

断面変形を考慮した梁要素と  
連続体要素の接合に関する検討

構造強度学研究室

星屋美優

2019年2月14日

# 研究背景

連続体要素と梁要素を用いたモデル

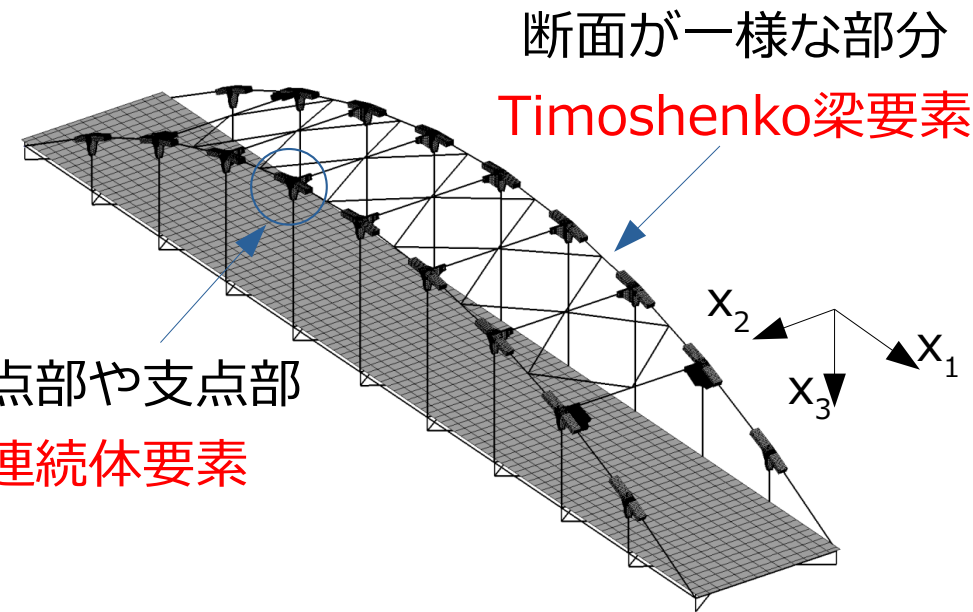
→要素数を低減し、計算コストを抑えられる

## 要素接合手法

多点拘束法 (Jialinら, 1996)

