

札幌市に長期屋外暴露したコンクリートの耐凍害性について

正会員 ○田畑雅幸*¹

同 平野彰彦*²

同 濱 幸雄*³

2. モルタル・コンクリートの物性-f.凍害

耐凍害性、暴露試験、凍結融解試験、長期性状、寒冷地、コンクリート

1. はじめに

コンクリートの耐凍害性評価試験として一般的に水中養生後の促進凍結融解試験によって検討されている。これまでの研究成果から、コンクリート構造物への基礎的な対策は確立していると思われが、積雪寒冷な気象条件に加え、春から秋にかけての乾燥や降雨に考慮した耐用性が求められ、筆者らは、20~30年前に各種の凍結融解試験と同時に屋外暴露試験を行った。

本研究は、その一連の研究のうち札幌市に25・24年間屋外暴露したコンクリートの性状と暴露前後の凍結融解試験結果について比較検討したものである。

2. 実験計画および概要

実験は、シリーズ1 (1980年) とシリーズ2 (1981年) の2年に分けて行った。

使用したコンクリートは、それまでの実績から耐凍害性の劣るものを含め、スランプ18cmの建築用軟練りとした。骨材は、表1のものを使用した。水セメント比は、50・60・70・90%とした。このうち水セメント比70%では、意図的に吸水率の大きい骨材(7W)

表1 骨材の物理試験結果

シリーズ	骨材の種類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率 (f.m)
1・2	広島産山砂	2.58	2.54	1.67	64.7	2.72
	広島産山砂利	2.60	2.14	1.63	62.0	6.53
1	和賀川産川砂	2.49	5.21	1.56	62.7	3.01
	大野産山砂利	2.45	5.09	1.50	61.0	6.70

表2 コンクリートの調合表、フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度の結果

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)	絶対容積 (l/m ³)			混和剤 (cc/m ³)	スランプ (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	
				セメント	細骨材	粗骨材		1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**
5N	50	43.9	183	116	303	388	-	-	18.5	-	2.0	-	20.0	-	2.32	-	29.6	-	34.1
6N	60	46.0	185	97	326	382	-	19.0	17.5	2.3	2.5	21.5	19.7	2.30	2.30	21.2	18.8	29.0	23.4
7N	70	48.2	191	86	344	369	-	18.5	18.0	2.4	2.6	20.5	18.5	2.28	2.27	12.1	14.7	17.4	19.7
7V	70	48.2	191	86	344	369	-	13.0	-	2.4	-	20.2	-	2.28	-	10.4	-	14.4	-
	70	48.2	197	89	339	365	-	-	18.0	-	0.8	-	20.8	-	2.31	-	16.0	-	20.7
7W* ³	70	49.0	201	91	342	356	-	19.5	-	1.4	-	21.0	-	2.22	-	12.4	-	17.1	-
7A	70	47.7	180	81	333	366	514	18.5	20.1	4.9	5.5	20.9	19.5	2.23	2.20	10.0	11.0	14.0	14.3
9N	90	51.0	202	71	366	351	-	18.0	17.5	2.3	3.1	20.0	18.5	2.27	2.23	6.7	6.7	9.0	8.6

* はシリーズ1, ** はシリーズ2, *3 和賀川産川砂と大野産山砂利を使用, 他は広島産の山砂, 山砂利を使用

や減圧下(水銀柱役90~30mmHg)で混練し、空気量の少ないコンクリート(7V)を作製した。凍結融解試験および屋外暴露試験の試験体はすべて材齢2週水中養生後の7.5×7.5×40cmの梁型(両端に標点付)とした。

