

論文

[1068] 施工方法とコンクリートの品質について

正会員 ○ 横田 季彦 (日本国土開発技術研究所)

正会員 竹下 治之 (日本国土開発技術研究所)

正会員 浅沼 潔 (日本国土開発技術研究所)

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の早期劣化が社会問題となり、現在その耐久性の確保および向上が社会的に重要な課題となっている。一般に、コンクリート構造物の耐久性には使用水量が大きく関与しており、高耐久性コンクリート構造物を施工するためには、この水量を可能な限り減少させるのが効果的である。しかし、実施工上はワーカビリティの確保のため、セメントの水和に必要な水量以上のものが添加されている。このため、コンクリート打設後に不要な余剰水を除去し、再振動などを行い組織の緻密化を計れば、耐久性の向上に有効であると考えられる。

本研究は、このような観点から、コンクリート打設後の余剰水の除去方法及び再振動、および混和剤の使用がコンクリートの耐久性に及ぼす効果について基礎的検討を行ったものである。なおコンクリートの耐久性の評価項目としては、圧縮強度、中性化、乾燥収縮および透水係数を選び比較検討した。

2. 実験概要

2.1 配合および使用材料

実験に使用したコンクリートの配合を表-1に、使用材料を表-2に示す。

2.2 実験供試体および検討内容

実験供試体は表-3に示す10体であり、それぞれ以下の内容について検討した。

(1) 混和剤の使用効果の検討

主成分が異なる2種類の収縮低減剤の使用効果について比較検討した。また、遅延剤は、その使用により凝結速度を遅らせブリージングを増大させるが、余剰水であるブリージング水を適切に除去して、必要に応じて再振動を行えば、高品質コンクリートの打設に有効である場合も考えられる。このため、遅延剤を少量使用した場合についても検討した。

(2) 余剰水の除去効果の検討

コンクリートの乾燥収縮を低減するためには、前述したようにコンクリート中の余剰水を除去するのが効

表-1 配合表

スラブ (cm)	空気量 (%)	水比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	砂	細骨材	粗骨材	AE減水剤
15	4	54	46	157	291	851	1018	0.728

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	相模川水系80%、市原産川砂20% (比重 2.60, FM 2.46)
粗骨材	相模川水系40%、津久井産砕石60% (比重 2.65, FM 0.80)
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物
遅延剤	オキシカルボン酸塩系
収縮低減剤A	低級アルコールアルキレンオキッド付加物
収縮低減剤B	グリコールエーテル系

表-3 実験供試体

No	遅延剤	収縮低減剤		管吸水	振動機 吸水	型枠吸水		再振動	
		A	B			自然法	強制法	内部振動機	外部振動機
N0									
N1						○			
N2							○		
N3							○	○30分後	○30分後
N4				○				○30分後	
N5					○				
T1	○1.3%								
T2	○2.0%								
H1			○1.1%						
R1	○0.2%					○			
R2	○0.2%	○1.3%		○				○60分後	
R3	○0.2%			○				○60分後	

果的であると考えられる。このため、透水性織布による型枠からの吸水（型枠吸水）と、部材中心部からの管による吸水（管吸水）とについて検討した。これらのうち前者については、通常の使用方法的ほかに、積極的に吸水を行うことを目的として、図-1に示すように、型枠の下部に吸水孔を取り付け、真空ポンプを用いて強制吸水を行う方法についても検討した。一方、後者については、図-2に示すように、周囲に $\phi 5\text{mm}$ の水抜き孔と透水性織布を取り付けた $\phi 16\text{mm}$ の塩ビ管を用いて、真空ポンプにより強制吸水を行う方法と、図-3に示すような吸水機構を持つ内部振動機により、締固め時に余剰水を除去する方法とについて検討を行った。

(3) 再振動の効果の検討

再振動は、コンクリート打設後ブリージング水あるいは余剰水が除去された後、コンクリートに再び振動を与え、これらの水みちを充填することにより、コンクリートの品質を向上させるものである。このため、内部振動機および外部振動機を用いて再振動による効果を検討する実験を行った。加振時間は、内部振動機を用いた場合は20秒とし、外部振動機を用いた場合は30秒とした。また、再振動の時期としては、ブリージングが終了する時期が効果的であるとされている¹⁾が、本実験では実施工を考慮して、通常コンクリートで打設30分後、遅延剤を添加したコンクリートで打設60分後とした。

