

遊合形フランジ-ガスケットのCAE解析

工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部 衣川 公彦

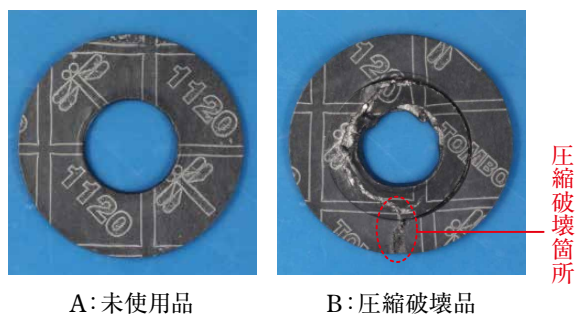
1. はじめに

ガスケットは流体の漏れを防ぐため配管・機器部品に使用されるシール材であり、石油精製・石油化学、造船、電力、鉄鋼などあらゆる産業分野で重要な役割を担っている。

漏れを防ぐためには適正にボルトを締付け、ガスケットに必要な応力をかけることが重要である。応力が高すぎる場合、ガスケットが圧縮破壊し、漏れにつながる危険がある（図1）。

ガスケットにかかっている応力（以降ガスケット応力）を実測することは難しく、ガスケット応力の把握に近年ではCAE（Computer Aided Engineering：コンピュータ支援工学）による解析を活用している。

そこで本稿ではCAE解析を使ったシミュレーションにより、どのような場合にガスケットの圧縮破壊が起きやすく、何に注意すべきかを検討した。



A: 未使用品

B: 圧縮破壊品

図1 圧縮破壊したガスケット

2. ガスケットとフランジ

ガスケットはフランジに挟みボルト、ナットなどで締付けて使用される。

フランジにはJIS規格、JPI規格をはじめ各種規格がありフランジの種類も溶接式フランジや遊合形フランジなどがある（図2）。さらに圧力ごとにさまざまな寸法があり、各種用途に応じて適宜選定されている。

フランジは、ボルトの締付けにより、図3のように若干のたわみが生じている。これをフランジローテーションという。そのため、図の赤矢印で示すガスケット応力は、外径側が高く、内径側が低くなる。



A: 溶接式フランジ



B: 遊合形フランジ

図2 フランジ各種

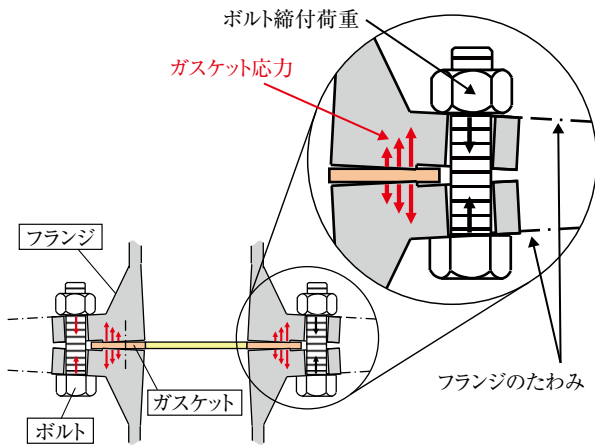


図3 フランジローテーション

本稿では遊合形フランジを使用する際、どのような場合に圧縮破壊が起きやすいか、また使用の注意点はどのようなことがあるかCAE解析を用いて検討することとした。

3. 遊合形フランジの特徴

遊合形フランジの構造を図4に示す。遊合形フランジは座面を形成する管継手と組み合わせて使用される。フランジと管継手が分離する構造であり、フランジが自由に回転するため施工性が良い。また両部材間にはクリアランスが存在する。

フランジの材質を変えることもでき、経済的なメリットもある。

この遊合形フランジで使用される管継手には石油精製や石油化学などのプラントで使用されるスタブエンドとビル設備などの建築業界で使用されるつば出し配管の2種類があり、構造が異なる(図5)。

スタブエンドは座面まで切削加工で作製されるので、寸法精度などは高い。つば出し配管は配管端部をつば出し加工し座面を作製するため、内径側にRが存在する。また寸法精度が低く、座面に角度がつきやすく、座面角度には許容差が設定されている(図6)。

