

報告

振動機付きフィニッシャーで仕上げたRC床版上面の 緻密性の調査と材齢による比較

櫻井勇太*, 岡本道雄**, 藤原史*, 松村寿男***, 国枝稔****, 井上達史*****

*修(工), 瀧上工業株式会社, 技術統括部技術企画グループ (〒475-0826 愛知県半田市神明町 1-1)

**修(工), 瀧上工業株式会社, 工事統括部工事グループ (〒475-0826 愛知県半田市神明町 1-1)

***博(工), 瀧上工業株式会社, 技術統括部技術企画グループ (〒475-0826 愛知県半田市神明町 1-1)

****博(工), 岐阜大学教授, 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

*****静岡県, 島田土木事務所 (〒427-0019 静岡県島田市道悦 5-7-1)

鉄筋コンクリート床版の耐久性を確保するには、表層の緻密性を向上し、劣化因子の侵入を抑制することが重要である。本稿では、実橋の鉄筋コンクリート床版上面の材齢 1.5 ヶ月、10 ヶ月時の表層透気係数を計測し、振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げが緻密性に与える影響の調査を行った。材齢による表層透気係数の比較より、振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げが、床版コンクリートの長期的な緻密性向上に寄与することがわかった。さらに、コンクリート表層の均一なタンピングにより、床版上面のより広い範囲で緻密性向上効果が得られることがわかった。

キーワード：振動機付きフィニッシャー、表層透気係数、緻密性、材齢

1. はじめに

鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）は、水分や塩化物イオンなどの劣化因子のコンクリート表面から内部への侵入で劣化が進行することがわかっている¹⁾。そのため、耐久性確保には施工時にコンクリート表層の緻密性を向上させ、劣化因子の侵入を抑制する対策が重要となる。

施工時にコンクリート表層の緻密性を制御する対策の一つに振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げがある。振動機付きフィニッシャーは振動機を搭載したトラスビーム型の均し装置であり、場所打ちコンクリート表

面に沿ってウィンチを用いて水平移動させることで均し作業とタンピング作業を同時に行うことができる。振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにより、RC 床版上面の平坦性の確保に加え、コンクリート表層の余分な空気や水分を排出することで、RC 床版表層の緻密性を制御することができる。

本稿では、実橋の RC 床版施工時にコンクリート表面に振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げを適用し、コンクリート材齢 1.5 ヶ月および 10 ヶ月時の表層透気係数を計測した結果を報告する。一次仕上げの有無および材齢により比較することで、一次仕上げがコンクリートの材齢による緻密性に与える影響を調査・考察した。

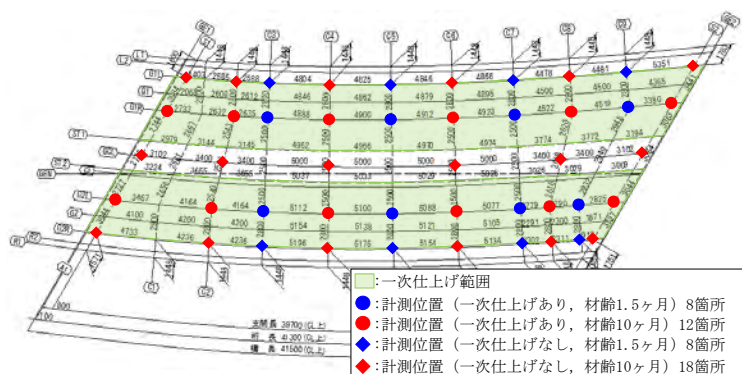


図-1 対象橋梁の平面図と計測位置

2. 対象橋梁の概要

図-1 に対象橋梁の平面図を示す。対象橋梁は2022年6月に完成した主桁間に2本の縦桁を有する鋼単純非合成2主箱桁である。上部工の支間長は39.7m, RC床版の幅員は約16m, 縦断勾配2.5%, 横断勾配2~6% (片勾配), 平面線形は $R=160\sim\infty$ ($A=90$) である。RC床版に使用したコンクリートは水セメント比50%以下, 設計基準強度 30N/mm^2 , 空気量 $4.5\pm 1.5\%$, スランプ $12\pm 2.5\text{cm}$, 普通ポルトランドセメント (膨張材入り) である。

3. 振動機付きフィニッシャーの概要

図-2 に施工時に用いた振動機付きフィニッシャーの配置を含めた RC 床版の断面図を示す。本橋では長さ5.4m, 高さ約400mmのトラスビームを装置に使用した。フィニッシャー装置を支持するため, 2主桁の外側ウェブラインである G1L, G2R 上および縦桁ラインの ST1, ST2 上に設けたコンクリート打設時の高さ管理の目安とする検測棒上に, $75\times 40\times 5\times 7\text{mm}$ の溝形鋼をレールとして橋軸方向に配置した。そのうえで, フィニッシャー装置の両端部をレールで支持するようにトラスビームを橋軸直角方向に設置した。

