

平成 22 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19560562

研究課題名 (和文) 半剛接柱梁接合部を有する中低層鋼構造建築骨組の耐震性能設計手法

研究課題名 (英文) Performance-based seismic design of low- and mid-rise steel building structures with semi-rigid beam-to-column connections

研究代表者

原田 幸博 (HARADA YUKIHIRO)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10272791

研究成果の概要 (和文)：

本研究課題では、研究代表者らによる無溶接柱梁接合構法に関する既往の研究を発展させ、(1)高層建築への適用範囲拡大の可能性検証、(2)同接合構法に適した構造計画の提案、を行った。(1)については、高軸力柱における無溶接柱梁接合部の挙動を載荷実験と数値シミュレーションによって明らかにし、柱軸力が接合部の挙動に及ぼす影響を定量的に検証した。その結果に基づき、無溶接柱梁接合構法が適用可能な柱軸力の範囲を提示している。(2)については、高力ボルト接合を多用する無溶接柱梁接合構法に適した開断面の柱部材を用いることを想定して、一般的な中低層鉄骨建築物と同様の二方向ラーメン架構を実現できるよう、弱軸構面の柱梁接合部に方杖補強を行って架構の剛性と強度を確保する構造計画の実現可能性を検証した。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, feasibility of “weldless” column-to-beam semi-rigid connection in steel building structures is investigated. The following two subjects are studied: (1) feasibility of the weldless connections to high-rise buildings, (2) possibility of structural design of steel frameworks with the weldless connections. For the first subject, the local behavior of the weldless beam-end connection in a high-rise building is investigated by loading tests and numerical simulations. According to the experimental and analytical investigations, the axial compressive ratio where the compression of the column has little effect on connection strength is determined. For the second subject, the applications of the weldless connections to multi-story building structures with reinforcing knee braces are studied. Subassembly loading tests show that plastic hinge positions can be controlled by knee braces’ design. Example designs of low-rise buildings are conducted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：鋼構造, 半剛接合部, 耐震設計, 高力ボルト接合, 柱梁接合部

1. 研究開始当初の背景

現在のわが国における中低層鋼構造建築物では、工場や体育館などのやや特殊なものを除き、冷間成形角形鋼管を柱材として用いて二方向の平面骨組をともに剛接骨組とする設計が大半を占める。それに伴い、梁フランジを完全溶込み溶接する剛接柱梁接合部が多用されている。1995年の兵庫県南部地震において、このような剛接接合部の溶接部近傍が起点となった脆性的破壊による被害が多く発生した。この事実を受けて、数多くの研究者や設計者により柱梁接合部における脆性的破壊を防止するための設計の改善や改良について活発に研究が行われてきた。研究代表者を含む研究グループでは、溶接接合に関わる様々な問題を回避するために「溶接を用いずに全ての接合を高力ボルト接合とする」という方針に従う建築鉄骨架構の構造計画に関する実験的・解析的研究をこれまで進めてきた。

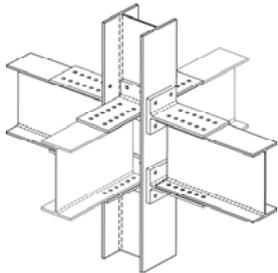


図 1. 無溶接無補強柱梁接合部

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、研究代表者を含む研究グループによるこれまでの研究をさらに発展させ、無溶接柱梁接合構法について

- (1) 高層建築への適用範囲拡大の可能性検証
- (2) 無溶接接合構法に適した構造計画の提案を行うことである。

(1)については、高層建築のように柱部材の軸力比が大きい場合の無溶接柱梁接合部の挙動が既往の研究では未検証であるため、無溶接柱梁接合構法が適用可能な柱軸力の範囲を提案する。

(2)については、高力ボルト接合を多用する無溶接柱梁接合構法に適した開断面の柱部材(具体的にはH形鋼柱)を用いることを想定して、一般的な中低層鉄骨建築物と同様の二方向ラーメン架構を実現させるために、弱軸構面の柱梁接合部に方杖補強を行って架構の剛性と強度を確保する構造計画の実現可能性を検証する。

