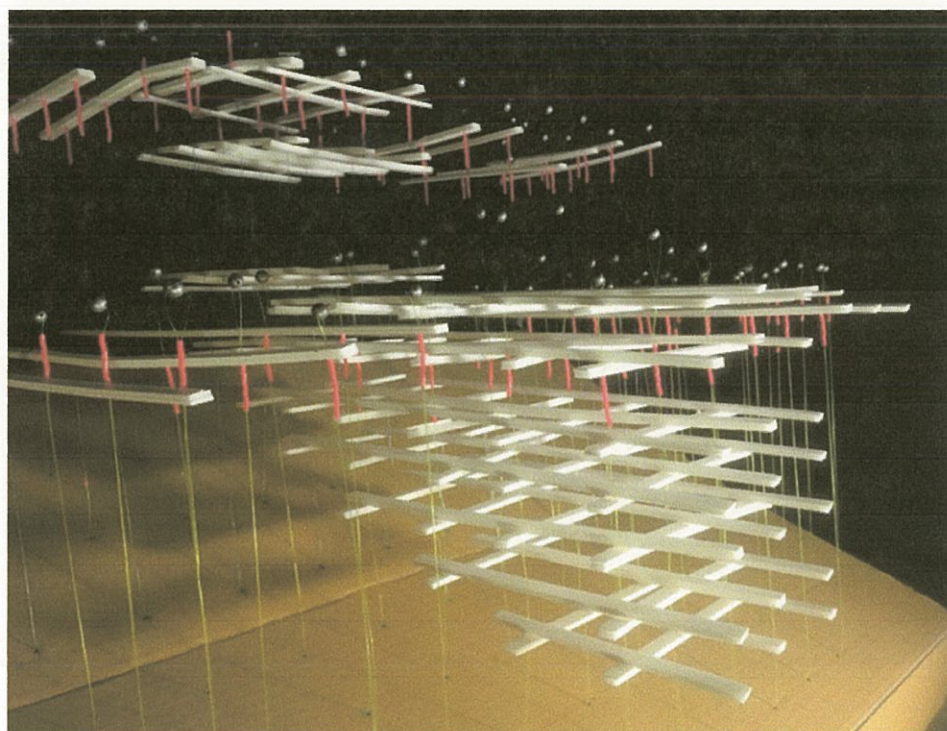


「清水の舞台の秘密！」

～ふりこ実験でわかった清水の舞台の秘密～



筑波大学附属小学校

1部5年

雨宮 龍ノ介

【実験のきっかけ】

僕の祖父母は京都に住んでいるので、よく京都には行く。そして、二度目に清水寺を訪れた時に、ふと疑問に思った。京都には平地もたくさんあるのに、どうして清水寺はあんな崖の上に建っているのだろうか？あまりの猛暑に耐えられず、お茶屋さんでかき氷を食べながら、清水寺の舞台を下から見上げると、舞台を支えている柱がとても長くて、たくさんあることに気が付いた。去年の五重の塔の心柱が浮いていることにもびっくりしたけれど、この崖の上のたくさんの柱にもきっと理由があるのだろうと思った。そこで、研究してみることにした。

現在、清水寺は大屋根の葺き替えのために工事中で、足場が組まれていて、構造が見にくくなっているのが残念だったけれど、資料も調べながら、清水の舞台の不思議を探ることにした。



お茶屋さんから舞台を見たところ



清水の舞台を下から見上げたところ

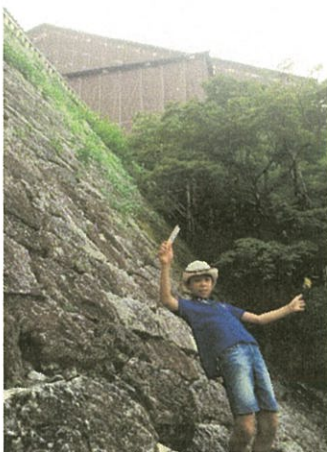


舞台の横の階段からみたところ

なぜ、崖に清水寺が建っているのかは、調べてみるとすぐにわかった。日本人は、山を神聖なものと考えていて、高い山の上に寺を作ることで、それを崇拝しているのだそうだ。でも、舞台は、一体何のためにあるのだろうか？

舞台では、雅楽や能、歌舞伎などが演じられ、それを観るのは、ほくたち人間ではない。ご本尊の観音様だった。こんな崖の上に舞台が出来た理由は、山には神々が住んでいると考えられていたため、山を削ることも安易にやってはいけないと思われていたからだとも言われている。だから、崖の形をそのまま生かして、舞台を作ろうとしたようだ。

