

SETUP DRILL 04

剛体のつり合い 設定別ドリル

「大きさのある物体が動かない」設定を5つに分けた。
使う道具は毎回**3本だけ** —— 水平のつり合い・鉛直のつり合い・どこか1点のまわりのモーメントのつり合い。
差がつくのは**どの点をモーメントの中心に選ぶか**。そこを5回確かめる。

使い方

- 1周目** 設定の見出しと公式を読んでから5問続けて解く。
- 2周目** 解く前に「**どの点まわりで取るか**」を先に宣言してから式を立てる。
- 3周目** 見出しを隠して、どの設定かを言い当ててから解く。
- 重力加速度は g 。棒・板は一様（重心は中央）とする。

1章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

2章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

3章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

4章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

5章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

問題編

解説は後半にまとめてある。先に見ないこと。

力を全部描いてから式を立てる。

SETUP 01

棒を壁に立てかける（はしご）

記号の約束

L 棒の長さ M 棒の質量 θ 棒と水平面のなす角 N 壁からの垂直抗力 N' 床からの垂直抗力 f 床の摩擦力

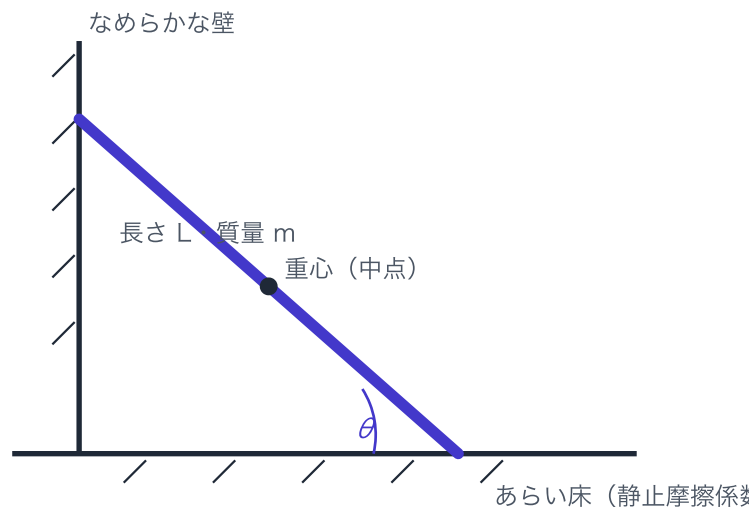
この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「壁に立てかけた」「はしご」
2. → 力は4つ：重力・壁の垂直抗力・床の垂直抗力・床の摩擦
3. → 床との接点をモーメントの中心に選ぶ（未知数2つが同時に消える）

この設定で使う公式

- 水平： $N = f$ / 鉛直： $N' = Mg$
- 床の接点まわり： $N \cdot L \sin \theta = Mg \cdot \frac{L}{2} \cos \theta$
- → $N = \frac{Mg}{2 \tan \theta}$
- 滑らない条件： $f \leq \mu N'$ → $\tan \theta \geq \frac{1}{2\mu}$

質量 M 、長さ L の一様な棒を、なめらかな鉛直の壁に立てかけた。棒は水平面と角 θ をなす。



なめらかな壁に立てかけた一様な棒

1. 棒にはたらく力をすべて挙げよ。
2. 壁からの垂直抗力を求めよ。

1-2 床からの力 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ設定で、床からはたらく力について答えよ。

1. 床からの垂直抗力を求めよ。
2. 床からの摩擦力を求めよ。
3. 床からはたらく力の合力の大きさを求めよ。

1-3 滑らない条件 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

床と棒の間の静止摩擦係数を μ とする。棒が滑り出さないための条件を考える。

1. 滑らないための条件を μ 、 θ で表せ。
2. 棒を立てるほど (θ を大きくするほど) 安定になるか。

1-4 人が登る ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ棒（はしご）の、下端から距離 d の位置に質量 m の人が立った。

1. 壁からの垂直抗力を求めよ。
2. 人が上るほど滑りやすくなるか。

1-5 壁にも摩擦 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

壁にも摩擦がある場合を考える。

1. 棒にはたらく力はいくつになるか。
2. このとき未知数と式の本数を比べて何が言えるか。

SETUP 02

棒を2点で支える（シーソー・天びん）

記号の約束

L 棒の長さ M 棒の質量 m おもりの質量 N_1, N_2 2つの支点からの力

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「2つの支点」「2本の糸で吊るす」
2. → 未知数は2つの支える力
3. → 片方の支点まわりで取ると、もう片方が一発で出る

