

「土」からみる木構造

第1回

「土壁」事始め

西澤英和 | 関西大学 名誉教授



はじめに

このたび「土」から見る木構造、という論題で連続講座を担当することになったが、このようなテーマは1990年代初めだったらまず考えられなかったのではないと思う。

長く研究・教育の世界に身を置いてきたが、過去30年ほどを振り返ってみると学生の建築に対する姿勢はこの間に随分大きく変化したようだ。特に1995年1月の兵庫県南部地震以降、自然災害に対する危機意識が強まるとともに、高度経済成長期を歩んだ我々とは比較にならないほど歴史的建物に対する関心が高まっていることを実感する。

1996年に登録有形文化財制度が始まり、築50年以上の建築物が歴史資産と位置づけられるようになったためか、かつては縁がないと思っていた「文化財」が実は自分の手に届くところに無数に存在し、それらは面白い仕事になりそうだと感じ始めたためかもしれない。

2000年代になると、日本の経済力は衰えはじめ、ここ数年国力は

坂道を転げ落ちるように衰退の度を速めているが、こと文化財の世界に目をやると、保存活用などのニーズは大きく、しかもこれから本格的な増大期を迎えつつあることに気づく。

1970年の大阪万博の頃に建設された現代建築が文化財になるとはちょっと想像しがたいが、欧米では「築50年を超えたら歴史的建造物である」というのは一つのコンセンサス。日本もこの30年で欧米先進国にやっと追いついてきたようだ。

昨今、人口減少、少子高齢化、経済縮小など寂しい話ばかり目立つが、何事も物は考えよう。解体新築に拘わらずやや視点を変えて旧築に目を向けたらどうだろうか？ ネットには都会地方を問わず、旧築建物の情報が溢れ、その種類も実に多種多様。驚くべきはその価格。新築すれば優に数千万を超えそうな伝統的家屋が、学生バイトで十分手に届くことほどである。戦後の復興期、住宅不足を目の当たりにしてきた私には想像もつかないほど恵まれた世界が広がっていることを実感する。

多少余談になるが、京都大学建築学科の創設者・武田五一博士は、家は3つ持つのが理想といわれたそうだ。一つは自宅、一つは別荘、一つは趣味の家。流石に3つは無理としても、有り余っている歴史的建物を1棟所有して、文化財オーナーになるのも夢ではなさ

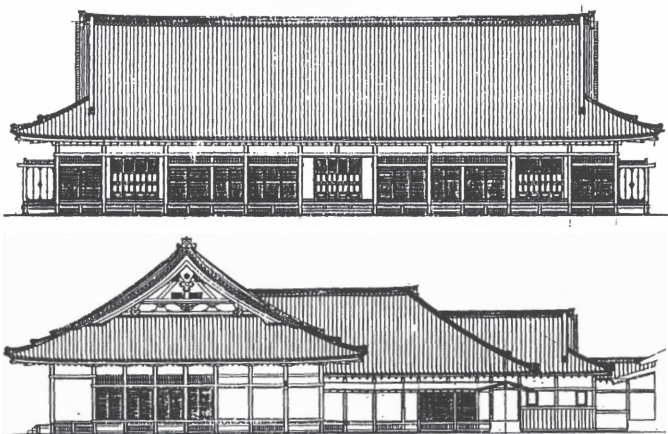


図1 立面図。(上)南面、(下)西面

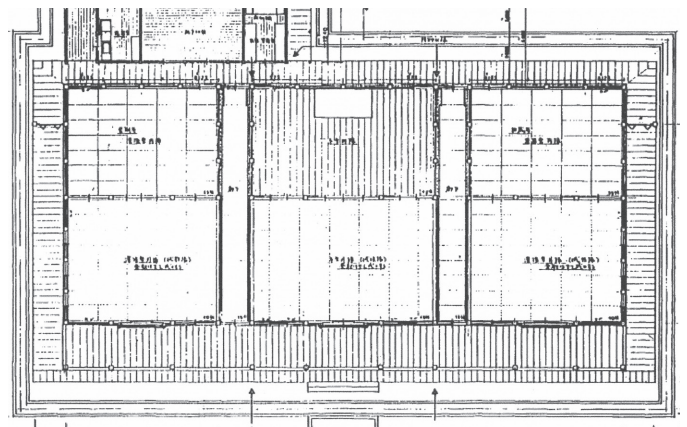


図2 平面図

そうだ。

先人の努力を無にすることなく、資産保全に努めつつ、新分野に乗り出すのは次に続く世代の責務。“創業と守成 いずれが難き”を論じるまでもないが、一方では古きものを守りつつ、一方では新しきものを攻めなければならない。それが人生である。ちなみに欧米ではこの30年で歴史建造物の保存活用が大きなビジネスに成長している事実は心強い。

