点は z 方向 (鉛直方向) に対し、ほぼ水平に群をなしていると考えられるので、節点座標 z に対する最小自乗法にて δ_z を決定する。

ニ) 以上で得られた θ_x , θ_y , δ_z を(1)式に代入して、各支点に対する修正調整値 Z_i^* が計算されるが、ロ) で求めた回転角 θ_x は $\theta_y = 0$ として、また θ_y は $\theta_x = 0$ としたものであり、得られた回転角は厳密解ではない。そのため、この段階での調整値 Z_i^* が最適であるとは言えないが、初期値に対しては明らかに改善されている。そこで、この調整値 Z_i^* を再度初期値として、同様の処理を繰り返すことで最適値に収束させ

ることを考える。

b) x 軸まわりの修正回転角

y - z 平面での節点群に対して、近似直線を定めその勾配を回転角とする。

近似直線式は

$$\tilde{z} = \alpha_x y + \beta_x \quad (2)$$

ここで節点座標との差の二乗和が最小となるように α_x を決定する。すなわち

$$\begin{aligned} \Delta^2 &= \sum (z_i - \tilde{z}_i)^2 = \sum \{z_i - (\alpha_x y_i + \beta_x)\}^2 \\ &= \sum \{z_i^2 - 2(\alpha_x y_i + \beta_x) z_i + (\alpha_x y_i + \beta_x)^2\} \end{aligned} \quad (3)$$

において

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \alpha_x} = \sum \{-2 y_i z_i + 2(\alpha_x y_i + \beta_x) y_i\} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \beta_x} = \sum \{-2 z_i + 2(\alpha_x y_i + \beta_x)\} = 0$$

の連立方程式を解いて

$$\alpha_x = \frac{n \sum y_i z_i - \sum z_i \cdot \sum y_i}{n \sum y_i^2 - \sum y_i \cdot \sum y_i} \quad (5)$$

を得る。

c) y 軸まわりの修正回転角

同様に x - z 平面に対して α_y も

$$\alpha_y = \frac{n \sum x_i z_i - \sum z_i \cdot \sum x_i}{n \sum x_i^2 - \sum x_i \cdot \sum x_i} \quad (6)$$

を得る。

(式中の $\sum$ は $\sum_{i=1}^n$ を意味する)

x 軸、y 軸まわりの修正回転角 θ_x , θ_y は

$$\theta_x = \tan^{-1} \alpha_x \quad (7)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \alpha_y \quad (8)$$

c) z 軸方向移動量 δ_z

回転修正された座標を ω_i とすれば、

$$\omega_i = z_i - x_i \sin \theta_y - y_i \sin \theta_x \quad (9)$$

であり

$$\begin{aligned} \Delta^2 &= \sum (z_i^*)^2 = \sum (\omega_i + \delta_z)^2 \\ &= \sum (\omega_i^2 + 2 \delta_z \omega_i + \delta_z^2) \end{aligned} \quad (10)$$

を最小化することで δ_z は決定される。すなわち

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \delta_z} = \sum (2 \omega_i + 2 \delta_z) = 2 \sum \omega_i + 2 n \delta_z = 0 \quad (11)$$

であるので

$$\delta_z = -\frac{1}{n} \sum \omega_i = -\frac{1}{n} \sum \{z_i - x_i \sin \theta_y - y_i \sin \theta_x\} \quad (12)$$

を得る。

3) 計算例

計算に使用したモデルは図-4に示すような半径が500mの曲線桁である。また反力誤差を表-1に示す。この例では支点1, 2, 4を拘束した状態で調整量を求めた。

次にこの値を初期値として収束計算を行ったものを表-2に示す。この場合繰り返しが30回程度でほぼ解は収束しており、初期値に比べて調整量が全ジャッキに分散されている。

(注：本章では測定値と設計値との差を誤差と定義する。)

