

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 31 日現在

機関番号：17501
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22760421
 研究課題名（和文） 接着剤と棒状接合具を併用した高剛性木質構造接合法の設計法の構築と基礎資料収集
 研究課題名（英文） Creation of structural design methods for Glued-in rod connecting system and collection of the basic data
 研究代表者
 田中 圭（TANAKA Kei）
 大分大学・工学部・助教
 研究者番号：00325698

研究成果の概要（和文）：本研究では、「接着剤と棒状接合具を併用した木質構造接合法」とその類似の接合法において、既往の研究を整理した上で、樹種の違いや剛性の差異、使用する接合具の種類や径、使用する接着剤の強度特性の把握、縁距離や接合具間隔による強度性能への影響などについて、実験を行い、データを蓄積・整理を行った。また、接着剤依存型の接合法の性能評価方法及び設計用特性値の取り方について検討し、いくつかの新しい提案を行った。

研究成果の概要（英文）：In this study, some experimental study were carried out to prove the effect of tree species, size or shape of rod and the layout of rods on Glued-in rod connecting system and other similar systems. After then, based on the results of these experiments, we proposed some the structural design methods for Glued-in rod connecting system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：木質構造、高剛性、設計法、基礎データ

1. 研究開始当初の背景

(1) 接着剤と棒状接合具を併用した木質構造用接合法

この接合法は、欧米では Glued in Rod 接合法(以下 GIR 接合法とする)と呼ばれ、文字通り木材(集成材)に開けた穴に棒状の接合具を挿入し、その隙間に接着剤を注入し充填することで接合するものである(図1参照)。

この接合法の大きな特徴は、高剛性及び高強度であり、昨今、木質構造分野で注目されている木質ラーメン構造に適している。また、接合具が表面に出ることがないため、意匠上

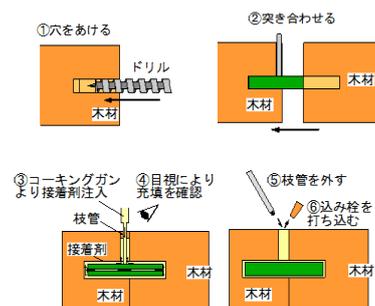


図1 GIR接合法のメカニズム (ホームコネクター工法の例)

も優れているほか、接合部の加工がドリルで穴を開けるだけであり、他の金物工法のような NC 加工などの複雑な加工を必要としないなど様々な利点がある。

(2)ホームコネクタ工法の開発の実績

申請者は、上記の GIR 接合法の一種である「ホームコネクタ工法」について、卒業論文以来、継手・仕口の基礎的な接合性能を把握する研究をはじめ、モーメント抵抗接合部の設計手法の提案や、トラス梁、鉄筋コンクリート部材と集成材の接合（写真1）などの様々な応用事例についての実験的検討を進めてきている。この接合法は、すでに全国で施工事例があり、竹製の接合具を使用したものが愛・地球博の長久手日本館にも採用された。また、この竹製接合具の開発で学位も取得した。



写真1 鉄筋コンクリート-集成材接合部への応用例

(3)類似工法の研究・開発が進む

上記のような利点と木質ラーメンの要求など社会的な背景もあいまって、申請者以外にも、いくつもの大学、公設試、民間企業が同じ接合メカニズムの接合法の開発を行ってきている。このような中で、使用される接合具の形状・材質も、異形鉄筋、全ネジ、ボルト、特殊金物、カエデなど広葉樹ダボ（写真2）、竹材と各工法により様々であり、接合対象とする母材も様々な樹種の製材、集成材と多岐にわたる。



写真2 木ダボを用いた GIR 接合法
(秋田県立大学)

(4)体系的な研究・データ収集の必要性

上述したように現在、多くの研究機関や民間企業が開発が行われており、様々な施工実績を積み上げているものの、それぞれが独自の方法で、それぞれの使用形態に特化したデータの収集を行い、設計に必要なデータの収集を行っているにとどまっている。このような状況の中で、多くの施工実績があるにも関わらず、2009年に建築学会から出版された「木質構造接合部設計マニュアル」にも、他の接合法が計算例を含めて詳細な設計法が紹介される中で、客観的、共通的な設計法をそれを裏付けるデータの不足のため、わずかな類似接合法が紹介されるのみとなっている。