作業手順は S1 側から S2 側に向かってコンクリートを打設しながら棒状バイブレーターで締固めを行い, コテによる粗仕上げ後, 写真-1 に示すとおり, 振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げを実施した。その後, トロウェルを用いて最終仕上げを行った。なお, 一次仕上げを実施していない範囲はコテによる粗仕上げ後, トロウェルによる最終仕上げを行った。

振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げは RC 床版上面のうち, 供用後に輪荷重が直接載荷される走行車線の範囲を包括する G1L~ST1, ST2~G2R の範囲 (図-1 の着色部) を対象とした。

4. コンクリートの緻密性の計測方法

写真-2 に材齢10ヶ月におけるトレント法²⁾による表層透気係数の計測状況を示す。トレント法は, ダブルチャンバーの吸引によりコンクリート表層を一定圧力まで減圧した後, 真空ポンプによる吸引を停止してチャンバー内の気圧が回復するまでの時間から緻密性を評価する手法である。本調査ではコンクリート構造物に関するスイス標準規格 SIA 262/1 に準拠した透気試験機を使用した。表層透気係数 kT ($\times 10^{-16}\text{m}^2$) は表-1 に示すとおり, kT 値が小さいほどコンクリート表層が緻密であり, 高い品質であると評価される³⁾。なお, 表層透気係数と耐久性の関係は文献4)において, 「優 $kT<0.01$ ($\times 10^{-16}\text{m}^2$)」と「良 $0.01<kT<0.1$ ($\times 10^{-16}\text{m}^2$)」の中性化速度係数の差異が約 $0\sim 4\text{mm}/\sqrt{1\text{year}}$ であるデータが示されている。

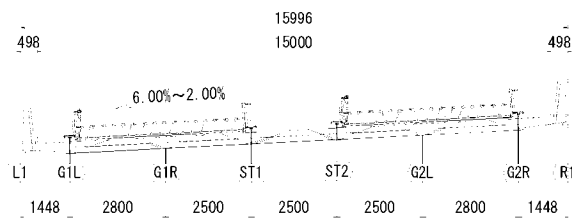


図-2 振動機付きフィニッシャーの配置



写真-1 RC床版上面の一次仕上げ



写真-2 表層透気係数計測

表-1 表層透気係数のグレーディング³⁾

Classification of the quality of the "covercrete"		kT ($\times 10^{-16}\text{m}^2$)
1	very good (優)	$kT<0.01$
2	good (良)	$0.01<kT<0.1$
3	normal (一般)	$0.1<kT<1.0$
4	bad (劣)	$1.0<kT<10$
5	very bad (極劣)	$10<kT$

計測位置は図-1 に示すとおり, 振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げを実施した G1R, G2L ライン上と一次仕上げを実施していない G1L, GCL, G2R ライン上とした。コンクリートの材齢による表層透気係数を比較するため, 横桁位置 C3, C5, C7, C9 との交差部近傍で材齢1.5ヶ月, 横桁位置 S1, C2, C4, C6, C8, S2 との交差部近傍で材齢10ヶ月の時点で計測を行った。なお, 計測作業の都合上, 材齢1.5ヶ月, 10ヶ月時で計測位置が一致していないことと, 材齢1.5ヶ月時の GCL ラインは計測していないことに留意されたい。

表-2 材齢 1.5 ヶ月の表層透気係数 kT ($\times 10^{-16}m^2$) の計測結果

計測位置		C3		C5		C7		C9		平均値	最大値
		kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	kT値
仕上げあり	G1R	0.020	良	0.030	良	0.065	良	0.041	良	0.048	0.074 (G2L-C5)
	G2L	0.038	良	0.074	良	0.067	良	0.047	良		
仕上げなし	G1L	0.038	良	0.080	良	0.032	良	0.075	良	0.041	0.080 (G1L-C5)
	G2R	0.029	良	0.027	良	0.032	良	0.038	良		

表-3 材齢 10 ヶ月の表層透気係数 kT ($\times 10^{-16}m^2$) の計測結果

計測位置		S1		C2※		C4		C6		C8		S2		平均値	最大値
		kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	評価	kT値	kT値
仕上げあり	G1R	0.015	良	0.059	良	0.006	優	0.004	優	0.005	優	0.001	優	0.005※	0.015※ (G1R-S1)
	G2L	0.002	優	0.016	良	0.008	優	0.001	優	0.002	優	0.002	優		
仕上げなし	G1L	0.003	優	0.013	良	0.010	良	0.006	優	0.032	良	0.003	優	0.009※	0.050※ (GCL-S2)
	GCL	0.001	優	0.018	良	0.006	優	0.008	優	0.002	優	0.050	良		
	G2R	0.003	優	0.026	良	0.003	優	0.005	優	0.004	優	0.003	優		