ちょっと話が逸れたが、土壁に話題を戻せば、木造建物の耐震改修に果たす役割は想像以上に大きいことなどを、経験も交えつつ紹介させていただこうと思う。

「土壁」事始め

私どもが土壁に取り組み始めてからまだ日は浅く、兵庫県南部地震の前年の1994年に、京都東山の真言宗智山派総本山智積院の大講堂造営に関連して土壁の耐震実験に取り組んだのが「土壁」事始めであった。

この講堂は玄宥僧正が智積院を再興した折りに、徳川家康より寄贈された法堂が起源とされているが、1992年に興教大師850年御遠忌記念事業として新築されることになり、1995年10月に落慶法要を迎えた。

当該大講堂は図1・図2に示すように張間9間・桁行19間の単層木造建築で、2つの中廊下を挟んで東西に75畳、中央に90畳の広間を配置し、室内は見事な襖絵や金碧障壁画で彩られている【図1・2】。また、南面は2間幅の広縁と半間の落縁の開放的な空間で、名庭園を一望できる。

ところで木造建築を新築するには建築基準法や同施行令に適合させなければならないが、基準法の対象は元々住宅など小規模建築であって、寺社仏閣などの大規模木造建築は想定されていなかったといわれている。これは伝統的土壁についても同様で、伝統的な木造建築を現行法規に適合させるには相当な苦勞を強いられるようだ。

構造計画

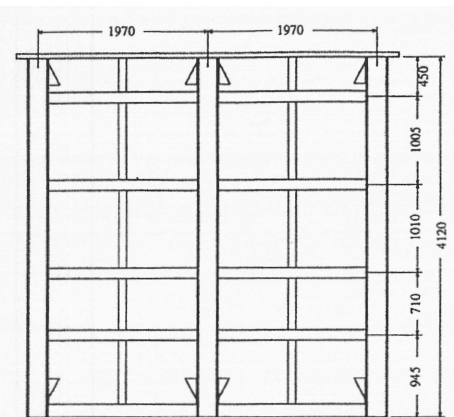
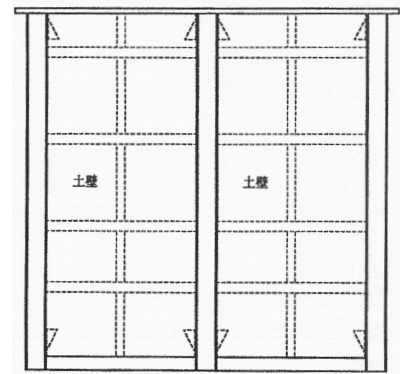
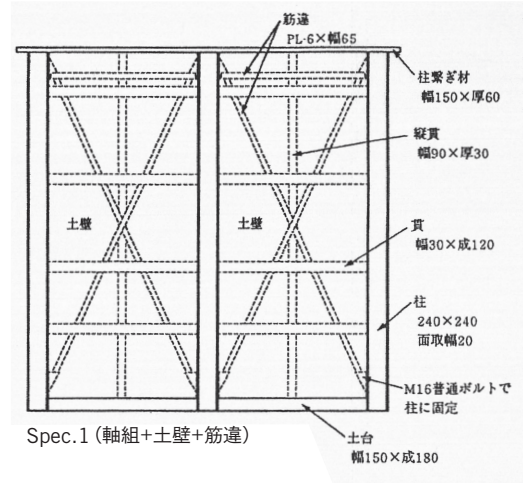
当該講堂の構造計画は、鉛直荷重は伝統木造架構が支持し、地震力は土壁に内蔵した鉄骨筋違が負担するという単純な考え方に基づいている。具体的には、まず木造小屋組を構築し、次いで、鋼棒を擡掛けして剛な天井構面を形成した上で、地震時力を鋼板筋違内蔵土壁に伝達し、筋違の軸力をフーチングを介して地盤に分散するよう計画した。

