

これは、真島健三郎「耐震家屋構造の選択に就て」（大正13年4月・土木学会誌）の現代語訳です。ただし、かなりの長文ですので、いくつかの箇所ではその論旨だけをまとめて記しています。

耐震家屋構造の選択について

真島健三郎

昨年秋の関東大地震においていかなる建築構造が最も耐震性に優れていたか、また、将来の建築構造としていかなるものを選ぶべきかという問題については多くの専門家が様々なメディアを通じて論じているが、それらを見ると、一番評判がよいのは鉄筋コンクリート造のようである。中には、これで建築構造問題はすべて解決したように思われている気の早い方々も少なくないようだ。

しかし私は長年の経験から、この鉄筋コンクリート造には少なからぬ不安を抱いている。そして今般の震災でさらにその感を深めたのである。斯界の趨勢に好んで異を立てるつもりは毛頭ないが、震災の結果を顧みると、これはかなり重大な問題であり、将来の国運に関わる部分も少なからずあるのではないかと思う。したがって、専門家のさらなる精査が必要であろうと考えるので、以下に自分が不安に思うところを述べ、各位のご意見を伺うことにした。

第1 鉄筋コンクリートの耐久性であるが、これは従来から議論のあるところで、専門家はすでに相当考えておられるであろうが、とかく軽く見られているのではないか。耐震耐火について高唱する人は多いが、耐久性については一向に話題に上がらない。しかし言うまでもなく、耐震耐火であっても、10年20年でその能力が減ってしまうのでは意味をなさないのである。

私の約20年の経験からして、耐久性の問題は軽視できないものであると考えている。私も最初は鉄筋コンクリートの信仰家で、機会あるごとにいろいろなことを試みた。施工についても、外国で行われているものよりはすべての点において上だったし、仕事は熟練した職人を直接指揮して使ったので、その出来栄は、市中に見られるようなコンクリートよりは数段上で、これならば耐久性の上でも大丈夫と思って安心していた。

ところが、5年10年15年と経っていくうちにだんだん悪くなる。最初は平滑だった表面もしだいに粗雑になり、小さな亀裂もふえる。最初は目につかなかった泥や砂利の存在が目につくようになってくる。のみならず、柱や梁の隅にある鉄筋は錆で膨張し、被覆コンクリートの表面に細い割れが出て雨露や大気と接触しやすくなる。しかも湿気は狭小な場所を好むから容易に乾燥せず、ついには被覆コンクリートが所々剥落し、内部の鉄筋はあたかも松の皮に包まれたような状態になる。自然の力の偉大さには今更ながら驚かされるのである。

（訳者注. 以下、鉄筋コンクリートという複合構造では鉄筋とコンクリートが協力し合って力を発揮するものなのだから、上のような状態ではもはやその耐力を期待できない、という内容が続くが、省略）

多くの場合、私はこれを海岸近くの潮風が強かつ煤煙の多い場所で経験しているので一層ひどかったのかもしれないが、しかし、これから復興建築をしようという東京・横浜にしても、場所としてそう大きな差があるとは思えない。これから建てるこの種の構造物が、数年後のことならまだしも、20年30年後に起きるかもしれない大地震に耐えうるだろうかと考えると私にははなはだ自信が持てないし、率直に言って、危険だと思う。わずか5年10年しか経っていない鉄筋コンクリートの今回の地震に対する結果が良かったからといって、今後もこれに限る、と断ずるのは如何なものか。被覆の剥落した鉄筋コンクリートが今回のような地震にあったらどうだろうか、と思うと私は戦慄せざるを得ないのである。

第2 鉄筋コンクリートが理想通り完全無欠に出来たと仮定しても、その組み合わせの特性から考えると安心できない部分がある。

（訳者注. 以下、鉄筋コンクリートという複合構造の危うさが先と同様の論旨で展開されるが、省略）

第3 基礎について論じますが、これもまた重要な問題で、はなはだ見当がつかかねるところがあり、今回の地震でもこの問題が大きな被害をもたらしたと考える人は多い。

（訳者注. 以下、地震に作用する偏心荷重によって不同沈下を起こす例を取り上げている。木造や鉄骨造の場合は不同沈下を起こしても致命的な被害にはならず、修復も可能であるのに対し、煉瓦造や鉄筋コンクリート造では修復できないような大きな被害につながる恐れがある、としている。省略）

