

SDTL用タンク－端板金属シール

柿崎 真二^{1,A)}、壁谷 善三郎^{A)}、川澄 敏廣^{A)}、藤原 節夫^{A)}、南 正晴^{B)}

A) 三菱重工業 名古屋航空宇宙システム製作所

〒455-8515 愛知県名古屋市港区大江町10番地

B) 三菱重工業 高砂研究所

〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1

概要

J-PARCのリニアック部に設置されるSDTLは円筒状のタンクにドリフトチューブを取付け、タンクの両側に端板を取付ることによって共振空洞を構成する。タンク－端板間の真空シールにはバイトンOリングが用いられてきたが、放射線および高真空度達成の観点からタンク－端板間に金属製真空シールを用いることが要求されている。またタンク両端に取付られる両端板間距離は、タンク全長の機械加工精度よりも厳しい公差となるので、タンク－端板間をその調整代とするので、金属製真空シールにはつぶし量に0.5mm程度の幅を持たせるという従来にはない特性が必要となる。この厳しい要求をE-SEALとよばれる金属製シールにインジウムめっきを施すことによって満たせることを実証した試験の概要を報告する。

1. スケールモデル試験

最初に実機の36%サイズで0.05mm厚のインジウムめっきを施したE-SEALを3本入手し、図1に示すような形態での試験を行った。3本のうち2本は図1中にあるクルトップと締付ボルトを調整することによってE-SEALのシール溝深さを変化させて、高真空を達成できるシール溝深さを調べ、残りの1本により長時間(100時間)にわたる経過を調査した。

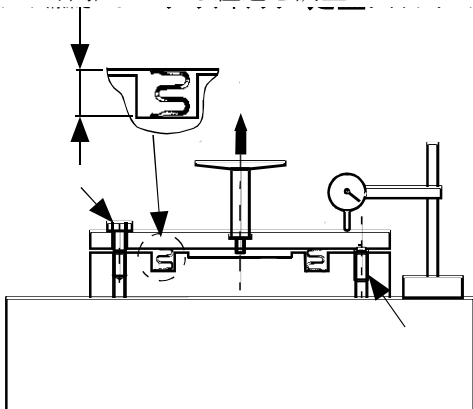


図1 スケールモデル試験概要図

1.1 溝深さ決定試験

E-SEALのカタログ上のシール溝深さは4.6mmであ

るが、これは内圧が高い状態で使用し、多少のリークも許容する状態であるので、溝深さをもっと浅くする必要があると推測した。そこで上蓋を締付るボルトとクルトップとで溝深さを徐々に浅くしていき、真空を安定してシールできる溝深さを調査した。図2,3にその結果を示す。図の縦軸はシール溝深さを表している。

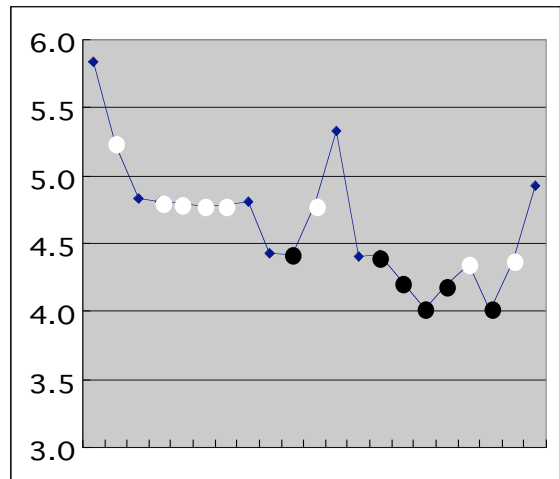


図2 溝深さ試験結果(○リークあり, ●リークなし)

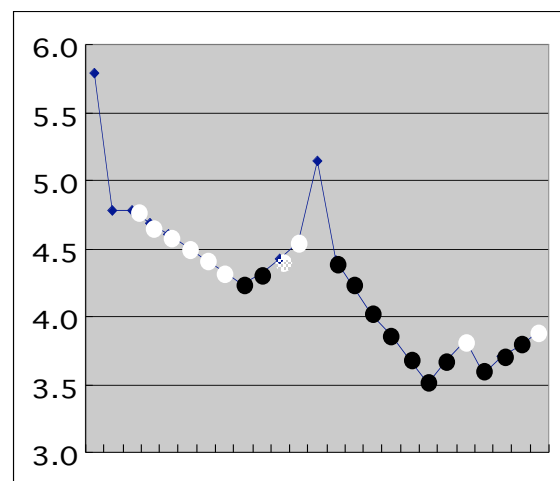


図3 溝深さ試験結果(○リークあり, ●リークなし)
シール溝深さが4.4~4.3mmとなるあたりでリークがとまり、そのまま溝深さを浅くしていてもリークするようなことは起きなかった。またリークが止まった時点で上蓋を外してE-SEALをシール溝から取

