重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引

（改訂版）

事例集

平成 29 年 3 月

文化庁文化財部参事官

本事例は重要文化財（建造物）で実施された耐震対策の事例集である。各事例は文化財的価値に配慮して検討を重ね、その時点で最良と考えられた対策を実施したものである。従って現在ではより良い対策方法がある場合もある。本事例の対策を、そのまま他の文化財建造物に用いることは注意を要する。各建造物ごとに文化財的価値は異なるため、事例を参考にしつつ各個に対策を検討する必要があることに留意し、耐震対策の参考にしていただきたい。

事例集 目次

伝統的木造建築物（社寺建築）

１　国　　宝　唐招提寺金（奈良県奈良市）　1
２　重要文化財　龍福寺本堂（山口県山口市）　3
３　国　　宝　永保寺開山堂・観音堂（岐阜県多治見市）　5
４　重要文化財　清水寺仁王門（京都府京都市）　7
５　重要文化財　武並神社本殿（岐阜県恵那市）　10
６　重要文化財　如法寺仏殿（愛知県大洲市）　11
７　重要文化財　諏訪大社下社秋宮神楽殿（長野県諏訪郡下諏訪町）　13
８　重要文化財　八勝寺阿弥陀堂（熊本県球磨郡湯前町）　15
９　重要文化財　正法寺本堂（岩手県奥州市）　17
１０　重要文化財　笠森寺観音堂（千葉県長生郡長南町）　19
１１　重要文化財　新勝寺額堂（千葉県成田市）　21

伝統的木造建築物（住宅系建築）

１２　重要文化財　関家住宅書院（神奈川県横浜市）　23
１３　重要文化財　太田家住宅（熊本県球磨郡多良木町）　25
１４　重要文化財　星名家住宅主屋（新潟県中魚沼郡川西町）　29
１５　重要文化財　西岡家住宅（佐賀県嬉野市）　31
１６　重要文化財　細川家住宅（香川県大川郡長尾町）　33
１７　重要文化財　新垣家住宅主屋（沖縄県那覇市）　35
１８　重要文化財　喜多院客殿・書院・庫裏（埼玉県川越市）　37
１９　重要文化財　琴ノ浦温山荘浜座敷（和歌山県海南市）　39

伝統的木造建築物（城郭建築）

２０　国　　宝　姫路城大天守（兵庫県姫路市）　41
２１　重要文化財　名古屋城西南隅櫓（愛知県名古屋市）　43
２２　重要文化財　旧江戸城清水門・田安門（東京都千代田区）　45

洋風木造建築物

２３　重要文化財　旧富山県立農学校本館（富山県南砺市）　47
２４　重要文化財　旧奈良県物産陳列所（奈良県奈良市）　49
２５　重要文化財　旧鹿児島紡績所技師館（鹿児島県鹿児島市）　51
２６　重要文化財　旧茨城県立太田中学校講堂（茨城県常陸太田市）　53
２７　重要文化財　北海道大学農学部（旧東北帝国大学農科大学）第二農場、
北海道大学農学部植物園・博物館（北海道札幌市）　55

木造建築物（その他）

２８　重要文化財　八千代座（熊本県山鹿市）　60

木骨煉瓦造建築物

２９　国　　宝　旧富岡製糸場東置繭所（群馬県富岡市）　62

３０　重要文化財　旧神戸居留地十五番館（兵庫県神戸市）　64

煉瓦造建築物

３１　重要文化財　旧手宮鉄道施設機関車庫三号（北海道小樽市）　65

３２　重要文化財　山形県庁舎旧県会議事堂（山形県山形市）　67

３３　重要文化財　旧金澤陸軍兵器支廠（石川県立博物館）（石川県金沢市）　69

３４　重要文化財　同志社クラーク記念館（京都府京都市）　71

３５　重要文化財　大阪市中央公会堂（大阪府大阪市）　73

３６　重要文化財　山口県旧県会議事堂（山口県山口市）　75

３７　重要文化財　シャトーカミヤ旧醸造場施設事務室（茨城県牛久市）　77

３８　重要文化財　シャトーカミヤ旧醸造場施設貯蔵庫・醗酵室（茨城県牛久市）80

３９　重要文化財　岩手銀行（旧盛岡銀行）旧本店本館（岩手県盛岡市）　84

４０　重要文化財　旧下野煉化製造会社煉瓦窯（栃木県下都賀郡野木町）　86

４１　重要文化財　旧津島家住宅煉瓦塀（青森県五所川原市）　88

鉄筋コンクリート造建築物・鉄骨鉄筋コンクリート造建築物

４２　重要文化財　髙島屋東京店（東京都中央区）　90

４３　重要文化財　早稲田大学大隈記念講堂（東京都新宿区）　92

４４　重要文化財　国立西洋美術館本館（東京都台東区）　94

４５　重要文化財　旧東京科学博物館本館（東京都台東区）　95

４６　重要文化財　梅小路機関車庫（京都府京都市）　97

４７　重要文化財　旧三河島汚水処分場喞筒場施設喞筒室（東京都荒川区）　98

土木構造物

４８　重要文化財　永代橋・清州橋（東京都中央区・江東区）　100

参考文献　103

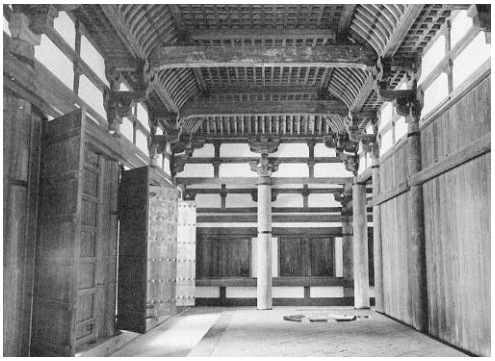
（今回改訂追加：６，１０，１１，１６，１７，１８，１９，２０，２１，２２，２６，２７，３７，３８，３９，４０，４１，４６，４７、４８）

伝統的木造建築物（社寺建築）

１　国宝　唐招提寺金堂（奈良県奈良市）

～天井裏に軒垂下防止と耐震補強を兼ねた木造水平トラスを設置～

唐招提寺金堂　外観



同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：奈良時代（710～793）

指定年：明治 30 年

所在地：奈良県奈良市

構造：桁行七間、梁間四間、一重、寄棟造、本瓦葺

修理：平成 10 年 6 月～平成 12 年 3 月調査工事、平成 12 年 1 月～平成 21 年 6 月解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

立体モデルを用いたサイト波等に対する時刻歴応答解析を行い診断した。また、修理前に著しく生じていた柱の内倒れの要因についても構造解析を行い分析した。

そのほか、構造調査として、版築の平板載荷実験や斗組の模型の載荷実験等を行った。

診断の結果、大地震動時に東西両端部の南北方向（梁間方向）の変形が大きく、非倒壊限界変形を上回り、倒壊する危険性があること、柱の内倒れは軒の垂下により発生した内側への水平力を大虹梁で伝達できていないため生じていること等が判明した。

補強：

耐震対策として、以下の 2 案を比較検討した。

A 案　軸組の剛性や靭性を高める方法

B 案　各柱の負担を平均化し、局所的に変形が大きくなる箇所を無くす方法

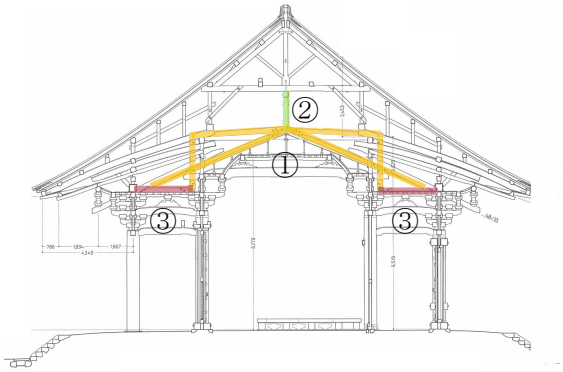
A 案は部材の切り欠きや補強壁の新設が必要となり、文化財的価値に与える影響が大きくなる一方、B 案は見え隠れとなる小屋裏に補強部材を付加的に設置するので、文化財的価値に与える影響は小さい。検討の結果、B 案を採用することとした。これに併せ、軒の垂下によって生じる水平力にも抵抗するよう、小屋裏に補強部材を追加した。

補強の詳細は以下のとおりである。

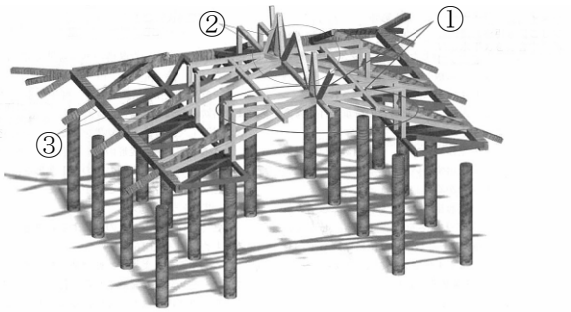
・小屋裏に内倒れを防ぐ方杖補強（①）、方杖を抑えるトラス補強（②）、天井裏に水平トラス補強（③）を設置した。

・既存の小屋組はそのままで、部材を切り欠くことなく、補強部材を付加的に設置した。

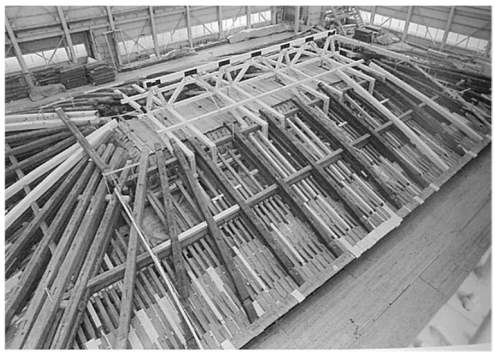
・軒先部分の瓦を土葺から空葺にして、屋根重量を軽減した。



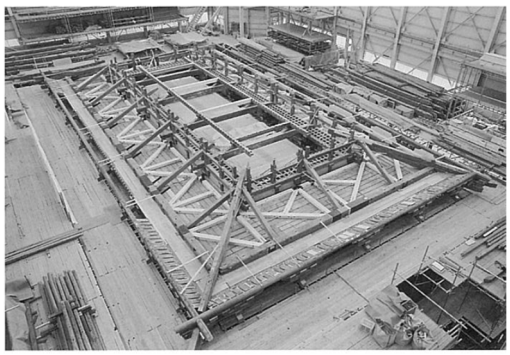
補強位置（断面）



補強位置（俯瞰）



内倒れを防ぐ方杖補強（①）と
方杖を押さえるトラス補強（②）



天井裏の水平トラス補強（③）

２　重要文化財　龍福寺本堂（山口県山口市）

～建造物を一体化するために小屋組内で水平構面を補強～

龍福寺本堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：文明 11 年（1479）

指定年：昭和 29 年

所在地：山口県山口市

構造：桁行五間、梁間五間、一重、入母屋造、檜皮葺

修理：平成 17 年 7 月～平成 22 年 3 月半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

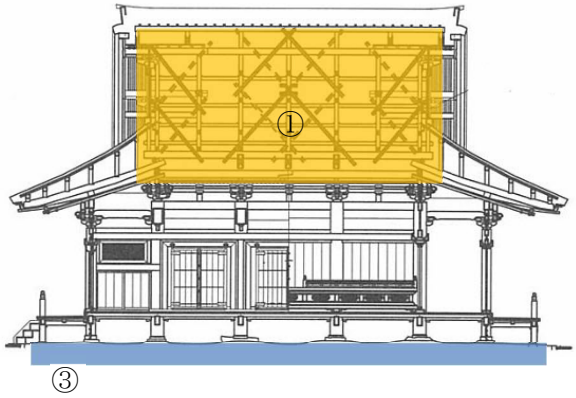
診断：

一質点モデルを用いた等価線形化法に基づく解析で変形量を、立体モデルを用いた許容応力度計算で各部材に加わる応力等を検証し、診断した。

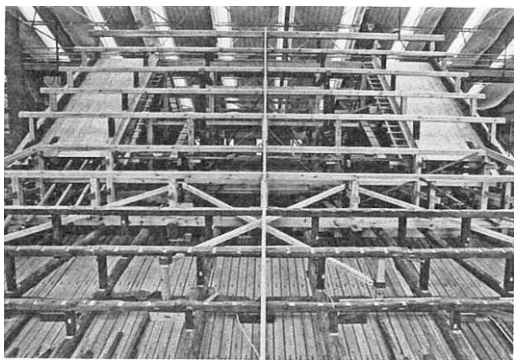
診断の結果、建造物が一体で変形すれば変形量は非倒壊限界変形を下回り、各部材にも破損等は生じないので、地震時に倒壊する危険性は低いが、一体で変形するためには水平構面の補強が必要であると判断した。

補強：

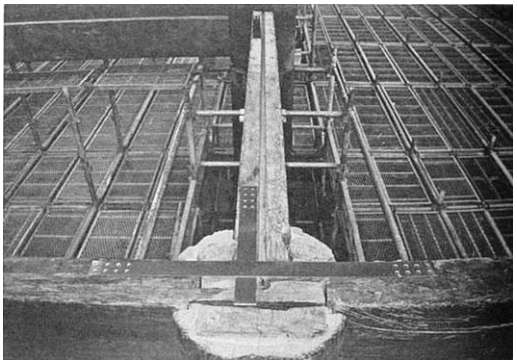
水平構面の剛性を確保するために小屋組内に木造筋違を設置した（①）。その他、貫や小屋梁が柱から抜け出さないように金物で補強し（②）、不同沈下を防止するために鉄筋コンクリート造のベタ基礎を設置した（③）。



補強位置（断面）



小屋組内の木造筋違補強（①）



頭貫の脱落防止の金物補強（②）

３　国宝　永保寺開山堂・観音堂（岐阜県多治見市）

～復旧可能水準を選択しソフト面で対策した開山堂と、安全確保水準を選択し補強を実施した観音堂～

永保寺開山堂　外観

永保寺観音堂　外観

＜建造物概要＞

建設年：室町前期（1333-1392）

指定年：明治 34 年

所在地：岐阜県多治見市

構造：

［開山堂］　外陣　桁行三間、梁間三間、一重、入母屋造、檜皮葺

内陣　桁行一間、梁間一間、一重もこし付、入母屋造、檜皮葺、相の間を含む

［観音堂］　桁行三間、梁間三間、一重もこし付、入母屋造、檜皮葺

修理：平成 21 年 11 月～平成 24 年 11 月に屋根葺替及び部分修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

等価線形化法に基づく解析を行い診断した結果、両棟とも大地震動時に倒壊する危険性が高いことが判明した。

補強：

活用方法と文化財的価値に与える影響を考慮し、開山堂と観音堂でそれぞれ異なる対策方針を採用した。

［開山堂］

・見え隠れとなる部分がなく補強を行うと文化財的価値に与える影響が大きいこと。

・活用上、限られた人しか使用せず、管理面の改善によって地震時に倒壊したとしても避難が可能であること。

・倒壊しても修理によって文化財的価値を十分に復旧することができること。

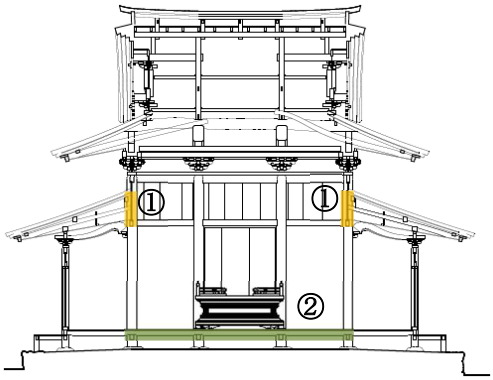
以上の点を考慮し、必要耐震性能は大地震動時に倒壊することを許容する復旧可能水準とし、耐震補強は行わず、管理面において今後も限られた人のみ入れる使い方とし、避難経路をしっかりと確保することとした。対策方針の決定に際しては協議を行い、関係者全員の同意を得た。

［観音堂］

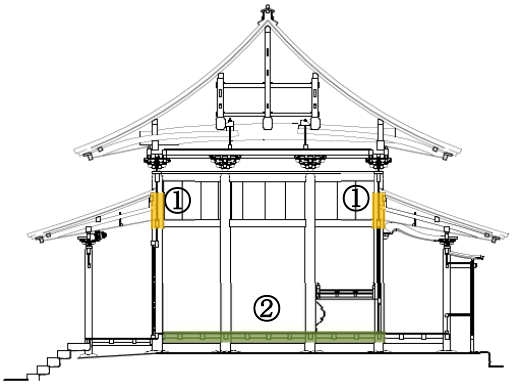
・開山堂よりも利用人数が多く、地震時に倒壊すると人命に危害を与える可能性があること。

・床下や裳階が取り付く身舎の小壁部分など、見え隠れで補強することができる箇所があること。

以上の点を考慮し、必要耐震性能は安全確保水準とし、大地震動時に倒壊しないように、身舎の小壁の板壁部分に面格子壁を挿入し（①）、床下において柱脚を挟み梁で繋ぐ補強を行った（②）。



観音堂補強位置（桁行断面）



観音堂補強位置（梁間断面）

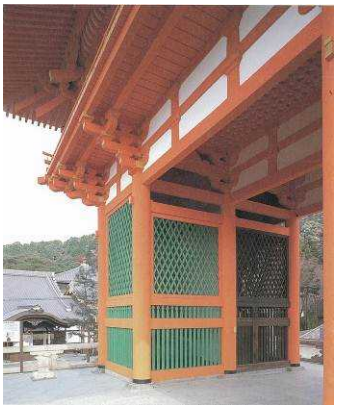
観音堂小壁の面格子壁（①）

観音堂床下の挟み梁（②）

４　重要文化財　清水寺仁王門（京都府京都市）

～風力による浮き上がりを防止するための補強～

清水寺仁王門　外観



同左　初層内部

＜建造物概要＞

建設年：室町後期（1467-1572）

指定年：昭和 41 年

所在地：京都府京都市

構造：三間一戸楼門、入母屋造、檜皮葺

修理：平成 8 年 11 月～平成 16 年 3 月に解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

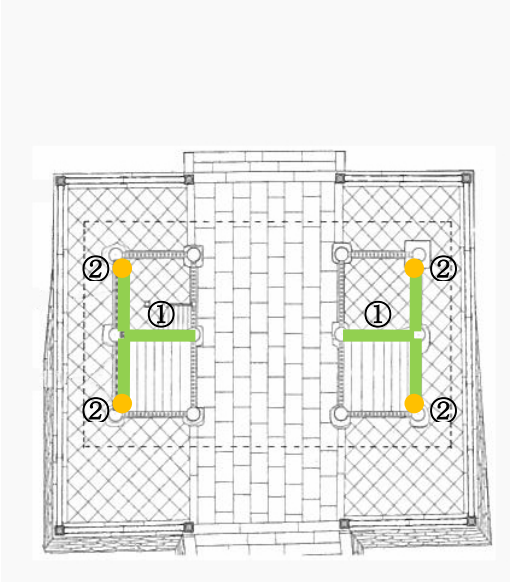
診断：

建造物の耐力を地震力・風力と比較し診断した結果、梁間方向においては地震力よりも風力が大きく、初層二層ともに耐力が不足するとともに、風力に対し屋根部分の浮き上がりが生じることが判明した。

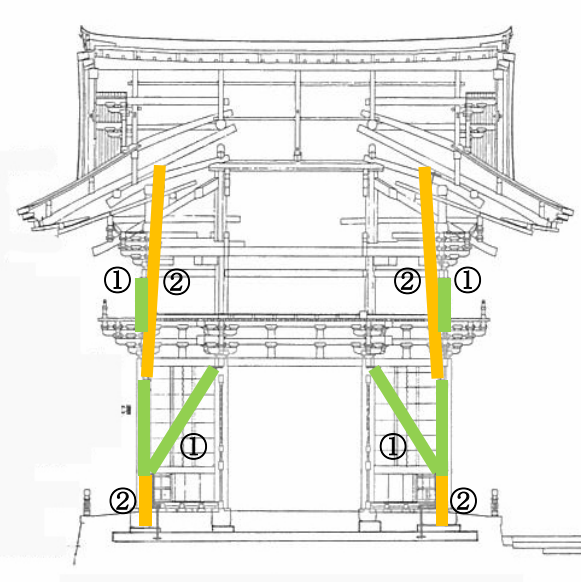
補強：

壁面に鋼棒ブレースを設置することで不足する耐力を補い（①）、小屋組から地盤まで鉛直方向に力を伝達するように鋼棒を設置し（②）、風力による浮き上がりを防止した。①の鋼棒ブレースを既存の木造筋違の裏面に配置したり、②の鋼棒を仮設の辺付けで隠すなど、意匠的に配慮した。また、補強の取付けにおいては、将来取り外すことができるようにしたり、維持管理が容易にできるようにするなどの配慮も行った。

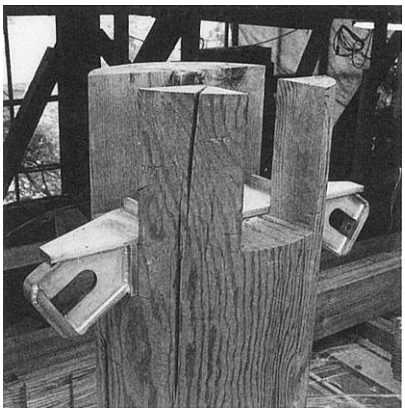
その他、ベタ基礎を設置し、頭貫の継手を鋼材プレートで補強した。



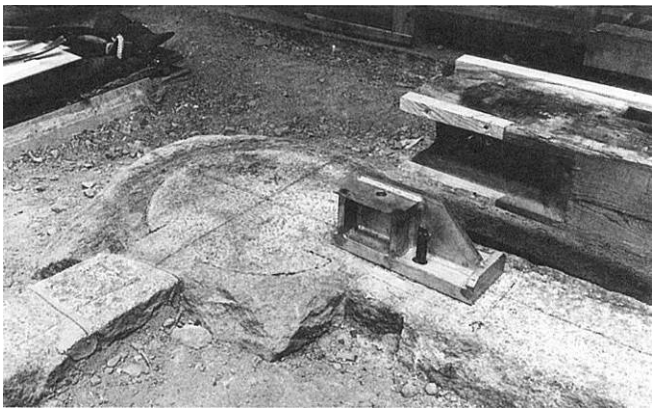
補強位置（平面）



補強位置（断面）



二層柱上部の補強取付け金具



礎石上の補強取付け金具（②）

＜参考＞

他の楼門の耐震対策事例を以下に示す。

・重要文化財　浅草寺二天門（東京都台東区）：

診断の結果、必要耐震性能を満足したため、補強の必要なしと判断した。

浅草寺二天門　外観

同左　内部見上げ

・重要文化財　大照院鐘楼門（山口県萩市）：

鉄骨フレーム等を軸組内部に設置し、二階床下に木造火打ち梁を設置した。

大照院鐘楼門　外観

同左　初層内部

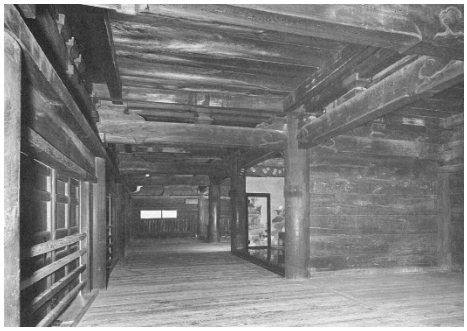
軸組内部の鉄骨フレーム補強

二層床下の火打ち梁

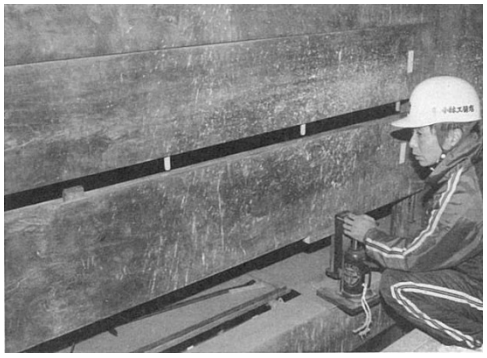
・重要文化財　善光寺三門（長野県長野市）：

板壁に木太枘を追加し、初層床下に鉄骨フレームを設置した。

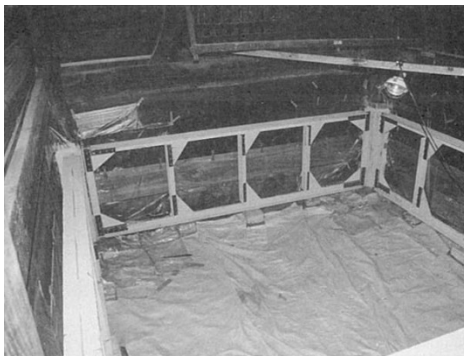
善光寺三門　外観



同左　二層内部



板壁に追加した太枘



初層床下の鉄骨フレーム補強

５　重要文化財　武並神社本殿（岐阜県恵那市）

～向拝の貫の継手を補強し耐震性能を確保した弱点を押さえた最小限の補強～

武並神社本殿　外観

同左　正面

＜建造物概要＞

建設年：永禄７年（1564）

指定年：平成元年

所在地：岐阜県恵那市

構造：木造、一重、檜皮葺、桁行三間、梁間二間、向拝三間

修理：平成 19 年 12 月～平成 22 年 10 月に解体修理、併せて耐震対策を実施。

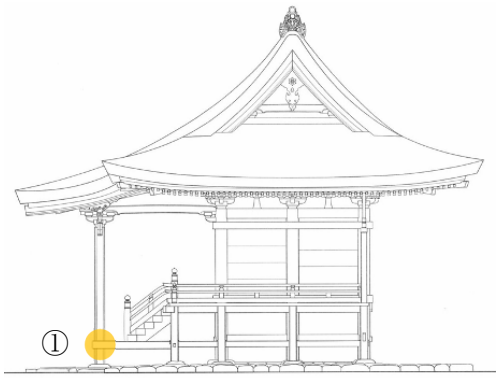
＜耐震対策経緯＞

診断：

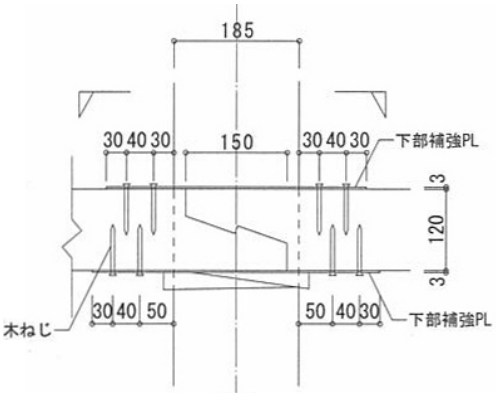
等価線形化法に基づく解析を行い診断した結果、大地震動時の建造物本体部分の変形は非倒壊限界変形よりも小さいが、向拝部分の変形は大きく、向拝屋根面が本体部分に地震力を伝達する能力も不足することが判明した。

補強：

向拝の貫の継手を補強することで、継手の無い状態にまで貫と柱の接合部耐力を向上させ、向拝部分の倒壊を防ぐこととした。継手の補強は、略鎌継の部分の上下端に鋼板を木ねじで固定した（①）。これにより向拝屋根面に加わるせん断力も低減するため、屋根面の補強は必要ないと判断した。



補強位置（側面）



貫継手の金物補強

６　重要文化財　如法寺仏殿

～内部意匠に配慮し化粧材や造作で隠した壁補強～

如法寺仏殿　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：寛文 10 年（1670）

指定年：平成 4 年

所在地：愛媛県大洲市

構　造：桁行五間、梁間四間、一重、入母屋造、向拝一間、本瓦葺、背面突出部附属中央間唐破風造、桟瓦葺（現状変更によりこけら葺に復原）

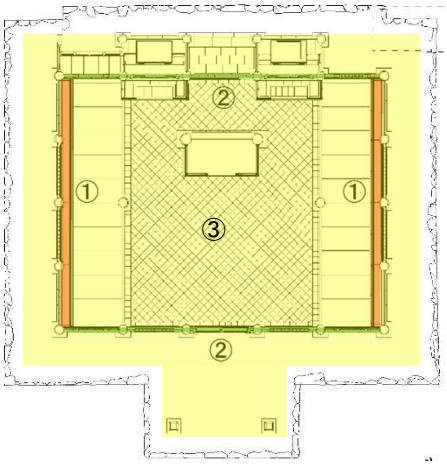
修　理：平成 22 年 11 月～平成 26 年 12 月まで半解体修理、併せて耐震対策を実施

＜耐震対策経緯＞

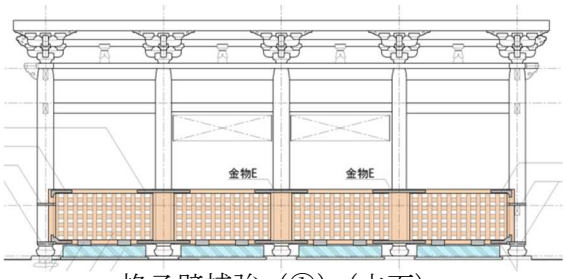
診　断：宗教施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いた等価線形化法で診断を行った結果、大地震動時に建物が 1/15 以上に変形し、特に向拝部分は大きく変形し、倒壊の危険性があることが判明した。

補　強：両妻側の梁間方向には単（たん）（床）と函櫃（かんき）（物入れ）があるため、これを利用して床下や函櫃内部で補強した。一方で桁行方向は見え隠れで補強できないため、壁の部屋内側へ構造用合板を設置して、これに化粧材を張って隠す方針とした。

