

### 第三章 地震の強さ

#### (11) 地震の加速度及震度

地震の強さを表はすには地動の最大加速度の大きさを以てする。地震の破壊力は工作物の性質にも依るが、大體加速度の大きさに比例するを以て、この表はし方は工學上最も便利である。然し従來の經驗に依れば地動の週期と工作物の震害とは密接なる關係あるを以て一層合理的に言へば、地震の破壊力は振幅と週期に依て定まる。

##### (1) 地震の最大加速度

地震特に大地震に於ける記象は可成り複雑にして、其の振幅も週期も時々刻々變化するを以て、例令地震記象が地動を正確に示すものとするも、夫れより刻々の加速度の變化を求むる事は困難である。近時、加速度計に依て直接測定し得るに至りしも、未だ工學上充分なる資料を得るに至らない。

地震記象より加速度を求むるには地震動を單純なる正弦運動と看做し、振幅と週期とに依て計算する。

$$y = A \sin 2\pi \frac{t}{T} \dots\dots\dots (7)$$

茲に  $y$  = 地動の一分變位、 $A$  =  $y$  の最大値、 $T$  = 地震の振動週期

(7) 式の  $y$  を  $t$  に就きて二度微分すれ

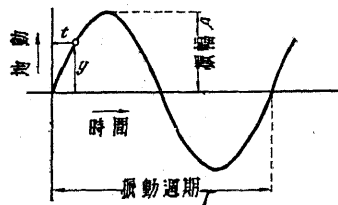
ば  $t$  なる瞬間に於て、地震の一分運動（東西、南北、上下等）の加速度  $\alpha$  を得、

$$\alpha = -A \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \sin 2\pi \frac{t}{T} \dots\dots\dots (8)$$

$$\alpha_{max} = 4\pi^2 \frac{A}{T^2} \doteq 40 \frac{A}{T^2} \dots\dots\dots (9)$$

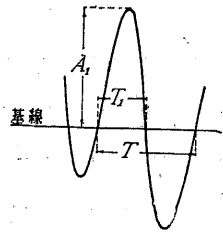
普通地動の單位を  $mm$ 、時間の單位を  $sec$  とし従て加速度の單位は  $mm / sec^2$  である、近年は  $cm / sec^2$  即ガール ( $gal$ ) 單位が用ひらる。地震記象よりその地

第 37 圖



震の最大加速度を求むるには、振幅最も大に週期最も短かき振動二三を取り、その各々の分運動に對して(9)式に依て $\alpha_{max}$ を計算し各合成加速度中の最大なるものを取る。

第 38 圖



然し多くの場合一週期の振動は基線(第38圖参照)

即ち静止時の地點の位置に對して兩側對稱的ならざる場合多きを以て、加速度の最大なる振動を採り

$$\alpha_{max} = \pi^2 \frac{A_1}{T_1^2} \div 10 \frac{A_1}{T_1^2} \dots\dots\dots(10)$$

を用ふる方便なる場合が多い。

今(9)式の計算例を示せば、

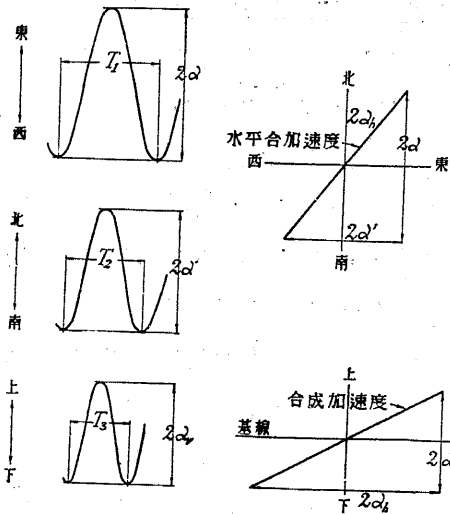
最大地動  $A = 150 \text{ mm}$ 、振動週期  $T = 1.35 \text{ sec}$

$$\alpha_{max} = 4\pi^2 \frac{150}{(1.35)^2} = 3,250 \text{ mm/sec}^2$$

實際の場合は地動は東西、南北、

第 39 圖

上下の三分運動に分れて別々に記録さるゝを以て(第39圖)、大體同一の時刻に於ける三分運動の $\alpha_{max}$ を出し、更に水平の合成最大加速度( $\alpha_h$ )と鉛直最大加速度( $\alpha_v$ )とを別々に計算し、便宜上その地震の最大加速度とする。



(9)及(10)式の示す如く最大加速度は振幅に比例し、週期の二乗に逆比例するを以て週期が小なれば加速度は著しく大となる。

然るに實際の大地震に於ては、種々の地震波が重複し居るを以て單一なる正弦運動にあらず、寧ろ多くの正弦波の組合と看做すを合理的と爲すを以て、上記の

計算法は一種の便宜法に過ぎず、加速度のみを知らんとすれば加速度計に據るを可とするも、其の記象より耐震上必要な振幅及週期を知るには矢張り同様の困難に逢着する。

(2) 震度及び合震度

弾性變形の少なき土木工作物の耐震上必要なは、主として最大水平加速度と重力の加速度との比 $\alpha_h/g$ にして之を震度(佐野博士の命名)と呼び、鉛直加速度の小ならざる場合は、水平加速度( $\alpha_h$ )と重力と地震の鉛直加速度との差( $g-\alpha_v$ )との比であるが、之を合震度と稱して前者と區別する。次に震度と加速度との關係を示せば(第40圖)

$$k_h = \frac{\alpha_h}{g}, \quad K = \frac{\alpha_h}{g-\alpha_v} \dots\dots\dots(11)$$

