文化財建造物改修の構造的アプローチ

～県内の古民家･近代建築を中心に～

平成30年11月3日

（株）グリーンデザインオフィス
代表取締役　構造設計一級建築士
岩田真次

目次

はじめに
1.　文化財建造物改修の基本的な捉え方
（1）木造建築物の耐震診断・改修設計に関わる基規準・仕様書等（法的）
（2）木造建築物の耐震性能と改修設計の要点（構造）
（3）RC造、レンガ造、鉄骨造の改修について
※文化財建造物の耐震性能を微動で捉える
2. 文化財建造物改修の実際（事例）
① 武徳殿（山口市）
② 中野邸納屋（下関市）
③ 嘉村磯多生家（山口市）
④ 旧中川家住宅「居蔵の館」（山口市）
⑤ 松乃井酒造場（新潟県十日町市）
⑥ 殿居郵便局（下関市）
⑦ 田中絹代ぶんか館（下関市）
⑧ 北方八幡宮楼門（山口市）
⑨ 成城学園（東京都世田谷区）
⑩ 明倫学舎本館（萩市）
⑪ 旧小林家住宅（萩市）
⑫ 十朋亭・杉私塾(山口市）
⑬ 石橋財団櫛原邸（福岡県久留米市）
⑭ 軍艦島（長崎県長崎市）
まとめ

はじめに

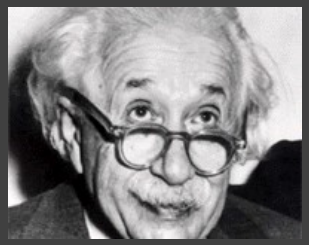
文化財構造物改修の構造的アプローチ・・・

文化財建造物は、地域の歴史と風土を反映したものであり、過去、現在そして未来に継承されるべきものである。

地域の人々に受入れられる存在価値を有し、使用されることが重要である。このためには、災害や時代の要求に応えられる技術的な裏付けが必要となる。

文明（技術）に裏打ちされた文化財建造物は、その地域固有の輝きを持ち、地域固有の多様な文化を育み、かつ継承される。

場所（地域）は、歴史（時間）と風土（空間）で定義される。



Albert Einstein

一般相対性理論においては理論的な帰結・骨子であり、次のように表される：

$$R_{ik} - \frac{g_{ik}R}{2} + \Lambda g_{ik} = 8\pi \frac{G}{c^4} T_{ik}$$

左辺は、時空がどういう風に曲がっているかを表す幾何学量であり、右辺は、物質場を表す。

空間と運動からなる四次元空間は、たとえていえば球面の上のような曲がった空間で、その曲がり方が重力を表している。GPS位置情報システムは、相対論的補正が行われて成立

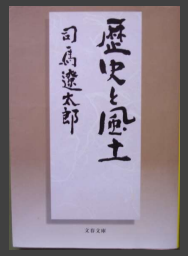
https://ja.wikipedia.org/wiki/一般相対性理論

$E = mc^2$ ・・・エネルギー方程式（自然の力を表す式、世界で最も美しい方程式）

この原理を応用して、非破壊試験による建築材料の特性、建造物の耐震性を推定

https://ja.wikipedia.org/wiki/E%3Dmc2

司馬遼太郎



司馬遼太郎の視点・・・辺境史観

地方の文化が育った江戸期、大正期を考えて；

地方の大学、短大はもっと力を持つべきだしそれを育てるために地方の県人がもっと意識を高めるべきだ。そうでないと日本という国は薄っぺらい国になります。非常に多様な文化の価値観と文化とがあって社会というのはきらびやかなものになり、あるいはそこから生み出される文化もきらびやかなものになっていく・・・。

1．文化財建造物改修に係る基本的な捉え方（法的な捉え方）

文化財建造物は、多様な価値を有するものであり、一律的な基準で改修することはできない。

文化財建造物は、耐震上の問題を有するものがあり、様々な角度から、構造面の補強と併せてソフト面の対策が必要である。

文化財建造物等の地震における安全性確保に関する指針

庁保建第４１号　文化庁文化財保護部長通知
（平成８年１月１７日）

1　総論

1－1　文化財建造物等の地震時における安全性確保に関する基本的な考え方

重要文化財建造物及び重要伝統的建造物群保存地区内の伝統的建造物（以下「文化財建造物等」という。）は，様々な部位にわたって意匠的・技術的・歴史的・学術的な価値が認められるものであり，一律的な基準に基づいて改修を進めることは困難である。しかしながら，文化財建造物等には，維持管理・定期的な補修・立地条件・使用方法などの点で，耐震上の問題を有するものがあり，地震時の安全性確保が必要である。

このことから，可能な範囲で構造面の補強等を進めると同時に，ソフト面の対策も併せて実施する必要がある。なお，本指針は安全性確保のための基本的な考え方を示すものであり，具体的な補強方法や構造診断の項目・基準等については，別途技術指針に示す予定である。

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

(1)木造建築物の耐震診断・改修設計に係る基規準

重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領

（平成 13 年 4 月 10 日　文化財保護部建造物課長裁定）
（平成 24 年 6 月 12 日　改正）

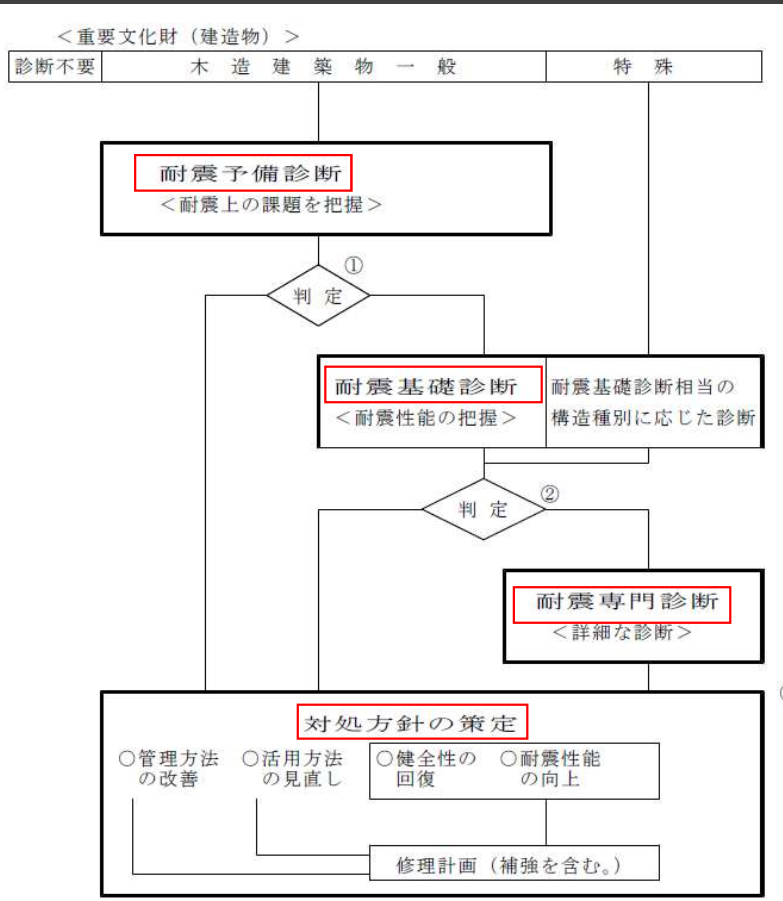
本要領は，「重要文化財（建造物）耐震診断指針」（平成 11 年 4 月）に基づいて耐震基礎診断（旧基礎診断）を実施する際の具体的な方法を示すものであり，「重要文化財（建造物）耐震診断指針の基づく基礎診断実施要領の策定について（通知）」（平成 13 年 4 月 10 日 13 財建造第 2 号　文化庁文化財部建造物課長通知）において示した要領に，このたび改訂を加えたものである。

本要領に示す計算式・数値等は，現時点での研究成果に基づくものであり，今後逐次改訂される可能性がある。

平成 24 年 6 月 12 日

予備診断ー基礎診断ー専門診断ー対処方針
（ヒアリング・下見）　（一般診断）　（精密診断）　（改修提案）

耐震診断の実施要領は、文化庁、国交省ともに基本的には変わらない。



都道府県教育委員会は，所有者等の求めに応じて，
①市町村教育委員会及び文化財保護指導委員等の意見を聴取し，耐震基礎診断の必要性について指導助言する。
②建築構造専門家等の意見を聴取し，耐震専門診断の必要性について，指導助言する。
③必要に応じて文化庁と協議の上，今後の対処方針について，指導助言する。

図　耐震診断と対処方針策定の流れ

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（1）木造建築物の耐震診断・改修設計に係る基規準

基礎診断の実施要領に示された荷重の考え方、諸数値は建防協「木造住宅の耐震診断と補強設計」の内容とほぼ一致している。

（1）荷重の組み合わせ

地震時の建造物の荷重として想定する組み合わせは，以下の通りとする。

一般地域：固定荷重（G）＋積載荷重（P）

多雪区域：固定荷重（G）＋積載荷重（P）＋積雪荷重（S）

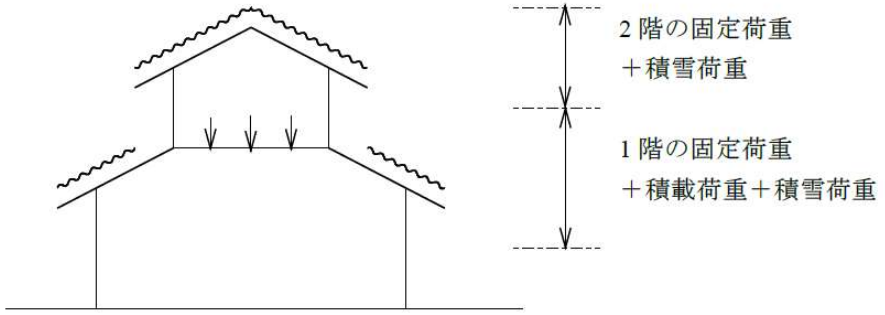


図３　荷重の考え方

重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領

（平成 13 年 4 月 10 日　文化財保護部建造物課長裁定）
（平成 24 年 6 月 12 日　改正）

1）屋根の荷重

床面積当たりの基準屋根荷重を表１に示す。ただし，床面積が 40 ㎡を下まわる場合は軒面積当たりの基準屋根荷重として計算する。また，屋根種類が複数ある場合は，その比率により調整する。

表１　床面積当たりの基準屋根荷重Ｗｒ（単位：N/㎡）

屋根葺材料	基準屋根荷重 Ｗｒ
本瓦葺	3,300
桟瓦葺（葺土あり）	2,400
桟瓦葺（葺土なし）	1,300
檜皮葺，こけら葺	1,300
金属板葺	1,000
茅葺（基準葺厚を 0.6 ｍとし葺厚によって調整する）	1,500
板葺（石置板葺の場合，別途石の重量を加算する）	600

2）外壁の荷重

床面積当たりの基準外壁荷重を表２に示す。土壁の場合，基準の塗厚を大壁 15 ｃｍ，真壁６ｃｍとし塗厚によって調整する。また，壁種類が複数ある場合は，その比率により調整する。なお，建物の形状が曲屋型（中門造等を含む。）の場合は，基準外壁荷重を３割減じる。

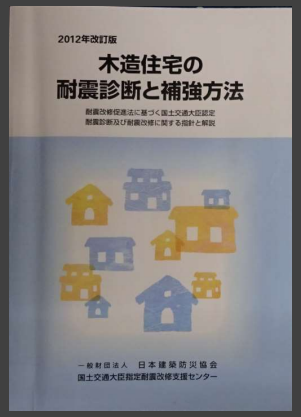
表２　床面積当たりの基準外壁荷重Ｗｇ（単位：N/㎡）

外壁の種類	基準外壁荷重 Ｗｇ
土塗大壁（土蔵の土壁）	2,400
土塗真壁	1,200
板壁	700

1．文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（1）木造建築物の耐震診断・改修設計に係る基規準

2004年改訂版



2012年改訂版

補強方針の策定は、建防協「木造住宅の耐震診断と補強方法」等を参考にすること。

文化財建造物等の地震における安全性確保に関する指針
庁保建第４１号　文化庁文化財保護部長通知
（平成８年１月１７日）

7　重要伝統的建造物群保存地区における安全性の確保

7－1　伝統的建造物の補強の推進

伝統的建造物について市町村は，「伝統的建造物群保存地区の制度の実施について」（昭和 50 年 9 月 30 目庁保建第 192 号　文化庁文化財保護部長通達）に定める伝統的建造物群保存地区の保存計画（以下「保存計画」という。）で示された伝統的建造物群の特性の維持と両立する伝統的建造物の補強方針を定めるとともに，保存計画の中に位置づけ，これに基づき補強を推進する必要がある。

なお，補強方針の策定に当たっては，『木造住宅の耐震精密診断と補強方法』（建設省住宅局監修，（財）日本建築防災協会・（社）日本建築士連合会編，平成 7 年改定）などを参考にすること。

※山口県建築士事務所協会建築物の耐震診断等評価委員会「木造建築物の耐震診断及び耐震改修のためのガイドライン」2015年 http://www.y-jimukyo.com/gijutsu.html

1．文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（1）木造建築物の耐震診断・改修設計に係る基規準

相次ぐ地震被災により、その都度壁量、接合部、基礎等の規定が見直されてきた。

無 → 仕様規定 → 性能規定

建設時期とその当時の基準法を照らし合わせれば、建造物の仕様、構造方式等がある程度推察できる。

1．.建設年代による木造住宅の耐震性能　「建築技術」2012．8（大橋好光教授ほか著）抜粋　GDOiwata

建設年代	年	基準法など	内容
戦前			2階建までの木造建物には耐力壁の量的な規定はなく、 地方では建築規制もなかった。
	大正8年 （1919年）	「市街地建築物法」 （わが国最初の建築法規）	各部構造基準 高さ制限 高さ50尺以下 軒高38尺以下 階数3階以下 3階建は筋かいを入れること
	大正12年 （1923年）	関東大震災 「市街地建築物法」改正	筋かい設置の義務付け （数量の規定なし）
	昭和23年 （1948年）	福井地震	
昭和25年 ～ 昭和34年	昭和25年 （1950年）	「建築基準法」制定	階数2以上または延面積50㎡以上に適用 主要な柱の下部に土台を設置し、土台は基礎に緊結すること 主要な継手・仕口は、ボルト締め、かすがい打ち、込栓打ちなどで緊結すること
昭和34年 ～ 昭和46年	昭和34年 （1959年）	「建築基準法」改正	耐火、簡易耐火建築物の規定 荷重と応力に長期、短期の概念を導入 学会「木造禁止決議」大型建築から木造排除 壁量規定を改定、壁倍率の改定 住宅金融公庫仕様が基準法を補完
	昭和43年 （1968年）	十勝沖地震	
昭和46年 ～ 昭和56年	昭和46年 （1971年） 昭和48年	「建築基準法」改正	基礎は、原則として一体の無筋コンクリート造または鉄筋コンクリート造の布基礎とすること 公庫仕様から、コンクリートブロック造などの基礎を廃止し、コンクリート造に限定
	昭和49年 昭和52年 昭和53年 （1978年）	ツーバイフォー構法告示 住・木センター設立 宮城県沖地震	Zマーク表示金物制度スタート
昭和56年 ～ 平成12年	昭和56年 （1981年）	「新耐震設計法」制定	壁量規定の見直し 軸組種類、倍率の改正 壁倍率の評価方法の変更（1/60radから1/120rad） 構造用合板の普及
	平成4年 平成7年 （1995年）	兵庫県南部地震	木造3階建共同住宅の基準制定 接合金物の使用増大
平成12年 以降	平成12年 （2000年）	「建築基準法」改正	性能規定化、限界耐力計算導入 各部構造仕様の追加規定 ・基礎の種類ごとの仕様規定（寸法、配筋） ・耐力壁の配置規定（四分割法） ・接合部の仕様規定（表とN値計算）

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（1）木造建築物の耐震診断・改修設計に係る基規準

耐震性が確保される基準は、2000年以降になる。

2. 建設時期と耐震性能

着工時期	耐力壁量	耐力壁配置	軸組接合部	床・屋根強さ	基礎
～昭和34年（1959年）	C	C	C	C	C
（1959年）～昭和56年（1981年）	C	B	C	B	C
（1981年）～平成12年（2000年）	A	B	B	B	B
（2000年）以降	A	A	A	B	A

A：建築基準法で明確に規定（一応倒壊しない、倒壊しない）
B：建築基準法で記述されているが、明確な規定がない（倒壊する可能性がある）
C：建築基準法に記述がない（倒壊する可能性が高い）

