

【公開版】

| | |
|----------|------------------------|
| 日本原燃株式会社 | |
| 資料番号 | 外火山 08 <u>R 2</u> |
| 提出年月日 | <u>令和 3 年 9 月 10 日</u> |

設工認に係る補足説明資料

火山防護設計の基本方針に関する
腐食に対する設計について

目 次

1. 概要 1
2. 降下火砕物による腐食に対する設計方針 1

別添－ 1 外壁塗装及び屋上防水について

別添－ 2 塗装及び腐食し難い金属について

■: 商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設及びMOX燃料加工施設の設計基準対象施設に対する、第1回設工認申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下の添付書類に示す降下火砕物による腐食に対する設計方針を補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-3-3 設計対処施設及び降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」
- ・MOX燃料加工施設 添付書類「V-1-1-1-3-3 設計対処施設及び降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」

上記添付書類において、腐食を考慮する施設は降下火砕物による腐食に対し「4. 要求機能及び性能目標」で設定している性能目標を達成するために、各施設の設計方針を定めている。本資料では、降下火砕物による短期的な腐食が発生しないことを確認する。

なお、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、降下火砕物による長期的な腐食が発生しない設計とする。

本資料で示す降下火砕物による腐食に対する設計方針については、再処理施設、MOX燃料加工施設及び廃棄物管理施設に係る第1回設工認申請対象施設以外の施設に対しても適用されるものである。

また、本資料は、第1回設工認申請対象施設を対象とした記載であり、第2回設工認申請時に申請対象施設を踏まえ、記載を拡充する。

2. 降下火砕物による腐食に対する設計方針

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外壁塗装及び屋上防水を実施することにより、降下火砕物による短期的な腐食が発生しない設計とする。外壁塗装及び屋上防水の詳細について別添-1*に示す。

屋外に設置する降下火砕物防護対象施設は、塗装又は腐食し難い金属の使用により、降下火砕物による短期的な腐食が発生しない設計とする。塗装及び腐食し難い金属の詳細について別添-2*に示す。

降下火砕物防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設は、塗装、腐食し難い金属の使用又は屋上防水により、降下火砕物防護対象施設に波及的影響を及ぼさないよう降下火砕物による短期的な腐食が発生しない設計とする。

※後次回申請にて記載を拡充する。

令和3年9月10日 R2

別添－1

外壁塗装及び屋上防水について

1. 外壁塗装による短期的な腐食の防止

建物の外壁塗装には、劣化因子遮断性能が高く、耐薬品性にも優れている⁽¹⁾ことから、防食及び劣化損傷抑制を目的として、有機系被覆材を用いることが一般的⁽²⁾である。

これを踏まえ、再処理施設及びMOX燃料加工施設の建屋の外壁においても、防食及び劣化損傷抑制を目的として、コンクリートの躯体に有機系被覆材である弾性アクリルゴム系の塗料を塗装する。

これにより、火山の噴火により発生した降下火砕物が建屋に到達したとしても、降下火砕物が建屋のコンクリート躯体に直接接触することはない。また、鉄筋に対するコンクリートの最小かぶり厚さについても40mm以上としているため、降下火砕物がコンクリート躯体に直接接触したとしても、降下火砕物による化学的影響によって短期的に鉄筋が露出するような腐食の発生は想定されない。

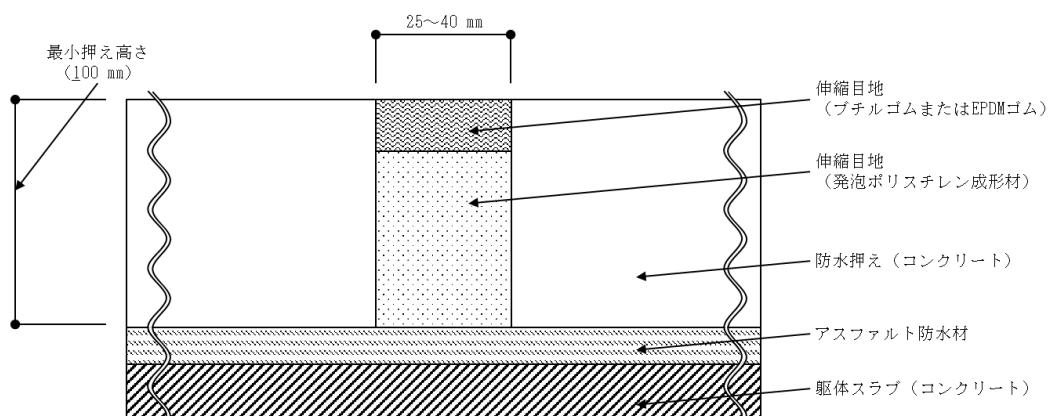
上記のことから、建屋外壁に塗装を行うことにより、短期的な腐食の発生を防止できる。

