



# 2.構造工学基礎

**2016年4月**

大内 一

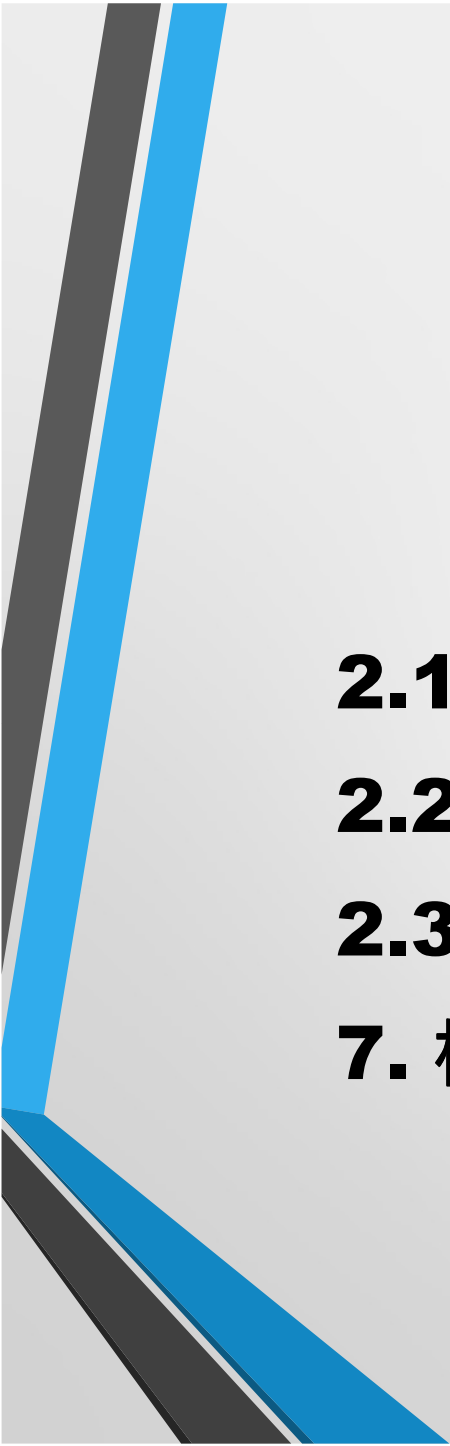
絵と式でわかる  
**構造工学基礎**

大内 一・角掛久雄 著

技報堂出版

# 序

- 構造力学は構造工学のための基礎学問であり、構造工学は構造設計を発展させるための学問であると考えます。学ぶためには目的がなければなりません。その意味で、本書のタイトルをこれまで使われて来た「構造力学」ではなく、「構造工学基礎」とした。そして、「絵と式でわかる」という枕言葉を加えた。目的は、**構造工学への興味と基礎知識**を身に付けることである。そのため、本書の場合、解説文章は極力省くことにした。高校や大学講義で教官の指導・助言のもと、**考え方や原理**を効率的に身に付けて頂くのがよいと考えたからである。加えて、本書執筆に当って特に意識したのは、例えば変位・変形を学ぶことがなぜ大切であるか、トラス部材はどのような構造物にどのように使用されるかなど、換言すると**何故これらの基礎知識を身に付けることが必要であるか**を折々に触れることである。本書の場合、これは、各所に「参考」という形で示すことにした。そして、考え方や原理のポイントは「要点」として示すことにした。



# 構成

**2.1 構造物に働く力の釣合い**

**2.2 応力と断面力**

**2.3 部材の断面力**

**7. 構造設計に向けて**



## **2.1** 構造物に働く力の釣合い

# 構造物と荷重—種々の構造物



(a) 吊り橋—ケーブル構造



(b) 建築構造物—フレーム構造

# 構造物と荷重—種々の構造物



(c) 斜張橋主塔—フレーム構造



(d) アーチダム—アーチ構造



(e) トンネル—アーチ構造



# 構造物と荷重—種々の構造物



(f) タンク—シエル構造



(g) 航空機体—シエル構造

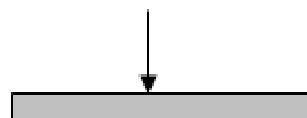


(h) 船体—シエル構造



## 1.2.2 骨組構造

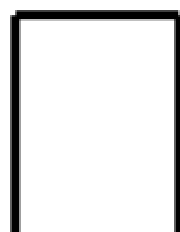
骨組構造とは、断面寸法に比べて長さの大きい棒状の部材、またはその集合体



(a) はり (Beam)



(b) 柱 (Column)



