

空調器用薄肉銅管の諸性能

Properties of Thin Wall Copper Tube for Air Conditioner

The copper tube used in the heat exchanger of the air conditioner is becoming thinner as a result of recent technical advancement. In studying the problems in the use of thin wall tubes the authors manufactured various copper tubes with a minimum wall thickness of 0.25 mm^t and tested their expansion, bending and burst strength and other properties. Test results revealed that no tube trouble occurs that arises from thin wall working so long as the wall thickness is over 0.30 mm^t. Application of copper alloys to these tubes is also discussed.

野口 弘二* *Kôji Noguchi*
 篠原 義広* *Yoshihiro Shinohara*
 渡辺 僚三* *Ryozô Watanabe*
 伊藤 勇雄* *Isao Itô*
 一ノ関共一** *Kyôichi Ichinoseki*

1 緒 言

ルームエアコンのエバポレータおよびコンデンサの構造は一般に銅管とアルミ板を組み立てたプレートフィンタイプである。1970年にアメリカでルームエアコンについての安全規格(Underwriters' Laboratories Standard)が改定された。その内容によると熱交換器に用いる銅管の肉厚についての規定が緩和され、組立て後の耐圧強度を規定して安全性を保証するようになった⁽¹⁾。それまで外径9.5φの銅管の肉厚は0.4～0.5mmであったが、しだいに薄肉化されて現在は0.35t(厚み)がかなり用いられており、8φ×0.30tの銅管さえ量産されている。Olin Brass社(アメリカ)では鉄入り銅合金で強度を向上させ、9.5φ×0.28t銅管を空調器用として生産中と伝えられている。

国内でもエアコン用銅管は薄肉化しつつあるが、高压ガス保安協会の定めた基準により最低肉厚が限定されており、実用されている肉厚は9.5φで0.41tである⁽²⁾。10年前には肉厚0.8tが標準であったから、やはり薄肉化の進行は著しい。さらに今後予想される加工技術の向上、銅管とアルミ管の競合、あるいは資源の有効活用の重要性から、エアコン用銅管の薄肉化は促進されるであろう。

上述のようにエアコン用銅管の薄肉化の動向に対処するため各サイズの薄肉銅管を試作し、その量産性について検討した。また熱交換器組立て作業時に用いられる各種加工法をこれらの薄肉管に適用して試験を行ない、使用時の問題点を予測した。本報が空調器用銅管の最適肉厚を決定するために役だてば幸いである。

2 薄肉銅管の製造

銅管の薄肉化はエアコン製造技術の向上によって可能となったが、その経済的効果は材料費の節減である。しかし同じ外径で肉厚の薄い銅管を製造するためには、銅管メーカーは引抜き加工度を増加する必要がある、材料費の低減がそのままコストの低減につながる訳ではない。この加工費の増加を最小限に押えて需要家の要望にこたえるために、銅管メーカーは薄肉管製造技術の向上に努める必要がある。多本掛けチューブレデューサの採用、コンティニアス ブルブロックによる伸管技術の能率化が銅管薄肉化の時期に各社で進められたことによって、薄肉銅管の経済的意義が高められた。非常に

薄肉な銅管を製造するためには従来の継目なし管よりも条材からの溶接管のほうがコスト的に有利であるとの意見も一部にはある。しかしこれは溶接部の安全性に対する根強い不安があつてまだ競合材の地位を占めるに至っていない。

表1に示す工程によって、外径9.5φで肉厚が0.41t, 0.35t, 0.30t, 0.25tの銅管を製造した。材料は無酸素銅に50～100ppmのリンを添加したリン入り無酸素銅である。ブルブロックで最終サイズまで引き抜いた後、焼鈍してスキンハード処理を行なったものと、レベルワウンドしてから焼鈍したものとがある。薄肉になるにつれて引抜きのときに破断しやすくなるが、適当なパススケジュールを組むことによってすべてのサイズについて量産は可能であることが判明した。

3 薄肉銅管の各種性能

3.1 基本的諸性能

各サイズの銅管の機械的性能は表2に示すとおりで、0.25～0.41tの範囲では肉厚による性能の差は小さい。スキンハード材は焼鈍したレベルワウンド材より耐力がわずかながら向上する。以下に述べる各種加工試験はスキンハード材について行なったものである。

3.2 拡管試験

プレートフィンタイプの熱交換器は穴あけして配列したアルミフィンにヘアピン曲げ加工した銅管を差し込み、ロッドまたはボールで銅管を拡管して組み立てられる。拡管によって銅管は内外径が広げられるとともに長手方向に収縮する。この縮み量と肉厚の関係を示したのが図1である。縮み量は

表1 薄肉銅管の製造工程 エアコン用銅管の製造方式として最新式の量産工程である。

Table 1 Manufacturing Process of Thin Wall Copper Tube

工 程	使 用 設 備
溶 解	全連続低周波誘導炉
鋳 造	全連続鋳造機
熱 間 押 出 し	2,600 t 押出し機
圧 延 伸 管	3本掛けチューブレデューサ
引 抜 き 伸 管	コンティニアス ブルブロック

* 日立電線株式会社土浦工場

** 日立電線株式会社研究所

表2 薄肉銅管(9.5φ)の機械的性能 肉厚による性能の差は小さく、スキン ハード材はレベル ワウンド材より若干耐力が高い。

Table 2 Mechanical Properties of Thin Wall Copper Tube (9.5φ)

肉 厚 (mm)	スキン ハード材			レベル ワウンド材		
	引張り強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	耐 力 (kg/mm ²)	引張り強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	耐 力 (kg/mm ²)
0.41	25.2	48	8.0	24.9	50	6.9
0.35	25.4	47	"	25.2	49	6.8
0.30	25.2	48	7.5	"	48	"
0.25	25.0	50	7.4	24.8	"	6.5

