構造計算書審査技術に関する研究

— 概略審査手法と詳細審査手法による審査の効率化 —

北本拓也 — * 1 藤井大地 — * 2

キーワード：
改正建築基準法, 作業量の分析, 審査の効率化

Keywords:
A revised building law, An estimation of work load, Effective working

1 序論

1-1 研究の背景

本研究では、構造計算書の審査技術の向上を目的とし、構造計算書の審査を効率化する手法の開発を行っている。前報告¹⁾では、構造計算書の審査に必要な事項を体系化し、その体系化に基づいて作成した審査支援ツール(RC造)を提示した。また、この審査支援ツールは、2007年6月施行の改正建築基準法(以下、「改正法」という)による厳格化審査^{注1)}に対応したものであることを示した。

ところで、この厳格化審査は、設計者が作成した構造計算書の計算過程を、設計とほぼ同じプロセスで1ステップずつ審査していくもので、審査に相当な作業量を要する。改正法は、2005年11月に発覚した耐震強度偽装事件の教訓から、偽装設計・不適切設計を確認申請の審査の中で検出することを目的としたものであったが、設計する側にも審査する側にも大きな混乱が生じた。この混乱の一因として、改正法が規定した厳格化審査は、相当な作業量を要するものであったことがその背景にあったのではないかと考えられる。こうしたことから、審査日数の短縮や審査作業の効率化は今日的な課題である。

1-2 研究の目的

本報告では、改正法が規定した厳格化審査の作業量を示す副次的な資料とするために、作業内容を分析し、部分的にはあるが作業量と作業時間を試算する。

一方、構造計算書の審査方法は、改正法が要求している審査方法の他に、審査対象の建物規模であれば標準的にこの程度の大きさの部材が必要とされるという資料を用意し、設計されている部材断面と比較することで明らかに耐震要素の貧弱な設計を検出するという方法も考えられる。ここでは、前者の審査方法を「詳細審査」、後者の審査方法を「概略審査」と呼ぶことにする。詳細審査は、より確実に不適切設計を検出することができるが、膨大な作業時間を要す

A STUDY ON STRUCTURE CHECKS EXAMINATION TECHNOLOGY

— Effective working by outline examination and detailed examination —

Takuya KITAMOTO — * 1 Daiji FUJII — * 2

The revised building standard law established in 2007 confused building confirmation application process in building work places. This cause of the confusion is related to the strict examination duty ruled by the revised law. In this paper, the contents of the strict examination were analyzed, the work rate was measured, and the working time was measured. Furthermore two techniques to make the examination process more efficient were proposed. One is an effective technique in strict examination, and another is an outline examination. In the outline examination the work rate is small, however a building confirmation application can't be judged exactly. In contrast, in strict examination work rate is heavy, however a building confirmation application can be judged more exactly. Both examination methods have different concept, however using both methods in coordination can make the examination process more effectively. In the previous paper, the strict examination process was shown, and in this paper outline one is mainly discussed.

るという短所を持っている。一方、概略審査は、より短い時間で耐震要素の貧弱な設計を検出できるが、標準的な設計よりも貧弱であるからと言って不適切な設計であるとは断定できないという短所を持っている。これらの関係を図1に示す。これらの長所・短所を踏まえて、概略審査で疑問ありと判断された設計やその建物の疑問ありとされる部位を重点的に詳細審査でチェックするという手法で審査の効率化を図る方法が考えられる。

そこで、本報告では、概略審査を支援するツール(RC造)を提示し、また、前報告で示した詳細審査の支援ツールに改良を加え、この二つの支援ツールにより審査作業を効率化する手法を示す。

2 改正法が規定した厳格化審査の審査作業

2-1 審査作業内容と作業量の分析

改正法では審査内容を告示で規定し義務付け^{注1)}ている。改正法が義務付けた審査内容は、「建築士免許の写しが添付されていること(の審査)」といった添付書類の審査を含め、構造設計のどの過程において偽装・不適切設計が行われていたとしても検出できるよう各段階における審査事項を定めている。改正法が規定する厳格化審査の内容を模式図で示すと図2のようになると考えられる。これは、前報告の表1を模式図として示したものである。

図1 概略審査と詳細審査

本稿は日本建築学会中国支部研究発表会(2009.3)(2010.3)において発表。

¹⁾ 広島県 工修
(〒730-8511 広島市中区基町 10-52 広島県総務局営繕課内)
²⁾ 近畿大学工学部 教授・博士(工学)

¹⁾ Hiroshima Prefecture Office, M. Eng.

²⁾ Prof., Faculty of Engineering, Kinki Univ., Dr. Eng.

