

ソルトスケーリング劣化に抵抗性のあるコンクリートの材料設計に関する研究

羽原 俊祐¹, 田中 館 悠登²

¹岩手大学理工学部システム創成工学科, ²岩手大学大学院工学研究科

概要 レディーミクストコンクリートの圧送時の空気量の低下に着目し、ポンプ圧送時の加圧などがコンクリートの気泡組織およびスケーリング抵抗性に及ぼす影響について、モルタルを用いて検証した。コンクリートの圧送を模擬した加圧試験を、モルタルを用いて行い、加圧による硬化体の気泡組織およびスケーリング抵抗性の変化について検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 外部からの圧力(0.1-0.45 MPa)が作用すると、AEモルタル(コンクリート)の気泡組織の変化が生じ、作用する圧力が大きいほど、気泡間隔係数および平均気泡径の増大、気泡数および150 μm 以下の空気量の減少が生じる。
- (2) 硬化体の気泡組織の変化については、気泡内部にはたらく Young-Laplace 則、圧力と気泡体積に関するボイル則、圧力による気体の溶解に関するヘンリー則に従い説明できる。小径の気泡ほど内部の圧力が高くなり、気泡として存在できる気泡の最小径が存在する。外部から加圧されると、気泡はその径より小さくなり、内部の圧力が高くなることから、気泡は液体に溶解する。
- (3) 気体-液体界面での空気の溶解を阻害するため、膜をもつ中空微小球(SBD)を使用した場合、気泡内の気体が液体に溶解することを抑制するため、0.3 MPa以下の加圧がおこっても、気泡組織の変化が生じない。0.4 MPa以上の場合は、気泡組織の変化が生じるが、AEモルタルよりは、加圧の影響が少ない。
- (4) スケーリング抵抗性については、AEモルタルおよびSBDモルタルのどちらでも、0.45 MPaで加圧を行った場合スケーリング抵抗性の低下が生じる。スケーリング抵抗性の低下は、150 μm 以下の気泡(中空球体)が減少しているためと考えられる。

1. 研究目的

積雪寒冷地域では、冬期の路面凍結の対策として散布される塩化ナトリウム等の凍結防止剤によるコンクリートのスケーリング劣化が顕著になり問題となっている。スケーリング抵抗性(凍結融解抵抗性)を向上させるため、硬化コンクリート中の空気量の確保が重要な課題となっており、コンクリートの施工が空気量に及ぼす影響について研究¹⁾が行われている。運搬、圧送、締固め等の各施工段階でのフレッシュ時の空気量を測定した場合、圧送後に空気量が著しく低下すると報告されている²⁾。

筆者らは、圧送時にコンクリートに加える圧力が気泡(連行空気)に与える影響について解明するため、圧送を模擬した加圧をモルタルに行い検討した³⁾。加圧圧力が

高いほどフレッシュ時の空気量は減少し、加圧により空気量が減少することがわかった。加圧による空気量の減少は、気泡に圧力が加わることによって気泡径が小さくなり、気泡の内部の空気圧と外部からの圧力との差が増大し、気泡が不安定な状態となり周囲の混練水に溶解するために生じると考察した。この圧力差は、気泡の径が小さいほど大きくなるため、加圧による気泡の溶解現象は小さな気泡ほど生じると考えられる。そのため、コンクリートの加圧により凍結融解抵抗性に有効と言われている150 μm 以下の連行空気⁴⁾の減少が生じると想定され、コンクリートのポンプ圧送の際の加圧により、凍結融解抵抗性の低下が懸念される。

本研究では、モルタルに圧送を模擬した加圧を行い、

硬化体の気泡組織の評価およびスケーリング抵抗性と加圧圧力との関係について検討を行った。

2. 研究方法

本研究では、異なる圧力を加えたモルタル試料について、硬化体の気泡組織(平均気泡径、気泡間隔係数、気泡数、気泡径分布)およびスケーリング抵抗性を評価し、外部からの圧力が及ぼす影響について評価した。また、気泡の溶解現象の抑制方法として、連行空気と同程度の大きさで、空気を薄い膜で包む中空微小球により空気を導入したモルタル試料についても、同様に圧力の影響について評価した。

