

# フライアッシュセメントペーストの水和反応およびその微細構造に及ぼす酸化亜鉛の影響

Effect of zinc oxide on hydration and micro structure of fly ash cement paste

東北大学 助教 五十嵐 豪

## (研究計画ないし研究手法の概略)

### 1. はじめに

沿岸部など海からの塩分飛来を受ける立地条件にある鉄筋コンクリート構造物は、コンクリート表層からの塩化物イオンの浸透によりコンクリート中の鉄筋の腐食を生じうる。コンクリートへのフライアッシュの添加は、塩化物イオンの浸透を抑制することが知られている。しかし、フライアッシュは、セメントと比較すると反応活性が低いため、セメントとの大量置換は初期強度の低下につながる。本研究では、フライアッシュセメントに対して、金属ナノ粒子、特に酸化亜鉛微粉末を添加することにより、セメントないしはフライアッシュの反応の促進について検討を行った。

### 2. 実験概要

#### 2. 1 使用材料および調合

使用材料は、普通ポルトランドセメント (JIS規格品)、フライアッシュII種 (JIS規格品)、酸化亜鉛粉末 (JIS規格品)、増粘剤 (アルキルアリルスルホン酸塩およびアルキルアンモニウム塩)、上水 (活性炭フィルターによるろ過水) を使用した。調合は、水粉体比を0.55一定とし、普通セメントのみ (N)、普通セメントに対して酸化亜鉛を1 wt%内割置換 (NZ)、普通セメントに対してフライアッシュを15 wt%置換 (NF)、普通セメントに対してフライアッシュを15 wt%置換したものに対して酸化亜鉛を1 wt%置換 (NFZ) の4種類について検討した。なお、増粘剤は、すべての調合において水に対して1wt%添加した。それぞれの調合表を表1に示す。

表1 調合表

シリーズ名	水粉体比	調合 (mass%)				
		水	セメント	フライアッシュ	酸化亜鉛	増粘剤
N	0.55	35.36	64.29	0	0	0.35
NZ			63.65	0	0.64	
NF			54.64	9.64	0	
NFZ			54.10	9.55	0.64	

練り混ぜは、まずセメント、フライアッシュまたは酸化亜鉛の粉体のみを所定の調合でオムニミキサを用いて1分間空練りした後に、水を加え、オムニミキサを用いて3分間練り混ぜた。得られたセメントペーストは、オムニミキサでの練り混ぜからブリーディングが収まるまで30分おきにさじを用いて練り返した後、増粘剤を加え、エントラップトエアがなるべく入らないように注意深くさじで練り返してから、φ50×100mm円柱供試体用樹脂製型枠または40×40×160mm角柱供試体用鋼製型枠に打ち込んだ。セメントペーストを流し込んだ型枠は、20°C湿空環境に静置した。φ50×100mm

円柱供試体は、1週間の静置後、型枠から取り出し、20℃で水中養生を行った。40×40×160mm角柱供試体は、1週間の静置後、型枠から取り出し、小割切断機を用いて40×40×20 mmに切り出し、型枠底面にあたる1面を除いた残りの5面にエポキシ樹脂を塗布した。

## 2. 2 圧縮載荷試験

圧縮載荷試験は、φ50×100mm円柱供試体を用いて、材齢7、14、28、56日に実施した。供試体上面は、載荷試験直前に自動研磨機を用いて平滑に加工した。供試体には、コンプレッソメーターを取り付け、1000kN万能試験機を用い、毎秒0.6±0.4N/mm<sup>2</sup>の速度で破壊まで載荷を行った。圧縮強度およびヤング率の試験結果は、供試体3本の平均値として算出した。

## 2. 3 塩水浸漬試験

塩水浸漬試験は、エポキシ樹脂を塗布した40×40×20 mm供試体を塗布から1日後、3%塩化ナトリウム水溶液に浸漬を開始し、浸漬開始から7、14、28日後に実施した。塩分浸透深さの測定は、所定の期間後に供試体を塩水から取り出し、小割切断機を用いて、浸透深さ方向に切断し、切断面に対して、0.1N硝酸銀水溶液を噴霧し、白色に呈色した部分を塩分浸透部とみなし、塩分浸透深さを定規で計測した。塩分浸透深さの試験結果は、供試体3体の平均値として算出した。

