

イラン・タブリーズ市における歴史的建築物 Arg-e Tabriz の動特性評価

金沢大学大学院自然科学研究科 ○山道康平

金沢大学理工学域 正会員 宮島昌克

Azarbaijan T.M.大学 A.Fallahi

1. はじめに

タブリーズ市ではテヘラン市の北部を走っているアナトリア断層帯が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共に危惧されている¹⁾。また多数の歴史的建築物が残存し、その中でもArg-e Tabrizは市内の歴史的文化的文化財であり、地域の象徴的な建物の1つである。今後危惧される地震に対して、歴史的価値を持つ文化財を守ることは急務である。

このような状況を考え、歴史的建築物 Arg-e Tabriz の振動性状を把握することを目的に常時微動計測を実施した。また有限要素法を用いたシミュレーション解析を行い、当該建物の力学的挙動を明らかにする。このような煉瓦組積造の耐震性能を測定と解析を同時に行って総合的な評価をした事例は殆どなく、文化遺産の保全に役立つことができると考える。

2. 対象建物及び常時微動計測の概要

Arg-e Tabriz (図-1) は14世紀初頭(イル・ハーン朝時代)に建立された、無補強焼成煉瓦を用いた組積造建築物の城塞である。過去の度重なる地震や風化等の影響によって、煉瓦の崩落やクラックが現場調査によって確認された。建物はコの字型を形成し、長辺約50m、短辺約20m、地下から地上までの高さ約3.5m、地上から屋上までの高さ約30mである。

観測点は図-2で示されるように建物内と周辺地盤の計10ヶ所21成分である。建物中央付近の並進成分の他に、端部・捩れ特性の把握を目的にした配置となっている。計測はサーボ型速度計を使用し、サンプリング周波数100Hzで10分間収録した。



図-1 Arg-e Tabriz

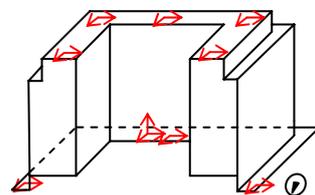


図-2 観測点配置図

3. 建物の振動性状

常時微動計測を実施して Arg-e Tabriz の振動特性を明らかにした。

3.1 地盤・建物相互作用

地盤-建物連成系 (RF/GL), スウェイのみ固定した基礎固定系 (RF/B1F) の伝達関数を推定する。以下、屋上階、地盤、地下1階をそれぞれ RF, GL, B1F と示す。

図-3にRF/GL, RF/B1Fの伝達関数及び位相差を示す。NS方向に関し、RF/GLとRF/B1Fの伝達関数を比較すると非常によく似た形状で、スウェイ率は3.3%となり、スウェイによる影響を殆ど受けていないことが分かる。一方、EW方向はスウェイ率が10.0%であった。これは基礎による影響でスウェイ率がやや高くなったと考えられる。しかし当該建物は高剛性で建物高さが高くロッキングの影響が懸念されたため、今後はロッキングを分離できる測定が必要である。

また伝達関数のピーク値から1次固有振動数はNS方向2.8Hz, EW方向2.6Hzと推定された。位相差についても固有振動数付近で変化が見られた。図-4は並進成分の固有振動数におけるフーリエスペクトル振幅を用いて求めた並進モード形である。NS方向モードでは、RFは中央が最も大きく次いで西側と東側となっていて端部より中央が大きい。EW方向モードでは、概ね変位振幅が一致した。

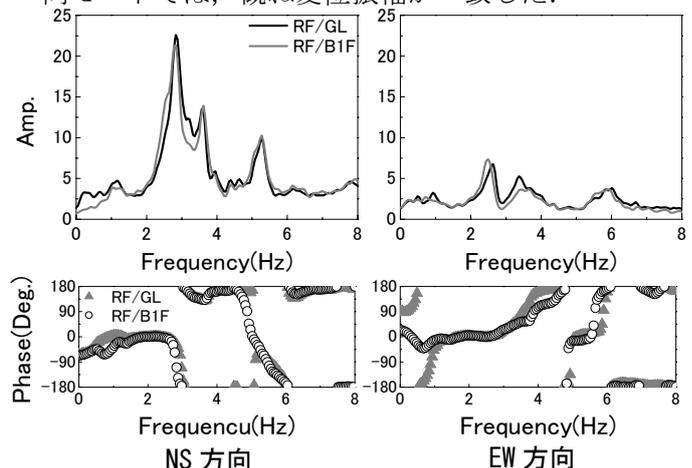


図-3 伝達関数(上段から振幅、位相差)

