

論文 常温養生カリウム (K) 型ジオポリマー左官用モルタルの調製と諸特性

上原 元樹*1・佐藤 隆恒*2・小坂 征雄*3・山口 正廣*4

要旨：フライアッシュと高炉スラグ微粉末を活性フィラーとし、水ガラスを使用せずアルカリ溶液として水酸化ナトリウム(NaOH)あるいは水酸化カリウム(KOH)を使用した左官用ジオポリマー (GP) モルタル (Na-GP, K-GP と記す) を「Si 成分粉体添加その場溶解法」で試作した。その結果、K-GP は Na-GP と比較して粘性が低く、左官作業性が良好であり、白華が発生しなかった。また、K-GP は 1150°C の高温でも溶解せず Na-GP と比較して高温耐性が優れていた。一方、K-GP の強度発現は Na-GP と比較して遅く、配合による収縮特性の差が大きいこと、下地処理の影響を受けやすい等の相違があることがわかった。

キーワード：ジオポリマー, 左官, 常温養生, アルカリ/水比, KOH, NaOH

1. はじめに

筆者らは高炉スラグ微粉末 (以下 BFS) で一部置換したフライアッシュ (以下 FA) を出発材料として用い、蒸気養生でジオポリマー(GP)プレストレストコンクリート(PC)まくらぎ¹⁾や繊維補強 GP 短まくらぎ²⁾を試作しており、GP-PC まくらぎは営業路線に試験敷設もしている³⁾。一方、GP の高耐火性や高耐酸性を活かして、それを補修用の材料として使用する試みも行われている⁴⁾。しかし、GP はフレッシュ状態の粘性が高いためコテに付着するあるいはのびが悪く、一般的なセメントモルタルと比較して左官作業性が悪いこと、常温養生では収縮の影響が大きくひび割れが生じやすいこと⁵⁾等、実用化に際して問題が残っていた。そこで、筆者らは、水ガラスを使用しない「Si 成分粉体添加その場溶解法」(以下、溶解法)を用いることや、適切な配合を選定することで諸問題を解決し、GP モルタルが左官作業用モルタルとして十分に実用化可能であることを示した⁶⁾。

ここで、上原他⁶⁾で試作した GP モルタルはアルカリ源としてナトリウム(Na)系材料を使用したもの (以下、Na-GP) である。試作した GP モルタルは下地セメントモルタル板に対する左官施工時の作業性や付着強度も良好でひび割れも全く生じなかった。したがって、Na-GP が左官用モルタルとして実用的に使用可能であることが示されたが、水や掃除機での洗浄・除去は簡単であるものの綿状の白華が発生すること等、さらなる改良点が残された。また、左官作業性に関しても、十分に実用的に使えるものであったが、一般的なセメントモルタルの作業性と比較した場合、さらなる改良が求められた。ここで、GP の配合においてカリウム(K)源を使用した GP (以下、K-GP と記す) は、凝結が生じにくく可使時間が延伸し、粘性も低くなることから、Na-GP に対して作業性の大き

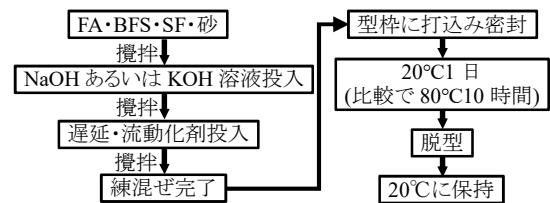


図-1 溶解法による GP モルタル供試体作製手順

な向上が期待される。しかし、一般的に水酸化カリウム (KOH) は水酸化ナトリウム (NaOH) と比較して高コストであるため、土木材料としての研究例は少なかった。しかし、左官補修における原材料コストの試算では、KOH でも実用化できることがわかった。

そこで、本研究では、既報告の Na-GP の配合⁶⁾を基本として、アルカリ源を KOH とした左官用 K-GP モルタルを試作し、アルカリ源による性質の相違を検討した。

2. 試料の作製

2.1 各種試験用 GP モルタル供試体の作製方法

GP 硬化体の作製は、上原他⁶⁾で左官用 GP モルタルを作製した手法を踏襲し、「溶解法」で作製した。これは、水ガラスを用いず Si 成分としてシリカフェーム (以下 SF

表-1 使用材料

材料名	記号	規格等
フライアッシュ	FA	JIS I種 5460cm ² /g (JIS A6201) 密度:2.40g/cm ³
高炉スラグ微粉末	BFS	4000cm ² /g (JIS A 6206) 石膏添加:無 密度:2.91g/cm ³
細骨材	S	JIS セメント強さ試験用標準砂(表-2) 3号4号6号珪砂の混合物(表-3)
シリカフェーム	SF	JIS A 6207 相当

