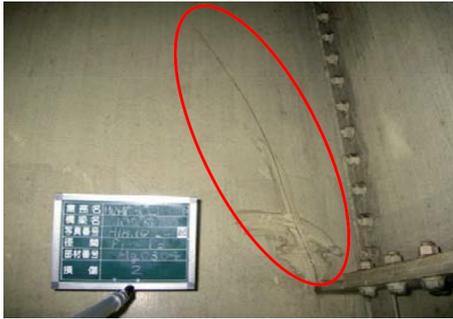


# 非線形有限要素解析による連続多主桁橋の 冗長性評価の試み

東北大学工学部建築・社会環境工学科  
構造強度学研究室

熊谷 宏之  
2015年2月17日

- 全橋梁のうち70%以上が桁橋
- 近年損傷事例が数多く報告されている



主桁に亀裂



主桁が腐食



主桁が腐食

## 冗長性

橋梁の一部材が損傷した後も荷重を受け持ち続ける能力

NCHRP Report 406

多主桁橋は冗長性がある

現行の設計では冗長性を考えていない

2009年の辺野喜橋のように落橋に至るケースも



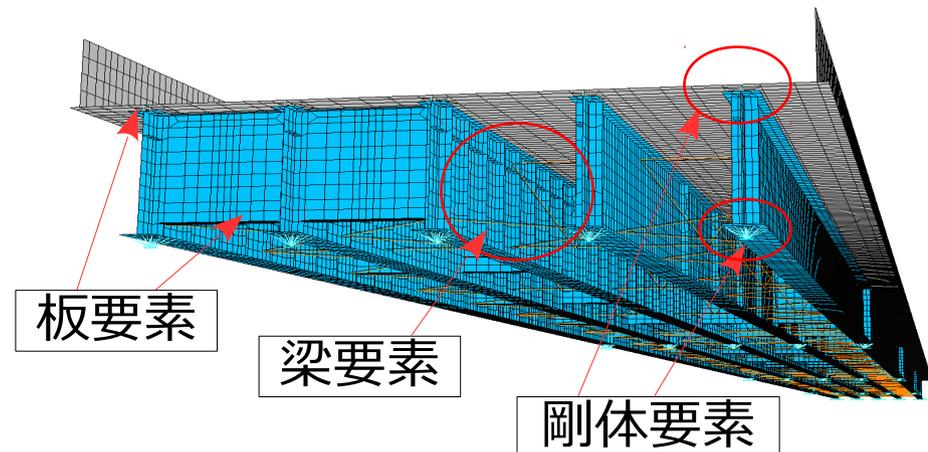
橋梁の冗長性を定量的に評価し、  
損傷した橋梁の安全性を把握する必要がある

## 本研究

損傷を受けた多主桁橋の**冗長性**および**崩壊メカニズム**を明らかにする

