

令和7年度山口県ヘリテージマネージャー養成講座

文化財建造物改修の 構造的アプローチ 2025

構造のとらえ方…動的平衡

2025.11.15

(株)グリーンデザインオフィス

構造設計一級建築士

岩田真次

株式会社 グリーンデザインオフィス

<http://www.green-d-office>

山口県ヘリテージマネージャー養成講座修了者[会 員]

日置族ファンクラブ
代表

(一社)日本建築学会 (公社)土木学会

(一社)山口県建築士会

(一社)山口県建築士事務所協会

(一社)構造調査コンサルティング協会

[資 格]

一級建築士 (専攻建築士 設計・構造)

構造設計一級建築士

構造計算適合性判定員

建築物耐震診断等評価委員

コンクリート主任技士

特定建築物調査員

山口県地震被災建築物応急危険度判定士

BELCA 建築仕上診断技術者 (ビルディングドクター〈非構造〉)

山口県環境アドバイザー 山口県景観アドバイザー

● 日置郷

● 勤務地

大阪・関西万博 | 福岡伸一「いのち動的平衡館」 かたちを変えながらバランスを取って自立した遷ろう建築

[大阪・関西万博 | 福岡伸一「いのち動的平衡館」公式サイト](#)

[いのち動的平衡館を知る | 福岡伸一がプロデュースする「いのち動的平衡館」](#)



共生や協力といった利他的なふるまい

細胞（タンパク質）

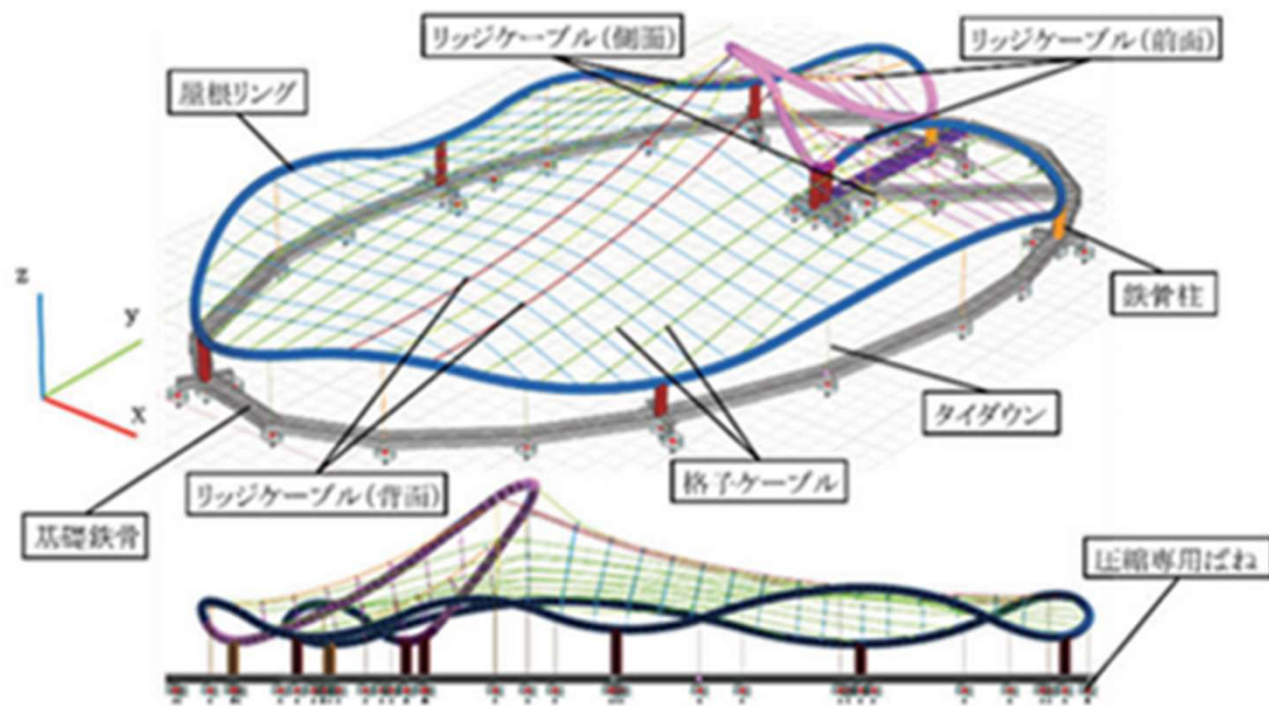


図-14 解析モデル (上：パース 下：立面)

https://www.gbrc.or.jp/gbrc_report/hot/

(一財) 日本建築総合試験所／GBRCメールニュース2025年10月号

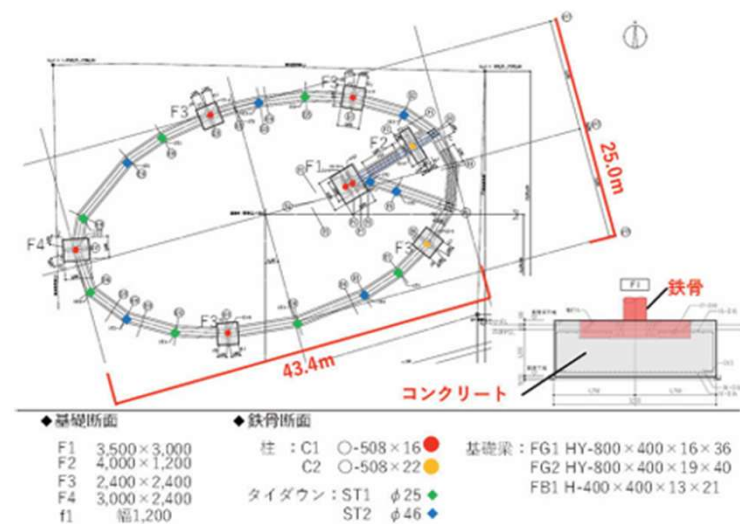


図-2 基礎・基礎梁伏図

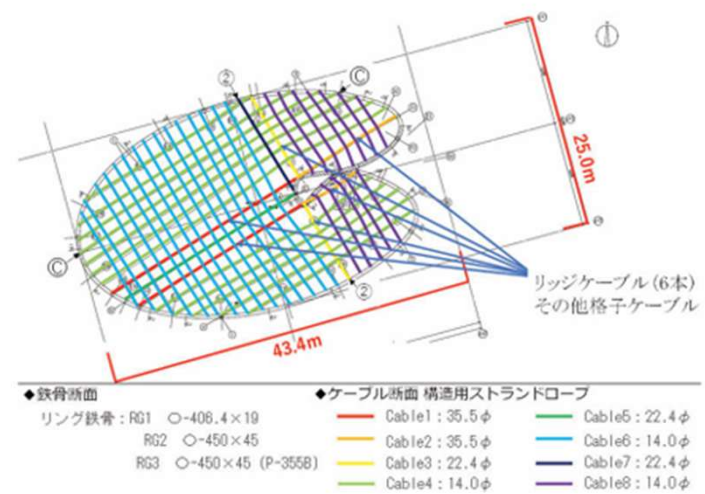


図-3 屋根伏図

構造を動的平衡という視点で捉える

福岡 伸一（ふくおか しんいち、[1959年9月29日](#) - ）は、日本の生物学者。青山学院大学教授。ロックフェラー大学客員教授。専攻は分子生物学。農学博士（京都大学、1987年）。日本の東京都出身。

福岡伸一の 動的平衡 ウイルスという存在

ウイルスとは電子顕微鏡でしか見ることでできない極小の粒子であり、生物と無生物のあいだに漂う奇妙な存在だ。生命を「自己複製を唯一無二の目的とするシステムである」と利己的遺伝子論的に定義すれば、自らのコピーを増やし続けるウイルスは、とりもなおさず生命体と呼べるだろう。しかし生命をもうひとつ別の視点から定義すれば、そう簡単な話にはならない。それは生命を、絶えず自らを壊しつつ、常に作り替えて、あやうい一回性のバランスの上にたつ動的なシステムである。と定義する見方。つまり、動的平衡の生命観に立てば、代謝も呼吸も自己複製もないウイルスは生物とは呼べないことになる。しかしウイルスは単なる無生物でもない。ウイルスの振る舞いをよく見ると、ウイルスは自己複製だけしている利己的な存在ではない。むしろウイルスは利他的な存在である。

今、世界中を混乱に陥れている新型コロナウイルスは、目に見えないテロリストのように恐られているが、一方向的に襲撃してくるのではない。まず、ウイルス表面のたんぱく質が、細胞膜にある宿主の調整に関わるたんぱく質と強力に結合する。これは偶然にも思えるが、ウイルスたんぱく質と宿主たんぱく質とはもともと互ちに関係があったとも解釈できる。それだけではない。さらに細胞膜に存在する宿主のたんぱく質分解酵素が、ウイルスたんぱく質に近づくにつれて、これを特別な位置で切断する。するとその断片が指先のように突き出すと伸びて、ウイルスの殻と宿主の細胞膜とを巧みにたぐりよせて融合させ、ウイルスの内部の遺伝物質を細胞内に注入する。かくしてウイルスは宿主の細胞内に感染するわけだが、それは宿主側が極めて積極的

生命の進化に不可避的な一部

に、ウイルスを招き入れているとさえいえる挙動をした結果である。これはいったいどういうことだろうか。問いはウイルスの起源について思いをはせると自ずと解けてくる。ウイルスは構造の単純さゆえ、生命発生の初期から存在したかといえはどうかではなく、進化の結果、高等生物が登場したあと、はじめてウイルスは現れた。高等生物の遺伝子の一部が、外部に飛び出したものとして、つまりウイルスはもともと私たちのものだ。それが家出し、また、どこかから戻ってきた家出人を宿主は優しく迎え入れているのだ。なぜそんなことをするのか。それはおそらくウイルスこそが進化を加速してくれるからだ。親から子に遺伝する情報は垂直方向にしか伝わらない。しかしウイルスのような存在があれば、情報は水平方向に、場合によっては縦を越えてさえ伝達する。それゆえにウイルスという存在が進化のプロセスで温存されたのだ。おそく宿主に全く気づかれないことな、行き来を繰り返して、さまざまウイルスは数多く存在していることだろう。

その運動はときに宿主に病気をもたらすし、死をもたらし、こともあろうに、しかし、それにもまして遺伝情報の水平移動は生命系全体の利他的なツールとして、情報の交換と組織を成立させている。

いや、ときにウイルスが病気を死をもたらし、それにもまして利他的な行為といえるかもしれない。病気は免疫システムの動的平衡を揺らし、新しい平衡状態を求めることに役立つ。そして個体の死は、その個体が専有していた生態的な地位、つまりニッチを、新しい生命に手渡すという、生態系全体の動的平衡を促進する行為である。かくしてウイルスは私たち生命の不可避的な一部であるがゆえに、それを根絶したり撲滅したりすることはできない。私たちはこれまでも、これからもウイルスを受け入れ、共に動的平衡を生きていくしかない。

いや、ときにウイルスが病気を死をもたらし、それにもまして利他的な行為といえるかもしれない。病気は免疫システムの動的平衡を揺らし、新しい平衡状態を求めることに役立つ。そして個体の死は、その個体が専有していた生態的な地位、つまりニッチを、新しい生命に手渡すという、生態系全体の動的平衡を促進する行為である。かくしてウイルスは私たち生命の不可避的な一部であるがゆえに、それを根絶したり撲滅したりすることはできない。私たちはこれまでも、これからもウイルスを受け入れ、共に動的平衡を生きていくしかない。

