

38. 筋違及び大黒柱の耐震効果を確 めんとする木造家屋の振動実験

地震研究所 金 井 清

(昭和17年7月2日發表 — 昭和17年9月20日受理)

1. 前 書

筋違が家屋の耐震上に特に効果があり、大黒柱も亦可成りの耐震的效果のあることは既に理論的に十分に研究し¹⁾、簡単な模型を振動臺の上に載せて振動試験を行ひ、その理論を或る程度確めてある²⁾。即ち、筋違及び大黒柱は家屋の周期を短くするだけでなくその共振振幅をも少くするのに一層役立つことが數理的にわかり模型実験によつて確められた譯である。

此の上更に實際の家屋について筋違及び大黒柱を種々の状態に加へて振動実験を行ふことができれば、これまでに行つた數理的並びに模型實驗的研究と相俟つて筋違及び大黒柱を使用する際の基準を十分に確定し得ることになる。而して、この目的の實驗を満足に行ふには使用する家屋について少くとも次の事柄が必要である。i) 實驗裝置の機能上補強後の周期が0.1秒以下になると困るから、家屋の周期は0.3秒乃至0.5秒であること、ii) 補強による効果を構造學的に明確に考察するに便利なやうに、家屋の構造が簡單であること、iii) 實驗の性質上補強の状態を色々に変へて行ふからその度毎に架材に仕掛を施すことになり、家屋が或る程度の損傷を蒙るのを許されること。この度、小平宮村兩氏の御盡力によつてこの實驗の條件に略々適當した家屋を借りることができたので、6月8日から11日に亘る4日間この家屋の強制振動實驗を行つた。その結果、筋違及び大黒柱の耐震的の役目が一層明かになり、更に之等を實際に利用する際の基準を明白にすることができた。

2. 實驗家屋の構造

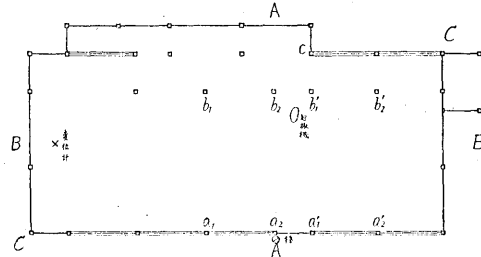
實驗家屋は鎌倉建長寺境内鎌倉中學校校舍の1棟で、間口11m奥行4.6mのトタン葺きの平家建である。第1圖はその平面圖を示す。第1圖でわかるやうにこの家屋には間仕切壁が全く無く、外柱中柱は極めて規則正しい配置である。附屬物として

1) 妹澤克惟、金井清 地震研究所彙報 16 (1938), 256~272, 金井清 地震研究所彙報 17 (1939), 233~242, 559~564, 569~578, 695~712. 金井清 地震研究所彙報 16 (1938), 256~272.

2) 金井清 地震研究所彙報 17 (1939), 713~722. 金井清 地震研究所彙報 16 (1938), 535~549.

下家と物置があるが、何れも厚さ 6.0 mm の杉板張り、屋根は目板打ちであるから家屋全体の構造學的役目には大體無視

してよからうと思ふ。母家の縦架材は、10 cm 角杉材の柱 25 本、兩側面は杉板の所謂太鼓張りと呼ばれるもの、表面は全部ガラス窓であるがガラスは大部分破壊して居り、裏面は兩端に一部分ガラス窓と板戸があり中央部は開け放しである。横架材



第 1 圖

は大梁が 12 cm × 18 cm, 軒桁は 10 cm 角, 梁は末口 12 cm が 5 本あり、材質はすべて杉材である。

3. 実験方法

起振機は齊田氏の御厚意により借用したもので、その構造は半径 23 cm の自転車の輪の外側の一部分に 1.63 kg の鉛をつけて手廻しする偏心機である。天井板を外して梁の上に座を組みその上にこの起振機を据え（第 1 圖の 0 点）手で力一杯廻してから手を離し止まるまでそのまま放置する方法で家屋に強制振動を與へた。

振動は奥行方向（A—A 方向）間口方向（B—B 方向）對角線方向（C—C 方向）の 3 通り行ひ、各振動方向毎に構造の状態を 6 種類に變へ、梁及び床の高さに於ける變位を表面中央柱に取り付けた装置によつて測定した。

