

新たな建築設備用配管としてのフェライト系ステンレス鋼鋼管(SUS430LX-TP)の紹介

君塚 光文
ネクストパイピング(株)

1. はじめに

建築設備用配管の分野では、配管設備のイニシャル費用を極力抑える傾向から主に炭素鋼鋼管が使用されている(約90%といわれている)。

一方、建築物は100年住宅を謳い文句とする住宅メーカーもあるように、長期耐用を要求する傾向が強まりつつある。この傾向は建築の付帯設備でも同等であり、高機能で安価な製品の開発が急がれるところである。

(1) 建築物は今後、スクラップ&ビルドから地震・災害に強い長期耐用の対応を要求されると予測される。一部、耐食性を重視する用途にステンレス鋼鋼管(SUS304)が使用される場合があるが、経済性の観点から炭素鋼鋼管やライニング鋼管および樹脂管が主に使用されている。これらの配管材料は耐用年数と継手などの耐久性から、寿命は20年程度といわれている。

一方、建築物はますます長寿命化傾向に進んでおり、建築設備用配管にも一層の長期耐久性や高機能性が要求される。

(2) フェライト系ステンレス鋼鋼管(SUS430LX)は、近年の精錬技術の進歩によりSUS430の成分の低炭素化および安定化元素を添加することにより、耐食性、溶接性、加工性等の品質を向上させた配管材料として、建築設備用の新たな配管システムとして提案するものである。

フェライト系ステンレス鋼鋼管を使用した建築設備業界初の実績例として、新技術・新製品をここに紹介する。

(3) ネクストパイピング(株)は、上記のような時代の流れを先取りし、従来の炭素鋼鋼管からニッケルを含まないことで経済的メリットのあるフェライト系ステンレス鋼鋼管(SUS430LX)を長寿命で軽量かつ安価な建築設備用配管として、提供・普及させるために設立された会社である。

2. フェライト系ステンレス鋼鋼管とは

2-1 ステンレス鋼耐食のしくみ

ステンレス鋼が「錆びにくい」のは、含有されているクロム(Cr)の高い耐食性によるものであ

る。鉄にクロムを添加すると、鋼の表面に薄い保護皮膜（不動態皮膜）が生成され（図-1）、適切な環境で使用されれば腐食しないので（高耐食性が確保され配管長寿命化）、適切な用途選択をすれば優れた特性（高耐食性）を発揮する（図-2）。

ステンレス鋼には、大別すると、ニッケルを含むオーステナイト系ステンレス鋼（代表鋼種：SUS304）とニッケル（Ni）を含まないフェライト系ステンレス鋼（代表鋼種：SUS430）がある。フェライト系ステンレス鋼でも水配管に要求される

