

スウェジロック継手応急補修治具の開発

Development of Miniature Cramp for Swagelok Connection Temporary Repair

日本原子力発電株式会社	中間 昌平	Shohei NAKAMA	Non Member
日本原子力発電株式会社	小林 広幸	Hiroyuki KOBAYSHI	Member
三菱重工業株式会社	須田 康晴	Yasuharu SUDA	Non Member
三菱重工業株式会社	加福 秀考	Hidetaka KAHUKU	Non Member
三菱重工業株式会社	赤松 哲郎	Tetsuro AKAMATSU	Non Member
三菱重工業株式会社	岩田 知和	Tomokazu IWATA	Non Member
三菱重工業株式会社	松尾 隆司	Ryuji MATSUO	Non Member

Many Swagelok connections are used in the instrumental tube pipe of Nuclear power plant because Swagelok connection is easy to put on and take off quickly. Although Swagelok connection is easy handling, it occurs very small amount of leakage in some case. For the purpose of development of quick repair method for small amount leakage of Swagelok connection, we considered the base technique about the miniature cramp for Swagelok connection.

Keywords: Swagelok, leak, quick repair method, miniature clamp

1. はじめに

原子力発電所の計装配管には、着脱性に優れた機械式のスウェジロック継手を使用している。このスウェジロック継手は扱いが簡便であるものの、取扱いによっては滲み等の漏えいを発生させる場合がある。この漏えいに対して適用できる補修技術としては、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格^[1]」(以下、維持規格と称す。)に記載された、当て板補修、接着剤補修、充てん補修があるが、この内、当て板補修については、運転中の溶接作業を伴うため、「接着剤補修」か「充てん補修」方法の2つのいずれかを採択するのが一般的となっている。しかし、接着剤補修も適用可能温度/圧力範囲が狭いことから、充てん補修を採用するケースが多く、クランプ設計、ヒータ製作、充てん補修作業に相当の期間を必要としているのが実情である。よって、短期間補修が可能な補修技術を確立させていくことは、プラントの運転保守の観点から非常に有効である。

本稿では、スウェジロック継手部分からの漏えいに対する応急補修技術として、充てん補修の準備期間短縮のため、スウェジロック継手用小型クランプを型式毎に標準設計ができるような基礎技術を検討した。

2. 充てんクランプの詳細検討結果

2.1 充てんクランプの構造検討

① 充てんクランプの形状検討結果

(a) クランプ本体の寸法

充てんクランプの形状を検討する上で、スウェジロック継手を覆う為に必要な寸法について検討した。

<ケース1>: ミニマムサイズとするため、スウェジロック継手の外寸である径 $\phi 20$ ×軸方向45mm に対し、クランプ内寸は $\phi 21$ mm×軸方向48mm で計画した。

<ケース2>: 維持規格の制約寸法である、充てん厚さ7mm 以上、充てん材施工幅として欠陥部より25mm 以上を考慮し、クランプ内寸は $\phi 29$ mm×軸方向96mm で計画した。

(b) クランプシール部の形状について

充てん材及び内部流体をメタルタッチでシールするための形状を検討した。

(c) 配管接触部シール形状

配管接触部について、グランドパッキンによるシール方式を検討した。ケース1については、サイズミニマム化のため、パッキン段数を2段とし、クランプ内で押しボルトによる面圧負荷が可能な構造とした。ケース2については、パッキン段数を4段とし、クランプ外部から

連絡先: 中間 昌平、〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町 1-1、日本原子力発電株式会社 発電管理室

E-mail: shouhei-nakama@japc.co.jp

～6cc/min の漏洩量となるように高圧水を供給した状態から開始した。実際の漏洩量は5.9cc/min であった。このときクランプ内外の温度は常温であり、充てんクランプ内部で生じている漏洩水が真空ポンプにより回収されていることが確認できた。〈状況A〉

