

局部PWHTを用いた溶接残留応力低減法とその予測

大阪府立大学 田中亮匡、元大阪府立大学 川瀬充弘、大阪公立大学 前田新太郎
大阪公立大学 生島一樹、大阪公立大学 柴原正和

研究背景・目的

溶接後熱処理 PWHT (Post Weld Heat Treatment)

- 発電プラント圧力容器や橋梁など、鋼構造物全般が対象
- 溶接残留応力の緩和を目的として施工

効果

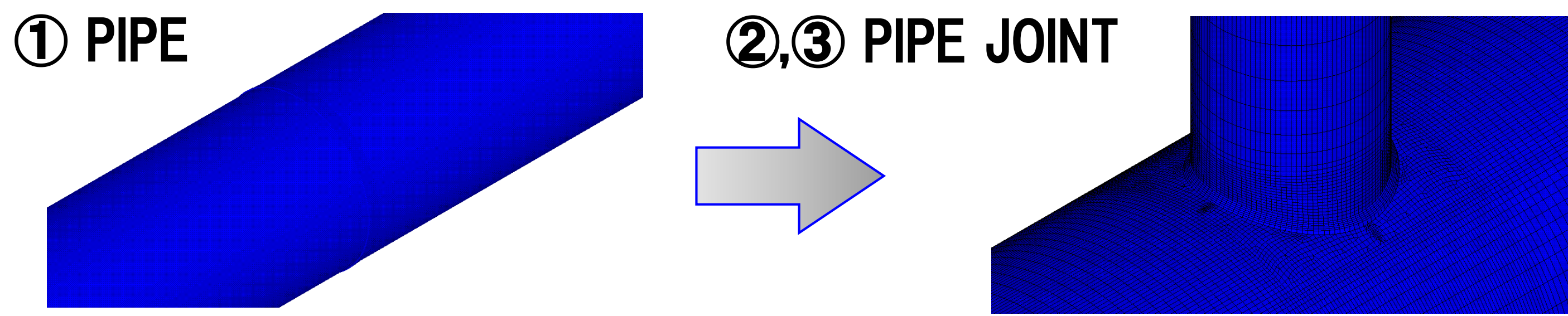
- 温度上昇に伴う、**塑性ひずみがゼロになる**ことによる残留応力低減効果
- PWHT温度保持中に発生する**クリープひずみ**による残留応力低減効果

クリープひずみによる残留応力低減メカニズム

全ひずみ ε = 弾性ひずみ ε^e + 塑性ひずみ ε^p + クリープひずみ ε^c + 熱ひずみ ε^T
(一定) $\rightarrow$ 応力 $\downarrow$

本研究の検討内容

溶接後残留応力解析、PWHT解析 (クリープ解析を含む) を実施



- PWHT解析の妥当性検証 (パイプ突き合わせ溶接管)
- 構造物格点部に及ぼすPWHTの効果に関する基礎検討
- 局部PWHT解析の加熱幅による残留応力低減要因の解明

目的 局部PWHTによる効果的な残留応力低減方法を明確化

PWHT解析手法の構築

クリープひずみの導出過程

$$\dot{\varepsilon}^c = B(\sigma) \exp\left(-\frac{Q^c}{RT}\right) \quad -① \quad [\text{定常クリープひずみ速度}]$$

$$B(\sigma) = C\sigma^n \quad -② \quad [\text{クリープ則}]$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^c = S_{ij} \dot{\lambda} = \frac{3\dot{\varepsilon}^c}{2\bar{\sigma}} S_{ij} \quad -③ \quad [\text{多軸応力状態クリープ構成式}]$$

$$\dot{\varepsilon}^c = \dot{\varepsilon}^c \quad \bar{\sigma} = \sigma \quad [\text{仮定}]$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^c = \frac{3A\bar{\sigma}^n}{2\bar{\sigma}} S_{ij} = \frac{3A}{2} \bar{\sigma}^{n-1} S_{ij}$$

