

キーワード：知識処理，最小重量設計，鋼ラーメン骨組

1. 序論

現在，建築業界で用いられる構造設計支援システムは一連処理システムと呼ばれる自動化が進んだシステムである．このシステムはブラックボックス化されたものであり，熟練した構造設計者にとっては強力なツールとして用いられているが，設計初学者にとってはシステムの求めた単一解についての検討が難しいため，適正解を探索する場合非常に大きな労力を要することとなり，一連処理システムが設計初学者の設計技術向上に役立つものであるとは言い難い．

従来のシステムが単一解を求めるものであったのに対し，近年では知識処理を用いた新世代の設計処理システムの提唱がなされてきている^[1,2]．著者等は構造設計初学者が建築構造骨組の構造設計技量を獲得，向上するためのシステムとして知識処理を用いた新しい設計処理シ

ステムを提案してきた^[3]．本論文では無限スパン鋼ラーメン骨組を例として取り上げ，上記の概念を適用したシステム構築とその性能の検討を行ったものである．

2. 知識処理を用いた設計処理システム

設計とは，設計情報（本研究では設計空間と呼ぶ）から設計条件（拘束条件）の下での設計解の集合（本研究では設計可能空間と呼ぶ）を抽出し，その中から最終的に1組の解（本研究では適正解と呼ぶ）を決定する作業であるといえる．部材設計を例として考えると，設計情報とは設計者に用意されているデザインカタログに記述されている数値情報などである．

図1はH形鋼部材の許容応力度設計処理を分析したものを簡単に表した図である．H形鋼部材の許容応力度設計は同図に示すように，デザインカタログより抽出された設計情報をもとに断面算定に必要な値を算出し，鋼構造設計規準^[4]の設計式を用いて座屈の検討，諸応力の検討を行う．部材設計システムの構築に際し，部材設計の一連の流れを細分化することにより，複雑であった処理は単純な処理の集合となる．これらの処理をプログラミング言語で構築する．

設計処理の分析結果をもとに，設計計算言語 DSP^[2]を用いてH形鋼部材の設計処理システムの構築を行った．設計計算言語 DSP で記述された本システムは知識処理による設計を行い，生成検証法により与えられた設計空間内から複数解（設計可能空間）を抽出する^[5,6,7]．設計者は複数解の中から自由に最も相応しいと考える解を選択することが可能となる．このことにより，従来のシステムで生じるようなシステムに設計者が従属するといった状態を防止できる．また，一度に多くの設計解を得て，設計者主導の設計を行うことにより，設計者は短い時間で設計技能を向上させることができると考えられる．

3. 設計計算の記述

鋼構造物の部材設計は「鋼構造設計規準」に基づいて行われる．規準書に記述される設計式および式に関わる

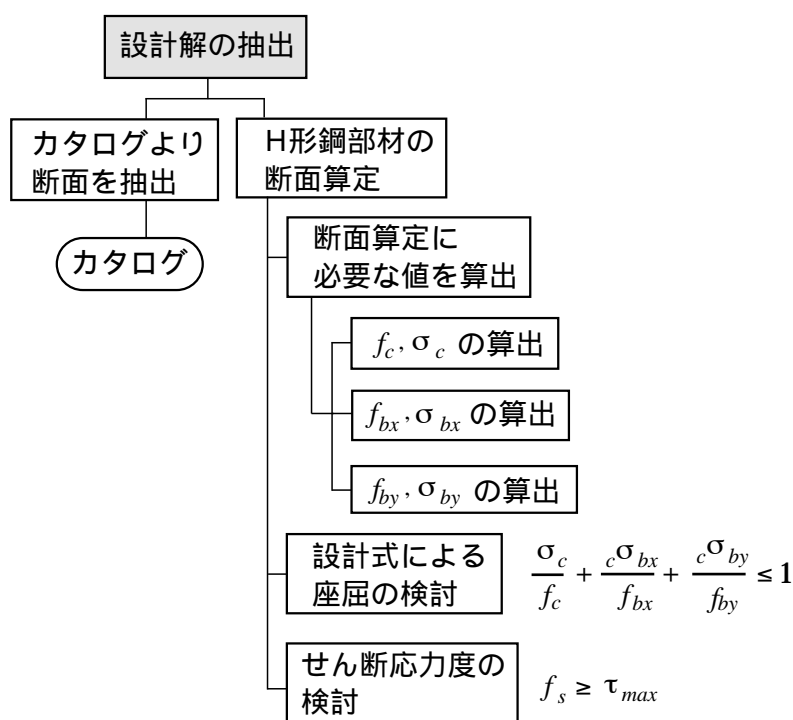


図1 H形鋼設計処理の構成

[†] 本論文の一部は日本建築学会大会学術講演梗概集（情報システム技術），2005に発表済み．

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c\sigma_b}{f_b} \leq 1 \quad (6.1)$$

