

偏心率の制御による 建物平面計画立案支援システムに関する研究

正会員 ○ 江口翔^{*1} 同 原田幸一^{*2} 同 山成實^{*3}

2. 構造 -10. 鉄骨構造

設計支援システム, 平面計画, 偏心率

1. はじめに

建築構造設計における構造計算ルートの選択は構造計画に依存する。小規模の建物であっても対称性が大きく失われたイレギュラーな平面計画では、構造物のねじれを考慮すべきことは当然である。商業建築や倉庫のように、建築計画上柱間を大きくしなければならない建物に対して、構造設計者はなるべく偏心率を小さくできるよう構造要素の適正配置を提案しなければならない。

本報告では、現行の耐震規定⁽¹⁾で定められている偏心率をパラメータとし、建物の重量を評価尺度とする設計支援のシステムを試作する。このシステムは実務設計者が行う構造計画において有用な設計情報を与え、建築計画設計者に対する訴求力をもつものとなる。

このシステムはまた、既往の研究において提案してきた「データの透明性」を有しており⁽²⁾、その機能とともに部材配置や部材断面の変更を容易に受け入れることを可能にすることで、構造設計初学者の平面計画に対する部材配置の感覚を養うことを目的としている。

2. 設計支援システム

提案する設計支援システムは、与えられた不均等なスパンや柱の種類で構成される平面計画に対する偏心率を求めるプログラムをデータフロー言語, DSP⁽³⁾によって構築した。これはデータの透明性を持ち、計算過程の全てのデータの流れを把握することもできる設計計算言語である。これによって部材配置の検討をより容易に行うことが可能になる。

2.1 モジュール構成

DSPでは、個々のプログラムをモジュールという単位で表しており、建物平面の偏心率を求めるのに必要な重心や剛心などの諸量を各モジュールで計算して結

果を求める。すなわち、分割された仕事を統合することで計算が行われる。本システムのモジュールの構成を機能ブロック図で表すと図1のようになる。このシステムによって出力される偏心率は、柱の反曲点高比を0.5とし、式(1)で与えられる柱の水平剛性を用いて得られるものとする。

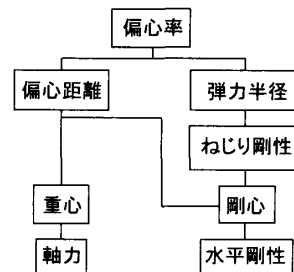


図1 機能ブロック図

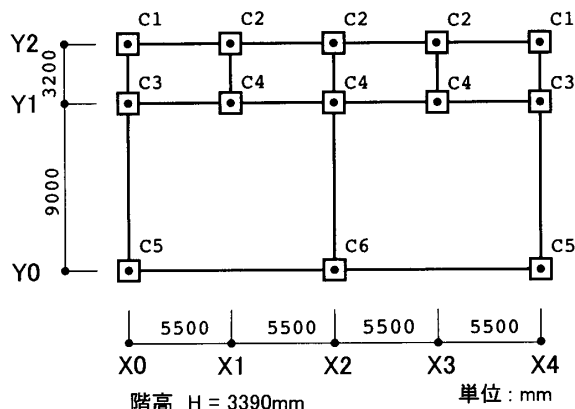
$$K_x = \frac{12EI_x}{H^3} \quad (1)$$

E はヤング係数, H は階高, I_x は柱の断面2次モーメントを指す。

2.2 データフロー言語とデータの透明性

モジュールを記述する上で、計算式の書法は設計基準に則っている。手続き処理型の言語では、処理記述に労力を要する。それに対し、DSPに代表されるデータフロー言語では、プログラムの記述がその順番に左右されない。このことで、ユーザーはモジュール内部を容易に把握でき、自らの用途に合わせてその記述を変更することも容易となる。

これまでの一連の研究において、データの透明性の必要性を著者等は唱えているが⁽⁴⁾、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、処理及びデータの透明性を保証する。すなわち、計算結果を得るまでに計算過程の全てを把握できる特性をもつ設計支援システムは、特に初学者の教育において有効であると考えられる。



