

ガーデニング用煉瓦素地の開発

福永 均 星 幸二 山本 紀一

Development of Brick Bodies for Gardening

by

Hitoshi FUKUNAGA, Koji HOSHI and Kiichi YAMAMOTO

煉瓦は古くから舗装材、外壁材などの建築資材として利用され、種々の品質の煉瓦が製造されているが、昨今のガーデニングブームに伴って新しい機能や色調を有する煉瓦素材が要求されている。

そこで産業廃棄物であるパーライト再生品、粘土長石、下水道汚泥焼却灰や未利用原料である珪藻土を用いて、ガーデニング用などへ活用できる3種類の煉瓦素地を開発した。(1)煉瓦土に珪藻土を40%添加し、1000℃で焼成することにより保水性に優れた保水素地、(2)パーライト再生品及び粘土長石に炭化ケイ素含有スラッジを1及び2%添加し、1075～1150℃で焼成することにより、かさ比重が0.32～0.67の水に浮き、金のこぎり等により容易に切断することができる軽量素地、(3)煉瓦土に下水道汚泥焼却灰を添加し、500～600℃で焼成することにより、容易に浸食され、崩壊する風化素地である。

1. はじめに

三河地域で生産されている普通煉瓦は主として舗装用に使われているが、輸入煉瓦やリサイクル煉瓦の影響により舗装用に占める割合も徐々に低下している。一方、ガーデニングブームによりイングリッシュガーデンや南欧風ガーデンなど自分好みの庭園をデザインすることも多くなってきており、現在生産されている煉瓦以外に、古びたテクスチャを有するものや簡単に加工できる素材など種々の煉瓦製品が要求されてきている。このような背景を踏まえて平成12年4月、全愛知県赤煉瓦工業協同組合と当センターによるれんが研究会を発足させた。

この研究会では自然環境保全に対応し、産業廃棄物や未利用原料を活用した新しい機能や色調を有する煉瓦開発を目指している。本報は研究会のなかで、当センターが提案した珪藻土添加による保水性に優れた素朴な風合いの保水素地、水に浮き、金のこぎり等で容易に切断加工できる軽量素地及び下水道汚泥焼却灰を用いて容易に浸食されて崩壊する風化素地の3種類について報告する。

2. 実験方法

2.1 使用原料

使用した煉瓦土は三河粘土を主原料とし、三河地域の普

通煉瓦に使用されているものである。

珪藻土は能登産のもので純度は低いですが、可塑性があるためコンロ等へ利用されており、800℃以上から急激に収縮する。

パーライトは食品精製のろ過助材として使用された再生品で、耐火度はSK 1aである。また粘土長石は長石精製時に発生する微細な長石で、鉄分を2%程度含み、耐火度はSK 3aである。炭化ケイ素含有スラッジはアルミナ研磨工程から発生する汚泥で、SiCを約50%含有しており、平均粒子径は3.2μmである。

下水道汚泥焼却灰は矢作川浄化センターより排出したもので、平成5年度に使用した豊川浄化センターの焼却灰¹⁾に比べて粗粒子を多く含み、耐火度は高い。

2.2 試験体作製

表1に各種素地の調合割合を示す。

表1 各種素地の調合割合

素地名	原料及び調合割合(重量%)						
保水素地	記号名	R	K2	K4	K6	K8	K
	煉瓦土	100	80	60	40	20	0
	珪藻土	0	20	40	60	80	100
軽量素地	パーライト再生品	SiC スラッジ					
	粘土長石	1.2%					
風化素地	記号名	R	W1	W2			
	煉瓦土	100	90	80			
	焼却灰	0	10	20			

保水素地…煉瓦土に珪藻土を添加し、湿式プレス成形法によりφ30 × H30mm の試験体を作製し、乾燥後電気炉で焼成した。

軽量素地…パーライト再生品に発泡材として炭化ケイ素含有スラッジを 1 及び 2% 添加し、乾式プレス成形法により W60 × L60 × H20mm の試験体を作製し、電気炉で焼成した。

風化素地…下水道汚泥焼却灰を煉瓦土に 10、20% 添加し、湿式押出成形法により 70mm 立方体の試料を作製し、乾燥後電気炉(昇温速度:1℃/min、最高温度で1時間保持)で焼成した。

