

寒冷地に26・27年屋外暴露したコンクリートの耐凍害性に関する研究

正会員 ○田畑 雅幸*¹
同 平野 彰彦*²
同 濱 幸雄*³

1. 材料施工-2. モルタル・コンクリートの物性-f. 凍害

耐凍害性、屋外暴露試験、凍結融解試験、寒冷地、長期性状、コンクリート

1. はじめに

寒冷地におけるコンクリート構造物の凍害劣化対策は、技術的にも確立していると思われ、被害は少なくなってきたものの未だに見られている。筆者らは、これまでにコンクリートの耐凍害性を把握するために実際の気象環境としての屋外暴露試験を行ってきた^{1)~12)}。これとの比較試験として水中養生後の促進凍結融解試験を数多く行ってきた。また、寒冷地の1年間の気象環境条件として春から秋にかけての乾燥や降雨による影響を考慮した乾湿繰り返し条件、乾燥条件を行った後の凍結融解試験を行い、コンクリート構造物の耐凍害性を、その地域の気象条件に対する耐久性として評価することを目的として実施してきた。

本研究は、一連の研究のうち、札幌市+小樽市に26年、27年間屋外暴露した各種コンクリートの長期性状と暴露前後の凍結融解試験結果について報告する。

表1 骨材の物理試験結果

骨材の種類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)
広島産山砂	2.58	2.54	1640	65.1
広島産山砂利	2.58	2.59	1630	64.9
広島産軟石	1.81	35.4	-	-
当該規定	JIS A 1109		JIS A 1104	

表2 調合およびコンクリートの性状

記号	調合表							フレッシュコンクリートの性状								圧縮強度(N/mm ²)				
	水セメント比(%)	細骨材率(%vol)	単位水量(kg/m ³)	混和剤(cc/cm ³)	絶対容積(l/m ³)			スラブ(cm)		空気量(%)		練り温(°C)		単位容積質量(kg/m ³)		材齢2週		材齢4週		暴露+浸水後
					セメント	細骨材	粗骨材	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
5N	50	43.9	184	-	116	303	387	18.5	19.5	2.2	1.2	20.5	19.8	2320	2320	30.9	28.0	37.3	34.9	36.3
6N	60	46.0	185	-	97	326	382	17.5	18.0	2.5	2.5	20	20	2300	2290	21.5	21.7	28.2	28.6	27.4
7N	70	48.2	191	-	86	344	369	18.0	18.5	2.6	2.4	20	20	2270	2270	15.2	13.7	19.7	20.0	19.3
7A	70	47.6	180	514	81	333	366	19.0	18.5	4.3	4.5	19.8	20	2210	2210	11.9	11.4	15.8	14.7	15.5
7SN	70	48.2	191	-	86	344	369	17.5	-	2.5	-	19	-	2260	-	15.0	-	20.2	-	18.7
7SA	70	47.7	180	514	81	333	366	19.0	-	4.1	-	20.5	-	2200	-	11.5	-	15.3	-	15.1
7FN	70	48.2	186	-	84	347	373	18.5	-	1.8	-	19	-	2280	-	11.9	-	16.0	-	15.2
7FA	70	47.7	173	1112	78	338	371	19.5	-	5.6	-	19.5	-	2190	-	8.5	-	11.7	-	11.6

A Study in Frost Resistance of The Concrete Which Exposed 26,27-years to Cold Districts

TABATA Masayuki *al.*

年春と秋に行い、室内に1日間放置してから測定したものを乾測定とした。さらに1日間水中浸漬をしてから測定したものを湿測定とした。結果は、材齢2週を基準とした質量百分率、長さ変化率および相対動弾性係数で表した。このうち屋外暴露試験の相対動弾性係数は質量百分率との積で求めた。札幌市の屋外暴露試験状況を写真1に示す。

