

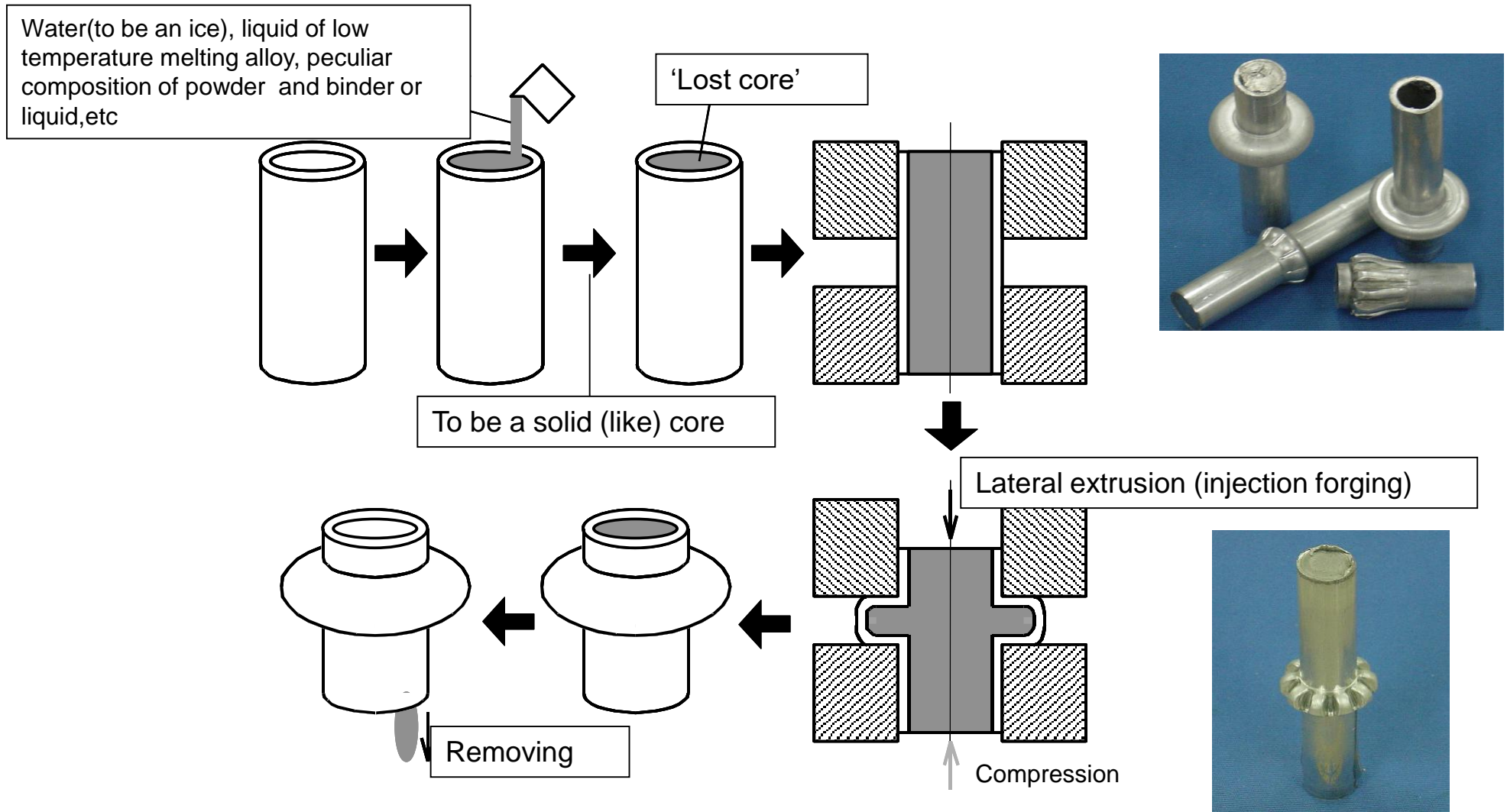
管・中空部品の圧縮成形用充填物 としての繊維強化氷の利用

国士舘大学 理工学部 機械工学系
教授 大橋 隆弘

2022年8月9日

新技術提案の背景:

個体充填物を用いた管の圧縮成形技術の開発

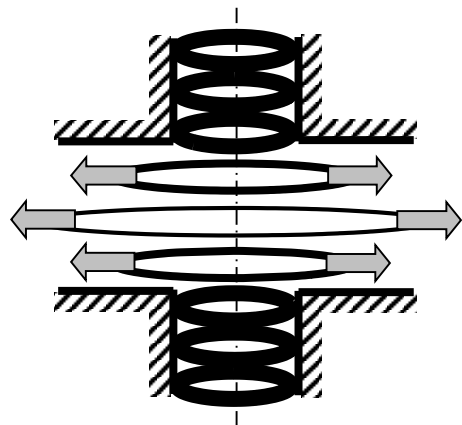


一般的な液圧成形(チューブ hidro チューブ hidro フォーミング (THF))と成形メカニズムの違い

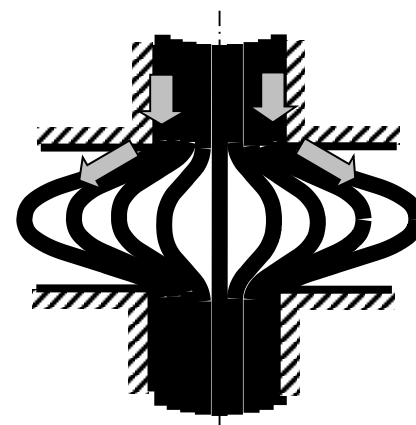
一般的な液圧成形(THF):
主として減肉によって拡張する。

個体充填物を用いた管の
圧縮成形:
押し出しによって拡張する

$0(\text{plane strain}) \leq \gamma \ll 1(\text{pure shear})$



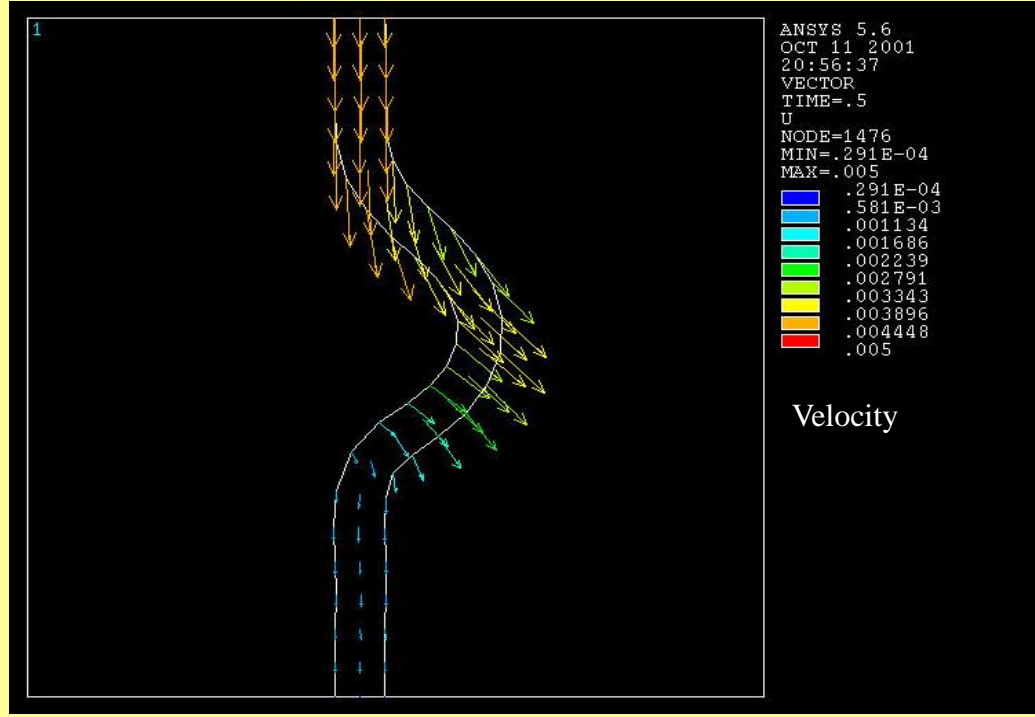
$\gamma \doteq 1(\text{near pure shear})$



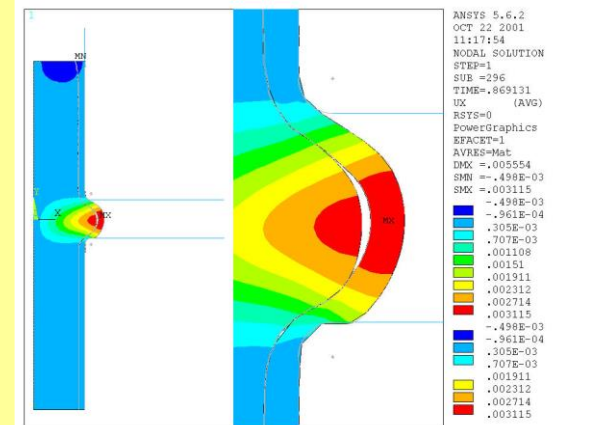
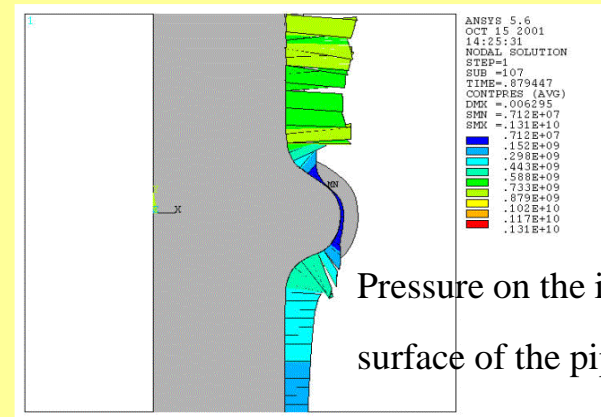
$$\alpha = \frac{\sigma_t}{\sigma_\theta}, \quad \gamma = \frac{d\varepsilon_t}{d\varepsilon_\theta} = \frac{|\alpha|^{n-1} + R|\alpha - 1|^{n-1}}{1 - R|\alpha - 1|^{n-1}}$$

プロセスの数値解析例

The deformation is caused by the extrusion.

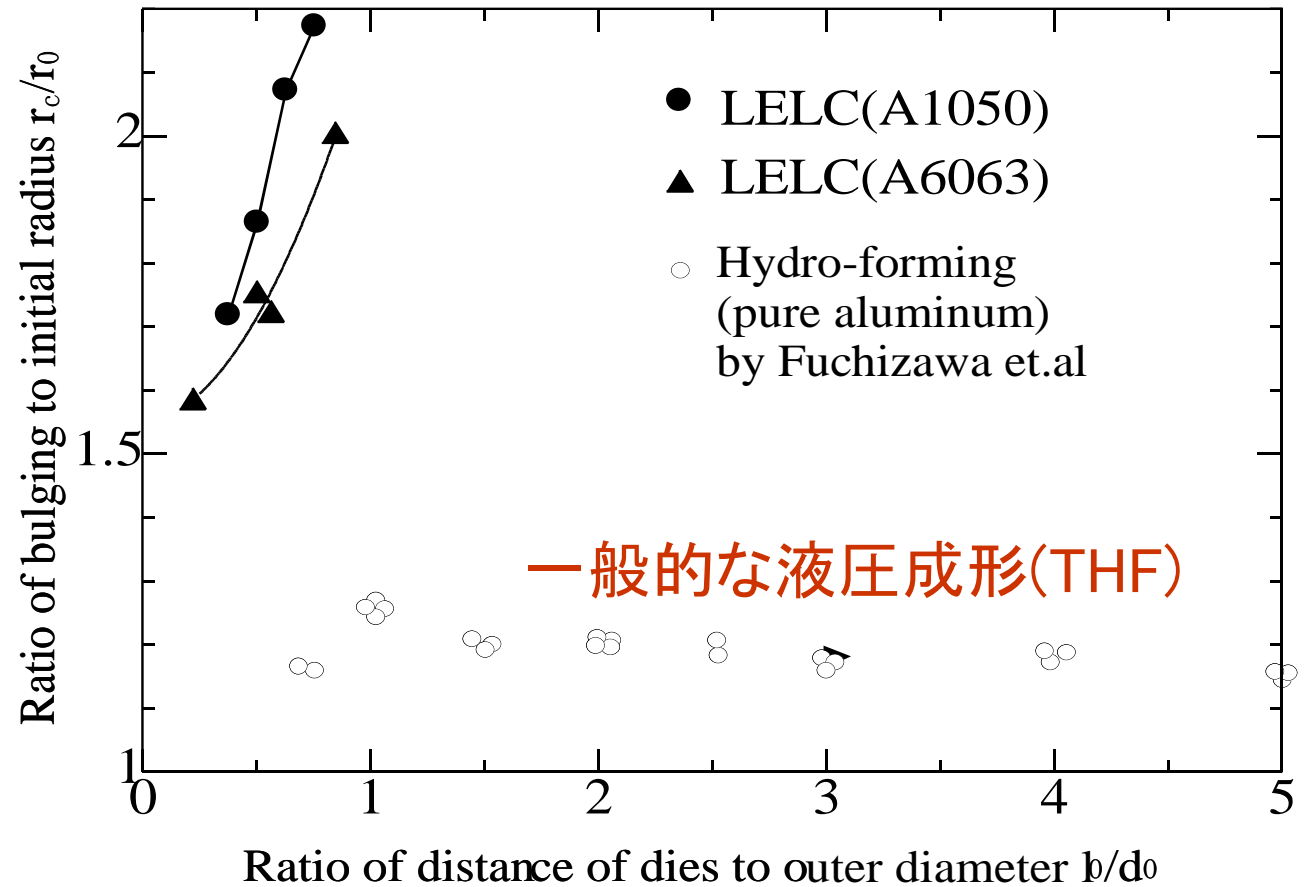
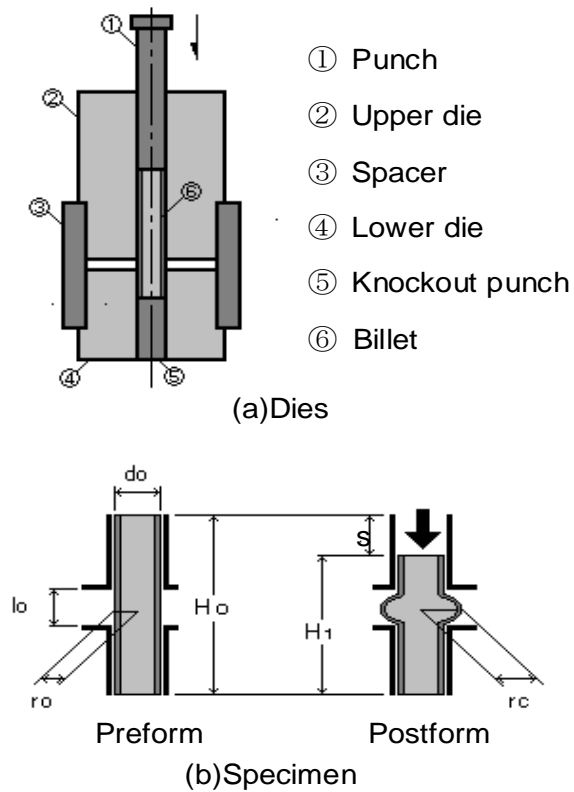


The deformation is not caused by internal pressure from the core.



