

直下率の研究 Part 2 ～熊本地震から学ぶ～

磐田市立神明中学校

3年 倉田兼佑

1 動機

2016年4月14日。熊本地方を震源とする、最大震度7の大地震が発生した。そして、耐震性に優れているとされていた建物も、数多く倒壊した。熊本地震に関する内容のニュース番組を見たら、熊本地震で倒壊した2階建ての建物の写真が出た。2階部分はずぶれていないのに、1階部分だけはずぶれている。「不思議だなー。」と思いながら見ていると、その建物の倒壊原因は『直下率不足』であると説明していた。また、現在の建築基準法に「直下率」は明記されていないため、倒壊の原因になり得るという話であった。そこで、「直下率とは何なのか？」と疑問に思い、インターネットで調べてみた。すると、直下率には2種類あることが分かった。

『柱の直下率』→2階の柱の下に、1階の柱がどのくらいの割合で存在するかを示した値。

『耐震壁の直下率』→2階の耐震壁（地震などの力に対して耐えられる壁のこと）の下に1階の耐震壁がどれくらいの割合で存在するかを示した値。

※大地震の揺れに耐えるにはどちらも60%以上必要。

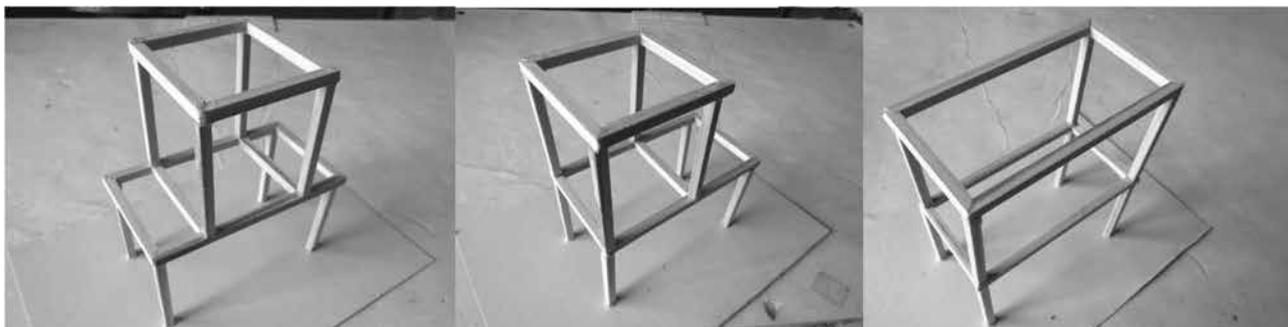
「直下率」というものに興味を持ち、本実験に取りかかることにした。Part 1では、パスタを使って建物を作り実験を試みたが、パスタが弱すぎたり、対照実験になっていなかったりしたため、正確なデータが得られなかった。Part 2では、Part 1の反省を生かし、実験に取り組んだ。

2 研究の目的

- (1) 直下率の変化で、揺れへの耐性がどのくらい変わるのか。
- (2) 直下率が低いと、1階だけが倒壊することになるのか。

3 研究の方法

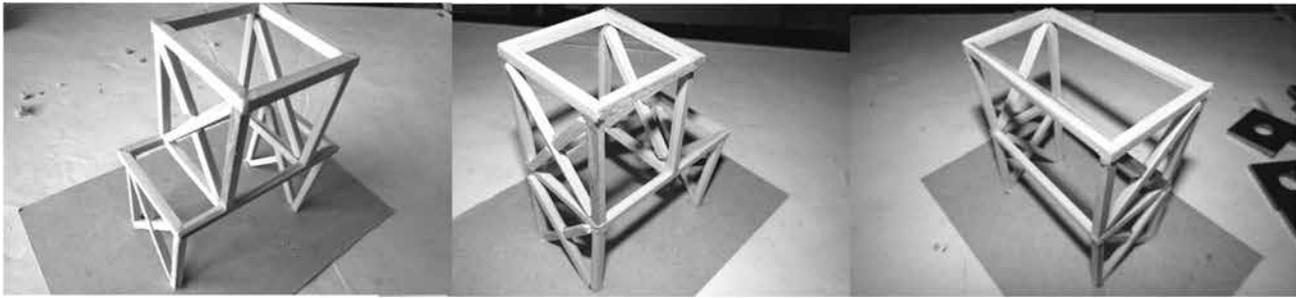
- (1) 実験準備 以下の6つを製作する。
 - ア 実験 11 (柱の直下率 0%) 「写真 1」
 - イ 実験 12 (柱の直下率 50%) 「写真 2」
 - ウ 実験 13 (柱の直下率 100%) 「写真 3」 ※実験 11～13 の壁の直下率は 0%にする
 - エ 実験 21 (柱、壁の直下率両方 0%) 「写真 4」
 - オ 実験 22 (柱、壁の直下率両方 50%) 「写真 5」
 - カ 実験 23 (柱、壁の直下率両方 100%) 「写真 6」



