養生および気候条件が圧縮強度と透気性に及ぼす影響に関する実験的検討

芝浦工業大学　学生会員　○水上　翔太
東京大学生産技術研究所　正会員　西村　次男
東京大学生産技術研究所　正会員　加藤　佳孝
芝浦工業大学　正会員　勝木　太

1. はじめに

構造体コンクリートの品質が，施工プロセスの影響を大きく受けることは周知の事実であり，耐久性への影響因子を体系的に把握し，施工プロセス検査の充実を図ることが早急に必要である[1)].

本研究では，構造体コンクリートの品質検査体制の確立を目指し，その基礎検討として，コンクリートの受入れ検査について検討した．受入れ時に行われる代表的な検査に，圧縮強度試験がある．圧縮強度試験は，強度の検査に加えて耐久性を評価するための代替指標としても用いられているが，養生方法等の変化によって圧縮強度の変化に比べ，表層コンクリートの物質移動抵抗性は大きく変化すると報告されている[2)]．本研究では，養生環境の変化がコンクリートの平均的な透気性に及ぼす影響を確認し，圧縮強度との比較検討を行うことにより，圧縮強度試験を中心とした受入れ検査体制における問題点を，物質移動抵抗性の観点から把握することを目的とした．

2. 実験概要

表－1 に配合条件を示す．養生環境の変化については，打設時期を夏期（7 月）・秋期（9 月）・冬期（12 月）とし，屋外養生することで気候の影響を受けるよう配慮した．気象情報は気象庁ホームページを参考とし，日中平均気温は夏→秋→冬の順に高く，降水量は秋→夏→冬の順に多いことが分かった．使用材料は打設 24 時間前に 20℃に保たれた部屋に準備し，練混ぜ時には気候の影響を受けないよう配慮した．なお供試体寸法は φ100×200mm である．

養生は，水中，湿潤＋気中，気中の 3 種類とした．養生期間は，いずれの場合も 28 日間とした．湿潤養生は，コンクリート標準示方書[施工編][3)]に基づき，養生期間の日中平均気温によって決定した．養生終了後，供試体中央部分を厚さ 40mm となるよう射水式カッターで切断し，炉乾燥（40℃）にて脱水した．測定時は成形した供試体をゴムシリンダーにはめ込み，透気セルに設置した．その後透気セルに圧縮空気（20℃）を注入し，供試体内部を透過した空気流量が定常となったことを確認したうえで，水上置換法により透気量を測定した．透気係数は測定した透気量から，式(1)より求めた[4)]．また，養生環境が透気性に及ぼす影響度を圧縮強度と比較するために，透気試験用供試体と同じ条件で作製した供試体を用い，圧縮強度も求めた．

$$K = \frac{2rLP_2Q}{A(P_1^2 - P_2^2)} \quad (1)$$

ここに，K：透気係数(m/s)，P_1：載荷圧力(N/m^2)，P_2：大気圧(N/m^2)，L：供試体の厚さ(m)，Q：透気量(m^3/s)，A：透気面積(m^2)，r：空気の単位体積質量(=11.81(N/m^3))

3. 実験結果

(1) 透気係数及び圧縮強度の算出

透気係数および圧縮強度は，同一条件の供試体 3 本を測定し，その平均値を結果として示している．

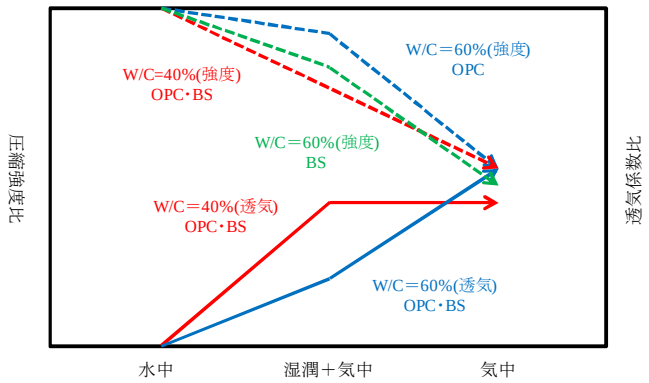
OPC および BS ともに，水セメント比の増加に伴い，圧縮強度は減少傾向にある．また，養生方法が水中，湿潤＋気中，気中の順に減少する傾向が確認できる．これに対して透気係数は，前述した条件に伴い増加する傾向がある．すなわち，強度とは負の相関関係にある．また，圧縮強度の変化率に比べ，透気係数の変化率が非常に大きいことが確認できた．

