コンクリートの乾燥収縮に及ぼす細孔構造の影響

(株）中外テクノス　正会員　阪本 健一
東京都立大学大学院　学生会員　郭 度連、正会員　宇治公隆、フェロー　國府勝郎

1. はじめに

コンクリートは異質材料による複合体であり、これを結合するマトリックスの組織が時間とともに変化するという特異な性質を持っている。そのためコンクリートの内部構造とその性質との関係はまだ十分明らかにされていない。コンクリートは外気にさらされ、乾燥を受けることにより収縮を生じる。コンクリートの引張強度は小さいため、生じた収縮ひずみが拘束されると構造物にひび割れが発生する。また、収縮ひずみは400～1000×10^{-6}と大きく、構造設計上無視できないばかりでなく、生じたひび割れは、コンクリートの劣化の重大な原因となっている。そこで本研究では、コンクリートにとっては避けられない乾燥収縮を、細孔構造に着目して検討した。

2. 実験概要

（1）配合

普通ポルトランドセメント(OPC)、早強ポルトランドセメント(HPC)、高炉セメント(BFS、置換率50%)を使用した。W / Bを50%、単位水量を一定とし、表－1に示す配合で実験を行った。

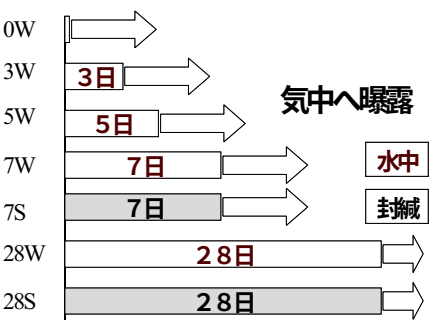
表－1　示方配合

	W/B (%)	s/a(%)	単位量 (kg/m^3)				
			W	C	BFS*	S	G
OPC	50	44.2	171	342	0	785	999
HPC	50	44.2	171	342	0	784	998
BFS	50	44.2	171	171	171	780	992

＊BFS：高炉スラグ微粉末（ブレーン値4000cc/g）

（2）養生条件

図－1に示すように所定の期間水中養生した後、気中に曝露した。OPCは7パターン、HPC、BFSは3W、7W、28Wの3パターンとし、計13種類の条件で試験した。気中曝露の条件は、20℃、60%RHの恒温恒湿室である。



図－1　養生条件

（3）実験方法

a) 乾燥収縮

角柱供試体（10×10×40cm)の端面に測定用チップを埋め込んで成形し、所定の材齢で長さと質量の変化を計測した。なお、長さ変化率を収縮ひずみ、質量変化率を水分蒸発率とした。

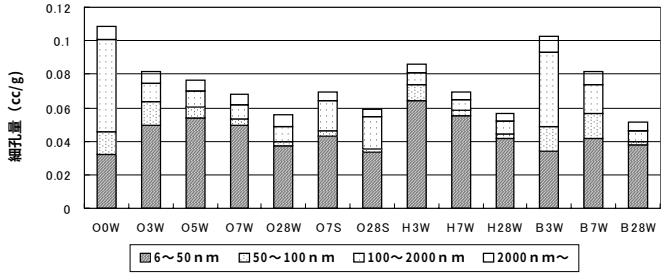
b) 細孔径分布

コンクリート中の細孔径分布は、供試体表面からの深さによって変化するが、本実験では気中曝露時のコンクリート断面の平均的な細孔構造に着目し、供試体端部から7cm程度の位置から幅1cmでドライカッティングした平板（10×10×1cm)を破砕して得たモルタル塊を水銀圧入式ポアサイザーの試料とした。

3. 結果および考察

（1）細孔径分布

図－2より、水中養生期間が長いほど総細孔量が減少し、特に50nm以上の空隙が減り50nm以下の空隙が増えることで組織の緻密化が進行しているのが分かる。HPCは50nm以上の空隙が養生3日から28日養生までほとんど変わらないが、BFSは大きく変化している。

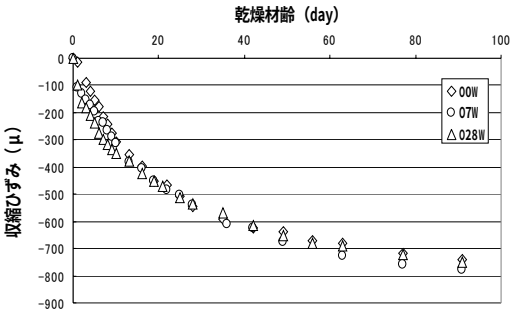


図－2 養生条件による細孔量の変化

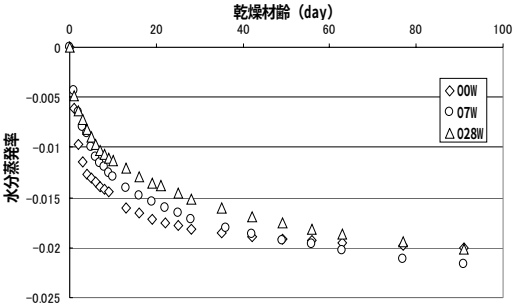
キーワード：細孔構造、乾燥収縮、養生条件、セメント種類
連絡先：〒192-0397　東京都八王子市南大沢1-1　Tel 0426-77-1111 Fax 0426-77-2772