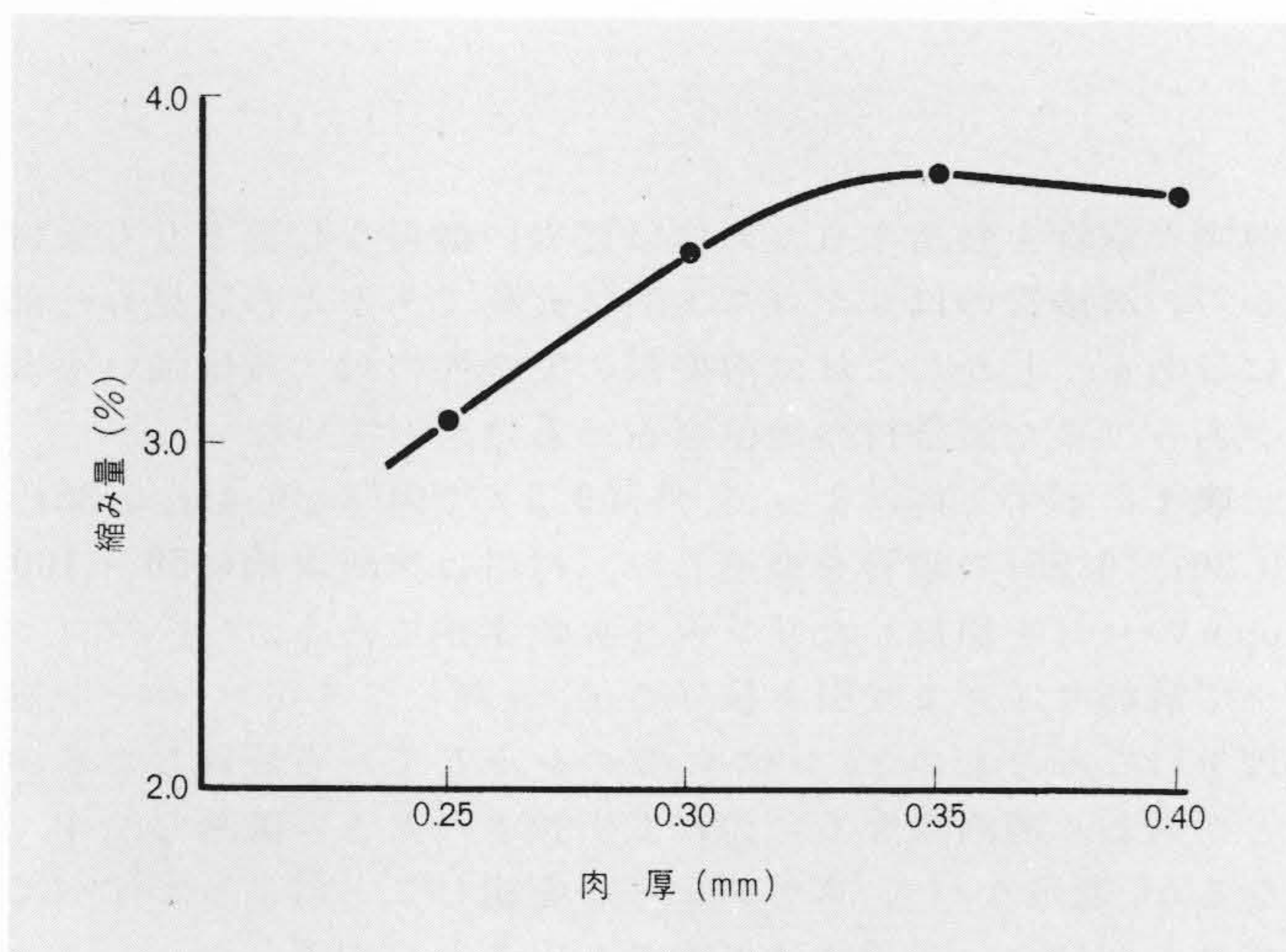


図1 拡管による縮み量と肉厚の関係 9.5φ-400mm長さの銅管を内径で6%拡管すると、肉厚の減少につれて縮み量も減少する。

Fig. 1 Relation between Wall Thickness and Shrinkage After Tube Expansion

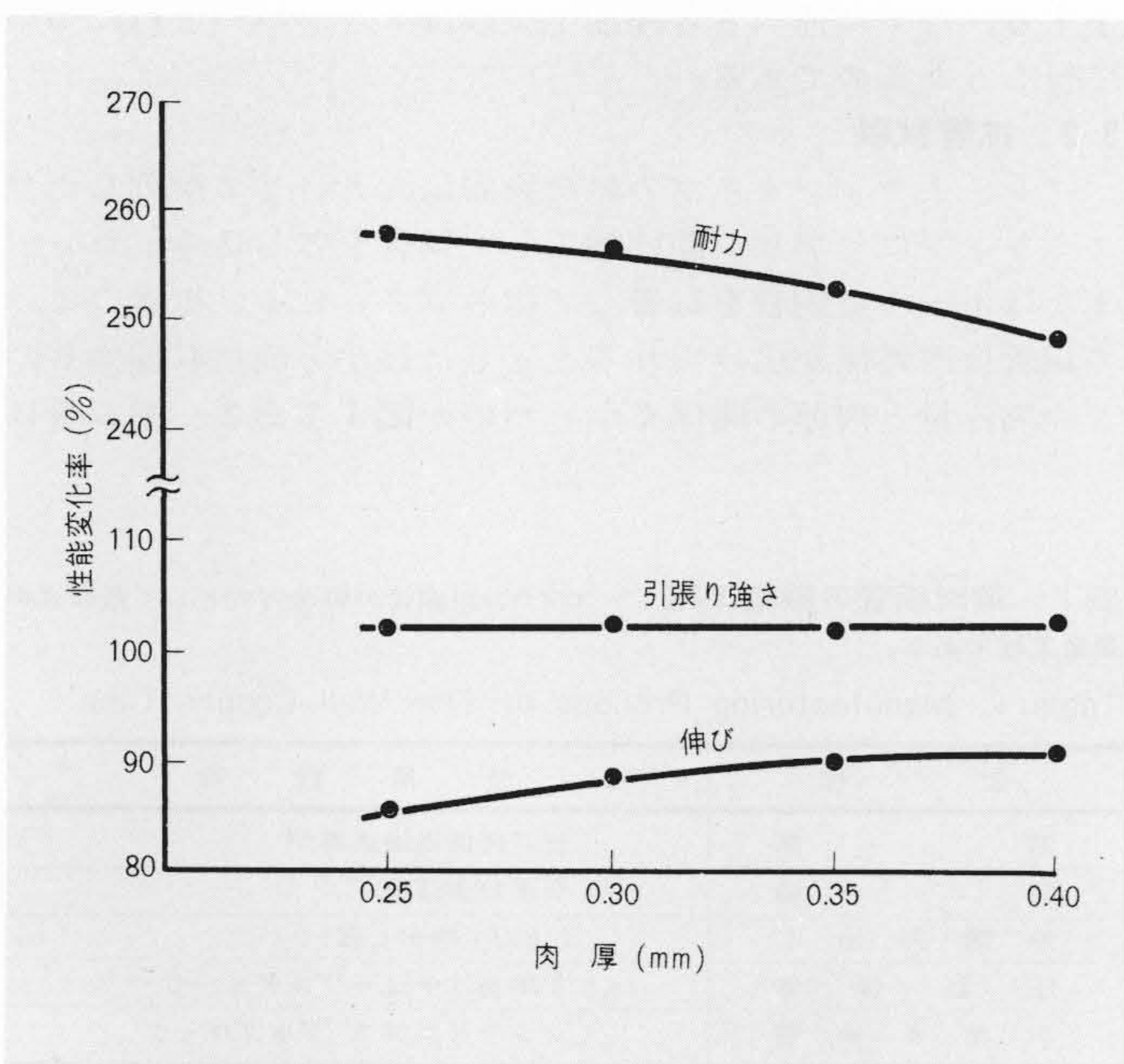


図2 拡管による機械的性能の変化 9.5φ-400mm長さの銅管を6%拡管すると引張り強さ、耐力は増加するが伸びは減少する。

Fig. 2 Mechanical Properties Change After Tube Expansion

0.41t、0.35tでは同じ程度であるが、これよりも肉厚が薄い場合には減少する。この拡管試験においては潤滑したロッドを用いて内径を6%広げる条件で行なったが、これによって肉厚も約1%減少した。

図2は拡管前後における銅管の性能変化を測定した結果を示したものである。伸びは10~15%減少するが、耐力は255%、引張り強さは2%増加する。拡管による肉厚の減少は強度の増加によって補われると考えてよいと思われる。