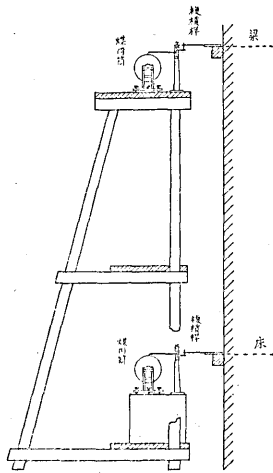
6 種類の構造の状態に夫々假りの名稱を附けて列記すると

- i) 原構造；仕掛を全く施さない状態、
- ii) 片筋違； $a_1a_2, a_1'a_2'$ の柱間へ 9 cm × 3 cm の斜材を夫々 1 本づゝ加へた状態、
- iii) 兩筋違； $a_1a_2, a_1'a_2', b_1b_2, b_1'b_2'$ の柱間へ 9 cm × 3 cm の斜材を夫々 1 本づゝ加へた状態、
- iv) 中筋違； a_2b_2 の柱間へ 12 cm × 4 cm の斜材、2 本を禰掛けに加へた状態、
- v) 大黒柱； $b_2b_1', b_1'e$ の柱間へ 9 cm × 2.5 cm の斜材 2 本を禰掛けにし、 b_2c の柱間へ 9 cm × 2.5 cm の横材を 2 本加へた状態、（家屋の實際の大黒柱とは多少違ふが構造學的には大黒柱と同様に取り扱つてさしつかへなからう）
- vi) 強構造；兩筋違、中筋違、大黒柱を同時に全部加へた状態。

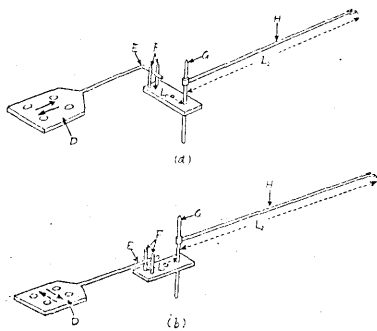
以上の補強材は總べて杉材で、一方の柱の天井直下から他方の柱の床直上へ渡し、各々 3 寸釘 3 本づゝで柱に打ち附けた。

4. 測定方法

測定装置は第2圖に示してあるが、簡単に説明すると表面の略々中央の窓近くに櫓を建て、梁床の高さから夫々5 cm の2本の腕を出し複槓桿の方法で梁の高さに於ては10倍床の高さのところでは20倍に擴大し、櫓上の煤圓筒に奥行方向(A—A方向)及び開口方向(B—B方向)の振動變位を記録させた。煤圓筒の回轉には同期電動機を使用し1回轉2分の速にしたから記録紙上の5 mm が1秒に相當する。振動實驗中に櫓と家屋の相對位置が變るために記録倍率が變ることを避けるた



第 2 圖



第 3 圖 擴大裝置

めに複槓桿の部分は第3圖に示すやうな装置にした。第3圖に於てDは家屋に固定、Eは軟鐵槓桿、Fは磁性を附した又、Gは櫓に附置した回轉軸、Hは麥藩槓桿である。従つて(a)、(b)の記録装置は夫々D内の矢印の方向の變位のみを記録することになり、その倍率は常に一定の値 L_2/L_1 となる。尙、第1圖の×點附近に石本式加速度計萩原式變位計を各々1臺据えて以上の装置と同時に測定したがその結果は次の報告にゆづる。

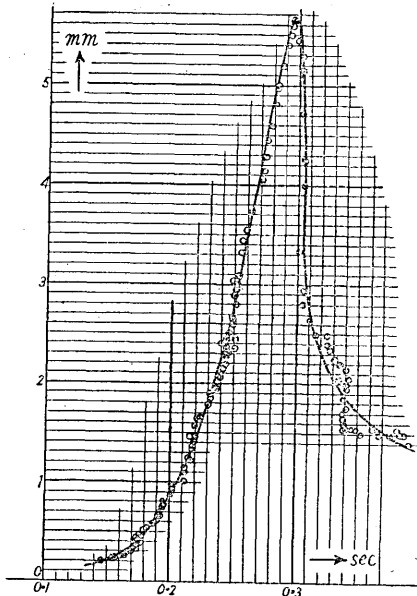
強制振動は第2章で述べたやうに起振機を最初手で力一杯廻してそのまま放置する方法によつたから振動數は刻々に變化してゐる。この記録から振動數と振幅との關係を求めるのが本實驗の目的であるが只今の場合には便宜上記録紙上の連続した10波長の長さを読み取り、そ

の1/10の長さを時間に換算したものをこの10波の中央の波の振幅に相當する周期と考へることにした。勿論他に方法もあるが只今の實驗装置と目的にはこの方法でまづ十分であらう。次に、偏心機による最大振動力は振動數の2乗に比例するから記録紙から読み取つた生のまゝの振幅は各振動數毎にその最大振動力が異つた場合に相當してゐる。それ故こゝではこの起振機が0.119秒の周期で

