非線形有限要素解析による
鋼ランガー橋の冗長性に関する基礎的考察

Fundamental consideration on the redundancy of steel Langer bridges
based on nonlinear finite element analysis

構造強度学研究室
川村 航太

2015年 2月 13日

研究背景

米国鋼トラス橋崩落事故

- ガセット板厚過小
- 格点部の損傷

橋梁全体が崩壊

日本国内の損傷事例

斜材の破断
（木曽川大橋）

吊材の破断
（君津新橋）

崩壊には至らず

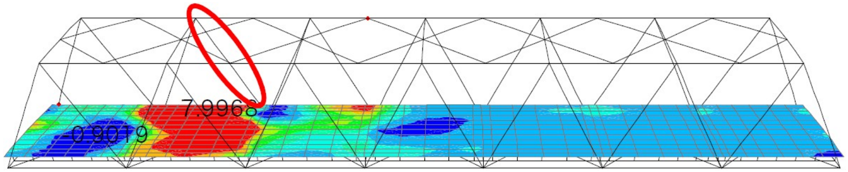
部材が破断した後，格点部や床版を通して荷重が分配されたため？

- 部材破断後の耐荷力（冗長性）を把握することが重要
- 数値解析による冗長性評価の際は格点部や床版のモデル化に注意

既往の研究

床版の非線形性を考慮した冗長性評価

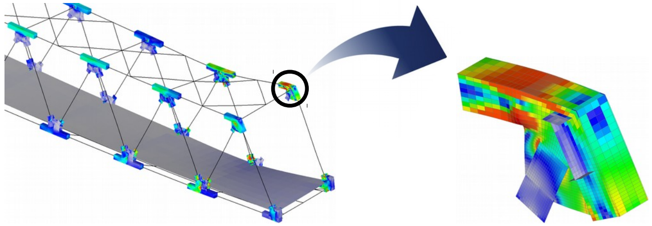
→ 床版の耐荷力が橋全体の安全性に与える影響は大きい



[永谷ら (2009)]

格点部を考慮した冗長性評価

→ 精度よく冗長性を評価するには格点部の詳細なモデル化が重要



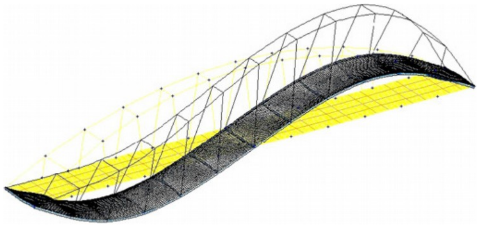
[本研究室における過去の研究]

多くがトラス橋や桁橋に関する研究

アーチ橋の冗長性に関する研究はこれまでほとんどない

吊材が破断したアーチ橋の座屈解析

→ 活荷重に対するアーチ橋全体の耐荷力については検討していない



[Romeijn & Bouras (2008)]

本研究の目的

課題

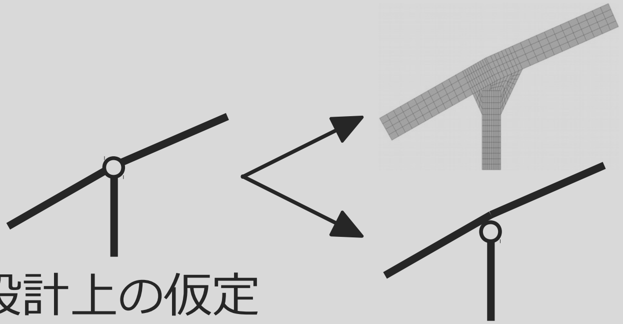
- 損傷事例があるにも関わらずアーチ橋の冗長性に関する研究がない
- アーチ橋は不静定構造なので静定トラスよりは冗長性があると推測できるが…

