

15.3 性能規定に対応したコンクリート構造物の施工品質管理・検査に関する研究(2)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 26

担当チーム：寒地保全技術研究グループ（耐寒材料）、
技術開発調整監付（寒地技術推進室）

研究担当者：田口史雄、島多昭典、三原慎弘、嶋田久俊、
内藤 勲、吉田 行、遠藤裕丈、水田真紀
川村浩二、村中智幸、渡辺淳、鈴木哲

【要旨】

本研究は、性能規定に対応した各種性能を長期に亘り保持する品質を確保するため、受け取り時に評価する検査方法と適切な施工標準を確立するものである。更にそれらの技術を活用し、現場での新技術の活用促進および構造物の品質向上を図ることで、長寿化およびライフサイクルコストの縮減に寄与するものである。平成 25 年度は、性能規定に対応した施工マニュアル（受取検査、打設・養生方法など）の提案の一環として実施した寒冷地での適切な養生方法の検討については、材齢初期の凍害を防止するための適切な養生条件や各種養生方法の効果に関する検討を行った。また、出来上がりコンクリートの品質評価システムの提案に向け実施した品質検査技術の検討については、超音波伝播速度測定、透気試験および電気抵抗率測定の適用性に関する検討を行った。その結果、湿潤養生後のコンクリートの含水率を低下させることでスケーリング劣化は減少すること、および型枠存置期間の延長や保水養生テープにより、強度や耐久性が向上することを確認した。なお、その効果はセメントの種類や含水率により異なることも明らかになった。また、超音波伝播速度はコンクリートの細孔量と相関があり品質評価が可能と考えられるが、含水率の影響や測定精度についてさらに検討する必要がある。

キーワード：性能規定、施工、品質管理、検査、養生

1. はじめに

現状のコンクリート構造物の検査は、各施工段階における材料やコンクリートの検査と、受け取り時には、出来型、表面の目視検査や強度試験等が行われているが、出来上がりコンクリートそのものの耐久性等の各種性能を直接的に検査する方法は確立されていない。一方、コンクリート構造物への要求性能の多様化に伴い、打込み、締固め、養生等の施工に起因したコンクリートの不具合に関する現場技術相談が非常に多い。このため、受け取り検査時の各種性能を担保した品質検査等の充実や性能規定に対応した多様なコンクリートへの施工標準（養生方法等）の確立が強く求められている。

本研究では、竣工時における出来上がりコンクリートの耐久性等の品質を適切に検査できる検査方法を含めた品質評価システムの提案とともに、品質を確保するための施工性、施工方法、養生方法等に関する施工マニュアルを提案することを目的としている。耐寒材料チームでは、平成 25 年度は、性能規定に対応した施工マニュアルの提案に向けて、材齢初期の凍害を防

止するための適切な養生条件や各種養生方法の効果について検討を行った。また、出来上がりコンクリートの品質評価システムの提案に向けた品質検査の検討として、超音波伝播速度測定、透気試験および電気抵抗率測定の適用性など品質検査技術に関する検討を行った。なお、品質検査技術の適用性については、種々の養生条件により異なる耐久性等の品質と、各種品質検査方法の測定値との比較により判断する必要があること、一体となって論じる必要があることから、本報告書では、それらを関連づけた記述としている。

2. コンクリートの配合と使用材料

試験で使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。配合条件は過年度と同様とし、水セメント比は 50% の 1

表-1 コンクリートの配合

記号	セメントの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE剤 (C×%)
				W	C	S	G	
N	NP	50	44	145	290	843	1074	0.0038
B	BB					840	1070	0.0050

水準、セメントは、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³、比表面積 3,320cm²/g、以下、普通セメント（NP）と記述）と高炉セメント B 種（密度 3.05g/cm³、比表面積 3,890cm²/g、以下、高炉セメント（BB）と記述）の 2 種類を用いた。細骨材は、苫小樽産の除塩された海砂（密度 2.67g/cm³、吸水率 0.87%、粗粒率 2.85）を、粗骨材は、小樽見晴産砕石（密度 2.67g/cm³、吸水率 1.54%、粗骨材最大寸法 25mm）を用いた。また、スランプと空気量を調整するために、AE 減水剤（リグニンスルホン酸塩系）と AE 剤（樹脂酸塩系）を用いた。目標スランプおよび目標空気量は、土木構造物で一般的な 8cm±2.5cm、4.5±1.0%とした。なお、実測のスランプおよび空気量の平均値は、N はスランプ 9.3cm、空気量 5.2%、B はスランプ 8.5cm、空気量 4.8%だった。

3. 適切な養生条件に関する検討

過年度までの研究により、材齢初期の湿潤養生期間が長く、養生温度が高いほど圧縮強度は増加し、中性化に対する抵抗性や塩化物イオンの浸透抵抗性も向上することを確認している。一方、凍結融解抵抗性についても、基本的には湿潤養生期間が長いほど凍結融解抵抗性は向上するものの、コンクリートの含水率の影響を大きく受け、湿潤養生後にある程度乾燥を与えてから凍結融解作用を与えた場合、特にスケーリングが大きく減少することを確認している。このため、本研究では、一定期間の湿潤養生の後、供試体に乾燥を与える期間を変化させた供試体についてスケーリング試験を行い、材齢初期の凍害を防止するための養生条件について検討した。

3.1 養生条件と供試体の概要

表-2 にコンクリートの養生条件とスケーリング試験の開始材齢を示す。養生条件の基本として、養生温度は一般的な 20℃と低温養生を想定した 5℃の 2 水準を考慮し、材齢初期の湿潤養生期間は、コンクリート標準示方書施工編に示されている湿潤養生期間の標準¹⁾を考慮して、セメントの種類と養生温度の組合せに応じて 3、5、7、9、12 日からそれぞれ選定した。湿潤養生終了後は、5、10、15 日の 3 期間気中養生を行った後スケーリング試験を実施した。湿潤養生は、不織布製の養生マットを水道水で湿らせて供試体を覆う湿布養生とした。また、湿潤養生後の気中養生については、20℃養生では、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%に、5℃養生では、温度 5±2℃、相対湿度 60±5%に制御された実験室内に静置することにより行った。

供試体の脱型は、コンクリート強度 5N/mm²を目安に

表-2 養生条件と試験材齢
(適切な養生条件の検討)

記号	セメントの種類	養生温度	湿潤養生期間	湿潤養生後の気中養生期間	スケーリング試験開始材齢
N20S3	普通	20℃	3日	5日	8日
				10日	13日
				15日	18日
N5S7		5℃	7日	5日	12日
				10日	17日
				15日	22日
N5S9	5℃	9日	5日	14日	
			10日	19日	
			15日	24日	
B20S5	高炉	20℃	5日	5日	10日
				10日	15日
				15日	20日
B5S7		5℃	7日	5日	12日
				10日	17日
				15日	22日
B5S12	5℃	12日	5日	17日	
			10日	22日	
			15日	27日	

²⁾、過年度の試験実績を考慮して、20℃養生ではセメントの種類によらず材齢 1 日で、5℃養生では普通セメントで材齢 2 日、高炉セメントで材齢 3 日とした。したがって、表-2 に示した各湿潤養生期間には、厳密には型枠内に封緘状態で静置されていた期間を含んでいる。

3.2 スケーリング試験の概要

スケーリング試験は ASTM C672 に準拠し、220×220×100mm の角柱供試体を作製し、各養生後に -18℃を 16 時間、23℃を 8 時間の 1 日 1 サイクルで凍結融解作用を与えた。試験面は打設面 (220×220mm) とし、気中養生終了後に試験面以外をエポキシ樹脂コーティングした後、試験面の 4 辺にスチレンフォームで成形した土手 (幅、高さともに 2.5cm) を設けて試験溶液を湛水し、凍結融解作用を与えた。試験溶液には、塩害との複合劣化を想定して、3%NaCl 水溶液を使用した。

これと併せて、湿潤と気中の養生期間が異なることによる供試体の乾燥の程度を計る指標として、高周波容量式 (20MHz) の接触型コンクリート・モルタル水分計 (含水率測定範囲 0~12%) を用いてコンクリート表面の含水率を測定した。含水率の測定は、スケーリング供試体と同様のものを別途作製し、各湿潤養生後の気中養生日数 0、1、2、3、4、5、7、10、12、15 日で行った。なお、含水率は 1 ケースにつき供試体 3 個に対して打設面で測定し、3 点の平均値で評価した。

3.3 スケーリングに及ぼす養生条件の影響

図-1 に各条件で養生したコンクリートの凍結融解 125 サイクル後のスケーリング量を示す。なお、養生温度 5℃の条件では、過年度に実施した湿潤養生終了

直後に乾燥を与えずに凍結融解試験を開始した際のスケーリング量を併記している。

湿潤養生期間が比較的短い場合（材齢初期の湿潤養生期間が7日以下）、乾燥を与えることによりスケーリング量は減少し、例えば、普通セメントの20℃養生で湿潤養生期間3日の場合は、乾燥（気中養生）15日程度、5℃養生で湿潤養生期間7日の場合は、乾燥10日程度でスケーリングが減少した。しかし、湿潤養生期間が比較的長い場合（湿潤養生期間が9日以上）、乾燥期間を長くしてもスケーリングの抑制効果は確認できなかった。

図-2 および図-3 にこれらの養生条件におけるスケーリング量と凍結融解サイクルの関係を示す。なお、図には、過年度実施した湿潤養生直後乾燥を与えずに凍結融解試験を開始したケース（凡例の湿潤養生直後）と、湿潤養生後材齢28日まで気中養生を行ってから凍結融解試験を開始したケース（凡例の気中養生19日（普通セメント）、気中養生16日（高炉セメント））の凍結融解300サイクルまで実施したデータを併記している。

普通セメントの場合、乾燥10日と15日で増加した原因は現時点では不明であるが、気中養生5日のスケーリング量は、過年度実施した気中養生期間19日や湿潤養生直後のスケーリング量とほぼ同量で差が無いことを考慮すると、湿潤養生期間が長くなること自体がスケーリングの低減に寄与していると考えられる。

