

## 複数解取得法を用いた鉄骨根巻型柱脚の 教育支援システムの開発

牛島祐樹<sup>†1</sup> 増本翔<sup>†1</sup> 村田遼<sup>†1</sup>  
澤原朝美<sup>†1</sup> 原田幸一<sup>†2</sup> 山成實<sup>†1</sup>

本報告では、鉄骨根巻型柱脚を対象とした教育支援システムの開発について述べる。根巻型柱脚は、三つの柱脚形式のうちの一つであり、構造設計において材料学的及び力学的な知識が必要な点で初学者教育に適している。システムの構築には、長澤等によって開発された設計計算言語 DSP を用いた。DSP は生成検証法の機能をもつ言語であり、これにより従来の設計ではなかった複数の設計解を同時に抽出することを可能とした。本システムは、設計者が自らの意志により複数の設計解の中からただ一つの設計解を決定する仕組みをもつ。開発した設計システムを通して、初学者は根巻型柱脚の設計の流れや要点、構造材料の特性等を短期間で学ぶことができる。

## Development of An Education System for Design of Reinforced Concrete Stub Cladding Steel Column-Bases Using Method of Acquiring Multiple Solutions

YUKI USHIJIMA<sup>†1</sup> SHO MASUMOTO<sup>†1</sup> RYO MURATA<sup>†1</sup>  
ASAMI SAWAHARA<sup>†1</sup> KOUICHI HARADA<sup>†2</sup> MINORU YAMANARI<sup>†1</sup>

This research is concerned with an education system of structural design for beginners. The object of design is a reinforced concrete stub cladding steel column-base. This type of steel column-base is the most complicated among three types of column-bases. A designer has to check both steel column and reinforced concrete stub. For education of design of the column-base, a new computer-assisted design tool was developed. The system was constructed with Excel and DSP. A series of design experiments was conducted to examine whether the system was good for beginner education. They can understand the design flow and important characteristics of the base in short term.

### 1. はじめに

著者等は、構造設計初学者にとって設計の流れと仕組の理解が深まり、短期間で構造設計技量を獲得・向上するための仕組みをもつシステムとして、知識処理を用いた新しい構造設計支援システムの開発を行っている。

本報告では、根巻型柱脚を対象とした設計の要点、流れを明確に理解できる設計支援システムの開発について述べる。根巻型柱脚は材料に鋼材とコンクリートの合成効果を持ち、両材料の力学的特性が設計に影響する。このため、根巻型柱脚の設計の急所がどこにあるのか初学者にとって分かりづらい。また、柱脚は骨組の設計の後に行われるのが通例であり、二次部材の設計と異なり二次設計まで行う必要がある。二次設計を学ぶという点でも、柱脚の設計は良い教育材料である。このように、根巻型柱脚は初学者教育にとって、材料学的にも力学的にも適している。そこで、本設計システムを通して、根巻型柱脚の設計の流れ、材料の特性、二次設計の要点を短期間で学べる初学者へ向けた構造設計支援システムの開発・研究を行った。

### 2. 研究対象

鉄骨柱脚の設計は、計算の仕組が複雑であり、初学者には比較的難しい。本帆国では根巻型柱脚を取り挙げ、新しい設計支援システムを提案し、実装した結果について述べる。図 1 は根巻型柱脚の略図である。根巻型柱脚は、根巻鉄筋コンクリートやアンカーボルト、ベースプレートによって構成される。これらの耐荷機構の関係性から、設計処理が複雑になっている。

根巻型柱脚の設計を行うには、アンカーボルト径、ベースプレートの寸法、根巻コンクリート寸法、主筋の本数および径、帯筋の径および間隔を決定する必要がある。しかし、各々が納まりや耐力などの柱脚の性能に及ぼす影響は複雑であるため、その選択は初学者にとって容易ではない。本報告では、初学者にとって理解しやすい根巻型柱脚の設計方法および設計の流れ、また、設計感覚の育成を支援するシステムの提案と実装を目的としており、本システムで得られる設計情報が初学者にとって有用な設計の判断材料となると考える。

<sup>†1</sup> 熊本大学

Kumamoto University

<sup>†2</sup> 熊本大学, 原田建築設計事務所

Kumamoto University, Harada Design Lab.