3. 研究の方法

本研究課題における上述の二つのテーマのうち、(1)のテーマについては
 (1-a)柱相当部に軸力を作用させながらの接合部局部引張実験
 (1-b)有限要素解析による圧縮軸力下での接合部局部の数値シミュレーション
 を実施した。(1-a)については、柱相当部に軸力を導入しない既往の実験研究における実績に基づき、既往の試験体と荷重フレームに改良を加えて柱相当部に軸力導入を伴った荷重実験を実施した(図1)。(1-b)については、(1-a)の実験結果に加えて、既往の軸力非導入試験体も含めて、有限要素解析により荷重実験結果が再現できることを確認し、試験装置の制約上荷重実験が不可能な高軸力下での接合部局部挙動に関する数値実験を実施した(図2)。



図 1. 荷重装置

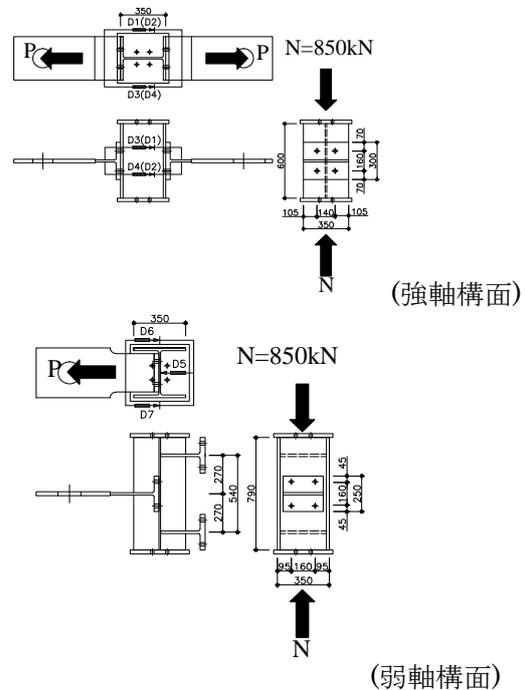


図 2. 軸力導入局部引張実験試験体

もう一方の(2)のテーマについては、
(2-a)方杖付き柱梁部分骨組の繰り返し載荷実験

(2-b)方杖付き架構の弾塑性解析を実施した。(2-a)については、建築鉄骨架構の柱梁溶接部を無溶接柱梁接合のみで構成すると架構の剛性と耐力が不足するため、それを補うために方杖部材による補強を併用することを提案し、方杖付き無補強柱梁接合の構造性能を確認するための部分架構の繰り返し載荷実験を行った(図 3)。(2-b)については、まず無補強接合部の力学挙動をモデル化して無補強接合部を含む架構全体の挙動を骨組モデルで再現できることを確認し、次いで(2-a)で提案した「無補強柱梁接合+方杖部材」の架構形式で十分な耐震性能を有する鉄骨架構が実現可能であるかを試設計して検証した。

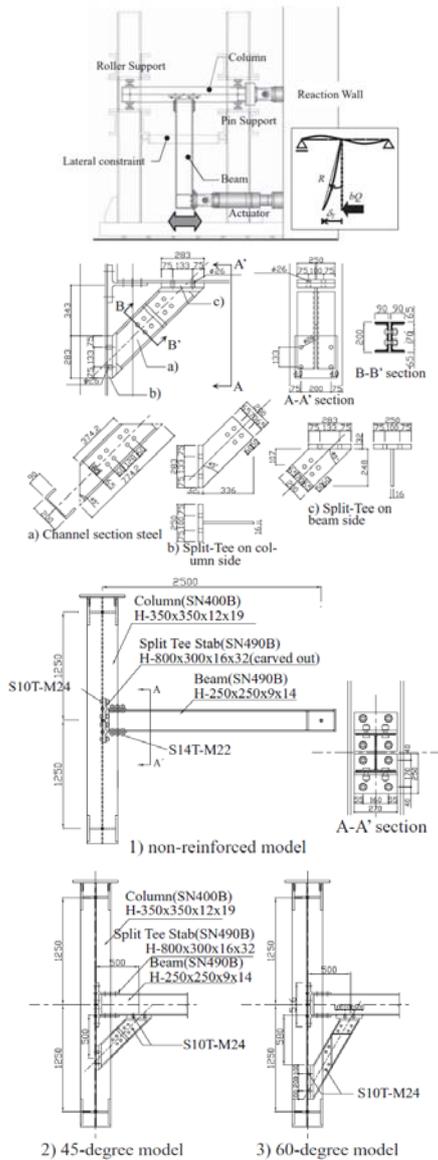
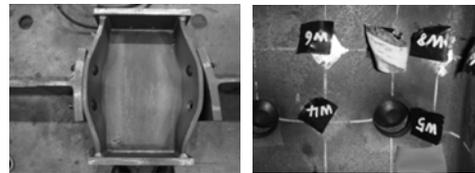


