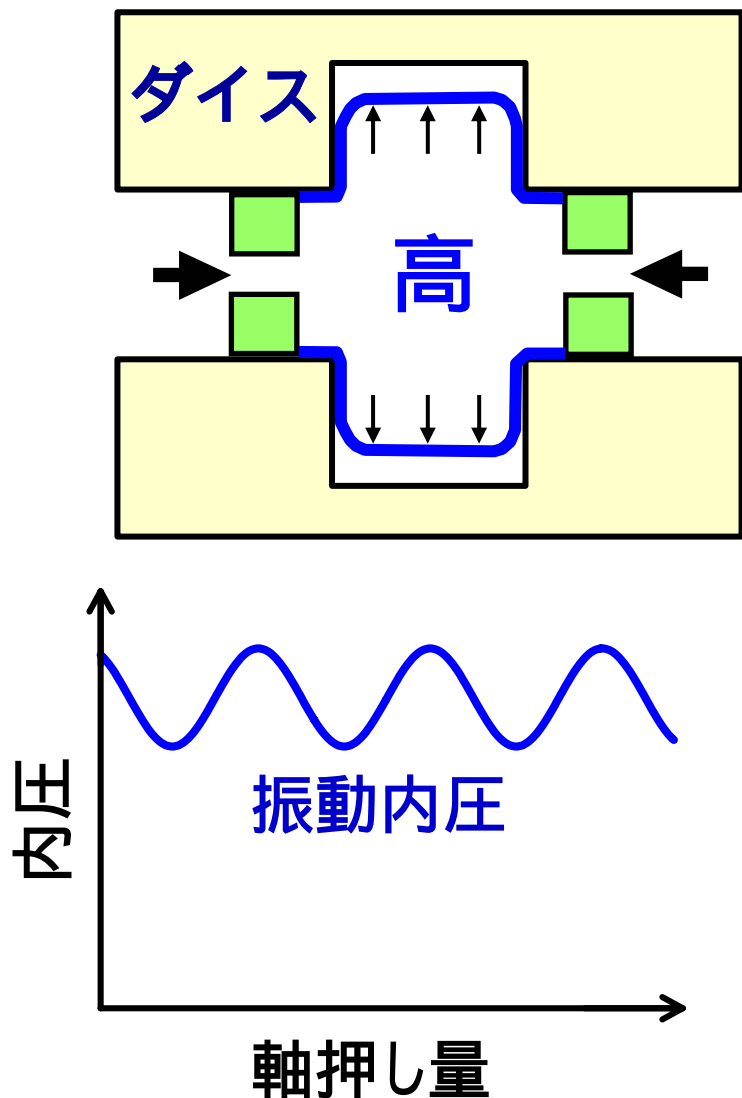


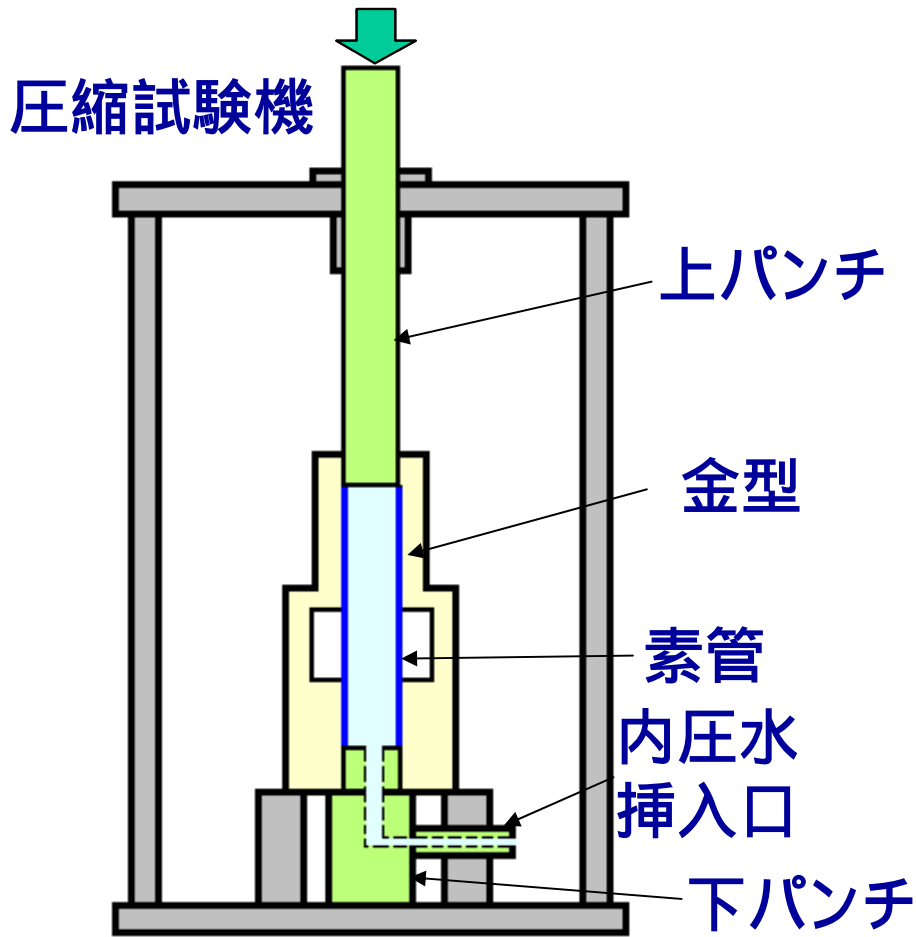
### 3 管材のハンマリング hidroforming における成形性向上のメカニズムの研究

