

令和元年6月4日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05650

研究課題名(和文)なぜ震災教訓は活かされないか？ 2009年スマトラ島沖地震の復興実態の解明と対策

研究課題名(英文) Why the lessons learned from earthquake damage have not been actuated? -To clarify and improve reconstruction after the 2009 Sumatra earthquake

研究代表者

眞田 靖士 (Sanada, Yasushi)

大阪大学・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) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：2009年の地震によりRC建物が大きく被災した西スマトラ州の5つの都市(Padang, Bukittinggi, Painan, Pariaman, Solok)において、計100棟の新築中のRC建物の建設現場を対象に、建設技術の利用状況に関する統計データを収集した。その結果、新築されるRC建物において鉄筋の不足などの不適正な建設技術の利用実態が明らかになった。また、調査結果に基づいて、震災教訓が活かされない復興実態への対策を検討するため、現地のRC建物の建設に関わる人々との3段階の連続ワークショップを開催した。各関係団体が現状を改善するためにできる行動をリストアップし、提言として取りまとめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2009年の地震により被災した西スマトラ州において、地震により建物が甚大な被害を受けた原因が特定されているにも関わらず、その原因が修正されることなく被災前と同様の不適正な建設技術により建物が再建されている可能性があった。本研究の成果はこうした実態を現地調査によりはじめて定量的に明らかにし、また、その実態を改善するための対策を現地の建物建設に関わる人々との意見交換を通して提示した点にある。とくに前者はおそらく世界で初めて取得された定量的データであり学術的価値が高い。同様の問題は発展途上国一般に生じることが懸念され、将来の地震被災地の適正な復興を計画する際に重要な知見を示しており社会的意義も高い。

研究成果の概要(英文)：Data on details of RC building construction were collected at one hundred RC buildings under construction in five cities (Padang, Bukittinggi, Painan, Pariaman, and Solok) in West Sumatra where RC buildings had been significantly damaged by the 2009 Sumatra earthquake. Consequently, inappropriate details such as a lack of reinforcement were found to be applied to new RC buildings under construction. Furthermore, to clarify and improve reconstruction without considering the lessons learned from the 2009 Sumatra earthquake, a series of workshops were performed with several parties who were involved in RC building construction in West Sumatra. Recommendations were provided based on a list of actions which should be performed by each party for better reconstruction.

研究分野：建築構造学

キーワード：震災復興 鉄筋コンクリート建築 建設技術 現地調査 地震防災 西スマトラ州 インドネシア 発  
展途上国

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2009年インドネシア・スマトラ島沖地震により、同国・西スマトラ州ではRC建物が甚大な被害を受けた(写真1)。2014年時点、同州では復興が本格化していたが、再建されるRC建物において、震災教訓が活かされず震災以前の不適正な建設技術が依然散見された(写真2)。しかし、こうした地震被災地の復興実態を定量的に明らかにした研究は前例がなく、将来の地震により同様の災害が発生する可能性に対し警鐘を鳴らすべく本研究を提案した。



写真1 2009年地震によるRC建物の被害



写真2 Padang市の建設現場(2014年)

依然、接合部に必要な鉄筋がない

2. 研究の目的

上記の背景を受けて、本研究の目的は、鉄筋不足などの被害原因が明らかになる中、建物の再建において、震災の教訓が適正な建設技術に反映されていない実態を統計データにより実証し、適正な建設技術が普及しない原因を、被災地の建設関係者とのワークショップを通して分析し、被災地の地震災害耐性が改善に向かう復興のため、提言をまとめる、ことである。

研究目的を達成するため、西スマトラ州の新築RC建物の建設現場を対象に、適正な建設技術の利用状況に関する調査項目と判断基準(以下、調査フォーム)を策定し、これを用いて現地調査を実施する。

また、研究目的を達成するため、震災教訓が活かされない復興実態への対策を検討するため、現地のRC建物の建設に関わる人々との連続ワークショップの開催を立案し、実践する。

3. 研究の方法

3.1 建設技術の利用実態に関する統計データの収集

(1) 調査フォームの策定

新築RC建物を対象とする適正な建設技術の利用状況に関する調査項目と判断基準を検討し、現地調査を円滑に実施するための調査フォームを策定した(図1)。表1に調査項目と方法の一覧を示す。各項目の調査結果はインドネシアの建築基準と比較して適否を判定する方針とした。

図1 調査フォーム(全11枚)

Project Title: Why the Lessons Learned from Earthquake Damage have not been Actuated?