変位の従属関係を拘束条件式によって定義する手法

接合部の応力の不連続性や不自然な変形が問題



連続体要素

多点拘束

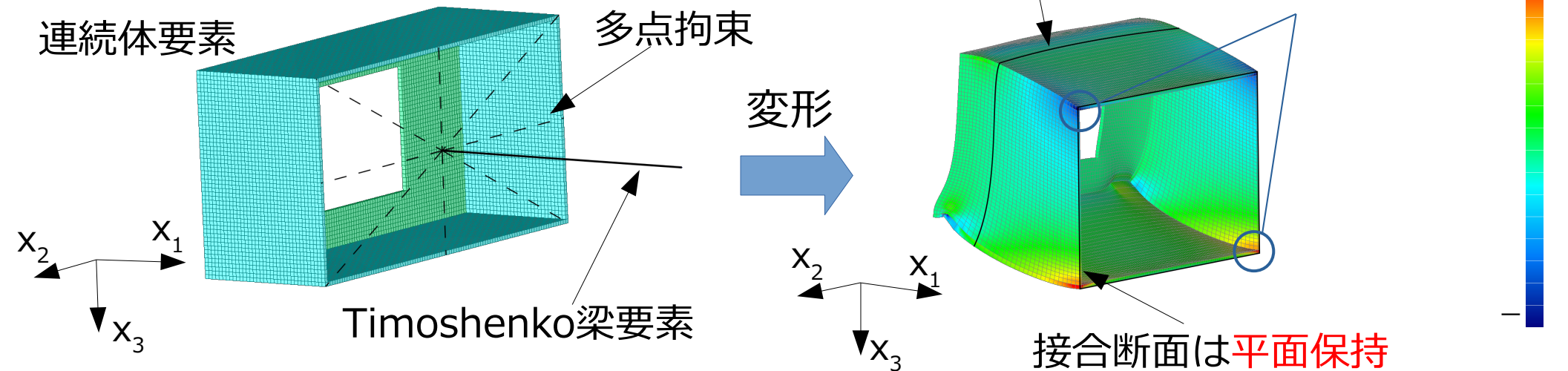
Timoshenko梁要素

変形

断面変形

応力を過大評価

接合断面は平面保持

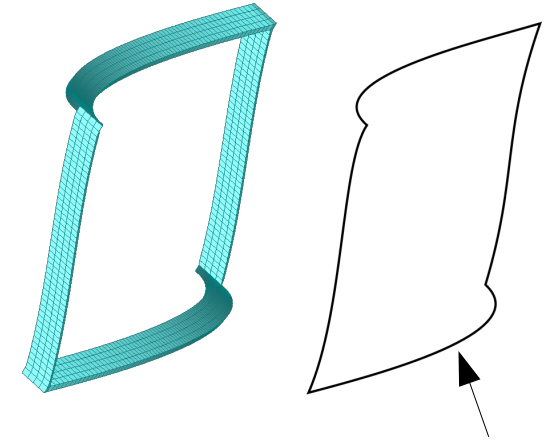


# 研究背景

断面変形を考慮した梁要素

均質化梁理論によってせん断による断面変形を表現

代表体積要素より、せん断による断面変形の形を取り出す



$f$ : 断面変形モード

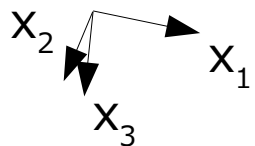
フランジのせん断遅れを考慮  
(西井ら, 2018)

ウェブの面外せん断変形を考慮  
(鄭, 2019)

この梁要素をモデル化に使うと

