

NaCl の添加がモルタルの強度発現に及ぼすセメント種類の影響

前橋工科大学 学生会員 ○足立 日向 前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. はじめに

近年、人口増加や急激な都市化の進展により、2050年には世界の飲用水が困窮すると予測されているため、資源の有効利用が求められている。コンクリート分野では、練混ぜ水、養生水、清掃水などに年間数十トンの淡水が消費されているが、地球上に豊富にある海水は鉄筋コンクリートへの使用は認められてない。コンクリート分野において、積極的に海水を使用することができれば、水資源を有効に活用できると考えられる¹⁾。

練混ぜ水に海水を用いたコンクリート（以下、海水練りコンクリート）については、初期材齢の強度発現が向上することは知られている²⁾が、強度発現のメカニズムやセメント種類の影響の詳細については未解明の部分が多い。

そこで本研究では、海水の主成分であるNaClを普通セメント、高炉セメント硬化体作製時に添加し、NaClの添加がモルタル圧縮強度、セメント水和反応に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究では、結合材には普通セメント(N)、高炉スラグ微粉末(BFS)(SO₃2%)を用い、モルタルの作製には標準砂を用いた。

実験に用いたセメントは N、N に BFS を内割で45%置換した高炉セメント B 種(BB)の 2 種類とし、表 1 に示す NaCl の添加率でモルタル、セメントペーストを作製した。

表 1 供試体の種類および NaCl 添加率

配合種類	NaCl添加率	
	対セメント(%)	対水(%)
N0, BB0	0	0
N1, BB1	1.5	2.8
N2, BB2	2.8	5.3
N3, BB3	4.1	7.6

2.2 圧縮強度

N、BB の 2 種類の結合材と標準砂を用い、水結合材比 50%、細骨材比 3.0 で表 1 に示す NaCl 添加率のモルタルをそれぞれ作製し、圧縮強度を測定した。供試体は φ5×10cm の円柱とし、養生条件は 20℃の封かんとした。測定材齢は 3、7、28、91 日とした。

2.3 強熱減量および X 線回折

モルタルと同一の結合材の配合で N、BB のペースト硬化体を作製し、粉末 X 線回折(XRD)および強熱減量の測定を行った³⁾。ペーストは 40×55mm のチャック付ポリ袋に薄板状に成型し、材齢 24 時間で脱型後、20℃の水中養生を行った。ペーストの作製には蒸留水を用いた。

材齢の経過した水和試料は多量のイソプロパノールで水和停止後真空脱気し、40℃、105℃で 24 時間の乾燥後、40℃乾燥試料を遊星ミルにて微粉碎した。微粉碎後の N を 950℃、BB を 900℃で 30 分間加熱し、強熱減量および XRD 測定を行った。ペースト試料の表乾質量から 40℃、105℃24 時間乾燥質量の減量を吸水率として測定し、ペーストの理論配合と強熱減量から硬化体の毛管空隙、ゲル空隙を算定した。測定材齢は 3、7、28、91 日とした。

3. 実験結果および考察

図 1 にはモルタル圧縮強度を示す。NaCl の添加により材齢 3 日強度は N は 10%程度、BB は 70%程度増大したが、材齢 91 日強度は N は 20%程度低下し、BB は NaCl 無添加と同程度となった。

図 2 には材齢 3 日の N0、N3、BB3 の X 線回折測定結果を示す。NaCl の添加により生成する水和物の種類が変化し、NaCl 無添加ではヘミカーボネート(Hc)が、NaCl 添加ではフリーデル氏塩(Fr)の生成が認められた。また N3 と比較して B3 での Fr のピークは大きく、BB での初期強度の増大は Fr の生成量が影響していると考えられる。なお N、BB のいずれも、他の材齢を含めて NaCl を添加した配合で Fr の

生成が認められた。

図3にはセメント反応率、結合水率と圧縮強度の関係を示す。凡例は材齢別とし、NaCl無添加のN0, BB0での回帰線を示した上で、配合種類0～3のNaCl添加率の順にプロットを結んだ。NaCl無添加では、N, BBのいずれもセメント反応率や結合水率と圧縮強度には高い相関が認められるが、NaClを添加するとこの相関から外れ、無添加の場合と異なる傾向となった。

