

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2022

課題番号：19KK0120

研究課題名（和文）アジア圏発展途上国の構造的一体性を欠くRC建築の再生のための多国間共同研究

研究課題名（英文）Multilateral Collaborative Research to Rebuild RC Buildings without Structural Integrity in Asian Rising Countries

研究代表者

眞田 靖士（Sanada, Yasushi）

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80334358

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では構造的一体性という修正しにくい欠陥をもつRC建物を発展途上国でも利用できる技術で再生するために、【研究目的】構造的一体性に対する補強をレンガ造の袖壁を用いて克服する方法を提案し、発展途上国の構造的一体性を欠くRC建物に対する補強効果を、中国の東北電力大学において実大2層RC柱梁架構の構造実験を実施して検証した。また、【研究目的】上記の問題に直面するバングラデシュとインドネシアをアジア圏を代表する研究フィールドと設定し、提案する補強方法を社会浸透させる方策を、建築・都市計画的な研究アプローチにより分析し提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アジア圏発展途上国を襲った近年の地震災害や、研究代表者による現地調査より、日本には存在しない構造的一体性を欠く極めて脆弱なRC建物があり、現在も新築されていることが明らかになっている。本研究では構造的一体性という修正しにくい欠陥をもつ建物を発展途上国でも利用できる技術で再生するため、新しい補強方法の効果を実験的に検証し、また、提案する補強方法を社会浸透させる方策について分析した。日本に存在しない構造を扱うため多国間の共同研究を実施した。耐震先進国の日本がアジア圏発展途上国の地震防災をけん引するための基礎的な知見を若手中心の研究組織により得たことは学術的、社会的に日本の将来のため意義深い。

研究成果の概要（英文）：This study was performed with the following two objectives to rebuild (improve) RC buildings without structural integrity in developing countries. 【Objective 1】An innovative strengthening method by brick masonry wing walls was presented. Its effectiveness was verified to improve RC buildings without structural integrity through a series of structural tests on full-scale two-story RC moment-resisting frames without sufficient beam rebar anchorage considering presence/absence of the proposed strengthening. 【Objective 2】Feasibility studies on dissemination of the proposed strengthening method were performed by urban planning research approaches focusing on Bangladesh and Indonesia on behalf of Asian rising countries. It was achieved by justifying a cost-effective strategy of strengthening for RC buildings in Bangladesh. Also, a workshop with Indonesian expert engineers was conducted to discuss on future problems for dissemination of the proposed method.

研究分野：地震防災

キーワード：地震防災 発展途上国 鉄筋コンクリート 建築物 耐震補強

1. 研究開始当初の背景

アジア圏発展途上国を襲った近年の地震災害や、研究代表者による現地調査より、日本には存在しない構造的一体性を欠く極めて脆弱な RC 建物があり、現在も新築されていることが明らかになっている。

インドネシア・西スマトラ州は 2004 年スマトラ島沖地震以降、M7~9 の巨大地震に次々と見舞われ、とくに 2009 年の地震により州都パダン市を中心に甚大な被害を受けた。研究代表者が参画した日本建築学会の現地被害調査より、RC 建物は柱と梁が分解する被害形態を示し、その主原因は柱と梁の一体性の不完全さにあった。この被害形態は日本では見られず、そのため日本の既存の耐震補強技術の適用範囲外であった。さらに、地震 5 年後に実施した現地復興で建設される RC 建物の新築現場の調査によると、地震前と同様に構造的一体性を欠く建物が再建されていた。

2013 年ダッカ近郊の RC 建物の（建物自重による）崩落事故を発端としてバングラデシュの RC 建物を補強する政府開発援助が行われていた。同国の RC 建物もインドネシアと同様に構造的一体性がなく、さらに低強度材料を用いるため、日本では補強対象とならず解体・撤去される対象であり、その再生方法は学術的に未確立であった。