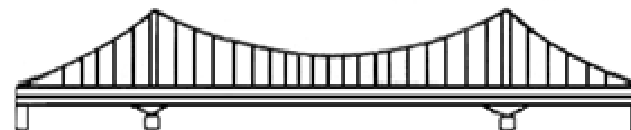
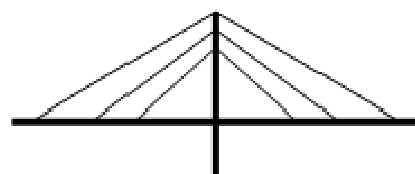
(d) ラーメン (Moment Frame)



(e) アーチ (Arch)



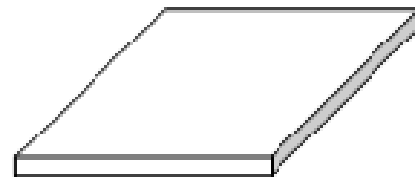
(c) トラス (Truss)



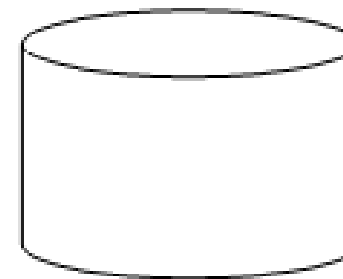
(g) ケーブル構造 (Cable Structure)

### 1.2.3 面構造

面構造：厚みが小さく面的に広がる部材、またはその集合

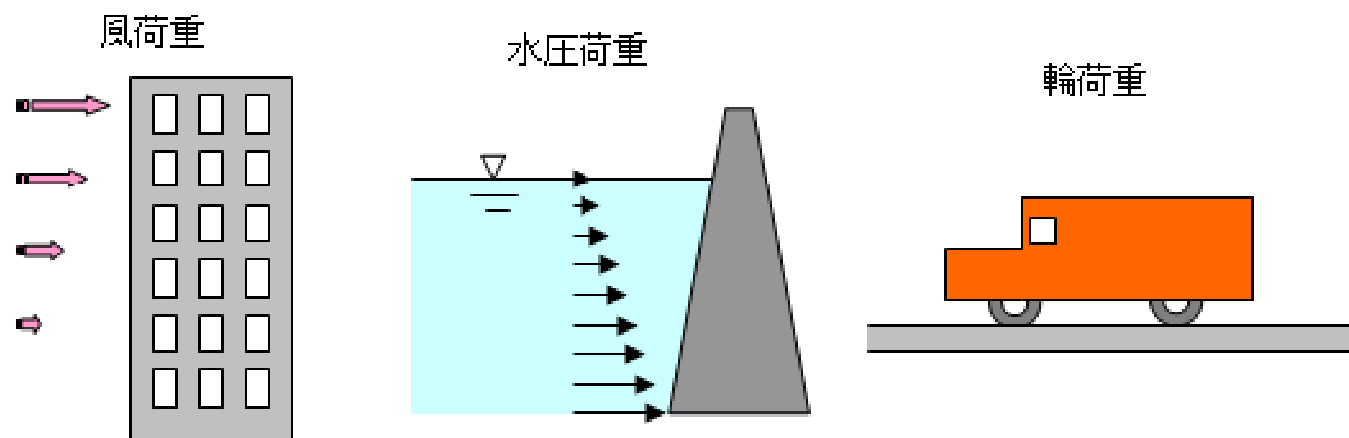


(a) 平板

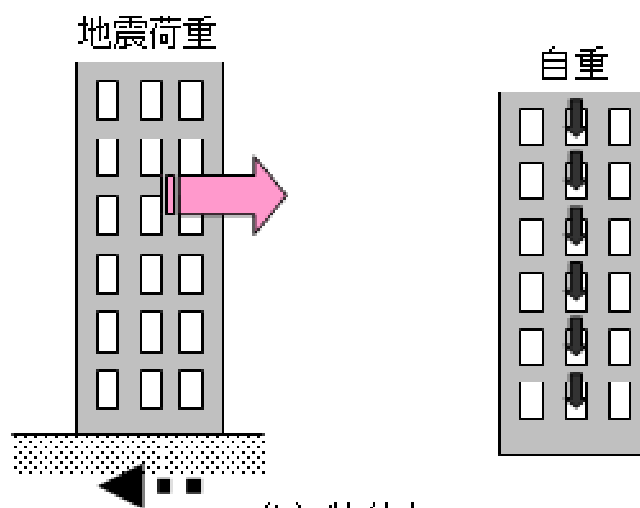


(c) シエル(Shell)

