

事例ベースを用いた建築構造部材の荷重－変形関係の学習

Learning of force-displacement relationship of building structural member using case-based reasoning

中村 尚弘^{*1}
Naohiro Nakamura

鈴木 琢也^{*2}
Takuya Suzuki

東城 峻樹^{*2}
Takaki Tojo

中村 壮志^{*2}
Soshi Nakamura

荒井 幸代^{*3}
Sachiyo Arai

^{*1} 広島大学
Hiroshima Univ.

^{*2} 竹中工務店
Takenaka Corp.

^{*3} 千葉大学
Chiba Univ.

The building structural members made of steel or reinforced concrete etc. show the strong nonlinear behavior under the severe loading condition such as the large seismic force. In the experimental and the analytical studies, this behavior is often expressed by the figure of relationship between the force and the displacement. This figure has many kind of variation reflecting the specification (the shape and the material characteristics) of the structural member. In this paper, the database of relationship between the figure and the specification of the members is made. Then the system that can estimate the figure from the structural specification and estimate also the specification from the figure is studied.

1. はじめに

建築物は、人を災害から守るシェルターの役割を負っている。このためには、構造的に十分頑強であることが必要である。建築物の設計の段階で、想定外力である地震力や風力等に対して十分な耐力を持つように、建築物の各構造部材（鋼や鉄筋コンクリート製の柱・梁・耐震壁等）の構造特性を決定する必要がある。これには、既往の実験や解析に基づく多くの設計式が用いられ、これを用いて構造設計が行われている。

これらの部材、特に鉄筋コンクリート部材は大地震等の大きな外力を受けると強い非線形挙動を示す（例えば[Nakamura 2009]）。実験や解析において、この挙動を外力と変形の関係（荷重－変形関係）図として表すことが多い。この図は、例えば図 1[秋田 2013] のように、構造部材の形状や材料特性を反映して様々な形状となる。

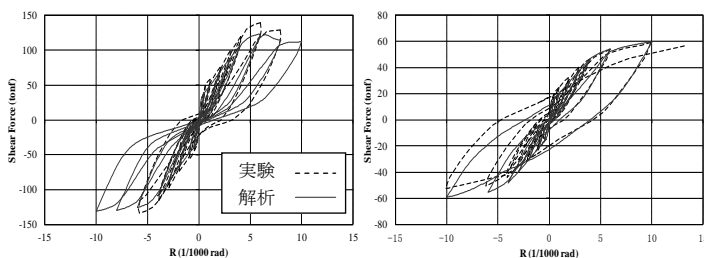


図 1 荷重－変形関係の例

本研究の目的は、この図の特性と構造部材特性の関係を事例ベースとして蓄積し、構造特性が与えられた時の図の特性や、逆に図が与えられた時の構造特性を推定するシステムを構築することである(図 2 参照)。

同図上段のように構造特性から荷重－変形関係を求めること(順解析)は、実験や解析、またはこれらに基づく評価式などで可能である。これは設定条件から結果を導くプロセスといえる。実験や解析を行うことなく、既存事例を格納したデータベースにより高精度の推定が行えれば有用性は高い。

逆に同図下段のように荷重－変形関係から構造特性を求めることは、結果から条件を求めるプロセスといえる。このような評

価は現状では困難である。しかし、このような評価の必要性は高い。例えば、建物に予想できなかった大きな被害が生じたとき、その原因を知るためには、建物の構造特性がどのようなものであったか、それにどのような力が作用したのかを分析する必要がある。このような分析検討(逆解析)を、既存事例を格納したデータベースにより実施できれば、新たな有用性が生まれる。

将来的にはさらにこれを拡張し、大地震等の建物被害から構造特性と外力を評価し、被害を生じた要因を分析できるシステムを考える(図 3 参照)。これは現時点では専門家がその知識と経験に基づいて行っている評価を代替するものといえる。