2.3 保水試験

保水性を評価する試験として、窯業関係で用いられている普通れんがや陶磁器質タイルの JIS に定められている吸水率測定方法(以下普通吸水率とする)、減圧槽に乾燥試料を入れ真空度 20mmHg 以下の条件で吸水させて吸水率を測定する方法(以下減圧吸水率とする)及び農業関係²⁾で用いられている pF 試験法により保水性を検討した。pF 値は土壌が水を保持する力を毛管上昇の高さの対数値で表したもので、土壌中の水分が比較的安定な状態にある値を選び、その時の含水率を求める方法である。最大容水量(pF=0)は乾燥試料(φ30 × H30mm)をデシケータ内に入れ、試料半分を水に 24 時間浸した後の含水率であり、ほ場容水量(pF=1.5)は最大容水量を求めた含水試料を減圧槽に入れ、水銀柱高さ 24mmHg の条件で 24 時間吸引した後の含水率である。また水分当量(pF=3.0)はほ場容水量を求めた試料を減圧槽に入れ、水銀柱高さ 740~760mmHg の条件で1時間吸引した後の含水率である。

2.4 耐久性試験

耐久性に関しては気象作用のなかで凍結融解作用が最も影響が大きなものとして考えられることから、風化素地を陶磁器質タイル(JIS A 5209)の耐凍害性試験方法により繰返し、試験体に発生するひび割れ等の観察から耐久性能を評価した。また超音波の伝播時間より縦波速度を算出して、試験体の弾性変化を調べた。

3. 実験結果及び考察

3.1 保水素地

3.1.1 物理的性状

表 2 に珪藻土を添加した素地の物理的性状を示す。煉瓦土に珪藻土を添加すると、珪藻土の添加量の増加に伴い、成形水分が多くなるが、水分量の割には乾燥収縮率は変わらない。このことは珪藻殻の微細な気孔中に水分が吸着されるためと考えられる。乾燥強度は添加量の増加により低下する傾向を示した。

800℃及び 900℃焼成後の収縮率で比較すると、珪藻土の添加による影響は顕著には認められないが、1000℃から急激に収縮し、1100℃焼成では珪藻土 40%以上添加した素地の収縮率は 10%以上となり煉瓦土に比べて約2倍以上収縮した。圧縮強さは 1000℃以下の焼成では珪藻土を添加するほど低下する傾向を示すが、1100℃焼成では K2 素地は煉瓦土より大きくなった。かさ比重は珪藻土の添加量が増加するほど小さくなり、K8 素地の 800℃焼成物、K 素地の 800℃及び 900℃焼成物では 1 以下であった。珪藻土を添加すると表面に可溶性塩類による白華現象が見られ、古びた表面呈色を示した。

3.1.2 保水性能

表 3 に珪藻土を添加した素地の吸水特性を示す。

土壌関係で定義されている最大容水量は土壌の保水力の最大限を示すもので、水分が飽和の状態であり、タイルや煉瓦の JIS で規定されている吸水試験方法で得られた普通吸水率とほぼ同程度の値を示し、減圧吸水率よりは小さい値である。ほ場容水量は水分飽和の状態から重力の作用で降下しやすい水(重力水)が速やかに排除されたあと、土壌水が毛管作用で保持される状態であり、ほとんどの試料が最大容水量から約1%小さな値を示した。水分当量は土壌水の毛管内の移動が著しく困難になった状態(毛管連絡切断点: pF=2.7~3.0)の水分量を示すもので、珪藻土を添加した素地は珪藻土中に含まれる微細な気孔の影響により値は大きかった。

表2 保水素地の物理的性状

試料名	成形水分 (%)	乾燥収縮率 (%)	乾燥圧縮強さ (MPa)	焼成収縮率 (%)				圧縮強さ (MPa)				かさ比重			
				800	900	1000	1100	800	900	1000	1100	800	900	1000	1100
R	19.2	3.7	12.8	-0.0	1.1	2.1	5.0	32.5	37.1	46.1	61.9	1.80	1.82	1.88	2.07
K2	26.2	5.3	11.3	-1.4	1.2	3.0	8.4	18.3	25.4	32.7	65.8	1.55	1.57	1.68	2.00
K4	32.0	4.5	8.82	0.8	2.1	5.6	12.2	12.5	17.5	30.1	56.5	1.33	1.36	1.49	1.89
K6	38.5	5.1	5.73	1.2	2.6	6.1	15.4	7.03	11.9	18.1	38.4	1.10	1.15	1.30	1.76
K8	42.8	5.4	6.40	1.2	0.9	5.6	15.9	5.88	10.8	21.9	47.5	0.99	1.03	1.17	1.60
K	44.7	4.6	5.42	0.5	2.3	7.0	16.2	6.73	11.1	16.9	27.7	0.91	0.94	1.08	1.45

