

伊方発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	SIN3-PLM30-コンクリート

伊方発電所 3 号炉 高経年化技術評価
(コンクリート構造物および鉄骨構造物)

補足説明資料

令和 6 年 1 月
四国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る
事項ですので公開することはできません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	3
3. 代表構造物の選定	5
4. 代表構造物の技術評価	15
5. 代表構造物以外の評価	24
6. まとめ	25

別紙

別紙1. 伊方発電所 土木建築設備施設管理マニュアルにおける点検の項目、 方法および判定基準について	1-1
別紙2. 対象構造物および代表構造物の選定過程について	2-1
別紙3. 耐火能力の考え方および耐火能力が要求されている壁の位置について	3-1
別紙4. 土木建築設備に係わる保全管理の文書体系について	4-1
別紙5. 炉心領域部および原子炉容器サポート直下部の1次遮蔽壁における 温度分布解析の方法などについて	5-1
別紙6. 放射線照射量の算出方法などについて	6-1
別紙7. 中性子照射量を踏まえた耐力評価について	7-1
別紙8. 中性化の評価対象および評価点の選定過程について	8-1
別紙9. 中性化深さの推定値の算定過程および結果について	9-1
別紙10. 塩分浸透における評価点の選定過程について	10-1
別紙11. 塩分浸透の評価に用いた塩化物イオン濃度の測定位置、測定方法、 測定結果について	11-1
別紙12. 塩分浸透の評価に用いた鉄筋腐食減量の算定過程および結果について	12-1
別紙13. 機械振動の評価対象の選定過程について	13-1
別紙14. モルタルバー法等の試験結果について	14-1
別紙15. 伊方3号炉周辺の地下水による劣化影響について	15-1

表3 評価対象構造物のグループ化

対象構造物	重要度分類など	コンクリート 構造物	鉄骨構造物
外部遮蔽壁	クラス1設備	○	—
内部コンクリート	クラス1設備支持	○	○ (鉄骨部)
原子炉格納施設基礎	クラス1設備支持	○	—
原子炉建屋※ ¹	クラス1設備支持	○	○ (鉄骨部)
原子炉補助建屋※ ²	クラス1設備支持	○	○ (漏えい防止堰)
焼却炉建家	クラス3設備支持	○	—
タービン建屋	クラス3設備支持	○	○ (鉄骨部)
雑固体処理建屋	クラス3設備支持	○	—
緊急時対策所 (EL. 32m)	常設重大事故等 対処設備	○	—
海水ピット※ ³	クラス1設備支持	○	—
海水路	クラス1設備	○	—
海水管ダクト	クラス1設備支持	○	—
D/G燃料タンク基礎	クラス1設備支持	○	—
D/G燃料タンク配管ダクト	クラス1設備支持	○	—
重油タンク基礎	クラス1設備支持	○	—
重油移送配管基礎	クラス1設備支持	○	—
軽油タンク基礎	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
空冷式非常用発電装置基礎	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
非常用ガスタービン発電機建屋	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
非常用ガスタービン 発電機給電用電路基礎	常設重大事故等 対処設備支持	○	—
海水ピット堰	浸水防護施設※ ⁴	—	○
海水ポンプエリア水密ハッチ	浸水防護施設※ ⁴	—	○
海水ポンプエリア水密扉	浸水防護施設※ ⁴	—	○
原子炉建屋水密扉	浸水防護施設※ ⁴	—	○
原子炉補助建屋水密扉	浸水防護施設※ ⁴	—	○

※¹ 原子炉建屋水密扉が設置されている。

※² 原子炉補助建屋水密扉が設置されている。

※³ 海水ピット堰、海水ポンプエリア水密ハッチ、海水ポンプエリア水密扉が設置されている。

※⁴ 耐津波安全性評価が必要な浸水防護施設に属する機器および構造物

タイトル	伊方発電所 土木建築設備施設管理マニュアルにおける点検の項目、方法および判定基準について
説明	<p>伊方発電所 土木建築設備施設管理マニュアルに基づき定期的を実施する点検の項目、方法および判定基準を以下に示す。</p> <p>添付 1 定期点検一覧表 添付 2 健全度評価基準 添付 3 点検・調査結果判定基準表 添付 4 コンクリート構造部および鉄骨構造部点検要領 添付 5 代表構造物の非破壊調査部位</p>

