

13. 名古屋城天守閣の耐震性に就て

地震研究所 齊田時太郎

(昭和12年5月18日発表—昭和12年12月20日受理)

緒 言

わが國の建築史を顧みると、建築上に雄大な國民精神の發揮された時代が3回ある。即ち飛鳥、寧樂時代に於ける佛教建築の隆盛と、安土、桃山時代に於ける城郭建築の出現と、明治時代の歐米式建築の移植とである。いづれも國民の活動的精神は各方面に躍動し、對外的に雄飛し以て次の時代に於ける謂はゆる日本固有文化の建設時代の先驅となつてゐるのを見る。安土、桃山時代に著しく發達した城郭建築に於て安土城は織田信長の、大阪城は豊臣秀吉の氣宇の雄大さを表現してゐたのを文獻の上に尋ねることができるが、今日保存してゐないのは誠に遺憾の極みである。しかし名古屋、姫路城の如き豪華なものが今日保存されてゐるのは幸と言ふべきである。その他各所に保存されてゐるのは、これ等2城ほど豪華ではないが、いづれも、その白壁と石垣と濠の水のもつ魅力は郷土の華と稱してよい。

城郭建築の如き規模の大きい構造物は、既往の大地震に於て、どんなであつたか、また今後その保存上地震に對してどん



寫眞第1 名古屋城天守閣外觀

な風に考へたらよいか、豫て私の腦裡に潜んでゐた問題であつた。偶々、昭和12年3月中旬より名古屋市が博覽會を開催するにあたり、東京帝國大學地震研究所より出品物の1として、地震計を送ることゝなつたので開會前に名古屋城の天守閣に据ゑつけ、風及び地震による振動を記録せしめて、研究資料としたい旨を市當局に願ひ出でたところ、直に快諾を得且つ多大の援助をも賜り僅か1箇月間であつたが、振動を觀測することが出來た。本文はかかる意圖に基いて、觀測された振動の結果より天守閣の耐震性に就て卑見を述べたものである。

城郭建築の震害一般

城郭建築に對する既往の震災を大日本地震史料¹⁾に尋ねると、震害記録が相當數多くある。即ち石垣の崩壞、土壁の龜裂、剝落、建築物の損傷など記録されてゐるが、注意してゐると城郭建築中、最も規模の大きい天守閣の震害は、他の城内建築物に比して著しく震害が輕微であるが常である。その1例として、寛文2年5月1日、(西曆1662年)山城、大和、河内、和泉、攝津、丹波、若狹、近江、美濃、伊勢、駿河、三河、信濃等の諸國地大に震ひ人畜屋舎の被害極めて夥し、とある廣範圍に亘る大地震に於て、その被害を記した元延實錄の1節に、龜山の城大破、膳所の城(筆者注、望湖城本多氏6萬石)天守閣ばかり残れる由記載されてゐる。この天守閣及び城内の附屬建築物の構造状態が明瞭でないから、何とも言へないが他の城郭建築の被害記録に徴すと、いづれも天守閣の方が被害は輕微であると言へる。これは寺院建築の震害に於て佛殿庫裏等が全潰しても山門、五重塔が殆ど被害を受けずにあるのと同様である。要するに城郭及寺院建築は地震に對しても最も規模の大きい天守閣及山門、五重塔が安全であると言ふのが、經驗上の事實であると私は信ずる。この事實を世人は、これ等の建築物は特に地盤のよい所を選んで建て、あるのを以てその説明となし、或は天守閣に就ては特に上層に至るに従ひ梁間桁行が縮小されて頂小底大の形體となり、垂直の動力的安定觀を與へる心理に基いて、地震動の如き水平方向の(震央附近の地動には垂直方向にも水平方向と略同等の加速度のあることが推定される)震動による振力に對しても、かゝる形體の構造物の安定を類推してゐる。この類推は煉瓦造煙突の頂小底大のもの、或は土堰堤の如き著しき安定觀を與へるものが震害を蒙つてゐるのを見れば、單に形體の安定觀より地震動の如き作用に對して、その安定を理解せんとするのが全く誤であるのが解る。しからば地盤のよいとは科學的に如何なることを意味するか、また天守閣、五重塔の如き大なるものが被害輕微で、同一地盤に在る寧ろ高さの低い佛殿、庫裏等の震害が著しいのは如何に解釋すべきか、これが私の當面の問題である。この問題解決のために名古屋城天守閣及びその地盤の振動状態を調査したのである。天守閣と言ふても、その構造の細部に於て多少異つてゐるから、一々について調査してからでない、一般的の結論を出すことは輕率と思はれるが、私の既往に於ける家屋の振動及び數多の震害調査の經驗によれば、木造である限り、いづれの天守閣についても振動上からは大差なく、また地盤については名古屋城の如き平地の場合を調査すれば一般に臺地、高地の謂はゆる地盤のよい所にある城郭の場