2.3 供試体

実験に使用した供試体は図-4に示すように、部材厚が60cmの壁式構造物の一部をモデル化した幅60×長さ30×高さ60cmの供試体であり、型枠などにそれぞれ表-3に示した所定の対策を講じて打設した後、材令14日において同図に示す位置でコアボーリングを行い、以下に述べる試験項目に合わせて試験体を作製した。

2.4 試験項目

(1) 吸水量測定試験

型枠吸水および管吸水による余剰水の排水効果を検討するため、吸水量の測定を行った。

(2) 圧縮強度試験

採取した供試体を $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ に成形後温度 20°C 、湿度60%の恒温恒湿室で封かん養生し、材令28日においてJIS A 1108に従い強度試験を行った。

(3) 中性化促進試験

各供試体の型枠表面部および部材厚方向の中性化速度を検討するため、 $\phi 7.5 \times 10\text{cm}$ および $\phi 7.5 \times 30\text{cm}$ の2種類の供試体を作製した。これら供試体は、それぞれ暴露面以外をエポキシ樹脂で被覆し、温度 30°C 、湿度60%、 CO_2 濃度5%の中性化促進試験装置内に2ヶ月間静置後、割

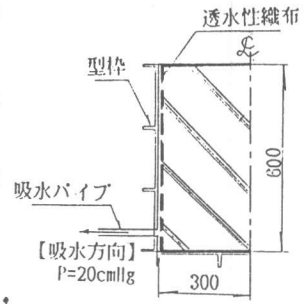


図-1 強制吸水概要

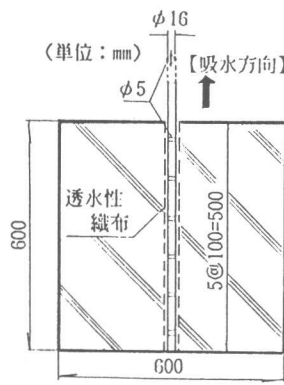


図-2 管吸水概要

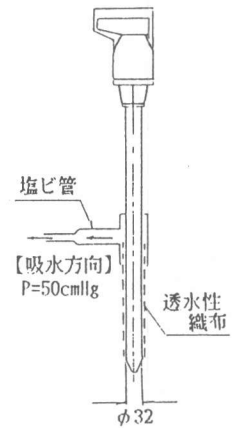


図-3 吸水式振動機

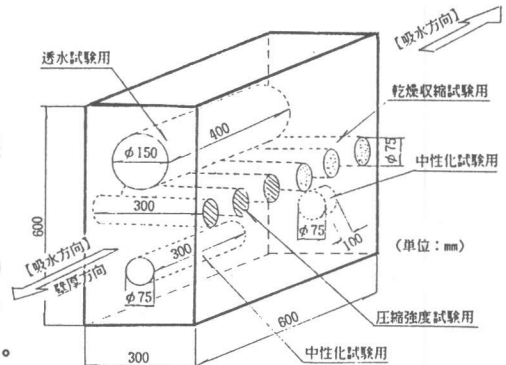


図-4 供試体概要

裂試験を行い中性化深さを測定した。

(4) 乾燥収縮試験

採取したφ10×30cmの供試体を温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室に静置し、コンタクトゲージを用いて乾燥収縮量を測定した。

(5) 透水試験

採取したφ15×15cmの供試体を、温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室に7日間静置後アウトプット法により透水試験を行った。なお、試験時の水圧は30kgf/cm²とし、48時間加压した。

