

# 構造力学Ⅰ（シラバス）

建築物，橋などの構造設計の際に必要なとなる，  
[トラス，ラーメン]などの構造[骨組]が  
[地震，風，自重]などの[外力]を受けたときに[柱，  
梁]などの構造部材に生じる  
[応力，変形]を求める方法について，  
演習を行いながら解説する．

材料力学Ⅰ（単一材のせん断力，曲げモーメントが  
求められる．仮想仕事の原理で単一材の変形が求め  
られる）既習が前提．  
未習の場合は，教科書（演習書）で静定トラスが終  
わるまでに独習しておく．

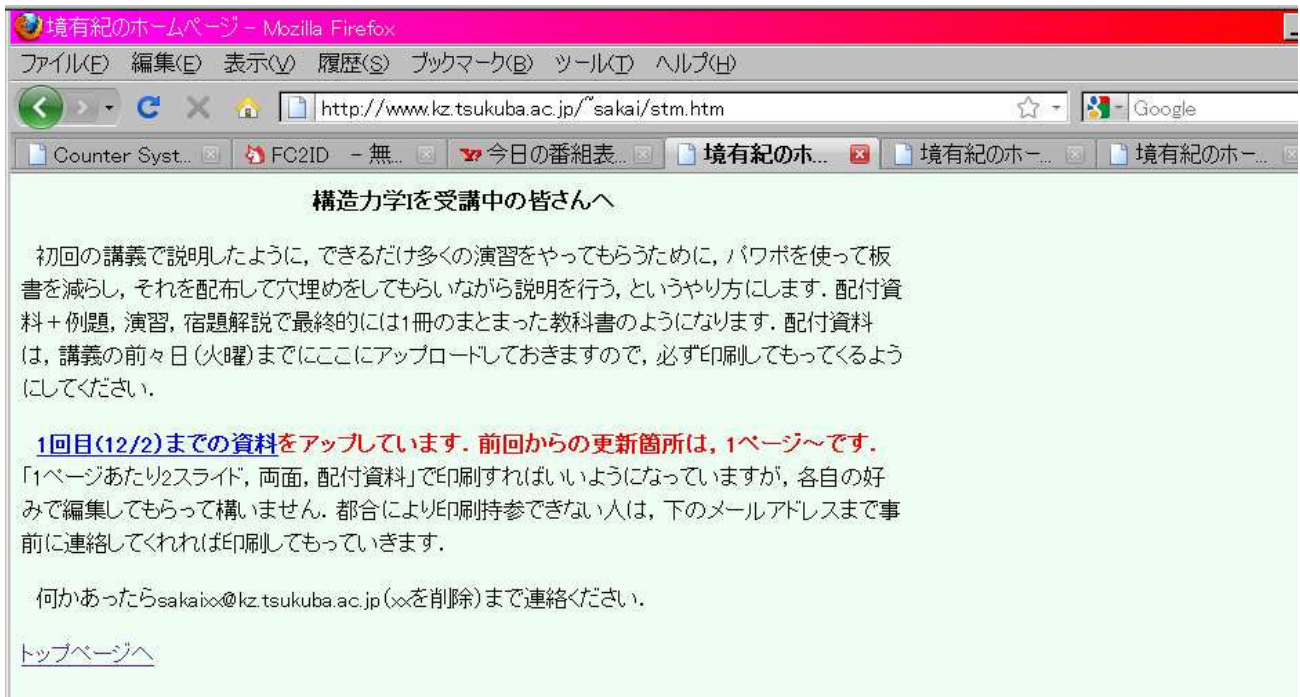
1

## 講義の進め方

- ・とにかく演習（自分で手を動かして計算）
  - ・演習時間をできるだけ多くとるために  
パワポ（配付資料）で講義を効率化
  - ・配付資料をホームページからダウンロードして  
印刷，あるいは，ノートPCやタブレットなどに  
入れてもってくる（初回は除く）
- ←講義の前々日（火曜）までにアップロード
- ・解説→例題→演習→演習解説＋小テスト＋宿題  
→次週の講義の始めに復習＋小テスト，宿題解説

# ホームページ

- ・ <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/stm.htm>  
「境有紀」でググる＞講義関係＞構造力学I



## 講義の進め方

- ・ 解説→例題→演習→演習解説+小テスト+宿題  
→次週の講義の始めに復習+小テスト、宿題解説
- ・ 解説：配付資料に書き込みをしながら  
ノートに簡単なメモをとりながら
- ・ 例題、演習、演習解説：ノートに
- ・ 小テスト：用紙を配布（採点後次週始めに返却）
- ※講義に対する要望なども書いてよい
- ・ 宿題：次の講義の始めにルーズリーフなどで提出  
→配付資料+例題演習宿題の解説+小テスト  
で1冊のまとまった教科書になる

## 日程(予定)

11/14 導入, 骨組の種類, 静定・不静定, 安定・不安定

11/21 静定トラスの応力: 節点法, 切断法

12/ 5 静定トラスの変形: 仮想仕事の原理

11/28 (推薦入試休講)

12/12 不静定トラスの応力

12/19 静定ラーメンの応力

1/ 9 静定ラーメンの変形

1/15 不静定ラーメン: 仮想仕事の原理

1/23 たわみ角法

1/30 たわみ角法

2/ 6 固定法 (モーメント分配法)

2/13 試験

境が  
担当

八十島  
先生が  
担当

5

## 教科書(演習書)

- ・ 材料力学I, IIの内容も含む
- ・ 演習問題を補うもの
- ・ 講義のときにやっておく  
問題を紹介→自習
- ・ 試験で演習書から1問出題



## 成績評価

- ・ 小テストと宿題で20%
- ・ 期末試験で80%
- ・ 期末試験から講義中にやった問題を1問  
演習書から1問（計4問くらい）
- ・ 合計で60%以上で合格

7

## 構造力学 I

- ・ 材料力学： 単一部材かつ線材
- ⇔ 構造力学： **[部材]** を組み合わせた  
**[骨組]** が対象
- ※ 線材（**[梁, 柱]**） ⇔ **[面材]**（**[壁, 床]**）
- 材料力学を包含する内容
- ・ 目的は同じ： ある **[構造物（部材, 骨組）]** に  
外から力（**[外力]**）加わった時，**[構造物]** に  
どのような力（**[応力]**）が生じるか，  
どのように **[変形]** するかを把握する → 設計
  - ・ 対象が骨組なので実際の建物の構造設計に近い

8

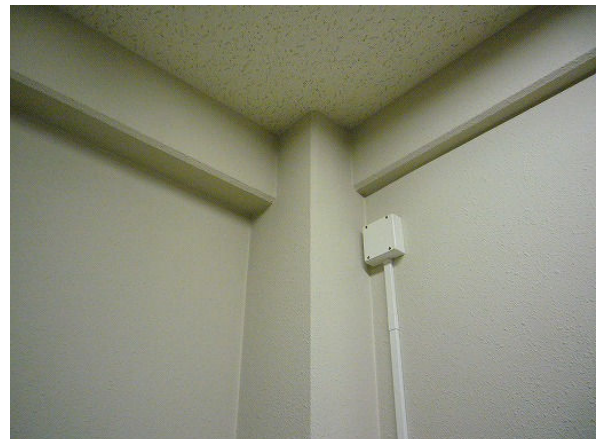
# 構造力学 I

- ・ 計算手順をマスターすることも大事だが  
（一級建築士の構造力学）
- ⇔ 力の釣り合いと言った力学の基本を  
身につけることも大事
- 力学の基本を身につけるのに適している

9

## 骨組とは

- ・ 骨組： [部材] と [節点] からなる
- ・ 節点の種類： [ピン] と [剛接]

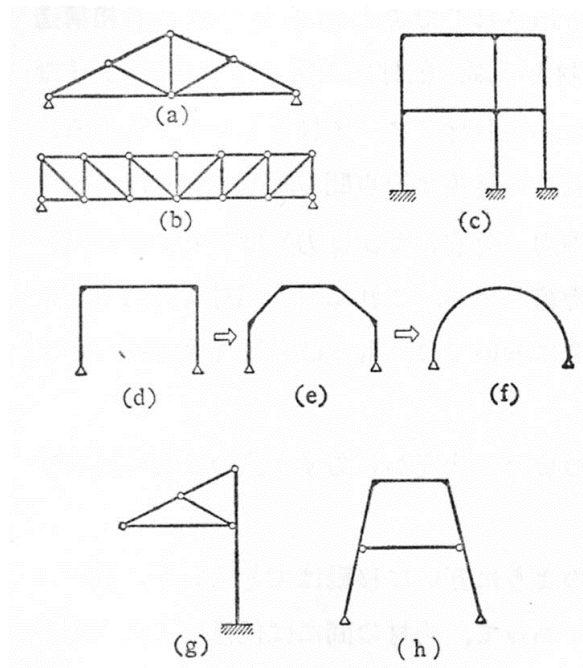


10



## 骨組の種類

- **[トラス]**:  
全ての節点が**[ピン]**
- **[ラーメン]**:  
全ての節点が**[剛接]**
- **[アーチ]**:  
曲線からなる構造
- **[合成骨組]**:  
ピン, 剛接ともに存在
- 実際は立体骨組  
→ 平面骨組として計算



