

## 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 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21254001

研究課題名（和文）世界遺産登録を目指すイラン・タブリーズ市の歴史的公共建造物の耐震安全性詳細調査

研究課題名（英文）Detailed Earthquake Resistant Investigation of Historical Public Building, Tabriz Bazaar Aspired to be Registered as UNESCO World Cultural Heritage

研究代表者

宮島 昌克（MIYAJIMA MASAKATSU）

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：70143881

研究成果の概要（和文）：

イラン・タブリーズ市において世界遺産の登録を目指しているバザール(市場)を対象として、北タブリーズ断層を想定地震断層とした強震動予測を行った。その際、各種地盤調査を行って、建設地点の地盤動特性を明らかにした。強震動予測結果を用いて耐震診断を行うとともに、耐震補強法について具体的に提案した。また、2010年10月10日～11日にイラン・タブリーズ市において歴史的組積増構造物の地震および地震工学に関するイラン・日本二国間セミナーを開催した。

研究成果の概要（英文）：

Prediction of strong ground motion was conducted at Tabriz Bazaar that was aspired to be registered as UNESCO World Cultural Heritage in Tabriz city, Iran. Scenario earthquake fault was assumed as North Tabriz fault. Several kinds of in situ tests such as borehole logging, micro tremor measurements and so on, were conducted to estimate dynamic characteristics of the site. Seismic diagnosis of Tabriz Bazaar was done by using the scenario earthquake motion and methods of seismic retrofitting were proposed. The Bilateral Iran-Japan Seminar on Seismology and Earthquake Engineering of Historical Masonry Buildings was held in Tabriz city in October 2010.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2010年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2012年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
総計	26,100,000	7,830,000	33,930,000

研究分野：耐震工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：減災，地震，耐震，防災

## 1. 研究開始当初の背景

イランは日本、トルコ、台湾、米国カリフ

オルニアに並ぶ世界有数の地震国である。2004年12月に発生したイラン・バム地震では、地震後世界遺産の危機遺産リストに緊急登録された日干し煉瓦（アドベ）造のバムの要塞

都市が壊滅的な被害を受けたのみならず、同地震が人口約12万人といわれたバム市の約1/4の人命を奪った。これまで世界遺産の危機遺産リストには、アフガニスタンやイラクといった戦時下、あるいはこれに近い状態にある世界遺産が登録されてきたが、地震によるものはバムの要塞都市が最初であり、これからもこのようなケースが増えてくるのではないかと危惧されている。

本研究で対象としているタブリーズ市はイランの北西部に位置し、経済規模では首都テヘラン市に次いでイラン第2の都市である。テヘラン市の北部を走っている、世界的にも有名なアナトリア大断層帯がタブリーズ市の北部に延びて北タブリーズ断層となっており、この断層による地震の発生がテヘラン市とともに危惧されている。しかし、テヘラン市は首都ということでわが国の国際協力事業団の援助の下に地震被害調査が積極的に行われているのに対し、タブリーズ市においては地震被害調査は皆無の状態である。タブリーズ市はかつてのシルクロードに位置しており古くから交易が盛んであったので、現在のバザールの最も古い部分は8世紀に建てられたものであり、そのほかの部分も15世紀から建てられており、歴史的価値が極めて高い。

本研究では、タブリーズ市において世界遺産の登録を目指していたバザール(市場)を対象として、北タブリーズ断層を想定地震断層として耐震診断を行うとともに、耐震補強法について現地の研究協力者と調査研究を行う。

## 2. 研究の目的

本研究では、イラン・タブリーズ市において世界遺産の登録を目指していたバザール(市場)を対象として、北タブリーズ断層を想定地震断層とした耐震診断を行うとともに、耐震補強法について現地の研究協力者と調査研究を行うことを目的とする。すなわち、歴史的価値の極めて高い建造物を今後の地震によって消滅しないためばかりでなく、人的被害を最小限にとどめるために建設地点の地盤特性を考慮した耐震診断を行い、それに基づいた耐震補強法を具体的に提案するとともに、避難シミュレーションを実施し、避難時危険性を提示し、その対策を提案することが、本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究の研究体制は、「想定地震動」、「地盤動特性」、「建造物の診断・補強」、「避難シミュレーション」からなる。「想定地震動」に関しては、経験的グリーン関数法を用いて想定地震動波形を作成するが、そのために想

定断層に関する情報を収集するとともに、「地盤動特性」グループと伝播経路特性、サイト特性の評価のための常時微動観測と弾性波屈折法試験を行う。

「建造物の診断・補強」のために、「地盤動特性」グループとボーリング試験、地盤、建造物の常時微動観測を行うとともに、現地で使用されている材料と組積方法で作製した組積体の力学特性を調べ、その力学特性に基づいて有限要素法解析を行う。

