

1. 軽水炉発電

有限要素法と解析的手法を組み合わせたハイブリッド超音波伝搬シミュレーション手法の開発

背景

超音波探傷試験において、シミュレーションにより超音波の伝搬挙動及び探傷で得られる断面画像(探傷画像)を予測することによって、探傷条件の検討、探触子の設計、探傷結果の分析作業などを効率化できる。当所ではこれまで有限要素法(FEM)を用いたシミュレーション手法の開発を進めてきており^{*1}、結晶構造や複雑形状を有するき裂に対する探傷画像を正確に予測ができる。しかしながら、探触子と検査対象物全体を要素分割することによる計算量の増加により、多くの計算時間を要するといった課題が依然として残されている。探傷画像を迅速に予測し、実機検査に活用するには計算時間を短縮する必要がある。

目的

従来のFEMに比べて、同等の精度で超音波の伝搬挙動及び探傷画像を短時間に予測できる解析解を併用した手法を開発する。

主な成果

1. ハイブリッド法の定式化

解析解とFEMを結合して超音波の伝搬挙動及び探傷画像を短時間に予測するハイブリッド超音波伝搬シミュレーション手法を開発した。同手法では、探触子から放射される小領域(図1中の破線内部)の境界における音場を解析解で与え、小領域内の波動を有限要素解析し、相反定理に基づき同波動による探傷波形を予測することができる(図1)。

2. 新たな無反射境界の考案

実在しないエコーが小領域の境界から発生しないように、小領域を囲む外部領域(図1の灰色部分)において、粘性減衰係数、質量密度及びヤング率の変化を最適化した粘性型無反射境界(VPML)領域を考案した。VPMLを導入することにより、欠陥を想定した丸穴により散乱された超音波が、小領域の境界で反射しないことを確認できた(図2)。

3. ハイブリッド法の検証

開発した手法を適用して、枝分かれしたき裂の探傷画像を予測した。その結果は、従来のFEMによる探傷画像と良好に一致したことから、本手法の妥当性を確認できた(図3)。本手法ではFEMに比べて計算時間を1/10、記憶容量を1/3に削減することが可能となった。

今後の展開

集束型探触子をモデル化し、開発した手法を拡張していく。

主 担 当 者 材料科学研究所 火力材料領域 主任研究員 林 山

関連報告書 「超音波探傷試験の高精度化・高効率化に活用するシミュレーションツールの開発 (第1報)」
電力中央研究所報告: Q07004 (2008年7月)

*1 : 林ほか、電力中央研究所報告、T03074、2004

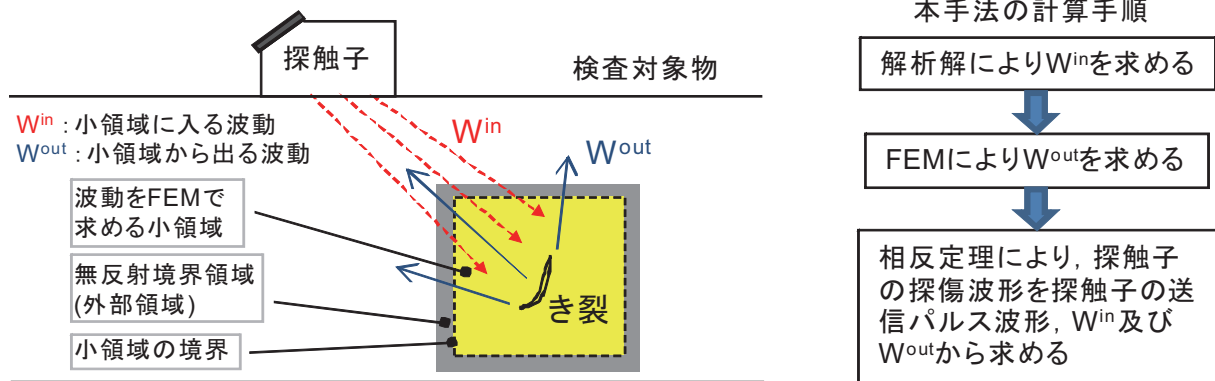


図1 開発した手法の概要

注目する反射体とその周辺のみを有限要素分割し、解析的手法により周辺境界の音場を求める。

境界	時刻			説明
	1.5 μ s	2.5 μ s	4.5 μ s	
自由境界				時間の経過と共に, 超音波が自由境界に当たる度に, 反射波とモード変換波が発生し, 波動が複雑となる。
新しい無反射境界				境界からの反射波は観察されない。

破線の矢印: 超音波の伝搬方向

図2 自由境界及び新しい無反射境界の場合の波動

新しい無反射境界により、境界からの反射を抑制できる。

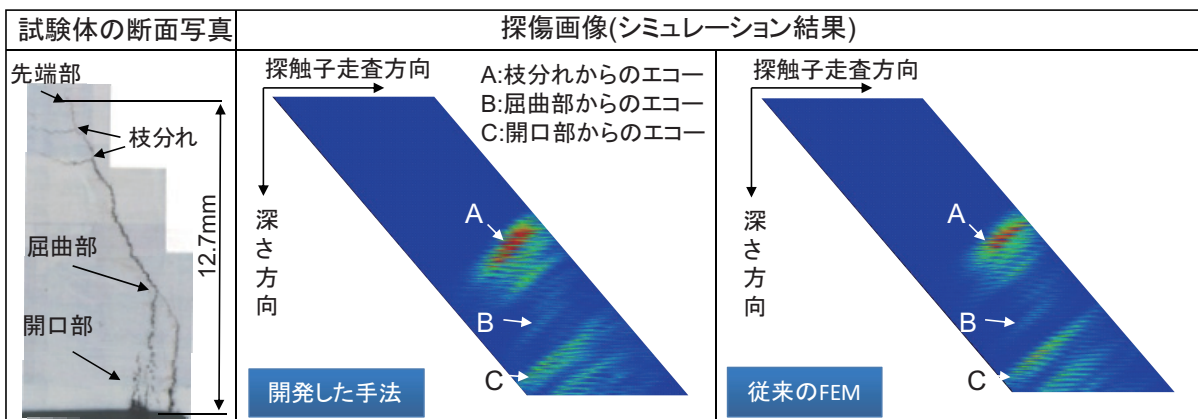


図3 開発した手法の検証

ハイブリッド法の計算結果は全体を有限要素法で計算した結果と良好な一致を示した。