

平成 28 年度 修士論文発表会

**非線形有限要素解析による  
連続非合成多主桁橋の冗長化に関する考察**

Redundancy of a Non-composite Multi-girder Bridge  
Based on Nonlinear Finite Element Analysis

構造強度学研究室

熊谷 宏之

2017/2/10

冗長性：橋梁の一部材が損傷した時に荷重を受け持ち続ける能力

冗長性を高める構造要因を明らかにすることは重要



主要部材の損傷時に荷重経路となる部材  
**代替荷重経路**によって構造の冗長性が高まる

既往の研究：**合成二主桁橋**についての研究は多い

● 模型実験と FE 解析  
[橋ら (2000)]

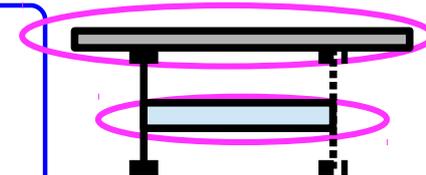
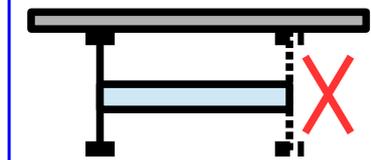
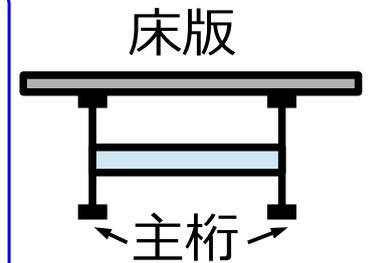


**床版**と主桁を複合構造  
とみなせば安全性は高い

● 二次部材による影響の評価  
[Lam ら (2014)]

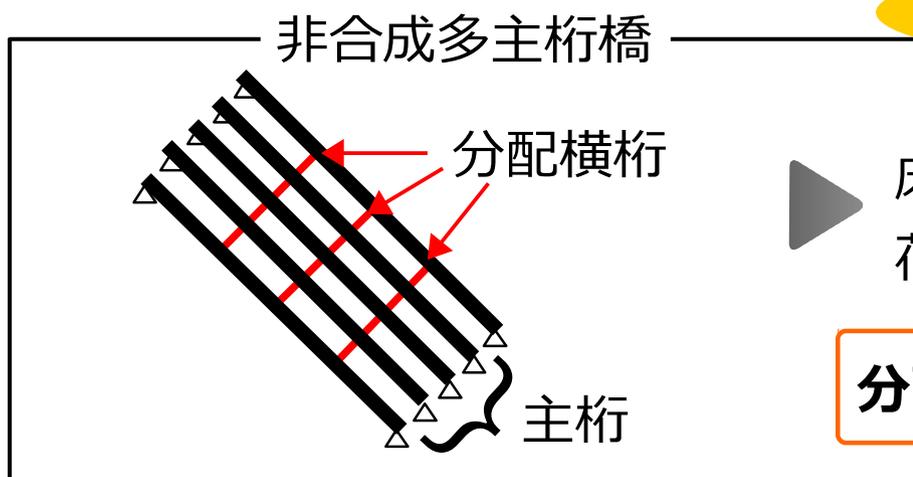
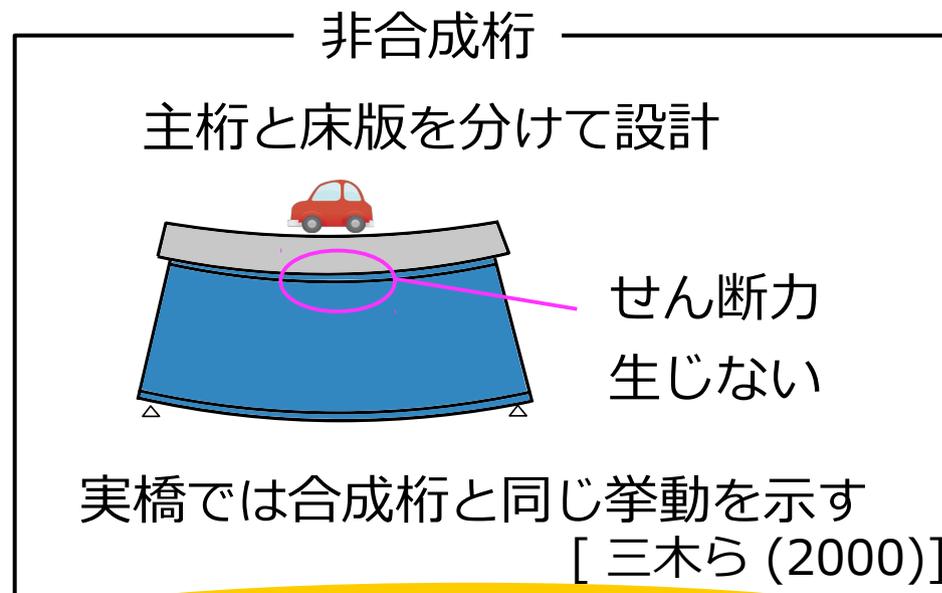
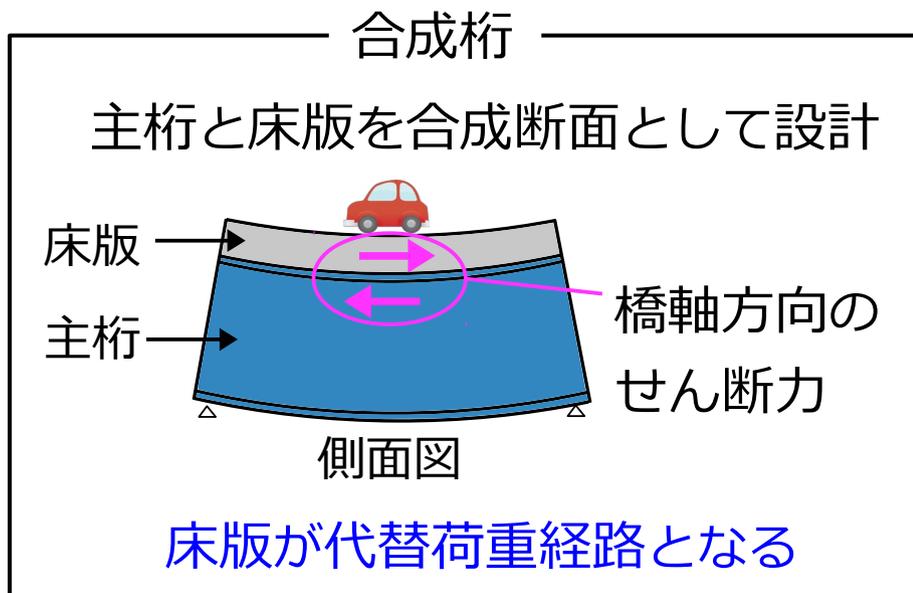


