

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-10 改1
提出年月日	平成30年8月31日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-10

【ケミカルアンカの高温環境下での使用について】

平成30年8月

日本原子力発電株式会社

## 目次

1. 概要.....	1
2. 適用範囲.....	1
3. ケミカルアンカーの許容引張荷重.....	1
4. 付着強度実験要領.....	2
5. 付着強度実験結果.....	4
6. 製品の品質管理.....	4
7. 施工時の品質管理.....	4
8. 高温環境下での経時変化について.....	4
9. 実荷重に基づく評価.....	6

## 1. 概要

重大事故等時の使用温度が 100 °C 程度となる環境下でケミカルアンカーを使用することとしているが、ケミカルアンカーの耐熱温度はカタログでは 80 °C とされていることが多いことから、高温環境下での実験を行うことにより、その温度条件下で使用可能であることを示す。

## 2. 適用範囲

重大事故等時に 80 °C を超える温度環境下で使用する以下の機器の基礎ボルトとして、以下の有機系カプセル式のケミカルアンカーを使用しており、これに適用する。

適用機器	温度	メーカー	型式
静的触媒式水素再結合装置			

当該ケミカルアンカーは JCAA の製品認証を受けたものであり、80 °C までの使用は保証されている。

## 3. ケミカルアンカーの許容引張荷重

ケミカルアンカーの許容引張荷重は、日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」（以下「AIJ 指針」という。）に従う。

ケミカルアンカーの許容引張荷重は、ボルトの降伏により決まる値又はボルトの付着力により決まる値の小さい方とされており、ボルトの付着力により決まる許容引張荷重は、

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg} \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_{ce} \quad (\text{N})$$

である。ここで、

$\phi_3$  : 低減係数 (=2/3 : 短期荷重)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : ボルトの配置による低減係数

$\tau_{bavg}$  : ボルトの基本平均付着強度 =  $10\sqrt{F_c/21}$  (N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : ボルト径 (mm)

$\ell_{ce}$  : 強度算定用埋込み長さで、 $\ell_{ce} = \ell_e - 2d_a$  (mm)

$\ell_e$  : ボルトの有効埋込み長さ (mm)

である。

まず、この式の先頭の係数  $\phi_3$  が引張荷重に対する安全率となっており、地震のような短期荷重に対しては、その値を 2/3 (安全率 1.5) とし、その後の式はボルトの付着強度の最低保証値であり、全体として安全率が最小で 1.5 考慮されている。

ケミカルアンカーの破壊モードにも、コンクリートのコーン状破壊があるが、AIJ 指針では、これに対する制限を設けていない。付着力により決まる許容引張荷重を強度算定用埋込み長さ ( $\ell_{ce} = \ell_e - 2d_a$ ) を用いて算定することによりコーン状破壊により決まる許容引張荷重が包絡

できるため、AIJ 指針 第 4 編 各種アンカーボルト設計指針・解説の図 4.30 に示されている。

したがって、 $\tau_{bavg} = 10\sqrt{F_c/21}$  には、ボルトの平均付着強度の上限値としての意味が内包されている。

また、 $\tau_{bavg} = 10\sqrt{F_c/21}$  は、JCAA 「あと施工アンカー設計指針（案）・同解説」（2005）（以下「JCAA 指針」という。）によれば、「接着系アンカーの接着剤の付着強度は、引張強度試験結果に基づいて定めるものとし、実験値のばらつきを考慮した 95 %信頼強度とする」、「不良率 5 %以下となる算定式」とされており、解図 3.1.16 (a) 及び解図 3.1.16 (b) に計算値と実験値の比較が示されているが、規格値を下回る実験データが存在することは問題とされていない。

これらのことから、ボルトの付着強度  $e\tau_b$  を実験により求め、その 95 %信頼強度が規格で定められている  $\tau_{bavg} = 10\sqrt{F_c/21}$  以上であることを確認することとする。

#### 4. 付着強度実験要領

JCAA 指針には、適切な引張強度試験方法として、JCAA 「あと施工アンカー標準試験法・同解説（現在の版は、あと施工アンカー試験方法）」があるとされていることから、この試験方法に従う。以下に実験要領を示す。

##### (1) サンプル数

型式毎に3体とする。

##### (2) 供試体形状

供試体形状及び寸法を図4-1に示す。コンクリートに孔を空け、ボルトを挿入し、ケミカルアンカーを施工・固着させたものとする。施工は技量認定を受けた施工者が施工要領に基づき実施した。