図2 厳格化審査(詳細審査)の審査イメージ

次に、図2に示した審査の作業内容を分析する。

図2のAからHの各段階において実施する審査作業を表1に示す。また、表1では、審査事項の一部(CとD)についてその具体的な作業内容も例示している。表1は作業内容の一部だが、審査に必要な事項をすべて書き出すとA4判15ページになる^{注2)}。

次に、この審査に必要な作業量を定量的に示すことを試みる。本報告では、改正法が規定する審査の全体の作業量を示すことはできなかったが、Hの「断面算定を審査」についてのみ、その審査作業量を試算する。

作業量を試算する方法は、その審査に当たって必要となる数値の読取り回数、数式の選定回数、数式に数値を入れて計算する回数、結果を判断する回数など、作業に必要な工程数を示す方法とする。この必要工程数は、審査担当者が図表を用いながら手計算で構造計算書の断面算定を審査し、同時に最低鉄筋量などの仕様書の規定の審査も行うことを想定している。

まず、4辺固定スラブの審査に必要な作業量を分析する。作業量算出の前提となる条件と作業内容の概要を表2に示す。さらに、

表3に必要な作業工程を示す。これに基づいて必要な作業工程を数えた結果を表4のスラブ欄に示す。

同じことを小梁、梁、柱について行う。紙面の都合上、小梁、梁、柱の前提条件と作業概要・作業工程は省略し、作業工程数のみを表4に示す。表4により、スラブ1枚の審査に必要な作業工程数は58、小梁1本は83、梁1本は146、柱1本は173であることがわかった。

2-2 作業時間の試算

次に、審査作業に要する時間を算出することを試みる。作業時間の試算は、それぞれの作業工程に何秒の時間を要するかを想定して積算する。表4の作業工程のうち「計算」は、電卓で計算することを想定するため、[1つの数値の入力]、[途中数値を紙に転記する作業]、[計算結果を読取って紙に記載する作業]の3つに分解するものとする。この考え方に基づき表4を書き直すと、表5のようになる。この作業工程数のそれぞれに1回の作業時間を乗じて積算した結果が同表の合計作業時間である。この結果、1枚のスラブの断面算定の審査(仕様書の規定の審査を含む。以下同じ)に約8分、小梁1本に約13分、梁1本に約23分、柱1本に約27分の時間を要することが試算できた。

3 概略審査による審査の効率化

3-1 概略審査手法の概要

審査対象建築物の規模等を勘案して、標準的に必要と考えられる部材断面寸法と設計された部材断面寸法を比較する審査手法は、明らかに構造要素が貧弱なものを検出するための簡易な手法である。この審査手法において必要とされるものが、「標準的に必要と考えら

表1 厳格化審査の審査内容

A 計画概要を把握 A1:各階の床面積の算出が正しいかどうかの審査(目的:床面積は固定荷重などの算出の基本となる数値であり、これを少なく算出し荷重を不当に小さくしていないかどうかを検出する) A2:最高高さの数値が正しいかどうかの審査(目的:本当は20.1mなのに地盤面を操作して19.9mと記載しルート1での設計が成立するかのよう申請を検出する他、地震力算出における不適切設定を検出する) など	
B 計画図から構造図への整合を審査 B1:計画図上の柱梁壁の配置のとおり構造図で図面化されているかの審査 B2:スパン割、階高が正しく構造図で図面化されているかの審査(計画図の通り芯から躯体芯のずれの整合性審査を含む) B3:計画図で示されている寸法で、構造図の躯体寸法が確保できることの審査 など	
C 構造要素のバランスを審査 片持ち梁の根元の部分が十分な構造体に取り付けられているかどうかといった構造体として整合しない設計を検出する。	
D 構造各部の仕様書の規定を審査 柱主筋の最低鉄筋量が適合しているかどうかなどの審査	
E 構造図から構造計算書への整合を審査 躯体のスパン割が正しく構造計算に用いられているかどうかや壁のスリットが正しく入力されているかどうかなどの審査	
F 外力算出を審査 F1:積載荷重の算出を審査 F2:仕上り荷重、躯体荷重の算出を審査 F3:地震荷重の算出を審査 など	
G 骨組み解析を審査 G1:剛床仮定などのモデル化を審査 G2:計算ルートの適合を審査 G3:柱梁の断面2次モーメントの数値の審査(柱梁接合部の剛域長さの審査、壁剛性の審査を含む) G4:解析結果である各部の作用モーメントなどの数値の審査	○ベランダなどでもあまりにも出幅の長い(例えば2m以上)片持ちスラブはないか→[ない=OK, ある=注意] ○片持ちスラブの根元は、そのモーメントを支えるだけの受け材(梁)があるか→[ある=OK, ない=注意] ○片持ちスラブでないスラブはその4周に連続して梁があるか→[ある=OK, ない=注意] ○4周を梁で囲まれるスラブの面積が極端に大きい(例えば30㎡以上)ものはないか→[ない=OK, ある=注意] ○屋上のペントハウスの外壁の下にそれを受ける梁があるか→[ある=OK, ない=注意] ○重量のある設備機器の下にそれを受ける梁があるか→[ある=OK, ない=注意] ○片持ち梁がある場合、その片持ち梁の根元はそのモーメントを受けるための柱又は梁が同一構面にあるか→[ある=OK, ない=注意] ○極端にスパンの長い(例えば10m以上)梁はないか→[ない=OK, ある=注意] ○梁配筋は両端は上端が、中央は下端が多く配置されているか(地盤反力を受ける基礎梁についてはその逆、つまり、両端は下端が、中央は上端が多く配筋されているか)→[YES=OK, NO=注意] ○小梁を受ける梁は、その小梁よりも梁丈が大きいか→[YES=OK, NO=注意] ○大きい面積のスラブ荷重を受ける梁ほど梁丈が大きくなっているか→[YES=OK, NO=注意] ○柱は、下の階ほど太く(または鉄筋量が多く)、広い面積の床を支えるものほど太く(または鉄筋量が多)くなっているか→[YES=OK, NO=注意] ○柱は、その頂部から基礎梁まで垂直につながっているか。つまり、柱の下に柱がないものがあるか→[柱は基礎までつながっている=OK, つながっていないものがある=注意] ○斜め柱はないか→[ない=OK, ある=注意] ○X方向、Y方向以外の構面の梁はないか→[ない=OK, ある=注意] ○建物外周のすべての入角・出角には柱があるか→[ある=OK, ない=注意] ○耐力壁は、X方向にもY方向にも配置されており、偏らずほぼ均等に配置されているか→[YES=OK, NO=注意] ○耐力壁は下の階ほど多くなっているか→[YES=OK, NO=注意] バランスの審査だけで不適切設計を特定できるわけではない。上記で「注意」になった場合は、そのバランスの悪さを構造計算によって解決していることを、G、Hでチェックする。
H 断面算定を審査 算出された作用モーメント、せん断力、軸力に対して、その柱梁などが許容応力度内に納まっていることなどの審査	<小梁、梁> 梁の全スパンに渡り、上端にも下端にも主筋があるか→[YES=OK, NO=NG(法令上は例外あり)] 両端の上端、中央部の下端の主筋の鉄筋量は、0.4%以上あるか→[YES=OK, NO=長期モーメントについて必要とする鉄筋量を4/3倍にした鉄筋量があることの検討が必要(法令外)] 主筋は、異形鉄筋D13以上であるか→[YES=OK, NO=NG(法令外)] あばら筋は、異形鉄筋D10以上であるか→[YES=OK, NO=NG(法令外)] あばら筋の間隔は、梁丈の半分以下かつ250mm以下であるか→[YES=OK, NO=NG(例外あり, 法令外)] 注意:法令上の制限値は梁丈の3/4以下である。 あばら筋比は、0.2%以上であるか→[YES=OK, NO=NG(法令外)] 梁の有効筋さは、その梁の梁丈の1.0倍以内であるか→[YES=OK, NO=たわみ検討が必要] 備考:「NG(法令外)」とは、法令上は定めがないためこれを直接的に違法とする条文はないけれども、学会規準等で排除されているもの 柱、スラブ、耐力壁は、紙面の都合上、省略した。