最も重要な特性である耐食性は、クロム添加による不動態皮膜で確保され、適切な環境で用途選択して使用すれば、錆びにくく、優れた特性を発揮する。

耐食性の比較で、電位が高くなると錆びにくくなり、フェライト系ステンレス鋼鋼管(SUS430LX)は炭素鋼鋼管SGPに比較して高耐食性である（図-3）。

2-2 フェライト系ステンレス鋼の低炭素化 鉄と違いステンレス鋼は鋼中の炭素が障害にな

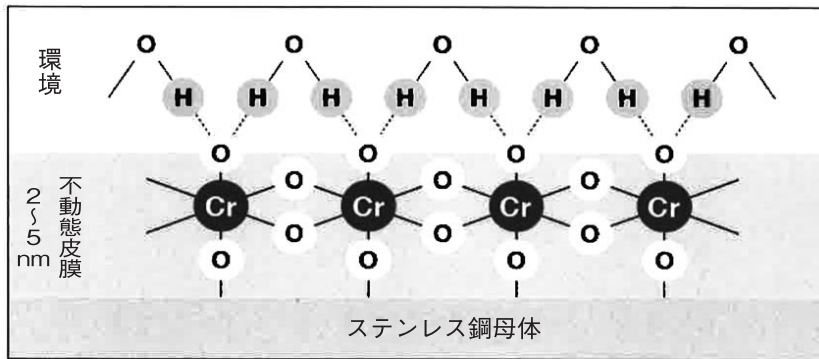


図-1 ステンレス鋼不動態皮膜の模式図

- ◎素地材のクロム（Cr）が外界の酸素（O）と結合し、表面に厚さ2～5nmの薄い不動態皮膜（保護皮膜）を形成⇒この不動態皮膜が腐食の発生を防止。
- ◎不動態皮膜は、 $Cr_2O_3 \cdot nH_2O$ で表される網目構造の酸化皮膜（水和オキシ水酸化クロムが中心）。
- ◎不動態皮膜は、一般環境下では自己補修能力があり、物理的に破壊されても瞬時に再生するため、耐食性が維持される。

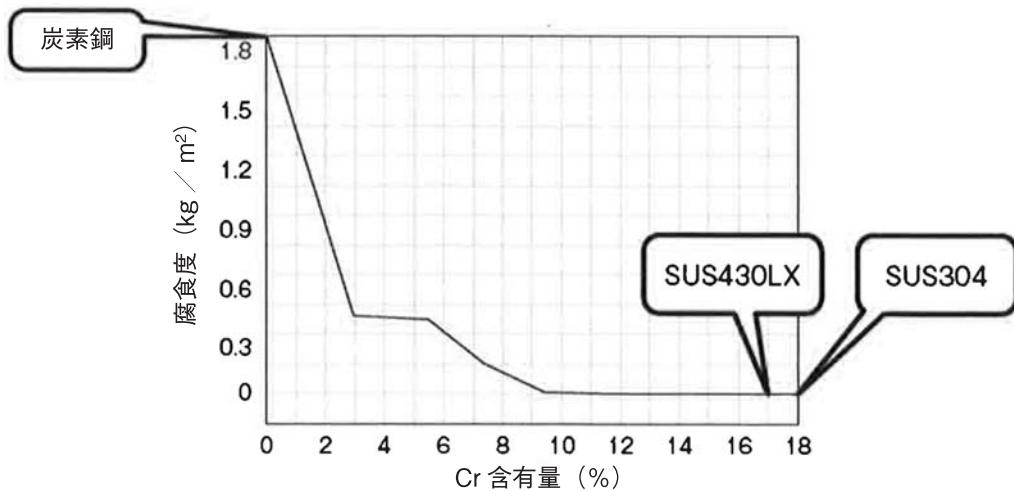


図-2 大気中におけるFe-Cr鋼の耐錆性

Fe-Cr鋼中のCr含有量と腐食量との関係（ステンレス協会：「ステンレスの初歩2015」¹¹）
鋼中にCr含有量が増加すると錆びにくくなり、10%以上になると優れた耐食性を有する。一般にCrを10.5%以上含んだ鉄合金をステンレスという。

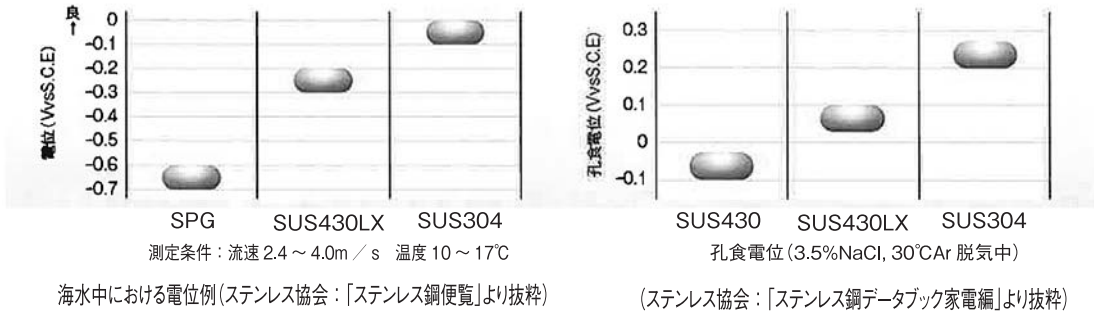


図-3 SGP・SUS430LX・SUS304の孔食レベルの比較

表-1 フェライト系ステンレス鋼鋼管とオーステナイト系ステンレス鋼鋼管の化学組成、機械的性質の比較

	化学成分値 (%)				機械的性質	
	C	Cr	Ni	Ti or Nb	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
フェライト系ステンレス鋼 SUS430LX-TP	0.030 以下	16.00 ~ 19.00	-	0.10 ~ 1.00	360 以上	20 以上
オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304-TP	0.08 以下	18.00 ~ 20.00	8.00 ~ 11.00	-	520 以上	35 以上