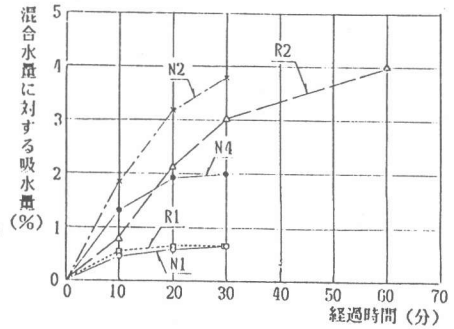


図-5 吸水量比の経時変化

3. 試験結果および考察

3.1 吸水量

型枠吸水および管吸水による吸水量の測定結果を図-5に示す。同図に示すように、型枠に透水性織布を用いた場合(N1, R1)の吸水量は、いずれも混合水量に対して約0.7%であった。しかし、透水性織布を用いて強制吸水を行った場合(N2)の吸水量比は3.7%となり、約5倍の排水効果が得られた。一方、管吸水を行った供試体の吸水量は、通常コンクリートの場合(N4)で約2%であったのに対して、遅延剤と収縮低減剤を併用した場合(R2)は約4%となり、排水時間も約60分と長くなった。

以上の結果から、透水性織布を使用する場合、強制吸水により排水効果を大幅に向上させることができ、硬化コンクリートの品質をさらに改善できるものと考えられる。

3.2 圧縮強度

基準供試体(N0)の表面部近傍(型枠面から5cm)の強度を基準とし、これに対する比として求めた圧縮強度比の分布を図-6に示す。

同図から、コンクリート中の余剰水の除去による圧縮強度の増大効果は、余剰水の排水位置に影響されることが分かる。すなわち、透水性織布を使用したものうちN1およびN3は、表面部近傍の強度が増加し、透水性織布の使用による強度の改善効果の傾向をよく表している。一方、管吸水を行ったもの(N4)や試作した吸水機構を持つ振動機を使用したもの(N5)は、逆に中心部の強度が大きくなっている。このように、吸水機構を設けた位置の近傍の圧縮強度が大きくなっていることから、コンクリート中の余剰水の除去が強度の改善に効果があることが分かる。また、このような余剰水の除去による効果は、透水性織布による吸水を積極的に行うことを目的として再振動を行ったN3供試体の表面部の圧縮強度比が大きくなっていることから認められる。

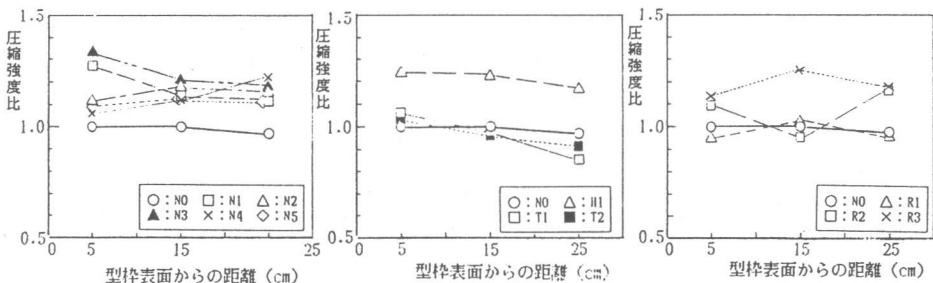


図-6 圧縮強度比の分布

収縮低減剤として、低級アルコールアルキレンオキッド付加物系のもを使用した場合(T1,

T2) は、表面部からの距離の増加に伴い若干強度が低下し、全体で約 3%の強度低下を示した。この原因は明確でないが、富田らの報告²⁾によれば、この種の収縮低減剤は空気の連行作用があり、増加した空気が振動位置に集まったものと考えられる。一方、グリコールエーテル系の収縮低減剤を使用した場合 (H1) は、空気連行作用がなく強度の低下がなかったものと考えられる。

また、遅延剤を添加した場合、透水性織布を使用したもの (R1) は強度増加がなかったが、管吸水と再振動を併用したもの (R2, R3) は強度の増加が認められた。これは、前者の吸水量が後者の約20%に過ぎず、余剰水を十分に除去できなかったためであると考えられる。

