

(31) ニューロファジィネットワークによる最適構造計画

(R/C連層耐震壁架構のファジィ合成則による解法)

OPTIMAL STRUCTURAL PLANNING BY NEURO-FUZZY NETWORK

(A SOLUTION METHOD FOR R/C CANTILEVER-TYPE SHEAR

WALL FRAME BY THE FUZZY COMPOSITIONAL RULE)

桑本保彦 *1

河村 廣*2

谷 明勲 *3

Yasuhiko KUWAMOTO Hiroshi KAWAMURA

Akinori TANI

This paper proposes an optimal structural planning systems by neuro-fuzzy network which is composed of fuzzy network and neural network. The authors already proposed optimal aseismic structural planning system by fuzzy network. We can deal with subjective evaluations by fuzzy network. Furthermore by using neural network, any types of states, i.e., fuzzy relations in fuzzy network based on uncertain information can be identified, and we can add learning functions to fuzzy network. After the identification of fuzzy network, an optimal aseismic planning for R/C cantilever-type shear wall frames is performed by applying the fuzzy compositional rule similar to the elimination method of unknown variables in solving multi-variable simultaneous equations.

Key Words: optimal structural planning, neuro-fuzzy network, fuzzy network, neural network, fuzzy compositional rule

1. 序

構造計画を行う場合、計画者は安全性、経済性などのように主観にもとづく判断を多く行っている。したがって、構造計画システムの構築を考えた場合、人間の主観的判断によるあいまいさを考慮しなければならない。当研究室ではこれまで、この主観によるあいまいさを取り扱うことができるファジィ理論[1]を応用し、インテリジェントファジィネットワークによる耐震構造計画システムの構築を行っている。[2]ファジィネットワークでは、演算を行なうための知識が必要になる。これまでは、この知識をあらかじめ与えてきた。しかし、そのためには設計変数どうしの関係を全範囲に対して明らかにする必要があるが、主観的な知識を容易に与えることはできない。

そこで本研究では、ファジィネットワークを利用した構造計画システムに、ニューラルネットワーク[5]の学習機能を利用し部分的な知識から全体を同定する機能を加える。さらに多次元連立方程式の解法を応用した最適構造計画手法[3][4]を提示し、ニューロファジィネットワークとしての構造計画システムの構築手法を提案することを目指す。

*1 神戸大学大学院生 工学研究科建築学専攻 (〒657 神戸市灘区六甲台町)

*2 工博 神戸大学教授 工学部建設学科建築系教室 (〒657 神戸市灘区六甲台町)

*3 工修 神戸大学助手 工学部建設学科建築系教室 (〒657 神戸市灘区六甲台町)

2. ファジィネットワーク

ファジィネットワークは、ファジィシステムを単位として構成される。このファジィシステムは、入力(INPUT)、出力(OUTPUT)と状態(STATE)とからなっている。ファジィシステムの状態として満足度が与えられているので公式などの客観的な知識と、構造計画者の主観的な知識のどちらの知識も同じように取り扱うことが可能である。また任意の変数を入力、出力として、演算を行うことができる。

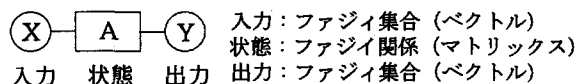


Fig.1 ファジィシステム

本報で提案するニューロファジィネットワークではこのファジィシステムの状態の帰属度をいくつか学習データとして与え、帰属度の同定を行いながらニューラルネットワークを構築しつつ学習をおこなうことになる。

3. 学習

ニューラルネットワークを用いて学習を行う場合、学習データを作成する必要がある。本研究では入出力が与えられたときに、これより実際に学習に用いるデータの作成は次のように行う。Fig.1のような2つの入出力X、Yと状態Aからなるファジィシステムを考える。このファジィシステムにおいて、2変数X、Yの組が式(1)、(2)で与えられたときのファジィシステムの状態Aは、式(3)のようにX、Yの帰属度のうちの最小値とすることができる。

$$X = \sum \mu_{xi} / x_i \quad (1)$$

$$Y = \sum \mu_{yj} / y_j \quad (2)$$

$$A = \sum \min(\mu_{xi}, \mu_{yj}) / (x_i, y_j) \quad (3)$$

これを図に示すとFig.2 のようになる。

このように1組の入出力X、Yが与えられると状態Aの帰属度が決められるが、これは入出力の帰属度により決めているため、帰属度が小さいところで必ずしも状態の帰属度が小さいとは限らない。したがって、Fig.3 のように入出力が複数組与えられた場合には、各組における帰属度の高い部分によって囲まれた帰属度の低い範囲については、学習データとしては用いないことにする。

