

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|-----------------------|------------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | 02-補-E-19-0600-40-6_改4 |
| 提出年月日 | 2021年11月15日 |

補足-600-40-6 Bijlaard の方法の適用文献について

1. 概要

女川原子力発電所第2号機の補正工認図書について、容器胴の脚取付部の評価には、J E A G 4 6 0 1 - 1987に基づき Bijlaard の方法を適用している。

J E A G 4 6 0 1 - 1987 では、表1に示す「Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, WRC bulletin 107 / August 1965.」(以下、「Bijlaard 引用文献」という。)の1979年版を適用することが記載されている。しかし、Bijlaard 引用文献の1979年版の応力係数表 (Table-8) には「 β_1/β_2 」*と記載があり、他の発行年版の応力係数表に記載された「 β_2/β_1 」と異なる。

これを踏まえ、本資料では、Bijlaard 引用文献の応力係数表を適用する設備に対し、応力係数表の「 β_1/β_2 」と「 β_2/β_1 」の違いによる評価への影響を確認する。

注記* : アタッチメントパラメータ β は、以下の通り定義される。

$$\beta_1 = C_1 / r_m$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m$$

(記号の説明)

C_1 : 脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の周方向)

C_2 : 脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)

r_m : 脚付け根部の胴の平均半径

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却浄化系熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-1-1 原子炉補機冷却水系熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-1-5 原子炉補機冷却海水系ストレーナの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-2-1 高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-1-3 原子炉格納容器シヤラグの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-2-1 機器搬出入用ハッチの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-2-2 逃がし安全弁搬出入口の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-2-3 制御棒駆動機構搬出入口の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-2-4 サプレッションチェンバ出入口の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-3-1 所員用エアロックの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-4-1 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-2-4-2 原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-9-4-6-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書」

- ・「VI-2-10-1-2-1-5 非常用ディーゼル発電設備 軽油タンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-2-5 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 軽油タンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-3-3 ガスタービン発電設備 軽油タンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-11-2-6 ほう酸水注入系テストタンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-3-3-6-1-2-2 機器搬出入用ハッチの強度計算書」
- ・「VI-3-3-6-1-2-4 逃がし安全弁搬出入口の強度計算書」
- ・「VI-3-3-6-1-2-6 制御棒駆動機構搬出入口の強度計算書」
- ・「VI-3-3-6-1-2-8 サプレッションチェンバ出入口の強度計算書」
- ・「VI-3-3-6-1-3-2 所員用エアロックの強度計算書」
- ・「VI-3-3-6-1-4-2 原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」
- ・「VI-3-3-6-1-4-5 原子炉格納容器電気配線貫通部の強度計算書」

2. Bijlaard 引用文献の発行年による応力係数表の違い

Bijlaardの方法は、胴及び脚付根部の形状からシェルパラメータ γ 、アタッチメントパラメータ β を決定し、Bijlaard引用文献に記載された図表から応力や応力係数を読み取ることにより、胴の脚付根部に発生する応力を算出する方法である。

ここで、J E A G 4 6 0 1 -1987では、Bijlaard引用文献の1979年版を適用することが記載されているが、Bijlaard引用文献の発行年版により応力係数表の「 β_1/β_2 」の記載に違いがある。Bijlaard引用文献の各発行年における応力係数表 (Table-8) の記載を表1に示す。

表1 Bijlaard引用文献の発行年と応力係数表 (Table-8) の記載

| 引用文献名 | 発行年 | 応力係数表 (Table-8) の記載 | 備考 |
|--|----------|---------------------------|---------------------------|
| Wichman, K.R. et al.:Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, WRC bulletin 107 / August 1965. | (1)1965年 | β_2/β_1 | |
| | (2)1979年 | β_1/β_2 | J E A G 4 6 0 1 -1987にて引用 |
| | (3)2002年 | β_2/β_1 | J E A C 4 6 0 1 -2015にて引用 |
| Wichman, K. R. et al.:Precision Equations and Enhanced Diagrams for Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells Due to External Loadings for Implementation of WRC Bulletin 107, Welding Research Council bulletin, WRC bulletin 537 / 2010 | (4)2010年 | β_2/β_1 | |

3. Bijlaard 引用文献の応力係数表を適用する設備

Bijlaard の方法を用いて評価する設備には、燃料プール冷却浄化系熱交換器等の容器類や原子炉格納容器に接続する設備が含まれる。これらの設備のうち、応力係数表 (Table-8) を適用するのは「シェルの形状が円筒胴かつアタッチメントの形状が矩形」の設備であり、具体的には以下のとおり。

