

小中学生を対象に建物の耐震性能を説明する副教材の開発と建築講座の実践

Development of supplementary teaching materials to explain the seismic performance of buildings for elementary and junior high school students

後藤哲男 / 広川智子

GOTO Tetsuo / HIROKAWA Tomoko

キーワード
小中学生、耐震性能、建築教育

Keywords
Elementary and junior high school students, Seismic performance, Architecture education

We developed the supplementary teaching materials which explained the earthquake-resistant performance of architecture in elementary and junior high school students, and studied how to use this supplementary teaching materials. We carried out this method using

the house model traditional wooden model in the architecture lecture for them. As a result, they were able to understand the system of earthquake-resistance very well. It is effective to experience the vice-teaching materials and to assemble a house model repeatedly.

はじめに

私たちは、新潟県中越地震を契機に今まで小学生・中学生・高校生を対象に縮尺1/10の住宅組立模型（以下、1/10模型と称する）を用いて建築の計画（空間把握や寸法及び間取りの考案等）・環境（熱・光と省エネルギー）・構造（力の流れや耐震構造等）・施工（建物部材の名称と組立等）に関する建築教育を研究し、2021年で14年目を迎えている。2019年3月にこの講座の主体団体として「特定非営利活動法人建築・住教育研究会-10分の1組立住宅模型を使った」を立ち上げたが、2020年以降、新型コロナウイルス感染症の影響で建築講座が中止、延期になった。その時期に総合学習の一環として建築講座を実施できる機会を得た。そこで新たに建物の耐震壁のバランスに関して更なる教材開発と教育方法を研究した。

今まで1/10模型を使って耐震性能を説明する場合、「耐震壁のバランスよい配置」をキーワードとして用いていたが、そのバランスの理解には①壁倍率と②剛心と③偏心率の知識が不可欠である。しかしながら、専門家でない一般の人々がこの3つ（壁倍率、剛心、偏心率）の要素を隅々まで理解することは非常に難しい。

そこで今回は、建物の耐震性能に関する建築の3つの要素を小中学生が短時間で簡単に楽しく体験しながら理解できる副教材を開発することと建築講座を実施し有効性を検証することを目的とする。

本報は、2021年に小中学生が受講した建築講座において建物の耐震性能を説明する副教材の開発と副教材を使った教育方法の検証を報告¹⁾²⁾³⁾⁴⁾する。

1. 教材開発の方針

1.1 壁の安定・不安定と壁倍率の概念

壁倍率の概念を理解する前に理解しなくてはならない項目として、安定と不安定の概念がある。

木造の1/10模型の接合部は、ホゾ継ぎや蟻継ぎ（fig.1 上右）であり、ピン接合となっている。このピン接合を理解するために、もう一つの接合方法である剛接合（fig.1 中央）を示す。ピン接合と剛接合の違いを接合部の「角度が変形するかしないか」「回転力を伝えるか伝えないか」で説明を試みる。1/10模型の部材の柱2本と梁1本で構成される門型の架構体は、横力を加えた場合不安定な状態で構面方向に自由に変形することを1/10模型で確認、体験する。次に、この架構体を安定させるために、筋かいを1本入れることにより、釣り



fig.1 1/10模型でピン接合と剛接合の比較

合い状態（安定）になることを説明する。この構造を静定（fig.1 下左）、2本入れた構造を不静定（fig.1 下中央）と呼び、地震に対してはより安全であることも説明する。さらに、部材を増やすことで、剛接合を増やし、支点をピン接合から固定端にすることで安全性を増すこともできる。その度合いを不静定次数と呼ぶことも説明する。

上記の筋かい1本以上を入れた壁が横力に有効な耐震壁となること、つまり実際に手で揺らして揺れないことを体験する。この筋かいの種類など（面材（fig.1 下右）を入れることも体験）により、耐震壁には「強さ」があることを伝え、現実には1～5段階の強さで考えられていることを伝える。

1.2 シーソーを例にしたモーメントの概念

モーメントは初心者にとってわかりにくい概念であるが、シーソーという言葉で言うと、ほぼ全ての人が体験的に学習しているため、納得感が得られやすい。

小さい頃に子どもが経験しているシーソーは、2倍の体重の人と遊

ぶ場合、重い側が支点からの距離を半分にするれば双方ともあまり負担なくバタンバタンできること、足でこがない場合は双方が宙に浮いた状態（釣り合った状態）にいられることを思い出してもらおう。大人の体重を $2w$ 、子供の体重を w とした場合 (fig.2 左)、支点からの距離と体重の積が等しくなることを示し、この積のことをモーメントと定義するが、なれない外国語であるため、回転力と呼ぶことにした。fig.2 右の状態を式にすると以下になる。

$$2w \times a/2 = w \times a$$

また日本の竿秤は、この原理を応用して「もの」の重さを計る器具であることも時間がゆるせば現物の竿秤で納得できるまで重さを計ることも重要である。

1.3 剛心の概念

1.2の項目で体験した内容を2枚の並行した耐震壁として想定する。それぞれの壁の位置を x_1, x_2 、壁倍率を D_1, D_2 、有効長さを L_1, L_2 とし、剛心位置を x_c とすると剛心の位置は以下の式で定義される。
 $x_1 \times D_1 \times L_1 + x_2 \times D_2 \times L_2 = x_c \times (D_1 \times L_1 + D_2 \times L_2)$ (1)

この式は初心者にとって飛躍があるため、もう少し具体的に考えられるようにした。

まず、壁倍率と有効長さの積の意味は、壁倍率1で長さが1mの単位耐震壁が何枚あるかということである。先に述べた回転力(モーメント)は、力(重さ)×腕の長さで答えが出るのに(1)式にはそれがなく、初心者を惑わす原因となっている。

