

高炉水砕スラグ微粉末のアルカリ刺激に関する基礎的研究

九州工業大学大学院 学生員○蔵重 勲

九州工業大学工学部 正会員 出光 隆

同 上 正会員 山崎竹博

同 上 学生員 尾関規史

1. はじめに

溶鉱炉で鉄鉄を製造する際に副産物として排出される高炉水砕スラグ微粉末は古くからセメント質混和材料として使用され、近年では地球環境保全の観点から資源の有効利用やセメント製造によるCO₂排出量削減を目的とし、セメントを全く使用しない「アルカリスラグコンクリート」の活用が検討され始めた。「アルカリスラグコンクリート」はポルトランドセメントを一切使用せず、高炉水砕スラグ微粉末をアルカリ刺激剤(アルカリ金属・アルカリ土類金属の珪酸塩、炭酸塩、水酸化物等)と水の存在(pH12程度)で、そのガラス構造を分解し、以後スラグ自身から溶出するアルカリ成分により水和・硬化が進むものであると一般に考えられている。本研究ではこのような「アルカリスラグコンクリート」に関して、ペーストの段階で硬化反応に有効なアルカリ刺激剤を調べ、その添加量と強度の関係について実験的検討を行った。

2. 実験概要

(A)使用材料 高炉水砕スラグ微粉末の諸性質は密度2.91g/cm³、比表面積5890cm²/g、塩基度1.86で石膏無添加のものを使用した。アルカリ刺激剤には表-1に示す化学実験用1級試薬を使用した。

(B)配合要因 ペーストの配合要因として水スラグ比 W/B (wt.%)と、高炉水砕スラグ微粉末に対するアルカリ刺激剤の重量を表したアルカリスラグ比 A/B(wt.%)を選定した。

(C)予備実験 A/B=20(wt.%)とし、表-1に示す各種のアルカリ刺激剤について、練混ぜ可能な範囲で水スラグ比を設定して予備実験用供試体(紙コップを使用)を各配合に1本ずつ作製し、材齢1週で圧縮強度試験を行った。その結果、珪酸ナトリウム溶液・二珪酸ナトリウム水和物・アルミン酸ナトリウム・炭酸カリウム以外ではほとんど強度が得られず、これらの4種についてアルカリ刺激剤としての適性を調べた。なお、表-1中の記号×はどの配合でも指で押すとつぶれるほどの強度であったもの、△はある配合では10N/mm²程度の強度が得られたもの、○はコンクリートとして使用可能な強度が得られたものである。また、練混ぜ溶液(水+アルカリ刺激剤)のpHも同時に測定した結果、12に満たないものはアルカリ活性剤には不向きであるということが判った。

(D)実験方法 予備実験で選定したアルカリ刺激剤を用いて A/B=5, 10, 15, 20(wt.%)とし、それぞれのアルカリスラグ比において W/B=30~70 (wt.%)の範囲で数種類の配合を定めた。ペーストの練混ぜはJIS R 5201「セメントの物理試験方法」に定めるミキサーを使用し、図-1の要領で行った(実験室温20℃)。供試体寸法はφ5×10cmで24時間後に脱型し、材齢1週・4週(気中養生20℃)における圧縮強度を測定した。また、練混ぜ溶液(水+アルカリ刺激剤)のpHも同時に測定した。

表-1 アルカリ刺激剤と予備実験

	アルカリ刺激剤名称	予 備 実 験		
		W/B(wt.%)	pH測定値	強度
Na	珪酸ナトリウム溶液	30~80	12.8~12.9	○
	二珪酸ナトリウム水和物	30~70	13.7~13.8	○
	メタ珪酸ナトリウム	30~80	14.1~14.5	△
	炭酸ナトリウム	40~90	11.9~12.0	△
	炭酸水素ナトリウム	40~80	7.9~8.2	×
	硫酸ナトリウム	40~80	7.8~8.1	×
	硫酸ナトリウム十水和物	20~60	8.0~8.2	×
	塩化ナトリウム	30~60	7.3~7.4	×
	炭酸カリウムナトリウム	30~80	12.0~12.5	△
	アルミン酸ナトリウム	30~80	15.2~15.6	○
K	酢酸ナトリウム	30~80	8.8~9.2	×
	炭酸カリウム	30~60	12.4~12.9	○
	硫酸カリウム	30~70	9.1~9.5	×
Ca	塩化カリウム	30~60	8.7~9.0	×
	炭酸カルシウム	40~80	7.2~7.3	×
	硫酸カルシウム二水和物	40~80	7.5~7.6	×
	塩化カルシウム	20~60	4.7~5.4	×
	水酸化カルシウム	50~90	12.8~12.9	△