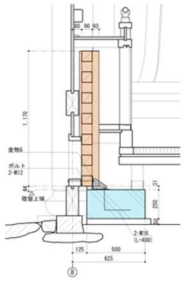
- 梁間方向の単背面の函櫃内部には、格子壁を設置した（①）。また、床下には浮き上り防止のために RC 基礎を設け、これをカウンターウェイトとして格子壁と接合した。
- 桁行方向の正面及び背面の板壁には、部屋内側へ厚さ 12mm の構造用合板を設置した（②）。構造用合板の四周はアングル材で固め、これを柱及び貫へ固定した。構造用合板の上には既存の壁板の割付に合わせて欅材の突板を張り、古色塗を施した。
- 小屋裏には木製筋違を取り付け、懐の狭い向拝部分にはステンレスロッドを用いたブレースを取り付けて、水平構面を固めた（③）。
- このほか、全体的に接合部が脆弱であった軸部や組物などでは、必要に応じて補強金物を取り付け、虫害の見られた大梁は鉄骨梁を添わせ補強した。



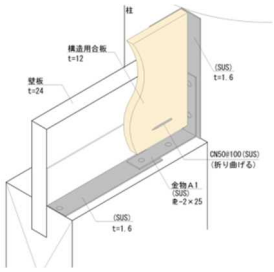
補強位置（平面）



格子壁補強（①）（立面）

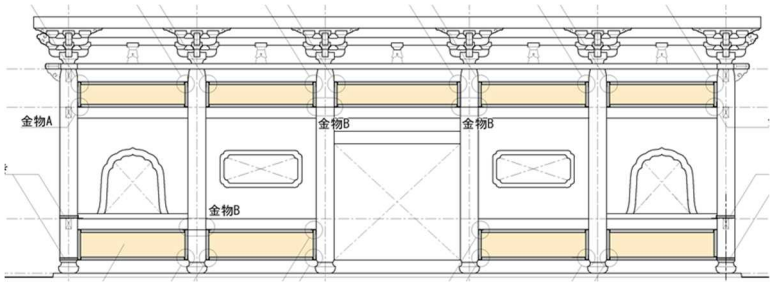


格子壁補強（①）



構造用合板補強（②）

腰壁に取り付けた
構造用合板補強の仕上（②）



構造用合板補強（②）（立面）

内法壁に取り付けた構造用合板補強

函櫃内部に取り付けた格子壁補強（①）

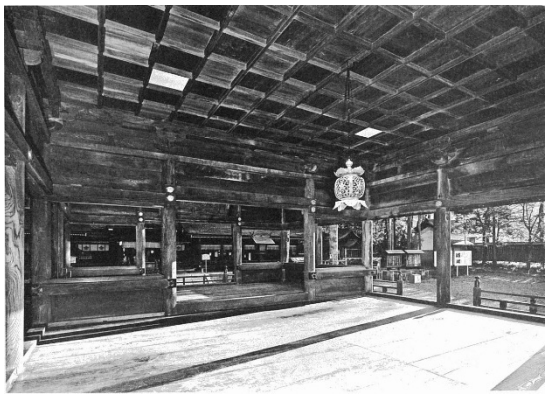
同上（仕上板張付・古色塗後）

同上（函櫃復旧後）

７　重要文化財　諏訪大社下社秋宮神楽殿（長野県諏訪郡下諏訪町）

～壁のない開放的な建造物の床下に鉄骨フレームを設置して補強～

諏訪大社下社秋宮神楽殿　外観



同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：天保 6 年（1835）

指定年：昭和 58 年

所在地：長野県諏訪郡

構造：桁行五間、梁間三間、一重、Ｔ字形切妻造、妻入、銅板葺

修理：平成 20 年 7 月～平成 24 年 2 月に屋根葺替及び部分修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

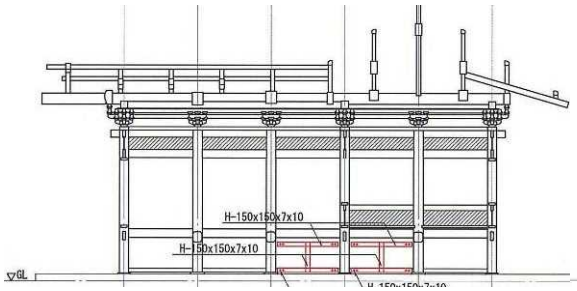
立体モデルを用いた等価線形化法に基づく解析を行い診断した結果、大地震動時の変形量が非倒壊限界変形を上回り、倒壊する危険性が高いことが判明した。

補強：

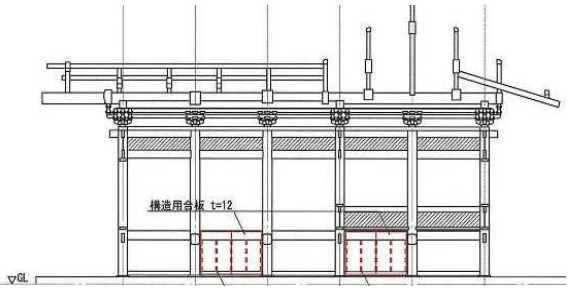
床上は開放的で見え隠れとなる場所もなく、意匠的に影響の小さい補強を行うことが難しいため、床下で補強する方針を採った。

補強方法としては、鉄骨フレームによる補強（A 案）、構造用合板による補強（B 案）、面格子による補強（C 案）の 3 案が示された。B 案の場合、床下換気を妨げることや構造用合板の耐久性に問題があり、C 案の場合、効果が低いことから、A 案を採用した。

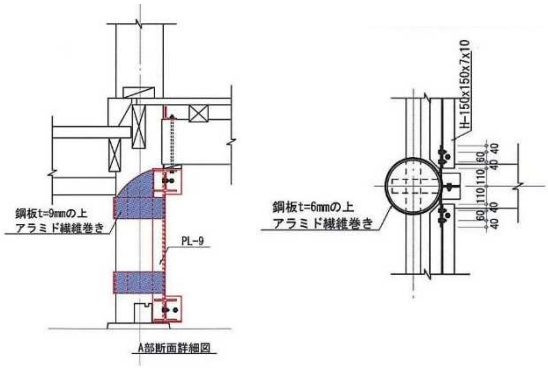
床下の鉄骨フレームは柱に巻いた鋼板のバンドに取り付けた（①）。鋼板のバンドは上からアラミド繊維で巻いて固定した。柱材を傷めないよう補強部材を取り付けるとともに、アラミド繊維を巻くことで鋼板の結露防止にも配慮した。



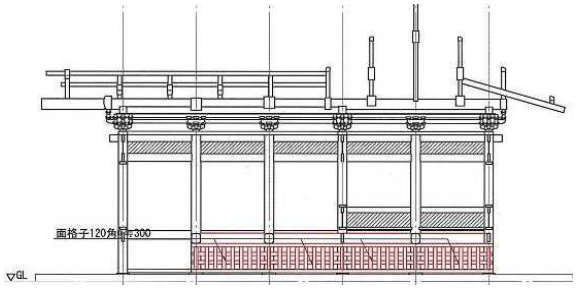
A 案（実施案） 鉄骨フレーム補強



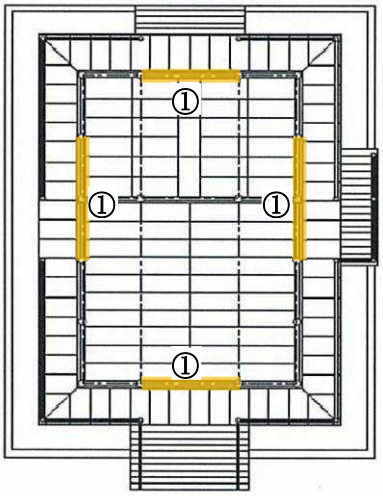
B 案 合板補強



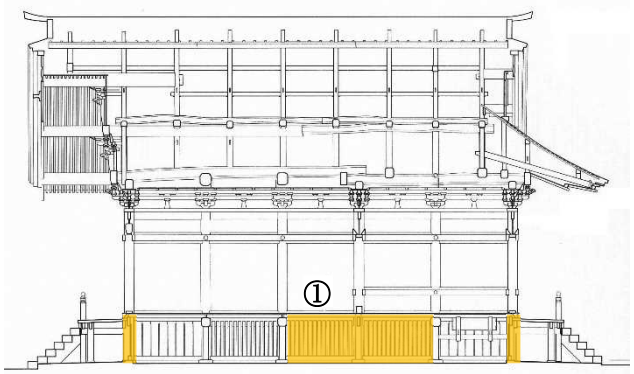
床下の鉄骨フレーム取付け部分



C 案 面格子補強



補強位置（平面）



補強位置（断面）

８　重要文化財　八勝寺阿弥陀堂（熊本県球磨郡湯前町）

～発生時期が予測できる大風に対する仮設補強～

八勝寺阿弥陀堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：15 世紀後期

指定年：平成 14 年 12 月 26 日

所在地：熊本県球磨郡湯前町

構　造：桁行三間、梁間三間、一重、寄棟造、茅葺

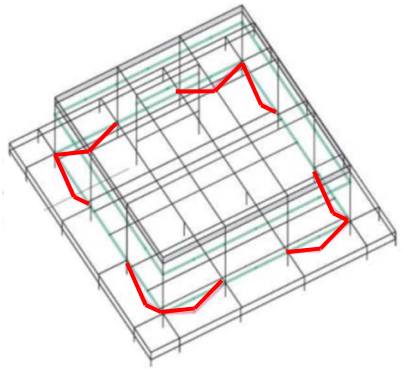
修　理：平成 24 年 10 月～平成 26 年 12 月に解体修理。併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

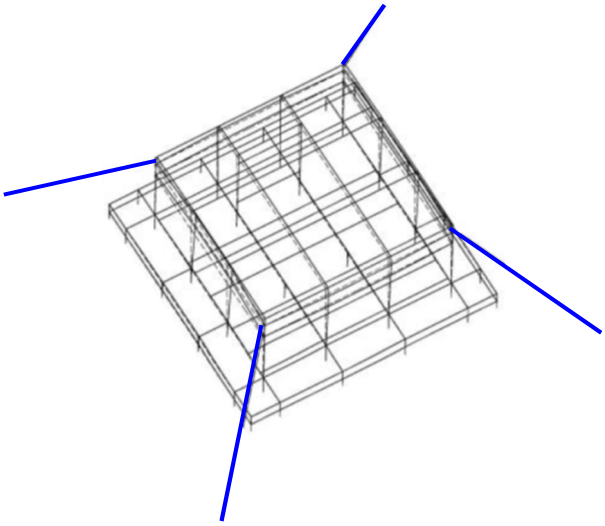
診　断：宗教施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いて等価線形化法で診断を行ったが、板壁は薄くだぼもないため耐震要素として評価しなかった。診断の結果、梁間・桁行方向ともに大地震動時の変形角が 1/20 程度となり、倒壊の危険性が高いことが判明した。また、今回の修理で瓦葺きであった屋根を急勾配の茅葺に復原したが、これにより風の受圧面積が増大したため、大風に対する耐力も著しく不足していると判断された。

補　強：耐震補強として、外周の両脇間の床下に筋違を設置し、柱脚に長押状の繋ぎ材を設置した（①）。この補強だけでは大風に対する耐力がまだ不足していたが、台風等の大風は発生時期が予測可能であることから、大風に対しては、四隅の柱頭に取り付けた補強リングと地盤に埋め込んだカウンターウェイトとなる基礎をワイヤーで緊結することで補強することとした（②）。

台風時に仮設補強を設置するための管理体制を整えることが必要になったが、これにより補強による平時の外観への影響を最小限に抑えることができた。



耐震補強の床下補強箇所（①）



耐風対策の仮設補強箇所（②）

床下の筋違・柱脚繋ぎ材（①）

＜修理前＞　　＜修理後＞

修理前後の風の受圧面積の比較

仮設のワイヤー補強の設置状況（②）

ワイヤー取付けのための
補強リング（②）

９　重要文化財　正法寺本堂（岩手県奥州市）

～人目に付かない背面に鉄骨バットレスを設置し、消火設備の配管にも利用～

正法寺本堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：文化８年（1811）

指定年：平成２年

所在地：岩手県奥州市

構造：桁行 29.6m、梁間 21.0m、一重、入母屋造、茅葺、東北西各面庇及び東西回廊附属、板葺及びこけら葺

修理：平成 13 年１月～平成 19 年１月に半解体修理、併せて耐震対策を実施、平成 16 年１月～平成 18 年 12 月に防火設備設置。

＜耐震対策経緯＞

診断：

立体モデルを用いた許容応力度計算を行い診断した結果、梁間方向・桁行方向ともに中地震動時の変形が限界変形を上回ることが判明し、大地震動時に倒壊する危険性が高いと判断した。

補強：

診断結果に基づき、次の３つの補強案を作成し、比較検討した。

A 案　背面外部及び側面外部に鉄骨バットレスを設置

B 案　背面外部及び側面内部（下屋廊下内部）に鉄骨バットレスを設置

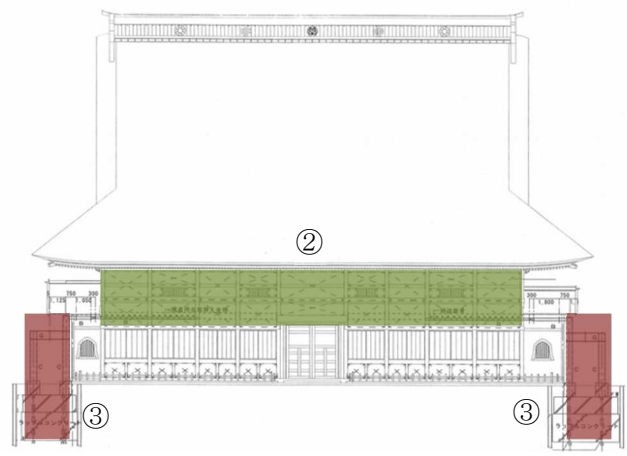
C 案　背面外部及び側面内部（渡り廊下内部）に鉄骨バットレスを設置

→C 案を採用。

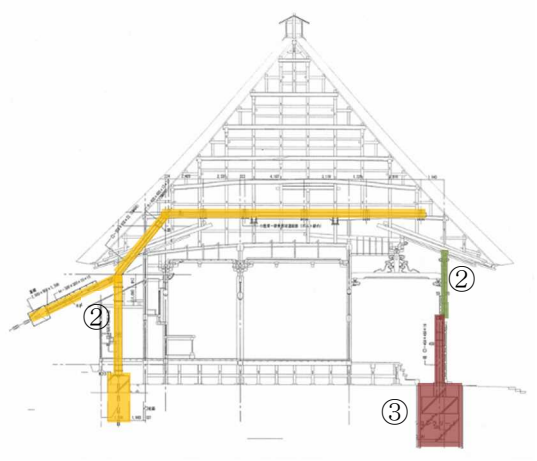
背面はすぐに崖地が迫るため、外部に補強を設置しても外観に影響はほとんどないと判断した。また、側面の外観を損なわないように、指定範囲外である正面両側の渡り廊下の内部に補強を設置することとした。

補強方法の詳細は以下のとおりである。

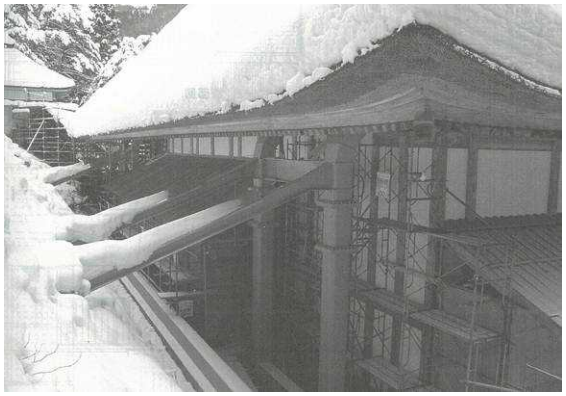
・背面より鉄骨バットレスを立上げ、小屋組内に組んだ鉄骨補強を支持した（①）。
・正面小壁の漆喰壁の下地を構造用合板に置換した（②）。
・指定範囲外の正面両側の渡り廊下より鉄骨バットレスを立上げ、本堂を支持した（③）。
・背面の鉄骨バットレスは消火設備のドレンチャー送水管の配管にも使用し、本堂に与える箇所をまとめた。



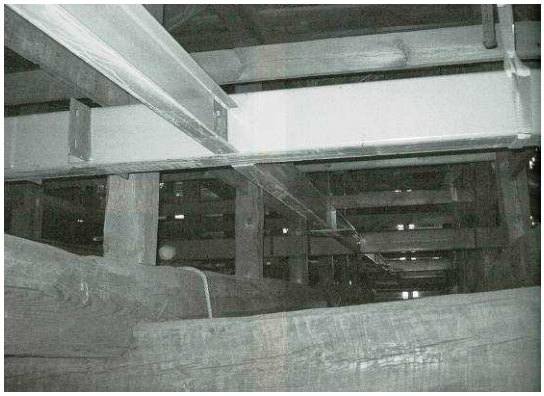
補強位置（正面立面）



補強位置（断面）



背面の鉄骨バットレス（①）



小屋組内の鉄骨補強（①）

１０　重要文化財　笠森寺観音堂（千葉県長生郡長南町）

～登り階段を既設の手摺柱に似せた鉄骨柱で補強～

笠森寺観音堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：文禄 6 年(1597)

指定年：明治 41 年

所在地：千葉県長生郡長南町

構　造：四方懸造、桁行五間、梁間四間、一重、寄棟造、銅板葺、階段及び踊場を含む

修　理：平成 22～23 年度に耐震診断、平成 24～25 年度に耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：宗教施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。登り階段を含む建物を立体モデルに置換し、等価線形化法及び時刻歴応答解析で診断を行った結果、大地震動時に柱脚が礎石から脱落したり、登り階段部分が倒壊する危険性があることが判明した。

また、劣化が見られる岩丘を調査したところ、乾燥と湿潤を繰り返すことで含有鉄分の酸化膨張を生じて、劣化が促進されていることが明らかになった。

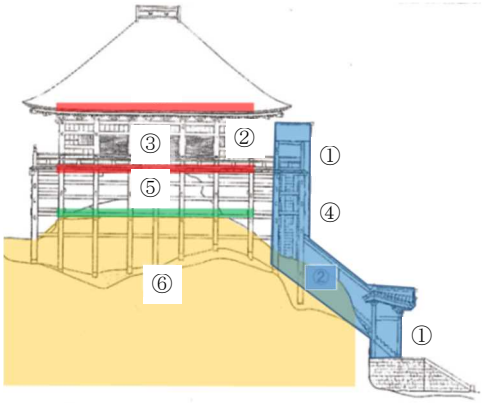
補　強：登り階段の補強は、当初、鉄骨フレームを登り階段の上部と下部に設置し、上部で接続する高欄にも木製筋違を設置する方法が提案されたが、意匠的な影響が大きいため見直すこととなった。検討の結果、鉄骨フレームではなく既設の手摺柱に似せた鉄骨柱を設置し（①）、高欄に木製筋違ではなくロの字型の鉄骨枠をはめ込み（②）、補強することとした。

そのほか、以下の補強を行った。

・小屋裏および床下に木製筋違を設置し水平構面を固めた（③）。

・登り階段の段板下に鉄骨ブレースを設置し水平構面を固めた。また、階段踊り場下の柱脚基礎に金物を設置し、鉛直荷重による外側への滑り出しを防止した（④）。

・柱脚が基礎から脱落しないように金物を設置した（⑤）。
・岩丘の保護・補強として、雨掛りとなる範囲に吹き付けモルタルを施し、着彩処理で景観との調和を図った（⑥）。また、柱基礎周辺にロックボルトを挿入し、吹付モルタルと一体化させることで基礎のずれ出し等を防止した。



補強箇所位置図

登り階段の鉄骨柱補強（①）

高欄鉄骨枠補強（②）

登り階段床下ブレース補強（④）

柱脚脱落防止金物（⑤）

着彩処理した吹付けモルタル（⑥）

１１　重要文化財　新勝寺額堂（千葉県成田市）

～開放的な内部空間に意匠的に配慮した円形鋼管の補強柱を設置～

新勝寺額堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：文久元年(1861)

指定年：昭和 55 年

所在地：千葉県成田市

構　造：桁行正面三間、背面六間、梁間二間、入母屋造、桟瓦葺

修　理：東日本大震災により一部の柱が礎石からずれ、瓦屋根にもずれ出しが生じた。そのため周囲に柵を設けて危険性を明示する看板を立て、建物内の立ち入りを規制。平成 24 年度に耐震診断、平成 26～28 年度に耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：宗教施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いて、等価線形化法で診断を行った。内法に壁がない開放的な建物のため柱が重要な耐震要素となるが、過去の改修で全 15 本中 9 本に高根継が施され、そのうち 3 本は珍しい四方松皮継であり、構造的弱点となっていた。このためこの継手の性能を実験により確認した上で診断を行った。診断の結果、大地震動時には変形が大きく、倒壊の危険性が高いことが明らかになった。

補　強：開放的な空間をできる限り保存するため、柱継手を鋼製バンドで巻く補強の効果を構造実験で確認し、継手や垂壁のみで補強する方法を検討したが、これだけでは十分な耐震性能を確保できないことが判明した。このため、建物四隅に鉄骨柱を設けることとなったが、肉厚のシームレス鋼管（φ146・厚 32）を用いて意匠的な影響を最小限とした。鉄骨柱は柱脚を鉄骨鉄筋コンクリート製地中梁で固めた上で、既存の鉄筋コンクリート造布梁と緊結して浮き上がりを拘束し、柱頭を建物の指鴨居と緊結した（①）。

そのほか、以下の補強を行った。

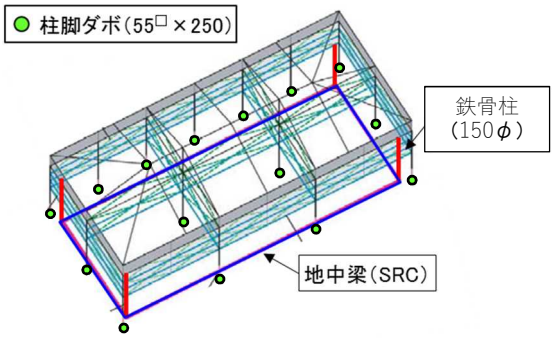
・小壁部分の補強は限られたちり幅で納める必要があったため、鋼板の曲げ降伏

を利用した薄型の補強材を設置した（②）。

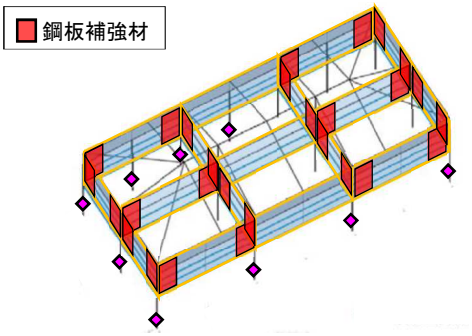
・柱継手は、鋼製の補強バンドを巻いて通しボルトで緊結することで、変形性能を向上させた（③）。

・柱脚にステンレスだぼを設置し、柱から基礎へせん断力を伝達させた（④）。

・屋根葺替に併せ、葺土を軽減して建物重量を減らした。

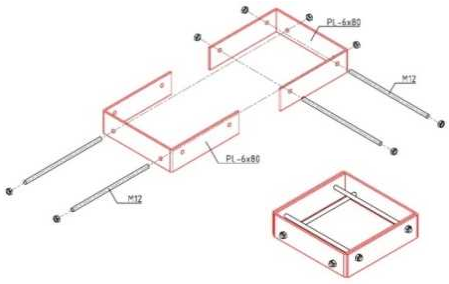


補強箇所
鉄骨柱（①）、柱脚だぼ（④）

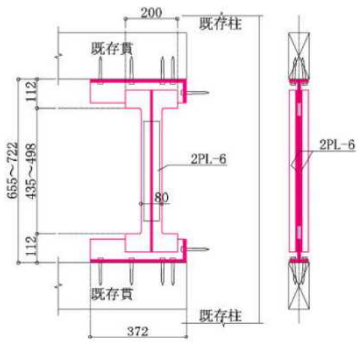


補強箇所
継手補強バンド（③）、鋼板補強材（②）

鉄骨柱（①）



継手補強バンド（③）



鋼板補強材（②）

補強後の内部

伝統的木造建築物（住宅系建築）

１２　重要文化財　関家住宅書院（神奈川県横浜市）

～土壁の塗り増しや小屋裏の水平ブレースなど意匠的に配慮した補強～

関家住宅書院　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：18 世紀前半

指定年：昭和 41 年

所在地：神奈川県横浜市

構造：桁行 9.3m、梁間 6.3m、寄棟造、茅葺

修理：平成 14 年 11 月～平成 17 年 10 月に半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

多質点モデルを用いたサイト波等に対する時刻歴応答解析を行い診断した。

そのほか、構造調査として、茅葺屋根の面剛性を調べるために屋根面の部分模型の載荷実験を実施した。

診断の結果、大地震動時に開放的な南面の変形が非倒壊限界変形を上回り、倒壊する危険性があることが判明した。

補強：

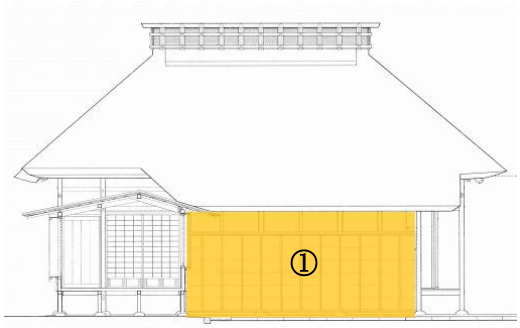
開放的な南面は意匠的な配慮から補強することができないので、南面の不足分まで抵抗できるよう北面の壁を補強し、かつ建造物が一体として抵抗するように小屋裏で水平構面を補強することとした。補強方法の詳細は以下のとおりである。

・北面の土壁の厚さを 60㎜ から 90㎜ へと厚くした（①）。

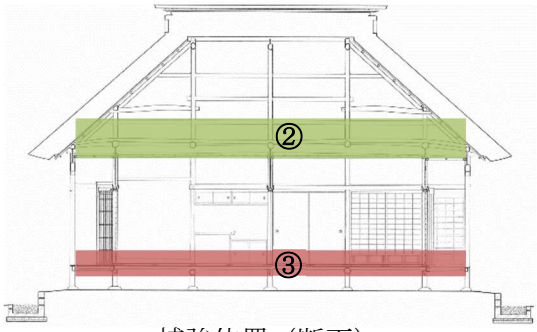
・小屋裏に水平ブレースを設置した（②）。

・貫の継手をステンレスプレートで補強した。

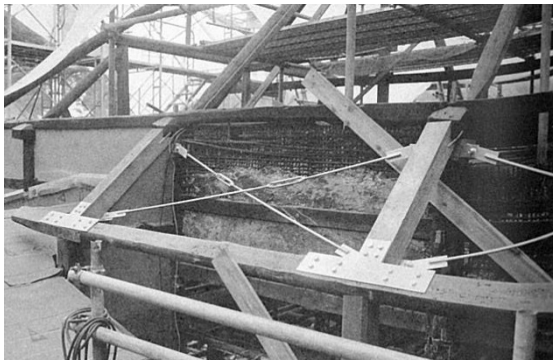
・床下に補強の根太と火打ち材を設置した（③）。



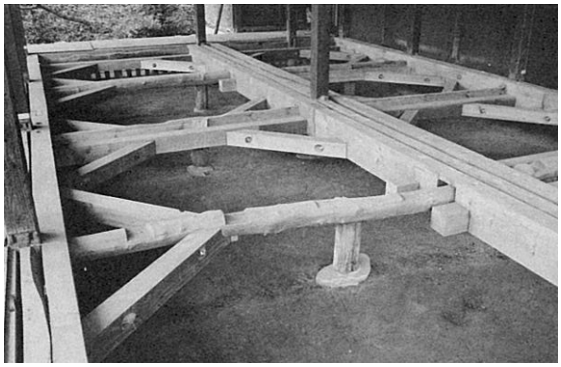
補強位置（北側立面）



補強位置（断面）



小屋裏の水平ブレース（②）



床下の火打ち材（③）

１３　重要文化財　太田家住宅（熊本県球磨郡多良木町）

～補強部材を化粧板で覆ったり土壁に埋め込み隠した補強～

太田家住宅　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：江戸末期（1830-1867）

指定年：昭和 48 年

所在地：熊本県多良木町

構造：十二畳（床、柵、仏壇付）、十二畳半（押入二所付）、六畳、十二畳半、土間、板間、縁よりなる、折曲り寄棟造、茅葺、東面庇及び土間附属

修理：平成 18 年 12 月～平成 21 年 8 月に解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

立体モデルを用いた許容応力度計算、等価線形化法に基づく解析を行い診断した。診断の結果、南北方向においては風力が地震力よりも大きく、どちらに対する変形も非倒壊限界を上回り、特に風力に対しては土間部分が大きく変形し、倒壊の危険性が高いことが判明した。