多点拘束法を使っても連続体要素と滑らかに接合できるのでは！

変形



# モデル化手法

要素の接合は**多点拘束法**で行う。

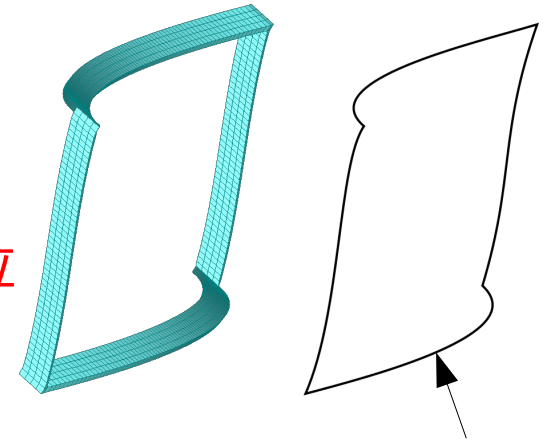
断面変形を考慮した梁要素と連続体要素を拘束条件式で接合する。

$x_1$ 方向変位

$$u_1^s(x_1, x_2, x_3) = \underbrace{u_1^b(x_1) + x_3\theta(x_1)}_{\text{従来の手法と同じ}} + \underbrace{f(x_2, x_3)g(x_1)}_{\text{断面変形による変位}}$$

$x_3$ 方向変位

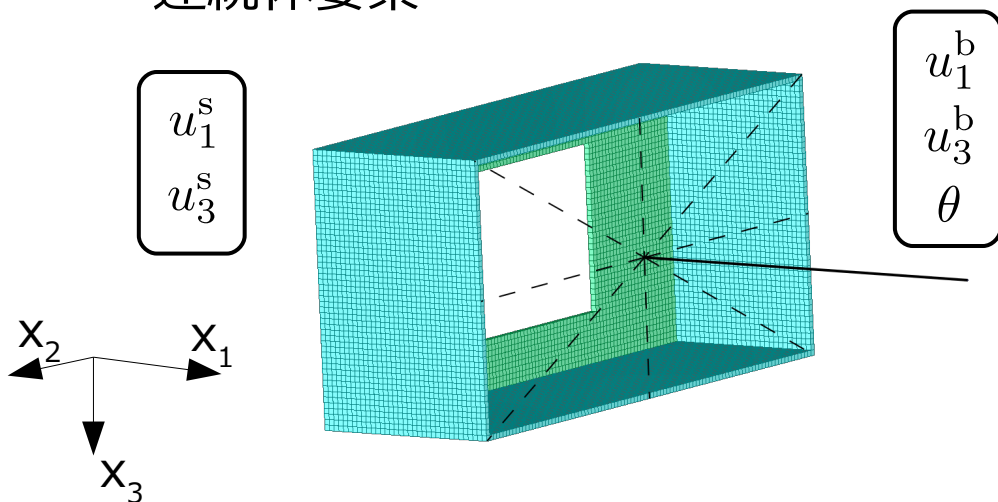
$$u_3^s(x_1, x_2, x_3) = \underbrace{u_3^b(x_1)}_{\text{従来の手法と同じ}}$$