一方、高炉セメントの場合、過年度実施した気中養生16日のスケーリング量は凍結融解15サイクルまでに急激に増加したが、それ以降の変化は小さかった。このような傾向は、それ以外のケースでは確認できず、凍結融解サイクル初期のスケーリング量に差はあるものの、その後の急激な増加の傾向はほぼ同様であり、いずれもスケーリング量が極めて大きかった。これについて、一面から凍結融解作用を受ける時、コンクリート表層部の水分が凍結すると未凍結水はコンクリートの内部方向に移動するが、湿潤養生期間が長いほどコンクリートの組織構造は緻密になるため未凍結水は内部方向へ移動しにくくなり、結果的に表層部に蓄積された圧力は表層のコンクリートのはく離により緩和される³⁾。この時、コンクリート中の含水率が高いほどその圧力は高くなる。このような現象が生じていると仮定すると、高炉セメントで湿潤養生期間を長くしたことにより組織が緻密になるとともに、緻密なコンクリートからは逸散する水分も少なく、含水率が比較的高い状態になったことが影響してスケーリング量が増

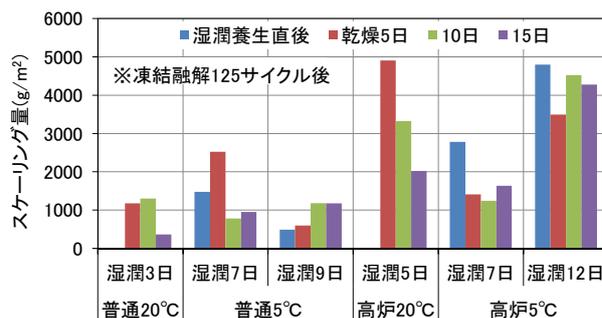


図-1 凍結融解 125 サイクル後のスケーリング量

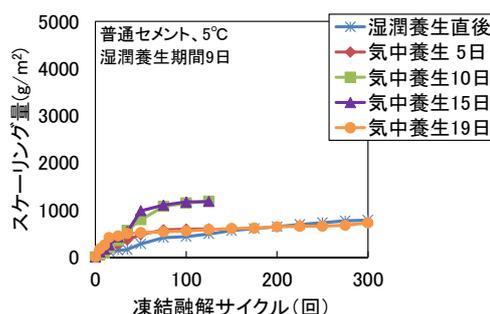


図-2 乾燥期間が異なる場合のスケーリング量
(普通セメント、5℃養生、湿潤養生期間9日)

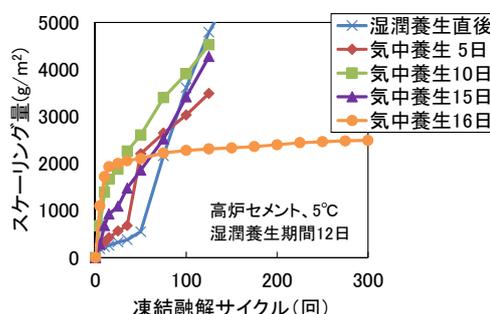


図-3 乾燥期間が異なる場合のスケーリング量
(高炉セメント、5℃養生、湿潤養生期間12日)

大したと推察される。なお、普通セメントでも同様の状況が生じていると考えられるが、普通セメントは高炉セメントよりも強度発現が早く強度が高いため、異なる結果になったと考えられる。以上から、材齢初期の凍害を防止するための養生条件として、凍結融解作用を与える前のコンクリートの乾燥期間を目安として検討を行ったが、同じ乾燥日数でもコンクリートの含水率はコンクリートの細孔構造の影響も受けるため、実際の含水率を考慮して評価する必要があることがわかった。

3.4 乾燥期間とコンクリートの表面含水率

図-4 に乾燥期間とコンクリートの表面含水率の関

係を示す。なお、凡例の記号は表-2の記号と一致している。いずれも気中養生期間の進行とともに低下する傾向は確認できるが、その傾向はセメントの種類や養生条件により異なっている。高炉セメントを用いた供試体は、湿潤養生直後（気中養生期間0日）の含水率が普通セメントに比べて高いが、これは、測定に用いた表面水分計で測定できる含水率は、コンクリートの毛细管内に含まれる自由水との相関が高く、水和が進行したコンクリートほど含水率の測定値は小さくなるため、高炉セメントより水和の進行が早い普通セメントの含水率が高炉セメントよりも小さくなったためと考えられる。

図-5に各コンクリートの表面含水率の変化を示す。含水率の変化はセメントの種類や養生条件により異なり、乾燥期間を長くしてもスケーリングの抑制効果が確認できなかった普通セメントの5℃養生、湿潤養生期間9日（N5S9）や高炉セメントの5℃養生、湿潤養生期間12日（B5S12）は含水率の変化が小さいことがわかる。このことは、湿潤養生期間を長くしたことにより組織が緻密化し、乾燥しにくくなるため、含水率が高くなりスケーリングが増大したとする推察を裏付けるものである。他方、図-6に表面含水率の変化量とスケーリング量の関係を示したが、両者に一定の関係はみられず、コンクリートのスケーリング量は含水率だけで制限することは困難であり、セメントの種類や水和の進行程度を考慮して養生条件を適切に設定する必要があることがわかった。

4. 各種養生方法の効果に関する検討

養生の基本は、コンクリートの所要の強度や耐久性等の品質を確保するために、適当な温度を保つとともに、セメントの水和を妨げないように湿潤状態を保つことである。特に、寒冷期の施工では、断熱性の高い材料でコンクリートを覆う保温養生や、外気温が低い場合には適切な温度を確保するために、施工空間を囲い込み、ジェットヒーター等で施工空間内の温度を適当に保つ給熱養生が行われている。

一方、特に、給熱養生時には施工空間内の湿度が低下するため、コンクリートが乾燥しないような工夫が重要となる。コンクリートの乾燥を防ぐ方法として、積極的に給水する散水養生や湿らせた養生マットで覆う湿布養生のほか、水分の逸散を抑制（保水）することを目的として、せき板（型枠）存置や保水養生テープなどが用いられている。しかし、これらの養生方法の違いが、耐久性にどの程度影響するのかは必ずしも

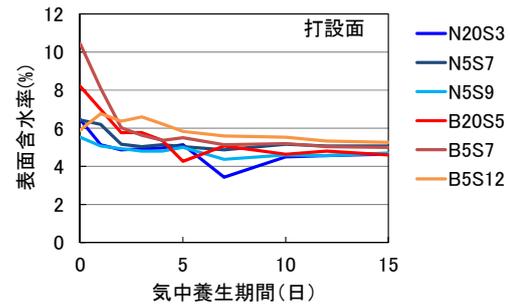


図-4 気中養生期間とコンクリートの表面含水率

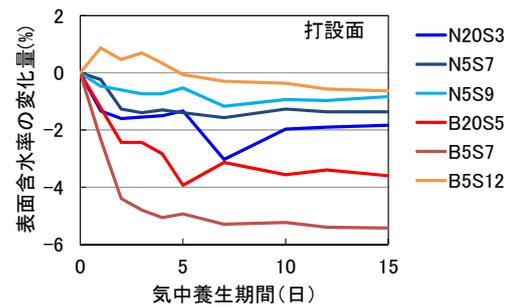


図-5 コンクリートの表面含水率の変化量

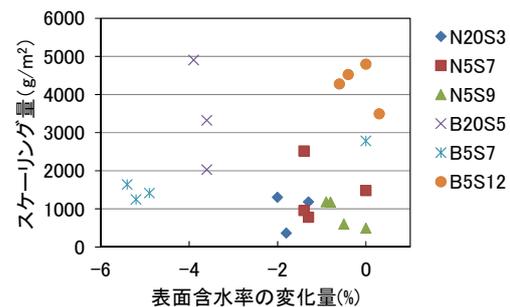


図-6 表面含水率の変化量とスケーリング量の関係

明確になっていない。このため、本研究では、せき板存置期間を一定期間延長する方法と、せき板を取り外した後、保水養生テープにより養生する方法の効果に関する検討を行った。

4.1 養生条件と供試体の概要

検討したコンクリートは、3章と同じ表-1に示したものである。表-3は、養生条件と品質を評価するために実施した各種試験の実施または開始材齢を示している。養生条件の基準として、土木学会コンクリート標準示方書に記述がある湿潤養生期間の標準よりも早期に養生を終了した場合を想定し、普通セメントの20℃養生では型枠存置期間を3日、5℃養生では5日、高炉セメントの20℃養生では5日、5℃養生では7日をそれぞれ設定した。この基準の養生条件に対して、せき板存置期間を延長した場合と、基準養生期間でせき板

表-3 養生条件と試験開始材齢（各種養生方法の効果に関する検討）

セメント	養生温度	型枠存置期間 (脱型材齢)	型枠存置 期間延長	脱型後→ 養生テープで養生	圧縮強度、 静弾性	水中凍 結融解	CDF 試験	急速 塩分	細孔径 分布	示差 熱分析	超音波 伝播速度	電気抵抗率 4プローブ法	透気 係数
普通	20°C	3日	-	-	3,28日	3日			3,28日			3,5,14,28日	28日
			2日	-	5,28日	5日			5,28日			5,14,28日	28日
			4日	-	7,28日	-			-			-	-
			-	2日	5,28日	5日			5,28日			3,5,14,28日	28日
			-	4日	7,28日	-			-			-	-
			-	-	5,28日	5日			5,28日			5,9,28日	28日
	5°C	5日	2日	-	7,28日	-			-			-	-
			4日	-	9,28日	9日			9,28日			9,28日	28日
			-	2日	7,28日	-			-			-	-
			-	4日	9,28日	9日			9,28日			5,9,28日	28日
			-	-	5,28日	5日			5,28日			5,7,13,22,28日	28日
			2日	-	7,28日	7日			7,28日			7,13,22,28日	28日
高炉	20°C	5日	4日	-	9,28日	-			-			-	-
			-	2日	7,28日	7日			7,28日			5,7,13,22,28日	28日
			-	4日	9,28日	-			-			-	-
			-	2日	7,28日	7日			7,28日			5,7,13,22,28日	28日
			-	4日	9,28日	-			-			-	-
			-	-	7,28日	7日			7,28日			7,9,17,28日	28日
	5°C	7日	2日	-	9,28日	-			-			-	-
			5日	-	12,28日	12日			12,28日			12,15,28日	28日
			-	2日	9,28日	-			-			-	-
			-	5日	12,28日	12日			12,28日			7,12,15,28日	28日
			-	-	9,28日	9日			9,28日			9,28日	28日
			-	-	7,28日	7日			7,28日			7,12,15,28日	28日