以上のように、アジア圏発展途上国では、わが国には存在しない構造的一体性が不完全な極めて脆弱な RC 建物がある（研究代表者の研究活動から、以上の他、パキスタン、フィリピンでも同じ問題を確認している）。また、構造的一体性は修正しにくい欠陥であり、その合理的な対策を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では構造的一体性という修正しにくい欠陥をもつ建物を発展途上国でも利用できる技術で再生するために、二つの研究目的を設定した。【研究目的①】では、これまで確立されていない構造的一体性に対する補強をレンガ造の袖壁を用いて克服する方法を世界に先駆け提案し、日本の基準では補強対象とならないほど脆弱な建物に対する補強効果を実験的に検証すること、また、【研究目的②】では、上記の問題に直面するバングラデシュとインドネシアをアジア圏を代表する研究フィールドと設定し、提案する補強方法を社会浸透させる方策を、建築・都市計画学的な研究アプローチにより分析し提案することを計画した。

3. 研究の方法

【研究目的①】を達成するため、アジア圏発展途上国でいずれも利用可能なレンガ造袖壁と RC 枠材による補強方法を提案した（図 1）。日本の基準では補強対象とならないほど脆弱な建物に対して提案する補強方法の効果を実験的に明らかにするため、本補強方法の適用の有無をパラメータとして、構造的一体性を欠く（梁主筋の定着が不完全な）実大の 2 層 RC 柱梁架構の構造実験を中国の東北電力大学の実験施設において実施した（図 2）。その結果、本補強方法による耐震性能の改善効果を確認できた（図 3）。具体的に得られた研究成果については後述する。

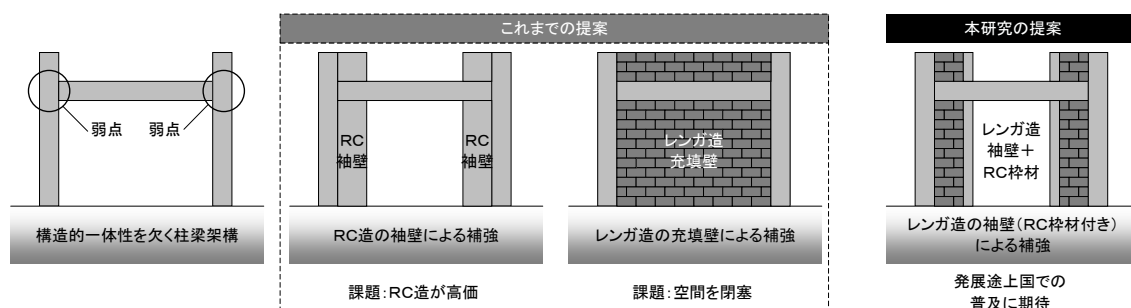


図 1 構造的一体性を欠く柱梁架構の補強方法の提案

【研究目的②】を達成するため、構造的一体性を欠く極めて脆弱な RC 建物の問題に直面するバングラデシュとインドネシアをアジア圏を代表する研究フィールドと設定し、提案する補強方法を社会浸透させる方策を、建築・都市計画学的な研究アプローチにより分析した。

はじめに、提案する補強方法を社会浸透させる方策について、バングラデシュを対象に経済指標に基づいて意思決定できるトップダウン型の方法論、より具体的には地震被害想定における耐震補強の費用対効果を最大化させる耐震補強戦略とその有効性について検討した（図 4）。

また、提案する補強方法をインドネシアを対象に地域社会に普及するための課題をボトムアップ型的手段で収集する一環として、同国の複数の有識者と意見交換するワークショップを開催して実現した（図 5）。