(5)共通試験方法及び性能評価方法の確立の必要性

現在、これらの工法の実験は、独自の試験体形状や方法で行われているものが多く、統一されていない。また、現在の木質構造接合部の性能評価方法は、従来の母材のめり込みや金属の降伏に依存する接合を前提とした、荷重-変形関係を完全弾塑性モデルに変換して各特徴値を抽出する方法を採用する方法を取っているが、接着剤にその性能を依存するこれらの工法では、弾塑性モデルへの変換がうまくいかず特徴点抽出ができないことや、不適切な値となる場合が多く、既存の評価法に適合しないことが問題となっている。

(6)建築基準法改正による影響と要求

2009年6月の改正建築基準法の施行により、公的認定を受けていない新しい工法の建築許可が全国的に困難になっていることが問題となっているが、上に挙げた各種の GIR 接合も例外ではない。これらの問題を解決しようとするとき、上記のような客観的・体系的研究成果の整理、評価方法の不備により、各自の実験データを建築主事に正しく評価してもらえないという弊害を招いている。

2. 研究の目的

上述したように現在それぞれ独自に行われているこれらの類似した接合法の研究を整理した上で、樹種の違いによる強度や剛性の差異、使用する接合具の種類や径、使用する接着剤の強度特性の把握、縁距離や接合具間隔による強度性能への影響など、共通する問題について、体系的な実験を行い、データを蓄積・整理する。これらの設計規準値を提案する。

また、各実験データと既存の接合部性能評価方法との適合性について再検討を行うことで、GIR系接合法のような接着剤依存型の接合法の性能評価方法及び設計用特性値の取り方について検討し、提案を行う。併せて

GIR 系接合法の基準試験方法などを検討・提案し、今後の当該接合技術の研究・開発の効率化をめざすものである。

3. 研究の方法

本研究は大きく、次の4点に整理して実験及びデータの整理、設計手法の提案を行った。

- (1) 注入用接着剤による接合性能の違い
- (2) 接合具を木材の繊維平行方向に挿入する場合の接合性能
- (3) 接合具を木材の繊維直交方向に挿入する場合の接合性能
- (4) 集成材の繊維直交方向に挿入した GIR 接合部の割裂耐力推定法の提案

4. 研究成果

(1) 注入用接着剤による接合性能の違い
 ① 注入用接着剤の違いによる強度性能 I (接着層のせん断性能) (詳細: 学会発表①参照)

注入用接着剤の違いによる強度性能への影響を把握するために接着層のせん断試験を行った。また、4種類の接着剤の違いによる木材接合部の強度性能への影響を把握するために継手引張試験も行った。

その結果、接着剤の種類及び接着層の厚さによって、強度性能が大きく異なることが明らかになった。また、接着剤の種類及び接着剤と木材との親和性の違いにより、接合性能に大きく影響があることが明らかになった。

(図2、図3参照)

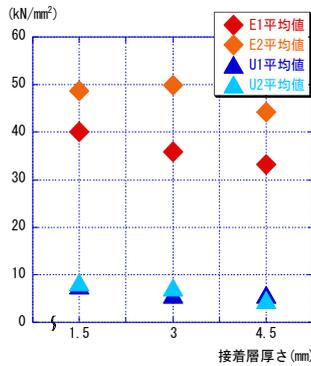


図2 接着剤のみの場合のせん断強度

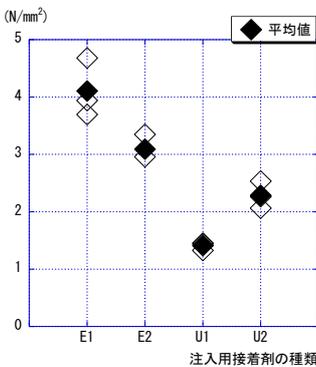


図3 木材に挿入した場合のせん断強度

② 注入用接着剤の違いによる強度性能 II (接着層と木材の界面の性状)

(詳細: 学会発表③参照)

