

構造骨組みの特性と解析

学びやすい構造設計

日本建築学会 関東支部

ご案内

本書の著作権・出版権は日本建築学会関東支部にあります。本書により著書・論文等への引用・転載にあたっては必ず本会の許諾を得てください。

コピーも私的利用の範囲を超えることは法律で禁じられています。

日本建築学会関東支部

序

日本建築学会関東支部では、1963年以來、会員をはじめとする建築構造に関係する方々を対象に、構造設計や構造計算技法の普及を目指して「構造計算のすすめ方」シリーズを刊行し、関東支部を中心として講習会を開催してきました。2002年に「学びやすい構造設計」シリーズとして全面改訂を行い、本テキストはその第8番目になるもので、構造設計者のための構造解析の解説書として企画されました。

本テキストは、単なる構造力学や骨組み解析の解説書ではなく、構造骨組みの特性を理解した上で適切なモデル化を行うことにより、より良い構造設計が行われるとの立場から、「構造骨組みの特性と解析」と名づけられています。

構造設計における重要な要素である構造解析は、現在ではコンピュータの使用なくしては不可能となっており、解析ソフトの内容を十分理解して使いこなすことが求められています。このためには、解析対象である構造骨組みの特性を理解することと、使用する解析ソフトの内容をよく理解することが必要です。

構造解析に使用される解析ソフトでは、多くの仮定事項を前提として計算が行われていますが、その内容は必ずしも構造設計者に理解されていません。本テキストでは、解析ソフトを用いた骨組みの解析例を数多く提示することにより、安易に用いられている解析条件の矛盾を示し、適切な解析モデル化を行うための資料として活用できるように意図しています。

本テキストが、構造設計を行っている実務者に対して有効な手引書となり、適切な構造解析が行われ、良質な建築構造物が設計されるための一助となれば幸いです。

最後に、このテキストの執筆に際して努力された関東支部構造テキスト委員会および執筆WGの方々に感謝の意を表します。

2017年2月

日本建築学会関東支部
支部長 井上勝夫

はじめに

このテキストは、日本建築学会関東支部が、主に正会員を対象として技術向上のために行う一連の建築構造設計講習会資料として作成されたものである。

建築構造の骨組み解析については、数多くの力学解説書やマトリックス法を中心として骨組み解析手法解説書が刊行されている。本テキストはそれらの内容を基本的に理解している実務者を対象として、その上で構造設計の対象となる構造骨組みの特性を理解するための事柄を解説し、構造設計・構造解析に役立てることを目的としている。

構造骨組みの特性について解説している資料は少なく、古くは武藤清博士の「建築学体系 20 巻」や「耐震設計シリーズ」などの一部に記述されているものを参考とし、D 値法によるラーメン構造の水平剛性評価や連層耐震壁の解析方法を学んだものであった。

その後は、和田章博士らが骨組みの特性について多くの論文などを公表されているが、それらは個別の資料となっており、入手し難いものもある。本テキストの多くは、和田章博士の既発表資料を下敷きとして再構成したものである。

構造設計に必要なものは、対象構造物の構造特性の十分な理解である。特に、現状では解析自体は計算ソフトにより簡便に安易に行うことができる。しかし、解析結果の良否は対象構造物のモデル化によりほとんど支配されると言っても過言ではない。この重要なモデル化は、本来は設計者が慎重に定める必要があるが、多くの場合に解析ソフト（一貫計算プログラム）のデフォルトを採用しており、設計者は問題点を意識することなく手続きとしての解析を行っていることも多い。

亡くなられた構造設計者の木村俊彦氏が「解析プログラムは、設計対象ごとに作成しています。なぜなら、設計に応じて問題点が個々に異なるので、同じプログラムでは無理ですよ。」と話されたことがある。このように、対象構造物の個々の特性を十分認識して、それに応じた適切なモデル化を行うことが大切である。

構造解析は、技術慣行の上に成立していることを忘れてはならない。すべての構造物を、3次元 FEM（有限要素モデル）に切り刻み詳細解析を行うことは、不可能である。このために、線材仮定・弾性仮定・剛床仮定・剛域仮定・トラス材端部のピン仮定などの約束事を技術慣行として定めて、骨組み解析やその結果を用いた断面検討が行われている。