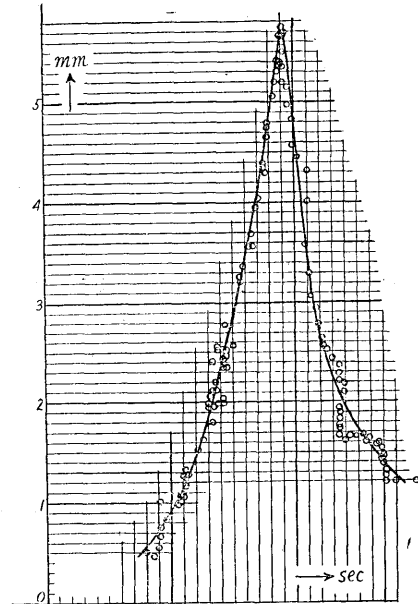
回轉してゐるときの最大振動力即ち 10^8 dyneに換算して、最大振動力が一定の場合の振動數と振幅の關係を求めることにした。

5. 測定結果とその吟味

強制振動が奥行方向 (A—A 方向) の場合の最大振動力を 10^8 dyne に換算した場合の梁の高さのところの變位と振動周期の關係を 第 4~9 圖に示し、6 種類の構造状態の共振曲線と比較し安いやうに一つにまとめて第 10 圖に示した。第 4~9 圖に於て點が多少散亂するのは共振曲線に不規則性を與へるやうな性質が家屋にあるためではなく、記録圓筒及びその回轉裝置が不完全なためであることが實驗後に検査して明らかになつた。

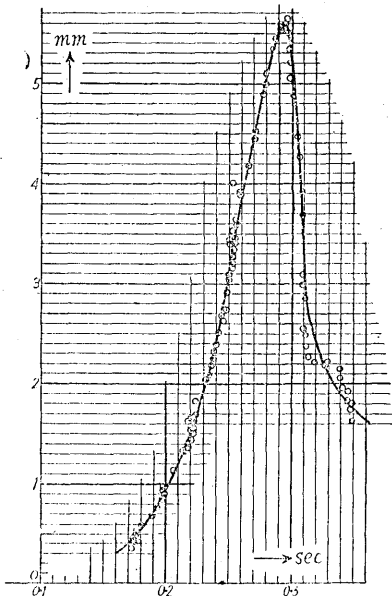


第 4 圖 原構造. 梁の高さのところの變位. 強制振動; 奥行方向 (A—A), 測定變位; 奥行方向

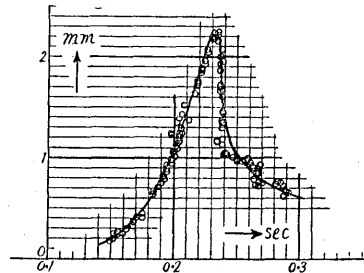


第 5 圖 片筋違. 梁の高さのところの變位. 強制振動; 奥行方向 (A—A), 測定變位; 奥行方向

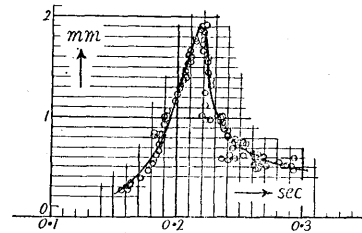
第 10 圖を見ると片筋違兩筋違の状態の共振曲線は原構造のそれと殆んど差違がないことが直ちにわかる。このことは振動方向に直角な面内に一方向きに加へた薄板の筋違は補強の役目を全くなさないことを意味する。次に大黒柱の状態の共振振幅は原構造のその約 80% に減少し同時に共振周期も幾分短くなる。この場合には振動方向の面内に加へた薄板の襷掛の筋違が補強の役目をなした譯であるが、筋違の配置が非常に局部的であり傾斜も大き過ぎるのでその効果は著しくない。中筋違の状態では共振振幅は原構造のその約 40% に減少し共振周期も原構造の約 80% に短くなり、



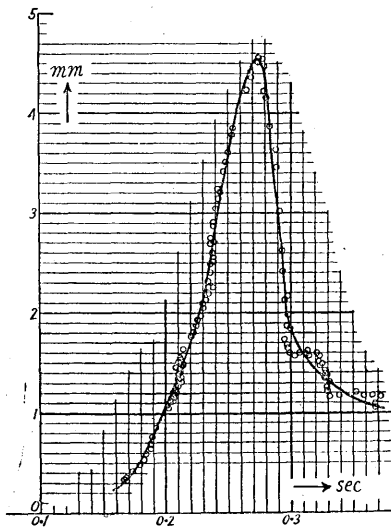
第6圖 兩筋違. 梁の高さのまごころの變位. 強制振動; 奥行方向(A-A), 測定變位; 奥行方向



