

AMP310 膨張性地盤による地盤変動(2023 年版)

プログラムの概要

本 AMP は、膨張性地盤[1]の体積膨張によって発生する地盤変動現象に適用される。同現象は、原子炉プラント (NPP) の構造物、システム及び部品に影響を及ぼす可能性がある。

一般に、建設中や初期には、構造物は地盤沈下を起こす。大抵の NPP の基礎は、固い岩盤やその他の非粘着性材質上に載っているため、沈下は建設後の最初の数ヶ月で発生し、その後は終息するか大幅に減少する傾向がある。AMP302、AMP306 及び AMP307 は、このような構造物の沈下による経年劣化を管理する上で効果的に使用できる。

一部の NPP では、地盤沈下や隆起が継続する現象が確認されている。地盤沈下は、広く研究されてよく知られた現象で、その経年劣化への影響は、AMP317 で管理されている。

地盤隆起現象はあまり一般的ではなく、膨張性土壌が水と接触してスエリングするために起こる可能性がある。膨張性地盤とは、粘土質の不飽和地盤であり (例えば、炭酸カルシウムや石灰分を多く含む泥や泥岩で、粘土やシルトを 35~65% 含むもので、これらは“Ground Movements Surveillance Manual, Ascó 2 NPP”[2]に記載されている。) その物理的特性から、水の存在下で体積膨張 (スエリング) を起こす。

建設中の残土の掘削や地下水位など土壌の変化は、NPP の寿命期間中に地盤変動を引き起こす可能性がある。

地盤膨張は体積膨張であるため、土壌は 3 つの主方向 (鉛直 1 方向と水平 2 方向) に変位する。したがって、膨張性土壌からなる地盤の上に構築された構造物や、構造物に構造的に取り付けられるシステム・部品は、土壌の鉛直上方変位成分による地盤変動 (隆起) を受け、地盤の水平変位成分による地中壁、埋設構造物、擁壁への土圧を受ける。

これらの地盤変動は、地盤変動予測モデルによりプラント設計寿命末期まで外挿される。外挿された値が安全性に関連する構造物、システム、部品に与える影響をチェックする。

実際の地盤変動は、基礎材料の特性に関する十分な知識がないため予測値と一致しない場合もあり、本現象をモニタリングすることが必要となる。

この AMP では、地盤変動の影響を調査するために、NPP の運転期間中に実施すべき活動を取り上げる。これらの監視活動には以下が含まれる。

- a 「土壌データの収集」は、水文学的な測定を除いて、実施される現場測定について記述している。地盤隆起をモニタリングする上で多くの装置が利用可能である。鉛直方向の動きは、沈下プレートや、閉鎖流体システムを利用するような遠隔沈下計によって測定することができる。その他の機器の例としては、傾斜計が挙げられる。
- b 「地盤データの評価」は、プラントの状態を忠実に確立し、地盤変動予測モデルによって定義された現在の認可基準と比較するために、データを収集・分析する。この活動は 2 つの部分からなる。
 - 地盤変動のモニタリングと、その結果と事前に用いた予測値との比較
 - 運転予定期間中、現在の許認可根拠が維持されるように予防措置を決定するための現場データの評価

- c. 「水理地質学」は、シルト・粘土層への水の浸入を制御するシステムの有効性を確保するため、データ評価方法と同様、現場での水理地質学的モニタリングシステムを確立する。このモニタリングシステムは、複数のピエゾメーターから構成されている。評価では、永久凍土地域の地温の影響を考慮する。地盤隆起を制御する上で脱水システムを利用している場合、その機能が長期運用予定期間中にわたって継続することを検証するために、さらなる評価が推奨される
- d. 「地盤工学」は、地盤変動現象の地盤工学的側面を扱う。このモニタリングシステムは、複数の伸び計で構成されることがある
- e. 「注意事項」は、プラントの運転中に観察された地盤変動現象に基づいて設定された、所有者の取扱説明書に記載されているものである。

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 AMP は、膨張性地盤による地盤変動現象が発生する NPP のサイトにおいて、基礎材料のモニタリング活動を管理し、安全性に関連するシステム、構造物、部品 (SSCs) への影響を評価する。

適用範囲には、AMP302、AMP305、AMP307、AMP318、及び AMP319 が適用されるスエリングの影響を受ける地盤上に基礎があるすべての構造物及び部品が含まれる。

