

平成21年 5月18日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19404009  
 研究課題名（和文）イラン・タブリーズ市における組積造歴史的建造物の耐震診断と補強法に関する調査研究  
 研究課題名（英文）Vulnerability Assessment and Retrofit for Earthquake of Historical Buildings in Tabriz, Islamic Republic of Iran  
 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：本研究では、タブリーズ市において歴史的価値が高い建造物として有名なタブリーズ城とキャブード寺院を対象として、アナトリア断層を想定地震断層と仮定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った。地盤の弾性波探査、建造物と周辺地盤の常時微動計測を行ない、建造物と周辺地盤の動特性把握を試みた。その結果、タブリーズ城の方がキャブード寺院よりも建物の1次固有振動数が地盤の卓越振動数に近く、地震時に地盤と建造物が共振する可能性があることを明らかにした。また、わが国における耐震補強法を紹介し、実現可能な対策について議論した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2008年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
年度			
総計	9,400,000	2,820,000	12,220,000

研究分野：地震工学

科研費の分科・細目：構造工学・維持管理工学

キーワード：組積造建造物、歴史的建造物、耐震診断、耐震補強、常時微動

## 1. 研究開始当初の背景

本研究課題で対象とした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きており、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皆無の状態である。そこで、研究代表者らは、現地のアゼルバイジャン T.M. 大学との共同研究としてタブリーズ市のサイズミックゾーンネーション事業に取り組み始めたところである。

本研究では、タブリーズ市において歴史的価値が高い建造物として有名なタブリーズ城とキャブード寺院を対象とする。ブリーズ城は14世紀に建造されたものであるが、その後の幾多の地震による破損が大きく、その

一部しか残っていない。しかし、現存部分でも高さが約40mあり、当時の建造方法を含めて極めて高い歴史的価値が認められている。一方、キャブード寺院は15世紀中ごろに建造されたものであるが、この時代の建築の中でも傑作の呼び声が高く、歴史的に貴重な建物である。青いタイル装飾の美しさからブルーモスクの名で知られているが、度重なる地震による損傷が激しく、現在も修復作業が続けられている。

このような歴史的価値の極めて高い建造物を今後の地震によってこれ以上損傷させない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ことが急務の課題となっている。

## 2. 研究の目的

イラン・タブリーズ市において歴史的価値が高い建造物として有名なタブリーズ城とキャブード寺院を対象として、アナトリア断層を想定地震断層と仮定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。とくに、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ことが、本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

地盤・強震動評価グループと建造物評価グループの2グループからなる調査団を構成し、各グループに海外共同研究者1名、海外研究協力者である大学院生1名が加わり、現地調査を実施した。現地調査は2007年7月と8月、2008年8月にそれぞれ約1週間に亘り研究代表者、研究分担者、連携研究者、研究協力者の参加のもとで行われた。

地盤・強震動評価グループはまず、対象建造物周辺の地形、地質図の入手を試みた。また、現地ではボーリングデータがほとんど公開されていないので、常時微動測定、屈折法弾性波探査によって地盤動特性を把握しようとした。一方、建造物評価グループはまず、建設当時の資料が現存していないか、海外研究協力者の助けを借りて調査するとともに、関係機関へのヒアリングを行った。つぎに、外観調査により現状での建造物の損傷程度を建造物表面から調査を行った。さらに、建造物の直近の地盤と最上部、中間部に高感度速度センサーを設置し、常時微動計測を行ない、建造物の動特性把握を試みた。

## 4. 研究成果

まず地盤動特性を把握するために、屈折法弾性波探査を実施した。発振方法として板叩き法を採用し、3~4人が乗った板をハンマーで叩くことにより振動を発生させた。(株)OYO製のハンディビューアMcSEIS-3. MODEL-1817を用いて、3個のジオフォンで測定した波形を記録した。ジオフォンを5m間隔で設置し、ケーブルを延長して繰り返し測定することにより観測地点ごとに約30mの範囲で観測を行った。

図-1に観測地点をタブリーズ市の地図に示す。主として地図中央の市街地中心部を通る東西、南北の各1測線に沿う形で選点したが、観測地点が主として公園内の芝生などに限られたので、必ずしも直線状にはならなかった。合計21地点において観測を行った。なお、すべての観測地点において常時微動観測も行った。観測定記録から波動の到達時刻を読み取り走時曲線を作成し、地表面から第1層と第2層のせん断波速度と第1層の層厚を推定した。