さらに本システムでは、学習用のデータが必ずしも完全なセットとして与えられない場合の学習についても以下のような方法によって行う。

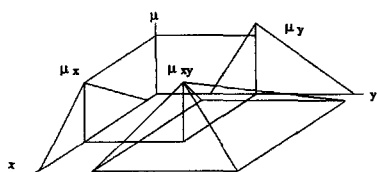


Fig.2 ファジィシステムの帰属度の決定

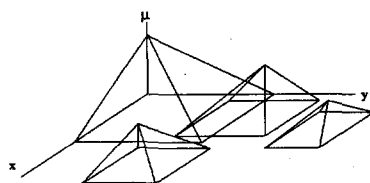


Fig.3 学習データの選択

いま、Fig. 4 のような3つのファジィシステムからなるネットワークを考える。このネットワークに対して、DATA 1のような全ての変数の組が学習データとして与えられると、3つのSTATE 全てにたいして学習データを作成する事ができる。しかしDATA 2のように与えられたデータの組が完全ではない場合にはSTATE Aについては全入出力が与えられているが、STATE B、STATE C については一部の 변수しか与えられていない。したがってこのような場合には、DATA 2のうちの一部は、学習データとして用いることができない。そこで、与えられたデータのうち、状態の同定のための学習に用いることのできない変数によってFig. 5 に示すように新たにファジィシステムを作成しネットワークに付加する。DATA 2の場合、 v_2 と w_2 からSTATE Aの学習データを作成し、YとZを 변수としてもつSTATE D をネットワークに付加し y_2 と z_2 から学習データを作成する。

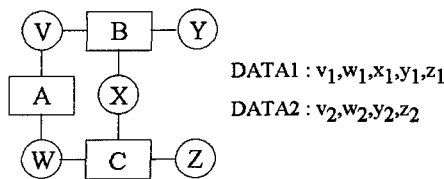


Fig. 4 不完全なデータによる学習

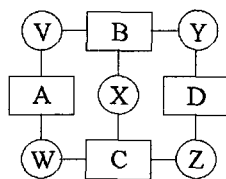


Fig. 5 ファジィシステムの付加

こうして学習用データの与え方によって、変更が加えられたネットワークの各ファジィシステムの状態に対して、帰属度の学習用データが与えられるため、これを用いて、帰属度の同定を行うことができる。

4. ネットワークの解法

ファジィネットワークにおいては、ファジィ合成則によって、2つのファジィシステムを合成することにより、それらの間の変数を1つ消去することができる。これを式で表すと下のように表される。

$$A = \sum \mu_A(x_i, y_j) / (x_i, y_j) \quad (4)$$

$$B = \sum \mu_B(y_j, z_k) / (y_j, z_k) \quad (5)$$

$$AB = \sum \max[\min\{\mu_B(y_j, z_k), \mu_B(y_j, z_k)\}] / (x_i, z_k) \quad (6)$$

ここで、状態AはXとYを 변수としてもっており、状態BはYとZを 변수としてもっている。この2つの状態が合成された状態ABはyが消去されて、XとZを 변수としてもつ。(Fig. 6)

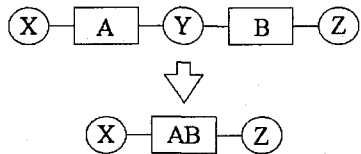


Fig. 6 ファジィ合成

したがって、ネットワーク全体で、変数とファジィシステムの数とを比較して、ファジィシステムの数と変数の数が等しいか、あるいは、変数の数の方が少ない場合には、全ての変数の解をその

ネットワークの最適解として個々に分離して求めることができる。

5. 構造計画システムへの応用

ニューロファジィネットワークの構造計画への応用例として、RC連層耐震壁架構計画を示す。本研究では、RC連層耐震壁架構をモデル化し[6]、各層耐震壁の上下辺回転角に関して得られる三項方程式[7]による静的応答解析をもとにして構造計画を行った。

