

9 凍害

9.1 各種要因の影響

9.1.1 セメントの種類および水セメント比

F-55	各種セメントを用いたコンクリートの耐久性に関する研究	2008年
------	----------------------------	-------

F-55 では、標準養生におけるコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼすセメントの種類の影響について報告している。

【試験条件】	JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法（A法）」準拠	
	・凍結融解サイクル数	300回
	・スランプ	12.0 ± 1.5cm
	・空気量	4.5 ± 0.5%
	・養生条件	材齢 28 日まで標準水中養生（Lのみ 56 日追加）
【要因】	・セメントの種類	5種類 N：普通ポルトランドセメント H：早強ポルトランドセメント M：中庸熱ポルトランドセメント L：低熱ポルトランドセメント BB：高炉セメント B種
	・水セメント比	3水準 45%，55%，65%

凍結融解を 300 サイクル行った後の試験結果をもとに、セメントの種類と相対動弾性係数および質量減少率を図 9.1，凍結融解開始時の圧縮強度と相対動弾性係数および質量減少率との関係を図 9.2 に示すこれにより、質量減少率は、試験開始時の圧縮強度が供試体表面のスケーリングに対して直接的に現れた結果となった。相対動弾性係数は、水セメント比 55%，65% において、いずれのセメントにおいても、相対動弾性係数は 70% 以上、水セメント比 55% では 80% 以上を満足することが確認され、所定の空気量が連行されていれば、セメントの種類によらず十分な抵抗性を確保できることが確認された。

