

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 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21360268

研究課題名（和文） 既存低強度コンクリート建物の耐震性能評価と補強効果

研究課題名（英文） SEISMIC EVALUATION OF LOW STRENGTH CONCRETE BUILDINGS AND EFFECTIVENESS OF RETROFITTING METHOD

研究代表者

荒木 秀夫（ARAKI HIDEO）

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40159497

研究成果の概要（和文）：

本研究は 13.5N/mm^2 以下の低強度コンクリート既存建物に関するものであり、構造部材の耐震性能を実験的に検証し、最大耐力等に関して既往の評価式との整合性について検討を加えた。また補強の可能性についても検討を加えている。その結果、既往の評価式を準用して評価できること、補強についてはこれまでの巻き立て補強等が有効であることなどが分かった。特に丸鋼の抜け出しについてはエポキシ樹脂注入が有効であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

This study presents the seismic performance of existing buildings with low strength concrete less than 13.5N/mm^2 . The experimental works using those members were performed. The effects of retrofitting were also investigated through the loading tests. The present equations could predict the maximum strength of those members and the jacketing method is effective to increase the seismic performance. It is found that epoxy resin injection was significantly effective to improve the bond characteristics of the plain round bars.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2010 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	10,500,000	3,150,000	13,650,000

研究分野：建築構造学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：低強度コンクリート、曲げ耐力評価、付着性能、抵抗機構、補強、耐震改修

1. 研究開始当初の背景

既存建物の耐震診断の実施により低強度コンクリート建物の存在が明らかになりつつある。中国地域における既存建物のコンクリート強度の低さは関東地域のそれを大きく下回っており、その対処には苦慮しているところである。加えて同地域において 2000 年

と 2001 年に発生した鳥取県西部地震と芸予地震はあらためて低強度コンクリート建物の危険性を認識させるものであった。これら 2 つの地震における建物被害を分析するとコンクリート強度が 15N/mm^2 を下回ると中程度地震でも中破・大破の確率が非常に高くなることが分かっている。被災建物を実際のこ

ンクリート強度（平均で 10N/mm^2 程度）を用いて弾塑性解析の結果をみると兵庫県南部地震のような大地震でなくても、近年日本各地で頻発している中地震よっても大破倒壊する危険性が高いことが明らかである。一方、耐震改修設計指針(2001年版)²⁾の適用限界のコンクリート強度は 13.5N/mm^2 であり、この値以下の場合には「慎重に検討する」という記述になっている。しかしながら現実には適用範囲外の建物であっても、現行の評価式を適宜外挿して診断・改修している場合が現況である。このように工学的根拠に基づかない継続使用の判断は実に憂慮される事態である。もともと低強度コンクリートの問題は以前から耐震診断業務のかかえる課題の一つとして捉えられてはいたが、「施工不良」という言葉に代表されるように業界においては負のイメージがあり、各研究機関で表立って取り上げられてこなかった経緯がある。このような背景からこれまでの低強度コンクリートに関する系統的かつ総合的な研究自体あまり無く、現時点では低強度コンクリート建物に関する耐震診断・補強設計に耐えうる普遍的な知見が得られているとは言い難い状況である。

2. 研究の目的

上述した背景に鑑み申請者等は「低強度コンクリートに関する研究会」（現在中国地方の大学、高専、企業を含め41名で構成）を2005年に立ち上げ、役割分担して実験研究を進め、第一段階の成果が集まり始めた段階であった。本委員会で作られた成果は2008年度日本建築学会大会（広島）でオーガナイズドセッション開催という形でまとめられている。その他、2008年度コンクリート工学年次大会に論文として発表されている。これらの研究結果を俯瞰すると、部分的には基礎的データが蓄積されつつあるが、実用的かつ総合的知見としては未だ不十分と言わざるを得ない。本申請による研究を実施することにより、低強度コンクリートに関して工学的根拠に基づき、以下の点を明らかにすることができる。