そして、驚いたことに、舞台の柱は、釘を1本も使わずに造られている。これをかけ造りと言うそうだ。浮いた心柱に続く、昔の人のすごいアイデア。「釘を使わずに造る。」釘と木では、膨張率が違うから、長い年月の間に温度の変化によってすき間ができてしまい、ゆるんでしまう。でも、同じ木同士でつなげると、膨張率が同じなので、ゆるむことがない。だから、釘は使わない方が丈夫なのだ。



清水寺の急な崖



清水の舞台の上の柱



清水の舞台の柱と横梁が
つながっているところ



清水の舞台の下の柱
(かけ造りと言う)

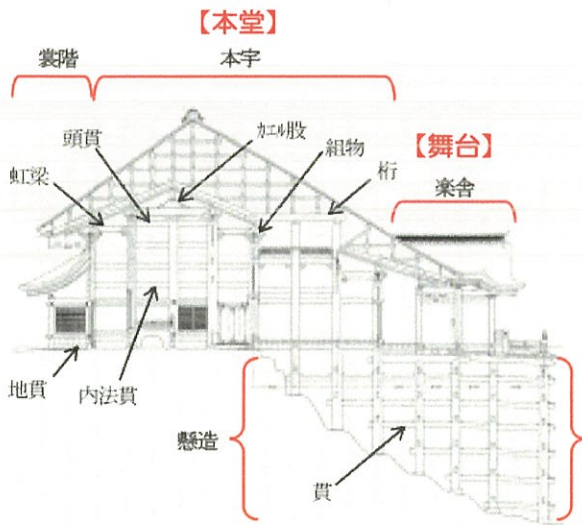
調べてみて、なるほどと思うこともたくさんあったけれど、かけ造りが本当に地震に強いのかどうか、実験して確認しようと思う。

【清水寺について調べてわかったこと】

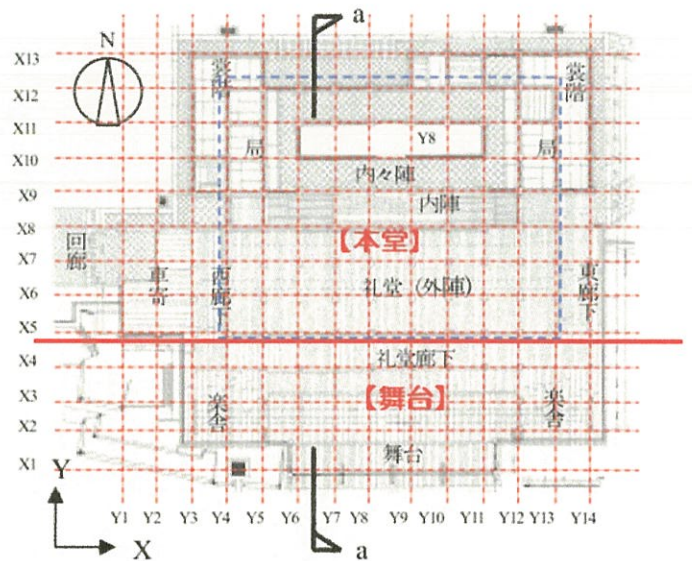
創建： 778年（奈良時代）に清水寺が初めてつくられる。
 1100年頃（平安時代末期）に本堂（清水の舞台のあるところ）が建立される。
 舞台の大きさ：190㎡。（100畳を超える広さ。家のリビングが24畳だからその4倍）
 舞台の高さ： 最高部分は12m。4階から見下ろしているのと同じ高さ。崖の部分は49本の柱で支えている。

*最初に本堂だけが建てられて、後から舞台の部分が追加で造られたようだ。

【本堂と舞台を横から見たところ】

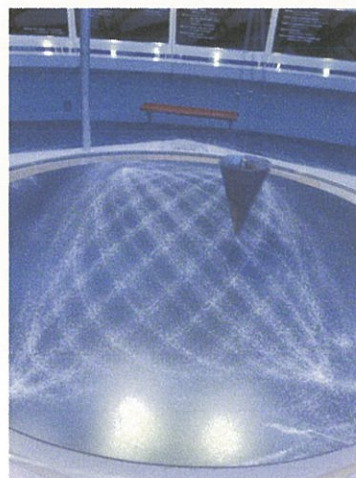
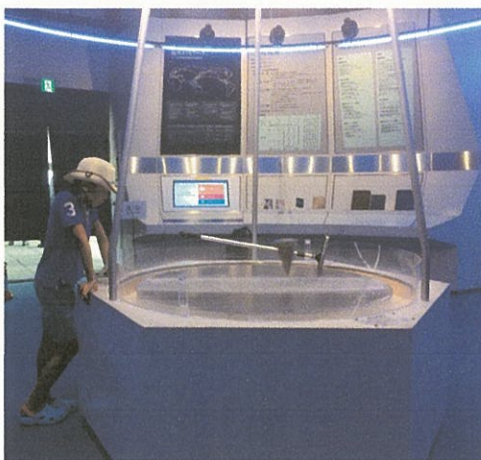