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c\sigma_b}{f_b \left(1 - \frac{\sigma_c}{f_e}\right)} \leq 1 \quad (6.1)'$$

ただし, $f_e = \frac{P_e}{A}$, $P_e = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$

図2 設計記述書に見られる記述例

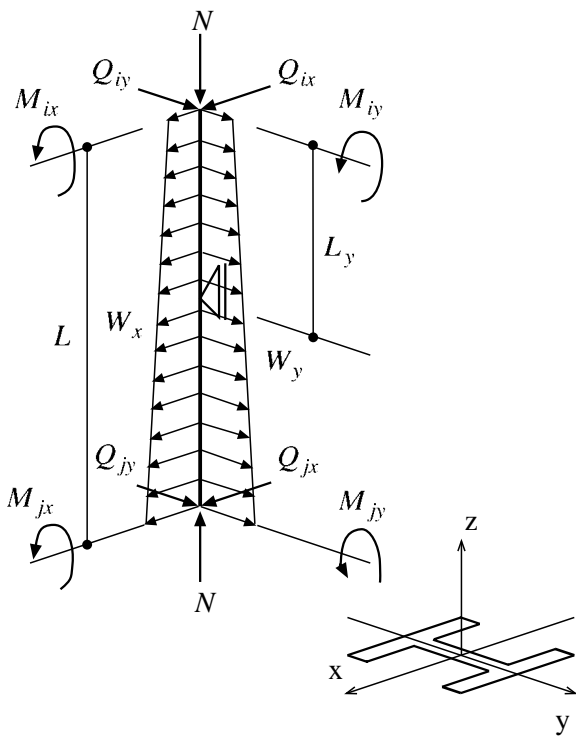


図3 H形鋼個材の荷重条件

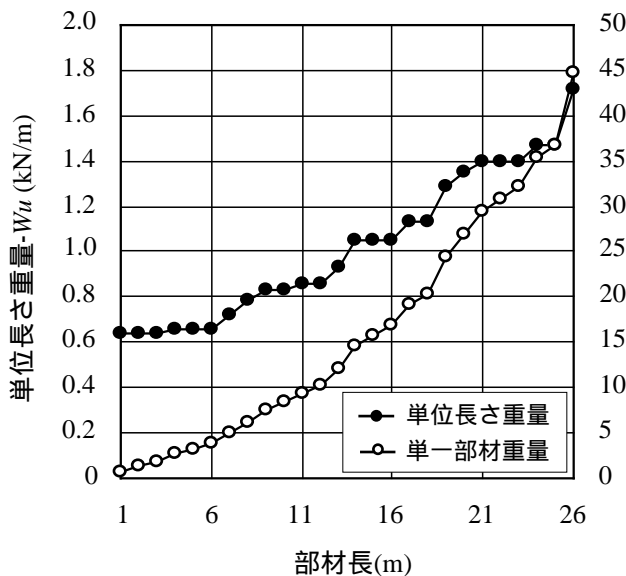


図4 H形鋼個材の部材長と最小重量

変数や定数記号の説明は図2に示す形態を持つのが一般的である。本システムで用いた設計計算言語DSPはデータフローの概念¹⁶⁾により、プログラミングにおいて処理手順順序を気にせず設計仕様が記述できるため設計者自らがシステム構築に参加可能であり、将来の設計仕様変更にも容易かつ迅速に対応することができる。

