

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 24 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560581

研究課題名（和文） 多方向入力時の鋼繊維補強・超高強度 RC 架構の耐力劣化・変形能力と部材損傷度の評価

研究課題名（英文） Damage Evaluations and Strength Deteriorations of High Strength RC Structures Containing Steel Fiber under Multi-Directional Loading

研究代表者

野口 博 (NOGUCHI HIROSHI)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20107535

研究成果の概要（和文）：

近年、超高層建物に鉄筋コンクリート（RC）構造が採用され、高軸力を受ける低層階には、 $100\text{N}/\text{mm}^2$ を超える高繊維補強・超高強度コンクリートが使用されている。

本研究では、多方向入力時の鋼繊維補強・超高強度 RC 部材を対象として、3次元 FEM 解析を実施した。本解析では、鋼繊維補強コンクリートの引張応力-ひずみ関係のモデルを開発し、鋼繊維補強 RC 部材の変形能力の改善やひび割れ分散の効果を精度よく検証できた。さらに、応力コンターやひずみコンター、累積消費ひずみエネルギーの考察から、鋼繊維補強・超高強度 RC 部材の損傷度を評価した。

研究成果の概要（英文）：

Reinforced concrete (RC) structure is now being used in skyscraper construction in recent years, and ultra high strength concrete containing steel fiber (SF) with a compressive strength of over $100\text{N}/\text{mm}^2$ is being used for lower stories which are subjected to large axial forces.

In this study, three-dimensional FEM analysis is performed on ultra high strength RC members containing SF under multi-directional loading. This study reproduced accurately the improving deformation performance and the increasing crack dispersion of ultra high strength RC members containing SF. This was achieved using an analytical model of the tensile stress-strain relationships of ultra high strength concrete containing SF. Moreover, stress contours, strain contours, and accumulated consumption strain energies were investigated in order to evaluate analytically the damages of ultra high strength RC members containing SF.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：防災、耐震、コンクリート構造

1. 研究開始当初の背景

建物の構造部材が、実際の地震時のような多方向の塑性域における繰り返し水平力を受ける場合の耐力劣化や塑性変形能力の性状は、既往の実験研究では十分に把握されていない。さらに、解析研究や設計においても塑性域での多方向入力により部材の損傷領域が拡大し、耐力劣化や塑性変形が加速されることは考慮されていない。

RC 建築物の柱・梁接合部への地震入力は、任意多方向から入力する。実際に近い 8 の字型や口の字型の加力履歴での実験が、米国 (Jirsa, 1997) や日本 (藤井, 2001) で近年行われ、多方向入力が接合部損傷領域の拡大を促進することが指摘された。しかし、多方向入力時の立体接合部周辺の挙動は非常に複雑なため、実験のみでは 3 次元の変形や損傷度の進行等の実験情報には限界があり、立体変形や応力・ひずみコンター、累積消費ひずみエネルギー、内部ひび割れ面の角度や幅、鉄筋やコンクリートの損傷度など、解析の長所である詳細な情報が得られる解析的研究が必須である。(野口, 2005)

建築物の立体架構では、部材の挙動は周辺部材と連動し、架構中の柱・梁接合部は、床スラブや直交梁の拘束によりねじりの影響を受け、また隣接する柱や梁の主筋の付着劣化の影響を受ける。従って部材単体では、部材間の相互作用を把握できず、立体架構としての実験や解析が必要である。

研究代表者らの科研費基盤研究(B)、平成 14-16 年度、「RC 部材の塑性域での耐力劣化と変形性能の 3 次元 FEM 解析による定量的評価」による研究成果を更に動的載荷にも発展させて開発した「3 次元 FEM 動的解析プログラム」の活用により、「多方向入力時の鋼繊維補強・超高強度 RC 架構の耐力劣化・塑性変形と部材損傷度の評価」の解析的解明が可能となる。解析対象としては、柱・梁接合部を含む既往の実験架構試験体や、解析の利点を生かして拡張した仮想架構とする。柱・梁接合部材単体と立体架構の両者の実験結果との比較により解析手法の検証を行うとともに、部材間の拘束効果や柱・直交梁主筋の付着劣化の進展などの影響、及び多方向入力による損傷領域の拡大による耐力劣化・塑性変形が加速される機構を分析し、劣化機構を反映させた骨組や部材の損傷度の評価を工学的視点から与える。

