

構造計算書審査技術に関する研究

A STUDY ON EXAMINATION TECHNOLOGY OF STRUCTURAL CALCULATION

櫻谷建太

Kenta SAKURADANI

In this paper, outline examination method using optimal cross section calculation program is shown. This present method finds the camouflaged structure checks efficiently by calculating at least necessary cross section using the developed optimal cross section calculation program, and comparing it. The reliability of the present methods and optimal cross section calculation program is shown by comparing with a design corresponding to the rigid examination by the revised law. Several examples are shown to demonstrate the effectiveness of the present methods

Keywords: *The rigid examination by the revised law, Optimal cross section, Outline examination method*

厳格化された審査, 最適断面, 概略審査手法

1. はじめに

平成 17 年 11 月に発覚した「耐震強度偽装問題」を受けて建築基準法が改正, 平成 19 年 6 月に施行され, 審査の厳格化が規定された。改正法は偽装設計・不適切設計を確認審査で検出することを目的としたものだが, この改正法の施行により日本全体の経済成長を減速させるほどの影響を及ぼしたことは記憶に新しい。この原因としては, 確認申請に提出する書類の増加に加え, 審査側が確認申請書に添付される構造計算書の計算過程が適切であるかを審査することが義務づけられたことにより, 審査側の作業が増大し, 確認申請期間も延長され, 設計期間が大幅に長引くこととなり, この設計期間の延長が着工件数の減少や建築主への負担を増大させたことが考えられる¹⁾。

本偽装事件での教訓は, 建て直しが必要となるような明らかに強度不足の建物を許可した点にある。この背景には, 様々なことが考えられるが, 審査側が設計経験豊富な技術者であれば, 配筋量の少なさに当然疑問が生じたはずであり, つまりは審査する側の技術力がされる側の技術力に追いついていなかったということが考えられる。また, 法改正により, 審査側の審査能力の改善の措置を行わず, 一方的に審査のハードルを上げてしまったことも, 審査後の混乱の一因ともとることができる。

よって, このような偽装事件を再発させないためには, これまで審査を担ってきた者の審査技術の向上が不可欠であり, また以後が同じことを言っているので内容を変更したい。そのためには, 審査手法を確立することが必要であった。

そうした考え方から, 一昨年, 新里・成富と建築行政の実務担当者である北本らが, 構造計算書審査技術の確立を目指して, 審

査作業を支援するツールの開発を行い^{2), 3)}, 審査作業をマニュアル化しある程度の審査時間の短縮も図ってはいるが, この手法は審査項目を 1 つ 1 つ入力していく作業であるため効率性に欠けているといえる。

審査手法は大きく詳細審査と概略審査の手法に分けることができる。詳細審査手法は, 上に述べた手法にあたり, もう一つはできるだけ短時間で設計されている構造部材が基準の求める部材に概ね近いことを審査することを目的とする概略審査手法である。両審査方法は, それぞれ, 「確実に見抜けるけれども時間がかかる」「確実に見抜くわけではないが, 短時間で検出できる」という特徴を持っているため, 併用することによって互いの短所を補うことができる。すなわち, 概略審査で偽装・不適切設計が疑われるものについて, 詳細審査でそれを確かめる, という使い方である。

以上の背景をもとに本研究では, 詳細審査に先立つ概略審査の審査技術を開発するものである。そして, 本論文で採用する概略審査の手法は, 企画設計段階において断面仮定する時の手法⁴⁾⁹⁾を応用するとともに, 最適部材断面を自動発生させることにより審査時間の短縮を図る。そして, この最適部材断面の算出には, 設計実務でも用いる積算手法を利用して施工金額において最少額となるものを自動抽出する方法を用いる。

以下, 第 2 章では, 本論文が提案する審査手法と, スラブ, 小梁, 大梁, 柱の審査に用いる最適断面算出プログラムの概要を示す。第 3 章では, 厳格化された建築基準法に対応した設計例に対する審査を行うことで, 概略審査手法とプログラムの完成度を検証する。第 4 章では, 以上の結論を述べる

2. 構造計算書の概略審査手法

2.1 審査手法の概要

図1が、本論文で提案する概略審査と、新里・成富らが開発した詳細審査との関係を示したものである。概略審査は、審査しようとする柱か梁に作用する曲げモーメントなどを概算する部分と、その応力に耐える最適な部材を選定する部分とで構成する。