**主桁間の部材**によって  
冗長性が高まる



合成二主桁橋では { ● 床版  
● 主桁間の部材 } が**代替荷重経路**となる

**非合成多主桁橋** … 既設橋梁に多い形式であるが，研究事例が少ない



活荷重レベルを超える状況では未確認

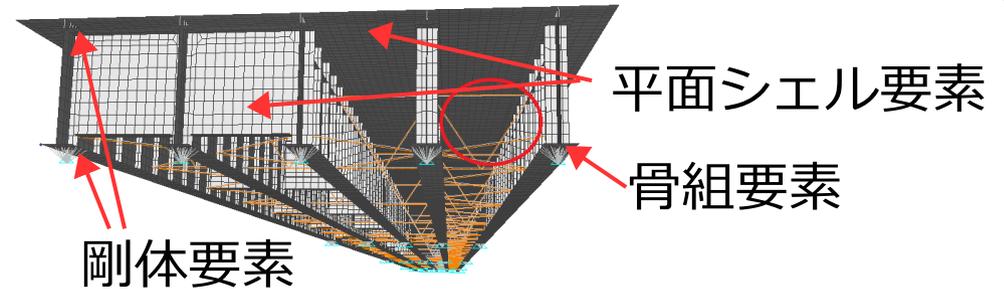
床版ではなく**分配横桁**によって荷重分配される格子桁として設計

**分配横桁**が代替荷重経路となる可能性



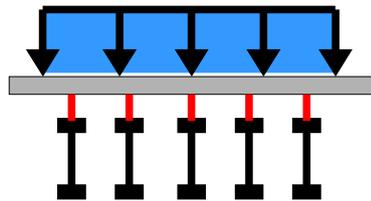
**本研究** 非合成多主桁橋の**分配横桁**による冗長化を明らかにする

解析対象：4径間連続5主I桁橋  
床版と主桁間の合成効果を排除する  
**非合成桁モデル**を作る

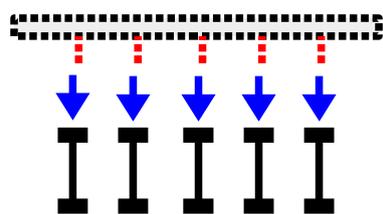


## 非合成桁モデル化

① 床版死荷重，活荷重で線形解析



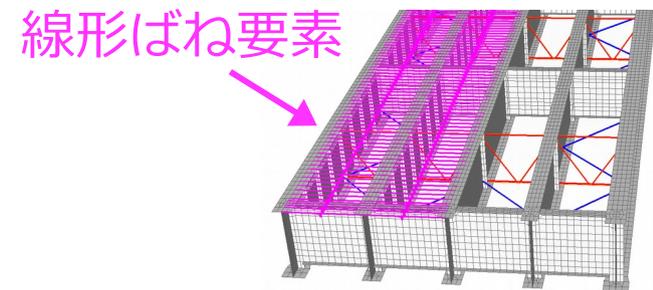
② 床版と主桁間の力を荷重として載荷  
床版削除



非線形解析  
主桁の横倒れで終局

→ 主桁の横方向拘束は考慮したい

③ 主桁間に線形ばね要素  
(床版による横方向拘束のモデル化)



