

## 地震被害経験に正しく学ぶ伝統木造建物の地震対策

京都大学名誉教授 林 康裕

1995年兵庫南部地震が発生しておよそ30年が経過しました。文化財建造物に対する耐震診断法が構築され、耐震診断が一般的になったのは、兵庫県南部地震後のことです。歴史はまだまだ浅く、耐震診断法として完成の域に達しているとは言えません。そして、本年2024年元日には能登半島地震が発生しました。2007年の能登半島地震で被災し、耐震補強を行った黒島地区の文化財建造物が倒壊しました。耐震補強を行ったら安全という訳ではないことが示されました。現行の耐震診断法の妥当性や改善点を議論するだけでは課題を矮小化していると思います。

一方、約100年前の1923年関東大震災の際にも、鎌倉で多くの社寺建築が大きな被害を受けています。また、関東大震災以前においても、社寺建築が特徴的な被害を受けた歴史地震が数多くあります。我々は、これまで被った地震被害経験から学び、将来発生する大地震に対して、正しく文化財建造物の対策を行って大地震に備えたいものです。

さて、相模トラフ沿いの地震である1923年関東地震においては、鎌倉で円覚寺舍利殿や仏殿、建長寺仏殿・方丈・法堂・山門、鶴岡八幡宮の楼門・下拝殿をはじめとして、多くの社寺建築で倒壊被害が生じています<sup>1)</sup>。諸井・武村の推定震度分布<sup>2)</sup>を見ても分かるのですが、東京に比べてかなり揺れが強かったと考えられます。また、同じ相模トラフ沿いの地震である1703年元禄地震においても、建長寺や円覚寺で倒壊を含む深刻な被害の記録が残っています。歴史は繰り返しているのです。建物被害については、揺れによる倒壊だけでなく、谷筋に建てられた寺院での液状化や斜面の崩壊による被害なども報告されています。つまり、被害を解釈して耐震対策を考える上では、揺れの性質とともに、鎌倉の地形やその成り立ちを理解しておく必要があります。

鎌倉の3方は丘陵地で囲まれています。もともとは深海で堆積した砂・シルト・粘土などで構成され、長い時間をかけて隆起してできたと考えられています。丘陵地を形成する軟岩は建築では「土丹（どたん）」と呼ばれ、地中では極めて安定した地盤ですが、露出していると風化が進み、もろくなっていきます。このため、風化した軟岩やその表面を覆う表土は、地震時に崩れやすくなっています。また、鎌倉の丘陵地には「谷戸」と呼ばれる谷状地形が複雑に入り組んでいます。甚大な被害を受けた多くの社寺は谷戸の縁辺部に

立地しています（図1）。谷戸の断面はすり鉢状ですから、周辺の斜面を切り崩してできた土丹を用いて盛土してできた地盤上に社寺建築が建てられたのでしょ。そして、谷筋には丘陵地からの河川が流れ込んできます。社寺建築の被害が、揺れだけでなく、液状化や土砂崩れが起きやすくなっている斜面の崩壊の影響を受けたことも納得できるでしょう。

一方、平坦な地域の地盤は、海面上昇した際に堆積した沖積地盤の土質の影響を大きくうけています。沖積地盤の厚さは最大でも25m程度でそれほど厚くはありません。そして、沖積地盤の厚さが15m程度までは厚さが厚いほど、家屋や神社の全壊率が高くなっています（図2）。これに対して、寺院の全壊率は沖積層厚さにあまり関係なく50%以上で、家屋や神社に比べて高くなっています。以上の傾向は、鎌倉における地震動の性質と寺院の固有周期が家屋・神社に比べて長いことを考慮すると、理解できます。巨大な断層面で生成された長周期成分とともに、少なからず含まれていた短周期成分が表層地盤によって増幅し、被害に関与したと考えられます。