生命は絶え間なく自らを壊しながら作り直すことでバランスを保っています。これを「動的平衡」と呼びます。

地震が日本列島の四季を創出…プレート移動による造山活動

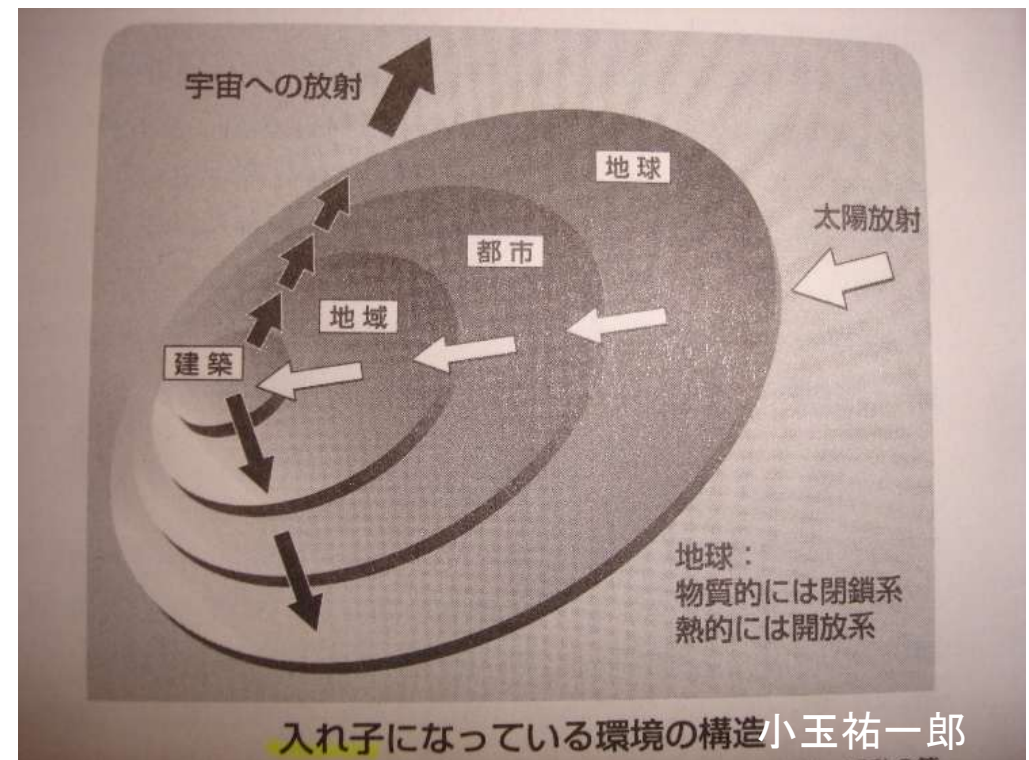


地震は定期的に発生する

環境は入れ子… 10^n フラクタル…部分が全体と相似（自己相似）となるような図形など

自然と社会の営みは、フラクタル 10^n で構成されている。

- 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



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)

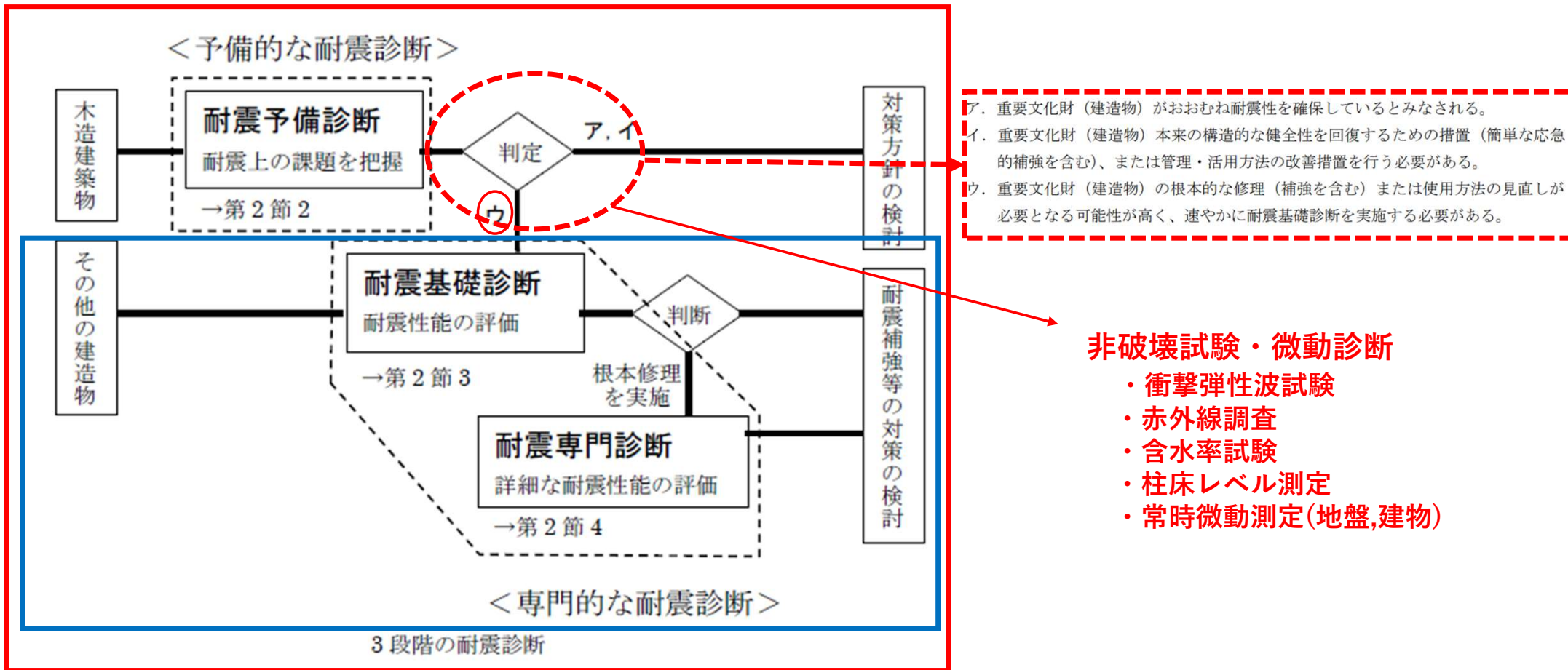
文化財建造物改修の基本的なとらえ方

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)

1996年 (1995年 阪神・淡路大震災)



（改訂版）

平成 26 年度以降は、これまで木造建築物を主として、非木造建造物の耐震対策と、新たに課題となっており、議論を行った。委員会本会議の下に木造と非木造の二つのワーキンググループでは主に天井材の落下防止対策²⁾、木造では煉瓦造建造物の耐震診断手順、鉄筋コンクリート造では基礎³⁾について議論してきた。今回の「重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引」は、この成果の一つである。

文化財的価値を損なわない補強を行うためには、補強方法を策定しておくことが望ましい。保存活用計画は保存計画、活用計画からなる¹⁾。

このうち保存管理計画は、今後活用を行う上で文化財的価値を保護すべき部分を把握することを目的の一つとしている。例えば、保護の方針のレベルに応じて、保存部分、保全部分、その他部分といった部分に各部屋単位で設定したり²⁾、基準 1～5 といった部位に部材などの単位で設定したりする³⁾。

これらの調査を行うことによって、耐震補強工事において文化財の保存に与える影響の大きい部分・部位、影響の少ない部分・部位の区別が可能になり、文化財的価値に極力影響を与えないためにはどうすればよいのか、具体的にはどこに補強を設置すれば影響が少なくできるかなどを考えるための重要な資料となる。

また、防災計画において、どのような構造調査が耐震診断で必要となるかなど耐震診断に関する計画を策定することも重要である。耐震診断の計画を修理計画とともに立案することによって、修理工事と補強工事を合理的に行うことが可能である。例えば、根本修理に際し、事前に耐震基礎診断を行って補強案を立てた上で修理工事に着手し、解体中に得られた知見を用いて耐震専門診断を実施し、補強案を見直した上で組立に併せて耐震補強を行うといった計画であったり、根本修理が既に実施済みの場合には耐震基礎診断にて経過補強を行うという計画を立てることができる。

このように耐震診断と保存活用計画の策定は、連携して実施することが望ましい。

このうち保存管理計画は、今後活用を行う上で文化財的価値を整理し、建造物において保護すべき部分を把握することを目的の一つとしている。例えば、保護の方針のレベルに応じて、保存部分、保全部分、その他部分といった部分に各部屋単位で設定したり、基準 1～5 といった部位に部材などの単位で設定したりする³⁾。

これらの調査を行うことによって、耐震補強工事において文化財の保存に与える影響の大きい部分・部位、影響の少ない部分・部位の区別が可能になり、文化財的価値に極力影響を与えないためにはどうすればよいのか、具体的にはどこに補強を設置すれば影響が少なくできるかなどを考えるための重要な資料となる。

また、防災計画において、どのような構造調査が耐震診断で必要となるかなど耐震診断に関する計画を策定することも重要である。耐震診断の計画を修理計画とともに立案することによって、修理工事と補強工事を合理的に行うことが可能である。例えば、根本修理に際し、事前に耐震基礎診断を行って補強案を立てた上で修理工事に着手し、解体中に得られた知見を用いて耐震専門診断を実施し、補強案を見直した上で組立に併せて耐震補強を行うといった計画であったり、根本修理が既に実施済みの場合には耐震基礎診断にて経過補強を行うという計画を立てることができる。

このように耐震診断と保存活用計画の策定は、連携して実施することが望ましい。

伝統的建造物群の耐震対策の手引

令和二年一月

文化庁文化資源活用課
文化財第二課

1 伝統的建造物群における耐震対策の必要性

伝統的建造物群は、文化財保護法第二条第1項第六号で「周囲の環境と一体をなして歴史的風致を形成している伝統的な建造物群で価値の高いもの」とされる文化財の一類型である。その伝統的建造物群及びこれと一体をなしてその価値を形成している環境を保存するために、市町村が定めるものが伝統的建造物群保存地区（以下「伝建地区」という。）である。市町村や市町村教育委員会は、伝統的建造物である建築物や工作物と共に、これと密接な関係にある樹木、水路、生垣等を環境物件として特定し、保存を図っている。国は市町村の申出に基づき、我が国にとって特に価値が高い伝統的建造物群保存地区（以下「重伝建地区」という。）を選定し、支援している。

文化財建造物といえども、文化財的価値の保護が必要であり、伝建地区も例外ではない。むしろ伝建地区に密集して建てられているものも多いため、都市防災より対策の必要性は高いとさえいえる。

文化財建造物といえども、文化財的価値の保護と人的安全性確保の観点から耐震対策は必要であり、伝建地区も例外ではない。むしろ伝建地区の建造物は、伝統的な住宅が多く、密集して建てられているものも多いため、都市防災の観点からは単独で建つ文化財建造物より対策の必要性は高いとさえいえる。

2 文化財建造物の耐震対策の基本的な考え方

文化財建造物の耐震対策の目的は、文化財的価値の保護と、人的安全性確保の二つがある。社会の中で活用される建造物は、人的安全性の確保が必要となるが、一方で文化財的価値を守ることも必須である。したがって、文化財建造物の耐震対策を検討する必要がある^{注1}。