2.1 モルタル試料

セメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.15 g/cm³)を使用し、細骨材は、粒度が 2.5 mm 以下の岩手県盛岡市黒川産砕砂(表乾密度:2.80 g/cm³)を使用した。水:セメント:細骨材比は 0.55:1:2.8 とした。空気量については、練混ぜ直後が 8.0 ± 0.5%となるように AE 剤および中空微小球の添加量により調節した。AE 剤は、アルキルリン酸エステル系を使用した。中空微小球は、塩化ビニルアクリルニトリルを発泡させた SBD を使用した。SBD は弾性を持つ塩化ビニルの薄い膜により空気を包む球体であり、筆者らの研究において、スケーリング抵抗性向上に連行空気と同等の効果があることを報告した⁵⁾。表-1 に SBD の性状を示す。比較のために混和剤(材)を添加しない Plain のモルタルについても試験を行った。φ5cm×ℓ 10cm の円柱型枠にモルタルを打設し、加圧を行うモルタル試料については後述の加圧方法で加圧を行った後、1 日間型枠内で初期養生を実施し、脱型して 27 日間水中養生を行った。

2.2 試験装置および加圧方法

ステンレス製加圧容器に、モルタルを充填したモルタル用エアメータ容器および φ 5 cm×ℓ 10 cm の円柱型枠を収納し、加圧容器のふたを閉めて加圧を行った。不活性な窒素ガスを容器内に封入し、加圧圧力(ゲージ圧)を窒素ガスの封入量でコントロールした。ゲージ圧は大気圧を 0 とする相対的な圧力であり、ゲージ圧の 0.1 MPa は、絶対圧で 0.2 MPa (2 気圧)となる。加圧圧力を 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.45 MPa の 5 段階にし、加圧時間を 10 分で一定に設定した。

表-1 SBD の性状³⁾

種類	成分	粒度範囲 (μm)	平均粒径 (μm)	嵩密度 (g/L)
SBD	塩化ビニル	10-100	40	20

2.3 空気量および気泡組織の測定方法

フレッシュ時の空気量は、空気室圧力法のモルタル用エアメータを用いて、練混ぜ直後および加圧直後の空気量を測定した。加圧によってモルタルが沈下することを考慮し、モルタルを充填する際に、モルタルをエアメータ用容器の上端よりも高く充填させ加圧容器内で加圧を行った。そのため、練混ぜ直後と加圧直後の空気量の比較は、同じ体積のモルタルに含まれる空気量の比較である。

エアメータによる空気量測定時の加圧が測定結果に及ぼす影響については、測定時の加圧は時間が短い事と、前年報告の加圧時間による空気の変化を調べた結果³⁾より、加圧容器内での加圧と異なり結果に影響がないと考えられる。

硬化後の気泡組織の測定は、文献と同様に面積比法⁶⁾による画像処理を行った。φ 5 cm×ℓ 10 cm のモルタル供試体を、φ 5 cm×ℓ 2 cm の試験片となるように、下端から高さ 2 cm のところをダイヤモンドカッターで切断し、切断面を測定面とした。西山らの方法⁷⁾を参考に、測定面を研磨し、蛍光塗料の塗布を行い、塗料の硬化後に気泡以外に付着している塗料を研磨して削り落とし、気泡組織の測定を行った。この測定方法により、直径が 20–1,500 μm 程度の気泡の測定を行った。

2.4 スケーリング評価方法

本研究室で提案した小片凍結融解試験法^{8,9)}に従い、スケーリング抵抗性を評価した。この試験方法は、ASTM C 672 法など他のスケーリング評価試験方法と比較検討した結果、ある程度の整合性があり⁹⁾、スケーリングを評価する上で有効であることを確認している。

湿式ダイヤモンドカッターを用いて、養生終了後の φ 5 cm×ℓ 10 cm のモルタル供試体から、1 辺が 8 mm の立方体を切り出し、これを試験片とした。試験片の表面は全て切断面である。試験片 3 粒を 1 組とし、試験片 1 組の質量の 10 倍の 3 mass% の NaCl 水溶液に試験片を浸漬させ凍結融解試験を実施した。凍結融解は、-20°C の冷凍庫で

16 時間、室温(約 20°C)で 8 時間を 1 サイクルとして行った。所定のサイクル終了後、試験片と NaCl 水溶液を分離し、試験片を 40°C で 24 時間乾燥させ、2.5 mm ふるい上に留まった質量を測定した。試験前後の質量から質量残存率を求めた。