非線形解析

$$D + f L$$

D : 死荷重    L : 活荷重

**f : 荷重パラメータ**

損傷：支承付近の断面欠損を想定

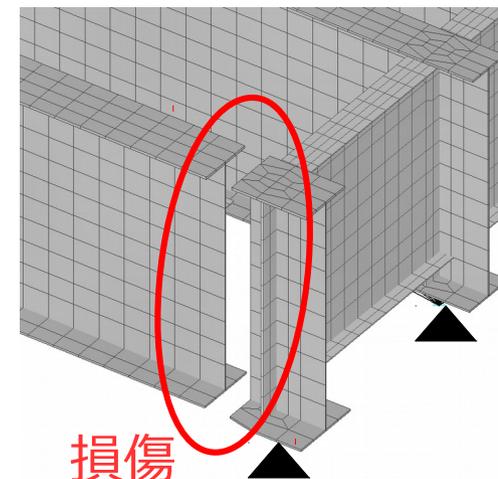


主桁の腐食



ソールプレート  
付近の疲労亀裂

モデル化

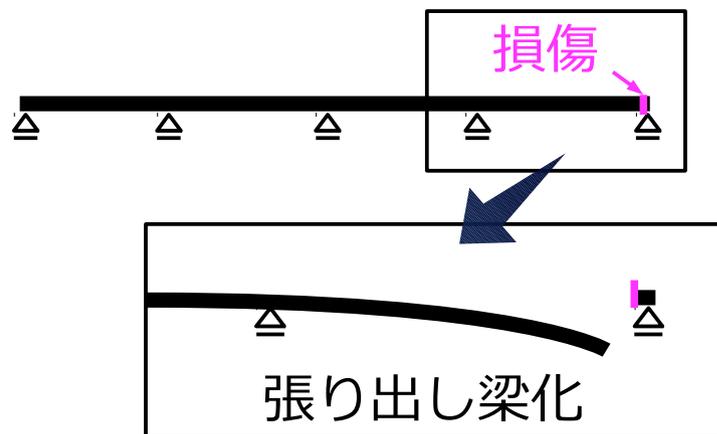


損傷

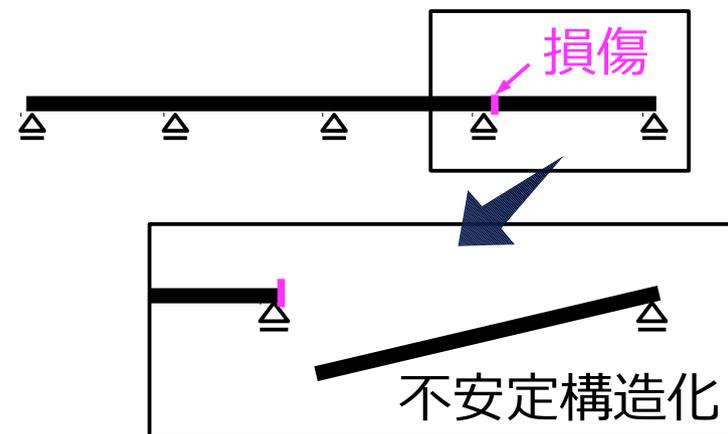
外桁を橋軸方向に 1 要素分除去

損傷箇所：端径間について 2 つのシナリオを想定（二次元的な仮定）

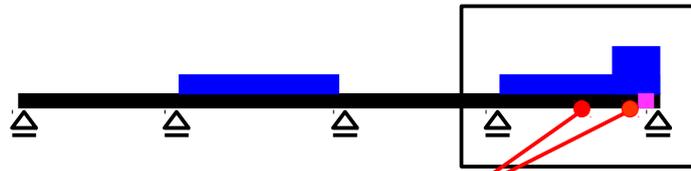
① 端部：損傷桁の張り出し梁化



② 中間支点部：支点を失い不安定構造化



荷重：端部せん断ねらい



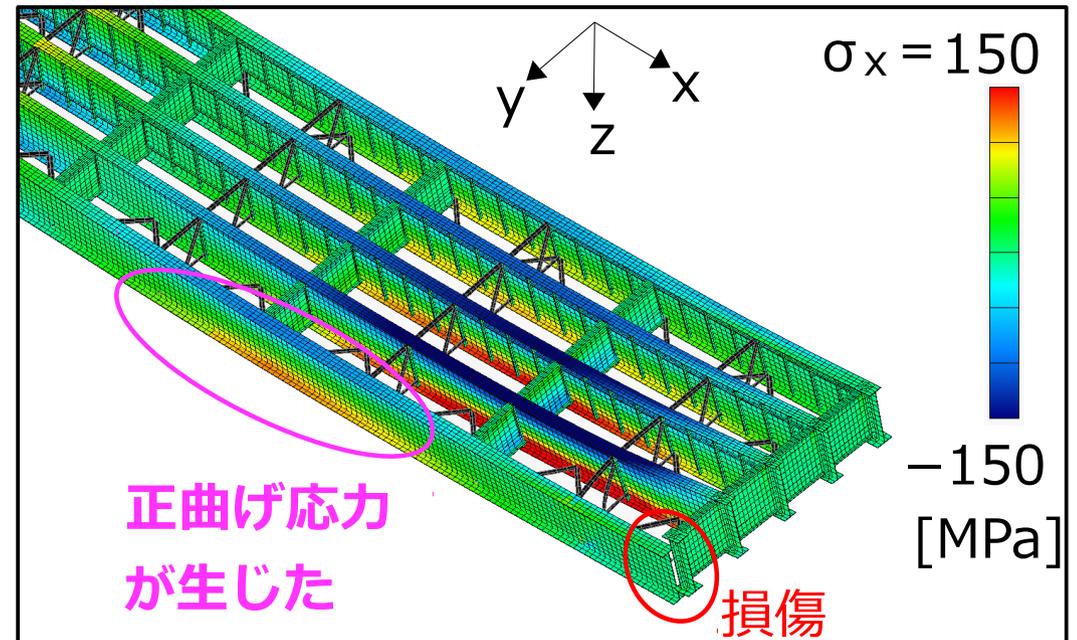
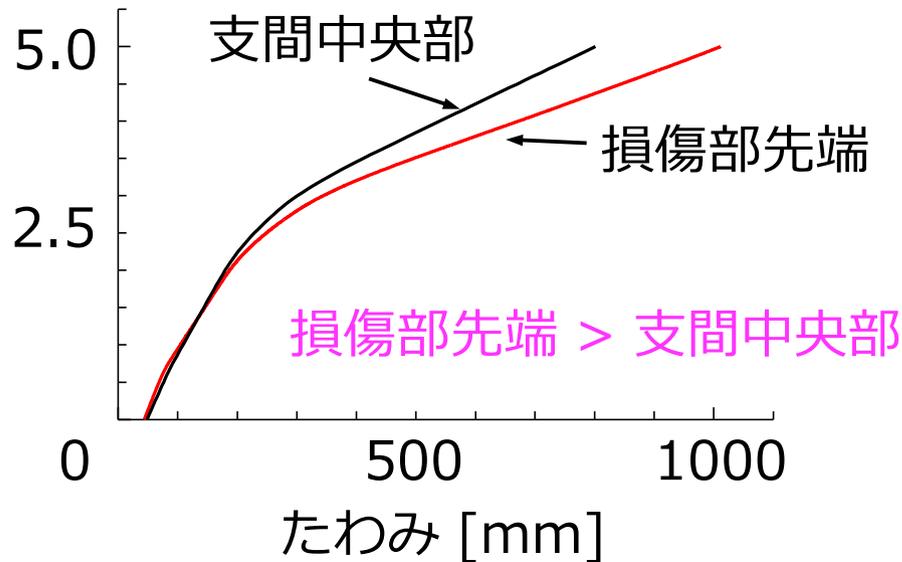
たわみ評価点

① 端部損傷時の変形モード予想



結果

荷重パラメータ  $f$

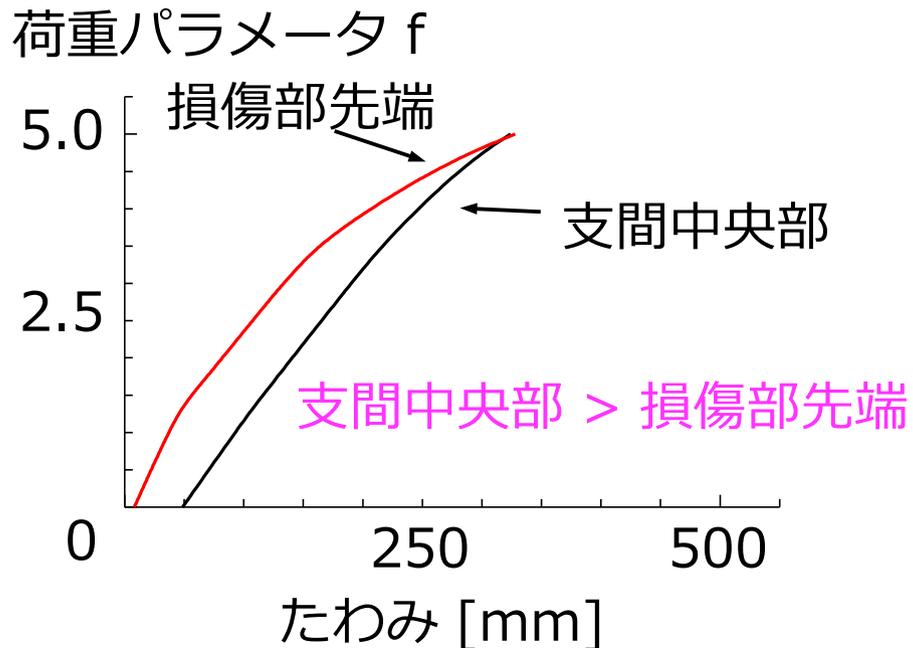
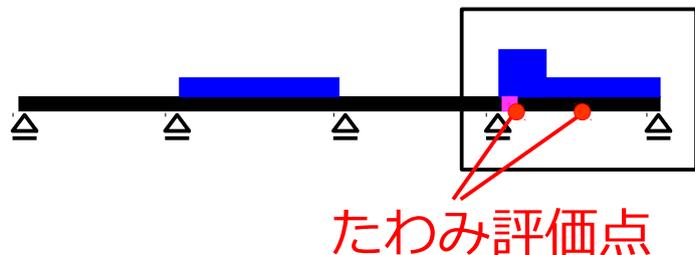