2. 屋上防水について

建屋外壁と同様に、屋根部においてアスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様による防水加工を実施することにより、降下火砕物が屋根部の躯体スラブに直接接触することを防止する。

このアスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様は、アスファルト防水の上に防水層の保護のため押えコンクリートを施工するものであり、防水押えのコンクリートの間には伸縮目地としてブチルゴムまたはEPDMゴムと発泡ポリスチレン成形材を用いる。アスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様の概要図を第1図に示す。

屋上防水での降下火砕物による腐食発生防止の効果を確保するにあたり、直接降下火砕物が堆積するアスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様における表面部材の耐食性を評価する必要がある。このため、次項において、表面部材である防水押えのコンクリート、伸縮目地表面に用いられるブチルゴムまたはEPDMゴムの耐食性を評価する。



第1図 アスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様の概要図

3. アスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様における表面部材の耐食性

3.1 コンクリートの耐食性

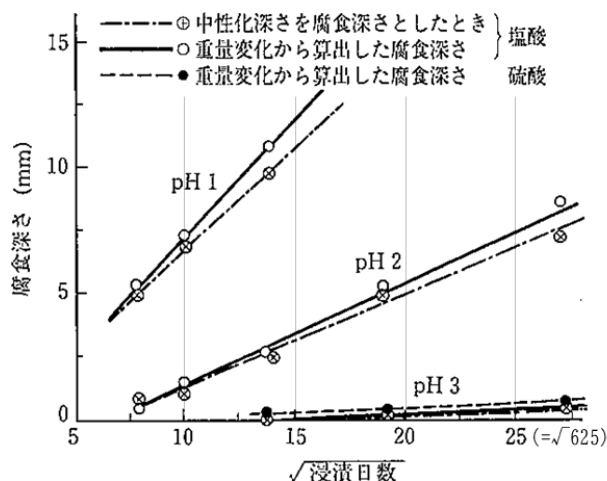
降下火砕物によるコンクリートの腐食については、堆積した降下火砕物に降雨などが浸透した際に降下火砕物に付着した SO_2 等が溶出することによって生じる酸性の液体（以下、「溶出液」という。）による影響が主として想定される。なお、降下火砕物によらない気体の火山ガスは施設に到達する前に希釈され影響はない程度であると考えられる。

溶出液の酸性度については、文献にて $\text{pH}=3$ 以上*であることから、 $\text{pH}=3$ を想定する。

「コンクリート技術診断'20【基礎編】（日本コンクリート工学会）」によると、第4図に示すとおり、コンクリートを $\text{pH}=3$ の酸で625日以上浸漬したとしても腐食深さ（中性化深さ）は2mm以下である⁽¹⁰⁾ことから、降下火砕物による化学的影響によって防水押えのコンクリートが短期的に腐食し、屋根スラブに直接影響を及ぼすことは想定されない。

※ 文献における降下火砕物の溶出液の酸性度

- 阿蘇山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=3.6$ ⁽²⁾
- 御嶽山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.12$ ⁽³⁾
- 新燃岳における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.5$ ⁽⁴⁾
- 雄山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.5$ ⁽⁵⁾
- 浅間山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.8$ ⁽⁶⁾
- 桜島火山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4$ 以上⁽⁷⁾
- 有珠山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=6.7$ ⁽⁸⁾
- 八甲田山における溶出液の酸性度（降下火砕物ではなく、粉碎した地中の火山岩）： $\text{pH}=3.1$ 以上⁽⁹⁾



第4図 酸によるコンクリートの腐食深さ，日本コンクリート工学会（2020）『コンクリート技術診断'20【基礎編】』p.51を引用し一部加筆

3.2 ブチルゴム及び EPDM ゴムの耐食性

降下火砕物によるゴムの腐食については、酸性度が同様であっても酸の種類によって腐食の程度が異なる。

火山ガスの成分から推測すると、溶出液は無機酸の水溶液である。「非金属材料データブック（日本規格協会）」によると、ブチルゴム及び EPDM ゴムの無機酸に対する耐酸性はいずれも「良」以上とされている⁽¹²⁾ことから、降下火砕物による化学的影響によってブチルゴム及び EPDM ゴムが短期的に腐食し、屋根スラブに直接影響を及ぼすことは想定されない。

