

フライアッシュを用いた高強度コンクリートの圧縮強度について

Compressive Strength of High-Strength Concrete with Fly Ash

室蘭工業大学大学院工学研究科 ○学生員 齋藤 隆明
 室蘭工業大学大学院工学研究科 学生員 田中 章梧
 室蘭工業大学 正員 菅田 紀之

1. はじめに

近年、環境問題の配慮としてコンクリート混和材の利用が推奨されている。フライアッシュは火力発電所で排出される産業副産物で大量に排出されており、産業副産物として様々な用途に使用されている。フライアッシュはコンクリート混和材としても利用されており、フライアッシュをセメントの一部に置換することによりセメント量を抑え、CO₂排出量を削減することができる。また、セメントを多量使用する高強度コンクリートではより削減効果大きい。コンクリートにフライアッシュを混和することで水和熱低減やアルカリシリカ反応の抑制、水密性向上といった効果が見込めるが、初期強度の低下や中性化抵抗性の低下、未燃カーボンによる AE 剤の吸着等を引き起こすため、セメント混合材・混和材としての利用は少ないのが現状である。

本研究ではフライアッシュを用いた高強度コンクリートの圧縮強度についてフライアッシュ混和の影響について検討を行った。セメントとしては普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを用いて比較を行った。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

コンクリートの製造に使用した結合材を表-1に示す。結合材には普通ポルトランドセメント(Cn)、早強ポルトランドセメント(Ch)およびフライアッシュ(FA)を用いた。使用したフライアッシュは JIS A 6201 のII種規格を満たすものである。細骨材(S)として陸砂、粗骨材(G)として碎石 2005 を用いた。また、流動性を確保するためにポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤(SP)、空気量を調整するためにポリエチレングリコール系の消泡剤(AF)を用いた。

表-1 結合材

| 材料 | 特性 |
|----|--|
| Cn | 普通ポルトランドセメント 密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3,220cm ² /g |
| Ch | 早強ポルトランドセメント 密度：3.14g/cm ³ 比表面積：4,660cm ² /g |
| FA | JIS II 種 密度：2.29g/cm ³ 比表面積：4,170cm ² /g |

2.2 配合

本研究に用いた高強度コンクリートの配合を表-2に示す。水結合材比(W/B, B=C+FA)を 30%とし、普通ポルトランドセメントと早強ポルトランドセメントそれぞれに対しフライアッシュ置換率(FA/B)を 0%, 10%, 20%, 30%の4種類、計8ケースに設定した。全ケースにおいて単位水量を 165 kg/m³、FA/B=0%において粗骨材絶対容積が 0.33 m³/m³程度になるように細骨材率を 49%とした。なお、各配合を NFA00, NFA10, NFA20, NFA30, HFA00, HFA10, HFA20, HFA30 で表す。

2.3 圧縮強度試験

直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体を用いて圧縮強度を測定した。コンクリートの養生方法は 20°C水中養生であり、試験材齢は 7 日、28 日および 91 日である。各配合と材齢ごとにそれぞれ 3 本ずつ試験し、それらの試験結果を平均し圧縮強度とした。なお供試体の打ち込み面は研磨機による研磨仕上げとした。

表-2 配合

| 配合名 | W/B (%) | FA/B (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | |
|-------|---------|----------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| | | | | W | Cn | Ch | FA | S | G | SP | AF (g) |
| NFA00 | 30 | 0 | 49 | 165 | 550 | - | 0 | 861 | 890 | 3.08 | 9.24 |
| NFA10 | | 10 | | | 495 | - | 55 | 852 | 881 | 2.97 | 8.91 |
| NFA20 | | 20 | | | 440 | - | 110 | 844 | 872 | 2.86 | 8.58 |
| NFA30 | | 30 | | | 385 | - | 165 | 835 | 863 | 2.75 | 8.25 |
| HFA00 | | 0 | | | - | 550 | 0 | 850 | 882 | 2.97 | 8.91 |
| HFA10 | | 10 | | | - | 495 | 55 | 842 | 873 | 2.95 | 8.84 |
| HFA20 | | 20 | | | - | 440 | 110 | 833 | 864 | 2.88 | 8.65 |
| HFA30 | | 30 | | | - | 385 | 165 | 825 | 855 | 2.77 | 8.32 |

3. 圧縮強度試験結果および考察

図-1 に圧縮強度試験の結果を示す。普通ポルトランドセメントを用いた場合では、全ての材齢においてフライアッシュ置換率の増加に伴い圧縮強度が減少していることがわかる。これはセメント量の減少によるものと推察される。また、材齢 7 日と比較すると、材齢 28 日および 91 日において NFA00 と NFA10, NFA20, NFA30 との圧縮強度差が縮まった。特に 91 日は強度差縮小が顕著であり、これはフライアッシュのポゾラン反応の進行によるものと考えられる。しかしながら、セメントの水和反応と比較するとフライアッシュのポゾラン反応は緩慢であったことにより、NFA00 の強度よりも小さいままである。次に早強ポルトランドセメントを用いた場合では、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同様にすべての材齢においてフライアッシュ置換率の増加に伴い圧縮強度が減少していることがわかる。また、材齢 28 日および 91 日における HFA00 とそれ以外との圧縮強度差は縮小している。こちらも普通ポルトランドセメントを用いた場合と同様である。