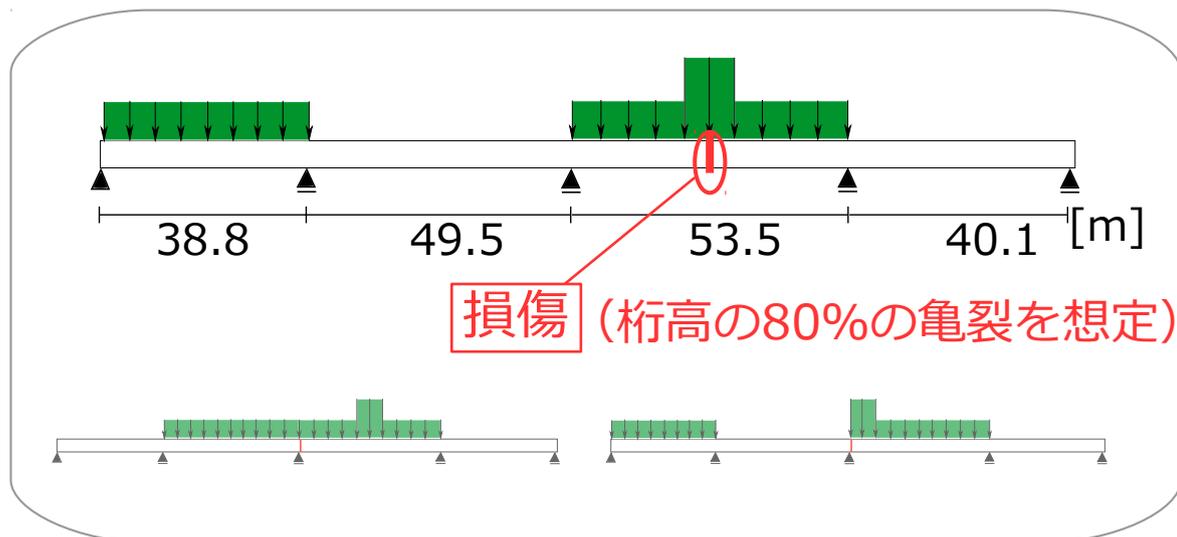
## 解析対象

宮城県にある  
4径間連続5主I桁橋  
桁高：2.3m  
主桁間隔：2.35m  
フランジ厚・幅の変化がある



## L荷重・損傷位置

L荷重：曲げ・せん断の3パターン  
損傷：支点部，径間中央の2ケース



## 解析方法

汎用ソフト：NX Nastran

### 静的有限要素解析

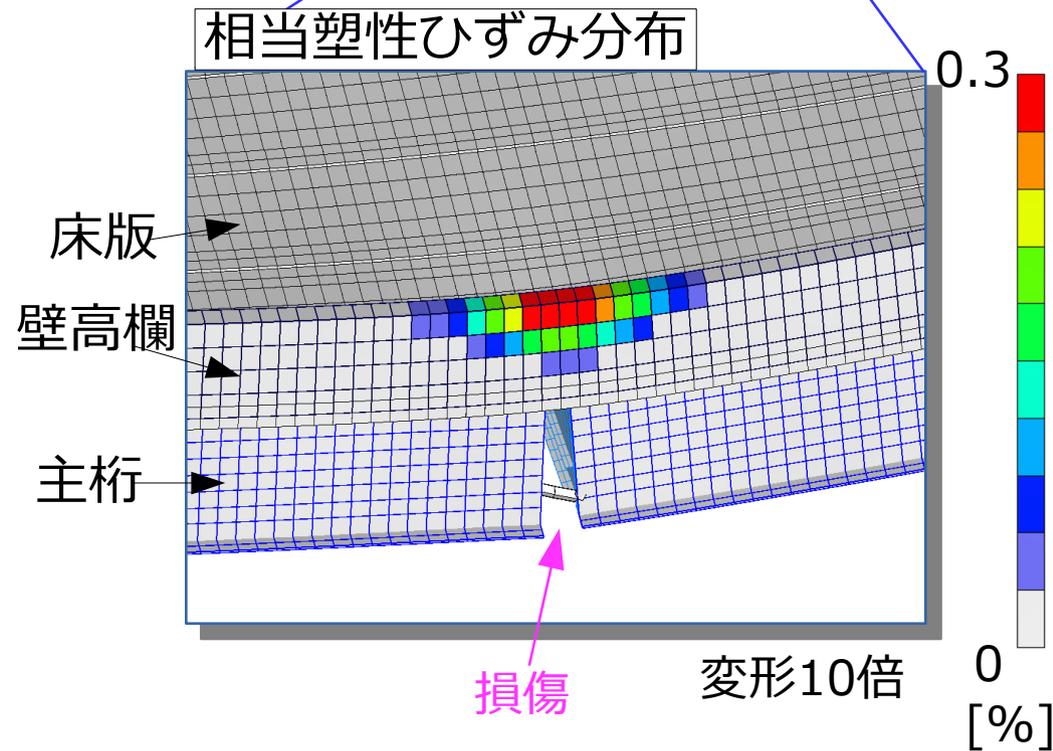
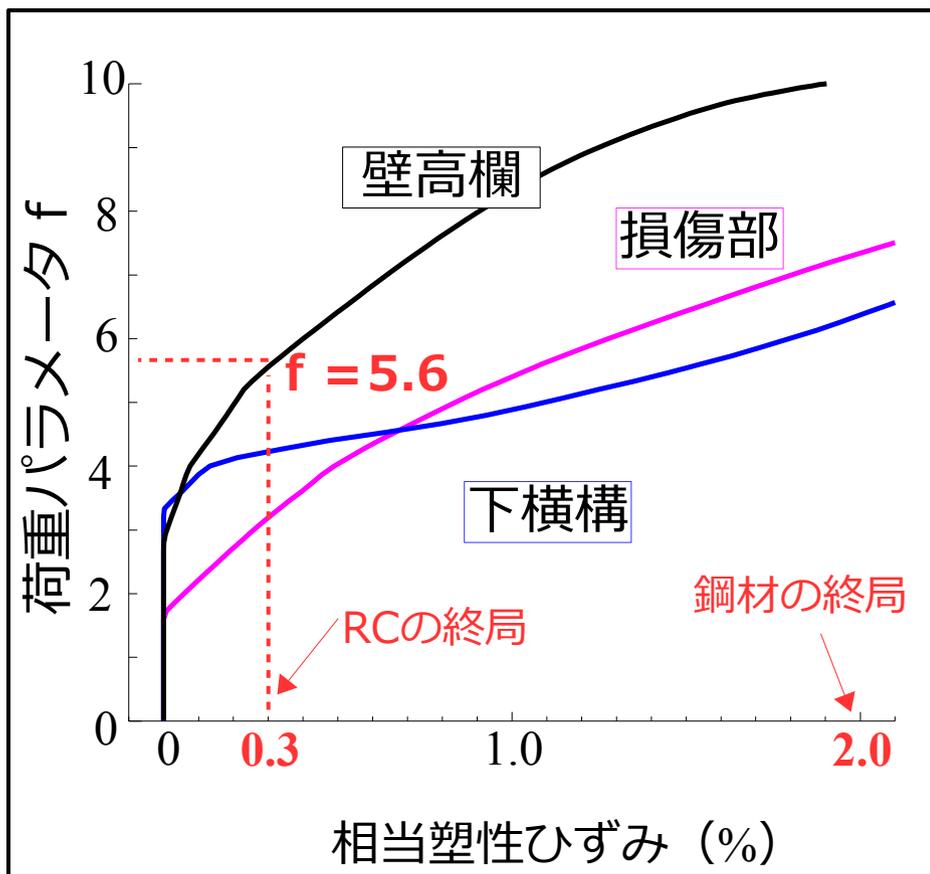
- ・幾何学的非線形
- ・材料非線形

$$D + fL$$

D：死荷重 L：活荷重

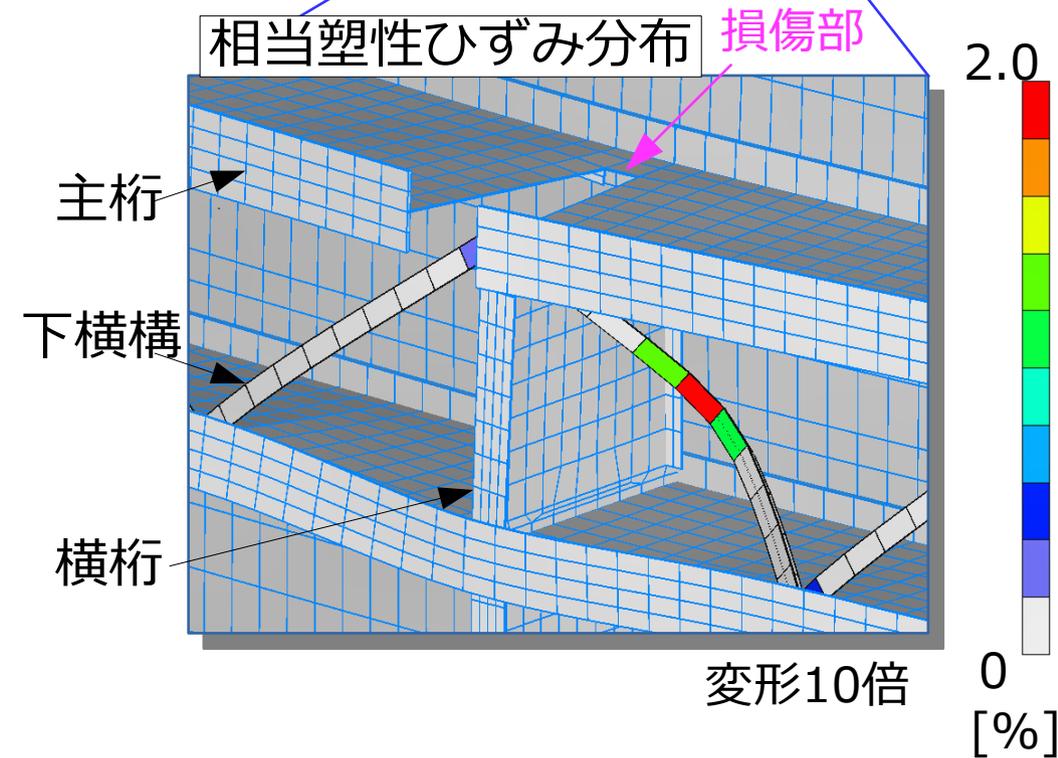
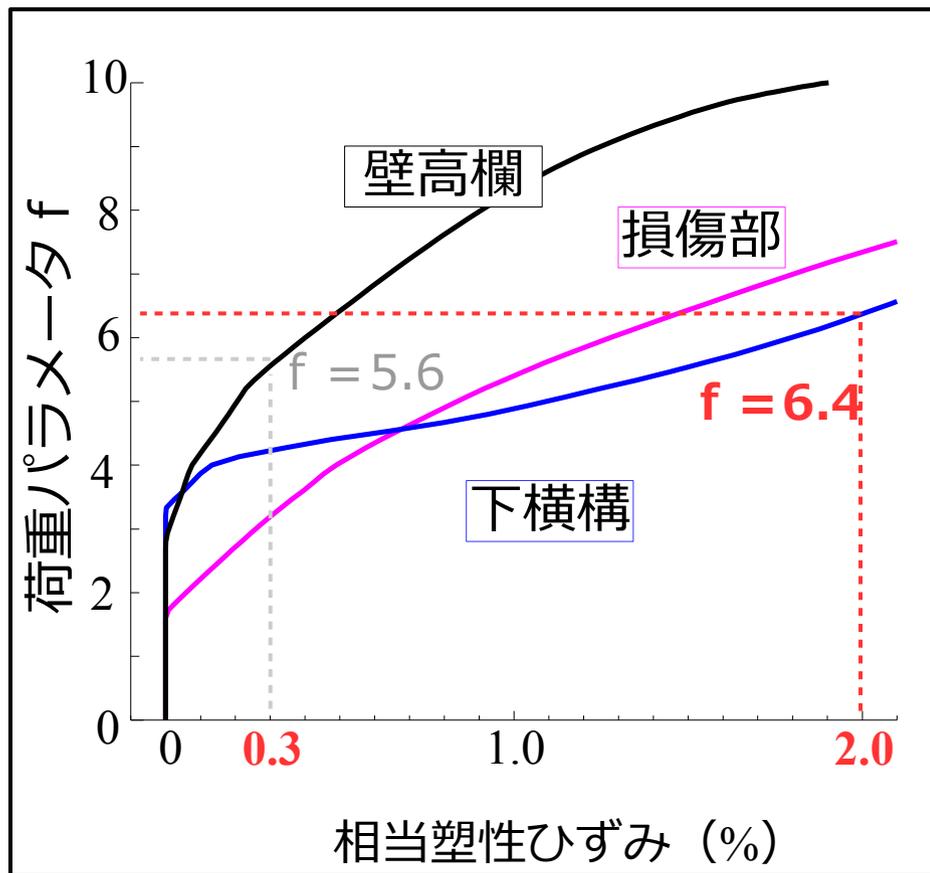
f：荷重パラメータ