通常の場合には、我々が対象としている建築構造骨組みは、この技術慣行の前提条件を満足している。しかし、解析対象の骨組みがこの技術慣行の前提条件を満足していないときには、慎重にモデル化を行う必要がある。この前提条件を満足しているかを認識し、モデル化の良否を判断することが、構造設計者としての非常に大切な技量である。一般的には、モデル化上の判断が難しい場合には、解析パラメータを変動させるなどして幅を持たせた検討を行い、安全性を確認することが有効である。

構造設計者が、解析対象の骨組み特性を理解して、適切なモデル化を行い、より良い建築構造物を設計する上で、本テキストが役立つことを期待している。

構造骨組みの特性と解析 作成関係委員 (2017年版)

講習会用構造テキスト作成委員会

委員長 安達 俊夫
幹事 塩原 等 竹内 徹
委員 河合 直人 坂本 功 鈴木 康嗣 田島 祐之 田村 和夫
寺本 隆幸 福井 剛 福元 敏之

構造骨組みの特性と解析 改訂ワーキンググループ

主査 寺本 隆幸
幹事 大越 俊男
委員 石井 正人 鈴木 泰介 仲山 雅一 前原 俊夫 山崎 英一
山下 淳一

執筆者

はじめに

寺本 隆幸

1. 解析手法の位置付けと歴史

大越 俊男

2. ラーメン構造の架構特性

石井 正人 寺本 隆幸

3. 耐震壁の構造特性

鈴木 泰介 寺本 隆幸 前原 俊夫

4. 保有水平耐力計算

大越 俊男 寺本 隆幸 山下 淳一

5. ねじれの評価

寺本 隆幸 仲山 雅一

6. 有限要素法

大越 俊男

7. 骨組み解析と構造設計

大越 俊男 寺本 隆幸 山崎 英一

構造骨組みの特性と解析 作成関係委員 (2011年版)

講習会用構造テキスト作成委員会

委員長 安達 俊夫
幹事 塩原 等 竹内 徹
委員 斉藤 公男 寺本 隆幸 坂本 功 河合 直人 小野 俊博

構造骨組みの特性と解析 執筆ワーキンググループ

主査 寺本 隆幸
幹事 大越 俊男
委員 安達 守弘 石井 正人 北村 春幸 鈴木 泰介 仲山 雅一
前原 俊夫 山崎 英一 山下 淳一

執筆者

はじめに

寺本 隆幸

1. 解析手法の位置付けと歴史

大越 俊男

2. ラーメン構造の架構特性

石井 正人 寺本 隆幸

3. 耐震壁の構造特性

安達 守弘 鈴木 泰介 寺本 隆幸 前原 俊夫

4. 保有水平耐力計算

大越 俊男 寺本 隆幸 山下 淳一

5. ねじれの評価

寺本 隆幸 仲山 雅一

6. 有限要素法

大越 俊男

7. 骨組み解析と構造設計

大越 俊男 寺本 隆幸 山崎 英一

構造骨組みの特性と解析

—学びやすい構造設計—

目次

はじめに

1. 解析手法の位置付けと歴史

1.1	骨組みのモデル化にあたって	1
1.1.1	モデル化の基本	1
1.1.2	微小変形理論と $P-\delta$ 効果	9
1.1.3	線材の節点・自由度・剛域	11
1.1.4	境界条件	13
1.1.5	解析の仮定	14
1.1.6	解析方法	15
1.1.7	鉛直荷重時応力と部材端応力	16
1.1.8	立体解析	16
1.1.9	保有水平耐力と荷重増分解析	16
1.1.10	振動解析	17
1.1.11	計算内容の検証	18
1.2	骨組みの線材解析	20
1.2.1	家屋耐震並耐風構造	20
1.2.2	たわみ角法	22
1.2.3	固定法	23
1.2.4	D 値法	24
1.2.5	マトリックス法	25
1.3	シミュレーションの歴史	26
1.3.1	解析力学の歴史	26
1.3.2	シミュレーション	28
1.3.3	建築構造解析の歴史	30
1.3.4	一貫自動構造設計プログラム	32
1.3.5	解析品質	33
第1章	参考文献	34

