

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560680

研究課題名(和文) 老朽化した既存建築物の柔性型架構増築による構造的な性能リニューアル技術の開発

研究課題名(英文) Retrofit technique for existing old R/C buildings with horizontally mixed structural system by use of exterior steel frames

研究代表者

伊藤 拓海 (Ito, Takumi)

東京理科大学・工学部・准教授

研究者番号：50376498

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：既存RC建物に対して鉄骨架構を増築して耐震補強する、いわゆる平面異種混合構造が提案されている。本研究課題では、(1)RC造と鉄骨造の異種構造間の接合法の開発と、(2)増築後の立体応答性状の解明を目的とした研究を行った。

(1)の課題については、連結接合部の試験体を製作し、載荷実験により力学的特性、弾塑性挙動、耐荷機構を明らかにした。また、有限要素法解析により精緻な分析を行い、設計法に供する解析モデルと設計クライテリアを呈示した。

(2)の課題については、既存多層RC造建物に対して鉄骨骨組を増築した場合を例題として、非線形時刻歴応答解析と応答評価法により応答性状と要求性能を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Horizontally mixed structural system was suggested to retrofit the existing old R/C buildings. In this project, the following experimental and analytical studies are conducted, (1) the development of connection joint technique by use of post installed anchor bolts, and (2) an evaluation of inelastic response behavior for multi story retrofitted building structure.

The first, the specific and actual connection joint method between R/C and extended steel member is proposed. And the horizontally loading tests are conducted on test specimen with proposed connection joint. From the test results, the resistant mechanism and ultimate states of this joint are clarified. Furthermore, the FE analysis is conducted to investigate the test result in detail, and to propose the analytical model and design criteria.

The next, the inelastic response analysis on multi story retrofitted building structural model is conducted. From the analysis results, the ultimate seismic response behavior are clarified.

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：平面異種混合構造 耐震改修 空間拡大 接合部 あと施工アンカー 載荷実験 塑性解析 非線形立体応答解析

1. 研究開始当初の背景

我が国では、老朽化した学校施設建物などの耐震化推進が重要課題となっている。平成17年に耐震改修促進法が強化され、国の基本方針に基づく計画的な耐震化促進と行政指導が追加されたが、耐震性の不足する学校施設建物は全国でおよそ4万3千棟(全体の35%)存在する。これを受けて、耐震安全性の確保とともに、新たな多目的空間を創出し、学習環境に優れた校舎改修を可能とする耐震改修計画が進められている。また、子供人口の減少により、全国各地で小中学校の統廃合が進み、地方公共団体や地域住民の創意工夫によって校舎を様々な施設へ転用する例も報告されている。

このような目的に応じた耐震改修実現の方法として、老朽化した既存建物に鉄骨架構を新設する方法が提案されている。従来の耐震改修法と比べて、建物を継続使用しながら耐震改修できる方法として実用性が高いと期待されている。しかし、具体的な補強計画や設計ガイドラインは確立されていない。

2. 研究の目的

本研究計画では、老朽化した既存建物に鉄骨架構を増築して、新たな住空間を創出し、耐震性能を更新するための設計体系を構築することを主たる目的としている。具体的な研究テーマは以下の2つに大別される。

1) 異種構造間の連結接合部の具体的な工法と構造性能の評価

既存建物と増築架構の接合技術の開発に重点的に取り組む。そこで、効果的な補強効果が得られるために接合部が具備すべき条件を、構造実験を実施して明らかにする。

2) 平面異種混合構造による増築後建物の立体応答性状の把握

もともと整形な建物に、異なる構造種別・形式の架構を偏って増築した場合、立体応答性状に悪影響を及ぼすかどうか、また、もともと偏心の無視できない建物に対してファサードの変更を伴うような場合、応答低減を図ることは可能かどうか、解析的な検討を行う。

3. 研究の方法

2.の通り、本研究計画は、1) 異種構造間の連結接合部の具体的な工法の開発とその構造性能の評価、2) 平面異種混合構造による増築後建物の立体応答性状の把握、に大別される。

