

V-40 細孔構造特性に着目した粗骨材の品質とコンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究

八戸工業大学 正会員 ○阿波 稔
 八戸工業大学 正会員 庄谷 征美
 八戸工業大学 正会員 月永 洋一

1. まえがき

東北地方におけるコンクリート構造物は、その気候的な条件により、ひび割れの発生、スケーリングやポップアウトに代表されるような寒冷地特有の凍害劣化を受けやすい環境にある。一方で、近年、良質骨材の枯渇化や採取規制などの制約が年々厳しさを増しており、地域によっては良質骨材の入手が非常に困難な状況になってきている。また、従来の品質基準を満足するような骨材を用いたコンクリートであっても耐凍害性が低く、密度、吸水率や安定性などの従来の品質評価の指標値のみでは、凍害危険性を十分に予測できないケースも報告されてきている。以上のような背景から、本研究では、粗骨材の細孔構造特性に着目し、コンクリートの凍害劣化のメカニズムについて考察を加えたものである。

2. 実験方法

2-1 使用材料および配合：本実験に用いたセメントは普通ポルトランドセメントである。細骨材は、密度 2.68g/cm^3 、吸水率 1.18% および F.M. 2.76 の川砂を使用した。本研究では物理的品質が幅広い骨材を試料とするために、青森県内より 13 種類の粗骨材を採取した。これら粗骨材は品質試験として密度、吸水率、安定性、B.S. 破砕値、細孔径分布、粗骨材の凍結融解抵抗性などを測定した。コンクリートの配合は、W/C55%、空気量 5% 一定とした。そして、それぞれの配合ケースにおいて単位容積を一定 (W: 0.168, C: 0.097, S: 0.304, G: 0.381) として、粗骨材の種類を変化させて実験を行った。

2-2 コンクリートの凍結融解試験：凍結融解試験は、ASTM C 666 A 法(水中凍結水中融解法、1 サイクル約 4 時間)に従って行った。供試体は、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱を用い、材齢 14 日まで水中養生後 (20°C)、試験を開始した。また、30 サイクル毎に 300 サイクルまで相対動弾性係数を測定し、耐久性指数 DF を算出した。

3. 実験結果および考察

3-1 粗骨材の物理的特性：表-1 は粗骨材の基本的品質試験の結果を示したものである。この表に見られるように、実験で使用した粗骨材の密度、吸水率や、ポロシチーは、JIS 規格外の骨材も含め広範囲な品質水準にあることが分かる。

3-2 粗骨材自身の凍結融解抵抗性：粗骨材の 200 サイクルにおける平均質量損失率と粗骨材の細孔径分布から得られた中央細孔直径との関係を図-1 に示す。この図より粗骨材の中央細孔直径は上記損失率と比較的良好な関連性が確認された。これは、このような骨材が拘束されない状

表-1 粗骨材の物理試験一覧表

試料	岩質	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	安定性 (%)	BS401f 破砕値 (%)	全細孔 容積 (cc/g)	中央細 孔直径 (μm)
A	安山岩	2.42	4.46	6.1	14.3	0.0428	0.068
B	安山岩	2.39	4.52	15.4	16.1	0.0585	1.360
C	石灰岩	2.70	0.24	3.0	23.1	0.0033	78.40
D	石灰岩	2.71	0.26	2.0	24.0	0.0028	68.90
E	玄武岩	2.65	2.42	8.5	11.8	0.0180	0.101
F	安山岩	2.33	3.87	6.3	16.3	0.0368	0.049
G	安山岩	2.37	3.20	5.7	15.7	0.0343	0.110
H	安山岩	2.38	5.09	8.0	11.9	0.0512	0.023
I	流紋岩	2.09	6.98	9.7	43.1	0.0662	2.570
J	安山岩	2.64	2.11	1.9	20.2	0.0204	0.149
K	安山岩	2.56	2.05	8.1	15.3	0.0152	0.052
L	輝緑岩	2.90	0.62	2.9	9.2	0.0105	43.20
M	安山岩	2.52	2.91	1.1	11.6	0.0262	1.860

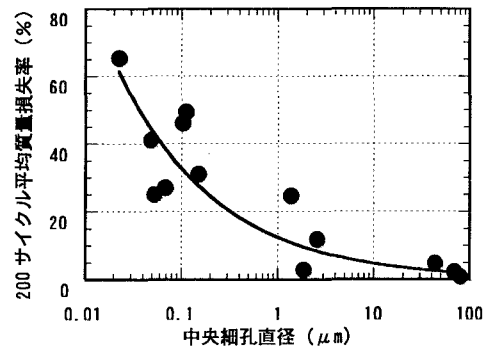


図-1 粗骨材の中央細孔直径と 200 サイクル平均質量損失率との関係

態での凍結融解抵抗性は骨材中の水分の凍結に伴う未凍結水の移動のしやすさ、つまり粗骨材の透水性に大きく依存しているためであると考えられる。

3-3 粗骨材の細孔構造特性に着目したコンクリートの

凍結融解抵抗性

図-2 は、コンクリートの凍結融解試験結果を示したものである。この結果より、粗骨材 I と H を用いたコンクリートの耐久性指数 DF 値は 5 および 9 と著しく低く、極めて凍害危険度が高い低品質粗骨材であると判断される。また、粗骨材 B の DF 値も 60 を下回っており、比較的凍害危険度が高い骨材の一つであると考えられる。一方で、粗骨材 F は密度、吸水率ともに JIS 規格値を外れているにもかかわらず DF 値が 83 と高く耐久的な傾向を示した。