そこで、その単位耐震壁が許容する最大の横力 19.6kN (200kgf) を導入し、壁倍率×有効長さ×200kgfすることにより、力の概念を付与する。その結果(1)式は

$$x_1 \times (D_1 \times L_1) \times 200\text{kgf} + x_2 \times (D_2 \times L_2) \times 200\text{kgf} = x_c \times (D_1 \times L_1 + D_2 \times L_2) \times 200\text{kgf}$$
 (2)

(2)式は、単位耐震壁あたり均等な力200kgfを発揮する時の原点からのモーメントの和と、その耐震壁が合わさり一つになった壁の原点からのモーメントが等しくなる点を剛心と定義している。

これは、耐震要素1単位が発揮する力が等しいという前提に立ち、壁倍率の異なる耐震壁が同じように変形する力がそれぞれの壁に配分される点を剛心と定義したと読める。

fig.3 左の反時計回りの回転力(モーメント) = $-6w$
 時計回りの回転力(モーメント) = $3w$

従って(1)式の左辺の値 = $-3w$

(1)式の右辺はfig.3右のようになり、 $x_c = -1$ となる。

この結果を(1)式に反映させると

$$(x_1 - x_c) \times (D_1 \times L_1) = (x_c - x_2) \times (D_2 \times L_2)$$



fig.2 シーソーは誰でも体験

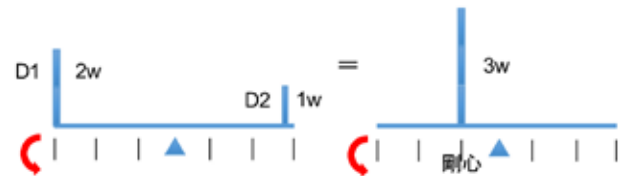


fig.3 剛心の定義

$$(x_1 - x_c) / (x_c - x_2) = (D_2 \times L_2) / (D_1 \times L_1)$$
 (3)

(3)式が得られ、剛心は2枚の壁の離隔距離を耐震壁の有効長さ(壁倍率×有効長)を反比例配分した点であることがわかる。

以上の結果を踏まえ、剛心を説明する副教材を開発することとした。

2. 剛心を説明する副教材の開発

2.1 壁倍率の表現方法

加える力に比例して変形量が変化する標準バネ(定数0.0292kgf/mm)を1本で壁倍率1、5本で壁倍率5となるfig.4左のような仕組みの壁を考案した。使用した材料をtable 1に示す。

fig.4左の写真下のパネルは、梁で2枚の耐震壁が同じ壁倍率の時、式(3)より中央に窪み線、他の組み合わせの場合はスパンを倍率に反比例配分した位置に窪み線を設ける。fig.4中央は、力を加えて変形させている様子である。同じ変形量を得るのに壁倍率5の場合は、倍率1の5倍の力がかかる。

壁倍率1の定義は幅1m、縦3mの耐震壁の上部に1.96kN(200kgf)の横力を加えたときに1/120ラジアン(2.5cm)変形する壁だが、本実験装置は1本のバネを押し込んだ時を壁倍率1の状態と説明する。5mm縮めるのに約0.15kgf、壁倍率5では0.75kgfの力が必要となる。

<ul style="list-style-type: none"> 厚さ2mmのアクリル板 内径6mm外径8mmアクリル棒
<ul style="list-style-type: none"> 外径5mmの丸棒
<ul style="list-style-type: none"> 標準バネ (外径5mm 線径0.40mm 自由高さ20mm 許容荷重時高さ7.84mm 許容荷重0.355kgf 密着高さ4.8mm 総巻数11.0ばね定数0.0292kgf/mm (材質: JIS G 3522eのA種またはJIS G 4314のB種)-フセハツ工業製)

table 1 副教材の材料

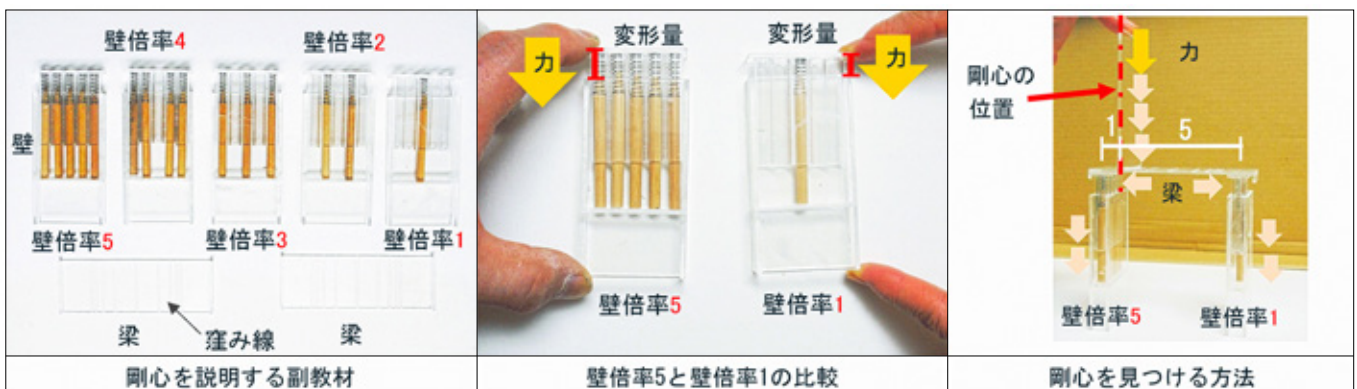


fig.4 剛心に関する副教材

2.2 体験的に剛心を見つける方法

本来は横力で、壁倍率は壁上部の変形を想定しているが、此の段階では倍率5と倍率1の壁を垂直に立て、その上に梁を乗せたシステムを組む (fig.4 右)。

この場合、柱の圧縮量が問題になる。そのため壁倍率5と壁倍率1の相違は、柱断面に反映される。

この時、剛心の位置は梁を1:5に配分などする点である。

小中学生に教える場合、梁を押している力(荷重)が梁を伝わり、両サイドの2本の柱(または2枚の壁)に伝わり、伝わった力に応じた反力を地球から得て、釣り合っていることの理解から始める必要がある。通常反力を求めようとする場合、柱の変形量は問題とせずに、釣り合いのモーメントで計算することができる。シーソーの原理と同じであり、上下が逆さになるために、わかりにくい側面もある。