代表構造物の非破壊調査部位

代表構造物	非破壊調査部位
外部遮蔽壁	壁
内部コンクリート	壁
原子炉格納施設基礎	基礎
原子炉建屋	壁
原子炉補助建屋	壁
焼却炉建家	壁
タービン建屋	壁、基礎、タービン架台
海水ピット	壁

タイトル	炉心領域部および原子炉容器サポート直下部の1次遮蔽壁における温度分布解析の方法などについて
説明	<p>炉心領域部および原子炉容器サポート（以下、「RVサポート」という。）直下部の1次遮蔽壁（コンクリート）における温度分布解析の方法などについて、以下に示す。</p> <p>1. 炉心領域部の温度分布解析</p> <p>1.1 温度分布解析の方法</p> <p>炉心領域部の1次遮蔽壁内におけるガンマ発熱による温度分布は、2次元輸送計算コードDORT (Ver. 3.2) を用いて算出したガンマ線束に、エネルギー吸収係数を乗じて1次遮蔽壁内のガンマ発熱量分布を算出した後、熱伝導方程式を解いて温度分布を求めている。</p> <p>(1) 解析モデル</p> <p>炉心、炉内構造物、原子炉容器および1次遮蔽壁（コンクリート）を2次元形状（水平断面）でモデル化している。具体的な解析モデルは添付1に示す。</p> <p>(2) 入力条件</p> <p>DORT コードは、米国のオークリッジ国立研究所で開発された中性子輸送方程式を数値的に解くコードであり、入力パラメータは、以下のとおりである。</p> <div data-bbox="427 1182 1361 1527" data-label="Diagram"> <pre> graph LR A1[①物性値(密度、組成)] --> DORT[DORTコード] A2[②原子炉、1次遮蔽形状] --> DORT A3[③原子炉出力分布※1] --> DORT A4[④核分裂により発生する中性子スペクトル※2] --> DORT DORT --> B[ガンマ線束] B --> C[ガンマ発熱量 kcal/(cm³・h)] E[エネルギー吸収係数] --> C </pre> </div> <p>※1 これまでの運転サイクルにおける原子炉出力分布の平均値を用いて原子炉熱出力に相当する分のエネルギー（中性子発生個数）を入力</p> <p>※2 燃料の核分裂により発生する中性子発生個数とエネルギー（物性値）を入力</p> <p>(3) MOX 燃料装荷の考慮</p> <p>1次遮蔽壁内のガンマ線束は、中性子に起因する二次ガンマ線が寄与することから、中性子束と同様に実績炉心のガンマ発熱量の1.1倍として算出した。</p>

2.2 解析結果

R Vサポート直下は伝熱により温度が上昇する。しかし、温度分布解析の結果は、約52.5℃であり強度上の熱に対するコンクリートの温度制限値（一般部65℃、局部90℃）を下回る結果であった（添付5）。また、R Vサポートの外側コンクリートにおいて、1次冷却材管保温材からの輻射による影響から53.4℃を示す箇所があるが、R Vサポートからの荷重を直接支持する部位ではない。

なお、コンクリート内部におけるR Vサポート直下部近傍の実測温度は約34～41℃であり、実測温度の測定箇所における解析結果（約52.5℃）よりも十分に低い値であることから、保守的な評価が行われていると判断している（添付6）。

- 添付1 炉心領域部の1次遮蔽壁（コンクリート）におけるガンマ発熱量分布の計算モデルおよび計算結果
- 添付2 炉心領域部の1次遮蔽壁（コンクリート）内の温度分布
- 添付3 R Vサポート直下部の解析対象範囲および解析モデル
- 添付4 材料物性値（熱伝導率）
- 添付5 R Vサポート直下部の1次遮蔽壁（コンクリート）の温度分布
- 添付6 R Vサポート直下部近傍の解析値と実測温度の比較
および温度計位置