上記 3.1, 3.2 の評価を踏まえ、屋根部においてアスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様による防水加工を実施することにより、短期的な腐食の発生を防止できる。

4. まとめ

建屋は、弾性アクリルゴム系の塗料による外壁塗装及びアスファルト防水外断熱工法・密着保護仕様による屋上防水を実施することにより、降下火砕物による化学的腐食により短期的な影響を受けることはない。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわないよう管理する。

参考文献

- (1) 羽瀨貴士 (2010) 「表面被覆工法によるコンクリート構造物の性能向上」『コンクリート工学 48 巻 5 号』 p. 101-105
- (2) 田邊弘住 (2010) 「コンクリートと塗装」『材料と環境 59 巻 5 号』 p. 169-172
- (3) 清田壽(1942) 「阿蘇山噴出物の化学的研究 (第二報) 火山灰の化学組成の變化(其一)」 『日本化学會誌第六十三巻第七號』 p. 786-792
- (4) 小坂丈予, 平林順一, 小沢竹二郎, 君島克憲(1980) 「木曾御岳火山 1979 年活動における地球科学的調査・研究 (火山ガス・湧泉)」『火山噴火予知連絡会会報 18 号』 p. 12-17
- (5) 清水正高, 山本建次, 濱山真吾, 久木崎雅人, 竹田智和(2018) 「新燃岳噴火直後に採取した火山灰の性状」『宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告 61 号』 p. 1-6
- (6) 若杉幸子, 田中美穂, 前田勝(2003) 「三宅島火山灰から水に溶出する硫黄化合物の同定と定量及び環境に及ぼす影響」『分析化学 52 巻 11 号』 p. 997-1003
- (7) 三宅泰雄 (1938) 「火山灰に関する一二の観察 (火山化学第 2 報)」『氣象集誌第二輯第十六巻第三號』 p. 89-91
- (8) 木下篤彦, 大野亮一, 佐藤亜貴夫 (2011) 「桜島における火山灰の移動・堆積過程と pH 変動について」『平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集』 p. 76-77
- (9) 佐藤弘和, 山田健四 (2001) 「有珠山 2000 年噴火当初における火山灰の水溶性イオン濃度 (資料)」『北海道立林業試験場研究報告第 38 号』 p. 63-65

- (10) 服部修一，太田岳洋，木谷日出夫（2003）「酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討—鉱山に近接して施工される八甲田トンネルにおける岩石特性評価法—」『応用地質 43 巻 6 号』 p. 359-371
- (11) 日本コンクリート工学会（2020）『コンクリート技術診断'20【基礎編】』 p. 51
- (12) 日本規格協会（1985）『非金属材料データブック』 p. 419

令和3年9月10日 R2

別添－2

塗装及び腐食し難い金属について

1. 屋外設備に対する塗装について

屋外の機器・機械類、配管及びダクト（亜鉛めっき部を除く）、屋外に設置するステンレス鋼の機器・機械類及び配管のうち塩害による腐食のおそれがある範囲並びに排気筒等の屋外設備の外表面に対する塗装には、耐食性等を考慮した塗料を使用している。

屋外設備については、海塩粒子等の腐食性有害物質が付着しやすく、厳しい腐食環境にさらされるため、エポキシ樹脂系等の塗料が複数層で塗布されている。エポキシ樹脂系は、耐薬品性^{*}が強く、酸性物質を帯びた降下火砕物が付着、堆積したとしても、直ちに金属表面等の腐食が進むことはない。

※ 塗装ハンドブック（石塚末豊，中道敏彦 編集）によると、「酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装には，フェノール樹脂塗料，塩化ゴム系塗料，エポキシ樹脂塗料，タールエポキシ樹脂塗料，ウレタン樹脂塗料，シリコンアルキド樹脂塗料，フッ素樹脂塗料などの耐薬品性のある塗料が使用される。」と記載あり。

2. 不飽和ポリエステル樹脂を主成分とする塗装の耐腐食性について

非金属部位には不飽和ポリエステル樹脂を主成分とする塗料を使用しているものがある。不飽和ポリエステル樹脂は、「耐薬品性塗料」（滝村昭夫）によると、60%硫酸（pH=1以下）に6か月間浸漬した試験（第1図）においても異常なしとされている。したがって酸性物質を帯びた降下火砕物が付着、堆積したとしても、直ちに部位表面等の腐食が進むことはない。