塑性加工研究室 前野 智美

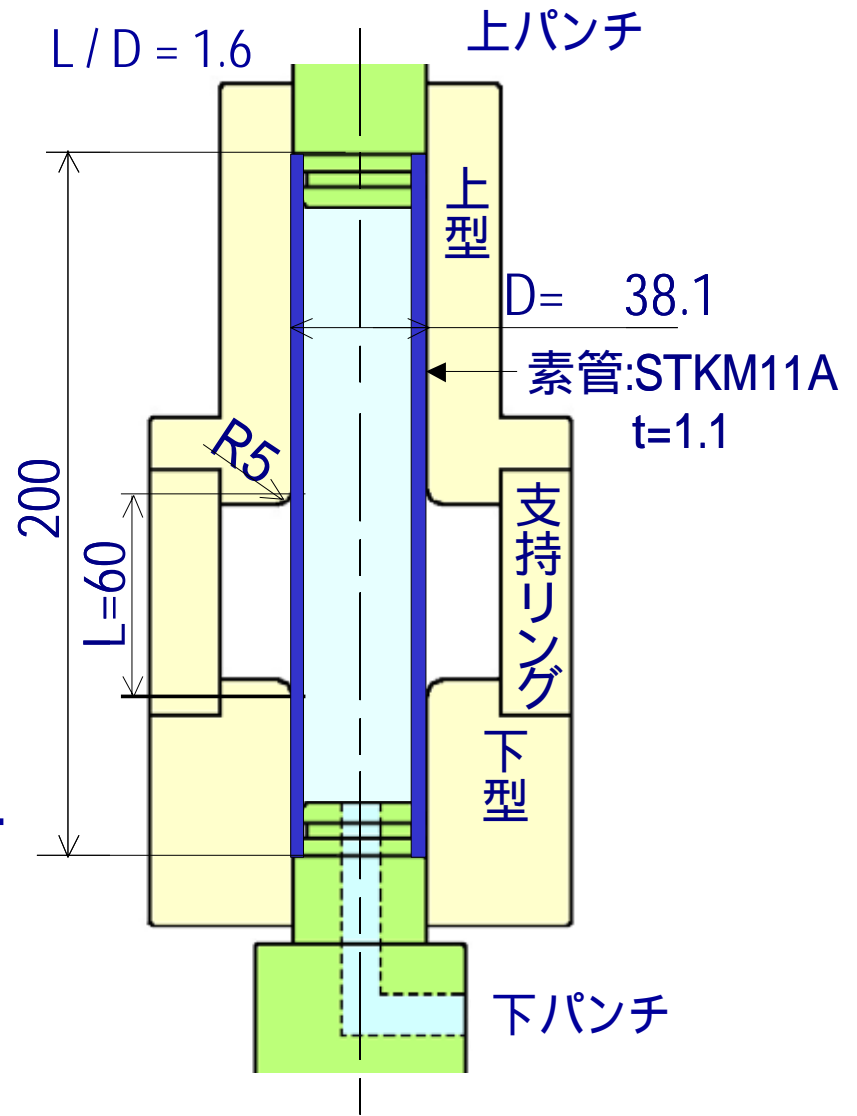
欠陥防止メカニズム  
を明らかに



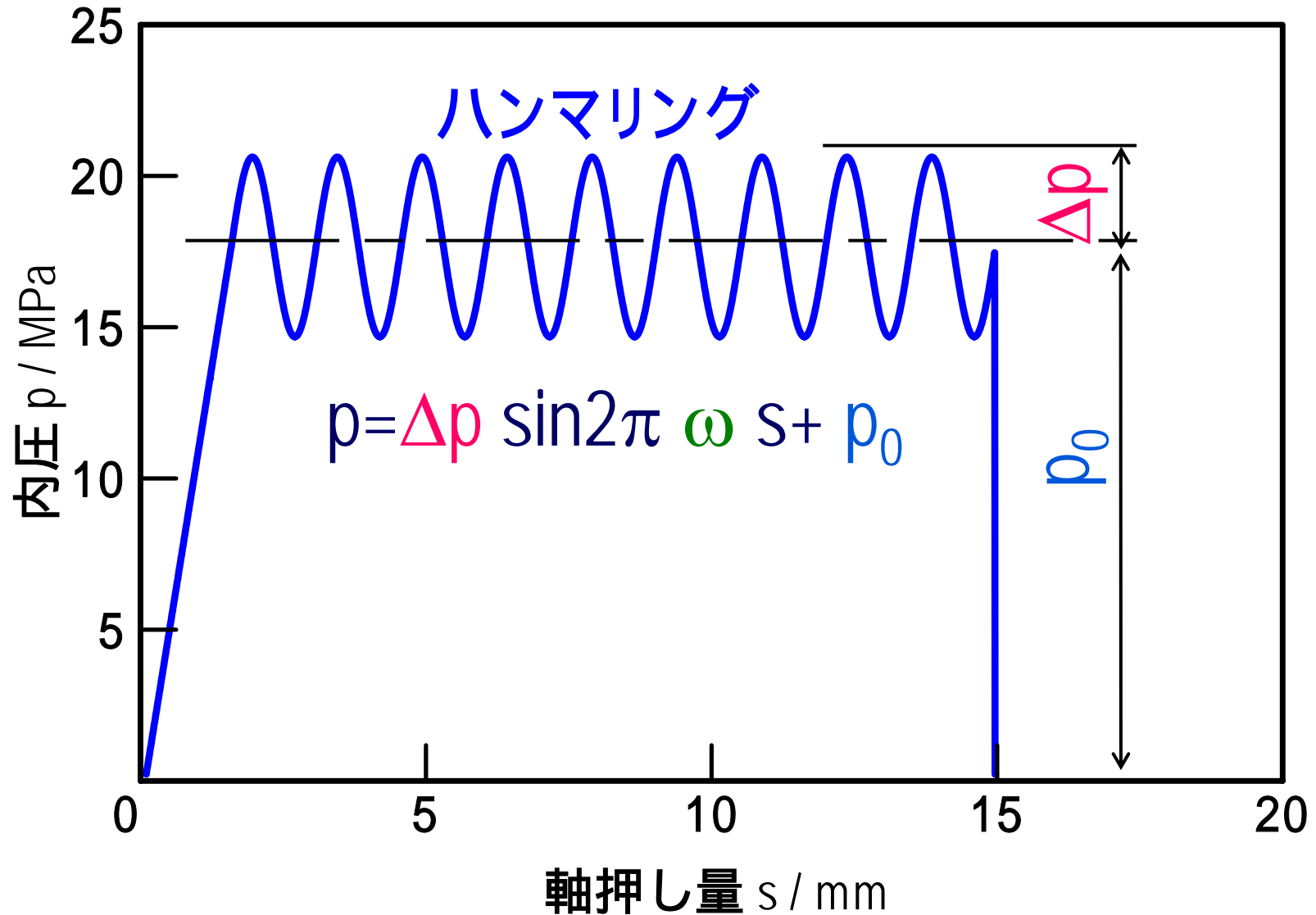
# フリーバルジ成形実験方法



変形挙動の観察  
加工力の測定



# ハンマリングによる内圧履歴



# ハンマリングより得られた平坦な張出し

平坦



(a) ハンマリング  
 $p_0 = 17.7 \text{ MPa}$   
 $\Delta p = 3 \text{ MPa}$ ,  $\omega = 0.66 \text{ c/mm}$

円形



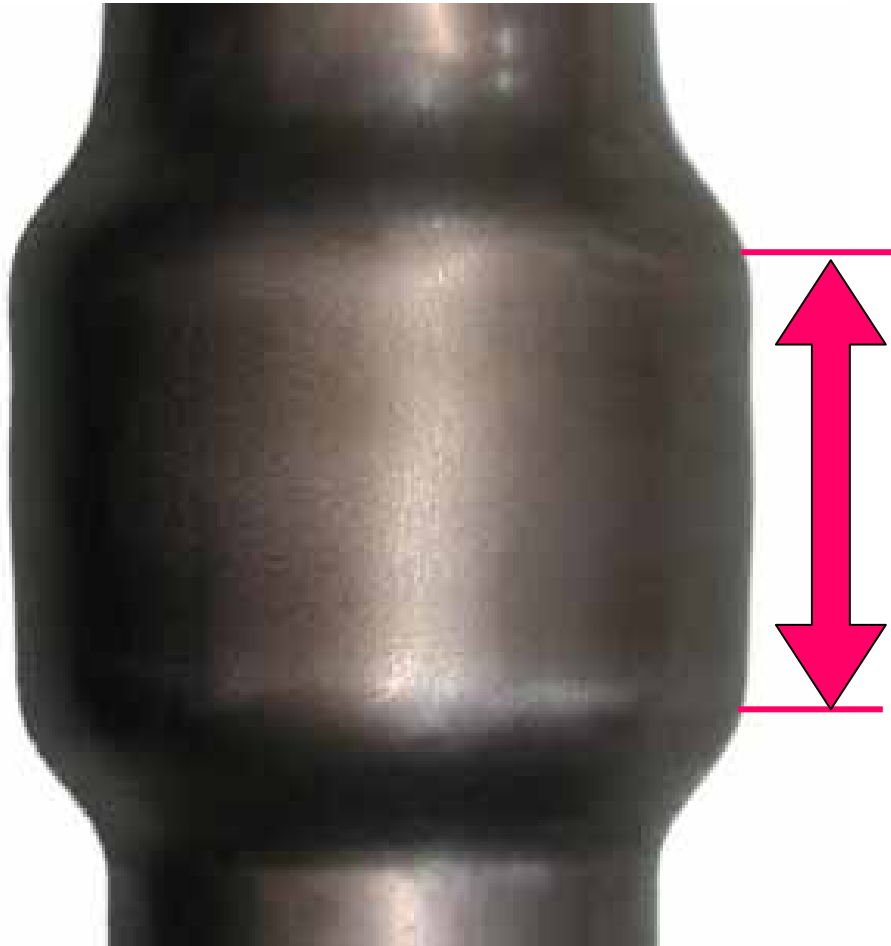
(b) 一定内圧(最大)  
 $p_0 = 20.5 \text{ MPa}$