*1 公益財団法人鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 博士 (工学) (正会員)

*2 公益財団法人鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 修士 (工学) (正会員)

*3 カドヤ工業株式会社 営業・技術部

*4 株式会社タカボシ 神奈川支店 横浜営業所

表-2 GP モルタル供試体の作製配合

配合	FA	BFS	SF	砂	NaOH	KOH	GNa	水	A/W	Si/A	W/P
	Kg/m ³								モル	体積	
Na-1	317.1	256.4	11.6	1585	80.6	---	2.64	133.3	0.10	0.20	0.795
Na-2	314.1	254.0	17.3	1571	119.8	---	2.62	111.7	0.15	0.20	0.797
Na-3	311.4	251.8	22.9	1557	158.4	---	2.60	90.5	0.20	0.20	0.799
K-1	321.1	259.7	10.8	1606	---	105.6	2.64	107.7	0.10	0.20	0.729
K-2	318.4	257.4	16.3	1592	---	158.3	2.62	80.3	0.15	0.20	0.735
K-3	315.8	255.4	21.7	1579	---	211.0	2.60	52.9	0.20	0.20	0.741
K-4	318.4	257.4	8.1	1592	---	158.3	2.62	80.3	0.15	0.10	0.735
K-5	318.4	257.4	24.4	1592	---	158.3	2.62	80.3	0.15	0.30	0.735

GNa:グルコン酸ナトリウム, NaOH 及び KOH:48%水溶液

と記す)を出発粉体に加える手法である。図-1に左官用 GP モルタルの作製手順を示す。

2.2 各種試験用 GP モルタルの作製配合

表-1に各種試験に使用した材料を示す。各種試験に供した GP モルタル配合 Na-1 から K-3 を表-2に示す。また、Si/A 比が左官作業性に影響することが考えられるため、左官作業性の検討試験では Si/A を変えた K-4 及び K-5 の配合も作製した。作製方法及び配合記述は、既報告の上原他⁶⁾に従い、使用溶液におけるアルカリ成分と水とのモル比(以下、A/W 比)と SF 中のケイ素と溶液中アルカリ成分とのモル比(以下、Si/A 比)の各モル比で示した。K-GP の配合における W/P 比(表-2, 表-3における「FA+BFS の体積 P」に対する「水量+KOH 及び NaOH 溶液中の水分量 W」の体積比)は各フロー値が配合 Na-2 のフロー値とおおよそ同様となるよう調整した。

表-3は K-2 をより実施工に近い形で普通ポルトランドセメント(OPC)モルタル下地に左官施工したときの配合である。また、比較のために、上原他⁶⁾で同様の試験で実施した Na-2 相当の配合も併せて記す。表-2の配合を基準とし、実施工に則ってハンドミキサーで練り混ぜを行い、実際の施工環境での作業性を考慮した結果、表-2の配合より、やや W/P 比の大きい配合となっているが、Na-GP と比較すると K-GP の水量は 14%程度少ない結果となった。

2.3 左官作業性及び諸特性確認試験

10cm×10cm×1cm の合板性型枠に表-2の配合で作製した GP モルタルを下向きに左官施工し、コテ切れ、伸び等、その作業性を評価した。施工後は 20℃環境下に静置し、白華発生状況、ひび割れの有無を確認した。なお、コテ塗りの作業性評価は、左官作業経験 41 年で一級左官技能士の資格を有する左官作業実務者が施工したときの主観的な評価である。

上記試験により選定した配合の GP モルタルをハンドミキサーで作製し、厚さ 10mm の OPC モルタル下地に縦 400×横 900×厚さ 10mm の寸法で左官施工し、その作業性を確認した上で神奈川県横浜市の屋外(1月~3月)に暴露した。なお、施工に当たっては、一つはモルタル下地の表面のほこりを拭き取る程度で特別な処理は行わず、一つは水湿し処理を実施した。また、建研式の接着

表-3 左官施工時のモルタルの作製配合(Si/A=0.2)

配合	FA	BFS	SF	砂	NaOH	KOH	GNa	水	A/W	Si/A	W/P
	Kg/m ³								モル	体積	
Na-2*	305.9	247.3	19.3	1529.3	133.5	---	2.55	123.2	0.15	0.15	0.907
K-2*	314.9	254.8	17.4	1575.4	---	165.8	2.62	84.1	0.15	0.15	0.779