- 継続使用可能な低強度コンクリートの限界値
- 合理的な低強度コンクリート建物の補強方法

本研究は低強度コンクリート建物の存在あるいは継続使用を許容しようとするものでなく、あくまでも、低強度コンクリート建物の耐震安全性能を評価する合理的な手法を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 平成21年度

初年度は研究代表者および研究分担者がそれぞれテーマを挙げて低強度コンクリートの構

造性能及び補強に関する性能調査を実施した。

各研究機関で行なう実験の共通変数は以下のとおりである。加力実験は各研究機関が所有する装置・治具で可能である。実施者は多くの鉄筋コンクリート部材に関する実験の経験が有る。また、一連の実験実施において不具合が発生した場合でも近隣の研究機関で代替可能である。

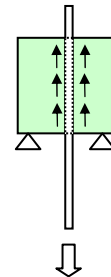
コンクリート強度； $5\sim 10\text{N/mm}^2$ 程度。

鉄筋；丸鋼，SR245相当品

試験体設計；鉄筋コンクリート構造計算規準（1971年改訂前）

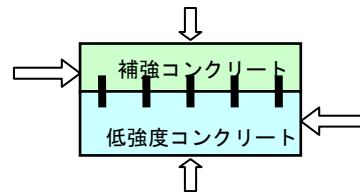
①付着・定着に関する検討

既存建物における丸鋼を主筋とする部材は早期の付着劣化により、曲げ耐力以前に水平変形が増大し、右図に示す様に復元力特性はエネルギー吸収のほとんど無いスリップ形状となる現象が明らかになっている。そのため丸鋼と低強度コンクリートの付着性能について定量的に把握する必要がある。



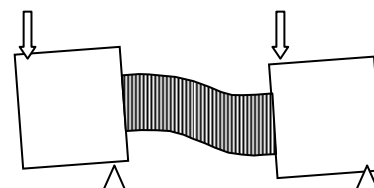
②低強度コンクリート

と既存コンクリートの接合に関する性能調査低強度コンクリート建物の補強の可能性を探るため、あと施工アンカーの定着および支圧・せん断試験とそれらの構成式についても検討も行なう必要が有る。



③低強度コンクリート梁の性能に関する性能調査

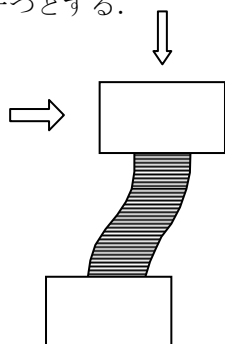
低強度コンクリートを用いた梁部材の実験研究は前述した研究会で実施してきたが、補強された梁の性能調査については実行されていない。本項目ではこれまでの成果に対する補充実験と補強方法についての実験を実施する。補強は炭素繊維等の補強を考えている。



成果物については次の柱と同じとし、耐震診断に対する耐力評価（C 値）、靱性能評価（F 値）、補強の可能性とする。

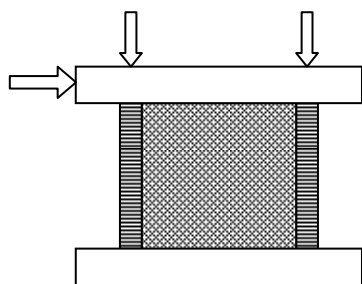
④低強度コンクリート柱の性能に関する性能調査

柱についてもこれまで実験を行なってきたはいるが、柱は建物の終局的安全性を確保するものだけに未だ十分とはいえない。本申請における検討項目はせん断破壊強度、付着破壊強度に加えて、耐震診断における重要評価項目の一つであるせん断破壊後の残存軸耐力とし、主たる実験変数を軸力とする。柱の正負交番繰返し試験を行い、せん断及び軸力伝達機構について明らかにするとともに耐震診断で用いられる評価式の妥当性について検討する。また、柱試験体における靱性能確保と鉛直荷重支持能力確保を目的とする補強の可能性について検討し、限界強度を設定する。補強方法については長繊維シート巻き（炭素繊維またはガラス繊維等）およびコンクリート巻きたて等を予定している。遅々として進まない耐震改修への緊急避難的な対策の一環として、簡易な補強方法の開発も目的の一つとする。