1) 震災豫防調査會報告第46號甲、乙。

合は容易に推定し得る。要するに今回の観測の結果を以て一般性を把握したものと考へて大した誤はないと思ふが、なほ機會を得て各天守閣、五重塔、山門の如き建築物について調査を進めてみたいと願つてゐる。

名古屋城の遭遇した既往の大地震

名古屋城は慶長 16 年（西暦 1611 年）末略々竣工を見たものである。昭和 12 年を距ること 326 年前にあたる。その後この附近を襲ひ多大の被害を與へた地震を史料に尋ねると少くも 7 回はあつたやうである。即ち發震年月日と被害區域とを示すと下の通りである。

- 1, 寛文 2 年 5 月 1 日畿内、東海、東山兩道の一部
- 2, 寶永 4 年 10 月 4 日東海、畿内、南海、東山、西海兩道の一部
- 3, 文政 2 年 6 月 12 日美濃、伊勢附近
- 4, 安政元年 6 月 15 日伊賀、伊勢附近
- 5, 安政元年 11 月 4 日東海、東山、北陸道
- 6, 安政 5 年 2 月 26 日飛騨、越中、越前
- 7, 明治 24 年 10 月 28 日美濃、尾張及隣國

これ等の地震による震害記録を史料に探ねるに、名古屋城の被害のことは更に見當らない。特記するほどの被害はなかつたと考へてよい。

名古屋城天守閣の修繕

地震史料の上に、天守閣の被害を知ることが出来なければ、修繕の年次と地震との關係の有無を調査するのも 1 の参考となる。名古屋市史によると、天守閣は建築後寛文 8 年まで 59 年間は無事であつたが、同年大破損あり寛文 9 年 3 月より修理に着手し、その後時々大小の修築をしたことがある。その年代を挙げると下の如くである。

貞享 2 年, 寶永 6 年, 享保 5 年, 享保 10 年, 享保 11 年,
 享保 13 年, 享保 15 年, 享保 17 年, 享保 19 年, 享保 20 年,
 元文 4 年, 元文 5 年, 寛保元年, 寶曆 2 年,

修繕の原因は自然の腐朽及び狂ひ並に風害、震害によると考へられる。上記の各年代に如何なる修繕をなせるか只今の私にはその詳細を語ることが出来ないが、寶曆 2 年（西暦 1752 年）の修繕は大修繕であつたらしく、天守閣の石垣の組直し、土臺の不同沈下による軸部の狂ひの修築など施された。直接、地震による被害の修築と考へら

れるのは、寶永6年のものであるが、それとも同4年の大地震の翌々年になつての修繕であるから、該地震とは密接な關係があるらしく思はれない。もし地震によつてすれば數回に亘る地震で何時とはなしに、被害が蓄積したと考へられる。明治24年の濃美大地震に於ても大垣、犬山及び名古屋の天守閣は大なる被害を受けてゐない。要するに、この天守閣は直接地震で致命的の損傷を受けたことは無いと言へる。