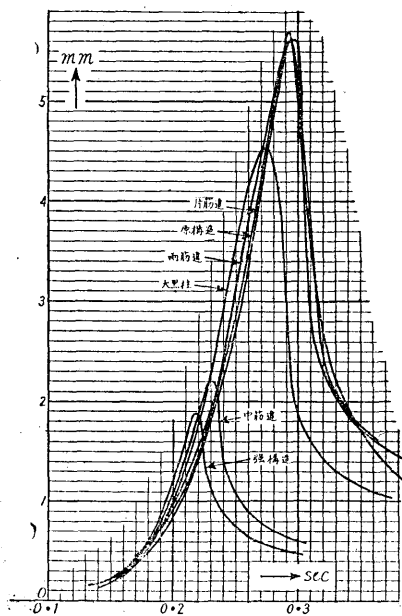
第7圖 中筋違. 梁の高さのまごころの變位. 強制振動; 奥行方向(A-A), 測定變位; 奥行方向



第9圖 強構造. 梁の高さのまごころの變位. 強制振動; 奥行方向(A-A), 測定變位; 奥行方向



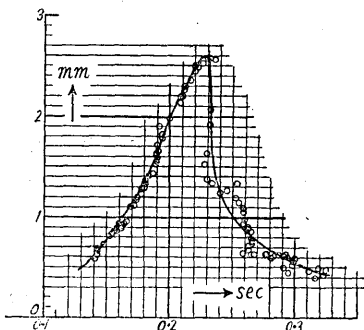
第8圖 大黒柱. 梁の高さのまごころの變位. 強制振動; 奥行方向(A-A), 測定變位; 奥行方向



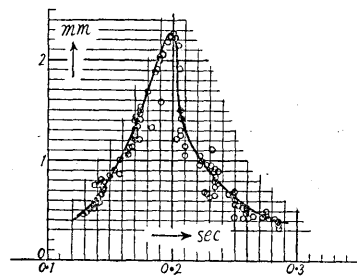
第10圖 梁の高さのまごころの變位. 強制振動; 奥行方向(A-A), 測定變位; 奥行方向

前述の3種類の状態に比較して補強上非常に有効である。而してこの場合にも筋違が薄板であるから抗圧力が弱く、その上傾斜が小さ過ぎて筋違としての働きは十分とは言へないが、薄板2枚を襷掛けに加へただけでこの程度に剛度を増し得ることがわかつた。當然のことではあるが強構造の状態は中筋違へ大黒柱を加へただけの剛度を増したことがこの圖で見られる。何れにしても第10圖から筋違及び大黒柱は共振周期を短くすると共に共振振幅も少くする効果があることが極めて明かになつた。

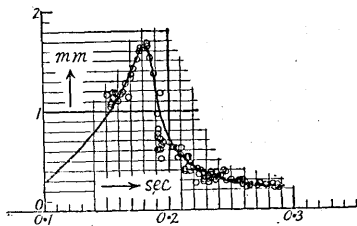
次に強制振動が間口方向(B—B 方向)の場合に於ける最大振動力を 10^8 dyne に換算したときの梁の高さのところの變位と振動周期の關係を第11~15圖に示し、5種類の状態の共振曲線を一つにまとめて第16圖に示した。第16圖を見て特に目立つ事柄は強制振動が奥行方向の場合に比較して筋違の効果が何れの状態でも總べて少いことである。その理由は、中筋違は襷掛けではあるが振動方向に直角な面内にあり、片



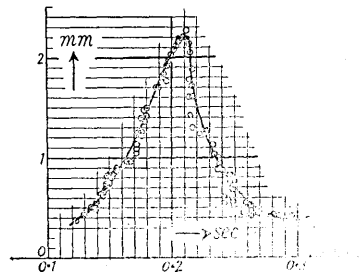
第11圖 原構造。梁の高さのところの變位。強制振動；間口方向(B—B)，測定變位；間口方向



第12圖 片筋違。梁の高さのところの變位。強制振動；間口方向(B—B)，測定變位；間口方向



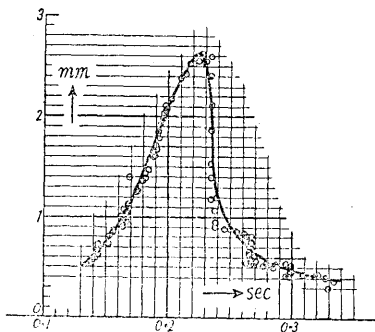
第13圖 兩筋違。梁の高さのところの變位。強制振動；間口方向(B—B)，測定變位；間口方向



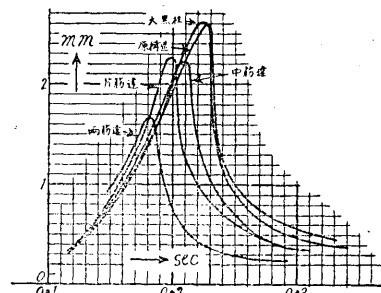
第14圖 中筋違。梁の高さのところの變位。強制振動；間口方向(B—B)，測定變位；間口方向

筋違兩筋違は振動方向の面内にはあるが一方向きの薄板であるから、抗壓力が少いためである。大黒柱の効果が全く無いのは別の理由によるもので、振動方向の面内に加へた禰掛けの筋違のある柱間 (b_2b_1') が板張りであるから、この筋違位ではその部分の剛度に影響を與へないためである。

