

平成十九年度教化学研究集会

社寺建築は大地震に耐えられるか？

宮澤健二

はじめに (主旨説明・自己紹介)

紹介いただきました、宮澤です。一時間弱ですけれどもお話をさせていただきます。レジユメがお手許にあると思いますが、これからの講演の主なところだけをコピーしたものですので、パワーポイントを見ながら、理解していただければと思っております。そういうことでレジユメは後に見ていただくとして、今日は、映像を見ていただきます。

私は大学で教員をしています。建築の構造安全性、特に木造の耐震性が専門で、色々な所で木造住宅の耐震性能の講演会をやっております。各地の講演会で、「日本全国どこでも地震があるので気をつけて下さい」と言っております。今は東京に住んでいますが、私は新潟県の十日町市で生まれ育ちましたので、新潟県中越地震ではまさに自分の身近な所で被害を受けました。それから、家内の実家も十日町でお寺です。中越地震でも、中越沖地震でも、大破には至らなかったけれども被害を受け、他人事ではないかと改めて感じました。

今日は、寺院建築物の耐震性などの話をさせていただきます。阪神淡路大震災のときもそうでしたが、やはり寺院というものはその地区の安全な中心施設でなければいけない、と感じました。自分の家が壊れ、お寺も壊れ、特に

墓石がそうですけど、殆どは倒れます。そうなってしまつては本当に困ります。自分が安全で、頼れるべき寺院がちゃんとしているというのが一番じゃないかと思えます。建物には重要度というものがありまして、学校、警察とか病院といった建築物です。寺院もその一つで、寺院の安全性は非常に大切だと思います。それから、今日は大半が木造の寺院に限定した話になってしまつと思えますが、実際には最近では鉄筋コンクリートや鉄骨の寺院も多いと思います。私は大学で、地震防災・環境研究センター長も務めておりまして、研究センターには、RCの先生や鉄骨の先生もいます。そのまとめ役の立場でございますので、今日はそこまでは触れられないかも分かりませんが、寺院の中には木造だけではなくて、RCや鉄骨造もございます。それからそれらの耐震性能を評価するところも、私共のところにもあります。いろんなことをお話すると話が散漫になりますので、今日は木造の話を主体に、お話をさせていただきます。

内容概説

レジュメに要点が記載されていますので、先にそちらを少し見ていただきます。一頁目の右上に本日の内容が記載されています。寺院建築物の仕組みから、地震災害、耐震診断や耐震補強、それから補強の事例などをお話したいと思います。

過去の地震災害の話を少し、それから二頁目の上のほうは、地震とはどんなものか。あとで申し上げますけど、地震には大きいものや小さいものがあります。ここでは耐震設計の考え方を少し説明をさせていただきたいと思えます。それから、二頁目の真ん中から下のほうは、寺院は特殊な形をしていますので、耐震設計や耐震診断でもその特殊性を理解しないとできないということがあります。二頁の中段から三頁目にはそのようなことが書いてあります。それから三頁の中段から五頁にかけて、過去のいろんな地震災害、或いはその災害復旧の話をさせていただきたいと思

図表 1 我が国の地震災害と耐震設計の歴史

1876年	ジョン・ミルン(英)工部大学校着任・地震を体験し地震の研究開始
1877年	工部大学校に造家学科設置（現東大建築学科）
1891年	濃尾地震（M8.0、死者7,273人）
1919年	市街地建築物法（我が国初の建築法規）
1923年	関東大震災（M7.9、死者142,807人、最大振幅14～20cm）
1924年	市街地建築物法改定（筋かい義務、水平震度0.1）
1948年	福井地震（M7.1、死者3,769人）
1950年	建築基準法（壁量規定、水平震度0.2）、文化財保護法
1964年	新潟地震（M7.5）、液状化
1968年	十勝沖地震（M7.9）、RC短柱
1978年	大規模地震対策特別措置法、宮城県沖地震（7.4）
1979年	木造住宅の耐震精密診断
1981年	新耐震（大地震に対する設計義務付け）
1995年	兵庫県南部地震（M7.2、死者6,279人、木造寺院も被害大）
1996年	文化庁「文化財建造物等の地震時における安全性確保に関する指針」
2000年	基準法改定、住宅の品質確保の促進等に関する法律
2001年	文化庁「重要文化財建造物耐震診断指針」
2004年	新しい耐震診断（25年ぶり、日本建築防災協会）、新潟県中越地震（地盤災害、木造寺院被害も）
2007年	能登半島沖地震、新潟県中越沖地震（木造寺院被害も）

ます。特に五頁は、神戸の地震災害時の寺院建築物の被害の例で、地震に遭うとこんな形で被害を受けるということ、全壊、半壊と書いてありますが、これは地域によって違いますけども、そのようなことを示す資料があります。住宅の耐震診断についてはよく知られていますけど、人間でいえば健康診断に相当する耐震診断の話も致します。診断で

耐震性が低いときは、耐震補強します。もし弱かったらどうやって補強するのかという話が次に書いてあります。その後にお見えの妙勝寺さんの診断をやっていますので、説明資料に使わせていただきました。具体的にやるとしたら、どう補強したらいいのかをお話をさせていただきます。

レジュメはその都度、見ていただければよろしいと思います。大半は画面を見ていただきたいと思います。

日本は地震大国

図表1は、日本の地震災害と耐震設計の歴史を示しています。細かいことは省略致しますが、日本は世界の中で最も地震が多く、耐震設計が優れている国といわれていますが、過去の地震災害によって耐震設計が進んできたことがこれから分かります。この中で一つだけ注意しておきたいのは、現在使っている建築基準法というのは一九五〇年にできたもので

す。その後、一九八一年に大地震に対する倒壊防止が義務付けられた法律の改定がなされました。一九八一年以降の建物は、大地震に対しても倒壊しないという概念で作られています。ところが、残念ながら神戸の地震災害では大きな被害を受けてしまったので、現在、新築に対しては法律の改正・整備がされています。

そして、地震災害で一番困るのは新しい建物ではなく、大半は古い建物です。そういう観点から、最近テレビなどでよく見るかと思いますが、古い建物の倒壊実験があります。現在、性能規定化の方向で新しい耐震設計の体制が進んでいます。その考え方を既存の建物にも適用することがなされつつあります。

しかし、寺院建築物は法律的にはどうなっているのか、という疑問があります。日本の建物の大半は構造形態が大体決まっています。例えば事務所建築や住宅建築です。こういうものに対しての耐震設計や仕組みはよくできていますが、残念なことに寺院建築物は形が非常に複雑であるので、あまり設計法や法的整備が進んでいないのが実態です。特に耐震診断はそうして、ケースバイケースでいろんな形で判断する必要があります。木造住宅は診断方法ができあがっていますが、寺院建築物についてはまだしっかりした耐震診断、耐震補強が確立されていないので、私共も研究に取り組んでいます。個別にいろんな研究者が実験をやったり、解析をやったり、今現在進んでいるところです。誰でも簡単に耐震診断ができるというものではないことをご理解いただきたいと思います。

地震の歴史とメカニズム

図表2は過去の地震災害ですが、一六〇〇年以降の大きな地震が年代順に示されています。一六〇五年は慶長地震です。これ以降の主な地震災害が記載されています。マグニチュードは地震の大きさを表す指標の一つです。またここに書くのが適切かどうか分かりませんが、地震の被害を死者数で表現させていただきました。日本では大地震が百年から二百年サイクルで起こっていることが分かると思います。これを地域的に見ると、もう少し明確になってき

は起こっていませんが、大空襲で東京の町全体を変えられるような出来事もありました。

これから先はどうなるかという、私の専門とは違いますが、地震学者によるとマグニチュード七（マグニチュードの最大は八・五程度）くらいの首都圏直下型地震は、これから五百年以内に数回起こるであろうとされています。それから、現に一九八〇年以降、首都圏直下でもう少し小さなマグニチュードの地震が発生しています。マグニチュード六クラスの地震が既に七回起こっています。少なくともこれから百年くらいの間にかなり大きな地震が来るであろうと言われています。

