

## 配置パターンと物理属性の分離による配置設計技法とその応用

山地秀美、松田郁夫、高橋久雄、新藤義昭

日本工業大学情報工学科

複数の構成要素から成る構造物の配置方法は、その構造物の機能に直接影響を与える。これを自動化するための手法として、配置対象のトポロジカルな位置関係（配置パターン）と配置対象の持つ物理的属性（配置属性）を分離する手法である PAS 法を提案する。

PAS 法では、エキスパートの知識を基に、可能な配置パターンと、機能要素の組み合わせの知識ベースを作成する。これらより指定された配置パターンと機能要素の組み合わせから、配置条件を満たすように配置を実行する。配置パターンから配置可能な領域が規定されるので、少ない試行回数で配置の妥当性を判断できる。

PAS 法の応用として、建築物の鉄筋配置を行う配筋設計支援システムを紹介する。

### An Arrangement Method based on Separation of Topological Pattern and Physical Attribute

Hidemi Yamachi, Ikuo Matsuda, Hisao Takahashi, Yoshiaki Shindo  
Nippon Institute of Technology

An arrangement of a structure consists of many components influences to the functions of the structure. We propose an arrangement method based on separation of topological pattern and physical attribute named PAS (Pattern Attribute Separation) method. A topological pattern represents locations of components.

The PAS method depends on a knowledge base including the combination of components and arrangement pattern extracted from experts. We can arrange the location of components on the requested conditions by using selected pattern and combination of components. We are able to know whether the arrangement is available or not in a few trials, because the arrangement pattern restricts an arrangement area of the component.

As an application of PAS method, we developed the line arrangement support system for reinforced concrete buildings.

#### 1. はじめに

ある構造物の包括的機能を決め、それに従って構成する機能要素、およびその数等を論理的に決定したときに、機能要素の配置方法によって、構造物全体の具体的機能が変化する場合がある。

機能要素の配置を設計する配置設計の方法は、設計対象ごとに、実践的に蓄積されたエキスパートの知識をベースに行われる場合が多く、定式化された手法は

提案されていない。

配置対象となる機能要素は、機能要素の大きさ、形などの属性（配置属性）を持つ。構造物全体の機能の充足と配置属性から、配置位置を決定する際の条件（配置条件）が規定される。

配置設計過程は、それぞれの機能要素が、この配置条件を満たすように配置位置を決定してゆく。次々と機能要素を配置してゆく場合、配置の可能な場合の数

は、機能要素の数の増大に伴い、指数級数的に増加してゆく。

実際の配置設計では、エキスパートが経験的知識を基に配置の選択を行うが、複雑な構造物の配置設計では、設計の時間やコストがかさみ、最適な設計を見つけ出すことが容易ではない。

何通りかの配置設計がすでに行われている場合は、設計上の機能と、構成する機能要素の種類によって、機能要素相互のトポロジカルな位置関係を表す配置パターンと呼べるものを定義することが可能である。

配置パターンを利用することで、配置設計は次の2つの問題に集約できる。

(1) 配置済み要素の位置とパターンが示す位置関係から、その要素の配置範囲を求める。

(2) 配置範囲内で配置条件を満たす位置を求める。

本研究では、配置設計において、配置対象となる機能要素の配置属性とトポロジカルな位置関係を表す配置パターンを分離し、配置設計を自動化するための配置設計手法 PAS (Pattern Attribute Separation) 法を提案する。

本研究では、PAS 法を建築物の鉄筋の配置設計 (配筋設計) に応用し、PAS 法の有効性を検証する。

## 2 PAS 法による配置設計

### 2.1 配置パターンと配置属性の分離による配置アルゴリズム

PAS 法による配置設計では、エキスパートの知識を基に、複数の配置パターンを抽出する。配置パターンは、機能要素の

位置関係のみを表現する。

配置属性とは、個々の機能要素の大きさ、形状の他に、機能要素の組み合わせが含まれる。また、配置空間の形状情報もこれに含まれる。

機能要素の具体的な選択は、個別に独立して行われるのではなく、選択可能な組み合わせが存在すると考える。組み合わせの条件は、包括的機能要求、生産技術、設計基準、設計者の経験則などから規定される。

この組み合わせは、ある種類の機能要素が選択されると、他が一意的に決定される場合もあるが、さらにある程度の選択の余地が存在する場合も考えられる。これらの機能要素の組み合わせについてのエキスパートの知識を知識ベースとして用意しておく必要がある。