【本堂と舞台を上から見たところ】

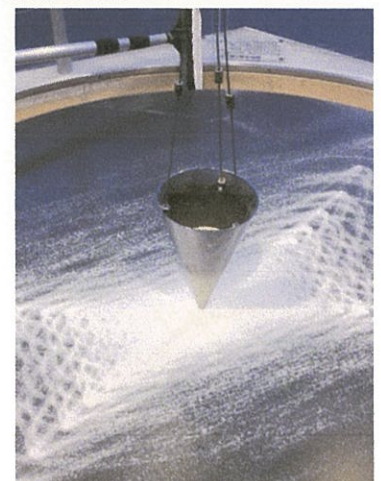


【実験方法のアイデア】

また、別の日に倉敷に旅行に行った時に、倉紡記念館にあった「ふりこでどんな絵が描けるかな？」というコーナーがあり、ドキドキしながら、ずっとふりこを見ていると、こんな模様が出来た。

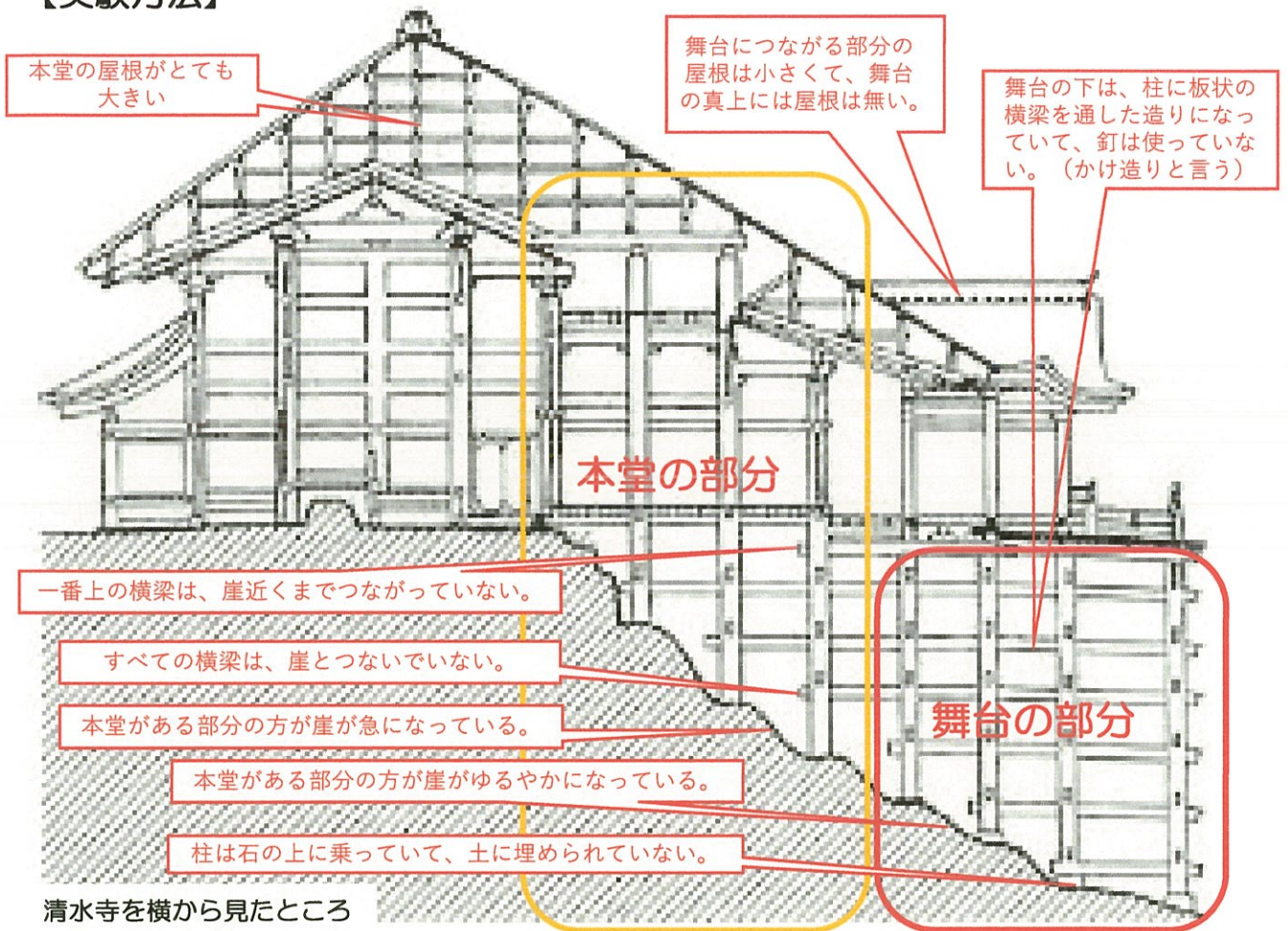


ふりこの重さを変えて、すりきりいっぱいに入れてみるとどうなるのか確かめてみると、描き方は同じだった。学校の理科の時間に学習したとおり、ふりこは、おもりの重さを変えても、振れ幅は同じだということが、ここでも実証できた！



ふりこは、左右均等に動いて、だんだんとゆれが小さくなり、やがて止まる。これは、地震のゆれ方と似ていると思う。だから、今回はふりこを使って実験することにした。

【実験方法】



清水の舞台が固定されている部分は、屋根ではなくて地面なので、ふりこを使って実験をするために、上下を逆にして実験することにした。

舞台を
反転

【実験1】

本堂と舞台のふりこをばらばらにふって、ふりこの周期を確認する。
