

箱根旧街道西坂の石畳の崩壊と石畳沿いの土壌侵食の要因

荒井美穂・園原和夏・増谷利博（日大生物資源）

要旨：箱根旧街道の箱根峠～静岡県三島市（三島宿）は、西坂と呼ばれ、石畳が敷かれた街道が残されている。その一部では、石畳の崩壊や石畳沿いの土壌侵食が発生している。これらは、石畳が整備されても、時間が経過すると再び発生する可能性があり、石畳の保護・保全対策が必要である。そこで、本研究では、石畳の崩壊と石畳沿いの土壌侵食の状況を把握し、その要因を明らかにすることを目的とした。侵食の要因として、水の流れによるものと、コケに覆われ滑りやすい石畳を避ける歩行者の踏圧によるものの2つを仮定し、縦断測量、横断測量、コケ被覆率調査を行った。侵食量の指標として侵食断面積を用い、横断測量の結果から算出した。水の流れに関する因子として、縦断測量結果から傾斜を用いた。そして、傾斜と侵食断面積、コケ被覆率と侵食断面積の関連性を調べた。その結果、傾斜と侵食断面積には関連性は見られなかったが、コケ被覆率と石畳沿いの土壌侵食には、わずかな関連性が見られた。

キーワード：箱根旧街道、石畳、侵食断面積

I はじめに

箱根旧街道の箱根峠～静岡県三島市（三島宿）は、西坂と呼ばれている。三島市は平成6～9年度まで町おこしを目的とした箱根旧街道石畳整備事業を、全長約2kmにわたり実施し、石畳を敷き直した。一方、未整備区間では、石畳の崩壊や石畳沿いの土壌侵食が発生し、コケに覆われ歩きにくい石畳を避ける歩行者が見られる。石畳の崩壊や石畳沿いの土壌侵食は、整備が行われれば改善されるが、時間の経過と共に再び発生する可能性がある。そのため、未整備区間では、石畳の保護・保全対策が必要であり、整備区間では、侵食を発生させないための対策が必要である。また、東坂では、石畳沿いの地表面侵食の空間分布と侵食量を示し、侵食と傾斜の関係を明らかにした報告と、石畳周辺の林況と石畳上の光環境の変化が石畳保全に及ぼす影響が報告されている(3, 4)が、西坂については、このような報告はない。

そこで、本研究は、西坂を対象とし、石畳の形状と石畳の崩壊、石畳沿いの土壌侵食の状態を数量的・視覚的に明らかにするとともに、その侵食量と傾斜、石畳の経路の形状、コケ被覆率との関連性を調べ、石畳崩壊と石畳沿いの土壌侵食の要因を明らかにすることを目的とした。

II 対象地

箱根旧街道とは、旧東海道の一部で、神奈川県小田原市（小田原宿）から箱根峠を経て、静岡県三島市（三島宿）に至る約32kmを指し、箱根八里とも呼ばれている。

本来は、旧東海道と呼ぶべきであるが、本研究は、三島市教育委員会(1999)の記述を採用し、箱根旧街道と呼ぶこととした。本研究では、西坂のうち箱根峠～農場前までの1.1kmを対象地とした。また、対象地内で石畳が一部途切れている箇所があるため、これを除いた2区間を調査した。各区間の距離は、第1区間(521.2m)、第2区間(572.0m)となった。

