

フライアッシュを多量使用した硬化コンクリートの強度特性

株式会社フジタ 正会員 ○明石太郎
徳島県 正会員 森内誠司
徳島大学大学院 正会員 川口修宏
徳島大学工学部 正会員 河野 清

1. はじめに

第2次石油危機以降、エネルギー需要の増大に伴い、電力供給の安定化、供給コストの抑制をめざして電力の多様化が図られ、再び石炭火力発電が脚光を浴びるようになってきた。石炭火力発電に伴う問題点として、副産物である石炭灰の多量発生が挙げられる。石炭灰は、全発生量の半分以上が埋め立て処分されるなど廃棄されており、その有効利用が強く望まれている。従来から土木建設業界では石炭灰の有効利用方法として、石炭灰中のフライアッシュをコンクリート用混和材として使用し、単位水量の減少、ワーカビリティの改善、長期強度の増加、水密性の改善等にポイントが置かれてきた。しかし、フライアッシュの混入量はセメントの内割りとして30%程度と少なく、多量使用されたケースはほとんどなかった。そこで本研究は、フライアッシュの多量使用について検討するため、単位セメント量を2種類用意し、フライアッシュがセメント使用量を上回る配合を8種類、およびその比較用としてフライアッシュを全く含まないものを1種類、合計9種類のコンクリートの配合を用い、その各々の硬化コンクリートについて、圧縮強度、引張強度および曲げ強度を測定し、強度特性に及ぼす影響について調査を行った。

2. 実験概要

使用材料は普通ポルトランドセメント（比重3.15）、フライアッシュ（比重2.22）、吉野川産川砂利、吉野川産川砂、高性能AE減水剤（ナフタリン系）を用いた。コンクリートの配合は、単位水量が 145kg/m^3 で一定、単位セメント量は 160 および 190kg/m^3 の2種類、単位フライアッシュ量は2種類の単位セメント量に対し外割りとしてそれぞれ質量の110、130、150および170

表-1 コンクリートの配合

種別	W/(C+FA) (%)	単位重量 (kg/m^3)					
		W	C	FA	S	G	SP
C384	46	175	384	0	751	1055	5.76
C160F11	43	145	160	176	654	1209	6.384
C160F13	39			208	617		6.256
C160F15	36			240	579		6.000
C160F17	34	145	190	272	542	1195	6.480
C190F11	36			209	605		6.783
C190F13	33			247	561		7.429
C190F15	31			285	516		8.075
C190F17	28			323	472		8.721

SP：高性能AE減水剤

%混入した。なお、単位水量および単位セメント量が一定であるため、単位フライアッシュ量の増加に伴い水結合材比は小さくなっており、コンクリート容積 1m^3 に対して、フライアッシュの増加分だけ細骨材量を減少した。スランブは $18 \pm 2\text{cm}$ を目標とし、この範囲にはいるように高性能AE減水剤量で調整した。強制練り混ぜミキサで2分練り混ぜた後スランブを測定し、圧縮強度および引張強度供試体は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 円柱供試体に、曲げ強度は $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ はり供試体に成形した。温度が $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の水槽で材齢7、28、56および91日まで標準養生を行い、試験に供した。

3. 実験結果およびその考察

図-1より、単位セメント量 160kg/m^3 のC160配合および単位セメント量 190kg/m^3 のC190配合のコンクリートにおいて、フライアッシュを混入しない単位セメント量 384kg/m^3 のC384と比較すると、フライアッシュを多量に使用したものは、全体的に強度発現が低いことが分かる。また、フライアッシュの混入率と圧縮強度との関係は、C160およびC190両配合とも材齢91日において、フライアッシュの混入率150%のコンクリー

トが、圧縮強度およびその増加率がもっとも高い値を示しており、フライアッシュの混入率と圧縮強度との間にはピークがあることが分かる。また、単位セメント量 190 kg/m^3 でフライアッシュを多量使用したコンクリートは、材齢28日で $26\sim 30\text{ MPa}$ 、材齢56日では 30 MPa を超えており、初期強度より長期強度を必要とするマスコンクリートに使用が可能であることを示している。

