

委員会報告 鉄筋コンクリート造壁部材の曲げ終局強度算定法に関する研究委員会

加藤 大介*1・津田 和明*2・中村 光*3・松井 智哉*4・松崎 裕*5

要旨：本報告は平成 28～29 年度に日本コンクリート工学会に設置された「鉄筋コンクリート造壁部材の曲げ終局強度算定法に関する研究委員会」の活動の概要報告である。鉄筋コンクリート造の壁は作用するせん断力の影響により現略算式では妥当に曲げ終局強度を算定できない場合があり、さらに有開口壁においては開口の影響により無開口壁に比べさらに大きく曲げ終局強度が低下することが分かってきている。本研究委員会の目的は現算定式と実強度が対応しなくなる要因を特定し、それに対する対応方法を検討し、開口も考慮した上でその算定法を提案することである。この目的を達成するために、壁部材の曲げ挙動を中心に、その設計法の現状を調査し、選定された試験体に対し FEM 解析を実施した。さらに、その解析結果を基に算定法を提案している。本報告ではそれらの検討結果の概略を報告する。

キーワード：鉄筋コンクリート、壁部材、曲げ強度、FEM 解析、開口

1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下、RC)造の構造物の設計においては、各部材の曲げ強度、せん断強度あるいは付着強度などの終局強度の評価法が不可欠である。この中で曲げ強度に関しては理論的なアプローチが可能で、断面の平面保持解析やそれに基づく略算的な手法などにより、従来より十分な精度で評価ができていたと考えられてきている。しかしながら、近年では、これらの手法では曲げ強度が十分に精度よく評価できない場合があることが認識され始めている。特に、面部材である壁の場合にその傾向が高くなる。一方、壁部材には開口が設けられることがあり、この場合も曲げ強度の評価が難しい。

本研究委員会(委員長：新潟大学加藤大介教授)では、RC 造の壁部材を対象とし、以上で示したような曲げ終局強度の現状の算定法の問題点を明らかにし、それを解決できる簡略的な評価式の提案を目的としている。表 1 に本委員会の委員構成を示す。

無開口壁部材の場合に慣用的な曲げ終局強度評価式では十分に精度よく評価できない理由として考えられるのは以下の 3 点である。1)壁部材では、両側の柱部材等の軸方向筋以外に壁体の軸方向筋も曲げ強度に寄与するため、強度は変形に大きく依存する。また、それぞれの鉄筋の効果は異なり、ある鉄筋についてはひずみ硬化域まで考慮しなければならないこと。2)両側の柱が帯筋により十分に拘束されている場合は、曲げ強度に及ぼすその影響が大きくなること。3)面材はせん断力の影響が避

けられない。その際、柱型の拘束が大きければせん断力による圧縮ストラットが危険断面端部に向かわず見かけ上柱の上部に向かうことになる。要するに曲げ強度が高くなる。逆に柱型の拘束が少ない場合は、断面の圧縮領域が増えることにより中立軸深さが長くなり、曲げ強度が低くなる可能性がある。

一方、開口を有する壁部材の場合の理由は以下の 2 点が考えられる。4)開口により軸方向筋が無くなり、その代わりに曲げ強度に対する効果が不明な開口補強筋が存在すること。5)開口の存在により危険断面(基部あるいは開口下面)での平面保持仮定が崩れること。

これらの要因を詳細に検討するために以下のような活動計画を立てて実施してきた。

・平成 28 年度の活動計画

まず建築分野および土木分野における壁部材の実験的な既往の研究の調査を行い、慣用的に使われている曲げ終局強度算定式の問題点を抽出する。さらに、無開口の両側柱付き壁部材を対象として曲げ終局強度算定式が実験結果を推定できていない代表的な試験体を選定し FEM 解析を行う。これにより実験では把握できない要素の応力度分布などが評価できると考えられる。

・平成 29 年度の活動計画

平成 29 年度は開口のある両側柱付き壁部材を対象として曲げ終局強度算定式が実験結果を推定できていない代表的な試験体を選定し FEM 解析を行う。次に前年度に行った無開口の FEM 解析結果も含めて両側柱付き壁

*1 新潟大学 自然科学系(工学部建築プログラム担当)教授 工博 (正会員)

*2 近畿大学 産業理工学部 建築・デザイン学科教授 博(工) (正会員)

*3 名古屋大学 大学院工学研究科土木工学専攻教授 博(工) (正会員)

