

26. 木造家屋の耐震性 第1報

(人力による振動実験)

地震研究所 { 鈴木正治
 { 荘司良也

(昭和 31 年 2 月 28 日発表—昭和 31 年 9 月 30 日受理)

1. ま え が き

木造家屋の耐震構造に関する研究は、多くの人々によつて行われ、現在までに多数の研究結果が報告されているが、これらの業績は、地震時における家屋及び地盤の地震動観測による家屋の振動特性の究明¹⁾、常時における家屋の自由振動並びに強制振動による振巾、週期等の測定²⁾、筋違の効果に関する理論的並びに実験的研究³⁾、に大別することが出来る。

本報告はその一部の補強による家屋の諸性質を自由振動(手動)及び強制振動(起振機による)により明らかにせんとするものである。

2. 試 験 家 屋

試験家屋は東京都杉並区和田本町 835 番地に、昭和 25 年 4 月竣工した都営木造住宅群の 1 棟で、間口(東西方向)4 間、奥行(南北方向)2.5 間の瓦葺平家である。第 2 図は平面、正面及び側面図を示し、点線部分は改造増築部分である。柱は 3 寸×3 寸角材、大梁は 3.5 寸×3.5 寸角材で、材質は殆んど杉材である。増築部分は図の如く家屋の南東に継いだ約 1.3 坪の洗面所兼洗濯所、及び東側に継ぎたした約 0.3 坪の台所(勝手)である。

3. 実 験 状 態

実験は手動による自由振動及び起振機による強制振動で、原構造及び各種の筋違の添加状態に於て振巾、週期の測定を行つた。以上の実験完了後、第 2 図に示した増築部分に対する影響も測定した。尚携帯用の振動計を移動して家屋の平面及び鉛直変位分布の測定も行つた。

筋違は、内部は圧縮型、90 mm×36 mm 断面、外部は引張型、90 mm×20 mm 断面

1) 坪井忠二・宮村撰三 地震による家屋の歪の実測 震研彙報 20 (1942), 291-295. 21 (1943), 216-230.

金井清・鈴木富三郎 今市地震の余震による建物振動の観測結果 震研彙報 28 (1950), 461-470.

斉田時太郎 木造家屋の振動に関する研究 日本學術振興会「第 14 小(耐震構造)委員会」報告 第 1 号.

2) 西村源六郎・鈴木正治 自然風及び起振機等による木造二階建住宅の振動 震研彙報 32 (1954), 114-145.

3) 金井清 筋違及び大黒柱の耐震効果を確かめんとする木造家屋の振動実験 震研彙報 20 (1942), 538-550; 21 (1943), 206-215.



Fig. 1. View of test house.

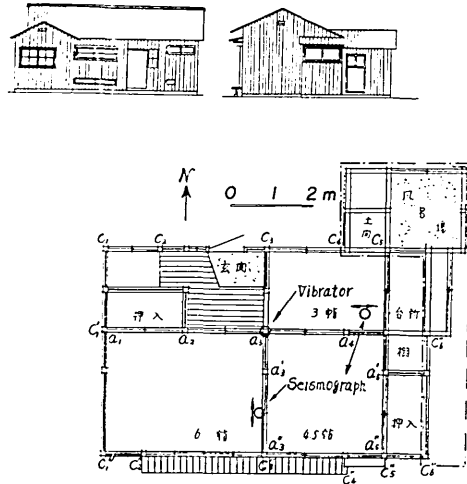


Fig. 2. Plan and elevation views of test house.

のもので、夫々敷居—鴨居間、土台—大梁間に釘にて固定した。
本試験の仕掛構造は次の如くである。

(1) E-W 成分

- A. 原構造 (筋違を施さない状態)。
- B. a_1a_2 間へ斜材 (90 mm×36 mm) 1 本を加えた状態。(第 6 図 左上)
- C. a_1a_2, a_3a_4 の柱間へ斜材 1 本ずつ加えた状態。(第 6 図 左下)
- D. C の状態に a_2a_3 の柱間へ斜材 2 本加え × 掛けした状態。(第 6 図 右上)
- E. D の状態に a_2a_1, a_4a_3 へ斜材 2 本加えた状態。(第 6 図 右下)
- F. $c_2''c_3'', c_5''c_3''$ 間の大梁土台間へ斜材 (90 mm×20 mm) を 1 本ずつ加えた状態。
- G. F の状態に c_1c_3 間に斜材 2 本を × 掛けした状態。
- H. G の状態に $c_3''c_5'', c_3''c_2''$ 及び c_3c_5 へ斜材各 1 本ずつ斜材を加えた状態。

(2) N-S 成分

- A'. 原構造 (筋違を施さない状態)
- B'. $c_1'c_1''$ の柱、土台間へ斜材 (100 mm×20 mm) 1 本を加えた状態。
- C'. B' の状態に $c_6'c_6''$ へ 1 本の斜材を加えた状態。
- D'. C' の状態に $c_1'c_1'', c_6'c_6''$ へ各 1 本ずつ加え東西側共に × 掛になつた状態。
- E'. D' の状態に $a_3'a_3''$ 間へ (90 mm×30 mm) 2 本を鴨居に × 掛に加えた状態。
- F'. E' の状態に $a_5'a_5''$ へ × 掛に斜材を加えた状態。

4. 測定計器及び測定方法

測定計器は微動計 3 台で、それぞれの自己振動週期は 1.0 秒。倍率 20-100 倍程度に可変のものであるが、いずれも約 50 倍程度で使用した。円筒に巻かれた記録用煤紙の速さは 10 mm/sec で、同期電動機に依つて駆動されている。

測定位置は第 2 図の家屋平面図に示した通りであるが、A 点は主として、E-W, B 点は N-S 成分の測定を行つた。振動 (加力) の方向はそれぞれ変位の測定方向と一致

せしめた。平面上の変位分布の測定は、振動計を適当な位置(第21図)において行い、これらの場合のいづれも振動計は天井上の陸張上に設置した。

高さの変位分布の測定は、家屋東側の台所戸棚に適当な板を渡し振動計を設置して行つた。

家屋に振動を与える方法としては、手動による自由振動と、起振機による強制振動で、起振機は半径16cmの球軸受付き蓄勢輪(fly wheel)でその偏心質量が Ma , Mb , Mc 及び Md と取換可能な手廻しのものである。手廻しによる最大廻転数は約600 r.p.m. で、停止するに約2分を要する。

偏心質量が一定でも各振動数に於ける振動力は振動数の二乗に比例する故、共振曲線を画くに際しては、得られた記象より振力一定の場合の変位に換算した。この場合の振動数は E-W, N-S 成分につきそれぞれ共振振動数附近を選定した。第I表は各偏心質量に対する諸量を示す。

第 I 表

| 偏心質量の種数 | Ma | Mb | Mc | Md | 選定週期 |
|-----------|------|------|------|------|---------------|
| 偏心質量 (kg) | 0.16 | 0.34 | 0.60 | 1.31 | E-W: 0.23 sec |
| 偏心量 (cm) | 16.9 | 17.7 | 17.7 | 17.7 | |
| 最大振動力 N-S | 2.2 | 4.8 | 8.6 | 19.1 | N-S: 0.22 sec |
| kg-wt E-W | 1.9 | 4.4 | 7.9 | 17.5 | |

5. 測定結果と其の考察

測定結果につき次の項目について述べる。

- A. 原構造の性質
- B. 筋違の効果
- C. 原構造に及ぼす改造の影響
- D. 鉛直方向の変位分布
- E. 平面上の変位分布
- F. 家屋の振動減衰係数
- G. 加力と変形

(1) 原構造 第3図は自由振動による振巾と自己振動週期との関係を示す。図で示す如く E-W 成分に於いては微小振巾ではその週期は約0.17 secで、週期は振巾の増加

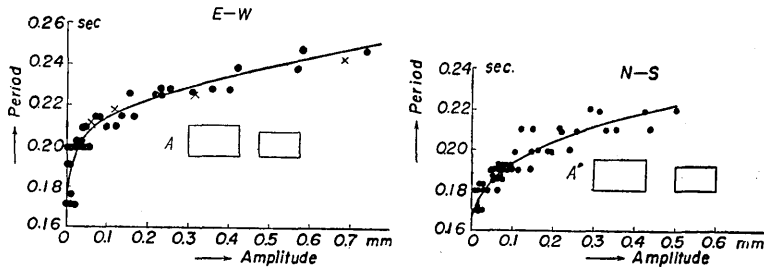


Fig. 3. Relation between displacement amplitude and free vibration period. Left, \times : correspond to the state of forced vibration. Original structure.

