

TOMBO™ No.1891-NM 「カンプロファイルガスケット-NM」 の増し締め有効性評価

ニチアス株式会社 基幹産業事業本部
ENEOS株式会社 工務部

山 中 真
山 下 直 人
松 井 聡

1. はじめに

石油精製プロセスにおいて、ナフサを改質してオクタン価の高いガソリンや芳香族の原料を生産する接触改質という工程があり、接触改質に使用される装置の一つに連続再生接触改質装置 (CCR: Continuous Catalyst Regeneration) と呼ばれるものがある。CCRは、触媒が反応塔と触媒再生塔を循環して移動することで、反応・再生を連続的に行うことができ、現在の接触改質装置の主流となっている。このCCRに使用したうず巻形ガスケット (図1:マイカと膨張黒鉛フィラーの複合型) で、図2のようにガスケット本体や内輪が内径側にくの字に変形し、漏えいするというトラブルが長期的な使用時にしばしば発生していた。



図1 うず巻形ガスケット (マイカと膨張黒鉛フィラーの複合型) の断面概略図

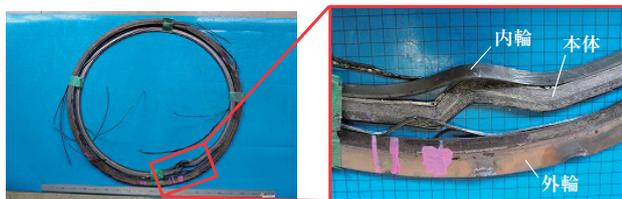


図2 CCRでのうず巻形ガスケット破壊事例

このような変形が発生する原因について調査を行ったところ、炭化水素ガスがフランジのわずかな隙間からうず巻形ガスケット内に侵入し、コークスとなって堆積することでうず巻形ガスケットを内部から押し広げるように破壊していたことがわかった。このような現象はMetal-catalyzed coking (MCC) と呼ばれる。

MCCの対策として有効となるのが、うず巻形ガスケットをカンプロファイルガスケットに変更することである。ニチアスが2021年より販売している、耐熱性のある表層材を用いたカンプロファイルガスケットは、適切な運用条件の把握によりうず巻形ガスケットよりも長期的に使用できると期待できる。

本稿では、カンプロファイルガスケットの紹介とともに、高温環境でも長期間安定して使用できることを示す検証試験として実施した、当製品の応力緩和試験と増し締め有効性確認試験について述べる。

2. TOMBO™ No.1891-NM 「カンプロファイルガスケット-NM」の特長

カンプロファイルガスケットの断面概略図を図3に示す。図3に示すように、カンプロファイルガスケットは、特殊に設計された溝形状を持つ金属リングと、その両面に柔軟性に優れた表層材を貼り合わせたものである。締結時に特殊溝形状の山部に面圧が集中することによって、低面圧でもうず巻形ガスケットと同等のシール性を得ることが

できる。うず巻形ガスケットは、構造上、内輪と本体の隙間やフープ同士の隙間に炭化水素ガスが侵入しやすいが、カンプロファイルガスケットはそのような隙間がないため、ガスケットが内部から破壊されるということがない。

表層材は、使用温度や耐薬品性に合わせて選定するが、CCRにおいては、流体温度が400℃を超えているため、TOMBO™ No.1891-NM「カンプロファイルガスケット-NM」(以下、「カンプロ-NM」)が適合する。「カンプロ-NM」の表層材であるNMシートは、1000℃までの耐熱性を有しており、なおかつ気密性も膨張黒鉛シート並みに優れた、ニチアスが独自開発した耐熱シートである。

ここで、「カンプロ-NM」の気密試験条件(表1)、締付圧シーケンス(図4)および気密試験結果(図5)と、CCRの要求耐熱温度である550℃での加熱サ

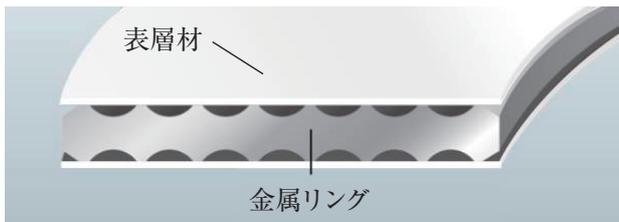


図3 カンプロファイルガスケットの断面概略図

表1 気密試験条件

寸法	ASME クラス 300 2B
温度	23℃ ± 5℃
試験ガス	ヘリウム 4MPa
締付圧	図4参照
漏れ量測定方法	石けん膜流量計および He リークディテクター