$f$ : 断面変形モード  
(断面変形の形)

連続体要素

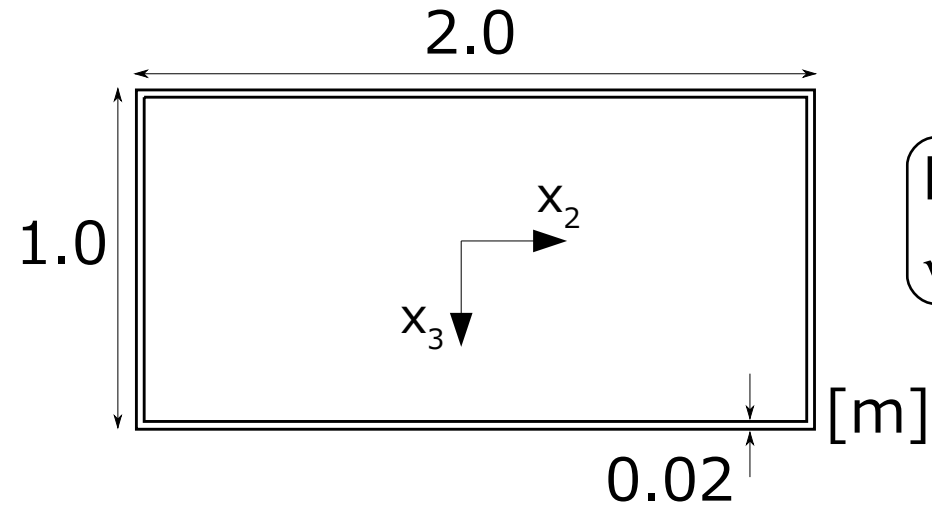
Timoshenko梁要素



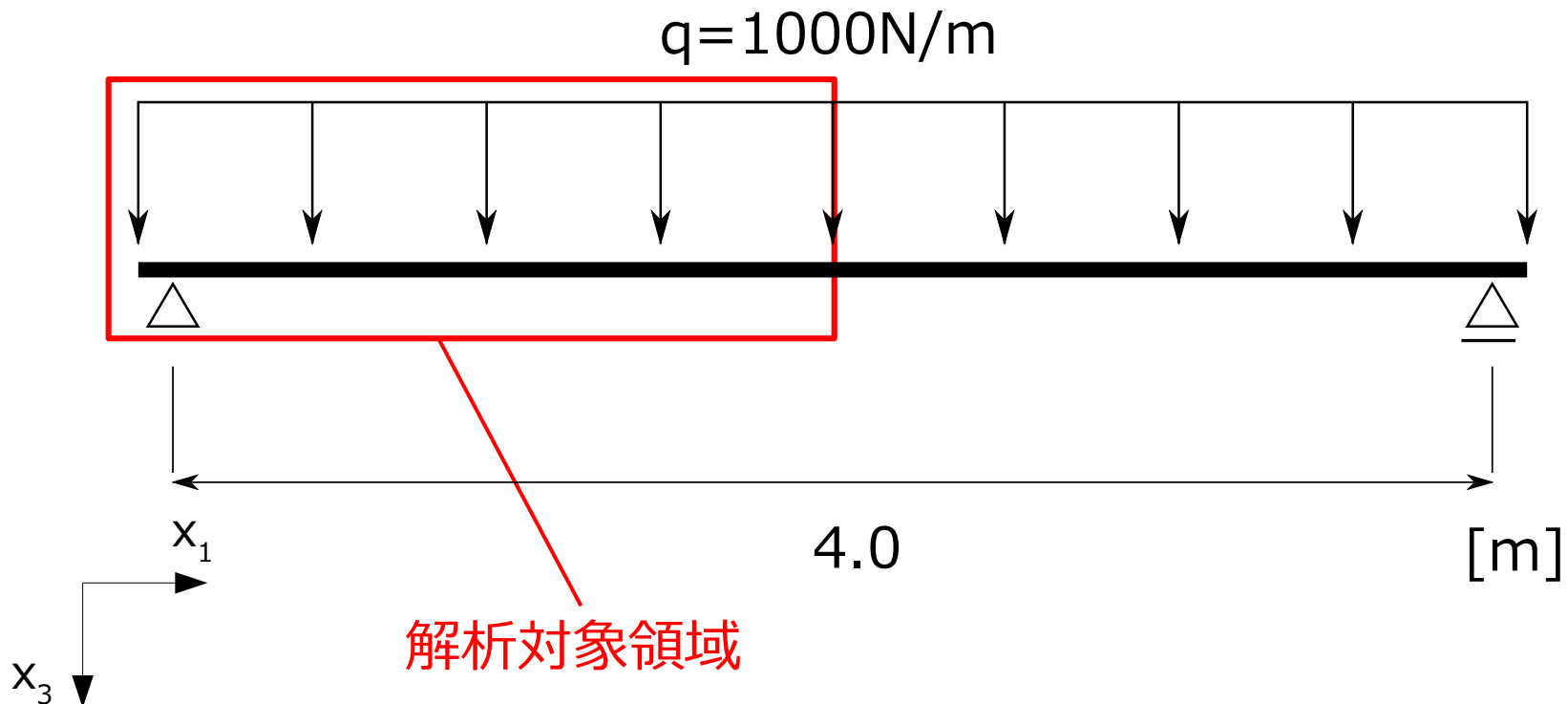
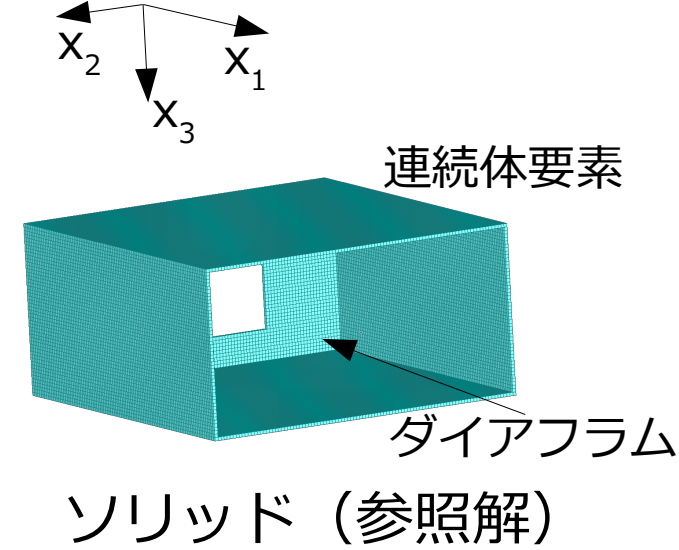
断面変形の大きさ

