

## 第5章 トラス橋

瀧上工業 織田 博孝

### 内容

- 5.1 まえがき
- 5.2 トラス橋のモデル化
- 5.3 耐震性能照査例
- 5.4 耐震性向上策
- 5.5 まとめ

## 内容

- 5.1 まえがき
  - 研究の現状とトラス橋の慣用的耐震設計法
- 5.2 トラス橋モデル
  - 単純上路トラス, 3径間連続上路トラス
- 5.3 耐震性能照査例
  - レベル1地震動のみに対して設計されたトラス橋の耐震安全性および地震後の使用性照査
- 5.4 耐震性向上策
  - 座屈拘束ブレースによる耐震性向上の検討

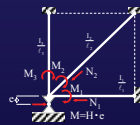
### 5.1 まえがき (慣用耐震設計法)

下のような簡単な平面モデルで解析することが多い。3次元モデルによる動的解析による設計例は少ない。

#### ■橋軸方向地震

固定支点に接続する主構部材を右図のように圧縮部材として設計

→近接する引張部材が座屈する可能性?

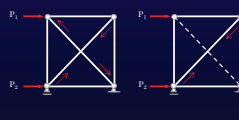


#### ■橋軸直角方向地震

支点上対傾構: 圧縮・引張部材として設計

中間対傾構: 引張部材としてのみ設計 → 座屈する可能性?

横構: ダブルワーレンとして設計



### 5.2 トラス橋のモデル化

#### 単純トラス

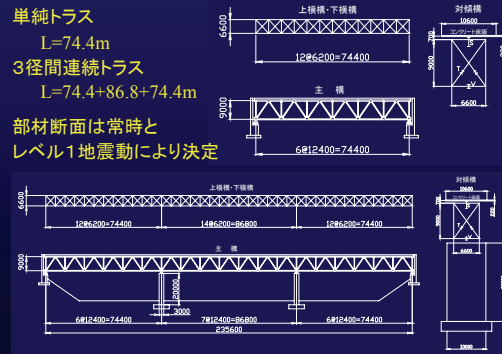
L=74.4m

#### 3径間連続トラス

L=74.4+86.8+74.4m

#### 部材断面は常時と

レベル1地震動により決定



### モデル化の基本方針

#### ■有限要素の選択

梁要素で部材間に中間節点 ← 全ての圧縮部材の座屈考慮

#### ■部材の結合条件

全て剛結 ← 細長い → 二次曲げモーメントとして無視できるが、曲げ座屈には影響

#### ■質量

整合質量 ← 曲げ座屈による非線形性のため数値不安定

#### ■材料構成則

鋼材はバイリニア移動硬化則

### 5.3 耐震性能照査例

耐震性能と各部材の健全度

橋の重要度	重要構造物	
地震動レベル	レベル2 (JRT-NS調整波)	
耐震性能水準	耐震性能3	
部材の健全度	主構, 支点对傾構	部材健全度2
	中間対傾構, 横構	部材健全度4

性能照査で採用する部分係数

構造物係数	$\gamma_i$	1.0
部材係数	$\gamma_b$	$1.0 \times 1.1 \times 1.0 = 1.1$
材料係数	$\gamma_m$	1.0
構造解析係数	$\gamma_a$	1.1
荷重係数	$\gamma_f$	1.0

構造安全照査

$$\text{圧縮} \quad \gamma \frac{\epsilon_s}{\epsilon_y} \leq 1.0$$

$$\text{引張} \quad \gamma \frac{\epsilon_s}{0.05} \leq 1.0$$

修復性照査 (地震後使用性)

$$\text{部材健全度} \quad \gamma \frac{\epsilon_s}{\epsilon_y} \leq 2.0$$

### 単純トラス

着目点(下弦材①)

橋軸方向地震時の変形モード  
(下支材の座屈)

### 単純トラス

単純トラスで照査する部材の圧縮終局ひずみ

部材	断面形状	板幅 b(mm)	板厚 t(mm)	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	産屈係数 k	幅厚比 ハラマー R	終局ひずみ $\epsilon_u / \epsilon_y$
下弦材 ①	□	フランジ	450	10	235	4.0	<b>0.81</b>
		ウェブ	450	9	235	4.0	<b>0.90</b>

