

「土」からみる木構造

第2回

伝統木造建築の土壁の痕跡調査に基づく耐震性の検討

重要文化財「宝塔寺本堂」の土壁の地震被害を巡って

西澤英和 | 関西大学 名誉教授



はじめに

古社寺や民家などの重要文化財建造物はいずれも建設後数百年を経過しているため、この間に例外なく数度の大地震を経験している。従って、今に残る伝統木造建築は大地震に十分耐えうることを裏づける耐震工学上極めて貴重な研究資源と考えられるが、具体的に過去の地震でどのような被害を受けたかを明らかにするためには、建物に残る被害の痕跡を詳細に調査分析する必要がある。

ちなみに、伝統木造建築の柱や梁などの木造部材は根継や剥木などの手法で損傷部を新材に置き換えて修復する技法が広く用いられてきたが、土壁については弥縫的な補修で済みますことが多く、このために地震時の損傷は土壁に残っている可能性が高い。

このような観点から、400年ほど前に造立された重要文化財の本

堂建築の土壁の「剥離調査 一種の発掘調査」を試みたので、少し紹介させていただこうと思う。

建物の概要

対象建物は京都市伏見区深草にある重要文化財「宝塔寺本堂」で、東山の活断層の直近に位置し、敷地の東半分は切り土、西半分は盛り土となっている。本堂は写真1に示すように入母屋造、本瓦葺きで[写真1]、桁行・梁間ともに7間で、正面に3間の向拝が付き、前面2間が吹き放し、中央東より5間が内陣となっている[図1参照]。全面壁は梁間方向の北面と南面および桁行は東面のみに配置されている。なお、北面と南面の壁下地は一重小舞であったが、東面は珍しい二重小舞となっていた。また壁土は稻荷山西斜面で採れる「大亀谷」の「稻荷土」と敷地の地土を用いたと推定された。



