

8. 土埴造家屋の耐震度

地震學教室 鈴木 武夫

(昭和10年6月18日發表—昭和10年12月31日受理)

1. 緒 言

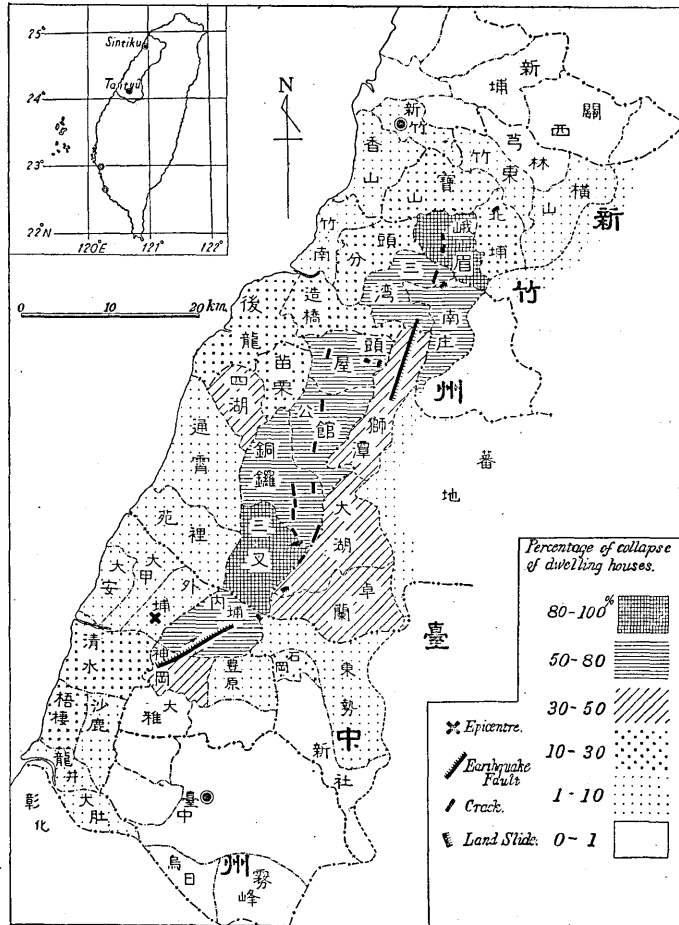
昭和10年4月21日午前6時2分頃(日本西部標準時)臺灣新竹、臺中兩州下に跨つて著しき震害を齎した地震は既に概括的報告¹⁾に於ても述べた如く過去40年間に於ける臺灣に起つた地震の最大なるものであつた。その震害區域は第1圖の街庄別全潰家屋百分率分布圖よりも明らかなる如く激震區域は新竹州峨眉庄より南南西に延びて、三灣庄、南庄、苗栗街、公館庄、銅鑼庄、三叉庄等を蔽ひこの續きは臺中州に於ては南西に内埔庄、神岡庄、沙鹿庄、清水街、梧棲街に及ぶ略々南北に延び多少彎曲した延長約70 km、幅15~20 kmなる細長い地域であつた。今回の地震に際しては激震區域の南部と北部とに於て顯著なる斷層が出現し又これらの中間區域では地割れ崖崩れ等が多數生じたのであるが概して言へば地變の多く顯はれた地域と被害の著しかつた地域とが大體一致してゐる。昭和2年3月7日の丹後地震、昭和5年11月26日の北伊豆地震に於ても亦被害激甚の區域と地變の甚だしく現はれた處と大體一致する模様で斯様な現象は地變を生ずる程度の地震には常に認められる様である。

