

平成22年 6月 16日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19760386  
 研究課題名（和文） 繰り返しによる耐力劣化を考慮した RC 構造のための復元力特性モデルの開発  
 研究課題名（英文） Hysteresis Model for Reinforced Concrete Structures Considering Strength Deterioration due to Cyclic Loadings  
 研究代表者  
 梅村 恒 (UMEMURA, Hisashi)  
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：70324473

研究成果の概要（和文）：木質及び鉄筋コンクリート構造物の実験で得られた荷重－変形関係に基づいて、応用範囲が広い曲線型復元力特性モデルを開発した。木質構造物では荷重 0 の位置で反曲点となるように曲線を決定する規則であるが、RC 構造物では木質構造よりも履歴面積が大きくなるので、荷重 0 の位置を越えて最大荷重の係数倍の位置に反曲点を移動できるようにした。その結果、左右対称に荷重が漸増するような、すなわち一般の実験で用いられるような載荷方法に対しては、従来のモデルよりも格段に精度良く荷重－変形関係を追跡することが可能になった。

研究成果の概要（英文）：A curvilinear hysteresis model is developed using load-deformation relations obtained in previous experimental studies. The new model is applicable for wide-ranged structures which have curvilinear restoring force characteristics like wooden or R/C structures. The only difference between the model parameters of wooden and R/C structure is the force level of the inflection point of the hysteresis curve. The model precisely follows the load-deformation relations shown in previous studies when the parameters are adequately determined and the loading history is not very eccentric.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	900,000	270,000	117,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,200,000	570,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：

RC造柱部材，木造柱部材，復元力特性モデル，繰り返し載荷，荷重－変形関係

## 1. 研究開始当初の背景

RC造部材や建物を対象とした復元力特性モデルとして、Takedaモデルが広く利用されているが、このモデルでは繰り返しによる

剛性低下や大変形時の耐力劣化が考慮されていない。また、RC構造の実験で得られる荷重－変形関係は曲線的であり、複数の直線による復元力特性モデルによる再現には限

界がある。RC 造の大変形での繰り返しを考慮した解析のために、より適用範囲が広く、荷重—変形関係を精度良く再現するモデルが必要である。また、RC 構造と同様に大変形時に大きな剛性・耐力の劣化が見られ、強い曲線の性質を見せる木質構造についても、剛性や耐力の劣化を考慮していない直線型のもものが良く用いられており、実験で得られる荷重—変形関係との対応は不十分である。木質構造と RC 構造の復元力特性には共通する性質が多いので、違いをパラメータで吸収し、ルールを共有することが考えられる。

## 2. 研究の目的

### (1)部材の剛性及び耐力低下性状の把握

部材実験データを収集し、剛性、耐力の劣化の一般的な特性を把握する。RC 造では、大変形時に耐力劣化が開始する条件について不明な部分が多いので、部材や載荷条件のパラメータと耐力劣化開始点の関係について調べ、簡便に定式化する。データを補完するため、有限要素法解析を併用する。木造では、部材のパラメータと復元力特性との関係には不明な点が多く、さらに、既往の実験的研究での載荷条件は画一的で、復元力特性モデルの開発にはデータが不足している。そこで、木造壁の破壊実験を行い、地震動を想定した複雑な入力に対する応答性状を調査する。

### (2)耐力劣化を考慮した曲線型復元力特性モデル

既往の研究で得られた部材の荷重—変形関係を良く再現するような曲線型復元力特性モデルを開発する。実験を再現する精度と簡便さのバランスを考え、利用し易いモデルとする。

### (3)建物群の地震応答解析

既往の部材実験に基づいて開発したモデルで、建物全体の地震応答解析が可能かどうか検証する。

## 3. 研究の方法

### (1)剛性低下、耐力劣化の性状を調べるための部材の破壊実験

既往の実験的研究では、良質なデータをより多く得るために非常に繰り返し回数を多くしたものがほとんどで、地震時の入力とはかけ離れている。荷重—変形関係には載荷の履歴が大きな影響を及ぼすので、単調載荷、一般の繰り返し方法を始めとした様々な方法で載荷して、適用範囲の広い耐力劣化のデータを収集する。