表2 作業量算出の前提条件と作業概要

< 4 辺固定スラブの前提条件 >	
スラブの構造図が示されており、配筋が示されている。	
スラブの仕上げ重量と積載荷重の合計 (N/㎡) の数値が示されている。	
< 同、作業概要 >	
スラブ厚さの最小値条件の適合を審査。	
長辺方向・短辺方向の配筋間隔を審査。	
スラブ厚さからスラブ自重を算出し、既値の積載荷重などと合わせることでスラブの面積あたり荷重を算出し、スラブ各部に生じる曲げモーメントを算出。	
スラブ厚さ、かぶりなどから d を算出し、鉄筋量とで許容曲げモーメントを算出。	
これらで、許容応力度以下であることを審査。	
(許容応力度以下であることの審査箇所は、短辺中央下、短辺端部上、長辺中央下、長辺端部上の 4 箇所)	
※紙面の都合上、小梁・梁・柱は掲載を省略する。	

表4 作業工程数

作業内容	スラブ	小梁	梁	柱
数値の読取	9	13	25	36
文字の読取	1	2	2	2
数値の選定	2	4	4	4
数式の選定	6	18	9	11
グラフの読取	0	2	9	8
計算	25	34	69	81
判断	15	10	28	31
合 計	58	83	146	173

表3 必要な作業工程(スラブ)

作業	検証に必要な情報・作業の内容	作業の細分
数値の読取	スラブの短辺長さ(mm)	
数値の読取	スラブの長辺長さ(mm)	
数値の読取	スラブの厚さ(mm)	
数値の読取	スラブのかぶり厚さ(mm)	
数値の読取	仕上げ荷重+積載荷重(N/㎡)	
文字の読取	鉄筋の SD295、SD345 の別	
数値の選定	使用鉄筋の許容応力度の選定	
判断	最低スラブ厚さの適合判定	判断
判断	スパン厚さ関係の適合判定	数式の選定
	式: t/l_s	計算
判断	判定: $t/l_s \geq 1/30$	判断
	変位制限の適合判定	数式の選定
判断	式: $\lambda = l/l_s$	計算
	式: $t_{min} = 0.02 * ((\lambda - 0.7) / (\lambda - 0.6)) * (1 + w_g / 10000 + l_s / 10000) * l_s$	計算
判断	判定: $t_{min} \leq t$	判断
	スラブ自重(N/㎡)の算出	数式の選定
算出	式: $w = t * 24$	計算
	作用モーメントの算出	数式の選定
算出	式: $M_s = l_s^4 / (l_s^4 + l_y^4) w$	計算
	式: $M_{ci} = 1/12 * w_g * l_s^2$	計算
数値の読取	鉄筋径、ピッチ	× 4
数値の選定	使用鉄筋の断面積の選定	× 4
判断	鉄筋ピッチの適合判定	判断
判断	最低鉄筋量の適合判定	数式の選定
	式: $\rho = a / (d * @)$	計算
判断	判定: $\rho \geq 0.2\%$	判断
	許容モーメントの算出	数式の選定
算出	式: $d = t - a - d_i / 2$	計算
	式: $j = 7/8 * d$	計算
算出	式: $M = a_s * f_y * j$	計算
	検定比の算出	計算
判断	許容応力度内の判断	判断

