

※第4回意見交換会 資料3－2
転載許諾手続きが完了したため、
マスキングを外し、再提出

第3回意見交換会の事業者対応状況の説明 (資料2-3参考2)の補足説明(コンクリート照射知見)

2020年6月15日
原子力エネルギー協議会

1. はじめに
2. 電気事業者のコンクリートに係る技術開発テーマの紹介
3. 地下水の化学的侵食に関する研究成果概要
4. アルカリ骨材反応に関する研究成果概要
5. 機械振動に関する研究成果概要
6. 長期間の熱影響評価技術に関する研究成果概要
7. まとめ

(参考) 公開文献リスト

1. はじめに

- 産業界においては、高経年化対策に係る技術開発課題への取り組みを効率的に推進するための組織として、2007年にPLM研究推進会議及びその下にPLM研究総括検討会を設置しており、電力会社、電力中央研究所、メーカー、ゼネコン等が主体となって活動している。
- PLM研究総括検討会には各経年劣化事象を個別に扱うサブグループが設置され、個別の技術開発課題に対する研究方針や具体的な研究計画の検討が行われており、その研究成果は発電所の保全活動や高経年化技術評価に反映され、原子力発電所の長期運転に対する信頼性が向上される。
- 先日NRA技術報告への対応状況をご説明したコンクリートに関しても、以下の取り組みを実施しているところであり、NRA技術報告も踏まえながら、引き続き、長期運転に向けた自主的な安全性向上への取り組みを推進していく。

<コンクリートに係る技術開発テーマ>

- ・検査・モニタリング技術「地下水の化学的侵食」（2018年度終了）
 - ・評価手法の開発・検証「長期間の熱影響評価技術」（2021年度終了予定）
- ほか

2. 電気事業者のコンクリートに係る技術開発テーマの紹介

①地下水の化学的侵食に関する研究成果概要

実施概要：コンクリートの浸漬試験により化学的侵食の影響は小さいこと、原子力発電所のコンクリートの地下水成分の調査により化学的侵食が起こる可能性は小さいことを確認した。

成果公開：地下コンクリートの化学的侵食に関する健全性評価手法に関する研究(その1～3),日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019

②アルカリ骨材反応に関する研究成果概要（構造性能への影響）

実施概要：アルカリ骨材反応を強制的に生じさせたRC耐震壁を模擬した試験体による面内曲げせん断試験により、アルカリ骨材反応による劣化がRC耐震壁に与える影響を把握した。

成果公開：アルカリ骨材反応を生じたRC耐震壁の面内曲げせん断特性(その1～2),日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019

③機械振動に関する研究成果概要（コンクリートの疲労試験）

実施概要：機械振動による劣化に着目し、コンクリート供試体およびアンカー部試験体の繰り返し載荷試験により、疲労による強度、耐力に対する影響の考察を行った。

成果公開：Residual Static Strength of Concrete Cylinder Specimen and Stud Anchor Specimen after Cycle Loadings, Journal of Advanced Concrete Technology, 2016

④長期間の熱影響評価技術に関する研究成果概要

実施概要：長期間加熱を受けるコンクリートの物性変化に関するデータ拡充を目的として、10年間のコンクリートの加熱試験を実施中。（2021年度終了予定）

成果公開：Experimental Study on long-term Thermal Effect on Concrete, SMiRT-24, 2017（途中経過）

3. 地下水の化学的侵食に関する研究成果概要

- 目的： 浸漬試験による化学的侵食の影響把握、原子力発電所への影響評価
- 期間： 2013年度～2018年度
- 体制： PB 9 電力 + 日本原電 + 電源開発 + 日本原燃による電力共通研究
- 内容： コンクリートの浸漬試験により、化学的侵食の影響について検討した。また、原子力発電所のコンクリートの地下水成分の調査により、化学的侵食による劣化が起こる可能性について検討した。

■ 成果：

- ・実環境下で確認されるような酸や硫酸塩の濃度では、コンクリートの変状はほとんど起こらず、60年における変質深さは10mm以下であり、化学的侵食の影響は小さいと考えられる。