→ 部材破断後どのように荷重分配され冗長性が発揮されるかを把握すべき

本研究

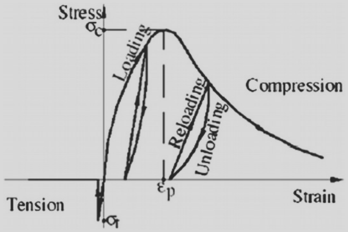
解析対象：鋼ランガー橋

【格点部のモデル化】



設計上の仮定

【床版のモデル化】



剛性低下を考慮すべきだが…

通常の床版

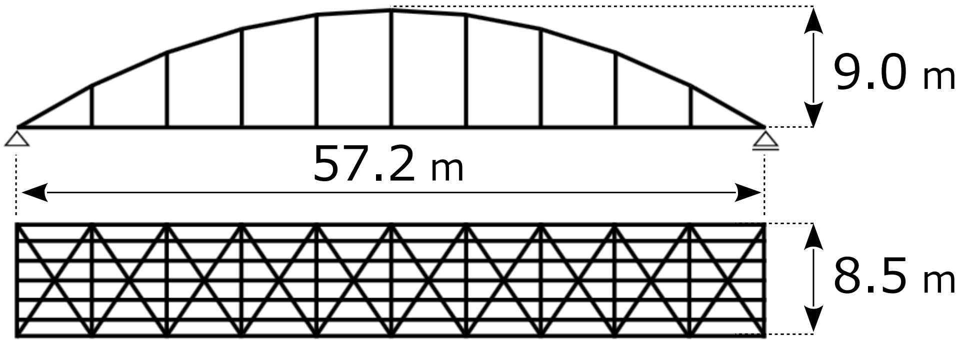
剛性の小さい床版（曲げ抵抗を擬似的に低減）

格点部と床版のモデル化の違いがランガー橋の冗長性評価に与える影響を検討

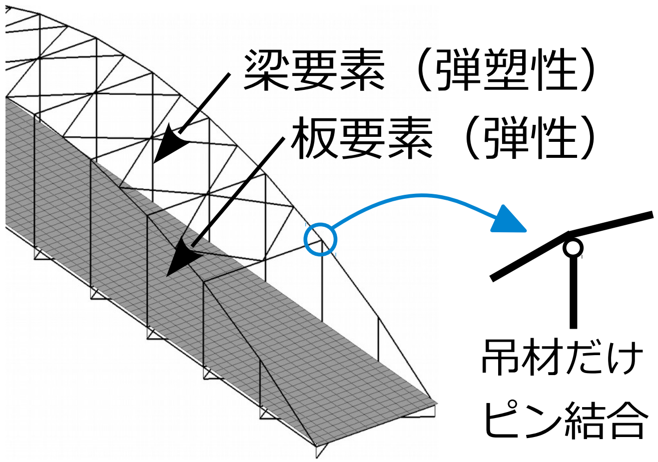
解析モデル

解析対象

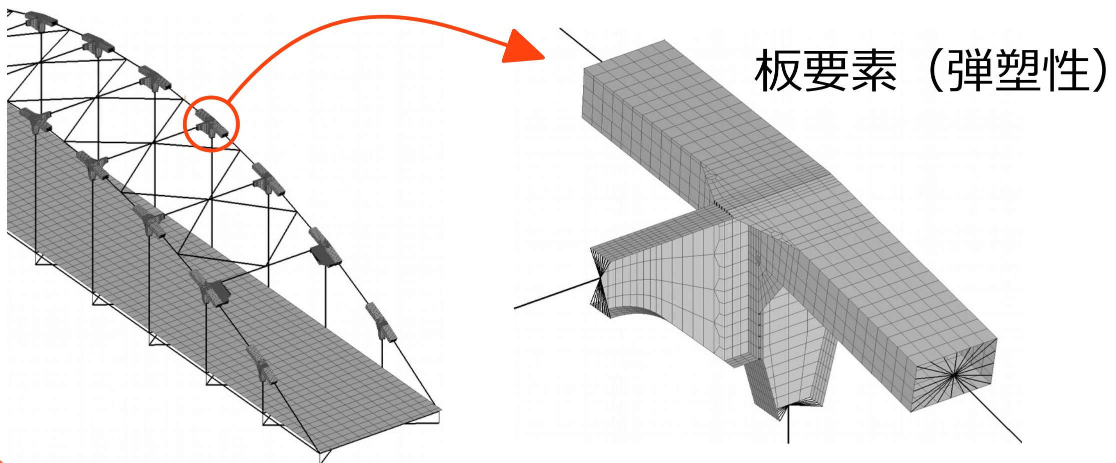
熊本市の旧子飼橋を参考とした
同規模の単径間下路式鋼ランガー橋



骨組モデル



詳細モデル



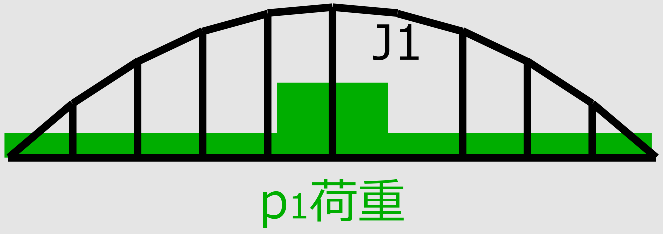
解析方法

D + f L

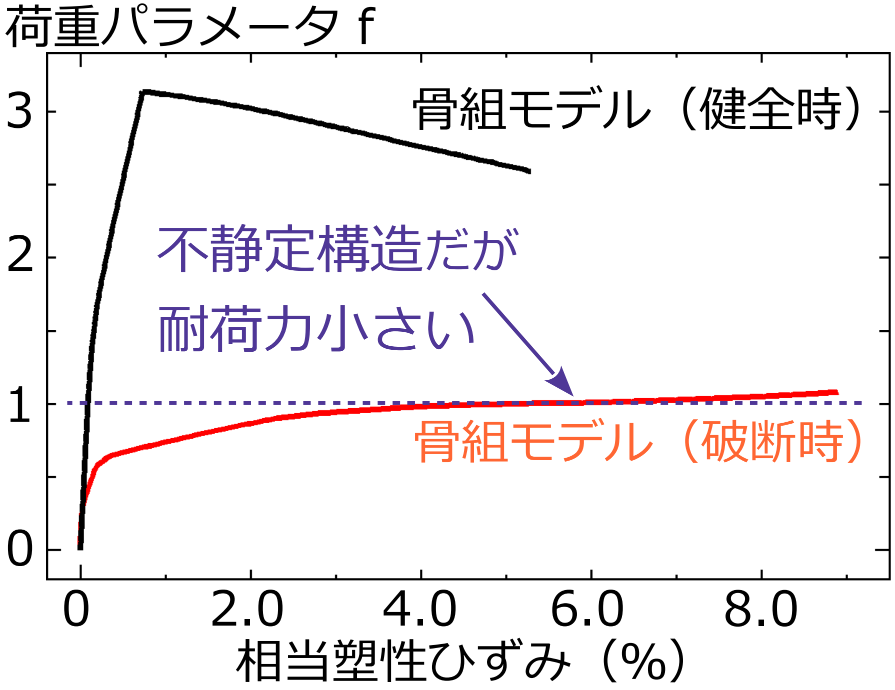
D：死荷重　L：活荷重
f ：荷重パラメータ

- 汎用ソフト NX NASTRAN
- 静的有限要素解析
  （幾何学的・材料非線形性を考慮）

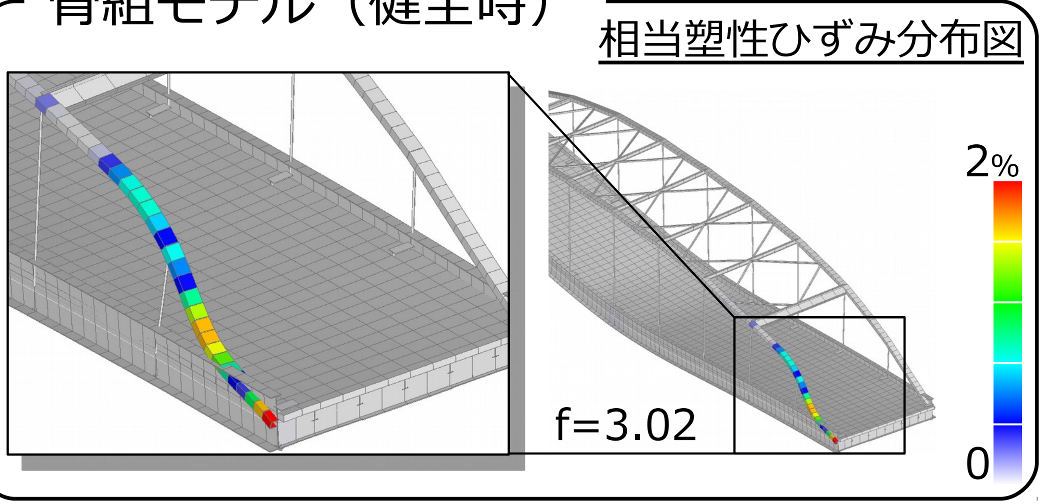
解析結果：健全時と吊材破断時の比較