6. Detailing of Beam-Column Joint (Exterior)

6.1. Hoops on joint  Exist  
Diameter : ..... mm  
Spacing : ..... mm (photo no...)  
 Not exist

6.2. Anchorage of beam rebar  
Top rebar  
Length of anchorage : ..... mm  
Length of hook : ..... mm (photo no...)  
Bottom rebar  
Length of anchorage : ..... mm  
Length of hook : ..... mm (photo no...)

6.3. Is there a detail of reinforcement on beam-column joint in design drawing  Yes (photo no...)  
 No

Sketch of exterior beam-column-joint  
(beam column joint shows longitudinal reinforcement of beam and column, spacing of hoops, length of anchorage and length of hook of beam rebar)

表1 調査項目と方法の一覧

Investigated items		Methods
A. Material specification	Compressive strength of concrete	- Design drawing - Hammer test <sup>a</sup>
	Type of rebar	
B. Detailing of column	Dimensions	- Design drawing and field inspection <sup>b</sup>
	Longitudinal reinforcement	
	Transverse reinforcement	
	Lap splice	- Field inspection <sup>c</sup>
C. Detailing of beam	Dimensions	- Design drawing and field inspection <sup>b</sup>
	Longitudinal reinforcement	
	Transverse reinforcement	
	Lap splice	- Field inspection <sup>c</sup>
D. Detailing of beam-column joint	Transverse reinforcement in joint	- Field inspection <sup>c</sup>
	Anchorage of beam reinforcement	

<sup>a</sup> Hammer test was used to estimate the compressive strength of concrete if it could not be obtained from design drawing.

<sup>b</sup> Detailing of these items is commonly provided in design drawing. Then, the data were confirmed through field inspection.

<sup>c</sup> Detailing of these items is not commonly provided clearly in design drawing. The data were obtained by field inspection.

(2) 現地調査の計画

研究協力者の Jafri Tanjung 博士, Maidiawati 博士と協議し, 調査対象とする都市の規模, 拠点である Padang 市からのアクセス, 現地協力者の所在などを考慮して, 5つの都市 (Padang, Bukittinggi, Painan, Pariaman, Solok, 図2参照) を調査対象に選定した. 調査対象建物は RC 建物とし, 枠組組積造 (レンガなどによる組積造壁の周囲を RC 枠材で補強した構造) の建物は除外した. インドネシアの建築基準では, 調査対象都市は耐震設計用の地域区分で D に該当し, RC 建物は Special Moment-Resisting Frame (SMRF) として設計することが求められる.