る。その主な理由は、不動態皮膜を形成するクロムが、溶接加工時の熱や使用時の温度などの作用により炭素と結合して炭化クロムをつくり、周囲のクロムを減少させ、腐食などの原因となるためである。

しかし近年の技術革新により、ステンレス鋼の製造（精錬）で低炭素化が進み、さらにチタンやニオブなどの安定化元素を添加することによって、溶接時の組織変化やクロム炭化物の析出を防止し、フェライト系ステンレス鋼の耐久性、加工性の向上が大幅に図られた高純度フェライト系ステンレス鋼（または特殊フェライト系ステンレス鋼）と称される鋼種が開発、需要開拓され、厨房機器、家電製品、自動車用排ガス装置他、用途が拡大している。当社が次世代配管材料として提案する鋼種SUS430LXも、高純度フェライト系ステンレス鋼のグループである。

2-3 フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) とオーステナイト系ステンレス鋼鋼管 (SUS304) との比較

- 1) 化学組成、機械的性質の比較 (表-1)
- 2) 現存の建築設備用配管は炭素鋼鋼管が主に使

用されているが、一部（約10%）では安心・信頼の観点から病院、食品工場等の配管にはオーステナイト系ステンレス鋼鋼管 (SUS304系) が使用される場合がある。

3) フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) とオーステナイト系ステンレス鋼鋼管 (SUS304) の比較

- ①SUS430LXは、適切な環境下（残留塩素が低濃度）ではSUS304に近い耐食性が確保される。
- ②SUS430LXの軽量化による施工性・安全性の向上がSUS304と同レベルで可能である。
- ③SUS430LXは高価で価格変動のあるニッケルを含有していないので、価格低減および価格安定化が図れる。
- ④加工に際して、オーステナイト系ステンレス鋼特有の応力腐食割れに対する残留応力の影響を心配する必要がない（フェライト系ステンレス鋼では応力腐食割れは認められない）。
- ⑤0 ~ 100°C平均熱膨張率が、SUS430LXを1.0とすると、炭素鋼は1.2、SUS304は1.7であり、高温排水配管、蒸気配管など熱サイクルによる熱疲労が懸念される用途に最適である (図-4)。

