

氏名	Didik Nurhadiyanto
授与学位	博士(工学)
学位記番号	理工博甲第636号
学位授与年月日	平成26年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程)システム設計工学系専攻
学位論文題目	Influence of Surface Roughness on Leakage of the Corrugated Metal Gasket
論文審査委員	主査 山口大学 教授 上西 研 山口大学 教授 合田 公一 山口大学 教授 陳 献 山口大学 教授 春山 繁之 山口大学 准教授 古賀 毅

## 【学位論文内容の要旨】

Gasket with asbestos material is an excellent choice to prevent leakage in plumbing and it has been used widely in the industry. However, asbestos is an extremely hazardous chemical which can cause serious health problems. Therefore, the production and any new usage of asbestos were completely prohibited in Japan from 2008 onwards. However, the environment which uses gasket is severe and the conventional replacement for gasket materials which contains asbestos (expanded graphite, glass fiber, ceramic fiber, fluorine, resin, etc.) are expensive. Furthermore, the replacements do not have the same level of functionality and it has a short life span which this made problems. The development of the substitute for gasket material that contains asbestos has become an extremely important social issue. Therefore, acting as new leakage prevention, gasket with material elastic deformation of metal (spring effect) was utilized with the proposal of using a low cost gasket material which has the same, if not greater ability that of gasket material that contains asbestos. This gasket materials front and rear surfaces axial direction is asymmetry, though it has a very simple shape of only having a multiple of projections. Acting as leaking protection, the asymmetry projection at one side of the surface with multiple lining up is an extremely important feature. When this gasket material concludes by using bolts, due to the multiple projections the overall of the gasket will undergo elastic deformation, the projection tip will strongly touch the contact surface, glued to it thus making preventing any leakage possible. Because of that, a lot of researcher began research on the optimum shape in order to increase the leakage performance. Saeed et al. focused on the contact area regarding the performance leakage and proposed an optimal shape considering the influence of the geometry parameter that was given to the gasket shape when the contact width was increased. Furthermore, Haruyama et al. revealed the relationship between the contact width and axial force based on the finite element method theoretical analysis and experiments carried out regarding the allowable limit of the contact width in order to prevent water leakage. Choiron et al focused on the stress distribution of elastic-plastic of the contact area and revealed that contact width of the gasket is an important design parameter based on the finite element method theoretical analysis and an experiment using pressure-sensitive paper. Apart from that, because of surface roughness actually existing Widder considered the relationship between surface roughness and leakage and shows that the greater the surface roughness, the more the leakage increases. However, despite previous researchers have made various researches regarding gasket, there were no clear and viable research done regarding the parameters that affect the leakage prevention based on the stress distribution in the contact area and the optimal shape from the consideration of the surface roughness.

In this research, parameter and surface roughness which affect the leakage prevention in metal gasket with spring effect is examined. This has lead to the clarification of gasket shape optimization.

Research outline of this paper contains the problems mentioned in previous research and the investigation on the application scope and the performance of each gasket (Chapter 1). 2. The asbestos material historical background and the danger show a strong need for a newly gasket. While the influence of surface roughness in leakage is big, process design for obtaining the optimal shape has become clear when factors that affect the leakage performance of 25A-size metal gasket has been clarified. (Chapter 2). 3. In designing the SUS304, 25A metal gasket, the conditions of contact stress has been clarified using numerical analysis, especially the area/boundary of plasticity and elasticity. In addition, leakage performance and axial force relationship also has been clarified through leakage test. (Chapter 3). 4. From the examination of each conditions of contact stress using numerical analysis which has been mentioned in previous chapter, it is clear that flange surface roughness give effect to the contact area and contact stress. Other than that, effect on the leakage performance and axial force is examined by flange surface roughness, which indicates that optimal shape during contact stress with plasticity area is less affected. (Chapter 4). 5. Based on the real measurement result, the area when surface roughness is considered and regional(local) contact stress have been examined through numerical analysis and the distribution of contact stress has been clarified. Then, the gap between result of contact area measurement through surface observation and the result of numerical analysis is proved to be small. (Chapter 5). 6. In order to examine the local deformation of contact area, numerical analysis on deformation mode of thin metal gasket and actual evaluation test are carried out. From the tests, it is clarified that there are all 1~3 deformation modes and mode map have been clarified. (Chapter 6). 7. To summarize the result, even though it is known that flange surface roughness is hardly affect the optimal shape conditions in the leakage performance of corrugated metal gasket, in the future it is essential to examine it by considering the surface disposition effect and creep property in high temperature environment. (Final Chapter).