*4 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系准教授 博(工) (正会員)

*5 東北大学 大学院工学研究科土木工学専攻助教 博(工) (正会員)

部材の精度のよい曲げ強度式を提案する。

以下に報告書の目次を示す。報告書は2編からなり、I編には研究委員会が調査した実務および研究の現状の紹介、II編には研究委員会として行ったFEM解析の結果の紹介とそれに基づいた幾つかの提案が紹介されている。

I編 RC造壁部材のモデル化に関する現状と問題点

(実務および研究の現状の紹介)

1章 両側柱付き壁部材

2章 立体壁

3章 袖壁付き柱

4章 土木分野における壁状部材

II編 モデル化に関する新しい提案の試み

(研究委員会の成果の紹介)

5章 無開口試験体の検証試験体とそのFEM解析

6章 無開口試験体の曲げ強度に及ぼす影響の検討と設計式の提案

7章 有開口試験体とそのFEM解析

8章 開口が強度特性に及ぼす各種影響の検討と設計法の提案

表-1 委員会構成

委員長	加藤 大介	新潟大学
代表幹事	津田 和明	近畿大学
幹事	中村 光	名古屋大学
	松井 智哉	豊橋技術科学大学
	松崎 裕	東北大学
委員	秋山 充良	早稲田大学
	岡本 大	公益財団法人鉄道総合技術研究所
	熊谷 仁志	清水建設株式会社
	河野 賢一	鹿島建設株式会社
	新藤 竹文	大成建設株式会社
	萩尾 浩也	株式会社大林組
	本多 良政	小山工業高等専門学校
	渡邊 秀和	国立研究開発法人建築研究所

以下に報告書の概要を示す。

2. RC造壁部材のモデル化に関する現状と問題点

2.1 実務設計における両側柱付き壁部材のモデル化

耐震壁の中で両側柱付き耐震壁の構造設計実務上での取り扱い方法について図-1に示す。一般的には、ブレース置換、線材置換、エレメント置換、有限要素法置換の4つの手法が知られている。

それぞれ置換方法には一長一短があるので、設計者は置換方法の特徴を理解して、建物全体の構造型状と耐震壁が機能する構造的な特徴を照らし合わせて適宜選択する必要がある。また、耐震壁のモデル化の選択とともに非線形性の考慮方法も重要となる場合がある。耐震壁は負担する水平力の大きさによってはひび割れが入り、水平力の負担バランスは弾性時と変わることになるので、耐震壁の剛性低下の具合によっては、建物各部に生じる応力・変形状況を把握する必要がある。

なお、現在、構造設計においては、高さ60m以下の建築物は一貫構造計算ソフトを用いて設計することが多い。一貫構造計算ソフトには幾つか種類があるが、耐力壁のモデル化についてはエレメント置換が多く適用されている。

耐力壁の開口による剛性・耐力低下については、告示(平19国交告第594号第1)に規定されている。一般的には開口諸元と耐力壁の長さ比、開口周比などから低減率(r)によってせん断剛性およびせん断耐力の低減として考慮される。ここで、低減率は開口の形状・寸法に応じて定められたもので、開口の位置などは特に問われていない。

但し、明らかに1枚の耐力壁と異なるような挙動を示す開口形状として、告示(平19国交告第594号第1)三では、「開口部の上端を当該階のはりに、かつ、開口部の下端を当該階の床版にそれぞれ接するものとした場合にあっては、当該階を一の壁と取り扱ってはならないものとする。」とある。大きな縦長の開口部を設けた壁は開口部の左右の2つの壁とそれらを連結するはりからなる並列壁の形式として扱うことになる。