4. 材長と個重量との関係

H形鋼個材の設計処理システムを用いて図3に示すH形鋼個材の重量という面で見たとときの設計可能空間の抽出を行った。使用鋼材はSS400とした。

図4はH形鋼単純支持梁の材長を変化させたときの単位長さおよび個材重量の設計可能空間の境界を求めたものである。なお、H形鋼単純支持梁の荷重条件は、 $N = 196 \text{ kN}$, $M_{ix} = 29.4 \text{ kNm}$, $M_{jx} = 19.6 \text{ kNm}$, $M_{iy} = 19.6 \text{ kNm}$, $M_{jy} = 9.8 \text{ kNm}$ とした。せん断力は材長と曲げモーメントにより求められ、材長は $L = L_y$ とした。

図4中の折れ線は重量という面で見たとときの設計可能空間の境界であり、折れ線の上側の領域に設計可能な断面が分布している。

5. 無限スパン鋼ラーメン骨組の最小重量算定システム

5.1 無限スパン鋼ラーメン骨組

無限スパン鋼ラーメン骨組は図5で示すように、H形鋼梁と角形鋼管柱によって構成され、階数 n 、スパン長 L (m)で、1層の梁内法高さを $h = 2.5$ (m)とし、梁端に柱心から1.2 (m)の長さのハンチを持つ骨組である。ここでは、須賀による最小重量設計の報告¹⁸⁾があり、これに対象骨組として用いた。H形鋼梁および角形鋼管柱の使用鋼材はそれぞれSS400およびSM490とした。荷重条件は、柱・

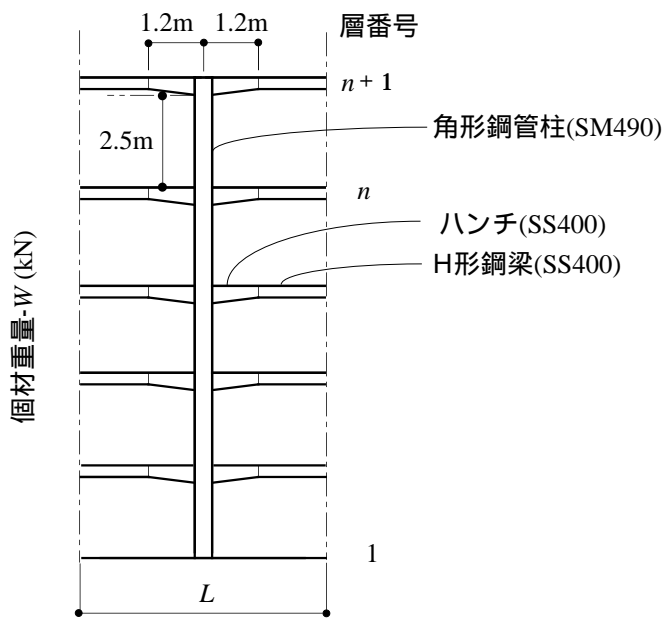


図5 無限スパン鋼ラーメン骨組 (ハンチ有)

梁の固定荷重を除くすべての長期荷重が $w=0.8$ (tf/m²) として与えられ、それに基づいて地震力を求めた。なお、ここで示す骨組については須賀が構造コストと経済設計^[8]でスパン長と鋼材量の関係について近似式を求めている。ここで、鋼材量とは鋼材総重量をその柱が負担する総床面積で除した値を指す。

$$W=9.8(3.52n+6.05l+44.90w+6.92h-73.33) \quad (1)$$

$$W_c=9.8(1.18n-0.66l+10.14w+3.37h-10.74) \quad (2)$$

$$W_g=9.8(2.34n+1.97l+21.21w+3.81h-33.98) \quad (3)$$

ただし、 W : 骨組全体の鋼材量 (N/m²) ,

W_c : 柱の鋼材量 (N/m²) ,

W_g : 梁の鋼材量 (N/m²)

5.2 システムの概要

構築したH形鋼個材の設計処理システムを組込んだ無限スパン鋼ラーメン骨組の最小重量算定システムの構築を行った。入力インターフェイスは視認性の高いものが要求されるため Excel を用いた。図6は本システムの流れを示したものである。本システムではデザインカタログから仮定断面を選択し、それをもとに構造計算・断面算定を行う。このシステムで注目すべき点は従来のシステムが仮定断面に対してのみ断面算定を行うものであったのに対して、本システムでは仮定断面の周りの設計条件を満たす複数の解