3.3 単位体積重量

硬化コンクリートの単位体積重量の分布を図-7に示す。同図から、型枠吸水を行ったものは型枠表面部のコンクリートの単位体積重量が増大し、逆に管吸水を行ったものは中央部のそれが増大することが分かる。この傾向は、前述した圧縮強度比のそれと同様であり、余剰水を除去することにより密実なコンクリートが形成され、強度が増大するものと考えられる。

また、低級アルコールアルキレンオキシド付加物を主成分とした収縮低減剤を添加した場合 (T1, T2) は、中央部における単位体積重量が小さくなる傾向を示しているが、この原因は明確ではない。一方、グリコールエーテル系の収縮低減剤を添加したもの (H1) は、圧縮強度比と同様に、単位体積重量の増加が認められた。

以上の結果から判断すれば、コンクリート中の余剰水を除去することによって、単位体積重量が増加し、より密実なコンクリートが形成されるものと考えられる。

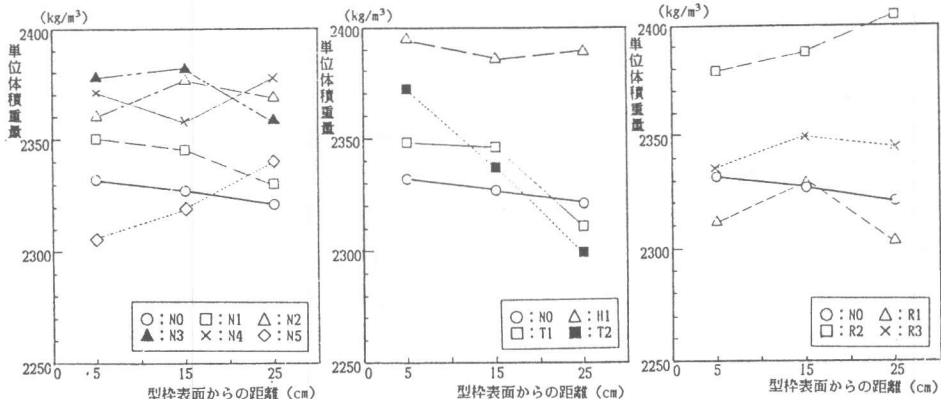


図-7 単位体積重量の分布

3.4 中性化

表-4に、表面部における中性化深さの測定結果を、基準供試体 (N0) の測定値を基準とした中性化比とともに示す。また、図-8に中性化比の分布を示す。

表-4に示すように、透水性織布を使用したものは、N2を除き、部材表面部からの中性化の進行は抑制され、透水性織布を使用することによって

表面部の中性化に対する抵抗性を大幅に改善できることが分かる。また、同表から、収縮低減剤を使用することによって、中性化に対する抵抗性も改善されることが分かる。この収縮低減剤の添加による改善効果は、その主成分によって異なり、ベース供試体に対する中性化比はアルコー

表-4 中性化深さの測定結果 (型枠表面部)

供試体 No.	中性化深さ (cm)	中性化比	供試体 No.	中性化深さ (cm)	中性化比
N0	1.81	1.00	T1	1.21	0.67
N1	0.82	0.45	T2	1.25	0.69
N2	1.39	0.77	H1	0.80	0.44
N3	0.79	0.43	R1	0.86	0.48
N4	1.48	0.82	R2	1.30	0.72
N5	1.81	1.00	R3	1.43	0.79

ルアルキオキシド付加物系のもので67~69%, グリコールエーテル系のもで44%となった。

また、図-8から、透水性織布を使用することによって部材内部の中性化に対する抵抗性を改善できることが分かる。しかし、同図から判断すれば、透水性織布による改善効果の範囲は比較的表面部が主であり、内部においても中性化に対する抵抗性の改善を期待する場合は、強制吸水および再振動を併用するのが効果的であると考えられる。

管吸水を行ったもの(N4)の中性化比は、表面部で82%, 内部で80%となっており、前述した強度の改善効果が中央部で顕著であったのに対して、全体的に改善効果が認められたが、この原因は明確ではない。また、振動機により吸水を行ったもの(N5)については、吸水効果があまらなかったため、中性化防止に対し有意な結果が得られなかった。