2. 研究の目的

近年、建物高さが 200m にまで達するような超高層 RC 建物が建設され、都市部を中心に土地利用の高密度化が進んでいる。このよ

うな超高層 RC 建物では、Fc120, SD685 レベル以上の超高強度 RC 材料が用いられ、特にコンクリートについては、鋼繊維等の補強材が混入された超高強度コンクリートが使用されている。すなわち、超高層 RC 建物に必要な超高強度コンクリートの安全性・信頼性向上のために鋼繊維補強が重要であり、その補強効果として、コンクリートの引張強度、引張塑性能力の向上によるひび割れ分散効果が考えられ、FEM 解析による抵抗機構の合理的な理解が求められている。

本研究では、鋼繊維補強の部材の耐力劣化、変形能力への寄与度とその抵抗機構を FEM 解析により検討し、実験結果と比較、検証することを目的とする。そのために、鋼繊維補強・超高強度鉄筋コンクリート (RC) 造建築物の立体架構が、極大地震時の円弧周回運動型のような多方向繰り返し水平力を受ける時、柱・梁接合部と周辺の柱、直交梁や床スラブとの間で生じる塑性域での立体相互作用を考慮し、柱・梁接合部、柱や梁の損傷領域の拡大により耐力劣化や塑性変形が加速される機構を 3 次元非線形 FEM 解析により分析・提案し、性能劣化による加速機構を反映させた架構や部材の損傷度の評価を工学的視点から与え、構造性能評価の精度向上に役立てることを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

年度毎の研究方法を以下に示す。

平成 21 年度：

1) 3 次元 FEM 解析結果の視覚化と RC 部材の損傷度評価の検討：

内部応力の流れ、内部ひび割れ面の形状やひび割れ幅、圧縮破壊、ひずみエネルギーなどの評価は、3 次元非線形解析でこそ可能となる検討項目であり、これらの材料レベルでの損傷は、部材としての構造レベルでの繰り返し耐力劣化や、変形性能に深く関わり、部材の損傷度の指標を検討することに役立つ。解析結果の圧縮主応力は凡そのひび割れ方向を示すので、実験でのひび割れと対比させる。また、圧縮ひずみ集中部と実験での圧縮破壊部を対比して、圧縮損傷度を検討する。さらに、鉄筋やコンクリート、付着要素の累積ひずみエネルギーを求め、総和としての RC の全ひずみエネルギーの推移と、鉄筋やコンクリート、付着要素、個々の素材の集中度の推移の評価により、RC 部材の損傷度の総合的な定量的評価を行う。

2) 立体架構での部材間の相互作用 (その 1) :
立体架構では、部材接合部分での横方向変形拘束や回転拘束、ねじり変形、偏心接合、柱や梁の主筋の付着劣化、材軸方向の伸び縮みへの抵抗、反曲点位置の変化等から、部材単体で切り出した柱・梁接合部や柱、梁試験体では、全体架構の中での挙動と一致しない点の方が多い。そこで、立体架構の中での部材間相互作用に着目した 3 次元 FEM 解析を行う。

① 1 方向加力時の柱・梁接合部等の単体挙動と、立体架構内各部材の挙動の差異の解析検討 : 1 方向加力時に、柱・梁接合部を切り出した単体の挙動と、2 層 2 スパン程度の立体架構内の柱・梁接合部の挙動とを、解析で比較・検討する。部材接合部分でのねじり変形、偏心接合、柱や梁の主筋の付着劣化、材軸方向の伸び縮みへの抵抗、反曲点位置の変化等の部材間相互作用の影響が、部材の剛性、耐力、変形性能等にどのように現れるかを検討する。