問題となるのは真壁に鋼板筋違をどのように組み込み、施工するかであるが、大地震時に壁面が変形すると、筋違が座屈して土壁を剥落させる危険性にも十分配慮する必要がある。特に社寺建築は新旧問わず貴重な美術建築として造営されているので、耐震強度の

確保は言うまでもなく、金碧障壁画などの第一級の美術工芸品を損傷させないことが求められる。このため鋼板筋違を内蔵した土壁の性能を確認するために実大実験を行うことになった。

試験体概要

図3に真壁の断面詳細と試験体の構成、図4にセットアップを示す【図3・4】。柱は24cm角、壁厚は11.4cmで、深さ2cmほどの散決りを施している。試験体の外形寸法は幅4.18m・高さ4.12mである。



Spec.3 (軸組のみ)

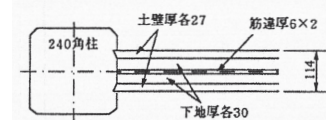


図3 試験体図の概要

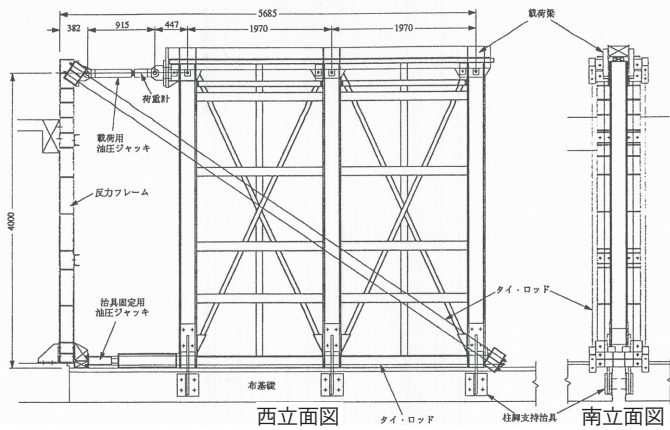


図4 実験セットアップ図

通常真壁では壁厚に関わりなく芯に竹などで小舞を組んで、その両側に壁土を塗り重ねるが、当該講堂では柱芯に帯鉄の筋違を設置するために、内外2重に小舞を掻きつけ、筋違を設置した後、2重小舞壁を仕上げなければならない。一般に京都では小舞の室内側を横、外部を縦使いし、横壁から荒壁付けを行うが、実際には二重壁の一方しか裏返し、ができないこと、限られた二重小舞の間隙に筋違を設置して土を塗り込んで散り際を含めて広大な壁面を美しく仕上げるためにはきわめて優れた技量が求められる。

実験はSpec.3(軸組のみ)、Spec.2(軸組+土壁)、Spec.1(軸組+土壁+筋違)の3種類とし、まずSpec.3(軸組のみ)の試験を行い、次いで筋違なしの状態です壁を施工してSpec.2を行った後、一旦土壁をすべて落として、鋼板筋違を設置し、再度小舞を掻き直して土壁を施工し、最後にSpec.1の実験を行った。加力は壁頂部の最大変形角がSpec.3は1/20まで、Spec.2とSpec.1は1/30まで一方向単調載荷した。

なお、工期の関係で中塗り仕上げとし、"水合わせ"は行わず京都近郊の新土を用いた。

載荷方法

図4に示すように布基礎上に試験体をセットし、載荷に伴う壁体の滑りに抵抗するため布基礎に水平に設置したタイロッドと油圧ジャッキで若干のプレストレスを加えた(図4)。また試験体上部に設置した載荷と各柱はボルトで結合し、載荷梁端部を油圧ジャッキで水平方向に押し、各柱均等に水平力を作用させたが、鉛直付加軸力は負荷していない。