領臺以前に於ても臺灣には屢々地震の發生したることあり、記録の正確となりたる領臺以後40年間に於ても被害を伴ふた地震が既に十數回に及んでゐる。而して此等は嘉義地方以南の地と北部基隆附近及び東海岸方面に多く起り又被害を伴はざる顯著地震も同様臺灣島の東部に多きことは恰かも日本本土に於て地震の頻發する地帯が太平洋沿岸であるのと類似である。今回の地震の勃發したる地方には領臺以後は勿論のこと以前と雖も殆ど被害を齎した程度の地震はなく領臺後の顯著地震について見るも僅かに大正7年3月27日(1918)12時53分頃の新竹附近の稍々顯著地震(震央 $\lambda=121.1^{\circ} E$, $\varphi=24.7^{\circ} N$)があるのみである。

2. 臺灣に於ける家屋

今回の地震による被害は意外に大なるもので、例へば峨眉庄、三叉庄等に於ては全

1) T. SUZUKI, *Jap. Journ. Astro. Geophys.*, 13 (1935), 55~59.

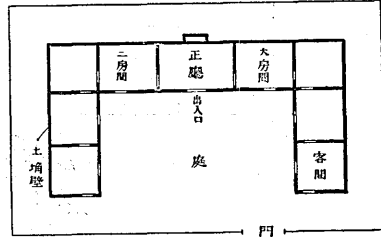


第 1 圖 街庄別被害並びに地變の分布
(震央は本號河角氏論文による)

潰百分率 90% にも及ぶと云ふ具合で到底内地に於ける比ではない。これは要するに臺灣在住の本島人家屋の地震動に對し抵抗力の極めて薄弱なることに因るは勿論のこと、加之今回の震災地が從來殆ど裂震に見舞はれたることなきため地震動に對し抵抗力弱き家屋極めて多かりしにも因ると思はれる。次に臺灣に於ける家屋の構造とその耐震度につき述べようと思ふ。

本島人家屋の構造 本島人家屋の大多數は土壩造りである。土壩とは粘土を水にてよくこねこの中に藁荊を入れ、それに水牛を歩ませて十分に練つた上これを 35×25×10 cm 位の木型に入れて日光に曝らし乾かしたものである。本島人家屋は構造の良否はあるとは云へ大多數はこの土壩を積み上げて壁體となし各土壩の間は粘土のモル

タルにて固着し土塼壁の表面には同じく粘土又は漆喰の仕上げを両面よりなしたものである。屋根は藁又は臺灣瓦（赤褐色にして内地の瓦より薄く従つて軽い）にて葺かれてある。最も標準的な本島人家屋の間取りは第2圖の如きものである。即ち中央に神を祭る正廳ありその兩側に寢臺、机などを備ふる部屋がある。内部は大抵土間である。勿論これは標準型で多くの一般住民の家屋は必ずしも斯様な間取りではない。田舎にある土塼家屋は殆ど平家建で煉瓦などを用いたものも少なくないが比較的家屋の構比してゐる所では二階建も多くある。二階の床には木材を用ひてゐる。一般に土塼家屋に於ては木材はあまり用ひず四隅の柱の如き所には煉瓦柱を用ひ又窓枠にも煉瓦を用ひてゐる。特に市街地に於ける家屋には煉瓦を多分に用ひたものが多い。然し壁體はやはり土塼を用ひてゐる様である。臺灣の市街地に於ける建築は「臺灣家屋建築規則」なるものによりて規定せられて居り主要道路に面する商店家屋は臺灣特有の亭仔脚と稱するものを設けねばならぬ。これは暑熱を防ぐ爲め歩道の上に家屋の二階の床の延長せられたものである。（卷末寫真第245圖参照）亭仔脚は多く煉瓦造又は石造及び木造である。臺灣に於て斯様な土塼造家屋の作られる所以は(i)費用の低廉なること(ii)暑熱を防ぐ爲め(iii)颱風に對して堅固ならしめんが爲め等である。暑さを防ぐ爲め窓の如きも比較的少なくしてある。尙往時は匪賊の襲來に備へる爲めもあつた由である。土塼造家屋は以上の如き目的にはある程度まで有效であるとしても地震動の如き振動に對する抵抗力は極めて弱いものと考へられる。一般に土塼家屋は地震動により強制振動を受ける場合その彈性的變形は極めて僅かしか起り得ないものにして従つて家屋の自己振動週期も木造家屋等に比すればかなり小なるものであると解される。即ち土塼造家屋は地震動に對しては先づ一種の剛構造の建築物と見做し得る筈である。従つて地震動によつて家屋に作用すべき震力も比較的單純にして家屋の質量と地震動の加速度との相乗積が家屋の重心に作用すると見做して大略差支へないと考へられる。而して土塼家屋は煉瓦柱又は僅かの木骨を基として單に土塼を積み上げたものが主體であるからこれらの壁體の重量は相當に大なるものとなり従つて地震動によつて壁體に作用すべき震力も亦著しく大なるものとなる。之に反して土塼それ自身及び土塼の間を充す粘土モルタル並びに表面の漆喰の強度は壁體に作用する水平震力に耐へ得べく餘りに小なる爲め僅かの加速度を持つ地震動に對して忽ち倒潰して壁體は一個々々の土塼の集合と化してしまう譯であ



