

柏崎刈羽原子力発電所5号炉 審査資料	
資料番号	KK5PLM-06 改1
提出年月日	2019年8月8日

柏崎刈羽原子力発電所5号炉
審査会合における指摘事項の回答
(コンクリート構造物及び鉄骨構造物)

2019年8月8日

東京電力ホールディングス株式会社

TEPCO

柏崎刈羽原子力発電所5号炉 審査会合における指摘事項の回答一覧表

No.	指摘事項	回答
17-7 コンクリート構造物及び鉄骨構造物 (2019年6月20日 第17回審査会合)	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの塩分浸透 補足説明資料「コンクリート構造物及び鉄骨構造物」の別紙8の潮位変動について、近年の変化傾向も踏まえた上で、現状の条件設定が問題ないことを説明すること。	P.2~3
17-8 コンクリート構造物及び鉄骨構造物 (2019年6月20日 第17回審査会合)	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの塩分浸透 補足説明資料「コンクリート構造物及び鉄骨構造物」の別紙9での評価に用いている塩分測定データについて、回帰曲線の作成方法、データの扱い、棄却データの選定について、考え方を説明すること。	P.4~11
17-9 コンクリート構造物及び鉄骨構造物 (2019年6月20日 第17回審査会合)	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの機械振動 冷温停止状態において最も振動の影響が大きい機器が評価できていることを、評価対象の選定から整理して説明すること。	P.12~14

※17-1~17-6は共通事項にて回答。17-10は耐震安全性評価にて回答。

17-7 コンクリートの塩分浸透（別紙8 潮位変動について 1/2）

【指摘事項】

補足説明資料「コンクリート構造物及び鉄骨構造物」の別紙8の潮位変動について近年の変化傾向も踏まえた上で、現状の条件設定が問題ないことを説明すること。

1. 近年の変化傾向について

1981年から2018年までの潮位変化を図1に示す。

- 1981年から2018年までの朔望平均干潮位は、設計干潮位※1とほぼ一致している。
- 1981年から2018年までの朔望平均満潮位は、1964年～1980年の朔望平均満潮位とほぼ一致している。
- 1981年から2018年までの最高潮位のうち潮位の大きいデータは、設計満潮位※2とほぼ一致している。

