

AMP322 建設遅延時の非コンクリート構造物の保全（2023 年版）

プログラムの概要

この AMP は、電気機械組立の開始前のいずれかの段階で工事の中断が発生した、遅延建設状態にある NPP を対象としている。すなわち、建設中いずれの段階もあり得る。したがって、この状態監視プログラムの目的は、このような状態にある NPP に対して、AMP321 で対象となるコンクリート構造物を除く構造物及び部品 (SC) の経年劣化を管理し、建設工事及び電気機械組立の再開を可能にするために適切な状態を維持し、プラントの試運転と起動を達成するような指針を示すことである。

経年劣化を管理するために取るべき措置は、そのほとんどが ACI 319.3R[1] と EPRI レポート 1015078[2]に基づいている。これらのレポートでは、安全上重要な既存の原子炉 SC の評価に関する推奨事項、例えば、目視検査を含む検査方法、試験技術とその推奨適用、様々な種類の劣化に対する許容基準や補修方法などが示されている。

現状で用いられている原子炉の技術を踏まえると、このプログラムはあらゆるタイプの原子炉プラントに適用できるが、それぞれの特殊性に注意を払う必要もある。

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：

本プログラムの対象範囲は、安全上重要な SC を含む、建設が遅れている状態の NPP の SC、及び火災防護、環境適用性、加圧熱衝撃、スクラムを伴わない予期される過渡現象、サイト内停電に際して機能を果たすために安全解析またはプラント評価で用いられているすべての SC である。また、この範囲は、定期的な目視検査と、必要に応じて、以下に列挙され、AMP319 でカバーされる SC の試験の実施からなる。

- 共通部品：梁、桁、根太、トラス、フレーム、柱、ポスト、ガート、ベースプレート、軸受プレート、ブレース、スプライス組立品、接続部、デッキ、グレーチング、ボルト、ワッシャ、ナット、溶接、スタッド、シム、金属間仕切り壁、コンクリートライン上のコンクリートへの鋼材埋め込み、パイプホイップ拘束具、ジェットバリア、ミサイルシールド、クレーン架台及びレール、洪水縁石、洪水及び防火ドア、階段、プラットフォーム、電気及び計装エンクロージャ、消防ホースラック、現場打ちまたはグラウト打設された鋼材の露出面、及びすべての後打ちコンクリート定着部
- ボルト接合：ボルト、スタッド、ナット、ワッシャ、ねじ、コンクリートへの定着に代表される接合部品などのねじ留め具
- エラストマー：防振材、建設用及び伸縮継手用シーリング材、防湿材、構造用シーリング材

この範囲に含まれる SC の経年劣化の影響と劣化メカニズムは、EPRI レポート 1015078[2]に記載されている。しかし、劣化メカニズムには、プラントの運転状況に依存して発生するものもある。従って、本 AMP のアプローチは、建設が遅れている状態の NPP であるため、以下では、この状態で発生する可能性のある劣化メカニズムのみを取り上げる。

共通部品

- 全面腐食、電解腐食、隙間腐食、孔食、浸食、**浸食腐食**、微生物による材料損失
- 応力腐食 (SCC)、及び／又は、粒界腐食 (IGA) による亀裂

ボルト接合

- 全面腐食による材料損失
- 高強度ボルト接合部での応力腐食 (SCC) による亀裂
- エラストマー
- 材料特性の変化：紫外線 (UV) 照射やオゾンへの曝露による分解、引張強度や最終のびの低下、熱曝露 ($T > 35^{\circ}\text{C}$) による架橋
- 亀裂：紫外線 (UV) 照射とオゾンによる亀裂と分解 (分裂)、熱曝露 ($T > 35^{\circ}\text{C}$) による亀裂と鎖切断

遅延建設期間中、これらの SC の保全を目指して、第 2 節で取り上げた予防措置を講じることができる。

2. 経年劣化を最小限に抑え、管理するための予防措置：

遅延建設プログラムは、いくつかの予防措置を推奨する状態監視プログラムである。

予防措置は、建設遅延状態にある NPP を保全するための重要なポイントである。第 1 節に示した SC の保護に加え、予防措置は、以下に示すような仮設工事やサイトメンテナンスから構成される。

- 塗装の使用：あらゆる予防措置の中で、それぞれの使用環境における SC の外面を保護するため、塗装を使用することが極めて有効である。一般に使用されるものは、塗料とセメントペーストである。塗料は、構造用鋼や鋼鉄製部品、コンクリート中で露出した鋼製埋込み部品、ねじ込み式ファスナー、その他腐食から保護すべき金属表面に塗布される。防食塗料は、水分の存在下で鋼材と反応し、腐食プロセスを遅らせる不動態層を鋼材上に形成する防食顔料によって保護する。セメントペーストは、風雨に曝されるエラストマーに塗布され、劣化の原因となる水分の浸入を防ぐ。塗布前には必ず表面を洗浄し、錆がある場合は事前に除去する必要がある。EPRI フィールドガイド 1025323[3]は、塗装に関する有用なツールである。
- ワックスとグリースの使用：ワックスとグリースは、金属表面を腐食から保護するために使用される。塗装と同様に、塗布前に表面を洗浄し、腐食生成物 (錆) がある場合は事前に除去する必要がある。一般に機械部品の機械加工面に使用される。
- キャップの使用：キャップは、ノズルやネジ穴などの物理的保護に使用される。
- 定期清掃 - ハウスキーピング：建設が遅れている NPP では、建設現場全体だけでなく、屋根、雨どい、既存の排水溝を含め、構造物内のすべての場所を清潔に保つことが義務付けられている。屋根については、巣や鳥の糞に特に注意を払う必要がある。鳥の糞は、水分があると腐食性の強い尿酸によって炭素鋼の表面を侵

