

これは、佐野利器「家屋耐震構造要梗」（大正 4 年 3 月・建築雑誌）の現代語訳です。なお、これは大正 4 年 3 月に行われた講演の筆記録になっています。

家屋耐震構造要梗

佐野利器

地震は、家屋に対する外力として非常に大きなものの一つで、これに抵抗させようということは構造学における重大問題であることは今更申し上げるまでもありません。耐震構造の方法については様々な人による様々な研究があります。たとえば文部省の震災予防調査会は理学者工学者数十名によって構成され、地震及びその災害予防について調査しています。建築学会員としては、辰野会長をはじめとする中村・曾根・片山の四先生が委員として従事しておられ、私もその末席を汚して先生方のご指導のもとに研究しているのですが、その成果がはなはだ体をなさないことに恥入っている次第です。

さて、皆様のお手元にある資料（家屋耐震構造要梗）は、私が日頃考えるところを箇条書きにしたものです。今夜はこの資料の説明をもって講演に代えようと思います。この要梗は、たんに私が考えるところの内容を書きとめただけで、技術界の定論・定説というようなものではありません。定説とされているものでも自分の腑に落ちないものは書いてないし、定説とは言えないものでも自分が正しいと信ずるものは書いてある。ようするに、「私はこのように考える」という内容のもので、そのつもりでご覧いただきたい。

説明に先立ち、地震が及ぼす力とは何なのか、また、地震の激しさはどのような数値によって表わされるものなのかについて申し上げます。

地震はご承知のとおり、地表・地下の爆発とか、あるいは地層のせん断・滑動のような地殻の種々の変動によって起きるものです。その振動は震源から四方に伝わりますが、その伝わり方は水の波のようなものではなく、たとえば音波のように、振動の伝わる方向に往復する、いわゆる「縦波」であると考えられています。地震動は、力学的には単一弦の運動の一部と考えられるので、ある地震のある時刻の運動状態、たとえば加速度のようなものは単一弦運動としてもとめることができるのです。

地面の上に質量 m の物体があり、地面と運動をともにすると仮定します。ここで、地面がある方向に加速度 a で動いたとすると、この物体は地面の加速度とは反対の方向に働く $m \cdot a$ の力を受けることになりますが、これがつまり地震の破壊力で、これを「地震力」（訳者注．原文では「震力」だが、現代の表記に直した）と名付けることにします。

ここで、地震の揺れ方を示すために記録の一例を掲げました（訳者注．地震波の時刻暦の変位を表す図 2 点が挿入されている）。これは明治 27 年 6 月 20 日の東京の地震の時に東京理科大学の地震計で記録されたもので、今村博士の著書から写しました。上は東南西北の水平動、下は北東・南西の水平動で、実際の水平動はこの二つの組み合わせになります。振動は初めは微動ですが、間もなく、急に大きな波（主要動）があらわれ、それからだんだん弱くなって行く。大地震の震動の状態とは一般にこのようなものです。

地震の際に最も大きな力が発揮されるのは地面が最も大きな加速度を持った時ですから、したがって、その地震中にあらわれた最も大きな加速度の値をもってその地震の激しさを言い表すことができます。大森理学博士は、地震の最大加速度を 300mm/sec^2 から 4000mm/sec^2 までの間の 7 段階に分けて「絶対震度階」というものを作りました。ちなみに、明治 27 年の東京地震の最大加速度は約 400mm/sec^2 を示しています。

私が耐震構造の上で「震度」と称している値は加速度の一つの変形で、最大加速度 a と重力加速度 g の比 (a/g) であり、多くの場合は k という記号で表わされます。これは、0.1 とか 0.3 とかのように 1 よりも少ない値になる。たとえば先ほど取り上げた明治 27 年の東京地震における震度は 0.04 くらいになります。

すなわち、 $m \cdot a$ であらわされる震力の m の代わりに W/g (W は建物の重量) を用い、さらに a/g を k とすると、震力 $m \cdot a$ は $k \cdot W$ と記すことができるのです。このように表わすことの利点は、「重量」という観念を用いることによって地震力というものがより直感的に捉えられることにあります。

この震度によって過去の大地震の大きさを推定すると、明治 24 年の濃尾地震の場合、岐阜・大垣のような激しいところで 0.3、名古屋付近では 0.25 くらいになる。また、明治 27 年の東京地震では、本所・深川あたりの下町で 0.16、本郷台・

麹町あたりの山の手で0.04になる。さらに、明治42年の江州（訳者注．滋賀県の近辺）の地震では、（範囲は小さいが）尊勝寺村という小さな村で0.4、長浜付近では0.2くらいになる。ようするに、震度とはおおよそこの程度の数値になるのです。

なお、震度の値は次のように表すことができます。ここに、かろうじて倒れた小さな正柱体（訳者注．墓石のようなものを指すのであろう）があつて、その高さを h ・幅を b としますと、その水平震度はちょうど b/k の値に等しいのです。