#### 1.2.4 荷重作用

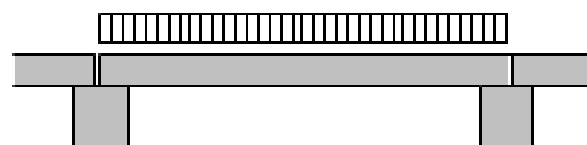


(a) 表面力

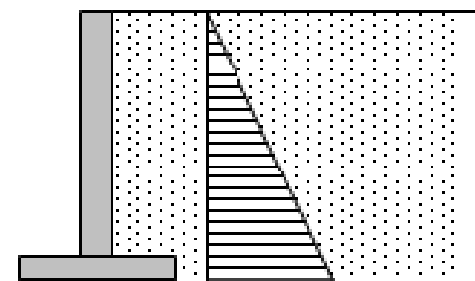


(b) 物体力

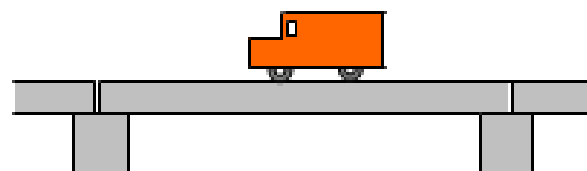
### 1.2.5 集中荷重と分布荷重



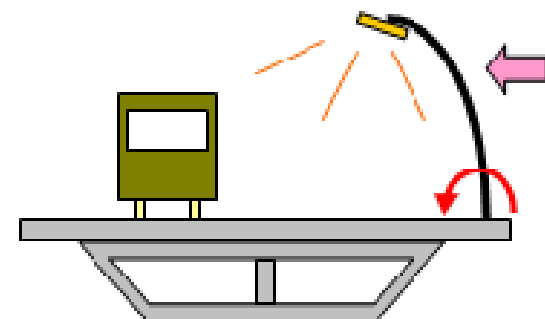
(a) 等分布荷重 (橋桁に作用する自重)



(b) 三角形分布荷重 (擁壁に作用する土圧荷重)



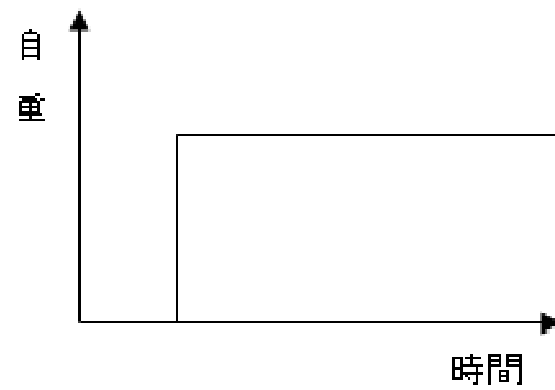
(c) 集中荷重 (橋桁に作用する輪荷重)



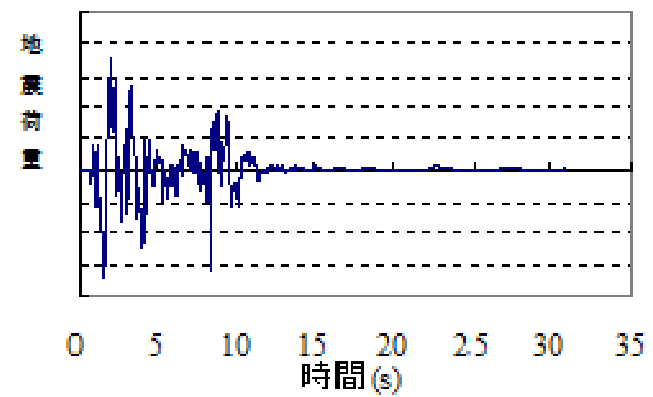
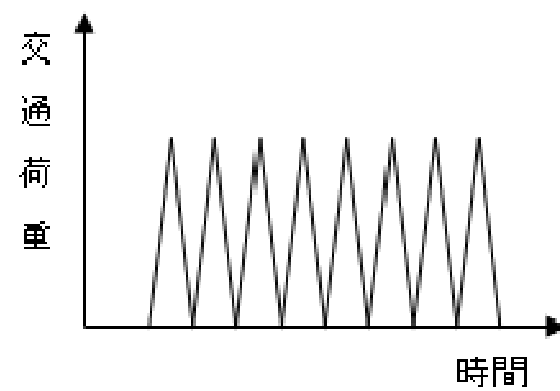
(d) 集中モーメント荷重 (風力により照明塔から床版に作用するモーメント荷重)