第4 施工について論じますが、鉄筋コンクリートがいかに耐久性・耐震性・耐火性にすぐれたものであったとしても、これを当初に計画した通りのものに施工するのは、他の構造方法と比してきわめて難しいと言わざるを得ない。

(訳者注. 以下、品質のよい鉄筋コンクリートを造るには熟練した職人が必要であるが、すべての建設現場においてそのようなことを期待するのは到底無理であろう、として鉄筋コンクリートの危うさを説いている。省略)

第5 鉄筋コンクリートの悪口ばかり並べて相すみませんが、さらにもう一つ考慮を要すると思うものは、材料および設計者の供給難である。

(訳者注. 以下、現段階ではコンクリートの適正な調合についての知見が不足しており、それを管理できる技術者が少ないこと、および良質の砂利が入手困難なこと等について書いているが、省略)

以上、復興に向かおうとする一般家屋に鉄筋コンクリート構造を選択することに対する私の躊躇についてその要点を述べた(ここでお断りしておくが、私はすべての鉄筋コンクリート造を否定するわけではなく、その用途によっては適切な場合もあると思っている)。そこで次に、いかなる構造物を耐震建築として選ぶべきか、ということについて考察してみたい。

建築物を地震に対抗させようとするには、およそ二種類のやり方があると考えられる。一つは現今の西洋建築のように、壁体を剛強にして地震動の正面に立って力づくで対抗しようとするものである。もう一つは、我が国の寺院とか塔とか、あるいは壁の弱い鉄骨構造のように、骨組をたわみ易くして地震動を避けて通ろうとするものである。前者の固有周期(訳者注. 原文では「自己振期」)は多くの場合1秒以下、後者は1秒以上になると思われる。そこで便宜上、固有周期が1秒以下のものを「剛性建築」、1秒以上のものを「柔性建築」と呼ぶことにした上で、以下、両者の利害を考えてみる。

どのような建物にも固有周期というものがあり、これが地震の周期と一致するか、あるいはそれに接近したならば建物は大きな振動を起こし、いかに剛強な建物でも耐えることができない、という事実については周知の通りである。私は先に建物の振動特性に関する一文を土木学会誌に寄稿した。なにぶんにも慌しく書いたものなので修正を要する部分もあるが、ともかくここに書いたように、地震の周期を1とし、建物の固有周期をその分数または倍数としてあらわすと第2図(訳者注. いわゆる「共振曲線」が描かれているが、省略)のようになる。

すなわち、建物の固有周期が地震の周期に近づくとその振幅は2倍3倍にもなり、到底これに対抗することは出来ないのである。大森博士の説によると、大地震の周期はおよそ1秒ないし1.5秒ということであるが、昨年の関東大地震は、今村博士が公表したのものによると1.5秒とされている。また大森博士の研究によれば、地震の周期は土地に特有のもので、東京の地盤が軟弱な地域では0.7から0.8秒程度とされている。必ずしも正確ではないかもしれないが、これらからすると、東京の下町区域での大地震の周期は1秒前後とみてよからうと思う。

さらに大森博士の計測によると、(煙突のように2秒以上になるものもあるが)西洋建築の固有周期は大体0.3から1秒くらいのものである。つまり、現今の剛性建築の固有周期は大地震の周期にかなり近いものであり、もし振動の結果その剛性を多少でも失うことがあれば、地震の周期とぶつかってしまう。この点は覚悟しておかなければなるまい。

さて、今回改正された市街地建築物取締規則であるが、ここにあるように震度0.1という一定の横力を仮定して建物を計画すると、たしかに同一強度の建物は得られるであろうが、固有周期は様々なものが出来上がるはずである。その結果、地震の被害の程度も様々になるはずで、同一の結果を期待することはできない。これを耐震構造の要件とするならば、それははなはだ根拠薄弱なものと言わざるを得ないであろう。

