

2023 中国地方建設技術開発交流会
2023年11月9日

ジオポリマーコンクリートの可能性

松江工業高等専門学校 准教授
周藤将司
suto@matsue-ct.jp

ジオポリマーとは

- 1990年代にフランスのJ.Davidovitsによって命名
- 日本での定義：**セメントクリンカーを使用せず**，非晶質のケイ酸アルミニウムを主成分とした原料とアルカリ金属のケイ酸塩，炭酸塩，水酸化物の水溶液の少なくとも1種類を用いて硬化させたもの※1
- 近年では，より広義的な意味合いで**アルカリ活性材料**(AMM; Alkali-activated materials)ともいわれる

※1 日本コンクリート工学会：建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会，2017年

ジオポリマーの利点

①セメントを使用しない

セメント産業のCO₂排出量:約4,000万トン/年

CO₂排出量の削減はどの分野でも課題

②産業廃棄物を有効利用できる

フライアッシュ, 高炉スラグなどが利用される

ジオポリマーの利点

③アルカリ骨材反応を生じない

④耐火性・耐酸性に優れる

→ジオポリマーコンクリートは、セメントコンクリートと比較して**カルシウムの含有量が少ない**ため

⑤重金属・放射性物質の固定能が高い

セメントコンクリートでは**異常膨張**を生じる場合がある(エトリンガイトが生成されている影響?)

ジオポリマーコンクリートではそのリスクは低い

ジオポリマーの欠点

- ① 乾燥収縮が大きい
- ② 製造コストが割高
- ③ 薬品を使用するため作業者の安全確保が必要
- ④ 設計や施工の一般的な方法が確立されていない
- ⑤ 実績が少ない

ジオポリマーコンクリートの用途

- コンクリート二次製品（給熱養生が必要）
- 下水
- 酸性土壌の地域

ジオポリマーコンクリートの特性が活かされると想定される場所

セメント硬化体との違い

水

セメント

細骨材

粗骨材

セメント硬化体
水和反応

アルカリ溶液

活性フィラー

細骨材

粗骨材

ジオポリマー硬化体
脱水縮重合反応

ジオポリマーの材料(活性フィラー)

【フライアッシュ】

組成(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
FA	40.1~ 74.4	15.7~ 35.2	1.4~ 17.5	0.2~ 7.4	0.3~ 10.1
OPC	21.4~ 22.6	4.6~ 5.7	2.5~ 3.3	0.8~ 2.7	63.0~ 64.7

シリカ, アルミナが多く, カルシウムは少ない

- ガラス相(アルミノシリケート($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$))
- 結晶(クォーツ(SiO_2), ムライト($3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$))

ジオポリマーの材料(活性フィラー)

【フライアッシュ】

- ガラス相(アルミノシリケート($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$))
- 結晶(クォーツ(SiO_2), ムライト($3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$))

で構成される。

ガラスの部分がアルカリ環境下で反応
(溶解析出)する。

ジオポリマーの材料(活性フィラー)

【高炉水砕スラグ微粉末】

組成(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
BFS	32~35	13~16	0.2~0.7	4~8	41~44
OPC	21.4~ 22.6	4.6~ 5.7	2.5~ 3.3	0.8~ 2.7	63.0~ 64.7

- シリカ, アルミナが多い
- FAと比較すると**カルシウム**が多い
- **ほぼ100%がガラス**

ジオポリマーの材料(活性フィラー)

【その他の活性フィラー】

- メタカオリン(アルミノケイ酸塩を加熱・脱水したもの)
- 木質バイオマス灰
- もみ殻灰
- 火山灰(火山ガラス)
- 都市ごみ焼却灰
- 下水汚泥灰

シリカ, アルミナが多いことが条件

ジオポリマーの材料(アルカリ溶液)

【水ガラス】

- ケイ酸ナトリウム, ケイ酸ソーダともいう
- JISの名称は「けい酸ナトリウム(けい酸ソーダ)」
- JISでは1号, 2号, 3号に分類されている
- JISは廃止(2022年4月) → 団体規格
- 外観は「**水あめ状**の無色ないしわずかに着色した液体」

ジオポリマーの材料(アルカリ溶液)

