

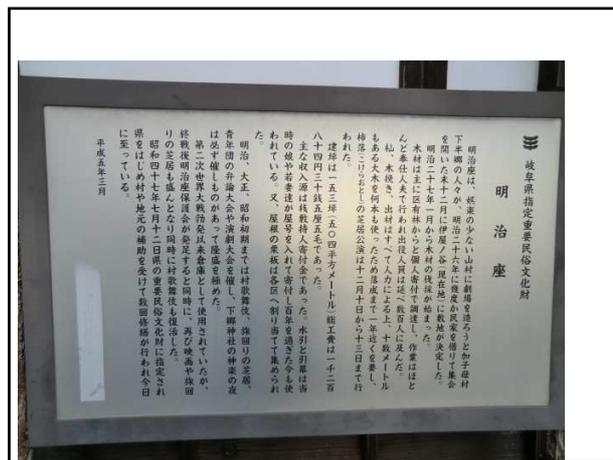
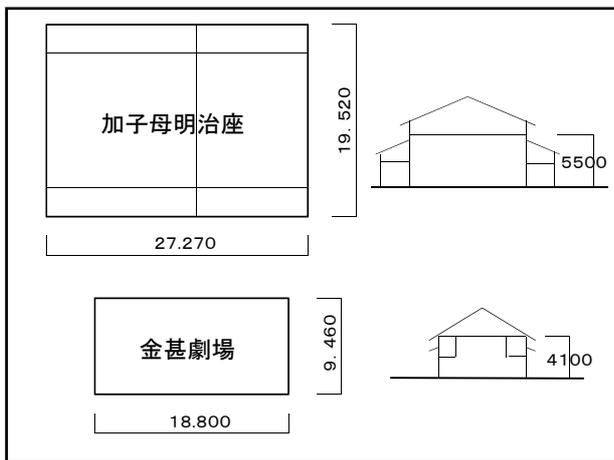
**加子母明治座耐震改修検討委員会**  
(委員長 鈴木先生:委員15名)

耐震調査検討部会  
検証実験部会  
耐久性調査部会  
木材調査部会  
歴史構法部会  
映像記録制作部会

委員会は4回開催し、報告書を提出

**現地調査**

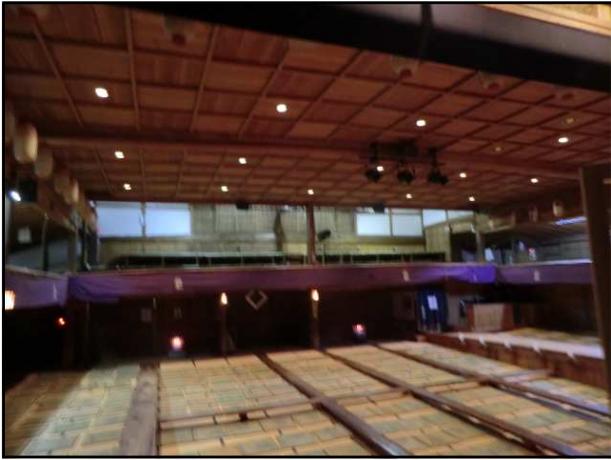
- ・中部大学で調査された図面があり、これをベースに詳細調査を実施  
以前の調査での基本の柱スパンが違っていた(面積も違っている)
- ・平面図、立面図、断面図、X・Y両方向の全軸図を作成
- ・部材断面もできる限り測定
- ・部材の強度(主要な柱、横架材、小屋梁等)腐朽部材の調査
- ・全基礎の沈下量を測定