GNa:グルコン酸ナトリウム, NaOH 及び KOH:48%水溶液
Na-2*は上原他⁶⁾で実施した Na-GP の配合

力試験器により GP モルタルと OPC モルタル下地との付着強度を材齢 28 日で測定した。測定には 40mm 四方のアタッチメントを使用した。

2.4 各種分析方法

φ5×10cm の GP モルタル供試体に関して JIS A1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して圧縮強度を測定した。表-2の配合から砂成分を除いた配合で作製した材齢 28 日の GP ペーストの生成物を粉末 X 線回折により同定し、その結晶構造を ²⁹Si-MAS NMR で検討した。硫酸浸漬試験では、5%濃度の硫酸に φ5×10cm の材齢 28 日の GP モルタル供試体を 28 日間浸漬し、JIS A1108に準拠して圧縮強度を測定した。耐熱性試験では、材齢 28 日の GP モルタル供試体を電気炉により 600~1000℃で 2 時間保温(昇温速度:20℃/分, 降温速度:徐冷)した後、上記と同様に圧縮強度を測定した。また、一宮他⁷⁾に準拠して製氷皿(およそ 2cm×2cm×10cm)に打ち込んだ棒状ペースト供試体(材齢 28 日)を電気炉で加熱し、加熱冷却後の形状から熔融状況を評価した。収縮試験は、4cm×4cm×16cm の供試体の側面に脱型直後にチップを取り付け、20℃、60%相対湿度の雰囲気静置してコンタクトゲージによりひずみ量を測定した。

3. 結果と考察

3.1 フレッシュ性状、圧縮強度と生成物

表-4に表-2の配合にしたがって作製した配合 Na-1 から K-3 の GP モルタルのフレッシュ性状と圧縮強度を示す。15 打フロー値を 150mm 程度となるよう調整したが、K-GP の方が、ややフロー値が大きい場合でも W/P(体積比)が小さく水量が少なくなった。また、K-GP では凝結が遅く、SF の溶解により粉体量が減少するため練上がり 50 分後のフロー値の方がむしろ大きくなる傾向が認められた。28 日強度では Na 系と K 系 GP は同一配

表-4 GP モルタルのフレッシュ性状と圧縮強度

配合	モルタルフロー				練上がり温度	圧縮強度			
	練上がり直後		練上がり 50 分後			20℃		80℃	
	0 打	15 打	0 打	15 打	1 日 7 日 28 日 10 時間				
	mm				℃	MPa			
Na-1	110	154	---	---	22.8	3.4	47.0	70.4	58.5
Na-2	119	155	---	---	22.4	11.3	46.5	75.3	75.5
Na-3	113	149	---	---	24.6	9.0	43.7	81.2	86.0
K-1	110	148	---	---	21.7	3.3	48.5	69.7	59.8
K-2	123	164	132	180	21.4	4.7	46.4	82.1	70.8
K-3	128	172	---	---	21.3	2.5	39.7	83.8	80.4

---:測定未実行

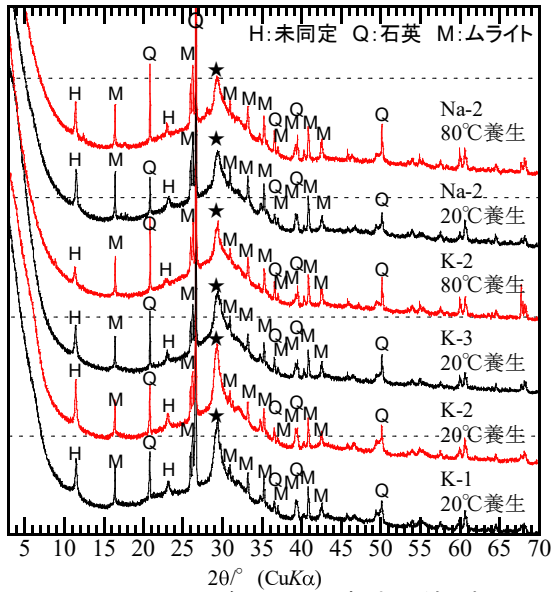


図-2 K-GP 及び Na-GP の粉末 X 線回折図

合で、ほぼ同じ強度を示したが、1日強度はK系の方が低い傾向を示し、K-GPの強度発現がNa-GPと比較して遅いことがわかった。また、GPの圧縮強度はA/W（モル比）に相関することが知られている⁹⁾が、20℃養生の試料では、既報告の80℃で養生した試料の例⁹⁾と比較して、配合による強度差は小さかった。これは、佐藤他⁹⁾で示されたように、一般的にFAは高温・高A/W比でよく反応し、配合による強度差が大きくなるが、常温領域ではBFSの反応が支配的になるためその差が小さかったものと考えられる。