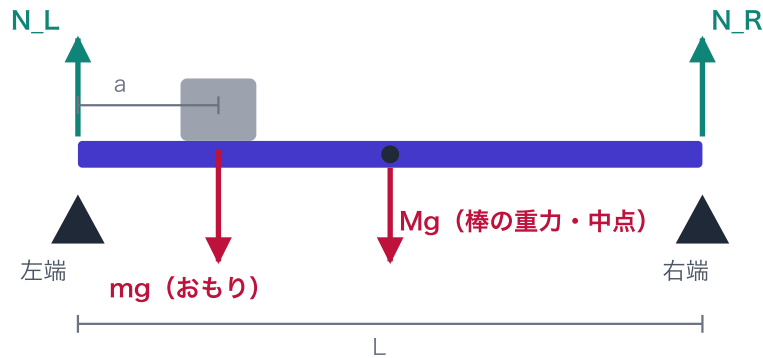
この設定で使う公式

- 鉛直： $N_1 + N_2 = (\text{全部の重さ})$
- 支点1まわり： $N_2 \cdot L = \Sigma(mg \times \text{支点1からの距離})$
- 知りたくないほうの力を通る点を中心に選ぶ

2-1 2支点 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 M 、長さ L の一様な棒の両端 A、B を支えた。A から距離 d の位置に質量 m のおもりを置く。



両端を支えた一様な棒

1. A が支える力を求めよ。
2. B が支える力を求めよ。

2-2 確かめ ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

前問の結果について答えよ。

1. $d = 0$ (A の真上) のとき N_A 、 N_B はどうなるか。
2. $d = L/2$ (中央) のときはどうか。

2-3 つり合う位置 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 M 、長さ L の一様な棒を、左端から距離 x の1点で支えた。左端に質量 m_1 、右端に質量 m_2 のおもりを吊るしたところ、棒は水平につり合った。

1. 支点まわりのモーメントの式を書け。
2. x を求めよ。

2-4 浮き上がる ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

長さ L 、質量 M の一様な板を、左端 A と、左端から距離 $\frac{3L}{4}$ の点 B の2点で下から支えている。板の右端に質量 m のおもりを静かに載せていく。

1. A が支える力を求めよ。
2. A から板が浮き上がる条件を求めよ。

2-5 棒の重さを求める ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

長さ L の一様な棒の両端 A、B を支えたところ、A が支える力は F_A 、B が支える力は F_B だった。

1. 棒の質量を求めよ。
2. 棒の重心は A から測ってどこにあるか。

SETUP 03

壁から突き出た棒を糸で支える

記号の約束

T 糸の張力 θ 糸と棒のなす角 R 壁のちょうつがいからの力

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「ちょうつがい」「壁に取り付けた棒」「糸で支える」
2. → ちょうつがいの力は向きも大きさも不明（未知数2つ）
3. → ちょうつがいを中心に選べば、それが丸ごと消える

この設定で使う公式

- ちょうつがいまわり： $T \sin \theta \cdot L = Mg \cdot \frac{L}{2} + mg \cdot d$
- → 張力は水平・鉛直に分けず、腕の長さ×垂直成分で扱う
- ちょうつがいの力は最後に水平・鉛直のつり合いから出す

3-1 張力 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

鉛直な壁のちょうつがい A から水平に、質量 M 、長さ L の一様な棒が突き出ている。棒の先端 B と壁の上方の点を糸で結び、糸は棒と角 θ をなしている。

1. なぜちょうつがいまわりでモーメントを取るとよいか。
2. 糸の張力を求めよ。

3-2 おもり付き ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ設定で、棒の先端 B に質量 m のおもりを吊るした。

1. 糸の張力を求めよ。
2. θ を小さくすると張力はどうなるか。

3-3 ちょうつがいの力 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 M 、長さ L の一様な棒が水平に突き出ており、先端の糸が棒と角 θ をなす（おもりなし）。

1. ちょうつがい棒に及ぼす力の水平成分を求めよ。
2. 鉛直成分を求めよ。

3-4 糸の位置 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ棒で、糸を先端 B ではなく、A から距離 $\frac{2L}{3}$ の点に付け替えた。糸と棒のなす角は θ のままとする。