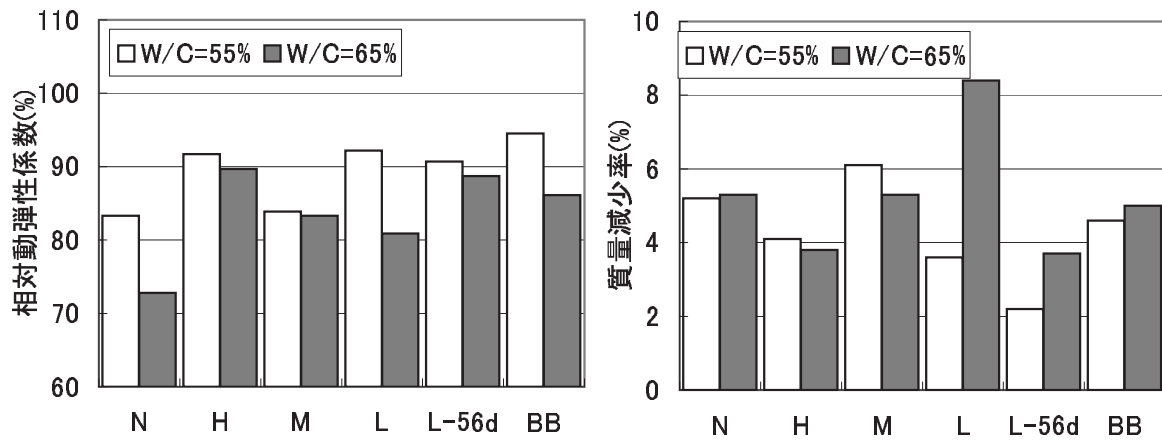


図 9.1 セメントの種類と相対動弾性係数および質量減少率

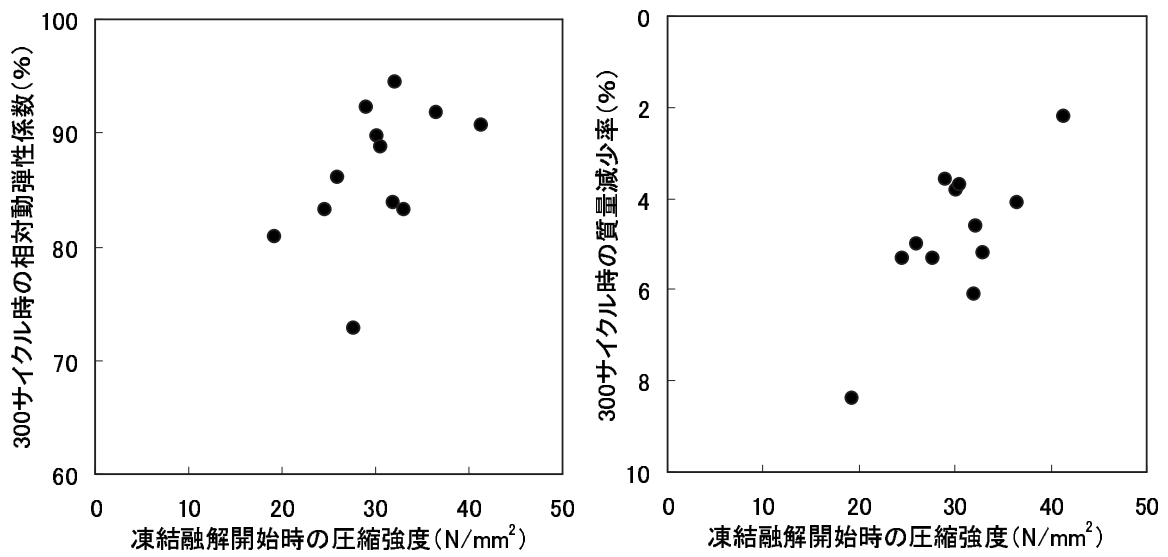


図 9.2 凍結融解開始時の圧縮強度と相対動弾性係数および質量減少率

9.1.2 初期の乾燥

F-38	初期の乾燥がコンクリートの諸性質におよぼす影響	1985 年
------	-------------------------	--------

F-38 では、セメントの種類に加え、初期の乾燥がコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす影響について報告している。

{	【試験条件】	JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法（A法）」準拠	
		・凍結融解サイクル数	300 回
		・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント
		・水セメント比	50%
		・スランプ	8.0 ± 1.5cm
		・空気量	4.5 ± 0.5%
		・養生条件	乾燥開始までは型枠内で封緘養生した後、材齢 28 日まで所定の乾燥条件下に置く。その後、7 日間水中浸漬し試験開始。
	【要因】	・乾燥開始材齢	3 水準 2 日、3 日、7 日
		・乾燥条件	3 条件 温度 20℃、水中（乾燥無し） 温度 20℃、湿度 35%RH 温度 20℃、湿度 65%RH
		・セメントの種類	4 種類 N、H、BB、FB

初期の乾燥条件と相対動弾性係数の関係を図 9.3 に、初期の乾燥条件と質量減少率との関係を図 9.4 に示す。質量減少率は、混合セメントを用いたものが平均的に大きく、乾燥を受けた場合に混合セメントの表層部分が多孔化したことによる影響と言える。相対動弾性係数は、いずれのセメントの種類や初期の乾燥条件のものも 90 % 以上であり、初期乾燥によって耐久性が著しく損なわれることはない。むしろ、一時的な乾燥によって供試体内部の飽水度が低下するため、乾燥条件の厳しいものほど相対動弾性係数が大きくなる傾向が見られた。しかしながら、耐久性を確保するためには、適切な養生を実施し、初期乾燥を防いで内部組織を十分に緻密化させることが必要となることは言うまでもない。

土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕では、凍害の気象条件が激しい環境においてコンクリートに要求される相対動弾性係数の最小限界値 (E_{min}) を、連続してあるいはしばしば水に飽和される場合（部材断面が薄い場合を除く）には 70%、普通の露出状態にある場合には 60% としている。F-55 および F-38 より、いずれのセメントの種類を用いた場合でも、また初期に乾燥を受けても所定の空気量を連行することで十分な凍結融解抵抗性を有するコンクリートを得られることが確認された。

