

舗装用煉瓦の性能向上研究

福永 均 小沢 三彦 長谷川龍三

Study on Quality Improvement of Paving Bricks

by

Hitoshi FUKUNAGA, Mitsuhiko KOZAWA and Ryuzo HASEGAWA

煉瓦は景観材料としての需要の伸びが期待されるが、それに伴い美観、安全性等快適な空間設計を満足する素材への改質が望まれている。一方、リサイクル社会の構築に向けて、資源の再生利用が推進されているおり、産業廃棄物の有効利用についても積極的に取り組む必要がある。瓦製造関連廃棄物である瓦シャモット、釉薬スラッジや公共性の高い廃棄物である下水道汚泥焼却灰を煉瓦土に添加し、すべり抵抗や防汚等舗装用煉瓦として優れた性能を有する素地開発を行った。煉瓦土60%、瓦シャモット中粒（粒径2mm以下）30%、釉薬スラッジ10%の調合割合で1100℃焼成した素地は、煉瓦土に比べて、すべり抵抗値が大きく、汚れも少ない。また煉瓦土に下水道汚泥焼却灰を5%添加し、1150℃で焼成した素地は、煉瓦土に比べて、すべり抵抗値が10BPN向上し、汚れも減少した。さらに素地表面をスポンジで水ぶき仕上げすることにより、物理的性質及び汚れをほとんど変化させずにすべり抵抗値を大幅に改善することができる。

1. まえがき

現在、舗装材として使用されている代表的な素材に煉瓦、インターロッキングブロック、平板、タイル、天然石がある。煉瓦は舗装材としての需要の伸びが期待されるが、それに伴い美観、安全性等快適な空間設計を満足する素材への改質が望まれている。また、生活の豊かさや環境への関心が高まるなか、各地の地方自治体では景観に対する取組が活発になっている。しかしながら、舗装材に関しては、使用時の汚れ、降雨時の路面のすべり、摩耗による表面部の色むらなど解決すべき課題もある。

これらの現状を踏まえて、汚れとすべりを中心に試験を行い、市販製品の現状把握を行うとともに汚れとすべりの少ない素地開発を試みた。素地開発にあたっては、産業廃棄物の有効利用の観点より、瓦製造関連廃棄物である瓦シャモット、釉薬スラッジ及び公共性の高い廃棄

物である下水道汚泥焼却灰を使用した。

2. 実験方法

2.1 使用原料

使用した原料は、煉瓦土、瓦シャモット細粒（粒径0.5mm以下）、中粒（粒径2mm以下）、瓦釉薬スラッジ¹⁾及び下水道汚泥焼却灰である。下水道汚泥焼却灰の主成分はSi、Ca、Fe、Al、Pの酸化物で、組成は下水の水質、使用する汚泥調質材の種類や量によって変化する。使用した焼却灰は、名古屋市の山崎汚泥処理場で下水道汚泥を焼却処理した残さいである。

表1に下水道汚泥焼却灰及び煉瓦土の化学組成を示す。焼却灰の特徴は P_2O_5 を多量に含むことである。煉瓦土に比べて Fe_2O_3 やCaOの含有量が多く、 SiO_2 は少ない。鉱物組成は、 α -石英、長石及び鉄化合物からなり、耐

表1 使用原料の化学組成

(%)

使用原料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. loss
焼却灰	46.2	15.8	10.8	13.4	0.66	5.48	2.38	1.24	1.91	1.70
煉瓦土	66.0	17.8	4.32	—	0.70	1.02	0.63	0.98	2.42	6.15

火度はSK03a (1040℃) で一般の粘土に比べて非常に低く、焼結性に優れている。また粒度分布は5μm以下の粒子が少なく、250μm以上の粗粒子はなく、5~45μmのシルト分と45~250μmの細砂からなる。

2.2 試験体の作製

表2に試験体の調合割合を示す。調合した原料に水分を加え、逆流式混合混練機で坯土を調製した。坯土を押し成形機により幅50mm×長さ220mm×厚さ15mmの試験体を作製し、乾燥及び焼成後、種々の試験を実施した。