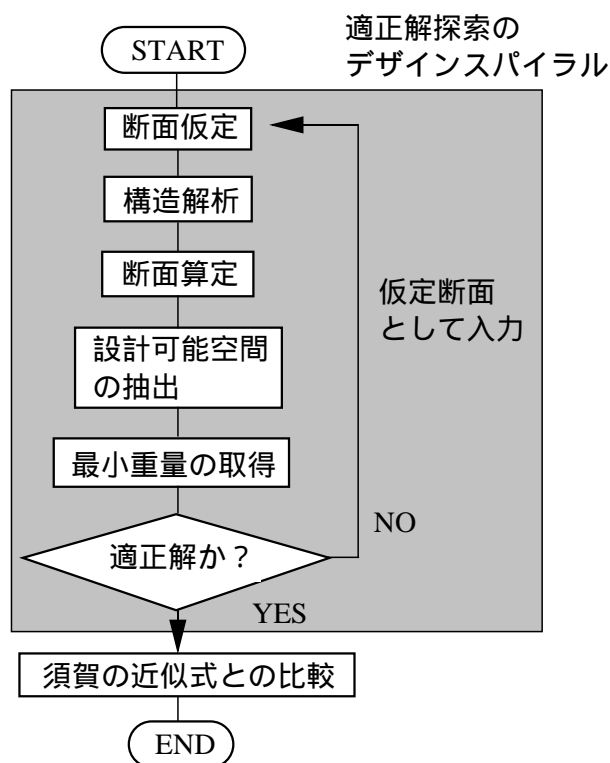


図6 無限スパン鋼ラーメン骨組の最小重量算定システムの設計手順

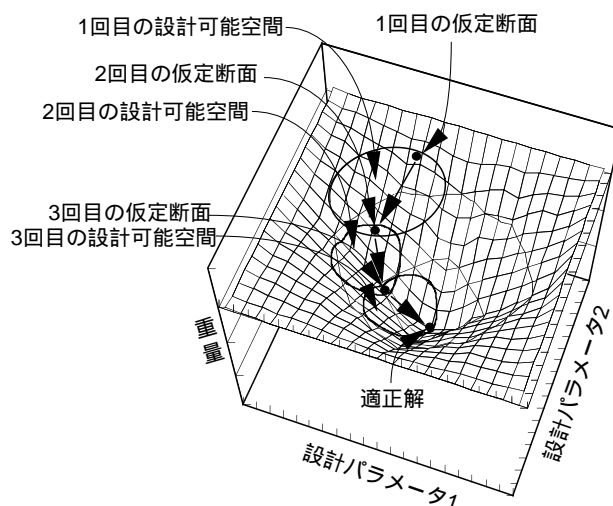


図7 最小重量算定のモデル

(設計可能空間)を抽出することである。ここで得られた設計可能空間内から最小となる断面をシステムが選択する。この時、得られた解が適正解であるかどうかを設計者が判断し、適正解と判断したならば、須賀の近似式との比較を行い終了し、そうでないならば、選択された解を仮定断面としてデザインスパイラルを繰返す。図7は無限スパン鋼ラーメン骨組の最小重量算定システムの一連の流れを模式的に表した図である。設計者は同図に示されるように効率的に最小重量部材を得ることができる。

5.3 スパン長と最小重量

構築したシステムを用いて求めた梁・柱および骨組全体それぞれの最小鋼材量 W_g 、 W_c および W と須賀による近似式との比較を行った。本システムで用いたH形鋼部材の使用鋼材はSS400、断面はJISに示されるものと

