

論文 低品質骨材を用いたコンクリートの耐凍害性に及ぼす配合の影響

袴田 豊^{*1}・藤原 忠司^{*2}・小山田 哲也^{*3}・藤原 裕介^{*4}

要旨：吸水率が JIS を満足しない低品質粗骨材を用いたコンクリートの耐凍害性を、水セメント比や空気量の配合条件を調節することで確保できないか検討した。骨材の吸水率が 4.5%程度までであれば、配合条件の適切な設定により、耐凍害性を確保できる可能性がある。5%以上の吸水率を有する粗骨材の場合、配合を調節しても耐凍害性の確保は難しくなるが、むしろ水セメント比を大きくすることで、耐凍害性を得られる事例もあり、骨材の品質に見合った配合条件を設定すれば、耐凍害性を確保できる可能性を示唆するものとして意義深い。

キーワード：低品質骨材, 吸水率, 耐凍害性, 水セメント比, 空気量

1. はじめに

これまで、コンクリートに用いられる骨材は、JIS に規定された品質を満足することが不可欠であった。たとえば、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）では、附属書 1 において、絶乾密度や吸水率などの品質を規定している。ところが、場所によっては、骨材の低品質化に伴い、規定の品質を満足する骨材の入手が困難になりつつある。

JIS では、購入者の承認が得られれば、絶乾密度や吸水率の条件を緩和できるようになっている。ただし、積雪寒冷地においてその承認を得るためには、該当する骨材を用いたコンクリートを対象にして凍結融解試験を実際に行い、耐凍害性が確保されることを確認しなければならない場合もある。

幸い、仕様規定から性能規定への移行に伴い、骨材が低品質であってもコンクリートの性能さえ満たせばいいとの考えが浸透しつつあり、この承認が得やすい状況になってきているといえる。資源の有効利用の観点からも、低品質骨材の活用は、きわめて大きな意義をもつ。

骨材は文字通りコンクリートの骨格材料であ

り、この品質が劣れば、コンクリートの耐凍害性を確保するために、格別の工夫を要すると思われる。そのためには、まず低品質骨材自体が、凍結融解作用により、どのような挙動を示すかを明らかにする必要がある、これまでこの点に着目した実験を行ってきた¹⁾。

本研究では、この実験で対象とした骨材を用い、コンクリートの耐凍害性を調べることにした。コンクリートの耐凍害性には、水セメント比や空気量などの配合条件が密接に関連するため、これらの条件を様々に設定した。低品質骨材を用いた場合、コンクリートの耐凍害性確保は難しくなると思われるが、配合の調節により、その確保が可能であるかを検討するのが、本研究の目的となる。

2. 実験概要

2.1 対象とした骨材とその物性

骨材が低品質であることの影響は、細骨材よりも粗骨材で強いと考えられるため、粗骨材に着目した。対象とした粗骨材は、総計 17 種類であり、そのうち 6 種類は、岩手県、秋田県および青森県でコンクリート用として使用されてい

*1 岩手県生コンクリート工業組合 中央技術センター指導開発課長（正会員）

*2 岩手大学 工学部建設環境工学科教授 工博（正会員）

*3 岩手大学 工学部建設環境工学科助手 博士（工学）（正会員）

*4 岩手県生コンクリート工業組合 中央技術センター技手

る砕石であり、他の 11 種類は路盤材用として市販されている砕石である。試料採取にあたっては、良質から低品質まで、広範囲にわたる品質の骨材が、多数得られるようにした。これは、コンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性を、広い範囲の品質の骨材を対象として求め、抵抗性と品質との関連を大体的かつ詳細に捉えようとの意図による。

図－1 は、選定した粗骨材の品質を示しており、吸水率が小さいものから順に並べている。そのほとんどの石質は、安山岩である。JIS A 5005（コンクリート用砕石及び砕砂）に規定されている絶乾密度 2.5g/cm^3 以上および吸水率 3.0%以下を満たす骨材は 3 種類で、他の 14 種類はどちらも満たさない骨材となっている。ここでは、絶乾密度および吸水率ともに規格を満たさない骨材を低品質骨材とみなすことにする。