表 3 珪藻土添加素地の吸水特性

試料名	吸水特性 (%)					
	減圧吸水率	普通吸水率	最大ほ場容量	ほ場容量	水分当量	保水力 (ほ場-水分)
	(0)	(1.5)	(3.0)	(0)	(1.5)	(3.0)
R 900℃	18.2	16.8	16.8	15.5	11.4	4.1
1000℃	16.0	14.3	14.2	13.0	9.2	3.8
1100℃	10.5	7.4	7.3	6.2	3.3	2.9
K2 900℃	25.6	23.4	23.8	22.5	17.7	4.8
1000℃	21.7	19.2	19.4	18.3	13.7	4.6
1100℃	11.7	8.1	8.2	7.0	4.0	3.0
K4 900℃	34.2	31.3	32.1	30.7	25.0	5.7
1000℃	27.9	24.8	25.2	24.0	20.0	4.0
1100℃	13.6	9.9	9.8	8.5	5.0	3.5
K6 900℃	45.7	41.6	42.8	41.1	33.3	7.8
1000℃	36.5	32.7	33.2	31.6	26.6	5.0
1100℃	16.3	11.4	12.0	10.4	6.2	4.2

()pF値

また土壤においてはほ場容量 (pF=1.5) から毛管連絡切断点 (pF=3.0) までの水分量を保水力³⁾として検討しているものでは、シルト分や粘土含有量が大きく影響するとしている。珪藻土を添加した素地では、珪藻土の添加量が多く、焼成温度が低いほど保水力は大きな値を示した。すなわち、煉瓦土を 1100℃ で焼成した R 素地の保水力は 2.9% であるのに対して、珪藻土を 40% 添加し、1100℃ で焼成した K4 素地は 3.5%、1000℃ で焼成した K4 素地は 4.0% と保水力は向上した。

3.1.3 保水煉瓦の試作

ガーデニング用として使用する際には、地衣類の繁殖を促進でき、また舗装用として使用する際にはヒートアイランド現象の緩和にも効果のある保水性に優れた保水煉瓦を試作し

表 4 保水煉瓦の物性値

品名	圧縮強さ (N/mm ²)	吸水率 (%)	保水力 (%)
試作品(1000℃)	11.7	21.7	2.3
普通れんが	80.2	7.3	1.1
JIS 規格値(2種)	15 以上	15 以下	-

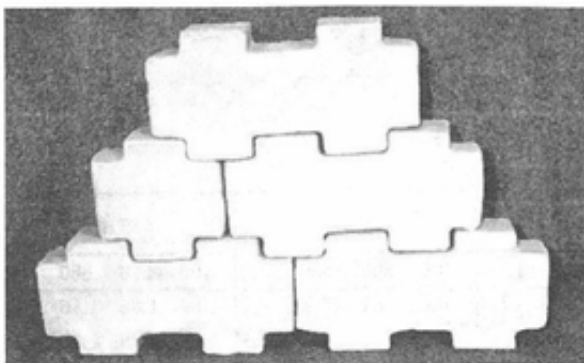


写真 1 試作品(保水煉瓦)

た。煉瓦土に珪藻土を 40% 添加し、1000℃ で焼成したインターロッキング形状の煉瓦で表 4 に物性値を示す(写真 1)。

保水力はほ場容量 (pF=1.5) から水分当量 (pF=3.0) 減じた値である。圧縮強さ、吸水率とも普通煉瓦 2 種の規格値には適合しないが、花壇等で使用するには強度も十分にあり、特に問題はないと考えられる。

3.2 軽量素地

パーライト再生品及び粘土長石に発泡材として、炭化ケイ素含有スラッジを 1 及び 2% 添加し、1075~1150℃ で焼成した。図 1 にかさ比重の変化を示す。

炭化ケイ素添加量の増加と焼成温度の上昇に伴って、材料の発泡が促進され、かさ比重が小さくなった。特に焼成温度は原料の発泡が軟化温度 (耐火度: パーライト再生品 SK 1a、粘土長石 SK 3a) 付近から開始されるため、1100℃ から急激に発泡しかさ比重が小さくなった。パーライト再生品は粘土長石に比べて軟化温度が低いため、より低い温度で 1.0 以下の発泡体を得られた。この発泡体は細かい空孔とガラス質の固相からなり、気孔径 (数 μm ~ 数 mm) は焼成温度と共に拡大し、金のこぎり等により容易に切断することができる(写真 2)。