1) 異種構造間の連結接合部の研究

1-1. 接合部の載荷実験

1)の課題に関して、図1のように平面異種混合構造の連結接合部の形態を、代表的な3つに区分し、図2のようにハーフスケール程度の規模の試験体を製作した。

本研究では、外付け耐震改修で用いられている「あと施工アンカーによる接合法」を具体的な工法として採用した。

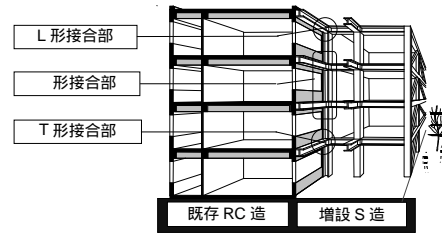
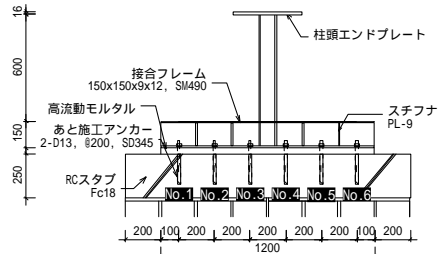
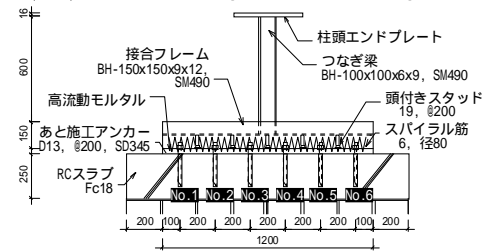


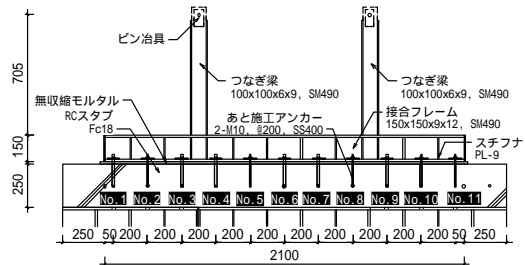
図1 平面異種混合構造の構成



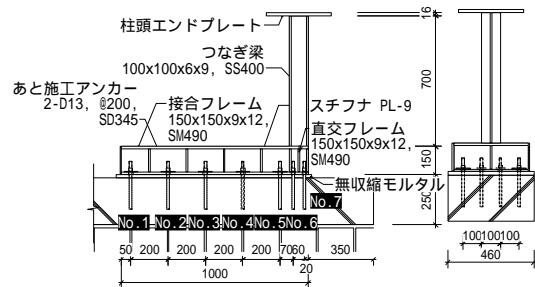
(a-1) T形試験体(直接接合形式)



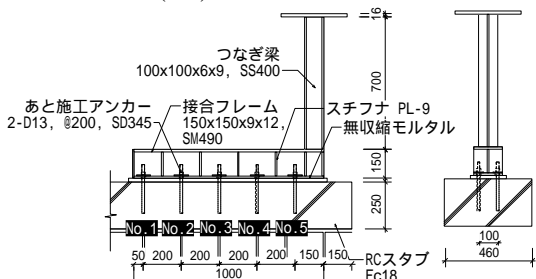
(a-2) T形試験体(間接接合形式)



(b) 形試験体



(c-1) L-G 形試験体



(c-2) L-NG 形試験体

図2 接合部試験体(単位:mm)

図2(a)のT形試験体では、接合方法として直接接合形式(図2(a))と間接接合形式(図2(b))を採用した。T形試験体の結果を受けて、図2(b), (c)の試験体では直接接合形式を採用した。なお、L形試験体では、接合部端部において直行梁とアンカーの影響を検討するために、L-G試験体(アンカー有り)とL-NG試験体(アンカー無し)を用意した。試験体のセットアップを図3に示す。