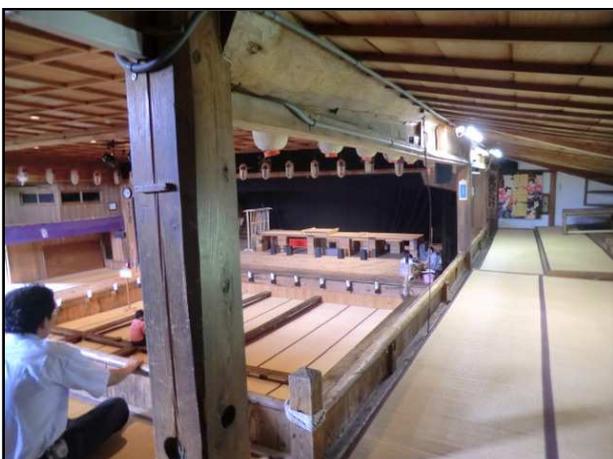
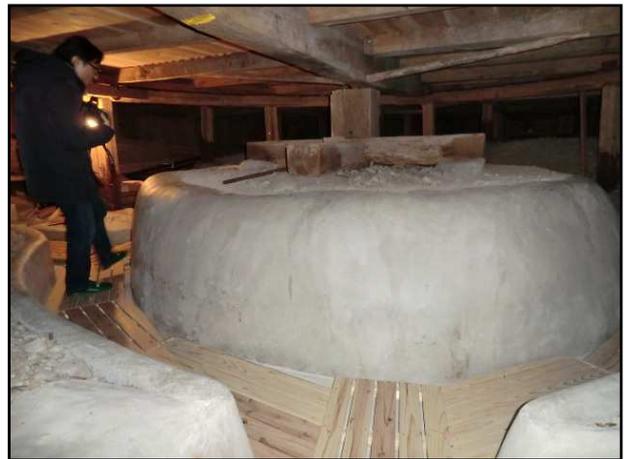
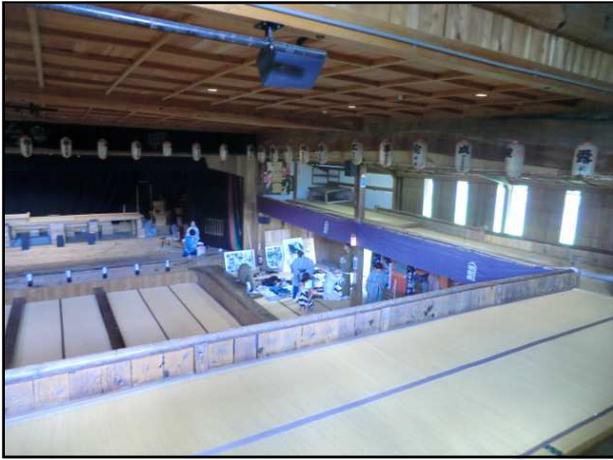


|      | 金甚劇場      | 加子母明治座                      |
|------|-----------|-----------------------------|
| 建設年  | 明治34年     | 明治27年                       |
| 改修   | 客席上部床増設   | 屋根(石置き板葺<br>⇒スレート瓦<br>天井の新設 |
| 屋根   | 寄棟<br>瓦屋根 | 切妻<br>スレート瓦屋根               |
| 小屋組  | トラス       | 一部トラス                       |
| 構造要素 | 土壁、板壁     | 土壁                          |
| 柱脚   | レンガ上に土台   | 石場建て                        |















#### 耐震性能評価の前に

- ・長期応力に対する安全性の検討
- ・小屋組の解析  
静的立体解析(各部のたわみ、柱への直圧力)  
たわみ(クリープ考慮)については、当初の状態が不明のため正解がよくわからない
- 支点条件を変える等、数種類の解析モデルで検討を行い、小屋組(固定荷重)重量の柱への伝達について検討を行った
- ・小屋梁を支える柱は(計算でも)座屈している



#### 耐震性能評価・耐震補強設計の流れ

現地での建築物調査(現地調査チェックリスト)  
平面図(構造要素配置図)・立面・断面図、  
軸組図(全構面)の作成

各階・各方向の全軸組の復元力の算定  
各階・各方向の層の復元力の算定

近似応答計算による耐震性能評価

耐震補強設計クライテリア

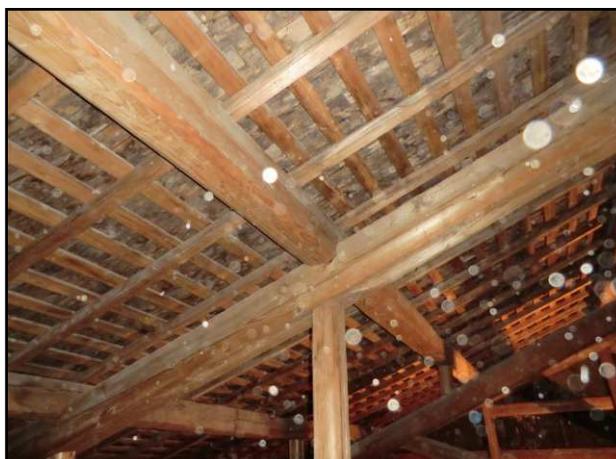
YES ↓

終了

NO ↓

耐震補強設計方針の検討

耐震補強設計(補強図)