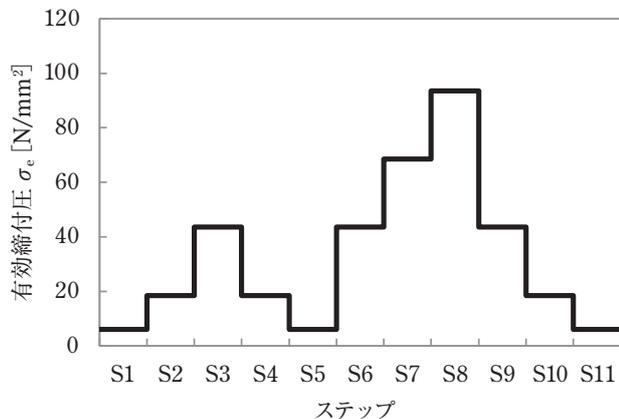
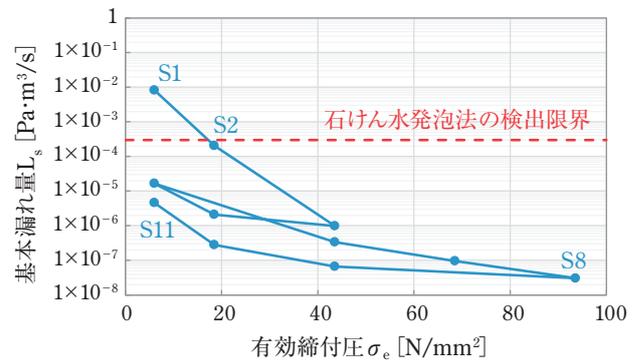


図4 ガスケット締付圧のシーケンス (JIS B 2490¹⁾ 準拠)

イクル試験条件(表2)および試験結果(図6)を示す。プラントにおける気密試験では、石けん水の発泡有無によって合否判定を行う場合が多いが、図5に示すように「カンプロ-NM」は常温において、低面圧で石けん水発泡法の検出限界を下回り、面圧を上げるに従って大幅なマージンが得られていることがわかる。

また、図6より加熱後も石けん水発泡法の検出限界を下回っており、加熱後も気密性を維持できていることが示された。



※有効締付圧 σ_e : $(W - W_p) / A_g$ [N/mm²]

※基本漏れ量 L_s : L/k [Pa·m³/s]

W: 圧縮荷重, W_p : エンドフォース, A_g : ガスケット接触面積
 k: ガスケットの形状係数 ($k = 1 / (d_o/d_i - 1)$)
 d_o : ガスケット接触外径, d_i : ガスケット接触内径

図5 気密試験結果

表2 加熱サイクル試験条件

寸法	ASME クラス 300 2B
締付面圧	78.4N/mm²
加熱条件	550℃ × 15h × 3サイクル
増し締め	なし
試験ガス	窒素 2.1MPa
漏れ量測定方法	圧力降下法 ²⁾

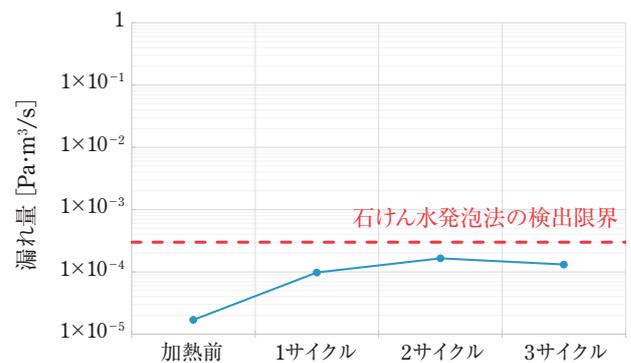


図6 加熱サイクル試験結果

3. 「カンプロ-NM」の応力緩和試験と増し締め有効性確認試験

3.1 試験目的

実際の使用環境では、長期使用によるガスケットの応力緩和や、装置内の温度の不均一、ボルトの熱伸びなどの要因でガスケット面圧が低下し、漏えいが発生した場合、その場で増し締めを行うことによって対応することが通例である。一方で、「カンプロ-NM」においては、ガスケット自身の応力緩和率の定量評価や、増し締め時にシール性がどのように変動するかの知見はなかった。

そこで、「カンプロ-NM」の応力緩和試験と、増し締めの有効性の検証を行った。

3.2 応力緩和試験

3.2.1 試験条件

1本ボルトのフランジにガスケットを締結し、加熱前後のボルト軸力を超音波軸力計で測定することで、応力緩和率を算出した。試験治具の概略図を図7に示す。また、応力緩和の指標として、既存のセミメタルガスケットであるメタルジャケットガスケットも同様に測定を行った。