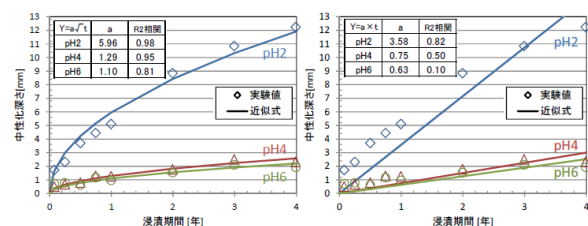


図-2 硫酸溶液に浸漬した場合の中性化深さ

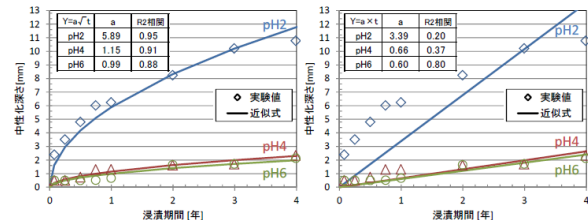


図-3 硝酸溶液に浸漬した場合の中性化深さ

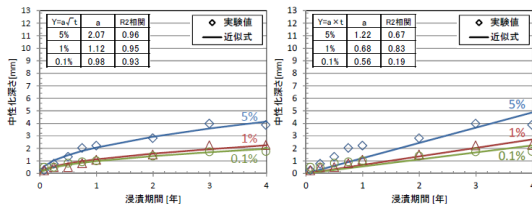


図-4 硫酸ナトリウム溶液に浸漬した場合の中性化深さ

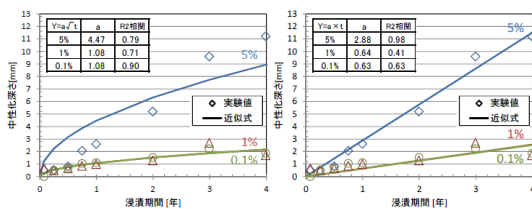


図-5 硫酸マグネシウム溶液に浸漬した場合の中性化深さ

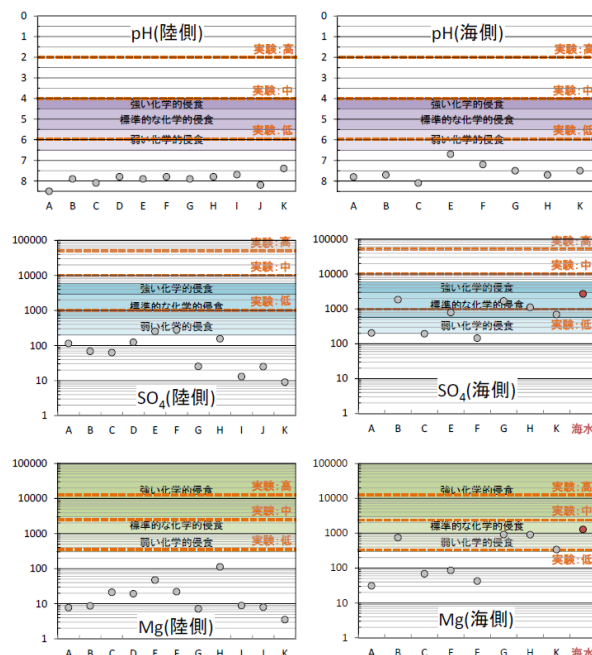


図-6 地下水成分の EN 規格、実験的検討との比較

4. アルカリ骨材反応に関する研究成果概要

- 目的： アルカリ骨材反応による劣化がRC耐震壁の構造性能に与える影響把握
- 期間： 2013年度～2021年度（予定）
- 体制： PB 9 電力 + 日本原電 + 電源開発 + 日本原燃による電力共通研究
- 内容： アルカリ骨材反応を強制的に生じさせたRC耐震壁を模擬した試験体による面内曲げせん断試験により、アルカリ骨材反応による劣化がRC耐震壁の構造性能に与える影響を検討した。

■ 成果：

- ・加力実験における最大強度は、アルカリ骨材反応の有無やアルカリ骨材反応進展時の拘束条件に係わらず、いずれの試験体もJEAC式によるせん断強度計算値を上回った。