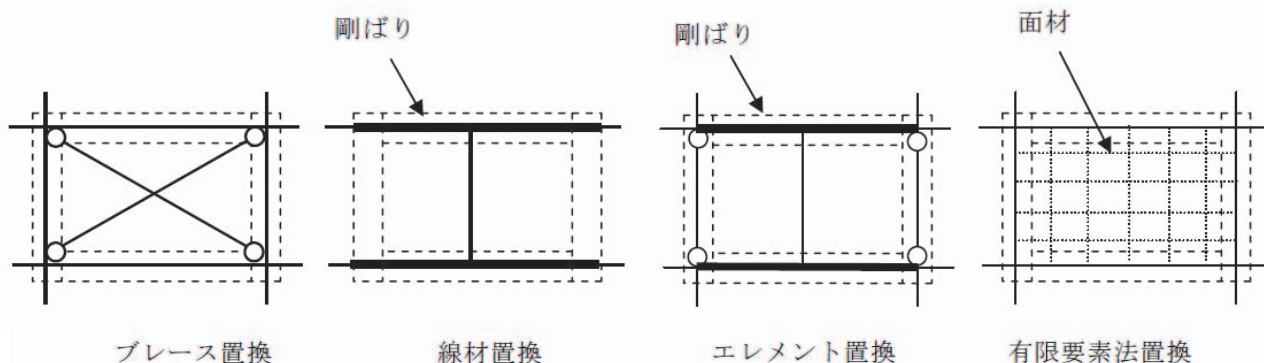


図-1 両側柱付き壁部材の置換モデル例

2.2 立体壁

日本の RC 造はラーメン構造を基本として発展し、柱・梁フレームに内蔵される“耐震壁”が普及しているが、海外ではフラットスラブ構造の鉛直部材として平板のみならず立体的な形状の壁が用いられており、現在世界一の超高層建物である Burj Khalifa が代表例である。近年は国内でも、壁厚と柱断面寸法を揃えることで、ラーメンと立体壁を併用した構造が開発されており、こうした立体壁の設計例・研究例について調査を行った。

超高層 RC 造建物のセンターコアに立体壁が用いられる場合が多く、低層部には設計基準強度が 60~100 N/mm² の高強度コンクリートが採用されている。高強度コンクリートを用いた L 形断面などの立体壁では、高圧縮軸力下で弱軸方向に曲げを受けた場合に、隅角部近傍が圧壊して急激な耐力低下を生じることが実験的に明らかになっている。このような曲げ破壊時の耐力・変形性能は、横補強筋拘束部と非拘束部コンクリートにそれぞれを適切に模擬した応力-ひずみ関係を設定すれば、平面保持を仮定した断面解析によって評価できることが確認されている。構造設計においては、立体壁を複数の柱に置換したモデルを用いて、その復元力特性を表現できることが報告されているが、上記のような曲げ破壊挙動を踏まえたクライテリアの設定が必要である。

2.3 袖壁付き柱

袖壁付き柱は過去の地震でせん断破壊を起こしてきたため、袖壁にスリットを設けて柱として設計してきた。近年、剛性が高く、強度が高い袖壁付き柱部材は建物の損傷を抑えることができるとして、建物に配置することが望まれている。そのため、袖壁付き柱の性能評価に関する研究が行われている。

日本建築学会では鉄筋コンクリート構造計算規準¹⁾や鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準(案)²⁾で袖壁付き柱部材の性能評価法を示している。文献 2)では、曲げ終局モーメントを圧縮側鉄筋の効果を無視して圧縮側コンクリートを長方形ストレスブロックとした曲げ塑性理論により算出し、せん断終局強度は袖壁付き柱の断面を壁方向に柱部分と壁部分に分割しそれぞれのせん断終局強度を足し合わせることで算出する。強度算定式は日本防災協会の耐震診断基準等^{3), 4)}の算定式に比べ、実験結果との対応がよくなっている。

一方、袖壁付き柱には換気口等のために開口を設けることがある。文献 2)では開口を有する袖壁付き柱の剛性、強度および変形に対して開口の影響を適切に考慮することとなっている。文献 5)では開口の位置による強度および変形の影響を考察している。開口の位置が曲げ強度と終局変形に影響を及ぼす範囲について開口を無視した曲げ強度と開口下端の位置の曲げ強度の比較および危険断

面の圧壊領域から算出し、有開口袖壁付き柱の曲げ実験との比較を行った。その結果、開口が影響を受ける範囲にある試験体は曲げ強度に対し開口の影響を受けていることが確認できた。限界変形に対しては開口を無視した計算値をほぼ同程度だった。これにより、開口が強度と終局変形に影響を及ぼす領域を示し、領域と開口の関係について実験結果を概ね説明できることを示した。

また、開口を有する袖壁付き柱の曲げ強度を脚部の部材軸方向応力度から考察するために行った FEM 解析を紹介している。開口を柱際と中央部、中央脚部に配置した袖壁付き柱の曲げ実験試験体の FEM 解析を行い、脚部の応力度分布を求めた。その結果、開口の袖壁の長さ方向の位置の脚部では最大耐力時の部材軸方向の応力度が小さくなっており、この応力度分布が曲げ強度に影響を及ぼしていることが分かっている。