次に、充てん開始前の予熱としてクランプ内外温度が100℃以上になるように昇温した。

予熱完了後、充てんシリンダにて所定の充てん圧で充てん材をクランプ内部へ充てんした。

充てん完了後、クランプ温度が充てん材の硬化温度の250℃となるまで昇温し、2時間の加熱硬化を実施した。

加熱硬化終了後、充てんシリンダによる加圧を停止し、ヒータを外してクランプからの漏洩確認を実施した。その結果漏洩は認められず、充てん材がクランプ内で十分に硬化して止水性を有していることが確認できた。〈状況B〉

その後クランプ温度が試験開始時と同等の温度レベルまで降温された後、同様にクランプからの漏洩確認を実施したが漏洩は認められなかった。〈状況C〉

以上の結果より、本充てんクランプ構造は常温高圧条件において十分な止水性を有していることが確認できた。試験結果を図4に示す。

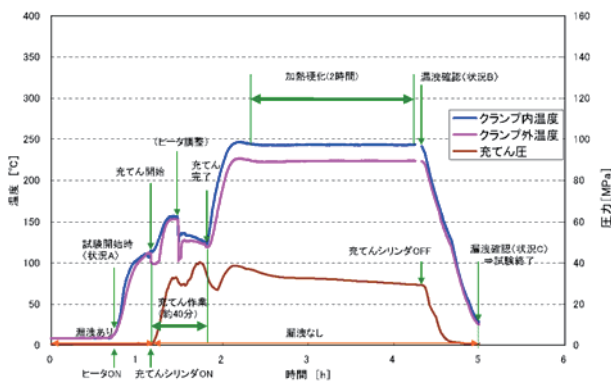


図4 試験中のクランプ温度及び圧力 (ケース2, 常温, 常圧)

(b) 常温高圧条件での止水性試験 [ケース1]

試験は、スウェジロック継手部に常温、17.5MPa にて3～6cc/min の漏洩量となるように高圧水を供給した状態から開始した。実際の漏洩量は3.4cc/min であった。〈状況A〉

予熱完了後、充てんシリンダにて所定の充てん圧で充てん材をクランプ内部へ充てんした。

充てん完了後、クランプ温度が充てん材の硬化温度の250℃となるまで昇温し、2時間の加熱硬化を実施した。

加熱硬化終了後、充てんシリンダによる加圧を停止し、

ヒータを外してクランプからの漏洩確認を実施した。その結果漏洩は認められず、充てん材がクランプ内で十分に硬化して止水性を有していることが確認できた。〈状況B〉

その後クランプ温度が試験開始時と同等の温度レベルまで降温された後、同様にクランプからの漏洩確認を実施したが漏洩は認められなかった。〈状況C〉

以上の結果より、本充てんクランプ構造は常温高圧条件において十分な止水性を有していることが確認できた。試験結果を図5に示す。

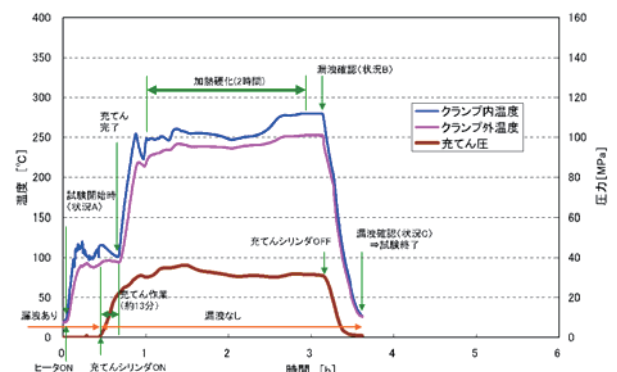


図5 試験中のクランプ温度及び圧力 (ケース1, 常温, 常圧)

(c) 高温高圧条件での止水性試験 [ケース2: 1回目, 硬化時クランプ温度約280℃]

試験は、スウェジロック継手部に常温、17.5MPa にて3～6cc/min の漏洩量となるように高圧水を供給した状態から開始した。実際の漏洩量は4.3cc/min であった。その後、クランプ内外の温度は、スウェジロック継手部ならびに供給配管からの伝熱により250℃以上に昇温され、充てんクランプ内部で生じている漏洩は蒸気となって確認された。〈状況A〉

