

論文 型枠の種類と養生期間がコンクリートの表層品質に与える影響

Effect of Surface Layer Quality of Concrete by Using Different Form and Curing Period

○荒木 萌*1・柿沼 拓実*2・的場 栄次*3・北川 真也*4・伊代田 岳史*5

Megumi ARAKI, Takumi KAKINUMA, Eiji MATOBA, SHINYA KITAGAWA and Takeshi IYODA

要旨：コンクリートの表層品質は、コンクリート構造物の耐久性を確保するために重要である。本研究では、表面気泡と表層の緻密性との関係を検討した。その結果、コンクリートの表面気泡の減少は、表層の緻密性へ与える影響が小さいことが明らかとなった。また、本研究より表面気泡の増加が凍結融解抵抗性を低下させる要因となることが示唆された。さらに、ハンディ型の軽量な超音波計を使用することで得られる弾性波速度を用いることでコンクリート表層の緻密性を簡易的に評価できる可能性が示された。

キーワード：表層品質，表面気泡，凍結融解抵抗性，超音波計，弾性波速度

1. はじめに

通常のコンクリート構造物では、施工されたコンクリート構造物は表層も内部も均一な品質のコンクリートであると考えられていた。しかし構造物において、外力や荷重条件の変更に伴う補強鋼材の高度化、使用するコンクリート材料の変化、作業環境の多様化などにより、従来通りの打込みや締固めを行うことが難しくなったり、従来通りの施工を行っても初期欠陥が発生したり、また工期を優先するがために、養生が不十分になり品質の低下が生じるという問題がある^{1,2)}。このような問題が生じたコンクリート構造物においては、コンクリートが不均一となり、コンクリートの表層品質は極めて低いものになる。コンクリートの表層品質はコンクリート構造物の耐久性を確保するために重要である。表面気泡は、コンクリートの美観を低下させるだけではなく耐久性も低下させると考えられる。既往の研究^{3,4)}では、撥水剤などを型枠に塗布することで表面気泡を低減できることが報告されている。またコンクリートの表層の緻密性は、養生期間を長く設けることにより向上する。しかしながら、型枠種類を変えて表面気泡を低減させたコンクリートの美観とその表層の緻密性の関係は明確にされていない。以上のことから、本研究ではコンクリートの美観とその表層の緻密性の関係を把握することを目的とした。型枠の種類と養生日数を変化させた供試体を作製し、その表面および表層の緻密性について検討を実施することで、コ

表-1 コンクリート配合表

セメント	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	N	BFS	S	G
BB	60	48	170	163	120	870	972

ンクリートの美観と耐久性の関係を明らかにするよう試みた。

2. 実験概要

2.1 使用材料および試験体緒元

本研究では、試製高炉セメント B 種 (置換率 42.5%) を用いたコンクリートを用いた。表-1 に計画配合を示す。ここで、養生の影響が顕著に表れるよう W/C を高く設定した。本実験で作製した試験体寸法は、300×300×150 (mm) と 225×225×55 (mm) の 2 種類である。また、型枠は鋼製、撥水、透水、セラミック、合板の 5 種類を使用した。脱型時間として、実際に一般的なトンネルの覆工コンクリート施工で行われている最も早い 18 時間と、型枠を 2 日間存置した試験体を作製した。脱型を行った後、ラップを用いて 3 日および 7 日の封緘養生を実施した。また、表面および表層の緻密性を変化させるため、脱型後の養生日数を 3 日および 7 日と変化させている。上記の養生パターンを図-1 に示す。

