

# 40. 昭和16年7月15日長野地震の家屋被害に就て

地震研究所 金井 清

(昭和16年9月18日發表—昭和16年9月20日受理)

## 1. 緒 言

昭和16年7月15日23時45分長野市東北方10km附近に起つた地震は約100km平方の地域に激甚な被害を生じ、全潰家屋總數259棟、半潰家屋總數319棟、死者6人、重傷者11人に及んだ。

筆者は主として家屋の大黒柱及び筋違の耐震効果を被害家屋について調べる目的で踏査に向つたところ、被害区域にはこれ等を使用した家屋が極めて少く、その目的を十分に果すことができなかつた。然しながら、震害地に於ける數家屋の實例によつて大黒柱並びに筋違が理論<sup>1), 2), 3)</sup>と全く一致して家屋の耐震性に大きな効果を與へてゐることを確めることができた。

調査は古平秀數氏の非常な援助を得て、7月18日から7月22日に亘る5日間行つた。茲に、家屋被害調査の結果を報告し、地震による家屋破壊に力學的解釋を若干附け加へて見ようと思ふ。

## 2. 家屋被害概況

各村役場の調査による部落別の被害統計を第I表に示す。

第I表 長野地震被害統計

	總戸數	總家屋數	全 潰		半 潰		計	住家倒潰率	死者	傷者	調査日
			住家	非住家	住家	非住家					
長沼村	大町	103	5	3	15	0	23	19			7月18日
	穂保	103	10	8	15	4	37	24			
	津野	52	10	1	6	1	18	31			
	赤沼	213	13	1	24	0	38	17	3	3	
小計	471		38	13	60	5	116		3	3	

(次頁へ續く)

1) 筆者, "Aseismic Properties of a Daikoku-basira (Principal Column) or Similar Column in a Japanese Style Building," 地震研究所彙報 16 (1938), 256~272.  
 2) 妹澤克惟, 筆者, "Theory of the Aseismic Properties of the Brace Struts (Sudikai) in a Japanese-style Building. (Preliminary Notes)," 地震研究所彙報 16 (1938), 702~713.  
 3) 筆者, 地震研究所彙報 17 (1939), 233~252, 559~568, 569~578, 695~712, 713~722.

第 I 表 (續き)

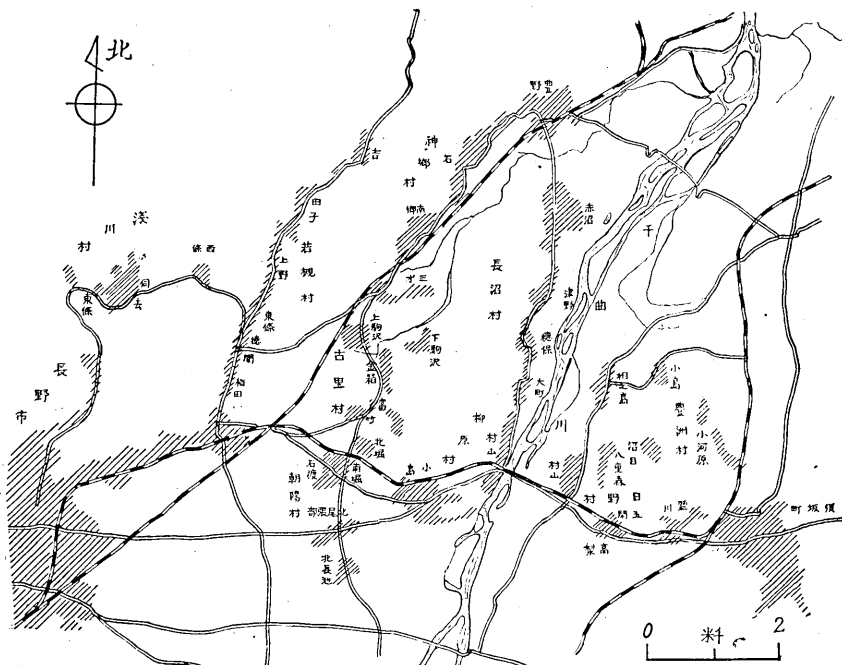
	總戶數	總家屋數	全 潰		半 潰		計	住 家 倒潰率	死者	傷者	調査日
			住 家	非住家	住 家	非住家					
神郷村	豊野	535	0	0	5	3	8	1			7月19日
	石	215	10	7	15	5	37	12			
	南郷	144	39	12	50	17	118	62	3		
	小計	894		49	19	70	25	163		3 0	
淺川村 (部落 19)	何去	135	概 總戶數の 約3倍	0	1	1	0	2	1		7月20日
	東條	90		3	1	0	0	4	3		
	西條	100		10	2	5	4	21	11	2 1	
	小計			13	4	6	4	27		2 1	
若槻村	稻田	170	概 算	4	17	12	0	33	9		7月20日
	徳間	120		10	4	8	3	25	15	2 3	
	東條	110		2	0	5	0	7	6		
	上野	100		0	0	3	0	3	3		
	田子	68		0	0	1	0	1	1		
	吉	115		0	1	3	0	4	3		
小計			16	22	32	3	73		2 3		
古里村	金箱	51	84	0	4	7	1	12	14		7月21日
	上駒澤	87	168	1	1	3	1	6	5		
	下駒澤	60	131	2	1	8	5	16	17		
	三才	151	280	5	3	10	0	18	10		
	富竹	133	252	0	0	5	3	8	4		
小計	482	915	8	9	33	10	60		0 0		
豊洲村	相之島	100	概 總戶數の 約3倍	10	16	29	11	66	39		7月23日
	小島	90		4	1	12	1	18	18		
	小河原	200		0	3	0	4	7	4		
小計				14	20	41	16	91		0 0	
朝陽村	北長池	117	概 總戶數の 約2.5倍	0	5	3	1	9	2		7月23日
	北尾張部	75		1	3	1	1	6	3		
	石渡	74		0	6	2	2	10	3		
	南堀	78		1	3	1	1	6	3		
	北堀	48		0	0	5	3	8	10		
小計	392			2	17	12	8	39		0 0	