2.4 土木分野における壁状部材

土木分野では、壁式橋脚などの橋軸直角方向、タンク・トンネルなどの壁面、駐車場や水道施設などの函型構造の壁部材のように多様な形式があり、これらを壁状部材として現状の知見についてとりまとめた。

(1) 壁状部材に関する実験事例

土木分野における壁状部材に関して、曲げ挙動とせん断挙動のそれぞれについて実験がなされている。大塚ら⁶⁾は、山間地の高橋脚等に用いられる、橋軸方向にフレキシブルで橋軸直角方向に耐震壁を有する I 型断面フレキシブル RC 橋脚について検討した。そして、壁の横拘束筋量および柱の帯鉄筋量を増加させることで変形能は向上するが、一定以上に両者の鉄筋量を増加させても変形能の向上効果には上限があることなどが示されている。なお、耐震壁の両端の柱部材が変形能の向上にとって重要な点は、El-Azizy et al.⁷⁾も示している。篠原ら⁸⁾は、設計年次が古く、現行基準で設計される橋脚に比べて軸方向鉄筋量の少ない低鉄筋比 RC 壁式橋脚の橋軸方向に対する検討を行った。橋脚基部でのみ曲率が生じてロッキング挙動をし、かぶりコンクリートが剥落せずに、最終的に軸方向鉄筋の破断が生じる特徴が示されている。

土木分野における壁状部材のせん断挙動に関して、石橋ら⁹⁾は、壁式橋脚は片持ち形式であり、橋軸直角方向の側方鉄筋が RC 梁部材と比較して多いことを踏まえた載荷実験を行った。横方向鉄筋比の大小によって、斜めひび割れが分散して生じるか否かが変化することなど、損傷進展の違いが明らかにされている。

(2) 壁状部材に関するモデル化

土木分野における壁状部材は、一般には、線材に置換され、曲げ挙動は平面保持の仮定に基づく通常の曲げ挙動解析に基づき、せん断耐力はせん断スパン比の小さいディープビームとして扱われることが多い。これは、線

材に置換して耐力を算定すれば設計上は安全側の評価になるとの考えに基づいている。

一方で、より合理的に壁状部材の挙動評価や耐力の算定を行うために、有限要素解析も行われており、土木学会の LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針¹⁰⁾では、壁状構造である側壁を有する LNG タンクについて、耐震性能 3 に対する照査では、躯体の構成材料の非線形特性を考慮した動的非線形解析手法を用いることを基本としている。土木学会コンクリート標準示方書では、2007 年制定の設計編¹¹⁾において、参考資料に非線形有限要素法が構造性能照査の一つの手法として使用できるようにまとめられたものの、非線形有限要素法の利用は応答値の算定までであった。2012 年制定の設計編¹²⁾では、材料の損傷指標に基づく照査指標と限界値が示され、有限要素法から得られる結果のみで照査が可能な体系が整えられた。

(3) 各種土木建造物の設計法の現状

壁状部材を有する土木建造物の事例として、橋脚、開削トンネル、タンク、地下駐車場を取り上げ、特に如何なる場合に壁状部材としての取り扱いに注意を要するかをまとめている。例として橋脚を取り上げると、一般には、断面高さに対して断面幅が 3 倍以上ある橋脚は壁式橋脚と呼ばれる。壁式橋脚は、橋軸直角方向について、大きな曲げ耐力を有し、せん断耐力に対する照査を満足させることが難しいため、一般にせん断補強鉄筋の配筋が過密になることが多い。また、一般に基礎は損傷の発見・修復が難しいため、塑性化させないが、壁式橋脚を支える基礎については、壁式橋脚は弾性応答させ、基礎の塑性化を許容した耐震設計がなされている¹³⁾。

2.5 RC 造壁部材の損傷評価

RC 造建物には構造計画上以外の様々な理由で、架構に垂れ壁および腰壁などの非耐力壁が計画されることが多い。近年の大地震(2011 年東日本大震災、1995 年阪神大震災など)による被害をみると、地震によって建物の倒壊が免れたとしても、建物が損傷を受けることにより経済的な損害を受けた例が見られる。例えば、RC 造共同住宅では、地震によって玄関周りの非耐力壁が損傷を受け、玄関扉が機能しなくなってしまう例があり、さらにはこの損傷が原因で建物を取り壊してしまう事例も存在する。このように、従来の非耐力壁は柱や梁、両側柱付き耐力壁などと比べ、小さな変形でも損傷を受けることが多い。そのため、建物は安全であっても非耐力壁の損傷により建物の機能が大きく損なわれることがある。