## 1.2.6 作用時間と荷重

(a) 静荷重：時間軸上で変化しない

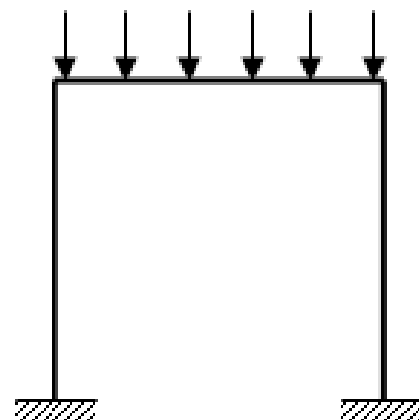
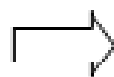
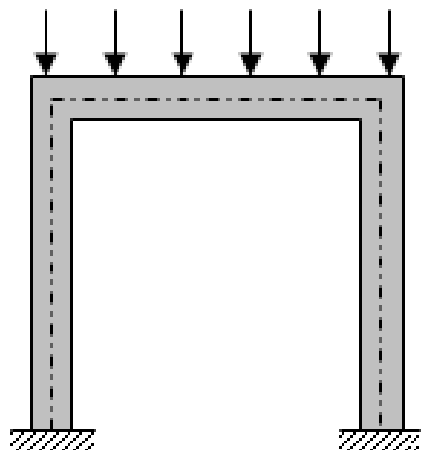


(b) 動荷重：時間軸上で変化



### 1.2.7 骨組構造と荷重の取扱い

構造のモデル化：断面図心を通る軸線  
荷重：軸線に沿って作用



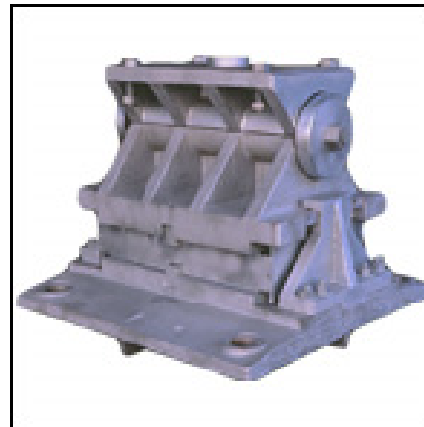
# 支持条件

## 1.3.1 支承

(a) ピン支承－  
回転自由&移動拘束



(b) ピンローラー支承－  
回転&移動自由



(c) 免震支承－  
移動弾性拘束

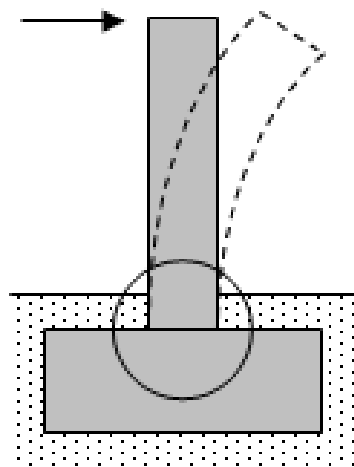




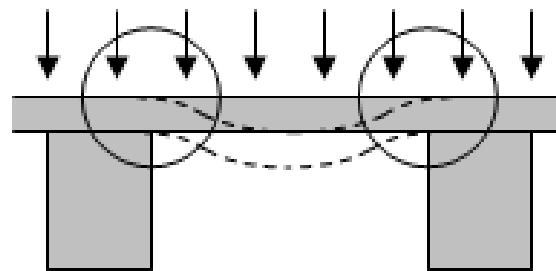
# 支持条件

## 1.3.2 固定支持

(a) フーチングで支持される橋脚基部

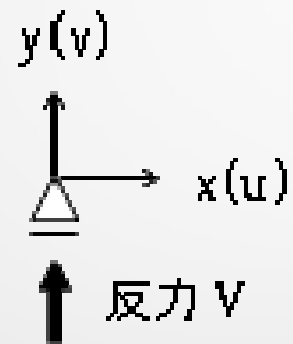


(b) 剛梁で支持される床スラブ端部



### 1.3.3 支持条件と記号

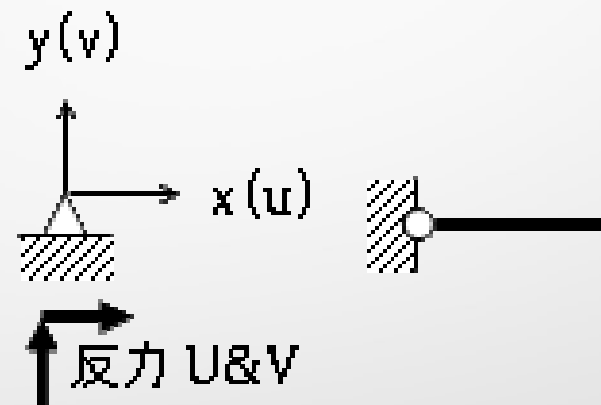
(a) 移動支点 (ローラー支承)