図 3. 無溶接柱梁接合+方杖架構試験体

4. 研究成果

テーマ(1)で行った(1-a)柱相当部に軸力を作用させながらの接合部局部引張実験においては、2本の1000kN オイルジャッキで柱相当部に軸力比 30%に相当する圧縮力を導入した。局部引張実験の結果、試験体の終局状態はボルト破断や板要素のパンチングシア破壊など、概ね軸力非導入試験体と同様であった(図 4)。局部引張実験で得られた引張荷重-局外面外変形関係(図 5)によって軸力導入試験体と軸力非導入試験体を比較すると、降伏耐力付近までは両者にほとんど違いが見られないものの、局部変形で10mmを超える大変形域では軸力導入試験体の耐力が低下していることがわかる。また、柱梁接合部付近の歪分布から、柱部材に生じる軸方向歪がスプリットティ接合部に近づくにつれて乱れる様子も観測できた(図 6)。

試験装置の制約上、載荷実験では導入軸力に限界があるため、より高軸力の場合の接合部の挙動は有限要素解析(図 7)による数値実験で確認した。軸力比の範囲は0~60%とし、高層建物の最下層の柱に生じる軸力の程度までを包含するように設定した。パラメトリックな数値実験に先立ち、載荷実験結果が有限要素解析で再現できるかどうかを検証した。その結果、有限要素解析結果の方がわずかに耐力を高め評価する傾向があるものの、載荷実験による荷重-変形関係曲線をよく再現でき(図 8)、有限要素解析の妥当性が確かめられた。次いで、軸力比をパラメータとした一連の解析を行い、柱軸力が接合部局部の荷重-変形関係に及ぼす影響を調べた(図 9)。その結果、柱軸力に伴う耐力低下の程度は強軸側接合部よりも弱軸側接合部の方が小さいことがわかった。そして、接合部の全塑性耐力に着目して、柱軸力が接合部挙動に及ぼす影響を検証した結果、断面形状にやや依存する傾向があるものの、軸力比 30%程度までは柱軸力の影響を考慮する必要がないことがわかった(図 10)。



ボルト破断(強軸) パンチングシア破壊(弱軸)



柱フランジの局所変形(弱軸)