3. 実験結果および考察

3. 1 加圧による空気量の変化の検討

(1) フレッシュ時の空気量の変化

AE 剤および中空微小球(SBD)により空気を導入したモルタルの空気量と加圧した圧力との関係を表-2 に示す。フレッシュ時における練混ぜ直後と加圧直後の空気量を比べると、全ての水準において、練混ぜ直後の加圧前の空気量よりも、加圧直後の空気量が小さい値を示した。前年報告³⁾における、大気圧下での空気量の経時変化の結果によると、経時の影響は小さいことが明らかにされているため、空気量の減少は加圧の影響が大きい。

練混ぜ直後の加圧前の空気量と加圧直後の空気量の差を減少空気量とし、加圧圧力との関係を求めた結果³⁾を図-1 に示す。AE モルタルでは、Plain と比べて練混ぜ直後の空気量が多いため、加圧による減少は大きく、0.1 MPa で 0.6%、0.2 MPa で 0.9%、0.3 MPa で 1.1%、0.4 MPa および 0.45 MPa で 1.4-1.6% 程度の減少となる。一方、SBD モルタルでは、0.1 MPa で 0.3%、0.2 MPa で 0.4%、0.3 MPa で 0.6%、0.4 MPa で 0.8%、0.45 MPa で 1.0% を示した。0.1-0.3 MPa の範囲における SBD モルタルの減少量は、Plain と同じ減少量であることから、SBD 内の空気量の低下ではないと推察される。

加圧により空気量が減少する現象について、筆者らは、気泡内部にはたらく力に関する Young-Laplace の法則、圧力と気泡体積に関するボイルの法則、圧力による気体の溶解に関するヘンリーの法則に従い説明できる事を示した³⁾。3 つの法則を表す式を次に示す。

Young-Laplace の法則

$$P = P_0 + \frac{4\gamma}{R} \quad (1)$$

P: 内圧 (Pa), P₀: 外圧 (Pa), γ: 表面張力 (N/m),

R: 気泡の直径 (m)

ボイルの法則

$$PV = \text{一定} \quad (2)$$

P: 気体の圧力 (Pa), V: 気体の体積 (m³)

ヘンリーの法則

$$P = \frac{c}{K_c} \quad (3)$$

C: 溶液中のモル濃度 (mol/m³), P: 気体の圧力 (Pa), K_c: 平衡定数

加圧を行った状態では、ボイルの法則式(2)より、気泡の体積は大気圧下より減少し、気泡の直径は小さくなる。気泡の直径が小さくなることで、Young-Laplace の方則式(1)より気泡内部の空気圧と外部からの圧力との差が大きくなり、大気圧下よりも不安定な状態の気泡数が増大する。ヘンリーの法則式(3)より、圧力が高いほど気体の溶解度は高くなるため、内圧が高くなった微細な気泡から接する周囲の水に溶解すると考えられる。そのため、加圧状態では、気泡が小径になり周囲の混練水に溶解し、空気量が減少すると考えられる。

表-2 モルタル試料の空気量と加圧圧力の関係

混和剤 (材)	加圧 圧力 (MPa)	空気量 (%)			
		フレッシュ時		硬化後	
		練混ぜ	加圧後	加圧無し	加圧有り
AE	0.1	8.4	7.8	7.0	6.6
	0.2	8.5	7.6	6.8	6.3
	0.3	8.2	7.1	6.8	6.2
	0.4	8.3	6.7	6.7	6.1
	0.45	8.4	7.0	6.8	6.3
SBD	0.1	7.9	7.6	7.7	7.4
	0.2	7.9	7.5	7.8	7.3
	0.3	7.9	7.3	7.7	7.3
	0.4	8.0	7.2	7.8	7.2
	0.45	8.5	7.5	7.9	6.6
Plain	0.1	2.7	2.4	1.5	1.2
	0.2	2.3	1.9	1.6	1.3
	0.3	2.5	1.9	1.8	1.2
	0.4	2.3	1.8	1.6	1.3
	0.45	2.8	2.3	1.7	1.5