図2 調査対象都市

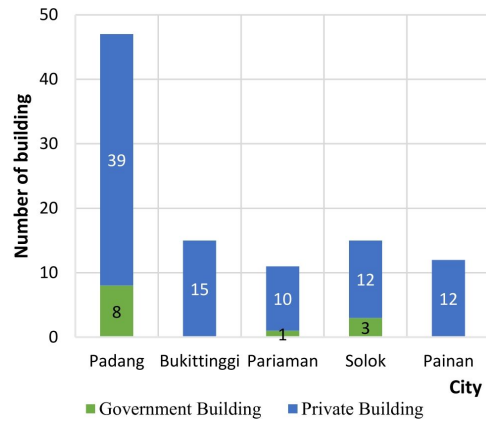


図3 調査建物の内訳

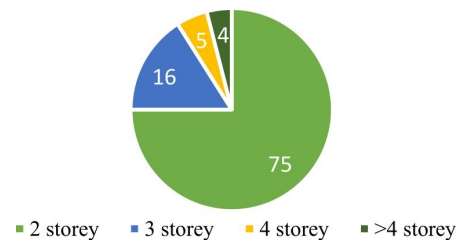


図4 建物階数の分布

3.2 震災教訓が活かされない復興実態への対策を検討するワークショップの開催

建設技術の利用実態に関する統計データを収集した結果, 4.1節に後述するように, 2009年の地震による震災教訓が活かされていない不適正な建設技術の利用実態が明らかになった. そのため, 被災地の地震災害耐性が改善に向かう復興 (Build Back Better Than Before) のために必要な対策を検討するため, 現地の建物建設に関わる複数の団体から関係者を招いての計3段階の連続ワークショップを計画した. 建物建設に関わる団体として, 行政機関 (州および地方都市), 技術者団体, 教育機関を計画し, また, 建物建設に直接携わる現地の個人労働者も対象とする方針とした. 各段階のワークショップの概要を表2にまとめる.

表2 連続ワークショップの概要

段階	目的	対象	内容
第1段階	建物建設に携わる個人労働者が保有する建設技術に関する統計データを収集する.	個人労働者	建設技術の利用状況を調査した5都市から各18名 (計90名) の個人労働者を招聘し, RC建物の建設に必要な建設技術の知識と実演を求め, 技術の適否を評価する.
第2段階	不適正な建設技術の利用原因について個人労働者の意見を収集する.	個人労働者	第1段階のワークショップに参加した個人労働者のうち適正な建設技術を保有する者に限定し, 各都市から2名 (計10名) を再招聘し, 不適正な建設技術の利用実態を報告し, 原因を議論する.
第3段階	建物建設に関わる団体に, 不適正な建設技術の利用実態を周知し, 各団体が現状を改善するための行動を検討する.	行政関係者 建設技術者 教育関係者	建設技術の利用状況を調査した5都市から, 行政関係者, 建設技術者, 教育関係者を計15名招き, 現地調査結果およびワークショップの結果を紹介し, 適正な建設技術を今後普及するための対策について議論し, 各関係団体が現状を改善するためにできる行動をリストアップする.

#### 4. 研究成果

##### 4.1 建設技術の利用実態に関する統計データの収集

3.1節で策定した調査フォームを用いて先述の5都市で計100棟の新築RC建物の建設技術の利用実態を調査した。各都市の調査建物の内訳を図3に示す。同図に示すように、本研究では建物を公共建物と個人建物の二通りに分類して以降の分析を行った。図4は階数の分布である。以下、表1の調査項目から抜粋して調査結果を示す。

###### (1) コンクリート強度

インドネシアの建築基準において、調査対象都市は耐震設計用の地域区分でDに該当する。そのため、コンクリート強度は最小でも20N/mm<sup>2</sup>を満足する必要がある。西スマトラ州の州都であるパダン市では図5に示すように80%以上の建物が基準を満足したが、その他の都市では半数に満たなかった。

###### (2) 柱のせん断補強筋量

図6は柱のせん断補強筋量に関する調査結果である。ほとんどの建物が基準上の最小配筋を満足していない結果であった。

###### (3) 柱主筋の継手位置

柱主筋の継手は柱梁接合部内や接合部端から柱せいりの2倍の範囲内に設けてはならない。図7は柱主筋の継手位置に関する基準の適合状況であるが、ほとんどの建物が基準を満足していなかった。

###### (4) 梁主筋の柱梁接合部への定着

外柱に接続する梁の主筋は柱梁接合部内に適切な構造詳細を設けて十分な定着を確保する必要がある。図8はそのうち端部フックの余長に関する調査結果である。観察可能であった事例はやや限られるが、ほとんどの建物が必要な長さを満足しておらず、最も劣悪な事例では写真3のように梁主筋が短く直線定着されている場合も見られた。なお、図9は表2の第1段階ワークショップにおいて建設労働者に配筋作業の実演を依頼した場合の同様の調査結果であるが、図8と同様にほとんどの場合で必要な長さを満足しておらず、本調査項目については適正な建設技術に関する専門知識の不足に起因して、不適正な技術が利用されている可能性が明らかになった。