機能要素を配置する際、配置の優先順位を定義する必要がある。優先順位の高い機能要素は、配置パターンから規定される、配置されていない機能要素の配置位置からの制約を受けない。

配置設計は以下の手順で実行される。

1. 配置パターンおよび配置属性をそれぞれ独立に選択する。
2. 包括的機能要求、生産技術、設計基準および配置属性から、配置条件を決定する。
3. 優先順位に従って、配置パターンと配置属性から、その機能要素の配置可能領域を決定する。
4. 配置条件から、配置可能領域内の配置位置を決定する。
5. 配置条件を満たさない場合は、隣接する機能要素の配置位置を補正する。

補正ができなければ1からやり直す。

6. すべての機能要素について3～5を繰り返す。

配置可能領域の決定は、配置パターンから規定される、すでに配置された機能要素との位置関係によって求められる。従って、配置条件を考慮する必要はない。

配置可能領域内での配置位置の決定は、まだ配置されていない機能要素との間の配置条件を考慮せずに行うことができる。

このとき、配置条件を満たさなければ、配置済み機能要素の配置補正を行わなければならない。

配置補正の方法はいくつか考えられる。

1つは、直前の優先順位の機能要素を、配置可能な限界位置まで移動し、配置しようとする機能要素が配置条件を満たす位置を求める。成功しなければ、さらに前の優先順位の機能要素について、同様の処理を行う。最も高い優先順位の機能要素まで溯っても配置できない場合は、配置不能になる。

また、補正が必要になった段階で、最初から配置限界位置に配置してゆく方法も可能である。

## 2.2 知識ベースを利用した配置属性の選択

配置属性は、設計者が指定できるものと、指定された情報から求められるものに分けられる。前者を選択属性、後者を派生属性と名付ける。

選択属性には、他の配置属性から独立したものと、依存して選択範囲が制限されるものが存在する。依存関係にある選択属性を、適正に選択できるようにすることは、配置設計支援を行う際に重要な

要素と考える。

選択肢が多様であったり、依存し合う選択属性が少なくない場合は、エキスパートの知識を基にした知識ベースを利用して、適正な配置属性の選択を可能にすることができる。

## 3 PAS法の配筋設計への応用

### 3.1 配筋設計の概要

鉄筋コンクリート建築物の柱、梁に鉄筋を配置する際の、鉄筋の配置設計を配筋設計と呼ぶ。特に柱と梁の接合部の配筋設計が重要で、かつ複雑になる。

建築基準法では、柱・梁断面積に対して鉄筋断面積の総量が規定されているのみで、その配置については規制がない。低層の鉄筋コンクリート建築物では、使用される鉄筋が細いため、鉄筋の太さを考慮しない大まかな設計を行い、施工時に発生する鉄筋の干渉は、鉄筋を手で曲げて回避するという方法が取られてきた。

しかし、建築物の高層化に伴って使用する鉄筋が太くなり、こうした方法が困難になってきた。正確な配筋設計を行い、工場で鉄筋を加工し、施工現場では配筋設計に従って組み立てるようになってきている。

正確な配筋設計は、その手法が標準化されておらず、少ないエキスパートの熟練技術に頼っているのが現状である。

配筋設計支援システムを実現することは、最適な配筋設計を容易にし、配筋設計の標準化と、建築物の強度の正確な計算を可能にする。

### 3.2配筋設計の概要と配置条件

柱・梁を部材と呼ぶ。柱には、建築物の壁面に位置する側柱、角に位置する隅柱、内部に位置する中柱があり、それぞれ配筋設計法が異なる。梁には、相対的な縦横方向に対してX梁とY梁がある。

部材の長軸方向に配置される鉄筋を主筋という。主筋を取り巻くように、せん断補強筋（柱は帯筋、梁は肋筋、ここでは総称して副筋とする）が一定間隔で配置される。

鉄筋を部材内部に固定するために、両端を一定の長さを残して曲げなければならない。

部材表面から主筋までは、最小かぶり厚さと呼ばれる間隔を保持しなければならない。

鉄筋間隔は、流し込むコンクリートに含まれる砂利（粗骨材）の粒径以上でなければならない。

梁の主筋の配置は、上からの重みを支えるために、上部と下部の配置方法が異なる場合が多い。これに対し柱は、長軸方向に力が加わるため、できるだけ対称に配置される。従って、梁の鉄筋（梁筋）の配置を優先し、干渉を避けながら柱の鉄筋（柱筋）を配置する。