※C2はコンクリート表面を一部除去したため、考察の対象から除外

以上の条件で表層透気係数を計測し、振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げの有無およびコンクリートの材齢による緻密性の比較を行った。

5. 表層透気係数の計測結果

表-2, 3 にコンクリートの材齢別の表層透気係数の計測結果を示す。このうち、材齢 10 ヶ月の計測結果において、横桁位置 C2 の kT 値が他の横桁位置と比較して kT 値が大きい、すなわち緻密性が低い結果であった。これは、施工時の床版上面の汚れを取り除くため、当該範囲のコンクリート表面を一部切削したことが要因であり、考察の対象から除外した。

表-2, 3 に示す表層透気係数に基づくコンクリートの緻密性の評価³⁾より、振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げの有無および横断勾配の変化によらず、「良」以上の評価であり、RC 床版表層全面で良好な緻密性を有するコンクリートといえる。材齢ごとに着目すると、材齢 1.5 ヶ月では一次仕上げの有無によらず、全ての計測位置にて $kT=0.01\sim0.1$ ($\times 10^{-16}m^2$) に該当する「良」であるのに対し、材齢 10 ヶ月では、 $kT=0.001\sim0.01$ ($\times 10^{-16}m^2$) に該当する「優」である計測位置が多いことがわかる。これは、コンクリートの水和反応の進行により、床版表層の広い範囲で緻密性が向上したことが要因として考えられる。

材齢 10 ヶ月の一次仕上げの有無による評価の割合は、「一次仕上げあり」の範囲で「優」が 90.0%、「一次仕上げなし」の範囲では「優」が 66.7%であり、「一次仕上げあり」の範囲の「優」の割合が高いことがわかる。これは内部振動機のみを用いた締固めに比べ、振動機付きフィニッシャーはコンクリート上面の広い範囲で均一に振動を作用させることが可能であるため、床版上面のより広い範囲で緻密性の高いコンクリート品質が得られてい

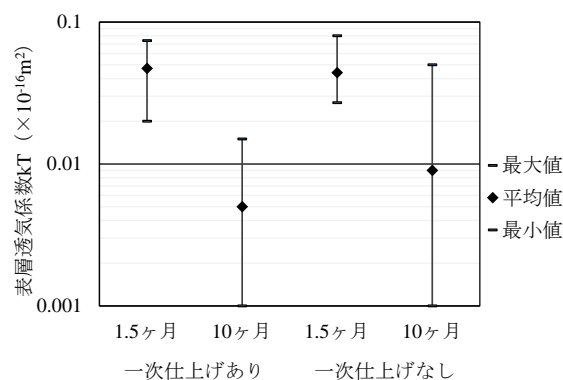


図-3 仕上げの有無・材齢による比較

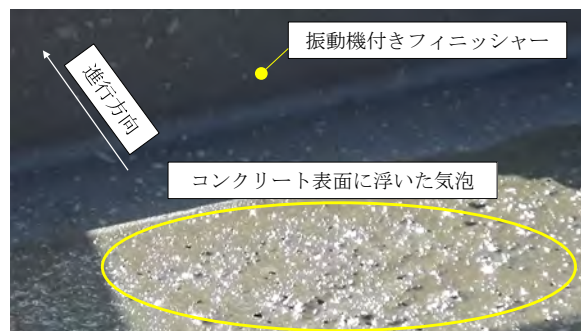


写真-3 一次仕上げ中のコンクリート表面

ると考えられる。

図-3 に一次仕上げの有無および材齢ごとの表層透気係数の最大・最小値、平均値のグラフを示す。材齢 1.5 ヶ月における表層透気係数の平均値は、一次仕上げの有無による差はわずかであった。一方、材齢 10 ヶ月の表層透気係数の平均値は「一次仕上げなし」と比較して、「一次仕上げあり」が小さい、すなわちコンクリートの緻密性が高い結果であった。材齢による平均値の差は「一次仕上げなし」の 0.032 ($\times 10^{-16}m^2$) に対して、「一次仕上げあり」は 0.043 ($\times 10^{-16}m^2$) であり、一次仕上げにより材

齢による表層透気係数の減少量が大きいことから、コンクリートの緻密性がより高くなっていることがわかる。これは一次仕上げによるタンピングで、コンクリート内部の余分な空気や水分が排出され、コンクリート表層の緻密性が向上したことに起因すると考えられる。