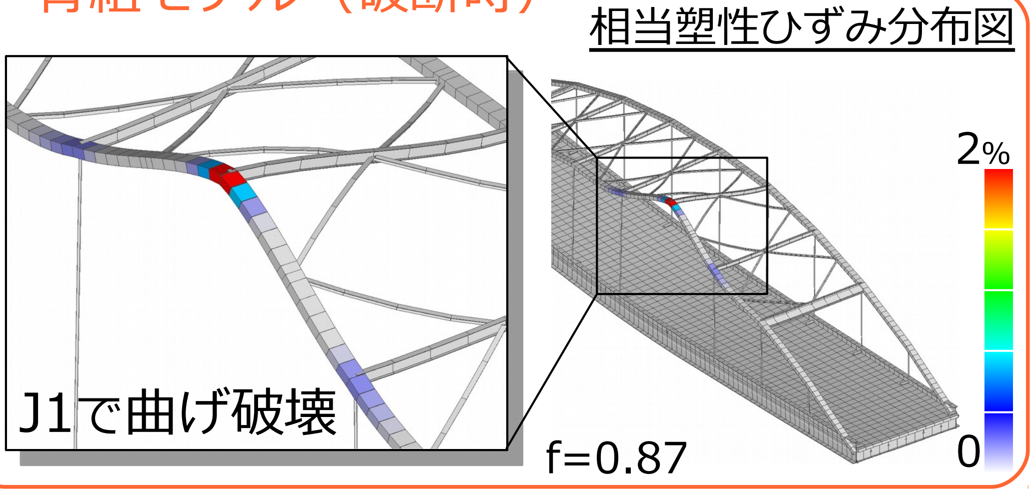
- アーチリブ軸力が大きくなるよう載荷
- 相当塑性ひずみが大きくなる所に着目



骨組モデル（健全時）



骨組モデル（破断時）



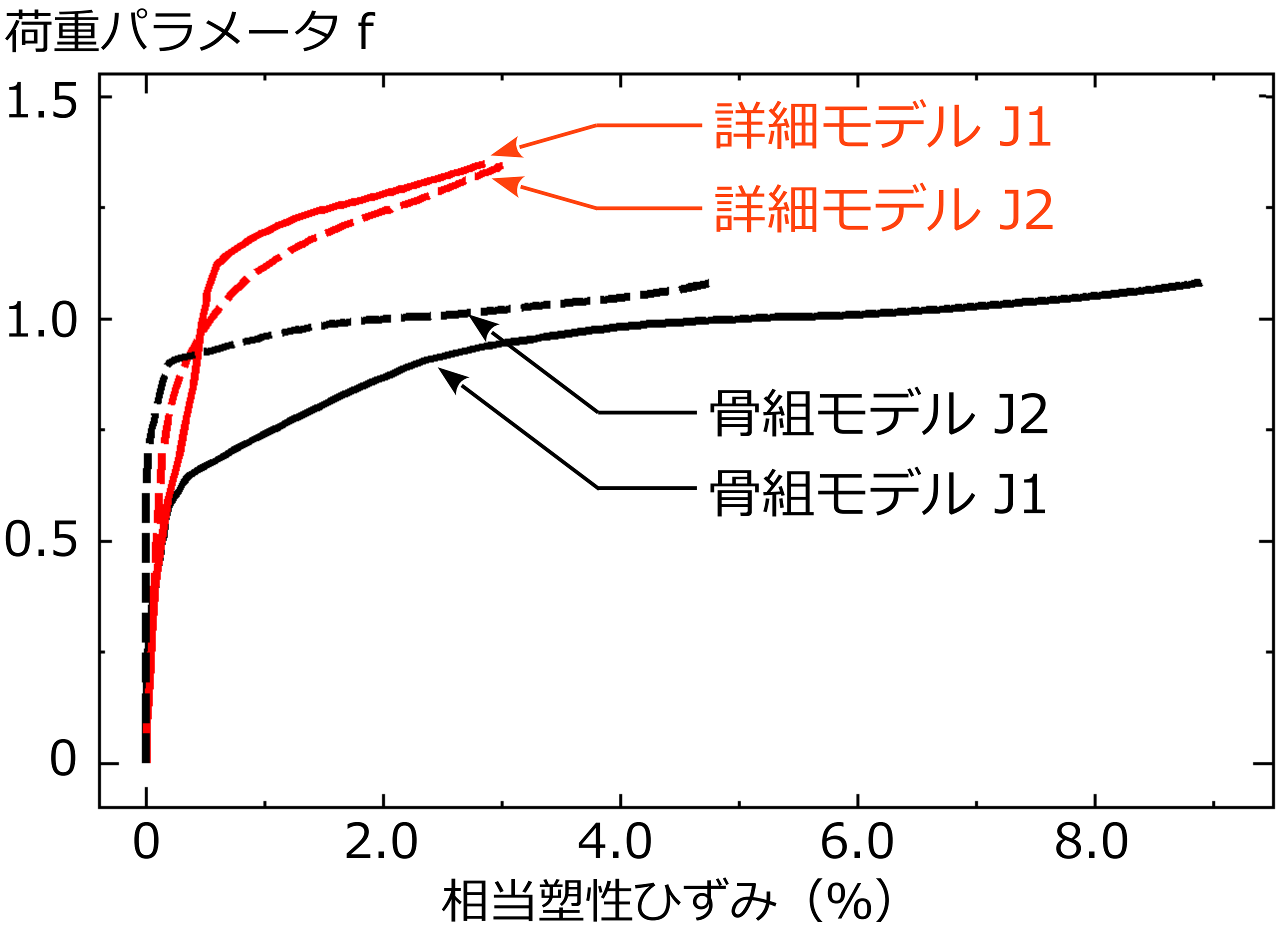
骨組モデル：格点部の損傷再現できない
床版が常に健全

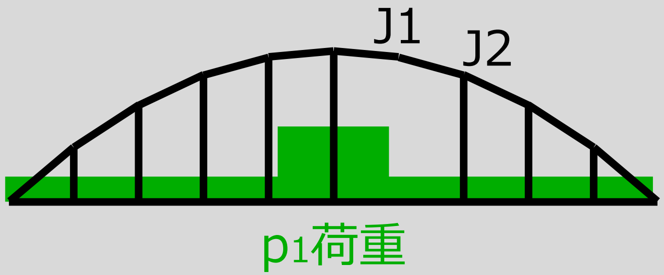
格点部や床版のモデル化によって
耐荷力や破壊モードも異なる？

- **格点部**のモデル化による影響について
- **床　版**のモデル化による影響について

- <u>**格点部**</u>のモデル化による影響について
- **床　版**のモデル化による影響について

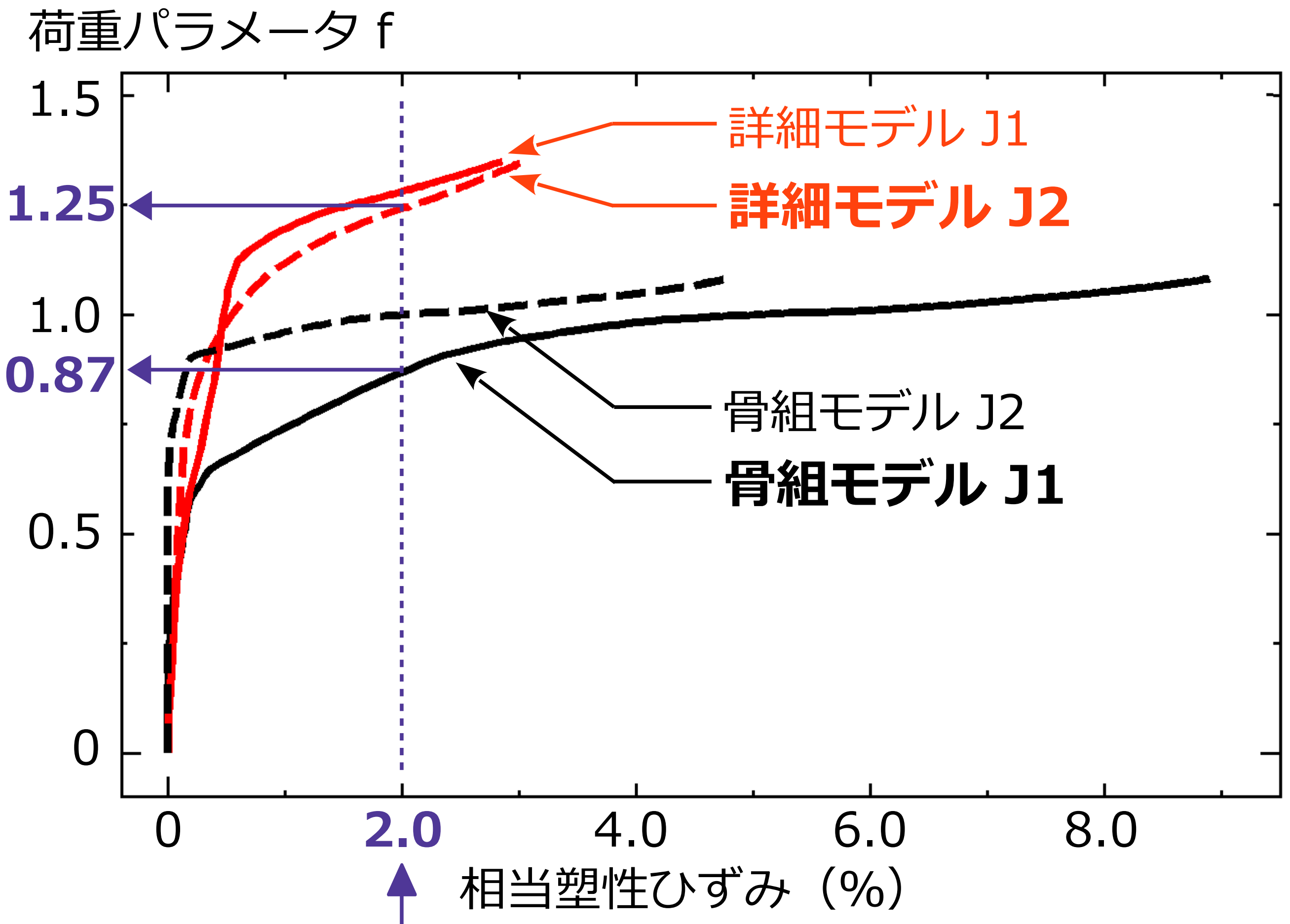
解析結果：格点部のモデル化による影響

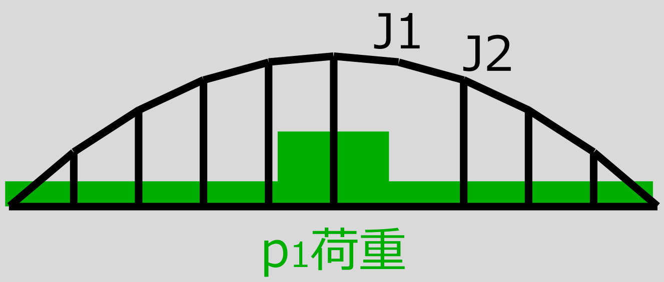




- アーチリブ軸力が大きくなるよう載荷
- 相当塑性ひずみが大きいJ1とJ2に着目

解析結果：格点部のモデル化による影響





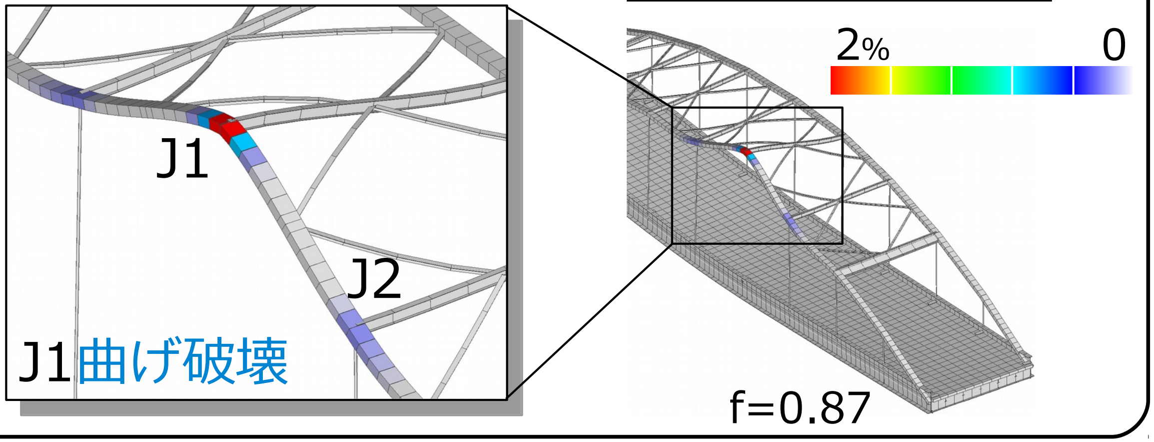
- アーチリブ軸力が大きくなるよう載荷
- 相当塑性ひずみが大きいJ1とJ2に着目