補強：

構造用合板を板壁に組み込み化粧板で覆う補強と（①）、地中梁から立上げた片持ち鉄骨柱を土壁に埋め込む補強を行うことで（②）、意匠的な影響に配慮した。

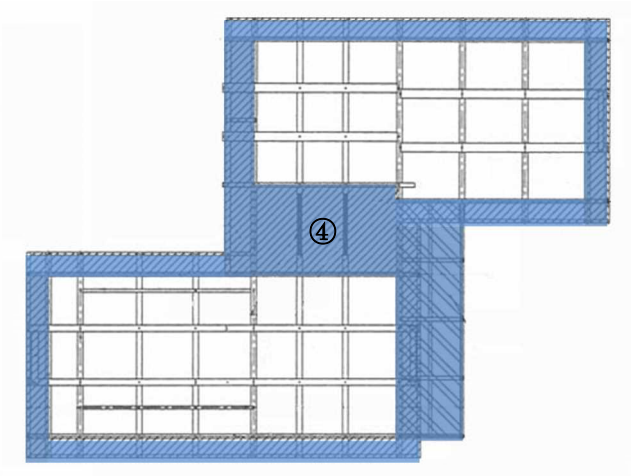
そのほか、以下の補強を行った。

・床下において柱脚を挟み梁で繋ぐ補強を行った（③）。

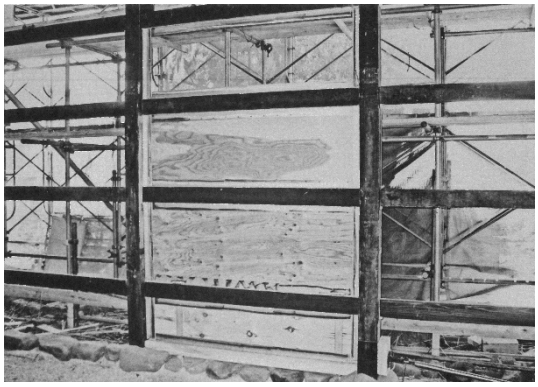
・建造物の中央と外周の水平構面を構造用合板で補強した（④）。

・構造用合板を設置した壁の柱の浮き上がりを防止するため、足固め貫に金物補強を設置した。

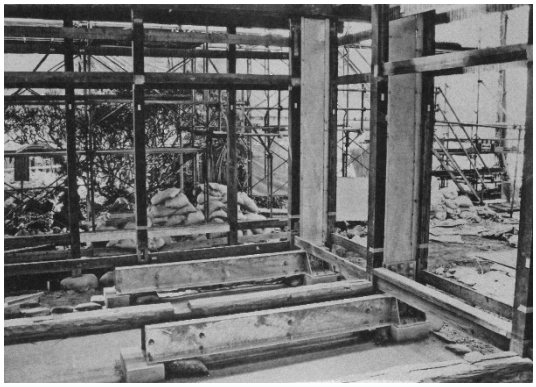
補強位置（一階平面）



補強位置（梁伏）



構造用合板補強（①）



片持ち鉄骨柱補強（②）

＜参考＞

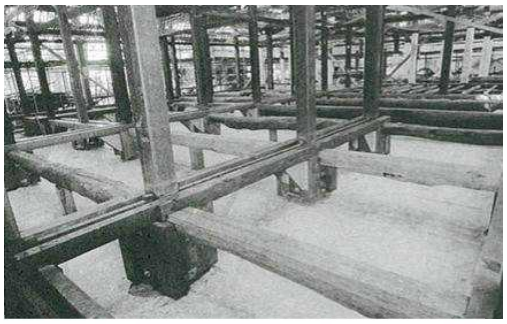
他の茅葺民家の耐震対策事例を以下に示す。

・重要文化財　中村家住宅（静岡県浜名郡雄踏町）：

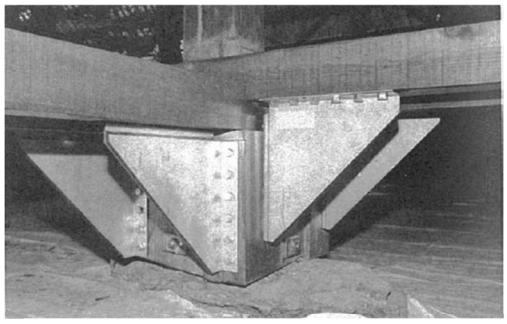
床下に粘性ダンパーを設置した。

中村家住宅　外観

同左　内部



床下のダンパー



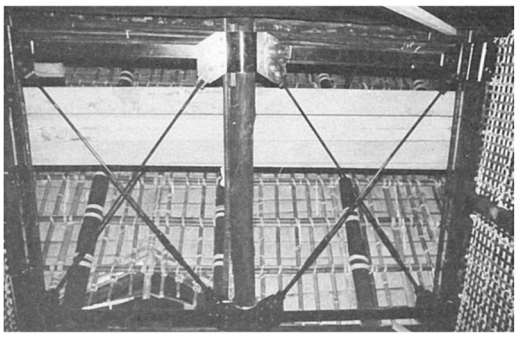
ダンパーの設置状況

・重要文化財　奥家住宅（広島県双三郡吉舎町）：

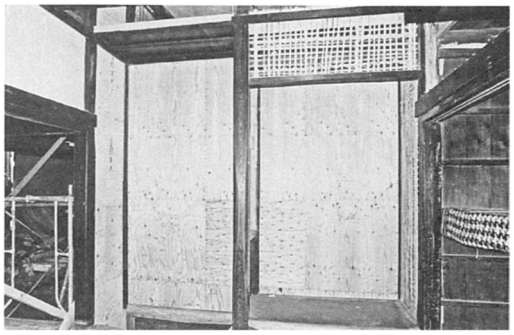
土壁下地を構造用合板に置換し、水平構面を鋼棒ブレース等で補強した。

奥家住宅　外観

同左　内部



水平構面のブレース補強



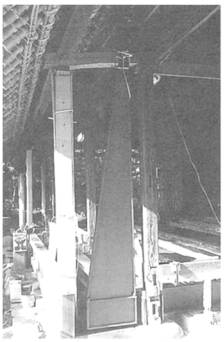
土壁下地の構造用合板補強

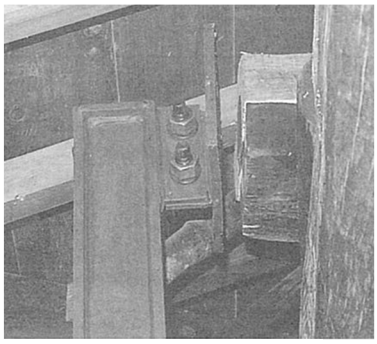
・重要文化財　彦部家住宅主屋（群馬県桐生市）：

土壁内部に鉄骨バットレスを設置した。

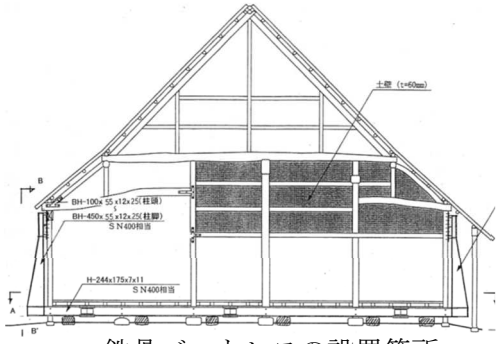
彦部家住宅主屋　外観

同左　内部





鉄骨バットレス補強

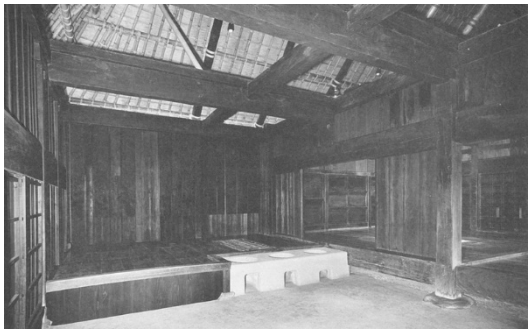


鉄骨バットレスの設置箇所

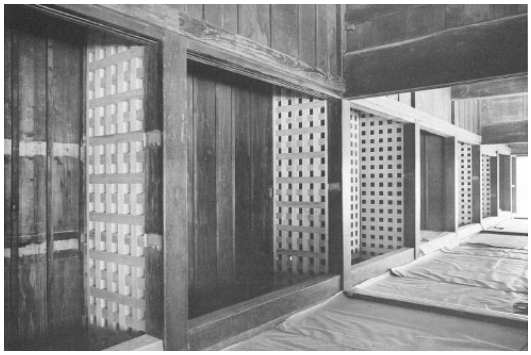
・重要文化財　旧椎葉家住宅（大阪府豊中市）：

押入部分に面格子壁を設置し、足固め端部を金物で補強した。

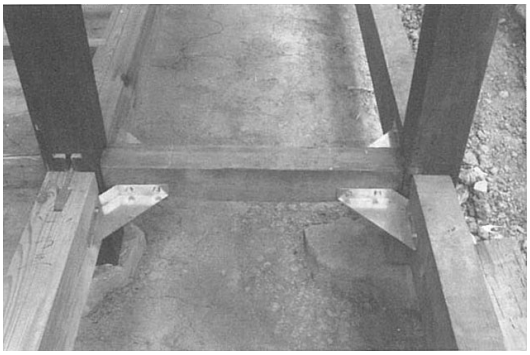
旧椎葉家住宅　外観



同左　内部



押入部分の面格子壁補強

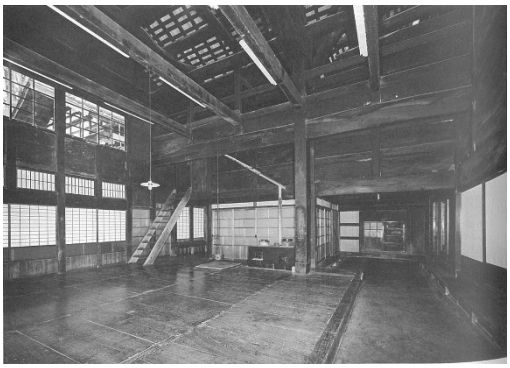


足固めの金物補強

１４　重要文化財　星名家住宅（新潟県中魚沼郡川西町）

～開口部に用いたガラスの耐震壁補強と積雪時の地震に備えた仮設の筋違補強～

星名家住宅　外観



同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：天保 14 年（1843）

指定年：平成 3 年

所在地：新潟県十日町市

構造：桁行 31.8m、梁間 19.3m、切妻造、金属板葺、背面に裏中門が接続

修理：平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震で十日町市は震度 6 弱を記録し、当該建造物も土壁の剥落や亀裂、建具に破損が生じた。

平成 17 年 3 月～平成 23 年 3 月災害復旧事業（主屋、ほか 7 棟）、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

立体モデルを用いた許容応力度計算、等価線形化法に基づく解析を行い診断した。

積雪荷重については雪下ろしを前提とすることで積雪 2m を長期荷重としたが、地震力は積雪がない状態と比較すると約 2 倍となった。

診断の結果、中地震動、大地震動に対する変形は、機能維持限界変形、非倒壊限界変形を上回り、耐震性能が不足していることが判明した。

補強：

以下の補強を行った。

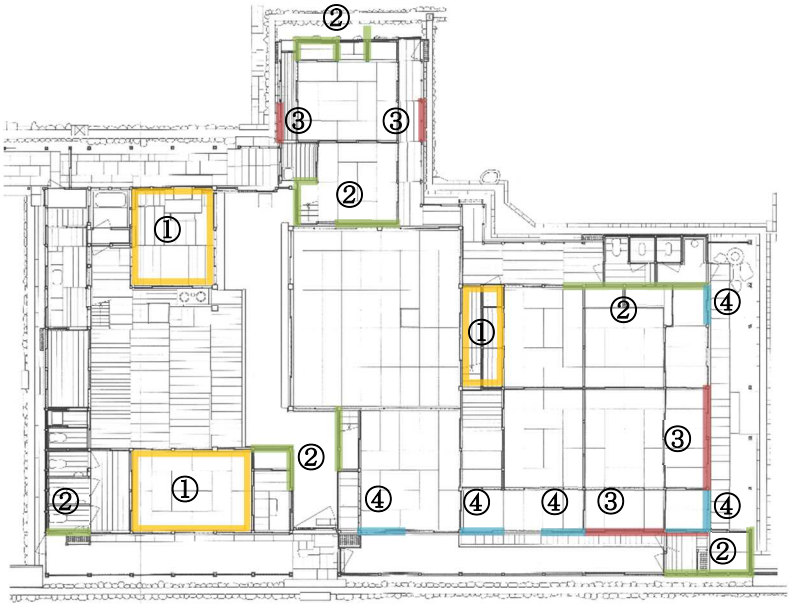
・鉄骨フレームを建造物内部の目立たない箇所に設置した（①）。

・一部の土壁の下地を構造用合板に置換した（②）。

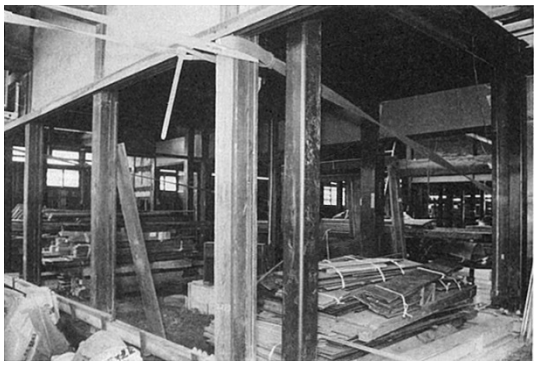
・二階床面及び屋根下地面を構造用合板で補強した。

・積雪による地震力増大に対し、仮設の筋違を冬期のみ設置することとした（③）。仮設の筋違は圧縮筋違とし、柱が折損しないよう筋違材が先に降伏するような継手を設けた。

・明かり採りの高窓を、木枠で四周を拘束したガラスの耐震壁で補強した（④）。ガラスの耐震壁は構造実験を行い性能を確認した。

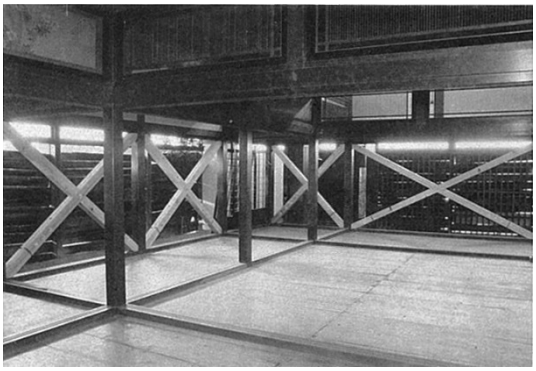


補強位置（平面）

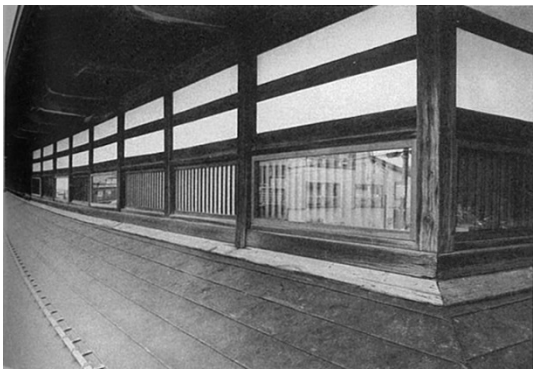


鉄骨フレーム補強（①）

構造用合板補強（②）



仮設の筋違補強（③）



ガラスの耐震壁補強（④）

１５　重要文化財　西岡家住宅（佐賀県嬉野市）

～屋根の仕様保存のため屋根重量の軽量化は行わず、壁や水平構面を補強～

西岡家住宅　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：江戸末期（1830-1867）

指定年：昭和 49 年

所在地：佐賀県嬉野市

構造：正面 11.8m、桁行 17.9m、切妻造Ｔ字形、背面突出部　桁行 8.8m、
梁間 6.0m、切妻造、桟瓦葺、風呂場及び便所附属

修理：平成 20 年 1 月～平成 23 年 2 月に半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

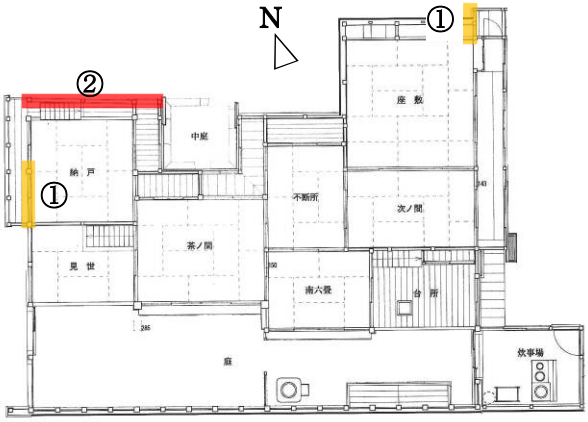
診断：

立体モデルを用いた許容応力度計算、等価線形化法に基づく解析を行い診断した結果、大地震動時の変形が非倒壊限界変形を上回り、柱の折損の恐れもあり、倒壊の危険性が高いことが判明した。特に、隣家と接続していた北側や一階玄関部分の西側（正面側）などは壁がなく、構造的弱点となっていた。

補強：

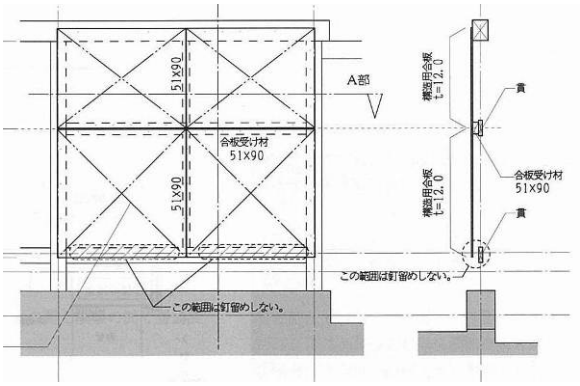
構造用合板による壁補強（①）と隣家接続箇所の壁増設（②）を行った。そのほか、座敷の天井裏の鋼棒ブレース補強（③）、鉄筋コンクリート基礎の設置などを行った。

瓦葺の葺土を除去して屋根重量を軽量化することも検討したが、葺土が多く瓦の重なりが大きいことが当該建造物の特徴であると判断し、屋根の仕様はそのままとした。

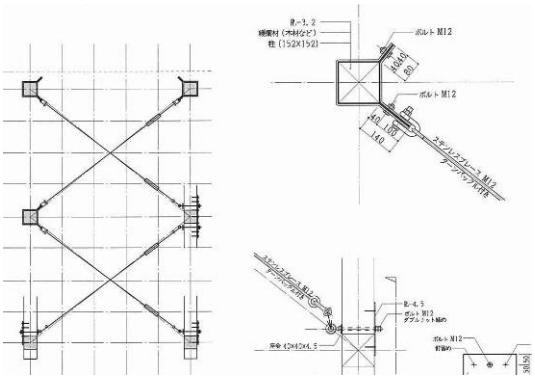


補強位置（一階平面）

補強位置（二階平面）



壁の構造用合板補強（①）



天井裏の鋼棒ブレース補強（③）

１６　重要文化財　細川家住宅（香川県大川郡長尾町）

～将来の修理も視野に入れた木製筋違による経過的補強～

細川家住宅　外観

同左　内部（補強前）

＜建造物概要＞

建設年：江戸後期

指定年：昭和 46 年

所在地：香川県さぬき市

構　造：桁行 12.7m、梁間 5.8m、寄棟造、茅葺

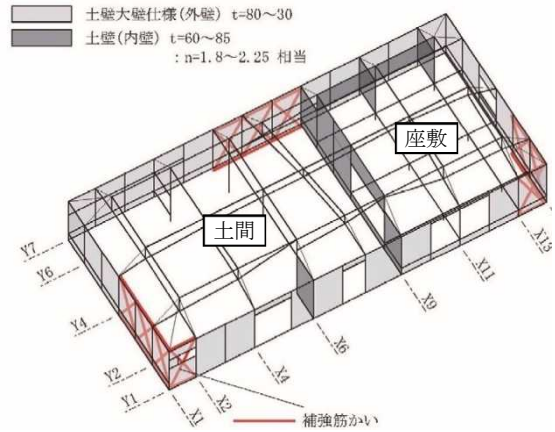
修　理：平成 25～26 年度に屋根葺替工事、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

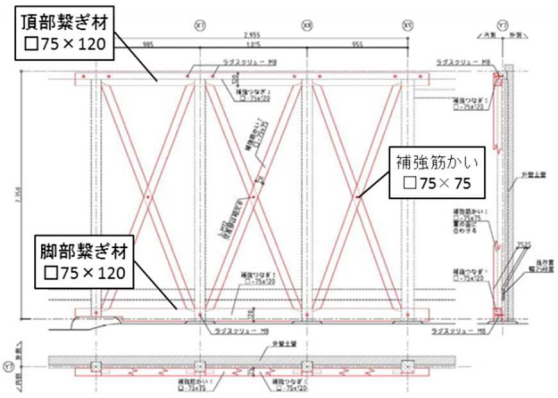
診　断：公開施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いて、等価線形化法で診断を行った。外壁は厚さ 90mm の大壁となっていたが、柱にかかる厚さ 30mm のみを耐震要素として見込んだ。診断の結果、大地震動時には柱-梁接合部が破損し大壁が破損および脱落するなど、倒壊の危険性が高いことが明らかになった。

補　強：前回の解体修理では建物の傾斜防止のため建物四隅の壁の中に鉄筋ブレースが入れられていた。今回の補強においても、壁を一旦解体した上で補強材を壁の中に設置することを検討したが、今回は壁の塗り替えは不要であったため、壁中に補強した場合、補強工事のための解体範囲が大きくなり、工期・工費ともに増大することとなってしまう。

このため、今回の工事では内部に露出する形で木製筋違を設置し、将来の壁の塗り替え修理の際に露出しない補強方法に改めることとした。経過的補強であるため、木製筋違の取り付けにおいては既存の部材をできるだけ傷めないよう配慮した。また修復後、公開した際に補強が少しでも目立たないよう、筋違を焦げ茶色に着色するとともに、手前に展示物を配置するなどの工夫を行った。



補強箇所（全体）



木製筋違の施工概要

土間部分の補強

座敷部分の補強

１７　重要文化財　新垣家住宅主屋（沖縄県那覇市壺屋）

～高温多湿の環境を考慮し蟻害・腐朽を生じない無機質パネルで補強～

新垣家住宅　外観

同左　内部（撮影：神元繁直）

＜建造物概要＞

建設年：明治中期頃

指定年：平成 14 年

所在地：沖縄県那覇市

構　造：【う ふ や】　桁行 8.6m、梁間 10.6m、寄棟造、北面突出部付、本瓦葺

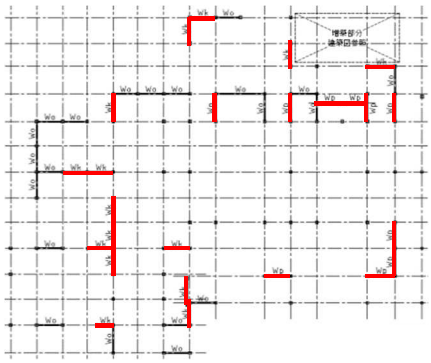
【とんぐわ】　桁行 6.7m、梁間 9.7m、寄棟造、南面突出部付、東面うふやに接続、本瓦葺

修　理：平成 22~27 年度に根本修理、併せて主屋・作業場・離れの耐震対策を実施。

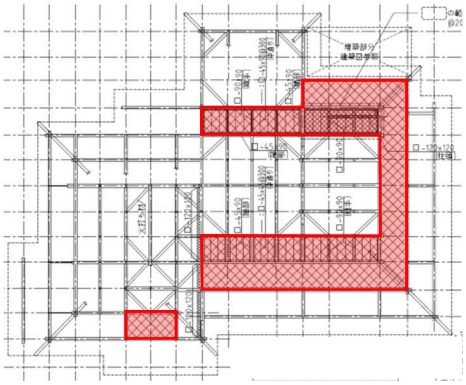
＜耐震対策経緯＞

診　断：修理後も住居として使われ、一部は公開されているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いた等価線形化法により診断を行った。また、台風被害の多い沖縄では、設計風力が設計地震力を上回るため、大風に対しても検討を行った。診断の結果、大地震動時、大風時ともに、大きく変形し、倒壊の危険性が高いことが明らかになった。

補　強：既存の壁は貫の両側もしくは片側に縦板を貼った壁であったので、その板貼りの間に補強材を入れる方法を検討した。壁補強の補強材には構造用合板を用いられることが多いが、沖縄の高温多湿の環境ではすぐに蟻害や腐朽が生じることが懸念された。このため、補強材として無機質ボードを用いることとした（①）。柱と貫に枠材を取り付け、その中にボードをはめ込むことで、柱や貫にボードが直接めり込むことを避けると共に、補強後の剛性を調整することとした。この補強方法の性能については構造実験を行い確認した。そのほか、小屋裏で水平構面を補強し（②）、床下に柱脚繋ぎ材を設置した（③）。

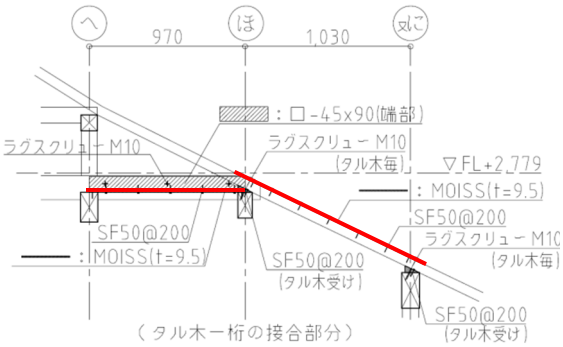


無機質ボードの設置箇所（①）

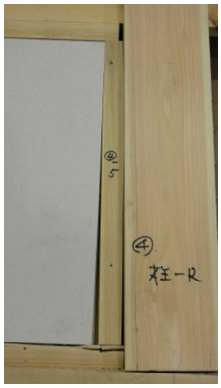


小屋裏の水平構面補強箇所（②）

無機質ボードの設置状況（①）

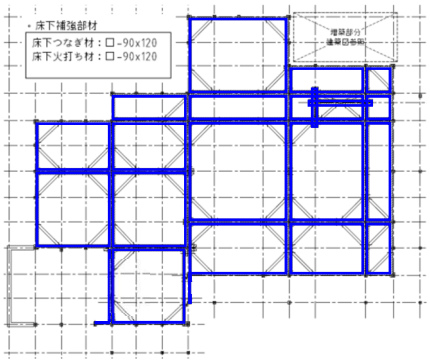


小屋裏の水平構面補強詳細（②）



無機質ボードの構造実験

小屋裏の水平構面補強状況（②）



床下の柱脚繋ぎ設置箇所（③）

床下の柱脚繋ぎ状況（③）

１８　重要文化財　喜多院客殿・書院・庫裏（埼玉県川越市）

～意匠的に目立たないよう屋外・屋内に鉄骨補強を設置～

喜多院客殿　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：【客殿・庫裏】寛永 15 年（1638）、【書院】寛永 16 年（1639）

指定年：昭和 21 年

所在地：埼玉県川越市

構　造：【客殿】入母屋造、柿葺、土塗り壁

【書院】一部中二階付、寄棟造、柿葺、土塗り壁

【庫裏】とち葺形銅板葺、土塗り壁

修　理：平成 23 年の東日本大震災で障壁画等が破損、同年に耐震診断、平成 25~26 年度に屋根葺替、併せて耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：宗教施設のみならず公開して使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いて等価線形化法で診断を行った。建物は客殿・書院・庫裏からなり、3 棟を一体とした場合と各棟別の場合のそれぞれについて検討を行った。診断の結果、壁が少なく開放的な建物であるため、柱が内法高さで折損する恐れがあるなど、大地震動時に倒壊の危険性が高いことが明らかになった。

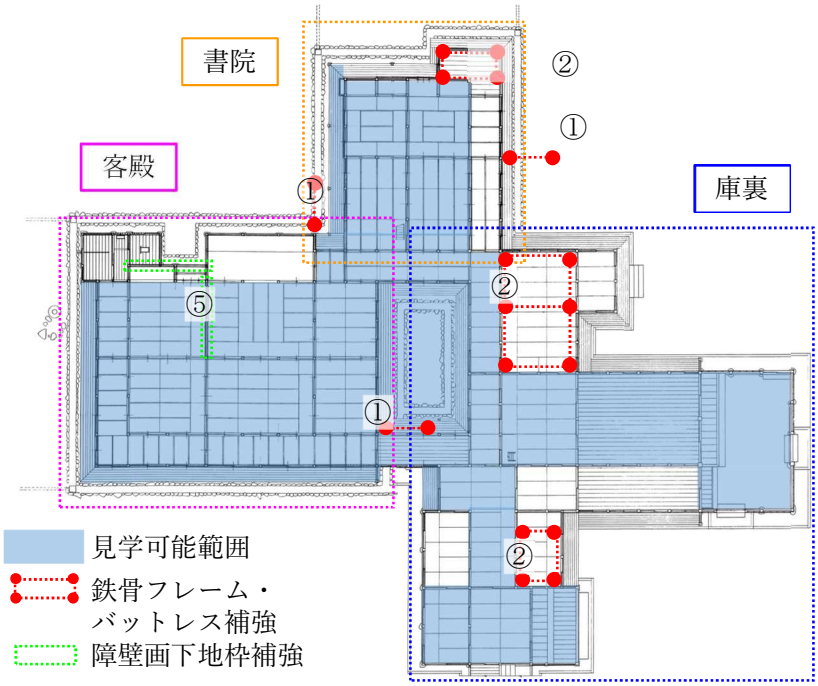
補　強：壁が少なく既存の壁を補強するだけでは十分な耐震性能を確保できないため、鉄骨フレーム・鉄骨バットレスを設置することが必要となった。補強ができるだけ見学者の目に付かないよう配慮し検討した結果、構造的なバランスを考慮しつつ、屋外の目立たない箇所に鉄骨バットレスを設置するとともに（①）、管理者のみ使用する部屋の内部に鉄骨フレームを設置することとした（②）。

そのほか、以下の補強を行った。

・小屋裏に水平ブレースを設置した（③）。

・各棟取り合い部分に全棟を一体化するための補強金物を設置した（④）。

・障壁画の下地材に補強材をはめ込み、地震時の障壁画の破損を防止した（⑤）。



補強配置図

客殿背面の鉄骨バットレス（①）

庫裏内部の鉄骨フレーム（②）

客殿障壁画下地補強（⑤）

（左：地震被害の状況　右：下地に補強材設置）

１９　重要文化財　琴ノ浦温山荘浜座敷（和歌山県海南市）

～復原した階段で見え隠れとなる箇所に補強を設置し、外観を保存～

琴ノ浦温山荘浜座敷　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：大正 2 年

指定年：平成 22 年

所在地：和歌山県海南市

構　造：木造、建築面積 94.66 平方メートル、入母屋造及び寄棟造、本瓦葺

修　理：平成 24 年度耐震診断を実施、平成 25～26 年度に半解体修理、併せて耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：公開施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いて時刻歴応答解析で診断を行った。診断の結果、大地震動時に変形角が 1/15 以上となり、広い開口が取られた南東隅周辺で柱も折損するため、倒壊する危険性が高いと判断された。また開口の大きい箇所には軒の垂下もみられた。

