

# 非線形リダンダンシー解析における 鋼トラス橋の部材破断の動的効果の定量的評価

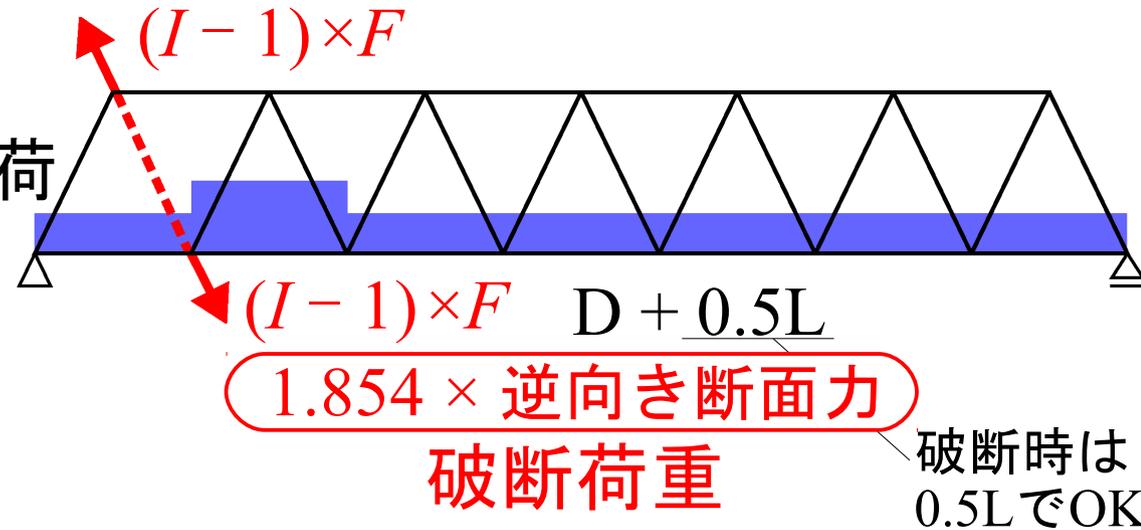
---

平成28年2月10日

構造強度学研究室 瀧本耕大

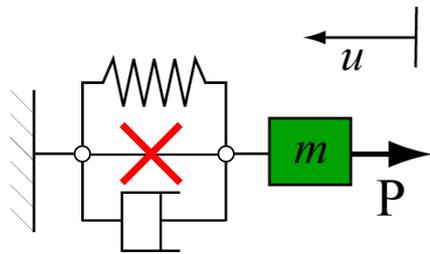
# 一般的な静的リダンダンシー解析

静的リダンダンシー解析では健全時の断面力を逆向きに载荷

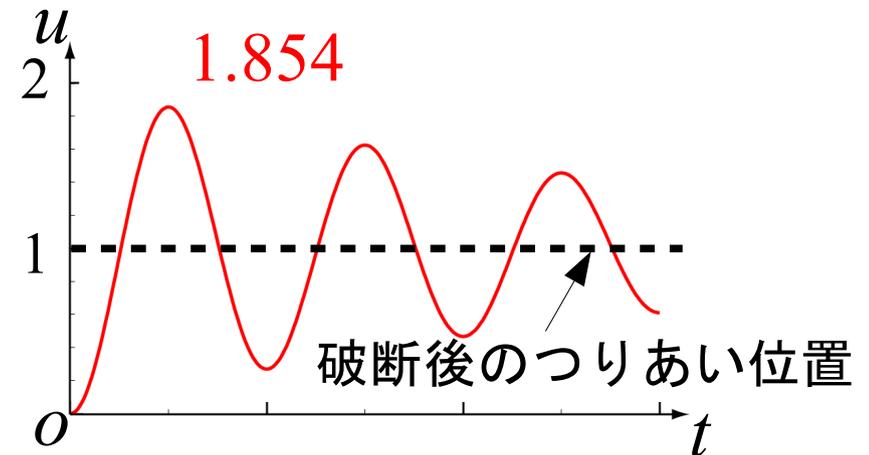


破断時の動的効果を再現して他部材の終局状態を照査する

## 広く用いられている衝撃係数の算出方法

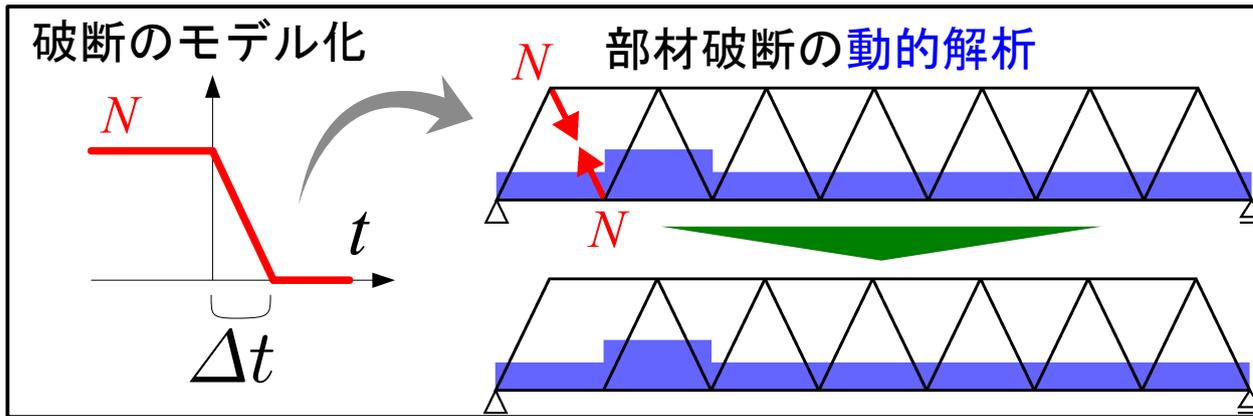


1自由度系の動的応答倍率  
(5%減衰時の最大応答倍率)