### (実験調査によって得られた新しい知見)

## 3. 実験結果および考察

圧縮載荷試験から得られた圧縮強度の経時変化を図1、ヤング率の経時変化を図2にそれぞれ示す。図1に示されるように、NとNZまたはNFとNFZを比較すると、酸化亜鉛の添加により圧縮強度が増加していることが確認された。この傾向は、田中らの行ったアリットに対する酸化亜鉛の影響に関する検討結果と一致がみられた<sup>1)2)</sup>。図2に着目すると、材齢14日と材齢56日において、NFとNFZの大小関係に逆転が生じるものの大まかな傾向としては、圧縮強度と同様にヤング率も酸化亜鉛の添加により増加する傾向が認められた。酸化亜鉛の添加による圧縮強度およびヤング率の増加率に着目してみると、Nに対するNZの増加率のほうがNFに対するNFZの増加率に対して、若干大きいことが確認できる。このことから、酸化亜鉛は、セメントの水和反応の促進には寄与する一方で、フライアッシュのポゾラン反応の促進にはあまり寄与しないことが推察された。

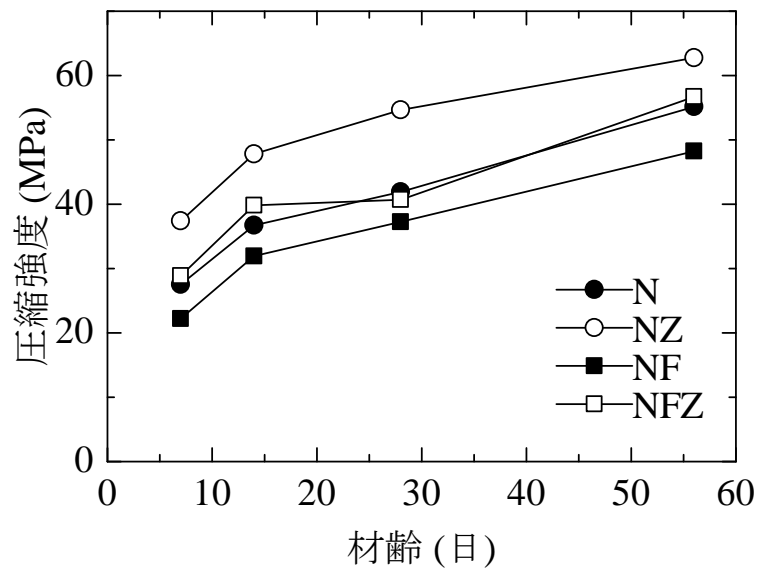


図1 圧縮強度の経時変化

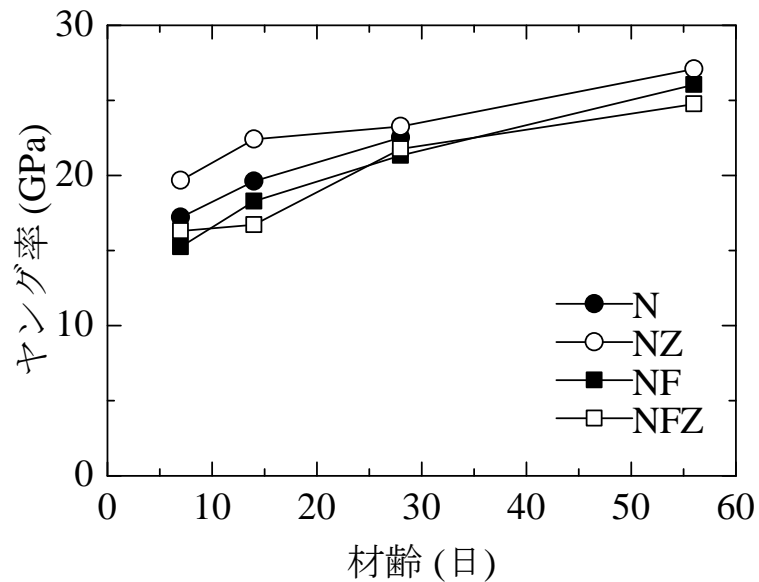


図2 ヤング率の経時変化

塩水浸漬試験から得られた塩分浸透深さの経時変化を図3に示す。図3に示されるように、NとNZまたはNFとNFZを比較すると、酸化亜鉛の添加により塩分浸透抵抗性は低下していることが確認された。前述のとおり、酸化亜鉛の添加により圧縮強度およびヤング率が増加していることを鑑みると、酸化亜鉛は、セメントの水和反応の促進および微細構造の形成に寄与している一方で、その陰イオン拡散抵抗性は低下していることが推察された。これは、酸化亜鉛の添加によりカチオンである $Zn^{2+}$ がC-S-Hの化学構造、表面電荷、形態などに作用していることが示唆されるが、追加の検討が必要である。NとNFを比較してみると、フライアッシュの添加により塩分浸透抵抗性が低下していることが確認された。これは、一般的に知られるフライアッシュの添加効果とは異なるため<sup>3)</sup>、塩分浸漬試験開始前の養生期間を延ばして検討する必要があることが示唆された。