例えば、PWR/BWR の場合、適用範囲に含まれる SSCs には通常以下が含まれる：

- 構造物：格納容器建屋、燃料建屋、補助建屋、制御建屋、制御棟、タービン建屋貫通部、ディーゼル発電機建屋、固形廃棄物建屋、常用冷却塔、管理システム構造物
- システム及び部品：原子炉蒸気供給システム、燃料管理システム、新燃料ラック、使用済燃料ラック、燃料建屋クレーン、燃料輸送システム、部品取扱システム、屋内の配管システム、屋間の配管入口及び出口接続部、屋間の空調ダクトの伸縮継手、屋間の電気接続部、埋設パイプライン、トンネル及びトレンチ、造的防火壁

2.経年劣化を最小化し、抑制するための予防措置：

この AMP は、NPP の寿命期間中、SSC の健全性を維持することを目的とした膨張性土壌の挙動を評価するために、土壌、地下水位、構造物に対する必須のモニタリングプログラムに対処する。

予防措置として、敷地内の地盤への水の浸入を制限し、地盤の動きが許容範囲内に収まるようにする。これを達成するために、NPP は以下を含む様々なシステムを用いることが可能である。

- 防水表面及び排水システム (雨水を集める) の設置
- 排水井戸 (防水表面から漏洩する可能性のある水を集める) の建設
- 影響を受ける建物の周囲への水平水切りネット(排水井戸を通じて土壌に接触する可能性のある水を集める) の設置
- 防水スクリーン (河川や湖沼など隣接する水源からの水の浸入を制限する) の建設

- 表層排水路 (周囲の斜面から流れてくる水を集める) の建設
- 排水システム (特に海、河口湖、貯水池に近い場所では、現場の地下水位を下げる) の設置

本 AMP は、影響を受ける建物の基礎下の土壌へ水が浸入するのを制御するシステムの有効性を調査するため、水文学的モニタリングプログラムを確立する。これらの活動により、土壌のスエリングの原因となっている地下水の監視が可能となり、それにより、以前に現場で実施された事前調査と比較して、地盤変動の中長期的な進展が予測できる。

3.経年劣化の検出:

この AMP のアプローチは、膨張性地盤の体積膨張による地盤変動である。地盤の体積膨張は、3 主方向、すなわち 1 つの鉛直方向と 2 つの水平方向に変位を発生させる。したがって、鉛直方向の変位である地盤隆起に加え、水平方向の変位による土圧が膨張性地盤で構成される全域の埋設物や擁壁に作用し、通常的地盤状態に比べて過剰な土圧が発生する。

この現象による経年劣化には、亀裂、歪み、基礎材料強度の低下、構造物の傾きなどが挙げられる。

4.経年劣化傾向のモニタリングと分析:

膨張性地盤の体積膨張は複雑な現象であり、その発生は地下水による土の飽和状態に依存する。膨張性地盤の挙動を把握し評価するには、地盤、地下水、構造物のモニタリングプログラムを実施することが必須である。これらのモニタリングプログラムはすべて、NPP の運転期間中に実施される。

モニタリングパラメータは、地盤隆起の影響により、安全性に関連する SSC の意図した機能に影響を与える可能性のあるものを検出するためのものである。

これらのパラメータには、伸び計やその他の計器を使って、構造物の要所要所の動きを長期的かつ継続的に測定することが含まれる。測定の間隔は、全体的な動きの沈下と進行速度に基づいて設定される。

8 節に示すスペインの運転経験によれば、以下のモニタリング要素が使用される。

- 地盤変動モニタリングのための基本測定システム:以下のデータ収集を含む。

地形平坦度計、壤活性層の変化を測定するために地中深くに埋め込まれた伸び計、交する 3 方向の建物間の差動を測定するための機械式三軸継手計、構造物や建物の傾きを測定するクリノメーター、重保持壁の水平変位を測定する伸び計

- 構造物の状態をモニタリングするための補完的測定システム (補足データを提供する以外に、このシステムは基本的な測定システムによって提供されるデータ解釈を比較する手段を構成する)。このシステムに含まれる要素は以下である。
- ・ 構造的評価に準拠して、最も劣化が懸念される梁柱を超音波検査し、他の構造要素で起こりうる劣化を予測する
- ・ コンクリート構造物における亀裂の検査と記録。沈下と土圧の結果として分類される亀裂を含む、いくつかの活発な亀裂の進行状況を、その長さや開口部の測定を通じて検証す

る。亀裂深さを知るために、補完的に超音波検査を実施することもできる。AMP318 は、亀裂の管理に関する追加情報を提供する。

- 地下水位モニタリングのための計装
- ・ 複数のピエゾメーター: 膨張性地盤層の過剰間隙水圧を測定するためのもので、水圧が静水圧の場合に地下水位を測定することができる。
- ・ 地下水位を直接測定するための地下水位計
- ・ サイトの地下水位を低下させるために脱水システムが使用され、設計根拠が明らかな場合、その継続的な機能が検証される