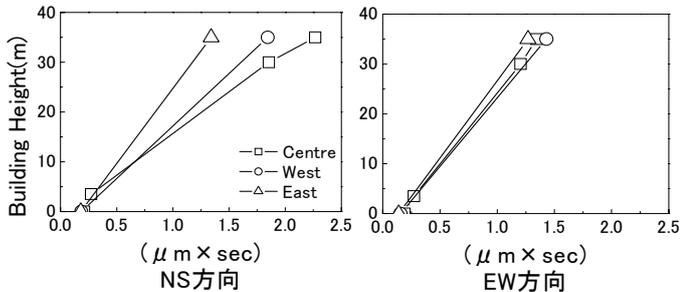


図-4 並進モードの鉛直方向モード

3.2 減衰定数の検討

RD法^{2),3)}を用いて自由振動波形を生成し、式(1)の2自由度系の自由振動をフィッティング関数として非線形最小2乗法を用い減衰定数を推定する。

$$x_k(t) = \frac{x_{0k}}{\sqrt{1-h_k^2}} e^{-h_k \omega_k t} \cos(\sqrt{1-h_k^2} \omega_k t - \phi_k)$$

$$x(t) = \sum_{k=1}^2 x_k \dots (1)$$

ここに x : フィッティング関数, x_k : k 次の自由振動波形, x_{0k} : k 次の自由振動波形初期値, h_k : k 次の減衰定数, ω_k : k 次の固有円振動数, ϕ_k : k 次の初期位相, t : 時間

図-5にRD波形を示す。推定された減衰定数はNS方向6.4%, EW方向6.0%である。得られたRD波形と理論波形がほぼ一致しており、減衰定数の推定は妥当と判定した。組積造は大略、減衰定数が大きく算出されるため今回の解析結果と対応している。しかし、建物内の亀裂によるエネルギー損失や内部減衰が大きくなり、見かけ上減衰定数が大きく評価されたことも考えられる。

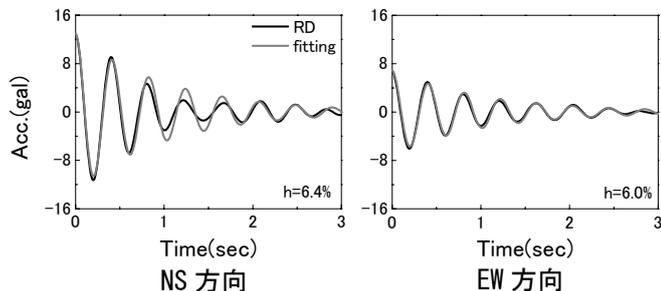


図-5 RD波形

4. 応答スペクトル

2007年12月1日18時45分頃にタブリーズ市で地震 (M_w 4.8) が発生した⁴⁾。イランではBHRC

(Building and Housing Research Center) が全国に強震動観測網を整備しており、この観測網で多くの強震波形が記録された。図-6にArg-e Tabriz近傍であるBHRC観測地点 (Tabriz6) における速度応答スペク

トルを示す。速度応答スペクトルが概ね短周期域で卓越していることは、市内の地盤が強固 (約0.16秒) であること⁵⁾と対応している。T方向については0.15秒 (6.7Hz) の短周期域で構造物に大きな力が作用すると考えられる。一方、L方向については0.3秒

(3.3Hz) でピークが見られ、図-3の伝達関数より建物の固有振動数と近いために共振が発生した可能性も示唆される。

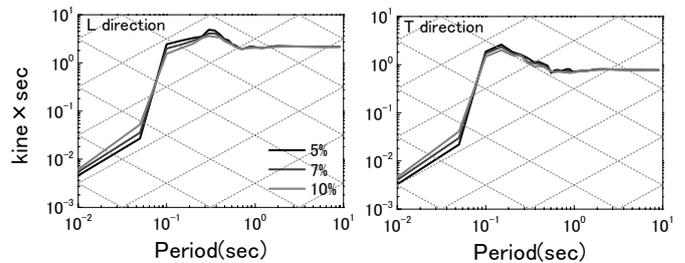


図-6 速度応答スペクトル

5. 地震応答解析

常時微動計測から得られた減衰定数や力学特性を基にArg-e Tabrizのモデルを構築し、有限要素法より動的解析する。なお、構成要素の力学特性は密度 $\rho = 18000N/m^3$, ヤング係数 $E=2200MPa$, ポアソン比 $\nu = 0.2$ である。そして懸念されている北タブリーズ断層を震源とする地震が発生した場合を想定して、建物の動的挙動や破壊メカニズム等を明らかにする。

[参考文献]

- 1) K.Yamaguchi, A.Sadeghi, A.Fallahi & M.Miyajima : Material element tests as the first step of seismic retrofit of Tabriz Bazaar, Protection of Historical Buildings PROHITECH 09, Vol.2, pp.1711-17176, 2009.
- 2) 田村幸雄, 佐々木淳, 塚越治夫 : RD法による構造物のランダム振動時の減衰評価, 日本建築学会構造系論文報告書, 第454号, pp.29-38, 1993.12.
- 3) 吉田昭仁, 田村幸雄, 舛田健次, 伊藤隆文 : 超高鋼製煙突の動特性評価その2 2自由度RD法とFDDによる動特性評価, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2, pp.887-888, 2006.9.
- 4) BHRC : <http://www.bhrc.ac.ir/index.htm> (2009年12月20日現在)
- 5) 小林拓実 : イラン・タブリーズ市における地盤動特性の評価, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.43-44, 2007.3.