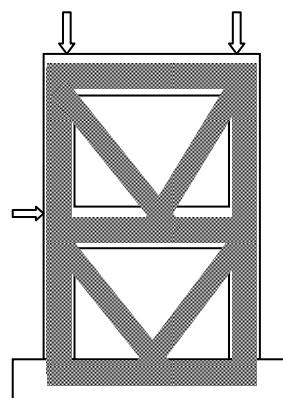
⑤低強度コンクリート壁の性能に関する性能調査

有効な耐震要素である壁は板状であるためせん断挙動が卓越し、コンクリート強度の影響を受けやすく、低強度コンクリートを用いた壁の検討は不可欠である。しかし、これまでの低強度コンクリートに関する壁の研究は殆ど無いのが現状である。破壊機構を明らかにするとともにせん断ひび割れ強度、最大耐力などの既往の評価式及び変形性能について検討する。



⑥低強度コンクリートフレームの性能に関する性能調査

建物の耐震性確保のためには強度を負担する新設フレームを増設する方法がある。その場合、既存架構内に配置する場合と、外付けする場合がある。特に後者は建物内部をそのままにして工事ができるため、採用される場合が多い。しかしながら低強度コンクリートの建物の場合は接合方法やフレーム増設による応力再配分については十分考慮しておく必要がある。ここでは骨組試験体は外付け補強を対象とする。担当する研究機関ではフレーム内補強ではあるが実験を実施しており、準備状況としては問題ない。



以上の結果を総合して既往の部材評価式の適用限界強度を明確にすると共に、耐震改修における補強の問題点の抽出とする。

(2) 22年度

22年度は21年度までに得られた研究成果の分析と追加実験を中心に実施するとともに21年度の研究成果に基づき、補強効果の確認に主眼を置いて追加の実験を行なう。

(3) 23年度を最終年としてそれまでの成果を踏まえて低強度コンクリート建物の構造安全性および使用年限を考慮した合理的な改修指針案の提言を行う。具体的には改修方法建物の要求性能や地震危険度を考慮して各種補強方法に対するコンクリート強度下限値を設定する。

4. 研究成果

1) 付着性能および改善方法について

低強度コンクリート部材内に埋め込まれた丸鋼の引張試験を実施し、付着性能について検討した。丸鋼の付着強度は水平筋かつ上端筋で著しく低下し、基準となる許容応力度を大きく下回ることを確認した。繰返しも含めた付着応力-滑り変位関係を把握し、繰返しによって付着応力は急激に低下することが分かった。これらの関係をモデル化した。また、この低強度の付着特性を改善するために、鉄筋周りにエポキシ樹脂を注入した引き抜き試験を行った。その結果、最大耐力およ

び復元力特性が大幅に改善することが分かった。

2) 接合について

低強度コンクリートを有する既存RC建物にハイブリッド耐震補強工法を適用することの妥当性を検証するために行った接合部のせん断実験によって、既存躯体と鉄骨枠組との接合部のせん断強度は、既往の評価式を用いて安全側に評価できることが分かった。

また、傾斜型あと施工アンカーのコーン状破壊と最大強度について検討を行なった結果、傾斜型あと施工アンカーは、コーン状破壊で決まる場合、端あき距離の違いにより破壊形状が異なることや、傾斜型あと施工アンカーは、端あき距離と有効埋め込み長さが長くなるほど最大強度は大きくなるなどを確認した。

3) 柱の構造性能について

丸鋼を用いた低強度コンクリート柱の正負繰返し実験を実施した結果、主筋の抜け出しにより主筋が降伏せず、設計耐力としての曲げ強度が実現しないことを確認した。このような付着滑脱破壊の耐力算定として、鉄筋とコンクリートが個別に抵抗するとしてそれぞれの耐力を累加する方法を適用して、最大耐力について推測可能であることが分かった。ただし、この計算を求める際には丸鋼の付着強度が必要である。

