

石炭灰人工骨材を用いたコンクリートの耐凍害性に関する研究
(その3 実環境条件を考慮した耐凍害性の評価)

正会員 ○ 全 振煥*1 同 笠井 浩 *1 同 和美 廣喜*2
同 藤木 英一*3 同 浜 幸雄*4 同 田畑 雅幸*5
同 三森 敏司*6 同 富岡 一則*7

石炭灰人工骨材 耐凍害性 含水率
凍結融解回数 限界飽水度 環境条件

1. はじめに

本研究では、石炭灰人工骨材（以下Jライトと略す）及び碎石を用いたコンクリートに対して、試験開始までの養生条件を変化させて JIS A 1148-2001 A 法（水中凍結融解試験）と RILEM CIF 法による凍結融解試験を行った。実構造物におけるコンクリートの耐凍害性を評価するためには、凍結融解時の温度条件や凍結融解作用を受けるまでの乾燥条件と水分の供給条件などが実際の環境条件に対応している必要があり、さらに凍害劣化が発生するまでの飽水度の上昇のプロセスを把握しなければならない。本報では、その1及びその2における条件の異なる凍結融解試験の結果を踏まえて、実環境条件を考慮した耐凍害性の評価方法について検討する。

2. 実験結果の概要

実験の概要を表1、試験条件を表2に示す。なお、詳細はその1とその2に論じている。図1に水中凍結融解試験における耐久性指数を養生条件ごとに比較して示す。凍結融解条件が同じであっても、凍結融解試験前の養生条件により耐久性指数は大きく異なっている。図2にCIF試験での試験終了時の耐久性指数を養生条件ごとに示す。CIF試験では耐久性指数がいずれのコンクリートもほとんど低下していない。

図3及び図4は凍結融解試験による含水率の変化をコンクリート種類及び養生条件ごとに比較したものである。なお、ここでの含水率は封緘養生終了時の質量を基準とした体積含水率である。図3は水中凍結融解試験結果であり、養生終了時と比較的スケリング劣化の影響の少ない凍結融解25サイクル時の含水率の変化を示している。また、図4はCIF試験での養生終了時（下面吸水開始時）、試験終了（56サイクル）時の含水率の変化を示している。図3、図4ともに同様の傾向を示している。封緘養生ではJライトコンクリートが碎石コンクリートよりも凍結融解試験中の含水率の増加が少ない。20℃及び50℃で乾燥した場合には、Jライトコンクリートの方が乾燥による含水率の低下が大きく、碎石コンクリートではいずれの養生条件でも基準とした封緘養生終了時の含水率を上回っているのに対して、Jライトコンクリートの20℃乾燥、50℃乾燥の条件では封緘養生終了時の含水率に達していない。また、いずれのコンクリートにおいても脱型から水中養生までに2~4vol%程度含水率が増加しており、Jライトコンクリートでは凍結融解試験中に含水率の増加が認められるが、碎石コンクリートでは含水率は増加していない。

表1 実験の概要

記号	コンクリートの条件			
	粗骨材	W/C	スランブ(実測)	空気量(実測)**
J-55	石炭灰人工骨材	55%	18cm(20.0cm)	4.5%(4.6%)
J-45		45%	18cm(18.5cm)	4.5%(4.5%)
J-35		35%	55cm(49.5cm)*	3.0%(4.3%)
G-55	碎石	55%	18cm(19.5cm)	4.5%(4.0%)
G-45		45%	18cm(17.5cm)	4.5%(4.1%)
G-35		35%	55cm(58.5cm)*	3.0%(2.7%)

*:スランブフロー、**:Jライトは骨材修正係数補正後の空気量

表2 凍結融解試験条件

試験方法	養生条件
JIS A 1148 A 法 [水中凍結融解] (300 サイクル)	4 週水中養生(標準条件)
	4 週封緘養生
	4 週封緘養生+20℃、R.H.60%・2 週乾燥
	4 週封緘養生+50℃・2 週乾燥
RILEM CIF 法 (56 サイクル)	4 週封緘養生
	4 週封緘養生+20℃、R.H.60%・2 週乾燥(標準条件)
	4 週封緘養生+50℃・2 週乾燥