を取り外した後に、保水養生テープでさらに養生を行うケースについて検討した。型枠存置期間の延長および保水養生テープによる養生期間は、2日または4日（高炉セメント5°C養生では5日）とした。なお、せき板存置による養生時のコンクリート打設面については、水道水を含ませた不織布による湿布養生とした。

供試体は、後述する各種試験法に準拠した定型の供試体に加え、幅400×高さ400×厚さ200mmの壁状供試体を作製し、後述する品質検査技術に関する測定も併せて行った。

4.2 養生方法の効果を評価した試験の概要

(1) 圧縮強度および静弾性係数試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準拠して実施した。併せて、JIS A 1149 に準拠して、供試体はφ100×200mm円柱供試体を用いた。

(2) 凍結融解試験

凍結融解抵抗性は、水中凍結融解試験と、一面凍結融解試験によるスケーリング試験により評価した。

水中凍結融解試験は、JIS A 1148 のA法に準拠して相対動弾性係数と質量変化により評価した。供試体は、100×100×400mmの角柱供試体を用いた。なお、過年度の試験で、湿潤養生終了後に乾燥を与えてから試験を実施した場合劣化が小さくなり、養生条件による差が小さくなったことから、ここでは養生効果の差を明確にするため、養生終了後の含水率が高い状態で試験を開始した。

スケーリング試験は、RILEM CDF 法に準拠した試験を行った。CDF 試験では、+20°Cから定速で4時間で-20°Cまで冷却し、-20°Cを3時間保持後、定速で4

時間で+20°Cまで加熱した後、+20°Cを1時間保持する、12時間1サイクルで凍結融解作用を与えた。供試体は、100×100×400mmの角柱供試体を半分切断して100×100×200mmとしたものを用い、試験面は打設面とした。供試体は各種養生後、試験面以外をエポキシ樹脂でコーティングして試験を開始した。試験水には、3%NaCl水溶液を用いた。試験開始材齢は、養生終了時と養生終了後に気中養生を行い材齢28日に達した時点の2材齢とした。

(3) 塩化物イオンの実効拡散係数試験

塩化物イオンの実効拡散係数試験は、電気泳動によるコンクリート中の実効拡散係数試験方法（案）（JSCE-G571-2003）に準拠して行った。試験開始材齢は、養生終了時と養生終了後に気中養生を行い材齢28日に達した時点の2材齢とした。測定用の試料は、壁状供試体の中央付近から水平方向に採取したφ100×200mmのコアの表層部50mm（壁状供試体の型枠面）と、中央部50mm（壁状供試体の厚さ方向の中心部）から切り出して測定した。

(4) 細孔径分布測定

各種養生終了後、コンクリートの表層と内部の細孔構造を比較するため、水銀圧入法により細孔径分布を測定した⁴⁾。なお、細孔の測定は、壁状供試体から採取したコアの表層部5mm（解放面）と表面から深さ50mm位置から試料を採取して行った。各部位から採取した試料は、粗骨材界面を含むように5mm立方体にコンクリートカッターで切断し、アセトン中で洗浄した後、D-dry (5×10⁻⁴mmHg) で7日間乾燥させて測定を行った。測定は、水銀圧入式ポロシメーターを用いた（圧

入圧 0.01~410MPa, 測定細孔直径 3nm~120 μ m)。細孔容積は、試料体積から骨材体積を除いた硬化セメントペースト体積当たりの空隙率で表記した。なお、骨材体積は、細孔測定と同様に採取した試料から得た不溶解残分質量率(セメント協会法 F-18⁵⁾に準拠)に試料質量を乗じこれを骨材密度で除して求めた。

(5) 示差熱分析

コンクリートの水和状況と反応生成物を確認するために、示差熱分析を行った⁶⁾。なお、分析用試料は、細孔用の試料と同様の位置から採取した。測定はいずれも熱分析装置を用い、昇温速度 10 $^{\circ}$ C/min で熱質量分析(TG-DTA)を行った。結合水量は 20 $^{\circ}$ C と 800 $^{\circ}$ C の質量減量より、Ca(OH)₂量は、450 $^{\circ}$ C 付近の質量減少より、CaCO₃量は 650~800 $^{\circ}$ C 付近の質量減量よりそれぞれ求めた。測定試料は、まず粗砕したコンクリートを鉄乳鉢中で粉碎しながら粗骨材を取り除き、残った試料をさらにアセトン中で軽く粉砕して、75 μ m 以下の粉末を採取した。試料は、この粉末をさらに窒素ガス雰囲気中で一定質量となるまで乾燥させたものを用いた。それぞれの測定量は、試料質量から骨材質量を除いた硬化セメントペースト質量当たりの割合で表記した。なお骨材質量は、採取した試料から得た不溶解残分質量率(セメント協会法 F-18 に準拠)により補正した。

4.3 養生方法と圧縮強度発現

図-7 に各養生を行ったコンクリートの圧縮強度比を示す。圧縮強度比は、それぞれ基準とした養生条件の圧縮強度に対する比とした。なお、グラフ中の数値は基準養生条件における圧縮強度(N/mm²)を示しており、下段の数値が保水養生終了時、上段の数値が材齢 28 日の値である。保水養生終了時の圧縮強度比は、せき板存置期間の延長とともに増加した。また、せき板存置と保水養生テープによる養生については、養生期間のトータルが同じであれば、ほぼ同等の効果があることを確認した。一方、材齢 28 日における圧縮強度比は、普通セメントでは基準と差が無く一部基準よりも低下したケースがみられたが、高炉セメントでは差は小さいものの養生期間の延長により基準供試体よりも大きくなった。これらの傾向は、水和反応速度の差や、気中養生中の乾燥の影響によるものと考えられる。また、せき板存置期間の延長と保水養生テープによる養生については、多少のばらつきがみられるが大きな差は確認されなかった。

4.4 水中凍結融解試験による凍結融解抵抗性の評価

図-8 に水中凍結融解試験結果を示す。普通セメントの 20 $^{\circ}$ C 養生では、質量変化率に差はないが、せき板存

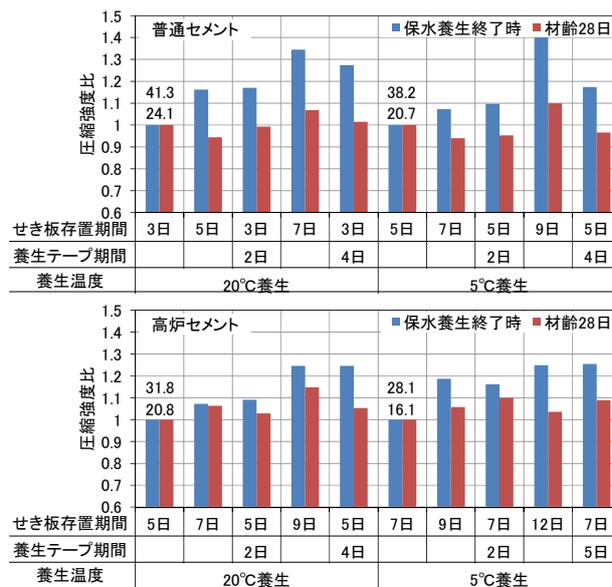


図-7 各養生を行ったコンクリートの圧縮強度比

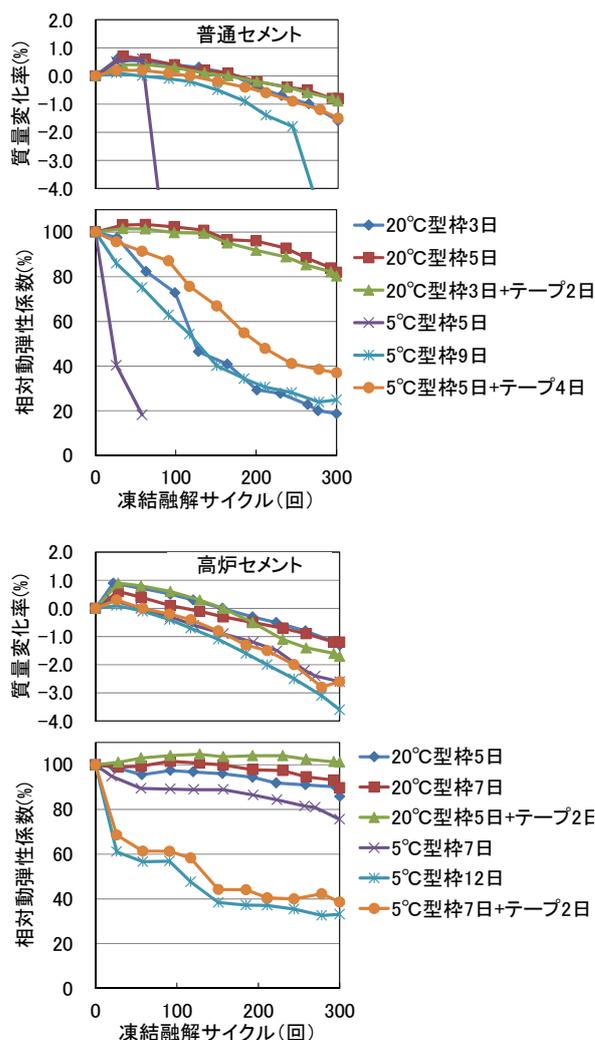


図-8 水中凍結融解試験による質量変化率と
相対動弾性係数

15.3 性能規定に対応したコンクリート構造物の
施工品質管理・検査に関する研究(2)