# 解析結果：損傷時の崩壊メカニズム



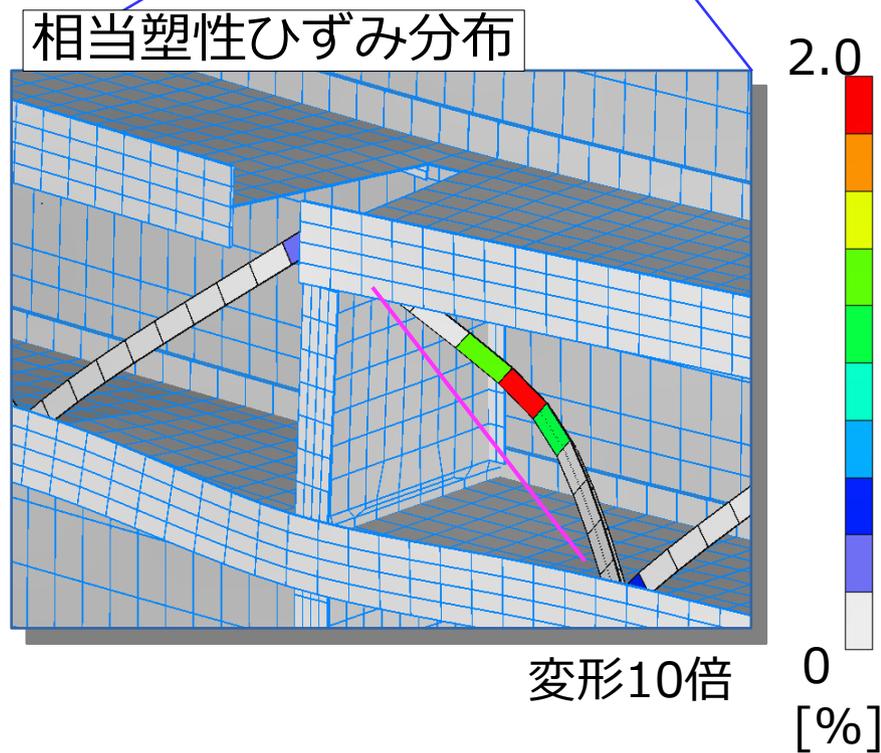
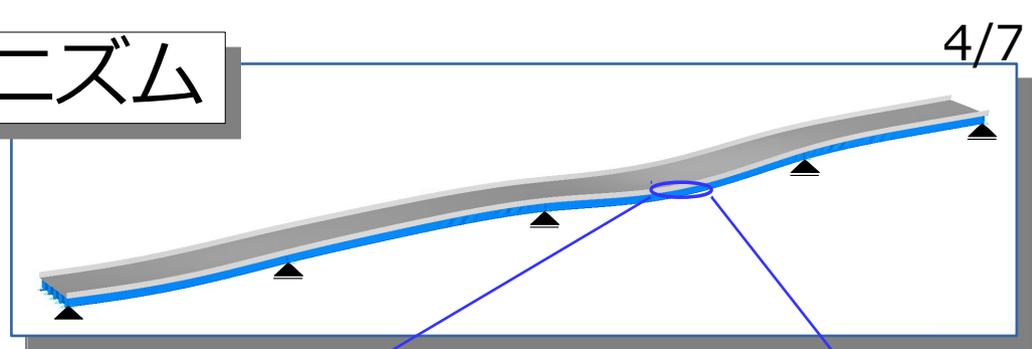
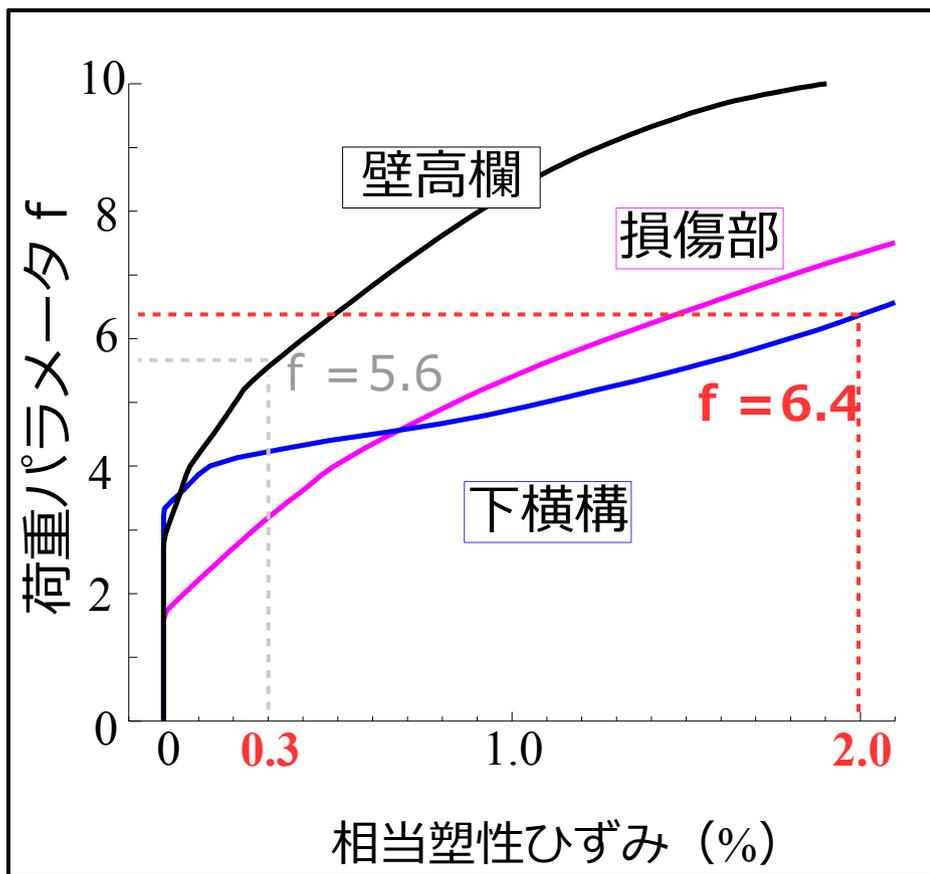
**$f = 5.6$  損傷部付近の壁高欄が終局 (相当塑性ひずみ0.3%)**