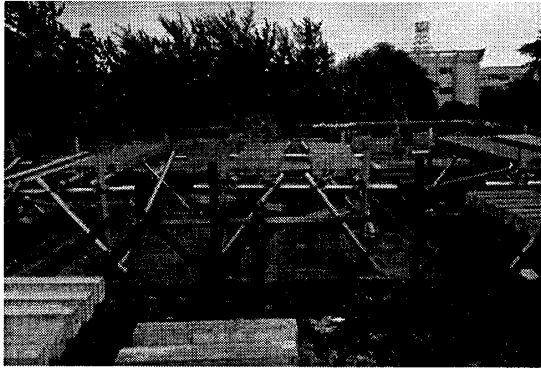


写真1 札幌市の屋外暴露試験状況

3-2 凍結融解試験

凍結融解試験は、シリーズ1の暴露試験前を、ASTM C666 B法(JIS A 1148 B法)に基づいた気中凍結水中融解試験とし、これ以外はA法(水中凍融)とした。試験条件は、融解温度+5℃、凍結温度-18℃で1日6サイクルとした。

凍結融解試験結果は、質量減少率、長さ増加比、

相対動弾性係数を求めた。基準値は、暴露前は水中養生材齢2週とし、暴露後は26・27年の乾測定後2日間水中浸漬の値とした。

4. 暴露試験結果および考察

暴露試験結果を図1~3に示す。

質量百分率は、10年目夏からシリーズ1、シリーズ2ともに、全てのコンクリートにおいて徐々に低下した。また、最終暴露26年、27年の質量を比較すると夏期暴露は乾燥とスケーリングによる質量減少がみられ、冬期暴露に比べ大きくなっていた。

長さ変化率は、シリーズ1の最終暴露の27年でみると、7SN・A、7FN・Aが0.1%を超える膨張となり、特に7FNは著しく凍害により膨張した。また、水セメント比の大きいものほど膨脹劣化し、経過年数に伴い増大した。シリーズ2では徐々に膨脹し、最終暴露の26年でみると、7NW、7AWが0.1%程度の膨脹となり、凍害劣化として現れた。

相対動弾性係数は、シリーズ1では初年度秋に全てのコンクリートが暴露時の値を上回っていた。経過年数に伴う動弾性係数の変化は、5Nと6Nの低下は少ないが、これ以外のコンクリートは低下傾向が徐々に大きくなっていった。また、水セメント比70%で軟石やフライアッシュの混入で、凍害劣化により相対動弾性係数は60%以下となった。

シリーズ1、2ともにAE剤の有無による差は少

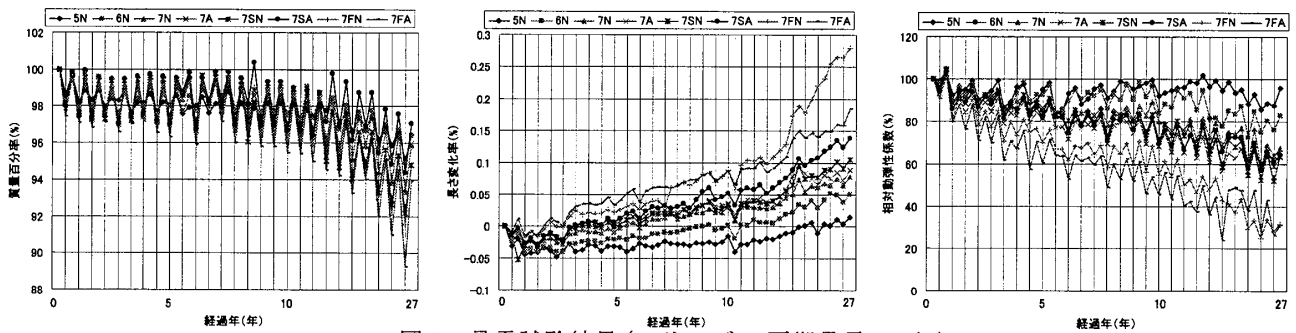


図1 暴露試験結果(シリーズ1・夏期暴露:27年)