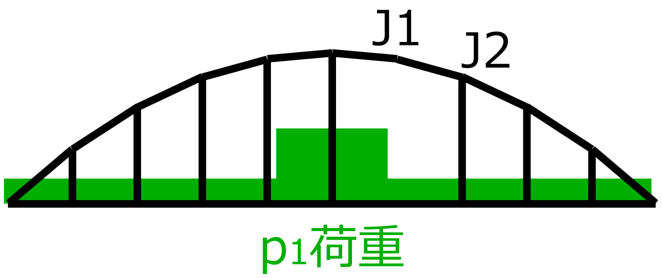
仮に２%時の f を「耐荷力 fc」と定義すると…

- 骨組モデルの fc ＜ 詳細モデルの fc
- 最初に壊れる場所が異なる

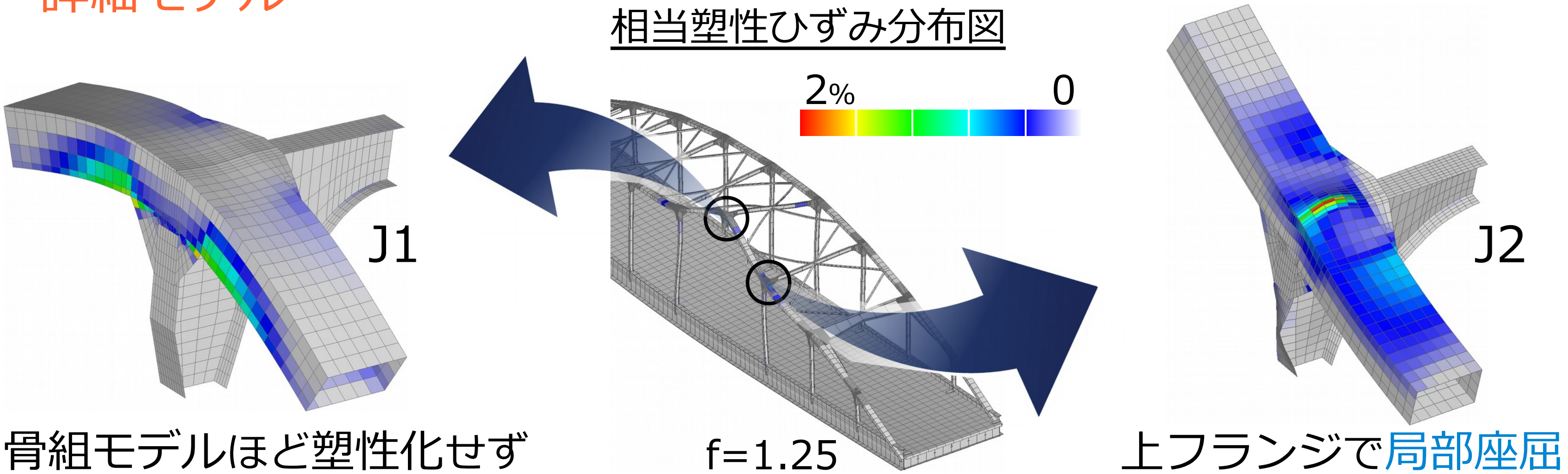
解析結果：格点部のモデル化による影響

骨組モデル





詳細モデル



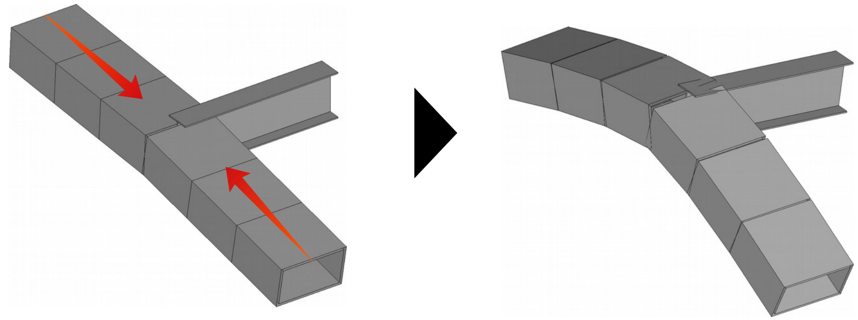
- 耐荷力が異なる
- 最初に壊れる場所が異なる

→ **ガセットプレート**モデル化が要因？

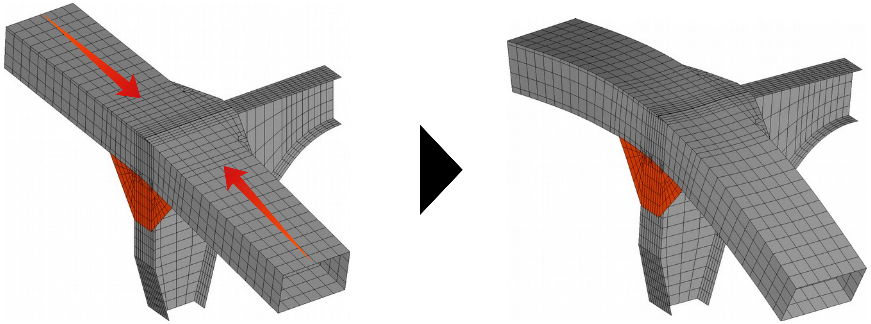
考察：ガセットのモデル化による影響

影響 ① **格点部付近の曲げ剛性が変化**

骨組モデル J1



詳細モデル J1

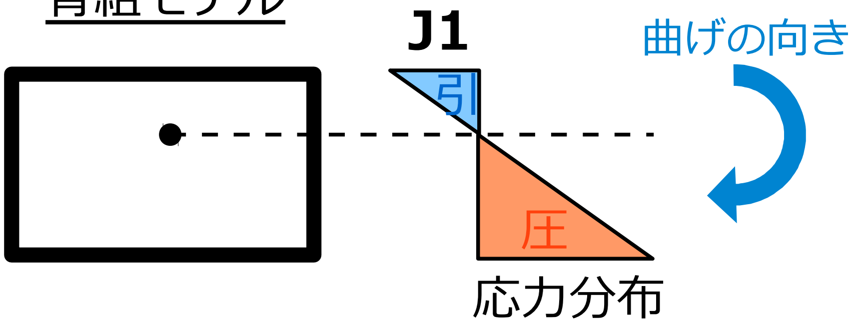


骨組モデル：曲げ剛性が実際より小さい

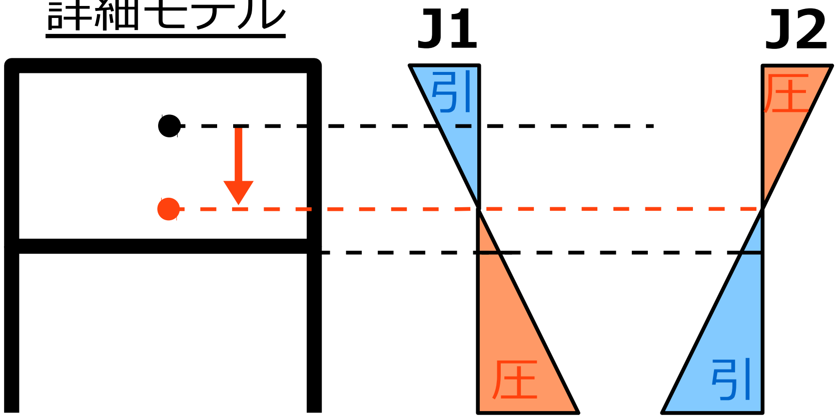
耐荷力を過小評価

影響 ② **中立軸の位置が変化**

骨組モデル



詳細モデル