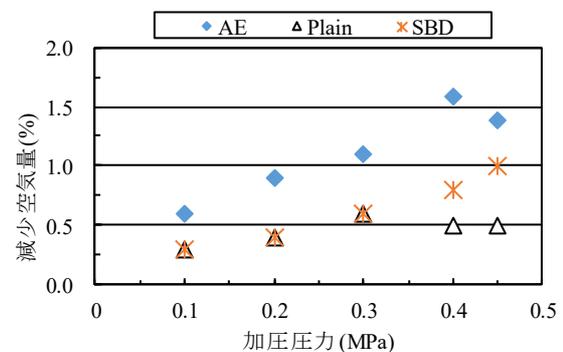


図-1 加圧圧力によるフレッシュ時の空気量の減少量³⁾

次に、加圧状態から大気圧下に戻る減圧過程について考察する。加圧状態から大気圧に戻る過程では、ヘンリーの法則に従い、気体の溶解度が小さくなるため、溶解している気体分子の飽和度が重要になる。通常の場合は不飽和であるため、溶解した気体は水の中に溶解した状態を保ち、加圧時に溶解した気泡に相当する空気量が減少する。飽和および過飽和状態の場合、溶解していた空気の一部は気体に戻るが、ヒステリシスをたどり、時間が経過してから戻ると考えられる。

SBD により空気を導入した場合では、空気を包む膜が存在するため、気体の溶解が生じる気体-液体界面が存在しない。そのため、加圧圧力 0.1-0.3 MPa の範囲で、SBD 内部の空気が高圧状態になっても溶解することなく弾性変形をすることで加圧の影響を受けなかったと考えられる。0.4 MPa 以上では、SBD が圧力によって破れたため、空気と水が接する界面が発生し、空気が水の中に溶解したと考えられる。

(2) 硬化体の空気量の変化

硬化後の AE モルタルでは、加圧有りと加圧無しとを比較すると、空気量の減少量は 0.5%程度であり、加圧圧力による空気量の減少量の差は小さい。加圧による空気量の減少量が、フレッシュ時よりも、硬化後の方が小さいのは、硬化後の空気量の測定では 1,500 μm 以上のエントラップドエアが測定されないためと考えられる。SBD モルタルでは、0.45 MPa で加圧したモルタルの空気量の減少量が、1.3%であり空気量の減少が多い。0.4 MPa 以下で加圧した場合は、AE モルタル同様に、加圧圧力による空気量の減少量の差は小さい結果となった。

3. 2 加圧による気泡組織の変化の検討

加圧を行っていないモルタルの値を加圧圧力 0 MPa として、加圧を行ったモルタルと比較することで、加圧の影響について検討する。

(1) 加圧が連行空気の気泡組織に及ぼす影響

加圧を行った AE モルタルの硬化体の気泡組織(気泡間隔係数, 平均気泡径, 気泡数)の測定結果を図-2 に示す。気泡間隔係数の測定については、加圧を行っていない AE モルタルは 165 μm であるのに対し、0.1 MPa で 173 μm , 0.2 MPa で 180 μm , 0.3 MPa で 188 μm , 0.4 MPa で 196 μm , 0.45 MPa で 199 μm となった。気泡間隔係数は、加圧圧力が大きくなるほど増大する。平均気泡径の測

定については、加圧を行っていない AE モルタルは 119 μm であるのに対し、0.1 MPa で 121 μm , 0.2 MPa で 126 μm , 0.3 MPa で 131 μm , 0.4 MPa で 134 μm , 0.45 MPa で 151 μm となった。平均気泡径は、加圧圧力が大きくなるほど増大する。1 mm^2 当たりの気泡数の測定については、加圧を行っていない AE モルタルは 3.54 個であるのに対し、0.1 MPa で 3.17 個, 0.2 MPa で 2.88 個, 0.3 MPa で 2.67 個, 0.4 MPa で 2.44 個, 0.45 MPa で 2.39 個となった。気泡数は、加圧圧力が大きくなるほど減少する。加圧により気泡数が減少し、凍結融解抵抗性の指標となる気泡間隔係数および平均気泡径の増大が生じている。

加圧を行った AE モルタルの気泡径分布を図-3 に示す。加圧を行っていない AE モルタルは、径 20-30 μm で気泡数の最大値を示し、凍結融解抵抗性に効果があるとされる 150 μm 以下の気泡は全体の 8 割程度である。加圧を行っていない AE モルタルに比べて、加圧したモルタル