2.3 地震力は重心に、その抵抗力は剛心に作用する

壁倍率が同じ2枚の壁の場合 (fig.5 左) と倍率が極端に違う2枚の壁の場合 (fig.5 中央) の耐震壁の挙動の実験を試みる。fig.5の各写真左側が耐震壁の剛心で支える力、写真右側が建物の重心にかかる地震力である。

重心と剛心が一致する fig.5 左の場合は両方の壁に地震力が伝わり、耐震壁は同じ方向に変形をしながら、地震に対抗する力を発揮している様子が実験をしている中学生の手に伝わってくる。

fig.5 中央の場合は、壁倍率5と壁倍率1の場合である。地震発生時のように剛心と重心の位置に「ぐっと」力を加えると、「ぐにゃっ」と即座に回転を始めることが体験できる。つまり、平行する同じ大きさの力が反対方向にかかり、偶力となる。どの耐震壁にも偶力のモーメントがかかることになる。次に、その偶力のモーメントの大きさを体験する。

fig.5 右は、壁倍率4と壁倍率2の場合である。先の実験のように「ぐっと」力を加えても、即座に「ぐにゃっ」とはならず或る程度、持ちこたえることができる感じが伝わってくる。

この感覚の違いを「考えさせる」ことが本体験キットの狙いである。

2.4 剛心と重心の離れ-偏心率について

地震に対して建物が強く安全であるということは、建物の重心と剛心が離れてはいけないということを前項では体験的に理解した。しかし、常に重心と剛心を完全に一致させなくては建物が建てられないかと言えば現実にはそうではないことも説明する必要がある。建築講座では「耐震壁のバランスを考える」という表現で生徒達に伝えている。例えば、テニス選手や野球選手がボールをヒットする時にラケットやバットのある範囲内に当てれば、強いボールが打てること、その

範囲をスウィートスポットと呼ぶことを参考として説明ができるが、もう少し具体的に理解する方法はないのか検討を試みた。

2.5 ねじり剛性ということを説明し、体験する

一級建築士の領域での解説はどのテキストにも掲載されているが、これは中学生にもわかる説明方法へのチャレンジである。耐震壁のねじり剛性の定義は以下である。

有効長さ(倍率×長さ)×剛心との距離の二乗

建物の階のねじり剛性は各耐震壁のねじり剛性の総和となる。fig.6 左の左側の壁が倍率D1と長さL1、右の壁がD2とL2とする。左の壁、剛心、右の壁のX座標をX1, Xc, X2とすると(2)式より

$$X1 * (D1 * L1) * 200 \text{kgf} + X2 * (D2 * L2) * 200 \text{kgf} = Xc * (D1 * L1 + D2 * L2) * 200 \text{kgf}$$

ここで具体的な力の200kgfは省略でき、

$$(Xc - X1) * D1 * L1 + (Xc - X2) * D2 * L2 = 0$$

$$(Xc - X1) * D1 * L1 = (X2 - Xc) * D2 * L2 = Fx \quad (4)$$

fig.6の2枚の耐震壁のねじり剛性は

$$D1 * L1 * |Xc - X1|^2 + D2 * L2 * |X2 - Xc|^2 \quad (5)$$

(5)式に(4)式を代入すると

$$Fx * (Xc - X1) + Fx * (X2 - Xc)$$

$$= Fx * (Xc - X1 + X2 - Xc)$$

$$= Fx * (X2 - X1) \quad (6)$$

$$= Fx * Lx \quad (7)$$

この時Fxを力と考えることができれば、上式は2枚の平行する壁にFxなる相反する偶力がかった時の偶力のモーメントと同じになる。また、Fx/Lxは剛心に力がかかる時、左右両方の耐震壁の変形を同じくするように配分された力に距離の2乗をかけたものと見ることできる。

Y方向の2枚の壁も同様に考えると、4枚の耐震壁に囲まれた建物のねじり剛性Kは

$$K = Fx * Lx + Fy * Ly \quad (8)$$

と表すことができる。

ここでD1*L1 + D2*L2 = aとおき、D1*L1をx*a(ただし0 < X <= 0.5)、2枚の壁の距離をLx(fig.6左)、剛心の座標をXcとする。