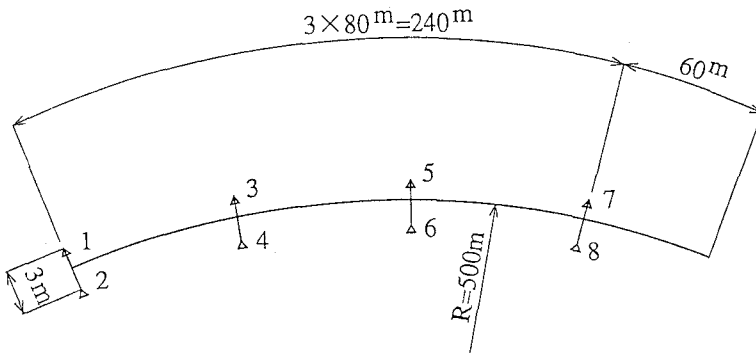


図-4 解析モデル

表－１ 反力誤差 １

支点	1	2	3	4	5	6	7	8
反力誤差 (tf)	-22.3	23.0	13.7	-13.6	49.3	-51.4	-33.3	34.7

表－２ 最小自乗法による調整値

支点 返し回数	ジャッキ調整量 (mm)								ジャッキ調整量 の自乗和
	1	2	3	4	5	6	7	8	
初期値	0.0	0.0	-10.1	0.0	-19.9	-4.8	-29.2	-29.0	2215
1	-14.2	-11.4	-2.4	12.6	-12.7	0.1	14.0	13.9	1045
10	6.7	7.1	-1.3	9.2	-7.4	8.1	-11.4	-10.9	551
20	3.7	4.4	-3.1	7.7	-6.9	8.8	-7.7	-7.0	335
30	2.2	3.0	-4.0	6.9	-6.6	9.2	-5.8	-4.9	263

表－３ 反力誤差 ２

(単位:tf)								
支点番号	1	2	3	4	5	6	7	8
① 支点移動による誤差	0.0	-0.1	-11.2	11.9	35.5	-36.9	-22.5	23.1
② その他の誤差	-3.0	2.1	-1.8	0.1	6.5	-1.1	-2.5	-8.1
①+②反力誤差合計	-3.0	2.0	-13.0	12.0	42.0	-38.0	-25.0	15.0

その他の誤差：製作誤差、施工誤差などとして任意の数値を与えた。

3. 反力制御システム

前節で説明した最小自乗法による手法は、あくまでも理論的なものであり反力誤差の要因がほとんど支点の移動によるもので、かつ桁の力学的諸量（断面積、断面 2 次モーメント、荷重）を正確に把握することが必要である。ところが現実には、反力誤差には支点の移動以外の要因によるもの、たとえば製作上の誤差によるものなども含まれ、また計算に用いた桁の力学的諸量には通常いくらかの誤差が含まれている。したがって、この方法で求められた調整値が常に適切であるとは限らない。そこで次に、現場で実際に行われている調整方法を参考にして、構造力学に頼らないより実用的な手法を検討した。

1) 経験的な方法

経験的な方法のひとつに次のようなものがある。

- ①全支点のうち、反力誤差の最大となっている支点のジャッキを操作してその支点の反力誤差がゼロになるように調整する。
- ②調整後に反力誤差の最大となった支点のジャッキを同様に操作する。
- ③誤差が許容値内になるまで以上の作業を繰り返す。

この方法は構造物の弾性的な応答を事前に知る必要もなく、非常に簡単な方法である。反力誤差のほとんどの要因が支点の変位によるものであれば、非常に容易に収束できる。しかし反力誤差に支点の変位以外によるものが多く含まれている場合にはジャッキの操作のみでは調整できないため、当然の結果として誤差が残留する。例として図-4 のモデルに表-3 の反力誤差を与え、この方法により調整した結果を表-4 に示す。ただし、これは計算機によるシミュレーションである。

表-4 残留誤差

		(tf)							
変点 繰り返し	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	-3.0	2.0	7.0	-8.7	0.0	5.3	-5.1	-5.6	
2	0.8	-2.0	-1.3	0.0	3.9	1.1	-5.1	-5.6	
3				0.0	9.5	-4.6	-10.5	0.0	
4	⋮	⋮	⋮	0.1	-0.9	5.7	0.0	-10.5	
5	⋮	⋮	⋮	0.2	9.7	-5.0	-10.4	0.0	
6	⋮	⋮	⋮	0.3	-0.5	5.2	0.0	-10.4	
7	0.8	-2.0	-1.3	0.3	9.9	-5.4	-10.3	0.0	

