

長期暴露試験によるコンクリートの凍結融解試験結果の検証

片平 博・古賀裕久

1. はじめに

コンクリートは優れた建設材料だが、その品質は構成する材料や配合の影響を強く受ける。このため、コンクリートの品質を確認するための各種規準類が整備されている。冬季に凍結融解の繰り返しを受けるコンクリートの耐久性については、一般的な環境下（凍結防止剤散布箇所等を除く）では、材料に品質規格を満足する骨材を使用し、コンクリートの配合として水セメント比60%以下、空気量4.5%程度とすることで確保できるとみなされている。

一方で、コンクリートを構成する材料に新材料を用いたり、資源の有効利用の観点から品質規格を一部満足しない骨材を使用したりする場合は、上記のみなし規定では耐凍害性の適否を判断できないため、促進劣化試験によって硬化コンクリートの耐凍害性を直接確認する方法がとられる。しかし、この促進劣化試験と実環境での耐久性との関係は、必ずしも明確ではないのが現状である。

そこで、促進劣化試験を行ったコンクリートの暴露試験を実施している。暴露期間が10年を超えたので、これまでの概要を報告する。

2. 試験方法

2.1 コンクリートの配合と使用材料

コンクリートの配合は表-1に示す6配合とした。配合1は品質規格を満足する骨材を用い、水セメント比や空気量も十分な配合である。この配合1

を基準として、配合2は化学混和剤の種類と量を調整することで、耐凍害性の確保に必要な微細な空気泡を導入しない配合（NonAEコンクリート）、配合3は水セメント比を大きくした配合とした。また、配合4、5、6ではレディーミクストコンクリートに用いる骨材の品質規格（JIS A 5308 附属書A）を満足しない粗骨材を使用した。

コンクリートのフレッシュ性状と強度を表-1に示す。また、使用した骨材の品質を表-2に示す。

表-1の配合でコンクリート供試体を作製し、材齢28日まで20℃の水中養生を行った後に促進劣化試験と暴露試験を開始した。

2.2 促進劣化試験の方法

耐凍害性を評価する促進劣化試験としてはJIS A 1148(A法)の凍結融解試験が標準的に用いられている。この方法は100×100×400mmの角柱供試体を用い、その中心温度が+5～-18℃となる温度変化を1サイクル3～4時間で300サイクルまで与える。試験期間中に供試体の動弾性係数を測定し、その初期値に対する百分率である相対動弾性係数を求める。300サイクル終了時の相対動弾性係数が60%以上の場合、そのコンクリートは耐凍害性を有すると評価するのが一般的である。

2.3 暴露試験の方法

暴露した供試体の形状を図-1に示す。(a)は促進劣化試験と同じ形状、(b)は供試体の厚さを60mmと薄くし、(c)はさらに上面に深さ6mmの溝を設け、雨水が溜まる形状とした。供試体は茨城県つくば市と北海道千歳市に暴露した（写真-

表-1 コンクリートの配合とフレッシュ性状および強度試験結果

配合	使用骨材		水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 σ_{28} (N/mm ²)
	粗骨材	細骨材			水	セメント	細骨材	粗骨材			
1-基準	硬質砂岩	川砂	55	46	165	300	832	1002	12.5	5.7	35.5
2-NonAE	硬質砂岩	川砂	55	46	170	309	858	1033	6.4	1.7	41.9
3-W/C85	硬質砂岩	川砂	85	50	165	194	949	972	5.8	4.1	18.8
4-花崗岩	花崗岩	川砂	55	46	165	300	832	963	11.0	5.6	33.9
5-川砂利	川砂利	川砂	55	46	165	300	832	956	15.9	6.1	29.4
6-安山岩	安山岩1	川砂	55	46	165	300	832	905	10.1	5.2	33.3

表-2 骨材の品質

区分	岩種	粗骨材最大寸法 (mm)	JIS A 1109		JIS A 1122	粗骨材暴露 [*] 損失率(%)	
			絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 (%)	金網 トレイ	
粗骨材	硬質砂岩	20	2.65	0.50	3.3	-	-
	花崗岩	25	2.53	1.47	22.3	2.2	7.5
	川砂利	25	2.45	3.37	14.9	4.8	4.7
	安山岩	25	2.29	5.58	52.7	1.0	28.2
細骨材：川砂	-	2.56	1.58	3.5	-	-	-

赤字は品質規格を満足しない物性値

※北海道に2年間暴露後の損失率(2.3の方法による)

