# レーザーによる石材のノンスリップ処理

# 永井香織・佐藤貢一・ウィグナラージャ シバクマラン・松井勇<sup>\*1</sup>

Keywords: natural stone, laser, surface roughness, non-slip, coefficient of friction 石材,レーザー,表面粗さ,防滑性,摩擦係数

## 1. 序

天然石材は、外壁や内壁のみならず、床材など高級仕 上げ材料として用いられている.天然石材の表面仕上げ 方法は、水磨き、本磨き、バーナーによる粗面化処理な どがある.ホテルやオフィスのエントランス部分には、 高級感のある本磨きの石材が用いられることが多い.

しかし,天然石材の本磨きは,表面が平滑であるため,雨の影響による転倒事故などを引き起こす可能性がある.

天然石など硬質材料に対する滑り対策の一つに,石材 表面に滑り止め塗料や,凹凸シールなどの滑り止めシー ルを塗布する方法<sup>1)</sup>がある.この方法は,接着性の低 下によるシールの剥がれや摩耗が問題となるため,定期 的なメンテナンスが必要である.

他の対策は、バーナーを用いた表面粗さ仕上げ<sup>1)</sup>が ある.この方法は、工場での処理のため、既存の現場に 対する対策ができない.

本研究は、レーザーを用いて、石材表面に微細な孔を 形成することで、防滑性を付与することが可能であるこ とを示す検討をした.

## 2. 目的

建築分野においてレーザーは、低出力レーザーが計測 などに用いられており、高出力レーザーが鉄鋼やタイル などの建築材料の切断、溶接および除染などを中心に研 究開発<sup>2)</sup>が進められている.

筆者らは、セメント質材や石材をはじめとする建築材料の表面改質の研究<sup>3),4)</sup>をおこなっている.

この背景から、レーザーを用いて石材に凹凸をつけるこ とで、防滑性を付与することを考案した.この手法は、 レーザーの伝送性を活かすことで、既存建物への対策方

\*1 日本大学

法の一つとしても適用が可能である.

本報告は、レーザーで石材の表面に微細な孔を形成す るためのレーザー照射条件を見いだし、表面状態と摩擦 性についての確認を室内試験にておこなった結果につい て述べる.

## 3. 実験概要

#### 3.1 試験体

試験体は,黒御影石であるインド産のインパラブラッ クを使用した.表面の仕上げは本磨き,試験体寸法は, 300×300×25(mm)とした.

#### 3.2 レーザー照射装置

本実験は、炭酸ガスレーザー(1.2kW、東芝製)を用 いた.レンズは、凹凸レンズを使用した.レーザー照射 は、パルス出力を用いて実験をおこなった.レーザー照 射条件範囲を表-1に示す.

平均出力	(W)	100 ~200			
照射速度	(mm/min.)	15000			
焦点外し距離	(mm)	2~10			
割合	(%)	10~30			
振動数	(Hz)	10~100			
パルス発振 (パルス発振と は、レーザー出力 を非連続で瞬間的 に発振する)	出ガ 1 秒間に発振す	t, t, t, す す 時間 でる出力の割合: t <sub>2</sub> /t <sub>1</sub>			

表-1 レーザー照射条件

#### 3.3 試験概要

本研究の実験工程を図-1に示す.

- STEP1 : レーザー照射条件と石材表面に形成され る孔の条件を把握する.
- STEP2 : 石材表面に形成された孔の条件と石材表 面状態の把握を,表面の光沢残存率や色差な どから判断し,同時に孔の条件と摩擦係数の 関係について確認をおこなった.
- STEP3 : 滑り抵抗性試験を実施し,孔の条件と滑り抵抗性の関係について確認した.



Experimental flow chart

## 3.4 試験方法

表-2に試験方法を示す.