試作した模型のFxを求める。もう一度(3)式

$$Fx = D1 * L1 * (Xc - X1) = (X2 - Xc) * D2 * L2$$

$$X * a * Xc = (Lx - Xc) * (a - X * a)$$

$$X * a * Xc = Lx * a - a * Xc - Lx * X * a + X * a * Xc$$

$$Xc = Lx * (1 - X)$$

$$Fx = a * X * (1 - X) * Lx \quad (9)$$

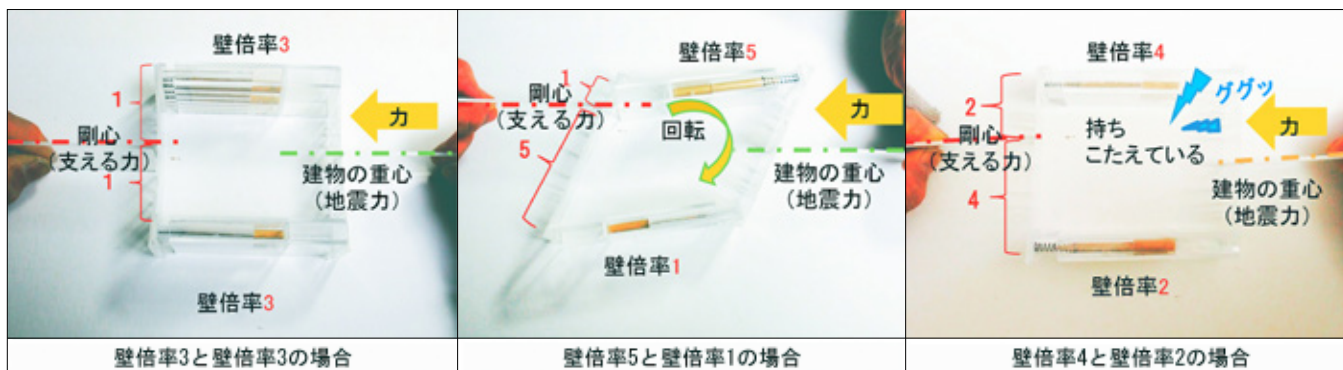


fig.5 各壁倍率の予備実験

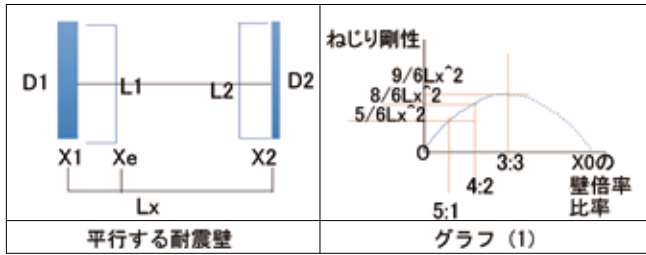


fig.6 剛心の定義

簡単のために y 方向の耐震要素をはずして考えると、

$$K = F_x * L_x = a X * (1 - X) * L_x^2 \quad (10)$$

(10) 式を模型の場合に当てはめると

$$a = 6$$

$$K = 6X * (1 - X) * L_x^2$$

ここで、fig.6 左の耐震壁のバランスを (5:1)、(4:2)、(3:3) と具体的に置くと、

X は 5/6, 4/6, 3/6。F_x*L_x(ねじり剛性)は 5/6*L_x²(fig.5 中央)、8/6*L_x²(fig.5 右)、9/6*L_x²(fig.5 左) となり、重心と剛心が近づくほど値は大きくなり、左右の壁倍率が等しくなる時 (3:3) ねじり剛性は最大値をとる。その時の剛心は重心と重なる。

fig.6 右のグラフ (1) は左右壁の壁倍率の比を 0 から 1 まで連続的に動かしたグラフとなる。ねじり剛性が 0 となるのは左と右の両方に耐震要素を集中した時である。

初心者としての中学生がねじり剛性を直感的に理解するためにどのような説明ができるのかを考える。

(10) 式をいかに理解するかであるが書き換えてみる。

$$K = C * X * (1 - X) \quad C = a * L_x^2 \text{ (定数)}$$

左右の壁のバランスが良いほど、回転に対抗でき、最も良いのが左右の耐震壁の能力が一致した時で建物の重心に偏りがなければ、剛心と重心が一致する時でもある。

Y 方向の要素も加えると

$$K = C * X * (1 - X) + D * Y * (1 - Y) \quad D = \beta * L_y^2$$

β は Y 方向の耐震要素の総量

L_y は Y 方向の耐震壁距離

Y 方向についても、壁倍率が左右等しくなればねじり剛性は最高値となることには変わらない。

2.6 弾力半径の概念から偏心率の説明を試みる

弾力半径 R の定義は以下である。

$$R = \sqrt{K / (D1 * L1 + D2 * L2)} \quad (11)$$

ここでも簡単のために Y 方向の耐震壁を除いて考える。

(11) 式に (10) 式を代入すると

$$R = \sqrt{a X * (1 - X) * L_x^2 / a} \\ = L_x * \sqrt{X * (1 - X)}$$

弾力半径は 2 枚壁間隔に比例し、2 枚の壁の耐震要素の比率により変化するもので耐震壁の強度には関係ない。つまり弾力半径も耐震壁のバランスによって決定される。バランスは剛心の位置に反映される。

また、重心の位置に関して通常の場合は、真ん中と想定されるので、偏心距離は通常 (3) 式から導くことができる。

$$(x1 - x_e) / (x_e - x2) = (D2 * L2) / (D1 * L1) \text{ において、} X1 = 0, X2 = L_x, \\ (D2 * L2) / (D1 * L1) = (1 - X) / X \text{ とすると、}$$

$$\neg X_e / (X_e - L_x) = (1 - X) / X$$

$$(X_e - L_x) * (1 - X) = -X * X_e$$

$$X_e - L_x - X * X_e + X * L_x = -X * X_e$$

$$X_e - L_x + X * L_x = 0$$

$$X_e = L_x * (1 - X) \quad (12)$$

X = 1/2 の時つまり、両側に同じ耐震要素がある場合、R は最大値をとり、重心と剛心は重なる。ここで重心と剛心の離れを ε とすると、(13) 式から

$$\varepsilon = X_e - L_x / 2$$

$$= L_x - L_x * X - L_x / 2$$

$$= L_x * (1/2 - X) \quad (14)$$

(14) 式は 2 枚の耐震壁の比が等しくなる時 (X = 1/2) 偏心距離が 0 になり、X が限りなく 0 に近づく剛心は限りなく原点から離れ、耐震壁が集中する右側に近づくことを示すものである。