作用応力算出は、企画設計段階において使われる方法を用いて略算するものである。これまでのように技術者の勘と経験により支えられてきたこの手法を Excel で作成した作用応力算出シートに情報を入力し、応力の概算値を算出できるようにする。そして断面算出部分では、作用応力に対して適切な部材を自動発生させる。

本研究では最適化の目的関数を、各部材を実際に制作する際にかかる総コストとし、材料の単価、組立費、運搬費などといった、鉄筋とコンクリートにかかるコストの市場価格¹⁰⁾を入力することで、それぞれの断面形状の場合でのかかるコストを積算する。そして、その中でコストが一番安くなるものを最適断面として出力する。それを審査対象のものと比較し、鉄筋の本数不足や寸法が小さかった場合に偽装された恐れがあるものとみなし、詳細な審査を行い偽装を見抜くものとする。

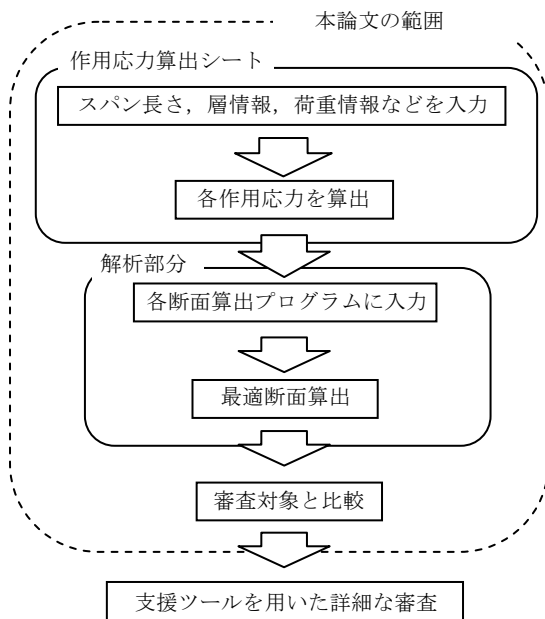


図1 審査の流れ

2.2 スラブの最適断面算出方法

図2と図3は、それぞれスラブの最適断面算出プログラムの流れと断面を算出するために必要な情報を入力する欄を示している。

情報入力欄に、スラブの短辺方向と長辺方向長さ、コンクリートの種類、積載荷重、仕上げ荷重を入力することで、プログラムは図に示すように、入力されたデータから最低限必要なスラブ厚さを算出し、それを初期値とする。次にスラブにかかる荷重から、曲げモーメントを算出する。次にそれを基に、鉄筋間隔を算出し、短辺上端筋、長辺上端筋、長辺下端筋、短辺下端筋を配筋してい

く。ここでは、鉄筋が D10, D13, D10 と D13 が交互に配置される場合の3パターンを計算し、コストが最も安いものが配筋される。

次に、断面情報と、入力した鉄筋やコンクリートの価格を基に総コストを算出し、スラブ厚さを10mm加えて、スラブ厚さが上限に達するまで繰り返し計算を行う。そして最終的に最もコストが安いスラブ厚さのものを最適断面形状として出力する。