このほかにそで壁付き柱の抵抗性能の把握を行い、その破壊状況から既往の評価式ではなく、柱と壁のそれぞれの耐力の累加によって最大耐力を求めることができることを示した。

補強に関しては付着滑脱破壊した柱に対して主筋周りにエポキシ樹脂を注入して付着力を高めることによって、主筋を降伏させ設計時に想定した曲げ破壊を実現できることを実験的に証明した。また、靱性やエネルギー吸収能力も大幅に改善され、抵抗機構について引き抜き試験の結果に基づいて分析を加えた。また、従来型の分割鉄板巻き立てや炭素繊維巻き立て工法が有用であることを確認した。これに関連して水平力によるせん断破壊後の残存軸耐力等についても十分余裕があることが分かった。

現在、診断時における低強度コンクリート柱部材についてはF値、C値ともに非常に低い評価しか与えられていないが、合理的な補強によって適切に評価しうることを示した。

4) 梁及び柱の補強法について

梁についてはFRPシート補強とコンクリート巻き立て併用による補強効果について、実験的に検証し最大強度に関して効果的であることを示した。

5) 壁の構造性能および補強について

低強度コンクリートを用いた耐震壁についてせん断実験を行った結果、Fc5N/mm²クラスの耐震壁の終局せん断強度は既往の評価式(富

井式)では危険側に評価し、低減係数 k_r (柱・梁部材:山本提案)は実験値を過小評価することが分かった。またFc10N/mm²クラスのRC耐震壁のせん断性能(耐力、剛性)は既往の評価式で概ね評価可能であった。

補強に関しては炭素繊維補強を施した耐震壁の終局強度は、SR-CF工法耐震改修設計施工指針により安全側の評価が得られた。

6) 骨組の補強性能について

枠組鉄骨フレームを設置した低強度コンクリート骨組の水平加力実験を実施した。接合部のせん断強度と補強骨組の終局耐力は既往の評価式によって安全側に評価できることを確認し、柱および柱梁接合部のパンチングシア破壊を生じない補強骨組は、耐震診断におけるF値2.0のじん性を確保できることを明らかにした。

7) 総括

これまでの研究成果から低強度コンクリートに関するいくつかの知見をもとに9N/mm²までのコンクリートについてはこれまでの既往の評価式や本研究による提案式を用いて実情に即した性能評価が行えることが分かった。また適切な補強方法によって改修が可能になると考えられる。

得られた成果は査読付き論文18編、国際会議5編を含む64編の学会発表を行った。国内外に向けて、広く情報発信をすることが出来たと考えている。

一方、低強度コンクリートを有する既存建物において、いくつかの問題点も明らかになってきた。特に指摘されることはこれまでの研究の多くが実験室作成した試験体の実験結果に基づいていることであり、既存の構造物から得られた成果ではないことである。本研究に関して今後の展開としては実物の部材を用いた性能把握が重要な課題であるといえる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計18件)

1. 洪成, 荒木秀夫, 繰返し荷重下の低強度コンクリートと丸鋼の付着性状に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第38号, 査読有, 2012, pp171-176

2. 荒木秀夫, 伊崎聖也, 被災した低強度コンクリート柱のエポキシ樹脂注入効果, 日本建築学会技術報告集, 第38号, 査読有, 2012, pp181-186

3. 荒木秀夫, 伊崎聖也, せん断破壊した低強度コンクリート極短柱の補修効果, 日本建築学会技術報告集, 第39号, 査読有, 2012, 掲載決定

4. 荒木秀夫, 星川知毅, 既存RC建物におけるコンクリートの力学的性能, 日本建築学会技術報告集, 第39号, 査読有, 2012, 掲載決定

5. 洪 成, 荒木秀夫, 加川順一, 低強度コンクリートと丸鋼部材の履歴特性のモデル化, 日本コンクリート工学会年次論文, Vol.34, 査読有, 2012, 掲載決定