耐震補強の検討の際には、その文化財建造物の価値特性に応じた診断、補強方法を用い、その価値に最も適した方法を選択することとなる。その原則は「意匠を損なわないこと」「部材を傷めないこと」「可逆的であること」「区別可能であること」「最小限の補強であること」の五つに集約される。これらをできるだけ満足する形で進めるのが望ましい。

耐震補強の検討の際には、その文化財建造物の価値がどこにあるかを見極め、建物の構造特性に応じた診断、補強方法を用い、その価値に最も影響の少ない範囲、方法で補強を行うこととなる。その原則は「意匠を損なわないこと」「部材を傷めないこと」「可逆的であること」「区別可能であること」「最小限の補強であること」の五つに集約される。これらをできるだけ満足する形で進めるのが望ましい。

古民家改修事例

旧磯乃屋（光市室積）

設計・施工：(株)ワダモク
耐震診断・補強設計：GDON

国登録有形文化財(建造物)



旧磯乃屋全景



旧磯乃屋の軸線は東南東30度
(冬至の日の出方向)

主屋

登録基準 再現することが容易でないもの

室積湾を背にし、表通りに西面して建つ。木造2階建、本瓦葺寄棟屋根の妻入で、軒裏と外壁を白漆喰で塗込め、正面と側面に下屋を付け、2階中央と玄関両側の格子窓により端正な表構えを造る。材木問屋を営んだ旧家で、内部の骨太い梁組や造作などは、庭園ともに上質で明治期の町家として重要である。建築時期明治前期、建築面積185平方メートル。

登録基準 文化庁



離れ座敷（茶屋）

登録基準 造形の規範となっているもの

明治後期に主屋北側に増築された角座敷から浜側に伸びた渡り廊下で繋がれる。木造平屋建で、瓦葺入母屋屋根の三方に庇を回した構成をとり、4畳半の茶室を中心に、北側に3畳間と便所を設ける。上質で端正な造りの離れ座敷で、主屋との間に程よい中庭的空間を作り出している。建築時期明治後期、建築面積44平方メートル。

釜屋

登録基準 国土の歴史的景観に寄与しているもの

主屋下屋の南東端から南側小路に沿って浜側に伸びる木造平屋建、瓦葺切妻屋根の便益棟部分で、主屋下屋よりさらに棟を落とす。井戸上屋を兼ねた棟で、井戸の脇に煉瓦造の流し場と竈を設けている。建築時期明治後期、建築面積32平方メートル。

木材の強度調査（非破壊試験）



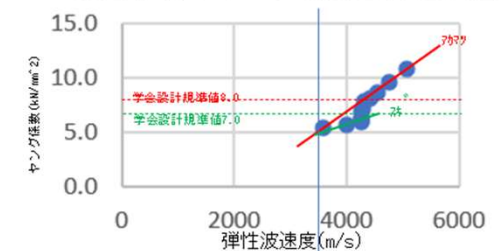
Einstein 1次式 - 方程式

$$E = \rho * V^2 \quad E = 0.52 * 4500^2 / 10^6 = 10.5 \text{ kN/mm}^2$$

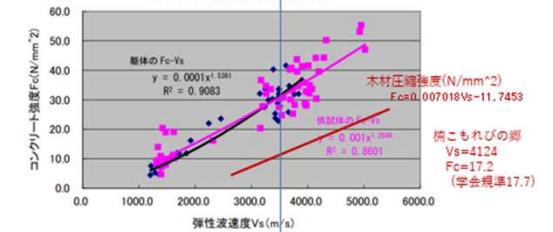
衝撃弾性波試験



県産木材のヤング係数と弾性波速度



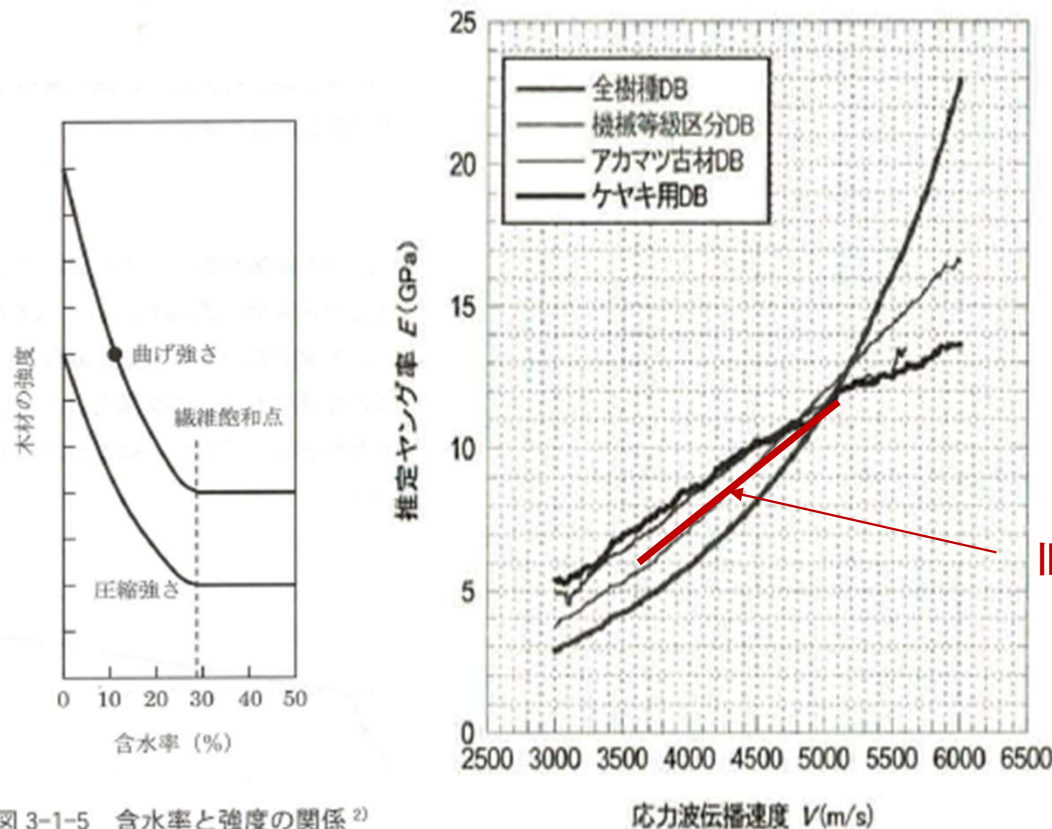
コンクリート強度と弾性波速度の関係



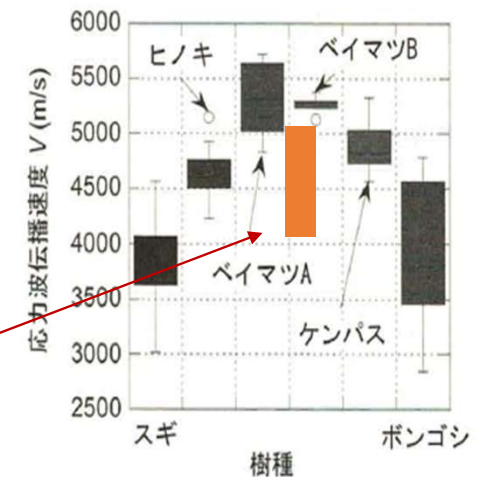
健全な材料の弾性波速度は3500m/s以上

木材の強度調査

付図引用「既存木造建築物健全性調査・診断の考え方(案)」 2022 日本建築学会



付図引用「建築構造設計指針」2019 東京都建築士事務所協会



付図 9.2.1.2a 樹種別の応力波伝播速度の測定例

付図 4.5.1 弾性（応力）波伝播速度 v (m/s) を用いた残存ヤング係数 E_r (GPa) 推定図

建物の耐震性能調査（微動診断）



写真はGPS対応型です

GEODAS1-2S*D
GEOPHYSICAL DATA ACQUISITION SATELLITE

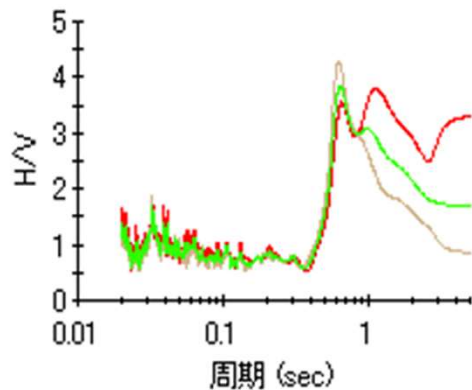
ジオダックス（2S型）

常時微動測定用
AD変換器内蔵型
地表用受振器（2秒計）

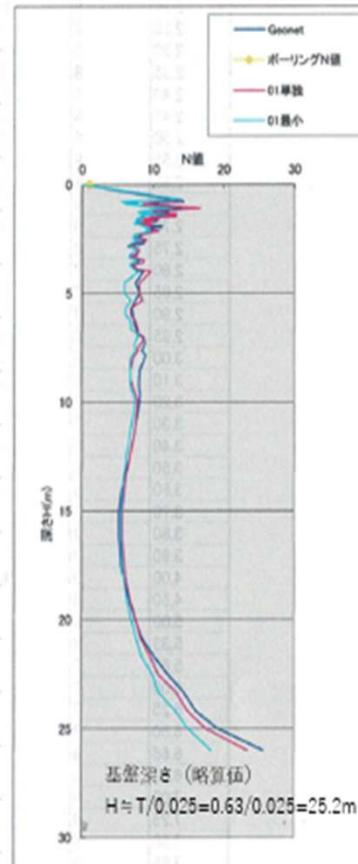
AD変換機能内蔵型です。お手持ちのノート型
パーソナルコンピュータと組み合わせて、常時
微動などの測定ができます。

地盤の耐震性能調査

地盤のH/Vスペクトル



地盤の推定柱状図



$$\text{重力式 } T_g = \sqrt{32\Sigma(h_i \cdot (H_i - 1 + H_i)/2 / V_{si}^2)}$$

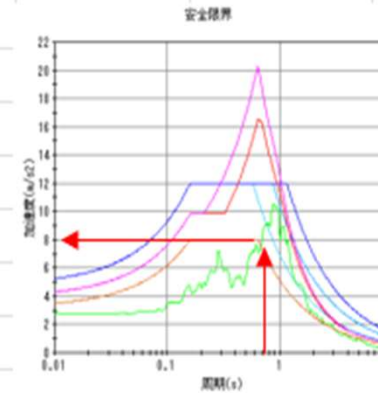
$$T_g = 0.63 \text{ sec.}$$

$$\text{実測地盤周期} = 0.63 \text{ sec.}$$

重力式と実測地盤周期が一致する深さを基礎深さと推定

地表面加速度応答スペクトル図(常時微動計測N値)

大地震



← 大地震に対する耐震性の推定

地盤の影響を考慮した大地震に対する耐震性は、建物の剛性が低下して固有周期が長くなるため、入力地震動は概ね告示式に近い 8m/s^2 以上が想定される。

大地震(震度6強以上)