階高 H = 3390mm
 ヤング係数 E = 205000 (N/mm²)
 柱断面 (C1-C6) □-350x350x16

図2 イレギュラーな柱配置をもつ平面

3. システムの実装と実行検証

イレギュラーな平面計画をもち、偏心率が規定値を超える平面を初期条件とし、柱の断面や配置の変更による計画改善によって、部材重量を評価値とした実験を行う。

用いるデータは図2に示すようなイレギュラーな柱配置をもつ平面であり、用途を倉庫としている建物のある層を用いる。

3.1 実装

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、DSPを用いてこのモジュールを実装する。偏心率を求めるための平面計画情報をモジュールに入力し、その計算結果を出力する。入力情報と出力情報の一覧を表1に示す。このシステムは表1に示す入力情報を変更することで容易に平面計画の変更を受け入れる。このシステムのデータフローを図3に示す⁵⁾。

3.2. 例題による実行検証

図2に示す平面はラーメン骨組に限っており、X方向の偏心率が規定の0.15の制限を超えている。この平面に対して考えられる計画改善を行い、平面の偏心率を規定値に収める。その際、CASE 1, 2では平面計画の変更を評価する値として柱の総重量を、CASE 3では偏心率を用いる。

CASE1 柱本数を変更する場合

図2の平面に対し、柱の位置や断面を変更することなく、柱の本数を変更することで偏心率を規定値に収める。Y0から4500mmの位置に柱を追加する場合を考える。図4に示すように柱本数を2, 3, 5本と増やしていくことで偏心率と柱の総重量の変化を調べる。

表1 システムの入出力情報

| 入力情報 | | | |
|-------------------------------------|---------|-------|--|
| 説明 | 変数 | 型 | 式(値) |
| X方向のスパン数 | NX | I | 4 |
| Y方向のスパン数 | NY | I | 2 |
| 階高 (mm) | H | r | 3390 |
| ヤング係数 (N/mm ²) | E | r | 205000 |
| 左下を原点とし、X方向、Y方向のスパンの長さをリストで入力します | | | |
| X方向のスパン長さ (mm) | Lxlist | [r] | [5500.0, 5500.0, 5500.0, 5500.0] |
| Y方向のスパン長さ (mm) | Lylist | [r] | [9000.0, 3200.0] |
| 左下を原点とし、Y0行から順に柱の種類をリストで入力します | | | |
| グリッド上に柱がない場合は0を入力します | | | |
| 柱の種類 | Cnlist | [[I]] | [[5.0.6.0.5], [3.4.4.4.3], [1.2.2.2.1]] |
| 左下を原点とし、Y0行から順に柱の向きをリストで入力します | | | |
| ixがX方向を向いている場合は1 | | | |
| iyがY方向を向いている場合は2 | | | |
| グリッド上に柱がない場合は0を入力します | | | |
| 柱の向き | Ixylist | [[I]] | [[1.0.1.0.1], [1.1.1.1.1], [1.1.1.1.1]] |
| 各柱の軸力をC1から順にリストで入力します | | | |
| 軸力リスト (kN) | Nlist | [r] | [32.12, 64.24, 122.46, 244.92, 180.68, 361.65] |
| 各柱の断面2次モーメントをC1から順にリストで入力します | | | |
| X方向の断面2次モーメントリスト (mm ⁴) | Ixlist | [r] | [398000000.0, 398000000.0, 398000000.0, 398000000.0, 398000000.0, 398000000.0] |
| Y方向の断面2次モーメントリスト (mm ⁴) | Iylist | [r] | [398000000.0, 398000000.0, 398000000.0, 398000000.0, 398000000.0, 398000000.0] |

| 出力情報 | | | |
|---------|-----|---|------|
| 説明 | 変数 | 型 | 式(値) |
| X方向の偏心率 | Rex | r | |
| Y方向の偏心率 | Rey | r | |