# 解析結果：損傷時の崩壊メカニズム



- $f = 5.6$  損傷部付近の壁高欄が終局 (相当塑性ひずみ0.3%)
- $f = 6.4$  損傷部付近の下横構が終局 (相当塑性ひずみ2.0%)

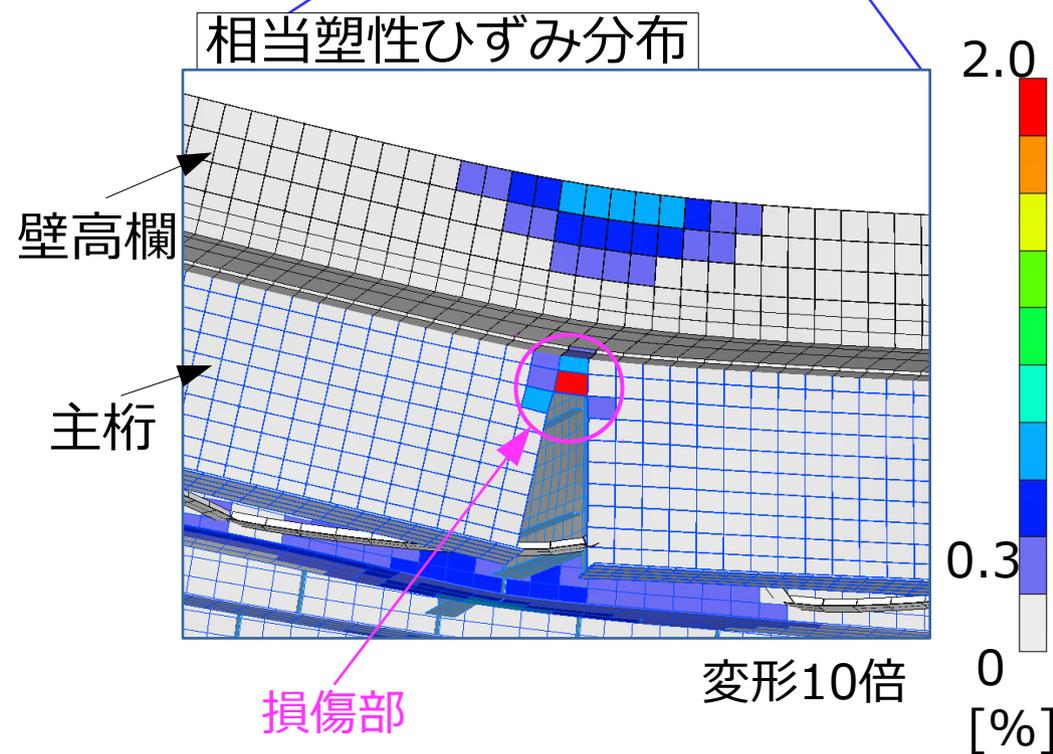
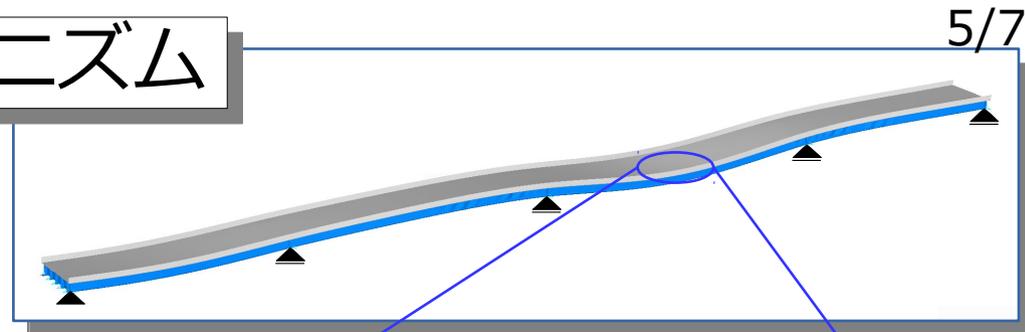
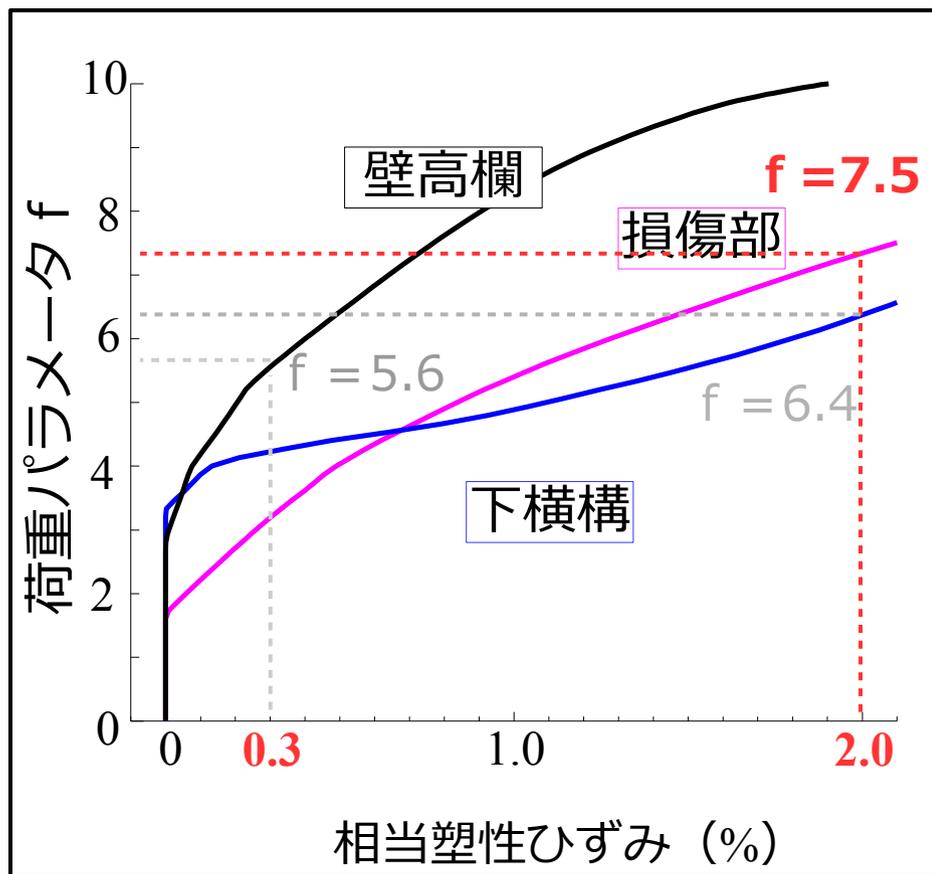
# 解析結果：損傷時の崩壊メカニズム