しわ

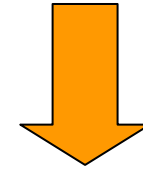


(c) 一定内圧(平均)  
 $p_0 = 17.7 \text{ MPa}$

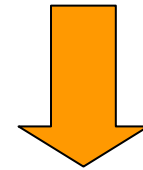
# ハンマリングより得られた平坦な張出し



平坦な張出し

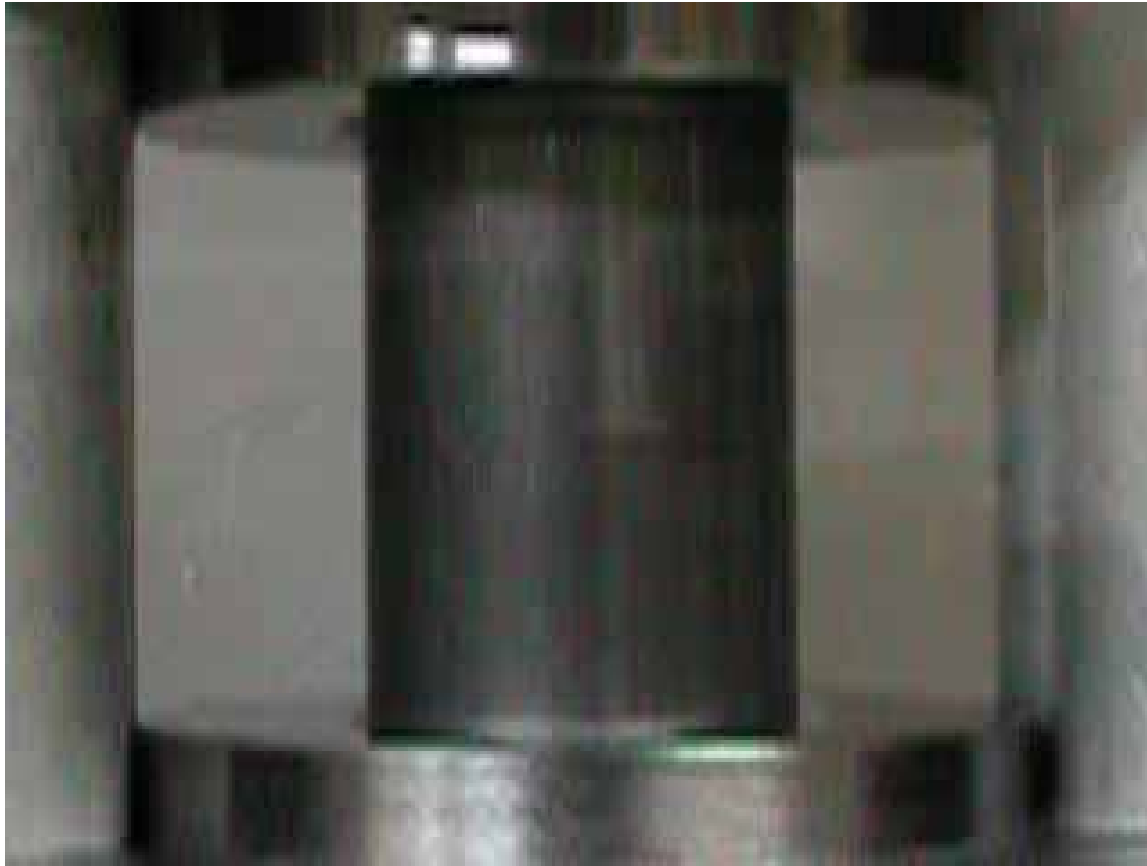


中央の局所的な  
伸びを防ぐ



成形途中での  
破断を抑制

# 一定内圧(最大)における変形挙動の観察



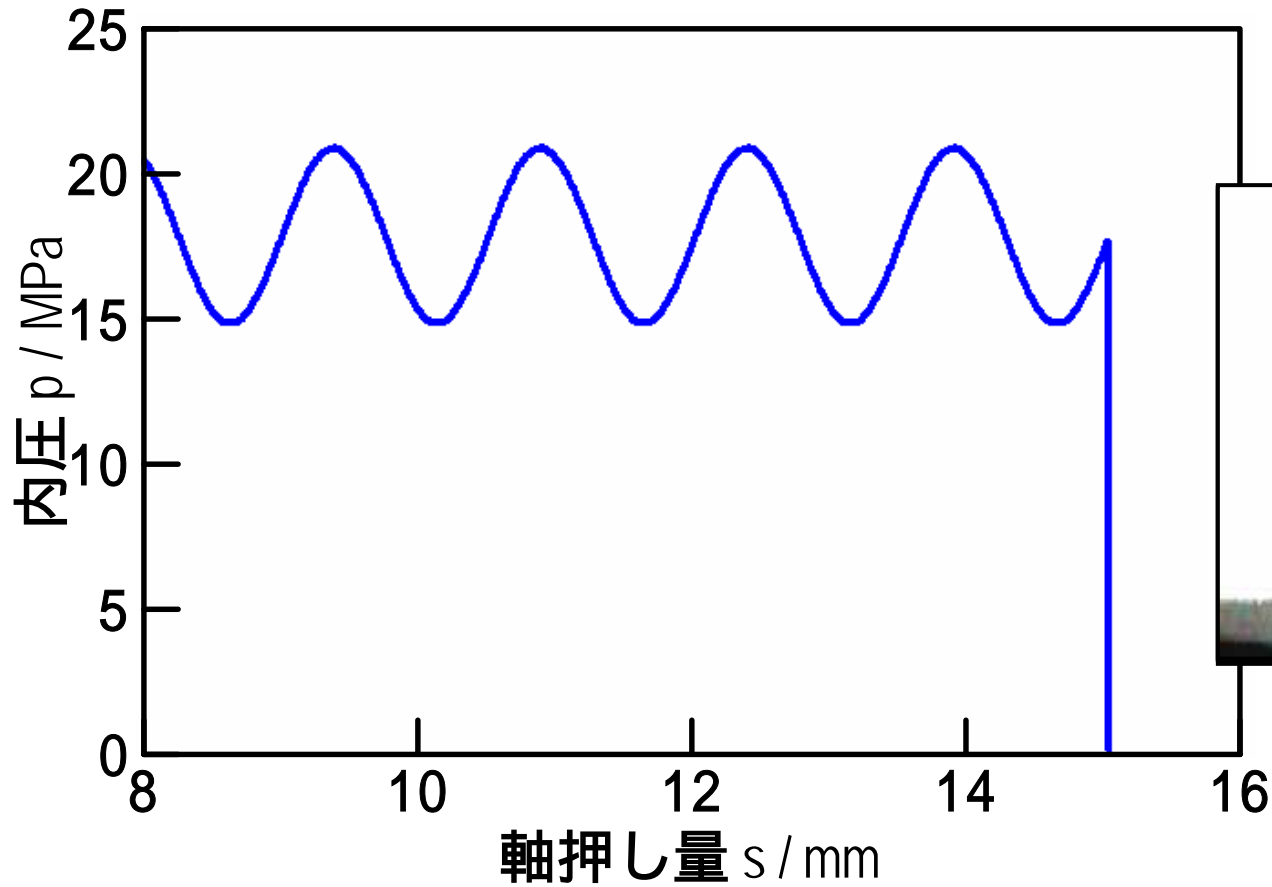
$p_0=20.5\text{MPa}$

# ハンマリングにおける変形挙動の観察



$$p_0 = 17.7 \text{ MPa}$$
$$\Delta p = 3 \text{ MPa} \quad \omega = 0.66 \text{ c/mm}$$

# ハンマリング内圧での変形挙動



張出し

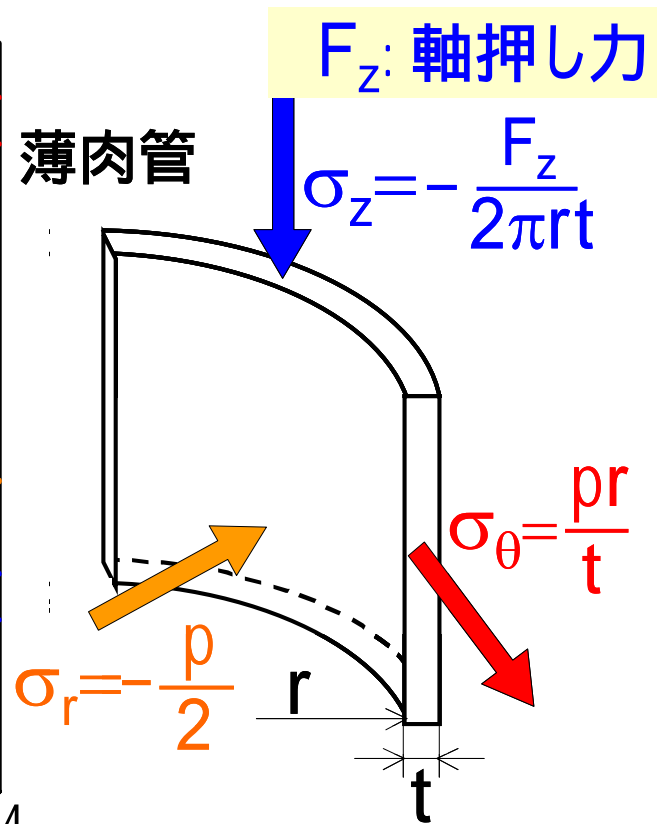
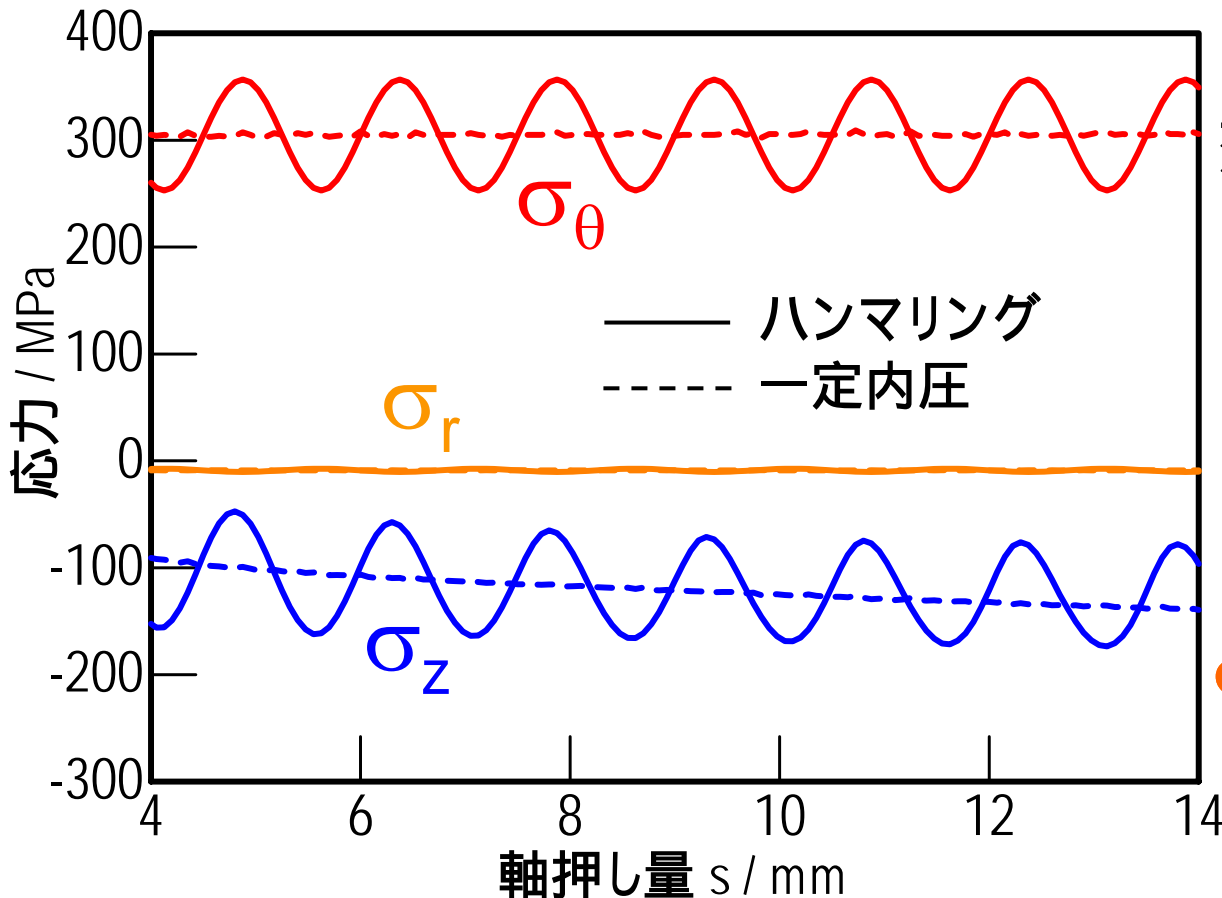




