

共焦点サブハーモニック超音波フェーズドアレイと減衰二重節点モデルを用いた閉じたき裂における散乱挙動の解析

Analysis on Scattering Behaviors in Closed Cracks

by Using Confocal Subharmonic Phased Array and Damped Double Node Model

東北大工 ○菅原 あずさ, 神納 健太郎, 小原 良和, 山中 一司

Tohoku Univ. °Azusa Sugawara, Kentaro Jinno, Yoshikazu Ohara, Kazushi Yamanaka

E-mail: b3tm5618@s.tohoku.ac.jp

【諸言】我々は、閉じたき裂深さの高精度計測のため分調 (subharmonic) 波[1]に着目し、閉口き裂の映像法 (subharmonic phased array for crack evaluation: SPACE) を開発した[2]。複数の送信焦点を設定する共焦点 SPACE では、各送信焦点の映像と送信ビームの方向を表す直線を重ねたレーダ表示が可能であり、き裂に適用すると角度変化に追従して動くき裂応答 (moving crack response: MCR) が観察された[3]。また、MCR は減衰 2 重節点 (damped double node: DDN) モデル[4]を用いた時間領域有限差分 (finite-difference time-domain: FDTD) 法でも再現された。本報では、MCR が観察された入射角でのシミュレーションにおいて、散乱挙動の詳細解析を行う。

【解析条件】本解析ではステンレス鋼 SUS304 を模擬し、DDN の縦き裂[5]を用いた。DDN モデルでは閉口状態は通常の FDTD の節点で表され、縦き裂面での引張応力 T_{1M} が圧縮残留応力 T_{th} を上回ると、き裂面の変位を二重節点で表す開口状態 (図 1) に移行する。き裂面での粒子速度計算にはカオス振動抑制のため減衰項 γ を導入した。本研究では、角度変化による散乱挙動の変化を観察するため、Gaussian 窓関数を適用したバースト波 (7 MHz, 5 サイクル、振幅 90 nm) を入射角度 $\theta=50^\circ$ 、 56° で集束させ、き裂 ($T_{th}=100$ MPa) に入射した。

【結果】 $\theta=50^\circ$ 、 56° でき裂に波が入射した後のスナップショット (z 方向変位) を図 2 に示す。 $\theta=50^\circ$ では、集束波によりき裂が部分的に開口した。これは、き裂に作用する引張応力がき裂の閉口応力を上回ったためである。そして、開口部位の上端 (crack opening point: COP) と下端 (crack closure point: CCP) を中心に同心円状に広がる散乱波が観察された。各散乱波は、3 サイクルの入射波に対して 1 サイクルだった。これは入射波振幅の大きい 1 サイクルのみ、き裂を開閉させたことを示している。この影響は、透過波にも波形歪みとして観察された。さらに、COP と CCP の散乱波で位相反転が観察された。これは、COP ではき裂の開口時、CCP では閉口時に発生したためであると考えられる。 $\theta=56^\circ$ でも両散乱波が観察され、サイクル数や位相変化は同様だった。一方、COP と CCP は上方に移動 (MCR) した。これは θ 変化に伴い、き裂での入射波の応力分布が変化したことによると考えられる。以上より、閉じたき裂での超音波の散乱挙動の詳細解析は、き裂の深さ計測や閉口応力の推定に有効であると期待される。

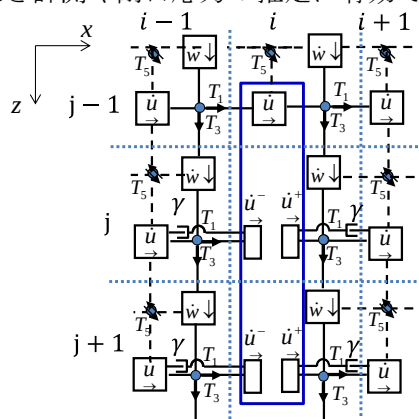


図 1 縦き裂 DDN モデル

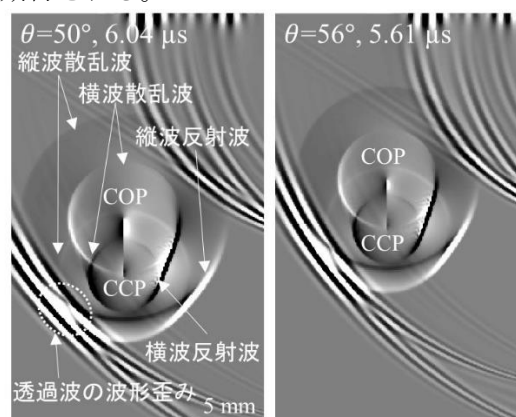


図 2 $\theta=50^\circ$ 、 56° のスナップショット

【文献】 [1]K. Yamanaka, et al, Jpn. J. Appl. Phys., 43 (2004) 3082. [2]Y. Ohara, et al, Appl. Phys. Lett., 90 (2007) 011902. [3]菅原ら、第 61 回応用物理学会春季学術講演会 予稿集 (2014) 01-131. [4]K. Yamanaka, et al, Appl. Phys. Express, 4 (2011) 076601. [5]K. Jinno, et al, Proc. USE2012 (2012) 179.