要するに、この場合には筋違の使用状態が理想的でないからその効果も著しくないが、筋違を有効に使用すれば耐震効果が十分にあることは窺ひ知ることができる。

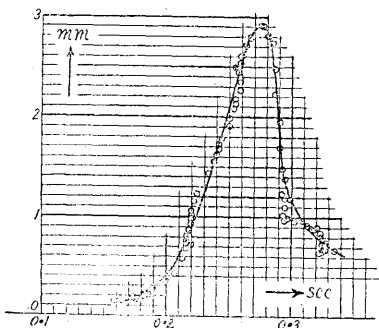


第15圖 大黒柱。梁の高さのまごころの變位。強制振動；間口方向(B-B)，測定變位；間口方向

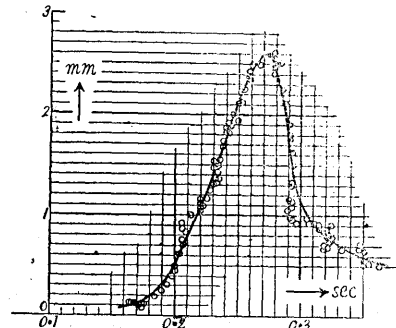


第16圖 梁の高さのまごころの變位。強制振動；間口方向(B-B)，測定變位；間口方向

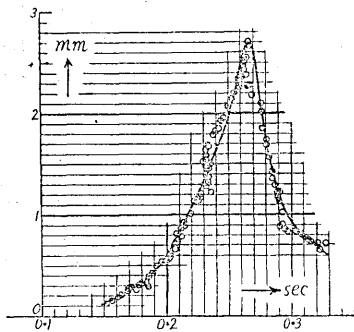
第3には強制振動が對角線方向(C-C方向)の場合である。前述の2つの場合と同様に最大振動力を 10^5 dyne に換算した場合の梁の高さの變位と振動周期の關係を與行方向と間口方向について夫々第17~22圖及び第23~28圖に示す。この場合に



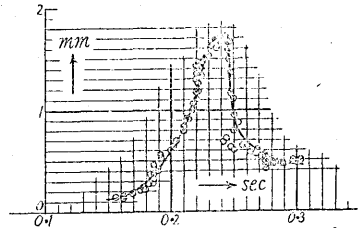
第17圖 原構造。梁の高さのまごころの變位。強制振動；對角線方向(C-C)，測定變位；與行方向(A-A)



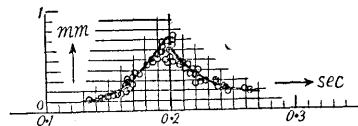
第18圖 片筋違。梁の高さのまごころの變位。強制振動；對角線方向(C-C)，測定變位；與行方向(A-A)



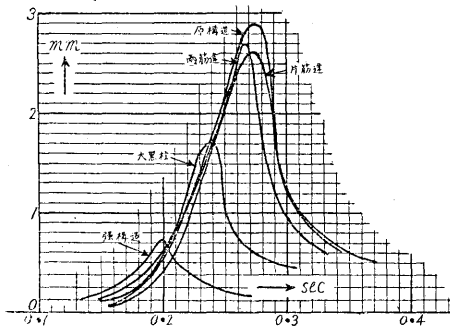
第19圖 兩筋違. 梁の高さのま
ころの變位. 強制振動; 對角線方
向(C—C), 測定變位; 奥行方
向(A—A)



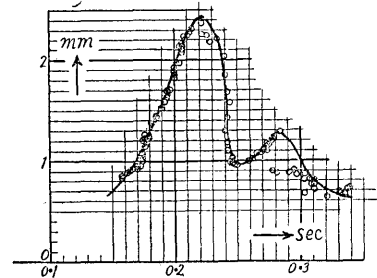
第20圖 大黒柱. 梁の高さのま
ころの變位. 強制振動; 對角線方
向(C—C), 測定變位; 奥行方
向(A—A)



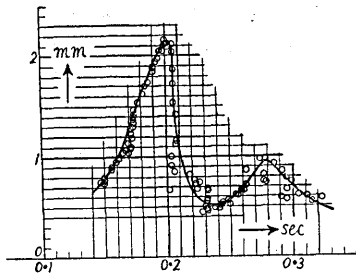
第21圖 強構造. 梁の高さのま
ころの變位. 強制振動; 對角線方
向(C—C), 測定變位; 奥行方
向(A—A)



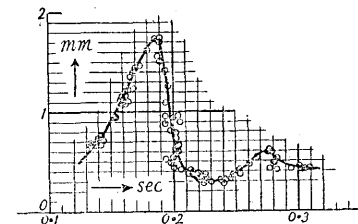
第22圖 梁の高さのまころの變位. 強制
振動; 對角線方向(C—C), 測定變位; 奥
行方向(A—A)