$$\downarrow \quad \ast A = C(\sigma) \exp\left(-\frac{Q^c}{RT}\right)$$

$$\Delta \varepsilon_{ij}^c = \left\{ (1-\theta) \dot{\varepsilon}_{ij}^c + \theta \dot{\varepsilon}_{ij}^c \right\} \Delta t$$

$$\downarrow \quad \ast \theta=0 \text{ とする}$$

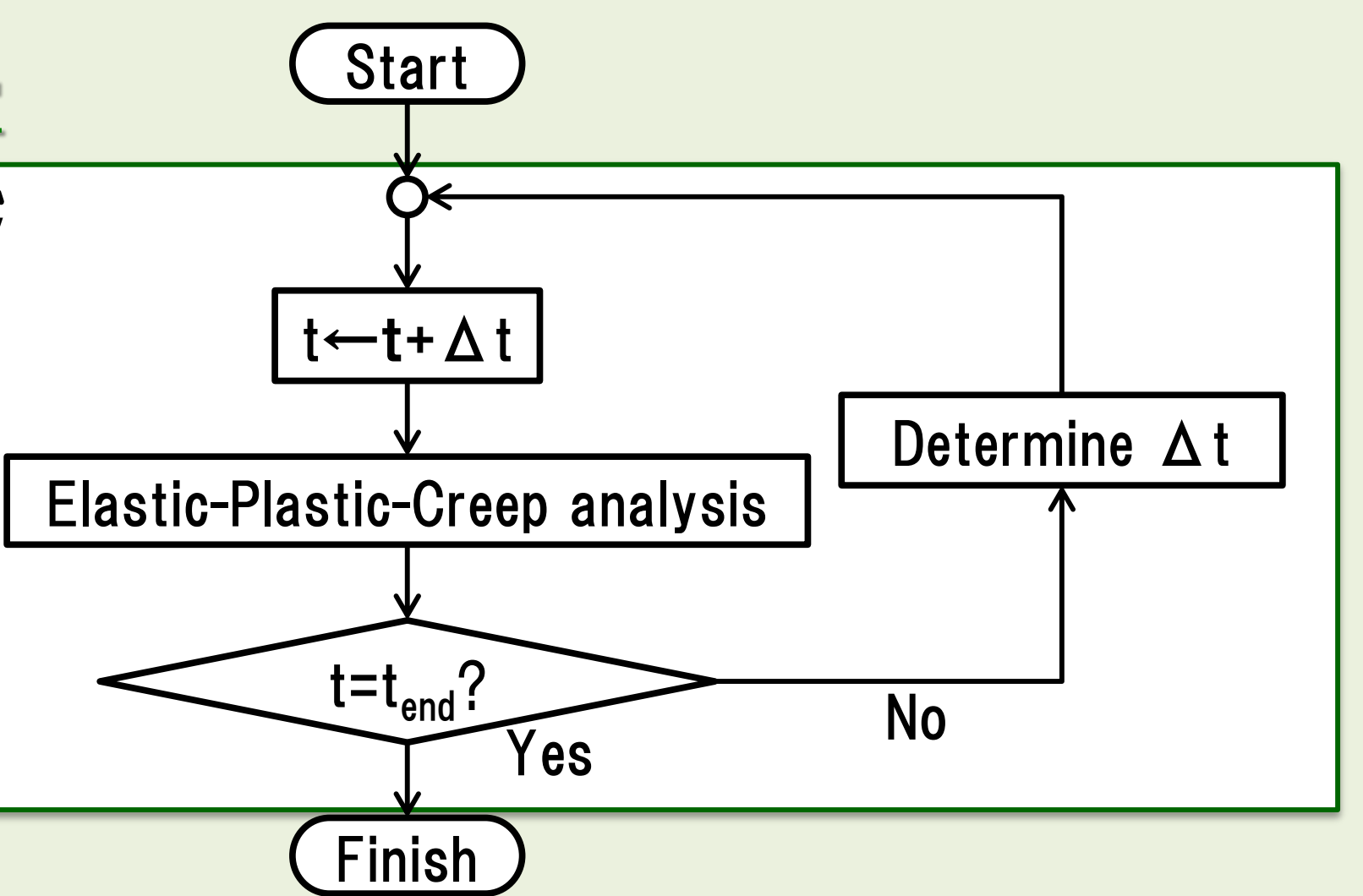
$$\varepsilon_{ij}^{c,t} = \varepsilon_{ij}^c + \Delta \varepsilon_{ij}^c \quad \leftarrow \text{クリープひずみ}$$