図-3 は、粗骨材の全細孔容積と中央細孔直径に基づいて、コンクリートの凍害劣化の形態をケース分けしたものである。この図より、コンクリートの耐凍害性は、使用した粗骨材の細孔構造特性に極めて大きく関連を持つものと考えられる。

図-4 は、粗骨材の細孔構造特性に着目したコンクリートの凍結融解劣化のメカニズムを模式的に示したものである。まず、全細孔容積が約 0.05cc/g と大きく、中央細孔直径が 0.02 μm 程度と極めて小さい粗骨材 H (ケース 4) のような場合である。これは凍結水量が多く、また、細孔径が小さいために粗骨材内部で水分が移動し難く水圧が大きくなり、粗骨材自身を崩壊させたものと考えられる。次は、全細孔容積が 0.06cc/g 程度と非常に大きく、中央細孔直径が数 μm と中程度の粗骨材 I や B (ケース 5) のような場合である。これは水を含む細孔が多く、また、細孔径が比較的大きく骨材内部での水分の移動性に優れているために、凍結時に周辺のペースト部へ未凍結水を多く供給し、ペースト部の飽和度が高まることによってペーストの劣化を生じた、あるいは、周辺のペースト部へ未凍結水を排出しきれない場合は、骨材内部で水圧が増大し骨材自身を部分的に崩壊させる場合も考えられる。

なお、粗骨材 I と B を用いた場合の DF 値の差は、表-1 に示されるように BS401f 破砕値に顕著な差があることから、主として粗骨材自身の強度に依存したものであると思われる。

4. まとめ

粗骨材自身の凍結融解抵抗性は、その内部での水の移動性(透水性)を反映する中央細孔直径と極めて高い相関性を持つことを示した。そして、粗骨材の細孔構造特性に着目し、コンクリートの凍害劣化メカニズムについて考察を行った。

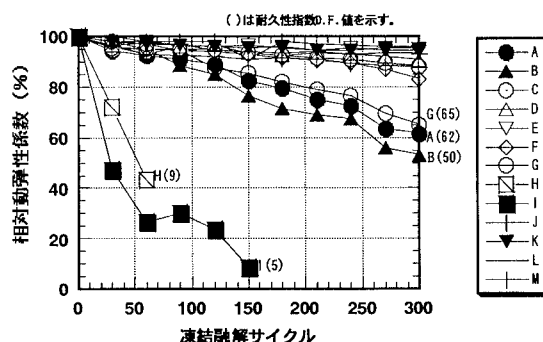


図-2 コンクリートの凍結融解試験結果(Air 5%)

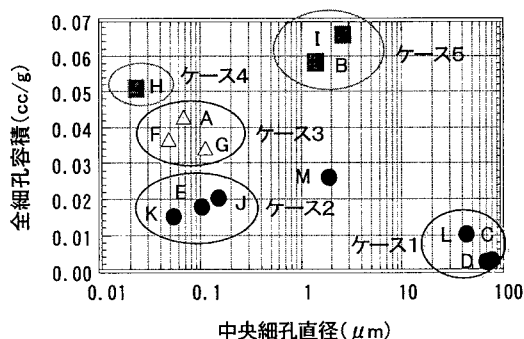
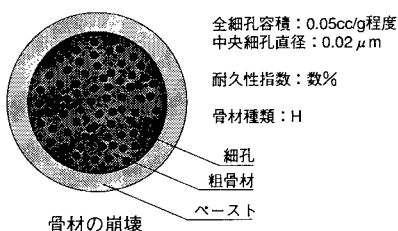


図-3 全細孔容積と中央細孔直径との関係

ケース 4 (細孔容積: 大、細孔径: 小、DF: 小)



ケース 5 (細孔容積: 大、細孔径: 中、DF: 小)

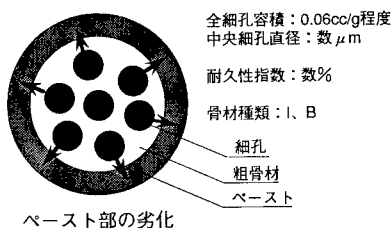


図-3 粗骨材の細孔構造特性に着目したコンクリートの凍結融解劣化メカニズム