STEP1の試験は,表-1のレーザー照射条件で実施した.石材表面には,図-2に示すように,レーザー照射により,幅0.18~0.80mm,長さ0.24~2.11mm,孔のピッチ1.25~5.0mmの範囲の29種類の形状の孔を分布し,これを試験体とした.孔はレーザーのパルス出力により,1パルス=1孔を形成した.形成した孔の幅と長さと深さを実体顕微鏡と表面粗さ計で計測し,レーザー照射条件と形成した孔の条件の関係を把握した.

STEP2 では、光沢測定と色差測定を表に示す計測器 で任意に5点測定し、その平均値を求めた. 結果から孔 の条件と表面状態を確認し、孔の条件別に 12 種類を選 定する.

次に 12 種類の試験体について,摩擦測定を,JIS に 準じ,735.5N の重りを用いて気乾状態にておこなった. 摩擦試験は,図-2 に示すようにレーザー照射方向に水 平方向と,レーザー照射方向に垂直報告の2種類につい て実施し,孔の条件との関係について把握した.

STEP3 では、孔の面積比の異なる 5 種類の試験体を、

JIS に準じた乾燥状態(気乾状態)と湿潤状態(濡れた 状態)について,滑り試験を実施した.通常,乾燥状態 に比べ,雨が降ったような湿潤状態は滑りやすくなる. 本試験では,乾燥状態に対して湿潤状態がどのくらい滑 りやすくなるかの確認をおこなった.

## 表-2 試験方法

	•	.1 1
L 37.12	orimont	mothod
- C.X.I.	ennem	THETHORY
- <b>L</b> /h	CITICIT	mounous

		試験項目	試験	測定	試験方法
			体数	回数	
	STEP1	孔の深さ		冬 5 回	実体顕微鏡
		測定	20	日2回	レーザーによる粗さ計
	STEP2	光沢率	29	各5回	光沢計
		色差測定		各3回	色彩色差計
		摩擦係数	12	各3回	JIS A 5721
	STEP3	滑り抵抗	5	各3回	JIS A 1454



## 4. 実験結果および考察

## 4.1 レーザー条件と粗面化の関係

表-3 にレーザー照射により形成された凹凸状態の例 を示す.この表面状態からわかるように、形成される凹 凸の形状は、丸から楕円形とさまざまである.これは、 レーザー照射時のレーザー照射速度とパルス時間によっ て形成される孔の形状が変化するためである.本実験で は、パルス発振をしている時間が長いほど形成される孔 の形状は、楕円形になる傾向を示した.面積比は、 10mm 角における凹部分の割合を示すこととした.

## 表-3 レーザーで形成した表面状態例

Examples of treated surface

	1	2	3	4
幅 (mm)	0.75	0.80	0.64	0.73
長さ (mm)	0.93	1.31	0.68	0.85
面積比(%)	2.00	9.26	23.30	30.86
ピッチ (mm)	5.00	2.50	1.25	1.25
表面状態	1 2		7	<b>E</b> 0)

図-3 に 1 パルスあたりのレーザーの熱量と形成され た孔の幅を示す. 熱量 0.2 (J/Pulse) までは, 傾きが大 きく孔の幅が増加しているが, 熱量 0.2 (J/Pulse) 以上 では, 孔の幅の増加率が小さくなる.

図-4 に 1 パルスあたりのレーザーの熱量と形成した 孔の体積の関係を示す. 熱量が増加すると孔の体積も増 加する傾向を示す.

本実験の結果から、レーザーで形成した孔の幅は、熱量 0.2 (J/Pulse)までは増加傾向の 2 次曲線を示すが、 体積については、熱量の増加に比例して増加傾向を示した.

## 4.2 粗面化条件と表面状態

4.2.1 光沢残存率

図-5 に孔の面積比と光沢残存率の関係を示す.光沢 残存率は,無処理に対する光沢の残存率で示す.

面積比と光沢残存率の関係は、図から面積比約 20 (%)までは、光沢残存率が 80%以上であるが、面積 比 20(%)以上になると光沢残存率が低下する.面積 比 30%程度で、光沢残存率約 70%であった.