す可能性がある。さらに、鳥の糞は真菌やバクテリアの繁殖を助長する環境で、嫌気性微生物の発生に必要な条件を作り出すため、塗装や鋼製 SC を劣化させる可能性がある。鳥が集中する場所には、例えば防鳥スパイクの設置や超音波技術の使用など、鳥を脅かすための効果的かつ何よりも生態学的手段を講じる必要がある。

- 排水システムの設置：水は通常、SC を劣化させる主な原因である。従って、水の浸入と蓄積、この双方を避けなければならない。これを達成するため、構造物の内外に効率的な排水システムを設置する必要がある。建設の遅延期間中に亘って、定期的に排水システムを清掃することは、その効果を高めるために不可欠である。
- 貫通部、シール、防水塗装の端部、継ぎ目のシーリング：水の浸入に関して、風雨に曝される貫通部、シール、防水塗装の端部、伸縮継ぎ手を含む継ぎ手部は重要なゾーンである。シーリングは入念かつ十分に行わなければならない。雨天時の機能性も確認しなければならない。水平面やわずかに傾斜した面にある場合は、水を集めて排水溝に導くシステムが必要である。通常、エラストマーは、防振材、建設用及び伸縮継手用シーリング材、防湿壁、構造物用シーリング材として NPP で使用される。建設が遅れている NPP では、劣化の原因となる水の浸入を防ぐため、風雨に曝されるエラストマーにセメントペースト塗装を施さなければならない。
- 仮設屋根の組み立て：SC を損傷する可能性のある水の浸入を避けるため、屋根のない建屋の上にテントのような仮設屋根を組み立てることができる。
- 除湿機の使用：除湿機を使用して特定の場所の湿度を管理することができる。
- 犠牲陽極の使用：海洋環境において SC を化学的に保護するために犠牲陽極を使用することができる。

3. 経年劣化の検出：

この AMP は、経年劣化の存在とそれに向けた活動を特定するために、建設が遅れている NPP の SC の十分な性能を実証するために使用できる定期評価法を適用する[1]。この方法は、特定の問題に対処することを意図しているのではなく、設計基準に対する SC の物理的状態と機能性を判断するために適用される。定期的な評価は、標準化された手順を用いて一定の頻度で繰り返されるものとし、アクセス性、物理的状態、環境暴露、予想される劣化に対する耐性などの要因を考慮して設定されるべきである。この評価形式は、NPP 全体に対する許認可申請において、技術的な正当性を証明するための効果的な方法を提供するものでなければならない。

4. 経年劣化傾向の監視と分析：

いくつかの劣化メカニズムでは、初期の顕在化及び伝播中に、露出した表面に目に見える徴候、パターン、または特徴が現れることが多いため、本プログラムの監視及び傾向分析活動として、劣化を特定するために本対象範囲の SC に対して目視検査を実施することを求めている。定期的な評価に当たって構造物に優先順位を付け選択するための基本的な基準は、その結果が挙動傾向や実施すべき試験の必要性を示す可能性のある目視検査の前に、行わなければならない。優先順位付けプロセスの意図は、何らかの劣化が発生する可能性が最も高い部分と、劣化が SC の構造健全性に致命的となり

得る部分の代表的なサンプルを検査することである。優先順位付けに共通する各 SC に関連する 3 つの主要要因は、安全上の重要性、アクセス性、及び環境暴露条件である。

目視検査は、構造性能と劣化の程度に関する定量的・定性的データを提供することができる。劣化の程度と原因、材料の欠陥、塗装の性能、加えられた荷重に対する現在の応答という観点から、アクセス可能な SC の現在の状態を明確化するために使用することができる。目視検査は定期的実施されるべきであり、アクセス性、物理的状态、環境暴露、予想される劣化に対する耐性により決定される一定の頻度で繰り返されるべきである。一般的に、目視検査は、あらゆる評価において、最初かつ主要な手法として使用され、必要に応じて非破壊検査やその他の手法によって補完される。地下構造物を含むアクセス不可能な区域の評価は、非攻撃的な環境に曝される SC と攻撃的な環境に曝される SC に大別することができる。非攻撃的な環境の場合、アクセス可能な部分に劣化の存在を示す、あるいはアクセス不可能な部分の劣化をもたらすような状況が存在する場合、アクセス不可能な部分の許容性評価を行うことができる。ただし、何らかの理由で構造物の一部が露出している場合は、代表サンプルの検査を実施しなければならない。評価の範囲と適用性、定期評価に適用されるプラントの劣化メカニズムの説明、評価チームの資格と責任、定期評価のために選択された SC とその選択理由、文書化と保管の要件、選択的評価と定期評価の用途と制限を含む承認された評価方法、許容基準、評価機器の使用と校正、定期評価の頻度などの主題に対処するための詳細な情報と推奨事項からなる評価手順書が存在しなければならない。

