

# 論文 粗骨材体積・粒度分布が高強度コンクリートの耐凍害性におよぼす影響

千歩 修<sup>\*1</sup>・木村 信孝<sup>\*2</sup>・長谷川 拓哉<sup>\*3</sup>

要旨:高強度コンクリートには,屋外暴露等の乾燥・乾湿繰返しを受けると耐凍害性が大きく低下するものがある。本研究では,粗骨材がモルタルの収縮を拘束することにより微細ひび割れが生ずることを想定し,粗骨材体積・粒度分布を変えたモルタル部分の調合を一定とした nonAE 高強度コンクリートについて,乾燥および実環境を考慮した乾湿繰返し後に水中凍結水中融解試験を行い,その耐凍害性を検討した。この結果,乾燥収縮率の小さなもの,粗骨材粒度分布が粗いもので乾湿繰返し後の耐凍害性の低下が大きくなる等の傾向が認められた。

キーワード:耐凍害性,乾燥,乾湿繰返し,粗骨材体積,粗骨材粒度分布

## 1. はじめに

nonAE 高強度コンクリートは,屋内放置・屋外暴露を行うと耐凍害性が低下し,これには試験体の断面寸法が影響することが報告<sup>1)</sup>されており,乾燥収縮時の内部拘束が微細ひび割れを発生させていることが考えられる。コンクリート中ではモルタルの乾燥収縮が粗骨材で拘束されていることを考えると,乾燥にさらされる nonAE 高強度コンクリートの耐凍害性は,粗骨材の体積・表面積等の影響を受けることが考えられる。

本研究では,粗骨材の体積・粒度分布を変えた nonAE 高強度コンクリートについて水中養生後,乾燥後および乾湿繰返し後に凍結融解試験を行い,耐凍害性を検討した。

## 2. 実験の概要

実験計画を表-1に示す。コンクリートは,水セメント比25%の nonAE コンクリートとし,モルタル部分の調合の質量比は変えず粗骨材の絶対容積および粗粒率を変化させたものである。また,

表-1 実験計画

コンクリート種別				養生条件	試験項目
調合記号	W/C (%)	空気量 (%)	粗骨材 体積[表面積]/粒度分布		
B	25	1	基準(体積:標準/粒度分布:標準)	水中養生後 (w)	水中凍結水中融解試験 JIS A 1148
V1			体積:標準/粒度分布:粗		
V2			体積:標準/粒度分布:細		
W1			体積:多/粒度分布:標準	乾燥 (d)	
W2			体積:少/粒度分布:標準		
S1			[表面積:標準]/粒度分布:細	乾湿繰返し (m)	
S2			[表面積:標準]/粒度分布:粗		
M			モルタル		
C			セメントペースト		

[養生条件]

水中養生後:材齢14日まで水中養生後

乾燥:材齢14日まで水中養生後、20 60%R.Hで28日間放置

乾湿繰返し:材齢14日まで水中養生後、40 乾燥42時間20 水中6時間を7サイクル

「試験体名」=「試験体記号」+「養生条件」

例) V1m・・・粗骨材の粒度分布を粗くした試験体(V1)に乾湿繰返し(m)を行ったもの

\* 1 北海道大学 大学院工学研究科 空間性能システム専攻教授 工博 (正会員)

\* 2 大林組 東北支店 工修(非会員)

\* 3 北海道大学 大学院工学研究科 空間性能システム専攻准教授 博(工) (正会員)

骨材による拘束の影響をみるために同じ水セメント比のセメントペーストとモルタルの試験体も作製した。

図-1にコンクリートの調合の概念図を、表-2にコンクリートの調合と基礎性状を示す。調合は、基準のコンクリート(B)に対して粗骨材の粒度分布・体積を変えたものであり、同じ粒度分布の粗骨材で体積を変えたもの(W1,W2) 粗骨材粒度分布を変えてBと粗骨材体積を同じとしたもの(V1,V2)、粗骨材粒度分布・体積を変えてBと粗骨材表面積一定としたもの(S1,S2)となっている。使用した粗骨材の粒度分布を図-2に示す。また、粗骨材の表面積については、本研究と同じ産地・生産者の粗骨材を用いた既往の研究<sup>2)</sup>の値を用いた。なお、この値は粗骨材実績率試験に準じて容器に詰め込んだ骨材を、流し込んだセメントペーストで固め、切断面の粗骨材周長を計測し、これを直交方向に積分することによって求めたものである。粗骨材は常盤産砕石(表乾密度2.66g/cm<sup>3</sup>)、細骨材は勇払産陸砂(表乾密度2.61g/cm<sup>3</sup>)、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。また、高性能AE減水剤は基準コンクリート(B)のスランブが21cm程度になるように添加した。