# しわ発生 - 張出のメカニズム

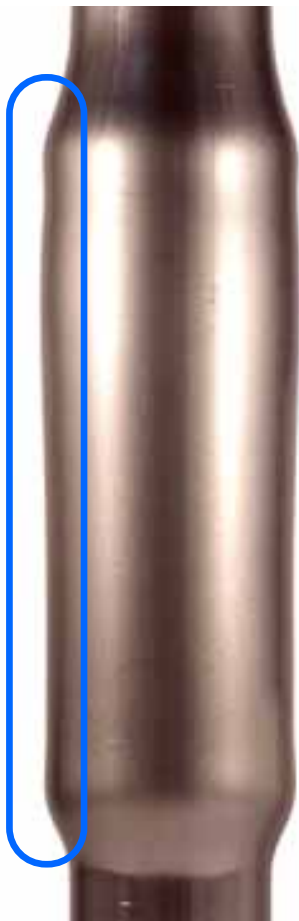
$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{2}\{(\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2\}}$$

$\downarrow 0$                        $\downarrow 0$



# L / D = 4.0でのハンマリングの効果 (s = 24mm)

平坦



(a) ハンマリング  
 $p_0=18.6\text{MPa}$   
 $\Delta p=3\text{MPa}$

割れ



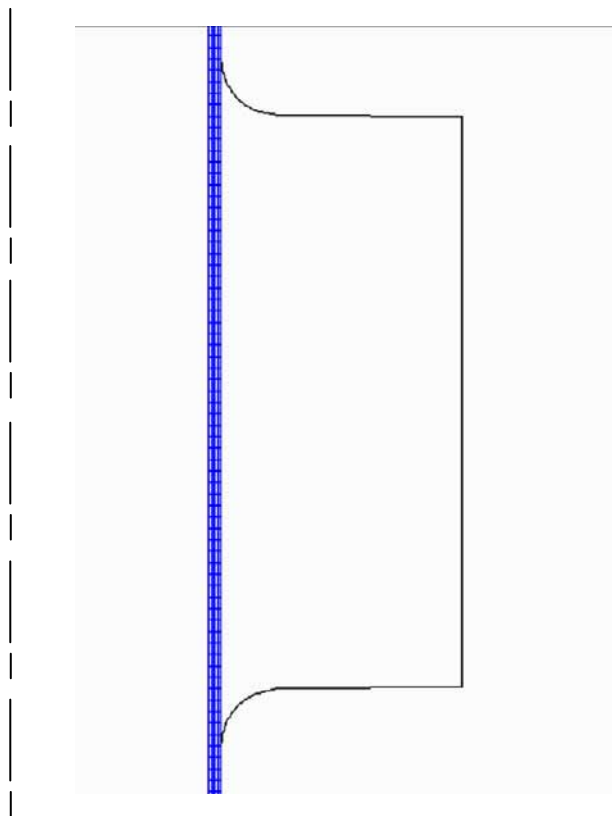
(b) 一定内圧 (最大)  
 $p_0=21.6\text{MPa}$

しわ

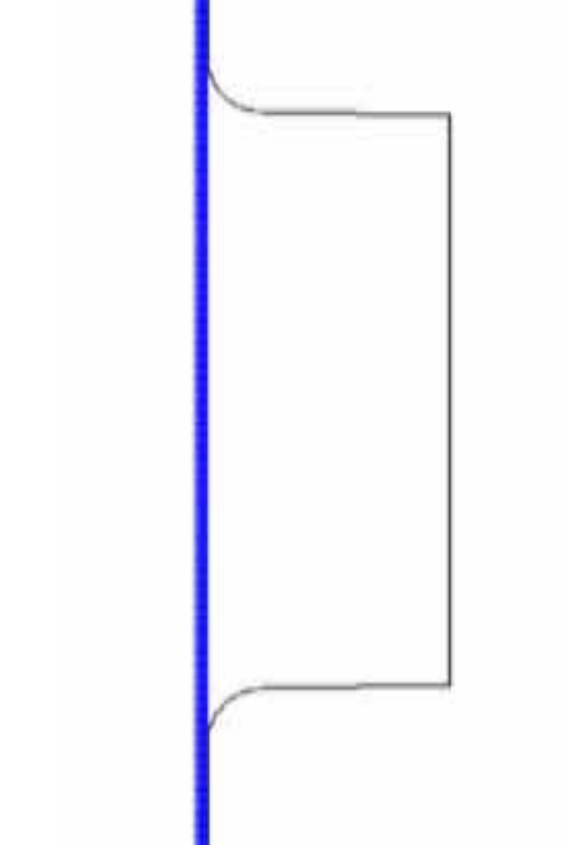


(c) 一定内圧 (平均)  