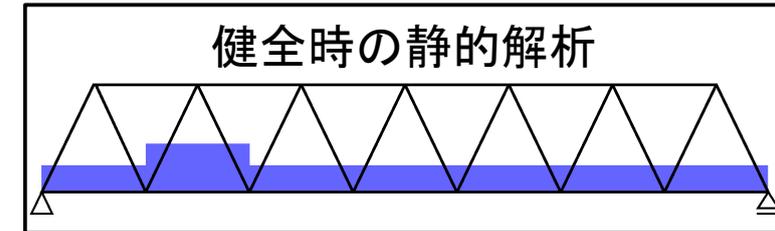


橋梁全体での動的効果を考慮できているとはいえない

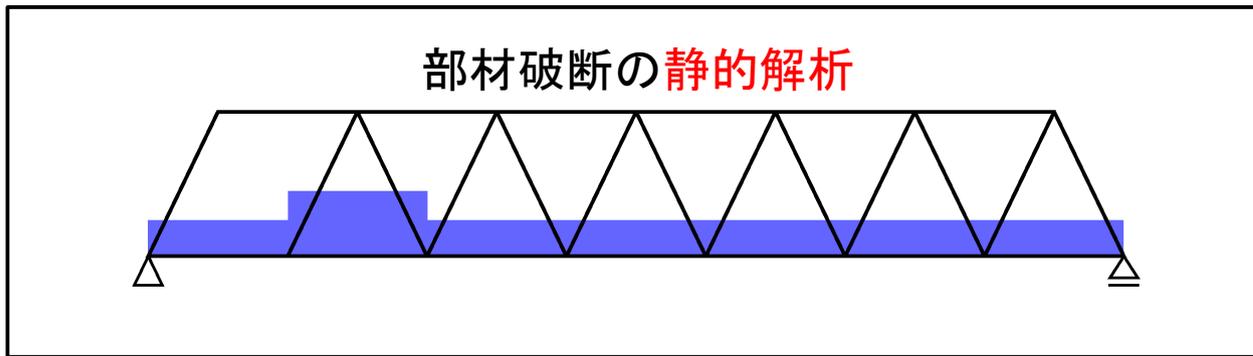
動的な応力増分と静的な応力増分を比較し衝撃係数を算定する



ある応力評価点の  
応力増分（動的解析）



ある応力評価点の  
応力増分（静的解析）



※全て線形計算で行われる  
弾性微小変位

$$I = \frac{\text{動的な応力増分}}{\text{静的な応力増分}}$$

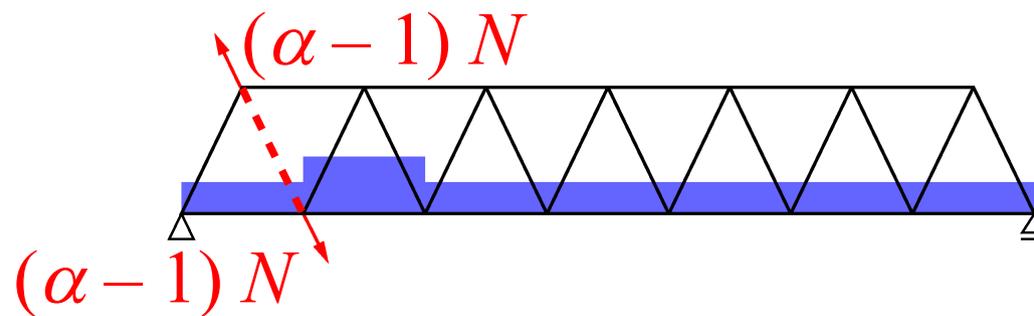
橋梁の崩壊過程で重要な材料非線形性が考慮されていない

## 課題

- 荷重の倍率として衝撃係数1.854が適当な値か？
- 材料非線形性が動的効果に及ぼす影響が明らかでない



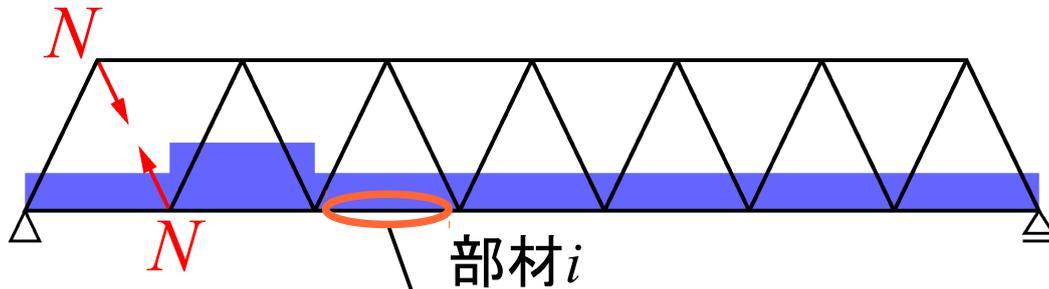
## 本研究



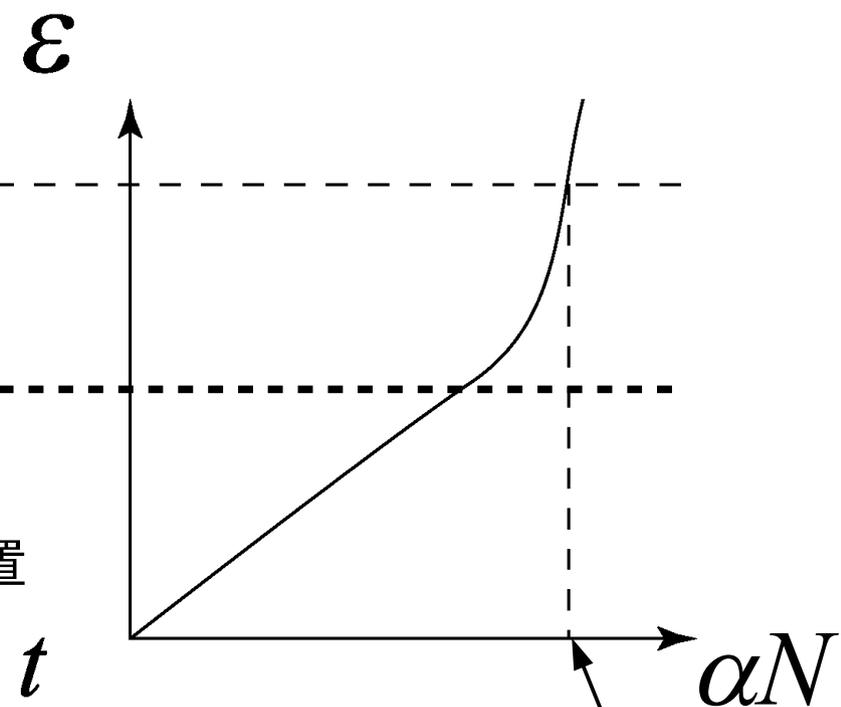
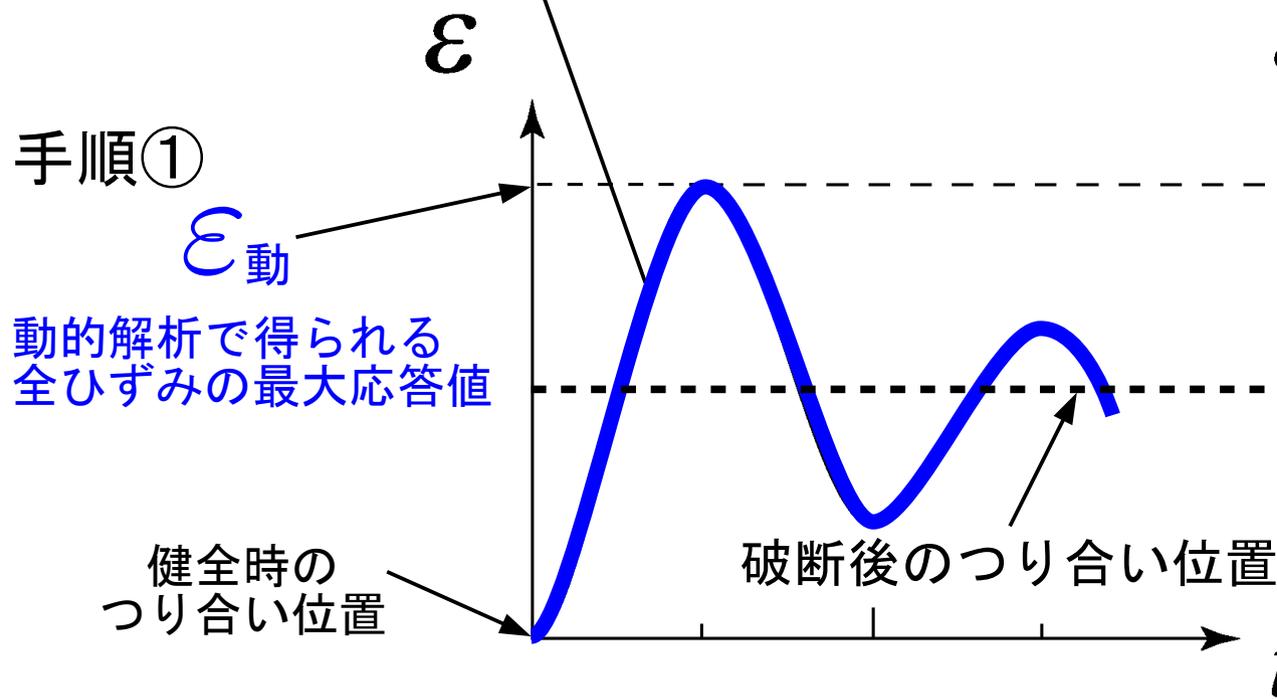
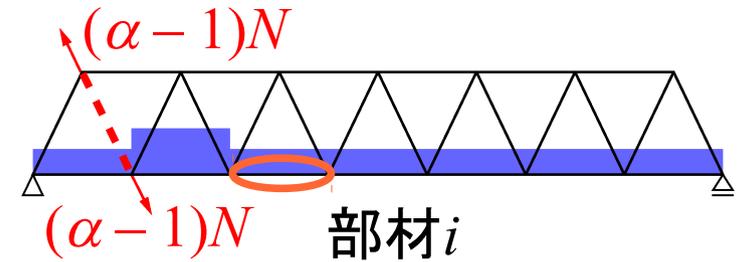
- 破断荷重の漸増载荷により動的効果を定量化する
- 弾塑性材料を想定した非線形計算を行なう

