

シリコマンガンスラグ骨材を用いたコンクリートの細孔径分布の評価

香川高等専門学校 学生会員 ○近藤 慎也
香川高等専門学校 正会員 林 和彦
香川高等専門学校 正会員 長谷川 雄基

1. はじめに

近年，河川砂利・海砂の利用が大きく規制されており，産業副産物の有効利用が注目されている．これまで，シリコマンガンスラグ(以下 MnS)をコンクリート用骨材としての有効利用を目的に，コンクリートの各種性状試験を検討してきた．その結果，力学的性状は一般的な骨材と比較して遜色ないことが示されている¹⁾一方で，MnS 粗骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性が劣る実験結果が示されている²⁾ものの，そのメカニズムは明らかにはなっていなかった．

本研究では，コンクリート内部の気泡組織に着目し，微細孔径気泡の割合を変化させたコンクリートを作製後，凍結融解試験および細孔径分布を測定し，その結果から細孔径分布が凍結融解抵抗性に与える影響を検討する．

2. 実験概要

(1) 微細孔径気泡を変化させた供試体の概要

MnS 骨材との比較のために安山岩(And)骨材を用いる．MnS 粗骨材の凍結融解抵抗性の改善の検討として，細骨材に And 骨材および MnS 骨材を組み合わせたコンクリートに微細孔径気泡の役割を果たす中空微小球混和材(H)を添加した合計 2 種類×3 段階(C×0%, 1%(M-M シリーズを除く), 2%)の合計 5 種類を作製した．表-1 に使用材料の物性を示し，表-2 に供試体の組み合わせを示す．さらに，表-3 に配合を示す．フレッシュ性状による影響を小さくするために，中空微小球を添加していないコンクリート(A-M-0%H, M-M-0%H)を空気量 4.5%±0.5%，スランプ 10cm±2cm に収まるように混和剤の添加量や細骨材率，単位水量を調整して配合設計をした．

表-1 供試体の組み合わせ

区分	供試体名	細骨材	粗骨材	中空微小球		
				セメント質量比	追加される空気量	
コンクリート	A-M-0%H	And	MnS	0%	0%	
	A-M-1%H			1%	2.3%	
	A-M-2%H			2%	4.7%	
	M-M-0%H	MnS		0%	0%	
	M-M-2%H			2%	4.7%	

表-2 使用材料の物特

使用材料		物性等	
セメント (C)		普通ポルトランドセメント	密度 3.15 g/cm ³
砕砂 (S) 安山岩		表乾密度 2.62 g/cm ³ F.M. 2.63	吸水率 1.74%
シリコマンガンスラグ (MnS)		表乾密度 2.91 g/cm ³	吸水率 1.95%
シリコマンガング骨材 (MnSG)		表乾密度 2.73 g/cm ³	吸水率 1.43% 最大寸法 20mm
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物と ポリカルボン酸エーテルの複合体	
	AE剤	変性アルキルカルボン酸化合物系	
混和材	中空微小球 (H)	密度 0.13±0.03g/m ³	平均粒子径：70.0±20.0μm アクリル系樹脂

表-3 中空微小球を添加したコンクリートの配合

供試体名	WC(%)	空気量 (%)	s/a(%)	単位量(100g ¹)						C×(%)		
				W	C	MtS	S	MtSG	AE減水剤	AE剤	中空微小球	
AM0%H	55	45	42	175	318	0	741	1076	0.6	0.05	0.0	
AM10%H											1.0	
AM20%H											2.0	
MM0%H			45	185	336	909	0	904	2.0	0.09	0.0	
MM20%H											2.0	

(2) 凍結融解試験

MnS 粗骨材と中空微小球を添加したコンクリートの凍結融解抵抗性を検討するため，JIS A1148:2010 コンクリートの凍結融解試験方法の水中凍結融解試験方法(A 法)に則り凍結融解試験を実施した．材齢 28 日で，供試体の数は A-M-0%H を除き 1 種類につき 3 体とした．また，サイクル毎に測定した質量と一次共鳴振動数から質量減少率と相対動弾性係数を導出した．

(3) 細孔径分布の測定

細孔径分布の測定では，中空微小球を添加した材齢 33 日の 5 種類のコンクリートに加え，これまで凍結融解試験を行った同配合の細骨材・粗骨材に And 骨材および MnS 骨材の組み合わせを変えた材齢 1091 日の 4 種類のコンクリートの断面を切断して粉碎後，2.5mm-5.0mm のふるいにとどまったセメントマトリクスを試料として水銀圧入法を実施した．

3. 実験結果

(1) 中空微小球を添加した供試体の凍結融解試験

同一供試体 3 体の結果は全体の傾向として大きなばらつきは少なかったため，平均値で評価する．図-1 に中空微小球を使用した A-M シリーズの相対動弾性係数の結果を示す．図-1 より，中空微小球を添加していない供試体(A-M-0%H)は，これまでと同様に JIS 基準値の 60%を下回る結果となった．中空微小球を添加し

