



ニューラルネットワークを利用した「設計ノウハウ」の獲得とシステム化の実証的研究

堤, 和敏

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1994-09-21

(Date of Publication)

2013-10-04

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1874

(JaLCDOI)

<https://doi.org/10.11501/3105474>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001874>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	堤 和 敏	（埼玉県）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）	
学位記番号	博ろ第112号	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の日付	平成6年9月21日	
学位論文題目	ニューラルネットワークを利用した「設計ノウハウ」の獲得とシステム化の実証的研究	
審査委員	主査 教授 河村 廣	
	教授 辻 文三	教授 金谷 弘
	教授 北村 泰寿	

論文内容の要旨

建築設計は本来、意匠、構造、設備、施工一体となった総合技術であるが、現代の複雑で大規模かつ高度な機能を要求される建築のもとでは必要とされる知識が広範になり専門分化を余儀なくされている。しかし、よりよい建築を設計するためには、専門分化から統合への道をめざさなければならない。そのためには、各専門分野の「設計ノウハウ」を共有化・標準化し、誰でもがその「設計ノウハウ」を取り出し、簡単に利用できるシステムを構築する事が必要である。

本論は、コンピュータによる「設計ノウハウ」の共有化、標準化の試みの第1歩として、構造計画段階での構造部材断面推定を対象とした「設計ノウハウ」のシステム化手法の提案・開発・検証を行ったものである。

まず最初に、「設計ノウハウ」に関する知識は、各種規準・文献等を通して得られる「一般的知識」、長年の構造設計を通して自分で得た知識の中で「状況」と「知識」との間の因果関係を言葉で説明可能な「経験的明示知識」、説明が困難な「経験的非明示知識」に分類できることを提案した。「一般的知識」・「経験的明示知識」は既存のプログラム言語でシステム化することができるため、「経験的非明示知識」をいかに獲得し、システム化するかが「設計ノウハウ」のシステム化にとって重要である。本論では、この「経験的非明示知識」の獲得をニューラルネットワークを利用することによって行った。

次に、構造計画段階での構造部材断面推定における「知識」を分析し、「経験的非明示知識」として「平均建物重量の推定」、「構造特性係数 D_s 値の推定」、「耐震壁負担せん断応力度の推定」が重要である事を示し、これらの「経験的非明示知識」について実際に設計された物件の設計図書を利用して建物形状等との関係をニューラルネットワークで学習・検証を行いニューラルネットワークが「経験的非明示知識」の獲得に有効である事を示した。

さらに、ニューラルネットワークを利用した「経験的非明示知識」と通常のアプローチで処理できる「一般的知識」、「経験的明示知識」とを統合化した「部材断面推定システム」の提案・開発を行った。

最後に、検証モデルを作成し、本システムにより推定した断面を使用して保有水平耐力の検討を行い、目標とした保有水平耐力を満足しているかどうかの実証的検証を行い、本システムが構造計画段階における「部材断面推定」の有効なツールとなることを確認した。

以下に、本論文の内容の要旨を述べる。

第1章は序論で、本論文の位置づけ、目的、内容のあらましを述べた。

「設計ノウハウ」のシステム化の第1歩として、構造計画段階における部材断面の推定法に着目し、経験の少ない設計者でも精度の良い部材断面の推定を行えるようにするためには、「経験的非明示知識」の獲得が重要である事を示した。

また、部材断面推定における「経験的非明示知識」としては、「平均建物重量の推定」、「構造特性係数 D_s 値の推定」、「耐震壁負担せん断応力度の推定」が重要である事を示した。

第2章は、「経験的非明示知識」の獲得として重要な役割を果たす、ニューラルネットワークの概要、基本原理を示し、また既存の統計処理である重回帰分析との違いについて考察を行った。

第3章では、「経験的非明示知識」の1つである「平均建物重量の推定」に着目し、著者の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、①地上部の構造種別、②建物地上部層数、③地上部の主な用途、④柱1本当たりの荷重負担床面積、⑤耐力壁の存在率、⑥平面形状特性、の6個のパラメータを「平均建物重量の推定」に必要な入力パラメータとして提案した。これらのパラメータを利用してニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度（全データの70%を推定誤差15%以内に納める事が出来る）で推定する事が可能である事を示した。

第4章では、「経験的非明示知識」の1つである「構造特性係数 D_s 値の推定」に着目し、著書の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、①地上部の構造種別、②建物地上部層数、③対象層の階高、④当該方向の平均スパン長、⑤連層壁の存在率、⑥せん断壁の存在率、の6個のパラメータを「構造特性係数 D_s 値の推定」に必要な入力パラメータとして提案した。これらのパラメータを利用してニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度（全データの70%を推定誤差7%以内に納める事が出来る）で推定する事が可能である事を示した。また、誰でも容易に学習データの選択を行う事が出来る機械的選択法の提案を行った。