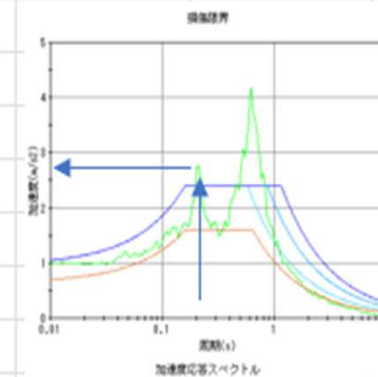
$$Q_f1 = Q_u / Q_{un} = 0.46$$

$$T \approx 0.7 \text{ sec} \rightarrow \alpha_1 = 8.0\text{m}$$

$$\text{震度 } k_1 = 8.0/9.8 = 0.82 > 0.46$$

NG

中地震



← 中地震に対する耐震性の推定

中地震(震度5強以下)

$$T = 0.19 \sim 0.30 \text{ sec} \rightarrow \alpha_2 = 2.75\text{m/s}^2$$

$$\text{震度 } k_2 = 2.75/9.8 = 0.28$$

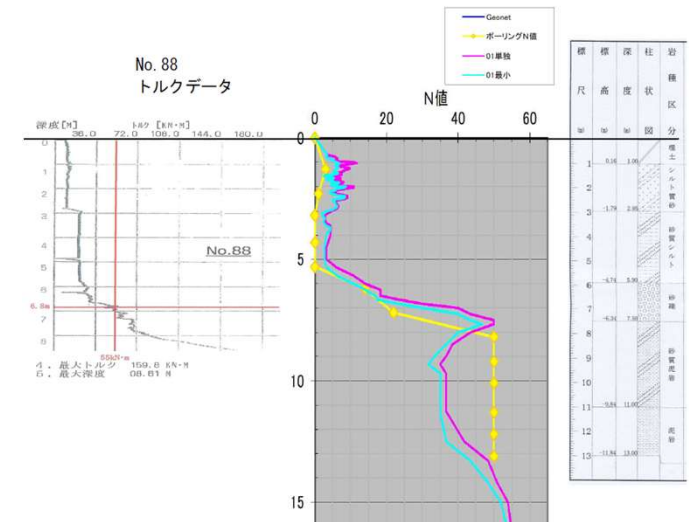
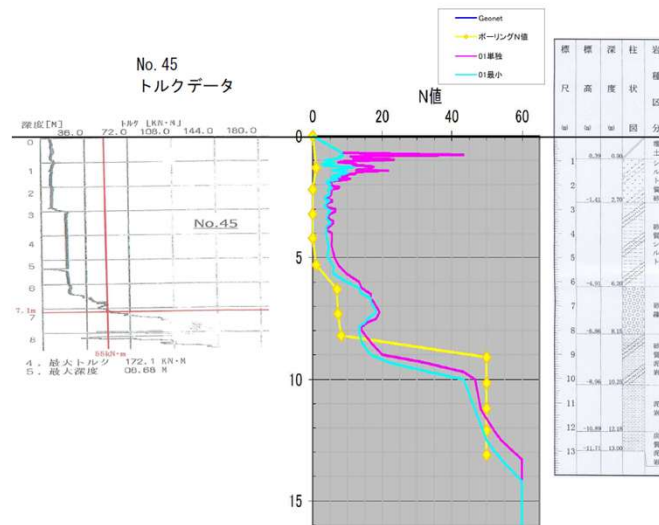
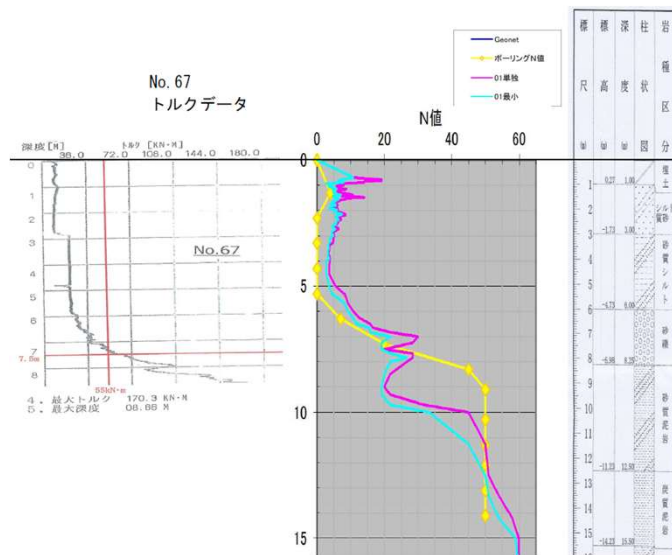
$$Q_f2 = Q_u / (Q_{un} \cdot k_2 / k_1)$$

$$= Q_u / Q_{un} \cdot k_1 / k_2$$

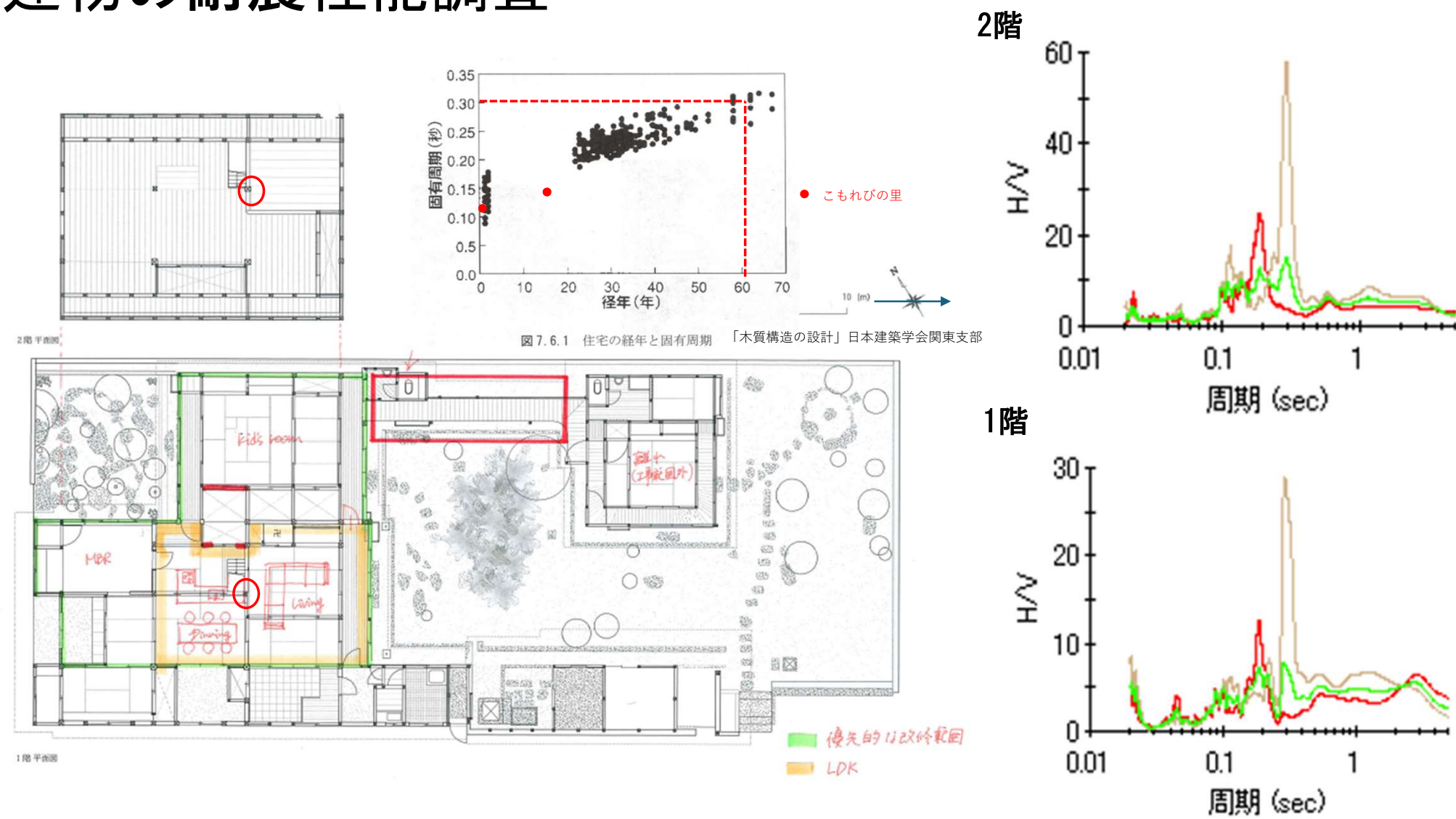
$$= 0.46 \cdot 0.82 / 0.28 = 1.34 > 1.0$$

この結果、中地震では一応倒壊しないと推定される。

アースオーガー貫入抵抗値・ボーリング柱状図と 微動計測推定柱状図の比較



建物の耐震性能調査



建物の耐震性能評価（微動診断）

精密診断 1

	X方向	Y方向
3階		
2階	○1.11	×0.50
1階	△0.82	×0.34
精密診断 総合評価		
× 倒壊する可能性が高い		

限界耐力計算

	X方向	Y方向
3階		
2階	×0.59	×0.57
1階	×0.44	×0.40
限界耐力計算 総合評価		
× 倒壊する可能性が高い		

微動診断

	X方向	Y方向
2階	0.68	0.46
1階	0.83	0.49
微動診断評価		
× 倒壊する可能性が高い		

評価結果は、微動診断の1階X方向の評点が高い以外はほぼ同様の評価である。
微動診断の1階X方向の評点が高理由は、1階の南北2か所に付属する建屋のバットレス効果によると考えられる。

従って、付属建屋を補強しない状態でも主屋と一体とする方が補強箇所を低減できるため、主屋と付属建屋を一体として補強計画を検討する。

文化財的価値に配慮

意匠を損なわないこと
部材を傷めないこと
可逆的であること
区別可能であること
最小限の補強であること

→第Ⅲ章 第2節 1

- ・可能な限り見えない位置で補強を行う
- ・保存の優先順位の低い部材に設置するなどの工夫
- ・補強は取り外せば元の状態に戻せるような方法
- ・補強部材が後から加えたものであることが分かるようにしておく
- ・耐震補強のためだけに必要な工事範囲を最小限とする

補強方法・箇所決定

構造特性に応じた考え方

耐震・制震・免震
構造種別、補強部位

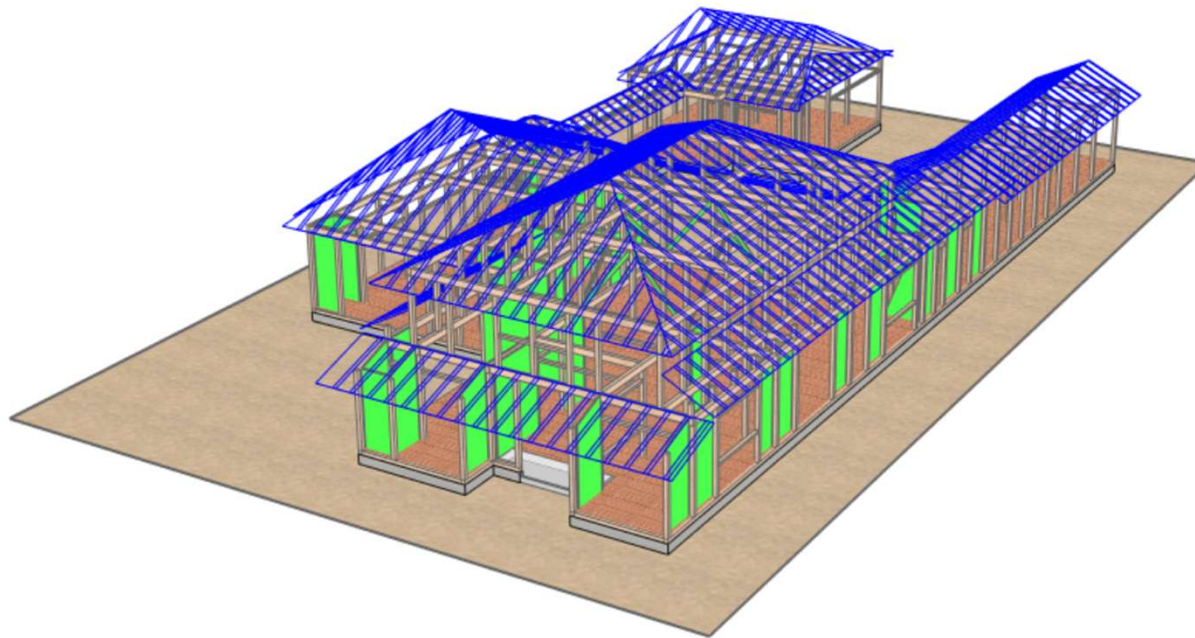
→第Ⅲ章 第2節 2, 3

- ・木材のめり込みや土壁などのように高い変形能力を有する補強部材

耐震補強の検討のながれ

補強計画

耐震診断結果から、主屋1階の補強は外壁は現状維持とし、
内壁の土塗壁を新設及び無機質内装材により真壁納まりで補強。
2階小屋裏は、中央部4本の通し柱を筋交いで囲む補強を計画。