11

## トラス

- 全ての節点がピン（として設計する）の骨組
- 橋, タワー



# 東京スカイツリー（日建設計HP）



## 鉄骨造塔体の概要

### 鼎(かなえ)トラス

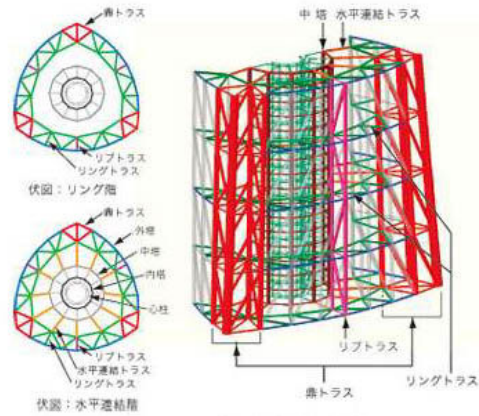
4本の柱と水平材・ブレース材からなる組柱。  
三角形の平面形の各頂点位置に配置している。  
水平荷重に抵抗する主要架構となる。

### 水平連結トラス

中塔ーリングトラスを2層毎(25m)に連結する柱。  
水平力(面内)の伝達部材及び、鼎トラス・外周柱の座屈補剛材として働く。

### リングトラス

1層毎(12.5m)に配置する水平材。  
外周柱の座屈補剛材として働く。



鉄骨造塔体の概要図

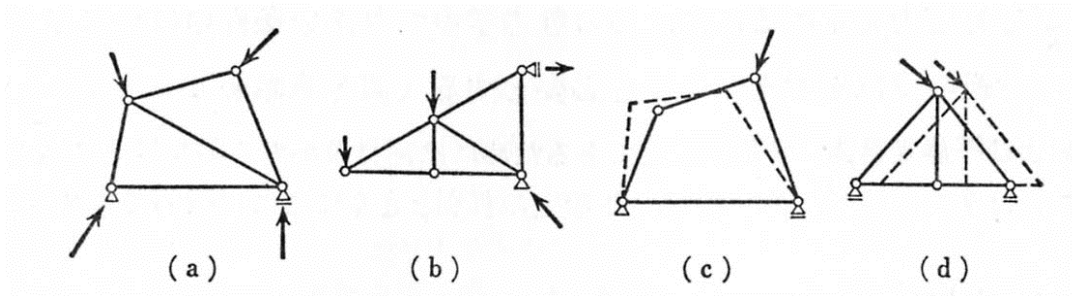
# ラーメン

- 全ての節点が  
剛接の骨組
- 建物



## 骨組の安定・不安定

- ・ 安定：[支点]に支えられた[骨組]に荷重が作用するとき，骨組自体は[形をくずさず]外力を支え，かつ，骨組全体も[移動せず]元の位置を保つ状態
  - ・ 不安定：[安定]でない状態
- 基本的には視察による  
判定式を用いた方法もある  
→設計する構造物は[安定]でなければならない



15

## 骨組の静定・不静定

- ・ 静定：骨組が[必要最小限]の[部材]，[反力数]をもつ支持で支えられている状態．[力の釣り合い]条件だけで[反力]，[部材応力]を求めることができる
  - ・ 不静定：骨組が[必要最小限以上]の[部材]，[反力数]をもつ支持で支えられている状態．[力の釣り合い]条件だけで[反力]，[部材応力]を求めることができず，これらのほかに更に[部材の変形]，[骨組の変位]を考えた条件（[変形の適合条件]）が必要となる
- 静定か不静定かで骨組の解き方が違う  
→まず静定か不静定かを判定する必要

16



## 骨組の静定・不静定の判定（単一部材）

$n$ : 支持力数

1つの支点についてローラー1, ピン2, 固定3)

$n < 3$ : 不安定

$n = 3$ : 安定で静定

$n > 3$ : 安定で不静定

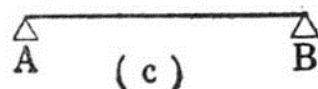
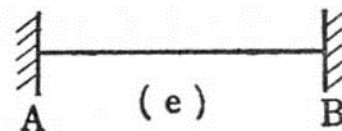
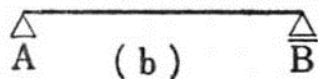
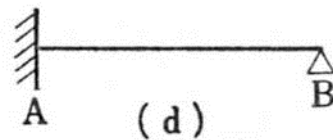
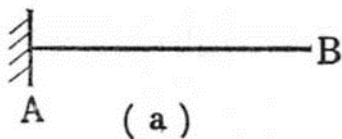
$m = n - 3$ : 不静定次数 ( $m$ 次の不静定)

