

# 論文 プレミックス法によるジオポリマー硬化体の作製とコンクリートへの適応に関する基礎的検討

大西 雄大<sup>\*1</sup>・時政 右京<sup>\*2</sup>・新見 龍男<sup>\*1</sup>・中村 明則<sup>\*3</sup>

**要旨**：粉末状の炭酸ナトリウムとケイ酸ナトリウムをアルカリ刺激剤に用いた「プレミックス法」によるジオポリマーを作製し、配合パラメータとフレッシュ性状及び力学特性の関係について検討した。その結果、 $\text{Si}/\text{H}_2\text{O}$  (モル比)が高い配合ほど、ペースト部分の粘度が大きくフレッシュ性状が低下すること、初期強度発現性が増加することが分かった。また、粉末状のアルカリ刺激剤と活性フィラーをプレミックスした粉体をコンクリートに用いた場合、水/プレミックス粉体比 (質量比)と単位水量の調整により、フレッシュ性状や配合強度を設定できる可能性があると考えた。

**キーワード**：ジオポリマー、アルカリ活性材料、炭酸ナトリウム、粘性、フレッシュ性状、配合設計

## 1. はじめに

建設分野において広く研究され、実用化が進められているジオポリマー (以下、GP) は、フライアッシュを基材として、一部を高炉スラグ微粉末で置換した粉体 (以下、活性フィラー) とアルカリ刺激剤の縮重合反応により硬化させたものである。また GP は、建設業界における喫緊の課題である、建設材料の低炭素化、産業副産物の有効利用の観点において今後有効な建設材料になり得ると期待されている<sup>1)</sup>。

近年では、種々のアルカリ刺激剤が検討されているが、その研究例の多くは水酸化ナトリウム溶液とケイ酸ナトリウム溶液を用いた「一般法」<sup>1)</sup>と、ケイ酸ナトリウム溶液を用いず、シリカフェームなどのシリカ微粉末と比較的高濃度の水酸化ナトリウム溶液を用いて練混ぜ時に  $\text{Si}^{4+}$  成分を溶解させる「溶解法」<sup>2)</sup>に分類される。これらの手法は劇物に指定される水酸化ナトリウムを用いることから、作業安全性に対する特別な対応が必要となることが課題とされてきた<sup>1)</sup>。

そこで著者らは、GP の作業安全性の観点から、劇物に指定されず、高炉スラグ微粉末に高い活性を示すことで知られる<sup>3)</sup>炭酸ナトリウムと粉末状でハンドリング性に優れるケイ酸ナトリウム粉末とをアルカリ刺激剤として併用した GP について検討し、常温での強度発現性や中性化抵抗性が改善されることを確認した<sup>4)</sup>。また、炭酸ナトリウム粉末及びケイ酸ナトリウム粉末は活性フィラーと予混合 (プレミックス) して用いることが可能であることから、作業現場でのアルカリ溶液の調整が一切不要となる「プレミックス法」を提案した<sup>4)</sup>。しかしながら、「一般法」や「プレミックス法」のようなケイ酸

ナトリウムを使用する系の GP では、配合条件によっては粘性が高くなり良好なフレッシュ性状が得られず、製造・施工時に支障をきたすことが指摘され<sup>5)</sup>、実用化に向けた改善が求められる。

したがって、「プレミックス法」の GP の実用化を進めるためには、それら配合と GP の諸物性との関係を明確にし、より作業性の高く、扱いが容易な GP の配合の選定を検討する必要がある。そこで本研究では、炭酸ナトリウム粉末とケイ酸ナトリウム粉末を用いた「プレミックス法」の GP モルタル (以下、GP-M) とコンクリート (以下、GP-C) を種々の配合条件で作製し、粘性や圧縮強度等の諸物性との関係について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

表-1 に本研究で使用した材料を示す。本試験では全て粉末状のアルカリ刺激剤を用いた。なお、ケイ酸ナトリウム粉末は、粉末状のケイ酸ナトリウム水和物 (含水率:約 20wt%) であり、水に溶解して、ケイ酸ナトリウム溶液となる<sup>6)</sup>。細骨材については、2.2 のモルタル配合では S1 を、2.3 のコンクリート配合では S2 を用いた。

### 2.2 フレッシュ性状と圧縮強度に基づく GP-M の配合検討

本項では、硬化前のフレッシュ性状を改善しながら、十分な強度発現性を保持する GP の配合を選定することを目的として、GP-M における諸物性と配合パラメータの関係について検討を行った。