茲に  $\alpha_h$  = 最大水平加速度、 $\alpha_v$  = 最大鉛直加速度

第 40 圖

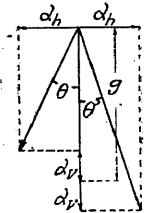
$k_h$  = 震度、 $K$  = 合震度

今  $\alpha_v/g = k_v$  と置けば

$$K = \frac{k_h}{1-k_v} = \tan\theta \dots\dots\dots(12)$$

下向鉛直加速度の場合は、

$$K' = \frac{k_h}{1+k_v} = \tan\theta' \dots\dots\dots(13)$$



(3) 比較震度階 (Seismic scale)

地震の強さを比較的に表はす爲めに、震害の程度に依りて數階級に分ち之を比較震度階と名づける。現在にては多種あるが我國の地震に對しては明治31年大森博士の制定せるものあり、現時中央氣象臺の用ふる震度階は之に微弱なる地震を加へたものである。

(a) 大森博士震度スケール

- 1. 最大水平加速度  $300 \text{ mm/sec}^2$  位、粗末なる煉瓦壁に小龜裂、古土藏の上塗多少剝落、棚上の小瓶の如きもの倒れ、木造家屋は音響を發して揺れ、樹木動搖、池水動搖薄濁。

2. 最大水平加速度  $900 \text{ mm/sec}^2$  位、土壁龜裂、古き木造家屋は多少傾斜、不安定の墓石、石燈籠倒れ、鍍泉、温泉等に異状を生ずるものあり。

3. 最大水平加速度  $1,200 \text{ mm/sec}^2$  位、煉瓦煙突は 25% 位破壊、粗悪なる煉瓦家屋は破潰するものあり、良煉瓦家屋は小龜裂、腐朽家屋の全潰するものあり、木橋に變位を生じ、障子破れ屋根瓦の摺動するものあり。

4. 最大水平加速度  $2,000 \text{ mm/sec}^2$  位、煉瓦煙突全部破壊、木造家屋に全潰するものあり、戸障子外れ、軟弱地に地割を生じ築堤は多少沈下龜裂す。

5. 最大水平加速度  $2,500 \text{ mm/sec}^2$  位、木造家屋の全潰 3% 位に達し築堤の震害多く墓石倒れ、石垣所々破損、井水異状を呈し急斜面の表土崩る。

6. 最大水平加速度  $4,000 \text{ mm/sec}^2$  位、寺院全潰、木造家屋の全潰 50~80%、堤防、築堤、軟地の道路に甚しき龜裂陥没を生じ、軟地に大地割生じて砂水を噴出、石垣、橋臺等に破損多く、山崩れ多し。

7. 最大水平加速度  $5,000 \sim 6,000 \text{ mm/sec}^2$  位、大規模の山崩れあり家屋は大部分全潰又は土臺より外れて移動 1~3 尺に及び、斷層、陥没、隆起、崩壊等著大なる地變を見る。

(b) 中央氣象臺震度スケール

0. 無感覺地震 地震計に感ずるも人體には全く感ぜざるもの。
1. 微震 静止せる人又は地震に特に敏感なる人にのみ感ずる。
2. 弱震 (弱き方) 一般の人々が感じ、戸障子僅かに動く。
3. 弱震 家屋が動揺し、戸障子鳴動し、電燈の如き吊下物及び器中の水面の動揺が判る程度。
4. 強震 (弱き方) 家屋の動揺烈しく、据り悪き器物は倒れ、八分目位に入りし水が器外に溢出する。
5. 強震 家屋の壁に龜裂を生じ、墓石、石燈籠等倒れ、煉瓦煙突、土藏に破損を生ずる。

7. 烈震 家屋倒潰し、山崩れ、崖崩れ等多く、平地に龜裂が生ずる。  
更に各種の震度スケールと最大加速度との關係を示せば第 6 表の如し。

第 6 表

加速度 $\text{mm/sec}^2$	<2.5	2.5	5~	10~	25~	50~	100~	250	500~	1000~
震度スケール		~5.0	10	25	50	100	250	~500	1000	10000
大森スケール								1	2	3,4,5,6,7
中央氣象臺	0	1	2	3	4	5	6			
ロツシーフォレル	1	2	3	4	5,6	7	8	9	10	
カンカニ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10,11,12
メルカリ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(12) 震度の推定

地震區域の各地點に於ける最大加速度を正確に知るには、加速度計に據るを最良とし、次に〔11〕に述べたる方法に依つて計算する事なるも、從來の地震計は大地震を記録するに適せず、且つ耐震工學上充分なる程度に各地方の加速度を知る爲めには、加速度計又は強震計を相當密に各地方に配置せざるべからざるを以て、費用の點より殆んど不可能である。

而て多くの場合耐震上は最大加速度又は物體に作用する最大地震力を知れば足るを以て、簡單なる装置に依つて之れを測定する事も不可能でない。今村博士は直徑が階段的に變ずる多くの圓柱を立て、顛倒せる圓柱の内、徑の最大なるもの徑と高との割合を以て震度を知り、之れより最大加速度を得んとする案を樹て藤原博士はガラス棒にて種々の大きさの質量を支持しその折潰に依つて震度を測らんとした。

然し是等の方法と雖も各地方毎に之れを配置する事は容易ならず、従つて現在に於ても猶多少の不合理を忍び、既存物體の顛倒、移動又は破壊等より震度又は最大加速度を推定するの外に途はない。震度推定の資料として必要なる條件は