**f = 5.6** 損傷部付近の壁高欄が終局 (相当塑性ひずみ0.3%)

**f = 6.4** 損傷部付近の下横構が終局 (相当塑性ひずみ2.0%)

# 解析結果：損傷時の崩壊メカニズム

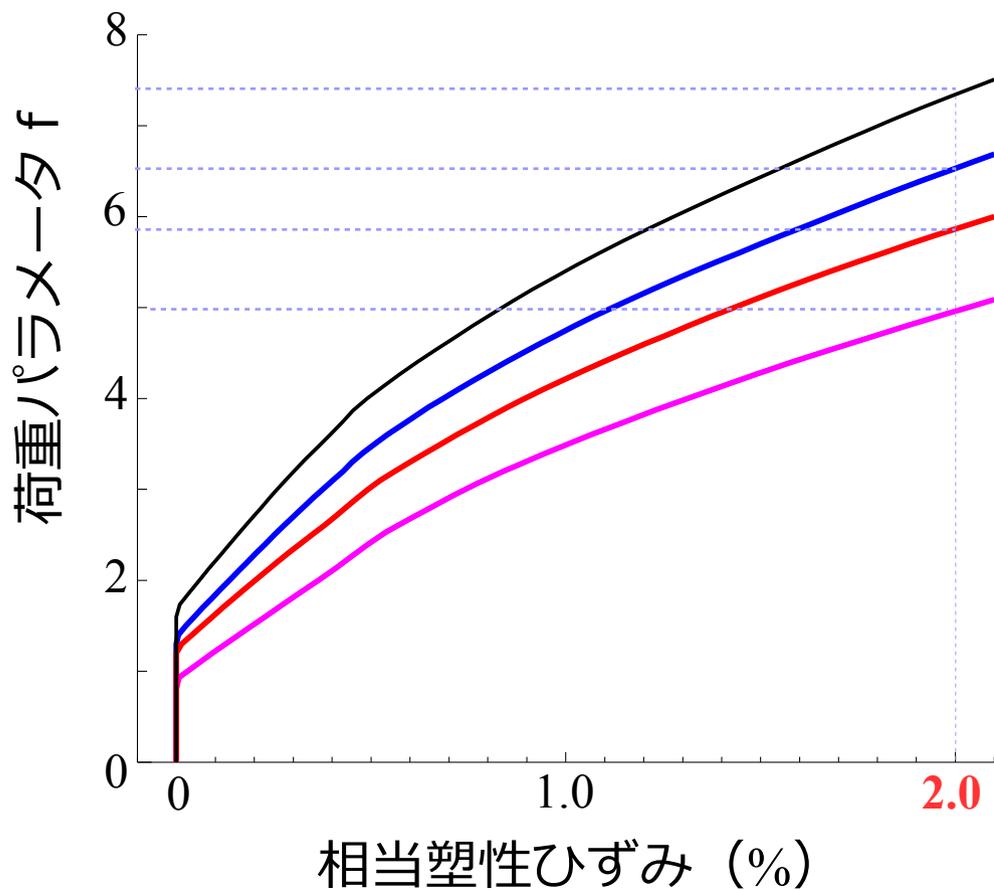


- $f = 5.6$  損傷部付近の壁高欄が終局 (相当塑性ひずみ0.3%)
- $f = 6.4$  損傷部付近の下横構が終局 (相当塑性ひずみ2.0%)
- $f = 7.5$  主桁損傷部が終局 → 主桁の**崩壊**とみなす

主桁よりも先に壁高欄と下横構が終局に至る

冗長性を高めている？

二次部材の冗長性への影響を評価するため  
下横構なし，壁高欄なし，  
二次部材すべてなしのモデルを解析



二次部材あり :  $f = 7.5$   
下横構なし :  $f = 6.6$   
壁高欄なし :  $f = 5.9$   
二次部材なし :  $f = 5.0$

差: 0.9 (二次部材あり vs 下横構なし)  
差: 1.6 (下横構なし vs 壁高欄なし)  
差: 2.5 (壁高欄なし vs 二次部材なし)

**下横構と壁高欄には  
橋梁の冗長性を高める効果がある**

## 連続多主桁橋について

- 主桁に**損傷が生じても**L荷重に対して**十分な耐荷力**を有する  
(設計荷重の7倍程度)
- 損傷時は主桁よりも壁高欄, 下横構といった**二次部材が先に終局に至る**
- 強度部材として設計されていない**壁高欄と下横構は橋梁の冗長性を高める**効果を有する

# NCHRP Report406

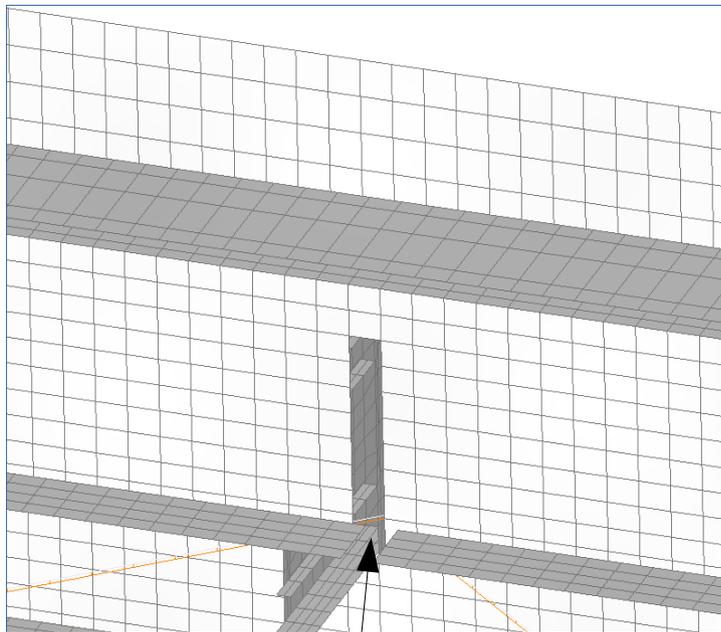
米国の橋梁設計基準に基づいた橋梁の構造物係数に関するレポート  
連続鋼鈹桁橋については以下のように示されている.

