

氏 名	松 井 千 秋 まつ い ち あき
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 450 号
学位授与の日付	昭 和 46 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	鉄骨ラーメンの弾塑性安定に関する実験的研究

(主 査)
論文調査委員 教授 若 林 実 教授 横 尾 義 貫 教授 金 多 潔

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、鉄骨高層ラーメンの塑性設計および動的応答解析の基礎となる骨組の弾塑性安定問題を解明することを目的として、実験的研究を中心とし、さらに理論的な検討、考察を加えたもので、6章より成っている。

第1章では、本研究の目的を述べ、さらに本研究に関連する国内、外の既往の実験的、理論的研究の概要について述べている。

第2章では、一定鉛直荷重と単調変動水平力を受ける矩形断面部材よりなる1層門形ラーメンの実験結果に関する考察および解析結果との比較検討を行なった。この実験では、今後の研究を進める上での基礎資料を得るため、骨組の弾塑性安定挙動に影響を与える柱の細長比、柱の軸力比、はりの剛比に関して、できるだけ多くの変数を選んだ。骨組の弾塑性解析は、材料の引張試験結果に基づいて、ひずみ硬化を考慮した tri-linear 型の応力-ひずみ関係を仮定し、骨組が大変形域に到るまでの挙動を、部材の軸方向への塑性域の拡がりを考慮して厳密に求めた。考察の結果、一定鉛直荷重と水平力とを受ける鉄骨ラーメンの一般的性状として、1. 細長比、はり剛比が同一の骨組では、軸力比が増加するに従って、水平耐力、変形能力および剛性が低下する。2. 軸力比の増加に伴う水平耐力の低下の割合は、同一軸力比の場合、細長比が大きいほど、はり剛比が小さいほど大きい。3. 安定限界の現われる限界軸力比は、細長比が小さいほど、はり剛比が大きいほど大きい。4. 骨組の水平耐力に及ぼすひずみ硬化の影響は、軸力比および細長比が小さいほど大きい。5. 靱性率は、軸力比、細長比が大きいほど、はり剛比が小さいほど小さくなる。6. 塑性域の拡がりを考慮した解析曲線は実験曲線をかなり忠実に追跡できる。などのことが明らかとなった。

第3章では、多層門形ラーメンの中層から下層部の弾塑性安定挙動を調べることを目的として行なった一定鉛直荷重と単調変動水平力とを受けるH形鋼部材より成る1層および2層門形ラーメンの実験結果について考察し、さらに解析結果との比較検討を行なった。実験条件は、実際の骨組の条件を考慮して決定

した。ここでは2通りの解析を行なった。解析法1はひずみ硬化を考慮した plastic hinge method で、ひずみ硬化による plastic hinge の抵抗モーメントの増分と回転角の増分との関係を、はり材、柱材について解析的に求めた。解析法2は、第2章に示した厳密な弾塑性解析に、さらに部材のせん断変形、接合部の剛域の影響を考慮したものである。実験結果および解析結果との比較検討から、1. 細長比が24、軸力比が0.3程度の条件で、柱材の両材端が降伏する場合（柱型崩壊形）、骨組に不安定現象は現われず、大変形域まで安定な挙動を示す。しかし、はり材端が降伏する場合（はり型崩壊形）、安定限界が現われ、以後わずかに不安定となる。この実験挙動は、上述の2つの解析によって予想できる。2. 鉄骨ラーメンの変形能力は、不安定現象が現われると急速に低下する。安定限界での各層の層間変位は0.01~0.015の範囲にある。3. plastic hinge method による水平耐力は実験耐力を±7%程度の精度で予想できる。厳密な解析では、1層ラーメンに対しては±2%、2層ラーメンに対しては4~18%安全側となる。4. 接合部の溶接による残留応力の存在は、鉄骨ラーメンの挙動に顕著な影響をおよぼさない。などのことが明らかとなった。

第4章では、多層多スパンラーメンの上層部、中層部、下層部の弾塑性安定挙動を調べることを目的として行なった一定鉛直荷重と単調変動水平力とを受けるH形鋼部材より成る十字形ラーメンの実験結果について考察し、さらに第3章で示した2通りの解析法による結果と比較検討した。また実験結果から建築学会の「塑性設計規準案」に示された横移動する柱材の設計公式の検討も行なった。考察の結果、軸力比、細長比、はり剛比が骨組の挙動に及ぼす影響について第2章の結論は、本章の実験結果からも確認された。さらに、1. 細長比が24~36、はり剛比が0.45~1.0の範囲では、軸力比が0.3程度で不安定現象が現われ、0.6程度となると、安定限界以後水平力は著しく低下する。この挙動は、前章の2通りの解析法でほぼ予想できる。2. 安定限界における層間変位は、軸力比が0.3の場合、0.015~0.02 軸力比が0.6の場合、0.01~0.015の範囲にある。3. 前章の2つの解析法による水平耐力は、共に実験耐力を±10%程度の誤差で予想する。しかし解析法1は軸力が大きい場合、危険側の誤差を与える。4. 「塑性設計規準案」の柱の設計公式は実験値に対し、充分安全側の評価を与える。などのことが明らかになった。