R Vサポート直下部近傍の解析値と実測温度の比較および温度計位置

表2 解析値と実測温度の比較

解析値※	実測値	備考
約52.5℃	約34~41℃	実測値の測定は、2022年2月1日～2023年1月31日（1年間）

※ 解析値は、実測温度の測定箇所における値

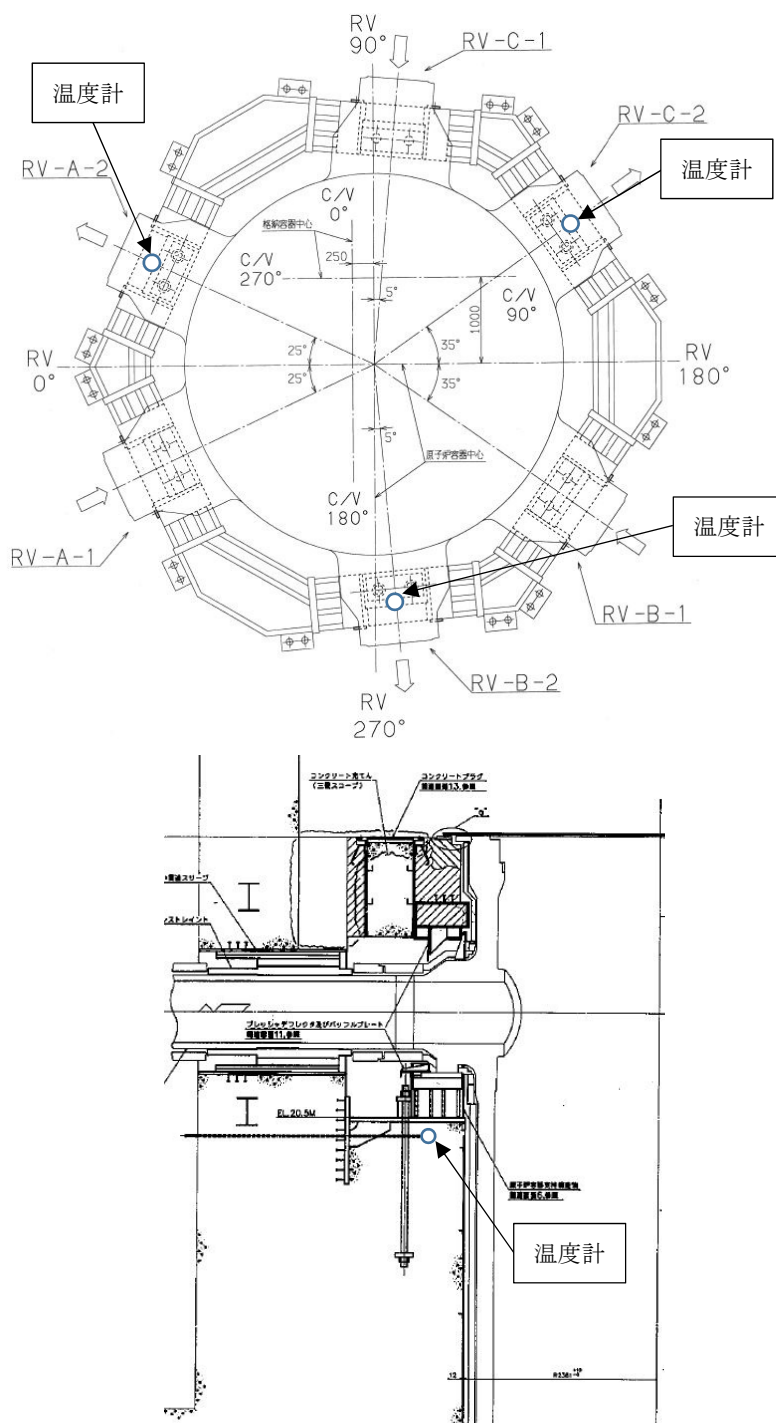


図8 RVサポート直下部近傍の温度計位置

<p>タイトル</p>	<p>放射線照射量の算出方法などについて</p>
<p>説明</p>	<p>1次遮蔽の放射線照射量は、1次遮蔽における中性子束 ($E > 0.098$ MeV) およびガンマ線量率を2次元輸送計算コードDORTにより算出し、運転時間を掛けることで中性子、ガンマ線照射量を求めている。</p> <p>DORTコードは、米国のオークリッジ国立研究所で開発された中性子輸送方程式を数値的に解くコードであり、入力パラメータは以下のとおりである。</p> <div data-bbox="443 651 1350 1025" data-label="Diagram"> </div> <p>※1 これまでの運転サイクルにおける原子炉出力分布の平均値を用いて原子炉熱出力に相当する分のエネルギー（中性子発生個数）を入力</p> <p>※2 