$g$  断面変形を考慮した梁要素

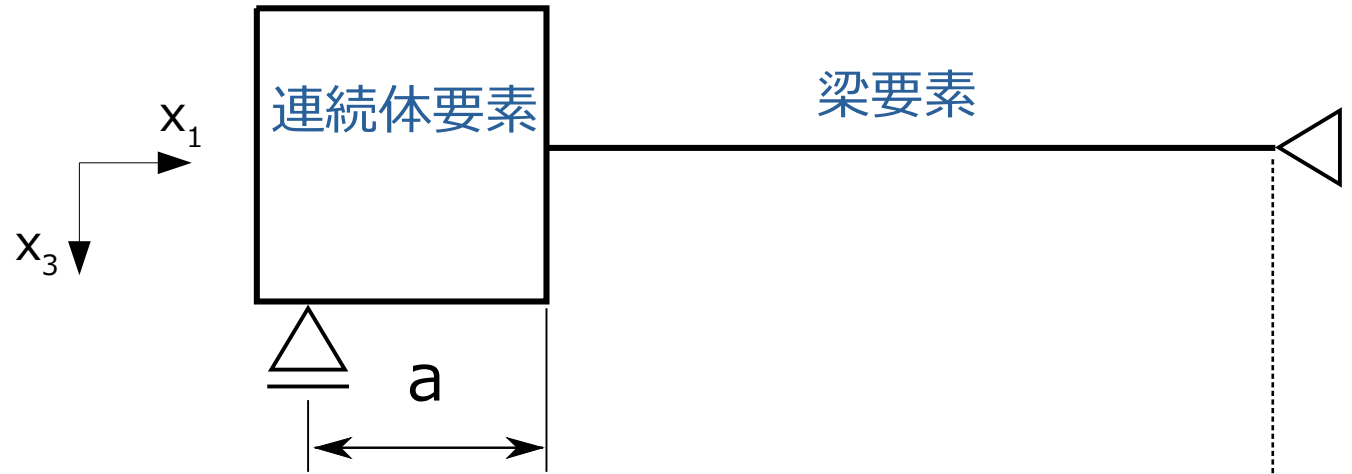
# 箱断面梁による精度検証 - 問題設定



$E : 200\text{GPa}$   
 $\nu : 0$



# 箱断面梁による精度検証 - 結果

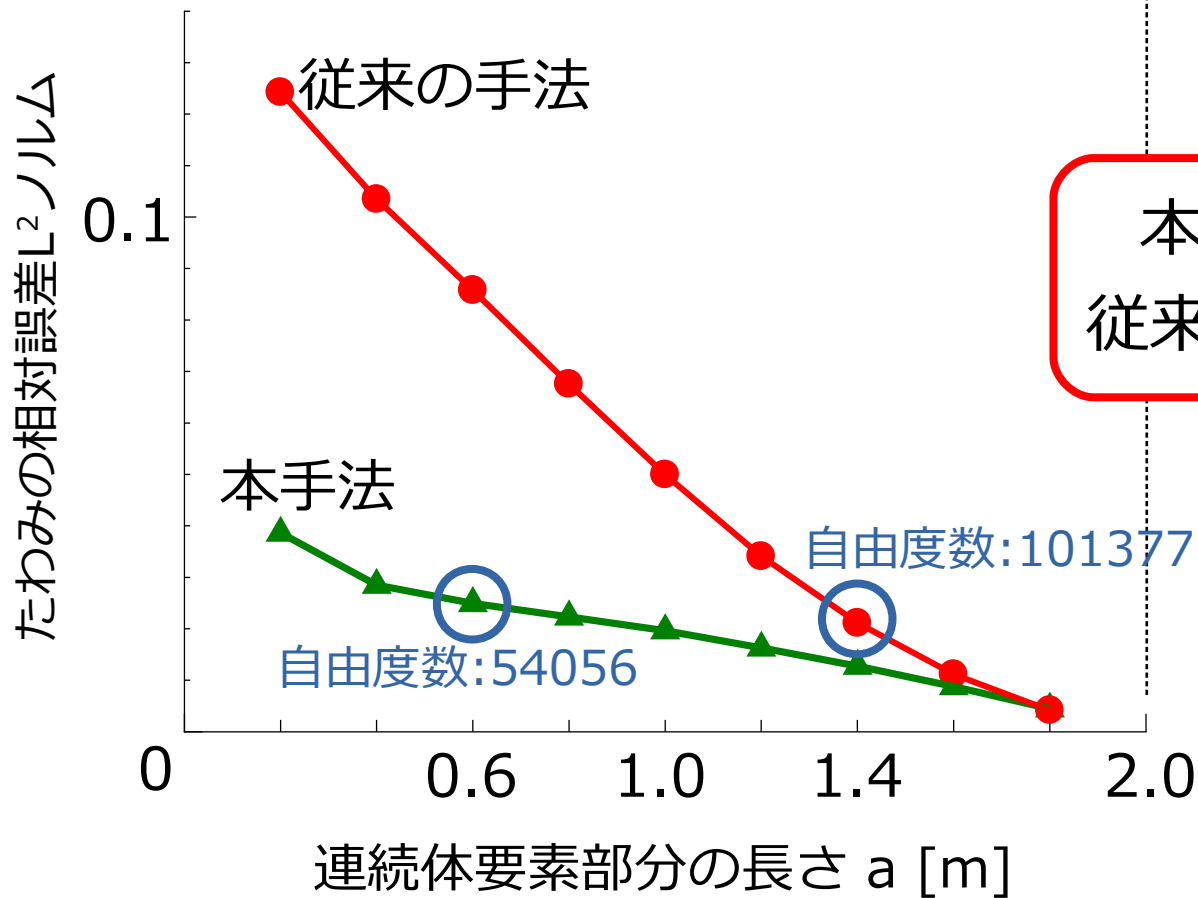


たわみの相対誤差 $L^2$ ノルム

$$\sqrt{\frac{\int_L (u_3 - u_3^a)^2 dL}{\int_L (u_3^a)^2 dL}}$$

