

8 中性化

8.1 各種要因の影響

8.1.1 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、各種セメントを用いたコンクリートの中性化に関して、促進中性化試験により検討を行い報告している。

{	【試験条件】	JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」準拠		
	・養生条件	材齢 28 日まで標準水中養生 (L のみ 56 日追加)		
	・スランプ	12.0 ± 1.5cm		
	【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%	

促進中性化試験結果を、表 8.1 に中性化速度係数で、図 8.1 に中性化深さで示す。いずれの水セメント比においても、Hを用いたコンクリートの中性化深さが最も小さく、ついでNの順となり、M、L及びBBを用いたコンクリートの中性化深さはこれより大きくなる傾向が見られた。また、Lを用いたコンクリートの中性化深さは水セメント比 65% では、中庸熱セメント、高炉セメント B 種よりも大きく、水セメント比が大きい場合では中性化速度が大きい傾向が見られた。また図 8.2 に図示するように、試験開始時の圧縮強度が小さいほど中性化速度が大きくなる傾向となり、Lは水中養生期間を 28 日から 56 日とすると、コンクリートの中性化深さはNと同等となっている。

表 8.1 各種セメントを用いたコンクリートの促進中性化速度係数 (mm/√年)

セメントの種類	養生(日)	W/C (%)		
		45	55	65
N	28	16.9	30.7	42.9
H		10.8	27.3	39.4
M		19.8	42	54.2
L		23.3	42	65.8
BB		21.1	39	51.9
L	56	14.6	32.1	48.9