遅延剤を添加した場合は、図-8に見られるように、透水性織布の使用による効果は顕著でなかったが、管吸水を行ったもの(R2, R3)については、かなりの改善効果が認められる。特に、収縮低減剤を併用したもの(R2)の中性化比は、表面部で約65%, 部材内部の平均値で約70%となっており、中性化に対する抵抗性の改善効果が大きいことが分かる。

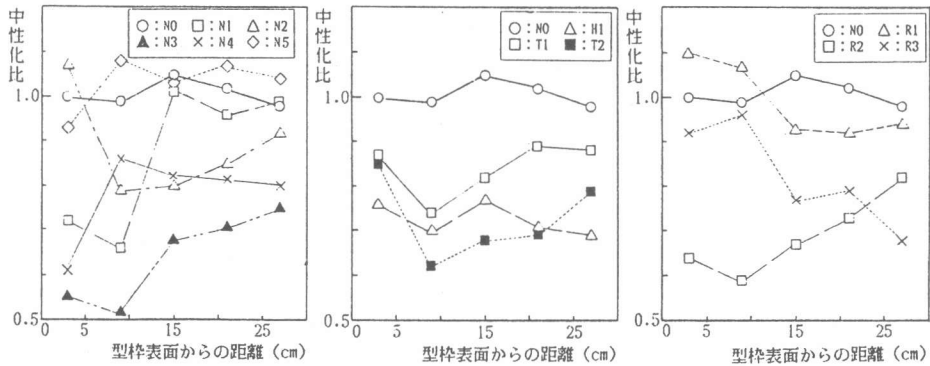


図-8 中性化比の分布

3.5 乾燥収縮量

表-5に乾燥材令6ヶ月における乾燥収縮量を、図-9に乾燥収縮の経時変化を示す。

これらの図表から、型枠吸水や管吸水によってコンクリートの余剰水を除去することにより、硬化コンクリートの乾燥収縮を低減できることが分かる。特に、強制吸水や再振動を併用することによって、その効果は顕著

になっている。すなわち、透水性織布を用いた場合の基準供試体(N0)に対する乾燥収縮量は、強制吸水を行ったもの(N2)で79%, 強制吸水と再振動の両方を行ったもの(N3)で82%となっており、これらを併用することによって乾燥収縮量を約20%低減できることが分かった。

また、収縮低減剤を添加したものは、乾燥材令6ヶ月後における乾燥収縮の低減率は16~23%となっており、同一添加量に対しては、低級アルコールアルキオキシド系の収縮低減剤の方が、グリコールエーテル系の収縮低減剤よりも低減効果が大きかった。一方、遅延剤を添加したコンクリートに関しては、収縮低減剤を併用したもの(R2)が最も効果が大きくなった。

図-10は、前述した吸水量比と乾燥収縮の低減率との関係を示したものであるが、同図から、両者の間には良好な直線関係が認められ、吸水量の多少が硬化コンクリートの乾燥収縮量に大き

表-5 乾燥収縮量の測定結果

供試体 No.	乾燥収縮量 ($\times 10^{-4}$)	乾燥収縮比	供試体 No.	乾燥収縮量 ($\times 10^{-4}$)	乾燥収縮比
N0	9.09	1.00	T1	7.00	0.77
N1	8.55	0.94	T2	7.09	0.78
N2	7.19	0.79	H1	7.64	0.84
N3	7.44	0.82	R1	8.30	0.91
N4	7.86	0.86	R2	6.61	0.73
N5	8.64	0.95	R3	8.74	0.96

表-6 透水係数の測定結果

供試体 No.	透水係数 ($\times 10^{-9}$ cm/s)	透水係数比	供試体 No.	透水係数 ($\times 10^{-9}$ cm/s)	透水係数比
N0	17.03	1.00	T1	13.20	0.78
N1	11.43	0.67	T2	4.21	0.25
N2	13.19	0.77	H1	5.44	0.32
N3	25.95	1.53	R1	26.88	1.58
N4	14.12	0.83	R2	3.12	0.18
N5	15.24	0.90	R3	16.82	0.99