### (2)復元力特性モデルの開発

骨格曲線、除荷曲線、再載荷曲線に分類し、それぞれの部分について簡便に良く追跡する関数を決定する。関数に必要なパラメータと部材のパラメータの関係を調査する。

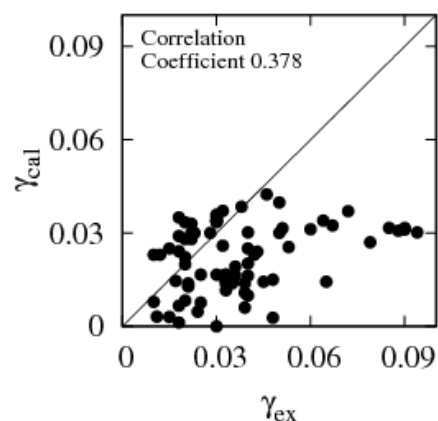
### (3)繰り返しによる剛性、耐力の劣化が地震応答に与える影響

開発した復元力特性を用いて地震応答解析を行ない、部材パラメータ、特に繰り返しによる剛性や耐力の劣化が地震応答に与える影響について調べる。

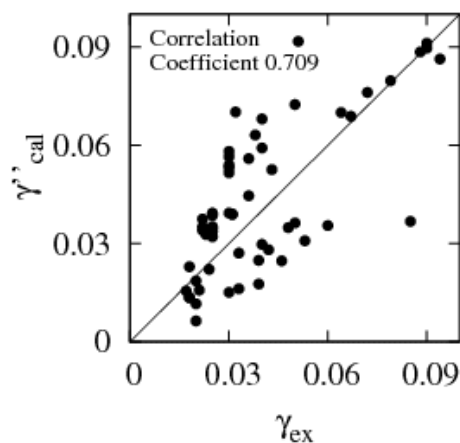
## 4. 研究成果

### (1)RC 造部材の耐力劣化開始点

RC 造部材の破壊実験を行った既往の研究からデータを収集し、既往の強度算定式と変形性能評価式の精度を調べた。せん断強度については、靱性保証指針、耐震診断基準をはじめとして、いくつかのモデルで比較的良好



(a) 靱性保証指針による評価



(b) 載荷履歴を考慮した評価

図1 RC 造部材の耐力劣化開始点

に評価できるのに対し、変形性能に関しては同指針や基準の他いくつかの研究で提案されたモデルを含めて、評価のばらつきが非常に大きい。原因の一つとして、繰り返し回数、載荷履歴の影響を適切に考慮するモデルが無いことが挙げられる。そこで、収集したデータを統計処理することによって、既往のモデルを修正し、載荷履歴の影響を考慮した変形性能評価式を開発した。例として、靱性保証指針の式を修正した評価式による、せん断破壊時変形角と実験データの関係を、修正前のものと併せて図1に示す。横軸が耐力劣化開始点の実験値、縦軸が計算値である。依然ばらつきはあるものの大きく改善されていることがわかる。

### (2) 復元力特性モデルの開発

まず、既往実験で得られた荷重-変形関係に基づいて、木質構造物の復元力特性モデルを開発した。地震動入力を想定した複雑な入力に対する応答を調べるため、土壁及び木造面材壁の破壊実験を行い、モデルの修正を行った。さらに、開発した木質構造物の復元力特性モデルを拡張して、応用範囲がより広いモデルとした。