2. ラーメン構造の架構特性

2.1	ラーメン部材の特性と変形要素	35
-----	----------------	----

2.1.1	ラーメンの変形特性	35
2.1.2	ラーメン部材のせん断変形要素	36
2.1.3	ラーメン部材の各種変形計算例	38
2.1.4	D 値法の考え方	39
2.1.5	ラーメン構造の面置換解析	41
2.2	20 階建て鉄骨造建物モデル	42
2.2.1	建物重量と層せん断力	42
2.2.2	剛性評価	43
2.2.3	部材リスト	44
2.2.4	構造図	46
2.3	ラーメン架構の水平荷重時応力分布と変形	49
2.3.1	ラーメン内の柱軸方向力分布とせん断力分布	49
2.3.2	水平荷重時応力解析結果	50
2.4	仮想仕事の方法を利用したラーメン構造の変形分析	55
2.4.1	基本的な考え方	55
2.4.2	一般架構への適用	56
2.4.3	水平変形要因の計算例	57
2.5	ラーメン架構の鉛直荷重時応力分布と変形	66
2.5.1	鉛直荷重時の骨組み解析	66
2.5.2	鉛直荷重に対する計算例	67
2.6	鉛直荷重における市松載荷の影響	79
2.7	水平荷重における立体効果	81
	第 2 章 参考文献	86

3. 耐震壁の構造特性

3.1	耐震壁のモデル化	87
3.1.1	各種の耐震壁モデル	87
3.1.2	市販ソフトの耐震壁モデル	91
3.2	各種検討モデルの諸元	94
3.2.1	構造緒元と壁のモデル化	94
3.2.2	架構モデル	97
3.3	独立耐震壁 (架構 No. 1)	100
3.4	片側境界梁付耐震壁 (架構 No. 2)	107
3.5	両側境界梁付耐震壁 (架構 No. 3)	113
3.6	1 層分の壁梁を持つ耐震壁 (架構 No. 4)	121
3.7	陸立ち壁梁 (架構 No. 5)	127

3.8	連層開口を有する耐震壁(架構 No. 6, 7)	131
3.9	耐震壁の分割入力(架構 No. 8, 9)	134
3.10	壁中梁剛性の影響(架構 No. 10)	137
3.11	支点鉛直バネの影響(架構 No. 11)	139
3.12	耐震壁の弾塑性特性	141
3.13	耐震壁の構造特性	143
	第3章 参考文献	144

4. 保有水平耐力計算

4.1	保有水平耐力の計算法	145
4.1.1	増分解析法	145
4.1.2	仮想仕事法	149
4.1.3	節点振り分け法	150
4.2	保有水平耐力計算の技術慣行	151
4.2.1	保有水平耐力基本事項	151
4.2.2	保有水平耐力計算の原則	151
4.2.3	留意すべき事項	153
4.3	保有水平耐力の計算事例比較	156
4.3.1	計算事例の建物概要(基本モデル)	157
4.3.2	基本モデルの保有水平耐力	166
4.3.3	荷重増分ステップの影響	172
4.3.4	保有水平耐力の解析方法の影響	177
4.3.5	外力分布の影響	181
4.3.6	浮き上り考慮の影響	184
	第4章 参考文献	187

5. ねじれの評価

5.1	偏心のしくみ	189
5.1.1	静的な偏心	189
5.1.2	建築基準法上の偏心率	194
5.2	各種偏心の動的影響	196
5.2.1	解析モデルと検討方針	196
5.2.2	質量偏心	198
5.2.3	剛性偏心	207
5.2.4	耐力偏心	216
5.2.5	偏心への対応	225

第5章 参考文献	226
----------	-----

6. 有限要素法

6.1 有限要素法の原理	227
6.1.1 開発	227
6.1.2 理論	227
6.2 FEM 要素	228
6.2.1 平面要素	228
6.2.2 平板要素	229
6.2.3 平面シェル要素	230
6.2.4 立体要素	230
6.3 要素境界	232
6.4 鉄筋コンクリート造の有限要素法の利用	233
6.5 部材設計との対応	235
6.5.1 Tod's 表参道ビル	235
6.5.2 MIKIMOTO Ginza2	237
6.5.3 長岡造形大学第3アトリエ棟ビル	239
6.5.4 O-14	243
第6章 参考文献	244

7. 骨組み解析と構造設計

7.1 骨組み解析と構造設計	245
7.2 剛床仮定	247
7.3 逆シヤー	248
7.3.1 解析モデル	248
7.3.2 水平荷重解析結果	253
7.3.3 連層耐震壁頂部付近の逆シヤー	256
7.3.4 連層耐震壁地下階の逆シヤー	257
7.3.5 地下階柱に生じる逆シヤー	258
7.3.6 中間階の逆シヤー	259
7.3.7 塔屋柱の影響による逆シヤー	261
7.4 その他特殊な応力状態	264
7.4.1 斜め柱により生じる長期せん断力	264
7.4.2 山形架構に生じる応力	266
第7章 参考文献	270