② 2 方向同時加力時の柱・梁接合部等の単体挙動と立体架構内各部材の挙動の差異の解析検討 : 2 方向同時加力 (45 度加力) 時に、立体的損傷領域の拡大進展状況を視覚的に把握し、耐力劣化、塑性変形や吸収ひずみエネルギーの加速化を解析的に追及する。2 方向加力での累積的損傷の促進状況を視覚化する方法を開発済みである。

3) 円弧周回型水平加力時の立体架構での耐力劣化と塑性変形、部材損傷度の解析検討 (その 1) :

基本的な劣化特性をみるために、切り出した立体柱・梁接合部を対象とする。1 方向加力、2 方向同時加力、円弧周回型、クローバー型のような多方向水平加力の順に 3 次元 FEM 解析により検討し、既往の実験結果とも一部比較し、解析モデルの検証を行う。単純な 1 方向や 2 方向同時加力に比べ、多方向加力の場合の曲げ降状や圧縮破壊の発生順や進行度等を比較し、損傷領域の拡大の進行度の差異も検討する。同時に柱、梁、接合部の塑性変形や吸収ひずみエネルギーの増大度の違いも見る。耐力劣化度合いを定量化するには、設計への有用性から、曲げやせん断系、曲げからせん断破壊にシフトする場合の水平耐力劣化を主検討対象とする。

平成 22 年度 :

4) 立体架構での部材間の相互作用 (その 2) :

① 多方向加力時の柱・梁接合部等の単体挙動と立体架構内の各部材の挙動の差異の解析検討 : 2) の①、②に述べた基準の 1 方

向加力や 2 方向同時加力 (45 度加力) と対比させて、多方向加力の場合の曲げ降状や圧縮破壊の発生順や進行度等を比較し、また部材間相互作用の基準加力時の場合との相違点や、損傷領域の拡大の進行度の差異も検討する。また、せん断ひび割れによる接合部損傷や梁通し筋付着劣化が連動し、梁に対する接合部の固定度劣化から生じる梁の曲げ降伏強度の低下は、設計上重要な問題なので、解析の面から明確にする。

② 単体と立体架構内での偏心柱・梁接合部の偏心接合の影響度の解析検討 : 偏心柱・梁接合部単体と立体架構内との違いを検討する。立体架構では、周辺部材の拘束により単体の場合よりも偏心の影響が緩和されることも想定される。逆に多方向加力で偏心効果がより顕著に生じる可能性もある。

5) 円弧周回型多方向水平加力時の立体架構での耐力劣化と塑性変形、部材損傷度の解析 (その 2) :

立体架構での多方向水平加力時の部材の耐力劣化、塑性変形の加速機構の検討について、2 層 2 スパンの立体架構において、1 方向加力、2 方向同時加力、円弧周回型のような多方向水平加力の順に 3 次元 FEM 解析により検討し、既往の実験結果とも比較し、解析モデルの検証を行う。単純な 1 方向や 2 方向同時加力に比べ、多方向加力の場合の曲げ降状や圧縮破壊の発生順や進行度等を比較し、損傷領域の拡大の進行度の差異も検討する。

平成 23 年度 :

6) 部材の耐力劣化が部材の損傷度に与える影響 :

耐力劣化が部材の終局や安定の限界状態に与える影響を提示できれば、今後の設計に大いに役立つ。現在の部材性能評価法で想定しているのは復元力特性の包絡線だけであり、合理的な部材の性能評価を目指すためには、地震動の繰り返しによる部材の性能劣化を表す損傷度の定量化が、今後不可欠である。部材の損傷度の定量化の合理的な根拠を示すために、横補強筋量 (間隔とディテール) の拘束効果、かぶりコンクリートの剥離、圧縮鉄筋の座屈等どの解析モデルを組込んだ 3 次元 FEM 解析モデルの役割は大きい。