細骨材は、JIS を満足する絶乾密度 2.81g/cm^3 、吸水率 1.82%の砕砂を使用した。

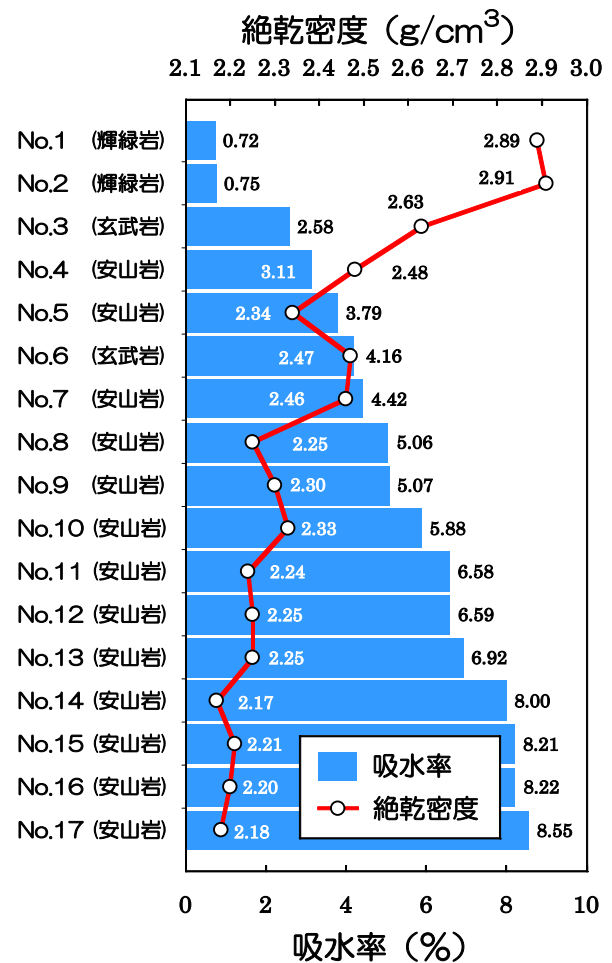
2.2 コンクリートの配合

水セメント比は、50%を基本とし、使用骨材によっては、30%および 40%の場合も検討した。これは、水セメント比 50%で耐凍害性を確保できなかった場合、これを小さくすることで、耐凍害性の向上を図れるかを検討しようという意図による。フレッシュコンクリートの空気量については、プレーンコンクリート、3.0%～3.5%、5.5%～6.0%および 8.0%～10.0%の 4 水準の中から、使用骨材によって、適宜設定した。空気量は、耐凍害性に強く影響を及ぼすと考えられることから、許容範囲を通常よりも狭くしている。なお、この範囲は、空気量試験時に適用しており、結果の表示では骨材修正係数を考慮しているため、範囲から外れる場合もある。また、5.5%～6.0%は、空気量 6%と表記する。

スランブは、 $8 \pm 2.5\text{cm}$ に設定し、単位水量および減水剤の量を調節して、この範囲に収めた。単位水量は、 170kg/m^3 程度であった。

2.3 凍結融解試験

コンクリートの凍結融解試験は、JIS A 1148



図－1 使用骨材の品質

の気中凍結・水中融解試験方法(B法)で行った。供試体は、寸法 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱とし、材齢 14 日まで 20°C の標準水中養生を行った後、凍結融解試験を開始した。硬化コンクリートの気泡間隔係数は、ASTM C 457 に示されるリニアトラバース法により求めた。

3. 実験結果および考察

図－2 は、水セメント比 50%の場合の粗骨材の吸水率とコンクリートの耐久性指数の関係を示したものである。

総体的には、粗骨材の吸水率が小さいほど、高い耐久性指数を示す傾向にある。吸水率が JIS を満足する骨材の場合、耐久性指数はすべて 100 程度の値を示しており、規格内であれば、耐凍害性を確保できるといえる。注目すべきは、吸水率が JIS を外れる骨材を用いても、4.5%程度