# 本研究 動的増幅率の求め方

非線形動的解析 手順①  $\varepsilon_{\text{動}}$  を求める



非線形静的解析 手順②

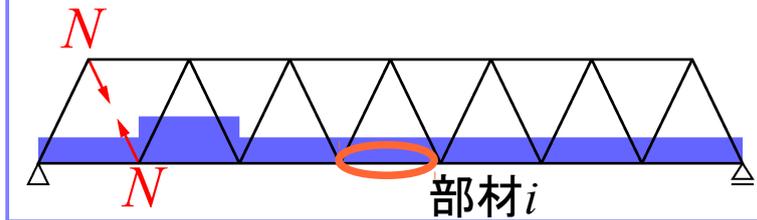


※トラス主要部材に着目する  
上・下弦材, 斜材

$\varepsilon_{\text{動}}$  が生じるときの  
破断荷重の倍率  $\alpha_i N$

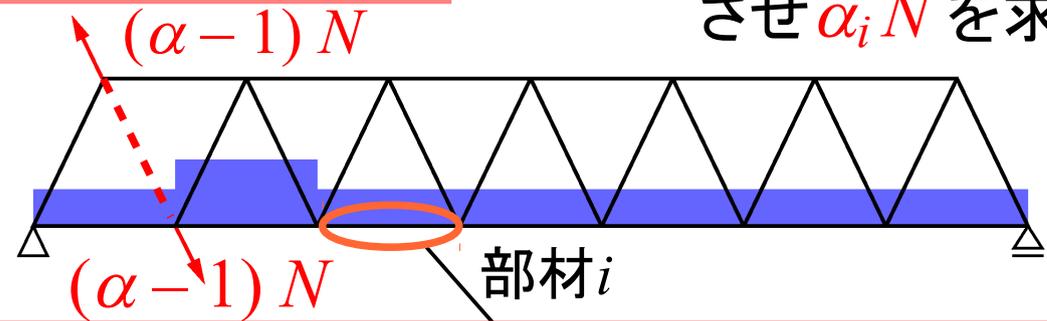
# 本研究 動的増幅率の求め方

## 非線形動的解析 手順①



## 非線形静的解析

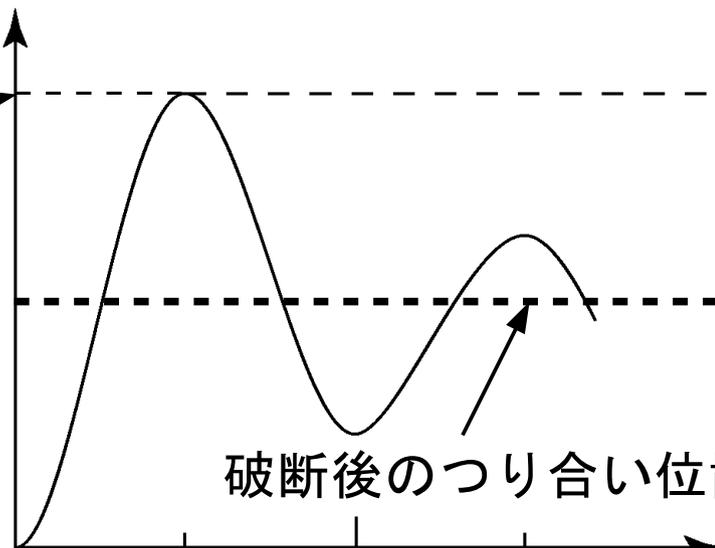
手順② 破断荷重を漸増させ  $\alpha_i N$  を求める



$\varepsilon$

$\varepsilon_{\text{動}}$

動的解析で得られる  
全ひずみの最大応答値



$\varepsilon$

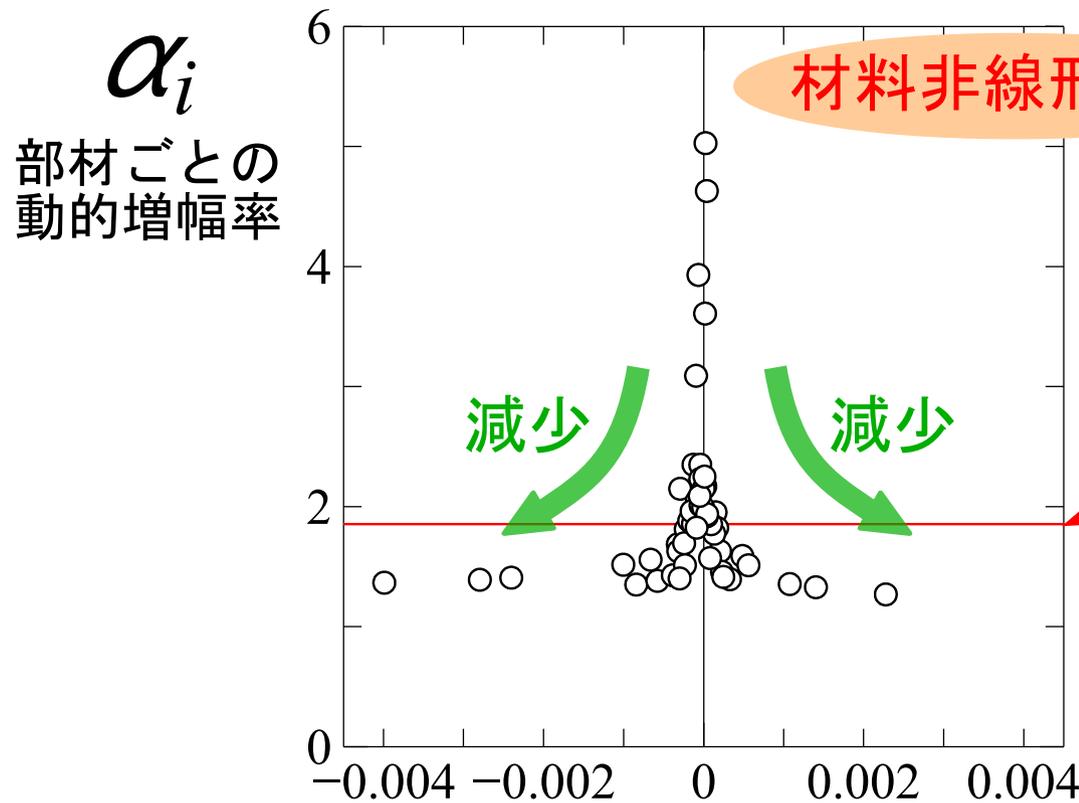
手順②

$\varepsilon_{\text{動}}$  が生じるときの  
破断荷重の倍率

$\alpha_i N$

$\alpha N$

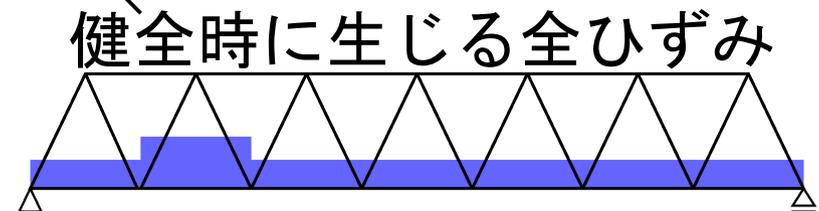
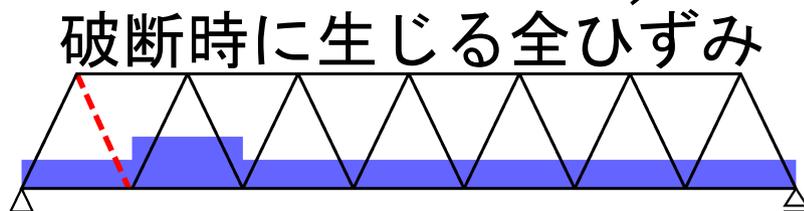
※トラス主要部材に着目する  
上・下弦材, 斜材