図-1 タブリーズ市における観測地点

タブリーズ市の地盤情報はほとんど公開されていないが、近年、鉄道の建設に伴ったボーリング調査が行われており、その一部を入手することができたので、ボーリング地点近くで観測を行い両者の比較を行った。すなわち、図-1における観測地点10と12の観測結果と両地点の間のボーリングデータとの比較を行う。表-1に両観測地点における観測結果を示す。両地点の第1層は傾斜地盤であると推測されるので、観測範囲における層厚の範囲を示した。ボーリングデータには深度4mからしかN値がなかったが、第2層のN値は36であり、経験式によりせん断波速度を求めると305m/sとなる。弾性波探査から求めた第2層のせん断波速度は307~320m/sであり、よい対応が認められた。

同様に全21観測地点で第1層、第2層のせん断波速度と第1層の層厚を走時曲線より推定した。

表-1 観測地点 10, 12 における観測結果

観測地点番号	10	12
第 1 層のせん断波速度(m/s)	200	220
第 2 層のせん断波速度(m/s)	307	262
第 1 層の層厚(m)	5.9~	5.1~
	6.9	6.3

その結果、第 1 層のせん断波速度は 100~200m/s であり、第 2 層のそれは 150~350m/s であると推測された。また、第 1 層の層厚はほとんどが 2m~4m であり、観測地点 10, 12 では 5m~7m であった。以上のことより、比較的堅固な地層が浅いところにあることが明らかとなった。

つぎに、建造物の動特性を把握するために建造物の直近の地盤と最上部、中間部に高感度速度センサーを設置し、常時微動計測を行った。

タブリーズ城の地表面レベルの卓越振動数は 5.5Hz (卓越周期 0.2sec) であった。またタブリーズ城と比較的近い測点 4 における常時微動観測の分析結果では卓越周期は 0.2sec であった。つぎに地表面レベルのフーリエ振幅を最上部の振幅値で除した EW 方向(長辺)と NS 方向(短辺)における H/H スペクトルを求めた。長辺である EW 方向は振動数 2.6, 6.0Hz で卓越していた。一方、短辺である NS 方向は 2.8, 5.3Hz でピークが見られた。したがって、建物の地表面レベルから最上部までの範囲で見ると長辺と短辺による振動性状の大きな差異は見られなかった。

地階のフーリエ振幅を最上部の振幅値で除した H/H スペクトルから得られた卓越振動数は EW 方向 2.5, 6.0Hz であり、NS 方向は 2.7, 5.2Hz であった。上記同様、長辺と短辺による振動性状の違いは見られなかった。したがって、タブリーズ城は地下を考慮しても、長辺と短辺の比に関係なく建物全体が一様な振動特性を持っていることが確認できた。

以上のことより、地盤の卓越振動数と建物の長辺・短辺の 2 次の卓越振動数が近いことから、地震が発生した場合、2 次モードにおいて共振により被害が発生することが懸念される。材料特性としてタブリーズ城に用いられている個々の煉瓦は脆く、また連結も不十分であり建造物の一体性が欠如している部分も見られ、建物の縦方向にいくつかの亀裂も見られた。したがって、タブリーズ城は地震時に被害が発生する可能性が高いといえる。

キャブード寺院についても同様な常時微動観測を行った。地表面レベルにおける卓越振動数は 10.2Hz (0.1sec) であった。キャブード寺院との距離が近い地盤調査の測点 15 における屈折法弾性波探査の結果と比較する

と、屈折法弾性波探査の分析結果では第 1 層の卓越周期は 0.09~0.1sec であり、地盤の常時微動観測から得られた卓越周期も屈折法弾性波探査の結果とほぼ同様に 0.1sec であった。したがって、表層の地盤が強固であり、建物の地表面レベルにおける卓越周期も 0.1sec であろうと考えられる。

つぎに建物の固有周期について考察する。最上部における EW 方向のピーク値は 6.5, 16.5Hz であり、NS 方向は 6.5, 13.1Hz である。1 次固有振動数については EW, NS 方向における振動性状の差異は見られなかった。以上より、地盤と建物の卓越振動数は離れた値となっているので、地震時に共振する可能性は低いと考えられる。しかし、キャブード寺院は度重なる地震によって外壁のタイルが剥がれ落ちておりクラックも確認されているため建物の補強工事は必要不可欠であると考えられる。