幸いにして関東大震災が次に起こるのはもう少し先ではないかと言われていますが、一番恐いのは首都圏直下、こ

図表2 我が国の1600年以降の大地震と人身災害

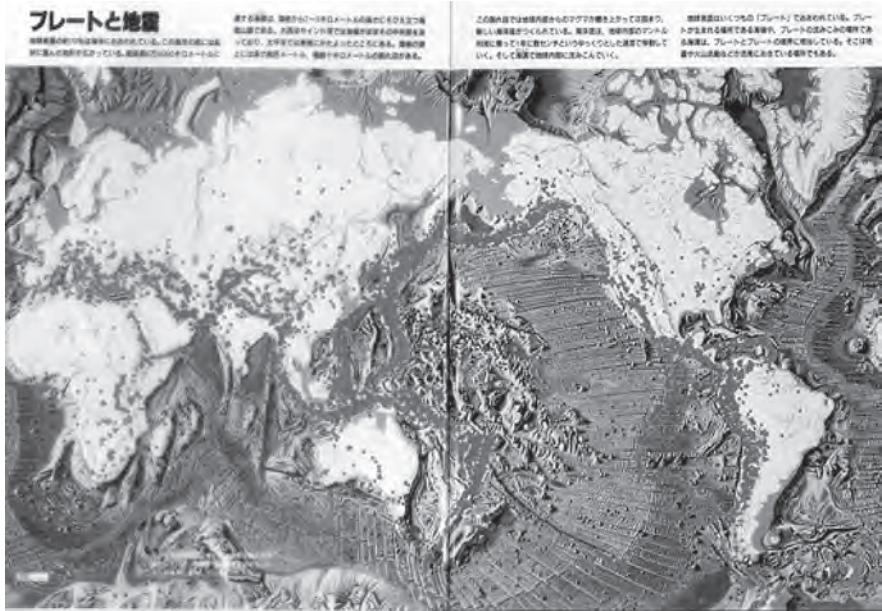
1605年	慶長地震	M7.9	死者	≥2,357人
1703年	元禄関東地震	M8.1	死者	数千人
1707年	宝永地震	M8.4	死者	20,000人
1771年	八重山地震	M7.4	死者	12,000人
1792年	島原地震	M6.4	死者	15,000人
1828年	新潟三条地震	M6.9	死者	1,443人
1847年	信濃大善光寺地震	M7.4	死者	5,767人
1854年	安政東海地震	M8.4	死者	2～3千人
1854年	安政南海地震	M8.4	死者	数千人
1855年	安政江戸地震	M6.9	死者	4千人
1891年	濃尾地震	M8.0	死者	7,273人
1896年	明治三陸地震	M8.5	死者	21,959人
1923年	関東地震	M7.9	死者	142,807人
1930年	北伊豆地震			
1933年	三陸地震	M8.1	死者	3,008人
1944年	東南海地震	M7.9	死者	1,223人
1945年	三河地震	M7.1	死者	23,063人
1945年	3月10日（東京大空襲）		死者	100,000人
1946年	南海地震	M8.0	死者	1,330人
1948年	福井地震	M7.1	死者	3,769人
1952年	十勝沖地震	M8.2	死者	28人
1968年	十勝沖地震	M7.9	死者	52人
1993年	釧路沖地震	M7.8	死者	1人
1993年	北海道南西沖地震	M7.8	死者	230人
1994年	北海道東方沖地震	M8.1	死者	40人
1995年	兵庫県南部地震	M7.2	死者	6,279人
2000年	鳥取県西部地震	M7.3	死者	
2004年	新潟県中越沖地震	M6.8	死者	65人 (関連死含む)
2007年	能登半島沖地震	M6.9	死者	1人
2007年	新潟県中越沖地震	M6.8	死者	14人

首都直下地震 今後100年以内M7クラス数回発生の可能性大
1980年以降首都直下地震はM6クラス既に7回発生

ます。東海地震が一番注目されています。東海地震が起きていますが、東海地方は百五十年くらいのサイクルで大地震が起こっているということが分かります。

東京は一八五五年に安政江戸地震が発生し、四千人くらい亡くなっています。それから関東大震災は一九二三年で、これくらいの周期で起こっています。その後は幸いそれほど大地震というのは東京に

図表3 世界のプレートと地震 (引用文献: Newton)



れはかなり高い確率で起こりうることを念頭に入れてください。

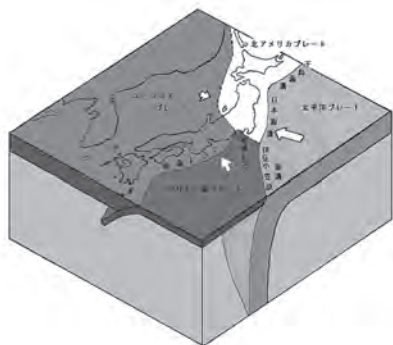
それから、日本に地震が多い原因は地球の構造にあります。地球全体は一体の固いものではなくて、表面の薄い堅い皮、この皮が卵の殻のような形になっています。わずか、幾つかに割れていて、その殻が動いています。これをプレートテクトニクスと言っています。

図表3は過去の大地震の印ですが、日本は印で見えないくらいになっていて、大きなプレートの境目にあるのが日本です。日本の周辺には、太平洋プレート、フィリピン海プレート、それから北米プレートとユーラシアプレート、こういうプレートの上に日本は乗っているのです(図表4)。

この太平洋プレートやフィリピン海プレートが年に約四〜八センチというスピードで、日本列島の下に潜り込んでいます。この境目の所で特に大きな地震が起こっています。プレートの中で起こる地震もあります。これが日本の状況です。

図表5がプレートです。矢印の方向に年数センチと

図表5 日本付近のプレートとその運動



図表4 主な地震と活断層



いつてもたいした大きさではないわけですけど、これが百年、二百年、千年となると、四メートル、四十メートルになりますから、そういう所で大地震が起こる。理屈を理解すると非常に分かりやすく、毎年大地震が起こるはずはないことも分かります。

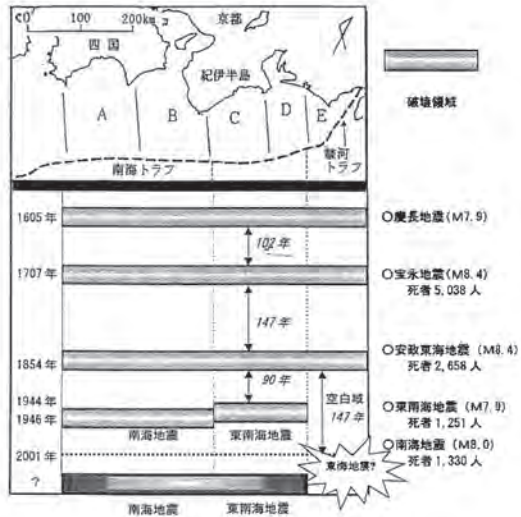
東海地震と関東の地震

東海地方では過去に周期的に大地震が起こっていて、慶長の地震、宝永の地震、安政東海地震、またその翌日には安政南海地震、そして東南海地震、二年後には南海地震と、百年から百五十年くらいの間で非常に周期的に起こっています（図表6）。そして最後の東南海と南海地震のとき、すなわち一九四四年から一九四六年に東海地方だけ、幸か不幸か分かりませんが地盤変動がなかったのです。この時起こっているはずの地震が起こっていないので、東海地震が起こるであろうという、一つの根拠でもあるわけです。幸い東海地震は未だ発生していないわけですが、これが数年後もし起こるとしたら、四国の突端から伊豆半島まで、本当に巨大な地震が起こるかもしれないと言われていて、今、高密度の監視が行われているところがあります。

図表7は首都圏の地震を歴史で見たものです。元禄の関東地震、それから一九二三年の関東地震。これが一番大きいものですが、静穏期（地震の少ない時期）を経て多くなり、そして急に大きな地震が起こっています。

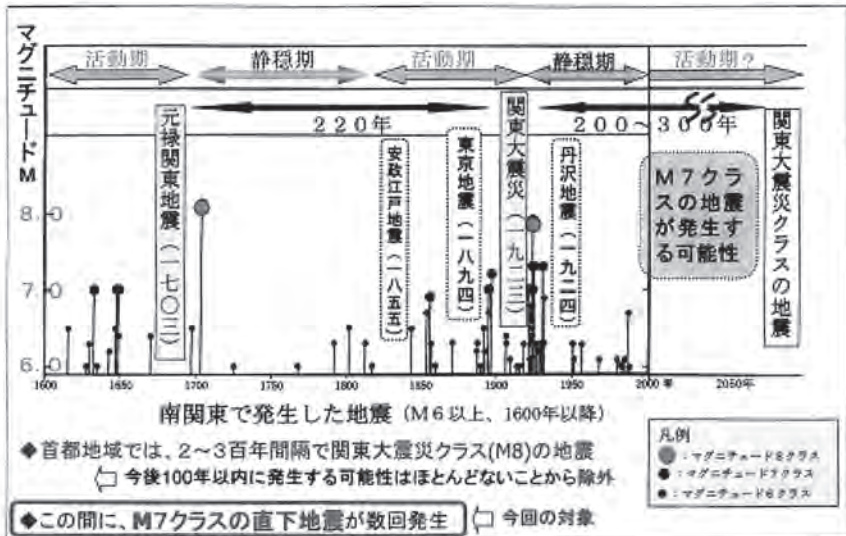
図表6 東海地震の歴史

東海地震と東南海・南海地震



関東大震災については、二百二十年から三百年くらいの周期ではないかと言われていますが、小さい地震は頻りに起こりますが、一般的に次の関東大地震が起こるのはいぶ先だと言われていますが、関東地震とは位置が少し違う首都圏直下の地震が起こる確率は高いと言われています。東京湾北部の地震が起こるとこのような形で被害を受けると言われています(図表8)。

図表7 首都直下地震の切迫性

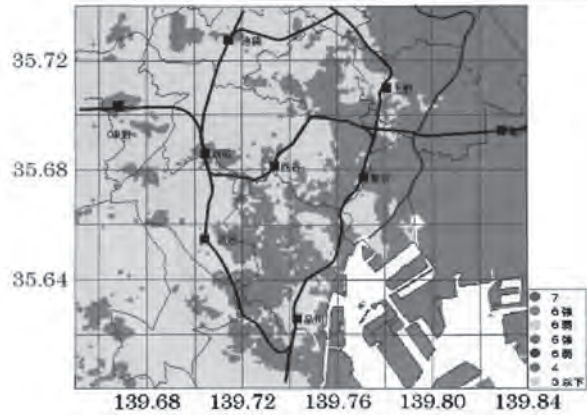


最近では大きな地震が頻繁に発生しています。震度について説明します。表には震度の横に〇〇ガルと書いてあります。物を落とす時に地球が引っぱる力が九八〇ガルです。関東大震災はだいたいの半分ぐらいか少し小さい、すなわち四五〇ガルくらいと言

を受けていました。に行きましたが、住宅被害はともかく、寺院建築もかなりの被害

図表 8

東京湾北部プレート境界の地震(M7.3)地表震度分布(都心部詳細)
(黒太線：JR主要路線、青線：隅田川、黒細線：区境界)