3.3 フレアリング試験

銅管を接続するときには、管端をベルマウス状に拡管してから他方を差し込んでろう付けする。銅管を薄肉化した場合にはこの拡管時に割れやすくなると予想されるので、各サイズについて管端拡管試験を行なった。図3はベルマウス拡管の結果である。0.25tでも125%以下の拡管率であれば割れを生ずることはないので一般の用途にはさしつかえない。

JIS規格ではコニカル コーンによる拡管で限度を規定しているので、この方法で試験を行なうと図4のようになる。肉厚0.25mmでも50%の拡管が可能で、十分規格値を満足する。

3.4 U-ベンド テスト

一般のエアコン用熱交換器のコイル部はアルミフィンに差し込んだ長いU字銅管(ヘアピン)を短いU字銅管(リターンベンド)でろう付け接続した構造である。リターンベンドはろう付け時の加熱を受けるので、ヘアピンよりも厚肉の銅管を用いる。ヘアピン、リターンベンドは従来スキンハードした直管をパイプベンダで曲げて製造されてきた。最近では整列巻きしたレベルワウンドコイルを銅管メーカーが供給し、エアコンメーカーが矯(きょう)正、切断、曲げを連続的に作業して製造する方式が普及しつつある。

銅管の曲げ加工は装置の方式、工具の形状と調整によって大きな影響を受ける⁽³⁾。薄肉化した場合の問題を調べるため手動のパイプベンダで各サイズの銅管の曲げ試験を行なった。試験の条件は9.5φの銅管を曲げ半径12.7mmで曲げ、心金と銅管内径の差はすべての肉厚で0.2mmと一定にした。曲げ加工した外観は0.41t、0.35tの肉厚では良好であった。図5に示すように0.30tの肉厚でも特に問題はないが、0.25tでは内側に顕著なしわが多くなり、工具の調整でこれを防ぐことがむずかしくなる。

曲げ加工した銅管の肉厚は曲げの外側で減少し、内側で増加する。各位置での肉厚増減率は図6のように、曲げの頂上部(曲げ角度90度)で増減率が最大となる。熱交換器の強度に関係するので特に肉厚の減少率が問題となるが、原管肉厚0.30~0.61tでは22~24%の減少率ではほぼ一定である。肉厚0.25tとなると減少率18%、増加率22%となって傾向が変わるが、これは内側にしわの発生が多くなるためであると考えられる。締付け形と心金を用いて曲げ加工した場合でも、曲げ部は多少つぶれた形になり内部を流れる冷媒の圧力損失を増加する。曲げ加工した部分のつぶれ(外径変化率)を図6のように定義してこれを測定した結果は図7に示すとおりである。薄肉化するほど外径変化率は増加する傾向があり、0.25t肉厚で18%となる。

曲げ部外側の肉厚は減少するが、加工硬化によって材料としての強度は向上する。表3は、曲げ部頂上のかたさを測定して曲げ加工前後における機械的性能の変化を調べ示したものである。推定引張り強さはかたさと引張り強さの関係から求めた。スキン ハード材の引張り強さは表2に示したように約25 kg/mm²であるから、曲げ部頂上の引張り強さは25~35%増加したことになる。