続いて、充てん材をクランプ内部へ充てんした。

加熱硬化終了後、クランプからの漏洩確認を実施した結果、漏洩は認められず、充てん材がクランプ内で十分に硬化して止水性を有していることが確認できた。〈状況B〉

続けて熱サイクル試験として供給水温度の降温を実施した。降温開始から約25分経過後、クランプ温度が約153℃に達した時点で、クランプ合わせ面からの漏洩が確認された。〈状況C〉

試験後のクランプ内部の状況をFig.4に示す。クランプ内部の空間は充てん材が満たされているが、スウェジロック継手部の漏洩側の充てん材外表面には漏洩時のリーク跡となる充てん材の荒れが認められた。また、充てん

材の硬度は、(a)ならびに(b)と比較して高く、ゴム弾性が若干低下している状況であった。尚、クランプ合わせ面からの充てん材のみ出しはごく微量であり、本クランプ構造にて高温高压の定常条件における止水に十分な充てん圧の保持は可能であったと判断される。

以上の結果より、本充てんクランプ構造は高温高压の定常条件においては十分な止水性を有していることが確認できた。但し、降温過程においては、充てん材の熱収縮によってスウェジロック継手部の漏洩側から充てん材内部を通過するリークパスを形成し、漏洩が生じることが確認された。

試験結果を図6に示す。また、試験後の内部状況を図7に示す。

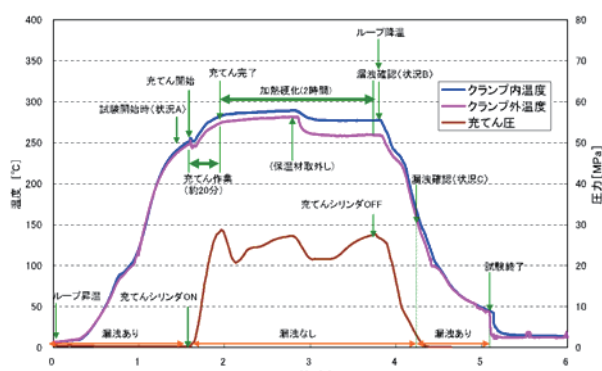


図6 試験中のクランプ温度及び圧力 (ケース2, 高温, 高压)

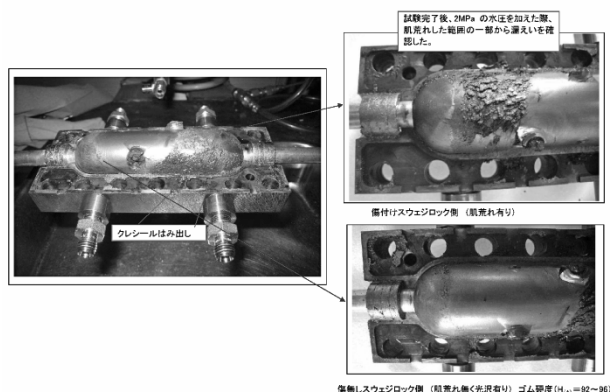


図7 試験後のクランプ内部状況

(d)高温高压条件での止水性試験 [ケース2:2 回目, 硬化時クランプ温度約320℃]

(c)項の高温高压条件での止水性試験では、(a)項の常温高压条件での止水性試験との差異を考慮すると、漏洩の発生は加熱硬化時のクランプ温度ならびにスウェジロック継手部配管部温度が影響しているものと推定される。具体的には、①常温高压条件では加熱硬化時のクランプ温度を所定の温度に制御可能であったが、高温高压条件

ではスウェジロック継手部/配管部温度からの伝熱の影響によりクランプ温度は所定の温度より高くなり、充てん材本来のゴム弾性が低下したため熱収縮に追従しにくくなった、②常温高压条件ではスウェジロック継手部/配管部温度よりクランプ温度が高いため充てん材の外部より加熱硬化が進行しやすいが、高温高压条件ではクランプ温度よりスウェジロック継手部/配管部温度が高いため充てん材は内部より加熱硬化が進行しやすく、初期のリークパスを内包しやすくなったことが、漏洩の要因と推定される。