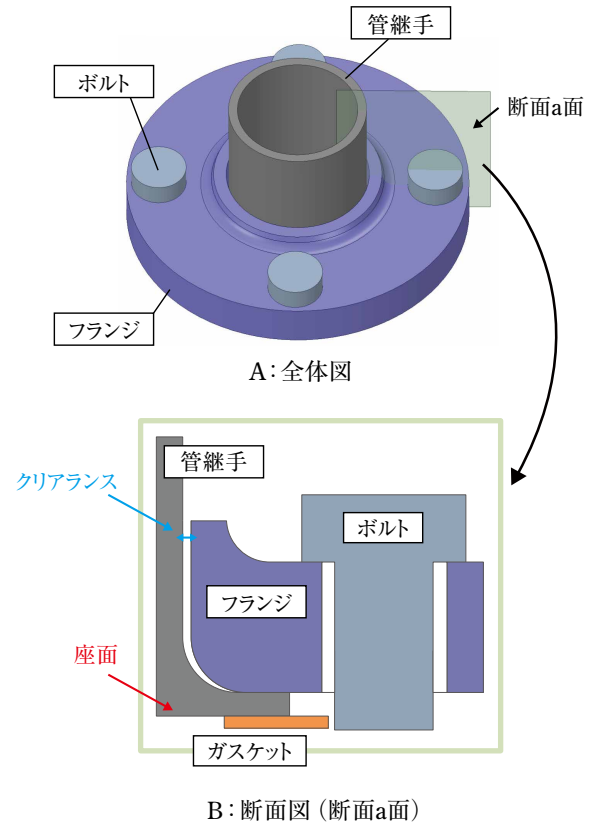


図4 遊合形フランジの構造

座		スタブエンド	つば出し配管
規格		JIS B 2220, JPI-7S-15	SAS 363
図	全体		
	座		
座の加工方法		切削加工	つば出し加工
規格値	管継手内径側のR	—	1 ~ 4
	座面角度	0°	±1°

図5 遊合形フランジの管継手種類

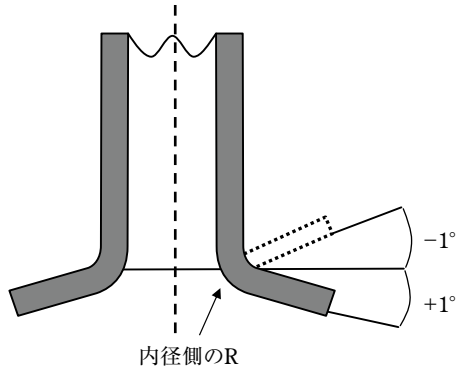


図6 つば出し配管の構造と座面角度の許容差

4. CAE解析モデル

一般的に使用される溶接式フランジと遊合形フランジについてガスケット応力およびフランジ、管継手の応力、変形挙動をCAEで解析した。

遊合形フランジにおいては、管継手の内径側にRがなく、座面に角度がつかない「スタブエンド」、管継手内径側にRがあり座面に角度がつきやすい「つば出し配管」の管継手について解析を行った。解析したフランジと管継手の組み合わせを表1に示す。

表1 フランジと管継手の組み合わせ

モデル名称	溶接式	遊合形①	遊合形②	遊合形③
フランジ	溶接式	遊合形		
管継手	－	スタブエンド	つば出し配管	
管継手 内径側のR	－		あり	
座面角度	－	なし		あり

解析は、ジョイントシートの標準グレードであるTOMBO™ No.1995で、締付けはガスケット応力34.3N/mm²になる荷重をボルトに負荷させたモデルで行った。管継手およびガスケットの位置は遊合形フランジの中央とした。つば出し配管の座面角度は、規格値を越えてつば出し加工がされる可能性があることを想定し5°と設定した。詳細な解析条件を表2に示す。

