

構造設計への電算機利用上の問題点と実効性のある解決策

2005 年 1 月 16 日

和田 章

東京工業大学統合研究院教授

電算機利用の歴史と抱えてきた問題点

1. 1970 年代以前の構造計算は手計算によっており、大きな流れは今と変わらないが、部材の配筋の検討や計算はすべての部材に対して行われるのではなく、選り出した部材についてのみが行われていた。例えば、8 階建ての建物では 1 階、2 階、5 階、8 階などの柱と梁について存在応力（軸力、曲げモーメント、せん断力）と部材強度（設計した部材断面と配筋が発揮する存在軸力下の許容曲げモーメント、許容せん断力）の比較が行われつつ、設計が進められていた。骨組全体の曲げモーメント図と構造設計図（特に断面リスト）を描くことにより、上層階から下層階への断面形の変化、配筋量の変化、コンクリートや鉄筋の強度の変化をバランス良くすることで、構造設計はまとめられていた。すべての部材の計算が行われていなくても問題はなく、構造計算書は読みやすい書類であり、その後の施工現場で現場担当者にも読むことが出来、確認申請のためだけでなく大いに役立つ書類であった。当時の構造設計者も審査者も俯瞰的直感的にこれらの構造計算書や図面を全体的に把握することができ、建築確認審査は健全に行われていたといえる。
2. 構造設計及び計算に電子計算機が使われるようになったのは 1960 年代後半である。1970 年代に入り、特定行政庁から電子計算機の出力によって作られた構造計算書は英文と数値の羅列であって見難く、確認審査することが難しい、ソフトの正しさをあらかじめ審査して欲しいという要求があり、日本建築センターによる電算プログラム評定・大臣指定が 1973 年に始まった。日本建築センターは 1965 年に設立されている。
3. 当時は今のようなレーザープリンターは無く、プリントアウトの書類に日本語を入れることは出来なかったし、心ある設計者は手書きで描き込んでいたが、応力図に曲げモーメントの曲線は描かれていなかった。武藤清先生の教科書に書かれているように、耐震壁の曲げモーメントを周辺の柱の軸力も含めて大きくとらえて表示するようなことは重要であるにもかかわらず、今でもほとんど行われていない。技術が進んだように思われているが、手計算・手書き時代より退化したとも言える。
4. 1981 年に新耐震設計法が施行され保有水平耐力計算が導入されたことにより、すべての部材の強度計算およびすべての耐震壁や雑壁を評価しなければならなくなり、計算量が膨大になった。これから 20 数年が過ぎ、重ねてパソコンの普及が後押しとなり、コンピュータの利用は構造計算にとって不可欠となった。1968 年十勝沖地震、1971 年米国サンフェルナンド地震、1978 年宮城県沖地震などにおいて、鉄筋コンクリート構造物が多く被害を受け、これらに対処するための研究が国をあげて進められ、こ