1. 到る所に多數存在すること。

2. 単純なる柱状體の如く、物體の顛倒又は破壊との間の関係がなるべく簡單なること。

3. 種々の寸法を有し小なる震度より大なる震度迄推定し得ること。

我國の墓石は、市邑は勿論、如何なる山村僻地にも極めて多數に存在し、其の形狀は正方柱の如き極めて單純なるを以て、震度推定の資料には極めて便である。若し我國に墓石が存在せざりしならば、大地震の強さなどは今猶推測するに由なく、従つて今日の如き耐震學の發達も極めて困難なりしと思はる。

#### (1) 柱體の顛倒より震度を推定する方法

此の方法は數十年以前より我國に於て應用され、重心に作用する水平力と鉛直力との比が、底幅と高さとの比即ち比幅に等しき時、合成力が丁度底邊を過ぎるを以て、此の際直ちに物體が顛倒するものと假定すれば、比幅は直接水平力と鉛直力との比、即ち水平加速度と鉛直加速度（重力と上下動の加速度の代數和）との比即ち合震度を示す事となる（〔13〕参照）、然し從來の方法の如く上下動の作用を無視し、比幅は水平加速度と重力加速度との比なりと假定すれば、比幅は震度を表はし、すべてが簡單になりて實用上も大過ない。而て顛倒せる物體中の最大比幅が其の地點の最大震度を表はす。

次に墓石に依る震度推定の缺點を擧ぐれば、

1. 墓石直下は埋戻土にして不等沈下等生じ易く、惹て底の支持面が縮小するを以て周圍の地山より物體は著しく顛倒し易く、従つて過大の震度を與ふる。

2. 震度が比幅に等しき時、物體は動搖を起さんとする状態にあるも、之れを顛倒せしむるには一層大なる震度が相當時間繼續するを要する。従つて顛倒墓石の比幅は最大震度より著しく小である。然し 1. 及 2. は互に消し合ふ性質である。

3. 地震動の方向に依つて顛倒に難易がある。

4. 墓石の底幅は慣例と體裁上、高さの 25% より 40% を普通とし 45% を

超ゆる事は稀有なるを以て、その顛倒に依つて 0.25 以下又は 0.45 以上の震度は推定するを得ぬ。

5. 比幅は震度又は合震度を示すも、著しき上下動を伴ふ場合に於て水平、上下の加速度を各別に知る事は出來ぬ。

以上の缺點はあるが現在に於ては、強烈なる地震の強さを各地點に於て推定し得る唯一の方法にして、次項に述ぶる家屋の震害程度と震度との関係の如きも墓石顛倒と震度との関係を介して、間接に定められたものである。

#### (2) 木造家屋の震害程度より震度の推定

木造家屋は到る所に多數に存在し、その構造も著しき差異なく、各地域に於ては、新舊、強弱の家屋が相似たる割合に混じ居るを以て、震度即ち地震の強さと家屋の倒潰數との間には密接なる關係あり、依つて大地震直後各地域に於て顛倒物體より震度を推定し、同時に家屋の倒潰率（倒潰數/全家屋數 %）を調査すれば、間接に震度と家屋倒潰率との關係を知るを以て、數回の大地震に就て多くの資料を得れば、以後の大地震に於ては、單に警察又は官公廳の調査せる家屋倒潰率より直ちに震度を推定し得るを以て極めて簡便である。

唯、家屋の構造は地方に依り貧富に依りて多少異なるを以て、異なる地方の資料より求めたる倒潰率と震度との關係も亦多少一致せざるは已むを得ぬ次第である。

(a) 大森博士が濃尾大地震の調査に依つて定められたる關係は第 7 表の如し、

第 7 表 震度と家屋倒潰との關係

水平加速度 $mm/sec^2$	震度	震害の程度
1,200	0.12	腐朽せる粗悪家屋は倒潰するものあり
2,000	0.20	粗悪なる家屋は倒潰するものあり
2,500	0.25	倒潰率 2~3%
3,400	0.34	" 15%
3,900	0.39	" 50%
4,500	0.45	" 80%

但し比幅に重力の加速度を乗じたるものを以て、最大水平加速度と看做し即ち上下動を無視したものである。

(b) 今村博士が大正3年の秋田仙北地方の激震の調査により、求められた関係は第8表の如し。

第 8 表

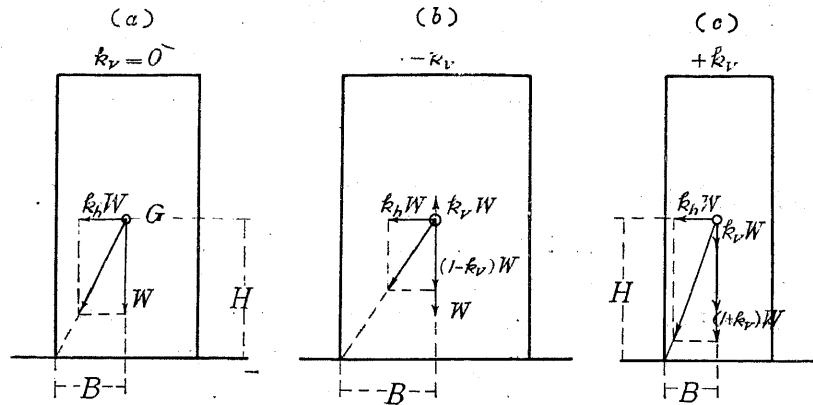
水平加速度 mm/sec <sup>2</sup>	震 度(約)	家屋倒潰率(%)	
		範 圍	平 均
2,500~3,500	0.25~0.35	1~8	5.0
3,500~4,000	0.35~0.40	8~20	14.0
4,000~4,500	0.40~0.45	20~40	30.0