#### 耐震補強・設計方針

建物の特徴から、次に示す方針に従って耐震補強設計を行う

- ・棧敷席から舞台への視角を遮ることがないように補強箇所・方法に配慮する
- ・文化財としての価値を損なわない補強方法とする
- ・可能な限り現状を残す
- ・補強用の構造要素は伝統構法に相応しい変形性能に優れたものを用いる
- ・具体的には、**全面板壁**や**はしご状フレーム**、**足固め等**を用いて補強を行う

- ・補強のための構造要素は平面的に偏在しない(偏心率ができる限り小さくなる)よう設置位置について検討する
- ・1階・2階の耐力バランスを考慮し、効果的な(建物全体でエネルギー消費できる)補強を検討する
- ・水平構面(下屋屋根・2階床)については適切な剛性・耐力を持たせ、水平構面を介して流れる水平力を伝達できるよう補強する
- ・耐震補強設計クライテリアに示された耐震性能を確保できる補強を目指す

### 加子母明治座 耐震設計クライテリア

- ・ **積雪荷重を考慮しない場合**
  - ・ 損傷限界層間変形角(代表層間変形角)1/90rad
  - ・ 安全限界層間変形角(代表層間変形角)1/20rad
  - ・ 安全限界層間変形角(最大層間変形角)1/15rad
- ・ **積雪荷重を考慮する場合**
  - ・ 崩壊・倒壊限界層間変形角(代表層間変形角)1/15rad
  - ・ 崩壊・倒壊限界層間変形角(最大層間変形角)1/13rad

### 耐震改修検討委員会の方針

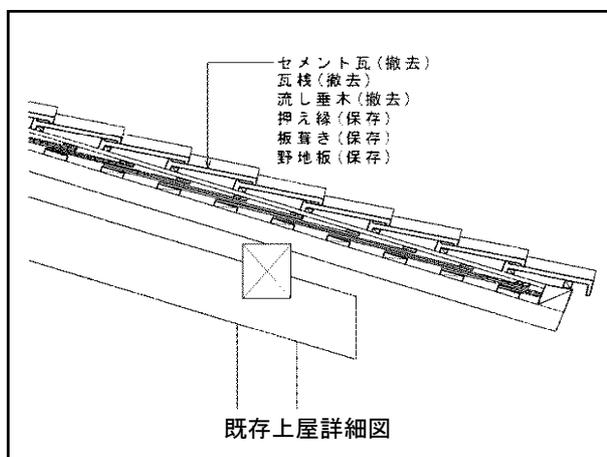
- ・文化財であり、できるかぎり現状を保存  
(**屋根については、瓦以外は保存**)  
座屈している柱は取り換えることも検討したが、現状保存の観点から、**添え柱で補強**する
- ・観客の視界を遮る計画は不可(特に2階積敷席から)  
**はしご状フレームは取りやめに(第3回検討委員会)**
- ・屋根の葺き替え  
セメント瓦は現在製造されていない  
瓦屋根、石置き板葺き屋根(建設時)、金属屋根等(耐震上は軽量化が望ましい→当初の屋根に戻す)

### 積載荷重

- ・観客は1人当たり60kg(600N)とする。
- ・過去最大の収容人員は約800人(2階300人、1階500人)である。収容人員(特に2階)に制約を設けない場合は、この人員を収容した場合の積載荷重とする。
- ・本建物の特殊性から耐震補強に制約があり、耐震設計クライテリアを満足できない場合は入場制限を設けることを検討する。この場合の収容人員は約500人(2階120人、1階380人)とする。

### 耐震補強計画

- ・現状で構造耐力上問題のある部位については補修・補強を行う  
主たる内容は、壁土が欠落している土壁の補修、小屋組の補修、柱脚腐食部補修、一部柱の補強、仕口接合部の復旧、基礎の沈下部分の修正等で、健全な状態に復旧する。
- ・構造要素の選定  
補強のための主要な構造要素として全面板壁を採用した。一般に板壁は初期剛性および耐力が低いことが問題となるが、水平に貫を入れ吸い付き棧とすることで比較的初期剛性および耐力が高く大変形まで安定した復元力が得られることが性能検証実験により確認されている。この他はしご型フレームの設置を検討する。