¹ E-mail: sinzi_kakizaki@mhi.co.jp

出し、再度シール溝に装着し上蓋を載せて同じシール溝深さまで締めると再度リークを止めることができた。これらの結果をふまえて、シール溝深さをカタログ値より若干浅い3.8mmとすることにした。

1.2 100時間経過試験

3本目のE-SEALを使い、初期のシール溝深さを4.5mmとして、0.1mm刻みでシール溝深さを浅くし、3.8mmとなった時点から約100時間の間の変化を測定した。図4に測定結果を示す。縦軸はシール溝深さを表している。

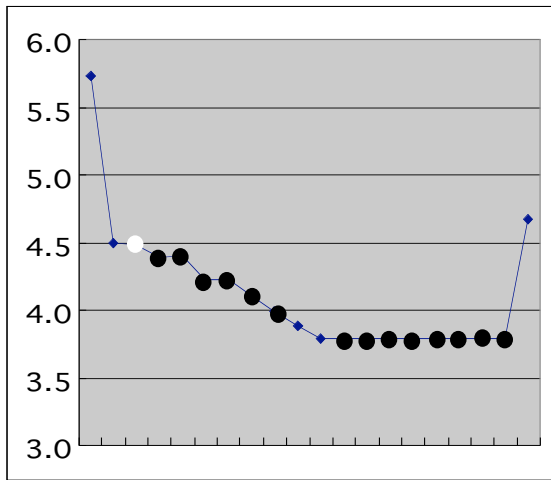


図4 100時間経過試験結果

シール溝深さを3.8mmにしてから1日に1回ずつヘリウムリークテストを行ったがいずれもリークは認められなかった。

1.3 スケールモデル試験でわかったこと

インジウムめっきを施したE-SEALが真空シールとして使用可能であることを実証した。ここでシール溝深さを3.8mmにした理由を示す。まずE-SEALの変形モードについて記す必要がある。図5にE-SEALの変形の仕方を示す。

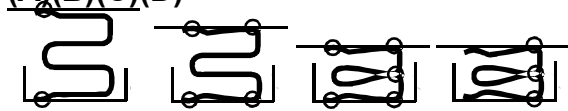


図5 E-SEALの変形

シール溝を浅くしていくにつれA→B→C→Dという形に変化する。E-SEALのカタログ上の溝深さはBの状態に相当し、E-SEALには塑性変形を生じない。Cの状態になると塑性変形を生じるが反力がなくなるわけではない。試験でのリークがとまりはじめるのはB→Cに移行するあたりである。

タンク-端板の真空シールには空洞長を調整する必要があるため、溝深さがNominal値±0.1mm変化してもリークが止まる必要がある。図4のC,Dの状態で使用すると反力が安定している溝深さが存在する。その中間値をNominal値とすることとし、その溝深さが3.8mmであると、シールメーカーよりアドバイスを

のでこの値に決定した。

E-SEALにはシールの外側の圧力が高い外圧型とシールの内側の圧力が高い場合に使用する内圧型の2種類が存在する。なぜ2つの型が存在するのかというと、高温高压状態では圧力を利用してシール面への反力を稼ぐことが出来るからである。スケールモデル試験ではシールの内側を真空にするため、外圧型を用いたが詳細に検討をすると 図6の①に空気溜りが出来ることがわかった。

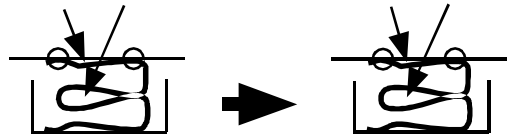


図6 外圧型から内圧型への変更理由

真空シールとして使用する場合大気圧は反力に寄与する程度は非常に低いので、内圧型を使用しても問題ないと判断し、次のステップ(実物大試験)には内圧型を使用することとした。また図5中②の部分にも空気溜りが出来るがE-SEAL表面のインジウムめっき部に約1.5mmのスリットをいれることによって解消することが出来ることを確認した。

2. 実物大試験

スケールモデル試験で真空シールとしてE-SEALが使用可能であることが実証できた。そこでSDTL実機に即した試験として実物大試験を行うことにした。この実物大試験の目的は①SDTL実機(タンクおよび端板)の真空シール面は機械加工上の制限から表面粗度が6S程度しか期待できない。表面粗度が6S程度の仕上がりでも真空シールとして使用可能かを判断する。②スケールモデル試験によって決定したシール溝深さの確認。③内圧型E-SEALが使用可能か否か。図7に実物大試験の概要図を示す。