6. 荒木秀夫, 家形 徹, 宮原 憲之, 丸鋼を用いた袖壁付き低強度コンクリート柱の耐震性能評価, 日本コンクリート工学会年次論文, Vol.34, No.2, 査読有, 2012, 掲載決定

7. 石村光由, 貞末和史, 藤井稔己, 横山剛, 南宏一, あと施工アンカーとエポキシ樹脂を併用して鉄骨ブレース補強した低強度コンクリート RC 建物の耐震強度に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 76 巻 第 659 号, 査読有, 2011, pp141-148

8. 荒木秀夫, 伊木勇人, 主筋に丸鋼を用いた低強度コンクリート部材の耐震性能評価, 日本建築学会技術報告集, 第 35 号, 査読有, 2011, pp167-170

9. 荒木秀夫, 伊木勇人, 家形徹, 伊崎聖也, 丸鋼を用いた低強度コンクリート極短柱の耐震性能評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.33, No.2, 査読有, 2011, pp145-150

10. 八十島 章, 低強度コンクリート部材の付着性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.33, No.2, 査読有, 2011, pp613-618

11. 寺井雅和, 南宏一, 竹筋コンクリート柱の中心圧縮挙動に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.33, No.2, 査読有, 2011, pp1171-1176

12. 伊木勇人, 松井剛, 家形徹, 荒木秀夫, 丸鋼を用いた低強度コンクリート柱の曲げ性能評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, 査読有, 2011, pp889-894

13. 荒木秀夫, 吉田俊太郎, 洪 成, 加川順一, 低強度コンクリートと丸鋼の付着強度とその補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, 査読有, 2011, pp883-888

14. 佐藤立美, 強度コンクリート RC 柱の分割分離鋼板による補強効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, 査読有, 2011, pp991-996

15. 藤井稔己, 貞末和史, 横山剛, 南宏一, ハイブリッド耐震補強工法による低強度コンクリート RC 建物の耐震補強に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, 査読有, 2011, pp1069-1074

16. 根口百世, 高月行治, 塚越英夫, 南宏一, 低強度コンクリート RC 柱の炭素繊維巻き付け補強による補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, No.2, 査読有, 2011, pp1039-1044

17. 根口百世, 南宏一, 低強度コンクリートを用いた RC 柱の耐震性能と耐震補強の可能性, 日中建築構造技術交流会論文集, 巻なし

, 査読有, 2011, pp829-838

18. 荒木秀夫, 根口百世, 南宏一, 解説: 低強度コンクリート建物の耐震補強の可能性, 日本コンクリート工学, Vol.48, No.7, 査読有, 2010, pp3-8

[学会発表] (計 64 件)

1. Araki Hideo, Seismic Performance of Low Strength Concrete Members Repaired by Epoxy Resin, fib Symposium Stockholm 11-14 June 2012, Stockholm, Sweden

2. Araki Hideo, Strength of RC Column with Low Strength Concrete and Plain Round Bars, fib Symposium Prague 8-11 June 2011, Praha, Czech Republic

3. 洪 成, 繰返し荷重を受ける低強度コンクリートと丸鋼の付着特性, 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

4. 吉本侑生, エポキシ樹脂低圧注入工法における注入性状の評価, 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

5. 伊崎聖也, 主筋に丸鋼を用いた低強度コンクリート柱のエポキシ樹脂注入効果, 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

6. 家形徹, 丸鋼を用いた低強度コンクリート極短柱の耐震性能評価 (その 2 実験結果の検討), 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

7. 板野 昌平, 丸鋼を用いた低強度コンクリート極短柱の耐震性能評価 (その 1 実験概要および結果), 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

8. 南 宏一, 周辺架構が低強度コンクリートで構成される増し打ち耐震壁の耐震工法に関する実験的研究 (その 1), 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

9. 大久保静香, 周辺架構が低強度コンクリートで構成される増し打ち耐震壁の耐震工法に関する実験的研究 (その 2), 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