写真1 重要文化財「宝塔寺本堂」修理後の南東外観

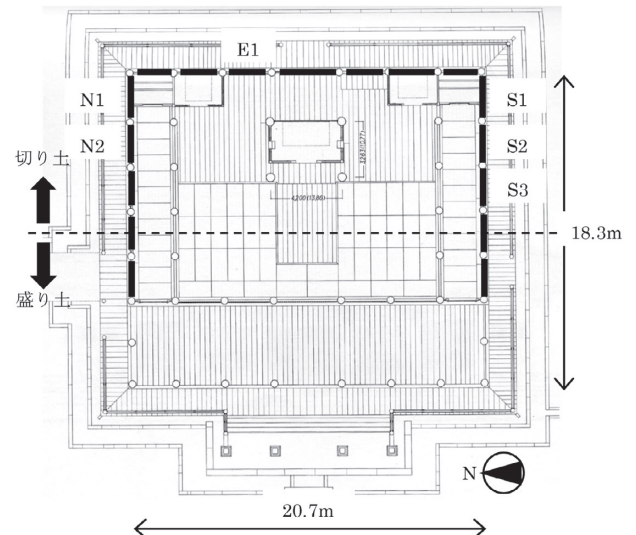


図1 平面図

表1 推定地震動

| 年 | 地震 | 内陸直下・海洋 | マグニチュードM | 震源深さkm | 震源距離 km | 推定速度kine | 推定加速度gal |
|-------------|------|---------|-----------|--------|---------|----------|----------|
| 慶長元(1596)年 | 地震① | 内陸直下型 | 7.25~7.75 | 15.0 | 42.6 | 28.3 | 378 |
| | 地震①' | | | 15.0 | 19.2 | 49.9 | 616 |
| 慶長9(1605)年 | 地震② | 海洋性 | 7.9 | 50.0 | 244.0 | 4.2 | 46 |
| 寛文2(1662)年 | 地震③ | 内陸直下型 | 7.25~7.6 | 15.0 | 36.0 | 28.4 | 395 |
| 宝永4(1707)年 | 地震④ | 海洋性 | 8.4 | 50.0 | 202.7 | 10.8 | 111 |
| 宝暦元(1751)年 | 地震⑤ | 内陸直下型 | 5.5~6 | 15.0 | 15.8 | 10.6 | 239 |
| 文政13(1830)年 | 地震⑥ | 内陸直下型 | 6.3~6.7 | 15.0 | 28.9 | 13.4 | 252 |
| 安政元(1854)年 | 地震⑦ | 内陸直下型 | 7.0~7.5 | 15.0 | 37.6 | 24.8 | 359 |
| 安政元(1854)年 | 地震⑧ | 海洋性 | 8.4 | 50.0 | 239.8 | 7.9 | 76 |
| 明治24(1891)年 | 地震⑨ | 内陸直下型 | 8.0 | 20.0 | 117.5 | 12.8 | 153 |
| 明治42(1909)年 | 地震⑩ | 内陸直下型 | 6.8 | 15.0 | 77.3 | 5.1 | 92 |
| 大正14(1925)年 | 地震⑪ | 内陸直下型 | 6.8 | 15.0 | 130.3 | 2.5 | 40 |
| 昭和2(1927)年 | 地震⑫ | (内陸直下型) | 7.3 | 0.0 | 93.8 | 6.4 | 97 |
| 昭和11(1936)年 | 地震⑬ | 内陸直下型 | 6.4 | 0.0 | 43.0 | 5.5 | 111 |
| 昭和19(1944)年 | 地震⑭ | 海洋性 | 7.9 | 30.0 | 162.5 | 7.4 | 92 |
| 昭和23(1948)年 | 地震⑮ | 内陸直下型 | 7.1 | 0.0 | 142.1 | 2.8 | 40 |
| 昭和27(1952)年 | 地震⑯ | 内陸直下型 | 6.8 | 60.0 | 82.8 | 7.0 | 130 |
| 平成7(1995)年 | 地震⑰ | 内陸直下型 | 7.2 | 16.0 | 107.7 | 5.4 | 84 |
| | 地震⑰' | | | 16.0 | 57.3 | 11.9 | 194 |

本堂は太閤秀吉の天正19(1591)年に着工したが、6年後の慶長元(1596)年に「慶長伏見地震」に見舞われたためか、建物がほぼ完成したのは17年後の慶長13(1608)年とされている。その頃政治の実権は徳川幕府に移りつつあり、やがて7年後の「大阪夏の陣」で豊臣家は滅亡。落慶は着工後実に95年を経た貞享3(1686)年であった。かくも長くかかったのは慶長期に全国で続発した巨大地震のほか、武家社会の大動乱の影響が考えられる。その後大規模な修理を経ることなく今日に至った。

京都の歴史的大地震

着工から現在までの約400年間に京都に被害を与えた地震は少なくとも17回を数えるので、各大地震の推定マグニチュードと震央距離から算出した最大加速度および最大速度を表1に示す【表1】。特筆すべきは①慶長伏見地震で、工学基盤での揺れは600ガル、50カインと推定されるが、表層地盤の増幅を考慮すると実際の揺れはさらに2割ほど大きかったと考えられ、これは⑰兵庫県南部地震に匹敵する。なお、⑥文政京都大地震(1830年)のほか、⑦安政(嘉永)奈良地震(1854年)や⑧安政南海地震(1854年12月23日および24日)も震災史に残る大地震であった。

土壁の震災履歴の発掘調査

調査手法

歴史的木造建造物の地震被害を土壁の痕跡から追跡するという前

例のないアプローチを初めて試みたが、その具体的な手順は次の通りであった。

壁の外表面から仕上げや中塗りを丁寧に剥がしつつ、壁土の材質や色調、左官技法が変化する層を見極めて、各剥離段階ごとに30cm升目の基準墨を打ったあと、透明のビニールシートを当てて、亀裂分布や補修痕を油性ペンでなぞり、同時に写真撮影を行った。ここでは図1の北東隅のN1壁の調査結果について紹介する。

剥離層ごとの亀裂状況

まず、当該N1壁の一部を削って下地小舞より外側の塗り重ねの状況を調べた結果を図2の断面図に示す【図2】。この部位では下地の上に約15mmの荒壁Jをつけ、その表面に中塗りIを施して、一旦漆喰Hで仕上げた後、さらに2回の中塗りGと漆喰層Fを施工し、その上に3、4回の中塗りE・Cと仕上げ漆喰(プaster)D・Bを塗ったあと、最外面をバラリ壁Aで仕上げていた。中塗りの厚さは7~10mm、上塗り(バラリ、プaster、漆喰)は1~3mmであった。上塗りBは白土にドロマイトプasterを混練していたが、日露戦争後、特に大正中期から戦前にかけて「大連ドロマイト」が盛んに使われていたので、B層は約100年前の施工の可能性が高い。