置期間 3 日の相対動弾性係数は凍結融解サイクルの進行とともに低下し、120 サイクル程度で 60%以下となった。これに対して、せき板存置期間の延長と保水養生テープにより養生したものは、いずれも 300 サイクル終了後の相対動弾性係数が 80%以上となり、養生の効果が確認できた。また、5℃養生においても、せき板存置期間 5 日は、質量と相対動弾性係数が凍結融解初期より著しく低下したが、せき板存置期間の延長や保水養生テープによりいずれも改善の傾向を示した。しかし、この場合でも、凍結融解 120 から 180 サイクル程度で相対動弾性係数が 60%以下となっており、凍結融解作用を受ける前の含水率を低下させるなどの対策が必要と思われる。一方、高炉セメントでは、養生温度 20℃の場合、いずれも差はみられず、相対動弾性係数も 85%以上であり良好な結果を示した。しかし、5℃養生の場合、せき板存置期間の延長や保水養生テープを実施した供試体の質量減少の差は小さいが、相対動弾性係数が大きく低下した。これは、養生延長によりコンクリートの組織構造が緻密になり、凍結時の未凍結水の移動に伴うコンクリート毛細管内の圧力が大きくなったことが原因と考えられる。また、スケーリング試験よりも質量減少の差が小さいのは、6 面から急激な凍結作用を受ける水中凍結融解試験では、未凍結水の移動に伴う内部圧力が大きく、弾性係数が低下するような大きなひび割れが供試体内部に発生することにより圧力が緩和されたため、表面の剥離は小さくなったものと推察される。なお、普通セメントでも同様の状況が生じていると考えられるが、3.3 節でも述べたように、強度の違いにより異なる結果になったと考えられる。この様な劣化を抑制するには、普通セメントと同様、凍結融解作用を受ける前の含水率を低下させるなどの対策が必要と思われる。

4.5 CDF 試験によるスケーリング抵抗性の評価

図-9 に CDF 試験による凍結融解試験終了時（凍結融解 28 サイクル）のスケーリング量を示す。普通セメントでは、保水養生終了時から試験を開始した場合、せき板存置期間の延長および保水テープ養生によりスケーリングは概ね減少する傾向を示した。一方、高炉セメントでは、20℃養生の保水養生終了後から試験を開始したケースで保水テープによる養生効果が確認できたが、全体としては同等かむしろ増加する場合もみられた。特に 5℃養生の保水養生終了時から試験を開始した場合のスケーリング量が増大しているが、3.3 節でも述べたように、スケーリング劣化はコンクリートの組織構造の状態と含水率が大きく影響すると考え

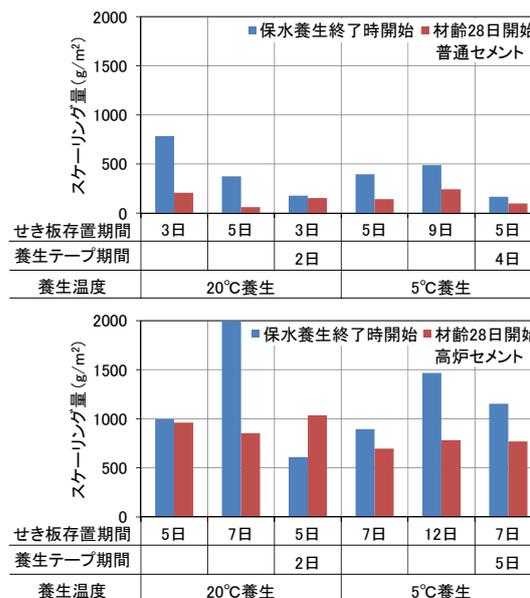


図-9 CDF 試験によるスケーリング量

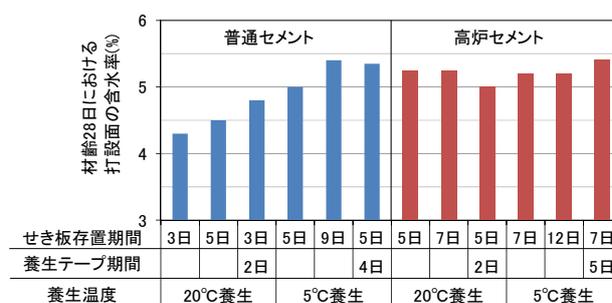


図-10 打設面の表面水分率（材齢 28 日、試験前）

られ、この場合養生延長により組織構造が緻密になり、且つ保水により含水率が高い状態で凍結融解作用を受けたためと考えられる。また、保水期間は同じでも、型枠存置期間を延長した場合は、保水テープ養生に比べてスケーリング量が多い傾向がみられた。これについて、CDF 試験の試験面は打設面を実施しており、打設面は型枠の開放面となることから、本研究では、打設面の養生は湿布養生を実施している。他方、保水テープ養生では、せき板を取り外すまでは上記と同様に打設面は湿布養生を行っているが、それ以降は打設面も保水テープを貼り付けて養生を行っている。スケーリング試験開始前には、3.2 節で述べた水分計により、打設面の含水率を測定しているが、養生終了時の打設面の含水率はいずれも測定限界以上 (12%以上) となり測定できなかった。しかし、湿布養生では水分が供給されるのに対し、保水テープによる養生は水分の逸散を防止するものであることから、せき板存置延長の方がより細孔構造が緻密化し、含水率が高いことが考え

られ、これらが影響したことが推察される。なお、普通セメントとの違いについては、4.4 節で述べたように、強度発現によるものと考えられる。図-10 に材齢 28 日における試験開始前の打設面の含水率を示す。いずれも含水率は 5%前後まで低下しており、材齢 28 日より試験を開始した場合にスケーリング量の差が小さかったのは、この含水率の低下の影響と考えられる。

4.6 塩分浸透抵抗性の評価

図-11 に、各養生条件におけるコンクリートの塩化物イオンの実効拡散係数を示す。セメントの種類により拡散係数が異なることは確認できるものの、せき板存置期間を湿潤養生期間の標準より短く設定した基準養生供試体と比べて、いずれの条件においても塩化物イオンの実効拡散係数はほとんど差が確認できない。加えて、測定材齢が長くて養生温度が高いほど、また、表層部よりも内部の方が実効拡散係数は微増しており、一般的な知見とは逆の傾向が確認された。例えば、表層部と内部の逆転現象については、過年度にも同様の傾向が確認されており、型枠面に塗布するコンクリート剥離剤の影響や表層部の中性化に伴う緻密化の影響などの可能性が考えられたが、剥離剤なしでも同様の傾向であり、コンクリートの細孔量も内部より表層部の方が多きことなどから、それらが原因の可能性は小さい。一方、既往の研究⁷⁾によると、材齢初期から厳しい乾燥状態にさらした場合、実効拡散係数は小さくなり、その原因として、電気泳動試験中に未水和セメントの水和により緻密になったことが影響していると推察されている。本研究においても、弱材齢での試験の実施や、短期間の湿潤養生後に乾燥の影響を与えたコンクリートについて検討を行っており、同様の現象

が生じていることが考えられる。したがって、給水ではなく保水による養生期間の違いが最大で 5 日の範囲内として検討した本研究においては、電気泳動試験による実効拡散係数により塩分浸透抵抗性を適切に評価することは困難と考えられる。

4.7 コンクリートの細孔容積

図-12 に、既往の研究⁸⁾から耐久性に影響すると考えられる細孔径 50nm~5 μ m の領域の細孔容積の総和と、細孔径 50nm より小さい微細孔領域の細孔容積の総和を示す。図の左列は普通セメント、右列は高炉セメントを示し、上段は保水養生終了時点の、下段は保水養生終了後に気中養生を材齢 28 日まで行った時点の細孔容積をそれぞれ示している。

保水養生終了時の細孔容積は、普通セメントでは、せき板存置期間を延長した場合、細孔径 50nm 以上の比較的粗大な細孔量が若干減少する傾向を示したが、テープ養生したものは、せき板存置期間が短い場合と同程度だった。この傾向は、4.5 節で保水養生終了後に CDF 試験を開始したケースで型枠存置期間を延長した供試体のスケーリング量が多くなった原因に関する推察と一致する傾向である。これに対して、高炉セメントでは、20℃養生の場合 5℃養生よりも水和反応の進行により 50nm 以上の細孔容積が減少する傾向はあるものの、せき板存置期間の延長やテープ養生による違いはみられず、必ずしも上述の推察の証明には至らなかった。

保水養生後に気中養生を材齢 28 日まで行った場合、乾燥の影響を受ける表層部の細孔容積は、保水養生終了時と比べて 50nm 以上の粗大な細孔容積が増加し、50nm 未満の細孔容積は減少する傾向を示した。これに