第5章では、「経験的非明示知識」の1つである「耐震壁負担せん断応力度の推定」に着目した。連層壁の負担せん断応力度は、連層壁のみ存在する場合の連層壁の基本せん断応力度に、取り付き壁や独立壁が混在する事によって生じる補正せん断応力度の和で表されると仮定し、連層壁のみ存在する場合と、取り付き壁・独立壁とが混在する場合の2ケースに分けて考察を行った。

1) 連層壁のみ存在する場合（基本せん断応力度）

著者の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、①連層壁の形状、②連層壁の存在率、③連層壁と境界梁との関係、④連層壁の存在位置との関係、⑤対象層の位置、の5個のパラメータを「連層壁の基本せん断応力度の推定」に必要な入力パラメータとして提案した。これら

のパラメータを利用してニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度（全データの70%を推定誤差12%以内に納める事が出来る）で推定する事が可能である事を示した。

2) 取り付き壁・独立壁が混在する場合（補正せん断応力度）

著者の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、①連層壁の形状、②対象層の位置、③対象層に対して上層にある取り付き壁の影響係数、④対象層に対して同一層にある取り付き壁の影響係数、⑤対象層に対して下層にある取り付き壁の影響係数、⑥対象層に対して上層にある独立壁の影響係数、⑦対象層に対して同一層にある独立壁の影響係数、⑧対象層に対して下層にある独立壁の影響係数、の8個のパラメータを「連層壁の補正せん断応力度の推定」に必要な入力パラメータとして提案した。これらのパラメータを利用してニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度（全データの70%を平均推定誤差30%以内に納める事が出来る）で推定する事が可能である事を示した。

第6章では、前章までに獲得された「経験的非明示知識」を利用して部材断面推定を行うためのシステム化手法の提案とシステムの構築を行った。

本システムでは、「経験的非明示知識」をニューラルネットワークで学習させる事により、誰でも意匠計画図より読み取れる30項目の情報を利用してシステムを構成する事が出来た。

次に、SRC造事務所ビル、RC造店舗ビルのモデルを作成し、本システムで推定した部材断面を使用して、保有水平耐力の検証を行った。RC造モデルでは短辺・長辺の両方向とも、SRC造モデルの場合は短辺方向について非常によい精度で部材断面の推定を行うことが出来た。SRC造モデルの長辺方向では、学習に考慮しなかった壁配置モデルが存在していたために、壁負担せん断応力度の推定では多少推定値との誤差を生じたが、保有水平耐力は必要保有水平耐力を満足しており、構造計画段階での有効なツールとなり得る事を確認した。

第7章では、以上の検討より得られた結論を示した。

- ①「設計ノウハウ」は、「一般的知識」、「経験的明示知識」、「経験的非明示知識」に分類することが可能である。
- ②ニューラルネットワークは、「経験的非明示知識」の知識獲得は有効である。
- ③「設計ノウハウ」に対するニューラルネットワークによる学習は、知識が既に盛り込まれている図面や計算書等を分析することによって行われるために、品質が高く、また幅広い周囲（形状・規模・用途等）の図面や計算書等の収集を行うことが重要である。
- ④ニューラルネットワークによる「経験的非明示知識」と通常のアプローチで処理できる「一般的知識」・「経験的明示知識」とを統合化することにより、構造設計の経験が少ない（「ノウハウ」を持っていない）設計者に対しても「構造部材断面」の精度良い推定を支援するシステム化が可能である。
- ⑤本論でのシステム化手法は、「構造部材断面推定」のみならず構造設計全般に亘る「ノウハウ」のシステム化へ発展させることができる。

上記に述べた本論での成果は、建築設計において次のような意義を有している。

- ⑥組織設計として、担当者の設計経験に因らず、設計品質を確保する事が可能である。
- ⑦専門的な構造知識を必要としていないため、意匠設計者でも利用する事が出来、計画の初期段階か

ら構造部材断面を考慮した総合的な意匠計画を行う事が可能である。

- ⑧従来、建築設計において意匠・構造・設備と専門分化が進んでいたが、各専門分野の「ノウハウ」の獲得及びシステム化への道筋を開く事により、意匠・構造・設備を総合的に設計する統合化への道筋を拓くことが可能である。

論文審査の結果の要旨

本論文では、設計者が持っている「設計ノウハウ」のなかで、設計者個人の「経験」や「勘」に依存している部分にニューラルネットワークを適用し、これら「経験」や「勘」を工学的に合理的に同定することによって、「設計ノウハウ」の共有化・システム化を行う問題を取り扱っている。