N1壁の表面から塗層を5段階にわたって剥離しつつ、スケッチしたものが図3-1~3-5である【図3-1~3-5】。C層とE層を剥離した状況が図3-3、F層を剥離したものが図3-4である【図3-3・図3-4】。

中塗りCと漆喰(プaster)D層の間には蚊帳を伏せ込んでいたが、これはD層の亀裂補修と考えられる。さらに剥離を進めると壁面中央に下地小舞が露出し始め、中塗りGの亀裂に沿って亀裂補強のための和紙と藁が貼られていた。亀裂補強材は下層部から上層に向かって概ね藁→和紙→蚊帳と時代により変化していた。さらに壁

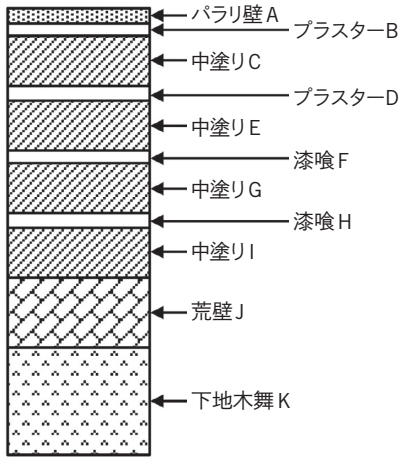


図2 N1壁の断面図

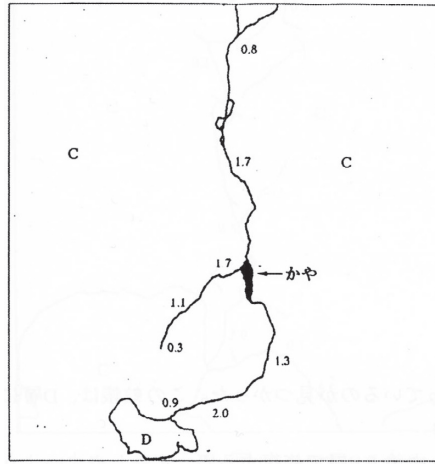


図3-1 N1-1

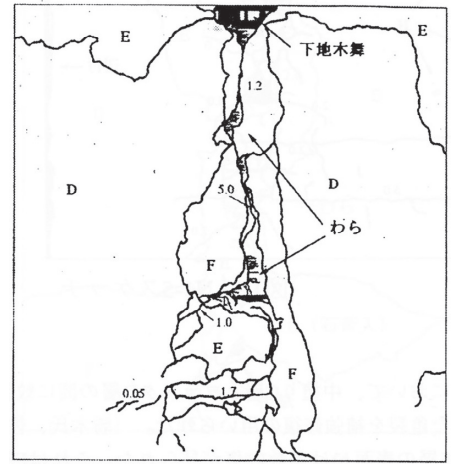


図3-2 N1-2

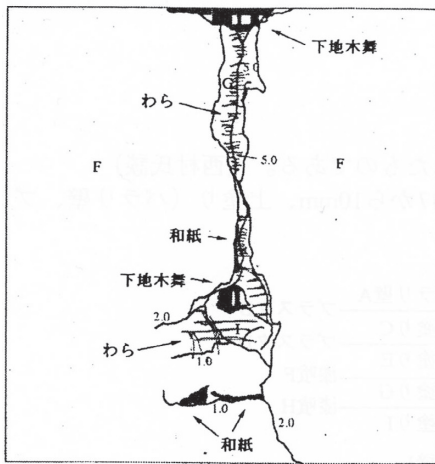


図3-3 N1-3

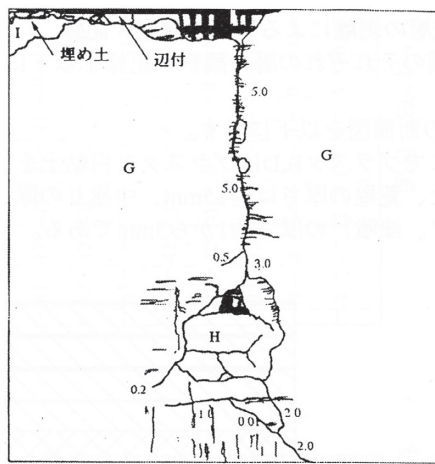


図3-4 N1-4

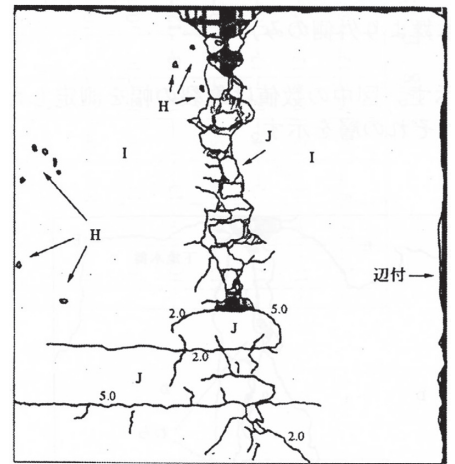


図3-5 N1-5

面上部のチリ幅は3cmにも達し、“埋め土”が施されていた。3cmという幅は乾燥収縮とは考えられないので、G層を剥がして中塗りI層を露出させると図3-5のようになっていた【図3-5】。この段階で中央の縦貫に沿って細かく破碎された創建当初の荒壁Jが現れたが、これはかつてN1壁が大きく変形したことを物語る。伝統木造では上棟後直ちに土葺きの瓦屋根を施工して大きな荷重をかけて軸部の安定化を図るとの並行して、壁下地を組んで荒壁をつけ、次いで乾燥を見極めて裏返しに着手する。このことを考えると、当該本堂は本瓦屋根を葺き終え、荒壁から中塗に移りはじめた、いわばサナギが羽化しつつある一番構造的にリスクな段階で、慶長伏見地震の激震に遭遇した可能性を示唆する。

土壁に塗り込まれていた和紙の墨書