この方法は非常に単純であるが、次のような問題点がある。

- ①支点変位以外の要因による反力誤差が多いと収束しにくい。たとえば表-4 では、繰り返しの 3 回目から支点 7、8 のみが交互に調整されており、誤差があまり改善されていない。
- ②ある支点を調整したために、他の支点の反力誤差が急激に増加し危険な場合がある。

③反力誤差以外に高さなどの他の誤差も同時に調整できない。

これらの問題点のうち②については、調整量を反力誤差の5割とするなどしてゆるやかに調整することで、ある程度は解決できるが他の問題、特に③はこの方法を多少改良する程度では不可能である。そこで、次にファジィ理論を応用してこれらの問題を解決することを考えた。

2) ファジィ理論による方法

ファジィ制御は、人が通常行っている制御動作を参考にして、あいまいさを含む制御アルゴリズムを *if-then* 形式で表現し、ファジィ推論により計算を行い、それを制御に役立てるものである。本研究のような”反力”および”高さ”という測定2変数に対して”ジャッキ調整量”を決定する場合にも有効な制御方法である。本節ではファジィ制御を導入する場合の考え方を説明し、数値シミュレーションを行い、架設時の反力および高さをファジィ制御することの有効性を確認する。

a) メンバーシップ関数

ファジィ制御を行うためにここではファジィ集合を定義する。

A: 反力

反力の大小は、反力誤差の絶対値の平均値に対して-2倍以下を小さい、2倍以上を大きいと定義した。これを図-5に示す。なお、反力誤差そのものの値は調整が進むにつれ全体的に小さくなるため大小の評価がむずかしい。

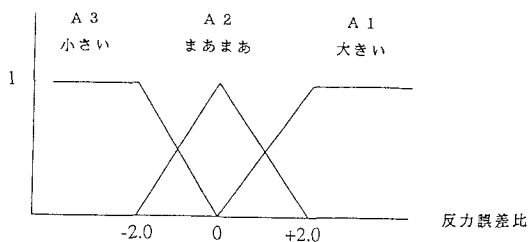


図-5 ファジィ集合 A

B: 高さ

橋梁の規模等により高さ誤差の大小は変わるが、今回は設計値に対して-10mm以下を低い、10mm以上を高いと定義した。これを図-6に示す。

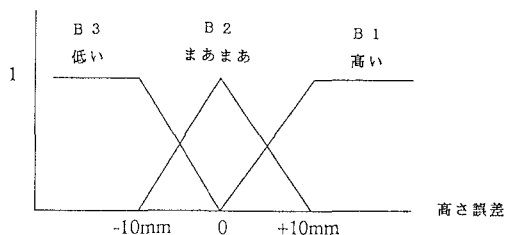


図-6 ファジィ集合 B

C : 調整量

各支点位置に発生している反力誤差に対する比率で与えた。調整を必要とする支点ほど比率を大きくしている。これを図-7に示す。

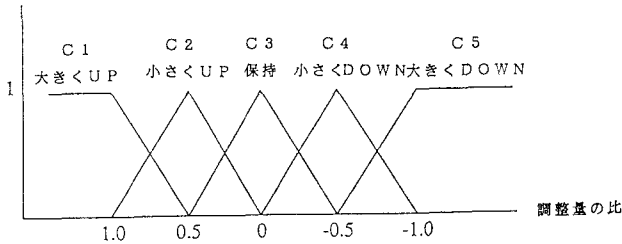


図-7 ファジイ集合 C

b) ファジイ推論および制御

これらのファジイ制御をまとめると

反力	高さ	調整
A 1 : 大きい	B 1 : 高い	C 1 : 大きくジャッキUP
A 2 : まあまあ	B 2 : まあまあ	C 2 : 小さくジャッキUP
A 3 : 小さい	B 3 : 低い	C 3 : ジャッキ保持
		C 4 : 小さくジャッキDOWN
		C 5 : 大きくジャッキDOWN