なお、瓦シャモットを煉瓦土に添加すると強度や吸水率等物性が低下するため、あらかじめ焼結材として釉薬スラッジを煉瓦土に10%添加した。

2.3 汚れ

汚れの原因となる汚染物質は、調査した範囲では黒っぽい微粒子であった。そこで汚染物質²⁾として、平均粒子径が20nmのカーボンブラックを用いた。また、汚れの多少を数値化するため、溶液濃度を0.01~0.8%間の7段階に調製して、吸水率がほぼ一定の種々の色調を呈する11種類の標本素地表面にディッピングにより塗布し、未汚染試料と汚染試料の色差を測定した。なお、汚れの試験にあたっては、0.1%以下の濃度ではほとんどの試料が汚れがなく、0.4%以上の濃度では逆にほとんどの試料が汚れたため、汚染物質の濃度は0.2%で行った。

2.4 すべり抵抗値

使用したすべり試験機は、振子型の英国式ポータブル・スキッドレジスタンス・テスターである。測定は、試料面に水を散布した状態で行い、振子の先のゴムスライダーを所定の位置から振り下ろし、スライダーと試料との間の摩擦による減衰を目盛りにより読み取る。測定値の単位はBPN(British Pendulum Number)である。

表2 素地の調合割合 (%)

試料名	煉瓦土	釉薬スラッジ	瓦シャモット (中粒)	瓦シャモット (細粒)	下水道汚泥 焼却灰
N	100	0	0	—	—
O	90	10	0	—	—
A1	80	10	10	—	—
2	70	10	20	—	—
3	60	10	30	—	—
B1	80	10	—	10	—
2	70	10	—	20	—
3	60	10	—	30	—
C1	95	—	—	—	5
2	90	—	—	—	10
3	85	—	—	—	15
4	80	—	—	—	20

なお東京都では、歩行者系道路のカラー舗装材について、基準案として“BPN40以上”を提示している。

2.5 表面粗さ

表面粗さ計を用いて、試料表面を測定し、中心線平均粗さ(Ra値)を求めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 汚れの評価

汚れの評価については、定まった試験方法がなく、主として肉眼観察により汚れの多少を感覚的に表現している場合が多い。そこで肉眼観察による汚れの程度と色差計を用いて測定した色差との間に相関性があるかを検討し肉眼観察を加味した汚れの数値化を試みた。

図1に肉眼観察による汚れの程度と色差との相関性を示す。色差と肉眼観察による汚れの間には相関関係(相関係数0.91、1%有意)があり、汚れは未汚染試料と汚染試料の色差を測定し、回帰式($y=0.31x+1.80$)に代入して得られる数値(以下汚れ尺度という)により評価できることが分った。なお、表3に汚れ尺度を感覚的表現に対応させたものを示す。

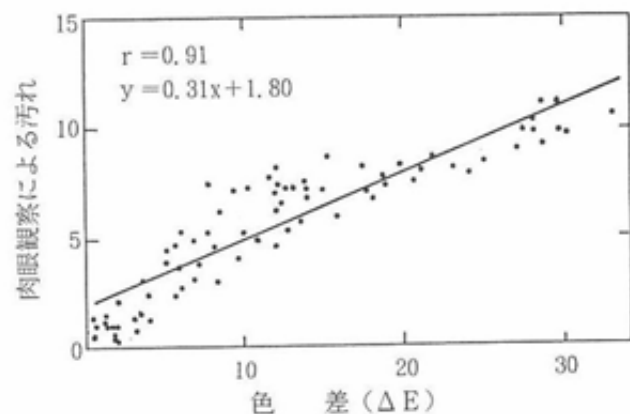


図1 汚れ尺度と色差

表3 汚れ尺度と感覚的表現

汚れ尺度	感覚的表現
0 ~ 2.0	汚れていない
2.0 ~ 4.0	少し汚れている
4.0 ~ 6.0	やや汚れている
6.0 ~ 8.0	汚れている
8.0 以上	非常に汚れている