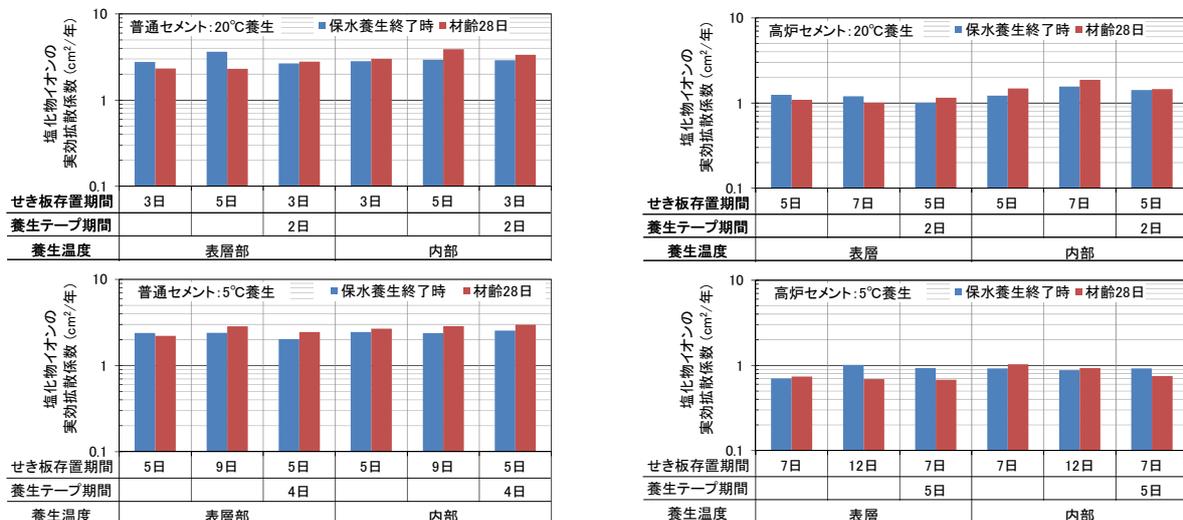


図-11 各養生条件における塩化物イオンの実効拡散係数

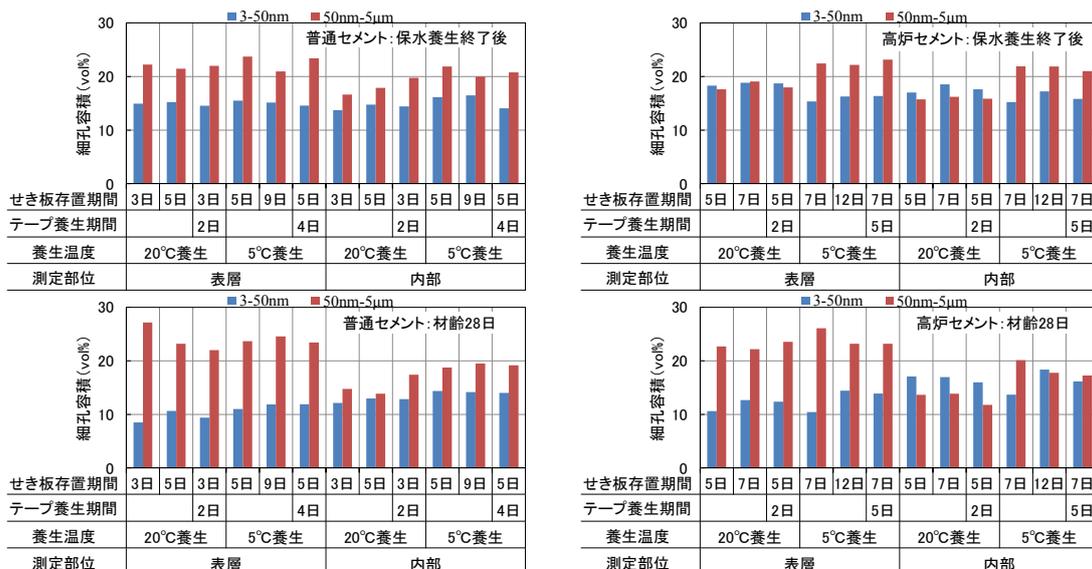


図-12 細孔径 50nm 前後の領域の細孔容積

対して、内部の細孔容積は、50nm 以上の粗大な細孔が減少し、表層と内部で異なる傾向を示した。乾燥が細孔構造に及ぼす影響については、過年度の試験でも確認しており、既往の研究⁹⁾でも、乾燥による 50nm 以上の細孔の粗大化は報告されており、乾燥による微細なひび割れの影響による可能性が述べられている。

以上、細孔容積からは、せき板存置期間の延長やテープ養生による効果は必ずしも確認できず、各耐久性試験の個別の結果とも必ずしも対応していなかった。一方、図-13 は CDF スケーリング量とコンクリート内部の細孔径 50nm 未満の領域の細孔容積の関係である。バラツキはあるものの、全体としてみるとこの領域の細孔容積の増加に伴いスケール量は増加する傾向が確認でき、コンクリートの緻密化により未凍結水移動時に発生する毛細管内圧力が高まり、スケールが増大したとする推察と傾向は一致している。しかし、実際には、コンクリートの含水率により凍結時に発生する毛細管内圧力は異なることに加え、そのときのコンクリート強度とも関連するため、これらを明らかにするにはより詳細な分析が必要である。

4.8 結合水量と CaCO₃ 量

図-14 に示差熱分析により得られたコンクリート表層と内部の結合水量を示す。普通セメントでは(図-14 左図)、いずれの養生条件においても、せき板存置期間の延長やテープ養生により、せき板存置期間を標準よりも短くした基準養生よりも結合水量が増加する傾向がみられ、水和が進行していることが確認できる。また、気中養生後も結合水量は増加しており、水和が進行していることがわかる。一方、高炉セメントでは

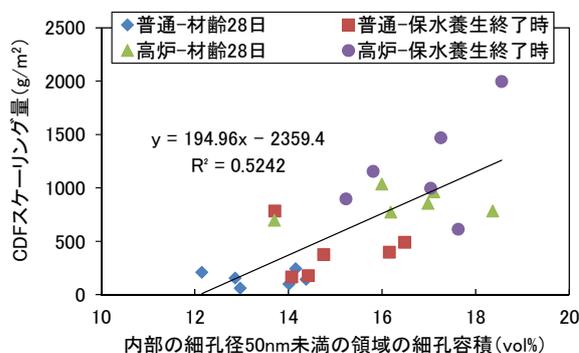


図-13 CDF スケーリング量とコンクリート内部の細孔径 50nm 未満の領域の細孔容積の関係

(図-14 右図)、普通セメントほど延長養生の効果による結合水量の差は小さくなく、その効果は明確とはならなかった。

図-15 に示差熱分析により得られた、コンクリートの CaCO₃ 量を示す。いずれも、保水養生後では、表層部と内部の CaCO₃ 量に変化はないが、保水養生後に材齢 28 日まで気中養生を行った場合、表層部のみ CaCO₃ 量が大きく増大している。これは気中養生期間におけるコンクリートの炭酸化を示しており、内部 50mm 位置ではこの期間で炭酸化が生じていないことが確認できる。また、せき板存置期間の延長およびテープ養生した供試体は、基準養生供試体よりも表層部の CaCO₃ 量が少ないことから、養生延長により炭酸化が生じにくくなっていることが示され、養生延長の効果が確認された。

以上から、せき板存置期間の延長と保水テープ養生による強度発現や炭酸化に対する抵抗性の向上を確認

15.3 性能規定に対応したコンクリート構造物の
施工品質管理・検査に関する研究(2)

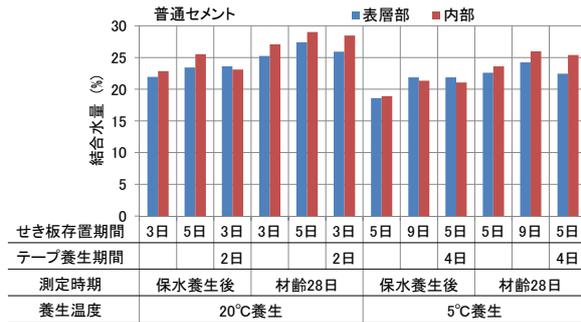


図-14 コンクリート表層と内部の結合水量

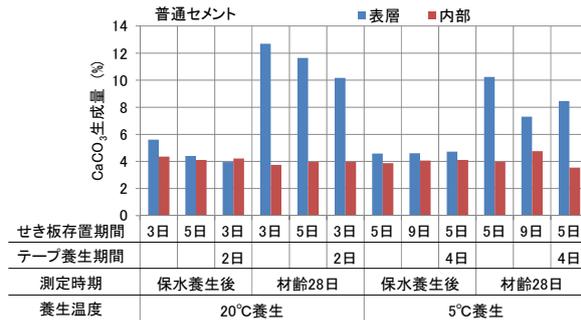
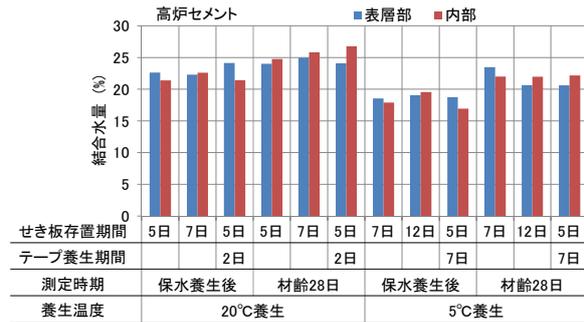
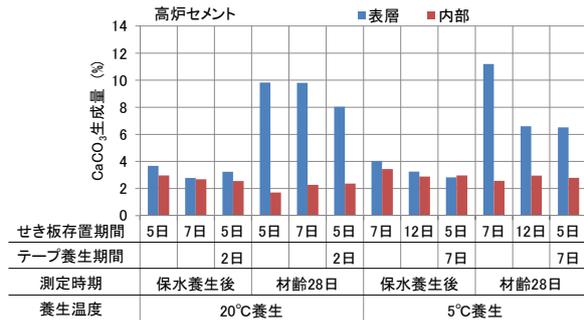


図-15 コンクリート表層と内部のCaCO₃量



した。しかし、それ以外の効果については、セメントの種類や耐久性の種類により評価が異なり、水和速度が比較的速く、強度発現が早い普通セメントでは、凍結融解抵抗性の向上のほか、比較的粗大な細孔の減少などの効果が確認できた。一方、特に低温養生時の水和速度が遅い高炉セメントでは、含水率が高い状況下で凍結融解作用を受けるとスケリングが大きくなり、必ずしも保水養生の延長効果が確認できなかった。このことから、セメントの種類や求められる耐久性性能に応じた養生を検討する必要があることが判明した。

5. 品質検査技術の適用性に関する検討

出来上がりコンクリートの品質検査方法の検討として、超音波伝播速度測定、透気試験および電気抵抗率測定の適用性など品質検査技術に関する検討を行った。検討にあたっては、4章で実施した各試験と併せて行い、それらの適用性について評価を行った。