1. 張力を求めよ。
2. 先端に付けた場合と比べてどうか。理由も述べよ。

3-5 斜めの棒 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ちょうつがい A から、水平と角 α をなす向きに質量 M 、長さ L の一様な棒が斜め上に突き出ている。先端 B に鉛直な糸をつけて支えている。

1. 重力のモーメントの腕の長さはいくらか。
2. 糸の張力を求めよ。

SETUP 04

重心を求める（組み合わせ・切り抜き）

記号の約束

x_G 重心の位置 m_i 各部分の質量 S 面積

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「一様な板」「くり抜いた」「2つの物体をつないだ」
2. → 面積（体積）がそのまま質量の比
3. → くり抜きは負の質量として足す

この設定で使う公式

- $x_G = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$
- 一様な板なら $m \propto S$ （面積）
- くり抜き： $x_G = \frac{S_{\text{全}}x_{\text{全}} - S_{\text{穴}}x_{\text{穴}}}{S_{\text{全}} - S_{\text{穴}}}$

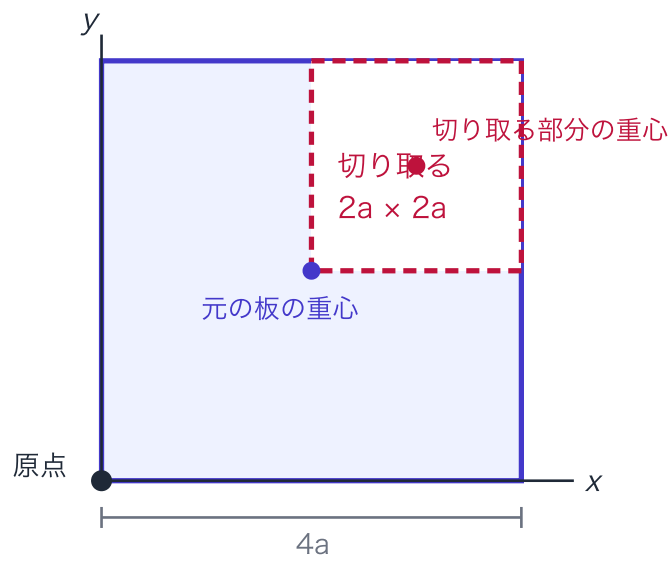
4-1 2つの棒 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 m 、長さ L の一様な棒と、質量 $2m$ 、長さ L の一様な棒を、一直線につないで長さ $2L$ の棒にした。

1. 軽いほうの端から測った重心の位置を求めよ。

半径 R の一様な円板から、中心から距離 $\frac{R}{2}$ を中心とする半径 $\frac{R}{2}$ の円をくり抜いた。



円板から小円をくり抜く

1. 元の円板と穴の面積の比を求めよ。
2. 残った部分の重心の位置を求めよ。

4-3 L字板 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

一様な厚さの板を、1辺 a の正方形2つをL字に並べた形に切り出した。L字の角にあたる正方形の左下を原点とし、右向きに x 軸、上向きに y 軸を取る。正方形は「原点の正方形」と「その右隣の正方形」の2つとする。

1. 重心の x 座標を求めよ。
2. y 座標を求めよ。

4-4 三角形 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

一様な直角三角形の板がある。直角をはさむ2辺の長さは b (水平) と h (鉛直) で、直角の頂点を原点とする。

1. 重心の x 座標を求めよ。
2. この板の直角の頂点を支点として指1本で支えられるか。

同じ大きさ・同じ質量の一樣なれんがを、机の端から少しずつずらして2個積み上げる。れんがの長さを L とする。

1. 上のれんがが下のれんがから落ちない条件を書け。
2. 2個まとめて机から落ちない条件を書け。

SETUP 05

倒れるか、滑るか

記号の約束

a 物体の幅 h 物体の高さ μ 静止摩擦係数

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「直方体を押す」「倒れるか滑るか」
2. → 2つの条件を別々に計算して、先に起こるほうを答える
3. → 倒れる＝接地面の前端まわりのモーメントで判定

この設定で使う公式

- 滑り出す： $F > \mu mg$
- 倒れ出す：垂直抗力の作用点が前端に達する
- $F \cdot h_F = mg \cdot \frac{a}{2}$
- 小さいほうの F が先に起こる