クリープひずみの解析フロー

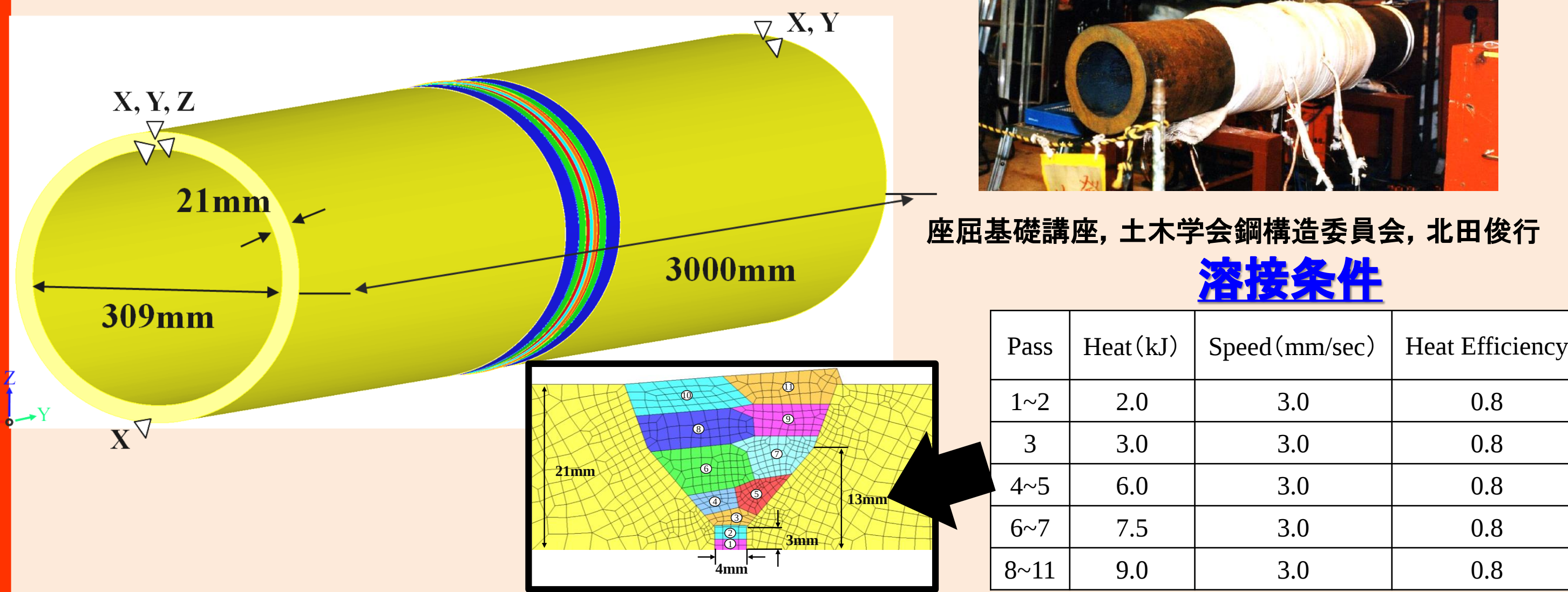
クリープ熱弾塑性解析

前ステップの最大相当クリープひずみ増分と1ステップあたりのクリープひずみ増分の設定値より時間増分を決定