凍結融解試験方法は、JIS A 1148 の水中凍結融解試験方法とし、長さ・質量・1次共鳴振動数の測定を行った。凍結融解試験の開始条件としては、材齢14日まで水中養生のほかに、水中養生14日後に20-60%RHの条件で乾燥(材齢28日まで)または乾湿繰返しとした。なお、乾湿繰返しの条

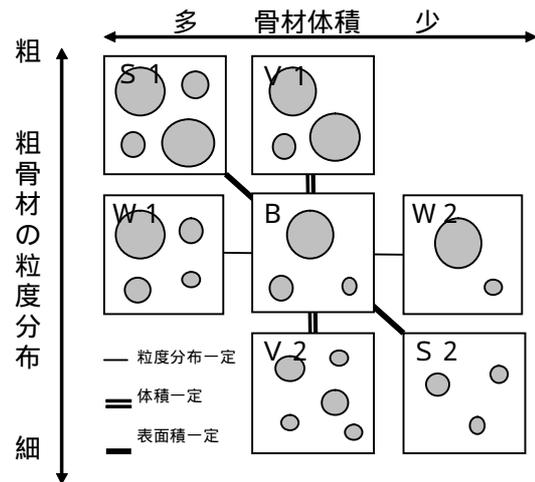
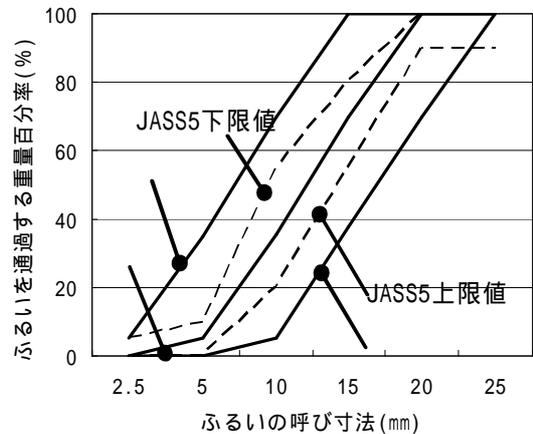


図-1 コンクリートの調合の概念図



注) は、表1の「細」「標準」「粗」に対応する

図-2 粗骨材の粒度分布

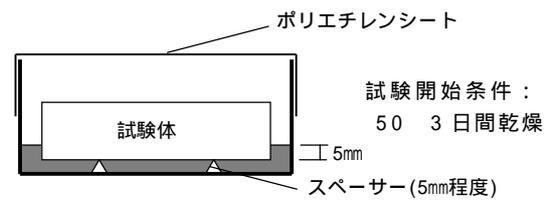


図-3 吸水性状試験方法

表-2 コンクリートの調合と基礎性状

調合記号	W/C (%)	空気量 (%)	単位量(L/m <sup>3</sup> )				SP <sup>*1</sup> (c×%)	粗骨材の粒度分布 <sup>*2</sup>	粗骨材表面積 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
			水	セメント	細骨材	粗骨材							
B	25	1	175	222	233	360	1.3	144	144	21.5	1.8	101.4	36.4
V 1			175	222	233	360		92	15.0	1.9	98.9	38.3	
V 2			175	222	233	360		257	23.5	2.3	101.9	35.7	
W 1			170	216	226	378		155	16.5	1.9	104.6	36.7	
W 2			181	229	240	340		133	21.0	1.9	100.7	35.3	
S 1			146	186	195	463		144	18.0	1.3	101.2	36.7	
S 2			208	263	277	242		144	24.0	2.3	100.6	34.7	
M			275	349	366	-		0	-	3.0	101.7	34.7	
C			436	554	-	-		-	0	-	1.3	113.0	24.7

各調合はBのモルタルと同じモルタルとなるように粗骨材の量を変化させたものである。(モルタルの質量比=水:セメント:細骨材 1:4:3.5)

