

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18915

研究課題名（和文）開発途上国における低強度コンクリートの簡易圧縮強度推定と補強材料の提案

研究課題名（英文）Proposal of simple evaluation methods and retrofitting materials for low strength concrete in developing countries

研究代表者

西脇 智哉（Nishiwaki, Tomoya）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60400529

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：発展途上国を対象とした低強度コンクリートのスクリーニング方法の提案と、特に問題となりやすい無補強レンガ壁を対象としたフェロセメント工法による補強方法を提案・検証した。低強度コンクリートに対しては、実験室実験と現地調査の結果を踏まえて、各種リバウンドハンマー、引っかき試験、および、これらの組み合わせによって、精度よくスクリーニング可能な閾値などを提案した。構造物の簡易な危険度判定に活用できると考えている。簡易補強については、ワイヤーメッシュとモルタルによるフェロセメント工法を提案した。この要素実験・構造実験を実施して、補強効果を確認するとともに、その評価方法についても確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

発展途上国においては、地震発生リスクを認識しながらも急速な経済成長などを背景に、脆弱な鉄筋コンクリート構造物が数多く存在する。本研究課題で提案・確認された、このような構造物に適用可能な簡易なコンクリートの強度推定、特に低強度コンクリートの発見方法と、耐震上の問題になりやすい無補強レンガ壁の簡易な補強方法は、特に脆弱な建築物に対する応急的な対策として利用可能である。

研究成果の概要（英文）：A screening method for low strength concrete of existing RC structures for developing countries has been proposed. Moreover, the ferro-cement method of reinforcing an unreinforced brick wall using wire mesh and mortar has been proposed. Based on the results of laboratory experiments and field surveys, screening procedures using various rebound hammer, a scratching device, and a combination of these devices can provide conservative results. Regarding a simple reinforcement method, some elemental and structural tests were performed. It has been confirmed that the proposed ferro-cement method improves seismic capacity.

研究分野：建築材料学

キーワード：低強度コンクリート 非破壊検査 圧縮強度 発展途上国 フェロセメント 組積造

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

開発途上国において、また、本邦でも特に高度成長期を中心に、「粗製濫造」と言わざるを得ない鉄筋コンクリート（RC）構造物が建設され、現在もそれらが供用されている場合も多い。このような RC 造構造物には、圧縮強度が極めて低いコンクリートが散見される。そのような場合は耐震性能が著しく低いことが懸念され、早急に適切な対応を取る必要がある。一方で、特に現在も開発が急ピッチで進められる開発途上国においては、既存コンクリート構造物を網羅的に詳細検査することは必ずしも現実的ではなく、構造物のある現地において、簡易に強度推定を行う方法の確立が望まれる。また、このような脆弱性に対して地場材料をベースとした簡易補強も望まれる。

2015 年のネパール地震では 8,000 人超の犠牲者を伴う、極めて深刻な地震被害が生じてしまった。特にアジア地域では、地震リスクが高く人口の密集した都市が数多くあるにもかかわらず、急速な経済発展・人口増加や社会体制の変化などに伴って、必ずしも十分な性能を持たない建築が粗製濫造される傾向が強い。すなわち、十分な耐震化が進んでいるとは言い難く、極めて重大なリスクと隣り合わせの状況にある。例えば、バングラデシュにおける調査事例<sup>1)</sup>では、特にパキスタンから独立以降の 1970 年代などの建築物を中心に、圧縮強度が  $5 \text{ N/mm}^2$  にも満たない極めて低い圧縮強度が散見され、最低限の構造性能すら保持できていない場合が多数存在している可能性が高い。バングラデシュの場合は、直近の約 100 年では幸いにも直接的な大規模地震を経験していないが、プレートの境界に位置しており歴史的にも多くの地震を経験している。将来における大規模地震は避けられず、その場合は極めて甚大な被害につながる恐れが大きい。適切な耐震改修などを迅速に行う必要があるが、対象とすべき建築物は膨大である。そのため、我が国で通常行われるような耐震診断のように、詳細な計算を行って耐震性能を算定し、適切な補強設計を行った上で耐震補強を行うことは、理想的ではあっても現実的な方法とは決してなり得ない。緊急対応が必要と思われる、 $5 \text{ N/mm}^2$  を下回るようなコンクリート強度を示す建築物や、逆に、 $20\sim 30 \text{ N/mm}^2$  超の十分なコンクリート強度があって比較的耐震性能が高いと推定される建築物を、現地で実施可能な簡易な検査方法によってスクリーニング可能となれば、極めて重要な意味がある。加えて、その後の補強についても、恒久的な耐震補強・改修については詳細な耐震診断結果と補強設計が必要となるとしても、簡易かつ安価な方法で当面の性能をやや改善させる程度の対応が極めて大きな意味を持つと考えられる。