名古屋城天守閣の概要

外觀は寫眞の如く全國天守閣中最も美しい形態を表はしてゐる。構造の概要は斷面略圖により知られるが、大きさは名古屋市役所建築課の實測によれば大要下の通りである。

各階の高さ

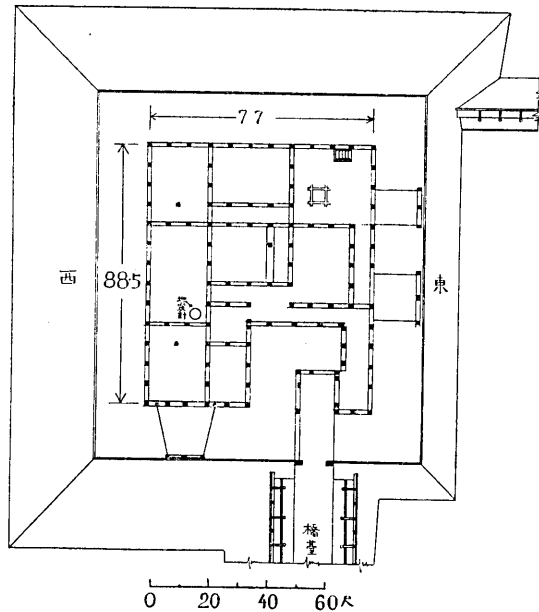
地層 10 尺，初層 13 尺，第2層 22 尺5寸，第3層 24 尺7寸，第4層 22 尺5寸，第5層 13 尺。

棟上端まで地面（東側下足場附近）より約159尺。

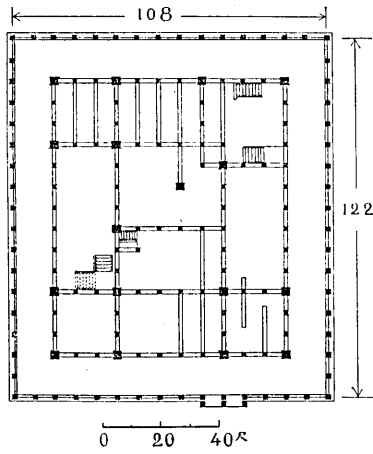
	桁行 (南北)	梁間	坪數
地層	88.5 ^尺	77 ^尺	194.130
初層	122	108	366.217
第2層	122	108	380.672
第3層	91	77	236.698
第4層	70	56	137.700
第5層	56	42	65.333

天守閣の1間は略々今日の7尺となつてゐる。柱の大きさは9寸乃至1尺4寸位の各種で、床板は7分乃至8分の厚さのものを使用してゐる。石垣は先づ地中に松材を敷き、その上に石を置いて築き上

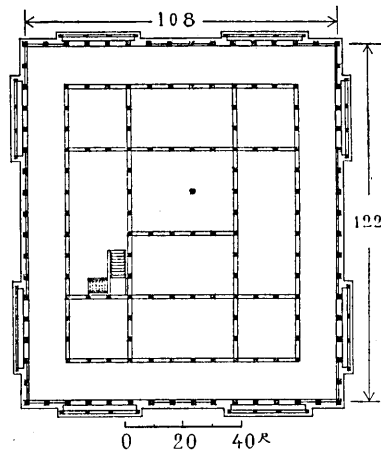
げたもので、地中に石垣の脚の埋ること約4尺で寶曆2年（創立後145年を経過す）の修理に、この松材は全く腐朽を免れて、もとのまゝであつたと言ふことである。斷面圖にて見られる通り初層と第2層の外側壁體の荷重は石垣にかゝり、天守閣軸部の