第 2 圖 本島人家屋の平面圖

る。土の密度は煉瓦等の密度と大差ないものであるに反し土壘壁の強度は煉瓦又はセメントモルタルの強度より遙かに劣るものであるから土壘家屋が煉瓦造家屋等に比し如何に非耐震的であるかが解る譯である。一般に木造家屋の倒潰は主として柱と梁との接合部の挫折による故に倒潰方向がかなりよく分るのであるが土壘家屋では卷末に掲げられたる多くの寫眞によりても明らかなる如く土壘壁がその場に崩壊してその上に屋根が載つてゐると云ふ状態でどの方向に倒れたと云へないのが常である。又例へば煉瓦土壘混用の2階建家屋では2階の壁の部分が崩壊して1階の方は2階よりも破損の少ない様に見える場合が澤山ある。これも木造の2階建と異なる所である。

内地人の家屋 臺灣に於ける内地人の家屋は家屋の一部分に土壘を使用したものも稀にはあるが、大體に於て日本本土に於ける通常の木造家屋と大差なきものである。今回の震災地に於ける木造家屋の被害は著しきものはないが裂震區域たる内埔庄后里に於て農業公民學校の新築校舎の全潰（卷末寫眞第 185~186 圖参照）せるもの及び大安驛舎（卷末寫眞第 163 圖）の大破（後に取毀さる）及び同驛長官舎の全潰（卷末寫眞第 164 圖）等は特記すべきものである。新竹、臺中市の如き主要都市には内地人も相當多數住居し居るも街庄に於ける内地人は主として官公吏に限らるゝ故に極めて少人數にして従つて内地人家屋數も極めて少數である。

3. 土壘家屋と木造家屋との震害の比較

今回の地震による家屋の被害に關し新竹州廳發表の「震災被害調査表」及び臺中州廳發表の「震災概況報告」によれば内地人家屋及び本島人家屋の全潰戸數は第 I 表 A、B に示された如くである。

第 I 表 A 街庄別住家全潰百分率（新竹州の部）

街 庄 名		住家總戸數		住家全潰戸數		全潰百分率	
		内地人	本島人	内地人	本島人	内地人	本島人
新 竹 市		1676	8822		87	0 %	1.0%
新 竹 郡	香 新 山 庄	25	2228		23	0	1.0
	新 埔 西 庄	33	3749		1	0	Ca 0
	關 西 庄	35	3345		5	0	0.2
竹 東 郡	竹 芎 街	164	2517		74	0	2.9
	芎 林 庄	10	1724		8	0	0.5
	橫 山 庄	15	1824		20	0	1.1
	北 寶 庄	15	1567	1	270	6.7	17.2
	寶 峨 庄	19	1442	1	203	5.3	14.1
	峨 蕃 地	4	965		870	0	91.0
		171	1439	4	19	2.3	1.4