*1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科

Dept. of Civil and Environmental Engineering, SHIBAURA Institute of Technology

*2 元芝浦工業大学 工学部土木工学科

Dept. of Civil Engineering, SHIBAURA Institute of Technology

*3 佐藤工業 (株) 技術研究所

Research and Development Center, SATOU KOGYO Corporation

*4 佐藤工業 (株) 土木事業本部 設計部

Designs Division, SATOU KOGYO Corporation

*5 芝浦工業大学 工学部土木工学科

Dept. of Civil Engineering, SHIBAURA Institute of Technology

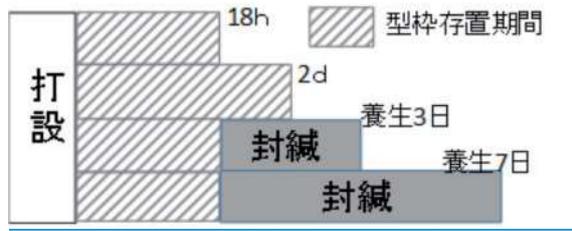


図-1 養生比較パターン

表-2 表面気泡率

型枠種類	鋼製	撥水	透水	セラミック	合板
表面気泡率(%)	3.1	0	0.3	2.4	2.1

2.2 試験方法

(1) 表面気泡率の測定

コンクリート試験体表面の気泡率を求めるため、コンクリート試験体表面の表面を撮影した画像の二値化処理を行った。ただし透水型枠においては、型枠に使用した透水シートの網目模様が脱型時にコンクリート表面に反映されてしまい、正しく数値化できなかったため、しきい値を明るさ 40%として処理を行った。

(2) 凍結融解試験

凍結融解試験は 225×225×55mm の試験体を用いて、ASTM C 672 に準じて試験を行った。材齢 28 日後、シーリング材を用いて土手を作製し、試験面に対して高さ 6mm になるよう水を張った。-20℃の冷凍庫で 17 時間凍結させ、その後恒温恒湿室 (20℃、RH60%) で 7 時間かけて融解させた。これを 1 サイクルとし、30 サイクル実施した。試験面から剥落したスケーリング片を採取し、試料の重さを試験面面積で除した値を単位面積当たりのスケーリング量 (g/cm²) とした。

(3) 透気試験

コンクリート表面の緻密性の評価のため、トレント法により透気試験を実施した。材齢 28 日後の 300×300×150 mm の試験体表面の水分率が 5%以下になったことを確認した後に測定を実施した。コンクリート試験体中央部にて、トレント法を用いて透気量の測定を行った。評価には表層透気係数である KT 値を用いた。

(4) 透水量試験

300×300×150 mm の試験体を用いて、試験体の中央部で JSCE-K 571-2013 に準じた透水量試験を実施した。試験面中央部にシーリング材を用いて試験機を固定し、1 時間毎に透水量を測定した。位置水頭による透水圧の影響を排除するため各測定後に再び注水し、12 時間

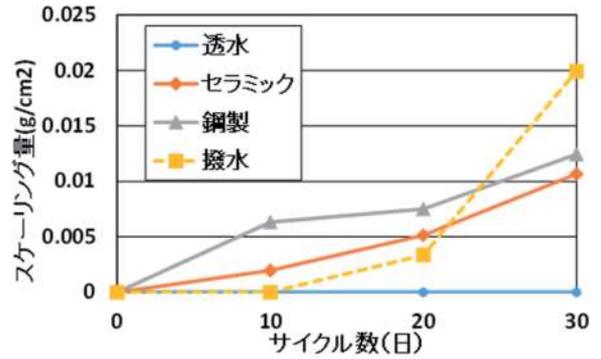


図-3 凍結融解試験結果

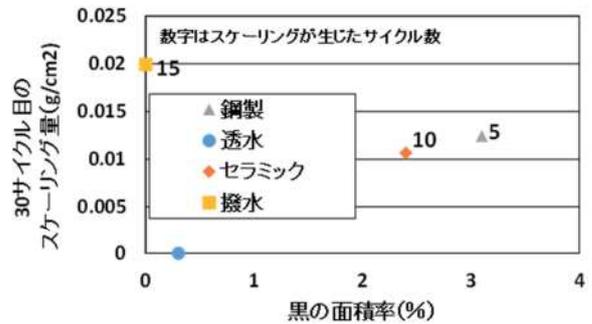


図-4 表面気泡率とスケーリング量の関係

測定を実施した。

(5) 弾性波試験

300×300×150 mm の試験体を用いて、試験面の中央部で弾性波速度試験を実施した。試験には超音波音速測定器である日本マテック社の UK1401 を用いた。