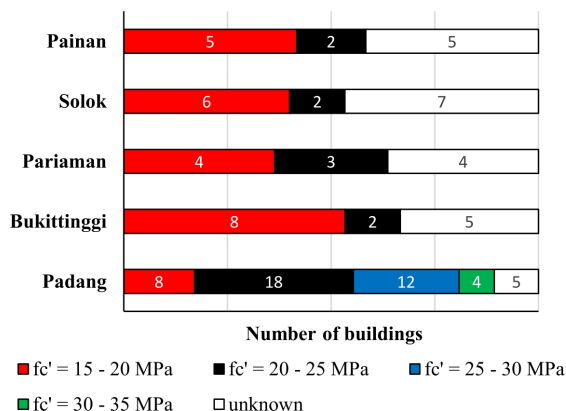


図5 コンクリート強度に関する調査結果

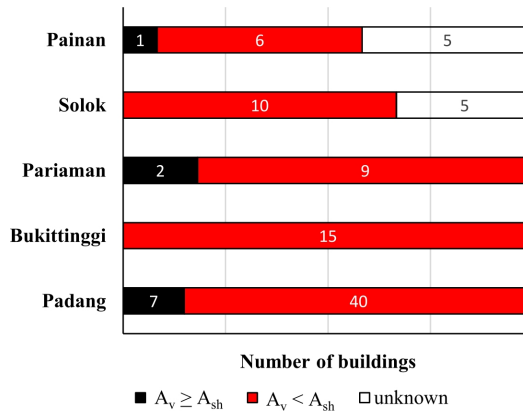


図6 柱のせん断補強筋量に関する調査結果

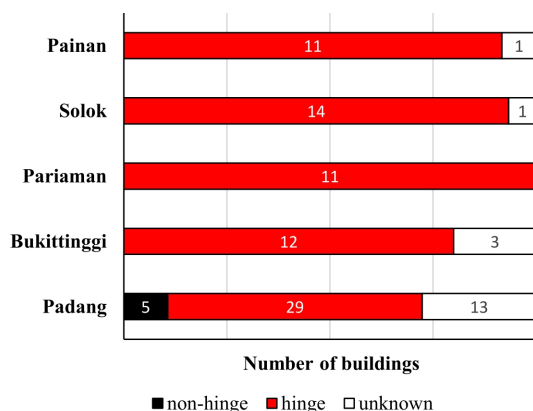


図7 柱主筋の継手位置に関する調査結果

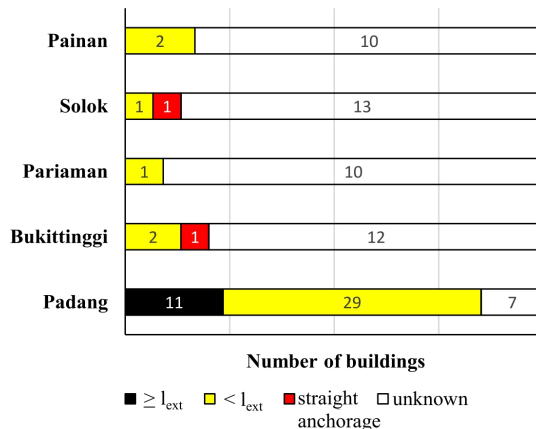


図8 梁主筋の定着詳細に関する調査結果

#### 4.2 震災教訓が活かされない復興実態への対策を検討するワークショップの開催

##### (1) 第1段階ワークショップ

表2の第1段階のワークショップでは、調査対象とした5都市の建物建設に関わる個人労働者を計90名招聘し、4.1節の調査項目に関する知識や建設技術について聞き取り調査と実習