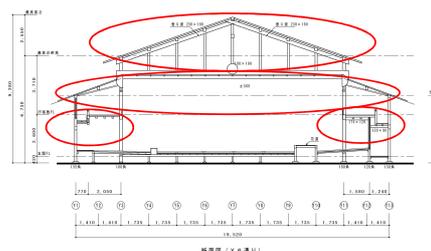
## 固定荷重

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| 屋根      |                          |
| セメント瓦葺き | 610→650 N/m <sup>2</sup> |
| 母屋      | 100 N/m <sup>2</sup>     |
| 小屋組     | 900 N/m <sup>2</sup>     |
| 小計      | 1650 N/m <sup>2</sup>    |
| 外壁      |                          |
| 土壁      | 970 N/m <sup>2</sup>     |
| 下見板張り   | 100 N/m <sup>2</sup>     |
| 軸組      | 150 N/m <sup>2</sup>     |
| 板張り     | 100 N/m <sup>2</sup>     |
| 小計      | 350 N/m <sup>2</sup>     |



## 積雪荷重

- 最大積雪量は、岐阜県条例により70cmとする。地震時にはその35%を考慮する。
- 単位重量は、多雪区域以外では法規定では20N/m<sup>2</sup>/cm以上となっているが、他の地域(同じ積雪量70cmの地域)での実測データでは単位重量が30N/m<sup>2</sup>/cm(多雪区域に適用される重量)程度の例もあることを考慮して、**25N/m<sup>2</sup>/cm**とする。2層 274kN 1層 186kN



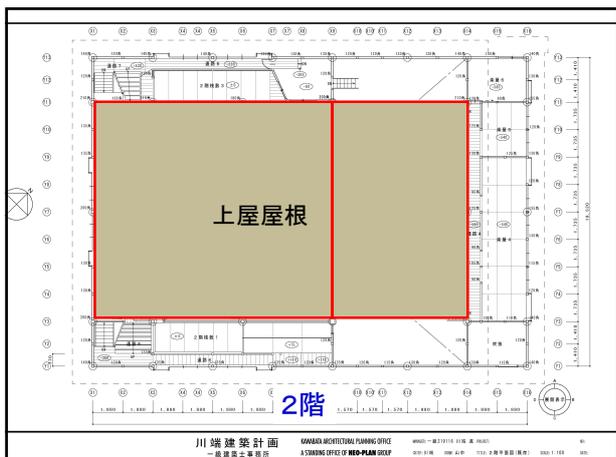
振動系としては3質点系

川端建築計画 KAWABE ARCHITECTURAL PLANNING OFFICE 事務所 岐阜県岐阜市南大井町1-1-1 TEL: 057-231-1111 FAX: 057-231-1112  
 一級建築士事務所 KAWABE OFFICE OF ARCHITECTURE 事務所 岐阜県岐阜市南大井町1-1-1 TEL: 057-231-1111 FAX: 057-231-1112

## 表層地盤と地盤種別

- 2か所で地盤調査を行っている
- 深さ5m程度までは埋め土層が見られるが、5m以深は堅固な砂礫層
- 高山と同様に1.5種とすることも検討したが、西側(田んぼ)が敷地地盤から大きく下がっており、その影響(不整形地盤)で増幅が大きくなる可能性もあるため、2種地盤として検討