[13] 震度推定法の理論

(1) 物體の顛倒

第41圖に示す如く、高 2H、幅 2B なる角柱が紙面に平行なる方向の地震力を受けたる場合を考ふ。

第 41 圖



G = 物體の重心  
 W = " 重量  
 H = 底面より重心迄の高さ

B = 重心と底面の縁迄との水平距離

$$k_h = \frac{\alpha_h}{g} = \text{水平震度}$$

$$k_v = \frac{\alpha_v}{g} = \text{鉛直震度}$$

先づ、水平動のみの場合を考ふるに物體を剛體と看做せば、各分子に總て一樣に  $\alpha_h = k_h g$  なる水平加速度が作用するを以て、第41圖(a)に示す如く重心 G に於て  $k_h W$  なる水平力が集中して作用し、重量 W は鉛直下向に作用して居る。而て物體の顛倒に必要な條件は  $k_h W$  と W との合力の作用線が底面の兩側邊の何れかに交はる事にして、此の條件を満足する瞬間に於て物體が顛倒するものとすれば、

$$\frac{B}{H} = \frac{k_h W}{W} \therefore k_h = \frac{B}{H} \dots\dots\dots(14)$$

次に(b)圖の如く上向鉛直加速度  $\alpha_v = k_v g$  が  $\alpha_h$  と同時に作用する時は合成鉛直力は  $(1-k_v)W$  なるを以て

$$\frac{B}{H} = \frac{k_h W}{(1-k_v)W} = \frac{k_h}{1-k_v} = K \dots\dots\dots(15)$$

即ち物體の比幅は  $k_h / (1-k_v)$  に等しく、上下動が同時に作用する場合は物體は小なる水平震度を以て顛倒する。故に此の場合地震の破壊力の尺度として K を用ひ之れを合震度と名づくる。

鉛直加速度が下向に作用する場合は(c)圖の如く、

$$\frac{B}{H} = \frac{k_h W}{(1+k_v)W} = \frac{k_h}{1+k_v} \dots\dots\dots(16)$$

即ち物體の顛倒には(14)式より却つて大なる水平加速度を必要とする。

上記の如く上向加速度の作用は物體を容易に顛倒せしむるものにして、彈性變形小にして、而も地盤と最も密接の關係を有する一般土木工作物の震度は、上下動の作用により著しく増大する。今(14)式に依り水平震度  $k_h$  及鉛直上向震度  $k_v$  と合震度 K との關係を求むれば第9表の如し。

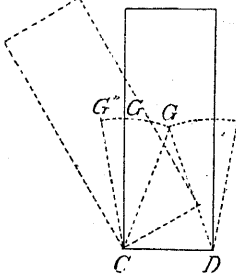
第 9 表 K の 値

$k_h$ \ $k_v$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	0.1	0.11	0.13	0.14	0.17	0.20	0.25
0.2	0.2	0.22	0.25	0.29	0.33	0.40	0.50
0.3	0.3	0.33	0.38	0.43	0.50	0.60	0.75
0.4	0.4	0.44	0.50	0.57	0.67	0.80	1.00
0.5	0.5	0.56	0.63	0.71	0.83	1.00	1.25

即ち、水平震度 0.4、鉛直上向震度 0.6 以上の地震に於ては立方體と雖も顛倒の危険に瀕する。

然し上記の條件は物體の顛倒に必要な條件なるも、決して充分なる條件でない。合力の作用線が底面の縁邊を通ればその邊 C 又は D を軸とし物體が迴轉せんとする條件に過ぎず、實際顛倒するにはそれより一層大なる地震力の作用する事を要する。

第 42 圖



即ち G が C を中心とし G' を越えたる時、震動終結すれば物體は迴轉を續けて顛倒するも G'' の如き中途に於て地動の加速度が逆方向に轉すれば、再び原位置に戻り更に D を軸として迴轉し地震が衰ふる迄動揺を繰り返す、其間に底面がずる事あるも容易に顛倒せず、而て顛倒の難易は物體の大きさと地震の週期との關係に依ても異なり、著者が動力學的に計算せる結果によれば、高 4 尺、底面 1 尺角即ち比幅 0.25 なる角柱は週期 1.5 sec 水平震度 0.4 の地震により、僅か一回の動揺を爲して顛倒するが、震度 0.333 の場合は數回の動揺を繰返して尙顛倒するに至らない(土木學會誌、第十卷第五號参照)。

(2) 物體の滑動

地震の際、物體に水平力作用するを以て、物體は底面に於て滑動せんとする。此際、動滑に抵抗する力は底面に於ける摩擦力であり、又モルタルの如きものにて接着せしめたる場合は其の抗剪力が抵抗する。摩擦抵抗のみが作用する場合

物體は B/H 即ち比幅が大なる程顛倒し難きを以て、比幅がある程度に大ならば物體は顛倒せずに滑動する。

底面の摩擦力は物體に作用する下向鉛直力に接觸面の摩擦係数を乗じたものに等しく、これに對して物體に作用する水平地震力が大となれば茲に滑動を生ずる。

今、地震の水平震度  $k_h$ 、上向鉛直震度を  $k_v$  とすれば、

水平力と摩擦抵抗と平衡する條件は

$$k_h W = f(1 - k_v) W \quad \therefore f = \frac{k_h}{1 - k_v} \dots\dots\dots(17)$$

