

H1-9

セメントペースト硬化体の水和物と空隙構造に及ぼす減水剤の影響

Effect of water reducing admixture on hydrate and void structure of hardened cement paste

○片岡峻大¹, 佐藤正己², 梅村靖弘²*Kataoka shunta¹, Masaki Sato², Yasuhiro Umemura²

Abstract: Water reducing admixture is indispensable for ensuring fluidity during concrete construction. However, there are few studies on the effect of water reducing admixture as an organic admixture on the long-term durability of concrete. In this study, the authors examined the effects of the type and amount of water reducing admixture on the formation and structure of hydrate on hardened cement paste.

1. はじめに

現在、減水剤はコンクリートの施工時における流動性の確保のために必要不可欠となっている。一方、コンクリート構造物は施工後の長期耐久性が求められるようになってきている。しかし、有機混和剤である減水剤がコンクリートの長期耐久性に及ぼす影響についての研究事例は少ない。そこで、本研究では、セメントペースト硬化体の水和物の生成や組織に及ぼす減水剤の種類と添加量の影響を明らかにした。実験は、無添加のものをベースとして主成分の異なる複数の減水剤を通常添加の場合と過剰添加の場合の試料をセメントの水和反応及び水和物の相組成、空隙構造、圧縮強度に着目し行った。

2. 研究概要

2.1 使用材料・配合条件

Table 1 に使用材料、Table 2 にセメントペースト配合を示す。配合条件は W/C=30% とし、減水剤無添加 (PL)、各種減水剤のメーカー推奨の標準添加量 (1 倍添加) とその 10 倍添加とした。圧縮強度試験の材齢は 1, 7, 28 日とし、相組成の算出、空隙構造の測定は 7, 28 日とした。供試体は、打込み後硬化するまで分離しないようにローテーターで回転させながら室温 20°C 一定で所定材齢まで封緘養生を行った。セメントペースト試料は、所定材齢で 1 日凍結した後、凍結乾燥による水和停止を 7 日間行い分析に用いた。

2.2 実験概要

(1) 間隙水量の測定

試料を水和停止前と 105°C の乾燥炉で 2 日間乾燥させたものを測りその結果より間隙水量を算定した。

(2) 熱重量示差熱分析計 (TG-DTA) による水酸化カルシウム及び炭酸カルシウムの定量

Table 1. Materials

| 材料名 | 記号 | 備考 |
|--------------|----|-------------|
| 普通ポルトランドセメント | C | 強さ試験用標準セメント |
| 練混ぜ水 | W | 蒸留水 |
| 高性能 AE 減水剤 | PA | ポリカルボン酸系 |
| | PB | |
| 高性能減水剤 | N | ナフタレンスルホン酸系 |
| AE 減水剤 | L | リグニンスルホン酸系 |

Table 2. Mix Proportion of Cement Paste

| 配合名 | W/C (%) | 単位量 (kg/m ³) | | 減水剤量 (C × mass%) | 消泡剤量 (C × mass%) |
|------|---------|--------------------------|------|---------------------|---------------------|
| | | W | C | | |
| PL | 30 | 486 | 1619 | 0 | 0.2 |
| PA1 | | | | 0.9 | 0.2 |
| PA10 | | | | 9 | 0.2 |
| PB1 | | | | 1.4 | 0.2 |
| PB10 | | | | 14 | 0.2 |
| N1 | | | | 2.6 | 0.2 |
| N10 | | | | 26 | 0.2 |
| L1 | | | | 0.6 | 0.2 |
| L10 | | | | 6 | 0.2 |

水酸化カルシウム (CH) 量を 400°C ~ 450°C 付近、炭酸カルシウム (CaCO₃) 量を 650 ~ 900°C 付近吸熱ピークに対応する質量減少量から求めた。

(3) XRD/リートベルト法によるセメント鉱物量と標準物質および非晶質の測定

所定材齢で各配合のセメント鉱物量や非晶質 (ケイ酸カルシウム水和物 (C-S-H)) の定量を行った。

(4) セメントの水和物の反応率及び C-S-H 生成量

(1) ~ (3) までの測定から相組成を求め、セメント鉱物の反応率を算出した。

(5) 圧縮強度の測定

JISA1108 「コンクリートの圧縮強度試験法」に準拠し、所定材齢でペースト試料を 15mm 四方の立方体に加工し、圧縮試験機を用いて行った。

(6) 水銀圧入法による空隙構造の測定

水銀圧入式ポロシメータを用いて細孔径分布を測定した。測定は、ダイヤモンドカッターにて 2.5mm ~ 5.0mm に加工した粒状試料を 1 日凍結した後、凍結乾

燥による水和停止を 7 日間行った試料を用いた。

3. 実験結果と考察

3.1 圧縮強度

セメントペーストの圧縮強度の結果を Figure 1. に示す。材齢 1 日では 10 倍添加のすべてで硬化遅延の影響により強度がでなかった。また, L10 は, 材齢 28 日まで強度は出なかった。標準添加は, 材齢 7 日以降ではすべてで PL よりも高い値を示した。10 倍添加では, 材齢 7 日では, PA10 のみ PL よりも高い値を示した。材齢 28 日は, PA10, PB10 で PL よりも高い値を示し, N10 は低い値を示した。