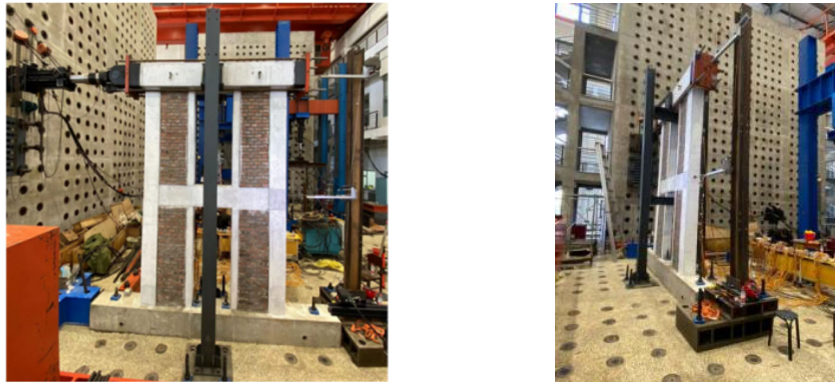


図2 試験体と実験施設

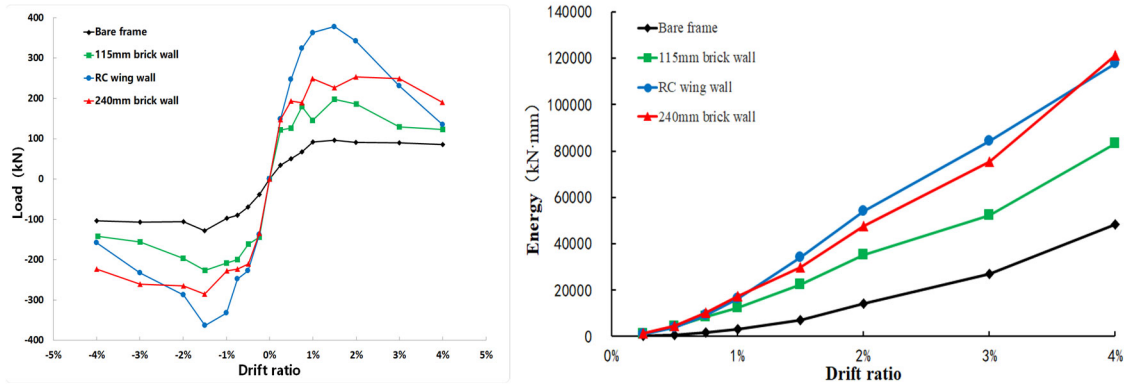


図3 提案する補強方法の耐震性能の改善効果
(左：スケルトンカーブの比較，右：1 サイクル目の累積吸収エネルギーの比較)

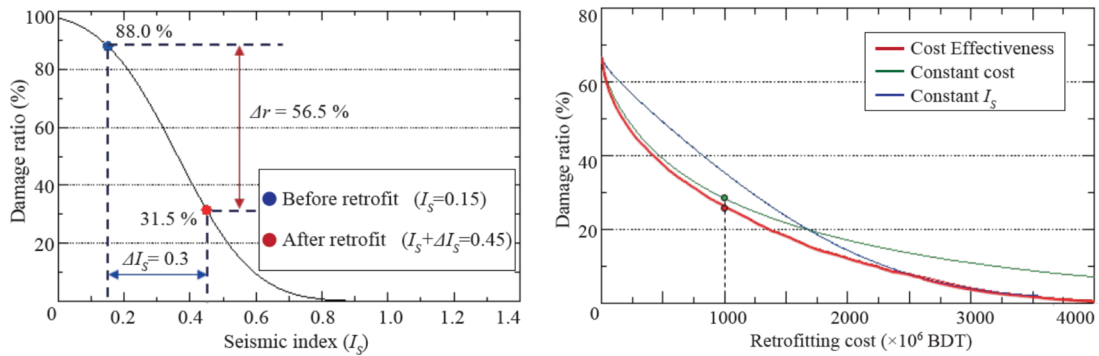


図4 耐震補強の費用対効果を最大化させる概念とその効果
(左：耐震補強効果の概念図，右：複数の耐震補強シナリオによる効果の比較)

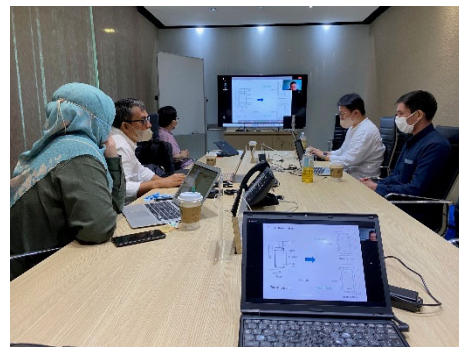


図5 提案する補強方法に関する国際ワークショップの様相 (左：第1回，右：第2回)

4. 研究成果

本研究の当初計画した研究期間の過半は COVID-19 の影響下での実施であったため、国際共同研究の円滑な実施は困難なものであったが、オンライン会議システムなどを導入して国際的な活動を進めることで、以下にまとめる研究成果が得られた。