開発したモデルの概要を図2に示す。既往の高精度なモデルの多くでは、複雑な分岐を使って多数の直線を表すために、場合分けの数が多くなり、プログラミングの難易度が高く、また多くのパラメータを必要とする。本モデルではモデルのルールを、①骨格曲線(図1の規則I)、②除荷曲線(規則II)、再載荷曲線(規則III)の3通りに抑え、それぞれを非常に単純な関数で表現した。必要なモデルパラメータは僅か7つである。これによって、プログラムコードは短くて済み、モデルの利用に際しても簡便である。

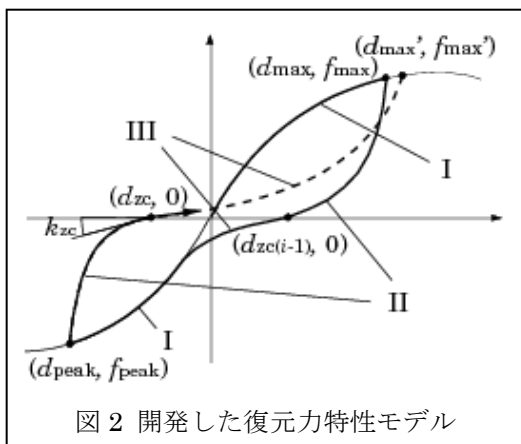
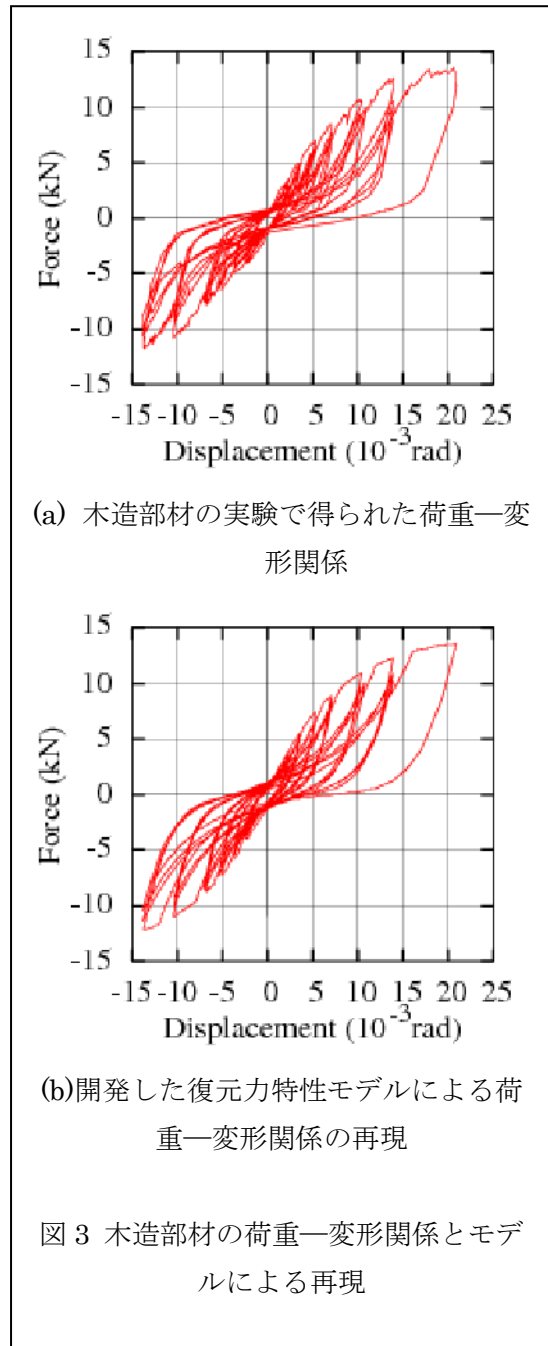


