

# 原子力プラント建屋貫通部における 地震追従性向上シールの開発

Development of seismic improvement seal structure for nuclear plant building

三菱重工業(株)	松橋 洋輔	Yosuke MATSUHASHI	非会員
三菱重工業(株)	津村 康裕	Yasuhiro TSUMURA	非会員
三菱重工業(株)	近藤 祐司	Yuzi KONDO	非会員
三菱重工業(株)	岩田 知和	Tomokazu IWATA	非会員
三菱重工業(株)	高木 克実	Katsumi TAKAGI	非会員
三菱重工業(株)	岩本 洋一	Yoichi IWAMOTO	非会員
三菱重工業(株)	福家 康隆	Yasutaka FUKU	非会員
三菱重工業(株)	田中 峻介	Shunsuke TANAKA	非会員
MHI ソリューションテクノロジーズ(株)	須田 康晴	Yasuharu SUDA	非会員

## Abstract

The building of the nuclear power plant has a through hole for passing piping. A sealant is filled in the gap between the through hole and the pipe to secure the sealing property of the portion.

When an earthquake occurs, relative displacement occurs in the through hole and the pipe. There is a concern that the seal material may be damaged if the relative displacement is large. Therefore, we have developed a seal structure with good displacement followability.

**Keywords:** Nuclear Plant Building, A through hole for passing piping, Seismic, Seal Structure

## 1. はじめに

原子力発電プラントの建屋外壁等には貫通孔が設けられ、配管等を設置し、建屋内外の流体等の供給、排出を可能としているが、貫通孔の水密性を確保するために、貫通孔と配管の隙間にシール材を充填するシール構造が適用されている。

2011年に発生した東日本大震災を受け、原子力発電プラントに対して更なる水密性の向上が求められている。過大地震等が発生すると配管と貫通孔に相対変位が発生することがあり、その変位が大きい場合にシール材が破損する懸念があり、破損に至ると建屋水密性確保が困難になるという課題がある。

そこで、上記課題を解決する変位追従性に優れたシール構造（地震追従性向上シール構造）を開発した。

## 2. 建屋貫通部のシール構造

### 2.1 従来構造

原子力発電プラントの建屋貫通部に適用されている一般的な貫通部シール構造を Fig.1 (a)に示す。

このシール構造は建屋貫通孔と配管の隙間にシール材を充填し、シール材の受圧側表層に伸縮性部材であるシリコーン系材料を塗布した構造である。

このシール構造では、以下の理由から配管軸直方向に対する許容変位が小さいという課題がある。

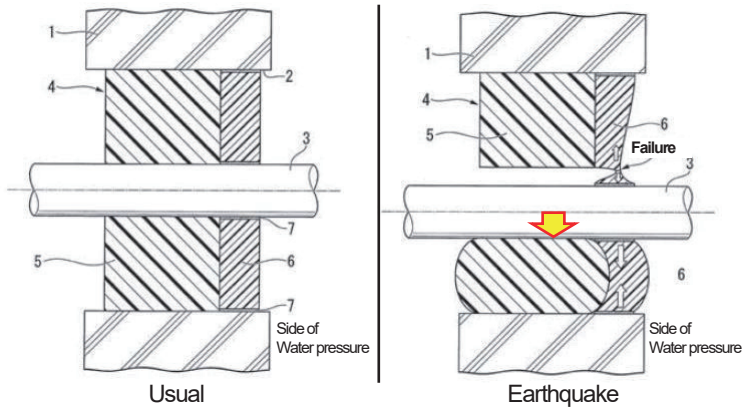
- ・ シール材 (Fig.1 (a)の5部材) は壁部、配管との接着性に乏しく、配管軸直方向に対する追従性が低い。
- ・ シール材の表層に塗布したシリコーン系材料 (Fig.1(a)の6部材) は壁部、配管のみならず、シール材とも接着する。シリコーン系材料はこの高い接着性と伸縮性によりシール材の界面剥離後も高い水密性を保持するがシール材と強固に接着しているため、一定変位を超えるとシール材の界面剥離に引きずられる形で局部ひずみが大きくなりシリコーン系

