

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| 泊発電所2号炉審査資料 |                      |
| 資料番号        | HTN2-PLM30(冷停)-コン 改3 |
| 提出年月日       | 令和2年8月27日            |

泊発電所2号炉 高経年化技術評価  
(コンクリート構造物及び鉄骨構造物)

補足説明資料

令和2年8月27日  
北海道電力株式会社



：枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

目次

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 1. 概要                              | 1    |
| 2. 基本方針                            | 3    |
| 3. 評価対象と評価手法                       | 5    |
| 3.1 代表構造物の選定                       | 5    |
| 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出          | 9    |
| 3.3 劣化要因ごとの評価対象部位の選定結果             | 12   |
| 3.4 評価手法                           | 12   |
| 4. 代表構造物の技術評価                      | 14   |
| 4.1 コンクリート構造物の強度低下                 | 14   |
| 4.2 コンクリート構造物の遮へい能力低下              | 23   |
| 4.3 現状保全                           | 24   |
| 4.4 総合評価                           | 24   |
| 4.5 高経年化への対応                       | 24   |
| 5. 代表構造物以外の技術評価                    | 24   |
| 6. まとめ                             | 25   |
| 6.1 審査ガイド適合性                       | 25   |
| 6.2 保守管理に関する方針として策定する事項            | 26   |
| 別紙1 保守管理要則における目視点検の項目，方法及び判定基準について | 1-1  |
| 別紙2 泊2号炉周辺地域の凍害危険度及びコンクリートの空気量について | 2-1  |
| 別紙3 温度分布解析の方法，条件及び結果について           | 3-1  |
| 別紙4 放射線照射の影響に対する構造健全性評価結果について      | 4-1  |
| 別紙5 空気環境の測定方法及び位置について              | 5-1  |
| 別紙6 中性化深さの推定値の算出過程について             | 6-1  |
| 別紙7 塩分浸透における評価点の妥当性について            | 7-1  |
| 別紙8 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算出過程について       | 8-1  |
| 別紙9 機械振動の評価対象部位及び評価点の選定過程について      | 9-1  |
| 別紙10 泊2号炉周辺の地下水による経年劣化影響について       | 10-1 |

#### 4. 代表構造物の技術評価

##### 4.1 コンクリート構造物の強度低下

##### 4.1.1 熱による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート（1次しゃへい壁）とした。

評価点は、ガンマ発熱の影響の最も大きい炉心領域部及び原子炉容器支持構造物（以下、「RV サポート」という。）からの伝熱の影響の最も大きい RV サポート直下部とした。内部コンクリート（1次しゃへい壁）の概要を図1に示す。

評価については、コンクリートの温度制限値と温度分布解析の結果を比較した。温度分布解析の方法、条件及び結果を別紙3に示す。

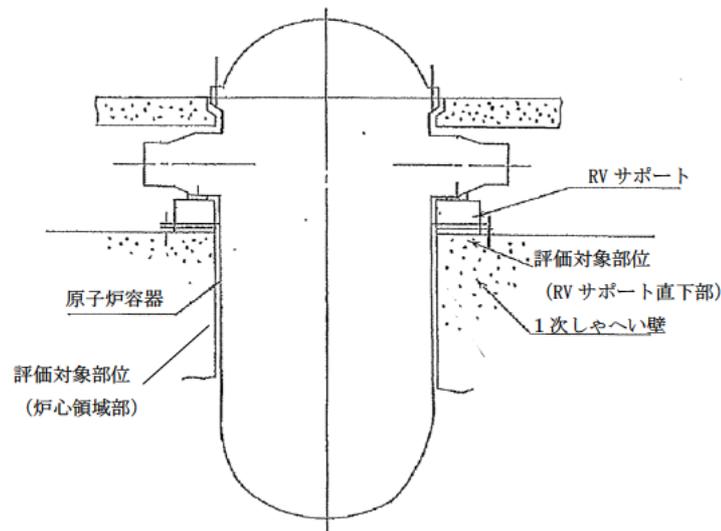


図1 内部コンクリート（1次しゃへい壁）の概要

##### (2) 評価結果

コンクリートの温度制限値は設計基準強度確保の観点から、局部では90℃、一般部では65℃と定められている<sup>1)</sup>。

これに対して、温度分布解析の結果、コンクリート内の最高温度は炉心領域部で約62℃、断続的運転を前提とした場合におけるRVサポート直下部で約53℃であり、いずれの部位においても、コンクリートの最高温度は温度制限値を下回っている。

以上から、熱による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

1) (社)日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説」(1988)

#### 4.1.2 放射線による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち、中性子照射量及びガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート（1次しゃへい壁）とした。

評価点は、中性子照射量及びガンマ線照射量が最大となる1次しゃへい壁炉心側コンクリートとした。

評価については、評価点における運転開始後60年時点で予想される中性子照射量及びガンマ線照射量を解析により算出した。

##### (2) 評価結果

中性子照射と強度の関係に関しては、従来 Hilsdorf ほかの文献<sup>2)</sup>における「中性子照射したコンクリートの圧縮強度（ $f_{cu}$ ）と照射しないコンクリートの圧縮強度（ $f_{cu0}$ ）の変化」を参照していた。一方、小嶋ほかの試験結果<sup>3)</sup>を踏まえた最新知見によると、コンクリートの圧縮強度は、およそ  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  の中性子照射量（ $E > 0.1 \text{MeV}$ ）から低下する可能性が確認されている。

断続的運転を前提とした場合における運転開始後60年時点で予想される中性子照射量（ $E > 0.11 \text{MeV}$ ）は、放射線照射量解析の結果、評価点において最大約  $3.6 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  となるが、照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超えるコンクリートの範囲は、1次しゃへい壁の厚さ（最小壁厚279cm）に比べて小さく、深さ方向に最大でも9cm程度である。当該範囲のコンクリートを除いた構造体の耐力が、地震時の鉛直荷重等を上回ること、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1987）」に基づく、内部コンクリート（1次しゃへい壁含む）のせん断ひずみ評価に影響を及ぼすものではないことを確認していることから、構造強度上問題とはならない。

ガンマ線照射量と強度の関係については Hilsdorf ほかによる文献や、（社）日本建築学会「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説」（2015）によると、少なくとも  $2 \times 10^8 \text{Gy}$ （ $2 \times 10^{10} \text{rad}$ ）程度のガンマ線照射量では有意な強度低下は見られない（図2参照）。

断続的運転を前提とした場合における運転開始後60年時点で予想されるガンマ線照射量は、放射線照射量解析の結果、評価点において、最大約  $2.4 \times 10^8 \text{Gy}$ （約  $2.4 \times 10^{10} \text{rad}$ ）となるが、照射量が  $2 \times 10^{10} \text{rad}$  を超えるコンクリートの範囲は、

- 2) Hilsdorf, Kropp, and Koch, 「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」, American Concrete Institute Publication, SP 55-10 (1978)
- 3) 小嶋 正義, 中野 眞木郎, 田口 清貴, NTEC-2019-1001「中性子照射がコンクリートの強度に及ぼす影響」（2019）

1次しゃへい壁の厚さ（最小壁厚 279cm）に比べて小さく、深さ方向に最大でも 8cm 程度である。当該範囲のコンクリートを除いた構造体の耐力が、地震時の鉛直荷重等を上回ること、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1987）」に基づく、内部コンクリート（1次しゃへい壁含む）のせん断ひずみ評価に影響を及ぼすものではないことを確認していることから、構造強度上問題とはならない。

放射線照射の影響に対する構造健全性評価結果を別紙 4 に示す。

以上から、放射線照射による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

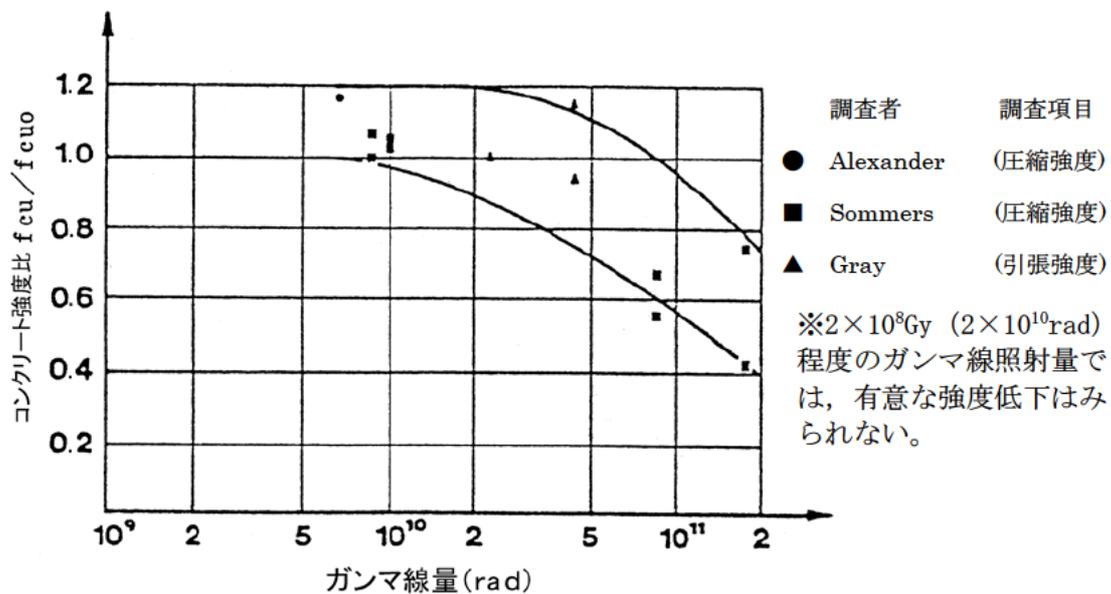


図2 ガンマ線照射したコンクリートの圧縮強度 ( $f_{cu}$ ) と照射しないコンクリートの圧縮強度 ( $f_{cuo}$ ) の変化<sup>2)</sup>

#### 4.1.3 中性化による強度低下

##### (1) 評価の概要

中性化の進展度合いは、環境条件（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）の影響を受けるため、空気環境測定を実施した。空気環境の測定方法及び位置を別紙5に示す。

鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さは一般に屋外の雨掛かりの部分では鉄筋のかぶり厚さまで達したとき、屋内の部分では、鉄筋のかぶり厚さから2cm奥まで達したときとされている（（社）日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」（2016））ことから、評価対象部位は、屋外、屋内について各々選定することとし、塗装等のコンクリート表面仕上げ、環境条件（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）を考慮して選定した。

対象構造物のうち、仕上げがない箇所がある構造物を選定し、設置環境が屋外の構造物と屋内の構造物に分類する。屋外については、対象となる構造物が取水構造物のみであることから、取水構造物を評価対象として選定した。屋内については、対象構造物のうち環境条件の中性化に及ぼす影響が比較的大きい外部しゃへい建屋を選定した。なお、中性化に及ぼす影響については、森永式<sup>4)</sup>における環境条件（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）による影響度を算出した。算出結果を表12に示す。