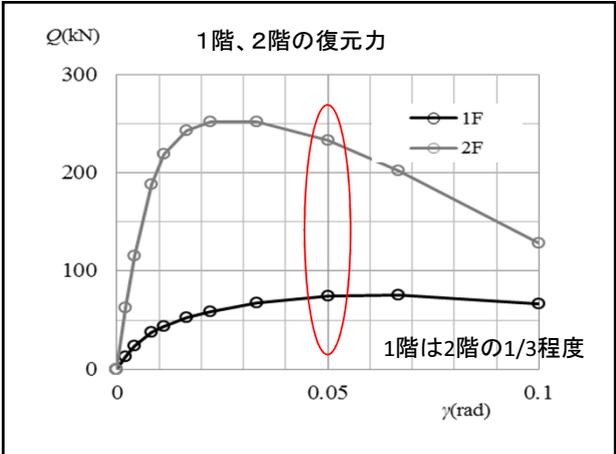


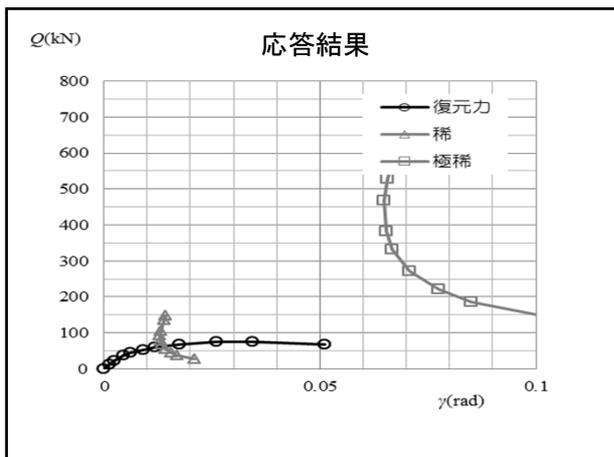
- ・応答解析で用いる復元力はPΔを考慮する必要があるが、PΔは建築物重量により異なるために2階の積載重量は2ケースについて算定する。
- ・各階・各方向の復元力は、積載荷重および積雪荷重との組合せにより、合計6ケースについて算定する。
- ・本解析で採用した構造要素は、土壁(全面壁)、小壁、貫、柱ほぞ、雇いほぞ車知打ち仕口、小根ほぞ鼻栓打ち仕口、差し鴨居、地長押、はしごフレーム、板壁である

- ### 耐震性能評価と耐震補強での注意点
- ・質点からは3質点系であるが、上屋屋根を支える部分は両方向とも剛性・耐力が大きく、2質点系として扱っても問題ないと判断
  - ・X方向は、上屋屋根に作用する水平力を下屋屋根を介して、外周架構に伝える必要があるため、下屋屋根(水平後面)の補強が必要
  - ・X方向はほぼ(対称形で)偏心が無いが、Y方向は大半が吹き抜けとなっているために、2階部分に作用する水平力は、重量を負担する架構で処理する(偏心をできる限り少なくする)

- ### 加子母明治座
- 1/20rad時耐力(1階)  
(補強前)  
2階積載なし、積雪なし:  
Cb=0.044(X方向)、0.050(Y方向)
- (補強後)  
2階積載なし、積雪なし:  
Cb=0.33(X方向、Y方向)  
2階積載(300人)、積雪あり  
Cb=0.22(X方向、Y方向)

- ### 復元力の算定方針
- ・明治座がどのような構造要素から構成されているか検討し、現状の各構造要素(耐震要素)の特定層間変形角(変位増分で計算を行う各層間変形角)におけるせん断耐力(伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会(2010年度~2012年度)で設定された設計用データを用いる)を基に各階・各方向の鉛直構面ごとの復元力を求め、この復元力を加算することで、各階・各方向の復元力を求める。
  - ・耐震補強として用いる板壁やはしごフレームについては、性能検証実験が行われているので、その結果に基づいて復元力を設定する。板壁については、まだ実験が完了していない場合は暫定的な復元力を設定している。





- ・Y方向(梁間方向)は中央に大きな吹き抜けが存在するために、X1~X3間とX14~X16間で負担する水平力がほぼバランスするよう全面壁の配置を計画した。
- ・全面壁の設置は既存の軸組を枠材として壁だけを付加することで検討したが、設置個所が限定されるため必要な復元力を確保することができず、**新たな軸組を既存の軸組に抱合せ全面壁を取り付ける方法も併用する方針とした。**

**現状の応答結果**

|    |   |    | 代表層間変形角 |       |      |
|----|---|----|---------|-------|------|
|    |   |    | R       | R2    | R1   |
|    |   |    | rad     | rad   | rad  |
| 現状 | X | 稀  | 1/71    | 1/704 | 1/37 |
|    |   | 極稀 | 解なし     | 解なし   | 解なし  |
|    | Y | 稀  | 1/69    | 1/426 | 1/37 |
|    |   | 極稀 | 解なし     | 解なし   | 解なし  |