枠右側の数字は、その工程の回数

表5 作業工程数と作業時間

作業内容	スラブ	小梁	梁	柱	1回の時間
数値の読取	9	13	25	36	(ア) 5 秒/回
文字の読取	1	2	2	2	(イ) 5 秒/回
数値の選定	2	4	4	4	(ウ) 5 秒/回
数式の選定	6	18	9	11	(エ) 5 秒/回
グラフの読取	0	2	9	8	(オ) 10 秒/回
計算	数値の入力	82	137	231	(カ) 3 秒/回
	途中数値の転記	5	2	10	(キ) 3 秒/回
	結果の読取・記載	25	34	69	(ク) 5 秒/回
	判断	15	10	28	(ケ) 1 秒/回

合計作業時間	491	802	1386	1597	←単位: 秒
--------	-----	-----	------	------	--------

上記の(ア)から(ケ)の各工程における1回の作業時間は、次のように想定した。上記の秒数は、単に想定しただけであり、特に裏づけはない。

(ア) 図面・計算書をめくって探して数値を読取り、転記するまでの時間 (イ) 図面・計算書をめくって探して文字を読取り、転記するまでの時間 (ウ) 例えば、鉄筋D10の断面積であれば、鉄筋断面積表を探して、その表の中の断面積を読取り転記するまでの時間 (エ) 例えば、作用モーメントの算出であれば、 $M_{ci} = 1/12 * w_g * l_s^2$ という式を探すのに必要な時間(審査担当者はその式の存在を知っているものとし、その式を再確認する時間) (オ) グラフから対応する数値を読取り、転記するまでの時間 (ハ) 数値を電卓に入力し、入力した数値を確認し、「+」「=」などのキー操作をするまでの時間 (キ) 式の計算と中において途中段階の数値を仮に書き留める時間 (ク) 計算結果を読取って、数値を転記し、審査対象である構造計算書の数値を探して照合するまでの時間 (ケ) 計算結果から「OK」「NG」を判断する時間

れる部材断面寸法を導き出す技術」である。例えば、文献「構造設計・部材断面事例集²⁾」は、各種構造・規模のサンプル設計が掲載されており、審査対象建築物の構造・規模に近いサンプル設計の断面寸法を見ることで、標準的な断面寸法を知ることができる。また、熟練した構造技術者であれば、詳細な設計や正規の構造計算の前段で行う企画設計において、柱・梁への作用応力を概算で算出し、必要断面を仮定することが実務上行われている。

本報告で提示する手法は、後者によるものである。すなわち、企画設計段階において用いられる概算作用応力算出手法をシステム化し、これによって算出された作用応力を支持することが可能な柱・梁部材断面のうち、施工金額が最小となるもの(これを、「推奨部材断面」と呼ぶ)を選出するものである(図3)。

3-2 1次設計における概算作用応力の算出

躯体自重の正確な計上・累計や構造体をモデル化したの構造解析をすることなく、構造図に記された表面的な情報のみを利用して、求めようとする柱に作用する軸力や梁に作用する曲げモーメント値(長期時、短期時)などを概算する手法を提示する。

図4は、1次設計における作用応力を概算する手順を示したものである。図4に示す手法は、一般的に構造設計者が企画設計段階において概算で構造部材を定める際に用いてきた手法であり、文献「現代建築学構造設計論³⁾」を用いて具体化したものである。

3-3 2次設計における概算作用応力の算出

次に、2次設計(保有水平耐力設計)の必要保有水平耐力によってそれぞれの柱・梁に作用する軸力や曲げモーメントを、3-2(1次設計)と同様に概算する手法を示す。ただし、2次設計においては、①審査しようとする設計の柱・梁の性状によってD_s値が変化するため、建物全体に作用する水平力である必要保有水平耐力自体が

変化するものであること

②1次設計では剛性の違いによって応力が配分されるのに対して、2次設計では部材が持つ耐力の違いによって配分されるものであり、梁の曲げ耐力はスラブ筋が引張り力に貢献するため一般に上筋が引張りになる曲げ耐力の方が、下筋が引張りになる曲げ耐力よりも大きくなることの考慮が必要であること

など、1次設計との若干の差異を考慮する必要がある。

図5は、2次設計における作用応力を概算する手順を示したものである。

3-4 耐力壁の水平力分担率の推定手法

耐力壁付きラーメン構造の建築物の場合、耐力壁と柱梁ラーメンとがどれだけの割合で水平力を負担するかを推定する必要がある。これは、3-2の図4のF-①と3-3の図5のI-①で必要になる数値でもある。ここでは、耐力壁の水平力分担率を推定するための考え方を整理する。