コンクリートの調合表、フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度を表に示す。

3. 実験方法

3-1 屋外暴露試験

屋外暴露試験は1980年9月(シリーズ1)、1981年8月(シリーズ2)に札幌市(RC3階建、屋上スラブの台上80cm)で行った。測定は、質量、長さ、動弾性係数を行い、ほぼ毎年春(4~6月)と秋(10~11月)に実施した。試験体は、室内に搬入後1日間放置したものを乾測定とした。さらに1日間水中浸漬してから測定したものを湿測定とした。測定を3日間行程とした理由は、搬入前の降雨や乾燥の気象要素を少しでも取り除くために行った。また、水中浸漬は、乾燥による動弾性係数算出の際の見かけの低下を取り除くために行った。結果は、材齢2週水中養生後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。屋外暴露状況を写真1に示す。

3-2 凍結融解試験

凍結融解試験は、暴露試験前後ともに、ASTM

C666 A・B法(JIS A1148 A法)



写真1 屋外暴露試験状況

A Study on Frost Resistance of The Concrete Whict Exposed Long-Term to Sapporo City

TABATA Masayuki et al.

に基づく水中凍結水中融解試験・気中凍結水中融解試験のいずれかとした。試験条件は、最高温度+5℃、最低温度-18℃、1日6サイクルで行った。シリーズ2では、凍結最低温度を-5・-10・-30℃とした試験も行った。

4. 実験結果および考察

4-1 屋外暴露試験

屋外暴露25年(シリーズ1)と24年(シリーズ2)の経年変化および暴露終了時の相対動弾性係数、質量百分率の結果を図1~4に示す。図1、2の上下変動は、乾測定と湿測定の変動である。

シリーズ1の相対動弾性係数の経年変化では、暴露2年目から経過年数に伴い徐々に低下した。終了時

湿測定値の低下順に $9N < 7A \leq 7V < 7W < 7N < 6N$ となり、その範囲は、55~90%となった。もっとも耐凍害性が劣っていたのは水セメント比の大きい9Nで、動弾性係数の低下とスケーリングに伴う質量損失が大きかった。

一方、作製時の凍結融解試験で他のコンクリートよりも耐凍害性がやや優れていた7Aコンクリートの場合、暴露終了時の結果では、相対動弾性係数が60%以下となり、意図的に空気量を少なくした7Vよりやや劣っていた。これは、水切り可能な台上暴露での試験体の断面が7.5cmと細いことと、夏期の乾燥によるひびわれの影響と思われ、AE剤による空気泡の導入効果があまりないことが伺われた。

シリーズ2では、7Vが10年目春から動弾性係数の

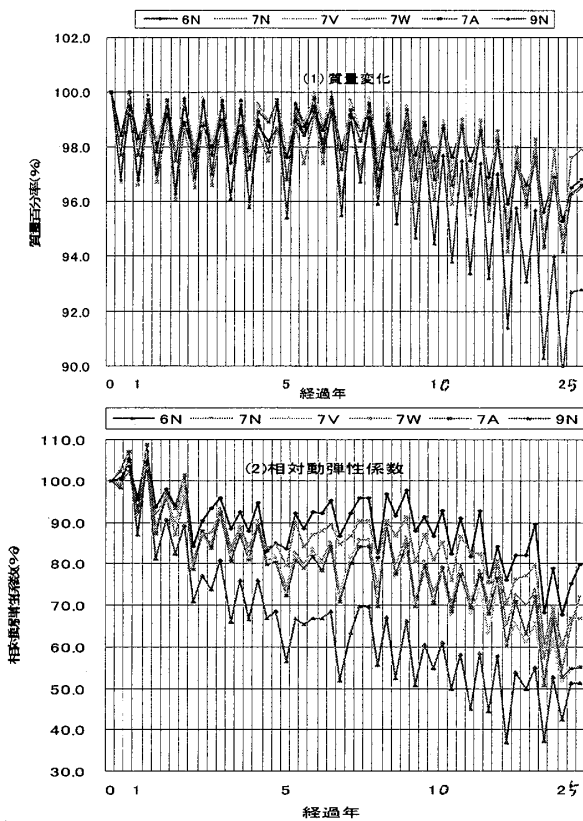


図1 屋外暴露25年の経年変化(シリーズ1)