評価点は、屋外については取水構造物のうち海水によりコンクリート表面が湿潤とならず、空気環境の影響を受ける取水構造物の壁面（気中帯）とした。屋内については外部しゃへい建屋のうち環境条件の中性化に及ぼす影響が大きいEL. 26.9mを選定した。

- 4) 森永、「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究」東京大学学位論文（1986）

表 12 森永式における環境条件による影響度

| 代表構造物        |            | 二酸化炭素濃度 (ppm) | 温度 (°C) | 相対湿度 (%) | 環境条件による影響度* |
|--------------|------------|---------------|---------|----------|-------------|
| 外部しゃへい建屋     | EL. 18. 3m | 24. 2         | 32. 5   | 470. 6   | 0. 1330     |
|              | EL. 26. 9m | 25. 9         | 29. 1   | 484. 3   | 0. 1443     |
| 内部コンクリート     | EL. 13. 4m | 26. 3         | 26. 5   | 435. 3   | 0. 1417     |
|              | EL. 24. 8m | 26. 0         | 28. 4   | 448. 9   | 0. 1403     |
| 原子炉格納施設の基礎   |            | 24. 3         | 30. 3   | 498. 1   | 0. 1408     |
| 周辺補機棟及び燃料取扱棟 | EL. 10. 3m | 24. 0         | 29. 5   | 457. 8   | 0. 1356     |
|              | EL. 18. 3m | 23. 6         | 32. 2   | 519. 1   | 0. 1389     |
|              | EL. 24. 8m | 24. 1         | 32. 3   | 459. 7   | 0. 1316     |
|              | EL. 31. 3m | 22. 8         | 30. 3   | 485. 6   | 0. 1358     |
| 原子炉補助建屋      | EL. 3. 3m  | 20. 6         | 39. 2   | 458. 5   | 0. 1128     |
|              | EL. 9. 8m  | 23. 5         | 33. 8   | 537. 4   | 0. 1382     |
|              | EL. 17. 3m | 23. 2         | 33. 5   | 527. 9   | 0. 1369     |
|              | EL. 24. 8m | 21. 3         | 34. 6   | 444. 4   | 0. 1199     |
|              | EL. 32. 3m | 20. 8         | 36. 8   | 492. 1   | 0. 1213     |
| 燃料取替用水タンク建屋  |            | 16. 6         | 47. 7   | 480. 2   | 0. 0926     |

\*：森永式における環境条件による係数（下記赤線部）から算出

$$x = \sqrt{\frac{C}{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022 \cdot T) \cdot (4.6 \cdot w/c / 100 - 1.76) \cdot \sqrt{t} \quad (w/c \leq 60)$$

$x$ ：中性化深さ (mm)

$C$ ：二酸化炭素濃度 (%)

$R$ ：中性化比率

$RH$ ：相対湿度 (%)  $T$ ：温度 (°C)

$w/c$ ：水セメント比 (%)

$t$ ：材齢 (日)

## (2) 評価手順

評価については、以下の手順にて実施した。中性化深さの推定値の算出過程を別紙6に示す。

### ① 中性化深さの推定

中性化深さの推定式（岸谷式<sup>5)</sup>、森永式<sup>4)</sup>及び中性化深さの実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式<sup>6)</sup>により、運転開始後60年時点の中性化深さの推定値を算出する。

### ② 最大中性化深さの推定値の抽出

中性化深さの推定式により得られる中性化深さのうち、最大値となる中性化深さを抽出する。

### ③ 鉄筋が腐食し始める時の中性化深さの算出

鉄筋が腐食し始める時の中性化深さとして、屋外はかぶり厚さの値、屋内はかぶり厚さに2cmを加えた値をそれぞれ算出する。

### ④ 運転開始後60年時点の中性化深さの評価

②が③よりも小さいことを確認する。

## (3) 評価結果

運転開始後60年時点における中性化深さの推定値は表13に示すとおり、いずれの評価点においても鉄筋が腐食し始める時の中性化深さを下回っている。

また、定期的に見視点検を実施しているが、中性化による鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は認められていない。

以上から、中性化による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

表13 コンクリートの中性化深さ

|                | 中性化深さ (cm)                     |                 |                         | 鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm) |
|----------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
|                | 測定値<br>(調査時点の<br>運転開始後経<br>過年) | 推定値*1           |                         |                       |
|                |                                | 調査時点<br>(推定式)   | 運転開始後<br>60年時点<br>(推定式) |                       |
| 外部しゃへい建屋       | 0.34<br>(27年)                  | 3.79*2<br>(岸谷式) | 5.65<br>(岸谷式)           | 9                     |
| 取水構造物<br>(気中帯) | 0.84<br>(26年)                  | 1.33*3<br>(岸谷式) | 2.02<br>(岸谷式)           | 8.4                   |

\*1：岸谷式<sup>5)</sup>、森永式<sup>4)</sup>及び実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式<sup>6)</sup>による評価結果のうち最大値を記載

\*2：運転開始後27年時点の推定値

\*3：運転開始後26年時点の推定値

5) (社)日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」(1991)

6) (社)土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編」(2018)

#### 4.1.4 塩分浸透による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位は、代表構造物のうち、飛来塩分及び海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下であり、塗装等の仕上げが施されていない部位がある取水構造物を選定した。取水構造物の塩分浸透の測定結果を表 14 に示す。

評価点は、対象構造物（取水構造物）のうち、「高経年化技術評価審査マニュアル（JNES-RE-2013-9012）」に基づき、塩分浸透環境を考慮し、図 3 に示すとおり、環境条件が異なる取水構造物の気中帯、干満帯及び海中帯をそれぞれ評価点として選定した。評価点の妥当性を別紙 7 に示す。

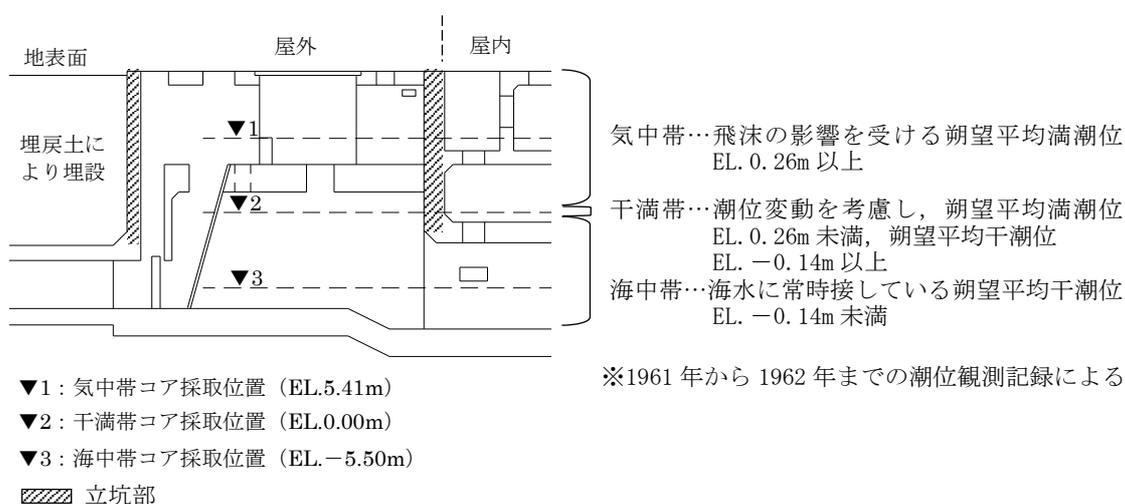


図 3 取水構造物の概要

表 14 塩分浸透の測定結果

| 対象の<br>コンクリート<br>構造物 | 表面から<br>の深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |               |            |
|----------------------|---------------------|------------------------------|---------------|------------|
|                      |                     | 気中帯                          | 干満帯           | 海中帯        |
| 取水構造物                | 0～20                | 0.451                        | 0.625         | 1.597      |
|                      | 20～40               | 0.364                        | 0.482         | 0.569      |
|                      | 40～60               | 0.158                        | 0.245         | 0.198      |
|                      | 60～80               | 0.134                        | 0.198         | 0.143      |
|                      | 80～100              | 0.134                        | 0.150         | 0.143      |
|                      | 100～120             | 0.134                        | 0.143         | 0.127      |
| コア採取日                |                     | 2018年1月24日                   | 2018年1月23,24日 | 2018年1月24日 |

(2) 評価手順

評価については、以下の手順にて実施した。鉄筋の腐食減量の算出過程を別紙 8 に示す。

① 運転開始後 60 年時点における鉄筋の腐食減量の算出

拡散方程式により塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、運転開始後経過年ごとのコンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を予測し、鉄筋位置における塩化物イオン量を算出する。

鉄筋位置における塩化物イオン量を用いて、森永式<sup>4)</sup>により運転開始後経過年数ごとの鉄筋の腐食減量を算出する。

② かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋の腐食減量の算出

鉄筋径及びかぶり厚さを用いて、森永式<sup>4)</sup>により、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋の腐食減量を算出する。

③ 運転開始後 60 年時点における鉄筋の腐食減量の評価

①が②よりも小さいことを確認する。

(3) 評価結果

運転開始後 60 年時点における鉄筋の腐食減量の推定値は表 15 に示すとおり、いずれの評価点においても、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋の腐食減量を下回っている。

また、定期的に目視点検を実施しているが、塩分浸透による鉄筋腐食に起因する有害なひび割れ等は認められていない。

以上から、塩分浸透による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

表 15 鉄筋の腐食減量

|                | 調査時期<br>(運転開始後<br>経過年数) | 鉄筋位置での塩化物イオン濃度 (%)<br>(塩化物イオン量<br>(kg/m <sup>3</sup> )) | 鉄筋の腐食減量<br>(×10 <sup>-4</sup> g/cm <sup>2</sup> ) |                     |                                   |
|----------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
|                |                         |                                                         | 調査<br>時点                                          | 運転開<br>始後 60<br>年時点 | かぶりコンク<br>リートにひび<br>割れが発生す<br>る時点 |
| 取水構造物<br>(気中帯) | 2018 年<br>(26 年)        | 0.01<br>(0.14)                                          | 2.6                                               | 6.1                 | 91.5                              |
| 取水構造物<br>(干満帯) | 2018 年<br>(26 年)        | 0.01<br>(0.15)                                          | 6.8                                               | 15.4                | 91.5                              |
| 取水構造物<br>(海中帯) | 2018 年<br>(26 年)        | 0.01<br>(0.15)                                          | 0.0                                               | 0.0                 | 91.5                              |