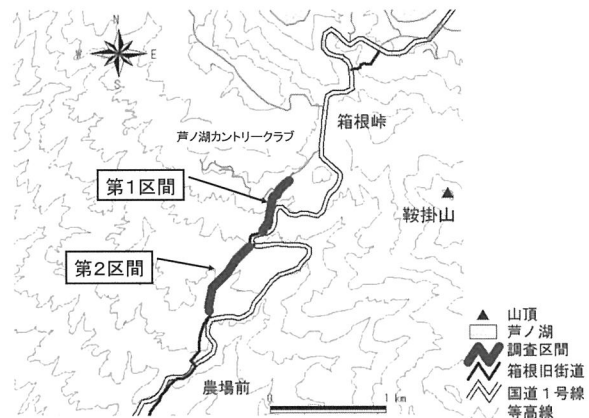


図-1. 対象地

III 方法

本研究では、侵食の要因として次の2つの仮説をたてた。1つ目は、傾斜が急なほど水の流れによって地表面が削られるというもの、2つ目は、コケの被覆により石畳が滑りやすくなり、石畳を避ける歩行者の踏圧により、石畳沿いの土壌侵食が引き起こされているというものである。1つ目の仮説は、石畳の崩壊、石畳沿いの土壌

侵食の両方に考えられる。2つ目の仮説は、歩行者が石畳の脇を歩くことから、石畳沿いの土壌侵食の原因と考えられる。これらの仮説の検証のため、以下の調査・解析を行った。

1. 調査方法 石畳の崩壊及び石畳沿いの土壌侵食の発生場所を把握するために、縦断測量と横断測量を行った。さらに、コケ被覆率の調査を行った。

〔縦断測量〕傾斜や方位の変換点をP (n) とし、P (n) とP (n+1) 間の傾斜角、方位角、斜距離を測定した。また、P (n) とP (n+1) の中間地点をIP (n) とし、P (n) とIP (n) で以下の調査を行った。

〔横断測量〕石畳の道幅と侵食幅・侵食深を測定した。侵食深は、石畳の高さを基準 (0 cm) とし、侵食の深さを10cm 毎に測定した。登山道の侵食量の指標に侵食断面積が用いられていることから (2)、本研究もこれと類似した調査であるとみなし、測定結果から侵食断面

積を求めた。侵食断面積は、石畳が崩れた部分を石畳の崩壊、石畳の外側のものを石畳沿いの土壌侵食とした。〔コケ被覆率〕1 m×1 mのコードラートを設定し、コードラート内の10cm 毎の格子線の交点上にあるコケの有無から被覆率を算出した。

以上の調査は、2008年7月11~13日に行った。

2. 解析方法 1つ目の仮説の検証のため、傾斜と石畳沿いの土壌侵食、石畳の崩壊との関係をそれぞれ調べた。次に、2つ目の仮説の検証のため、コケ被覆率と石畳沿いの土壌侵食の関係を調べた。さらに、石畳の経路形状と侵食の空間分布を把握するため、縦断面図を作成した。縦断面図では、侵食断面積>0の地点を取り出し、そのおおよその度合いが分かるように、3段階に色分けして示した。

