

RC造の地震被害モードを考慮した 力学模型の開発

2017年1月29日

技能工芸学部 建設学科 長谷川研究室

01312006 池上元基

これから、RC造の地震被害モードを考慮した力学模型の開発を題して、長谷川研究室の池上元基が発表します。

発表の流れ

1.開発の背景と目的

2.地震被害年表

①十勝沖地震の教訓 ②1971年建築基準法 ③阪神大震災の教訓

3.ゴムスポンジ力学模型による実演

(A)コラムパーツモデル (B)フレームモデル

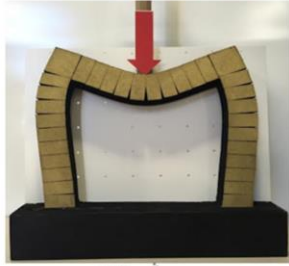
4.まとめ

発表の流れは、開発の背景と目的、地震被害年表、ゴムスポンジ力学模型による実演、まとめ。の順で発表します。

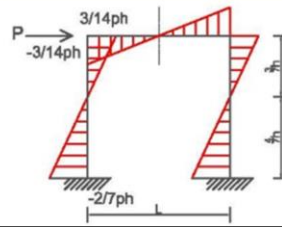
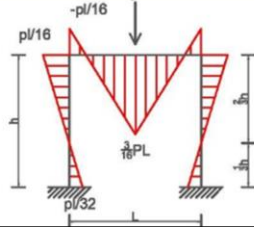
開発の背景

ゴムスポンジ模型を用いることで、力学的挙動が理解しやすく、学習教材として有用

(変形)



(M図)



開発の背景として、ゴムスポンジ模型を用いることで、模型の変形と、モーメント図の対応が取れていることから、建物の力学的挙動が理解しやすくなると言われています。(実際に授業でこちらの模型は使用されています。)

開発の目的

RC 造の**地震被害モード**とその**メカニズム**を
理解しやすい力学模型の開発




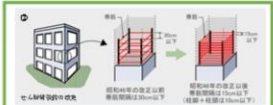

1968年十勝沖地震

1995年阪神大震災

そこで本開発の目的として、同じゴムスポンジを用いて、こちらの被害のような地震被害モードとそのメカニズムを理解しやすい力学模型の開発をしました。

地震被害年表

RC造の被害と教訓

1923年	関東大震災(M7.9) 大正関東大震災 死者6,939人、負傷者11,000人以上、罹災者約1,000万人		
1924年	50嵐(震)		
1924年	市街地建築法改正		
1944年	福井地震(M7.1)		
1950年	建築基準法制定 木造建築物の防火防煙設備の義務化		
1954年	新潟地震(M7.5) 沢村正幸		
1958年	十勝沖地震(M7.5) 北条隆雄、小川正博、中村誠	 <p>① 1968年十勝沖地震の教訓</p> <p>震害がひどいために、柱がせん断破壊して潰れ、梁が脱落した等、このように柱梁接合部の上へ圧縮力がかかるように設計されたRC造の被害は、この地震で初めて発生した。この地震で、RC造の被害は、柱梁接合部の破壊が原因で発生した。この地震で、RC造の被害は、柱梁接合部の破壊が原因で発生した。</p>	
1971年	建築基準法・同法改正 RC造建築物の耐火、よこしく型枠造り義務化		
1978年	茨城県沖地震(M7.4) 高橋誠、小川正博、中村誠、藤野浩一	 <p>② 1971年建築基準法改正</p> <p>震害がひどいために、柱がせん断破壊して潰れ、梁が脱落した等、このように柱梁接合部の上へ圧縮力がかかるように設計されたRC造の被害は、この地震で初めて発生した。この地震で、RC造の被害は、柱梁接合部の破壊が原因で発生した。</p>	
1981年	建築基準法・同法改正 RC造建築物の耐火、よこしく型枠造り義務化		
1985年	阪神大震災(M7.2) 高橋誠、小川正博、中村誠、藤野浩一	 <p>③ 1995年阪神大震災の教訓</p> <p>震害がひどいために、柱がせん断破壊して潰れ、梁が脱落した等、このように柱梁接合部の上へ圧縮力がかかるように設計されたRC造の被害は、この地震で初めて発生した。この地震で、RC造の被害は、柱梁接合部の破壊が原因で発生した。</p>	
2003年	十勝沖地震(M6.0) 高橋誠、小川正博、中村誠、藤野浩一		
2004年	新潟県中越地震(M6.5)		
2011年	東日本大震災(M9.0) 高橋誠、小川正博、中村誠、藤野浩一		
2015年	熊本地震(M7.0) 高橋誠、小川正博、中村誠、藤野浩一		