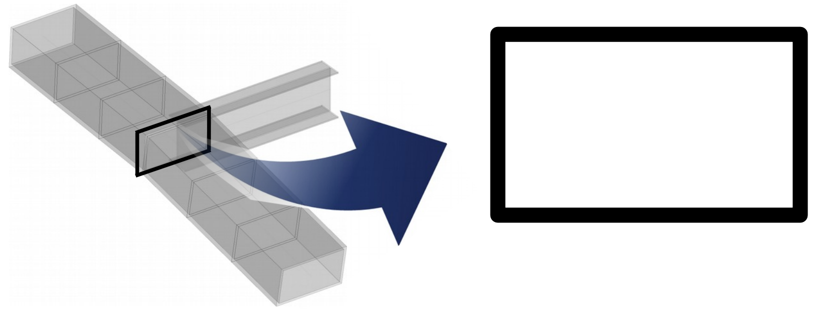
下フランジ応力 < 上フランジ応力

詳細モデル：J2上フランジで局部座屈

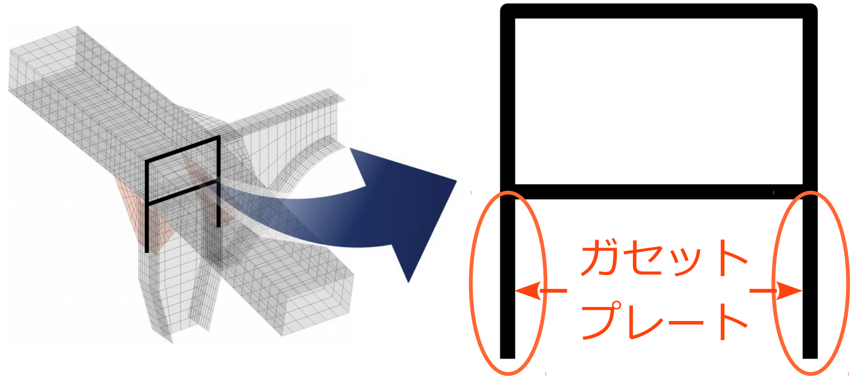
考察：ガセットのモデル化による影響

影響 ① **格点部付近の曲げ剛性が変化**

骨組モデル J1

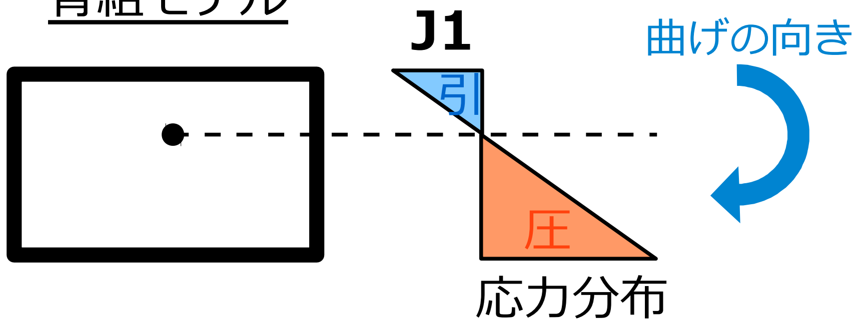


詳細モデル J1

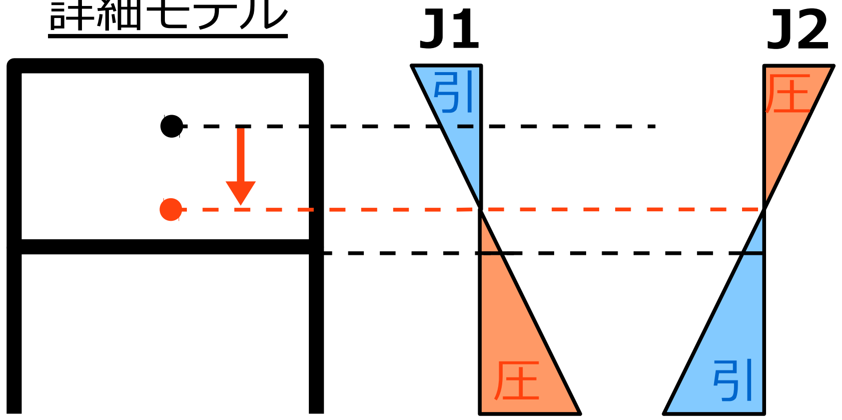


影響 ② **中立軸の位置が変化**

骨組モデル



詳細モデル



骨組モデル：曲げ剛性が実際より小さい

耐荷力を過小評価

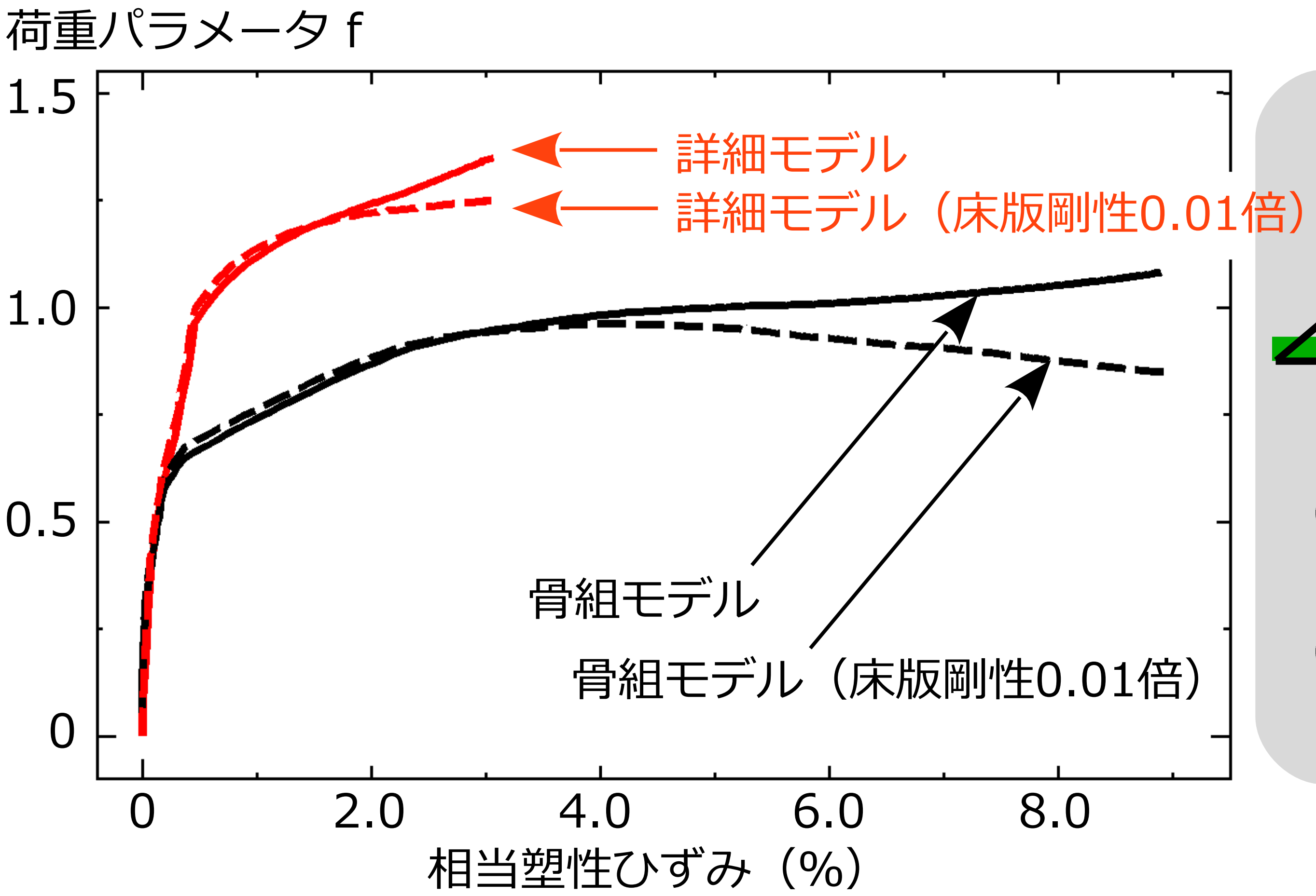
下フランジ応力 < 上フランジ応力

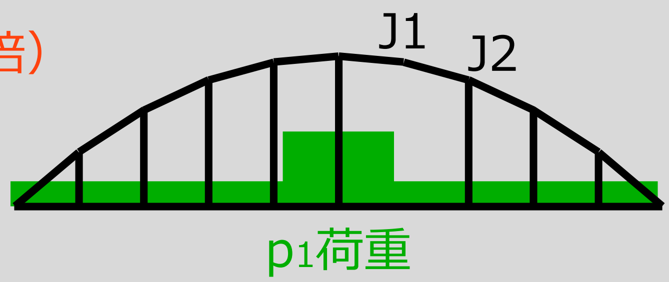
詳細モデル：J2上フランジで局部座屈

- **格点部**のモデル化による影響について
- **床　版**のモデル化による影響について

- **格点部** のモデル化による影響について