ひずみ照査法による単純トラスの性能照査

地震動方向	部材	部分係数 $\gamma = \gamma_x \cdot \gamma_y$	構造安全性			地震後の使用性			
			最大圧縮ひずみ $\epsilon_u / \epsilon_y$	$\epsilon_u / \epsilon_y$	判定	最大ひずみ $\gamma \cdot \frac{\epsilon_u}{2\epsilon_y}$	判定		
橋軸方向	下弦材 ①	1.21	0.70	0.88	$0.96 < 1$	OK	2.70	$1.51 > 1$	NG
	橋軸直角方向	1.21	0.71	0.81	$1.06 > 1$	NG	2.28	$1.38 > 1$	NG

### 3径間連続トラス—橋軸方向地震

固定支点到に接続する下弦材と斜材のひずみ  
降伏に達していない < 無補剛箱断面の限界ひずみ  
下弦材  $1.1 \sim 1.8\epsilon_y$ , 斜材  $1.9 \sim 2.2\epsilon_y$   
他にも降伏した部材はなし  
← 中間のコンクリート橋脚が地震エネルギーを吸収するため

### 3径間連続トラス—橋軸直角方向地震(変形)

コンクリート橋脚は壁式のため、橋軸直角方向の剛性が高く、上部構造に大きな地震力が作用

中間支点对傾構と隣設の中間対傾構に曲げ座屈が発生  
主構部材は降伏せず、無損傷

### 3径間連続トラス—橋軸直角方向地震(対傾構軸力)

対傾構には道示の圧縮耐力を超えた軸力が作用  
中間対傾構には約  $20\epsilon_y$  のひずみが発生 → 取替が必要

道示による耐力	断面形	L/r	$\lambda$	$N_u / N_y$
中間支点对傾構	H形	72.3	0.778	0.726
中間対傾構	T形	216.5	2.33	0.161

中間支点对傾構—軸力      中間対傾構—軸力

### 3径間連続トラス

3径間連続トラスで照査する部材の圧縮終局ひずみ

部材	断面形状	板幅 b(mm)	板厚 t(mm)	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	産屈係数 k	幅厚比 ハラマー R	終局ひずみ $\epsilon_u / \epsilon_y$	
中間支点头部	□	フランジ	450	23	355	4.0	0.43	4.63
		ウェブ	450	23	355	4.0	0.43	4.63
中間支点头部	□	フランジ	400	25	355	4.0	0.35	9.76
		ウェブ	450	25	355	4.0	0.40	6.03
中間支点头部	H	フランジ	175	16	235	0.43	0.60	<b>3.85</b>
		ウェブ	350	16	235	4.0	0.39	6.28

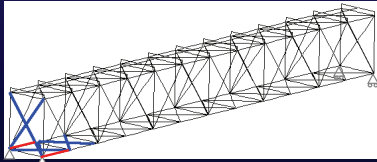
ひずみ照査法による3径間連続トラスの性能照査

地震動方向	部材	部分係数 $\gamma = \gamma_x \cdot \gamma_y$	構造安全性			地震後の使用性			
			最大圧縮ひずみ $\epsilon_u / \epsilon_y$	$\epsilon_u / \epsilon_y$	判定	最大ひずみ $\gamma \cdot \frac{\epsilon_u}{2\epsilon_y}$	判定		
橋軸方向	下弦材	1.21	0.66	4.63	$0.17 < 1$	OK	0.66	$0.40 < 1$	OK
	斜材	1.21	0.45	6.03	$0.09 < 1$	OK	0.45	$0.27 < 1$	OK
橋軸直角方向	中間支点对傾構	1.21	19.1	<b>3.85</b>	$6.00 > 1$	NG	19.1	$11.6 > 1$	NG

## 5.4 耐震性向上策

### 単純トラス橋

主荷重(死活荷重)を負担しないため、比較的交換が容易な2次部材(対傾構、横構)に対して、座屈拘束ブレースの適用を検討。



対傾構・下横構に座屈拘束ブレース  
固定支点部の下弦材の塑性化を抑制

### 単純トラス橋

座屈拘束ブレース  
剛性 EA, 降伏力  $N_y$  を変化

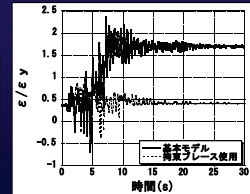
下弦材・最大応ひずみ

EA \ $N_y$	1	1/2	1/4
1	1.00	0.42	0.38
1/2	0.92	0.44	0.39
1/4	0.46	0.41	0.36

下弦材・残留ひずみ

EA \ $N_y$	1	1/2	1/4
1	1.00	0.29	0.25
1/2	0.97	0.23	0.24
1/4	0.34	0.19	0.24

橋軸直角方向地震(JRT-NS調整波)