計画対象としてはFig.7に示すような10層3スパンのRC連層耐震壁架構を設定した。構造計画用のファジィネットワークをFig.8に、ネットワークにおける設計変数をTable 1に示す。

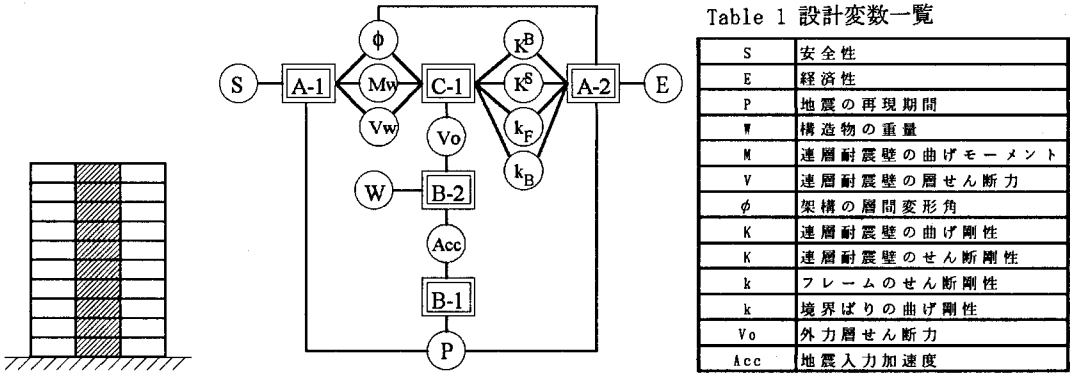


Fig.7 連層耐震壁 Fig.8 連層耐震壁架構計画ネットワーク

このネットワークは、次にあげる5つのファジィシステムの状態から構成されている。

FUZZY STATE A-1

部材の応力、変形、再現期間から安全性を評価

FUZZY STATE A-2

部材の剛性、変形、再現期間から、経済性を評価

FUZZY STATE B-1

過去の地震記録[8]から、神戸市を観測点としたときの再現期間別最大加速度振幅[9]のワイブル分布を回帰分析

FUZZY STATE B-2

構造物重量と地動最大加速度振幅値より外力層せん断力を算定

FUZZY STATE C-1

RC連層耐震壁架構の解析

本研究では、これらのファジィシステムのうち主観的評価に関するFUZZY STATE A-1, A-2 について学習により帰属度を同定する機能を付加した。その他のファジィシステムについては解析式や、観測記録をもとにして帰属度のマトリックスを作成し、これを知識として与えておくものとする。

このネットワークに対して、学習用データを与えることによりファジィシステムの状態の同定を行う。ここで、不完全なデータを用いて学習を行う場合に既存のファジィシステムの学習には使用できないデータを変数とし、Fig.9に示す2つのファジィシステムを新たに作成して、ネットワー

クに付加する。

FUZZY STATE D-1

耐震壁の曲げ合成と曲げモーメントに対する経済性

FUZZY STATE D-2

再現期間と安全性に対する経済性

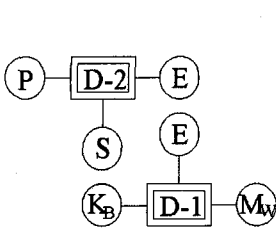


Fig. 9 不完全なデータより得られる
ファジィシステム

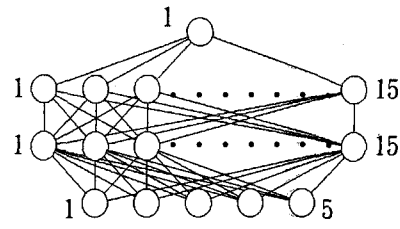


Fig. 10 ニューラルネットワーク

これらのファジィシステムについてニューラルネットワークによる学習を行い、状態の帰属度が同定される。文献[10]での、ファジィシステムの状態の同定を行う際の学習データの与え方は、データを与える部分を入出力変数の関係が強い点、すなわち状態の帰属度が1となる部分に限っていた。しかし、この与え方は、不確かなデータとしては不適切なので本報では、変数どうしの関係に強弱を付けて、それに応じた大小の帰属度を与えることとした。