- **床　版** のモデル化による影響について

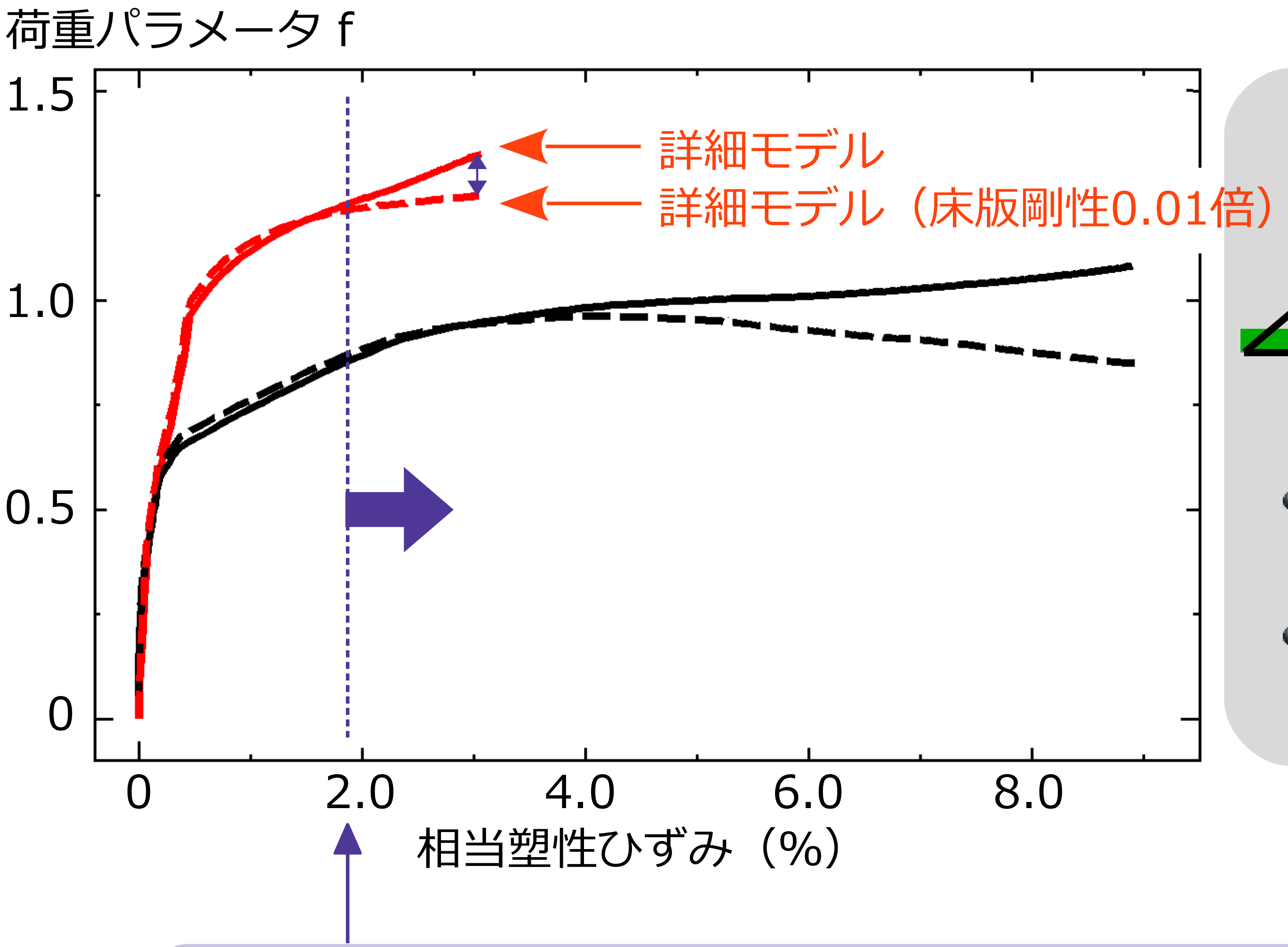
解析結果：床版のモデル化による影響

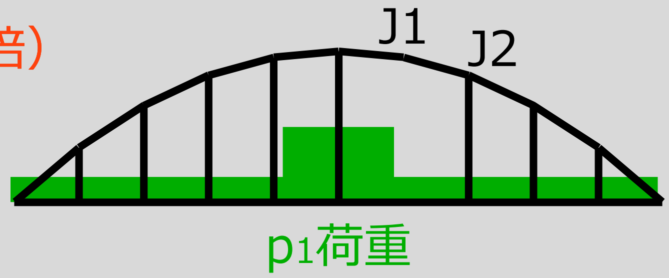




- アーチリブ軸力が大きくなるよう載荷
- 詳細モデルはJ2
  骨組モデルはJ1に着目

解析結果：床版のモデル化による影響



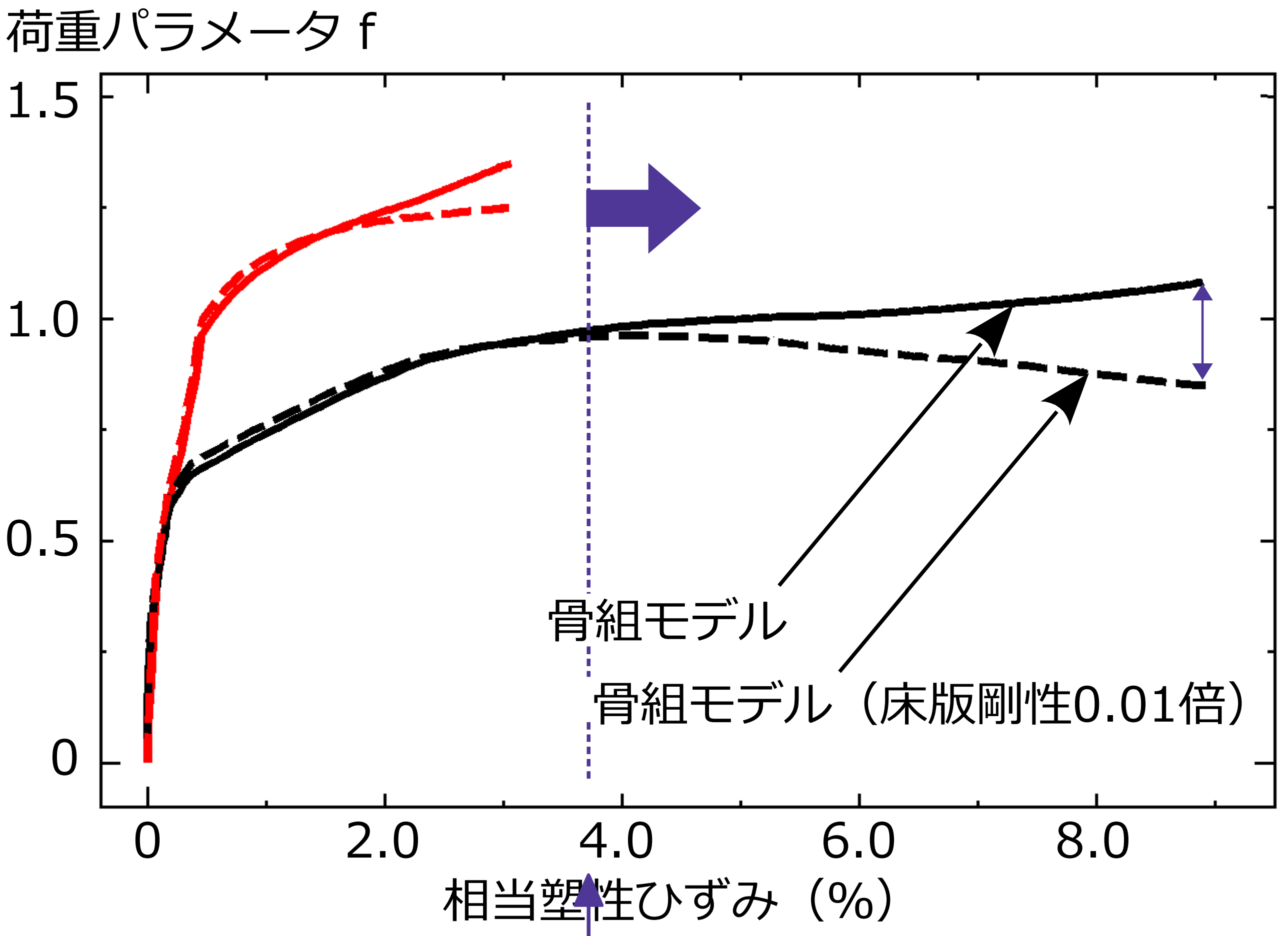


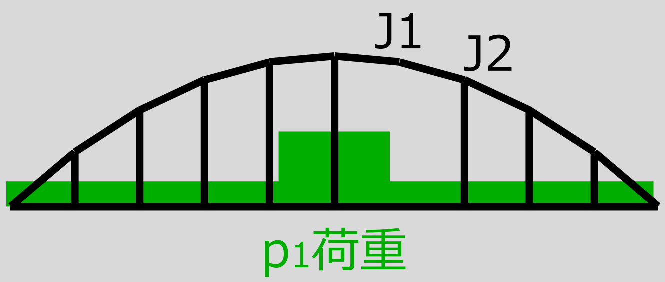
- アーチリブ軸力が大きくなるよう載荷
- 詳細モデルはJ2
  骨組モデルはJ1に着目

相当塑性ひずみがある程度大きいとき

詳細モデルの f ＞ 詳細モデル（床版剛性0.01倍）の f

解析結果：床版のモデル化による影響



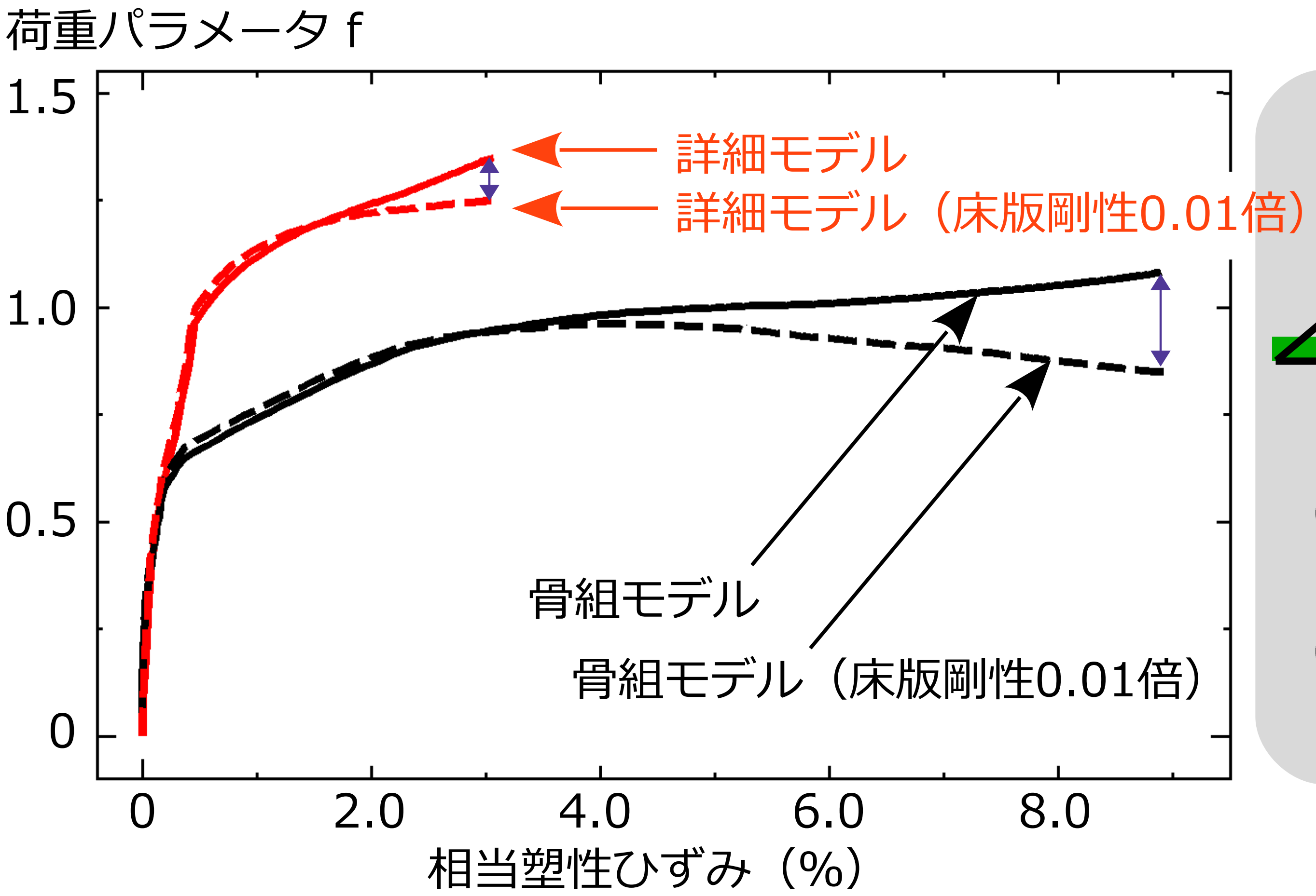


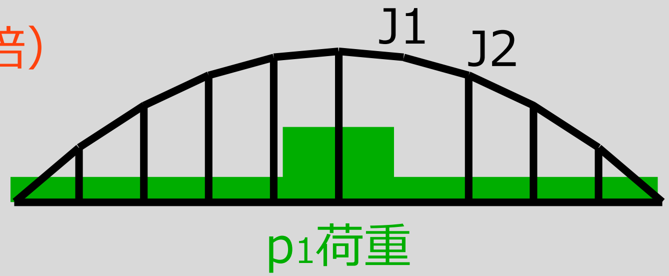
- アーチリブ軸力が大きくなるよう載荷
- 詳細モデルはJ2
  骨組モデルはJ1に着目