3.2 市販舗装材の性能評価

舗装材として使用されている製品の汚れやすべり抵抗を測定した。

図2に代表的な舗装材の汚れとすべり抵抗値を示す。テラゾータイル、天然石及びレリーフタイル（縦溝）は、汚れはないが、すべり抵抗値が40BPN以下と小さく、路面が濡れた状態では危険である。一方、テッセラタイルはすべり抵抗値は大きい、汚れがややめだつ。普通煉瓦の化粧面と切断面では、すべり抵抗値と汚れが異なる。滑止めの釉薬が施されている煉瓦は、すべり抵抗値が大きく、汚れも少ない。

3.3 瓦シャモット及び釉薬スラッジ添加による性能改善

煉瓦土に瓦シャモット（細粒、中粒）10～30%及び釉薬スラッジ10%を添加して、汚れとすべり抵抗値の改善を図った。

図3、4に瓦シャモット及び釉薬スラッジを添加した

場合のすべり抵抗値及び汚れの変化を示す。煉瓦土に釉薬スラッジを10%添加すると、すべり抵抗値は減少するが、瓦シャモットを添加すると、すべり抵抗値は増加する。細粒シャモットに比べて、中粒シャモットのほうがすべり抵抗値が大きい。また、煉瓦土に釉薬スラッジを10%添加すると汚れは減少するが、細粒シャモットを添加し、1100℃で焼成した素地は汚れが増加する。ただし、1150℃で焼成した素地の汚れはほとんど変わらない。

瓦シャモット及び釉薬スラッジを煉瓦土に添加した場合、煉瓦土に比べて最もすべり抵抗値が大きく、汚れが少ない素地の調合割合は、煉瓦土60%、中粒シャモット30%、釉薬スラッジ10%で、焼成温度は1100℃である。