3. 試験結果および考察

3.1 試験結果

(1) 表面気泡率

二値化処理を利用した表面気泡の全面に対する割合を表-2 に示す。表面気泡率の結果から透水型枠と撥水型枠ではコンクリート表面の気泡がほぼ検出できなかった。一方、その他の型枠でコンクリート表面に表面気泡が多くできる結果となった。

(2) 凍結融解試験

凍結融解試験によるスケーリング量の結果を図-3 に示す。スケーリング量は撥水、鋼製、セラミックスで多く生じ、この結果は表面気泡率が高いものであった。これよりコンクリート表面の気泡率つまり美観は凍結融解抵抗性に影響を与えることから、型枠種類を選択することが有効であるといえる。また、図-4 に表面気泡率とスケーリング量の関係を示す。鋼製型枠とセラミック型枠はスケーリングが生じててもスケーリング量は少ない結果となった。また、撥水型枠はスケ

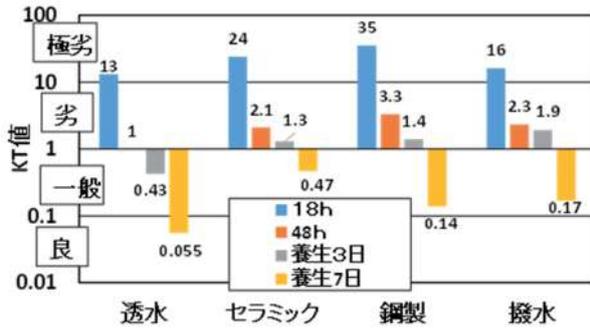


図-5 透気試験結果

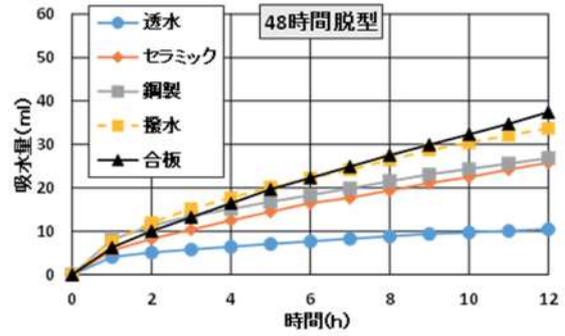


図-7 48時間脱型を実施した試験体の吸水量

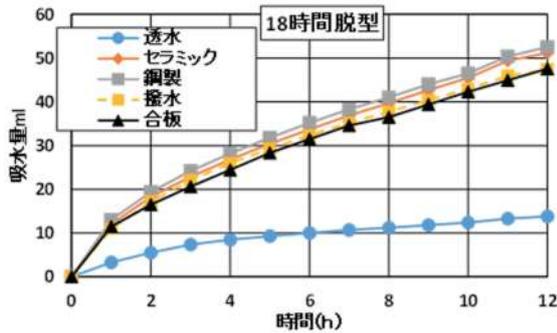


図-6 18時間脱型を実施した試験体の吸水量

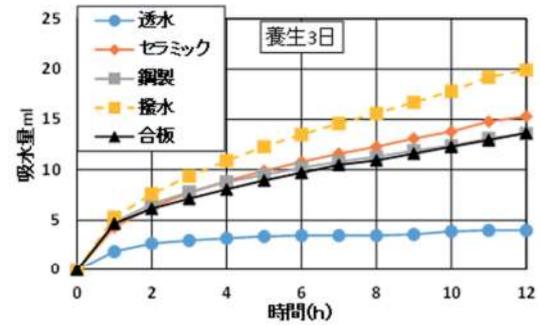


図-8 3日養生を実施した試験体での吸水量

ーリングが生じるまで他の型枠と比べ長い時間がかかっていたが、スケーリングが一度生じると他の型枠で作製した試験体と比べると表面の劣化速度が速いことがわかった。これは撥水剤により水が押し戻され、コンクリート表面が薄いセメントペーストの膜を持っており、凍結融解試験ではこの膜からひび割れが生じるとサイクルを追うごとにスケーリングを起こすのではないかと予測することが出来るが、これについてはさらなる検討が必要である。