建物の固有周期と地盤の周期の関係を除外して耐震構造を論ずることはできないと思う。剛性建築を採用するのであれば、大地震の周期を1秒、これに対する建物の固有周期を0.5秒くらいにし、その差を維持できるようにするという考え方もなくはない。しかし、建物が古くなると弛みが出たり、あるいは地震動で損傷を受けることにより剛性が減じてその周期は伸びるものと見ておかなければならない。その結果、自然に地震の周期に近づいてしまうという不利は免れないのである。さらに、剛強に造るといっても自ずから限度があり、靱性の乏しい壁体を大地震に対抗させることは(その基礎部分を含めて)容易ではない。

このことを既往の建築物にあてはめて考えるみると、インドや中国の感化が少なからずあった我が国において、古来剛性

建築としてその耐震性を実証できるものは一つもない。しばしば火災にあいながら、なおも木造建築にこだわり、その美を後世に誇ろうとしたのは、古人がそのような事実（剛性建築は地震に弱い）を知っていたからなのである。

明治時代になり、安政の大地震の記憶もまだ失せない頃、我が国は西洋建築を目指すことになった。それ以降、濃尾地震や明治 27 年の東京地震を経てますます研究が進み、工法や材料も大いに進歩してますます建物は剛強になったはずであるが、これが今年の関東大地震ですっかりやられてしまった。これを見て、私は、そもそも剛性建築は我が国には適さないものなのではないか、その上さらにこれを剛にしようとするのは果たして策を得たものなのか、という疑いを抱かざるを得ないのである。

被害の状況を見ると、その主因は「壁体」にあると言ってよいのではなかろうか。これは理論上からも裏付けることができる。今村博士の発表によると、関東大地震の大きさは東京山の手で重力の 1 割、下町で 2 割 5 分、横浜で 3 割から 3 割 5 分、鎌倉・小田原方面は 4 割くらいらしい。幸い東京方面は小さかったため、剛性建築でも無事だったものは多いが、もしこれが湘南地方であったなら、ほとんど全滅したのではないかと思う。

このような状況の中で、東京を標準とし、しかもそれにすら足らない震度 0.1 という数値で耐震建築ができようはずもない。これは識者の判断をまつまでもなく明らかなことで、次に起きる大地震に対して安心というわけにはいかないし、そのために大金を払う価値があるとは認めがたい。それに、もし「耐火」が目的というのなら、他にもっと経済的な方法があるはずではないか。

これはようするに、洋風建築が震災のつど局部的な補強を施して満足してきたのと同じやり方で、ただそれを幾分数理化したものに過ぎない。どこへ行ったらいいのかわからず、ただ霧の中をぶらついているようなものである。このやり方では、「現在の技術ではこのあたりが限界で、これ以上剛性を増すことは不可能」という認識を持つことはあっても、「これで安心」と考える技術者はいないであろう。もしそうであるのなら、望みのない試験を強制される技術者の方がいい迷惑である。それならばむしろ、大地震ごとに改築することにした方が我々の負担は軽くなるのではないか。文化都市は必ずこうでなければならない、というような法はないのだから、差し当たり名案がないのであればバラックで我慢すべきである。いつまでも不安の多い剛性建築（壁体建築）に固執する必要はないと思う。

今こそ、我々技術者は何とか光明の見える方法を工夫しなければならないのである。

では、柔性建築ならばどうだろう。これが果たして「柔よく剛を制す」の言葉どおりにうまく行くであろうか。

考えるに、波浪に弄ばれている小舟の中で人はまっすぐに立つことはできないが、姿態を柔軟にして転ばないようにすることはそんなに難しくない。また、クッションがきいた優良な自動車に乗った場合と、ガタガタの円太郎（訳者注. 関東大地震後に市内を走った急ごしらえのバス）に乗った場合では、我々が感じる振動に大差があることは誰しもが体験するところである。これと同様に、地震動においても、基礎あるいは本体の剛柔によって受ける地震力に違いが出ることは容易に推定できる。地震による急激な衝撃を一時的に吸収したり、消し去ったり、あるいは吸収したものを緩やかに出力することによって建物の被害を軽減することは必ずしも不可能ではないと思う。