(次頁へ續く)

第 I 表 (續き)

	村	總戸數	總家屋數	全 潰		半 潰		計	住 家 倒 潰率	死者	傷者	調査日
				住 家	非住家	住 家	非住家					
柳原村	山 島	70	概 算 200	1	4	0	5	10	2			7月23日
	小 計	90	280	1	1	0	0	2	1			
旧野村	高 梨	70	總 戸 數 の約2倍	0	1	1	3	5	2			7月23日
	鹽 川	115		0	1	4	7	12	3			
	沼 目	62		0	0	5	0	5	8			
	八 重	35		0	0	1	2	3	9			
	五 閑	10		0	0	1	0	1	10			
	村 山	145		0	0	3	6	9	2			
小 計	437		0	2	15	18	35		0	0		
長野市					5		28	33				
高岡村					1		0	1				
總 計					260		390	650		6	11	

本地震の家屋被害地域は長野市と上水内郡に限られ、長沼村、豊洲村相之島、神郷村南郷を包含する約 4 km 平方の千曲川流域の沖積層の地域が被害激甚にして家屋倒



第 1 圖

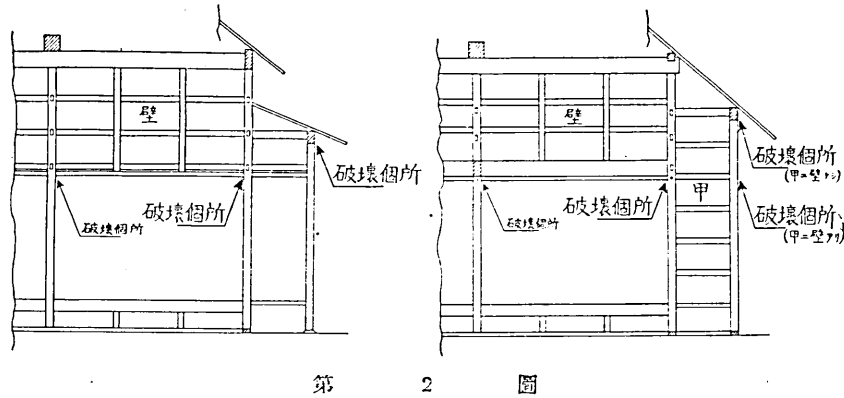
潰率 15 % 以上である。家屋被害の距離についての減少度は極めて大きく、被害激甚な地域の中心から 5 km 距ると棟瓦が僅かに落ちた程度の損傷しかない。

長沼村、豊洲村は屢大洪水に襲はれ、土臺、柱、壁等の腐蝕が多く、そのため地震の割合に家屋被害が大きかつたと考へられる。長沼村赤沼の道路脇田圃にある大洪水の地面よりの高さを示した木標の記録を参考のために記して置く。明治 44 年 8 月 5 日、12 尺；明治 43 年 8 月 11 日、12.7 尺；弘化 4 年 4 月 12 日、14.6 尺；明治 1 年 5 月、14.6 尺；明治 29 年 7 月 21 日、16.2 尺；寛保 2 年 8 月 2 日、20 尺以上。

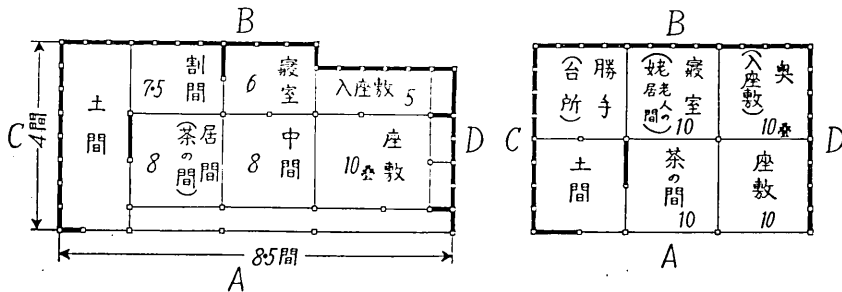
土藏の損傷には倒潰と滑動があり、長沼村では特に倒潰が目立ち、浅川村、若槻村では滑動が目立つた。全被害地を通じて土藏の損傷は少く、倒潰した土藏の大部分は水害のために下部が腐蝕してゐた。

### 3. 震害地農家の住居構造

同地方の農村の住家構造は詳細にわたつては種々の差違があるが、本地震の被害の説明に必要な部分は大體第 2, 3 圖に示す構造で代表できる。



第 2 圖



第 3 圖

力學的考察に關係のある構造部分を簡単に記すと、先づ外壁は表(A)には非常に少く、兩側(C, D)の全部と裏(B)の大部分にある。間仕切壁は疊敷の部分と土間との境に僅かにあるのみで、室と室との間は總べて襖で境されて居る。4尺以上の小壁が鴨居と天井の間にあり、天井裏は多くは窓のない壁體を廻らして物置として利用されて居る。此の物置の採光、換氣は天窗でなす。柱は4寸×4寸土臺は4寸×2寸、軒桁、胴差は4寸×10寸の松又は杉の角材の使用が多い。大黒柱、筋違を使用した家屋は稀である。下屋は第2圖の右圖の如く母家と共通の屋根のものと、左圖の如く外柱の中間と極木受で連結して別に屋根を作つたものがある。