広く用いられている  
衝撃係数  
 $I = 1.854$

破断による静的ひずみ増分

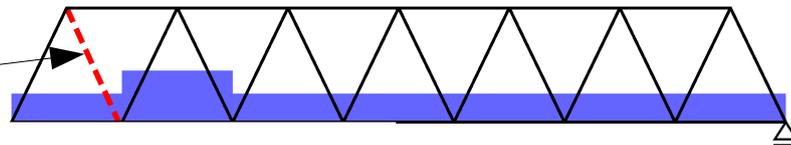
$$\epsilon_{\text{破断時}} - \epsilon_{\text{健全時}}$$



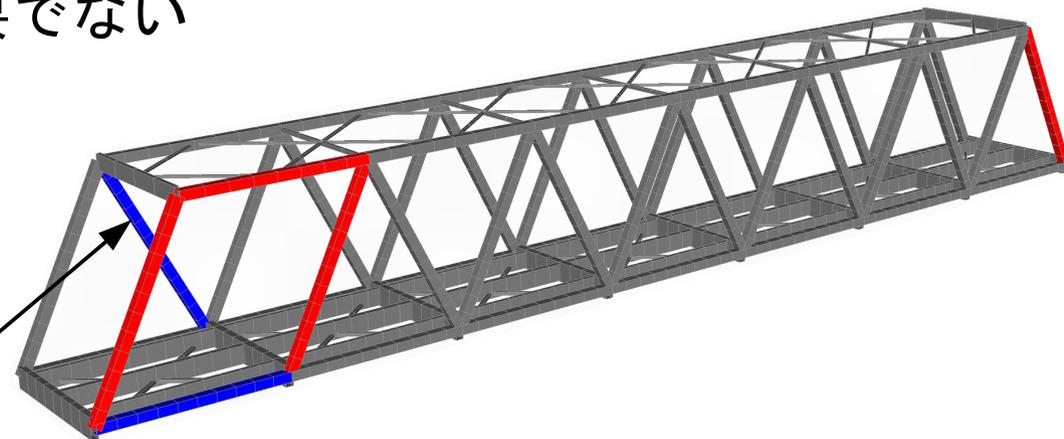
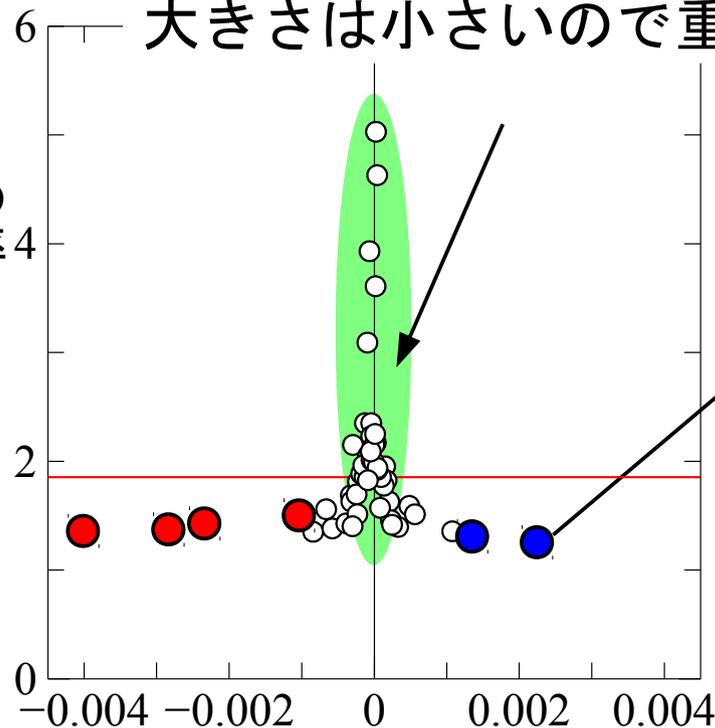
※同じ部材で生じるひずみ



破断を想定する部材



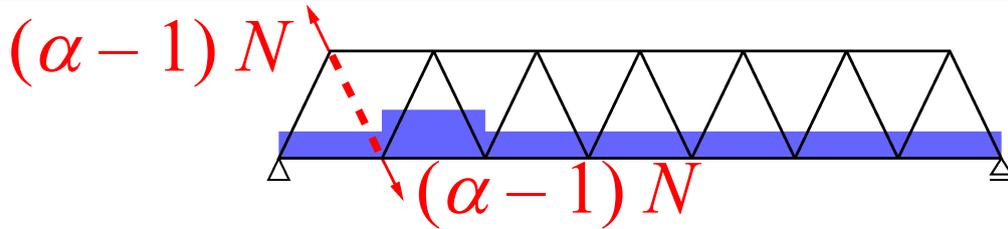
$\alpha_i$  の値は大きいが静的ひずみ増分の大きさは小さいので重要でない