5-1 倒れる条件 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

幅 a 、高さ h 、質量 m の一様な直方体が水平な床の上にある。上端に水平な力 F を加える。

1. 倒れるとしたら、どの点を軸に回るか。
2. 倒れ始める F を求めよ。

5-2 どちらが先か ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ直方体で、床との静止摩擦係数を μ とする。上端を水平に押していく。

1. 滑り出す F を求めよ。
2. 倒れるより先に滑る条件を求めよ。

5-3 押す高さ ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ直方体を、床から高さ y の位置で水平に押す。

1. 倒れ始める F を y で表せ。
2. 必ず滑る（どんな y でも倒れない）条件を求めよ。

5-4 斜面上 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

幅 a 、高さ h の一様な直方体を、傾角 θ の斜面に置く（底面が斜面に接している）。斜面の傾きを 0 から少しずつ大きくしていく。

1. 滑り出す条件を求めよ。
2. 倒れ出す条件を求めよ。
3. 倒れるより先に滑る条件を求めよ。

5-5 垂直抗力の位置 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

幅 a 、高さ h 、質量 m の直方体の上端を、倒れない範囲の水平な力 F で押している（まだ静止）。

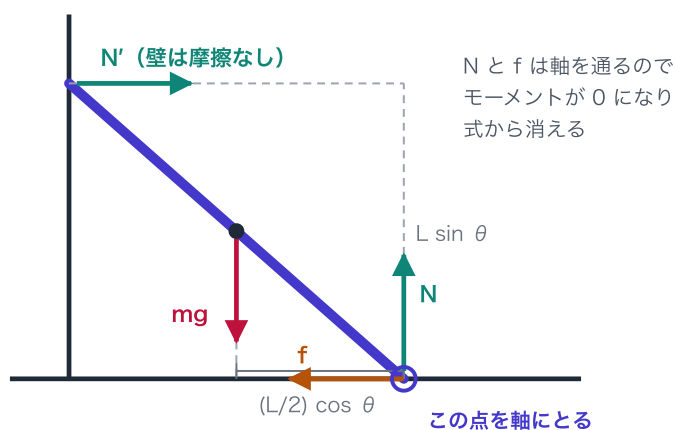
1. 垂直抗力の大きさを求めよ。
2. 垂直抗力の作用点は、重心の真下から押した向きにどれだけずれているか。

解説編

各問の冒頭にどの点をモーメントの中心に選んだかを書いてある。

設定 1 棒を壁に立てかける (はしご)

1-1 床の接点まわり



はたらく力は4つ

■(1) 重力 Mg (中央)、壁からの垂直抗力 N (水平)、

床からの垂直抗力 N' (鉛直)、床からの摩擦力 f (水平) の4つ。

壁はなめらかなので壁の摩擦はない。

■(2) 床との接点まわりでモーメントを取る。 N' と f はこの点を通るので消える。

$$N \cdot L \sin \theta = Mg \cdot \frac{L}{2} \cos \theta$$

$$N = \frac{Mg}{2 \tan \theta}$$

答 (1) 重力・壁の垂直抗力・床の垂直抗力・床の摩擦力 (2) $\frac{Mg}{2 \tan \theta}$

1-2 2方向のつり合い

■(1) 鉛直のつり合い。壁はなめらかなので鉛直の力は Mg と N' だけ

$$N' = Mg$$

■(2) 水平のつり合い

$$f = N = \frac{Mg}{2 \tan \theta}$$

■(3) 直交する2つなので

$$\sqrt{N'^2 + f^2} = Mg \sqrt{1 + \frac{1}{4 \tan^2 \theta}}$$

$$\text{答 (1) } Mg \quad (2) \frac{Mg}{2 \tan \theta} \quad (3) Mg \sqrt{1 + \frac{1}{4 \tan^2 \theta}}$$

1-3 $f \leq \mu N'$ に入れる

■(1) 摩擦力には上限がある： $f \leq \mu N'$

$$\begin{aligned} \frac{Mg}{2 \tan \theta} &\leq \mu Mg \\ \tan \theta &\geq \frac{1}{2\mu} \end{aligned}$$

■(2) なる。 θ を大きくすると $\tan \theta$ が大きくなり、

必要な摩擦 $f = \frac{Mg}{2 \tan \theta}$ が小さくなるから。

寝かせるほど壁を強く押し、その反作用で滑りやすくなる。

$$\text{答 (1) } \tan \theta \geq \frac{1}{2\mu} \quad (2) \text{ 安定になる}$$

1-4 重心の位置が変わる

■(1) 床の接点まわりでモーメントを取る。重力が2つになる。

$$\begin{aligned} N \cdot L \sin \theta &= Mg \cdot \frac{L}{2} \cos \theta + mg \cdot d \cos \theta \\ N &= \frac{\left(\frac{ML}{2} + md \right) g}{L \tan \theta} \end{aligned}$$