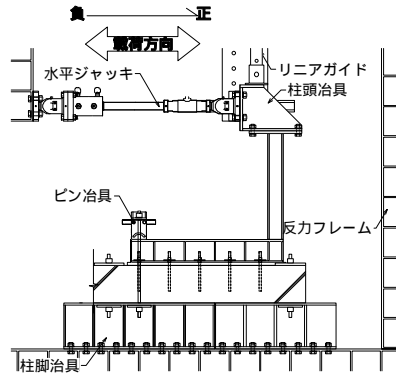


図3 試験体セットアップ図

1-2. 連結接合部の解析的検討

実験結果における耐荷機構や解析モデルの検討のため、有限要素法解析を行い、実験結果の解析的な検討を行った。

2) 平面異種混合構造の立体応答性状

2-1. 増築S造骨組を平面的に偏在させた平面異種混合構造の立体応答性状の把握

図4に示す2種類の3層の既存RC造建築物に3層S造骨組を増築した場合を対象として、増築による偏心の増大に着目して時刻歴応答解析により検討を行った。

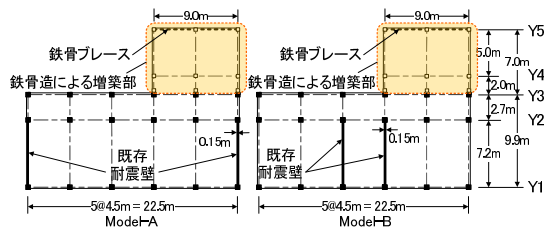


図4 S造増築部が偏在した既存建築物

2-2. 連結接合部の剛性を考慮した平面異種混合構造の地震応答評価

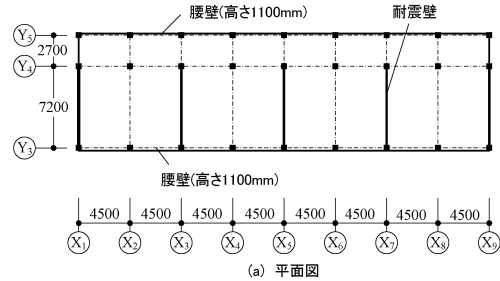
図5に示す既存3層RC造建築物を対象として、最初に図6のように3層S造骨組を増築した場合の地震応答性状を、平面骨組モデルによる時刻歴応答解析により検討した。解析パラメータは、既存RC造骨組と増築S造骨組をつなぐ連結接合部を模擬した弾性ばねの剛性である。

次いで、上記の改修後建物の地震時最大層間変形と接合部の最大応力を、1次モード応答のみに着目して等価線形化法(限界耐力計算)により、推定可能かを検討した。

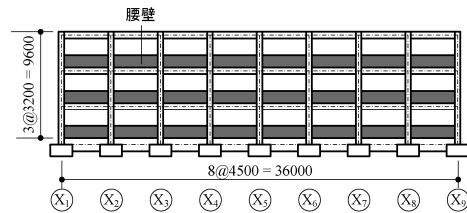
その後、既存RC造建築物と異なる層数の

S造骨組を増築した場合においてもこの応答推定手法が適用可能であることを検討した。

一方、これとは別の耐震改修の可能性をすることを意図して、層降伏が生じる可能性の高い既存建築物に対しS造骨組を増築することで、層崩壊を防止して全体崩壊機構を実現させるための条件を明らかとするために解析的検討を行った。