「避難シミュレーション」では、避難行動判断実験、パーソントリップ調査を通して基礎的な情報を収集し、研究分担者が既に開発しているシミュレーションソフトを用いて解析する。

以上を総合して、ハード、ソフト両面から歴史的建造物の耐震安全性を評価し、補強法を具体的に提案する。

## 4. 研究成果

まず、イラン・タブリーズ市およびその周辺における地震観測を用いて、地震動の伝播経路特性および深部地下構造モデルを推定した。表層地盤については、常時微動観測、ボーリング試験、動的3軸試験などを行って、詳細に調査し、建設地点の地盤動特性を明らかにした。さらに、タブリーズ市に影響を及ぼす断層として、北タブリーズ断層を抽出し、歴史的煉瓦造建造物バザールの建設地点における地震動を評価した。この際、破壊域や破壊開始点については複数のシナリオを与えた。得られた地震動の最大加速度は350~800cm/s/s、最大速度は35~100cm/sとなり、短周期領域における応答スペクトルは2000cm/s/s程度となり、2003年バム地震の際のバムにおける地震動を上回る大きさであった。得られた地震動は歴史的煉瓦造建造物バザールの耐震安全性を評価する際の有益な資料を与えるものである。

イラン・タブリーズ市の歴史的煉瓦造建造物バザールの耐震安全性を確保するための方法の提案を目的として、バザールの増築・改修工事で使用されている材料と組積方法で作製した組積体の力学特性を調べ、その力学特性に基づいてバザールの一角を抽出したモデルの有限要素法解析を行い、バザールの自重及び地震荷重に対する挙動を調べた。解析の結果、バザールにおける構造上の課題を概ね把握することができた。加えて、無補強組積造建築物の補強方法として世界各国で提案・検討・適用されている方法を調べ、性能と適用の容易さなどを検討した結果、高い適用可能性が認められた「ECC(高靱性繊維補強セメント複合材料)塗布」および「アラミド繊維シート貼付と同繊維バンドによる固定」の2つの方法について、適用した場合の組積体の力学特性の変化を調べた。実験

の結果、ECC は組積体のせん断変形能力を著しく向上させる効果を示し、アラミド繊維バンドの巻き付けによる同繊維シートの剥離防止効果も明瞭に確認された。歴史的煉瓦造建造物のバザールは各室の用途から、全ての壁面に表面補強が適用できない訳ではないので、本研究の成果を活かした補強計画も十分立案可能といえる。

現地の研究協力者と協力してバザールにおける避難路調査とパーソントリップ調査を行い、避難シミュレーション解析における入力条件を確立し、避難シミュレーションを実施した。シミュレーション結果を用いて避難口の混雑度について検討した。

さらに、2010年10月10日～11日にカウンターパートであるアゼルバイジャン T.M. 大学において、歴史的組積増構造物の地震および地震工学に関するイラン・日本二国間セミナーを開催し、研究代表者及び分担者がこれまでの研究成果を報告し、現地の研究者、技術者と意見交換を行った。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 28 件)

- ① Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, Hiromi Nishiyama, Masakatsu Miyajima, An Experimental Study on the Retrofitting of Unreinforced Masonry Specimens with ECC and AFRP Sheet, 構造工学論文集, Vol. 59B, pp.81-91, 査読有, 2013.
- ② ザマニ アハリ ゴラムレザ, 山口謙太郎, 宮島昌克, 田中隼斗, アラミド繊維シートで補強された組積体のせん断挙動, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第 23 号, pp. 47-53, 査読有, 2013.
- ③ ザマニ アハリ ゴラムレザ, 山口謙太郎, 宮島昌克, 西山壮海, 高靱性繊維補強セメント複合材料で補強された組積体の強度と靱性, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第 22 号, pp. 145-153, 査読有, 2012.
- ④ Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, Hiromi Nishiyama, Masakatsu Miyajima, Study on the Effectiveness of Seismic Retrofitting of URM Walls with High Performance Joint, Proceedings of 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering and 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, pp. 969-976, 査読有, 2012.
- ⑤ Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, Analysis Strategies for Masonry Structures -Application of Finite Element Analysis to a Historical Building-, Journal of Habitat Engineering and Design, Volume 4, Number 1, pp.95-108, 査読有, 2012.
- ⑥ Aiko Furukawa, Junji Kiyono and Kenzo Toki, Numerical Simulation of the Failure Propagation of Masonry Buildings during an Earthquake by Discrete Element Elastic to Collapse Analysis, Journal of Natural Disaster Science, Vol.33, No.1, pp.11-36, 査読有, 2012.
- ⑦ Rusnardi Rahmat Putra, Junji Kiyono, Yusuke Ono, H. Parajuli, Seismic Hazard Analysis for Indonesia, Journal of Natural Disaster Science, Vol.33, No.3, pp.59-70, 査読有, 2012.
- ⑧ Amiraslanzadeh Reza, Toshikazu Ikemoto, Masakatsu Miyajima and Abdolhossein Fallahi, A Comparative Study on Seismic Retrofitting Methods for Unreinforced Masonry Brick Walls, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, 査読無, 2012.
- ⑨ Junji Kiyono, Aiko Furukawa and Kenzo Toki, Seismic Assessment of Stone Arched Bridges, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, 査読無, 2012.
- ⑩ Masakatsu Miyajima, Masato Tsurugi, Masaho Yoshida, Hossein Soltani Jigheh, and Abdolhossein Fallahi, Amplification Characteristics of Strong Ground Motion at the Tabriz Bazaar, Iran, Proceedings of the 6th International Conference of Seismology and Earthquake Engineering, CD-ROM, 査読無, 2011.
- ⑪ Masato Tsurugi, A. Petukhin, Abdolhossein Fallahi, Arjang Sadeghi, Hossein Soltani Jigheh, Masaho Yoshida, and Masakatsu Miyajima, Estimation of Strong Ground Motion for North Tabriz Fault using Stochastic Green's Function Method, Proceedings of the 6th International Conference of Seismology and Earthquake Engineering, CD-ROM, 査読無, 2011.
- ⑫ Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, Yuki Ninomiya, Masakatsu Miyajima, Approach to Seismic Evaluation of a Historical Masonry Building - Tabriz Bazaar in Iran, Proceedings of the 6th International

- Conference of Seismology and Earthquake Engineering, CD-ROM, 査読無, 2011.
- ⑬ Aiko Furukawa, Junji Kiyono, Kenzo Toki, Proposal of a Numerical Simulation Method for Elastic Failure and Collapse Behaviors of Structures and its Application to Masonry Walls, Journal of Disaster Research, Vol.6, No.1, Paper: Dr6-1-4524, 査読有, 2011.
- ⑭ Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, A Proposal of the Most Suitable Retrofitting Methods for URM Structures in Iran - An Extensive Review of Recent Techniques -, Journal of Habitat Engineering, Volume 2, Number 2, pp.105-114, 査読有, 2010.
- ⑮ 二宮佑輝, 山口謙太郎, 宮島昌克, 大場文絵, イラン・タブリーズ市の歴史的建造物バザールの耐震補強に向けた構造解析 -バザールの一角を抽出したモデルの有限要素法解析を中心に-, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第18号, pp.53-60, 査読有, 2010.
- ⑯ Masakatsu Miyajima, Masaho Yoshida, Hossein Soltani Jigheh, and Abdolhossein Fallahi, Investigation of Soil Profile and Dynamic Soil Properties at the Historical Tabriz Bazaar in Iran, Proceedings of Bilateral Iran-o-japan Seminar on Seismology and Earthquake Engineering of Historical Masonry Buildings, pp.7-10, 査読無, 2010.
- ⑰ Kentaro Yamaguchi, Masakatsu Miyajima, Arjang Sadeghi, Abdolhossein Fallahi, Yuki Ninomiya, Gholamreza Zamani Ahari, Proceedings of Bilateral Iran-o-japan Seminar on Seismology and Earthquake Engineering of Historical Masonry Buildings, pp.28-36, 査読無, 2010.
- ⑱ Masakatsu Miyajima, Masato Tsurugi, Abdolhossein Fallahi, Kentaro Yamaguchi, and Masaho Yoshida, Vulnerability Assessment to Earthquake of Historical Masonry Building in Tabriz, Iran, Proceedings of Chilean Conference of Seismology and Earthquake Engineering, CD-ROM, 査読無, 2010.
- ⑲ Masato Tsurugi, Abdolhossein Fallahi Hosseij Soltani Jigheh and Masakatsu Miyajima, Strong Ground Motion Prediction for Future Large Earthquake in Tabriz, NW of Iran, Proceedings of Chilean Conference of Seismology and Earthquake Engineering, CD-ROM, 査読無, 2010.
- ⑳ Abdelkrim Bourzam, Toshikazu Ikemoto, Masakatsu Miyajima and Saiji Fukada: Cyclic Lateral Resistance of Confined Masonry Walls Part (I): Case of failure by diagonal splitting, Proceedings. of the 14th Europa Conference on Earthquake engineering, CD-ROM, 査読無, 2010.
- [学会発表] (計17件)
- ① 西山壮海, 山口謙太郎, ザマニ アハリゴラムレザ, 高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた無補強組積造の補強方法に関する研究-煉瓦および組積体の載荷実験-, 2012年度日本建築学会大会(東海)学術講演会, 2012.09.13, 名古屋大学(愛知県).
- ② Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, Shear Behavior of Unreinforced Masonry Wall Specimens Retrofitted with Aramid Fiber Sheet, 2012年度日本建築学会大会(東海)学術講演会, 2012.09.13, 名古屋大学(愛知県).
- ③ Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, Masakatsu Miyajima, Seismic Retrofitting of URM Structures by Engineered Cementitious Composites-An Experimental Study on Triplet and Prism Specimens, 2011年度(第51回)日本建築学会九州支部研究発表会, 2012.03.04, 西日本工業大学(福岡県).
- ④ Gholamreza Zamani Ahari, Kentaro Yamaguchi, Seismic Rehabilitation Study on the Historical Tabriz Bazaar in Iran- Modal Time-history Response Analysis of Extracted Model as a Typical Part, 2011年度日本建築学会大会(関東)学術講演会, 2011.08.24, 早稲田大学(東京都).
- ⑤ 二宮佑輝, 山口謙太郎, 宮島昌克, ザマニ アハリゴラムレザ, 大場文絵, イラン・タブリーズ市の歴史的建造物バザールの耐震安全性確保に向けた基礎的研究 その3 バザールの耐震性能把握を目的とした動的応答解析, 2010年度(第50回)日本建築学会九州支部研究報告会, 2011.03.06, 鹿児島大学(鹿児島県).
- ⑥ Kentaro Yamaguchi, Yuki NINOMIYA, Gholamreza Zamani Ahari, Masakatsu Miyajima, FEM Analysis for Understanding the Basic Characteristics of the Structural Behavior Aiming Seismic Retrofitting of the Historical Tabriz Bazaar in Iran,