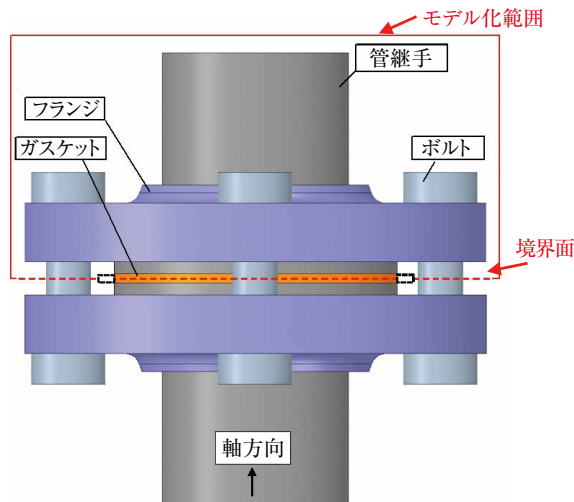
図7にCAE解析モデルを示す。

解析モデルは、軸方向の対称性を考慮し半分のみモデル化し（図7A）、ガスケットは管継手と接触する部分だけをモデル化した（図7B）。以降、この部分を解析部位と呼ぶ。解析結果で示すガスケット応力はすべてこの解析部位の応力である。

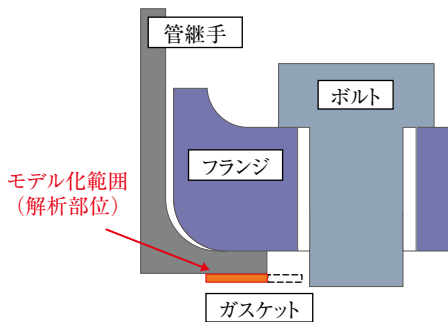
また、周方向に360°モデル化した三次元モデルとした（図7C）。

表2 CAE解析条件

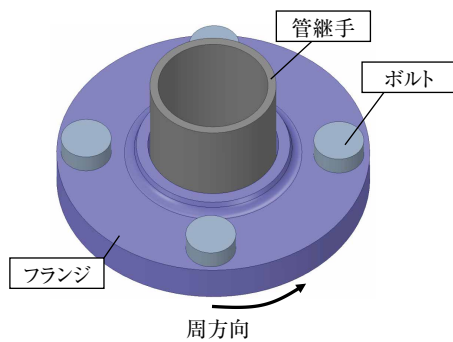
モデル名称		溶接式	遊合形①	遊合形②	遊合形③
フランジ	種類	溶接式	遊合形		
	材料	SFVC2A			
管継手	種類	－	スタブエンド	つば出し配管	
	材料	－	SUS 304		
	厚さ	－	Sch40		
	内径側の R	－	－	5.9	
	座面角度	－	0°		5°
ボルト	サイズ	M16 × 4pc			
	材料	SNB7			
ガスケット	製品	TOMBO™ No.1995			
	厚さ	3mm			
フランジと管継手のクリアランス		－	1.1		
サイズ		JPI Class150 2B		JIS 10K 50A	
締付方法		ボルト 4 本を同時に締付け			
ボルト総締付荷重 [kN]		84.8		80.8	
CAE 解析ソフト		ANSYS			



A: 遊合形フランジ締結体の構造



B: ガスケットのモデル化部分



C: CAE解析モデル

図7 CAE解析モデル

モデル 名称	ガスケット応力 N/mm ²		ガスケット応力分布
	最大	最小	
溶接式	36.7	32.5	
遊合形①	36.9	30.2	
遊合形②	43.9	0.0	
遊合形③	126.6	0.0	

※遊合形③のみコンター図のレンジを変更しています。

図8 CAE解析結果

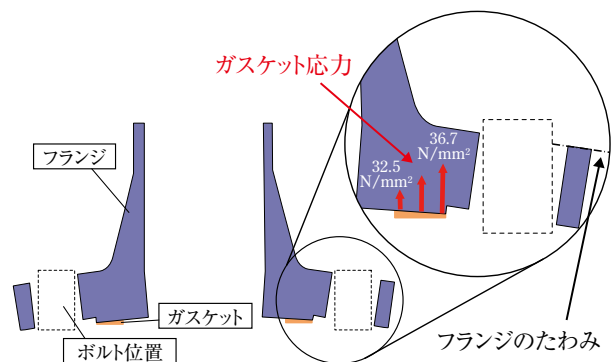


図9 溶接式フランジの変形図 (変形倍率100倍)