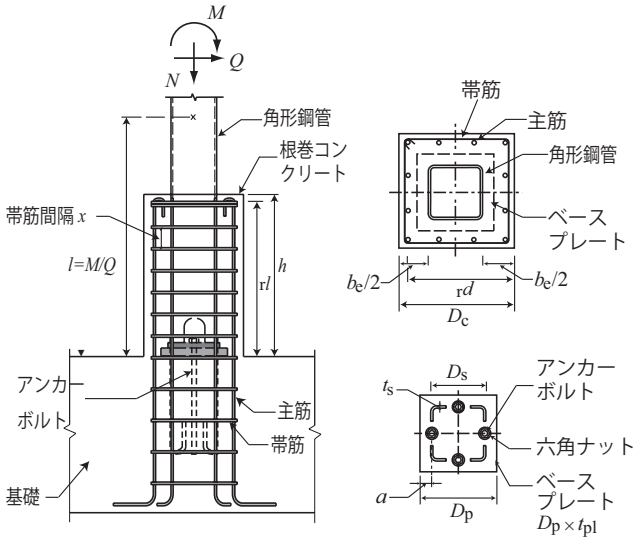


図 1 根巻型柱脚

### 3. 根巻型柱脚の設計の仕組

根巻型柱脚の設計計算および検討は「鋼構造接合部設計指針」[1]に則って行う。

#### 1) 降伏耐力

鋼柱の応力は、根巻部の鋼柱と根巻鉄筋コンクリートの間に作用する支圧力およびそれに基づく摩擦力などにより、根巻鉄筋コンクリート部分に伝達される。根巻コンクリートの有効断面は、曲げモーメントに対しては図 2(a)、せん断力に対しては同図(b)のように考えて計算する。柱の圧縮軸力は、ベースプレートと基礎コンクリートの支圧力により直接基礎に伝達されると考えて設計する。柱の引張軸力は、アンカーボルトが全応力を負担するものとして設計する。根巻型柱脚では、一般にベースプレート下面とコンクリート上面との間のすき間やアンカーボルトとねじ部のナットの弛緩などにより、曲げモーメントを受ける根巻型柱脚のアンカーボルトの効きが、低荷重レベルではかなり遅れる。したがって、降伏耐力の評価においては、原則としてベースプレートとアンカーボルトによる曲げ抵抗力は無視して設計することとした。

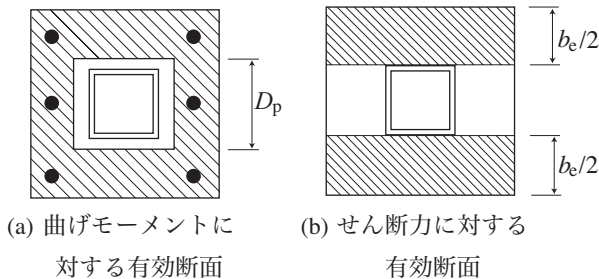


図 2 根巻鉄筋コンクリート部分の有効断面

#### 2) 全塑性耐力

根巻型柱脚の全塑性耐力および最大耐力は柱とコンクリートの付着、ならびに支圧による摩擦力の影響を無視して、図 3 のような応力状態を基本として評価する。ただし、根巻型柱脚の全塑性曲げ耐力には、アンカーボルトとベースプレートによって抵抗する露出型柱脚の耐力を加算することができる。最大せん断耐力は、安全側の措置として根巻鉄筋コンクリートの最大せん断耐力を降伏耐力で評価する。

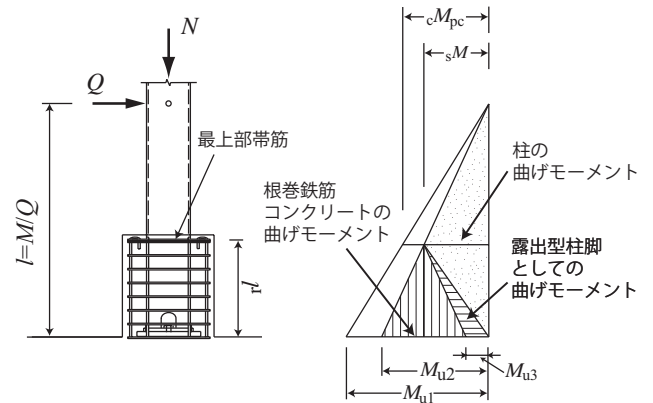


図 3 根巻鉄筋コンクリート部分の応力状態

### 4. 根巻型柱脚の設計支援システムの構成

根巻型柱脚の構造設計を行うシステムを構築した。これは、設計解の選択および評価を容易に行えるように複数の設計候補解を提供する仕組みをもつ。図 1 に示すような角形鋼管柱に設計応力(N, M, Q)が作用している柱脚を設計対象としている。

