

岩手大学

小沢コンクリート

正員 ○ 藤原 忠司

菊地又二男

1. まえがき

凍結融解くり返し作用を受けたときにコンクリートが劣化を示すのは主にセメントペーストが破壊するためであると言われている。しかしながら、この劣化の現象にコンクリート中で多大な（約7割程度）容積を占める骨材も直接、間接を問わず大きく関連していることは想像に難くない。事実、骨材の品質の異なるコンクリート間の耐久性に差異の存在することは一般に認められており、このことはコンクリートの耐久性に骨材が重要な役割を果たすことを示している。この役割を明らかにするためにはペーストと骨材との複合機構に着目する必要があることは言うまでもない。そのため、骨材単独で凍結融解試験を行ってもその資料でコンクリートの耐久性を知ることができないとされている⁽¹⁾。しかしながら、複合的に見地から検討を行なうには構成材料個々の特性を把握しておくことが必要不可欠であり、骨材自体の耐久性を知っておくことは必ずしも無意味ではないと考えられる。また、骨材はペーストに比しより単純な細孔構造を有していることから、その劣化機構もより単純であると考えられ、この細孔構造と劣化機構の関連を明らかにすることはコンクリート全体の劣化機構を知る重要な手掛りになると期待される。さらに骨材自体の耐久性を把握しておけば、骨材の品質によるコンクリートの耐久性の違いのある程度の目安および寒冷地での骨材貯蔵の適正な方法などについての実用的な面での資料になりうると考えられる。以上の観念のもとに本実験では骨材自体に直接凍結融解くり返し作用を与え、その諸挙動を捉えてみた。

2. 骨材の品質による耐久性の違いについて

骨材を対象とする場合、耐久性指数として何を選定するが問題になる。

コンクリートを対象として一般に用いられている動弾性係数の変化は骨材の場合試料が過小であるため適用できない。そこで、凍害を受けて破壊した試料の数を所定のサイクルで測定し、破壊率で耐久性の程度を表わしてみた。

絶乾状態の試料を空気循環式熱サイクル試験機内の水中に設置し、温度範囲 $-20^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ 、サイクル数 1.5C/day で凍結融解のくり返しを与えた。標準的な試験よりは非常に緩速であるが、試験機が空気循環式であることも併せて自然現象に近い状態での実験であると言える。実験結果を表-1に示す。まず普通骨材に着目すると、粒径により破壊率が若干の差が見受けられ、骨材そのものにも限界寸法の存在することが認められる。また、石質の違いにより耐久性が大きく異なっている。凝灰岩や頁岩は100サイクルで大半が破壊し、このような骨材を用いればポツアアウトの生ずる危険性が大きいと考えられる。つぎに、軽量骨材の耐久性も品質により大きな差の存在することが認められる。とくに注目すべき点は造粒型Bの破壊率が僅小であることであり、製造方法によっては耐久性のあぐれた軽量骨材が造粒可能であることを示している。表-1の結果のみでは普通、軽量両骨材の比較を単純には行えない。表-2はJIS A 1122に基づいて行なった安定性試験の結果であり、表より軽量骨材の方がやや小さな損失重量となっているが表-1の結果とは必ずしも合致していない。このことは実験条件によって結果が異なることを示し、条件を固定してしまえば正しい比較が難しいことを意味する。そこで、サイクルの進行にともなる破壊率の経時変化に着目

表-1

骨材の種類		絶対比率	吸水率(%)	破壊率(%)
普通骨材 (雲石川産砂利)	20-25 ^{mm}	2.39	4.3	52
	15-20	2.35	4.6	50
	10-15	2.37	4.4	51
	5-10	2.38	3.9	33
	花崗岩	2.63	1.2	13
石質別	安山岩	2.57	2.1	21
	流紋岩	2.42	3.7	64
	凝灰岩	2.17	7.1	84
	頁岩	2.38	3.0	73
軽量骨材	造粒型M	1.21	9.2	56
	非造粒型M	1.32	7.4	67
	造粒型B	1.39	2.7	3