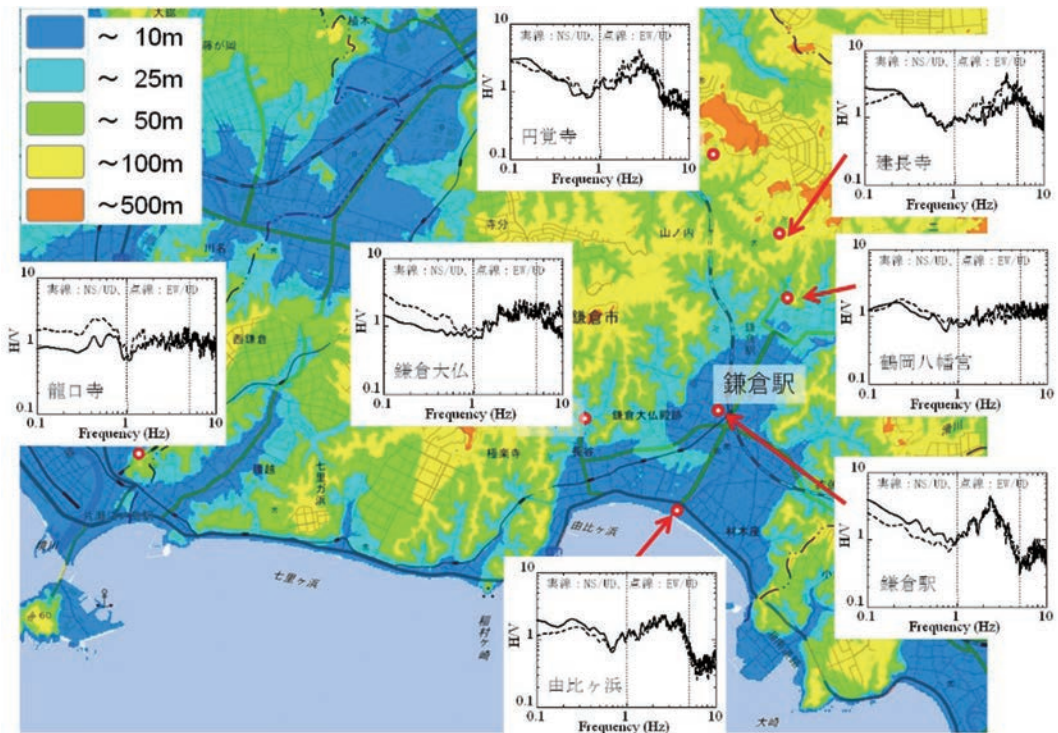


図1 鎌倉周辺の標高と代表点での微動計測結果

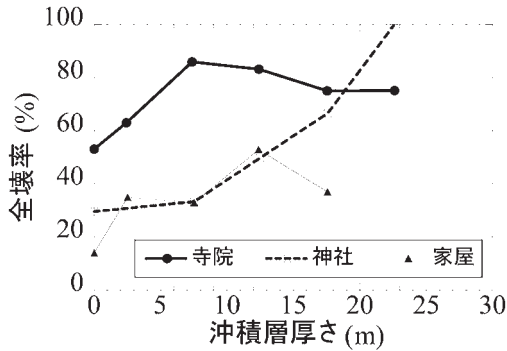


図2 鎌倉における全壊率  
(文献<sup>3)</sup>を基に作成)

塔は地震で倒壊した事例が無いと言われてはいますが、三重塔には倒壊事例があることとなります。町家については、上京では被害軽微でしたが、下京の四条町では町家の倒壊も含む甚大な被害が生じました。被害の違いを築年数で説明しようとする説があります<sup>4)</sup>。1573年に織田信長による上京焼き討ちがあったため二条通り以北の町家が燃えてしまったため、上京の町家の築年数が下京に比べて短かったというのです。しかし、後述のように私はこの説を支持しません。一方、京都盆地中央部に位置する東寺とは対照的に、東縁辺部に位置する東福寺では最も西側の仁王門が倒壊したとされる以外、倒壊した建物はありませんでした。東福寺では、1662年近江・若狭地震（寛文地震）でも倒壊建物はありませんでした。上京と下京の被害程度の違いや東寺と東福寺の被害程度の違いは、京都盆地の深い地下構造の違いに原因があると考えています<sup>5)</sup>。