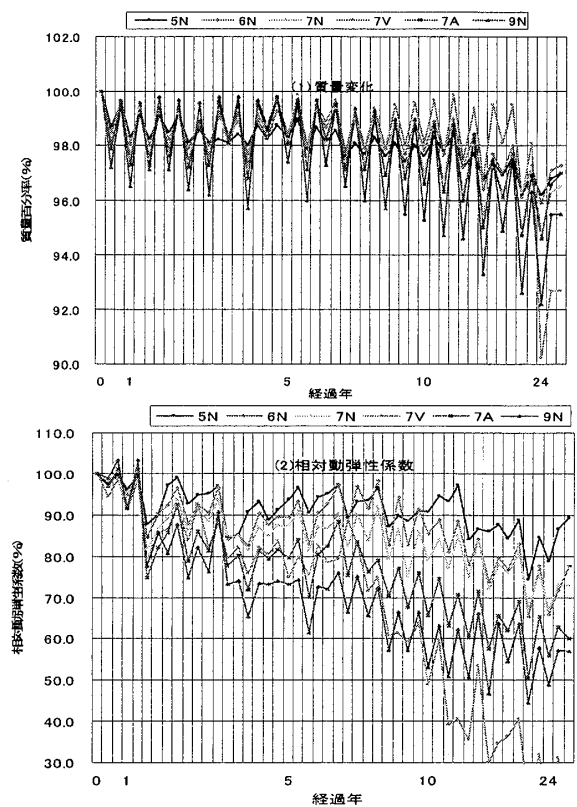


図2 屋外暴露24年の経年変化(シリーズ2)

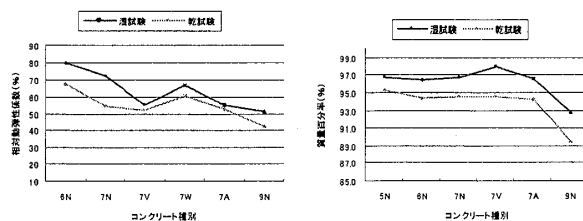


図3 暴露25年終了時の結果(シリーズ1)

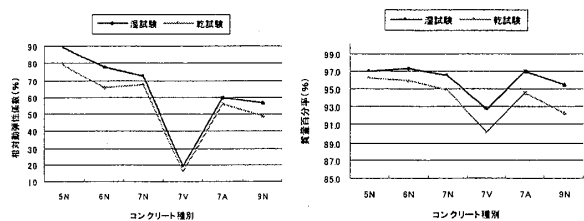


図4 暴露24年終了時の結果(シリーズ2)

低下が見られ、最終の24年時の値は20%以下となった。また、ひび割れと激しいスケーリング劣化により質量損失も大きかった。シリーズ2では、7Vがもっとも耐凍害性が劣っていた。次に9N・7Nで水セメント比の小さい5Nの耐凍害性が優れていた。暴露終了時の相対動弾性係数の低下順は、7V<9N<7A<7N<6N<5Nとなり、その範囲は19.4%~89.5%となった。AEコンクリートは、シリーズ1と同様に動弾性係数の低下が大きく、7Nよりも耐凍害性が劣っていた。質量変化の傾向も動弾性係数と同じで、乾燥の影響が大きいように思われる。暴露終了時の7Vコンクリートの状況を写真2に示す。