材料の破断に至る。

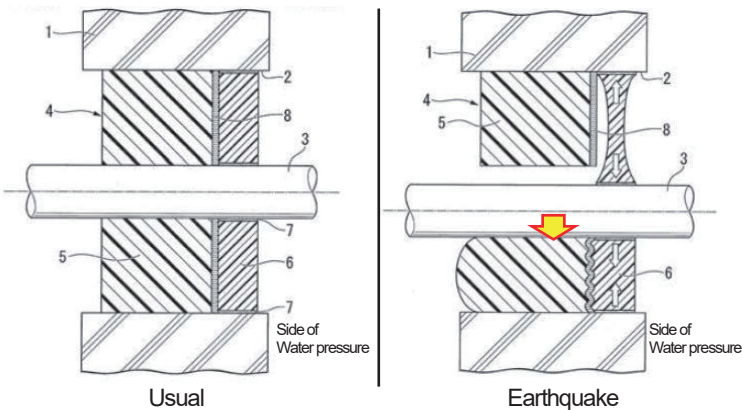
## 2.2 地震追従性向上シール構造

従来のシール構造に対して、変位追従性に優れたシール構造（地震追従性向上シール構造）を Fig.1 (b) に示す。このシール構造の構成、特徴を以下に示す。

- シール材 (Fig.1 (b) の 5 部材) と受圧側表層に塗布する伸縮性の高いシリコン系材料との接着による局部ひずみを回避するために、低接着性且つ低摩擦の素材 (Fig.1 (b) の 8 部材: 発泡ポリエチレンシート等) をシール材とシリコン系材料の界面に設置する。
- シリコン系材料を塗布する前に低接着性且つ低摩擦の素材を設置するだけで容易に設置が可能であり、施工性に問題はない。



(a) Conventional seal structure



(b) Seismic improvement seal structure

1:Wall 2:Through hole 3:Piping 4:Sealing material 5:Filled seal material  
6:Silicone-based material 7:Primer 8:Breaker material

Fig.1 Seal structure for nuclear plant building

## 3. 検証試験

### 3.1 試験概要

変位追従性に対する効果を確認するために、静的破壊試験及び加振・耐圧試験を実施した。

静的破壊試験では、配管軸方向（配管の長手方向）、軸直方向（配管の半径方向）、45° 方向の各方向に静的に強制変位を付与し、破壊変位（貫通部の受圧側に微小圧で水張りし漏水の有無で破壊を判定）を求めた。

加振・耐圧試験では、配管軸方向、軸直方向、45 度方向の各方向に対して加振（正負交番の繰り返して強制変位を付与）し、加振後速やかに水圧で耐圧試験を実施した。なお、加振回数は 200 回、耐圧評価は 10 分間圧力保持とした。

試験体の構造図を Fig.2、試験体の写真を Fig.3 に示す。また、試験装置（代表例：配管軸直方向載荷）の概略を Fig.4、試験状況の写真を Fig.5 に示す。150A の試験体容器（貫通孔を模擬）にシール材を充填し、中心の 50A 配管（貫通配管を模擬）に対して加振装置にて変位を付与した。また加振装置の可動部先端と配管の間にロードセルを接続し、荷重を測定した。

変位を付与後、電動ポンプにて加圧装置に速やかに注水し、シール材に水を加圧した。

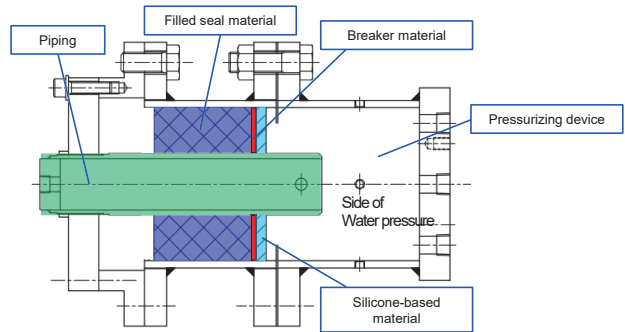
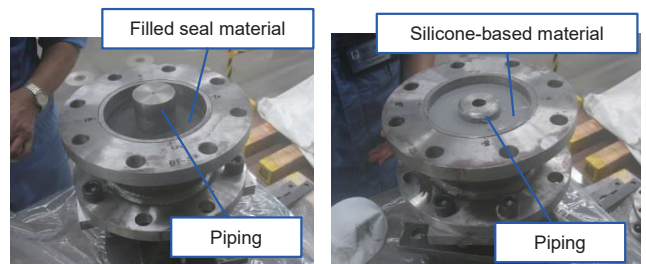