構造計算から部材のサイズと鉄筋の総断面積が決定される。設計者は、この値に応じた主筋径と本数、副筋径を選択し、配置位置を決定する。

ここでは中柱の接合部の場合の主要な配置条件を挙げる。

1. 構造計算に基づく部材サイズと鉄筋総断面積
2. 最小かぶり厚さ

#### 3. 最小鉄筋間隔

#### 4. 鉄筋の干渉の排除

#### 5. 副筋（帯筋・肋筋）の曲げ間隔

副筋は両端で曲げて部材の内部に定着させる場合と、両端を溶接する場合がある。曲げて定着する場合は、曲げ加工を可能にするように、その前後の主筋の間隔を開ける必要がある。

側柱や隅柱では、主筋の端を定着させるために、主筋の曲げ加工が必要になるので、配置条件が変化する。

### 3.3配置属性と配置パターンの抽出

配筋設計における機能要素は、部材、主筋、副筋の3つである。それぞれについて、配置属性および選択属性を表1のように定義した。

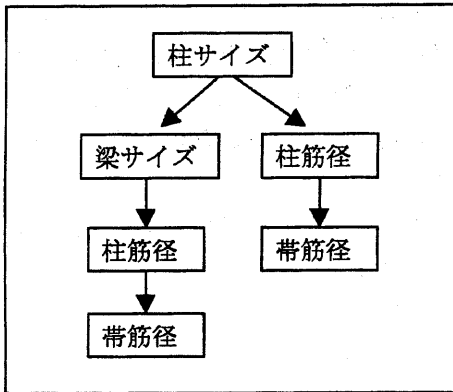
表 1配筋設計における機能要素と配置属性

機能要素	配置属性(●は選択属性)
柱	●縦・横の長さ ●柱の種類
梁	●縦・横の長さ
主筋	●鉄筋径 曲げ半径 配置位置
副筋	●鉄筋径 曲げ半径 配置位置 ●定着方法