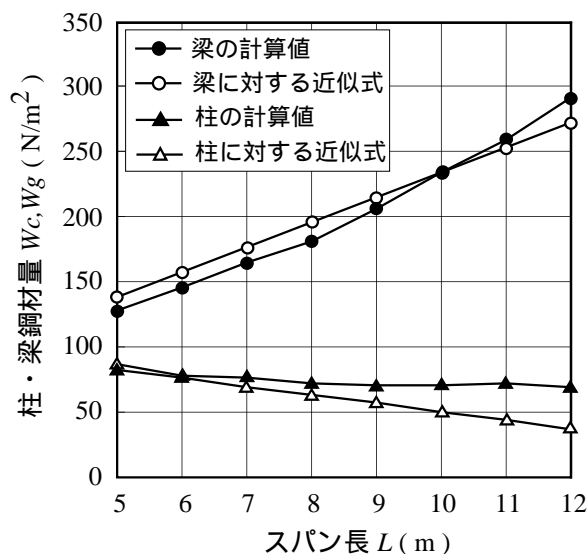


図8 スパン長と柱・梁の最小鋼材量

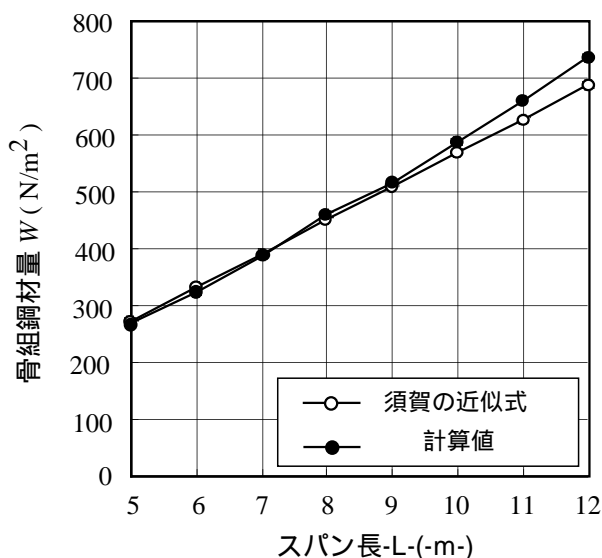


図9 スパン長と最小骨組鋼材量

し、角形鋼管の使用鋼材はSS490、外径は200～700 (mm)、板厚は6～32 (mm)の範囲とし、鋼材カタログに記載のすべての断面とした。図8に柱・梁の鋼材量 W_c 、 W_g と須賀の近似式との比較を行ったときの結果を示す。梁部材には横補剛はないものとした。

図8に示すように梁部材ではスパン長が増すごとに最小梁部材鋼材量 W_g が増加するため不経済な設計。柱部材ではスパン長が増すごとに最小柱部材鋼材量 W_c が減少するため、経済的な設計になる。また、計算値と須賀の近似式との比較を行うと、梁部材では須賀の近似式に沿った値を示したが、柱部材ではスパン長が大きくなるにつれて須賀の近似式より大きな値をとった。これは本研究で用いた断面の範囲より須賀が広い範囲の断面を用いているためであると考えられる。

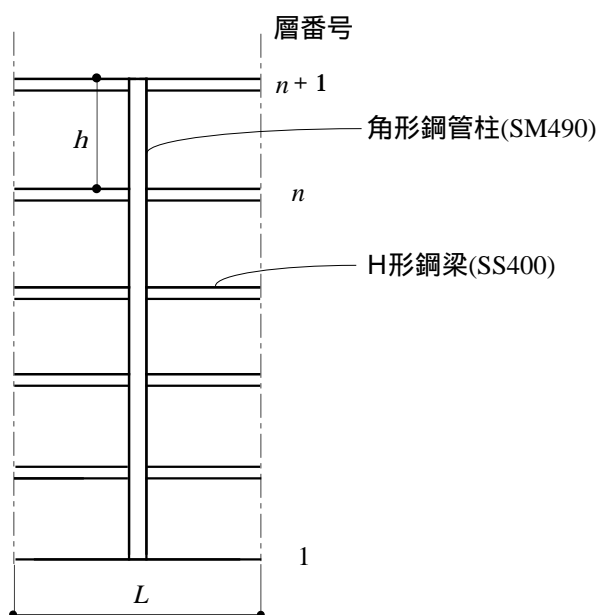


図10 無限スパン鋼ラーメン骨組（ハンチ無し）

表1 無限スパン鋼ラーメン骨組建物高、階高

階数 $n=5$

スパン長-L (m)	建物高(m)	階高-h (m)
5	13.9	2.78
6	14.15	2.83
7	14.6	2.92
8	14.45	2.89
9	14.85	2.97
10	15.4	3.08
11	15.4	3.08
12	15.45	3.09

図9ではスパン長と最小骨組鋼材量 W について示している。図9に示すように骨組全体で見るとスパン長が増すごとに最小骨組鋼材量 W が増加しているため、不経済な設計である。また計算値と須賀の近似式との比較を行うと、スパン長が大きくなるにつれ計算値はやや大きめの値をとったが、ほぼ須賀の近似式に沿っている。なお、梁、柱および骨組それぞれの設計可能空間は計算値より上側の領域に分布している。