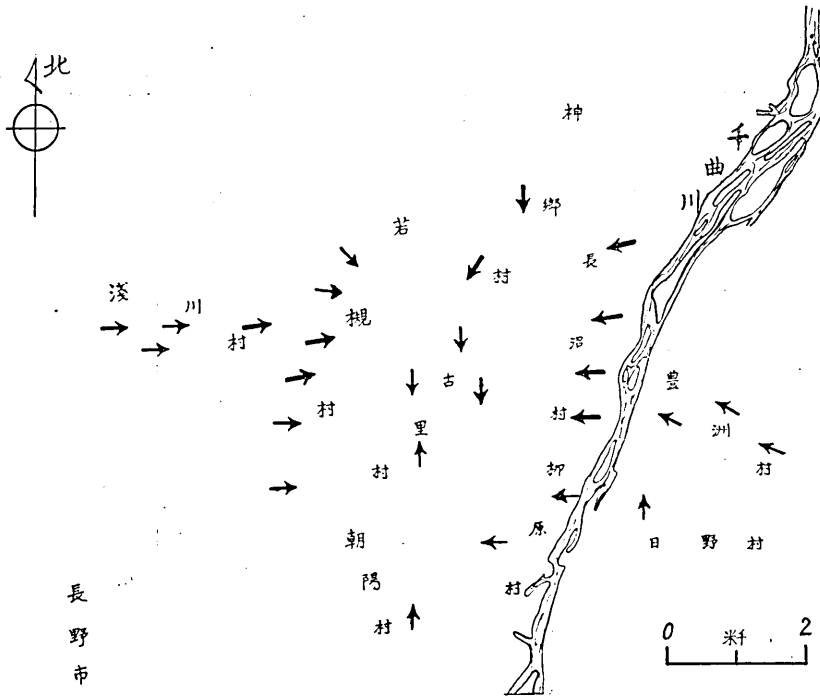
#### 4. 家屋倒潰方向

踏査に向つたのが地震2日後であつたため、既に損傷家屋の修理に着手され、長沼村以外は家屋倒潰方向の十分な統計的の調査ができなかつた。長沼村の踏査結果を第II表に示す。此表の右2列の相違の主原因は村道から遠隔な區域の踏査洩れである。

第II表 長沼村家屋倒潰統計

部落別	家屋の向	倒潰方向	住 家		土 藏	納 屋	小 計	合 計	村役場調査倒潰家屋總數
			草 葺	瓦 葺					
大 町	南	南西	2 3	2 2	0 0	0 0	4 5	15	23
	東	南西	0 2	0 0	1 3	0 0	1 5		
穂 保	南	南北	3 1	5 1	0 0	0 0	8 2	26	37
		北東	1 1	0 1	0 3	0 0	1 5		
津 野	東	南東	1 1 0	0 2 2	0 0 2	0 0 2	1 3 6	13	18
	南	南	4	5	0	0	9		
赤 沼	南	南北	6 2	4 0	1 0	1 0	12 2	28	38
		北東	1 3	0 0	0 2	0 2	1 7		
合 計	東	南北	1 0 1	0 1 0	0 0 1	1 0 1	2 1 4	82	118
	南	南	34	26	14	8	82		

同地方の農家構造は第 2 圖に示す如く、表(A)には壁が非常に少く、裏(B)と兩側(C, D)は大部分壁體であるため、A面の剛度は B, C, D面に比して著しく弱い。又、A, B面は C, D面より長いのが普通であるから此の種の家屋に震力が作用すると先づ表(A)の柱が損傷して、家屋はその方向に倒潰する可能性が非常に多い。踏査の結果も果してその通りで、第 II 表に示す如く倒潰住家總數の 50%以上は表(A)方向である。土藏、納屋は四面の剛度差違が少いため、各部落毎の倒潰方向は略一定して居り、住家の倒潰方向は見掛上は甚だ複雑であるが、表(A)方向の倒潰家屋を除くと、同部落の土藏、納屋の倒潰方向と殆んど一致する。又土藏の滑動、土塚の滑動、鳥居の横の方向への傾斜(寫眞第 21, 22, 24, 32 圖参照)その他特殊な構造物の倒潰方向は前の方法で決定した同地の家屋倒潰方向と略一致する。故に表(A)



第 4 圖 家屋倒潰方向

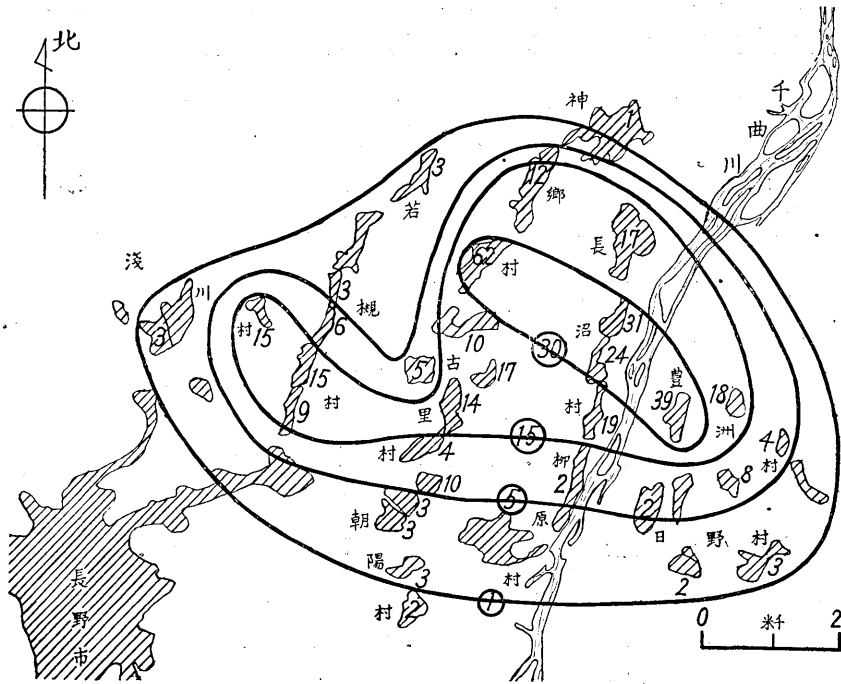
方向の倒潰住家を除いて決めた家屋倒潰方向が第 4 圖である。圖中の矢の太さの大小は調査資料の多少を意味する。

以上の調査結果から家屋被害の過半数に影響した震動は各地域毎に一定の方向性を有し、然も總べて衝撃性押し波と考へられる。

### 5. 家屋倒潰率

土蔵，納屋，藪室その他の非住家總數は村役場でも容易に判明せず，又假令その總數が判つたとしても土蔵と納屋では構造，剛度の差違が甚だしいから，非住家を除いて家屋倒潰率を作ることにした。即ち第 I 表に示した家屋倒潰率は住家のみの全半潰總棟數と全戸數との比の百分率である。

