

25. 限界耐力計算法における構造設計支援ツールの開発に関する研究

0810920014 重富 裕介

指導教員 藤井 大地 教授

限界耐力計算法 静的荷重増分解析 有限要素法 開発ソフト

1. はじめに

現在、建築物の構造設計は、ゼネコンの設計部、組織設計事務所、個人事務所等、多種多様な組織で行われている。そして、ゼネコンやある程度規模の大きい事務所では、汎用の一貫構造設計ソフトを導入し、構造設計を行っている場合が多い。しかしながら、小規模の事務所等では、ソフトのライセンス料に大きなコストがかかるため、手計算と低コストで入手できる骨組解析ソフト等を用いて構造設計を行っている場合が多い。

一方、近年の建築技術の発展により従来の耐震構造だけではなく、免震構造や制震構造の建築物が増えてきている。このような新しい構造形式では、従来の許容応力度等設計法の適用が難しい場合が多く、限界耐力計算法を用いた構造設計が要求される。しかしながら、限界耐力計算法は、静的荷重増分法による弾塑性解析を前提としたものであり、一貫構造設計ソフトを導入しているところでは問題なく設計が可能であるが、そのようなソフトを導入していない小規模事務所等では、このような解析ツールが無いため設計を諦めざるを得ない現状である。

構造設計ツールの開発^{1),2)}は構造解析研究室でも行われている。しかしながら、限界耐力計算法で使用できる静的荷重増分解析が使用できる構造設計ツールの開発が行われていない。

そこで、本研究では、小規模事務所等でも、簡単に静的荷重増分解析が行えるソフトを開発し、構造設計技術の底上げを図ることを目的としている。さらに、従来の許容応力度設計と開発ソフトの比較を行い、性能を評価する。本研究で開発するソフトは、主に手計算で構造設計を行う技術者を対象とし、小規模、中規模事務所等での解析を可能とすることを目的とする。また、解析は構面ごとに行うものとし、2次元骨組を対象とする。また、鉄骨構造、RC構造のどちらにも対応できるように、剛域および部材のせん断変形が考慮できるものとする。

2. 限界耐力計算法の概要

限界耐力計算法とは、稀に発生する地震動について、建築物の地上部分及び地下部分が損傷しないこと、且つ極めて稀に発生する地震動について、建築物の地上部分が倒壊、崩壊しないことを確認する計算方法である。静

的荷重増分解析を行い、算定された各荷重ステップから、損傷限界耐力、安全限界耐力を設定していく。また、安全基準を設計者が定めることが可能であり、構造設計者の判断に任せる自由度の高い計算法でもある。しかし、施行令、告示で示された関係式を理解するには、振動に関する基礎知識が必要になる点などから、限界耐力計算法は許容応力度設計法に比べて理解が難しい。

3. 開発ソフト静的荷重増分解析の概念

静的荷重増分解析は弾塑性解析理論を前提とした解析方法で、外力（荷重）を少しずつ増加させ降伏（塑性化）逐次ヒンジに入れ替えて解析を進める。崩壊したと見なされるまで繰り返し計算を行い、そのつり合い関係から崩壊荷重を求める。

降伏の判定に(1)式を使用する。

$$f = \left[\left(\frac{M_y}{M_{y0}} \right)^2 \right]^{a1} + \left(\frac{P_x}{P_{x0}} \right)^{a2} - 1 \quad (1)$$

ここに、 M_{y0} は全塑性(終局)曲げモーメント、 P_{x0} は塑性(終局)軸力を表す。また、係数 $a1, a2$ は、材料および断面形状によって定められる係数である。

(1)式が0になる完全な荷重倍率を求めることは容易ではないため、ここでは軸力を0とし、また、固定荷重による曲げモーメントを全塑性曲げモーメントから差し引くことにより、近似的な荷重倍率を算定する。この場合、弾性限荷重倍率(近似値)を α とすると、次式から α が計算される。

$$\begin{aligned} \left[\left(\frac{\alpha M_y}{M_{y0} - M_y^0} \right)^2 \right]^{a1} &= 1 \\ \Rightarrow \alpha &= \left[\left(\frac{M_y}{M_{y0} - M_y^0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 M_y^0 は、固定荷重による曲げモーメントを表す。各ステップの増分荷重は、弾性限荷重を増分解析の総ステップ数で割ったものとする。すなわち、増分解析は、最大、弾性限荷重の2倍まで行うものとする。なお、ステップ数が解析精度を決めるものとなる。

4. 設計

設計例として鉄筋コンクリート造 5 階建ての事務所ビル
の解析を行う。なお、図 1 に平面図を示す。梁の断面
は 450mm×1000mm，柱の断面は 850mm×850mm である。