柱の種類とは、中柱、側柱、隅柱の区別である。また、曲げ半径は鉄筋径によって直接決定される。主筋の曲げ半径は、中柱の場合は不要である。

選択属性は、図1のような依存関係を持つ。

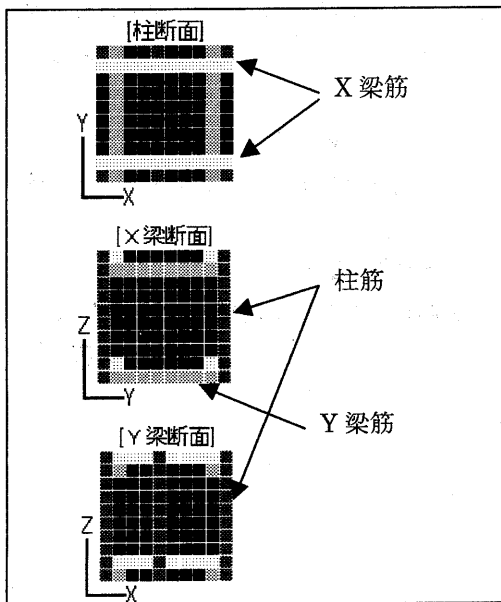
図 1 選択属性の依存関係



知識ベースにより、選択された柱のサイズを基準に、梁のサイズと主筋径の選択範囲を、さらに主筋径に対応する副筋径を規定する。

配置パターンは、過去の設計例を基に、鉄筋の位置関係だけを抽出する。図 3は、配置パターンの例を視覚化したものである。

図 3 配置パターンの例



### 3.4 配置処理

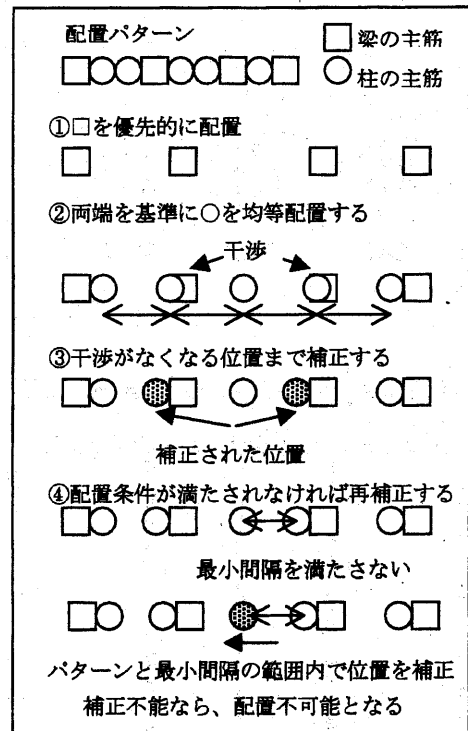
選択された配置属性と配置パターンか

ら、柱・梁に対する配置可能領域を求める。

まず梁の配置可能領域の四隅に主筋を配置する。その他の鉄筋は均等間隔または最小間隔で配置する。

続いて柱筋を配置する。四隅から均等配置し、配置済みの梁筋との位置関係が配置パターンと矛盾していれば、パターンに合わせて位置を補正する。次に、各柱筋について配置条件をチェックし、必要なら補正を行う。図 2は、柱筋の配置手順をモデル化したものである。

図 2 PAS 法による配置処理モデル



### 3.5 配筋設計支援システムの概要

本研究で作成した配筋設計支援システムでは、設計者は、選択属性および配置条件のうち2つの入力と、配置パターンの選択を行う。

設計者は、選択属性を任意の順で決定して行く。知識ベースにより、選択された選択属性によって、依存関係がより下位にあたる選択属性の選択肢が絞り込まれて行く。

図 5 選択属性とパターンを選択

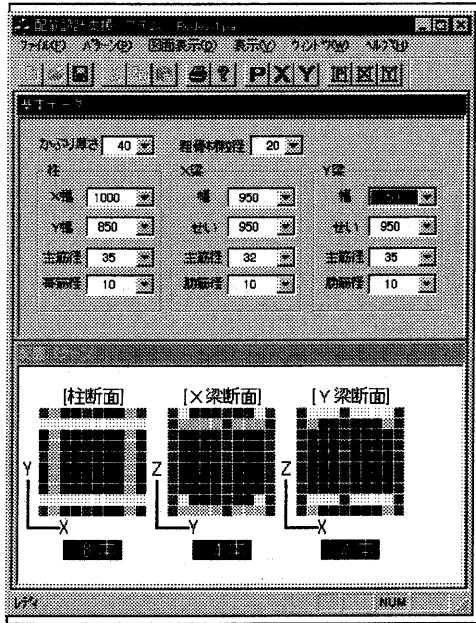
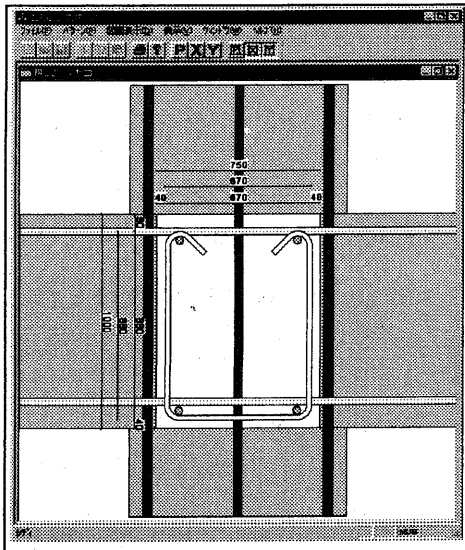


図 4 梁の配筋設計図



配置設計の実行は、設計図面の作成時に行われる。図面作成はパターンや選択属性の変更に対し、リアルタイムに行うことができるので、設計者は作成された図面を確認しながら、最適な設計を選択することが可能である。

設計が不可能である場合は、図面作成は行われず、設計不能の直接の原因が表示される。

#### 4 終わりに

配置設計は、さまざまな分野で行われているにも拘らず、問題の多様さと複雑さから一般化が困難で、エキスパートの熟練技術に頼っているのが実状である。

PAS 法の配筋設計において有効な方法であり、配置設計の一般化への1つの方向を示すものとする。

また、他分野の配置設計においても、配置パターンと配置属性の抽出方法が確立すれば、PAS 法の応用は可能と考える。

#### 参考文献

- 1) 赤木新介: AI 技術によるシステム設計論  
コロナ社
- 2) 日本建築学会:  
鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説  
丸善