と共に 0.22 sec 附近までは急激に増加するが、以後は現在の測定範囲では振幅に比例して増加する。N-S comp. も E-W comp. と殆んど同じ傾向を示す。

第4図は自由振動の振幅減衰状態を示すもので、相次ぐ振幅を両軸に記入したものである。これより減衰比 ν を求めると E-W comp. においては $\nu=1.15-1.30$, N-S comp. では $\nu=1.15-1.43$ で微小振動においては減衰比は顕著に小さく、両成分を比較すると同一振幅 (0.5 mm) において N-S comp. が 10% 大きい。

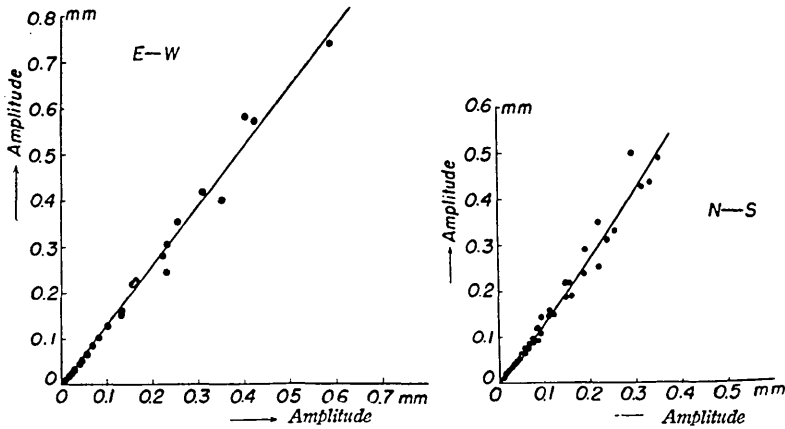


Fig. 4. Damping characters of free vibration. Original structure.

第5図aはE-W comp. の強制振動を与えたとき偏心質量を変えた場合の週期—振幅曲線で、偏心質量の大きいほど共振週期が増加している。第2図の印×で記入したものがこの場合の振幅と共振週期の関係で、これは自由振動に於ける自己振動週期と振幅との関係と殆んど一致していることがわかる。

第5図bはN-S comp. で、E-W comp. と比較すると共振週期は約3%小さく、同一加力に対する共振振幅は17%小さい。

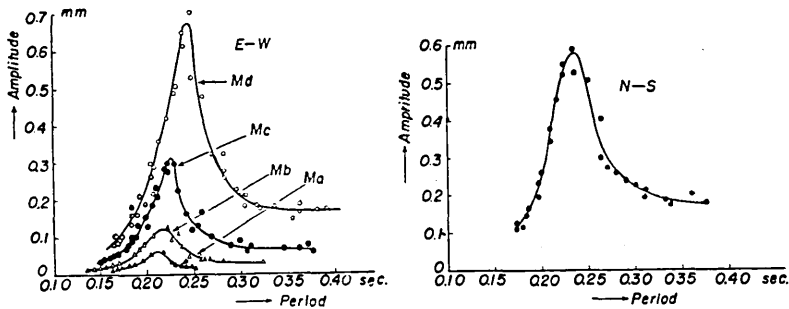


Fig. 5a. Relation between displacement amplitude and period. Original structure.

Fig. 5b. Relation between displacement amplitude and period. Original structure.

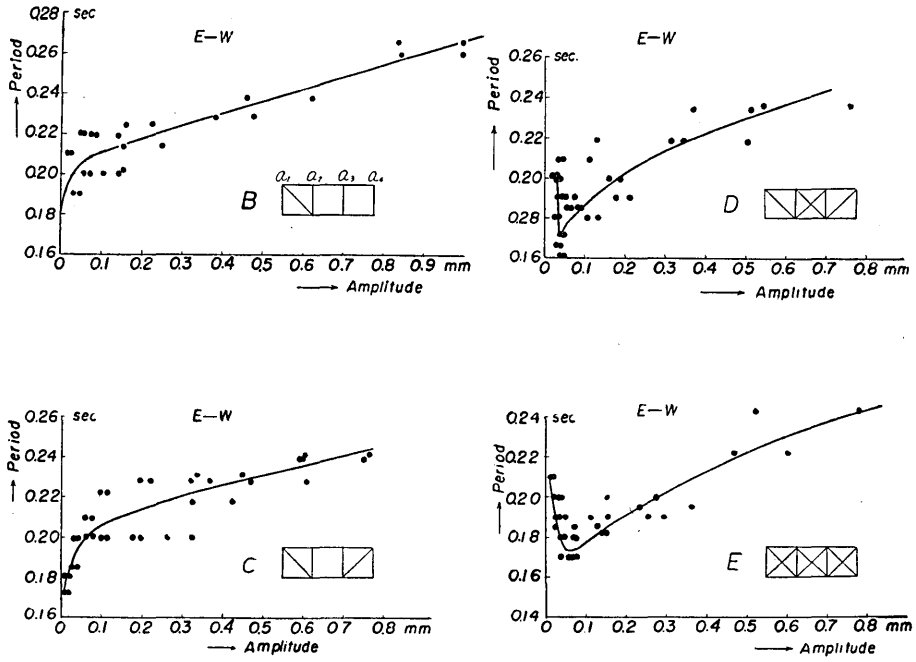


Fig. 6. Relation between displacement amplitude and free vibration period under various conditions in the construction of the brace-struts.

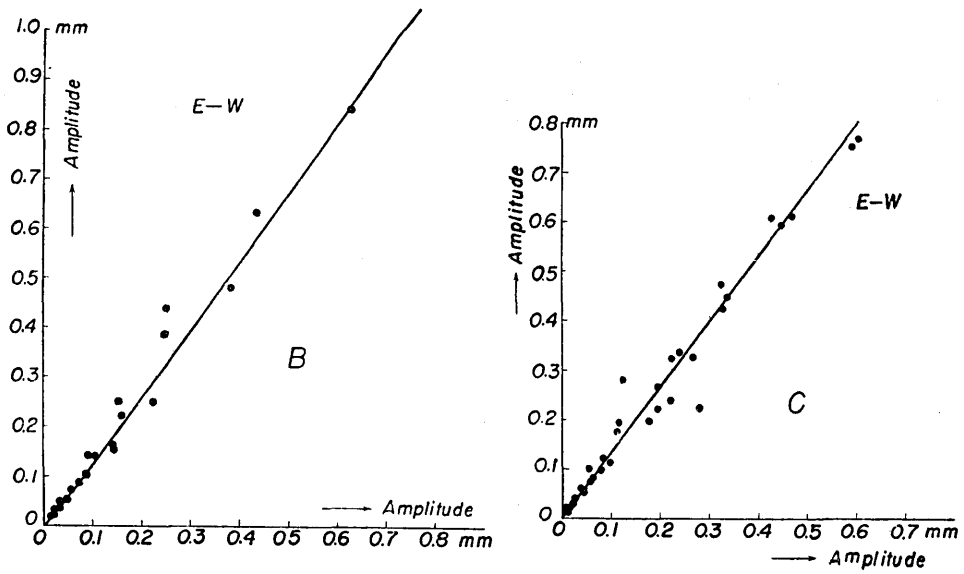


Fig. 7.

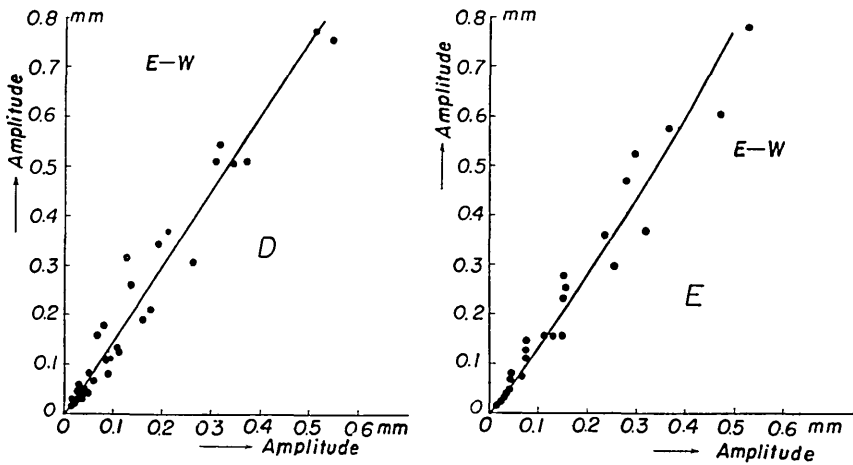


Fig. 7. Damping characters of the vibration under the various conditions in the construction of the brace-struts.

