

高炉水砕スラグの固結に及ぼす要因について（その2：粒度の影響）

（独）港湾空港技術研究所 正会員 高橋 邦夫 菊池 喜昭
 （財）沿岸開発技術研究センター 正会員 元木 卓也
 鉄鋼スラグ協会 正会員 ○鈴木 操 中川 雅夫

1. はじめに

高炉水砕スラグ（以下、水砕）は、水と反応して固結する性質（潜在水硬性）を有することが、既に多くの文献によって示されている。この潜在水硬性に与える諸条件については、間隙比、アルカリ添加等個々に調査された事例はあるが、総合的に調査した事例は少ない。著者らは水砕スラグの固結に影響を及ぼす諸条件に関する総合的な調査を実施し²⁾、その中で水砕は粒子破碎によって固結が促進されることを述べた。

ここでは、破碎の程度が水砕の固結に及ぼす影響について詳述する。

2. 水砕の固結試験概要

水砕の粒子破碎による固結への影響を把握するために、ロサンゼルスすり減り試験機により水砕の粒度を調整した。このとき破碎の程度については、破碎時間を変えることによって三種類の粒度に設定した。図-1に破碎前後の粒度分布を示す。表-1は、破碎による粒度（D50）及び粒子密度、最大最小密度試験の結果を示す。表-1より水砕の粒径は破碎とともに小さくなり、粒子密度、最大・最小密度は大きくなっていることが分かる。表-2にこれらの水砕をそれぞれ用いた試験ケースの一覧を示す。供試体は、水砕を相対密度で60%となるようにプラスチックモールド（φ=50mm h=100mm）へ充填し、海水で飽和させた。養生期間は、それぞれ80℃養生の場合、10日、20日、30日とし、20℃養生の場合30日、90日に設定し、各材齢での固結の程度は一軸圧縮試験で確認した。

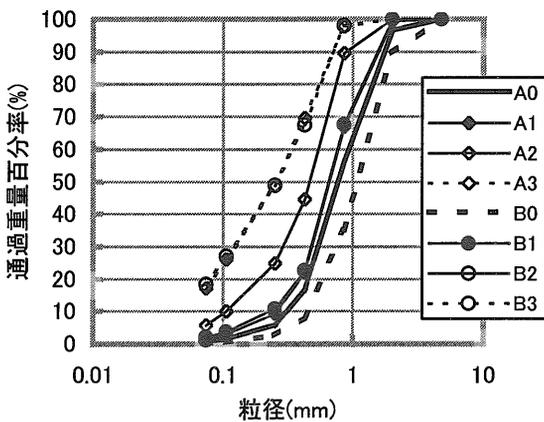


図-1 破碎試験前後の粒度分布

表-1 水砕の破碎試験結果

スラグ	破碎レベル	破碎時間	D50 (mm)	原粒度に対するD50の比	粒子密度	最大最小密度	
						最大 (kg/l)	最小 (kg/l)
A	0 小	0分	0.782	1.000	2.702	1.258	1.052
	1 ↑	3分	0.691	0.884	2.723	1.295	1.133
	2 ↓	25分	0.477	0.610	2.772	1.565	1.339
	3 大	90分	0.261	0.334	2.884	1.852	1.542
B	0 小	0分	1.162	1.000	2.668	1.417	1.182
	1 ↑	3分	0.803	0.691	2.701	1.434	1.256
	2 ↓	10分	0.683	0.588	2.734	1.549	1.361
	3 大	90分	0.259	0.223	2.851	1.960	1.573

表-2 試験ケース

スラグの種類	破碎レベル	養生温度	γ_d
A	A0	80℃、20℃	1.167
	A1	80℃、20℃	1.226
	A2	80℃、20℃	1.467
	A3	80℃	1.730
B	B0	80℃、20℃	1.313
	B1	80℃、20℃	1.359
	B2	80℃、20℃	1.468
	B3	80℃	1.785