従って、プラント内に設置されたすべての計装によって、基準となる地下水位、地表面の鉛直変位、構造物の基礎沈下差、構造物間の変位、伸縮継手間、貫通部、配管・ダクト接続部の 3 方向変位、構造物の歪み、傾き、構造物地下壁、埋設構造物壁、擁壁の水平変位を測定することができる。

現場データは、SSC の実際の状態を分析し、プラントの長期運転期間中に取りべき措置を決定することを目的として、予測モデルによって決定された値及びプラントの設計基準で確立された値と比較される。得られたすべての情報とデータは、スペインの経験で示唆されたように、所有者の取扱説明書に記載される。

測定の頻度は、ケースの深刻度と実施された予防措置に準拠して定められ、いくつかの連続した検査に基づいて、傾向が確立された後に調整することができる。

スペインの経験では、例えば、地盤の動きが予測されたものと異なる場合、基本的な測定と補完的な測定の頻度は、原子炉プラント構造物の設計に精通し経験を積んだ有資格の構造エンジニアによって評価される。さらに、長期運転期間終了時に実際の沈下量が予測値の 75% 以上であれば、測定頻度は 1 年を超さないよう設定する。測定頻度は、何回かの連続検査に基づく傾向が確立された後に調整することができる。

5. 経年劣化の緩和:

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一般的な推奨を含んでいない。しかし、構造物、システム、部品の劣化が許容基準 (通常、設計基準との間にいくらかの安全マージンがある) を超えた場合、詳細なモニタリングと傾向分析、及び劣化の根本原因を緩和するための構造評価に基づいて、プラント特有の緩和措置を講じることができる。これには、配管、貫通部、ダクトのある建物から別の建物へ移動する箇所へ柔軟な支持部 (スナバー、リミットストップ、ベローズ) を設置することも含まれる。

6. 許容基準:

地盤隆起の許容基準は、その設計値を定義する現象の当初の評価で得られた予測値に基づいている。許容値は、設計値からある程度の安全マージン (例えば 20%) を持つ。実測値が予測値を超えた場合、その根本原因と、長期運転期間中に構造物が現行の許認可基準を満たす能力を判断するために、具体的な調査と評価が行われる。

7. 是正措置:

許容基準を満たさない地盤隆起の測定値に対して評価が行われる。評価の結果、補修または交換の必要性が示された場合、プログラムに従って措置が開始される。さらに、是正措置には、劣化の根本原因を軽減するための評価も含まれる。是正措置に関するプラント特有の要求事項がない場合は、米国連邦規則集 10 CFR Part 50、Appendix B[3]の要求事項を用いて措置を実施することができる。

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 AM 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は、IAEA 原子力シリーズ No.NP-T-3.5, 2016 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[4]である。

地盤変動(隆起)現象は、1980年代初頭にスペインのある NPP で初めて検出され、研究され、モデル化された。この現象は、炭酸カルシウムや石灰分を多く含む泥や泥岩で構成され、粘土やシルトを 35%~65%含む膨張性土壌が原因で発生する。

これらの研究の結果、Asco 2NPP の SSC に対する地盤隆起の影響に対する“Ground Movements Surveillance Manual, Ascó 2 NPP”[2]が、1984年に承認され、それ以来厳密に遵守されている。

この AMP が作成された時点では、関連する研究開発は確認されていない。

9. 品質管理:

SSG-48[5]に沿って、IGALL 安全報告書の 4.9 項では、(a) 管理統制、(b) 安全分析報告書の補足、(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持、これら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を提供している[6]。さらなるガイダンスは SSG61 の Paras 3.13.16-3.13.17 の安全解析報告書の補足[7]、GS-G-3.1 の確認プロセス (予防措置については Paras 6.76-6.77、是正措置については Paras 6.66-6.75) にあり[8]、SRS No.106 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[9]。

この AMP に関する追加情報はない。

References

- [1] SALAS, J.A.J. y ALPAÑES, J.L.J., Geotecnia Y Cimientos – Propiedades de los suelos y de las rocas, Editorial Rueda, 2ª Edition, 1975.
- [2] SPANISH NUCLEAR SAFETY COUNCIL - CSN, Ground Movements Surveillance Manual, ASCO 2 NPP, 1984.

- [3] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, 10CFR Part 50, Appendix B, Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants, National Archives and Records Administration, June 2021.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management of Concrete Structures in Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.5, IAEA, Vienna, 2016.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards, Specific Safety Guide 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.