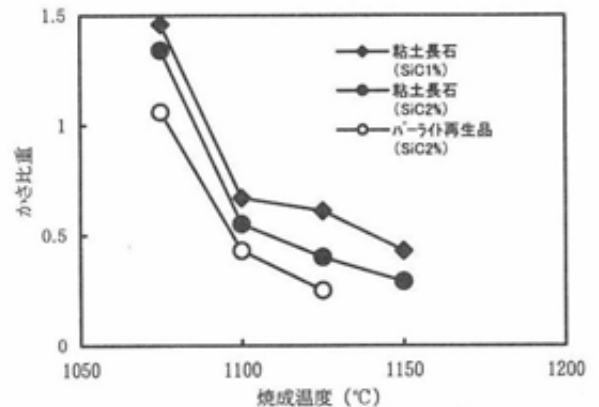


図 1 軽量素地のかさ比重

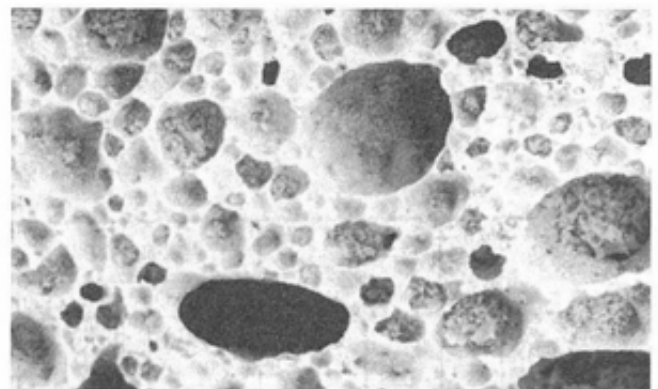


写真 2 軽量素地の断面

さらに原材料の粒度⁹⁾や昇温速度によっても気孔の大きさや量が変化するため気孔制御も可能である。パーライト再生品を用いた軽量素地表面は石材風、粘土長石では蟹の甲羅のようなテクスチャーを示した。

3.3 風化素地

3.3.1 物理的性状

下水道汚泥焼却灰は流域河川や季節の違いにより化学組成や粒度が変動するが、植物の栄養素であるリン分を多く含んでいるため、コンポスト肥料として活用している自治体もある。豊川浄化センターから排出された焼却灰は粒度も細かく焼結性が良いため煉瓦土に添加すると強度等の向上が認められたが、矢作川浄化センターから排出した本実験の焼却灰は45 μ m以上粒度を44.2%も含んでいるため添加効果は顕著に認められなかった。表5に焼却灰添加素地の物性を示す。

乾燥収縮率は焼却灰の添加量が増加するほど小さくなるが、400~600℃焼成後の収縮率は添加量の影響が少なかった。また、400~600℃焼成後の吸水率は焼却灰の添加量が増加するほど大きくなるが、焼成温度の違いによる影響は少なかった。乾燥時及び400~600℃焼成後の圧縮強さは添加量が増加するほど大きくなったが、この原因として焼却灰の骨材作用によるものか内部構造の違いによるものかは判明できない。400℃から500℃にかけて強度は急激に増加した。

3.3.2 耐久性試験

陶磁器質タイルの凍結融解試験法により、400℃、500℃、600℃及び1100℃で焼成した素地を繰り返し試験して試験体に発生するクラックの有無を観察した。また操作後の試験体の伝播速度の減少から耐久性の検討を行った。図2に縦波伝播速度の変化を示す。400℃焼成物は水中に放置しただけでスレーキングを起こして試験体は崩壊した。W1及びW2の500℃焼成物は凍結融解操作4回終了後、Rの500℃焼成物は5回終了後にクラックが発生し、伝播速度は急激に減少あるいは試料崩壊により測定不可能となった。またW2の600℃焼成物は6回終了後にクラックが発生した。1100℃焼成物は10回終了後の異常は認められなかった。500℃焼成物の5回終了時の伝播速度の減少率を比較すると、クラッ