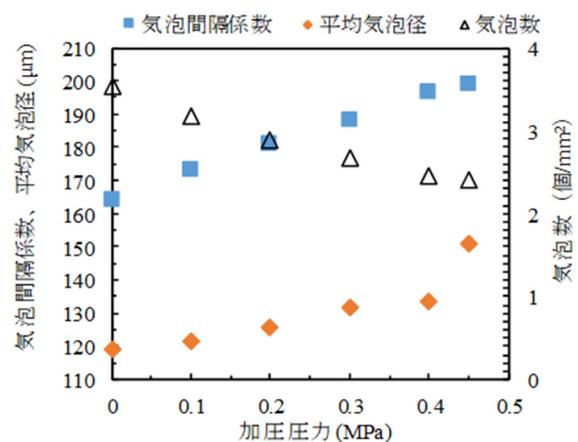


図-2 AE モルタルの気泡組織

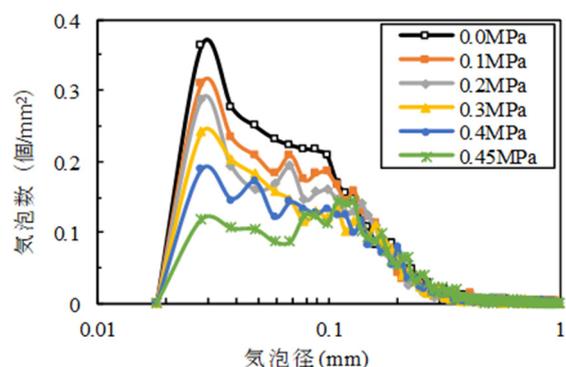


図-3 AE モルタルの気泡径分布

は、加圧圧力が大きくなるほど、20-150 μm 程度の気泡数が減少した。特に、0.45 MPa で加圧したモルタルは、140 μm で最大値を示し、150 μm 以下の気泡は全体の6割程度に減少する。

AE モルタルの 80 μm 以下および 81 μm 以上 150 μm 以下の気泡の空気量と加圧圧力の関係を図-4 に示す。80 μm 以下の微細な気泡を多く混入することよりスケーリングを抑制できるとの結果⁹⁾が得られているため 80 μm 以下の空気量についても示す。加圧を行っていない AE モルタルに比べ、80 μm 以下および 81 μm 以上 150 μm 以下の空気量は、加圧圧力が高くなるほど減少する。0.45 MPa で加圧したモルタルの 80 μm 以下の空気量は、加圧を行っていない AE モルタルの半分程度に減少する。150 μm 以下の空気量では、0.4、0.45 MPa で加圧したモルタルは加圧を行っていない試料より 0.4%程度減少する。前述のとおり、硬化体の加圧による空気量の減少は、0.5%程度であることから、加圧圧力が大きくなるほど、150 μm 以下の空気量の減少量が全体の減少量に占める割合が大きくなる。

以上の気泡組織の測定結果より、加圧の影響を受けて連行空気の気泡組織が変化することが分かった。特に、150 μm 以下の気泡の減少が顕著なため、前述のフレッシュ時の加圧により小径の気泡が周囲の混練水に溶解することで空気量が減少する事を裏付ける結果となった。また、加圧圧力が大きくなるほど、150 μm 以下の気泡の減少、気泡間隔係数および平均気泡径の増大が生じており、コンクリートの凍結融解抵抗性の低下が予想される。

地下構造物等の高圧下において打設されるコンクリートを考慮し、高圧下で硬化させたコンクリートの気泡組織の変化について検討した研究¹⁰⁾と本研究の結果とを比較すると、空気量および気泡数の減少、気泡間隔係数が増加する事については一致するが、平均気泡径は異なる結果となった。高圧下で硬化させた場合では、加圧により気泡が小径の状態では硬化するため、平均気泡径が小さくなったと考えられる。一時的な加圧の場合では、加圧により150 μm 以下の気泡が減少するため、大径の気泡の割合が増加して平均気泡径が増大すると考えられる。

(2) 加圧が中空微小球の気泡組織に及ぼす影響

SBD モルタルの硬化体の気泡組織(気泡間隔係数、平均気泡径、気泡数)の測定結果を図-5 に示す。加圧無

しおよび 0.3 MPa 以下で加圧したモルタルは、気泡間隔係数が 100 μm 程度、平均気泡径が 60-70 μm の範囲内、気泡数が 9個/ mm^2 程度であるため、0.3 MPa 以下の加圧では、気泡組織に及ぼす影響は小さいと考えられる。0.4 MPa 以上での加圧では、AE モルタルと同様に、加圧圧力が高くなるほど、気泡間隔係数および平均気泡径の増大、気泡数の減少が生じる。