\*1: 高性能AE減水剤

\*2: は図-2の記号

件は、実環境を想定したもの<sup>3)</sup>として40 乾燥42 時間・水中浸漬6時間を7サイクルとした。

また、ひび割れの発生は吸水性状に影響すると考えられることから、図3に示す吸水性状試験を行った。さらに、コンクリートの基礎性状として乾燥収縮試験(20 60%RH,96日間)を行った。

### 3. 結果および考察

#### (1) フレッシュ性状

図4に粗骨材絶対容積・表面積とスランプの関係を示す。今回の実験では、粗骨材の絶対容積の大きなものでスランプが小さく、絶対容積の小さなものでスランプが大きくなっているが、これは同一調合のモルタルに粗骨材を加えているためである。また、スランプが大きいものは粗骨材の粒度分布が細かいもの(図2の )である。なお、スランプの範囲は、15から25cmであり、分離もなく、試験体の作製上問題ないものであった。

図5に粗骨材絶対容積・表面積と空気量の関係を示す。今回の実験では空気量が1.3%から2.3%の範囲であり、多くの試験体は2%程度であった。空気量の多いものは粒度分布の細かい粗骨材(図2の )を使用したものであり、細かい粗骨材を用いると、空気を巻き込みやすいものと考えられる。このため、空気量の多い試験体の余分な気泡は組織の粗いものと考えられる。また、空気量の少ない試験体は粗い粗骨材を多く使用したもの(S1:モルタル量が最も少ないもの)となっている。

#### (2) 乾燥収縮率

図6に粗骨材絶対容積と乾燥期間96日における乾燥収縮率の関係を示す。粗骨材の絶対容積が増加するほど、乾燥収縮率が低下する傾向があるが、この理由として、粗骨材の収縮拘束効果は粗骨材量が多いほど大きくなること、およびここでは粗骨材量が大きなものほど単位水量が小さくなっており、単位水量が影響していることが考えられる。また、乾燥時の質量減少率も粗骨材絶対容積が大きいものほど小さくなっていった。

#### (3) 凍結融解試験結果

図7に乾湿繰返し後に凍結融解を行った試験

体の凍結融解試験結果を示す。水中養生後の結果をみると劣化を示したものは認められず、本実験で用いたコンクリートは、セメントペースト等を含め、凍結融解試験前に乾燥・乾湿繰返しを受けない条件では、耐凍害性が高いと評価されるものであるといえる。

乾燥後の試験体をみると、セメントペースト試験体が早期サイクルで相対動弾性係数( $E_d$ )が低下し、質量変化率(M)が増加し、破壊した。セメントペーストは他の試験体と組織が大きく異なり、別のものとして取り扱うこととする。その他の試験体は劣化を示しておらず、本実験で用いたコンクリートは、凍結融解試験前に短期の乾燥を受け