5.1 各試験方法の概要

(1) 超音波伝播速度測定

養生条件の違いによるコンクリート表層から深さ方向の品質を把握することを目的として、透過法による超音波伝播速度を測定した。図-16に各供試体における超音波伝播速度測定の概要を示す。測定は、400×400×200mmの壁状供試体の中心付近から水平方向に採取したφ100×200mmコア供試体について、解放面から深さ方向に10mm刻みで裏面まで行い、それぞれ2

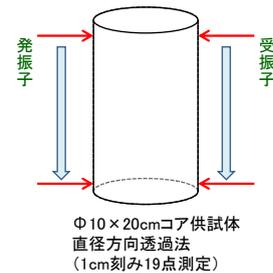


図-16 超音波伝播速度の測定概要

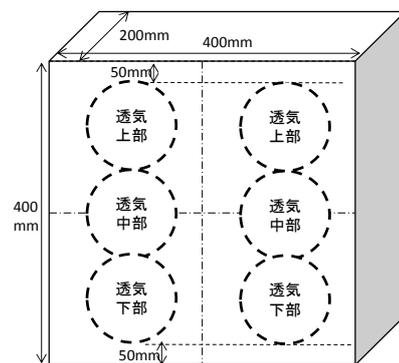


図-17 透気係数の測定概要

供試体の平均値で評価した。

(2) 透気係数測定

コンクリート表面の透気性については、図-17に示す400×400×200mmの壁状供試体により、二重チャン

バー方式の表面透気試験機を用いて透気係数を測定した^{10),11)}。透気係数の測定は、壁状供試体の上部、中部、下部の3部位、左右2箇所で行い、左右の平均値により評価した。

(3) 電気抵抗率測定 (4プローブ法)

養生条件がコンクリートの電気抵抗率に及ぼす影響を確認するために、非破壊で測定できる4プローブ法(Wenner法)¹²⁾によりコンクリートの電気抵抗率を測定した。測定には、AASHTOの規格¹³⁾に適合した市販の表面電気抵抗計を用い、電極の先端には電解質としてゲル状物質(水:塩:カルボキシメチルセルロース=94:3:3)を浸透させた導電性スポンジを取り付けた。なお、電極間隔は50mm間隔とし、測定は透気係数と同様の位置で行った。

5.2 超音波伝播速度とコンクリートの品質

図-18にコンクリート表層から深さ方向の超音波伝播速度(透過法)を示す。測定位置深度0cmと20cm

はコア供試体の端面で、壁供試体の型枠面(表裏面)を意味する。なお、超音波伝播速度はコンクリートの含水率の影響を受けるため詳細に検討するには含水率の補正が必要であるが、ここでは含水率補正していない見かけの超音波伝播速度として表示している。保水養生後の超音波伝播速度は、バラツキはあるものの、いずれも表層から内部まで比較的均一な分布を示しているのに対し、保水養生後に気中養生を材齢28日まで行ったものは、表層部(両端面)の超音波伝播速度が供試体内部よりも低下しており、その値は保水養生後と同程度であった。他方、内部の速度は保水養生後よりも増大した。過年度の検討においては、乾燥に伴う含水率の低下は20mm以下の表層部で著しいことが明らかとなっており、表層部は乾燥により相対的に品質が低いことを示していると考えられる。一方、中心部の含水率は比較的高いと考えられることから、中心部の速度増加はコンクリートの品質の向上を意味してい

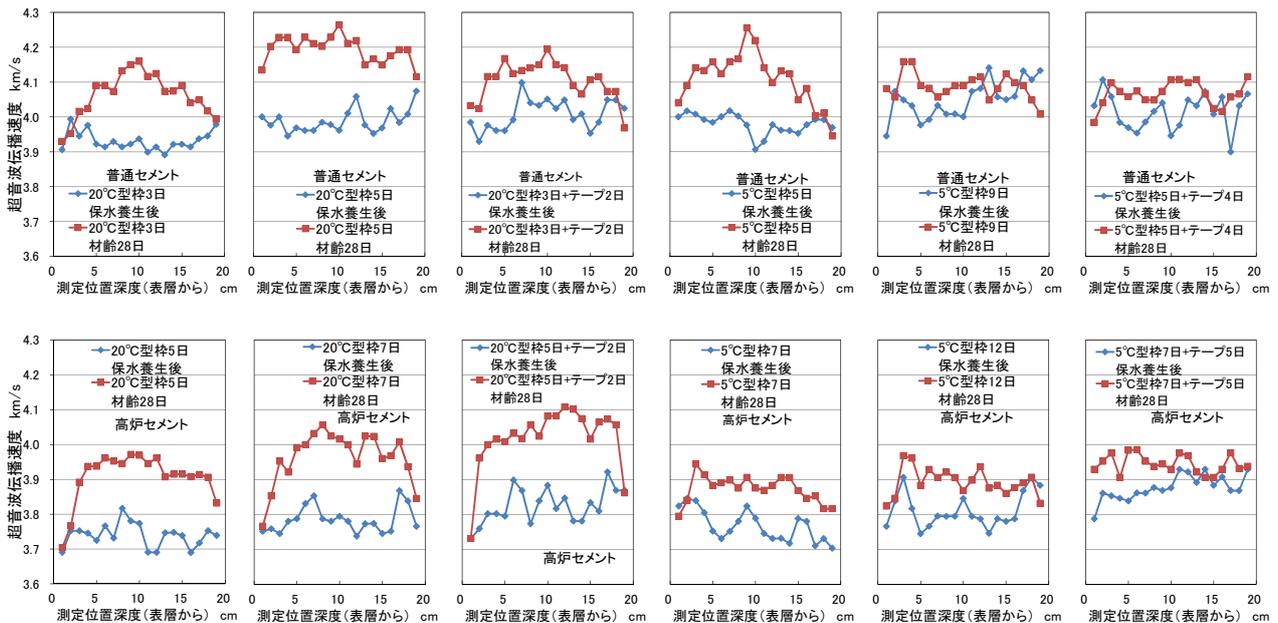


図-18 コンクリート表層から深さ方向の超音波伝播速度

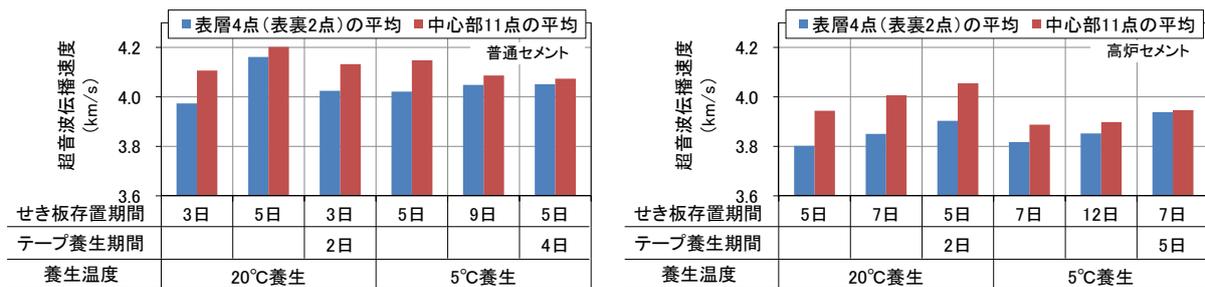


図-19 表層と中心部の平均超音波伝播速度(材齢28日測定)

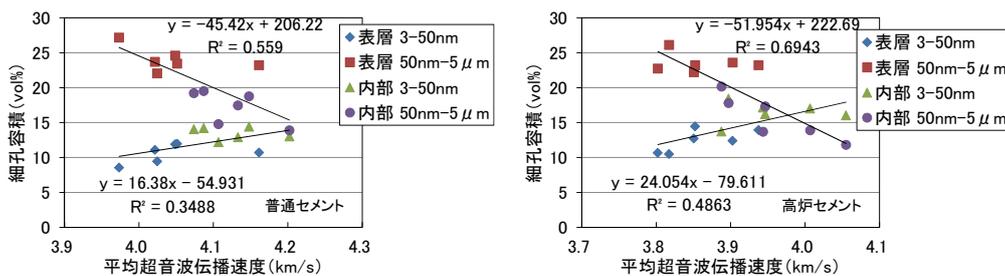


図-20 細孔容積とコンクリート表層から深さ方向の平均超音波伝播速度の関係

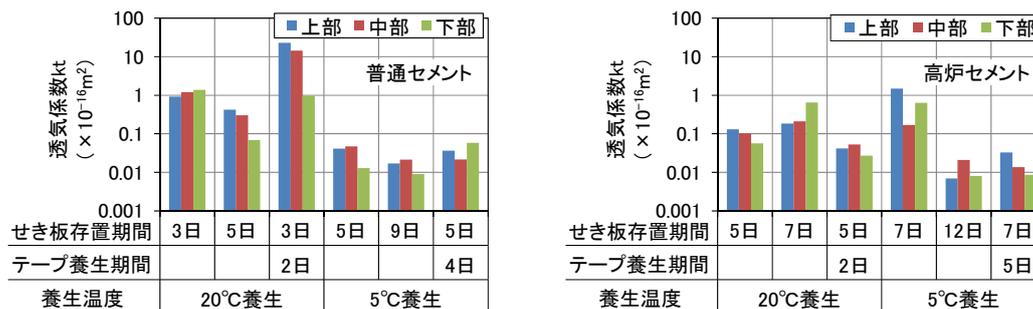


図-21 材齢 28 日におけるコンクリートの透気係数

ると考えられる。

図-19 に材齢 28 日に測定した表層部 4 点 (裏表 2 点ずつ) の速度の平均値と、供試体中心部 11 点の速度を平均したものを示す。5℃養生ではいずれも表層部と中心部の差は小さいが、これは、低温ほど乾燥しにくいことに加え、水和速度が遅いことが影響していると考えられる。平均的な超音波伝播速度で比較すると、養生の延長により、基準養生よりも超音波伝播速度が増大する傾向が確認できる。