The Sixth Conference of Geological Development in Asia-Pacific Region and Eighth International Symposium on Mitigation of Geo-hazards, 2010. 09. 22, Vladivostok ( Russia).

- ⑦ 二宮佑輝, 山口謙太郎, 大場文絵, イラン・タブリーズ市の歴史的建造物バザールの耐震性確保に向けた基礎的研究 その 3 バザールの構造特性に関する有限要素法解析, 2010 年度日本建築学会大会 (北陸) 学術講演会, 2010. 09. 11, 富山大学 (富山県).
- ⑧ 二宮佑輝, 山口謙太郎, 宮島昌克, 田原桂太, 大場文絵, イラン・タブリーズ市の歴史的建造物バザールの耐震安全性確保に向けた基礎的研究 その 2 バザールの構造特性に関する解析, 2009 年度 (第 49 回) 日本建築学会九州支部研究報告会, 2010. 03. 07, 長崎総合科学大学 (長崎県).
- ⑨ 山口謙太郎, 宮島昌克, 田原桂太, 二宮佑輝, 大場文絵, イラン・タブリーズ市の歴史的建造物バザールの耐震性確保に向けた基礎的研究 その 1 バザールの概要と構造体構成要素の圧縮載荷試験, 2009 年度日本建築学会大会 (東北) 学術講演会, 2009. 08. 27, 東北学院大学 (宮城県).
- ⑩ 二宮佑輝, 山口謙太郎, 宮島昌克, 田原桂太, 大場文絵, イラン・タブリーズ市の歴史的建造物バザールの耐震性確保に向けた基礎的研究 その 2 バザールの固有振動数に関する基礎的な解析, 2009 年度日本建築学会大会 (東北) 学術講演会, 2009. 08. 27, 東北学院大学 (宮城県).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮島 昌克 (MIYAJIMA MASAKATSU)  
金沢大学・環境デザイン学系・教授  
研究者番号 : 70143881

### (2) 研究分担者

池本 敏和 (IKEMOTO TOSHIKAZU)  
金沢大学・環境デザイン学系・講師  
研究者番号 : 60311677

幸左 賢二 (KOSA KENJI)  
九州工業大学・工学部・教授  
研究者番号 : 00315160

清野 純史 (KIYONO JUNJI)  
京都大学・工学研究科・教授  
研究者番号 : 00161597

吉田 雅穂 (YOSHIDA MASAHO)  
福井工業高等専門学校・環境都市工学科・

教授

研究者番号 : 90210723

山口 謙太郎 (YAMAGUCHI KENTARO)  
九州大学・人間・環境学研究科・准教授  
研究者番号 : 10274490

鶴来 雅人 (TSURUGI MASATO)  
一般財団法人地域地盤環境研究所・地域防災グループ・グループリーダー  
研究者番号 : 60450912

### (3) 連携研究者

村田 晶 (MURATA AKIRA)  
金沢大学・環境デザイン学系・助教  
研究者番号 : 30283097