(2) 筋違の効果

(i) 自由振動 第6図は内部筋違 *B, C, D, E* の状態に於ける振巾と自由振動週期の関係で、いずれの場合も振巾が増加すると自己振動週期が増加することは、原構造の場合と変わらない。又、同一振巾に於ける自己振動週期は筋違の量の増加にともない減少する。第6図 *C* 及び *D* の週期—振巾曲線において週期の極小値が見られる。この事実は家屋の振巾がこの週期の極小値に相当する振巾より小さい場合には筋違を施した方向の

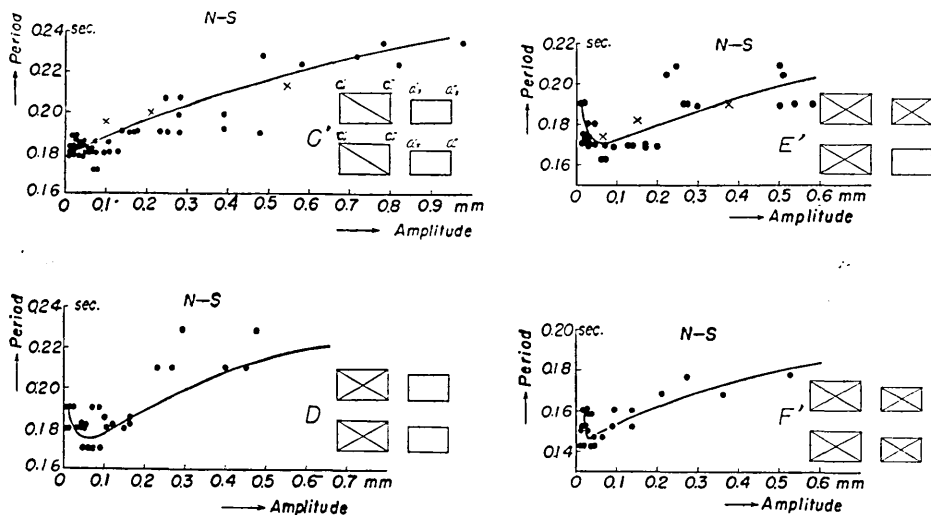


Fig. 8. Relation between displacement amplitude and free vibration period under various conditions in the construction of the brace-struts. x: Correspond to the state of forced vibration.

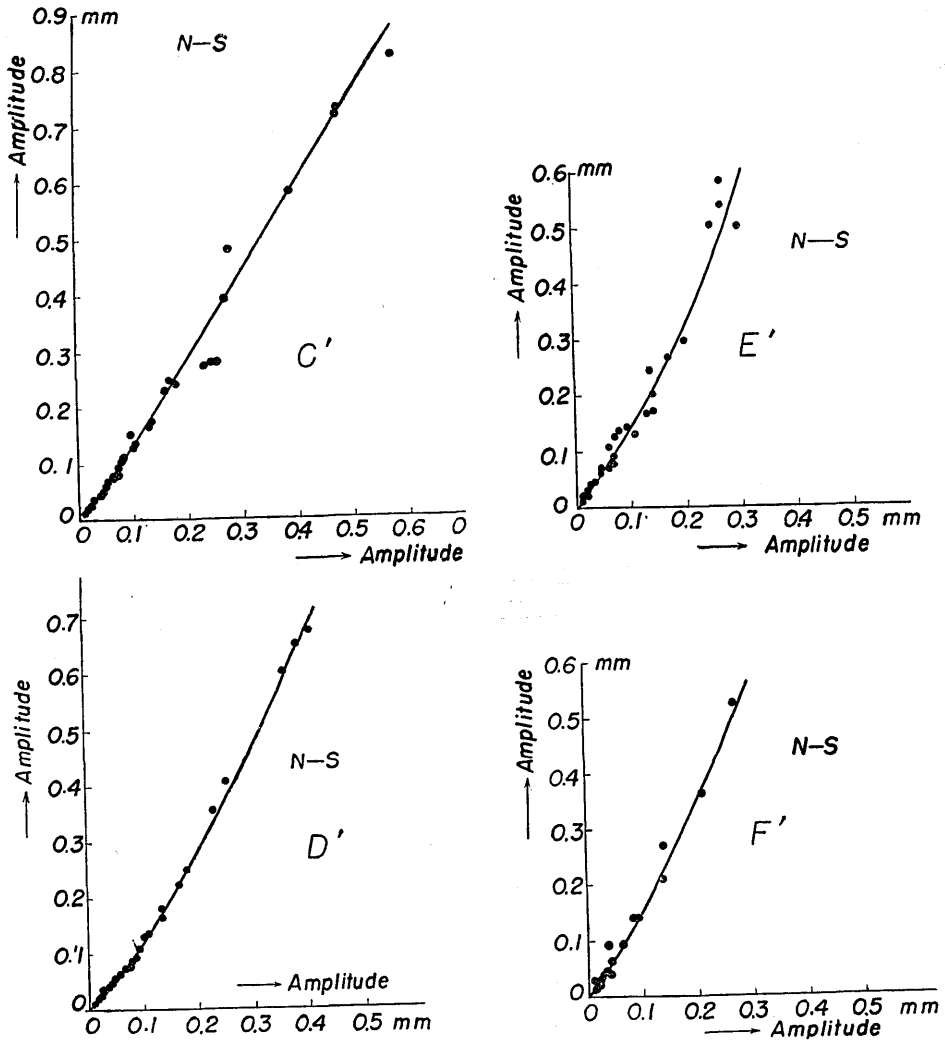


Fig. 9. Damping characters of free vibration under the various conditions in the construction of the brace-struts.

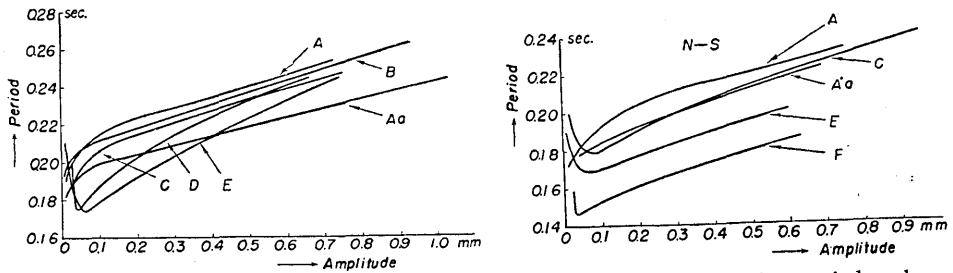


Fig. 10. Relation between displacement amplitude and free vibration period under the construction of the brace-struts.

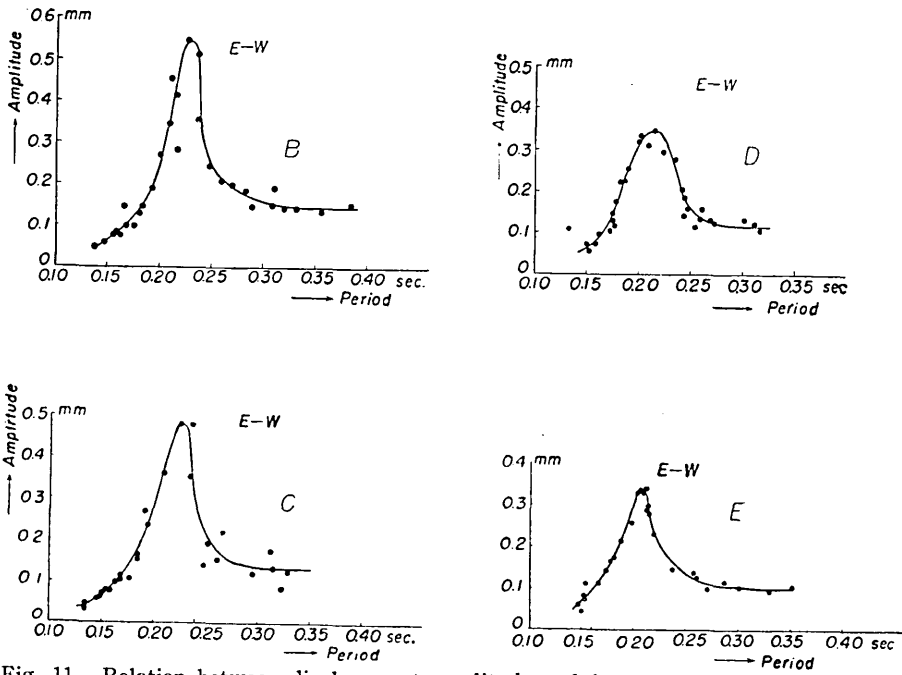


Fig. 11. Relation between displacement amplitude and forced vibration period under the various conditions in the construction of the brace-struts.