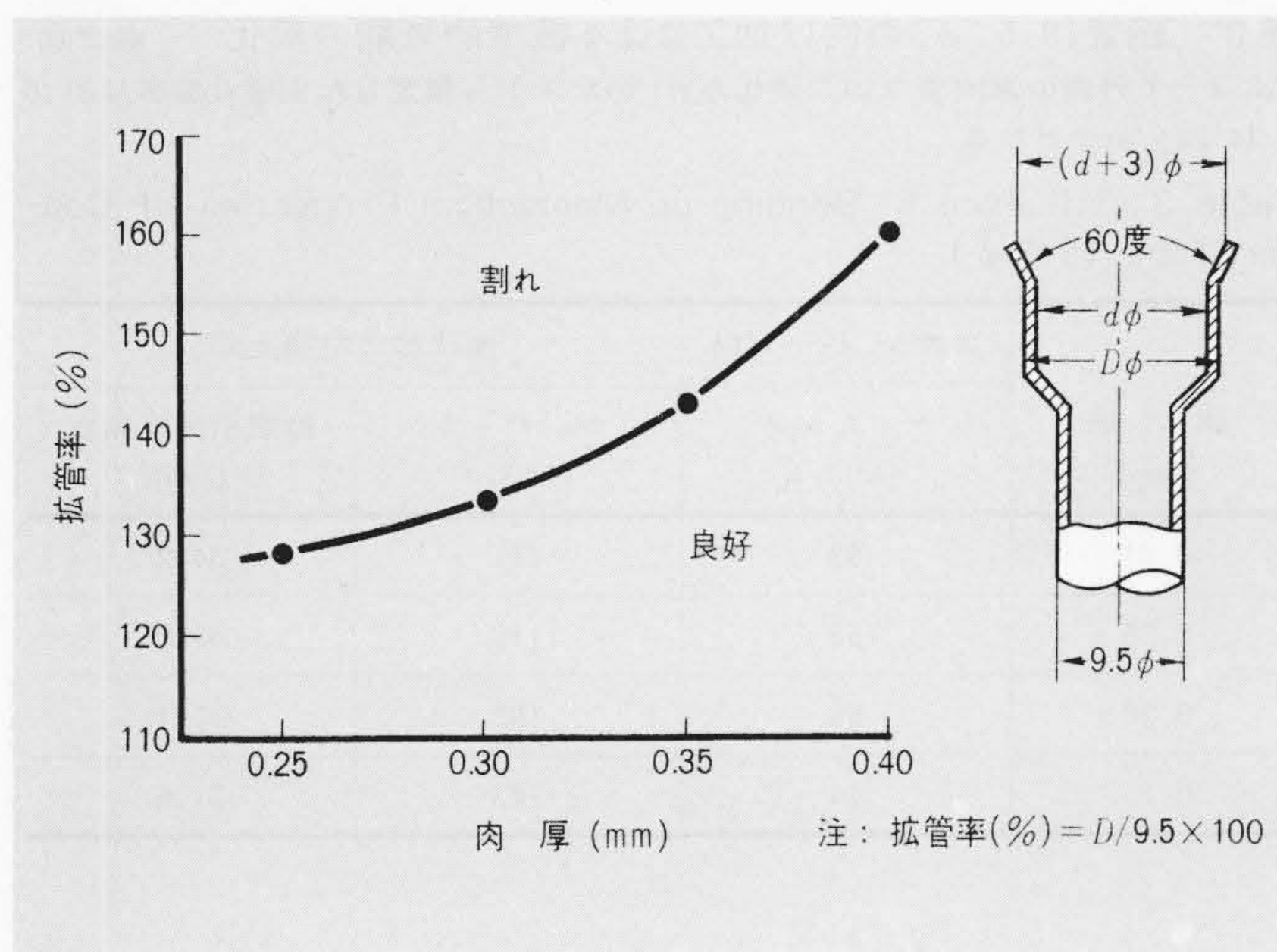


図3 薄肉銅管のベルマウス拡管による拡管限度 薄肉になると拡管限度は低下するが、0.25tでも25%の拡管は可能である。

Fig. 3 Expansion Limit of Bell Mouth Type Tube Expansion

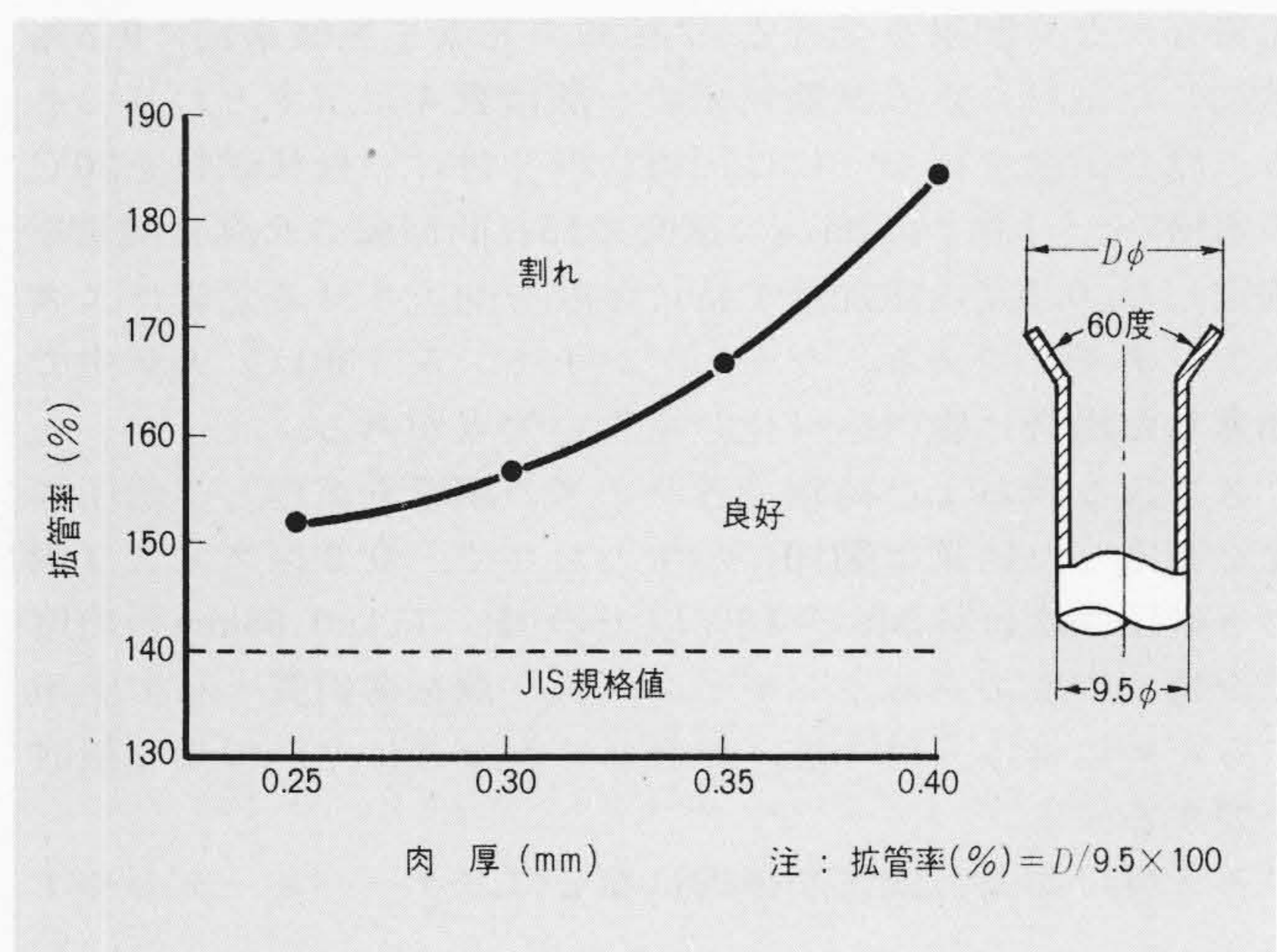


図4 薄肉銅管の円すい拡管による拡管限度 肉厚0.25tでも規格値以上の拡管は可能である。

Fig. 4 Expansion Limit of Conical Mouth Type Tube Expansion

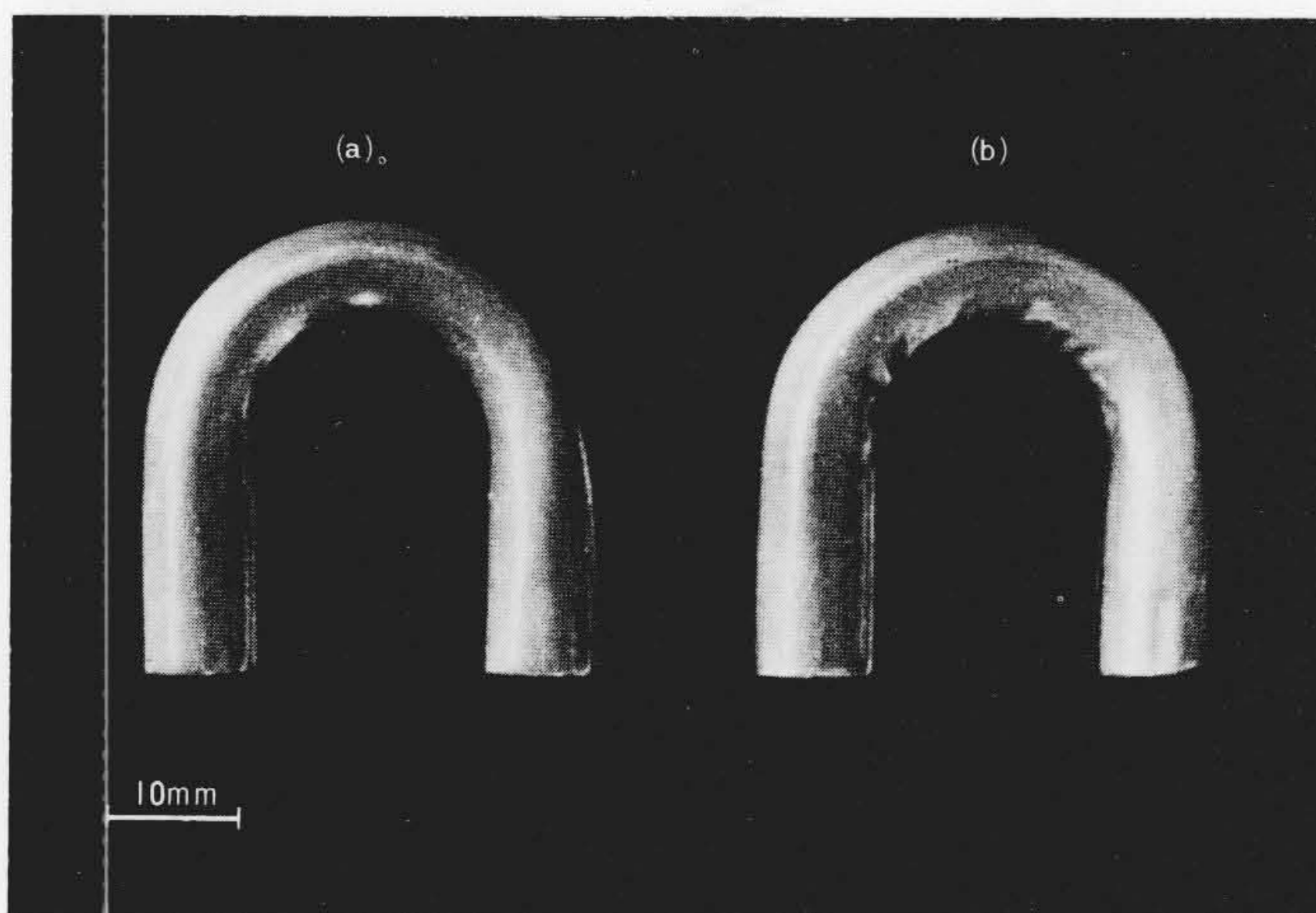


図5 曲げ試験した薄肉銅管(9.5φ) 肉厚0.30t(a)でも異常ないが0.25t(b)になると内側にしわが多くなる。

Fig. 5 Appearance of U-Bended Copper Tube (9.5φ)