京都盆地縁辺部には、花折断層や檜原断層などの南北に走る活断層が走っています（図3）。活断層に起因した地震により、周辺山地の隆起と盆地内部の沈降が起きます。そして、大阪湾の拡大した海進時に盆地内部に入り込んだ海水による海成粘土層と海退時の河川堆積により堆積地盤が構成されていきます。基盤上の堆積地盤は硬く、京都駅の南西に位置する東寺よりも以北は、鴨川によって形成された扇状地となっています。そして、上京（図3中A、B）や下京（図3中E、F）はこの扇状地上に位置しています。従って、表層地盤は薄く、大局的な地盤条件は極めて良好です。多くの文化財建造物は扇状地や盆地縁辺部に位置しています。多くの京町家も扇状地や自然堤防など比較的良好な地盤上に立地しています。このため、鎌倉と異なって表層地盤による増幅が、地震被害に大きく影響したとは考えられません。しかし、兵庫県南部地震における震災の帯形成と同様に、深い堆積地盤構造が被害に大きく関与したものと考えています。京都盆地内では、北から南に向かうにつれて基盤が深くなり、地盤の卓越周期が長周期化していきます。一方、京都盆地中

京都では、太閤豊臣秀吉が死去する2年前、天正地震の10年後、1596年慶長伏見地震が近畿地方を襲い、完成したばかりの伏見城天守が倒壊しています。東寺や醍醐寺の五重塔は倒壊を免れているものの、京都市内の町家はもちろんのこと、天龍寺や東寺でも倒壊被害が生じています。鳥羽離宮の跡地にある安楽寿院では、鳥羽天皇や近衛天皇の陵であった2基の三重塔（本御塔、新御塔）が倒壊したとされています。五重

央部からは変化が大きくありませんが、鴨川周辺から東に向かうにつれて、徐々に堆積地盤が浅くなっています(図4)。これは、東縁辺部を南北に走る何本かの活断層位置で、地下の基盤に段差が生じているためです。このため、東寺周辺では約2秒の増幅が卓越するのに対して、上京や東福寺付近では、卓越周期が1秒以下となります。慶長伏見地震で京都盆地を襲った地震動はパルス性の地震動であると考えられます。伝統木造建物の被害に大きく関係するのは1~2秒の周期成分ですが、京都盆地東縁部や上京では増幅しにくいのです。これに対して、東寺など京都盆地中心部では、大きく増幅されるので被害が甚大となったと考えられます。すなわち、慶長伏見地震の伝統木造建物被害を解釈し、正しく伝統木造建物の対策を考える上では、京都盆地の深部地下構造を考慮する必要があります。