木造住宅の耐震性のチェックポイント（坂本功）
①建設年代と構法（軸組、伝統、2×4）
②老朽化の程度
③地盤の良し悪し

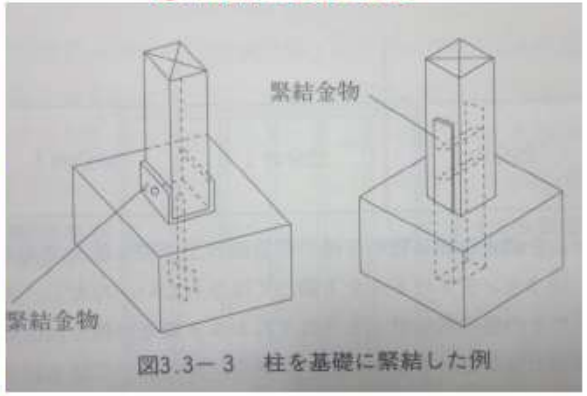


図3.3－3　柱を基礎に緊結した例

軟弱な地盤の木造住宅は、RC造基礎がないものは耐震性がゼロに近い。（大崎順彦）

3. 建築基準法施行令
第42条（土台及び基礎）
　構造耐力上主要な部分である柱で最下階の部分に使用するものの下部には、土台を設けなければならない。ただし、当該柱を基礎に緊結した場合又は平家建ての建築物で足固めを使用した場合（地盤が軟弱な区域として特定行政庁が国土交通大臣の定める基準に基づいて規則で指定する区域内においては、当該柱を基礎に緊結した場合に限る。）においては、この限りでない。
2　土台は、基礎に緊結しなければならない。ただし、前項ただし書きの規定によって指定した区域外における平家建ての建築物で延べ面積が50㎡以内のものについては、この限りでない。

1．文化財建造物改修に係る基本的な捉え方（構造的な捉え方）

（2）木造建築物の耐震性能と改修設計の要点

建物の固有周期

0.2～0.3秒

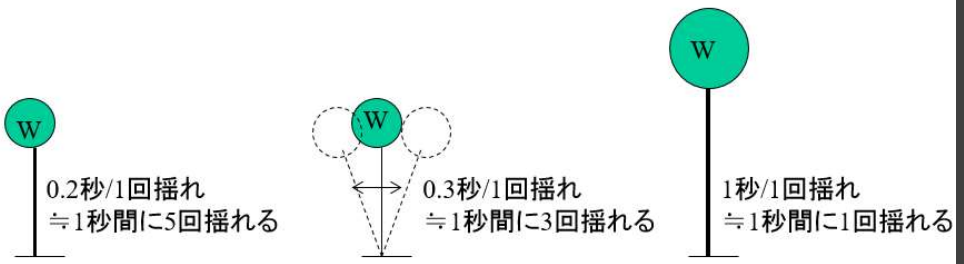
新しい木造住宅

0.3～0.5秒

古い木造民家

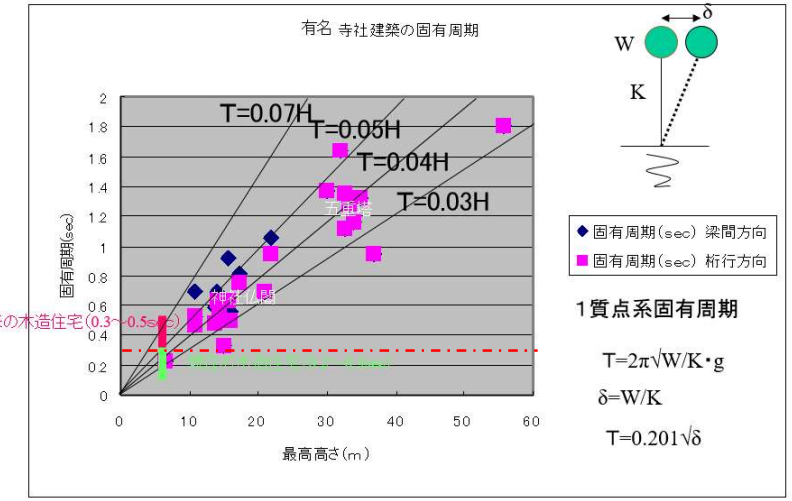
0.7～1.2秒

大型木造建物



木造住宅の固有周期は0.3secが耐震性の目安

木造建物の固有周期



木造建物の揺れ方は、新しく高さが低いものは小刻みに揺れ（硬い、揺れの周期が短い）、
古くて高さが高いものはゆっくり、大きく揺れる（柔らかい、揺れの周期が長い）。

1．文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（2）木造建築物の耐震性能と改修設計の要点

坂本　功　東大名誉教授
「地震に強い木造住宅パーフェクトマニュアル」2003年

強い揺れがひと揺れかふた揺れだけの地震動の場合で、繰り返しに対しては抵抗力の低下が大きい構造であれば、エネルギー一定の法則がよく当てはまるはずである。

他方、強い揺れが長く続くような地震動の場合で、繰り返しに対して抵抗力の低下が小さい構造の場合は、等価線形化法がよく当てはまるであろう。

これからの耐震（構造）設計は、設計法の背景となる基礎的なことを知ってやるべき時代になっている。

重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領

（平成13年4月10日　文化財保護部建造物課長裁定）
（平成24年6月12日　改正）

第2節　エネルギー一定則による場合

精密診断法1（保有耐力診断法）

1　考え方

（1）地震の破壊力をエネルギーとして捉え，建造物がこのエネルギーに等しい仕事をするまで変形すると考え，地震時の最大応答を評価する。

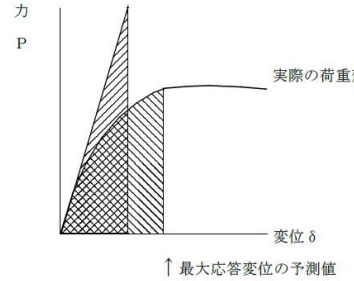


図2　エネルギー一定則の考え方

6）入力エネルギーの算定

地震動による入力エネルギー Ed は，各階各方向ごとに次式により算定する。

$$Ed = \frac{1}{2} \cdot \frac{Qd^2}{St}$$

Qd：地震力によって各階に生ずる水平力
St：各階の初期剛性

第3節　等価線形化法による場合

精密診断法2（限界耐力計算）

1　考え方

力と変位の関係が非線形性を示す構造物の弾塑性応答解析を，弾性応答解析に近似して行う。等価線形モデルでは，弾塑性復元力特性を基に，等価な剛性K_E（弾塑性モデルの初期剛性K_1より小）と等価な減衰 heq（弾塑性モデルの初期減衰h_1より大）に置き換える。

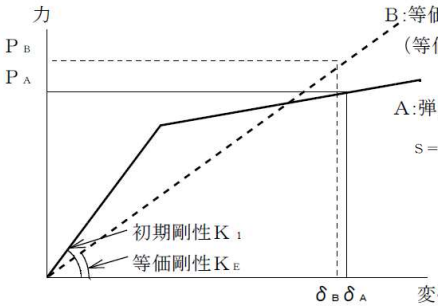


図1　等価線形化法の考え方

$S = Z \cdot G_s \cdot S_o$

S　：基準地震動（単位m／s²）
Z　：地震地域係数
S_o：工学的基盤での標準地震動（m／s²）（大地震動時の標準地震動をS_{os}とし，中地震動時の標準地震動S_{od}とする）
G_s：表層地盤による加速度の増幅率

1．文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（2）木造建築物の耐震性能と改修設計の要点

伝統的木造住宅の真の強さ

古民家の耐震実験I　2000年8月

東大・山大・山口建築士会共同研究

秋穂町・原田邸（江戸末期築）

坂本先生、西澤先生来訪

2棟の実物古民家の耐震実験により、山口県の古民家の耐震性能がある程度把握された。

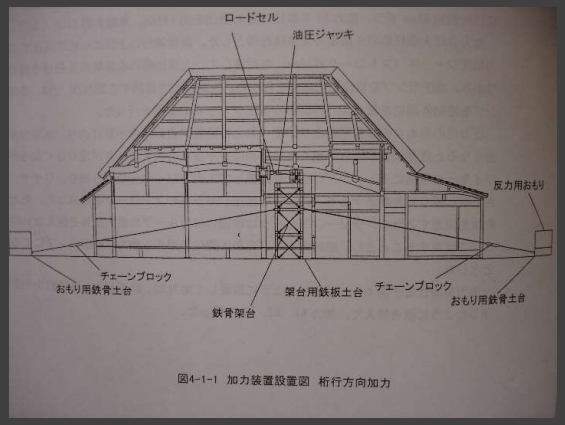


図4-1-1　加力装置設置図　桁行方向加力

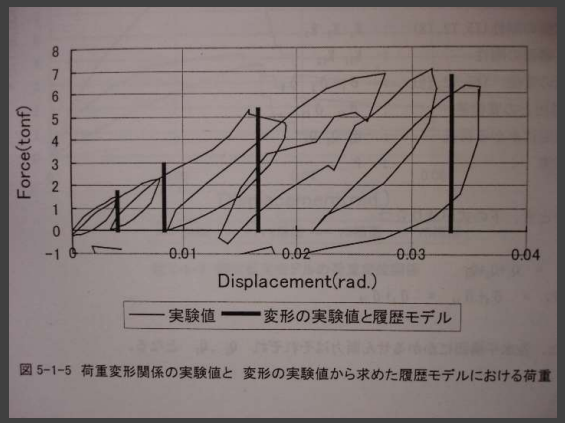


図 5-1-5　荷重変形関係の実験値と　変形の実験値から求めた履歴モデルにおける荷重

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（2）木造建築物の耐震性能と改修設計の要点

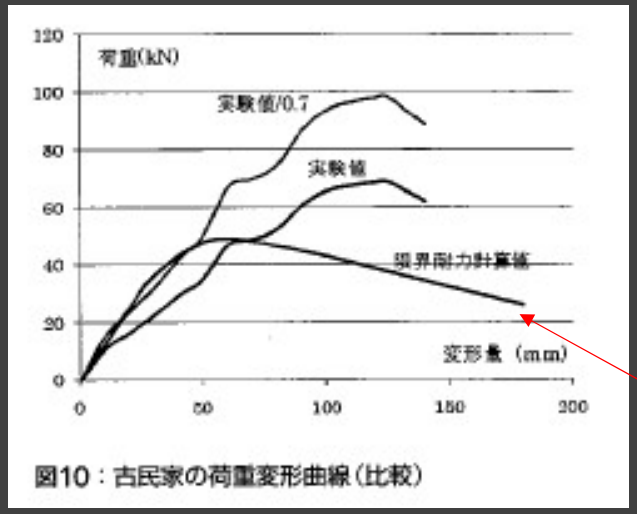
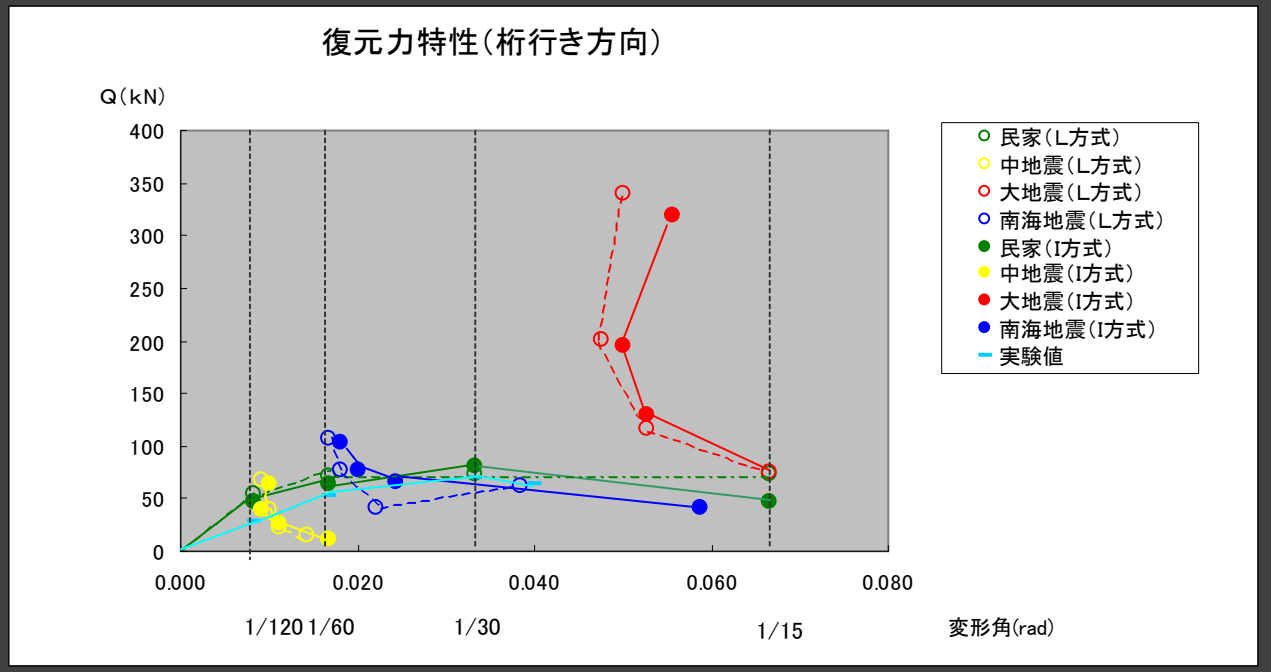


図10：古民家の荷重変形曲線（比較）

限界耐力計算法は、地盤と建物の相互作用を考慮した地震力と、建物の強さと粘りを考慮した真の強さに基づいた構造計算法のひとつ。

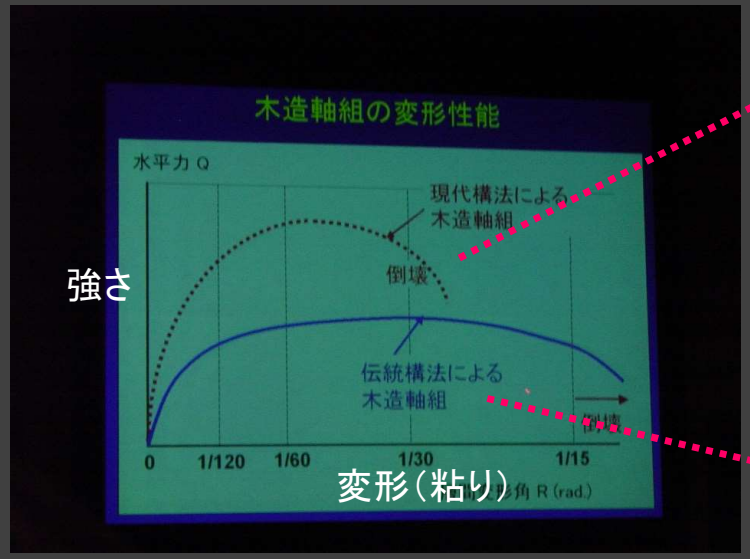


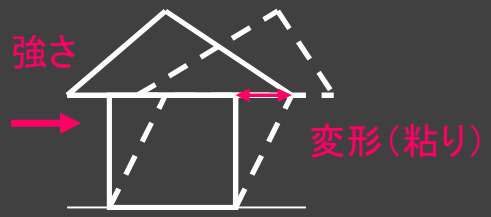
市販ソフトで限界耐力計算した結果を左図に示す。
耐震要素の復元力特性データを的確に把握すれば、十分適合できる。

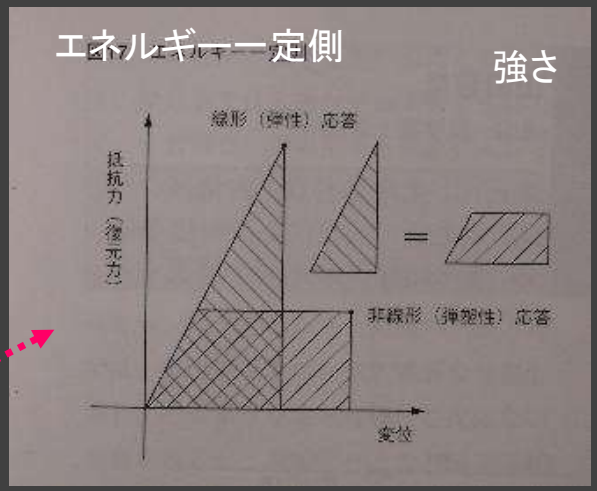
1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

(2)木造建築物の耐震性能と改修設計の要点

木造住宅の種類によって、強さ、粘りは異なる。







筋交い、構造用合板
2×4

精密診断1(保有耐力診断法)