### 2. 研究の目的

上述の研究背景を踏まえて、本研究課題では①極めて簡易な方法によってコンクリート強度の大まかなグレード分けを目的として、非破壊検査手法（以下、NDT）により迅速な結果を得るための手法の整備、および、②応急的な補強工事に適用可能な、現地材料を用いたコンクリート系補修方法の開発を行う。後者については、対象国の一つであるバングラデシュ現地で検討が進められている、フェロセメント工法を対象とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 簡易な現地非破壊検査によるコンクリート強度のグレード分け

ここでは、実験室レベルでの模擬試験と現地調査（バングラデシュ・スリランカ・モンゴル）を通して、各種 NDT による低強度コンクリートのスクリーニングについて検討を行う。操作の簡易性や、その場で結果を得ることが可能な非破壊検査手法として、ここでは、主な NDT 手法の中から、可搬性や現地で結果が即時に分かるといった特徴を考慮して、反発度法（各種リバウンドハンマー）と引っかき試験を採用した。また、現地調査の対象としたバングラデシュの場合は、砕石資源が限られており、コンクリート骨材を得るために焼成したレンガを砕いてチップとしたものが一般的な粗骨材として使用されている。また、水セメント比による調合管理などもされておらず、体積比で決定したセメント・細骨材・粗骨材に対して、所定のワーカビリティが得られるまで水を投入して練り混ぜる方法が一般的であり、単位水量の管理も行われていない。このように、通常用いられる NDT とは使用材料や強度範囲が異なる場合であっても、コンクリート強度のスクリーニングが可能な NDT 手法を設定する必要がある。具体的には、低強度コンクリートに適用可能として市販されている反発速度比を計測するリバウンドハンマー（図 1(a)、Proceq 社製・シルバージュミット L 型。打撃エネルギーが  $0.735 \text{ Nm}$ 。以下、L 型ハンマー）、金属の硬度測定用として ASTM において規格化されている超小型のリバウンドハンマー（図 1(b)、Proceq 社製ほか・LEEB 硬度計。打撃エネルギーが  $11.5 \text{ Nmm}$ ）の 2 種類のリバウンドハンマーを用いた。これらに加えて、コンクリートの表面硬さを対象とする引っかき試験を用いた。これは、日本建築仕上げ学会により標準化されたもので、図 2(a)に示す鋼製のピンを内蔵した試験機によりコンクリート表面を引っかいて、図 2(b)に示すような引っかき傷跡を得て、この引っかき傷幅の最大値を読み取ってコンクリートの表面硬さを確認するものである。

模擬試験体においては、対象国の現況を踏まえた調合を用いた。バングラデシュの場合は上述のように、砕石の入手が容易でないためレンガを砕いて得るレンガチップを粗骨材として用いることが一般的である。このことを模擬するため、焼成温度の低い低強度レンガを砕いて得たレ