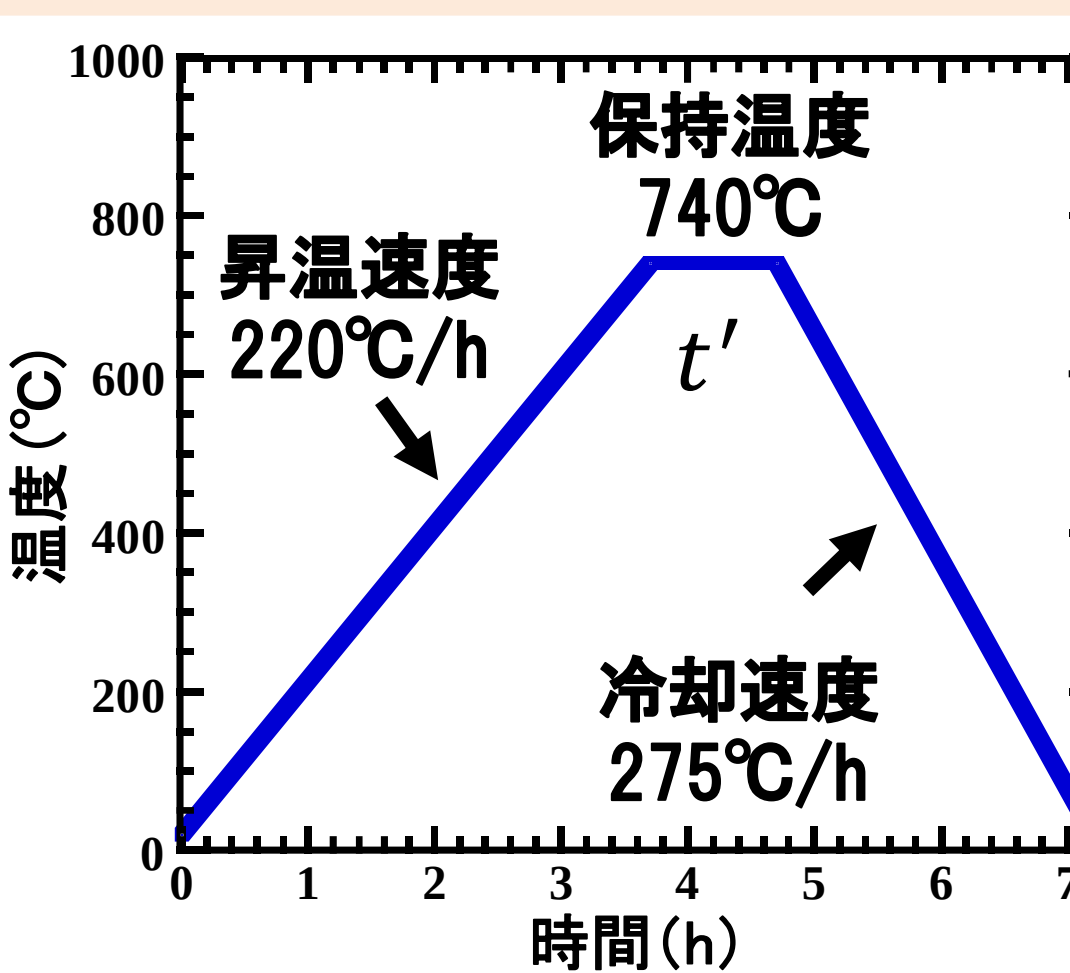
$$\Delta t_{cur} \leftarrow \frac{\Delta \varepsilon_{step}^c}{\Delta \varepsilon_{max}^c} \Delta t_{prev}$$



