

| | |
|------------------|------------|
| 東海第二発電所 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | 工認-132 改3 |
| 提出年月日 | 平成30年5月22日 |

V-2-9-1-1-1 原子炉格納容器底部コンクリートマットの
耐震性についての計算書

目次

| | |
|------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造概要 | 3 |
| 2.3 評価方針 | 7 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 10 |
| 3. 応力解析による評価方法 | 11 |
| 3.1 評価対象部位及び評価方針 | 11 |
| 3.2 荷重及び荷重の組合せ | 13 |
| 3.3 許容限界 | 16 |
| 3.4 解析モデル及び諸元 | 19 |
| 3.5 評価方法 | 21 |
| 4. 評価結果 | 31 |
| 4.1 応力解析による評価結果 | 31 |

本日も説明

別紙 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響(原子炉格納容器底部コンクリートマット)

別紙 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響

(原子炉格納容器底部コンクリートマット)

目次

| | |
|---------------------------|------|
| 1. 概要 | 別紙-1 |
| 2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査 | 別紙-1 |
| 2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性 | 別紙-1 |
| 2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性 | 別紙-2 |
| 3. 施設を構成する部材の構造特性 | 別紙-4 |
| 4. まとめ | 別紙-4 |

1. 概要

原子炉格納施設は、炉心が損傷するような重大事故等時において、設計圧力、設計温度を超えることが想定される。原子炉格納施設のうち原子炉格納容器内の温度は、重大事故等時には高温状態が一定期間継続すると推定される。

よって、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、既往の文献・規格等に基づき、高温時の健全性を確認する。

2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査

2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性

鉄筋コンクリートは、コンクリートと鉄筋で構成され、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、一般に、コンクリート・鉄筋は、温度の上昇と共に強度・剛性は劣化し、ひずみが大きくなる傾向にあるとされている。

コンクリートについては、セメント水和物及びその吸着水、水和物で構成される細孔内に存在する毛管水、毛管より大きな空隙に存在する自由水から成る多孔体である。一般的にコンクリートの温度が70℃程度では、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃以下では圧縮強度の低下は小さいとされる。また、コンクリートの温度が大気圧において100℃を超すと自由水が脱水し始め、その温度作用時間が長期間になると結晶水も脱水し始める。コンクリート温度が190℃付近では結晶水が解放され始め、さらに高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされる。

鉄筋については、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、強度及び剛性は、概ね200℃から300℃までは常温時の特性を保持するとされている。

2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、内表面が構成ライナで覆われていること、重大事故等時には、冷却水による水蒸気で満たされていることから、高温によるコンクリートからの水分逸散のないシール状態にある。それを踏まえ、シール状態で高温加熱を受けたコンクリートの文献収集を行った。高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献を表 2-1 に示す。

文献 No. 1 及び No. 2 では、加熱温度 175 °C のコンクリートへの影響について検討されている。文献 No. 1 では、シール状態において強度は熱水反応により一様な変化は示さないとされており、加熱期間 91 日までは、概ね加熱前と強度は同等と考えられる。アンシール状態では加熱期間 28 日までの低下率は 10 % 以内に収まるとされている。文献 No. 2 では、シール状態においては、加熱期間 91 日まで強度の低下は認められない。

また、文献 No. 3～No. 7 は、加熱温度 110 °C のコンクリートへの影響について検討されている。No. 4 は加熱期間 50 日について検討されており、強度低下は認められないとされている。また、No. 3 は加熱期間 3.5 年間、No. 5～No. 7 は加熱期間 2 年間について検討され、いずれも強度の低下傾向は認められないとされている。

それぞれの加熱温度における剛性に着目すると、加熱温度 175 °C において、アンシールの条件下では、加熱期間 1 日でも急激に低下する場合があるとされており、水分の逸散と高い相関があると考えられる。一方、シール状態では大きな低下はなく、加熱温度 110 °C では加熱後ごく初期に剛性の変化は収束するとされている。

以上より、175 °C 程度までの高温環境によるコンクリート強度への影響は小さい。また、コンクリートの剛性については、高温環境による水分逸散の影響が大きく、シール状態においても剛性の低下の傾向は認められるが、加熱後ごく初期に収束するため影響はない。

表 2-1 高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献一覧

| No. | 文献名 (出典) | 著者 | 試験条件 | | |
|-----|---|--|---|--|--------------|
| | | | 温度 | 加熱期間 | 水分 |
| 1 | 高温 (175°C) を受けたコンクリートの強度性状 (セメント・コンクリート No. 449, July 1984) | 川口 徹, 高橋久雄 | 175°C | 1~91 日 | シール アンシール |
| 2 | 高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究 (日本建築学会構造系論文集 第 457 号, 1994 年 3 月) | 長尾覚博, 中根 淳 | 40~175, 300, 600°C | 1~91 日 (~175°C) 7 日 (300, 600°C) | シール アンシール |
| 3 | 熱影響ばにおけるコンクリートの劣化に関する研究 (第 48 回セメント技術大会講演集, 1994) | 長尾覚博, 鈴木智巳, 田淵正昭 | ①65, 90, 110°Cの一定 加熱 ②20~110°Cのサイクル 熱 | 1 日~3.5 年間 | シール アンシール |
| 4 | 長期高温加熱がコンクリートの力学特性に及ぼす影響の検討 (日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010 年 9 月) | 木場将雄, 山本知弘, 久野通也, 島本 龍, 一瀬賢一, 佐藤 立 | ①20°Cの一定加熱 ②110°Cのサイクル加熱 | ①50 日 ②1~50 サイクル (1 サイクル: 1 日) (注) 110°Cの期間: 9h | シール アンシール |
| 5 | 長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 1 実験計画と結果概要) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月) | 菌田 敏, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 池内俊之, 大池 武 | ①20, 110, 180, 325°C の一定加熱 ②~110°C, ~180°C ~325°Cのサイクル加 熱 | ①1 日~24 か月 ②1~180 サイクル (1 サイクル: 72 時間) (注) 高温保持時間: 24 時間 | シール アンシール |
| 6 | 長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 2 普通コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月) | 池内俊之, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 菌田 敏, 大池 武 | | | |
| 7 | 長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 3 耐熱コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月) | 大池 武, 池内俊之, 北野剛人, 長尾覚博, 菌田 敏, 守屋正裕 | | | |

3. 施設を構成する部材の構造特性

「発電用原子炉設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（(社)日本機械学会，2003）」では、部材内の温度差及び拘束により発生する熱応力は、自己拘束的な応力であることから、十分な塑性変形能力がある場合、終局耐力に影響しないこととされている。

また、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、コンクリート内表面が高温となっても、十分な厚さのコンクリートがあり、その底面の地中温度は不易層の温度（15℃）であるため、全体が高温になることはない。原子炉格納容器底部コンクリートマットの内表面が高温となると、その下端には水平方向に引張が発生するが、地盤による拘束もあるため、その応力レベルは部材剛性に影響を与えるものではない。

更に、基礎地盤の支持性能について、重大事故等時の状態と設計基準状態とで、材料特性の相違は小さく、地震応答解析による接地圧への影響は大きくないと考えられ、かつ設計基準の状態における基準地震動 S_0 に対する最大接地圧は、許容限界に対して十分な余裕を有していることから、構造特性についても設計基準状態との相違は小さい。

4. まとめ

鉄筋コンクリート建造物の高温時の健全性について、既往の文献・規格基準に基づき評価を行い、原子炉格納容器の重大事故等時における高温状態に対しても、鉄筋コンクリート建造物の強度及び剛性への影響は小さいことを確認した。