【研究目的①】に対する成果は下記のとおりである。

- ・ アジア圏発展途上国でいずれも利用可能なレンガ造袖壁と RC 枠材による補強方法を提案した。
- ・ 梁主筋の定着が不完全な 2 層 RC 柱梁架構の構造実験を中国の東北電力大学の実験施設において実施した結果、図 6 にまとめる実験データ：各試験体の最終破壊状況、荷重-変形関係および最大耐力を得られた。
- ・ 実験結果 (図 6) より、⑦バングラデシュの代表的な RC 建物を模擬した柱梁部分架構の無補強試験体の変形角 2.0%への荷重途中に梁主筋が定着破壊して抜け出し、梁と柱の境界の鉛直ひび割れが拡大した。梁主筋の定着破壊に伴い、耐力が低下した。④本研究が提案するレンガ造袖壁と RC 枠材により補強した 2 体の試験体では耐力、エネルギー吸収能力、変形能力が図 3 に示すように大幅に向上した。厚さ 240mm のレンガ壁 (一枚積み) を有する試験体の補強効果が厚さ 115mm (半枚積み) の試験体より良好な補強効果が見られた。梁主筋の定着破壊も大幅に遅延できた (変形角 4.0%への荷重途中に生じた)。両試験体ともにレンガ壁と RC 枠材の損傷は顕著であり、観察結果よりレンガ壁の目地材であるモルタルの強度や RC 枠材の剛性と耐力が補強効果に大きく影響することが推測された。⑦RC 袖壁により補強した試験体は梁の損傷が顕著であり、最も高い耐力が確認された。梁の定着破壊も完全に防止された。一方、この補強方法では RC 壁の 1 階脚部と 2 階頂部の損傷が大きく、コンクリートの剥落や鉄筋の座屈が生じた。エネルギー吸収能力は厚さ 240mm のレンガ壁で補強した試験体とほぼ同様であり、変形性能は劣ることを確認した。

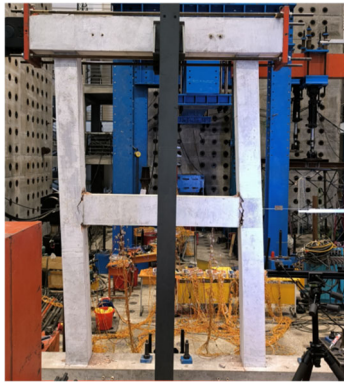
【研究目的①】の成果は構造的一体性を欠く (梁主筋の定着が不完全な) RC 建物の現実的な補強方法を世界に先駆けて提案した点において学術的な価値が高い。加えて、アジア圏を中心とする発展途上国の地震防災に資する点で社会的意義がとくに高い。

【研究目的②】に対する成果は下記のとおりである。

- ・ 限られた補強費用の中で効果的な耐震補強を行い、被害建物数あるいは被害建物面積の最小化を目的とした耐震補強シナリオを作成した。
- ・ 提案した補強シナリオを、想定される他の補強シナリオと比較した結果、提案した補強シナリオは、全建物に投じる費用を一律とする補強シナリオおよび補強による I_s 値の増分を全建物で一律とする補強シナリオに対して、最も費用対効果が優れることを確認した。また、耐震補強の費用対効果が高い建物の選定では、建物被害と I_s 値の関係を適切に評価した上で、被害率の減少量を補強による I_s 値の増分で除した費用対効果の分布形状および建物層数を考慮する必要があることを確認した。さらに、RC 壁を使用した補強とレンガ壁を使用した補強を比較した結果、レンガ壁は安価なため、発展途上国の建物の補強に対し、費用対効果が高いことが示された。
- ・ 本研究で提案、検証されたレンガ造袖壁と RC 枠材による補強方法は、建設コストを最重視するインドネシアの既存不適格な個人所有の建物や、用途変更される建物の改修に有効である可能性があることが現地の有識者より示された。一方、インドネシアでは一枚積みのレンガ壁は普及していないため、その普及を促進するためには継続的な検討を要することも示された。

【研究目的②】の成果は【研究目的①】の成果を将来的に社会普及するために示唆に富むものであり、バングラデシュとインドネシア社会における地震防災の実践的取り組みにおいて参考にされることが期待される。