17

### 問題1 単一部材の静定・不静定の判定

※演習

次の梁の静定・不静定を判定し,  
不静定の場合は不静定次数を求めよ



18

## 骨組の静定・不静定の判定（骨組）

k: 節点数（支点，自由端も含む）

n: 支持力数（1つの支点について

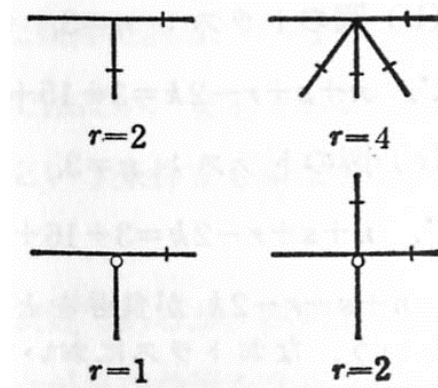
ローラー1，ピン2，固定3）

s: 部材数

r: 剛接接合材数（節点に対してある1つの材に  
剛に接合された材の数）

あるいは

（節点に剛に接続  
された材の数-1）



## 骨組の静定・不静定の判定（骨組）

k: 節点数, n: 支持力数, s: 部材数,

r: 剛接接合材数

構造物全体に対して

$2k > n + s + r$  不安定 ←必ず不安定

$2k = n + s + r$  安定で静定 ←安定とは限らない

$2k < n + s + r$  安定で不静定 ←安定とは限らない

$m = n + s + r - 2k$ : 不静定次数（m次の不静定）

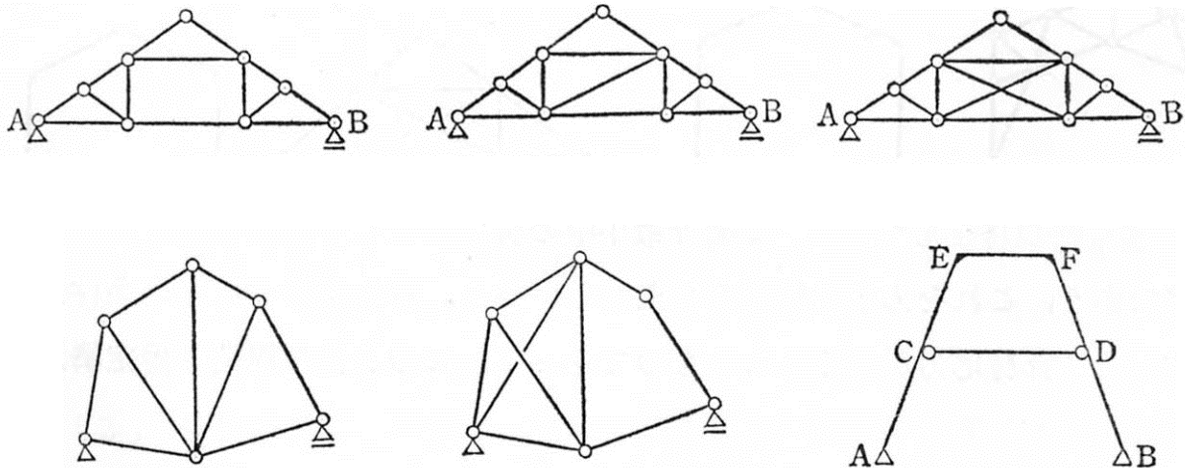
→判定式で安定となっても目視で確認

→n, s, rが1つ増えると不静定度が1つ増える

kが1つ増えると不静定度が2つ減る

## 問題2 骨組の静定・不静定の判定

次の骨組の静定・不静定を判定し、  
不静定の場合は不静定次数を求めよ

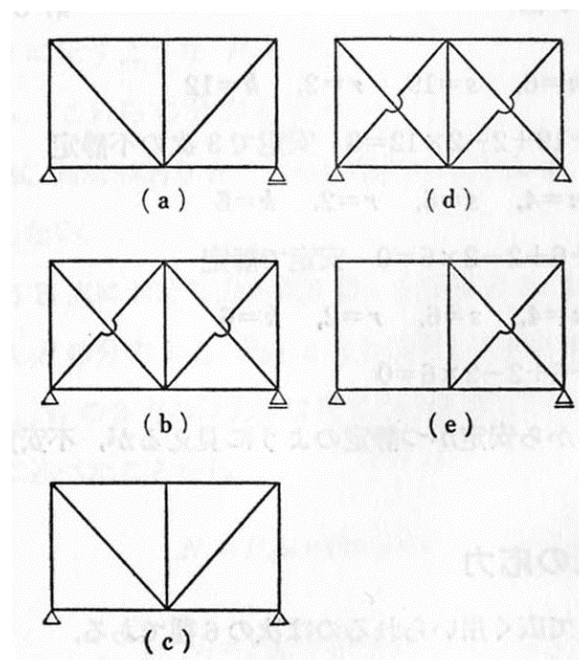


21

## 問題3 骨組の静定・不静定の判定(1)

※演習

次のトラス（節点は全てピン接合）の静定・不静定を判定し、不静定の場合は不静定次数を求めよ

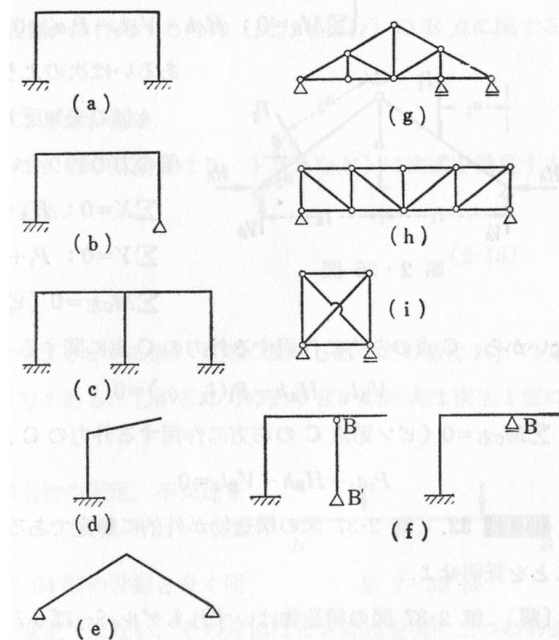


22

## 問題4 骨組の静定・不静定の判定(2)

※演習

次の骨組の静定・不静定を判定し、  
不静定の場合は不静定次数を求めよ



23

## 構造物の安定・不安定，静定・不静定の 演習書の問題

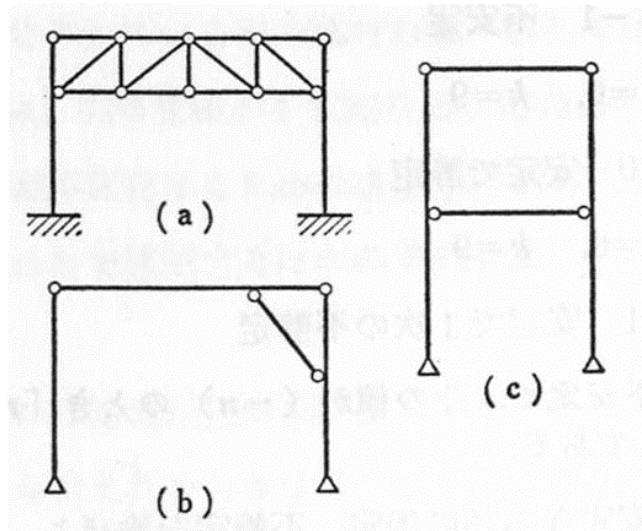
問題[1.5] (p. 7~16)

※解き方は少し違うが答えは当然同じ

## 問題5 骨組の静定・不静定の判定

※宿題

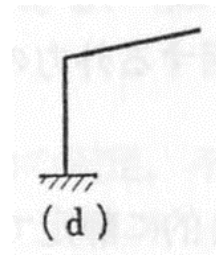
次の骨組の静定・不静定を判定し、  
不静定の場合は不静定次数を求めよ



25

## 骨組の静定・不静定 まとめ

- ・ 構造物全体に対して判定式  $2k \leq n + s + r$   
( $k$ : 節点数,  $n$ : 支持力数,  $s$ : 部材数,  
 $r$ : 剛接接合材数)  
 $>$ : 不安定,  $=$ : 静定,  $<$ : 不静定
- ・  $m = n + s + r - 2k$ : 不静定次数 ( $m$ 次の不静定)  
静定 (ぎりぎり安定) からの「余裕度」
- ・  $n, s, r$ が1つ増えると不静定度が1つ増える  
 $k$ が1つ増えると不静定度が2つ減る
- ・ 判定式で安定となっても安定とは限らないので  
目視で確認  
(判定式で不安定となったら不安定)



26



# トラスとは

- ・ 全ての接点が[ピン接合]された骨組
- ←そう考えて計算する
- ・ トラスの[部材応力]を求めること→トラスを解く
- ・ トラスを解く場合の仮定
  - 1) [節点]は完全な[ピン]である
  - 2) [荷重（外力）]は全て[節点]に作用する
  - 3) [節点]を結ぶ直線は[材軸]と一致する

27

- トラスの部材には、  
[曲げモーメント]と[せん断力]は生じず、  
[軸方向力（軸力）]のみが生じる
- ・ 符号： 引張＋， 圧縮－



28

## 静定トラスの解法

- ・ 静定トラスを解く
- = 静定トラスが外力を受けたとき、  
生じる部材応力（[軸力]）を求める
- ・ 静定：[力の釣り合い]から求まる
- ・ [節点法]→[節点]に集まる力の釣り合いから  
部材応力を求める）  
数式解法と図解法
- ・ [切断法]→[切断]した部分の力の釣り合いから  
部材応力を求める）

29

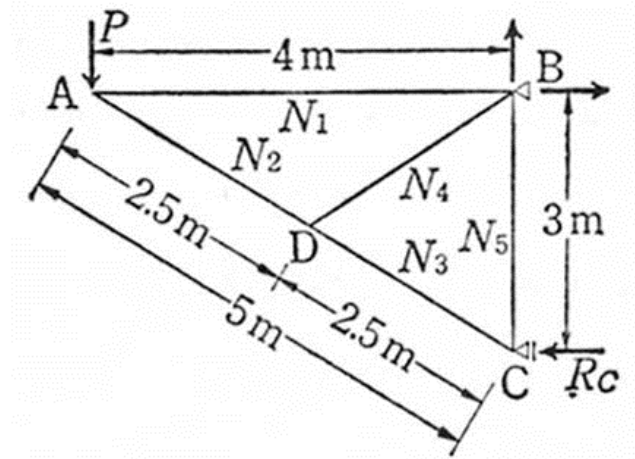
## 節点法（数式解法）

- ・ 力の釣り合いから連立方程式を立てて求めていく  
 $\sum X = 0$   
 $\sum Y = 0$
- ・ 条件式は2つ  
→未知量が3つ以上の節点では解けない  
→未知量が2つの節点から順次解いていく

30

## 問題7 節点法（数式解法）で静定トラスを解く（1）

次の静定トラスを節点法（数式解法）で解け  
（各部材の応力を求めよ）

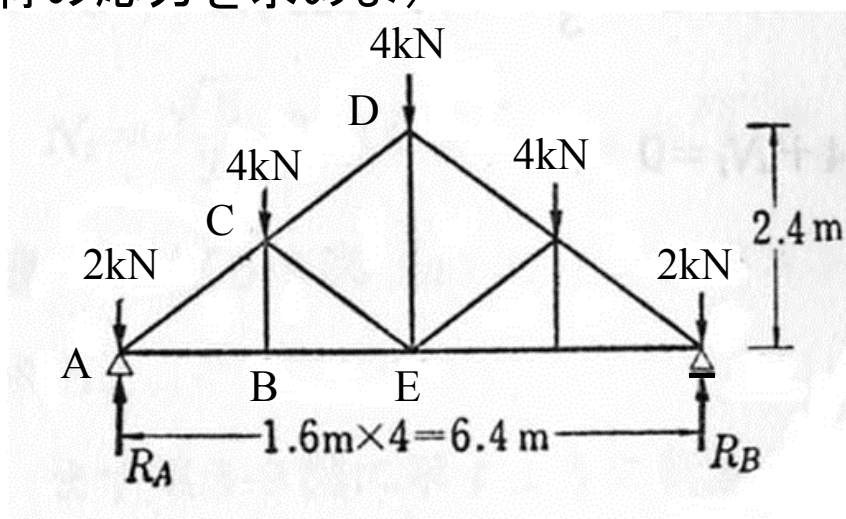


31

## 問題8 節点法（数式解法）で静定トラスを解く（2）

※演習（解答は別紙に）

次の静定トラスを節点法（数式解法）で解け  
（各部材の応力を求めよ）



King post truss

32

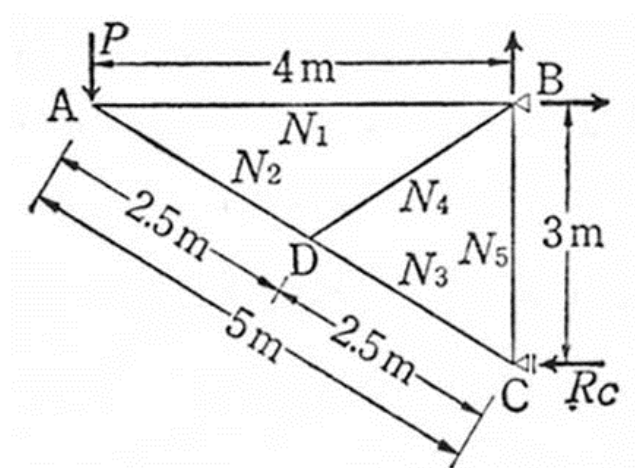
## 節点法（図解法）

- ・ 節点法（数式解法）：
  - 1 節点に集まる[部材応力]，[外力]の[釣り合い]
- [示力図] が閉じる
- ・ この性質を利用して解いていく
- ・ 示力図を重ね合わせた図 → [クレモナ図]

