

利用者名 : 工学部 応用化学科 教授 赤津 隆



Title:	Computational study of nanoindentation on an elastoplastic solid with an interface parallel to the indentation direction
論文名 (和訳)	押し込み方向と平行な界面を有する弾塑性体へのナノインデンテーションに関する計算科学的研究
Authors:	赤津 隆(東京工科大学 教授)、久保田渉(東京工業大学 大学院生)、篠田 豊(宇部工業高等専門学校 准教授)、若井史博(東京工業大学 名誉教授)
Journal:	International Journal of Solids and Structures
掲載年月	2026 年 4 月

研究概要 : 先端が鋭い圧子を用いたナノインデンテーション法において、圧入した箇所の周囲にある異質な物質から受ける影響を定量的に評価するための重み関数を、有限要素法シミュレーションを数値解析して導出することに成功しました。それを活用することにより、局所的な力学特性をより正確に評価できるようになります。論文では、力学特性と表面構造を対応させることが問題になる可能性も示唆しています。

研究背景 : ナノインデンテーション法が期待される活用法の 1 つに、不均質材料に対する力学特性マッピングがあります。それには、ナノインデンテーションで押し込んだ部分の局所的な力学特性が評価できることが前提となりますが、押し込んだ部分がそこは異質な物質で取り囲まれている場合、どのくらいの大きさのくぼみまでなら周囲の影響を受けなくて済むのかが不明でした。

研究成果 : 押し込み箇所を取り囲む周囲の物質の存在によって大きく変化する表面変形が接触押し込み深さに与える影響を定量化する

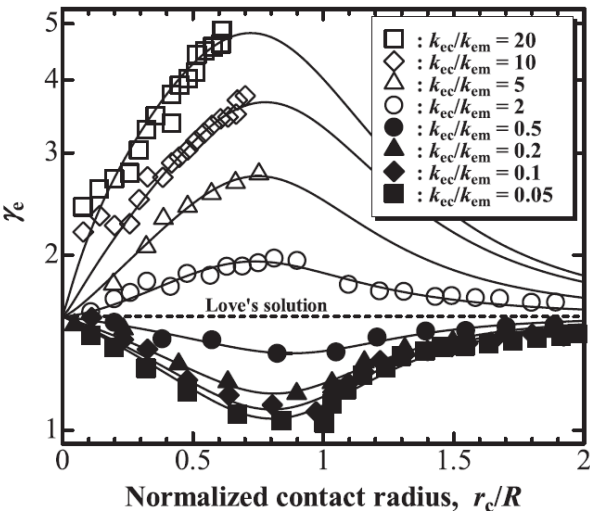


図 1 周囲を異質な物質で囲まれたインデンテーションにおける表面変形 γ_e ($\equiv$ (押し込み深さ)/(接触押し込み深さ)) とその重み関数 (実線)

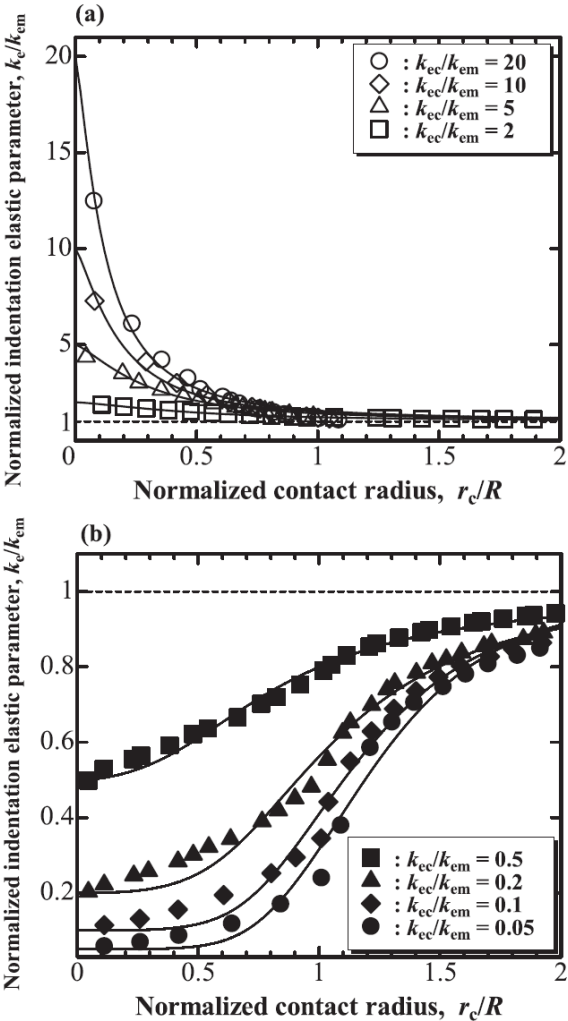


図 2 周囲を異質な物質で囲まれたインデンテーションにおける規格化されたインデンテーション弾性パラメータとその重み関数 (実線)。(a)は押し込んだ部分よりも周囲が変形しやすい (弾性率が小さい) 場合、(b)は周囲が変形しにくい (弾性率が大きい) 場合

重み関数の導出に成功しました（図 1）。その接触押し込み深さの関数として、インデンテーション弾性パラメータの重み関数の導出に成功しました（図 2）。これらの成果を利用し、圧入した箇所の周囲にある異質な物質から受ける影響を定量化することができました。これまでの研究（T.Akatsu et al., Results in Engineering 24 (2024) 103447）と比較すると、押し込み方向と垂直な界面の下にある物質がインデンテーションに与える影響の方が、平行な界面の外側にある物質によるものよりもはるかに大きいことが明らかとなり、力学特性マッピングにおいて、力学特性と表面構造を対応させることが問題になる可能性が示唆されました。

社会への影響：ナノインデンテーション法による力学特性マッピングは材料開発にフィードバックできる重要な情報を与えてくれます。

専門用語：

ナノインデンテーション法：ある形状（例えば、球や円錐、円柱など）の圧子を材料表面に押し込み、その際の荷重 P と押し込み深さ h の関係を連続的に計測して得られる押し込み曲線（ $P-h$ 曲線）を解析することで、押し込んだ部分の力学特性を評価する方法。

接触押し込み深さ：圧子が試料表面に接している、実質的な押し込み深さ。

インデンテーション弾性パラメータ：圧子圧入に伴って生じる弾性変形の大きさを表す指標で、完全弾性体においては P/h^2 で与えられる。