ンガチップ (BC、密度 2.20 g/cm<sup>3</sup>) を実験水準の一つとして粗骨材に用いた。このレンガチップの吸水率は 13% と通常の砕石骨材と比べて極めて大きく、骨材自体の圧縮強度も 23 MPa 程度と通常の砕石骨材 (100 MPa 以上) と比較して極めて小さい。また、低強度コンクリートとするために、水セメント比を最大 2 以上と、一般的には用いられない水準のものも採用した。この際には、粉体量を確保して材料分離を抑制するために石灰石微粉末をセメントの代替として用いた。

現地調査について、バングラデシュではダッカ市内に現存している 1970 年代から 1980 年代建設された建築物に使用されたコンクリート、および、研究協力者が在籍するバングラデシュ工科大学 (BUET) にて作製されたレンガ骨材を用いた試験体を対象とした。また、スリランカでは 2004 年 12 月のスマトラ沖地震による津波被害を受けて放置されていたゴール市内の建築物、および、現地の材料・工法によって作製した低強度コンクリート試験体に対して調査を行った。モンゴルでは、ウランバートル市内の建築物を対象とした。いずれの場合も、各種 NDT により得られた結果とコア採取などにより得た試験体から計測した圧縮強度の関係を確認した。



(a) L型ハンマー

(b) LEEB 硬度計

(a) 引っかき試験器

(b) 引っかき傷跡

図 1 リバウンドハンマー

図 2 引っかき試験

## (2) フェロセメント工法による簡易な補強方法の提案と性能検証

ここでは、開発途上国で散見される構造形式である、柱および梁のフレームが RC 造であり、かつ、壁面をレンガ造とする建築物を対象とする。このような建築物に対して、簡易かつ低コストで実現可能な耐震補強の提案を目的として、レンガ壁をフェロセメント工法により補強する方法を検討した。これは、通常は非構造部材として扱われることの多い RC フレームの内部に設置されるレンガ壁を対象に、図 3 に示すようにワイヤメッシュとモルタル塗布を併せて適用するものである。1/2 スケールの RC フレームの実験を行い、耐震性能の変化を調査した。試験体の作製には、バングラデシュ現地での状況を模擬するために、柱に用いるコンクリート強度を抑えて、フェロセメント層の有無を実験水準とした。図 4 に用いた試験体概要を示す。RC 枠の施工後、レンガ (210×100×60 mm) を積み上げて壁面を構築し、レンガ上部と梁との隙間はモルタルを充填した。レンガ壁の両面には、厚さ 10 mm のモルタル塗布、ワイヤメッシュの設置、厚さ 15 mm の 2 層目のモルタル層を設置して補強フェロセメント層とした。ワイヤメッシュには、RC フレームおよびレンガ壁にアンカー固定した。載荷試験は、各柱に周期的な横荷重と 200 kN の一定の鉛直荷重を負荷した。