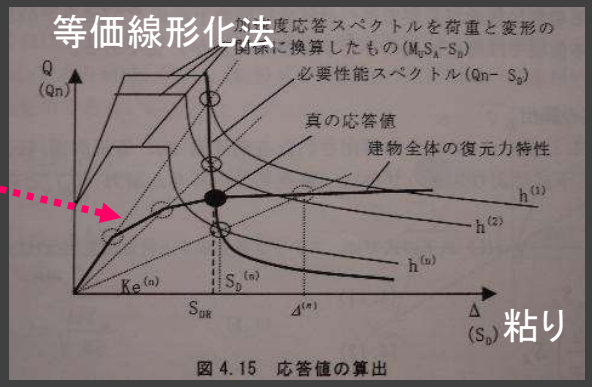


図 4.15 応答値の算出

伝統構法

精密診断2(限界耐力計算)

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

（3）RC・SRC造、レンガ造、鉄骨造の耐震診断改修設計指針

（一財）日本建築防災協会の諸基準及び関連基規準・指針に基づいて診断と改修設計が実施されている。

●RC造、SRC造

下記の基準による第2次診断法が主流

・「2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」（2017年改訂版）

・「2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説」（2017年改訂版）

・「2009年改訂版既存鉄骨鉄筋

コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」

・「2009年改訂版既存鉄骨鉄筋

コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説」

●レンガ造

目地を含むレンガのせん断強度がポイント

- RC造、SRC造との併用構造が多いため、左記の基準に準拠し、多くの場合建設年代が古いため、構造躯体の設計図書が不備であること等から、主に第1次診断法と実験データにより実施されている。

（田中絹代ぶんか館、小野田セメント徳利窯）

●鉄骨造

鉄骨種別、仕口、溶接、ボルト等の強度、耐力採用式が煩雑

- 「2011年改訂版耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説」
- 「屋内運動場等の耐震性能診断基準（平成18年版第2刷）」（文科省）

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

※ 文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

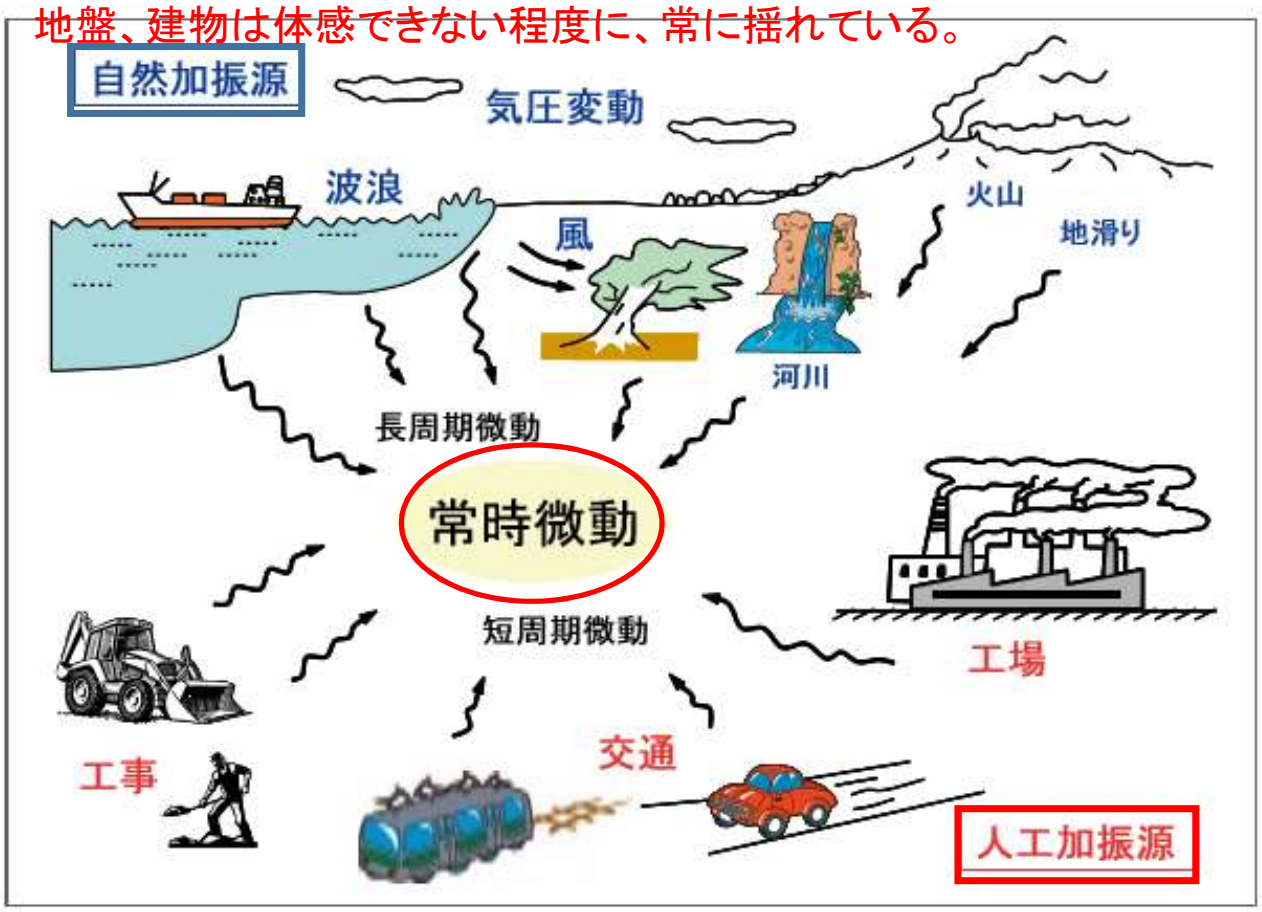


図２　常時微動の発生源　　鉄道総研HP

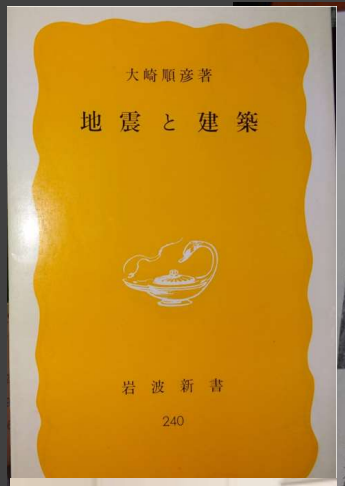
常時微動とは

常時微動の振幅は10^-5～10^-3cmで人間には感じることができない地震動×1/10000スケール程度の揺れ。

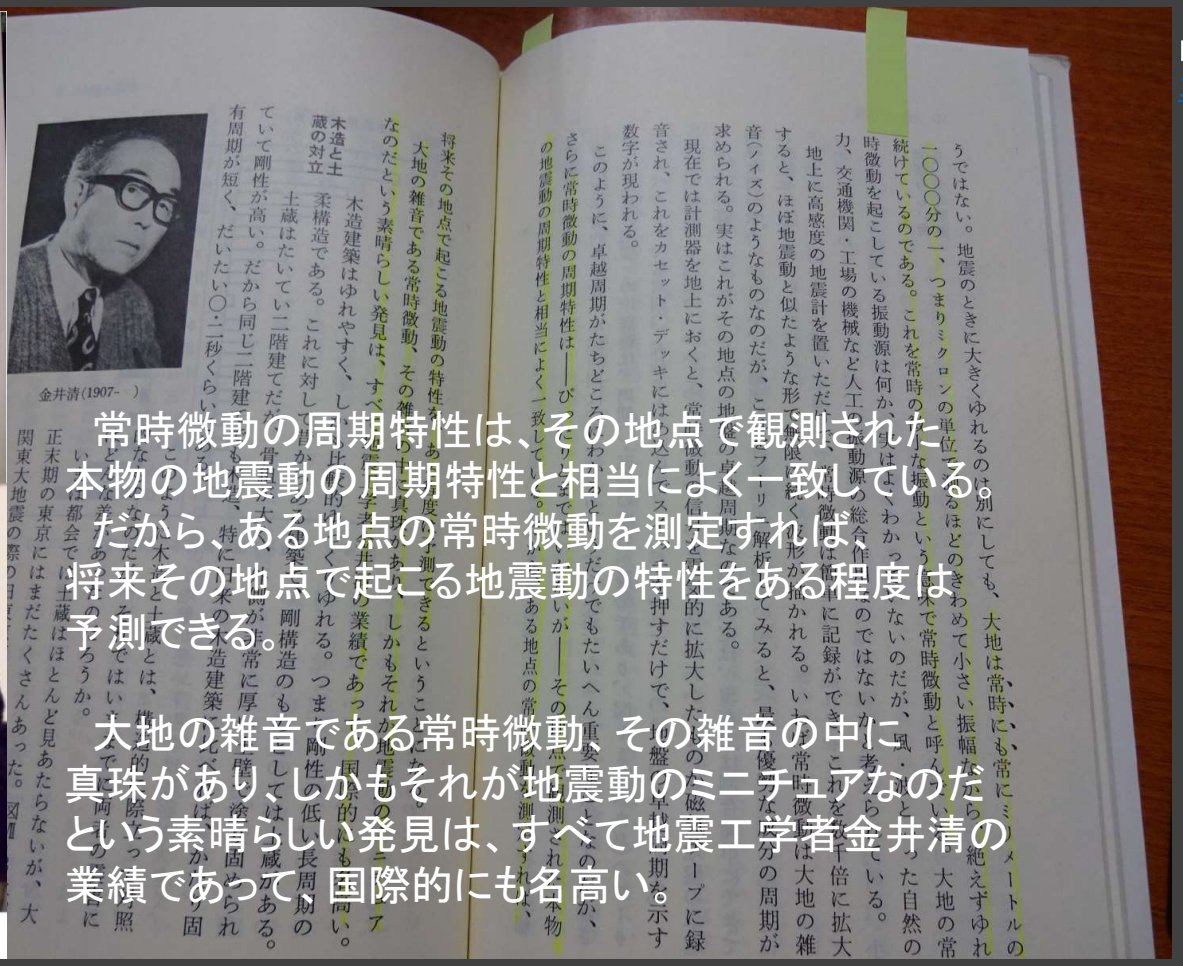
1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

※ 文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

金井 清（かないきよし、1907年（明治40年）7月25日 - 2008年（平成20年）4月13日） 100歳没
地震工学者。分散性表面波、常時微動の測定法開発、構造物や地盤の振動理論などの研究で知られる。



大崎順彦博士


金井清(1907-)

常時微動の周期特性は、その地点で観測された本物の地震動の周期特性と相当によく一致している。
だから、ある地点の常時微動を測定すれば、将来その地点で起こる地震動の特性をある程度は予測できる。

大地の雑音である常時微動、その雑音の中に真珠があり、しかもそれが地震動のミニチュアなのだという素晴らしい発見は、すべて地震工学者金井清の業績であって、国際的にも名高い。

「地震と建築」大崎順彦

「**筋違いの耐震効果の理論**」と題する研究で工学博士（東京帝国大学）の学位を取得

金井は熱線による影の方向を基礎データとして、その方向を地図上に落とし交差する地点を爆心地と推定し、570メートル（±20メートル）上空の地点で炸裂したと発表した[1][2]。また、長崎への原爆投下による**爆心地推定**作業にも参加している[5]。

地震動の最大速度振幅は周期によらず一定であるとした経験式を発表した[6][7]。その後、松代群発地震などの近地地震の記録に基づいて原式を補正した[8]。後にこれらの式は「金井式」と呼称され、構造物の敷地基盤における地震動の強さの計算式として全国の**原発の耐震基準**に用いられることとなった

1954-1968
簡便な調査で行える常時微動の有用性を示した。地表記録との対比により、工学上重要となる主要動がS波であることを指摘し、表層地盤がもつ増幅特性がS波の重複反射で説明できることを発表した。また、常時微動の測定結果による観測資料を分析する中で第I種（硬岩）ー第IV種（沖積軟弱地盤、人工地盤）に至る**地盤種別識別法**を案出した。これは世界各国で利用されることとなった。

https://ja.wikipedia.org/wiki/金井清

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

※ 文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

フーリエスペクトル

地震波にはさまざまな周期の波が含まれています。
地震波をさまざまな周期の振動の集まりととらえ、
周期ごとの地震波の強さに分解し表したものを
フーリエスペクトルと言います。(気象庁HP)

http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/outou.htm

計測データによる振動解析には、このフーリエスペクトルが使用される。

ジャン・バティスト・ジョゼフ・フーリエ男爵（Jean Baptiste Joseph Fourier, Baron de、1768年3月21日 - 1830年5月16日）は、フランスの数学者・物理学者。固体内での熱伝導に関する研究から熱伝導方程式（フーリエの方程式）を導き、これを解くためにフーリエ解析と呼ばれる理論を展開した。**フーリエ解析は複雑な周期関数をより簡単に記述することができる**ため、音や光といった波動の研究に広く用いられ、現在調和解析という数学の一分野を形成している。

https://ja.wikipedia.org/wiki/ジョゼフ・フーリエ

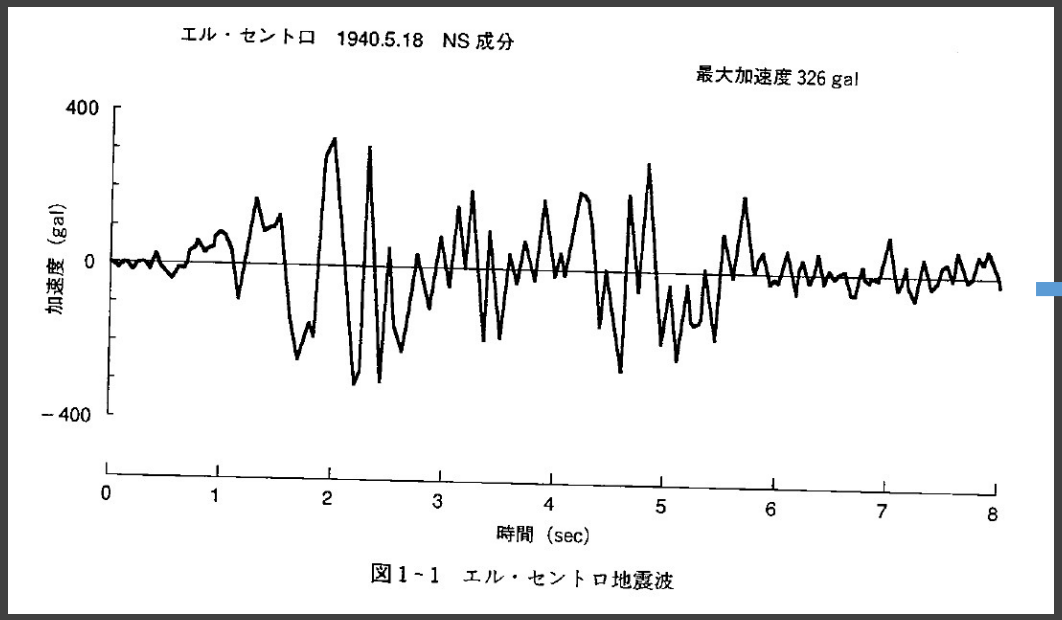


図1－1 エル・セントロ地震波

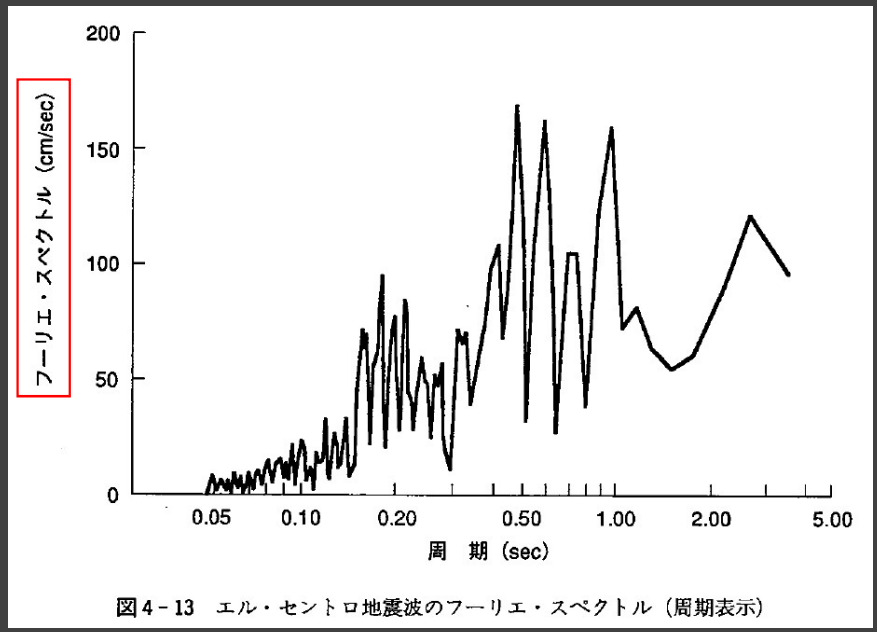


図4－13 エル・セントロ地震波のフーリエ・スペクトル（周期表示）

「新・地震動のスペクトル解析入門」大崎順彦

1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

※ 文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

H/Vスペクトル

1986年

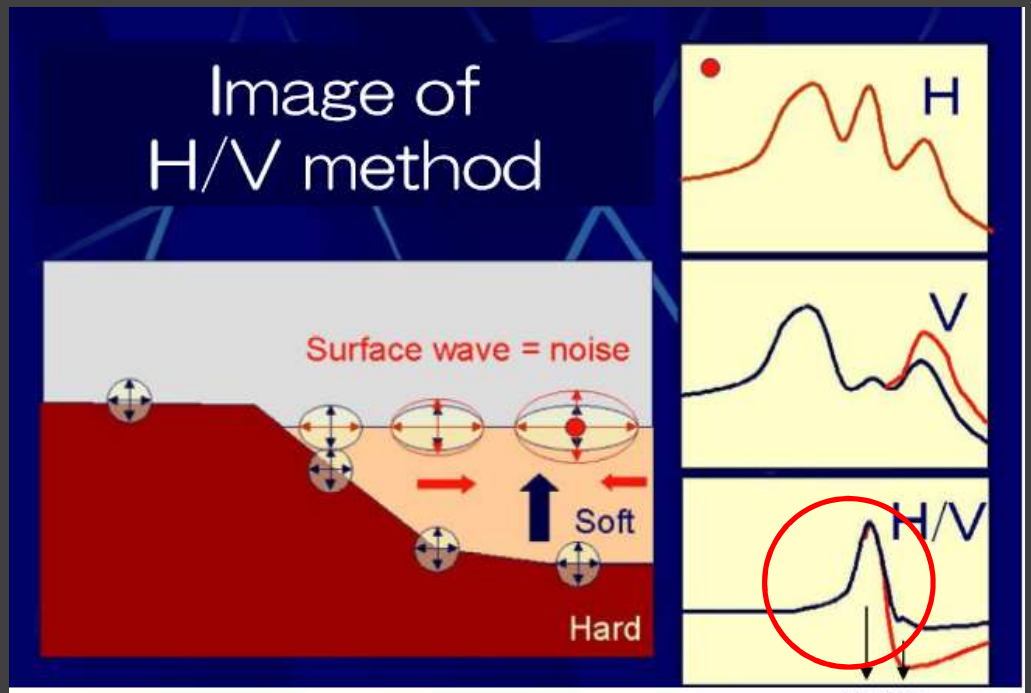


Fig. 6　Image of H/V method

軟弱な表層地盤が堅固な地盤上に堆積している状況下では、水平動の増幅現象が重要となる。水平動が大きく増幅される周波数帯域では上下動の増幅はほとんどないと考えられる。