 $p_0=18.6\text{MPa}$

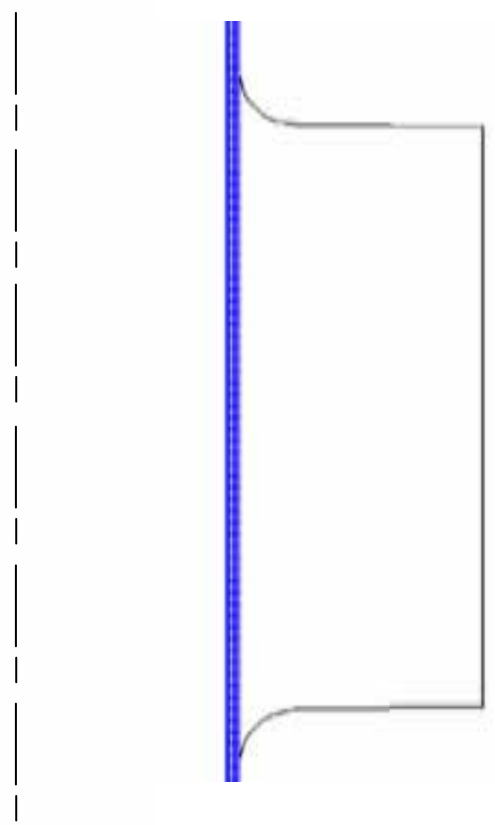
# 有限要素法における変形挙動の観察



(a) ハンマリング  
 $p_0=17.7\text{MPa}$   $\Delta p=3\text{MPa}$



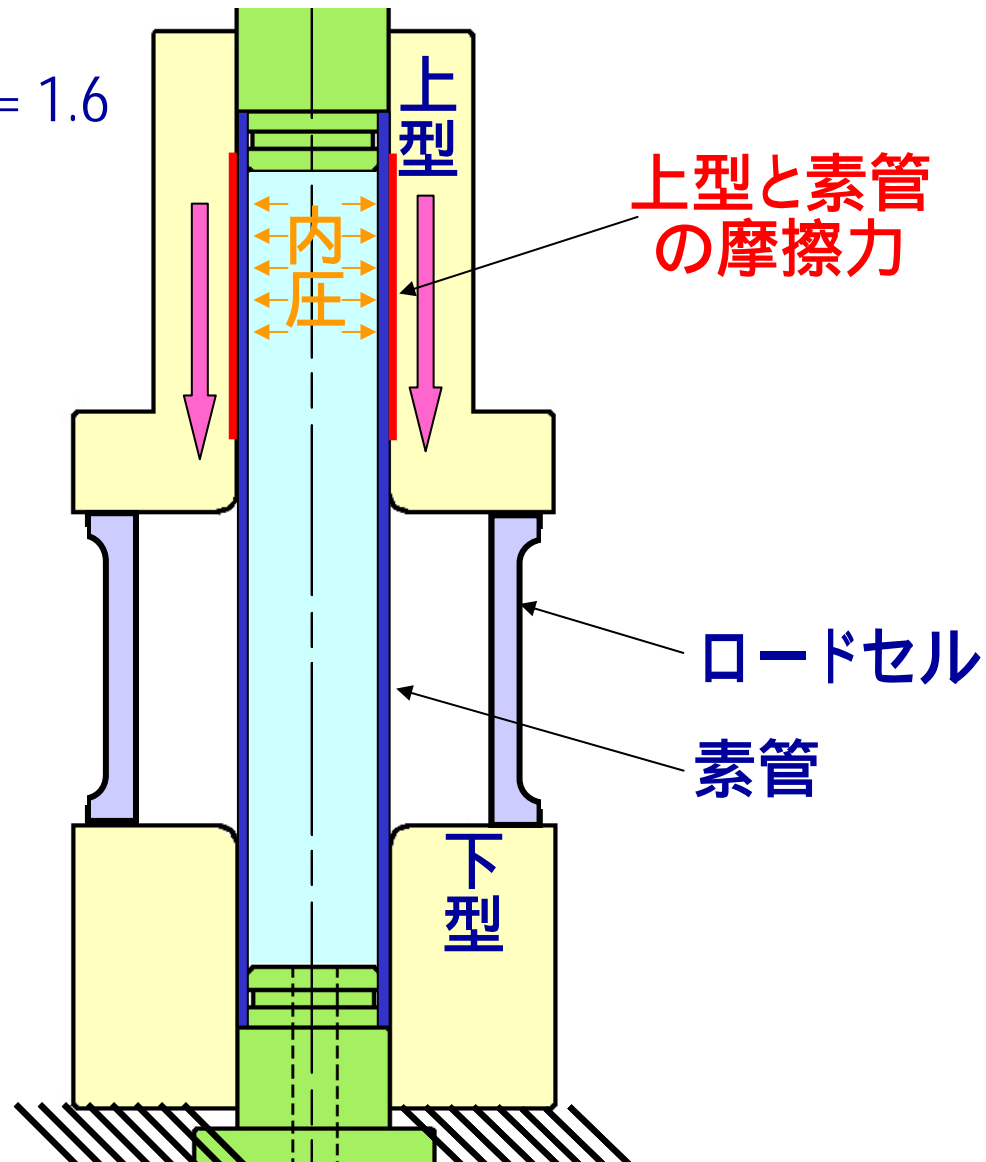
(b) 一定内圧 (最大)  
 $p_0=20.5\text{MPa}$



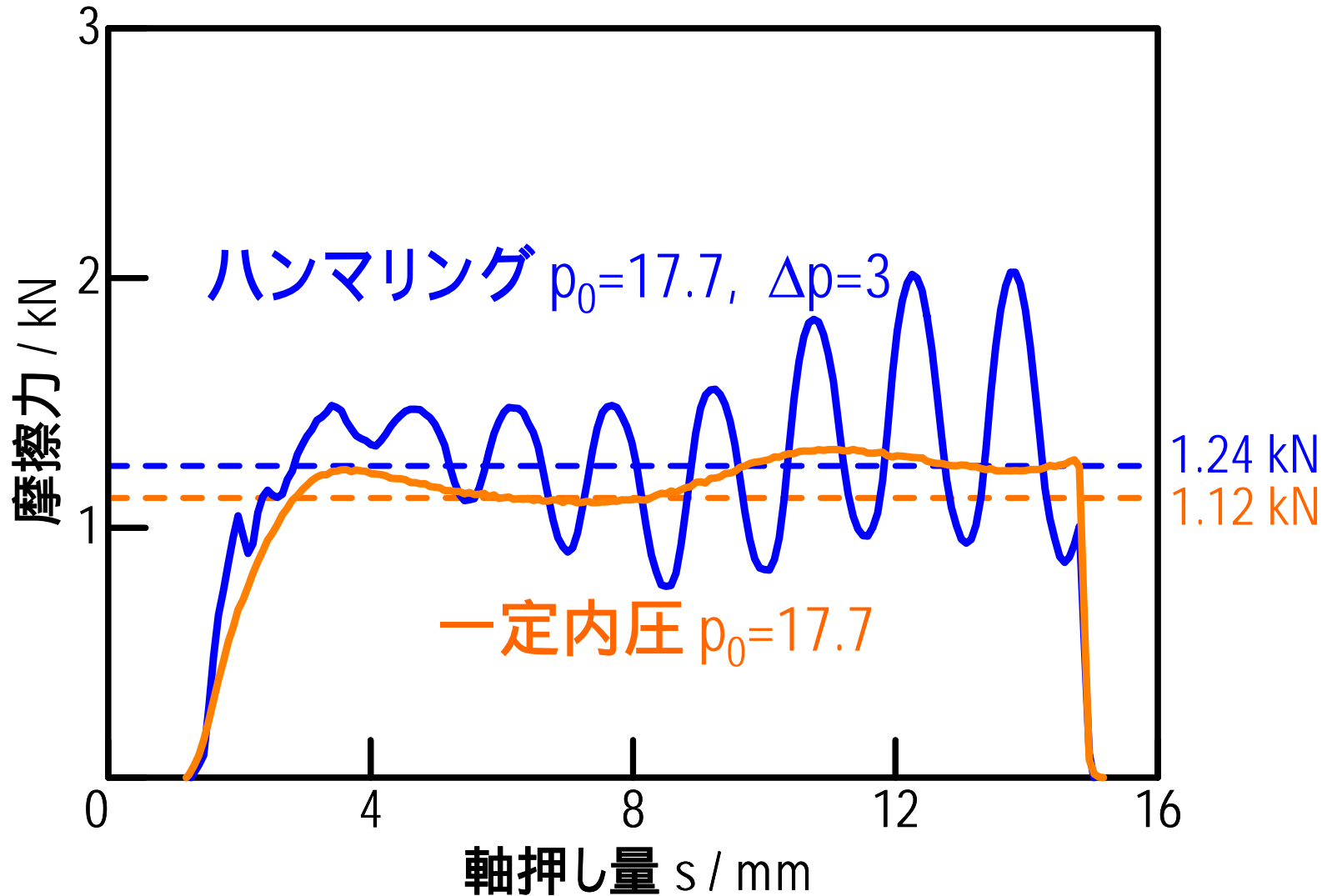
(c) 一定内圧 (平均)  
 $p_0=17.7\text{MPa}$

# 摩擦力に及ぼすハンマリングの影響

$L/D = 1.6$



# ハンマリングと一定内圧の平均摩擦力の比較



## まとめ

- ハンマリングは、均一な張出しにより成形限界が向上する。
- ハンマリングは低い内圧を使うことで割れを抑制し、振動する圧力によってしわも抑制される。
- ハンマリングの金型と素管の摩擦力は一定内圧の場合と同様であった。