- 損傷部先端のたわみがモデル内で卓越した
- 損傷した主桁に正曲げ応力が生じた

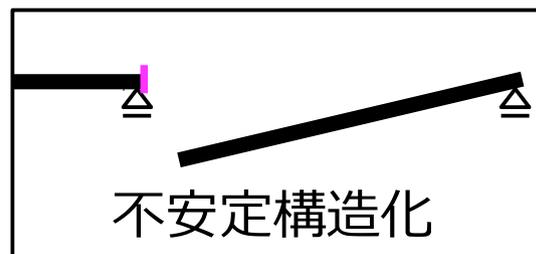
主桁間の部材が代替荷重経路となった

# 結果：②中間支点部損傷時の変形モード（ $f = 1.0$ ） 6/12

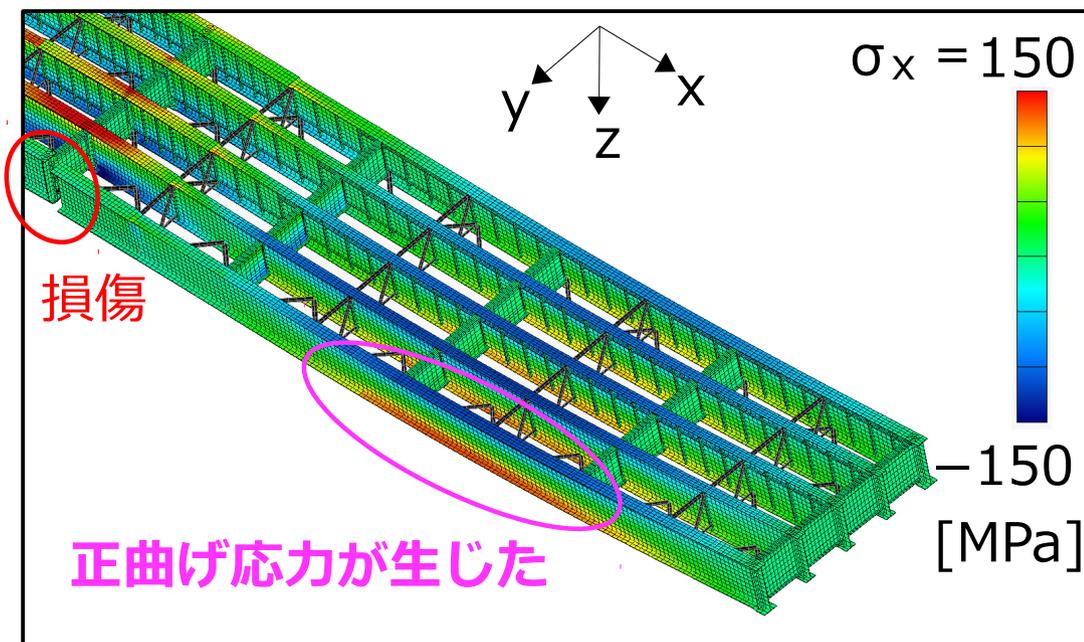
荷重：中間支点部せん断ねらい



① 中間支点部損傷時の変形モード予想



結果



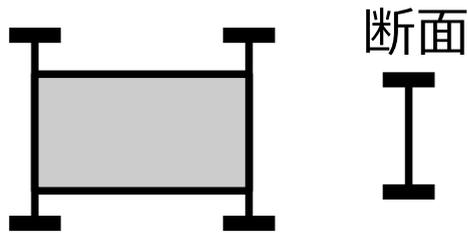
- 損傷部先端のたわみはモデル内で卓越しない
- 端部損傷時も中間支点部損傷時も主桁間の部材が代替荷重経路となる