#### 4.1 設計計算処理の記述

本システムは、OS を Windows とするパーソナルコンピュータを計算機環境とし、データフロー言語 DSP [2] を用いてシステムを構築した。DSP は個々のプログラムをモジュールという単位で表現しており、それぞれで求められた設計解を集約することができる。このように階層化された仕組みをもち、分割された仕事を統合することで計算処理を行うことができる。これにより、プログラム開発の省力化が図れる。

既往の研究[3], [4]においてデータの透明性を唱えているが、データフロー言語によってプログラムを記述することは、プログラム処方に対応したデータの表示(インスタンス)が得られるため、利用者は容易にデータのトレースができる。これは処理およびデータの透明性を保証しており、DSP による設計支援システムは初学者の教育において有効であると考えられる。

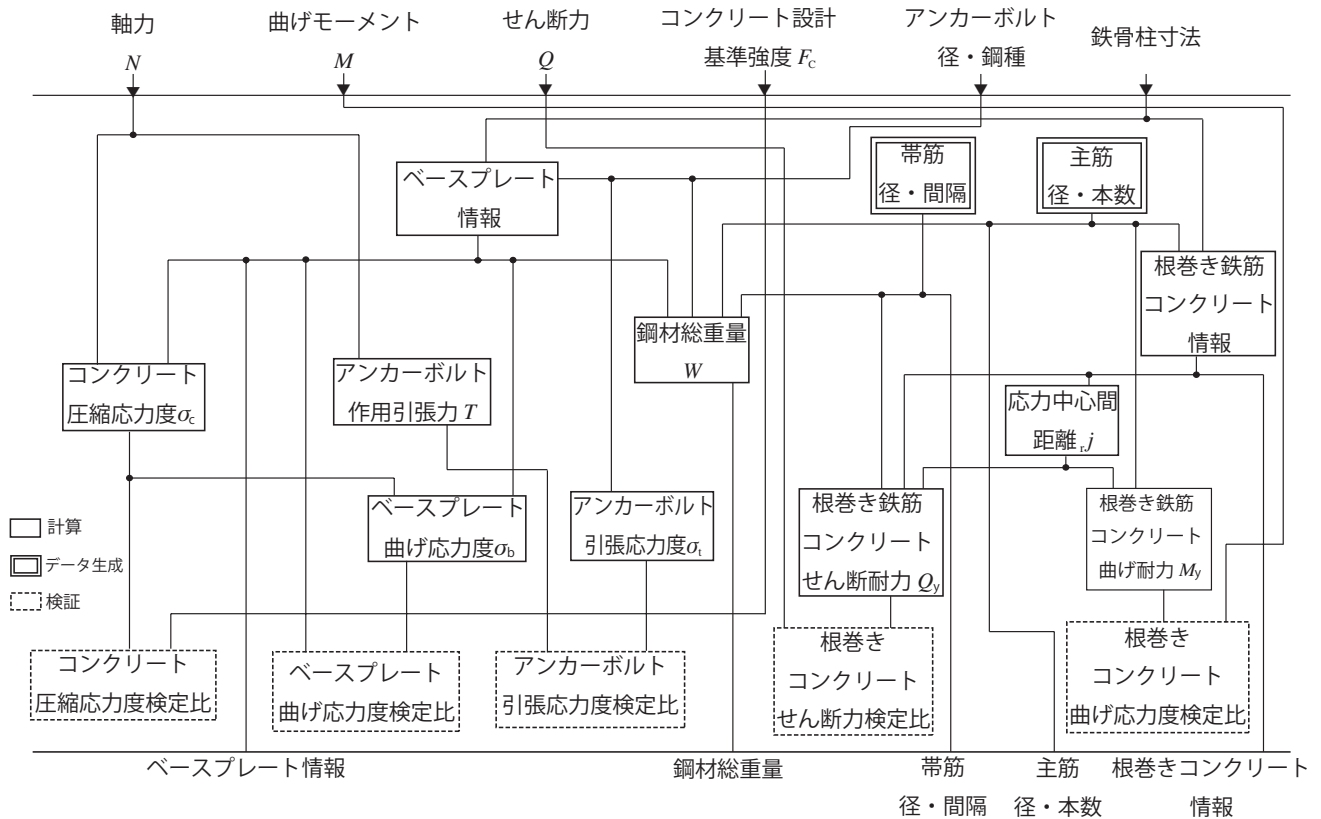


図 4 データフロー図

4.2 実装

DSP で記述されたプログラムによって複数の設計解を得られる本システムは、設計者に適正解を選択させる機能をもつ。

図 4 は根巻型柱脚一次設計のデータフロー図である。同図上方の入力情報からシステムがベースプレート寸法、根巻コンクリート寸法、主筋径・本数、帯筋径・間隔を複数の組合せとして生成する。ここで主筋の配置は図 5 に示すような 3 種類のパターンとする。これらの複数の組合せによって解の数は爆発的に増加し、初学者が適正解を選択するのは困難になる。そこで、解の数の爆発を防ぐために、主筋については主筋本数ごとの最小鉄筋径、帯筋については帯筋間隔ごとの最小鉄筋径が得られるようにした。応力度検定比については、制約範囲を与えて、設計目的に沿った解の集合を小規模範囲で得られるようにした。それらを

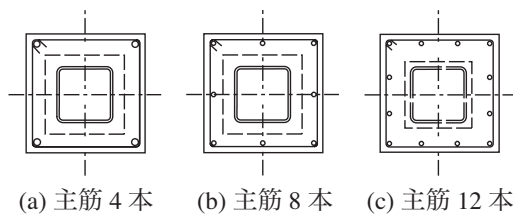


図 5 主筋の配置

表示することで設計解決の判断をより容易にする。

一方、二次設計における設計不可となる解も表示することで、初学者は二次設計における急所がどこにあるのかを理解できる。

5. システムの評価

構築した根巻型柱脚の設計支援システムを用いた設計例を示し、設計解に対する検討を行う。