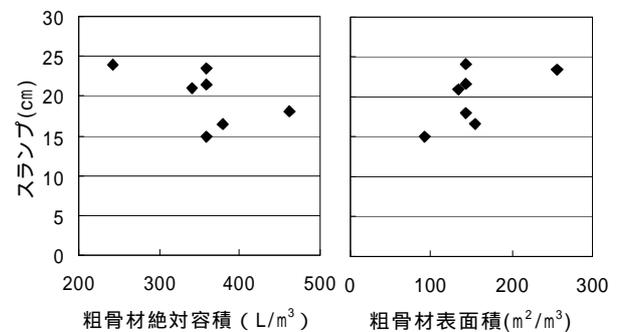


図4 粗骨材絶対容積・表面積とスランプの関係

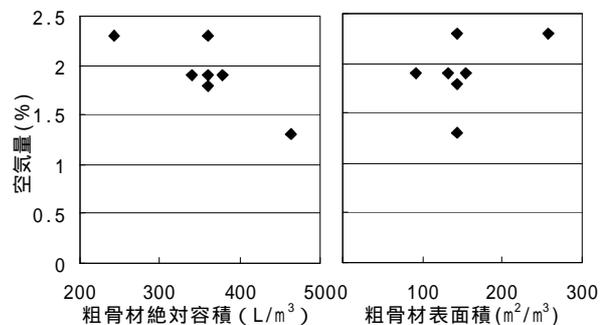


図5 粗骨材絶対容積・表面積と空気量の関係

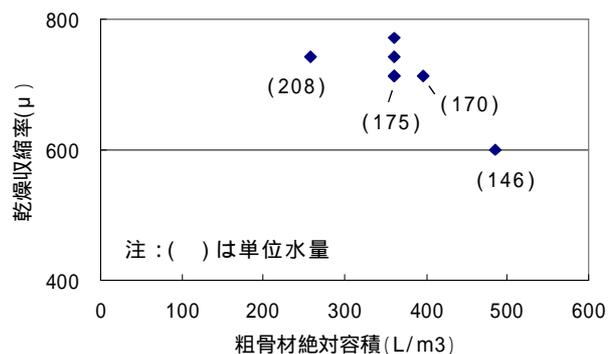


図6 粗骨材絶対容積と乾燥収縮率の関係

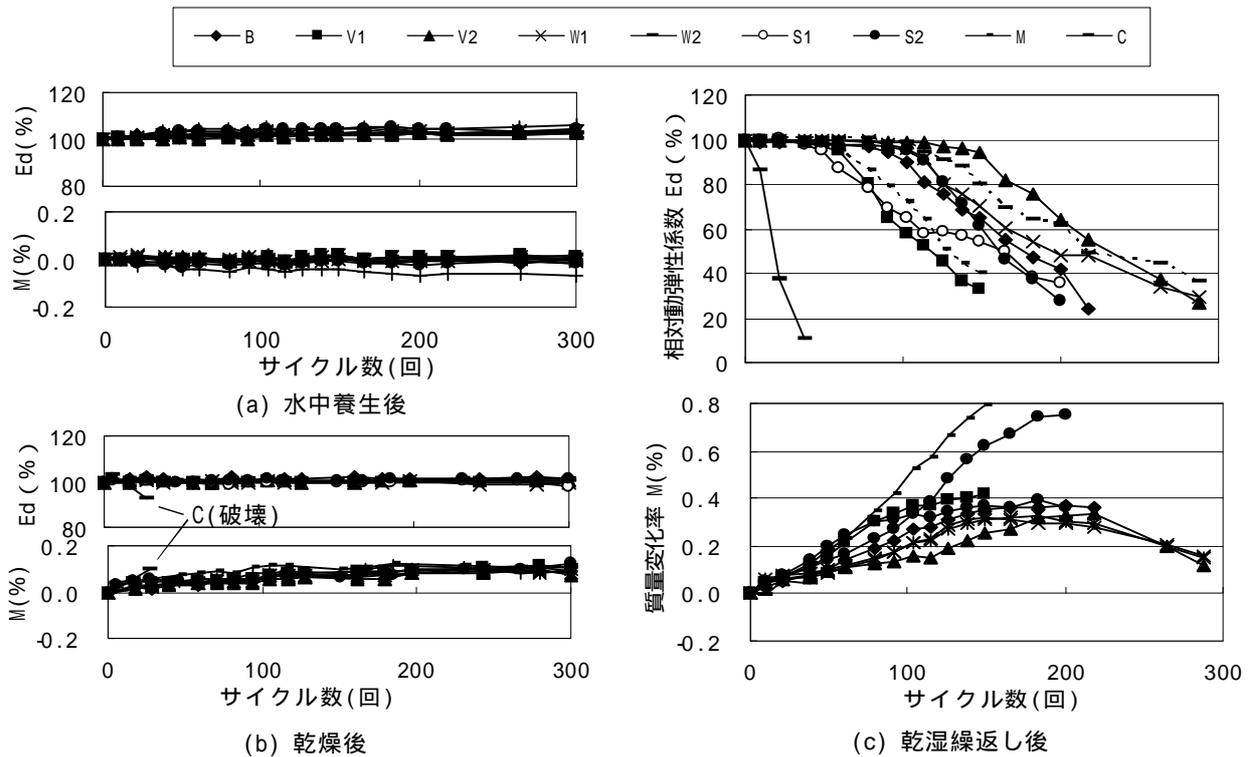


図 7 凍結融解試験結果

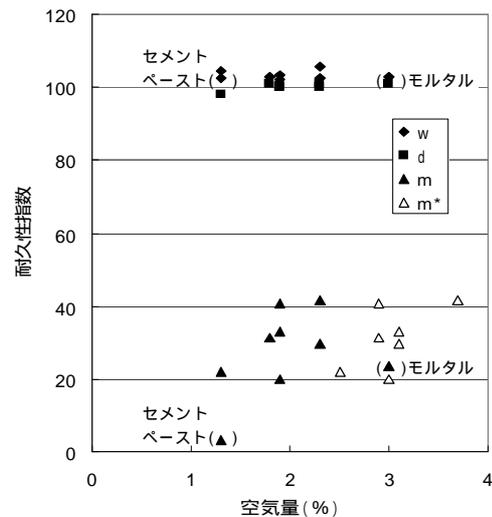
でも耐凍害性が高いと評価されるものであるといえる。なお、質量変化率は徐々に増加しているが、これは乾燥により水の抜けた空隙に水が押し込まれていることが考えられ、凍結融解回数を増加させると劣化する可能性もあるものと思われる。

乾湿繰返し後の試験体を見ると、すべての試験体で劣化が認められ、この劣化はあるサイクルから相対動弾性係数が低下するというものである。劣化は、セメントペーストが最も早く、V2(粒度分布の細かいもの)が最も遅く開始している。なお、セメントペーストは、スケーリングが認められたが、これ以外では顕著なスケーリングは認められなかった。また、質量変化率をみると、試験開始直後から増加しており、含水率の上昇後に動弾性係数が低下するものと思われる。

劣化は乾湿繰返し後に凍結融解試験を行ったものだけに認められたため、以下の検討では乾湿繰返し後の試験体を中心に説明する。

(4) 耐久性指数におよぼす空気量の影響

空気量と耐久性指数の関係を図 8 に示す。本実験では、モルタルの調合を一定としたものであり、空気量の実測値は 1.3 から 3.0% (3.0%はモ



注) m\*: モルタル中の空気量に換算したもの

図 8 空気量と耐久性指数の関係