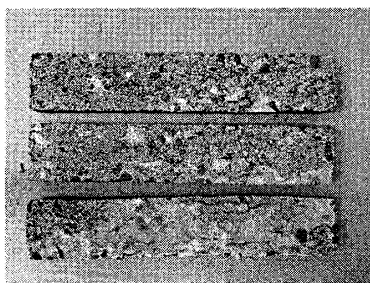


写真2 暴露終了時の7Vコンクリートの状況

4-2 屋外暴露後の凍結融解試験結果

屋外暴露後の凍結融解試験結果を図5、表3に示す。

図から、シリーズ1の質量減少率、長さ増加比の結果では、7A<6N≤7N<7W<7V<9Nの順で耐凍害性が劣る傾向となった。

一方、相対動弾性係数ではその差は少なく、25~40回の凍結融解の繰り返しですべてのコンクリートで60%以下となり、著しく耐凍害性が劣るものとなった。

シリーズ2は、シリーズ1と同じ傾向で質量百分率、長さ増加比では、7A<5N≤7N<6N≤9N<7Vの順で耐凍害性が劣っていた。相対動弾性係数もシリーズ1と同じ傾向となった。

屋外暴露後の凍結融解試験では、質量減少が大きく、さらに長さ変化による膨張も0.1%以上とかなり大きく、0.3~1%になってから折れていた。相対動弾性係数は、他の指標に比べてその差は少なかった。

暴露前の7Aは、他のコンクリートに比べて耐凍害性が良好なのに対し、暴露後のコンクリートは劣化が促進され、その差は少なかった。これは、屋外暴露終

了時の相対動弾性係数が60%前後と劣化しているためと考えられる。また、暴露試験における夏期の乾燥も関係しているものと思われる。この傾向は5Nでも見られた。

4-3 屋外暴露前後の凍結融解試験結果について

屋外暴露前後の凍結融解試験結果と暴露前後の300サイクルでの耐久性指数を表3、図6に示す。

暴露前のA法の凍結融解試験では、シリーズ1、2共に空気泡を導入した7Aの耐凍害性が他のコンクリートに比べ良好なのに対し、暴露後は劣化が促進され、その差が少なかった。

一方、暴露前の凍結融解試験で耐凍害性の劣っていた7V、7W、9Nでは、暴露時の試験体の乾燥により、他のコンクリートと差が少なくなった。これは、凍結融解試験での劣化に至るまでの飽水度が高まるまでの繰り返しを必要とするため見かけ上の耐凍害性がやや向上したようになったと思われる。