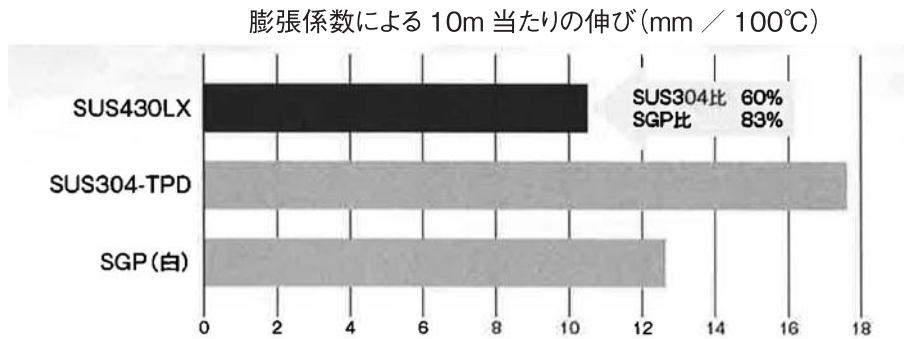


図-4 フェライト系ステンレス鋼，オーステナイト系ステンレス鋼，炭素鋼の平均熱膨張率

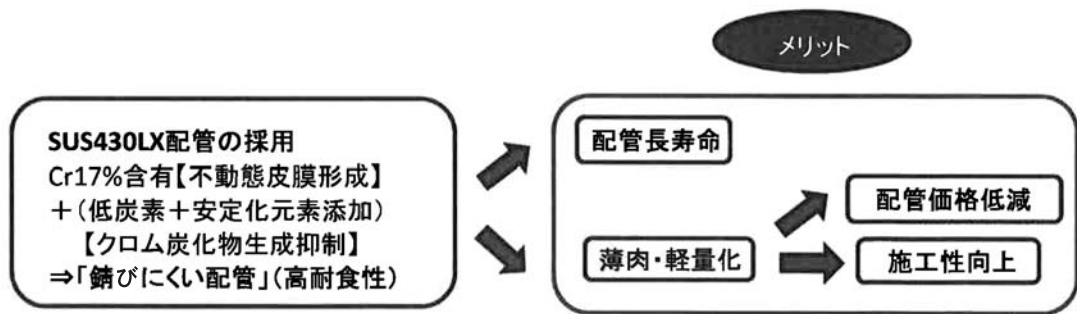


図-5 フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX-TP) 採用のメリット (炭素鋼鋼管との置き換え)

⑥SUS430LX配管の使用温度は、0°C (水の融点) ~130°C (一般的な継手パッキンの耐熱温度) の水配管であれば問題なく使用できる。

3. フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX-TP) 採用のメリット (図-5)

従来、建築設備で使用されている炭素鋼鋼管SGP (白) を、Cr-17%と少量のTiを含むフェライトステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) に置き換えると、耐食性があり、配管の長寿命化および薄肉・軽量化によりコスト低減を図ることができる。

[炭素鋼鋼管からステンレス鋼鋼管に置き換えた場合の優位性]

- ①高耐食性 (長期耐久性) => 配管長寿命 (建築物更新サイクルの延長)
- ②流量係数大 (摩擦損失が小さい) => 配管サイズダウンの可能性
- ③薄肉化=> 軽量化によるコストダウン・施工性改善の可能性 (工期短縮, 施工性・安全性の向上)

④ (炭素鋼鋼管の) 塗装, メッキ, ライニングの剥離リスク回避

3-1 配管の長寿命化

1) 配管の耐用年数

炭素鋼鋼管は、腐食による配管の減肉経年劣化により、配管寿命が20年程度に対して、ステンレス鋼鋼管は適切な環境下 (残留塩素が低濃度) で使用すれば減肉がほとんどなく、ステンレス協会では、ステンレス配管の寿命を最低40年と設定している (図-6)。

その根拠は、メカニカル継手に使用されているゴムガasketの耐用年数に関係している。現在、メカニカル継手に使用されているゴムガasketは、種々の実験から80°Cで40年以上という耐用年数が導き出されている。また、使用水温が常温 (25°C前後) であれば100年で設定することも可能である (ステンレス協会:「ステンレス配管ガイド」²⁾)

2) 炭素鋼鋼管 (SGP白) とフェライト系ステン

レス鋼鋼管 (SUS430LX) との耐食性の比較

建築設備用配管として従来使用されている炭素鋼鋼管 (SGP白) をフェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) に置き換えた場合の耐食性について、外装建材の耐久性評価方法として広く普及している塩水噴霧試験 (複合サイクル試験) にて発錆の程度で比較評価をした。

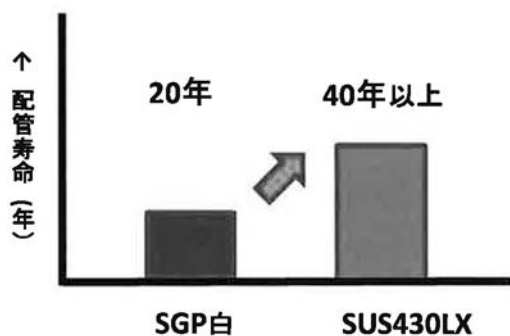


図-6 炭素鋼鋼管・SGPとSUS430LXとの耐用年数の比較

表-2 複合サイクル試験条件
(8 Hr/サイクル×30 サイクル)

