

高炉水砕スラグの固化に及ぼす溶液の影響

独立行政法人港湾空港技術研究所

正会員 ○菊池 喜昭

同 上

木村 淳治

同 上

正会員 水谷 崇亮

1. はじめに

高炉水砕スラグは間隙水がアルカリ性の環境にあれば固化するといわれている¹⁾が、海水環境にある港湾の裏込めに用いられた高炉水砕スラグも固化することが知られている²⁾。これは、アルカリ環境でなくても高炉水砕スラグが固化する可能性のあることを示している。そこで、高炉水砕スラグを NaOH 溶液、人工海水、セメント添加溶液などの溶液中で養生し、スラグの経時的な強度の変化と溶液の pH、Ca²⁺濃度について調べたので、その結果を報告する。

2. 実験の概要

実験に用いた高炉水砕スラグの粒子密度は $\rho_s = 2.815\text{g/cm}^3$ であり、最大密度 $\rho_{\max} = 1.459\text{g/cm}^3$ 、最小密度 $\rho_{\min} = 1.144\text{g/cm}^3$ である。粒度分布を図-1 に示す。この実験では、水砕スラグを所定の溶液中で養生し、養生日数 7 日、28 日、90 日、180 日のときの一軸圧縮強さを求めるとともに、溶液上澄みの pH を求めた。用いた溶液は、表-1 に示すように、セメントミルク(高炉セメント B 種を使用)、人工海水、0.005 規定の水酸化ナトリウム溶液である。なお、セメントミルク中のセメント量はスラグの乾燥重量に対するセメント重量の率として定義したものである。

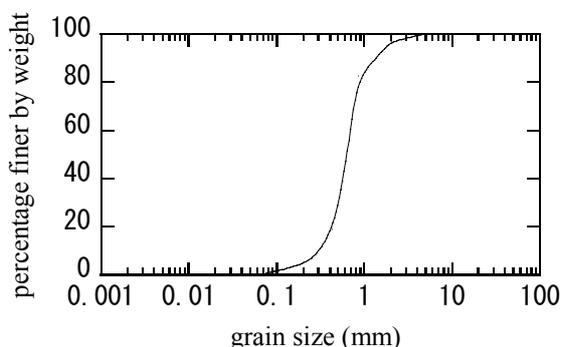


図-1 用いた水砕スラグの粒度分布

実験では、まず、所定量の溶液をソフトモールド(直径 5cm、高さ 12cm)に入れ、そこへ乾燥した水砕スラグ

を少量ずつ入れ、周囲から振動をかけながら所定量の水砕スラグを投入した。このとき、目標とした水砕スラグの密度は、あらかじめ求めてある水砕スラグの密度、最大密度、最小密度をもとに、相対密度がおよそ 80% となるようにした。試料を入れたプラスチックモールドにキャップをし、これをビニールテープでしっかりと密封し、蒸留水中で養生した。養生中は、室温を約 20 度に保つことによって、養生温度がほぼ一定になるように配慮した。なお、ソフトモールドの容器上部には 20cm³ 程度の上澄み液が残った状態となっている。

表-1 用いた溶液

記号	溶液	溶液の初期 pH	Ca ²⁺ 濃度(mg/l)	
			初期	180 日
C2	セメントミルク 2%	12.5	390	280
C4	セメントミルク 4%	12.7	610	380
C6	セメントミルク 6%	12.8	700	370
C8	セメントミルク 8%	12.8	710	380
C10	セメントミルク 10%	12.8	800	---
ASW	人工海水	8.1	240	200
NaOH	0.005 規定 NaOH 水溶液	11.9	0	200

*) 実験の都合により測定できていない

所定の日数がたったところでモールドを解体し、上澄み液の pH を測定するとともに一軸圧縮強さを求めた。モールドを解体する際に試料が固まっているかどうかを手触りなどでわかるため、固化していないと思われるものについては pH を測定していない場合がある。

3. 実験結果と考察

図-2 に一例として養生日数 90 日での一軸圧縮試験から求めたそれぞれの試験ケースの代表的な応力ひずみ関係を示す。この結果によると、図中のいずれの条件のものも破壊ひずみは 1% 程度となっている。

図-3 は各溶液ごとに養生日数によって一軸圧縮強さがどのように変化したかを示したものである。養生日数 7 日では、6%以上の濃度のセメントミルク溶液のものしか固化が始まっていない。養生 28 日までにはセ

