

製造場所が異なる高炉水砕スラグの港湾への利用時における強度予測手法の適用性

山口大学大学院	学生会員	○中西 淳
山口大学大学院	正会員	原 弘行
山口大学大学院	正会員	松田 博
HUE University	非会員	Tran Thanh Nhan
鐵鋼スラグ協会	正会員	篠崎 晴彦

1. はじめに

高炉水砕スラグ（以下：水砕スラグ）は、銑鉄の製造過程において生産される副産物である。水砕スラグは無数の気泡を有しているため軽量であり、粒度組成は自然砂に類似している。また、水と接触し得る環境下では水砕スラグ自身からカルシウムやシリカ・アルミナ等を溶出することで水和反応が進行する水硬性を有する。水砕スラグの用途として最も多いのはセメント用であるが、近年は減少傾向にあり、水砕スラグの新たな活用先の開発が望まれる。また、海砂・山砂の採取規制により十分な地盤材料の確保が困難な場合もあり、水砕スラグの地盤材料としての有効活用が期待される。現在、いくつかの条件で養生した水砕スラグ供試体の水和反応率の進行挙動から一軸圧縮強さを予測する手法が提案されている¹⁾。本研究では、港湾工事への利用を考え、海水中で養生した異なる製鉄所から生産された3種類の水砕スラグに対して一連の試験を実施し、強度予測法の適用性を調べた。

2. 実験概要

本研究で用いた製造場所の異なる3種類の水砕スラグ（A, B, C）の物理特性を表-1に示す。試験は以下の手順で実施した。まず、それぞれの水砕スラグを相対密度 $D_r=80\%$ となるように直径5cm, 高さ10cmのプラスチックモールドに詰め、80°Cの海水に浸漬させて養生した。海水に浸漬させた水砕スラグA, B, Cの実験条件をそれぞれスラグA, スラグB, スラグCと称する。養生期間を0~169日とし、所定の期間養生後、一軸圧縮試験、水和反応率試験を実施した。水和反応率試験は、近藤ら²⁾が提案したサリチル酸・アセトン・メタノール溶液を用いた選択溶解法を採用した。

3. 実験結果と強度予測手法の適用性

図-1に水和反応率の経時変化を示す。図中のプロットは実験結果を示している。水和反応率は養生時間とともに増加しており、養生日数が長くなるにつれ水和反応率の増加傾向が緩やかになる傾向が確認できる。また、スラグCで特に顕著であるが、養生後一定期間経過した後に水和反応率が急激に進み始めるケースもみられる。これらのことから、式(1)¹⁾を用いて近似した。

$$R = r\sqrt{t - t_m} \quad (1)$$

ここに、 R は水和反応率（%）、 t は養生時間（days）、 t_m は水和反応が急激に進み始める養生日数（days）を表す。図中の点線は近似結果を示している。いずれの場合も決定係数 R^2 は大きく相関性が高い。水和反応の

表-1 水砕スラグの物理特性

	A	B	C
土粒子の密度 $\rho_s(g/m^3)$	2.73	2.68	2.76
最大間隙比 e_{max}	1.378	1.571	1.402
最小間隙比 e_{min}	0.807	0.967	1.044

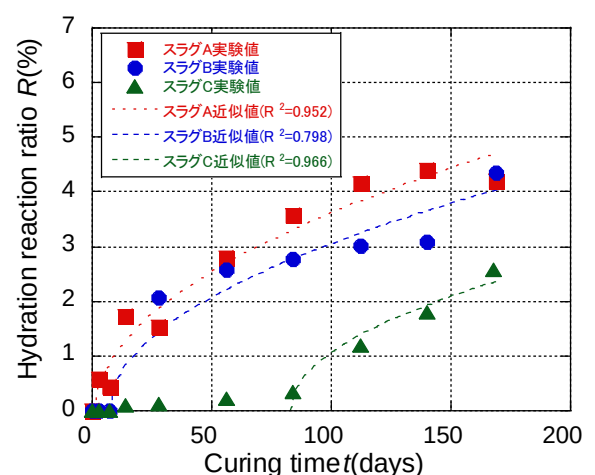


図-1 水和反応率の経時変化

進行挙動を表現できているといえる。

一軸圧縮強さと水和反応率の関係を図-2に示す。実験結果より、水和反応率が高いときほど一軸圧縮強さは大きくなる。一軸圧縮強さと水和反応率は線形関係がみられるため式(2)¹⁾を用いて近似した。

$$q_u = m \times R + C \quad (2)$$

ここに、 q_u は一軸圧縮強さ (kN/m²) r , m , C は実験定数である。水和反応が一切進んでいない状態では、粒子間の結合力が発揮されず自立しないと考えられるため、実験定数 C はゼロとした。一部決定係数 R^2 がやや低い実験条件も確認できるが、水砕スラグの一軸圧縮強さは水和反応の進行によって大きくなることがわかる。