以上の成果を総合的に判断して、何らかの耐震対策が必要であると考えられたので、わが国でこれまでに行われた組積造的建造物の耐震補強工事事例を調査し、取りまとめて現地の研究協力者に示すとともに、対象としている建造物への適用の可能性について現地の研究協力者と議論した。

今回、多方向からのデジタル写真を合成して 3 次元映像を作成し、詳細測量を行う方法を試みたが、内部の光量や撮影上の障害物の制約から、よい結果が得られなかった。今後は、3 次元測量などを実施することにより 3 次元動的解析のモデルを作成し、解析を実施することによって、より詳細な地震時挙動を把握する必要があると考えている。また、想定地震動については、深部地盤構造を明らかにすることが出来なかったため、精度のよい波形を推定することが出来なかった。これらは今後の課題である。

## 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 9 件)

- 1) Tsurugi, M., Fallahi, A. and Miyajima, M.: Strong Ground Motion Prediction of Future Large Earthquake to Preserve Historic Building, Bazar, in Tabriz, Islamic Republic of Iran, Proceedings of the First International Conference of Protection of Historical Buildings, 2009, 査読無 (in press).
- 2) Yamaguchi, K., Sadeghi, A., Fallahi, A. and Miyajima, M.: Material Element Tests as the First Step of Seismic Retrofit of Tabriz Bazaar in Iran,

- Proceedings of the First International Conference of Protection of Historical Buildings, 2009, 査読無 (in press).
- 3) Kiyono, J., Furukawa, A., Toki, K. and Masuda, K.: Earthquake Vulnerability Evaluation of Adobe Structures through Mechanics-based Simulation, Proceedings of Geo-hazard and Geo-disaster Mitigation, pp. 150-156, 2009, 査読無.
  - 4) Bourzam, A., Goto, T. and Miyajima, M.: Shear Capacity Prediction of Confined Masonry Walls Subjected to Cyclic Lateral Loading, JSCE Journal of Structural and Earthquake Engineering, Vol. 6, No. 4, pp.692-704, 2008, 査読有.
  - 5) Parajuli, H. R., Kiyono, J. and Ono, Y.: Effectiveness of Wooden Bond Beams in Dry Stone Masonry Houses, Journal of Applied Mechanics, Vol. 11, pp. 615-623, 2008, 査読有.
  - 6) Parajuli, H. R., Kiyono, J. and Ono, Y.: Experimental Investigation of Damping for Stone Masonry, Proceedings of the 2nd NEA-JC Workshop on Current and Future Technologies, pp. 1-6, 2008, 査読無.
  - 7) Bourzam, A., Ikemoto, T. and Miyajima, M.: Lateral Resistance of Confined Brick Wall under Cyclic Quasi-static Lateral Loading, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, DVD-ROM, Paper Ref. 05-04-0045, 2008, 査読無.
  - 8) Tobita, T., Miyajima, M., Fallahi, A., Alaghebandian, R. and Ghayamghamian, M. R.: Seismic Intensity Estimation through Questionnaire Survey and Collapse Rates of Various Building Types in the 2003 Bam, Iran, Earthquake, Earthquake Spectra, Vol. 23, No. 4, pp. 841-865, 2007, 査読有.
  - 9) Bourzam, A., Ikemoto, T. and Miyajima, M.: Lateral Resistance of Confined Solid Clay Brick Wall under Cyclic Lateral Loading, Proceedings of the 9<sup>th</sup> JSCE International Summer Symposium, pp. 83-86, 2007, 査読無.

[学会発表] (計 2件)

- 1) 山口謙太郎, 宮島昌克, 尾崎景, 奥村卓也, 田原桂太: イラン・タブリーズ市の歴史的建造物の耐震安全性確保に向けた基礎的研究, 2008年(第48回)日本建築学会九州支部研究報告会, 琉球大学, 2009. 3. 8

- 2) 宮島昌克: 弾性波探査法によるイラン・タブリーズ市における地盤動特性の評価, 第42回地盤工学会研究発表会, 名古屋, 2007. 7. 4.

## 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

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・  
准教授  
研究者番号: 90210723

以下, 2007年度のみ

北浦 勝 (KITAURA MASARU)  
金沢大学・名誉教授  
研究者番号: 70026269

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

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

### (3) 連携研究者

以下, 2008年度のみ

北浦 勝 (KITAURA MASARU)  
金沢大学・名誉教授  
研究者番号: 70026269

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

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