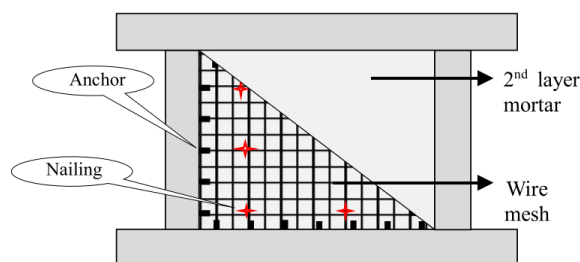


図 3 フェロセメント工法

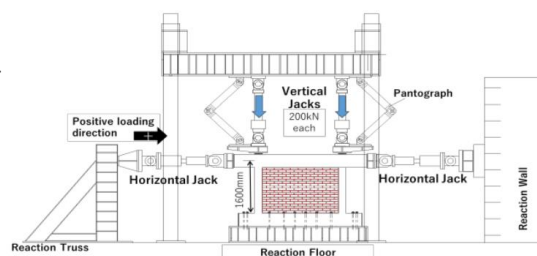


図 4 載荷試験概要

## 4. 研究成果

### (1) 簡易な現地非破壊検査によるコンクリート強度のグレード分け

本研究課題の範囲内では、各種の材料を用いて実験室において調整したコンクリート試験体に対する試験と、バングラデシュ・スリランカ・モンゴルの 3 か国での現地調査を行った。これらの結果得られた L 型リバウンドハンマーを用いた場合の計測値 ( $Q$  値) と圧縮強度の関係を図 5 に示す。また、図 6 には引っかき試験による傷幅と圧縮強度の関係を、図 7 には LEEB 硬度計を用いた場合の反発速度比 ( $HL$  値) と圧縮強度の関係を示す。図 8 は、現地調査において LEEB 硬度計を適用した際の、 $HL$  値の測定結果の分布である。

図 5 からは、骨材種類に関わらず  $Q$  値と圧縮強度の相関関係が確認できる。ただし、ここで用いた低強度レンガチップ骨材を用いたコンクリートでは、同じ反発速度比に対して圧縮強度

が小さくなる傾向が見られる。また、いずれの骨材を用いた場合であっても、図中に示す L 型ハンマーの製造会社が提示している回帰曲線とは一致していない。すなわち、バングラデシュを想定した低強度レンガチップ骨材を用いる場合には、独自の回帰式を用いる必要がある。ただし、スクリーニング対象を 10 MPa 以下程度に設定した場合には、レンガチップ骨材の場合も含めて Q 値が概ね 30 以下の場合に該当すると考えられる。通常、コンクリートの圧縮強度は強度の弱い骨材とマトリックスの界面の影響を受けるが、低強度レンガチップ骨材を用いたコンクリートの圧縮試験では、骨材自体を貫通して破壊が生じた。リバウンドハンマーの影響範囲がコンクリート表面から約 20~30 mm と考えると、低強度骨材の存在が反発速度比と圧縮強度の関係に影響を与えたと考えられる。図 6 からは、骨材種類によらず、引っかかり傷幅と圧縮強度には相関関係があることが確認できる。スクリーニング対象となる 10 MPa 以下の領域に着目した場合、図中に赤枠で示す引っかかり傷幅が 0.7 mm 以上がその範囲となると考えられる。このように、引っかかり試験の場合は骨材種類が引っかかり傷幅と圧縮強度の関係に影響を及ぼさないのは、リバウンドハンマーとは異なり、基本的に表面のマトリックス部分にのみ影響するためである。図 7 に示す LEEB 硬度計の結果からは、表面硬度と圧縮強度には相関関係が見られた一方、表面の平滑さに大きく影響を受けることが確認された (図 8)。表面の平滑さを確保することが困難な現地調査ではその傾向が大きく、適切な値を得るために打撃回数を多く取る必要がある。また、これらの結果を組み合わせることで、より保守的なスクリーニングが可能であることを確認した。