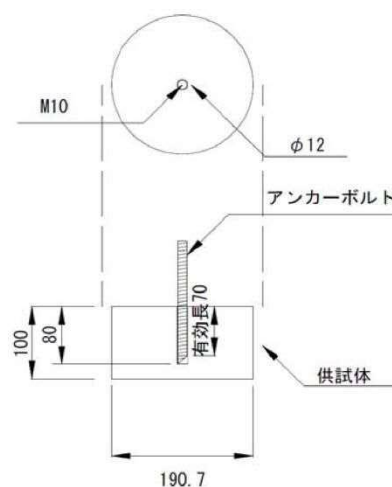


図 4-1 供試体の形状

AIJ 指針 第4編 各種アンカーボルト設計指針・解説によれば、「図 4.31 に示す接着系アンカーボルトのひずみ分布は、埋込み長さに対し、直線的な性状であり、埋込み長さ全長で平均的に付着抵抗していることから、平均付着強度による設計法を採用した」とされており、また、JCAA 指針では、「接着剤の付着強度は、付着強度試験における最大荷重をアンカー筋の外径に埋込み長さを乗じた数値で除して算出した数値」とされており、平均付着強度がアンカー筋の外径や埋込み長さ依存するとは考えられていない。

(3) 実験温度

実験温度は150 °Cとする。

供試体を加熱炉に入れ、コンクリート内部の温度が150 °Cとなるまで加熱する。その後、温度を安定させるために数時間加熱状態を保持する。

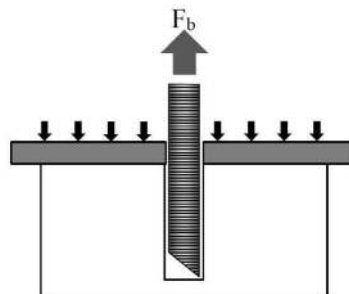
コンクリート内部の温度は、供試体と同形状の温度測定用のコンクリート供試体に埋め込まれた熱電対により計測する。

(4) 評価要領

上記供試体を引張実験装置で引張応力の平均増加率が毎秒19.6 N/mm<sup>2</sup>以下の速度で引っ張った際の最大荷重 (F<sub>b</sub> (N) ) から、F<sub>c</sub> = 21 N/mm<sup>2</sup>換算のケミカルアンカーの付着  $e\tau_b$  (N/mm<sup>2</sup>) を次式により求める。

コンクリートのコーン状破壊を防ぎつつ付着強度を調べる為、コンクリート表面を鋼板で拘束する。

$$e\tau_b = \frac{F_b \sqrt{21/F_c}}{\pi \cdot d_a \cdot l_e}$$



(5) 判定基準

$e\tau_b$  の95%信頼強度が、10 (N/mm<sup>2</sup>) 以上であること。

5. 付着強度実験結果

下表に示すとおり，前項の実験で得られた150℃における $e\tau_b$ の95%信頼強度は，10(N/mm<sup>2</sup>)以上であり，150℃で使用することは可能である。

$e\tau_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	供試体1	14.03
	供試体2	10.41
	供試体3	13.24
平均値 $\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )		12.56
標準偏差 $\sigma$ $\sigma^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})^2$		1.554113
95%信頼強度 (N/mm <sup>2</sup> ) $\bar{x} - 1.64\sigma$		10.01
判定値 (N/mm <sup>2</sup> )		10

6. 製品の品質管理

アンカーメーカーが，型式毎，ロット毎に材料証明書を作成している。

プラントメーカーがアンカーを購入する際には，指定した型式であることを確認の上，納品している。

7. 施工時の品質管理

あと施工アンカーの施工は，技量認定対象工事とされており，施工者は以下に示す何れかの資格を有していることから，アンカー施工によるバラツキは小さい。

- (1) あと施工アンカーメーカー規定の資料に基づき，施工方法，商品説明等の技術的な講習を受講後，施工実技実習時の試験に合格
- (2) 日本建築あと施工アンカー協会が発行する第1種又は第2種あと施工アンカー施工士

8. 高温環境下での経時変化について

静的触媒式水素再結合装置に使用するケミカルアンカーは，重大事故等時に，ピーク温度100℃を2時間程度継続するモードがあることから，この影響について考察する。ケミカルアンカーに特有な劣化モードは樹脂の劣化で，高分子樹脂が熱の影響で低分子化することで，揮発成分がガス化し，その結果，重量が減少することにより生じる。