中村　豊（SDR、東工大大学院）

7.1.3 常時微動の水平／上下スペクトル比

7.1.2節では、常時微動のスペクトル比を用いて地盤の振動特性を評価する方法を述べた。その場合、最低2組の地震計が必要で、2組の地震計で同時に計測がおこなわれていることが望ましい。これを1組の地震計で評価する方法が提案され（中村,1986）、最近では広い範囲で適用されている。

中村(1986)の方法では、1地点において観測した常時微動の3成分観測記録（通常は南北、東西、上下の3方向）のうち、水平動のスペクトルを上下動のスペクトルで除したスペクトル比をとることにより、振動源の影響を受けない安定した地盤増幅特性が得られるとしている。図7.1.3−1にその事例を示す。同じ地点で異なる時間に観測した常時微動のスペクトルは、水平動のみあるいは上下動のみであれば大きくばらついている。これに対して水平／上下の比を取ったスペクトルは安定しており、卓越周期もはっきり分かる。

フーリエスペクトルの水平と鉛直の比H/Vは、安定した周期を示す。

1．文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

2013年8月計測

※　文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

常時微動計測器は、動コイル型３成分速度計が推奨されている。

宇部市船木ふれあいセンター耐震改修

GEODAQS1-2S*D

GEOPHYSICAL DATA ACQUISITION SATELITE

㈱ANET （緊急地震速報）

ジオダックス（２Ｓ型）

常時微動測定用

ＡＤ変換器内蔵型

地表用受振器（２秒計）

高感度地震計（動コイル型3成分速度計）

ＡＤ変換機能内蔵型です。お手持ちのノート型パーソナルコンピュータと組み合わせて，常時微動などの測定ができます。

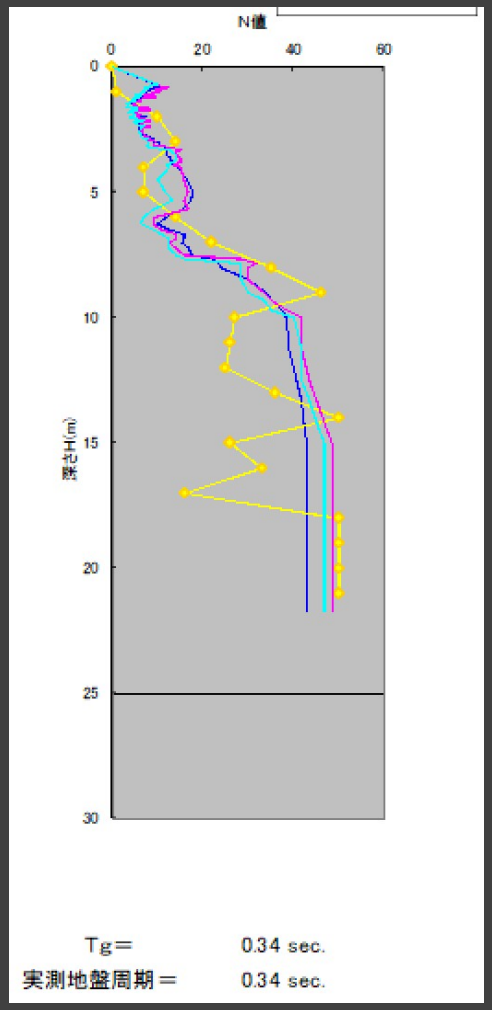
1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

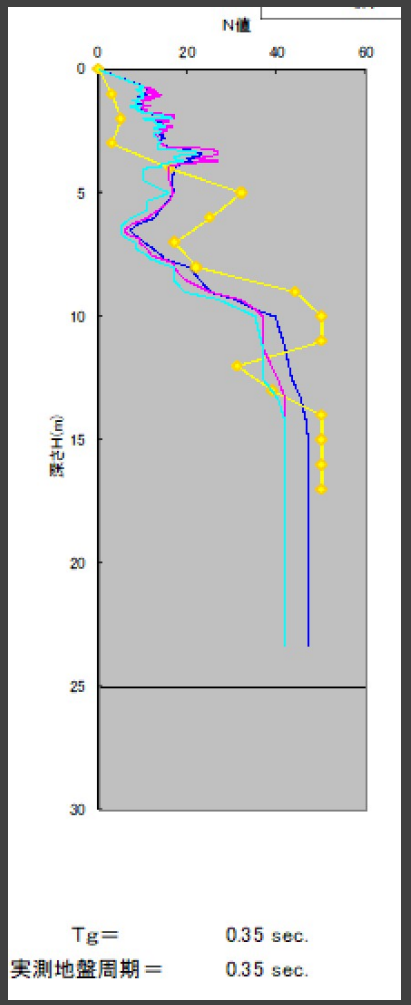
2017年2月計測

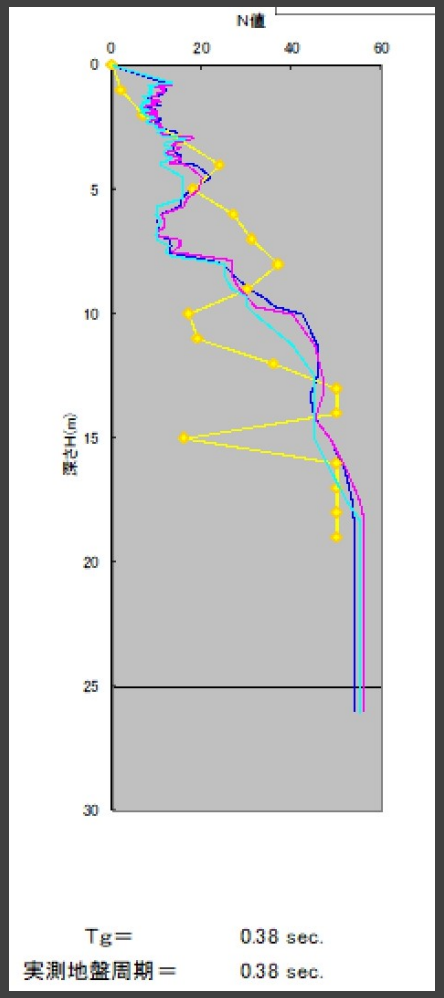
※ 文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

地表面に設置した常時微動計測器１台で、
柱状図が作成できる。

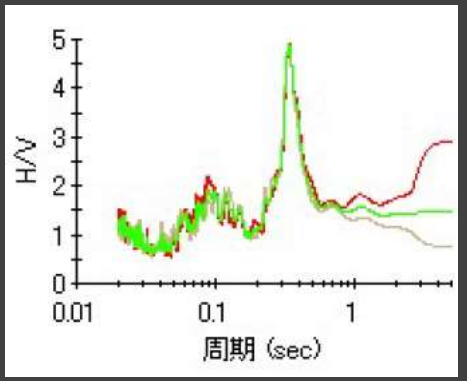
ボーリング柱状図との比較　　岩国市玖珂支所







H/Vスペクトル



黄色：標準貫入試験
青色：微動平均値
赤色：微動最大値
水色：微動最小値

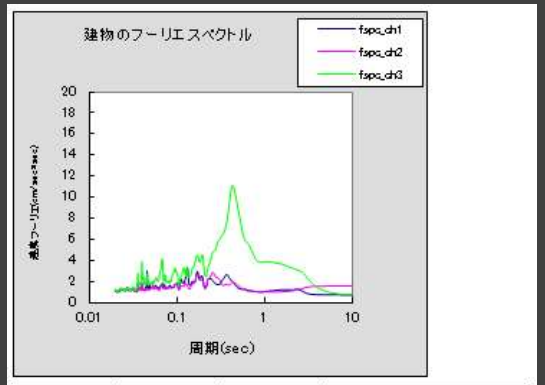
微動と建物

2014年9月計測

※ 文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

余談ですが・・・微動計測による立体トラス架構の検討

U市T体育館RC造＋S造屋根



	周期	振動数 hz	フーリエスペクトル
ch1	0.133	7.544	3.3078
ch2	0.259	3.857	2.8475
ch3	0.436	2.295	11.0651

宇部市俵田翁記念体育館

宇部興産創立60周年記念事業

昭和34年（1959年）築60年

微動計測（伝達関数）

固有周期（鉛直振動）

Tm= 0.436 sec

立体解析（NTT-F SEIN)

常時荷重時のたわみ

δc= 6.04cm

振動方程式（多自由度系）

Tc= 2π√m/K≒ 0.18√δc

= 0.442 sec

微動計測値と立体解析値の比較

固有周期

Tm/Tc= 0.99

剛性

Km/Kc=(Tc/Tm)^2=1.02

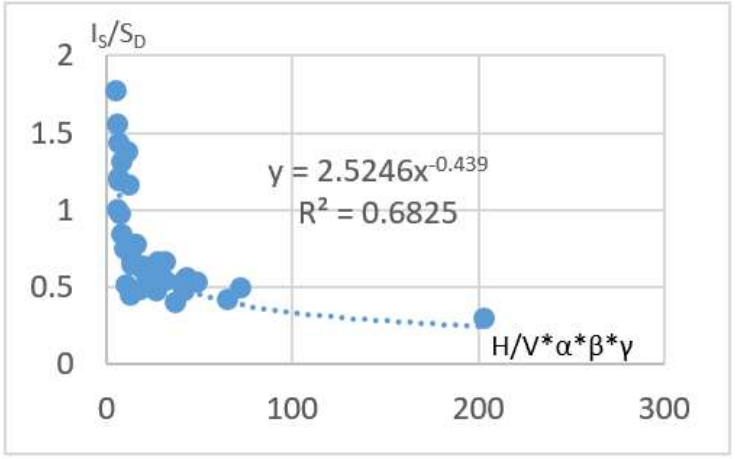
1. 文化財建造物改修に係る基本的な捉え方

※ 文化財建造物の耐震性能を微動で捉える

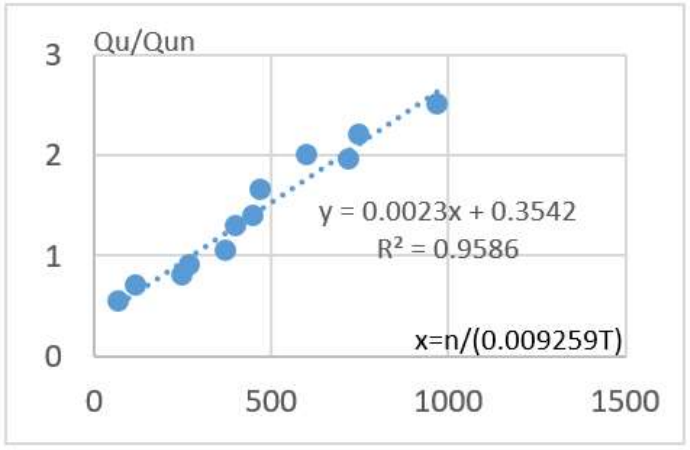
常時微動計測値から、各種建造物の耐震性が推察できる。

微動計測による建築物の耐震性能の推定

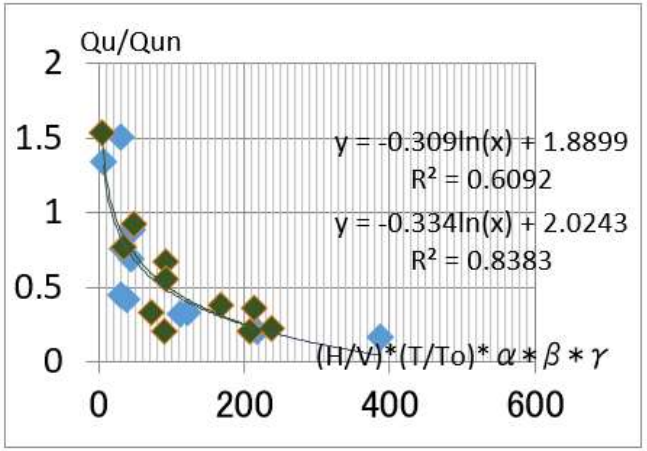
建築物の構造種別ごとに作成した耐震性能推定図を以下に示します。
・RC造は、㈳建築研究振興協会「常時微動測定による既存建築物の耐震改修効果確認法
指針（案）・同解説」に示す固有周期Tと終局強度Cyの関係式に、H/V比、Fcを考慮。
・S造は、日本建築学会「鋼構造設計規準」記載のQu/Qun−r0.2関係図に振動方程式を導入。
・木造は、古民家、寺院等の耐震診断結果（評点）とH/V比、固有周期等との関係式を採用。



RC造建物の耐震性能推定図



S造建物の耐震性能推定図



木造建物の耐震性能推定図

2. 文化財建造物改修の実際

① 武徳殿

（山口市後河原）
1930(昭和５)年 築88年

大日本武徳会の柔剣道場として建設され、戦後この会の解散に伴って県に譲渡され、以後警察体育館として使用されている。内部は中央の畳の間を板敷きの回廊が囲み、木造ながら二層分吹抜けの大空間を持っており、天井から下がる照明デザインも見所である。上部は切妻の大屋根で覆われ、周囲には裳層（もこし）が回っている。大寺院のような外観は国道からよく目立ち、市内の歴史的シンボルともなっている。
http://www.sujet.co.jp/matiyoso/05kindai/map-yama/4.html
明治32年京都・武徳殿（旧武徳殿 国重要文化財）
全国各地（台湾）に建設
現在17棟現存
昭和6年満州事変
現在、（一社）大日本武徳会として、グローバルに活動中