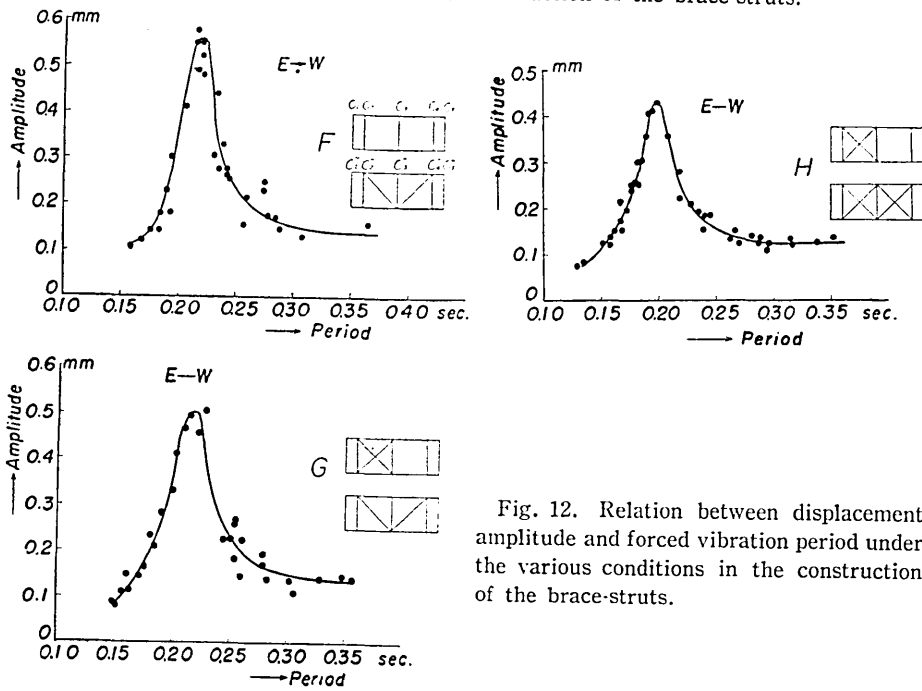


Fig. 12. Relation between displacement amplitude and forced vibration period under the various conditions in the construction of the brace-struts.

成分の剛性が著しく増加するためこれに直角の成分が比較的振動し易くなり、それにより誘起される振動によるものと思われる。上記の状態の減衰曲線を求めると第7図の如くなる。同一振巾に於ける減衰比は筋違の量の増加と共に増加し、一定の筋違に於ける減衰比は振巾減衰と共に減少する。これは原構造の場合と同様である。例えば *E* の状態（筋違6本）に於けるは $v=1.6-1.2$ となつている。

第8図は *C'*, *D'*, *E'*, *F'* の状態の筋違量の異なる場合、N-S comp. の週期一振巾の関係で、E-W comp. と殆んど同様な傾向を示し、振巾の増加に伴い自己週期は増加し、また、同一振巾に於ける自己週期は筋違の量の多いほど小さい。

第9図は減衰曲線で、同一振巾に於ける v の値は筋違量の多いほど大きい。また定まつた筋違量に於ては振巾の減衰と共に v の値も減少する。

第10図は自由振動に於ける週期、振巾の関係で、それぞれの成分の差違を比較し易くするため一つにまとめて示したものである。

(ii) 強制振動 第11図は E-W comp. 筋違 *B*, *C*, *D*, *E* の状態で、偏心質量 *Md* に対する週期一振巾の関係である。これによれば、共振振巾はそれぞれの状態においては原構造の 86%, 76%, 65%, 52% となり、共振週期は 95%, 94%, 90%, 85% となつている。

第12図は *F*, *G*, *H* の筋違の状態に於ける共振曲線で、振巾は原構造の 80%, 71%, 62% となり、共振週期は 87%, 86%, 79% とそれぞれ減少している。

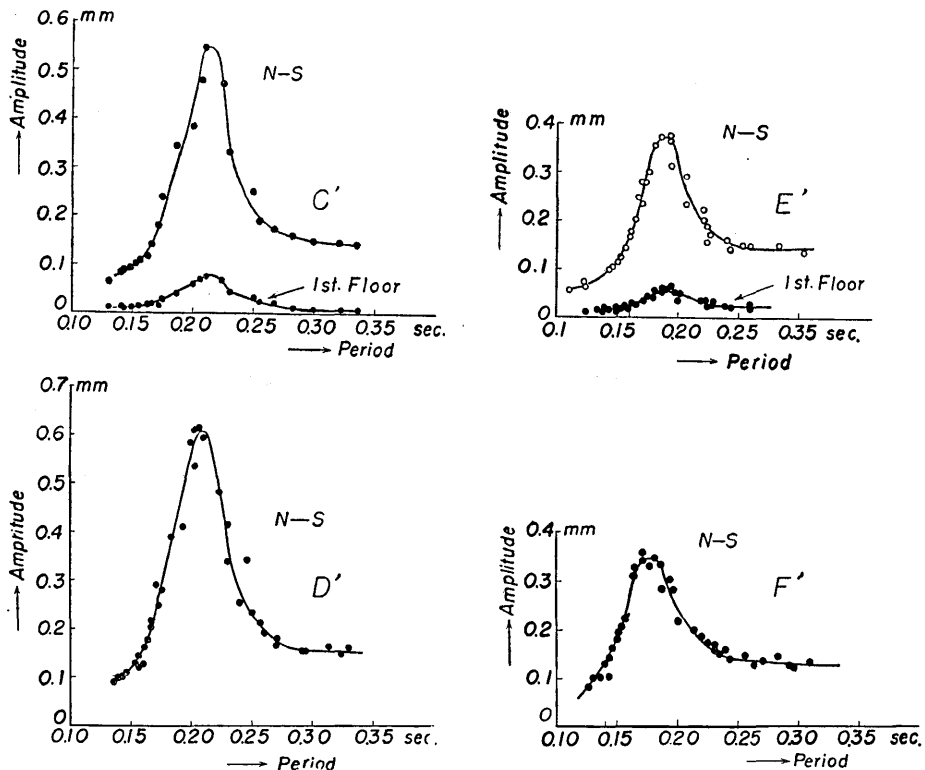


Fig. 13. Relation between displacement amplitude and forced vibration period under the various conditions in the construction of the brace-struts.

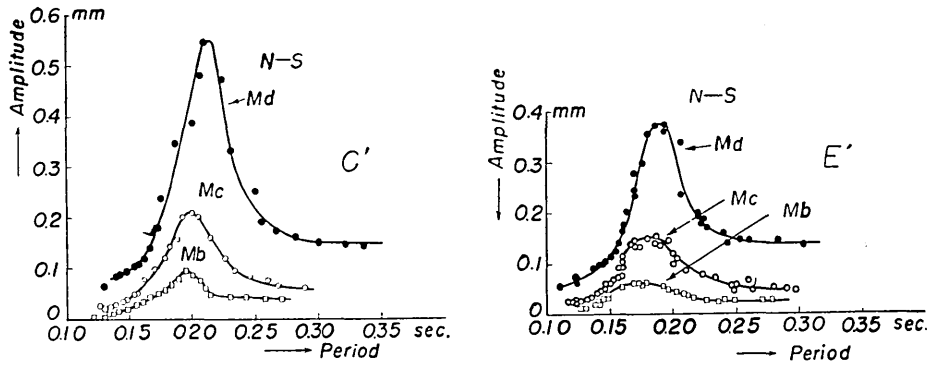


Fig. 14. Vibration characteristics for the variations of unbalanced mass of the vibrator.