5. CAE解析結果

CAE解析結果を図8に示す。

ガスケットにかかる最大応力は、以下の順であった。

溶接式<遊合形①<遊合形②<遊合形③

いずれもガスケットの最大応力部は、座面の外周側であり、ガスケットに均一に締付け応力がかかっていない。

溶接式フランジの変形図を図9に示す(ガスケットは解析による変形図ではなく模式図として表示

している)。図3で示した通り、ボルトの締付けにより、フランジがたわむ、フランジローテーションが起こっていることが分かる。フランジローテーションが起こることによりガスケットの外径側がより強い圧縮を受けるためガスケット応力が最大 (36.7N/mm^2) となり、逆に内径側は最小 (32.5N/mm^2) となっている。

座面外周側のガスケット応力が高くなっていたのは、このフランジローテーションの影響を受けていたためといえる。

また、遊合形②、③では、最小ガスケット応力が 0.0N/mm^2 であり、応力が全くかかっていない部位があり、溶接式や遊合形①よりも最大ガスケット応力が高くなっている。特に遊合形③では、最大ガスケット応力が 126.6N/mm^2 となっている。

遊合形①と②の解析部位とガスケット応力の関係を図10に示す。

遊合形②の解析部位における内径側のガスケット応力が低い部位を範囲A、外径側のガスケット応力が高い部位を範囲Bと呼ぶ。

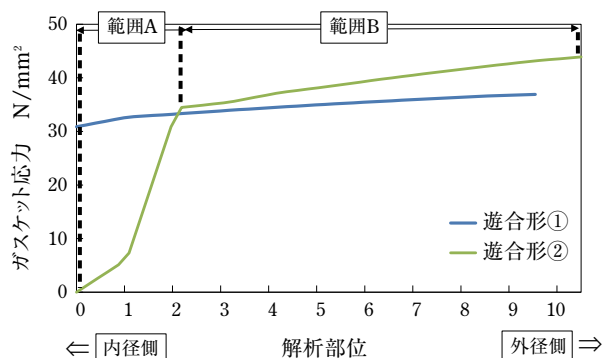


図10 解析部位とガスケット応力の関係 (遊合形①, ②)

遊合形②は外径側の範囲Bに比べ、内径側の範囲Aでガスケット応力が低くなっている。

遊合形②の解析部位と座面との位置 (図11) をみると、範囲Aは、ガスケットがつば出し加工時にできる内径側のRの部位と接触する位置であった。

ガスケット-座面間でガスケット応力の小さい部位があると、その分直線で接触している部位のガスケット応力が高くなる。

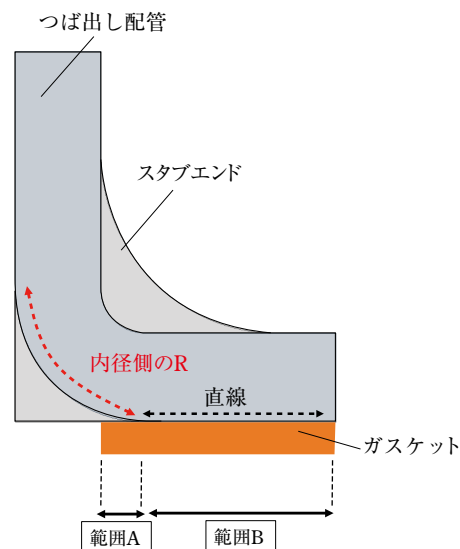


図11 解析部位と座面の位置

遊合形フランジでは、フランジと管継手の間にもクリアランスがある。また同様にガスケットおよびフランジがボルトとクリアランスがある分、施工時の位置に自由度がある (図12)。