※1（1964年～1980年の朔望平均干潮位）

※2（1964年～1980年の朔望平均満潮位＋気象偏差の最大値）

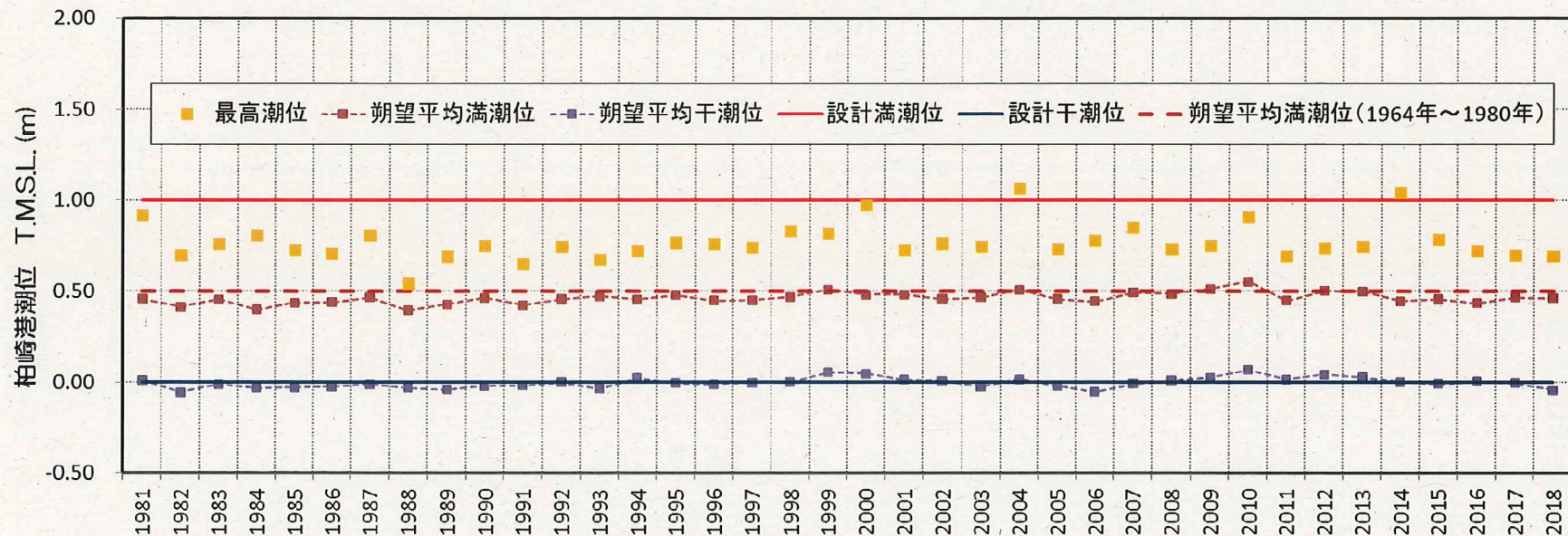


図1 1981年から2018年までの潮位変化

17-7 コンクリートの塩分浸透（別紙8 潮位変動について 2/2）

2. 補足説明資料（別紙8）の条件設定との比較について

最高潮位，朔望平均満潮位，朔望平均干潮位について，別紙8に示した1964年3月～1980年12月の各潮位と，1981年～2018年の各潮位との比較を表1に示す。

これらの期間での朔望平均満潮位及び干潮位の差は4～5cmであり，また，最高潮位では差がなく，現状の条件設定と2018年まで含めた条件設定の評価結果に差異はないことから，技術評価への影響はないと考える。

表1 1964年～1980年と1981年～2018年の潮位の比較

	1964年～1980年	1981年～2018年	潮位差 (cm)
最高潮位	T.M.S.L. +1.07m	T.M.S.L. +1.07m	0
朔望平均満潮位	T.M.S.L. +0.50m	T.M.S.L. +0.46m	-4
朔望平均干潮位	T.M.S.L. +0.05m	T.M.S.L. -0.00m	-5

17-8 コンクリートの塩分浸透（別紙9 塩分測定データについて 1/8）

【指摘事項】

補足説明資料「コンクリート構造物及び鉄骨構造物」の別紙9での評価に用いている塩分測定データについて、回帰曲線の作成方法、データの扱い、棄却データの選定について、考え方を説明すること。

1. 回帰曲線の作成方法について

回帰曲線の作成方法を以下に示す。

- ①各コアの測定データに対し、最小二乗法により、拡散方程式の解の式（Fickの第二法則の解の式）を回帰させ、 C_0 及び D_c （以下、「塩分浸透パラメータ」という）を求める。

$$Cl_{tn} = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{0.1c}{2\sqrt{D_c \cdot t_n}} \right)$$

Cl_{tn} : 鉄筋位置における経過年数 t_n (年)の塩化物イオン量 (kg/m³)

C_0 : コンクリート表面における塩化物イオン量 (kg/m³)

D_c : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm²/年)

c : かぶり (mm)

t_n : 供用開始からの経過年数 (年)

erf : 誤差関数

- ②各コアの実測値に対する塩分浸透パラメータを算定し、調査箇所ごとにコア3本の塩分浸透パラメータの平均値を求め、塩分浸透における腐食減量の算定に用いる。

各コアの実測値から得られた塩分浸透パラメータとコア3本の塩分浸透パラメータの平均値を表2に示す。また、コアからのデータ採取方法例を図2に、各コアの実測値から得られた塩分浸透パラメータによる回帰状況とコア3本の塩分浸透パラメータの平均値による回帰状況を比較した結果を図3～図6に示す。

17-8 コンクリートの塩分浸透（別紙9 塩分測定データについて 2/8）

表2 各コアの実測値から得られた塩分浸透パラメータと平均値（別紙9の塩分浸透パラメータ）の比較

構造物（部位）	塩分浸透パラメータ	コア①	コア②	コア③	平均
タービン建屋 （1階 東外壁）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	0.318	0.366	0.476	0.387
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.225	0.139	0.035	0.133
取水構造物 （気中帯）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	15.344	21.874	18.091	18.436
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.116	0.069	0.086	0.090
取水構造物 （干満帯）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	20.474	23.244	19.307	21.008
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.249	0.189	0.233	0.224
取水構造物 （海中帯）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	5.733	4.911	5.047	5.230
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.370	0.312	0.395	0.359