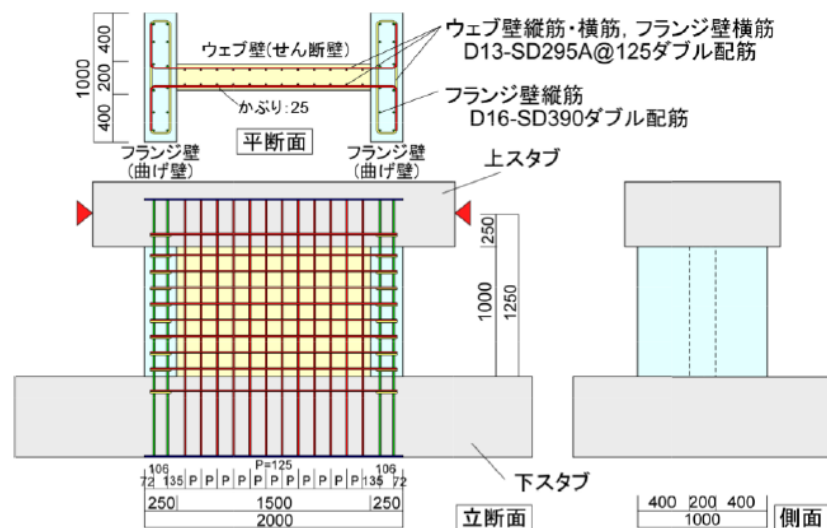


図1 試験体形状・配筋

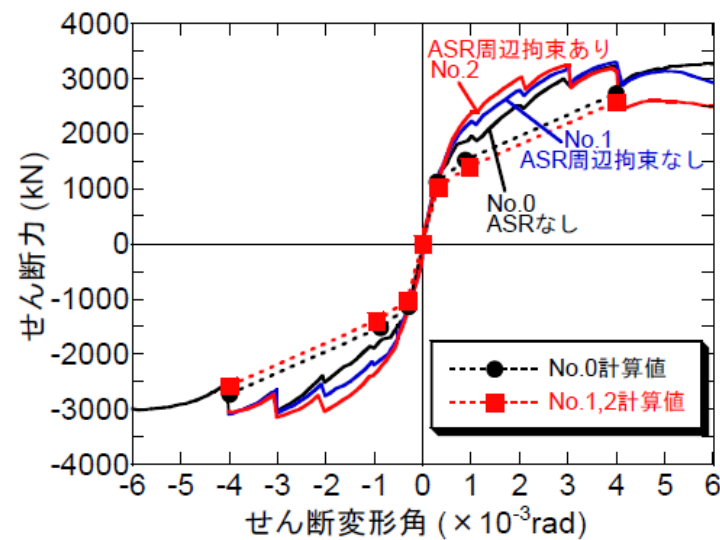


図7 復元力特性

5. 機械振動に関する研究成果概要

- 目的： 機械振動に起因する繰返し荷重（疲労）のコンクリートへの影響把握
- 期間： 2010年度～2018年度
- 体制： PB9電力＋日本原電＋電源開発＋日本原燃による電力共通研究
- 内容： 機械振動による劣化に着目し、コンクリート供試体およびアンカー部試験体の繰返し載荷試験により、疲労による機器支持部の剛性・耐力への影響について検討した。

■ 成果：

- ・コンクリートの疲労寿命は円柱試験体圧縮疲労強度式で概ね評価出来ることが分かった。
- ・繰返し載荷後に静的耐力試験を行った結果、上限応力が長期許容引張力以下の場合、アンカー部には剛性低下や耐力低下が発生しないことが分かった。

表1 繰返し載荷後の耐力試験結果

No.	Tmax(上限荷重)	繰返し回数	静的耐力* ¹ (kN)	圧縮強度* ² (N/mm ²)
1	0.75 (69.6kN)	466,797	107.7	32.1
3	0.65 (60.4kN)	719,413	101.3	32.1
4		20,000	92.6	32.1
2	0.22 (20.2kN)	10,000,000	108.5	33.2
5	(長期許容引張力対応ケース)	2,000,000	100.2	32.1
6		20,000	98.1	32.1
7	静的試験結果	—	92.8	31.9