尚，村役場の家屋被害統計は調査日が違ふし破壊の定義も一定してゐないから，そのまゝで數量的に比較はできない。それ故，實地踏査の結果を加味して等家屋倒潰率曲



第 5 圖 倒潰家屋分布

線を作ると第 5 圖になる。圖中の各部落に附した數字は第 I 表の家屋倒潰率を示す。

茲に，第 4，5 圖から家屋被害についての若干の考察をすると，先づ神郷村南郷の被害が特に著しいのは震動方向と住家の壁體のない方向（A）とが一致してゐたことで説明できる。浅川村西條，若槻村東條，徳間，稻田が比較的堅い地盤であり，震央からの距離も割合に遠いのに被害が大きいのも亦同區域の住家に東向が多かつた爲であらう。

次に商店の構造は農家に比較して屋根が低くて，間仕切壁が多い剛構造であるが，

神郷村豊野は商家又は事務所が全戸数 535 の中約 150 を占め、地盤の弱い南部に位置してゐるために特に被害が少かつたものであらう。又古里村富竹、上駒澤に被害の少ないのは新しい様式のトタン葺の低い屋根が多い爲と考へられる。

## 6. 家屋構造と被害の関係

被害地踏査の結果、住家の倒潰状態の最も多いのは、表柱が鴨居又は土臺の仕口で破損し、小壁を廻らした鴨居から上が小屋組共に一體となつて前方に押し出され、そのために中柱が次々に鴨居の仕口で破損して家屋全體が崩潰したか、或は傾斜したまゝ残つた状態である。故に此の場合には崩壊を免れて單に傾斜したのみの家屋は鴨居から上の小壁と小屋組には損傷は頗る少い。寫眞第 6 圖は此の有様を明かに示して居る。外柱が鴨居下で折れて下屋の壁部の中間を押し出し、そのため下屋の柱が鴨居の高さで裂けた状態が寫眞第 7 圖である。寫眞第 8 圖は此の様式で完全に崩壊した例で、後方に見える家屋は表柱が破損し家屋全體が傾斜したが小屋組は完全に破損を免れて居る。然も崩壊した家屋の向きは此の地域の家屋倒潰方向と一致し安全な家屋の向きは直角である。尙此の倒潰様式の特別な例で小屋組が特に弱い家屋は表柱、中柱が破壊したため小屋組が崩落し裏、兩側の壁體は安全に残つた。(寫眞第 9 圖参照)。

次に間仕切壁のない細長い家屋の場合には、兩側の壁部に近い部分は安全で、中央部が破壊した家屋が多い。倉庫の被害は總べて此の状態であつた。豊洲、赤沼兩國民學校校舍の損傷も此の例に近い。寫眞第 10, 11 圖は住家、倉庫の中央部が崩壊したのを示す。又、兩側と中央部の軸部の剛度の差違のために、横材が中央部で破損した例も多く、そのうち軒拵の破損したのが寫眞第 12, 13 圖でわかる。

前記の二通りの破壊型と異つて、表にも壁體があり、四方の剛度の差違が少い家屋は各地區により倒潰方向が略一定して居る。土蔵、納屋の倒潰は殆んどこの状態に屬した。寫眞第 14, 15 圖の家屋は鴨居から上の壁體少く、小屋組も弱いため全體として破壊し、地震後に加へた斜材で辛じて崩壊を免れて居る。此の反對に鴨居上の小壁多く、小屋組も強固な爲、柱が鴨居下で損傷し壁體及び通柱も鴨居の高さで彎曲して壁體の下部は剝落したが、上部には殆んど損傷のない好例が寫眞第 16 圖である。

次に、筋違を使用した家屋は稀であるが、長沼村、神郷村では、周囲の家屋が全部倒潰してゐるのに、筋違を使用した家屋のみが安全に残つたのが 2 棟宛あつた。1 階に僅か 4 分×4 寸の板を筋違として使用してゐた爲、1 階は安全であつたが、筋違のない 2 階が破壊した家屋が 2 棟あつた。全く理論の示す通りである。(寫眞第 17, 18 圖参照) 大黒柱を使用した家屋も亦少いが、大黒柱は神郷村の北國街道筋の商家



では7寸角の檼材を使用してゐたが、農家では皆4.5寸角の檼材である。大黒柱を使用した家屋は被害が極部的で全體の倒潰に至つたのは無い。即ち大黒柱のみが鴨居下で裂けたり、大黒柱と接合する鴨居が破折した家屋が神郷村、若槻村で見受けられたが、家屋全體の破壊を大黒柱が負つた跡歴然たるものがあつた。

此度の激震地では土藏の倒潰は比較的少なく、長沼村の如く度々の水害で下部の腐蝕したものに限られてゐた。寫眞第19圖の土藏はその典型的な例で、水害の爲に腐蝕した下部のみが倒潰して上部は僅かに龜裂ができた程度である。土藏の滑動は淺川村、若槻村に最も多く、壁體の厚さ24cm乃至30cmの土藏が10cm乃至40cm滑動してゐた。(寫眞第20, 21圖参照)

特に關心を深くしたのは、下屋の葺下りが母家との接合部で分離して倒潰したものが極めて多いことと、豊洲、赤沼國民學校々舎の二階々段が連結部で抜け離れてゐたことである。何れも接合が頗る脆弱な爲である。此の接合部を強固にすることは、只に下屋又は階段の破壊を免れるのみならず、下屋及び階段が筋違の役目を果して建物全體の強度を増すに役立つのである。

尙、特殊な被害としては、裏に支柱のない土塀が長さの方向へ9cm滑動し、瓦の剝落は1枚もなかつた。(寫眞第22圖参照。土塀の後に見える立派な家屋の柱は大部分破損した)此の事實は、此の地域の主要動が土塀の長さの方向であつて直角の方向の震力は極めて小さかつたことを示す。次に周囲を壁體で廻らした新築の剛構造の高い二階家屋が將に顛倒せんとする位傾斜したのがあつた。(寫眞第23圖参照)