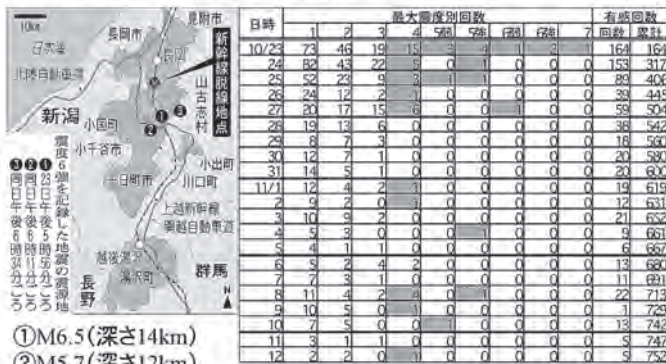
特殊なものであり万二千回地震が起こっているという特殊なものであり万二千回地震が起こっているという特殊なものであり万二千回地震が起こっているという特殊なものであり

最近の大地震

図表 9 は新潟県中越地震です。中越地震は、非常に大きな地震が立て続けに起こったという特徴があります。地震学者は、以前からあの

図表 9 新潟県中越地震

震源地と主な余震



- ① M6.5(深さ14km)
- ② M5.7(深さ12km)
- ③ M6.1(深さ12km)

余震回数(回)

震源位置情報: <http://news.kyodo.co.jp/kyodonews/2004/niigataquake/>
余震回数情報: <http://www.cao.go.jp/>

図表10

地震名	日時(JST)	観測点名	最大加速度 [g ₀]				最大速度 [cm/s]				備考	
			北南	東西	上下	S成分	北南	東西	上下	S成分		
新潟県中地震 2004年 10/23 17:56		K-NET小千谷 (NKG019)	1144	1208	880	1500	97.5	128.7	89	136	震度相当値7	①
		気象庁小千谷	779	847	730	1007	65.6	84.1	28.1	95.3	震度6強	①
		気象庁川口				294					震度6 2.5 Gal 相当値 震度相当値6	
		K-NET十日町 (MKG021)	1716	849	534	1750	53.1	50	13.7	65.5	震度相当値6 特 加減度大	②
鳥取県西部 地震 2000年 10/06 13:30		KIK-net日野 (TTRH02)	923.9	755.9	775.9	1142	127.1	93.0	56.7	147.2	震度相当値7	③
宮城県沖 地震 2003年 05/26,18:24		KIK-net住吉 (IWT04)	729.6	723.1	1280	1304.5	31.4	31.8	17	36.6	高周波(短周期) 卓越	④
		KIK-net陸前高田 (IWT027)	887.9	555.8	636.8	1098	17.2	12	9.47	18.2	高周波(短周期) 卓越	⑤
十勝沖 地震 2003/09/26, 04:50		K-NET吉小牧 (HKD129)	86.7	72.9	33	89.3	31.4	38.9	16	40	長周期(低周波) 卓越	⑥
		K-NET広尾 (HKD100)	809.5	969.8	461.2	985.8	43.5	46.7	24.3	52.4		⑦
兵庫県南部 地震 1995年 01/17,05:48		神戸海洋気象台 (JMA)	617.3	818	332.2	891	80.3	96.5	42.9	112.1		⑧
		舞合(大阪ガス)	688	800.7	NA	835.8	59.8	126.9	NA	134.6	上下動なし。 2成分合成	⑨

図表11

	震度階	状況(人、家具、木造住宅) 地表加速度 (Gal)
中地震 損傷防止 重量の 2割	0	揺れを感じない
	1	揺れわずかに感じる
	2	寝ている人感じることも 電灯揺れる
	3	少し恐怖を感じる 食器音を立てる
	4	かなりの恐怖感じる 置物倒れるものも
	5弱	身の安全守る 家具移動 耐震性低い家壁や柱損傷 80~100gal
大地震 倒壊防止 重量の 100%	5強	非常な危険感じる 棚落ち、家具転倒 壁柱損傷
	6弱	立つこと困難 多くの家具移動転倒 倒壊する場合も
	6強	立てない 殆どの家具移動転倒、戸外れる 倒壊多い 400~450以上
	7	行動出来ず 家具が飛ぶ 耐震性高いものでも倒壊するものがある

われています。ところが、神戸の地震はいくつだったかというところ、八ガルです。関東大震災の倍くらいです。

新潟県中越地震では、小千谷で一五〇〇ガル、これは眉唾だとも言われていますが川口では二五〇〇ガル、十日町では一七〇〇ガルという数値が観測されています。また近年東北地方で起こった地震でも、一〇〇〇ガルという大きな地震が観測されています。このように、最近は大きな地震がよく起こっています(図表10・11)。

地震と耐震設計基準

さて、耐震設計はどのようになっていくのかですが、地震は比較的頻繁に起こる地震と、滅多に來ない大地震があります。耐震設計では二つに分けて考えます。よく起こる地震、よくいつても二十年から三十年で起こる地震で、これを中地震と呼んでいます。それから、百年から数百年に一回くらい発生するような大きな地震を大地震と呼んでいます。神戸の地震、東海、関東大震災などは、紛れもなく大地震です。

耐震設計では、時々來るような地震に対しては建物の重さの二割、妙照寺さん建物の重さは五十トンから六十トンくらい、その二割くらいの力が横から作用する力になりますから、それに対して安全である、すなわち損傷を防止する設計を行います。

それから滅多に來ない大地震はさきほど申し上げました関東大震災がイメージになっています。これくらいの地震動では、建物の重さと同じ大きさの力が瞬間的に水平に作用します。五十六トンのお寺であつたら、五十六トンの力が瞬間的に作用します。これに安全に抵抗するのはかなり難しいことです。一九八一年以降の耐震設計では、大地震時の損傷はしようがないと考え、倒壊を防止するようになっていきます。数百年に一回の大地震であれば、これは致し方ないということです。しかし、倒壊だけは防止することとしています。

伝統民家と寺院建築の特徴と耐震メカニズム

次は、寺院建築物の耐震の仕組みということですが、これは一般の建物とはかなり異なっています。住宅と寺院の違うところは見れば分かると思いますが、一般的な住宅は壁が多く、壁の中に筋かいや土壁があつたり、最近では合板があります。普通の住宅は、壁が如何に多いかで耐震性の良し悪しが分かれます。

図表12 貫構造による木造ラーメン (鶴川・武相荘)



図表13



ところがそうじゃない木造住宅もあります。図表12は町田市の鶴川にある昔の農家ですが、南側は殆ど開口になってしまっていて壁が非常に少ない。よく見てみるとこの柱が太い柱で、室内側の梁の端部は柱を貫通し、がっちり組んでいる。そういう形になっているものが、古い住宅ではよくあります。

寺院建築物も皆様ご自分のお寺の本堂を見ると分かるんですが、壁は比較的少なく、普通の住宅の抵抗形式とは違うことが理解できます。

図表13も住宅ですが、似ているものがありました。これは、鳥取県西部地震の時に見たものです。これもも住宅ですが、南面には全く壁がありません。ただし、この柱は結構太い柱で土台は地面より相当上にあります。土台にあたる大きな木部材は、端部を柱に入れ込み木栓で組んでいます。そういう形で出来ている古い住宅もあります。

す。こういう太い柱でできてる住宅も少しはありますが、現代住宅はそうではありません。

さてここで、寺院建築物はどんな特徴があるかを見ていただきます。まずは、

①大半の寺院建築物は屋根が非常に大きい。図表14の例では軒先がちょっと小さいですが、一般には大きくなっています、屋根が非常に大きくて重い。だからこそ、お寺は見ていて風格がある言えますが、重いということです。地震の時に非常に不利であると言えます。

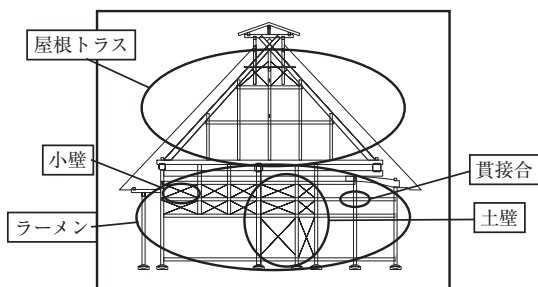
②それから、壁が非常に少ない。たまに土壁がありますが、殆どは壁がありません。壁がないということは、地震に対して弱いのですが、その代わりとして太い柱が使われていることが多いのです。柱が太いだけでは意味がありません。柱が太いだけでいいから、開口部の上部にある壁が非常に大事な部分です。柱が倒れようとするのを小壁が抑えてくれるのです。だから、本堂の柱がある程度太く、その上の小壁がしっかりしているかが非常に大事です。

③それから、床下が非常に高いこと。これも地震に対しては不利です。

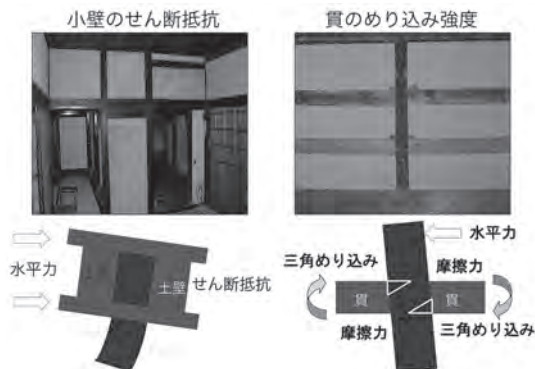
小壁はどうして水平力に抵抗するかということが図表15に書いてあります。柱が倒れようすると、小壁の中や下