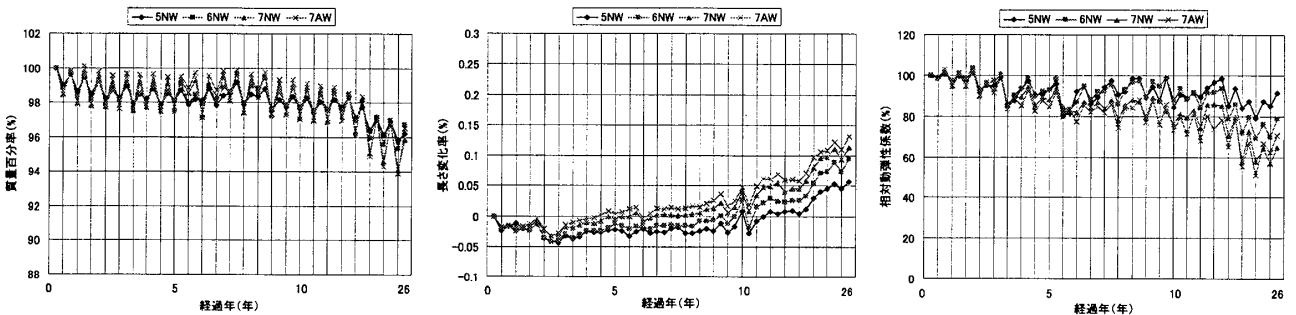


図2 暴露試験結果(シリーズ2・冬期暴露:26年)

なく、屋外暴露では、空気量を導入した効果はあまりみられなかった。

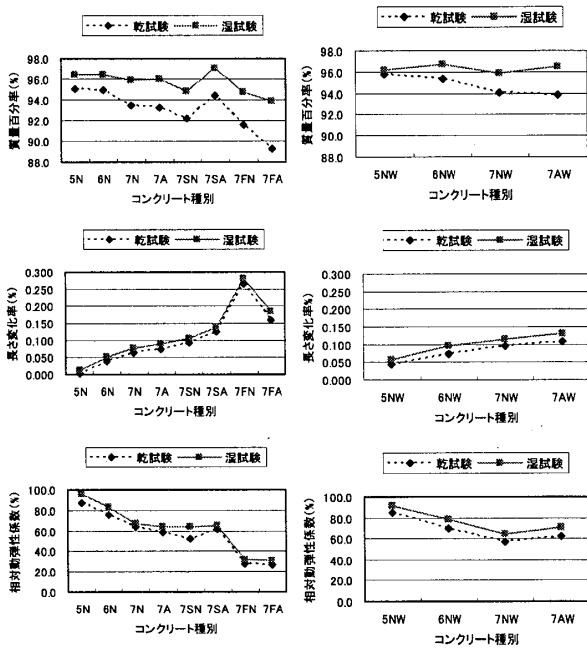


図3 暴露試験 27・26年の結果

5. 屋外暴露後の凍結融解試験結果について

5-1 シリーズ1の凍結融解試験結果

図4から、全ての指標においてフライアッシュを混入した nonAE の 7FN がもっとも耐凍害性が劣っていた。次に軟石を混入した 7SN、7SA の順に劣

ることとなった。その他の nonAE では、水セメント比の小さいものほどスケーリングが少なく質量変化は、従来の傾向と同様となった。

長さ増加比は、7A と 7FA が他の試験体よりも膨張が少なく、AE 剤を混入している方が耐凍害性にやや優れ、暴露試験の傾向と異なっていた。しかし、7SA は軟石を混入しているため早期に膨張劣化がみられ、軟石の膨脹で折れるものもあった。

相対動弾性係数は、7A を除き 37 サイクルで 60% を下回り、早期に劣化し、耐凍害性に劣るものであった。(図4)

5-2 シリーズ2の凍結融解試験結果

質量減少率では、nonAE の場合水セメント比が大きいものほどスケーリングが大きく、最後に折れて終了した。一方、7AW の AE コンクリートは、凍結融解の繰り返しに伴い徐々にスケーリングし、これまでの凍害劣化傾向と同様に AE 剤の空気泡による効果がみられた。

長さ増加比は、7NW > 6NW > 5NW > 7AW に順に膨脹し、凍害劣化がみられた。膨脹量は通常の 10 倍程度まで測定が可能であった。

相対動弾性係数は、シリーズ1と同様に、すべてのコンクリートにあまり差が無く、約 25 サイクル程度で 60% を下回り、耐凍害性に著しく劣るものであった。(図5)