## 7. 家屋被害の構造力學的吟味

今回の地震による家屋の破壊原因は力學的には次の種類に大別することができる。

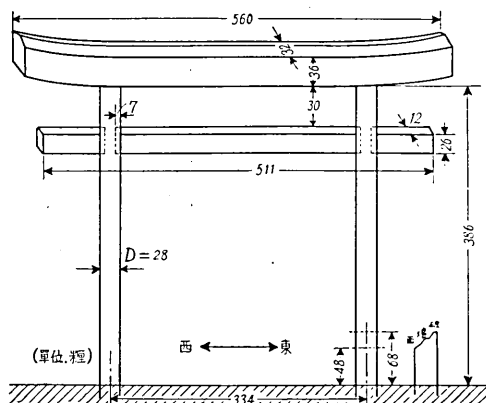
- (I) 衝撃性震力による場合
- (II) 家屋全體の共振による場合
- (III) 家屋構造の一部材の共振による場合

次に、此の各場合に就いて簡単な吟味を試みることにする。

### (I) 衝撃性震力による破壊

壁體のない表方向へ倒潰した住家を除くと、住家の倒潰は略震源に向ふ一定方向を示し、然も土藏の滑動及び倒潰は總べて此の方向と一致してゐる。即ち此の破壊は衝撃性押し波によると推定されるといふことは既に述べた。(I)の特徴は各軸部材が大體一様に損傷し、その倒潰方向も一定である。従つて地盤の固有震動による共振では説明し難い。

今、加速度を推定する一つの目安として、古里村諏訪神社の石鳥居の破損に依つて簡単な計算を試みる。(寫眞第 24 圖及び第 25 圖参照)



第 25 圖 破壞した石鳥居の構造

曲能率を受ける剛體の破壊を表す式は

$$kmlr/I > p_x \quad (1)$$

にして、茲で

$$\left. \begin{aligned} m &= 1400 \text{ kg (柱 1 本と笠木, 貫の半分の質量)} \\ l &= 2.8 \text{ m (地表から柱の重心までの高さ)} \\ r &= 14 \text{ cm (柱の半径)} \\ I &= (\pi r^4/4) = 3.01 \cdot 10^4 \text{ cm}^4 \text{ (柱の慣性能率)} \end{aligned} \right\} (2)$$

である。石材の最高應張強度を

$p_x = 50 \text{ kg/cm}^2$  とすると水平加速度  $\alpha$  と重力の加速度  $g$  の比  $k$  は

$$k > 0.274 \quad (3)$$

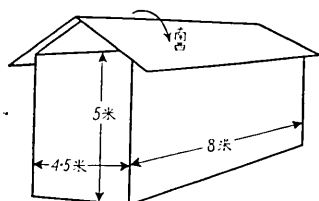
となる。次に、柱の 1 本が折れ、笠木、貫が落下した後の残りの 1 本の柱について同様の計算を爲すと  $k = 1.02$  となり、此の地震では考へられない大きな値である。尙此の場合には上下震動はあつても問題にならない。

次に將に轉覆せんとする状態にあつた長沼村の剛構造の家屋(寫眞第 23 圖, 第 26 圖参照)について計算を行ふと、轉覆の起る條件は

$$k/(1-k_1) > r/h \quad (4)$$

であり、只今の場合

$$\left. \begin{aligned} r &= 2.25 \text{ m (横の長さの半分)} \\ h &= 5.1 \text{ m (地面から重心までの高さ)} \end{aligned} \right\} (5)$$



第 26 圖 顛倒家屋の略圖.

矢は顛倒方向を示す

であるから

$$k/(1-k_1) > 0.44 \quad (6)$$

となる。水平加速度を(3)から  $0.3g$  と假定すると上下加速度  $\alpha_1$  と  $g$  の比  $k_1$  は

$$k_1 > 0.318 \quad (7)$$

となる。即ち前記の鳥居の石材の破壊及び此の家屋の轉覆が限界に近いものと推定すると、水平上下兩加速度は各約  $0.3g$  といふことになり、家屋倒潰率 10% 乃至 20% の震害地としては背ける値である。

尙、之等の値を吟味するために家屋の滑動を考へることとする。神郷村、淺川村に

は僅かに滑動した跡を残す住家があり、又浅川村、若槻村には 10cm 乃至 40cm 滑動した土蔵が多かつた事實は、滑動を起す震力が、土、石並びに木、石の間の摩擦力に近いと考へられる。故に、之等の摩擦係數から推定される加速度の關係は

$$k/(1-k_1) = 0.4 \sim 0.5 \quad (8)$$

となり、前記の計算と非常によく符合する。

即ち此の地震の衝撃性震動の加速度は水平、上下共に略 0.3  $g$  と考へて間違いないと思ふ。

### (II) 家屋全體の共振による破壊

共振で倒潰したと推察できる家屋も少くなかつたが、破壊状態から特に明かに共振によると考へられる家屋が若槻村稲田にあつたから、その固有週期を算出して見る。同家屋の軸部の断面圖は第 27 圖で、その中の第 14 號の柱を寫眞第 28 圖に示す。第 27 圖に於て破壊した柱は第 1~10, 18, 彎曲した柱は第 11~14, 17, 安全な柱は第 15, 16, 19, 20 であつた。鴨居から上は全部壁體で廻らされ、然も寫眞でわかる如く柱と梁の接合は相當に剛である。それ故柱は兩端固定、床は剛として計算を行ふことにする。

柱の運動方程式は

$$EI\theta^4 y/\partial x^4 + \rho a \partial^2 y/\partial t^2 = 0 \quad (9)$$

であるから、その解は

$$y = (A \cos nx + B \sin nx + C \cosh nx + D \sinh nx) \cos pt \quad (9)$$

である。茲で  $n^4 = \rho a p^2 / EI$ ,  $E$  = 柱のヤング率,  $I$  = 慣性能率,  $\rho$  = 密度,  $a$  ( $= r^2$ ) = 斷面積,  $p = 2\pi /$ 週期である。柱の兩端の條件は

$$x=0; \quad y=0, \quad \partial y/\partial x=0, \quad (10), (11)$$

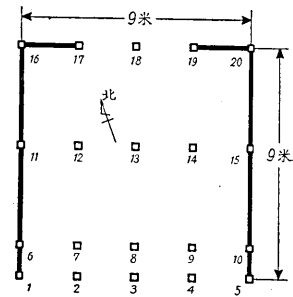
$$x=l; \quad \delta y/\partial x=0, \quad -EI\theta^3 y/\partial x^3 + m\partial^2 y/\partial t^2 = 0, \quad (12), (13)$$