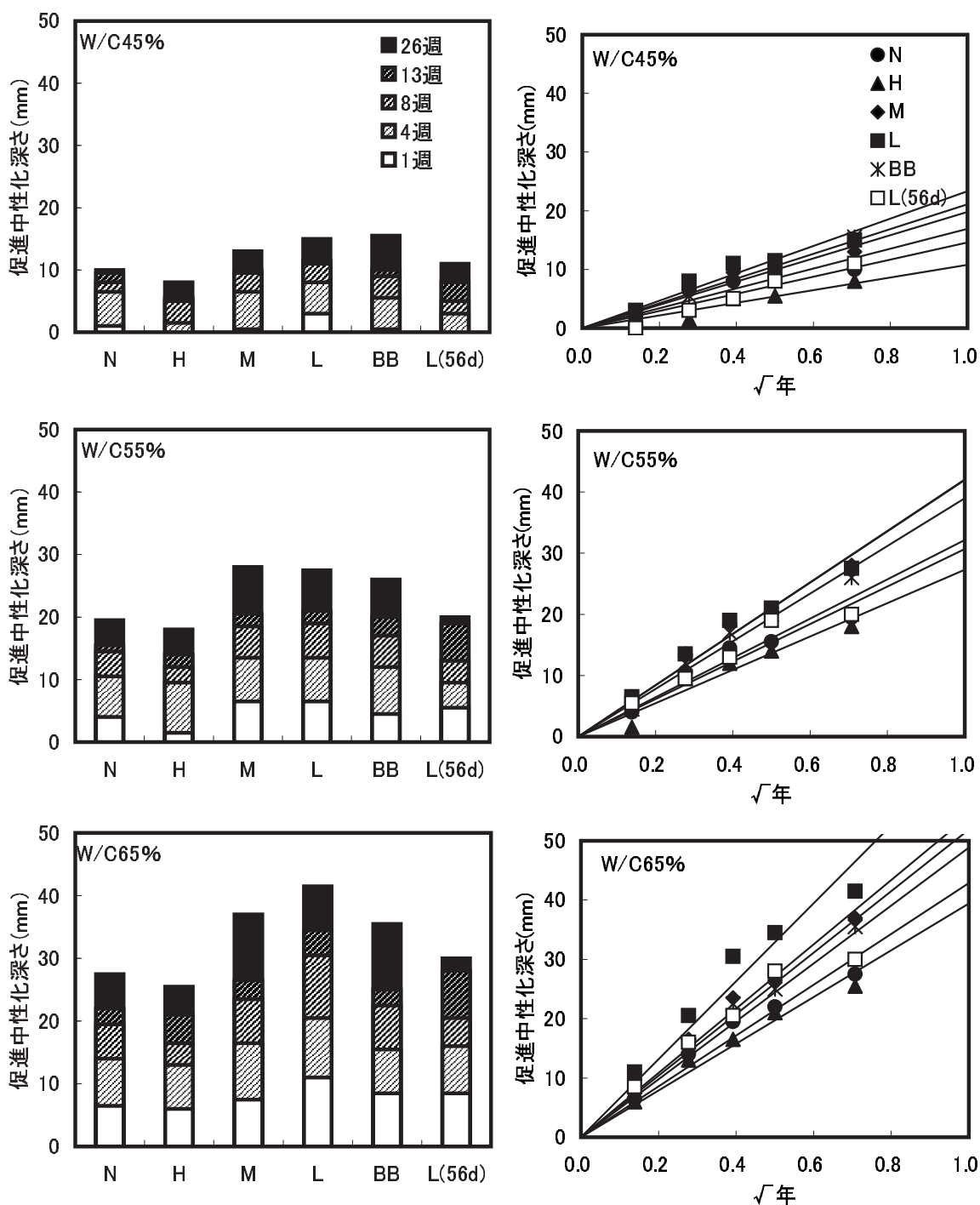


図 8.1 各種セメントを用いたコンクリートの促進中性化深さ

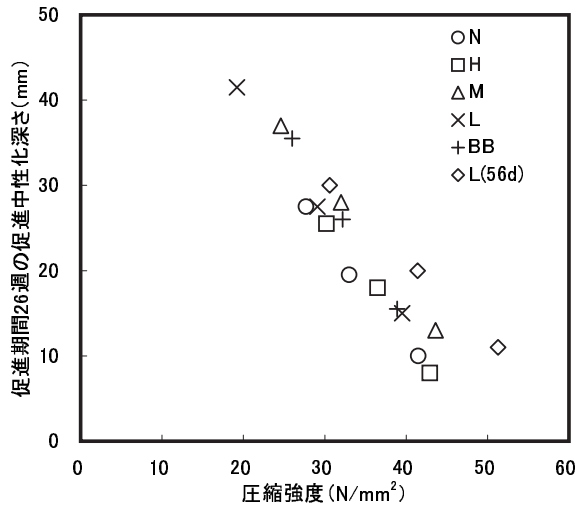


図 8.2 圧縮強度と促進中性化期間 26 週の中性化深さ

また，図 8.3 より，水セメント比および有効水結合材比と中性化速度係数はセメント種類毎に直線関係で評価できることが確認された。直線回帰した定数を表 8.2 に示す。

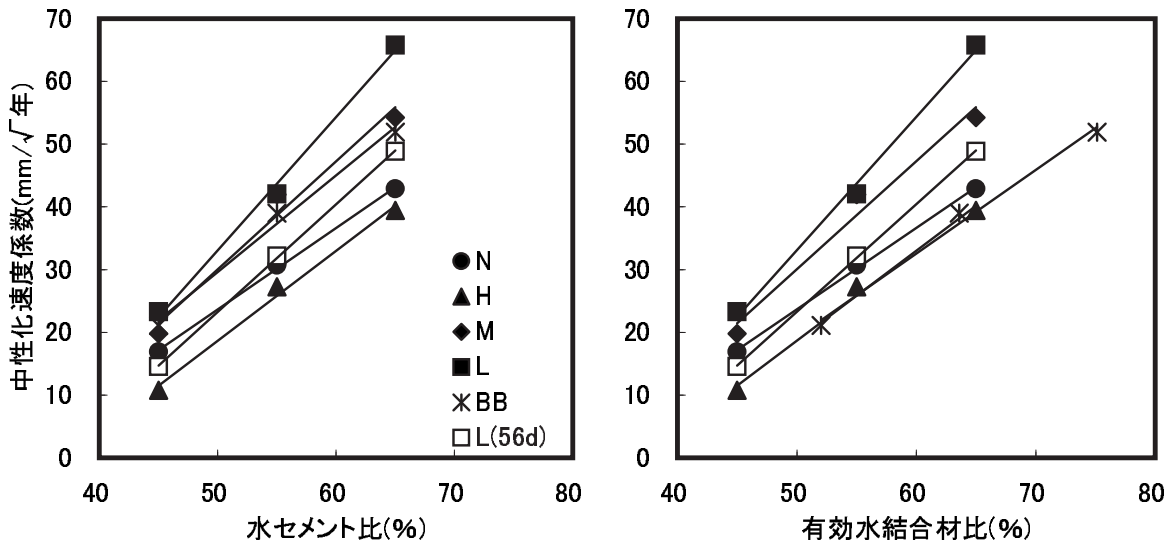


図 8.3 水セメント比および有効水結合材比と中性化速度係数

表 8.2 有効結合材比と中性化速度係数の直線回帰定数

セメントの種類	養生 (日)	$\alpha = a + b \times (W/B)$	
		a	b
N	28	-41.3	129.9
H		-53.0	143.3
M		-56.1	172.3
L		-73.1	212.3
BB		-47.4	133.3
L	56	-62.5	171.5