図 4. 試験体の終局状態

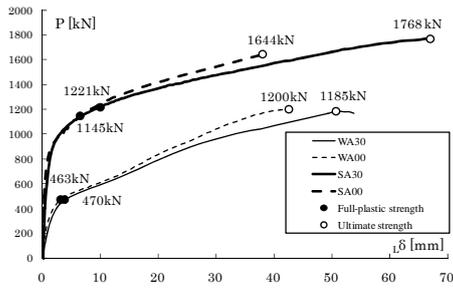


図 5. 無補強柱梁接合部における接合部局部引張荷重-局部面外変形関係

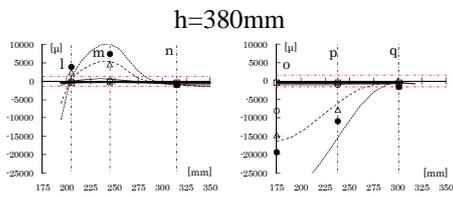
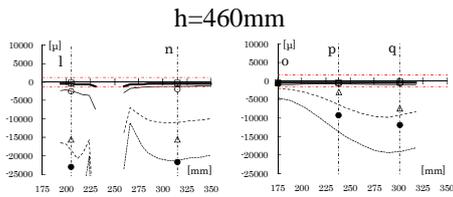
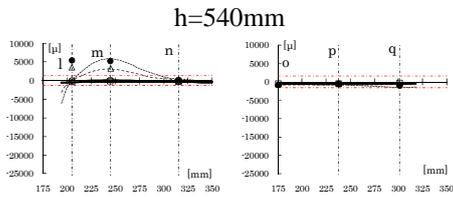
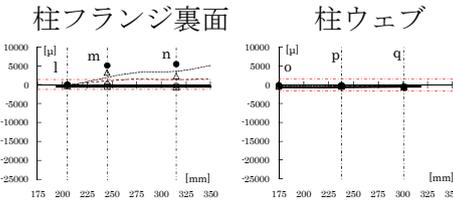
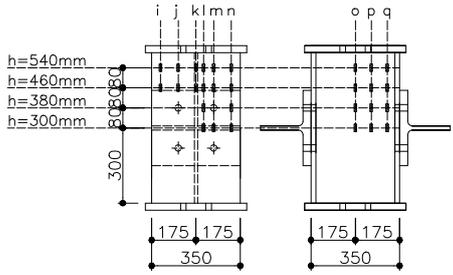


図 6. 柱部材の軸方向歪分布(強軸接合部)

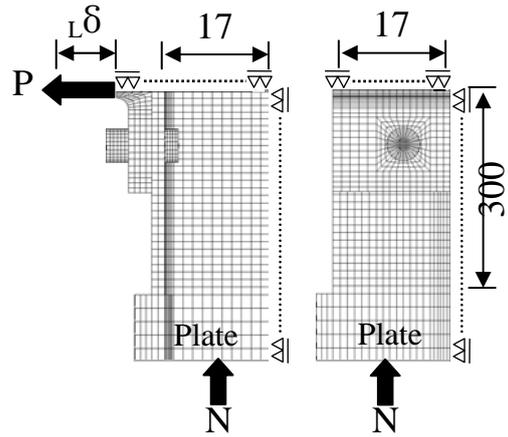


図 7. 有限要素解析モデル(強軸)

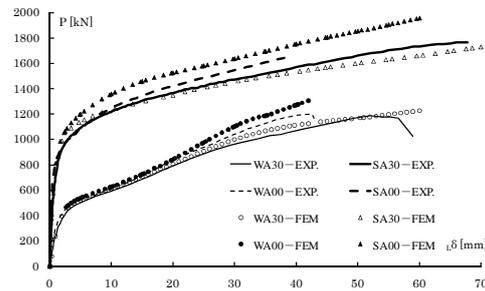
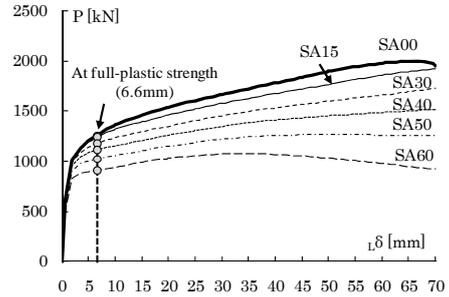
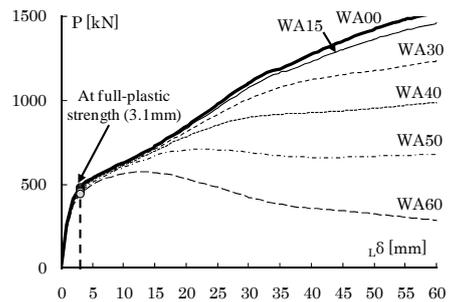