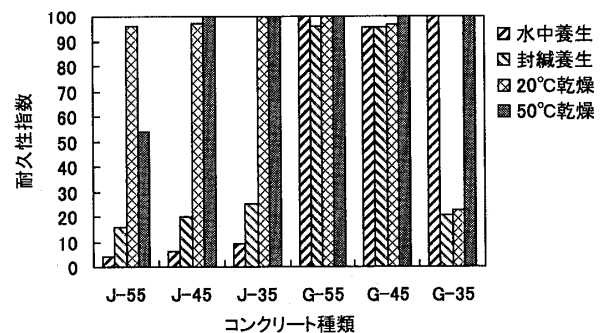


図1 水中凍結融解試験(300サイクル)における耐久性指数の比較

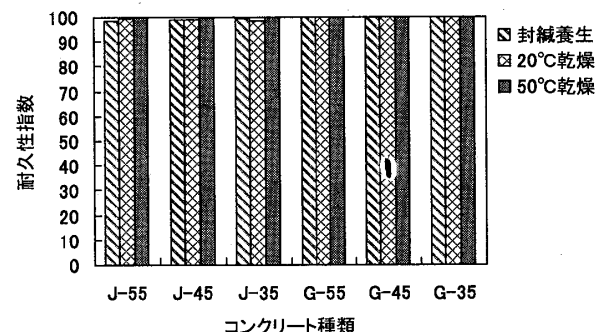


図2 CIF試験(56サイクル)における耐久性指数の比較

Study on Frost Resistance of Concrete using Coal Ash Artificial Aggregate
(Part3 Evaluation of Frost Resistance for Real Environmental Condition)

JEON Jin-Hwan, KASAI Hiroshi, WAMI Hiroki, FUJIKI Eiichi, HAMA Yukio, TABATA Masayuki, MIMORI Toshiji and TOMIOKA Kazunori

3. 考察

3.1 コンクリートの乾燥条件の影響

JIS A 1148 A 法（水中凍結融解試験）の標準条件である4週水中養生後に凍結融解試験を行った場合、コンクリート供試体の作製後に自己乾燥も含めて乾燥する機会がなく、吸水率の高い人工骨材を用いた J ライトコンクリートは十分な空気量を持つ AE コンクリートとしても耐凍害性に劣るものと評価される。しかしながら、実構造物においてはこのような養生条件で凍結融解作用に曝されることはほとんどない。一方、凍結融解の条件が同じであっても凍結融解試験前の養生条件が異なると耐久性の実験結果は変化している。特に、4週封緘養生+20℃・2週乾燥した J ライトコンクリートは耐久性指数 100 近くになっており、良好な状態である。

3.2 凍害劣化に及ぼす含水率の影響

コンクリートの含水率がある限界値（限界飽水度）に達したときに凍害劣化が起きる¹⁾と言われており、前述の養生条件による吸水性状の相違が耐凍害性に影響を及ぼしている。本研究の範囲では、それぞれのコンクリートの限界飽水度を定量的に把握できていないが、J ライトコンクリートの場合、水中凍結融解試験において4週水中養生では数サイクルの凍結融解で劣化が生じ、封緘養生では50~100サイクルで劣化が生じ始めている。これは、4週水中養生では試験開始時に既に限界飽水度を超過しているのに対して、封緘養生では養生期間中に飽水度が低下し、限界飽水度に達するまでに50~100サイクル程度の凍結融解の繰り返しが必要であることを示唆している。また、20℃乾燥または50℃乾燥の条件では飽水度の低下がより大きく、300サイクルでも限界飽水度に達しなかったと考えられる。

また、J-55の50℃乾燥、G-35の封緘養生及び20℃乾燥のように、乾燥による飽水度の低下が必ずしも耐凍害性を向上させていない例も見られることから、乾燥および低水セメント比における自己収縮などに起因するひび割れや空隙構造の変化が限界飽水率を変化させる可能性があると考えられる。