これらの結果をもとに、それぞれの細孔容積と超音波伝播速度の関係を示したのが図-20 である。凡例は表層または内部の細孔径の範囲を示している。また、横軸の平均超音波伝播速度は、図-19 に示した表層部と内部 (中心部) の平均値であり、表層と内部の細孔容積と平均超音波伝播速度をそれぞれ対応させて示している。いずれも、細孔容積と超音波伝播速度には概ね相関があり、比較的粗大な 50nm 以上の細孔容積が減少し、50nm 未満の微細孔が増加すると超音波伝播速度は増大することが確認された。

以上から、超音波伝播速度はコンクリートの細孔構造と関連し、品質を評価することが可能と考えられる。なお、先の述べたとおり、本研究では超音波伝播速度の含水率による補正を行っていないため、実際の検査法として適用するには、含水率の補正に関してさらに検討する必要がある。

5.3 透気係数とコンクリートの品質

図-21 に壁状供試体で測定した材齢 28 日におけるコンクリートの透気係数を示す。なお、透気係数はコンクリートの含水率の影響を受けるが、ここでは含水率の補正を行っていない見かけの透気係数を示している。普通セメント 20℃養生でテープ養生を行ったものと、高炉セメント 20℃養生でせき板存置期間を延長したものが基準養生供試体よりも透気係数が大きくなる傾向を示したが、その他のケースでは保水養生期間を延長したものは基準養生供試体と同程度以下となっていた。なお、高さ方向の違いについては、上部で透気係数が大きく下部で小さくなる傾向が概ねみられたが、特に高炉セメントではバラツキも確認された。

図-22 に透気係数と高周波容量式 (20MHz) の接触型コンクリート・モルタル水分計を用いて測定した表面含水率の関係を示す。なお、図中の R^2 の値は、最も高い相関が得られた累乗近似した場合の相関係数を示している。普通セメントでは、透気係数と表面含水率に比較的高い相関がみられ、含水率が大きいほど透気係数が小さくなる関係が得られたことから、含水率を適切に補正することにより、透気係数によるより詳細な品質評価が可能になると考えられる。一方、高炉セメントでは、両者には同様の傾向がみられるものの、相関は低く、より詳細な検討が必要である。

図-23 に透気係数とコンクリート表層部の細孔容積の関係を示す。凡例は、セメントの種類と各細孔径の

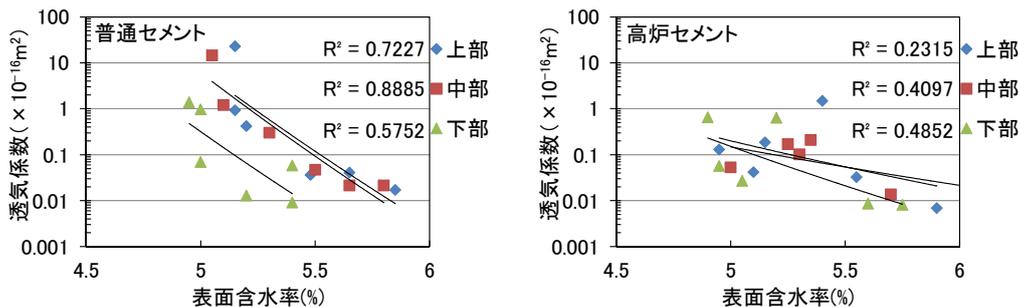


図-22 透気係数と表面含水率の関係

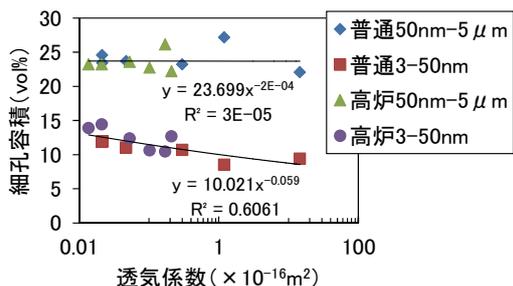


図-23 透気係数と細孔容積の関係

領域を示している。細孔径 50nm 未満の比較的微小な細孔が減少すると透気係数が増大する傾向が確認できるが、細孔径 50nm 以上の比較的粗大な細孔量とは相関がなかった。しかし、図から確認できるように、今回検討したコンクリートの表層部における細孔径 50nm 以上の領域の細孔容積の差が小さく、微小細孔量が透気性の支配的要因となったためと考えられる。

以上から、透気試験の適用にあたっては、コンクリートの含水率の補正やコンクリートの品質差を把握するための測定精度に関する検討が必要である。

5.4 電気抵抗率とコンクリートの品質

図-24 に 4 プローブ法によるコンクリートの電気抵抗率と材齢の関係を示す。なお、電気抵抗値はコンクリートの含水率の影響を受けるが、ここでは含水率の補正を行っていない見かけの電気抵抗値を示している。凡例は壁状供試体の測定高さを、図中の記号は、セメントの種類、養生温度、型枠（せき板）存置期間+テープ養生期間を示している。測定値の最初の材齢が、保水養生終了時点での電気抵抗率であり、以降気中養生中の測定値（材齢 28 日まで）となる。いずれの供試体も材齢の進行とともに電気抵抗率は増加した。なお、測定高さで比べると、下部が最も電気抵抗率は高く、上部と中部は同程度か上部の方が高くなるものもみられた。

図-25 に材齢 28 日におけるコンクリートの電気抵抗率を示す。普通セメントでは、保水養生期間を延長した場合の電気抵抗率は基準養生と同程度で差はなく、高炉セメントではむしろ保水養生期間を延長した方が電気抵抗率は小さかった。過年度では、供試体を飽水状態（水中養生後直ちに測定）で電気抵抗率を測定し