第23圖 原構造. 梁の高さのま
ころの變位. 強制振動; 對角線方
向(C—C), 測定變位; 間口方
向(B—B)

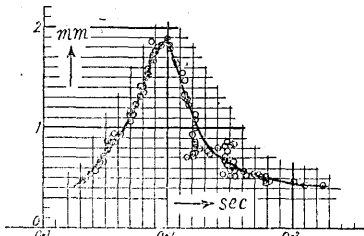


第24圖 片筋違. 梁の高さのま
ころの變位. 強制振動; 對角線方
向(C—C), 測定變位; 間口方
向(B—B)

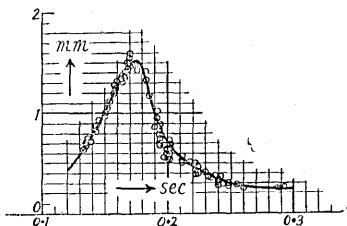


第25圖 兩筋違. 梁の高さのま
ころの變位. 強制振動; 對角線方
向(C—C), 測定變位; 間口方
向(B—B)

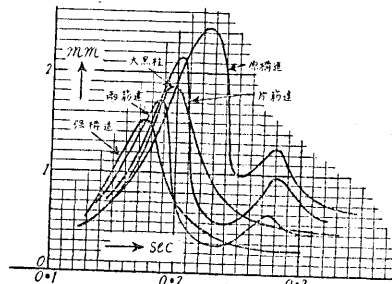
は原構造、片筋違、兩筋違の状態の開口方向の共振曲線に山が2つできる。即ち、開口方向の共振周期附近では強制振動力が對角線方向であつても家屋の振動は純粹に開口方向となり、奥行方向の共振周期附近では大體強制振動力の方向に振動したことになる。次に奥行方向の中筋違、開口方向の兩筋違の共振變位及び共振周期が夫々原構造のそれ等に比べて少いことは第1、第2の場合の説明と同様である。尙、この家屋の構造上當然の事であるが筋違の各状態毎にこの場合の奥行方向の共振振幅は振動力が純粹に奥行方向に働いた場合のその約 $1/\sqrt{5}$ 倍であり、開口方向の1次の共振振幅は振動力が純粹に開口方向に働いた場合のその約 $2/\sqrt{5}$ 倍である。



第26圖 大黒柱. 梁の高さのさころの變位. 強制振動; 對角線方向(C—C), 測定變位; 開口方向(B—B)

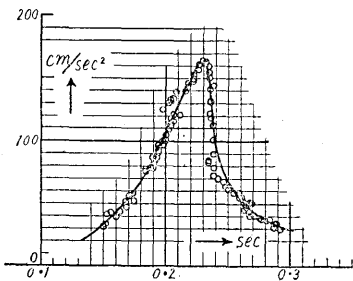


第27圖 強構造. 梁の高さのさころの變位. 強制振動; 對角線方向(C—C), 測定變位; 開口方向(B—B)

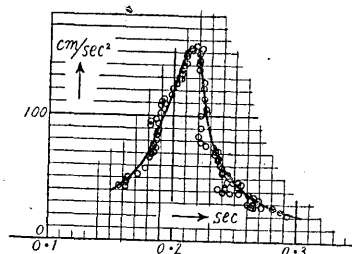


第28圖 梁の高さのさころの變位. 強制振動; 對角線方向(C—C), 測定變位; 開口方向(B—B)

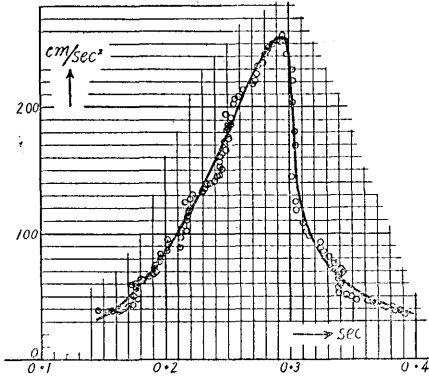
最後に参考のために強制振動が奥行方向の場合の筋違の各状態について梁の高さのところの加速度と振動周期の關係を最大振動力を 10^8 dyne に換算して圖示すると第29~35圖になる。これ等の圖によつても、例へば中筋違の状態の如く僅か2枚の薄板でも有効に使用すれば家屋の補強に非常に役立つことが明かである。



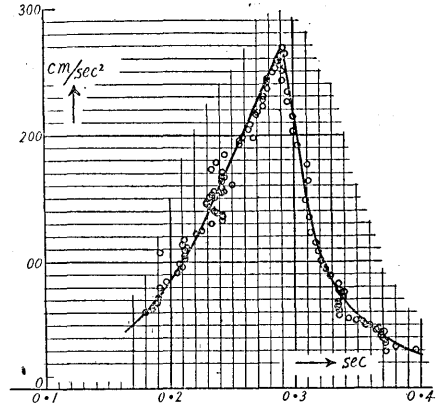
第32圖 中筋違. 梁の高さのさころの加速度. 強制振動; 奥行方向(A—A), 測定變位; 奥行方向