#### 4.1.5 機械振動による強度低下

##### (1) 評価の概要

評価対象部位は、振動の影響を受ける周辺補機棟及び燃料取扱棟（ディーゼル発電機基礎）とした。

評価点は、局部的に影響を受ける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリートとした。機械振動の評価対象部位及び評価点の選定過程を別紙9に示す。

##### (2) 評価結果

機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機械の異常振動や定着部周辺コンクリート表面に有害なひび割れが発生すると考えられる。

ディーゼル発電機基礎については、定期的（1回/年）に保守管理要則に基づき目視点検を行い、コンクリート表面において強度に支障をきたす可能性のある欠陥がないことを確認している。また、仮に機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機器の異常振動が発生するものと考えられるが、定期試験等を行っており、異常の兆候は検知可能である。

以上から、機械振動による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

## 別紙

- 別紙1 保守管理要則における目視点検の項目，方法及び判定基準について
- 別紙2 泊2号炉周辺地域の凍害危険度及びコンクリートの空気量について
- 別紙3 温度分布解析の方法，条件及び結果について
- 別紙4 放射線照射の影響に対する構造健全性評価結果について
- 別紙5 空気環境の測定方法及び位置について
- 別紙6 中性化深さの推定値の算出過程について
- 別紙7 塩分浸透における評価点の妥当性について
- 別紙8 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算出過程について
- 別紙9 機械振動の評価対象部位及び評価点の選定過程について
- 別紙10 泊2号炉周辺の地下水による経年劣化影響について

〈塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算出過程について〉

1. 鉄筋の腐食減量の算出過程（方法、条件及びパラメータ）を以下に示す。

|                                                                                     | 取水構造物 |       |       | 備考                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     | 気中帯   | 干満帯   | 海中帯   |                                                                                                                                                                                                  |
| $x$ : かぶり厚さ (mm)                                                                    | 84    | 84    | 84    |                                                                                                                                                                                                  |
| $C$ : 鉄筋位置における塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )                                          | 0.14  | 0.15  | 0.15  | 塩分浸透の測定結果                                                                                                                                                                                        |
| $C_0$ : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )                                       | 2.038 | 0.397 | 4.058 | 拡散方程式の回帰分析を最小二乗法により行い、誤差の二乗の和が最小となる $C_0$ を求めた                                                                                                                                                   |
| $C_{init}$ : コンクリート中の初期塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )                                 | 0.133 | -     | 0.118 | 拡散方程式の回帰分析を最小二乗法により行い、誤差の二乗の和が最小となる $C_{init}$ を求めた (式②を用いる場合に算出)                                                                                                                                |
| $D$ : コンクリート中の塩化物イオンの見かけ上の拡散係数 (mm <sup>2</sup> /年)                                 | 9     | 75    | 9     | 拡散方程式の回帰分析を最小二乗法により行い、誤差の二乗の和が最小となる $D$ を求めた                                                                                                                                                     |
| $Cl$ : 鉄筋位置における塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) (推定値)                                   | 0.15  | 0.15  | 0.16  | 運転開始から 60 年経過時点の推定値                                                                                                                                                                              |
| $x$ : かぶり厚さ (mm)                                                                    | 84    | 84    | 84    |                                                                                                                                                                                                  |
| $d$ : 鉄筋径 (mm)                                                                      | 32    | 32    | 32    |                                                                                                                                                                                                  |
| $W$ : 単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )                                                     |       |       |       |                                                                                                                                                                                                  |
| $W/C$ : 水セメント比(比)                                                                   |       |       |       |                                                                                                                                                                                                  |
| $N$ : 練り混ぜ水に対する NaCl としての塩分濃度 (%)                                                   | 0.14  | 0.14  | 0.15  | 運転開始から 60 年経過時点の推定値                                                                                                                                                                              |
| $T$ : 温度 (°C)                                                                       | 10.6  | 12.3  | 12.3  | 気中帯: 2016 年 5 月 1 日から 2017 年 4 月 30 日の期間に取水ビュースクリーン室において 1 時間間隔で連続測定した結果の平均値<br>干満帯, 海中帯: 温度は 2016 年 5 月 1 日から 2017 年 4 月 30 日の期間に取水口において 1 時間間隔で連続測定した海水温度の平均値<br>相対湿度は海水との接触により 100% (森永論文引用*) |
| $RH$ : 相対湿度 (%)                                                                     | 80.1  | 100   | 100   |                                                                                                                                                                                                  |
| $O$ : 酸素濃度(比)                                                                       | 0.21  | 0.21  | 0.006 | 気中帯: 2016 年 5 月 18 日から 2017 年 4 月 28 日の期間に取水ビュースクリーン室において測定した結果の平均値<br>干満帯: 保守的に気中帯と同値に設定<br>海中帯: 森永論文引用*                                                                                        |
| $Q_{26}$ : 調査時点の鉄筋の腐食減量 ( $\times 10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )                      | 2.6   | 6.8   | 0.0   |                                                                                                                                                                                                  |
| $Q_{60}$ : 運転開始 60 年経過時点の鉄筋の腐食減量 ( $\times 10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )             | 6.1   | 15.4  | 0.0   |                                                                                                                                                                                                  |
| $Q_{cr}$ : かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋の腐食減量 推定値 ( $\times 10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> ) | 91.5  | 91.5  | 91.5  |                                                                                                                                                                                                  |

※森永他「腐食による鉄筋コンクリート構造物の寿命予測」—コンクリート工学論文集(1990)

- : (1)拡散方程式により、コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を予測するのに必要なパラメータ
- : (1)の予測結果
- : (2)森永式により、鉄筋の腐食減量の評価を実施するのに必要なパラメータ
- : (2)の推定結果

拡散方程式

( $C_{init}$  を考慮しない場合の式)

$$C = C_0 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right] \quad \text{--- ①}$$

(建築工事標準仕様書・解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 (2018 年))

- $C$ : 鉄筋位置における塩化物イオン量(kg/m<sup>3</sup>)
- $C_0$ : コンクリート表面における塩化物イオン量(kg/m<sup>3</sup>)
- $C_{init}$ : コンクリート中の初期塩化物イオン量(kg/m<sup>3</sup>)
- $\operatorname{erf}$ : 誤差関数  
 $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$
- $x$ : かぶり厚さ(mm)
- $D$ : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数(mm<sup>2</sup>/年)
- $t$ : 材齢(年)

( $C_{init}$  を考慮する場合の式)

$$C = (C_0 - C_{init}) \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right] + C_{init} \quad \text{--- ②}$$

(原子力施設における建築物の維持管理指針・解説 (2015 年))

## 森永式

$$q = q_1 \cdot \frac{q_2}{q_2'}$$

$$q_1 = \frac{d}{c^2} [-0.51 - 7.60N + 44.97(W/C)^2 + 67.95N(W/C)^2]$$

$$q_2 = 2.59 - 0.05T - 6.89H - 22.87O - 0.99N + 0.14TH \\ + 0.51TO + 0.01TN + 60.81HO + 3.36HN \\ + 7.32ON$$

$$q_2' = 0.56528 + 1.4304N$$

$$Q_{cr} = 0.602 \left(1 + \frac{2c}{d}\right)^{0.85} \times d$$

q : 鉄筋の腐食速度( $\times 10^{-4}$  g/cm<sup>2</sup>/年)

q<sub>1</sub> : 塩分環境下での腐食速度( $\times 10^{-4}$  g/cm<sup>2</sup>/年)

q<sub>2</sub> : 寿命予測対象部位で、塩分環境下での腐食速度( $\times 10^{-4}$  g/cm<sup>2</sup>/年)

q<sub>2</sub>' : 寿命予測対象部位で、標準環境下(温度 15°C, 湿度 69%,

酸素濃度 20%)での腐食速度( $\times 10^{-4}$  g/cm<sup>2</sup>/年)

d : 鉄筋径(mm)

c : かぶり厚さ(mm)

N : 練り混ぜ水に対する NaCl としての塩分濃度(%)

W/C : 水セメント比(比)

T : 温度(°C)

H : 湿度に関する項  $H = (RH - 45)/100$

RH : 相対湿度(%)

O : 酸素濃度(比)

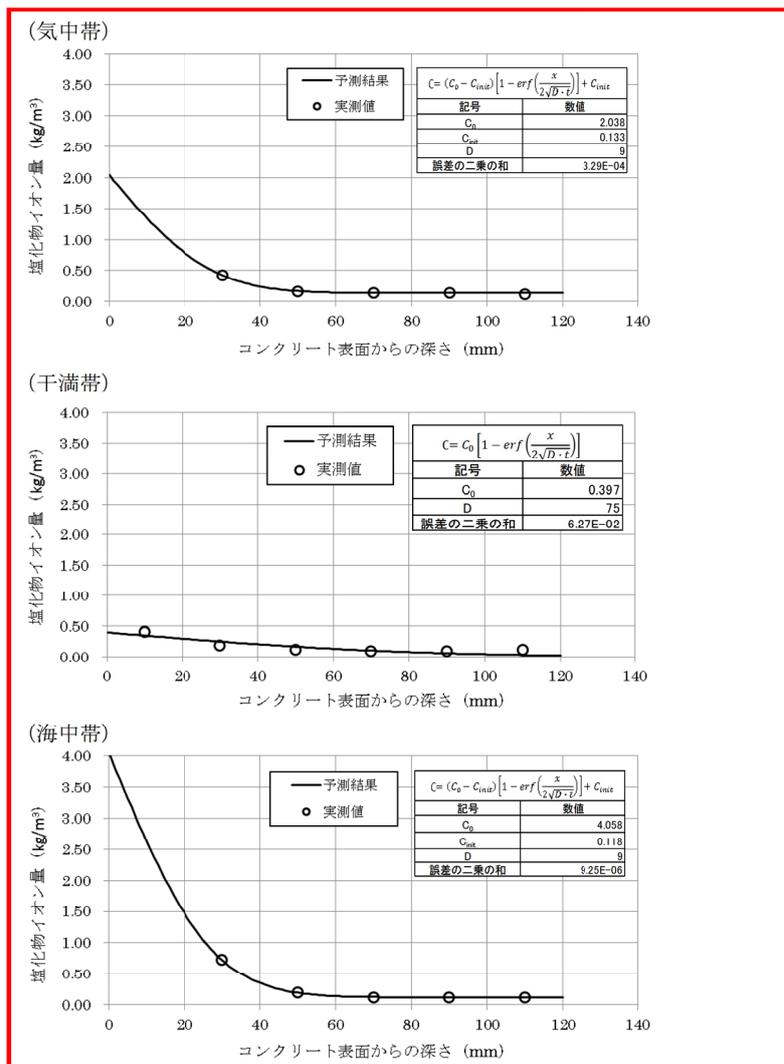
Q<sub>cr</sub> : 鉄筋腐食でかぶりコンクリートにひび割れが生じる時点での腐食減量( $\times 10^{-4}$  g/cm<sup>2</sup>)

c : かぶり厚さ(mm)

d : 鉄筋径(mm)