3.3 凍結融解条件の影響

CIF 試験では封緘養生および乾燥させた試験体を用いることと凍結融解56サイクルを試験の終了としているために、J ライトコンクリート、碎石コンクリート共に劣化は認められなかった。封緘養生および乾燥を加えた試験体では JIS A 1148 A 法でも50サイクル程度までは劣化していないこと、CIF 試験でも凍結融解中は常に水の供給があり、凍害劣化に対して影響の大きな最低温度が-20℃と十分に低いことから、水中凍結融解試験と比べて CIF 試験の条件が極端に緩やかであるわけではない。ここで問題なのは、実構造物のコンクリートに要求される耐凍害性を評価するために凍結融解56サイクルで十分かどうかの議論である。

わが国における実環境下での凍結融解回数は年間100回程度で、最低温度-18℃を基準とした年間の JIS A 1148 A 法相

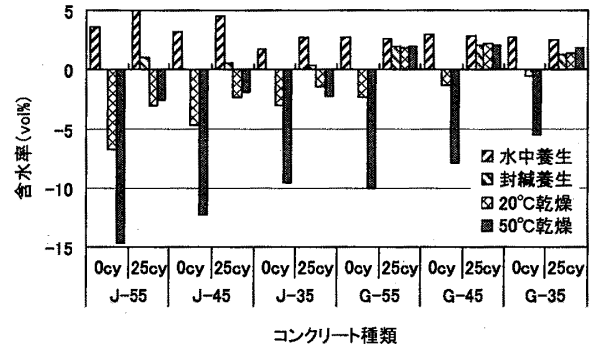


図3 水中凍結融解試験による含水率の変化

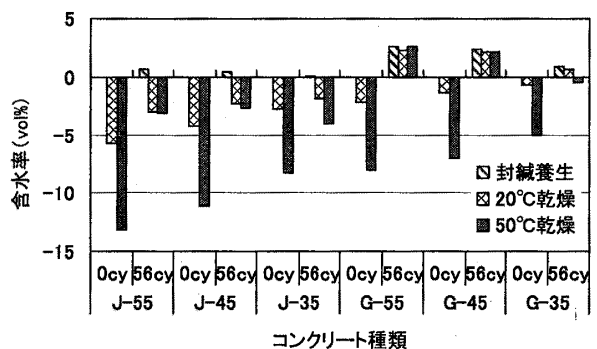


図4 CIF試験による含水率の変化

当サイクル数は30~50回程度であることと、凍結融解作用の主な役割が劣化を蓄積させるのではなく、劣化が生じる限界飽水度までコンクリートの飽水度を高めることにあると考える²⁾と、実構造物の耐凍害性を評価する場合には必ずしも長期間の連続した凍結融解作用が必要ではなく、一冬に想定される凍結融解作用によってコンクリートが劣化するかどうか判断できれば良いことになる。このように考えると、実構造物での耐凍害性を評価する方法として、凍結融解開始前に適当な乾燥と吸水の行程を設け、一面からの吸水と凍結融解を繰り返す CIF 試験は現実的な方法であると思われる。

4. まとめ

石炭灰人工骨材（J ライト）コンクリートの耐凍害性は、JIS A 1148 A 法の標準条件である4週水中養生の条件では AE コンクリートとしても劣るものであるが、CIF 試験では凍害劣化は認められなかった。耐凍害性の評価は凍結融解前の養生条件によって異なり、実際のコンクリート構造物を想定した場合には JIS A 1148 A 法よりも RILEM CIF 試験が現実的な促進試験であると考えられる。

<参考文献>

- 1) G.Fagerlund: The Critical Degree of Saturation Assessing the Freeze/Thaw Resistance of Concrete, *Materiaux et Construction*, Vol.10, No.58, pp.217-253(1978)
- 2) 浜、松村、田畑ほか：気象因子を考慮したコンクリートの凍害劣化予測、*日本建築学会構造系論文報告集*, No.523, pp9-16, 1999.

*1 鹿島建設(株) 技術研究所 *2 島根大学
 *3 日本メサライト工業 *4 室蘭工業大学
 *5 北海道職業能力開発大学校 *6 釧路工業高等専門学校
 *7 常磐共同火力

*1 Kajima Technical Research Institute *2 Shimane University
 *3 Nihon Mesalite Industry CO. *4 Muroan Institute of Technology
 *5 Hokkaido Polytechnic College *6 Kushiro National College of Technology
 *7 Joban Joint Power CO. Ltd.