第6表 市販不飽和ポリエステル樹脂塗料の耐薬品浸漬試験の一例

| 薬品 | 温度 | 浸漬期間 | 結果 |
|-------------|----|------|---------------------------|
| 水 | 室温 | 6か月 | 異常なし |
| 5%食塩水 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 塩化アンモン飽和水溶液 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 60%硫酸 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 30%塩酸 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 30%硝酸 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 50%酢酸 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 炭酸ソーダ飽和水溶液 | 〃 | 〃 | 〃 |
| 石油 | 〃 | 〃 | 〃 |
| ガソリン | 〃 | 〃 | 〃 |
| 36%ホルマリン | 〃 | 〃 | 〃 |
| グリセリン | 〃 | 〃 | 〃 |
| 植物油 | 〃 | 〃 | 〃 |
| アルコール | 〃 | 2~3日 | 柔らかくなり少し膨潤するが引上げると復元する |
| ベンゾール | 〃 | 〃 | 〃 |
| 酢酸ブチル | 〃 | 〃 | 〃 |
| 10~20%苛性ソーダ | 〃 | 〃 | ごく表面のみ軟化するが、以後内部までは侵されにくい |

第1図 不飽和ポリエステル樹脂塗料の浸漬試験結果

3. 降下火砕物による金属腐食について

降下火砕物による金属腐食は、主として降下火砕物に付着した火山ガス（ SO_2 ）の影響によるものである。

そのため、実際に降下火砕物が金属に堆積した状態を模擬した試験を行っている「火山環境における金属材料の腐食」を参考に、その影響を検討する。

「火山環境における金属材料の腐食」では、実降下火砕物である桜島降下火砕物を用いて、実際の火山環境に近い状態を模擬するため、高濃度の亜硫酸ガス（ SO_2 ）雰囲気を保った状態で金属腐食試験を行なったものであり、降下火砕物の腐食成分濃度を高濃度で模擬した腐食試験結果であることから、再処理施設で考慮する火山についても十分適用可能と考える。

3.1 研究文献「火山環境における金属材料の腐食」の概要

(1) 試験概要

「火山環境における金属材料の腐食（出雲茂人，末吉秀一他），防食技術 Vol. 39, pp. 247-253, 1990」によると、降下火砕物を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片に堆積させ、高濃度の SO_2 ガス雰囲気（150ppm～200ppm）で、加熱（温度 40°C ，湿度95%を4時間），冷却（温度 20°C ，湿度80%を2時間）を最大18回繰り返すことにより、結露，蒸発を繰り返し金属試験片の腐食を観察している。

(2) 試験結果

第2図及び第3図に示すとおり、降下火砕物の堆積量が多い場合は、降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して、金属試験片の腐食が促進されるが、腐食量は表面厚さにして十数 μm 程度との結果が得られ、降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

3.2 試験結果からの考察

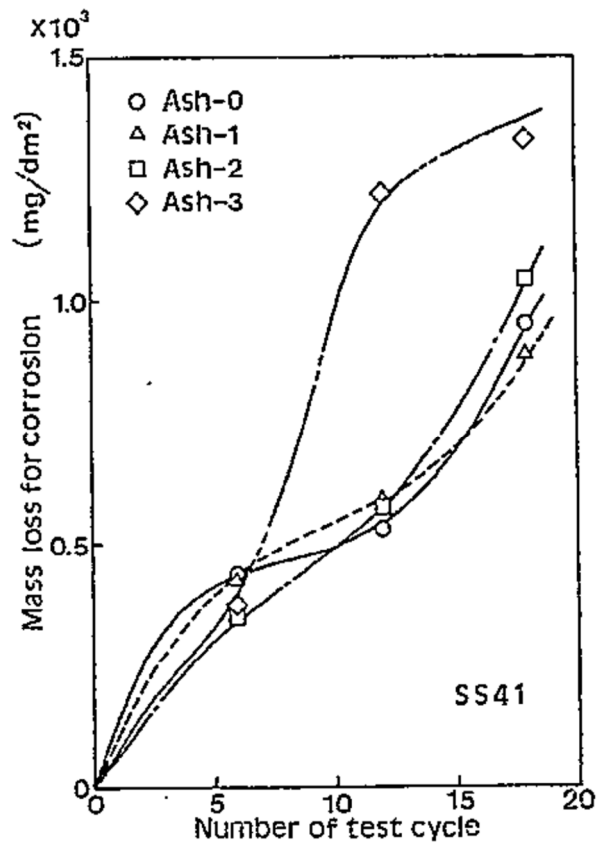
降下火砕物による腐食は、主として降下火砕物に付着した火山ガスの影響によるものであり、本研究においては、金属試験片の表面に降下火砕物を堆積させ、実際の火山環境を模擬して高濃度の SO_2 雰囲気中で暴露し、腐食実験を行っている。