#### (1) GP-M の配合条件

表-2 に検討した GP-M の配合を示す。本検討では GP-M の配合パラメータとして、 $\text{Na}/\text{H}_2\text{O}$  (アルカリ刺激

\*1(株)トクヤマ セメント開発 Gr. 工修 (正会員)

\*2(株)トクヤマ セメント開発 Gr. (非会員)

\*3(株)トクヤマ セメント開発 Gr. 工博 (正会員)

表-1 使用材料

材料名	記号	規格等
フライアッシュ	FA	Ⅱ種 (JIS A 6201), 密度 2.24g/cm <sup>3</sup>
高炉スラグ微粉末	BS	石膏なし, プレーン値 4000cm <sup>2</sup> /g (JIS A 6206), 密度 2.90g/cm <sup>3</sup>
炭酸ナトリウム粉末	Nc	ソーダ灰 (工業製品)
ケイ酸ナトリウム粉末	Ns	SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O=2.0, H <sub>2</sub> O=18.4wt%, 粉末珪瑯 (工業製品)
練混ぜ水	W	精製水, 密度 1.00g/cm <sup>3</sup>
細骨材①	S1	セメント強さ試験用標準砂 (JIS A 6206), 密度 2.64g/cm <sup>3</sup>
細骨材②	S2	粗粒率2.55となるように砕砂: 丘砂=84.3%:15.7%で混合
		砕砂: 表乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.85%, 粗粒率 2.80 丘砂: 表乾密度 2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.90%, 粗粒率 1.21
粗骨材	G	砕石1505: 砕石2010=50.0%:50.0%で混合 砕石1505, 表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.39%, 粗粒率 6.46 砕石2010, 表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.39%, 粗粒率 7.04

表-2 GP-M の配合

配合名	配合パラメータ				単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
	Na/H <sub>2</sub> O (mol比)	Si/H <sub>2</sub> O (mol比)	BS比率 (Vol.%)	(A+W)/F (Vol比)	F		A		S1	W
					FA	BS	Nc	Ns		
M1	0.125	0.108	30	1.14	306	170	9	133	1536	174
M2	0.125	0.089					20	106	1536	173
M3	0.103	0.089					8	112	1536	183
M4	0.084	0.072					7	93	1536	190
M5	0.097	0.058					23	76	1536	194
M6	0.077	0.058					11	76	1536	196
M7	0.077	0.044					20	59	1536	202
M8	0.077	0.038					25	50	1536	204
M9	0.077	0.031					29	41	1536	208

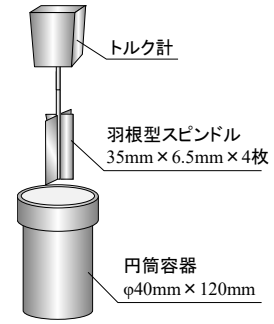


図-1 回転式粘度計 (概略)

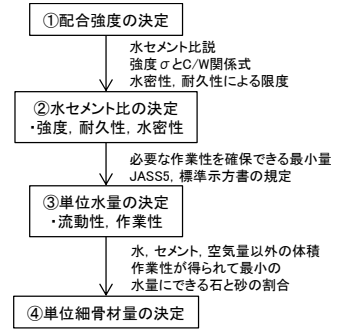


図-2 セメントコンクリートの配合設計

剤溶液中の Na<sup>+</sup> に対する H<sub>2</sub>O 分子のモル比), Si/H<sub>2</sub>O (アルカリ刺激剤溶液中の Si<sup>4+</sup> に対する H<sub>2</sub>O 分子のモル比)に着目し, Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O と GP-M のペースト部の粘性及び 15 打フローと圧縮強度の関係を調査した。また, 本研究の基本条件として BS 比率(活性フィラー中 FA に対する BS の置換率)は, 土木学会 (223 委員会) で分類, 定義された FA-BS 併用系 GP における BS 比率の上限である 30vol%とした<sup>5)</sup>。また, (A+W)/F (アルカリ刺激剤水溶液と活性フィラーの体積比) 及び, 単位容積あたりの細骨材量はそれぞれ一律とした。なお, 単位容積あたりの細骨材量は JIS R 5201 の強さ試験に規定される, モルタル配合と同程度の 1536 kg/m<sup>3</sup> と設定した。