近年では、このような非耐力壁の耐震性能を強化し耐震要素として有効に利用する方法として、従来の非耐力壁よりも損傷制御性能を向上した部材の提案が行われている。一例として、壁厚 200mm 以上、複配筋、端部に

拘束域を設けた非耐力壁付き柱部材の提案がある。このような従来と比べ比較的耐震性のある非耐力壁は、もはや非耐力壁ではなく、構造設計の中で有効に作用する耐震要素(=耐力壁)として設計されている。

また、近年では建物の耐震性能に対する要求があがり、例えば大地震後であっても無損傷または簡単な補修のみで復旧できるような性能(=大地震後の継続使用性)を求められるケースがある。このような要求に応えるためには、構造設計の際に地震レベルに応じた建物の損傷を予測する必要がある。そのためには、RC 造建物の中で特に損傷を受けやすい、非耐力壁や耐力壁などの損傷評価が重要である。しかし、現在の設計では設計時に詳細な損傷評価を行うことは困難である。今までの研究では主として部材や建物の耐力評価を主目的に実験が行われてきており、近年では変形性能や損傷評価に関する研究も増えてきているものの十分ではない。そのため、建物の構造設計時に損傷評価に基づいた設計を行うには、十分な工学的な知見がないというのが現状である。本節では、非耐力壁や耐力壁の損傷評価を目的とした既往の研究についての紹介を行った。

3. FEM 解析結果とモデル化に関する提案

3.1 無開口試験体の検証試験体とその FEM 解析

無開口壁部材の曲げ強度に対する抵抗機構を把握するため、既往実験結果を対象に FEM 解析を行った。対象試験体は全て I 型壁部材で、シアスパン比が 1.90⁶⁾、0.99¹⁴⁾、0.59¹⁵⁾の 3 体である。解析仮定、詳細な解析結果に関しては文献 16)を参照願いたい。シアスパン比 0.99 の試験体に水平力(曲げせん断)、転倒曲げモーメント(曲げのみ)を与えて得られた壁脚部の曲げモーメント～曲率関係を図-2 に示す。この図より、曲げ強度を含む曲げモーメント～曲率関係はせん断力の影響を受け、他の 2 体の結果から、その影響度合いは少なくともシアスパン比に応じて変動することが分かった。図には、式(1)と e 関数法による結果も示した。

$$M_u = a_g \sigma_{cy} \lambda_w + 0.5 a_{wy} \sigma_{ly} \lambda_w + 0.5 N \lambda_w \quad (1)$$

3.2 無開口試験体の曲げ強度に及ぼす影響の検討と設計式の提案

ここでは、1 層壁部材のせん断力の影響を反映した曲げ強度算定法の概要とその算定精度を示す。

基本的に、せん断力によって、壁内に生じる大きな圧縮ストラットと壁が樽状に膨らむ挙動を考え、これらによって壁脚部に三つの曲げモーメントが新たに作用すると仮定する。その概念を図-3 に示す。そして、それら

曲げモーメントによって壁脚部では図-4 のように断面力が生じると仮定する。この断面力から壁脚部での曲げ強度時曲げモーメントは、式(2)で算定される。この提案手法の詳細は文献 16)を参照願いたい。

この提案手法の算定精度を既往実験結果 16)を用いて検証した。その結果を式(1)による場合と比較し、図-5 に示す。式(1)による場合は、算定精度がシアスパン比に応じて変動していたが、提案手法では回帰直線の傾きが小さくなっていることが分かる。

$$\begin{aligned}
 {}_sM_u &= (a_c\sigma_{cy} + N_{C1})\lambda_w + a_w\sigma_{wy}(0.5\lambda_w) + N(0.5\lambda_w) \\
 &\quad - N_{T1}(\lambda_w - \lambda_s) + N_{T2}\lambda_s - N_{ac}\lambda_x \\
 &= a_c\sigma_{cy}\lambda_w + 0.5a_w\sigma_{wy}\lambda_w + 0.5N\lambda_w \\
 &\quad + (N_{C1} - N_{T1})\lambda_w + N_{T1}\lambda_s + N_{T2}\lambda_s - N_{ac}\lambda_x \\
 &= M_u + 2M_s - M_c
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