*縦の柱(ふりこ)のみで、横梁はなし
*本堂と舞台は、つながない

【実験2】

本堂のふりこを横梁でつないで、ゆれ方を確認する。*舞台とはつなげない。本堂の柱(ふりこ)のみをつなげる

【実験3】

本堂と舞台を横梁でつないで、ゆれ方を確認する。
*実験2で行った同じ実験を、今度は、本堂と舞台とを連結して実験する
*つなげるのは、横梁3本のみ

【実験4】

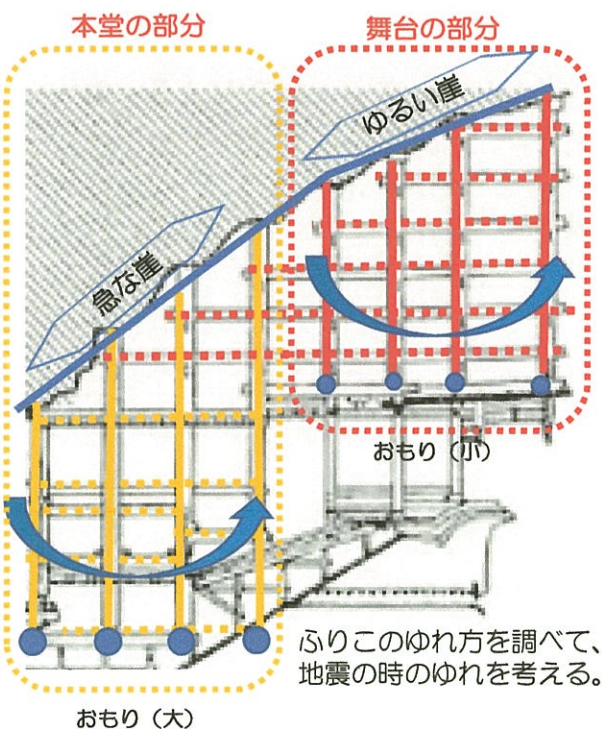
本物と同じように、本堂と舞台を上から下まで7本の横梁でつないで、ゆれ方を確認する。
*実験3で行った実験よりも、横梁の数が増える

【実験5】

本物と同じように、本堂と舞台を縦横に格子状につないで、ゆれ方を確認する。

【実験6】

舞台を崖につないで、ゆれ方を確認する。



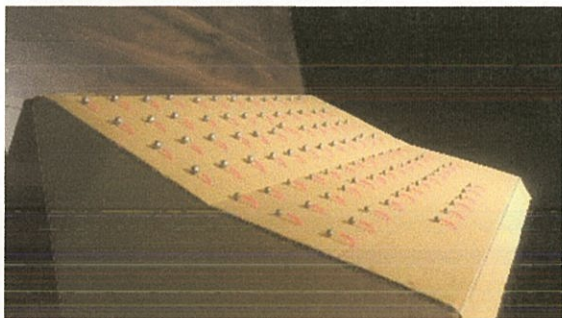
【実験装置】

【材料】

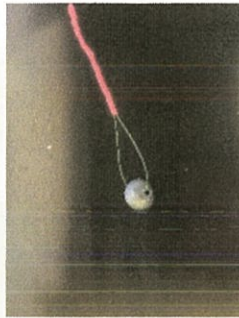
釣り糸・釣り用のおもり・釣り用のビニールチューブ
 黒画用紙・スチレンボード・ダンボール・はさみ・
 のり・ガムテープ・セロテープ・カッター・金定規



