

使用済燃料輸送・貯蔵用鋳鉄キャスクの ASME 規格化

キーワード：鋳鉄キャスク，ASME 規格，使用済燃料輸送，
使用済燃料貯蔵，輸送・貯蔵兼用キャスク

報告書番号：N11027

背景

原子力発電所より発生する使用済燃料の乾式キャスク貯蔵のニーズが高い。当所では、使用済燃料輸送・貯蔵兼用キャスクの多様化を図るため、経済的で調達の容易な鋳鉄キャスクの実用化研究を行ってきた。この研究成果に基づき、当所は国際的標準を制定する機関として権威のある米国機械学会 (ASME) に、鋳鉄キャスクの規格 (ASME Code) の制定を 2009 年に申請し、2011 年 12 月 16 日に ASME 理事会での承認を得るに至った。

目的

ASME に提案した鋳鉄キャスク規格の概要とその根拠や審議過程を記録に残し、規格の適切な活用や将来の改訂等に資する。

主な成果

1. 提案規格の概要

1.1 材料規格 (ASME Code Section II)

キャスク用鋳鉄として、ASTM 規格材 A874 に加え、JIS 規格材 G 5504 を鋳造体への溶接等による修理を禁ずる要件を追加して、ASME 規格材として提案し、登録された (Part A) (表 1)。さらに、設計許容応力 (表 2)、物性値 (熱伝導率、ヤング率等)、外圧チャート (図 1) を提案し、登録された (Part D)。

1.2 構造規格 (ASME Code Section III)

鋳鉄キャスクの破壊靱性要件 (次式) を提案し、登録された (Div. 3 の WB、WC)。

$$(\text{average}) K_{IC,R} - 3\sigma_{SD} \geq 50 \text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5} \quad (\text{at } -40^\circ\text{C})$$

(average) $K_{IC,R}$: 動的破壊靱性平均値 ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$) , σ_{SD} : 標準偏差 ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$)

鋳鉄キャスクの輸送中の振動による疲労評価のため、平均応力の影響も含む疲労曲線 (図 2) を提案し、登録された (Div. 1 の Appendix)。

2. 規格提案の根拠

2.1 材料規格

実物大直径の底付き厚肉円筒を 8 標本鋳造し、引張特性や物理的性質を測定・整備した。鋳鉄キャスクは、原子炉圧力容器と同様に設計するものの、鋳造体の生来的な品質のばらつきが大きいことを考慮し、引張強度に対する設計裕度を 4 (原子炉圧力容器鋼は 3) として、保守的な設計応力強さ (表 2) を得た。

2.2 構造規格

-40°C の脆性破壊に対する鋳鉄キャスクの健全性を示すため、破壊力学の適用性を 1/4

縮尺モデルの破壊試験により確認し、上述の破壊靱性要件の妥当性を実証した。また、提案した疲労線図（図2）は、3標本の引張り・圧縮疲労試験により得た。

表1 日米のキャスク用鋳鉄の規格材 JIS G 5504 と ASTM A 874 の比較等

| 対象 | JIS G 5504:2005 | ASTM A 874-98 |
|------------|-------------------------------|---------------|
| | -40℃以上で使用する鋳鉄品 | |
| | 肉厚 550mm 迄 | 肉厚制限なし |
| 炭素量 | 最大 3.7%、最小 3.0% | |
| 引張強度 | 300 MPa | |
| 降伏点 | 200MPa | |
| 伸び | 平均 12%以上 最小 8%以上 | 12%以上 |
| -40℃シャルピー値 | 6J 以上 | 規定なし |
| 破壊靱性値 | 50MPa·m ^{0.5} 以上 | 規定なし |
| 黒鉛球状化率 | 黒鉛形状の分類法が異なるが、両者とも実質 72%以上で同等 | |
| フェライト面積率 | 80%以上 | 規定なし |
| 試験片採取位置 | 鋳鉄品本体又は余長部 | 規定なし |
| 修理 | 規定なし | 溶接等を禁止 |
| ASME 材追加要件 | 溶接等を禁止 | とくになし |