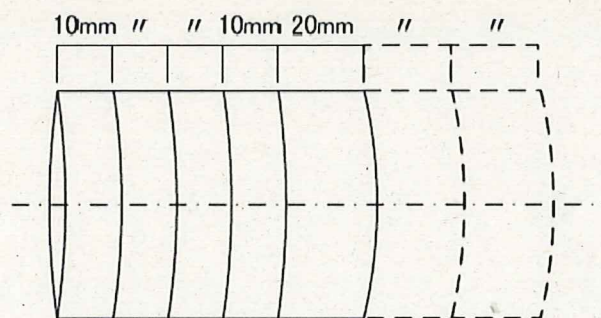


図2 コアの実験データ採取方法（例）

別紙9に記載した塩分浸透パラメータ

- 1箇所あたり3試料（3コア）
- JIS A 1154 に準拠して測定を行う。
- 鉄筋位置+20mmまで、表面側から4サンプルを10mm幅で、それ以降を 20mm幅で分割し、それぞれ塩化物イオン量を測定する。

TEPCO

17-8 コンクリートの塩分浸透 (別紙9 塩分測定データについて 3/8)

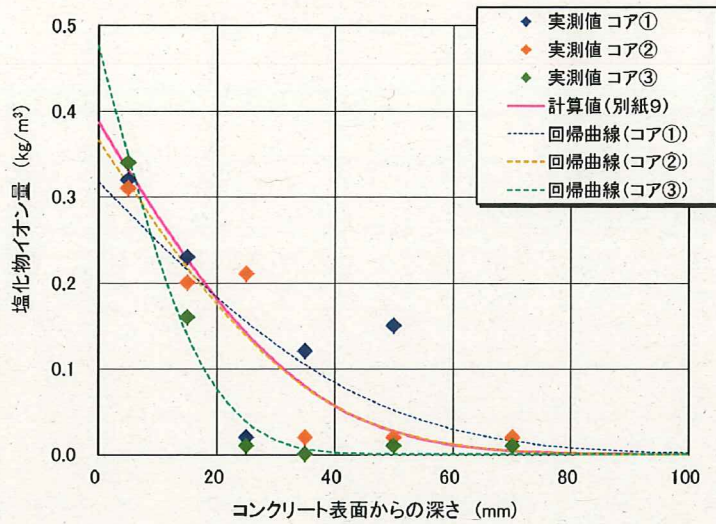


図3 実測値の回帰状況 (タービン建屋)

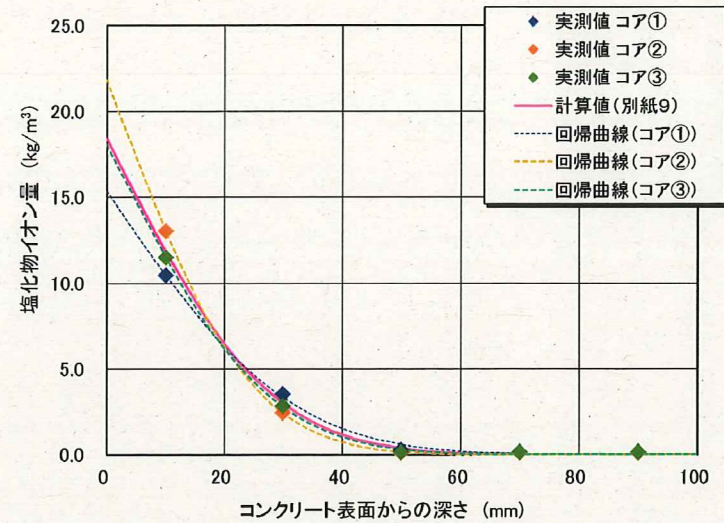


図4 実測値の回帰状況 (取水構造物, 気中帯)