1. 塩水噴霧 (温度 35±1℃, NaCl 50±5g/L)	2 Hr
2. 乾燥 (温度 60±1℃, 20~30%RH)	4 Hr
3. 湿潤 (温度 50±1℃, 相対湿度95%RH以上)	2 Hr

炭素鋼鋼管 (SGP白) は全面腐食が観察されたが、フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) は腐食がほとんど観察されなかったことから耐食性に優位が認められる (表-2, 3, 図-7)。

3-2 配管の薄肉・軽量化と配管価格の低減

1) 配管の軽量化

フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) は高耐食性で腐食しにくいので、減肉がほとんどなく、配管厚さ (肉厚) は腐食代をとる必要がないので、配管肉厚が薄肉、すなわち軽量化できる (図-8)。また、軽量化に伴い、現場施工の負荷軽減、安全にも寄与する (建築業界では現場施工者の高齢化が進み、配管の軽量化が望まれており、ニーズに合致する)。

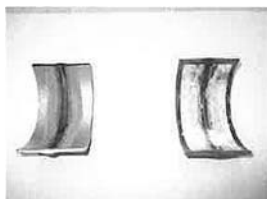
2) 配管価格の低減

フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) は、建築設備用配管で主に使用されている炭素鋼鋼管 (SGP白) に対して、配管長さ当たりの価格は炭素鋼鋼管 (SGP白) とほぼ同等になる。また、高耐食性であり、配管の長寿命による更新時期長期化でLCC (ライフサイクルコスト) の低減が図れる (図-9)。

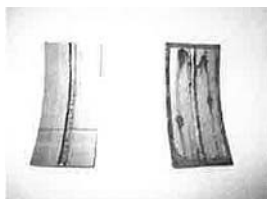
表-3 試験結果

試験No., 試験部材	試験結果 (試験後の外観観察)	腐食生成物増量
SP- 1 (SGP白)	著しく赤錆 (腐食生成物) が発生	1.3g増量 (0.4%増量)
SP- 2 (SUS430LX)	若干の赤錆が発生	0.0g増量 (0.0%増量)

①SP-1 (SGP白)



②SP-2 (SUS430LX)



【噴霧面】

【噴霧背面】

(a) 噴霧前 (b) 噴霧後 (a) 噴霧前 (b) 噴霧後

図-7 炭素鋼鋼管 (SGP白) とフェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) との複合サイクル試験

パイプ重量は炭素鋼鋼管に比較して約2分の1になる

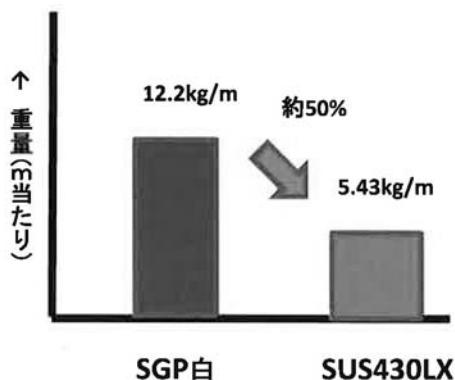


図-8 炭素鋼鋼管・SGP白とSUS430LXとの重量比較 (サイズ100Aの場合)

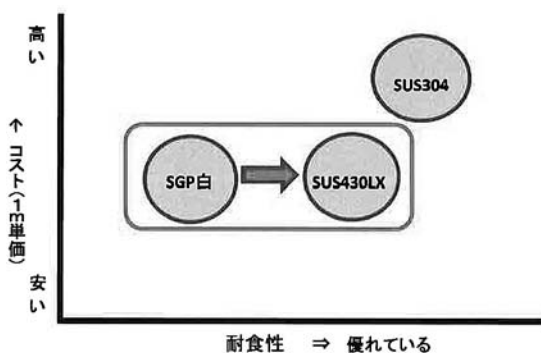


図-9 炭素鋼鋼管・SGPとSUS430LX, SUS304 とのコスト比較

4. フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) の対象用途および納入施工実績

配管の腐食要因は主に残留塩素、溶存酸素等で、フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) の用途としては補給水が少なく残留塩素が低濃度の範囲 (自然電位が低い) の環境での用途を適用範囲としている。納入実績としては、空調設備、雨水設備等を主に提供している (表-4, 写真-1)。