3. 一軸圧縮試験結果

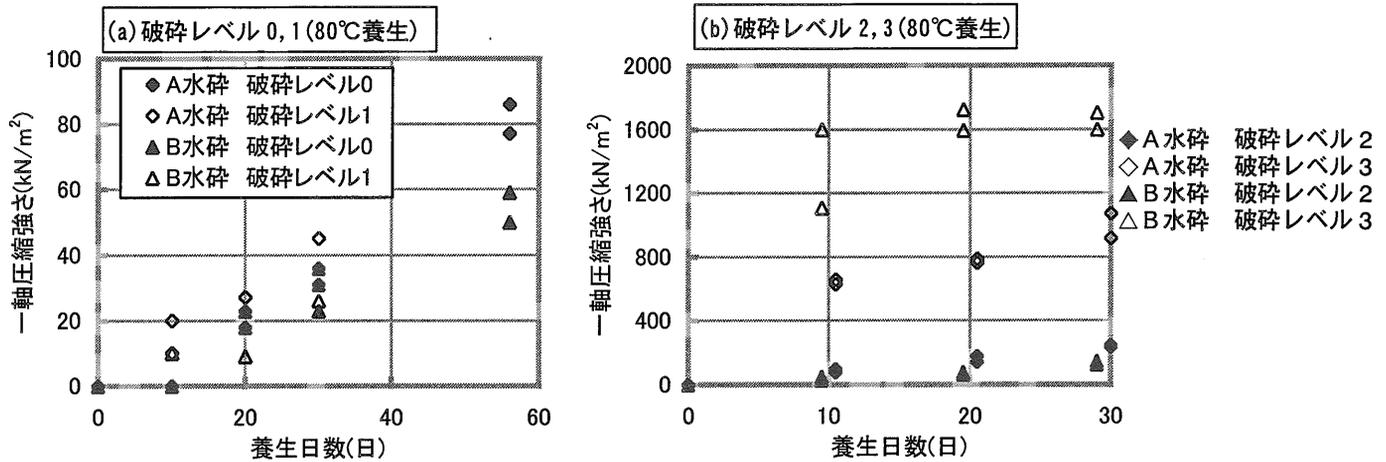
図-2(a),(b),(c)に各供試体の一軸圧縮強さの経時変化を示す。

図-2より80℃、20℃養生とも粒子破碎の程度が大きいほど一軸圧縮強さは大きくなっていることが分かる。80℃で促進養生した場合には破碎レベル3で破碎した水砕は10日までの強度上昇が特に促進され、その後の上昇が緩やかであった。また、20℃の養生の場合は80℃養生の場合に比べると強度発現が遅いものの、30日～90日において、破碎程度の違いによる一軸圧縮強さの違いが顕著となる。破碎レベル1及び2の一軸圧縮強さは

キーワード：水砕スラグ、固結、粒子破碎、粒子の接触点数

鉄鋼スラグ協会：〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 2-12-5 Tel：03-5643-6016 Fax：03-5643-6018

時間とともに上昇していく傾向にある。



4. 高炉水砕スラグの固結メカニズムと固結の評価法

水砕の固結メカニズムは、図-3に示すように説明できる。

水砕が水と接すると、そのガラス構造から間隙水へ溶出したカルシウム、シリカ、アルミナ等のイオンが反応し、C-S-H(珪酸カルシウム水和物)等が粒子表面に形成される。このとき粒子接点では、生成した水和物により、粒子同士が結合され固結が生じる。従って、固結は粒子の接点数に大きく影響されると考えられる。そこで、単位体積あたりの接点数を求めることにより、物理的に固結の程度が検討できるものと考えた。1粒子あたりの接点数を配位数 (co-ordination number) \bar{N} といい、既に種々の検討がされている。Field³⁾は配位数の平均値として間隙比 e にだけ関係する(1)式を提案している。ここで、スラグ粒子を直径が d の球とすると、単位体積 V あた

$$\bar{N} = \frac{12}{1+e} \quad (1)$$

りのスラグ粒子の個数 N_s は(2)式で示される。

$$N_s = \frac{V/(1+e)}{(1/6)\pi d^3} = \frac{6V}{\pi(1+e)d^3} \quad (2)$$

(1)(2)式より体積 V あたりの粒子の接点数は(3)式となる。

$$N = \frac{1}{2} \times N_s \times \bar{N} = \frac{36V}{\pi(1+e)^2 d^3} \quad (3)$$

この(3)式から求めた接点数 N と、さきに示した 80°C で 30 日養生した供試体の一軸圧縮強さとの関係を求めると図-4 のようになる。図より粒子接点数と一軸圧縮強さは、相関性が高いと考えられる。水砕は、粒子破碎により早期の一軸圧縮強さは飛躍的に向上し、この現象について粒子の接点数を求めることにより、ある程度説明できることが分かった。【参考文献】 1)例えば、菊池喜昭、高橋邦夫：水砕スラグの力学特性経年変化,港湾技研資料, No.915, 1998.9 2)高橋邦夫、菊池喜昭、尾島啓介、星秀明、篠崎晴彦：高炉水砕スラグの固結への影響（その1：各種諸条件の影響）,第57回土木学会年次学術講演会投稿中,2002.9 3)Oda.,M：Co-ordination number and its relation to shear strength of granular material ,Soil and Foundations, Vol.17, No.2, pp29-42, 1977



図-2 一軸圧縮強さの経時変化

間隙水中に水砕粒子から溶出した、イオンが飽和により沈殿し、粒子表面に水和物を生成する。

図-3 水砕の固結メカニズム

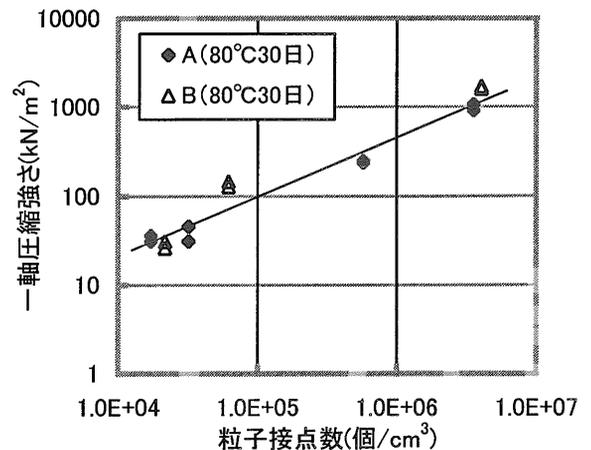


図-4 粒子の接点数と強度の関係