構造要素の配置および補強方法  
 近似応答計算による予備解析では1階の変形が大きくなるために、特に1階の構造要素については偏心率ができる限り小さくなるよう設置位置について検討する  
**また1階の変形が大きくなるよう、1階・2階の耐力バランスを考慮した配置を検討する。**  
 全面壁は主として機能上問題のないY1通りおよびY13通りに設置する計画としたが、上屋屋根部分に作用する地震力を下屋屋根を介してY1およびY3通りに伝達させる必要があり、**水平構面(下屋屋根)の補強を行う**

**耐震補強方針**

- ・ 観客席から舞台への視角を遮ることがないように補強箇所・方法に配慮する
- ・ 文化財としての価値を損なわない補強方法とする
- 可能な限り現状を残す**
- ・ 補強用の構造要素は伝統構法に相応しい変形性能に優れたものを用いる
- ・ 具体的には、全面板壁やはしご状フレーム、足固め等を用いて補強を行う
- ・ 補強のための構造要素は平面的に偏在しない(偏心率ができる限り小さくなる)よう設置位置について検討する
- ・ 1階・2階の耐力バランスを考慮し、効果的な(建物全体でエネルギー消費できる)補強を検討する

**1階と2階の耐力バランス**

$$R_{CO} = \frac{(1 + R_w)(1 + R_h)}{1 + R_w + R_w R_h}$$

$R_{CO}$ :  $R_w$  や  $R_h$  の値に対して1階と2階の層間変形角が同じになる時の  $C_{u2} / C_{ub}$

$R_w$ : 2階の重量/1階の重量  
 $R_h$ : 2階の階高/1階の階高

$$C_{u2} / C_{ub} \geq R_{CO} \quad 1.2 R_{CO} \leq C_{u2} / C_{ub} \leq R_{CO}$$



**耐震補強設計クライテリア**

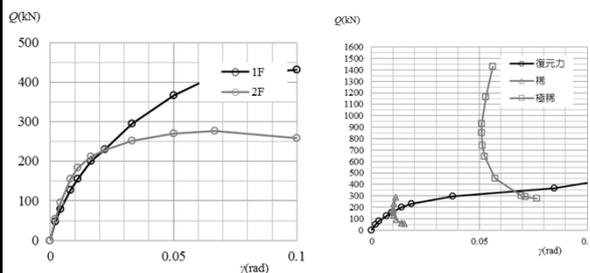
基本的には、耐震診断におけるクライテリアと同じ考え方であるが、現状は耐震性能が低く

積雪を考慮した場合に同じクライテリアを満足する補強が困難になる場合も予想されるため、次のようにクライテリアを設定する。

**積雪荷重を考慮しない場合**

- 損傷限界層間変形角(代表層間変形角) 1/90rad
- 安全限界層間変形角(代表層間変形角) 1/20rad
- 安全限界層間変形角(最大層間変形角) 1/15rad

**復元力と応答結果**

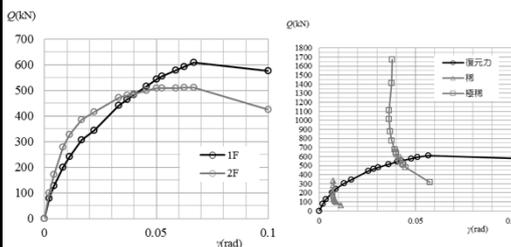


**積雪荷重を考慮する場合**

積雪荷重を考慮しない場合と同様のクライテリアを満足する補強が困難な場合は建物の崩壊・倒壊を防止することを目的とし、安全限界層間変形角を崩壊・倒壊限界層間変形角とする。

- ・崩壊・倒壊限界層間変形角(代表層間変形角) 1/15rad
- ・崩壊・倒壊限界層間変形角(最大層間変形角) 1/13rad

**1階・2階復元力と応答結果**



**近似応答解析**

地震時の応答は、積載荷重および積雪荷重との組み合わせにより大きく変化するために、積載重量(観客)なし・積雪なし、積載重量(観客)あり・積雪なし、積載重量(観客)なし・積雪あり、積載重量(観客)あり・積雪ありの上記4ケースについて解析を行う