33

### 問題9 節点法（図解法）で静定トラスを解く（1）

次の静定トラスを節点法（図解法）で解け  
（各部材の応力を求めよ）

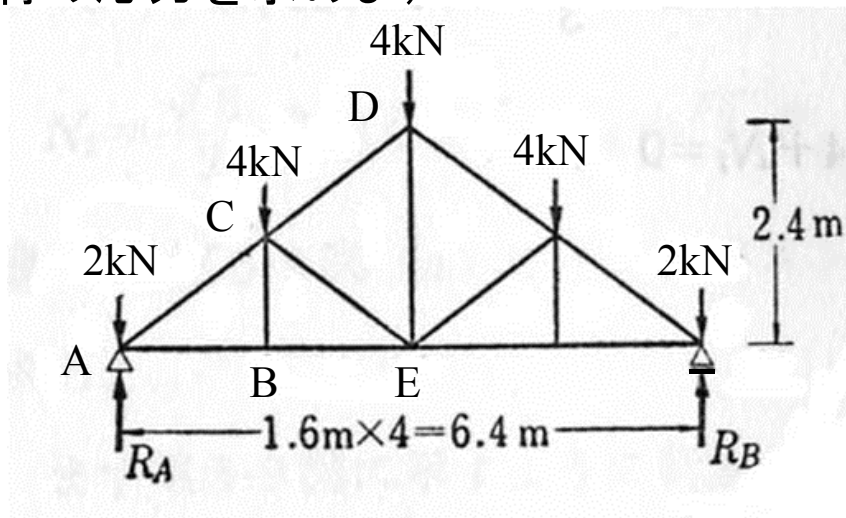


34

## 問題10 節点法（図解法）で静定トラスを解く（2）

※演習

次の静定トラスを節点法（図解法）で解け  
（各部材の応力を求めよ）



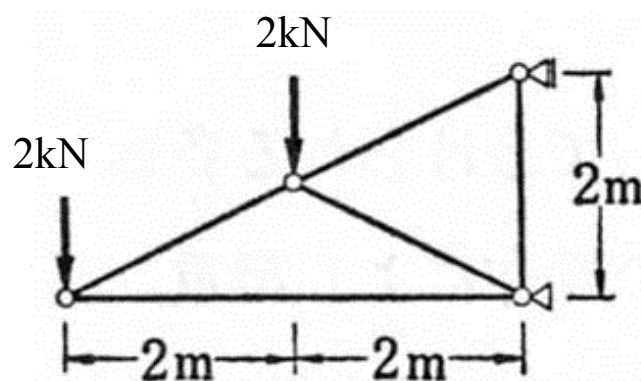
King post truss

35

## 問題11 節点法で静定トラスを解く（3）

※宿題

次の静定トラスを節点法（数式解法，図解法）で解いて（各部材の応力を求めよ）両者が一致することを確認せよ



36



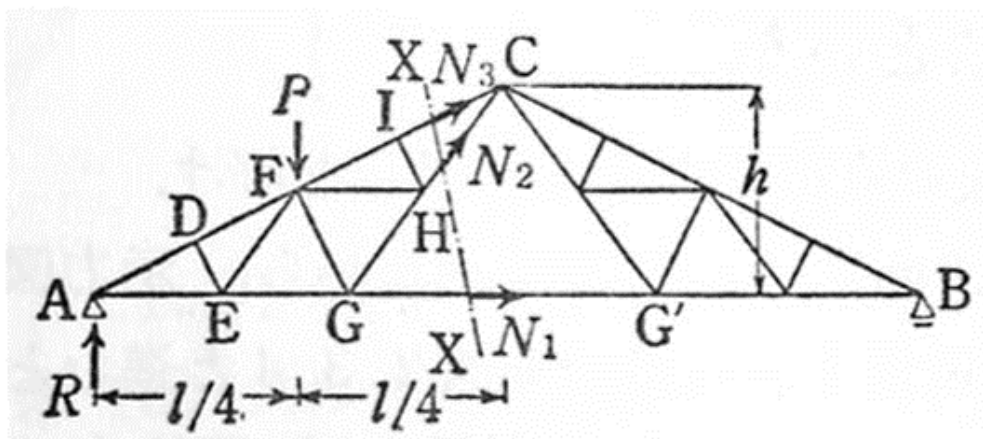
## 節点法（数式解法，図解法）まとめ

- ・ 基本は「力の釣り合い」
  - ← トラスの節点はピンなのでモーメントは生じない
  - 2方向の力の釣り合い
- ・ 条件式は2つ
  - 未知力が2つの節点から順次解いて、あるいは、示力図を描いていく
- ・ 図解法は正確に作図
- ・ どちらか、ではなく、どちらでも解けるように
  - 計算ミスを防げる

37

## 切断法

- ・ 節点法： 支点から解いていくと時間がかかる
- ・ 切断法： ある特定の部材の応力が知りたい場合に有効
- ・ 節点法では未知部材力が3つ以上できる節点があると解けない。例えば



38

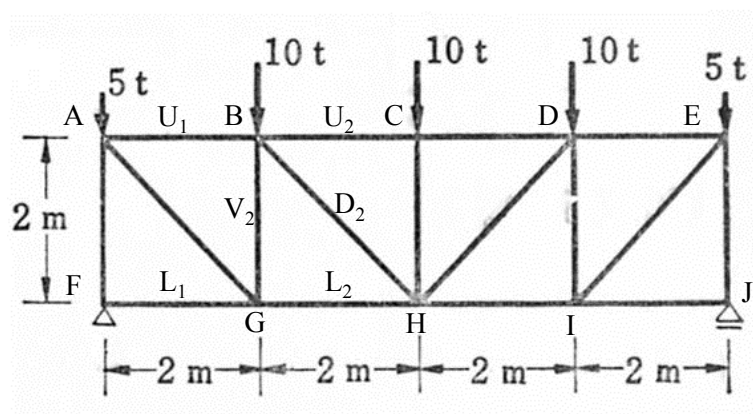
## 切断法

- ・ 応力を求めようとする部材を含む仮想切り口で切断し、切断した部分に働く[外力]、[反力]、[応力]に対して[釣り合い条件式]を立てて[応力]を求める.
- ・ できるだけ簡単に求まるように
  - ・ どこで切断するか
  - ・  $\sum X = 0$ ,  $\sum Y = 0$ ,  $\sum M = 0$ のどれを使うか,
  - ・  $\sum M = 0$ を使うとしたらどの点回りにするか判断する