力学模型の制作にあたり、日本での地震被害モードとそのメカニズムを整理するため、こちらの地震被害年表を作成しました。この地震被害年表からRC造の被害と教訓について特筆すべきことを説明します。

地震被害年表

①1968年十勝沖地震の教訓



ピロティー部における
長柱のせん断破壊

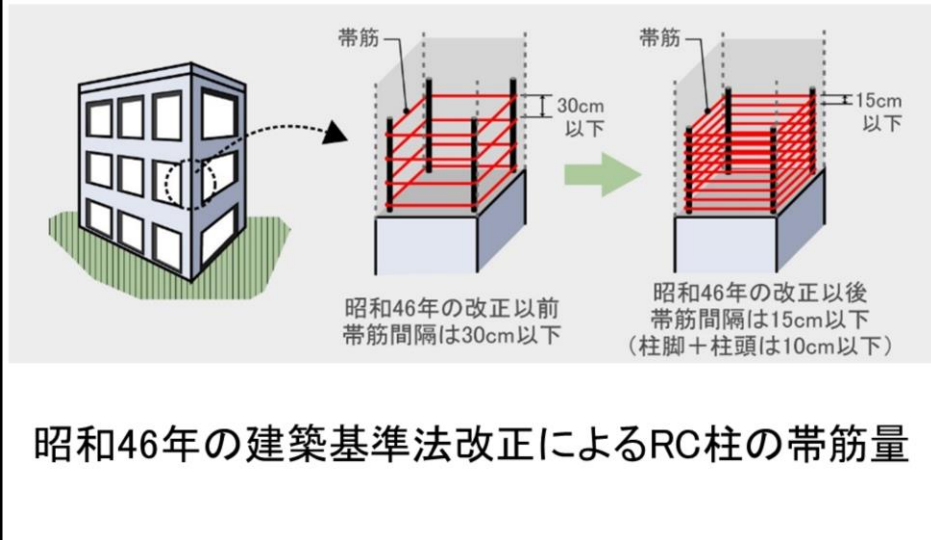


学校建築における
短柱のせん断破壊

まず特筆すべきことは、1968年十勝沖地震です。こちらの地震では写真のような、柱のせん断破壊が起こり、特に学校建築におけるせん断破壊が問題となりました。これは帯筋が少ないために発生した被害で、このような脆性(ぜいせい)破壊は人命保護の観点から防止しなければならないということを教訓とし、1971年の建築基準法改正につながりました。

地震被害年表

②1971年(昭和46年)建築基準法改正



先程の十勝沖地震を教訓とし、せん断破壊のような被害を防ぐため、1971年に建築基準法が改正されました。こちらの改正では帯筋間隔を30cmから10cmに変えたことで、帯筋が高密度化しせん断補強筋規定が強化されました。

地震被害年表

建築基準法改正前と改正後での被害の相違



昭和46年以前の設計
(出典: <https://www.kozo.co.jp/>)



昭和46年以降の設計
(出典: <https://www.sein21.jp/>)

こちらは帯筋間隔の違いによる被害の差になります。昭和46年以前に設計された建物は、帯筋間隔が広いため、コンクリートがはらみ出し、鉄筋が座屈することでせん断破壊が起こり、支持力を失っていますが、昭和46年以降に設計された建物は、せん断破壊が生じましたが、帯筋の高密度化によりコンクリートがはらみ出ず、支持力の確保がされていることが分かります。