常時荷重時、地震時の応力を計算して、図 2 の二段配
筋ソフトで、チェックを行う。

そして、構造設計ソフトに全塑性モーメント M_p を入
力し、図 3 の開発ソフトで静的荷重増分解析を行う。そ
の時に表示される荷重倍率を表 1 に示す。

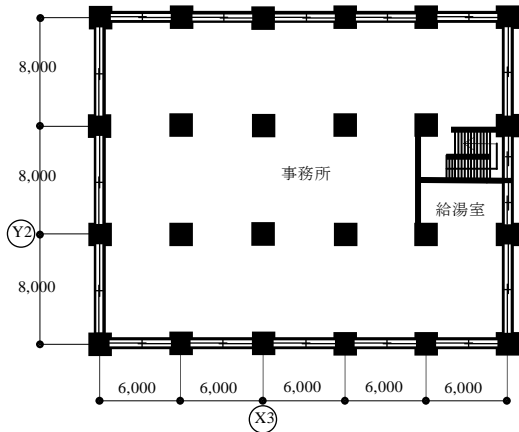


図 1 平面図

梁の断面設計				部材名称	
M(長軸)(kNm)	Q(長軸)(kN)	M(地軸)(kNm)	Q(地軸)(kN)		
-223.5749518	146.3113636	716.6212766	-174.2312289		
梁幅(mm)	筋力幅(mm)	梁せり(D)(mm)	かぶり厚(mm)		
450	0	1000	50		
Fc(N/mm ²)	主筋材料	あばら筋材料	上端筋径	下端筋径	あばら筋径
24	S1045	S1026A	D25	D25	D10
計算結果					
上端筋一段目本数	上端筋二段目本数	下端筋一段目本数	下端筋二段目本数	必要最小筋	必要最大筋
2	1	2	1	210	0.39
2	2	2	2	210	0.51
2	3	2	3	210	0.64
2	4	2	4	210	0.76
3	1	3	1	285	0.53
3	2	3	2	285	0.65
3	3	3	3	285	0.77
3	4	3	4	285	0.89
4	1	4	1	390	0.66
4	2	4	2	390	0.78
4	3	4	3	390	0.89
4	4	4	4	390	1.03

図 2 二段配筋ソフト

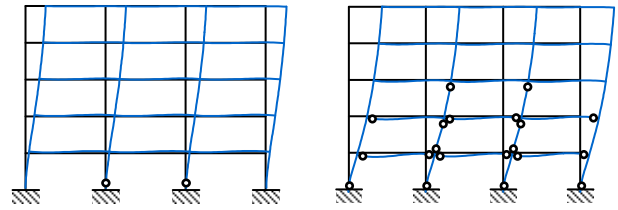
Step	荷重倍率
1	1.322
2	1.601
3	1.659
4	1.685
5	1.697
6	1.705
7	1.762
8	1.767
9	1.778
10	1.786
11	1.793
12	1.834
13	1.887

図 3 開発ソフト

表 1 荷重倍率

Step	1	2	3	4	5
荷重倍率	1.322	1.601	1.659	1.685	1.697
Step	6	7	8	9	10
荷重倍率	1.705	1.762	1.767	1.778	1.786
Step	11	12	13		
荷重倍率	1.793	1.834	1.887		

そして、地震層せん断力 Qud に荷重倍率を乗じ、損傷
限界耐力 Qd と安全限界耐力 Qs を決定する。図 4 の損傷
限界の変位は step1, 図 5 の安全限界の変位は step10 とす
る。なお、図中の丸はヒンジを表す。



この、損傷限界耐力 Qd と安全限界耐力 Qs と従来の許
容応力度等計算を比較する。

許容応力度等計算で、一次設計時に使用する式は(3)、
二次設計時に使用する式は(4)を使用する。

$$Qud = Wi \times Z \times Rt \times Ai \times Co \quad (3)$$

$$Qun = Qud \times Fes \times Ds \quad (4)$$

損傷限界耐力 Qd ，安全限界耐力 Qs と許容応力度等設
計を比較した物を表 2 に示す。

表 2 限界耐力設計法と許容応力度計算(KN)

	許容応力度等計算法	限界耐力計算法
中小地震	$Qud1 = 8414$	$Qd1 = 11122$
大地震	$Qun1 = 12621$	$Qs1 = 15028$

5. 結論

本研究は、小規模事務所等でも、簡単に静的荷重増分
解析が行えるソフトを開発した。また、開発したソフト
の性能を調べるため、実設計を行い、許容応力度設計法
と比較した事で、限界耐力計算法の方が安全性が高くな
るという結果が得られ、ソフトの妥当性を示した。

参考文献

- 1) 中野真一：限界耐力設計法にもとづく構造設計プログラムの開
発に関する基礎的研究，2003. 3
- 2) 二宮暢彦：RC 建物の構造設計に用いる骨組解析法に関する研究，
2011. 3
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課/国土交通省建築研究所/財団法人
日本建築センター/社団法人建築研究振興協会・編集：2001 年版
限界耐力計算の計算例とその解説，工学図書株式会社，2000. 3