## 【論文審査結果の要旨】

本研究ではまず、産業界で多く使用されてきたアスベスト含有ガスケットが健康被害を引き起こす危険性の高さから使用中止となった歴史的背景を概説し、アスベスト代替ガスケットに対する社会的要求が極めて強いことを示した。次に非金属ガスケット、セミメタリックガスケット、金属ガスケットの性能・適用範囲について調査し、金属ガスケットは、高温性、耐圧性に優れるために、アスベスト代替ガスケットとして最も有望であるものの、非常に高い締め付け力が必要である問題点を有することを示した。更に、その問題解決のために提案された円弧の凹凸を直線につなぎ、ばね効果と応力集中を利用した新しい金属ガスケットについて調査し、提案された金属ガスケットではその幾何形状のパラメータが限定されていること、成形時の加工硬化の影響を考慮していないこと、更には、実使用環境で非常に重要となるフランジの表面粗さの影響や表面粗さの影響を考慮した最適化形状が明らかにされていない問題点を指摘した。

そこで本研究では、凹凸と直線部を有する金属ガスケットの設計において、接触面積と接触応力が漏れ性能に与える影響が大きいことを考慮し、最適化形状の検討パラメータとして従来の幾何パラメータに接触部の半径及び凹凸のピッチを新たに加えると同時に成形時の加工硬化の影響を考慮した新しい解析方法を提案するために、品質工学手法の一つであるタグチメソッドを用いて検討し最適化形状を得るための設計プロセスを明らかにした。

次に、接触部の応力と面積が漏れ性能に与える影響が大きいことに注目し、SUS304, 25A 金属ガスケットの接触部が主に弾性域となる条件と主に塑性域となる条件を数値解析により明らかにした。その結果から得られた最適化形状のガスケットを製作し、漏れの評価試験により漏洩性能と締め付け力の関係を明らかにした。

更に、実使用環境で問題となる接触部の表面粗さと漏れの関係について検討を行うため、前ステップの数値解析による検討から得られた接触部の応力条件毎の最適化形状について、3種類の異なる表面粗さの条件で、実計測結果に基づく表面粗さを考慮した接触面積及び局所的な接触応力をFEM解析により検討し、接触応力の分布を明らかにした。その結果、漏れを防止するために必要となる実接触面積と接触応力の関係より、接触部の大部分が塑性域となる形状が表面粗さの影響を受けにくいことを示した。

また、接触部のほとんどが塑性域となる条件を得ることが難しい薄肉ガスケットを対象に、幾何寸法が変形モードに及ぼす影響について数値解析及び実態評価試験による検討を行った。その結果、変形モードとして三種類あること及びそのモードマップを明らかにした。更に、薄肉ガスケットでは凹凸部をつなぐ直線部の長さを適切に決定することで安定した変形モードが得られることを示した。

本研究で得られた設計評価プロセスを用いることで、フランジ表面粗さの影響を受けにくい最適な金属ガスケット形状を得ることができるため、本研究は今後の金属ガスケットの開発に大きく貢献することが

期待できる。

本審査会では、予備審査会において指摘された最適設計方法としてタグチメソッドを用いる理由、数値解析における境界条件の決定方法、弾塑性接触解析と接触解析理論の解析信頼性、ガスケット形状（ $2 \times 2$ ）が漏洩メカニズムに与える影響、接触面積の弾性理論解と弾塑性理論解析の関係等についての質問事項に対する明確な回答があった。

公聴会における主な質問内容は、ガスケットの試験方法に関するもの、最適設計手法に関するもの、解析手法に関するものなどであった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上により本研究は新規性、有用性、信頼性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。