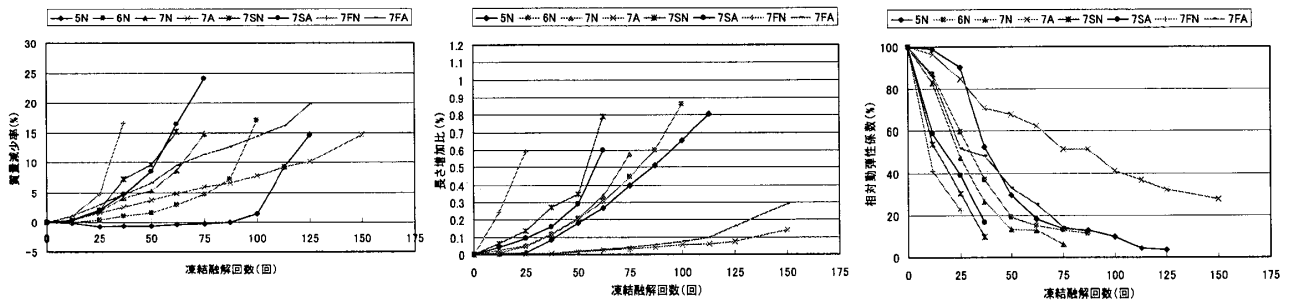


図4 凍結試験結果 (暴露 27 年後・シリーズ1)

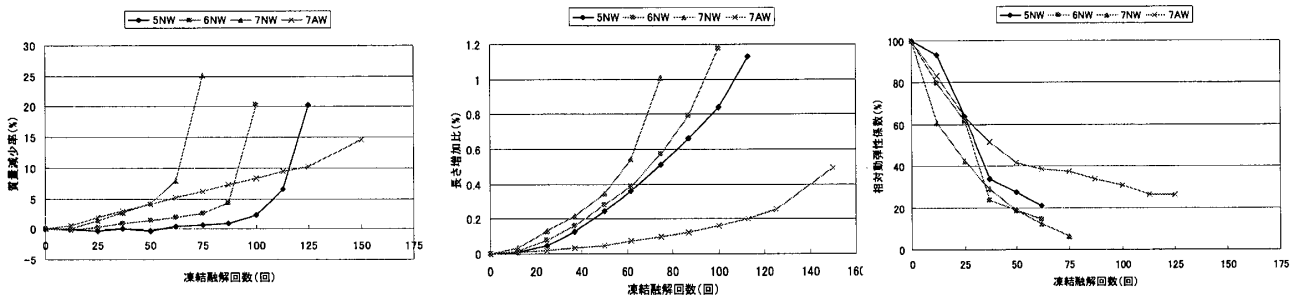


図5 凍結試験結果 (暴露 26 年後・シリーズ2)

6. 屋外暴露前後の凍結融解試験結果について

暴露前後の凍結融解試験 300 サイクルでの耐久性指数を図 6、7 に示す。

シリーズ 1 では、暴露前が B 法の凍結融解試験の結果であるが空気泡を導入したもの、水セメント比 50% のコンクリートの耐凍害性が良好なのにに対し、暴露後はすべて劣化が促進され、その差は少なくなった。シリーズ 2 は A 法での比較になるがシリーズ 1 と同様な傾向となった。

7. おわりに

本研究の屋外暴露 26 年、27 年の各種コンクリートの長期性状と暴露前後の凍結融解試験を比較検討した結果は以下のようにまとめられる。

- (1) シリーズ 1、2 ともに屋外暴露 10 年経過した段階から劣化が出始め、水セメント比 50% 以外のコンクリートは 26・27 年の終了時の相対動弾性係数が 80% を下回る結果となった。
- (2) 屋外暴露試験では、シリーズ 1、2 ともに AE コンクリートでも乾燥の影響と思われる相対動弾性係数の低下が見られた。特に軟石、フライアッシュの混入で極端に凍害劣化が起きやすくなった。
- (3) 暴露後の耐凍害性はすべて劣化が促進された。
- (4) 暴露後の耐凍害性の評価指標では、相対動弾性係数の結果は、他に比べてその差が少なかった。

<参考文献>

1) 田畑雅幸, 洪悦郎, 鎌田英治: 札幌市の気象条件をモデル化した気中凍結水中融解試験, 第 3 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.157~160, 1981.6
 2) 笹山智一: 気象条件を考慮した促進凍結融解試験方法に関する実験, 北海道大学工学部建築工学科, 昭和