木材と接着層の界面における強度特性を把握するために、JIS-Z2101のせん断試験を参考に、4種類の接着剤を用いて、木材と接着層の界面のせん断試験を行った。また、継手引張試験を行い、推定値との比較を行った。

その結果、せん断面が板目(LT)及び柃目(LR)の試験体から、強度特性を把握することができた(図4,5参照)。また、継手引張試験から得られた実験値と、「木破」、「界面での破壊」、「凝集破壊」のそれぞれの推定値を比較する(図6,7参照)と、E1シリーズは実験値と推定値がほぼ一致した。E2シリーズは実験値が推定値よりもやや低い値を示した。ウレタン樹脂系接着剤のU1,U2シリーズは、実験値が推定値を大きく上回った。また、破壊性状はおおむね予想できることが示唆された。

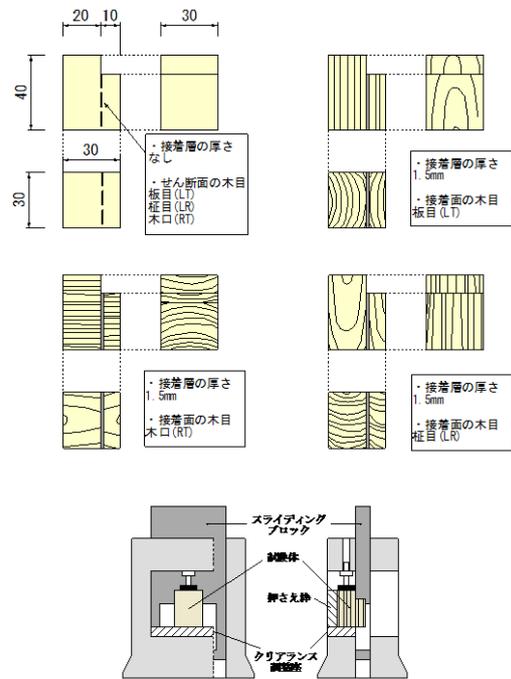


図4 試験体形状・寸法及び加力装置

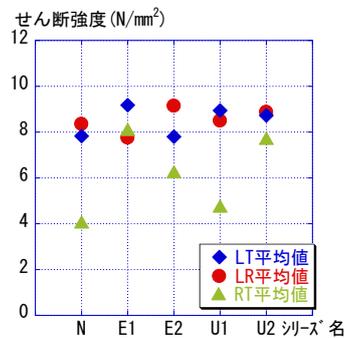


図5 木材と接着層の界面のせん断強度

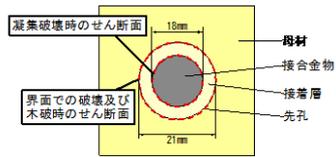


図6 せん断面の仮定

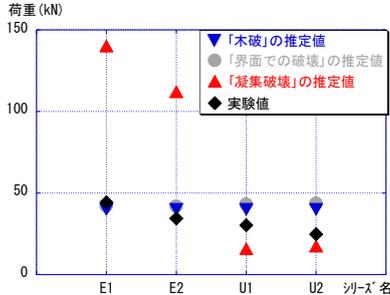


図7 実験値と推定値の比較

(2) 接合金物を木材の繊維平行方向に挿入する場合の接合性能 (詳細: 雑誌論文①参照)
 接合金物を木材の繊維平行方向に挿入する場合の接合性能を推定する手法を提案するため、集成材の樹種と接合金物の縁距離をパラメータとした引抜試験を行い、接合性能との関係を調べた。さらに実験後の試験体から切り出した材料を用いて、横引張試験及びせん断試験を行い、材料の各強度を測定した。それらの結果をもとに、破壊モードごと (写真 3~6 参照) の最大耐力の推定法を検討し、木材の強度特性を考慮した接合部の耐力算定法の提案を行った。各破壊性状における最大耐力の算定法を検討し、材料試験の実験結果から導いた 95% 下限値及び JAS 基準強度を用いた算定値を接合部実験の実験値と比較した結果、提案した算定法を用いることで GIR 接合法の繊維平行方向に挿入された場合の最大耐力をおおむね予想できることが示唆された (図 8 参照)。