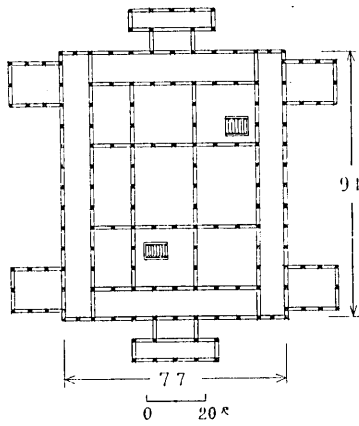
第1圖 名古屋城天守閣地層平面圖



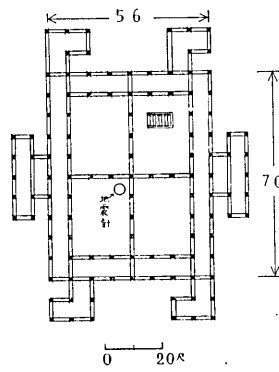
第2圖 名古屋城天守閣初層平面圖



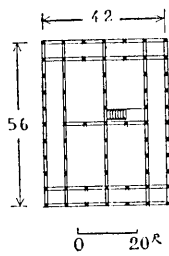
第3圖 名古屋城天守閣二層平面圖



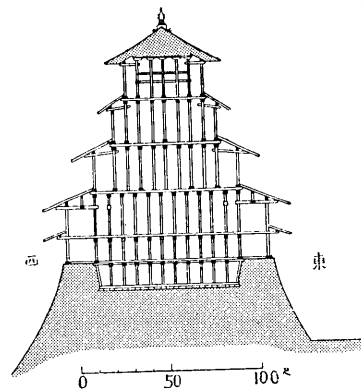
第4圖 名古屋城天守閣三層平面圖



第5圖 名古屋城天守閣四層平面圖



第6圖 名古屋城天守閣五層平面圖



第7圖 名古屋城天守閣東西断面略圖

主體の荷重は地層の基礎にかゝるやうになつてゐる。柱の大部分は各階毎に建てられ2層に亘る通し柱は極めて小數である。要するに、構造上各階單獨のものが重層となつてゐると考へられる。このことは天守閣の振動を理解する上に重要な點である。平面圖は市役所建築課作製のものを多少省略して掲載したが間取の大要を知ることが出来る。

天守閣の振動觀測

大地には脈動及び交通機關による振動があるので、構造物自體の振動を知るには少く共地上と構造物上との2箇所で測定する必要がある。今回は加速度地震計を平面圖に示す如く、第4層の床上と地層の地盤上との2箇所に据ゑつけ、東西方向の振動を記録せしめる様にした。地震計¹⁾の要素として重要なものを挙げると次の通りである。

振子の振動週期	0.115 秒
幾何倍率	213
制振器	ピストン型空氣制振器
記象紙回轉速度	1分につき65 耗
地震計感度	1耗が1.71 ガルに當る。

制振器は空氣制振器なる故に、溫度に對する補正を行ふ必要はないが、振子が常に臨界振動にあるやう注意をはらつた。

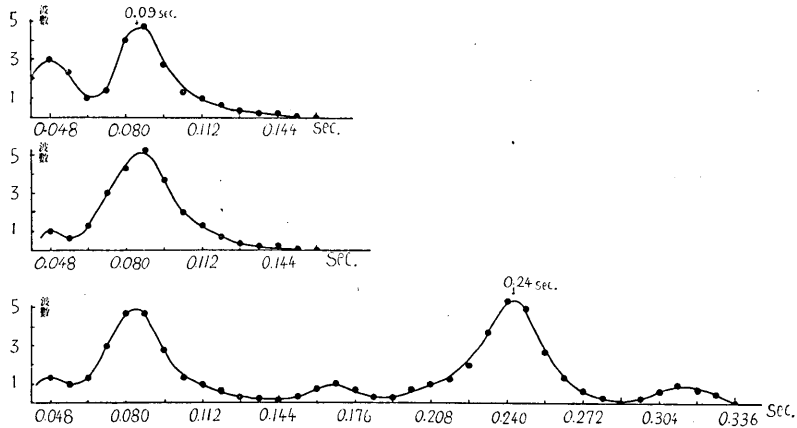
觀測は2月1日より月末まで約1箇月間であつたが、幸2月17日午後10時32分頃に名古屋市及び同市の東南東25キロ、岡崎市の北方15キロ矢作川の中流にある舉母町のみ有感であつた地震による震動を記録することが出来た。なほ風壓による振動をも多數記録した。それ等の記象は寫眞に示してある。地震動記象より讀み取つた重要な點を示せば、

第4層床の最大加速度は約2.6 ガル	その週期 0.15 秒
地盤上の最大加速度は約8 ガル	その週期 0.09 秒

で第4層床にありては地盤上の略3分の1に減少してゐるのである。更に記象を初期微動部、主要動部及び終期部の3部分に分けて各々の波動について週期を讀みとつて卓越する週期を調べたのが第8, 9, 10. 圖に示す曲線である。卓越週期の讀取りには原記象を約11.4倍に延ばし各波の週期を0.1 mm (0.008秒にあたる)まで讀んで各0.1mm毎に含まれる波數を求め更にかくして得た波數の相隣れる數を平均して決定したのである。これに依ると地盤には0.09秒及び0.24秒の卓越週期があり第4層床に