図表14 寺院建築の構造形式

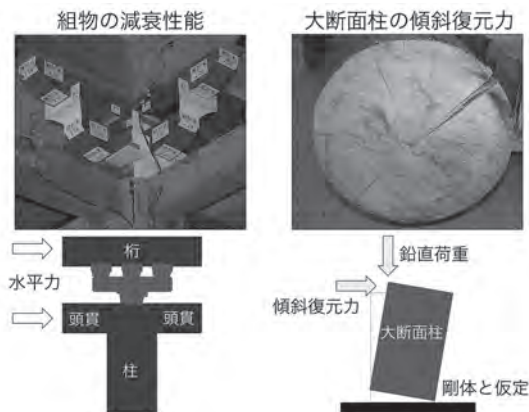
構造形式：トラス、ラーメン、壁、小壁、貫



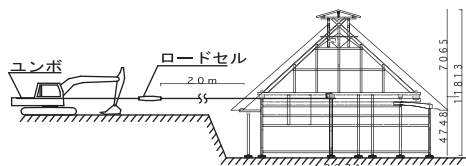
図表15 耐震要素：小壁・貫+柱・土壁によるラーメン架構



図表16 耐震要素：組物の減衰性能、柱の傾斜復元力



図表17 東北民家の実大引っ張り実験



平成13年10月12日

- ・実在する民家の水平加力実験
 伝統構法の構造的性能を把握
 伝統構法の構造要素を見出す
- ・民家の構造要素を含む立体弾塑性解析
 解析値と実験値との比較
 構造要素の妥当性を確認

私共はいろんな実験をやっていますが、寺院そのものを倒壊させる実験をやることはできないので、民家や住宅を引っ張って倒壊させる実験研究をしています。東北地方の要らなくなつた民家を借りて倒壊実験を行いました(図表17・18)。裏山から漁船のロープで引っ張るんです。この民家は寺院建築物と形が似ていて、殆ど壁がなく開口部が多く、小壁が非常に背が高

端にある貫や小壁の土壁、これが柱の倒れを防止する役割をします。先ほど私の家内の実家の本堂が、中越地震、或いは中越沖地震で少し被害を受けたと言いましたが、この辺りの壁土が落ちました。土が適度の強度を持っていたので、土が少し落ちただけで、大破には至らなかったと言えます。土は落ちても塗ればいいわけですから。大地震なら致し方ないとも思いますが、しかし倒壊は防止しなければならぬ。④それから、太い柱になると、倒れようとするところをここで支え、今度は逆に戻そうとする力が出てくる、とも言われています。図表16のような太さの柱は普通の寺院にはあまり無いかもしれませんが、大きな木造建築物になると、柱自体が四十から五十センチくらいありまして、柱自体で転倒に抵抗するものもあります。

図表18

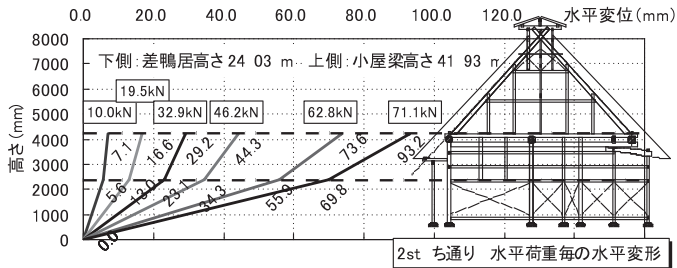


試験家屋



加力状況

図表19 実験結果～各階層間変形角



鴨居より上に存在する小壁と貫が影響し、鴨居高さで折れ曲がるようにして変形
柱に曲げ抵抗が生じる

柱と小壁・貫によるラーメン構造を形成

い民家です。これをぎゅーと引っ張ったとき、柱がどういう形で倒れていくかが分かります。下のほうは柱だけなのでどんどん傾いていきますが、倒れるのを防止しているのが小壁です。図表19を

見ると分かります。グラフがくの字に曲がっているのは、小壁によって太い柱が水平力に抵抗する形式を持っているということです。

⑤それからもう一つあります。寺院建築や民家では、天井裏や小屋裏が柔らかいのです。図表20は上から見た天井の変形図で、引つ張り力の増える順に連続的に描いたものです。寺院の本堂上部を見ると、天井は確かにきれいかも分かりませんが、残念ながら水平力を受けると、ぐにやぐにやに変形し、力に抵抗しません。だから、ここを少し強くしないとなかなかうまくいかないことが分かります。

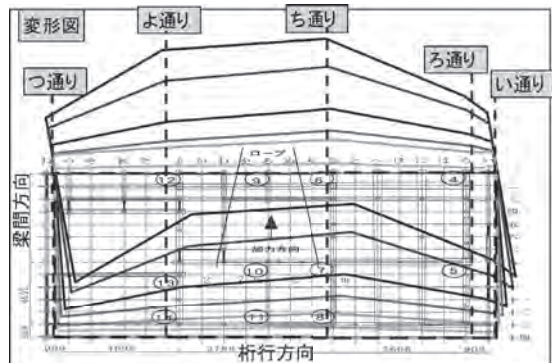
このようにいろいろな実験や解析をやっています。先ほど言いましたように、まだ確立した社会ではないので、それぞれの研究者がいろいろなことを提案しながら、解析や計算をやっています。

本学での土壁供試体加力実験の紹介

少し自慢させていただきますが、日本の大学では唯一だと思えますが、私共は八王子に実大住宅を倒壊まで加力できる大きな実験施設を持っています（図表21～23）。これはそんなに大きな供試体ではありませんが、土壁がどう壊れていくか、或いは柱を貫通した梁や横架材端にくさびを入れて止めて、そういうものがどれくらい抵抗するかという実験をやっています。図表23は二階建ての住宅の倒壊実験です。

それから、図表24は実在の住宅を引つ張って壊す実験です。こんな実験を私共の所では何回かやっています。やはり建物は壊してみないと、ほんとうの強さはなかなか分からない。いろいろな実験をやり、それを理論付けしていく、

図表20 実験結果～水平荷重一頂部変位



社寺建築は大地震に耐えられるか？（宮澤）

図表24 実在住宅静加力引き倒し実験



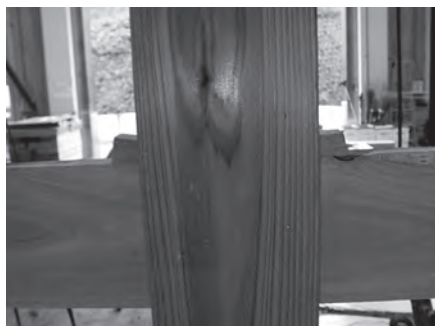
図表21 伝統貫土壁供試体静加力実験(1)



図表25 実在住宅移築復元振動破壊実験(1)



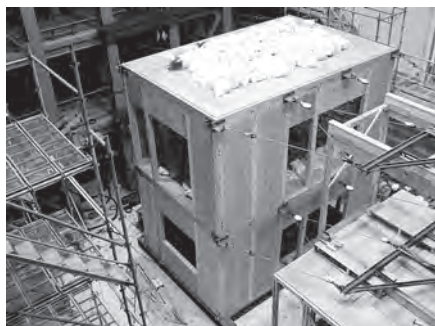
図表22 伝統貫土壁供試体静加力実験(2)



図表26 実在住宅移築復元振動破壊実験(2)



図表23 供試体静加力引き倒し実験



ということをやっています。

実大倒壊振動実験

図表25・26は、テレビ朝日に協力して行った振動台実験で、テレビで放映されたものです。大阪の実在住宅を四国の多度津にある振動台上に移設・復元して、地震波を振動台に入力し、左右・上下にゆすって倒壊するまで行った振動実験です。

神戸の寺院建築の地震災害と復旧状況 および工事事例の紹介

ここで、地震災害と復旧についてお話しします。神戸の地震はもう十四年経ってしまいましたけれども、神戸の地震災害調査に（始めは住宅が主体でしたけれど）復興調査も含め、私は二十数回行きました。9年後には寺院建築物の復旧調査に行きました。

寺院建築物の特徴は、先ほどご説明したように、屋根が非常に重い。特に重い屋根瓦が乗っている場合が多いということです。それから壁が少なく、出入り口など開口部が多い。これは神戸の事例です。兵庫区は寺院の倒壊がかなり多かったことがわかります（図表27）。

図表28は被害の事例です。やはり開口部が非常に多く、こんな形

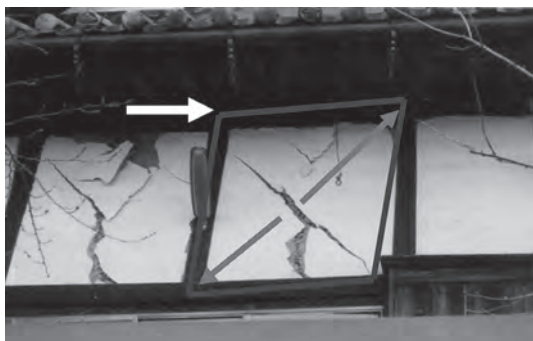
図表27 社寺建築の被害状況



図表28 本住吉神社拝殿の傾斜・神戸市東灘区
(軸組の変形)



図表29 金楽寺壁の損傷・神戸市長田区
(小壁のせん断破壊)



図表30 宝満寺壁の損傷・神戸市長田区
(小壁の土部の剥落)



で壊れている。図表29は倒れなかった例で、小壁が効いてくれたからこそ壊れませんでした。開口部が下にありまして、太い柱の上の小壁の部分がこのような被害を受けました。土壁の土が剥がれかけていますが、斜めの矢印の方向に引つ張られ、直交方向に圧縮を受けて菱形になっています。図表30は小壁が効いてくれたことを意味していると言えます。これは残念ながら表面が落ちていますが、下地材は残っています。竹のようなものを組んであります。これは貫材と言いますが、柱を貫通しています。そういう形で柱が倒れないように止める役割を担っています。できれば、柱が十八から二十センチ以上あると、ここに壁がなくても水平抵抗力が持てます。私共は震災調査もしましたが、二〇〇四年に三日間かけて、寺院建築物に集中した復興状況を調査しました。