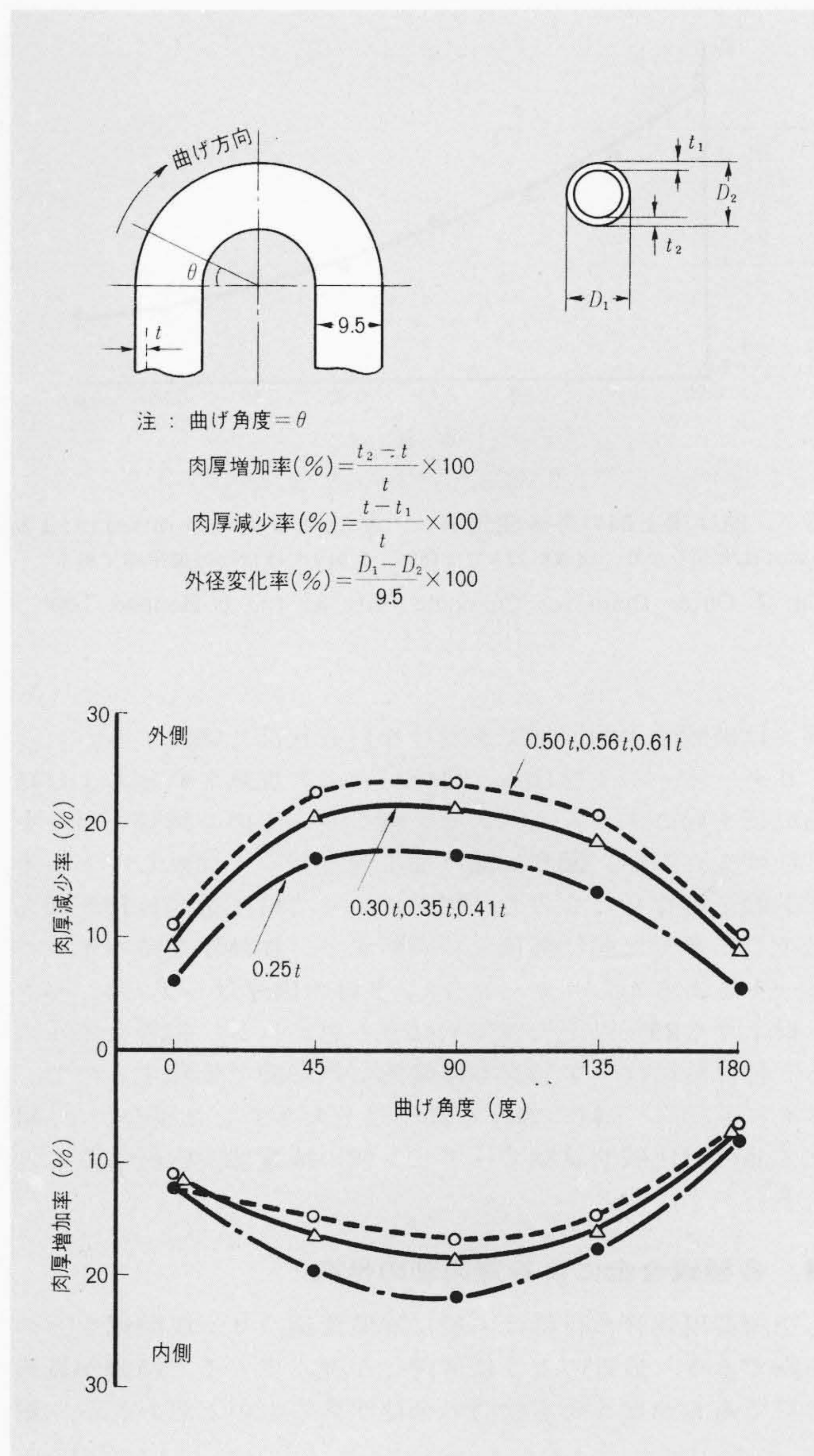


図6 曲げ加工した薄肉銅管の肉厚増減率 曲げ頂上部で増減率は最大となり、0.30～0.41t銅管の肉厚減少率は約22%である。

Fig. 6 Changing Rate of Wall Thickness After Bending

3.5 耐圧試験

薄肉銅管の安全性を確認するため、水圧による耐圧試験を行なった。9.5φ銅管の耐圧強度は理論的に(1)式で与えられる。

$$P = \frac{2 t S}{9.5 - 2 t} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、P：耐圧強度(kg/mm²)

t：銅管の肉厚(mm)

S：銅管の引張り強さ(kg/mm²)

(1)式によってスキン ハード直状管および曲げ加工管の理論的強度を計算した。後者の強度計算には図6に示した肉厚減少率と表3に示した推定引張り強さを用いた。これらの計算値およびスキン ハード直状管について実測した結果は、図8に示すとおりである。直状管の実測強度は理論値より約12%低い。曲げ加工管は外側の肉厚が約22%減少するが、加工硬化による引張り強さの増加が25～35%なので耐圧強度は直状管より向上する。実際に曲げ加工管で耐圧試験すると、曲げ