なお、積載荷重について、考慮する場合はさらに2種類のケースについて解析を行う

**時刻歴応答解析**

参考までに、時刻歴応答解析を行い耐震性能を検証する。

|                |   |    | 代表層間変形角 |       |       | 最大層間変形角 |      |  |
|----------------|---|----|---------|-------|-------|---------|------|--|
|                |   |    | R       | R2    | R1    | R2      | R1   |  |
|                |   |    | rad     | rad   | rad   | rad     | rad  |  |
| LOS0<br>(0人)   | X | 積  | 1/137   | 1/243 | 1/108 |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/24    | 1/37  | 1/19  | 1/36    | 1/18 |  |
|                | Y | 積  | 1/134   | 1/195 | 1/111 |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/23    | 1/24  | 1/22  | 1/21    | 1/21 |  |
| LISO<br>(300人) | X | 積  | 1/128   | 1/265 | 1/99  |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/21    | 1/47  | 1/16  | 1/45    | 1/15 |  |
|                | Y | 積  | 1/125   | 1/208 | 1/102 |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/21    | 1/30  | 1/18  | 1/26    | 1/17 |  |
| LISO<br>(120人) | X | 積  | 1/133   | 1/252 | 1/104 |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/22    | 1/40  | 1/18  | 1/38    | 1/17 |  |
|                | Y | 積  | 1/130   | 1/200 | 1/107 |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/22    | 1/27  | 1/20  | 1/23    | 1/19 |  |
| LOS1<br>(0人)   | X | 積  | 1/121   | 1/200 | 1/98  |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/20    | 1/24  | 1/18  | 1/23    | 1/17 |  |
|                | Y | 積  | 1/118   | 1/161 | 1/100 |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/20    | 1/20  | 1/20  | 1/17    | 1/19 |  |
| LOS1<br>(0人)   | X | 積  | 1/124   | 1/207 | 1/98  |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/20    | 1/26  | 1/18  | 1/25    | 1/17 |  |
|                | Y | 積  | 1/121   | 1/166 | 1/102 |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/20    | 1/21  | 1/20  | 1/18    | 1/19 |  |
| LIS1<br>(300人) | X | 積  | 1/114   | 1/221 | 1/87  |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/19    | 1/32  | 1/15  | 1/31    | 1/14 |  |
|                | Y | 積  | 1/112   | 1/168 | 1/93  |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/18    | 1/25  | 1/15  | 1/21    | 1/14 |  |
| LIS1<br>(120人) | X | 積  | 1/119   | 1/205 | 1/93  |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/19    | 1/28  | 1/16  | 1/27    | 1/15 |  |
|                | Y | 積  | 1/115   | 1/164 | 1/97  |         |      |  |
|                |   | 極積 | 1/19    | 1/20  | 1/19  | 1/17    | 1/18 |  |

|  |   |    | 代表層間変形角 |       |       | 最大層間変形角 |      |
|--|---|----|---------|-------|-------|---------|------|
|  |   |    | R       | R2    | R1    | R2      | R1   |
|  |   |    | rad     | rad   | rad   | rad     | rad  |
| LOS0<br>(0人)                           | X | 稀  | 1/137   | 1/243 | 1/108 |         |      |
|  |   | 極稀 | 1/24    | 1/37  | 1/19  | 1/36    | 1/18 |
|  | Y | 稀  | 1/134   | 1/195 | 1/111 |         |      |
| L1S0<br>(300人)                         | X | 稀  | 1/128   | 1/265 | 1/99  |         |      |
|  |   | 極稀 | 1/21    | 1/47  | 1/16  | 1/45    | 1/15 |
|  | Y | 稀  | 1/125   | 1/208 | 1/102 |         |      |
| L1S0<br>(120人)                         | X | 稀  | 1/133   | 1/252 | 1/104 |         |      |
|  |   | 極稀 | 1/22    | 1/40  | 1/18  | 1/38    | 1/17 |
|  | Y | 稀  | 1/130   | 1/200 | 1/107 |         |      |
| LOS1<br>(0人)<br>(25N/cm <sup>2</sup> ) | X | 稀  | 1/121   | 1/200 | 1/96  |         |      |
|  |   | 極稀 | 1/20    | 1/24  | 1/18  | 1/23    | 1/17 |
|  | Y | 稀  | 1/118   | 1/161 | 1/100 |         |      |
| LOS1<br>(0人)<br>(20N/cm <sup>2</sup> ) | X | 稀  | 1/124   | 1/207 | 1/98  |         |      |
|  |   | 極稀 | 1/20    | 1/26  | 1/18  | 1/25    | 1/17 |
|  | Y | 稀  | 1/121   | 1/166 | 1/102 |         |      |