キーワード 高炉水砕スラグ、潜在水硬性、経時変化、pH、港湾

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所 TEL 046-844-5057

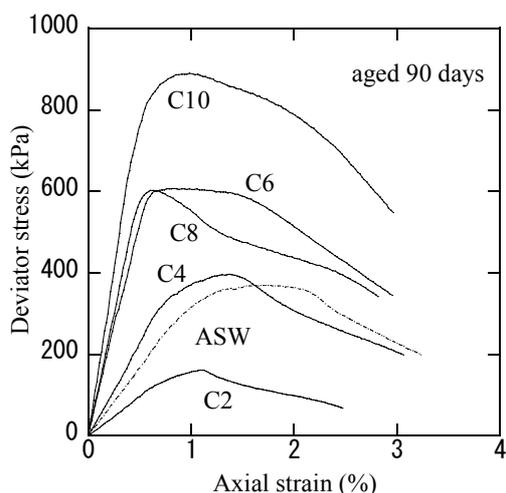


図-2 固結した水砕スラグの一軸圧縮試験結果

メントミルク溶液のものではすべて固化が始まっている。しかし、人工海水と水酸化ナトリウム溶液では固化していない。養生 90 日までには人工海水溶液のものの固化が始まり、その一軸圧縮強さが C4 のものとほぼ同じ程度となっており、その傾向は 180 日でも同じである。180 日までには NaOH 溶液の試料も固化した。その圧縮強さは、C6 とほぼ同じ程度である。セメントミルク溶液のものは養生の初期からある程度の圧縮強さを示す。人工海水や NaOH では、固結するのにかかる程度の時間を要するが、固結が始まると濃度の低いセメント溶液よりも大きな固結強度を示すようになる。

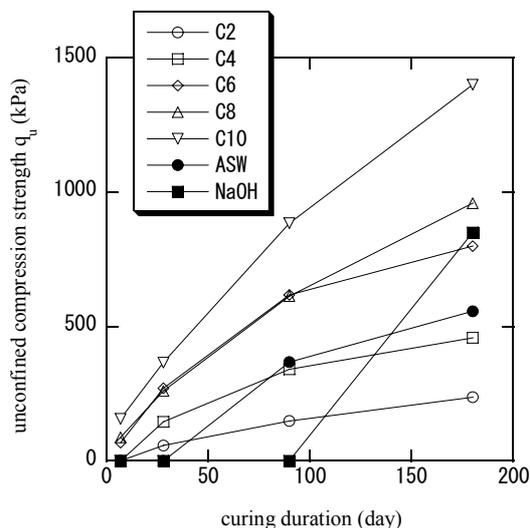


図-3 養生日数による一軸圧縮強さの変化

図-4 は溶液の上澄みの pH の変化を示したものである。セメント溶液の場合には、28 日までは、セメントの濃度によらずすべての濃度で初期の pH から変化していなかったものが、90 日たつとセメントの濃度によって pH に変化が現れ、180 日たつとまたもとの値に戻っ

ていた。人工海水については、90 日までは pH8.8 程度と比較的低い値を維持しているが、180 日たつと pH12.3 まで上昇している。これは、海水の持つ緩衝能力がある段階で限界に達したためであると考えられる。NaOH については途中欠測があるが、pH はほとんど変化していない。

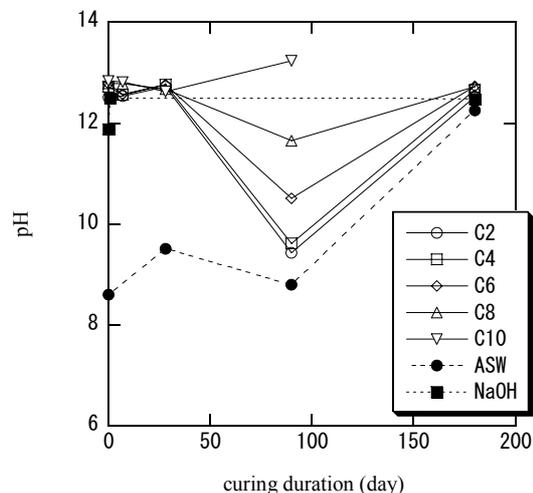


図-4 養生日数による溶液の pH の変化

溶液中の Ca^{2+} の濃度について調べた結果を表-1 に示してある。高濃度のセメント溶液では、イオン化していない CaO が多量に含まれており、これが早期の固結の促進をした³⁾と考えられる。他方人工海水の場合には、溶液の pH が低いのみならず、C2 よりも Ca^{2+} が少ない。人工海水では初期の強度の増加はないものの、90 日以降では C4 とほぼ同じ圧縮強さを示した。人工海水には大量の Mg^{2+} が存在しており、 Ca^{2+} と類似の挙動をすると類推されるこのイオンが固結と何らかの関係を持っているものと考えられる。NaOH 溶液のものが固結の開始が最も遅かったが、固結するとかなり大きな強度を有するようになるとともに、溶液中の Ca^{2+} 濃度も他の溶液とほとんど変わらなくなっていた。NaOH 溶液の場合には、溶液中にもともと Ca^{2+} 、 Mg^{2+} などのイオンがないため、固結するためには、アルカリ刺激によって水砕スラグから Ca^{2+} を溶出させることが必要となるが、これに時間がかかるため今回のような結果になったのではないと思われる。特徴的なことは、180 日たつてすべての供試体が固化するようになると、溶液の pH がほぼ同じ値になるとともに、 Ca^{2+} の濃度もほぼ同じ値となることである。

【参考文献】1)沿岸センター(1989): 港湾工事用水砕スラグ利用手引書, 2)菊池(2003): 港湾工事で用いられた水砕スラグの特性の経年変化, 土木学会論文集 No.736, 3)セメント協会(1983): セメント化学雑論