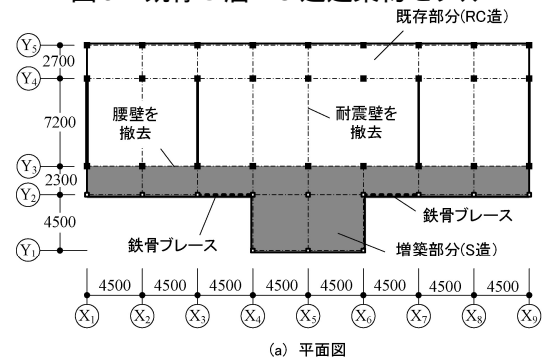


(a) 平面図

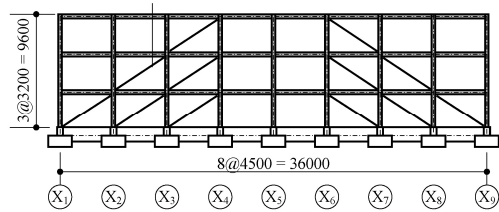


(b) Y5通り軸組図

図5 既存3層RC造建築物モデル



(a) 平面図



(b) Y2通り軸組図

図6 増築3層S造骨組

4. 研究成果

1) 異種構造間の連結接合部の研究

1-1. 載荷実験結果

実験結果について、水平荷重 - 水平変位関係を図7、接合フレームの浮き上がり量の分布を図8、アンカーボルトのひずみ分布を図9にそれぞれ示す。

実験結果より、以下の結論を得た。

- ・つなぎ梁が曲げ降伏に至るまでアンカー筋は弾性範囲に収まり、荷重変位曲線は線形性を維持している。すなわち、接合部の崩壊に対して増設鉄骨造の降伏が先行し、接合部剛

性の低下も確認されず、一連の試験体は要求性能を満足するものと言える。

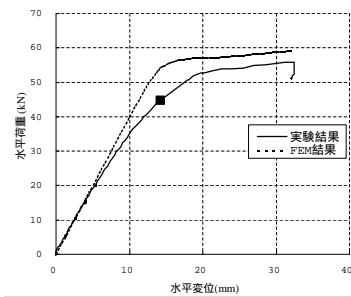
・アンカー筋の軸ひずみ分布の結果より、アンカー筋の軸ひずみの値は、つなぎ梁に近いものほど大きな値を示し、接合フレームの鉛直変位の分布形状に対応している。

・水平力が小さい段階から、接合フレームの浮上がり挙動に伴う、モルタル層と接合フレーム下フランジの隙間が観察された。この結果は、接合フレームの変形に対する接合部の抵抗要素として、接合フレームとモルタル層の付着・摩擦抵抗はあまり期待できず、アンカー筋のせん断と軸抵抗が主たる要素であることを示唆するものと考えられる。

以上、平面異種混合構造の連結接合部には、増設鉄骨造が設計耐力に達するまでアンカー応力に起因する崩壊が生じず、剛性を保持することが要求される。これに対して、接合部を模擬した試験体の耐力と剛性はその要求性能を満足することが確認された。

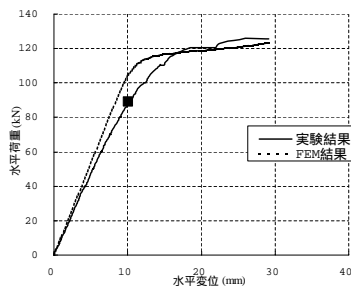
1-2. 有限要素法解析結果

直接接合形式の有限要素法解析結果を、図7~9に実験結果と比較して示す。有限要素法解析により、実験結果の傾向を概ねとらえていることが確認できる。



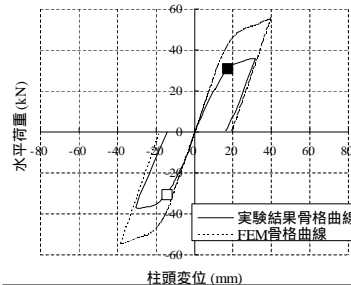
凡例 : Q=44.8kN つなぎ梁の曲げ降伏

(a-1) T形試験体 (直接接合形式)



凡例 : Q=88.9kN つなぎ梁の曲げ降伏

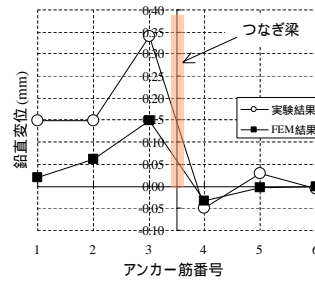
(b) 形試験体



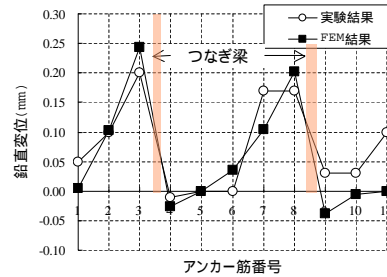
凡例 : Q=30.9kN 正方向時つなぎ梁の曲げ降伏
: Q=30.8kN 負方向時つなぎ梁曲げ降伏