10. 富岡 大, 損傷を受けた低強度 RC 柱への補修効果に関する実験的研究, 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

11. 吉永 伸太郎, 低強度コンクリート学校舎における接着系アンカーの耐力・変形性能試験 (その 1), 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

12. 八十島 章, 低強度コンクリート RC 柱の残存軸耐力に関する研究 (その 3 極短柱の耐

震性能), 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25 日, 2010, 早稲田大学

13. 根口 百世, 低強度コンクリート部材の耐震性能評価に関する基礎的研究 (その 11), 日本建築学会 2011 年度大会 (関東), 8 月 23~25, 2010, 早稲田大学

14. Araki Hideo, Mechanical Properties of Low Strength Concrete, 3rd International fib Congress, 29 May - 2 June, 2010, Washington DC, U.S.A.

15. Araki Hideo, Bond Strength of Plain Round Bars Repaired by Epoxy Resin Injection, 34th IABSE Symposium, 22-24 September, 2010, Venice, Italy

16. Neguchi Momoyo, Seismic Evaluation of Low Strength Concrete Members of Existing Building in Japan, 14th European Conference on Earthquake Engineering, 30 August- 3 September, 2010, Ohrid, Macedonia

17. 家形徹, 丸鋼を用いた低強度コンクリート柱の耐震性能評価 (その 1 実験概要および結果), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

18. 伊木勇人, 丸鋼を用いた低強度コンクリート柱の耐震性能評価 (その 2 実験結果の検討), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

19. 洪 成, 低強度コンクリートと丸鋼の付着強度 (その 1 丸鋼の付着強度), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11, 2010, 富山大学

20. 荒木秀夫, 低強度コンクリートと丸鋼の付着強度 (その 2 エポキシ樹脂注入の補修効果), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

21. 八十島章, 低強度コンクリート柱の残存軸耐力に関する研究 (その 1 実験概要および結果), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

22. 田中慎治, 低強度コンクリート柱の残存軸耐力に関する研究 (その 1 実験概要および結果), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

23. 寺岡勝, 10N/mm²クラスの低強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート耐震壁の耐震性能, 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

24. 森村毅, 低強度コンクリート部材の耐震補強に関する研究, 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

25. 高月行治, 低強度コンクリート部材の耐震性能評価に関する基礎的研究 (その 8), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

26. 根口百世, 低強度コンクリート部材の耐

震性能評価に関する基礎的研究 (その 9), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

27. 南宏一, 低強度コンクリート部材の耐震性能評価に関する基礎的研究 (その 10), 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

28. 横山剛, 既存低強度コンクリート RC 建物に対するハイブリッド耐震補強工法の適用に関する実験的研究 その 3 補強骨組の実験計画, 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

29. 石村光由, 既存低強度コンクリート RC 建物に対するハイブリッド耐震補強工法の適用に関する実験的研究 その 4 補強骨組実験, 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸), 9 月 9~11 日, 2010, 富山大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒木 秀夫 (ARAKI HIDEO)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 40159497

(2) 研究分担者

南 宏一 (MINAMI KOUICHI)
福山大学・工学部・客員教授
研究者番号: 10079519

佐藤 立美 (SATO TATSUMI)
広島工業大学・工学部・教授
研究者番号: 00087975

森村 毅 (MORIMURA TSUYOSHI)
近畿大学・工学部・教授
研究者番号: 00088600

寺岡 勝 (TERAOKA MASARU)
呉工業高等専門学校・建築学科・教授
研究者番号: 60442464

八十島 章 (YASOJIMA AKIRA)
筑波大学・システム情報工学研究科・助教
研究者番号: 80437574

中田 慎介 (NAKATA SHINSUKE)
高知工科大学・工学部・教授
研究者番号: 20299382

寺井 雅和 (TERAI MASAKAZU)
福山大学・工学部・准教授
研究者番号: 90320035

貞末 和史 (SADASUE KAZUFUMI)
広島工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 20401573

(3) 連携研究者

なし