く影響を及ぼすことが分かる。

3.6 透水係数

表-6に透水試験の結果を、基準供試体(N0)の試験値に対する比とともに示す。

同表から、N3およびR1を除きいずれも透水係数比は1.00以下の値となっていることが分かる。これは、余剰水を除去することによって、コンクリートが緻密になり、水密性が改善されたためと考えられる。なお、N3およびR1供試体の透水係数比が大きくなった原因は明確ではないが、供試体の局所的な欠陥が表れたものと考えられる。

4. まとめ

高耐久性コンクリートの施工を目的として、打設コンクリートの余剰水の除去方法と再振動、および混和剤の効果について基礎的検討を行った。

その結果、余剰水の吸水量が硬化コンクリートの品質に大きく影響を及ぼすことが分かった。すなわち、打設コンクリート中の余剰水を除去することにより、密実なコンクリートが形成され強度が改善されるだけでなく、乾燥収縮、中性化および水密性も改善されることが分かった。また、吸水効果を高めるための真空ポンプによる強制吸水や吸水後の再振動が有効であることが分かった。

しかし、本実験では、当初意図したような改善効果が得られなかったものもあり、今後は、これらの方法をさらに検討し、効果的な対策方法を併用するなどして実施工への適用を計りたいと考える。

《参考文献》

- 1) 竹村和夫, 阿部康俱: 再振動締固めによる強度の増進効果について, セメント技術年報, 1985年12月。
- 2) 富田一郎, 後藤孝治, 酒井公式, 茂庭孝司: 収縮低減剤を用いたコンクリートの乾燥収縮およびびびわれに関する実験研究, 第5回コンクリート工学年次講演会論文集, 1983年6月。

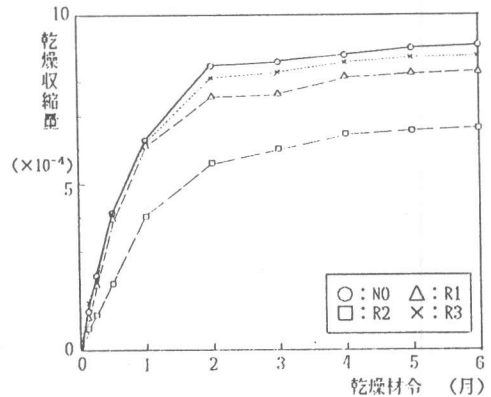
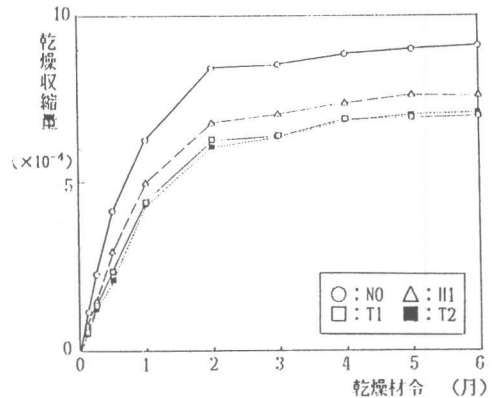
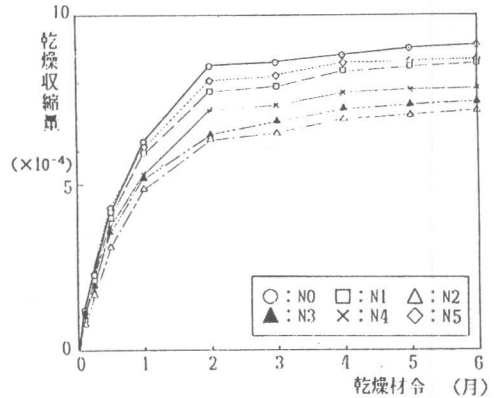


図-9 乾燥収縮量の測定結果

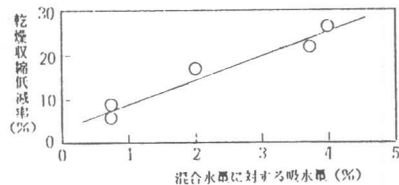


図-10 乾燥収縮低減率と吸水量比の関係