8.1.2 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、初期の乾燥が各種セメントを用いたコンクリートの中性化に及ぼす影響を報告している。セメントは、N、H、BB および FB を対象とした。

{	【試験条件】 JIS A 1152「コンクリートの中性化深さ測定方法」と同等の試験			
	・セメントの種類	N：普通ポルトランドセメント		
	・養生条件	所定の材齢まで封緘養生		
	・水セメント比	60%		
	・スランプ	18.0 ± 1.5cm		
	・乾燥期間	4 週		
	【要因】	・乾燥開始材齢	2 水準	3 日，7 日
		・乾燥条件	2 水準	温度 20 湿度 35%RH
				温度 20 湿度 65%RH

図 8.4，図 8.5 より、乾燥開始材齢については 3 日，7 日とでは約 1mm の差、湿度 35%RH の条件では、65%RH に比べ平均的に約 2mm 中性化深さが大きくなっている。このことより、セメントの種類、初期の乾燥条件（材齢，湿度）は、中性化深さに影響を及ぼす可能性が確認された。

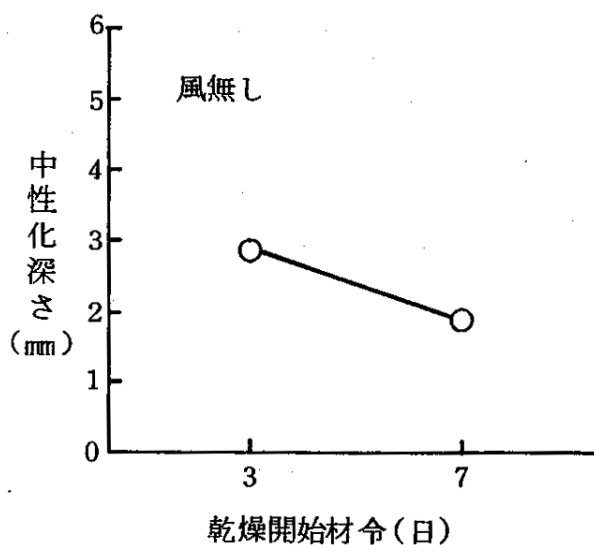


図 8.4 乾燥開始材齢と中性化深さ

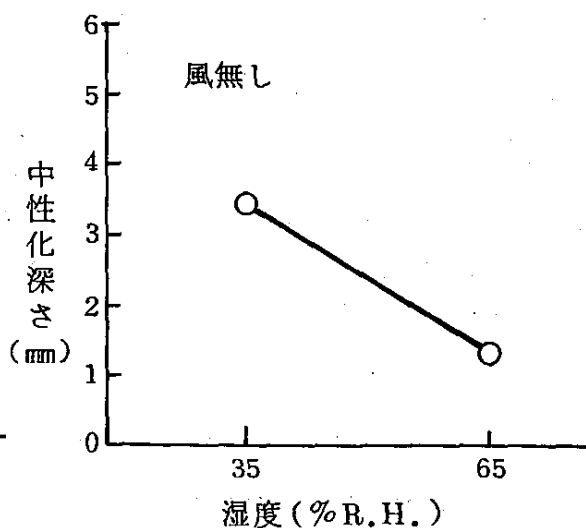


図 8.5 相対湿度と中性化深さ

8.2 長期暴露

F-48	海砂の塩分含有量とコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究 材齢 20年最終報告	1998年
------	---	-------

F-48 では、海砂の塩分含有量がコンクリート中の鉄筋の発錆に与える影響を評価するために、20年の長期暴露試験を行い報告している。

【試験条件】	JIS A 1152「コンクリートの中酸化深さ測定方法」と同等の試験		
	・養生条件	所定の期間，濡れむしろをかけて養生	
	・試験材齢	5年，10年，20年	
	【要因】	・暴露環境	9箇所 東京（屋内，屋外），久里浜（海浜，感潮，海中） 酒田（感潮，海中），鹿児島（感潮，海中）
		・セメントの種類	4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 BB：高炉セメントB種
	・水セメント比	41.0%～74.4%	
	・海砂の塩分含有量	0.00，0.01，0.05，0.10，0.20，0.40%	

暴露したコンクリートの中酸化深さに関して、材齢との関係を図 8.6 に水セメント比との関係を図 8.7 に示す。暴露環境によって中酸化の進行が異なり、東京屋外、久里浜海浜では材齢 5 年以降の中酸化の進行がほとんど見られない。一方、東京屋内では中酸化深さが進行しており、その進行速度は JASS5 の計算式と同様の傾向であった。水セメント比との関係においても、屋内と屋外で異なる傾向が認められたが、何れも良い相関であった。なお、海砂の塩分含有量が中酸化深さに及ぼす影響は認められなかった。

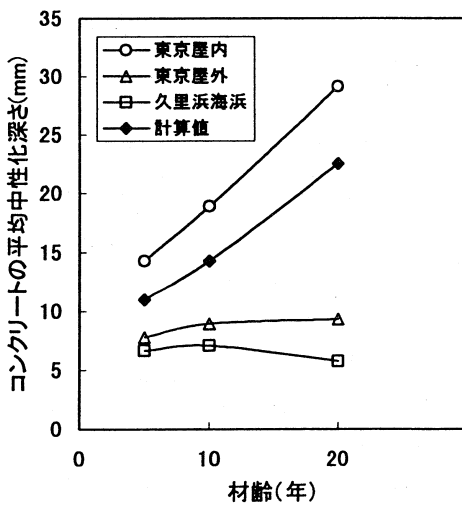


図 8.6 中酸化深さと材齢

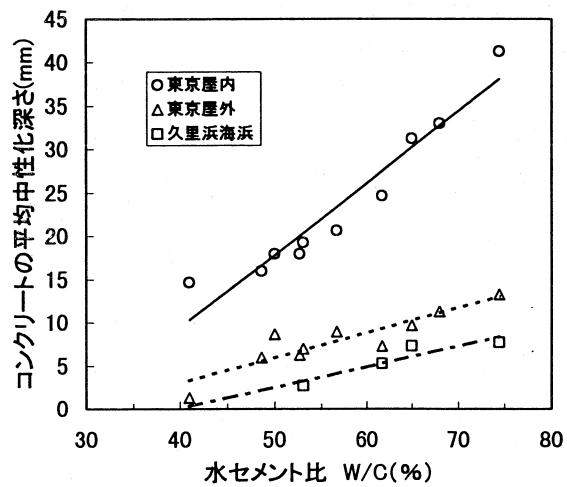


図 8.7 水セメント比と中酸化深さ (暴露材齢 20 年)

F-56	各種低発熱セメントを用いたコンクリートの海洋環境下での鉄筋の腐食に関する研究 材齢 10 年最終報告	2010 年
------	--	--------

F-56 では、各種低発熱セメントを用いたコンクリートの鉄筋腐食抵抗性を評価するために、10 年の長期暴露試験を行い報告している。

}	【試験条件】 JIS A 1152「コンクリートの中性化深さ測定方法」と同等の試験	・試験材齢	5 年, 10 年
	【要因】	・暴露環境	4 箇所 酒田感潮, 久里浜感潮, 久里浜海浜, 東京屋上
	・セメントの種類	10 種類	NC : 普通ポルトランドセメント
	MC : 中庸熱ポルトランドセメント	LC : 低熱ポルトランドセメント	NBB : 高炉スラグ微粉末 50% 混合 (NC ベース)
	MBB : 高炉スラグ微粉末 50% 混合 (MC ベース)	LBB : 高炉スラグ微粉末 50% 混合 (LC ベース)	FC : フライアッシュ II 種 30% 混合 (NC ベース)
	FCN : フライアッシュ III 種 30% 混合 (NC ベース)	LP : 石灰石微粉末 30% 混合 (NC ベース)	NBF : フライアッシュ混合高炉セメント
	・水セメント比	3 水準	40%, 50%, 60%
	・養生期間	2 種類	28 日, 91 日

水結合材比 50 % , 前養生期間 28 日における材齢と中性化深さの関係を図 8.8 に示す。中性化深さは、いずれのセメントについても、東京屋外部 > 久里浜海浜部 > 酒田感潮部 > 久里浜感潮部の順になった。感潮暴露では、海水中に浸漬されるため、ほとんど中性化は認められなかった。東京屋外部の方が久里浜海浜部より中性化深さが大きくなった理由としては、東京の年平均相対湿度が約 60 % に対して久里浜の年平均相対湿度が約 79 % であり、東京屋外部の方が乾燥していること、久里浜海浜部では水分を含んだ飛来塩化物が供試体表面部へ付着することで炭酸ガスの侵入が抑制されたこと等によると考えられる。全般に、材齢の平方根と中性化深さの関係は比例関係を示したが、東京屋外部において高炉スラグセメント系では、材齢 5 年から 10 年にかけての中性化深さの増加量が、材齢 5 年までの増加量に比べ大幅に大きくなった。