た供試体(A-M-1.0%H, A-M-2.0%H)は, 300 サイクル経過しても高い凍結融解抵抗性を確保できていることから, MnS 粗骨材を使用しても中空微小球を添加することで凍結融解抵抗性を改善できることが確認された。

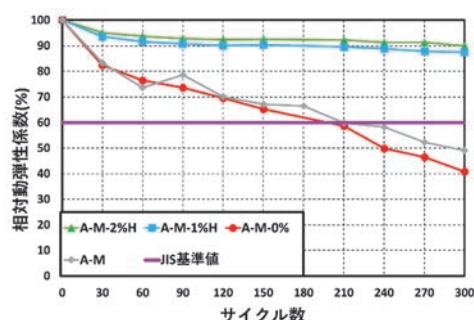


図-1 相対動弾性係数の経時変化

(2) コンクリートの細孔径分布

図-2 に材齢 1091 日の 4 種類のコンクリートの細孔径分布を示す。今回測定した骨材の組み合わせを変えた 4 種類のコンクリートの累積細孔容量に大きな相違はなかった。中空微小球を添加した 3 種類のコンクリートでは, 図-3 に, 材齢 33 日の中空微小球を添加した供試体の細孔径分布を示す。粒形(80 μ m)付近の中空微小球を添加することで, 細孔半径 0.5-100(μ m)区間において細孔容量が卓越することが確認された。

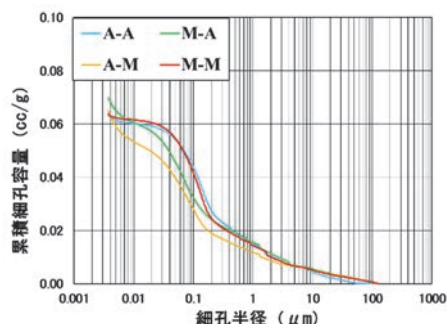


図-2 材齢 1091 日の供試体 4 種類の細孔径分布

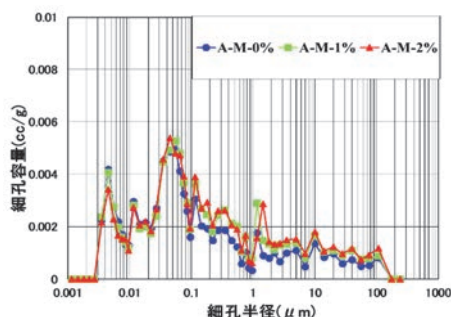


図-3 中空微小球を添加した供試体の細孔径分布

(3) 細孔径分布と凍結融解抵抗性の関係性

凍結融解抵抗性の指標として, 相対動弾性係数の結果を用いて耐久性指数を求めた。凍結融解抵抗性と相関が高い細孔径区間を検討するために, 細孔径区間の細孔容量と耐久性指数をオメガ変換した値との単回帰

分析を行うと, 材齢によるグループ分けをした場合, 細孔径区間 16-32(μ m)の細孔容量が最も相関が高いことが確認された。凍結融解抵抗性と細孔容量は, S 字形のシグモイド曲線のように, ある閾値以上で効果を発揮して収束する関係だと事前に推測した。図-4 に 16-32(μ m)区間の細孔容量と耐久性指数の関係を示す。シグモイド関数を作成して S 字形曲線を結ぶと, 材齢の違いで 2 つの S 字形曲線となった。この材齢の違いによる影響は検討できていないが, 平均をとった場合, 使用骨材に依存することなく, 細孔径区間 16-32(μ m)の細孔容量のうち 0.0015(cc/g)付近が閾値で, 細孔容量 0.002(cc/g)程度含んでいれば, 凍結融解抵抗性を確保することができると思われる。

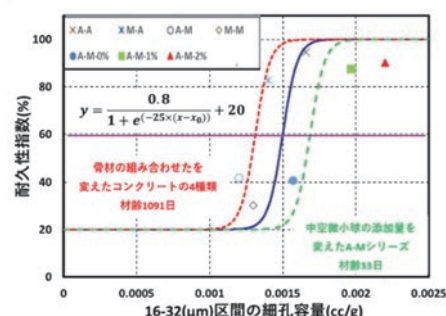


図-4 16-32(μ m)区間の細孔容量と耐久性指数の関係

4. 結論

MnS 骨材の凍結融解抵抗性が劣る原因は, 多孔質な構造による粗雑な気孔がコンクリート内の空気量を占めることにより, 微細孔径気泡が減少することが考えられる。対策として中空微小球を添加すると, 細孔半径区間 16-32(μ m)の細孔容量が増加し, 凍結融解抵抗性を確保することが確認された。

謝辞

細孔径分布の測定では(株)四国総合研究所の協力をいただきました。中空微小球混和材はデンカ(株)に提供をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 水越睦視, 林和彦, 鈴木麻理子, 足立優斗: シリコマンガンスラグのコンクリート用細骨材への適用性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, vol.40, No.1, pp.1407-1412, 2018
- 2) 近藤慎也, 林和彦, : シリコマンガンスラグ骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性, 土木学会四国支部第 24 回技術研究発表会講演概要集, 2019