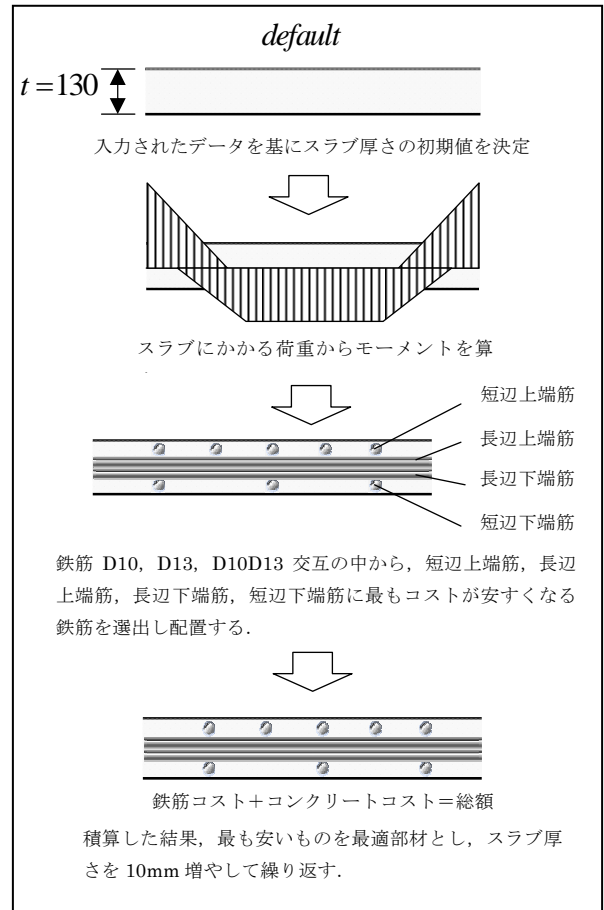


図2 スラブ最適断面算出プログラムの流れ

	B	C	D	E	F
1					
2					
3	短辺方向	長辺方向	コンクリート	積載荷重	仕上げ荷重
4	4000	8000	普通	2.80	0.75
5					

図3 情報入力画面

2.3 小梁の最適断面算出方法

図4には、小梁の最適部材断面算出プログラムの流れを示している。

小梁の場合は、スラブ同様、情報入力欄に図5に示す、小梁の長さ、小梁から小梁がかかる大梁の端までの長さとしてスラブ厚さ、スラブの積載荷重と仕上げ荷重、小梁の仕上げ荷重を入力することで、図4に示すように、上筋の本数を、梁幅の最小寸法を基に、配筋可能な最大本数⁷⁾まで増やしていく。そして最大本数に達したら、次に、上筋の書く場合について下筋を1本ずつ増やしていく、その断面寸法が持つすべての配筋の組み合わせを算出する。

その中から、入力した情報から算出した許容応力度が作用応力以下のものと、引張鉄筋比が 0.4 パーセント以下のものは除外し、残りの断面のなかで、最もコストが安いものを、その断面寸法での最適断面とする。そして、断面寸法を増やして同じ計算を繰り返し、設定した寸法に達した時点での、最もコストの安い断面寸法のものをも最適断面とする。