また偏心率の定義は以下となる。

$$\text{偏心率 } R_{ex} = \text{偏心距離} / \text{弾力半径}$$

$$= L_x * (1/2 - X) / L_x * \sqrt{X * (1 - X)}$$

$$= (1/2 - X) / \sqrt{X * (1 - X)} \quad (13)$$

ここで指摘できることは、偏心率が耐震壁のバランスで決定されることである。

偏心率の許容値は 0.3 以下、推奨値は 0.15。その時のバランスを求めると。

$$(1/2 - X) / \sqrt{X * (1 - X)} < 0.3 \quad (0.15) \quad (14)$$

$$0 < X < 1/2$$

$$(1/2 - X)^2 / X * (1 - X) < 0.3^2 \quad (0.15^2)$$

$$X^2 - x + 0.25/1.09 < 0 \text{ または } x^2 - x + 0.25/1.0225 < 0$$

上の解を求めると

$$\text{許容値 (0.3) の場合 } 0.356 < x < 0.5$$

$$\text{推奨値 (0.15) の場合 } 0.426 < x < 0.5$$

また、Y 方向のねじり剛性を考慮した場合を考える。

仮に Y 方向の壁倍率も x 方向と同様とすると K (ねじり剛性) は大雑把に言って 2 倍、弾力半径は √2 倍 (1.414 倍) になる。そのため (14) 式は

$$(1/2 - X) / \sqrt{2X * (1 - X)} < 0.3 \quad (0.15)$$

$$(1/2 - X)^2 / X * (1 - X) < 0.3^2 \quad (0.15^2) * 2$$

$$\text{許容値 (0.3) の場合 } 0.305 < x < 0.5$$

$$\text{推奨値 (0.15) の場合 } 0.396 < x < 0.5$$

具体的には下記の通りになる。

$$X = 1/2 \text{ の時 } R_{max} = 1/2 * L_x$$

$$\varepsilon = 0$$

$$R_{ex} = 0$$

$$X = 1/3 \text{ の時 } R = \sqrt{2/3} * L_x$$

$$\varepsilon = (1/2 - 1/3) L_x = 1/6 * L_x$$

$$R_{ex} = 1/6 * 3 / \sqrt{2} = 0.354$$

$$X = 1/6 \text{ の時 } R = L_x * \sqrt{5/6} = 0.373 L_x$$

$$\varepsilon = (1/2 - 1/6) L_x = 1/3 * L_x$$

$$R_{ex} = 1/3 * 6 / \sqrt{5} = 0.894$$

耐震壁の効用、耐震壁のバランスの良い配置、バランスをチェックする指標などを建築の初心者にわかりやすく説明する方法を模索した。建築の仕組みや原理を直感的に理解するために、視覚化をはかり、自分で体験することを念頭に、建築講座を実践する中でよりよい説明方法を構築する。

以上の提案から教材の試作を重ね、副教材を用いた建物の耐震性能を説明する方法について確かめた。

3. 1/10組立住宅模型と副教材を活用した建築講座の実践

3.1 建築講座の概要

2021年に長岡市内の小学5年生～中学2年生合計9名（1日目：11月8名【小学生5名、中学生2名、保護者1名】、2日目：12月9名【小学生7名、中学生2名】）を対象に科学探求塾全5回のうち建築講座「地震に強い木造住宅のしくみを探求しよう」にて2回実施した。科学探求塾とは、長岡市が主催した科学への好奇心が強い児童生徒を対象に学校では体験できない研究施設や探究活動を提供することで、科学技術への関心を高め、課題解決能力の育成を図るために実施されている。全5回のうち建築講座が2回企画された。

私たちは、小中学生が日頃学ぶ科学や数学の原理が、建物の安全性に関する仕組みとして応用されていることを知ってもらいたいと考え建築講座を実施した。

場所は長岡市教育センターの1室である。科学に興味が高い小中学生（以下、受講生と称する）が参加した。時間は2時間30分（9:30～12:00）で2日間の講座である。原則、受講生1名が1台の1/10模型を用いて、合計8台から9台となり、講師4名がサポートした。講座前の知識と講座後の理解度、感想を確認するため、講座前後にアンケート調査を行い、回収率は100%である。

3.2 建築講座の方針

受講生の科学や数学の基礎知識が異なる現状を踏まえ、以下のように建築講座の方針を定めた。

・第一段階（身近な例で興味を高める）

まず竿秤を使用してつり合いやシーソーを参考にイメージできるようにする。三角形の重心をみつける副教材①や三角形の強さを説明する副教材②を使って興味を高める。

・第二段階（剛心を簡単に分かりやすく）

耐震壁のバランスに関して剛心を説明する副教材③を用いてバネの伸縮の変化を可視化し理解しやすくする。

・第三段階（壁の安定・不安定を実感）

耐震壁のバランスで大事なこととして壁倍率という強さの違いが関

係していること、重心と剛心が関係していることなど副教材と1/10模型で実感してもらう。

・第四段階（楽しく実感できる体験）

耐震壁のバランスを副教材や1/10模型で設計、組み立て、振動実験を繰り返し何度も行うことにより、受講生が自分なりに考えて体験することで直感的な理解ができるようにする。

以上の四段階で1/10模型と副教材を用いて建物の耐震性能に関する建築の仕組みと科学や数学と関連付けて説明することにより、通常授業で習う内容と建築の仕組みが密接に関係していることを理解できるようにする。

3.3 建築講座の内容

建築講座の内容の詳細は、table 2に示す。教育方法は、科学と数学、建築4領域を交互に関連付け総合的に展開する。

1日目は、まず重心と支点を考える。重心と支点とは、地球上の物体は地球と引き合っていることを説明する。物体の重心の見つけ方について、副教材①を活用する。副教材①とは、三角形を垂直にして一点で吊るし、地球の重心に真っ直ぐにつながる直線上に重心が存在することを解説する。鉛直線を書く作業を2点行うことで重心は確定する。この作業と学校で習う三角形の重心の定理を結びつけて解説する。