図-2は表-2の砂成分を除いて同一配合で作製したGPペーストのX線回折図である。結晶物質はFA起源の石英とムライトである。2θ(CuKα)=11.4°のピークは、上原他⁹⁾でも認められたが、現在の所、同定されていない。ここで、BFS置換量が40体積%と比較的多い今回の試料では、X線回折におけるFA由来物質のハロー位置（非常にブロードな山のような盛り上がり）の識別が困難であった。2θ=30°近傍にはケイ素の一部をアルミニウムで置換した主にBFS起源のケイ酸カルシウム水和物（C-S(A)-H）に起因するブロードなピーク（図中の★）が各試料に認められた。K-1～K-3の20℃養生試料にお

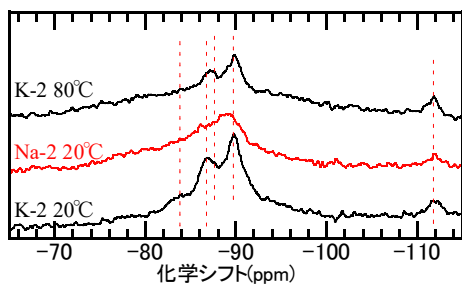


図-3 ²⁹Si-MAS NMR スペクトル図

表-5 GPモルタルの左官作業性状と仕上り状況

配合	コテ作業開始時間(分)				仕上り	白華除去性		ひび割れの有無
	10	20	30	50		掃除機可	水洗可	
Na-1	○	○	△ ₂	△ ₂	◎	◎	○	◎
Na-2	○	○	○	△ ₂	◎	△	○	◎
Na-3	△ ₁	△ ₁	△ ₁	×	△	△	×	◎
K-1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
K-2	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△
K-3	○	○	○	○	◎	◎	◎	○
K-4	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
K-5	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△

コテ作業性の評価

◎:伸び良好。コテ附着なし、○:粘が高いがコテ附着量は少量

△₁:粘が高くてコテに附着、△₂:伸びが悪いがコテ作業可能

×:硬化によりコテ作業不可

仕上りの評価:表面の平滑度を外観から評価

◎:良好、○:普通、△:やや粗い、×:粗い

白華生成量の評価:生成量を外観から評価

◎:発生無し、○:少量、△:やや多い、×:多い

白華除去性の評価:掃除機可

○:綿の様で掃除機で簡単に除去可、×:掃除機で除去不可

白華の除去性の評価:水洗可

○:水溶性で水洗により簡単に除去できる

ひび割れ発生の有無

◎:発生せず、○:ほとんど発生せず、△:微小ひび割れ有り

いて、このピークを比較すると、その差は顕著ではないが、A/W0.15の試料のピーク強度が大きく、シャープな形状（半価幅が小さい）を示した。また、K-2の80℃養生試料では、20℃養生試料と比較して、このBFSに関連したピークの強度がわずかに低下し、ブロードとなる傾向を示した。これらの結果は、佐藤他⁹⁾において、高温・高A/W比でFAが良く反応するとして報告と矛盾しない。一方、Na-GPとK-GPの差は大きくはないが、C-S(A)-HのピークがNa-GPの方がやや小さくブロードであった。その差は小さいため明確ではないが、下記に示す²⁹Si-MAS NMRの結果と考え合わせると、K-GPにおけるC-S(A)-Hの結晶化がより進行したものと考えられる。

図-3はK-2の20℃試料、80℃試料、Na-2の20℃試料の²⁹Si-MAS NMRスペクトルである。共通して認められる-112ppmのピークはFA中で残存する石英によるピークと考えられる。ここで、非晶質であるGPにおいて特に活性フィラーをFAとBFAの混合系とした場合、FAから生じる物質あるいはBFSから生じる物質のスペクトルの分離は困難であり正確なスペクトルの帰属は難しい。一般的にFAから生じるゼオライト類似の非晶質3次元構造の物質が増加すると、高磁場側（例えば-90ppm