ここには十一ヶ寺ありますが、実際調査したのはもう少し多かったかと思いますが、その中の主なものだけ表示しました(図表31)。残念ながら、倒壊した寺院が相当ありました。木造の寺院で倒壊して、また木造で復旧したという事例は一つもありません。それは考えれば分かるかと思うんですが、木造の寺院が倒壊してすぐに木造で新築できる筈がありません。というのは、急に大きな木材を調達できないのです。経済的な問題もありますが、神戸で倒壊した木造の寺院建築物を木造で新築復旧した例は、一つもありません。ただ、大きく傾いたものを直した例は、逆にたくさんあります。これは木造の良さでもあります。かなり傾いても、木造はちゃんと直せませす。

図表32もそういうものにして、本堂が右の建物に寄りかかったんですが、立ち上げてちゃんと直しました。見えにくいんですが、右手前の隅の柱が折れていまして、新しい柱に入れ替え、こういう所に壁を入れて復旧しました。傾いた程度では、ちゃんと

図表31 阪神・淡路大震災復興調査

調査日:2004. 9.18~9.20(3日間)

建物概要

No.	寺院名	宗派	住所	桁行方向 [m]	床面積 [m ²]	層間高さ [m]	屋根葺き材	建築年代 (年号)
				梁間方向 [m]				
1	誓願寺	浄土宗	中央区	11.24	150	5.040	棧瓦葺き	明治末期
				15.03				
2	福德寺	浄土宗	中央区	10.00	141	5.096	本瓦葺き	昭和53暮れ
				14.11				
3	浄福寺	浄土宗	中央区	19.81	311	5.352	本瓦葺き	大正1~2頃
				15.70				
4	徳照寺	浄土真宗	中央区	19.36	247	5.375	本瓦葺き	昭和31
				16.90				
5	宝地院	浄土宗	兵庫区	12.07	169	5.120	棧瓦葺き	昭和25
				13.99				
6	明泉寺	臨濟宗	長田区	13.34	206	4.798	棧瓦葺き	観応2
				15.46				
7	長福寺	浄土宗	兵庫区	13.76	184	4.844	棧瓦葺き	大正8
				13.35				
8	霊山寺	浄土宗	兵庫区	13.64	232	4.858	棧瓦葺き	昭和37
				16.98				
9	朝光寺	真言宗	加東郡	19.11	365	-	棧瓦葺き	文治5
				19.11				
10	長遠寺	日蓮宗	尼崎市	13.90	202	4.667	本瓦葺き	元和9
				14.50				
11	本興寺	法華宗	尼崎市	20.40	363	5.260	本瓦葺き	文政10
				17.80				

※阪神・淡路大震災で被害が大きかった兵庫県を対象にした復興調査:全11棟

図表32 耐震補強 (No.1：誓願寺)



直せるのです。

図表33の寺院も、傾いたものを直したものです。ここに窓のようなものがありますが、これは飾り窓でありまして、震災の前は、ここが完全な開口部でした。大きく傾いてしまったので建て起こし、強くするために壁を入れて復旧しました。

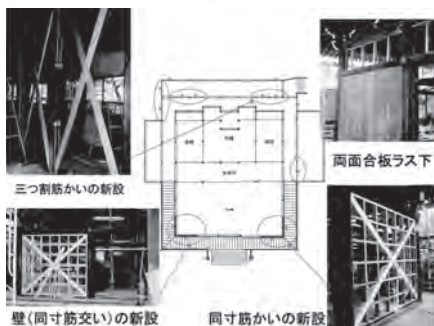
図表34・35も同じようなもので、かなりの被害を受けました。かなり傾きましたが、修理したものです。

図表36・37は非常に特殊な補強でした。よくやったなと思います。この地下室は始めからあったものではありません。傾いたものを立て直しながらジャッキアップして、その下にコンクリートで地下室を造り、その上に本堂を載せたのです。

図表33



図表35



図表34 耐震補強 (No.4：徳照寺)



地下室も十分使いやすくなっています。この白壁の所は新しく補強したもので、震災前、ここは開口部でした。また、後ろのほうは鉄筋コンクリートでご本尊様が収まっています。これは内部で、隅の所は震災前は開口部だったもの、壁を入れて補強しました。

ここでちょっと考えてみてください。開口部の補強は一番楽です。ところが、今までの寺院形態と変わってしまう可能性があります。この寺院の復興後は開口部が少なく壁だらけ

になり寺院らしくありませんが、冷暖房がよく効くと言っていて、そういう良さがあるかもしれません。昔の寺院とは変わってしまいましたので、私共は今、開口部を閉じない補強方法はないのかなと考えています。

昭和五年北伊豆地震での三島の地震災害復旧

【図表38は三島の寺院の震災調査（震災は昭和5年）です。三島の駅の近くに三島大社があり、その周辺にたくさん寺院があります。ここを調査して回ると、面白いことが分かりました。この中の一つを耐震診断する際の調査です。昭和五年に北伊豆地震がありました。北伊豆地震はマグネチ

図表36 耐震補強 (No.5 : 宝地院)



図表38 北伊豆地震と三島の寺院建築



図表37



図表39 断層のズレ



図表40



図表41



図表42



ユード七・三の地震でした。それなりに大きな地震だったのですが、地震の起こった後が今でも見れまして、**図表39**のように農家の裏庭にその痕跡があります。この小川は震災前は真っ直ぐでしたが、一メートル五十センチくらい横ずれしたあとが地表に出ているんです。この数キロ先にあるのが三島です。

図表40を見ると寺院の典型的な形をしていまして、どこにも壁がありません。ところが、小壁を見ると薄くハの字の線が見えました（**図表41**）。二本の線があります。これは鉄骨が入っているはずだと私は思いました。小屋裏に入ると案の定**図表42**ようになっていまして、H形鋼（昔はI形鋼）を小壁に入れていたわけです。これは北伊豆地震の被害を受けて傾いた本堂を立て直し、I形鋼を入れたのだと思います。昭和五年によくこんなことをやったなと思いますけれども、小壁を強くすることによって開口部はそのままにする補強方法をとったのです。他にもいろんな接合部補強を行っていました。

ところが寺院建築物ではもう一つ問題点があります。小屋裏が弱いことがあります。**図表43**は小屋裏の写真ですけ

図表43



図表44



図表45



図表46



ど、どう見ても接合部がすぐに外れそうな感じがします。

これ以外にも近くに北伊豆地震の後、補強したものがありません。図表44・45も昭和五年に補強したと思うのですが、小壁を強くしたものがたくさんあります。

図表46・47は中に鉄骨を入れています。よく見るとわかりますけれど、図表48の丸柱は鉄骨をかぶせるような形なんです。ここが木の丸柱ですが、アングルというL型の鉄骨を四本そえて補強しています。昭和五年に、よくやれたなと感心しました。他にもたくさんあります。

掛川の寺院建築の床下の腐朽

それから、寺院建築物は床下が非常に高い特徴があります。東京ではあまりないか

図表47



もしませんが、地方に行くとも傾斜地や山の裾野に寺院があります。池や川のほとりにあることが結構多いのです。

図表49はそういう例で、山の崖のすぐ下に寺院があり、床下が非常にじめじめするといっているので床下にもぐってみました。柱は基石（土台の石）に乗ってはいるんですが、崖から土が流れてきて石が見えない。そのため木が腐っているんです。ここに手を入れて人指し指でぎゅっと引っ張りました

ら、表面が一センチから二センチくらい、どろどろとかき取れる程腐朽していました。寺院建築物は床下が乾燥していることも非常に大事なことです。

新潟県中越沖地震

図表50・51は新潟県中越沖地震です。雪国ですから暖かくするように壁が多い構造ですが、土自体が十分な強度を保持しておらず簡単に落ちていきます。図表52も中越沖地震のものですけど、鐘撞堂がひっくり返っています。

寺院建築の耐震診断と耐震補強

次は耐震診断や復旧の話です。こちらは論理的なものになりますので細かい話はやめにし、概要だけにしたいと思います

図表48



図表49 床下の腐朽



います。耐震診断は人間の健康診断と同様で、建物の診断にどのようなものがあるかをお話します。重要文化財になりますと、重要文化財としての診断方法があります。

寺院では色々な診断法が考えられます。中地震に対して安全であれば大地震のときもまあ大丈夫であろう、そんな計算をするのが許容度計算という方法です。寺院建築物に対して耐震診断をやろうすると、寺院の形がどうであるとか、柱や梁の断面はどうであるとか、図面が無いことが多いので事前に詳細な調査が必要になります。計算も診断する人の知識レベルにかなり依存してしまいます。普通のビルなら計算方法が確立しているのですが、寺院建築物は特殊性があるので大変です。

それから、保有耐力計算というものがあり、これは大地震の時に倒壊の可能性を判断するものとして、終局強度とエネルギー吸収性能によって耐えられるかどうか計算により判定します。地震力に力で無理矢理抵抗するのではなく、少し損傷しながらでも接合部でエネルギーを吸収する間に地震が収まる、という考え方です。

図表50



図表51



図表52



他には時刻歴応答計算と言いますが、コンピュータを使つて実際に地震動によつて時々刻々変わる挙動を三次元的に見る、というやり方があります。コンピュータと計算するソフトや技術が必要です。

住宅についての診断法は確立していますが、寺院建築物についてはまだそういうものがありません。

立体振動解析ということ

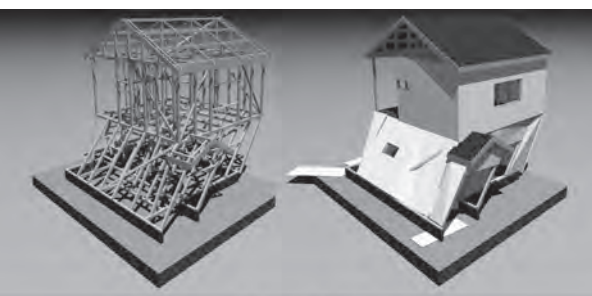
立体振動解析の事例をお見せします。図表53は私共がやっています三次元の解析です。これは住宅ですが、寺院等でもこういう形で時々刻々と変わる事象を解析することができます。図表54は私ではなく他の研究者の成果ですけれども、倒壊までを追つていくという研究もあります。