変位拘束条件:  $v=0$   
反力成分:  $V$

### 1.3.3 支持条件と記号

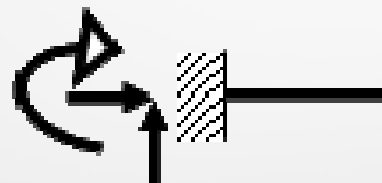
(b) 回転支点 (ピン支承)



変位拘束条件： $u=v=0$   
反力成分： $U, V$

### 1.3.3 支持条件と記号

(c) 固定支点



反力  $U, V$  &  $M$

変位拘束条件： $u=v=\theta=0$

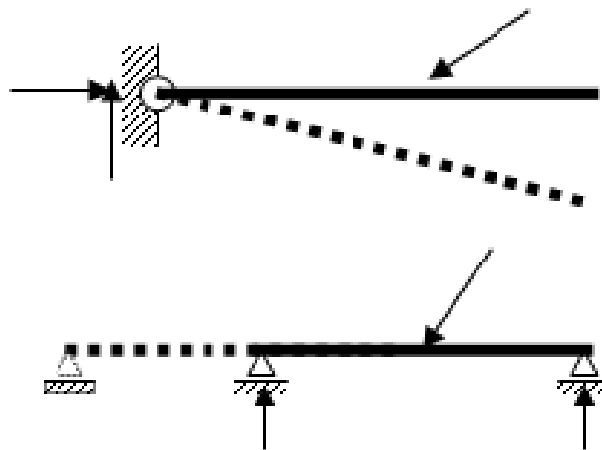
反力成分： $U, V$  &  $M$



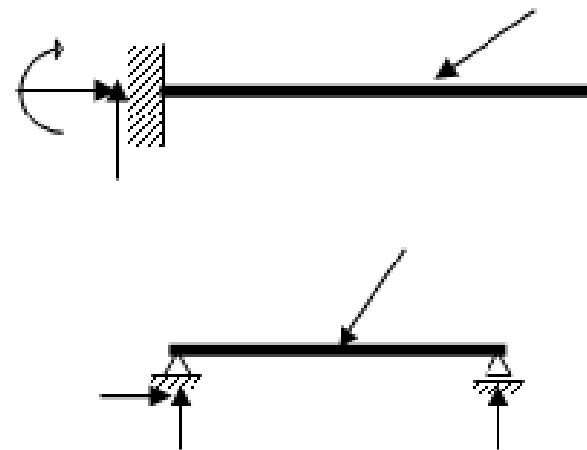
# 安定・不安定

## 1.4.2 外的不安定

不安定



安定



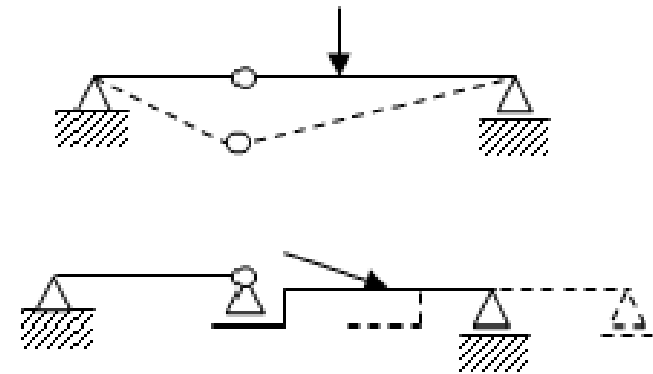
### 要点

外的不安定：反力がとれないために起こる不安定  
内的不安定：構造自体の不安定

# 安定・不安定

## 1.4.3 内的不安定

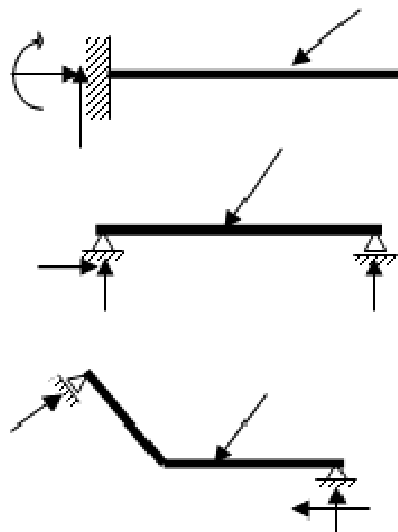
- ごくわずかな荷重作用のもとでも大きく変形する構造
- 支点での拘束が十分でも部材が大きく回転・変形を起こしてしまう構造