となっている。

次にこれらのファジイ集合のルールについてまとめる。いま x を測定反力、 y を測定高さとする、

- R_1 : If x is A_1 and y is B_1 THEN C_5
- R_2 : If x is A_1 and y is B_2 THEN C_4
- R_3 : If x is A_1 and y is B_3 THEN C_3
- R_4 : If x is A_2 and y is B_1 THEN C_4
- R_5 : If x is A_2 and y is B_2 THEN C_3
- R_6 : If x is A_2 and y is B_3 THEN C_2
- R_7 : If x is A_3 and y is B_1 THEN C_2
- R_8 : If x is A_3 and y is B_2 THEN C_2
- R_9 : If x is A_3 and y is B_3 THEN C_1

ファジイ推論と制御はMamdaniの方法を用いれば以下のように表される。

$$R_i(A_i, B_i, C_i) = (A_i \times B_i) \times C_i \tag{13}$$

$$\mu_{R_i}(x, y, z) = [\mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y)] \wedge \mu_{C_i}(z) \quad (14)$$

ここで、 $\wedge$ はmin演算、 $\vee$ はmax演算を表す。ルール全体のファジィ関係は $R_1, R_2, \dots, R_n$ のor結合で表され

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n \quad (15)$$

となる。反力および高さの制御のための情報を与える変数 x, y などは、通常確定した数値として計測される。このような確定した数値としての変数 x, y の計測値 x^0, y^0 を用いて出力ファジィ集合 C のメンバーシップ関数を表すと

$$\begin{aligned} \mu_{C_0}(z) &= \mu_{R_1}(x^0, y^0, z) \vee \mu_{R_2}(x^0, y^0, z) \vee \dots \vee \mu_{R_n}(x^0, y^0, z) \\ &= [\mu_{A_1}(x^0) \wedge \mu_{B_1}(y^0) \wedge \mu_{C_1}(z^0)] \\ &\quad \vee [\mu_{A_2}(x^0) \wedge \mu_{B_2}(y^0) \wedge \mu_{C_2}(z^0)] \\ &\quad \cdot \\ &\quad \cdot \\ &\quad \vee [\mu_{A_n}(x^0) \wedge \mu_{B_n}(y^0) \wedge \mu_{C_n}(z^0)] \\ &= [a_1 \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [a_2 \wedge \mu_{C_2}(z)] \vee \dots \vee [a_n \wedge \mu_{C_n}(z)] \\ &= \bigvee_{i=1}^n [a_i \wedge \mu_{C_i}(z)] \end{aligned} \quad (16)$$

ただし、 $a_i = \mu_{A_i}(x^0) \wedge \mu_{B_i}(y^0)$ である。この a_i は、入力 x^0, y^0 が i 番目のファジィルールの条件部に対する適合度と解釈できる。

ファジィ推論では推論結果である集合を求めれば終了するが、制御ではファジィ集合を出力しても、実際に調整することはできない。したがって推論結果を適切に解釈することにより、ある1つの確定した数値に変換して、調整量を決定する必要がある。ファジィ制御では、通常次のように確定した数値に変換する。

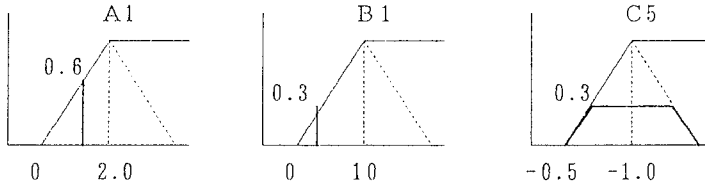
$$z^0 = \frac{\int z \mu_{C_0}(z) dz}{\int \mu_{C_0}(z) dz} \quad (17)$$

ファジィ制御ではこのような確定値に変換する部分は、解釈部とよばれ、ファジィ推論結果の非ファジィ化(defuzzification)とよばれる。上式はファジィ集合 C のメンバーシップ関数 $\mu_C(z)$ の重心座標 z^0 を与えるものである。