までであれば、60 に近い一例を除き、いずれの耐久性指数も 100 程度を示している点であり、規格外であっても、有効活用できる骨材は少なくないことを示唆している。ただし、これらは AE コンクリートであり、適切な空気量の設定が、耐凍害性確保の前提となる。これに対し、吸水率が 5% 程度以上になると、80 を超える一例を除き、すべてが耐久性指数 60 を下回った。極めて低品質の骨材の場合、耐凍害性の確保は、難しいといわざるを得ない。

図には、空気量の異なるコンクリートの結果が混在しており、この違いによる耐凍害性の差がはっきりしない。図-1 の No. 2, No. 5, No. 10 および No. 16 の骨材を用いたコンクリートについては、空気量を幾段階かに設定しており、これらの空気量と耐久性指数との関係を求めたのが、図-3 である。

良質骨材である No. 2 を用いたコンクリートは、比較的小さな空気量でも、耐凍害性を確保できている。No. 5 は、吸水率 3.79% の低品質骨材であるが、プレーンコンクリートでも耐久性指数 60 以上となっており、空気を連行すれば、さらに耐凍害性が高まって、耐久性指数 100 程度となる。吸水率がきわめて大きい No. 10 (吸水率: 5.88%) および No. 16 (吸水率: 8.22%) の場合には、空気量による耐久性指数の極値が見られ、設定した範囲内では、空気量 6% で、相対的に高い耐久性指数を示す。とくに No. 10 の骨材を用い、空気量 6% とした場合には、耐久性指数が 80 を上回っており、低品質骨材を使用しても、空気量の適切な設定により、コンクリートの耐凍害性を確保できる可能性を示す例であると受け止められる。

同様に 4 種類の骨材を用い、水セメント比を 40% および 30% にしたときの空気量と耐久性指数の関係を、それぞれ図-4 および図-5 に示す。傾向は、水セメント比 50% とほぼ同様であり、No. 10 および No. 16 では、空気量 6% で相対的に高い耐久性指数を示している。しかしながら、耐凍害性の向上は、水セメント比 50% の場