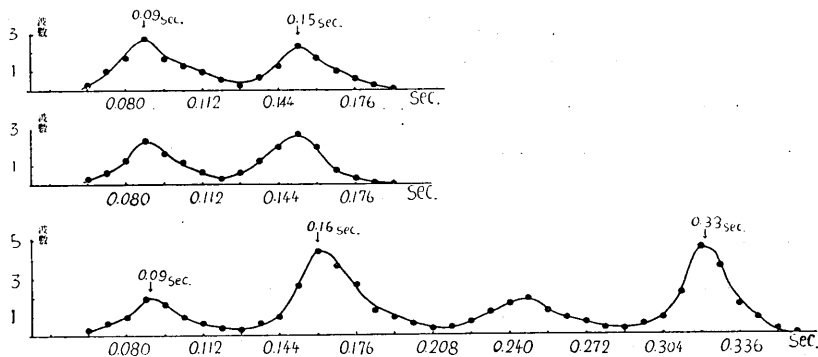
1) 石本巳四雄「地震とその研究」古今書院。

於ては 0.16 秒, 0.33 秒及び風壓によるものから知られた 1.12 秒の 3 つあり, これが天守閣の自己振動週期であることは第 11 圖の共振曲線¹⁾から解る.



第 8 圖 地震による地盤に卓越する振動週期, 上段は初期微動部, 中段は主要動部, 下段は終期部である.

風壓による振動として地震當日の午後 6 時頃の狀態をみると, 瞬間風速の最大は 15 米秒, 最小は 4 米秒で方向は西北西であつたと言ふことを愛知測候所の御好意により



第 9 圖 地震による天守閣第四層に卓越する振動週期; 上段は初期微動部, 中段は主要動部, 下段は終期部である.

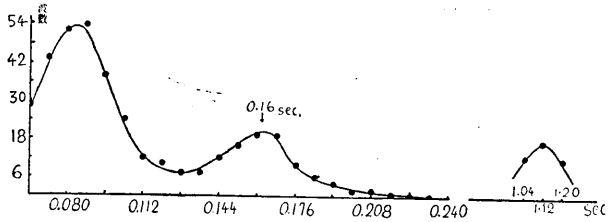
解つた. 同測候所と天守閣とは約 7 キロを距たるが, これ等の數値を以て天守閣附近の値とするも差支あるまい. かゝる風壓による天守閣の卓越振動週期は第 10 圖に示す如くで加速度は,

瞬間風速 15 米秒のとき最大加速度 0.5 ガルその振動週期 1.12 秒.

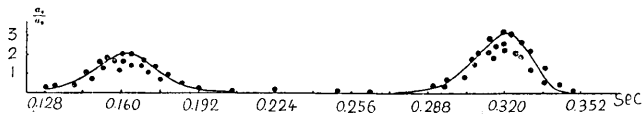
瞬間風速 4 米秒のとき最大加速度 0.2 ガルその振動週期 0.16 秒と推定される.

1) 齋田時太郎, 鈴木正治「高層建築の地震動による振動」震研彙報, 第 14 號第 1 冊.

これに依つて見ると、風壓による振動週期には2つある即ち1.12秒と0.16秒である



第10圖 風による天守閣第四層に卓越する振動週期、昭和12年2月17日午後6時頃の1分間をさつて調べた、



第11圖 地震による天守閣第四層の共振曲線 a_4 は第四層の、 a_0 は地盤の振動加速度を示す。

が、経験によると1.12秒は天守閣の土臺附近を節とする全體の横振れによるもので、0.16秒は風壓の小なるときのみ現はれるから、高次の倍振動でなく天守閣上部のみの横振れによるもので、何れも天守閣の自己振動週期であることはその