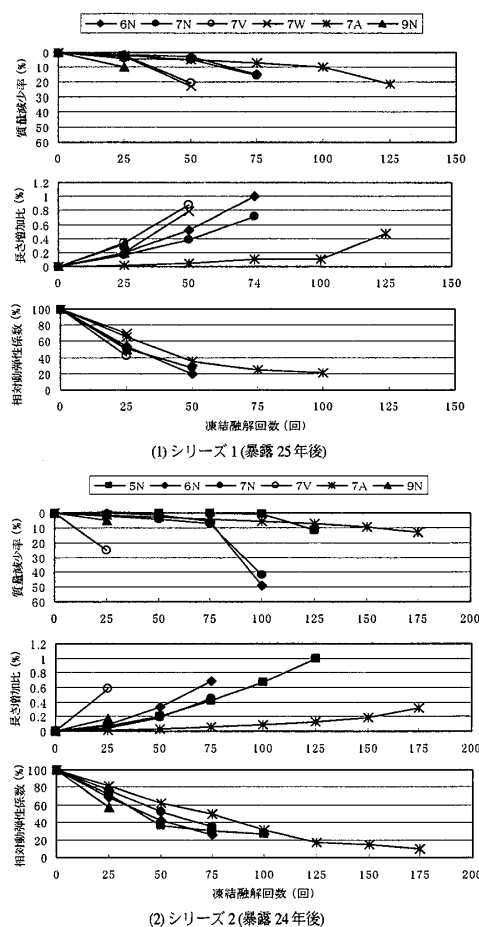


図5 屋外暴露後の凍結融解試験

暴露開始時の凍結融解試験 B 法との関係では、7A、5N で極端に耐凍害性の差がでたが、耐凍害性の劣るコンクリートではその差は少なかった。

5. おわりに

札幌市に 25・24 年間暴露したコンクリートの長期性状と暴露前後の耐凍害性を比較検討した結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 極端に耐凍害性の劣るコンクリートを使用した場合、屋外暴露 10 年経過した段階から劣化が始め 25・24 年の終了時で相対動弾性係数が 80% を下回る結果が得られた。
- (2) 屋外暴露 25・24 年の経過で、AE コンクリートでも、夏期の乾燥に伴う性状低下により、相対動弾性係数が 60% 以下と劣化が見られた。
- (3) 暴露前後の凍結融解試験の結果を比較すると暴露前に良好な耐凍害性を示した 5N、7A は、暴露中の夏期の性状変化により凍害劣化が促進された。
- (4) 暴露後の凍結融解試験の耐凍害性の評価において、質量、長さの指標に比べ相対動弾性係数の結果は、その差が小さかった。

〈謝辞〉

本研究の遂行では、当校卒業生、寺島尚吾君、月田義教君、荒井 充君、伊藤秀明君、川崎伸明君の協力を得ました。ここに、記して感謝致します。

【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) 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

- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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

表 3 札幌市における屋外暴露の結果と暴露前後の凍結融解試験結果

(1) シリーズ 1 (1980年開始)					(2) シリーズ 2 (1981年開始)							
試験	ASTM *1		屋外暴露試験 *2 (25年後)	暴露後の凍結融解試験 *1	試験	ASTM *1		屋外暴露試験 *2 (24年後)	暴露後の凍結融解試験 *1			
	A法	B法				水中凍結水中融解	B 法					
コンクリート	-18℃	-18℃	夏 湿	JIS-A法 -18℃	コンクリート	-5℃	-10℃	-18℃ (A法)	-30℃	-18℃	夏 湿	JIS-A法 -18℃
6N	1.0	7.3	79.7	4.4	5N	89.0	30.4	13.5	5.2	99.4	89.5	6.2
7N	0.6	5.1	72.1	4.2	6N	43.6	3.3	2.5	1.7	13.8	77.8	6.7
7V	0.2	0.5	55.3	3.6	7N	46.2	2.5	2.3	1.3	11.5	72.8	6.5
7W	0.6	3.8	66.9	5.5	7V	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	19.4	0.9
7A	8.4	48.3	54.9	5.2	7A	96.4	37.4	25.4	16.3	100.0	60.0	11.2
9N	0.6	0.7	51.3	4.1	9N	4.2	0.6	1.0	0.6	1.4	57.0	5.0

*1: ASTM法および暴露後の凍結融解試験の結果は、試験終了予定サイクル30サイクルにおける高弾性指数 (E/E0)
*2: 屋外暴露試験の結果は、相対動弾性係数

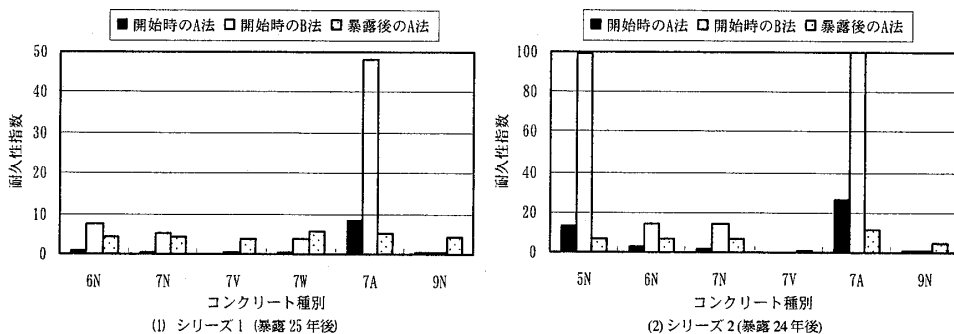


図 6 暴露前後の耐久性指数

*1 北海道職業能力開発大学校 教授 工学博士
*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)

*1 Professor, Hokkaido Polytechnic College, Dr.Eng.
*2 Professor, Hokkaido Polytechnic College
*3 Assoc.Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng