

AMP 309 非金属ライナー(2018 年版)

プログラムの概要

本 AMP は、原子炉プラントのコンクリート格納容器 (CCS) の漏えい気密性を高めるために設置される非金属ライナーの供用期間中検査 (ISI) に関するガイダンスを提供する。この AMP には、IAEA 安全ガイド NS-G-2.12[1]または各国の規制要件[2]に準拠した、効果的な経年劣化管理プログラムに不可欠な属性が含まれている。

非金属ライナー (例えば、ウレタン、エポキシ皮膜、エラストマー) は、一般に CCSs の内面に適用されている。建設当初及びその後の補修・交換時における非金属ライナーの材料適格性、設置及び試験要件は、例えば、規格・基準[3-7]に沿った要求事項に準拠している。

非金属ライナーの主な機能は、プラント運転期間を通して、格納容器内部から外部環境への空気の漏えいを低減することである。また、簡単に除染できる平滑な表面も提供することも挙げられる。

プラント運転期間中、非金属ライナーの検査と試験は、規格[8]で要求される承認されたプラント手順に準拠して実施される。これらのプラント手順では、規格の要求事項に準拠して、あるいは規制当局と合意した頻度で、非金属ライナーの定期的な ISI、試験、あるいは必要に応じて修理が要求される。

評価と技術的根拠

1. 経年劣化の理解に基づく経年劣化管理プログラムの範囲:

本 AMP の適用範囲は、CANDU 原子炉プラントのコンクリート格納容器用非金属ライナーである。非金属ライナーは、コンクリート格納容器の漏えい気密性を高めるために内面に被覆される。

非金属ライナーの ISI は、CCS が規制の漏えい率に関する要求事項を満たすことを確実にするために、プラント運転期間中、非金属ライナーが効果的に機能することを実証するために必要である。アクセス不可能な区域の許容性は、そのような区域での劣化の存在を示すあるいは劣化をもたらすような状態がアクセス可能な領域で存在する場合に評価される。

コンクリート格納容器用の鋼製ライナーとその付属品は、この AMP の適用範囲ではない。これらには AMP301 が適用される。格納容器のコンクリート部分には AMP302、塗装材には AMP308 が適用できる。

2. 経年劣化を最小限に抑え、管理するための予防措置:

このプログラムは状態監視プログラムである。ただし、非金属ライナー材料は使用前にその適性が確認される。放射線の影響、ライナー材料の漏えい率、弾性、化学的耐性、除染の容易さ、耐衝撃性、接着性、耐火性、耐摩耗性、熱劣化、浸漬性は、規格[3]に準拠して決定される。ライナー材への潜在的な損傷を避けるため、ライナーエリア周辺では、設備や機械による激しい人の出入りや熱源を避ける。

3. 経年変化の検出:

主な ISI 方法は目視検査であり、膨れ、亀裂、裂け、切断、摩耗、火傷など、目に見える劣化の兆候を検出することからなる[8]。許容基準を超えた場合、有資格者による検査結果の評価が行われる。補修、さらなる評価、検査範囲の拡大などの推奨が提言される。

非金属ライナー材料と基材表面の接着力低下は、ライナーで発生する可能性がある。これによりライナー材には膨れや気泡を生じるが、この原因は往々にしてライナー材を取り付ける前の基材表面の不適切な仕上げが原因である。また、CCS の漏えい率試験の減圧段階で、ライナーの裏側に閉じ込められた空気が原因となることもある。

機械的損傷は、特に人の出入りが多い場所での、動的機器や材料との接触や衝撃によって引き起こされる可能性がある。劣化の兆候としては、裂け、切断、亀裂、摩耗、溝、緩みや剥がれ、変色などがある。ライナーの損傷は、漏えい気密性の損失、あるいは CCS の表面洗浄が困難になり表面の汚染につながる可能性がある。

非金属ライナーの損傷は、照射によっても起こりうる。ライナー材料の機械的特性が影響を受ける可能性があり、これには弾性と接着性の低下が含まれる。劣化の程度と進行度合は一般的に照射線量に比例する。最も影響を受けやすいのは、蒸気発生器の近くや、直接照射に曝されている格納容器の部分である可能性が高い。照射による劣化は、ライナーの局所的な早期破損を引き起こし、漏えい気密性を低下させる。

非金属ライナーの損傷は、動作温度の高い機器やシステムの近傍で火傷となって現れることもある。

アクセス不可能な領域を除き、すべての表面は定期的な検査要件に従ってモニタリングされる。

例えば、カナダの規格 CSA N287.7-17 “In-service Examination and Testing Requirements for Concrete Containment Structures for Nuclear Power Plants”[8]では、非金属ライナーの検査と試験に関して以下のように規定している。