図2 開発した復元力特性モデル

開発したモデルを用いて、木造部材の実験で得られた荷重-変形関係を再現したものを、実験結果と併せて図3に示す。広い変形



(a) 木造部材の実験で得られた荷重-変形関係

(b) 開発した復元力特性モデルによる荷重-変形関係の再現

図3 木造部材の荷重-変形関係とモデルによる再現

の範囲に渡って、非常に良好に再現できていることがわかる。

木質構造物では荷重0の位置で反曲点となるように曲線を決定する規則としたが、RC構造物では木質構造よりも履歴面積が大きくなるので、荷重0の位置を越えて最大荷重の係数倍の位置に反曲点を移動できるようにした。その結果、左右対称に荷重が漸増するような、すなわち一般の実験で用いられるような載荷方法に対しては、従来のモデルよりも格段に精度良く荷重-変形関係を追跡することが可能になった。

さらに、複雑な入力に対する精度について、基になった木質構造物のモデルを検証した

ところ、一方向に変形が偏る場合に精度が下がることが明らかになった。RC 造部材を対象としたモデルにも同様の問題が含まれていると考えられるので、RC 造部材に関してもさらに実験データを入手してモデルを改良することを計画している。

### (3)モデルのプログラミングサンプルの提示

地震応答解析が可能になるように、開発したモデルをプログラム化した。追跡精度を重要視したため多少煩雑であるものの、RC 構造によく用いられる Takeda モデルと比較すると簡便である。モデル開発の過程では python を用いたが、C++, Fortran 版などのサンプルを用意しており、利用、検証が可能である。復元力特性モデルは応答解析などにおいて独立性が高いので、変位を与えて剛性と耐力を取り出すなど、インターフェースを決めてカプセル化するオブジェクト指向プログラミングと親和性が高いので、オブジェクトが利用可能な C++, d, python, Fortran90 を推奨してインターフェースを開発したが、当該分野で利用者の多い C や FORTRAN77 でも利用できるようにした。

### (4)曲線型モデルの地震応答特性

開発したモデルを用いて、地震応答解析を行い、応答の特性を調べた。従来のモデルとはエネルギー吸収の特性が大きく異なっているが、特に繰返しによる剛性低下の影響は大きい。繰返しによって剛性が低下して変位が増大し、負勾配領域に入ると、応答が極めて多くなる場合がある。負勾配領域に入らない場合に限っても、繰返し剛性低下によって応答が 1.5 倍程度に増大するケースも見られた。逆に、剛性が低下することによって建物の見掛けの固有周期が伸び、地震動の卓越周期と外れるために、応答が小さくなる場合もある。繰返しによる剛性劣化及び、大変形時の耐力劣化を地震応答解析において適切に考慮することは、精度良く建物の応答を評価するために極めて重要である。

簡便かつ現実的に剛性低下、耐力劣化を考慮することができる本モデルは、地震応答解析のための有力な選択肢になると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

①石黒貴裕・梅村恒・井戸田秀樹、繰返し載荷による耐力劣化を考慮した土壁および面材壁の復元力モデル (その 3) エネルギー消費を考慮した復元力モデルの提案, 日本建築

学会学術講演梗概集, 査読無, 2010 年, (印刷中)

②梅村恒, 木質構造物のための曲線型復元力特性モデル, 日本建築学会学術講演梗概集, 査読無, 2008 年, pp. 133-134

③森川ゆず・梅村恒, 1 自由度系の応答予測精度の検証, 日本建築学会学術講演梗概集, 査読無, 2008 年, pp. 65-66

④梅村恒・井戸田秀樹・荒木智, 繰返し載荷による耐力劣化を考慮した土壁および面材壁の復元力モデル (その 2) 耐力劣化を考慮した復元力モデルの提案, 日本建築学会学術講演梗概集, 査読無, 2007 年, pp. 233-234

⑤荒木智・井戸田秀樹・梅村恒, 繰返し載荷による耐力劣化を考慮した土壁および面材壁の復元力モデル (その 1) 繰返し載荷が耐力特性に与える影響, 日本建築学会学術講演梗概集, 査読無, 2007 年 9 月, pp. 231-232

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

梅村 恒 (UMEMURA, Hisashi)

名古屋工業大学大学院工学研究科 准教授

研究者番号: 70324473