ここで、では建物に対してどの程度の震度を想定しておけばよいのか、という話をします。

ある地方に将来起こりうると考えられる震度をその地方の「予期震度」とよぶことにしますが、これを綿密に定めるには地質学者・地震学者の助けが必要です。が、それはとにもかくとして、私たちは、その近辺の似通った地質の所で過去に生じた最も大きな震度だけは予期しておく必要があるでしょう。

たとえば東京について言えば、安政の大地震のことを考えますと、下町で0.3、山の手で0.15程度の震度を予期しておく必要があるでしょう（訳者注．この予期の正しさは後の関東大地震で証明された）。また大阪のように、大地震の歴史を持ち、かつ地盤が軟弱な所にあつては震度0.35程度を予期しておくのが妥当かと思う。名古屋においても、0.3以下を予期震度とすることは避けるべきでしょう。

ただし建物を作る場合に、その建物の重要さに応じて予期震度を増減させることはあつてもよいでしょう。これは、建物の重要さと安全率の関係ということになりますが、たとえば、東京の下町に一時的にバラックのようなものを建てるのであれば、その予期震度を0.1あるいは0.15程度に小さくする。あるいは、山の手に極めて重要な恒久的な建物を建てるのであれば、その予期震度を0.2あるいは0.25程度に大きくとる、というような具合です。この場合、その震度を建物の「標準震度」と呼びたいと思います。

また、建物がある震度によってちょうど壊れたとするならば、その震度をもってその建物の耐震能力を表すことができることになる。さらに、建物がある震度によってちょうど壊れた、あるいはかろうじてその震度に耐えた、というのであれば、その震度をもって建物の「耐震強度」としてもよいのではないのでしょうか。たとえば、ある建物が0.3の震度でちょうど壊れたならば、その建物を「0.3の耐震強度を持つ」と言うのです。

以上を前置きとし、以下、資料（家屋耐震構造要梗）の解説に入らせていただきます。

これは全体を6つに分けてあります。第1は総説で、ここでは耐震構造上の一般方針を述べたつもりです。以下、「第2. 基礎」「第3. 煉瓦造」「第4. 鉄骨造」「第5. 鉄筋コンクリート造」「第6. 木造」の計6つです。「第2」以下では多少細部にわたった書き方をしているのですが、これらに関して逐一詳細な説明をしたのではとても時間が足りません。そこで、第1と第2についてはほとんど読み上げるだけにします。そして、第3の煉瓦造については時間をかけてお話ししたいと思います。説明に精粗が生じることはご容赦ください。

第1. 総説

耐震構造の「かなめ」とは、震力とその作用をできるだけ小さくすること、そしてこれに対する抵抗を十分に大きくすることである。その概略を述べれば以下の通り。

1. 建設地の地盤は硬質なほどよい。ただし断崖の上は避けること。
2. 基礎は深くし、かつ堅固に作ること。
3. 建物の形はできるだけ単純にして凹凸を少なくし、意匠は質素なものとする。内部に間仕切りを多く入れた部屋が小さいものがよい。窓や出入り口が大きなものは好ましくない。
4. 材料は出来るだけ軽い方がよい。とくに建物の上部を重くするのは好ましくない。
5. 材料や構造はできるだけ一様で均一な剛性を持つものを用いる。大きな強度と粘靱性、あるいは大きな剛性を持つものが望ましい。
6. 建物の所在地の地質、その地における過去の大地震の記録、およびその建物の重要さの度合いに応じて標準震度を仮定する。さらに、その震力が各方向に作用した時の建物の各部の応力をできる限り精密に求め、その時に、材料および構造に問題が生じないことを確かめること。

5にある「粘靱性」とは「もろい」ということの反対の意味で、「たとえ折れてもちぎれない」というような性質を指すものです。

建物の耐震性を求めることには、その規模や材料・構造の種類、あるいは地質によって難易の差がある。そのあたりのことを、以下、材料や構造の種類ごとに概説する。

(訳者注. …とあって、この後に各構造ごとに耐震設計上の留意点が列挙され、それについての佐野の解説が書かれていますので、それらを交互に紹介します。)

(イ) 土塊造乱石積の類

これに十分な耐震強度を期待するのはほとんど不可能である。この種の構造は絶対に避けるべき。

土塊(訳者注。「どかく」と読むのか?)造とは、台湾・イタリア・中国などにたくさんある、粘土を固めて干したものを(訳者注. いわゆる「日乾し煉瓦」のことか?)を積んだ構造です。その間に瓦を挟んだりもするのですが、ようするに構造の本体は乾しただけの粘土です。それを「乱石積」というのは、ご承知のとおり、玉石のような不整形の石を石灰・モルタルのようなもので乱雑に積んでいるからです。

(ロ) 木造及び木骨造

平屋建てで規模がそう大きくないのであれば、これを耐震構造にするのは一般に容易である。とくに、洋風家屋で筋かいを使用できる余地が多いものについてはそれが言える。しかし、階数が多くなるにつれてその困難さは増し、3階建てくらいのもを耐震的にするのは容易ではない。ただし、塔のような特別な柔構造物は別である。