と置けるから、(10)~(13)を(9)に代入すると次の振動數を決める式を得る。

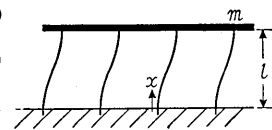
$$\cos \alpha \sinh \alpha + \sin \alpha \cosh \alpha + \nu \alpha (\cos \alpha \cosh \alpha - 1) = 0 \quad (14)$$

但し  $\alpha = nl$ ,  $\nu = m/\rho a l$  である。(14)式から  $\sqrt{\rho a p^2 / EI}$  と  $m/\rho a l$  の關係を求めると第 30 圖の曲線になる。

只今の家屋に於て  $r = 6.8 \text{ cm}$ ,  $a = 185 \text{ cm}^2$ ,  $\rho = 0.4 \text{ gr/cm}^3$ , (杉の密度)  $I = 2850 \text{ cm}^4$  である。 $l = 242 \text{ cm}$ ,  $m = 3.5 \cdot 10^5 \text{ gr}$  と推定し、杉材のヤング率  $E = 8 \cdot 10^{10}$  C.G.S.と

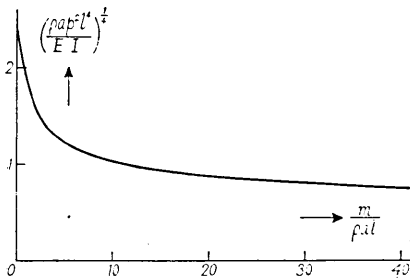


第 27 圖 共振による倒潰家屋の平面圖



第 29 圖

して第 30 図を使用して計算すると、自己振動週期は 0.265 秒 となる。此の値は  $l, m$  及び  $E$  で多少變化するが、實際問題として大勢には影響はない。而して稻田の地盤は相當に發達した沖積層であるから、此の週期は稻田の地盤の固有週期に近いものと推定してよいであらう。



第 30 圖 床剛、柱の兩端固定の構造の固有振動數曲線

要するに、同地震は衝撃性震動による被害が最も多いが、次に地盤の固有週期と家屋のそれの一致による共振で説明できる被害も相當にあつたことがわかつた譯である。

### (III) 家屋構造の一部材の共振による破壊

家屋の一部に破損を生じた原因は種々考へられるが、一部の柱の共振によつて破壊

した家屋も少くないやうであつた。然も、梁、鴨居、胴卷、軒桁の連結點の通柱の破壊の場合には特に被害も大であつた。次に、このやうな破壊様式が實際に起り得るものかどうかを力學的に検討して見ることにする。

軸壓、固體粘性のある場合の棒の撓み振動の運動方程式は

$$\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + Ek^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \xi k^2 \frac{\partial^3 y}{\partial t \partial x^3} + \frac{P}{A} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad (15)$$

であるが、此の式から壓縮力、粘性抵抗と振動週期の關係を出すのは棒の兩端の條件によつては極めて複雑である。幸ひ妹澤教授<sup>4)</sup>によつて計算された實驗公式があるから、その公式によつて數値計算を行ふ。即ち (i) 棒の兩端が固定のとき、(ii) 一端固定他端支持のときの主要振動を表はす實驗公式、及び (iii) 兩端が支持のときの主要振動數の式は

$$(i) \quad p = \frac{501 \xi k^2}{2 \rho l^4} \pm \sqrt{\frac{12.74}{\rho l^2} \left( \frac{39.4 Ek^2}{l^2} - \frac{P}{A} \right) - \frac{501^2 \xi^2 k^4}{4 \rho^2 l^8}} \quad (16)$$

$$(ii) \quad p = \frac{238 \xi k^2 i}{2 \rho l^4} \pm \sqrt{\frac{11.8}{\rho l^2} \left( \frac{20.2 Ek^2}{l^2} - \frac{P}{A} \right) - \frac{238^2 \xi^2 k^4}{4 \rho^2 l^8}} \quad (17)$$

$$(iii) \quad p = \frac{i \pi^4 \xi k^2}{2 \rho l^4} \pm \sqrt{\frac{\pi^2}{\rho l^2} \left( \frac{\pi^2 Ek^2}{l^2} - \frac{P}{A} \right) - \frac{\pi^4 \xi^2 k^4}{4 \rho^2 l^8}} \quad (18)$$

である。茲に、 $2\pi/p$  = 振動週期、 $l$  = 棒の長さ、 $\rho$  = 棒の密度、 $E$  = ヤング率、 $A$  = 斷面積、 $k$  = 斷面の慣性半徑、 $\xi$  = 粘性抵抗、 $P$  = 軸方向の壓縮力である。計算を簡単にするために粘性抵抗の項を除き、11.5 cm 角、長さ 420 cm、 $E = 6.10^{10}$  C. G. S. の杉

4) 妹澤克惟, "Die Wirkung des Enddruckes auf die Beugungsschwingung eines Stabes mit innerer Dämpfung," ZAMM 12, (1932), 275~279.