SBD モルタルの気泡径分布を図-6 に示す。すべてのモルタルにおいて径 20-30 μm 程度で気泡数が最大値を示し、加圧を行っていない SBD モルタルあるいは 0.1-0.3 MPa の範囲で加圧を行った SBD モルタルは、同程度の気泡径分布を示した。0.4 および 0.45 MPa では、100 μm 以下の SBD の減少が生じており、0.4 MPa に比べ、0.45 MPa の方がより減少している。

SBD モルタルの 80 μm 以下および 81 μm 以上 150 μm 以下の気泡の空気量と加圧圧力の関係を図-7 に示す。

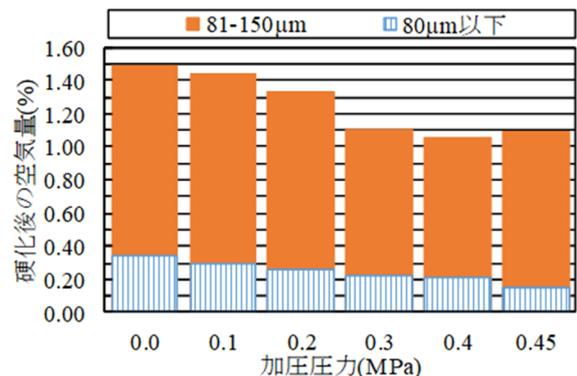


図-4 AE モルタルの気泡径 80 μm および 81 μm 以上 150 μm 以下の空気量

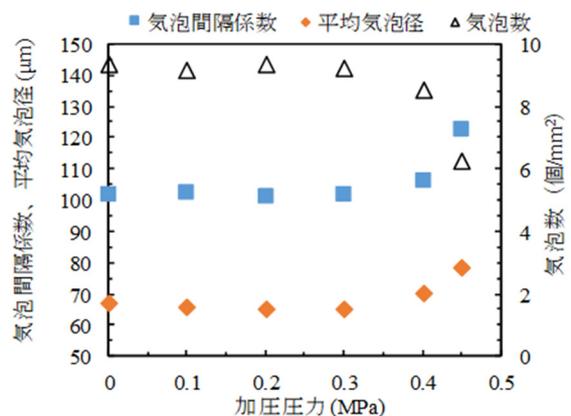


図-5 SBD モルタルの気泡組織

加圧を行っていないSBDモルタルと0.1-0.4 MPaのモルタルでは、80 μm 以下および81 μm 以上 150 μm 以下のどちらにおいても、差が 0.2%程度である。AE モルタルと同程度の減少量であるが、各範囲の空気量の割合から見ると、加圧の影響が小さいと考えられる。0.4 MPa で加圧した場合、80 μm 以下の気泡が減少しているものの、80 μm 以下の空気量の減少が小さいのは、気泡径分布の測定結果から減少する気泡は 20-50 μm 程度と小径であるため、空気量で表すと小さな変化になるためと考えられる。0.45 MPa では、80 μm 以下の空気量が 0.6%程度減少する。

以上の気泡組織の測定結果より、0.4 MPa 以上では、80 μm 以下の気泡数の減少量が大きいいため、加圧によりSBDの一部が破れ、空気が周囲の混練水中に溶解したと考えられる。0.3 MPa 以下の加圧では、気泡組織の変化が小さいことから加圧の影響が小さいことがわかる。これは、SBD モルタルのフレッシュ時の空気量の変化と同様であり、空気を包む膜が存在するため、圧力に対して弾性変形し気泡の溶解が生じなかったと考えられる。

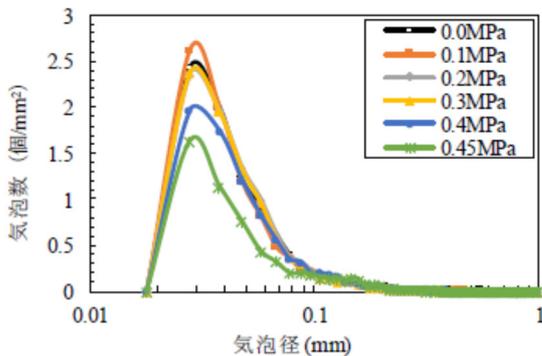


図-6 SBDモルタルの気泡径分布

3.3 加圧を受けたモルタルのスケーリング抵抗性の検討

小片凍結融解試験結果を図-8 に示す。AE モルタルの場合では、5 サイクル以降から劣化が生じる。0.4 MPa 以下で加圧した試料は、加圧していない試料と同様の質量残存率であり加圧の影響が少ないことがわかる。0.45 MPa で加圧した試料の場合では、質量残存率が 7 サイクル目で 77%、10 サイクル目で 46%となり、加圧によりスケーリング抵抗性の低下が生じていることがわかる。