そこで本試験では上記②の要因の影響確認を目的として、充てん材の許容温度まで充てんクランプを加熱してクランプ温度とスウェジロック継手部/配管部温度の温度差をなくし、充てん材の加熱硬化温度を均一化するとともに、降温過程における漏洩対策として追充てんの効果を確認した。

試験は、スウェジロック継手部に常温、17.5MPaにて3~6cc/minの漏洩量となるように高压水を供給した状態から開始した。実際の漏洩量は3.7cc/minであった。その後、クランプ内外の温度は、約320℃に昇温され、充てんクランプ内部で生じている漏洩は蒸気となって確認された。(状況A)

続いて、充てん材をクランプ内部へ充てんした。

加熱硬化終了後、クランプからの漏洩確認を実施した結果、漏洩は認められず、充てん材がクランプ内で十分に硬化して止水性を有していることが確認できた。(状況B)

続けて熱サイクル試験としてヒータの加熱停止ならびに供給水温度の降温を実施した。ヒータの加熱停止後、クランプ温度が約250℃に達した時点で、漏洩が確認され、引き続き、供給水温度の降温を開始したが漏洩は継続していた。(状況C)

そこでクランプ温度約150℃の時点で追充てん操作を行い、漏洩確認を行った結果、漏洩が止まることを確認できたため、充てんシリンダによる充てんを行いながら常温まで供給水温度の降温を継続した。(状況D)

その後、追充てん後の加熱硬化処理を実施するため、充てんシリンダによる充てんを行いながら再度供給水の昇温ならびにヒータによる加熱を行い、クランプ温度約320℃まで昇温した後、2時間の加熱硬化を実施した。

加熱硬化終了後、クランプからの漏洩確認を実施したが、追充てん前と同様に漏洩は認められず、充てん材がクランプ内で十分に硬化して止水性を有していることが

確認できた。(状況E)

続けて追充てん後の熱サイクル試験として、再度ヒータの加熱停止ならびに供給水温度の降温を実施した。追充てん前の熱サイクル試験ではヒータの加熱停止のみで漏洩が認められたが、追充てん後には漏洩は認められなかった。(状況F)

引続き、供給水温度の降温を実施した結果、クランプ温度が約140°Cに達した時点で、軽微な漏洩が確認され、以降常温に至るまで断続的に漏洩は継続した。(状況G)

その後、再び供給水温度の昇温を実施しながら漏洩確認を行った結果、クランプ温度が約90°Cに達した時点で、漏洩はなくなり、その後、クランプ温度が熱サイクル試験実施前と同等のレベルに至るまで漏洩はないことを確認できた。(状況H)

以上の結果より、本充てんクランプ構造は高温高圧の定常条件においては十分な止水性を有していることを再確認できた。但し、先の試験と同様に降温過程においては漏洩が生じたことから、ヒータ加熱による加熱硬化温度の均一化の効果は認められなかったものの、追充てん操作により止水性の向上が可能であることが確認された。

試験結果を図8(a), 図8(b)に示す。また、試験後の内部状況を図8に示す。

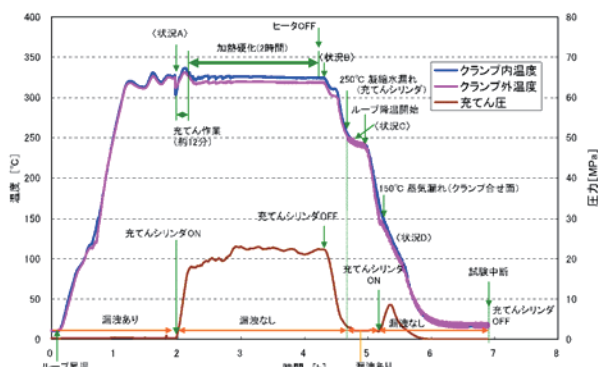


図8(a) 試験中のクランプ温度及び圧力
(ケース2, 高温, 高圧)