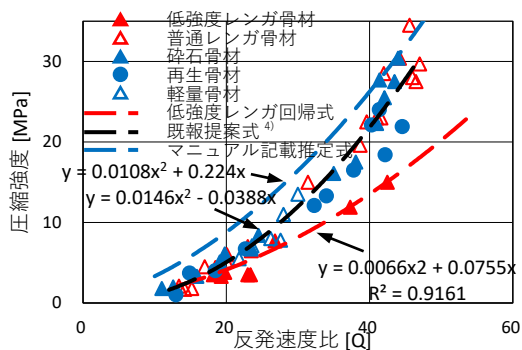


図 5 反発速度比 Q と圧縮強度の関係

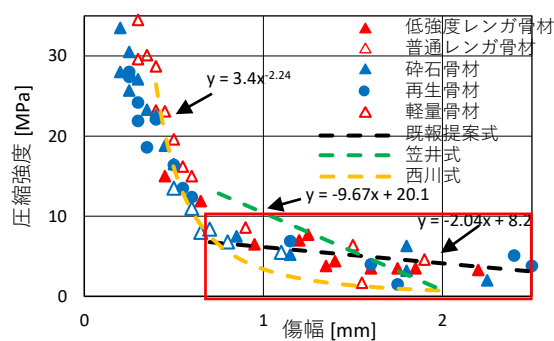


図 6 引っかかり傷幅と圧縮強度の関係

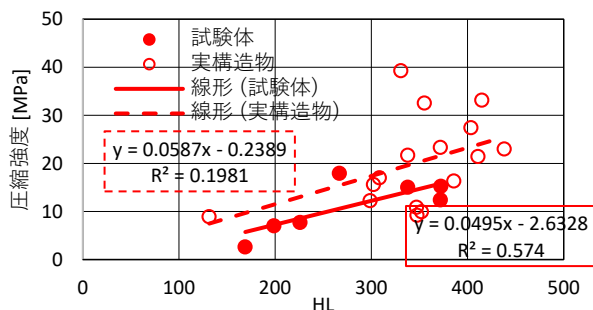


図 7 反発速度比 HL と圧縮強度の関係

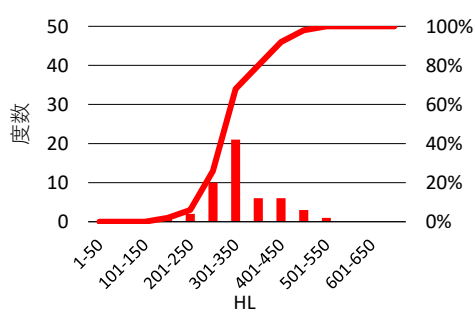


図 8 現地調査での HL 測定分布

## (2) フェロセメント工法による簡易な補強方法の提案と性能検証

代表的な実験結果として、図 9 に繰返し載荷の履歴を、図 10 には載荷終了後のひび割れ図を示す。図 9(a)は無補強のレンガ壁が設置された試験体である。初期ひび割れが発生するまでは直線的な応答を示した後に、載荷点付近の隅角部からレンガ壁に斜めひび割れが発生した。その後は、柱主筋に降伏が見られて、層間変位が約 0.8% で最大荷重を示した後、レンガ壁に広範囲のひび割れが生じて荷重の急激な下降が観察された (図 10(a))。図 9(b)は、フェロセメント工法を適用したレンガ壁を有する試験体の繰返し載荷履歴である。この場合は、無補強試験体と異なり、層間変位が約 0.05% に達して引張側となる柱に最初のひび割れが発生するまで、直線的な応答を示した。ひび割れの発生後は大きな変形が生じはじめ、層間変位が約 0.4% の時点で最大荷重に達した。その後は、約 0.6% の変形に達した時点で埋設したワイヤーメッシュが破断し、急激な荷重低下につながった。これらの破壊モードは、曲げ変形とせん断変形の組み合わせにより支配されている。これらの寄与を分離すると、無補強レンガ壁の場合はせん断破壊が支配的である一方で、フェロセメント工法を適用したレンガ壁では、初期段階においては曲げ変形の寄与が大きくなる。すなわち、フェロセメント工法を適用することで全体のせん断耐力が向上していることが確認できる。ここで用いたワイヤーメッシュ補強比を 0.16% としたフェロセメント工法の場合には、最大荷重は約 2 倍、初期剛性は約 2.3 倍、エネルギー吸収は約 2 倍に増加することが確認された。また、フェロセメント工法を適用した壁に対しては、日本建築防災協会「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針同解説」に示される耐震壁の曲げ耐力モデル