* 100サイクル後の破壊率

表-2

骨材の種類	損失重量(%)	
	10-15 ^{mm}	5-10 ^{mm}
普通骨材(雲石川産砂利)	17.1	9.9
軽量骨材(非造粒型M)	16.1	4.9

表-1の結果のみでは普通、軽量両骨材の比較を単純には行えない。表-2はJIS A 1122に基づいて行なった安定性試験の結果であり、表より軽量骨材の方がやや小さな損失重量となっているが表-1の結果とは必ずしも合致していない。このことは実験条件によって結果が異なることを示し、条件を固定してしまえば正しい比較が難しいことを意味する。そこで、サイクルの進行にともなる破壊率の経時変化に着目

してみる。図-1はその変化を示したものであり、普通骨材は比較的若いサイクルで破壊が現われるのに対し、軽量骨材はかなりのサイクルを経てから破壊率が増大しているのが特徴的である。このように両者の破壊率の経時変化は全く異なる形をとっており、厳密な比較を行うにはその時点での骨材の状態、とくに含水状態を十分考慮に入れる必要がある。たとえば、長期間野外に放置したりあるいは過度なプレウェッチングを施したりして飽水状態にある軽量骨材は厳しい凍害を受けることが予想されその貯蔵および使用には注意を要するが、一方低い含水量のもとでは普通骨材よりも耐久的に使用できる可能性のあることを得られた資料は示している。

3. 細孔構造と耐久性との関連

耐久性の機構を明らかにするためには凍結融解にともなう体積変化の性状を把握しておく必要がある。図-2および図-3は骨材粒の周囲上に電気抵抗線ひびみゲージを貼付し試験機内の乾燥砂中に設置したときの1サイクル目のひびみの変化を示している。図に見受けられるいくつかの傾向を細孔構造との関連で考察してみよう。

普通、軽量両骨材ともに凍結による膨張が0℃を境として開始しておらず、いわゆる凍結急降下をおこしている。これは両骨材内部に微細な空隙が存在するためであることは明らかである。この凍結急降下は理論的に次式のように求める。⁽²⁾

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{2\sigma_L M}{\gamma R_L \Delta H_{SL}} \quad \Delta T: \text{過冷却温度}, M: \text{分子量}$$

$$\sigma_L: \text{表面張力}, \gamma: \text{細孔半径}, \Delta H_{SL}: \text{分子融解熱}$$

上式と水銀圧入法による細孔径分布の実測値とをもとに飽水状態にある骨材の温度と膨張量の関係を計算し、体積変化の実測値と比較すれば図-4のようになる。図のように計算値と実測値とは一致しておらず、とくに軽量骨材の差が著しい。図より判断すれば、粗大孔中の水分の凍結による膨張は理論的に推定される値より小さいことになる。そして、軽量骨材の場合はこの粗大孔が卓越しているため計算値と実測値とが大きくかけ離れたらと考えられる。

図-3のように軽量骨材の体積変化は含まれる水量によって異なった様相を呈する。とくに注目すべき点は含水量10%の場合の膨張が僅小であることであろう。この程度の含水量であっても水の生成による膨張は理論的にかなりの値に達するはずであるが実際には具現していない。この理由としては膨張が未飽和の空隙あるいは閉孔によって緩和されたために解消してしまうことが挙げられる。そしてこのような内的緩和は骨材の内部組織の破壊へとつながると考えられる。このことは破壊した軽量骨材を目視観察すれば容易に認められる。すなわち、凍害を受け軽量骨材は粉々に破壊しており、このことは内部組織の破壊を示している。

おわりに、御指導戴いた東北工芸大学増廣藤幸正先生、実験に御協力戴いた若手大学校青根子國成氏、同大学院生飯泉章君に深甚の謝意を表します。

文献：(1)、ACI Monograph, No. 3, 1966, (2)、樋口：表面 vol. 6, No. 3