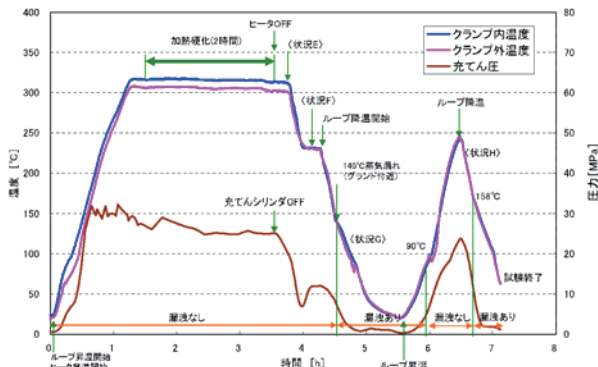


図8(b) 試験中のクランプ温度及び圧力
(ケース2, 高温, 高圧)

(e)高温高圧条件での止水性試験 [ケース1]

実際の漏洩量は4.3cc/minであった。その後、クランプ内外の温度は、スウェジロック継手部ならびに供給配管からの伝熱により250°C以上に昇温され、充てんクランプ内部で生じている漏洩は蒸気となって確認された(状況A)。

続いて、充てんシリンダにて所定の充てん圧で充てん材をクランプ内部へ充てんした。

加熱硬化終了後、クランプからの漏洩確認を実施した。その結果漏洩は認められず、充てん材がクランプ内で十分に硬化して止水性を有していることが確認できた。(状況B)

続けて熱サイクル試験として供給水温度の降温を実施した。降温後、クランプ温度が約204°Cに達した時点で、漏洩が確認され、引続き、供給水温度の降温中は漏洩が続いた。(状況C)

そこでクランプ温度約172°Cの時点で追充てん操作を行い、漏洩確認を行った結果、漏洩が止まることを確認できたため、充てんシリンダによる充てんを行いながら常温まで供給水温度の降温を継続した。(状況D)

その後、追充てん後の加熱硬化処理を実施するため、充てんシリンダによる充てんを行いながら再度供給水の昇温を行い、クランプ温度約280°Cまで昇温した後、2時間の加熱硬化を実施した。

加熱硬化終了後、クランプからの漏洩確認を実施したが、追充てん前と同様に漏洩は認められず、充てん材がクランプ内で十分に硬化して止水性を有していることが確認できた。(状況E)

続けて追充てん後の熱サイクル試験として、再度供給水温度の降温を実施した。

その結果、クランプ温度が約113°Cに達した時点で、漏洩が確認され、以降常温に至るまで断続的に漏洩は継続した。(状況F)

その後、再び供給水温度の昇温を実施しながら漏洩確認を行った結果、クランプ温度が約120°Cに達した時点で、漏洩はなくなり、その後、クランプ温度が236°Cに至るまで漏洩はないことを確認できた。(状況G)

以上の結果より、本充てんクランプ構造は高温高圧の定常条件においては十分な止水性を有していることを再確認できた。また、先の試験と同様に降温過程においては漏洩が生じたが、追充てん操作により止水性の向上が可能であることが確認された。

試験結果を図9(a), 図9(b)に示す。

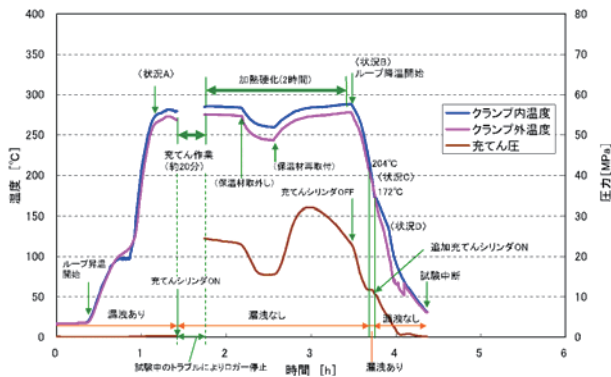


図 9(a) 試験中のクランプ温度及び圧力 (ケース 1, 高温, 高圧)