# 静定と不静定

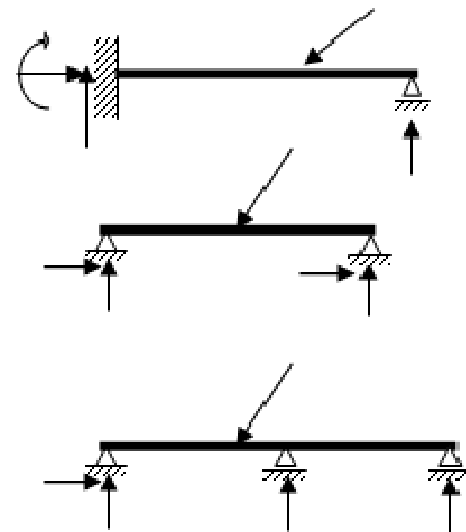
## 1.4.4 外的静定と不静定

静定構造



- 静定構造  
拘束反力数 :  $r=3$
- 不静定構造  
拘束反力数 :  $r>3$
- 不静定次数  $n$   
反力数 - 釣合条件式数 :  $n=r-3$

不静定構造



### 要点

外的静定：全体の釣合いから反力が決まる構造

外的不静定：全体の釣合いから反力が決まらない構造



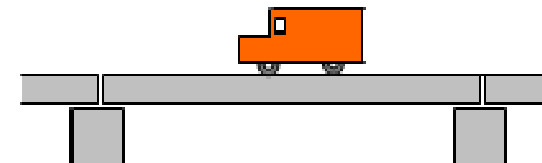
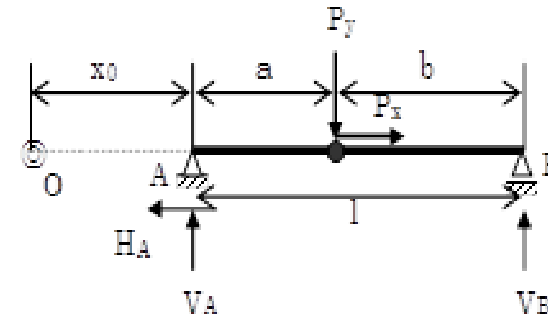
# 静定構造物の反力

## 1.5.1 集中荷重を受ける単純梁の反力

### ●水平力の釣合い

$$\sum H = P_x - H_A = 0 \quad \therefore H_A = P_x \quad \text{----- (1)}$$

(水平反力は鉛直反力とは無関係に決定)



単純支持された橋桁に  
作用する輪荷重

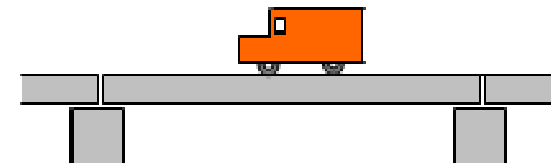
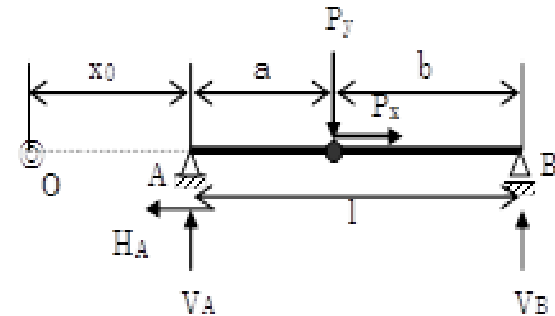
# 静定構造物の反力

## 1.5.1 集中荷重を受ける単純梁の反力

●鉛直力の釣合い

$$\sum V = P_y - V_A - V_B = 0$$

$$\therefore V_A + V_B = P_y \quad \text{----- (2)}$$



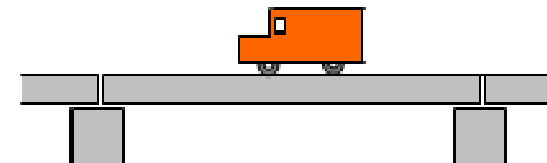
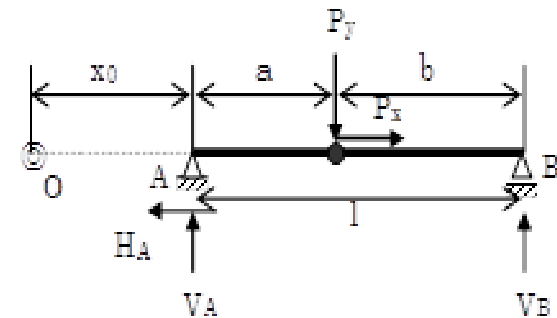
単純支持された橋桁に  
作用する輪荷重