（2）乾燥収縮

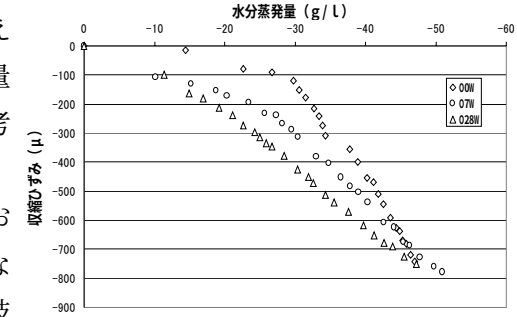
図－3、4に養生期間の異なる収縮ひずみと水分蒸発率を示す。若干、初期材齢でO28Wの収縮が大きい傾向にあるが、水中養生期間による乾燥収縮の差はあまり無い。水分蒸発率は、図－4に示すように養生期間が短いほど大きい傾向がある。これは骨材がマトリックスの収縮を拘束していることの他に、細孔組織中の水分が逸散した空隙の大きさが相違しているためと考えられる。これらを考察するため、供試体1リットル中の水分蒸発量と収縮ひずみの関係を図－5に示す。この図より水中養生期間が長いほど、水分蒸発量に対する収縮ひずみが大きくなっていることが分かる。また、100μ程度までの収縮とそれ以降の収縮の二直線で表されていることが分かる。100μまでの収縮は、比較的大きな細孔からの水分の蒸発と考えられ、水分蒸発に伴う収縮への影響は小さいと考えられる。特に乾燥初期の傾きが緩やかなO0Wは、図－2に示したように大きな空隙が多いことが理由と考えられる。その後の収縮はより小さな細孔からの蒸発によると考えられ、養生期間が長く、組織が緻密化しているものの方が水分蒸発に伴う収縮の程度は大きくなるものと考えられる。また、水中養生による含水率の増加が無いO0Wは、蒸発量も少なく強度も小さいためこのような傾きの大きい直線を描いたと考えられる。



図－3　養生期間による収縮ひずみ



図－4　養生期間による水分蒸発率



図－5　水分蒸発量に対する収縮ひずみ

なお、封緘養生のコンクリートを除く、全ての供試体のグラフにおいても同様に折れ曲がるため、傾きが変化する分岐点が収縮に大きな影響を与え始める空隙からの蒸発であると考え、近似式をもって分岐点の蒸発量を算出した。蒸発量をモルタル質量で除して求めた、モルタル1ｇあたりの蒸発量を単位蒸発量(cc/g)とし、水分は大きな径から蒸発していくと仮定し、単位蒸発量を細孔径の累積分布の細孔量と同等と考えて、その細孔量と一致する直径を細孔径分布のデータから読み取った。結果は表-2のとおりとなった。これらのコンクリートの細孔は全て水分で満たされていると考えているため、水中養生期間が短いコンクリートの信頼性は低いが、充分な水中養生を行ったコンクリート、また水和の進行が早く、組織がほぼ完成されているとみなせるコンクリートにおいてはある程度、乾燥収縮に影響を与える細孔径が分かると思われる。

表－2　各供試体の収縮に影響を与える細孔直径

供試体	蒸発量(g)	単位蒸発量(cc/g)	直径(nm)
O0W	117.70	0.0173316	470
O3W	93.50	0.0169627	111
O5W	112.58	0.0204238	79.4
O7W	109.20	0.0200839	48.7
O28W	76.99	0.0142346	170.8
H3W	127.98	0.0231681	47.8
H7W	112.19	0.0200673	36.9
H28W	103.40	0.0186174	35.3
B3W	173.39	0.0313551	238
B7W	124.44	0.0228672	120.4
B28W	65.53	0.0118438	96.5

5日以上の水中養生を行ったコンクリートのうち、O28Wを除いた細孔直径をみるとOPCは50～80nm、HPCは35nm程度、BFSは100～120nmの範囲にある。乾燥収縮に強い影響を及ぼす水分蒸発は、セメントの種類により大きく異なるが、35～120nm程度以下の空隙において生じていると推察される。

4. まとめ

（1）　異なる細孔構造を持つコンクリートは、同じ蒸発率であっても乾燥収縮に違いが生じる。

（2）　養生条件によって、乾燥収縮量に大きな差は無かったが、水分蒸発量に対する収縮量は変化を示し、その細孔組織のうち顕著に乾燥に影響を与えるのは、主に相対的に小さな空隙といえる。

(3)　水和進行の早いコンクリート、あるいは充分な水中養生により組織が完成されたとみなせるコンクリートにおいて、収縮に影響を及ぼすのはセメントの種類によって異なる。