

一次元規則性凹凸面の弾性接触に及ぼすポアソン比の影響

Effect of Poisson's Ratio on Elastic Contact of One-Dimensional Regular Wavy Surface

九工大・院（学）*池田 尚生 九工大・工（正）松田 健次

Naoki Ikeda, Kenji Matsuda

Kyushu Institute of Technology

1. 緒言

前報の規則性凹凸面を有するシリコーンゴム試験片とガラス平面との押付け実験によって、たとえ同一の凹凸形状であっても、試験片厚さが所定の値よりも小さくなると、真実接触面積の成長過程や2面間に形成される空隙の消滅過程に、下地の機械的特性の相違が大きな影響を及ぼすことを明らかにした¹⁾。さらに、弾性接触有限要素解析により、下地が試験片よりも軟らかい場合、試験片厚さが小さくなると凹凸突起下部の界面が下地に押し込まれる一方、谷部下部の界面が隆起し、空隙体積は急激に減少することを示した²⁾。このような変形挙動には、試験片のポアソン比 ν が大きく関与すると予想される。そこで本研究では、規則性一次元凹凸面の弾性接触有限要素解析を行い、ポアソン比が0と0.499の両極端の場合を比較することによって、その影響を調査した。

2. 解析方法と試験片形状

Figure 1に解析モデルを示す。平面ひずみを仮定し、円弧状の溝が無限に繰り返される一次元規則性凹凸面を有する弾性体Aが無限に広い剛体平面と全面接觸に至るまでの過程を解析した。溝の曲率半径は10.06 mm、幅は3.2 mm、深さは128 μmである。凹凸形状の対称性より、突起頂点から凹凸の半周期幅の領域を解析対象としている。モデルS1では弾性体Aの下面は剛体平面に接しているが、モデルS2では弾性体Aは弾性体Bの上に据えられており、弾性体Bの底面が剛体平面と接している。ここで、上下の剛体平面と弾性体との接触面には摩擦は無いものと仮定している。

弾性体Aのヤング率は先の実験での結果を参考にして $E=0.601$ MPaとし、弾性体Bのヤング率はAの約1/4の $E=0.149$ MPaとした。また、弾性体Bの厚さは3 mmとし、弾性体Aの厚さ H は0.5, 3.2, 8 mmと変化させている。本研究では、 $\nu=0$ と $\nu=0.499$ の2つのポアソン比の結果を比較した。なお、弾性体AとBのポアソン比は同一としている。

3. 結果および考察

3.1 平均接觸圧力と無次元接觸面積

Figure 2に、無次元接觸面積 A_r/A_0 と平均接觸圧力 p の関係を示す。ここで、 A_r は真実接觸面積、 A_0 は見かけの接觸面積であり、 p は押付荷重を A_0 で除した値である。前報¹⁾で示したように、厚さが凹凸ピッチの3.2 mm以上あれば、S1, S2のモデルの相違や試験片厚さによらず同一の進展曲線を呈しており、それより薄くなれば、下地が試験片より硬いモデルS1では A_r/A_0 の増加速度が低下、軟らかいモデルS2では増加速度が増加している。ポアソン比の影響を比較すると、 $\nu=0.499$ の方が全般的に増加速度は低下している。ここで、全面接觸時の平均接觸圧力比 $p^*(\nu=0.499)/p^*(\nu=0)$ の値は、試験片厚さ $H=3.2$ mm以上で約1.39、 $H=0.5$ mmの場合、モデルS1は約1.35、モデルS2では約1.28である。等価弾性係数比 $E^*(\nu=0.499)/E^*(\nu=0)$ は1.33であり、真実接觸面積に及ぼすポアソン比の影響の要因は第一義的には等価弾性係数の相違と言えるが、以下に示す変形挙動の相違も何らかの影響を与えていていると考えられる。

3.2 深さ方向の変位分布

Figure 3に、モデルS2の全面接觸時における凹凸の対称軸上、すなわち突起頂点($x=\lambda/2$)および谷最深部($x=0$)からそれぞれ下面に引いた垂線上の高さ方向の変位分布を示す。ここで横軸は変形前の座標を基準にしており、表面座標は $x=\lambda/2$ の場合 $z=0$ 、 $x=0$ の場合 $z=-0.128$ mmである。いずれの試験片においても、 $x=\lambda/2$ と $x=0$ の表面変位には