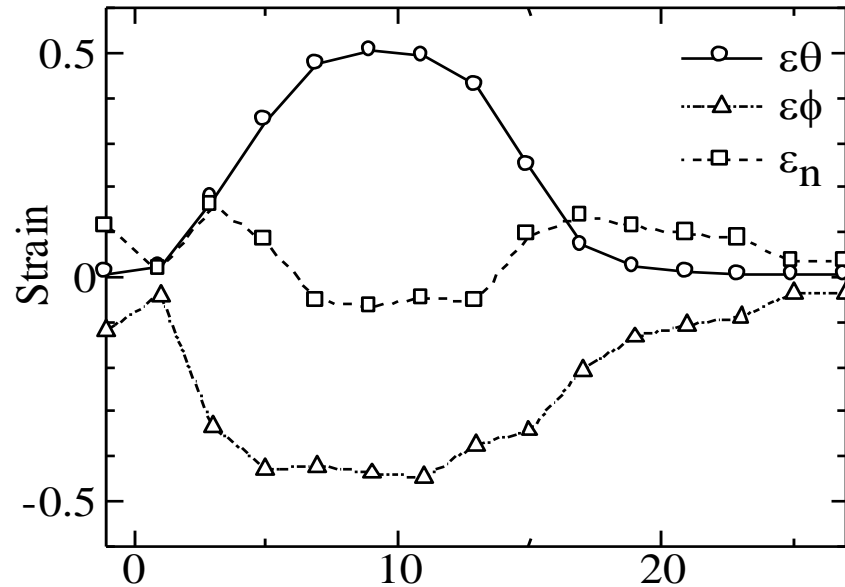
一般的な液圧成形との成形限界の比較

個体充填物を用いた管の圧縮成形



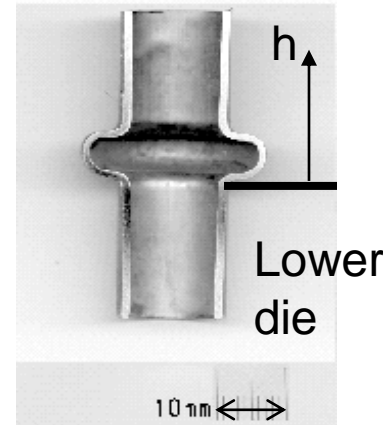
一般的な液圧成形との 製品のひずみ分布の比較①

個体充填物を用いた管の圧縮成形

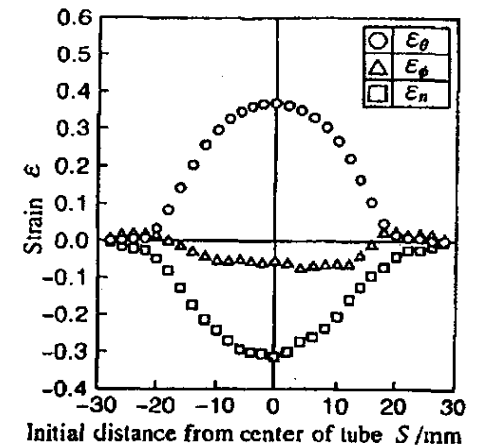


Initial distance from the upper face of the bottom die h / mm

$$d\varepsilon_n/d\varepsilon_\theta = \gamma \doteq 1 \text{ (near pure shear)}$$



一般的な液圧成形(THF)

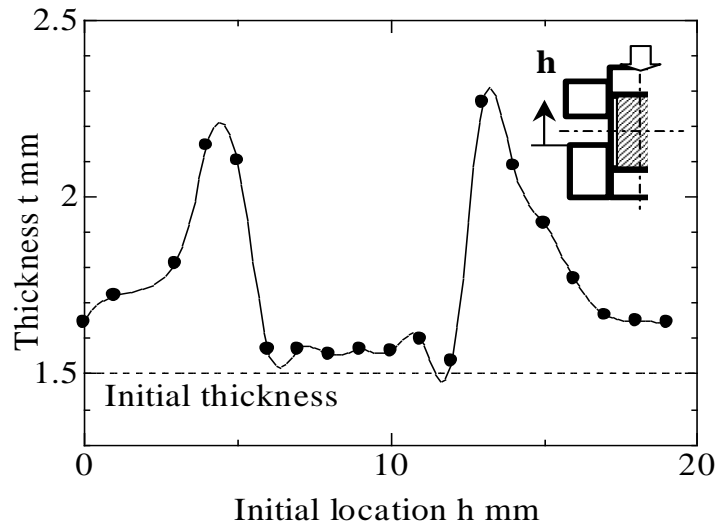


• Strain distributions of THF (Fuchizawa)[C1220 annealed pipe, thickness $T=1$ mm, $L=40$ mm $D0=40$ mm]

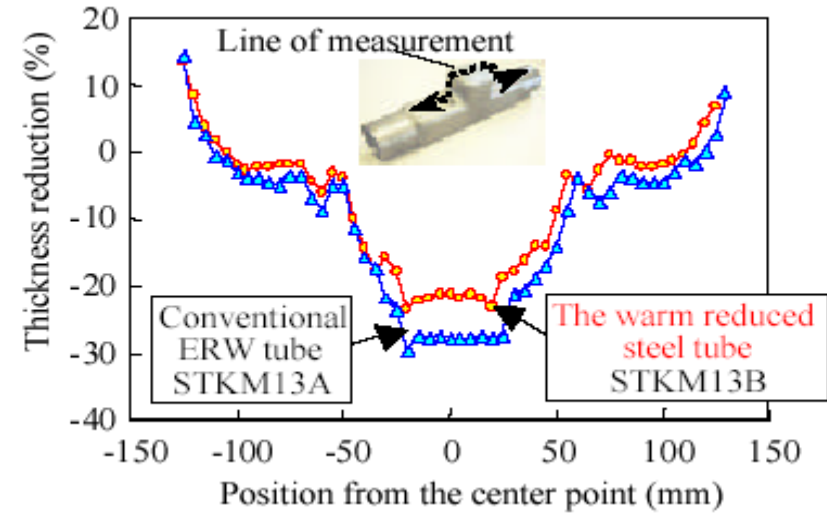
$$0 \text{ (plane strain)} \leq \gamma << 1 \text{ (pure shear)}$$