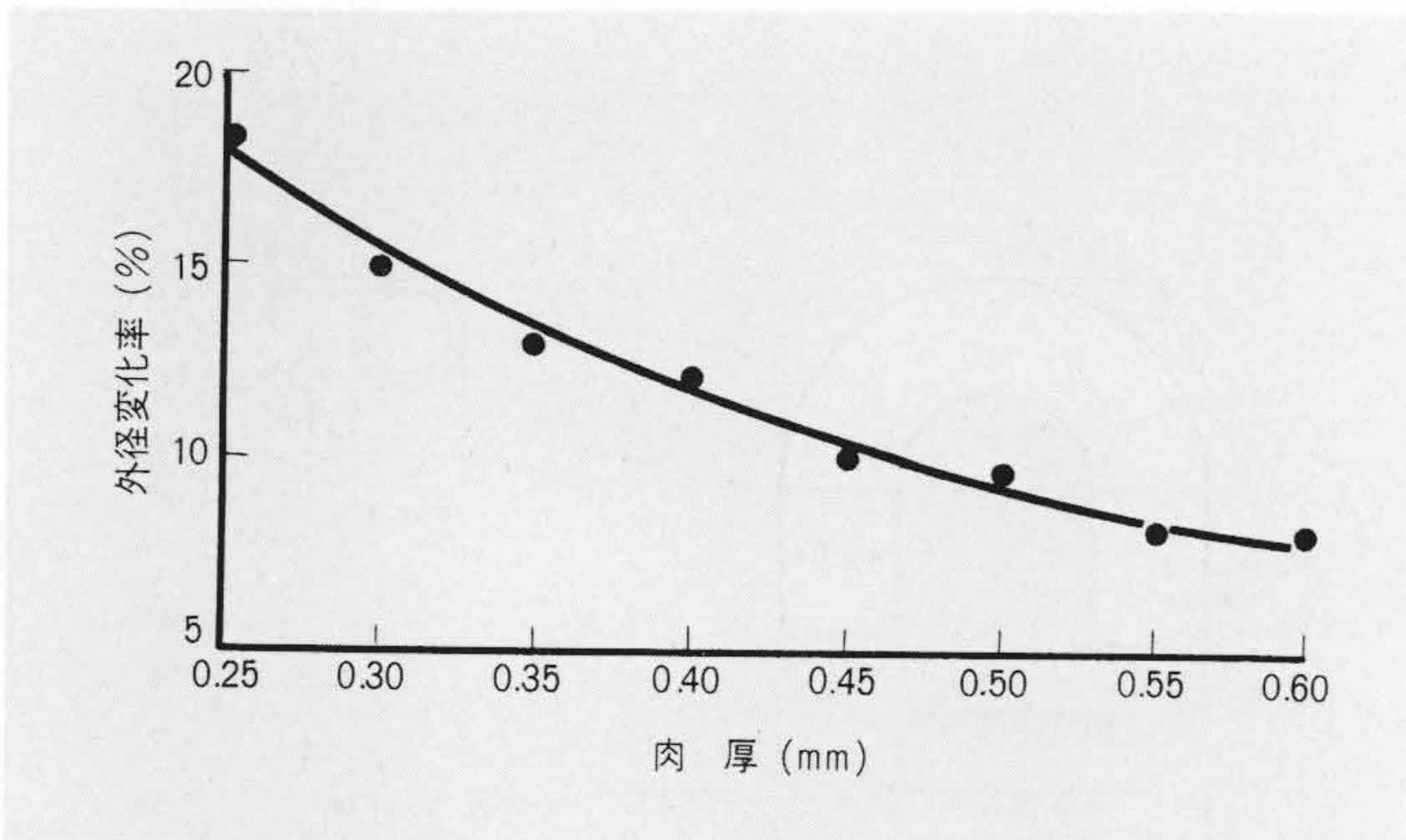


図7 曲げ頂上部の外径変化率 薄肉になるにつれて曲げ加工によるつぶれは大きくなり、肉厚0.25tでは18%、0.41tでは12%の偏平率である。

Fig. 7 Outer Diameter Changing Rate at the U-Bended Top

部では破断せず曲げ加工を受けない直状部で破断する。

リターン ベンド材はろう付けのための加熱で軟化および結晶成長を起こすから、ヘアピン材よりも厚肉の銅管を用いなければならない。図9は曲げ加工管をバーナ加熱してから耐圧試験を行なったもので、加熱によって耐圧強度は18~20%低下し、多くは曲げ部頂上で破断する。加熱作業時のオーバーヒートもあるからリターン ベンド材の肉厚はヘアピン ベンド材よりも25%以上大きくすべきと思われる。銅管コイルのろう付け時にはヘアピンも接続部は熱影響で軟化するので、リターン ベンド材の肉厚を25%以上大きくした場合には、組立て品の耐圧破壊試験でヘアピン側の接続部が破断することが多い。

4 各種銅合金による薄肉管の性能

空調器用銅管の材料は一般に無酸素銅、リン脱酸銅などの純銅である。最近のように薄肉化が進んでくると純銅が最適材料であるかどうか検討の余地があるものと思われる。銅

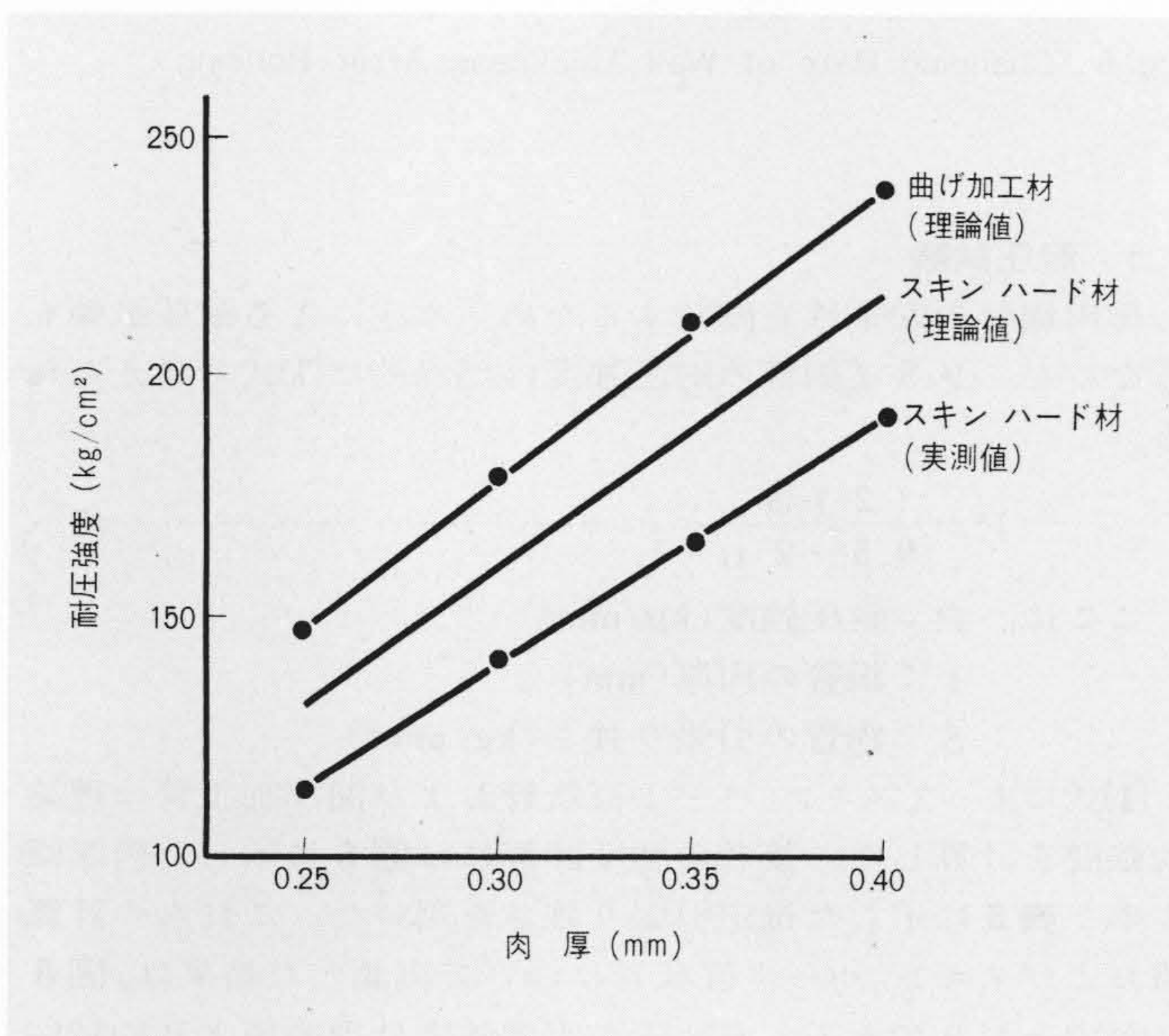


図8 9.5 φ銅管の耐圧強度 スキン ハード材の理論的耐圧強度は実測値より12%高く、曲げ加工材の理論値はさらに10%高い。

Fig. 8 Burst Strength of 9.5 φ Copper Tube

表3 銅管(9.5 φ)の曲げ加工による機械的性能の変化 曲げ加工によって外側の減肉部は加工硬化され、かたさから推定した引張り強さは31.6~34.2kg/mm²となる。