■(2) なる。 d が大きいほど N が大きくなり、

$f = N$ なので必要な摩擦が増える。

一方 $N' = (M + m)g$ は d によらないので、上限は変わらない。

$$\text{答 (1) } \frac{(ML/2 + md)g}{L \tan \theta} \quad (2) \text{ 滑りやすくなる}$$

1-5 未知数が増える

■(1) 壁の摩擦力（鉛直）が加わって5つ。

■(2) 未知数は N 、 N' 、 f 、壁の摩擦 f' の4つ。

一方、つり合いの式は水平・鉛直・モーメントの3本しかない。

→ 未知数のほうが多く、これだけでは決まらない（不静定）。

共通テストで壁がなめらかと指定されるのはこのため。

答 (1) 5つ (2) 未知数4に対し式3本で、決まらない

設定 2 棒を2点で支える（シーソー・天びん）

2-1 片方の支点まわり

■(2)から先に出す。A まわりでモーメントを取ると N_A が消える。

$$N_B \cdot L = Mg \cdot \frac{L}{2} + mg \cdot d$$
$$N_B = \frac{Mg}{2} + \frac{mgd}{L}$$

■(1) 鉛直のつり合いから

$$N_A = (M + m)g - N_B = \frac{Mg}{2} + mg \left(1 - \frac{d}{L}\right)$$

答 (1) $\frac{Mg}{2} + mg \left(1 - \frac{d}{L}\right)$ (2) $\frac{Mg}{2} + \frac{mgd}{L}$

2-2 端に置いてみる

■(1) $N_A = \frac{Mg}{2} + mg$ 、 $N_B = \frac{Mg}{2}$

おもりの重さは全部 A にかかる。

■(2) $N_A = N_B = \frac{(M + m)g}{2}$

中央なら半分ずつ。

どちらも直感と合う。式の検算はこうやる。

答 (1) $N_A = \frac{Mg}{2} + mg$ 、 $N_B = \frac{Mg}{2}$ (2) ともに $\frac{(M + m)g}{2}$

2-3 $N = 0$ とおく**■(1) 支点まわり。左回りと右回りを等しいとおく**

$$m_1 g \cdot x = Mg \left(\frac{L}{2} - x \right) + m_2 g (L - x)$$

■(2) g を消して x について解く

$$m_1 x = \frac{ML}{2} - Mx + m_2 L - m_2 x$$
$$x = \frac{\left(\frac{M}{2} + m_2 \right) L}{m_1 + M + m_2}$$

これは全体の重心の位置そのもの。

答 (2) $x = \frac{(M/2 + m_2)L}{m_1 + M + m_2}$

2-4 $N = 0$ が境目**■(1) B まわりで取る (N_B が消える)**

$$N_A \cdot \frac{3L}{4} + mg \cdot \frac{L}{4} = Mg \cdot \frac{L}{4}$$
$$N_A = \frac{(M - m)g}{3}$$