IV 結果及び考察

1. 石畳の現状 調査結果を表-1に示す。第1区間で

表-1. 調査結果

	縦断 測量 地点	斜距離 (m)	傾斜角 (度)	横断 測量 地点	侵食断面積 (m ²)		コケ 被覆率 (%)
					石畳沿い の土壌侵	石畳の 崩壊	
第1区間	P1	17.0	7.1	P1	0.0000	0.0000	0.0
	IP1			0.0000	0.0000	0.0	
	P2	22.0	7.7	P2	0.0000	0.0000	3.3
				IP2	0.0000	0.0000	0.0
	P3	18.0	5.9	P3	0.0000	0.0000	0.8
				IP3	0.0000	0.0000	0.0
	P4	40.0	9.9	P4	0.0000	0.0000	0.0
				IP4	0.0048	0.0000	11.6
	P5	36.0	9.2	P5	0.0000	0.0037	0.8
				IP5	0.0022	0.0000	3.3
	P6	28.0	10.6	P6	0.0000	0.0000	0.0
				IP6	0.0009	0.0000	0.0
	P7	15.0	9.4	P7	0.0000	0.0035	2.5
				IP7	0.0020	0.0000	1.7
	P8	7.0	11.7	P8	0.0015	0.0000	9.1
				IP8	0.0000	0.0000	3.3
	P9	25.0	8.2	P9	0.0030	0.0000	4.1
				IP9	0.0076	0.0000	14.9
	P10	30.0	5.2	P10	0.0000	0.0000	0.0
				IP10	0.0024	0.0000	8.3
	P11	15.0	4.3	P11	0.0032	0.0000	15.7
				IP11	0.0000	0.0000	13.2
	P12	47.2	5.0	P12	0.0022	0.0000	18.2
				IP12	0.0000	0.0000	36.4
P13	3.0	6.0	P13	0.0004	0.0056	18.2	
			IP13	0.0000	0.0000	4.1	
P14	20.0	7.3	P14	0.0000	0.0000	0.0	
			IP14	0.0000	0.0320	0.0	
P15	20.0	4.6	P15	0.0000	0.0167	0.0	
			IP15	0.0000	0.0000	0.0	
P16	5.0	5.2	P16	0.0000	0.0218	0.0	
			IP16	0.0000	0.0000	0.0	
P17	26.0	6.8	P17	0.0000	0.0155	0.0	
			IP17	0.0000	0.0143	4.1	
P18	32.0	7.7	P18	0.0000	0.0000	3.3	
			IP18	0.0000	0.0000	6.6	
P19	17.0	7.5	P19	0.0000	0.0000	3.3	
			IP19	0.0038	0.0000	13.2	
P20	35.0	8.5	P20	0.0000	0.0000	7.4	
			IP20	0.0000	0.0149	5.0	
P21	30.0	9.2	P21	0.0062	0.0000	7.4	
			IP21	0.0091	0.0000	0.8	
P22	28.0	7.5	P22	0.0145	0.0000	10.7	
			IP22	0.0035	0.0000	10.7	
P23	5.0	5.5	P23	0.0000	0.0118	5.8	
			IP23	0.0088	0.0000	24.0	
P24			P24	0.0000	0.0000	0.0	
平均値	21.7	7.4		0.0016	0.0030	5.8	
最大値	521.2	11.7		0.0145	0.0320	36.4	
合計 地点数	24		47	17	10	31	

	縦断 測量 地点	斜距離 (m)	傾斜角 (度)	横断 測量 地点	侵食断面積 (m ²)		コケ 被覆率 (%)
					石畳沿い の土壌侵	石畳の 崩壊	
第2区間	P31	48.0	11.8	P31	0.0000	0.0000	0.0
	IP31			0.0000	0.0063	10.7	
	P32	16.0	10.4	P32	0.0000	0.0000	10.7
				IP32	0.0000	0.0000	3.3
	P33	18.0	12.0	P33	0.0000	0.0000	0.8
				IP33	0.0000	0.0000	5.0
	P34	15.0	10.5	P34	0.0000	0.0000	1.7
				IP34	0.0000	0.0000	1.7
	P35	14.0	10.6	P35	0.0000	0.0000	0.0
				IP35	0.0000	0.0000	3.3
	P36	14.0	10.7	P36	0.0000	0.0000	8.3
				IP36	0.0000	0.0000	3.3
	P37	34.0	10.1	P37	0.0000	0.0000	7.4
				IP37	0.0025	0.0000	8.3
	P38	31.0	6.8	P38	0.0000	0.0000	15.7
				IP38	0.0000	0.0000	5.8
	P39	31.0	6.4	P39	0.0008	0.0000	10.7
				IP39	0.0000	0.0000	13.2
	P40	34.0	7.4	P40	0.0000	0.0000	0.0
				IP40	0.0000	0.0000	0.0
	P41	53.0	5.2	P41	0.0000	0.0000	0.0
				IP41	0.0004	0.0000	0.0
	P42	35.0	6.3	P42	0.0000	0.0000	0.0
				IP42	0.0000	0.0000	9.1
P43	14.0	6.5	P43	0.0000	0.0000	19.0	
			IP43	0.0000	0.0000	2.5	
P44	28.0	11.4	P44	0.0011	0.0000	0.0	
			IP44	0.0000	0.0000	0.0	
P45	18.0	5.2	P45	0.0017	0.0000	12.4	
			IP45	0.0000	0.0000	0.0	
P46	21.0	7.2	P46	0.0000	0.0000	5.0	
			IP46	0.0000	0.0000	9.9	
P47	16.0	6.8	P47	0.0000	0.0000	0.8	
			IP47	0.0000	0.0000	2.5	
P48	19.0	6.0	P48	0.0000	0.0000	1.7	
			IP48	0.0000	0.0000	0.8	
P49	18.0	9.8	P49	0.0000	0.0000	3.3	
			IP49	0.0000	0.0000	0.0	
P50	12.0	9.4	P50	0.0000	0.0000	12.4	
			IP50	0.0000	0.0032	0.0	
P51	28.0	10.9	P51	0.0000	0.0000	13.2	
			IP51	0.0000	0.0059	9.9	
P52	25.0	6.8	P52	0.0000	0.0000	15.7	
			IP52	0.0000	0.0000	0.0	
P53	30.0	5.6	P53	0.0000	0.0199	0.0	
			IP53	0.0000	0.0000	9.9	
P54			P54	0.0000	0.0000	0.0	
平均値	24.9	8.4		0.0001	0.0007	5.1	
最大値	572.0	12.0		0.0025	0.0199	19.0	
合計 地点数	24		47	5	4	32	

