

モルタルの耐凍害性に及ぼす空隙の X 線 CT 法による画像観察

北海道大学大学院 学生会員 畠田大規

同上 正会員 志村和紀

同上 正会員 杉山隆文

1. はじめに

コンクリートの耐凍害性は、積雪寒冷地では重要な問題である。これを確保するには適度な空隙分布を持つことが重要であり、AE 剤の混入によるエントレインドエアが凍害に有効であることが分かっている。

本研究では、モルタルの凍結融解試験を行い、AE 剤混入の効果を確認し、X 線 CT 法による画像解析から求めた空隙分布特性との関連を調べた。

2. 実験概要

2.1 モルタルの配合

本研究では、普通ポルトランドセメントを使用したモルタル(NF-NA)、混和材としてフライアッシュ (JIS II 種灰) を混入したモルタル(F-NA)、これら二種類に化学混和剤としてリグニンスルホン酸系 AE 減水剤、高アルキルカルボン酸系 AE 剤を混入したモルタル(NF-A、F-A)を加えた四種類の供試体に対して凍結融解試験を実施した。表-1 にモルタルの配合および強度試験結果を示す。また、モルタルエアメータを用いて測定した空気量の試験結果も示す。

表-1 モルタルの配合および強度と空気量

	FA 置換率 内割り(%)	W/B (%)	単位量(kg/m ³)						f_{b28} (N/mm ²)	f'_{c28} (N/mm ²)	air (%)
			W	C	S	FA	AE 減水剤	AE 剤			
NF-NA	0	50	282	563	1355	0	0	0	7.75	51.4	2.8
F-NA	30	50	267	374	1375	160	0	0	7.00	42.9	1.8
NF-A	0	50	255	511	1388	0	1.53	0.15	10.1	50.0	4.9
F-A	30	50	251	351	1340	151	0	0.50	5.59	25.2	6.6

2.2 凍結融解試験

打設後、水中養生(27 日間)を経て凍結融解試験を開始した。試験方法は水中凍結融解とし、凍結融解の行程中、常に 5mm 厚の水で全面が覆われる状態を維持した。1 サイクルで+20℃から-20℃まで凍結させ、そこから+20℃まで融解させる。1 サイクル 12 時間とした(図-1)。凍結融解試験後の劣化評価は、超音波伝播速度比(劣化に伴い下降)を用いて行った。

2.3 X 線 CT 試験

四種類のモルタルを水中養生(27 日間)を経て室内乾燥させた後、約 10mm 角に切り出した試料に対して X 線 CT 撮影を行った。今回使用した装置は、X 線強度が 90kV であり、複数の層を一度に撮影できるコーンビーム方式とした。また、画素数は 1024×1024 画素である。取得した CT 値(X 線吸収率)の処理を行いモルタルの微小範囲を画像化した。さらに、気泡径や気泡個数などの空隙構造を調査した。