(c-1) L-G形試験体

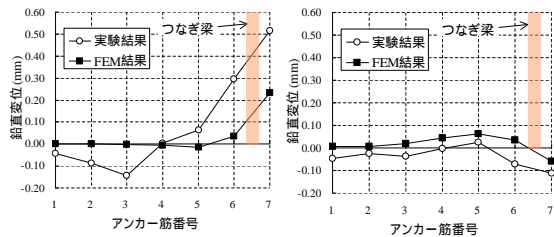
図7 水平荷重-水平変位関係



(a-1) T形試験体 (直接接合形式)

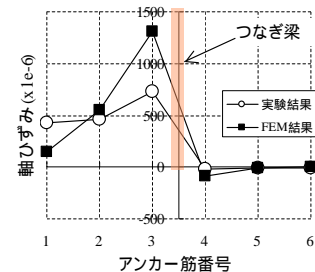


(b) 形試験体

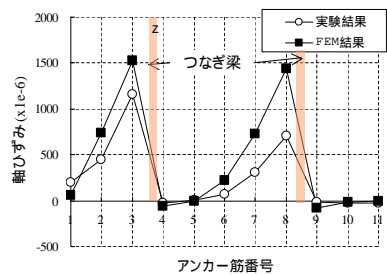


(c-1) L-G形試験体 (左:負方向, 右:正方向)

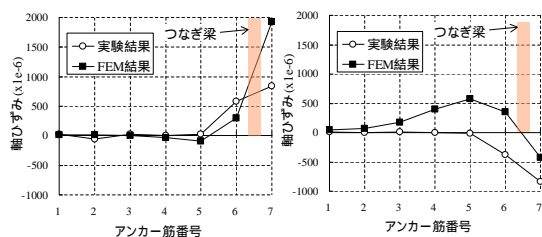
図8 接合フレームの浮き上がり量の分布



(a-1) T形試験体 (直接接合形式)



(b) 形試験体



(c-1) L-G形試験体 (左:負方向, 右:正方向)

図9 ひずみ分布

2) 平面異種混合構造の立体応答性状

2-1. 増築S造骨組を平面的に偏在させた平面異種混合構造の検討結果

図4のModel-A, Model-Bに加えてねじれの影響を無視したモデルの3種類に対し、増築S造構面での鉄骨プレースの耐力を変化させ、ねじれの影響を無視した時の I_s 値を変化させたモデルを作成した。そして、各モデルでの最大応答変位が限界値に至るまでの入力地震動の大きさ(限界地震動)を求めた。そして3種のモデルの結果を比較することで、ねじれの程度と耐震性能の関係を検討した。

検討結果を図10に示す。縦軸の S_D' はねじれの影響を考慮したModel-A, Model-Bにおける限界地震動の大きさを、ねじれの影響を無視した解析モデルでの限界地震動の大きさで除したもので、ねじれを無視した場合に対する耐震性能の低下率と考える。一方、同図の横軸 r_T は、ねじれの程度として、1層でのY1構面とY5構面の最大応答変位の比をとったものである。同図より、増築S造構面での鉄骨プレースの種類・強度を問わず、 r_T が大きくなるにつれて耐震性能の低下率 S_D' が低下していることがわかる。

次いで、偏心の程度を表す指標として、建築基準法施行令より直交方向構面の影響を考慮可能な偏心率 Re を算定し、ねじれの程度 r_T との関係を検討した。図11に、各構面の初期剛性に基づき算定した各モデル Re と r_T の関係を示す。同図より、 Re が小さい場合($Re < 0.15$)においても r_T が0.5近くとねじれの影響が無視できないケースが存在し、かつ $Re < 0.15$ の範囲で r_T が大きくばらついていいる事がわかる。従って、本研究での検討の範囲では、RC造とS造が平面的に混在した建築物に関して、現行の偏心率に基づく偏心の影響の評価は難しいと考えられる。