図3 概略審査手法の概要

<荷重データの算出>

A-① スラブ厚さ、柱梁寸法から自重を算出

A-② スラブの仕上げ荷重・積載荷重を手入力

A-③ 壁・バルコニーなど付帯荷重を手入力

<梁の長期曲げモーメント等の算出>

B-① Aを用いて梁長さ・小梁位置などから梁の CM_0Q_0 を算出

B-② 端梁では、外端の曲げモーメントを $0.6C$ 、内端の曲げモーメントを $1.2C$ とする。それ以外の梁では、両端の曲げモーメントを C とする。端部のせん断力は Q_0 とする。

<柱の長期軸力の算出>

C-① A を用いてスパン割から柱に軸力として作用する範囲内の床・小梁・梁・柱の荷重を積算し、1階分の荷重を算出

C-② C-①を用いて求めようとする柱よりも上の階の層数を乗じて柱軸力を算出

<柱の長期曲げモーメント等の算出>

D-① B-②の梁端曲げモーメント(内柱の場合は左右の梁の差)を上階柱の柱脚と下階柱の柱頭に配分する。

D-② 1階であれば D-①の半分の、それ以外であれば上を柱脚曲げモーメントとする。

D-③ D-②を用いて柱の長期せん断力とする

<建物全体の地震層せん断力を算出>

E-① A とスパン割からばあたり荷重を推測

E-② 各階床面積と E-①を用いて各階の自重を算出

E-③ E-②を用いて A_i 分布を算出して地震層せん断力を算出

<地震力による柱の曲げモーメント等を算出>

F-① E-③を水平力分担率により、柱分と耐力壁分に分割する。

F-② F-①の柱分をその階の柱本数により配分する。この時、外柱は内柱の0.7倍になるように配分しこれを柱のせん断力とする。

F-③ F-②を用いて各階の反曲点高比に応じて柱頭・柱脚に曲げモーメントを配分する。(反曲点高比:1階は 0.55, 中間階は 0.5, 最上階は 0.45)

<地震力による梁の曲げモーメント等を算出>

G-① F-③の柱頭曲げモーメントを用いてその上の階の柱脚曲げモーメントを E-③地震層せん断力分布により低減して求める。

G-② G-①と F-③を用いて梁端曲げモーメントを算出

G-③ 端梁以外では他端の曲げモーメントを同じ値とするが、端梁では G-②により求めた外端曲げモーメントを外柱・内柱の配分を考慮して、 $1/(0.7*2)$ を乗じて内端モーメントとする^(注3)。

<建物全体の必要保有水平耐力を算出>

H-① その階の柱及び梁の部材群としての種別、耐力壁の部材群としての種別、耐力壁の水平力分担率から D_s 値を算出

H-② その階の剛性率・偏心率から F_{es} 値を算出

H-③ H-①とH-②とE-③の C_0 を 1.0 にして必要保有水平耐力を算出

<必要保有水平耐力による柱の曲げモーメント等を算出>

I-① H-③を水平力分担率により、柱分と耐力壁分に分割する。

I-② I-①の柱分をその階の柱本数により配分する。この時、引抜側となる外柱は内柱の0.6倍、圧縮側となる外柱は内柱の0.8倍になるように配分してこれを柱のせん断力とする。

I-③ I-②を用いて各階の反曲点高比に応じて柱頭・柱脚に曲げモーメントを配分する。(反曲点高比:1階は 0.55, 中間階は 0.5, 最上階は 0.45)

<必要保有水平耐力による梁の曲げモーメント等を算出>

J-① I-③の柱頭曲げモーメントを用いてその上の階の柱脚曲げモーメントを E-③地震層せん断力分布により低減して求める。

J-② J-①と I-③を用いて梁端曲げモーメントを算出。ただし、端梁以外では下引張りの曲げモーメントは上引張りの曲げモーメントよりの0.7倍になるように配分する。

J-③端梁以外では他端の曲げモーメントを同じ値とするが、端梁ではJ-②により求めた外端曲げモーメントを外柱・内柱の配分を考慮して、 $1/(0.6*2)$ を乗じて内端曲げモーメントとする^(注4)。

J-④ J-②, J-③を用いて梁せん断力を算出

<必要保有水平耐力時の梁せん断力から作用する柱軸力の算定>

K-① 外柱では0とするが、内柱ではJ-④にその柱に取り付く梁の本数を乗じて柱への作用軸力とする。

図5 2次設計における概算応力の算出

1次設計における水平力は、弾性設計であるため、柱と耐力壁の剛性によって配分されると考えられるが、実際には、耐力壁に水平力が作用した場合に生じる脚部の引抜に抵抗可能な長期荷重を超えて抵抗することはない^(注5)。このため、柱下部で引抜が生じないことを限度として耐力壁に作用する水平力を概算するものとした。

図6(左側)は、1次設計における耐力壁の水平力分担率を算出する手順を示したものである。このうち、建築物全体に作用する地震力は、図4で示した方法で概算が可能であり、長期荷重による反力も同様の方法で概算した柱の長期軸力に1階の床荷重と基礎梁自重を加えることで概算が可能である。また、境界梁の短期許容曲げモーメントは、第4章で作成した計算シートに梁の断面形状を入力することで算出できる。境界梁の曲げモーメントとせん断力によって