7) 部材の耐力劣化・損傷度が建物全体の損傷度に与える影響 :

この影響を定量化できれば、建物の地震応答解析に組み込み、部材の耐力劣化・損傷度が建物全体の損傷度に与える

影響を検討することも可能となる。建物全体をマイクロFEM解析で解くこともPCの発展により可能となっており、本研究でも解析を試みる。

4. 研究の成果

「3. 研究の方法」で示した項目毎の成果を以下に示す。

1) 3次元FEM解析結果の視覚化とRC部材の損傷度評価の検討：

解析結果の圧縮主応力は凡そのひび割れ方向を示すので、実験でのひび割れと対比させた。また、圧縮ひずみ集中部と実験での圧縮破壊部を対比して、圧縮損傷度を検討した。さらに、鉄筋やコンクリート、付着要素の累積ひずみエネルギーを求め、総和としてのRCの全ひずみエネルギーの推移と、鉄筋やコンクリート、付着要素、個々の素材の集中度の推移の評価により、RC部材の損傷度の総合的な定量的評価を行った。

2) 立体架構での部材間の相互作用 (その1)：

① 1方向加力時の柱・梁接合部等の単体挙動と、立体架構内各部材の挙動の差異の解析検討：1方向加力時に、柱・梁接合部を切り出した単体の挙動と、2層2スパン程度の立体架構内の柱・梁接合部の挙動とを、解析で比較・検討した。部材接合部分でのねじり変形、偏心接合、柱や梁の主筋の付着劣化、材軸方向の伸び縮みへの抵抗、反曲点位置の変化等の部材間相互作用の影響が、部材の剛性、耐力、変形性能等にどのように現れるかを検討した。

② 2方向同時加力時の柱・梁接合部等の単体挙動と立体架構内各部材の挙動の差異の解析検討：2方向同時加力（45度加力）時に、立体的損傷領域の拡大進展状況を視覚的に把握し、耐力劣化、塑性変形や吸収ひずみエネルギーの加速化を解析的に追及した。

3) 円弧周回型水平加力時の立体架構での耐力劣化と塑性変形、部材損傷度の解析検討 (その1)：

1方向加力、2方向同時加力、円弧周回型、クローバー型のような多方向水平加力の順に3次元FEM解析により検討し、既往の実験結果とも一部比較し、解析モデルの検証を行った。単純な1方向や2方向同時加力に比べ、多方向加力の場合の曲げ降状や圧縮破壊の発生順や進行度等を比較し、損傷領域の拡大の進行度の差異も検討した。同時に柱、梁、接合部の塑性変形や吸収ひずみエネルギーの増

大度の違いも見た。

4) 立体架構での部材間の相互作用 (その2)：

① 多方向加力時の柱・梁接合部等の単体挙動と立体架構内の各部材の挙動の差異の解析検討：1方向加力や2方向同時加力（45度加力）と対比させて、多方向加力の場合の曲げ降状や圧縮破壊の発生順や進行度等を比較し、また部材間相互作用の基準加力時の場合との相違点や、損傷領域の拡大の進行度の差異も検討した。② 単体と立体架構内での偏心柱・梁接合部の偏心接合の影響度の解析検討：偏心柱・梁接合部単体と立体架構内との違いを検討した。

5) 円弧周回型多方向水平加力時の立体架構での耐力劣化と塑性変形、部材損傷度の解析 (その2)：

2層2スパンの立体架構において、1方向加力、2方向同時加力、円弧周回型のような多方向水平加力の順に3次元FEM解析により検討し、既往の実験結果とも比較し、解析モデルの検証を行った。単純な1方向や2方向同時加力に比べ、多方向加力の場合の曲げ降状や圧縮破壊の発生順や進行度等を比較し、損傷領域の拡大の進行度の差異も検討した。