「写真 1」

「写真 2」

「写真 3」



「写真4」

「写真5」

「写真6」

(2) 実験方法

ア 「実験その1」(研究の目的(1))

- (ア) おもりを載せる箱を、製作した建物の1階と2階の上に載せ、その中におもりを1個ずつ載せる。
- (イ) 20cmの幅でX軸方向に、1秒間に1往復する速さで動かす。
- (ウ) 10往復したら向きを90度変えて、Y軸方向に同じ速さで10往復動かす。
- (エ) 計20往復したら、(ア)に戻り、おもりの数を増やして建物が倒壊するまで行う。
- (オ) 実験が終了したら、最後に載っていたおもりの数-2を記録する。

イ 「実験その2」(研究の目的(2))

- (ア) 倒壊した建物から、おもりとおもりを載せる箱を取り外す。
- (イ) 倒壊した建物を観察して、直下率と建物の倒壊の関係を調べる。

4 予想

(1) 「実験その1」

実験11~13では、直下率と載ったおもりの個数の関係は、関数になっているのではないかとすじかいはなく、壁の直下率は0%だから、次のように予想した。

実験11...6個[約300g]、実験12...8個[約400g]、実験13...10個[約600g]

実験21~23では、すじかいもあり、実験11~13よりもたくさんおもりは載るのではないかと。直下率についてインターネットで調べたときに、「大地震の揺れに耐えるには、壁の直下率と柱の直下率の両方が60%以上必要。」という文を見つけた。

そうとなれば、実験23だけはたくさんおもりが載るはずだと考えたため、次のように予想した。

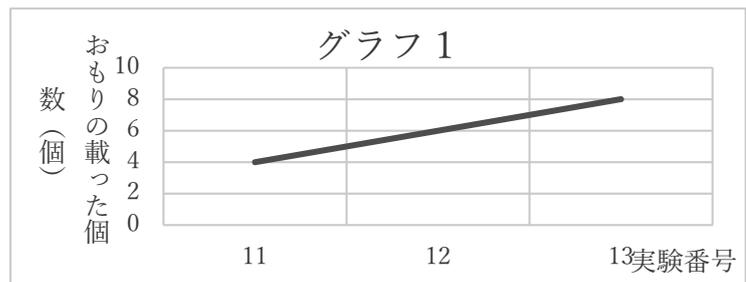
実験21...10個[約500g]、実験22...12個[約600g]、実験23...16個[約800g]

実験番号	11	12	13
柱の直下率	0%	50%	100%
壁の直下率	0%	0%	0%
おもりの数	4個	6個	8個

「表1」

(2) 「実験その2」

直下率が低いとは、2階の重みを支えにくくなっているということだと考えられる。それは、2階の柱や耐震壁の下に、1階の柱や耐震壁がないからではないか。その結果、直下率が低いせいで、1階部分だけがつぶれてしまうことにつながると予想した。



5 結果

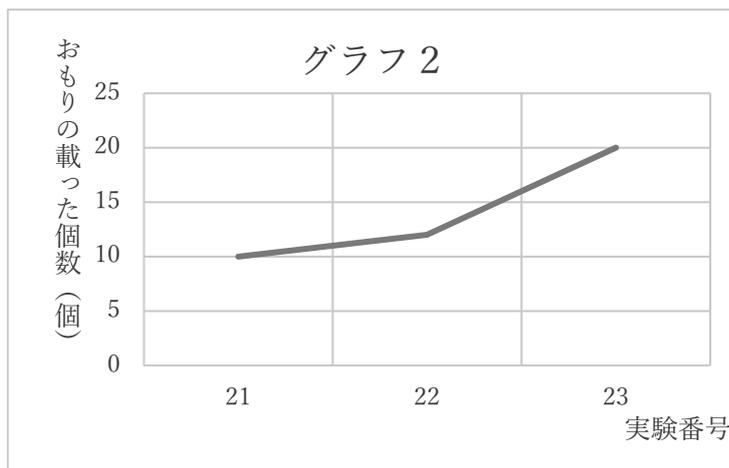
(1) 「実験その1」

実験11...4個[約200g]、実験12...6個[約300g]、実験13...8個[約400g] (表1, グラフ1)

実験 21…10 個[約 500g]、実験 22…12 個[約 600g]、実験 23…20 個[約 1,000g] (表 2, グラフ 2)
直下率が高いほど、おもりは多く載った。また、柱と壁の直下率が両方高いと、おもりの載る個数が格段に増えた。

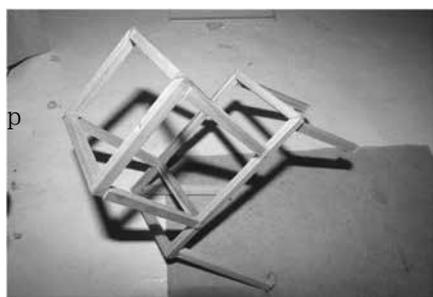
実験番号	21	22	23
柱の直下率	0%	50%	100%
壁の直下率	0%	50%	100%
おもりの数	10 個	12 個	20 個