1階は緑色(土壁+珪加板真壁)、小屋裏は補強箇所(通し柱間に枠付き筋交い)
を施工して、微動診断で補強効果を確認したのち、追加の補強箇所(雲筋交い、
床面材貼り)を施工した。

大地震(震度6強以上)

$$Qf1=Qu/Qun=0.46$$

$$T=0.19\sim0.30\text{sec}\rightarrow \alpha 1=7.2\text{m/s}^2$$

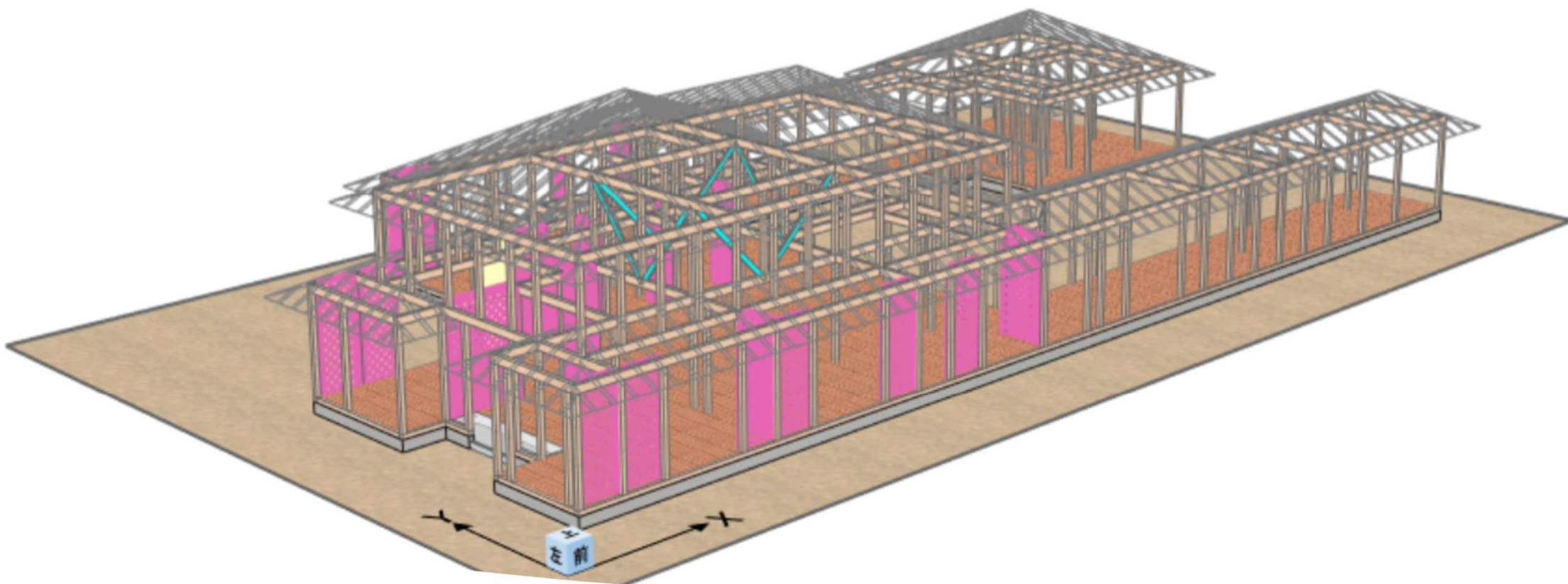
$$\text{震度}k1=7.2/9.8=\boxed{0.73}$$

限界耐力計算

	X方向	Y方向
3階		
2階	$\Delta 0.77$	$\Delta 0.81$
1階	$\Delta 0.75$	$\Delta 0.83$
限界耐力計算 総合評価		
Δ 倒壊する可能性がある		

精密診断 1

	X方向	Y方向
3階		
2階	$\odot 2.00$	$\odot 1.15$
1階	$\odot 1.87$	$\odot 1.08$
精密診断 総合評価		
\odot 一応倒壊しない		



補強工事完了後の 微動計測による 耐震性能の確認

- 補強計画施工後に微動計測して、限界耐力計算とほぼ同じ0.8程度を確認し、
- 耐力の不足分を小屋組の雲筋交い及び2階床と下屋との繋ぎ梁+水平構面を
- 追加して、微動診断で評点1.0を上回ることを確認した。

微動診断結果

微動診断により推定した建物の耐震診断結果を下表に示す。

	補強前				補強後			
階	2		1		2		1	
方向	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
H/V	27.3	31.2	14.5	29.8	6.6	7.2	5.3	5.1
T(sec)	0.19	0.30	0.19	0.30	0.17	0.24	0.17	0.24
Ho(m)	5.99		5.99		5.99		5.99	
To=0.03Ho(sec)	0.18		0.18		0.18		0.18	
$\alpha = H_o/H_4, H_3$	1.17		1.91		1.17		1.91	
$\beta = \sqrt{W_o/W}$	1.20		1.05		1.20		1.05	
γ (ねじれ振動)	1.25	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$(H/V) \cdot (T/T_o) \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	50.5	110.2	30.8	98.9	8.7	13.6	10.1	13.8
Qf=Qu/Qun	0.68	0.46	0.83	0.49	1.22	1.15	1.18	1.15
判定(大地震動時)	高い	(非常に)高い	ある	(非常に)高い	一応倒壊しない	一応倒壊しない	一応倒壊しない	一応倒壊しない

※ 微動計測による診断のH/V値およびT値は、柱1と柱2（各3回の測定値）の平均値とした。

竣工写真：<https://shiwakudo.com/works/works/entry-293.html>

石橋財団櫛原記念館（久留米市）

（旧秩父宮記念館）

設計：(株)松田平田設計
施工：戸田建設(株)九州支店
耐震診断・補強設計：GDON



櫛原記念館は、秩父宮殿下ご夫妻のご宿泊所として1930年（昭和5年）に（株）ブリヂストンの創業者 石橋正二郎氏により、自邸の敷地内に建てられた。構造は総ヒノキ造りの伝統木造構法平屋建

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**

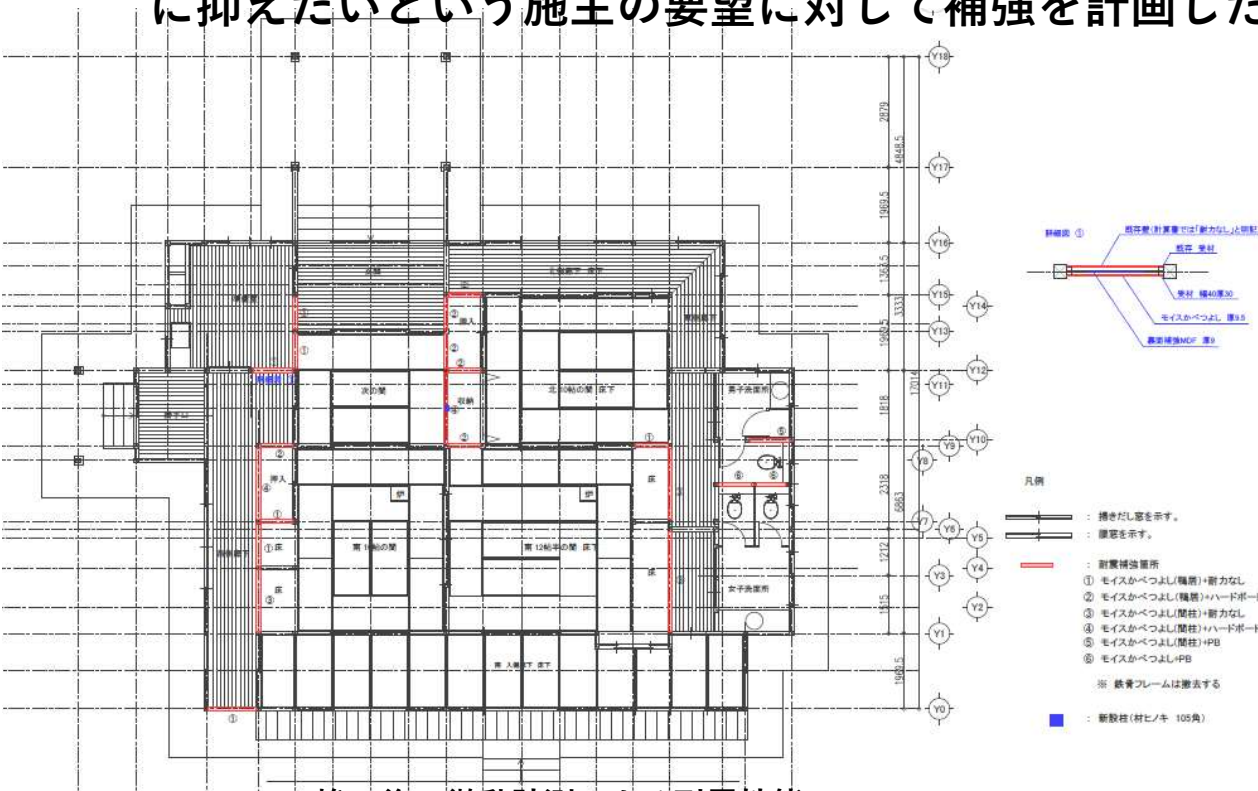
施工：清水組

[Microsoft Word - 02-10 冊子（建物概要10）.docx](#)

＊佐野利器

「家屋耐震構造論」^[5]（1915年）で工学博士号を取得。同論文（翌年刊行）は、日本の建築構造学の基礎を築いたものと評され、また建築構造の耐震理論構築としては当時世界初の試みである^[6]。（震度法...**k=0.1**）

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。



竣工後の微動計測による耐震性能

診断方法	微動計測による診断		建物の固有周期(sec)		建物の減衰定数		精密診断法2による診断	
方向	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
改修前	1.05	1.04	0.33	0.28	0.07	0.09	0.91	1.05
改修後	1.28	1.43	0.26	0.21	0.12	0.11	1.47	1.46