は47地点中、石畳沿いの土壌侵食が発生していたのは17地点、石畳の崩壊が発生していたのは10地点であった。第2区間では、47地点中石畳沿いの土壌侵食は5地点、石畳の崩壊は4地点であった。平均侵食断面積は、第1区間は、石畳沿いの土壌侵食が0.0016 m²、石畳の崩壊が0.0030 m²で、第2区間では、石畳沿いの土壌侵食が0.0001 m²、石畳の崩壊0.0007 m²であった。最大侵食断面積は、第1区間の石畳沿いの土壌侵食が0.0145 m²、石畳の崩壊が0.0320 m²、第2区間の石畳沿いの土壌侵食が0.0025 m²、石畳の崩壊が0.0199 m²であった。第1区間の方が、侵食の地点数が多く、その平均値、最大値ともに大きかった。また、石畳沿いの土壌侵食と石畳の崩壊を比べると、発生地点数は、第1区間の方が多いが、平均値・最大値は、第2区間の方が大きかった。

2. 傾斜と侵食断面積 傾斜と侵食断面積の関係を図-1に示す。調査区間全体の石畳の崩壊と傾斜の相関係数は $R=0.036$ ($P=0.811$) 石畳沿いの土壌侵食と傾斜は $R=0.023$ ($P=0.880$) となり、ともに相関は示されなかった。

想定では、一般的に考えられているように、傾斜が急なほど、水の流れによって地表面が削られることから、傾斜と侵食断面積は比例関係にあると考えていたが、この結果からは傾斜と侵食断面積には関係性は見られなかった。

3. コケ被覆率と侵食断面積 コケ被覆率と侵食断面積の関係を図-2に示す。調査区間全体の石畳沿いの土壌侵食の相関係数は $R=0.305$ ($P=0.003$) であり、わずかに有意な正の相関を示した。

登山道の荒廃とオーバーユースの関する報告では、踏圧が侵食に大きな影響を及ぼすことが指摘されている(1, 2)。今回の結果から、相関は低いものの、コケ被覆により歩行者が石畳の脇を歩くことによる土壌侵食の発生の可能性はあると考えられた。

4. 石畳の経路形状と侵食の空間分布 侵食断面積を示す石畳経路の縦断面図を図-3, 図-4に示す。第1区間と第2区間を比較すると、第2区間の侵食地点は、点在しているのに対し、第1区間の侵食地点は、集中的に分布しているように見受けられる。特に、第1区間の水平距離300~350m区間では、侵食断面積0.0320 m²、0.0167 m²、0.0218 m²、0.0155 m²、0.0143 m²という今回の調査の中でも比較的侵食の大きい地点が集中していた。しかし、解析結果からは、石畳の崩壊と傾斜との間に相関が見られなかったため、傾斜以外の何らかの要因の影響を受けている可能性が考えられた。