どの部材がどれくらい働いているのか

## ① 端部損傷について

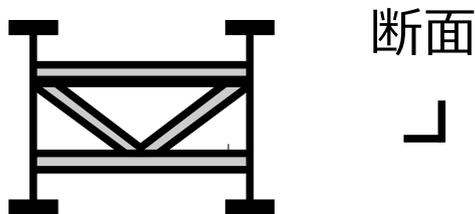
主桁間の部材配置を変えた 3 つのモデル

### ● 分配横桁



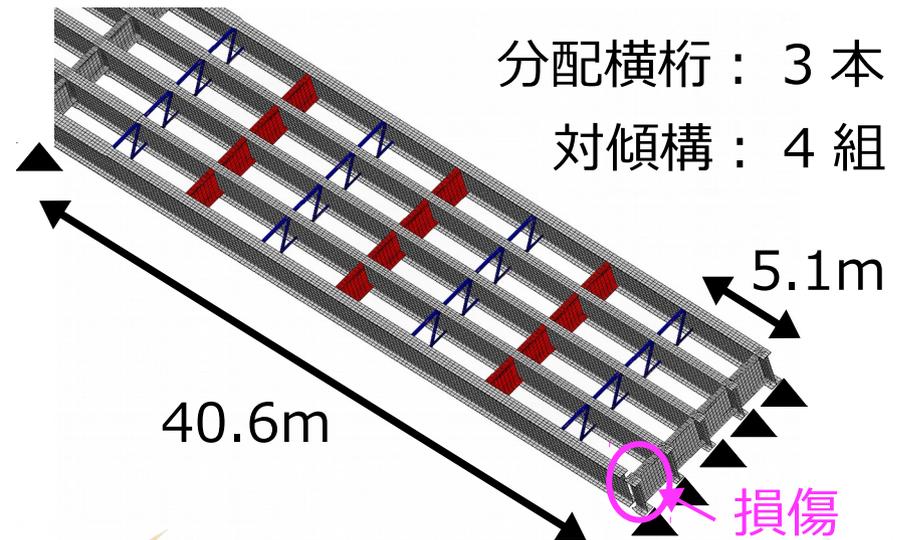
- 荷重を分配する主要部材
- I 型断面
- 20m 以内に設ける

### ● 対傾構



- 変形を抑える二次部材
- 山形鋼等を組み合わせる
- 6m 以内に設ける

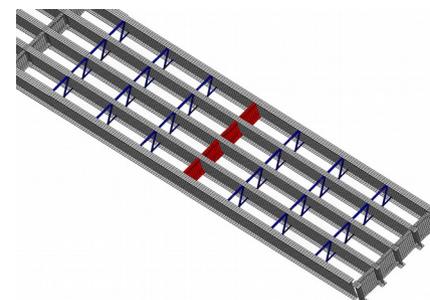
### 実橋に基づいた配置：基本モデル



分配横桁：3 本  
対傾構：4 組

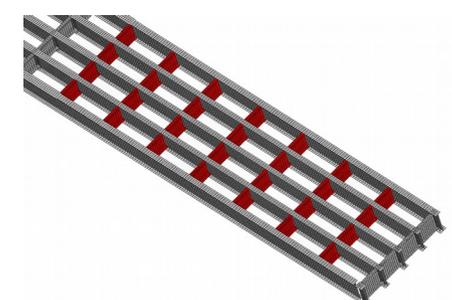
示方書の規定を満たす  
範囲で配置を変更

### 横桁減モデル

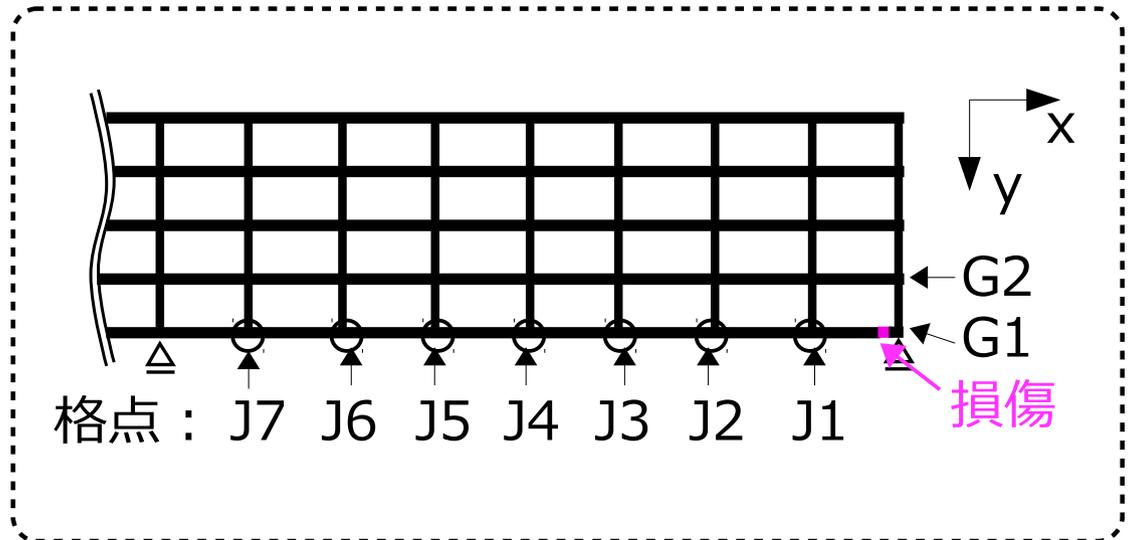
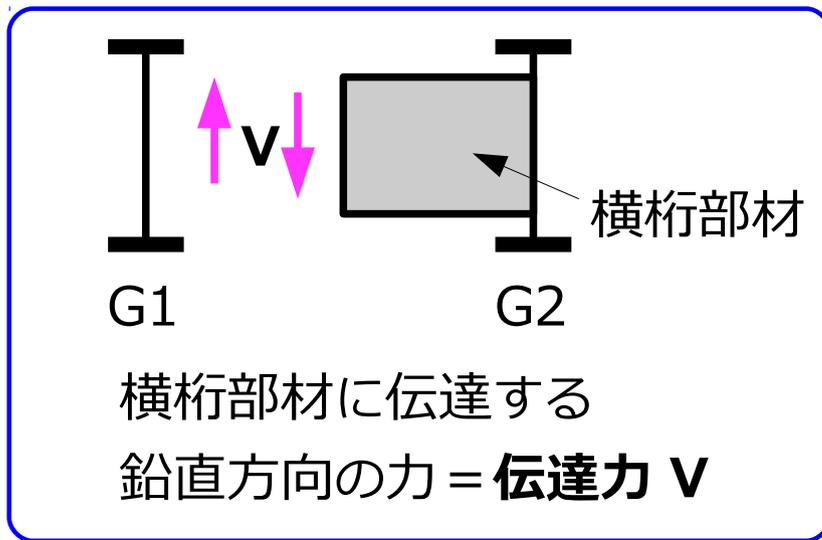


分配横桁：1 本  
対傾構：6 組

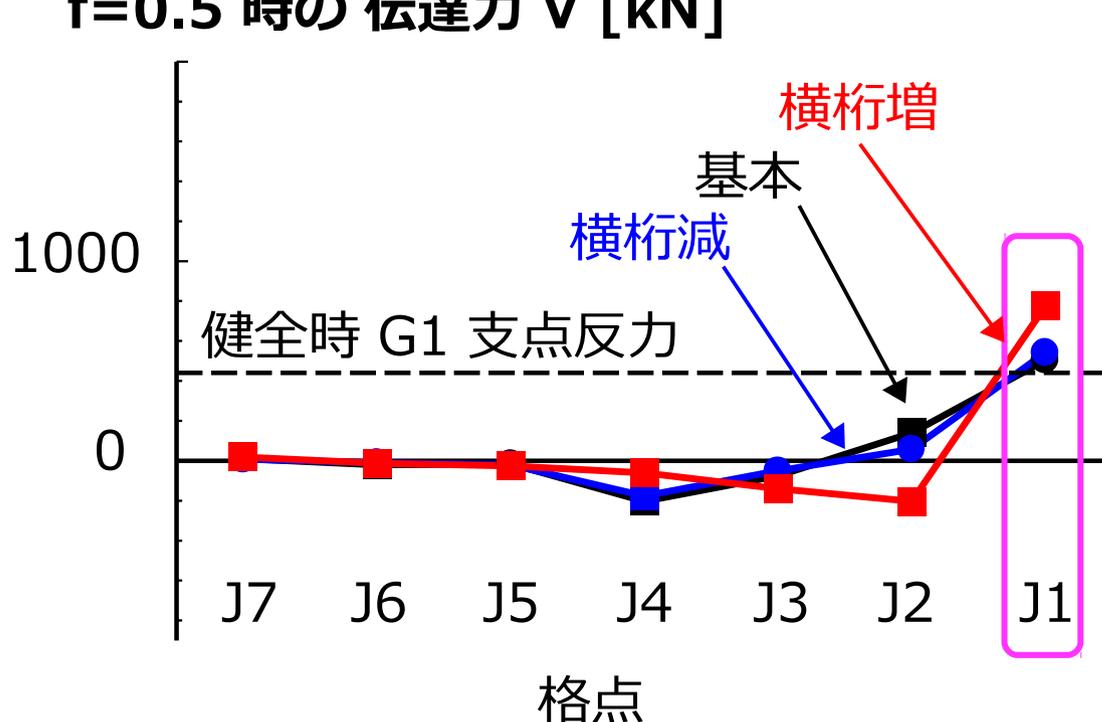
### 横桁増モデル



分配横桁：7 本



$f=0.5$  時の伝達力  $V$  [kN]