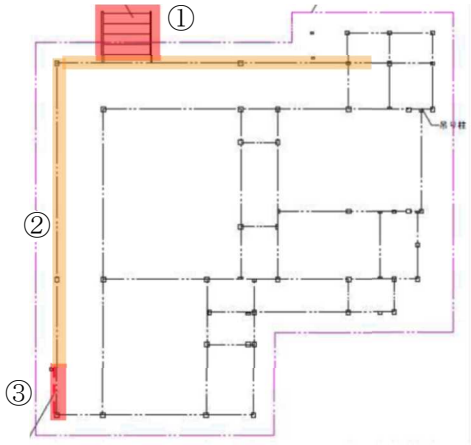
補　強：敷地が名勝指定されているため、外観を損なう補強は避ける必要があり、また修理規模も小さいことから、補強のための解体範囲を最小限とするように配慮した。

・検討当初、柱の折損を防ぐために金物で補強を行うことが提案されたが、外観に露出することが問題となった。修理時の調査の結果、広縁から屋外に下りる木階段を復原することになり、この階段下に鉄骨補強を設置することで（①）、見え隠れで補強することが可能となった。

・大きな開口を取る東面・南面の軒の垂下を防止するため、小屋裏の限られた空間でオリジナルの小屋組材を存置しながら鉄骨ラチス梁を挿入した（②）。

・東面を補強するために戸袋部分に既存の雨樋の形状に合わせた鉄骨フレームを設置し、小屋裏に挿入した鉄骨ラチス梁と緊結した（③）。

以上により、補強は丸桁などの化粧部材を欠損することなく設置でき、外観に与える影響も最小限で、可逆性もある方法となった。



補強箇所（全体）

階段下に設置した鉄骨補強（①）

小屋裏に設置した鉄骨ラチス梁（②）

戸袋部分に設置した鉄骨フレーム（③）

伝統的木造建築物（城郭建築）

２０　国宝　姫路城大天守（兵庫県姫路市）

～高度な解析と構造実験で構造的弱点を把握し、必要最小限の補強を実施～

姫路城大天守　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：慶長 14 年(1609)

指定年：昭和 6 年

所在地：兵庫県姫路市

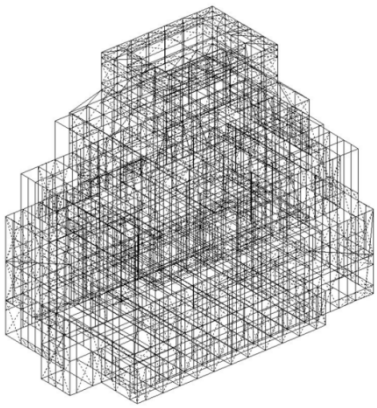
構　造：五重六階、地下一階付、本瓦葺

修　理：平成 21~26 年度に屋根替部分修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

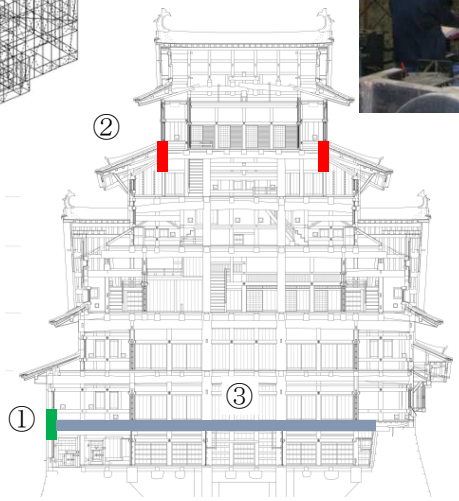
診　断：公開施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。土壁・長押・床組などの実大試験体を用いた構造実験を行い、実験結果を基に作成した立体モデルを用いて、時刻歴応答解析で診断を行った。診断の結果、地震時には最上階で最大 60cm ほど変形し（石垣上端から棟までの高さは 31.5 メートル）、特に 4 階・6 階の変形角が大きくなる傾向があることが判明した。また、床面の一部に過大な変形が生じ、通し柱が数本折損する危険性が高いことが明らかになった。なお、基礎については昭和 39 年の修理において石垣内部に鉄筋コンクリート造のフレームを設置しており、石垣が崩落しても大天守の倒壊には至らないと判断した。

補　強：柱の折損防止のため、地階・1 階の通し柱に 9 箇所（①）、5 階・6 階の通し柱に 8 箇所（②）、金物補強を行った。また、梁の抜け落ちや壁の転倒防止のため 1 階の床下・梁にそれぞれ 1 箇所ずつ補強を設置した（③）。構造実験や解析により耐震性を評価することで、地震に対する弱点を詳細に把握し、文化財の価値に大きな影響を与えない必要最小限の補強を行うことが可能となった。



立体モデル

大壁構造実験



補強位置（断面）

地階・1 階の通し柱の金物補強（①）

5 階・6 階の通し柱の金物補強（②）

1 階の床下の金物補強（③）

２１　重要文化財　名古屋城西南隅櫓（愛知県名古屋市）

～意匠的に配慮し、壁内部で土壁を塗り増し筋違を設置～

名古屋城西南隅櫓　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：慶長 17 年(1612)

指定年：昭和 5 年

所在地：愛知県名古屋市

構　造：木造、二重三階、本瓦葺、総塗込め

修　理：平成 22~26 年度に半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：診断時には内部公開等は行っていなかったが、建物を地震被害から守る観点から、必要耐震性能は安全確保水準とし、等価線形化法で診断を行った。現状の耐震要素として、柱梁や貫のほか、今回の修理で土壁に復原する見込であった外壁（過去の修理で鉄網コンクリート壁とされていた）を評価したが、中古の筋違は復原により撤去予定であったので評価しなかった。診断の結果、耐震性能が不足し倒壊の危険性があることが明らかとなった。また、基礎は石垣は過去に崩落したことがあり、現状でも沈下が確認された。

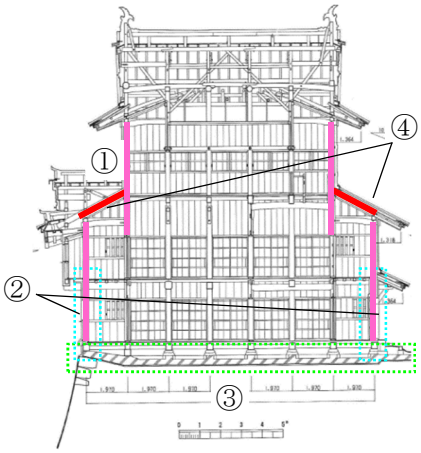
補　強：復原した土壁と貫の間には 15mm程度の空隙があり、この部分に土壁を塗り増し、耐力を向上させた（①）。また、１階の壁内部に付いていた中古の筋違は取り外し、交換した上で有効な箇所に圧縮筋違を取り付けた（②）。

その他、以下の補強を行った。

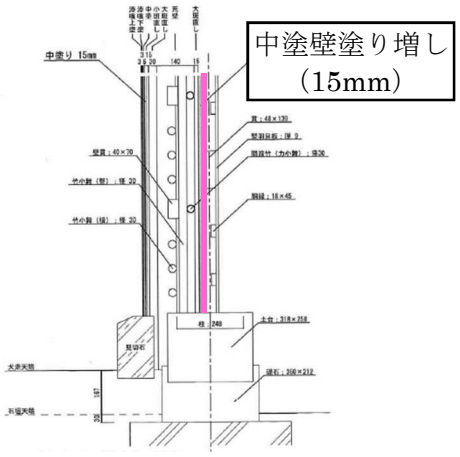
・基礎の沈下対策として建物荷重を分散させるためベタ基礎を設置した（③）。

・初重屋根面の化粧裏板上に補強板を斜め張りにして水平構面を補強した（④）。

・床板を止めている釘の引張実験を行い、既存の床組の剛性を評価した結果、床面の補強は行わなかった。



補強位置図



壁塗り増し詳細図（①）

壁内筋違設置状況（②）

ベタ基礎の配筋状況（③）

屋根下地の補強位置（④）

２２　重要文化財　旧江戸城清水門・田安門（東京都千代田区）

～高麗門の転倒防止を、柱の保存環境に配慮しタイロッドで実施～

旧江戸城清水門　高麗門及び櫓門　外観

同田安門　櫓門　外観

＜建造物概要＞

建設年：【清水門】万治元年(1658)、【田安門】寛永 13 年(1636)

指定年：【清水門】昭和 36 年、【田安門】昭和 36 年

所在地：東京都千代田区

構　造：【清水門】高麗門、本瓦葺　【櫓門】脇戸付櫓門、入母屋造、本瓦葺
【田安門】高麗門、本瓦葺　【櫓門】脇戸付櫓門、入母屋造、本瓦葺

修　理：東日本大震災で瓦がずれ石垣が孕むなどの被害、平成 23~24 年に石垣の組直しを含む災害復旧工事と併せて、耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

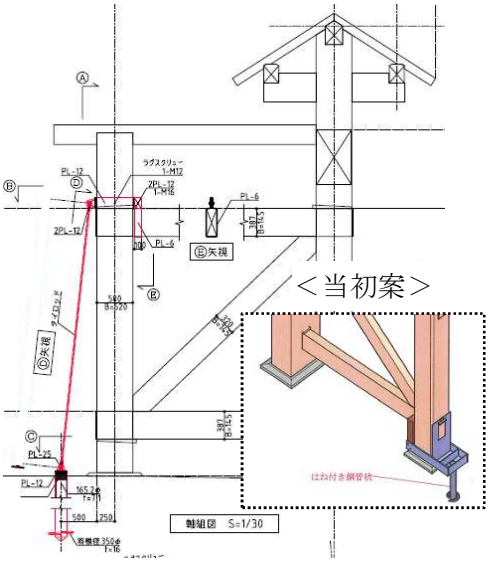
診　断：多数の人が通過するため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いた等価線形化法で診断を行った。診断の結果、高麗門は重心が外側にあるため、地震時に控柱の浮き上がりが生じ、外側へ転倒する危険性が高いことが明らかになった。櫓門は両側の石垣に架かる部分の中央が、地震時に梁間方向へ大きく変形し、倒壊の危険性が高いことが明らかになった。

補　強：【高麗門】

外側への転倒を防止するために、地中に挿入した鋼管杭で反力を取り、控柱の浮き上がりを拘束することとした。検討当初は控柱の柱脚に補強金物を設置する方法を計画したが、雨懸りになる柱脚へ金物を付けた場合、乾きにくくなり腐朽することが懸念された。このため、控柱上部にタイロッドを設置し、転倒を防ぐ方法を採用した（①）。

【櫓門】

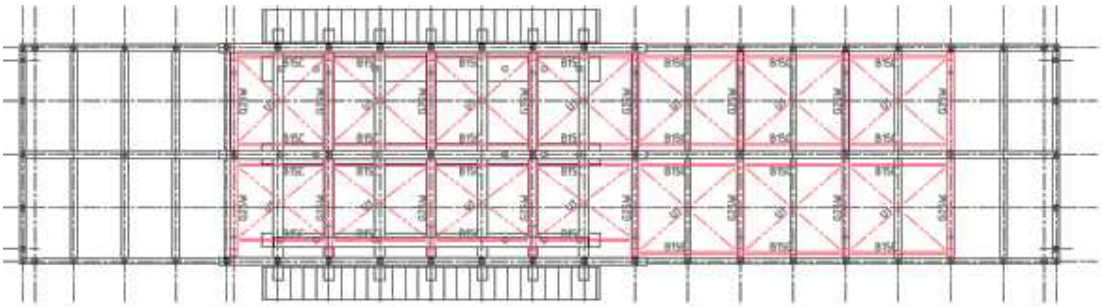
建物内部の床上に逆門型の鉄骨フレームを設置し、下部を水平ブレースで固めた（②）。鉄骨フレームは石落としの部分を避けるようにした。また鉄骨梁上には一部仮設の床を設置し、内部の移動の妨げとならないようにした。



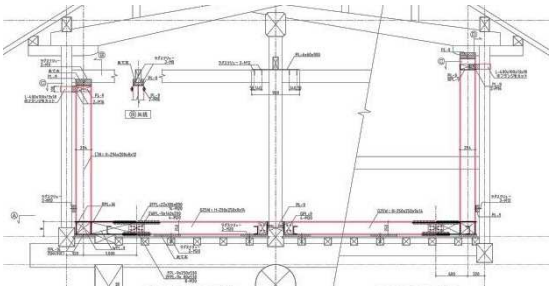
＜採用案＞

高麗門の転倒防止の検討過程（①）

タイロッド設置状況（①）



櫓門の補強設置位置（平面）



櫓門の補強位置（断面）

鉄骨フレーム設置状況（②）

洋風木造建築物

２３　重要文化財　旧富山県立農学校本館（富山県南砺市）

～両脇に復原した教室棟で耐震補強と活用のための空間を確保～

旧富山県立農学校本館　外観

同左　二階内部

＜建造物概要＞

建設年：明治 36 年

指定年：平成 9 年

所在地：富山県南砺市

構造：木造、建築面積 333.3㎡、二階建、桟瓦葺

修理：平成 14 年 7 月～平成 17 年 9 月に半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

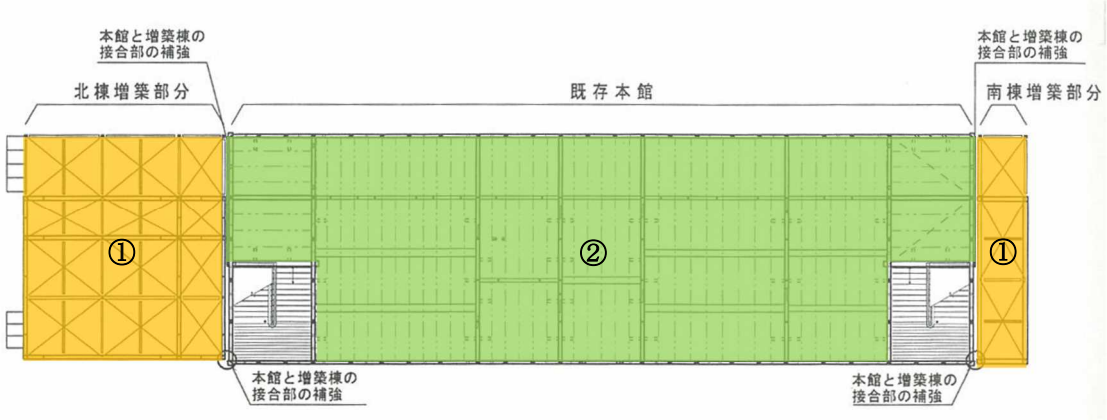
診断：

許容応力度計算、等価線形化法に基づく解析を行い診断した結果、桁行方向において大地震動時の変形が非倒壊限界変形を上回り、倒壊の危険性が高いことが判明した。

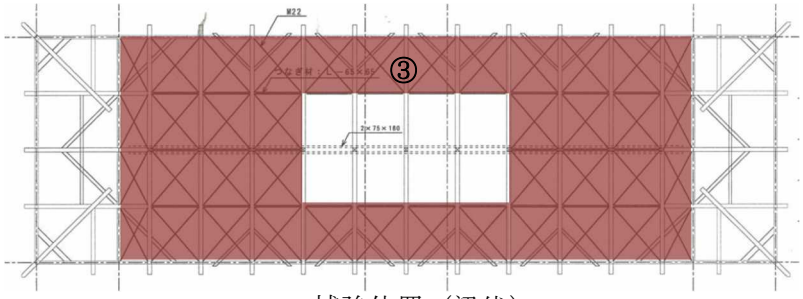
補強：

本館の両脇に復原することとなった教室棟を鉄骨ブレースによって補強し、この教室棟によって本館の桁行方向を補強した（①）。この教室棟に活用上不足していたトイレなどの設備も入れた。指定範囲外の隣接建造物を利用することで、文化財本体に影響を与えないよう配慮した。

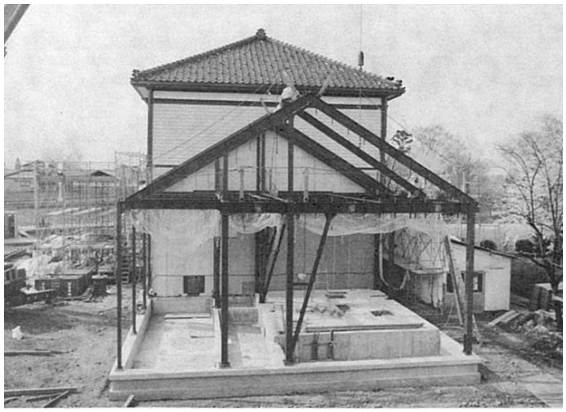
そのほか、二階の筋違が引張りにも効くよう端部を金物で補強し、二階床面に構造用合板を（②）、小屋裏に鋼棒ブレースを（③）、屋根野地面に構造用合板を（④）設置して水平構面を補強した。



補強位置（二階床伏）



補強位置（梁伏）



復原した教室棟による補強（①）

屋根野地面の構造用合板補強（④）

２４　重要文化財　旧奈良県物産陳列所（奈良県奈良市）

～活用のための整備箇所と一体的にデザインした鉄骨フレーム補強～

旧奈良県物産陳列所　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：明治 35 年

指定年：昭和 58 年

所在地：奈良県奈良市

構造：木造、建築面積 739.3m^2、桟瓦葺、中央楼・東西胴家・東西翼廊よりなる

修理：平成 21 年 10 月～平成 23 年 3 月に耐震対策及び部分修理を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

立体モデルを用いた時刻歴応答解析を行い診断した結果、大地震動時の変形が非倒壊限界変形を上回り、倒壊の危険性が高いと判断された。

補強：

以下の補強を行った。

・中央楼、胴家、翼廊の境に鉄骨フレームを設置した（①）。

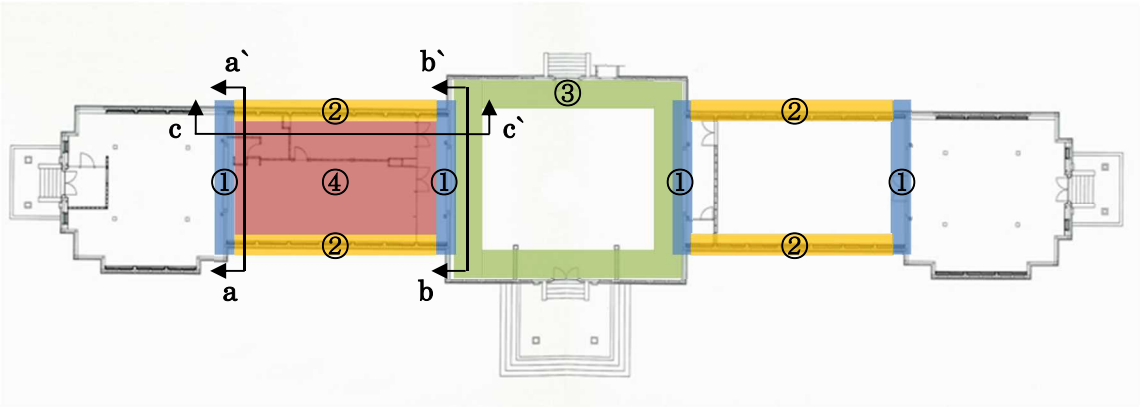
・前回修理で整備した外周の二重壁の内部に鉄骨フレームを追加した（②）。

・小屋裏に鋼棒ブレースや木造筋違を設置した。

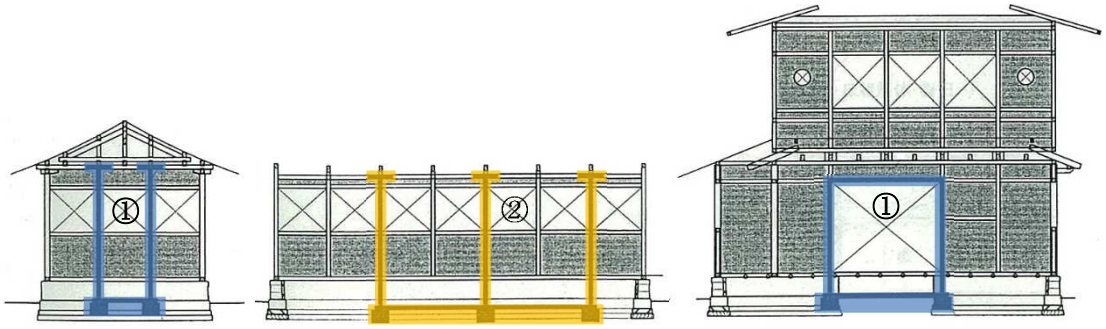
・中央楼の吹き抜け上部のギャラリーの床に鉄骨ブレースを設置した（③）。

・耐震補強ではないが、書庫として使う部分の床下に鉄筋コンクリート造基礎を設置した（④）。

各棟の境に設置した鉄骨フレームについては、鉄骨の継手が目立たないよう、応力の小さい柱の中間部等に継手を設けることで簡単なものとし、ボルトが見えないようにカバーを付けた。また、補強部材の色を活用のために設けたパーティションと同じ濃紺色とするなど、一体的にデザインし意匠的に配慮した。



補強位置（平面）



a-a`　　b-b`　　c-c`

補強位置（断面）

パーティションと鉄骨フレーム補強（①）

ギャラリー床上の
鉄骨ブレース（③）

２５　重要文化財　旧鹿児島紡績所技師館（鹿児島県鹿児島市）

～木摺壁内部に構造用合板を付加的に設置した可逆的な補強～

旧鹿児島紡績所技師館　外観

＜建造物概要＞

建設年：慶応 3 年（1867）

指定年：昭和 37 年

所在地：鹿児島県鹿児島市

構造：木造、建築面積 739.3m^2、桟瓦葺

修理：平成 19 年 6 月～平成 19 年 12 月に耐震診断、
平成 21 年 6 月～平成 23 年 3 月に耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

等価線形化法に基づく解析を行い診断した結果、大地震動時の変形が非倒壊限界変形を上回り、倒壊の危険性が高いことが判明した。既存の木摺壁には筋違が入っていなかったため耐震性能が低くかった。

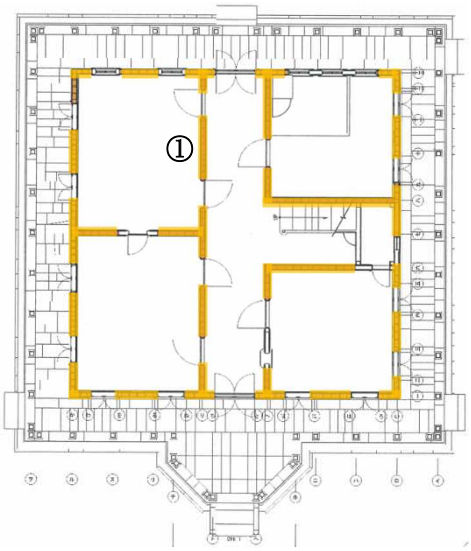
補強：

木摺壁を一旦解体し、間柱は残したまま、その間に構造用合板を組み入れ、木摺壁を復旧した（①）。補強箇所が多く工事範囲は大きくなったが、木摺壁の仕様を保存し、付加的な補強にすることで将来的に取り外せば元に戻せるように配慮した。

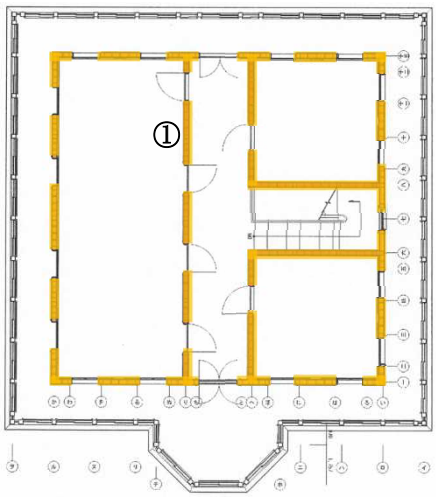
そのほか、以下の補強を行った。

・屋根野地面と二階床面に構造用合板を設置した。

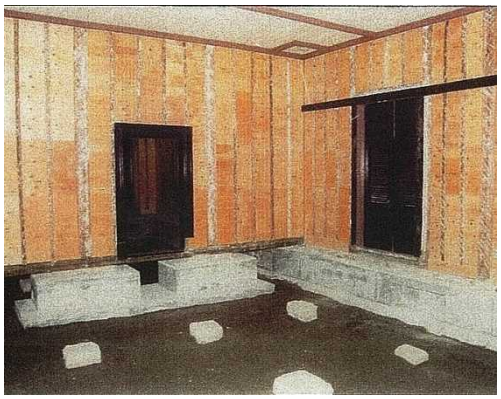
・石積み基礎の内側に鉄筋コンクリート造基礎を設置し補強した（②）。



補強位置（一階平面）



補強位置（二階平面）



構造用合板補強（①）と
鉄筋コンクリート造基礎（②）

補強後復旧した木摺下地

２６　重要文化財　旧茨城県立太田中学校講堂（茨城県常陸太田市）

～補強工事のための解体範囲を最小限にするように検討～

旧茨城県立太田中学校講堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：明治 37 年

指定年：昭和 51 年

所在地：茨城県常陸太田市

構　造：木造、建築面積 296.7m^2、一階建、桟瓦葺、南面玄関ポーチ、東・西面出入口庇付、各鉄板葺

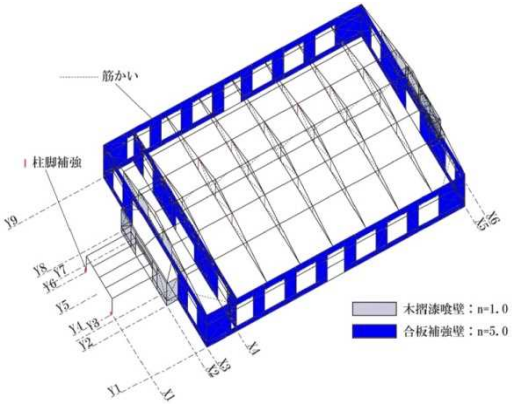
修　理：東日本大震災により、瓦屋根のずれ出し、漆喰壁・天井・ガラス窓の破損が生じた。平成 23～25 年度に災害復旧工事、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

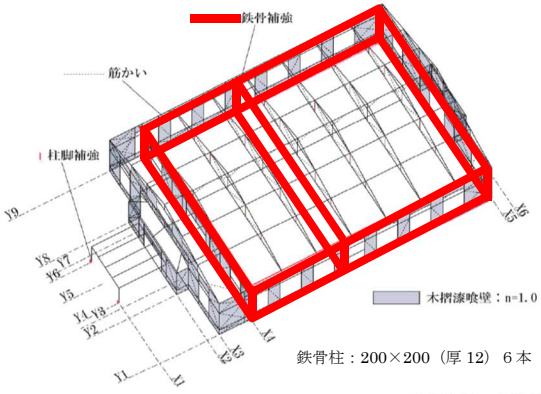
診　断：公開施設として使われているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。立体モデルを用いた等価線形化法で診断を行った。診断の結果、壁の浮き上がりや筋違の破損が生じ、倒壊の危険性があることが明らかになった。

補　強：補強方法の検討において、当初、構造用合板による壁補強（A 案）と鉄骨柱 6 本によるフレーム補強（B 案）を比較検討した。災害復旧工事のため工期が限定されていることや、壁下地は健全であること、また過去に大規模な保存修理工事が行われておらず詳しい調査が未実施であること等を鑑みて、当該工事による解体範囲は最小限にすることが望ましいと判断した。このため、補強材が室内に露出するが補強のための解体範囲が小さい B 案を採用した。

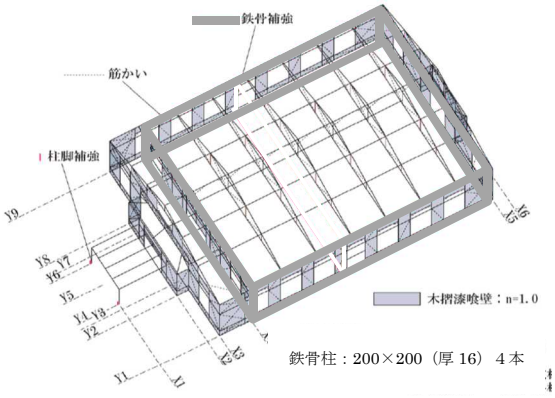
意匠上の影響を小さくするために肉厚の鉄骨柱を用いることを追加検討し、最終的に鉄骨柱 4 本（200mm 角・厚 16mm）を室内四隅に配置することとした。意匠上目立つ鉄骨柱の継手は部屋内に設けず、見え隠れとなる床下や天井裏に設けることとしたが、鉄骨柱のパーツが大きくなるため、綿密な施工計画を立てて組立を行った。