(2) 試験方法

粘度及び可使時間の測定には, 表-2 に示す配合から細骨材を除いたペーストを用いた。粘度計は, 図-1 に示す形状の十字羽根型スピンドルと円筒容器による回転式粘度計 (Anton Paar 社製: RheolabQC 回転式粘度計) を使用した。粘度は, 十字羽根型スピンドルをペースト内にて 10rpm で回転させた際のトルク値から相対粘度 (Pa・s) を算出し, 各配合におけるペーストの粘度を相対的に評価した。粘度の測定は, ペーストをホバート型ミキサ (容量:5L) で 3 分間練り混ぜた後に円筒容器へ投入した後に開始し, 粘度の値が安定する 120 秒後の値を読み取った。可使時間は, ジオポリマーにおいて凝結時間と同義とされる<sup>1)</sup> が, 測定手法が明確に規定されていないため, 単位時間あたりのトルク値の増加率 (ΔmN・m/sec) が 0.05 以上となった時点本研究では可使時間と定め,

測定した。モルタルの練混ぜには, ホバート型ミキサを用いた。粉体成分と水を入れ, 低速で 60 秒練り混ぜた後に標準砂を安定した速度で 30 秒間で投入し, その後低速で 30 秒, 高速で 120 秒練り混ぜた。養生は 20°C, 95% RH 以上の環境で湿空封緘養生を行った。フレッシュ性状の指標として, 15 打フロー (JIS R 5201 準拠) を測定した。圧縮強度 (JIS A 1108 準拠) は, φ50mm×100mm の円柱供試体を用いて材齢 1, 3, 7 及び 28 日で測定した。

2.3 「プレミックス法」を用いた GP-C の配合条件が GP-C の性状に及ぼす影響の基礎的検討

本項では, 2.2 の検討で比較的良好な物性が得られた M6 配合と同一の割合で, 活性フィラーとアルカリ刺激剤を予め混合したプレミックス粉体 (以降, PP) を用いた。また, PP を用いた GP-C の配合設計法を確立することを目的とし, GP-C の配合条件が GP-C のフレッシュ性状及び硬化後の諸物性へ及ぼす影響について検討した。

なお, 本検討で用いた PP 中の活性フィラーやアルカリ刺激剤の配合比率は固定して検討を行った。

(1) GP-C の配合条件及び作製方法

表-3 に検討した GP-C の配合条件とフレッシュ性状, 試験項目を示す。GP-C の配合設計は, セメントコンクリートの配合設計を参考に実施した。また, セメントコンクリートの配合設計は図-2 の様に行うことが一般的である<sup>7)</sup>。W/PP (PP に対する練混ぜ水の質量比) は, 2.2 の M6 配合と同様の 34.7%に設定した。

C2 の配合は, M6 の配合を基に目標スランプ 18±2.5cm が得られるように調整した配合で, 本検討における基準

表-3 GP-Cの配合

配合名	配合パラメータ						単位量(kg/m <sup>3</sup> )				フレッシュ性状		試験項目		
	W/PP (%)	s/a (%)	粗骨材かさ容積	(A+W)/F (Vol比)	Na/H <sub>2</sub> O (mol比)	Si/H <sub>2</sub> O (mol比)	W	PP*	S2	G	スランブ,スランブフロー(cm)	空気量 (%)	圧縮強度	静弾性係数	割裂引張強度
C1	34.7	43	0.58	1.14	0.077	0.058	170	490	704	955	56.0×53.0	1.5	○	○	○
C2	34.7	43	0.62	1.14	0.077	0.058	150	432	752	1,020	19.5	2.6	○	○	○
C3	34.7	43	0.64	1.14	0.077	0.058	140	403	776	1,053	18.5	2.5	○	○	○
C4	30.0	43	0.61	1.00	0.091	0.069	142	473	742	1,007	18.5	2.7	○	○	○
C5	40.0	43	0.64	1.30	0.069	0.053	150	375	776	1,053	18.5	2.7	○	○	○
C6	45.0	43	0.65	1.46	0.062	0.047	153	340	786	1,066	17.5	2.3	○	○	○
C7	30.0	43	0.62	1.00	0.091	0.069	138	461	752	1,020	17.5	2.1	○	○	○
C8	40.0	43	0.62	1.30	0.069	0.053	161	402	752	1,020	18.0	2.3	○	○	○
C9	45.0	43	0.62	1.46	0.062	0.047	169	376	752	1,020	21.0	2.1	○	○	○