の成果を実際の設計に役立てようとしたことも背景にあり、構造設計に多くの計算が必要になった。

5. このように構造計算量が増えたこと、およびプログラム評定・大臣認定制度が整備されたためソフトへの間違えた安心感が生まれたことなどから、1980年代に入り、特定行政庁では構造計算の内容の審査は厳しく行われなくなったようである。このような状況のまま、1999年に確認審査の民間解放が行われたと考えられる。
6. このような時代が続き、構造計算プログラムがブラックボックス化し、認定を受けたプログラムの出力を疑う気持ちが薄れていたことが、今回の問題の基本にある。重ねて、確認申請の審査料が安く、審査担当者数が少なく、審査に多くの時間をかけていなかったことが問題であり、構造設計は専門家の仕事であり、特定行政庁や民間機関の実務経験が無いが、実務から離れて久しい担当者ではそのミスや偽装を見抜くことが出来なかった。従来の民間確認審査機関は厳しい審査をすることへの動機付けがなく、営利を目的にしていたことが背景にあり、構造設計者の提出する見難い図面や書類に注文をつけたり、書類の再提出を指示することなどが躊躇されたこともある。これら多くのことが要因になって構造設計・構造計算の偽装は見過ごされていった。
7. 1950年に施行された建築士制度および建築確認制度をそのままにしてきた問題もある。1950年当時は建物の規模も小さく、申請件数も多くなかったから1.に書いたように一級建築士と建築主事に対応できていたといえる。新耐震設計法が施行された1981年に、法規的には高さ60mまでの建物が一般的な建物として扱われ、同じ仕組の中で構造設計され確認が行われることになった。しかし、急に審査の仕組を変えることへの不安があり、実際には45m以上の高さの建物は日本建築センター、日本建築総合試験所などで評価が行われ、特定行政庁の主事らにこれらの建築物の構造審査の負担はかかっていなかった。その後、民間からの要求があったのだと思うが、徐々に実態を法律に合わせるが行われ、2000年6月から、高さ60mまでの建物の確認審査に、日本建築センターなどの特別な審査は必要なくなった。建築構造に関する技術開発、規模の拡大、件数の増大の中で、確認審査機関の負担だけが増大して行ったといえる。さらに性能評価形の設計法への変革の中、これらの確認制度はそのままにされ、限界耐力法、エネルギー法、免震構造など新しい技術を取込んでいったことにも問題があったといえる。要するに消化不良のまま多くの事項を処理しなくてはならなくなったのである。このことについては、時計の針をもとに戻して、建築士制度、確認審査制度を改正し、建築主事や民間審査機関の構造審査の負担を減らすべきである。このことについては解決策の10.に示したように、審査の方法をA、B、Cの3段階にすることで対応できると考える。建築主事が理解できるためにという理由で、構造関係の法規の条文を事細かく記述してきたことも大きな問題を生んでいる。条文を単純化することも含めて考えるべきである。
8. コンピュータプログラムにはバグがつきものであり、完全な状態はないといって良い。

間違えたプログラムで設計され同種のプログラムで確認された建物が建設されてから、プログラムのミス直しても間に合わない。人間が間に入り、図面や計算を確認するシステムが絶対に必要である。もし、審査側に用意したコンピュータによる再計算に頼るシステムに移行した場合、プログラムは法律に合わせてバージョンアップする必要がある。その結果プログラムは継ぎはぎ状態になり、新たなバグが入り込む余地が出来る。5年もしないうちに、何が何だか分からなくなり、今回の事件よりさらに恐ろしい事件が起こる可能性が出てくる。レベルの低い構造設計者が審査プログラムに通ることを目標に設計を行おうとする弊害があり、新しい技術が開発されたとき、審査プログラムにその機能がないためその技術が普及しないなど、技術開発の意欲を失わせる危険性がある。特に我国の耐震技術は世界に誇れる技術の一つであるが、このような開発の芽を摘んでしまう恐れもある。

実効性のある解決策の提案

1. 構造安全性の確保の基本は構造設計図にある。構造計算書は設計方針、安全性を説明するための書類であり、この計算に用いるコンピュータ及びソフトウェアはそのためのものである。構造計算は構造設計の一部であり、計算が合法的でも危険な建物が作られてしまう可能性がある。構造設計図をきちんと確認することが非常に重要である。
2. 道具としてのコンピュータソフトを国が認定し、国土交通大臣が認める方法は30数年間行われ、大きな間違いのないプログラムを普及することに役立ってきたが、設計者も審査側もコンピュータやソフトに過大な期待をかけるべきではない。構造設計者が内容を理解してより良いソフトを選び上手に使うことが必要である。
3. 構造設計者には、現行法規に則り計算のトレースが可能な、分かり易い構造計算書、構造設計図の提出を義務つける必要がある。書類が分かりやすいものになれば、審査側の具体的な確認法は5. のように行うことが出来、専門家が行えば難しいものではなくなる。
4. 建築構造には鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造、木質構造などが使われるが、すべて3次元空間の中に太さ・厚さ・長さをもって物理的に存在するものである。これらを数学・物理・力学で扱うためには、柱は鉛直に立つ棒材（太さなどの性質を断面剛性、曲げ剛性などで表した一本の直線）、梁は水平に配置した棒材（太さなどの性質を床スラブの効果も考慮して曲げ剛性で表した一本の直線、軸方向剛性は次に述べる剛床仮定に関係して、無限に剛とされることが多い）、床スラブは面内には剛とする（これを剛床仮定と呼ぶ）が面外変形には剛性はないとし、梁の曲げ変形を拘束しないなどの設定条件を決め、これらの部材の集まる接合部を点と考えるなど、数学的に扱えるモデルに置換えなくてはならない。実際の構造物では、柱や梁の交点が一点に集まらない場合、一本の柱に取りつく梁が互いに直交しない場合などがあり、非常に複雑である。鋼構造では、座屈補剛が完全か、下層の柱とその直上の柱で鉄骨の断面形に連続