3.2 セメント反応率

各配合のセメント反応率を Figure 2. に示す。標準添加の反応率は, 材齢 7 日から 28 日にかけて反応率は 70% 程度となった。10 倍添加の反応率は, N10 は材齢 7 日から 28 日にかけて PL よりも高くなった。PB10 の反応率は, 材齢 7 日では PL と同様, 材齢 28 日では高い反応率を示した。強度が出なかった L10 は材齢 7 日から 28 日で低い反応率を示した。

3.3 空隙構造

Figure 3. について材齢 28 日の細孔径分布を示す。標準添加では, PL と同様の分布形状となった。10 倍添加では PB10 が PL よりも小さい $0.01 \mu\text{m}$ 細孔直径でピークを示し, N10 は PL よりも大きい $1 \mu\text{m}$ 細孔直径でピークを示した。Figure 4. に材齢 7 日と 28 日の累積細孔量と圧縮強度の関係を示す。標準添加では, PB1 が概ね PL と総細孔量が一致した。PA1, N1, L1 では, PL よりも低い総細孔量を示した。10 倍添加では, PA10, PK10, N10 の全てで PL よりも低い総細孔量を示した。全体の回帰直線から土約 15MPa のばらつきとなり, 減水剤の種類および添加量の影響によりセメントペースト内の水和物の生成量と空隙量に変化が生じ, 圧縮強度にも差が生じたものと推察される。これらの結果から, 減水剤による水和反応の遅延などの影響は, 若材齢で起こることが多いが, 材齢 28 日程度でも影響を及ぼすことが確認され, 遅延作用が生成された C-S-H 等の水和物の結晶構造に影響を及ぼしている可能性も推察され, 今後の検討が必要であると考えられる。

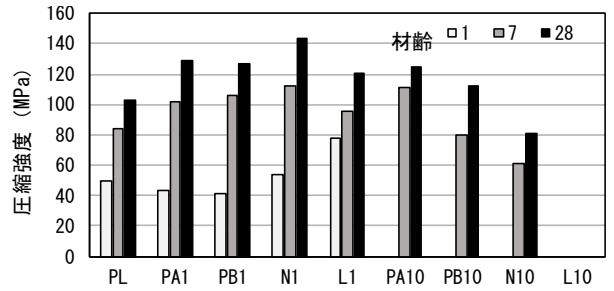


Figure 1. Compressive Strength

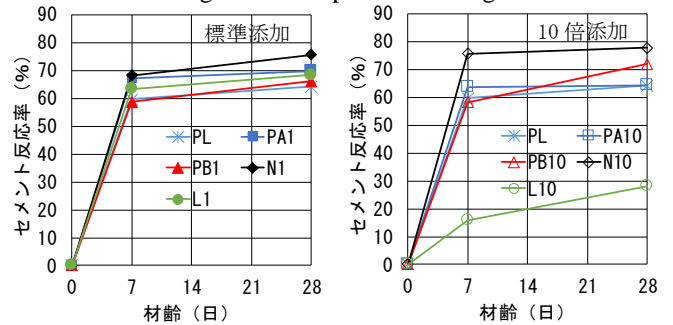


Figure 2. Cement Reaction Rate

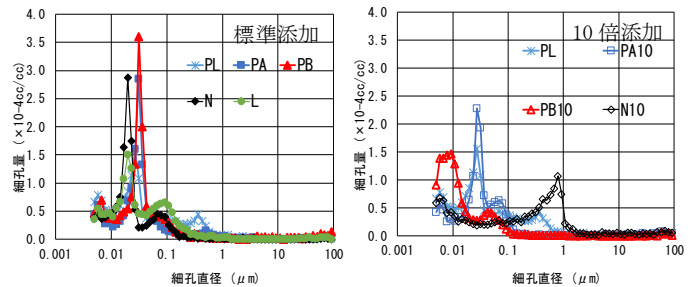


Figure 3. Pore diameter distribution

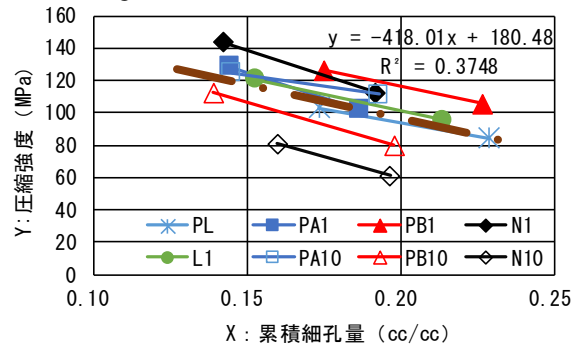


Figure4. Cumulative pore volume and compressive strength

4. まとめ

減水剤の種類, 添加量の違いにより圧縮強度に変化が生じたが, セメント反応率と空隙量だけでは説明がつかず, 水和物の多くを占める C-S-H 等水和物の結晶構造からの検討が必要と考えられる。

謝辞: 本研究の一部は, 日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究 C(一般), 課題番号 15K06170, 研究代表者: 梅村靖弘)により実施しました。ここに謝意を表します。