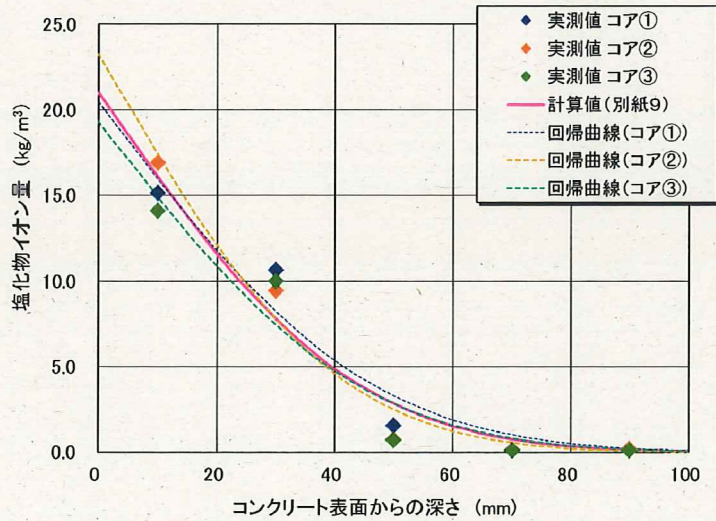


図5 実測値の回帰状況 (取水構造物, 干満帯)

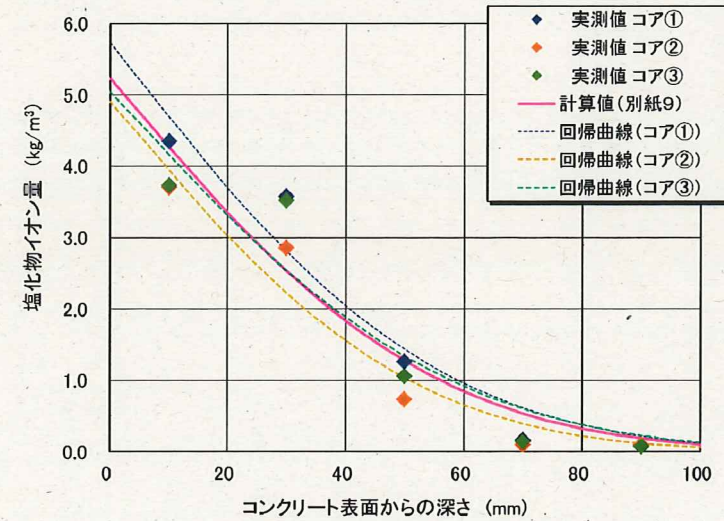


図6 実測値の回帰状況 (取水構造物, 海中帯)

17-8 コンクリートの塩分浸透（別紙9 塩分測定データについて 4/8）

2. データの扱いについて

前述の回帰方法でも、各コアの実測値に基づく回帰を行っていることから、データのバラツキは考慮されていると考えるが、厳密には全データでの回帰ではない。従って、全データで回帰曲線を作成した場合について検討した。検討結果を表3に示す。

表3 塩分浸透パラメータの平均値（別紙9の C_0 及び D_C ）と全データの塩分浸透パラメータの比較

構造物（部位）	塩分浸透パラメータ	別紙9	全データ
タービン建屋 （1階 東外壁）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	0.387	0.390
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.133	0.086
取水構造物 （気中帯）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	18.436	18.263
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.090	0.088
取水構造物 （干満帯）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	21.008	20.947
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.224	0.222
取水構造物 （海中帯）	表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m ³)	5.230	5.222
	見かけの拡散係数 D_C (cm ² /年)	0.359	0.360

別紙9の塩分浸透パラメータと、全データでの回帰による塩分浸透パラメータは、タービン建屋の見かけの拡散係数を除き、ほぼ一致している。回帰状況を比較した結果を図7～図10に示す。

なお、タービン建屋の見かけの拡散係数に差異が生じている要因については、取水構造物に比べて相対的に塩化物イオン量が小さいことや、データのバラツキが大きいことが影響していると考えられる。

17-8 コンクリートの塩分浸透 (別紙9 塩分測定データについて 5/8)