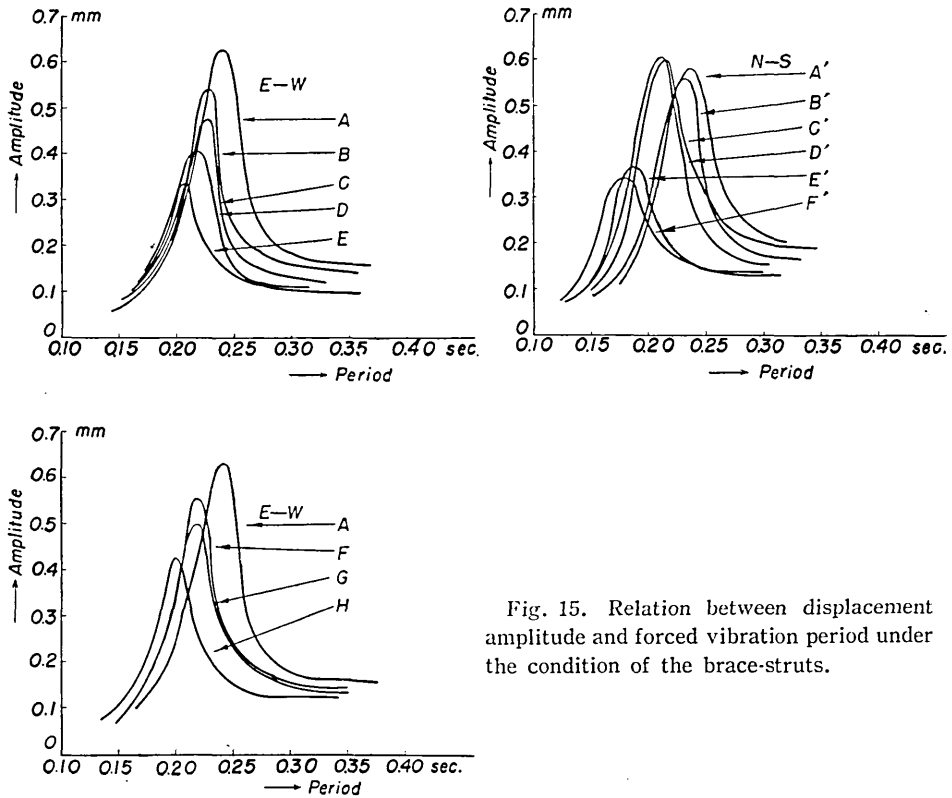


Fig. 15. Relation between displacement amplitude and forced vibration period under the condition of the brace-struts.

第13図は N-S comp. の外部及び外部・内部を併用した筋違の状態の共振曲線を示す(第8図参照)。これらの状態においては、共振振巾はそれぞれ原構造の 97%, 93%, 105%, 64%, 61% と減少し、共振週期はそれぞれ 98%, 90%, 89%, 80%, 76% と減少している。B', C', D' の外部筋違の状態の共振振巾は原構造に比してほとんど変わらず、むしろ D' の場合は幾分増加している。

これは次の如く考えられる。即ち家屋は E-W 方向に長く、また中央において強制振動を与えられるため、外部筋違によつて、東西両端の部分の剛性が中央部に比べて比較的大となるが、中央部は大差なく、共振時には剛性小なる部分の振巾が他の部分に比べて大きくなるものと思われる。

第14図は C' 及び E' の状態において偏心質量を変えた場合の共振曲線で、これらは E-W 原構造の場合と同様偏心質量を増加すれば、共振週期もそれぞれ増加している。

第13図に天井と同時観測を行つた場合の玄関床上に於ける共振曲線を示す。

第8図に C' 及び E' の状態に於ける共振振巾と週期の関係を × 印にて示した。

第15図は振動方向がそれぞれ E-W 及び N-S の場合における振巾一週期の関係を示すもので差違を比較し易くするためそれぞれ一つにまとめたものである。

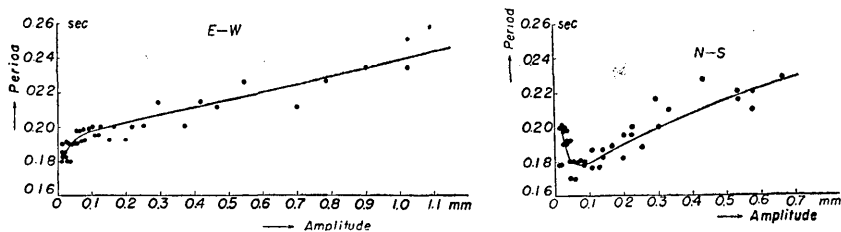


Fig. 16. Relation between displacement amplitude and free vibration period after the addition.

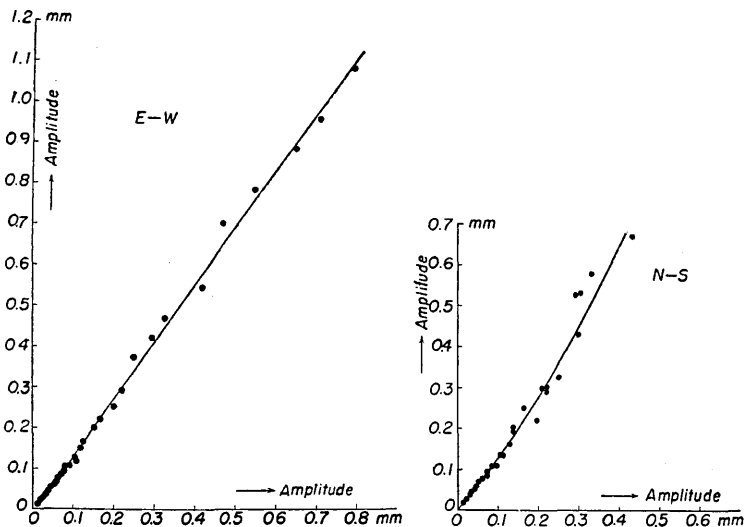


Fig. 17. Damping characters of free vibration after the addition.

(3) 改造の原構造に及ぼす影響

(i) 自由振動 第 16 図は E-W comp., N-S comp. の振巾一週期曲線で、これらを改造前のものと比較して見ると、自己振動週期は、例えば同一振巾 0.6 mm においては E-W comp. では約 90% に減少し、N-S comp. では 95% に減少している。なお N-S comp. においては振巾一週期曲線に週期の極小値が見られる。この極小週期を与える振巾より小なる振動は筋違量の増加した場合には見られる現象と同様減衰振動の終期時に於て他の成分の振動により誘起されるものである。第 17 図は減衰曲線で、E-W comp. においては振巾 1.0 m~0 mm の範囲で、 v の値は 1.40-1.20 となり改造前より僅かの増加を示し、N-S comp. については v の値は 2.32-1.25 となり振巾の減衰にともない v の値は減少している。これらの v の値は改造前の値に比較して著しく増加している。

(ii) 強制振動

第 18 図は E-W comp., N-S comp. の週期一振巾曲線で、共振振巾は夫々同一の振動力に対し改造前の 84%, 90% に、共振週期は 89%, 92% に減少している。また比較的共振週期より長い週期の振巾(静的加力と考えられる週期)はそれぞれ改造前の 77%, 及び 78% と減少を示している。

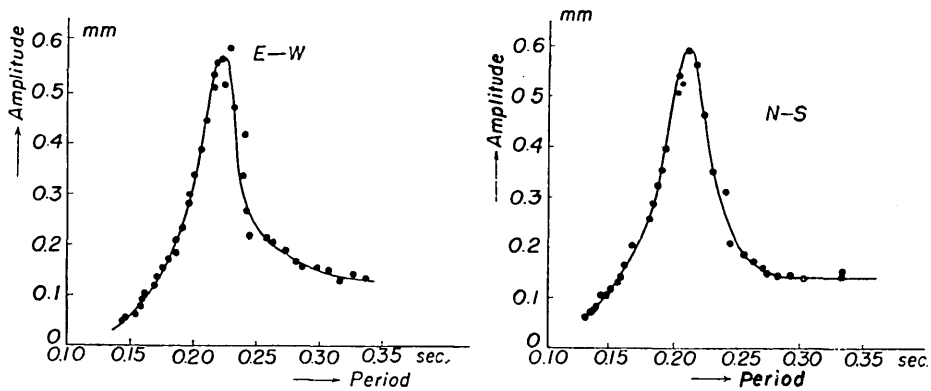


Fig. 18. Relation between displacement amplitude and period after the addition.

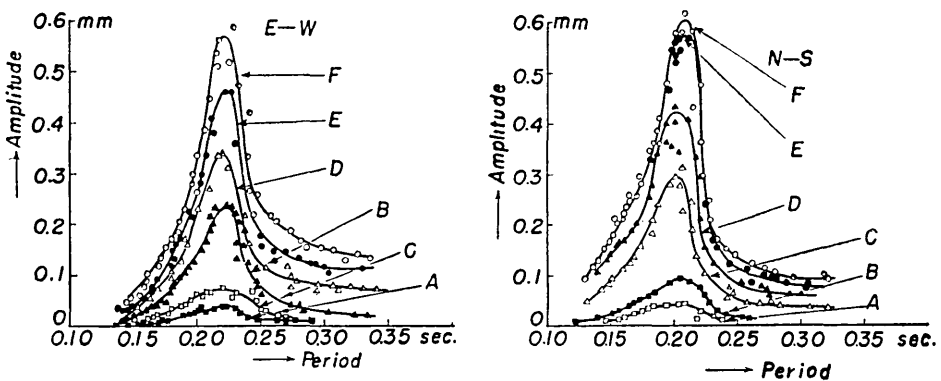


Fig. 19. Relation between displacement amplitude and period for the six respective locations after the addition.