次に重心と鉛直線の関係を体験する。

はじめに1本の柱を自立させるためには、柱の重心が、柱と土台が接する面内にあることが必要である。

その上に三角形の屋根を設置する。屋根の重心が、まっすぐに建てられた柱と、屋根の接する面の内にあることが必要である。重心がないとき、屋根を支えるためには、柱と屋根、柱と地面の接点を工夫することが必要なことを体験する。

他に副教材②で三角形の強さを体験する。副教材②は、土台2か所に梁部材をピン接合で接続することができる。底辺（土台）を含め部材3本で四角形、部材4本で五角形などの図形をつくることできる。しかし、できた図形は不安定な状態のため対角線上に梁部材を設置しない限り目指す図形は成立しない。つまり図形内部に三角形をつくることで図形が安定な状態になることを理解するための副教材となっている。副教材③で剛心を学習し、その後1/10模型で1間幅の門型と1坪の架構体で、ピン接合の不安定な状態と筋かいを設置した安定な

1日目 (重心と剛心、耐震構造)			2日目 (平面図の発表、2階建てを組み立てる)		
科目と建築4領域	内容	写真	科目と建築4領域	内容	写真
科学	①アンケート (知識)		科学	①アンケート (知識)	
	②質量と引き合う力 ・重心と支点 (副教材①) ・つり合い			②前回の復習 ・柱の重心 (自立) ・つり合い ・三角形の重心 (副教材①) ―三角形の屋根と1本柱 ―三角形の屋根と3本柱	
数学	③三角形の強さ (副教材②) ・支点 ・重心の見つけ方		数学	③三角形の重心 ・図形の重心	
	④剛心 (副教材③) ・強さの中心の見つけ方			④2階建て平面図の発表 ・受講生が考えた平面計画の発表 ・講師から質問、受講生が返答	
構造	⑤課題 (副教材①) ・自立した構想体を組立		構造	⑤課題 (副教材①) ・自立した構想体を組立	
	⑥耐震構造 (1/10模型) ・門型を組立 →ピン接合の不安定状態 →筋かいを設置で安定状態 ・1坪の架構体を組立 →ピン接合の不安定状態 →筋かいを設置で安定状態			⑥剛心 (副教材③) ・強さの中心の見つけ方	
施工	⑦アンケート (理解度・感想)		施工	⑦アンケート (理解度・感想)	
	⑧アンケート (理解度・感想)			⑧アンケート (理解度・感想)	
			環境	⑨アンケート (理解度・感想)	

table 2 建築講座の内容

状態について体験して解説した。最後に自分の住みたい家を1日目講座後に宿題として次回までに考えてもらった。

2日目は、1日目の復習からはじめた。重心とつり合いを建築の柱と屋根を用いて体験した。次に2階建て住宅平面図を全員の前で発表したのち、平面図を見ながら1/10模型を用いて組み立てた。耐震要素（筋かいなど）を設置していない柱と梁のみの軸組構造を振動実験で不安定な状態を観察した。さらに窓と耐震壁のバランスを考えながら再度振動実験で強度を確認する。模型内に1/10家具を設置し、避難経路の確保や太陽軌道装置を使った採光状況も確かめた。

2日間の講座内容は、副教材や1/10模型で門型から2階建てで徐々に扱うサイズを大きくする。重心、支点、剛心を繰り返し何度も体験して実感させ、科学の基礎が建築で応用されていることを伝えた。

3.4 小中学生の知識

講座前の受講生に対して科学や建築に関する知識について「下記の内容について知っていますか」と問いかけた結果をfig.7上に示す。1回目の講座前に「科学と建築の関係」に関して「少し知っている」と「全然知らない」が8名中3名で最も多かった。科学と建築の関係についてほぼ知らないことが確認できた。

また、科学の「重心」や「つりあい」は「少し知っている」が8名中4名であった。学習有無を含め、あまり自信がない様子が見受けられる。数学の三角形について「よく知っている」と「少し知っている」が8名中それぞれ3名で知っている側が8名中6名だった。三角形はすでに知識として定着していることが分かった。

次に、2日目の講座前に建築の「耐震構造」と「重心と剛心」の知識についてfig.7下に示す。「耐震構造」に関して「よく知っている」が9名中3名、「少し知っている」が9名中1名で知っている側が9名中4名で約半数だった。これは、地震災害の多さから耐震構造の関心の高さや教科書に掲載されていることが知識として影響したと考えられる。「質量と引き合う力」に関して「少し知っている」が9名中3名、「モーメント（回転力）」と「重心と剛心」に関して「よく知っている」が9名中1名だった。モーメント、重心と剛心についてほぼ知らないことが分かった。

以上のアンケート調査の結果から講座前の受講生は、科学と建築の関係や建築の安全な仕組みについてほぼ知らないことを確認した。

3.5 三角形の強さを応用させた作品の傾向

副教材②を用いた受講生一人一人に自由な図形をつくらせた。その図形に三角形を構成することで安定な状態になる作品づくりを出題した。まず、ピン接合で横力（地震力）を受けた場合、接合部の角度が変形して不安定な状態になる。部材4本の四角形や部材5本の五角形（fig.8左上）の場合、グラグラ揺れて安定しない。どの図形でもピン接合の場合、形が変更することを体験したのち、安定させるためには角度を確定させる。そのために五角形の中に三角形をつくる（fig.8右上、fig.8左下）。従ってピン接合でも三角形をつくることで構造体が安定する体験学習の後に「自立した構造体の作品」を受講生に課題をだし10分間で完成させてもらった。完成作品をfig.8右下に示す。作品例は正三角形を積み重ねピラミッド型を2個並べている。

受講生の作品傾向は、どの作品も三角形を繋げることで安定した構造体を構成させていた。三角形の強度を事前に何度も繰り返し体験したことで三角形の強さを意識して作ったことがうかがえる。8名の受講生全員が違う形で作品をつくっており、安定な状態の基礎が理解できたことで応用できたのではないかと考える。