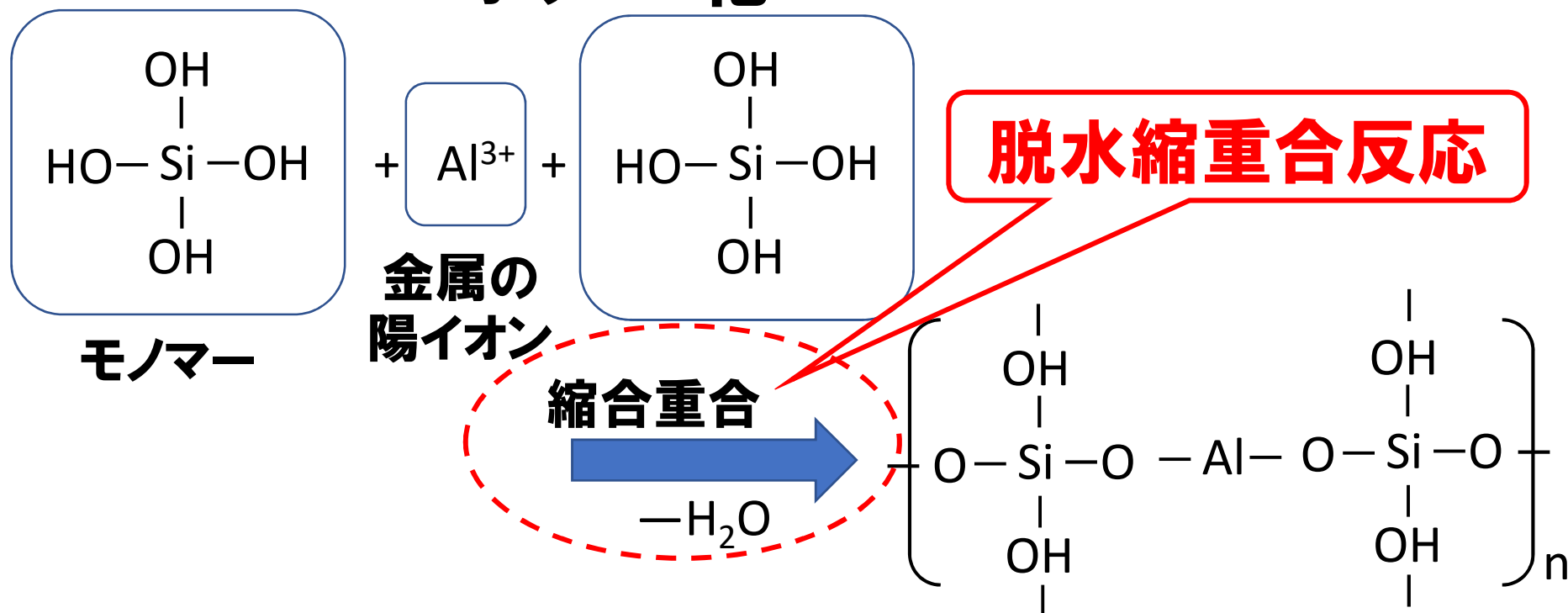
【水酸化ナトリウム水溶液】

- 苛性ソーダともいう
- 水に易溶であり、水1リットルに、1110グラムが溶解できる
- 溶解時に発熱する
- 固体は劇物・毒物
- 溶液は濃度5%以上で劇物
- GPに用いる溶液の濃度が指定されているわけではない

ジオポリマーの固化原理

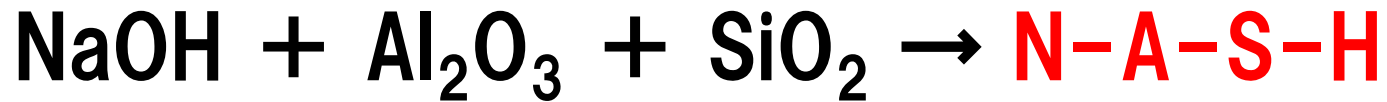
ポリマー・・・複数のモノマー(単量体)が重合してできた化合物

ジオポリマー・・・ケイ酸錯体を金属イオンで架橋してポリマー化

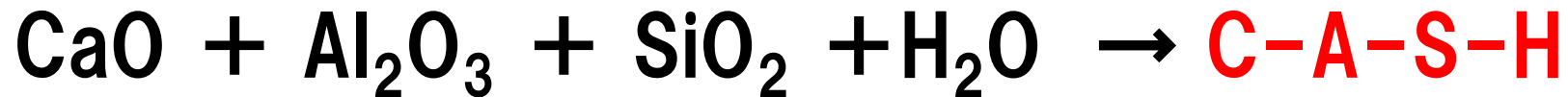


ジオポリマーの固化原理

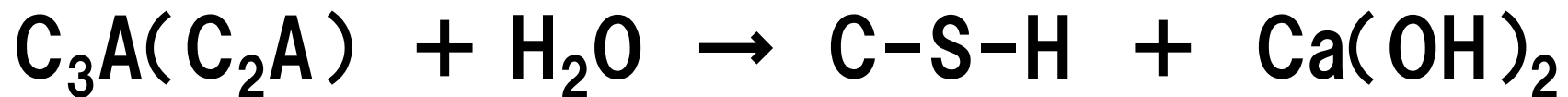
◆ フライアッシュ(Si, Alを多く含有する材料)