Table. 3 Influence of Bending on Mechanical Properties of Copper Tube (9.5 φ)

肉厚 (mm)	スキン ハード材	曲げ加工材頂上部	
	かたさ (MHv)	かたさ (MHv)	推定引張り強さ (kg/mm²)
0.41	58	111	34.2
0.35	55	110	33.9
0.30	55	105	32.1
0.25	54	103	31.6

材を合金化することによって薄肉管で現われる諸問題を有利に解決することができないかという観点から試験を行なった。このような合金材は耐食性、ろう付け性および熱伝導性をなるべく低下させず、機械的性質を向上させ、しかも量産性のあることが必要である。材料費を考慮すると使用できる添加元素もかなり制限を受ける。7種類の元素を無酸素銅に0.5%添加した試料による試験結果の一部は表4に示すとおりである。腐食試験を行なうには円板に取り付けた板状試料を20°Cの水槽(そう)中で1.3m/sの速度で15日間回転させ腐食減量を測定した。0.5%の添加量で特に強度を向上させる元素はスズとアンチモンである。しかしアンチモン入り銅は、大気中で加熱した場合に脆(ぜい)化しやすい欠点がある。

スズ入り銅および純銅で各サイズの銅管を試作して耐圧強度を測定した結果は図10に示すとおりで、0.3%スズ入り銅でも耐圧強度は純銅より13%以上増加し、ほぼ0.05mmの肉厚差を補う程度である。しかしスズ入り銅を薄肉管として実用するためにはろう付け性、総合コストなどについてなお検討を要する。

ろう付け作業は銅管が薄肉になるほどオーバーヒートしやす

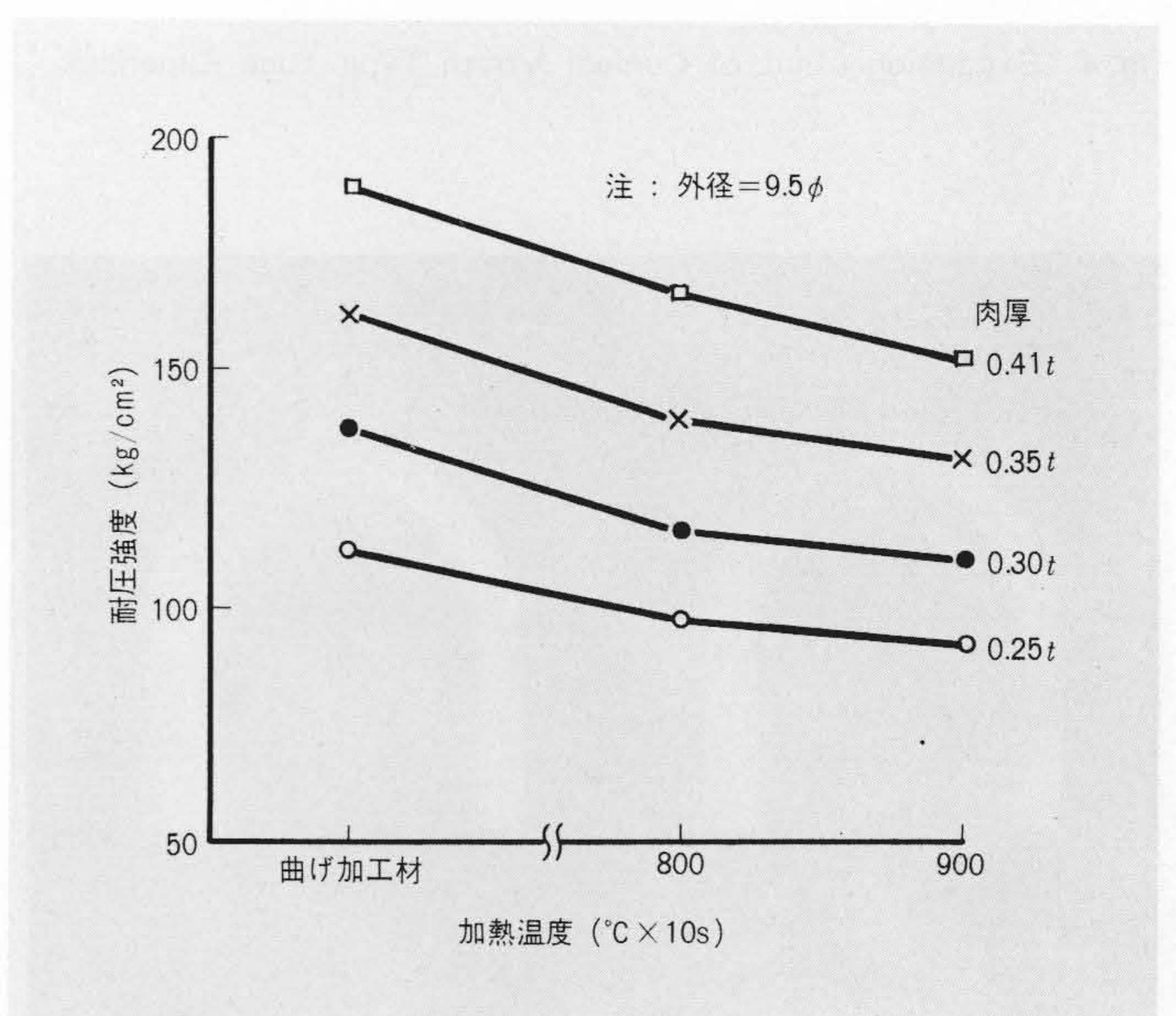


図9 曲げ加工材の加熱前後における耐圧強度 曲げ加工材をバーナ加熱して軟化すると耐圧強度は18~20%低下する。

Fig. 9 Burst Strength Change of U-Bended Tube after Heating

表 4 各種試験用合金材の性能(焼鈍材) 添加量0.5%の各種銅合金では、機械的性質と伝熱性からスズ入り銅が薄肉管として最適である。

Table.4 Properties of Various Copper Alloy Specimens (Annealed)

材 料	引張り強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	導 電 率 (%)	腐 食 量 (mm/Y)
OFC (無酸素銅)	25.2	37.0	101.0	0.0133
0.5%Fe-OFC	26.5	35.7	61.1	0.0035
0.5%Al-OFC	24.8	42.0	56.5	0.0043
0.5%Sn-OFC	27.8	39.1	69.5	0.0074
0.5%Ni-OFC	24.5	38.7	70.4	0.0073
0.5%Sb-OFC	27.5	38.9	54.2	0.0079
0.5%Mn-OFC	25.8	38.8	49.5	0.0081
0.5%Si-OFC	26.7	36.9	29.3	0.0120

いので作業管理がむずかしくなる。肉厚や材質によるろう付け性の差を論ずるためには実験方法を詳細に規定する必要がある。本報での概説は避ける。

5 結 言

ルームエアコンは今後ますます普及していくものと予測されている。一方、この空調器用銅管の肉厚は逐次薄肉化されつつある。この動向に対処して空調器用銅管の薄肉化の限界を検討した結果、外径9.5φでは0.30t以上の肉厚ならば、製造上も加工上も特に問題は認められなかった。