（次頁へ續く）

街 庄 名		住家總戶數		住家全潰戶數		全潰百分率	
		内地人	本島人	内地人	本島人	内地人	本島人
竹 南 郡	竹南庄	166	2704		207	0%	7.6%
	造橋庄	138	1116		186	0	16.6
	頭分庄	23	2994	1	461	4.3	15.4
	後龍庄	67	3626	3	553	3.0	15.2
	三灣庄	3	1188	1	914	33	76.8
	南蕃地	30	1700	3	1294	10.0	77.2
		10	130			0	0
苗 栗 郡	苗栗街	325	3235	3	596	0.9	18.4
	頭屋庄	3	1129		740	0	65.0
	公館庄	72	2577	2	1290	2.8	50.0
	四湖庄	7	1040		373	0	35.7
	銅鑼庄	14	1813	5	1322	35.7	72.6
	三通叉	32	1058	1	877	3.1	82.7
	霄裡庄	49	3030	1	60	2.0	2.0
	苑庄	34	3402		109	0	3.2
大 湖 郡	大湖庄	82	2021	8	930	9.7	46.0
	獅潭庄	16	969	2	341	12.5	35.6
	卓蘭庄	19	1211	3	471	15.8	38.8
	蕃地	127	929	2	8	1.6	0.9

第 I 表 B 街庄別住家全潰百分率 (臺中州の部)

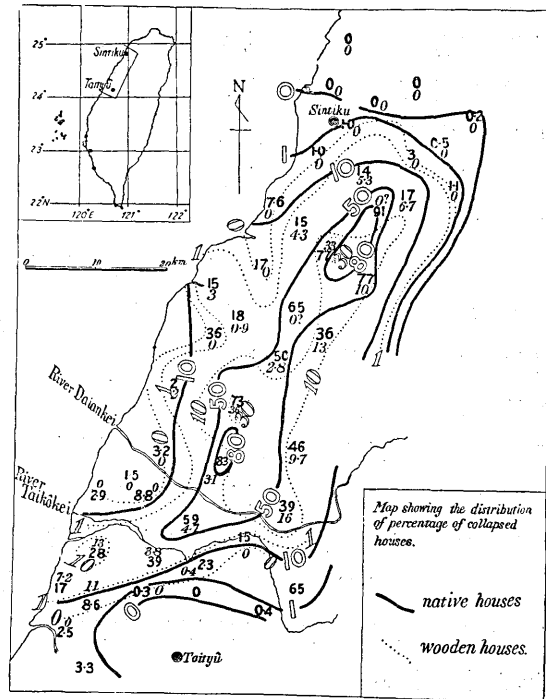
街 庄 名		住家總戶數		住家全潰戶數		全潰百分率	
		内地人	本島人	内地人	本島人	内地人	本島人
豐 原 郡	豐原街	246	4774	1	117	0.4%	2.5%
	神岡庄	26	2374	1	934	3.8	39.3
	大雅庄	44	1602		3	0	0.2
	內埔庄	171	2677	8	1669	4.7	62.4
東 勢 郡	東勢街	183	3483		238	0	6.9
	石岡庄	22	1157		183	0	15.8
	新社庄	71	1359		6	0	0.4
大 甲 郡	清沙街	147	4860	19	1357	13	28
	水鹿庄	91	3016	1	267	1.1	8.9
	棲梧街	14	1892	1	316	7.2	16.8
	井庄	22	2279		57	0	2.5
	龍大庄	51	1931		68	0	3.4
	大大甲街	97	418		65	0	1.5
	大大安庄	7	1498		44	0	2.9
	外埔庄	13	1412		126	0	8.9

(次頁へ續く)