(3) 透気試験

透気試験の結果を図-5に示す。18時間脱型した試験体の表層の透気性は、全ての型枠において大きい結果となった。トレント法によるKT値での評価は、18時間では「極劣」の評価だったが、48時間で脱型を実施した試験体では、評価が「極劣」から「劣」になり、さらに養生7日では評価が「一般」まで向上することがわかった。このことより、養生期間を長くすると、KT値が小さくなることから、養生によってコンクリートの表層が緻密になっていると考えられる。

(4) 透水量試験

養生のパターンごとに透水量試験の結果を図-6から図-9に示す。18時間脱型と48時間脱型の結果を、12時間後の吸水量で比較すると、48時間後に脱型した試験体の吸水量が少なくなっていることから、型枠が存置されている時間でコンクリートの表層の緻密性が

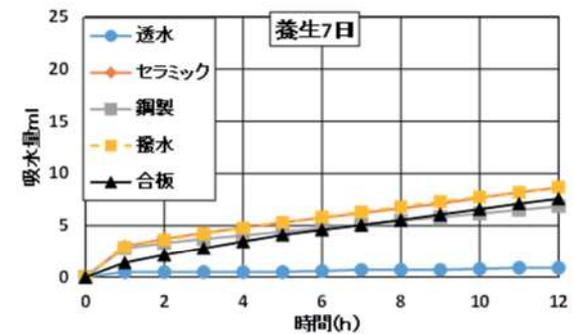


図-9 7日養生を実施した試験体での吸水量

向上したと考えられる。さらに、養生を3日実施した試験体と養生を7日実施した試験体を比較すると、養生7日の試験体の吸水量が少なくなっていることから、養生によってコンクリートの表層の緻密性が向上したと考えられる。透水型枠以外の12時間後の吸水量をみると、ほぼ同等の値になったことから型枠種類を変えても表層の緻密性には影響しないことがわかった。表層の緻密性の向上には型枠存置や養生を施す必要性があるといえる。

(5) 弾性波速度結果

弾性波速度試験の結果を図-10に示す。透水型枠以外の型枠は、ほぼ同等の値となったまた養生を施すと弾性波速度は増加することがわかった。透水型枠を使用したコンクリートの弾性波速度の値が高くなった要