- アクセス可能な領域の非金属ライナー、塗装、及び接合部シーラントは、検査期間内に、統合漏えい率試験 (ILRT) と同頻度または最低でも同じ頻度、ほぼ同じ時間間隔で検査される。
- アクセス不可能な領域の非金属ライナー、塗装、及び接合部シーラントは、プラント運転組織と規制当局が合意した頻度で検査を行う。
- 以前の検査で著しい劣化が確認されたり、欠陥の存在が既知であったり、構造物の健全性に悪影響を及ぼしうる劣化メカニズム環境下に曝されている非金属ライナーでは、供用期間中検査リードが指定する頻度まで検査数を増加させる
- プラントの再稼働前、設計仕様で規定されたものを超える異常／環境負荷が発生した際には、非金属ライナーは構造の健全性を評価するための検査を受ける

目視検査は、床、プラットフォーム、通路などから、観察可能な視角で実施される。目視検査は、劣化の証拠や異常な表面状態などを検出するために、適切な照明で行われる。検査箇所的位置と状態は検査シートに記録され、損傷や劣化が観察された場合には必要なデータが記入される。

CCS の漏えい率試験は、非金属ライナーの漏えい気密性能の指標にもなる。CCS の漏えい率試験は、規格要求事項[8]に準拠した頻度で、あるいはプラントと規制当局の間で合意された頻度で実施される。

非金属ライナーの他の試験方法としては、機械的特性を決定するためのその場「引張試験」と物理試験がある。引張試験は、資格のある検査機関が実施する。この試験を行うにあたって、ライナーの試験面を適切な脱脂剤で洗浄し、表面を適切に研磨する。試験エリアと鋼性ディスクの下面にエポキシ接着剤を塗布した上で、余分な接着剤を取り除く。その後の 24 時間で接着剤を硬化させる。ライナーに接着した鋼性ディスクに引張試験装置を取り付け、最大引張荷重を徐々に加え、測定結果を記録する[3]。

ライナーの物理試験も、前回の検査以降にライナーの健全性が劣化していないかどうかを判断するために実施されることがある。物理試験は、米国材料試験協会 (ASTM) のような業界全体で決められた試験手順に準拠して行う[9-11]。ライナーサンプルは、切断、除去、汚染チェックの後、試験所に渡され、試験所で定められた手順に準拠して試験が実施される。これには、引張強度、100%引張応力、伸び率、引裂強度、デュロメータ硬さ試験などが含まれる。そして、試験部及びその影響部の性能が設計時元来の特性と合致するように復元するため、補修が実施される。

4. 経年劣化の監視と傾向：

プログラムの検査で得られたデータをモニタリングし、記録、評価、傾向分析することにより、経年劣化の傾向を特定し、必要に応じて是正措置を適時に実施できるようにする。ライナー材の性能の傾向分析は、目視検査やその他の検査の記録を過去の結果と比較することで可能となる。

5. 経年劣化の影響の軽減

この AMP は状態監視プログラムであり、経年劣化の緩和は意図していない。

6. 許容基準：

許容基準を超えた場合、有資格者による検査結果の評価が実施され、補修、更なる評価、検査範囲の拡大に関する推奨が提供される。

プログラムには、検査の許容基準が規定されている。プログラムには、以下の種類の検査合格基準が含まれている。

- 目視検査では、膨れ、亀裂、裂け、切断、摩耗、火傷など目に見える劣化の兆候がないことが許容基準となる。
- 引張試験については、非金属ライナーの種類に応じた当初の設置仕様に基づき、許容可能な最小引張付着力を設定する。引張試験中のライナーの故障基準も定義されている[3]。
- 物理試験での許容基準も、非金属ライナーの種類に応じた当初の設置仕様に基づいている。試験は、米国材料試験協会 (ASTM) などの国際規格に準拠して実施される。

劣化の兆候が見られる部分については、工学的評価または補修もしくは交換による是正が必要となる。

7. 是正措置：

非金属ライナーの補修、及び／又は、交換は、プラントの適切な管理要件又はガイダンス文書に準拠して実施される。検査合格基準を満たさない状態が検出された場合、プラントの是正措置プログラムを通じて措置されることが要求され、修理、交換、または次回の検査まで継続して使用することの是非に関する分析評価が必要となる場合もある。この措置により、全ての許認可基準事象に対し、非金属ライナーの設計基準性能が継続的に満たされることが保証される。