腐食の要因となる火山ガスを常に高濃度の雰囲気に保った状態で行っている試験であり、自然環境に存在する降下火砕物よりも高い腐食条件※で金属腐食量を求めており、再処理施設で考慮する降下火砕物についても十分適用可能である。

なお、試験結果から表面厚さに換算すると、炭素鋼の腐食速度は約 $0.0018\text{mm}/\text{日}$ 程度、アルミニウムの腐食速度は約 $0.00037\text{mm}/\text{日}$ 程度であり、直ちに腐食が進むことはない。

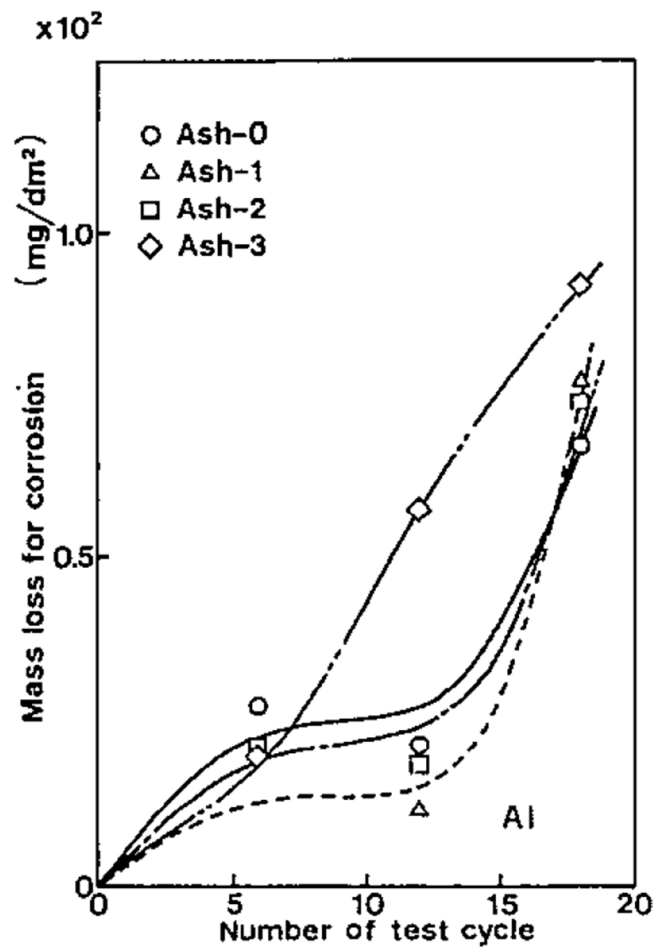
※・三宅島火山の噴火口付近の観測記：20～30ppm（「三宅島火山ガスに関する検討会報告書」より）

・桜島火山上空の噴煙中火山ガスの観測記録：17～68ppm（「京大防災研究年報」より）



- Ash-0 : 降下火砕物のない状態
- Ash-1 : 表面が見える程度に積もった状態
- Ash-2 : 表面が見えなくなる程度に積もった状態
- Ash-3 : 約 0.8mm の厚さに積もった状態

第2図 炭素鋼の腐食による質量変化

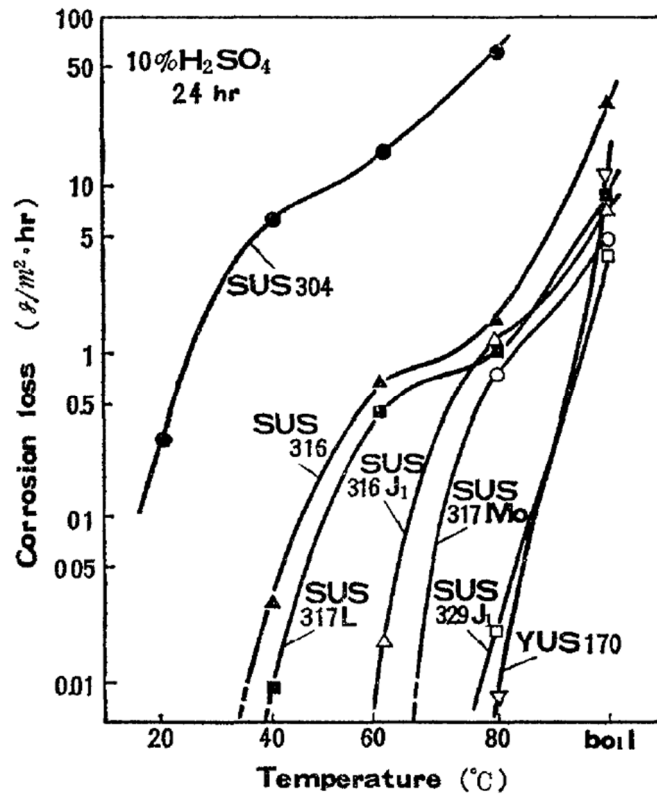


- Ash-0 : 降下火砕物のない状態
- Ash-1 : 表面が見える程度に積もった状態
- Ash-2 : 表面が見えなくなる程度に積もった状態
- Ash-3 : 約 0.8mm の厚さに積もった状態