本堂と舞台の下の崖の部分



■崖は、段ボールで作った。



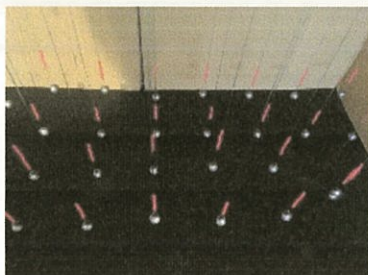
ふりこのおもり

- 釣り用のおもりを使った。
- 本堂の部分⇒大きな屋根が乗っているので大きい8グラムのおもりにした。
- 舞台の部分⇒小さい屋根と舞台しかないので小さい3グラムのおもりにした。

振り子どうしをつなぐ横梁

5mmの厚さのスチレンボード
 (発泡スチロールを紙ではさんだもの)

本堂と舞台の柱の部分



■ふりこをつり下げたところ

- 柱は、釣り糸を使って作った。
- 本堂と舞台を二色で区別した。
- 細い釣り糸が見やすくなるようにピンクのビニールチューブを取り付けた。
- 柱（ふりこ）の長さ
 本堂の部分：25cm, 30cm, 33cm, 38cm
 舞台の部分：22cm, 24cm, 26cm, 28cm



【測定方法】

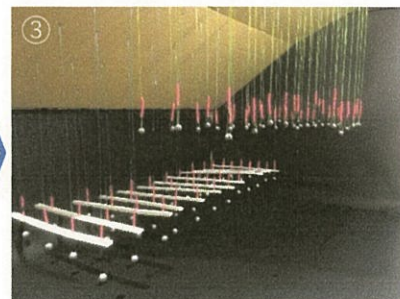
- ふりこを30度の高さからふって、10往復するまでにかかる時間を計って、周期を測定する。3回測定して、その平均を出して誤差が出ないようにする。
- 周期と別に、ふりこのゆれが完全にとまるまでの時間も測定する。
- すべての柱を6回の実験に合わせてつなげるのは大変なので、実験可能な範囲で行う。



