

各種要因がひび割れを有するモルタルの透水性に及ぼす影響

鹿島建設（株） 正会員 ○関 健吾 正会員 取達 剛
正会員 高柳 達徳 正会員 横関 康祐

1. はじめに

コンクリート構造物において、水密性とひび割れの関係は、作用断面力の種類、ひび割れ幅、動水勾配、ひび割れ性状およびコンクリートの配合・材齢等により異なるとされている¹⁾が、これらについて検討した事例は少ないのが現状である。そこで本研究では、水密性とひび割れの関係把握を目的とし、結合材種類、初期ひび割れ幅および水頭差を要因として、これらがひび割れを有するモルタル試験体の透水性に及ぼす影響を評価した。

2. モルタルの作製

使用材料およびモルタル配合をそれぞれ表-1および表-2に示す。結合材種類は普通ポルトランドセメント（以下、N）、高炉セメント B 種（以下、BB）、低発熱・収縮抑制型高炉セメント（以下、MKC）、低熱ポルトランドセメントにフライアッシュⅡ種を 30%置換したもの（以下、L+FA）の 4 水準とし、水結合材比は 45%で一定とした。いずれの配合においても化学混和剤は使用していない。供試体の寸法はφ5×10cm とし、打込み時にひび割れ導入用の切り欠きを設けた。材齢 1 日で脱型し、長期間の養生によって完全水合した場合を模擬するため、材齢 56 日まで 40℃水中養生を実施した。養生終了時の圧縮強度試験結果を表-2に併記する。材齢 56 日における圧縮強度は、N、BB および L+FA は同程度であったが MKC のみ低くなった。

3. 透水試験概要

試験ケースを表-3に示す。所定の養生を終えた供試体を高さ 80mm となるようカットしたのち、模擬貫通ひび割れを導入した。模擬ひび割れの導入は、まず供試体の切り欠き部に三角エッジを当てて供試体を割裂し、その後マイクロスコープで観察しながら結束線にて所定のひび割れ幅（0.10、0.20 および 0.40mm）となるよう固定した。上下流面で各 20 点ずつ測定した初期ひび割れ幅の平均値を表-3に併記する。透水試験治具の寸法はφ7.5×8cm とし、治具と供試体との間隙にはエポキシ樹脂を充填した。透水試験はアウトプット法とし、水頭差は 0.5m および 1.0m の 2 水準とした。作用水は水道水とし、ひび割れ内部に気泡が残存するのを防ぐため下面から作用させた。透水試験の概要を図-1に示す。1~2 回/日の頻度で 1 分間の流量を計測し、式（1）によりひび割れを含む見掛けの透水係数を算出した。なお、透水試験はそれぞれのケースについて 2 体ずつ実施し、見掛けの透水係数は 2 体の平均値を用いた。

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	水道水
セメント C	N	普通ポルトランドセメント，密度 3.15g/cm ³
	BB	高炉セメント B 種，密度 3.04g/cm ³
	MKC	低発熱・収縮抑制型高炉セメント，密度 2.98g/cm ³
	L	低熱ポルトランドセメント，密度 3.22g/cm ³
混和材	FA	フライアッシュⅡ種，密度 2.20g/cm ³
細骨材	S	砕砂，密度 2.65g/cm ³

表-2 モルタル配合

結合材 種類	W/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)				材齢 56 日 圧縮強度 (N/mm ²)
			W	B		S	
				C	FA		
N	45.0	2.5 ±1	270	600	0	1244	93.1
BB						1226	92.2
MKC						1215	68.0
L+FA				420	180	1187	85.4

表-3 試験ケース

結合材 種類	初期ひび割れ幅 (mm)		水頭差 (m)
	設定値	実測値平均	
N	0.10	0.09	0.5
	0.20	0.19	
			0.20
		0.40	0.40
BB	0.10	0.10	
MKC		0.10	
L+FA		0.09	

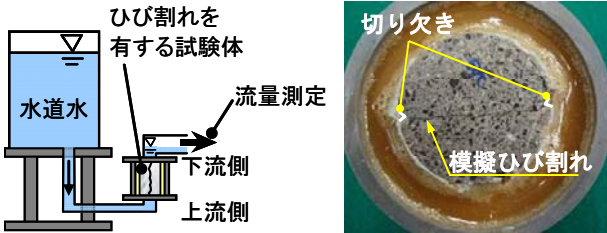


図-1 透水試験概要

キーワード ひび割れ，透水，溶脱，沈殿，耐久性

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設（株）技術研究所 TEL.042-489-6761

$$K' = \rho \cdot \frac{h}{P} \cdot \frac{Q}{A} \quad (1)$$

ここに、 K' ：見掛けの透水係数 (m/s)、 ρ ：水の密度 (kg/m^3)、 h ：試験体の高さ (m)、 P ：水圧 (kg/m^2)、 Q ：流量 (m^3/s)、 A ：試験体の断面積 (m^2)

4. 試験結果

4. 1 結合材種類の影響

図-2に初期ひび割れ幅が0.10mmで水頭差が0.5mの場合の見掛けの透水係数を結合材種類ごとに示す。経過日数の増加に伴いNは見掛けの透水係数が低下した。これは、ひび割れ部の通水に伴って $\text{Ca}(\text{OH})_2$ から溶脱した Ca^{2+} と水道水に含まれる HCO_3^- や Cl^- が反応して CaCO_3 や CaCl_2 として沈殿し、ひび割れ幅が縮小したためと考えられる²⁾。また、Nは経過日数80日程度において、見掛けの透水係数が一度増加した。これは、試験中断時にひび割れ内に滞留していた沈殿物等が、試験再開時の再加圧に伴い流出したためと考えられる。一方、混合セメントであるBBおよびL+FAは見掛けの透水係数がほとんど変化しなかった。これは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が少ないため Ca^{2+} の溶脱量が少なく、二次鉱物の沈殿量も少なかったためと推察される。混合セメントでも、MKCは見掛けの透水係数が徐々に低下した。MKCは粉末度の小さい高炉スラグ微粉末を多く含むため他の結合材より反応が遅く、未反応の高炉スラグ微粉末が残存していた可能性がある。そのため試験中も反応が継続し、ひび割れ幅が縮小したものと推察される。