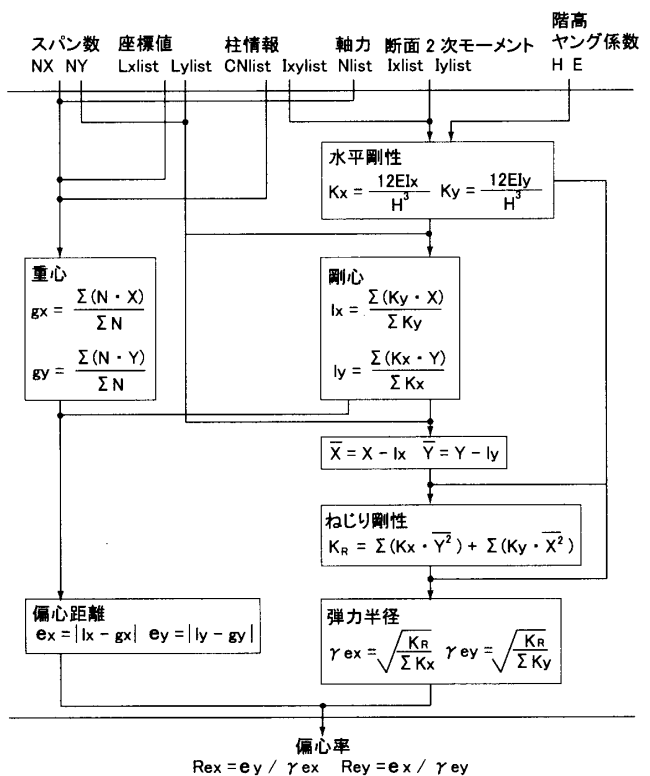


図3 データフロー図

2本追加ではX方向の偏心率 $Re_x = 0.162$ となり、規定値を満たさない。3本目を追加すると $Re_x = 0.146$ となり、 $Re < 0.15$ を満たした。さらに2本追加し、合計5本追加すると、 $Re_x = 0.115$ となったが、図5に示すように柱の総重量は初期骨組に比べて約40%増加した。

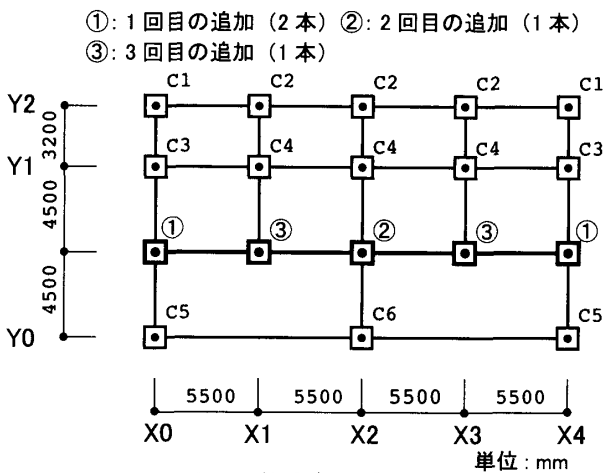


図4 柱本数の変更

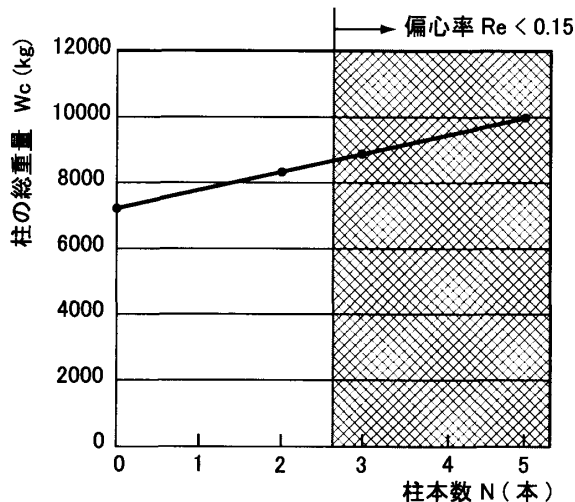


図5 柱の総重量 - 柱本数

CASE2 柱断面を変更する場合

図2に示す配置部材の断面を変更することでバランスのとれた部材配置を目指す。平面の偏心がY2方向に寄っていることから、Y0通りの柱3本の断面を大きくすることで偏心率の低減ができる。CASE2からの変更を図6に示す。