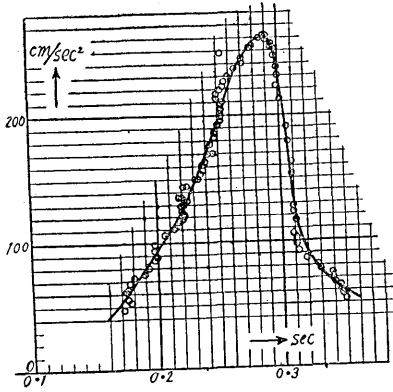
第34圖 強構造. 梁の高さのさころの加速度. 強制振動; 奥行方向(A—A), 測定變位; 奥行方向



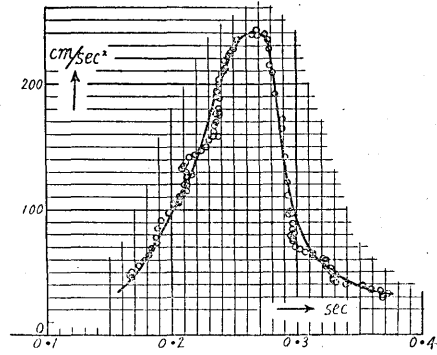
第29圖 原構造. 梁の高さのところの加速度. 強制振動; 奥行方向(A—A), 測定變位; 奥行方向



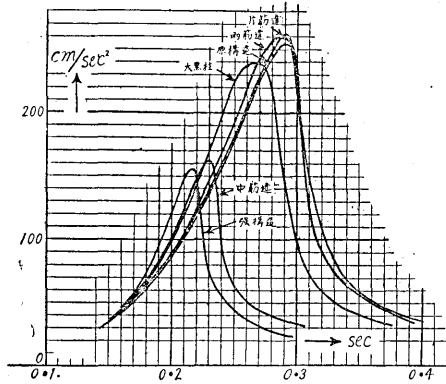
第30圖 片筋違. 梁の高さのところの加速度. 強制振動; 奥行方向(A—A), 測定變位; 奥行方向



第31圖 兩筋違. 梁の高さのところの加速度. 強制振動; 奥行方向(A—A), 測定變位; 奥行方向



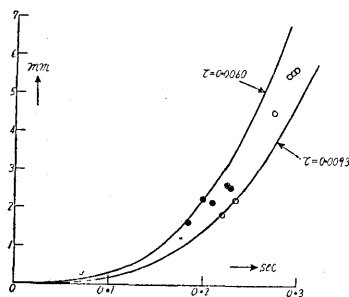
第33圖 大黒柱. 梁の高さのところの加速度. 強制振動; 奥行方向(A—A, 測定變位; 奥行方向



第35圖 梁の高さのところの加速度. 強制振動; 奥行方向(A—A), 測定變位; 奥行方向

6. 木造家屋の振動減衰係數

強制振動が奥行方向の場合に於ける6種類の構造状態の共振周期を横軸に共振振幅を縦軸にとると第36圖の白丸印になり、同様のことを強制振動が開口方向の場合に



第 36 圖

於ける5種類の構造状態について行ふと同圖の黒丸印になる。

今、構造物の柱が基礎及び梁のところで完全に固定された状態にあり、質量が梁のところのみ集中されて居ると假定して、梁のところに周期的加力が働いた場合の固體粘性抵抗の影響を考慮に入れた計算を行ふと、柱の共振變位 y は

$$y = \frac{F}{Mp^2\tau} \left\{ 3\left(\frac{x}{l}\right)^2 - 2\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right\}$$

となる。茲に x は上方を正にとつた坐標、 F は最大振動力、 $p = 2\pi/T$ 、 T は振動力の周期、 M は集中質量、 l は柱高、 τ は減衰係數である。構造物の振動減衰抵抗としては構造材の固體粘性の他に振動勢力の地下逸散、構造材間及び構造材と周囲の物質間の摩擦抵抗、構造材の永久變形（只今の場合には記録紙上の零線が狂つて居らないから問題にならない）等が考へられるが、この實驗のやうな場合には固體粘性抵抗のみを考慮に入れても大差はなからう。