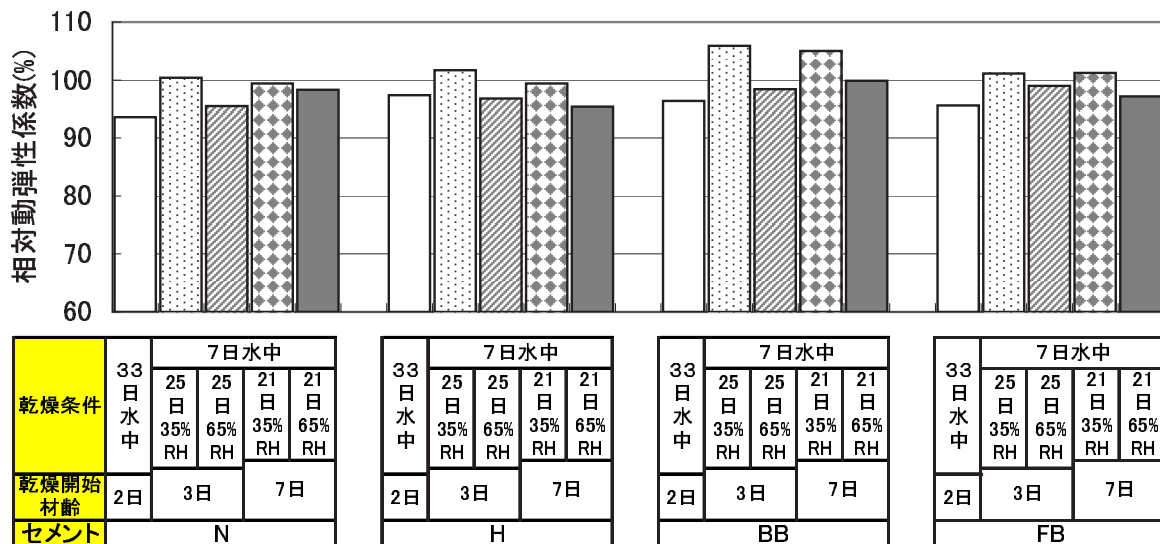


図 9.3 初期の乾燥が凍害抵抗性（相対動弾性係数）に及ぼす影響

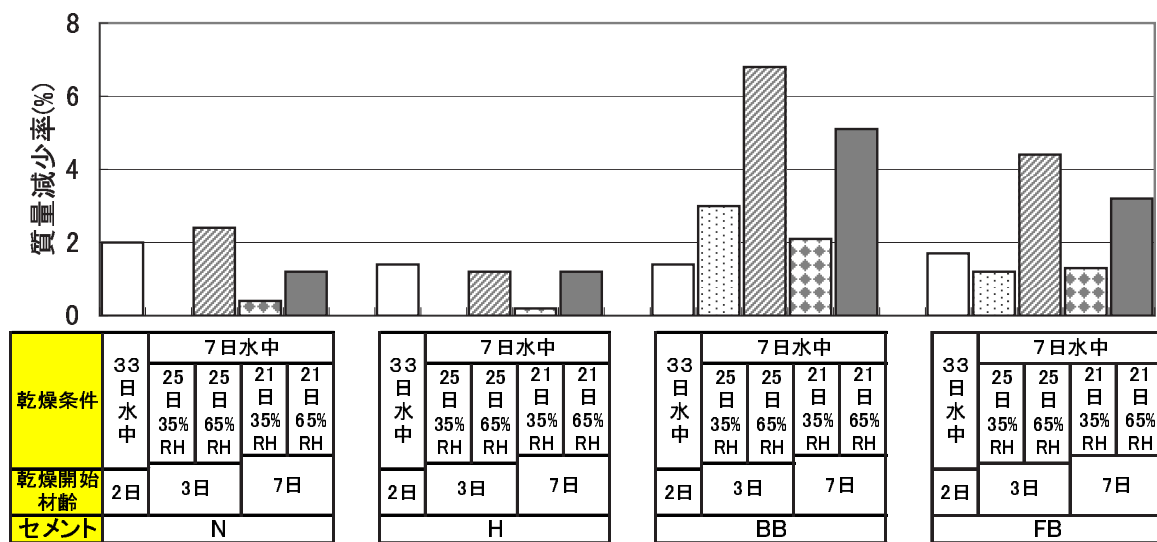


図 9.4 初期の乾燥が凍害抵抗性（質量減少率）に及ぼす影響

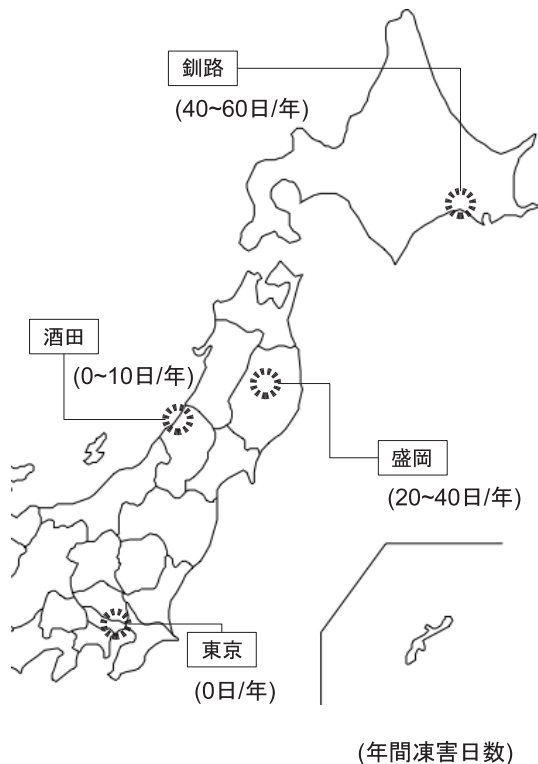
9.2 長期暴露

F-54	寒冷地に暴露した AE コンクリートの耐凍害性-材齢 20 年報告-	2008 年
------	------------------------------------	--------

F-54 では、寒冷地に長期暴露したコンクリートの耐凍害性を調査するため、凍害劣化度の異なる釧路、盛岡、酒田、東京（図 9.5）の 4 箇所を選定して、コンクリート供試体（10 × 10 × 40cm）による 20 年の長期暴露実験を行い報告している。

【試験条件】	JIS A 1127 「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数， 動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」準拠	
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント
【要因】	・空気量	4.5 ± 0.5%
	・養生条件	材齢 28 日まで標準水中養生
	・暴露場所	4 箇所 釧路，盛岡（凍害を受けやすい） 酒田（中庸），東京（凍害を受けにくい）
	・水セメント比	2 水準 50%，60%
	・スランプ	2 水準 8.0 ± 1.5cm，18.0 ± 1.5cm

暴露環境は、写真 9. 1 のように凍結融解を受けやすい場所を選定し気中暴露（図中”気中”）としたが、材齢 5 年を経て顕著な差が生じなかったため、供試体 3 本中 1 本の供試体を雨水の溜まる水槽に浸漬させ含水の高い状態で暴露（図中”浸漬”）した。なお、図中記号は、水セメント比，スランプの順で wc50s8（水セメント比 50%，スランプ 8cm の場合）のように表記する。



材齢5年まで



材齢5年以降

写真 9. 1 暴露状況

凍害危険度の異なる4箇所に20年間暴露を行い調査した、相対動弾性係数の経年変化(たわみ振動)を図9.6に、質量の経年変化を図9.7に示す。

図9.6より、すべての暴露地、配調合で、相対動弾性係数の低下は認められず、凍結融解による劣化の兆候は確認されなかった。相対動弾性係数の経年変化が小さい為、暴露地や配調合による明確な傾向は見受けられなかった。また、水に浸漬させた供試体も相対動弾性係数の低下は認められず劣化の兆候は確認されなかった。なお、浸漬後に一次共鳴振動数が若干増加しており、浸漬による供試体への影響が確認された。