地震被害年表

③1995年阪神大震災の教訓



昭和46年以前に設計の建物



昭和56年以降に設計の建物被害



典型的な短柱のせん断破壊

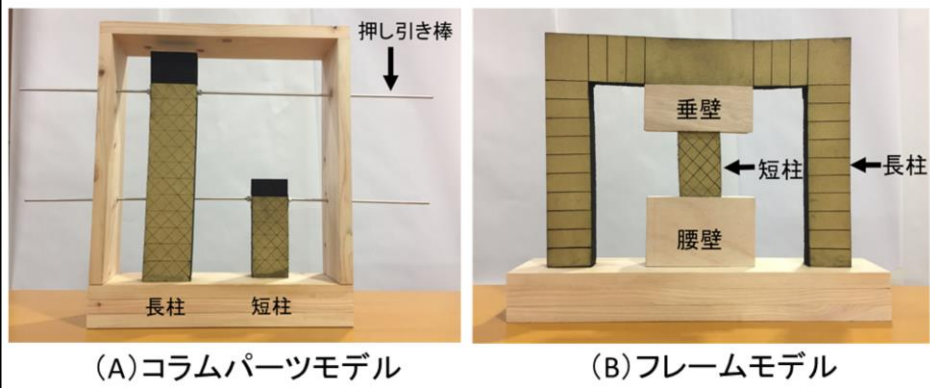


曲げ圧壊とせん断破壊の混在

次に特筆すべきことは、1995年阪神大震災です。こちらの地震では、昭和56年以降の新耐震設計法によるRC造は、曲げ降伏が先行するように設計されたため、中破程度に留まりましたが、垂壁や腰壁に拘束された短柱や、昭和46年の法改正以前に設計された建物はせん断破壊が多く見受けられました。

RC造の被害と教訓

- ①長柱と短柱のせん断破壊
- ②建築基準法の改正(せん断補強筋)
- ③耐震規定の差による被害の相違

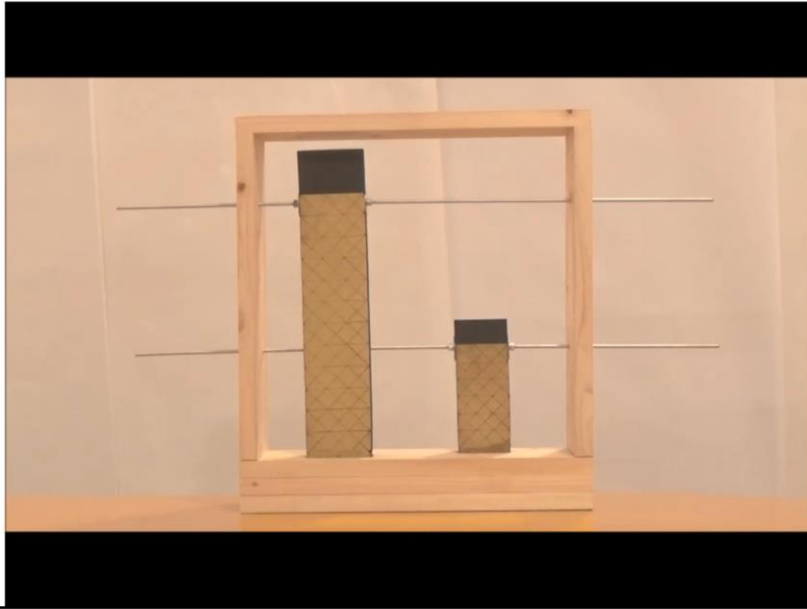


RC造の被害と教訓を簡単にまとめると、十勝沖地震による柱のせん断破壊が法改正への嚆矢となり、建築基準法改正により、帯筋が高密度化したことで、阪神大震災では耐震規定による被害の差が明瞭に現れたということがわかります。この結果から本開発では、長柱と短柱の被害に着目し、柱頭にそれぞれ別途に水平力を与え、その変形が長柱と短柱で直接比較できるコラムパーツモデルと、壁を設けたことで、実際のラーメン構造を模擬し、短柱は垂壁・腰壁により曲げ降伏が抑制され、長柱は1981年新耐震設計法のように曲げ降伏が先行するフレームモデルの制作をしました。