写真3 直線定着された梁主筋

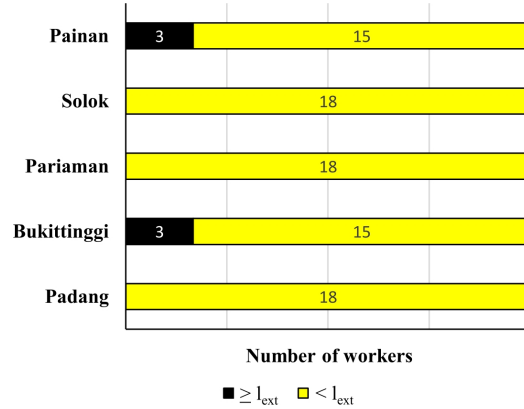


図9 第1段階のワークショップによる建設労働者による梁主筋の定着詳細



写真4 第1段階ワークショップの様相



写真5 第3段階ワークショップの様相

調査を実施した(写真4)。先述した図9はその調査結果の一例である。

#### (2) 第2段階ワークショップ

第1段階のワークショップより、建物建設に関わる個人労働者が保有する建設技術に関する統計データが得られた。その結果は4.1節に示した新築RC建物の建設現場を対象とする調査結果と概ね整合するものであった。この結果は多くの労働者が適正な建設技術に関する専門知識を保有しない現状を示すものであり、社会人教育の重要性を示すものと解釈された。また、第1段階のワークショップにおいて適正な建設技術を保有する労働者10名を再招聘し、同ワークショップの結果を報告し、適正な建設技術が普及しない原因を議論した。その結果、適正な建設技術の普及には、上記の社会人教育に加え、建物オーナーが建設コストを抑制するために適正な建設技術の利用を認めない場合があり、労働者だけでなくオーナー(一般市民)に対する教育も必要であること、地域によっては不適正な建設技術が代々受け継がれている事例もあること、などの課題が話し合われた。

#### (3) 第3段階ワークショップ

本研究で開催する最終段階のワークショップである第3段階では、西スマトラ州で建物建設に関わる行政機関(州および地方都市)、技術者団体、教育機関から計15名を招聘し、4.1節の調査結果、第1-2段階ワークショップの結果を報告するとともに、適正な建設技術を今後普及するための対策について議論した(写真5)。各関係団体が現状を改善するためにできる行動をリストアップして、本研究の提言として取りまとめた。

とくに教育機関がとるべき行動として、従来のトップダウン型ではなく、ボトムアップ型の知識と技術の普及が必要であり、そのため、適正な建設技術をまとめた建設現場で携帯できるガイドブックを作成すること、鉄筋の折り曲げ作業を適正に実施するための簡単な施工道具を開発すること、などの必要性について意見共有した。

上記の結論の妥当性は、今後も同地域の復興過程のモニタリングを通して検証される必要がある。また、以上の研究成果は、本研究で対象としたインドネシア・西スマトラ州のみならず、インドネシアの他地域、その他のアジア圏の発展途上国にも応用できる可能性がある。将来にわたり避けられない大地震に際し、その復興過程を継続してモニタリングし、本研究の結論の一般性を引き続き検証する必要がある。

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計1件)

Syafri Wardi, Yasushi Sanada, Michihiro Kita, Jafriil Tanjung and Maudiawati, Common Structural Details and Deficiencies in Indonesian RC Buildings: Preliminary Report on Field Investigation in Padang City, West Sumatera, International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol. 8, No. 2, pp. 418-425, Apr. 2018, DOI:10.18517/ijaseit.8.2.4207

### 〔学会発表〕(計2件)

Syafri Wardi, Yasushi Sanada, Michihiro Kita, Jafriil Tanjung and Maudiawati, Investigation on Implementation of Seismic Detailing of Reinforced Concrete Buildings in West Sumatra Indonesia, The 7th Asia Conference on Earthquake Engineering, Paper ID ACEE0069, Nov. 2018

Syafri Wardi, Yasushi Sanada, Michihiro Kita, Deficiencies of Beam-Column Joint Details in Indonesian RC Buildings: Field Investigation Results in Padang City, West Sumatera, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 , pp.171-172 , 2017.8

### 〔図書〕(計0件)

### 〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

### 〔その他〕

該当なし

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：木多道宏

ローマ字氏名：Michihiro Kita

所属研究機関名：大阪大学

部局名：工学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：90252593

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：ジャフリル タンジュン

ローマ字氏名：Jarfil Tanjung

研究協力者氏名：マイディアワティ

ローマ字氏名：Maudiawati