# 静定構造物の反力

## 1.5.1 集中荷重を受ける単純梁の反力

●任意O点周りのモーメントの釣り合い

$$\begin{aligned}\sum M &= P_y(a+x_0) - V_A x_0 - V_B(a+b+x_0) \\ &= P_y(a+x_0) - (V_A + V_B)x_0 - V_B(a+b) = 0 \\ &\text{----- (3)}\end{aligned}$$



単純支持された橋桁に  
作用する輪荷重

# 静定構造物の反力

## 1.5.1 集中荷重を受ける単純梁の反力

式(3)に式(2)を代入して、

$$\sum M = P_y(a+x_0) - P_y x_0 - V_B(a+b)$$

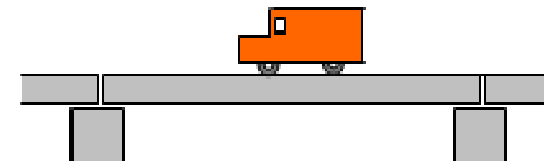
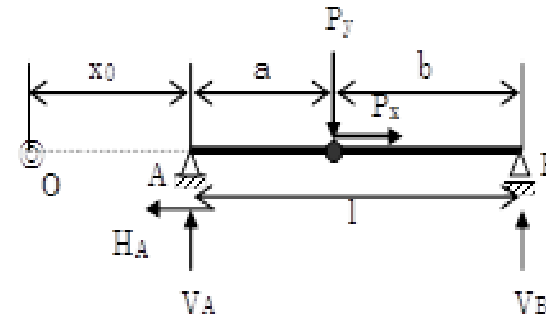
$$= aP_y - V_B(a+b) = 0$$

$$\therefore V_B = [a/(a+b)] P_y = (a/l) P_y \quad \text{----- (4)}$$

(鉛直反力は $x_0$ の値とは無関係に決定)

式(4)を式(2)に代入して、

$$V_A = [b/(a+b)] P_y = (b/l) P_y \quad \text{----- (5)}$$



単純支持された橋桁に  
作用する輪荷重

# 静定構造物の反力

## 1.5.2 等分布荷重を受ける単純梁の反力

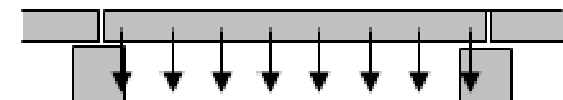
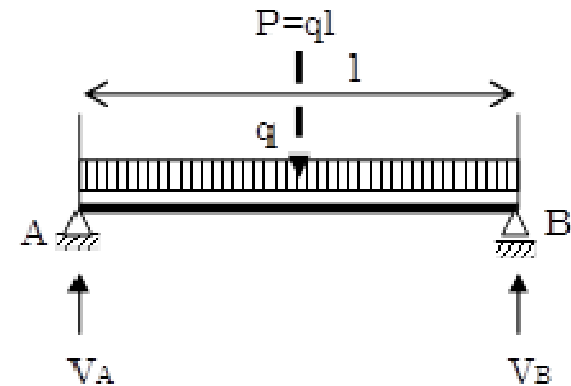
### ●鉛直力の釣合い

$$\begin{aligned}\Sigma V &= ql - V_A - V_B = 0 \\ \therefore V_A + V_B &= ql\end{aligned}\quad \text{----- (1)}$$

### ●A点周りのモーメントの釣合い

$$\begin{aligned}\Sigma M &= \int qxdx - V_B l \\ &= ql^2/2 - V_B l = 0 \\ \therefore V_B &= V_A = ql/2\end{aligned}\quad \text{----- (2)}$$