図 8. 荷重-変形関係における載荷実験結果と有限要素解析結果の比較



強軸



弱軸

図 9. 数値実験で得られた高軸力下での荷重-変形関係

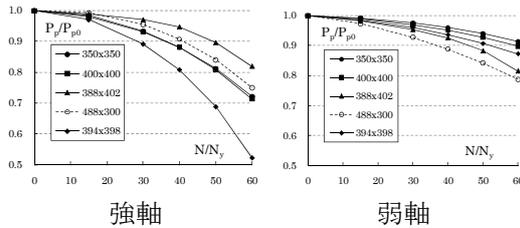
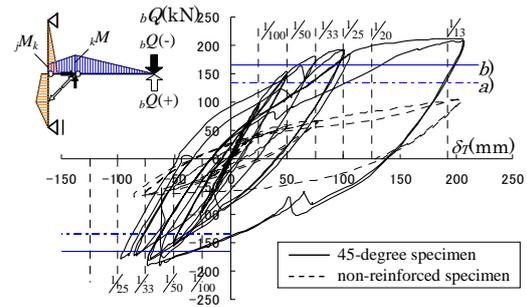


図 10. 柱軸力に伴う接合部全塑性耐力の低下

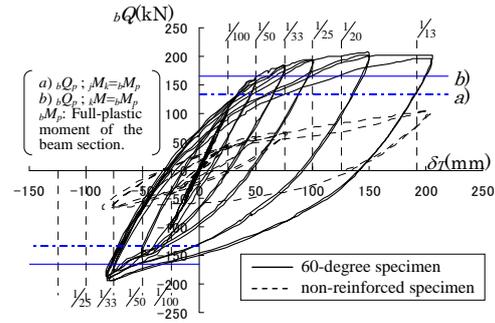
テーマ(2)については、無補強柱梁接合部に方杖補強を行った部分架構の繰返し載荷実験結果(図 11)の詳細な分析を行った。方杖角度は 45, 60 度の二通りとした。載荷実験結果より、方杖補強を行った架構は未補強の架構に比べて強度・剛性ともに大きく増大することが確認できた。また、既往の無補強方杖部材端接合部を有する部分架構の繰返し載荷実験結果を分析した結果、方杖材端接合部の局部挙動が接合部局部引張実験結果と概ね符合することが確認できた(図 12)。架構の終局時には接合部付近に大きな局所変形が発生したものの(図 13)、接合部局部挙動からは接合部降伏が架構の降伏を決定付けるようなことはなかったと判断できた。本研究課題で提案した「無補強接合部+方杖補強」が弱軸構面の柱梁接合構法として有効であることを確認できた。

「無補強接合部+方杖補強」柱梁接合部を含む部分架構の構造性能が確認できたので、次に架構全体の構造設計への適用可能性を検証した。部分架構実験では試験体数の制約があるため十分な確認はできないものの、架構計画においては無補強柱梁接合部と方杖部材の周辺(梁部材、方杖端接合部、柱端接合部)の耐力のバランスを変えることで方杖付き架構の多様な設計が可能である(図 14)。以上の知見を基にして、柱を H 形鋼とする建築鉄骨架構に無補強柱梁接合を適用し、弱軸構面の剛性と強度を補うためにブレースの代わりに方杖部材を設置する場合の試設計を行った(図 15)。その結果、適切な方杖部材を配置することによって、柱梁接合部・方杖端接合部を無補強接合とする場合でも、無補強接合部の性能が支配的にはならず、十分な耐震性能を有する架構を設計できることが確かめられた。

本研究課題で提案した「無補強接合部+方杖補強」構法に関する知見は、現場での溶接作業が困難となる場合が多い耐震補強への応用が可能であろう。今後は、耐震補強工法としての無補強接合の可能性についても本研究を発展させていきたい。