許容できない状態に対する措置方法の例としては、工学的評価、検出された状態をさらに特徴付けるための補足試験、あるいは修理や交換手順などがある。

故障、不具合、欠陥、逸脱、欠陥材料、不適合など、品質に悪影響を及ぼす状態が速やかに特定され、是正するための対策が確立されている。品質に悪影響を及ぼす重大な状態の場合、その対策により、原因が究明され、再発を防止するための是正措置が取られる。品質に悪影響を及ぼす重大な状態の特定、その原因、及び講じられた是正措置は文書化され、プラントの責任技術者に報告される。

8. 運転経験のフィードバック及び研究開発結果のフィードバック：

この AMP は、業界全体の一般的な経験に対応する。関連するプラント特有の運転経験は、AMP がプラントにとって適切であることを確証するために、プラント AMP の開発において考慮される。プラント及び業界全体の運転経験及び研究開発 (R&D) の結果を定期的に評価するためのフィードバックプロセスを実施し、必要に応じて、プラント AMP を修正するか、又は経年劣化管理の継続的な有効性を確保するための追加措置 (例えば、新たなプラント特有 AMP の開発) をとる。

外部の運転経験の適切な情報源として、原子炉プラントにおけるコンクリート構造物の経年劣化管理 (IAEA 原子力シリーズ No.NP-T-3.5 (2016 年))[12]が挙げられる。

CANDU 原子炉プラントで現在使用されている非金属ライナー (Normac) は、ライナーの要件を満たさないと判断された建設当初のエポキシライナー (剛性材料) を、主に剛性で補完するものとして選択された。カナダのある原子炉プラントでは、1989 年に Normac の使用が始まって以来、CCS の漏えい率は、主要なプログラムを適用するたびに減少する、もしくは比較的安定に推移してきている。これまでの目視検査で、原子炉建屋の床や壁における Normac ライナーに関する重大な問題や懸念は見つかっていない。一つの問題は、漏えい率試験後の減圧時に発生する Normac ライナーの剥離または膨れである。膨れ部分は空気で満たされており、原子炉建屋が加圧されている間にコンクリート内に空気が閉じ込められた結果として発生すると考えられる。減圧中、閉じ込められた空気は、可能な限り最短の経路で最も近い低压境界まで逃げ、ライナーの裏側に閉じ込められる。原子炉プラントでは、このような膨れは、プラントの手順に準拠して除去・補修される。床のライナーは、特に人の出入りの少ない場所では、通常良好な状態にある。一方、人の出入りの多い場所では、損傷がいくつか発生しており、定期的な補修が行われてきた。

この AMP を作成している時点では、関連する研究開発は確認されていない。

9. 品質管理:

サイトの品質保証手順、レビュー及び承認プロセス、管理統制は、各国の規制要件 (例: CSA N286-12[13]) に準拠して実施されている。

References:

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series, No. NS-G-2.12, IAEA, Vienna (2009).
- [2] CANADIAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Fitness for Service: Aging Management, CNSC Regulatory Document 2.6.3, CNSC, Ottawa, Canada (2014).
- [3] CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, Material Requirements for Concrete Containment Structures for Nuclear Power Plants, CSA N287.2-17, CSA, Mississauga, Ontario, Canada (2017).
- [4] CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, Construction, Fabrication, and Installation Requirements for Concrete Containment Structures for CANDU Nuclear Power Plants, CSA N287.4-09, CSA, Mississauga, Ontario, Canada (R2014).
- [5] CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, Examination and Testing Requirements for Concrete Containment Structures for Nuclear Power Plants, CSA N287.5-11, CSA, Mississauga, Ontario, Canada (R2016).
- [6] CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, Pre-operational Proof and Leakage Rate Testing Requirements for Concrete Containment Structures for Nuclear Power Plants, CSA N287.6-11, CSA, Mississauga, Ontario, Canada (R2016).
- [7] CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, Aging management for concrete containment structures for nuclear power plants, CSA N287.8-15, CSA, Mississauga, Ontario, Canada (2015).
- [8] CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, In-service Examination and Testing Requirements for Concrete Containment Structures for Nuclear Power Plants, CSA N287.7-17 CSA, Mississauga, Ontario, Canada (2017).
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, ASTM D412-16, Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension, ASTM, West Conshohocken, PA, USA.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, ASTM D624-00, Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers, ASTM, West Conshohocken, PA, USA.
- [11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, ASTM D2240-15, Standard Test Method for Rubber Property Durometer Hardness, ASTM, West Conshohocken, PA, USA.
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management of Concrete Structures in Nuclear Power Plants (IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.5, (2016).
- [13] CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, Management System Requirements for Nuclear Power Plants-Second Edition, CSA N286, CSA, Mississauga, Ontario, Canada (2012).