■(2) 浮き上がる境目は $N_A = 0$

$$m \geq M$$

「浮く／倒れる」は支える力が0になる瞬間で判定する。

答 (1) $\frac{(M - m)g}{3}$ **(2)** $m \geq M$

2-5 逆に問われる**■(1) 鉛直のつり合い**

$$Mg = F_A + F_B \rightarrow M = \frac{F_A + F_B}{g}$$

■(2) 重心の位置を x_G とし、A まわりで取る

$$F_B \cdot L = Mg \cdot x_G$$
$$x_G = \frac{F_B L}{F_A + F_B}$$

支える力の比が、重心までの距離の逆比になっている。

答 (1) $\frac{F_A + F_B}{g}$ **(2)** $\frac{F_B L}{F_A + F_B}$

設定 3 壁から突き出た棒を糸で支える

3-1 ちょうつがいまわり

■(1) ちょうつがい棒に及ぼす力は向きが分からないので未知数が2つある。

その点を中心にすれば腕の長さが0になり、まとめて消える。

■(2) 張力の棒に垂直な成分は $T \sin \theta$ 。腕の長さは L 。

$$T \sin \theta \cdot L = Mg \cdot \frac{L}{2}$$

$$T = \frac{Mg}{2 \sin \theta}$$

答 (1) 未知の力2つが同時に消えるから (2) $\frac{Mg}{2 \sin \theta}$

3-2 モーメントを足す

■(1) ちょうつがいまわり

$$T \sin \theta \cdot L = Mg \cdot \frac{L}{2} + mg \cdot L$$

$$T = \frac{\left(\frac{M}{2} + m\right)g}{\sin \theta}$$

■(2) $\sin \theta$ が小さくなるので張力は大きくなる。

糸を棒に近い角度で張るほど、支えるのに大きな力がある。

答 (1) $\frac{(M/2 + m)g}{\sin \theta}$ (2) 大きくなる

3-3 最後につり合いで出す

張力は $T = \frac{Mg}{2 \sin \theta}$ 。糸は斜め上・壁の側に引く。

■(1) 水平のつり合い。糸の水平成分は $T \cos \theta$ (壁向き)

$$R_x = T \cos \theta = \frac{Mg}{2 \tan \theta} \quad (\text{壁から外向き})$$

■(2) 鉛直のつり合い。糸の鉛直成分は $T \sin \theta = \frac{Mg}{2}$

$$R_y = Mg - \frac{Mg}{2} = \frac{Mg}{2} \quad (\text{上向き})$$

順序が大事：モーメント→張力→つり合い→ちょうつがい。

答 (1) $\frac{Mg}{2 \tan \theta}$ (外向き) (2) $\frac{Mg}{2}$ (上向き)

3-4 腕の長さが変わる

■(1) 腕の長さが $\frac{2L}{3}$ になる

$$T' \sin \theta \cdot \frac{2L}{3} = Mg \cdot \frac{L}{2}$$
$$T' = \frac{3Mg}{4 \sin \theta}$$

■(2) 先端のときの $\frac{Mg}{2 \sin \theta}$ の1.5倍。

腕が短くなったぶん、大きな力が必要になる。

モーメント＝力×腕なので、腕が $\frac{2}{3}$ 倍なら力は $\frac{3}{2}$ 倍。

答 (1) $\frac{3Mg}{4 \sin \theta}$ (2) 1.5倍 (腕が短いから)

3-5 角度が2つ出る

■(1) モーメントは力に垂直な向きの距離で測る。

重力は鉛直なので、腕は水平方向の距離

$$\frac{L}{2} \cos \alpha$$

■(2) 糸も鉛直なので腕は $L \cos \alpha$

$$T \cdot L \cos \alpha = Mg \cdot \frac{L}{2} \cos \alpha$$
$$T = \frac{Mg}{2}$$

$\cos \alpha$ が両辺で消えて、傾きによらない。

答 (1) $\frac{L}{2} \cos \alpha$ (2) $\frac{Mg}{2}$ (傾きによらない)

設定 4 重心を求める (組み合わせ・切り抜き)

4-1 公式に入れるだけ

軽いほうの端を原点とする。各棒の重心は中央にある。

$$x_1 = \frac{L}{2} \text{ (質量 } m\text{)}, x_2 = \frac{3L}{2} \text{ (質量 } 2m\text{)}$$
$$x_G = \frac{m \cdot \frac{L}{2} + 2m \cdot \frac{3L}{2}}{3m} = \frac{7L}{6}$$

中央 (L) より重いほう寄りにある。

答 $\frac{7L}{6}$

4-2 負の質量として引く

$$\blacksquare(1) \pi R^2 : \pi \left(\frac{R}{2}\right)^2 = 4 : 1$$

■(2) 元の中心を原点、くり抜いた向きを正とする。

残り＝全体－穴 と考え、穴を負の質量で扱う。

$$x_G = \frac{4 \cdot 0 - 1 \cdot \frac{R}{2}}{4 - 1} = -\frac{R}{6}$$

穴と反対側に $\frac{R}{6}$ ずれる。

答 (1) 4 : 1 (2) 穴と反対側へ $\frac{R}{6}$

4-3 2つに分ける

2つの正方形は同じ面積なので質量も等しい。

それぞれの重心は各正方形の中心。

$$\blacksquare(1) x_1 = \frac{a}{2}, x_2 = \frac{3a}{2}$$

$$x_G = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{2} + \frac{3a}{2} \right) = a$$

$$\blacksquare(2) \text{どちらも } y = \frac{a}{2} \text{ なので } y_G = \frac{a}{2}$$

同じ質量なら、単純に中点。

答 (1) a (2) $\frac{a}{2}$

4-4 公式を知っておく

■(1) 三角形の重心は3頂点の平均にある。

頂点は $(0, 0)$ 、 $(b, 0)$ 、 $(0, h)$

$$x_G = \frac{0 + b + 0}{3} = \frac{b}{3} \text{ (同様に } y_G = \frac{h}{3} \text{)}$$