## 2. 拡散方程式の回帰分析結果

塩化物イオン量を測定するコアは、気中帯、干満帯及び海中帯のそれぞれにおいて、3箇所のコアを採取しているが、回帰分析の結果は、それぞれにおける3箇所のコアの測定結果を比較し、運転開始後60年時点の鉄筋の腐食減量が最も大きくなるデータの選定を基本としている。なお、気中帯及び干満帯はコンクリートが空気に曝される状況下であり、中性化の作用を受けている可能性があることから、「4.回帰分析について」に記載のとおり、より保守的な「塩分浸透による強度低下」評価となるように、中性化の作用が考えられる領域のデータ(0~20mm)を用いる場合と用いない場合の影響を確認したうえでデータを選定している。また、干満帯及び海中帯は、海水に接しており、溶脱の作用により塩化物イオン量の浸透に影響を与えている可能性があることから、コンクリート表面に近い領域のデータ(0~20mm)を用いる場合と用いない場合の影響を確認している。上記に合わせて、より保守的な「塩分浸透による強度低下」評価となるように、コンクリート中の初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )を考慮しない場合と考慮する場合の影響を確認したうえで、データを選定している。



### 表の注記

$C_0$  : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m<sup>3</sup>)

$C_{init}$  : コンクリート中の初期塩化物イオン量 (kg/m<sup>3</sup>)

D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの  
拡散係数 (mm<sup>2</sup>/年)

### 表の注記

$C_0$  : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m<sup>3</sup>)

D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの  
拡散係数 (mm<sup>2</sup>/年)

### 表の注記

$C_0$  : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m<sup>3</sup>)

$C_{init}$  : コンクリート中の初期塩化物イオン量 (kg/m<sup>3</sup>)

D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの  
拡散係数 (mm<sup>2</sup>/年)

3. 調査時点，運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後 5 年の鉄筋の腐食減量

| 気中帯         |                                                  | 干満帯         |                                                  | 海中帯         |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 2.1                                              | 21          | 5.5                                              | 21          | 0                                                |
| 22          | 2.2                                              | 22          | 5.8                                              | 22          | 0                                                |
| 23          | 2.3                                              | 23          | 6.0                                              | 23          | 0                                                |
| 24          | 2.4                                              | 24          | 6.3                                              | 24          | 0                                                |
| 25          | 2.5                                              | 25          | 6.5                                              | 25          | 0                                                |
| 26          | 2.6                                              | 26          | 6.8                                              | 26          | 0                                                |
| 27          | 2.7                                              | 27          | 7.0                                              | 27          | 0                                                |
| 28          | 2.9                                              | 28          | 7.3                                              | 28          | 0                                                |
| 29          | 3.0                                              | 29          | 7.6                                              | 29          | 0                                                |
| 30          | 3.1                                              | 30          | 7.8                                              | 30          | 0                                                |
| 31          | 3.2                                              | 31          | 8.1                                              | 31          | 0                                                |
| 55          | 5.6                                              | 55          | 14.1                                             | 55          | 0                                                |
| 56          | 5.7                                              | 56          | 14.4                                             | 56          | 0                                                |
| 57          | 5.8                                              | 57          | 14.6                                             | 57          | 0                                                |
| 58          | 5.9                                              | 58          | 14.9                                             | 58          | 0                                                |
| 59          | 6.0                                              | 59          | 15.1                                             | 59          | 0                                                |
| 60          | 6.1                                              | 60          | 15.4                                             | 60          | 0                                                |
| 61          | 6.2                                              | 61          | 15.6                                             | 61          | 0                                                |
| 62          | 6.3                                              | 62          | 15.9                                             | 62          | 0                                                |
| 63          | 6.4                                              | 63          | 16.1                                             | 63          | 0                                                |
| 64          | 6.5                                              | 64          | 16.4                                             | 64          | 0                                                |
| 65          | 6.6                                              | 65          | 16.6                                             | 65          | 0                                                |
| 705         | 90.8                                             | 361         | 90.3                                             | 1772        | 91.1                                             |
| 706         | 91.0                                             | 362         | 90.5                                             | 1773        | 91.1                                             |
| 707         | 91.1                                             | 363         | 90.8                                             | 1774        | 91.2                                             |
| 708         | 91.3                                             | 364         | 91.0                                             | 1775        | 91.3                                             |
| 709         | 91.4                                             | 365         | 91.3                                             | 1776        | 91.4                                             |
| 710         | 91.6                                             | 366         | 91.5                                             | 1777        | 91.5                                             |
| 711         | 91.7                                             | 367         | 91.8                                             | 1778        | 91.5                                             |
| 712         | 91.9                                             | 368         | 92.0                                             | 1779        | 91.6                                             |
| 713         | 92.0                                             | 369         | 92.3                                             | 1780        | 91.7                                             |
| 714         | 92.2                                             | 370         | 92.5                                             | 1781        | 91.8                                             |
| 715         | 92.3                                             | 371         | 92.8                                             | 1782        | 91.9                                             |

#### 4. 回帰分析について

気中帯及び干満帯については、「2. 拡散方程式の回帰分析結果」に示すとおり、より保守的な「塩分浸透による強度低下」評価となるように、以下の内容について影響を確認している。

- ・中性化の作用が考えられる領域のデータ（0～20mm）考慮有無による影響
- ・コンクリート中の初期塩化物イオン量（ $C_{init}$ ）の考慮有無による影響

また、干満帯及び海中帯については、「2. 拡散方程式の回帰分析結果」に示すとおり、より保守的な「塩分浸透による強度低下」評価となるように、以下の内容について影響を確認している。

- ・溶脱の作用が考えられる領域のデータ（0～20mm）考慮有無による影響
- ・コンクリート中の初期塩化物イオン量（ $C_{init}$ ）の考慮有無による影響

#### 4.1 気中帯の回帰分析について

気中帯は、コンクリートが空気に曝される状況下において、中性化の作用を受けている可能性があることから、中性化の作用が考えられる領域のデータ（0～20mm）を用いる場合と用いない場合の影響を確認している。また、合わせて、初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )考慮有無による影響を確認している。

##### (1) 中性化の作用が考えられる領域のデータを用いる場合

表 8-1 に気中帯における 3 箇所（気中帯①，②，③）のコアの塩化物イオン量測定結果を示す。

表 8-1 塩化物イオン量の測定結果一覧（気中帯）

| 表面からの深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |       |
|-----------------|------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | 気中帯①                         | 気中帯②  | 気中帯③  | 平均値*  |
| 0～20            | 0.332                        | 0.522 | 0.498 | 0.451 |
| 20～40           | 0.237                        | 0.427 | 0.427 | 0.364 |
| 40～60           | 0.142                        | 0.166 | 0.166 | 0.158 |
| 60～80           | 0.142                        | 0.119 | 0.142 | 0.134 |
| 80～100          | 0.142                        | 0.119 | 0.142 | 0.134 |
| 100～120         | 0.142                        | 0.142 | 0.119 | 0.134 |

※補足説明資料 P20「表 14 塩分浸透の測定結果」には平均値を記載。

上記データに対する「調査時点、運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後 5 年の鉄筋の腐食減量」のうち、初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )を考慮しない場合（拡散方程式①）を表 8-2 に、初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合（拡散方程式②）を表 8-3 に示す。

表 8-2 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化領域データあり, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合)

| 気中帯①        |                                          | 気中帯②        |                                          | 気中帯③        |                                          |
|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) |
| 21          | 2.1                                      | 21          | 2.1                                      | 21          | 2.1                                      |
| 22          | 2.2                                      | 22          | 2.2                                      | 22          | 2.2                                      |
| 23          | 2.3                                      | 23          | 2.3                                      | 23          | 2.3                                      |
| 24          | 2.4                                      | 24          | 2.4                                      | 24          | 2.4                                      |
| 25          | 2.5                                      | 25          | 2.5                                      | 25          | 2.5                                      |
| 26          | 2.6                                      | 26          | 2.6                                      | 26          | 2.6                                      |
| 27          | 2.7                                      | 27          | 2.7                                      | 27          | 2.7                                      |
| 28          | 2.8                                      | 28          | 2.8                                      | 28          | 2.8                                      |
| 29          | 2.9                                      | 29          | 2.9                                      | 29          | 2.9                                      |
| 30          | 3.0                                      | 30          | 3.0                                      | 30          | 3.0                                      |
| 31          | 3.1                                      | 31          | 3.1                                      | 31          | 3.1                                      |
| 55          | 5.6                                      | 55          | 5.6                                      | 55          | 5.6                                      |
| 56          | 5.7                                      | 56          | 5.7                                      | 56          | 5.7                                      |
| 57          | 5.8                                      | 57          | 5.8                                      | 57          | 5.8                                      |
| 58          | 5.9                                      | 58          | 5.9                                      | 58          | 5.9                                      |
| 59          | 6.0                                      | 59          | 6.0                                      | 59          | 6.0                                      |
| 60          | 6.1                                      | 60          | 6.1                                      | 60          | 6.1                                      |
| 61          | 6.2                                      | 61          | 6.2                                      | 61          | 6.2                                      |
| 62          | 6.3                                      | 62          | 6.3                                      | 62          | 6.3                                      |
| 63          | 6.4                                      | 63          | 6.4                                      | 63          | 6.4                                      |
| 64          | 6.5                                      | 64          | 6.5                                      | 64          | 6.5                                      |
| 65          | 6.6                                      | 65          | 6.6                                      | 65          | 6.6                                      |
| 847         | 91.0                                     | 789         | 90.9                                     | 792         | 90.9                                     |
| 848         | 91.1                                     | 790         | 91.1                                     | 793         | 91.0                                     |
| 849         | 91.2                                     | 791         | 91.2                                     | 794         | 91.1                                     |
| 850         | 91.3                                     | 792         | 91.3                                     | 795         | 91.2                                     |
| 851         | 91.4                                     | 793         | 91.4                                     | 796         | 91.4                                     |
| 852         | 91.6                                     | 794         | 91.5                                     | 797         | 91.5                                     |
| 853         | 91.7                                     | 795         | 91.7                                     | 798         | 91.6                                     |
| 854         | 91.8                                     | 796         | 91.8                                     | 799         | 91.7                                     |
| 855         | 91.9                                     | 797         | 91.9                                     | 800         | 91.8                                     |
| 856         | 92.0                                     | 798         | 92.0                                     | 801         | 91.9                                     |
| 857         | 92.1                                     | 799         | 92.1                                     | 802         | 92.1                                     |