ルタル)の値となった。乾湿繰返しを行ったものの耐久性指数をみると、空気量の違いがコンクリートの耐久性指数に影響していることも考えられる。しかしながら、コンクリート中の空気量をその中のモルタル中の空気量に換算すると3%程度(最小値はS1の2.5%、最大値はV2の3.7%)となっており、モルタルとしては同等の空気量と考えられる。このため、ここでは空気量の影響は同様で

あると考えられる。

(5) 耐久性指数におよぼす乾燥収縮率の影響

乾燥収縮率と耐久性指数の関係を図 9 に示す。乾湿繰返しを行ったコンクリートをみると、乾燥収縮率が小さいほど耐久性指数が小さくなる傾向がある。このことから、乾燥収縮率が小さいほど、モルタルの乾燥収縮が拘束され、内部に微細なひび割れが発生している可能性があることが考えられる。

(6) 耐久性指数におよぼす粗骨材容積等の影響

耐久性指数と粗骨材容積等の関係を図 10 に示す。粗骨材の粒度分布が一定の条件における粗骨材絶対容積と耐久性指数の関係(a)では、絶対容積が耐久性指数に影響しているようにも思われる。この理由として、粗骨材の量が多いほど、粗骨材の拘束によるひび割れが発生しやすくなるこ

とが考えられる。

しかしながら、(a)では粗骨材の量が多くなると、粗骨材表面積も大きくなっている。このため、粗骨材粒度分布を変えて粗骨材表面積が一定となるように粗骨材絶対容積を変えたもの(b)をみると、粗骨材絶対容積が変化しても耐久性指数の変化は小さく、粗骨材の絶対容積の影響は小さく、表面積の影響が大きいことが考えられる。

さらに、粗骨材の体積が一定の場合(c)をみると、表面積が増加するとともに耐凍害性が大きくなる結果となり、粗骨材表面積の影響が大きいといえる。

粗骨材の粒度分布ごとに耐久性指数を示したものを図 11 に示す。耐久性指数が特に小さいものはV1およびS1であり、これらは粗い粒度分布の粗骨材を用いたものである。このことから、粗大