街 庄 名		住 家 總 戸 數		住 家 全 潰 戸 數		全 潰 百 分 率	
		内 地 人	本 島 人	内 地 人	本 島 人	内 地 人	本 島 人
大 屯 郡	霧 峰 庄	64	3060		1	0 %	Ca 0 %
彰 化 郡	鹿 港 街	110	6817		3	0	Ca 0
	和 美 庄	146	4230		6	0	Ca 0
	綠 西 庄	6	2629		3	0	Ca 0

これによつて本島人家屋と内地人家屋とに於ける震害の程度を大體比較することが出来る。本島人家屋には上述の如く煉瓦造家屋も相當あるが今回の地震による震災區域では臺灣特有の土塙造家屋が大多數を占むるものである。第 I 表に示された各街庄別家屋全潰戸數につき地震前の總戸數に對する全潰百分率を本島人家屋と内地人家屋との別々に計算し同じく第 I 表に示した。この百分比の數値を各街庄に應じて地圖に記入したのが第 3 圖である。太い數字は本島人家屋の全潰率を示し細い數字は内地人家屋の全潰率である。内地人家屋は一般に少數にして特に竹南郡三灣庄、苗栗郡頭屋庄の如く總戸數僅かに 3 戸の所もある程で従つて全潰率の數値もかなり不確實さを免れない所もあるのでその様な點を考慮して本島人家屋と内地人家屋とにつき別々に等全潰率線を引いて見ると第 3 圖に示された如くなる。實線と點線とは夫々本島人家屋及び内地人家屋に對する等全潰率線を示すものでありこの兩者の分布を見ると例へば實線に於ける 50% の等全潰率線と點線の 10% の等全潰率線とが

略々對應すると云ふ具合になつてゐるから二つの異なる構造の家屋の震害の程度を比較することが出来ると思ふ。その爲めに 20 萬分の 1 の地圖に第 3 圖の實線と點線とによつて示された等全潰率線を描きこの地圖上に於て 6 km 平方の方眼を作りその各々



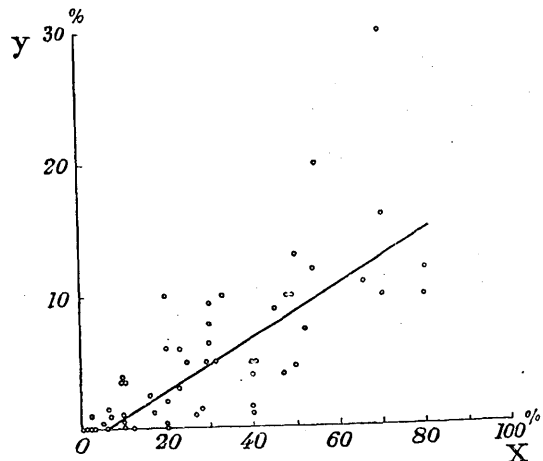
第 3 圖 住家全潰等百分率線

略々對應すると云ふ具合になつてゐるから二つの異なる構造の家屋の震害の程度を比較することが出来ると思ふ。その爲めに 20 萬分の 1 の地圖に第 3 圖の實線と點線とによつて示された等全潰率線を描きこの地圖上に於て 6 km 平方の方眼を作りその各々

の網の眼の中心に於ける兩者の全潰率の値を等全潰率線より内挿法によつて別々に読みとつた。こゝに 6 km 平方の大きさは一つの街又は庄の平均の面積よりも僅か小なる程度である。斯様にして読みとつた値につき本島人家屋の全潰率を横軸に取りそれに對應する内地人家屋の全潰率を縦軸に取つて圖に示したのが第 4 圖である。plot された點は先づ大體圖に示された如き直線の周圍に分布して居るのである。即ち土壠家