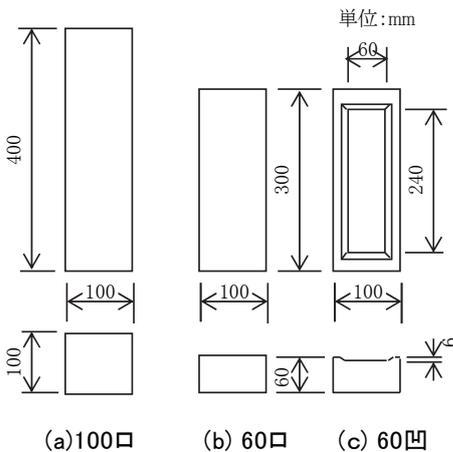


図-1 暴露供試体の種類と形状寸法

1). 図-2は暴露場における冬と夏の外気温の測定結果である。特に千歳の冬季の寒さは厳しく、最低温度が-20℃程度まで低下する環境であった。

暴露開始後、年2回（春と秋）、動弾性係数の測定と外観観察を行った。

また、粗骨材を寒冷地（札幌）の屋外に2年間暴露し、その間に砕けた骨材粒子の質量割合を求めた（表-2）。この試験は写真-2に示すように金網に入れて雨水が滞留しない条件と、トレイに入れて雨水が滞留する条件の2とおりを実施した。

3. 実験結果

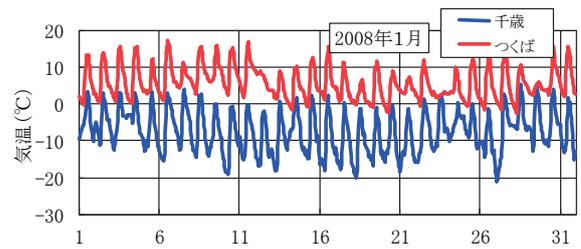
3.1 相対動弾性係数

促進劣化試験の結果を図-3に示す。耐凍害性の低いものから順に配合2、3、6、5となり、配合1と4のみが耐凍害性を有すると評価された。

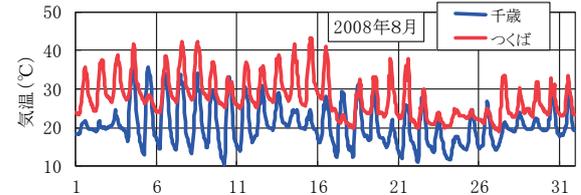
一方、暴露供試体(c)の相対動弾性係数について千歳の測定結果を図-4に、つくばの測定結果を図-5に示す。千歳では配合2のみが暴露経過0.5年（春の測定）で相対動弾性係数が80%まで低下したが、経過1年（秋の測定）では相対動弾性係数がやや回復した。その後、相対動弾性係数は春の



写真-1 暴露試験の状況（北海道千歳市）



(1) 冬季の外気温の変化



(2) 夏季の外気温の変化

図-2 暴露場の測定外気温



(1) 金網による暴露

(2) トレイによる暴露

写真-2 粗骨材暴露の状況

測定時に低下、秋に回復を繰り返し、次第に70～80%の間に落ち着いた。千歳のその他の配合と、つくばの全ての配合では動弾性係数の低下は確認できなかった。

3.2 外観観察

促進劣化試験において顕著な劣化が認められたものを図-6の左段に示す。配合2ではひび割れが、配合3では断面減少（スケーリング）が、配合5と6では骨材の剥落（ポップアウト）とひび割れが確認された。

一方、千歳に暴露した供試体の外観観察結果を図-6の右段に示す。配合2の供試体(c)では暴露開始後半年で表面に微細なひび割れが確認された。

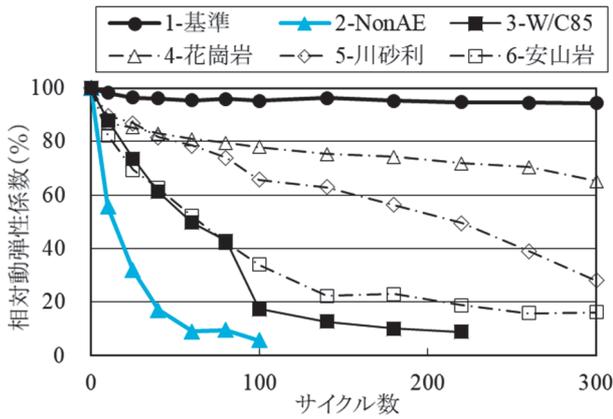


図-3 促進劣化試験結果

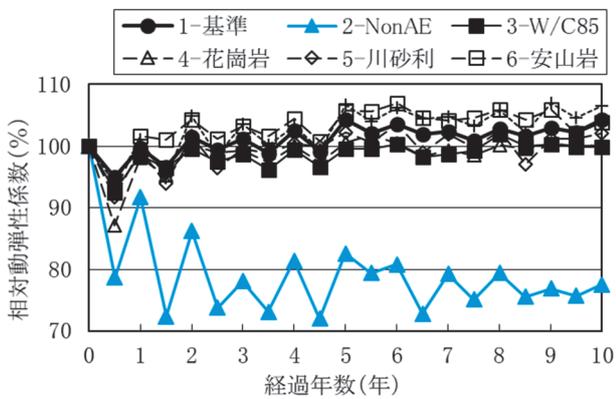


図-4 暴露試験結果 (千歳、供試体(c))