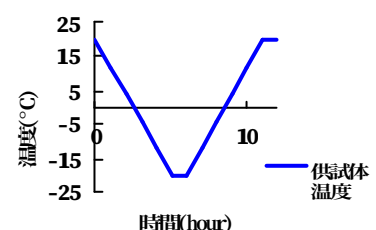


図-1 温度サイクル

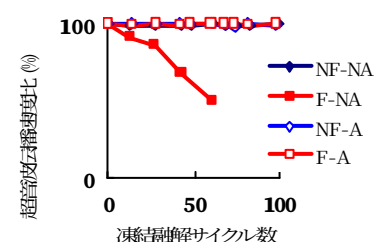


図-2 超音波伝播速度比

モルタル、耐凍害性、空隙特性、X 線 CT 法

〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL 011-706-6121

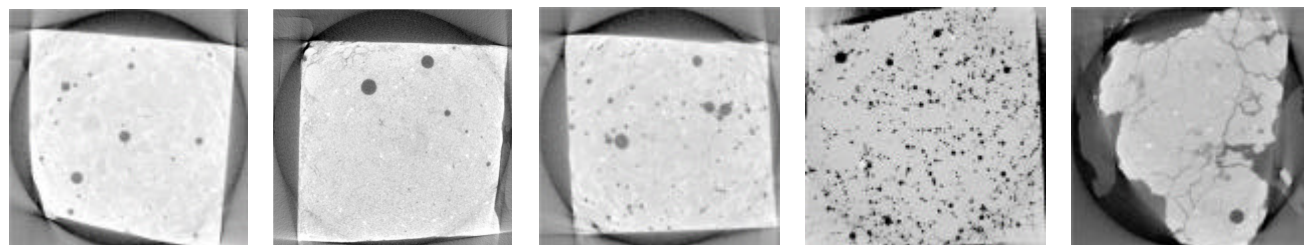
3. 実験結果

3.1 凍結融解試験結果

図-2に超音波伝播速度比の変化を示す。フライアッシュを混入し、AE 減水剤・AE 剤を混入しなかったモルタル(F-NA)だけが、凍結融解作用による劣化を受けていることが明らかである。

3.2 X線 CT 試験結果

X線 CT から得られたデータを画像化した断面（100層目）を図-3に示す。



(a) NF-NA

(b) F-NA

(c) NF-A

(d) F-A

(e) 凍結融解後 F-NA

図-3 X線 CT法による断面画像

断面画像から内部の大小さまざまな空隙の分布が確認でき、五種類のモルタルの違いが分かる。さらに、この断面の端部を除いた断面画像を作成し、約 400 層の断面を重ねることによりできる立体画像を図-4に示す。

次に、一つの断面において空隙と判断された CT 値の閾値を決定し二値化処理して得られた空隙分布を図-5に示す。

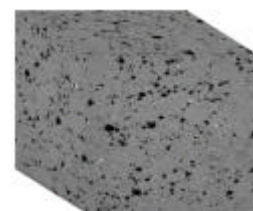
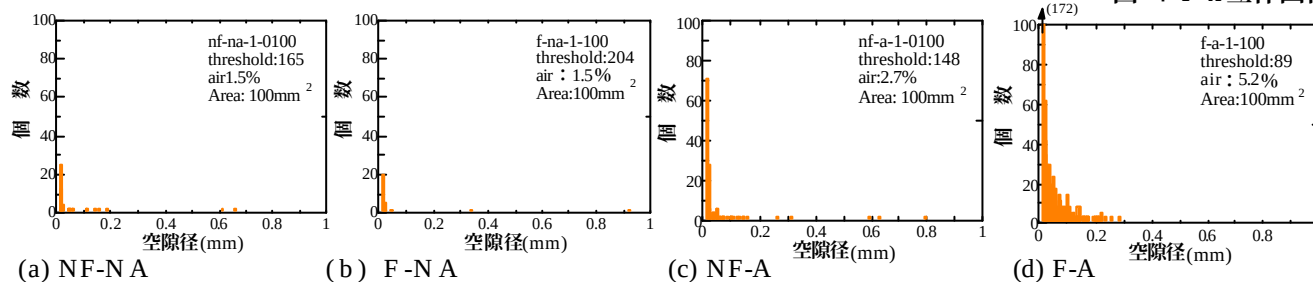


図-4 F-A 立体画像



(a) NF-NA

(b) F-NA

(c) NF-A

(d) F-A

図-5 X線 CT法による空隙分布図

空隙分布から求めた 0.2mm 以下の空隙の個数と総面積はそれぞれ、NF-NA(30 個・0.218mm²)、F-NA(16 個・0.014mm²)、NF-A(83 個・0.332mm²)、F-A(324 個・3.757mm²)となり、ともに大きな違いが表れている。同一供試体でも各層において閾値が異なり、これらの数値が若干異なるが、四種類の異なる配合に対する相違は顕著に表れていた。特に AE 減水剤および AE 剤の混入の有無による違いが顕著であった。AE 剤無混入のものでも F-NA は NF-NA に比べ 0.2mm 以下の空隙が少なく、耐凍害性に劣る一要因と考えられる。

4. 結論

- 1) CT 画像と空隙分布図から、凍害に有効なエントレインドエアと考えられる微細気泡が NF-A、F-A において多く確認することができる。
- 2) 凍結融解試験結果から、F-NA のみ劣化が確認された原因として、AE 減水剤・AE 剤の混入の有無による空隙数と空気量の違いが考えられる。また、同じ AE 減水剤・AE 剤無混入のものでも、F-NA の 0.2mm 以下の空隙数は NF-NA のそれに比べ少なく、凍結融解に対する抵抗性が劣る一要因と推測できる。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(B)、課題番号：19360193、代表：杉山隆文）を受けて実施しました。ここに付記して謝意を表します。