V おわりに

本研究では、現地調査から未整備区間の石畳の侵食状況を明らかにした。そして、石畳の崩壊と石畳沿いの土壌侵食を侵食断面積として表し、その要因を傾斜、コケ被覆率と比較することで明らかにしようとした。その結果、傾斜と侵食断面積には相関は見られなかったが、コケ被覆率と石畳沿いの土壌侵食には、わずかな相関が見られた。

登山道の荒廃に関する事例では、地形・地質、雨水、踏圧が主な侵食の原因として挙げられている(1, 2)。今回の結果からは、人による踏圧が原因の侵食は示唆されたものの、傾斜との相関性は見られなかった。橋本(2003)は、雨水が集中しやすい地形では、土壌の流出が多発し、同じ踏圧の箇所でも雨水が分散するような地形では、侵食は起きにくいと報告している。今回の調査結果の場合、水の動きの指標として傾斜のみを用いたのは不十分であった可能性も考えられる。したがって、水の動きの指標としてどのような調査項目が適切かを検討し、継続して調査を行う必要があると考える。

引用文献

- (1) 橋本 敏(2003) 登山道の荒廃とオーバーユース. 神奈川県自然環境保全センター環境, 情報第2号: 23-26
- (2) 石川県白山自然保護センター(2005) 白山登山道の侵食. pp21, 石川県白山自然保護センター, 石川県.
- (3) 三島市教育委員会(1999) 箱根旧街道石畳整備事業報告書. 173pp, 三島市教育委員会, 静岡.
- (4) 大河和夏・森慎太郎・増谷利博(2008) 箱根旧東街道の石畳沿いの地表侵食の要因-傾斜及び斜面方位と地表侵食の度合いとの相関性-. 関東森林研究会誌 59: 215-218
- (5) 園原和夏・増谷利博(2008) 箱根旧東街道の石畳周辺の林況. 日本森林学会大会発表データベース, Vol. 119: pp451

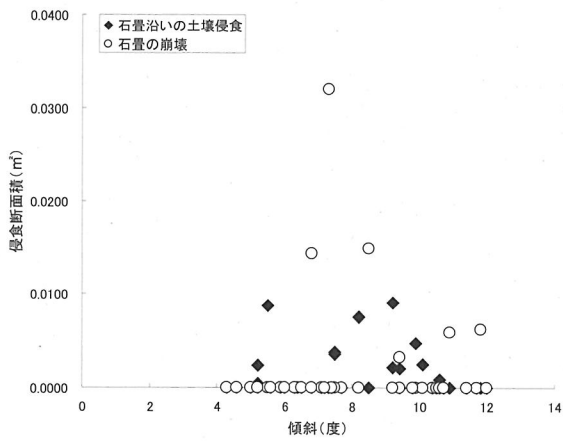


図-1. 調査区間全体の傾斜と侵食断面積の散布図
(石畳沿いの土壌侵食 : $R=0.023$, $P=0.880$, 石畳の崩壊 : $R=0.036$, $P=0.811$)

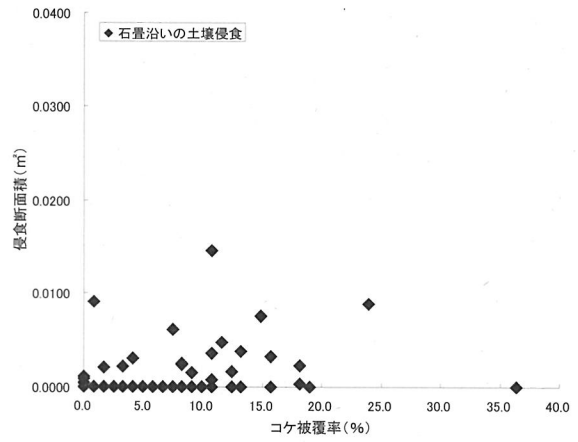


図-2. 調査区間全体のコケ被覆率と侵食断面積の散布図
(石畳沿いの土壌侵食 : $R=0.305$, $P=0.003$)