図2で示す柱断面は同一であり、角形鋼管としている。Y0通りの柱を変更することで、偏心率の変化を検討した。

□-350x350x16 を □-350x350x22 に変更したところ、およそ2割の偏心率の低減がみられたため、外径が400mmの角形鋼管を取り上げ、それぞれの管厚を12、

16, 19, 22, 25 mm と変化させた。断面を □-400x400x16 としたところ、 $Re_x = 0.133$ となり、規定値を満たした。更に、□-400x400x25 まで断面を変更すれば、偏心率を約80%低減でき、その際の重量増は20%未満となった。断面の変更に伴う偏心率の変化と柱の総重量の関係を図7に示す。

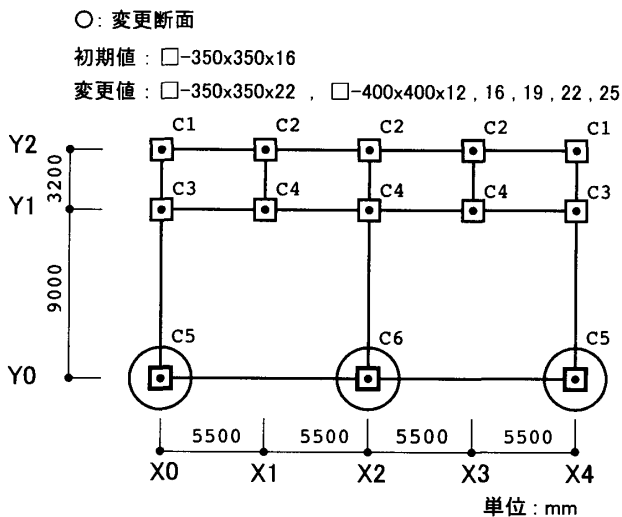


図6 柱断面の変更

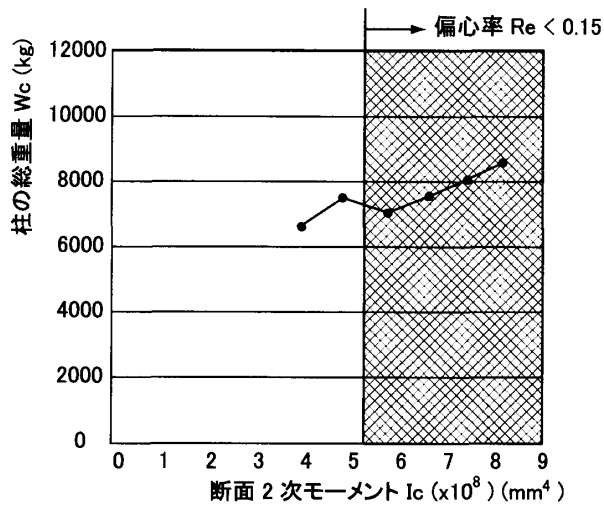


図7 柱の総重量 - 断面2次モーメント

CASE3 柱位置を変更する場合

ここでは柱部材の位置を変更し、偏心率の低減を試みる。図2の平面では、スパンが短い箇所には部材が集中するため偏心が生じている。そこで、図8に示すようにY1通りの柱をY0軸に向けて移動させ、偏心率の変化を調べる。柱の断面変更は行わないので、総重量の変化はみられない。そこで、偏心率を評価値とし、柱の移動距離との関係を検討する。

Y1通りの柱をY0通りへ500mmずつ近づけると、偏心率は概ね10%ずつ低減し、2000mm移動させたと

ここで、 $Rex = 0.138$ となり規定値を満たした。Y0-Y1のスペンが3200 mmとなるまで変化させると、偏心率は90%以上低減した。更に、移動量を7000 mmまで変化させると、偏心率は初期値の30%近くまで増加した。この作業による偏心の推移を図9に示す。