5.1 設計条件

表 1 は根巻型柱脚の設計に必要とされる角形鋼管の断面情報、各設計応力( $N$ ,  $M$ ,  $Q$ )、コンクリートの設計基準強度  $F_c$ 、アンカーボルト情報等の入力情報である。この入力情報を設計システムに入力することで、ベースプレート、主筋及び帯筋などの組合せから規準を満たす設計解を複数個出力する。

表 1 根巻型柱脚の入力情報

鉄骨柱		□ -250 × 250 × 16	
設計応力	軸力	$N$ (kN)	420
	曲げモーメント	$M$ (kNm)	100
	せん断力	$Q$ (kN)	50
コンクリート設計規準強度		$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	21
アンカーボルト		D20 (ABR400)	
全塑性時曲げ耐力時圧縮軸力		$cN_u$ (kN)	600

5.2 設計評価尺度

根巻型柱脚の設計候補解について、主筋、帯筋、根巻コンクリートのそれぞれに作用する応力度検定比と鋼材総重量の関係を図6に示す。鋼材総重量はコスト面に直接的に関係する。なお、鋼材総重量はアンカーボルトと主筋、帯筋の重量を指しており、主筋では定着長さを考慮し、帯筋はベースプレートより上部を考慮している。

5.3 応力度検定比と鋼材総重量の関係

縦軸に鋼材総重量、横軸に各応力度検定比を取ったグラフを図6に示す。帯筋、根巻コンクリートに作用するせん断応力度検定比を同図(a)、主筋、根巻コンクリートに作用する曲げ応力度検定比を同図(b)、せん断応力度検定比と曲

げ応力度検定比の関係を同図(c)、最大せん断耐力検定比と曲げ応力度検定比の関係を同図(d)に示す。

同図(a)、(b)では、設計解の分布が右下がりになっていることから、主筋、帯筋と根巻コンクリートの応力度検定比は、鋼材総重量が影響することが分かる。

同図(c)では、設計解の分布は、曲げ応力度検定比の方が厳しい値を取っていることから、根巻型柱脚は曲げによって決定することが分かる。また、同図(d)では二次設計において基準を満たさない解は下に集中していることから、曲げによる破壊を誘導する安全側の判断として設計不可としていることが分かる。