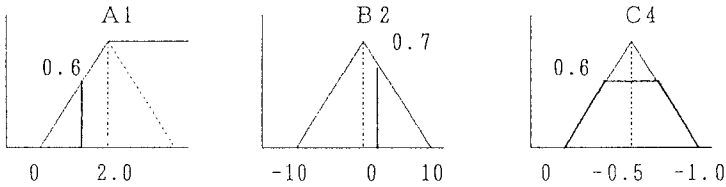
推論例

本項では、前述の反力と高さの調整量のファジィ制御を具体的にまとめてみる。
 【推論例題】反力誤差比が+1.2 高さ誤差が+3mm の場合

①ファジィルール R 1 に対する適合度 0.3

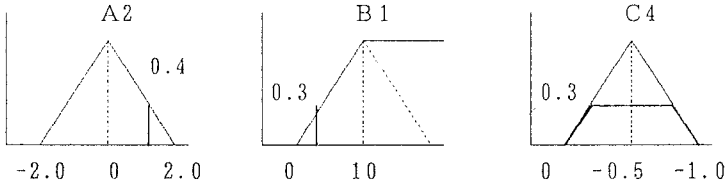


②ファジィルール R 2 に対する適合度 0.6

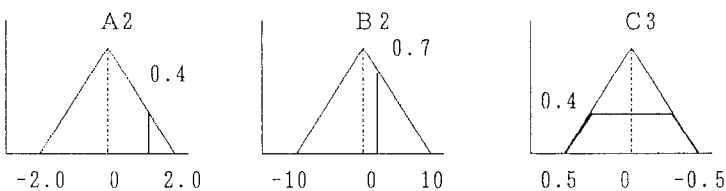


③ファジィルール R 3 に対する適合度 0

④ファジィルール R 4 に対する適合度 0.6

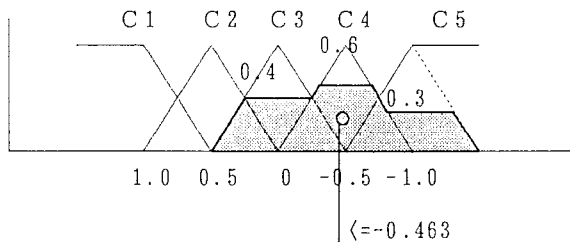


⑤ファジィルール R 5 に対する適合度 0.6



⑥～⑨ファジィルール R 5～R 9 に対する適合度 0

上記のような出力ファジィ集合 C の $\circ r$ 結合を以下に表す。



出力ファジィ集合の解釈として上図の色塗り部の重心を調整量とすれば、重心位置である調整量として-0.463を得る。

d) 計算例

図-4のモデルで計算を行った。ただし、これらはすべて計算機によるシミュレーションである。

CASE-1

表-1の反力誤差を調整した場合の収束の様子をグラフにして図-8に示す。横軸は繰り返し回数を、縦軸は残留誤差の絶対値の平均値を表している。比較のため経験的な方法による結果も破線で示している。経験的な方法は、反力誤差に対する調整反力の係数を1.0, 0.75, 0.50の3通りで計算させている。表-1の誤差は支点の強制変位のみにより発生させたものであり、この場合係数を1.0とした経験的な方法がもっとも収束がよく、ファジィによる方法がそれに続いている。なおファジィによる方法では高さの誤差は0で入力している。

CASE-2

与えた反力誤差は表-2の支点の強制変位によるもの以外に他の誤差を任意に付加したものであり、その他の条件はCASE-1と同じである。計算結果を図-9に示す。この場合経験的な方法では係数0.75がもっとも収束がよく、CASE-1で収束が良好であった係数1.0は、ここではやや発散傾向にある。ファジィによる方法はなだらかに収束している。

CASE-3

CASE-1の反力誤差の他に高さの誤差も調整条件として追加した(表-5)。ここで与えた高さの誤差は橋梁全体が橋軸直角軸回りに回転した状態に近い。

入力した高さの誤差と、反力の残留誤差がほぼ0となった時点でのジャッキの調整高さ量を表-5に示す。高さの誤差を修正する方向にジャッキが調整されていることがわかる。

CASE-4

CASE-3の高さの誤差の符号を逆にしたものである。高さ誤差および計算結果を表-5に示す。反力誤差がCASE-3と同じにもかかわらず、高さの誤差修正のためジャッキの調整方向は逆となっている。