# 素管

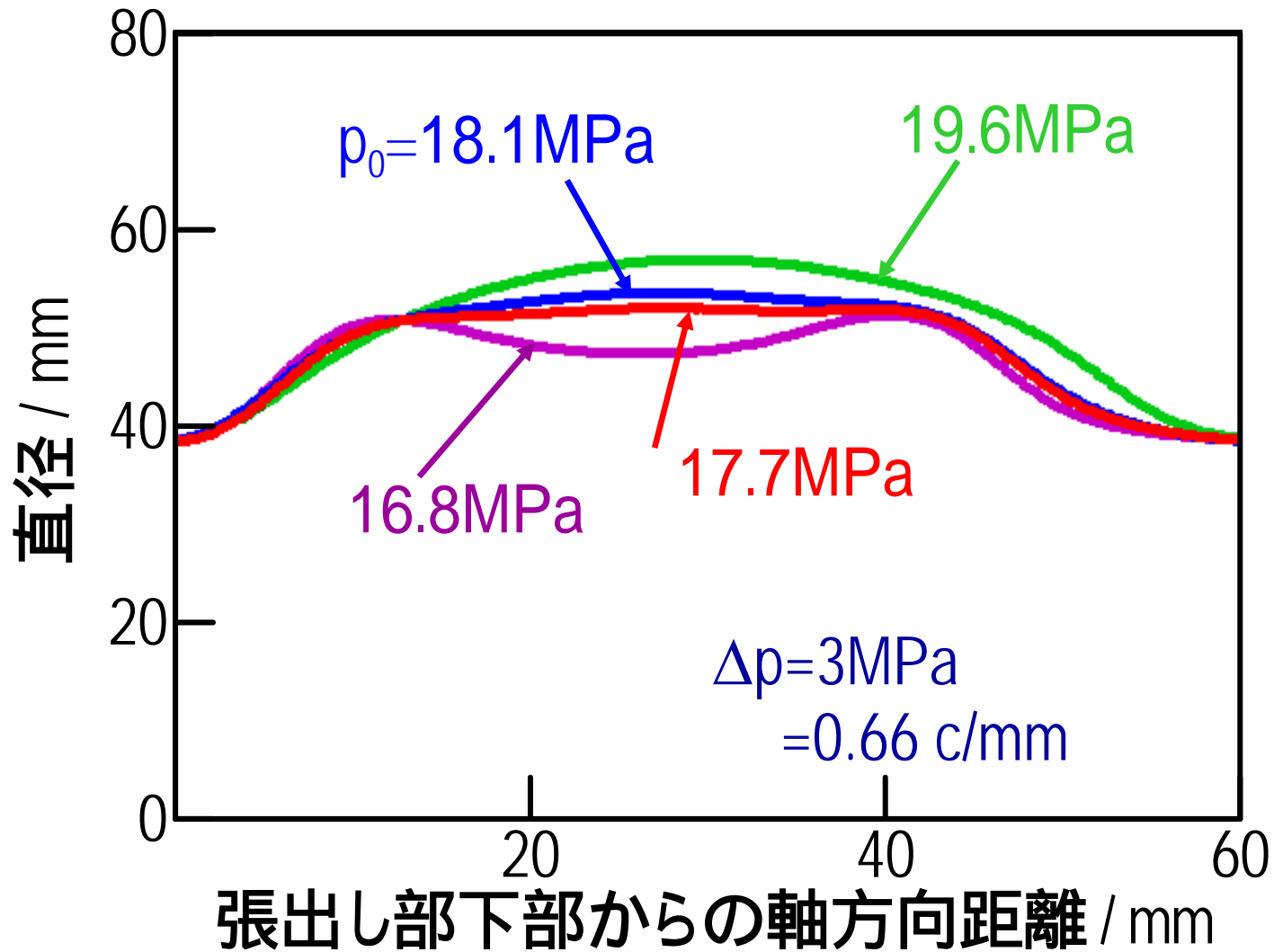
軸押し量 : 15mm

軸押し速度 : 1.5mm/s

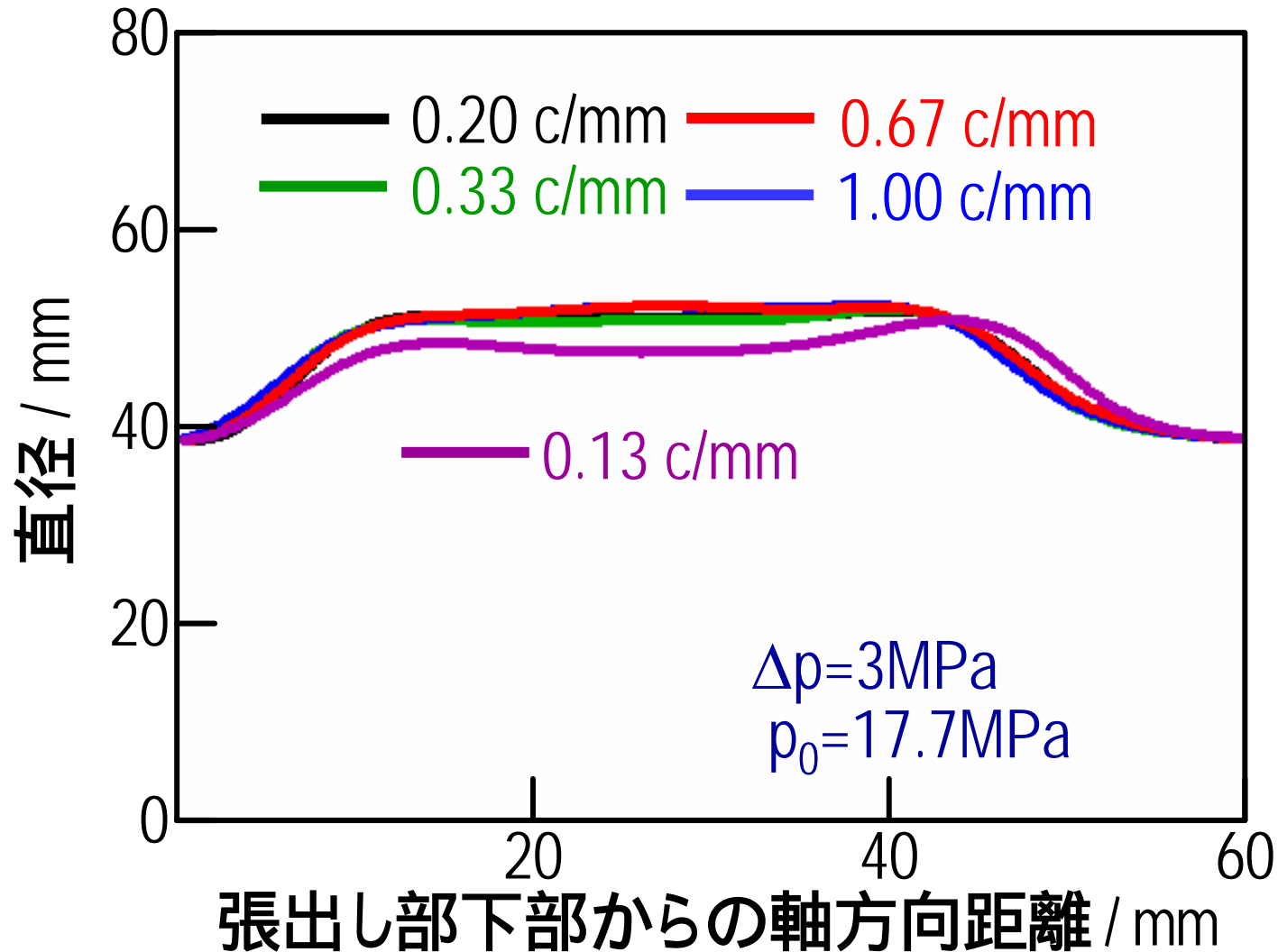
## STKM11Aの材料特性

降伏応力	277 MPa
引張り強さ	348 MPa
加工硬化指数	0.12
塑性係数	510 MPa

# 基準内圧変化に対する張出し部の変形形状

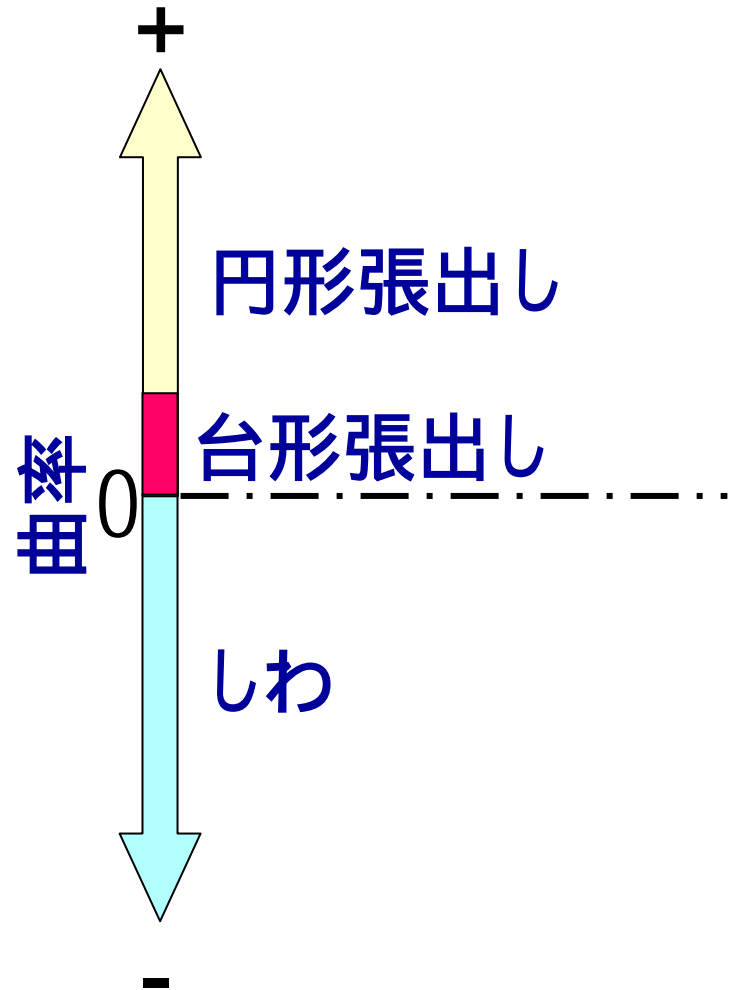
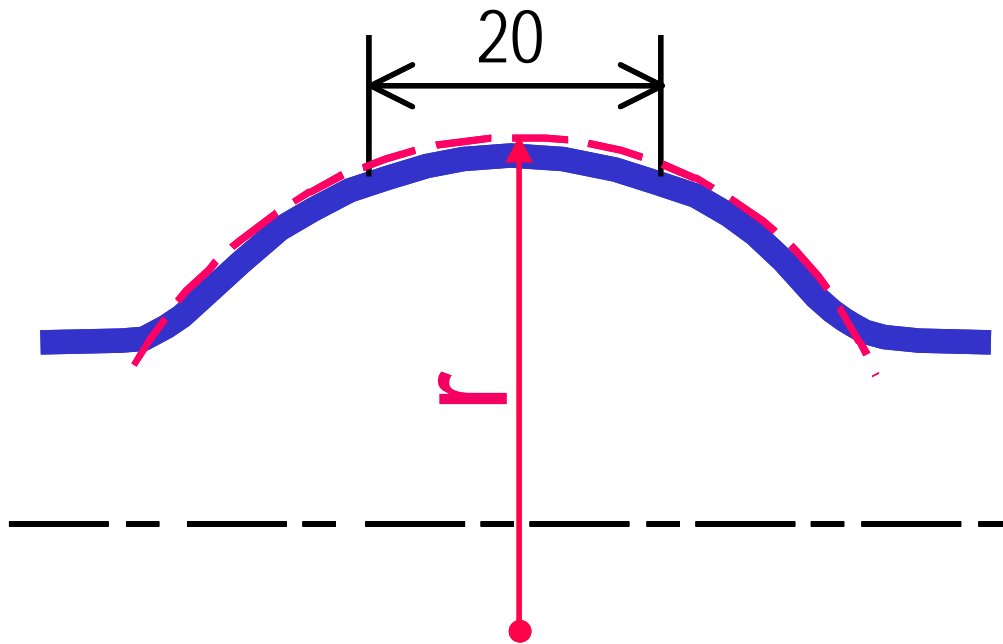