◆ 高炉スラグ(Caを多く含有する材料)



(セメントコンクリートの場合)



ジオポリマーコンクリートの作製

セメントコンクリートと同様に作製する

1. フィラーと骨材を投入して空練り
2. アルカリ溶液を投入して練り混ぜ

材料と配(調)合によっては、
増粘剤を添加したセメントコンクリートのよう
高い粘性を示すことがある。

→ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤で流動
性向上の効果あり※

ジオポリマーモルタルの強度発現

FA: JISフライアッシュII種,

BFS: 高炉スラグ微粉末(粉末度4000, 石こう無し),

WG: 1号水ガラス,

NH: 水酸化ナトリウム水溶液(10mol/L),

W: 上水, **S**: セメント強さ試験用標準砂

単位: g

BFS 置換率	活性フィラー		アルカリ溶液		W	S
	FA	BFS	WG	NH		
0%	516	0				
10%	464	72				
20%	413	143	155	52	141	1297
30%	361	215				

周藤将司, 三代龍之輔: 養生方法の異なるジオポリマーモルタルの長期における強度発現特性, 第68回農業農村工学会大会講演会, pp.472-473, 2019年9月

フロー値

BFS 置換率(%)	フロー値	フロー値比 (%)
0	229	
10	218	95
20	201	88
30	199	87



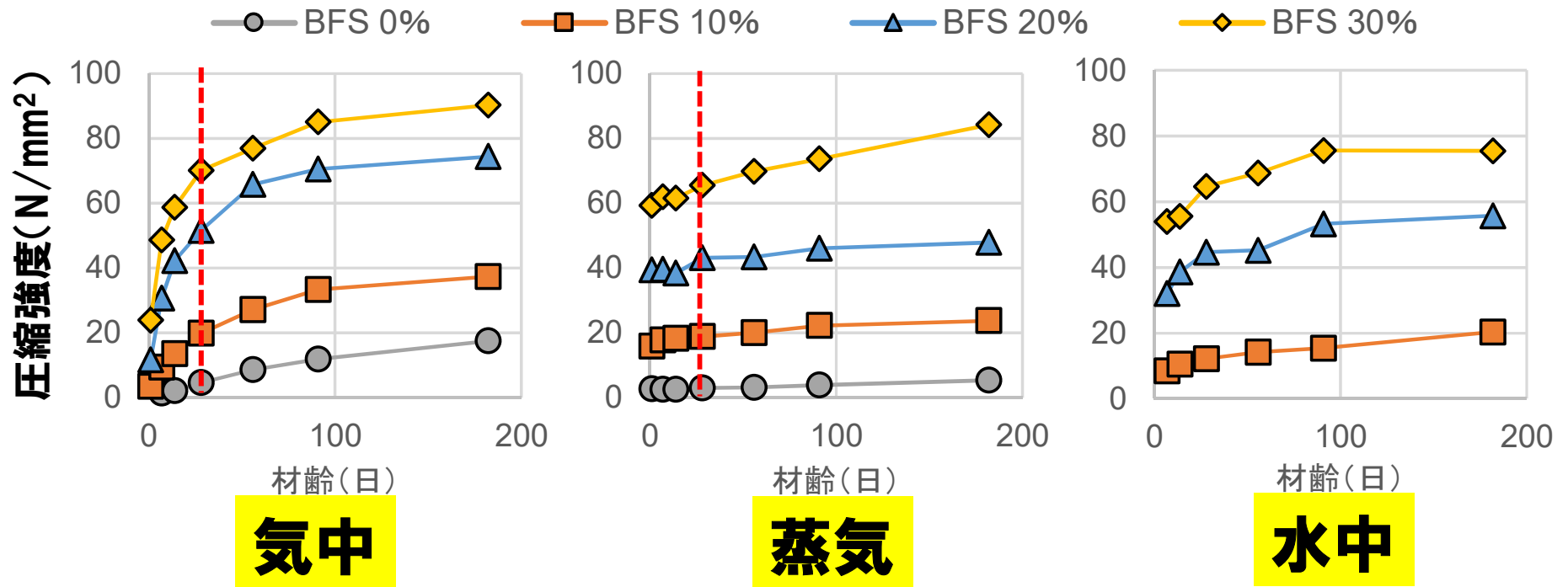
養生条件

気中	実験室内で気中養生(室温20~25℃)
蒸気	60℃ 95%R.H. 温度上昇勾配20℃/h 等温保持時間24hで蒸気養生 → 実験室内で気中養生
水中	水中養生(水温20℃, 材齢3日から開始)