ルを適用することにより、耐力予測が可能であることが確認できた。

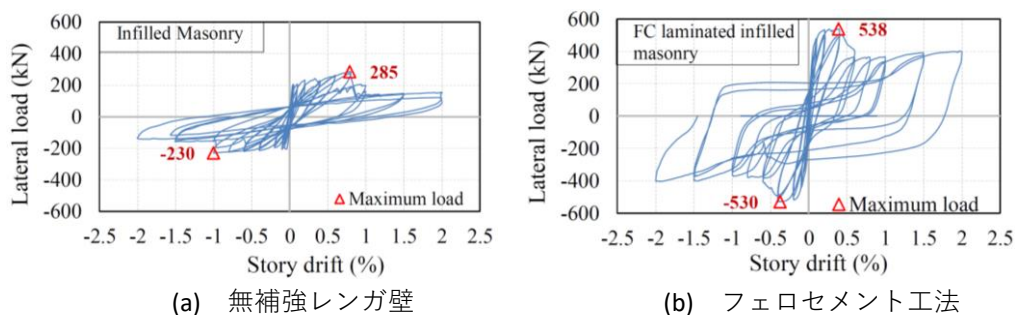


図9 繰返し荷履歴

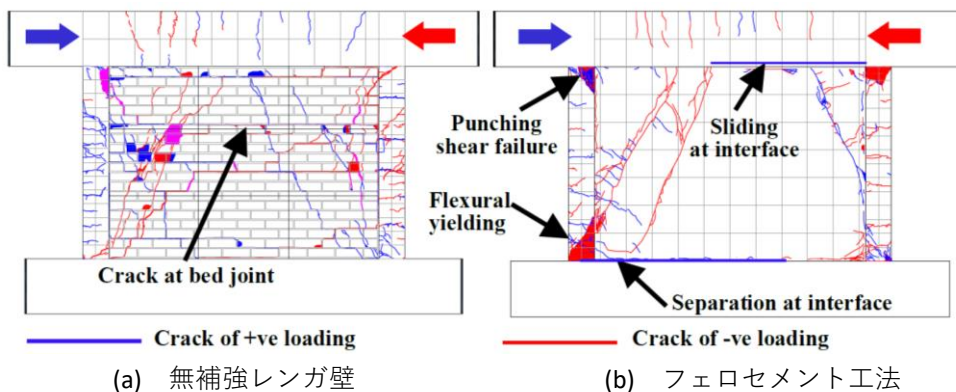


図10 荷終了後のひび割れ図

【参考文献】

- (1) Public Works Department (PWD), Bangladesh: Project for Capacity Disaster-resistant Techniques of Construction and Retrofitting for Public Buildings in the People's Republic of Bangladesh, Final Report Japan International Cooperation Agency (JICA), 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 初航、西脇智哉、湯浅昇、野中英	4. 巻 40
2. 論文標題 バングラデシュを対象とした非破壊検査を用いた低強度コンクリートのスクリーニング調査事例	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1779-1784
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 初航、西脇智哉、MALIHA Maisha、湯浅昇	4. 巻 41
2. 論文標題 コンクリートの強度推定へのリーブ式硬度計の適用性について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1895-1900
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Debasish SEN , Hamood ALWASHALI , Kiwoong JIN , Masaki MAEDA	4. 巻 40
2. 論文標題 CONTRIBUTION OF SURROUNDING RC FRAME AND MASONRY WALL IN LATERAL RESISTANCE OF MASONRY INFILLED RC FRAME	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 823-828
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Md Shafiul ISLAM, Hamood ALWASHALI, Youta TORIHATA, Masaki MAEDA	4. 巻 40
2. 論文標題 A RAPID SEISMIC EVALUATION OF EXISTING RC BUILDING WITH MASONRY INFILL	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1027-1032
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masaki MAEDA, Md Shafiul ISLAM, Hamood ALWASHALI, Md Rafiqul ISLAM, Matsutaro SEKI, Kiwoong JIN	4. 巻 -
2. 論文標題 A SEISMIC CAPACITY EVALUATION AND PRIORITY SETTING FOR RC BUILDING WITH MASONRY INFILL	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 16th European Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 Paper ID:11227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Debasish SEN, Yuta TORIHATA, Hamood ALWASHALI, Masaki MAEDA	4. 巻 41
2. 論文標題 AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE CYCLIC BEHAVIOUR OF FERRO-CEMENT LAMINATED MASONRY INFILLED RC FRAME	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 859-864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Maisha Maliha, 西脇智哉, 初航, Dinil Pushpalal, 五十嵐豪, 湯浅昇
2. 発表標題 発展途上国での調査事例を踏まえた非破壊検査によるコンクリートの圧縮強度推定
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hamood Alwashali, Debasish Sen, Zasiyah Tafheem, Md. Shafiul Islam, Matsutaro Seki, Masaki Maeda
2. 発表標題 Experimental investigation of Ferro-cement laminated masonry infilled in RC frame Part 1: Experimental program
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会 (北陸) 学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Debasish Sen , Zasiah Tafheem , Md. Shafiul Islam , Hamood Alwashali , Matsutaro Seki , Masaki Maeda
2. 発表標題 Experimental investigation of Ferro-cement laminated masonry infilled in RC frame part 2: Evaluation of Failure Mode and Seismic Capacity under Lateral Load