# サイクル数変化に対する張出し部の変形形状

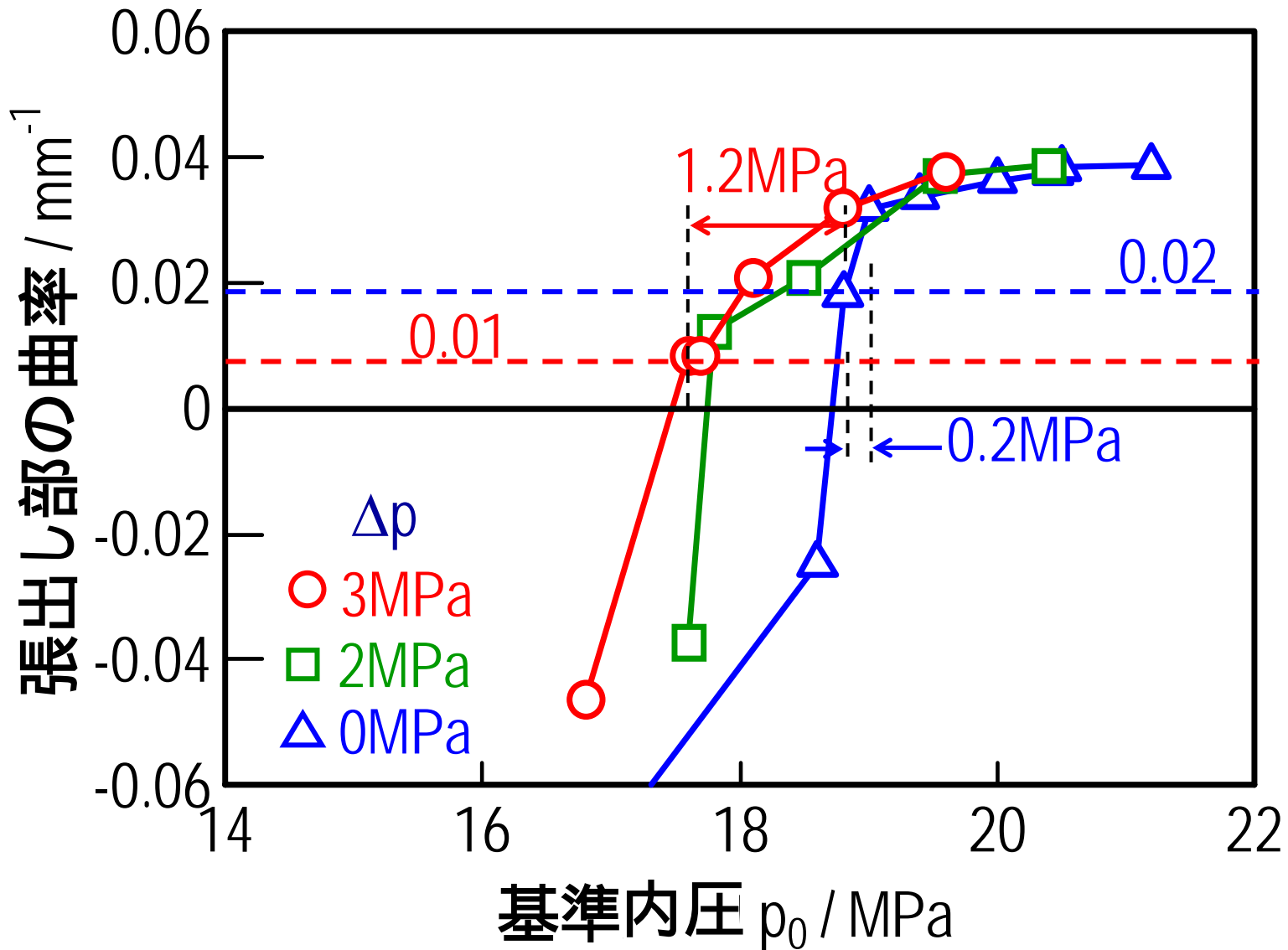


# 張り出し部の曲率による評価

$$\text{曲率} = \frac{1}{r}$$

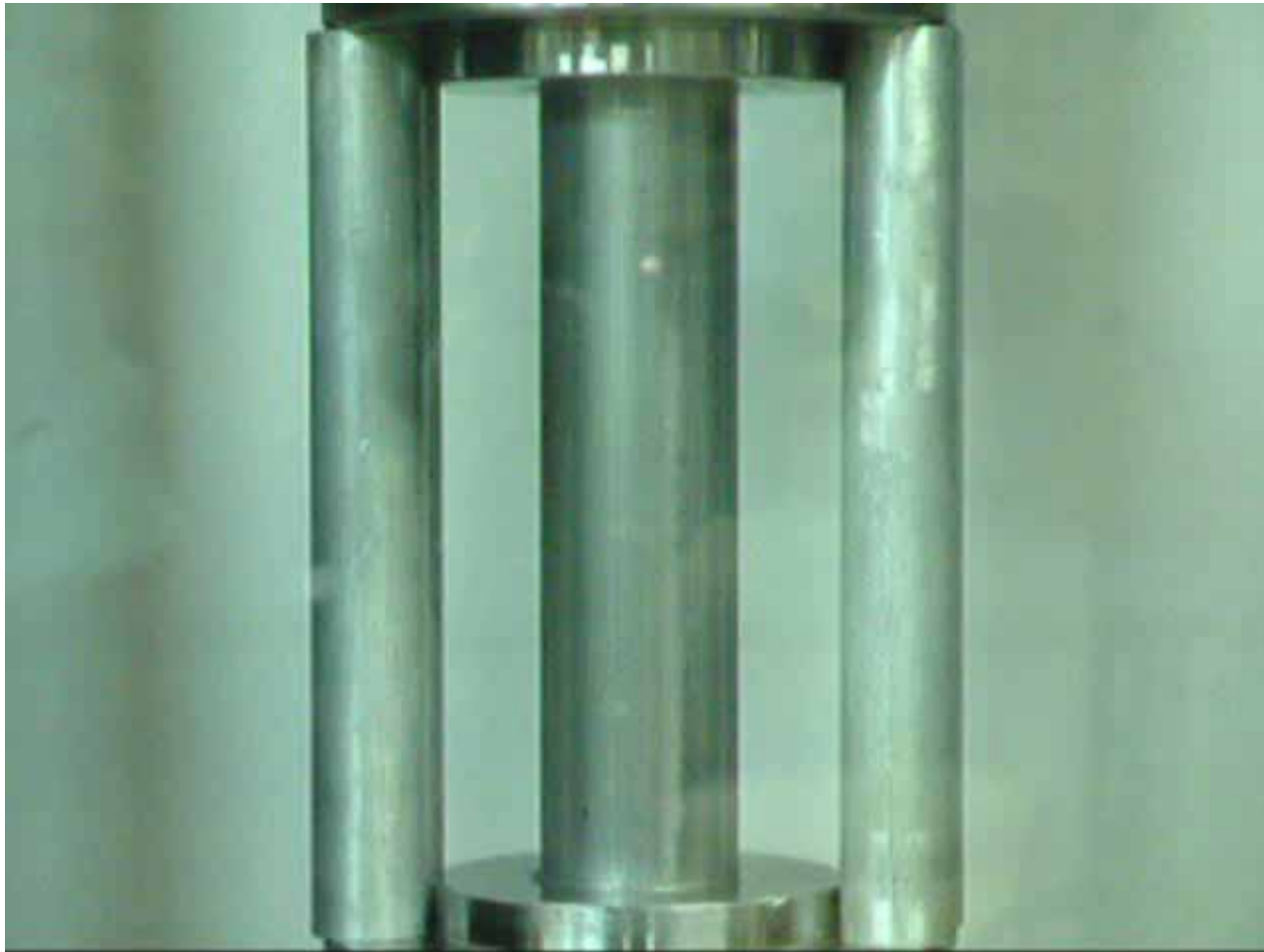


# 基準内圧に対する張出し部の曲率変化





# ハンマリングにおける変形挙動の観察



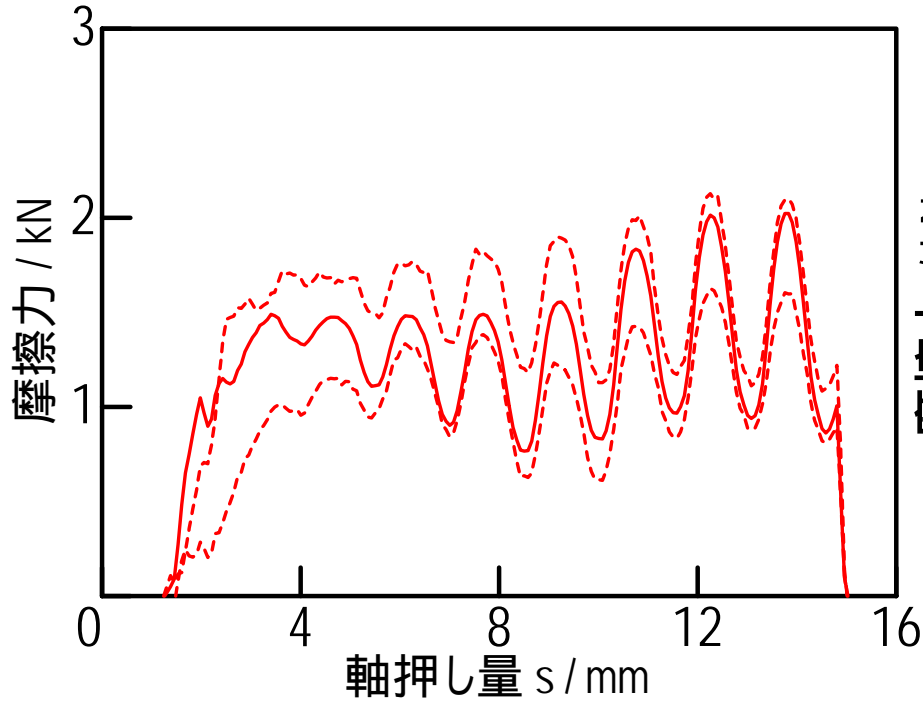
$$\begin{aligned} p_0 &= 18.6 \text{ MPa} \\ \Delta p &= 3 \text{ MPa} \\ &= 0.66 \text{ c/mm} \end{aligned}$$