A 案　壁補強



B 案　鉄骨フレーム補強（柱 6 本）



最終案　鉄骨フレーム補強（柱 4 本）

鉄骨柱の天井裏での接合状況

鉄骨柱の設置状況

鉄骨柱と天井の納まり

２７　重要文化財　北海道大学農学部（旧東北帝国大学農科大学）第二農場、同植物園・博物館（北海道札幌市）

～積雪時の使用状況等に応じて様々な補強方法を提案～

第二農場　牧牛舎　外観

植物園・博物館　博物館本館　外観

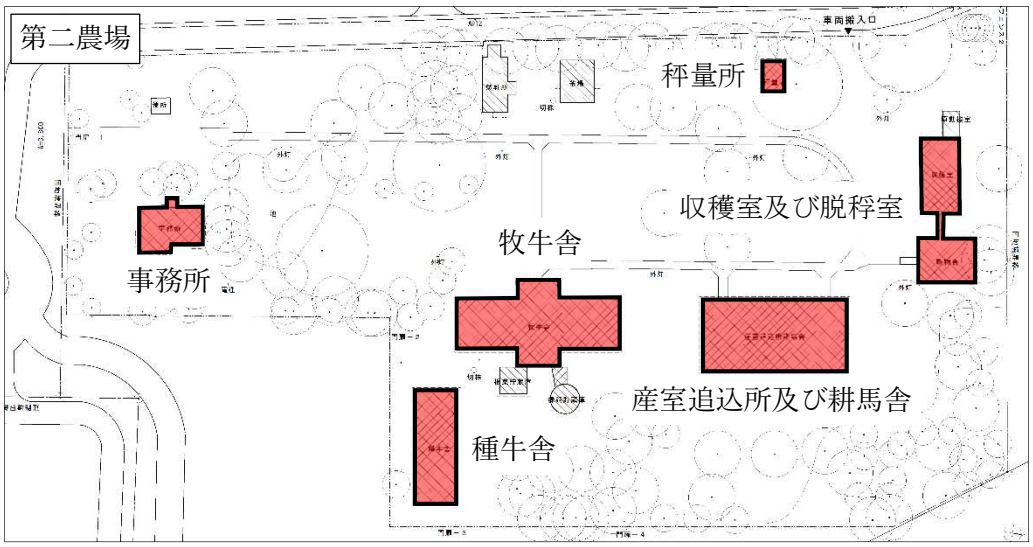
＜建造物概要＞

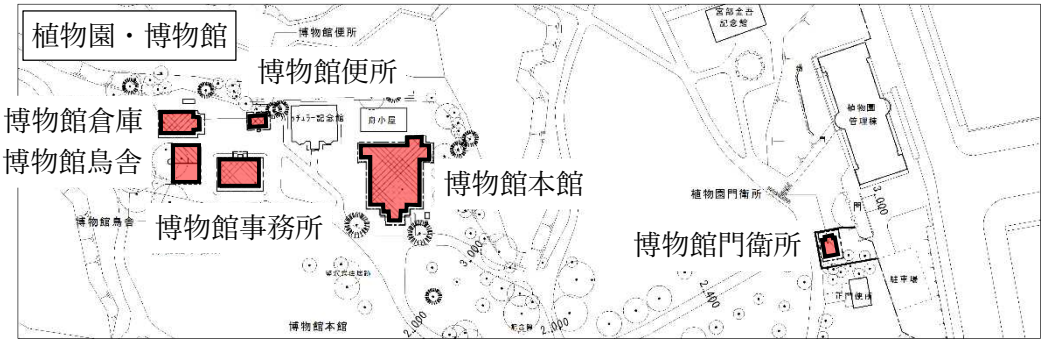
建物名称		建設年	構造
第二農場	事務所	明治　9 年	木造、1 階建、正面玄関付、鉄板葺
	種牛舎	明治 12 年	木造、1 階建、鉄板葺
	牧牛舎	明治 42 年	木造、1 階建、換気塔八所付、スレート葺、東西面角屋附属
	産室追込所及び耕馬舎	明治 10 年	木造、2 階建、中央換気塔付、鉄板葺
	穀物庫	明治 10 年	木造、2 階建、妻入、鉄板葺、西面高架廊下附属
	収穫室及び脱稃室	明治 44 年	木造、一部 2 階、鉄板葺
	秤量場	明治 44 年	木造、1 階建、妻入、鉄板葺
植物園・博物館	博物館本館	明治 15 年	木造、2 階建、北面下屋附属、鉄板葺、陳列棚を含む
	博物館便所	明治 36 年	木造、1 階建、鉄板葺
	博物館事務所	明治 33 年	木造、1 階建、桟瓦葺
	植物園門衛所	明治 44 年	木造、1 階建、石綿スレート葺
	植物園倉庫	明治 17 年	木造、1 階建、鉄板葺

指定年：【第二農場】昭和 44 年
　　【植物園・博物館】平成元年

所在地：【第二農場】北海道札幌市北区
　　【植物園・博物館】北海道札幌市中央区

修　理：平成 25～26 年度に北海道大学農学部第二農場、植物園・博物館のうち、木造である上記 12 棟を対象に耐震対策工事を実施。





補強対象建物　配置図

＜耐震対策経緯＞

診　断：立体モデルを用いた等価線形化法で診断を行った。必要耐震性能は使用状況に応じて建物ごとに次頁表のように設定した。冬季に使用されない建物は、夏季のみ安全性を確保できるよう、必要耐震性能を積雪のない状態で安全確保水準、積雪がある状態で復旧可能水準とした。一方で、冬季も使用する建物については、積雪荷重がある状態で安全確保水準とした。また、通年でほぼ使用しない建物は積雪荷重の有無にかかわらず復旧可能水準とした。

補　強：補強の基本方針として、博物館本館のように既存壁を補強して必要耐震性能を確保できる建物は構造用合板による壁補強を行ったが、牧牛舎のように既存壁だけでは補強しきれない建物は鉄骨補強を行った。また、第二農場、植物園・博物館の両敷地とも「周知の埋蔵文化財包蔵地」であるため、補強のための新設基礎は埋蔵文化財に与える影響を最小限に抑える計画とした。

構造用合板による壁補強を行った場合には、必要に応じて柱頭柱脚の接合部を金物で補強し、基礎とアンカーボルトで緊結した。また、合板が露出する部分については、化粧材で覆い隠すことはせず、合板を黒色に塗り、目立たないが当初材

とは区別できるようにした。鉄骨補強する場合には、建物の奥側など目立ちにくい位置に設置し、構造用合板と同じく黒色で塗装した。

牧牛舎では 1 階に鉄骨フレーム（①）を、2 階床下に鉄筋ブレース（②）を設置し、鉛直・水平構面を固めた。博物館本館では下見板を一旦外し、構造用合板を壁中に設置し（③）、小屋裏で屋根面に鉄筋ブレースを設置し水平面を固めた（④）。

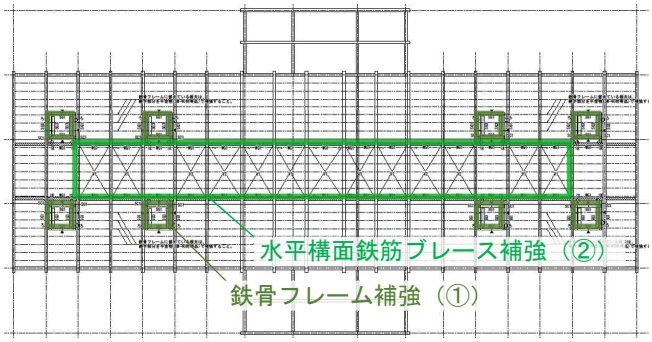
・第二農場

建物名称	使用状況		必要耐震性能		主な補強内容
	夏季	冬季	夏季	冬季	
事務所	使用	使用	安全確保	安全確保	・二重壁内で構造用合板による壁補強（見隠れ） ・小屋裏で構造用合板による水平面補強（見隠れ）
種牛舎	随時使用	使用なし	安全確保	復旧可能	・１階二重壁内で構造用合板による壁補強（見隠れ） ・２階(非公開部分)構造用合板による補強（見掛り） ・棟木、母屋鉄骨補強による屋根構面補強（見掛り）
牧牛舎	使用	使用なし	安全確保	復旧可能	・鉄骨補強（一部、構造用合板による壁補強）（見掛り） ・鉄骨補強に伴う地盤アンカーを支持地盤まで挿入、RC 基礎新設（見隠れ） ・2 階床下でブレースによる水平面補強（見掛り） ・煉瓦・石造１階立上り壁にアンカー筋挿入（見隠れ）
産室追込所及び耕馬舎	使用	使用なし	安全確保	復旧可能	・１階二重壁内で構造用合板による壁補強（見隠れ） ・２階壁 長辺方向：鉄筋ブレースによる補強（見掛り） 短辺方向：構造用合板による補強（見掛り） ・2 階床及び小屋裏で構造用合板による水平面補強（見隠れ） ・屋根はブレースによる水平面補強（見掛り）
穀物庫	使用	使用なし	安全確保	復旧可能	・鉄骨補強(見掛り) ・鉄骨補強に伴う地盤アンカーを支持地盤まで挿入、RC 基礎新設（見隠れ） ・渡り廊下の落下防止補強材取付
収穫室及び脱稃室	随時使用	使用なし	安全確保	復旧可能	・鉄骨補強(一部　構造用合板による壁補強)（見掛り） ・鉄骨補強に伴う地盤アンカーを支持地盤まで挿入、RC 基礎新設（見隠れ）
秤量場	使用なし	使用なし	復旧可能	復旧可能	・斜材の下部に補強基礎を追加（見隠れ）

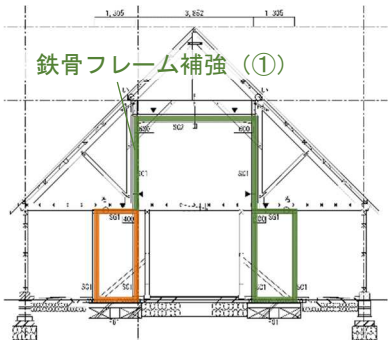
・植物園・博物館

建物名称	使用状況		必要耐震性能		主な補強内容
	夏季	冬季	夏季	冬季	
博物館本館	使用	使用	安全確保	安全確保	・二重壁内で構造用合板による壁補強（見隠れ） ・2 階床及び小屋裏で構造用合板・ブレースによる水平面補強（見隠れ）
博物館便所	使用	使用なし	安全確保	復旧可能	・二重壁内で構造用合板による壁補強（見隠れ） ・小屋裏で火打金物による水平面補強（見隠れ）
博物館事務所	使用	使用	安全確保	安全確保	・二重壁内で構造用合板による壁補強（見隠れ） ・１階床下及び小屋裏でブレースによる水平面補強（見隠れ） ・煉瓦基礎補強（見隠れ）
植物園門衛所	使用	使用	安全確保	安全確保	・二重壁内で構造用合板による壁補強（見隠れ） ・天井裏でブレースによる水平面補強　（見隠れ）

・第二農場　牧牛舎



補強位置図（平面）

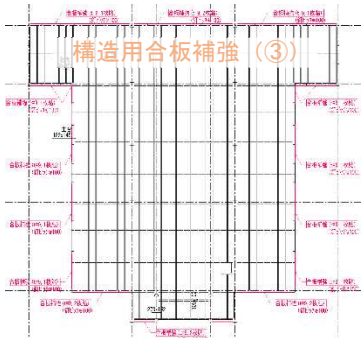


同左（断面）

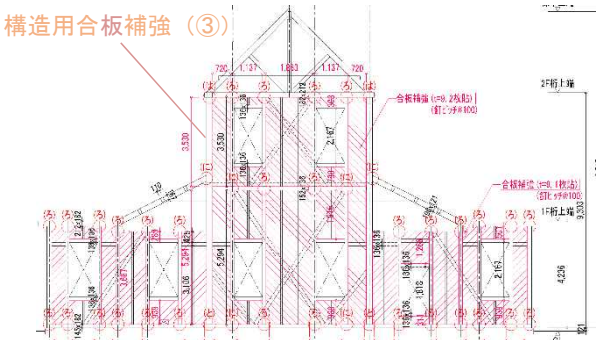
鉄骨フレーム補強（①）

水平構面鉄筋ブレース補強（②）

・博物館本館



補強位置図（平面）



同左（断面）

構造用合板補強（③）

屋根面鉄筋ブレース補強（④）

木造建築物（その他）

２８　重要文化財　八千代座（熊本県山鹿市）

～客席から目立たないように設置箇所を工夫した補強～

八千代座　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：明治 43 年

指定年：昭和 63 年

所在地：熊本県山鹿市

構造：桁行 35.3m、梁間 30.6m、二階建、入母屋造、妻入、正面庇、
庇上両端二階付、入母屋造、客席・左右両面二段庇、
舞台及び楽屋廻り三面下屋付、奈落を含む、桟瓦葺、便所及び渡廊下附属

修理：平成 8 年 7 月～平成 13 年 6 月に半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

耐震診断の結果、強度が不足することが判明した。多数の観客が建造物内部に滞在することから地震時における安全性を確保する必要性が高い。

補強：

以下の補強を行った。

・地盤面の鉄筋コンクリート造スラブを設けた（①）。

・床下において柱脚を挟み梁で繋いだ（②）。

・舞台に鉄骨フレームを設けた（③）。鉄骨フレームの配置は公演の妨げにならないよう慎重に決定した。公演中は鉄骨フレームの前面に舞台の背景となる大道具が置かれるため、補強は見えない。

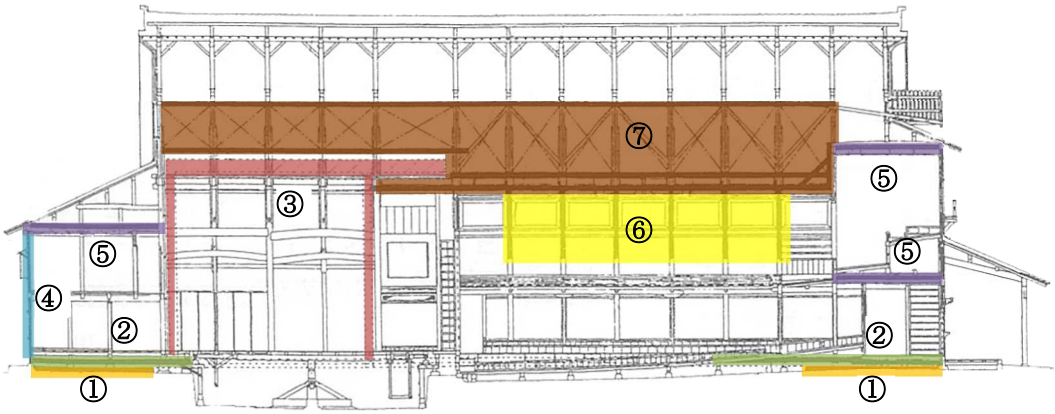
・要所となる土壁の内部にステンレス板を組み込んだ（④）。

・小屋裏や二階床でブレースや板材を用いて水平構面を補強した（⑤）。

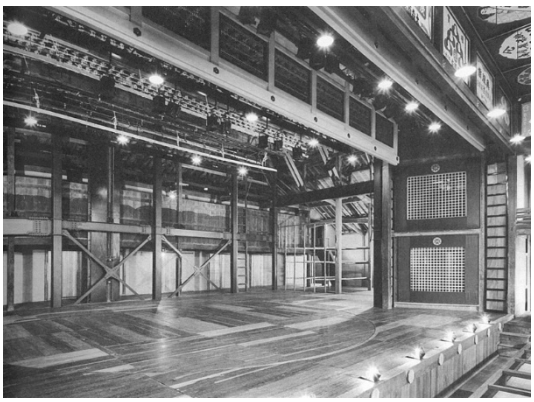
・上屋柱に添え材を設けた（⑥）。添え材下端に繰型を付け意匠的に配慮した。

・小屋組内に桁行方向の木造トラスを設けた（⑦）。

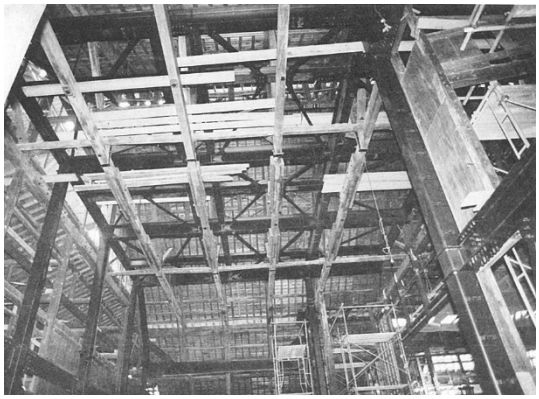
・屋根重量を軽減するため、瓦葺を土葺から空葺に変更した。



補強位置（断面）



舞台の鉄骨フレーム（③）



鉄骨フレーム上部（③）

木骨煉瓦造建築物

２９　国宝　旧富岡製糸場東置繭所（群馬県富岡市）

～煉瓦壁の面外方向への崩壊を防止する経過的補強～

旧富岡製糸場東置繭所　外観

同左　１階中央通路

＜建造物概要＞

建設年：明治５年

指定年：平成 18 年重要文化財、平成 26 年国宝

所在地：群馬県富岡市

構造：木骨煉瓦造、建築面積 1,486.60m^2、二階建、北面庇・西面及び南面ヴェランダ付、桟瓦葺

修理：平成 23 年７月～平成 24 年３月に耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

同敷地内にあるほぼ同じ構造を有する西置繭所において、平成 21 年度～平成 22 年度に耐震診断が実施されており、この診断結果から当該建造物においても地震時に煉瓦壁が面外方向への崩壊する恐れがあると判断した。診断で実施した実大振動実験では、煉瓦壁頂部と木造桁の間の隙間を埋めることで、面外方向への崩壊をある程度防止できることが確認されており、これに基づき経過的補強を実施することとした。

補強：

建造物全体の耐震性能を確保するための本格的な補強は将来行うものとし、当面の安全性を少しでも向上させるために、煉瓦壁の面外方向への崩壊を防止する経過的補強として、　以下の補強を行った。

・煉瓦壁頂部と木造桁との間にできた隙間に無収縮モルタルを充填した（①）。

・人通りの多い中央通路両脇の半枚積み煉瓦壁については特に危険性が高いと判断し、煉瓦落下防止のための溶接金網、補強柱、補強梁を設置した（②）。

・本来、煉瓦壁の左右両辺は柱の決りに収まっていたが、経年劣化により外れている箇所があり、このような柱には辺付を設置した。

補強位置（西側立面）

中央通路両脇の煉瓦落下防止補強（②）

煉瓦落下防止補強詳細（②）

３０　重要文化財　旧神戸居留地十五番館（兵庫県神戸市）

～地震で倒壊後、災害復旧で免震装置を設置～

旧神戸居留地十五番館　被災状況

同左　修理後外観

＜建造物概要＞

建設年：明治 14 年頃

指定年：平成元年

所在地：兵庫県神戸市

構造：木骨煉瓦造、建築面積 175.4m^2、二階建、桟瓦葺

修理：平成７年１月に発生した阪神・淡路大震災で倒壊、敷地では地盤の液状化が発生、平成７年９月～平成 10 年３月に災害復旧による解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

補強：

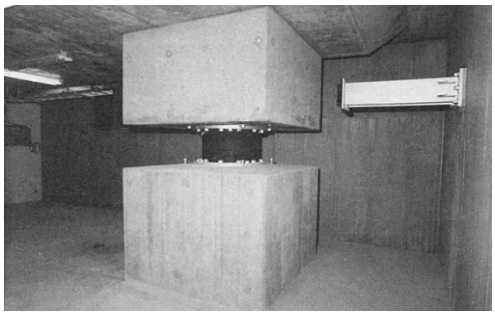
部材をできる限り再用し、建設当初の仕様の変更を最小限にしながらも、十分な耐震性能を確保するため、重要文化財で初めて免震装置を設置し、以下の補強を行った。

・地盤の液状化対策として柱状改良工法を実施した（①）。

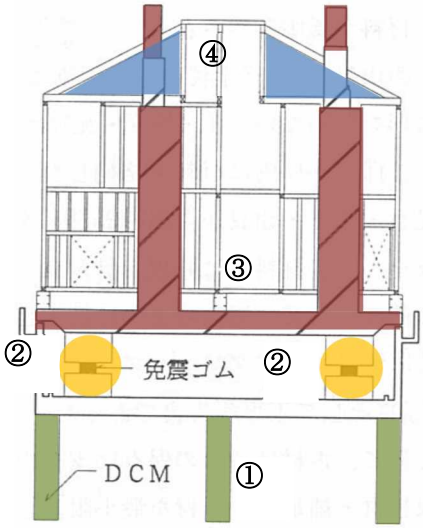
・地下ピットを設け、鉛プラグ入り積層免震ゴムを４基設置した（②）。

・地震時に倒壊の危険性がある煉瓦造の煙突を SRC 柱として耐震要素とした（③）。

・小屋組内に鉄骨補強を設置し、建造物に加わる地震力を SRC 柱に伝達させることとした（④）。



免震ゴム（②）

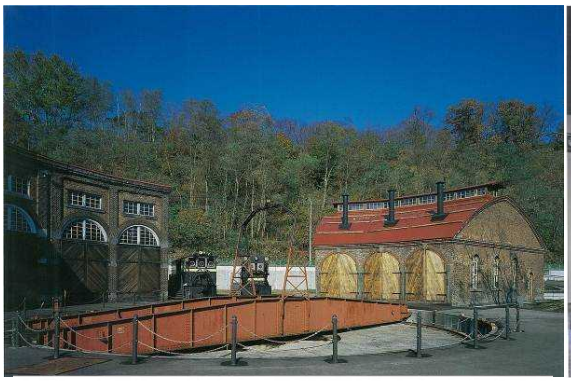


補強箇所（断面）

煉瓦造建築物

３１　重要文化財　旧手宮鉄道施設機関車庫三号（北海道小樽市）

～接合部を工夫した鉄骨フレーム補強～



旧手宮鉄道施設機関車庫三号　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：明治 18 年

指定年：平成 13 年

所在地：北海道小樽市

構造：煉瓦造、建築面積 118.57m^2、鉄板葺、引込線附属

修理：平成 18 年 4 月～平成 21 年 10 月に部分修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

診断の結果、鉄骨フレームによる補強が必要と判断した。また、当該地は地下水位も高く地盤が軟弱であり、鉄骨フレームの基礎を新設する際に、地盤対策も必要と判断した。

補強：

以下の補強を行った。

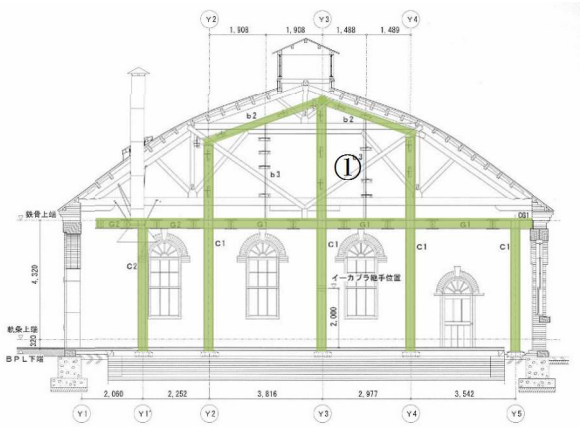
・建造物内部に鉄骨フレームを設けた（①）。鉄骨フレームは煉瓦壁に取り付けた溝型鋼と接続した。

・鉄骨フレームの柱脚には土間下にあったピットを避けて鉄筋コンクリート造基礎を設けた。

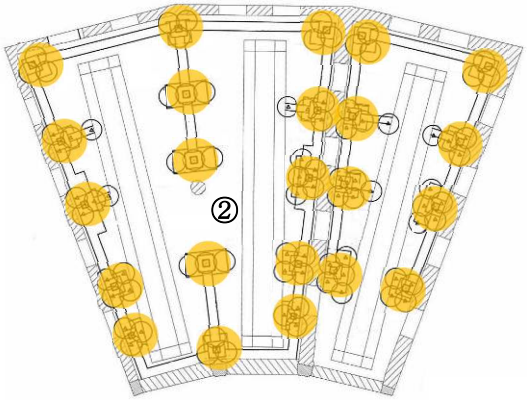
・鉄骨フレームの基礎下の地盤には柱状改良工法（高圧噴射撹拌工法）を用いて改良杭を設けた（②）。

・鉄骨部材に厚肉の角型鋼管やビルド H 型鋼を用いることで、部材の断面をできる限り小さくした。

・鉄骨柱の継ぎ手には目立ちにくい工法を用い、外観に配慮した（③）。

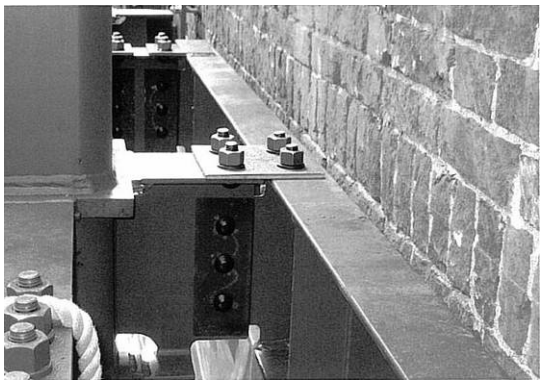


補強位置（断面）



補強位置（平面）

鉄骨フレーム補強（①）



鉄骨フレームと煉瓦壁の取合い

鉄骨柱の継手（③）

３２　重要文化財　山形県旧県会議事堂（山形県山形市）

～復原した内部空間を優先し、外部に意匠的に配慮した鉄骨バットレスを設置～

旧県会議事堂　外観

同左　復原した議場内部

＜建造物概要＞

建設年：大正５年

指定年：昭和 59 年

所在地：山形県山形市

構造：煉瓦造、建築面積 866.4㎡、スレート葺、正面二階建、議場部分平屋建

修理：昭和 61 年７月～平成２年９月半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

診断の結果、地震時に議場の東西面の壁が面外方向へと破壊する危険性があることが判明した。

補強：

議場部分の補強方法として、次の２案を比較検討した。

A 案　東西面の煉瓦壁の天井裏に水平トラスを挿入し、南北面の煉瓦壁に鉄筋コンクリート造耐震壁を添え打ちする。

→外観意匠に与える影響はないが、煉瓦壁に残る根拠となった痕跡を失うことや、可逆性のない補強となることが問題。

B 案　東西面の煉瓦壁の外部に鉄骨バットレスを設ける。

→議場内部の文化財的価値の損失がほぼ生じない可逆性のある補強であるが、外観意匠に著しく影響を与えることが問題。

復原した内部空間や復原根拠となった煉瓦壁に残る痕跡を保存するため、B 案を採用し、外部に鉄骨バットレス（①）を設けることとした。

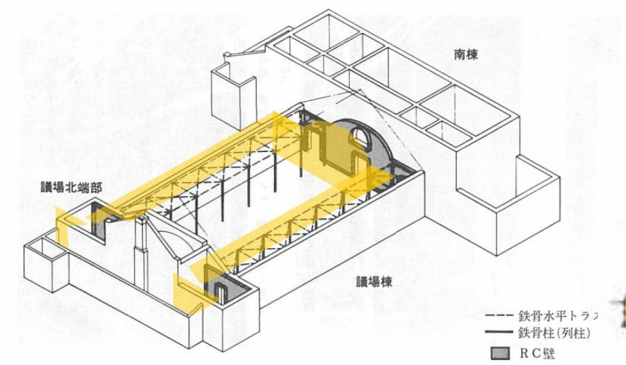
バットレスの形状について、ベニヤ合板による原寸模型を本体に当てて実見するなどし、検討を行った。検討の結果、H 形鋼をカバープレートで蓋して、先端部を絞った箱形の控柱式とし、脚部は礎石風、色は黒灰色とした。

そのほか、以下の補強を行った。

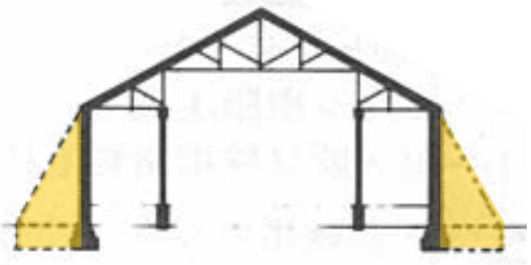
・二階建部分の水平構面を鉄骨ブレースで補強した（②）。

・小屋裏に木造火打ち梁を追加した。

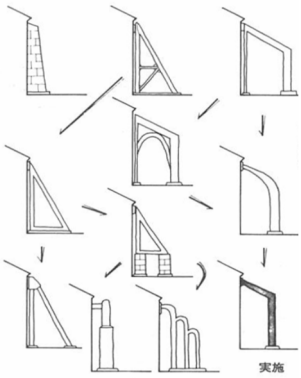
・壁体に鉄筋を挿入し補強した。



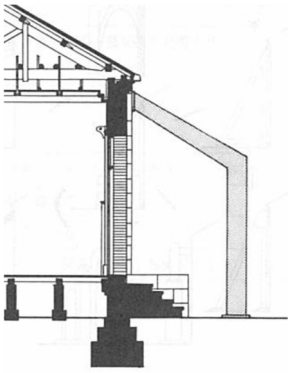
補強 A 案



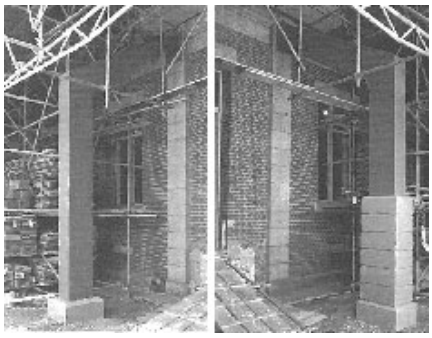
補強 B 案（採用案）



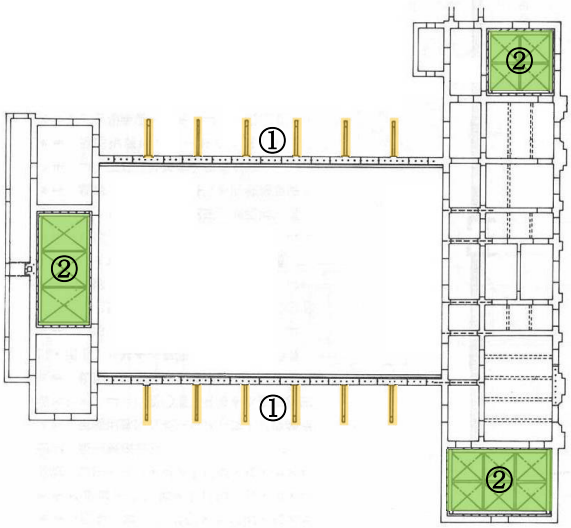
バットレスの形状の検討



決定した形状



原寸模型による検討



補強位置（平面）

３３　重要文化財　旧金澤陸軍兵器支廠（石川県金沢市）

～3 棟の類似した建造物に対し活用方法に応じた 3 種類の補強を実施～

旧金澤陸軍兵器支廠　俯瞰

同左　第一棟外観

＜建造物概要＞

建設年：大正 3 年（第一棟）、大正 2 年（第二棟）、明治 42 年（第三棟）

指定年：平成 2 年

所在地：石川県金沢市

構造：煉瓦造、二階建、桟瓦葺、

建築面積 1322.99m^2（第一棟）・1323.61m^2（第二棟）・1255.84m^2（第三棟）

修理：昭和 58 年 12 月～昭和 61 年 1 月（第一棟）、昭和 58 年 7 月～昭和 61 年 11 月（第二棟）、昭和 63 年 12 月～平成 2 年 9 月（第三棟）に半解体修理、併せて耐震対策を実施（いずれも重要文化財指定前に対策）。