ゴムスポンジ力学モデルによる実演

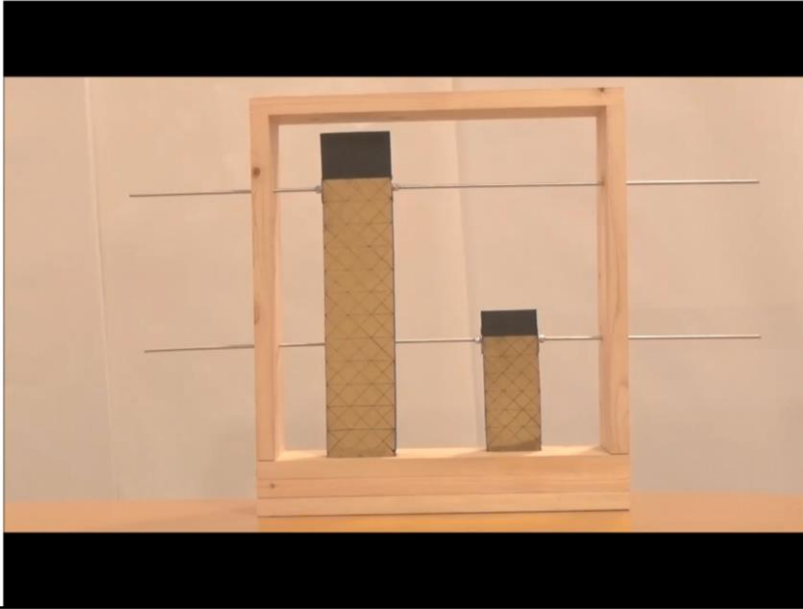
ゴムスポンジ力学モデルによる実演です。

長柱の実演動画



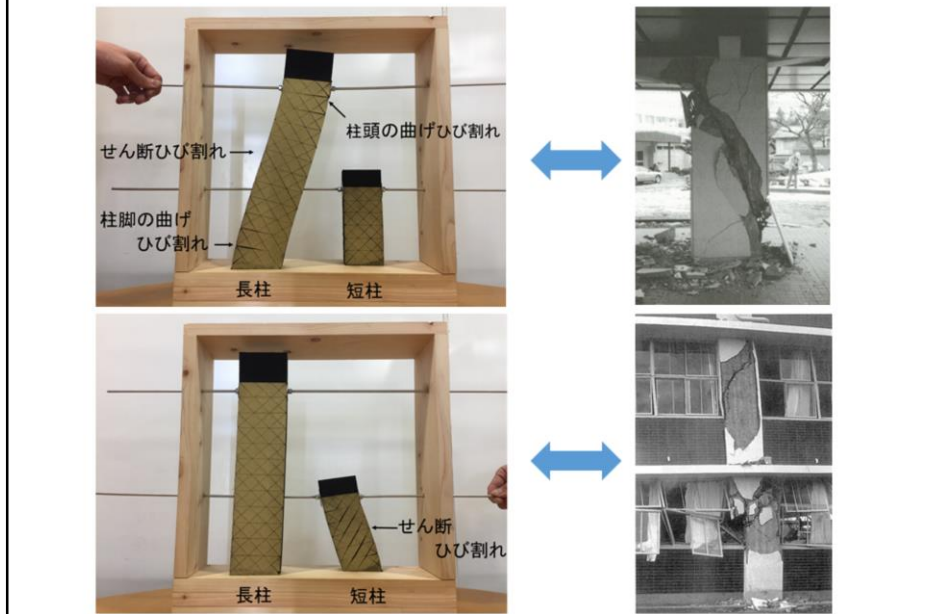
まず長柱の実演した状況です。柱頭部分の棒を押し引きしすることでスリットの開きから、曲げ変形と同時にせん断変形を表現することができます。このように柱中央部ではせん断ひび割れとなり、柱脚部では曲げひび割れを表現していることが分かります。

短柱の実演動画



次に短柱の実演した状況です。こちらも同様に押し引きすることで被害の様相を表現することができ、こちらスリットの開きから、短柱はせん断ひび割れを表現していることが分かります。