\*PPの配合比率 (mass%) = FA : 54, BS : 30, Nc : 2, Ns : 14

表-4 各配合のペースト粘度と可使用時間及び、15打フロー値

配合名	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
粘度 (Pa・s)	125	92	82	46	25	27	20	23	22
15打フロー(mm)	128	138	148	170	181	184	192	190	192
可使用時間(min)	28	22	21	19	20	20	18	17	18

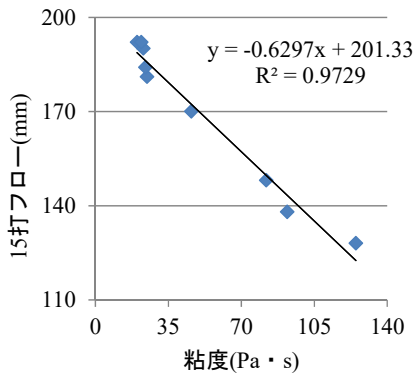


図-3 ペースト粘度と15打フローの関係

となる配合である。C1 から C3 は W/PP と細骨材率(s/a) を一定とし、単位水量を変化させた系であり、単位水量の設定によるスランブの調整可否について検討した。C4 から C9 は、W/PP の調整による圧縮強度の調整可否について検討した。C4 から C9 のうち、C4 から C6 はスランブ 18±2.5cm が得られるように単位水量を調整した系で、C7 から C9 は単位ペースト量を一定にした系である。なお、本検討では空気量の設定や調整は行わなかった。

(2) 試験方法

表-3 に検討した試験項目を示す。練混ぜには容量 60L の強制二軸式コンクリートミキサーを使用した。練混ぜ手順は、まず、細骨材とプレミックス GP を投入して 30 秒混合し、その後、注水して 120 秒練り混ぜて、最後に粗骨材を投入して 60 秒練り混ぜた。スランブ及びスランブフロー試験は、JIS A 1101 及び JIS A 1150 に準拠して実施した。空気量試験は、JIS A 1128 に準拠して実施した。スランブ、スランブフロー試験及び空気量試験は、コンクリートの練混ぜが完了し排出した直後に切り返しを行って計測した。圧縮強度試験は、φ100mm×200mm の円柱供試体を作製し、標準水中養生 (20℃水中) にて所定の材齢まで養生を行った後、JIS A 1108 に準拠して測定

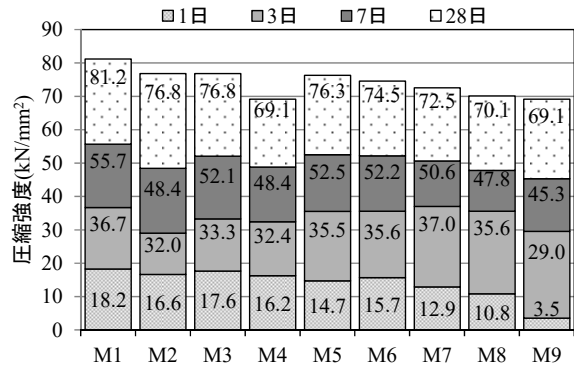


図-4 各配合の圧縮強度

を行った。静弾性係数は、圧縮強度を測定する際に、JIS A 1149 に準拠してコンプレッソメータを用いて測定した。割裂引張強度試験は、φ100mm×200mm の円柱供試体を作製し、標準水中養生 (20℃水中) にて所定の材齢まで養生を行った後、JIS A 1113 に準拠して測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 GP-M の諸物性

(1) ペースト粘度と15打フローの関係

表-4 に各配合ペースト粘度と可使用時間の結果及び、モルタルの15打フロー値の結果を示す。ペーストの粘度が増加するとモルタルの15打フローが減少した。また、可使用時間は既往の研究<sup>8)</sup>と同様に、ペースト中のケイ酸ナトリウム粉末の割合に依存し、ケイ酸ナトリウム粉末が多く、Si/H<sub>2</sub>O が高いほど長く、ケイ酸ナトリウム粉末の割合が減少するに従って短くなる傾向を示した。次に、図-3 にペースト粘度と15打フローの関係を示す。本図より、ペースト粘度と15打フローに高い相関性が確認された。この結果から、ペーストの粘性が GP のフレッシュ性状に影響を与えていることが考えられ、良好なフレッシュ性状の GP を得るためには、アルカリ刺激剤の配合を選定し、ペースト部の粘度を低減することが有効策の一つであると推察できる。