(4) 垂直方向の変位分布

第19図は改造後に行つた家屋東側位置の垂直方向のそれぞれの高さに於ける振巾一週期曲線で、これらの結果より共振振巾と高さとの関係を示すと第20図の如くなる。E-W, N-S 両成分いずれも高さ1m附近までは傾斜角 da/dh (a' は振巾, h は高さ) は増加し、以後は減少するが、E-W 成分は2m附近より再び増加する。これは東側増築部分の高さが約2.5mであるためこれより上部は家屋全体の剛性が小なるための影響とも考えられる。また両成分とも剪断振動型に近い振動である。

(5) 平面上の変位分布

第21図は陸張上の a, b, c, d, e の各点に於ける週期一振巾曲線で、これらの共振振巾は d 点を除き殆んど等しい。また共振週期より比較的長い週期(静的と考えられる)に対応する振巾については家屋の中心より遠ざかるに従い次第に小さくなる。0.15 sec 附近に於いて幾分振巾の増加するのは振り振動を生ずるためで、建物の両側に於いて大きい。 e 点に於て 0.17 sec 附近の振巾の増加は、北側の増築部分の影響と考えられる。このことは増築部分の地上に於ける振動観測結果より明かである。

(6) 家屋の振動減衰係数

原構造、筋違状態、改造後の自由振動の場合の減衰比 v は、いずれも振巾の減衰とともに減少することを述べた。家屋を一質量系の振子と考えると強制振動の共振曲線より減衰係数を次式より求めることができる。即ち

$$h = \frac{T_0^2}{4} \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2} \right) \quad (1)$$

ここに T_0, T_1, T_2 はそれぞれ共振週期及び共振曲線上の共振振巾の $1/\sqrt{2}$ 倍の振巾を与える週期である。また減衰係数 h と減衰比 v との関係式は

$$v = e^{-\frac{\pi h}{\sqrt{1-h^2}}} \quad (2)$$

で与えられる。

第II表は強制振動及び自由振動より求めた v, h の値を示すもので、自由振動の v, h の値は共振振巾 A と同一振巾の値である。第22図は強制振動及び自由振動の減衰係数との関係で、自由振動の値が著しく大きい。

第III表は各構造毎に減衰曲線及び自由振動に於ける振巾週期の関係より求めたもので、これより同一振巾を与える減衰比とその週期の関係を図示すれば第23図の如くなり、明らかに減衰比は週期の減少とともに増加することがわかる。減衰係数 h と自由振動週期 T との関係を

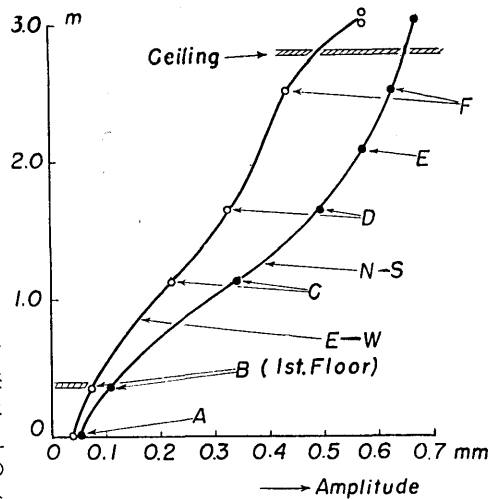


Fig. 20. Forced vibration modes for resonance condition after the addition.

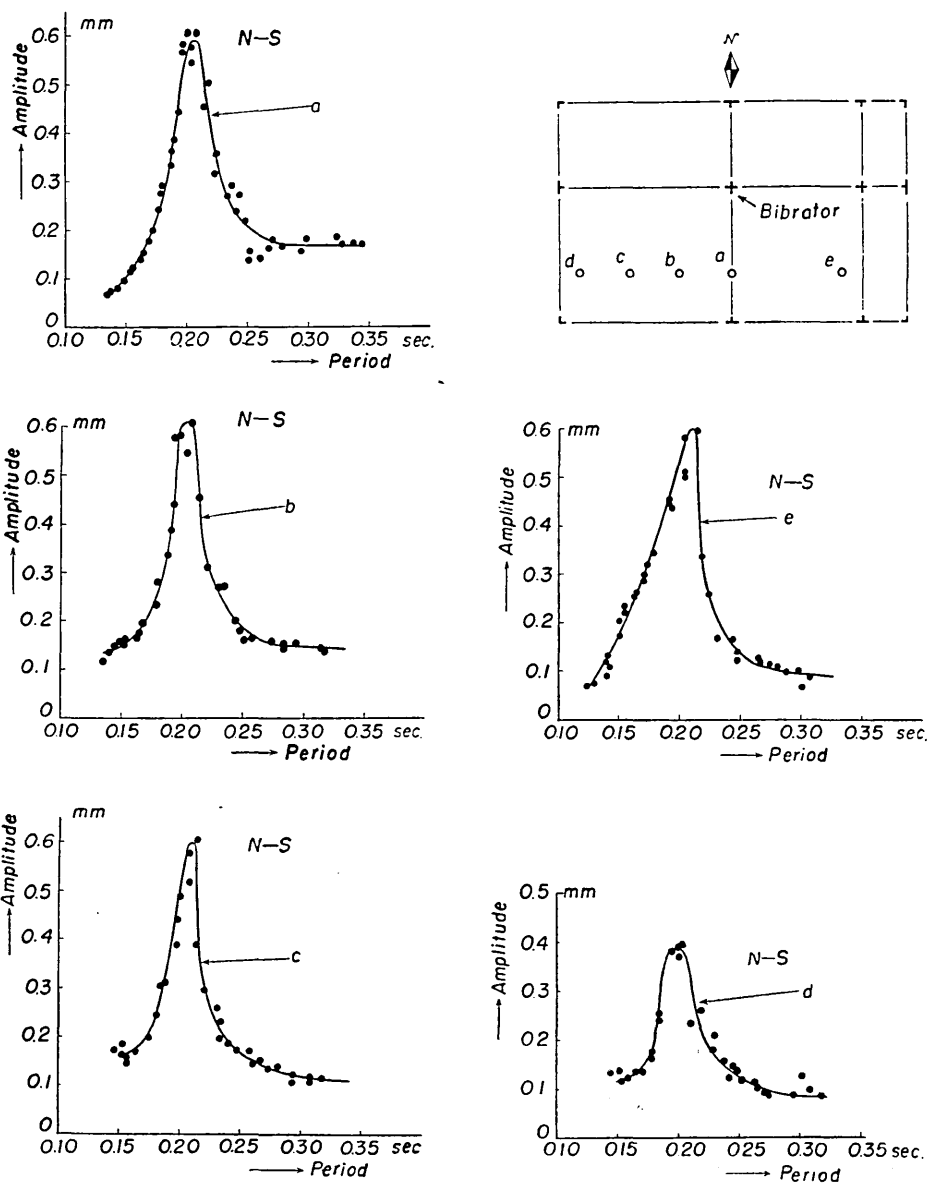


Fig. 21. Relation between displacement amplitude and period for the five respective location (a, b, c, d, e) after the addition.

第 II 表

| 実験期日 (年月日) | 構造 | 方向 | 強制振動 | | | | | 自由振動 | |
|---------------|-----|-----|--------|-------|------|----------------|-------------|-------|------|
| | | | weight | h | v | T_0 (sec) | A (mm) | h | v |
| 30 11 5 | F | E-W | Md | 0.072 | 1.25 | 0.218 | 0.55 | | |
| 30 11 5 | G | " | " | 0.098 | 1.36 | 0.216 | 0.50 | | |
| 30 11 5 | H | " | " | 0.084 | 1.30 | 0.200 | 0.43 | 0.160 | 1.66 |
| 30 11 9 | A | " | " | 0.087 | 1.32 | 0.241 | 0.63 | 0.085 | 1.31 |
| 30 11 9 | B | " | " | 0.065 | 1.23 | 0.228 | 0.54 | 0.097 | 1.36 |
| 30 11 9 | C | " | " | 0.070 | 1.24 | 0.226 | 0.48 | 0.094 | 1.35 |
| 30 11 9 | D | " | " | 0.089 | 1.34 | 0.216 | 0.41 | 0.120 | 1.47 |
| 30 11 9 | E | " | " | 0.069 | 1.23 | 0.206 | 0.33 | 0.111 | 1.42 |
| 30 11 26 | A' | N-S | " | 0.095 | 1.35 | 0.236 | 0.58 | 0.113 | 1.43 |
| 30 11 26 | B' | " | " | 0.093 | 1.34 | 0.232 | 0.57 | | |
| 30 11 26 | C' | " | " | 0.093 | 1.34 | 0.213 | 0.60 | 0.128 | 1.50 |
| 30 11 26 | D' | " | " | 0.095 | 1.35 | 0.209 | 0.66 | 0.163 | 1.68 |
| 30 11 26 | E' | " | " | 0.093 | 1.34 | 0.188 | 0.37 | 0.165 | 1.69 |
| 30 11 26 | F' | " | " | 0.127 | 1.49 | 0.176 | 0.35 | 0.171 | 1.72 |
| 30 12 15 | 改造後 | E-W | " | 0.068 | 1.24 | 0.222 | 0.57 | 0.102 | 1.38 |
| 31 2 17 | 改造後 | N-S | " | 0.087 | 1.32 | 0.210 | 0.59 | 0.148 | 1.60 |