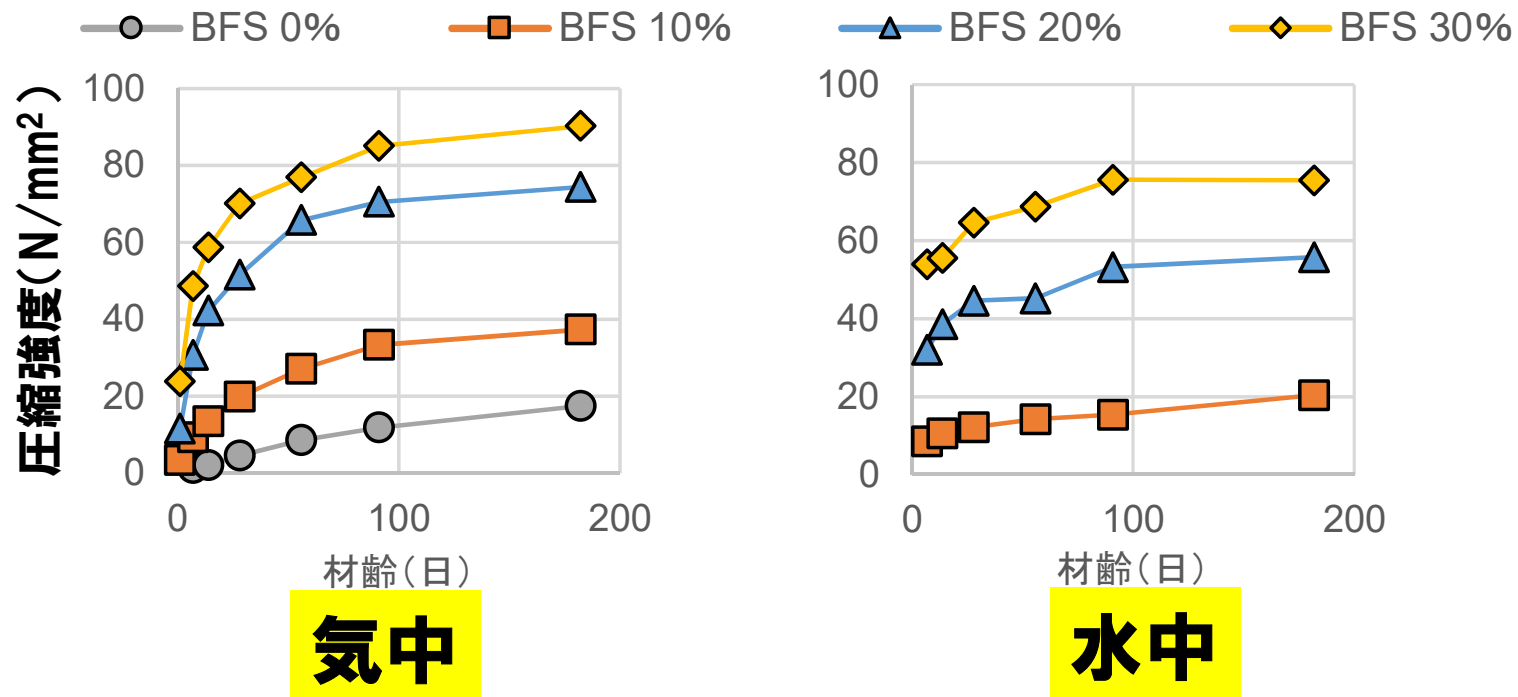
圧縮強度試験材齢

:1, 7, 14, 28, 56, 91, 182日

試験結果(圧縮強度)