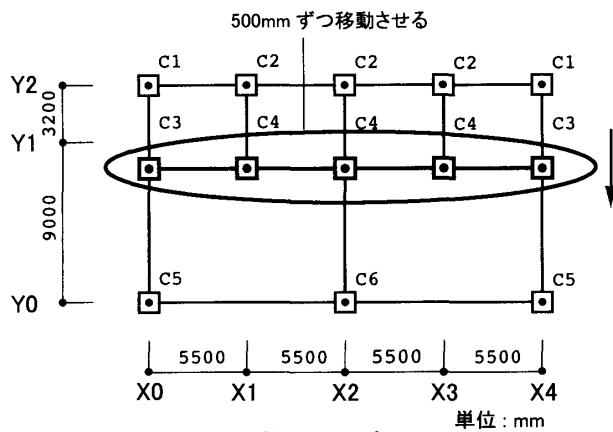


図8 柱位置の変更

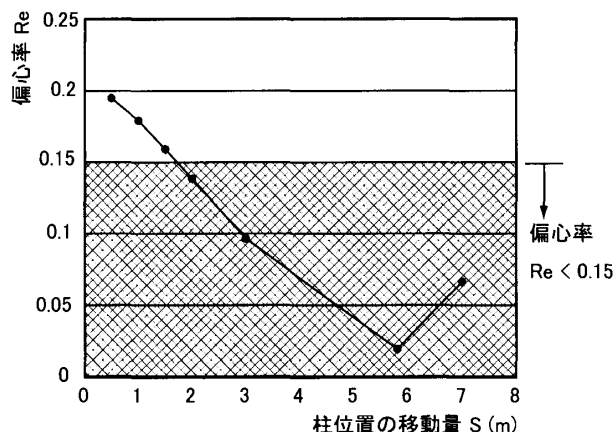


図9 偏心率 - 柱位置の移動量

4. 評価

以上の検討において、3つのアプローチで有効に偏心率の低減が可能であることを示した。図5および図7から、柱本数の変更に対して、柱断面の変更が柱の総重量の増加をおさえながら偏心率を低減できていることが窺える。また図9で示すように、平面計画上、柱位置の自由度がある程度確保されている場合、柱位置の変更で柱の総重量を変化させることなく有効に偏心率が低減できていることが窺える。

これら3つの改善は、実務においては平行して行われる作業であり、このモジュールの利用によってより

短時間での偏心率の変更が可能である。また、平面計画を感覚的に変更できることから、初学者教育において、このシステムの利用が平面計画に関する偏心率変更の感覚を養うことも可能である。また、DSPの特性である解取得の過程が検証可能であることも含め、このモジュールをコアとする設計支援システムは初学者教育機能を備えていると考えられる。

既往の研究において、DSPによって設計可能空間取得による任意形鋼平面骨組の構造設計システムが開発されており⁶⁾、今後はブレースによる偏心率の改善機能を追加し、既往の研究に組み込むことで2次設計が可能な設計可能空間取得技法に基づく任意形鋼平面骨組の構造設計システムの開発を行う。

5. 終わりに

偏心率を求めるシステムの開発の有効性を検証した。ここで示した設計支援ツールは、その記述性および透明性からブラックボックスとならない設計支援システムであり、実務設計のみならず、初学者教育においても有効な機能を有している。

参考文献

- 1) 2007年度版建築物の構造関係技術基準解説書，国土交通省他監修，pp.296-301，2007.8
- 2) 江口翔，原田幸一，山成實：九州地区における建築構造設計技術者のコンピュータ支援設計システムに関する意識調査，鋼構造年次論文報告集，第17巻，pp.109-114，2009.11
- 3) 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，信学技報，AI 91-60，pp.25-32，1991
- 4) M. Yamanari, H. Tanaka: Acquisition of designable space for planar steel frames, Digital Architecture and Construction, WIT Press, pp.77-84, 2006
- 5) 長澤勲，前田潤滋，手越義昭，牧野稔：建築設計支援システムにおける小規模な組合せ選択問題のためのプログラミング手法，日本建築学会構造系論文報告集，No.417，pp.157-166，1990.11
- 6) 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.409-414，2006.11

*1 熊本大学大学院自然科学研究科・大学院生

*2 同上，原田建築設計事務所・所長

*3 熊本大学大学院自然科学研究科・准教授・工博

Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

Ditto, Harada Design Lab.

Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ., Dr. Eng.