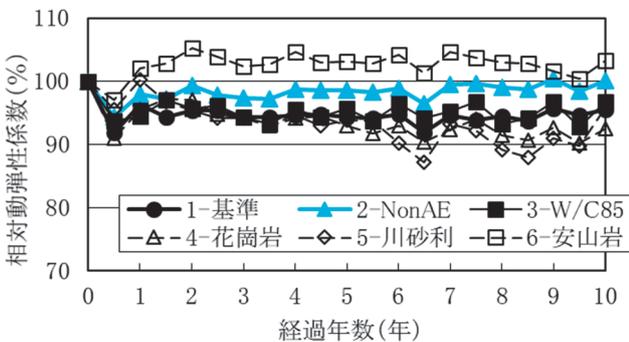


図-5 暴露試験結果 (つくば、供試体(c))

配合5では暴露開始後半年で角部の粗骨材のポップアウトが確認された。それ以外の配合では顕著な劣化は確認されなかった。

3.3 促進劣化試験結果と暴露試験結果の比較

暴露試験で劣化が確認されたのは寒冷地である千歳の配合2と5のみであった。

配合2は、コンクリートの耐凍害性に必要な微細な空気泡を入れていない配合である。図-3に示すように促進劣化試験では相対動弾性係数が早期に著しく低下した配合で、寒冷地の暴露環境でもひび割れの発生が確認された。ただし、ひび割れ

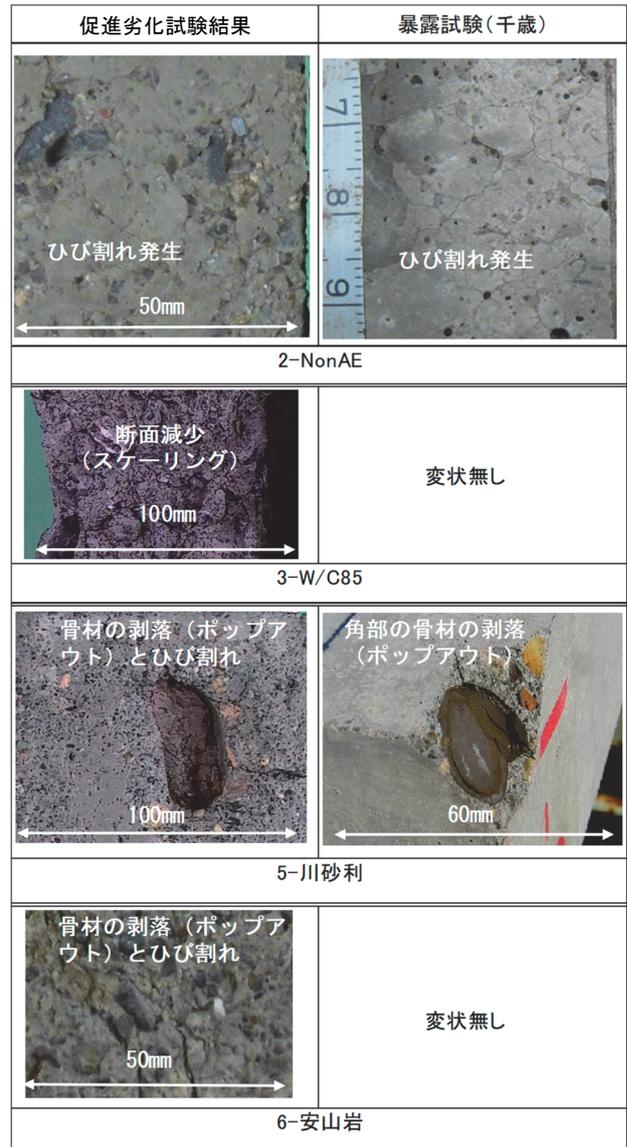
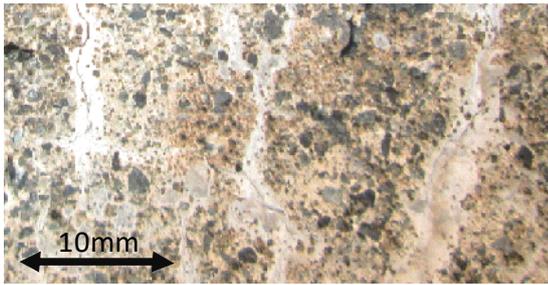