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会（北陸）学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Maisha Maliha, 西脇智哉, 初航, Dinil Pushpalal , 五十嵐豪, 湯浅昇
2. 発表標題 Prediction of Compressive Strength of Concrete by Non-destructive Inspection based on Case Studies in Developing Countries
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会（北陸）学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hang Chu, Tomoya Nishiwaki, Noboru Yuasa
2. 発表標題 Development of Screening Methods for Low Strength Concrete using Non-destructive Test - Case Study of Bangladesh
3. 学会等名 The Sixth Japan-US NDT Symposium - Emerging NDE Capabilities for a Safer World (Honolulu, USA) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hamood Alwashali , Debasish Sen , Md. Shafiul Islam , Yuta Torihata , Masaki Maeda
2. 発表標題 Seismic assessment of existing RC buildings with masonry infill in Banlladesh part 1:Proposal of ductility index for RC frame with masonry infill for 2nd level screening
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Debasish Sen , Md. Shafiul Islam , Hamood Alwashali , Yuta Torihata , Masaki Maeda
2. 発表標題 Seismic assessment of existing RC buildings with masonry infill in Bangladesh part 2:Evaluation of the Effect Masonry Infill on Seismic Capacity of Building
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Md. Shafiul Islam , Hamood Alwashali , Debasish Sen , Yuta Torihata , Masaki Maeda
2. 発表標題 Seismic assessment of existing RC buildings with masonry infill in Bangladesh part 3:Proposal of Visual Ranking Method and its application to existing RC buildings
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥畑優太 , Hamood Alwashali , Md. Shafiul Islam , Debasish Sen , Masaki Maeda
2. 発表標題 Seismic assessment of existing RC buildings with masonry infill in Bangladesh part 4:Pushover Analysis of Existing RC Building with masonry infill
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 初航、西脇智哉、湯浅昇、野中英
2. 発表標題 非破壊検査を用いた低強度コンクリートのスクリーニング手法に関する基礎的検討
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒巻卓見、湯浅昇、青木孝義
2. 発表標題 煉瓦の焼成温度と強度・非破壊試験値との関係
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下澤和幸、田中章夫、山崎順二、今本啓一、湯浅昇
2. 発表標題 各種透気試験装置の検 定方法と透気領域 - その1 ~ 3
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Sen, Y. Torihata, H. Alwashali, S. Islam, Z. Tafheem & M. Maeda
2. 発表標題 Investigation of the Ferro-cement laminated infilled masonry wall under cyclic lateral load
3. 学会等名 2019 Pacific Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019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	湯浅 昇  (Yuasa Noboru)  (00230607)	日本大学・生産工学部・教授    (32665)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	前田 匡樹  (Maeda Masaki)  (30262413)	東北大学・工学研究科・教授    (11301)	
研究 分 担 者	五十嵐 豪  (Igarashi Go)  (10733107)	東北大学・工学研究科・助教    (11301)	