SBD モルタルの場合でも、AE モルタルと同様に、0.4 MPa 以下での加圧では、スケーリング抵抗性の低下は見られない。0.45 MPa では、質量残存率が 7 サイクル目で 80%、10 サイクル目で 49%となり、加圧によりスケーリング抵抗性の低下が生じている。AE モルタルおよび SBD モルタルのどちらも 0.45 MPa で加圧したモルタルのスケーリング抵抗性の低下が大きいことは、気泡組織の測定結果より、加圧によりスケーリング抵抗性に有効な小径の気泡(中空微小球)が減少したためと考えられる。SBD モルタ

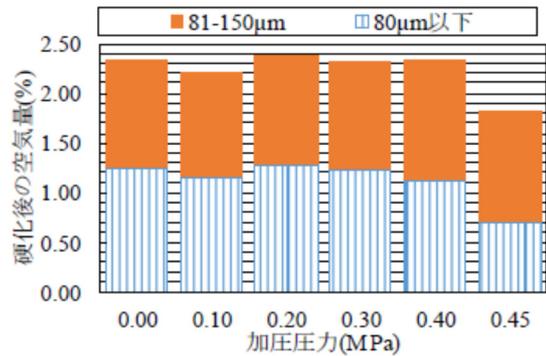


図-7 SBDモルタルの気泡径80μmおよび81μm以上150μm以下の空気量

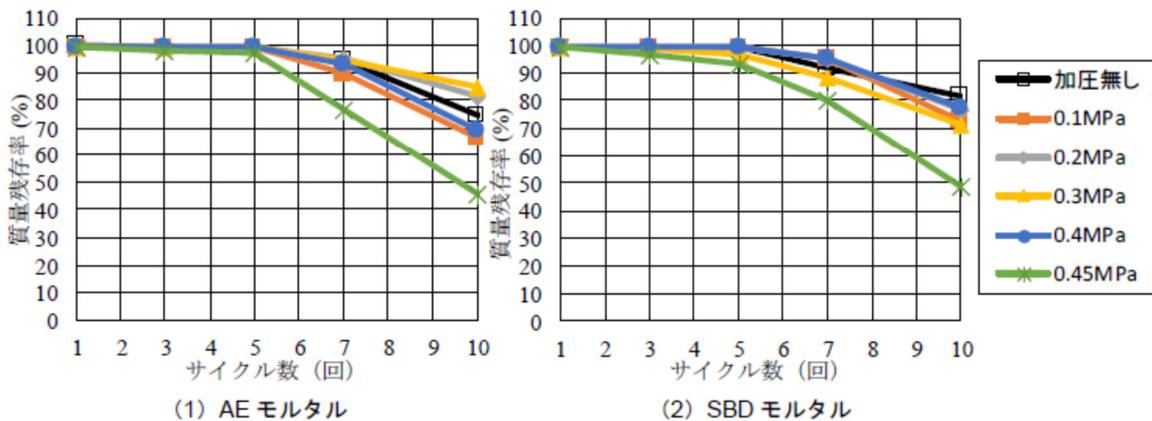


図-8 小片凍結融解試験結果 質量残存率の変化

ルの 80 μm 以下の空気量が, AE モルタルよりも 4 倍程度であるのにスケーリング抵抗性が同程度の結果になった。小片試験の開始時期の違い等の影響もあり, より大型の Rilem CDF 法及び ASTM C672 法などと合わせて今後評価をすすめたい。