屋が數 % 程度まで倒潰する迄は木造家屋は全然倒潰せず木造家屋が 15~16% 倒潰する程度の地震動に對し土壠家屋の倒潰は 80% に及ぶと云ふ譯である。

地震動によつて家屋の倒潰するに至るは地震動の最大加速度如何によることは勿論のこと地震動の週期と家屋の自己振動の週期とに關係あることは（少くとも木造家屋に關しては）從來の大地震の災害にてよく經驗せられて居ることである。臺灣に



第 4 圖 X: 本島人家屋全潰率
Y: 内地人家屋全潰率

於ける通常の土壠家屋は果して如何なる自己振動週期を持つかは不明であるが前述の如く一種の剛構造のものと解すれば週期には殆ど無關係に單に地震動の最大加速度の値如何によつて倒潰が決せられるものと思はれる。第 4 圖に示された關係は今回の震災地に於ける倒潰家屋についての統計的結果であり土壠家屋が木造家屋に比して地震動に對する抵抗力が如何程小であるかを示す大體の目安を與へるものである。こゝに注意すべきは臺灣に於ける木造家屋の柱、土臺等の木材が白蟻によつて著しく害されて居ることである。従つて地震動に對する抵抗力は内地に於ける木造家屋に比すれば小であると考へなければならぬ。耐震度が如何程劣つてゐるか數量的に定めることは困難であるが内地に於ける木造家屋倒潰率と震度との關係をそのまま適用することは無理の様である。

4. 震 度

激震區域に於ける震度は從來多くの場合顛倒せる物體例へば墓石などにより推定せられてゐたのである。今回の震災地には地震動の最大加速度を推定し得べき若干の顛

倒物はあるが臺灣の墓石は内地に於けるものと異り土地に全く固定せられて居り地震動に對して全く安定であるから地震動の最大加速度を推定し得べき材料とはならぬ。

一般に地震動による家屋の倒潰率は震度と密接なる關係あるものにして、内地に於ける木造家屋倒潰率と震度との關係は既に大森博士²⁾の濃尾地震の際に研究されたるものがありその後秋田仙北地震に於ける今村博士³⁾の研究及び物部博士⁴⁾の理論的研究もある。木造家屋の倒潰は地震動の最大加速度のみによつて定まるものでなく家屋の自己振動週期と地震動の週期との割合如何にも依ることは勿論であるが大體の震度分布を知るには好都合である。木造家屋の倒潰率と震度との關係は例へば物部博士によるものを示せば第 II 表の如くである。

第 II 表

震度 $\left(= \frac{\text{地震動の最大加速度}}{\text{重力加速度 } g} \right)$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
木造家屋倒潰率 (%)	0.20	1.7	7.9	24.0	50.0	76.0	92.1	98.3	99.8

若し臺灣に於ける木造家屋が内地に於ける木造家屋と略同一の耐震力を持つとすれば第 II 表と第 4 圖とによつて土壘家屋倒潰率と震度との關係を知り得、従つて今回の震災地に於ける震度分布も大體知り得ることとなる。假りに第 4 圖の關係と第 II 表とを用ひて土壘家屋倒潰率と震度との關係を求むれば第 III 表の如くなり土壘家屋

第 III 表

震 度	0.15	0.20	0.25	0.30	0.33
土壘家屋倒潰率 (%)	4	7	15	45	82

の標準震度即ち倒潰率 50% を算するに至るべき震度を定むれば 0.3 位となり今回の裂震區域では最大加速度 $g/3$ に達すべき筈であるが上述の白蟻の害を考慮すればこの値は土壘家屋の耐震度を見懸け上大きく見積り過ぎた結果である。實際の土壘家屋の標準震度は 0.2 程度にして裂震區域に於ける最大加速度も $0.3g$ 以下に止まつたものであらうと想像せられる。第 4 圖の關係と第 II 表とをそのまま用ふるとしても倒潰率と震度との關係第 III 表を示すべき曲線は木造家屋の場合よりも土壘家屋に於て一層 steep なるものが得られる。即ち僅かの震度の差により倒潰率は著しく異なるもの

2) F. OMORI, *Pub. Imp. Earthq. Inv. Comm.*, 4 (1900), 141.