40日の現場調査、約2カ月の診断・改修設計

調査2004年3月1日～4月26日（解析～9月）

全景

RC基礎調査（根入れ＞90cm）

下屋部材寸法仕口調査

柱・梁仕口調査

床レベル調査

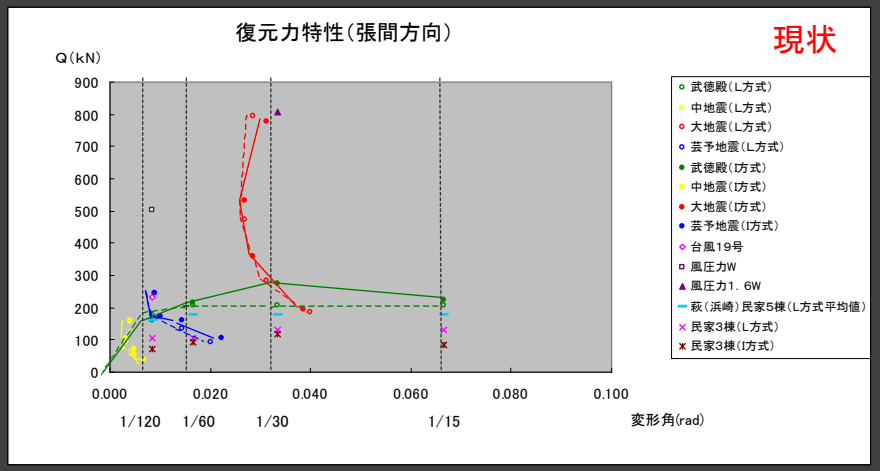
屋根葺き雨仕舞調査

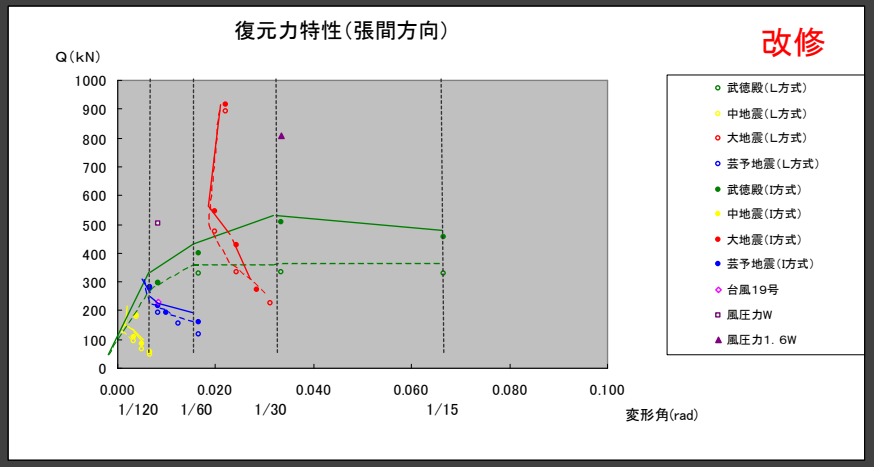
2. 文化財建造物改修の実際

① 武徳殿

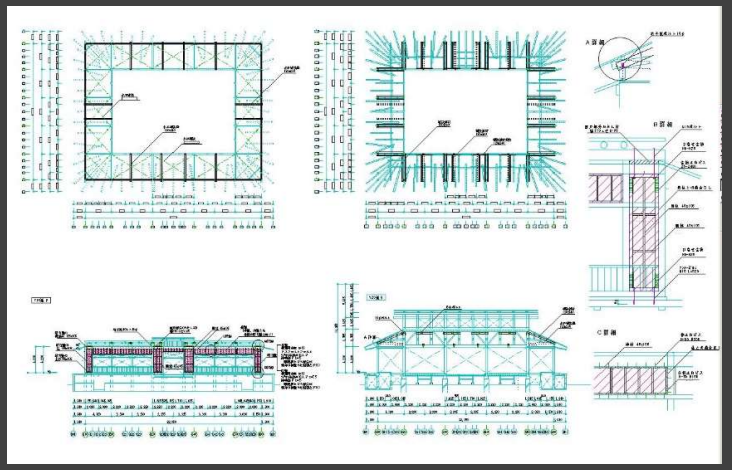
・現場調査
　地盤・RC基礎
　部材寸法・劣化
　ヤング係数・含水率
　電気配線・照明器具
　X線調査（仕口・金物・基礎）
・意匠図・構造図作成
　平面図・立面図
　軸組図・伏図・仕口
・耐震診断改修設計
　限界耐力計算
　時刻歴応答解析
・耐風設計
　卓越風
・中長期保全改修計画

限界耐力計算法





補強提案



・12本のベイマツの丸柱357φの柱頭部は洋小屋組木造トラスと鋼材の水平ブレース（4φ×3より線）によるスレート葺き大屋根で覆い、柱脚部はRC造の地下室・基礎で支持されている。主要な柱・梁接合部はボルト接合16φ及び伝統的仕口の併用である。
・耐震改修案は、意匠性を損なわないように、下屋内部を登り梁で固め、入れ子構造の耐力壁でまとめて大地震動と大型台風に対応させている。

※最終報告書の評価を、東大・坂本教授、腰原幹夫助手にお願いし、補強計画の妥当性を認めて頂いた。

2. 文化財建造物改修の実際

2004年11月

② 中野邸納屋

（下関市内日）

登録有形文化財

1877（江戸期）年　築141年

伝統木造軸組

茅葺・叉首組

周辺環境調査

実測調査

劣化調査

・現場調査　3日

図面が無いこと、劣化が懸念されたため、寸法取りと劣化調査に重点を置いた。

・耐震診断　1か月

地盤の卓越周期　0.21sec

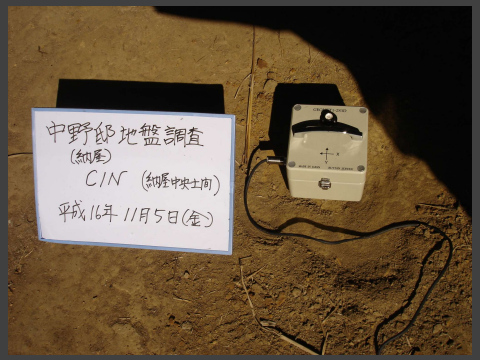
建物の固有周期　T=0.05H=0.22sec

桁行方向　0.37sec

梁間方向　0.36sec

固有周期から、劣化は進行している。

地盤が良好であり、震度5強、歴史地震程度では倒壊の恐れはないと判断し、当面の改修は文化財も考慮して、茅葺屋根の葺き替えに留めた。



地盤振動調査

建物振動調査

振動計測・解析

2. 文化財建造物改修の実際

③ 嘉村礒多生家

「帰郷庵」

（山口市仁保）

1888（江戸期）年築130年

・現場調査

・耐震診断

・改修設計（許容応力度計算）

空き家の期間が長く、劣化が著しいため、基礎と家屋の大部分が改修された。

http://kamura-isota.jp/

2005年8月

※嘉村礒多生家と西側山腹（南面傾斜地）にあるお墓の方位がすべて西向き・・・。

2. 文化財建造物改修の実際

2006年2月～9月

④ 旧中川家住宅「居倉の館」

（山口市阿知須）

1884（明治17）年　築134年

・現場調査

・耐震診断

・改修設計

江戸中期から明治初期にかけて廻船業が栄えた阿知須。建物が密集していたため、廻船業で富を得た人々は、火事から家を守るため、瓦葺の屋根、漆喰で塗り固めた大壁、土戸など、防火機能に優れた「居蔵造り」の建物を建てました。

http://y-view-navi.jp/spot/0010.html

改修前外観

柱強度試験

火災劣化強度試験

地盤振動調査

建物振動調査

振動計測・解析

2. 文化財建造物改修の実際

2006年2月～9月

④ 旧中川家住宅「居倉の館」

（山口市阿知須）

阿知須民家再生工事（構造）

対象	仕様	問題点
1. 母屋	①基礎は敷石の上にRC基礎（樹脂アンカー）またはRCベタ基礎・RC腰壁	①敷石の固定、RC基礎との連結
	②柱は土台に長ホゾ指し込栓または足固め	②柱の施工性
	③耐力壁は土塗り壁（竹小舞・貫4段程度）に漆喰塗り	③貫の施工性
	④梁、桁は柱に雇いホゾまたは小根ホゾ差し込栓	④仕口の施工性
	⑤土間は三和土またはコンクリート叩き	⑤土間の意匠性
	⑥軒天は耐力壁に準じる	⑥施工性（仕上げ、コスト）
	⑦1階床は板敷きに復元	⑦床板の強度
	⑧2階床は構造用合板の上に板敷き	⑧床板の厚さ、根太の設置
	⑨差し替えの柱、梁・桁材（杉）は、事前に強度試験を実施する	⑨含水率
	⑩プラン変更に伴う柱、耐力壁の増設	⑩構造検討
2. 蔵	①基礎は敷石の上にRCベタ基礎およびRC腰壁	①入り口のRC基礎梁の繋ぎ
	②柱は半割り材を根継ぎ	②柱同士の接合工法
	③壁は土塗り壁（竹小舞修復）に漆喰塗り	③竹小舞・貫の修復
	④屋根（東側）の修復	④野地板の意匠性（目潰し鉄板）
3. 納屋	①基礎は敷石の上にRC基礎（樹脂アンカー）またはRCベタ基礎・RC腰壁	①敷石の固定、RC基礎との連結
	②柱は土台に長ホゾ指し込栓または足固め	②柱の施工性
4. 屋外浴室	①瓦屋根、落し込み板壁で復元	①意匠性、コスト
	②レンガ塀の頭を屋根で固定	②レンガとの接合方法
	③柱は掘立柱、梁繋ぎ、落し込み板壁で固定	③構造検討
5. レンガ塀	①レンガ塀脚部および敷石をRC基礎で固定（樹脂アンカー）	①土間レベル（GLから露出）
	②蔵、石柱との接合部（縦目地）をグラウト充填	②施工性（目地の養生方法）
	③レンガ目地は低粘度スラリー充填、大きい割れはグラウト充填	③施工性（手間仕事）

2. 文化財建造物改修の実際

④　旧中川家住宅「居倉の館」

・改修工事

本改修工事は旧阿知須町の地域おこしの一環として、地元の工務店、棟梁、左官、建具職人が「阿知須住宅協同組合」をつくり、これに町、設計事務所が参加して毎週の工程会議で打合せながら、改修工事を進めた。

工事中に不審火などのトラブルが発生したが、全員の協働・協力で予定通り、竣工することができた。

阿知須住宅協同組合

腰壁・基礎はRC造で補強

妻壁の土壁補修

漆喰塗り

海鼠壁仕上

工事完了

2. 文化財建造物改修の実際

⑤ 松乃井酒造場

（新潟県十日町市）

大正初期　築100年程度

木造2階建507.45㎡（153.50坪）

平成16年新潟地震（震度7）の被害

https://ja.wikipedia.org/wiki/新潟県中越地震

・現場調査・・・1週間（劣化、仕口、温熱測定）

・耐震診断・・・精密診断2

・改修設計・・・同上、温熱環境

・改修工事・・・1週間（現場確認）

家揚げ、RC造べた基礎、耐力壁補強・接合金物、劣化部材交換等により、改修工事を無事完了。

雪国の造り酒屋で、広大な屋敷内にあらゆる営みの場

2007年12月

被災後の残存強度を調査

豪雪地帯のための雪除けの面格子

柱脚部の含水率調査

2. 文化財建造物改修の実際

⑥ 殿居郵便局

2008年12月

1923（大正12）年　築95年
（関東大震災）

・現場調査

・耐震診断

・改修設計

木造平屋建、八角塔屋2階建付き
基礎は花崗岩布石敷
外壁は横羽目板張り
屋根は鉄板葺き
塔屋の腰壁部分はモルタル塗り、
屋根は八角ドーム銅板葺き

http://kare2009.exblog.jp/16473328/

地盤が第1種と良好で、限界耐力計算は評点0.7以上、時刻歴応答解析では、震度5強、歴史地震程度では倒壊しない判定結果であった。

下関市豊田町殿居に所在する、木造平屋建て、八角塔屋2階建て付きの建物。
殿居郵便局は明治35年に開局したが、ときの局長河田寛は、大正 10年頃から洋風建築に改築する意向をもち、地元の大工棟梁山本安一を同道して上京し、洋風建築を見学して回りました。
帰村後、同大工に建築させ、大正12年に完成しました。

http://www.oidemase.or.jp/tourism-information/spots/10789

⑥ 殿居郵便局

● 現状の耐震性能

精密診断法1（保有耐力診断法）

	X方向	Y方向
3階		
2階	× 0.37	**× 0.34**
1階	× 0.35	△0.97
精密診断 総合評価		
× 倒壊する可能性が高い		

精密診断法2（限界耐力計算）

	X方向	Y方向
3階		
2階	○1.29	**× 0.56**
1階	△0.76	○1.13
限界耐力計算 総合評価		
× 倒壊する可能性が高い		

精密診断法2（時刻歴応答計算）

1階		X方向			Y方向		
地震波	震度	δ/H	Qui/Qun		δ/H	Qui/Qun	
BCJ-L2	6強	1/10	0.87	倒壊	1/11	1.76	危険
BCJ-L1	5弱	1/61	0.98	ほぼ安全	1/74	2.00	ほぼ安全
EL-NS	6弱	1/38	0.96	危険	1/43	1.97	ほぼ安全
EL-EW	5強	1/52	0.97	やや危険	1/61	1.99	ほぼ安全
HACHINNS	5強	1/137	0.99	ほぼ安全	1/164	2.03	安全
HACHINEW	5強	1/32	0.95	危険	1/71	2.00	ほぼ安全
2階		X方向			Y方向		
地震波	震度	δ/H	Qui/Qun		δ/H	Qui/Qun	
BCJ-L2	6強	1/2072	1.96	安全	1/574	1.03	安全
BCJ-L1	5弱	1/2108	1.99	安全	1/623	1.08	安全
EL-NS	6弱	1/2305	2.18	安全	1/732	0.62	安全
EL-EW	5強	1/2164	2.04	安全	1/793	1.27	安全
HACHINNS	5強	1/1924	1.82	安全	1/408	1.00	安全
HACHINEW	5強	1/2101	1.98	安全	1/739	1.21	安全

本建物の耐震性は以下の通り。

本建物の耐震性能は、数十年以内に発生が考えられる震度6弱の地震動に対しては、特に1階が倒壊する可能性がある。100年単位で極めて稀に発生する震度6強以上の大地震に対しては、倒壊する可能性が高い。

地盤の卓説周期は0.06sec程度の第1種地盤で、建物の固有周期は0.12～0.24 secである。共振による地震入力動の増幅の可能性は低い。

表層地盤の加速度増幅率を考慮した限界耐力計算では、比較的よい結果が得られており、耐震改修に当たっては、過剰に剛性を高めず、粘りのある軸組を活かした構造補強が有効である。

2. 文化財建造物改修の実際

2009年1-5月

⑦ 田中絹代ぶんか館

1924（大正13）年　築94年

・耐震診断

　レンガ鋼板補強

　あと施工アンカー試験

・改修工事

・耐震性能（微動測定）

http://kinuyo-bunka.jp/facilities/history/

下関市庁舎第一別館は、大正13(1924)年に、**旧逓信省下関電信局電話課庁舎**として竣工しました。
この建物の特徴は、高さを強調する直線と塔屋や窓に見られる曲線による、シンプルかつモダンなデザインにあります。当時の逓信省営繕課により設計されたこの建物は、ヨーロッパの新建築運動に影響を受けた若手建築家たちによる「**分離派建築会**」の建築の要素を持っています。

http://kinuyo-bunka.jp/facilities/history/

本建物は、平成21年に山口県建築士事務所協会耐震診断評価委員会で耐震性の適合判定を受けました。その際のレンガの鋼板補強は、あと施工アンカーの性能試験と併せて、福山大学南宏一名誉教授（故人）のご指導の下、実験により安全性が確認されました。

⑦ 田中絹代ぶんか館

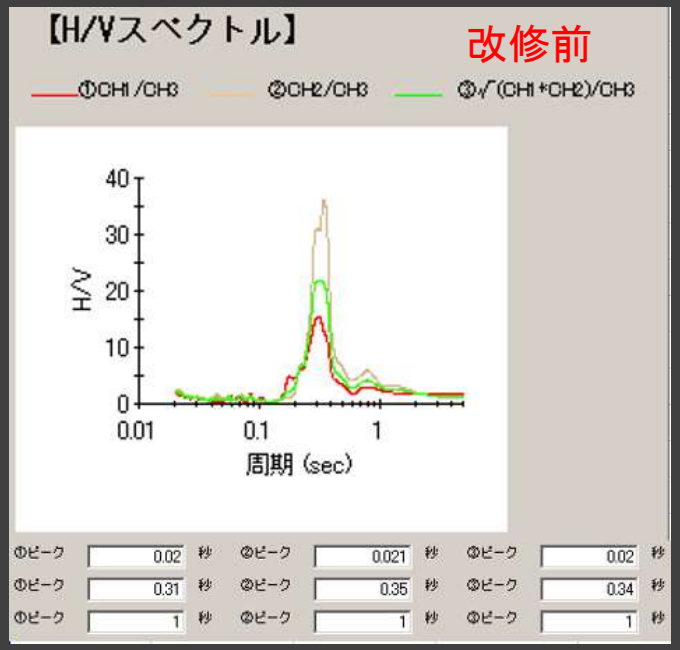
計測：
2017（平成29）年12月16日　HM養成講座（下関）

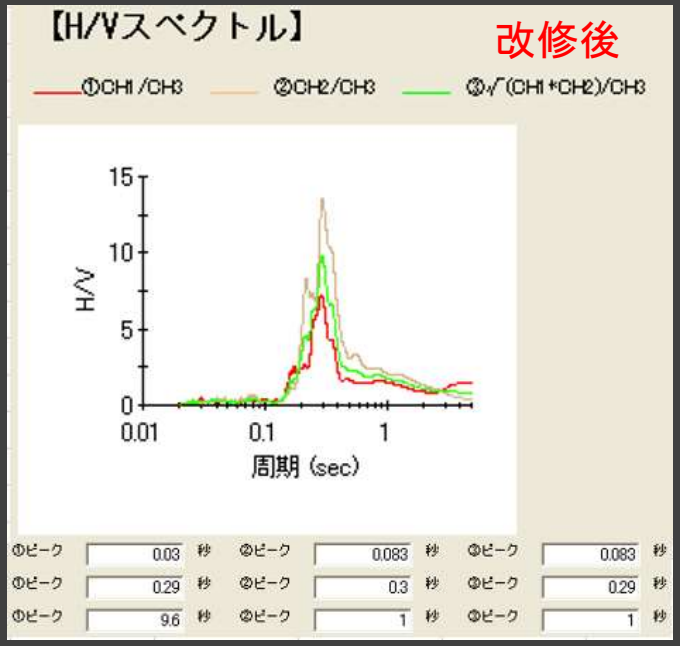
研修日に計測した結果と耐震改修前2008（平成20）年12月に計測した結果を比較検討した。