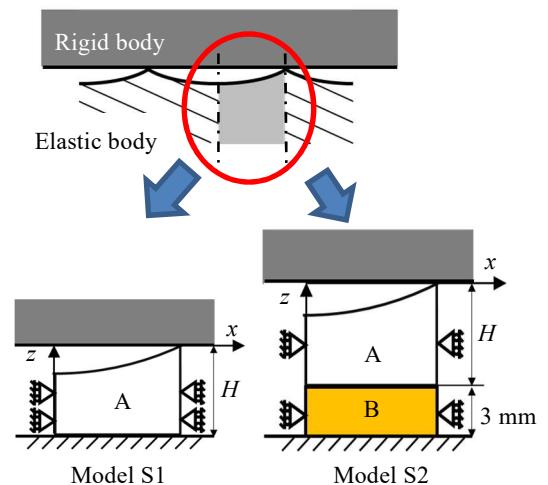


Fig. 1 Analytical model

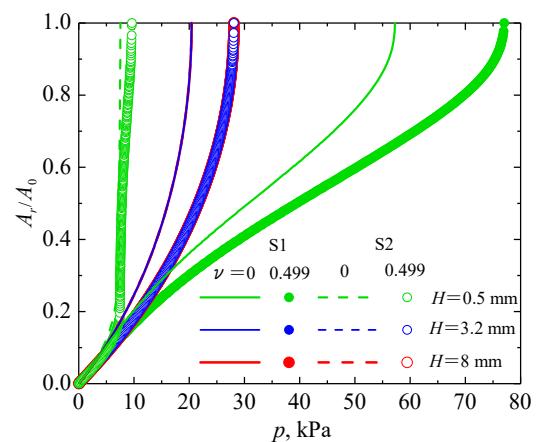


Fig. 2 Relationship between A_r/A_0 and p

突起高さに相当する 0.128 mm の相違が生じているが、深くなるにつれて両者の相違は減少し、凹凸ピッチ($\lambda=3.2$ mm)程度の深さに達すると両者はほぼ一致している。これは、それ以上の深さでは表面形状に関係なく均一に押し込まれたのと同じ状態になっていることを示している。モデル S2 では下地のヤング率が試験片よりも小さいため、その界面を境にして傾きが変化しているが、試験片厚さが凹凸ピッチ程度以上あれば界面は均一に押し込まれたとみなされる領域内に留まるため、それより下に存在する下地は表面凹凸形状の変形には影響を及ぼさないことになる。 $\nu=0.499$ の場合、均一に押し込まれた場合の変形は極めて小さいために、 $x=\lambda/2$ と $x=0$ の変位が一致する領域は水平に近く、それより浅い領域の変位は、 $x=\lambda/2$ では低下、 $x=0$ では増加すなわち上方向に隆起している。

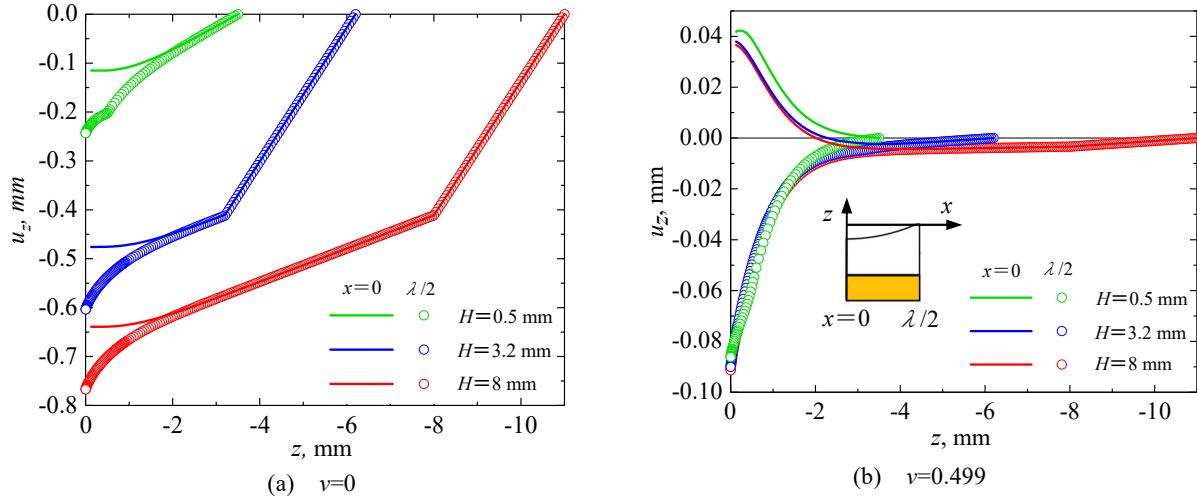


Fig. 3 Displacement distributions in z direction (model S2)