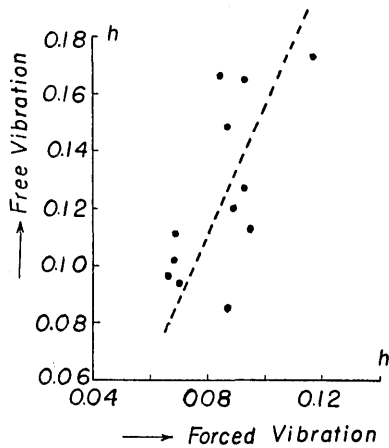


Fig. 22. Relation between damping coefficient in free vibration and forced vibration.

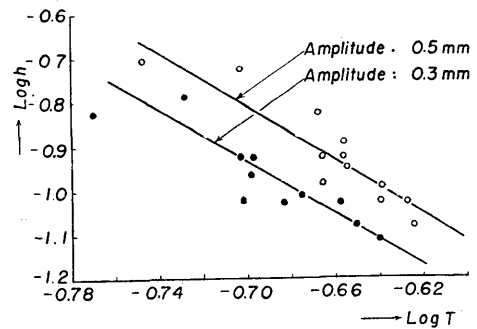


Fig. 23. Relation between damping coefficient in free vibration and natural period.

第 III 表 自由振動による各振巾に於ける週期減衰比の関係

| E-W comp. | | | | | N-S comp. | | | | |
|------------|---------|-----------|---------------------------|----------|--------------------|---------|-----------|-------------------------|----------|
| 構造 | 振巾 (mm) | | $v = \frac{W_n}{W_{n+1}}$ | 週期 (sec) | 構造 | 振巾 (mm) | | $v = \frac{W}{W_{n+1}}$ | 週期 (sec) |
| | W_n | W_{n+1} | | | | W_n | W_{n+1} | | |
| 原構造 | 0.15 | 0.120 | 1.25 | 0.219 | 原構造 | 0.15 | 0.115 | 1.30 | 0.199 |
| | 0.30 | 0.235 | 1.27 | 0.229 | | 0.30 | 0.220 | 1.36 | 0.211 |
| | 0.50 | 0.385 | 1.30 | 0.238 | | 0.50 | 0.350 | 1.43 | 0.222 |
| | 0.70 | 0.535 | 1.30 | 0.248 | | | | | |
| 内部筋 違1本 | 0.15 | 0.120 | 1.25 | 0.214 | 外部筋 違2本 | 0.15 | 0.112 | 1.33 | 0.191 |
| | 0.30 | 0.230 | 1.30 | 0.224 | | 0.30 | 0.210 | 1.42 | 0.204 |
| | 0.50 | 0.370 | 1.35 | 0.236 | | 0.50 | 0.342 | 1.46 | 0.216 |
| | 0.70 | 0.507 | 1.38 | 0.248 | | 0.70 | 0.472 | 1.48 | 0.226 |
| 内部筋 違2本 | 0.15 | 0.112 | 1.34 | 0.210 | 外部筋 違4本 | 0.15 | 0.120 | 1.25 | 0.182 |
| | 0.30 | 0.222 | 1.35 | 0.220 | | 0.30 | 0.205 | 1.46 | 0.198 |
| | 0.50 | 0.370 | 1.35 | 0.230 | | 0.50 | 0.305 | 1.64 | 0.215 |
| | 0.70 | 0.520 | 1.35 | 0.241 | | | | | |
| 内部筋 違6本 | 0.15 | 0.110 | 1.36 | 0.195 | 外部筋 違2本 内部2本 | 0.15 | 0.109 | 1.40 | 0.177 |
| | 0.30 | 0.205 | 1.52 | 0.213 | | 0.30 | 0.178 | 1.68 | 0.187 |
| | 0.50 | 0.335 | 1.49 | 0.230 | | 0.50 | 0.270 | 1.84 | 0.198 |
| | 0.70 | 0.460 | 1.52 | 0.242 | | | | | |
| 内部筋 違6本 | 0.15 | 0.112 | 1.33 | 0.186 | 筋違外 部4本 内部4本 | 0.15 | 0.100 | 1.50 | 0.158 |
| | 0.30 | 0.215 | 1.46 | 0.201 | | 0.30 | 0.185 | 1.62 | 0.169 |
| | 0.50 | 0.342 | 1.46 | 0.221 | | 0.50 | 0.265 | 1.88 | 0.179 |
| | 0.70 | 0.460 | 1.52 | 0.236 | | | | | |
| 原構造 改造後 | 0.150 | 0.120 | 1.25 | 0.200 | 原構造 改造後 | 0.15 | 0.120 | 1.25 | 0.185 |
| | 0.33 | 0.222 | 1.35 | 0.207 | | 0.30 | 0.220 | 1.36 | 0.199 |
| | 0.50 | 0.360 | 1.39 | 0.216 | | 0.50 | 0.330 | 1.51 | 0.211 |
| | 0.70 | 0.500 | 1.40 | 0.225 | | | | | |

$$h = AT^n \tag{3}$$

と置き n を求めると -3 を得る。即ち、 $h \propto \frac{1}{T^3}$ となり、減衰係数は週期の 3 乗に逆比例することになる。

(7) 加力と変形

第 24 図は第 5 図 a, 第 14 図に示されたそれぞれの状態の偏心質量を変化した場合の共振振巾とその場合の遠心力より最大変位と加力との関係を求めたものである。加力と最大変位は直線関係でなく、Spring constant は変位の増加にともない減少している。

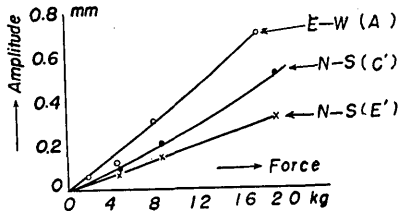


Fig. 24. Relation between displacement amplitude and force.

(i) 筋違使用量と家屋の剛性 第25図は筋違の内部 (E-W), 外部 (E-W), 外部 (N-S) 及び外部内部併用 (N-S) した場合の筋違量に対する共振週期 (T), 共振振幅 (A) 及び共振週期より比較的長い強制振動週期に対する振幅 (a) の関係を示すものである。

家屋の平均剛性はその自己振動週期の2乗に逆比例する。依つて各状態に於ける自己振動週期 (共振週期 T_i) の2乗と振幅 (a_i) とは比例する。いま原構造の共振週期 T_0 , 振幅を a_0 とし, 剛性を K_0 とすれば

$$\left(\frac{T_i}{T_0}\right)^2 = \frac{a_i}{a_0} = \frac{K_0}{K_i} \quad (4)$$

の関係にある。

内部筋違のみの場合は各筋違量に対しては $(T_i/T_0)^2 > a_i/a_0 > A_i/A$ で, これらの比の逆数は平均剛性比, 静的剛性比及び動的剛性比を表わすものであるが, これらの諸量が原構造においてすべて等しいとすれば, この範囲の筋違量に対しては動的剛性比が最も大きく, 平均剛性比が最小である。外部筋違 (E-W) の場合は平均剛性比と動的剛性比は殆んど大差なく, 静的剛性比はこれらより小さい。外部 (N-S) の場合は平均剛性比が最も大きく, 静的, 動的剛性比の順序となつている。外部・内部併用 (N-S) の場合は平均剛性比と動的剛性比とは殆んど等しく, 静的剛性比はこの二者より小さい。これらの関係は筋違の量, 使用場所, 振動測定位置, 家屋の減衰比等によるものである。

(ii) 家屋の週期と振動質量 家屋を単一質量系の振子と考えたとき, 各構造状態に於ける質量を求めて見る。振動質量を M , 復元力 k , 週期を T とすると