・剛性は、4～11%程度向上し、振幅H/Vは15/40≒1/3程度まで小さくなっている。（鋼板補強による重量増が影響か）

・参考までに、微動診断による推定Is値は、改修前は0.41～0.59、改修後は0.62～0.76で、目標値Iso=0.6をクリアしている。

常時微動計測で、改修前後の耐震性を比較





常時微動計測値		改修前	改修後	比（後/前）
固有周期 T(sec)	X	0.30	0.29	0.98
	Y	0.31	0.29	0.95
振幅 H/V	X	13	6	0.49
	Y	36	12	0.32
T=2π√m/K				
δ=T^2/0.04(cm)	X	2.3	2.2	0.96
	Y	2.4	2.2	0.90

数値は連続計測3回の平均値

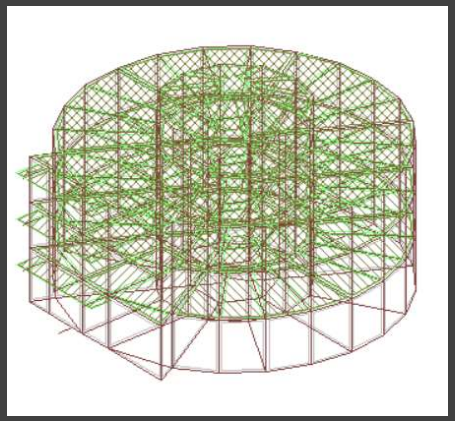
耐震性能推定		改修前	改修後	
α=(T*10^2-1.79)/9.74	X	2.9	2.8	
	Y	3.0	2.8	
β=1/√(Fc/20)		1.0	1.0	
H/V*α*β	X	38.1	18.1	
	Y	109.0	32.8	
Is/S_D=2.0305*(H/V*α*β)^-0.34			微動診断	S_D=1.0
Is	X	0.59	0.76	
	Y	0.41	0.62	

建築物における3Dモデルの構造計算からBIMへの連携

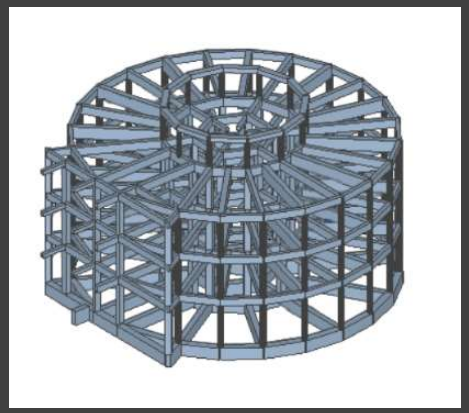
2015-16（平成27-28）年、萩市・光塩学園円形校舎、校舎、体育館、幼稚園舎の耐震診断、改修設計を担当し、耐震診断評価委員会(Ya)の評価を受けた。
この中で、校舎、幼稚園舎は改修されたが、円形校舎と体育館は建替えとなった。
円形校舎については、形状が特殊であり、合理的な耐震診断を行うため、3Dモデル化して国交省「官庁施設の総合耐震診断・改修基準及び同解説」に準拠して荷重増分解析によるGIs値(Is/0.6相当)で評価委員会(Strec)の評価を受けた。（宇部市俵田翁記念体育館も同様）

萩・光塩学園円形校舎

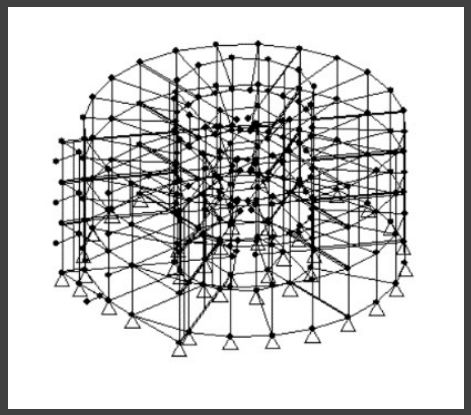
部材ワイヤーフレーム
（SEIN）



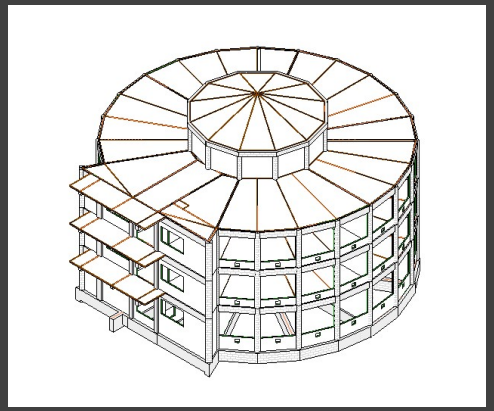
レンダリング
（SEIN）



要素ワイヤーフレーム
（SEIN）



構造モデル
（Revit）



BIM

2. 文化財建造物改修の実際

⑧ 北方八幡宮楼門

2009年10月

1571年 築447年

（安土桃山時代）

・現場調査

・耐震診断

・改修設計

建長七年（1255）、大内氏十六代右田太郎弘家が、北は須田村に、南は山村に移し同様な社殿を建立し、北方八幡宮・南方八幡宮として分祀

楼門については、弘治三年(1557）以来地区民が毛利氏の臣市川経好に対して行った嘆願が実り、元亀二年（1571）に至って漸く竣工したのである。

http://kitagata-h.org/top/index.html

本建物は、地盤の不同沈下による架構の傾斜が問題であり、家揚げと基礎補強を行い、永年の台風被害で癖がついた架構の傾斜を棒鋼で緊張することにより修正した。

2. 文化財建造物改修の実際

2011年6月

⑨ 成城学園
初等学校東校舎

（世界的指揮者・ 小澤征爾の母校）

1952（昭和27）年　築66年

・現場調査・・・非破壊試験
（赤外線、微動計測）

・耐震診断・・・精密診断2

・改修設計・・・精密診断1、2

診断は0.5～0.6程度の評点

改修の評点目標1.25の補強

方法としては、筋交い併用

構造用合板補強、柱頭柱脚

金物補強を提案した。

2. 文化財建造物改修の実際

● 帝人岩国
水源池ポンプ場

1927年（昭和2年）築91年

・現場調査
・耐震診断
・改修設計

ポンプ置き場の耐震改修を実施（構造用合板補強）

2013年6月

ポンプ置き場小屋組

ポンプ置き場内部

ポンプ置き場外観

操作小屋

倉庫

2. 文化財建造物改修の実際

⑩ 明倫学舎本館
（旧明倫小学校本館）

登録有形文化財

1935（昭和10）年　築83年

・現場調査・・・耐震要素部材寸法、
材質、接合部、劣化

・耐震診断・・・精密診断1，2、微動

・改修設計・・・同上

・耐震性能・・・改修前後で微動計測

基礎は無筋コンクリート布基礎（RC基礎梁補強）

耐力壁はK型筋交い＋木ずり漆喰塗（構造用合板＋接合金物補強）

屋根は洋小屋組トラス＋洋瓦葺（葺替え）

2014年12月

※補強設計は、できる限り外観を保持し、現状の構造特性を活かす工法を選定した。

2. 文化財建造物改修の実際

⑩ 明倫学舎本館

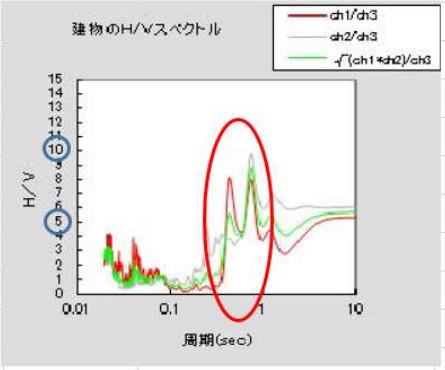
結　果

常時微動計測による改修後の建物の振動波形を下図に示す。

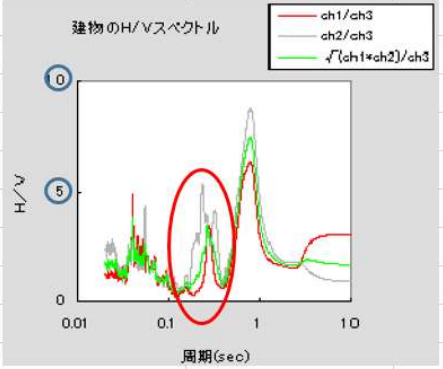
…建物の固有周期（波形ピーク値）

建物2階

改修前

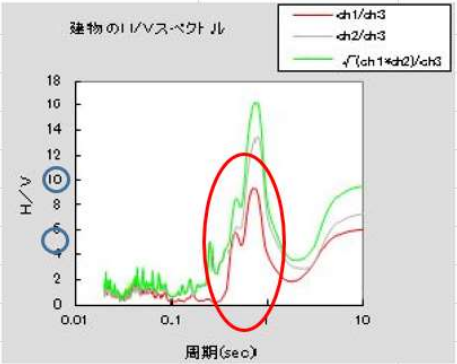


改修後

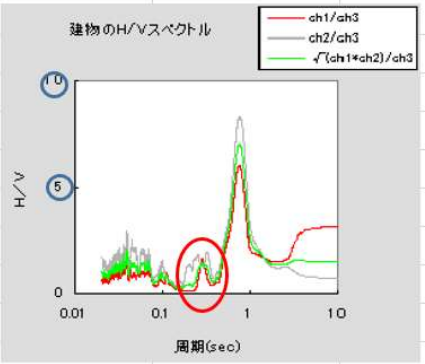


建物1階

改修前



改修後



微動計測により推定した耐震診断結果（評点）は下表のとおりである。

診断方法		精密診断法1による診断		微動計測による診断		建物の固有周期(sec)	
方向		X	Y	X	Y	X	Y
改修前	2階	0.44	0.49	0.43	0.59	0.52	0.77
	1階	0.33	0.39	0.31	0.32	0.46	0.79
改修後	2階	1.12	1.03	1.02	1.28	0.28	0.29
	1階	1.07	1.02	1.07	1.31	0.28	0.29

※ 微動計測による診断のH/V値およびT値は、3回の測定値の平均値とした。　　地盤の卓越周期Tg=0.75sec

※診断時は、建物が地盤の影響をかなり受けて挙動していたが、改修後は地盤の影響が少なく、明瞭な固有周期のもとで耐震性が向上している。
H/V値（揺れやすさ）は、改修前後で約1/2に縮小されている。

2. 文化財建造物改修の実際

⑪ 旧小林家住宅

明治（主屋）・大正（蔵）・昭和（離れ） 築100年以上（主屋）

伝建地区指定（宿場町）

・現場調査
・耐震診断
・改修設計
・耐震性能

施主、設計事務所、工務店の連携のもとに、施主側の視野の広い、経験豊かなヘリテージマネジャーの存在が、大変困難な改修工事を合理的な形で収束できた成功事例の一つではなかろうか。

2015年6月

2. 文化財建造物改修の実際

⑪ 旧小林家住宅

本件は、地盤が良好であることから、大地震時の入力地震動を検証して、評点を0.7以上とすることで1.0以上の耐震性が得られることを前提にして、現状の意匠性、材料、構法等を活かした改修が可能となり、地域固有の雰囲気をもつ改修ができたのではなかろうか。

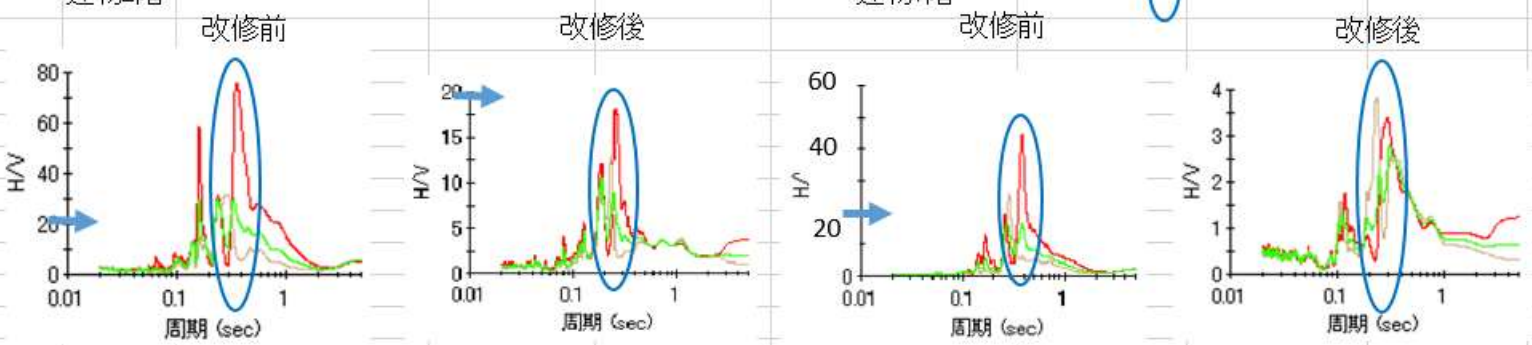
1950年(昭和25年)建築基準法

地盤の種類	構造種別		
	木　造	鉄骨造	鉄筋コンクリート造
岩　盤	0.6	0.6	0.8
硬地盤（洪積層）	0.8	0.8	0.9
軟地盤（沖積層）	1.0	1.0	1.0
特に軟地盤（厚さ 30 m 以上の沖積層）	1.5	1.0	1.0

結　果

常時微動計測による改修前後の建物の振動波形を下図に示す。

…建物の振幅(H/V=20)
…建物の固有周期(波形ピーク値)



微動計測により推定した耐震診断結果(評点)は下表のとおりである。

診断方法		精密診断法2による診断		微動計測による診断		建物の固有周期(sec)	
方向		X	Y	X	Y	X	Y
改修前	2階	0.35	0.43	0.30	0.65	0.36	0.29
	1階	0.23	0.31	0.28	0.66	0.38	0.28
改修後	2階	0.96	0.97	0.85	1.06	0.26	0.23
	1階	0.84	0.76	1.08	1.21	0.30	0.23

※1 微動計測による診断のH/V値およびT値は、3回の測定値の平均値とした。　地盤の卓越周期Tg=0.056sec
※2 微動計測による診断に採用したH/V値およびT値は、各階の剛心位置に近い場所における計測値とした。
※3 改修前1階で計測したH/V値は異常値であったため、2階の計測値を階高補正して採用している。