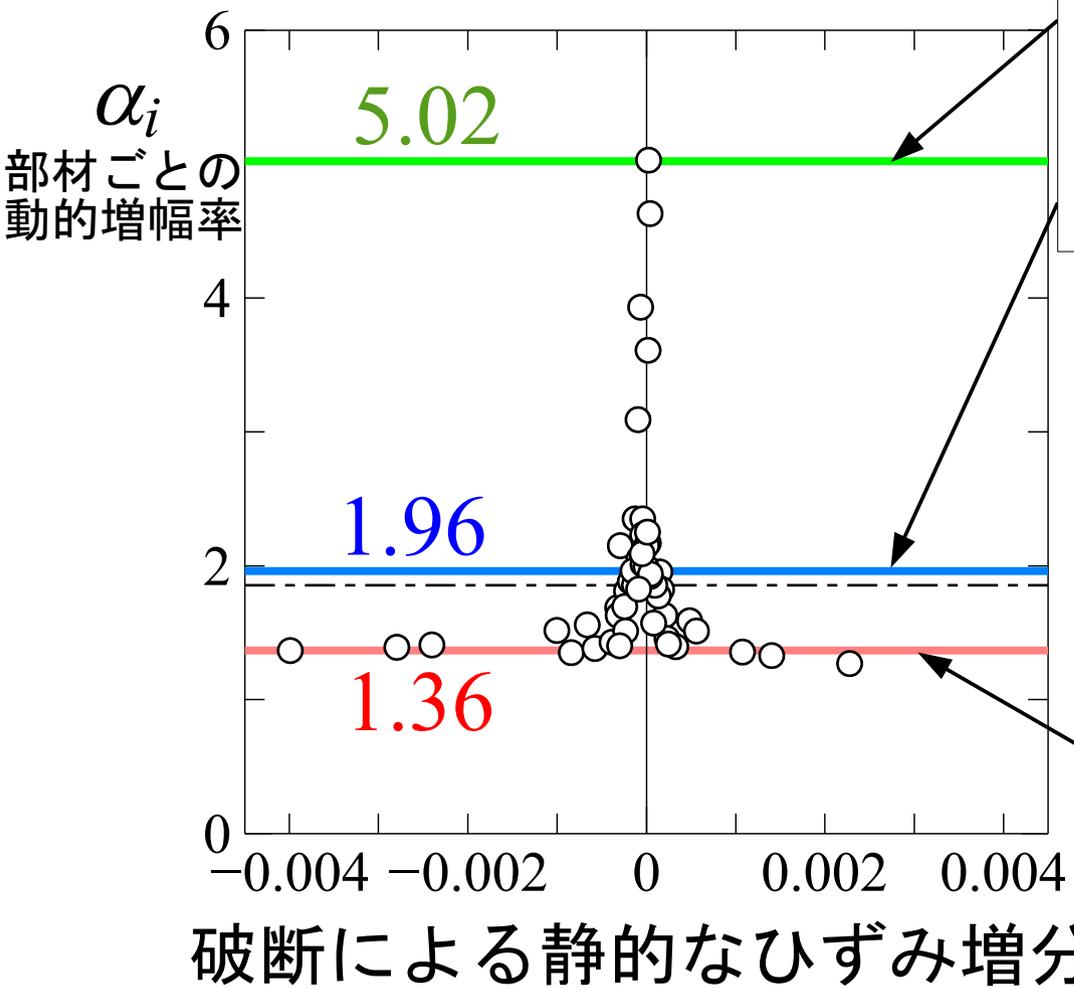
引張応力により塑性化した部材  
圧縮応力により塑性化した部材

破断による静的なひずみ増分

破断による静的なひずみ増分の絶対値が大きいほどリダンダンシー評価の際に重要な部材である



橋梁全体で一律の動的増幅率を決めることが現実的

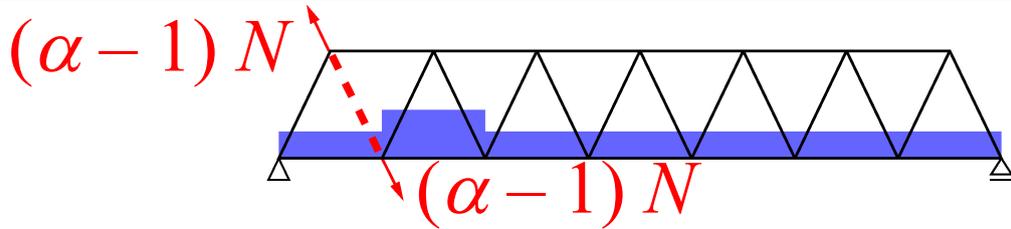


最大値を用いる  
 平均値を用いる

- ・ リダンダンシーを過小評価する可能性が高い
- ・ 不経済な設計になる

重み付き平均を用いる

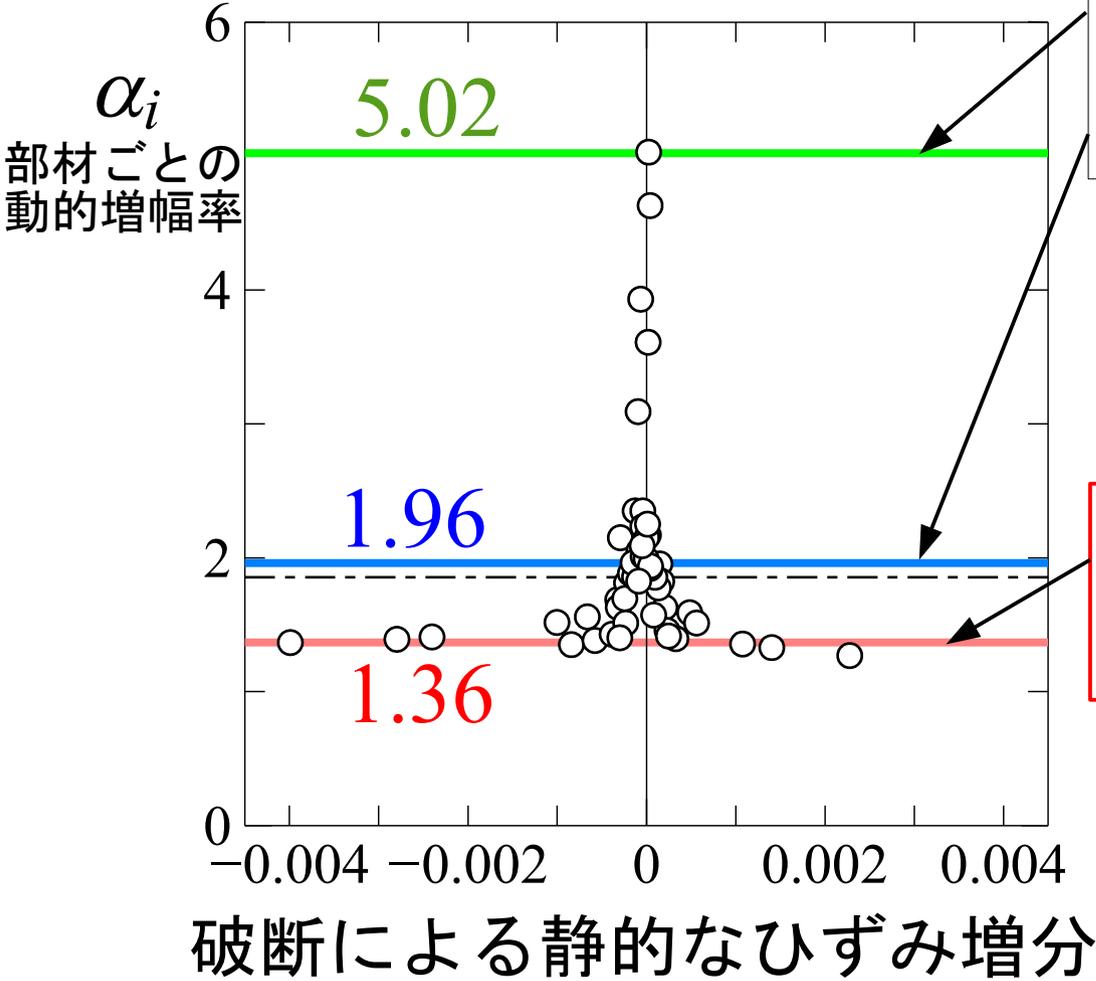
静的ひずみ増分の絶対値が大きい部材の動的増幅率に近い値を求められている



橋梁全体で一律の動的増幅率を決めることが現実的

最大値を用いる  
 ・  
 平均値を用いる

- ・リダンダンシーを過小評価する可能性が高い
- ・不経済な設計になる



重み付き平均を用いる

静的ひずみ増分の絶対値が大きい部材の動的増幅率に近い値を求められている

# 橋梁全体の動的増幅率の算定方法

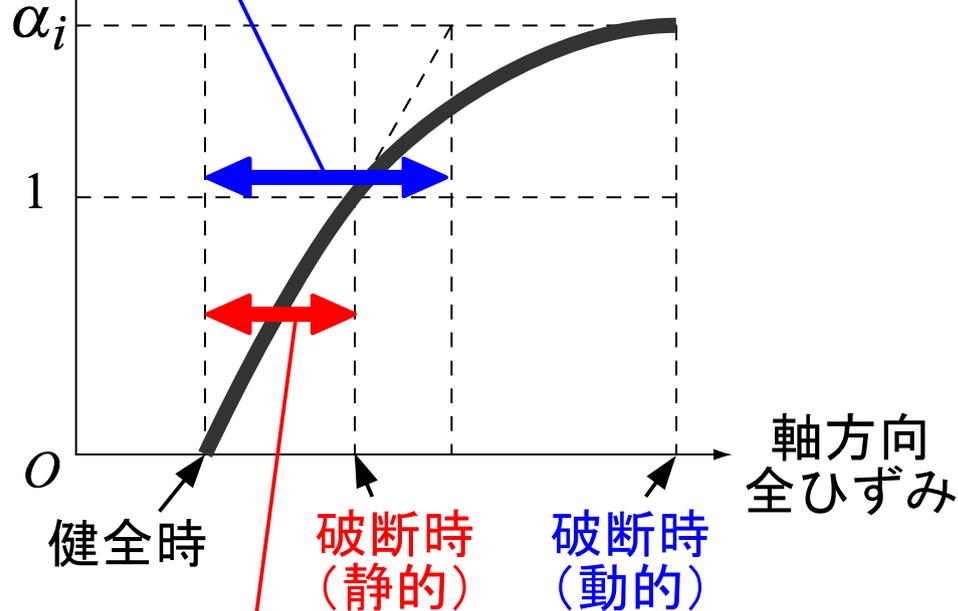
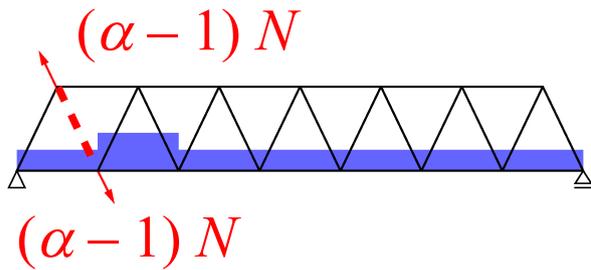
※先行研究における動的効果の表し方  $I = \frac{\text{動的な応力増分}}{\text{静的な応力増分}}$  しかし、  
