

接線方向刺激を用いた触覚ディスプレイ

Tactile display using wavy stimuli in tangential direction

毛利優之¹⁾, 前野隆司²⁾

Masayuki MORI and Takashi MAENO

1) 慶應義塾大学 大学院 理工学研究科

(〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, vc07936@educ.cc.keio.ac.jp)

2) 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科

(〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, maeno@mech.keio.ac.jp)

Abstract: The human can distinguish small surface roughness using tactile sensation. And the sensibility to the small surface roughness is made to be strong by sliding fingertip in tangential direction. Therefore we can assume that the sense of roughness is caused by stimuli in tangential direction. The purpose of this study is to investigate the relationship between the sense of roughness and the stimuli in tangential direction. It is confirmed by analyses using two-dimensional model of the fingertip and experiments using tactile display that the feel of roughness depends on the amplitude and frequency of the vibratory stimuli in tangential direction.

Key Words: Finite element method, Tactile display, Finite element method

1. はじめに

ヒトは、接線方向に指を滑らせる動的触察によって、 μm オーダの細かい凹凸面の粗さ感を知覚することができる。ここで、動的触察時には指表面が対象物との固着・滑りに伴って振動すること^[1]、さらに動的触察が接線方向に行われることを考慮すると、粗さ感は指表面に対する接線方向の振動刺激と関係が深いと考えられる。また、凹凸面の空間分布の違いも粗さ感に影響すると考えられるため、接線方向振動刺激の空間分布も粗さ感に影響すると考えられる。このため、本研究では指腹部と凹凸面の有限要素解析および触覚呈示装置を用いた心理物理実験を行うことによって、空間的に分布する接線方向振動刺激の振幅や周波数と粗さ感との関係についての基礎的な知見を得ることを目的とする。

2. 有限要素解析

細かい凹凸面に対する粗さ感の知覚には、皮膚の最も浅い位置に配置されたマイスナー小体が主に関係していると言われる^[2]。そのため有限要素解析では、動的触察時のマイスナー小体に対する支配的な刺激が、指腹部への接線方向刺激と法線方向刺激のいずれなのかを確かめるための解析を行った。なお、機械受容器の神経インパルス発射頻度とひずみエネルギー変化に相関があること^[3]から、解析ではマイスナー小体位置でのひずみエネルギー変化と指表面の変形に着目した。

まず、剛体波面(振幅 $A=3\mu\text{m}$ 、波長 $\lambda=0.15\text{mm}$ 、 0.20mm 、 0.30mm)を小林らが作成した指断面の有限要素モデル^[4]表

面で滑らせることによって、動的触察を再現する動的接触解析(図1)を行った。剛体波面を指に押し込む量は 0.55mm 、滑らせる速度は 10mm/s 、摩擦係数は 0.5 とした。次に、動的触察時の指モデル表面節点の変位履歴を法線方向と接線方向とに分離し、それぞれ強制変位として各節点に与えることによって、動的触察時のマイスナー小体位置でのひずみエネルギーが接線方向の変位と法線方向の変位のいずれに大きく影響されているかを確かめるための解析を行った。両解析の結果を図2に示す。図より、剛体波面の波長が短い場合には、接線方向強制変位を与えたときのひずみエネルギー変化が剛体波面を滑らせたときのひずみエネルギー変化に類似していることがわかる。以上より、接線方向振動刺激によって細かい面に対する粗さ感を呈示できる可能性を確認することができた。