試験条件を表3に示す。

3.2.2 試験手順

試験手順を以下に示す。

- (1) 超音波軸力計で軸力を確認しながら、面圧 $100\text{N}/\text{mm}^2 \pm 5\%$ となるように締付けを行う。
- (2) フランジを炉に入れ、 $550^\circ\text{C} \times 15$ 時間加熱する。
- (3) 加熱後、常温までフランジを冷却し、超音波軸力計で加熱後の軸力を測定する。
- (4) 以降、(2)、(3)を2回繰り返す（合計3サイクル）。

3.2.3 試験結果

各サイクルの応力緩和率の結果を図8に示す。

結果より、メタルジャケットガスケットより「カンプロ-NM」の方が応力緩和率が低かった。またサイクル毎の応力緩和率の増加量も「カンプロ-NM」は小さく、ガスケットの長期使用に有利であることがわかった。

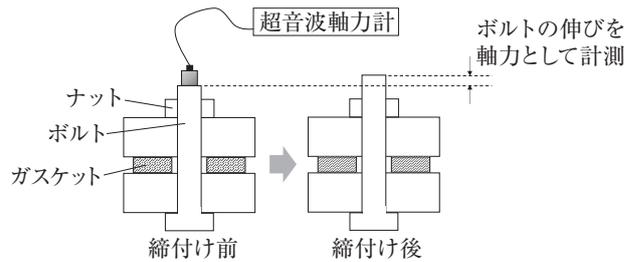


図7 応力緩和試験治具の概略図

表3 試験条件

ガスケット	TOMBO™ No.1891-NM 「カンプロ-NM」 TOMBO™ No.1841 「メタルジャケットガスケット」
ガスケットの金属材質	SUS316
ガスケット寸法	$\phi 28 \times \phi 46 \times 4t$ (メタルジャケットは3t)
フランジ寸法	$\phi 21 \times \phi 58 \times 24t$
ボルト寸法	M20
締付面圧	$100\text{N}/\text{mm}^2$ (超音波軸力計で $\pm 5\%$ となるよう締付)
加熱条件	$550^\circ\text{C} \times 15\text{h} \times 3$ サイクル
増し締め	なし
軸力測定	超音波軸力計
応力緩和率	$\{(\text{締結時の軸力}) - (\text{加熱後の軸力})\} / (\text{締結時の軸力}) \times 100[\%]$

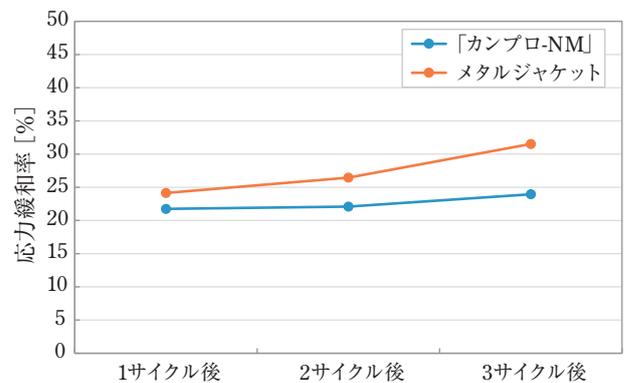


図8 応力緩和試験結果

3.3 増し締め有効性確認試験

3.3.1 試験条件

増し締め有効性の確認として、「カンプロ-NM」を締結したフランジを、加熱後に意図的にボルトを緩めて大量漏えいさせ、その後の増し締めでシール性が回復するかの検証を行った。

試験条件を表4に示す。

表4 試験条件

寸法	ASME クラス 300 2B
締付面圧	100N/mm ² (トルク係数0.2としてトルクレンチにて締付け)
加熱条件	550℃ × 15h × 3サイクル
試験ステップ	図9
試験ガス	窒素 2.1MPa
漏れ量測定方法	圧力降下法 ²⁾

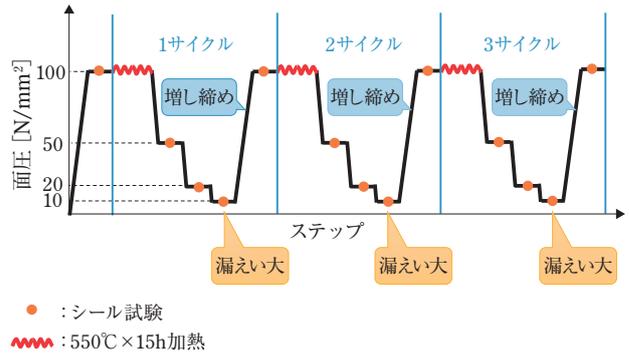


図9 試験ステップ (大量漏れい後の増し締りを想定)