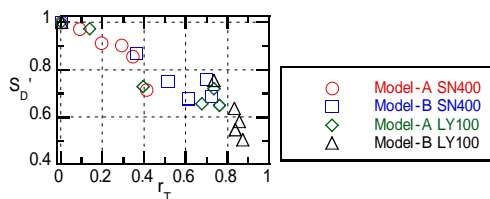


図10 ねじれの程度と耐震性能低下率

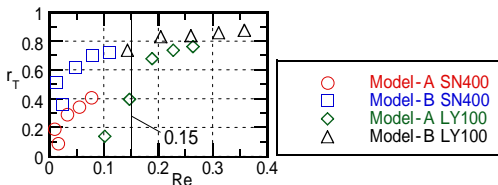


図11 基準法偏心率とねじれの程度

2-2. 連結接合部の剛性を考慮した平面異種混合構造の地震応答評価

図12に、基準化した連結接合部の剛性 κ_j と既存RC造骨組ならびに増築S造骨組の最大層間変形角の関係を示す。同図より、連結接合部の剛性が大きくなるにつれて(κ_j が大

きくなるにつれて)既存RC造骨組の最大変形が増築S造骨組の最大変形と等しくなっていくことがわかる。従って、平面異種混合構造により高い耐震改修効果を得るには、連結接合部で大きい剛性を確保することが重要であることが確認できる。なお、別途検討したところ、本解析例での3層建築物の場合、図13のように鋼材による水平プレースを用いると κ_j として1~3程度の値が確保できるため、連結接合部の剛性確保は現実的に十分可能であると考えられる。

次いで、等価線形化法(限界耐力計算)により最大層間変形角と接合部の最大せん断力の推定を試みた。推定結果の例を図14に示す。同図より、既存RC造骨組・増築S造骨組とも最大層間変形角・最大層せん断力を等価線形化法により良好に推定できていることがわかる。しかしながら、連結接合部の最大せん断力に関しては過小評価となる結果となった。

加えて、既存RC造建築物と異なる層数のS造骨組を増築した場合においても、この応答推定手法が適用可能であるかを検討した。検討対象建築物は上と同じく図6に示す既存RC造建築物とし、増築パターンとして、(a)上下層とも1層分の階高を有する骨組を増築する場合、(b)下層は2層分・上層は1層分の階高を有する骨組を増築する場合、ならびに(c)下層は1層分・上層は2層分の階高を有する骨組を増築する場合である。検討の結果、(a)の場合では既存建築物の最上層に変形が集中して評価精度が悪くなるものの、それ以外では概ね良好な推定結果が得られた。

また、これとは別途9層既存RC造の増築に関する検討の結果、層崩壊を防止するためには、増築鉄骨架構にはA i分布による静的漸増載荷解析より得られるせん断力よりも大きな耐力が必要となることがわかった。

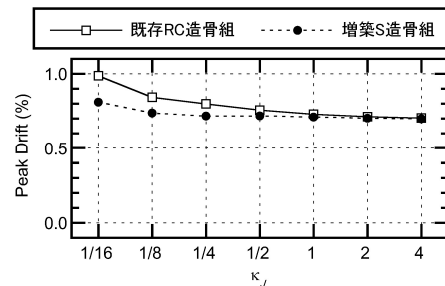


図12 連結接合部の剛性と最大層間変形角

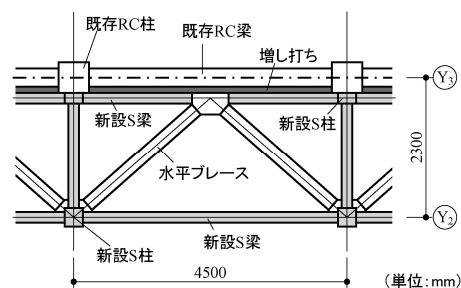


図13 連結部の例(水平プレース)