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} \quad (5)$$

で与えられる。週期 T は E-W, N-S 両成分の原構造, 筋違等の各状態及び改造後の共振曲線の共振週期より, また k は共振曲線上の比較的長週期に対応する振幅 (a) その場合の加力 (f) より M を算出すると第IV表の如くなる。

振幅の測定点の位置によつて M の値は異なることは当然考えるべきであるが, 今の場合各成分1測定点に於ける結果について考える。

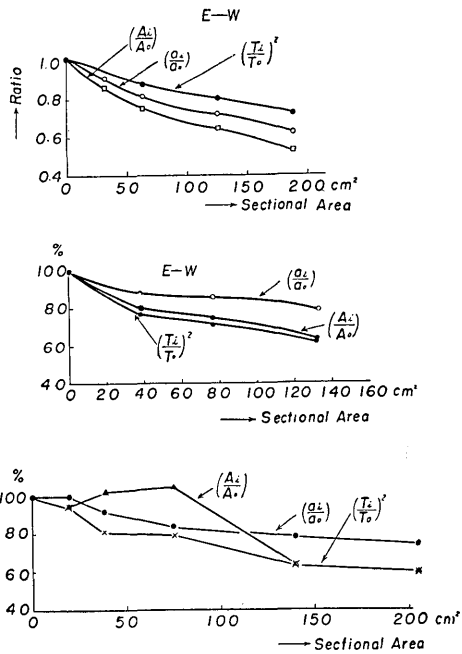


Fig. 25. Relation between displacement amplitude and brace-struts.

第 IV 表

| 構造 | 方向 | 振巾 α (mm) | 復元力 k (dyne/cm $\times 10^9$) | 週期 T (sec) | 振動質量 M (ton) | 剛性比 | | 備 考 |
|-----------|-----|------------------------|---|--------------------|----------------------|----------|---------|--|
| | | | | | | α | β | |
| <i>F</i> | E-W | 0.140 | 1.23 | 0.218 | 1.48 | 1.15 | 1.22 | 剛性比は E-W, N-S の原構造を 1 とす。 α, β は復元力及び 週期より求める。 $k=f/a$ f : 加力 E-W=1 N-S=1 この場合起振機の 能率を 100% とし て求める。 |
| <i>G</i> | " | 0.135 | 1.27 | 0.216 | 1.50 | 1.19 | 1.26 | |
| <i>H</i> | " | 0.125 | 1.38 | 0.200 | 1.40 | 1.29 | 1.45 | |
| <i>A</i> | " | 0.160 | 1.07 | 0.241 | 1.58 | 1.00 | 1.00 | |
| <i>B</i> | " | 0.145 | 1.19 | 0.228 | 1.56 | 1.11 | 1.12 | |
| <i>C</i> | " | 0.130 | 1.32 | 0.226 | 1.70 | 1.23 | 1.14 | |
| <i>D</i> | " | 0.115 | 1.50 | 0.216 | 1.77 | 1.40 | 1.25 | |
| <i>E</i> | " | 0.100 | 1.72 | 0.206 | 1.84 | 1.61 | 1.36 | |
| <i>A'</i> | N-S | 0.180 | 1.04 | 0.236 | 1.47 | 1.00 | 1.00 | |
| <i>B'</i> | " | 0.180 | 1.04 | 0.232 | 1.42 | 1.00 | 1.03 | |
| <i>C'</i> | " | 0.145 | 1.29 | 0.214 | 1.28 | 1.24 | 1.21 | |
| <i>D'</i> | " | 0.155 | 1.20 | 0.209 | 1.33 | 1.15 | 1.27 | |
| <i>E'</i> | " | 0.140 | 1.30 | 0.188 | 1.19 | 1.28 | 1.58 | |
| <i>F'</i> | " | 0.130 | 1.44 | 0.176 | 1.13 | 1.38 | 1.80 | |
| 改造後 | E-W | 0.130 | 1.32 | 0.222 | 1.65 | 1.25 | 1.13 | |
| 改造後 | N-S | 0.140 | 1.33 | 0.210 | 1.49 | 1.24 | 1.32 | |

原構造においては、E-W 方向における M の値は 1.58 ton、N-S 方向では 1.47 ton で E-W 方向より幾分小なる値を示す。

このことは、外部筋違 (E-W) の添加による週期の減少を示す。すなわち平均剛性は増加するが、中央間口方向 ($C_1-C'_1$) の部分の剛性が外側部に比して小さく、振巾は週期の減少の割に減少せず、このため振動質量が小さく出ることと思われる。

内部筋違 (E-W) を添加した場合は、これと反対に筋違増加により M の値は 1.58-1.84 ton に増加している。これは筋違の添加による週期の減少を示す。すなわち平均剛性は増加するが、中央間口方向 ($C_1-C'_1$) の剛性が平均剛性より大となるため振動質量が大きくなるものと思われる。

外部筋違 (N-S) 添加の場合は、 M の値は 1.47-1.28 ton に減少している。これは東西外側の筋違添加により両側の剛性が増加し、奥行方向 ($C_3-C'_3$) の剛性が平均剛性より小さくなるためである。外部筋違 (N-S) に内部筋違を加えたものが E', F' の例である。この場合の M の値は 1.17-1.13 ton とさらに減少している。

この E', F' の場合は、筋違を家屋の中心より東側に仕掛けている関係上、東側の剛性が西側に比べて大きく測定点の剛性が平均剛性より小なるため、 M の値が減少するものと考えられる。IV 表中の α, β の値は、原構造の剛性を 1 とした場合の振巾及び週期より求めた剛性を表わす。

6. 結 論

今回の実験結果の主な事項を次に列記する。

(1) 自己振動週期と振巾との関係は自由振動に於ては両成分共に振巾が極めて小なる

とき週期の値は小さく、或る振巾までは週期が急激に増加し、それ以上の振巾の増加に対しては週期の増加する割合は小さい。

強制振動に於けるこれらの関係は、自由振動の場合と大差ない。これらの事柄は小振巾時においては、柱の両端の節合は固定に近く、振巾増加により次第に支持の方向に近づくとも考えられる。

(2) 減衰比は自由振動においては振巾の増加にともない増加する。一定振巾では、減衰比は週期の増加にともない減少する。このこと柄は週期の小なる建物の減衰率は一般に大きいといわれていることと一致する。自由振動の減衰比は強制振動の減衰比よりも大きい。

(3) 筋違使用場所と使用量によつては使用場所の剛性増加により家屋の剛性の不均一を起し、弱い部分の共振振巾を増加させることがある。

以上の諸事実より、筋違の量と剛性増加の関係が明かとなり、使用場所によつては、家屋剛性の不均一を生ずること、また減衰比等に関する事項を知り得た。

この実験は微小振巾より比較的大きい振巾にわたつて行つていたので、小振巾に於ける測定結果から大振巾における性質を推定する一資料となり得るものと思われる。

最後に本研究に当り終始御指導を賜つた東京大学工学部西村源六郎先生、東京大学地震研究所金井清先生に感謝の意を表す。なお、この此実験費用は、主として文部省科学試験研究費によるものである。

26. *A Seismic Properties of a Wooden House. Part 1.* (*Vibration Test by means of Artificial Force.*)

By Masazi SUZUKI and Ryoya SHOJI,

Earthquake Research Institute.

The principal results of these experiments are as follows:

(1) So far as the relation of the period to the amplitude of the free vibration is concerned, the period is small when both components of the amplitude are small, but the former increases rapidly until the latter reaches a certain value and after that the period increases more gradually. The relation between them in the case of forced vibration is little different from that in the case of free vibration. From this result, if the amplitude is small, the connection at both ends of the column are considered to be nearly in the state of "clamp," but as the amplitude grows larger, they are considered to be in the state of "support."

(2) Damping ratio increases in free vibration as the amplitude increases. When the amplitude is constant, it decreases as the period increases. These results are consistent with the fact that the building of small period generally has a large damping ratio. Damping ratio in free vibration is larger than that in forced vibration.

(3) The braces increase the rigidity of the parts, depending upon the location and number of the braces used. Thus the structural rigidity may lose its uniformity resulting in an increase in amplitude of vibration of the house in its weaker parts. It is clear that the rigidity depends on the number of braces used and that structural rigidity may lose its uniformity if the braces are not properly placed. Matters concerning the damping ratio

were also revealed.

These experiments treated cases of varying amplitudes, from the minute to the considerably large. Then it is easy to determine the properties of vibration in cases of large amplitude from the results obtained by actual measurement of a vibration of small amplitude.

In conclusion we express our gratitude to Prof. G. Nishimura and Dr. K. Kanai who gave us kind guidance throughout this study. Moreover we mention here that these experiments are made possible by the scientific experiment and research fund of the Education Ministry.