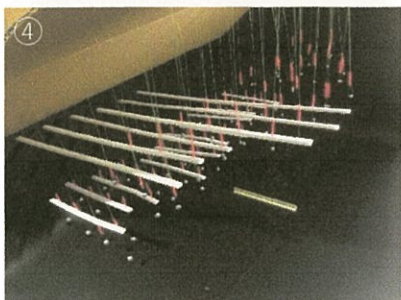
■本堂部分だけのふりこをゆらす



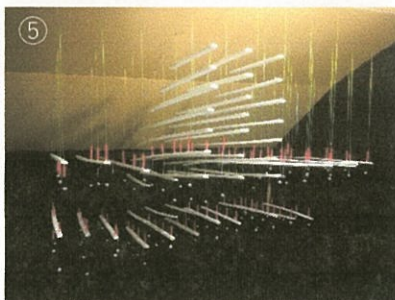
■本堂部分のふりこに横梁をつないでゆらす



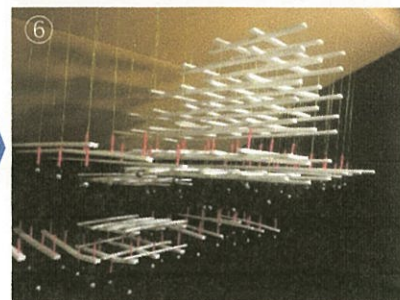
■舞台部分のふりこをゆらす



■本堂と舞台を横梁でつないでゆらす



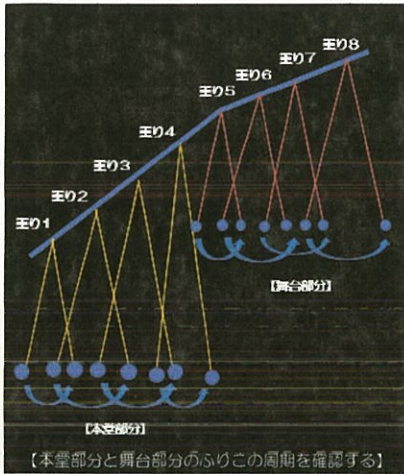
■本堂と舞台を本物と同じようにつないでゆらす



■本堂と舞台を格子状につないでゆらす

【実験1】本堂と舞台のふりこをばらばらにふって、ふりこの周期を確認する。

【予想】ふりこ同士の間かくが狭いので、糸がからまると思う。



おもり	周期 (実験1)							
	1回目		2回目		3回目		平均	
おもり1	10.13	秒	10.29	秒	10.29	秒	10.24	秒
おもり2	10.94	秒	10.85	秒	10.84	秒	10.88	秒
おもり3	11.62	秒	11.62	秒	11.63	秒	11.62	秒
おもり4	12.44	秒	12.34	秒	12.50	秒	12.43	秒
おもり5	9.56	秒	9.60	秒	9.66	秒	9.61	秒
おもり6	10.59	秒	10.63	秒	10.62	秒	10.61	秒
おもり7	10.60	秒	10.68	秒	10.65	秒	10.64	秒
おもり8	11.09	秒	11.12	秒	11.16	秒	11.12	秒

ゆらし方	観察した部分	実験の様子	ゆれていた時間	結果
横	本堂		6分10秒	ふりこの長さが長いほど長い周期でゆれて、ふりこの長さが短いほど短い周期でゆれた。
縦	本堂		7分15秒	はじめは、波のようにきれいにそろって動いていたけれど、後からバラバラな動きになった。
斜め	本堂		5分30秒	はじめは、同じ方向にゆれていたけれど、だんだんばらばらに動いて、ふりこの長さが長いものが一番最後まで残ってゆれていた。
横	舞台		3分15秒	ふりこが回り出して、たくさんからんだ。
縦	舞台		2分55秒	本堂側にふりこが大きくゆれたけれど、あまりからまらなかった。
斜め	舞台		3分10秒	大きく回るように動いて、たくさんからんだ。

【結果】長いふりこも短いふりこでも、周期が違うため、バラバラな動きになって、ぶつかりあった。

横梁なしで柱だけにしてしまうと、ゆれがかなり大きくなることがわかった。

【実験2】本堂のふりこを横梁でつないで、ゆれ方を確認する。（本堂のすべてのふりこを横梁でつなく）

【予想】ふりこを横梁でつなくと、ふりこの動く距離が短くなるので、周期も短くなると思う。

※時間=ふりこのゆれが止まるまでの時間

ゆらし方	観察した部分	実験の様子	周期				平均	時間	結果
横	本堂		1 0 7 2 秒	1 0 7 1 秒	1 0 7 2 秒	1 0 7 1 秒	3 分 0 5 秒	横梁でつないだことで、横方向にいっせいにゆれた。横梁の中心部分はあまり動かず、はしっこの方が大きくゆれた。	
縦	本堂		9 5 3 秒	9 5 3 秒	9 5 4 秒	9 5 3 秒	3 分 2 1 秒	はじめは、横方向に大きく波のように動いて、ゆっくり止まった。横梁でつないでいない時の約半分の時間でゆれが止まった。	
斜め	本堂		1 0 0 9 秒	1 0 1 0 秒	1 0 0 9 秒	1 0 0 9 秒	2 分 5 0 秒	はじめは大きくゆれたけれど、縦や横にゆらずよりも早くゆれが止まった。	

【結果】ふりこ同士を横梁でつなくことで、ふりこのゆれがかなり小さくなり、横梁でつながない時の約半分の時間で止まった。縦と横を連結させると、かなり安定することがわかった。

【実験3】本堂と舞台を横梁でつないで、ゆれ方を確認する。（つなげるのは横梁3本のみ）

【予想】本堂と舞台をつなげるので、本堂と舞台の2つを平均した周期になると思う。

※時間=ふりこのゆれが止まるまでの時間

ゆらし方	観察した部分	実験の様子	周期				平均	時間	結果
横	本堂		1 1 0 0 5 秒	1 1 0 0 2 秒	1 1 0 0 2 秒	1 1 0 0 2 秒	1 分 1 3 秒	舞台とつないだことでゆれが止まる時間がすごく早くなった。	
	舞台		1 0 4 1 秒	1 0 4 2 秒	1 0 4 0 秒	1 0 4 1 秒	4 0 秒	舞台の部分が先にゆれが止まって、本堂の部分は、それからしばらくしてから止まった。	
縦	本堂		1 0 0 1 9 秒	1 0 0 1 1 秒	1 0 0 1 1 秒	1 0 0 1 0 秒	5 5 秒	舞台とつないだことでゆれが止まるのがすごく早くなった。	
	舞台		9 0 8 5 秒	9 0 1 0 秒	9 0 1 0 秒	9 0 1 1 秒	3 0 秒	舞台の部分は、本堂の約半分の時間で止まった。	
斜め	本堂		1 0 3 1 秒	1 0 3 0 秒	1 0 3 1 秒	1 0 3 0 秒	1 分 4 0 秒	横梁でつないだことで、ふりこがからまなくなった。	
	舞台		1 0 6 0 5 秒	1 0 6 6 2 秒	1 0 6 2 秒	1 0 6 2 秒	4 0 秒	舞台の部分は、本堂の約3分の1の時間で止まった。	