(2) アルカリ刺激剤の配合と圧縮強度の関係

図-4 に各配合条件における GP-M の各材齢での圧縮強度を示す。材齢 1 日においては、M7 から M9 を除く配合条件 M1 から M6 で二次製品の脱型強度の目安となる 15kN/mm<sup>2</sup> 以上の圧縮強度が得られた。また、材齢 3

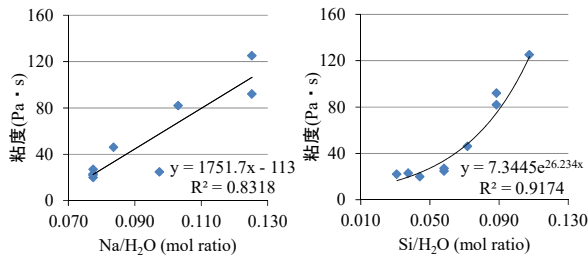


図-5 Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O と粘度

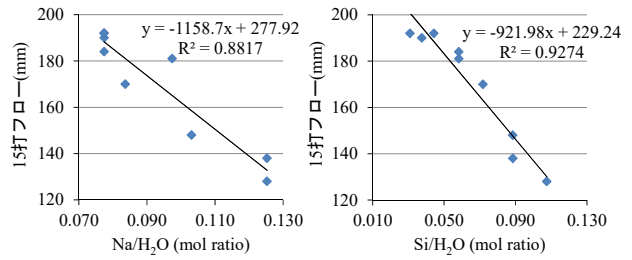


図-6 Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O と15打フロー

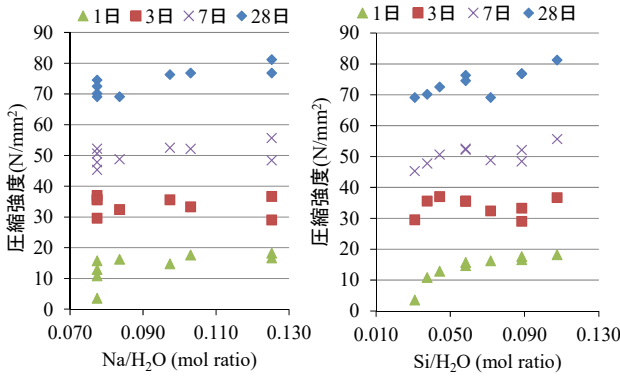


図-7 Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O と圧縮強度

日では M7 から M9 においても M1 から M6 と同程度まで圧縮強度が増加した。さらに、材齢 7 日から 28 日においては、配合条件に関わらず同程度の圧縮強度となった。

この結果より、GP のアルカリ刺激剤の配合による圧縮強度への影響は、1 日程度の初期材齢において特に大きくなることが推察できる。

### 3.2 GP-M における配合パラメータの選定

GP の二次製品への適応などを考えると、生産性の観点から材齢 1 日程度の初期強度が高いことが好ましい。また、施工性の観点からは粘性が低く、良好なフレッシュ性状のものが好ましいとされる<sup>9)</sup>。また、前項 3.1 の結果からも配合パラメータ(Si/H<sub>2</sub>O 及び Na/H<sub>2</sub>O)がフレッシュ性状と初期強度に影響していることが考えられる。そこで、十分な初期強度発現性を保持しながら GP の粘性を可及的に低減できるアルカリ刺激剤の配合パラメータについて検討した。

#### (1) 粘度及び 15 打フローと配合パラメータの関係

図-5 に Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O と粘度の関係を示す。ペースト部の粘度は Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O とともに正の相関性が認められた。特に Si/H<sub>2</sub>O と高い相関性を示し、Si/H<sub>2</sub>O の増加に伴って指数関数的に増加する傾向が確認された。また、図-6 に Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O と 15 打フローの関係を示す。15 打フローは Na/H<sub>2</sub>O, Si/H<sub>2</sub>O とともに負の相関性があることが確認された。Na/H<sub>2</sub>O と比較して Si/H<sub>2</sub>O との相関性が高いことが確認された。以上の結果より、GP の粘性や流動性に起因する配合パラメータとしては Si/H<sub>2</sub>O が支配的であることが考えられ、GP のフレッシュ性状の改善には、所定の性能が得られる範囲で Si/H<sub>2</sub>O を低減することが有効と推察できる。