$u_3$  : たわみ

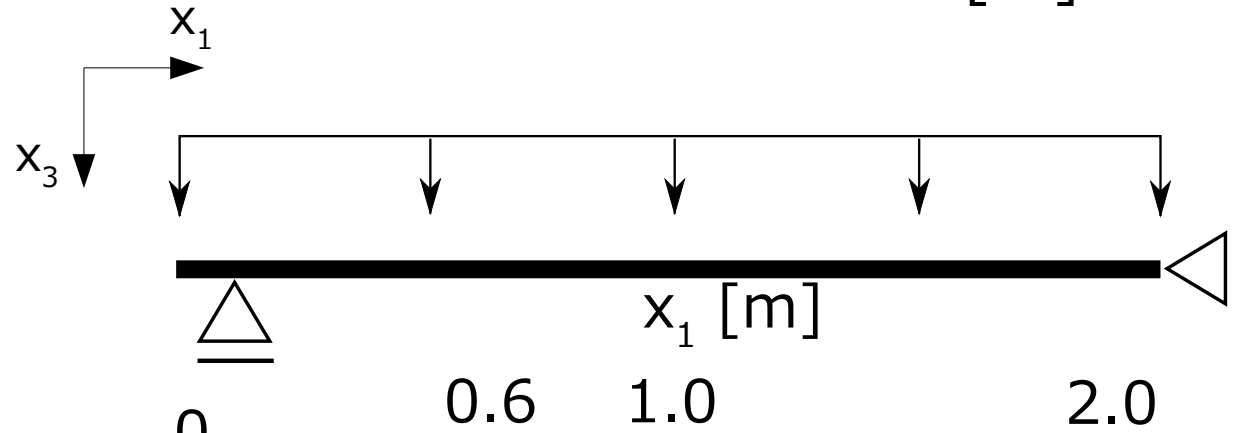
$u_3^a$  : たわみの参照解



本手法では、自由度数が従来の1/2でも同等の結果！

# 箱断面梁による精度検証 - 結果

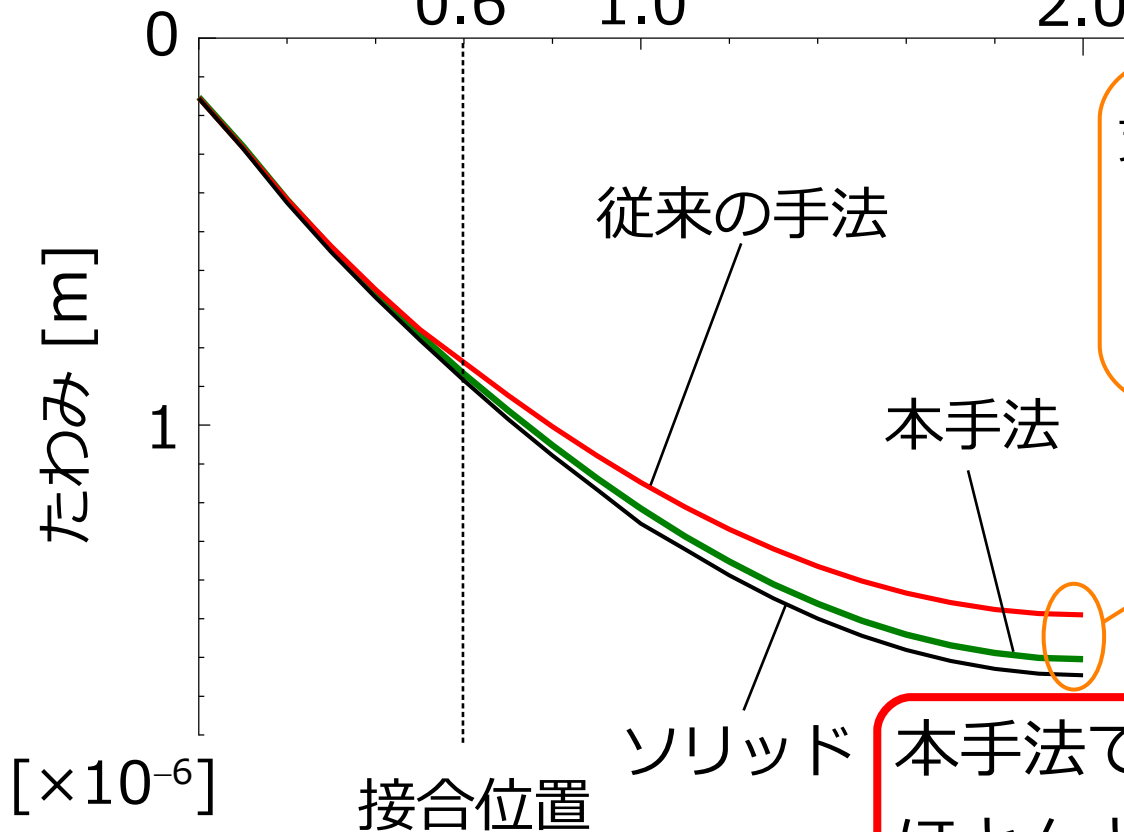
連続体要素部分の長さ $a=0.6$ [m]で固定



	自由度数
ソリッド	138060
<b>本手法</b>	<b>54056</b>
従来手法	54026

-61%