表 8-3 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化領域データあり，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合)

| 気中帯①'       |                                                  | 気中帯②'       |                                                  | 気中帯③'       |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 2.1                                              | 21          | 2.1                                              | 21          | 2.1                                              |
| 22          | 2.2                                              | 22          | 2.2                                              | 22          | 2.2                                              |
| 23          | 2.3                                              | 23          | 2.3                                              | 23          | 2.3                                              |
| 24          | 2.4                                              | 24          | 2.4                                              | 24          | 2.4                                              |
| 25          | 2.5                                              | 25          | 2.5                                              | 25          | 2.5                                              |
| 26          | 2.7                                              | 26          | 2.6                                              | 26          | 2.6                                              |
| 27          | 2.8                                              | 27          | 2.7                                              | 27          | 2.7                                              |
| 28          | 2.9                                              | 28          | 2.8                                              | 28          | 2.8                                              |
| 29          | 3.0                                              | 29          | 2.9                                              | 29          | 2.9                                              |
| 30          | 3.1                                              | 30          | 3.0                                              | 30          | 3.0                                              |
| 31          | 3.2                                              | 31          | 3.1                                              | 31          | 3.1                                              |
| 55          | 5.6                                              | 55          | 5.6                                              | 55          | 5.6                                              |
| 56          | 5.7                                              | 56          | 5.7                                              | 56          | 5.7                                              |
| 57          | 5.8                                              | 57          | 5.8                                              | 57          | 5.8                                              |
| 58          | 5.9                                              | 58          | 5.9                                              | 58          | 5.9                                              |
| 59          | 6.0                                              | 59          | 6.0                                              | 59          | 6.0                                              |
| 60          | 6.1                                              | 60          | 6.1                                              | 60          | 6.1                                              |
| 61          | 6.2                                              | 61          | 6.2                                              | 61          | 6.2                                              |
| 62          | 6.3                                              | 62          | 6.3                                              | 62          | 6.4                                              |
| 63          | 6.4                                              | 63          | 6.4                                              | 63          | 6.5                                              |
| 64          | 6.5                                              | 64          | 6.5                                              | 64          | 6.6                                              |
| 65          | 6.6                                              | 65          | 6.7                                              | 65          | 6.7                                              |
| 847         | 91.0                                             | 791         | 91.0                                             | 794         | 91.0                                             |
| 848         | 91.1                                             | 792         | 91.1                                             | 795         | 91.1                                             |
| 849         | 91.2                                             | 793         | 91.2                                             | 796         | 91.2                                             |
| 850         | 91.3                                             | 794         | 91.3                                             | 797         | 91.3                                             |
| 851         | 91.4                                             | 795         | 91.4                                             | 798         | 91.4                                             |
| 852         | 91.6                                             | 796         | 91.6                                             | 799         | 91.6                                             |
| 853         | 91.7                                             | 797         | 91.7                                             | 800         | 91.7                                             |
| 854         | 91.8                                             | 798         | 91.8                                             | 801         | 91.8                                             |
| 855         | 91.9                                             | 799         | 91.9                                             | 802         | 91.9                                             |
| 856         | 92.0                                             | 800         | 92.0                                             | 803         | 92.0                                             |
| 857         | 92.1                                             | 801         | 92.2                                             | 804         | 92.1                                             |

(2) 中性化の作用が考えられる領域のデータを用いない場合

表 8-4 に中性化の作用が考えられる領域のデータを用いない場合における 3 箇所(気中帯④, ⑤, ⑥) のコアの塩化物イオン量測定結果を示す。

表 8-4 塩化物イオン量の測定結果一覧 (気中帯, 中性化領域除外)

| 表面からの深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |       |
|-----------------|------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | 気中帯④                         | 気中帯⑤  | 気中帯⑥  | 平均値   |
| 0~20            | —                            | —     | —     | —     |
| 20~40           | 0.237                        | 0.427 | 0.427 | 0.364 |
| 40~60           | 0.142                        | 0.166 | 0.166 | 0.158 |
| 60~80           | 0.142                        | 0.119 | 0.142 | 0.134 |
| 80~100          | 0.142                        | 0.119 | 0.142 | 0.134 |
| 100~120         | 0.142                        | 0.142 | 0.119 | 0.134 |

上記データに対する「調査時点, 運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後 5 年の鉄筋の腐食減量」のうち, 初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )を考慮しない場合 (拡散方程式①) を表 8-5 に, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合 (拡散方程式②) を表 8-6 に示す。

表 8-5 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化領域データなし, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合)

| 気中帯④        |                                          | 気中帯⑤        |                                          | 気中帯⑥        |                                          |
|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) |
| 21          | 2.1                                      | 21          | 2.1                                      | 21          | 2.1                                      |
| 22          | 2.2                                      | 22          | 2.2                                      | 22          | 2.2                                      |
| 23          | 2.3                                      | 23          | 2.3                                      | 23          | 2.3                                      |
| 24          | 2.4                                      | 24          | 2.4                                      | 24          | 2.4                                      |
| 25          | 2.5                                      | 25          | 2.5                                      | 25          | 2.5                                      |
| 26          | 2.6                                      | 26          | 2.6                                      | 26          | 2.6                                      |
| 27          | 2.7                                      | 27          | 2.7                                      | 27          | 2.7                                      |
| 28          | 2.8                                      | 28          | 2.8                                      | 28          | 2.8                                      |
| 29          | 2.9                                      | 29          | 2.9                                      | 29          | 2.9                                      |
| 30          | 3.0                                      | 30          | 3.0                                      | 30          | 3.0                                      |
| 31          | 3.1                                      | 31          | 3.1                                      | 31          | 3.1                                      |
|             |                                          |             |                                          |             |                                          |
| 55          | 5.6                                      | 55          | 5.6                                      | 55          | 5.6                                      |
| 56          | 5.7                                      | 56          | 5.7                                      | 56          | 5.7                                      |
| 57          | 5.8                                      | 57          | 5.8                                      | 57          | 5.8                                      |
| 58          | 5.9                                      | 58          | 5.9                                      | 58          | 5.9                                      |
| 59          | 6.0                                      | 59          | 6.0                                      | 59          | 6.0                                      |
| 60          | 6.1                                      | 60          | 6.1                                      | 60          | 6.1                                      |
| 61          | 6.2                                      | 61          | 6.2                                      | 61          | 6.2                                      |
| 62          | 6.3                                      | 62          | 6.3                                      | 62          | 6.3                                      |
| 63          | 6.4                                      | 63          | 6.4                                      | 63          | 6.4                                      |
| 64          | 6.5                                      | 64          | 6.5                                      | 64          | 6.5                                      |
| 65          | 6.6                                      | 65          | 6.6                                      | 65          | 6.6                                      |
|             |                                          |             |                                          |             |                                          |
| 866         | 91.0                                     | 792         | 90.9                                     | 793         | 90.9                                     |
| 867         | 91.1                                     | 793         | 91.1                                     | 794         | 91.0                                     |
| 868         | 91.2                                     | 794         | 91.2                                     | 795         | 91.1                                     |
| 869         | 91.3                                     | 795         | 91.3                                     | 796         | 91.2                                     |
| 870         | 91.4                                     | 796         | 91.4                                     | 797         | 91.4                                     |
| 871         | 91.6                                     | 797         | 91.5                                     | 798         | 91.5                                     |
| 872         | 91.7                                     | 798         | 91.6                                     | 799         | 91.6                                     |
| 873         | 91.8                                     | 799         | 91.8                                     | 800         | 91.7                                     |
| 874         | 91.9                                     | 800         | 91.9                                     | 801         | 91.8                                     |
| 875         | 92.0                                     | 801         | 92.0                                     | 802         | 92.0                                     |
| 876         | 92.1                                     | 802         | 92.1                                     | 803         | 92.1                                     |

表 8-6 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化領域データなし, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合)

| 気中帯④'       |                                          | 気中帯⑤'       |                                          | 気中帯⑥'       |                                          |
|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) |
| 21          | 2.1                                      | 21          | 2.1                                      | 21          | 2.1                                      |
| 22          | 2.2                                      | 22          | 2.2                                      | 22          | 2.2                                      |
| 23          | 2.3                                      | 23          | 2.3                                      | 23          | 2.3                                      |
| 24          | 2.5                                      | 24          | 2.4                                      | 24          | 2.4                                      |
| 25          | 2.6                                      | 25          | 2.5                                      | 25          | 2.5                                      |
| 26          | 2.7                                      | 26          | 2.6                                      | 26          | 2.6                                      |
| 27          | 2.8                                      | 27          | 2.7                                      | 27          | 2.7                                      |
| 28          | 2.9                                      | 28          | 2.8                                      | 28          | 2.9                                      |
| 29          | 3.0                                      | 29          | 2.9                                      | 29          | 3.0                                      |
| 30          | 3.1                                      | 30          | 3.0                                      | 30          | 3.1                                      |
| 31          | 3.2                                      | 31          | 3.1                                      | 31          | 3.2                                      |
| 55          | 5.6                                      | 55          | 5.6                                      | 55          | 5.6                                      |
| 56          | 5.7                                      | 56          | 5.7                                      | 56          | 5.7                                      |
| 57          | 5.8                                      | 57          | 5.8                                      | 57          | 5.8                                      |
| 58          | 5.9                                      | 58          | 5.9                                      | 58          | 5.9                                      |
| 59          | 6.0                                      | 59          | 6.0                                      | 59          | 6.0                                      |
| 60          | 6.1                                      | 60          | 6.1                                      | 60          | 6.1                                      |
| 61          | 6.2                                      | 61          | 6.2                                      | 61          | 6.2                                      |
| 62          | 6.3                                      | 62          | 6.3                                      | 62          | 6.3                                      |
| 63          | 6.4                                      | 63          | 6.4                                      | 63          | 6.4                                      |
| 64          | 6.5                                      | 64          | 6.5                                      | 64          | 6.5                                      |
| 65          | 6.6                                      | 65          | 6.6                                      | 65          | 6.6                                      |
| 780         | 90.9                                     | 714         | 90.8                                     | 705         | 90.8                                     |
| 781         | 91.0                                     | 715         | 90.9                                     | 706         | 91.0                                     |
| 782         | 91.2                                     | 716         | 91.0                                     | 707         | 91.1                                     |
| 783         | 91.3                                     | 717         | 91.2                                     | 708         | 91.3                                     |
| 784         | 91.4                                     | 718         | 91.3                                     | 709         | 91.4                                     |
| 785         | 91.6                                     | 719         | 91.5                                     | 710         | 91.6                                     |
| 786         | 91.7                                     | 720         | 91.6                                     | 711         | 91.7                                     |
| 787         | 91.8                                     | 721         | 91.8                                     | 712         | 91.9                                     |
| 788         | 92.0                                     | 722         | 91.9                                     | 713         | 92.0                                     |
| 789         | 92.1                                     | 723         | 92.1                                     | 714         | 92.2                                     |
| 790         | 92.2                                     | 724         | 92.2                                     | 715         | 92.3                                     |