一般的な液圧成形との 製品のひずみ分布の比較②

個体充填物を用いた管の圧縮成形



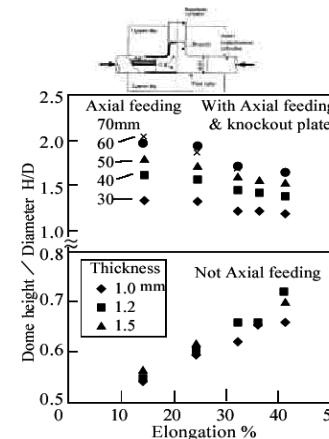
一般的な液圧成形(THF)



Kawabata et al(JFE steel, Japan), 2003



Outstandingly long branches
are available



Formability of tube
hydroforming of Aluminum
T-fitting
[H.Mizukoshi(Sumitomo
Light Metal,Japan)
1999,2001,2002]

個体充填物を用いた管の圧縮成形における 一般的な液圧成形と比較したときのメリット

- ・比較的簡単な設備(プレス+金型)で実施可能
- ・非常に高速に素材を変形できる
- ・安定に成形可能(圧力制御でなく変位制御となるため)
- ・圧縮場下でプロセス進行するため,
 - ①成形限界上有利
 - ②素材に対して鋭い形状付けが可能
 - ③パイプ枝管成形など, 押出し断面が変化しない製品では容易に大きな押出し寸法が得られる

⇒ 液圧成形では創形できないような形状を得られる

個体充填物を用いた従来の 管の圧縮成型技術 とその問題点

要約:

既に実用されている管の圧縮成形方法には、低融点合金や鉛を管に充填して成形する方法があるが、

鉛フリーの低融点合金は高価であり、また鉛および鉛を含有する低融点合金は環境負荷が大きい

成形時に管の内壁に反応層を形成し、完全な除去のために酸洗が必要となる

等の問題があり、環境問題上、用いられ難くなっている。

鉛の代替物候補と特徴

氷：環境にやさしく安価で、凝固による膨張性があるため、内部欠陥が生じにくく、管内壁に密着させることができる（ビスマスを含有する低融点合金と同じメリット）。しかしながら強度が低く、脆性材である。

砂，粉体：圧縮性がある。圧密されると除去が困難となる。

圧入された水，油など流体：パスカルの原理により等圧となるため、局所的な荷重を支えられない

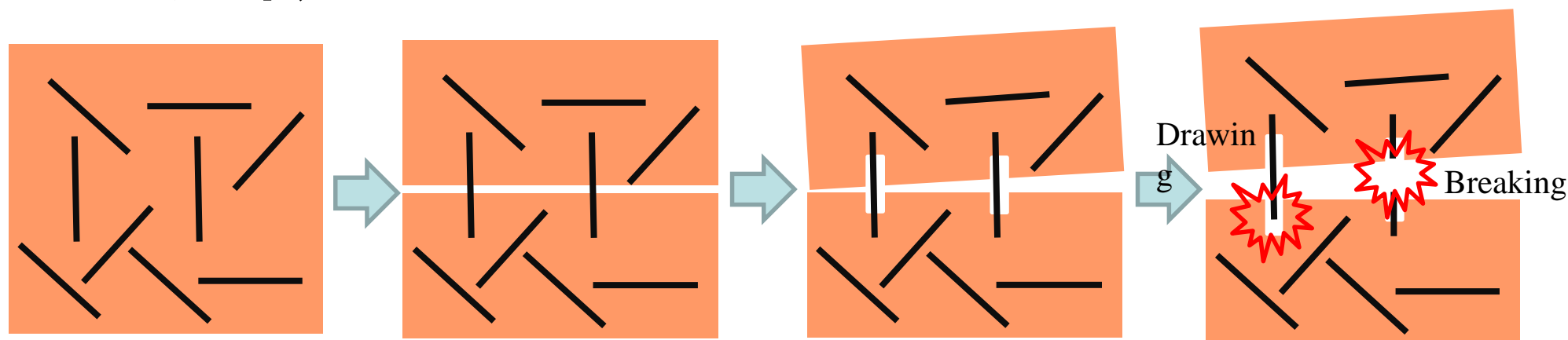
ワックス：圧縮性がある。強度が低すぎる。

塩の粉末：水溶除去できるが、時間がかかりすぎる。

新技術

鉛の代替物として、短繊維で氷を強化した**繊維強化氷**を管成形用充填物として用いる

短繊維による氷の強化メカニズム



- ・短繊維のアンカー効果で、氷マトリックス内のマイクロクラックの進展を抑制する。
- ・氷の圧縮強度は本来たかだか3～5MPa程度なのに対し、繊維強化氷では、鉛や低融点合金に匹敵する20MPa超の圧縮強度が得られる

