

札幌市に25・24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耐凍害性 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

コンクリートの耐凍害性を判断する試験として水中養生後の促進凍結融解試験が一般的に行われている。積雪寒冷地域でも、春から秋にかけての乾燥や降雨による影響を考慮した評価試験が求められ、今から20~30年前には、各種凍害試験を行った。

本研究は、一連の研究の内札幌市に25・24年間屋外暴露したコンクリートの性状と耐凍害性について報告する。

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)にかけて行った。使用したコンクリートは、それまでの実績から凍害を受けやすいものを含め、スランブ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、意図的に吸水率が大きい骨材(7V)や減圧下(水銀柱約90~30mmHg)で混練し、エントラプトエアーの少ないコンクリート(7V)を作製した。試験体はすべて材齢2週水中養生後の7.5×7.5×40cmの梁型とした。

コンクリートの調査表、フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度を表2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

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 コンクリートの調査表、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			
				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	-	15.0	-	2.4	-	20.2	-	2.28	-	10.4	-	14.4		
7V	70	48.2	197	89	339	365	-	-	18.0	-	0.8	-	20.8	-	2.31	-	15.0	-	20.7		
	7W ^{*)}	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, *) 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

(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、動弾性係数とし、ほぼ毎年春(4~6月)と秋(10~11月)に実施し、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日間水中浸漬してから測定したものを湿測定とした。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。

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・B法)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°C、最低温度-18°C、1日6サイクルで行った。

4. 実験結果および考察

4-1 暴露試験結果

屋外暴露25年(シリーズ1)および24年(シリーズ2)終了時の相対動弾性係数、質量百分率の結果を図1,2に示す。

シリーズ1の相対動弾性係数では、暴露2年目から経過に伴い徐々に低下し、湿測定値の低下順に9N<7A≤7V<7W<7N<6Nとなり、その範囲は55~90%であった。水セメント比のもっとも大きい9Nは、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の場合、暴露試験の結果では、相対動弾性係数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細さと夏期の乾燥による影響と思われる、AE剤による空気泡の導入効果の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低下が見られ、最終の24年時の値は20%以下となった。また、激しいスケーリング劣化により大きな質量減少もあり、もっとも耐凍害性が劣った。次に9N・7Nで、水セメント比の小さい5Nの耐害性が優れていた。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%であった。質量変化も同様となった。

A Study on Frost Resistance of The Concrete Which Exposed 25,24-year to Sapporo City

TABATA Masayuki, HIRANO Akihiko
HAMA Yukio

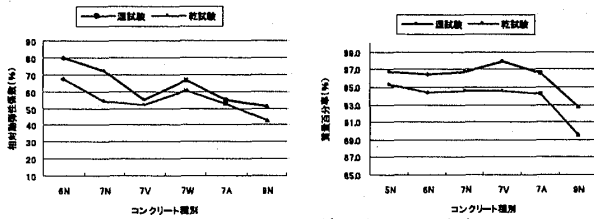


図1 暴露25年の結果(シリーズ1)

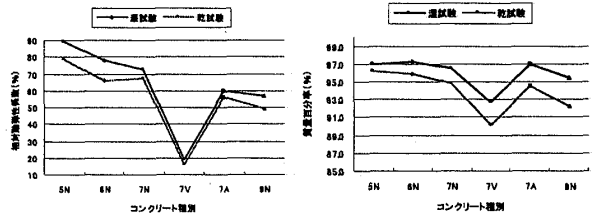


図2 暴露24年の結果(シリーズ2)

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3、表3に示す。

シリーズ1の質量減少率、長さ増加比の結果は、7A < 6N ≤ 7N < 7W ≤ 7V < 9N の順で耐凍害性が劣る傾向となったが、相対動弾性係数ではその差は少なく、25~40 サイクルですべて 60%以下となり、耐凍害性が著しく劣るものとなった。

シリーズ2は、シリーズ1と同傾向は同じで、質量、長さでは、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と同様な傾向となった。