+0.05%



支間中央部でのたわみの相対誤差

本手法 : -2.5%  
従来手法 : -9.5%

約1/4

本手法では、従来手法から自由度数はほとんど増加せず、精度が大幅に向上！

# 箱断面梁による精度検証 - 結果

橋軸方向直応力のコンター図

[ $\times 10^4$  N/m<sup>2</sup>]

8.0

3.5

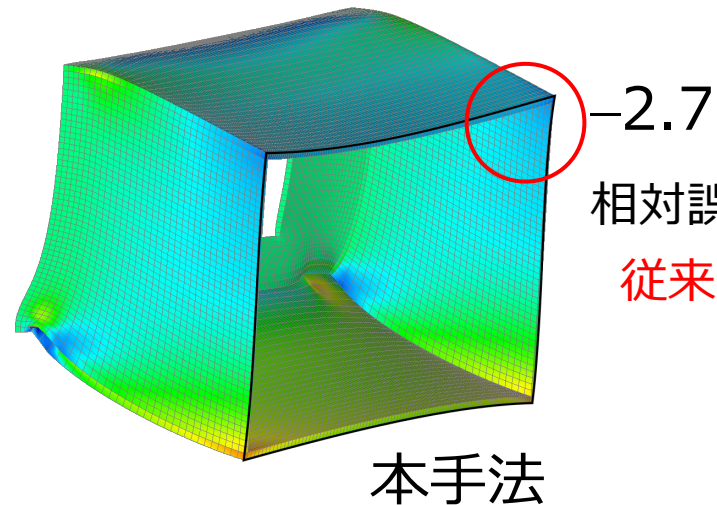
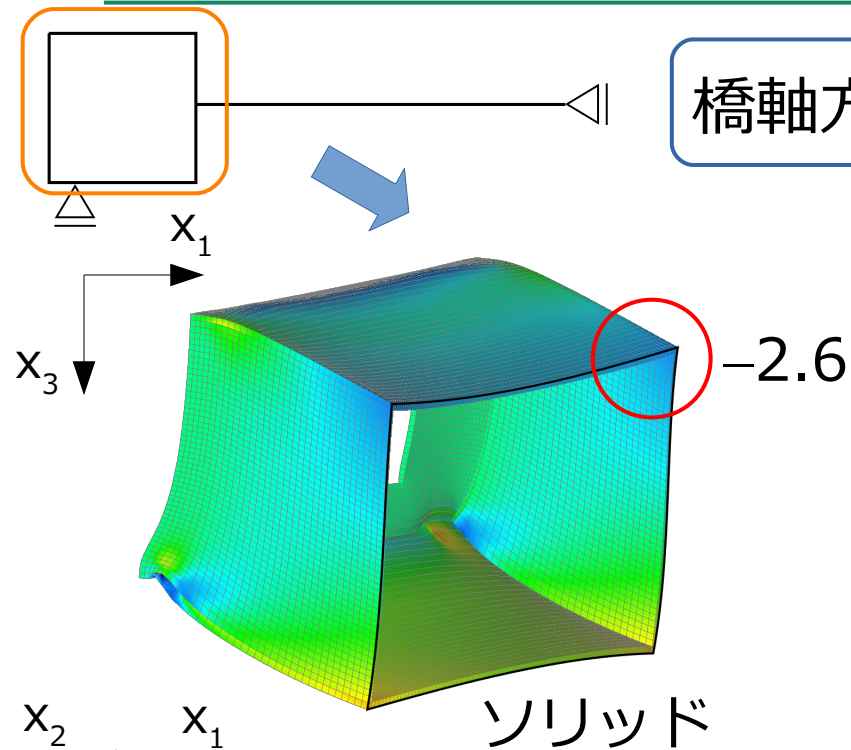
2.0