新技術の特徴・従来技術との比較

- 鉛の代替物として、短繊維で氷を強化した**繊維強化氷を管成形用充填物として用いる**ことで管の圧縮成形を行うことができる。
- 繊維強化氷は、安価で環境にやさしくリサイクル容易である。
- 氷は本来脆性材だが、伸びを許容する繊維によって繊維強化氷は延性材的にふるまうため、金属管の変形に十分追従できる。
- 繊維強化氷は、熱流水で簡単に溶解、洗浄でき、鉛・低融点合金充填物で必要とされた製品の酸洗も必要ない。0℃より高い室温や水中で放置することでも溶解できる。製品を100度以上に加熱すれば水分も完全に除去が可能。

繊維強化氷の例と破壊の様子



(a) Paper-pulp FRI
($C_w=25\%$)



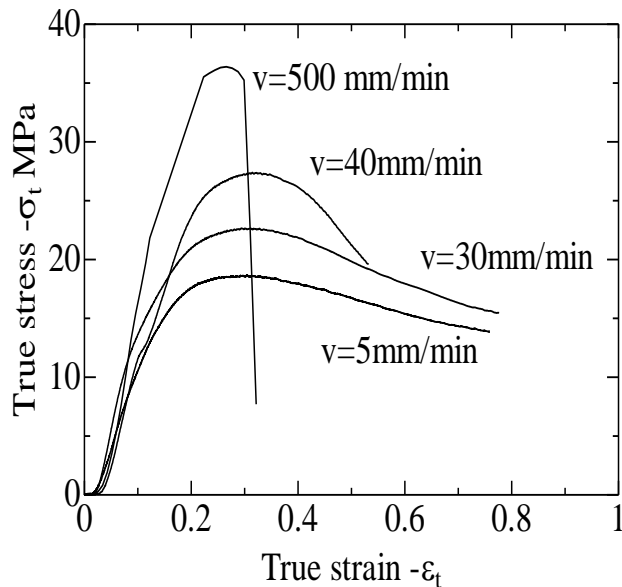
(b) Glass FRI ($C_w=30\text{wt}\%$)



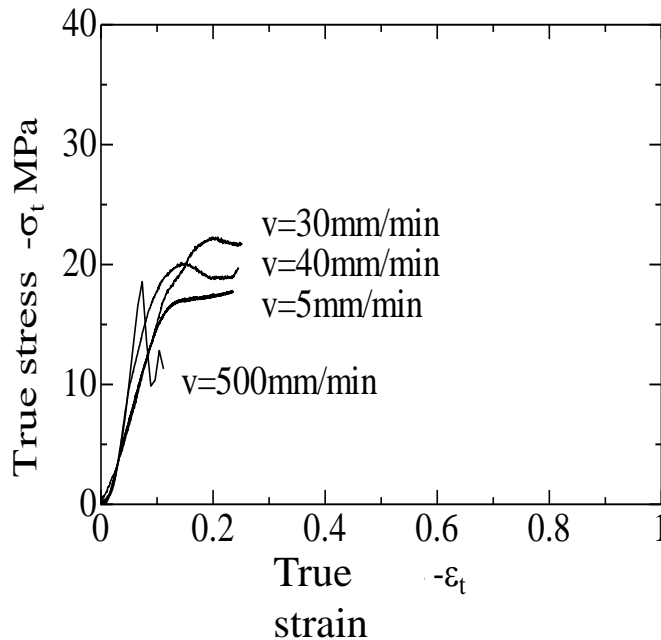
(c) Carbon FRI ($C_w=30\%$)