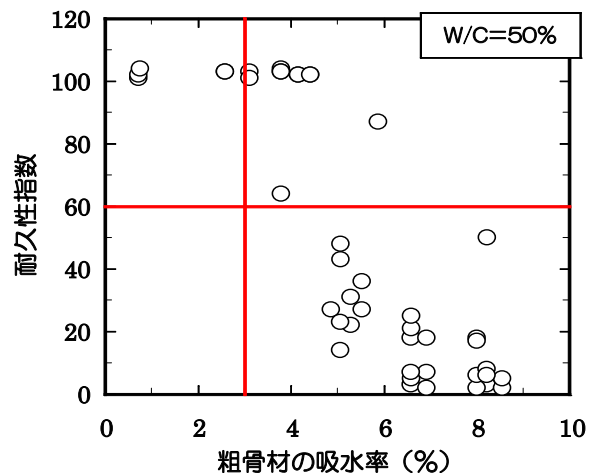


図-2 粗骨材の吸水率と耐久性指数の関係

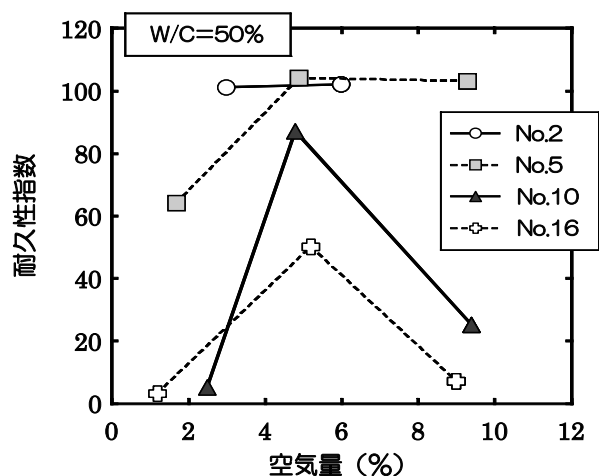


図-3 空気量と耐久性指数の関係

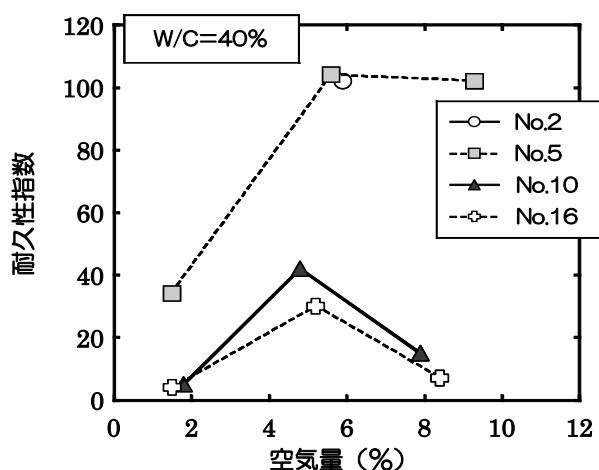


図-4 空気量と耐久性指数の関係

合ほど顕著ではない。また、図-3～図-5 を見比べれば、水セメント比が小さいほど、耐久

性指数が高いという傾向は認めがたい。

図-6に、空気量6%の場合の硬化コンクリートの気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示す。フレッシュコンクリートの空気量をほぼ同一としたにもかかわらず、各骨材の場合とも、水セメント比によって気泡間隔係数に違いが見られ、No. 10の水セメント比40%と50%の相対関係を除けば、水セメント比が小さいほど、気泡間隔係数が小さい傾向にある。一般には、気泡間隔係数が小さければ、耐凍害性が良好になるとされている。しかしながら、たとえばNo. 10の骨材を用い、水セメント比を30%としたコンクリートの場合、気泡間隔係数が小さいにもかかわらず、小さな耐久性指数となっている。また、水セメント比50%の気泡間隔係数が水セメント比30%より大きいにもかかわらず、耐久性指数は高い値を示すなど、気泡間隔係数では統一的な解釈ができない結果となっている。上述のように、適切な空気量の設定により、低品質骨材を用いても、耐凍害性を確保できる可能性があると考えたが、これは見かけ上のものであり、空気量以外の要因が卓越して、図-3～図-5のような傾向をもたらした可能性もある。

図-7は、空気量6%の場合の水セメント比と圧縮強度の関係である。低品質骨材を含めても、水セメント比が小さいほど、コンクリートの圧縮強度が大きくなるという一般の常識にかなう傾向となっている。

同じく空気量6%の場合の水セメント比と耐久性指数の関係を図-8に示す。強度との関係で見られたように、水セメント比が小さいほど、コンクリートの品質は良好となるはずであるが、No. 16の耐凍害性の場合には、水セメント比40%と50%の相対関係のように、必ずしもそのような傾向にない。No. 10にいたっては、水セメント比が小さいほど、耐久性指数が小さいという極めて独特な結果となっている。