構造上容易に推定される。

今回の観測せる地震は只1回であるが、上に述べたやうな卓越週期が地盤の固有週期で、地震により自己の週期にあたるところで、最大加速度を與へることは既往多數の観測²⁾の示すところである。かゝる地盤の強制振動により、構造物に起る加速度と週期とは大體構造物の自己の振動週期で定まることは、説明するまでもないことである。この天守閣の場合には自己振動週期が1.12秒、0.33秒及び0.16秒の3つであるから、地盤の最大加速度を與へる0.09秒の波動に對しては當然天守閣上層に於て小さくなるべきで、今回の観測に於ては上層が地盤のものゝ3分の1の程度となつた。これに反して地震の終期部に於ては、地盤では0.24秒附近の波動が著しく現はれてゐるから、天守閣の上層では自己振動週期の0.33秒のものを誘發されて、加速度は前とは逆に地盤の3倍にも達することになつたが、加速度自體の大きさは勿論主要動の最初に現はれた最大加速度に比して、減少してゐることは寫真にてみらるゝ通りである。

結 言

従來地震に對して地盤のよい所と言ふのは略0.3秒以下の週期の所で、地盤の悪い所と言ふのは0.3秒以上就中0.7秒前後の週期の所にあたるのである。これは0.5秒

1) 齋田時太郎・鈴木正治「丸の内に於て観測された地上及地下の地震動に就て」震研彙報、第12號第3册。

以上の自己週期をもつものが多い木造家屋の震害の著しいことから氣付いたのであるが、土藏造、煉瓦造、石造、鉄筋コンクリート造の如き低いもの、即ち自己の週期が木造家屋より遙に小なる構造物は、寧ろ地盤の硬い所で震害を著しく受けることは、關東大地震並に安政2年の江戸大地震の際東京市内の山手及び下町、江東方面に於ける被害について私が指摘¹⁾する迄は一般に氣付かなかつた事實である。これによると、震害は地盤と構造物の性質とで相對的に定まるもので地盤のよし悪しは地盤固有のものでないことが解つた。古來城郭寺院の如き重要な建築物が所謂地盤の硬い所に建てられてゐたため高いものほど被害が輕微であつた事は上に述べた理由によることで、今回の觀測で實證された次第である。しかるに、從來の耐震工學で教へる地震動の解釋では、最大加速度を與へる週期は1秒乃至1.5秒附近にあり、地盤の軟弱なところも硬い所も、その週期には大した相違はないが、振幅が軟弱地で著しく増大するので加速度は從て軟弱地で大きくなると言ふ風に考へてゐた。これは變位地震計から間接に求めた加速度と週期と、木造家屋の震害のみに注目しての結論であつて、構造様式の異なるものゝ震害を知らなかつた結果である。

今回の觀測の結果によれば名古屋城の如き平地に在る場合でさへ最大加速度を與へる地盤の週期が0.24秒程度以下であるから他の城郭の如く高地、臺地の硬い地盤に在るものは當然地震動に對して安全となるのである。高さの高い建物ほど上層で加速度が大きくなり從て振力の増大のため、その安定を保つことが不可能になりさうに考へるのが、從來の地震動の理解からすれば當然のことで、技術家及び一般の人々の常識となつてゐるが、わが國に於ける天守閣、五重塔の如き高層建築物が、地震に對して安全であるのは、地震動の最大加速度を與へる地盤の振動週期が、その地盤の自己振動週期にあり、しかも硬い地盤では0.3秒以下と言ふ値で、建物の自己週期に比し遙に小さな値であると言ふのが、主要な理由であると考へられる。

高層事務所建築に於ても、これと同様な結果を示してゐる。例へば1906年の米國桑港の大地震に於て、高さ315尺の當時最高の建物であつた、クラウス・スプレツケルビルディング²⁾(自己振動週期2.32秒及び1.97秒)が全く被害を受けなかつたので、技術界の注目するところとなり、又1925年の加州サンタバーバラの大地震及び1933年の加州ロングビーチ・ロスアンゼルス市の大地震に於ても、高層なものほど被害が輕少であつた。即ち建物は高い、規模の大きいものほど地震に對して安全であると言へる。特に地盤の硬い所であるならば一層振力を輕減することになる。

1) 齋田時太郎「耐震及び耐風家屋」防災科學の地震編、岩波書店。

2) E. Hall「Vibrations of Buildings due to Street Traffic」Engineering News, v.1, 68, August 1, 1912.