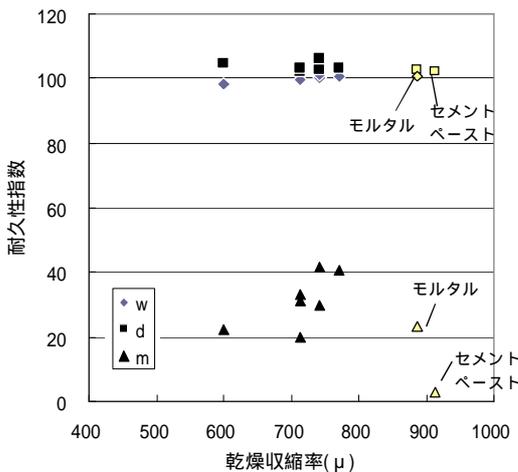


図 9 乾燥収縮率と耐久性指数の関係

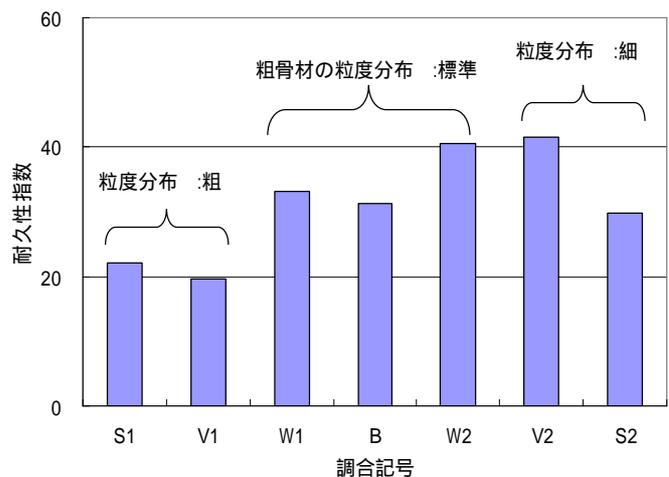


図 11 粗骨材の粒度分布と耐久性指数

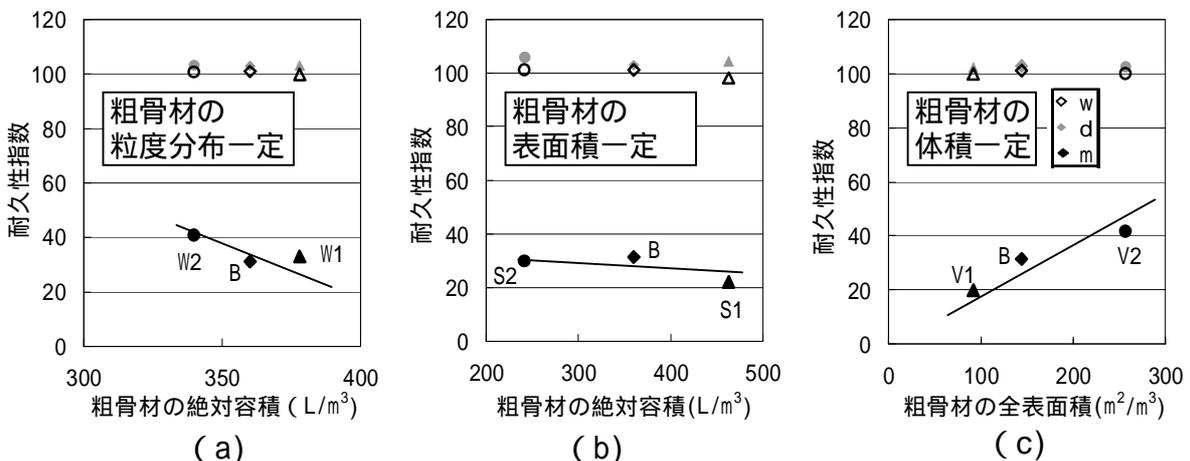


図 10 粗骨材の絶対容積・表面積が耐久性指数に及ぼす影響

径の粗骨材が多いと乾燥時の応力集中が生じ、耐凍害性が低下することが考えられる。

しかしながら、細かい粒度分布のS2の耐久性指数も小さい値となっている。これはS2の粗骨材絶対容積が $242\text{L}/\text{m}^3$ と他の調合に比べて粗骨材量が少なく、モルタルに近い性状になったものと考えられる。