6. ハンチが鋼材量に及ぼす影響

6.1 無限スパン鋼ラーメン骨組（ハンチ無し）

図10で示される骨組は、5.で用いられた骨組からハンチを取り除き、階高 h を梁天端高としたものである。荷重条件は、柱・梁の固定荷重を除くすべての長期荷重が $w=0.8$ (tf/m²)として与えられ、それに基づいて地震力を求めた。ここで用いる階高 h は5.で用いられた骨組の各スパン長のときそれぞれの建物高さを階数で除した

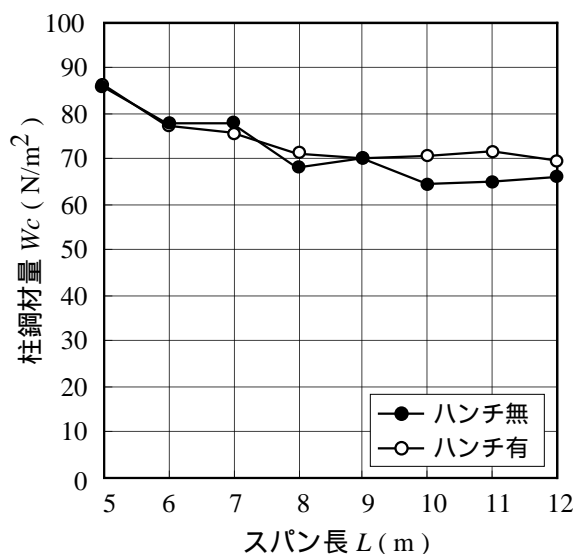


図11 柱鋼材量における比較の結果

値である。階数 $n = 5$ のときの建物高と階高については表 1 に示す。

6.2 ハンチの有無に対する鋼材量の比較

無限スパン鋼ラーメン骨組の柱鋼材量、梁鋼材量、骨組鋼材量について、ハンチが有るときと無いときとの比較を行った。

図 11 はハンチの有るときと無いときの最小柱部材鋼材量 W_c の比較を行った結果である。スパン長 $L = 10, 11$ (m) のとき少々ハンチ有の計算値が低くなっているが、全体的に見てほぼ一致しているといえる。従ってハンチは柱の重量という面で見たとときの設計可能空間に影響を及ぼさないといえる。