EA=1/4,  $N_y=1/4$

座屈拘束ブレースにより  
下弦材の応答は弾性に低減

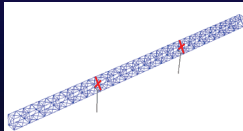
### 3径間連続トラス橋

レベル1設計(元設計): レベル1地震動に対して設計された原形モデル

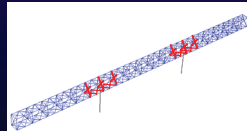
座屈拘束ブレース1: 中間支点对傾構に配置  
剛性 EA, 降伏力  $N_y$  は元部材と同じ

座屈拘束ブレース2: 中間支点对傾構・中間対傾構・下横構に配置

レベル2弾性設計: 中間支点对傾構をレベル2地震動に対して弾性設計  
設計圧縮力3.8倍。  
鋼種SM400→SM490Y, 断面積2.5倍



座屈拘束ブレース1

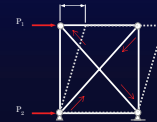


座屈拘束ブレース2

### 3径間連続トラス橋

座屈拘束ブレースを挿入する中間支点对傾構の応答を比較

	水平変位 mm	引張 $\epsilon/\epsilon_y$	圧縮 $\epsilon/\epsilon_y$
レベル1設計	143.5 (1.00)	8.23 (1.00)	-19.1 (1.00)
座屈拘束ブレース1	127.4 (0.89)	3.997 (0.49)	-4.497 (0.24)
座屈拘束ブレース2	155.0 (1.08)	5.696 (0.69)	-5.978 (0.31)
レベル2弾性設計	87.9 (0.61)	0.789 (0.10)	-0.875 (0.05)



### 3径間連続トラス橋

レベル1設計(元設計)では主構部材の降伏がないが、最大変位(中央径間)と中央径間の上下弦材のひずみに着目

	中央径間 水平変位 mm	上弦材 $\epsilon/\epsilon_y$		下弦材 $\epsilon/\epsilon_y$	
		引張	圧縮	引張	圧縮
レベル1設計	87.3 (1.00)	0.321 (1.00)	-0.178 (1.00)	0.708 (1.00)	—
座屈拘束ブレース1	82.7 (0.95)	0.357 (1.11)	-0.184 (1.03)	0.691 (0.98)	—
座屈拘束ブレース2	105.6 (1.21)	0.388 (1.21)	-0.208 (1.17)	0.670 (0.95)	—
レベル2弾性設計	76.9 (0.88)	0.463 (1.44)	-0.208 (1.17)	0.694 (0.98)	—

### まとめ

- レベル1地震動に対して設計されたトラス橋に対して、レベル2地震時の動的挙動を解析。
- 部材の曲げ座屈を解析の中で考慮するため、複合非線形動的解析を実施。
- 単純トラス橋(橋軸方向地震)
  - 下支材に座屈。主構の安全性はOK。修復性はNG。
- 単純トラス橋(橋軸直角方向地震)
  - 引張で設計された下弦材に圧縮が作用し、主構の安全性はNG。修復性もNG。
- 連続トラス橋(橋軸方向地震)
  - コンクリート橋脚がエネルギー吸収するため上部構造に損傷なし。
- 連続トラス橋(橋軸方向地震)
  - 中間支点および近傍の対傾構に曲げ座屈(安全性・修復性ともにNG)。主構部材には損傷なし。

## まとめ

- 単純トラスでは固定支点側の下弦材が降伏していたが、対傾構・下横構に座屈拘束ブレースを導入することで弾性応答にまで低減。
- 連続トラスでは主構部材に降伏がなかったため、対傾構に導入する座屈拘束ブレースの効果はなし。
- 連続トラスでは中間支点对傾構を弾性設計とすると主構部材のひずみは多少増えるが、変位を低減。