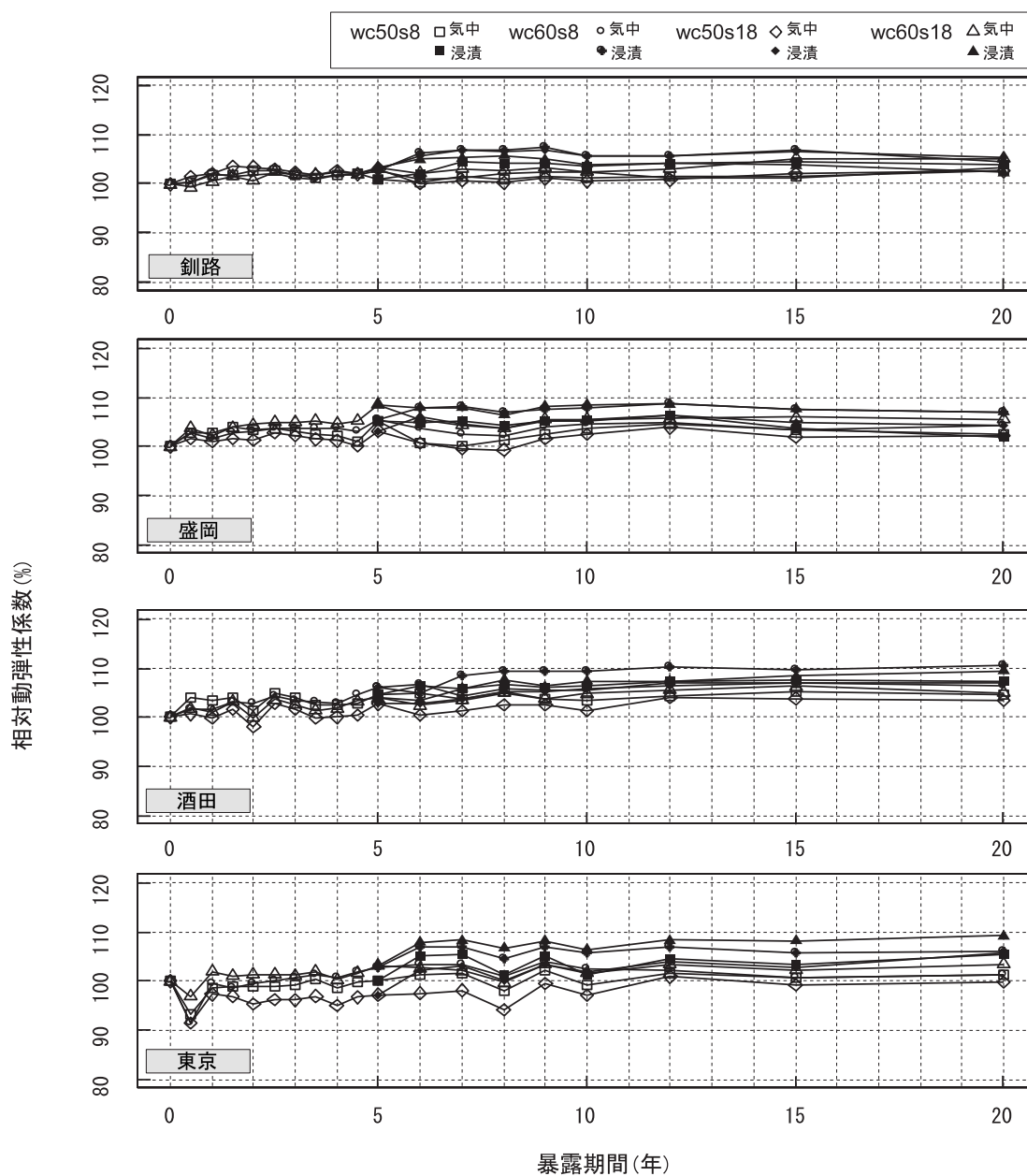


図 9.6 相対動弾性係数の経年変化 (たわみ振動)

図 9.7 より、何れの供試体も、暴露開始初期は乾燥により質量は大きく減少するが、その後は長期にわたり緩やかに減少している。長期にわたる質量の減少はペースト分の剥離などが影響していると考えられるが、極端な質量の減少は生じておらず、スケーリングなど凍害劣化の兆候は確認されなかった。浸漬させた供試体では、浸漬後に質量が増加していることから、高い含水状態におかれより厳しい環境で暴露された事が確認された。しかし、その後の暴露でも気中暴露と同様に凍結融解による劣化の兆候は確認されなかった。