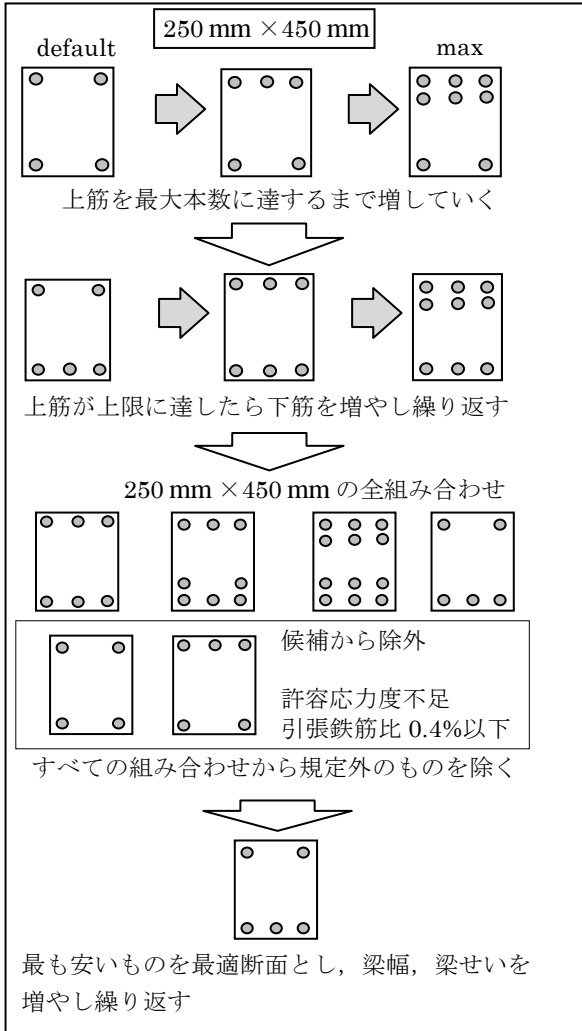


図 4 小梁の最適断面算出プログラムの流れ

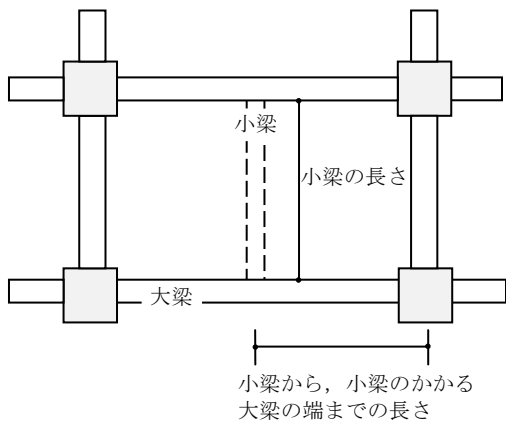


図 5 入力数値

2.4 大梁、柱の算出法

大梁と柱の最適断面算出プログラムは、入力値として、Excel シートで計算した部材に加わる概算作用応力を入力する。

図 6 と図 7 には、Excel で作成した作用応力算出シートを示しており、図 6 に示す長期荷重を算出するものは、審査する柱のある階数と建物の階数、 m^2 あたりの荷重、X,Y 方向スパン、柱の位置、小梁の位置を入力することで、該当階の柱と、上梁に作用する長期応力を算出する。図 7 に示すものは、地震荷重を算出するもので、各層の面積、 m^2 あたりの荷重、建物の高さ、地域係数、地盤種類を入力し、地震力を算出し、足し合わせることで、作用する短期応力を算出する。

1	A	B	C	D	E	F	G
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							

長辺方向スパン= 6 m

長辺方向スパン= 8.5 m

階数= 12 階

該当階= 2 階

荷重= 6.2 kN/m²

図 6 作用応力算出シート（長期荷重）

1	H	I	J	K	L	M
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

面積(m²) 荷重(kN/m²) 分担率_{x,y} = 0.6 0.6

柱本数= 28 本

階高= 3.8 m

地盤= 2

z= 1

h= 43.3 m

図 7 作用応力算出シート（地震荷重）

大梁の最適断面算出は、プログラムの内容自体は小梁のものと同じだが、この場合は作用応力算出シートで算出した梁の端部と中央部の長期荷重時曲げモーメント、地震荷重時モーメント、長期作用せん断力といった応力を入力し、計算を行う。

図 8 には、柱の最適部材算出プログラムの流れを示している。柱も、大梁同様、作用応力算出シートで算出した、長期作用軸力、地震時作用軸力、柱頭、柱脚の X,Y 方向の長期作用モーメント、地震時作用モーメントといった各部の作用応力を入力することで、最小寸法である 400 mm × 400 mm の形状から、鉄筋本数と断面形状の変更を行っていき、断面寸法が上限の 1000 mm × 1000 mm の大きさに達した時、候補のうち、最もコストが安くなった寸法のものをも最適形状として算出する。ただし、柱の場合は、柱幅と柱せいの寸法の差が 100 mm を超えないように、形状変更していくものとしている。