材がの1噸の荷重を受ける場合の柱の固有週期を(16)~(18)式を使つて出すと

(i)  $T=0.038$  秒, (ii)  $T=0.059$  秒, (iii)  $T=0.1$  秒

となり、柱の材質、受ける荷重の如何によつては震動週期と一致する柱の固有週期が存在し得ることがわかる。

## 8. 結 論

震害地を踏査した結果によると、住家は壁體のない所謂“家の向き”の方向に倒潰したものが總倒潰住家の50%以上を占めてゐる。(このことは養蠶を業とする農村住家の倒潰に於ける一般の傾向ではないかと考へる)此の方向の倒潰住家を除いた住家の倒潰方向は各部落によつて殆んど一定し、然も同部落の土藏の滑動、倒潰と同一方向である。然してこのやうな方法で決定した各部落の家屋倒潰方向が總べて集中性であることから、之等の損傷を起した震動は主として撃衝型の押し波であつたことが推定できる。家屋倒潰は約100平方kmの區域に限られてゐるが前記の方向と家屋の向きとが一致した部落に於ては特に家屋倒潰率が大きかつたやうである。

筋違を使用した家屋は稀であるが、その耐震効果は全く理論の示す通りであることを4棟の家屋が示してゐた。大黒柱の使用も亦少いが、大黒柱の存在のために破壊を一部に止めて全體の損傷を免れたと考へられる家屋が多い。

家屋全體としては剛であるが、一部の弱い柱材の共振のために破損をしたと思はれる家屋が相當數あつたので力學的計算を試みたが、大きな荷重を受ける4寸角位の柱はその材質によつては、その固有週期が震動週期と一致して共振を起し得ることがわかつた。何れにしても荷重を多く受ける場所及び横材の繼目の柱は特に強固にする必要があり、大黒柱、小黒柱を使用することは此の役目を果すものである。

本地震の被害の中、下屋の破壊が頗る多いことと、國民學校の二階々段が他の個所以上の破壊をしたことが特に眼についた。何れも接續個所が脆弱の爲である。之等の接續個所を強固にすることは、下屋、階段の破壊を免れるのみならず下屋、階段が筋違の役目をして構造全體の強度を高めるものである。その上國民學校の階段は人的損傷にも關係深いこと故十分の注意が必要と考へる。

最後に本調査に當り多大の御便宜を與へて下さつた岸上助教並びに長野縣營繕課長野電氣、上水内郡各村役場、及び各村の有志の方々に厚く謝意を表する。

尙本報告をなすについて種々御教示、御指導を賜つた妹澤先生、並びに調査に非常なる御援助を與へられた古平秀數氏に深く感謝す。

40. *On the Damage to Buildings in the Nagano  
Earthquake of July 13, 1941.*

By Kiyoshi KANAI,

Earthquake Research Institute,

The present paper is a report of the damage to buildings in the Nagano earthquake that occurred on July 15, 1941, with a theoretical discussion. With the kind assistance of Mr. Kodaira, the writer examined the seismic region during the period from July 17 to July 23, which had an area of about 10 km in dia, consisting of nine villages, situated north-east of Nagano city, and quite close to it. The buildings in the seismic region are mostly farm houses together with granaries and sheds. The investigation in the field was made from the point of view of the dynamical theory of seismic vibration of a structure that we had developed recently.

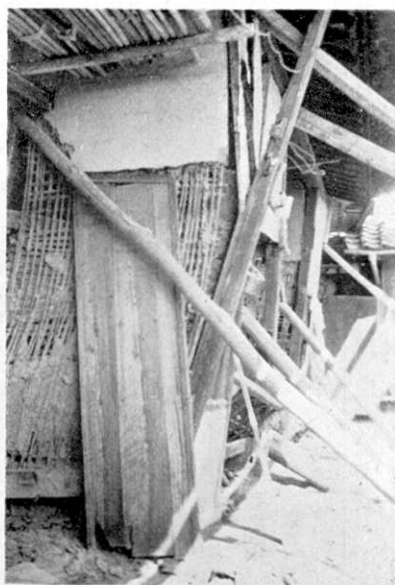
Although only a few of the buildings had diagonal members, it seems possible to conclude that these members were fairly resistant to seismic vibrations. Generally speaking, the damage to buildings was of two kinds, one being of the type caused by seismic shocks or resonance of building vibration and the other of the type formed by resonance of column vibration. In the first type, every column in the building collapsed in the same manner, whereas in the second, certain columns failed in a particular way. Besides, in the latter type, the whole building was never in resonance condition; only the column themselves that were subjected to a vertical thrust were likely to be in resonance condition.

In the present investigation, the way in which a building overturned was also carefully examined. Since farm houses in Nagano district (and more generally in most parts of Japan) are built with one of its sides without wall, the house is liable to be overturned in the unwallled side, for which reason, in a statistical investigation of this kind, the writer omitted the houses that overturned in the direction of the unwallled side. Comparisons of all the overturned buildings, excepting the case just mentioned, showed that in almost every case the house overturned towards the seismic epicentre. The granaries and sheds that had on walls also overturned in the same sense. From the foregoing evidences it is possible to conclude that the seismic vibration that damaged the buildings was of the push type for every direction looking from the seismic epicentre.

---



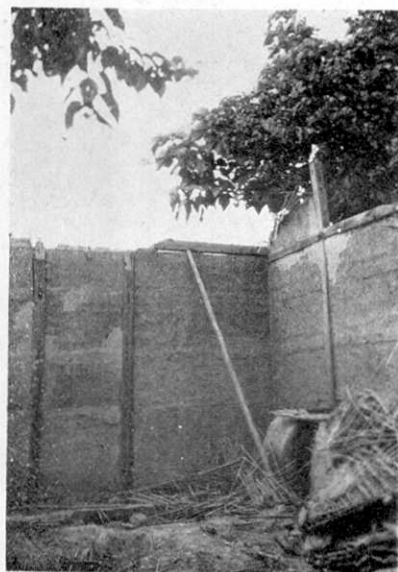
第 6 圖 表柱破損小壁龜裂なし. 南向, 南へ(長沼村穗保)



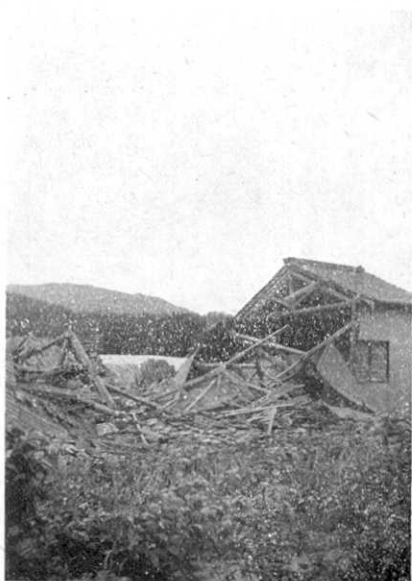
第 7 圖 下屋が鴨居の高さまで破損. 南向, 南へ(長沼村穗保)