上記より, 運転開始後 60 年時点の鉄筋の腐食減量は, すべてのデータで同値 ( $6.1 \times 10^{-4}g/cm^2$ ) となったことから, 最もかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量に早く達する気中帯⑥' (中性化の作用が考えられる領域のデータを用いない場合, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合) のデータを選定した。

#### 4.2 干満帯の回帰分析について

干満帯は、気中帯と同様に、空気に曝される状況下であり、中性化の作用を受けている可能性があることに加え、海水に接しており、溶脱の作用により塩化物イオン量の浸透に影響を与えている可能性があることから、コンクリート表面に近い領域のデータ(0～20mm)を用いる場合と用いない場合の影響を確認している。また、合わせて、初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )考慮有無による影響を確認している。

##### (1) 中性化等の作用が考えられる領域のデータを用いる場合

表 8-7 に干満帯における3箇所(干満帯①, ②, ③)のコアの塩化物イオン量測定結果を示す。

表 8-7 塩化物イオン量の測定結果一覧(干満帯)

| 表面からの深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |       |
|-----------------|------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | 干満帯①                         | 干満帯②  | 干満帯③  | 平均値*  |
| 0～20            | 0.403                        | 0.546 | 0.925 | 0.625 |
| 20～40           | 0.190                        | 0.356 | 0.901 | 0.482 |
| 40～60           | 0.119                        | 0.261 | 0.356 | 0.245 |
| 60～80           | 0.095                        | 0.308 | 0.190 | 0.198 |
| 80～100          | 0.095                        | 0.237 | 0.119 | 0.150 |
| 100～120         | 0.119                        | 0.190 | 0.119 | 0.143 |

※補足説明資料 P20「表 14 塩分浸透の測定結果」には平均値を記載。

上記データに対する「調査時点、運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後5年の鉄筋の腐食減量」のうち、初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )を考慮しない場合(拡散方程式①)を表 8-8 に、初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )を考慮する場合(拡散方程式②)を表 8-9 に示す。

表 8-8 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化等領域データあり，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合)

| 干満帯①        |                                                  | 干満帯②        |                                                  | 干満帯③        |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 5.5                                              | 21          | 5.3                                              | 21          | 5.5                                              |
| 22          | 5.8                                              | 22          | 5.6                                              | 22          | 5.7                                              |
| 23          | 6.0                                              | 23          | 5.8                                              | 23          | 6.0                                              |
| 24          | 6.3                                              | 24          | 6.1                                              | 24          | 6.2                                              |
| 25          | 6.5                                              | 25          | 6.3                                              | 25          | 6.5                                              |
| 26          | 6.8                                              | 26          | 6.6                                              | 26          | 6.7                                              |
| 27          | 7.0                                              | 27          | 6.8                                              | 27          | 7.0                                              |
| 28          | 7.3                                              | 28          | 7.1                                              | 28          | 7.2                                              |
| 29          | 7.6                                              | 29          | 7.3                                              | 29          | 7.5                                              |
| 30          | 7.8                                              | 30          | 7.6                                              | 30          | 7.7                                              |
| 31          | 8.1                                              | 31          | 7.8                                              | 31          | 8.0                                              |
| 55          | 14.1                                             | 55          | 13.8                                             | 55          | 13.9                                             |
| 56          | 14.4                                             | 56          | 14.0                                             | 56          | 14.2                                             |
| 57          | 14.6                                             | 57          | 14.3                                             | 57          | 14.4                                             |
| 58          | 14.9                                             | 58          | 14.5                                             | 58          | 14.7                                             |
| 59          | 15.1                                             | 59          | 14.8                                             | 59          | 14.9                                             |
| 60          | 15.4                                             | 60          | 15.0                                             | 60          | 15.2                                             |
| 61          | 15.6                                             | 61          | 15.3                                             | 61          | 15.4                                             |
| 62          | 15.9                                             | 62          | 15.5                                             | 62          | 15.7                                             |
| 63          | 16.1                                             | 63          | 15.8                                             | 63          | 15.9                                             |
| 64          | 16.4                                             | 64          | 16.0                                             | 64          | 16.2                                             |
| 65          | 16.6                                             | 65          | 16.3                                             | 65          | 16.4                                             |
| 361         | 90.3                                             | 361         | 90.4                                             | 347         | 90.2                                             |
| 362         | 90.5                                             | 362         | 90.6                                             | 348         | 90.5                                             |
| 363         | 90.8                                             | 363         | 90.9                                             | 349         | 90.8                                             |
| 364         | 91.0                                             | 364         | 91.1                                             | 350         | 91.1                                             |
| 365         | 91.3                                             | 365         | 91.4                                             | 351         | 91.3                                             |
| 366         | 91.5                                             | 366         | 91.6                                             | 352         | 91.6                                             |
| 367         | 91.8                                             | 367         | 91.9                                             | 353         | 91.9                                             |
| 368         | 92.0                                             | 368         | 92.1                                             | 354         | 92.1                                             |
| 369         | 92.3                                             | 369         | 92.4                                             | 355         | 92.4                                             |
| 370         | 92.5                                             | 370         | 92.6                                             | 356         | 92.7                                             |
| 371         | 92.8                                             | 371         | 92.9                                             | 357         | 92.9                                             |

表 8-9 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化等領域データあり，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合)

| 干満帯①'       |                                          | 干満帯②'       |                                          | 干満帯③'       |                                          |
|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4}g/cm^2$ ) |
| 21          | 5.3                                      | 21          | 5.2                                      | 21          | 5.4                                      |
| 22          | 5.6                                      | 22          | 5.5                                      | 22          | 5.7                                      |
| 23          | 5.8                                      | 23          | 5.7                                      | 23          | 5.9                                      |
| 24          | 6.1                                      | 24          | 6.0                                      | 24          | 6.2                                      |
| 25          | 6.3                                      | 25          | 6.2                                      | 25          | 6.4                                      |
| 26          | 6.6                                      | 26          | 6.5                                      | 26          | 6.7                                      |
| 27          | 6.9                                      | 27          | 6.7                                      | 27          | 6.9                                      |
| 28          | 7.1                                      | 28          | 7.0                                      | 28          | 7.2                                      |
| 29          | 7.4                                      | 29          | 7.2                                      | 29          | 7.4                                      |
| 30          | 7.6                                      | 30          | 7.5                                      | 30          | 7.7                                      |
| 31          | 7.9                                      | 31          | 7.7                                      | 31          | 7.9                                      |
| 55          | 14.0                                     | 55          | 13.7                                     | 55          | 13.9                                     |
| 56          | 14.2                                     | 56          | 13.9                                     | 56          | 14.2                                     |
| 57          | 14.5                                     | 57          | 14.2                                     | 57          | 14.4                                     |
| 58          | 14.7                                     | 58          | 14.4                                     | 58          | 14.7                                     |
| 59          | 15.0                                     | 59          | 14.7                                     | 59          | 14.9                                     |
| 60          | 15.2                                     | 60          | 14.9                                     | 60          | 15.2                                     |
| 61          | 15.5                                     | 61          | 15.2                                     | 61          | 15.4                                     |
| 62          | 15.7                                     | 62          | 15.4                                     | 62          | 15.7                                     |
| 63          | 16.0                                     | 63          | 15.7                                     | 63          | 15.9                                     |
| 64          | 16.2                                     | 64          | 15.9                                     | 64          | 16.2                                     |
| 65          | 16.5                                     | 65          | 16.2                                     | 65          | 16.4                                     |
| 360         | 90.2                                     | 362         | 90.2                                     | 347         | 90.2                                     |
| 361         | 90.5                                     | 363         | 90.5                                     | 348         | 90.5                                     |
| 362         | 90.7                                     | 364         | 90.7                                     | 349         | 90.7                                     |
| 363         | 91.0                                     | 365         | 91.0                                     | 350         | 91.0                                     |
| 364         | 91.2                                     | 366         | 91.2                                     | 351         | 91.3                                     |
| 365         | 91.5                                     | 367         | 91.5                                     | 352         | 91.6                                     |
| 366         | 91.7                                     | 368         | 91.7                                     | 353         | 91.8                                     |
| 367         | 92.0                                     | 369         | 92.0                                     | 354         | 92.1                                     |
| 368         | 92.2                                     | 370         | 92.2                                     | 355         | 92.4                                     |
| 369         | 92.5                                     | 371         | 92.5                                     | 356         | 92.6                                     |
| 370         | 92.7                                     | 372         | 92.8                                     | 357         | 92.9                                     |

(2) 中性化等の作用が考えられる領域のデータを用いない場合

表 8-10 に中性化等の作用が考えられる領域のデータを用いない場合における 3 箇所 (干満帯④, ⑤, ⑥) のコアの塩化物イオン量測定結果を示す。

表 8-10 塩化物イオン量の測定結果一覧 (干満帯, 中性化等領域除外)

| 表面からの深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |       |
|-----------------|------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | 干満帯④                         | 干満帯⑤  | 干満帯⑥  | 平均値   |
| 0~20            | —                            | —     | —     | —     |
| 20~40           | 0.190                        | 0.356 | 0.901 | 0.482 |
| 40~60           | 0.119                        | 0.261 | 0.356 | 0.245 |
| 60~80           | 0.095                        | 0.308 | 0.190 | 0.198 |
| 80~100          | 0.095                        | 0.237 | 0.119 | 0.150 |
| 100~120         | 0.119                        | 0.190 | 0.119 | 0.143 |

上記データに対する「調査時点, 運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後 5 年の鉄筋の腐食減量」のうち, 初期塩化物イオン量( $C_{init}$ )を考慮しない場合 (拡散方程式①) を表 8-11 に, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合 (拡散方程式②) を表 8-12 に示す。