写真3 木材の引張破壊



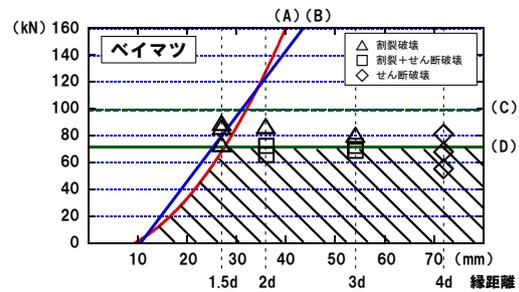
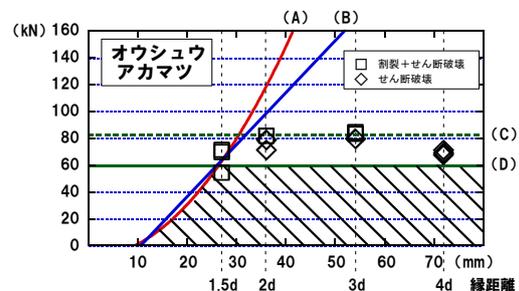
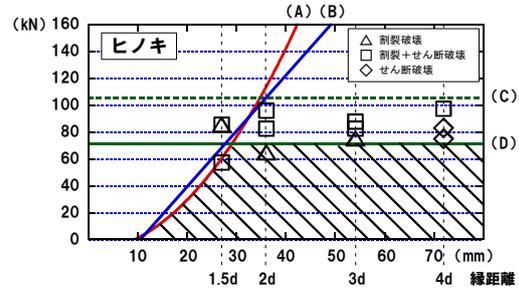
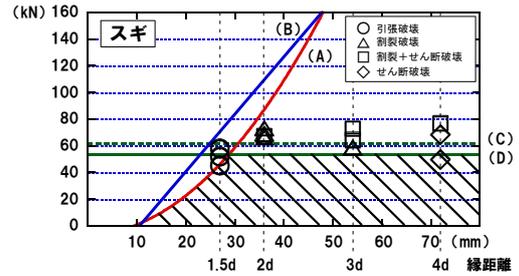
写真4 割裂破壊



写真5 せん断破壊



写真6 割裂+せん断破壊



- (A): 引張破壊時の算定値 (JAS 基準強度を使用)
- (B): 割裂破壊時の算定値 (95% 下限値を使用)
- (C): せん断破壊時の算定値 (95% 下限値を使用)
- (D): せん断破壊時の算定値 (JAS 基準強度を使用)

図8 実験値と算定値の比較

(3) 接合金物を木材の繊維直交方向に挿入する場合の接合性能 (詳細: 雑誌論文③参照)
 集成材の繊維に対して直交方向に接合金物を挿入した場合を想定し、接合金物の挿入長さ、加力用金物と反力用金物の間隔、接合金物の縁距離をパラメータとした引抜試験を行い、接合性能との関係の把握を行った。これらの試験結果から耐力算定法を提案し、妥当性についての検証を行った。
 接合金物の挿入長さ及び接合金物の縁距離をパラメータとしたシリーズでは、提案し

た接着層と木材の界面のせん断強度を用いる引抜耐力算定法で算出した値が、実験値を概ね推定できた(図9、10、11参照)。しかし、加力用金物と反力用金物の間隔をパラメータとしたシリーズにおいて、金物の間隔が大きくなると、算定値が実験値を下回る傾向が出てくるのが明らかとなった(図12参照)。これは、母材に生じる曲げ応力とそれに伴う変形が影響しているためと考えられる。このことから、提案した耐力算定式は、金物の間隔が225mmの範囲では概ね推定できているといえる。

また、大型の構造物等への利用を考えると、接合金物挿入部の木材に大きな曲げ応力が作用する場合や、接合金物が近接して複数本挿入された場合などについては、木材の横引張割裂などの異なる破壊性状の発生も考えられ、提案式では危険側となることが予想される。