第5章では、一定鉛直荷重と準静的な正負交番繰返し水平力を受けるH形鋼部材より成る肘形ラーメンの実験結果に関する考察および解析値との比較検討を行なった。繰返し水平力を受ける骨組の弾塑性挙動を、2通りの方法で解析した。解析に用いたモーメント—曲率関係の履歴法則は、軸力の作用しない断面に対して bi-linear 型、軸力の存在する断面に対して繰返しサイクルの増加と共に弾性域が拡大する弾性域漸増型とした。解析法1は、第2、3章で示した単調載荷時の厳密な数値解析法を繰返し載荷時の場合に拡張したものである。第2の解析では、上述のモーメント—曲率の履歴法則の下に、骨組の繰返し水平力と変位との関係を解析的に導いた。実験結果および解析結果との比較検討から、一定鉛直荷重と正負交番繰返し水平力とを受ける骨組の性状として、1. 軸力比が0あるいは小さい場合、水平力と水平変位との履歴曲線は、ループの閉じる Masing 型の挙動を示す。軸力比が大きく、かつ柱断面が降伏する場合、履歴法則は、繰返し回数の増加と共にループが拡大する negative bi-linear 型の挙動を示す。2. 柱に軸力が存在し、繰返し水平力を受けて柱断面が降伏する場合、繰返しサイクルの増加と共に、断面に圧縮ひずみが蓄積し、骨組の水平耐力は上昇する。3. 靱性率は、柱軸力の大きさに関係し、軸力比0.3の場合

1.2~2.0, 軸力比 0.6 の場合 1.0~1.5 の範囲にある。4. 前述したモーメントー曲率関係に基づく繰返し弾塑性解析法 1 および 2 は, 実験曲線の特徴をかなり忠実に追跡できる。などのことが明らかとなった。

第 6 章では, 第 2~5 章でそれぞれ得られた結果に関して総括を行なっている。

論文審査の結果の要旨

高層建築に塑性設計法を適用する場合には, 柱に存在する高軸力によって生ずる不安定現象を考慮した耐力の計算が必要であり, また高層建築の動的解析を行なう場合にも, 不安定現象と関係の深い復元力特性を正確に把握する必要がある。本論文はきわめて資料のとぼしかった鉄骨長方形ラーメンの弾塑性安定問題について, 実験を中心として研究したものであり, その主要な成果を挙げれば次の通りである。

1. 長方形断面を持つ鉄骨門形ラーメンの小型模型を用い, その柱頭に一定の鉛直荷重を加え, さらに単調に変動する水平力を加えて, 水平力と柱頭の水平たわみとの関係を調べている。弾塑性解析は, 材料のひずみ硬化を考慮した tri-linear 型の応力ひずみ関係を仮定し, 部材の軸方向への塑性域の拡がりを考慮した厳密な方法と, 塑性ヒンジ法による近似的な解析と二通り行なっており, 前者による理論曲線は実験曲線とかなり良く一致すること, 後者は簡単であり, しかも細長比が余り大きくない場合にはかなり良い近似を与えることを示した。また実験結果から柱の細長比, 柱に加えられる軸力, はりの剛比などと不安定現象との関係についてのいくつかの知見を得ている。

2. 圧延 H 形鋼で構成された, 一層および二層の門形ラーメンの柱頭に一定の鉛直荷重を加え, さらに単調に変動する水平力を加えた場合の実験結果について考察し, さらに解析結果と比較している。ここではひずみ硬化と塑性域の拡がりのほか, 部材のせん断変形, 接合部の剛域の影響を考慮した厳密な方法と, ひずみ硬化を考慮した塑性ヒンジ法とを用い, 前者による理論曲線は変形的全領域にわたって実験結果と一致すること, 後者による理論曲線は弾性域から塑性域への移行領域以外では実験結果と良く一致することを示している。また実験結果の検討から, 通常の高層建築の下層部における柱の不安定現象に対するいくつかの知見を得ている。

3. 多層多スパンラーメンの弾塑性安定に関する挙動を調べるために, 圧延 H 形鋼からなる十字形骨組の柱頭に一定の鉛直荷重を加え, 柱脚に単調に変動する水平力を加えた場合の実験結果について考察し, さらに前述の二つの方法による理論曲線と実験結果とは門形ラーメンの場合と同様に良く一致することを示している。

4. 多層多スパンラーメンが繰返し荷重を受けたときの履歴特性を調べるために, 圧延 H 形鋼からなる肘形ラーメンの柱頭に一定の鉛直荷重を加えておき, 柱脚に正負の繰返し水平力を加える実験を行なっている。解析は二つの方法によっているが, 第一の解析では, bi-linear 型の応力ひずみ関係に基づいて算定したモーメント曲率関係の履歴法則を用い, 塑性域の拡がりを考慮した解析を行なった結果, 実験による履歴曲線に近い理論曲線を得ており, 繰返し荷重によるひずみの蓄積とひずみ硬化の影響で履歴曲線が拡大していく現象を定量的に説明している。第二の解析では第一の解析における同じモーメント曲率関係の履歴曲線の用い, 骨組の履歴曲線を解析的に求める簡単な近似解法を導き, 第一の方法による計算結果との比較によって, その誤差範囲を推定し, 十分の近似度を有することを確かめている。さらに実験結

果の検討から繰返し荷重を受ける骨組の挙動に関するいくつかの知見を得ている。

以上要するに本論文は、一定の鉛直荷重を受け、さらに単調または正負の繰返し水平力を受ける鉄骨長方形ラーメンの弾塑性安定に関する精密な実験ならびに解析により、新たな多くの知見を加えたものであり、学術上また實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。