3.3 有開口試験体とそのFEM 解析

ドア型開口を有する壁の曲げ強度は、その開口により、無開口壁に比べ、曲げ強度が低下することが石川ら 17)、岩本・津田 18)の実験により明らかとなっている。その低下傾向は、開口の大きさ、位置によって変動するようと思われるが、実験データが少なく、その傾向を実験的に把握することが現状ではできない。そこで、FEM 解析により、その傾向を把握することにした。まずは、石川ら 17)、岩本・津田 18)の実験結果を対象にシミュレーション解析を行い、妥当な解析仮定を把握後、それを用いてパラメトリックスタディーを行った。

図-6 に開口位置を変数とした解析結果として、曲げ強度低減率(無開口壁の曲げ強度に対する有開口壁の曲げ強度の比)を示す。横軸は壁の引張縁から開口の中心位置の距離を壁長さで除した値である。解析方法は壁上部での水平力載荷である。

開口が中央にある場合に比べて、開口が両端に寄るほど曲げ強度低減率は小さくなる。特に開口が壁圧縮側にある場合、低下の度合いは大きい。図-7 に示すように圧縮ストラットは、開口が中央の場合は開口により分断された圧縮側領域のみに、開口が壁板の圧縮端の場合は引張側と圧縮側の両方に形成されており、前者は壁全体

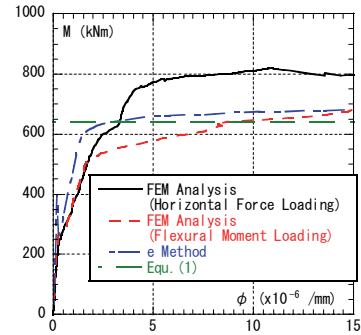


図-2 壁脚部の曲げモーメント～曲率関係の比較 (シアスパン比 0.99)

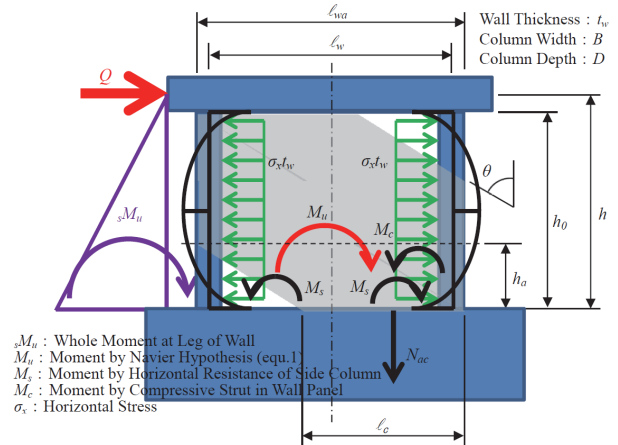


図-3 壁脚部に生じる曲げモーメントの仮定

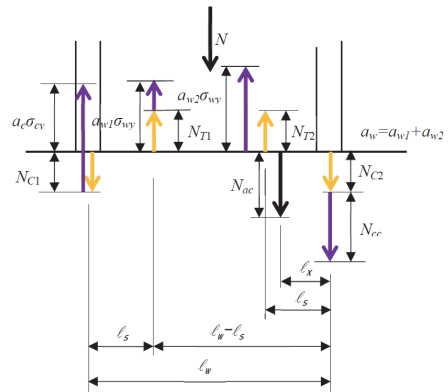


図-4 壁脚部の断面力の仮定

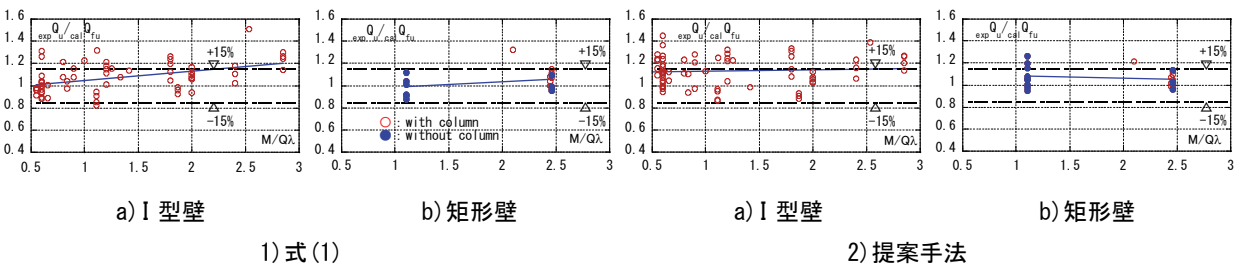


図-5 算定精度の比較

の曲げ抵抗が支配的で、後者は引張側領域の曲げ抵抗の影響が大きいことを示している。これにより、開口が圧縮側に存在する場合は曲げ強度の無開口壁からの低下量が大きいと考えられる。