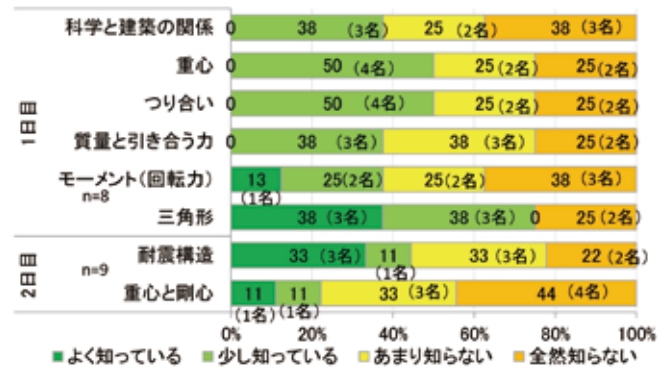


fig.7 講座前の受講生の知識の有無



fig.8 副教材②を使った受講生の作品例

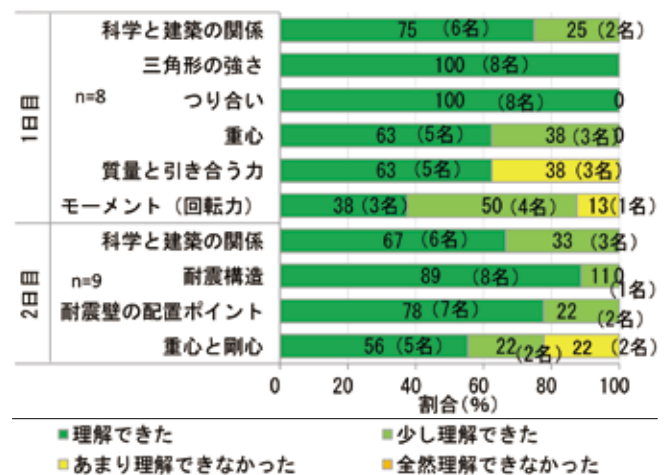


fig.9 1日目と2日目の講座後の理解度

3.6 建築講座後の理解度

1回目の講座後のアンケート調査で理解できた割合をfig.9上に示す。「科学と建築の関係」に関して、「理解できた」人が8名中6名で高い結果だった。概ね科学の理論と建築の仕組みを体験的に理解できたと考えられる。

次に「三角形の強さ」と「釣り合い」に関して「理解できた」人は8名中8名で全員だった。これは、副教材で自立させた構造体の体験や1/10模型を使った筋かいの耐震構造の体験により安定した状況を実感できたことで理解が高かったと考えられる。また、「重心」と「質

量と引き合う力」について「理解できた」人が8名中5名で約半数以上だった。講座前で「少し知っている」と答えた8名中3～4名と2～3名が講座後に「理解できた」と回答した可能性が考えられる。一方、モーメント（回転力）は「理解できた」人が8名中3名だった。講座前に知っている側3名（よく知っている1名＋少し知っている3名）が理解できたといえる。「少し理解できた」は4名で理解できた側は8名中7名だった。少し理解できた人が多かったことは、モーメント（回転力）が、やはりイメージしにくく難しかったと思われる。今後は体験方法や説明の追加に課題が残った。

2回目の講座後のアンケート調査で理解できた割合をfig.9下に示す。「科学と建築の関係」に関して、「理解できた」人が9名中6名で1日目とほぼ同じ結果だった。2日連続で科学と建築を関連付けたことで理解できたと考えられる。一方2日目は、1日目より科学の話が少なかったため理解できた人が増加しなかった可能性もある。

次に「耐震構造」に関して「理解できた」人は9名中8名で多い結果だった。これは、三角形の強さ、建物の耐震性能について1/10模型と副教材で繰り返し何度も体験、実感したことにより耐震構造の理解が深まったと考えられる。また、講座前に「よく知っている」人が9名中3名いたため理解しやすかった可能性もある。

耐震構造にするため耐震壁の配置ポイント（耐震壁のバランス）について「理解できた」人が9名中7名だった。副教材で体験したことにより概ね理解できたと考えられる。また、建物を安定させるためには重心と剛心を一致させることなど「重心と剛心」について「理解できた」人が9名中5名で約半数以上だった。もう少し検討する必要がある。

3.7 講座後の感想と具体的な感想内容の傾向

1日目と2日目の講座後のアンケート調査で「面白かった」と回答した受講生は全員だった。面白かった理由をfig.10に示す。1日目は、「科学と建築の関係」が8名中7名だった。これは、繰り返し科学の理論を建築の仕組みと関連付けて体験したことで「面白かった」に繋がったと考えられる。また、「三角形の強さ」と「模型体験」が8名中6名面白かったと答えた。強さの実感や模型でイメージできたこと、確認したこと、理解できたことが面白さになることがうかがえる。

2日目は、面白かった理由として「模型の組み立て」が8名中6名回答した。1/10模型を組み立て、模型内に家具を配置した空間イメージ、耐震壁のバランス、光環境を確かめたことで今までの集大成として達成感を得られ面白かったと考えられる。

また、講座後の具体的な感想内容をtable 3に示す。

1日目の講座後の感想の傾向は、「難かしい話だけど分かりやすかった、理解できた、楽しかった」など、難しさを感じつつ分かったという実感を得ていることが確認できた。また、「三角形の強さを知った」など理解できた内容として三角形を挙げている受講生が多いことも分かった。

2日目の講座後の感想の傾向は、耐震構造、壁の強度、重心、筋かい、耐震壁の配置（耐震壁のバランス）について理解できたことを挙げている受講生が多い。また、光環境や設計図など建築の総合的な視点や1/10模型の組立の難しさと楽しさを実感していたこともうかがえた。