相当塑性ひずみがある程度大きいとき

骨組モデルの f ＞ 骨組モデル（床版剛性0.01倍）の f

解析結果：床版のモデル化による影響





- アーチリブ軸力が大きくなるよう載荷
- 詳細モデルはJ2
骨組モデルはJ1に着目

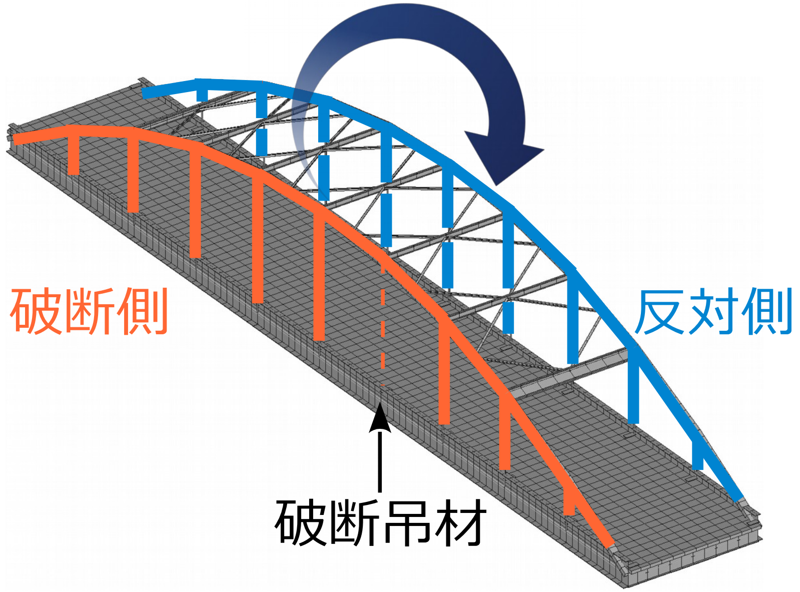
床版剛性の小さいモデル：相当塑性ひずみが大きいと耐荷力が小さくなる傾向

床版が荷重を分配する機能を有しているため？

考察：床版の荷重分配機能について

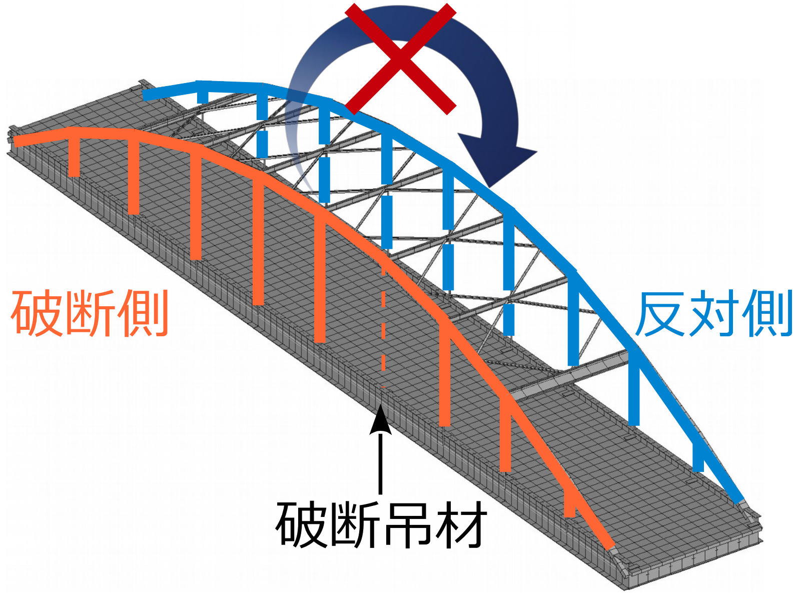
骨組モデル

床版が健全なら
床版を通して荷重を分配



骨組モデル（床版剛性 0.01倍）

床版剛性が小さいと
分配されにくい



床版の**剛性が小さい**と破断側から反対側の主構に荷重が分配されない

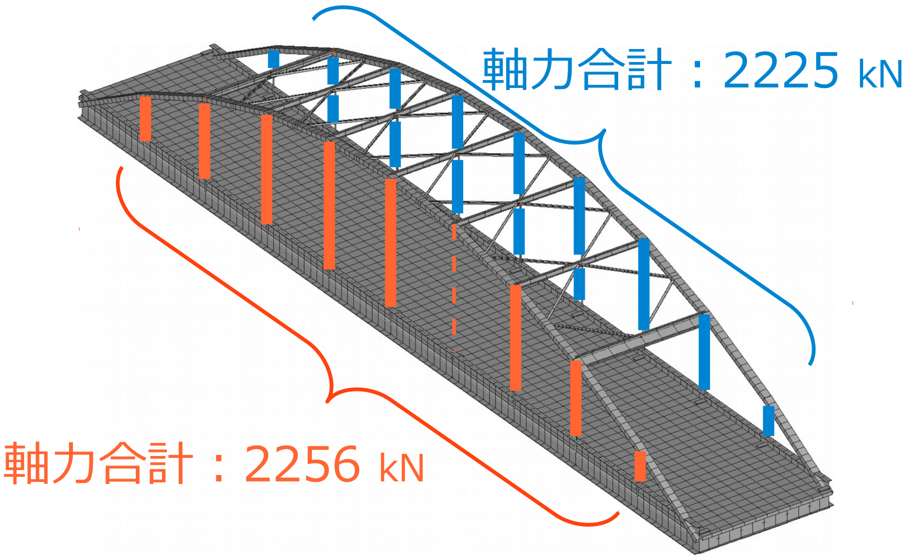
↓

床版の剛性が小さいモデルでは**耐荷力が小さく**なる

考察：床版の荷重分配機能について

骨組モデル

2256 − 2225 = **31** kN

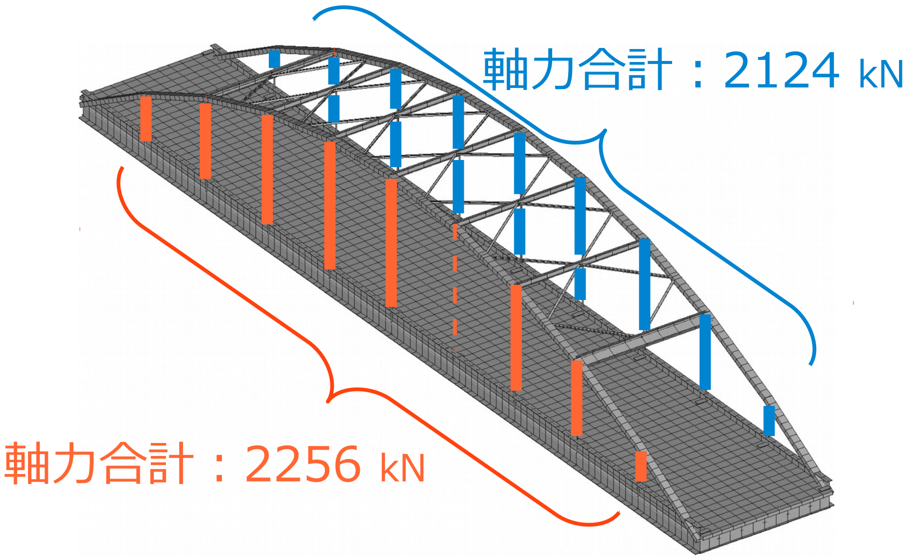


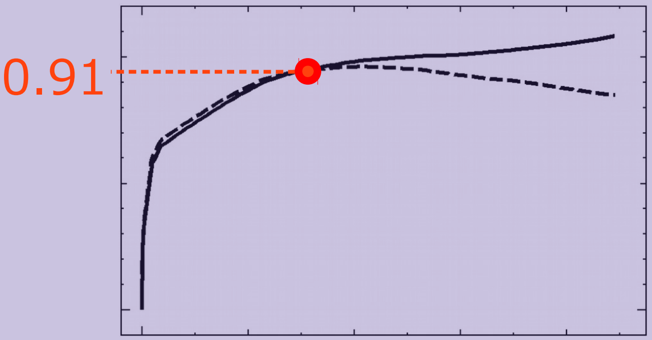
骨組モデル（床版剛性 0.01倍）

2256 − 2124 = **132** kN

軸力差が大きい

→ 荷重分配されず





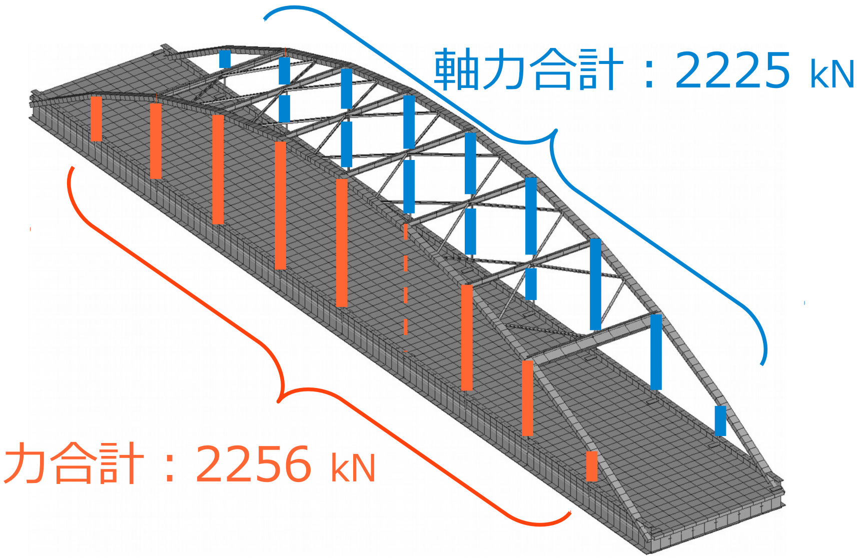
f = 0.91のときの

破断側と反対側の部材力の**差**を比較

考察：床版の荷重分配機能について

骨組モデル

2256 − 2225 ＝ **31** kN

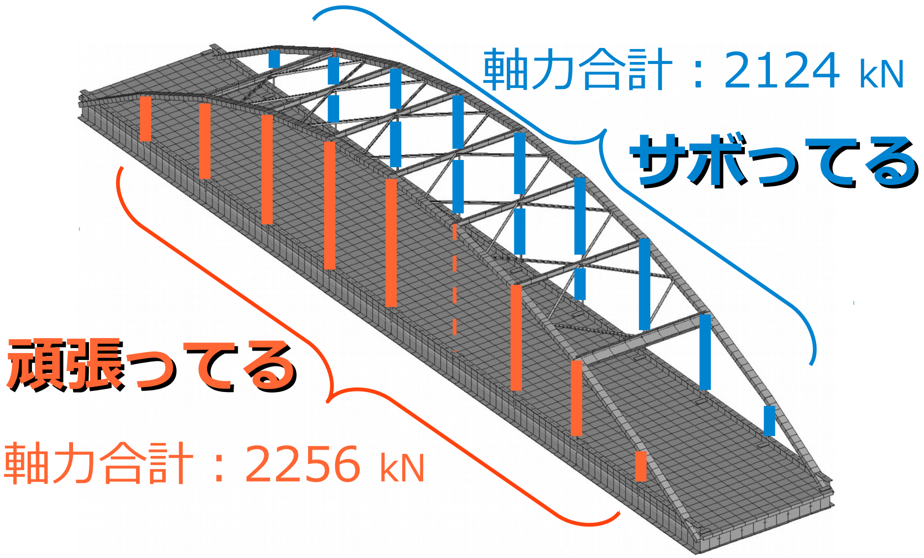


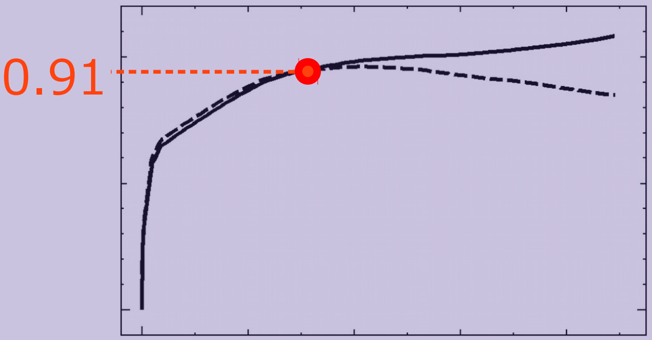
骨組モデル（床版剛性 0.01倍）

2256 − 2124 ＝ **132** kN

軸力差が大きい

→ 荷重分配されず





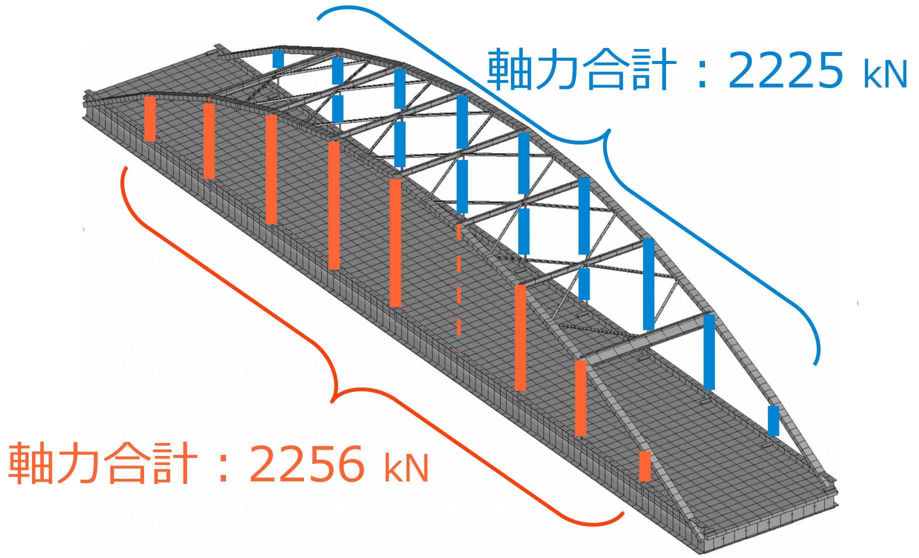
f ＝ 0.91のときの

破断側と反対側の部材力の**差**を比較

考察：床版の荷重分配機能について

骨組モデル

2256 − 2225 ＝ **31** kN

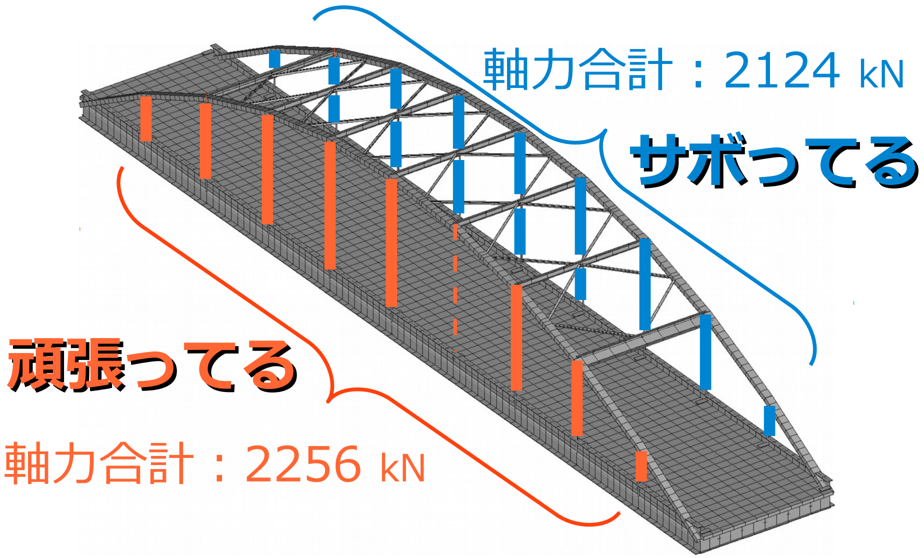


骨組モデル（床版剛性 0.01倍）

2256 − 2124 ＝ **132** kN

軸力差が大きい

→ 荷重分配されず



床版の**剛性が小さい**と破断側から反対側の主構に荷重が分配されない

▼

床版の剛性が小さいモデルでは**耐荷力が小さく**なる

結論

- 格点部や床版のモデル化の違いによって，破壊モードおよび耐荷力に違いが見られた．

- 骨組モデルは，ガセットプレートがモデル化されていないため格点部付近の剛性が実際より小さく，耐荷力を過小評価している．

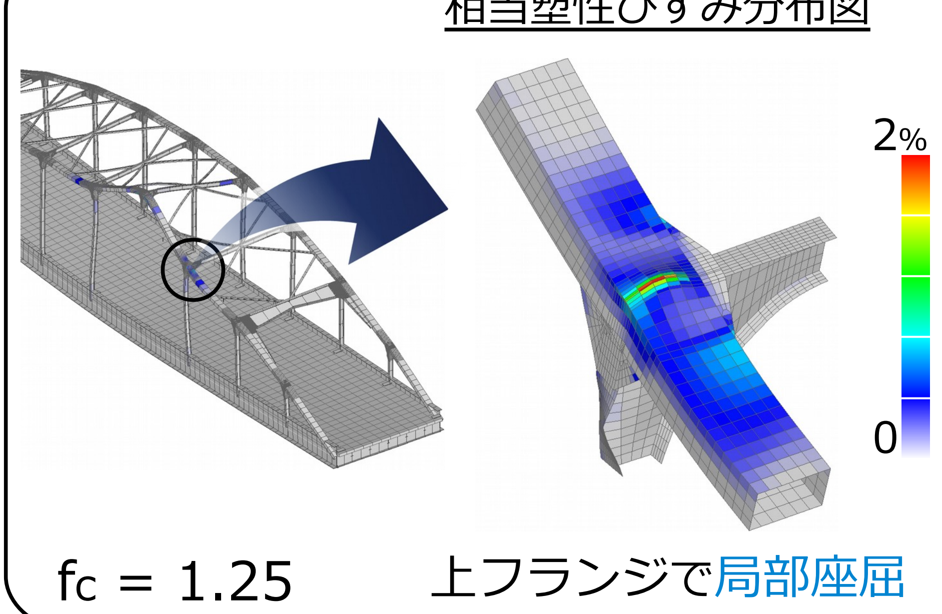
  ▶ 実構造ではガセットプレートによって
  暗黙のうちにある程度の冗長性が付加されている