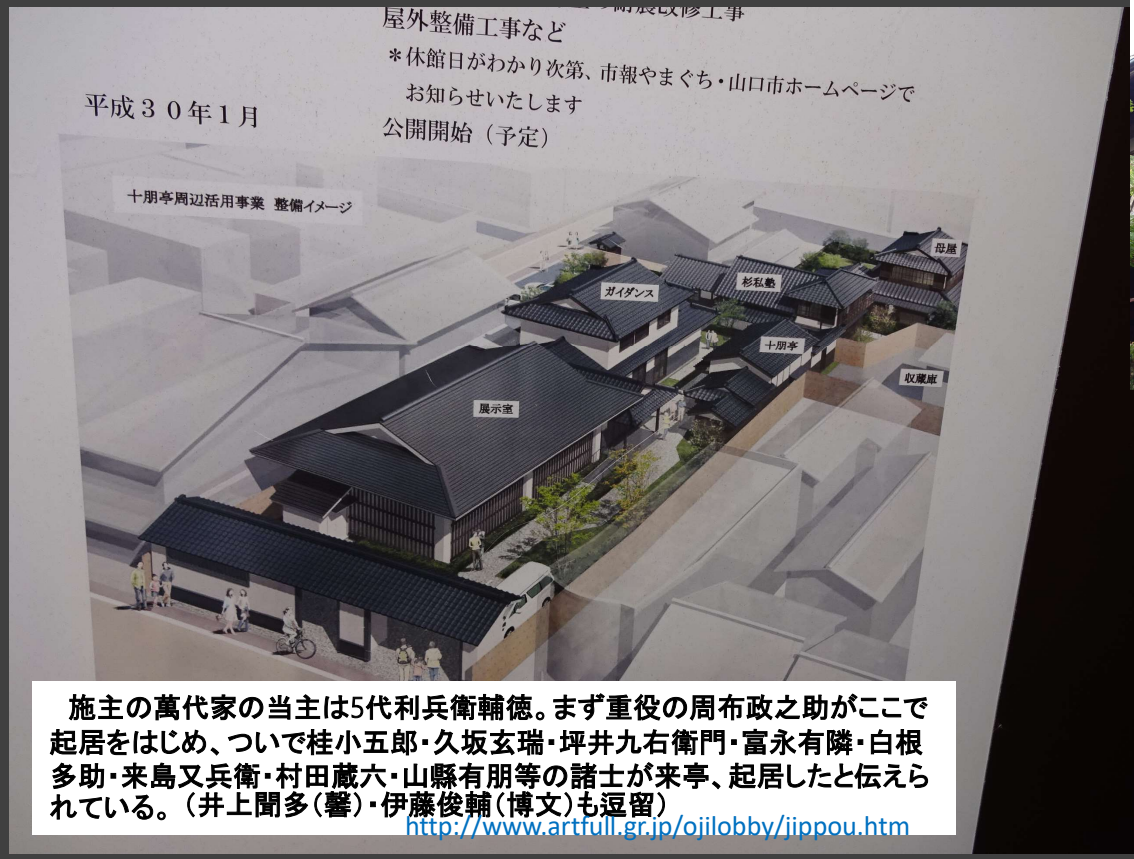
2. 文化財建造物改修の実際

⑫ 十朋亭・杉私塾

2015-18年

江戸期1800年頃
築218年

・現場調査
・耐震診断
・改修設計



施主の萬代家の当主は5代利兵衛輔徳。まず重役の周布政之助がここで起居をはじめ、ついで桂小五郎・久坂玄瑞・坪井九右衛門・富永有隣・白根多助・来島又兵衛・村田蔵六・山縣有朋等の諸士が来亭、起居したと伝えられている。（井上聞多（馨）・伊藤俊輔（博文）も逗留）

http://www.artfull.gr.jp/ojilobby/jippou.htm

診断、改修ともに耐震診断評価委員会の審査を受けた。柱が細径で、精密診断2に使用する認定されたデータが不足しており、精密診断１の耐力壁主体の改修となったため、認定工法による耐力壁と金物補強、RC造部分基礎等で補強した。

2. 文化財建造物改修の実際

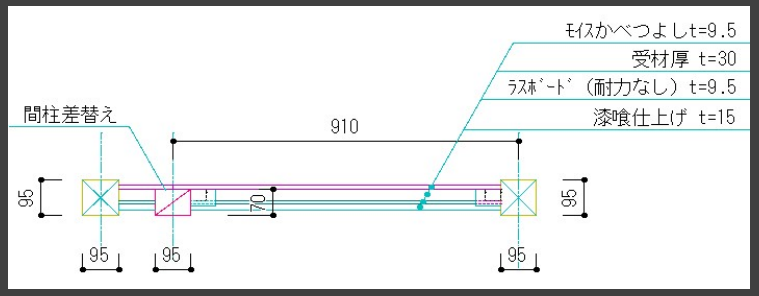
⑫ 十朋亭・杉私塾

・改修設計（補強工法）

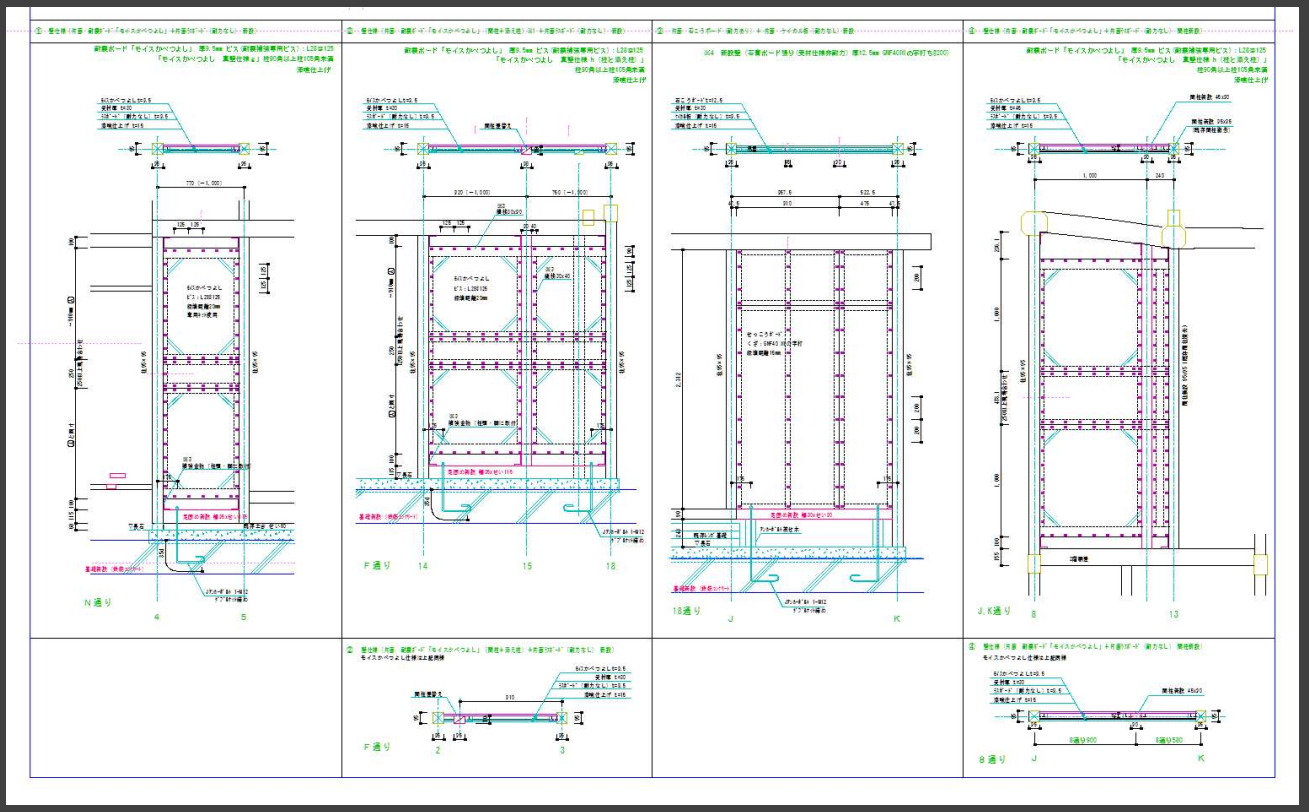
現状の意匠性を最重視すること、耐震診断評価委員会の評価を得ることを条件に、補強工法を検討した。

・基礎は耐力壁補強箇所のみ長石土台の下部にRC部分基礎を設置。

・柱径95mmの真壁・耐力壁とするため、これが可能な認定工法を選定。



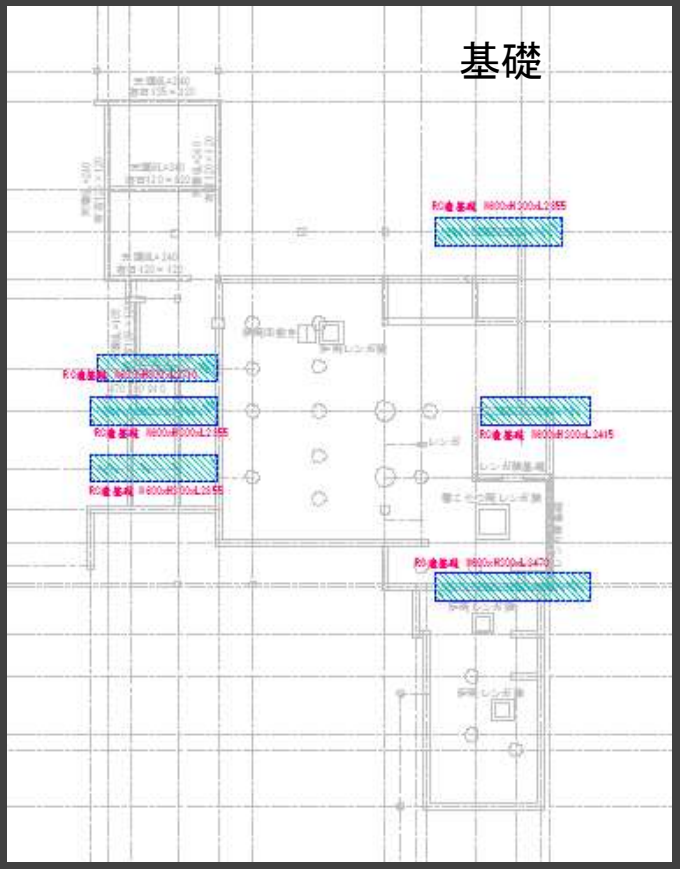
診断時の調査は、目視主体の非破壊調査のため、改修工事で新たに劣化箇所が現れて、その都度現場で対応策を検討した。



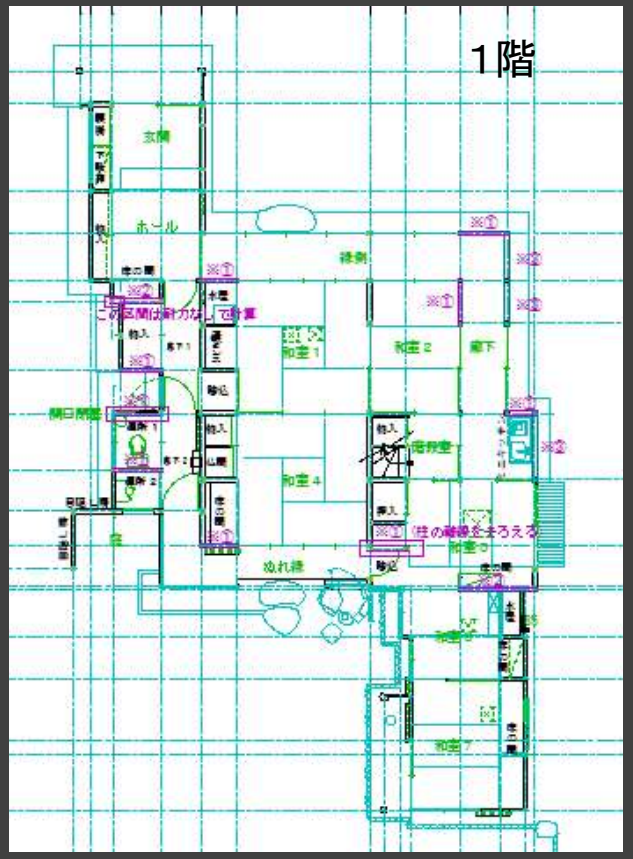
2. 文化財建造物改修の実際

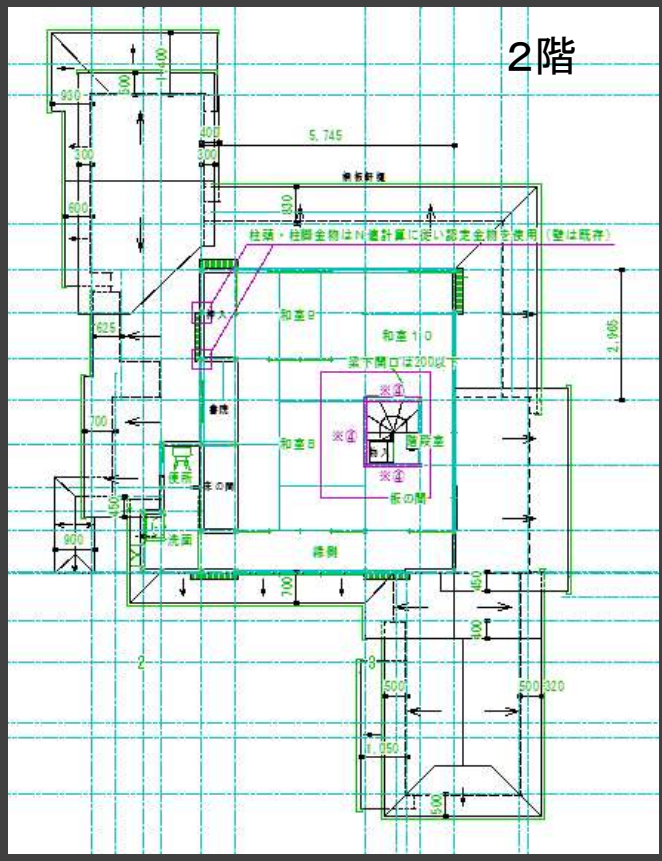
⑫ 十朋亭・杉私塾

・改修設計（補強工法）



部分RC造基礎補強（耐力壁位置）





四隅を中心に耐力壁配置

2. 文化財建造物改修の実際

⑫ 十朋亭・杉私塾（主屋）

・微動診断

計測値

	階	1階	
改修前	方向	X	Y
	H/V	12.2	5.8
	T(sec)	0.33	0.49
	Ho(m)	6.56	
	To=0.03Ho(sec)	0.20	
	α=Ho/H3	2.01	
	(H/V)*(T/To)*α	41.5	29.0
	Qu/Qun	0.74	0.90
	判定(大地震動時)		
	倒壊する可能性	ある	ある

	階	1階	
改修後	方向	X	Y
	H/V	5.4	2.7
	T(sec)	0.27	0.42
	Ho(m)	6.56	
	To=0.03Ho(sec)	0.20	
	α=Ho/H3	2.01	
	(H/V)*(T/To)*α	14.9	11.7
	Qu/Qun	1.05	1.20
	判定(大地震動時)		
	倒壊する可能性	一応倒壊しない	一応倒壊しない

改修前

2階

改修後

2. 文化財建造物改修の実際

⑫ 十朋亭・杉私塾（杉私塾）

・微動診断

計測値

改修前	階	1階		
	方向	X	Y	
	H/V	27.0	37.7	
	T(sec)	0.35	0.34	
	Ho(m)	5.35		
	To=0.03Ho(sec)	0.16		
	α=Ho/H3	2.13		
	(H/V)*(T/To)*α	125.5	170.2	
	Qu/Qun	0.39	0.31	
	判定(大地震動時)			
	倒壊する可能性	ある	ある	
改修後	階	1階		
	方向	X	Y	
	H/V	2.8	9.4	
	T(sec)	0.17	0.18	
	Ho(m)	5.35		
	To=0.03Ho(sec)	0.16		
	α=Ho/H3	2.13		
	(H/V)*(T/To)*α	6.4	22.5	
	Qu/Qun	1.32	0.99	
	判定(大地震動時)			
	倒壊する可能性	一応倒壊しない	一応倒壊しない	

改修前

2階

改修後

2017年3月

●旧本郷村役場

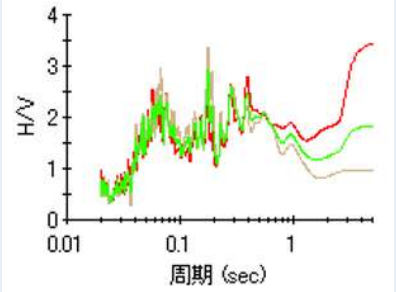
- 1940(昭和15)年着工、1942(昭和17)年竣工　築76年

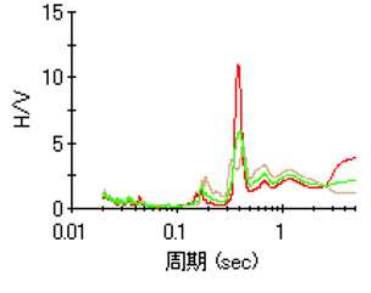
  木造2階建一部平屋建、建築面積274.54㎡

  延床面積456.15㎡

- 比較的小規模な庁舎ながら、緩やかなアーチを持つ堂々たる玄関ポーチを正面に据え、左右両翼を少し突出させたシンメトリーで威厳のある外観をなしています。
- 屋根全体は寄棟ですが、両翼の正面を切妻とし、二階上部の白の漆喰壁と共に、外装の下見板張りとのコントラストを鮮やかに見せています。また、建築装飾については、玄関ポーチのアーチ上部、キーストン(要石)部にある紋章のデザインが最も目立ちますが、これは防長三白政策の一つ周防山代和紙の原材料である楮(こうぞ)の枝5本を束ねたもの、しかも当時の本郷村内5つの地域の結束や団結を表したものではないかと思われます。
- 一部にセセッション(ウィーン分離派)風や和風の意匠を取り入れており、伝統的な木造でありながら洋風と和風を融合し、さらに当時の本郷の地域に根付いた独特な装飾をも取り込んだ、大変優れたデザインを持つ建物であると言えます。