39

### 問題12 切断法で静定トラスを解く(1)

次の静定トラスの部材応力（軸方向力）  $U_2$ ,  $D_2$ ,  $L_2$  を切断法で求めよ

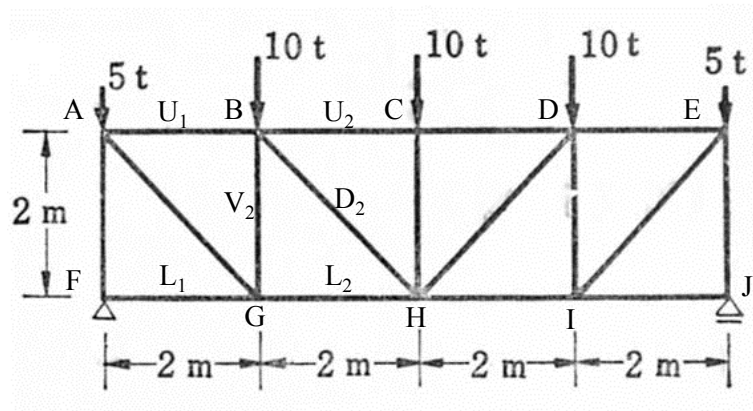


40

### 問題13 切断法で静定トラスを解く (2)

※演習

次の静定トラスの部材応力（軸方向力）  $U_1$ ,  $V_2$ ,  $L_1$  を切断法で求めよ

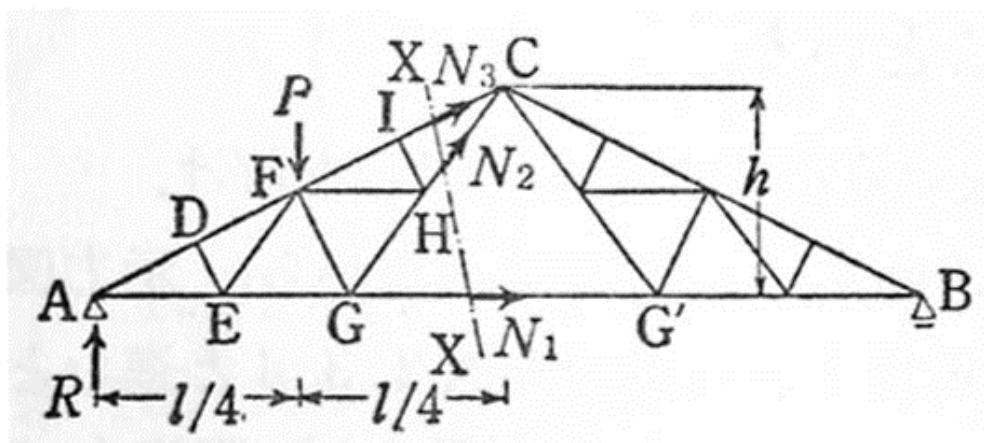


41

### 問題14 切断法で静定トラスを解く (3)

※演習

次の静定トラスの部材応力（軸方向力）  $N_1$  を求めよ

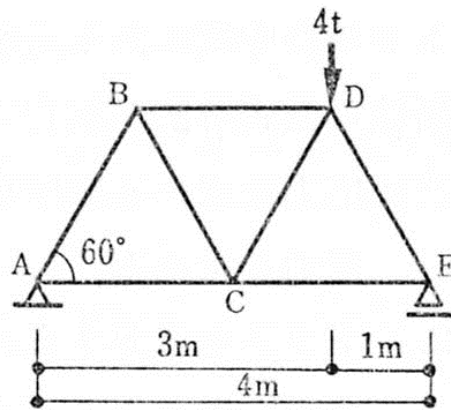


42

## 問題15 切断法で静定トラスを解く(4)

※宿題

次の静定トラスの部材BD, BC, ACの応力（軸方向力）を切断法で求めよ

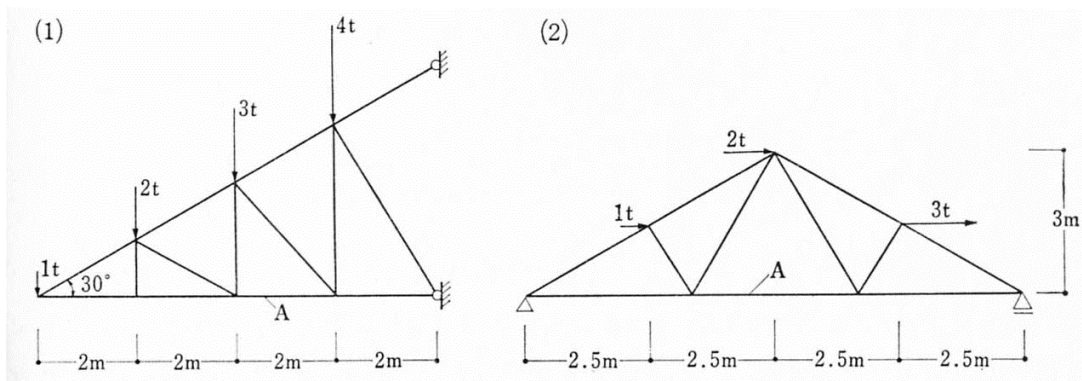


43

## 問題16 切断法で静定トラスを解く(5)

※宿題

次の静定トラスの部材Aの応力（軸方向力）を切断法で求めよ



44

## 切断法 まとめ

- ・ 基本は「力の釣り合い」
- ・ どこで切断するか
  - ・  $\sum X = 0$ ,  $\sum Y = 0$ ,  $\sum M = 0$  のどれを使うか,
  - ・  $\sum M = 0$  を使うとしたらどの点回りにするか
- ・ 節点法と切断法のどちらか, ではなく,  
どちらでも解けるように  
→ 計算ミスを防げる

45

## 静定トラスの応力のまとめ

- ・ 基本は「力の釣り合い」
  - ・ 節点法（数式解法と図解法）, 切断法
  - ・ 条件によって使い分ける
- ⇔ いずれの方法でも解けるように
- ・ 演習書の問題: [2. 17~2. 21] (p. 36~44)

46



## 静定トラスの変形

静定トラスの変形を求める目的:

- ・ 静定トラスの変形を求める
- ・ 不静定トラスの応力を求める

←変形の適合条件

47

## 静定トラスの変形

仮想仕事の原理を用いた静定トラスの変形の求め方

- ・ 各部材の応力（軸方向力） $N_0$ を求める
- ・ 変形を求めたい[点]，求めたい[方向]に  
[単位力 1 のみ]を加えたときの  
各部材の応力（軸方向力） $N_1$ を求める  
(回転角なら単位モーメント 1 を加える)

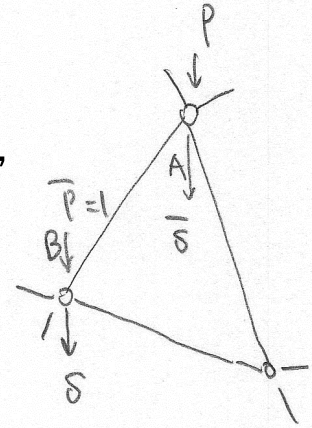
- ・  $\delta = \sum \frac{N_0 N_1}{EA} l$  により，求める変形  $\delta$  を求める

(E: 材料のヤング率, A: 部材の断面積,  
l: 部材の長さ)

48

## 仮想仕事の原理によって トラスの変形を求める式の導出

- ・ 右のトラスの一部を考え、点Aにかかる荷重Pにおける点Bの変形 $\delta$ を求める
- ・ この状態から更に点Bに単位力( $=1$ )をかけたときの点Aの変形を $\bar{\delta}$ とすると、 $\bar{P}$ がかかることによって  
Pがした仕事（させられた仕事）は  
Pによる応力度と歪度を $\sigma, \varepsilon$ ,  
 $\bar{P}$ による応力度と歪度を $\bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}$ ,  
E: 材料のヤング係数, A: 部材の断面積,  
l: 部材の長さとする



49

Pがした仕事は,

$$\begin{aligned}
 P \cdot \bar{\delta} &= \sum \iiint \sigma \cdot \bar{\varepsilon} \, dx dy dz = \sum \sigma \cdot \bar{\varepsilon} \int dx \iint dy dz \\
 &= \sum \sigma \cdot \bar{\varepsilon} l A = \sum \frac{N_0}{A} \frac{N_1}{EA} l A = \sum \frac{N_0 N_1}{EA} l
 \end{aligned}$$

$$\leftarrow \sigma = \frac{N_0}{A}, \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N_0}{EA}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{N_1}{A}, \quad \bar{\varepsilon} = \frac{\sigma}{E} = \frac{N_1}{EA} \quad \leftarrow \bar{P} \text{のみによって生じたもの}$$

50

一方、 $\bar{P}$ が作用点を $\delta$ 変形させるのに必要な仕事は、

$$\begin{aligned}\bar{P} \cdot \delta &= \sum \iiint \bar{\sigma} \cdot \varepsilon \, dx dy dz = \sum \bar{\sigma} \cdot \varepsilon \int dx \iint dy dz \\ &= \sum \bar{\sigma} \cdot \varepsilon l A = \sum \frac{N_1}{A} \frac{N_0}{EA} l A = \sum \frac{N_0 N_1}{EA} l\end{aligned}$$

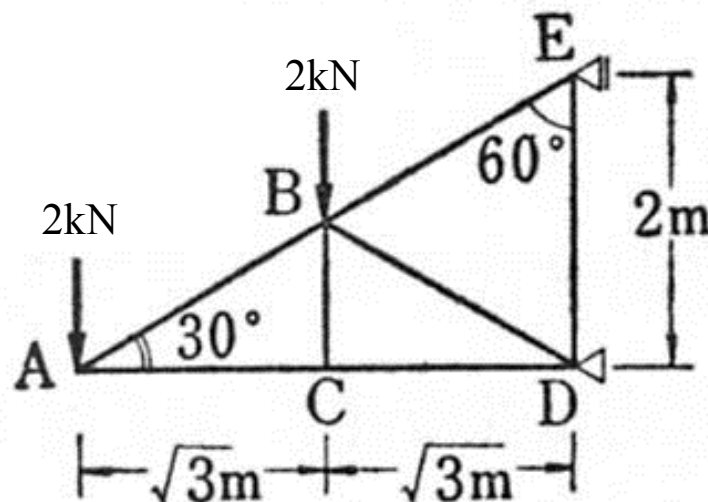
よって、 $P \cdot \bar{\delta} = \bar{P} \cdot \delta = \delta$  (Bettiの定理)

$$\delta = \sum \frac{N_0 N_1}{EA} l$$

51

### 問題18 静定トラスの変形(1)

次の静定トラスの点Aの鉛直方向のたわみを求めよ。  
ただし、材料のヤング係数 $E=2.1 \times 10^3 \text{ kN/cm}^2$ 、  
部材の断面積 $A=10.0 \text{ cm}^2$ とする。

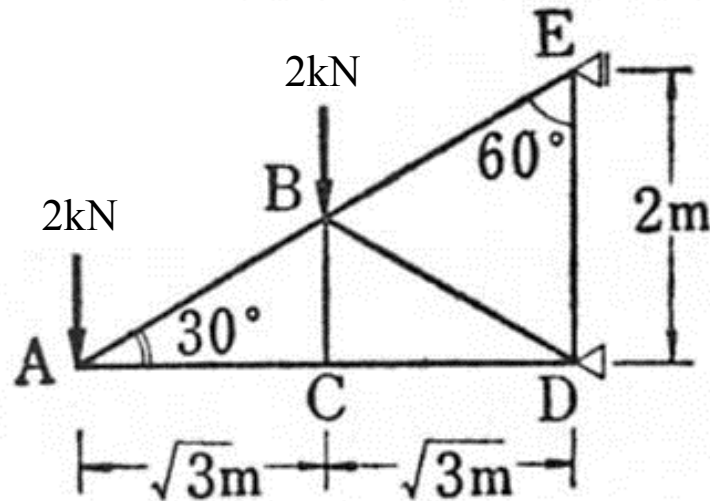


52

## 問題19 静定トラスの変形(2)

※演習

次の静定トラスの点Aの水平方向の変形を求めよ。  
ただし、材料のヤング係数 $E=2.1 \times 10^3 \text{ kN/cm}^2$ 、  
部材の断面積 $A=10.0 \text{ cm}^2$ とする。

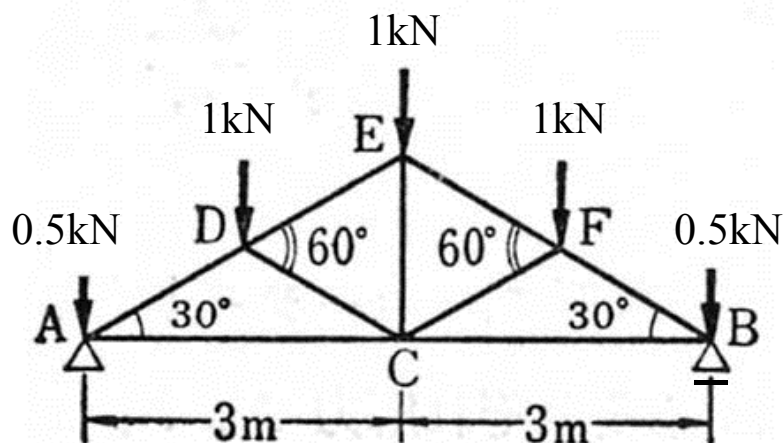


53

## 問題20 静定トラスの変形(3)

※演習

次の静定トラスの点Cの鉛直方向の変形を求めよ。  
ただし、材料のヤング係数は、 $E=80 \text{ kN/cm}^2$ 、部材の  
断面積は、CD、CFが $50 \text{ cm}^2$ 、それ以外が $100 \text{ cm}^2$ とす  
る。