建築物に作用する振力は以上に説明した通り、構造物の大きさに構造様式と地盤の性質とで定まるのであるから、建築物の保存或は補強の意味で筋違、方杖等を施して建物の變形を少くしても、それが同時に耐震力を増加することになるとは言へない場合があるから注意すべきである。

筆を擱くにあたり今回の観測のため種々便宜を御與へ下さつた名古屋市水道局擴張課の竹内英郎氏下水課長杉戸清氏、及び土木部公園課長長野間守人氏、毎日の観測に従事された水道局の後藤四郎氏柴田茂美氏、地震計据付のために出張された地震研究所の鈴木正治氏、地震計故障の時見て下さつたり地震及風速について御教示を賜つた愛知縣測候所長吉田余三男氏、天守閣建築について御教示を賜つた東京帝國大學工學部建築學教室の木村貞吉氏の各位に深甚の謝意を表する次第である。

13. *Vibrations of the Keep of Nagoya Castle Due to Earthquake and Wind Pressure.*

By Tokitaro SAITA,

Earthquake Research Institute.

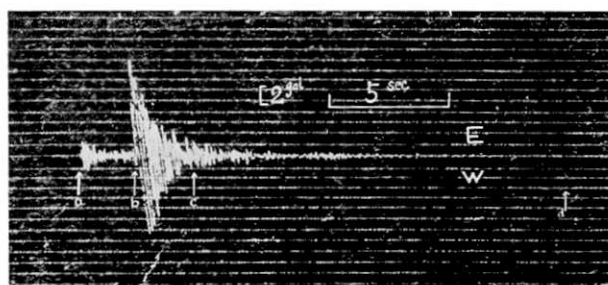
In our country great and tall wooden buildings are those of Buddhist temple and castle, namely—a five—storied pagoda, the great gate of a Buddhist temple and a keep. These buildings are well spoken of in safety against earthquake shocks while other low buildings are almost demolished. But there are no investigations about the safety against earthquake shocks founded upon observations for these buildings.

The writer is at present engaged in observing the vibrations of a pagoda in Tokyo and its results are not yet ready for publication. This paper is of observations which have been done by the writer in the first place for the vibrations of the famous keep of Nagoya castle during earthquake and wind blows. From the observations the writer found that the acceleration at the upper floor of the keep is about $1/3$ of the ground and the decrease of acceleration at upper floor depends on the relation between the natural period of the keep and the ground.

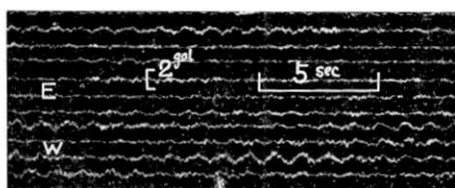
The writer is persuaded that the above statement is applicable to the fact that pagoda and other tall buildings are well proof against earthquake.



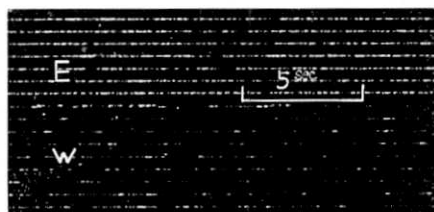
寫真第 2 昭和 12 年 2 月 17 日午後 10 時 32 分頃の地震による天守閣第 4 層床の振動記録 ab 間を初期微動部、bc 間を主要動部 cd 間を終期部とす (第 8,9 圖参照).



寫真第 3 昭和 12 年 2 月 17 日午後 10 時 32 分頃の地震による天守閣地盤の振動記録 ab 間を初期微動部、bc 間を主要動部 cd 間を終期部とす (第 8,9 圖参照).



寫真第 4 昭和 12 年 2 月 17 日午後 6 時頃の風による天守閣第 4 層床の振動記録.



寫真第 5 昭和 12 年 2 月 17 日午後 6 時頃の風による天守閣地盤の振動記録 (上層は振動せるも地盤は全く静止せるを示す).