「表 2」

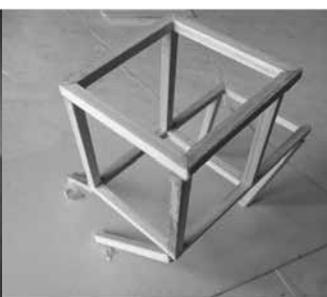


(2) 「実験その 2」

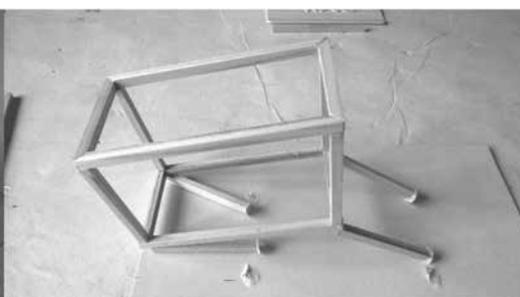
すべて 1 階部分だけが倒壊し、2 階部分はほぼ原形のままだった。1 階の柱が基礎部分である厚紙からはがれているものが多かった。(実験 11…写真 7、実験 12…写真 8、実験 13…写真 9、実験 21…写真 10、実験 22…写真 11、実験 23…写真 12)



「写真 7」



「写真 8」



「写真 9」



「写真 10」



「写真 11」



「写真 12」

6 考察

(1) 実験その 1

今回の実験で、直下率が高いほど、建物の耐震性能は高くなることが分かった。しかし、直下率は、柱と壁のどちらかが高ければいいというわけではなく、柱と壁の両方が高くなければ、耐震性能は下がってしまうことも分かった。また、その基準を $x\%$ とすると、 $50\% < x\% \leq 100\%$ と表せられることも分かった。他にも、すじかいがたくさんあっても、直下率が低ければ、耐震性能は低くなってしまふことや、すじかい柱のある位置の違いだけで壁や柱の直下率は変化し、建物の耐震性能まで変えてしまうことも分かった。つまり、直下率は耐震基準に欠かせないものであり、それで耐震性能を変えることもできるものでもあるということだ。

(2) 「実験その2」

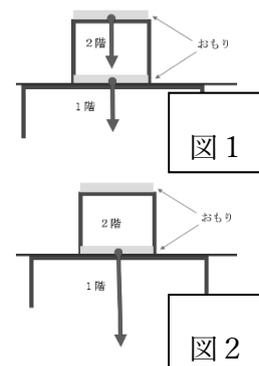
実験で、1階部分だけが倒壊するということが、直下率に関係ないことが分かった。もし、直下率に関係していたら、倒壊の仕方も色々あったはずである。しかし、結果を見る限り、明確な違いは見当たらない。ということは、何か他の理由があるに違いない。

7 新たな疑問

新たな疑問として、「なぜ1階部分だけ倒壊するのだろうか?」という問いが生まれた。そこで、実験11～実験13、実験21～実験23の倒壊の様子を再確認したところ、「1階と2階の天井にかかる重力の違いが、1階部分だけを倒壊させる原因になっているのではないか」という仮説が生まれ、検証することにした。

8 検証

1階の天井の上には、2階があり、そしてその上には屋根(2階の天井)がある。つまり、1階の天井の重力には、2階部分と屋根が含まれている。(図1→図2) それに比べて2階の上には屋根しかなく、1階の重力は加算されない。図1と図2を比べると、図1の矢印は図2の矢印の2倍の長さになっている。つまり、1階の天井には、2階の天井にかかる重さの2倍の力がかかっているということだ。



9 検証のまとめ(1階だけが倒壊するメカニズム)

天井にかかっている重力の大きさが建物の揺れの大きさを左右させるため、1階と2階のそれぞれの天井にかかる重力の差が大きくなればなるほど、1階の揺れの方が2階の揺れより大きくなりやすくなる。したがって、1階だけが倒壊するようになってしまう。

10 感想

今回はヒノキの角材を使用して建物を作ったため、木の加工に手間がかかり、製作だけに丸2日かかってしまった。角をやすりで削ったり、ボンドで接着したり乾かししたりしたため、とても大変な作業だった。しかし、今回の実験での発見は、どれも今後に生かせるものであるに違いない。熊本地震から学んで、建築基準法に直下率の規定が盛り込まれることを切に願いたい。そして、倒壊する建物が1つでも減ってほしいと思う。かけがえのない命を守り、地震による犠牲者を減らすために。

11 参考文献

- 池上彰のニュースそうだったのか#25
- https://iiie-oohara.com/faq/f_plan/tyokkaritu.html
- <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/2015/10/16/map/>
- http://neccooya.com/social_studies/geography_world/geography_world_question103.html
- <https://www.sankei.com/affairs/photos/160415/afr1604150017-p1.html>
- <https://uitanlog.com/?p=4594>