表-3 に普通ポルトランドセメントを用いた強度に対する早強ポルトランドセメントを用いた強度の増加量を示す。普通ポルトランドセメントを用いた結果と早強ポルトランドセメントを用いた結果を比較すると、早強ポルトランドセメントを用いた場合の強度は、その早強性により、材齢 7 日で普通ポルトランドセメントを用いた配合より約 13 N/mm²増加している。そして材齢 28 日および 91 日において強度増加量は約 5 N/mm²に縮小していることがわかる。また、図-1 より材齢 7 日強度において HFA10 および HFA20 の強度が NFA00 を超えていること、材齢 28 日強度において HFA10 が NFA00 と同程度であること、材齢 91 日強度において HFA10 および HFA20 の強度が NFA00 の 28 日強度を超え、HFA30 の強度が NFA00 の 28 日強度と同程度になることがわかる。よってまた、表-4 に示す各 FA00 に対する FA30 の強度減少量・減少率から、フライアッシュ混和率 30 %の強度の無混和に対する減少率は、使用したセメントの種類によらずほぼ同じであることがわかる。以上のことから、早強ポルトランドセメントを用いることでフライアッシュの初期強度は改善され、また材齢 28 日以降も普通ポルトランドセメントを用いた配合よりも全体的に高い強度を示していたため、フライアッシュの強度低下は緩和されたといえる。

4. まとめ

本研究による結果をまとめると次のようになる。

- 1) 使用したセメントの種類によらず、フライアッシュ置換率の増加に伴い圧縮強度は減少し、材齢 28 日以降のフライアッシュ混和による強度低下は縮小する。
- 2) 早強ポルトランドセメントを用いることで、材齢 7 日において置換率 20%の強度が普通ポルトランドセメントを用いたフライアッシュ無混和の強度を超え、材齢 28 日および 91 日において置換率 10%の強度が普通ポルトランドセメントを用いたフライアッシュ無混和の場合の強度を超える。

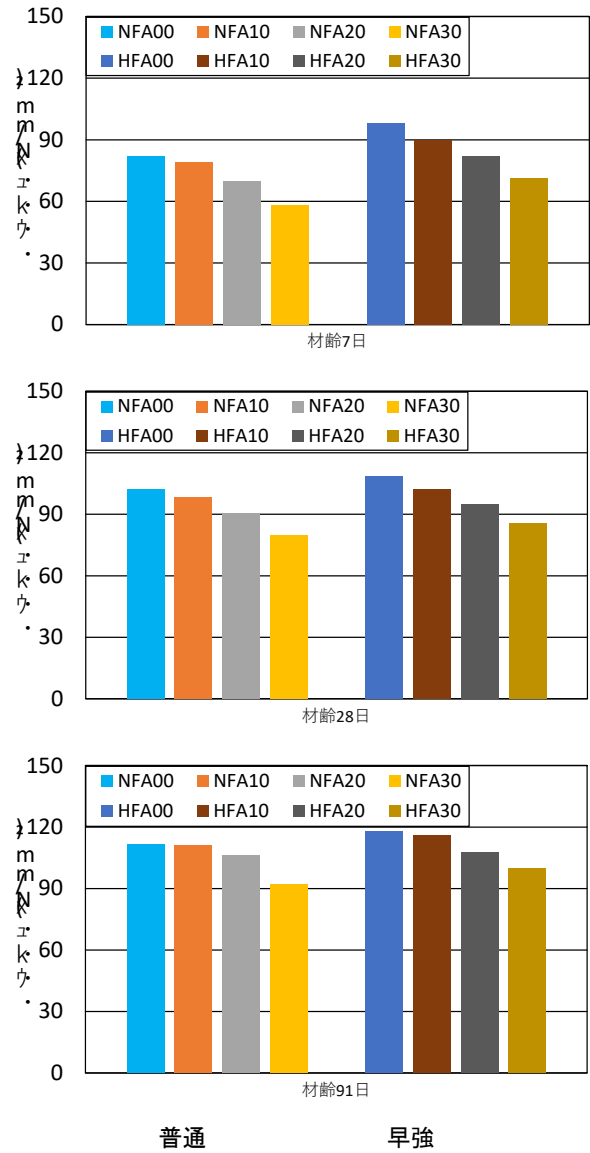


図-1 圧縮強度

表-3 早強ポルトランドセメントによる強度増加量 (N/mm²)

| 材齢 (日) | HFA00 | HFA10 | HFA20 | HFA30 | 平均 |
|--------|---------|---------|---------|---------|-------|
| | - NFA00 | - NFA10 | - NFA20 | - NFA30 | |
| 7 | 16.05 | 10.64 | 12.28 | 13.25 | 13.05 |
| 28 | 6.42 | 4.22 | 4.54 | 5.89 | 5.27 |
| 91 | 6.02 | 4.91 | 1.18 | 7.60 | 4.93 |

表-4 各 FA00 に対する FA30 の強度減少量・減少率 (N/mm²)

| 材齢 (日) | HFA00 | 減少率 | NFA00 | 減少率 |
|--------|---------|-----|---------|-----|
| | - HFA30 | | - NFA30 | |
| 7 | 26.54 | 27% | 23.74 | 29% |
| 28 | 23.09 | 21% | 22.56 | 22% |
| 91 | 17.90 | 15% | 19.48 | 17% |