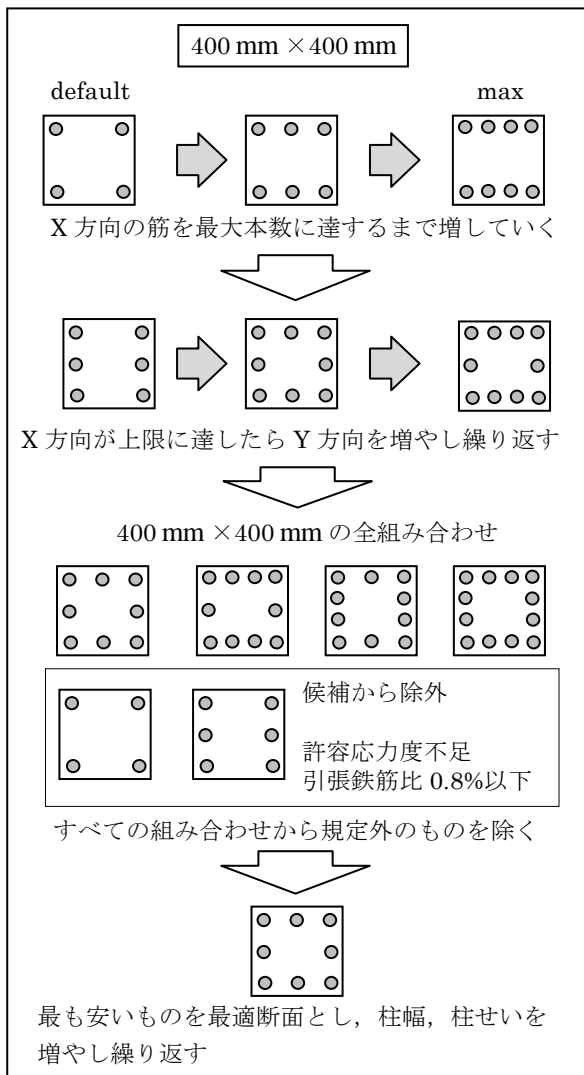


図8 柱の最適断面算出プログラムの流れ

3. 概略審査手法の審査例

3.1 審査例 1

スラブと小梁の審査として概略審査手法及び、プログラムの有効性の検証として、設計例¹⁴⁾の審査を行う。

審査を行う設計例の概要を図9に示す。

1.規模 1階建 最高高さ 3.5m

2.構造 構造種別 鉄筋コンクリート造り

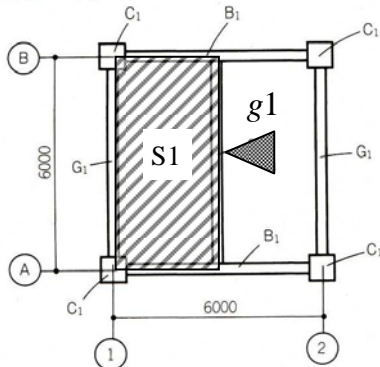


図9 2階梁・1階柱伏図

まずスラブの審査として、R階部分の図9に示すスラブS1の最適断面を算出する。表1には設計例のスラブ断面を、表2にはプログラムが算出した最適断面を示しており、設計例のものは、設計例の短辺上端筋がD10とD13の交互の配筋であることを考慮に入れても、最適断面と同様、またはそれ以上の本数が配筋されており、適切なものであることがわかる。

表1 設計例のスラブ断面

鉄筋	設計例 (厚さ 130mm)		
	規格	数量(本)	間隔 (mm)
短辺上端筋	D10,D13 交互	30	200
短辺下端筋	D10	30	200
長辺上端筋	D10	12	250
長辺下端筋	D10	12	250

表2 算出された最適断面

鉄筋	最適断面 (厚さ 130mm)		
	規格	数量(本)	間隔 (mm)
短辺上端筋	D10	30	200
短辺下端筋	D10	30	200
長辺上端筋	D10	10	200
長辺下端筋	D10	10	200

次に、大梁の審査として、R階部分の図9に示す小梁g1の最適断面を算出する。

表3には設計例の断面と最適断面とを比較したものを示している。ただし、本論文では、せん断力に対する最適化は行っていないので、帯筋の配筋は除外している。

表3に示すように、設計例の断面のほうが、算出した最適断面より、配筋量、寸法ともに大きい数値となっている。確認のため算出された最適断面の候補の中から、審査例と同じ寸法のものを取り出し比較したところ、こちらも最適断面と同じ、または大きい配筋量となっており、設計例のものが適切な断面であるということが出来る。

また作用応力からプログラムが算出したスラブと小梁の断面が実際に最適な断面であるかどうかを、詳細審査時に断面形状の審査に用いるツール²⁾⁻³⁾により審査を行い確認したところ、スラブ、小梁ともに適正な断面であり、鉄筋本数や寸法を多少でも少なく変更すると許容応力度不足となったため、プログラムが最適断面を出力していることが確かめられた。

表3 小梁断面の比較

位置	設計例の断面		最適断面	
	端部	中央部	端部	中央部
R階 g1				
上筋	2-D19	2-D22	2-D19	2-D19
下筋	2-D19	3-D22	2-D19	3-D19

3.2 審査例 2

次に、柱と梁の概略審査手法及び、プログラムの有効性の検証として、純ラーメン構造の設計例¹⁵⁾の審査を行う。

審査を行う設計例の概要を図 10 及び以下に示す。

建築物概要

- 1.規模 5階建 最高高さ 23.4m 軒高 19.9m 延床面積 4970m²
- 2.構造 構造種別 鉄筋コンクリート造
骨組形式 純ラーメン構造(外壁柱際スリット RC 雑壁)