用途としては、大型建築物の雨水排水管をはじめとして、セントラル空調分野における冷温水配管や冷却水配管 (密閉式) などでも採用が増えている。特に雨水排水配管は近年の豪雨の影響および国土交通省の雨水の利用の推進に関する法律 (平成26年5月1日施行および平成27年3月国土

交通省告示) により導入が促進され、フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) の大口径配管の採用が増えている。

5. フェライト系ステンレス鋼鋼管の現場接続方法 5-1 CFジョイント (中大口径)

「CFジョイント」は当社のパートナーであるノーラエンジニアリング(株)が製作・販売中である。

1) 配管の接続方法は、ねじ込み式、溶接式、フランジ式、メカニカル継手、ハウジング接続、フレア継手等、配管の種類に応じて各種の接合方式がある。

2) フェライト系ステンレス鋼鋼管 (SUS430LX) の接続において、中大径配管 (サイズ65~300A) 用にはCFジョイント (次世代型管端つば出し管継手) 等を適用し、予め工場でのプレハブ加工管として製作して施工現場へ提供している。配管の接続には、従来は現場での溶接作業が必要であったが、独自の「つば出し加工:CFジョイント」により現場での溶接を不要とし、ボルトとナットの接合だけでのプレハブ工法を業界で初めて開発・商品化し、国土交通省の共通仕様書にも掲載された。実用新案取得済み、東京都からのベンチャー技術大賞奨励賞を受賞している。

3) CFジョイント (次世代型管端つば出し管継手) は、管端部を直接つば出ししてルーズフランジの接合面にステンレス製補強リングを挟みこみ、補強リングの内側には、流体が面する側にV字の切れ込みを入れたセルフシール形ガスケットが付属し、内圧がかかるとV字が広がることで優れた止水性を発揮する。また、フランジの接続はボルトを補強リングに当たるまで締め付ければよい。目視でメタルタッチを確認できるためトルク管理は不要である。さらにボルトの本数も少なくし、形状も小型化した (従来型の管端つば出し管継手は水封を保持するため、ジョイントシート形ガスケットの締め付け面圧を大にしなければならなかった)。

従来型に比較して下記の優位性がある。

①安全性 (止水性、抜管対策)

- ②コンパクト化（軽量化：フランジ重量2分の1～3分の1，締め付けボルト本数2分の1）
- ③施工の省力化
- ④低価格
- 4) 従来型管端つば出し管継手とCFジョイント（次世代型管端つば出し管継手）の比較
現場での接続工法の事例を写真－2，3，図－10，11に示す。

5-2 転造ねじ（小口径）

1) 小径配管（サイズ50A以下）のパイプ接続の現場施工においては一般的に切削ねじ加工方式が採用されているが，フェライト系ステンレス鋼管は薄肉のため，現場施工には適用できない。これを解決すべく，切削ねじにかわる「転造ねじ」を開発して，フェライト系ステンレス小径配管のねじ込み式接続を可能にした。

表－4 フェライト系ステンレス鋼管（SUS430LX）の対象用途

用途	適応（残留塩素濃度）	考え方および特記
空調設備（密閉循環式冷水，温水・冷温水・冷却水）	適応（低濃度） （耐食性確保）	ただし，開放系冷却水配管のみ，レジオネラ対策で冷却塔での高濃度塩素消毒で残留塩素が高濃度，対象外とする。
雨水配管	適応（低濃度） （耐食性確保）	水質環境が良く（残留塩素が低濃度）SUS430LX対象適応しやすい。
蒸気配管	適応（低濃度） （耐食性確保）	SUS430LX鋼管は，炭素鋼鋼管，SUS304鋼管に比較して熱膨張が小さく，蒸気配管特有の熱疲労（熱サイクル）に有利