鉛直加速度が下向に作用する場合は

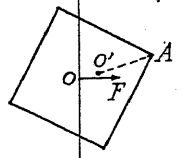
$$f = \frac{k_h}{1 + k_v}$$

摩擦係数  $f$  が  $k_h / (1 - k_v)$  即ち合震度より小なる時物體は滑動すべく、鉛直震度の大なる時は容易に滑動を起す。又(14)及(17)式より  $B/H < f$  なる物體は顛倒し  $B/H > f$  なる物體は滑動し易い、又震動の途中基礎の沈下より底面が傾斜する時は其の傾斜に相當するだけ摩擦力は減少するを以て著しく滑り易くなる。

(3) 物體の迴轉

地震の際、墓石、書箱、鐘樓等が地面上に於て迴轉する現象は屢々見受くる所である。之れは地震の際底面に於ける支持壓力の作用點  $O'$  が物體に作用する力  $F$  の作用線を含む鉛直面内に入らざる爲め  $O'$  の周りに迴轉力率生じ、物體は迴轉運動を爲し、 $OF$  面と  $A O'$  面が重り合ふに至つて止まる。

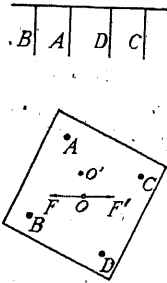
第 43 圖



而て墓石又は平底の箱の底面全體が、臺又は床に載る場合は兩者の接面を完全に平面に仕上ぐる事不可能なるを以て、偏倚せる一部の面に依りて支持され、本箱の如く四邊に依て支持さるゝものも一部は浮きて支持力は一方に偏し、鍾樓卓子等の如く四脚支持の場合に於ても各脚の反力は勿論一様ならず、従て割合容易に迴轉、變位及動揺を起す。

例へば卓子が A, B, C 三脚にて支持され、D 脚が浮き居れば支持力の中心は O' にあり水平地震力 F, F' に依りて容易に廻轉動搖等を爲す、支持面の比較的大なる家具等が B/H より著しく小なる震度に於て、變位を爲すは上記の理由に依る。

第 44 圖



(4) 家屋倒潰率と合震度との關係

鐵骨及び鐵筋混凝土の如き建築物に於ては、震害は主として水平加速度に因るも、在來の木造家屋の如き斜材を有せざる嵌込結合を用ふるものは、重力と地震力の方向が鉛直に對する傾角の大なるに従ひ構造物の變形著しく大となり傾角は上向上下動の同時作用により急増するを以て、倒潰の危険は主として合震度 K に支配さる、依りて次に合震度と家屋倒潰率との關係を公算論に依りて理論的に求める。

現在の日本家屋の大多數は、大工職が傳來の規矩に従て築造せるものなるを以て、一地方に於ける家屋は、新築當時は大體一様の耐震力を有し、唯新舊貧富の差等により各戸の耐震力が平均即ち標準の耐震力より外れて居るが、其差の大なるものほど數に於て少なかるべきは明かである。今、ある地方に於て家屋の標準耐震力が、K<sub>0</sub> (合震度) なりとすれば K<sub>0</sub> なる地震により家屋の半數は倒潰する。依りて更に K<sub>0</sub>+p 及び K<sub>0</sub>-p なる震度に依りて將に倒潰する家屋は同數なりと假定すれば、任意の K なる耐震力を有する家屋數を總家屋數の百分率を以て表はした數 y と K との關係は公算曲線に依りて示す事を得る。即ち

$$y = 100 \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \text{ 茲に } x = K - K_0 \dots\dots\dots (18)$$

上式に於て K = K<sub>0</sub> なる時の y の値を y<sub>0</sub> とすれば

$$y_0 = 100 \frac{h}{\sqrt{\pi}}$$

y<sub>0</sub> の大なるは標準震度に近き耐震力の家屋の割合が多き事を意味し、従て h は其の地方の家屋耐震力の一様さ (Uniformity) を示す指數である。故に家屋構

造の一樣ならざる多數の町村を一括して考ふる場合 h は小となり、之に反し法規に依りて家屋の耐震力を統一せる場合には h は著しく大となる。

次に K なる合震度の地震により倒潰すべき家屋數を、總數の百分率を以て現はしたる數を Y とすれば (18) 式の積分により

$$Y = \frac{100}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{hx} e^{-h^2 x^2} d(hx) = 50 \left\{ 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{hx} e^{-h^2 x^2} d(hx) \right\} \dots\dots (19)$$

K = K<sub>0</sub> に於ては x = 0, Y = 50

即ち Y は家屋倒潰率を % にて現はすものにして K<sub>0</sub> なる地震に於ては Y は 50 となる。然るに日本家屋の實際の耐震力を數字的に定むる事は困難なるを以て、従來の大地震に於て調査されたる基石に依る合震度 K と家屋倒潰率の關係に徴するに、濃尾地震に於ては K<sub>0</sub> ≒ 0.4、大正三年の仙北大地震に於ては K<sub>0</sub> ≒ 0.47 にして、關東大地震に於ては 0.45 ~ 0.5 である。然し基石に依りて震度を推定する時は比幅の 0.45 以上のものは極めて稀なるを以て、夫れ以上強き震度は知るを得ない。h の値は濃尾地震 15.9、仙北地震約 8 にして、關東大地震の如く區域廣大にして種々の市町村を含む場合は 7 ~ 10 の間にありと推定さる。依りて次に K<sub>0</sub> 及 h の種々の値に對し倒潰率と合震度との關係を表示する。