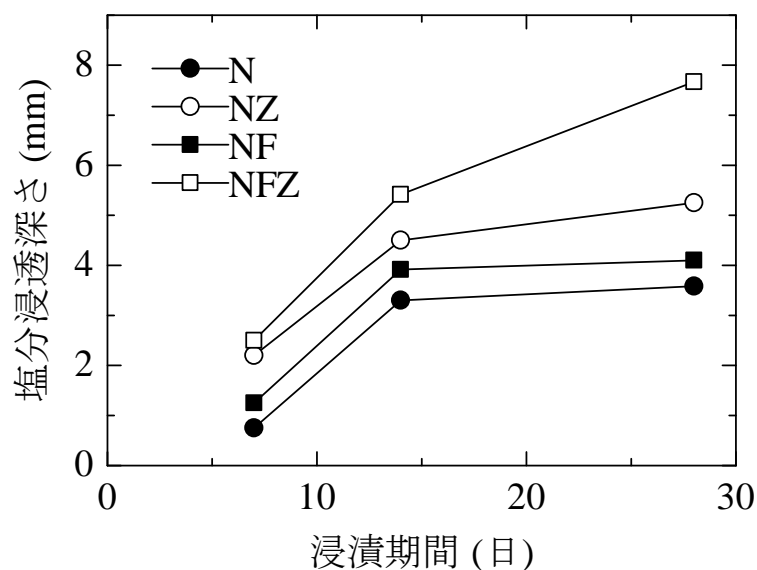


図3 塩分浸透深さの経時変化

#### 4. まとめ

本研究では、フライアッシュペーストの圧縮強度、ヤング率、塩分浸透抵抗性に対する酸化亜鉛の影響について検討を行った。その結果、酸化亜鉛の添加は、セメントの水和反応の促進効果により圧縮強度およびヤング率の増加が期待されるものの、塩分浸透抵抗性に対しては、低下する可能性が示唆された。圧縮強度の変化と塩分浸透抵抗性の変化の不一致については、酸化亜鉛が生成されるC-S-Hの化学構造、表面電荷、形態などに作用している可能性が示唆されるため、よりセメント化学的な観点から実験を進めることにより、コンクリートの性能向上に貢献できると考えられた。

#### ( 参考文献 )

- 1) 田中光男, 内田郁夫, 黒木康貴: アリットの性質におよぼす酸化亜鉛の影響, セメント技術年報, Vol. 38, pp. 38-41, 1984
- 2) W. Lieber: The Influence of Lead and Zinc Compounds on the Hydration of Portland Cement, Proceedings of the Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, No. 2, pp. 444-454, 1968
- 3) 鈴木健太, 杉山隆文, 川北昌宏, 志村和紀: フライアッシュコンクリートの塩分浸透性に関する実験的考察, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 1, pp. 849-854, 2008

#### ( 発表論文 )

赤羽根駿之介, 五十嵐豪, 西脇智哉: フライアッシュセメントペーストの水和反応およびその微細構造に及ぼす酸化亜鉛の影響, セメント・コンクリート論文集, 2017, 投稿予定

#### ( 謝 辞 )

本研究は、平成28年度前田記念工学振興財団研究助成を受け、実施されたものである。ここに記して深甚なる謝意を表します。