- 対傾構
- 分配横桁

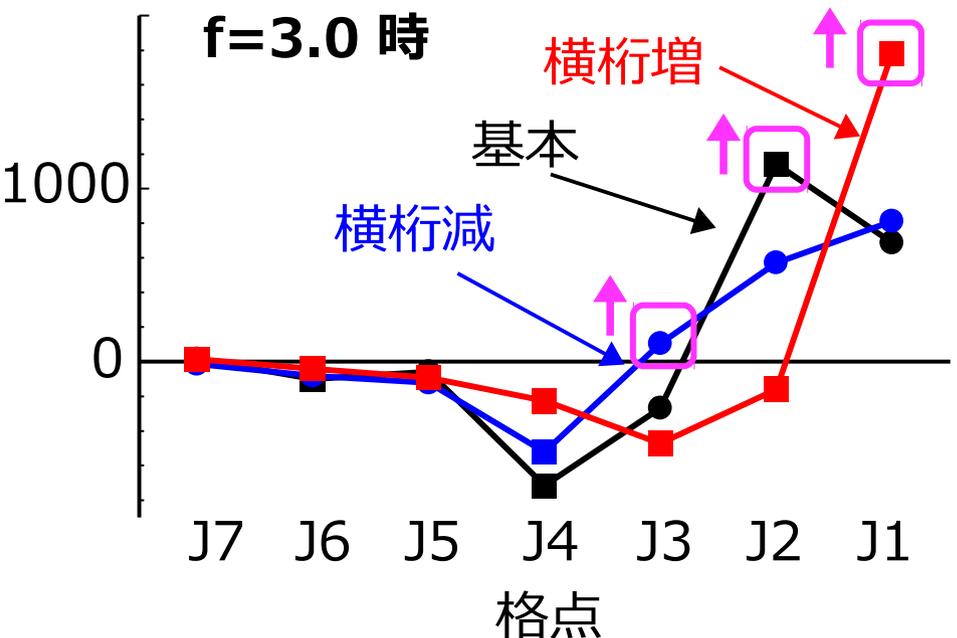
全モデルで  
J1 の  $V \doteq$  健全時 G1 支点反力

損傷部から最も近い格点が  
支点相当のはたらきをしている

縦軸：伝達力  $V$  [kN]

○ 対傾構 □ 分配横桁

$f=3.0$  時



**基本** J1 の対傾構が座屈 ( $f = 0.8$ )  
J2 の分配横桁の  $V$  が増加

**横桁減** J1 の対傾構が座屈 ( $f = 0.6$ )  
J2 の対傾構が座屈 ( $f = 2.2$ )  
J3 の対傾構の  $V$  が増加

**横桁増** J1 の分配横桁の  $V$  のみが増加

- 対傾構が座屈した後は隣接する格点の部材が順次に代替荷重経路となる
- 損傷部から最も近い J1 に分配横桁がある場合は J1 の分配横桁が主に代替荷重経路として機能しつづける

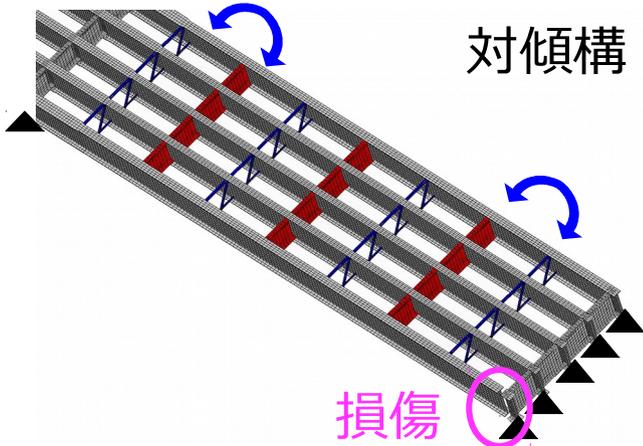
▶ 分配横桁を増やさずとも  
支点の近くに配置すればよい？

# 横桁配置の提案（横桁入替モデル）

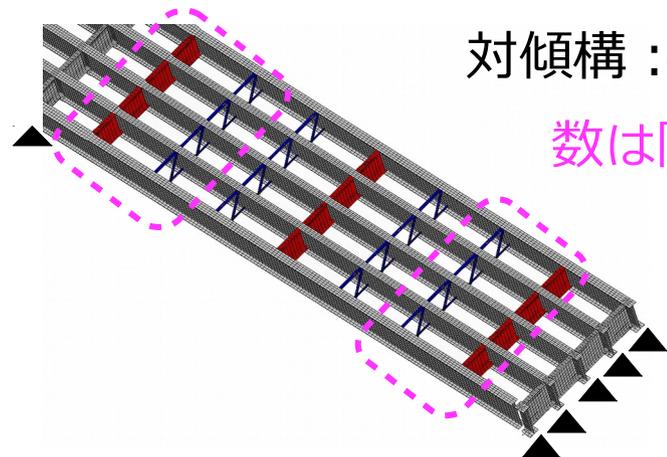
基本モデルの分配横桁と対傾構の配置を入れ替えて  
支点の近くに分配横桁を配置する

→ 横桁入替モデル

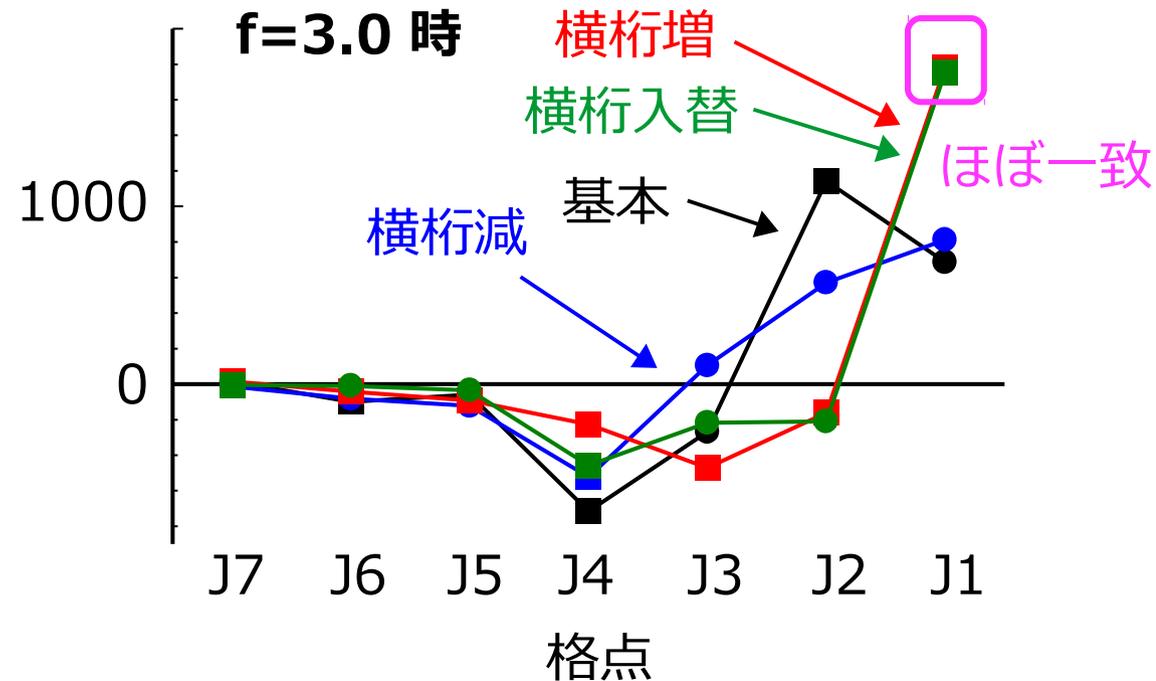
基本モデル 分配横桁 : 3 本  
対傾構 : 4 組



横桁入替モデル 分配横桁 : 3 本  
対傾構 : 4 組



縦軸 : 伝達力  $V$  [kN]