- ・燃料プール冷却浄化系熱交換器
- ・残留熱除去系熱交換器
- ・原子炉補機冷却水系熱交換器
- ・原子炉補機冷却海水系ストレーナ
- ・高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器
- ・フィルタ装置
- ・非常用ディーゼル発電設備軽油タンク
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク
- ・ガスタービン発電設備軽油タンク
- ・ほう酸水注入系テストタンク

なお、原子炉格納容器に接続する設備は「シェルの形状が円筒胴かつアタッチメントの形状が矩形」ではない (表 2 参照) ため、応力係数表 (Table-8) は適用しない。

表 2 原子炉格納容器に接続する設備の形状

| 原子炉格納容器に 接続する設備 | 形状 | |
|--------------------|----------|---------|
| | シェル | アタッチメント |
| 原子炉格納容器シヤラグ | 球形胴 | 矩形 |
| 機器搬出入用ハッチ | 円筒胴 | 円形 |
| 逃がし安全弁搬出入口 | 球形胴 | 円形 |
| 制御棒駆動機構搬出入口 | 球形胴 | 円形 |
| サプレッションチェンバ出入口 | 円筒胴 | 円形 |
| 所員用エアロック | 球形胴 | 円形 |
| 原子炉格納容器配管貫通部 | 球形胴又は円筒胴 | 円形 |
| 原子炉格納容器電気配線貫通部 | 球形胴又は円筒胴 | 円形 |

4. Bijlaard 引用文献の応力係数表を適用する設備に対する影響確認

Bijlaard 引用文献の応力係数表を適用する設備に対し、Bijlaard 引用文献の応力係数表 (Table-8) の「 β_1/β_2 」と「 β_2/β_1 」の違いによる影響について確認した結果を表 3 に示す。また、燃料プール冷却浄化系熱交換器を例として、影響確認の計算過程を表 4 に示す。

影響確認の結果、J E A G 4 6 0 1 -1987 に基づいて現状適用している Bijlaard 引用文献の 1979 年版の「 β_1/β_2 」と、Bijlaard 引用文献の他の発行年版の「 β_2/β_1 」の違いによる発生応力の差は軽微であり、Bijlaard 引用文献の応力係数表を適用する設備の評価への影響は小さいことを確認した。

表3 応力係数表の違いによる影響確認結果（基準地震動 S_s による評価結果）

| 機器名称 | 1979年版 | | 2002年版 | | 許容応力 [MPa] |
|--------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|------------------------|---------------|
| | β_1/β_2 | σ_{11} [MPa] | β_2/β_1 | σ_{11} [MPa] | |
| 燃料プール冷却浄化系熱交換器 | 1.800 | 135 | 0.556 | 127 | 342 |
| 残留熱除去系熱交換器 | 2.400 | 159 | 0.417 | 154 | 408 |
| 原子炉補機冷却水系熱交換器 | 2.700 | 188 | 0.370 | 182 | 415 |
| 原子炉補機冷却海水系ストレーナ | 3.457 | 41 | 0.289 | 43 | 355 |
| 高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器 | 2.000 | 95 | 0.500 | 93 | 415 |
| フィルタ装置 | $\beta_1 = \beta_2$ | | | | |
| 非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク | 2.308 | 48 | 0.433 | 47 | 338 |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 軽油タンク | 2.000 | 66 | 0.500 | 65 | 418 |
| ガスタービン発電設備 軽油タンク | 0.576 | 33 | 1.737 | 33 | 432 |
| ほう酸水注入系テストタンク | 0.600 | 23 | 1.667 | 21 | 431 |

表 4 応力係数表の違いによる影響確認の計算過程（燃料プール冷却浄化系熱交換器の例）

| 1979年版 (β_1, β_2) | 2002年版 (β_2, β_1) |
|--|-------------------------------|
| | |
| <p>備考：表中に用いた式を「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」中の式番号で以下に示す。</p> <p>r_m : (5.3.1.1.11), γ : (5.3.1.1.17), β_1 : (5.3.1.1.18), β_2 : (5.3.1.1.19), $\sigma_{\phi 411}$: (5.3.1.1.31), $\sigma_{X 411}$: (5.3.1.1.32), $\sigma_{\phi 41}$: (5.3.1.1.40), $\sigma_{X 41}$: (5.3.1.1.41), $\sigma_{1\theta\phi}$: (5.3.1.1.63), $\sigma_{1\theta X}$: (5.3.1.1.64), $\sigma_{1\theta}$: (5.3.1.1.62)</p> | |

5. 結論

女川原子力発電所第 2 号機の補正工認図書のうち、Bijlaard 引用文献の応力係数表 (Table-8) を適用する設備に対し、応力係数表の「 β_1/β_2 」と「 β_2/β_1 」の違いによる評価への影響を確認した結果、発生応力の差は軽微であることを確認した。

よって、上記設備の耐震性についての計算書においては、応力係数表の「 β_2/β_1 」を適用する。