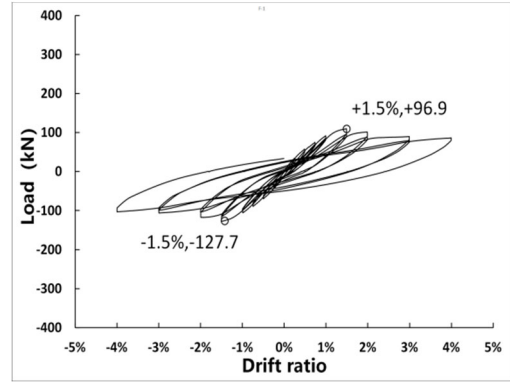
上記に加えて、本研究の実施に当たっては、若手研究者が実施の主体となり研究活動した結果、国際共同研究の経験を養成することができた。



全体



接合部



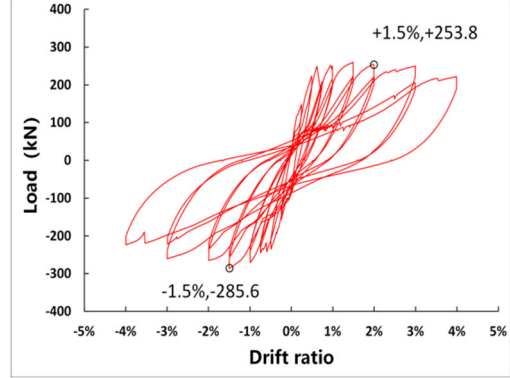
荷重—変形関係



全体



接合部



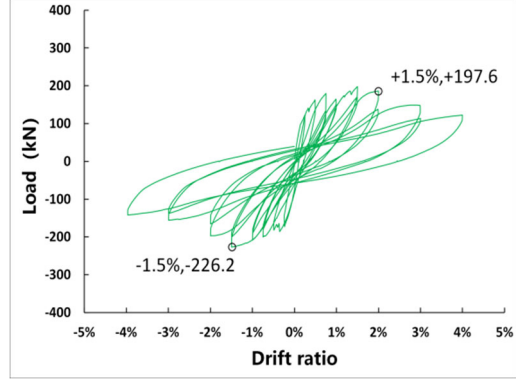
荷重—変形関係



全体



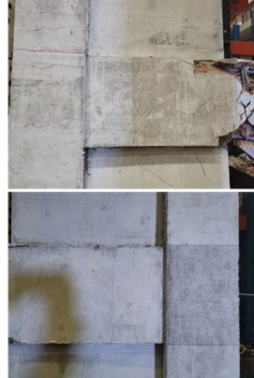
接合部



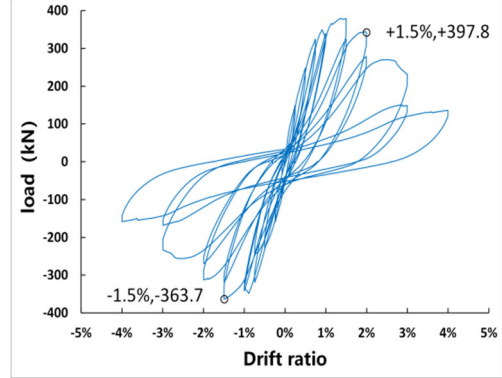
荷重—変形関係



全体



接合部



荷重—変形関係

図6 実験結果のまとめ (上から無補強試験体, 厚さ 240mm, 115mm のレンガ造袖壁と RC 枠材で補強した試験体, 厚さ 115mm の RC 袖壁で補強した試験体)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 高橋之, 真田靖士, 尹ロク現, 設樂朋代	4. 巻 88
2. 論文標題 耐震指標に基づく発展途上国RC造建築の費用対効果の高い耐震補強戦略	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本建築学会計画系論文集	6. 最初と最後の頁 559-567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aija.88.559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 設樂朋代, 高橋之, 真田靖士, 尹ロク現
2. 発表標題 発展途上国を対象とした建築物の強度型耐震補強戦略に関する一考察
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高橋 之 (Takahashi Susumu) (20620842)	大同大学・工学部・准教授 (33907)	
研究分担者	権 淳日 (Quan Chunri) (70847847)	大阪工業大学・工学部・講師 (34406)	
研究分担者	尹 ロク現 (Yoon Rokhyun) (50844205)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 当該科研費研究のキックオフ会議	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 当該科研費研究の成果と課題に関する意見交換会議	開催年 2023年～2023年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
インドネシア	アンダラス大学			
中国	東北電力大学			
バングラデシュ	アジア太平洋大学			