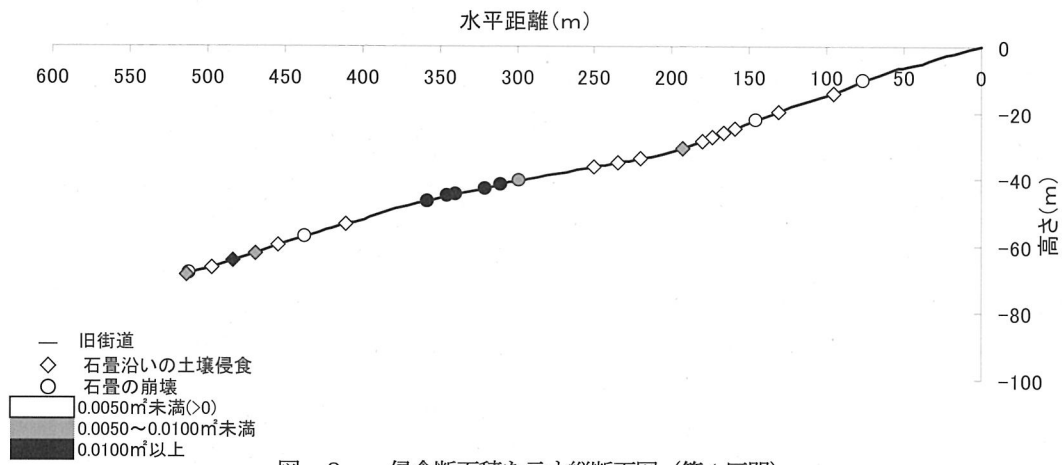


図-3. 侵食断面積を示す縦断面図 (第1区間)

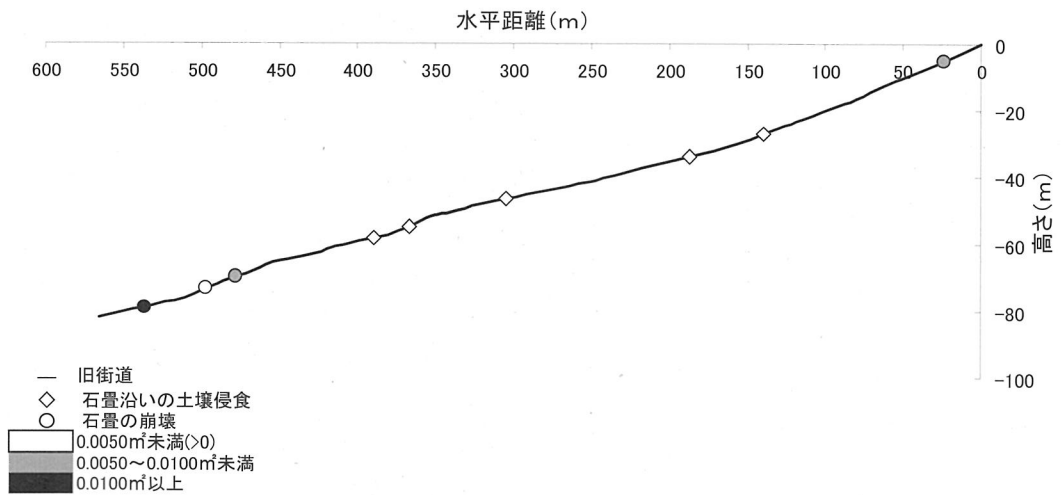


図-4. 侵食断面積を示す縦断面図 (第2区間)