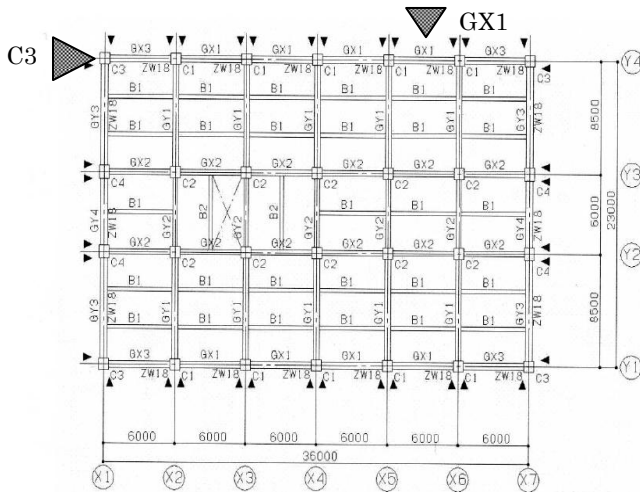


図 10 基準階伏図

まず、大梁の審査として、2階部分の図 10 に示す大梁 GX1 の最適断面を算出する。

表 4 には大梁 GX1 の設計例の断面とプログラムで算出した断面と主筋の配筋を示している。

表 4 に示すように、設計例の断面は、プログラムによって算出された断面よりも大きいものとなっており、こちらも最適断面候補の中から、設計例と同じ寸法の候補を算出し、設計例と比較したところ、端部の配筋については、同様な数値が算出され、下筋についても最適断面候補のものより多く配筋されているためこちらからも、適切な断面であるということが判断できる。

表 4 大梁断面の比較

位置	設計例の断面		最適断面	
	端部	中央部	端部	中央部
2階 GX1				
上筋	5-D29	4-D29	5-D29	2-D29
下筋	4-D29	4-D29	5-D29	2-D29

次に、柱の審査として、2階の図 10 に示す柱 C3 の最適断面を算出する。

表 5 には、設計例の柱の断面とプログラムで算出した断面を示

している。柱も設計例の断面が最適断面のものより、寸法、配筋ともに大きいため、適切な断面であることがわかる。

柱も大梁同様に最適断面候補の中から、設計例と同じ寸法の候補を算出し、設計例と比較したところ最適のものより、主筋が多く配筋されており、十分な耐力をもっているものということがわかる。

大梁・柱の最適断面についても、最適な断面であるかどうかを詳細審査時に断面形状の審査に用いるツール¹⁾により審査を行い確認したところ、大梁、柱ともに適正な断面であり、鉄筋本数や寸法を多少でも少なく変更すると許容応力度不足となったため、プログラムが最適断面を出力しているといえる。

表 5 柱断面の比較

	設計例の断面	最適断面
2階 C3		
配筋	24-D25	20-D25

3.3 審査例 3

次に、耐震壁付きラーメン構造の設計例の審査を行う。

審査を行う設計例¹⁵⁾の概要を図 11 及び以下に示す。

建築物概要

- 1.規模 7階建 最高高さ 43.4m 軒高 39.8m 延床面積 9108m²
- 2.構造 構造種別 鉄筋コンクリート造
骨組形式 耐震壁付きラーメン構造(外壁柱際スリット RC 雑壁)

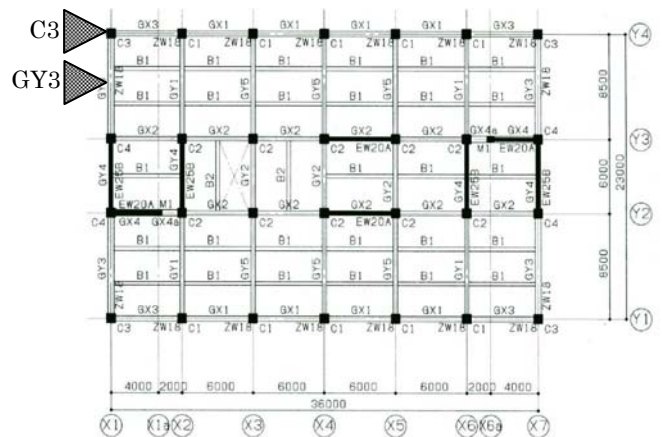


図 11 基準階伏図

まず、大梁の審査として、2階部分の図 11 に示す大梁 GY3 の最適断面を算出する。

表 6 には X 方向の柱と壁の水平力分担率が 7:3、Y 方向の柱と壁の水平力分担率が 6:4 として解析した場合の設計例の断面と最適断面を示している。

表6のものは設計例の断面形状が、最適断面のものより小さくなっており、同じ寸法の最適断面候補のものにおいても最適断面のものが小さいものとなった。しかし、設計例より小さい断面が算出された原因は、図の基準伏せ図から大まかに出した水平力の分担率であると考え、X、Y方向ともに柱と壁の分担率を6:4としたところ、表7に示すように、最適断面は設計例より小さい数値となり、同じ寸法のものでは、端部に関しては設計例のものと同一断面形状となった。