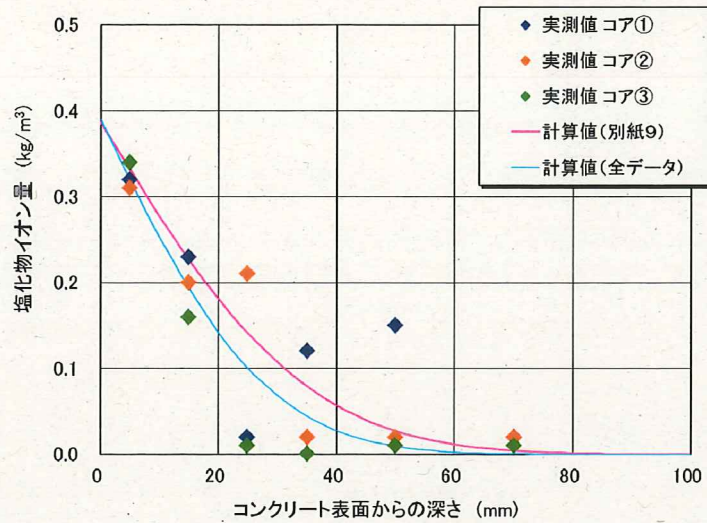


図7 別紙9と全データの回帰状況 (タービン建屋)

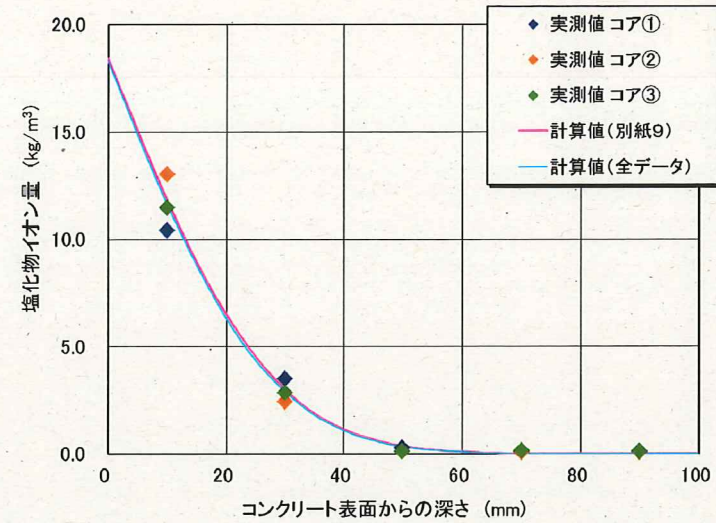


図8 別紙9と全データの回帰状況 (取水構造物, 気中帯)

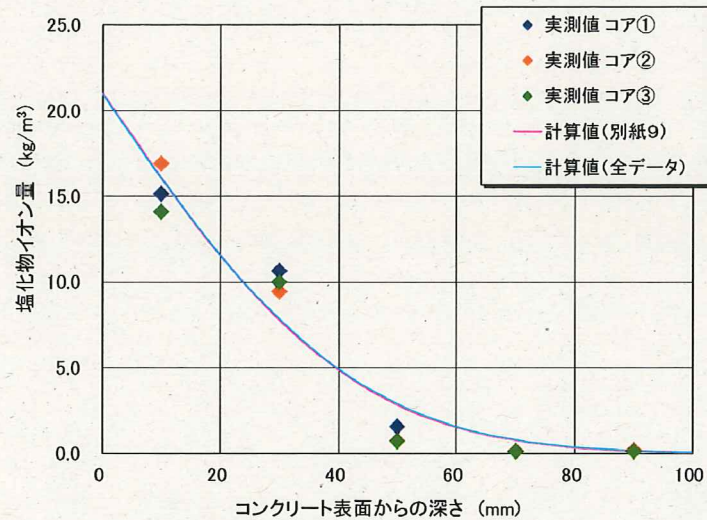


図9 別紙9と全データの回帰状況 (取水構造物, 干満帯)