# 一定内圧(平均)における変形挙動の観察

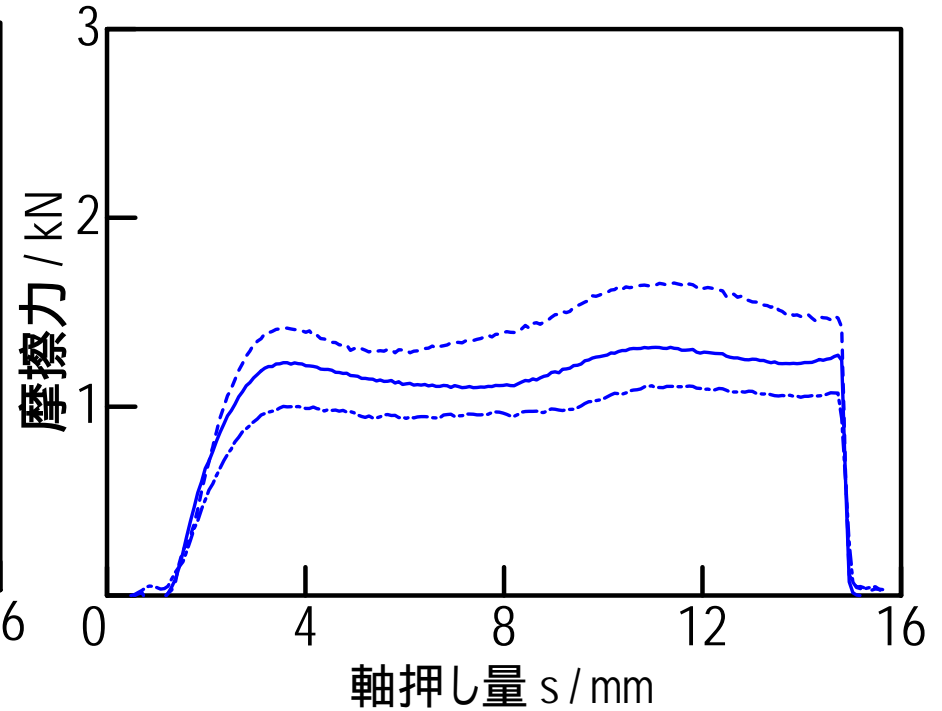


$p_0=21.6\text{MPa}$

# 測定した摩擦力

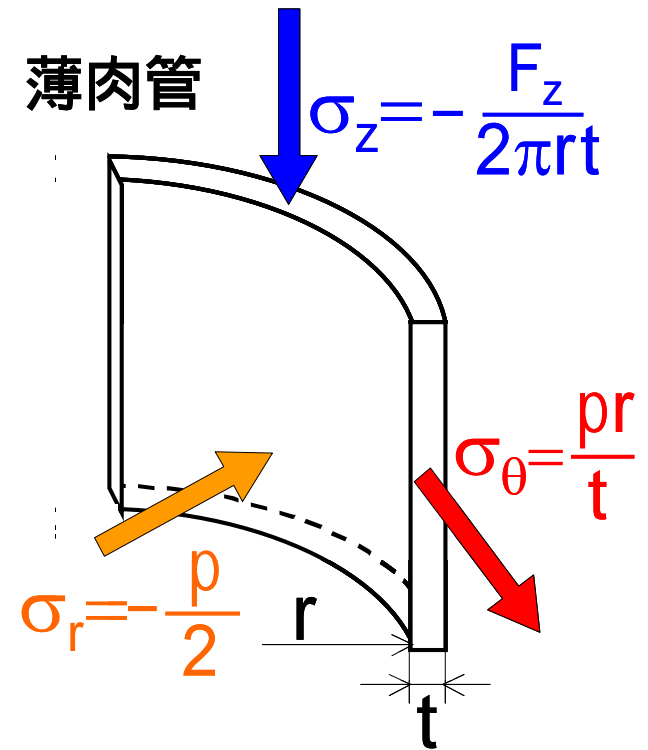
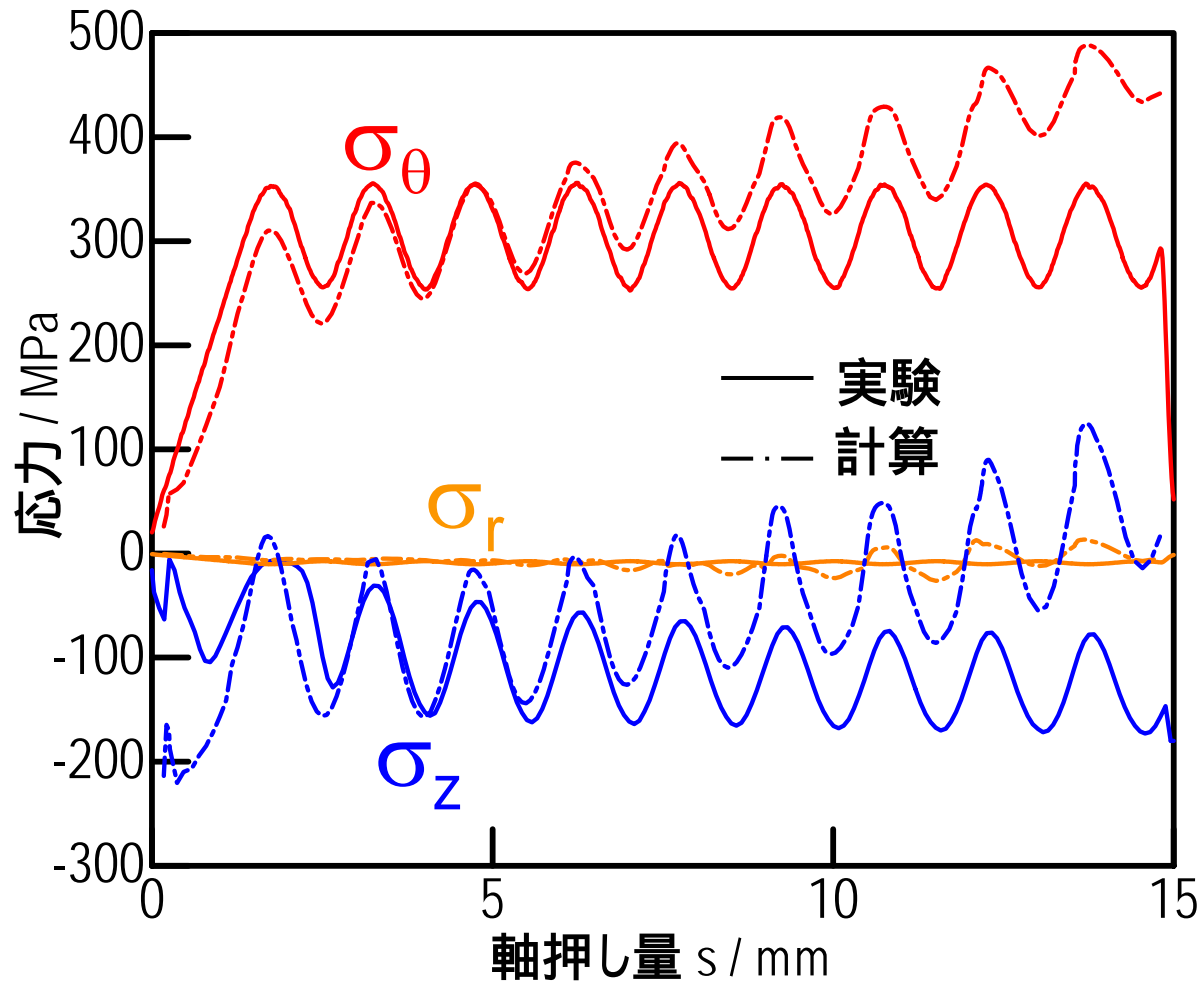


(a) ハンマリング  
 $p_0=17.7, \Delta p=3$

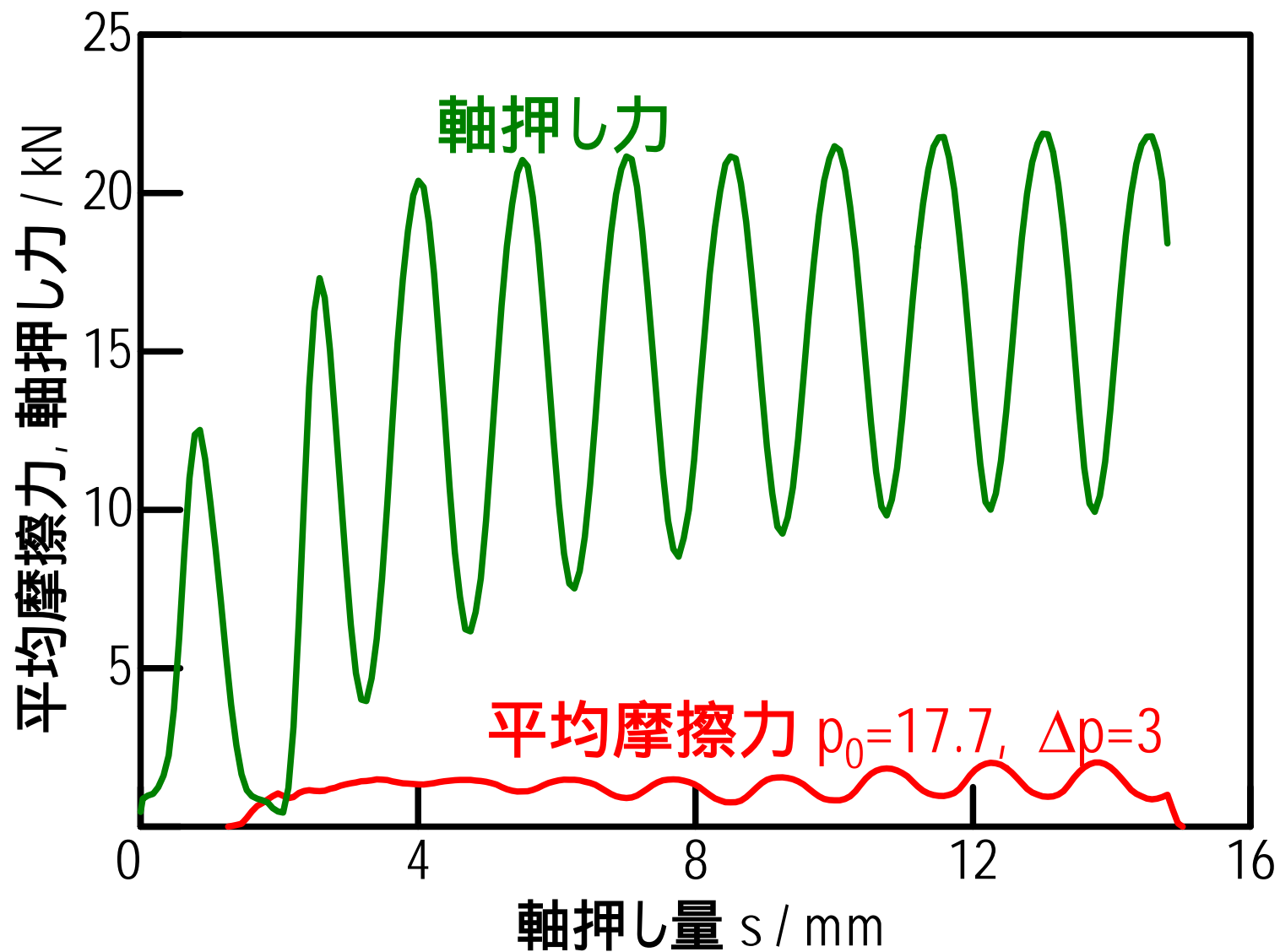


(b) 一定内圧  
 $p_0=17.7$

# 有限要素法における張出部の応力



# 成形中の軸押し力と平均摩擦力の比較



# 内圧に伴って振動する摩擦力