4. 2 初期ひび割れ幅の影響

図-3に結合材種類がNで水頭差が0.5mの場合の見掛けの透水係数を初期ひび割れ幅ごとに示す。いずれのケースにおいても、経過日数の増加に伴い見掛けの透水係数が低下し、特に初期ひび割れ幅0.10mmの場合はその傾向が顕著であった。本研究では水頭差を一定としており、各ケースにおける通水量が異なるため同一条件での評価はできないが、ひび割れ幅が0.10mm程度であれば、早期に見掛けの透水係数の低下が生じる可能性が示唆された。

4. 3 水頭差の影響

図-4に結合材種類がNで初期ひび割れ幅が0.20mmの場合の見掛けの透水係数を水頭差ごとに示す。水頭差によらず、試験開始直後の見掛けの透水係数はほぼ同じであり、その後の変化も同程度である。ここで、透水試験開始時と380日経過後のひび割れ幅を表-4に示す。水頭差0.5mの場合はひび割れ幅が若干縮小しており、やや沈殿傾向にある。一方で、1.0mの場合は上流側ではひび割れ幅が縮小していることから沈殿傾向にあり、下流側ではひび割れ幅が増大していることから溶出傾向にある。すなわち、ひび割れ部ではひび割れ深さや通水量などの影響により、 Ca^{2+} の溶脱と沈殿が同時に生じてひび割れ幅が変化することが分かった。

参考文献

- 1) 土木学会：平成8年制定コンクリート標準示方書改訂資料，pp.20-22，1996.2.
- 2) 日本コンクリート工学協会：セメント系材料の自己修復性の評価とその利用法研究専門委員会報告書，p.11，pp.16-17，2009.3.

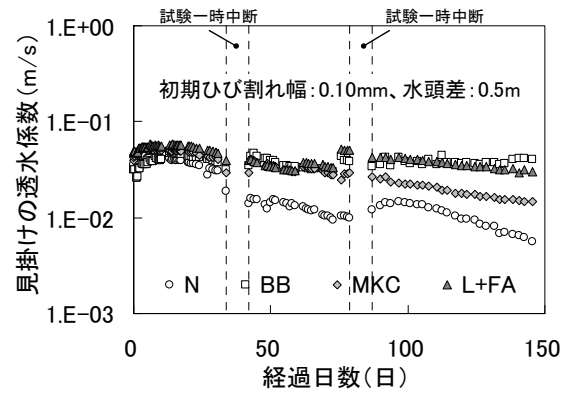


図-2 結合材種類の影響

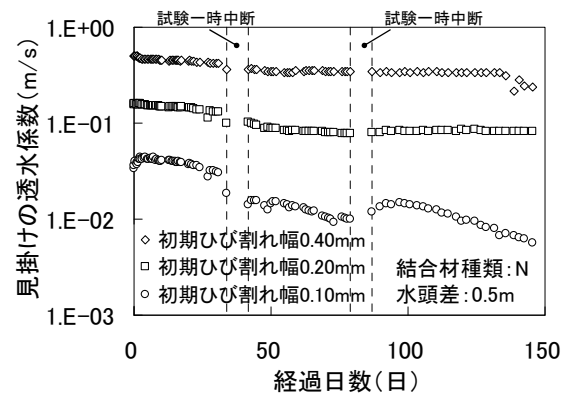


図-3 初期ひび割れ幅の影響

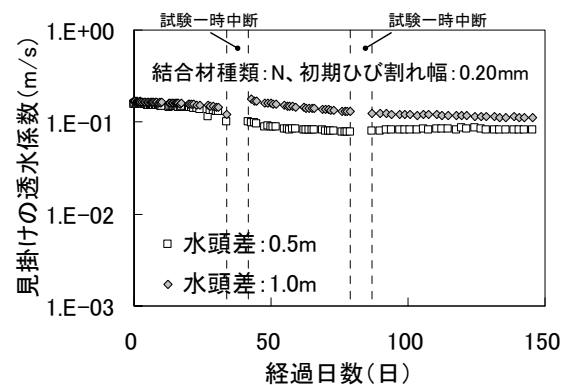


図-4 水頭差の影響

表-4 ひび割れ幅の比較

結合材 種類	水頭差 (m)	ひび割れ幅 (mm)				
		設定	開始時		380 日後	
			上流	下流	上流	下流
N	0.5	0.20	0.19	0.19	0.19	0.17
	1.0		0.19	0.21	0.16	0.28

ここで、透水試験開始時と380日経過後のひび割れ幅を表-4に示す。水頭差0.5mの場合はひび割れ幅が若干縮小しており、やや沈殿傾向にある。一方で、1.0mの場合は上流側ではひび割れ幅が縮小していることから沈殿傾向にあり、下流側ではひび割れ幅が増大していることから溶出傾向にある。すなわち、ひび割れ部ではひび割れ深さや通水量などの影響により、 Ca^{2+} の溶脱と沈殿が同時に生じてひび割れ幅が変化することが分かった。