図 12 はハンチの有るときと無いときの最小梁部材鋼材量 W_g の比較を行ったグラフである。ハンチ有の計算値と

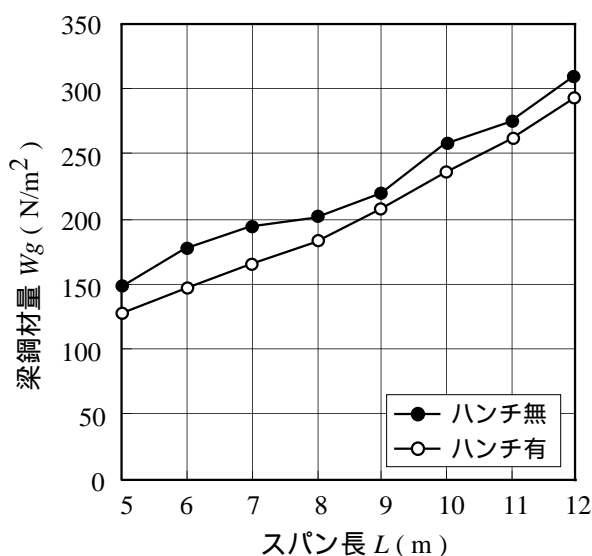


図 12 梁鋼材量における比較の結果

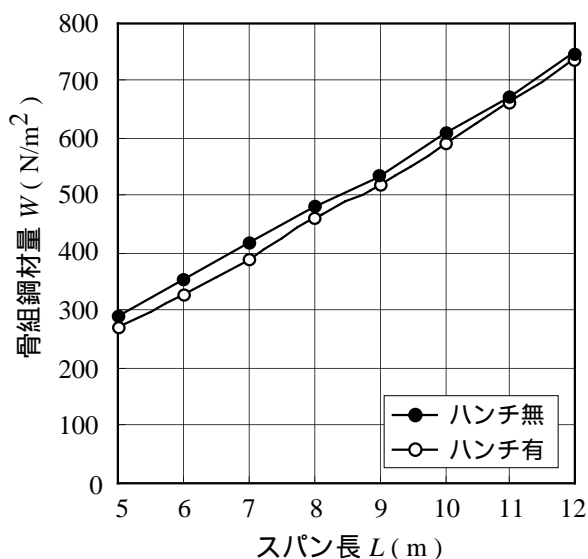


図 13 骨組鋼材量に対する比較の結果

比べてハンチ無しの計算値は常に大きな値を取る。従って、ハンチは梁の重量という面で見たとときの設計可能空間の範囲を広くする効果がある。

図 13 はハンチの有るときと無いときの最小骨組鋼材量 W の比較を行ったグラフである。ハンチ有の計算値と比べてハンチ無の計算値は常に大きな値を取るがスパン長が大きくなるに従って計算値の差は小さくなる。従って、ハンチは骨組の重量という面で見たとときの設計可能空間を広くする効果があるがスパン長が大きくなるに従ってその効果は小さくなる。

7. 結論

本研究では知識処理を用いた設計システム構築の一環として、無限スパン鋼ラーメン骨組の最小重量算定システムの構築を行い、構築したシステムを用いてハンチが有るときと無いときの無限スパン鋼ラーメン骨組の重量という面で見たとときの設計可能空間の範囲について比較、検討を行った。このようにして得られた結果をデータとして蓄えることで設計者にとって有益な情報を容易に得ることが可能となり、また、システムをさらに発展させることができると考える。

[参考文献]

- [1] B. Kumar, Knowledge Processing for Structural Design, Topics in Engineering Vol.25, Computational Mechanics Publications, 1995
 - [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ミング書法, 信学技報, AI91-60, pp.25-32, 1991 年
 - [3] 山浦秀行, 山成實, 建築鋼骨組の構造設計における設計可能空間取得法に関する研究, 第 23 回情報システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2000 年 12 月
 - [4] 日本建築学会, 鋼構造設計規準・同解説, 1973 年 5 月
 - [5] 小島崇司, 長澤勲, 樋口達治, 望月雅光, 梅田政信, 章志華, 機械系のばらつき設計を中心としたカメラの鏡枠ユニットの設計, 1997 年 1 月
 - [6] 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み合わ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, 第 417 号, pp.157-166, 1990 年 11 月
 - [7] 手越義昭, 長澤勲, 前田潤滋, 牧野稔, 建築物設計における小規模な組み合わせ選択問題の一解法 階段設計を例として, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 405 号, pp.157-165, 1989 年 11 月
 - [8] 須賀好富, 構造コストと経済設計, 学芸出版社, 1987 年 7 月
- *1 熊本大学大学院自然科学研究科 博士前期課程大学院生
*2 熊本大学工学部 助教授 工博

Minimum Weight Design of Steel Fishbone Frames using Knowledge-based Structural Design System

Hisao TANAKA ^{*1} and Minoru YAMANARI ^{*2}

Keywords: Knowledge Processing, Minimum Weight Design, Steel Frame

Minimum problems have been dealt in various fields of engineering. A development of minimum weight design of steel frames based on a knowledge processing was conducted in this study. The frames in this paper were partial frames taken from overall moment-resisting frames look like fish bones for taking the general quality in structural design. The computer language and software for the development of this system are DSP that Nagasawa et al developed and Excel2000 which is the most popular spread sheet system respectively. DSP is a knowledge processing language especially useful for description of programming of mechanical design in structural engineering. This works with a knowledge base with design catalog such as steel members provided by steel corporations.

Once ago, Suga performed the study on minimum weight design of such frames with legacy language like Fortran. He deduced some equations of relationships between weight and span with respect to columns and beams. The equations were used for performance test of the design system presented in this paper. The new design system showed good ability because the test results agreed with the estimations very well.

Furthermore, another case study was conducted for the contemporary frames because the frames dealt by Suga are old-fashioned frames; especially haunches were put at beam-ends. As a result, it was clarified that the weight of the contemporary frames is a little larger than that of the old-fashioned frames.

*1 Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

*2 Associate Professor, Kumamoto University, Dr of Eng.