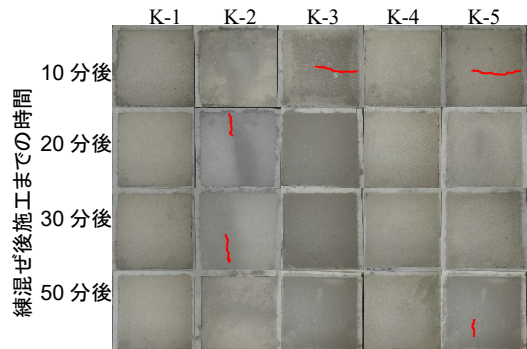


図-4 GPモルタル左官施工供試体の外観写真

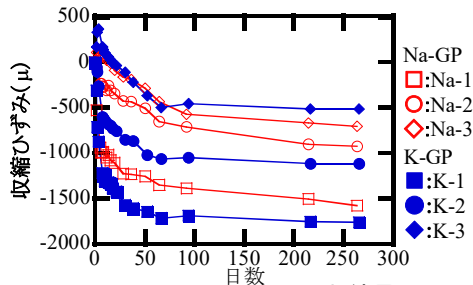


図-5 GP モルタルの収縮量

より右方)の強度が高くなり、BFSの反応量が増えるとより低磁場側(例えば90ppmより左方)のスペクトルが増大する。K-2では、80°C養生試料と20°C養生試料のスペクトルの差は小さく、やや20°C試料の方がピーク強度は大きかった。これは、本配合における生成物の構造は同様であり、X線回折で認められたように20°C試料でBFSの反応がより進行したことが示唆されるが、その差は大きくないものと推察される。一方、Na-GP、K-GPの20°C養生試料に関してもスペクトル位置と強度比に大きな差はなく基本的には同様の構造が生じているものと考えられる。しかし、K-GPのスペクトルの方がNa-GPと比較してピークの分離が明確であった。これは、X線回折において、K-GPのC-S(A)-Hのピークの方がややシャープだった結果と一致し、K-GPにおいてBFSから生じたC-S(A)-Hの結晶化がNa-GPのそれよりは進行した可能性を示唆するものである。

3.2 左官作業性及び諸特性確認試験結果

表-5に表-2の配合で作製したGPモルタルを100mm×100mm×10mm厚に、コテ塗り作業を行い、その性状を確認した結果を記す。図-4は表-5におけるGPモルタル左官施工の外観写真である。なお、ひび割れは微細で写真での確認が困難なため赤線で強調して記している。K-GPは上原他⁹⁾におけるNa-GPと比較して、同一配合において全試料でコテ塗り作業性は良好であり、白華も発生しなかった。これは、Na-GPで生じる白華がNaの炭酸塩であるのに対し、K-GPではKの炭酸塩と異なるためと考えられるが詳細は不明である。ただし、Na-GPでは全く発生しなかった微細なひび割れが、K-GPでは硬化時点で図-4に示すように配合により生じた試料もあった。なお、ここで観察されたひび割れは、進行性が認められず、後で示す結果から硬化前の諸条件の影響で生じているものと推察された。

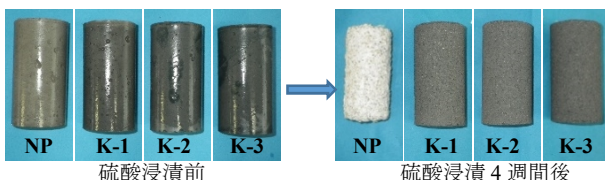


図-6 K-GP モルタルの硫酸浸漬前後の写真

表-6 硫酸浸漬試験結果

配合	質量変化率	硫酸浸漬前 圧縮強度	硫酸浸漬後 圧縮強度	圧縮強度 変化率
	%	MPa		%
Na-1	-0.32	78.5	76.4	-2.7
Na-2	-0.08	79.3	77.2	-2.7
Na-3	-0.04	79.8	75.5	-5.5
K-1	-0.25	69.7	55.7	-20.1
K-2	-0.20	82.1	75.8	-7.7
K-3	-0.11	83.8	76.9	-8.2

3.3 K-GP モルタルの諸性質

図-5は表-2におけるNa-1からK-3の配合で作製した各モルタルに関して、40×40×160mmの試料を用いて材齢1日の脱型時からの収縮量を20°C湿度60%の環境で測定した結果である。Na-GPと比較してK-GPでは、配合による収縮量の差が大きくA/W比の小さい試料で収縮が大きくなる傾向は同様であった。ただし、これらの結果は、例えば収縮の大きいA/W=0.1で、ひび割れが生じなかったこと等、左官作業性を検討した試料のひび割れ発生状況とは一致しなかった。これらの結果と左官作業確認試料でひび割れが硬化直後に認められ、進行性がなかったことと考え合わせると、K-GPで生じた微細なひび割れは、硬化前から硬化時に生じたものと考えられる。詳細は不明であるが、木製型枠の吸水や移動による振動等の影響が考えられることから、Na-GPと比較して粘性が低いK-GPは硬化前の下地の吸水等の影響を受けやすいものと考えられる。