ここで「塔のような特別な柔構造」と書きましたが、この意味について説明しておきます。

一つの構造物の頂点を水平に引っ張っておいて急に放すと、それはひとりでに揺れる。この時、その構造物の高さがあるほど、あるいはその造りが柔らかいほどゆっくりと揺れ、これと反対に、低いほど、あるいは固いものほど早く揺れるのです。したがって、塔のようなものは揺れ方が非常に遅い。

この時の一振動による時間を「固有周期」(訳者注. 原文では「自己の振動期」と呼びます。その一方、地震の周期(訳者注. 原文では「振動期」)はどの程度のものかという、明治27年の東京地震ではおおよそ1.5秒くらいのものでしたが、一般に、大地震の振動期は1秒に近いものと考えられています。

ところで、構造物の固有周期が地震の周期に比べて小さい場合は、地震による力のすべてが構造物にかかってくることになる。これに対し、固有周期が地震の周期に比べて非常に大きい場合(たとえば塔とか煙突のようなもの)には、地震力のすべてが構造物全体に同時にかかることはなくなる。そのために、構造物の固有周期が大きい方がしばしば有利になることがあるのです。このような構造物を「柔構造物」と呼びました。これに対し、自己の振動期が小さいものを「剛の構造物」と呼ぶことにします。

(ハ) 煉瓦造(石材を混用するもの、および仕上げを石材としたものを含む)

硬質の地盤上に建ち、(交叉する壁の間の)壁の長さが約30尺(訳者注. 9メートル強)以内で比較的短い場合は、これを耐震構造にすることは難しくない。下階の窓をあまり大きくしないのであれば4階・5階建てくらいも可能であろう。階数よりは、むしろ問題は壁の長さの方にある。壁の長さが約40尺(訳者注. 12メートル強)を超えるようなものは問題である。さらに、軟弱な地盤に建つもの場合は、震度が大きくなるのみならず、不同沈下が大いなる災害をもたらす怖れがある。このような土地(たとえば東京の本所深川のような所)に、壁の長さが約40尺以上になるような、あるいは3階建て以上になるような煉瓦造の建物を建設すべきではない。

同じ地震であっても、地盤が軟らかい場所の震度は硬い地盤の場所に比べて大きくなり、かつ揺れ方が大きいので被害が大きくなります。そればかりか、軟らかい地盤上にある重い建物は別の被害を受けることがあります。

第2図(訳者注. 横に長い建物の絵があり、その左端にA・右端にB・中央にCの表記があって、Cの位置で縦に亀裂が見える)のような建物に地震力が作用すると、基礎Aの圧力は増加し、逆にBの圧力は減ずる。次の瞬間には地震力の方向が変わるので、Bの方が減じてAの方は増加する。このような作用の繰り返しにより、軟弱地盤上の建物には不同沈下が起こりがちな

です。この現象は、たとえ小さな地震であっても起こりうると思う。軟弱地盤上の煉瓦造の建物にしばしば亀裂が見られるのは、この種の不同沈下によるものではないかと考えられる。

このような理由から、地盤が軟弱な土地に大きな規模の煉瓦造を建てるのは避けるべきだろうと私は考えています。他に構法がないわけではないのですから、何も好んで煉瓦造にする必要はないでしょう。

(二) 鉄筋コンクリート造（コンクリート造）

最も多くの場合において、最も経済的かつ容易に耐震構造とすることができるのは鉄筋コンクリート造である。これならば、壁の長いこと、地盤が軟弱なこと、壁の開口部が大きいこと等の影響をあまり受けない（ただし階数が6とか7になる場合は問題があろうが）。鉄筋コンクリート造こそは我が国の一般家屋に最適の材料・構造である。なお、コンクリートのみで造られる家屋（訳者注：無筋コンクリート造）の耐震性は、煉瓦造と鉄筋コンクリート造の間ぐらいになると思われる。

これについては、すべての人の一致する考え方であろうと思います。

(ホ) 鉄骨造

どのような場合でも最も大きな耐震強度が得られるものは鉄骨造である。鉄骨材の仕上げは煉瓦積あるいはコンクリートとするのがよいと思うが、とくに鉄骨を鉄筋コンクリートで被覆した場合には、他に類を見ないほどの強度が得られるであろう。ただし、通常の規模の家屋では、その経済性において鉄筋コンクリート造に及ばないことが多いが、規模の大きな家屋になれば鉄骨造の優位性が発揮されることになるであろう。

ここまでの「第1. 総説」です。

結論としては、一般の建物に対して最も経済的に耐震強度を得られる材料・構造として「鉄筋コンクリート造」をあげ、規模の大きなもの、あるいは（塔のような）特殊な形状のものに対しては鉄骨造を勧め、煉瓦造は一定の条件（壁の長さが長くない・階数が多くない・硬質地盤上にある）のもとでのみ可としたい、ということになります。さらに、最も大きな強度を得られるものとして、鉄骨造と鉄筋コンクリート造を複合した構造をあげました。