0

-2.0

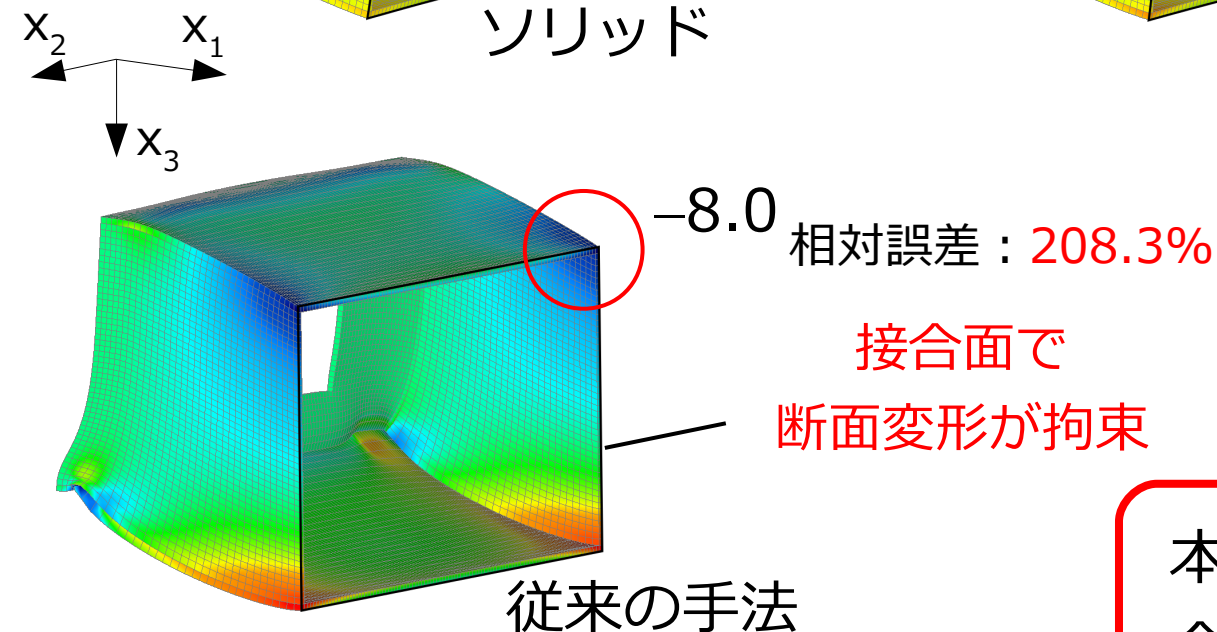
-3.5

-8.0



相対誤差 : 5.3%

従来の手法の1/40



本手法では, 不自然な変形や接合部の応力の過大評価を改善!

変形倍率 :  $1.0 \times 10^6$ 倍



## まとめ

断面変形を考慮した梁要素と，連続体要素を多点拘束法によって接合するモデル化手法を提案した

- 本手法により，連続体要素のみのモデルに比べモデル全体の自由度数を低減できた
- 本手法により，従来の手法で問題となっていた不自然な変形や応力の過大評価を改善できた