表 8-11 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化等領域データなし, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合)

| 干満帯④        |                                                  | 干満帯⑤        |                                                  | 干満帯⑥        |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 5.4                                              | 21          | 5.3                                              | 21          | 5.5                                              |
| 22          | 5.7                                              | 22          | 5.5                                              | 22          | 5.8                                              |
| 23          | 5.9                                              | 23          | 5.8                                              | 23          | 6.0                                              |
| 24          | 6.2                                              | 24          | 6.0                                              | 24          | 6.3                                              |
| 25          | 6.4                                              | 25          | 6.3                                              | 25          | 6.6                                              |
| 26          | 6.7                                              | 26          | 6.5                                              | 26          | 6.8                                              |
| 27          | 6.9                                              | 27          | 6.8                                              | 27          | 7.1                                              |
| 28          | 7.2                                              | 28          | 7.0                                              | 28          | 7.3                                              |
| 29          | 7.4                                              | 29          | 7.3                                              | 29          | 7.6                                              |
| 30          | 7.7                                              | 30          | 7.5                                              | 30          | 7.8                                              |
| 31          | 7.9                                              | 31          | 7.8                                              | 31          | 8.1                                              |
| 55          | 14.0                                             | 55          | 13.7                                             | 55          | 14.1                                             |
| 56          | 14.2                                             | 56          | 14.0                                             | 56          | 14.3                                             |
| 57          | 14.5                                             | 57          | 14.2                                             | 57          | 14.6                                             |
| 58          | 14.7                                             | 58          | 14.5                                             | 58          | 14.8                                             |
| 59          | 15.0                                             | 59          | 14.7                                             | 59          | 15.1                                             |
| 60          | 15.2                                             | 60          | 15.0                                             | 60          | 15.3                                             |
| 61          | 15.5                                             | 61          | 15.2                                             | 61          | 15.6                                             |
| 62          | 15.8                                             | 62          | 15.5                                             | 62          | 15.8                                             |
| 63          | 16.0                                             | 63          | 15.7                                             | 63          | 16.1                                             |
| 64          | 16.3                                             | 64          | 16.0                                             | 64          | 16.3                                             |
| 65          | 16.5                                             | 65          | 16.2                                             | 65          | 16.6                                             |
| 359         | 90.2                                             | 363         | 90.4                                             | 337         | 90.3                                             |
| 360         | 90.5                                             | 364         | 90.7                                             | 338         | 90.6                                             |
| 361         | 90.7                                             | 365         | 90.9                                             | 339         | 90.9                                             |
| 362         | 91.0                                             | 366         | 91.2                                             | 340         | 91.1                                             |
| 363         | 91.2                                             | 367         | 91.4                                             | 341         | 91.4                                             |
| 364         | 91.5                                             | 368         | 91.7                                             | 342         | 91.7                                             |
| 365         | 91.7                                             | 369         | 91.9                                             | 343         | 92.0                                             |
| 366         | 92.0                                             | 370         | 92.2                                             | 344         | 92.3                                             |
| 367         | 92.2                                             | 371         | 92.4                                             | 345         | 92.6                                             |
| 368         | 92.5                                             | 372         | 92.7                                             | 346         | 92.9                                             |
| 369         | 92.7                                             | 373         | 92.9                                             | 347         | 93.1                                             |

表 8-12 鉄筋の腐食減量一覧表

(中性化等領域データなし, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合)

| 干満帯④'       |                                                  | 干満帯⑤'       |                                                  | 干満帯⑥'       |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 5.3                                              | 21          | 5.2                                              | 21          | 5.3                                              |
| 22          | 5.6                                              | 22          | 5.5                                              | 22          | 5.6                                              |
| 23          | 5.8                                              | 23          | 5.7                                              | 23          | 5.8                                              |
| 24          | 6.1                                              | 24          | 6.0                                              | 24          | 6.1                                              |
| 25          | 6.3                                              | 25          | 6.2                                              | 25          | 6.3                                              |
| 26          | 6.6                                              | 26          | 6.5                                              | 26          | 6.6                                              |
| 27          | 6.8                                              | 27          | 6.7                                              | 27          | 6.8                                              |
| 28          | 7.1                                              | 28          | 7.0                                              | 28          | 7.1                                              |
| 29          | 7.3                                              | 29          | 7.2                                              | 29          | 7.3                                              |
| 30          | 7.6                                              | 30          | 7.5                                              | 30          | 7.6                                              |
| 31          | 7.8                                              | 31          | 7.7                                              | 31          | 7.8                                              |
| 55          | 13.9                                             | 55          | 13.7                                             | 55          | 13.8                                             |
| 56          | 14.1                                             | 56          | 13.9                                             | 56          | 14.1                                             |
| 57          | 14.4                                             | 57          | 14.2                                             | 57          | 14.3                                             |
| 58          | 14.6                                             | 58          | 14.4                                             | 58          | 14.6                                             |
| 59          | 14.9                                             | 59          | 14.7                                             | 59          | 14.8                                             |
| 60          | 15.2                                             | 60          | 14.9                                             | 60          | 15.1                                             |
| 61          | 15.4                                             | 61          | 15.2                                             | 61          | 15.3                                             |
| 62          | 15.7                                             | 62          | 15.4                                             | 62          | 15.6                                             |
| 63          | 15.9                                             | 63          | 15.7                                             | 63          | 15.8                                             |
| 64          | 16.2                                             | 64          | 15.9                                             | 64          | 16.0                                             |
| 65          | 16.4                                             | 65          | 16.2                                             | 65          | 16.3                                             |
| 360         | 90.3                                             | 363         | 90.4                                             | 336         | 90.2                                             |
| 361         | 90.5                                             | 364         | 90.6                                             | 337         | 90.5                                             |
| 362         | 90.8                                             | 365         | 90.9                                             | 338         | 90.7                                             |
| 363         | 91.0                                             | 366         | 91.1                                             | 339         | 91.0                                             |
| 364         | 91.3                                             | 367         | 91.4                                             | 340         | 91.3                                             |
| 365         | 91.5                                             | 368         | 91.6                                             | 341         | 91.6                                             |
| 366         | 91.8                                             | 369         | 91.9                                             | 342         | 91.9                                             |
| 367         | 92.0                                             | 370         | 92.1                                             | 343         | 92.2                                             |
| 368         | 92.3                                             | 371         | 92.4                                             | 344         | 92.5                                             |
| 369         | 92.5                                             | 372         | 92.6                                             | 345         | 92.8                                             |
| 370         | 92.8                                             | 373         | 92.9                                             | 346         | 93.1                                             |

上記より, 運転開始後 60 年時点の鉄筋の腐食減量が最も大きい値となった干満帯①(中性化等の作用が考えられる領域のデータを用いる場合, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合) のデータを選定した。

#### 4.3 海中帯の回帰分析について

海中帯は、干満帯と同様に、溶脱の作用により塩化物イオン量の浸透に影響を与えている可能性があることから、コンクリート表面に近い領域のデータ（0～20mm）を用いる場合と用いない場合の影響を確認している。また、合わせて、初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) 考慮有無による影響を確認している。

##### (1) 溶脱の作用が考えられる領域のデータを用いる場合

表 8-13 に海中帯における 3 箇所（海中帯①，②，③）のコアの塩化物イオン量測定結果を示す。

表 8-13 塩化物イオン量の測定結果一覧（海中帯）

| 表面からの深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |       |
|-----------------|------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | 海中帯①                         | 海中帯②  | 海中帯③  | 平均値*  |
| 0～20            | 0.617                        | 1.779 | 2.396 | 1.597 |
| 20～40           | 0.190                        | 0.735 | 0.783 | 0.569 |
| 40～60           | 0.119                        | 0.190 | 0.285 | 0.198 |
| 60～80           | 0.119                        | 0.119 | 0.190 | 0.143 |
| 80～100          | 0.119                        | 0.119 | 0.190 | 0.143 |
| 100～120         | 0.119                        | 0.119 | 0.142 | 0.127 |

※補足説明資料 P20「表 14 塩分浸透の測定結果」には平均値を記載。

上記データに対する「調査時点、運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後 5 年の鉄筋の腐食減量」のうち、初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合（拡散方程式①）を表 8-14 に、初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合（拡散方程式②）を表 8-15 に示す。

表 8-14 鉄筋の腐食減量一覧表

(溶脱作用領域データあり, 初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合)

| 海中帯①        |                                                  | 海中帯②        |                                                  | 海中帯③        |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 0                                                | 21          | 0                                                | 21          | 0                                                |
| 22          | 0                                                | 22          | 0                                                | 22          | 0                                                |
| 23          | 0                                                | 23          | 0                                                | 23          | 0                                                |
| 24          | 0                                                | 24          | 0                                                | 24          | 0                                                |
| 25          | 0                                                | 25          | 0                                                | 25          | 0                                                |
| 26          | 0                                                | 26          | 0                                                | 26          | 0                                                |
| 27          | 0                                                | 27          | 0                                                | 27          | 0                                                |
| 28          | 0                                                | 28          | 0                                                | 28          | 0                                                |
| 29          | 0                                                | 29          | 0                                                | 29          | 0                                                |
| 30          | 0                                                | 30          | 0                                                | 30          | 0                                                |
| 31          | 0                                                | 31          | 0                                                | 31          | 0                                                |
| 55          | 0                                                | 55          | 0                                                | 55          | 0                                                |
| 56          | 0                                                | 56          | 0                                                | 56          | 0                                                |
| 57          | 0                                                | 57          | 0                                                | 57          | 0                                                |
| 58          | 0                                                | 58          | 0                                                | 58          | 0                                                |
| 59          | 0                                                | 59          | 0                                                | 59          | 0                                                |
| 60          | 0                                                | 60          | 0                                                | 60          | 0                                                |
| 61          | 0                                                | 61          | 0                                                | 61          | 0                                                |
| 62          | 0                                                | 62          | 0                                                | 62          | 0                                                |
| 63          | 0                                                | 63          | 0                                                | 63          | 0                                                |
| 64          | 0                                                | 64          | 0                                                | 64          | 0                                                |
| 65          | 0                                                | 65          | 0                                                | 65          | 0                                                |
| 2990        | 0                                                | 2555        | 91.2                                             | 1868        | 91.2                                             |
| 2991        | 0                                                | 2556        | 91.3                                             | 1869        | 91.2                                             |
| 2992        | 0                                                | 2557        | 91.3                                             | 1870        | 91.3                                             |
| 2993        | 0                                                | 2558        | 91.4                                             | 1871        | 91.4                                             |
| 2994        | 0                                                | 2559        | 91.4                                             | 1872        | 91.4                                             |
| 2995        | 0                                                | 2560        | 91.5                                             | 1873        | 91.5                                             |
| 2996        | 0                                                | 2561        | 91.5                                             | 1874        | 91.6                                             |
| 2997        | 0                                                | 2562        | 91.6                                             | 1875        | 91.7                                             |
| 2998        | 0                                                | 2563        | 91.6                                             | 1876        | 91.7                                             |
| 2999        | 0                                                | 2564        | 91.7                                             | 1877        | 91.8                                             |
| 3000        | 0                                                | 2565        | 91.7                                             | 1878        | 91.9                                             |