 ①材料非線形に適用できない  
 ②破断荷重倍率で表したい

線形化した  
動的ひずみ増分

$$\alpha_i \times \left( \varepsilon_{\text{破断時}} - \varepsilon_{\text{健全時}} \right)$$

静的ひずみ増分

破断荷重倍率



静的ひずみ増分

$$\varepsilon_{\text{破断時}} - \varepsilon_{\text{健全時}}$$

# 橋梁全体の動的増幅率の算定方法

※先行研究における  
動的効果の表し方  $I =$

$$\frac{\text{動的な応力増分}}{\text{静的な応力増分}}$$

しかし、

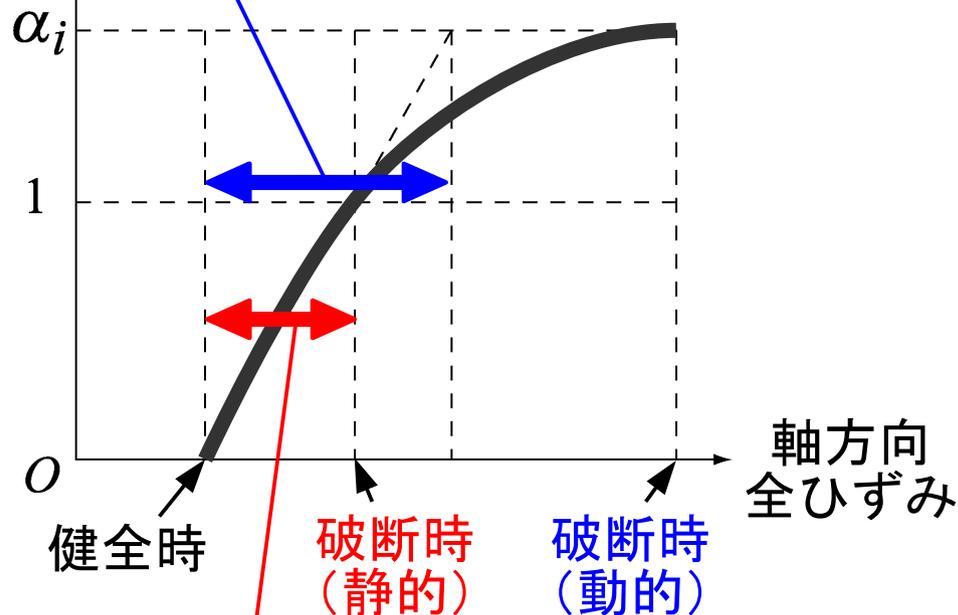
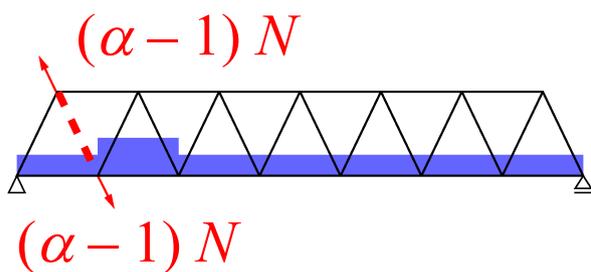
- ①材料非線形に適用できない
- ②破断荷重倍率で表したい

線形化した  
動的ひずみ増分

$$\alpha_i \times \left( \varepsilon_{\text{破断時}} - \varepsilon_{\text{健全時}} \right)$$

静的ひずみ増分

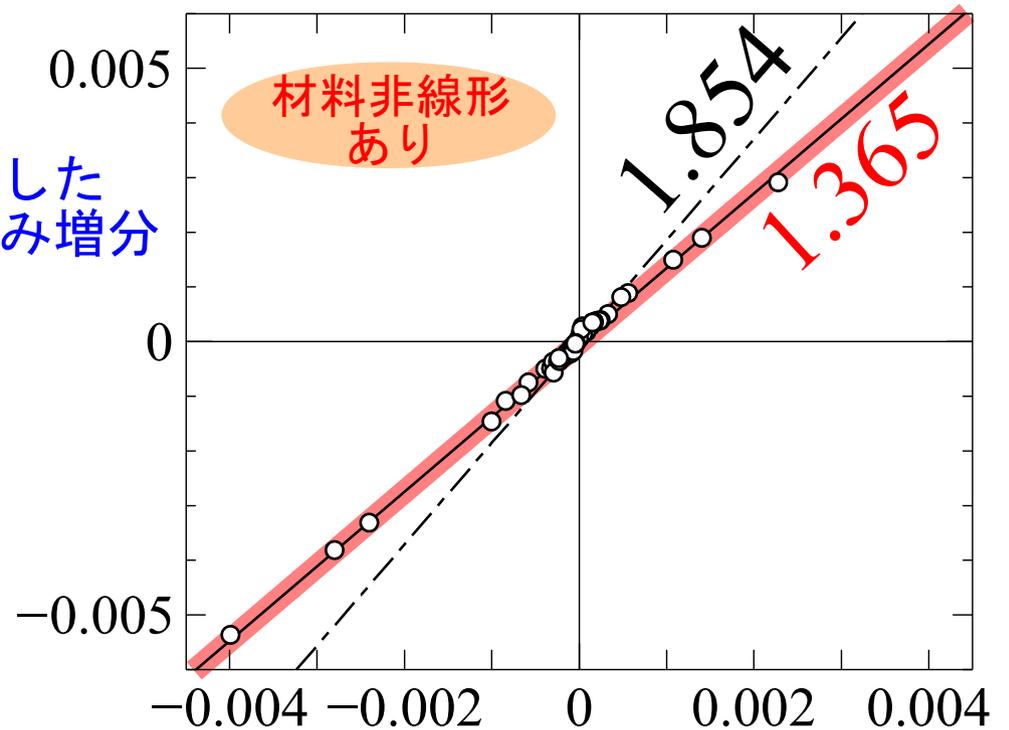
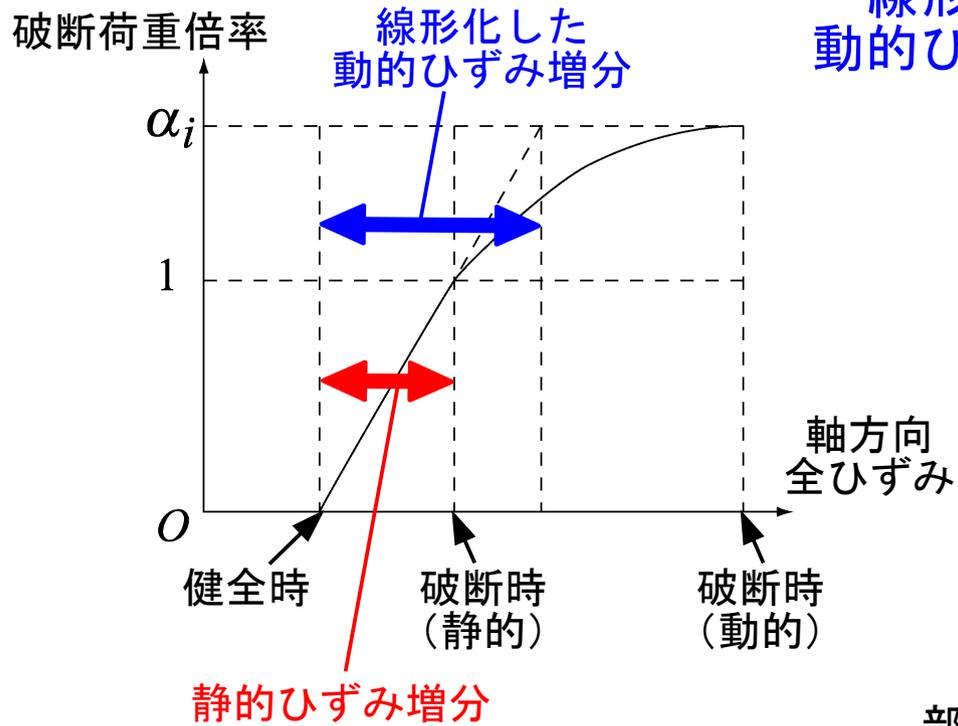
破断荷重倍率