以上より、凍害を受け易い環境下においても、所定の空気量を連行した AE コンクリートは十分な耐凍害性を有することが 20 年間の長期暴露実験結果により確認された。

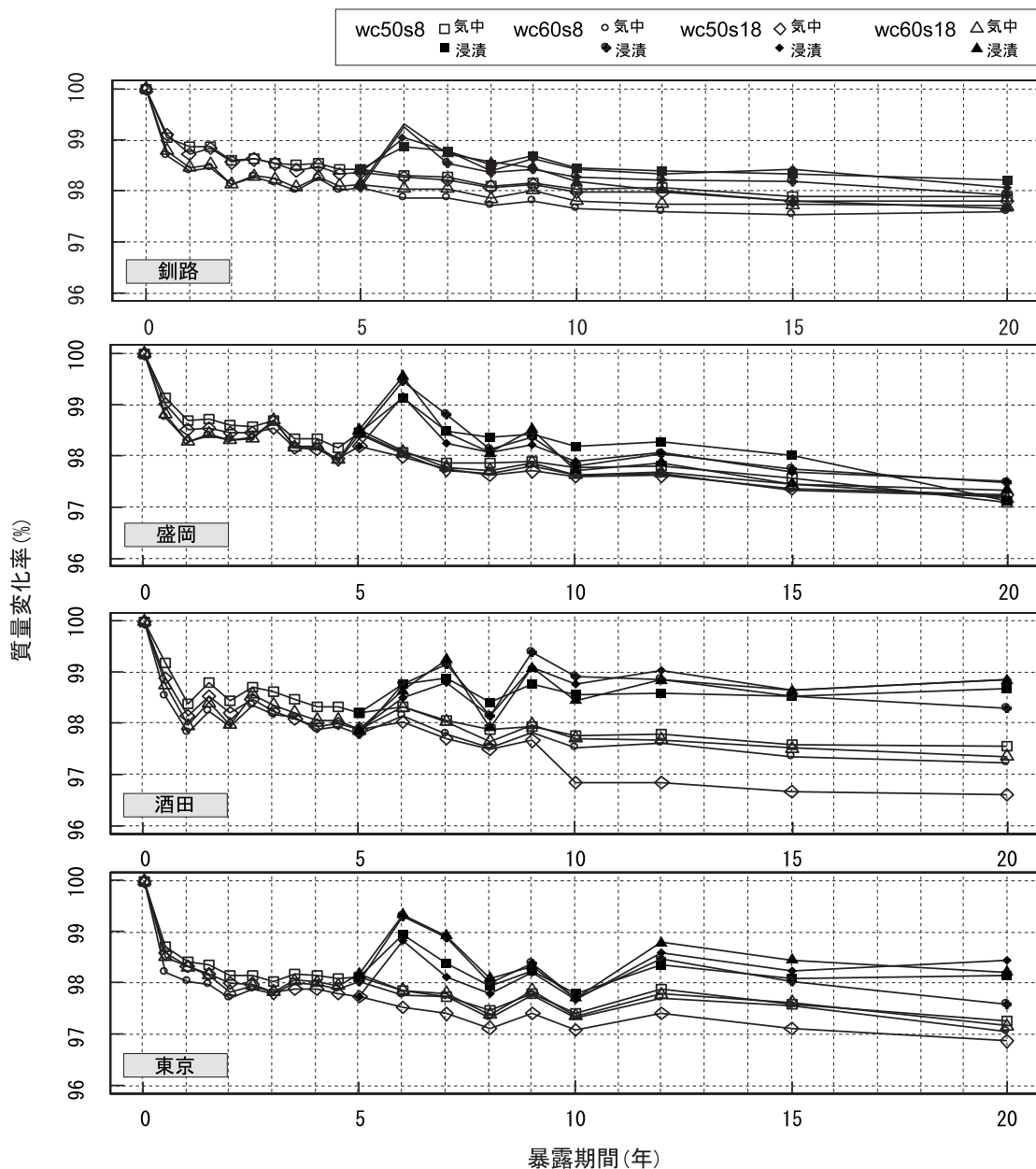


図 9.7 質量の経年変化