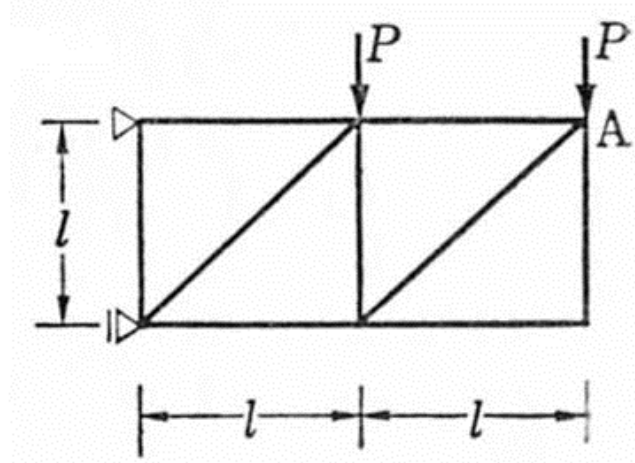


54

## 問題21 静定トラスの変形(4)

※宿題

次の静定トラスの点Aの鉛直および水平方向の変形を求めよ。ただし、材料のヤング係数はE、部材の断面積は、Aとする。



55

## 静定トラスの変形のまとめ

仮想仕事の原理を用いた静定トラスの変形の求め方

- ・ 各部材の応力（軸方向力） $N_0$ を求める
- ・ 変形を求めたい点，求めたい方向に  
単位力 1 のみを加えたときの  
各部材の応力（軸方向力） $N_1$ を求める  
（回転角なら単位モーメント 1 を加える）
- ・ 表を作成して

$$\delta = \sum \frac{N_0 N_1}{EA} l \quad \text{により，求める変形 } \delta \text{ を求める}$$

(E: 材料のヤング率, A: 部材の断面積,  
l: 部材の長さ)

- ・ 演習書の問題: [6. 34] (p. 189~190)

56



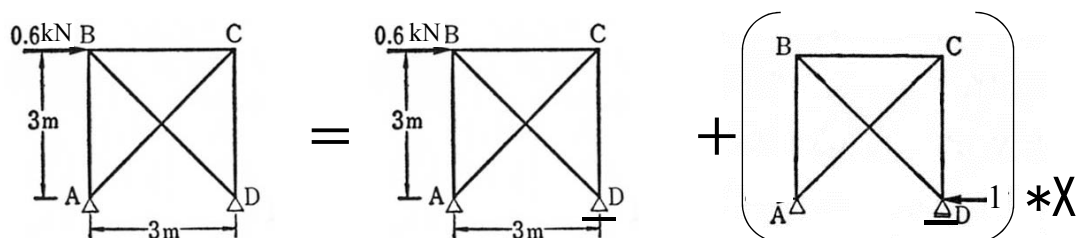
## 不静定トラスの応力

- ・ 解法の原理は不静定はり（材料力学）と同じ
  - ・ 不静定構造
- = [静定構造物] + [不静定余力] に分解  
 （[静定基本構]）（[不静定次数]に等しい数）
- ・ 不静定構造の[変形の適合条件]  
 （境界条件や連続条件）を満たすように  
 [不静定余力]を求める
  - ・ 求める不静定構造の応力
- = [静定基本構]の応力 + [不静定余力]による応力

57

## 不静定トラスの応力の求め方（具体例）

- 不静定構造 (←外力P)  
 = 静定基本構 (←P + 不静定余力X)  
 = 静定基本構 (←P) + 静定基本構 (←不静定余力X)



- = 静定基本構 (←P) + (静定基本構 (←単位力1)) \* X  
 不静定構造 (←P) = 静定基本構 (←P) + 静定基本構 (←単位力1) \* X
- |    |   |   |                |   |                  |     |
|----|---|---|----------------|---|------------------|-----|
| 応力 | N | = | N <sub>0</sub> | + | N <sub>1</sub> X | ←   |
| 変形 | 0 | = | δ <sub>0</sub> | + | δ <sub>1</sub> X | → X |
- ↑ 不静定余力が作用する位置, 方向の ([変形の適合条件])

58

## 不静定トラスの応力の求め方（手順）

- ・ 静定基本構（←外力P）の応力 $N_0$ を求める
- ・ 静定基本構（←単位力1）の応力 $N_1$ を求める
- ・ 仮想仕事の原理により

$$\delta_0 = \sum \frac{N_0 N_1}{EA} l \quad \text{静定基本構に外力が加わっている時の不静定余力位置, 方向の変形}$$

$$\delta_1 = \sum \frac{N_1^2}{EA} l \quad \text{静定基本構に単位力1の不静定余力が加わっている時の不静定余力位置, 方向の変形}$$

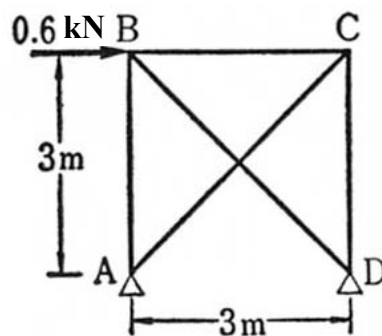
- ・  $\delta_0 + \delta_1 * X = 0$ （変形の適合条件）より  $X = -\delta_0 / \delta_1$
- ・ 不静定構造の応力 $N = \text{静定基本構の応力 } N_0 + \text{静定基本構の不静定余力による応力 } (N_1 * X)$

59

## 問題23 不静定静定トラスの応力(1)

次の不静定トラスの応力を求めよ

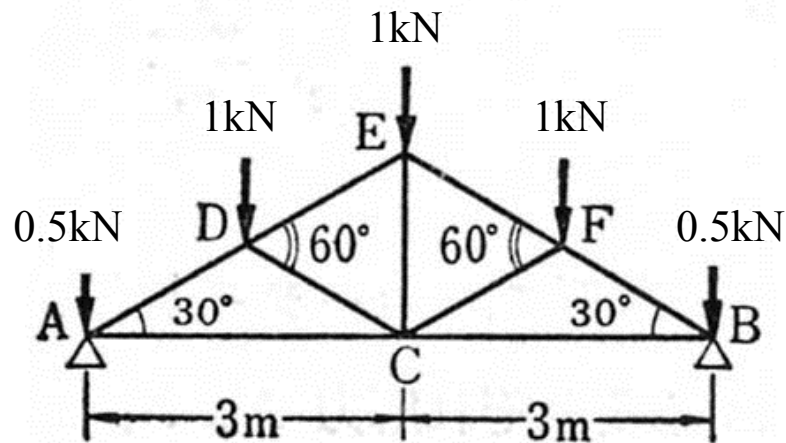
（静定基本構：点Dのピンをローラーにする）．



## 問題24 不静定静定トラスの応力(2)

※演習

次の不静定トラスの応力を求めよ（点Bのピンをローラーにする）。ただし，CD，CF材の断面積は $50\text{cm}^2$ とし，それ以外の材の断面積は $100\text{cm}^2$ ，材料剛性は $80\text{kN/cm}^2$ とする。N<sub>0</sub>は問題20の結果を使ってよい。

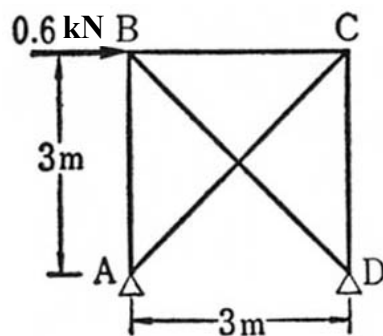


61

## 問題25 不静定静定トラスの応力(3)

※宿題

次の不静定トラスの応力を求めよ  
（静定基本構：AC材を切断する）。



62

## 不静定トラスの変形

解法の原理は静定トラスと同じ

$$\delta = \sum \frac{N_0 N_1}{EA} l$$

$N_0$ : 外力下の静定トラスの応力

$N_1$ : 静定トラスの変形を求めたい位置, 方向に  
単位力 1 を加えたときの応力

$$\delta = \sum \frac{N'_0 N'_1}{EA} l$$

不静定

$N'_0$ : 外力下の不静定トラスの応力

$N'_1$ : 不静定トラスの変形を求めたい位置, 方向に  
単位力 1 を加えたときの応力

63

## 不静定トラスの変形

$$\delta = \sum \frac{N'_0 N'_1}{EA} l = \sum \frac{N'_0 N_1}{EA} l$$

( $N'_1$  (不静定トラスの応力) の代わりに

$N_1$  (静定基本構の応力) を使ってもOK)

$N'_0$ : 外力下の不静定トラスの応力

$N'_1$ : 不静定トラスの変形を求めたい位置, 方向に  
単位力 1 を加えたときの応力

$N_1$ : 静定基本構の変形を求めたい位置, 方向に  
単位力 1 を加えたときの応力

# 簡単な不静定トラスを使った $N_1'$ の代わりに $N_1$ が使えることの証明

$$\delta = \sum \frac{N_0' N_1'}{EA} l$$

$$= \sum \frac{N_0' (N_1 + N_{11} X_1')}{EA} l$$

$$= \sum \frac{N_0' N_1}{EA} l + X_1' \sum \frac{N_0' N_{11}}{EA} l$$

65

# 簡単な不静定トラスを使った $N_1'$ の代わりに $N_1$ が使えることの証明 (つづき)

$$= \sum \frac{N_0' N_1}{EA} l + X_1' \sum \frac{N_0' N_{11}}{EA} l$$

$$= \sum \frac{N_0' N_1}{EA} l + X_1' \sum \frac{(N_0 + N_{11} X_1') N_{11}}{EA} l$$