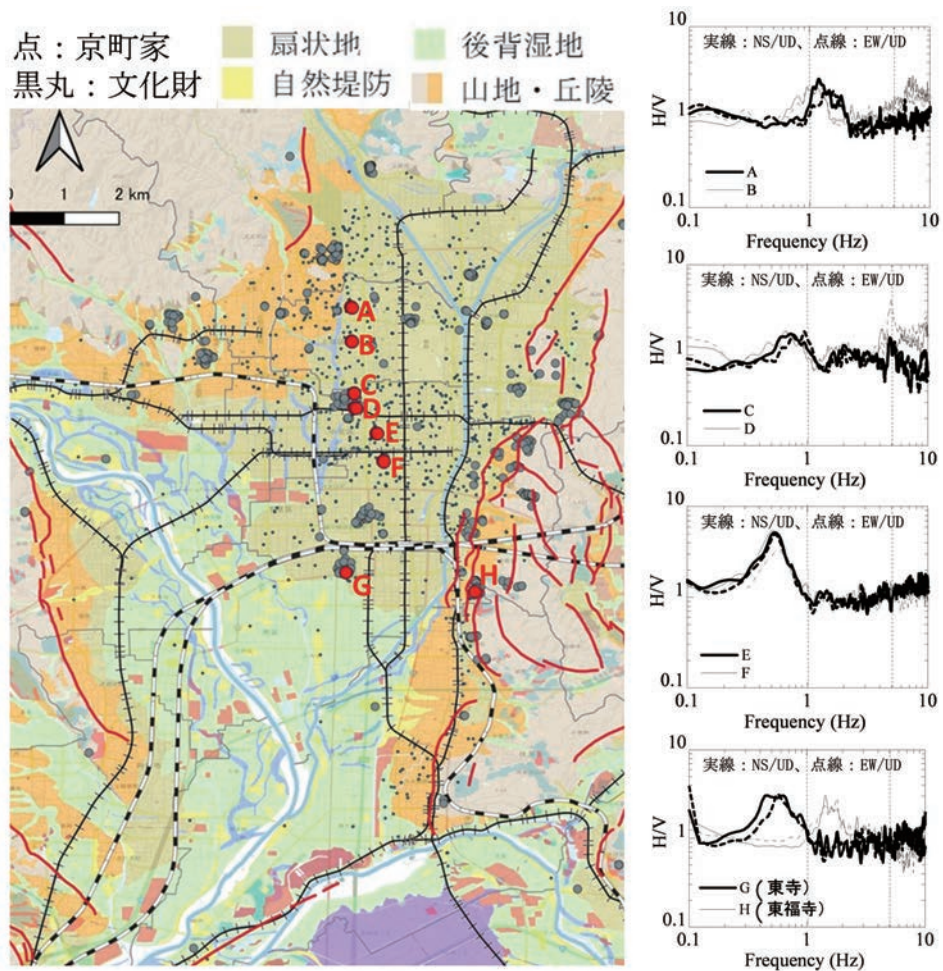


図3 京都盆地の地盤・地震環境と京町家(・)や文化財建造物(●)の立地地点の振動特性<sup>5),6)</sup>

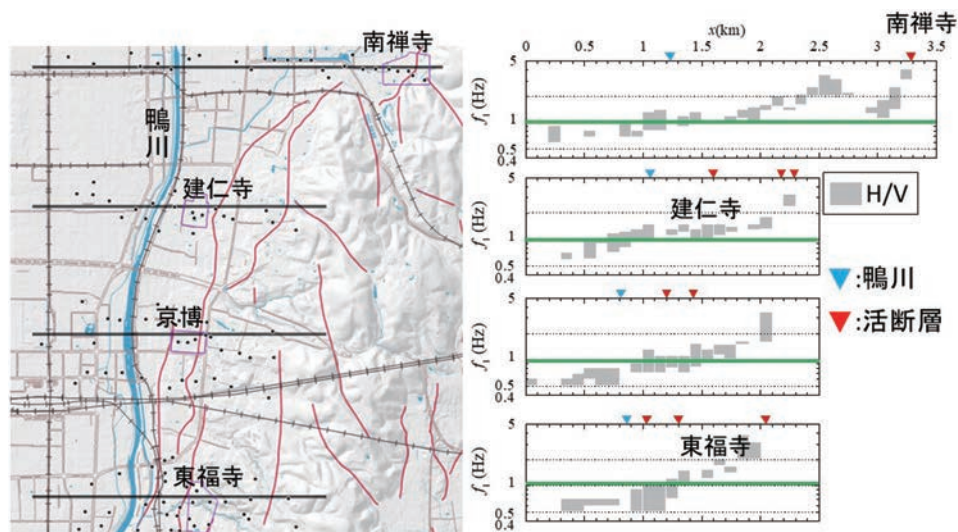


図4 京都盆地縁辺部の地盤の卓越振動数の変化

以上のように、地震動特性や地盤条件は耐震対策を考える上で重要です。例えば、前述のように京都盆地内の文化財建造物は京都盆地東縁部や北縁部に集中しています。すなわち、多くの文化財建造物は比較的 안전한場所に立地していることが分かります。過度な耐震対策は考え物です。しかし、東寺、東本願寺、西本願寺、二条城などの文化財建造物や京町家の多くは、京都盆地中央部に立地しています。耐震対策の重要度や優先度は高いと言えましょう。このように、地震被害経験を学び正しい対策を行う上では、地形や地盤を無視しては語れません。また、その影響は地域によって大きく異なることにも留意する必要があります。

#### 参考文献

- 1) Namazu の会：新編鎌倉震災志、鎌倉町、2017年10月。
- 2) 武村雅之：関東大震災：大東京圏の揺れを知る、鹿島出版会、2003年5月。
- 3) 腰原幹雄、藤田香織、大橋好光、坂本功：1923年関東地震による鎌倉の社寺の被害、日本建築学会構造系論文集、第573号、129-135、2003年11月。
- 4) 西山昭仁、原田智也：1596年文禄伏見地震に関する地震像の検討：伏見・京都での地震被害を中心に、立命館大学歴史都市防災研究所 京都歴史災害研究、第23号、15-28、2022年。
- 5) 杉野未奈、谷嶋航、高石響平、吉川峻平、鶴岡典慶、林康裕：1596年慶長伏見地震における伝統木造建物被害の分析、構造工学論文集、Vol.69B、49-58、2023年4月。
- 6) 津田龍平、菅原隆樹、林康裕：城郭建築の振動特性に関する研究（世界遺産・元離宮二条城を対象として）、日本建築学会技術報告集、第30巻、第75号、650-655、2024年6月。