学習に使用されるニューラルネットワークを部材の応力、変形、再現期間、安全性の7個の変数からなるFUZZY STATE A-1の場合についてFig. 10に示す。

Fig. 11に各ファジィシステムの状態について、同定に用いた学習データと同定を行った結果の一部を示す。ただし、各ファジィシステムは入出力変数の数が多いため学習データ、同定結果とも変数のうち2つを選び、それらを変化させ、残りの変数については、一定値に固定した場合の帰属度を示す。FUZZY STATE B-1、B-2、C-1は観測記録、解析式などにより決定されるものである。このうち、STATE B-1では最大加速度振幅値の帰属度関数を設定しているため、0から1の間の値をとり得るが、STATE B-2、C-1では帰属度は0または1のクリスプな値をとる。

この構造計画ネットワークは、ファジィシステムの数が7、設計変数の数は13である。したがって、設計変数のうち6個以上の値を入力することによってネットワークを解くことができる。ここでは入力をFig. 12に示すように与えた場合について、得られた解をFig. 13に示す。これらの解は、与えられた条件を制約条件として得られた最適解を意味している。

6. 考察および結

本研究は、ファジィネットワークを応用した構造計画に、ニューラルネットワークがもつ学習機能を付加したニューロファジィネットワークによる構造計画を行おうとするものであり、システムの構築手法を提案し、さらにその応用例を示した。RC連層耐震壁架構計画ネットワークではネットワークの解法としては、多次元連立方程式の解法に準じたファジィ合成則による方法をとっており、帰属度関数で与えられる解は、与条件下における最適解であることを意味している。この解法では、ファジィ関係の個数は未知の変数の個数よりも多い方が望ましく、また、合成するファジィ

$P=30(\text{years}), M_w=150000(\text{tf}\cdot\text{m}), V_w=2000(\text{tf})$

$P=50(\text{years}), K^B=15000000(\text{tf}/\text{cm}), K^S=200000000(\text{tf}/\text{cm})$
 $k_B=2000000(\text{tf}/\text{cm}), k_F=800000(\text{tf}/\text{cm})$