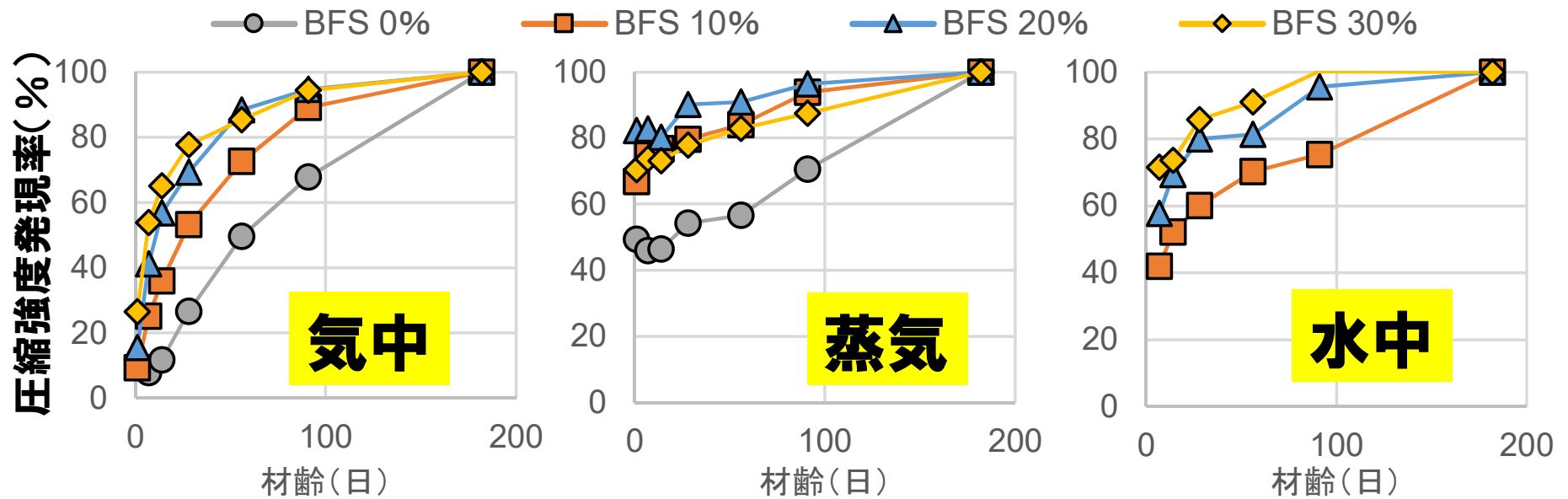


試験結果(圧縮強度)



- 水中：気中より低強度
GPモルタルのアルカリ濃度が低下？
- BFS置換率：高 → Case1とCase3の差：小
C-A-S-H生成の影響

試験結果(圧縮強度発現率)