燃料の核分裂により発生する中性子発生個数とエネルギー（物性値）を入力</p> <p>1次遮蔽内の中性子束およびガンマ線量率は、炉心の水平断面形状 (R, θ 計算) を用いて、1次遮蔽の照射量が最大となる高さ位置の中性子束およびガンマ線量率を各々算出する。</p> <p>また、中性子束およびガンマ線量率の軸方向分布 ($\phi(z)$) は、水平断面形状 (R, θ 計算) で算出した中性子束およびガンマ線量率の最大値 (ϕ_{max}) を垂直断面形状 (R, Z 計算) より算出した軸方向の補正係数 (fz) を用いて補正することで算出する。</p> $\phi(z) = \phi_{max} \times fz$ <p>$\phi(z)$: 中性子束およびガンマ線量率の軸方向分布 ϕ_{max} : 中性子束およびガンマ線量率の最大値 fz : 軸方向の補正係数</p> <p>1次遮蔽内の水平断面形状 (R, θ 計算) の評価では、図1に示すような形状を入力して、1次遮蔽の最大高さ位置の中性子束およびガンマ線量率を算出している。</p>

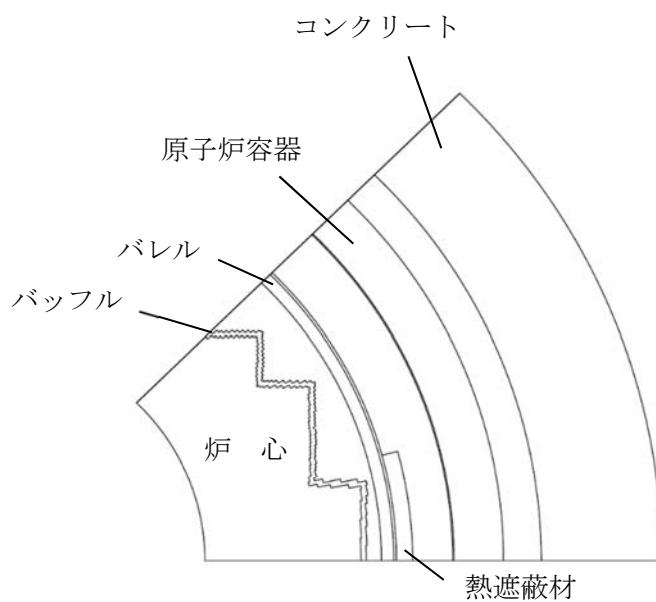


図1 計算モデル図[(R, θ)形状]