3.4 下水道汚泥焼却灰添加による性能改善

煉瓦土に下水道汚泥焼却灰を5～20%添加して、汚れとすべり抵抗値の改善を試みた。

図5に下水道汚泥焼却灰を添加した場合の汚れとすべ

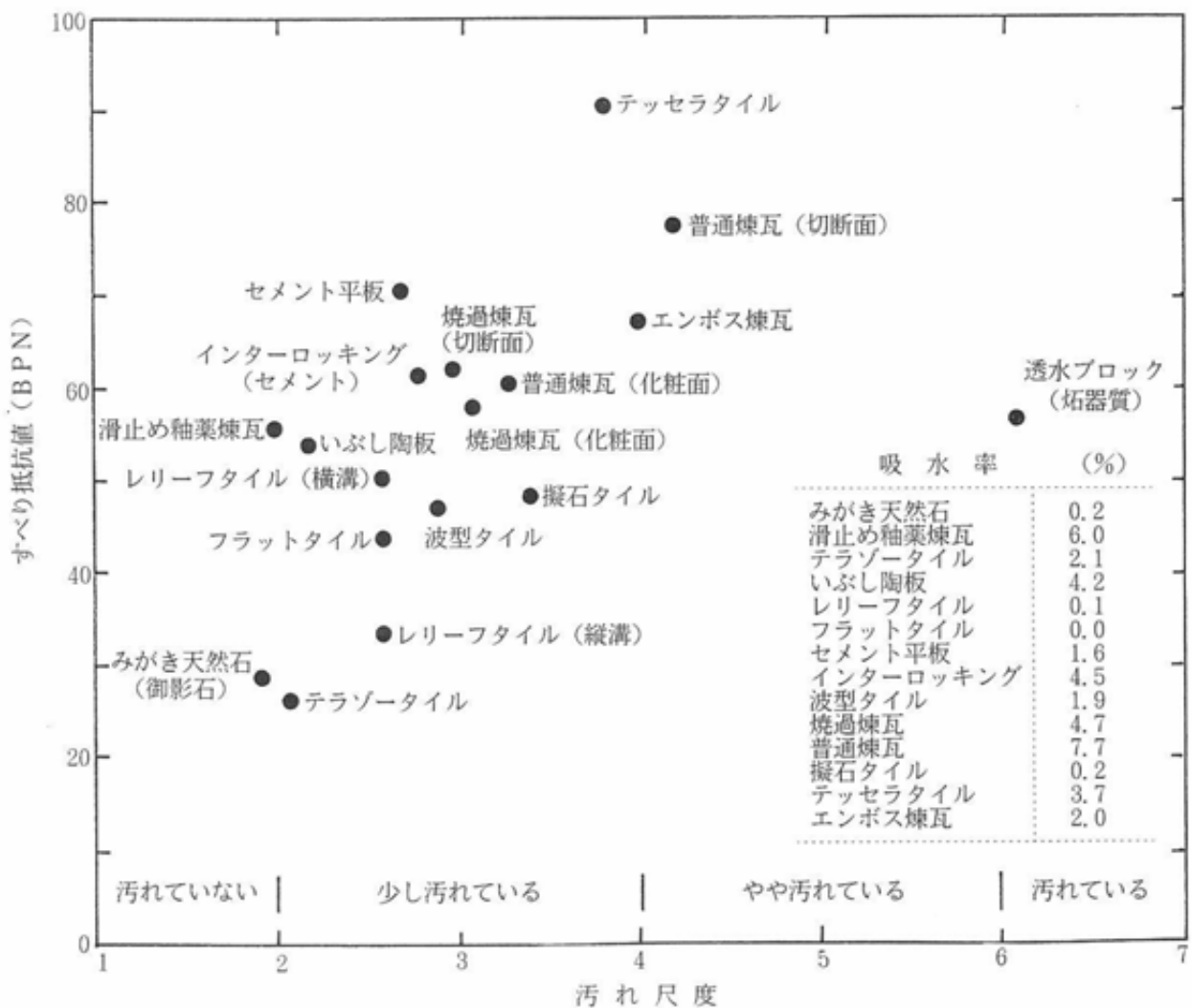


図2 舗装材のすべり抵抗と汚れ

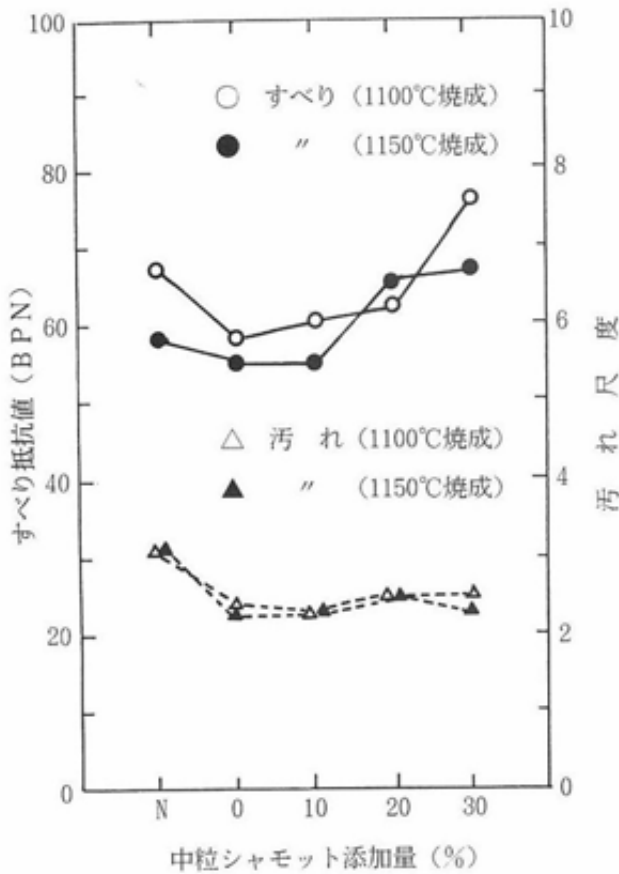


図3 中粒シャモット添加による性能変化

り抵抗値の変化を示す。下水道汚泥焼却灰の添加量が増加するに伴って、汚れは少なくなると同時にすべり抵抗値も増加する傾向を示す。しかしながら、焼却灰に含まれる水溶性の硫酸イオンは3095ppmと通常の粘土に比