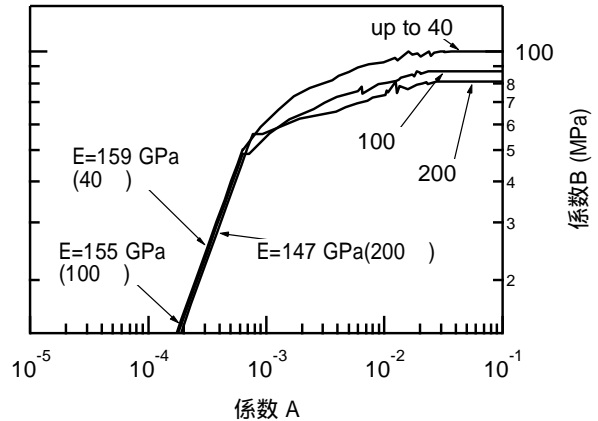


図1 キャスク用鋳鉄の外圧チャート原図
(曲線の凸凹を滑らかにした図が、ASME Section II Part D, Subpart 3 に登録された)

外圧チャートはキャスクの耐圧試験条件下で、崩壊を防止する際の限界外圧・肉厚を定める。別のチャートを使って、キャスクの形状・寸法に応じた係数 A を得る。この外圧チャートから温度に応じた係数 B を得る。B 値を別の式に代入して、限界外圧や肉厚を得る事ができる。

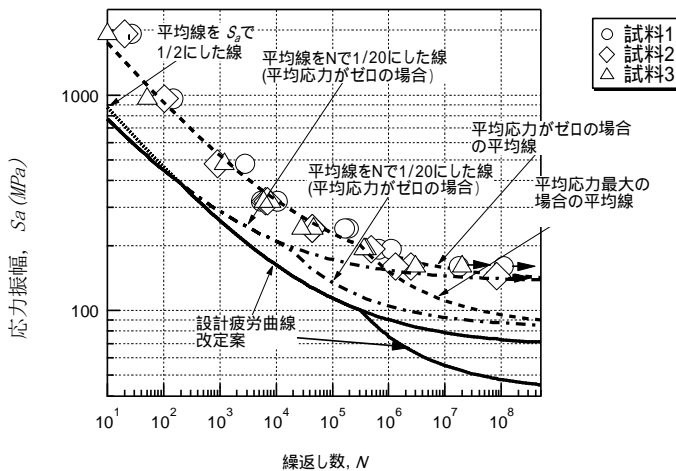


図2 キャスク用鋳鉄の疲労線図（原図）

(太線の曲線が ASME Section III Div.1 Appendix に登録された) Sa : 応力振幅。

1. 「Sa」に対する裕度 2、「繰返し数」に対する裕度を 20 とした曲線を包絡し、太線を得た。
2. 振幅の平均応力の影響（最大の時、疲労限度の低下）を示した。

表2 キャスク用鋳鉄の設計許容応力
(ASME Section II Part D Tables 2A, U, Y-1 に登録の原表)

| 温度℃ | Min Sy MPa | Min Su MPa | Sm ¹ MPa |
|---------------------|---------------|---------------|------------------------|
| -30~40 ² | 200 | 300 | 75.0 |
| 65 | 182 | 300 | 75.0 |
| 100 | 174 | 297 | 74.3 |
| 150 | 166 | 285 | 71.2 |
| 200 | 162 | 276 | 68.9 |
| 250 | 160 | 270 | 67.6 |
| 300 | 157 | 267 | 66.7 |
| 325 | 154 | 263 | 65.8 |
| 350 ³ | 151 | 257 | 64.2 |

Sy : 設計降伏点、Su : 設計引張強さ、Sm : 設計応力強さ

注 1 : Su に対する設計裕度 4 を使用。

注 2 : -30℃以下の温度には-30~40℃の値を使用。

注 3 : 最高設計温度は 343℃で、350℃の値は内挿のために使用する。

| | |
|---------|--|
| 関連研究報告書 | U91018 「鋳鉄キャスクの品質保証に関する研究（その2）」（1991.7） |
| 研究担当者 | 三枝 利有（地球工学研究所） |
| 問い合わせ先 | 電力中央研究所 地球工学研究所 研究管理担当スタッフ Tel. 04-7182-1181(代) E-mail : cerl-rr-ml@criepi.denken.or.jp |

報告書の本冊(PDF版)は電中研ホームページ <http://criepi.denken.or.jp/> よりダウンロード可能です。

[非売品・無断転載を禁じる] ©2012 CRIEPI 平成24年4月発行

11 - 009