第3図 アルミニウムの腐食による質量変化

4. ステンレスの耐腐食性について

ステンレスの耐腐食性については、「各種ステンレス鋼の耐硫酸性」(安保秀雄ほか)では10%硫酸 (pH=1以下) に24時間浸漬した試験を行っている。試験結果(抜粋)を第4図に示す。試験結果から表面厚さに換算すると、腐食速度は約0.0012mm/日程度であり、直ちに腐食が進むことはない。



第4図 ステンレスの腐食による質量変化

別紙

外火山 08 【腐食に対する設計について】

| 別紙 | | | | 備考 |
|--------|------------------------------------|------|-----|----|
| 資料 No. | 名称 | 提出日 | Rev | |
| 別紙-1 | 安全冷却水 B 冷却塔及び飛来物防護ネットの腐食に対する設計について | 9/10 | 2 | |
| 別紙-2 | | | | |
| 別紙-3 | | | | |
| 別紙-4 | | | | |
| 別紙-5 | | | | |
| 別紙-6 | | | | |
| 別紙-7 | | | | |
| 別紙-8 | | | | |
| 別紙-9 | | | | |
| 別紙-10 | | | | |
| 別紙-11 | | | | |
| 別紙-12 | | | | |
| 別紙-13 | | | | |
| 別紙-14 | | | | |
| 別紙-15 | | | | |

別紙1

安全冷却水 B 冷却塔及び
安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネットの
腐食に対する設計について

1. 概要

また、安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット（以下「飛来物防護ネット」とする。）は塗装又は腐食し難い金属を用いることにより、安全冷却水 B 冷却塔に波及的影響を及ぼさないよう降下火砕物による短期的な腐食が発生しない設計としている。本資料は、主要構造、部位毎の設計及び使用塗料について整理し、短期的な腐食が発生しないことを確認した結果を示すものである。