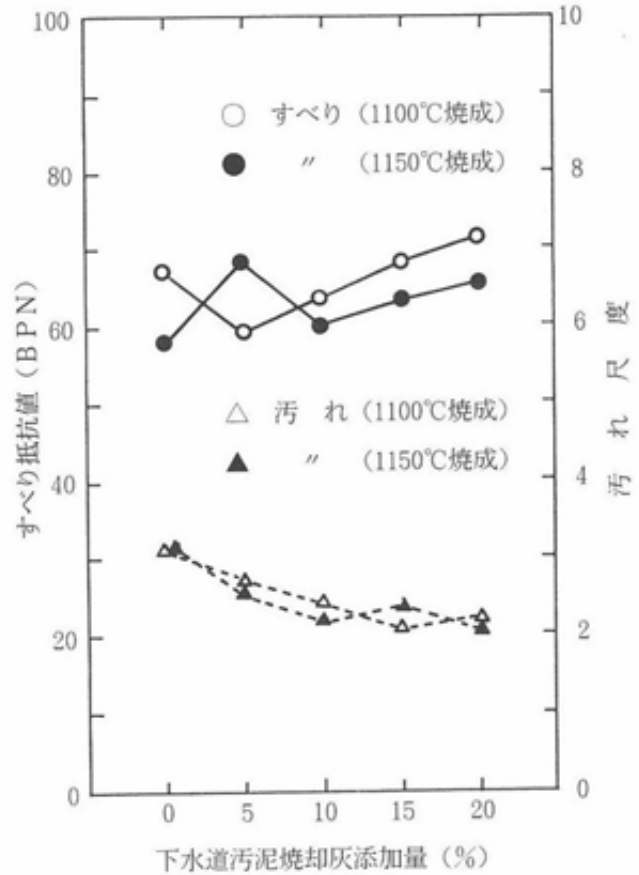


図5 下水道汚泥焼却灰添加による性能変化

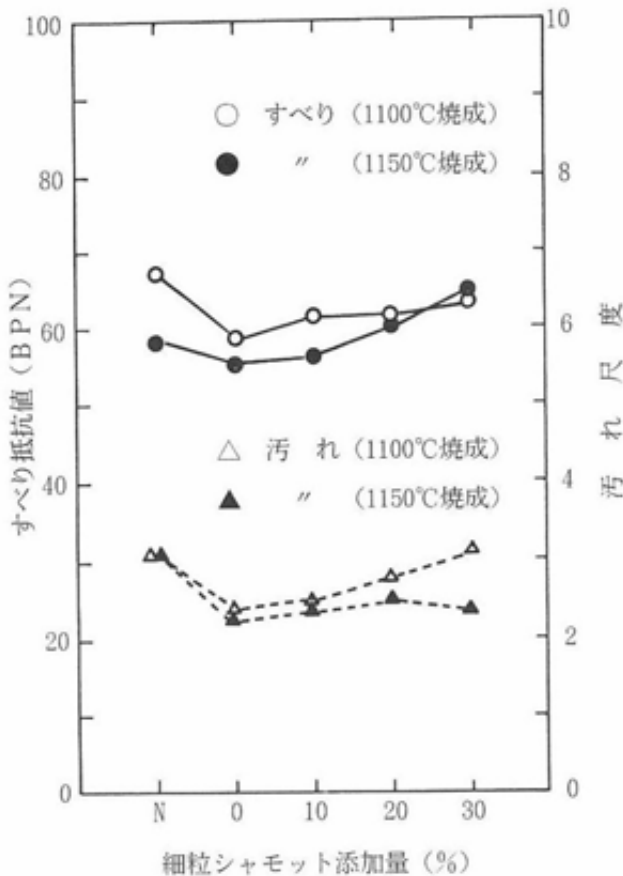


図4 細粒シャモット添加による性能変化

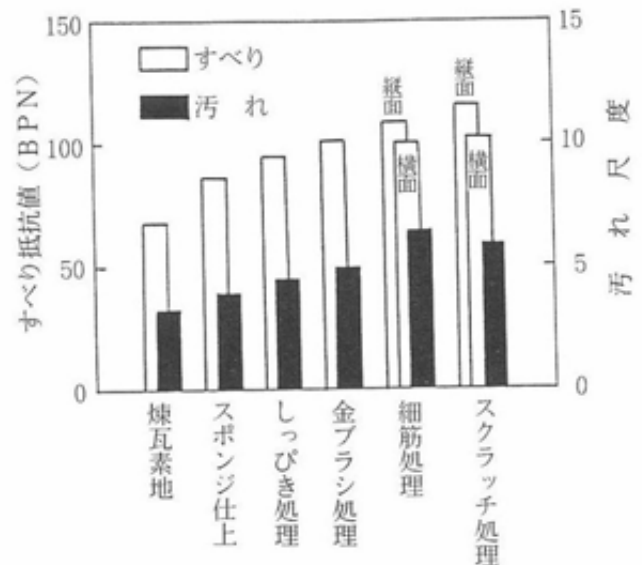


図6 表面処理による性能変化

表4 スポンジ仕上げ素地のすべり抵抗値及び汚れ

試料名	すべり抵抗値 (BPN)				汚 れ 尺 度			
	1100℃焼成		1150℃焼成		1100℃焼成		1150℃焼成	
	未処理	スポンジ仕上	未処理	スポンジ仕上	未処理	スポンジ仕上	未処理	スポンジ仕上
N	67	86	58	83	3.1	3.8	3.1	3.5
O	58	80	55	70	2.4	2.9	2.3	2.5
A 1	60	87	55	75	2.3	2.7	2.3	2.7
2	62	87	65	85	2.5	3.2	2.5	2.6
3	76	88	67	90	2.5	2.8	2.3	2.8
B 1	61	77	56	75	2.5	2.8	2.4	2.7
2	61	88	60	80	2.8	3.5	2.5	2.5
3	63	83	64	83	3.2	3.2	2.4	2.9
C 1	59	88	68	87	2.7	3.9	2.6	3.3
2	63	90	60	83	2.4	3.3	2.2	2.7
3	68	84	63	85	2.1	3.1	2.3	2.7
4	71	84	65	81	2.2	2.3	2.1	2.5