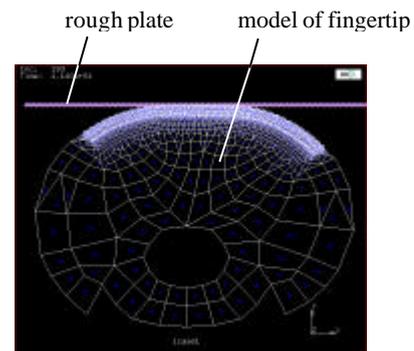


図1 指断面の有限要素モデルと凹凸面

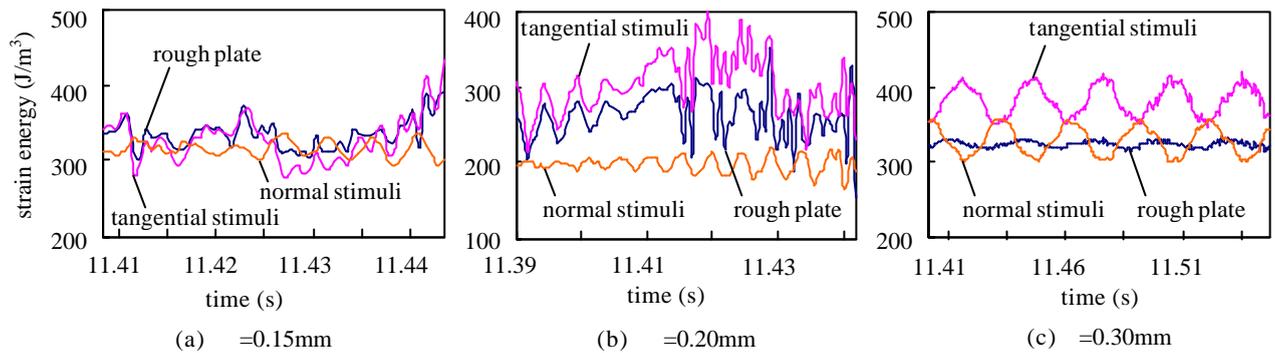


図2 マイスナー小体位置でのひずみエネルギー

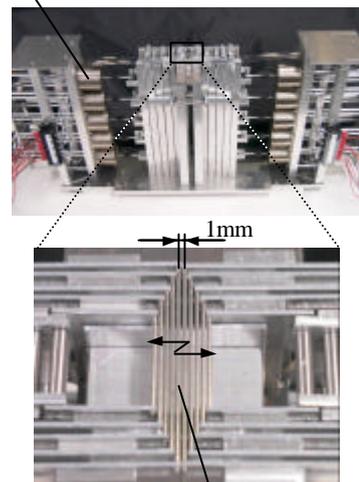
表1 呈示した接線方向刺激

Parameter	Amplitude (μm)	Frequency (Hz)	Wavelength (mm)	Order of roughness
Amplitude	15	50	4	3
	30	50	4	2
	45	50	4	1
Frequency	30	25	4	3
	30	50	4	2
Wavelength	30	75	4	1
	30	50	2	-
	30	50	4	-
Amplitude and Frequency	30	50	4	2
	60	25	4	1

3. 心理物理実験

心理物理実験によって、接線方向の刺激と粗さ感との関係を明らかにするために、接線方向の刺激を呈示する触覚呈示装置(図3)を製作した。触覚呈示面には、直径0.8mmの刺激子が1mm間隔に10本配置されている。本実験では振幅を正弦波状に分布させた定在波状刺激と、刺激子間の位相差を一定とした進行波状刺激を用いて、接線方向刺激と粗さ感の関係を確認した。刺激子を振動駆動するパラメータは、振幅、周波数、波長である。被験者は20代の男女8名とする。表1に呈示した刺激を示す。実験は、振幅、周波数、波長のいずれか1つが異なる2つの刺激、あるいは振幅と周波数の両方が異なるが刺激子の最大速度が同じ2つの刺激を呈示し、粗さ感が大きい刺激を被験者が回答する一対比較法で行った。被験者が感じた粗さ感の順序を、表1の最右列にパラメータごとに示す。以上の結果、実験を行った範囲では、振幅が大きい場合や周波数が高い場合に粗さ感が増す傾向がみられた。また、波長は振幅や周波数よりも粗さ感に及ぼす影響が小さいことを確認した。ここで、マイスナー小体は皮膚変形速度に依存して神経インパルスを発射する傾向があるため、振幅と周波数の積に比例する刺激子の最大速度が同じ場合には、粗さ感が変化しないと考えられる。しかし表1の最下段より、振幅が大きい刺激に対して粗さ感が増していることから、粗さ感に対しては振幅の影響が大きいことがわかる。

voice coil motor



pins vibrate in tangential direction

図3 触覚ディスプレイ

4. おわりに

指腹部と凹凸面の有限要素解析を行った結果、空間波長が短い凹凸面を対象とした場合、動的触察時にマイスナー小体へ加わる主な刺激は、指腹部への接線方向刺激であることがわかった。また、接線方向刺激呈示装置を用いた心理物理実験の結果、振幅が大きい場合や周波数が高い場合に粗さ感が増し、特に振幅の影響が大きいことがわかった。

参考文献

- [1] Nara, T. et al., An application of SAW to a Tactile Display in a Virtual Reality, Proceeding of IEEE UFFC2000 (2000)
- [2] Vallbo, A. B. and Johansson, R. S., Properties of Cutaneous Mechanoreceptors in the Human Hand relate to Touch Sensation, Human Neurobiology, 3 (1984), 3-14.
- [3] Srinivasan, M. A. and Dandekar, K., An Investigation of the Mechanics of Tactile Sense Using Two-Dimensional Models of the Primate fingertip, Trans. ASME, J. Biomech. Eng., Vol.118 (1996), 48-55
- [4] 小林一三, 前野隆司, 山崎信寿, ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係, 日本機械学会論文集(C編) Vol.63, No.607 (1997), 881-888