3.3.2 試験手順

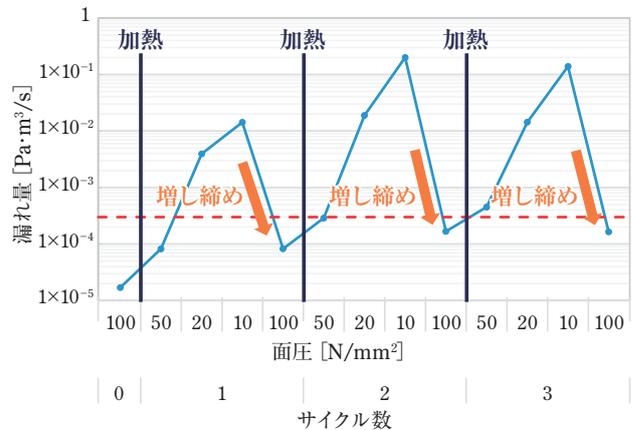
試験手順を以下に示す。

- (1) JIS B 2251：フランジ継手締付け方法³⁾の締付け手順に従い、ガスケットを締付面圧 100N/mm²まで締付ける。
- (2) シール試験を行う。(加熱前のシール性確認)
- (3) フランジを 550℃ × 15時間加熱する。
- (4) 加熱後、フランジを冷却し、ボルトを1本ずつ対角で緩めて締付面圧 50N/mm²まで面圧を下げる。
- (5) シール試験を行う。(締付面圧 50N/mm²まで低下時のシール性確認)
- (6) ボルトを1本ずつ対角で緩めて締付面圧 20N/mm²まで面圧を下げる。
- (7) シール試験を行う。(締付面圧 20N/mm²まで低下時のシール性確認)
- (8) ボルトを1本ずつ対角で緩めて締付面圧 10N/mm²まで面圧を下げる。
- (9) シール試験を行う。(締付面圧 10N/mm²まで低下時のシール性確認)
- (10) ボルトを1本ずつ対角で締付面圧 100N/mm²まで締付け、その後円周締めを2周行う。
- (11) シール試験を行う。(増し締め時のシール性確認)
- (12) 以降、(3)～(11)を2回繰り返す(合計3サイクル)。

3.3.3 試験結果

各ステップと漏れ量の結果を図10に示す。試験結果から以下のことがわかった。

- 締付面圧 50N/mm²では、石けん水発泡法の検出限界前後の漏れ量であり、締付面圧が50%低



--- 石けん水発泡法の検出限界

図10 増し締め有効性確認試験結果

下したとしても、ある程度のシール性を有していることがわかった。

- 締付面圧 20および10N/mm²では、石けん水のカーニ泡レベルを大きく超えた。
- 一方で、漏れい後に初期締付面圧まで増し締めを行った結果、すべてのサイクルで石けん水発泡法の検出限界以下の水準までシール性が回復した。

この時、実際に石けん水を塗布したが発泡は見られなかった。

以上より、大量漏れい後であっても、増し締めを行うことによって石けん水発泡法の検出限界以下までシール性を回復させることができるということがわかった。

4. おわりに

本稿では、「カンプロ-NM」の550℃加熱時の応力緩和率の評価と増し締めの有効性を評価した。「カンプロ-NM」は高温でも応力緩和率が小さく、長期的に安定したシール性が期待できる。また、増し締めの有効性に関しても、大量漏えい後であっても初期締付面圧まで増し締めすることで、再び石けん水発泡法の検出限界以下までシール性を回復させることができることがわかった。

今回の結果から、「カンプロ-NM」は高温での長期使用時の漏えいリスクが、既存のセミメタルガスケットよりも少ないうえに、漏えい時や運転停止時に増し締めを行うというような、現場での実情に即した使用方法が可能であると考えられる。これにより、CCRなどの高温かつMCC環境で使用されるうず巻形ガスケットから、カンプロファイルガスケットに変更したい場合や、高温機器で漏えい頻度が高いメタルジャケットガスケットなどを、「カンプロ-NM」に代替することで、より長期的な使用機器の安全操業につながる事が期待できる。

現在まで、ENEOS株式会社殿をはじめ多くの石油精製・石油化学業界で「カンプロ-NM」をご評価いただき、ご採用いただいている。今後ともユーザー各位の要求に対応し、シール材製品の開発・評価を通じて、安全操業に貢献していく所存である。

引用・参考文献

- 1) JIS B 2490 : 2008, 管フランジ用ガスケットの密封特性試験方法
- 2) JIS Z 2332 : 2012, 圧力変化による漏れ試験方法
- 3) JIS B 2251 : 2008, フランジ継手締付け方法

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*本稿の測定値は参考値であり、保証値ではございません。

筆者紹介



山中 真

ニチアス株式会社 基幹産業事業本部
プラント技術部 技術サービス課

山下 直人

ENEOS株式会社 工務部
設備管理グループ
グループマネージャー

松井 聡

ENEOS株式会社 工務部
設備管理グループ 主査