ポルトランドセメント系で比較した場合、中性化深さは、NC が最も小さくなったものの、その差は 1mm 程度であり、セメント種類間で大差がないと判断される。ポルトランドセメント系と混合セメント系を比較した場合、混合セメント系の方が中性化深さは大きくなった。この理由としては、ポルトランドセメント量の減少により水酸化カルシウムの生成量が減少したことや高炉スラグやフライアッシュの水和反応により水酸化カルシウムが消費されたこと等によるものと考えられる。

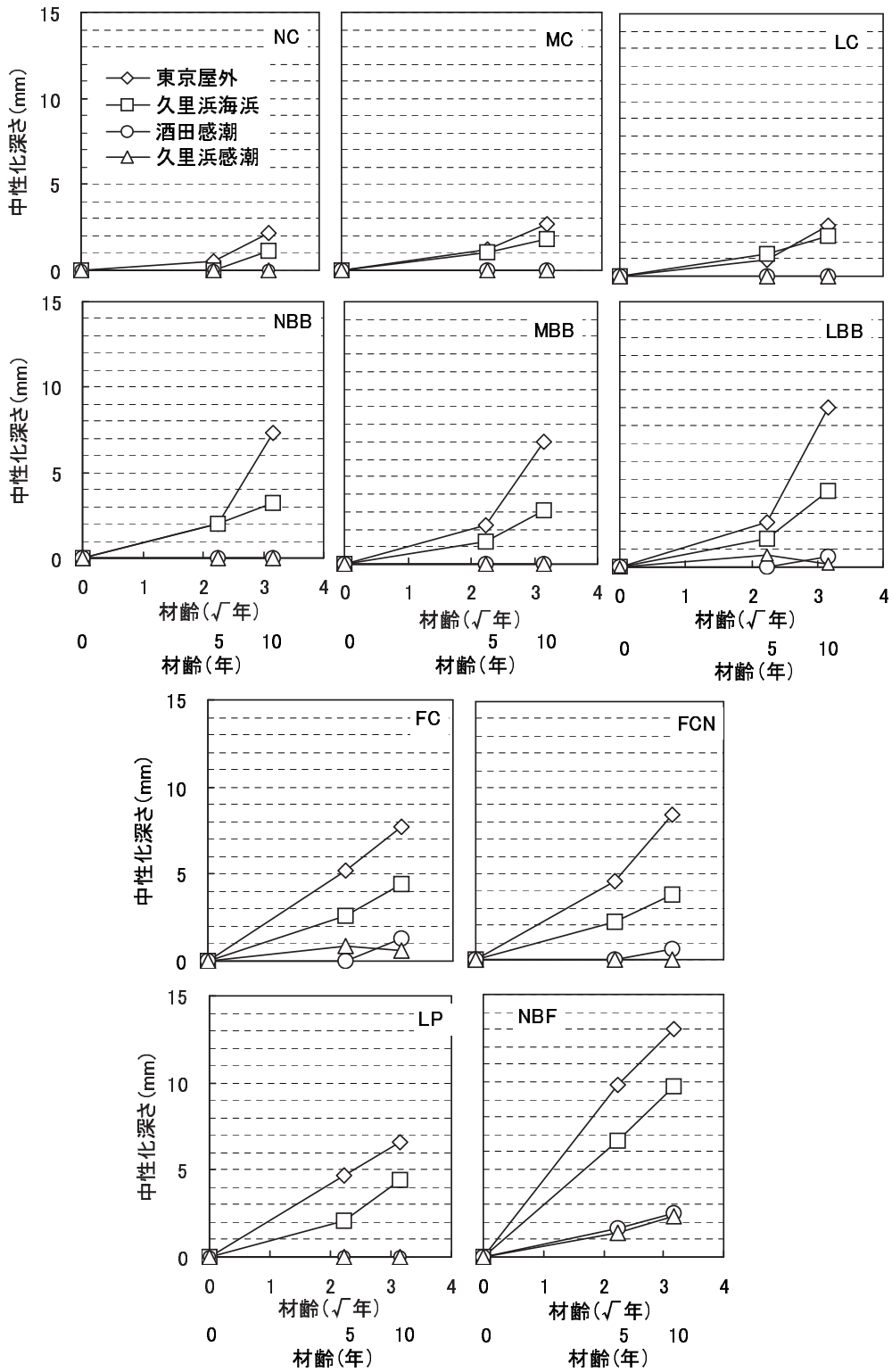


図 8.8 材齢と中性化深さ (水結合材比 50 % , 前養生期間 28 日)