3) 今村明恒 震災豫防調査會報告 82 (1915), 1~30.

4) 物部長穂 震災豫防調査會報告 130~D (1925), 11.

N. MONONOBE, *Jap. Journ. Astro. Geophys.*, 3 (1925), 7~9.

となる。一般に今回の震害に於て家屋の被害の著しかつた部分が狭い地帯に限られその区域から少し遠ざかると被害の程度が急減することが認められ、例へば裂震区域の南部たる臺中州神岡庄の神岡、刈塚、新庄子等に於ては土塙家屋は殆ど軒並みに全潰であるのに反しこの附近より 25 km 位西方の十塊寮、大突寮にては外見上土塙家屋の完全に建つてゐるものも多くあり又 2~3 km 南方の大雅庄にては著しき被害がなかつたのである。このことは上記の関係によつて略説明せられる様である。

5. 結 語

今回の地震に際してはかなり廣範圍に互り震害並びに地變共に著しきものがあつたが地震そのものの規模は大きくとも昭和5年11月26日の伊豆地震程度であつたと思はれる。木造家屋と土塙家屋との震害の程度の比較により大體の震度を推定せるに裂震区域と雖も最大加速度は $g/3$ に達しなかつたものと考へられる。木造家屋の標準震度は 0.4 位であるが、土塙家屋の標準震度は恐らくは 0.2 に達しないものと推定される故に將來の地震に備へる爲めには土塙家屋の耐震度を今少しく高め得る如き方法を講ずることが望ましい次第である。

終りに懇篤なる御注意を賜つた今村先生に謝意を表す。

8. *Earthquake Resistivity of Native Formosan Houses of
"Dokaku" Construction.*

By Takeo SUZUKI,

Seismological Institute.

A violent earthquake, the strongest ever experienced in Formosa during the past forty years, occurred in the early morning of April 21, 1935. This earthquake has practically destroyed the towns in the western district of central Formosa, where the occurrence of earthquakes has been very seldom. As is already stated in the preliminary note,⁵⁾ a great damage has been done in the somewhat curved zone of about 70 km long and 15 km wide extending nearly in a NS direction. The loss of life and the destruction of houses were very great owing to the weakness of the native Formosan houses of the so-called "Dokaku" construction. The walls of the native houses are built up of sun-dried mud blocks of about $35 \times 20 \times 10$ cm, cemented together with mud-mortar, the roof being thatched with straw or made of Formosan tile. Since the houses of this type may be considered as a structure of rigid construction against earthquake motion, the seismic stresses will be nearly equal to the product of mass of the walls and the acceleration of earthquake motion. The strength of the walls is too small in spite of their heavy weight to resist the seismic stresses acting upon them and, therefore, the collapse of walls is quite easy. The dwelling houses of the ordinary Japanese in Formosa do not much differ from the wooden houses found everywhere in the mainland of Japan and the damage done to these houses was not so remarkable. The damage due to the present earthquake done to the native houses and the wooden houses being separately known, the comparison of the earthquake resistivity of these two kinds of houses in Formosa has been made, the result of which is as shown in Fig. 4. As may be seen from Fig. 4, the earthquake resistivity of the native Formosan houses is far less than that of the wooden houses, though the ravages of white ants have rendered the latter less resistive to the earthquake shocks than similar houses in Japan proper. By combing the relation as shown in Fig. 4 with that between the seismic intensity and the percentage of collapse of wooden houses in Japan proper, the maximum seismic intensity of the present earthquake works out $g/3$ (g =acceleration due to gravity), which should be however reduced in some degree, if the ravages of white ants are taken into account. It is desirable to improve the construction of the native Formosan houses such that their earthquake resistivity shall be somewhat increased in order to provide against the future earthquakes.

5) *loc. cit*