第 8 圖 崩壞家屋. 西向, 西へ(長沼村穗保)



第 9 圖 屋根崩落. 外壁安全. 南向, 南へ(長沼村津野)



第 10 圖 住家，兩側の壁部を残し中央部倒壊。南向，南へ(神郷村石)



第 11 圖 倉庫，兩側壁部を残し中央部倒壊。南向，南へ(古里村三才)



第 12 圖 軒桁中央部で破損。南向，南へ(長沼村赤沼)



第 13 圖 軒桁中央部で破損。南向，南へ(神郷村南郷)





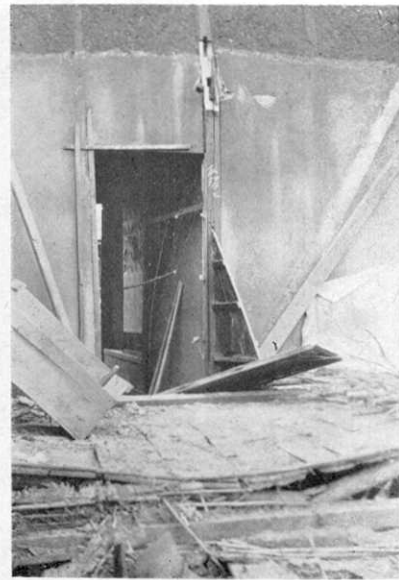
第 14 圖 柔構造住家倒壊. 南向, 北へ  
(長沼村大町)



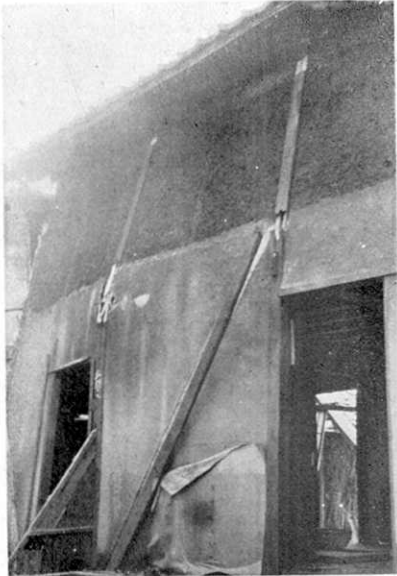
第 15 圖 柔構造住家倒壊. 南向, 西へ  
(長沼村大町)



第 16 圖 鴨居より上部損傷なし. 南向, 東(浅川村東條)



第 17 圖 一階筋違使用, 二階倒壊. 南向, 南へ(長沼村津野)



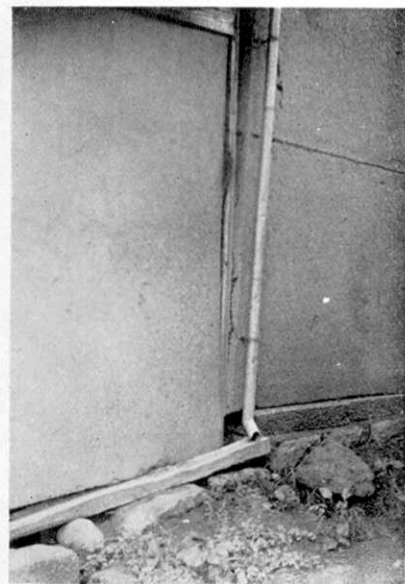
第 18 圖 第 17 圖と同じ家屋



第 19 圖 下部腐蝕の土藏の破損. 南向, 西へ(長沼村穗保)



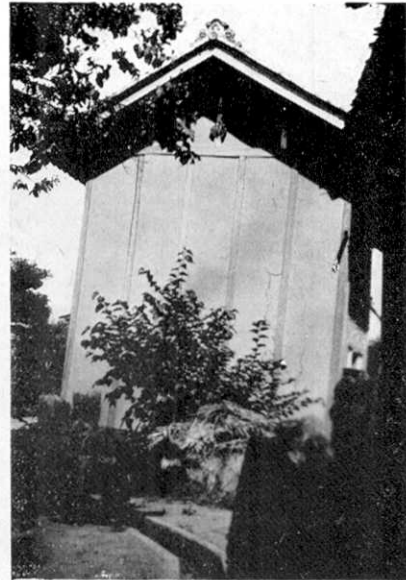
第 20 圖 土藏東方へ 40 cm 滑動  
(浅川村西條)



第 21 圖 土藏東北方へ 15 cm 滑動  
(岩槻村東條)



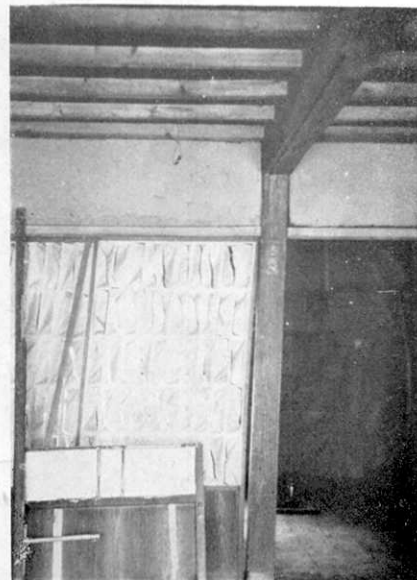
第 22 圖 土塀長さの方向(東北方)へ  
9 cm 滑動(若槻村徳間)



第 23 圖 新築剛構造の高い家屋南西  
へ顛倒(長沼村榎保)



第 24 圖 鳥居の倒潰(古里村諏訪神  
社)



第 28 圖 柱彎曲(長野市吉田)



第 31 圖 鳥居横へ傾斜，貫破損（淺川村押田）



第 32 圖 土塀の轉覆（古里村）

（震研彙報 第十九號 圖版 金井）