而して、 $F = 10^5$ dyne、 $M = 2580$ kg (1 平方 m 當り 50 kg といふ假定) とし、強制振動が奥行方向の場合の強構造状態、及び開口方向の場合の片筋違状態の梁のところに於ける共振變位と共振振幅の値を(1)式に入れると減衰係數 τ は夫々 $\tau = 0.0093$, 0.0060 sec となる更にこの τ の値を使用して共振變位と共振周期の關係を求めると第36圖の2本の曲線になる。即ちこの圖から實驗を行つた9種類の構造状態の振動減衰係數は略々一定であると言へる譯で、更に言葉を換へればこの家屋に筋違或は大黒柱を加へたために共振振幅が減じたことは振動減衰係數が増したためではなく、横振動の剛度が高くなつたためと言へる。尙、普通に行ふやうに、この家屋に衝撃を與へて自由振動を起してその記録から減衰係數を出すと $\tau = 0.0073$ sec となり、前記の方法で得た τ の値と非常によく一致する。従つて前の計算の種々の假定には餘り無理がなかつたことになる。

固體粘性抵抗 ξ はヤング率 $E = 6 \cdot 10^8$ C. G. S., $\tau = 0.0074$ とすると $\xi = \tau E = 4.4 \cdot 10^8$ C. G. S. となる。尙、他の構造物の減衰係數を参考のために列記すると煉瓦柱

又は煉瓦煙突については田中館博士³⁾大森博士⁴⁾が実験から $\xi/E=0.00195, 0.00313, 0.00428, 0.00478$ C. G. S. の値を出し、鉄筋コンクリート架構については谷口博士⁵⁾が $\xi/E=0.00185$ C. S. G. といふ実験値を出して居る。

7. 結 語

筋違及び大黒柱の耐震効果を實在の家屋について確かめるために、構造學的に簡単な家屋に於て筋違の状態を 6 種類、強制振動の方向をその各々の状態について 3 通り變へて振動実験を行つたところ、筋違及び大黒柱（只今の實驗では筋違使用の特別な場合）の耐震効果は全く理論の示す通りで、これ等を使用することは家屋の共振周期を短くするのみならず共振振幅を小さくするのに大いに役立つことが一層明確になり、之等を使用する際の基準が得られた。

即ち、筋違を最も効果的に使用するには、柱と同程度の寸法のものを使用する場合には一方向きでもよいが、薄板を使用する場合には必ず襷掛けか或は合掌型にする必要がある。又、筋違は柱の中間でなく、土臺から梁へ渡して連結し、その角度は $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ が最も効果的である。尙、筋違の兩端は必ずしも理想的な固定状態にする必要はなく、又全張間に取付けないでもよい。當然のことであるが、筋違は弱い張間に加へる程効果が大きいことも實驗の結果極めて明かになつた。

この家屋の固體粘性抵抗を強制振動及び自由振動の兩方から求めたところ、その値は大體一致し、 4.10^8 C. G. S. といふ値を得た。

更にこの實驗によつて、筋違を加へたために共振振幅の減じるのは、家屋の振動減衰係數が増したためではなく、横振動に於ける家屋の剛度が増したためであることがわかつた。

最後に本研究に當り終始御指導を賜つた妹澤先生並びに實驗上種々の御便宜を與へられた齊田小平宮村 3 氏に厚く謝意を表する。

尙、本研究は文部省科學研究費に負ふところ多く、又、實驗及び整理に際しては渡邊堀田前田 3 氏清水嬢より多大の御助力を戴いた。茲に深く御禮を申し述べる。

3) 田中館愛橋・眞野文二 震災豫防調査會報告 21 (1898), 7—16.

4) 大森房吉 震災豫防調査會歐文紀要 2 (1908), 223—228, 12 (1933), 29—37

5) 谷口 忠 建築雜誌 42 (1928), 151—169.

38. *Vibration Experiments with an Actual Wooden Building Conducted with a view to Confirming the Aseismic Properties of the Brace-struts (Sudikai) and the Principal Column (Daikoku-basira).*

By Kiyoshi KANAI,

Earthquake Research Institute.

The results of our mathematical investigation and model experiments made previously with respect to the aseismic properties of brace-struts and the principal column were confirmed by means of vibration experiments of an actual single-storied wooden building.

Vibrational forces were imparted to the building by means of a vibrator formed of a revolving bicycle rim with an added eccentric mass. The vibrator was placed on a beam in the central part of the building, driven initially with hand with the greatest possible speed, and then remain in a freely rotating state. Since the rotating speed of the vibrator tended to diminish, the frequency of the forced vibration changed from time to time.

There were five conditions in the construction of the brace-struts in these experiments. When, for example, two struts, both 12 cm wide and 4 cm thick, were fixed crosswise to the building, the resonance amplitude and the resonance period were reduced to 40 percent and 80 percent respectively of those of the original structure.

The vibration experiments of the actual wooden building also showed that the brace-struts fitted to a structure are effective both in reducing the resonance amplitude and in increasing the resonance frequency.

The solid viscosity coefficient of the wooden building in the present case, both from the forced and free vibrations, was shown to be almost $4 \cdot 10^8$ C. G. S. units.