

(株)熊谷組 正会員 細田信道
新潟大学 フェロー 長瀧重義
(財)石炭利用総合センター 市川孝男

1. はじめに

今後、石炭は日本の主要なエネルギー源となることから、石炭灰の発生量は年々増大し2000年には1000万トンを超えることが予測されている。石炭灰の大量利用としては土工材への使用が期待されている。土工材として石炭灰利用を考える時、強度特性が重要となる。本文は平成元年から6年にかけて(財)石炭利用総合センターが通産省の補助事業で行ってきた各種の石炭灰利用に関する試験研究の中から、微粉炭燃焼灰のセメント添加時の強度特性について述べるものである。

2. 微粉炭石炭灰の諸特性

試験に使用した微粉炭石炭灰(以下微粉炭灰と称す。)29灰種の主な化学的特性の分布を表1に、主な物理的特性の分布を表2に示す。また、セメント無添加での微粉炭灰の突き固め試験による土質的特性の分布を表3に示す。

3. セメント添加微粉炭灰の一軸圧縮強度

3.1 セメント添加微粉炭灰の一軸圧縮強度

セメント無添加の最大乾燥密度の5%及び10%の普通ポルトランドセメントを添加(C/F)した微粉炭灰の材齢7日、28日、91日、180日の主な一軸圧縮強度(細線の実線および破線)を、表4のセメント無添加時の微粉炭灰のLOIとCaO含有量/空隙量により4区分し、それぞれ図1~4に示すと共に、材齢28日の全灰の一軸圧縮強度を表5に示す。LOIの高い③④に区分した微粉炭灰は最大乾燥密度が小さく、空隙率も大きく、各材齢での強度は低くなっている。それに比して①②に区分される微粉炭灰はLOIが低く、強度は高くなっている。

3.2 物理・化学的特性と一軸圧縮強度

表1にあるように、SiO₂成分率は全灰50%以上であり、各図を通して、長期材齢91~180日においても一軸圧縮強度は伸びている。特にセメント添加率10%での伸びは高くなっている。これらはポゾラン効果によるものと考えられる。しかし、図1の①に区分されるN027、N028の強度は高いが、材齢28日あるいは91日以降の一軸圧縮強度の伸びが見られない。これはCaO含有率がそれぞれ7.75%、6.98%と高いことによるものと考えられる。

3.3 セメント添加率と一軸圧縮強度の関係

図1~4には、セメントを添加した各微粉炭灰の材齢経過に伴う一軸圧縮強度を対数の近似曲線を、太線の実線(5%)

石炭灰、微粉炭燃焼灰、セメント添加、物理特性、一軸圧縮強度
茨城県つくば市鬼ヶ窪1043 熊谷組技術研究所 TEL 0298-47-7501

表1 微粉炭灰の主な化学的特性

化学性分	最大値	最小値	平均値
pH	12.4	4.0	9.7
LOI[%]	13.2	0.1	11.4
SiO ₂ [%]	76.9	51.3	61.6
CaO[%]	7.75	0.44	2.38
SO ₃ [%]	1.50	0.03	0.24

表2 微粉炭灰の主な物理的特性

物理試験	最大値	最小値	平均値
真比重	2.309	2.013	2.127
比表面積[m ² /g]	13.2	1.8	8.75
平均粒径[μm]	52.1	7.4	24.6
かさ密度[g/cm]	1.424	0.693	0.992

注:比表面積はN₂-BET値を示す。

表3 微粉炭灰の土質特性

	最大値	最小値	平均値
最大乾燥密度[g/cm]	1.392	0.760	1.032
最適含水比[%]	64.0	20.2	41.85

表4 微粉炭灰の区分表

		CaO含有量/空隙量	
		0.05g/cm ³ 以上	0.05g/cm ³ 未満
LOI	10%未満	①(8灰種)	②(8灰種)
	10%以上	③(2灰種)	④(11灰種)

表5 材齢28日の一軸圧縮強度(単位:MPa)

区分	最大値	最小値	平均値
①	5.50/9.04	1.22/1.37	2.70/3.08
②	1.57/2.62	0.65/1.27	0.98/1.74
③	0.96/1.52	0.81/1.28	0.89/1.40
④	0.83/1.36	0.41/0.70	0.60/0.98
全数	5.50/9.04	0.41/0.70	1.30/1.80

