

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 姜 優 子
 学位の種類 博士(工学)
 学位記番号 産 第 29 号
 学位授与の日付 平成 22 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学位規程第 4 条第 2 項該当
 学位論文題目 鉄筋コンクリート造耐震壁付帯ラーメン中間部材のせん断強度に関する実験的研究

論文審査委員 (主 査) 教授 川 上 秀 人
 (副主査) 教授 工 藤 卓
 (副主査) 教授 依 田 浩 敏
 (副 査) 名誉教授 小 野 正 行

鉄筋コンクリート造ラーメン構造の柱および梁のせん断設計は、梁の終局せん断強度実験式や下界定理に基づくトラス・アーチ理論による算定式がせん断終局強度式として採用されている。しかし、耐震壁の水平抵抗機構および破壊機構に基づく研究では、耐震壁付帯ラーメンの力学的挙動は、フレーム構造の柱・梁のそれとは異なることが報告されている。また、フレーム架構の柱のせん断破壊に及ぼす大きな因子は、帯筋、軸力、コンクリート強度およびせん断スパン比であると指摘されている。しかし、中間部材は壁筋と同様にせん断ひび割れの発生に伴う壁板の膨張を拘束する役目をしていることから、中間部材には主として拘束反力による大きな引張軸力が生じる。これまで、両側の壁板に挟まれた中間部材の抵抗機構・破壊機構に基づくせん断強度に関する実験的研究はほとんどない。そのため、中間部材のせん断強度は現在のところ不明のままであることから、中間部材の断面設計法はいまだ確立されているとはいえないのが現状と思われる。本論文は、耐震壁中間部材のせん断強度に及ぼす影響因子を明らかにし、影響因子とせん断耐力の関係について調べ、既存のせん断強度式の適用法も含め、新たな評価法を検討することを目的としている。設計法に関しては、1)耐震壁付帯ラーメン中間部材の要素試験体を用いた実験による検討、2)有限要素法解析による検討、3)既往のせん断強度式の適用法の検討と算定式の提案を行った。

本論文は、全 6 章より構成され、以下に示す内容になっている。

- 第 1 章 序論
- 第 2 章 一方向載荷実験
- 第 3 章 繰返し載荷実験
- 第 4 章 有限要素法解析
- 第 5 章 耐震壁付帯ラーメン中間部材のせん断強度評価法の提案
- 第 6 章 総括

各章の概要を示す。

第 1 章では、研究目的および研究概要を記した。

第 2 章「一方向載荷実験」では、連層・連スパン耐震壁における付帯ラーメンのせん断破壊の恐れが大きい部分に着目した中間部材要素試験体を提案し、主筋比、せん断補強筋比および部材断面形状を実験変動因子とした一方向載荷実験を行い、以下のようまとめられた。

- 1) 中間部材要素試験体のせん断破壊は、既往の連層耐震壁の水平力載荷実験から得られた中間梁のせん断破壊性状とほぼ同じであった。

- 2) コンクリート強度による最大耐力のばらつきは、本研究の範囲では9～15%の間で見られる。
- 3) 主筋強度を増大するとせん断強度が増大する傾向があり、主筋補強シリーズにおいては主筋強度に比例している傾向がみられる。
- 4) 初ひび割れ以降の荷重の増大は、主筋のみによってもたらされている。
- 5) 水平せん断力の増大とともに壁板に斜めひび割れが生じて軸方向引張応力が生じるため、中間部材のせん断強度は、主筋強度に最も影響を受ける。せん断強度を大きくするためには、主筋強度を増大することが最も効果的と考えられる。
- 6) せん断補強筋を設けると多少せん断強度が増大する傾向があるが、主筋強度ほどの効果はないようである。

第3章「繰返し載荷実験」では、地震時、建物には繰返し荷重が作用し、連層・連スパン耐震壁においては中間部材に交差したひび割れが生じる。このことから、主筋比、軸方向力および部材断面形状を実験変動因子とした中間部材要素試験体に繰返し載荷を行い、繰返し時のせん断強度に及ぼす影響を検討し、以下のようにまとめられた。

- 1) 梁断面形状に関わらず主筋比が増大すると、最大耐力も増大する傾向が見られた。
- 2) 軸方向力が増大すると、耐力が上昇する傾向が見られた。
- 3) 一方向載荷と同様に繰返し載荷実験でも、中間部材のせん断強度には、主筋量や軸方向力などの影響が大きく、せん断強度の評価にはこれらの影響を考慮する必要がある。
- 4) 一方向載荷と繰返し載荷の履歴は、耐力付近までは同様な履歴となった。

第4章「有限要素法解析」では、鉄筋コンクリート構造解析プログラム「ATENA2D」を用い、実験で検証できなかったパラメータの有限要素法解析を行い、耐震壁付帯ラーメン中間部材のせん断強度に及ぼす影響を検討し、以下のようにまとめられた。

- 1) 解析においてのひび割れ状況は、実験とほぼ一致している。
- 2) 解析値は実験時のある程度までは実験結果とほぼ一致している。
- 3) 解析での最大耐力は、実験値よりも少し小さくなる傾向がある。
- 4) 解析での最大耐力に達する部材角は、実験値の2倍以上という結果になった。
- 5) 解析においても、せん断強度には、主筋比や軸方向力の影響が大きい。
- 6) 今後の課題として、FEM解析においては3Dモデルの適用や、繰返し構成則などが入力可能なソフトで、更に検討する必要があると考えられる。