以上の傾向から建築を初めて学ぶ小中学生に対して建物の安全性と科学や数学を関連付けること、副教材や1/10模型で繰り返し体験学習することで理解や楽しさを得ていることが確認できた。

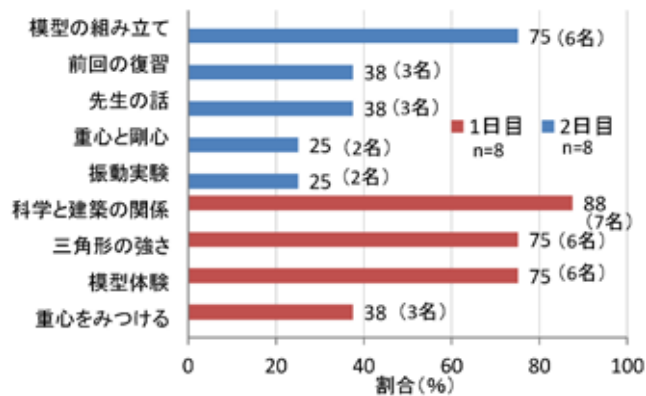


fig.10 1日目と2日目の面白かった理由

table 3 1日目と2日目の講座後における受講生の感想

1日目の講座後の感想	2日目の講座後の感想
<ul style="list-style-type: none"> ・難かしい話などがあってこんがらしたけど模型や三角形の強さを確かめる実験などがあってとても分かりやすかったです。また参加したいと思った。 ・三角形の強さを初めて知った。つり合いが難しかった。 ・ぼくがわかったことは、いろいろな形のゆれないやり方が分かりました。 ・とても難しそうに見えるが「三角形」という考え方を知れば理解できよかったです。 ・今日の授業で1もんめ=3.75gで5円と同じだと分かったり、昔のいろんな単位を学べてよかったです。引き合う力やいろんなことを学べてよかったです。 ・むずかしかったことは小学校では習わない言葉などが出てきたりしてとても難しかったです。あらためて三角形はとてゆれに強いことがわかりました。 ・どうすれば三角形をしきつめればいいか難しかったけど、すごく楽しかったです。 ・重心についてがとても難しかったけど、理解できた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・1/10模型の組立が難しかったけど楽しかった。 ・耐震構造について全然分からないところも、少し分かりました。本当にありがとうございました。 ・柱を最初に置くのは、壁や床をしきつめのために置いたということが分かった。光を家に入れて入れるのか考えるのが難しく感じました。 ・壁の強度を左右同じようにしなければいけない。筋かいの使い方も。 ・重心について分かった。 ・柱の他にかべや三角形をいれないととてもぐらぐらしたいということが分かった。設けたい図は未来の家に使っていきたい。 ・耐震へのはちがよくなりました。

まとめ

小中学生を対象に建物の耐震性能を説明する副教材の開発し、副教材や1/10模型を用いて建築講座を実施した。受講者からアンケート調査や感想文の内容から理解度と有効性について確認した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 耐震壁のバランスの良い配置を直感的な理解を期待するものとして体験型の実験装置の副教材を開発した。加える力に比例して変形量が増えるバネ1本で壁倍率1などの仕組みの壁を考案した。この副教材を使った教育方法を構築した。
- 2) 「耐震構造」に関して「理解できた」人は9名中8名だった。これは、三角形の強さ、建物の耐震性能について1/10模型と副教材で繰り返し何度も体験、実感したことにより耐震構造の理解が深まったと考えられる。
- 3) 「重心と剛心」は「理解できた」人が約半数、「面白かった」人が少なかった。重心と剛心について、教材の使い方やスライドでの視覚化による説明の追加などを今後検討する必要がある。
- 4) 講座後の感想傾向は、耐震構造、壁の強度、重心、筋かい、耐震壁の配置（耐震壁のバランス）について理解できたこと挙げている受講生が多かった。
- 5) 小中学生に建物の安全性と科学や数学を関連付けること、副教材や1/10模型で繰り返し体験学習が有効であることを確認した。

謝辞

長岡市教育センター担当の方々、小中学生の方々のご理解と多大なるご協力を得ました。ここに感謝の意を表します。さらに、建築講座の実施に当たり、新潟大学の飯野由香利教授、長岡造形大学の小川峰夫元教授、上山寛元非常勤講師、角田一豊さん、新潟工科専門学校の木原隆明非常勤講師の協力なくして本講座は円滑な進行はできませんでした。ここに深謝の意を表します。なお、本研究は、2020年にニッセイ財団「児童・少年の健全育成助成（実践的研究助成）」、「令和3年度内田エネルギー科学振興財団 科学技術知識普及事業費助成」に関する研究助成事業の助成を受けました。

参考文献

- 1) 後藤哲男、広川智子：小中学生を対象に建物の耐震性能を説明する副教材の開発－基礎教養における初期建築教育の方法に関する研究 その16－、日本建築学会北陸支部研究報告集、Vol. 65、2022.
- 2) 広川智子、後藤哲男：1/10組立住宅模型を用いて小中学生に科学と関連付けた建築講座の効果の検証－基礎教養における初期建築教育の方法に関する研究 その17－、日本建築学会北陸支部研究報告集、Vol. 65、2022.
- 3) 後藤哲男、広川智子：基礎教養における初期建築教育の方法に関する研究 その16：耐震壁のバランスを説明する副教材の開発と教育方法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、Vol. 65、pp. 7-8、2022.
- 4) 広川智子、後藤哲男：基礎教養における初期建築教育の方法に関する研究 その17：小中学生を対象に科学と数学を関連付けた建築講座の効果の検証、日本建築学会大会学術講演梗概集、Vol. 65、pp. 9-10、2022.