6) 部材の耐力劣化が部材の損傷度に与える影響：

部材の損傷度の定量化の合理的な根拠を示すために、部材の復元力特性だけでなく、破壊プロセスやコンクリートの圧壊、主筋・横補強筋の降伏、さらには繰り返しによる累積消費エネルギーによる評価を行った。

7) 部材の耐力劣化・損傷度が建物全体の損傷度に与える影響：

この影響を定量化し、建物全体をマイクロFEM解析で解き、部材の耐力劣化・損傷度が建物全体の損傷度に与える影響を検討した。

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12件)

1. Noguchi H., Kashiwazaki T., Takatsu H. and Kimura H. : Analytical Study on Earthquake Resistance of Ultra High Strength Concrete Columns Containing Steel Fiber, Proc. of the Structural Engineers World Congress 2011, Paper ID: 313, 8pps., 2011, 査読有
2. 高橋響子、柏崎隆志、野口博、高津比呂

- 人：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する FEM 解析、コンクリート工学年次論文集、33-2、pp.169-174、2011 年 7 月、査読有
3. 入澤尚人、柏崎隆志、野口博、高津比呂人：鋼繊維混入超高強度コンクリートを用いた柱・梁接合部のせん断耐力に関する解析的研究、コンクリート工学年次論文集、33-2、pp.301-306、2011 年 7 月、査読有
 4. Noguchi H., Kashiwazaki T. and Hong J. : Study on Shear Strength of RC Beam-column Joints with Eccentric Beams by Three-dimensional FEM Analysis, Proc. of the Ninth US National and Tenth Canadian Conf. on Earthquake Engrg., pp.1-10, 2010, 査読有
 5. 関口雄平、柏崎隆志、野口博、高津比呂人：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する解析的研究、コンクリート工学年次論文集、32-2、pp.175-180、2010 年 7 月、査読有
 6. 坂下智幸、高橋誠、野口博、高津比呂人：鋼繊維混入超高強度コンクリートを用いた柱・梁接合部に関する三次元 FEM 解析、コンクリート工学年次論文集、32-2、pp.313-318、2010 年 7 月、査読有
 7. 孫宏晨、柏崎隆志、野口博：RC 立体柱・梁接合部の耐震性能に及ぼす梁主筋付着性状の影響に関する解析的研究、コンクリート工学年次論文集、32-2、pp.331-336、2010 年 7 月、査読有
 8. Noguchi H. and Kashiwazaki T. : FEM Analysis of Interaction Effects of 3-D RC Members Subjected to Multi-Directional Cyclic Loading, Proc. of the Structures Congress, ASCE, pp.1-10, 2009, 査読有
 9. Noguchi H., Kashiwazaki T. and Miura K. : Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Joints Subjected to Multi-Axial Loading, Proc. of the Thomas T.C. Hsu Sym. on Shear and Torsion in Concrete Structures, ACI, SP-265, pp.223-244, 2009, 査読有
 10. 吉澤徳康、柏崎隆志、野口博、高津比呂人：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材に関する解析的研究、コンクリート工学年次論文集、31-2、pp.199-204、2009 年 7 月、査読有
 11. 洪杰、柏崎隆志、野口博：3 次元 FEM 解析による RC 造柱・梁接合部のせん断強度に関する研究、コンクリート工学年次論文集、31-2、pp.301-306、2009 年 7 月、査読有
 12. 三浦浩太、坂下智幸、柏崎隆志、野口博：梁主筋付着性状を変化させた RC 立体柱・梁接合部の解析的研究、コンクリート工学年次論文集、31-2、pp.319-324、2009 年 7 月、査読有
- [学会発表] (計 15 件)
1. Noguchi H., Kashiwazaki T., Takatsu H. and Kimura H. : Analytical Study on Earthquake Resistance of Ultra High Strength Concrete Members Containing Steel Fiber, International Sym. on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation 2011, Sept. 17-18, 2011, Kobe, Japan
 2. 小原敦史、高橋響子、柏崎隆志、野口博、高津比呂人、木村秀樹：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する FEM 解析 (その 1：解析概要と荷重変形関係)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、pp.115-116、2011 年 8 月 24 日、早稲田大学、新宿区
 3. 高橋響子、小原敦史、柏崎隆志、野口博、高津比呂人、木村秀樹：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する FEM 解析 (その 2：解析結果の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、pp.117-118、2011 年 8 月 24 日、早稲田大学、新宿区
 4. 高橋響子、関口雄平、柏崎隆志、野口博、高津比呂人、木村秀樹：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する解析的研究 (その 1：解析概要と解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、pp.307-308、2010 年 9 月 9 日、富山大学、富山市
 5. 関口雄平、高橋響子、柏崎隆志、野口博、高津比呂人、木村秀樹：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する解析的研究 (その 2：解析結果の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、pp.309-310、2010 年 9 月 9 日、富山大学、富山市
 6. 入澤尚人、坂下智幸、柏崎隆志、野口博、高津比呂人、木村秀樹：鋼繊維を混入した超高強度鉄筋コンクリート柱・梁接合部の耐震性能に関する解析的研究 (その 1：解析概要および解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、pp.449-450、2010 年 9 月 11 日、富山大学、富山市
 7. 坂下智幸、入澤尚人、柏崎隆志、野口博、高津比呂人、木村秀樹：鋼繊維を混入した超高強度鉄筋コンクリート柱・梁接合部の耐震性能に関する解析的研究 (その 2：解析結果の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、pp.451-452、2010 年 9 月 11 日、富山大