以上の傾向は，岡崎ら[2)]によって表層コンクリート品

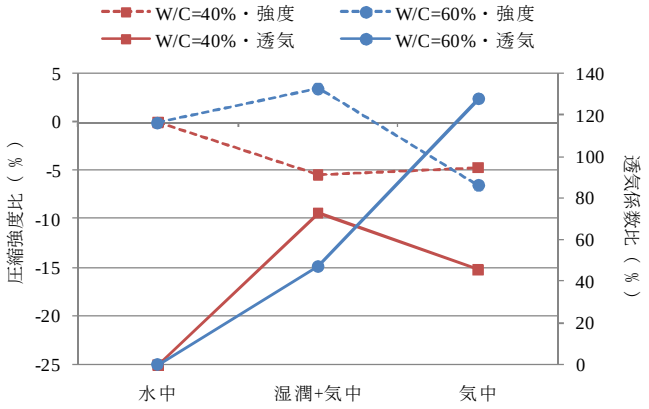
表－1　配合条件

配合記号	W/C (%)	s/a (%)	スラグ置換率 (%)	単位量(kg/m^3) W	C	BS	S	G	AE剤	AE減水剤
OPC	40	41	－	179	448	－	667	986	C*0.01%	C*0.25%
	50	43	－	171	342	－	746	1015		
	60	45	－	171	285	－	804	1007		
BS	40	41	45	179	246	202	661	977	(C+BS)* 0.01%	(C+BS)* 0.25%
	50	43	45	171	188	154	742	1010		
	60	45	45	171	157	128	799	1002		

キーワード　受入れ検査，気象条件，透気係数，圧縮強度
連絡先　〒135-8548　東京都江東区豊洲3-7-5　芝浦工業大学コンクリート構造研究室　TEL03-5859-8359



図－1　養生条件が圧縮強度および透気係数に及ぼす影響の概念図



図－2　圧縮強度比および透気係数比の関係（秋期・OPC）

質について確認されていたが，本試験で検討した平均的な透気性についても，同様の傾向を確認することができた．

(2) 気象条件と試験結果から得られた考察

各養生時期において得られた試験結果について，水中養生を基準とした変化比率で表した場合，得られた全体的な傾向を概念図として図－1 に示す．高 W/C の場合には，養生条件が水中→湿潤+気中→気中の順に圧縮強度が低下するのに伴い，透気係数は増加するが，低 W/C の場合には，圧縮強度は同様の傾向を示すが，透気係数は湿潤+気中→気中における変化が確認できなかった．

一般的に，強度は水和率や空隙量に依存するのに対して，透気性は空隙径や空隙ネットワーク等との相関性がある．すなわち，セメントの水和率を把握するためには強度に着目し，空隙構造の緻密さを把握するためには透気性に着目するのが良い．

しかし低 W/C の場合には，配合上セメントの水和反応に対する水量が少ないために，高 W/C と同期間の湿潤養生では水和率は低く，空隙は緻密に形成されにくいと考えられる．一方，供試体内部に未水和セメント粒子が多く残ったことにより物質移動性が妨げられたために，結果として透気性については湿潤＋気中→気中における変化が確認できなかったのではないかと推察される．すなわち，低 W/C の場合には，透気性と空隙径や空隙ネットワークとの相関性は失われている可能性があることが分かった．

更に気象条件による影響を考慮すると，夏期と冬期の場合には養生条件が水中→湿潤+気中→気中の順に供給水分量が減少するため，前述した傾向と同様の傾向を示した．一方，秋期の低 W/C の場合，湿潤+気中→気中において，透気係数，圧縮強度共に変化が確認できなかった（図－2 参照）．W/C=40%，60%の場合，水中に対して湿潤+気中は，透気係数は各々50%，70%程度高いが，他の時期と比較すると非常に低い変化率である．圧縮強度においても，W/C=40%の場合，5%程度の低下にとどまっている．湿潤+気中に対しての変化率も同様で，特に W/C=40%の透気係数においてはほとんど変化していないことから，秋期は気温が比較的高いことと，降水量が多かったため，気中養生が湿潤養生と同等の効果をもたらしたと考えられる．

4. まとめ

水セメント比および養生方法が，圧縮強度および透気性状に影響を及ぼすことを確認できた．実環境下においては，養生方法および気象条件による影響が大きく，さらにその影響の仕方は配合によっても大きく異なることが確認できた．また，両試験によって示される傾向は必ずしも一致せず，圧縮強度のみを耐久性の代替指標として用いることが困難であることが明らかとなった．

今後，環境条件の変化に伴い，物質移動抵抗性を定量的に把握できるよう，他の時期における養生も実施する必要がある．

参考文献

1) 山崎啓司，加藤佳孝：社会基盤構造物の品質確保を目指した検査システムの提案について，生産研究，60 巻 3 号，pp.12-15，2008
2) 岡崎ほか：養生が強度と物質移動抵抗性に及ぼす影響感度の相違に関する研究，セメント・コンクリート論文集，N60，pp.227-234，2006
3) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，pp.122-124，2007
4) 氏家勲，長瀧重義：コンクリートの透気性の定量的評価に関する研究，土木学会論文集，No.396/V-9，pp.79-87，1988.8