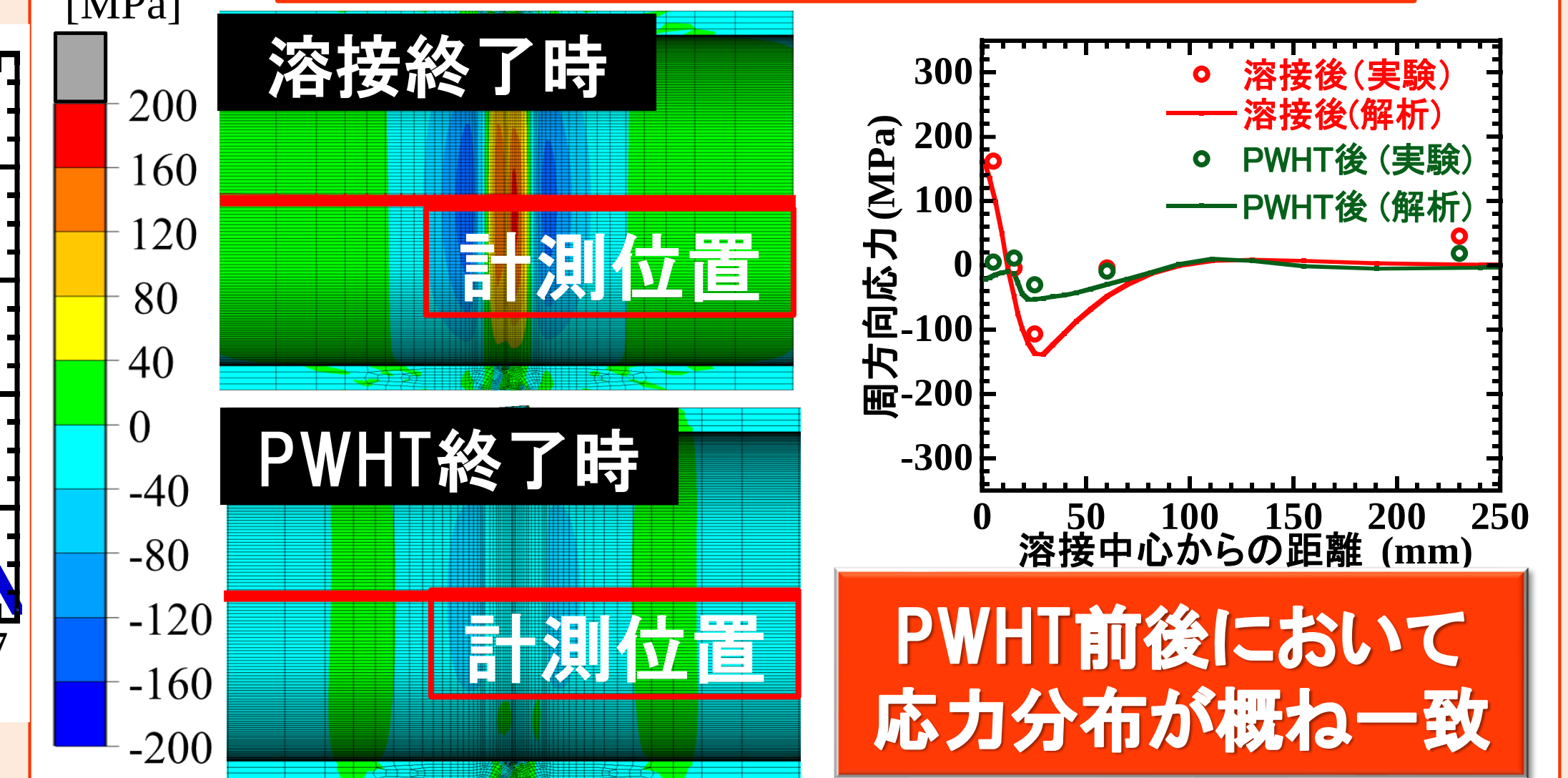
①PWHT解析の妥当性検証



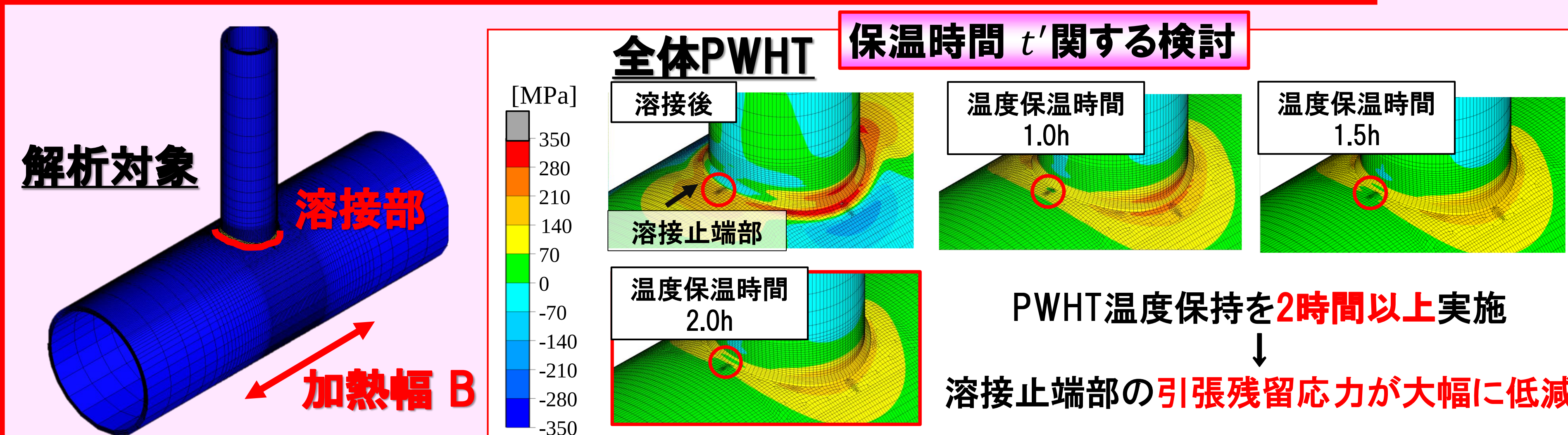