図4 1次設計における概算応力の算出

1次設計

<1階における耐力壁の水平力分担率が100%であるとした場合の地震力による転倒モーメントを算出>

① 図4のE-③で各階の地震層せん断力を算出

② 上の階ほど水平力分担率が下がることを考慮する低減係数 α を用いて各階の①を2階なら $(1-\alpha)^2$ 倍、3階なら $(1-\alpha)^3$ 倍、n階なら $(1-\alpha)^n$ 倍する。

③ 各階の②を用いて上の階との差をもって耐力壁への作用力を算出

④ 各階の③にその床のGLからの高さを乗じて合計することで地震力による耐力壁の転倒モーメントを算出する。

<長期荷重による柱下の支点反力を算出>

⑤ 1階柱の長期軸力を図-1のC-②で算出

⑥ 1階床の影響範囲内の床荷重(自重+積載荷重)と梁・壁の自重を図-1のA-①～③と同様に算出

⑦ ⑤+⑥で柱下の支点反力を算出

<長期荷重等による耐力壁が転倒することに抵抗するモーメントの算出>

⑧ ⑦に耐力壁両端の柱間距離を乗じて長期荷重による抵抗モーメントを算出

⑨ 耐力壁に接している梁(境界梁、地中梁を含む)の両端の短期許容曲げモーメントを算出

⑩ ⑨の両端の和をその梁の長さで除してその時のせん断力を算出

⑪ ⑩のせん断力の各階の合計に耐力壁両端の柱間距離を乗じて梁せん断力による抵抗モーメントを算出

⑫ ⑨のうち耐力壁に接している側の梁の曲げモーメントの合計に⑪を加えたものに影響係数 β を乗じて境界梁による抵抗モーメントを算出(負の数になる)

⑬ ⑧に⑫を加算して耐力壁の抵抗モーメントを算出

<耐力壁の水平力分担率を算出>

⑭ ⑬を④で除して耐力壁の水平力分担率を算出

2次設計

<1階における耐力壁の水平力分担率が100%であるとした場合の地震力による転倒モーメントを算出>

① 図5のH-③で各階の必要保有水平耐力を算出

② 1次設計②と同じ処理をし、同③と④の計算で耐力壁の転倒モーメントを算出

<長期荷重等による耐力壁が転倒することに抵抗するモーメントの算出>

③ 1次設計⑧で算出した長期荷重による抵抗モーメントをそのまま用いる。

④ 1次設計⑨を梁端の全塑性モーメントに置き換えて算出

⑤ 1次設計⑩⑪と同じ処理をし、梁せん断力による抵抗モーメントを算出

⑥ ④のうち耐力壁に接している側の梁の曲げモーメントの合計に⑤を加えたものに影響係数 β を乗じて境界梁による抵抗モーメントを算出(負の数になる)

⑦ ③に⑥を加算して耐力壁の抵抗モーメントを算出

<耐力壁の水平力分担率を算出>

⑧ ⑦を②で除して耐力壁の水平力分担率を算出

図6 耐力壁の水平力分担率の推定

880

引拔を制止する効果に影響係数 β を乗じているのは、地震荷重作用時に全ての梁が短期許容応力度ぎりぎりの状態になっているものではないことを考慮するためである。また、上の階ほど水平力分担率を低減する係数 α は、連層耐力壁の場合、上の階ほど壁の曲げ変形による変位の影響が加わるため、見かけ上の剛性が下がり、水平力分担率も下がることを考慮したものである^{注6)}。

同じ考え方で、2次設計における耐力壁の水平力分担率も推定できる(図6(右側))。1次設計との主な違いは、水平力として必要保有水平耐力を用いることと、境界梁で生じる曲げモーメントとして全塑性モーメントを用いることである。

3-5 推奨部材断面の算出

次に、3-2、3-3で算出した概算作用応力(1次設計、2次設計の概算値)を許容する柱・梁の部材断面を算出する。算出の際の部材断面の許容応力度の検証では、同時に最低鉄筋量などの仕様書の規定のチェックや、曲げモーメント及びせん断力、長期時、短期時及び保有水平耐力時、梁であれば両端及び中央に加えて4分の1位置での検証を行い、柱であれば、軸力を考慮して柱頭及び柱脚を検証し、X方向及びY方向を検証するとともに、長期についてはX方向Y方向同時作用を検証する。これは、梁・柱に求められる断面検証のすべて^{注7)}を行うことであり、具体的には、第4章で作成した計算シートに必要なデータを入力することで行う。

上記の断面検証は、部材断面が十分に大きければ適合するものだが、概略審査を実現するためには、断面検証を適合させ、かつ、最もスリムな部材断面を選出する必要がある。この報告で提示する選出方法は、設計実務で用いる積算法^{注8)}を利用して積算による施工金額上で最も低い金額になる鉄筋本数・部材断面のものを選び出すものである。