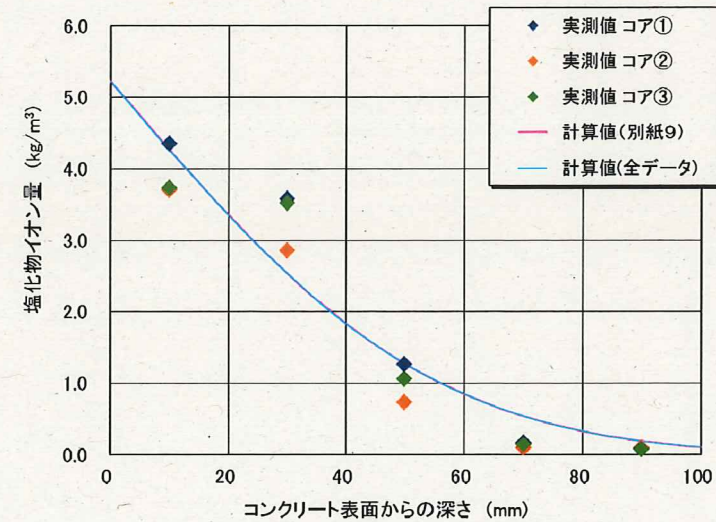


図10 別紙9と全データの回帰状況 (取水構造物, 海中帯)

17-8 コンクリートの塩分浸透（別紙9 塩分測定データについて 6/8）

表3に示した別紙9の塩分浸透パラメータと全データの塩分浸透パラメータの差異による、「鉄筋の腐食減量」及び「かぶりコンクリートのひび割れ発生時期」への影響について確認した。結果を表4に示す。

表4 「鉄筋の腐食減量」及び「かぶりコンクリートのひび割れ発生時期」

構造物 (部位)	パラメータ 設定方法	腐食減量 ($\times 10^{-4}g/cm^2$)					ひび割れ発生 時期 (年)
		調査時点	40年経過	50年経過	60年経過	100年経過	
タービン建屋 (1階 東外壁)	別紙9	4.7	6.5	8.1	9.8	16.7	279
	全データ	4.7	6.4	8.0	9.6	16.3	285
取水構造物 (気中帯)	別紙9	1.6	2.5	3.1	3.8	7.3	422
	全データ	1.6	2.5	3.1	3.8	7.2	428
取水構造物 (干満帯)	別紙9	7.4	11.3	14.3	17.9	36.5	181
	全データ	7.4	11.2	14.3	17.8	36.3	182
取水構造物 (海中帯)	別紙9	0.0	0.0	0.1	0.3	5.1	861
	全データ	0.0	0.0	0.1	0.3	5.1	861

表4より、別紙9の評価結果と、全データでの回帰による評価結果ではほとんど差異がない結果となった。

よって、別紙9の評価結果は、データのバラツキを考慮していると判断し、技術評価書の見直しは必要ないものとする。

17-8 コンクリートの塩分浸透 (別紙9 塩分測定データについて 7/8)

3. 棄却データの選定について

海中帯の塩化物イオン量の分布において、表面から10~30mm間では勾配が比較的小さく、30~50mm間では勾配が大きいことから、深さ10mmのデータを棄却することにより、表面塩化物イオン量 C_0 が大きくなるため、保守的な評価となると考えた。