＜耐震対策経緯＞

補強：

並んで建つほぼ同じ構造を有している三棟に対し、各棟で異なる活用方法を採ることとなり、補強方針もこれに応じて変えることとした。

［第一棟］

活用方法：博物館の展示室として使用、不特定多数の人が利用する。

補強方針：文化財的価値として、外観のみを保存することとした。耐震、耐風、耐火、そして展示物の安全保管のための設備や機能などを満足させるために、内部の主要構造を鉄筋コンクリート架構に置き換えた（①）。外壁である煉瓦壁はそのまま保存し、内部の木造架構を撤去し、煉瓦壁と鉄筋コンクリート壁を密着させた。地震力などの短期荷重、建造物の重量である長期荷重ともに鉄筋コンクリート架構に持たせた。

［第二棟］

活用方法：博物館の事務室や所蔵品の収蔵室、機械室といった管理棟として使われ、

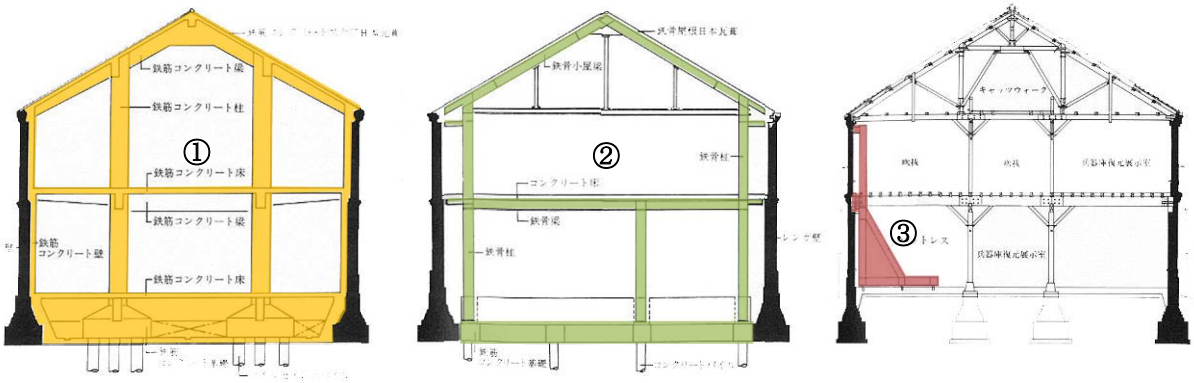
不特定多数の人が利用することはあまりない。

補強方針：文化財的価値として、外観だけでなく、できるだけ内部の木造架構も保存することとした。鉄骨フレームを新たに追加し（②）、これと煉瓦外壁を緊結する。鉄骨フレームは、既存の木造軸組を避けるように配置したが、一部床組を欠き込み貫通させた。長期荷重は既存の構造に持たせ、短期荷重を鉄骨フレームに持たせた。

［第三棟］

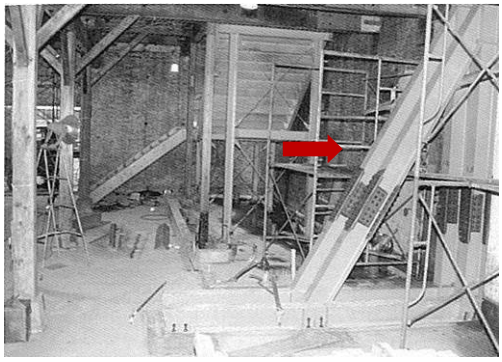
活用方針：展示品の収蔵スペースとして用い、内部を一部、文化財として公開する。

補強方針：文化財的価値として、建造物内外の意匠や、形状、仕様などをそのまま保存することとした。耐震補強として内部に鉄骨バットレスを 7 箇所設置した（③）。一部を完全な形で復原し保存した。

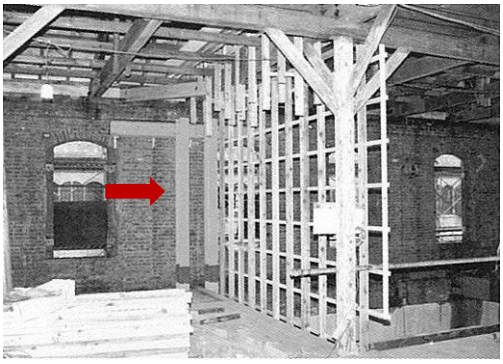


第一棟　　第二棟　　第三棟

補強位置（断面）



第三棟一階の鉄骨バットレス（③）



第三棟二階の鉄骨バットレス（③）

３４　重要文化財　同志社クラーク記念館（京都府京都市）

～モルタル注入により煉瓦壁の強度向上、小屋組内の鉄骨補強により建造物一体化～

同志社クラーク記念館　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：明治 27 年

指定年：昭和 54 年

所在地：京都府京都市

構造：煉瓦造、建築面積 389.4㎡、桟瓦葺、西南隅塔屋付、鉄板葺

修理：平成 15 年 1 月～平成 20 年 3 月に半解体修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

立体モデルを用いた等価線形化法に基づく解析を行い、煉瓦壁の面外方向に加わる応力や塔屋の耐力についても別途検討し、診断した。そのほか、構造調査として、煉瓦壁模型の載荷実験などを行い、目地空隙部分へのモルタル注入の効果についても検証した。

診断の結果、大地震動に対し、煉瓦壁は面内方向のせん断耐力が一部で不足するとともに、面外方向の曲げ耐力が全体的に不足し、塔屋の転倒する恐れもあり、地震時に崩壊する危険性が高いことが判明した。

補強：

以下の補強を行った。

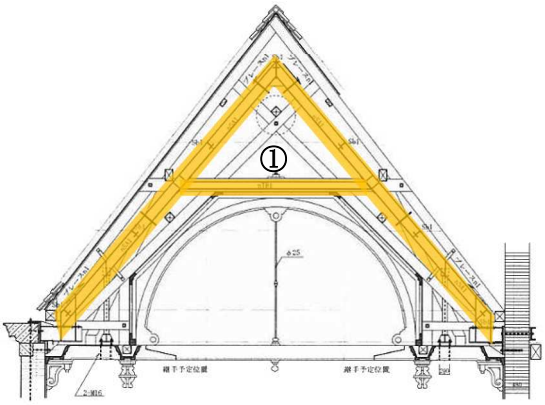
・煉瓦壁の目地に無収縮モルタルを注入し、壁の強度を向上させた。

・せん断耐力が不足する壁は、モルタルにより壁厚を増し補強した。

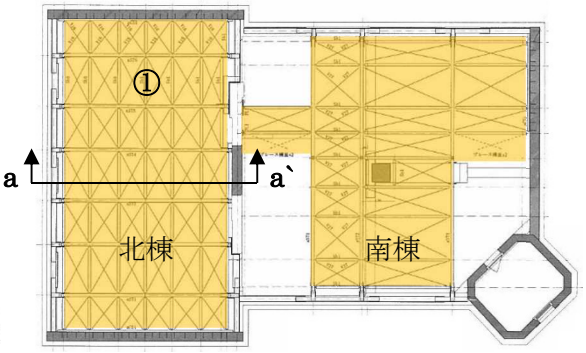
・小屋組内に鉄骨トラスと鋼棒ブレースを設置し、水平構面の剛性を強化して建造物を一体化した（①）。

・壁の面外方向への変形の大きくなる箇所は、二階床高さに鉄骨梁を設置し変形を抑えた。

・塔屋、煙突等の本体から突出する部分は鉄骨やアンカー等により補強し本体と一体化した。
・木造梁の継手等を補強した（②）。

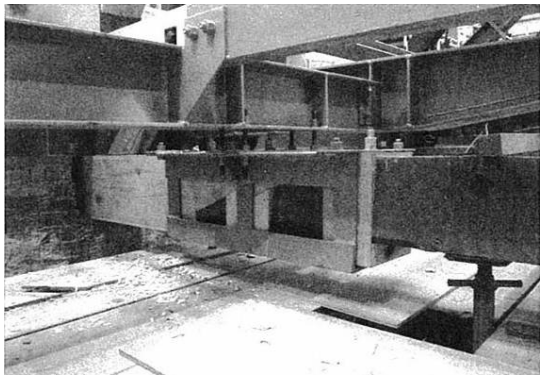


補強位置（a-a`断面）



補強位置（小屋伏）

小屋組内の鉄骨トラス補強（①）



木造梁の継手の補強（②）

３５　重要文化財　大阪市中央公会堂（大阪府大阪市）

～免震装置を設置し上部構造の補強を最小限に～

大阪市中央公会堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：大正 7 年

指定年：平成 14 年

所在地：大阪府大阪市

構造：鉄骨煉瓦造、建築面積 2,164m^2、三階建、地下一階、銅板葺、一部天然スレート葺

修理：平成 11 年 3 月～平成 14 年 9 月に保存・再生工事、併せて耐震対策を実施（重要文化財指定前に対策）。

＜耐震対策経緯＞

診断：

『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説』等に基づく「第 1 次診断法」を用いて診断した。そのほか、構造調査として、煉瓦壁に対する鉄筋コンクリート造耐震壁の添え打ち補強の効果を検証する実験などを行った。

診断の結果、必要耐震性能の 1/3 程度しか耐震性能を保有していないことが判明した。また、地盤条件が悪く、地震時に液状化の危険性があることが分かった。

補強：

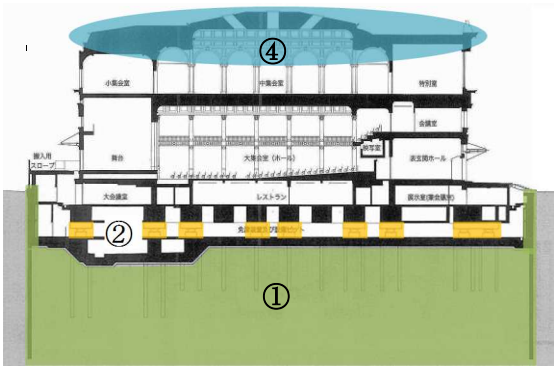
免震装置を設置することで上部構造の補強を最小限に抑える方針を採用し、以下の補強を行った。

・鋼管杭、鉄筋コンクリート造地中連続壁を設けることで、液状化対策を行った（①）。

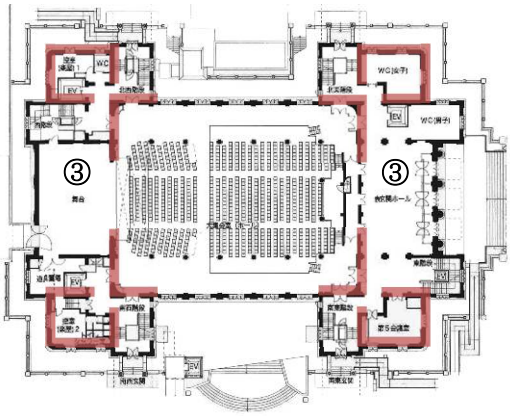
・免震装置には、鉛プラグ入り積層ゴム免震や鋼棒ダンパー等を組合せ用いた（②）。

・建造物の四隅の小室等において、既存の煉瓦壁に鉄筋コンクリート造耐震壁を添え打ちし補強した（③）。四隅の小室は、活用のための便所、機械室、会議室等として整備することとした。

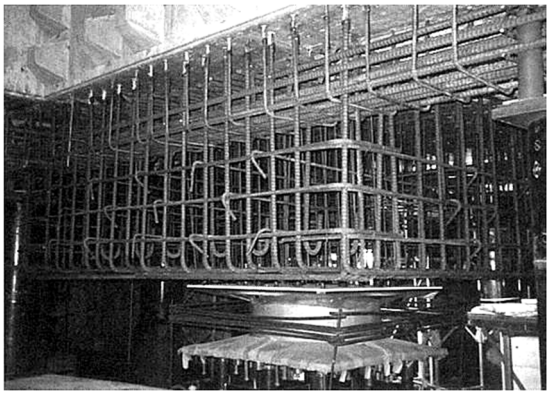
・屋根面のトラス上弦面に鋼棒ブレースを設置し、水平構面を補強した（④）。



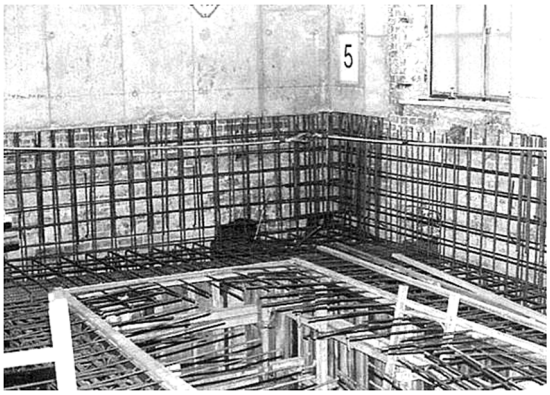
補強位置（断面）



補強位置（一階平面）



免震装置（②）



鉄筋コンクリート壁添え打ち補強（③）

３６　重要文化財　山口県旧県会議事堂（山口県山口市）

～意匠を変えないように煉瓦壁内部に鉄骨を埋め込み補強～

山口県旧県会議事堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：大正 5 年

指定年：昭和 59 年

所在地：山口県山口市

構造：煉瓦造、建築面積 708.0㎡、二階建、正面玄関ポーチ付、桟瓦葺、
正面中央塔屋付、銅板葺

修理：平成 10 年 7 月～平成 17 年 2 月に屋根葺替及び部分修理、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診断：

建造物をゾーン分けして、『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針・同解説』を参考に診断した。そのほか、構造調査として、当初仕様の山形金網入り煉瓦壁の強度試験や、煉瓦壁の鉄筋挿入による補強効果の試験等を実施した。

診断の結果、半数以上のゾーンで必要耐震性能を満たしておらず、壁の面外方向の曲げ耐力についても検討した結果、耐力が著しく不足する箇所があることが判明した。

補強：

建造物の内外に補強部材を見せず、意匠をできるだけ現状のまま保存することとした。

議場の煉瓦壁を鋼材で補強する方法について、以下の 4 案を比較し検討した。

A 案　外部から施工して鉄骨を煉瓦壁内部に挿入する方法

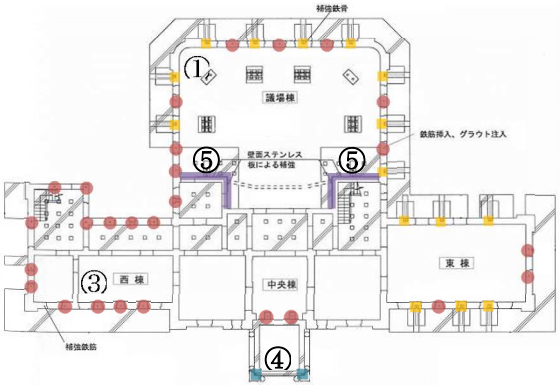
B 案　内部から施工して鉄骨を煉瓦壁内部に挿入する方法

C 案　煉瓦壁の部屋内側に鉄骨を沿わせる方法

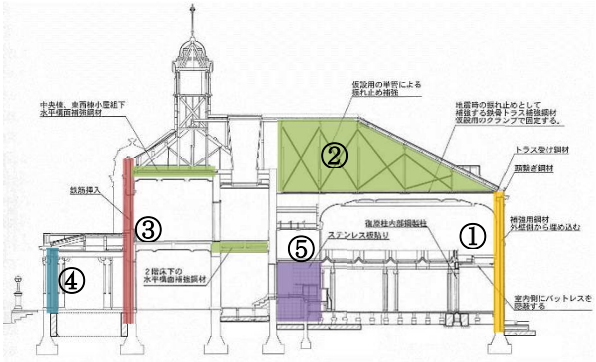
D 案　外部に鉄骨バットレスを設置する方法

意匠的な影響が小さく内部の仕上げ材を傷めずに施工できることから A 案を採用し、以下の補強を行った。

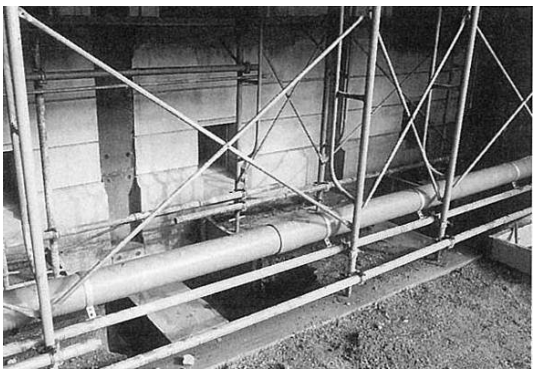
・鉄骨を煉瓦壁内部に外側から挿入し、外部のモルタル仕上げを復旧した（①）。
・水平構面を補強するため、小屋裏、議場ギャラリー床下、二階床下に鉄骨ブレースを設置した（②）。二階床のうち、一部は寄木床を保存するため室外から補強し、床下に空間がない廊下はリブ付きの鉄板で補強した。
・煉瓦外壁の外周及び一部内部に鉄筋コンクリート基礎を設置した。
・煉瓦壁に鉄筋を挿入し、無機系グラウト材にて固定した（③）。
・車寄の石柱について、柱の内側に鉄骨柱を立て補強した（④）。
・階段室と控室の煉瓦壁はステンレスパネルを張り補強した（⑤）。



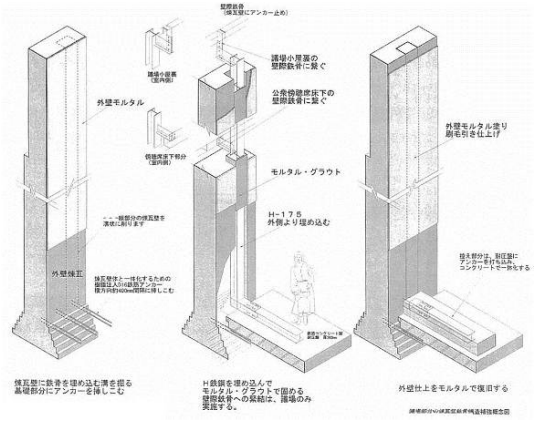
補強位置（平面）



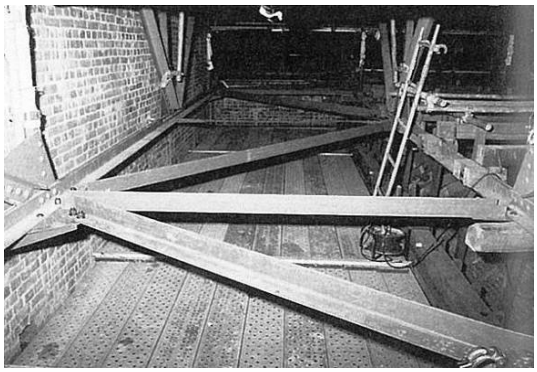
補強位置（断面）



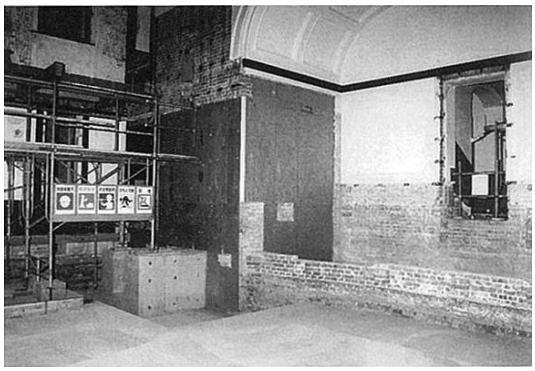
煉瓦壁内部の鉄骨補強（①）



同左　詳細図



小屋裏の鉄骨ブレース補強（②）



壁のステンレスパネル補強（⑤）

３７　重要文化財　シャトーカミヤ旧醸造場施設事務室（茨城県牛久市）

～煉瓦壁頂部を鉄筋コンクリート製臥梁に置換し水平構面を補強～

シャトーカミヤ旧醸造場施設事務室　外観

＜建造物概要＞

建設年：明治 36 年

指定年：平成 20 年

所在地：茨城県牛久市

構　造：煉瓦造、2 階建、鉄板葺（一部スレート葺）、時計塔付

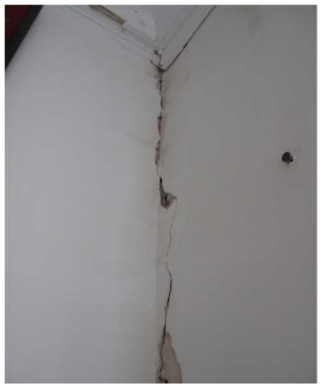
修　理：平成 23 年の東日本大震災で被災

煉瓦壁に亀裂が多数発生、アーチの一部脱落、天井材の一部脱落、煙突の傾斜

平成 23 年度より災害復旧工事を実施、併せて耐震対策

アーチの一部脱落

開口廻りの壁亀裂



直行壁取り合いの壁亀裂

煙突の傾斜

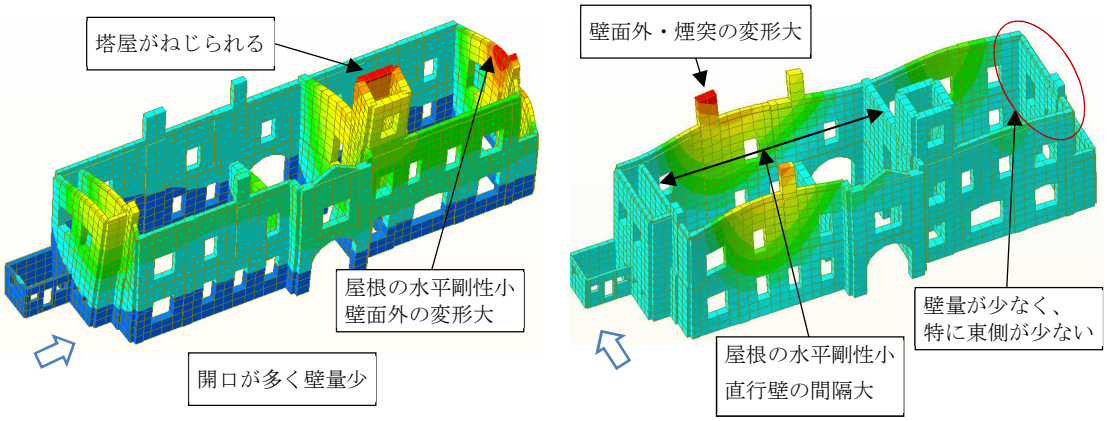
東日本大震災での被害状況

＜耐震対策経緯＞

診　断：建物内部を使用するため、必要耐震性能は安全確保水準とした。

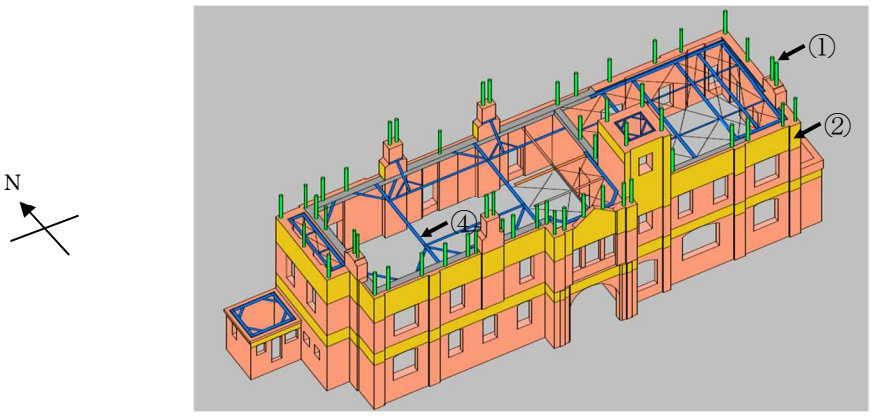
構造調査として、煉瓦・目地からなる組積体の強度試験や壁の亀裂箇所や過去の補修箇所等の調査を実施した。強度試験から煉瓦及び目地の強度が低いこと、亀裂等の調査により、過去の地震でも今回と同じような箇所に被害を受けてきたこと等が明らかになった。構造解析としては、壁面内方向について、弾塑性立体モデルを用いてエネルギー一定則に基づく解析等を実施し、限界変形角を 1/150 として地震時の変形角がこれを上回らないか確認した。また、壁面外方向について、弾性立体モデルを用いて、壁面内方向の保有水平耐力相当の地震力が加わった場合の壁各部の曲げ応力等を確認した。

診断の結果、東西・南北方向とも壁量はあるが面内方向の耐力が不足し、また煙突の折損や壁の面外方向の崩壊の危険性があることが明らかになった。



弾性立体モデルを用いた壁面外方向の検討

補　強：煉瓦壁の亀裂部補修に加え、壁の耐力向上・亀裂防止のために引張補強材を壁中に垂直方向に挿入し（①）、アラミド繊維で目地を補強し（②）、それでも耐力の不足する 1 階東側には鉄骨フレーム（③）を設置した。また、壁の面外方向崩壊防止のために 2 階床高さ、小屋組高さ等に水平構面を鉄骨梁で補強した（④）。



補強箇所

引張補強材挿入（①）

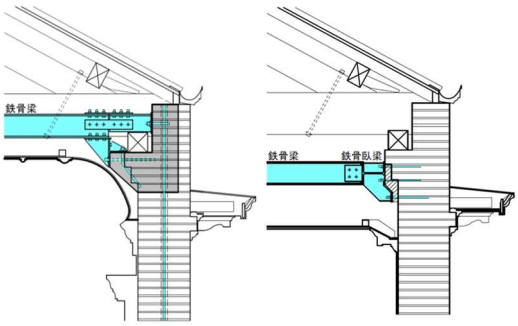
アラミド繊維目地補強（②）

天井裏の限られた空間で、外観に補強を出さずに小屋組高さの水平構面を固めるためには、煉瓦壁頂部の内側部分を解体撤去し鉄筋コンクリート製臥梁（⑤）を設置し鉄骨梁を取り付けることが必要となった。不可逆な置換を伴う補強であるため、現状変更許可を得て実施するとともに、天井高さが低い箇所は壁頂部を残した状態で補強することで保存箇所とした。

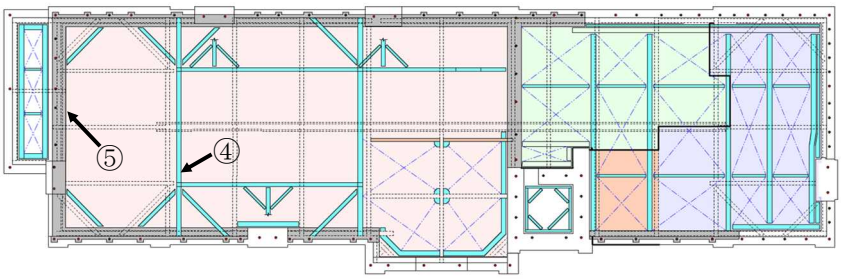
煉瓦壁頂部撤去状況

鉄筋コンクリート製臥梁（⑤）設置状況

鉄骨梁（④）設置状況



左：鉄筋コンクリート製臥梁（⑤）設置箇所
右：煉瓦壁頂部保存箇所



鉄骨梁（④）・鉄筋コンクリート製臥梁（⑤）の補強箇所

３８　重要文化財　シャトーカミヤ旧醸造場施設　貯蔵庫・醗酵室

～目立たない建物背面や指定外の建物内部に鉄骨補強を設置～

シャトーカミヤ旧醸造場施設貯蔵庫（左）醗酵室（右）　外観

＜建造物概要＞

建設年：明治 36 年

指定年：平成 20 年

所在地：茨城県牛久市

構　造：【醗酵室】煉瓦造、建築面積 436.75 平方メートル、地上二階地下一階建、鉄板葺、西面及び南面突出部附属

【貯蔵庫】煉瓦造、建築面積 404.58 平方メートル、一階建、鉄板葺（内装除く）、北面醗酵室に接続、東面北側醗酵室南面突出部に接続

修　理：平成 23 年の東日本大震災で被災し、煉瓦壁に亀裂が発生、醗酵室南面突出部附属の洗滌場は妻壁に亀裂を生じ脱落寸前の状態となった。

平成 23～27 年度に災害復旧工事、併せて耐震対策を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：

【共　通】醗酵室は公開施設、貯蔵庫はレストランとして使用するため、必要耐震性能はどちらも安全確保水準とした。診断方法については事務室と同じ。

【醗酵室】梁間方向の壁量・保有エネルギーが不足、特に二階中央部の変形大、面外方向については、妻面を上部に持つ壁が特に崩壊の危険性大。

【貯蔵庫】面内方向については、梁間方向の壁量・保有エネルギーが不足、特に醗酵室側の変形大。面外方向については、全体的に破壊の危険性大。

補　強：

【共　通】煉瓦壁の亀裂部補修に加え、事務室同様、壁の耐力向上、亀裂防止のために引張補強材挿入（①）、アラミド繊維目地補強（②）を行った。

【醗酵室】酵母菌の繁殖している地下室を工事範囲から外す必要があり、建物内部に鉄骨柱を設置することができず、意匠的に影響の小さい背面側にバットレスを設置し（③）、水平構面を鉄骨梁で補強した（④）。