3-6 開発例と有効性の検証

図4の考え方にに基づき1次設計の概算応力を算出するためのツールとして開発したものが図7である。このシートにスラブ厚さや柱梁の断面寸法を入力することでRC部材の固定荷重が自動計算され、スパン長や小梁方向を入力することで梁の CM_0Q_0 が自動計算され、求めようとする部位が外柱であるか内柱であるかに応じて図4の計算式を用いて柱・梁に作用する応力が概算される。また、2次設計の概算応力を算出するシートは、図7のデータを利用しながら新たに部材種別のデータ入力をして算出するようにしている。2次設計の計算シート、また、図6の考え方をを用いて水平力分担率を推定する計算シートは、紙面の都合上、掲載を省略する。

次に、これらの計算シートを利用して作用応力の概算値を算出し、実設計と比較する。図8は、鉄筋コンクリート造3階建て1階外柱と2階梁の作用応力の計算例である。図より、1次設計の地震時、2次設計について、実設計の結果に対して概算値というレベルでは近似した数値を出力していることがわかる。図9は、図8と同じ建物で、耐力壁が内柱にある場合、外柱にある場合、隅柱にある場合の1次設計及び2次設計の耐力壁の水平力分担率を示したものである。図より、同じ壁でも、位置によって引き抜き抵抗力が変化し、水平力分担率も変化することがわかる。また、算出された概算値は、実設計の結果の傾向をよく反映していることがわかる。

次に、実設計の柱・梁部材と本報告による推奨部材断面とを比較する。比較する実際の設計として、構造設計・部材断面事例集²⁾の

図7 概算応力算出シート(1次設計)

図8 概算応力算出例(RC造3階建て)

設計例3-4(RC造事務所5階建て、耐力壁付きラーメン構造)と3-5(同10階建て)を用いる。柱・梁部材断面を算出した結果は、表6のとおりである。表より、設計例の設計断面に対して、概略審査のレベルとしてはおおむね近い断面を算出していることがわかる。

前報告では、計算過程で生じる1ステップごとの数値のチェックに重点を置いたため、例えば、小梁の審査では、2種類の CM_0Q_0 表を使って梁端などの CM_0Q_0 を算出し、小梁両端のモーメント表を使って端部などの応力を算出し、T型梁の有効幅表を使って有効幅を算出し、これらの数値を梁断面算定チェック表に入力し断面検証していた。この方法は、電卓で行うよりは効率的であるにしても、それぞれの表において算出された数値を手作業で入れ直すものであった。そこで、表2で示した作業を1つの計算表で一括して行うことができるよう計算シートを改良した(図10。掲載は小梁のみ)。これにより、審査者の作業内容は、数値・文字の読取り、判断の3つのみとなり、これを表5の作業時間に当てはめると、スラブの場合で約1分、小梁では約1分、梁では約3分、柱では約4分であった。

本報告では、改正法が規定した厳格化審査の作業内容を分析し、部分的にはあるが作業量と作業時間を試算した。また、概略審査を実現するために、企画設計段階において行われる概算応力算出手法と積算手法を用いて推奨断面を選出する手法による審査ツールを提示した。詳細審査でも前報告で示した審査手法に若干の改善を加えた。概略審査は、改正法が規定した厳格化審査を満たさない審査手法であるため、詳細審査とは異なる概念ではあるが、概略審査と詳細審査とは、互いに長所・短所を併せ持つものであり、連携して用いることで審査の効率化が図られるものと考えられる。なお、概略審査の手法は、企画設計段階で構造部材を概算する時や、構造設計の冒頭で行う初期断面算出にも活用できるものと思われる。

- 1) 北本拓也, 藤井大地: 構造計算書審査技術に関する研究-審査技術の体系化と厳格化における検証-, 日本建築学会技術報告集第14巻第28号, pp. 471-476, 2008. 10
- 2) 財団法人日本建築防災協会: 構造設計・部材断面事例集, 2007. 6
- 3) 佐藤邦昭著: 現代建築学構造設計論, 鹿島出版会出版, 2000年11月10日発行

注1)前報告の注4)を参照。「厳格化審査」という法律用語はないが、改正法施行時に出された国土交通省の技術的助言に「建築確認・検査の厳格化」という項目で解説されているので、本報告では「厳格化審査」とした。

注3)「 $1/(0.7*2)$ 」の数値は、端梁の場合、外柱と内柱に取りつくことになるので内柱に作用するモーメントは外柱の $(1/0.7)$ 倍になり、外柱では柱のモーメントを1本の梁で受けるのに対して内柱では2本の梁に配分することを考慮して $(1/2)$ 倍になることを考慮したものである。

性を意図的に操作して耐力壁に作用する水平力を低くさせることを原則として禁止している。このため、柱と耐力壁の剛性によって水平力が配分されると考えられるが、実際には、「2007年版建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省建築指導課監修)」の632ページに耐力壁の転倒モーメントによる基礎の浮き上がり考慮を解説しているように、基礎の浮き上がりにより応力再配分が生じ、耐力壁に作用する水平力が決定される場合が多い。

0.13であったとされている。1階よりも2階の方が大きくなるものの上の階ほど小さくなる傾向があり、上の階の耐力壁に作用する水平力を少なくするために、1つ下の階の分担率を $(1-\alpha)$ 倍して最上階まで繰り返すことで水平力分担率の高さ方向の変化を反映させるものである。 $(0. \leq \alpha < 1.0)$