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

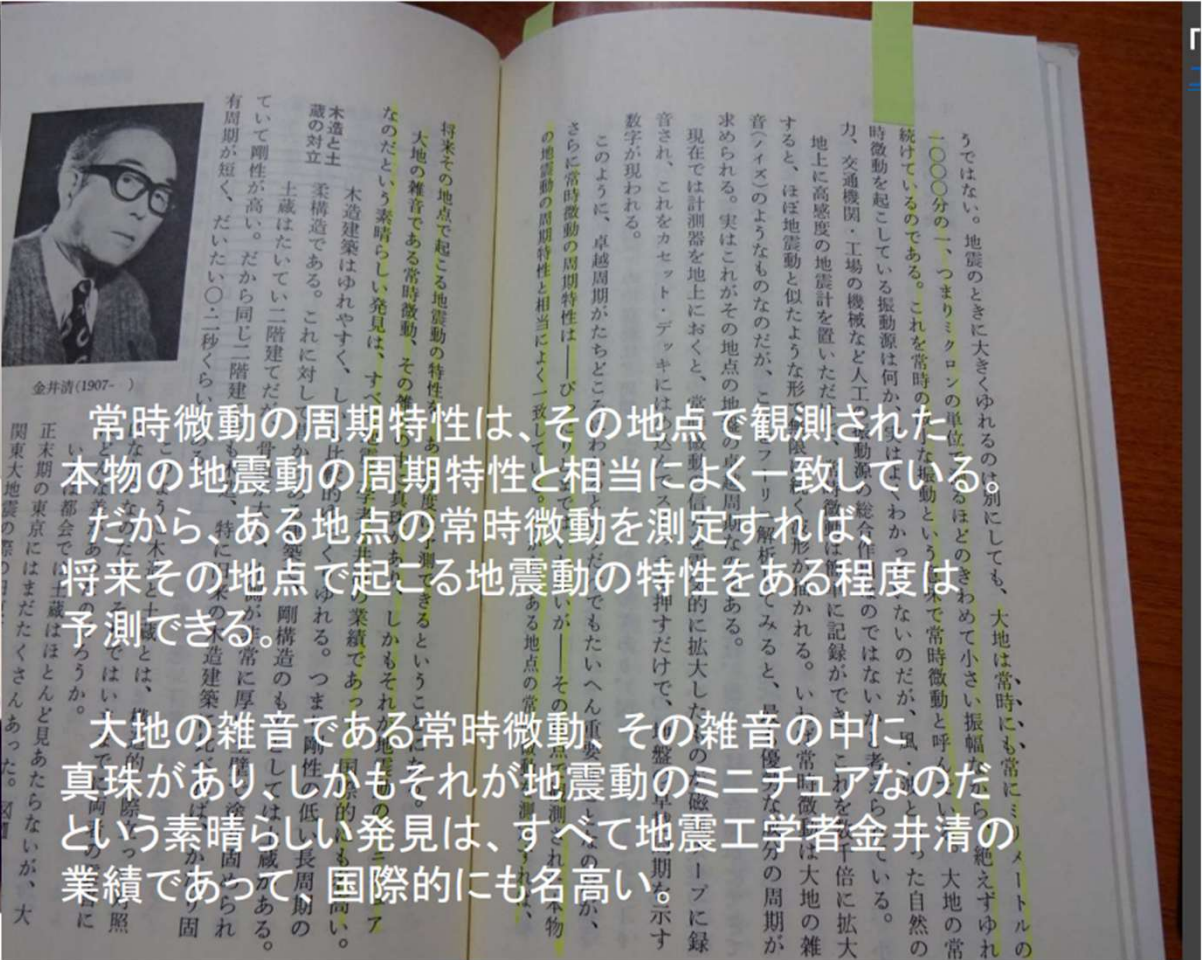
※2 風圧力1.6W(風速43m/s)におけるQuは、変形角1/50及び1/30の保有水平耐力及び安全限界耐力

地震と建築 大崎順彦

大崎 順彦（おおさき よりひこ^[1]、1921年〈大正10年〉5月10日 - 1999年〈平成11年〉8月25日）は、日本の耐震工学者。地震自体と地盤、構造物を一体で捉える研究手法で地震工学に大きな業績を残し、後進も多数育てた^[1]。建設省建築研究所と東京大学などで研究した後民間へ転じ、清水建設副社長などを務めた。



大崎順彦博士



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。

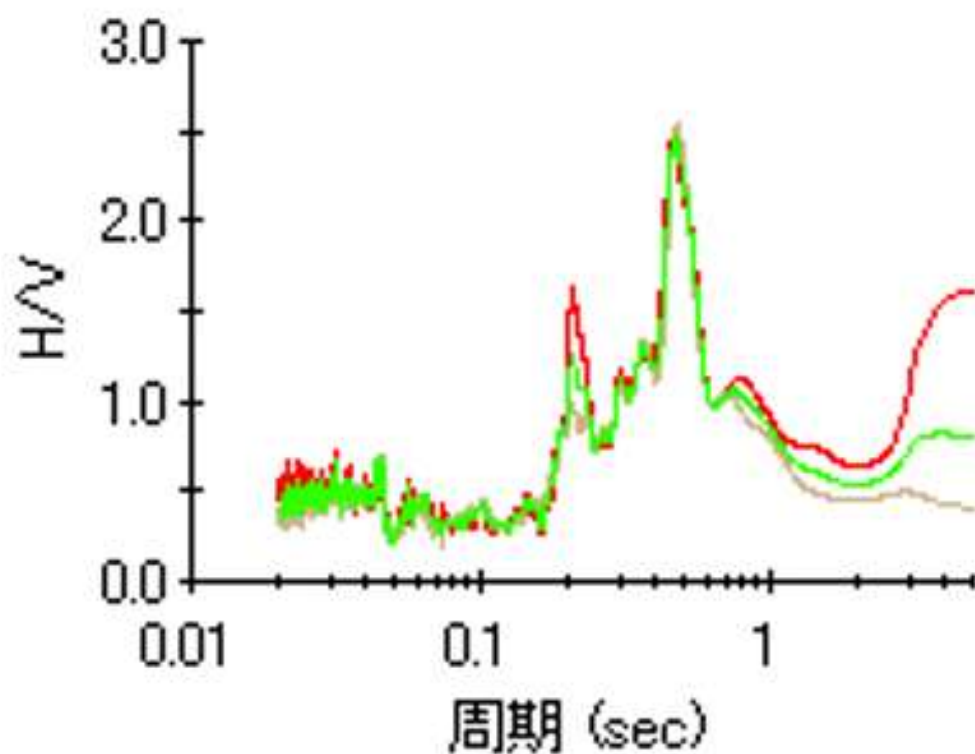
「筋違いの耐震効果の理論」と題する研究で工学博士（東京帝国大学）の学位を取得

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）－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。

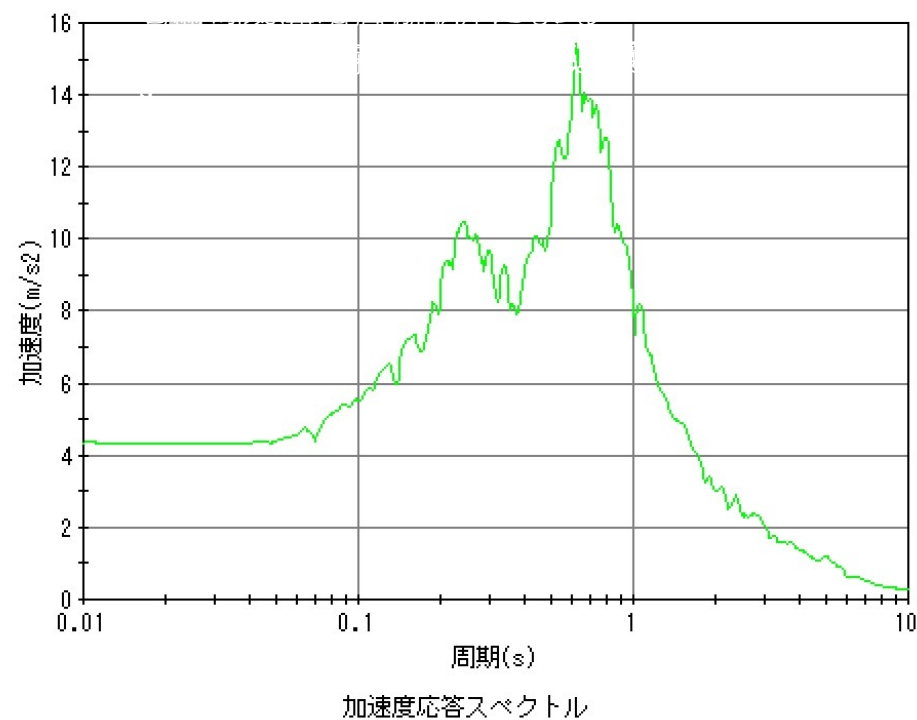
「地震と建築」大崎順彦

常時微動という**ミクロ**なデータが、
大地震動時の**マクロ**な現象を内在している。

常時微動計測による
微動波形H/Vスペクトル

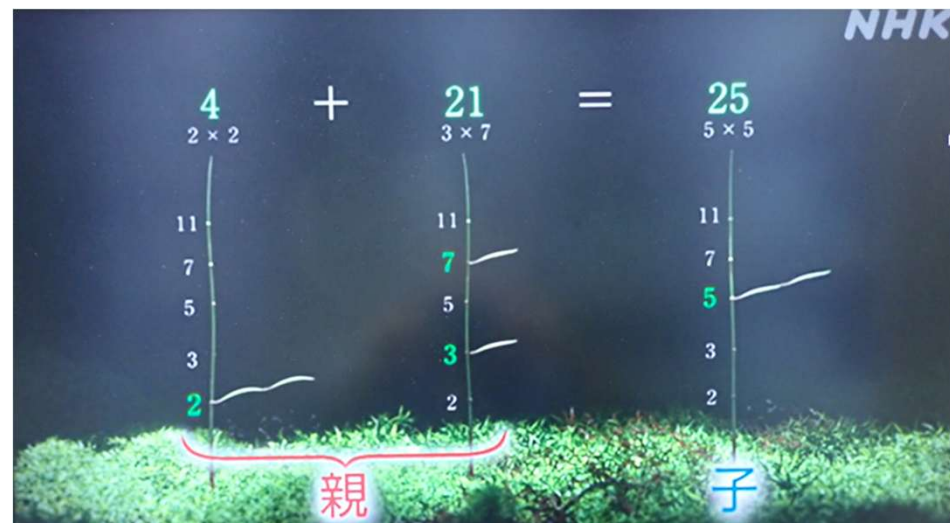
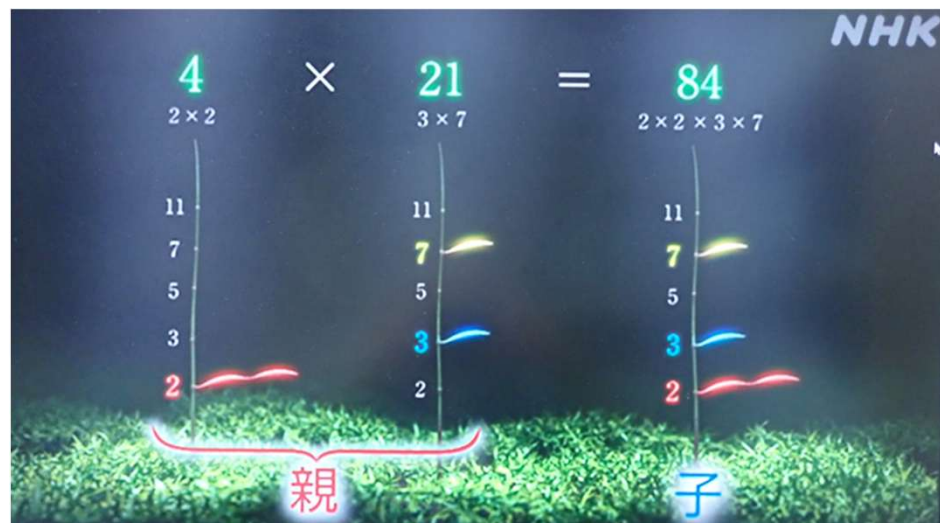