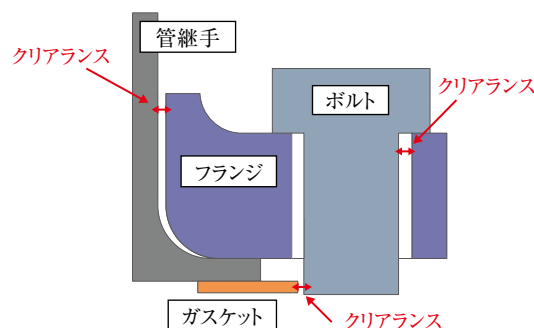


図12 遊合形フランジ締結体のクリアランス

管継手、ガスケットが遊合形フランジの中心の位置にある場合および位置がずれた場合の座面とガスケットの接触部位を示す (図13B, C)。なおこれらの図は図13Aに示す視点から見た図を示している。

今回の解析では、管継手およびガスケットを遊合形フランジの中心位置にして行っており、この場合、座面とガスケットは均等に接触する (図13B)。一方で施工時に管継手、ガスケットがフランジの中心からずれる場合 (図13C) には、ガスケッ

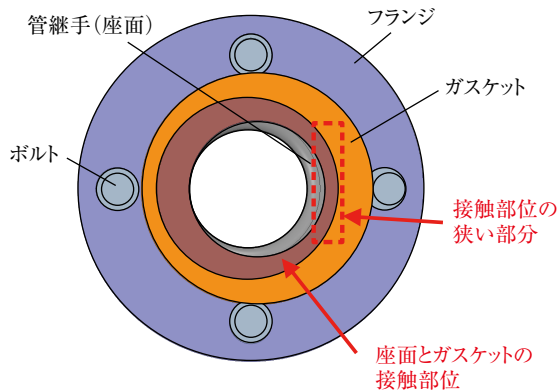
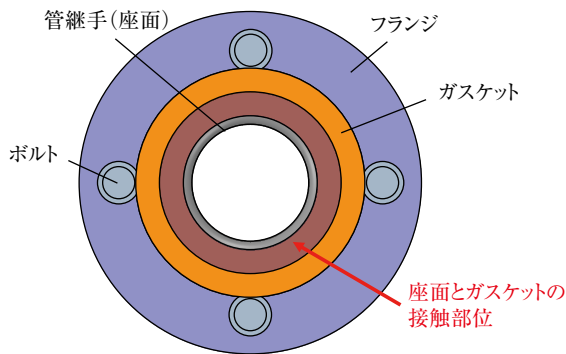
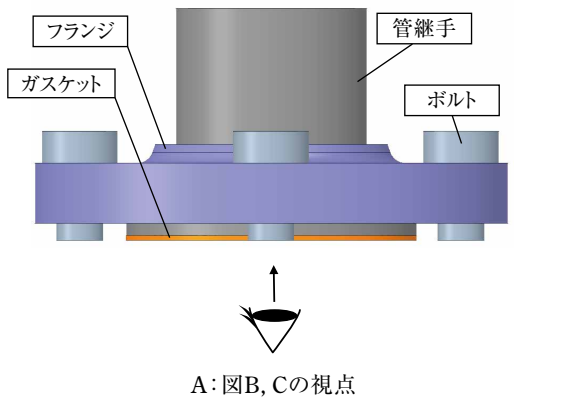


図13 ガスケットと座面の接触部位

ト-座面間の接触部位に狭い部分が発生し、極端にガスケット応力が高い部位が発生することが推測される。このため、遊合形フランジでは、圧縮破壊が起こりやすい傾向があるものと推測される。

遊合形②と③の解析部位とガスケット応力の関係を図14に示す。

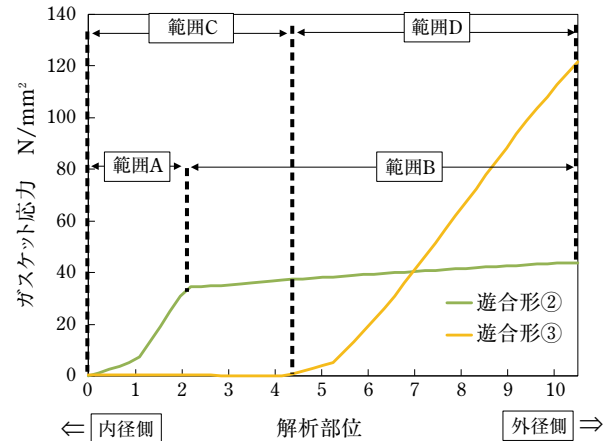


図14 解析部位とガスケット応力の関係 (遊合形②, ③)