福田東亜、原田正彦





旧本郷村役場　の微動計測により推定した耐震診断結果（評点）は下表のとおりである。

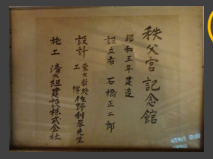
診断方法	微動計測による診断	
方向	X	Y
2階		
1階	0.83	0.83

※ 微動計測による診断のH/V値およびT値は、3回の測定値の平均値とした。

2. 文化財建造物改修の実際

2017年9月

⑬ 石橋財団櫛原邸（久留米市）

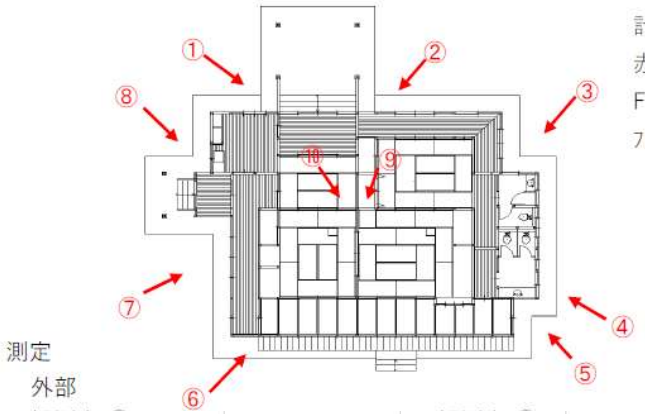


（秩父宮記念館） 1930（昭和5）年 築88年

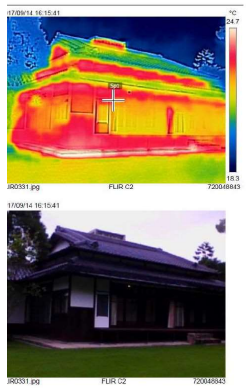
設計：佐野利器（東大名誉教授・清水組副社長）
日本建築学会11，13，15代会長
建築学を辰野金吾に学ぶ
東京駅の構造設計
静的震度法を提唱
真島健三郎との柔剛論争

施工：清水組

・現場調査
・耐震診断

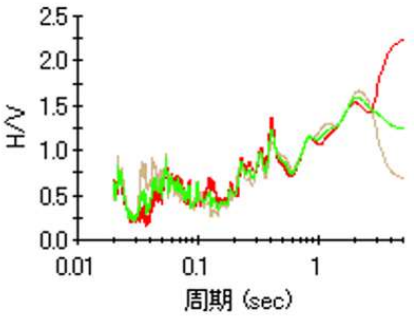


計測機器
赤外線カメラ
FLIR C2
フリアーシステムズ ジャパン（株）

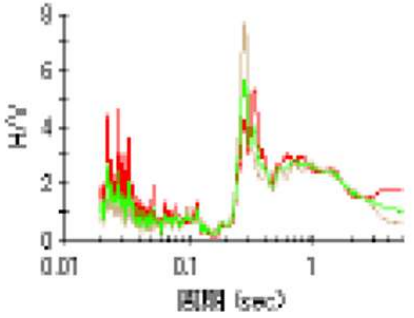


地盤

第2種地盤



建物



櫛原記念館　の耐震診断結果（評点）は下表のとおりである。

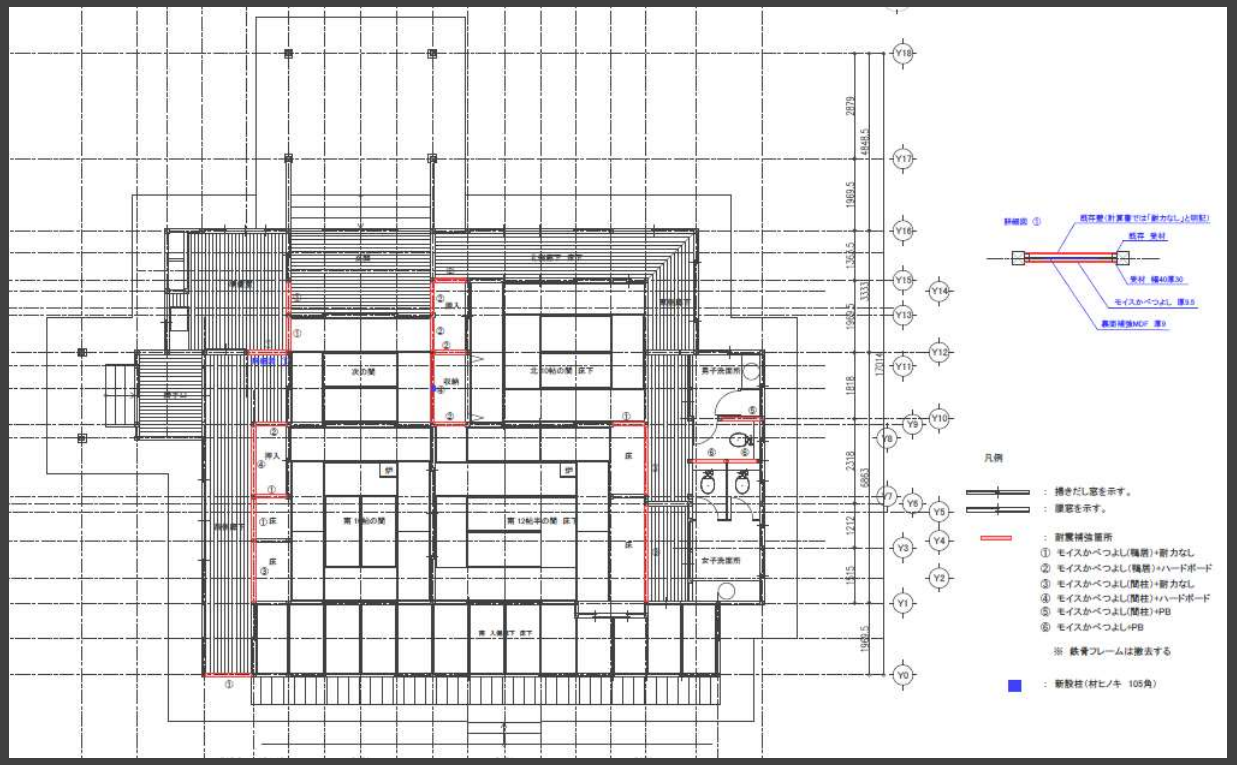
	微動計測		精密診断2	
	X	Y	X	Y
Iw	1.05	1.04	0.91	1.05

※しっかりとした架構と良質な材料を前提として、東西に耐力壁のコアを配置したバランスの良い平面プラン、維持管理の良さがすぐれた耐震性を生んでいる。

2. 文化財建造物改修の実際

⑬ 石橋財団櫛原邸（久留米市）
（秩父宮記念館）

現状の建物は、大地震時の変形を許容すれば、僅かな補強で倒壊を回避できるが、大地震時の変形を1/50程度に抑えたいという施主の要望に対して補強を計画した。



耐震性能（現状）

診断方法	評点*1)	
	X	Y
精密診断法1	0.52	0.43
精密診断法2	0.91	1.05
微動診断	1.05	1.04

*1)耐力壁を主体とした精密診断法1は、壁量が少ない伝統的構法住宅では、粘りを評価した精密診断法2（限界耐力計算）に比べて、評点がかなり低くなっている。

耐震性能（補強後の評点一覧）

補強案	診断方法	Qu/Qn(R=1/133)		Qu/Qun(R=1/50)		Qu/Qun(R=1/30)	
		X	Y	X	Y	X	Y
補強3	精密診断法1			1.40	1.51		
	精密診断法2	1.00	1.00	0.90	0.95	1.48	1.46

※1 Rは保有水平耐力Quにおける変形角
※2 Qn及びQunはそれぞれ変形角1/133及び変形角Rにおける損傷限界荷重及び安全限界荷重

耐風性能

補強	診断方法	風圧力W(R=1/133)		風圧力1.6W(R=1/50)		風圧力1.6W(R=1/30)	
		X	Y	X	Y	X	Y
補強3	保有耐力Qu(kN)	123.7	149.8	165.9	198.8	178.9	210.2
	風圧力Qw(kN)	63.0	76.5	100.8	122.4	100.8	122.4
	Qu/Qw	1.96	1.96	1.65	1.62	1.95	1.85

※1 風圧力W(風速34m/s)におけるQuは、変形角1/133の損傷限界耐力
※2 風圧力1.6W(風速43m/s)におけるQuは、変形角1/50及び1/30の保有水平耐力及び安全限界耐力

2. 文化財建造物改修の実際

2012年5月

⑭ 軍艦島（長崎県）

1916(大正5）年　築102年

日本最初のRC造集合住宅

1974（昭和49）年閉山

・現場調査

日本建築学会調査団

（山口大稲井教授同行）

コンクリート強度

地盤・建物の振動特性

建造物劣化の実態把握

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/

閉山後38年以上、全く維持管理がなされない離島の建造物は、木造、鉄骨造、レンガ造、SRC造、RC造の順に朽ち果てた、あるいは著しく劣化している状態であった。

余談ですが・・・　建造物が歴史と風土を語っている。

野山獄　NHK大河ドラマ「花燃ゆ」

吉田松陰（寅次郎）
伊勢谷友介

富永有隣（藩士・儒学者）
本田博太郎

・太陽光（陽）－中庭－縁側－牢獄（陰）
（外界―中間領域―内界）

・中間領域の
縁側、面格子の使い方

建築考証：平井　聖
（東工大名誉教授　88歳）

文化財建造物は･･･中空構造で生き残る

文化財建造物を健全に維持管理し、次世代へ継承していくためには、
歴史と風土から成る文化と近代技術文明の共存も必要であろう。

錦帯橋　1674-1951-2001-2005

山口県警察体育館（武徳殿）1930

・日本の家は、強力な母性原理によって支えられている。母性原理とは、すべてのものを平等に包含することで、そこでは個性ということを犠牲にしても全体の平衡状態の維持に努力が払われる。
（核家族化―家出の失敗）
　･･･日本人の意識革命の原動力は「女・子供」たちであろう。

文化

・西洋の家は、父親は父性原理に支えられ、社会に対しても独自の規範をもって抗するだけの強さをもち、それによって家族に接している。このような家庭内教育によって子供たちは近代的自我の形成を成し遂げ、親から自立して核家族を作りあげることが可能となる。つまり、核家族　という形態は父性原理に基づく構造に支えられて維持されている。

文明

・伝統と現代科学文明をどのように結びつけたのか。
　･･･日本の場合は、母性優位の人間関係を親族内に閉じこめておかず、むしろ社会組織に拡大する機構をもっていたため、近代的なものを受けいれるのが容易であった。
　（「イエモト制」、「永遠の少年」型の文化）

日本の中空均衡型モデルでは、相対立するものや矛盾するものを
敢えて排除せず、共存しうる可能性をもつのである。（松岡正剛）

自然との共生・・・自然と人の共有限界は30度

気候風土（自然）の掟を知って、技術でサポートしたい。

世界の四大文明は北緯30度域に存在する。

図 1.1 古代文明の発祥地と分析地点（安田原図）

自然界の30度（%）

- 冬至、夏至の日の出入りの方角（太陽信仰）
- 地球の陸地の割合（海70%）
- 土砂の内部摩擦角(安息角）
- 目の錯覚が生じる角度
- 府景観の下限視角度
- 冬の南面の日射量の確保

人の能力限界は3割、30%、30度

- 野球の打率
- テレビの視聴率
- 住宅のプレハブ化率
- 政党支持率
- 体温
- 体の固体部分（水分70%）
- 一度に見える視野の範囲

木造住宅の限界値

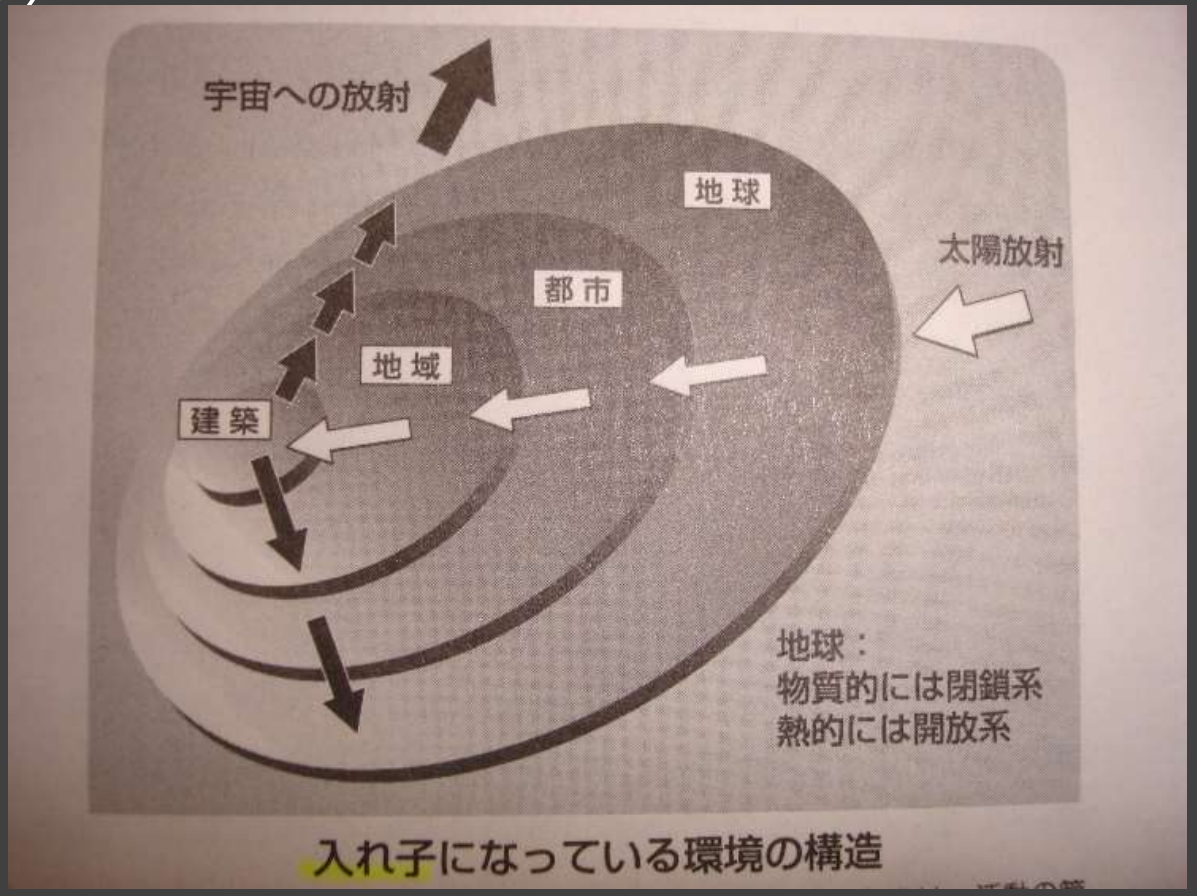
- 木材の含水率（腐食）30%
- 固有周期0.3sec
- 限界変形角1/30

水害：水深30cm(0.3m)で車のエンジンが止まる。（2015.9.30 NHK TV）

環境は入れ子・・・10^n（フラクタル）

10^n

①河川の支流（水）
②木の枝（木）
③土砂の粒子数の分布（土）
④貨幣の単位
⑤自宅、近隣、部落・団地、区、町、
　地域、市、県、の人口と面積



入れ子になっている環境の構造

小玉祐一郎

自然と社会の営みは、フラクタル10^nで構成されている。このスケール観を建築設計に活かしたい。

まとめ

文化財建造物の構造的アプローチは・・・
文化財建造物・地域づくりを時空で考える

（アインシュタインと司馬遼太郎）

- 文化財・地域づくりの3原則（景観形成の3K）
  （1）地域固有の景観・・・無くてはならないもの、アイデンティティ
  （2）中間領域の共有・・・公と私を繋ぐもの、シンボル
  （3）自然との共生・・・多様性、生態系、循環型

- 文化財・地域づくりのバランス感覚
  7、5、3・・・固有なものは3割にとどめ、
  公と私、都市と地方の折合いは五分五分で、
  自然（森林など）のエリアは7割をキープ

- 文化財・地域づくりを考えるスケール（自然のものさし）
  10^n・・・小さいものはより多く、大きいものはより少なく
  30度・・・自然との接し方の限界

文化財建造物改修の構造的アプローチは、
文化財建造物（人と自然の営みを具現化したもの）を未来に向けて継承できるように、
最新の知見・技術を駆使して、あまり創り過ぎず、地道に支援することである。

ご清聴ありがとうございました。