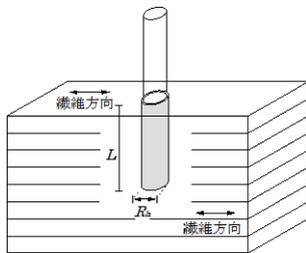


図9 応力負担領域の仮定

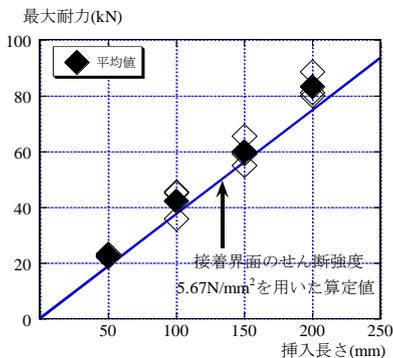


図10 実験値と算定値の比較
(パラメータ：埋め込み長さ)

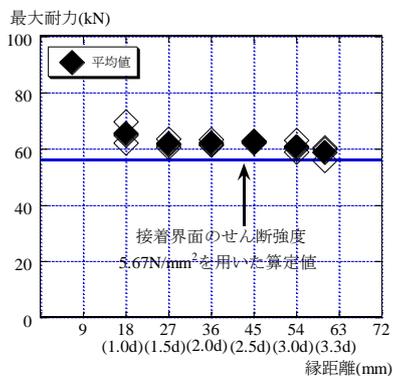


図11 実験値と算定値の比較
(パラメータ：縁距離)

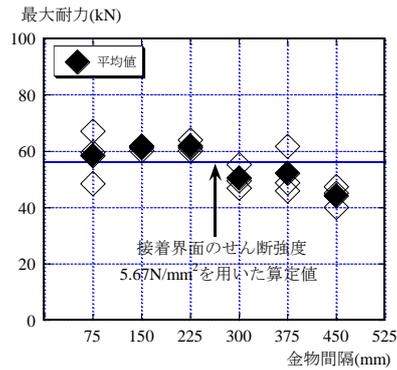


図12 実験値と算定値の比較
(パラメータ：金物間隔)

(4) 集成材の繊維直交方向に挿入したGIR接合部の割裂耐力推定法の提案(詳細：雑誌論文⑤参照)

コンパクトテンション試験(CT試験：図13参照)を実施し、破壊靱性値GCに相当するJICを求め、van der Put等の提案式に適用することで耐力を推定する方法を提案した。また、実際に接合部試験を実施し、実験値を推定値及び木規準による設計値と比較し、その妥当性についての検証を行った。

CT試験では、 a_0/W をパラメータとして試験を行い、JICを求めた。その結果から回帰的に $a_0/W=0$ の場合、 $JIC=298N/m$ という値を得られた。

接合部試験では、埋め込み長さをパラメータとした試験を行い、CT試験で得られたJICを用いて割裂耐力の推定値を求め、実験値との比較を行った。その結果、木規準の設計値よりも推定値の方が実験値に近い値を示し、推定値の精度は大幅に改善した(図14参照)。

しかし、埋め込み長が大きくなると推定値と実験値の差が大きくなるのが明らかになった。これは、試験体形状、特に支点間距離と埋め込み長さの関係による影響であると考えられる。このため、今後は支点間距離をパラメータとした接合部試験を実施、その影響を解明したいと考えている。