凍結融解に伴う質量変化率の推移を図-9に示す。場合により、質量が増加しているのは、ひび割れが発生して、吸水するためであると思

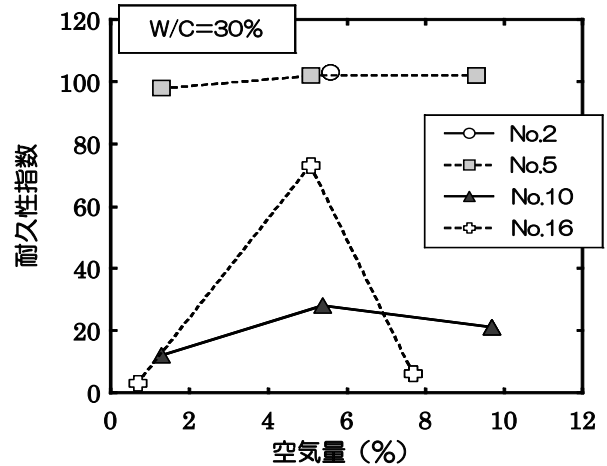


図-5 空気量と耐久性指数の関係

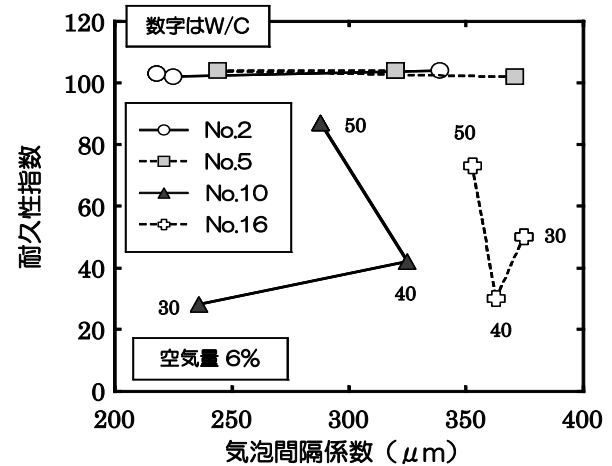


図-6 気泡間隔係数と耐久性指数の関係

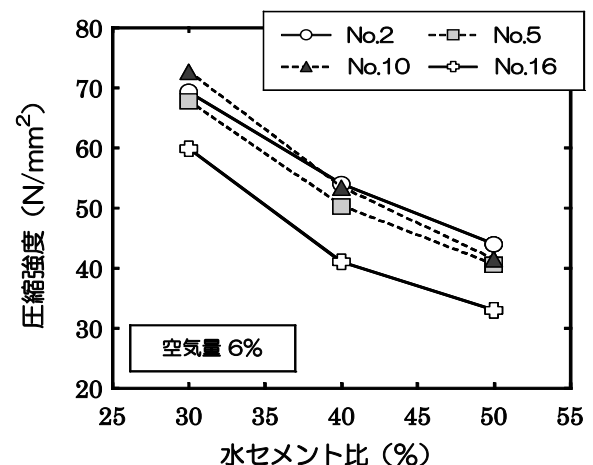


図-7 水セメント比と圧縮強度の関係

われ、逆に質量減を示す例もあるものの、顕著ではない。目視観察によれば、すべての供試体

において、スケーリングはほとんど見られなかった。

図-10 は、凍結融解に伴う長さ変化率を示しており、供試体によっては、著しい膨張を示すものもある。図-11 に、長さ変化率と耐久性指数の関係を示す。300 サイクルで、長さ変化率が測定不能となった例もあったため、長さ変化率は 270 サイクル時点での値とした。両者には、一定の関係が見受けられ、凍結融解に伴う内部組織の弛緩さらには崩壊が膨張をもたらし、耐久性指数の低下につながったといえる。すなわち、本実験の範囲内では、きわめて低品質の骨材を用いたコンクリートの凍害は、スケーリングタイプではなく、内部組織の弛緩や崩壊であるといえる。ただし、用いた試験方法が気中凍結水中融解試験方法であり、方法が異なれば、スケーリングが生じる可能性もある。

No. 10 の骨材を用いたコンクリートは、水セメント比が小さいほど、この内部組織の変化が著しかったことになる。写真-1 は、No. 10 を用いたコンクリートの凍結融解後における断面を示している。水セメント比が 30% の場合、内部の粗骨材には夥しいひび割れが見られ、崩壊とも表現できる状況を呈している。しかも、モルタルにもひび割れの発生が認められる。粗骨材は吸水率が大きく、凍結によって、膨張しようとする。ところが、周囲は水セメント比の小さい