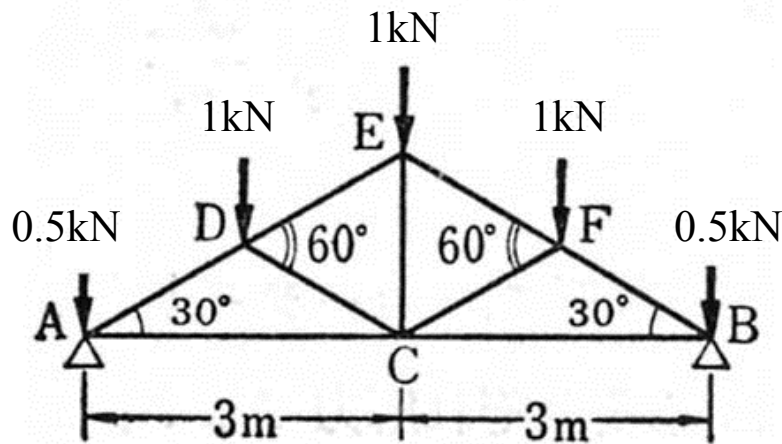
$$= \sum \frac{N_0' N_1}{EA} l + X_1' \left( \sum \frac{N_0 N_{11}}{EA} l + X_1 \sum \frac{N_{11} N_{11}}{EA} l \right)$$

$$= \sum \frac{N_0' N_1}{EA} l$$

66

## 問題26 不静定静定トラスの変形(1)

次の不静定トラスの点Cの鉛直変位を求めよ。ただし、CD、CF材の断面積は $50\text{cm}^2$ とし、それ以外の材の断面積は $100\text{cm}^2$ 、材料剛性は $80\text{kN/cm}^2$ とする。  $N_0'$ は問題24の結果、 $N_1$ は問題21の結果を使ってよい（結果を問題21の点Bがローラーの場合と比較してみる）。

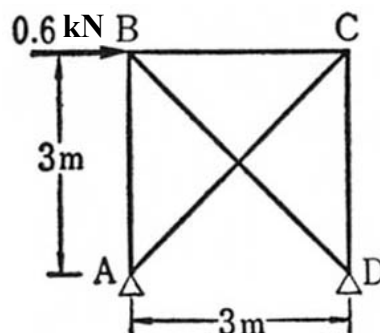


67

## 問題27 不静定静定トラスの変形(2)

※演習

次の不静定トラスの点Bの水平変位を求めよ。ただし、部材の断面積は $10\text{cm}^2$ とし、材料剛性は $2.1 \times 10^3 \text{kN/cm}^2$ とする。  $N_0'$ 、 $N_1$ は問題23の結果を使ってよい（問題23の $N_0$ が $N_1$ に対応。ただし、0.6を1にする）。

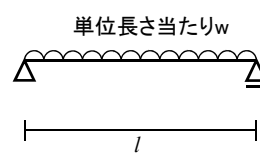
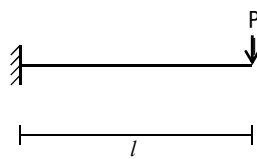
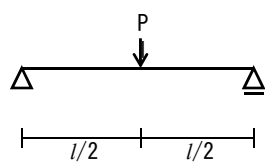


68

## 問題28 静定はりの応力(1) (材料力学I復習)

※宿題

次の静定はりを解け

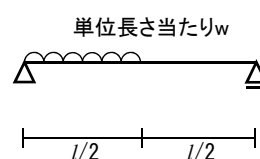
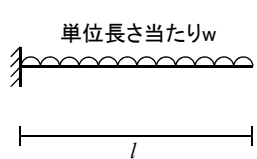
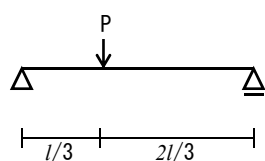


69

## 問題29 静定はりの応力(2) (材料力学I復習)

※宿題

次の静定はりを解け

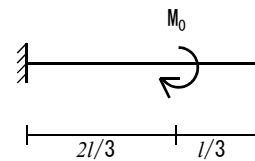
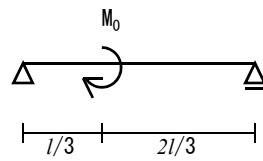
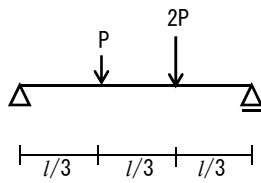


70

## 問題30 静定はりの応力(3) (材料力学I復習)

※宿題

次の静定はりを解け



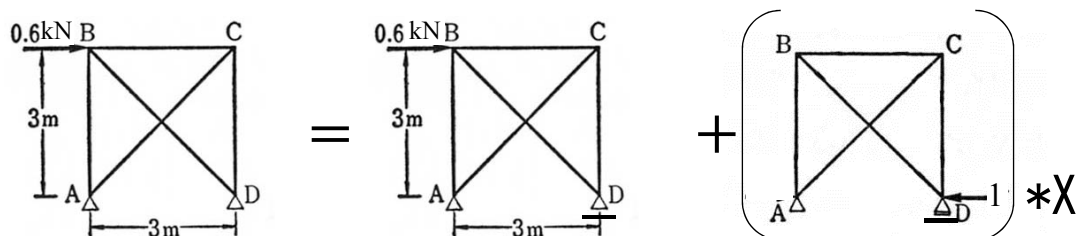
71

## 不静定トラスの応力のまとめ

不静定構造 ( $\leftarrow$  外力  $P$ )

= 静定基本構 ( $\leftarrow P +$  不静定余力  $X$ )

= 静定基本構 ( $\leftarrow P$ ) + 静定基本構 ( $\leftarrow$  不静定余力  $X$ )



= 静定基本構 ( $\leftarrow P$ ) + (静定基本構 ( $\leftarrow$  単位力 1))  $\times X$

不静定構造 ( $\leftarrow P$ ) = 静定基本構 ( $\leftarrow P$ ) + 静定基本構 ( $\leftarrow$  単位力 1)  $\times X$

応力  $N = N_0 + N_1 X$

変形  $\delta = \delta_0 + \delta_1 X$

$\uparrow$  不静定余力が作用する位置, 方向の ([変形の適合条件])

72



## 不静定トラスの変形のまとめ

解法の原理は静定トラスと同じ

$$\delta = \sum \frac{N'_0 N'_1}{EA} l = \sum \frac{N'_0 N_1}{EA} l$$

( $N'_1$  (不静定トラスの応力) の代わりに  
 $N_1$  (静定基本構の応力) を使ってもOK)

$N'_0$ : 外力下の不静定トラスの応力

$N'_1$ : 不静定トラスの変形を求めたい位置, 方向に  
単位力 1 を加えたときの応力

$N_1$ : 静定基本構の変形を求めたい位置, 方向に  
単位力 1 を加えたときの応力

73

## 静定ラーメンの応力

・ ラーメン: 全ての節点が剛接の骨組  
⇔ トラス : 全ての節点がピン接合の骨組

→ ラーメンの部材に生じる応力 (外力に「**応**じて」  
部材内部に生じる力) は,  
[**軸 (方向) 力**], [**せん断力**], [**曲げモーメント**]

⇔ トラスは軸力のみ

74

## 軸力（軸方向力）

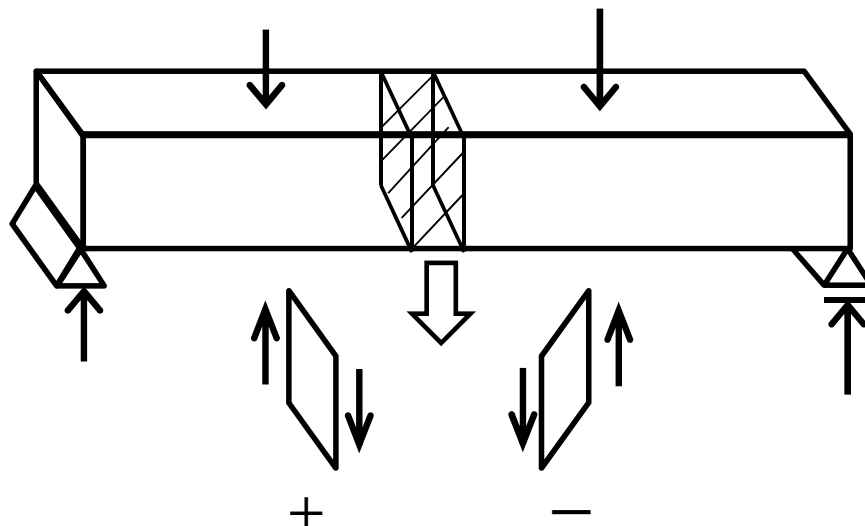
- 部材の[軸方向]に[引張]，[圧縮]しあって，部材を[伸び縮み]させようとする作用。  
通常，[引張]方向を+，[圧縮]方向を-にとる