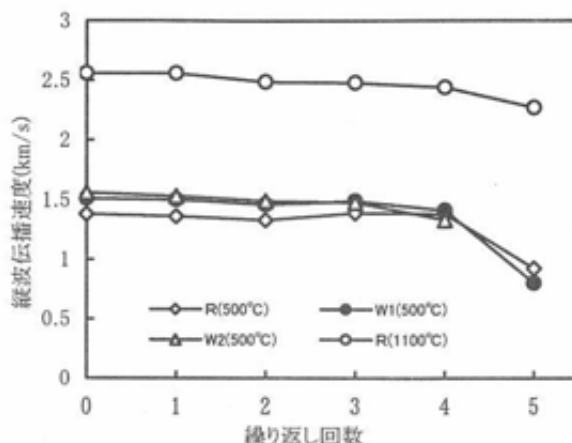


図2 縦波伝播速度の変化

クが発生した時点で伝播速度は急激に減少した。特にW2の500℃焼成物は伝播時間がバラツキ、測定不能となった。またRの1100℃焼成物は異常は認められないが、伝播速度は徐々に低下している。

W2焼成物について、焼成温度による鉱物変化をX線回折により調べた。400℃及び500℃焼成物にはカオリン鉱物が存在しているが、600℃焼成物はカオリン鉱物の構造中のOH基の脱水による非晶質化に伴い、ピークはなくなったが、雲母鉱物のピークは認められた。1100℃焼成物には雲母鉱物のピークはなくなり、メタカオリンの分解構成物から生成したと考えられるムライトのピークが認められた。また煉瓦土及び焼却灰に含まれる鉄分から生成したと考えられるヘマタイトのピークも認められた。石英のピーク高さはほとんど変化ないが、長石のピークは減少していた。

4. まとめ

産業廃棄物や未利用原料を用いて、ガーデニング用などへ活用できる煉瓦素地開発を行った結果、以下のことが判明した。

- (1) 煉瓦土に珪藻土を添加すると、珪藻土の添加量の増加に伴い多孔質になり、素地表面は白っぽく古びたテクスチ

表5 焼却灰添加素地の物性

試料名	成形水分 (%)	乾燥収縮率 (%)	乾燥圧縮強さ (MPa)	焼成収縮率(%)				吸水率(%)				圧縮強さ(MPa)				かさ比重			
				400	500	600	1100	400	500	600	1100	400	500	600	1100	400	500	600	1100
R	20.9	4.3	8.7	-0.1	0.1	-0.2	3.8	15.3	14.2	15.0	7.3	8.0	16.1	18.8	28.2	1.86	1.80	1.76	1.94
W1	19.9	3.0	10.2	0.0	0.7	0.5	5.3	17.1	16.5	17.1	6.9	8.9	19.7	24.8	37.1	1.76	1.78	1.73	1.97
W2	20.3	2.5	10.7	-0.2	0.3	0.5	7.0	18.1	18.3	18.5	6.5	10.3	20.3	25.2	20.6	1.72	1.71	1.68	2.00

ヤーを示した。また珪藻殻の微細な気孔により、成形水分は多く必要とするが、乾燥収縮率は変わらない。

- (2) 煉瓦土に珪藻土を40%添加し、1000℃で焼成したインターロッキング形状の煉瓦試作品は現行の普通れんがに比べて保水力に優れ、地衣類の繁殖を促進でき、ヒートアイランド現象の緩和にも効果がある。
- (3) パーライト再生品及び粘土長石に炭化ケイ素含有スラッジを1及び2%添加し、1075～1150℃で焼成することにより、かさ比重が0.32～0.67の水に浮く軽量素地が得られた。この素地は金のこぎり等により容易に切断することができる。
- (4) 煉瓦土に下水道汚泥焼却灰を添加し、500～600℃で焼成することにより、容易に浸食され、崩壊する風化素地が得られた。

文献

- 1) 福永均, 加藤勝正, 浅井邦雄, 服部金司, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 21, 37～42(1994).
- 2) 社団法人土質工学会編, 土質試験法, 土質工学会(1980) pp.142～157.
- 3) 松尾憲一, 農業技術研究所報告, B14, 338～350(1964).
- 4) 山口知宏, 山崎達夫, 伊藤政巳, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 20, 5～10(1993).

謝辞

pF 試験方法についてご指導いただいた愛知県農業総合試験場環境化学研究室 加藤 保室長に感謝致します。