性はあるかなどが重要である。これらをきちんと考察しなくてもデータ入力は一歩簡単になってしまふ問題がプログラム利用には潜んでいる。基礎の固定条件も重要である。コンピュータが利用されるようになり、骨組をジャングルジムのようにして扱うようになったため、耐震壁は筋違置換やパネルで入力され、連層耐震壁の両側の柱はそのままモデルになる。柱の基礎点はピン支持とすることが多いため、2点で支持された連層耐震壁の基部は回転に対して固定されたことになってしまう。実際の地盤や杭は連層耐震壁の基部を固定とするほどの剛性は有していない。このような種類の問題は数え上げればきりが無い。これらを構造物のモデル化と呼び、構造設計において最も重要な仕事である。プログラムに間違いがなくても、利用者の判断、能力で答えは大きく変わってくる。どの考え方が正解とも言えないという問題もある。幅をもって考察する必要のある事項であるとも言える。構造設計は力学の原理に則り専門家が考えるべきことであり、プログラムに頼ってできる仕事ではない、もちろん事務的に行えるものではない。審査を事務的に行えんと考えることも大きな間違いである。

5. 現行の建築基準法・同施行令・関係告示に決められている安全性の確認は、おおよそここに示す「構造計算書の確認法」に従えばできる。審査の過程で、すべてを再計算する必要は無く、計算の流れを段階的かつ橋渡しの調べて、全体に矛盾がなく法令に準拠した計算が行われていることを確認すれば良い。言うまでもなく、構造計算のみで建築物の構造安全性が確認できることはなく、構造設計図に関する審査がさらに重要である。

イ) 使用材料、許容応力度、材料強度の確認。

ロ) 外力の設定、固定端モーメントなど、柱軸力、地震力などの確認。これらはすべてを確認の席でやり直すのではなく、断片的に電卓などを用いてチェックすれば充分確認できる。地震力などは分布を図示して提出させると良い。

ハ) 鉛直荷重時の曲げモーメント図を確認する。もちろん、提出書類には数値だけでなく、図示が必要である。

ニ) 平面的に表した水平力分担率を確認する。審査員が選び出した任意の層について、柱・耐震壁の分担せん断力の合計値と先に計算の済んでいる地震力の整合性を確認する。

ホ) ここで、設計者に耐震設計の方針を聞く必要もある。

ヘ) 水平荷重時の曲げモーメント図を見る。もちろん数値だけでなく図示されているものが必要である。水平力分担率の平面図と応力図の柱せん断力との整合性を確認する。任意に選び出した柱について、柱頭モーメントと柱脚モーメントの和がせん断力と階高の積になっていることを確認する。梁のモーメントが柱とつり合っていることを確認する。

ト) 断面検討は、応力図からもってきた設計応力と部材の許容耐力の比較を行う。一本の部材に1ページ程度の量を使い丁寧な出力を設計者に要求する。このとき、すべて

の部材の出力は不要である。審査員が選り出した部材について計算の流れを確認するのは容易である。許容値に対する設計値の比をフレーム図の中に一覧で示す出力があれば、これも役立つ。このとき、断面検討法ではなく断面算定法を用いても良いが、保有水平耐力の計算をしている場合には入力データに配筋も入っているため断面検討法を用いることが可能である。鋼構造では入力段階から部材断面が指定されているので断面検討法が使われる。