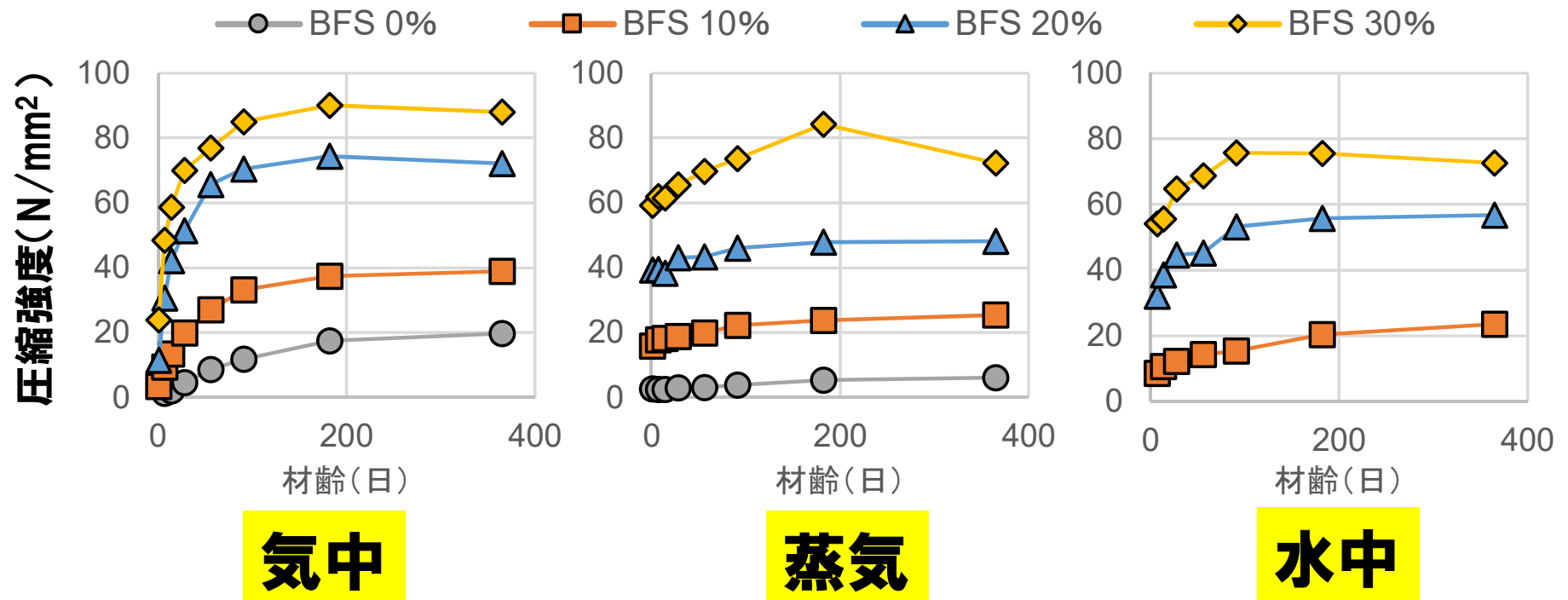


- BFS置換率が小さいほど、緩やかに強度発現
- BFS 0%の配合が最も初期の強度発現が鈍い



GP反応が水和反応よりも緩慢な強度発現性

試験結果(圧縮強度:365日)

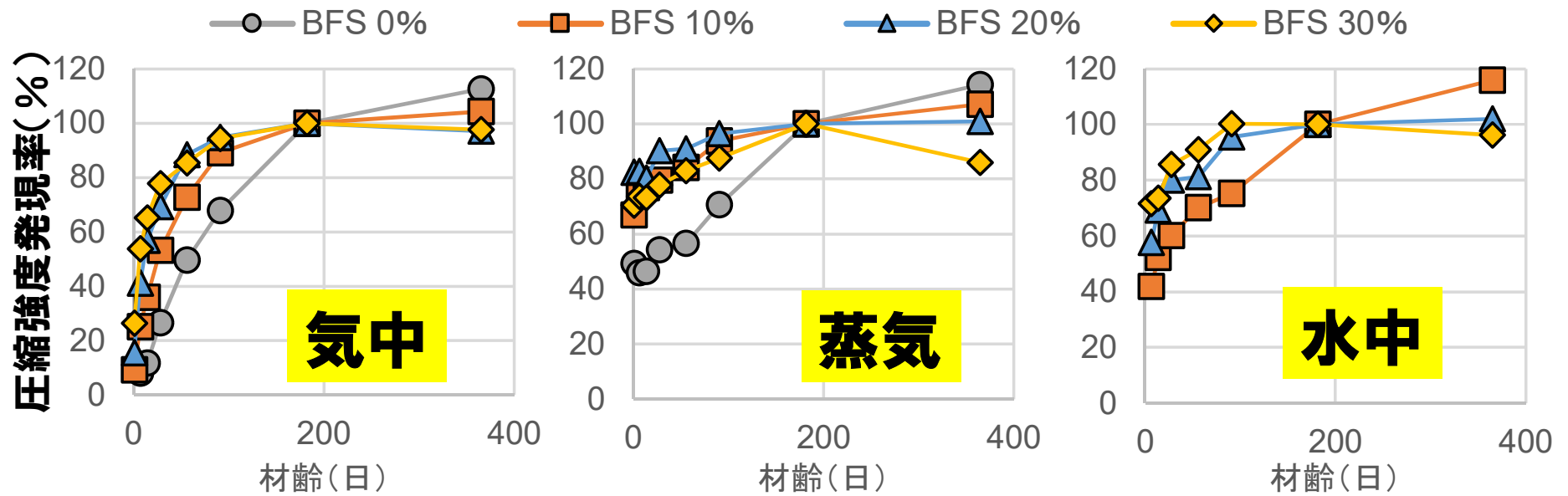


BFS置換率が高い配合



長期の強度が低下する傾向(乾燥収縮の影響)

試験結果(圧縮強度発現率:365日)



BFS 0% → **GP反応のみで強度発現**

材齢365日まで強度発現を続けている

ジオポリマーの可能性

➤ 適材適所のコンクリート

→ 選択肢があることは良いこと！

➤ GPコンクリートが選択肢に入るように、研究を重ねていく所存

➤ 日本コンクリート工学会中国支部「ジオポリマー硬化体の配調合調査研究委員会」設立