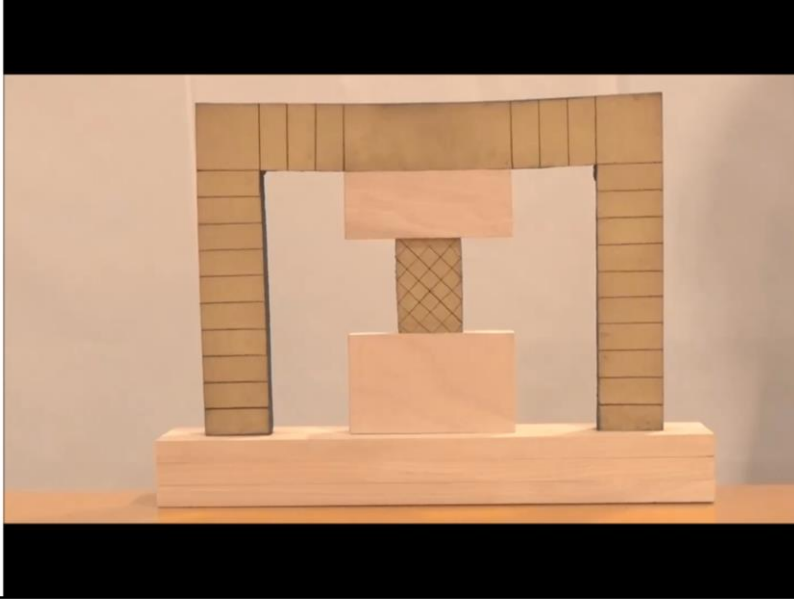
コラムパーツモデルの変形と実被害の対応



実際の被害と比較してみると、長柱の曲げ・せん断ひび割れ、短柱のせん断ひび割れが対応していることから、被害の様相をコラムパーツモデルで表現できていることが分かります。

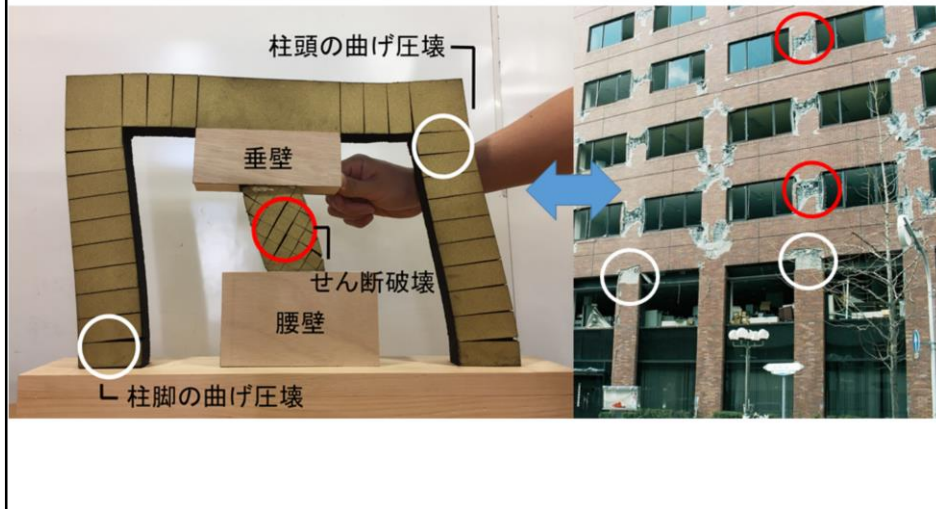
ゴムスポンジ力学模型の制作と実演

フレームモデル実演動画



次にフレームモデルの実演した状況です。垂壁を押し引きすることで、スリットの開きから地震被害の様相を表現することができます。今映っている短柱では、垂壁、腰壁に拘束されているためせん断破壊が生じ、こちらの長柱では柱頭柱脚に曲げ圧壊が生じます。

フレームモデルの変形と実被害の対応



フレームモデルと実際の被害を比較してみると、白い丸で囲まれている柱頭・柱脚部の曲げ圧壊と、赤い丸で囲まれた垂壁・腰壁に拘束されている短柱のせん断破壊が対応していることから、被害の様相を、フレームモデルで表現できていることが分かります。