図-6 に孔の深さと光沢残存率の関係を示す. 深さと 光沢残存率には相関関係はないことが確認できた. レー ザー照射で形成した孔が光沢に与える影響は, 孔の深さ 0~0.035mm の範囲では, およそ光沢残存率 100~70% の間に位置し, 孔の深さ約 0.35mm までは, 光沢残存率 は, 孔の深さに依存しないことが明らかとなった.













4.2.2 色差

図-7 に孔の面積比と色差の関係を示す.面積比と色 差の関係は、図から面積が 10(%)以下は、おおよそ色差  $\Delta E=2.0$ 以下となっており、目視による色の差が認識 しにくい範囲であることが確認できた.面積比 35 (%)以上となると $\Delta E=6.0$ と高い値を示し、それ以 上に面積比が増加しても色差は増加していないことがわ かった.

図-8に孔の深さと色差の関係を示す.

孔の深さと色差の関係は、孔の深さが深くなるにつれ、 色差 $\Delta$ E が大きくなる傾向を示した.しかし、孔の深さ が 0.01mm 以下でも色差 $\Delta$ E=3.0を示す条件もあるため、 はっきりした相関関係は認められなかった.孔の深さが 0~0.035mm の範囲では、おおよそ色差 $\Delta$ E は 0~4.0 の 範囲にあることがわかった.

4.2.3 摩擦係数

摩擦係数の結果は、以下のとおりに孔を形成した方が 摩擦係数が向上した.

孔形成なし: 0.21~0.26

孔形成あり: 0.32~0.51

孔形成した石材の摩擦係数は,孔形成なしに比べ,約 50~80%向上した.

図-9 に孔の面積と摩擦係数の関係を示す.面積が大 きくなると摩擦係数が大きくなっていることがわかる. レーザー照射による孔の形状は,楕円であるため,摩擦 試験は,レーザー照射方向に対して,水平方向(A) と垂直方向(B)について実施した.その結果,方向の 違いによる摩擦係数の差は,ほとんどなく,傾きもほぼ 同様の傾向を示した.





図-10 に孔の深さと摩擦係数の関係を示す。孔の深さ が 0~0.08mm の間では、摩擦係数は、0.3~0.5 の間を 示した. その結果より、この孔の条件下では、孔の深さ が深くなると摩擦係数が向上する傾向を示した.

また、レーザー照射方向による孔の深さと摩擦係数の 関係には、差が認められなかった.

図-11 に孔のピッチと摩擦係数の関係を示す. 孔のピ ッチが 0~2.0mm までは、摩擦係数はほとんど変わらな いが, 孔のピッチが 3.0mm 以上になると摩擦係数が低 下している.また、レーザー照射方向に水平方向(A) と垂直方向(B)の孔のピッチと摩擦係数の関係には、 ほとんど差が認められなく、両者とも同様の傾向を示す ことが確認できた.



孔のピッチ(mm) 図-11 孔のピッチと摩擦係数 Relation between pitch and coefficient of friction

#### 4.3 微細な孔形成による防滑性

床材の滑り抵抗値<sup>5)</sup>は、水がある環境下だと滑りや すくなる.石材の表面に滑り止め対策を施した場合、摩 擦抵抗値が増加しても、滑り抵抗性に効果が認められな い場合がある.

表-4 に乾燥状態と湿潤状態の試験結果と石材の表面 仕上げの違いによる滑り抵抗値<sup>6</sup> (C.S.R) を示す.

本試験結果では、乾燥状態の値が 0.5~1.0 に対し、湿 潤状態が 0.4~0.9 という値を示した. これは、乾燥状態 に対し、湿潤状態が滑りやすくなっていることを示す.