本報ではまずその嚆矢として、図 4 に示すボックス型の鉄筋コンクリート耐震壁(実験用試験体)を対象として、その適用性を検討する。

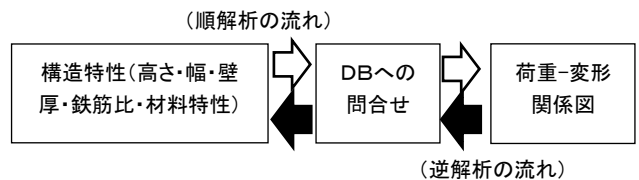


図 2 本システムのイメージ

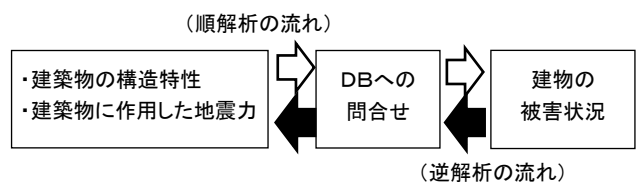


図 3 建物被害の要因分析のイメージ

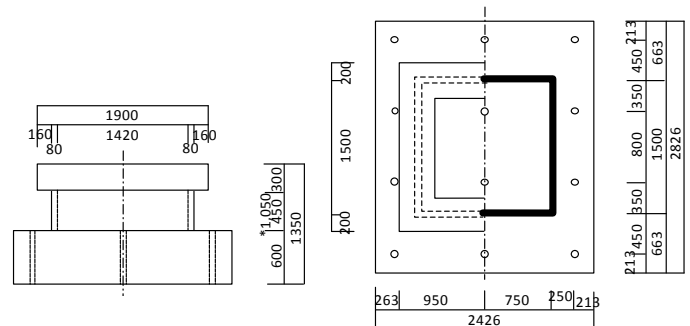


図 4 ボックス型の鉄筋コンクリート耐震壁(試験体)の例

連絡先: 中村尚弘, 広島大学, 東広島市鏡山 1-3-2 A2-822,
082-424-7794, nakamura_naohiro_home@yahoo.co.jp

2. 建築構造部材の荷重-変形関係

荷重-変形関係は、部材へ静的および動的に連続的に載荷し、その変形を測定して、関係づけたものである。その構成要因としては以下に大別される。

- スケルトン・カーブ(骨格曲線): 荷重-変形関係の包絡線。一般的には多折れ点を滑らかに結ぶ形状となる。折れ点は、部材の特性の変化(例えば、クラック発生、最大耐力到達など)に対応する。
- 履歴特性: ループの形状、繰り返し載荷時のエネルギー吸収特性に対応する。スリップ型、紡錘型などに分類される。

3. 事例データベースの構築

データベースの最終的なイメージは以下である。

- 多数の実験結果を整理し、事例データとする。
- 個々の実験結果の荷重変形図を、構造特性パラメータに関する多次元空間上の点と関連付ける。
- 推定する部材の構造特性パラメータが与えられたとき、近接する複数の点を探す。これに対応する荷重変形図を内挿して出力する。

ただし、現時点では十分な実験データを揃えるのが難しい。そこで、現状の代替案として以下を行うこととする。

- まず、十分な精度を有する解析でパラメータを振り、その解析結果から事例データベースを構築する。
- 次に、解析ケースにない実験結果に対し、妥当な回答が得られることを確認する。

本報では、原点から最大耐力後までのスケルトン・カーブに着目し、検討を行う。部材の幅、壁厚、軸力、材料物性を固定し、高さと鉄筋比をパラメータとして解析を行い、事例ベースとする(図5参照)。