3.4 開口が強度特性に及ぼす各種影響の検討

開口を有する壁部材の剛性および耐力の評価は、一般的には開口が小さい場合は壁部材としてモデル化し剛性および耐力を低減して評価することになり、開口が大きい場合は、周辺の部材を袖壁付き柱、腰壁垂れ壁付き梁として線材にモデル化して剛性および耐力を評価することが望ましいとされる。鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説¹⁾では、低減率 $r_2 \geq 0.6$ の場合を耐震壁としてモデル化して設計を行う適用範囲としている。開口低減率は、開口の長さ比、開口の高さ比、開口の面積比を用いて定義されており、簡便な方法ではあるが開口位置については考慮されておらず、開口を有する壁部材には多様な形状があり、実験や実際の地震被害から有開口壁は複雑な破壊性状を示すことを考えると十分とは言い難い。

そこで本報告では、開口の大きさ・位置を解析変数とした FEM 解析を実施し(図-8)、応力状態および終局せん断強度に及ぼす影響について明らかにするとともに既往の強度低減率(無開口のせん断強度に対する低減率)の適用性について検討を行った結果を示す。その結果、小野・徳広による強度低減率¹⁹⁾は、FEM 解析による強度低減率の開口位置に対する変化の傾向を概ね捉えていることが確認されている(図-9)。

本報告では省略するが、以上の他に曲げ強度およびモデル化についても検討を行っている。

4. おわりに

本報告では平成 28~29 年度に日本コンクリート工学会に設置された「鉄筋コンクリート造壁部材の曲げ終局強度算定法に関する研究委員会」の活動の概要を報告した。

本委員会では先ず各種壁部材の曲げ挙動を中心に、その設計法の現状を調査した。RC 造の壁は作用するせん断力の影響により現略算式では妥当に曲げ終局強度を算定できないこと、さらに、有開口壁においては開口の影響により無開口壁に比べさらに大きく曲げ終局強度が低下することが示されている。

次に、これらの要因を特定するために、特徴的な無開口試験体 3 体と有開口試験体 4 体を選定し、FEM 解析を行った。これらの結果を受けて、無開口耐震壁についてはせん断力によって壁内に生じる大きな圧縮ストラットと壁が樽状に膨らむ挙動を考えたモデル化を試み曲げモーメント算定式を提案している。