4-3 屋外暴露前後の凍結融解試験結果について

屋外暴露終了時の相対動弾性係数と屋外暴露前後の凍結融解試験 300 サイクルでの耐久性指数を表3に示す。

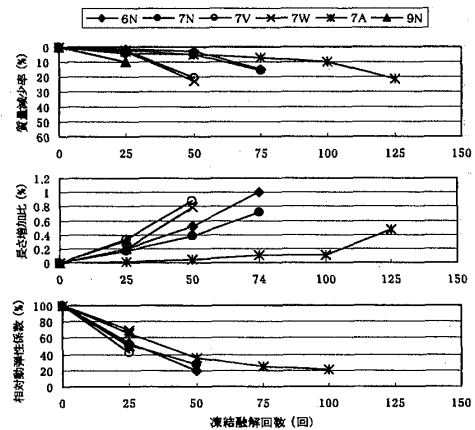
シリーズ1、2共に暴露前の A 法、B 法のいずれも 7A の耐凍害性が他のコンクリートに比べ良好なのに対し、暴露後の耐凍害性は劣化が促進され、その差が少なかった。これは、暴露終了時の動弾性係数が 60%前後なのと乾燥による影響と思われる。この傾向は 5N でも見られた。一方、暴露前に耐凍害性が劣っていた 7V、7W、9N では、暴露時の乾燥により、凍結融解試験での飽水度が高まるまでの繰り返し回数を必要とするため見かけ上耐凍害性がやや向上したようになったものと思われる(表3)。

5. おわりに

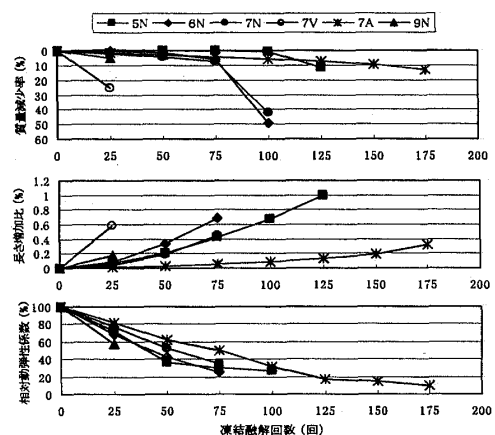
本研究の結果は、以下のようにまとめられる。

- (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 年目から劣化が始め 25・24 年の終了時点で相対動弾性係数が 80%を下回る結果が得られ、AE コンクリートも形状や暴露方法により凍害劣化が生じた。
- (2) 暴露前後を比較すると暴露前に良好な耐凍害性を示した 5N・7A は、暴露中の夏期の乾燥などにより凍害劣化が促進された。
- (3) 暴露後の耐凍害性評価において質量、長さの指標に比べ相対動弾性係数の結果は差が小さかった。

<謝辞>実験では、当校卒業生、寺島尚吾君、月田義教君、荒井充、伊藤秀明君の協力を頂きました。ここに記して感謝致します。



(1) シリーズ1(暴露25年後)



(2) シリーズ2(暴露24年後)

図3 屋外暴露後の凍結融解試験

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

試験 コン クリ ート	ASTM #1		屋外暴露 試験 #2 (25年後)		暴露後の 凍結融解 試験 #1	
	A法	B法	夏	冬	夏	冬
	-18°C	-18°C	夏	冬	夏	冬
6N	1.0	7.3	79.7	4.4		
7N	0.6	5.1	72.1	4.2		
7V	0.2	0.5	55.3	3.6		
7W	0.6	3.8	66.9	5.6		
7A	8.4	48.3	54.9	5.2		
9N	0.6	0.7	51.3	4.1		

試験 コン クリ ート	ASTM #1		水中凍結水中融解		屋外暴露 試験 #2 (24年後)		暴露後の 凍結融解 試験 #1	
	-5°C	-10°C	-18°C (A法)	-30°C	-18°C	夏	冬	
	-5°C	-10°C	-18°C (A法)	-30°C	-18°C	夏	冬	
5N	89.0	30.4	13.5	5.2	99.4	89.5	6.2	
6N	44.6	3.3	2.5	1.7	13.9	77.9	6.7	
7N	46.2	2.5	2.3	1.3	14.5	72.8	6.5	
7V	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	19.4	0.9	
7A	96.4	37.4	26.4	16.3	100.0	60.0	11.2	
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 300 サイクルにおける耐久性指数 (DF300)
*2 屋外暴露試験の結果は、相対動弾性係数

<文献>田畑他：北海道内3都市の気象条件をモデル化した凍結融解試験，第4回コンクリート工学年次講演論文集,pp.53~56, 1982.6

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