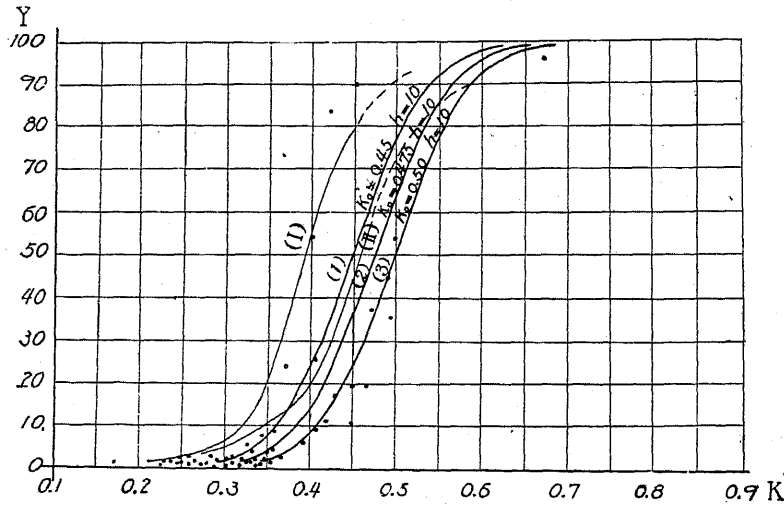
第 10 表 理論上より算出せる家屋倒潰率 (%)

K <sub>0</sub> \ K	理論上より算出せる家屋倒潰率 (%)										
	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
h = 7.5	0.40	1.7	5.8	14.4	29.8	50.0	72.2	85.6	94.2	98.3	
	0.45	0.4	1.7	5.8	14.4	29.8	50.0	72.2	85.6	94.2	98.3
	0.50		0.4	1.7	5.8	14.4	29.8	50.0	72.2	85.6	94.2
h = 10	0.40		1.7	7.9	24.0	50.0	76.0	92.1	98.3	99.8	
	0.45	0.2	1.7	7.9	24.0	50.0	76.0	92.1	98.3	99.8	..... (1)
	0.475	0.2	1.7	7.9	24.0	50.0	76.0	92.1	98.3	99.8	..... (2)
	0.50	0.2	1.7	7.9	24.0	50.0	76.0	92.1	98.3	99.8	..... (3)

第 45 圖に於て、黒點は關東大地震に際し各地方に於て顛倒基石より調査せる

る合震度と家屋倒潰率との関係を示し、曲線は大森、今村兩博士の調査に據る震度と倒潰率との関係を示す曲線及第10表に示せる著者の曲線等を一括して示したるものである。

第 45 圖  
家屋倒潰率と震度との關係



I. 第7表、II. 第8表の値  
1. 2. 3. は第10表の値を示す

[14] 地盤と地震の強さ

(1) 軟地盤の震度

一般に地震は地盤の軟弱なる所に於て、堅硬なる所よりも著しく強いと看做されて居る。然るに今日迄の破壊的地震の推定震度は要するに直接間接に、物体の顛倒變位等より推定されたものにして、此方法は著者に依て理論的に研究されて居るが、其結果物体の大き及び地震週期に依て、比幅と震度との關係が異なる事が明にされ、併も基石の比幅はある限度あるを以て、それ以上の地震の強さを窺ふ能はず、且つ地盤軟弱なる場合は物体の顛倒に先んじて、基礎地盤の破壊、即

ち沈下地割等を生ずるを以て比幅は必ずしも震度を示さない。

一方、家屋其他の構造物の被害程度より、其地方の震度を推定せんとするも、夫等の耐震力に大差あり、且つ構造の被害は自己の振動性と地震の週期とに依て著しき差あるを以て、之に依て直接震度を推定する事は不可能にして、矢張り間接に顛倒物体の比幅に依らねばならぬ。而てある地點の震動は、地質及地形に依て週期を異にするが當然なるを以て、震度の適確なる推定は益々困難となり、従て、地盤の軟弱なる程、地震の震度大なりと言ふ通説も、必ずしも常に眞なりとは言ひ難い。

然し、軟地盤の地面震動が直下基盤の震動より、著しく大なるべき可能性は理論的に説明し得る、今

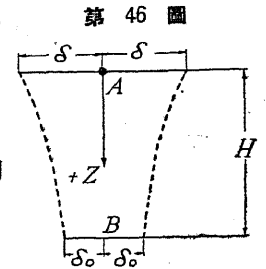
- $H$  = 軟地盤の深       $Z$  = 地面よりの深
- $\delta_0$  = 基盤の半振幅       $T$  = 基盤の振動週期
- $\delta$  = 地面の半振幅       $\rho$  = 軟地盤の密度
- $G$  = 軟地盤の剛性率      と置けば、

$$\delta = \frac{\delta_0}{\cos \frac{2\pi}{T} \frac{H}{\sqrt{\frac{\rho}{G}}}} \cos \frac{2\pi}{T} Z \sqrt{\frac{\rho}{G}} \dots (20)$$

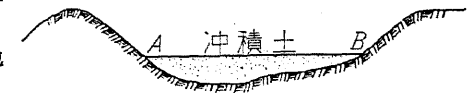
今  $\frac{4}{T} H \sqrt{\frac{\rho}{G}} < 1$  の場合に就て考ふるに  $\rho, G$  を一定とすれば、軟地盤の深  $H$  の大なる程又  $Z$  が小なる程  $\delta$  は大となる。 $Z$  の最大値  $H$  即ち基盤上に於て  $\delta$  は  $\delta_0$  にして最小である。又密度  $\rho$  大に、剛性  $G$  の小なる程  $\delta$  は大となる。即ち普通の場合に於ては、軟弱なる地層が深き程、地面の震動は大となる。