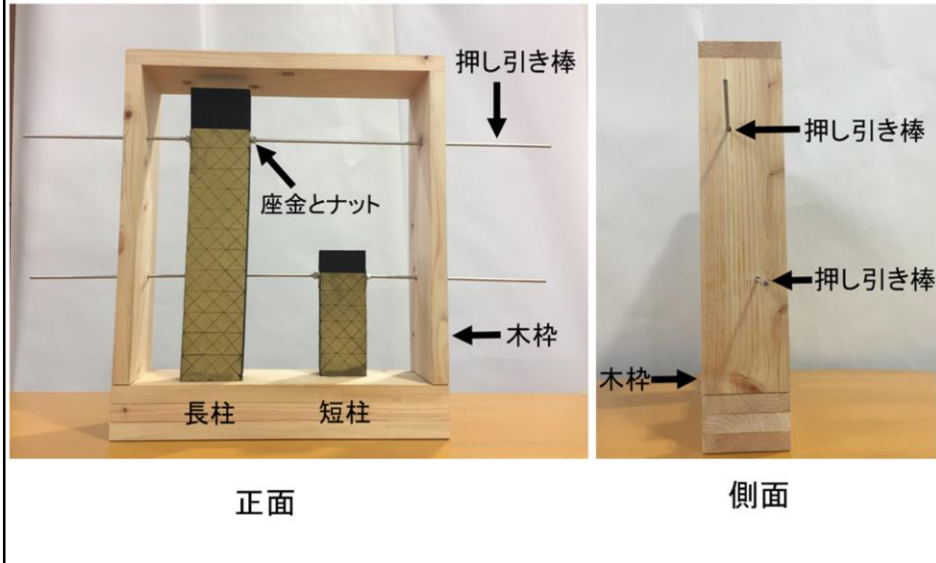
まとめ

- ・地震被害年表の作成
- ・長柱と短柱の被害モードに着目した力学模型の開発
- ・学習教材としての活用

まとめです。ゴムスポンジ力学模型の開発にあたり、地震被害年表を作成したことで、地震被害モードとそのメカニズムを整理し、長柱と短柱の変形を直接比較することのできるコラムパーツモデルと、実際のラーメン構造を模擬したフレーム模型の開発をしました。この2つの模型によって、RC造の地震被害の様相が端的に表現できることから、今後、学習教材としての活用が十分に期待できると思います。以上で発表を終わります。