■(2) 支えられない。

支点は重心の真下（または真上）になければならないが、

重心は原点から $\left(\frac{b}{3}, \frac{h}{3}\right)$ ずれているため。

答 (1) $\frac{b}{3}$ (2) 支えられない（重心が真上にない）

4-5 はみ出しの限界

■(1) 上のれんがの重心が下のれんがの上であればよい。

上を d_1 だけずらすとすると $d_1 \leq \frac{L}{2}$

■(2) 2個全体の重心が机の上であればよい。

机の端を原点、外向きを正とし、下のれんがの重心を $-s$ の位置とすると、

全体の重心は $\frac{(-s) + (-s + d_1)}{2} = -s + \frac{d_1}{2}$

これが ≤ 0 、つまり $s \geq \frac{d_1}{2}$

「落ちる／倒れる」は必ず重心の位置で判定する。

答 (1) $d_1 \leq \frac{L}{2}$ (2) 全体の重心が机の上にあること

設定 5 倒れるか、滑るか

5-1 前端まわり

■(1) 押した向きの底面の前端 (角)。

垂直抗力の作用点はそこまでしか動けない。

■(2) その角まわりでモーメントを取る

$$F \cdot h = mg \cdot \frac{a}{2}$$

$$F = \frac{mga}{2h}$$

答 (1) 底面の前端の角 (2) $\frac{mga}{2h}$

5-2 2つを比べる

■(1) $F = \mu mg$

■(2) 滑る F が倒れる F より小さければ滑るのが先

$$\mu mg < \frac{mga}{2h}$$

$$\mu < \frac{a}{2h}$$

背が高い (h 大) ほど倒れやすく、摩擦が小さいほど滑りやすい。

答 (1) μmg (2) $\mu < \frac{a}{2h}$

5-3 高さを変数にする

■(1) 前端まわり

$$F \cdot y = mg \cdot \frac{a}{2} \rightarrow F = \frac{mga}{2y}$$

■(2) 倒れる F が最も小さくなるのは y が最大、つまり $y = h$ のとき。

そのときですら滑るほうが先ならよい

$$\mu mg < \frac{mga}{2h} \rightarrow \mu < \frac{a}{2h}$$

低い位置を押せば倒れにくい (F が大きくないと倒れない)。

$$\text{答 (1) } \frac{mga}{2y} \quad (2) \mu < \frac{a}{2h}$$

5-4 斜面で倒れる

■(1) $\tan \theta > \mu$

■(2) 重心から下ろした鉛直線が底面の下端の外に出たとき倒れる。

図から $\tan \theta > \frac{a}{h}$

■(3) 滑るほうが小さい θ で起これば先に滑る

$$\mu < \frac{a}{h}$$

斜面では $\frac{a}{h}$ 、水平面で上端を押すときは $\frac{a}{2h}$ 。

同じに見えて $\frac{1}{2}$ が違うので、設定を混ぜないこと。

$$\text{答 (1) } \tan \theta > \mu \quad (2) \tan \theta > \frac{a}{h} \quad (3) \mu < \frac{a}{h}$$

5-5 作用点がずれる

■(1) 鉛直のつり合いだけで決まる $N = mg$

■(2) ずれを x とし、重心を通る鉛直線上の点まわりでモーメントを取る。

F の腕は $h/2$ (重心の高さから上端まで) ではなく、

重心まわりに取ると F の腕は $\frac{h}{2}$ 、 N の腕は x 、摩擦 $f = F$ の腕は $\frac{h}{2}$

$$N \cdot x = F \cdot \frac{h}{2} + f \cdot \frac{h}{2} = Fh$$

$$x = \frac{Fh}{mg}$$

$x = \frac{a}{2}$ に達した瞬間が倒れる境目で、 $F = \frac{mga}{2h}$ と一致する。

$$\text{答 (1) } mg \quad (2) \frac{Fh}{mg}$$