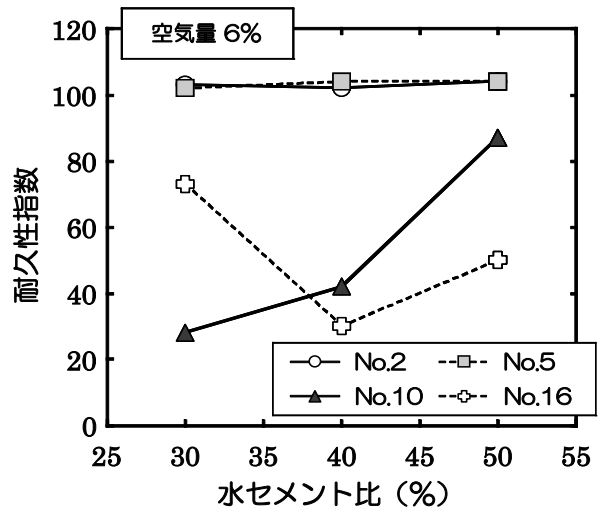


図-8 水セメント比と耐久性指数の関係

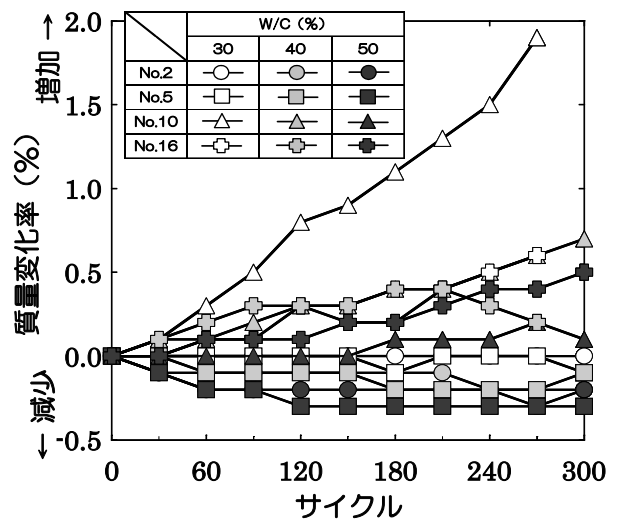


図-9 質量変化率の推移

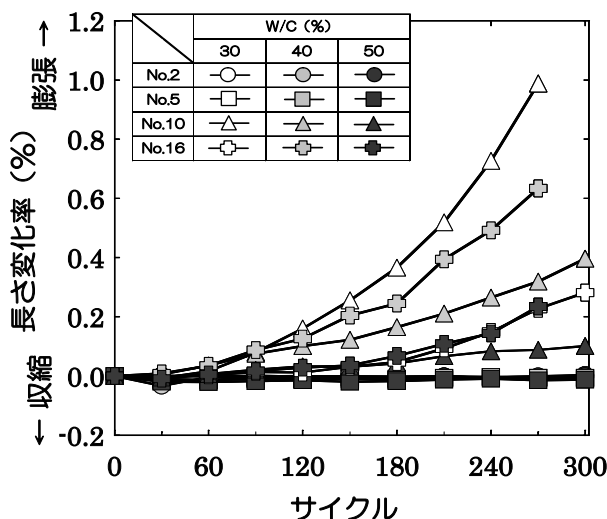


図-10 長さ変化率の推移

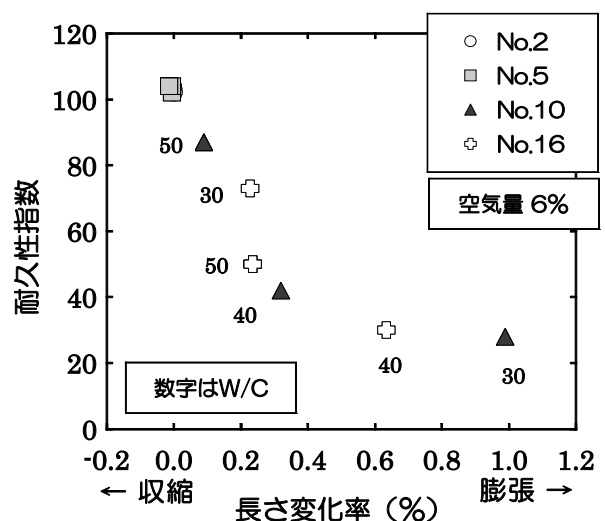
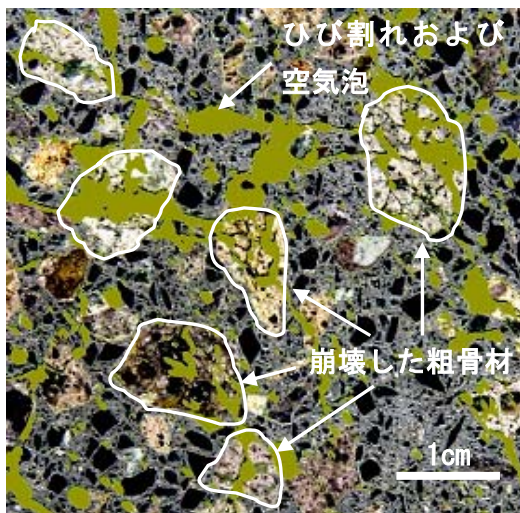
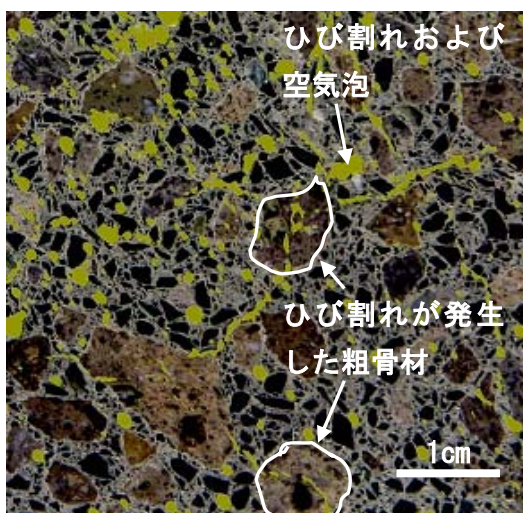


図-11 長さ変化率と耐久性指数の関係



【水セメント比=30%】



【水セメント比=50%】

写真－1 No. 10 の凍結融解後の断面

モルタルであり，粗骨材の膨張を阻止しようとする働きが強い。そのため，粗骨材に応力が発生し，崩壊に至ったと推察される。粗骨材が崩壊すれば，なおさら含水状態が高まり，凍結に伴う膨張圧が大きくなる。その圧力により，ついにはモルタルにひび割れが発生するようになり，全体の膨張と動弾性係数の低下につながったと考えられる。

一方，水セメント比 50% の場合には，内部の粗骨材にそれほどの変化が見られない。モルタルの拘束力が弱く，しかも骨材内部の水分が凍結した際に，骨材からの未凍結水が移動できるようなモルタルの空隙構造になっているためと考えられ，結果的にコンクリートはほとんど膨