#### (2) 初期強度発現性と配合パラメータとの関係

次に、図-7 に各材齢の圧縮強度と各配合パラメータの関係を示す。Si/H<sub>2</sub>O は、値が 0.031 から 0.058 までは初期強度が大きく増加した。一方で、0.058 から 0.108 においては増加の程度が小さくなることが確認された。また一方で、Na/H<sub>2</sub>O は初期強度と明確な関係性は確認されず、同 Na/H<sub>2</sub>O で比較した場合に、Si/H<sub>2</sub>O の値によって初期強度が大きく増減することが確認された。この結果より、GP の初期強度に与える影響は、Na/H<sub>2</sub>O より Si/H<sub>2</sub>O が大きいことが分かった。この理由として、材齢初期では活性フィラーからの Si モノマーの溶出が十分ではないため、ケイ酸ナトリウム粉末に由来する Si モノマーのジオポリマー反応及び硬化への寄与が大きいと推測している<sup>10)</sup>。

#### (3) 配合パラメータの選定

(1)(2)の結果より、GP のフレッシュ性状と初期強度発現性は Si/H<sub>2</sub>O と比較的相関性が高く、十分な初期強度発現性が得られる範囲で Si/H<sub>2</sub>O を低減することが必要と推察できる。本検討の配合条件においては、アルカリ刺激剤の配合パラメータを Si/H<sub>2</sub>O = 0.058 ~ 0.072, Na/H<sub>2</sub>O = 0.077 ~ 0.097 (M4 から M6) の範囲とすることで、十分な初期強度発現性を保持しながら粘性を低減できると思われる。

表-5 C1 から C3 配合の空気量とスランプ及びスランプフロー

配合名	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランプ, スランプフロー (cm)	空気量 (%)
C1	183	56.0×53.0	1.5
C2	161	19.5	2.6
C3	150	18.5	2.5