#### (7) 吸水試験結果と耐久性指数の関係

図-12に吸水試験14日後の体積含水率と耐久性指数の関係を、図-13に吸水試験14日後の質量変化率と耐久性指数の関係を示す。図-12をみると傾向は認められないが、図-13をみると吸水試験14日後の質量変化率が大きくなるほど耐久性指数が小さくなる傾向がある。体積含水率の基準は全空隙量であり、吸水試験14日後の質量変化率の基準は50-3日間の乾燥状態の質量である。耐凍害性には50-3日間で乾燥する水分に対応する細孔の影響が大きいものと思われる。

#### 4. まとめ

ここでは、同じ調合のモルタルに粗骨材体積・粒度分布を変えた水セメント比を25%・空気量1%を目標としたコンクリートの乾燥・乾湿繰返し後の水中凍結水中融解試験300サイクルにおける耐凍害性について検討し、以下の知見を得た。

- (1) 乾湿繰返しを受けるとコンクリートの耐久性指数は低下したが、乾燥だけでは低下しなかった。しかしながら、乾燥だけの試験体も質量の増加傾向を示しており、凍結融解回数を増加させると劣化が発生する可能性がある。
- (2) 粗骨材の絶対容積が増加すると、コンクリートの乾燥収縮率は小さくなる。
- (3) 乾湿繰返しを受けたものでは、乾燥収縮の小さいものほど、耐凍害性の低下が大きくなる傾向がある。
- (4) 乾湿繰返しを受けたものでは、粗骨材の表面積が大きくなると耐凍害性が大きくなり、粗大径の多い粗骨材を使用したコンクリートの耐凍害性が小さくなる傾向がある。

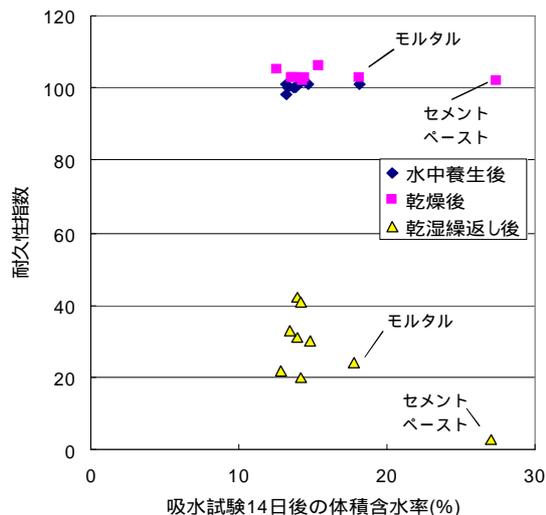


図-12 吸水試験14日後の体積含水率と耐久性指数の関係

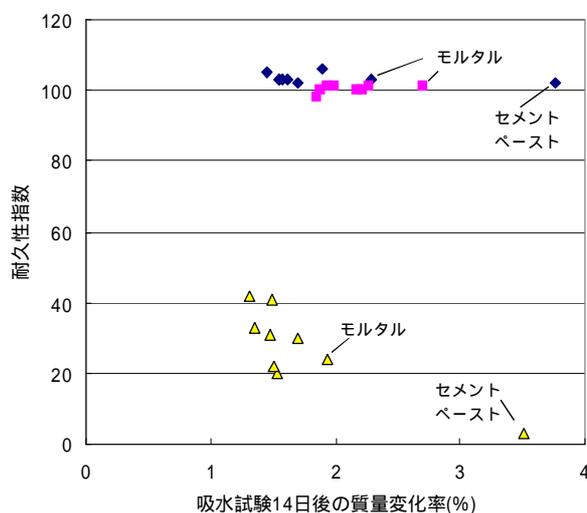


図-13 吸水試験14日後の質量変化率と耐久性指数の関係

#### 参考文献

- 1) 酒井正樹ほか：部材の乾燥を考慮した高強度コンクリートの凍結融解抵抗性，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.905-910，2006
  - 2) 千歩 修ほか：コンクリートの耐凍害性に及ぼす粗骨材の線膨張係数と石粉の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.787-792，2000
  - 3) 相川葉月ほか：実環境を考慮した乾湿繰返しがコンクリートの耐凍害性におよぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.899-904，2006
- 謝辞：本研究の一部は財団法人トステム建材産業振興財団の助成による。