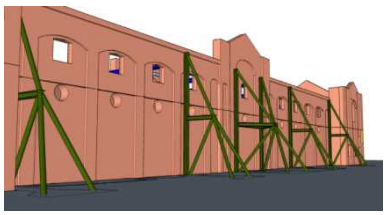
バットレス補強について複数案を比較検討した。

A 案：背面に鉄骨ブレースのバットレス＋内部に鉄骨梁

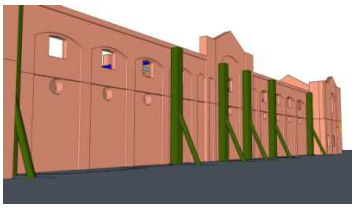
B 案：背面に鉄骨柱と鉄骨ブレースを組み合わせたバットレス＋内部に鉄骨梁

C 案：背面に低い鉄骨ブレースのバットレス＋内部に鉄骨フレーム

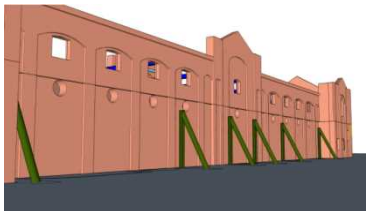
建物内部の補強量と背面バットレスの意匠的な観点から、A 案に決定。バットレスについては見え掛かりとなるため、補強部材のデザインや色についても配慮した。



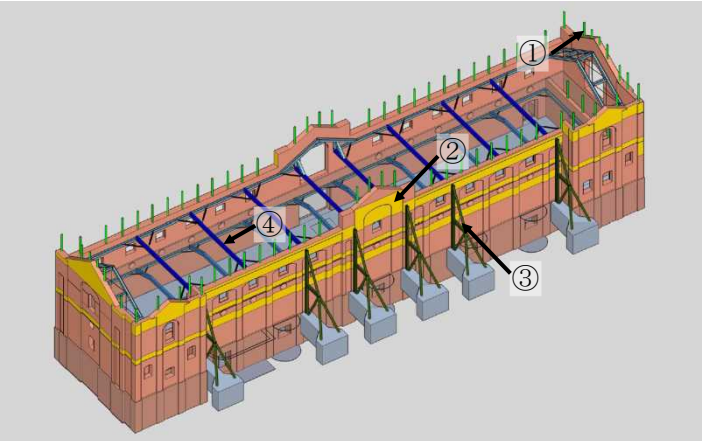
A 案



B 案

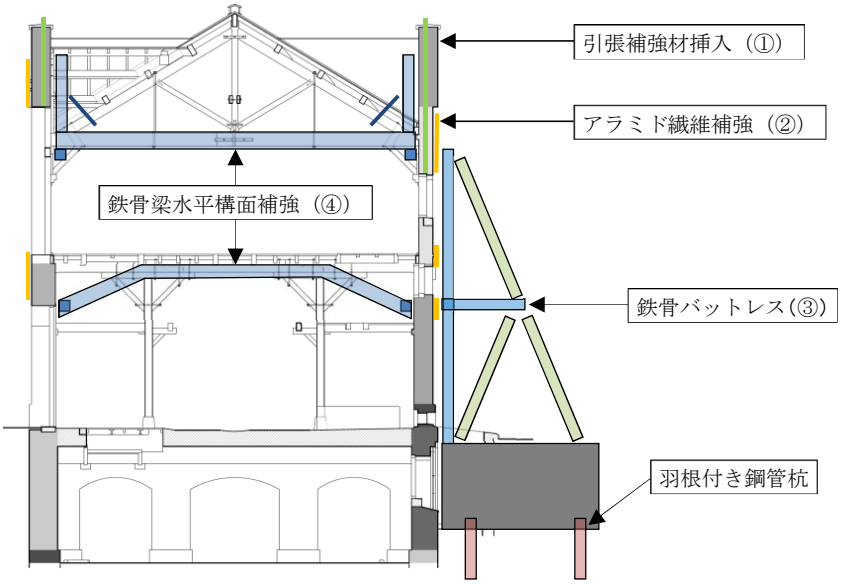


C 案



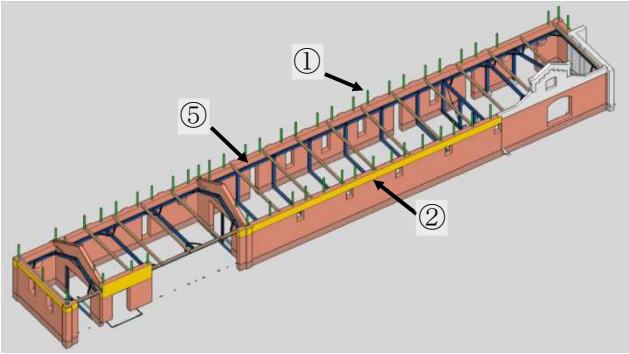
醗酵室　補強箇所

バットレス補強（③）設置状況

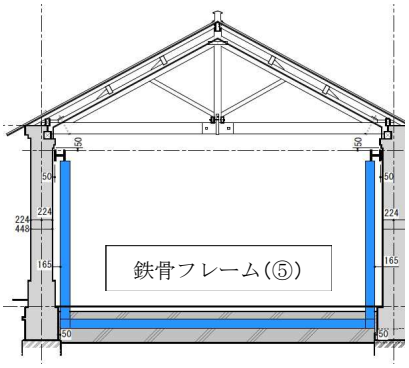


醗酵室　補強箇所（断面図）

【貯蔵庫】指定外である建物内部に鉄骨フレームを設置した（⑤）。両側の壁際に立つ鉄骨柱を地中梁で繋ぐ逆門型のフレームを梁間方向に一定間隔で設置した。
建物はレストランとして使用されており、補強柱に照明を取り付けることで、意匠的な違和感を軽減している。



貯蔵庫　補強箇所



貯蔵庫　補強箇所（断面図）

鉄骨フレーム設置状況

【醗酵室洗滌場】

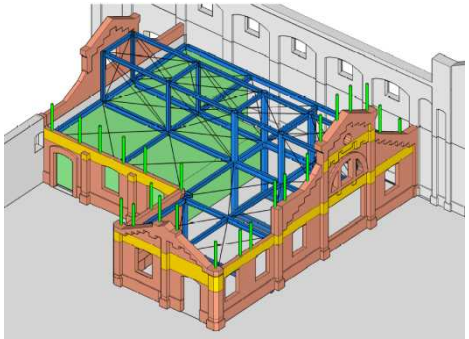
醗酵室南側に接続。地震で上部がずれ出した妻壁は油圧ジャッキで揚屋し位置を修正、壁に引張補強材を挿入、アラミド繊維で目地を補強、内部に鉄骨フレームを設置した。

【醗酵室苗木場】

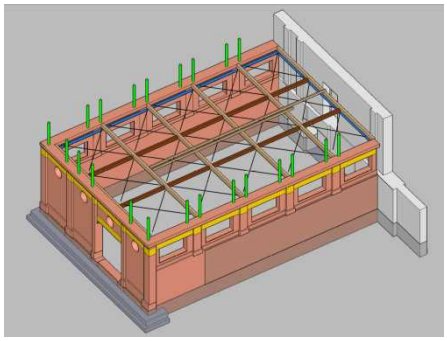
醗酵室西側に接続。壁に引張補強材を挿入、アラミド繊維で目地を補強、小屋裏に水平ブレースを設置した。

醗酵室洗滌場　外観

醗酵室苗木場　外観



醗酵室洗滌場　補強箇所



醗酵室苗木場　補強箇所

３９　重要文化財　岩手銀行（旧盛岡銀行）旧本店本館（岩手県盛岡市）

～天井裏で、水平構面を補強するとともに、木摺漆喰天井の脱落防止対策を実施～

岩手銀行旧本店本館本館　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：明治 44 年

指定年：平成 6 年

所在地：岩手県盛岡市

構　造：煉瓦造、建築面積 693㎡、二階建、銅板葺

修　理：平成 24～27 年度に屋根葺替・部分修理、併せて耐震対策を実施

＜耐震対策経緯＞

診　断：

修理後、公開施設として使用するため、必要耐震性能を安全確保水準とした。

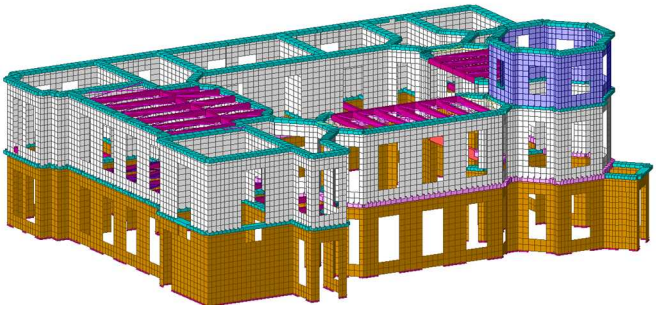
構造解析は、壁面内方向について、弾性立体モデルを用いた保有水平耐力計算を実施し、Ds 値を 0.55 とした。また、壁の面外方向については、同じモデルを用いて、許容応力度設計相当の地震力が加わった場合の壁各部の曲げ応力等を確認するとともに、妻面や煙突等の突出部については、局部震度（1.0G）に対する曲げ応力等を確認した。診断の結果、面内せん断力に対する壁量は十分であるものの、吹き抜けとなっている営業室の壁頂部の面外変形が大きいこと、煙突が落下する危険性があることが判明した。そのほか、亀裂が散見された営業室の木摺漆喰天井（面積 100㎡弱かつ天井高 9m 弱）について構造実験を行った結果、既存の亀裂が発端となり漆喰天井が脱落する危険性があると判断した。

補　強：

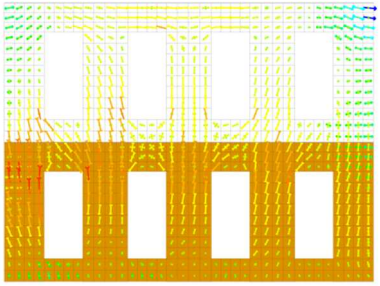
公開範囲に露出しないよう補強する計画とした。営業室の壁頂部の面外変形を抑制するために二階天井裏に水平ブレースを設置した（①）。また上下階壁の地震力伝達を改善するため、一階天井裏の一部に水平ブレースを設置した（②）。また煙突には角型鋼管を挿入しグラウトを充填し補強した（③）。

営業室の木摺漆喰天井については、当初材の仕上げを残したまま脱落対策を行う方法として、木摺側からドリルで削孔し、注射器を用いて木摺と漆喰の界面及び木摺へ麻縄

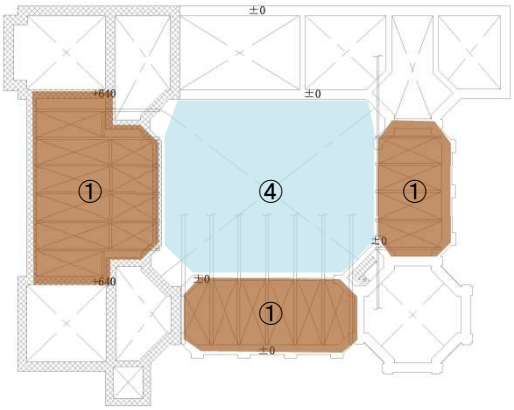
を入れた剥落防止注入孔に浸透性特殊アクリル樹脂を注入する方法を実施した（④）。現地で部分的に切り出した試験体を補強し、加振実験を行って補強効果を確認した。



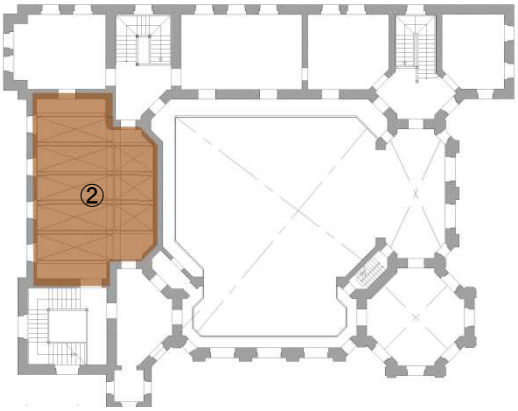
立体モデル



壁の面外方向主応力図

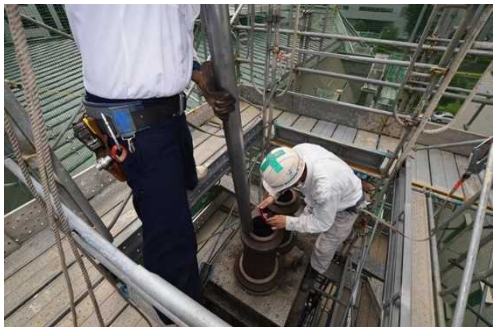


二階天井裏の補強箇所



一階天井裏の補強箇所

水平ブレースの設置状況（①）



煙突補強の施工状況（③）

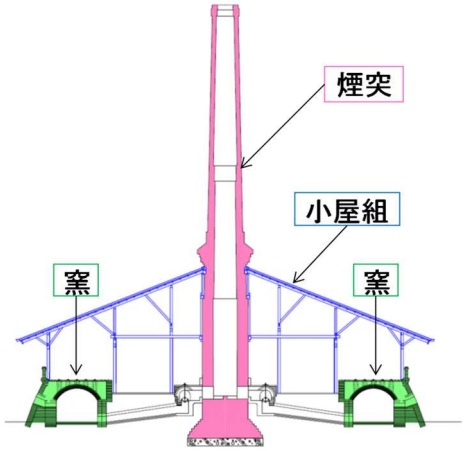
天井対策の施工状況（④）

天井対策の完了状況（④）

４０　重要文化財　旧下野煉化製造会社煉瓦窯

～保存と活用のバランスを考え、公開範囲・非公開範囲で異なる補強方法～

旧下野煉化製造会社煉瓦窯　外観



同左　断面図

＜建造物概要＞

建設年：明治 23 年

指定年：昭和 54 年

所在地：栃木県野木町

構　造：煉瓦及び木造、建築面積 840.0m²、十六角造、鉄板葺、中央煙突付、
階段二箇所附属

修　理：平成 19 年度に調査工事、耐震診断を実施。
平成 23～26 年度に保存修理、併せて耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：

本建物は煉瓦造の煙突、窯、木造の小屋組の 3 部分からなる。修理前、窯は内外ともに孕み出し等がみられ傷みが著しく、煙突も既設のワイヤー補強が弛緩する状況で、小屋組にも仕口の抜け出し等がみられる状態であった。

修理後は公開施設として使用するため、必要耐震性能を安全確保水準とした。

解析は 3 部分それぞれで行い、煙突はブレース置換した立体モデル、窯は断面をブレース置換した平面モデル、小屋組は立体モデルとし、保有水平耐力計算等を行った。煙突については大地震動（Ds=0.4 とし 0.4G）に対し全体変形角が 1/400 以下（補強後は靭性向上を期待し 1/100 以下）、各部応力が短期許容応力以下であること、窯については大地震動（Ds=0.6 とし 0.6G）に対しヴォールトにかかる圧縮力が失われないこと、小屋組については大風に対し全体変形角が 1/100 以下、各部の応力が短期許容応力以下であること等を確認した。

診断の結果、地震時に煙突は既設のワイヤーが効く前に倒壊、窯はヴォールトが崩落、小屋組は大風で柱脚が浮上る等の被害が生じる危険性があることが判明した。

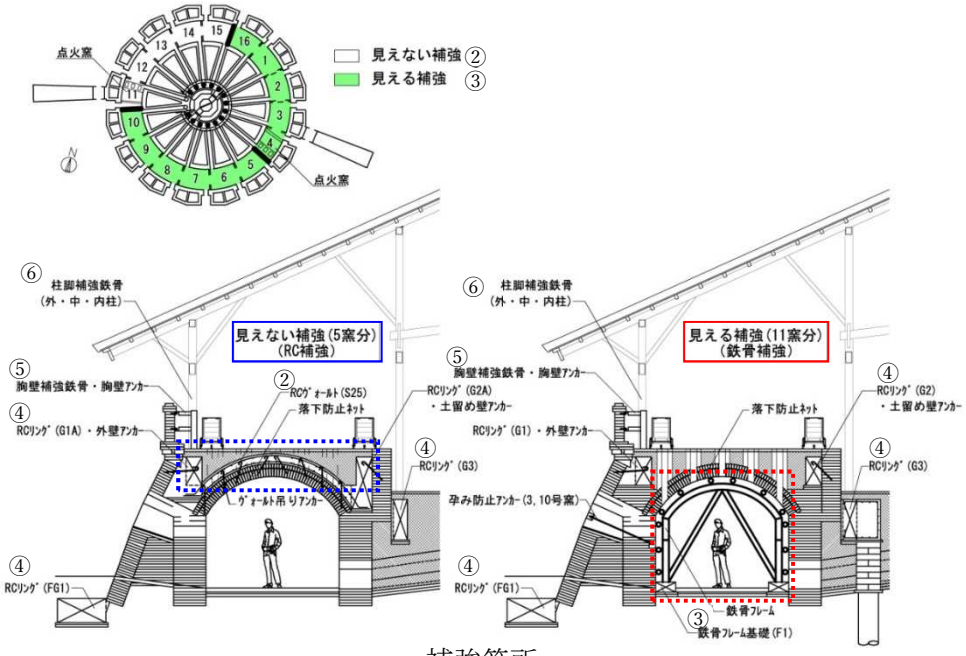
補　強：

修理後の公開方法にも配慮し補強方法を検討した。

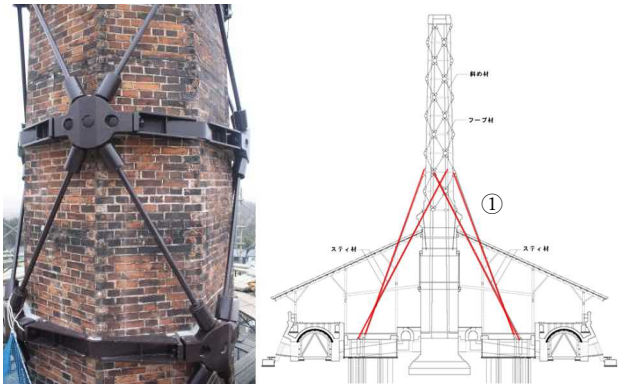
外観に大きく影響する煙突の補強については、既存の補強を外し、煙突の折損を防止するために最小限の横材・斜め材からなる鋼材補強を外周に取り付け、煙突中腹より四方に引張材を張った。反力は地盤アンカーで固定した基礎から取った（①）。

窯の補強については、意匠性を重視し内部から見えないようヴォールト天井を鉄筋コンクリートで補強する方法（②）と、躯体の仕様をそのまま保存するため窯内部に鉄骨フレームを設置する方法（③）を併用し、公開範囲を中心に前者を用いた。また窯上部が崩落しないようＲＣリングを窯の躯体内部及び基礎に設置した（④）。その他、窯上に載る胸壁内側に転倒防止の鉄骨補強を設置した（⑤）。

小屋組についても、煙突との接合部を補強、柱の浮上りを拘束し、部材接合部の金物補強等を行った（⑥）。



補強箇所



煙突補強（①）

窯内部の鉄骨フレーム（③）

４１　重要文化財　旧津島家住宅煉瓦塀（青森県五所川原市）

～高さのある煉瓦塀を鉄骨の添え柱と梁で補強～

旧津島家住宅煉瓦塀

旧津島家住宅　外観

＜建造物概要＞

建設年：明治 40 年

指定年：平成 16 年

所在地：青森県五所川原市

構　造：煉瓦造、塀

修　理：平成 21 年度に耐震診断、平成 23～26 年度に耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：

煉瓦塀は外の道路等に面しており高さがある。また塀の近くを多くの人が通行するため、地震等で倒れた場合の危険性が極めて高い。このため、必要耐震性能を安全確保水準とした。

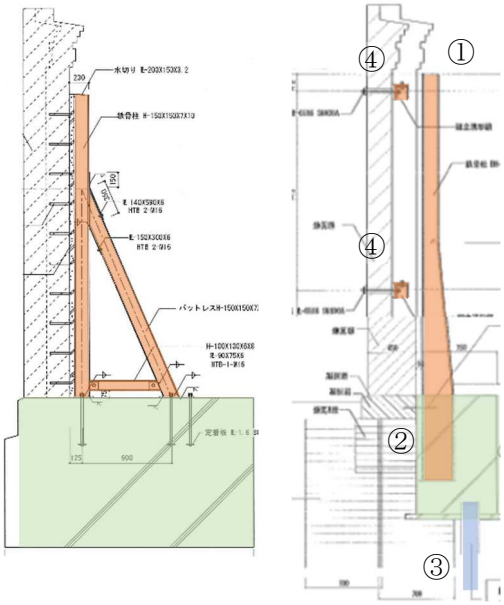
検討は、水平震度（壁については C_0=1.0、基礎浮上りについては C_0=0.3）に対する許容応力度計算を行った。検討の結果、地盤の沈下や基礎の浮き上がりにより塀が転倒する恐れがあり、塀自体の倒壊の危険性もあることが判明した。塀の一部には対策前から鉄骨補強が設置されていたが、補強方法を見直すとともに、全面的な補強が必要であると判断された。

補　強：

検討当初は、塀を支えるために壁内側にバットレスを設置し、転倒に対するカウンターウェイトとして大規模な鉄筋コンクリート造基礎を設けることが計画された。しかし意匠的な影響が大きく、また基礎工事も大規模で庭の植栽に大きく影響するため再検討を行った。

実施案では、壁の補強が与える意匠的な影響や、基礎工事の規模を最小限とすることを

目標とした。煉瓦塀下部を地盤改良した上で塀内側の柱型に添わせ鉄骨柱を設置し（①）、鉄骨柱の柱脚を鉄筋コンクリート造基礎で固めた（②）。基礎には浮き上がりに抵抗するよう羽付き鋼管杭を設けた（③）。鉄骨柱間には鉄骨梁を壁内側に添わせる形で２段設けた（④）。鉄骨柱は煉瓦壁の柱型とアンカーで留め、鉄骨梁は壁外側に設置した帯鉄とボルトで緊結したが、正面側は意匠に配慮し、帯鉄を設けずアンカーのみで緊結した。アンカーを用いた正面側は部分的に壁が外側に崩れる危険性が残ることから、人が滞留しないように配慮することとした。そのほか、壁の亀裂箇所や笠木の劣化箇所を補修した。



（当初案）　　（実施案）

補強案の再検討

補強配置図

鋼管杭施工状況（③）

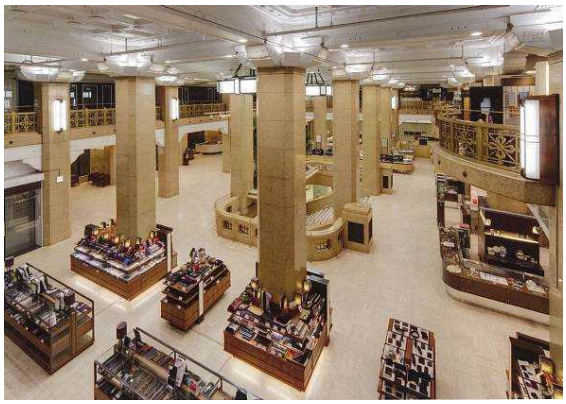
鉄骨柱・鉄骨梁の設置状況（①・④）

鉄筋コンクリート造建築物・鉄骨鉄筋コンクリート造建築物

４２　重要文化財　髙島屋東京店（東京都中央区）

～意匠的に工夫したブレースや耐震壁による補強～

髙島屋東京店　外観



同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：昭和 8 年

指定年：平成 21 年

所在地：東京都中央区

構造：鉄骨鉄筋コンクリート造、建築面積 7743m^2、地上 8 階地下 3 階建、屋上塔屋 4 階付

修理：平成 13 年 7 月～平成 16 年 6 月耐震補強工事（重要文化財指定前に対策）。

＜耐震対策経緯＞

診断：

『既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説』等に基づく「第 2 次診断法」を用いて診断した結果、必要耐震性能を満たしていないことが判明した。

補強：

補強は以下の方針に基づいて計画した。

・大地震動時に人命や商品を保護する。

・高性能な制震補強部材を配置して、補強箇所を低減する。

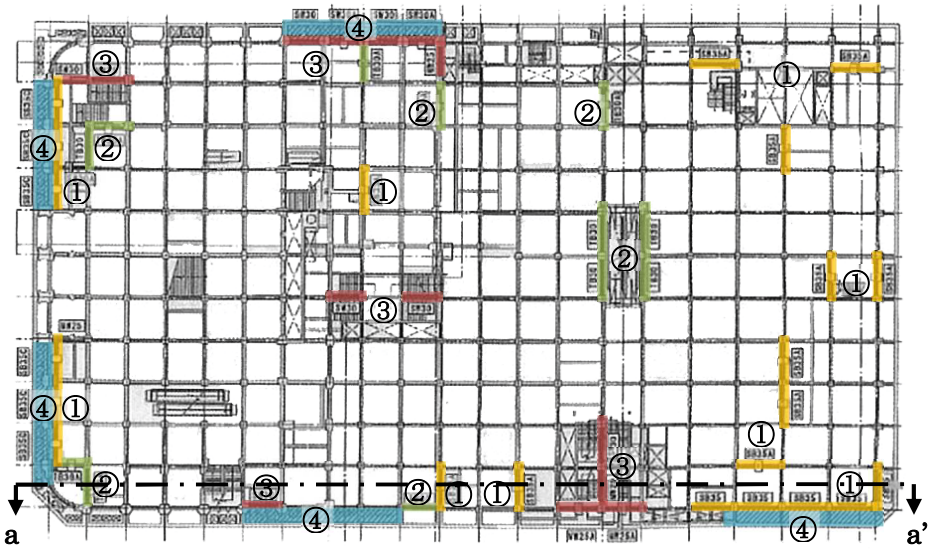
・一階床スラブの補強を行うことで、地階店舗部分への補強を避ける。

・夜間に工事を行うことで店舗営業を継続する。

主要な補強としては、制震補強部材の極低降伏点鋼ブレースを 143 カ所（①）、鉄骨ブレースを 90 カ所（②）、鉄筋コンクリート耐震壁を 65 カ所（③）設置し、そのほか床スラブの補強（④）などを実施した。

極低降伏点鋼ブレースは当該補強工事のために開発されたもので、既存の鉄筋コンクリート壁がせん断破壊する前にブレースが降伏し補強効果を発揮するようにした。

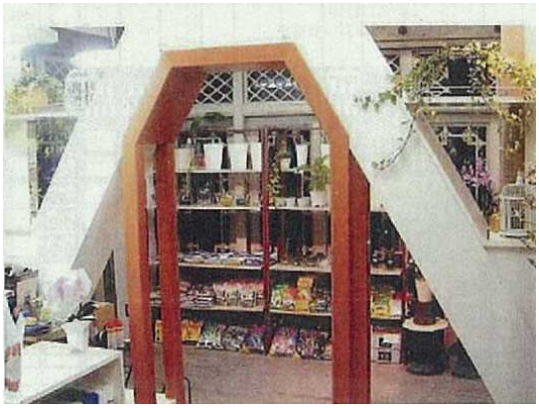
また、人目に付く場所に設置したブレースに繊細なモールディングを持つカバーを施したり、階段室の耐震壁の耐震性能上支障のない箇所に開口を設けステンドグラスを嵌め込むなど、意匠的な工夫を行った。



補強位置（一階平面）

補強位置（a-a’断面）

極低降伏点鋼ブレース（①）



店舗内の鉄骨ブレース（②）

４３　重要文化財　早稲田大学大隈記念講堂（東京都新宿区）

～構造設計者の設計理論を継承した補強～

早稲田大学大隈記念講堂　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：昭和 2 年

指定年：平成 19 年

所在地：東京都新宿区

構造：鉄骨鉄筋コンクリート造、建築面積 1,225.95m^2、三階建、地下一階、鉄筋コンクリート造時計塔付

修理：平成 18 年 6 月～平成 19 年 9 月に保存再生工事、併せて耐震対策を実施（重要文化財指定前に対策）。

＜耐震対策経緯＞

診断：

多数の人々が利用するという観点から必要耐震性能を一般建築物の 1.25 倍とし、『既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説』等に基づく「第 3 次診断法」を用いて診断した結果、耐震性が不足していることが判明した。

補強：

対策の検討に当たっては、意匠や工費に対する配慮に加え、建設時の構造設計を行った内藤多仲の耐震理論の継承も考慮した。

免震装置を設置する方法と鉄骨ブレースや耐震壁により補強する方法を検討し、免震装置については、基礎免震を用いる方法と中間免震を用いる方法を検討した。

免震装置を用いた場合、内部意匠の保存がしやすい一方、工費が高くなるとともに、外構部分にクリアランスを設ける必要がある。

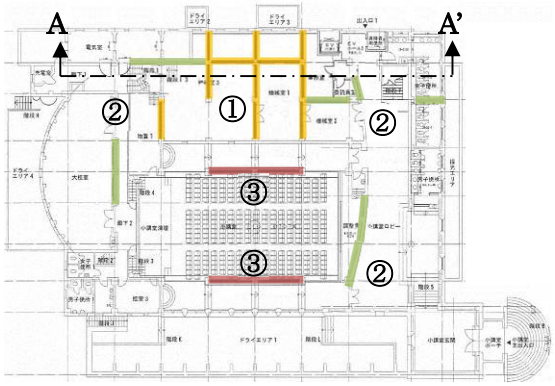
一方で、鉄骨ブレースや耐震壁を用いる場合でも、地上階の補強の必要量は少なく、地下階の補強はその多くを機械室内部に配置可能であるため、内部意匠に与える影響は小さい。また、柱と梁からなる架構に耐震壁を付け構造を強化するという内藤多仲の耐震理論を継承することにもなる。

総合的な判断の結果、鉄骨ブレース（①）や耐震壁（②）によって補強する方法を採用

した。

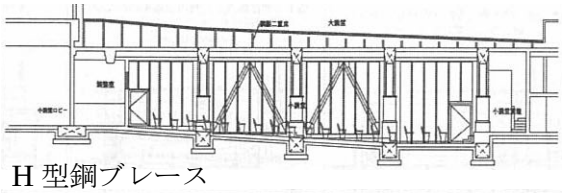
地下階の小講堂の柱間を補強することが必要となったが、耐震壁を設置すると暗く閉鎖的になってしまうため、耐震ブレースを設置することとした（③）。ブレースの形状については複数案作成し、意匠性と開放性に配慮できる格子型フレームに決定した。