申請者の技術者は、SC が曝される環境及び観察される状態に応じて変化する可能性のあるプラントの許認可要件及び設計基準に準拠して、検査の頻度を決定する。もし、第二段階の許容基準を超える劣化が観察された場合、目視検査の頻度を増やすか、試験を強化することが要求される可能性がある[1]。建設が遅れている NPP の SC で実施される定期検査は、6 ヶ月を超えてはならない。

5. 経年劣化の影響の緩和：

本 AMP は状態監視プログラムであり、経年劣化の影響を緩和するための推奨は提供されていない。

6. 許容基準：

本 AMP が適用される SC の範囲内の許容基準は、基本的に NPP の 40 年の寿命に関するものと同じであるが、定期検査の間隔を大幅に短くしてバランスをとっている。

構造用鋼及び鋼製部品、ねじファスナー、エラストマーの許容基準は、EPRI 報告書 1015078[2]に記載されている。

本 AMP は、許容基準を得るための参考文献に言及しているが、許容基準は時間とともに変更される可能性があるため、許容基準自体は提示していない。従って、最新版の文書を使用することが不可欠である。

7. 是正措置：

許容基準を満たさない場合には、是正措置が推奨される。本 AMP で推奨される是正措置は、設計基準に準拠しなければならないため、安全上重要な SC に対して適用されるものであり、従って、荷重条件や要求、プラントの危険性、弾性挙動／応答、及び全体的な規制要件の点でより厳格であるが、安全上重要でない構造物に対しても採用される。修理された SC は、規制当局から設計基準を修正するための許認可変更が承認されない限り、当初の設計基準に適合する。ただし、実際の補修の選択と実施に先立ち、承認を得なければならない。加えて、修理に使用される手段、方法、材料は、プラントの許認可基準に記載されている原子力品質保証 (QA) プログラムに適合していなければならない。これらの制限は、個々に、または集合的に、補修で考慮または使用できるオプションに影響する。

実施されたモニタリングと観察された傾向に基づいて、劣化の根本原因を軽減し、SC の性能への影響を分析するための評価につながる、プラント特有の措置が取られるべきである。

建設が遅れている場合、劣化の兆候が検出された際には、セメントペーストで塗装されず風雨から保護されたエラストマーと同様に、塗装は直ちに交換されなければならない。風雨に曝され、セメントペーストで覆われているエラストマーは、工事が完了するまで交換しなければならない。

8. 運転経験のフィードバックと研究開発結果のフィードバック：

本 AMP は、IAEA TECDOC 1957[4]で報告された、建設が遅れている NPP における IAEA 加盟 6 カ国の運転経験事例と、アルゼンチンの事例を考慮している。検出された問題点、実施された是正措置とその有効性を含め、建設遅延段階における NPP の経年劣化に関連するすべての経験は、各加盟国によって分析、文書化、記録され、プラントが定期的な評価、業界全体の経験、研究開発 (R&D) プログラムの結果を取り入れたフィードバックプロセスを実施できるようになっている。必要であれば、プラント AMP を修正し追加措置を含めたり、あるいは新たな AMP を開発し、継続的な経年劣化管理の有効性を確保することができる。

9. 品質管理：

SSG-48 [5]に沿って、IGALL 安全性報告書 [6]の 4.9 節に、(a) 管理統制、(b) 安全性分析報告書の補完、(c) パフォーマンス指標、(d) 確認 (検証) プロセス、(e) データ収集と記録保存の観点から、この属性に期待される内容に関する一般的な情報が記載されている。また、SRS No.106[9]の第 2 章には経年劣化管理のためのデータ収集と記録保存に関するグッドプラクティスが記載されている。

本プログラムに関する追加的な情報はない。

References

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Report on Evaluation and Repair of Existing Nuclear Safety-Related Concrete Structures, ACI 349.3R-18, Farmington Hills, MI, 2018.

- [2] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Plant Support Engineering: Aging Effects for Structures and Structural Components (Structural Tools), EPRI Technical Report 1015078, Palo Alto, CA, 2018.
- [3] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Field Guide: Coatings Assessment, EPRI Technical Report 1025323, Palo Alto, CA, 2012.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management of Nuclear Power Plants during Delayed Construction Periods, Extended Shutdown and Permanent Shutdown Prior to Decommissioning, IAEA-TECDOC-1957, IAEA, Vienna, 2021.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-48, IAEA, Vienna, 2018.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), IAEA Safety Reports Series No. 82 (Rev. 2), IAEA, Vienna, Preprint.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-61, IAEA, Vienna, 2021.
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna, 2006.
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management and Long Term Operation of Nuclear Power Plants: Data Management, Scope Setting, Plant Programmes and Documentation, IAEA Safety Reports Series No. 106, IAEA, Vienna, 2022.