すなわち、全荷重の半分ずつの反力となる。  
換言すれば、等分布荷重の合力をその重心位置に作用させたのと同じ問題となる。



単純支持された橋桁や  
床スラブの自重

# 静定構造物の反力

## 1.5.5 水平集中荷重を受ける静定ラーメン

### ●鉛直力の釣合い

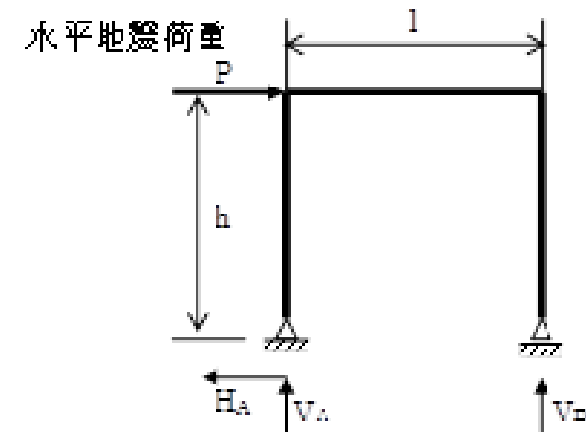
$$\Sigma V = V_A + V_B = 0 \quad \text{----- (1)}$$

### ●水平力の釣合い

$$\Sigma H = P - H_A = 0 \quad \therefore H_A = P \quad \text{----- (2)}$$

### ●A点周りのモーメントの釣合い

$$\Sigma M = Ph - V_B l = 0 \quad \therefore V_B = Ph/l$$
$$V_A = -V_B = -Ph/l \quad \text{----- (3)}$$



# 静定構造物の反力

## 1.5.7 等分布荷重を受ける円弧アーチ

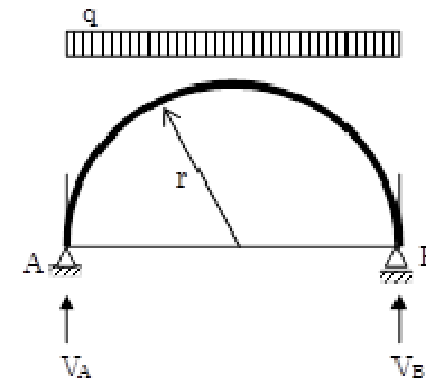
### ●鉛直力の釣合い

$$\Sigma V = V_A + V_B = 2r q \quad \text{----- (1)}$$

### ●A点周りのモーメントの釣合い

$$\Sigma M = 2r^2 q - 2r V_B = 0$$

$$\therefore \begin{aligned} V_B &= r q \\ V_A &= V_B = r q \end{aligned} \quad \text{----- (2)}$$



錦帯橋

<http://www.tokushima-np.co.jp/>

# 静定構造物の反力

## 1.5.8 軸対象外圧を受ける円張アーチ

### ●水平力の釣合い

$$\begin{aligned}\Sigma H &= \int q \cos \theta r d\theta + H_A \\ &= qr (\sin \pi - \sin 0) + H_A = H_A = 0\end{aligned}\quad \text{----- (1)}$$

### ●鉛直力の釣合い

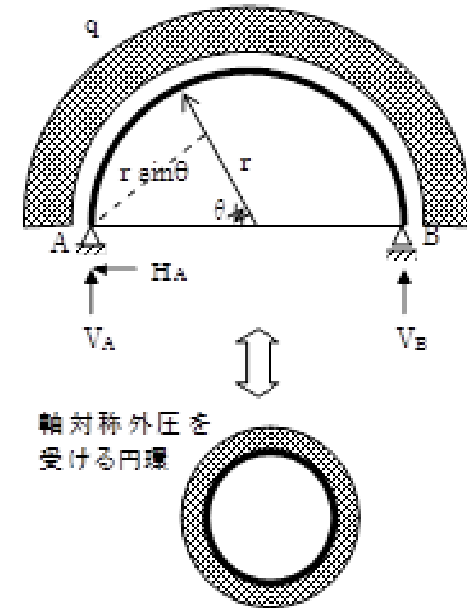
$$\begin{aligned}\Sigma V &= \int q \sin \theta r d\theta - (V_A + V_B) \\ &= -qr (\cos \pi - \cos 0) - (V_A + V_B) \\ &= 2qr - (V_A + V_B) = 0\end{aligned}$$

左右の対称性より、 $V_A = V_B = rq$  ----- (2)

### ●確認 (A点周りのモーメントの釣合い)

$$\begin{aligned}\Sigma M &= \int q r d\theta r \sin \theta - 2rV_B \\ &= -qr^2 (\cos \pi - \cos 0) - 2rV_B \\ &= 2qr^2 - 2rV_B = 0\end{aligned}$$

$\therefore V_B = rq$ となり、式(2)に一致する。



### 要点

軸対称外圧を受ける円環の問題と同じとなり、軸方向の反力（軸方向力）のみが発生する。