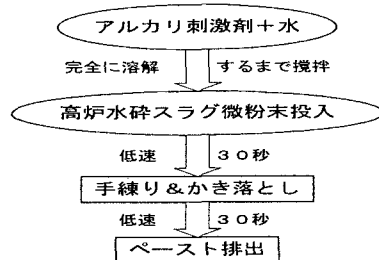


図-1 練混ぜ工程

3. 実験結果

高炉水砕スラグ微粉末と各種アルカリ刺激剤を混合したペーストの圧縮強度を測定したところ、最大90N/mm²にも達した。これら圧縮強度試験の結果をpH測定結果とともに図-2～5にアルカリ刺激剤別に示す。珪酸ナトリウム溶液を用いた W/B=70(wt.%), A/B=20(wt.%)の強度は図-2中に示されていないが、載荷面研磨時に多量のクラックが発生し自己崩壊してしまった。二珪酸ナトリウム水和物使用の W/B=70(wt.%), A/B=20(wt.%)も同様である(図-3)。また W/B が小さくなると流動性が悪くなり、図-2の W/B=30(wt.%), A/B=5(wt.%), 図-5の W/B=30(wt. %), A/B=5, 10(wt.%)では練り混ぜ不可能であった。また溶液のpHは A/B が大きく、W/A が小さいほど大きな値となり、pHが14以下ではpHが大きい程大きな強度となることが分かった。

珪酸ナトリウム溶液・二珪酸ナトリウム水和物をアルカリ刺激剤とした供試体は水スラグ比が小さく、アルカリスラグ比が大きいほど、また材齢1週より4週の方が高い圧縮強度(60～90N/mm²)が得られることが分かった。アルミン酸ナトリウムでは材齢4週になると A/B=20(wt.%)の供試体に多数のクラックが発生し、大幅な強度低下が生じた。これはアルカリ刺激剤が多すぎる場合、未反応の成分が膨張反応を起こすためと考えられる。炭酸カリウムについてはほとんどの配合で4週強度が1週強度を下回る結果となり、コンクリート用結合材には適さないと判断される。

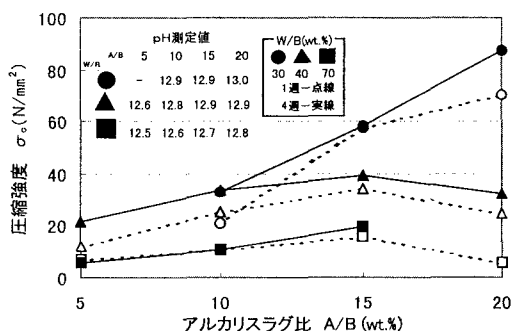


図-2 試験結果<珪酸ナトリウム溶液>

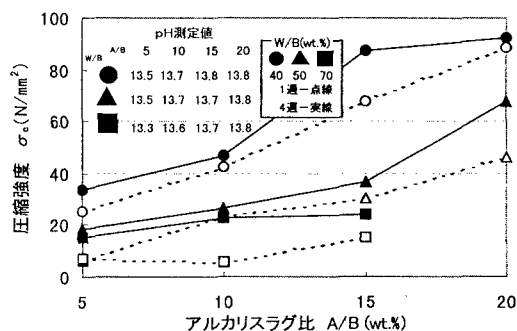


図-3 試験結果<二珪酸ナトリウム水和物>

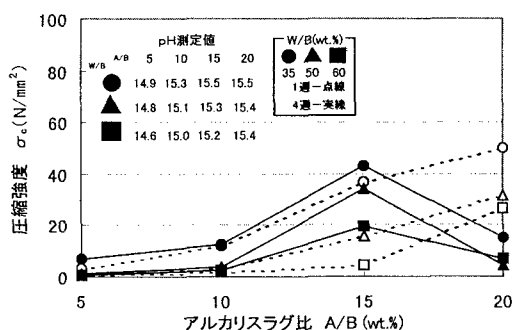


図-4 試験結果<アルミン酸ナトリウム>

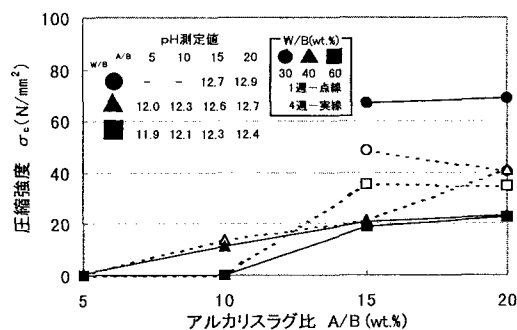


図-5 試験結果<炭酸カリウム>

4. まとめと課題

実験の結果pH12以上のアルカリ刺激剤として、珪酸ナトリウム溶液、二珪酸ナトリウム水和物を用いた高炉水砕スラグ微粉末はポルトランドセメントに匹敵する圧縮強度が得られることが分かった。しかし、溶液のpHや水スラグ比が同じ場合でも強度に大きな差が現れる結果も得られ、アルカリ刺激剤がスラグのガラス構造を分解した後の水和反応にも影響を及ぼしていることが判った。このような水和反応や強度発現時の膨張反応および最適養生方法など、今後の検討課題としたい。

【謝辞】本研究を推進するにあたり材料の提供及び御助言、御協力を賜りました新日鐵化学㈱の近田氏、井川氏、横尾氏に謝意を表します。

【参考文献】呉・長滝ら：アルカリスラグコンクリートの強度特性と影響を及ぼす因子，土木学会論文集，NO.544，V-32，pp.247-256

宮入英彦：高炉水砕スラグの実体，セメント化学雑論，[10]，pp.43-46，セメント協会