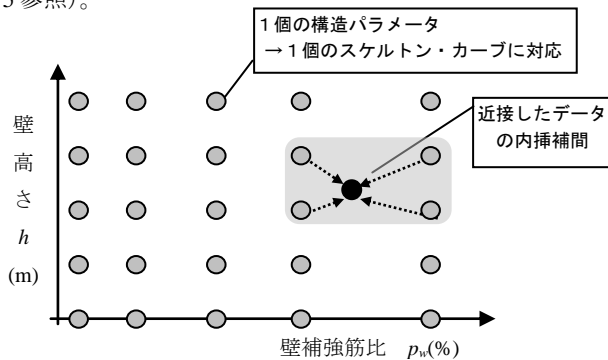


図5 解析に基づく事例ベースのイメージ

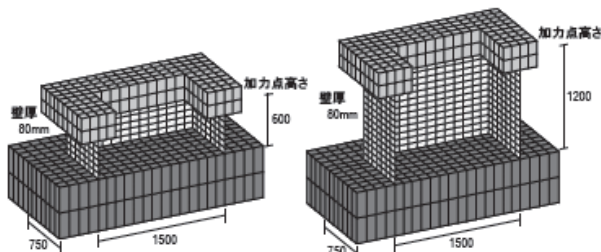


図6 FEM解析モデルの例

4. 解析モデルと解析方法

解析は、各種の構造解析に一般的に用いられる有限要素法(Finite Element Method, 以下、FEMという)を用いる。図6に解析モデルの例を示す。本報のRC耐震壁の非線形解析[Nakamura 2009]の概要は以下である。

鉄筋コンクリートを層状に置換した積層シェル要素でモデル化する。材料の非線形性は、面内の応力-ひずみ関係について考慮し、面外せん断変形成分は線形として取り扱う。

ひび割れ前のコンクリートは弾塑性体とし、引張主応力が一定値に達した時点で第1方向のひび割れが発生したものとす。第2方向のひび割れは、第1方向と直交方向に生じるものとする。ひび割れ後のコンクリートは、ひび割れ面直交および平行方向の軸ばねと、ひび割れ面に沿うせん断ばねによりモデル化する。

鉄筋は配筋方向に対する単軸材料とし、バイリニア型の復元力特性とする。鉄筋とコンクリート間は完全に付着しているものと仮定する。

5. 事例データベースの検索

構築した事例データベースを用いて、順方向および逆方向の検索を行い、適用性を検討する。検討には表1のデータおよび実験結果[秋田 2013]を用いる。

表1 ボックス型耐震壁の試験体

| 項目 | 試験体名 | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| | B1-1 | B1-2 | B1-3 | B1-4 | B1-5 |
| シアスパン比 | 0.4 | | 0.8 | | |
| 加圧点高さ (cm) | 60 | | 120 | | |
| 壁補強筋比 (%) | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 1.2 | 1.2 |
| 壁鉄筋 | D6 | | | | |
| 壁筋間隔 (mm) | 100 | 67 | 100 | 67 | 67 |
| 軸応力度 (kg/cm ²) | 20 | 0 | 20 | 0 | 20 |
| 壁厚 (cm) | 8.0 | | | | |
| 壁断面積 (cm ²) | 4800 | | | | |
| コンクリート圧縮強度 (kg/cm ²) | 277 | 247 | 248 | 305 | 297 |
| コンクリートヤング係数 (×10 ⁶ kg/cm ²) | 2.43 | 2.25 | 2.20 | 2.29 | 2.68 |
| コンクリート割裂強度 (kg/cm ²) | 24.5 | 20.9 | 20.1 | 27.6 | 25.7 |

*試験体データは実験当時の単位系とした。

6. 今後の課題

本検討により、図2の適用性が評価できる。建築物はこれらの部材の集合体と考えられる。本報の知見の蓄積により、図3の検討に繋がるものとする。

また、建築部材の特性は、既往の実験の分析に基づき、例えば(1)式のような実験式[日本防災建築協会 2007]で表されている。多数の事例データの蓄積により、より適応性の高い評価式を導ける可能性もある。引き続き検討を進めていきたい。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} b \cdot j \quad (1)$$

参考文献

- [Nakamura 2009] Nakamura, N. et al.: Analytical Study on Energy Consumption and Damage to Cylindrical and I-shaped Reinforced Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Loading, Engineering Structures, Vol.31, pp.999-1009, 2009.
- [秋田 2013] 秋田昇道, 中村尚弘, 三明雅幸, 鈴木琢也, 木下拓也, 中野富夫: 3次元有限要素法を用いた鉄筋コンクリート耐震壁の消費エネルギーと損傷指標に関する研究, 日本建築学会技術報告集 No. 41, pp.77-82, 2013.2
- [日本防災建築協会 2007] 日本建築防災協会・日本建築センター: 建築物の構造関係技術基準解説書, 2007