寺院建築の耐震のポイント

図表55は皆様のお手元にもありますが、寺院建築物が弱かったとき、どのように補強したらいいかを覚えておいていただければと思います。要点として六項目あります。

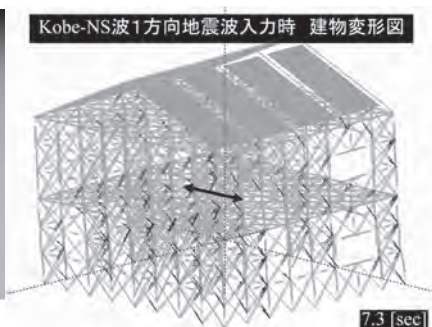
①一つ目は、屋根です。一般的に屋根は非常に重いので、できれば軽くしたいところですが、これも限界があります。重いのはそれだけ風格があり、大きくて重い屋根瓦を使っていることがありますので、できる場合とできない場合があります。

図表54



引用：日本システム・三宅

図表53



図表55 部位別の耐震補強

- | | |
|---|--------|
| 1. 基本的考え方：伝統的木造建築という面から、意匠的に出来る限り現状の形を維持する。 | |
| 2. 耐震補強方法：次のような方法がある。 | |
| ①屋根 | ②水平構面 |
| ③鉛直構面 | ④仕口接合部 |
| ⑤床下・基礎・地盤 | ⑥免震・制振 |

すが、屋根を軽くするのは耐震上有利です。

②それから、水平構面。今この会場でいえば、この上の天井です。ここを強くしなければいけない。水平構面が弱いと建物が一体になって地震に抵抗しなくなります。強いところがあっても地震力に対して全体を支えません。水平構面を強くすることもあります。

③鉛直構面とは壁面のことで、壁や小壁を強くしたり、

④柱と梁の接合部を補強したりします。

⑤或いは、床下や地面を強くすることもあります。

⑥免震や制震という方法もあります。これはあとで申し上げますが、特殊な材料を入れ、地震力に対して力で抵抗するのではなく、エネルギーを吸収するようにします。ゴム粘土はご存知でしょうが、そのような性質をもった材料を使います。

正確には粘弾性体といえます。また、オイルジャッキを使って、力を熱エネルギーに変換する方法もあります。地震力をエネルギーに置き換えるのです。いずれも特殊なもので、今住宅などでも使われはじめています。

補強の具体

屋根を強く、つまり軽くするのは寺院の風格の問題もあるのでやりたくないかもしれませんが、できれば変えていただきたい。

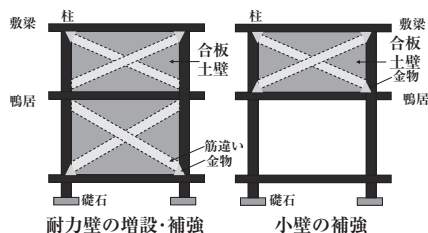
それから、図表56のこの面を地震力が来たときに堅く強くする。これは平面ですけど、大半の場合はこの天井がただ上から吊っているだけのものが殆どです。この会場もそうだと思いますが、見た目は綺麗に見えたとしても、地震

免震や制震も
色々ありまして
(図表60・61・62)、
先ほど申し上げ
ました特殊な材
料を使いますが、
床下に入れる場
合もありますし、
上のほうに入れ
る場合もありま

図表57

③ 鉛直構面の補強

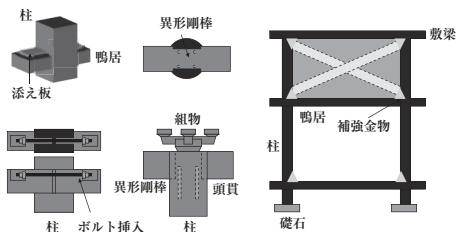
各軸組通りに、柱、耐力壁増設・補強、小壁の改修による、軸組の変形、傾きを防止する。



図表58

④ 仕口接合部の補強

各軸組通りに、柱、鴨居、貫接合部仕口に、添え板や金物を入れ、接合部の変形、抜け出す等を防止し、ラーメン架構性能を維持する。



図表59

⑤ 床下・基礎・地盤

- (1) 床下
通気、湿度防止、筋かい・RC壁
(水平耐力)
- (2) 基礎
RC基礎 (強度・剛性)
- (3) 地盤
地盤改良、杭基礎、布・べた基礎

の時にはぐにやぐにやと変形することがあります。そうなると、地震に対して周辺にある壁が効きませんので、この面に鉄骨を入れたりして補強します。壁を強くするために一番簡単なのは、開口部を閉じるのが一番ですけれど、これは使い勝手や見かけ上困ることがあるかと思えます。だとすれば、この上のほうを強くすることによってこの柱を使う方法もあります(図表57)。

図表58は接合部補強です。

床下や基礎の補強もあります(図表59)。床下の通気や乾燥が非常に大事なことです。場合によっては地盤が弱ければ地盤を改良することも必要になつてきます。

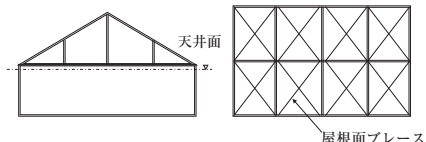
図表56

① 屋根

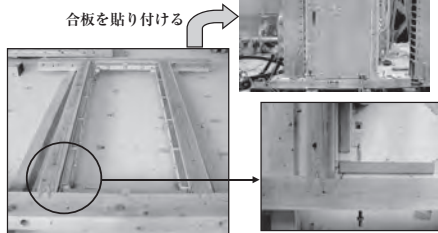
屋根瓦の落下防止
屋根の軽量化

② 水平構面の補強

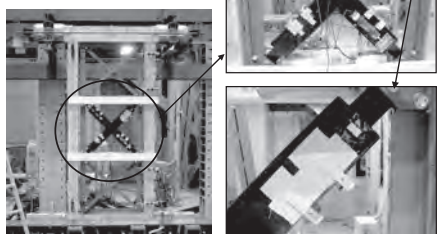
耐震要素を含む各軸組通りが、同一変形するように、小屋組敷梁面に水平ブレスなど設けて、十分な水平剛性・強度を確保する。



図表63
制振壁の開発
(粘弾性テープ)



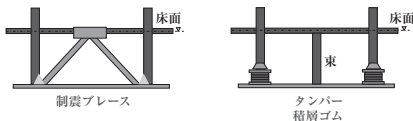
図表64
制振壁の開発
(粘弾性ブレース)



図表60

⑥ 免震・制振化

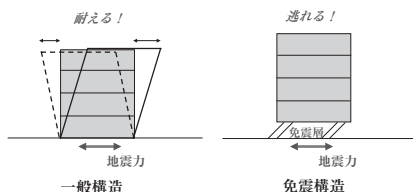
建物を床下部分からジャッキアップにより持ち上げすべり支承と積層ゴムの組み合わせを柱下に設置し、固有周期を伸ばし入力を軽減する。



図表61

免震構造とは？

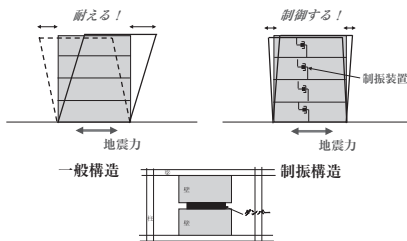
免震構造は建物の一部に免震層を設けて地震力から逃れる構造



図表62

制振構造とは？

地震動に対して制振機構により応答値を制御する構造



寺院の耐震補強例

図表65・66は私共がやりました耐震補強の一例です。大きな寺院でして、耐震補強をやってもう七、

つてあり、そして合板があります。図表64は私が特許申請しているものでありますが、鉄板と鉄板の間に粘弾性体が入っていますので、力を加えるとゆがみ斜材は伸縮し、一部が熱エネルギーに変換されます。そういうものが制震装置です。これを壁の中に入れます。

のが周辺に貼るものですよ。ここにゴム粘土のようなの共でやっているものです。図表63は私共でやっている方法です。力でなく、エネルギーで吸収する方法です。

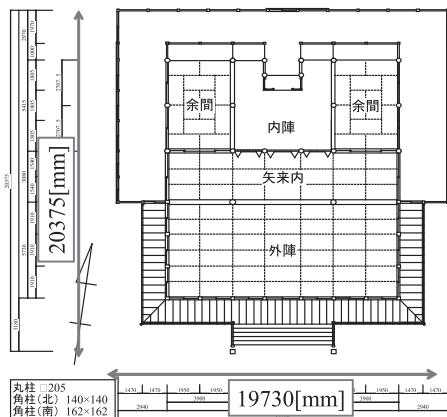
図表65 蓮生寺（藤枝市）
建物外部（補強前）



建物が強くても床下で壊れてしまうことがありますので、鉄筋を組んでコンクリートを打ちました（図表75）。
 図表76は天井裏、小屋裏です。小屋裏にはこのように、平面的にX形に鉄骨を入れて一体化を図りました。これが入っていないとどういことが起こるかという、地震が起こったとき平面がぐにやぐにやになってしまい耐力壁が

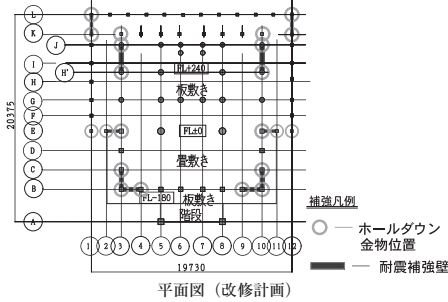
開口部を合板耐力壁にして閉じました。中が広いのでここを閉じても良かったので、開口部を壁にする補強方法をとりました。図表72・73・74が補強をしていところ、今外側は合板壁になっていますが、内側にも合板を貼って柱が引き抜けないように、金物を設けています。
 また、小壁も土が劣化していたので外し、合板を張りしました。それから、寺院建築ですと、人が立って歩けるくらいの基礎の高さがあります。そうしますと、上の