なお，重量減少には酸化によるものも考えられるが，アンカーはコンクリートに埋まっており，酸化による影響は無視できる。また，劣化が化学的反応によるものであることから，樹脂に生じている応力の影響はない。

したがって、に使用されている樹脂の熱分解挙動を実験により確認した。

### (1) 昇温試験

以下の条件により昇温試験を行い、この際の樹脂の重量減少をJIS K7120「プラスチックの熱重量測定方法」に基づき測定した結果を図8-1に示す。

- ・ 温度 : 室温～450 °C
- ・ 昇温速度 : 5.0 °C/min
- ・ 測定雰囲気 : 窒素

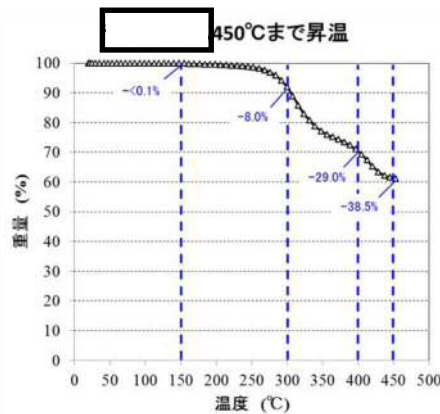


図8-1 温度と重量減少の関係

150 °Cまでの加熱では、重量減少は検出限界未満であり、樹脂の劣化はない。

### (2) 加速試験

一定の昇温速度で240 °Cまで昇温した後、240 °Cで最長90分保持し、この際の樹脂の重量減少をJIS K7120「プラスチックの熱重量測定方法」に基づき測定した結果を図8-2に示す。

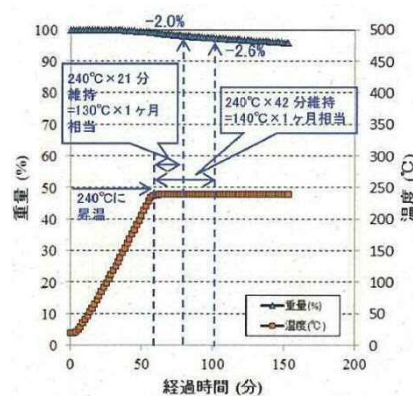


図8-2 240°C保持試験

樹脂の劣化に関して、アレニウス則に基づいた10 °C半減則が適用される。すなわち、化学的反応が劣化を支配している場合は、“温度が10 °C上昇すると、寿命が1/2になる”とき

れ、環境温度が変化した場合の、高分子材料のおおよその寿命の目安を得ることができる [1]。

10℃半減則に則って考えると、130℃×1ヶ月保持は240℃×21分保持（加速倍率2048倍）に相当し、140℃×1ヶ月保持は240℃×42分保持（加速倍率1024倍）に相当する、150℃×1ヶ月保持は240℃×84分保持（加速倍率512倍）に相当する。

重量減少は僅かであり、樹脂の劣化はほとんどないと言える。

[1] 渡辺茂隆，日本ゴム協会誌，Vol.46，No.8，p96-103，1973.

以上のことから、重大事故等時に想定される熱履歴を受けた場合も、熱劣化の影響は少ないと推定される。

## 9. 実荷重に基づく評価

S。地震によりアンカーボルト1本に発生する引張荷重 ( $P_b$  (N)) が、付着力により決まるアンカーボルト1本当りの許容引張荷重 ( $P_{a3}$  (N)) 以下であることを示す。

それぞれの荷重は次式で計算することができる。

$$P_b = \sigma_t \cdot \frac{\pi}{4} d_a^2$$

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、

- $\sigma_t$  : ボルトの引張応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $d_a$  : ボルト呼径 (mm)
- $\phi_3$  : 低減係数 = 2/3
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : ボルトの配置による低減係数
- $\tau_{bavg}$  : ボルトの基本平均付着強度 =  $10\sqrt{Fc/21}$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $Fc$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $d_a$  : ボルト径 (mm)
- $l_{ce}$  : 強度算定用埋込み長さで、 $l_{ce} = l_e - 2d_a$  (mm)
- $l_e$  : ボルトの有効埋込み長さ (mm)

### (1) 静的触媒式水素再結合装置

$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$d_a$ (mm)	$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	$Fc$ (N/mm <sup>2</sup> )	$l_e$ (mm)
14	M16	1	22.1	114

$P_b$ (N)	$P_{a3}$ (N)	$P_b/P_{a3}$
2814	28188	0.099