べて極めて多く、10%以上添加した素地の表面には白華が生じた。したがって、製品価値を低減させないためには、下水道汚泥焼却灰の添加量は5%までにとどめておくことが望ましい。下水道汚泥焼却灰を5%添加し、1150℃で焼成した素地は、煉瓦土に比べて、すべり抵抗値が10BPN向上し、汚れも減少する。

3.5 表面処理による性能改善

物理的性質を変えることなしに、ブラシやスポンジ水ぶきで素地表面を処理し、汚れとすべり抵抗値の改善を試みた。

図6に煉瓦素地の表面処理した場合の汚れとすべり抵抗値の変化を示す。スクラッチ、細筋及び金ブラシ仕上げは、すべり抵抗値が増加するが、汚れもひどくなる。一方、スポンジ仕上げをしたものは、汚れをほとんど変化させずにすべり抵抗値を増加させる効果がある。瓦シャモット及び下水道汚泥焼却灰を添加し、開発した素地の表面をスポンジ仕上げして、さらに性能向上を図った。

表4に開発した素地のスポンジ仕上げした結果を示す。スポンジ仕上げしたすべての素地が、未処理の素地に比べて、すべり抵抗値が平均約20BPN (12~27BPN)向上している。また汚れについては、若干増加するものの、すべての素地が少し汚れている分類に属する。したがって素地表面をスポンジ仕上げすることにより、物理的性質及び汚れをほとんど変化させずに、すべり抵抗値を大幅に改善することができる。

3.6 表面性状と各種性能

すべり抵抗値や汚れは、素地表面の凹凸や吸水性に起因するものと考えられる。そこで、すべり抵抗値、汚れ尺度、表面粗さ及び吸水率の4項目について、順位相関係数をとり、市販品を含めた66種類のサンプル測定を行った。