また、1次遮蔽内の垂直断面形状(R, Z計算)の評価では、図2に示すような形状を入力して、軸方向の補正係数(f_z)を算出している。

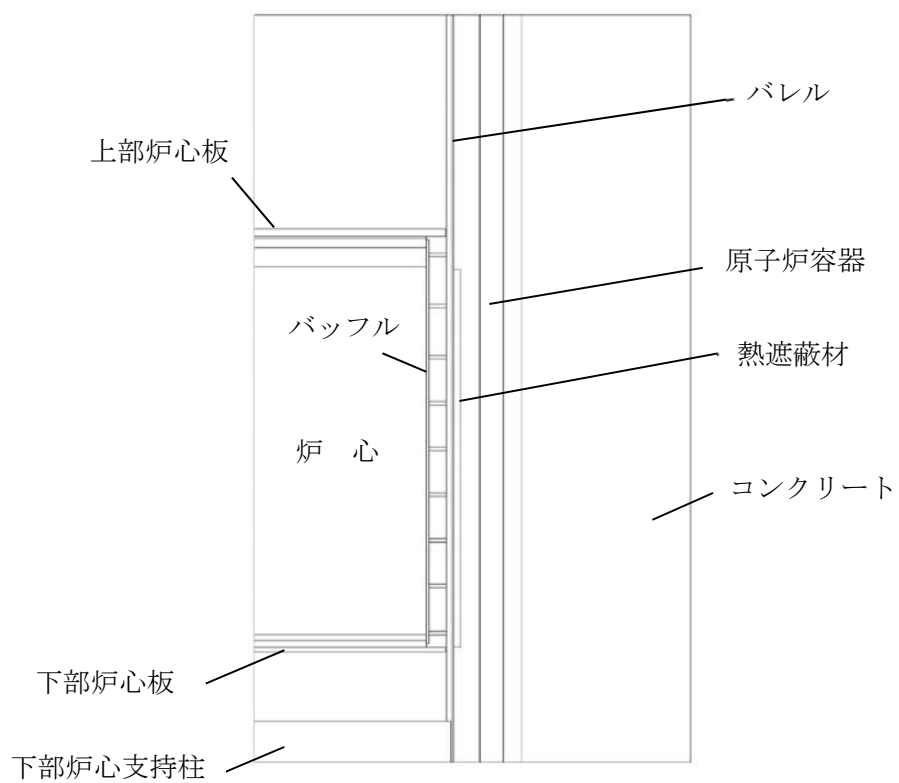


図2 計算モデル図[(R, Z)形状]

以上により算出した1次遮蔽内の中性子束およびガンマ線量率に対し、運転開始後60年経過時点における定格負荷運転年数(51.7EFPY*)を乗じ、1次遮蔽壁コンクリート炉心側が受ける照射量を算出した結果を表1に示す。

なお、MOX燃料装荷以降(13.5EFPY以降)の1次遮蔽内の中性子照射量は、MOX燃料導入に係る工事計画*にて実績のある方法と同様に、実績炉心の中性子束を1.1倍として算出した。また、1次遮蔽内のガンマ線束は、中性子に起因する二次ガンマ線が寄与することから、ガンマ線照射量も中性子同様に実績炉心のガンマ線束を1.1倍として算出した。

*:平成21年7月15日付け平成21・05・12原第17号にて認可を受けたウラン・プルトニウム混合酸化物燃料装荷の工事計画

表1 1次遮蔽壁コンクリート炉心側が受ける照射量の最大値

項目	解析結果	備考
中性子照射量	5.2×10^{19} (n/cm ²)	E>0.098MeV
ガンマ線照射量	1.6×10^{10} (rad)	

運転開始後60年経過時点における定格負荷運転年数については、2020年3月末までは運転実績(17.0EFPY、設備利用率67.2%)を用い、2020年4月以降は設備利用率を100%と仮定して計算している。将来の運転年数は、過去の設備利用率を踏まえて保守的に設定しており、実際の照射量は解析で算出した照射量よりも小さくなると判断している。

*運転開始後60年経過時点における定格負荷運転年数の予測値

タイトル **モルタルバー法等の試験結果について**

説明

1. 焼却炉建家および3号炉建設時(1989年～1993年)に設置した対象構造物の使用骨材に対する反応性試験結果

1984年に実施した化学法の試験結果を表1、図1に示す。3号炉建設時(1989年～1993年)に実施したモルタルバー法の試験結果を表2に示す。

化学法は、ASTM C 289 骨材の潜在反応性試験(化学法)による。

モルタルバー法は、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の付属書8「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルバー法)」による。

表1 焼却炉建家における化学法の試験結果

対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材		測定値		判定基準	結果
		粗骨材	大洲産	アルカリ濃度減少量 (Rc) mmol/L	45		
焼却炉建家	化学法 (1984)	粗骨材	大洲産	溶解シリカ量 (Sc) mmol/L	35	Rc、Scの関係から ASTM規格曲線より判定	無害
				アルカリ濃度減少量 (Rc) mmol/L	175		
		細骨材	鶴崎産	溶解シリカ量 (Sc) mmol/L	140		
				アルカリ濃度減少量 (Rc) mmol/L	90		
		細骨材	志摩産	溶解シリカ量 (Sc) mmol/L	38		
				アルカリ濃度減少量 (Rc) mmol/L	38		

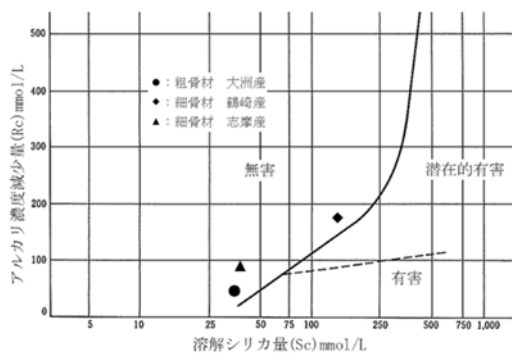


図1 ASTM C 289の判定区分による判定結果

表2 3号炉建設時に設置した対象構造物におけるモルタルバー法の試験結果

対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材		測定値(6カ月) 【%】	判定基準	結果
外部遮蔽壁ほか	モルタルバー法 (1989～1993)	粗骨材	三瓶産	0.028	膨張率が6ヶ月で 0.1%未満が無害	無害
		細骨材	長浜産	0.086		
		細骨材	長浜産+三瓶産	0.077		