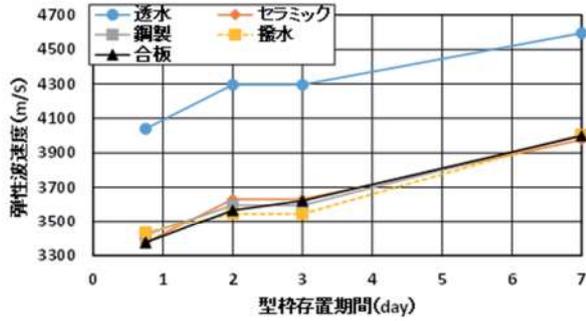


図-10 28日後の弾性波速度

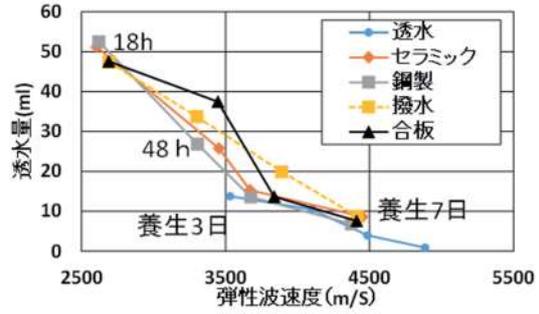


図-12 弾性波速度と透水量の関係

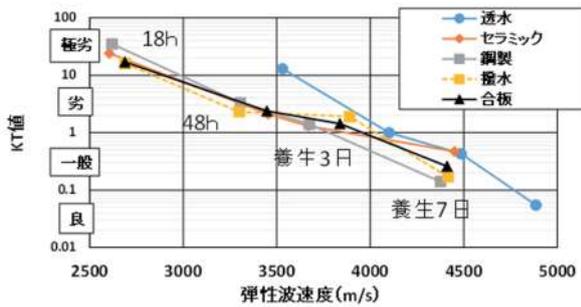


図-11 弾性波速度とKT値の関係

因として、型枠の透水シートから水分が排出されコンクリート試験体の表層のW/Cが小さくなったため、ほかの型枠を使用した試験体に比べて緻密であるからだと考えられる。

3.2 弾性波速度による表層の緻密さの推定

図-11、図-12に示すように、弾性波速度と透気係数および透水量には相関関係が見られた。このことより、弾性波速度を測定することによってコンクリートの表層部における物質透過性および緻密性の評価ができると考えられる。この今回実施した弾性波速度試験は、軽量かつハンディであり、携帯することが容易である。また、測定時間は3~5秒とごくわずかで測定可能である。今回表層部の性能評価のため実施した透気試験(トレント法)は、測定時間は6~12分であり、また試験機自体も重量があるために持ち運びに手間が必要である。さらに測定時期は材齢が28日以降であるものに限られる。同じく本研究で実施した簡易吸水試験では、実施の際には人の目によって水の減少量を確認する必要があり、また、試験の時間は指定されていないが、数時間ごとでの計測を行ったうえで数値を比較することが必要となる。これらのことより、コンクリートの表層部の品質を評価するために弾性波速度試験を実施することは有用であると考えられる。今後、使用セメントやW/Cが異なるコンクリートについても弾性波速度試験を実施することによってコンクリート

の表層品質の評価が可能であるか、検討を行っていく予定である。

4. まとめ

- (1) 型枠種類を変えることは表面気泡の低減の効果が確認されたが、表層の緻密性には影響しない結果であった。
- (2) 凍結融解によるスケーリングが生じるサイクル数は、型枠種類を変えて表面気泡を低減させることにより長時間にすることができる。
- (3) 表面気泡が異なるコンクリートの物質透過性は、型枠の種類によらずほぼ同等であり、養生を行うことで改善された。
- (4) 型枠種類とコンクリート表層の緻密性は関係がなく、材齢初期における水分の逸散を防ぐことが重要であり、養生の必要性が改めて示された。
- (5) 弾性波速度と透気試験結果、透水量試験結果には相関が見られることから、超音波法によって表層品質が評価できると考えられる。

5. 参考文献

1. 土木学会 構造物表層のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会 (JSCE335 委員会) 第二期成果報告書およびシンポジウム公演概要集
2. 太田 真帆, 伊代田 岳史: 性状が異なるコンクリートにおける適切なバイブレーターの締め固め方法の提案, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集第16巻, 2016
3. 平野 正幸, 吉武 勇, 平岡 照規, 稲川 雪久: トンネル覆工コンクリートの側壁に生じる表面気泡量の評価に関する基礎研究, セメント・コンクリート論文集 Vol. 67, pp. 252-258, 2014
4. 豆田 憲章, 森濱 哲志, 北川 真也, 的場 栄次, 宇野 洋志城: トンネル覆工コンクリート超撥水型枠適用における表面美観向上に関する検討, 佐藤工業技術研究所報 (42), 29-33, 2017