①某商業施設向け空調配管



②某病院向け雨水配管

写真－1 納入施工実績事例：某所向け空調配管，雨水配管

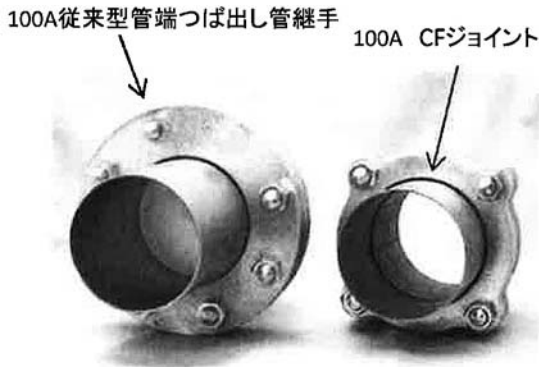


写真-2 口径100Aの従来型管端つば出し管継手とCFジョイントの比較

(ボルト本数2分の1, フランジ重量2分の1, コンパクト化が目瞭然)

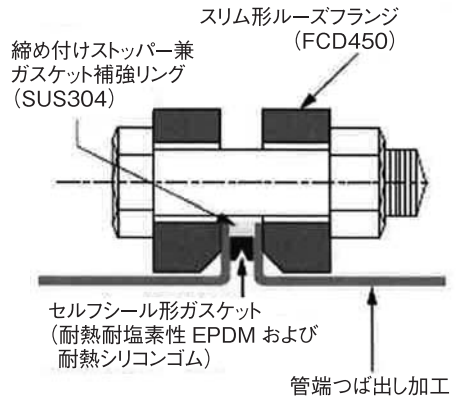


図-11 CFジョイント (次世代型管端つば出し管継手)

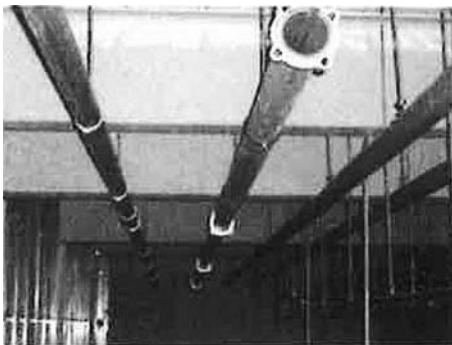


写真-3 施工中のCFジョイント

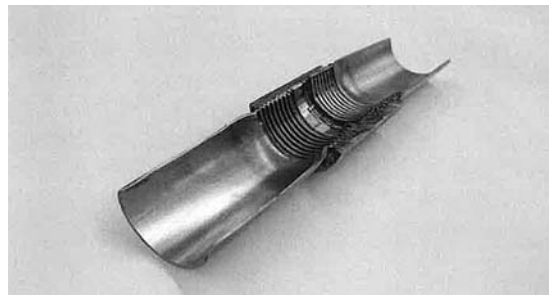


写真-4 転造ねじ (断面)

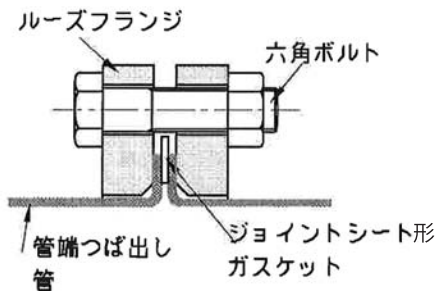


図-10 従来型管端つば出し管継手 (ルーズフランジ方式)



写真-5 転造ねじ (雄ねじ, 雌ねじ)

2) 転造ねじの開発 (特許取得済み, 特許No.5944570号)

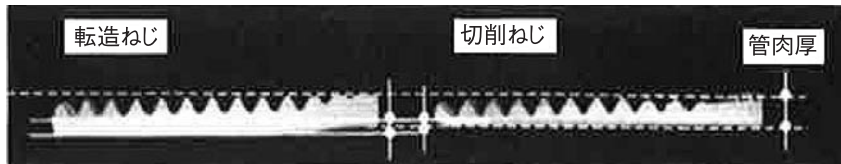
近年では塑性加工として転造ローラ (転造ダイス) を押し付け管表面を成形する方法はあるが, プレスと金型で管表面を成形する工法はなかった。今回, プレスと金型による転造ねじ加工法の開発に成功し, 量産化に向けた実施計画を推進中