その他、天井材の脱落防止のために吊り材を新設した。

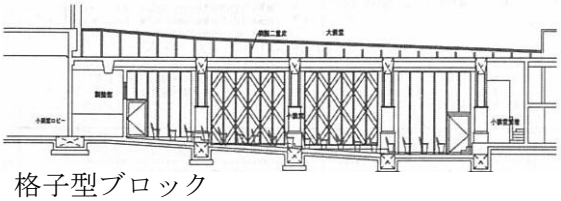


補強位置（地下１階平面）

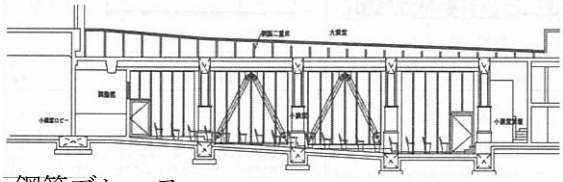
補強位置（A－A'断面）



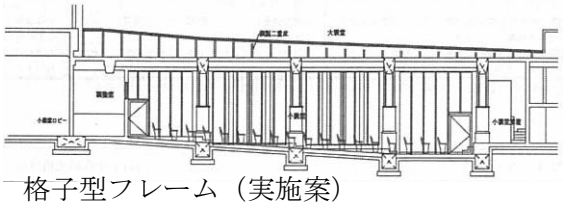
H 型鋼ブレース



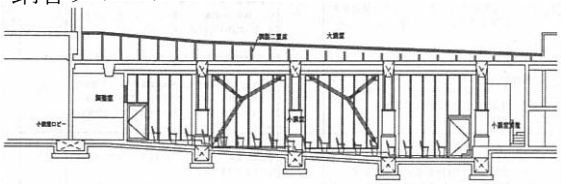
格子型ブロック



鋼管ブレース

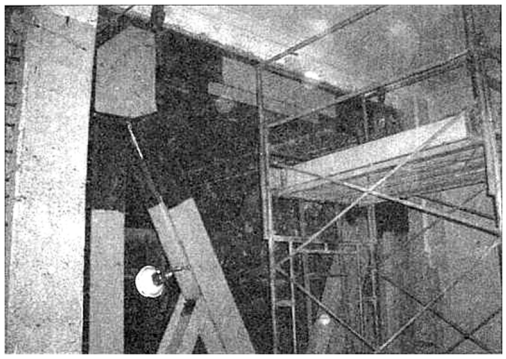


格子型フレーム（実施案）

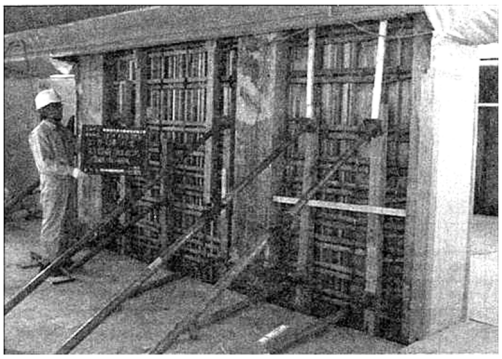


制震鋼管ブレース

小講堂のブレース（③）の比較検討



鉄骨ブレース（①）の取付け



鉄筋コンクリート耐震壁（②）の打設

４４　重要文化財　国立西洋美術館本館（東京都台東区）

～意匠を損なわないように免震構法を採用～

国立西洋美術館本館　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：昭和 34 年

指定年：平成 19 年

所在地：東京都台東区

構造：鉄筋コンクリート造、建築面積 1,654.86m^2、二階建、一部三階建、地下一階（地下一階部分の内装を除く）

修理：平成 8 年 9 月～平成 10 年 3 月　耐震補強工事を実施（重要文化財指定前に対策）。

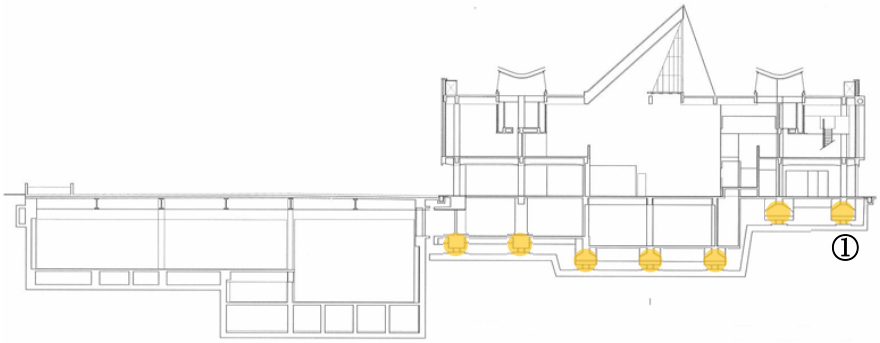
＜耐震対策経緯＞

補強：

耐震・制震・免震のそれぞれの考え方に基づく方法を検討した。耐震や制震による方法では、耐震壁を新たに設けるなどの必要があり、当初の意匠を残すことが困難であったため、免震構法を採用することとした。

免震装置（①）を設置したことにより、上部構造の補強の必要がなく、展示作品の保護等も可能となった。ただし、上部構造と地下ピットとの間に、最大 35cm 程度の水平変位を生じるため、一階外周にエキスパンションジョイントが設けられた。

これに併せ、コンクリートが著しく劣化していた外部階段が取り壊され、作り直されており、この外部階段については文化財の指定範囲に入っていない。



補強位置（断面）

４５　重要文化財　旧東京科学博物館本館（東京都台東区）

～エキスパンションジョイントが不足していた各棟の取合い部分を補強し一体化～

旧東京科学博物館本館　外観

同左　内部

＜建造物概要＞

建設年：昭和 6 年

指定年：平成 20 年

所在地：東京都台東区

構造：鉄筋コンクリート造一部鉄骨鉄筋コンクリート造、建築面積 1949.46m2、地上三階地下一階建、正面中央塔屋及び屋上赤道儀室付、正面車寄附属。

修理：平成 17 年 3 月～平成 19 年 3 月に改修工事、併せて耐震対策を実施（重要文化財指定前に対策）。

＜耐震対策経緯＞

診断：

『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説』等に基づく「第 2 次診断法」を用いて診断した結果、必要耐震性能を満たしていないことが判明した。

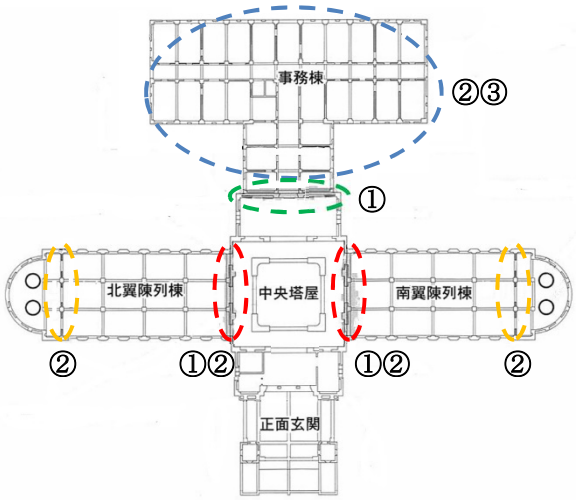
補強：

以下の補強を実施した。

・各棟の取合い部分はエキスパンションジョイントの間隔が不足していたため、取合い部分を補強し一体化した（①）。

・耐震壁の増設及び壁の増し打ち、開口閉塞を行った（②）。

・地下階の柱に鋼板巻き立て補強を施した（③）。



補強位置（平面）

４６　重要文化財　梅小路機関車庫（京都府京都市）

～正面側外観や開放的な内部空間に配慮し鉄骨ブレースで補強～

梅小路機関車庫　左上：鳥瞰、左下：正面側外観、右：内部

＜建造物概要＞

建設年：大正 3 年

指定年：平成 16 年

所在地：京都府京都市

構　造：鉄筋コンクリート造扇形車庫、建築面積 3870.6 ㎡、電動天井走行クレーン及び引込線を含む

修　理：平成 5 年度に耐震診断（1 次診断）、平成 23～24 年度に耐震診断（2 次診断）、平成 25～28 年度に耐震対策工事を実施。

＜耐震対策経緯＞

診　断：

展示施設として使用されているため、必要耐震性能は安全確保水準とした。

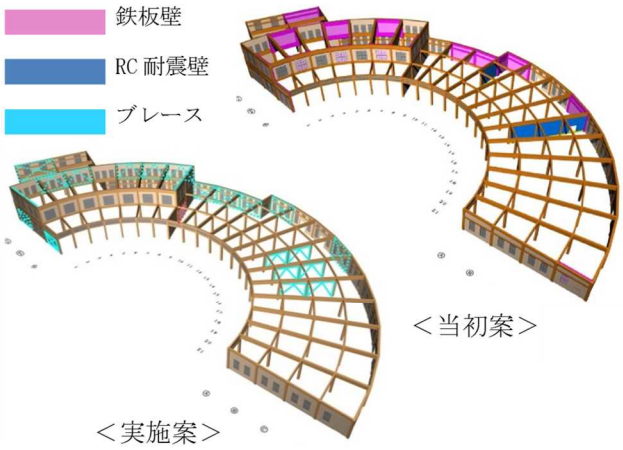
『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説』に基づく「第 2 次診断法」で診断した結果、壁量が少なく偏在しており、耐震性能を満足しないことが判明した。

補　強：

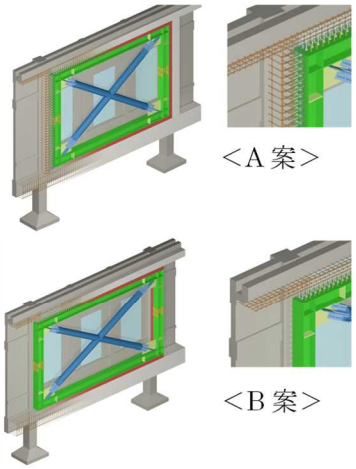
検討当初、鉄筋コンクリート製耐震壁・鋼製パネルを用いた補強方法が提案されたが、正面側の外観は保存されるものの、耐震壁等でラーメン架構や開口を閉塞することで、ラーメン架構が連続する空間や背面側の開口からの採光等が失われるため、本建物の文化財価値を大きく損ねると判断された。このため補強方法を再検討し、背面側と建物内部一部に鉄骨ブレースを設置する方法を採用することとした。

実施設計に入ってから委員会を立ち上げ、鉄骨ブレースの取り付け方法や建物本体の

鉄筋コンクリート造躯体の中性化対策等について議論した。
外周の鉄骨ブレースの取り付け方法については、〈A〉柱梁を増し打ちしその内側に鉄骨ブレースを枠ごと入れ込む方法と、〈B〉柱梁の外側に鉄骨ブレースの枠を取り付ける方法を、模型等を作成し比較検討した。検討の結果、〈B〉は外周から柱梁のラインを確認することができなくなるものの、意匠的に補強を区別しやすく、内部から見た時の開口の閉塞も小さいと判断できたため、〈B〉を採用することとなった。外周のブレースは室内側から見た時、目立ちにくいように白色塗装するとともに、影の落ちない円形断面とした（①）。内部のブレースは展示する機関車と同系の濃灰色とした（②）。
鉄筋コンクリート造躯体については、柱梁部材の外側のコンクリートの打ち替えを過去に行っていたことが資料調査で判明した。今後も健全性を保持するために、全体としては中性化を抑制するようポリマーセメントを仕上げ材として塗るともに、前回の工事で打ち替えを行っていない柱については、積極的にオリジナルのコンクリートを保存するため、電気化学的再アルカリ化工事を行い、今後モニタリングを行うことで対策の有効性を検証することとなった。
その他、天井仕上げ材等の脱落防止として、展示室の天井は仕上げのポリマーセメントにピンネットを施し、検収庫の天井はオリジナルのコンクリート打設面をそのまま残すため、フェイルセーフのネットを張ることとした。



補強方法の検討過程



外周ブレース取り付け方法の検討

室外側外周ブレース（①）

室内側同左

内部ブレース（②）

４７　重要文化財　旧三河島汚水処分場喞筒場施設 喞筒室（東京都荒川区）

～公開方法の変更に伴い補強方法を見直し～

旧三河島汚水処分場喞筒場施設喞筒室　外観

＜建造物概要＞

建設年：大正 10 年

指定年：平成 19 年

所在地：東京都荒川区

構　造：鉄骨及び鉄筋コンクリート造、一部三階建、人造スレート葺

修　理：平成 24 年度に内装修理、併せて耐震対策の見直しを実施。

＜耐震診断＞

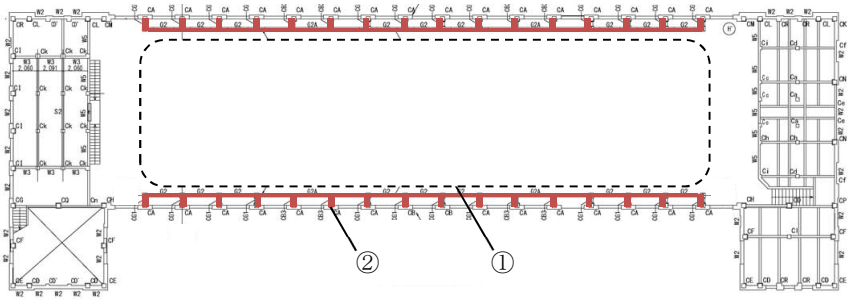
修理後、公開施設と使われるため、必要耐震性能を安全確保水準とした。

既に耐震補強が行われていたが、既設の補強は外観の保存を重視しかつ可逆的な補強とするため、内部に鉄骨フレームを設置する方法を採っていた。今回の修理後は、喞筒室に存置されたポンプ等を含め、内部を公開することとなった。そこで既設の補強材を撤去した場合の耐震性を再度確認した上で、必要最小限の補強方法を公開方法に配慮しながら検討することとした。検討の結果、既設の補強材を撤去した場合、梁間・桁行ともに耐震性能が不足するとともに、小屋組の鉄骨トラスの下弦材が座屈することが判明した。

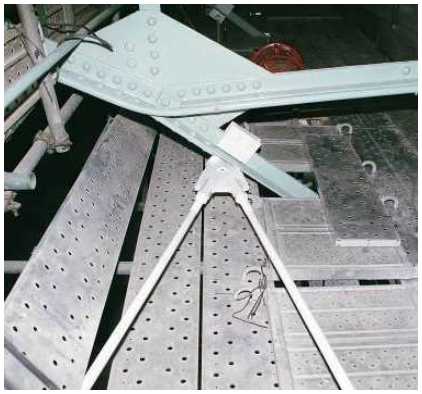
＜耐震補強＞

補強を改修するにあたり、既存の補強をなるべく継承することとした。そこで既存の鉄骨フレームのうち、視界を遮る室中央部分を撤去して壁に沿った部分のみ残し（①）、残した鉄骨フレームと喞筒室の柱を鋼板でつなぎバットレスとし（②）、補強材の基礎は建物の基礎に付加する形で設けた（③）。

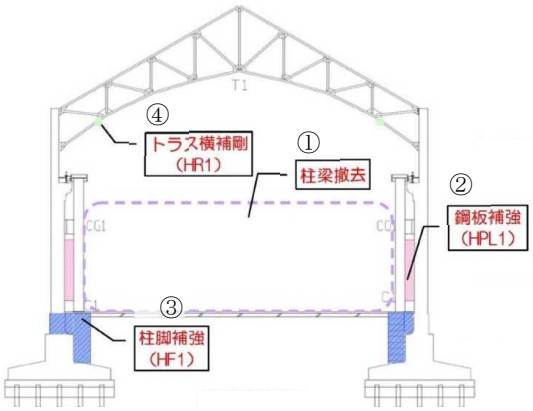
またトラスの横座屈を拘束するために補剛材を設置した（④）。取り付けに当たっては可逆的となるよう、既存トラス部材を鋼製治具で挟み込み固定する方法とした。また補強部材は区別できるよう白色に統一した。

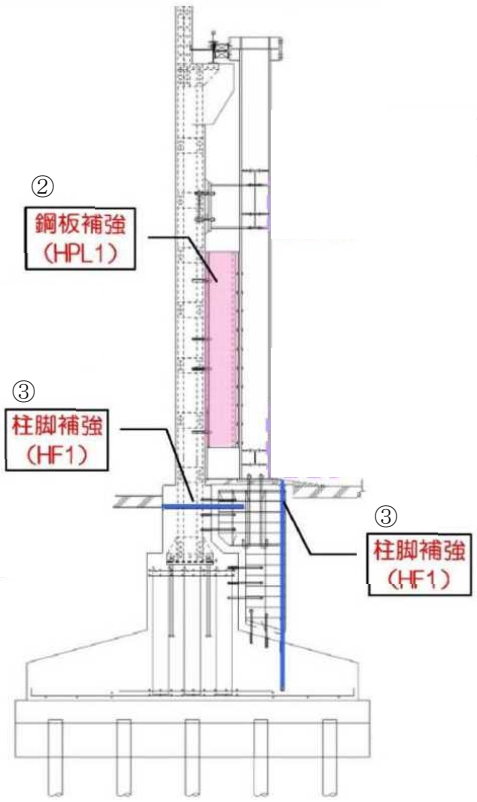


補強箇所（平面）



トラス横座屈補剛（④）





補強箇所（左：梁間断面図、右：詳細図）

改修前内部

改修後内部

土木構造物

４８　重要文化財　永代橋・清洲橋（東京都中央区・江東区）

～文化財的価値の高い箇所に配慮した現役橋梁の補強～

永代橋　外観

清洲橋　外観

＜建造物概要＞

建設年：【永代橋】昭和 3 年、【清洲橋】大正 15 年

指定年：平成 19 年

所在地：東京都中央区新川、江東区佐賀

構　造：

【永代橋】鋼製三径間カンチレバー式タイドアーチ橋、橋長 184.7m、幅員 25.6m、
鉄筋コンクリート造橋脚 2 基及び鉄筋コンクリート造橋台 2 基を含む

【清洲橋】鋼製三径間自碇式補剛吊橋、橋長 186.2m、幅員 25.9m、石造袖高欄附属、
鉄筋コンクリート造橋脚 2 基及び鉄筋コンクリート造橋台 2 基を含む

修　理：【永代橋】平成 24 年度～平成 28 年度（自費耐震改修）

【清洲橋】平成 24 年度～平成 27 年度（自費耐震改修）

＜耐震対策経緯＞

診　断：

現役の道路橋であるため、必要耐震性能を平成 14 年道路橋示方書に則った耐震性能とし、立体モデルを用いた時刻歴応答解析を実施した。診断の結果、大地震動時に永代橋ではアーチリブのウェブが座屈し、支承の応力が超過、清洲橋では桁受け沓・橋台支承の応力が超過する等の被害が生じる危険性が判明した。また、現行の技術基準で求められる変位制限構造等の未設置箇所があった。

補　強：

文化財的価値の高い箇所として、永代橋は国内最古の箱型状のアーチや繊細なトラスを組んだ橋門構・上横構、ピンローラー支承など、清洲橋はデュコール鋼を用いた吊鎖や主塔、ピポット支承などを挙げ、これらの箇所に配慮した上で、補強は既存部材をそのまま残し付加的に行うことを基本とし検討した。ＣＧや模型を駆使して意匠的な影

響等を確認しながら検討を行った結果、以下の補強方法を採用した。

【永代橋】

・タイドアーチのウェブ内側に補剛材を設置した（①）。補剛材の留め付けには、ボルト頭が外観に露出するため、既存のリベットとボルト頭の形状が似ているトルシア型ボルトを使用した。

・橋脚部に新たな支承を既存のものの内側に設置した（②）。新たな支承は意匠的な影響が最小限になるようデザインした。

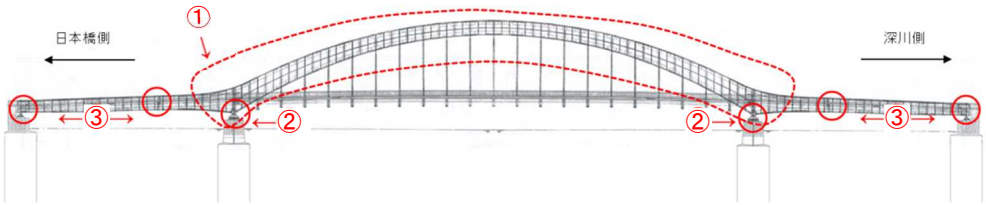
・落橋防止システムとして橋台部に変位制限構造を設置した（③）。

【清洲橋】

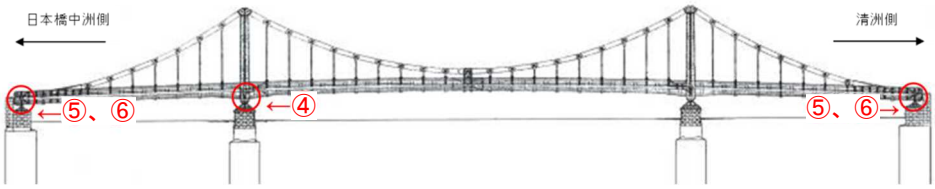
・桁受け支承に固定ストッパーを設置した（④）。

・橋台接続部にダンパー及び補強材を設置した（⑤）。

・落橋防止システムとして橋台部に変位制限構造を設置した（⑥）。



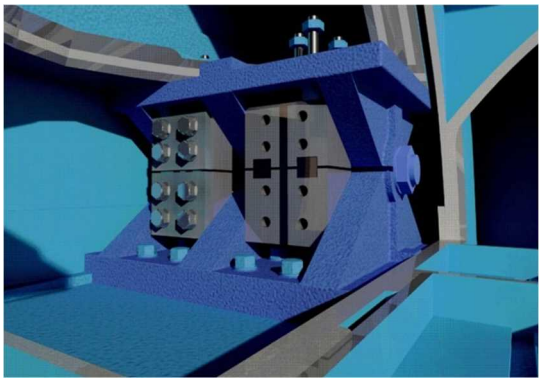
永代橋補強箇所



清洲橋補強箇所

永代橋アーチ補強箇所 CG 検討（①）

同左橋脚部支承追加状況（②）



清洲橋支承固定ストッパーCG 検討（④）

同左橋台接続部ダンパー設置状況（⑤）

参考文献

以上の事例紹介には下記の文献を参考するとともに、これらの文献に掲載された写真や図版、その他関係者からの提供資料も使用した。

１　『国宝唐招提寺金堂修理工事報告書』（奈良県教育委員会編集発行 2009 年）

２　『重要文化財龍福寺本堂保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 龍福寺発行 2012 年）

３　『国宝永保寺開山堂・観音堂保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 永保寺発行 2012 年）

４　『重要文化財清水寺経堂・仁王門修理工事報告書』（京都府教育委員会編集発行 2004 年）、『重要文化財浅草寺二天門修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 浅草寺発行 2010 年）、『重要文化財大照院鐘楼門修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 大照院発行 2009 年）、『重要文化財善光寺三門保存修理工事報告書（本文編・図版編）』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 善光寺発行 2008 年）

５　『重要文化財武並神社本殿保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 武並神社発行 2010 年）

６　『重要文化財如法寺仏殿保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 如法寺発行 2015 年）

７　『重要文化財諏訪大社下社春宮弊拝殿ほか六棟保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 諏訪大社発行 2012 年）、『重要文化財諏訪大社下社秋宮神楽殿保存修理工事構造検討報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集発行 2011 年）

８　『重要文化財八勝寺阿弥陀堂保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 湯前町発行 2015 年）

９　『重要文化財正法寺本堂保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 正法寺発行 2007 年）

１０　『重要文化財笠森寺観音堂耐震診断業務報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会　2011 年）

１１　『重要文化財新勝寺額堂　耐震診断事業構造検討書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会　2013 年）

１２　『重要文化財関家住宅主屋・書院及び表門保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 関恒三郎発行 2005 年）

１３　『重要文化財太田家住宅修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 多良木町発行 2009 年）、『重要文化財中村家住宅保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 雄踏町発行 2003 年）、『重要文化財奥家住宅保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 奥博光発行 2010 年）、『重要文化財彦部家住宅主屋保存修理工事報告書』（(公財)

文化財建造物保存技術協会編集 彦部敏郎発行 1999 年)、『重要文化財旧椎葉家住宅主屋・馬屋保存修理工事報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 大阪府文化センター発行 2008 年)
１４ 『重要文化財星名家住宅主屋ほか七棟保存修理工事報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 星名四郎発行 2009 年)
１５ 『重要文化財西岡家住宅修理工事報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 嬉野市教育委員会発行 2011 年)
１６ ((公財) 文化財建造物保存技術協会提供資料)
１７ 『重要文化財新垣家住宅主屋ほか 6 棟保存修理工事報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 新垣和子ほか発行 2016 年)
１８ 『喜多院客殿・書院・庫裏 耐震診断業務報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会 2012 年)
１９ 『重要文化財琴ノ浦温山荘浜座敷ほか二棟修理工事報告書』(財団法人和歌山県文化財センター編集 公益財団法人琴ノ浦温山荘園発行 2015 年)
２０ 『国宝姫路城大天守構造調査報告書』(建築研究協会 2006 年)、『国宝姫路城大天守修理工事に伴う調査工事構造調査報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会 2007 年)、『姫路城大天守の土壁実験 実験報告書』(2008 年)、『国宝姫路城大天守調査工事 構造解析修正及び補強案概案作成業務報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会 2009 年)、
２１ 『重要文化財名古屋城西南隅櫓保存修理工事報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 名古屋市発行 2015 年)
２２ 『重要文化財旧江戸城田安門・櫓門の耐震診断』((公財) 文化財建造物保存技術協会 2008 年)
２３ 『重要文化財旧富山県立農学校本館 (富山県立福野高等学校巌浄閣) 保存修理報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 富山県教育委員会発行 2005 年)
２４ 『奈良国立博物館仏教美術資料センター ―重要文化財旧奈良県物産陳列所―』(奈良国立博物館編集発行 2011 年)
２５ 『旧鹿児島紡績所技師館耐震診断報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集発行 2007 年) 一部、鹿児島市教育委員会提供の写真を使用
２６ ((公財) 文化財建造物保存技術協会提供資料)
２７ 『北海道大学農学部「第二農場」及び「植物園・博物館」修理工事報告書「本文編」「図面編」』((公財) 文化財建造物保存技術協協会 2015 年)
２８ 『重要文化財八千代座保存修理工事報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 山鹿市発行 2001 年)
２９ 『旧富岡製糸場建造物群調査報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 富岡市教育委員会発行 2006 年)
３０ 『重要文化財旧神戸居留地十五番館災害復旧工事報告書』((公財) 文化財建造物保存技術協会編集 (株) ノザワ発行 1998 年)
３１ 『重要文化財旧手宮鉄道施設 (機関車庫三号ほか) 保存修理工事報告書』((公財) 文化財建造物保

存技術協会編集 小樽市発行 2010 年）
３２ 『重要文化財山形県旧県庁舎及び県会議事堂保存修理工事報告書１ 旧県会議事堂編』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 山形県(生涯福祉部生活文化課発行 1991 年）
３３ 『石川県歴史博物館（旧金澤陸軍兵器支廠兵器庫）保存工事報告書』（石川県立歴史博物館・石川県土木部営繕課編集 石川県発行 1990 年）
３４ 『重要文化財同志社クラーク記念館修理工事報告書』（京都府教育委員会編集発行 2008 年）
３５ 『大阪市中央公会堂保存・再生工事報告書・写真集』（大阪市教育委員会編集 大阪市発行 2002 年）
３６ 『重要文化財山口県旧県会議事堂保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 山口県発行 2005 年）
３７ 『重要文化財シャトーカミヤ旧醸造場施設保存修理工事（災害復旧）報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 オエノンホールディングス株式会社発行 2016 年）
３８ 『重要文化財岩手銀行（旧盛岡銀行）旧本店本館保存修理工事報告書』（株式会社文化財保存計画協会編集 株式会社岩手銀行発行 2016 年）
３９ 『重要文化財旧下野煉化製造会社煉瓦窯保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 野木町発行 2014 年）
４０ 『旧津島家住宅煉瓦塀耐震診断報告書』（日本データサービス株式会社 2010 年）
４１ 『高島屋東京店建造物歴史調査報告書』（高島屋東京店建造物歴史調査検討会編集 （株）高島屋発行 2010 年）、一部、（株）竹中工務店提供の図版を使用
４２ 『早稲田大学大隈記念講堂保存再生工事報告書』（早稲田大学創造理工学部建築学科中川武研究室 早稲田大学発行 2008 年）
４３ 『国立西洋美術館本館歴史調査報告書』（日本建築学会国立西洋美術館歴史調査 WG 編集 国立西洋美術館発行 2007 年）
４４ 『国立科学博物館本館改修工事報告書』（国立科学博物館編集発行 2007 年）
４５ 『重要文化財梅小路機関車庫耐震対策工事報告書』（株式会社西日本旅客鉄道大阪工事事務所、株式会社ＪＲ西日本コンサルタンツ、株式会社大鉄工業編集株式会社西日本旅客鉄道大阪工事事務所発行 2016 年）
４６ 『旧三河島汚水処分場喞筒場施設保存修理工事報告書』（(公財) 文化財建造物保存技術協会編集 東京都下水道局発行 2014 年）
４７ 『国指定重要文化財橋梁の長寿命化検討委員会報告書』（東京都建設局道路管理部保全課、東京都第一建設事務所 2013 年）

重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引
（改訂版）事例集

発行日　平成 25 年 10 月
平成 29 年 3 月改訂
編集発行　文化庁文化財部参事官
〒100-8959
東京都千代田区霞が関 3-2-2
旧文部省庁舎 6 階
電話番号　03-5253-4111