地盤時刻歴応答解析による
大地震動時地表面の加速度応答スペクトル
安全限界



abc予想

NHKスペシャル 「数学者は宇宙をつなげるか？
abc予想証明をめぐる数奇な物語」



素数（遺伝子）は掛け算で引き継がれるが、足し算では引き継がれない。

振動方程式
 $T = 2\pi \sqrt{m/K}$

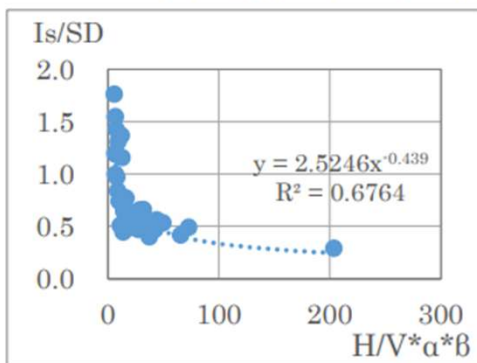
常時微動計測による耐震性能推定式…様々な木造建築物に対応させるため、振動方程式の耐震性に関する下記の因子(無次元化)を乗じた数値と限界耐力計算の Q_u/Q_{un} 値との関係式

$$Q_u/Q_{un} = f[H/V \text{ (揺れ易さ)} * T/T_o \text{ (剛性比)} * \alpha = H/H_o \text{ (高さ補正)} * \beta = \sqrt{W_o/W} \text{ (重量補正)} * \gamma \text{ (ねじれ振動)}]$$

H/Vスペクトル比と固有周期Tがわかれば耐震性能を推定できる

構造種別ごとに作成した耐震性能推定図および実際に計測を行った建物の写真を以下に示します。

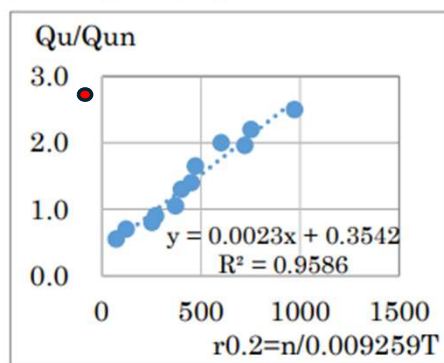
- ・RC造は、(社)建築研究振興協会発行「常時微動測定による既存建築物の耐震改修効果確認法指針(案)・同解説」に示す固有周期Tと終局強度 C_y の関係式に、H/V比、 F_c を考慮。
- ・S造は、学会「鋼構造設計規準」記載の $Q_u/Q_{un} \cdot r_{0.2}$ 関係図(安全側に修正)に振動方程式を導入。
- ・木造は、古民家、寺院等の耐震診断結果(評点)とH/V比、固有周期等との関係式を採用。



RC 造建物の耐震性能推定図



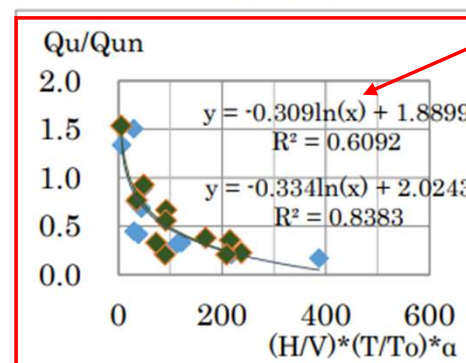
RC 造 (屋根 S 造) 体育館



S 造建物の耐震性能推定図



S 造高層ビル



木造建物の耐震性能推定図



木造大規模校舎

近似曲線…自然対数式

「地震の間」…耐震的でない評価は正当か？

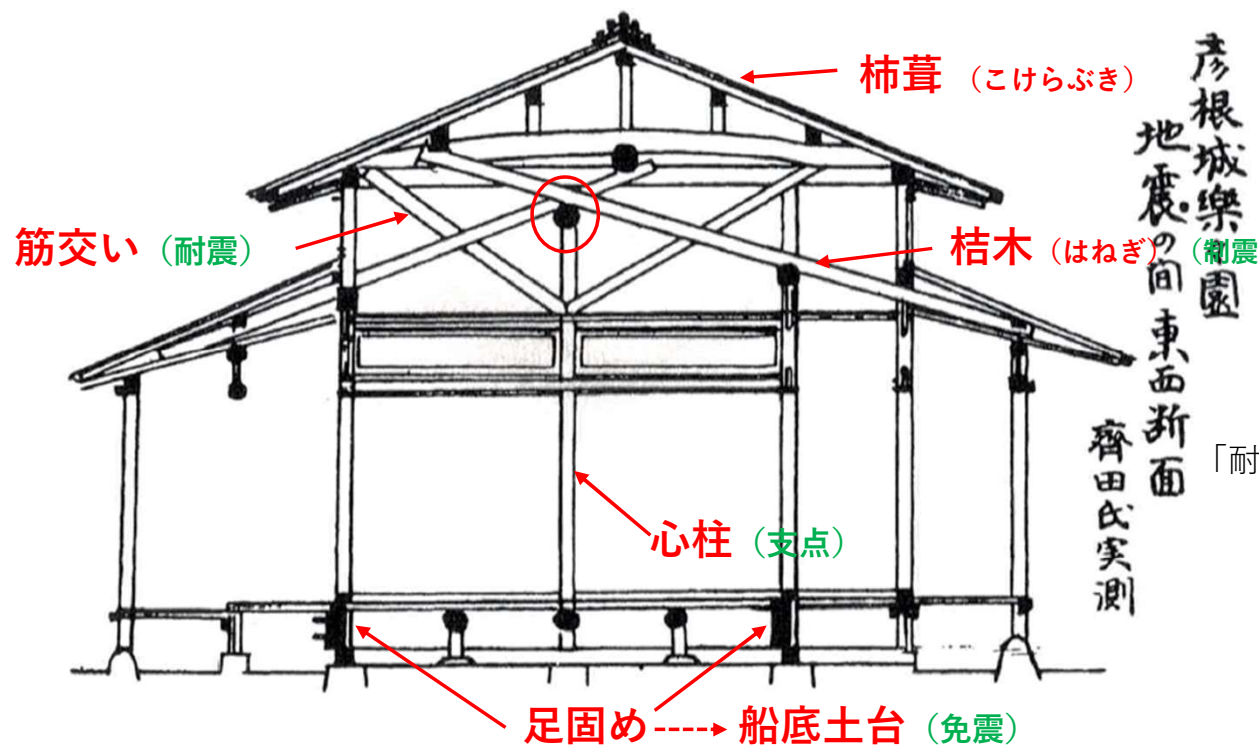


図 1-1-3 彦根城の「地震の間」^{*3}

文化11年(1814)築211年

江戸時代に入ると、「地震の間」というものが江戸城をはじめ、各地の城や大名屋敷などに設置されていた。これは独立した小さな部屋(建物)であるが、特に耐震的な構造というわけではなく、逃げ出しやすいように扉に細工がされていた。図1-1-3は彦根城の「地震の間」であるが、現代の目で見ると、特に耐震的に配慮されているようには思えず、その設置意図は必ずしも明らかではない。

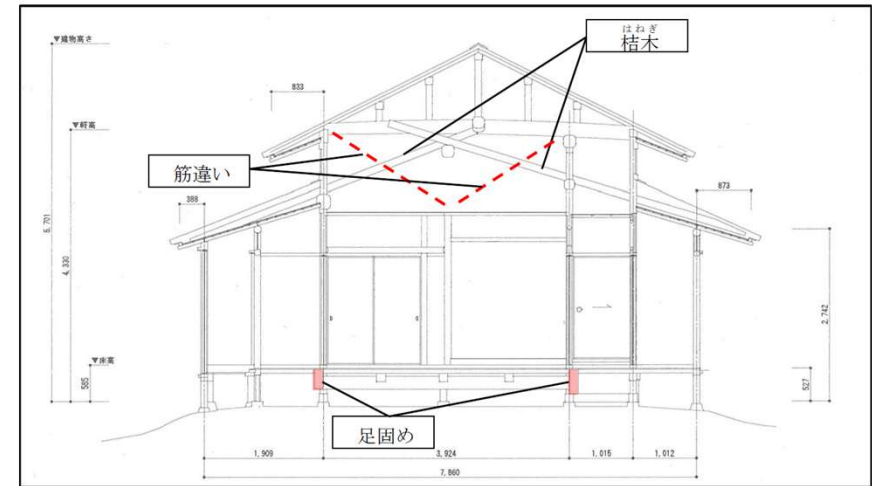
「耐震・免震・制震のわかる本」清水建設免制震研究会 著

私見；
桔木の交点の柱頭が支点となり、
重心の位置が支点より下になれば
ヤジロベエ効果で転倒しない。

地震の間



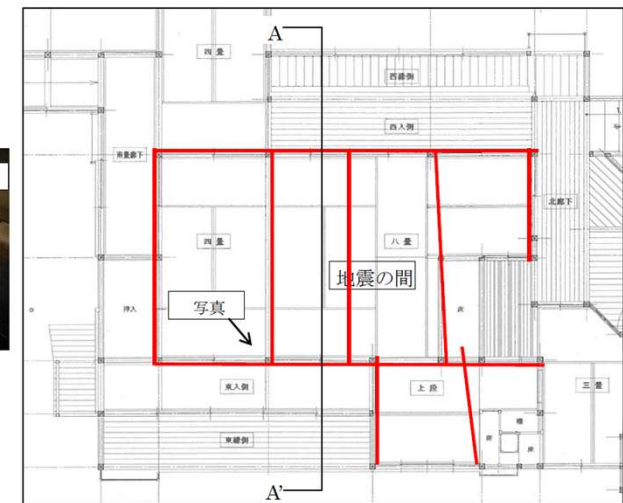
彦根城の敷地内にある「地震の間」の木造建築。大小多数の岩で地盤が補強されている
＝滋賀県彦根市



地震の間断面図 (A-A')



足固め



地震の間平面図と足固めの位置 — 足固め位置

伝統木造家屋の基礎と土台は緊結すべきではない



伝統木造家屋は激震に耐えた!

在来木造家屋の被害はなぜ繰り返されるのか?