繊維強化氷の応力-ひずみ線図の例

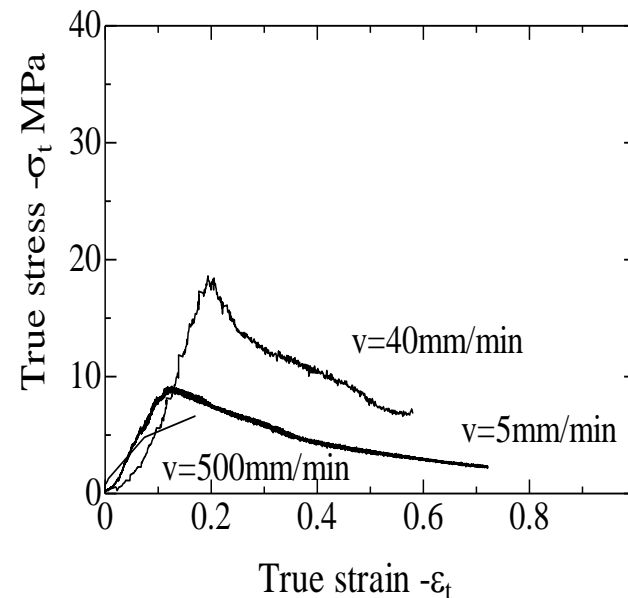
Paper-pulp FRI



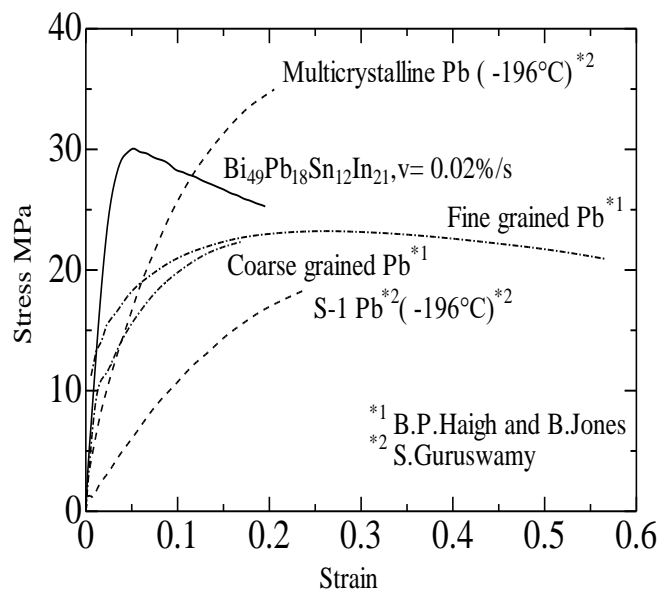
Glass FRI



Carbon FRI



参考：
低融点合金・鉛



繊維強化氷を用いたフリーバルジ成形例

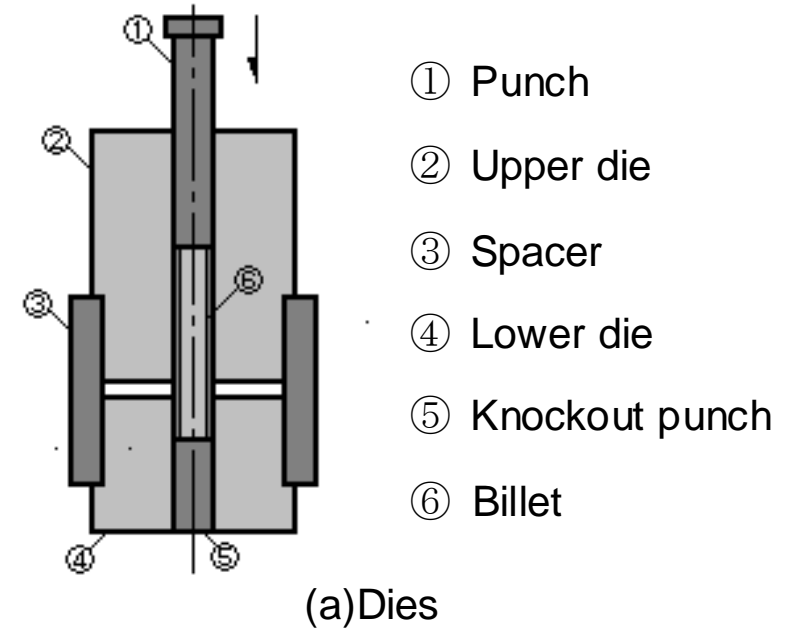
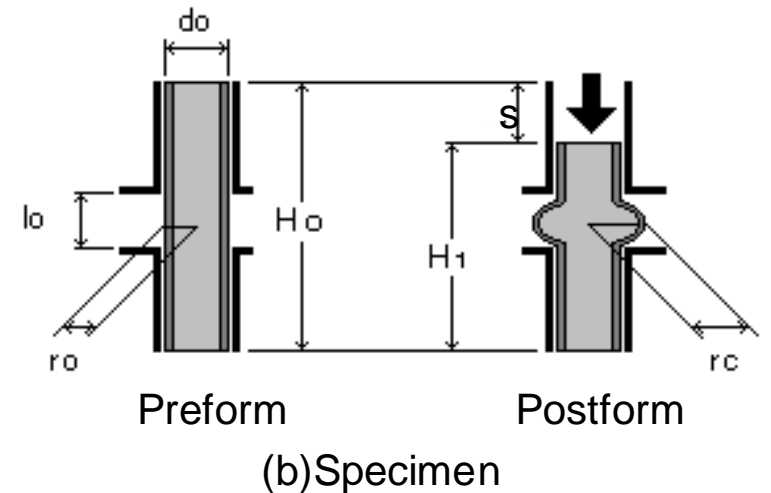
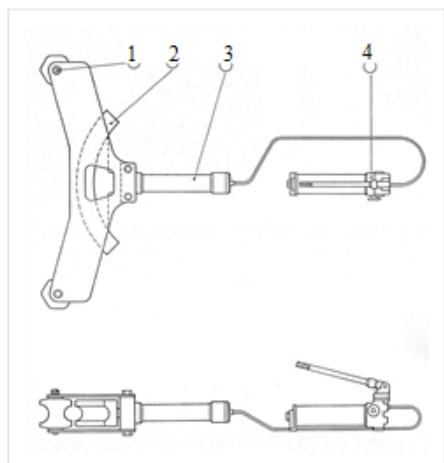


Table Equipment and condition of LELC Validation test

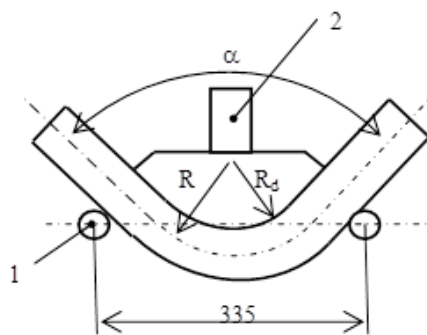
Universal testing machine	Shimazu, UMH-30
Specimen	A6063 annealed pipe (outer diameter 16mm, thickness 1mm) with a lost core of fiber reinforced ice
Lubricant	Sumico, Moly Paste 500 (MoS ₂)
Ram speed	100mm/min
Precooling temperature	-27°C
Testing temperature	Room temperature