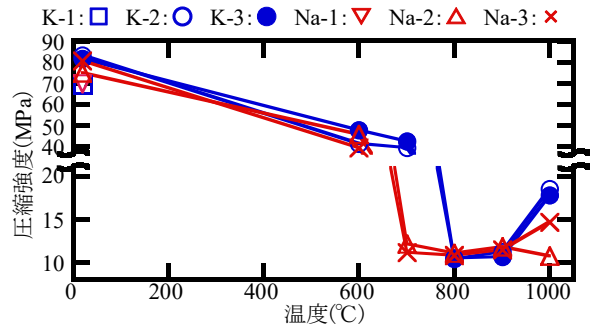


図-7 GP モルタル加熱試料の圧縮強度

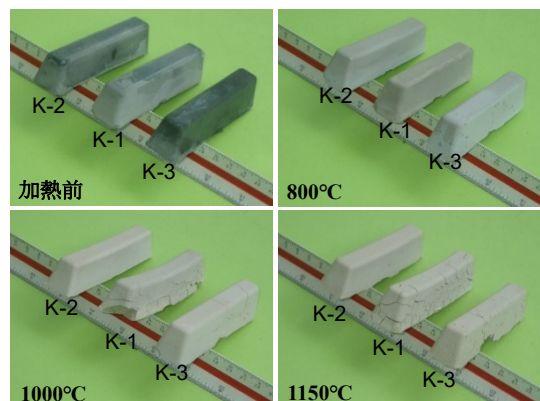


図-8 加熱冷却後の棒状K-GPペーストの写真

図-6は K-1~K-3 の GP モルタルの硫酸浸漬前後の写真であり、表-6 は比較のために Na-1~Na-3 の結果も併せて 28 日経過時の質量変化と圧縮強度の変化を記したものである。硫酸浸漬で各試料表面の光沢がなくなり、最表面が溶脱し、表面から 2mm 程度の領域で、ざらつく様子が認められるが特別な生成物は認められないことは、上原他⁹⁾における Na-GP の結果と同様である。また、K-GP の質量変化率は-0.11 から-0.25%と小さく A/W=0.15 以上の試料では Na-GP との差も小さかった。したがって常温養生の K-GP の酸に対する抵抗性は、Na-GP と大きな差はなく、高い耐酸性を有することが確認された。

図-7に配合 K-1 から K-3 の GP モルタルの加熱温度に対する圧縮強度の変化を記す。比較のために上原他⁹⁾で実施した Na-GP (本論文における配合 Na-1~Na-3) の試験結果を併せて示す。K-GP は Na-GP の結果と同様に A/W=0.10 の配合では 600℃以上で爆裂した。一方、A/W=0.15 及び 0.20 の K-GP では、700℃までは微細なひび割れも認められず、800℃~1000℃では表面に微細なひび割れが観察される程度で大きな変化はなかった。K-GP と Na-GP を比較すると、Na-GP が 600℃加熱時まで 40MPa~50MPa 程度の圧縮強度を維持するのにに対し、K-GP では 700℃まで同様の強度を維持した。また、800~900℃は 10MPa 程度の強度となることは同様であったが、1000℃で K-GP は強度が増加した。

図-8に K-1~K-3 の加熱冷却後の棒状ペースト供試体の外観を、表-7 に変状の一覧を示す。比較のために、上原他⁹⁾において Na-1~Na-3 の配合で作製した棒状ペーストの変状も併せて表-7 に示す。一宮他⁷⁾では、この棒状ペーストの加熱試験により、加熱時に変形せずに原形を留めているかがわかるとしている。

ここで、表-7 に示すように Na-GP では 1150℃の加熱で溶融し原形をとどめないが、K-GP では全ての試料で 1150℃において溶融は認められなかった。また、配合 K-2 の試料では、ほとんどひび割れが認められないこと等、同一配合において K-GP は Na-GP より高温耐性が高い傾向が観察された。なお、モルタルにおいて、A/W0.10 の供試体は、Na-GP 及び K-GP 共に 600℃以上で爆裂したがペーストでは爆裂は観察されなかった。ただし、A/W=0.10 の試料のひび割れ量は多く、A/W 比が低いときに加熱耐性が劣る結果となることは一宮他⁷⁾との結果とは異なっている。これは本試験が常温養生であるのに