残留誤差の平均値 (tf)

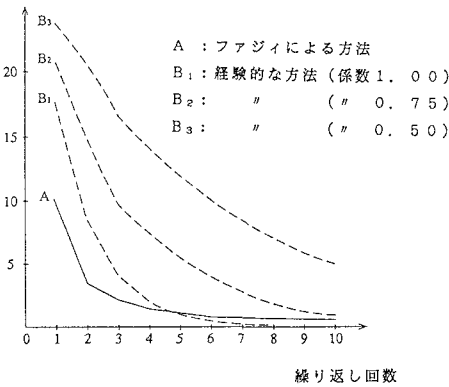


図-8 反力誤差の収束

残留誤差の平均値 (tf)

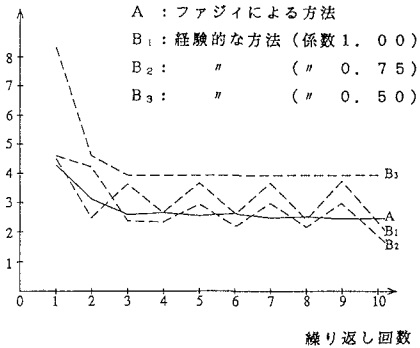


図-9 反力誤差の収束

表－５ 反力誤差と高さ誤差を与えた場合の調整値

		(mm)							
支点		1	2	3	4	5	6	7	8
CASE-3	高さ誤差	-40.0	-40.0	-20.0	-20.0	20.0	20.0	40.0	40.0
	ジャッキ調整量	12.5	12.0	1.4	11.1	-15.6	-0.7	-27.1	-27.1
CASE-4	高さ誤差	40.0	40.0	20.0	20.0	-20.0	-20.0	-40.0	-40.0
	ジャッキ調整量	-16.5	-15.1	-11.7	-3.3	2.0	18.1	18.4	19.5

４．考察

（１）ある反力誤差を修正するための調整値は無数に存在することは、２節で説明したが、これは同じ反力誤差に対するジャッキ調整量が表－３，５の計算結果に示すように、まったく異なっていることから理解できる。ファジィによる方法では、このように無数に存在する調整値の中からファジィ理論を用いると高さ誤差についても調整値が求められることが確認できた。

（２）経験的な方法では、反力誤差の状態により調整値の収束状況が異なる。これに対してファジィを応用した方法は、誤差の状態に関係なく調整値が比較的良好に収束した。

（３）ファジィによる計算に使用したプログラムはFORTRANで記述したが、４００行程程度の簡単なものであり、さらにジャッキ反力およびストロークの許容値などの他の制約条件を追加することも容易であると思われる。

５．あとがき

本研究では曲線桁あるいは支点数の多い桁の送り出し架設途上の反力アンバランス時の適切なジャッキ調整法を提案し、安全性と作業効率を向上させるための架設管理システムの構築を目指した。

その方法として第一段階では調整のためのジャッキアップ量を最小化するような反力調整システムを試作した。しかしながら、このシステムは弾性解を用いた理論的なものであり、またジャッキアップ量の最小化のみが現場のニーズではないことなどから、実際に現場で使用するまでには至らなかった。そこで、第二段階はファジィ理論を応用することにより、構造物の弾性的な応答は考慮せず支点の反力そのものに着目し、ジャッキの調整量を逐次制御する手法を検討した。この手法についても現時点では計算機によるシミュレーションの段階であるが、反力誤差と同時に高さの誤差も調整できるため、安全性の面からも、より有効なシステムであると思っている。

今後は架設現場のジャッキ調整システムと形状計測システムの中に具体的に本システムを組み込み、より実用的なシステムにしたいと考えている。

参考文献

- １）松村博，頭井洋，新家徹，寺西功：斜張橋のケーブル張力計測と張力調整，橋梁と基礎，pp.30-36,1979.8
- ２）菅野道夫：ファジィ制御，日刊工業新聞社，1988.5
- ３）坂和正敏：ファジィ理論の基礎と応用，森北出版株式会社，1989.10
- ４）九州産学官協会編：ファジィシステム演習問題集，(株)工業調査会，1992.6

(1993年9月16日受付)