3点曲げにおけるSGP鋼管の扁平化の防止



(a) Utilized bender (1. Support, 2. Bending die, 3. hydraulic cylinder, 4. handy hydraulic pump)[5]



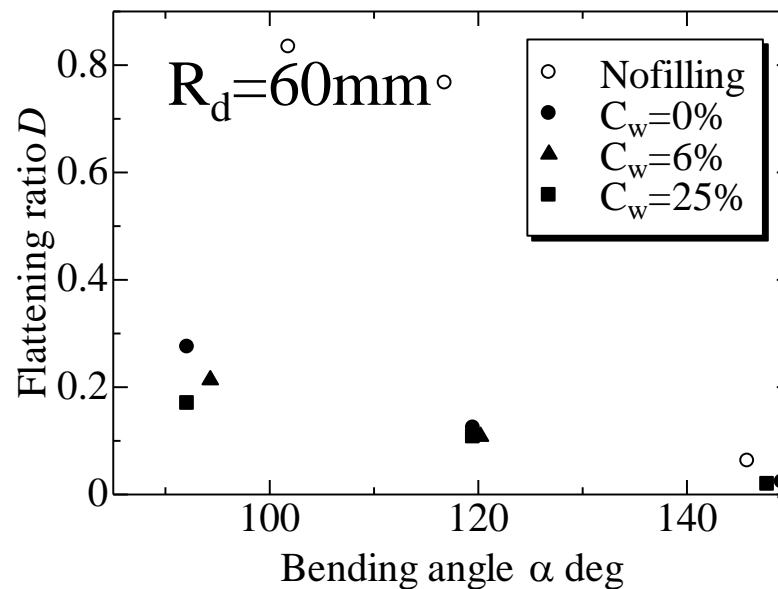
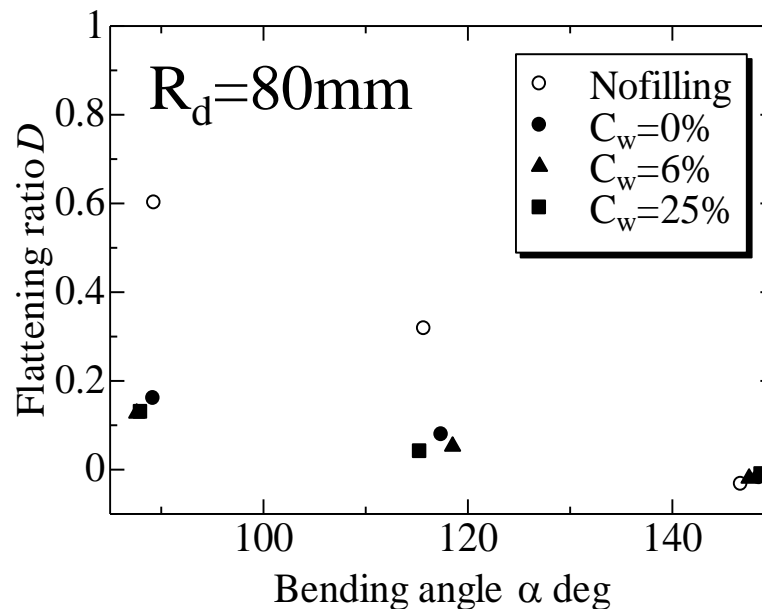
(b) Dimensions of the tube bender die (1. Support pin, 2. Bending die)

$$\text{Flattening ratio, } \mathcal{D} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_0}$$

D_0 : initial outer diameter of a pipe [mm]

D_{\max} : maximum outer diameter of a formed pipe [mm]

D_{\min} : minimum outer diameter of a formed pipe [mm]



想定される用途

- 液圧成形加工機が導入できない中小事業所における、プレス・鍛造設備を用いた中空製品製造（例えば配管部品）に適用する。コストのメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、圧縮成形であることを生かし、引張場下の成形であるハイドロフォームで得られないような製品形状を得ることも期待される。
- また、成形力が小さく抑えられることに着目すると、ハイドロフォームでは成形できないような肉厚部品の成形（中空の自動車用部品）に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、曲げ成形、フリーバルジ成形についてアルミニウム合金管、鋼管について成形実験済み。また、迅速な繊維強化氷の調製法(充填→固化を数秒以内)について、JST A-STEP事業で目途を得た(特許申請準備中)。
- 今後、より高強度な繊維強化氷の調製法について実験データを取得し、量産に適した繊維強化氷の調製法を開発していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、プロセス内での金型・材料の効果的な冷却法について検討していく必要がある。充填材の溶融に要するエネルギーを回収方法についても検討していく。

企業への期待

- 未解決の金型・素材の冷却，迅速な繊維強化氷の調整法の実用化は，一般的な食品冷凍の技術や冷凍空調技術により克服できると考えている。
- 管成形の需要や冷凍空調技術を持つ，企業との共同研究を希望⇒技術の実用の実証ベンチを構築したい。
- また，自動車用中空部品を開発中の企業の展開を考えている企業には，本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 「繊維強化氷とこれを用いた塑性加工方法」
- 特許番号 : 特許第6837655号
- 出願人 : 学校法人国士舘
- 発明者 : 大橋 隆弘

お問い合わせ先

国士舘大学
教務部学術研究支援課

TEL 03-5481-3306

FAX 03-5481-5601

e-mail kenkyu@kokushikan.ac.jp