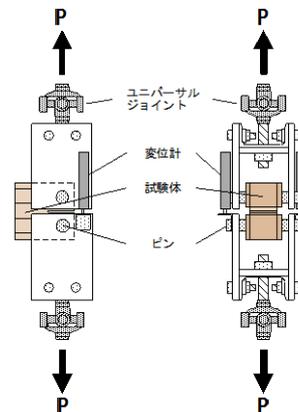


図13 CT試験

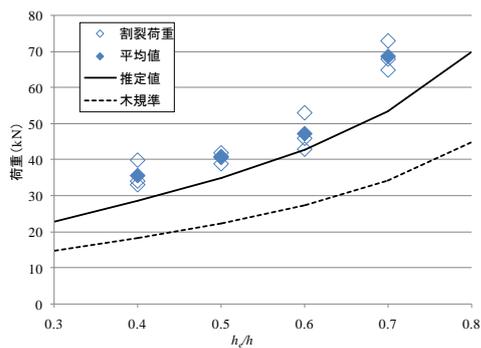


図 14 割裂耐力及び推定値

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ① 田中 圭、野口雄司、神戸 渡、森 拓郎、井上正文、集成材の繊維直交方向に挿入した GIR 接合部の割裂耐力推定法の提案、構造工学論文集、査読有、Vol. 58B、2012、pp. 265-270
- ② Yuji NOGUCHI, Kazuki TONAI, Kei TANAKA, Takuro MORI and Masafumi INOUE、Study on Calculating Method for Pull-out Strength of Glued-in Rod Connector Embedded in Perpendicular to the Grain in Glulam、Proceedings of the Sixth Joint Seminar 2011 of China-Korea-Japan on Wood Quality and Utilization of Domestic Species、査読有、2011、pp. 145-146
- ③ 田中 圭、天雲梨沙、野口雄司、森拓郎、井上正文、集成材の繊維直交方向に挿入した GIR 接合具の引抜耐力算定法の提案、構造工学論文集、査読有、Vol. 57B、2011、pp. 373-378
- ④ Kei TANAKA, Masafumi INOUE, Risa Tenkumo, Tsuyoshi SATO, Yutaro NAKASHIRO and Takuro MORI、STUDY ON STRENGTH MECHANISM OF JOINT SYSTEM COMPOSED OF METAL CONNECTOR AND ADHESIVE IN TIMBER STRUCTURES、Proceedings of World Conference on Timber Engineering 2010、査読有、CD-ROM、2010、No. 594
- ⑤ 田中 圭、佐藤 烈、中城勇太郎、天曇梨沙、森 拓郎、井上正文、木材の材料特性を考慮した GIR 継手接合部の耐力算定法の提案、構造工学論文集、査読有、Vol. 56B、2010、pp. 303-208

〔学会発表〕(計 9 件)

- ① 野口雄司、栗野利博、藤内和貴、神戸 渡、田中 圭、森 拓郎、井上正文、繊維直交方向に挿入した GIR 接合部の割裂耐力算定法について (その 1) コンパクトテ

ンション試験による破壊靱性値を用いた推定法、日本建築学会九州支部研究報告会、2012. 3、西日本工業大学

- ② 栗野利博、藤内和貴、野口雄司、神戸 渡、田中 圭、森 拓郎、井上正文、繊維直交方向に挿入した GIR 接合部の割裂耐力算定法について (その 2) 支点間距離が割裂耐力に与える影響、日本建築学会九州支部研究報告会、2012. 3、西日本工業大学
- ③ 田中 圭、野口雄司、藤内和貴、井上正文、神戸 渡、森 拓郎、繊維直交方向に挿入した GIR 接合部の割裂耐力推定法について、木質構造研究会技術報告会、2011. 12、東京大学
- ④ 田中 圭、野口雄司、井上正文、森 拓郎、繊維直行方向に埋め込まれた GIR(Glued-in-Rod)接合具の引抜耐力、日本木材学会九州支部大会、2011. 8、鹿児島大学
- ⑤ 天雲梨沙、野口雄司、田中 圭、森 拓郎、井上正文、接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構について その 9 繊維直交方向引抜きにおける縁距離が強度性能に与える影響、日本建築学会大会、2011. 8、早稲田大学
- ⑥ 野口雄司・天雲梨沙・田中 圭・森 拓郎・井上正文、接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構に関する研究 (その 10) 木材と接着層の界面の強度特性、日本建築学会九州支部研究報告会、2011. 3、鹿児島大学
- ⑦ 森 拓郎・野口雄司・天雲梨沙・田中 圭・後藤泰男・井上正文、接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構に関する研究 (その 11) 繊維直交方向引抜きにおける縁距離が強度性能に与える影響について、日本建築学会九州支部研究報告会、2011. 3、鹿児島大学
- ⑧ 野口雄司、天雲梨沙、佐藤 烈、田中 圭、井上正文、接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構について その 7 注入用接着剤の違いによる強度性能への影響、日本建築学会大会、2010. 9、富山大学
- ⑨ 佐藤 烈、野口雄司、天雲梨沙、田中 圭、森拓郎、後藤泰男、井上正文、接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構について その 8 繊維直交方向引抜きにおける強度性能について、日本建築学会大会、2010. 9、富山大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 圭 (TANAKA Kei)
大分大学・工学部・助教

研究者番号：00325698