4. まとめ

コンクリートの圧送を模擬した加圧試験を, モルタルを用いて行い, 加圧による硬化体の気泡組織およびスケーリング抵抗性の変化について検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 外部からの圧力 (0.1-0.45 MPa) が作用すると, AE モルタル (コンクリート) の気泡組織の変化が生じ, 作用する圧力が大きいほど, 気泡間隔係数および平均気泡径の増大, 気泡数および 150 μm 以下の空気量の減少が生じる。
- (2) 硬化体の気泡組織の変化については, 気泡内部にはたらく Young-Laplace 則, 圧力と気泡体積に関する Boyle 則, 圧力による気体の溶解に関する Henry 則に従い説明できる。小径の気泡ほど内部の圧力が高くなり, 気泡として存在できる気泡の最小径が存在する。外部から加圧されると, 気泡はその径より小さくなり, 内部の圧力が高くなることから, 気泡は液体に溶解する。
- (3) 気体-液体界面での空気の溶解を阻害するため, 膜をもつ中空微小球 (SBD) を使用した場合, 気泡内の気体が液体に溶解することを抑制するため, 0.3 MPa 以下の加圧がおこっても, 気泡組織の変化が生じない。0.4 MPa 以上の場合では, 気泡組織の変化が生じるが, AE モルタルよりは, 加圧の影響が少ない。
- (4) スケーリング抵抗性については, AE モルタルおよび SBD モルタルのどちらでも, 0.45 MPa で加圧を行った場合スケーリング抵抗性の低下が生じる。スケーリング抵抗性の低下は, 150 μm 以下の気泡 (中空球体) が減少しているためと考えられる。

参考文献

- 1) 濱幸雄, 緒方英彦, 林大介, 阿波稔, 湯浅昇, 新大軌: コンクリート中の気泡の役割・制御に関する研究委

員会, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1-10, 2016

- 2) 小山田哲也, 羽原俊祐, 樊小義, 高橋慧: 新区界トンネル覆工コンクリートの耐凍害性確保の検討, 第 42 回セメント・コンクリート研究討論会論文集 (郡山), pp. 89-94, 2015
- 3) 田中館悠登, 羽原俊祐, 小山田哲也, 林大介: 外部からの圧力がコンクリート中の空気量に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1389-1394, 2016
- 4) 坂田昇, 菅俣匠, 林大介, 橋本学: コンクリートの気泡組織と耐凍害性の関係に関する考察, コンクリート工学論文集, Vol.23, No.1, pp.35-47, 2012
- 5) 羽原俊祐, 小山田哲也, 田中館悠登, 五十嵐数馬: ソルトスケーリング抵抗性に及ぼす小径空気泡混和材の導入効果, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, pp.484-489, 2015
- 6) 小山田哲也, 羽原俊祐, 斎藤和秀, 早坂洋平: コンクリートのスケーリング抵抗性における連行空気の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1048-1053, 2014
- 7) 西山孝, 前川慎喜, 日下部吉彦, 中野錦一: シアノアクリレートによる硬化コンクリート中の気泡組織の染色と観察, セメント技術年報, Vol.42, pp. 212-214, 1988
- 8) 小山田哲也, 羽原俊祐, 高橋拓真, 高橋俊介: スケーリング劣化を考慮した新しい凍結融解試験法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp. 935-940, 2011
- 9) 菅野華果, 羽原俊祐, 小山田哲也, 越後貴司: 既存スケーリング試験方法に対する小片凍結融解試験方法の整合性, セメント・コンクリート論文集, Vol.68, pp.419-425, 2014
- 10) 清野和徳, 菅田紀之, 尾崎初, 鮎田耕一: 圧力環境下で養生されたコンクリートの気泡組織と細孔構造について, 土木学会北海道支部論文報告集, 55A, V-1, pp.428-436, 1999

Research on Materials Design of Durable Concrete against Salt Scaling Deterioration

Shunsuke HANEHARA¹, Yuto TANAKADATE²

¹Iwate University, Faculty of Science and Technology, ²Iwate University Graduate School of Engineering

Summary

Abstract: Focusing on reduction of air content during ready mixed concrete casting, the influence of pressurization during pumping pressure on bubble structure of concrete and scaling resistance of concrete was studied using mortar. The higher the pressure, the larger the average bubble diameter and the bubble spacing coefficient tend to be, and the number of bubbles decreases to solve in mixing water. In particular, reduction of bubbles of 150 μm or less is conspicuous, and as the number of bubbles decreases more, the scaling resistance decreases. In the case of mortar with air introduced by hollow microspheres with thin films, the change in bubble structure is small and the effect of pressurization is small. Excluding mortar pressurized at 0.45 MPa (gauge pressure), no significant reduction in scaling resistance is observed.