【結果】本堂と舞台を別々にゆらした時よりも、短い時間でゆれが止まった。横梁でつなげることによって、違う周期のもの同士がそれぞれの動きを打ち消しあって、早くゆれが止まるのかもし
れない。 6

【実験4】本物と同じように、本堂と舞台を上から下まで7本の横梁でつないで、ゆれ方を確認する。

【予想】実験3よりもさらに固定されるので、ゆれが小さくなると思う。

※時間=ふりこのゆれが止まるまでの時間

ゆらし方	観察した部分	実験の様子	周期			平均	時間	結果
横	本堂		10.58秒	10.60秒	10.58秒	10.58秒	2分30.00秒	本堂の部分は、今までより長くゆれた。
	舞台			10.06秒	10.03秒	10.04秒	10.04秒	1分30.00秒
縦	本堂		8.75秒	8.75秒	8.77秒	8.75秒	1分20.00秒	ゆれが小さかった。
	舞台			8.08秒	8.03秒	8.10秒	8.07秒	1分10.00秒
斜め	本堂		10.43秒	10.44秒	10.43秒	10.43秒	2分00.00秒	今までより長くゆれた。
	舞台			10.30秒	10.30秒	10.31秒	10.30秒	1分00.00秒

【結果】予想どおり、全体としてゆれが小さくなった。でも、本堂の部分は、ゆれが少し長くなった。これは、おそらく舞台の部分がかなり固定されたので、その分本堂の部分がゆれたのではないかと思う。

【実験5】本物と同じように、本堂と舞台を縦横に格子状につないで、ゆれ方を確認する。
 (3本の柱を格子状にした)

【予想】交差して縦横につなげたので、さらに動きは小さくなると思う。※時間=ふりこのゆれが止まるまでの時間

ゆらし方	観察した部分	実験の様子	周期				平均	時間	結果
横	本堂		9	9	9	9	300秒	屋根の部分は少しゆれが大きかったけれど、全体としては動かなくなった。	
	舞台		8	8	8	8	16秒	しっかりした状態で、ほとんどゆれなくなった。	
縦	本堂		7	7	7	7	200秒	ほとんどゆれなかった。	
	舞台		6	6	6	6	15秒	ほとんどゆれなかった。	
斜め	本堂		7	7	7	7	200秒	斜めに傾くけれど、ほとんどゆれなくなった。	
	舞台		7	7	7	7	15秒	ほとんどゆれなかった	

【結果】縦横に格子状にしっかりつないだことで、強くなり、ほとんどゆれなくなった。

ゆれをおさえるためには、ある程度の本数の柱と梁が必要であることがわかった。

異なる周期の柱を横梁でつなげば、お互いのゆれを打ち消し合う作用が生まれるのかもしれない。だから、舞台を造ることで、雅楽や能のための舞台を用意したり、広さを確保したりするだけではなくて、地震に強い建物にもなったのではないかと思う。

【実験6】 舞台を崖につないで、ゆれ方を確認する。（3本の柱の部分が格子状になっている）

【予想】 崖につなぐと舞台が固まってしまおうので、遊びがなくなり本堂のゆれが大きくなると思う。

※時間=ふりこのゆれが止まるまでの時間

ゆらし方	観察した部分	実験の様子	周期	平均	時間	結果	
横	本堂		8 . 8 8 秒	8 . 8 5 秒	8 . 6 6 秒	8 . 7 9 秒	15秒 ひし形に変形して、横梁がはじけ飛んだ。
	舞台		8秒 崖にくっついていているところを中心に左右にゆれた。舞台の部分の重りはあまりゆれていない。				
縦	本堂		8 . 3 4 秒	8 . 3 4 秒	8 . 3 6 秒	8 . 3 4 秒	10秒 ひし形に変形して、横梁がはじけ飛んだ。本堂が大きく揺れた。
	舞台		5秒 ほとんど動かなかった。おもりは、大きくゆれた。				
斜め	本堂		7 . 5 9 秒	7 . 5 5 秒	7 . 5 8 秒	7 . 5 7 秒	15秒 ひし形に変形して、崖につないでいない時よりも大きく左右にゆれた。
	舞台		10秒 崖を中心に左右にゆれた。おもりは、ほとんどゆれなかった。				