このように RC 造の壁は作用するせん断力の影響により現略算式では妥当に曲げ終局強度を算定できない場合

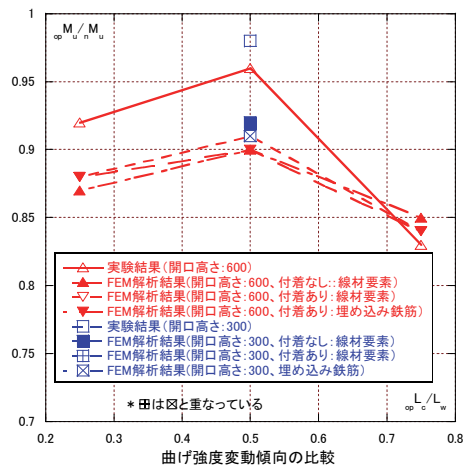


図-6 曲げ強度低減率と開口位置の関係

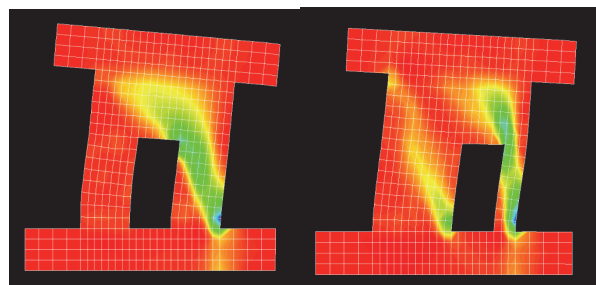


図-7 最大耐力時最小主応力度コンター

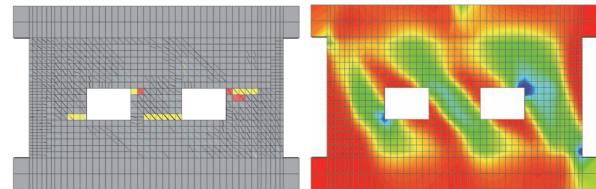


図-8 水平力を受ける有開口壁部材の解析例

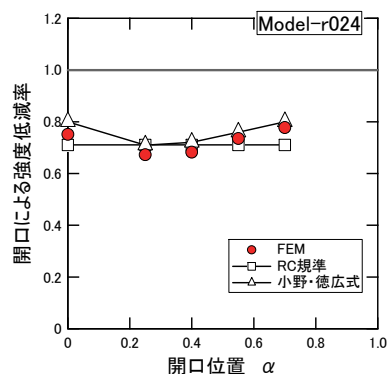


図-9 開口による強度低減率の比較例
(横軸は壁中心から開口中心までの距離を壁全せいの 1/2 で除した値)

があることを理屈と数値実験で示すことができたことが本委員会の最も大きな成果と言える。しかしながら、もう一つのテーマである開口壁については既往の研究を進展させた提案までは到達できなかった。さらに言えば、提案された算定式を両側柱付壁部材以外の各種壁部材に適用する試みも十分には行えなかった。これらの理由は2年という研究期間の短さにあると考えている。今後この研究成果を基礎として多くの派生的な研究が展開されることが望まれる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準(案)・同解説，2016
- 3) 日本建築防災協会：鉄筋コンクリート構造の耐震診断基準・同解説，2003
- 4) 日本建築センター：構造関係規準解説書，2015
- 5) 加藤大介，佐藤大典，高松恭：RC造袖壁付き柱の曲げ挙動に及ぼす開口位置の影響に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，Vol. 82，No. 735，pp. 639-646，2017.5
- 6) 大塚久哲，高文君，福永靖雄，今村壮宏：水平荷重を受けるI型断面フレキシブルRC橋脚の復元力特性とエネルギー吸収に関する検討，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol. 68，No. 4，pp. I_556-I_564，2012.7
- 7) El-Azizy, O.A., Shedid, M.T., El-Dakhkhni, W.W. and Drysdale, R.G.: Experimental Evaluation of the Seismic Performance of Reinforced Concrete Structural Walls with Different End Configurations, Engineering Structures, Vol. 101, pp. 246-263, Oct. 2015
- 8) 篠原聖二，末崎将司，堺淳一，星隈順一：低鉄筋比RC壁式橋脚の地震時破壊特性と耐力・変形能の評価，構造工学論文集，Vol. 61A，pp. 265-272，2015.3
- 9) 石橋忠良，松本浩一，菅野貴浩，築嶋大輔，小林將志：鉄筋コンクリート壁式橋脚のせん断耐力に関する実験的研究，土木学会論文集E，Vol. 65，No. 3，pp. 300-310，2009.7
- 10) 土木学会：LNG地下タンク躯体の構造性能照査指針，コンクリートライブラリー98，1999
- 11) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，2008
- 12) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，2013
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2017
- 14) 津田和明，杉本訓祥，江戸宏彰：鉄筋コンクリート造連層耐震壁の曲げ及びせん断ひびわれ幅の算定法 - 鉄筋コンクリート造連層耐震壁の性能評価手法に関する研究(その2) -，日本建築学会構造系論文集，No. 575，pp. 97-104，2004.1
- 15) 熊谷仁志ほか：高強度コンクリートを用いたRC耐震壁のせん断特性，日本建築学会大会学術講演梗概集，C分冊，pp. 611-612，1990.9
- 16) 津田和明：鉄筋コンクリート造無開口耐震壁の曲げ強度算定法に関する研究，日本建築学会構造系論文集，Vol. 83，No. 745，pp. 479-489，2018.3
- 17) 石川俊介，岡田勇佑，坂下雅信，河野進：曲げ変形が卓越する有開口RC造耐震壁の終局性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol. 33，No. 2，pp. 463-468，2011.7
- 18) 岩本周晃，津田和明：鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の曲げ挙動に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 38，No. 2，pp. 679-684，2016.7
- 19) 小野正行，徳広育夫：鉄筋コンクリート耐震壁の開口の影響による耐力低減率の提案，日本建築学会構造系論文報告集，No. 435，pp. 119-129，1992.5

