

課題目標・目的及び研究成果

<p>1. 当初の目的・目標</p>	<p>本事業では、ナトリウム冷却炉用高クロム鋼配管溶接部適正設計施工手法の開発を目的として、軟化する溶接熱影響部（以下、HAZと記載）の特性（軟化度や軟化幅）を適切に制御することで、「溶接 HAZ の軟化を避けられなくとも継手としての強度は母材並みの強度を保障すること」を目標とし、以下の全体計画に沿って技術的課題に取り組んだ。</p> <p><u>事業項目 1: 溶接 HAZ 軟化を考慮した適性溶接施工条件範囲の明確化</u></p> <p>①溶接熱サイクルに伴う HAZ の軟化・強度特性の実験的把握 まず、溶接熱サイクルに伴う HAZ の軟化挙動基礎特性を把握し、実際に溶接継手を作製することで HAZ 軟化特性を把握する。さらに HAZ 軟化部を有する継手の強度試験を行う。</p> <p>②溶接中の組織変化挙動と強度特性変化挙動の数値解析 数値解析用に高クロム鋼の連続冷却変態特性（以下、CCT 特性と記載）を数式化し、これを用いて軟化条件の熱弾塑性数値解析を行う。さらに、数値解析結果を基に施工法評価を行う。</p> <p><u>事業項目 2: 溶接 HAZ 軟化を考慮した継手強度保障設計法の確立と破壊評価</u></p> <p>①大変形弾塑性応力解析法の開発 大変形弾塑性応力解析法を開発し、開発した解析手法によるパラメータサーベイを行う。</p> <p>②継手強度保障設計用データの取得 溶接 HAZ 軟化を考慮した継手強度保障設計用データを取得し、溶接 HAZ 軟化を考慮した継手強度保障設計法を確立する。</p> <p>③破壊評価手法の検討 軟質継手の破壊評価手法の検討を行う。</p> <p><u>事業項目 3: 溶接データベースの調査</u> 溶接施工条件や溶接冶金、溶接力学データに関するデータベースの文献調査を実施する。</p>
<p>2. 研究成果</p>	<p>（事実関係）</p> <p>【事業項目 1】溶接 HAZ 軟化を考慮した適性溶接施工条件範囲の明確化</p> <p>①溶接熱サイクルに伴う HAZ の軟化・強度特性の実験的把握 溶接熱サイクルに伴う溶接 HAZ の軟化挙動基礎特性を保持温度を変化させた CCT 特性線図を作成することにより調査し、さらに実際に溶接継手を作製し、硬さ分布を計測することで HAZ 軟化特性を把握することができた。さらに溶接 HAZ 軟化部を有する継手の強度試験を行い、溶接 HAZ 軟化特性と継手強度特性の相関を実験的に把握することができた。</p> <p>②溶接中の組織変化挙動と強度特性変化挙動の数値解析 数値解析用に高クロム鋼の CCT 特性を数式化・データベース化し、</p>

これを用いて軟化条件の熱弾塑性数値解析を行った。これにより、溶接熱サイクルに応じた組織変化挙動と強度特性分布を定量的に予測・把握することができた。さらに、数値解析結果を基に施工法評価を行い、HAZ 軟化の可能性のある溶接条件（軟化の可能性のある最高到達温度領域 $T_{\max} = 880 \pm 5$ (°C)、軟化の可能性のある冷却時間 $t_{8/5} \leq 10$ (s)) を提示した。

【事業項目 2】溶接 HAZ 軟化を考慮した継手強度保障設計法の確立と破壊評価

①大変形弾塑性応力解析法の開発

溶接 HAZ 軟化部の変形挙動を評価可能な大変形弾塑性応力数値解析法を開発し、この手法を用いて、溶接継手の強度と変形特性を実験データと比較することによりその妥当性を評価するとともに、パラメータサーベイを行うことにより、継手強度保障条件を明確化（径厚比；20 以上、溶接金属部幅；板厚の 2 倍以上、溶接軟化 HAZ 幅；板厚の 0.2 倍以上）することができた。

②継手強度保障設計用データの取得

実用性の高い溶接 HAZ 軟化を考慮した継手強度保障設計法を確立するため、溶接継手の静的引張強さを母材引張強さ相当に保障できる軟化条件（軟化率、軟化幅、軟化分布）を実験結果および前項の解析結果を用いて明確化し、溶接 HAZ 軟化継手の強度予測式を定式化することができた。

③継手の破壊特性の評価

溶接 HAZ 軟化継手の破壊時における基本特性の評価を行った。破断面のおよび破断部付近の継手表面性状の観察により破壊発生時の基本データの取得を行い継手部の破壊時における溶接条件と破面形状および表面性状の関係をデータベース的に把握することができた。

【事業項目 3】溶接データベースの調査

溶接部が軟化する現象について、種々の文献データから溶接冶金学的な考察を踏まえた溶接力学を基板とした強度評価の具体的な取扱い方について整理を行い、溶接施工条件や溶接冶金、溶接力学データの取り纏めを行った。これにより、ナトリウム冷却炉用高クロム鋼の溶接部適正設計施工手法の開発において参考となると情報を体系的に整理することができた。

【事業全体】

・各項目について当初目標通りの成果を達成することができた。その中でも特に、事業項目 1-②と事業項目 2-②については高精度な評価結果を得ることができたことから、当初目標以上の成果が得られたとも考えられる。

・得られた結果を継手強度保証範囲の一覧表として纏めることにより、実際の設計や施工時に使いやすい形でも研究成果を提示した。すなわち、実用炉の建設に向けて、原型炉を対象とした制定済みの技術基準の

全面的な改定が計画されているが、関連する規格基準への本開発技術成果の取り込みが期待される。

【得られた成果の外部発表】

論文発表（2件）：

・望月正人, 三上欣希, 岡野成威, 伊藤真介, “メガ構造体からマイクロ組織に至る溶接残留応力の革新的解析技術”, 日本保全学会第6回学術講演会講演論文集, 札幌, No. A-6-8 (2009).

・ M. Mochizuki, “Weld HAZ Mis-Matching Design for Joint Performances in High Chromium Steel Welded Pipe-Joint for Sodium Cooled Fast Breeder Reactor,” Proceedings of the 2010 Pressure Vessels and Piping Conference, Bellevue, Washington, USA, PVP2010-25903 (2010).

表彰（2件）：

・日本保全学会 産学協同セッション 金賞 (2009).

・ American Society of Mechanical Engineers (米国機械学会), Dr. Heki Shibata Outstanding International Session Award (2010).

口頭発表（2件）：

・ M. Mochizuki, “Mis-Matching Effect of Weld-HAZ on Tensile Strength Limit in High Chromium Steel Welded Pipe-Joint for Sodium Cooled Fast Breeder Reactor,” 12th International Conference on Pressure Vessel Technology, Jeju, Korea, No. M2B.6 (2009).

・望月正人, “高クロム鋼配管溶接継手の HAZ 軟化と変形強度特性”, 日本機械学会 MM&M2010 材料力学カンファレンス講演論文集, No. 1022 (2010).