主桁間隔	主桁数			
	4	6	8	10
4フィート(約1.22m)	0.83	1.03	1.04	1.03
6フィート(約1.83m)	1.03	1.07	1.06	1.06
8フィート(約2.44m)	1.06	1.07	1.07	1.07
10フィート(約3.05m)	1.06	1.07	1.07	—

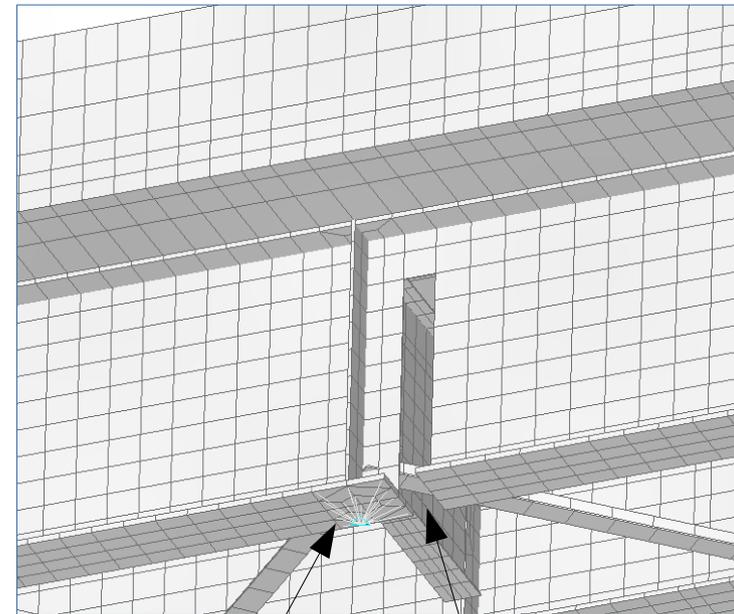
(係数) < 1.0 冗長性なし  
(係数) > 1.0 冗長性あり

# 損傷について

- ①横桁と主桁の溶接部と主桁のウェブ間にクラックが発生する疲労損傷
- ②ソールプレートから主桁にクラックが発生する疲労損傷



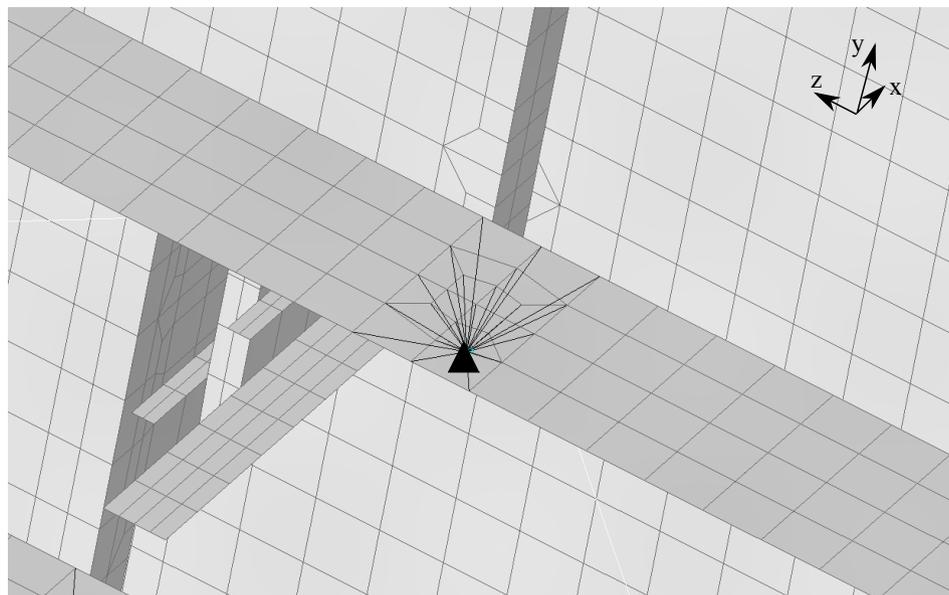
損傷



支点

損傷

## 支承について



板要素の1節点に拘束を与えると、極端な応力集中が発生するため主桁のソールプレート範囲にある節点を、拘束接点に剛体要素でピラミッド形になるように集約した。

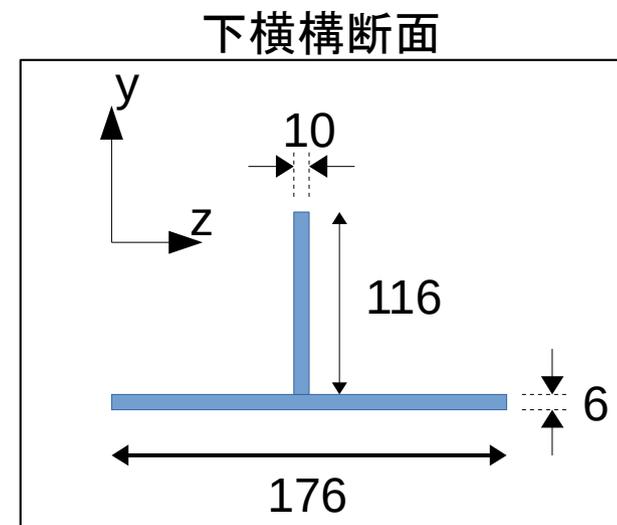