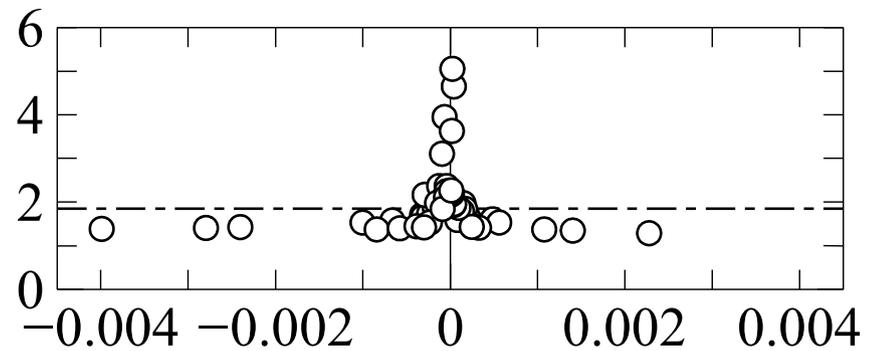
静的ひずみ増分

$$\varepsilon_{\text{破断時}} - \varepsilon_{\text{健全時}}$$

# 橋梁全体の動的増幅率の算定方法



部材ごとの動的増幅率

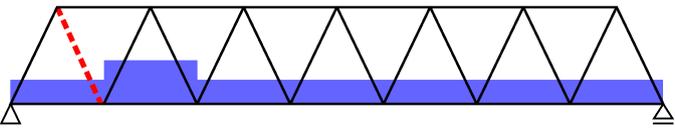


静的ひずみ増分

※先行研究の動的効果の表しかた

$$I = \frac{\text{動的な応力増分}}{\text{静的な応力増分}}$$

D + 0.5L

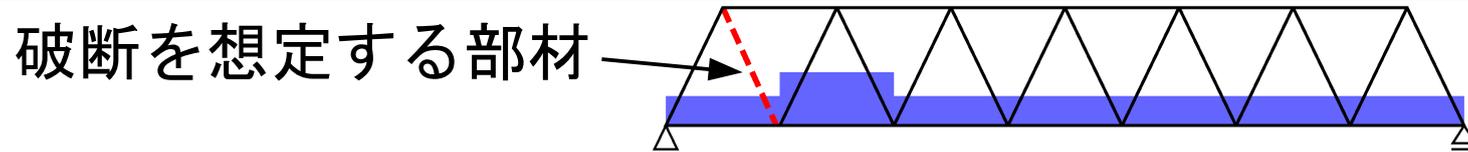
	端部に最も近い 引張斜材の破断時 	端部に2番目に近い 引張斜材の破断時 
材料非線形 あり	1.854 の 75% 1.365 ↓ 18%	1.594 ↓ 2%
材料非線形 なし	1.854 の 90% 1.673	1.565

- 材料非線形性を考慮すると，動的効果は広く用いられている衝撃係数1.854に比べて25%小さくなる
- 塑性ひずみが生じるケースの場合，生じない場合と比較すると動的増幅率は小さい

$D + 0.5L$ 

	端部に最も近い 引張斜材の破断時	端部に2番目に近い 引張斜材の破断時
材料非線形 あり	1.365 主要部材が塑性変形する	1.594 主要部材が塑性変形しない 2次部材は塑性変形する
	↕ 18%	↕ 2%
材料非線形 なし	1.673	1.565

- 材料非線形性を考慮すると、動的効果は広く用いられている衝撃係数1.854に比べて25%小さくなる
- 塑性ひずみが生じるケースの場合、生じない場合と比較すると動的増幅率は小さい



	D + 0L	D + 0.5L	D + 1.0L
材料非線形あり	最大塑性ひずみ 0.15%	最大塑性ひずみ 0.30%	最大塑性ひずみ 2.6%
	1.541	1.365	1.410
	↕ 8%	↕ 18%	↕ 20%
材料非線形なし	1.670	1.673	1.787