中塗りG層辺りには和紙が塗り込まれていたため、土壁ごと採取して水に浸したところ、褐色に変色した和紙は容易に剥がれて墨書が判読できた【写真2】。そこには、“寄進帳”の文字と安政5(1858)年の日付のほか、豆や穀物などを寄進した人たちの名前が書かれていたことから、⑧安政地震後の復旧工事に際して寄進帳を壁に塗りこめたと推定された。幕末の動乱期の震災復旧を垣間見ることが出来る珍しい歴史資料といえる。

被害の大きさについて

ちりまわりに隙間が無いほうがより小さな変形で壁に亀裂が入るため、新しく塗り重ねた層のほうが亀裂が多く入りやすいと考えられるにもかかわらず壁の内側の層のほうが亀裂が多いということは、外側の層が塗られた時期より以前に大きな地震を経験したことを示唆する。そこで亀裂の入り方を各壁の層ごとに比較してみると、亀裂は



写真2 壁から出てきた安政の和紙

DE層、FG層に多く、特にDE層に多い。これより、ABC層とDE層が塗られた間に二度大きな地震を経験していることになるが、時期から判断して昭和2(1927)年北丹後地震と昭和11(1936)年の河内大和地震の可能性が高い。さらに、J層には亀裂が非常に多いが、これは1596年の慶長伏見地震の揺れがいかに激しかったかを物語る。

これら壁の剥離調査と古文書等の分析に基づいて本堂の修理時期と大地震との関係を整理したものが表2である(表2)。社寺建築は数十年に一度の維持修理と数百年に一度の根本修理を繰り返してきたといわれているが、当該本堂に於いては400年間に少なくとも17回、平均25年に一度被害地震に遭遇しているが、概ね大地震の2~30年くらい後に震災復旧工事が行われたようである。おそらく作事の勤進に一世代近くを要したためと考えられるが、このことが寺社建築の修理周期の経験則となった可能性がある。

結語

重要文化財宝塔寺本堂の土壁の剥離調査を試みた結果、造営工事中に「慶長伏見地震」の直撃を受けたにも関わらず、倒壊などの大被害を免れたため、土壁を応急修理して以後数百年間にわたって激震に耐えてきたことが明らかになった。そのため大規模な耐震構造補強を行うのではなく、解体修理を通して腐朽劣化した部材を修理するとともに、屋根の葺き替えと軸部の締め直しを行うとともに、多数の亀裂が残る土壁については下地から組み替えて、創建当初の工法、材料、仕様に修復されたが、この際、すべての土壁を新たに作り替えるのではなく、何面かの損傷した土壁は現状保存して将来の学術研究に委ねることになった。