一軸圧縮強さの経時変化を図-3に示す。一軸圧縮強さは時間とともに大きくなる傾向がみられ、水和反応率と同様に、スラグ C では養生後一定期間経過した後に急激に増加している。式(1)を式 (2) に代入することで任意の養生時間から一軸圧縮強さを予測する式(3)が得られる。

$$q_u = m \times r \sqrt{t - t_m} + C \quad (3)$$

式(3)を用いて求めた一軸圧縮強さの実測値と予測値の関係を図-4に示す。スラグの種類にかかわらず実験値と予測値の間に大きな乖離はなく、そのほとんどが±20%以内に収まっており、精度良く予測できているといえる。

4. まとめ

本研究は、異なる製鉄所から産出された3種類のスラグに対する既往の強度予測手法の適用性を調べた。得られた知見をまとめると以下のようになる。

- 1) 実験値と予測値の差異はおよそ±20%以内に収まった。
- 2) 既往の強度予測手法が今回新たに用いた製造場所の異なる高炉水砕スラグに対しても十分適用できることを示した。

【参考文献】

- 1) 和田正寛, 松田博, 原弘行, 中村奨哉, 井川尚之 : 高炉水砕スラグの強度と自己修復能力の定量的評価, 材料, Vol.65, No.1, pp.28-33, 2016.
- 2) 近藤連一, 大沢栄也 : 高炉水砕スラグの定量およびセメント中のスラグの水和反応速度に関する研究, 窯業協会誌, Vol.77, pp.39-46, 1969.

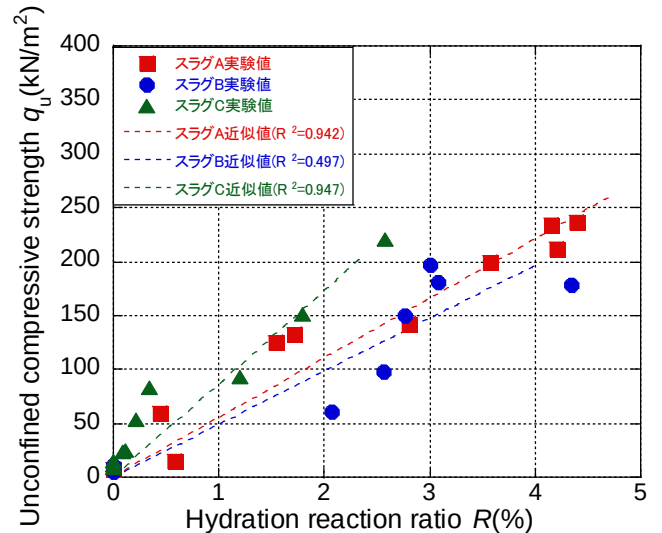


図-2 一軸圧縮強さと水和反応率の関係

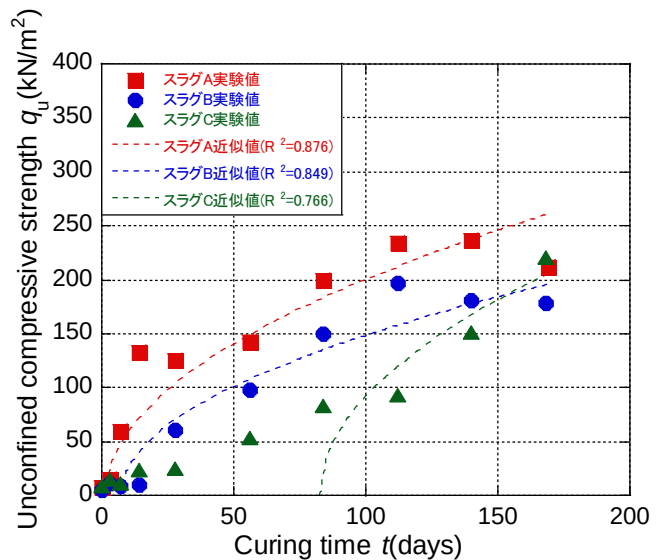


図-3 一軸圧縮強さの経時変化

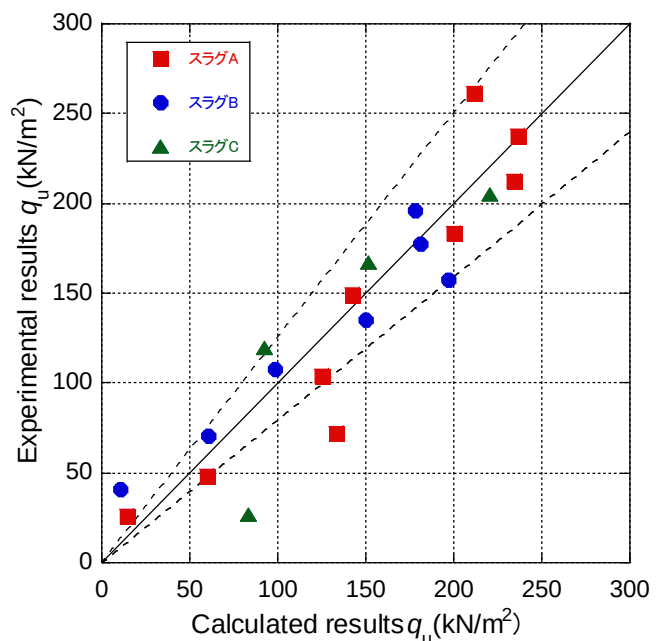


図-4 一軸圧縮強さの実験値と予測値の関係