Tmax：静的試験結果（No.7）に対する上限荷重の比率

*1：繰返し載荷後の静的耐力、*2：円柱試験体の圧縮強度

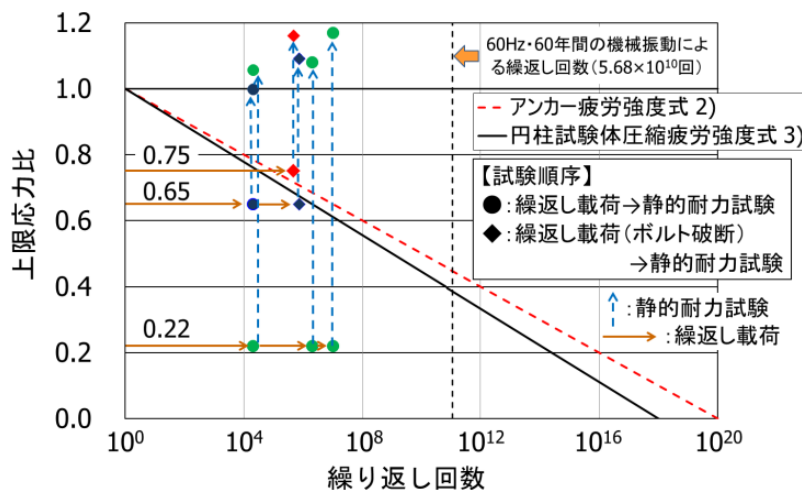


図2 S-N 曲線上における試験結果

6. 長期間の熱影響評価技術に関する研究成果概要

- 目的： 長期間加熱を受けるコンクリートの物性変化に関するデータ拡充
- 期間： 2010年度～2021年度（予定）
- 体制： PB 9 電力 + 日本原電 + 電源開発 + 日本原燃による電力共通研究
- 内容：
 - ・シリンダー供試体の加熱試験（65℃、90℃加熱）による力学特性等の把握
 - ・模擬部材試験体の加熱試験（95℃加熱）による力学特性等の把握
 - ・加熱期間：10年間（加熱前～10年目までの各段階で試験実施）



写真－1 加熱1年後の密封容器



(左: 非加熱 / 右: 加熱)
写真－1 加熱試験状況

- 成果：
 - ・現在、継続的にデータ取得中。（途中経過を論文により公開）
 - ・厳正な管理のもと、順調にデータを積み重ねており、完了まで確実なデータ取得に努める。

7. まとめ

- 検査・モニタリング技術としては、部材レベルの性能評価につなげるモニタリング技術の高度化が必要。また、サンプリングの代表性、説明性の向上が重要。
- 評価手法の開発・検証としては、将来予測のために外挿で必要となる経年変化メカニズムの解明と構成則の高度化が必要。
- 廃止措置プラントを活用した研究の推進が必要。
- 今後も計画的に研究を推進することで、自主的な安全性向上、高経年化技術評価の信頼性向上および説明性向上に努める。

(参考) 公開文献リスト

①地下水の化学的侵食に関する研究

- 地下コンクリートの化学的侵食に関する実験的検討(その1,2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016
- 40 年以上経過した既存地下コンクリートの調査(その1,2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017
- 地下コンクリートの化学的侵食に関する健全性評価手法に関する研究(その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019

②アルカリ骨材反応に関する研究

- アルカリ骨材反応を生じたRC耐震壁の面内曲げせん断特性(その1,2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019

③機械振動に関する研究

- コンクリートの疲労試験(その1,2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016
- Residual Static Strength of Concrete Cylinder Specimen and Stud Anchor Specimen after Cycle Loadings, Journal of Advanced Concrete Technology, 2016
- ひび割れがあるアンカー部の耐力試験(その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018
- ひび割れがあるアンカー部の耐力試験(その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019

④長期間の熱影響評価技術に関する研究

- 長期高温加熱を受けるマスコンクリートの物性変化に関する検討(その1,2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012
- 長期高温加熱を受けるマスコンクリートの物性変化に関する検討(その3~6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2013
- 長期高温加熱を受けるマスコンクリートの物性変化に関する検討(その7~10), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017
- Experimental Study on long-term Thermal Effect on Concrete, SMIRT-24, 2017