第5章「耐震壁付帯ラーメン中間部材のせん断強度評価法の提案」では、鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説に示されているせん断強度式、および鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説に示されている式と2・3章による実験結果および4章で行った解析で得られた成果を比較検討し、耐震壁付帯ラーメンの中間部材のせん断強度に及ぼす、主筋比と軸方向力の影響を考慮した算定式を提案した。

第6章では、以上で得られた成果を総括した。

本論文は、耐震壁付帯ラーメン中間部材のせん断強度式を提案することにより、鉄筋コンクリート造建築物において、より適切な設計ができるものと思われる。また、連層耐震壁の中間梁など、部材軸力がほぼないと思われる付帯ラーメンについては、梁断面形状を壁厚と同じにしても、耐力は変わらないということが明らかにされたので、意匠性の自由度を広げ、コスト低減にもつながるや施工方法を考えることができると思われる。

論文審査結果の要旨

鉄筋コンクリート造ラーメン構造の柱および梁のせん断設計は、梁の終局せん断強度実験式や下界定理に基づくトラス・アーチ理論による算定式がせん断終局強度式として採用されている。しかし、耐震壁の水平抵抗機構および破壊機構に基づく研究では、耐震壁付帯ラーメンの力学的挙動は、フレーム構造の柱・梁のそれとは異なることが報告されている。また、フレーム架構の柱のせん断破壊に及ぼす大きな因子は、帯筋、軸力、コンクリート強度およびせん断スパン比であると指摘されている。しかし、中間部材は壁筋と同様にせん断ひび割れの発生に伴う壁板の膨張を拘束する役目をしていることから、中間部材には主として拘束反力による大きな引張軸力が生じる。これまで、両側の壁板に挟まれた中間部材の抵抗機構・破壊機構に基づくせん断強度に関する実験的研究はほとんどない。そのため、中間部材のせん断強度は現在のところ不明のままであることから、中間部材の断面設計法はいまだ確立されていないのが現状と思われる。本論文は、耐震壁中間部材のせん断強度に及ぼす影響因子を明らかにし、影響因子とせん断耐力の関係について調べ、既存のせん断強度式の適用法も含め、新たな評価法を提案したものである。

まず、連層・連スパン耐震壁における付帯ラーメンのせん断破壊の恐れが大きい部分に着目した中間部材要素試験体を提案し、主筋比、せん断補強筋比および部材断面形状を実験変動因子とした一方荷実験を行い、耐震壁付帯ラーメンの中間部材のせん断強度に関する主な影響因子は主筋強度であることを明らかにした。また、この実験から連層耐震壁中間梁においては、壁厚と部材断面が同じ場合でも、材軸方向に補強筋を入れることにより、付帯ラーメンと同様の効果を得ることができるということも確認できた。更に、同様の試験体を用い繰返し荷実験を行い、一方荷と同様に繰返し荷実験でも、中間部材のせん断強度には、主筋量や軸方向力などの影響が大きく、せん断強度の評価にはこれらの影響を考慮する必要があることを明らかにした。

次に、鉄筋コンクリート構造解析プログラム「ATENA2D」を用い、実験で検証できなかったパラメータの有限要素法解析を行い、耐震壁付帯ラーメン中間部材のせん断強度に及ぼす影響をさらに検討した結果、解析においても、耐震壁付帯ラーメンの中間部材のせん断強度に関する主な影響因子は主筋強度であることを確認した。

更に、実験および有限要素法解析から得られたデータを基に、既往のせん断強度式にあてはめてみたところ、実験値および解析値と既往の式の算定値の誤差が大きいことが判明。このことから、既往のせん断強度式に、部材軸方向の補強筋の強度を考慮することによる、耐震壁付帯ラーメンの中間部材に関するせん断強度式を以下のように提案した。

$${}_{cal}Q_{cu3} = \left[k_w k_p (180 + \sigma_B) \frac{0.12}{M/Qd + 0.12} + 2.7 \sqrt{p_w \sigma_{yw}} + 0.1(\sigma_0 + 2p_g \sigma_{yk}) \right] bj$$

$${}_{cal}Q_{cu1} = bj p_w \sigma_{yw} \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) b D v \sigma_B / 2$$

$$v = 0.7 - \sigma_B / 2000 + (50 p_g - 0.5)$$

但し、 $p_g \leq 0.01$ のとき $p_g = 0.01$

本研究は、耐震壁付帯ラーメン中間部材のせん断強度式を提案することにより、鉄筋コンクリート造建築物において、より適切な設計ができるものと思われる。また、連層耐震壁の中間梁など、部材軸力がほぼないと思われる付帯ラーメンについては、梁断面形状を壁厚と同じにしても、耐力は変わらないということが明らかにされたので、意匠性の自由度を広げ、コスト低減にもつながる施工方法を考えることが可能となる。

以上のように、本研究によって提示された耐震壁付帯ラーメンの中間部材のせん断強度提案式は、鉄筋コンクリート造建築物において、より適切な設計ができるものと思われる。また、本研究により連層耐震壁の中間梁など、部材軸力がほぼないと思われる付帯ラーメンについては、梁断面形状を壁厚と同じにしても、耐力は変わらないということが明らかにされたので、意匠性の自由度を広げ、コスト低減にもつながる施工方法を考えることが可能となることから、建築設計において寄与するところが大きい。

よって審査員は、各審査試験、予備試験ならびに博士学位論文公聴会(平成22年2月4日)を行って慎重に審議した結果、本論文の内容は博士(工学)の学位を授与するに相当するものと認めた。