建物が建っている地盤というものは、まれにはほとんど剛体に近いものもあるが、多くの場合は反発力が小さく、変形に追従するもの（訳者注. 原文では「弾褥体」）と見てよいと思う。したがって急激な地震動を受けた場合、それがあつ種の緩衝装置となって地震力の一部を消失させたり、あるいは上部構造の振動を和らげるような働きをなすことは間違いないはずである。もちろん、地盤が軟弱で不同沈下を生じ、それによって構造体が耐えきれないほどの偏荷重が生じるような場合は問題であるが、しかしそんな場合でも、建物の床面積があまり大きくないものであれば不同沈下に対抗することができ、地盤の緩衝効果に期待することが出来る。箱状の剛性建築が少々下がったり傾いたりしても特に目立った被害にはならない、という事例は多くあるが、言うまでもなく、建坪が大きく、かつ高さがある建築物に地盤の緩衝効果を過大に期待するのははなはだ危険である。地盤については以上の通りである。

ところで、上部構造が可撓性に富んだ柔性建築であれば、その基礎部分に受けた地震力は上方に及びがたいため、当然ながら、その大きさもずいぶん軽減される。このような現象は建物の固有周期によって説明出来るが、その値は振動理論に基づいて算定することができる。

このように、耐震という観点から見た場合、柔性建築には非常に都合のよい性質があるのだから、これを見逃すことはできないと思う。我々の日常的な経験からしても、たとえば激しい振動を起こす鉄道客車から緩衝装置をすべて取り外してしまつたならば、いかに車体を剛強に造っても、大きな速度で運転された場合は破壊を免れるのが難しいことは容易に想

像できるであろう。ここから分かるように、何らかの事物を振動に対抗させようとする場合、我々はその緩衝装置の改善に力を注ぐのである。にもかかわらず、ひとり建築物のみがこれに逆行し、ますます剛強にしようとしているのはどんなものであろう。経費の面から見ても、柔にした方が剛にするよりも有利なはずである。

さらに、地震動を実際に受けている建物の状況を観察してみると、木造の日本家屋のようなものは最初の一揺れ二揺れで壁が壊れ、木材の仕口が弛んで急速に剛性を失ってゆつたりと揺れだすが、その状態で、それ以降に起きる振動に耐えているケースは多い。また煉瓦造でも、最初に最も抵抗力が強い壁が壊れて基礎との接合が切れ、ふらふらになりながらも倒れないものも多く見られる。鉄骨造の建物内の煉瓦壁や鉄筋コンクリート壁でも、真つ先に壁がやられて剛性が著しく減少するから、その後の振動でたやすく倒壊しそうなものだが、それでもなかなか倒れないで原形を維持しているものがある。これは、一部の破壊によつて地震力が吸収され、それが振動の消失効果をもたらす（訳者注. いわゆる「減衰」のことを指したのか）ということも考えられるが、主として、振動のために剛強な部分が破壊して全体が剛性を失い、その結果柔らかくなって固有周期が増大し、そのことによつて地震力が減殺されたとみるのが妥当であろう。

このような見地から見ると、多くを壁に頼ろうとする鉄筋コンクリート構造は恐ろしく都合の悪いものと言える。なぜならば、壁がやられた段階で建物全体がこれと運命をともにせざるを得ないからである。昨年の関東大震災の例を見ても、私が見た範囲では、鉄筋コンクリートの被害は丸つぶれのものが多いが、鉄骨構造のものは、壁はひどくやられていても全壊したものは一つもない。

我が国、ことにしばしば大地震に見舞われる関東地方においては、壁を唯一の防御線とする構造にすることには絶対に反対である。その第二の防御線として、変形能力に富んだ鉄骨構造のようなものを考慮せずに耐震構造を論ずることはできないと思う。我が国における耐震構造を考えるのであれば、何度かの大地震をくぐり抜けてきた大伽藍や五重の塔が格好の教材となろう。頭でっかちで重い荷を負った大寺院はほとんど四方開け放しで、耐震壁もなければ筋かいもない、ポルトもなければ短冊金物もない。それで百年千年を耐えてきたのである。もしこれに太い筋かいを入れたり耐震壁を設けたりポルトで絞めつけたりして西洋流の耐震補強をすれば、鉄道客車から緩衝装置を外したのと同じで、せつかくの柔性を損ない、確実に危険を増すことになるであろう。

サンフランシスコ大地震の教訓をもとに造られたセザー塔の鉄骨架構で多くの筋かいが省かれたのは、その変形能力を増すためである、という内容のことが、大森博士の震災予防調査会報告に訳出されている。剛性建築の本家であるアメリカ合衆国にも、私と同様の考えを持つ人がいるようである。