深さ10mmのデータを棄却した場合と棄却しない場合の回帰状況を図11、図12に、塩分浸透パラメータを表5に示す。

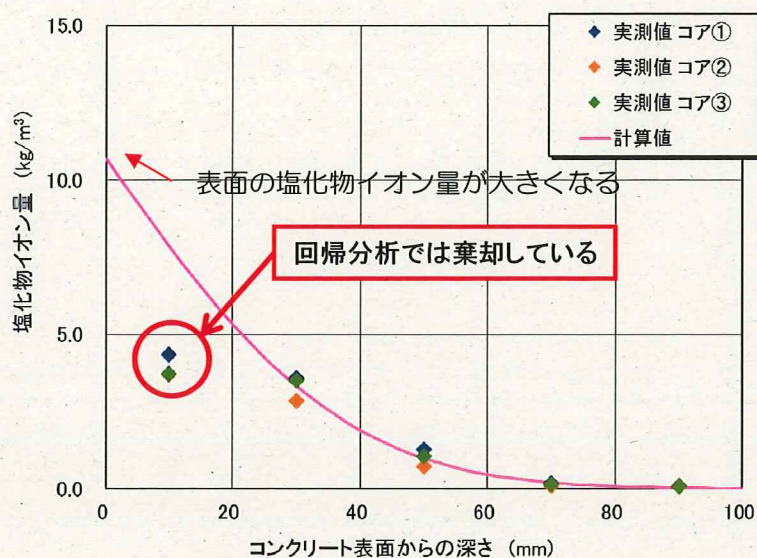


図11 深さ10mmのデータを棄却した場合の回帰状況

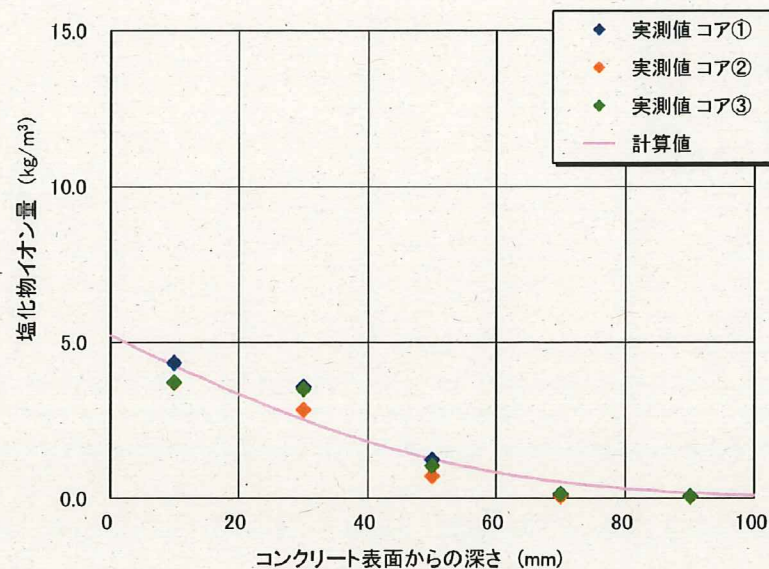


図12 深さ10mmのデータを棄却しない場合の回帰状況

表5 塩分浸透パラメータ

塩分浸透パラメータ	深さ10mmのデータを棄却した場合	深さ10mmのデータを棄却しない場合
表面塩化物イオン量 C_0 (kg/m³)	10.685	5.230
見かけの拡散係数 D_C (cm²/年)	0.172	0.359

17-8 コンクリートの塩分浸透（別紙9 塩分測定データについて 8/8）

図11，図12及び表5に示した通り，深さ10mmのデータを考慮すると，これを棄却した場合に比べ， C_0 は約1/2， D_0 は約2倍となる。そこで，これらの塩分浸透パラメータを用いて，鉄筋の腐食速度及び腐食減量の計算を行い，深さ10mmのデータを棄却した場合の影響について確認した。結果を表6に示す。

表6 深さ10mmのデータの棄却の影響比較

	深さ10mmのデータの棄却の有無	経過年数（年）							
		調査時点	40	50	60	100	200	500	800
鉄筋位置の塩化物イオン量 (kg/m ³)	棄却する	0.05	0.25	0.46	0.69	1.63	3.33	5.58	6.55
	棄却しない	0.26	0.61	0.84	1.05	1.68	2.53	3.44	3.80
腐食速度 (mg/cm ² /年)	棄却する	—	—	—	0.0004	0.005	0.012	0.020	0.024
	棄却しない	—	—	0.001	0.0023	0.005	0.009	0.012	0.014
腐食減量 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)	棄却する	0.0	0.0	0.0	0.009	1.3	10.0	60.1	126.5
	棄却しない	0.0	0.0	0.1	0.3	5.1	12.3	44.6	83.3