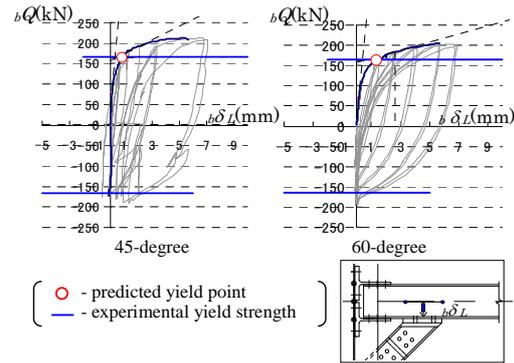


方杖角度 45 度

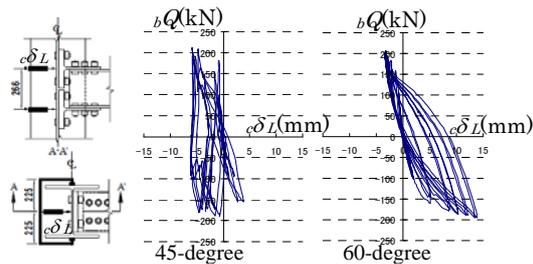


方杖角度 60 度

図 11. 方杖付き部分架構の繰返し載荷実験結果



方杖-梁フランジ接合部



梁フランジ-柱ウェブ接合部

図 12. 無補強接合部局部挙動

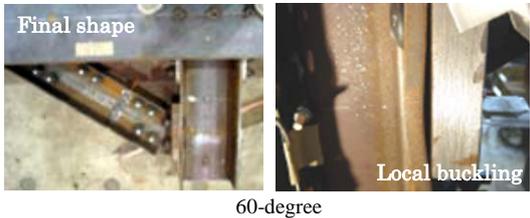


図 13. 部分架構試験体の終局状態

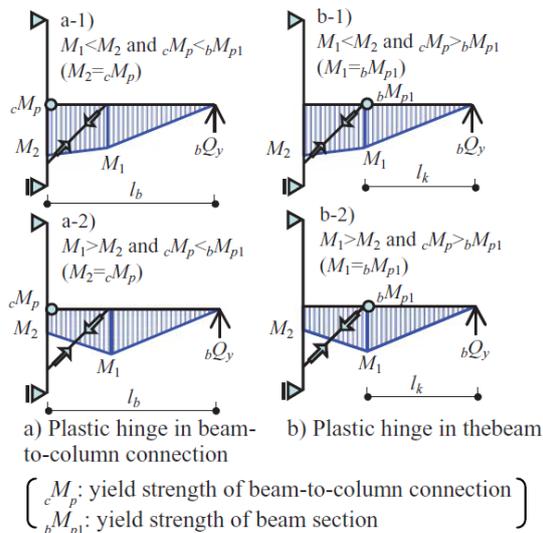


図 14. 方杖部材の設計による降伏箇所の制御可能性

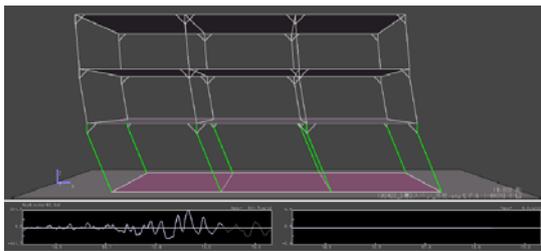


図 15. 試設計した方杖付き低層鉄骨架構の地震応答結果の例

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)

野本篤史, 江波戸和正, 原田幸博: 方杖補強付き H 形鋼ウェブ-スプリットティ接合部の実験的研究, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 16 巻, 231-236, 2008 年 11 月

〔学会発表〕 (計 3 件)

Y. Harada, K. Ebato, and J. Yagi: Cyclic Behavior of Unstiffened Double Split-Tee Beam-to-Column Connection, 17th Congress of IABSE, Paper No. A-1064, September 2008, Chicago, Illinois, USA

A. Nomoto, K. Ebato, and Y. Harada: Structural behavior of steel framework with knee brace in H-section weak axis column-to-beam connection with high-strength bolts, Stessa 2009 (The sixth international conference on behavior of steel structures in seismic areas), 173-179, August 17, 2009, Philadelphia, Pennsylvania, USA

K. Ebato, Y. Harada, and A. Nomoto: Structural behaviour of tension type high strength bolted connection between web plate of wide flange section and split-T, Stessa 2009 (The sixth international conference on behavior of steel structures in seismic areas), 255-261, August 17, 2009, Philadelphia, Pennsylvania, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 幸博 (HARADA YUKIHIRO)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 10272791

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

江波戸 和正 (EBATO KAZUMASA)

関東学院大学・工学部・助教

研究者番号: 70568766

(H21 年度から)

(研究協力者)

野本 篤史 (ATSUSHI NOMOTO)

千葉大学・大学院工学研究科・大学院生 (博士後期課程)

瀧本 哲也 (TAKIMOTO TETSUYA)

関東学院大学・大学院工学研究科・大学院生 (博士前期課程)