である (写真-4, 5)。

3) 転造ねじの特徴および採用の優位性

①ステンレス薄肉パイプ接続に適用できる安価な接続方法

薄肉パイプの接続には, 管用ねじ継手として, 切削ねじ加工法では用途上パイプ肉厚が不足しているため適用不可だが, 転造ねじでは薄肉でも適用でき, 従来の薄肉パイプ接続方法のメカニカル継手にとってかわる可能性が期待できる (図-



【転造ねじと切削ねじとの比較：炭素鋼鋼管SGPの事例】
 (日本工業出版㈱：「よく解る配管用転造ねじ・地震に強い接合」)
 転造ねじ(残肉厚71～90%) 切削ねじ(残肉厚40～52%)

図-12 転造ねじと切削ねじの断面形状

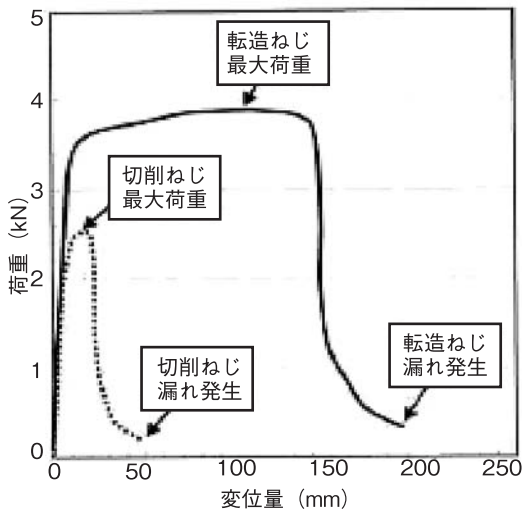


図-13 曲げ試験時の変位量と荷重の関係³⁾

- ・引張試験において、転造ねじ接合部は漏れ発生時の最大荷重も切削ねじの約1.5倍の強度があることを確認。
- ・曲げ試験において、転造ねじ接合部が高い曲げ荷重にも耐え、また漏れが発生するまでの変位においても著しく耐力があることを確認。

12)。さらに切削粉が出ないメリットがある。

②耐震性、耐久性に優れている(図-13)

ねじ谷部の肉厚が確保され、接合部の強度が維持される(管の強度とほぼ同等)。継手効率1.0が維持される(切削ねじは、ねじ谷部の肉厚が薄くなり、震災時に折損、破断するなど、ねじ部の強度が弱点である)。

③施工性に優れている

当社開発の転造ねじは、既存の汎用ねじとの整合性があるため、組み合わせは自由である(切削ねじと同じ継手が使用できる)。

④環境性に優れている

切削加工時に切削粉が発生せず、切削油は不要

である。

⑤メカニカル継手に比較して、接続部がシンプルなため、保温材の施工が容易でかつ安価にできるメリットがある。

6. おわりに

当社としてはフェライト系ステンレス鋼鋼管(SUS430LX)の新たな需要先として建築設備用配管分野が有力分野と判断した。建築設備用配管分野においては、建築物の長寿命化になかなか追従できない現状が課題としてある。また、品質の向上、配管設備の低コスト化、施工法の合理化要求等の潜在ニーズがあり、当社の取り組みはこれらを取捨する画期的なシステム作りと考えている。

建築設備用配管分野での認知度はまだまだ十分ではないが、今後、空調設備、雨水排水設備等の実績を積み上げる中で、従来設備との優位性が認められていくものと確信する。

また、標準規格(JIS規格他)、国土交通省の標準仕様書への採用を目指すことも検討したい。

[参考文献]

- 1) ステンレス協会：「ステンレスの初歩」2015年版
- 2) ステンレス協会：「ステンレス配管ガイド」(2012年5月)
- 3) 日本工業出版㈱：「よく解る配管用転造ねじ・地震に強い接合」(「建築設備と配管工事」2014年5月号別冊)