図-2は、材齢28日の圧縮強度を基準とした時の、材齢91日における強度の増加率を示したもので、C384のコンクリートが14%であるのに対し、C160配合のコンクリートが $26\sim 33\%$ 、C190配合のコンクリートが $21\sim 36\%$ であり、長期材齢における強度の増加率はフライアッシュを多量に混入したコンクリートのほうが明らかに大きいことが分かる。このことは、セメントの水和により生じる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と、フライアッシュ中の SiO_2 が常温で徐々に反応し不溶性の水和物を生成するポゾラン反応によるものであると考えられる。なお、フライアッシュの混入率170%ではC160配合よりC190配合のコンクリートのほうが、圧縮強度の増加率が小さくなっていることが分かる。これは、フィラー効果により、材齢28日の圧縮強度が大きくなったため材齢28日の圧縮強度と比較した材齢91日の圧縮強度の増加率が低くなったと考えられる。

図-3より、フライアッシュを多量使用したコンクリートの引張強度および曲げ強度は圧縮強度と非常に高い相関を示しており、引張強度は圧縮強度の $1/11\sim 1/15$ 、曲げ強度は圧縮強度の $1/6\sim 1/8$ であることが分かる。ここで、普通コンクリートの引張強度は圧縮強度の $1/10\sim 1/15$ 、曲げ強度は圧縮強度の $1/5\sim 1/8$ であることから、フライアッシュを多量使用したコンクリートの圧縮強度と引張強度および曲げ強度との関係は、普通コンクリートの場合と同程度の値を示しているといえる。

4. 結論

本研究の結果を要約すると以下のようになる。

- (1) セメント量に対して150%程度のフライアッシュ使用量が各材齢の強度発現において良好な結果が得られる。
 - (2) 単位セメント量 190 kg/m^3 でフライアッシュを多量使用した配合は、圧縮強度が材齢28日で $26\sim 30\text{ MPa}$ 、材齢56日では 30 MPa を超える値が得られる。
 - (3) 圧縮強度と引張強度および曲げ強度との関係は、普通コンクリートの場合と同程度の値である。
- 以上のことより、単位セメント量が 190 kg/m^3 、単位フライアッシュ量が $209\sim 323\text{ kg/m}^3$ の配合は、早期強度より長期強度が要求されるマスコンクリートに使用が可能であると思われる。

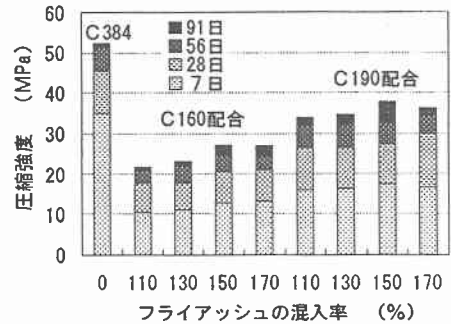


図-1 材齢と圧縮強度との関係

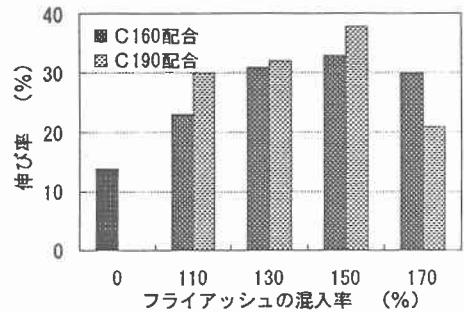


図-2 材齢91日強度の28日強度に対する伸び率

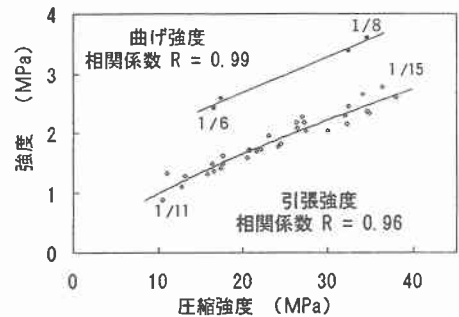


図-3 圧縮強度と引張強度および曲げ強度との関係