補足資料

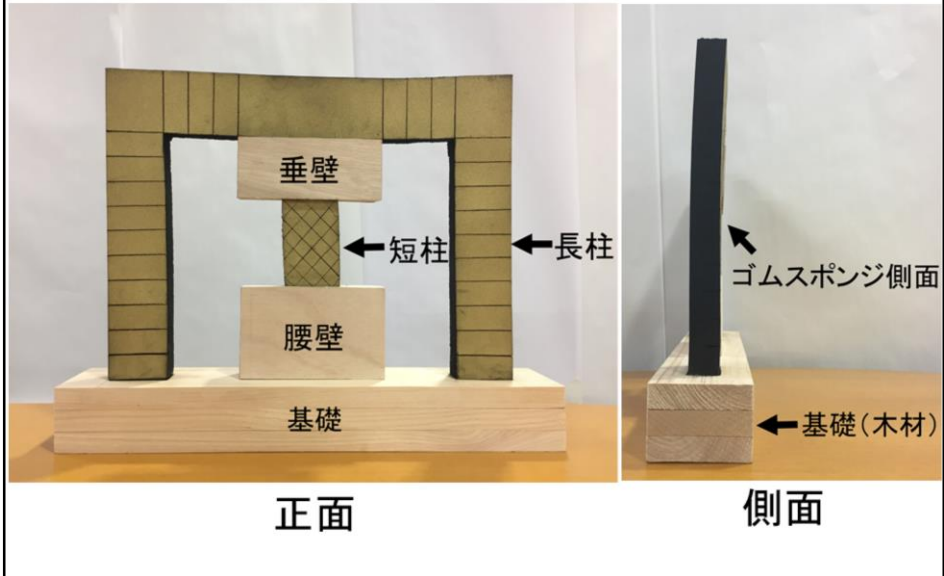
コラムパーツモデル



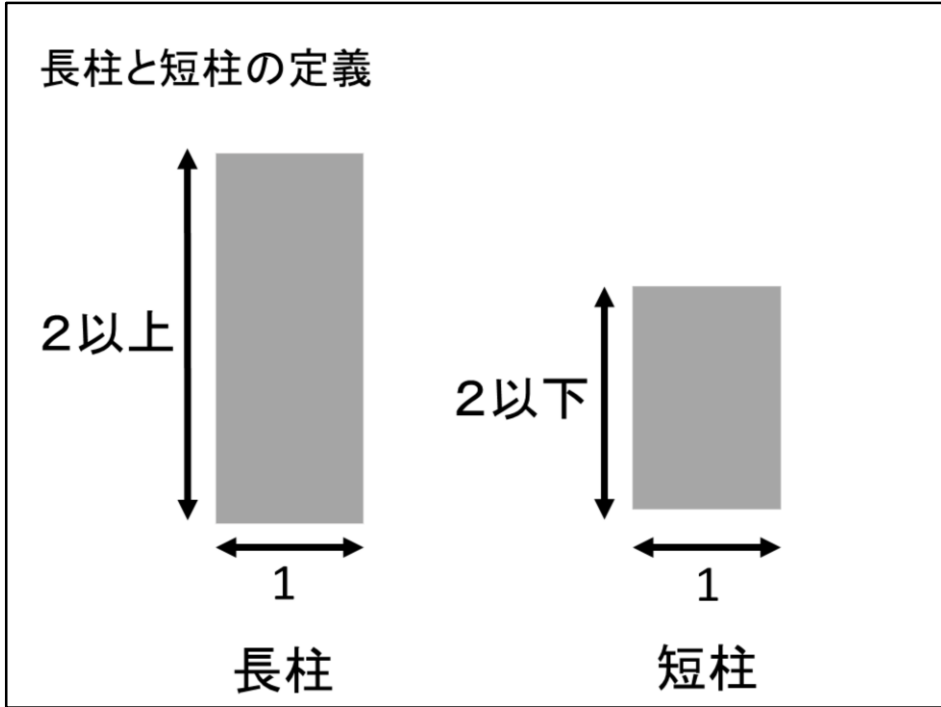
柱に直交方向のスリットを入れることで、曲げ変形を表現し、柱に対し 45° 方向のスリットを入れると、せん断変形を表現する。着色はゴムスポンジの黒に対して、スリットの開きが見やすい色で着色した。木材の枠で囲い、押し引き棒と金具を取り付けました。長柱と短柱の柱頭に水平力を与えることで、その変形が長柱と短柱で直接比較できるような力学模型を制作しました。

枠の木材は加工のしやすさ、持ち運びやすさ、強度から選びました。押し引き棒は直接変形を確認できるようにすることと、水平方向に力を加えるため

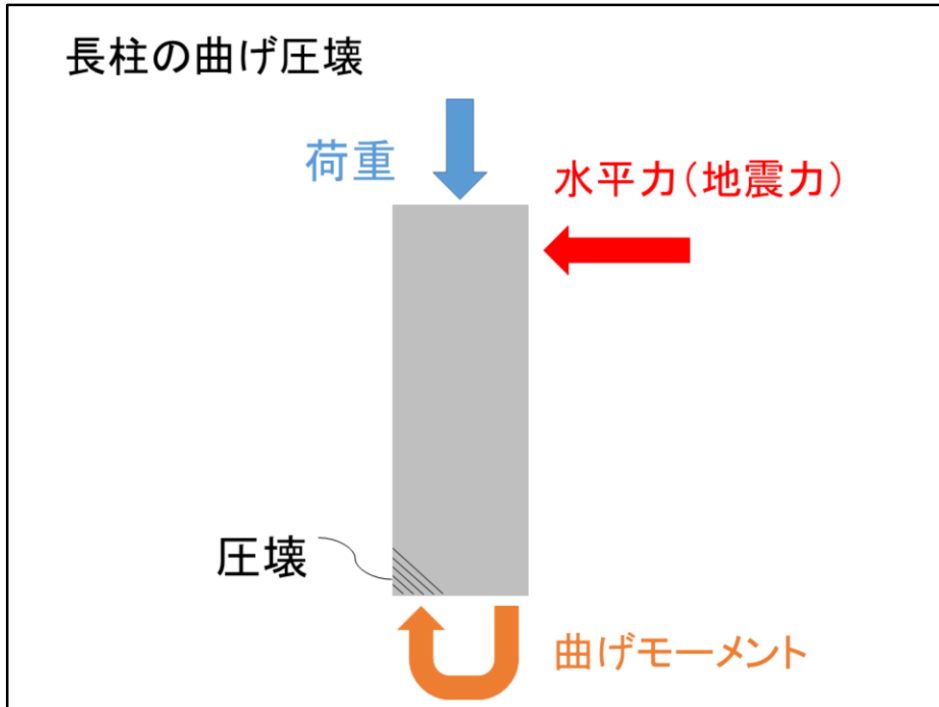
フレームモデル



次にフレームモデルです。こちらはラーメン構造のゴムスポンジに垂壁、腰壁を設けたことで、実際のラーメン構造を模擬した力学模型となっています。垂壁に水平方向の力を与えることで、ラーメン構造の被害の様相を表現する模型になりました。木材を採用したのはコラムパーツモデルと同じ。