PWHT加熱温度



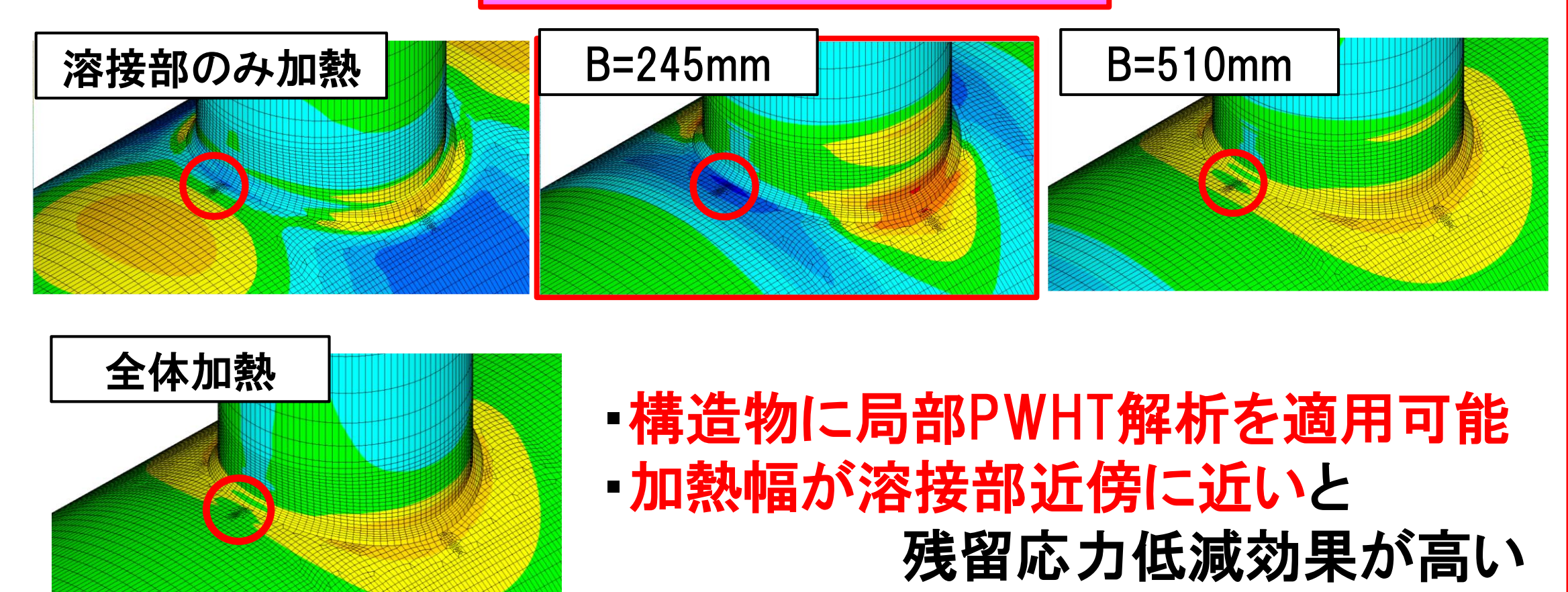
解析結果(Z軸周方向応力の比較)