耐震構造はたしかに複雑なものではあるが、畢竟、その要点は歴戦の勇士である我が国の古寺の柔性を知ることにあるのではないか。大森博士はつとに耐震構造における固有周期の問題を重視し、ことあるごとに観測をしておられるが、まだ寺院について公表されたものがないのが残念である。もし、その調査が何らかの方法で正確にできたならば、それを直ちに現在の建物に適用することはできなくても、それと現在の建物の相違点を見ていけば何らかの指標になりうるのではないかと思う。差し当たっては、大森博士が調べられた五重の塔の固有周期である1.5秒以上を標準として柔性建築を造れば、もし多少の被害があつても、振動中に固有周期が伸びることにより、それは地震の周期と遠ざかる一方であるから、まず危険はないものと見てよからう。

耐震上から見た剛柔建築の得失は上のようなものである。したがって、今後の建築は柔性の昔に還り、これを今日の材料や科学で解決する他ないと私は深く信じている。さらに、これを多くの技術者の研究考案によって速やかに解決したいものだと思う。そこで、私が描いている柔性建築の案を下に掲げておくので、各位の参考に供していただきたい。

- 第1 柱及び大梁は鉄骨架構とし、つとめて変形能力を付与すること
- 第2 床・屋根及びこれに付属する小梁は鉄筋コンクリート構造とし、各柱の変形を均一にすること
- 第3 屋根は陸屋根を理想とすること
- 第4 柱・梁・床・屋根をあわせた構造体の（基礎固定とした場合の）固有周期を1.5秒以上とし、大地震の周期と一致しないようにすること
- 第5 頂点部の最大変位を大地震の振幅の1.5倍以上と仮定し、これに対応させること
- 第6 地震波（訳者注・原文では「中軸曲線」とあるが、地震波の振幅をあらわしたグラフを指していると思われる）は物部博士の説に従つてサイン曲線とし、その頂点の最大振幅を前項の値として用いること

第7 作用させる横力は、前項から得られる地震波の振幅と周期から算出すること

第8 外壁及び間仕切り壁は薄い鉄筋コンクリートあるいは鉄網モルタル吹き付け、もしくは張付け壁のような軽快なものを選び、必要であれば二重壁とすること

上のような考え方に従って柱・梁の寸法を定めるのは、そう難しいことではないはずである。やや面倒なのは固有周期の算定であるが、これは物部博士が提案している便法がよいであろう。また、私の論文にある方法で算出するのも、そんなに大変ではないと思う。

壁は、その効果は微弱ではあるが、風や小地震による振動を抑制するのには役立つであろう。もちろん、外壁は耐久性に乏しく、10年20年経てば補修する必要があるし、また大地震にあえば亀裂が生ずることは覚悟の上だから、その時は新しくするしかない。天災の多い我が国においては、それくらいの犠牲ならば元も子もなくすよりはよかろう、と考えおくべきである。西洋建築は、ご承知の通り、煉瓦や石で出来た壁体から今日までの進歩をなしたものであるから、壁体の美に重きをおくのはやむを得ないところである。しかし、これが重くて剛強に過ぎ、耐震上から我が国には適さないとなれば、それは改めるべきである。もちろん見た目を整えることに誰も異存があろうはずはないが、凹凸の多い巨石が我々の面前に立ちだかっているのを見ると、震災を経験したばかりの我々にとっては、まるでそれに押しつぶされるようで、美を感じるよりも先に恐怖を感じてしまう。かように、壁に重きをおく剛性建築は耐震上からみても恐るべきものなのである。

以上で私の考えるところはほぼ尽くされているが、最後に付け加えたいのは耐火と工費の面である。耐火については、柱や梁に耐火被覆を施せば鉄筋コンクリート程度の耐火性を得ることに問題はなからうと思う。工費については、むしろ柔性建築の方が安いであろう。ことに最近の鉄鋼業ははなはだ不振で、木造建築とも競争できるような気運にあるのだから一層である。

これで本論を終えるが、独断的で各位のお考えと反する点多かろうと思う。その点についてはご教示いただければ幸いである。