注7) 保有水平耐力時の部材耐力検定を含み、必要保有水平耐力を算出する時に用いた部材種別FAからFDに適合する部材断面であることの検証を含む。

図 10-10 は、耐力壁の位置と耐力の算定値の比較を示す図である。図は、4x4のグリッド状の耐力壁配置を示す。内柱位置の耐力壁は、グリッドの交点に配置されている。外柱位置の耐力壁は、グリッドの端部に配置されている。隅柱位置の耐力壁は、グリッドの角部に配置されている。各位置の耐力壁の算定値は、1次地震力と2次保有水平耐力の両方で示されている。

耐力壁の位置	1次地震力	2次保有水平耐力
内柱位置の耐力壁	62% → 67%	47% → 45%
外柱位置の耐力壁	46% → 43%	38% → 28%
隅柱位置の耐力壁	36% → 29%	27% → 17%

数字は、前が構造計算プログラムによるもので、後ろが本論文による水平力分担率の概算値である。

		1 階柱 C 1	2 階梁 G Y 5 (10F は G Y1)
5 階建て	実設計	750*750 16-D25(X5-Y5) Hoop:2-D13@100	400*850 端部 5-D25/4-D25 St:2-D13@150 中央 3-D25/4-D25
	推奨断面	600*650 14-D25(X4-Y5) Hoop:2-D13@100	350*800 端部 8-D25/7-D25 St:2-D13@175 中央 3-D25/4-D25
10 階建て	実設計	1000*1000 22-D32(X7-Y6) Hoop:4-S13@100	550*950 端部 7-D32/7-D32 St:3-S13@200 中央 4-D32/4-D32
	推奨断面	900*1000 20-D32(X7-Y5) Hoop:4-D13@100	600*900 端部 12-D32/10-D32 St:3-D13@250 中央 3-D32/3-D32

実設計とは、文献 2) によるもの。5 階建ては同文献の設計例 3-4 で 10 階建ては設計例 3-5。事務所、RC 造ラーメン構造、耐力壁あり。上記の比較は、図 4、図 5 による概算作用応力算出の精度を見ることを目的としたため、耐力壁の水平分担率は同文献に記載の数値を用いた。

小梁記号:	B1	ユニバーサル設計基準強度(N/mm ²)	24	主筋の材料種別(下記以外)	SD345				
小梁の断面寸法	2F×Y1-Y2	あばら筋の材料種別	SD295A	主筋の材料種別 D29 以上	SD390				
小梁Bの断面寸法(mm)	250 × 450	かりり厚さ z =	40	G-G'(mm)	6,000	G-G'(mm)	3,000	G-G'(mm)	3,000
小梁Bの仕上高(N/mm) w _{us} =	50								
小梁Bへの集中荷重(N/mm) w _{ps} =	0								
集中荷重の i 端からの距離(mm)=	750								
				単位重量	C'ter mm	M _y (N・m)	Q _y (N)		
				小梁自重	1800 N/m	5,400	8,100	5,400	
				小梁仕上加重	50 N/m	150	225	150	
				小梁への集中荷重	0 N	i 端	0	0	0
				その i 端からの距離	750 mm	j 端	0	0	0
				スラブS _a	8,000 N/m ²	32,063	49,500	27,000	
				スラブS _b	8,000 N/m ²	32,063	49,500	27,000	
				合 計	i 端	69,675	107,325	59,550	59,550
					j 端	69,675	107,325	59,550	59,550

最大耐力割減率		3			
		i 端	中央	j 端	
主筋	上一段 P4%以上	3- D22 1.194%	2- D22 0.796%	3- D22 1.194%	n 長期 f _s f _y α _f 15 215 8 0.73 195
	中間一段 P4%以上	0- D22 判定 OK	0- D22	0- D22 判定 OK	
	下一段 P4%以上	2- D22 0.796%	0- D22 0.796%	2- D22 0.796%	
	下二段 P4%以上	0- D22	0- D22 判定 OK	0- D22	
b(B)・d		250 389 0	1487.5 389 0	250 389 0	
bo(B')・P _{yo}		37830250 上と同じ	228508868 上と同じ	37830250 上と同じ	D / I _y ≥ 1/10 の検討 D / I _y = 1/13.333 要検討
作用モーメント (kN・m)		69.675 連続(1歩)あり(多連)	55.069	69.675 連続(1歩)あり(多連)	E (kN/mm ²) = 21.5 I (m ⁴) = 0.001898 φ (mm) = 0.003823 ω (N/mm ²) = 12.375 δ (mm) = 2.51727 8.6 / L = 1/298.48
許容変位比(検定値)		70.67 0.986 OK	60.72 0.907 OK	70.67 0.986 OK	
あばら筋		2- D10 @200	2- D10 @200	2- D10 @200	
(250L下、梁翼の半分) f _y /σ _{yk} (%)		間隔隔断: OK 0.285% 判定 OK	間隔隔断: OK 0.285% 判定 OK	間隔隔断: OK 0.285% 判定 OK	
作用せん断力(kN)		59.55 α _f = 1.251	59.55 α _f = 1.251	59.55 α _f = 1.251	
許容せん断力(検定値)		82.118 0.732 OK	82.118 0.732 OK	82.118 0.732 OK	

[2010年2月19日原稿受理 2010年4月5日採用決定]