横桁入替モデルは横桁増モデルと同じく  
J1 の分配横桁に主に伝達力が生じた



支間内のたわみ

路面は連続



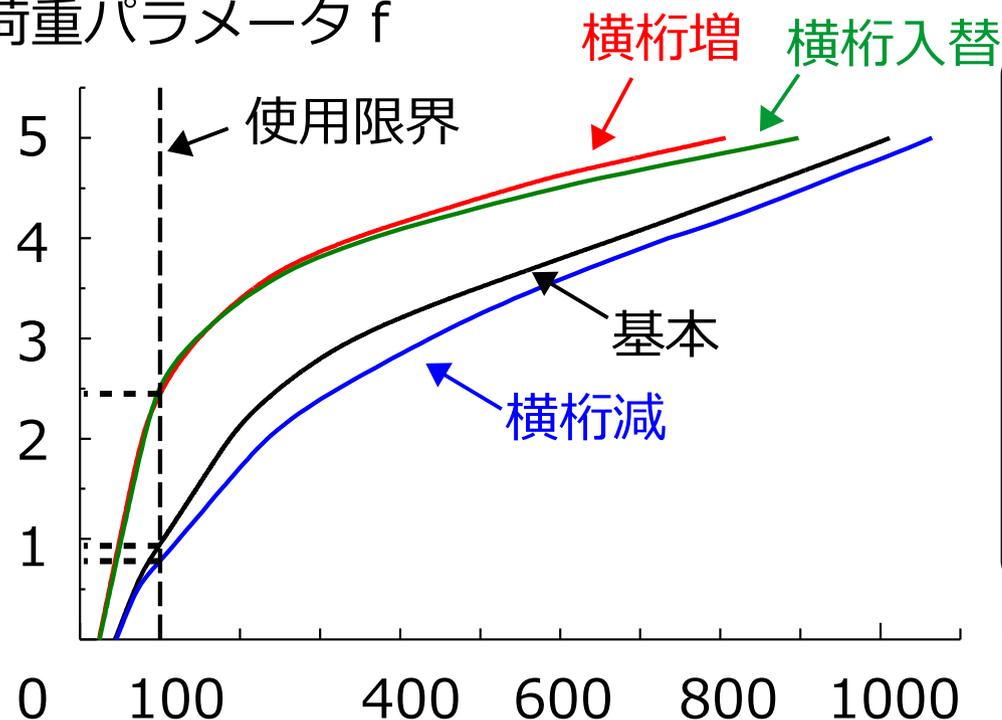
端部のたわみ

路面に段差

端部のたわみは支間内のたわみよりも  
使用性に対する影響が大きい

端部のたわみの使用限界値：一般車両の徐行速度に対する段差の上限値 100mm

荷重パラメータ  $f$



端部損傷時の損傷部先端のたわみ [mm]

● 使用限界に達する荷重パラメータ

横桁減 基本 横桁増・横桁入替

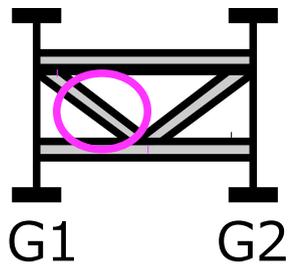
$f=0.8$   $f=0.9$   $\rightarrow$   $f=2.5$

$$\frac{2.5}{0.9} \doteq 2.8 \text{ 倍大きくなった}$$

分配横桁を支点の近くに配置すれば  
端部のたわみを低減し  
使用限界に対する冗長性が向上する

- 主桁の端部および中間支点部に断面欠損が生じても主桁間の分配横桁・対傾構が代替荷重経路となり損傷した主桁は正曲げを受け持つ機能を維持する
- 橋軸方向に隣接する分配横桁・対傾構が順次に代替荷重経路となる
- 支点付近に分配横桁を配置することで使用限界に対する冗長性を高めることができる