実験結果

■荷重変形関係について

図5に荷重—水平変位関係を示す(図5)。横軸は変形角1/20に相当する20cmまでの水平変位、縦軸はロードセルで測定した載荷荷重(トン)である。P=3.35トンの破線は耐震設計上の必要強度である。△はSpec.3(軸組のみ)、□はSpec.2(軸組+土壁)、○は

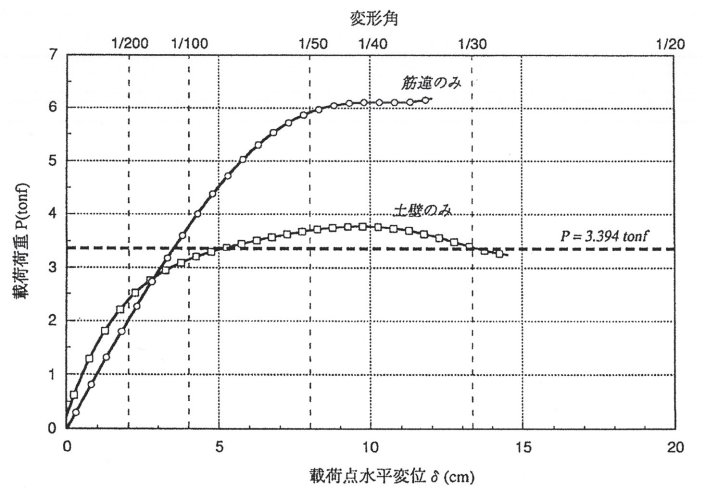


図5 載荷荷重—水平変位関係

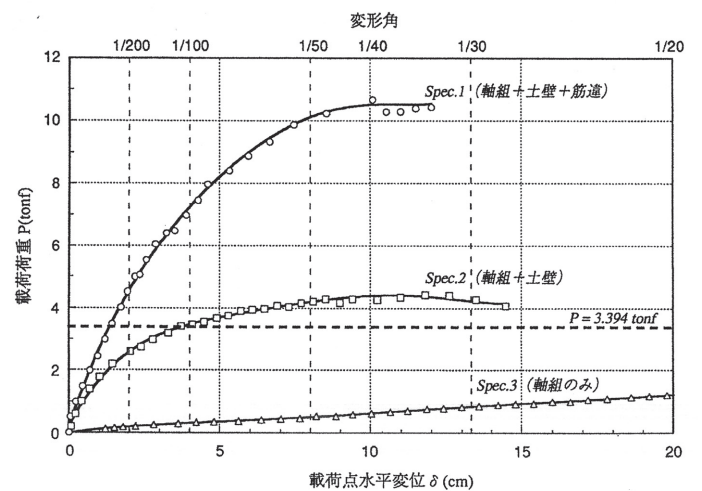


図6 載荷荷重—載荷点水平変位関係

Spec.1(軸組+土壁+筋違)の荷重変形曲線に対応する。また図6は、図5からSpec.1(軸組のみ)の値を減じた(土壁のみ)と(土壁+筋違)の復元力カーブである(図6)。実験より次の結論を得た。

- ①(土壁のみ)で必要設計強度P=3.39トンを上回る強度が得られたので、筋違がなくても短期地震力に対する必要強度を満たすことができる。
- ②土壁の長さ1mあたりの最大せん断力は有効水平長L=3.46より、 $P/L=0.97$ トン/m⇒約1.0トン。土壁厚t=11.4cmより有効土壁断面積 $A_e=3,944$ cm²となるので、土壁1cm当たりの最大せん断強度 $T_{max}=0.86$ kg/cm²⇒約0.9kg/cm²。
- ③土壁の最大強度に対応する変形角θは約1/40(2.5%)であった。この程度の変形角では壁面に顕著な損傷は生じない。
- ④鋼板筋違のみの場合、土壁のみと同じく変形角θ=1/40(2.5%)において6.2トンで引張降伏した。これは耐震設計上の必要強度の約1.8倍であった。
- ⑤軸組を含めた筋違内蔵真壁の最大強度は約10.3トンで、耐震設計上の必要強度の約3.0倍であった。