## 下横構の座屈判定

f=6.4時(終局時)の圧縮軸力は  $2.2 \times 10^5 \text{ N}$

下横構の部材長  $L = 3400 \text{ mm}$

ヤング率  $E = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

断面二次モーメント  $I = 3.0 \times 10^6 \text{ mm}^4$

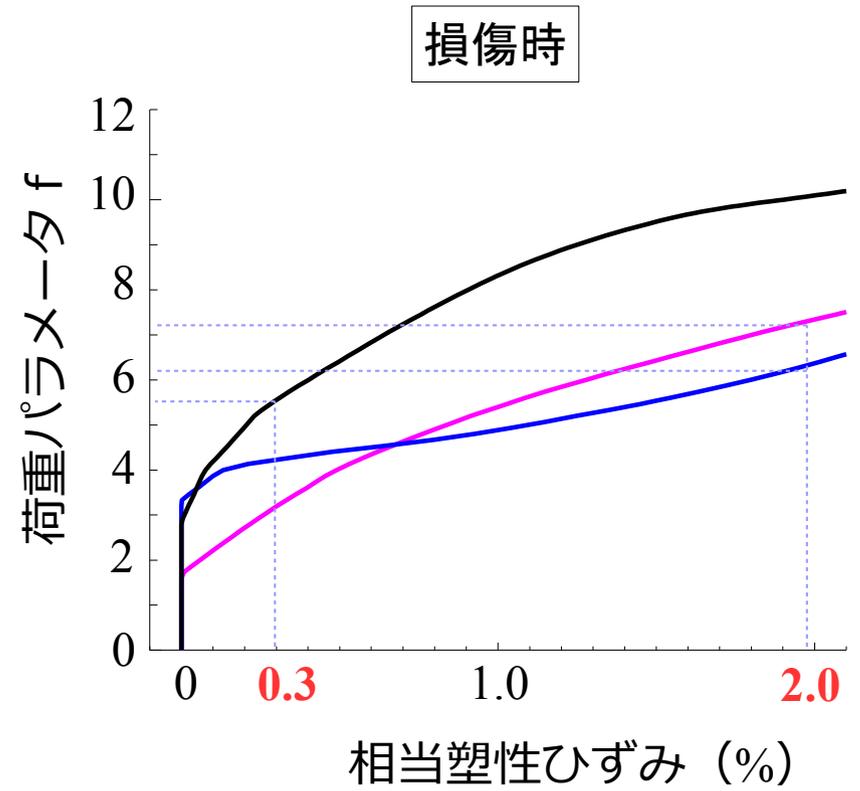
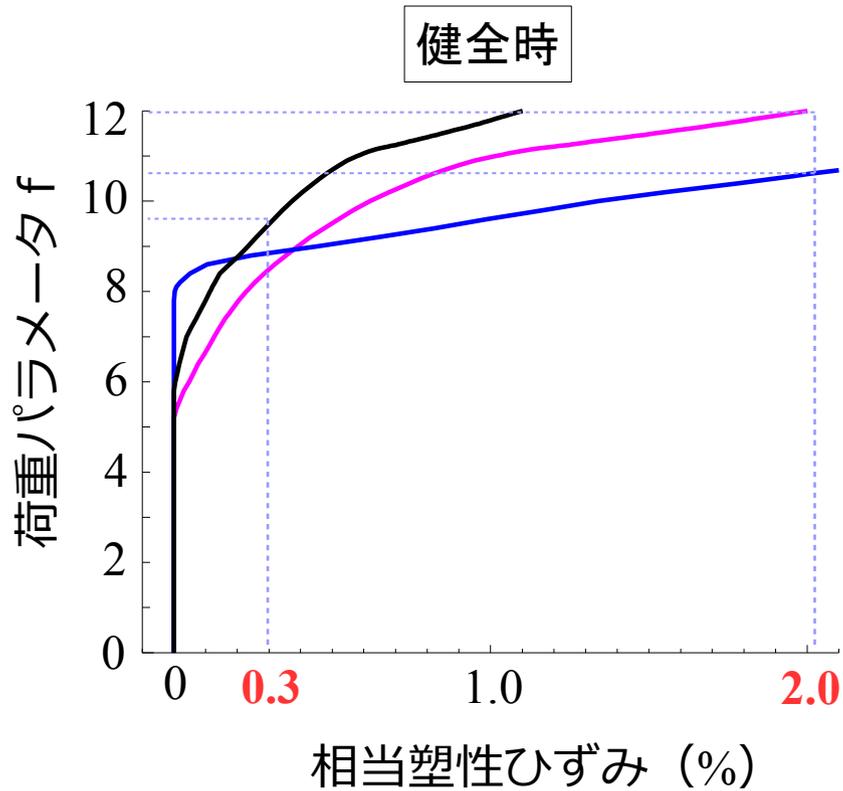


よって両端埋め込みのオイラー座屈荷重Pは以下のようになる

$$P = \frac{4\pi^2 EI}{L^2} = 2.05 \times 10^6 > 2.2 \times 10^5$$

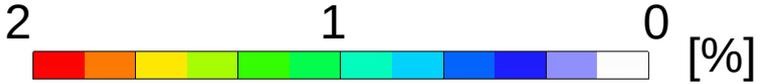
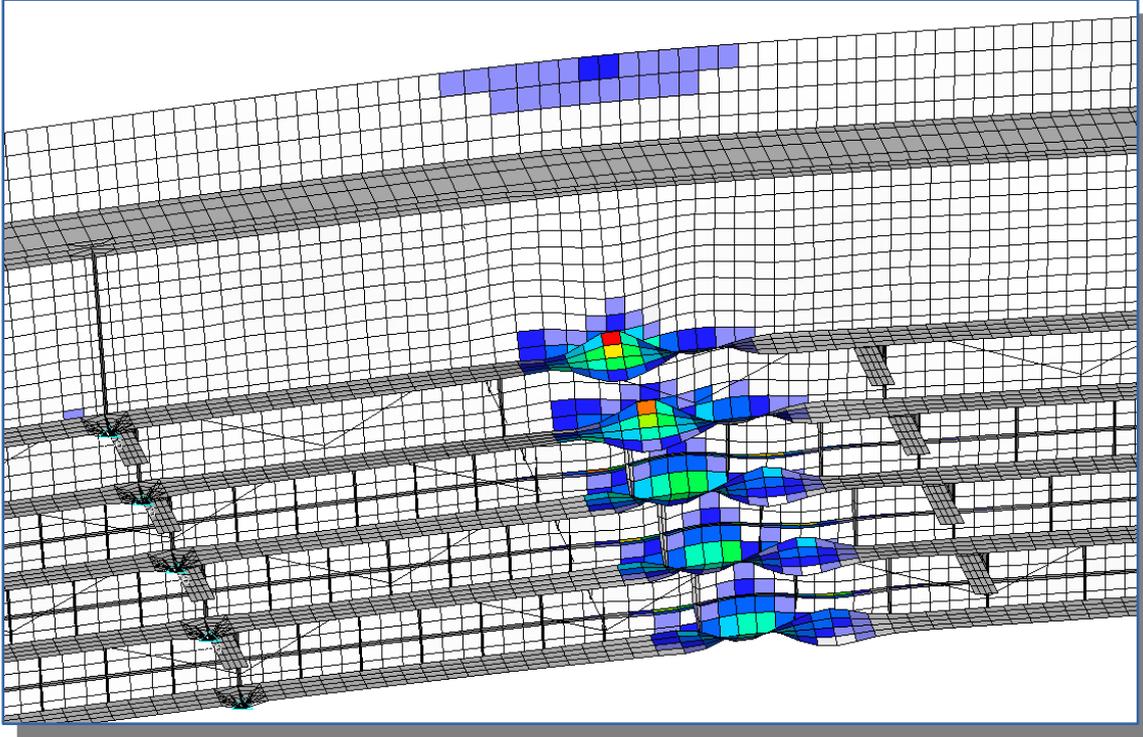
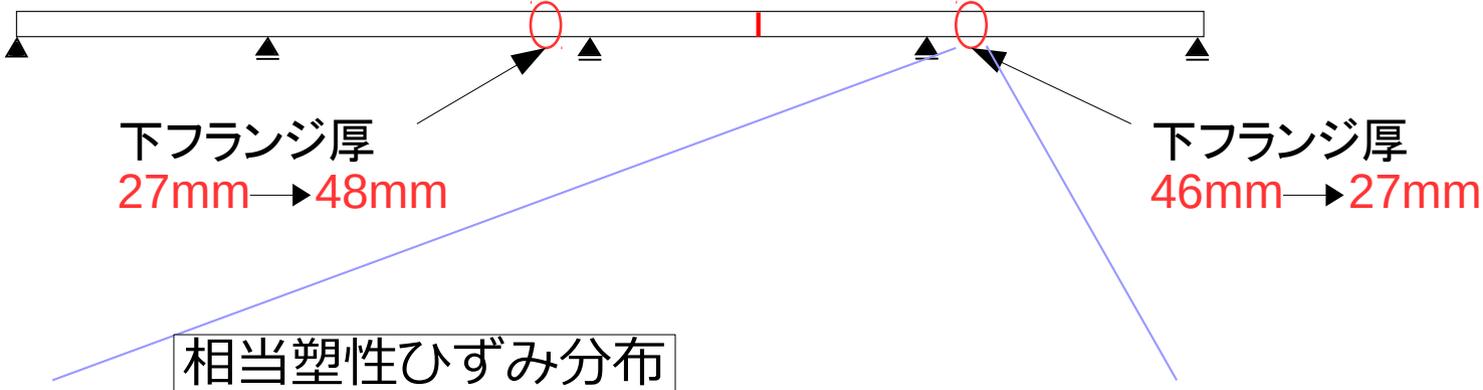
よって座屈していない