2. 主要構造、部位毎の設計及び使用塗料

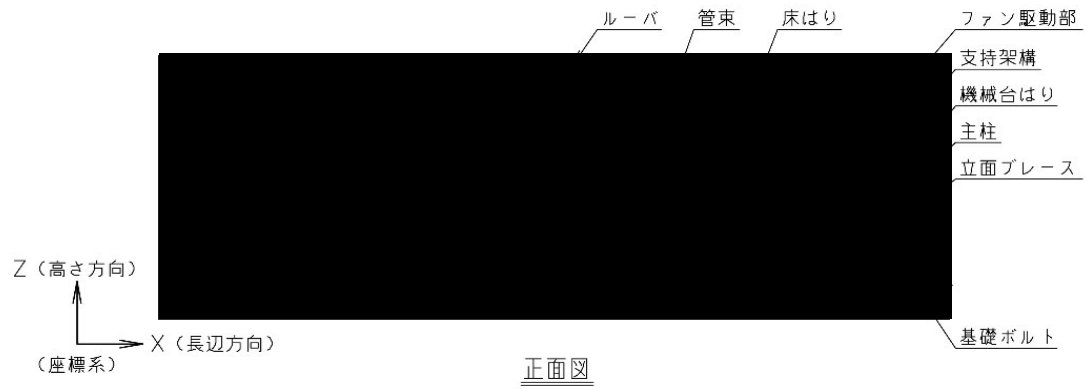
(1) 安全冷却水 B 冷却塔

概要図を第 1 図～第 3 図に示す。安全冷却水 B 冷却塔の部位毎の設計を第 1 表、使用塗料を第 2 表に示す。

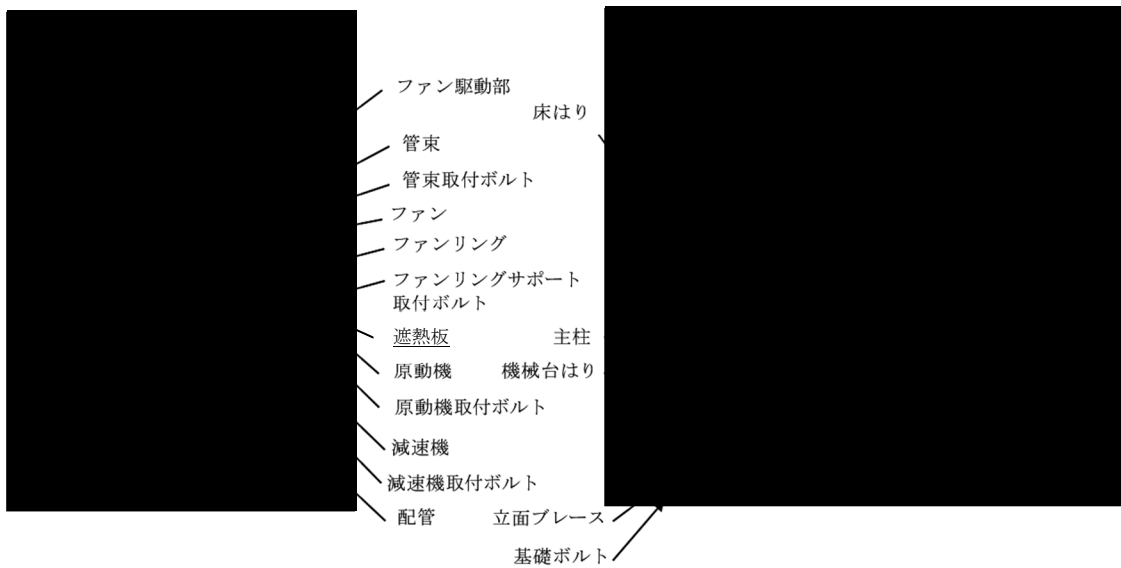
(2) 飛来物防護ネット

飛来物防護ネットは、防護ネット、防護板及び支持架構で構成される。概要図を第 4 図に示す。飛来物防護ネットの部位毎の設計を第 1 表、使用塗料を第 2 表に示す。防護ネットは炭素鋼を用いており、線径は 4mm である。また、防護板はステンレスを用いており、厚さは 9mm である。