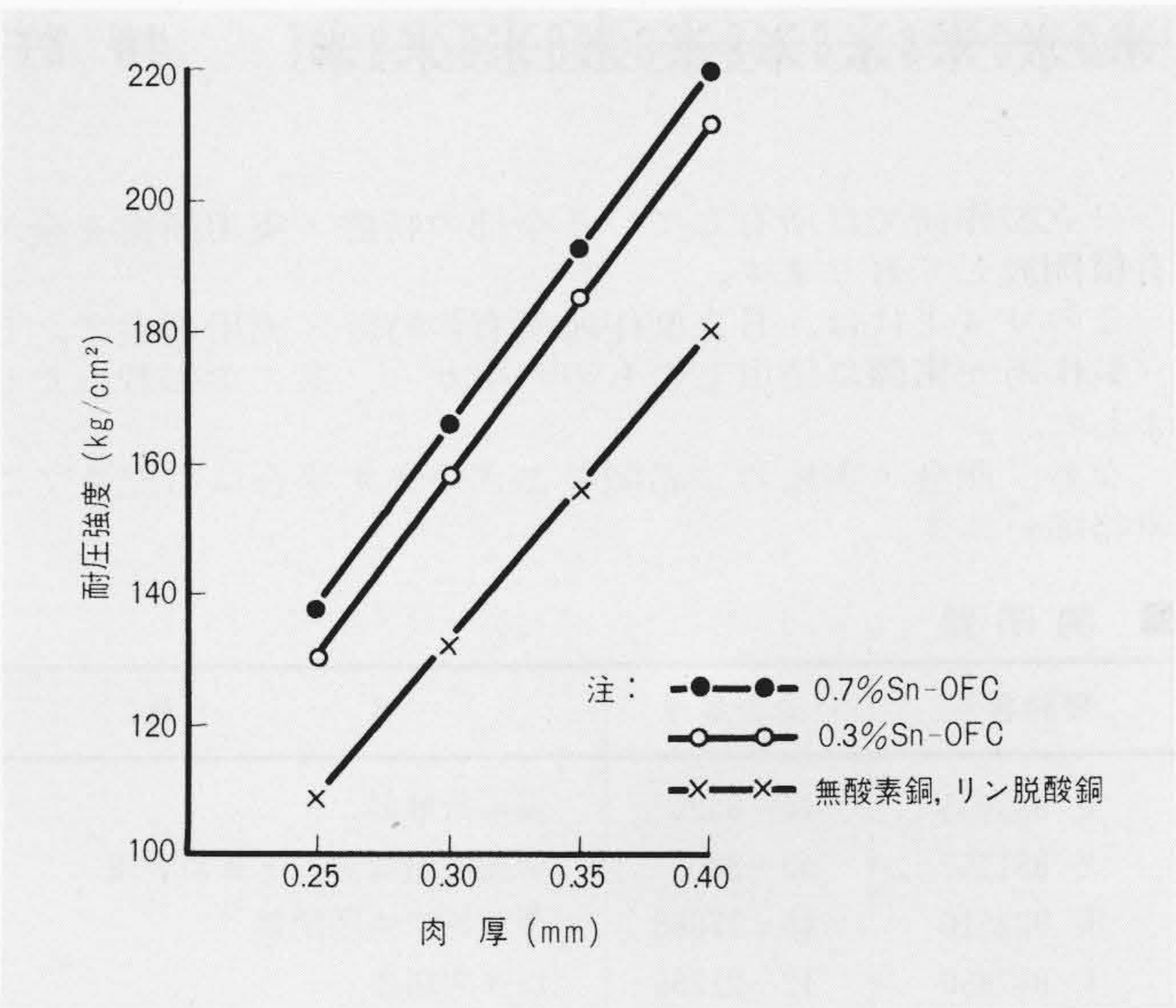


図10 各種材質による薄肉管の耐圧強度 0.3%スズ入り銅の耐圧強度は肉厚が約0.05mm大きい純銅の耐圧強度に相当する。

Fig. 10 Burst Strength of Various Copper Alloy Tubes

参考文献

- (1) UL 484-1970, Room Air Conditioner
- (2) 冷凍装置の構造および試験基準, 高压ガス保安協会 (昭45-12)
- (3) 田所:「パイプ曲げ加工法の種類と工法選定上の問題点」, 非削加工, 2, (1971年4月)

論文抄録

急速加熱焼入れ材の疲れ強さに及ぼす平均応力の影響

日立製作所 早山 徹・吉武博之
日本機械学会論文集 39—319 (昭48-3)

機械装置の高出力化、小形軽量化の動向に伴って、それらに用いられる機械部品はきわめて過酷な条件で使用されるようになってきており、そのため高周波焼入れを施して強度を増大させる手段がひんばんに用いられる。ところが高周波焼入れなどの表面硬化焼入れを施した機械部品の疲れ強さは品物の寸法、形状、熱処理時の加熱および冷却方法などによって複雑に変化し、その推定はきわめて困難である。

一般に高周波焼入れ材の疲れ強さは表面層の微視的組織の改善(かたさの上昇など)による効果と表面層に発生する圧縮残留の効果によって大幅に向上するといわれているが、疲れ強さに及ぼす微視的組織の影響と残留応力の影響とを分離して明らかにした研究はほとんどない。

本研究はこれら二つの因子の影響を正しく分離し、残留応力を有する機械部品の疲れ強さを正確に評価することを目的として行なわれた研究の一部である。

高周波焼入れ材のうち破壊様式が表面からき裂が生じて破断に至る場合に限定し、表面の硬化部のみに着目すれば、残留応力を有する高周波焼入れ部品の硬化層は、残留応力に等しい平均応力を受ける同じ材質の部材と近似的に置き換えることができる。したがって、高周波焼入れ部品の表面層のみを取り出した状態での機械的挙動、特に疲れ強さに及ぼす平均応力の影響を明らかにしておくことは高周波焼入れ部品の強度を把(は)握するうえできわめて重要である。

ここでは高周波焼入れ歯車をおもな対象とし、その表面層とほぼ同じ熱サイクルによって処理(急速加熱焼入れ)された試験片について疲れ特性などの機械的挙動を調べるとともに、高周波焼入れした機械部品の疲れ強さについて考察した。

その結果、以下に示すようなことが明らかとなった。

- (1) 高周波焼入れ材の硬化層の静的強さに関しては焼入れ後焼もどし温度を低くする

ことによりかたさを増していくとHv 560付近で最大値となり、さらにかたさを増すとかえって低下する傾向にある。

(2) 疲れ強さに及ぼす平均応力の影響は材料がかたいほど大きく、したがって材料を硬化させて使用する場合には機械的圧縮平均応力または圧縮残留応力のもとで使用することが望ましい。特に引張残留応力のもとで使用すると硬化したことがかえって逆効果になることがある。

(3) かたさの増大による疲れ強さの上昇には限界があり、残留応力がない状態での両振り疲れ強さの上限は50kg/mm²程度である。

したがって、これ以上の疲れ強さを得るためには表面に圧縮の残留応力を生じさせる必要がある。

(4) 以上の結果から、機械部品の高周波焼入れ条件の選択に際しては、表面層に大きな圧縮残留応力を生じさせることに重点を置くべきである。