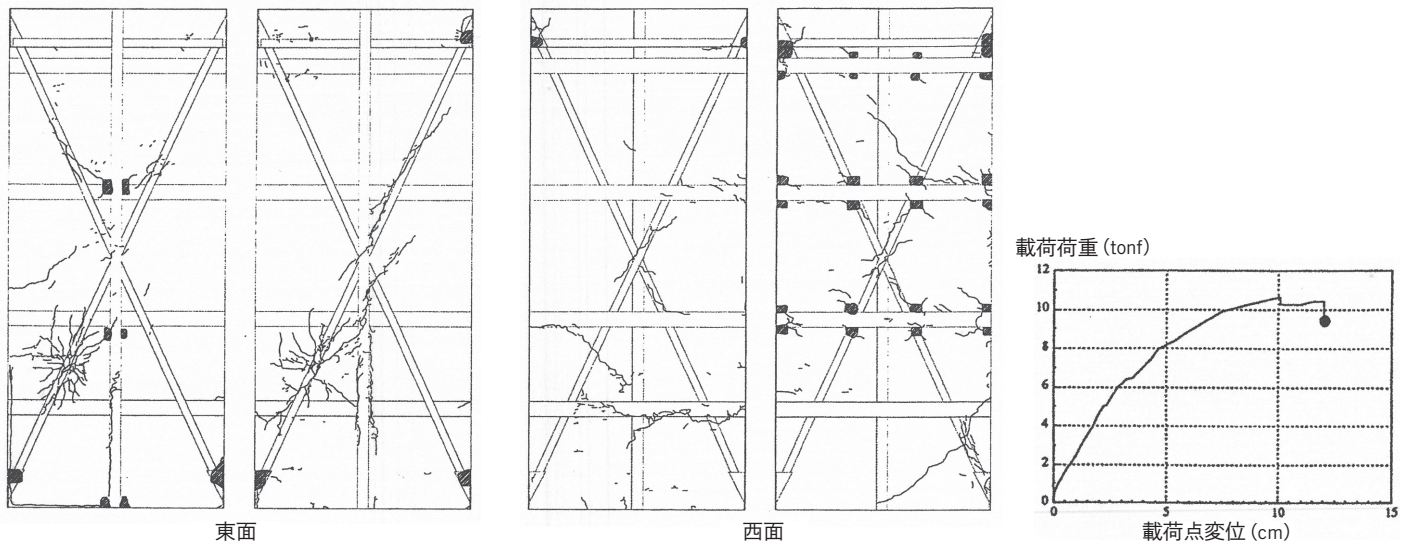


図7 Spec1〈筋違付試験体〉ひび割れ最終形状

■亀裂分布について

Spec1…筋違付き試験体の最終的なひび割れ分布を図7に示す[図7]。引張筋違のみが負担しうる水平力は約6トンであるが、実験では約5トンで圧縮側筋違の座屈により壁が押され始めた結果、顕著なひび割れが発生した。計算上の筋違の座屈時の水平荷重は約80kgであるが、これより遥かに高い荷重まで座屈が顕著に認められなかったのは筋違が小舞下地と土壁に塗りこめられているためである。

このため、内蔵筋違の座屈を防ぐために、筋違の接合ボルトの一方を緊結し、他方をルーズホールにして再実験を行った結果、土壁の座屈に伴う亀裂は認められなくなった。

違を設置するという新形式の真壁を考案開発して実大実験を行った結果、変形角2.5%以下の土壁に損傷を生じない範囲で、設計強度を自由に設定しうることを確認した。開発した高剛性・高靱性土壁を用いた木造大講堂は1994年秋には瓦屋根を葺き終え、荒壁の養生乾燥を始めた段階の翌年1月に兵庫県南部地震に遭遇し、強い衝撃力を受けたが、まったく被害が認められなかった。

結語

筋違は木造建築の耐震補強にも優れた手法ではあるが、斜材が美観を損ねるのは否めない。このため、内外二重小舞の間に鋼板筋

にしざわ・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

登録有形文化財制度が始まったのは何年か。

- a. 1897年
- b. 1950年
- c. 1996年

設問 2

登録有形文化財制度の契機となった地震は次のどれか。

- a. 1891年 濃尾震災
- b. 1923年 関東大震災
- c. 1995年 兵庫県南部地震



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が表示項目になります。