経過年数が100年程度までの塩分浸透の評価では，深さ10mmのデータを棄却しない方が保守的な評価となることが確認された。

高経年化技術評価において対象としている経過年数は40年であり，この場合は保守的な評価となることを踏まえ，深さ10mmのデータを棄却しないこととする。

なお，データを棄却しない場合であっても，経過年数40年では鉄筋の腐食減量に差はなく，技術評価書に影響はないことを確認している。

17-9 コンクリートの機械振動（別紙10 評価対象の選定について 1/3）

【指摘事項】

冷温停止状態において最も振動の影響が大きい機器が評価できていることを、評価対象の選定から整理して説明すること。

1. 冷温停止状態の維持に必要な評価対象機器の抽出について

主要な機器の原動機出力及び重量を機械振動の大きさとして抽出した結果を表7に示す。

表7 冷温停止状態の維持に必要な主要機器の原動機出力と重量

評価書	機器名称	出力 (kW)	重量 (kg)	備考
ポンプ	原子炉補機冷却水ポンプ	390	10,300	
	残留熱除去系ポンプ	750	37,100	出力,重量の第3位
	原子炉補機冷却海水ポンプ	270	15,700	
ポンプモータ	原子炉補機冷却水ポンプモータ	390	2,200	
	原子炉補機冷却海水ポンプモータ	270	4,200	
	原子炉冷却材浄化系ポンプモータ	90	4,500	
空調設備	中央制御室送風機	110	5,600	
	非常用ディーゼル発電機室非常用送風機	37	1,600	
	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	170	19,000	
機械設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	3,861*1	60,300	出力,重量の第2位
電源設備	非常用ディーゼル発電設備 (A, B系)	6,600	66,150	出力,重量の第1位

*：工事計画書の記載は「5,250PS」であったため、0.7355(kW/PS)を乗じた

17-9 コンクリートの機械振動（別紙10 評価対象の選定について 2/3）

2. 評価対象機器の選定結果について

表7に示した通り，冷温停止状態の維持に必要な主要機器のうち，出力及び重量が最も大きい機器は，非常用ディーゼル発電設備となった。

したがって，機械振動による強度低下の評価対象部位は，支持する機器の機械振動が大きく，且つ，建屋のコンクリート躯体から独立している非常用ディーゼル発電設備基礎とした。

また，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。

3. 評価対象部位における技術評価

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，機械の異常振動が発生するものと考えられるが，定例試験の際に異常振動が無いことを確認している。

また，定期的実施している「建築設備点検業務（平成30年度）」による目視点検の結果，補修を要するひび割れは確認されていない。過去の目視点検においても補修を要するひび割れは確認されていないことから，補修計画及び補修実績はない。

なお，非常用ディーゼル発電設備基礎の基礎ボルト周辺のコンクリートにおいて反発度法による非破壊試験を行った結果，平均推定圧縮強度は，コンクリート躯体の設計基準強度を十分上回っていることを確認している。

17-9 コンクリートの機械振動（別紙10 評価対象の選定について 3/3）

4. 評価書及び補足説明資料の修正について

機械振動における評価書の評価対象部位は、表8に示すとおり、常時振動を受ける対象構造物のうち、最も大きな機械振動を受けるタービン発電機架台コンクリートとしていた。

しかしながら、冷温停止状態の維持において、出力及び重量が最も大きい機器は、非常用ディーゼル発電設備であることから、評価書及び補足説明資料の記載を修正する。

表8 タービン発電機と非常用ディーゼル発電設備との比較

(a) 原動機出力と重量

	機器名称	出力 (kW)	重量 (kg)	備考
修正前	タービン発電機	1,100,000	1,252,450	高圧タービン, 低圧タービンの総重量
修正後	非常用ディーゼル発電設備	6,600	66,150	1系統の重量

(b) 運転時間

	機器名称	運転時間 (h)	備考
修正前	タービン発電機	約128,159	運転開始以降の発電時間を運転時間として算出
修正後	非常用ディーゼル発電設備	A系:約530 B系:約543	運転開始～2019年2月末時点の運転時間

(c) 振動測定結果

	機器名称	変位最大値 ($\mu\text{mP-P}$)	加速度最大値 (G)	備考
修正前	タービン発電機	29.17	0.285	2F1 (運転時) での測定結果
修正後	非常用ディーゼル発電設備	A系:20.02 B系:18.60	A系:0.134 B系:0.107	KK5 (定例試験時) での測定結果

TEPCO