3.3 突起の変形状況

Figure 4 に、 $\nu=0$ と $\nu=0.499$ の、押込み過程における凹凸突起の変形状況を示す。ここで、縦軸は変形後の突起高さ z を接触する前の突起高さ h (=128 μm)で除して無次元化、横軸は溝幅 w (=3.2 mm)で無次元化している。図中には、 A_r/A_0 が約 0.25 増加するごとの変形状況を、溝底が $z/h=0$ となるように描いている。同図には比較のため、 $H=8$ mm, $\nu=0.499$ の結果も示しているが、 $H=0.5$ mm の場合、 $\nu=0$ と $\nu=0.499$ のいずれにおいても接触割合の増加とともに突起高さは急激に減少している。 $\nu=0.499$ の場合、突起高さの減少は谷部の隆起をもたらすが、Fig. 3(b)に示すように、これは試験片厚さによらず生じる。また、圧縮性の $\nu=0$ でも同様の突起高さの減少を示していることから、単に谷部の隆起をこの原因とすることは困難である。 $\nu=0$ と $\nu=0.499$ の結果を比較すると、変形の絶対値は大きく異なるが、表面付近、例えば深さ 0.5 mm までの曲線の平均的な傾きは $H=3.2, 8$ mm ではほぼ一致し、試験片厚さの小さい $H=0.5$ mm ではそれより小さくなっている。すなわち、モデル S2 の場合、谷底に対する相対的突起高さが同じだけ減少した場合であっても、試験片厚さが小さくなると表面下部まで大きく押し込む傾向が増加し、これによって接触域近傍も接触域に引きずられて沈み込むことによって接触領域の拡大が抑制されることが Fig. 4 の結果をもたらしていると言える。

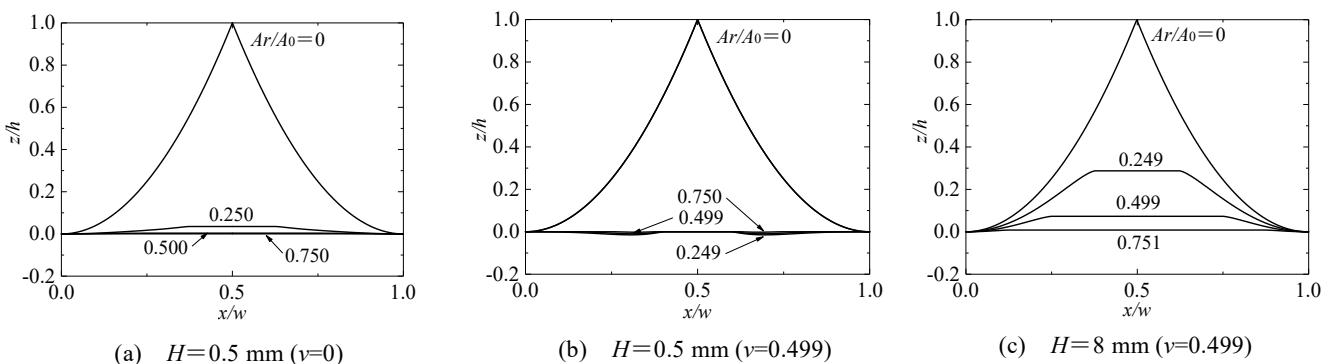


Fig. 4 Variations of surface profiles with increasing A_r/A_0 (model S2)

4. 結言

ポアソン比 $\nu=0$ と 0.499 の一次元規則性凹凸面の弾性接触解析を行い、両者の結果を比較した。その結果、変形量の絶対値には大きな相違があるが、接触割合の増加にともなう突起形状の変化に著しい相違は生じないことを明らかにした。

参考文献

- 1) 熊代・佐伯・松田、トライボロジー会議 2022 春 東京 予稿集, (2022) 312.
- 2) 古城・酒田・松田、トライボロジー会議 2021 秋 松江 予稿集, (2021) 165.