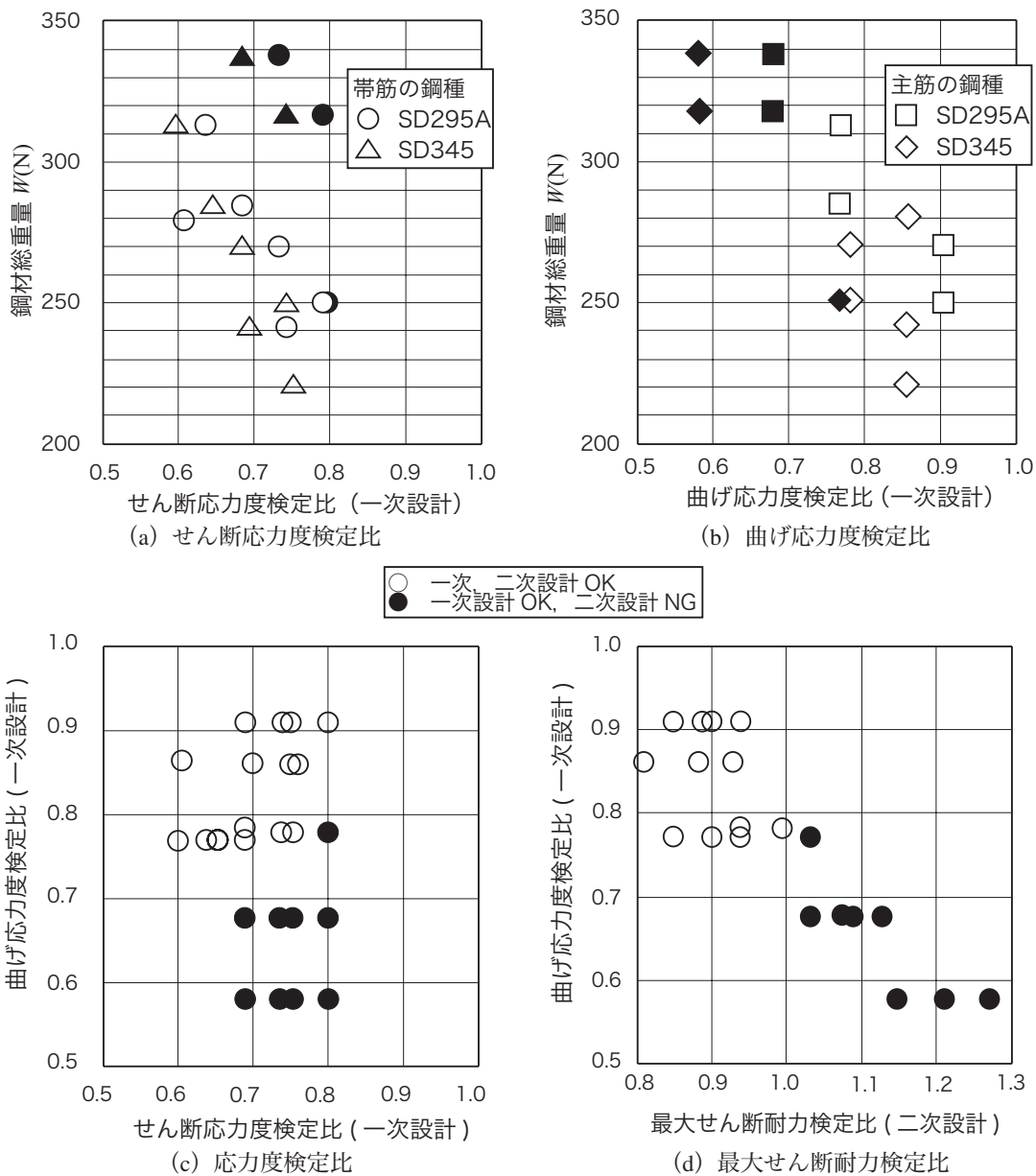


図6 鋼材総重量と応力度検定比

## 6. おわりに

ここで示した設計支援システムは、複数の設計候補解から適正解を選択させる仕組みをもつため、初学者教育において有効な機能を有している。また、二次設計においては本システムを使うことで設計の急所を押さえた、さらに効率的な学習が行える。以下に、このシステムによる設計解から得られる情報を以下にまとめる。

1) 一次設計において、鋼材総重量を減少させた設計解を得るためには、主筋の本数を減じ径を大きくすることと、帯筋間隔を広げて径を大きくすれば良いことが、このシステムの利用を通して理解できるようになった。

2) 二次設計において、根巻コンクリートのせん断破壊を防ぐためには、せん断応力度検定比と曲げ応力度検定比のバランスを考慮する必要がある。

## 参考文献

- [1] 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2012
- [2] 梅田政信，長澤勲，樋口達治，永田良人：設計計算のプログラム書法，電子情報通信学会技術研究報告集，AI91-60，pp.25-32，1991
- [3] 田中尚生，山成實，鋼構造設計における設計可能空間取得技法に関する研究，鋼構造年次論文報告集，第14巻，pp.77-84，2006.9
- [4] M.Yamanari, H.Tanaka, Acquisition of designable space for planar steel frames, Digital Architecture and Construction, WIT Press, pp.77-84, 2006.9