図表66 蓮生寺本堂平面図
平面図



八年になるでしょうか。立派な柱があります。しかし、周辺が全部開口部でした。屋根も重い屋根でした。そこでどんなことをやったかを紹介したいと思います。
 図表67・68・69は補強する前で、開口部が多い。図表70が補強後です。図表71は平面ですが、これが前面です。残念ながら、補強は開口部を閉じる形でやりました。耐力壁として

図表71 耐力壁の増設工事



図表72 耐力壁の増設・補強



図表73 小壁の補強

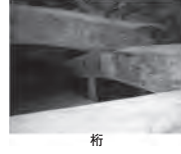


図表74
接合金物の設置

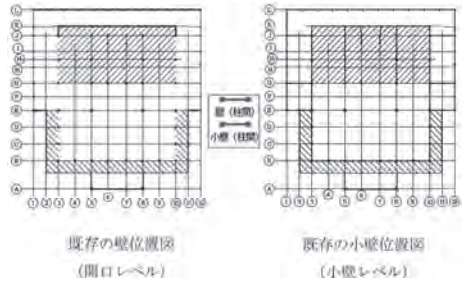
図表67
建物内部 (補強前)



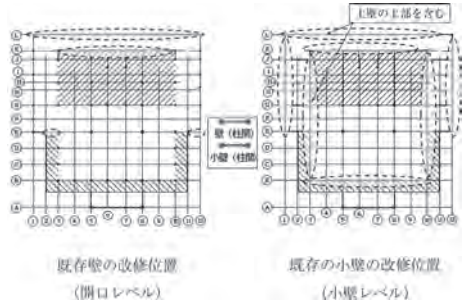
図表68
小屋裏 (補強前)



図表69 既存の壁配置 (補強前)



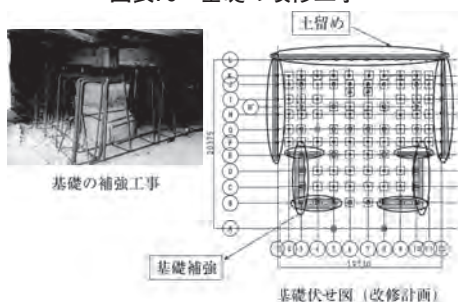
図表70 既存土壁 (小壁を含む)の改修工事



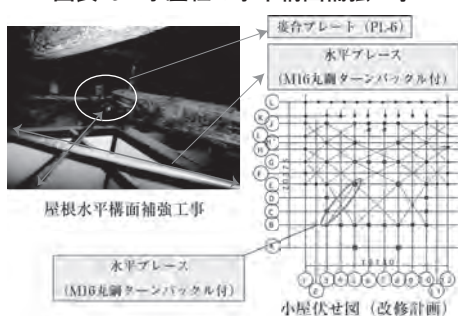
伝統民家と大規模伝統木造の耐震補強例

私共は今、小金井市にある「江戸東京たてもの園」という、古い建物を保存・修復し公開している公園の中の建物の耐震診断・補強の仕事に関係しています。これはその一例で、昭和十五年に皇居前広場で行われた紀元二六〇〇年記念式典のために建てられ、昭和十六年に小金井大緑地（今の小金井公園）に移築された木造建築物（図表77）です。今はビクターセンターとして使われています。私共が耐震診断・補強設計の鑑定・指導を行って、これから補強に入るところです。写真を見ても分かるようにほとんどが開口部になっています。ところが、この柱自体が直径五センチあります。この柱によって地震力に抵抗する形式になっています。建物外壁の上部を見ると分かります。ここから天井まで非常に懐が深いのです。床下もそうなっています。

図表75 基礎の改修工事

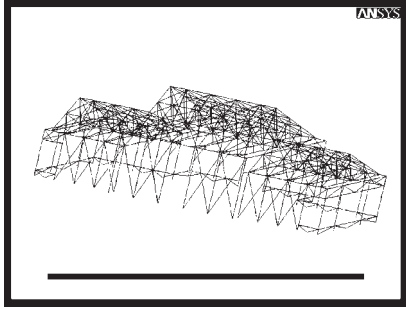


図表76 小屋組の水平構面補強工事



いくら強くても耐力壁が地震力に有効に効きませんので、天井裏も補強しました。それから幸いだったのは、屋根瓦自体も少し古く、丁度張り替えを予定していたので、下地も変えて屋根瓦を軽いものに変えました。軽くするだけで、相当地震力が小さくなります。このような補強がほんとうに有効な補強なのか検証するために実験をやる必要があります。常時微動測定という方法です。これはまた後で説明致します。

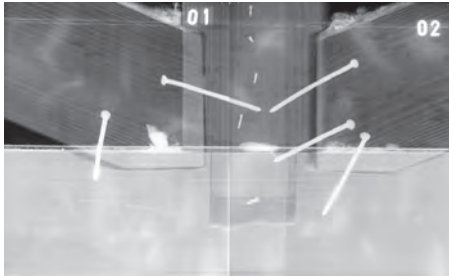
図表78



図表77 小金井・たてもの園・ビジターセンター (旧光華殿)



図表79



図表78が骨組みの鳥瞰図(立体的に見た図)です。ここが床ですけど、床から下の空間が非常に高い。ここからが天井裏なんですけど、木材でトラス(部材配置で三角形を構成)を作り、足元と天井裏を固める形です。この柱が倒れようとするところの上下のトラスが止めてくれる形になっています。ところが、古い建物なので、金物があまり使われていません。図表79は接合部をX線で撮影したものです。長い釘で、ボルトではありません。釘をちょこちょこ止めている程度で、圧縮力に対しては効くかもしれませんが、引張りを受けた場合、これくらいの釘では残念ながら効かないことが分かりました。さすがに、主要な所にはボルトが使われています。木造建築の設計としては、かなり優れていると言えます。

今、こういう接合耐力が不足している所を少し補強する計画中でして、補強工事は今年度末頃始まります(平成二十年度末終了) 工事の段階で分かってくるものもあると思います。そういう補強が必要か、或いは有効かをコンピュータで解析をして、それから実際の補強工事やっていく予定です。(図表80)

図表81・82も小金井にある昔の民家です。これももう既に補強工事を行っています。特殊な土壁を使い、補強工事を行いました。形をほとんど変えず補強を行い、補強効果を常時微動という方法で確認しました。

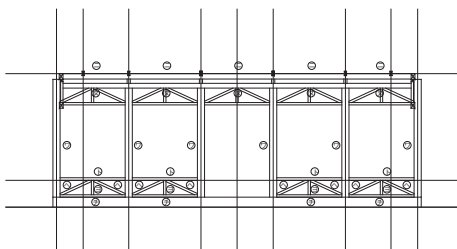
近年の新築寺院建築物

最後に補強計画の事例を紹介して終わりにしたいと思います。レジユメの最後の二頁になるんですが、私共は古い寺院も新しい寺院も調べました。去年と一昨年に行った研究で、常時微動測定を行いました。やはり新しい寺院はそれなりに耐震性が高いことが分かりました。

木造建築物の虫害・蟻害

それから、古い建物の場合はいくつかの問題点もあります。図表83は三島の寺院ですが、木材の梁が虫に食われていました。これは住宅の例ですが、白蟻の害を受けた梁の断面です。このような腐朽劣化の問題もありますので、強度

図表80 伝統建築物の耐震診断・補強への解析と補強技術の応用

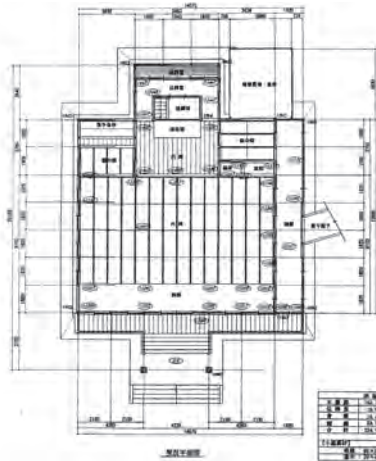


図表81 小金井たてもの園・八王子千人同心



図表82





図表84

昭和23年
頃竣工

階	面積	構造	基礎
地下1階	1,200㎡	RC	基礎
地下2階	1,200㎡	RC	基礎
1階	1,200㎡	RC	基礎
2階	1,200㎡	RC	基礎
3階	1,200㎡	RC	基礎
4階	1,200㎡	RC	基礎
5階	1,200㎡	RC	基礎
6階	1,200㎡	RC	基礎
7階	1,200㎡	RC	基礎
8階	1,200㎡	RC	基礎
9階	1,200㎡	RC	基礎
10階	1,200㎡	RC	基礎
11階	1,200㎡	RC	基礎
12階	1,200㎡	RC	基礎
13階	1,200㎡	RC	基礎
14階	1,200㎡	RC	基礎
15階	1,200㎡	RC	基礎
16階	1,200㎡	RC	基礎
17階	1,200㎡	RC	基礎
18階	1,200㎡	RC	基礎
19階	1,200㎡	RC	基礎
20階	1,200㎡	RC	基礎
21階	1,200㎡	RC	基礎
22階	1,200㎡	RC	基礎
23階	1,200㎡	RC	基礎
24階	1,200㎡	RC	基礎
25階	1,200㎡	RC	基礎
26階	1,200㎡	RC	基礎
27階	1,200㎡	RC	基礎
28階	1,200㎡	RC	基礎
29階	1,200㎡	RC	基礎
30階	1,200㎡	RC	基礎
31階	1,200㎡	RC	基礎
32階	1,200㎡	RC	基礎
33階	1,200㎡	RC	基礎
34階	1,200㎡	RC	基礎
35階	1,200㎡	RC	基礎
36階	1,200㎡	RC	基礎
37階	1,200㎡	RC	基礎
38階	1,200㎡	RC	基礎
39階	1,200㎡	RC	基礎
40階	1,200㎡	RC	基礎
41階	1,200㎡	RC	基礎
42階	1,200㎡	RC	基礎
43階	1,200㎡	RC	基礎
44階	1,200㎡	RC	基礎
45階	1,200㎡	RC	基礎
46階	1,200㎡	RC	基礎
47階	1,200㎡	RC	基礎
48階	1,200㎡	RC	基礎
49階	1,200㎡	RC	基礎
50階	1,200㎡	RC	基礎