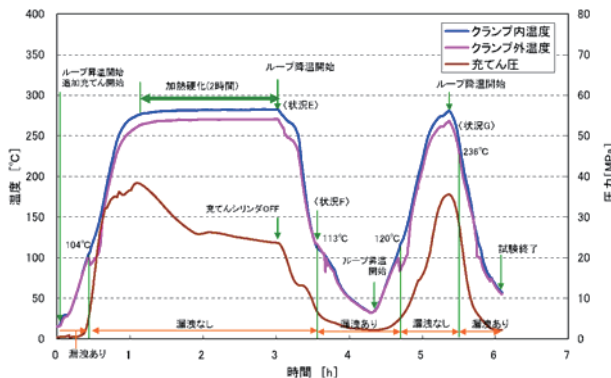


図 9(b) 試験中のクランプ温度及び圧力 (ケース 1, 高温, 高圧)

③止水性検証試験のまとめ

- 常温/17.5MPa の環境下での3~6cc/min 漏れに対し、ケース 1, ケース 2のクランプで止水できることを確認した。
- 343℃/17.5MPa の環境下での3~6cc/min 漏れに対し、ケース 1, ケース 2のクランプで定常状態においては止水できることを確認した。
- 343℃/17.5MPa での止水確認後、温度サイクル試験として、温度降下を行った際、ケース 1, ケース 2ともに、漏れが発生した。この推定原因として、配管からの伝熱により、クランプが所定の熱硬化温度より高くなった

ため、充てん材のゴム弾性が低下し、熱収縮に追従できなかったことが考えられる。

止水性検証試験のまとめを表1に示す。

表 1 止水性検証試験のまとめ

試験	試験条件	試験結果	充てん材	漏えいの原因(推定)	備考				
ケース	温度 ℃	圧力 MPa	硬化温度 ℃	有無					
(a)	ケース2	常温	250℃	有	漏れなし	04~06	—	—	
(b)	ケース1	常温	250℃	有	漏れなし	04~06	—	—	
(c)	ケース2	343	280℃	無	・クランプ温度 280℃定常時、漏れなし ・試験時(153℃時点)、漏れ発生	02~06	①(a)~(c)の結果比較から以下を推定 ①配管からの伝熱により、クランプが所定の硬化温度より高くなったため、充てん材のゴム弾性が低下し、熱収縮に追従できなかった。 ②外部加熱が行われたため、充てん材内蔵からの加熱硬化が進行しやすく、内部からのリークパスを形成しながらの硬化の過程がより複雑であった。	②の推定原因の有無を確認するための試験を実施	
(d)	—	—	17.5	330℃	有	・クランプ温度 330℃定常時、漏れなし ・試験時(250℃時点)、漏れ発生 ・急激な温度低下により漏れが止まることを確認 ・急激な温度低下後の漏れ抑制(120℃→168℃)は認められず。	04~05	外部加熱を行っても漏れが発生したこと及び熱サイクル試験で再加熱した際に、漏れがなかったことから上記の可能性もある。	—
(e)	ケース1	343	280℃	無	・クランプ温度 280℃定常時、漏れなし ・試験時(204℃時点)、漏れ発生 ・充てんにより漏れが止まることを確認 ・充てん後の再加熱時(120℃→280℃→280℃)は認められず。	04~08	—	—	

3. 結言

- ・ミニマムサイズを目標としたクランプ (ケース 1) 及び維持規格に規定される制約寸法を満足するクランプ (ケース 2) の構造を検討し、設計・試作した。
- ・止水性検証試験の結果、いずれのクランプも常温・常圧、高温・高圧の状況において十分な止水性を有することを確認でき、基礎的な性能評価ができたものとする。
- ・温度サイクル試験で漏れが発生したことから、本クランプでは300℃程度の高温状態から温度過渡が発生する部位への使用は不向きと考える。しかし実機計装配管のスウェジロック継手の環境条件で供給水温度が300℃を超えるものは少なく、更に通常運転中の温度は定常と考えられることから、プラント停止時の監視強化を行うことで大部分への適用が可能と考える。

参考文献

[1] 日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格 JSME S NA1-2012