その結果、表面粗さとすべり抵抗値の相関係数は0.60、表面粗さと汚れは0.55、汚れと吸水率は0.42、すべり抵抗値と汚れは0.38でいずれも1%で有意であったが、すべり抵抗値と吸水率は0.28で5%で有意であった。したがって、すべり抵抗値に寄与している要因は主として表面粗さであり、汚れは表面粗さと吸水率である。

更に表面粗さとすべり抵抗値の関係を検討するため透水ブロック(珪器質)、エンボス煉瓦、擬石タイル及び滑止め釉薬煉瓦の4種類を除いた62種類について、サンプル測定を行った。

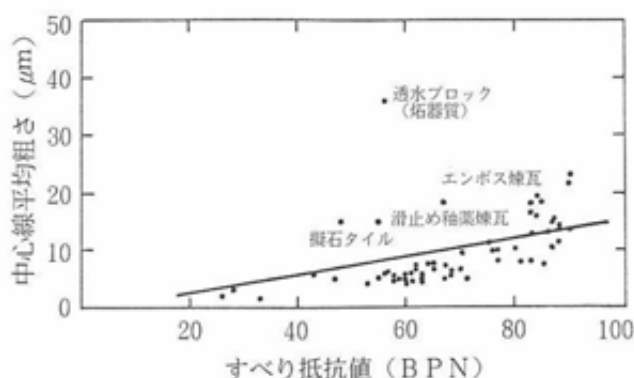


図7 表面粗さとすべり抵抗値

図7にすべり抵抗値と表面粗さの関係を示す。サンプルの相関係数は0.78で、4種類を除かない場合に比べて相関係数が0.18向上する。回帰式より離れた4種類の製品は、いずれも表面が磁器化しており、すべり抵抗値は比較的小さいが、表面がゆるやかな凹凸のため見掛け上、表面粗さが大きくなっている。他の素地及び製品は細かい凹凸が多い。

また汚れは、汚染物質が表面に付着することにより起こるものであるから、表面からの吸水性の大きいものが、汚れやすいと考えられる。しかしながらエンボス煉瓦のように吸水率が2.0%と少ないものでも表面の凹凸(中心線平均粗さ18.5 μ m)が大きいものは、凹凸の間に汚染物質が付着し、汚れを形成する。なお透水ブロックの汚れは、汚染物質が気孔間に付着し、目詰りを起こすことが原因である。

4. まとめ

- (1) テラゾータイル、天然石及びレリーフタイル(縦溝)は、汚れはないが、すべり抵抗値が40BPN以下と小さく、路面が濡れた状態ではすべりやすい。また、普通煉瓦の化粧面と切断面では、すべり抵抗値と汚れが異なる。
- (2) 煉瓦土60%、瓦シャモット中粒(粒径2mm以下)30%、釉薬スラッジ10%の調合割合で1100 $^{\circ}$ C焼成した素地は、煉瓦土に比べてすべり抵抗値が大きく、汚れが少ない。
- (3) 煉瓦土に下水道汚泥焼却灰を5%添加し、1150 $^{\circ}$ Cで

焼成した素地は、煉瓦土に比べて、すべり抵抗値が10BPN向上し、汚れも減少する。

- (4) 素地表面をスポンジで水ぶき仕上げすることにより、物理的性質及び汚れをほとんど変化させずにすべり抵抗値を大幅に改善することができる。
- (5) すべり抵抗値に寄与している因子は主として表面粗さであり、汚れは表面粗さと吸水率である。

5. 付記

本報では舗装材として求められるすべり抵抗や防汚の性能向上について報告したが、耐摩耗性も重要な性能の一つである。JIS A 5209により市販舗装材の摩耗試験を行ったところ、テラゾータイル、セメント平板及びインターロッキング(セメント)の摩耗減量はいずれも0.01gで焼過煉瓦と変わりがなく、JIS規格値(0.1g以下)をクリアしている。しかし実情との間に差異が生じることもあり、今後試験方法の検討、改定等を含めた総合的な評価法の確立が必要と考えられる。

文献

- 1) 福永 均, 浅井邦雄, 長谷川龍三, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 18, 35~38 (1991)
- 2) 石田秀輝, 後藤和昌, (株)INAX, 快適な環境構成に要求されるセラミックスの性能