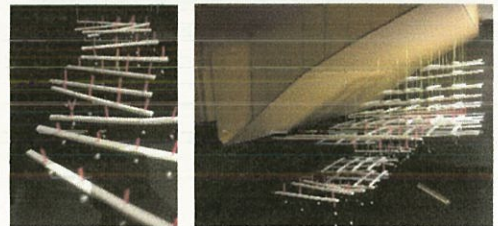
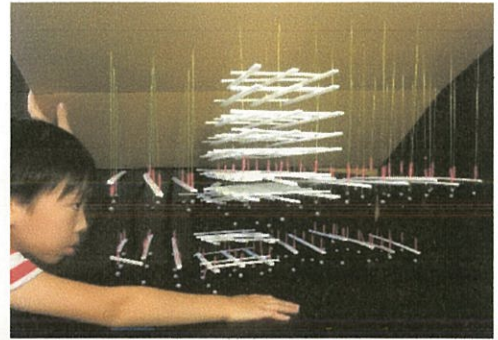
【結果】 崖につなぐと、崖につないだ舞台自体はゆれが小さくなったけれど、本堂の部分は、崖を中心にして左右に大きくゆれた。横梁も吹き飛んだ。

崖に横梁をつなげない方が、ゆれに強いことがわかった。

【まとめ】 清水の舞台の秘密＝地震のゆれを吸収してくれるとても優れたものだった！



■改修工事中の清水寺



■ダンボールで作った崖にふりこをぶらさげて実験

実験	結果
実験1	本堂は長い周期、舞台は短い周期になっている。そして、横梁がなく柱だけだと、ゆれがかなり大きくなるのがわかった。
実験2	ふりこ同士を横梁でつなぐことで、ふりこのゆれがかなり小さくなり、横梁でつながない時の約半分の時間で止まった。縦と横を連結させると、かなり安定することがわかった。
実験3	本堂と舞台を別々にゆらした時よりも、短い時間でゆれが止まった。横梁でつなげることによって、違う周期のもの同士がそれぞれの動きを打ち消しあって、早くゆれが止まるのかもしれない。
実験4	本物と同じように横梁をつなぐと、舞台の部分がかなり固定されるので、その分本堂の部分のゆれが大きくなるのではないかと思う。
実験5	本物と同じように、縦横に格子状にしっかりつないだことで、強くなり、ほとんどゆれなくなった。異なる周期の柱を横梁でつなげば、お互いのゆれを打ち消し合う作用が生まれるのかもしれない。
実験6	崖につなぐと、崖につないだ舞台自体はゆれが小さくなったけれど、本堂の部分は、崖を中心にして左右に大きくゆれた。崖に横梁をつなげない方が、ゆれに強いことがわかった。

清水の舞台の秘密

- ①急な崖を利用して、柱の長さを変えて、ゆれの周期を変えて、地震に強い建物にしていた。
- ②周期の違う本堂と舞台をとつないで、お互いに地震のゆれを打ち消しあっていた。
- ③崖と舞台をくっつけないで、舞台の部分にも遊びを持たせて、本堂が大きくゆれないようにしていた。



清水寺の正面の写真

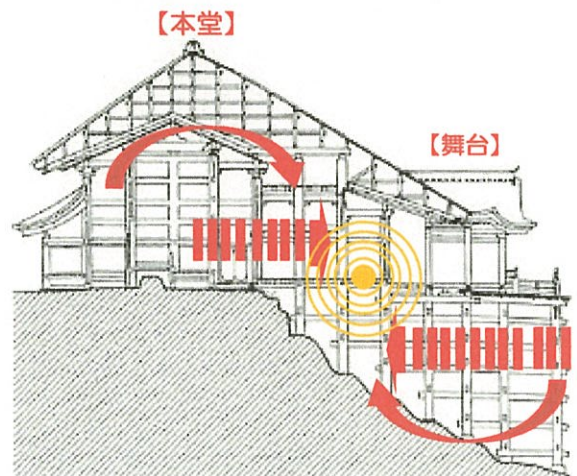


清水の舞台の写真

【感想】

前回の研究に引き続き、昔の人のアイデアや技術の高さに驚いた。清水寺が創建されてから300年くらい経ってから舞台が造られているみたいなので、その300年の間に、人類の知識が進化したことに感心した。昔はできなかったことも300年経つと出来るようになるんだなと思った。

日本は山が多いから、高い山にも家が造れる技術の発達が必要で、いろいろな人が努力して生み出した方法なのだと思う。今回は清水寺に関する資料が少なく、はっきりしたことがよくわからなくて、少ない資料の中からはいろいろと想像して考えることになった。でも、今ある建物の状態から、昔の人が何を考えて、どんな目的で作ったのか、考えるのはとても楽しかった。



本堂と舞台はお互いのゆれを打ち消しあっていた！！