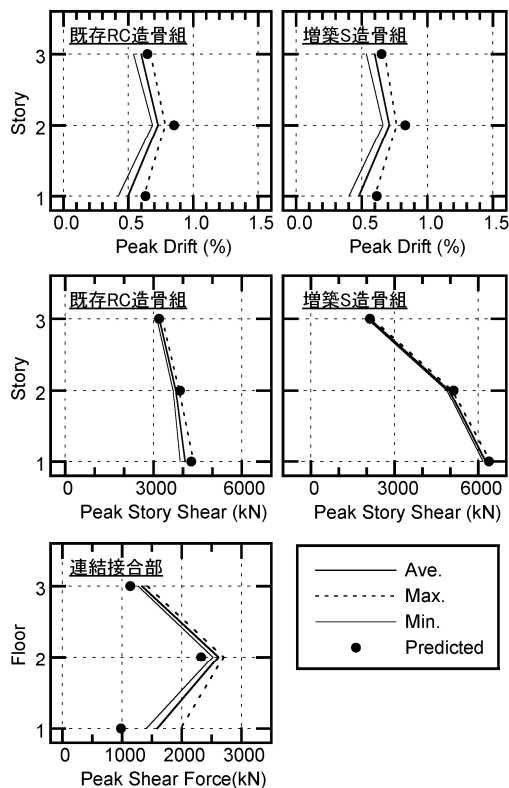


図 14 最大応答の推定結果の例

以上の研究成果に基づき、3層のモデル建物に対して、平面異種混合構造による耐震補強を想定した試設計を行った。設計にあたり、解析モデル、設計クライテリアを実験結果と有限要素解析結果に基づいて構築・設定した。

モデル建物の試設計より、連結接合部の要求性能を求め、設計クライテリアを満足することを例示した。

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1件)

藤井, 千代, 伊藤, 鉄骨造骨組を増築した低層既存鉄筋コンクリート造建築物の地震応答評価, 構造工学論文集, 査読有, 第59B巻, pp.55-64, 2013.3

[学会発表](計9件)

三富, 高橋, 伊藤, 神戸, 藤井, 平面異種混合構造によるRC造耐震改修の連結接合部に関する実験的研究 その1, 日本建築学会関東支部2011年度研究発表会研究報告集, pp.413-416, 2012.3

三富, 高橋, 伊藤, 神戸, 藤井, 平面異種混合構造によるRC造耐震改修の連結接合部に関する実験的研究 その2, 日本建築学会関東支部2011年度研究発表会研究報告集, pp.417-420, 2012.3

高橋, 三富, 伊藤, 神戸, 藤井, 平面異種混合構造によるRC造耐震改修の連結

接合部に関する実験的研究 その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.825-826, 2012.9

MITOMI, TAKAHASHI, ITO, KAMBE, FUJII, An experimental study on connection joint of the composite mixed structure consisting of existing R/C buildings retrofitted with exterior steel frames, Proceedings of WCEE, 査読有, 2012.9

MITOMI, TAKAHASHI, ITO, KAMBE, FUJII, A Feasibility Study Of Direct-connection Technique By Use Of Post-installed Anchor Bolts For Horizontally Mixed Structural System, Proceedings of ISAIA, 2012.10

松本, 三富, 高橋, 伊藤, 神戸, 藤井, 平面異種混合構造によるRC造耐震改修の連結接合部に関する実験的研究 その4, 日本建築学会関東支部2012年度研究発表会研究報告集, pp.293-296, 2013.3

三富, 松本, 伊藤, 藤井, 平面異種混合構造によるRC造耐震改修の連結接合部に関する実験的研究 その5, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.245-246, 2013.8

高橋, 三富, 松本, 伊藤, 藤井, 平面異種混合構造によるRC造耐震改修の連結接合部に関する実験的研究 その6, 日本建築学会関東支部2013年度研究発表会研究報告集, pp.605-608, 2014.3

MITOMI, TAKAHASHI, ITO, KAMBE, FUJII, Development of Connection Joint for Horizontally Mixed Structural System by Experimental Study and Frame Analysis, Proceedings of PSSC, 査読有, 2013.10

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 拓海 (ITO, Takumi)

東京理科大学・工学部第一部建築学科・准教授

研究者番号: 50376498

(2) 研究分担者

藤井 賢志 (FUJII, Kenji)

千葉工業大学・工学部建築都市環境学科・准教授

研究者番号: 20397029