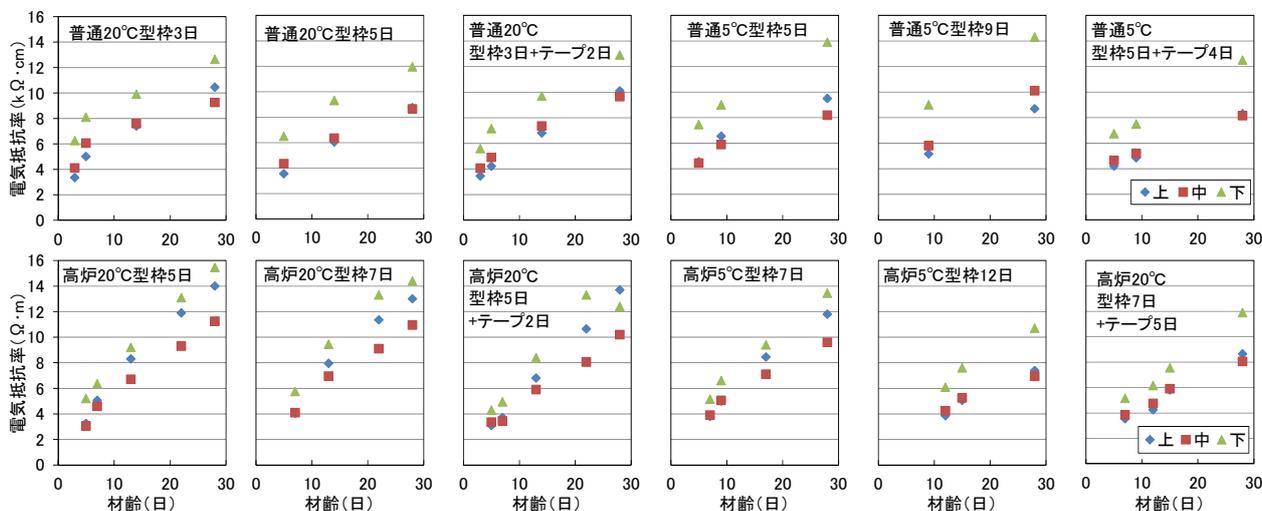


図-24 コンクリート表層と内部の結合水量

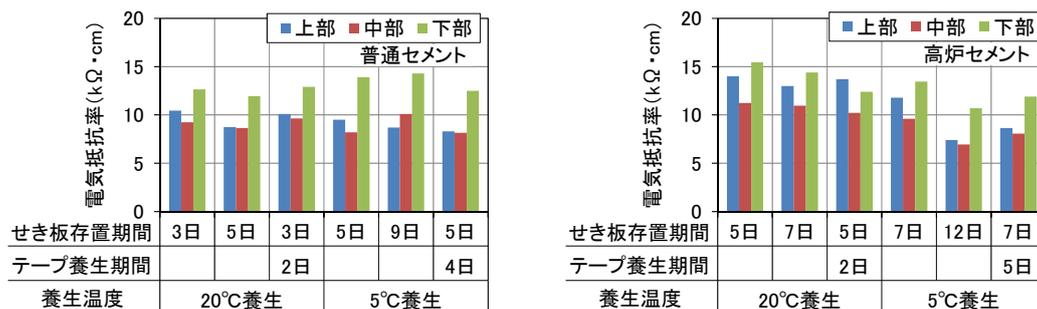


図-25 材齢 28 日におけるコンクリートの電気抵抗率

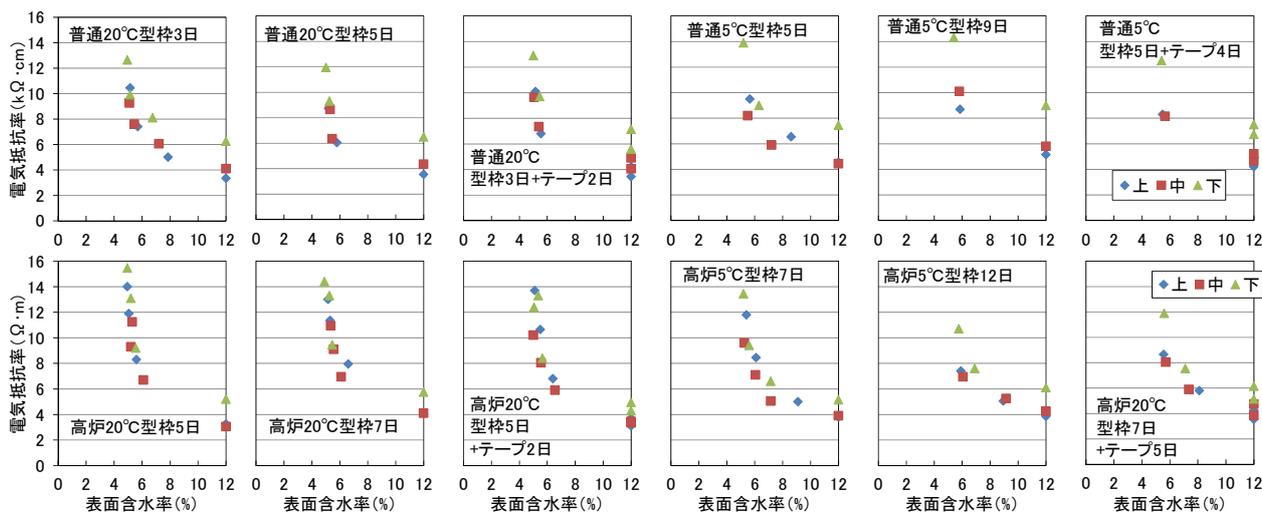


図-26 コンクリート電気抵抗率と含水率の関係

た結果、養生期間の増加とともに電気抵抗率が増加し、コンクリートの品質が高いほど電気抵抗率が増加することを確認している。一方、今年度の試験では、実構造物への適用性を調べるために、コンクリートの含水状況が変化する状況下で測定を実施している。図-24 に示したように、材齢の経過とともに電気抵抗率が增大する傾向は過年度と同様であるが、コンクリートの含水率が低下した場合も電気抵抗率は高くなる。このため、コンクリートの品質を適切に評価するには含水率に関する補正が必要となる。

図-26 にコンクリートの電気抵抗率と表面含水率の関係を示す。凡例および図中の記号は図-24 と同様である。一部下部のデータにバラツキはみられるが、電気抵抗率と表面含水率には一つの曲線で表現できると考えられる関係がみられることから、含水率の影響を補正して評価することにより、コンクリートの品質を評価できる可能性がある。

既往の研究¹⁴⁾で電気抵抗率と塩化物イオンの実効拡散係数に高い相関があることが報告されているため、参考として、図-27 に本研究における電気抵抗率と塩

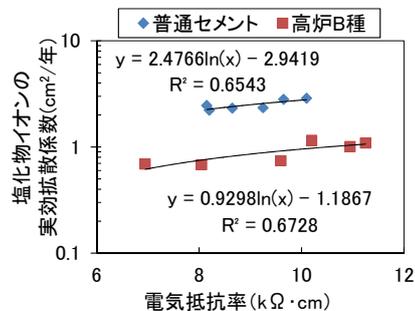


図-27 電気抵抗率と塩化物イオンの
実効拡散係数の関係

化物イオンの実効拡散係数の関係を示す。セメントの種類により電気抵抗率が同じでも実効拡散係数は大きく異なっているが、いずれのセメントにおいても電気抵抗率が高いほど実効拡散係数が大きくなる傾向を示している。本来は電気抵抗率が高いほど品質は向上し拡散係数が低下すると考えられることから、この傾向は逆の関係となっており、上述の含水率の影響に関する検討を含め、電気抵抗率の測定条件に関する整理が必要である。

6. まとめ

性能規定に対応した施工マニュアルの提案に向けた寒冷地での適切な養生方法の検討として、材齢初期の凍害を防止するための適切な養生条件や各種養生方法の効果について検討を行った。また、出来上がりコンクリートの品質評価システムの提案に向けた品質検査の検討として、超音波伝播速度測定、透気試験および電気抵抗率測定の適用性など品質検査技術に関する検討を行った。

これらの成果をまとめると以下ようになる。

- (1) 材齢初期の凍害を防止するための養生条件として、凍結融解作用を与える前のコンクリートの乾燥期間を目安として検討を行い、湿潤養生期間が比較的短い場合(材齢初期の湿潤養生期間が7日以下)、乾燥を与えることによりスケーリング量は減少したが、湿潤養生期間が比較的長い場合(湿潤養生期間が9日以上)、乾燥期間を長くしてもスケーリングの抑制効果は確認できなかった。
 - (2) 同じ乾燥日数でもコンクリートの含水率は細孔構造の影響も受けるため、スケーリングの抑制には実際の含水率を考慮する必要があるが、含水率だけでスケーリング劣化を制限することは困難であり、セメントの種類や水和の進行度を考慮して養生条件を設定する必要があることを確認した。
 - (3) 適切な養生方法に関する検討として、せき板存置期間を延長する方法と、せき板取り外し後保水養生テープにより養生する方法の効果について検討した結果、保水養生期間の延長により、強度や炭酸化に対する抵抗性の向上を確認したが、それ以外の効果については、セメントの種類や耐久性の種類により評価が異なることを確認した。
 - (4) コンクリートの品質検査方法として、超音波伝播速度は、コンクリートの細孔容積とも相関が確認され、含水率の影響を評価することにより、コンクリートの品質を評価できる可能性があることを確認した。
 - (5) 透気係数はある程度コンクリートの品質を評価できる可能性があるが、測定精度や含水率に関する検討が必要である。
 - (6) 電気抵抗率は材齢の進行とともに増加することを確認したが、コンクリートの含水率の影響を大きく受けるため、コンクリートの品質を適切に評価するには、含水率に加え、測定条件に関する整理が必要である。
- 今後は、非破壊検査方法の適用性に関する検討を進

め、最終的にはコンクリートの品質検査手法を含む性能規定に対応した施工マニュアル(受取検査、打設・養生方法など)の提案する予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書[施工編：施工標準]、pp.121-125とpp.156-164、2013.3
- 2) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書[施工編：施工標準]、pp.151-152、2013.3
- 3) 遠藤裕丈、田口史雄、嶋田久俊：スケーリング劣化の予測に関する基礎的研究、コンクリート工学次論文集、Vol.27、No.1、pp.733-738、2005.7
- 4) コンクリートの長期耐久性に関する研究委員会：コンクリートの試験・分析マニュアル、日本コンクリート工学協会、pp.124-125、2000.5
- 5) セメント協会：硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告、コンクリート専門委員会報告、F-18、1967.9
- 6) コンクリートの長期耐久性に関する研究委員会：コンクリートの試験・分析マニュアル、日本コンクリート工学協会、p.60、80、83、2000.5
- 7) 毛塚貴洋、高橋祐弥、岸利治、魚本健人：表層透気係数と電気泳動試験結果の相関に関する一検討、土木学会ダイ 65 回年次学術講演会、V-298、pp.595-596、2010.9
- 8) セメント協会：わかりやすいセメント科学、pp.78-104、1993.3
- 9) 郭度連、宇治公隆、國府勝郎、上野敦：乾燥によるコンクリート組織の不均質化、コンクリート工学年次論文集、vol.24、No.1、2002.
- 10) Torrent,R. and Frenzer,G.: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the “covercrete”, International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), pp.985-992, Sept.1995
- 11) 今本啓一、下澤和幸、山崎順二、二村誠二：実構造物の表層透気性の非・微破壊試験方法に関する研究の現状、コンクリート工学、Vol.44、No.2、pp.31-38、2006.2
- 12) 土木学会：土木学会基準として制定が望まれる試験方法の動向—コンクリートの性能評価を可能とする新しい基準体系とは—、コンクリート技術シリーズ 84、pp.108-113、2009
- 13) American Association of State Highway and Transportation Officials：Standard Method of Test

for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, AASHTO Designation: TP 95-11

- 14) 西博貴、皆川浩、久田真、佐藤道生：電気抵抗率から

15.3 性能規定に対応したコンクリート構造物の
施工品質管理・検査に関する研究(2)

推計される塩化物イオン拡散係数と実効拡散係数の関係、土木学会第 67 回年次学術講演会概要集、V-093、pp.185-186、2012.9

A STUDY ON THE PERFORMANCE-BASED QUALITY CONTROL AND INSPECTION METHODS FOR THE CONSTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2010-2014

Research Team : Materials Research Team,

Cold Region Technology Promotion Division

Author : TAGUCHI Fumio, SHIMATA Akinori,

MIHARA Norihiro, SHIMADA Hisatoshi,

NAITO Isao, YOSHIDA Susumu, ENDO Hirotake,

MIZUTA Maki, KAWAMURA Koji,

MURANAKA Tomoyuki, WATANABE Jun,

SUZUKI Satoshi

Abstract : The purposes of this study included the establishment of a method to evaluate quality for the long-term performance of various functions after construction, the creation of construction procedure manuals applied to performance-based design, and through such activities, work toward the on-site introduction of new technologies, improved quality of structure and reduced life-cycle cost. In FY2013, as part of proposal of construction manuals applied to performance-based design, including inspection methods for acceptance of concrete structure and methods for replacement and curing of concrete, the proper curing condition of concrete to prevent the frost damage at the early age and the effect of curing methods that maintain moisture content in concrete such as extension of the stripping time of the formwork and using curing tape were examined. Besides, in order to investigate the inspection testing methods of the performance of concrete structure directly using the constructed structure, the applicability of non-destructive methods such as ultrasonic method, air-permeability test and four-point Wenner array probe test was also examined. The results showed that the scaling deterioration of concrete that was conducted wet curing properly was decreased by reducing the moisture content of concrete to some extent before concrete was exposed to cold weather. In addition, the strength development and the durability of concrete were improved by extension of the stripping time of the formwork and using curing tape. However, it was confirmed that those effects were varied depend on cement type and moisture content of concrete. Moreover, it was indicated that the quality of concrete can be evaluated using ultrasonic method because there is a good correlation between ultrasonic propagation velocity and the pore volume of concrete, but further study about the influence of moisture content on the measurement value and measurement accuracy.

Key words : performance-based, construction, quality control, inspection, curing