表-7 棒状ペースト供試体の変状

配合	Na-1	Na-2	Na-3	K-1	K-2	K-3
A/W	0.10	0.15	0.20	0.10	0.15	0.20
Si/A	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
1150℃-2h	×	×	×	△	◎	○
1000℃-2h	△	○	△	△	◎	○
800℃-2h	○	◎	◎	○	◎	◎

◎:少量の細かいひび割れ, ○:細かいひび割れ,
△:大きなひび割れ, ×:原形を留めない(発泡, 溶融)

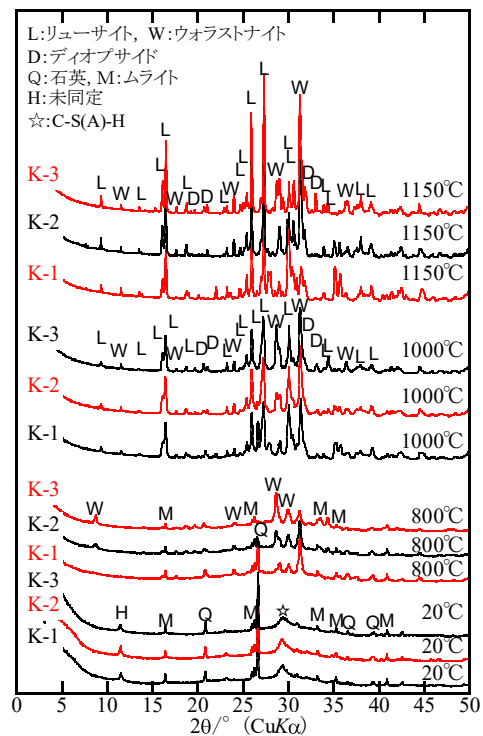


図-9 K-GP ペースト加熱試料の X 線回折図

対し、一宮他⁷⁾が加温養生であること、本試験が水ガラスを使用しない溶解法であることに対し、一宮他⁷⁾が水ガラスを使用する一般法であること等で生成物が異なるためと推察されるが、詳細はさらに検討が必要である。

図-9に加熱冷却後のペースト試料の粉末 X 線回折図を示す。配合による差は小さく C-S(A)-H によるブロードなピークは、800℃では消失している。このことから、800℃で GP における C-S(A)-H は残存していないことは上原他⁹⁾で報告された Na-GP の結果と同様である。800℃以上の Na-GP では結晶質物質として、Ca サイトの一部を Na で置換したメリライト (Ca₂MgSi₂O₇-Ca₂Al(AlSi)O₇ の固溶体)¹⁰⁾やネフェリン (NaAlSi₃O₈) 等が新たに生じたが K-GP ではリューサイト (KAlSi₂O₆)、ウォラストナイト (CaSiO₃) やディオプサイド (CaMgSi₂O₆) が生じた。したがって、K-GP が Na-GP と比較してより高温で融解しないのは、これら高温生成物のアルカリ融解に対する抵抗性が高いためと考えられる。しかし、例えばネフェリンとリューサイトの複合焼結体は各試料の融点 (ネフェリン 1250℃, リューサイト 1400℃) より低温で溶融することも報告されている¹¹⁾ため、Na-K 混合系の GP の融解特性は改めて検証する必要がある。また、上記の高温生成物は使用骨材の影響も受けるため GP 硬化体部分の配合の他に使用した骨材の構成鉱物・成分にも着目する必要があるものと考えられる。

