

形状と強度 ～有効な耐震強度を目指して～

鶴田真也 岩永将輝 廣澤亮太

[概要]

私たちは校舎の建て替えの際、T字、H字など様々な形をした柱を見た。柱の形を変えることによりそれ自体や建造物全体の強度、耐久性にどのような影響を及ぼすのかなど疑問に感じ、実験を通して調査することにした。

まず、画用紙で三角柱、円柱、六角柱を作成し柱の本数によって圧迫に対する形状を追求する。次に、上記の実験により形状ごとの柱の耐久性が明らかになったところで、実際の建造物に利用される骨格構造に、以上の成果を応用しようと考えた。

When our school buildings were being rebuilt, I saw various kind of steel pillars whose bases were shaped round, like a “T”, and like a “H”. At that time we wondered how the shapes of the pillars affect the durability of them. So we wanted to research them through experiments.

First, we'll research “Resistance under stress” which changes according the shapes and formation of the pillars. And then, we'll research the best shape and formation from them to stand. Hereinbefore,

[研究動機]

建造物の柱の形を変えることによりそれ自体の強度、耐久性にどのような影響を及ぼすのか疑問に感じ、実験を通して調査してみたいと思った。

柱の形状や配置、組み合わせを変えることにより、圧迫の力に対する耐久度にどのような違いが見られるか、また、圧迫の力に最も耐えうる構造を総合的に追求する。

[実験材料]

画用紙 (0.01 mm) , ベニヤ板等の木板, 段ボール箱, ポリバケツ, ペットボトル(2ℓ 入り), アルミフレーム, キャスター, C クランプ, 自転車, 木の棒, クリップ

§ 1. 形状探求編

[実験準備]

厚さ 0.01mm の八つ切りの画用紙を沢山用意する。ベニヤ板は同じものを対で用意し、重心を測っておく。段ボール箱、ペットボトルは重りの製作に用いる。ポリバケツは正確な実験結果を出すために必要となる。

[実験に必要な材料の製作]

画用紙を四分の一の大きさに切断し、柱の形ごとに対応する色を決める。そしてそれぞれの形の柱を製作するが、この時柱の外周のどの部分も画用紙が二重になるように製作する。



写真1 紙製の柱

先ほどのベニヤ板に、測定した重心を中心にして、柱を並べる際の目安として 20cm 四方の正方形を描く。正方形の内部には柱の本数を変えて並べても対応できるように、十分な数の補助線を引いておく。

・重りの製作段

段ボールの中に石を敷きつめ

15kg,25kg,35kg の重りを製作する。ペットボトルに水を入れ、2.15kg の重りを製作する。

[実験方法]

画用紙で制作した円柱、三角柱、六角柱を土台の上に敷き詰めるように並べ、その上に圧迫板をのせ、その上に重りをのせていく。

まず、耐久重量を予想して圧迫板の上に柱が圧壊するまで重りを乗せていく。

おおまかな値で耐久可能な重量が測定できたら、あらかじめ製作しておいた重さの決まった重りを、その重量の直前まで乗せていく。十分に耐えていることを確認した後、その上にポリバケツを置き、その中に慎重に砂をいれていき、柱の変化を観察する。

重量に耐えきれなくなって倒れたところで、ポリバケツに入れた砂の量と重りの総重量を計算し、記録する。

このようにして、様々な柱の形、配置を変えて総合的に強度測定を行っていく。

[実験結果]

各形状において、柱の本数を 3～9 本まで変え、6 回ずつ実験した結果の平均が、下図のグラフである。ピンクが円柱、青が三角柱、黒が六角柱の結果を表している。

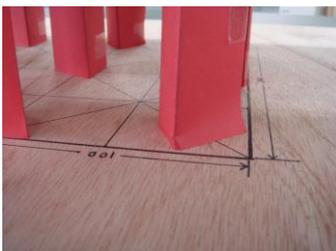
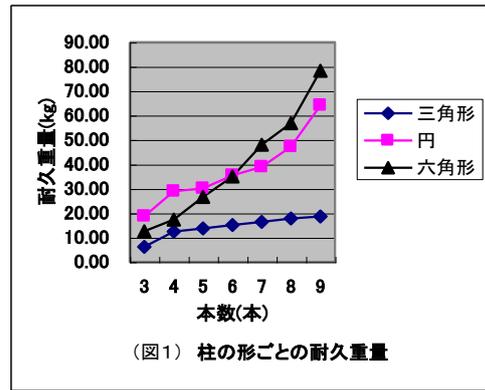


写真 2 倒壊の前兆



(図1) 柱の形ごとの耐久重量

グラフから柱の本数を増やすごとに耐久重量が増加していることが分かる。

このことより、1 本の柱の耐久可能な重量は決まっているが、本数を増やすことにより柱 1 本にかかる重量が分散するので、より重い重量まで耐えることが出来ると考えられる。

また同じ本数の場合、三角柱よりも円柱の方が耐久性があることがわかる。

三角柱と六角柱においては柱の本数を 6 本を境に六角柱の耐久重量が円柱の耐久重量を追い抜いた。これは、柱の本数を増やすことにより全体がハニカム構造に近づくからであると考えられる。

実験中、耐久限界重量に近づけていくと柱に変化が起きた。三角柱においては、頂辺の一部にひびが入り、そこから折れて潰れている。

一方円柱、六角柱においては、全体としての形に大きな変化は無いものの、上部が形を保ったまま徐々に均等に潰れていき、その後しばらくして柱の接合部分より徐々にへこみが発生し、へこみが一番顕著な柱が立っている方向から倒壊した。