54 年度卒業論文

3) 田畑雅幸, 洪悦郎, 鎌田英治: 北海道内 3 都市の気象条件をモデル化した気中凍結水中融解試験, 第 4 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.53~56, 1982.6
 4) 田畑雅幸, 洪悦郎, 鎌田英治: コンクリートの凍害の環境要因効果に関する実験的研究—コンクリートの耐凍害性におよぼす環境要因の影響(その 1)—日本建築学会構造系論文報告集, 第 367 号, pp.8~13, 1986.9
 5) 田畑雅幸, 鎌田英治, 大楽隆男, 鮎田耕一: コンクリートの凍害を対象とした寒冷地における暴露試験, 自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp.193~200, 1993.5
 6) 田畑雅幸, 鎌田英治, 金武漢, 洪悦郎: 膨張性混和材を使用したコンクリートの長期性状, 自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp.201~206, 1993.5
 7) 三森敏司, 鎌田英治, 田畑雅幸, 大楽隆男: 北海道内 3 都市における暴露 12 年目のコンクリートの性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.83~84, 1993.9
 8) 濱幸雄, 田畑雅幸, 洪悦郎, 千歩修, 金武漢: 膨張材を使用したコンクリートの寒冷地における長期暴露性状, 膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp.85~90, 2003.9
 9) 田畑雅幸, 濱幸雄, 金武漢, 千歩修: 鉄筋拘束をした膨張コンクリートの耐凍害性に関する研究, 膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp.91~96, 2003.9
 10) 田畑雅幸, 洪悦郎, 濱幸雄, 平野彰彦: 養生条件を変えた高強度コンクリートの耐凍害性に関する研究, 自然環境とコンクリート性能評価に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp.227~230, 2005.6
 11) 田畑雅幸, 平野彰彦, 濱幸雄: 札幌市に長期暴露したコンクリートの耐凍害性について, 日本建築学会北海道支部研究報告集, pp.9~12, 2006.7
 12) 田畑雅幸, 平野彰彦, 濱幸雄: 札幌市に 25・26 年屋外暴露したコンクリートの耐凍害性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.539~540, 1993.9
 13) 小萩祐子: 屋外暴露 26、27 年の各種コンクリートの長期性状について, 北海道職業能力開発大学校建築施工システム技術科, 2006 年度応用課題実習梗概集

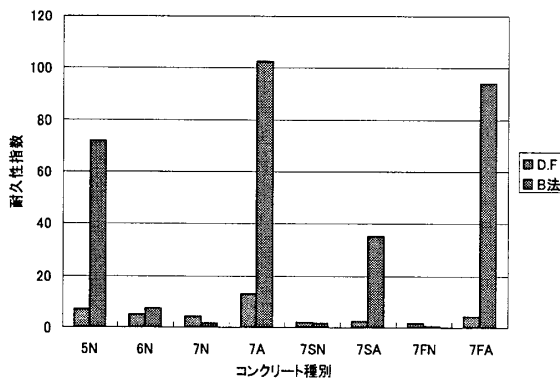


図 6 暴露後の耐久性指数 (暴露 27 年後・シリーズ 1)

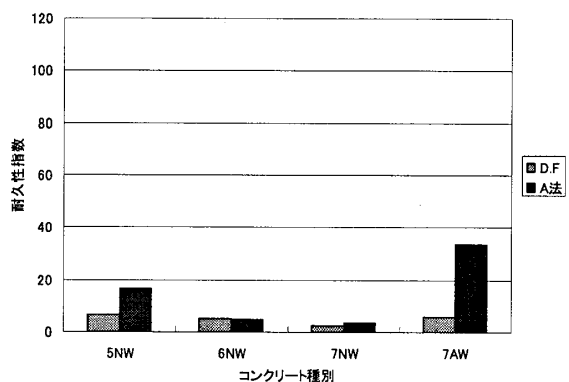


図 7 暴露後の耐久性指数 (暴露 26 年後・シリーズ 2)

*1 北海道職業能力開発大学校 教授・工博博士
 *2 北海道職業能力開発大学校 教授
 *3 室蘭工業大学 助教授・博士(工学)

Professor, Hokkaido Polytechnic College, Dr. Eng
 Professor, Hokkaido Polytechnic College
 Assoc. Professor Muroran Institute of Technology, Dr. Eng