新潟県中越沖地震  
 建築年:昭和5年 本堂再建  
 昭和30年 本堂屋根 銅板から瓦へ  
 3年前の新潟県中越沖地震でも被害を受け、  
 瓦の葺き替え  
 特徴:本堂の小屋部分が洋小屋の大ス  
 パン。内陣、参詣部分に柱の本数  
 が少ない。  
 同じ規模の寺院(伝統構法:内陣の柱本  
 数は通常)は軽微な被害(敷地は約800m  
 離れている)



倒壊した本堂



本堂小屋組の内部  
トラスが用いられている



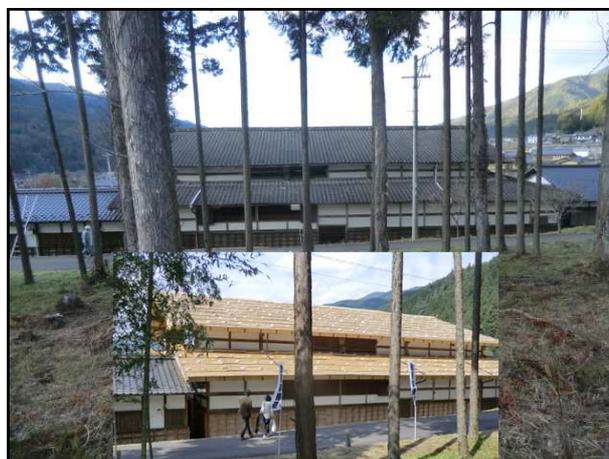
倒壊前の本堂

|  |   |    |       |       |       |      |      |
|--|---|----|-------|-------|-------|------|------|
| L1S0<br>(300人)                           | X | 稀  | 1/128 | 1/265 | 1/99  |      |      |
|  |   | 極稀 | 1/21  | 1/47  | 1/16  | 1/45 | 1/15 |
|  | Y | 稀  | 1/125 | 1/208 | 1/102 |      |      |
| L1S0<br>(120人)                           | X | 稀  | 1/133 | 1/252 | 1/104 |      |      |
|  |   | 極稀 | 1/22  | 1/40  | 1/18  | 1/38 | 1/17 |
|  | Y | 稀  | 1/130 | 1/200 | 1/107 |      |      |
| LOS1<br>(0人)<br>(25N/cm <sup>2</sup> )   | X | 稀  | 1/121 | 1/200 | 1/96  |      |      |
|  |   | 極稀 | 1/20  | 1/24  | 1/18  | 1/23 | 1/17 |
|  | Y | 稀  | 1/118 | 1/161 | 1/100 |      |      |
| LOS1<br>(0人)<br>(20N/cm <sup>2</sup> )   | X | 稀  | 1/124 | 1/207 | 1/98  |      |      |
|  |   | 極稀 | 1/20  | 1/26  | 1/18  | 1/25 | 1/17 |
|  | Y | 稀  | 1/121 | 1/166 | 1/102 |      |      |
| L1S1<br>(300人)<br>(25N/cm <sup>2</sup> ) | X | 稀  | 1/114 | 1/221 | 1/87  |      |      |
|  |   | 極稀 | 1/19  | 1/32  | 1/15  | 1/31 | 1/14 |
|  | Y | 稀  | 1/112 | 1/168 | 1/93  |      |      |
| L1S1<br>(120人)<br>(25N/cm <sup>2</sup> ) | X | 稀  | 1/119 | 1/205 | 1/93  |      |      |
|  |   | 極稀 | 1/19  | 1/28  | 1/16  | 1/27 | 1/15 |
|  | Y | 稀  | 1/115 | 1/164 | 1/97  |      |      |



改修後の加子母明治座

新潟県中越沖地震での被害  
 倉庫に使用されていた建築物  
 建築年代は不明  
 比較的柱スパンが大きい







THE END