[観察・考察]

円や三角柱の場合、柱の本数を増やすことが耐久度向上に効果的なことに対し、三角柱の場合は柱の本数を増やしても効果は小さい。また、柱にひびが発生する直接の要因として

は、縦方向にねじれの力が加わることによると推測される。これは重心・配置・形状に起因するものと考えられる。

ひびが発生するということは、柱にかかる力が側面の他の部分に比べ、一定の部分に片寄って加わっているということであり、円柱の場合、側面すべてで均等に分散し支えているためねじれの力が加わりにくい、三角柱の場合、頂辺にねじれの力が集中するため、円柱に比べひびが入りやすいと考えられる。また、六角柱に関しては本数を増やすことにより、隙間無く並べることが可能なため、結果的にねじれの力が伝わりにくいと考えられる。

[結論]

以上のことから、総合的に判断して、少数の柱の場合は円の柱の方が、多数の柱の場合は六角柱が耐久性を追求するにはより効果的であると判断するに足ると言える。

§ 2. 構造探求編

装置は、木とアルミ製でアルミフレームに沿って、キャスターを付けた台座が一秒間に2回振動し、台座に固定した骨格構造に振動を加えることができるというものである。



写真 3~6 装置の作成

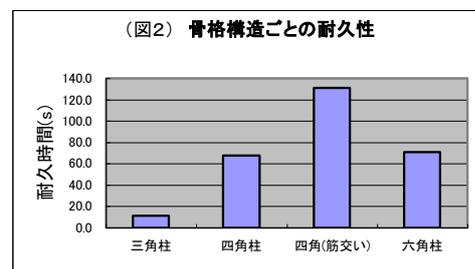
[実験方法]

まず、一定の振動で崩れるような四角柱、三角柱、正六角柱の骨格を、木の棒とクリップで製作する。

次に、建造物に見立てたそれぞれの骨格構造を、製作した基本の構造を組み合わせる。そして柱の上に 120 g の重りを固定する。これは、骨格構造単体では簡単には倒壊しないために使用するものであり、120g は構造自体に影響を及ぼさない負荷重量として最適のものを計測して製作した。それぞれの構造にこの実験装置で振動を与え続け、倒壊に至る時間を測定する。これを以って強度とする。

[実験結果]

下図のグラフはそれぞれの構造ごとの耐久時間を3回ずつ実験した結果として結果をまとめたものである。



グラフから、同じ四角柱でも筋交いを加えることにより耐久性が向上している。

[観察・考察]

三角柱は横揺れに非常に弱い。四角柱と六角柱はあまり差がないものの、側面に筋交いを入れることによって耐久力が約二倍に向上する。六角柱の場合、倒壊は免れているものの、揺れに対して非常に不安定。

§3. 耐震強度追求編

まず、単振動を発生させる装置を製作し、これまでの実験の結果を踏まえ、耐震構造として最適な建築方法を模索する。

【製作】

～振動発生装置～

～家～

- 割り箸をクリップで接合
- 割り箸を接着剤で接合
 - 直方体を組み合わせた家
 - ハニカム構造の家（筋交い有、無し）

【実験方法】

- ・上記の建築物を振動台に固定
- ・振動数 2(回/秒)で振動を発生
- ・倒壊、原型を失うまでの時間を測定（秒）
- ・建築物の種類を変えて測定し、結果をまとめる

【結果】

接着剤で製作した場合、二段構造の中央の接合部分が取れた後、構造全体が砕けるように倒壊した。あまりにも耐久時間が短かったためにこの実験には適していないと判断した。そのため、接着剤は筋交いのない直方体のみとした。

クリップで製作した直方体の場合、20 回の実験を行った結果、平均 18～19 秒で倒壊した。

同じものに筋交いを入れると、5分以上振動に耐えるなど非常に強度が増した。しかし、3分以上振動を与え続けると徐々に形が崩れ始め、ゆっくりと倒壊にむかった。ハニカム構造は数分単振動を加えたが一向に形が変化せず、倒壊する兆候を見せなかった。また、ハニカム構造に筋交いを入れたものの場合、少し重りをのせて振動を与えてみたが、数分が経過しても変化が表れなかったため、これ

が最高の耐震性を持つと判断した。

【考察】

実験の結果、揺れに対して長時間もとの形を失わず、重りをのせてもほとんど変化がみられなかった、“ハニカム構造に筋交いを加えた構造”が今回の実験上最も耐久性を持った構造であると言える。これは、筋交いを入れることによって側面のゆがみが抑えられたためであると考えられる。

また、§2において耐久性の低かった六角柱が、いくつかあわせてハニカム構造を形成することによって、飛躍的に耐久性が向上したことも注目すべきである。

接着剤で製作した構造が、すぐに倒壊したのは、構造にかかる振動を接合部分が吸収しきれなかったためであると思われる。

また、クリップで接合した場合耐久時間が長かったのは、クリップ同士の接合部分が構造にかかる揺れを吸収するためであると考えられる。そのため、構造自体の倒壊はまぬがれていた。

【全体を通しての考察】

実験を通して、ハニカム構造に筋交いを加えた構造が、最も耐久性を持った構造であると言える。実験を通して構造全体の耐久性は、構造の接合部分の強度によって、左右される。

接合部分に振動を吸収し、構造全体の総重量に耐える素材を使用することが構造の耐久性を向上させるのに最も適した方法である。