表 8-15 鉄筋の腐食減量一覧表

(溶脱作用領域データあり，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合)

| 海中帯①'       |                                                  | 海中帯②'       |                                                  | 海中帯③'       |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 0                                                | 21          | 0                                                | 21          | 0                                                |
| 22          | 0                                                | 22          | 0                                                | 22          | 0                                                |
| 23          | 0                                                | 23          | 0                                                | 23          | 0                                                |
| 24          | 0                                                | 24          | 0                                                | 24          | 0                                                |
| 25          | 0                                                | 25          | 0                                                | 25          | 0                                                |
| 26          | 0                                                | 26          | 0                                                | 26          | 0                                                |
| 27          | 0                                                | 27          | 0                                                | 27          | 0                                                |
| 28          | 0                                                | 28          | 0                                                | 28          | 0                                                |
| 29          | 0                                                | 29          | 0                                                | 29          | 0                                                |
| 30          | 0                                                | 30          | 0                                                | 30          | 0                                                |
| 31          | 0                                                | 31          | 0                                                | 31          | 0                                                |
| 55          | 0                                                | 55          | 0                                                | 55          | 0                                                |
| 56          | 0                                                | 56          | 0                                                | 56          | 0                                                |
| 57          | 0                                                | 57          | 0                                                | 57          | 0                                                |
| 58          | 0                                                | 58          | 0                                                | 58          | 0                                                |
| 59          | 0                                                | 59          | 0                                                | 59          | 0                                                |
| 60          | 0                                                | 60          | 0                                                | 60          | 0                                                |
| 61          | 0                                                | 61          | 0                                                | 61          | 0                                                |
| 62          | 0                                                | 62          | 0                                                | 62          | 0                                                |
| 63          | 0                                                | 63          | 0                                                | 63          | 0                                                |
| 64          | 0                                                | 64          | 0                                                | 64          | 0                                                |
| 65          | 0                                                | 65          | 0                                                | 65          | 0                                                |
| 2990        | 0                                                | 2587        | 91.2                                             | 1901        | 91.1                                             |
| 2991        | 0                                                | 2588        | 91.3                                             | 1902        | 91.2                                             |
| 2992        | 0                                                | 2589        | 91.3                                             | 1903        | 91.3                                             |
| 2993        | 0                                                | 2590        | 91.4                                             | 1904        | 91.4                                             |
| 2994        | 0                                                | 2591        | 91.4                                             | 1905        | 91.4                                             |
| 2995        | 0                                                | 2592        | 91.5                                             | 1906        | 91.5                                             |
| 2996        | 0                                                | 2593        | 91.5                                             | 1907        | 91.6                                             |
| 2997        | 0                                                | 2594        | 91.6                                             | 1908        | 91.7                                             |
| 2998        | 0                                                | 2595        | 91.6                                             | 1909        | 91.7                                             |
| 2999        | 0                                                | 2596        | 91.7                                             | 1910        | 91.8                                             |
| 3000        | 0                                                | 2597        | 91.7                                             | 1911        | 91.9                                             |

(2) 溶脱の作用が考えられる領域のデータを用いない場合

表 8-16 に溶脱の作用が考えられる領域のデータを用いない場合における 3 箇所（海中帯④，⑤，⑥）のコアの塩化物イオン量測定結果を示す。

表 8-16 塩化物イオン量の測定結果一覧（海中帯）

| 表面からの深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |       |
|-----------------|------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | 海中帯④                         | 海中帯⑤  | 海中帯⑥  | 平均値   |
| 0~20            | -                            | -     | -     | -     |
| 20~40           | 0.190                        | 0.735 | 0.783 | 0.569 |
| 40~60           | 0.119                        | 0.190 | 0.285 | 0.198 |
| 60~80           | 0.119                        | 0.119 | 0.190 | 0.143 |
| 80~100          | 0.119                        | 0.119 | 0.190 | 0.143 |
| 100~120         | 0.119                        | 0.119 | 0.142 | 0.127 |

上記データに対する「調査時点，運転開始後 60 年時点及びかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の前後 5 年の鉄筋の腐食減量」のうち，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合（拡散方程式①）を表 8-17 に，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合（拡散方程式②）を表 8-18 に示す。

表 8-17 鉄筋の腐食減量一覧表

(溶脱作用領域データなし，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮しない場合)

| 海中帯④        |                                                  | 海中帯⑤        |                                                  | 海中帯⑥        |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 0                                                | 21          | 0                                                | 21          | 0                                                |
| 22          | 0                                                | 22          | 0                                                | 22          | 0                                                |
| 23          | 0                                                | 23          | 0                                                | 23          | 0                                                |
| 24          | 0                                                | 24          | 0                                                | 24          | 0                                                |
| 25          | 0                                                | 25          | 0                                                | 25          | 0                                                |
| 26          | 0                                                | 26          | 0                                                | 26          | 0                                                |
| 27          | 0                                                | 27          | 0                                                | 27          | 0                                                |
| 28          | 0                                                | 28          | 0                                                | 28          | 0                                                |
| 29          | 0                                                | 29          | 0                                                | 29          | 0                                                |
| 30          | 0                                                | 30          | 0                                                | 30          | 0                                                |
| 31          | 0                                                | 31          | 0                                                | 31          | 0                                                |
| 55          | 0                                                | 55          | 0                                                | 55          | 0                                                |
| 56          | 0                                                | 56          | 0                                                | 56          | 0                                                |
| 57          | 0                                                | 57          | 0                                                | 57          | 0                                                |
| 58          | 0                                                | 58          | 0                                                | 58          | 0                                                |
| 59          | 0                                                | 59          | 0                                                | 59          | 0                                                |
| 60          | 0                                                | 60          | 0                                                | 60          | 0                                                |
| 61          | 0                                                | 61          | 0                                                | 61          | 0                                                |
| 62          | 0                                                | 62          | 0                                                | 62          | 0                                                |
| 63          | 0                                                | 63          | 0                                                | 63          | 0                                                |
| 64          | 0                                                | 64          | 0                                                | 64          | 0                                                |
| 65          | 0                                                | 65          | 0                                                | 65          | 0                                                |
| 2990        | 0                                                | 2990        | 88.5                                             | 2990        | 41.7                                             |
| 2991        | 0                                                | 2991        | 88.6                                             | 2991        | 41.7                                             |
| 2992        | 0                                                | 2992        | 88.6                                             | 2992        | 41.7                                             |
| 2993        | 0                                                | 2993        | 88.7                                             | 2993        | 41.7                                             |
| 2994        | 0                                                | 2994        | 88.7                                             | 2994        | 41.7                                             |
| 2995        | 0                                                | 2995        | 88.8                                             | 2995        | 41.8                                             |
| 2996        | 0                                                | 2996        | 88.8                                             | 2996        | 41.8                                             |
| 2997        | 0                                                | 2997        | 88.8                                             | 2997        | 41.8                                             |
| 2998        | 0                                                | 2998        | 88.9                                             | 2998        | 41.8                                             |
| 2999        | 0                                                | 2999        | 88.9                                             | 2999        | 41.8                                             |
| 3000        | 0                                                | 3000        | 89.0                                             | 3000        | 41.9                                             |

表 8-18 鉄筋の腐食減量一覧表

(溶脱作用領域データなし，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合)

| 海中帯④'       |                                                  | 海中帯⑤'       |                                                  | 海中帯⑥'       |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) | 経過年数<br>(年) | $\Sigma q$<br>( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) |
| 21          | 0                                                | 21          | 0                                                | 21          | 0                                                |
| 22          | 0                                                | 22          | 0                                                | 22          | 0                                                |
| 23          | 0                                                | 23          | 0                                                | 23          | 0                                                |
| 24          | 0                                                | 24          | 0                                                | 24          | 0                                                |
| 25          | 0                                                | 25          | 0                                                | 25          | 0                                                |
| 26          | 0                                                | 26          | 0                                                | 26          | 0                                                |
| 27          | 0                                                | 27          | 0                                                | 27          | 0                                                |
| 28          | 0                                                | 28          | 0                                                | 28          | 0                                                |
| 29          | 0                                                | 29          | 0                                                | 29          | 0                                                |
| 30          | 0                                                | 30          | 0                                                | 30          | 0                                                |
| 31          | 0                                                | 31          | 0                                                | 31          | 0                                                |
| 55          | 0                                                | 55          | 0                                                | 55          | 0                                                |
| 56          | 0                                                | 56          | 0                                                | 56          | 0                                                |
| 57          | 0                                                | 57          | 0                                                | 57          | 0                                                |
| 58          | 0                                                | 58          | 0                                                | 58          | 0                                                |
| 59          | 0                                                | 59          | 0                                                | 59          | 0                                                |
| 60          | 0                                                | 60          | 0                                                | 60          | 0                                                |
| 61          | 0                                                | 61          | 0                                                | 61          | 0                                                |
| 62          | 0                                                | 62          | 0                                                | 62          | 0                                                |
| 63          | 0                                                | 63          | 0                                                | 63          | 0                                                |
| 64          | 0                                                | 64          | 0                                                | 64          | 0                                                |
| 65          | 0                                                | 65          | 0                                                | 65          | 0                                                |
| 2990        | 0                                                | 1772        | 91.1                                             | 2221        | 91.1                                             |
| 2991        | 0                                                | 1773        | 91.1                                             | 2222        | 91.2                                             |
| 2992        | 0                                                | 1774        | 91.2                                             | 2223        | 91.3                                             |
| 2993        | 0                                                | 1775        | 91.3                                             | 2224        | 91.3                                             |
| 2994        | 0                                                | 1776        | 91.4                                             | 2225        | 91.4                                             |
| 2995        | 0                                                | 1777        | 91.5                                             | 2226        | 91.5                                             |
| 2996        | 0                                                | 1778        | 91.5                                             | 2227        | 91.5                                             |
| 2997        | 0                                                | 1779        | 91.6                                             | 2228        | 91.6                                             |
| 2998        | 0                                                | 1780        | 91.7                                             | 2229        | 91.6                                             |
| 2999        | 0                                                | 1781        | 91.8                                             | 2230        | 91.7                                             |
| 3000        | 0                                                | 1782        | 91.9                                             | 2231        | 91.8                                             |

上記より，運転開始後 60 年時点の鉄筋の腐食減量は，すべてのデータで同値 ( $0.0 \times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ ) となったことから，最もかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量に早く達する海中帯⑤' (溶脱の作用が考えられる領域のデータを用いない場合，初期塩化物イオン量 ( $C_{init}$ ) を考慮する場合) のデータを選定した。

なお、「2. 拡散方程式の回帰分析結果」に示す、回帰分析結果のグラフにおける塩化物イオン量の実測値データは表 8-19 のとおりである。

表 8-19 塩化物イオン量の実測値データ (選定データ)

| 表面からの深さ<br>(mm) | 塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) |       |       |
|-----------------|------------------------------|-------|-------|
|                 | 気中帯                          | 干満帯   | 海中帯   |
| 0~20            | —                            | 0.403 | —     |
| 20~40           | 0.427                        | 0.190 | 0.735 |
| 40~60           | 0.166                        | 0.119 | 0.190 |
| 60~80           | 0.142                        | 0.095 | 0.119 |
| 80~100          | 0.142                        | 0.095 | 0.119 |
| 100~120         | 0.119                        | 0.119 | 0.119 |