張せず，80 を上回る耐久性指数を確保できたことになる。前掲の図－3 において，No. 10 の骨材を用い，空気量 6% にしたコンクリートが耐凍害性を確保できたのは，一見して適切な空気量によると受け止められかねないが，それよりは，粗骨材とモルタルの品質の組合せが，凍結融解に伴う内部の応力発生を小さくしたためであると解釈するのが妥当であると思われる。この例は，骨材の品質に見合った配合条件を設定すれば，耐凍害性を確保できる可能性を示唆するものとして意義深い。

4. おわりに

低品質の粗骨材を用いたコンクリートにおいて，水セメント比や空気量などの配合条件を変化させた場合の耐凍害性について検討した。その結果，吸水率が 3% 以下の規格を外れても，4.5% 程度以内であれば，耐凍害性を確保できる骨材もあると判断された。5% 程度以上の吸水率を有する低品質粗骨材を用いた場合には，おしなべて低い耐凍害性を示し，水セメント比や空気量を調節しても，耐凍害性の確保は難しいといえる。ただし，低品質骨材の中には，水セメント比を大きくするほど耐凍害性が改善される注目すべき事例も見られた。骨材の品質に見合った配合条件とすることで耐凍害性を確保できるのは，この骨材に特有であるかは，今後の検討課題である。

本研究は，岩手県生コンクリート工業組合の技術委員会のもとに設置されている耐凍害性検討のワーキンググループが行ったものであることを付記する。

参考文献

- 1) 袴田豊，藤原忠司，増田健，村井松雄：凍結融解繰返し作用に対する低品質骨材自体の抵抗性：セメント・コンクリート論文集，No.60，pp.382-389，2006