Fig.2 Structure of specimen



(a) Opposite side of water pressure

(b) Side of water pressure

Fig.3 Picture of specimen

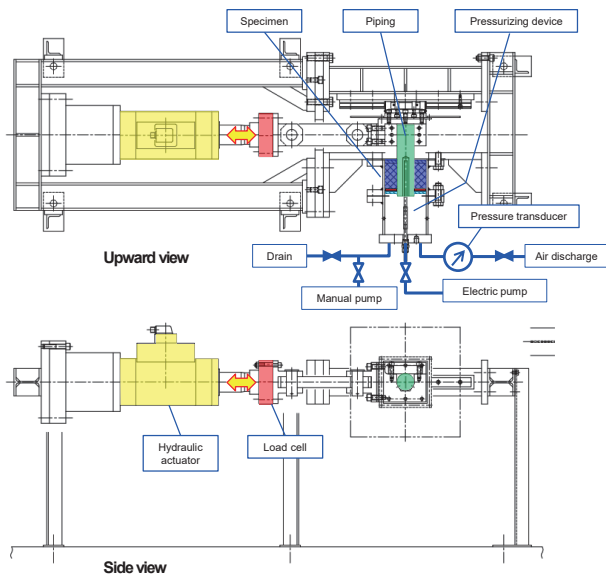


Fig.4 Test apparatus

(Loaded in the piping axis perpendicular direction)

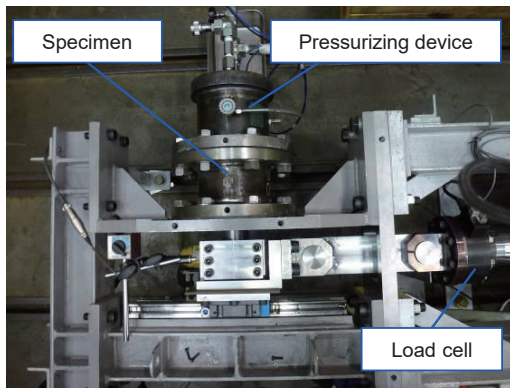


Fig.5 Picture of installation of specimen

### 3.2 静的破壊試験

静的破壊試験の結果を Table1 に示す。

いずれの試験ケースにおいても、最終破壊形態はシリコン系材料が破壊して漏水した。Table1 より軸方向については、地震追従性向上シール構造の破壊変位の向上は見られない結果であったが、軸直方向で約 30%、45° 方向では 10%の破壊変位の向上が見られた。

Table 1 Test results of the static failure test

	Failure displacement		
	Piping axis direction	Piping axis perpendicular direction	45° direction
Conventional seal structure	49.0mm	17.7mm	20.0mm
Seismic improvement seal structure	32.7mm	23.9mm	22.6mm

### 3.3 加振・耐圧試験

地震変位をパラメータに 200 回繰り返し変位を強制変位として与えた後、規定の水圧に対する耐圧性を有することを試験で確認した。

試験結果を Table2 に示す。Table2 より、軸方向に対して同一変位 (±14mm) に対する耐圧性能は従来構造と同程度の結果であったが、軸直方向については、従来構造の約 3 倍の地震変位 (従来構造では±6mm に対して、地震追従性向上シール構造では±20mm) に耐え、規定の水圧に対する耐圧性を有することを確認した。

Table 2 Test results of the cyclic loading test

	Applied displacement		
	Piping axis direction	Piping axis perpendicular direction	45° direction
Conventional seal structure	±14mm	±6mm	±4mm
Seismic improvement seal structure	±14mm	±20mm	±16mm

## 4. まとめ

原子力発電プラントに対して、地震随伴津波に対する建屋貫通部の水密性に対して更なる性能向上を求められており、当該貫通孔の水密性を確保するために、貫通孔と配管の隙間にシール材を充填するシール構造が適用されている。このシール構造について、従来に比べて配管軸直方向の許容変位を向上できるシール構造を開発した。

開発したシール構造に対する検証試験の結果、従来構造に対して配管軸直方向の許容変位は約 3 倍向上することを確認した。

### 参考文献

- [1] 藤本、 “ゴムの振動疲労”、 高分子化学誌、 Vol.12、 No.3、 1963
- [2] 仲沢、 “微視クラックの進展則とひずみ軟化への応用”、 土木学会論文集、 No.445/III-18、 pp.47-54、 1992