注:数値はセメント添加率5%/10%の強度を示す。

および破線(10%)で示してある。すなわち、各曲線の任意材齢Tでの一軸圧縮強度 σ_t は式(1)で表せる。

$$\sigma_t = A \cdot \ln(T) + B \quad (1)$$

図5は、全微粉炭灰の各勾配Aと各定数Bの関係を示したものである。図から、セメント添加率の違いは小さいことが分かる。N027を除いたセメント添加時の勾配Aと定数Bとの相関式は式(2)となる。

$$B_{5\%, 10\%} = -1.838A + 0.496 \quad (R=0.988) \quad (2)$$

一方、図6は、勾配Aとセメント添加時の締め固めた微粉炭灰の空隙中のセメント量(C/V)と関係を示したものである。この場合も、セメント添加率の違いは小さく、セメント添加時の勾配AとC/Vとの相関式は式(3)となる。

$$A_{5\%, 10\%} = 9.031C/V - 0.496 \quad (r=0.810) \quad (3)$$

以上から、土工材利用時のセメント添加の微粉炭灰の任意材齢の一軸圧縮強度はその時の空隙量とセメント量を使用して、式(4)により推定できる。

$$\sigma_t = (9.031 \cdot C/V - 0.496) \cdot (\ln(T) - 1.838) + 0.496 \quad (4)$$

4 まとめ

石炭灰の発現強度の推定は難しいものであるが、石炭灰へのセメント添加量および空隙量を知ることによって概ね推定できることが確認された。

参考文献 1) 細田他: 微粉炭石炭灰の諸特性、第11回ACAAシンポジウム、1995.1、

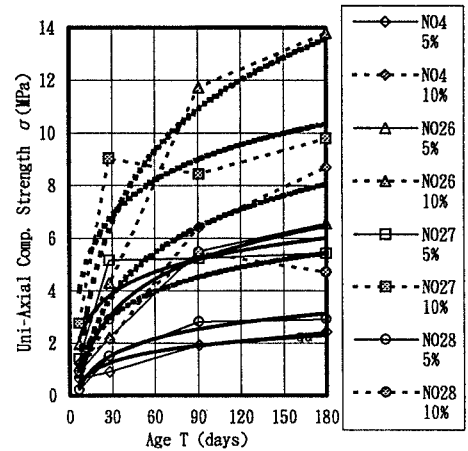


図1 区分①の材齢強度

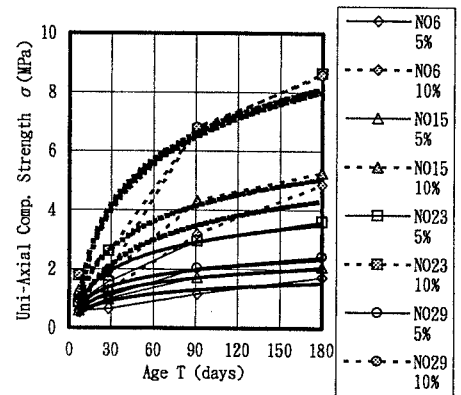


図2 区分②の材齢強度

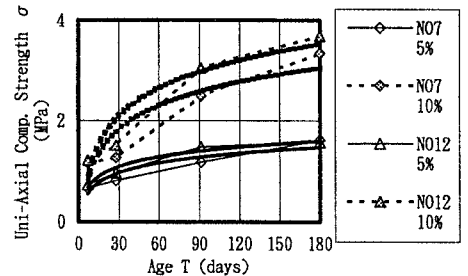


図3 区分③の材齢強度

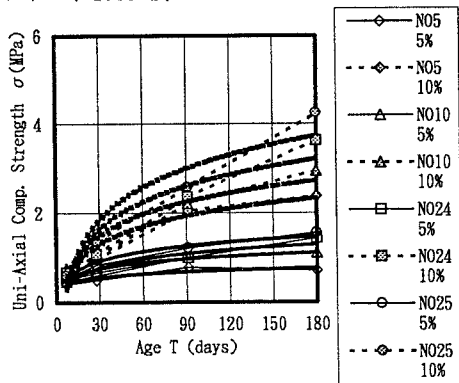


図4 区分④の材齢強度

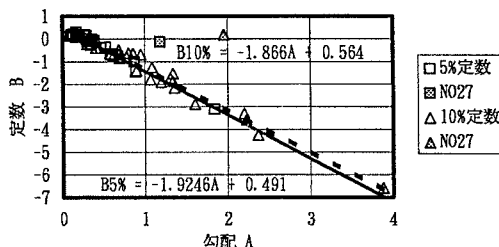


図5 勾配定数と定数の関係

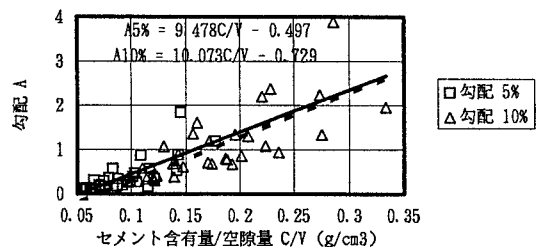


図6 勾配定数とC/Vの関係