比較として、石材の本磨きは C.S.R 値が 0.2~0.9 に対 し, バーナー仕上げの C.S.R 値は, 0.5~1.0 と滑らない 方にシフトしている. 試験結果の乾燥状態の値は, バー ナー仕上げの値とほぼ同程度の滑り抵抗値であった.



		Results of slip resistance test							
表面状態		滑る ◀ → 滑らない						ない	
C.S.R		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
試験	乾 燥 状 態								
結果	湿 潤 状 態								
谷口見会	本磨き								
仰永	粗面化								

図-12 に微細な孔を形成した乾燥状態で測定した滑り 抵抗値に対する湿潤状態で測定した滑り抵抗値の滑り抵 抗値と面積比の関係を示す.

面積が大きくなると乾燥状態に対する湿潤状態の滑り 抵抗値が増加する. この滑り抵抗値は, C.S.R= 1.0 にな ると、乾燥状態と湿潤状態が同じ値であることを示す.

図から,表面の面積比(孔の領域比)が増加すると, 滑り抵抗値は乾燥状態も湿潤状態もほぼ同一の値に近づ くことを示す.従って、面積比が小さい程、水が介入す ると、レーザーで微細な孔を形成しても防滑効果はあま り認められない、一方、面積比が大きい程、乾燥状態と 同様に微細な孔形成による効果があることが確認できた.

6



図-12 乾燥状態に対する湿潤状態の滑り抵抗値 Slip resistance of wet and dry samples

# 5. まとめ

本研究は、石材の防滑性付与を目的に、レーザーを用 いて、表面に微細な孔を形成するノンスリップ処理を考 案し、その効果を確認した.その結果、以下のことが明 らかとなった.

- 石材表面にレーザーで形成したノンスリップ処理は、 無処理に比べ、摩擦係数は、50%~80%向上し、防 滑性に対し、有効であることを確認した。
- 2)レーザー照射で石材表面に形成したノンスリップ処理は、孔の面積比約 20%以下で、光沢残存率 80%以上を保持した.
- 3)レーザー照射で形成した石材表面の孔の深さは、光 沢残存率とは相関性はなく、孔の深さ 0.035mm ま で、光沢残存率 70%以上を保持した。

- 4) レーザー照射で形成した石材表面のノンスリップの 面積比と色差の関係は、面積比が大きくなると、色 差も大きくなる傾向を示し、面積比約 10%以下で 色差約ΔE=2.0以下を示した.
- 5) ノンスリップ処理した石材の滑り抵抗値は,バーナ ー処理と同程度の値を示した.
- 6)ノンスリップ処理した石材の乾燥状態に対する湿潤 状態の滑り抵抗値は、面積比が大きいほど、湿潤状 態も乾燥状態と同様に微細な孔形成の効果が認めら れた。

#### 謝辞

本研究をおこなうにあたり,建材試験センターの大島氏より 貴重なご助言.ご協力を頂きました.記して謝意を示します.

#### 参考文献

- 1) 佐藤吉文: 商業施設の床, ゆか, Vol10, pp77-79, 1991
- 2)藤岡知夫:レーザー技術の土木建設工学への適用,レーザ 一研究,第24巻,第2号,p.1,1996
- 3) Kaori.Nagai, Tamami.Iwamoto : Study on Carbon Layer Formation on Wood by Laser, MRS , Vol.20, pp.171-174, 1996.
- 4) 永井香織,市原英樹,ウィグナラージャシバクマラン:レーザ照射によるゼオライトモルタル表面のガラス化に関する研究,日本 建築学会構造系論文集,第547号,pp.17-21,2001
- 5) 小野英哲,河田秋澄,宮木宗和,川村清志,小西敏正,三 上貴正,橋田浩,吉岡丹:床のすべりおよびその評価方 法に関する研究,その3 すべり試験機の設計・試作, 日本建築学会論文報告集,第346号,pp1-8,1984
- 6)小野英哲:滑る床をなくせ、日経アーキテクチャ、pp134-136, Nov21, 1994