Nのセメント反応率をみると、NaCl添加率の増大に伴い材齢3日の反応率は高く、材齢91日の反応率は低くなる傾向にある(図中矢印)。この反応率の推移と強度発現の傾向は定性的には一致するが、NaCl無添加での相関とは大きく異なっている。すなわち、材齢3日ではセメント水和反応の促進に見合った強度は発現せず、材齢91日は反応率の低下以上に強度は低下した。

同様に結合水率と圧縮強度の関係をみると、Nで回帰線との乖離が大きく、材齢7日以降でNaCl添加率の増大に伴い結合水率は増大するのにも関わらず、圧縮強度は低下した。結合水は水和物の保持する水であり、この結果は特にNで、多量に結合水を保有するものの、強度発現には寄与しない類の水和物(アルミナゲル)の生成を示唆するものと考えられる。

以上の結果から、N, BBの圧縮強度に及ぼすNaCl添加の影響は、セメント反応率に加え、生成する水和物の要因が大きく、初期材齢での圧縮強度の増大は、水和反応の促進とFrの生成量増大に起因し、BBでFrの生成による強度の増大が顕著となる。長期強度では、水和反応の停滞とアルミナゲルの生成により強度は低下し、BBではNaCl無添加と同等の強度となるが、Nではアルミナゲルの生成の影響が大きく、反応率以上に強度が低下すると考えられる。

4. まとめ

- (1) NaClの添加により材齢3日の圧縮強度はNは10%程度、BBは70%程度増大したが、材齢91日はNは20%程度低下し、BBはNaCl無添加と同程度となった。
- (2) N, BBの圧縮強度に及ぼすNaCl添加の影響は、セメントの反応率に加え、生成する水和物の要因が大きく、BBの初期強度の増大はフリーデル氏

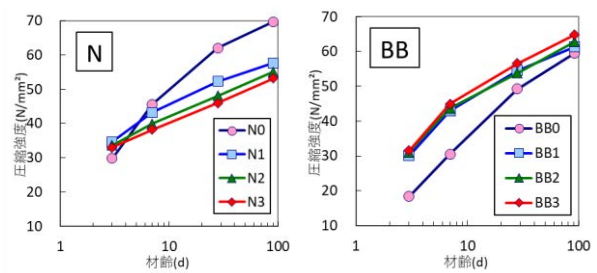


図1 モルタル圧縮強度

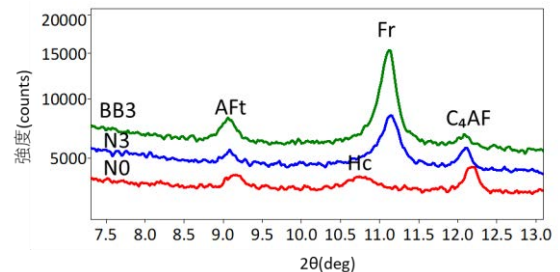


図2 X線回折測定結果の例

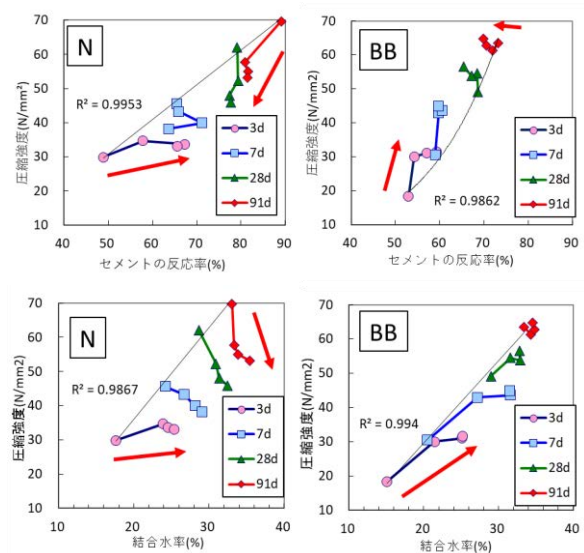


図3 セメント反応率、結合水率と圧縮強度の関係

塩の生成が、Nの長期強度の停滞はアルミナゲルの生成がそれぞれ影響すると考えられる。

参考文献

- 1) 大即信明ほか: コンクリート分野における海水の有効利用研究委員会報告書, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.10-19, 2014.
- 2) 片野啓三郎ほか: 海水を使用したセメント硬化体の強度および内部組成に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.2017-2022, 2013.
- 3) 佐川孝広: 高炉スラグ微粉末の水和活性と体積変化に及ぼす化学組成の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.131-135, 2019.