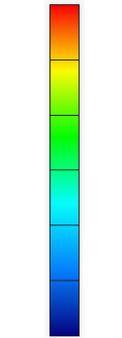




圧縮斜材が  
座屈する

f=0.6 時の基本モデルの J1

引張

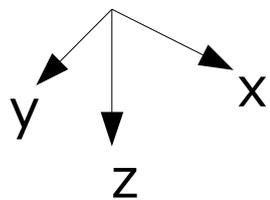


圧縮

上弦材

斜材

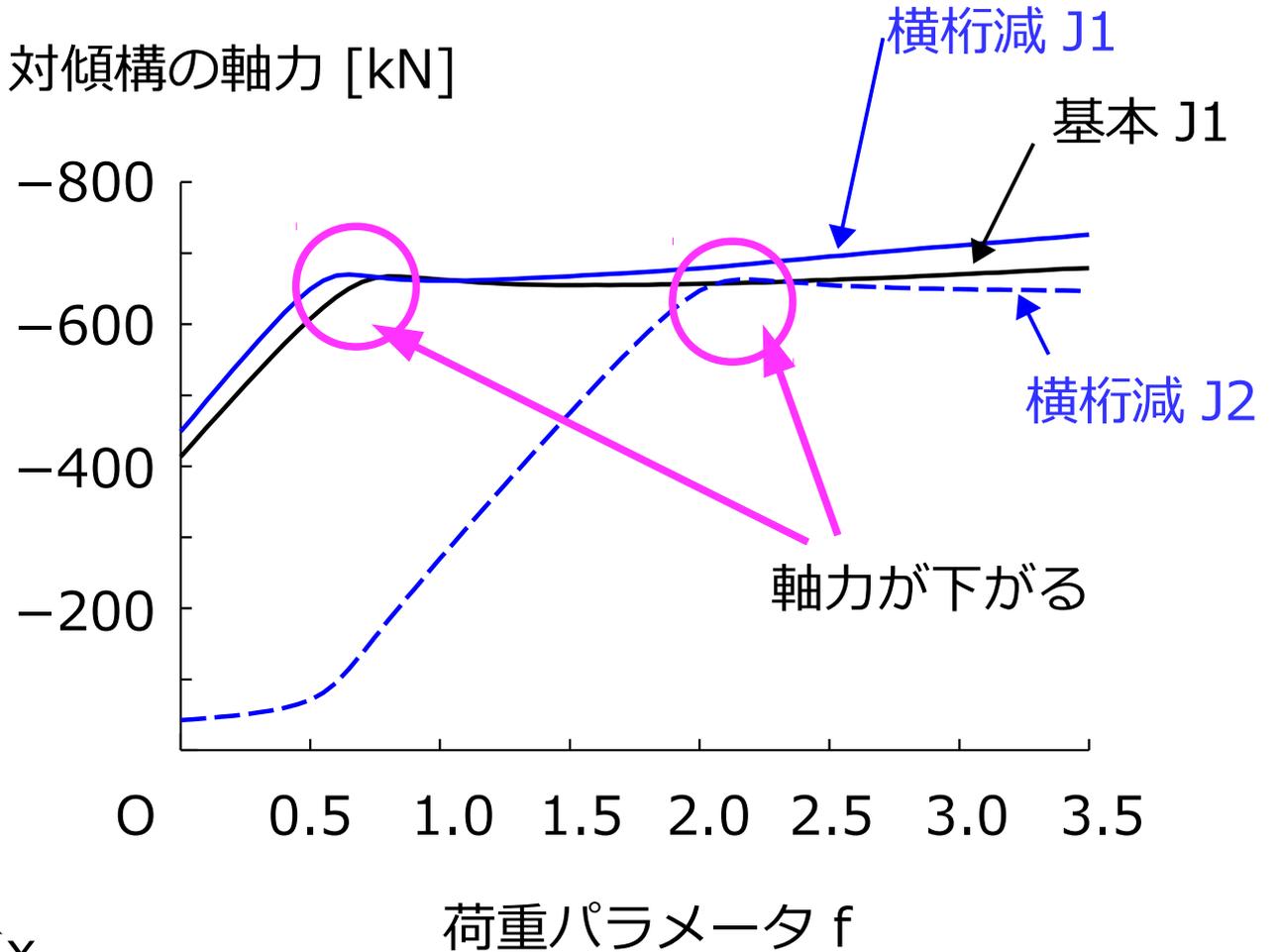
下弦材



圧縮斜材が  
折れ曲がった

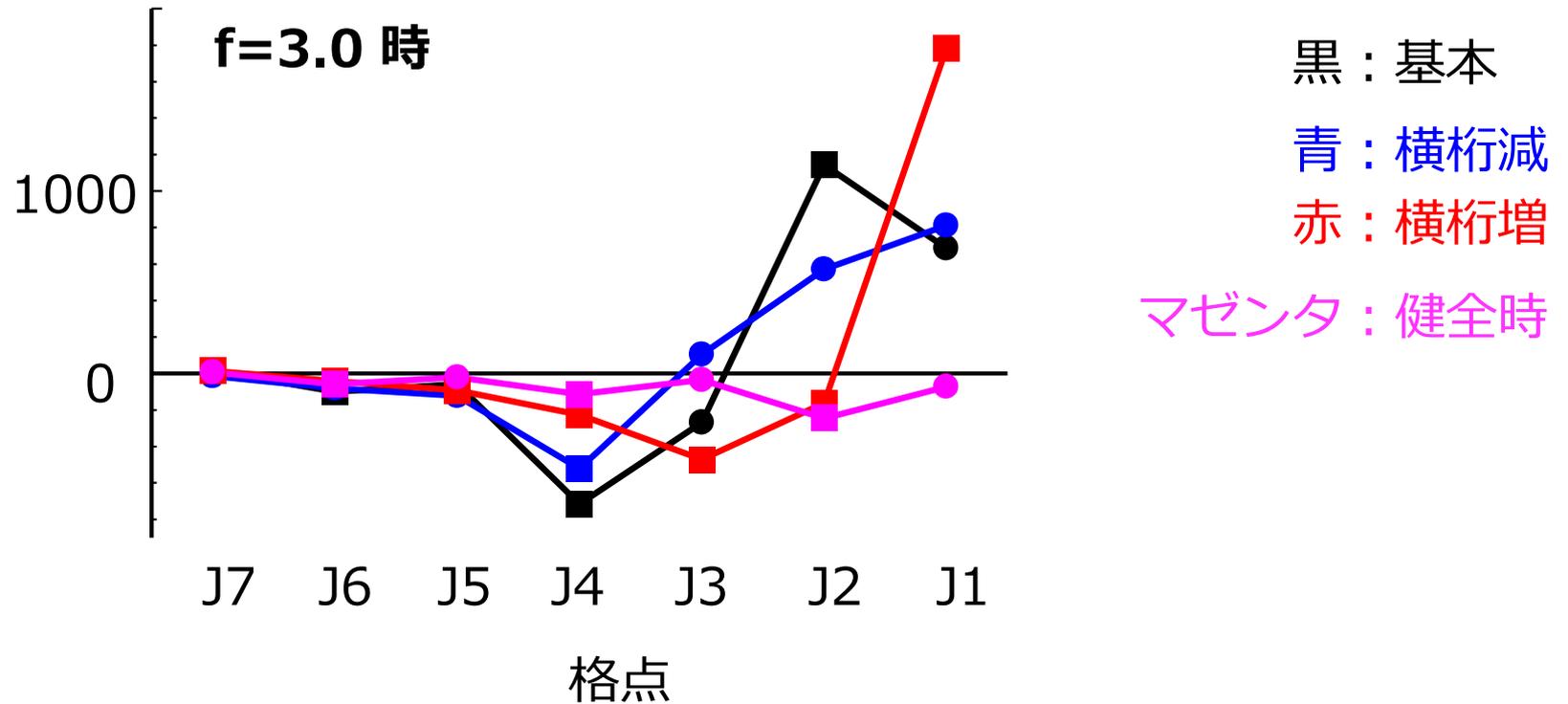
変形 10 倍

対傾構の軸力 [kN]

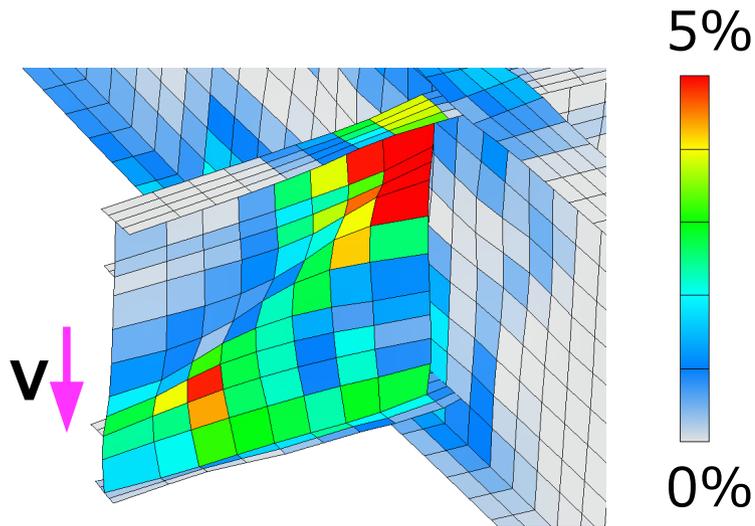


縦軸：鉛直方向の力 V [kN]

○ 対傾構 □ 分配横桁



健全時はほとんど V が生じない



f=5.0 時の横桁増の  
J1 の分配横桁の  
相当塑性ひずみ分布

変形 1 倍