遊合形②の範囲A,Bと同様に遊合形③の解析部位における内径側のガスケット応力が低い部位を範囲C、外径側のガスケット応力が高い部位を範囲Dと呼ぶ。

つば出し配管の座面に角度のついた遊合形③は、内径側にガスケット応力が 0.0N/mm^2 の範囲Cがみられ、外径側の範囲Dでは外径側ほど応力は高くなり、最大応力は 126.6N/mm^2 であった。

座面に角度がついていると、ガスケットに均一に応力がかからず、片当たりしてしまうため、このような極端なガスケット応力の差が発生する(図15)。

つば出し配管を使用する場合には、座面角度に注意する必要がある。

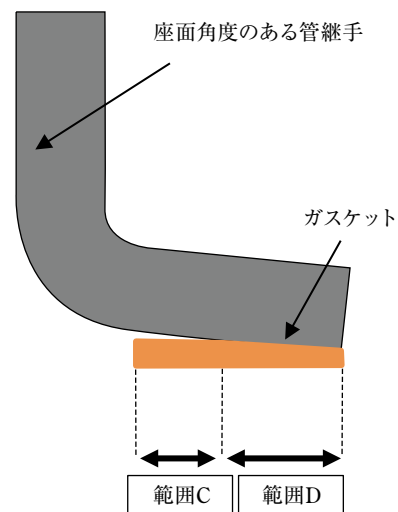


図15 座面角度のある管継手とガスケットの接触

以上の結果からCAE解析を使ったシミュレーションにより、ガスケットが圧縮破壊しうる場合、そしてその際の注意点について以下のことが分かった。

- ・遊合形フランジはガスケット位置が偏りやすく、ガスケット応力が高くなり、圧縮破壊が起こりやすい。
- ・遊合型フランジを管継手の座面に角度がつきやすいつば出し配管と組み合わせて使用する場合、座面角度に注意が必要である。

筆者紹介



衣川 公彦

工業製品事業本部
配管・機器部品技術開発部
シール材の構造解析業務に従事

6. お わ り に

本稿ではCAE解析を使ったシミュレーションによりフランジ変形やガスケット応力を可視化することで、どのような場合にガスケットの圧縮破壊が起きうるかを推定し、またその場合の注意点を提示した。

今後も漏えいにつながる危険の高い条件として今回は取り扱わなかった高温・低温下におけるフランジの変形やガスケット応力の挙動を明らかにするなどし、漏れのない安全な操業をするためにはどのような注意が必要かガスケットメーカーの視点で研究を進めていきたい。

ニチアスの建材製品は、 人と環境の調和をめざし、 安心・安全・快適を 提供しています。



断熱材

ホームマット®、ホームマットNEO®
MGビルパック®, MGボード™
マキベエ® ダンネツ, スーパーフェルトン® II, III

耐火被覆材

マキベエ®, マキベエ® WTA, CLA, BL

煙突材

セラスタック®

内装材

エコラックス®, エコラックス® エンボス
エコラックス® のき天
エコラックス® エンボスのき天
NPラックス® L, NPラックス® H

化粧板

アスラックス® 200R, アスラックス® 600R

フリースペース フロア

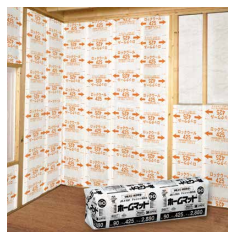
ニチアスシグマフロア®
ニチアス オメガフロア®
ニチアス パットフロア®
ニチアス デルタフロア® V

免震耐火材

メンシンガード® S, メンシンメジ®

その他

ニチアスカグスベール®



※®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。
※TMが付されている名称はニチアス(株)の商標です。



ニチアス