又、第47圖の如く谷間に堆積せる軟地盤に於ても上述の如き性質を有するのみならず、基盤の震動と谷地盤の震動とが、共鳴する時は著しく

大なる震動を生ずるも、兩側  $A, B$  に於て地震波の反射屈折等ありて、極めて複雑



第 47 圖





なる運動を爲すが、兎に角震害は A, B 部に特に著しきを常とする。

斯く軟地盤の震度は容易に推定を許さぬが、次に明治以後の大地震に於ける推定震度分布圖を示す。但し濃尾地震以外は總て家屋倒潰率分布圖より〔13〕に述ぶる著者の公式(第45圖曲線  $K_0 = 0.45, h = 10$ )に依て定めたるものである(第35圖及び第48圖)。

又第49圖は今村博士が、同一地震に於ける各種地盤の震度の比較と家屋倒潰率とに依り關東大地震に於ける東京各地點の震度を推定されたる分布圖である。

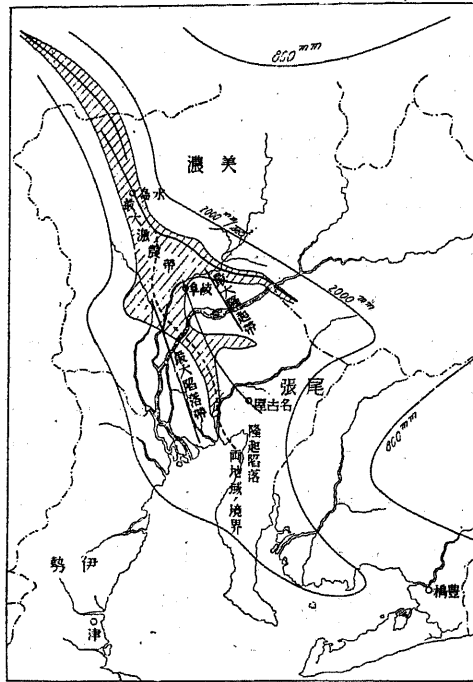
尙カリフォルニア大地震に於て桑港各地點の地質と、最大加速度との關係及最小震度の岩盤に對する比率、即ち基礎係數 (Foundation coef.) とを表示す。

第 11 表

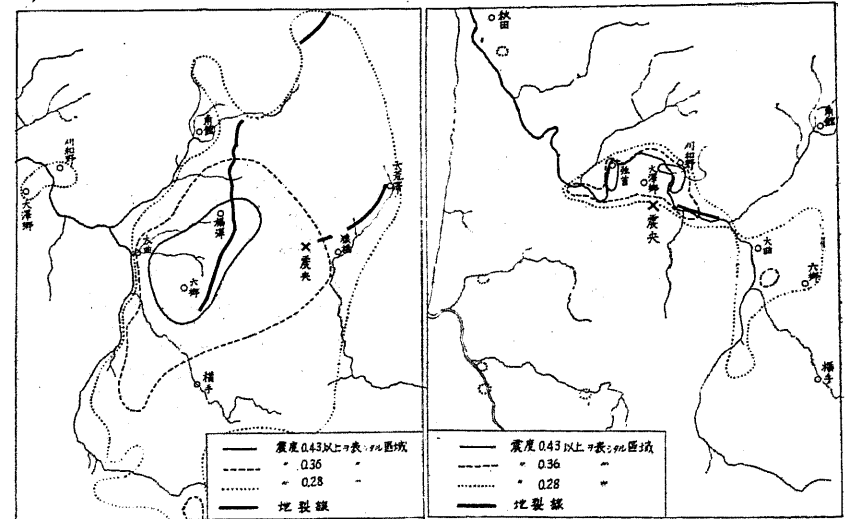
順番	1	2	3	4	5	6
土質	Serpentine Sundry solid rocks	Sandstones	Compact Sand	Soft sand	Mud land (埋立地)	Marsh (沼澤地)
最大加速度 $mm/sec^2$	250	250~600	600	1,100	2,900	3,000
基礎係數	1.0	1~2.4	2.4	4.4	11.6	12

尙、相接する地盤に於ても、地山と沖積地に於ては震動週期及振幅を異にし、谷の形、沖積土の厚、震源の方向等の影響もあり頗る複雑であるが、石本博士の觀測に依れば普通地震に於て本郷臺は週期 0.3 sec、一ツ橋は 0.6~0.7 sec の場合

第 43 圖 (1)  
(1) 濃尾大地震



第 48 圖 (2)  
(2) 仙北地震(明治29年) (3) 仙北地震(大正3年)