また、今回の調査から、土壁には藁や木片などが極めて良好な状態で保存されていることがわかったため、これら植物素材を放射性炭素14による年代判定や、ゲノム解析などの遺伝子分析サンプル

表2 地震と修理の年表

| 西暦 | 年 | 地震 | 工事 |
|------|-------------|-----------------|-----|
| 1591 | 天正19(1591)年 | | 着工 |
| 1596 | 慶長元(1596)年 | 地震①・①'(伏見大地震) | |
| 1605 | 慶長9(1605)年 | 地震② | |
| 1608 | 慶長13(1608)年 | | 竣工 |
| 1650 | 慶安3(1650)年 | | 修理1 |
| 1660 | 万治3(1660)年 | | 修理2 |
| 1662 | 寛文2(1662)年 | 地震③(寛文大地震) | |
| 1686 | 貞享3(1686)年 | | 修理3 |
| 1707 | 宝永4(1707)年 | 地震④(宝永地震) | |
| 1748 | 寛延元(1748)年 | | 修理4 |
| 1751 | 宝暦元(1751)年 | 地震⑤(宝暦地震) | |
| 1777 | 安永6(1777)年 | | 修理5 |
| 1830 | 文政13(1830)年 | 地震⑥(文政京都地震) | |
| 1854 | 安政元(1854)年 | 地震⑦(安政(嘉永)奈良地震) | |
| 1854 | 安政元(1854)年 | 地震⑧(安政南海地震) | |
| 1880 | 明治14(1880)年 | | 修理6 |
| 1891 | 明治24(1891)年 | 地震⑨(濃尾地震) | |
| 1909 | 明治42(1909)年 | 地震⑩(江濃地震) | |
| 1920 | 大正10(1920)年 | | 修理7 |
| 1925 | 大正14(1925)年 | 地震⑪(北但馬地震) | |
| 1927 | 昭和2(1927)年 | 地震⑫(北丹後地震) | |
| 1936 | 昭和11(1936)年 | 地震⑬(河内大和地震) | |
| 1940 | 昭和15(1940)年 | | 修理8 |
| 1944 | 昭和19(1944)年 | 地震⑭(東南海地震) | |
| 1948 | 昭和23(1948)年 | 地震⑮(福井地震) | |
| 1952 | 昭和27(1952)年 | 地震⑯(吉野地震) | |
| 1995 | 平成7(1995)年 | 地震⑰・⑰'(兵庫県南部地震) | |

に活用すれば、江戸期以前の稲の系統分析やすでに失われた種の復元などに応用できる可能性が指摘された。21世紀の文化財の保存修理は、建築や耐震工学の枠を超えて、生物学や気象学などとの広範な学際的研究領域としての発展が期待される所以である。

にしぎわ・ひでかず

1951年大阪府生まれ。1974年京都大学建築学科卒業。1979年同大学院博士課程修了。京都大学講師を経て、関西大学建築学科教授。現在関西大学名誉教授。専門は、耐震工学、鉄骨構造学、文化財構造学など

自習型認定研修の設問

設問1

地震時の損傷が土壁に残っている可能性が高い理由は、次のどれか。

- 土壁は補修をしてはいけなかったため。
- 土壁は完璧な補修を行うことが多いため。
- 土壁は弥縫的な補修で済みますことが多いため。

設問2

調査の結果、壁の内側の層のほうが亀裂が多かった理由は、次のどれか。

- 外側の層が塗られた時期より以後に大きな地震を経験したため。
- 外側の層が塗られた時期より以前に小さな地震を経験したため。
- 外側の層が塗られた時期より以前に大きな地震を経験したため。



認定教材の設問への回答は、CPD情報システムのページ <https://jaeic-cpd.jp/>

にアクセスのうえ、お願い致します。

※不正解の場合は、単位に登録できない場合があります。

※自習型教材の選択欄における会誌『建築士』選択項目は、平成28年1月より建築士会会員のみの表示項目になります。