チ) 最後に骨組全体の曲げモーメント図と断面リストのバランスおよびスムーズな変化をチェックする。この方法により、すべての柱、梁をチェックしなくても安全性の確認はできる。

リ) 保有耐力の部分の確認も、設計者の説明を聞きながら行えばそれほど難しいことではない。

ヌ) スラブ、小梁、基礎などの安全性確認はもちろん必要である。

6. 構造設計士を国家資格にする必要がある。設計図書に構造設計者の氏名を明示すること、設計方針を文書にして書くことなども必要である。市民が受け入れるのであれば、国家資格とせずに職能団体の資格として、これを公的に認める方法もありうる。
7. 責任を明確にし、取れる仕組を構築するため、購入者のための保険、設計者の保険、審査機関の保険など保険制度を整備する必要がある。
8. 確認審査は構造設計者と確認審査官の面談のもとに行うべきである。
9. 構造設計及び構造計算は事務計算とは異なり、設計者の個性・能力によってその成果は異なる。これに関する審査を事務的に行おうとするとところに無理がある。10. に示すような確認法が必要である。
10. 建築物の規模や構造上の特徴により審査方法を3種類程度に区別する方法が現実的である。日本建築センターで40年にわたって行ってきた評価制度または評価制度を参考にすれば可能な方法である。このように、専門家の能力に期待して確認審査を行う方式にすれば、建築基準法関係の条文を今のように事細かく記述する必要がなくなる利点がある。

Aルート. 高さ20m以下、延べ床面積5000m²以下のように規模が小さく、構造的に明快な建物の審査は、従来のように、特定行政庁または民間確認機関で5. に示した審査法で行う。施主が要求した場合、審査員が必要とした場合は、Bルートを用いる。

Bルート. 高さが20m以上かつ60m以下、延べ床面積が5000m²以上などの建物についてはエキスパートジャッジ方式を用いる。これはピアレビューを実務設計者及び学術経験者で構成する委員会で行う方法である。Cルートで行っている大臣認定は不要とする。基本的な提出書類は法的に要求されているもので良いこととする。

審査員は設計の確認を行うと同時に、設計内容についても自由にコメントして良い。ただし、必要以上の考えを押付けたり、余計な解析を強要してはならない。もちろん、設計判断は構造設計者自身が行い、設計の責任も構造設計者にある。これは 1981 年頃に日本建築センターで行われていた鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造の評定制度（評価制度と読んでいたのかも知れない）のようなものであり、我国特有の良い方法であり、今後も十分に実施可能である。具体的には、民間確認審査期間の信頼性が保証できれば、この中に設けることも考えられ、各県に一つ、さらに大きな都市には市にピアレビュー委員会を設ける方法もあり得る。

C ルート、高さ 60m 以上の超高層ビルなどに対応し時刻歴応答解析法を用いるものに関係する性能評価委員会で対応する。日本建築センターなどで 40 年の歴史をもつ委員会方式の審査であり、信頼性が高い。性能評価のあとに大臣認定を取る必要がある。

ストック時代の建築物

1. イギリスの住宅の平均寿命に比べ我国の住宅の平均寿命は $1/3$ と言われる。建築物の施工には多くの資材を使うと同時に CO₂ の発生も多い。親から子に代るたびに新しい住宅を建設する日本の現状は改めなければならない。長寿命の建築構造物の実現には構造がしっかりしていることが必要であり、耐震設計、現場施工を間違いなく行うことが重要である。ここで述べることではないが、既存の建物の耐震補強も進めなくてはならない。この度の事件を切掛けに、今まで滞っていたこれらの取組みをさらに推進しなくてはならない。
2. 建築物をストックとして考え、耐震性が高く、間違いのない施工が行われている建築物の価値がときを経て、高まるような社会が望まれる。これによって、建築構造の専門家が設計し、厳しい審査を受けた建築物がまちに増えることを期待する。