- 学、富山市
8. 柏崎隆志、孫宏晨、野口博：スラブおよび直交梁付き RC 立体柱・梁接合部の耐震性能に関する 3 次元 FEM 解析(その 1: 解析概要および層せん断力-層間変形角関係)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 457-458、2010 年 9 月 11 日、富山大学、富山市
 9. 孫宏晨、柏崎隆志、野口博：スラブおよび直交梁付き RC 立体柱・梁接合部の耐震性能に関する 3 次元 FEM 解析(その 2: 解析結果の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 459-460、2010 年 9 月 11 日、富山大学、富山市
 10. 関口雄平、吉澤徳康、柏崎隆志、野口博：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材に関する解析的研究(その 1: 解析概要と解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 291-292、2009 年 8 月 29 日、東北学院大学、仙台市
 11. 吉澤徳康、関口雄平、柏崎隆志、野口博：鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材に関する解析的研究(その 2: 解析結果の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 293-294、2009 年 8 月 29 日、東北学院大学、仙台市
 12. 野口博、洪杰、柏崎隆志：3 次元 FEM 解析による RC 造柱・梁接合部のせん断強度に関する研究(その 1: 解析概要および解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 363-364、2009 年 8 月 26 日、東北学院大学、仙台市
 13. 洪杰、野口博、柏崎隆志：3 次元 FEM 解析による RC 造柱・梁接合部のせん断強度に関する研究(その 2: 解析結果に関する検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 365-366、2009 年 8 月 26 日、東北学院大学、仙台市
 14. 坂下智幸、高橋誠、柏崎隆志、野口博：鋼繊維混入超高強度コンクリートを用いた柱・梁接合部に関する解析的研究(その 1: 解析概要および解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 393-394、2009 年 8 月 26 日、東北学院大学、仙台市
 15. 高橋誠、坂下智幸、柏崎隆志、野口博：鋼繊維混入超高強度コンクリートを用いた柱・梁接合部に関する解析的研究(その 2: 解析結果の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造Ⅳ、pp. 395-396、2009 年 8 月 26 日、東北学院大学、仙台市
6. 研究組織

(1) 研究代表者

野口 博 (NOGUCHI HIROSHI)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：20107535

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

和泉 信之 (IZUMI NOBUYUKI)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：80526773

柏崎 隆志 (KASHIWAZAKI TAKASHI)
千葉大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：40251178