長柱は幅1に対して長さが2以上。短柱は幅1に対して長さが2以下



上層階からの荷重を受け、水平力の地震力を受けることで曲げモーメントが発生し、部材内部に曲げ応力が発生しこの曲げ応力が部材の曲げ耐力を超えたときに曲げ圧壊が生じることです。

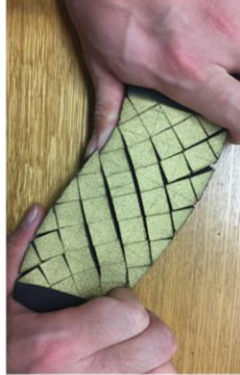
せん断破壊はせん断応力が、せん断耐力を超えた時に破壊することです。

曲げせん断変形



曲げ変形

+



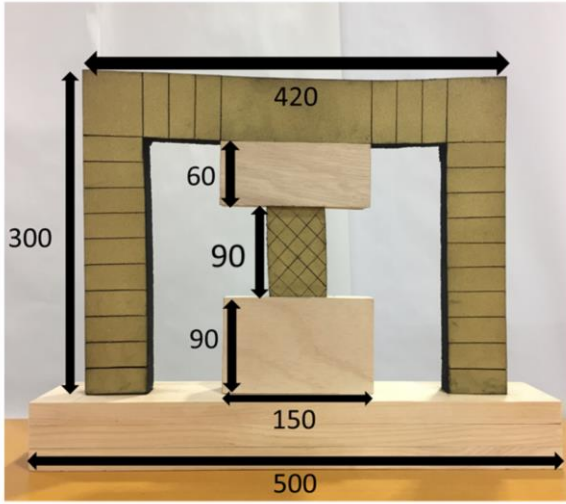
せん断変形

=

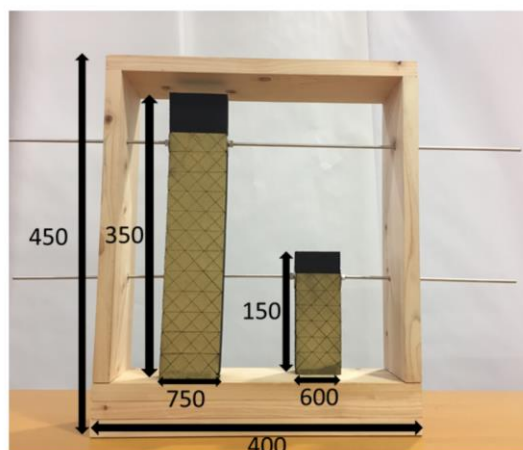


曲げせん断変形

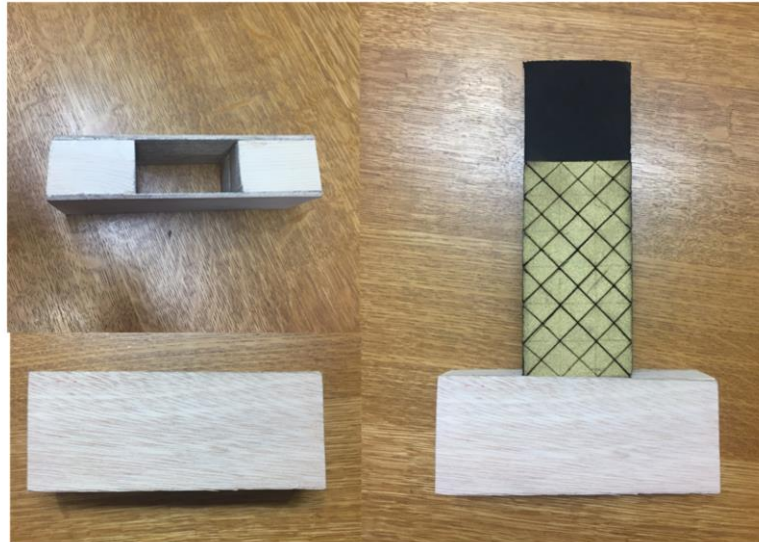
フレームモデル寸法



コラムパーツモデル寸法



フレームモデルの短柱



パイン材とベニヤで写真のような部材を製作し、短柱を差し込み短柱部を制作しました。

曲げ・せん断変形



長柱のせん断ひび割れをわかりやすくすることもできますが、力を加えすぎること
でゴムスポンジが壊れてしまうので、コラムパーツモデルでは若干の違いが出るもの
を採用しました。