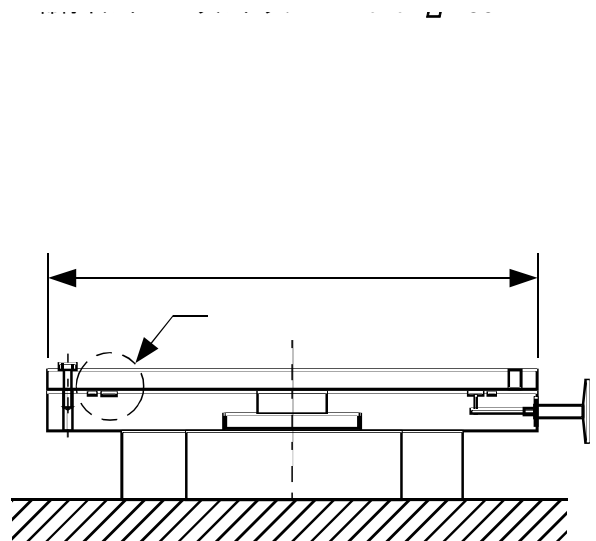


図7 実物大試験概要図

E-SEALのインジウムめっき厚はスケールモデルで使用した0.05mmの他に、真空シール面の荒れをカバー可能なように0.1mmおよび0.15mmのものも用意した。締付ボルトおよび溝深さ調整用クルトップの数も実機と同様の本数とした。

3.1 3.1.1 インジウムめっき厚0.05mmの場合

E-SEALインジウムめっき厚が0.05mmの試験結果を図8に示す。

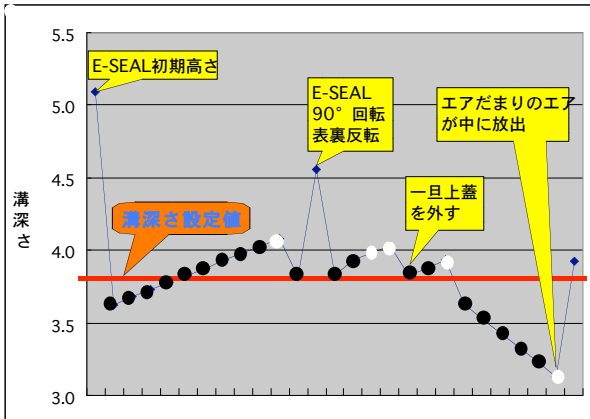


図8 試験結果(●：リークなし，○リークあり)
 図8中の赤い横線はスケールモデル試験で決定した3.8mmというシール溝深さを表している。シール溝深さを3.8mmとすれば±0.2mmの幅を十分確保でき、かつスプリングバック性も備わっていることが確認できた。シール溝深さを3.1mmまで浅くした時にリークを起こしているが、これはインジウムめっき部のスリットを入れなかったことが原因であると考えられる。

3.1.2 インジウムめっき厚0.15mmの場合

インジウムめっきを厚くするとめっき自体の品質低下によって肝心な真空リーク性能が得られない可能性がある。そこでインジウムめっき厚0.15mmのE-SEALもインジウムめっき厚が0.05mmのE-SEALと同等な性能を得られるかを確認するために試験を行った。試験結果を図9に示す。

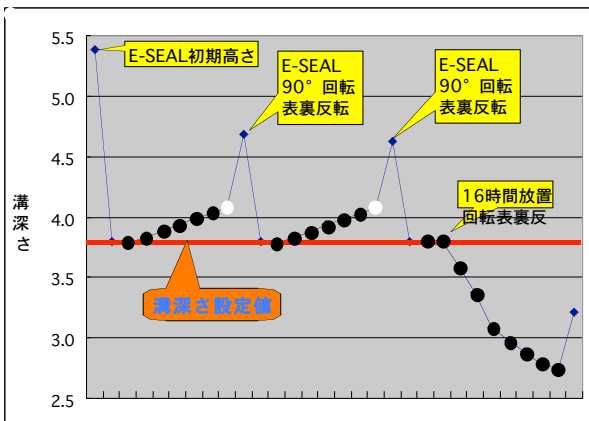


図9 試験結果(●：リークなし，○リークあり)

この試験に用いたE-SEALは予めインジウムめっき面にエア逃がしのスリットを設けた。シール溝深さを3.8mmに設定した場合、十分なスプリングバック性を持っており、また短時間ではあるが再使用性を兼ね備えていることを確認できた。またインジウムめっき厚が0.15mmでもめっきの品質に大きな問題がないことも確認した。

2.3 実物大試験の結果を得て

実機大の試験においてもインジウムめっきを施したE-SEALが真空シールとして使用可能であることを実証できた。また使用可能なシール溝深さ範囲もスケールモデルの試験と良く一致していることも確認できた。インジウムめっき厚については0.05mmのものも0.15mmのものも問題ないことを確認できた。実機に適用する場合シール面粗度に多少のマーヅンを持たせることから0.1mmを適用することとした。

3. 実機への適用

実物大試験でE-SEALが良好な結果を示したので、S3タンクの組立に適用をした。S3タンクは2002年の12月にKEKにおいて大電力試験を実施しており、良好な結果を示したので、S3以降のSDTLタンク組立に全数適用する予定である。