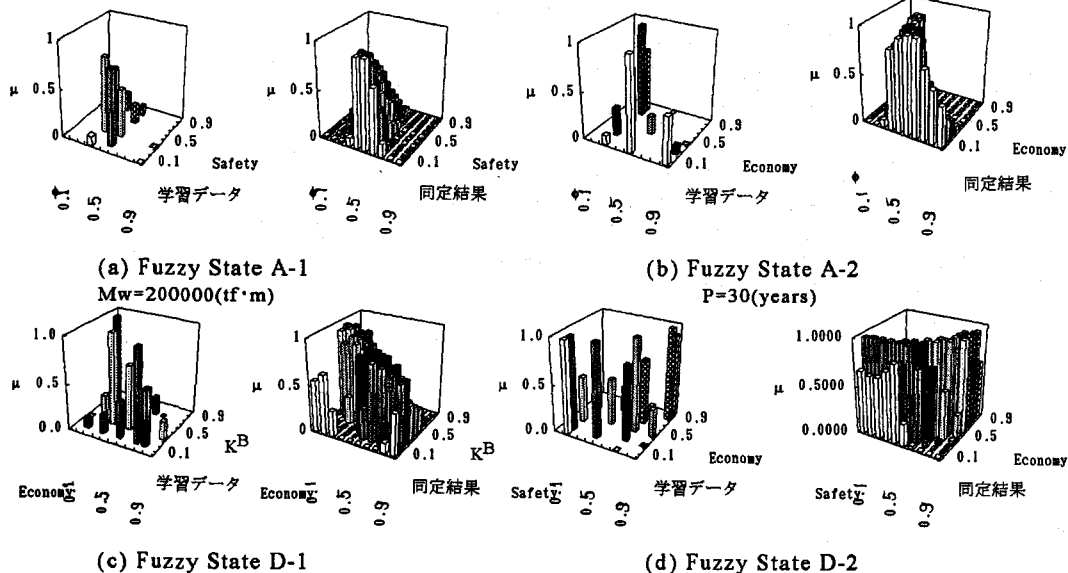


Fig. 11 学習データとニューラルネットワークによる同定結果

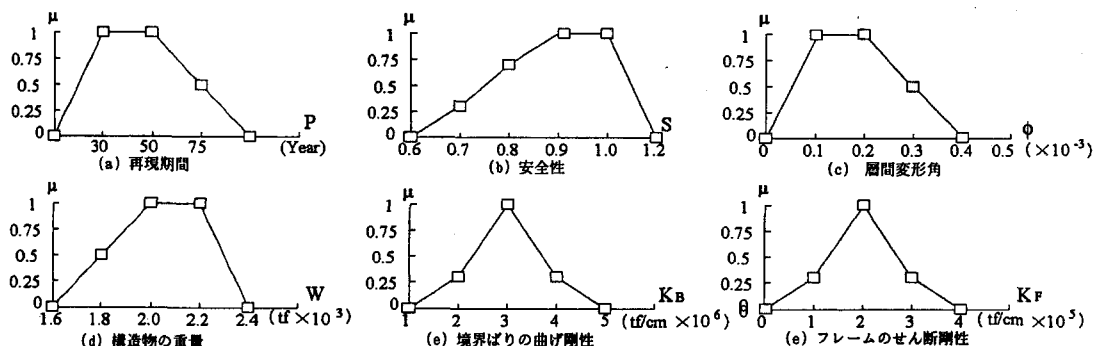


Fig. 12 ファジィネットワークへの入力

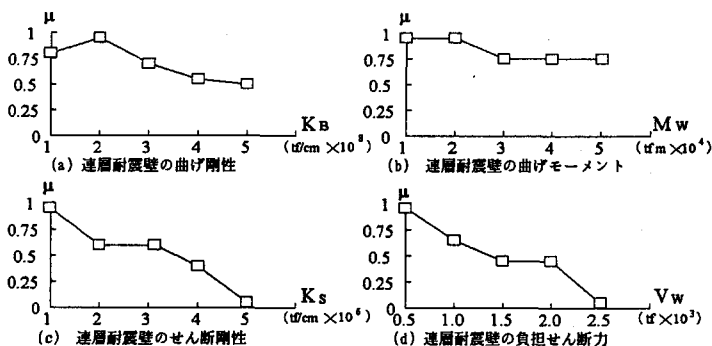


Fig. 13 出力結果

システムや、合成により消去していく変数の順序などの選択により、若干異なった解の得られる可能性のある多くのルートが考えられる。

謝辞

本研究は、平成5年度文部省科学研究費補助金（一般C）の援助を受けて行われました。

文献

- [1] Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 1965, pp.338-353.
- [2] 神原浩, 河村廣, 谷明勲: インテリジェントファジィネットワークによる構造計画（オブジェクト指向的推論による全体構造設計システム）, 第15回情報システム利用技術シンポジウム論文集, 1992.12, pp.299-302.
- [3] Kawamura, H., Fuzzy Network for Decision Support Systems, Fuzzy Sets and SYStems, Vol.58, No.1, August 25, 1993, pp.59-72.
- [4] 大沢勉, 河村廣, 谷明勲: 合成則による耐震構造計画ファジィネットワークの解法, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 平成5年, pp.521-524.
- [5] MacClelland, J.L., Rumelhart, D.E., Explorations in Parallel Distributed Processing, The MIT Press, 1986, pp.121-159.
- [6] Cardan, B., Concrete Shear Walls Combined with Rigid Frames in Multistory buildings Subjected to Lateral Loads, Journal of ACI, 1961.9, pp.229-316.
- [7] 山田稔, 河村廣, 前田一郎, 川端泰造, 芳賀真: 鉄筋コンクリート耐震壁架構の弾塑性変形性に関する研究（IV弾塑性交番繰返し解析）, 日本建築学会近畿支部報告集, 昭和56年5月, pp.299-316.
- [8] 東京天文台: 理科年表, 丸善, 1989, pp.816-846.
- [9] 河村廣: 震源機構と震源境界条件を考慮した地震動最大振幅のスペクトル構成, 第6回地震工学シンポジウム論文集, 1982.12, pp.105-112.
- [10] 桑本保彦, 河村廣, 谷明勲: ニューロファジィネットワークによる構造計画（ファジィ合成則によるRC連層耐震壁架構の解法）, 第16回情報システム利用技術シンポジウム論文集, 1993.12.（投稿中）