75

## せん断力

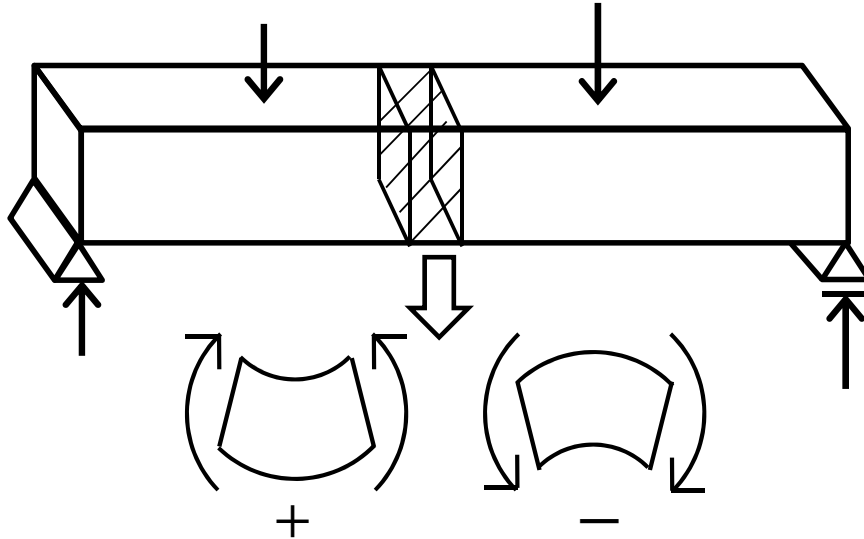
- 部材の[軸に直交]する方向に働いて，材に[ずれ変形]を生じさせようとする作用。  
通常，[時計回り↑↓]方向を+，  
[反時計回り↓↑]方向を-にとる



76

## 曲げモーメント

- 対になるモーメントが働いて、その点において部材を[わん曲]させようとする作用。  
通常、材が[膨らむ]方向を+、  
[縮む]方向を一にとる



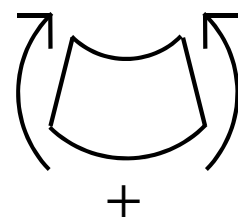
77

## 荷重 $\omega$ ，せん断力 $Q$ ，曲げモーメント $M$ の関係

荷重  $\omega$   
 積分  $\left( \begin{array}{c} \omega \\ \downarrow \\ Q \end{array} \right)$  微分 (変化率)  
 せん断力  $Q$   
 積分  $\left( \begin{array}{c} Q \\ \downarrow \\ M \end{array} \right)$  微分 (変化率)  
 曲げモーメント  $M$

$$Q = -\int \omega dx \quad M = \int Q dx$$

符号



78

点回り

$$\phi + dQ + \omega \cdot dx = \phi$$

$$\omega = -\frac{dQ}{dx} \quad \boxed{Q = -\int \omega dx}$$

$$\cancel{M} - (dM + \cancel{M}) + (Q + dQ)dx + \omega \cdot dx \cdot \frac{dx}{2} = 0$$

$$\frac{dM}{dx} = Q + dQ + \omega \frac{dx}{2} \doteq Q \quad \boxed{M = \int Q dx}$$

## 静定ラーメンを解く

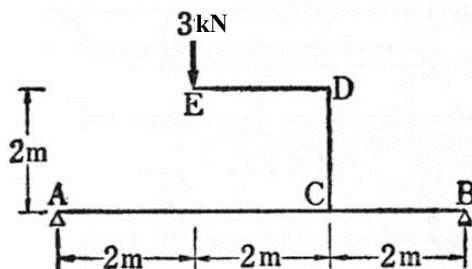
- ・ 荷重によって生じる応力  
(軸力N, せん断力Q, 曲げモーメントM) を求める
- ・ 静定→力の釣り合いから求まる
- ・ (原則として) 構造物全体の力の釣り合いから  
反力を求める
- ・ 荷重, せん断力, 曲げモーメントの関係から  
各応力を求める
- ・ まず単一材 (はり) で

## 静定ラーメンを解く

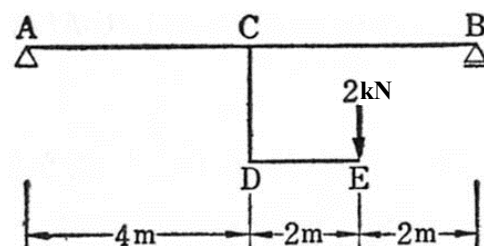
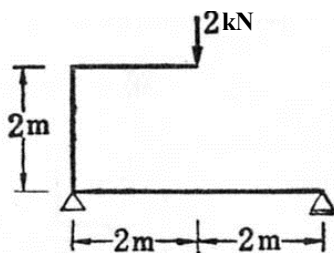
- ・ 荷重によって生じる応力  
(軸力 $N$ , せん断力 $Q$ , 曲げモーメント $M$ )を求める
- ・ 静定→力の釣り合いから求まる
- ・ (原則として)構造物全体の力の釣り合いから  
反力を求める
- ・ 荷重, せん断力, 曲げモーメントの関係から  
各応力を求める
- ・ ラーメン: 単一材の組み合わせ
- ・ 剛接点のモーメントの釣り合いに注意
- ・ 曲げモーメント: 引張側 (湾曲して凸になる側)  
が+となるように
- ・ せん断力, 軸力: どちらでも可  
(向きによらない) ただし符号をはっきり書く<sup>81</sup>

### 問題31 静定ラーメン(1)

次の静定ラーメンを解け

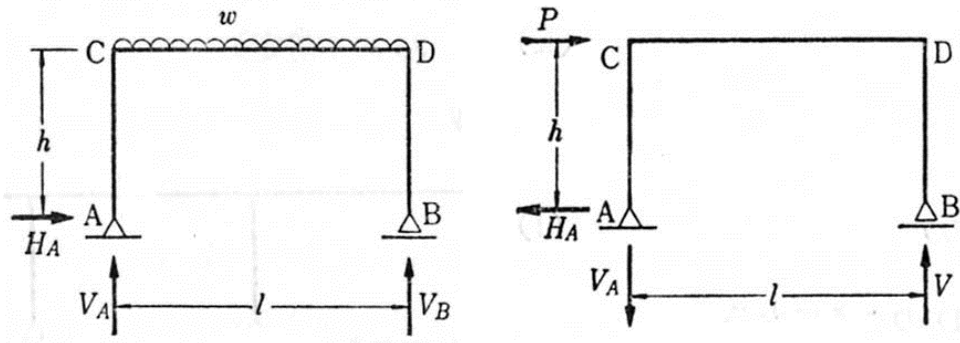


※演習



## 問題32 静定ラーメン(2)

次の静定ラーメンを解け

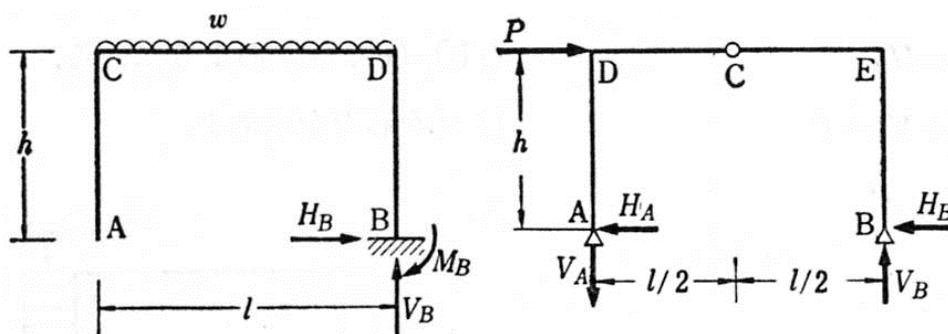


83

## 問題33 静定ラーメン(3)

次の静定ラーメンを解け

※演習

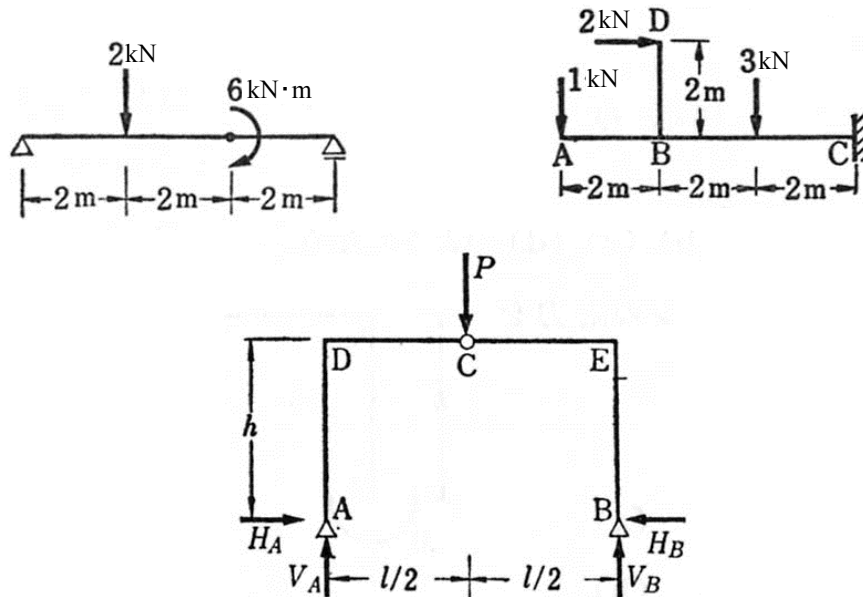


84

## 問題34 静定ラーメン(4)

※宿題

次の静定ラーメンを解け



85

## 静定ラーメンの応力のまとめ

- ・ 静定→力の釣り合いから求まる
- ・ 構造物全体の力の釣り合いからまず反力を求める
- ・ 荷重→(積分)→せん断力→(積分)→曲げモーメントの関係から各応力を求める

↓

- ・ 単一材に分解して  
節点の曲げモーメントの釣り合いで解く方法
  - ・ 節点の曲げモーメントの「受け渡し」で解く方法  
(材の向きが変わるだけ)
  - ・ 曲げモーメント：引張側が+となるように
  - ・ せん断力，軸力：向きは自由だが符号をはっきり
- 演習書の問題： [2. 1]～[2. 8], [2. 22]～[2. 36],  
[2. 46]～[2. 47] (pp. 17～28, 44～64, 76～79)

86