2. 3号炉建設時以降に設置した対象構造物の使用骨材に対する反応性試験結果

3号炉建設時以降（2007年～2009年、2012年～2019年）に実施した化学法（JIS A 1145）およびモルタルバー法（JIS A 1146）の試験結果を表3に示す。

表3 3号炉建設時以降に設置した対象構造物における化学法およびモルタルバー法の試験結果

対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材		測定値		判定基準*	結果
				Rc (mmol/L)	Sc (mmol/L)		
雑固体処理建屋	化学法 (2007年～2009年)	粗骨材	西予産	Rc (mmol/L)	43	b)	無害
				Sc (mmol/L)	8		
		細骨材	佐伯産	Rc (mmol/L)	100	a)	
				Sc (mmol/L)	51		
緊急時対策所 (EL. 32m)	化学法 (2014年)	粗骨材	津久見産	Rc (mmol/L)	23	b)	無害
				Sc (mmol/L)	3		
		細骨材	大洲産	Rc (mmol/L)	74	a)	
				Sc (mmol/L)	15		
		細骨材	佐伯産	Rc (mmol/L)	88	a)	
				Sc (mmol/L)	44		
非常用ガス タービン発電機 建屋 および 非常用ガス タービン発電機 給電用電路 基礎	化学法 (2015年～2019年)	粗骨材	津久見産	Rc (mmol/L)	211	b)	無害
				Sc (mmol/L)	2		
		細骨材	大洲産	Rc (mmol/L)	100	a)	
				Sc (mmol/L)	21		
		細骨材	佐伯産	Rc (mmol/L)	97	a)	
				Sc (mmol/L)	56		
		細骨材	津久見産	Rc (mmol/L)	112	b)	
				Sc (mmol/L)	2		
		細骨材	下関産	Rc (mmol/L)	121	a)	
				Sc (mmol/L)	22		
重油タンク 基礎	化学法 (2012年～2013年)	粗骨材	西予産	Rc (mmol/L)	49	a)	無害
				Sc (mmol/L)	11		
		細骨材	佐伯産	Rc (mmol/L)	76	a)	
				Sc (mmol/L)	55		
重油移送配管 基礎	化学法 (2013年～2014年)	粗骨材	西予産	Rc (mmol/L)	44	a)	無害
				Sc (mmol/L)	10		
		細骨材	佐伯産	Rc (mmol/L)	79	a)	
				Sc (mmol/L)	37		
軽油タンク 基礎	モルタルバー法 (2013年～2014年)	粗骨材	津久見産	0.014%		0.100% 未満	無害
	化学法 (2014年)	細骨材	津久見産	Rc (mmol/L)	38	b)	
				Sc (mmol/L)	0		
		細骨材	下関産	Rc (mmol/L)	69	a)	
				Sc (mmol/L)	30		
	空冷式非常用 発電装置基礎	モルタルバー法 (2015年)	粗骨材	津久見産	0.010%		
化学法 (2015年)		細骨材	津久見産	Rc (mmol/L)	11	b)	
				Sc (mmol/L)	2		
		細骨材	下関産	Rc (mmol/L)	74	a)	
				Sc (mmol/L)	23		

※ 各試験方法における判定基準を以下に示す。

(モルタルバー法)

無害 ……供試体3本の平均膨張率が26週後に0.100%未満

無害でない……供試体3本の平均膨張率が26週後に0.100%以上

(化学法)

a)……溶解シリカ量 (Sc) が10mmol/L以上で、アルカリ濃度減少量 (Rc) が700mmol/L未満の範囲では、ScがRc未満となる場合は“無害”と判定し、ScがRc以上となる場合は“無害でない”と判定する。

b)……溶解シリカ量 (Sc) が10mmol/L未満で、アルカリ濃度減少量 (Rc) が700mmol/L未満の場合は“無害”と判定する。

c)……アルカリ濃度減少量 (Rc) が700mmol/L以上の場合は判定しない。