表6 大梁断面の比較 (1)

位置	設計例の断面		最適断面	
	端部	中央部	端部	中央部
2階 G X 1				
上筋	9-D32	6-D32	10-D32	2-D32
下筋	8-D32	6-D32	10-D32	3-D32

表7 大梁断面の比較 (2)

位置	設計例の断面		最適断面	
	端部	中央部	端部	中央部
2階 G X 1				
上筋	9-D32	6-D32	8-D32	2-D32
下筋	8-D32	6-D32	7-D32	3-D32

次に、柱の審査として、2階の図11に示す柱C3の最適断面を算出する。ただし水平力の分担率に関しては、X、Y方向ともに柱と壁の分担率を6:4とする。

表8には、設計例の柱の断面と最適断面を示している。

表8に示すように、設計例と最適断面の形状は大きく違ったものとなっている、これは本論文では、1次設計しか考慮しておらず、保有水平耐力設計で断面が決まる部材に対する断面算出に対応できていない結果と思われる。

表8 柱断面の比較

位置	設計例の断面	最適断面
	2階 C 3	
配筋	22-D32	8-D32

4. まとめ

本論文では、構造計算書審査技術の開発として、概略審査手法を用いた構造計算書審査手法を提案した。また開発した部材の最適断面算出プログラムを用いて設計例に対し審査を行うことで概略審査手法の有効性とプログラムの完成度の検証を試みた。

スラブ、小梁、そして純ラーメン構造の設計例において概略審査手法の検証した結果、スラブ、小梁、そして純ラーメン構造における大梁、柱それぞれにおいて、設計例の断面がプログラムの算出した最適断面と同じまたは大きい断面形状となり、概略審査手法の有効性が確かめられた。

また、出力した最適断面を詳細審査手法で用いる、断面審査ツールにより確かめたところ、プログラムは最適化された断面を出力していることが確かめられた。

しかし、耐震壁付きラーメン構造の審査においては審査例の断面が最適断面より小さくなるという結果となった、最適断面算出プログラム自体は最適断面を詳細審査手法で審査した結果、最適化されたものであり、機能していることが確かめられ、原因は柱と耐震壁の水平力の分担率であると考えられる。また作用応力を算出する際の誤差によることも考えられ、作用応力シートに正確に柱と耐震壁の分担率を算出する機能を付加することに加え応力の精度の向上が必要である。

- 1) 朝川剛, シンポジウム 建築構造設計の第一歩-構造解析法の基礎から応用まで, 日本建築学会, pp.236-239, 2007.9
- 2) 藤井大地, 新里智美, 成富麻里, 北本拓也, 偽装を見抜くための構造計算書審査技術に関する研究, 近畿大学工学部卒業論文, 2006
- 3) 北本拓也, 藤井大地, 三好引泰, 河野龍, 構造計算書審査技術に関する研究-審査の厳格化における審査技術の検証-, 日本建築学会中国支部研究報告集 第31巻, 2007.3
- 4) 佐藤邦昭, 構造設計論, 鹿島出版会, pp.173-197, 2000.11
- 5) SE委員会, 新構造計算の実務 知っておきたい根拠と実務, 株式会社建築技術, PP.34-38
- 6) 上野嘉久, 実務からみたRC構造設計, 2006.7
- 7) 上野嘉久, 構造計算書で学ぶ鉄筋コンクリート構造, 株式会社学芸出版社, 2007
- 8) 山田修, やさしい建築の構造設計計算, オーム社, pp.6-8, 2001.2
- 9) エクスナレッジミック, ラクラク建築構造マニュアル, 株式会社エクスナレッジ, 2008
- 10) 経済調査会, 積算資料, 2008.7
- 11) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート構造設計基準同解説(許容応力度設計法), 1999
- 12) 藤井大地, Excelで解く構造力学, 丸善株式会社
- 13) 嶋津孝之, 福原安洋, 佐藤立美, 太田和彦, 新しい鉄筋コンクリート構造, 森北出版株式会社, pp.99, 2002
- 14) 松井源吾, 西谷章鉄筋, コンクリート構造入門[改訂版], 鹿島出版社, pp.201-202, 2001
- 15) 国土交通大臣指定耐震改修支援センター, 財団法人日本建築防災協会, 構造設計・部材断面事例集, pp.320-327, 2007.6