# 健全時と損傷時の比較



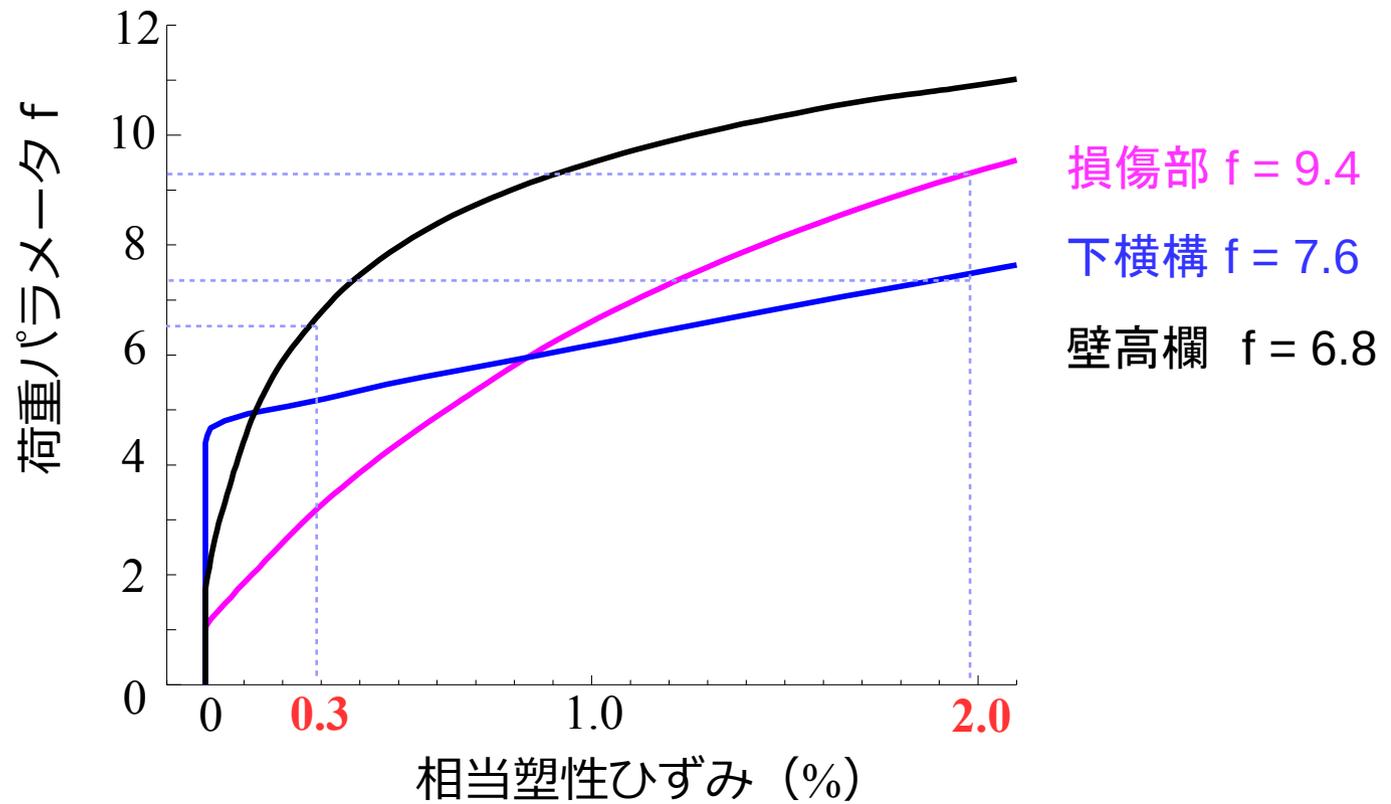
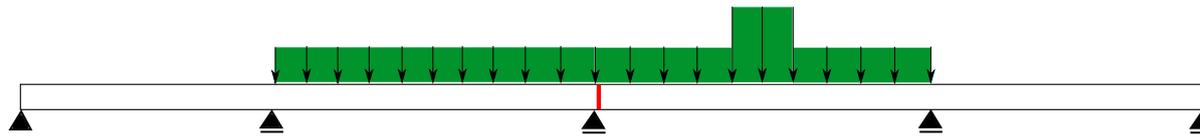
	壁高欄	下横構	主桁
健全時	9.6	10.6	12.0
損傷時	5.6	6.4	7.5

# 断面変化部



# 他の計算結果

## 第三支点の負曲げ



# 他の計算結果

## 第三支点のせん断