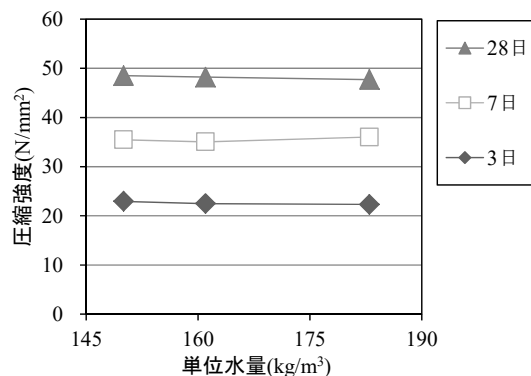


図-8 C1 から C3 配合の単位水量と圧縮強度

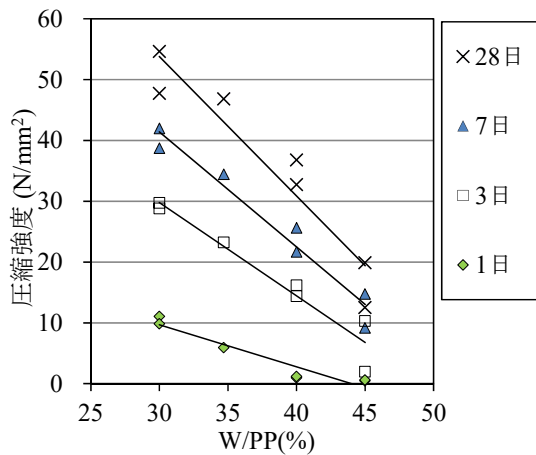


図-9 C2 及び C4 から C9 配合の圧縮強度と W/PP

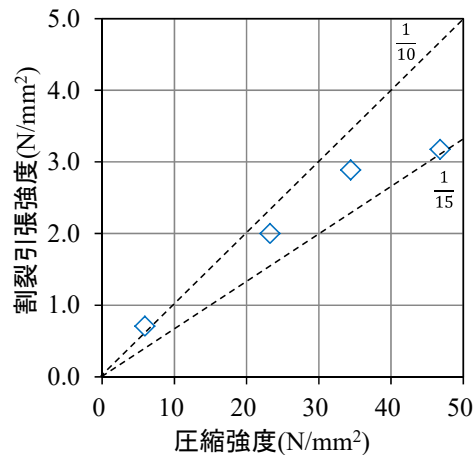


図-10 C2 配合の GP-C の圧縮強度と割裂引張強度

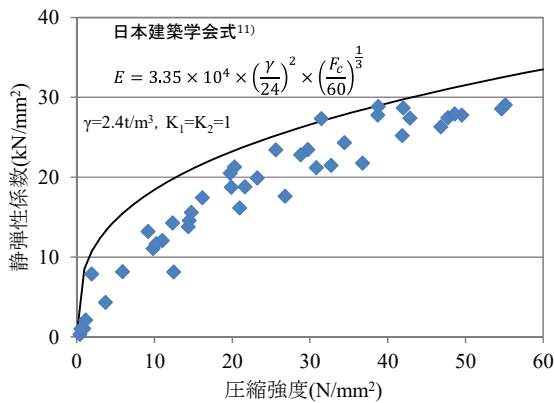


図-11 C1 から C10 配合の GP-C における各材齢の圧縮強度と静弾性係数

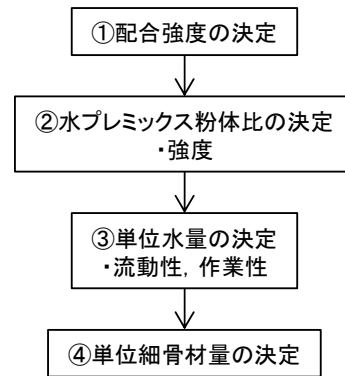


図-12 プレミックス法を用いた GP-C の配合設計

### 3.3 GP-C の諸物性

#### (1) 単位水量と流動性及び圧縮強度の関係

C1 から C3 配合の空気量とスランプ、スランプフローを表-5 に、単位水量と圧縮強度の関係を図-8 に示す。表-5 から、単位水量を調整することで高流動コンクリート相当のスランプフロー 56.0×53.0cm から、普通コンクリート相当のスランプ 18.5cm までの流動性が得られることを確認した。また、単位水量を調整した場合、図-8 に示すように、圧縮強度に与える影響は僅かであることを確認した。これらの結果から、PP を使用した GP-C では、セメントコンクリートと同様に単位水量を変化させることで、希望するスランプが得られると考えられる。

#### (2) 圧縮強度と W/PP の関係

図-9 に C2 及び C4 から C9 配合の圧縮強度と W/PP の関係を示す。W/PP が増加するに従い、圧縮強度が低下する傾向が認められた。また、この傾向は材齢が長いほど強いことを確認した。これは、W/PP が増加することにより 3.2 の (2) と同様に Si/H<sub>2</sub>O が低くなったことや、(A+W)/F が低下したこと起因していると推測している。以上の結果より W/PP と圧縮強度の関係から、プレミックス GP を使用した GP-C の圧縮強度は、現場にお

ける W/PP の変更のみで容易に調整できる可能性が示唆された。

#### (3) 圧縮強度と割裂引張強度の関係

図-10 に C2 配合の GP-C の圧縮強度と割裂引張強度の関係を示す。C2 配合においては、圧縮強度と割裂引張強度は正の線形の関係を示した。また、割裂引張強度は圧縮強度の 1/10~1/15 程度で、圧縮強度が高強度域に近づくにつれてこの比は小さくなる傾向を示した。これらは、セメントコンクリートの割裂引張強度と圧縮強度の関係とほぼ同等の数値、同様の傾向であると考えられる<sup>11)</sup>。さらに、これらの傾向は、一般法のジオポリマーと同様の傾向であった<sup>12)</sup>。

#### (4) GP-C の静弾性係数

図-11 に C1 から C9 配合の GP-C における各材齢の圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。なお、図中の黒実線は、セメントコンクリート（混和材を使用しない場合、その他の粗骨材、コンクリートの気乾単位体積質量 2.4t/m<sup>3</sup> の圧縮強度と静弾性係数の相関グラフである<sup>12)</sup>。GP-C の静弾性係数は圧縮強度と関係しており、強度が高いほど静弾性係数は大きい値を示した。これは、セメントコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係と同様である。しかし、30N/mm<sup>2</sup> 以下の圧縮強度領域ではセメントコンクリートよりも静弾性係数が小さく、それ以上

の圧縮強度領域ではセメントコンクリートと同程度の静弾性係数であり、セメントコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の相関グラフよりも緩やかなカーブを描くという違いを示した。この結果から、GP-C を用いた構造、建築物の構造計算においては、GP-C とセメントコンクリートの応力に対する振る舞いが異なることを留意する必要があると推察する。