- 床版が健全であれば，反対側の主構に荷重が分配されやすい．床版剛性が小さいと荷重は分配されにくい．

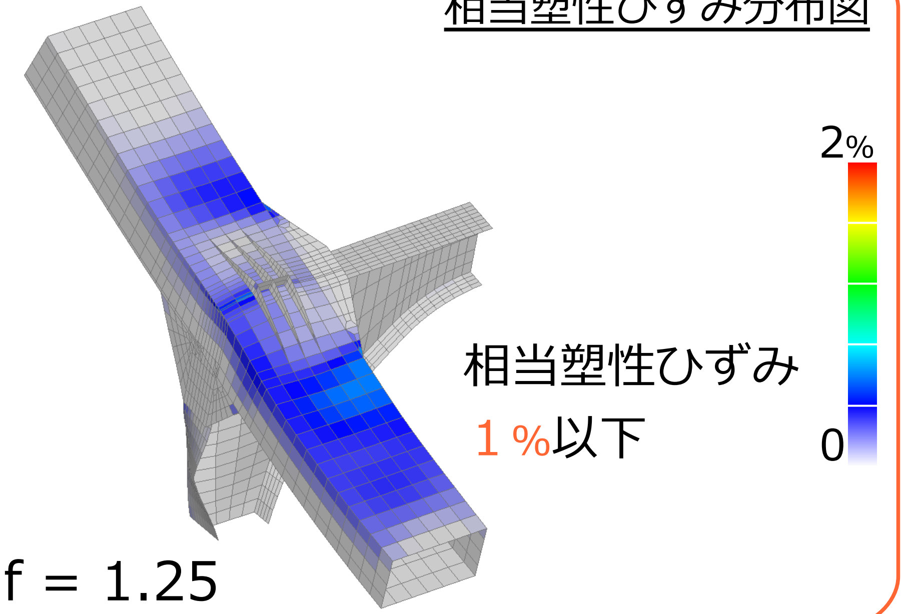
  ▶ 橋梁の変形が大きくなると
  床版の剛性によって耐荷力に差が生じる

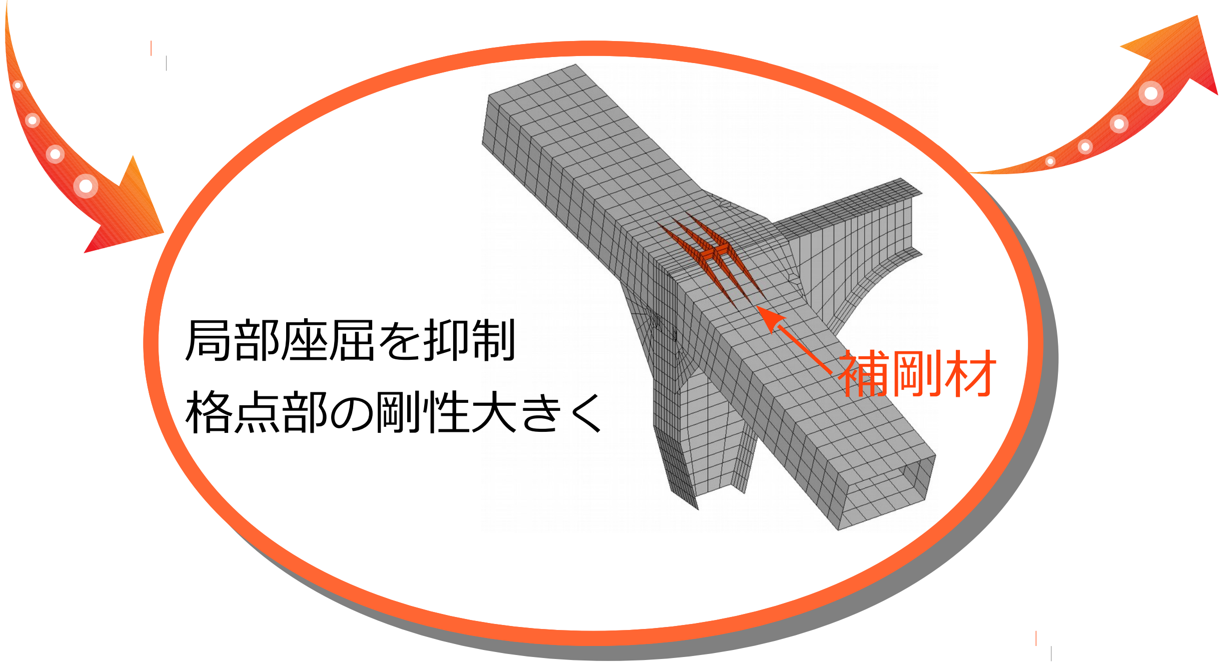
冗長性向上のための補強案

補強前

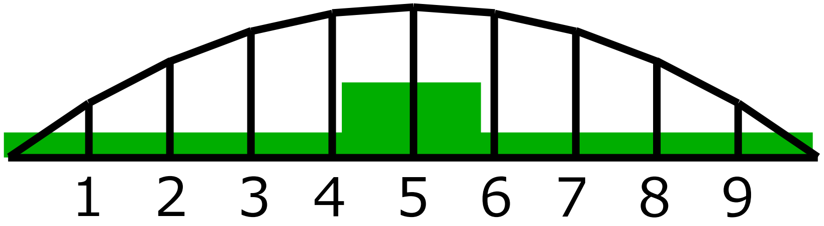


補強モデル

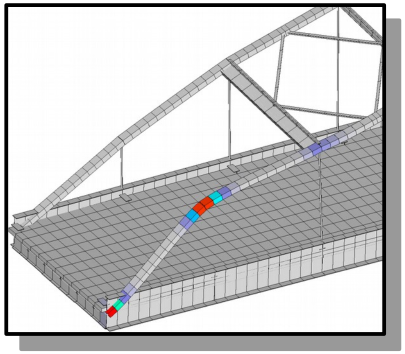




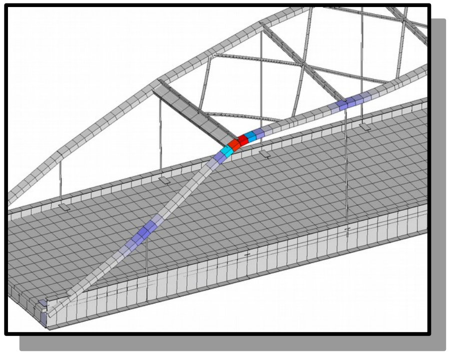
他の破断ケースにおける破壊モード



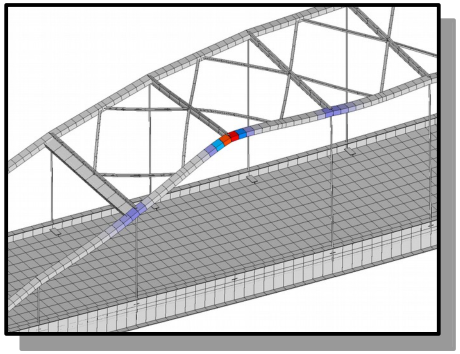
- すべてのケースでアーチリブ曲げ破壊
- 支点付近の吊材破断時ほど耐荷力が小さい



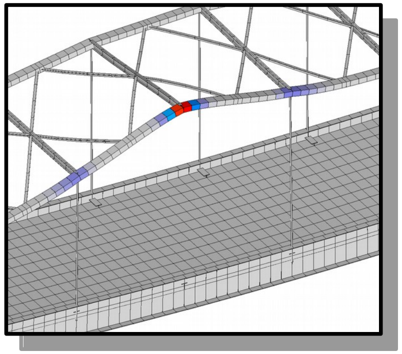
吊材１破断時
fc=0.76



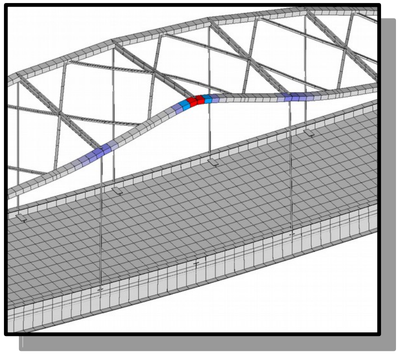
吊材２破断時
fc=0.81



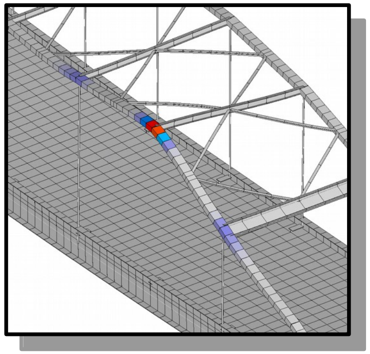
吊材３破断時
fc=0.83



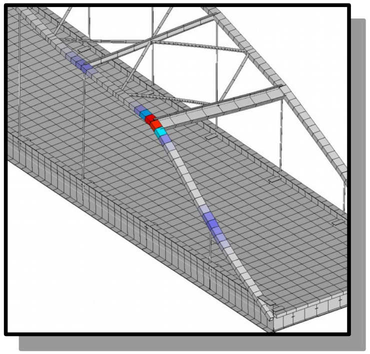
吊材４破断時
fc=0.87



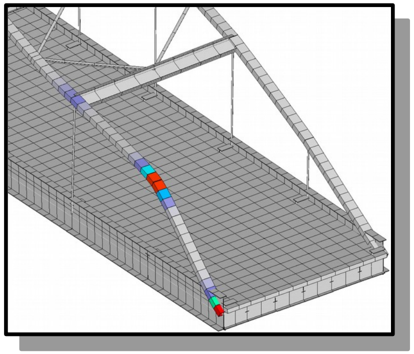
吊材５破断時
fc=0.89



吊材７破断時
fc=0.83



吊材８破断時
fc=0.81



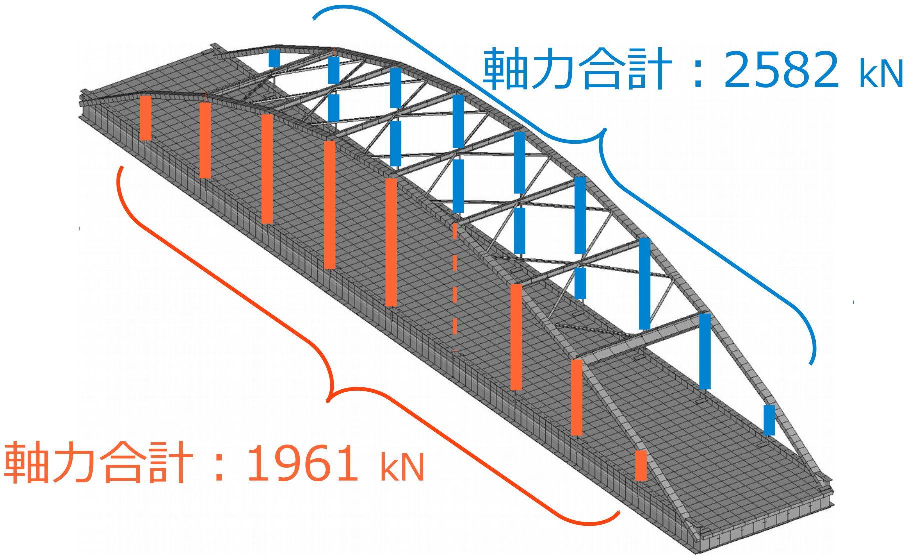
吊材９破断時
fc=0.76

考察：床版の荷重分配機能について

骨組モデル

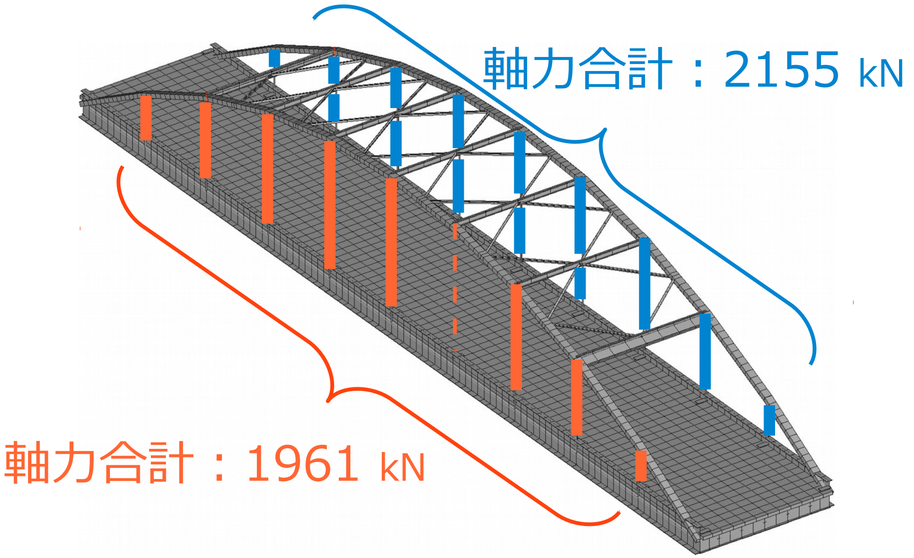
2582 ― 1961 ＝ **621** kN

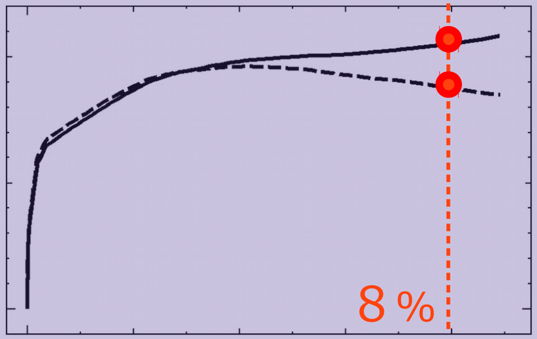
荷重分配され反対側主構が荷重を負担



骨組モデル（床版剛性 0.01倍）

2155 ― 1961 ＝ **194** kN





相当塑性ひずみ８%のときの
破断側と反対側の部材力の**差**を比較

謝辞

構造強度学研究室の皆様のおかげで楽しい研究生活を送ることができました

昼休みにヒル○ンデスを見ながら飲んだコーヒー
しょうもない下ネタ
筋トレのあとの豆乳
カオスな飲み会
やきう大会優勝
じぇい○ーるとちゅかだ君をめちゃくちゃにディスっちゃう某先生
ばやし君に無視されちゃう某先生
研究室で自転車に乗ったりエンジンを吹かしちゃう某先生
先輩を敬わない優秀な後輩たち
後輩いじめり
疲れた体に染み込む二郎のラーメン
先輩&先生のものまね
ちゅかだ君のうるさいいびき
ホモ研に流れる木村○エラの場違いなバタフライ
などなど全てが良い思ひ出です

３年間、本当にありがとうございました
そして
これからもよろしくおねがいします

2015年3月　川村 航太