昭和23年頃竣工

野の寺院も同じでした。前から見ると図表85の形になっていて、図表86は開口部でこれはどこの寺院も似ていますが、この所にはビックリしました。上に欄間がありまして、斜め格子になっています。これは、中野の寺院も同じでした。だから、小壁と太い柱で抵抗することが難しいことが分かります。その上に少し小壁がありますが、残念ながらここが欄間になっていて、木の格子ですから効かないんです。

地下室(図表87・88)に入ってみますと、人が立てるくらいの高さで、建物に作用する地震力は下の強い地盤まで伝えなければならぬので、これでは無理なんです。周囲が鉄筋コンクリートと思われる基礎がありますが、背丈が高いのは問題があるかもしれません。ぐるっと回って図表89は前側面です。少し壁がありますが、開口部が

図表83



寺院建築の耐震診断補強例

の確保のためには、経年劣化ということも考えなければなりません。

妙照寺さんの事例を使わせていただきます。先日、現地調査を行い、常時微動測定も実施しまして、今、診断・補強をやっている最中です。昭和二十三年の竣工で、図表84は平面図です。この建物を一周して写真で見てください。ぐるーっと回っていきまして、床下の地下室にも入り、中に入って観察しました。

今まで東京の寺院はあまり調べなかったんですが、この前に調べた中野の寺院も同じでした。前から見ると図表85の形になっていて、図表86

図表88



図表85



図表89



図表86



図表90



図表87



多い。図表90は、中の様子です。私共は事前調査として、常時微動測定を行います。ちょっとした測定器で、建物の揺れを調べます。揺らさなくても測定出来ませんが、少し揺らした方がより正確で、多くの情報が得られます。固有周期というものを調べます。建物は地震がなくてもいつも小さく振動しています。この動きを調べると、その建物が固いか柔らかいか、どこが大きく揺

図表91 寺院建築物等の固有周期と減衰性

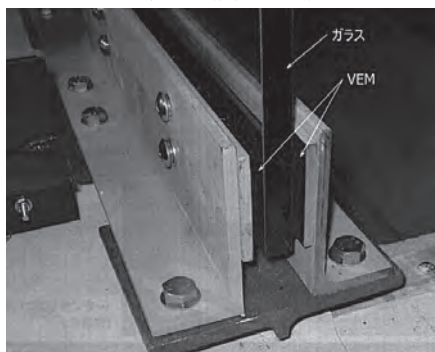
寺院名称 建設地	方向	補強前		補強後	
		固有周期(Hz)	減衰定数(%)	固有周期(Hz)	減衰定数(%)
蓮生寺	X	1.9	3.9	3.2	2.3
藤枝市	Y	1.9	3.5	3.6	2.7
成真寺	X	2.4	3.3		
三島市	Y	2.0	2.7		
春林院	X	2.6	3.0		
掛川市	Y	2.7	3.0		
正福寺	X	5.25	3.7		
神奈川県	Y	5.34	3.2		
福昌寺(工事中)	X	4.25	3.1		
神奈川県	Y	5.27	4.8		
八王子	X	3.60	3.4	4.33	4.0
千人同心	Y	3.77	3.8	4.21	5.5
福蔵院	X	2.71	3.8		
中野区	Y	2.41	4.8		
妙勝寺	X	2.34			
江戸川区	Y	3.56			

れるかというように分かります。これを固有周期とか振動モードというんですけども、柔らかい建物はゆっくり揺れ、固い建物は短い周期になります。固さと強さというのはかなり比例関係があります。この写真はその測定をやっているところで、揺すればもっと正確な数値が出るので、数人で人力加振し、これを後で分析します。

ここで、固有周期の話させていただきます。建物を揺すると、建物は左右に揺れます。時計の振り子と同じです。一回の左右の運動時間を固有周期といいます。色々の建物を測定した例をお見せします(図表91)。普通の寺院はだいたい、一秒間に二回(二ヘルツ)くらい、多くても三回(三ヘルツ)くらいの固有振動数(逆数を固有周期)です。住宅はだいたいこの数字が五〜七で、この回数が少なくなればなるほど柔らかいということになります。一・九というのは一秒間に二回くらいです。ちよつと柔らかくて困ったね、という数字です。

妙照寺さんのX方向は二・三四ヘルツ、Y方向は三・五六ヘルツで、他の古い寺院よりはいいですけど、やはりX方向は柔らかい感じがあります。正面に向かって左右の方向で柔らかい感じがあります。補強したものの実測値もあります。補強前は両方向とも一・九ヘルツですが、補強後は三・二ヘルツと、三・六に上がっています。

図表92（株旭硝子）



図表93



まだこれからなんですけど、どうやって補強したらいいのか、前面の水平耐力が足りないからどうやったらいいか、或いは小屋裏や地盤をどうしたらいいかを今検討しています。

今、開口部をそのままにした補強を検討しています。実験では色々なことやっていますが、現実にはやるうと思うと実際にはなかなかチャンスがなかったもので、今度はやってみたいなと思っています。

図表92はガラスです。ガラスと鋼製枠の間に、先ほど言いました粘弾性体が入っています。図表93は、住宅の事例です。ここにガラスがありますが、ガラスの上下に粘弾性体が入っています。エネルギーを吸収し、抵抗する形式です。こんなことをやりたいなと思っていますが、まだ妙勝寺さんの許可をとっていませんので分かりませんが、左も、玄関から入った左右の所を閉じてしまうのではなくて、ガラスのまんまにし、左右のガラス制振壁で地震力に抵抗できるようにしたいなと思っています。コストの問題もありますので、開口部を壁にする手もありますが、光を入れながらということであれば、ガラス制振壁にすることも考えられます。

それから欄間もガラスの形を残して補強する、或いは、鉄筋の斜格子を入れることも考えられます。柱がだいたい一四〇角や一八〇角ですから、住宅よりは太いんですけど、本当はもう少し太いと良かったですね。こういうところを補強し、光を取り入れながら補強する形にしたい。また、天井裏をもう少し補強しなければいけないと思います。今これは計画中のものですけど、私共の課題



宮澤健二編集・制作『DVD版！映像で見る建築構造と木造住宅の耐震性—実大振動実験と解析CG—』（東洋書店）

Disk 1 (DVD)

九〇〇〇円＋税（著者割引四五〇〇円）

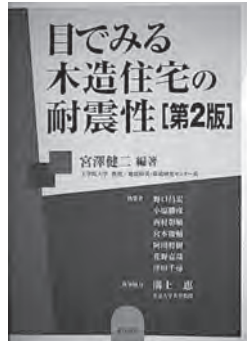
第一編 映像（実験と解析）で見る木造住宅の耐震性

・ 主旨説明、内容案内

・ 実験、解析映像ビデオ二十一本

・ 映像提供：NHK、工学院大学宮澤研究室、その他

・ 図書「目でみる木造住宅」第八章に対応



図書・DVD案内

は、寺院は寺院なりの使い方、風格、そういうのを保持しながら補強することです。

時間がだいぶオーバーして大変恐縮でございます、耐震の仕組みや補強の方法をご理解いただければ幸いです。どうもご静聴ありがとうございました。（拍手）

宮澤健二編著『目でみる木造住宅の耐震性 [第2版]』（東洋書店） B5版 三三二頁 二五〇〇円＋税（著者割引二四〇〇円）

第一章木質構造と木造住宅

第五章木造住宅の壁量設計例

第二章地震と耐震設計

第六章耐震理論と技術

第三章木造住宅と地震災害

第七章耐震診断と耐震補強

第四章木造住宅の設計・施工の要点

第八章映像（実験と解析）でみる木造住宅の耐震性

※第三章には阪神淡路大震災等の寺院の被害と復旧が写真入りで詳述。

※第七章では寺院や民家、伝統木造の耐震補強が詳述されています。

- ・ Disk 2の第二編PDF解説対応
- ・ 収録時間約一時間

Disk 2 (CD)

- ・ DVD・CD内容案内
- ・ DVDとCD (Disk 2) 利用方法説明
- ・ Disk 2 (CD) の目次画面
- ・ 主旨説明

- ・ CD内のソフト操作案内
- 第二編 目で見る木造住宅の耐震性

- ・ 図書「目でみる木造住宅の耐震性」対応 + a、PDF画像等2、310枚
- ・ 寺院の地震災害、震災復旧、耐震の考え方カラー写真入りで詳述
- ・ 構造解析ソフト（一部ダウンロード版あり）

- ・ 解析結果のCG
- ・ 実験結果のCG

- ・ 実験ビデオ・旧精密診断ソフト（わが家の耐震チェック）

- 第三編 写真で見る世界の建築構造設計事例

- ・ 構造設計事例（国内外、木質系、一般構造、特殊構造、橋梁）
- ・ 日本の木造名建築がカラー写真で紹介
- ・ 建築技術者倫理と設計・施工の失敗・瑕疵
- ・ PDF画像…一三四六枚

著者割引は電話・FAX（出来るだけFAXで）：〇三―三三四〇―三四七〇（工学院大学宮澤研究室）