図-6 外観観察結果

が確認されたのは雨水が溜まる形状とした供試体(c)のみで、供試体(a)、(b)は健全であった。供試体(c)の窪みは、雨水は溜まるものの、1日の晴天で蒸発してしまう程度の浅いものであったが、その程度の水分条件の違いでも、コンクリートの劣化に大きな影響を与えることが分かった。また、この供試体は秋の測定においては動弾性係数が回復する傾向を示した。目視観察では析出物によってひび割れが治癒する現象(図-7)が確認され、短期間で行う促進劣化試験では確認できない現象であった。

配合5は低品質な川砂利を粗骨材に使用した配合である。品質の低い粗骨材粒子が凍結圧で膨張し、ポップアウトが生じる現象は促進劣化試験と暴露試験の双方で確認された。ただし、凍結融解



図・7 ひび割れの治癒状況(2-NonAE、千歳9年)

試験では低品質骨材から周囲のモルタルにひび割れが進展し、相対動弾性係数が低下する破壊現象が認められたが、暴露試験では現在のところ相対動弾性係数は低下していない。骨材がポップアウトした部分以外のコンクリートには、ひび割れ等の劣化は見られず、促進劣化試験と比較すると劣化の進展範囲は小さいと言える。

上記のように、促進劣化試験で相対動弾性係数が早期に低下した配合の中には、暴露後、比較的早い段階(半年)で劣化が確認されるものがあった。その一方で、耐久性を有すると判定された配合では暴露10年の範囲で劣化は確認されなかった。

3.4 含水状態が劣化に与える影響

配合3と6については、促進劣化試験では顕著な劣化を示したのに対して、暴露試験では現在のところ劣化は確認できていない。

この理由として、促進劣化試験は水中での試験であることから、供試体中の飽水度は常にほぼ100%であるのに対し、暴露環境下では供試体が乾燥していることが影響していると推察する。そこで、写真-2のように粗骨材そのものを暴露した際の損失率(表-2)に着目した。配合6に使用した安山岩の場合は、気中環境となる金網での損失率は小さいが、水中環境になりやすいトレイでの損失率は大きかった。この傾向は凍結融解試験と暴露試験との劣化の違いと同様の傾向であり、この骨材は凍害劣化に対して、含水状態の影響が大きい特性があると考えられる。また、配合3の促進劣化試験と暴露の劣化の差も、コンクリート中の含水状態の違いに起因したものと考えられる。

4. まとめ

コンクリートの凍結融解抵抗性について、促進

劣化試験と暴露10年の測定結果から、以下の傾向を確認した。

- (1) 促進劣化試験の結果から耐凍害性を有すると判定された配合に関しては、10年間の千歳の過酷な屋外環境でも劣化は確認されなかった。
- (2) 凍結融解による劣化には、供試体の含水状態の違いが大きく影響し、促進劣化試験は、この点でかなり過酷な試験方法であり、安全側の評価になることが確認された。
- (3) 暴露試験では冬季の凍害で低下した供試体の動弾性係数が春～秋に回復する現象がみられた。
- (4) 今回の検討の範囲では、屋外暴露開始から半年で劣化が確認された配合がある一方で、劣化が確認されない配合も多かった。暴露期間がまだ10年と短いことから、今後も継続的に観測を続けていく必要がある。

謝 辞

暴露供試体の測定にあたり、寒地土木研究所耐寒材料チームの皆様およびiMaRRCに在籍された多くの交流研究員の皆様に多大な協力を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

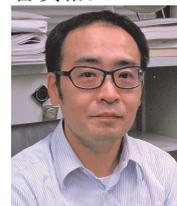
- 1) 片平博、下谷裕司、渡辺博志、田口史雄：各種低品質コンクリートの暴露3年の結果、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、pp.755～760、2011.7
- 2) 渡辺博志、森濱和正、片平博：低品質骨材を使用したコンクリートの乾湿繰返し抵抗性に関する検討、付録「コンクリートの乾燥湿潤試験方法(案)」、土木研究所資料第4042号、(独)土木研究所、2007.1

片平 博



土木研究所先端材料資源
研究センター材料資源研
究グループ 特任研究員
KATAHIRA Hiroshi

古賀裕久



土木研究所先端材料資源
研究センター材料資源研
究グループ 上席研究
員、博士(工学)
Dr. KOGA Hirohisa