木造耐震化の歴史を紐解き、真実を探る

学芸出版社

3・5 佐野利器・武藤清の免震基礎論

ほとんどの人は真島の「柔構造」に対して、「剛構造」の立場から「柔剛論争」を展開した東京帝国大学の佐野利器や武藤清は、木造建築の基礎は「剛」に緊結すべしとの考え方だったと思われるかもしれない。しかしながら基礎構造に関しては、両大家とも真島と同じく、「基礎と土台は緊結すべきではない」と明確に主張していたのである。

佐野は足元に有害な、あるいは建物に同調する倍長波を通過し、あるいは衝撃の時間的役割を長引かせたりする防震的な役割を持つ基礎についていち早く論じた。また武藤は昭和九年に岩波書店より出版した『耐震構造汎論』^{〔文献3〕}において、一番望ましいのは激震時に建物は三〇センチほど移動することを見越して、周辺を拡大した鉄筋コンクリート造のベタ基礎を施工し、その上に緊結することなく土台を据えるべきであると主張した。以下はその一節である。

“……土台を基礎に緊結せざる場合は家屋に移動を生じ、さらに甚だしき場合には土台が基礎より外れ落つる結果として転倒を起こすといふ不利益の点があるが、一方震力の一部は土台と基礎の摩擦作用に消費されて、上部構造に伝達する量が減ずるといふ利益の点もある。緊結する場合は之に反して移動はなく従って土台が基礎より外れ落つる憂いはないが、震力は減少することなく上部構造に伝達する結果、震力が大なる場合は上部構造の破壊を生じ、また図の如く基礎を破壊する結果となる。従って、之等の不利な点を棄て利点を取り入れたる構造として第一に考へらるる事は、土台と基礎とは緊結せず家屋が移動を生じても基礎より墜落することのない程度に基礎の幅を広くするか、又は土台の幅を広くする方法である……また、基礎幅を三十センチの移動に対して充分なる様に広くすることは結局家屋の下全面をコンクリート盤となすことに近い事になり、従って家屋の下全面をコンクリート盤とする事が防白蟻、防鼠又は衛生上より得策であらう……”

小石田真次学兄

西澤英和

2018.11.3



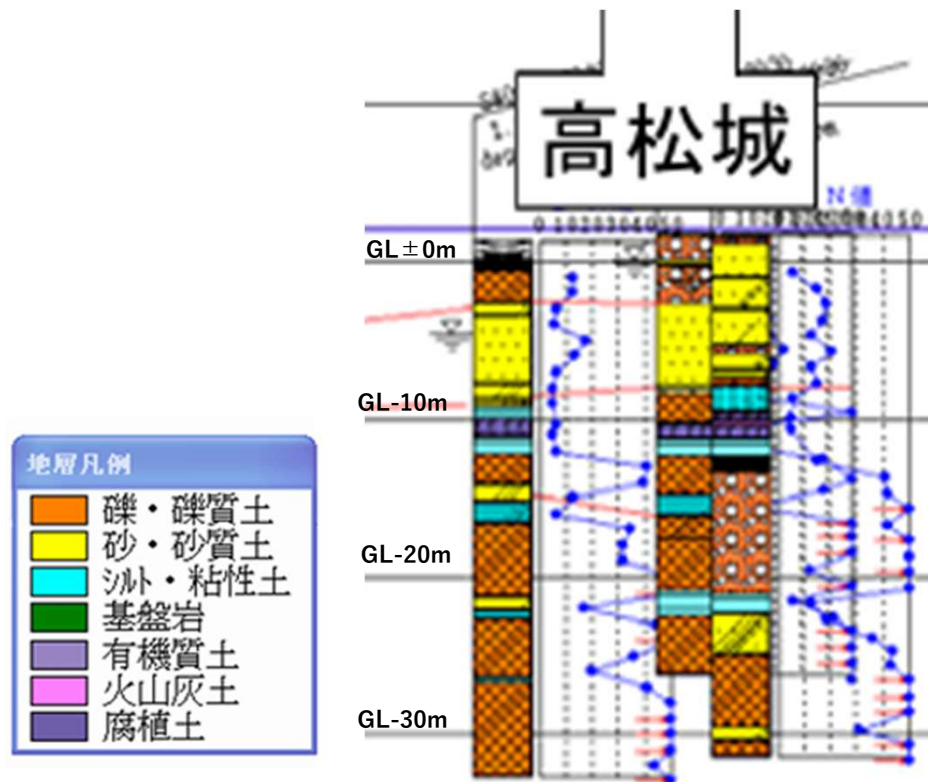
三十三間堂 NHK TV ブラタモリ

洛中で鎌倉時代にまで遡る建物はこの2棟のみである。入母屋造、本瓦葺き、桁行35間、梁間5間とする。実長は桁行が118.2メートル、梁間が16.4メートルである。



高松城天守台周辺の地盤特性

○山中 稔，長谷川修一（香川大学工学部），石川照久（香川大学大学院），齋藤章彦（(株)四国総合研究所），大嶋和則（高松市教育委員会）



高松城は、天正16年（西暦1588年）に生駒親正により築造された、北方を海に面し南方を大手とした典型的な水際城である。この高松城の地は野原と呼ばれ、当時の香東川の河口部（三角州）の砂浜上に築城されている¹⁾。高松城の位置する三角州地盤は、一般的には液状化しやすいが、高さ13mの高松城天守台がこれまでの地震により崩壊したとの記録はない。

、被害の大きかった地震災害は、宝永地震、安政南海地震、昭和南海地震の計3回である。特に宝永4年に発生した宝永地震では、五剣山の一部が崩壊したとの伝承がある。

、なぜ高松城天守台が耐えてきたかを、地盤の液状化判定から検討した。今後は、石垣および内部盛土の構造的側面からも、地震時の天守台石垣の安定性を評価したいと考えている。

※ 砂質土、礫質土の中に、多層にわたって存在するシルト・粘性土が免震的役割を果たしているのではないか。



宇部市彫刻
「再会の門」
1983設置

橋本 省

橋本 省

作家名(ヨミ) : ハシモト アキラ
作家名(英語) : HASHIMOTO Akira
出身地 : 徳島県
生年月日(西暦) : 1931/00/00
没年月日(西暦) : 2020/11/30



2025(設置42年後)
再会の門の基礎



鳴門市彫刻
「海峡」
1985設置

0262 - 鳴門市文化会館
竣工 : 1982年
設計 : 増田友也 (京都大学増田研究室)
住所 : 徳島県鳴門市撫養町南浜字東浜24-7

<http://madoken.jp/collection/29381/#full>

彫刻の基礎に 免震の工夫?

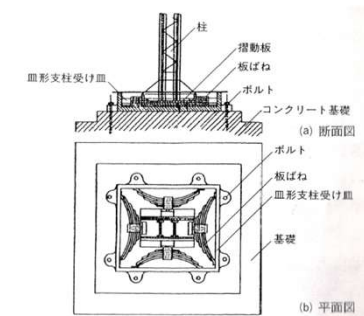


図 2-1-15 山下興家の「構造物の耐震装置」*6

山下興家
1924~1934

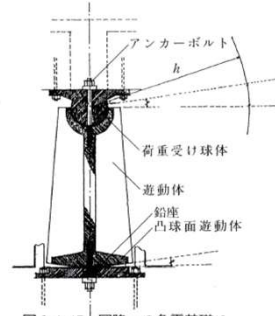


図 2-1-17 岡隆一の免震基礎*8

岡 隆一
1934
不動貯金銀行下関支店

「耐震・免震・制震のわかる本」清水建設免震研究会 著

文化財建造物は…動的平衡で生き残る

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との共存も必要ではないか。



錦帯橋（築351年）
1674-1950-2001-2005



浙江省杭州市西湖 世界遺産

石組橋脚の基礎をコンクリートにすることや、高さを1m高くすること、拱肋の始点を支える隔石（へだていし）を沓鉄（くつてつ）に改めるなど、一部の改良を加えました。また、木部の延命を図るため防腐剤も使用することとしました。

（岩国市HP抜粋）

木材、金物、石材、コンクリート



東大寺大仏殿の鉄骨トラス
明治36年(1903-1914)

英国シェルソン・スチール社製

世界最大級の木造建築の修復に鋼材やセメントといった当時の先端材料が使われていることから、伝統文化を守るために、新しいものを受け入れてきた先人の苦勞と知恵が感じられます

（奈良県HP）



山口県警察体育館（武徳殿）
1930（築95年）

屋根はセメント板、洋小屋・水平ブレース、RC基礎・地下室

現存する重要文化財建造物に共通する構造要素は…**庇の出の大きい屋根、雨仕舞の良い基礎、そして裳階**

世界最古の木造建築物

法隆寺



金堂（左）と五重塔（右）

華嚴宗
大本山
東大寺

東大寺大仏殿

日本語



閑谷学校

閑谷学校



閑谷学校講堂

武徳殿



石橋財団櫛原記念館



旧磯乃屋



省エネ(パッシブ設計)…建物の衣替え (動的平衡) でとらえる →耐久性に繋がる

Fig-1-1 パッシブヒーティングのための設計技法

基本的には

- ・ 取得できる熱の最大化——日射からの効率的な集熱
 - 発生熱の回収, 再利用
- ・ 熱損失の最小化
 - 輻射による熱損失の最小化
 - 伝導による熱損失の最小化
 - 対流による熱損失の最小化 (気密化)
 - 換気による熱損失の最小化
- ・ 適切な蓄熱
 - 蓄熱用部材
 - 蓄熱槽

の三つの組合せである。構成の手順が設計であるといえる。組合せ方は無限に考えられるが、組合せの要案(単一の目的のための技法——個別的な技法)を整理し、デザイン・ボキャブラリーとして提示することができよう。個別的な技法は、互いに矛盾する場合があるが、どのように組み合わせるかは設計者の判断による。

Fig-1-2 パッシブクーリングのための設計技法

基本的には

- ・ 室内に侵入する熱の最小化——直達日射の遮蔽 (天空光, 反射光による採光)
 - 照返しの防止
 - 屋根, 壁の遮熱 (断熱)
- ・ 放熱の促進
 - 冷気の導入
 - 冷輻射の利用
 - 室内熱の速やかな排出 (排気, 換気)
 - 通風による体感効果の促進
 - 夜間輻射による冷却効果の促進
 - 蒸発潜熱による冷却効果の促進
 - 大地への熱吸収
- ・ 適切な蓄冷
 - 蓄冷用部材
 - 蓄冷槽

の三つの組合せである。

クーリングの個々の技法には、相互に矛盾するものが少ないが、パッシブヒーティングの技法との組合せには矛盾する場合が多い。双方に可変的に対応できる方法の開発とともに建物自体の衣替えのシステムのような発想もあろう。



つくばの家

建築家・小玉祐一郎



わが国のパッシブソーラー
ハウスの第一人者

実家は秋田県最大の
醤油・酒造業を営む

2019.5.31 筑波
小玉邸(パッシブソーラーハウス)

文化財建造物のHM(構造)のまとめ



小玉祐一郎…エネルギー効率の高い技術の追求の結果が、外部との応答を欠いた無味乾燥な居住空間をもたらしている。

松村秀一…「和室礼賛」寺社仏閣や茶室、あるいは昭和の日本映画といったビジュアルをてがかりに、和室での「ふるまい」に着目し、日本ならではの空間の特質を明らかにして、和室の文化的豊かさを世界遺産的価値として広く認知されたい。

伊東豊雄…日本は高温多湿で雨の多い風土です。無理やりハイスペックのサッシを使ったり、空調機に頼らなくても、建物のディテールを工夫し、自然エネルギーを上手に活用することによって、日本らしい合理的で快適な建築の姿が見えてくるはずです。

- ① 立体的バランスの良さ（構造と省エネの動的平衡）
- ② 裳階(もこし)・下屋・縁側（内と外の間領域）
- ③ 維持管理（建物と外構のメンテナンス）

HMを目指す皆さんとともに学びながら、山口県の気候・風土に適した建造物を創造・保全しましょう！！