本論文は、「ニューラルネットワークを利用した『設計ノウハウ』の獲得とシステム化の実証的研究」と題して7章から構成されており、下記の特徴を有している。

- ①「設計ノウハウ」を「一般的知識」・「経験的明示知識」・「経験的非明示知識」に分類することを提案している。
- ②従来のシステム化手法では表現する事が困難であった「経験的非明示知識」に対して、実際設計された物件をニューラルネットワークの学習データとすることによって知識獲得を行っている。
- ③構造部材断面推定における「経験的非明示知識」が、図面より読み取れる簡単なデータで同定できることを示している。
- ④従来のシステム化手法で表現可能な「一般的知識」・「経験的明示知識」とニューラルネットワークで得られた「経験的非明示知識」とを統合化することにより構造計画段階における部材断面推定システムを構築している。
- ⑤検証モデルを作成し、本システムにより部材断面の推定を行い、さらに推定した断面により保有水平耐力の検証を行い、必要保有水平耐力を満足している事を確認し、本システムの妥当性を検証している。

各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論で、本論文の位置づけ、目的、内容のあらましを述べている。

「設計ノウハウ」のシステム化を行うためには「経験的非明示知識」の知識獲得が重要である事を示し、システム化の第1歩として、構造計画段階における部材断面の推定法に着目している。部材断面推定における「経験的非明示知識」としては、「平均建物重量の推定」、「構造特性係数 D_s 値の推定」、「耐震壁負担せん断応力度の推定」が重要である事を示している。

第2章は、「経験的非明示知識」の知識獲得として重要な役割を果たすニューラルネットワークの概要・基本原理を示し、また既存の統計処理である重回帰分析との違いの考察を行っている。

第3章では、「経験的非明示知識」の1つである「平均建物重量の推定」に着目し、著者の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、6個のパラメータを「平均建物重量の推定」に必要な入力パラメータとして提案している。これらのパラメータを利用し、実際の設計物件を学習データとしてニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度で推定する事が出来る事を示している。

第4章では、「構造特性係数 D_s 値の推定」に着目し、著書の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、6個のパラメータを「構造特性係数 D_s 値の推定」に必要な入力パラメータとして提案している。

これらのパラメータを利用し、実際の設計物件を学習データとしてニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度で推定する事が出来る事を示している。また、学習データの選択について、誰でも容易に行う事が出来る、機械的選択法を提案している。

第5章では、「耐震壁負担せん断応力度の推定」に着目している。耐震壁を、連層壁、独立壁、連層壁に取り付く取り付き壁に分類することを提案している。連層壁の負担せん断応力度は、連層壁のみが存在する場合の連層壁の基本応力度に、取り付き壁や独立壁が混在する事によって生じる補正応力度の和で表されると仮定し、連層壁のみ存在する場合と、取り付き壁・独立壁とが混在する場合の2ケースに分けて考察を行っている。

1) 連層壁のみが存在する場合(基本応力度)

著者の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、5個のパラメータを「連層壁の基本せん断応力度の推定」に必要な入力パラメータとして提案している。これらのパラメータを利用してニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度で推定する事が出来る事を示している。

2) 取り付き壁・独立壁が混在する場合(補正応力度)

著者の設計経験と力学的な要因、及び誰もが入力できることを考慮して、8個のパラメータを「連層壁の補正せん断応力度の推定」に必要な入力パラメータとして提案している。これらのパラメータを利用してニューラルネットワークにより学習・検証を行い、構造計画段階で使用するには十分な精度で推定する事が出来る事を示している。さらに、出力ユニットを3ユニットにすることによって独立壁、取り付き壁の負担せん断応力度も同時に推定できることを示している。

第6章では、前章までに得られた「経験的非明示知識」の学習結果を利用して部材断面推定を行うためのシステム化手法を提案し、また実際にシステムを構築し、検証を行っている。

本システムでは、「経験的非明示知識」をニューラルネットワークで学習させる事により、30項目の誰でも意匠計画図より読み取れる情報のみでシステムを構成する事が出来ることを示している。また、SRC造事務所ビル、RC造店舗ビルのモデルを作成し、本システムで推定した部材断面を使用して、保有水平耐力の検証を行い、必要保有水平耐力を満足していることを確認し、本システムが、構造計画段階で有効なツールとなり得る事を示している。

第7章では、以上の検討より結論として、ニューラルネットワークが「設計ノウハウ」のシステム化に有効であり、本論でのシステム化手法が「構造部材断面推定」のみならず、設計全般に亘る「設計ノウハウ」のシステム化へと発展させることが出来ることを述べている。

本研究は、設計者が持っている「設計ノウハウ」について、その「経験的非明示知識」部分をニューラルネットワークを用いることによって学習を行い、その学習によって得られた知識と、通常のアルゴリズムで処理できる「一般的知識」・「経験的明示知識」とを統合化することによって「設計ノウハウ」のシステム化手法の提案とその妥当性を研究したものであり、「設計ノウハウ」の共有化・シ

STEM化について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者 堤 和敏 は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。