写真-3 に振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げ中のコンクリート表面の状況を示す。振動機付きフィニッシャーが通過したコンクリート表面には気泡が多数みられる。さらに、写真-4 に示す一次仕上げ後のコンクリート表面の比較より、「一次仕上げなし」の範囲に比べて「一次仕上げあり」の範囲は、コンクリート内部からの余剰水が表面に排出されていることがわかる。

これらの作用は材齢 10 ヶ月時の床版上面の表面性状にも表れている。写真-5 に「一次仕上げあり」の計測点 C8-G1R (kT 値 : $0.005 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$, 評価 : 優), 写真-6 に「一次仕上げなし」の計測点 C8-G1L (kT 値 : $0.032 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$, 評価 : 良) の材齢 10 ヶ月の表面性状を示す。床版上面の表面性状の違いが特に顕著な写真の抜粋だが、「一次仕上げあり」の C8-G1R の表面性状は「一次仕上げなし」の C8-G1L と比較して表面が滑らかであることがわかる。これは「一次仕上げなし」の範囲では、トロウエルによる最終仕上げ後もコンクリート内部の余剰水が少しずつ表面に排出されるのに対し、「一次仕上げあり」の範囲は、一次仕上げ時の余剰水排出後に最終仕上げを行うことができるため、コンクリート表層の緻密性が向上したものと考えられる。

以上より、振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げにより、コンクリート表層のタンピングの効果が得られ、長期的なコンクリート材齢に対しての緻密性向上に寄与することがわかった。

6. 結論

実橋の RC 床版の施工において、振動機付きフィニッシャーによる一次仕上げの有無および材齢の異なる床版上面の表層透気係数を比較することで、コンクリートの緻密性を調査した。

- ・実橋の施工において、コンクリート表層の均一なタンピングにより、コンクリート内部の余分な空気や水分が排出され、RC 床版上面のより広い範囲で振動機付きフィニッシャーによる緻密性向上効果が確認された。
- ・振動機付きフィニッシャーを用いた一次仕上げは、材齢 1.5 ヶ月における表層透気係数の差はわずかであったが、材齢 10 ヶ月においては差がみられたことから、長期的なコンクリートの緻密性向上に寄与する。

参考文献

- 1) 田中良樹, 村越潤 : 道路橋鉄筋コンクリート床版の劣化形態の多様化と防水対策, 第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.281-284, 2014.

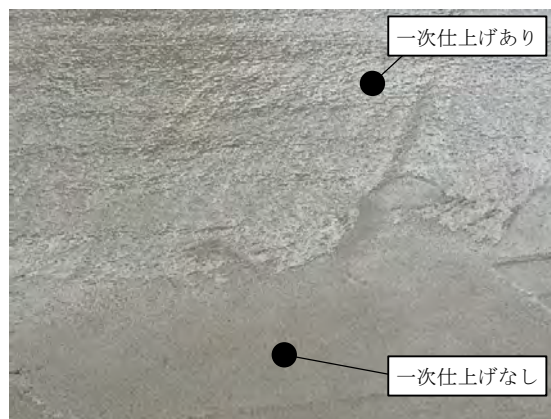


写真-4 一次仕上げ後のコンクリート表面の比較

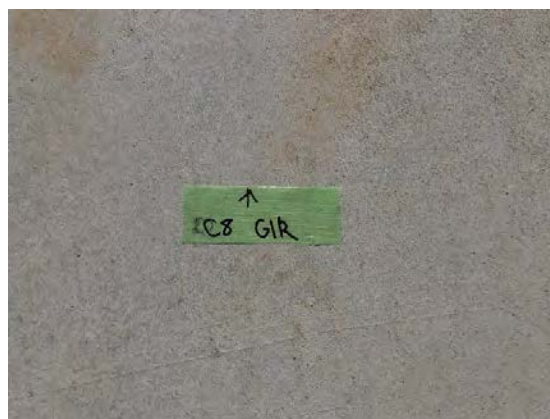


写真-5 材齢 10 ヶ月の表面性状（一次仕上げあり）



写真-6 材齢 10 ヶ月の表面性状（一次仕上げなし）

- 2) Torrent, R. J. : A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of the permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, V.25, No.6, pp.358-365, 1992.
- 3) R. Torrent and G. Frenzer : A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the “covercrete”, Inter-national Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), pp.985-992, 1995.
- 4) 加藤佳孝, 早川健司 : 表層透気試験を用いた中性化に伴う鋼材腐食の耐久性設計と検査の連係に関する一考察, 土木学会論文集 E2, Vol.68, No.4, p.412, 2012.
(2024 年 7 月 12 日受付)