3.4 左官 GP モルタルの屋外曝露試験結果

図-10は K-GP を 10mm 厚でモルタル下地に表-3 の配合で左官施工した写真である。そのときの作業性の評

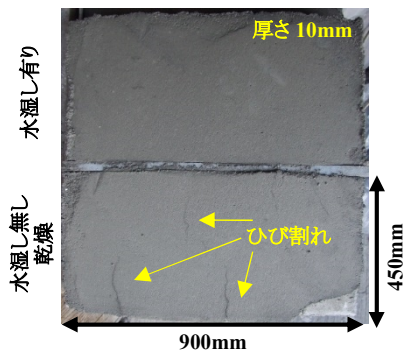


図-10 K-GP (K-2*) モルタル施工写真

表-8 K-GP モルタルの左官作業性状と付着強度

配合	下地処理	白華	コテ作業性	ひび割れ 剥離	付着強度 (MPa)
K-2*	乾燥	なし	◎	×	---
K-2*	水湿し	なし	◎	◎	2.31

コテ作業性の評価

◎:Na-GP より伸び良好。コテ付着なし

ひび割れ、剥離の評価

◎:2ヶ月経過時にひび割れ及び剥離なし

×:ひび割れ剥離有り

付着強度の評価

材齢 28 日時における建研式接着力試験結果

価を表-8 に記す。K-GP は Na-GP と比較して、コテ作業性が非常に良好で平滑な面に仕上がりがやすい。また、モルタル下地との付着強度も 2.31MPa と十分な強度が得られた。一方、表-4 に示されるように K-GP は硬化反応が Na-GP と比較して遅く、冬期で気温が低い場合には、軽歩行が可能となるのに 1 日を要した。また、K-GP は Na-GP と比較して下地処理の影響が大きく、Na-GP では特に水湿し等の処理を実施しなくても良好な付着が得られ、ひび割れは発生しなかった⁹⁾が、K-GP では十分な水湿しを実施しない場合には剥離傾向となりひび割れが発生した。これは、図-4 の結果とも関連し K-GP の粘性が Na-GP と比較して低く、下地によってはドライアウト傾向になりやすいためと考えられる。ここで、GP でしばしば問題となる白華に関して屋外暴露でも K-GP では発生しなかった。

4. まとめ

種々の配合の GP モルタルの左官作業性、諸性質を既報告 Na-GP と比較検討した。その結果を下記に記す。

- (1) K-GP の粘性は低く、左官作業性は Na-GP と比較して非常に良好であった。
- (2) K-GP では白華は発生しなかった。
- (3) K-GP で 1150°C の加熱時にも熔融は認められず高温耐性は Na-GP と比較して高い。
- (4) K-GP の強度発現は Na-GP と比較して遅く、ひび割れ生成等において下地処理の影響を受けやすい。
- (5) K-GP の収縮ひずみは配合の影響が大きかった。

ここで、ひび割れと収縮ひずみとの相関は得られていないが、硬化速度が遅く、下地処理の影響を受けやすい

こと等、Na-GP と比較してひび割れが生じやすくなることが考えられる。そこで、今後、施工厚や配合等、さらに検討し実用化を進める予定である。

参考文献

- 1) 大木信洋, 東原 実, 佐藤隆恒, 上原元樹: ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの実用化に向けた試作, 土木学会第 73 回年次学術講演会講演要旨集, pp.559-560, 2018.9
- 2) 佐藤隆恒, 大木信洋, 東原 実, 上原元樹: 石炭灰を原料とした短繊維補強ジオポリマー短まくらぎの試作, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.2013-2018, 2013.7
- 3) 上原元樹, 佐藤隆恒, 東原 実, 大木信洋: ジオポリマーPC まくらぎの営業線への試験敷設, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演要旨集, pp.167-168, 2017.9
- 4) ポンマーハーサイ パラミ, 伊藤彰利, 畑中重光: ジオポリマーモルタルを用いて断面修復した RC 梁の曲げ挙動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, pp.1249-1250, 2018.7
- 5) 河尻留奈, 国枝 稔, 上田尚史, 中村 光: ジオポリマーの基礎物性と構造利用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1943-1948, 2011.7
- 6) 上原元樹, 佐藤隆恒, 小坂征雄, 山口正廣: 左官用ジオポリマーモルタルの室温養生による調製と諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1937-1942, 2019.7
- 7) 一宮一夫, 秋永史也, 原田耕司, 池田 攻: フライアッシュ系ジオポリマーのアルカリ水比とフロー値ならびに高温加熱による外観や強度変化の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, pp.1851-1856, No.1, 2018.7
- 8) 上原元樹: ポルトランドセメントを使用しないジオポリマーコンクリートの配合と諸性質およびその開発, 工業材料, Vol.66, No.6, pp.46-49, 2018.6
- 9) 佐藤隆恒, 上原元樹, 山崎淳司: 低アルカリ/水比, 高ケイ素/アルカリ比のケイ酸アルカリ溶液を使用したジオポリマー硬化体の諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.2035-2040, 2017.7
- 10) 佐川孝広, 名和豊春: X 線回折リートベルト法による高炉スラグ量の定量評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.155-160, 2010.7
- 11) 太田敏孝, 松原 長, 高橋 実, 引地康夫, 鈴木久男: ネフェリンニューサイト複合焼結体の熱膨張, Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol.103, No.5, pp.523-524, 1995.5