#### (5) PP を用いた GP-C の配合設計法に関する考察

(1) (2) の結果をもとに、プレミックス法による PP を用いた GP-C の配合設計は図-12 の様に行うことが可能であると考察した。なお、この配合設計法は PP の構成材料の割合は変更しないことを前提としている。

まず、必要となる強度から W/PP を決定する。次に、必要となる作業性を得られる範囲で最小の水量となるように単位水量及び細骨材率を決定する。今後は、耐久性に関する検討を行い、その結果を本配合設計法に反映して改良する必要があると考える。

#### 4. まとめ

本研究ではプレミックス法、すなわち粉末状の炭酸ナトリウムとケイ酸ナトリウムをアルカリ刺激剤に用いた BS 比率 30% の FA-BS 併用 GP を作製し、その諸物性を検討して得られた知見を以下に示す。但し、得られた知見は検討した配合の範囲に限定される。

- (1) ペーストの粘性が GP のフレッシュ性状に影響し、ペーストの粘性は  $Si/H_2O$  と高い相関性を示した。強度発現性に与える影響は、 $Na/H_2O$  よりも  $Si/H_2O$  が大きく、その影響は初期材齢ほど大きかった。本検討の範囲では、 $Si/H_2O=0.058\sim0.072$ 、 $Na/H_2O=0.077\sim0.097$  で十分な初期強度と良好なフレッシュ性状が得られた。
- (2) 本検討の配合範囲の PP を使用した GP-C では、単位水量を変化させることで希望するスランプへの調整が可能であった。また、W/PP を変更することで希望する圧縮強度への調整が可能であった。
- (3) 本検討の配合範囲の PP を使用した GP-C の割裂引張強度は、圧縮強度の 1/10~1/15 程度で一般法のジオポリマーやセメントコンクリートと同様の傾向であった。静弾性係数は圧縮強度が高いほど大きい値を示し、 $30N/mm^2$  以下領域ではセメントコンクリートよりも静弾性係数が小さい傾向を示した。

#### 参考文献

- 1) 一宮一夫, 山本武志, 佐川孝広, 藤山知加子, 佐川

康貴: 土木分野におけるジオポリマー技術の実用化推進のための取組み, コンクリート工学 Vol.61, No.10, 2023.10

- 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.2023-2028, 2013.6
- 3) 武田 均, 岡本礼子, 宮原茂禎, 丸屋 剛: 高炉スラグ微粉末の硬化性状に及ぼす各種アルカリ刺激剤の効果, 第 66 回土木学会年次学術講演会講演概要集, V-502, pp. 103-1004, 2011.8
- 4) 大西雄大, 大村昂平, 関 卓哉, 新 大軌: 炭酸ナトリウムを刺激剤としたプレミックス型ジオポリマーの物性及び耐久性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No. 1, pp.994-999, 2022.6
- 5) 一宮一夫ほか, 2021 年度重点研究課題「新しいアルカリ活性材料を用いた低炭素社会におけるインフラ構築に関する研究」報告書, 土木学会コンクリート委員会「新しいアルカリ活性材料を用いた低炭素社会におけるインフラ構築に研究小委員会 (233 委員会)」, pp.2-5, 2021.3
- 6) 三田宗雄, 磯田信人, 熱海孝司, 興水 仁: ケイ酸ソーダの最近の用途, Gypsum & Lime, No.231, 1991, pp.131-140
- 7) 公益社団法人日本コンクリート工学会: コンクリート技術の要点'22, pp.106-128, 2022
- 8) 門田浩史, 池尾陽作: 炭酸ナトリウムを使用したジオポリマーの可使時間および圧縮強度, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No. 1, pp.1000-1005, 2022.6
- 9) 渡辺敬一: 二次製品における品質管理の現状, コンクリート工学 Vol.39, No.5, pp.60-63, 2001
- 10) 上原元樹: ジオポリマー法による環境負荷低減コンクリートの開発, 鉄道総研報告, Vol. 22, No. 4, pp. 41-46, 2008. 4
- 11) 野口貴文, 友澤史紀: 高強度コンクリートの圧縮強度と各種力学特性との関係: 日本建築学会構造系論文集, 第 472 号, pp.11-16, 1995
- 12) 南 浩輔, 松林 卓, 舟橋政司: ジオポリマー硬化体の諸物性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1957-1962, 2013.6
- 13) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説—静弾性係数予測