- 塑性ひずみの大きさによって動的増幅率の大きさは異なる
- ただし、材料非線形性が動的効果に与える影響は大きくて20%程度であった

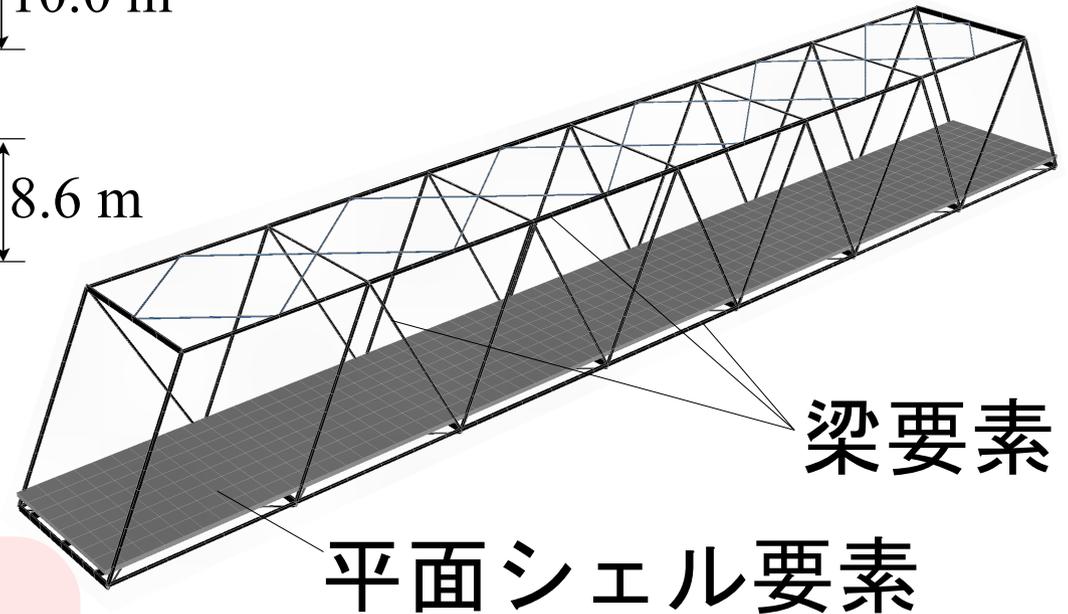
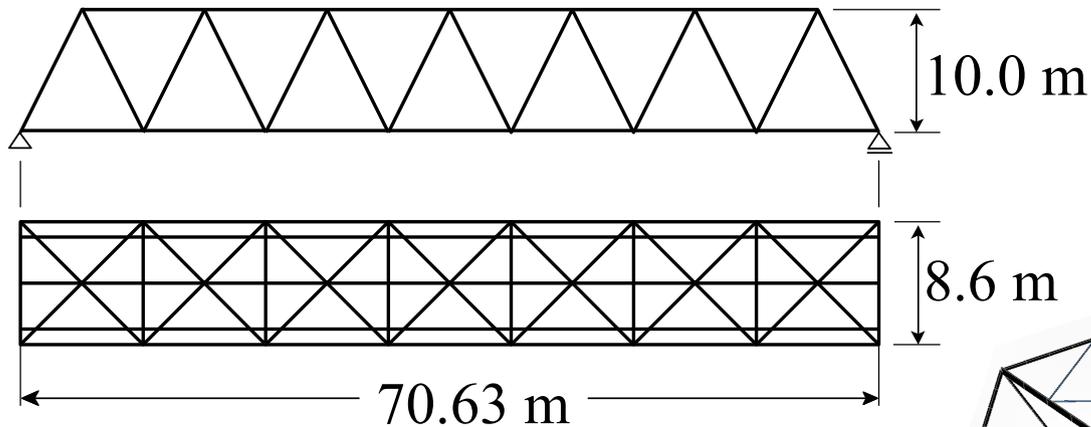
- 材料非線形性を考慮したモデルで破断荷重を漸増させ、動的効果の合理的な定量化を試みた

▶ 材料非線形性を考慮した場合の動的効果は、広く用いられている衝撃係数1.854よりも25%小さい場合（1.365）がある

▶ 塑性変形の大きさによって動的増幅率は変化するが、その影響は大きくて20%程度であった

▶ 2次部材に塑性変形が生じても主要部材が塑性変形しない時は、非線形性を考慮しない場合の動的増幅率とほぼ同じ

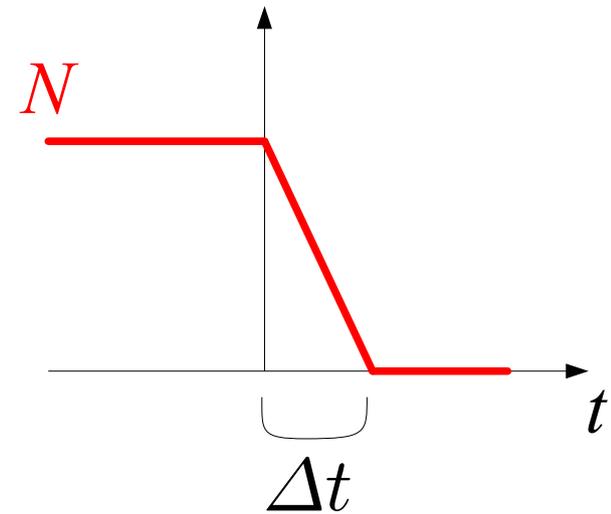
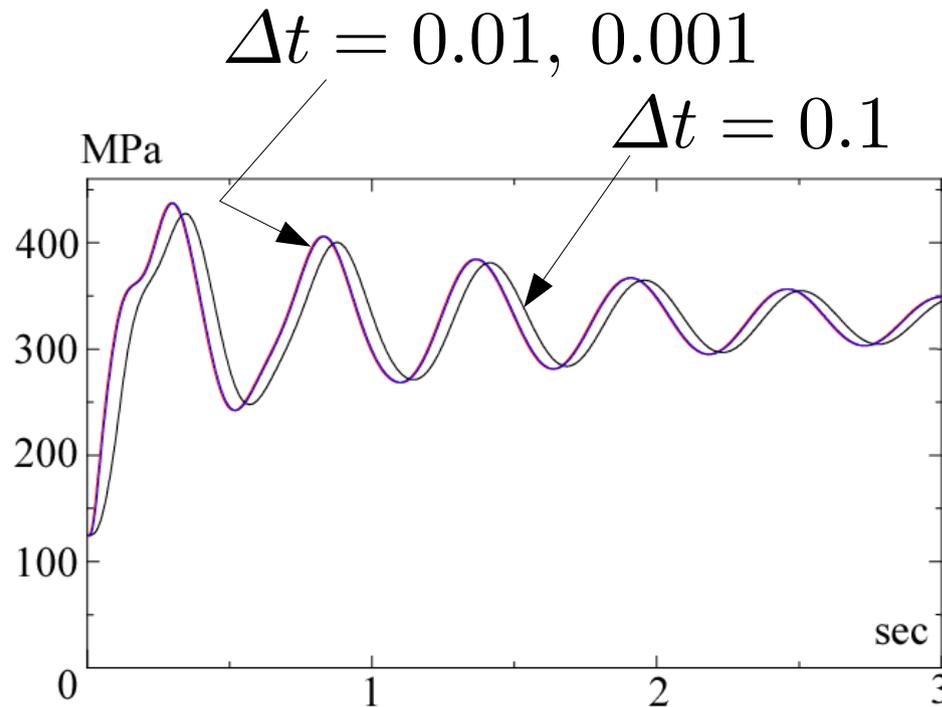
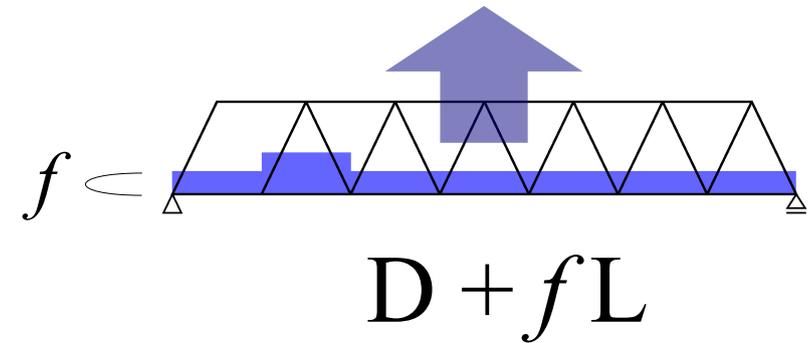
## 木曾川大橋と同規模



鋼材 SM400 線形硬化則  
Young係数  $2.11 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$   
Poisson比 0.3  
質量密度  $7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$   
初期降伏応力  $235 \text{ N/mm}^2$   
硬化係数  $2.11 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

RC床版弾性体  
Young係数  $2.65 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$   
Poisson比 0.17  
質量密度  $2.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$I = \frac{\text{動的解析から得られる 終局限界活荷重倍率} : f_{\text{動}}}{\text{静的解析から得られる 終局限界活荷重倍率} : f_{\text{静}}}$$



$$I = 1.37$$

$$f_{\text{静}} = 1.1$$