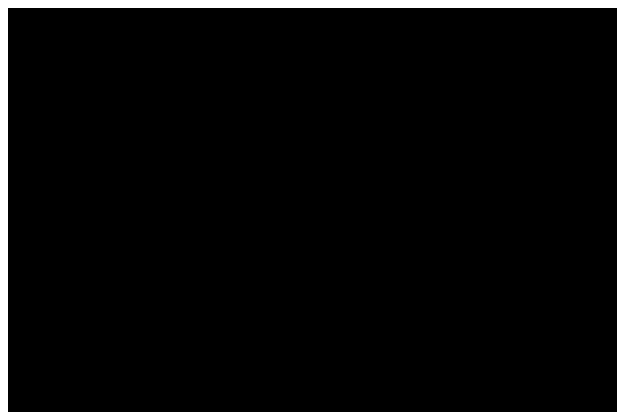
3. 短期的な腐食の影響について



第1図 安全冷却水B冷却塔概要図

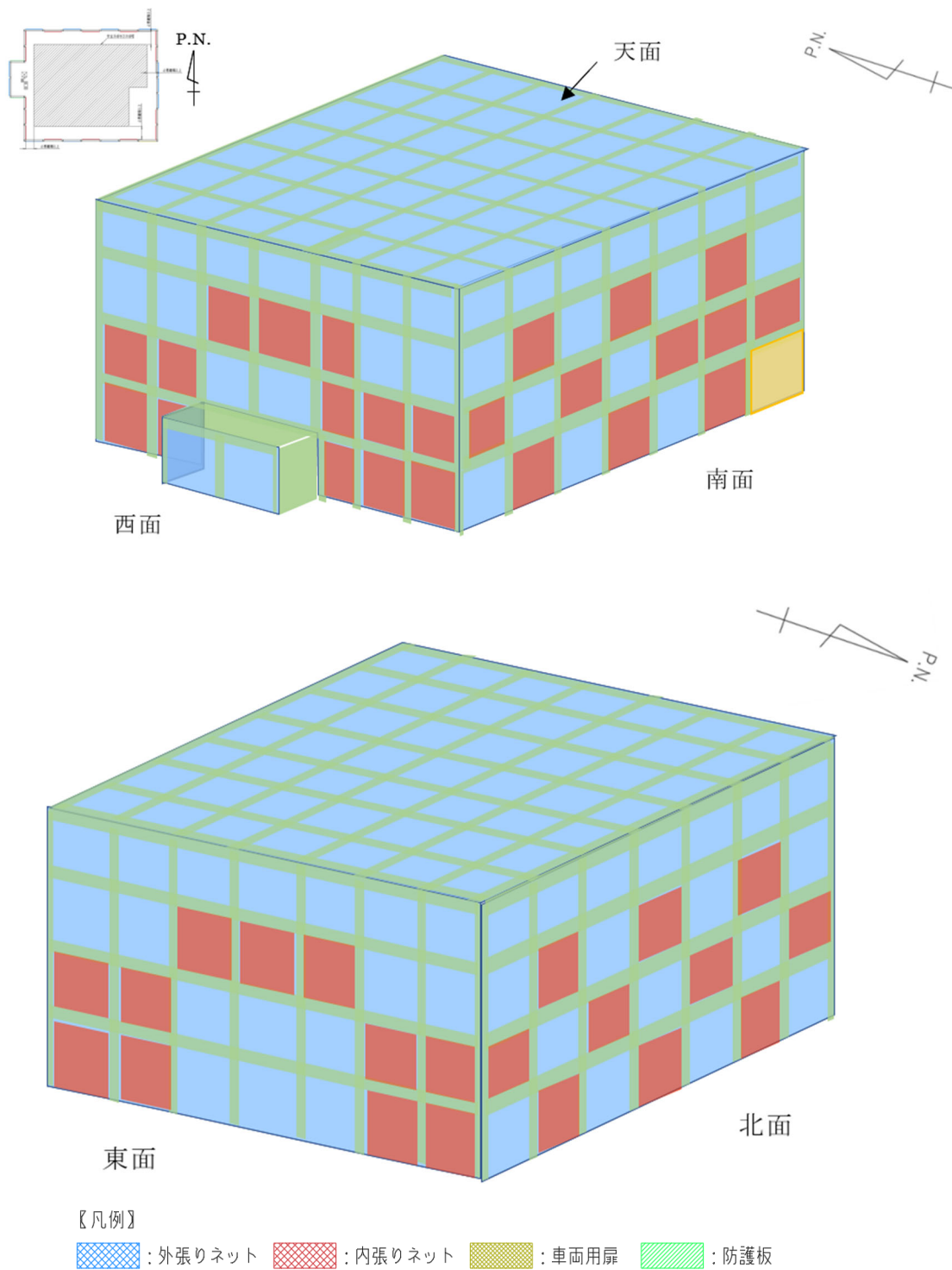


第2図 安全冷却水B冷却塔断面概要図



第3図 安全冷却水B冷却塔管束構造図

外火山 08-別紙 1-2



第4図 安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット概要図

第1表 安全冷却水B冷却塔及び飛来物防護ネットの腐食に対する設計

| 設備名称 | 機器 | 部位 | 設計 |
|----------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| 安全冷却水B 冷却塔 | 支持架構 | 主柱 | |
| | | 床はり, 機械台はり | |
| | | 水平ブレース, 立面ブレース | |
| | | 基礎ボルト | |
| | ファン駆動部 | ファンリング | |
| | | ファンリングサポート取付ボルト | |
| | | ファン | |
| | | 原動機 | |
| | | 原動機取付ボルト | |
| | | 減速機 | |
| | | 減速機取付ボルト | |
| | | 管束 | |
| | チューブサポート | | |
| | ヘッダー | | |
| | 伝熱管 | | |
| | 管束取付ボルト | | |
| 配管 | — | | |
| <u>飛来物防護 ネット</u> | <u>防護ネット</u> | <u>防護ネット</u> | <u>炭素鋼</u> |
| | | <u>防護ネットを除く部位</u> | <u>塗装</u> |
| | <u>防護板</u> | <u>必要離隔距離を満足している部位</u> | <u>ステンレス</u> |
| | | <u>必要離隔距離を満足していない部位</u> | <u>塗装</u> |
| | <u>支持架構</u> | — | <u>塗装</u> |

第2表 安全冷却水B冷却塔及び飛来物防護ネットの使用塗料

| 設備名称 | 塗料の種類 | | | | | | |
|-----------|-------|-----|-----|---------------|----------------|---------------|--------|
| | 既設塗装 | | | 耐火塗料 | | | |
| | 下塗り | 中塗り | 上塗り | 下塗り | 主材 | 中塗り | 上塗り |
| 安全冷却水B冷却塔 | | | | | | | |
| 飛来物防護ネット | ＝ | ＝ | ＝ | 変性エポキシ 樹脂系 | ポリエーテル 樹脂系* | 変性エポキシ 樹脂系 | フッ素樹脂系 |

※航空機墜落火災での必要離隔距離を満足している部位については主材を含まない。