が最も多い、尙大地震の振動週期は地震計の示す所によれば 1~2 sec と考へられてゐるも、此の値には多大の疑あり。

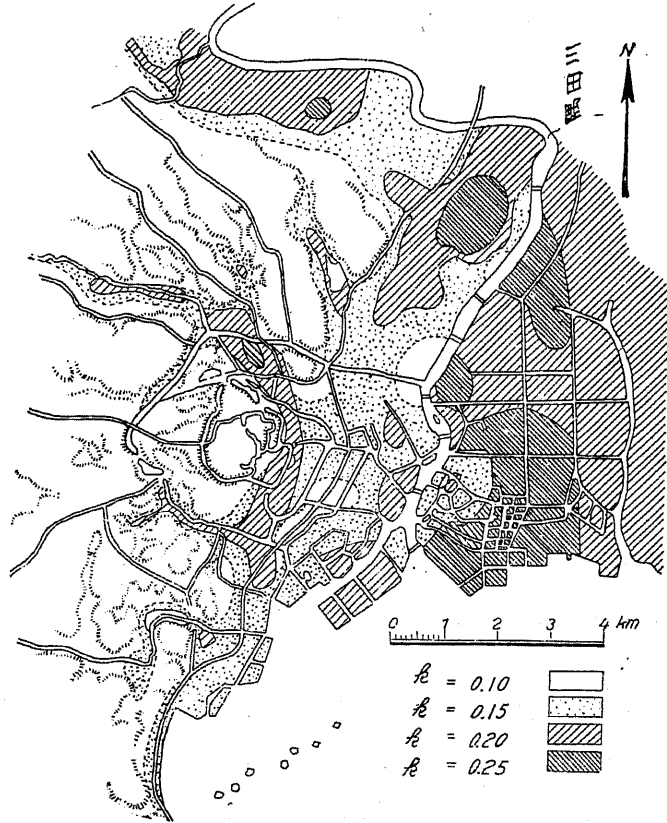
(2) 震動の方向

地盤が全體等齊なりとすれば、主要動の方向は震源方向に平行又は直角なりと考へらるゝが、實際は地形地質共に極めて複雑なるのみならず、顛倒物體に依る時は夫等の形狀に依ても著しき差を生ずる。信頼し得る地震計を備ふる時は精確に知り得るも、多くの場合は石燈籠、煙突等の如き圓柱狀物體の顛倒方向に依て推定する。第50圖に示す各地震の震動方向は最後の方法に據つたものである。

(3) 耐震計算に使用すべき震度

土木工事の多くは其使命殆んど永久的にして、少くも數十年、時としては數百年の耐久を全うしなければならぬ。従て工作物の壽命中必ず大地震の襲來を豫期せねばならぬ。然し總ての工作物に最大地震に抵抗し得る強度を與ふるは、經濟上極めて困難なるを以て、夫等の使命に依り二種に區別する。

第 49 圖 (今村博士による)  
東京市に於ける震度分布(關東大地震)

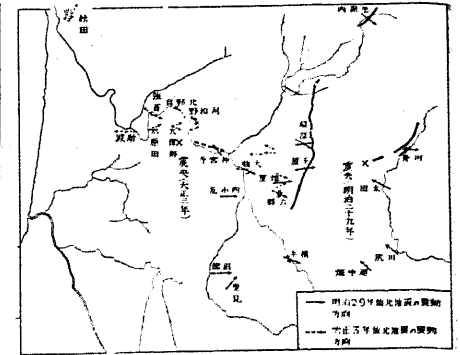
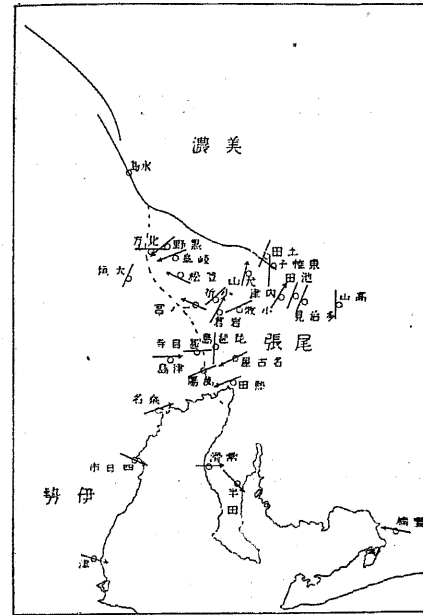


(a) 公共的工作物にして其破壊に因り公共に重大なる危険を及ぼすもの、家屋等の如く直接人命に係はるもの等は、其地方に於て將來豫期せねばならぬ最良地震例へば 0.3 以上の震度に抵抗せしめねばならぬ。地盤自身が斯の如き震度に耐えざる場合は、基礎を深き硬地盤より築き途中の構造は地盤の破壊に抵抗し得る程度の強さを要し、従て工費は著しく増加する。

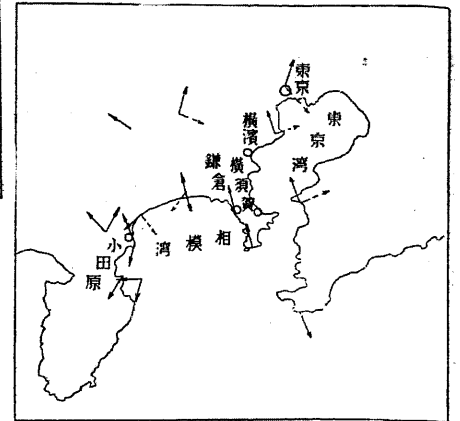
(b) 震害が單に私人の經濟的損失に過ぎざるもの、公共工作物にても人命に係なく容易に應急の修理を爲し得るもの、又は假工事の如きものは (a) の場合

第 50 圖 主要動の方向

(1) 濃尾大地震 (2) 仙北地震



(3) 關東大地震



○ 1/2 程度の地震に耐え得れば充分である。

地震帯は地殻構造の比較的弱點を示すものなれば、之に近き地方は將來も強大なる地震を豫期せざるべからず、且つ沖積地は附近の良地盤に比し、震度著しく高きを常とするを以て是等を適當に考慮し、土木工事の耐震に採用すべき震度の私案を表示する。

地 方	従來屢大地震ありし地方		大地震の殆どなかりし地方	
	沖 積 層	硬 地 盤	沖 積 層	硬 地 盤
第一種工作物	0.3~0.4	0.20~0.30	0.20~0.25	0.15~0.20
第二種工作物	0.20	0.15	0.10	0.08~0.10