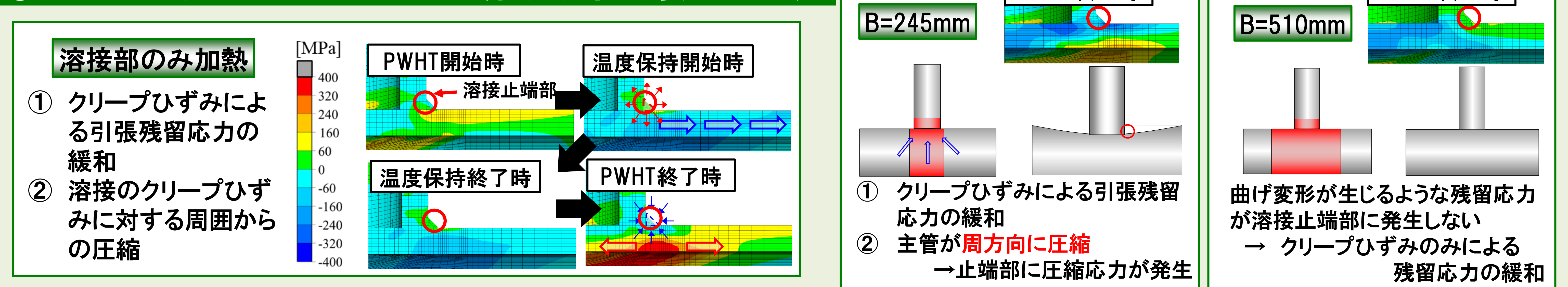
②構造物格点部に及ぼすPWHTの効果に関する検討



加熱幅Bに関する検討



③局部PWHT解析の加熱幅による残留応力低減要因の解明



結論

本研究では、構造物格点部に対し、局部PWHT解析を実施し、局部PWHTが残留応力に及ぼす効果に関する検討を行うために、理想化陽解法FEMにクリープ解析を導入し、PWHT解析を導入した。結果、以下の知見が得られた。

- パイプ突合せ多層溶接円筒管に対する局部PWHTの実験結果との比較検討を通して、PWHT解析手法の妥当性を示した。
- 構造物格点部に対する局部PWHT解析を実施し、局部PWHTによっても残留応力の緩和が可能であることを示した。
- 各加熱幅における局部PWHT解析の残留応力低減要因について解明した。