

締固め位置と時間を可視化したコンクリートの締固め管理システムによる品質確保

鹿島建設(株) 正会員 ○大橋雅恵 水野浩平 芦澤良一 青木康治 高木泰雅 坂村幹也 柳井修司  
(株)イクシス 正会員 小林 光 山崎文敬

1. はじめに

コンクリート構造物の品質を確保するためには、バイブレータの振動時間や挿入間隔を適切に管理して締め固めることが重要である。しかしながら、打込み中にこれらを計測して管理するには膨大な労力を要するため、現状では予め設置したバイブレータ挿入位置の目印などを目安にして、元請職員や締固め作業者が目視で締固め状況を確認しながら作業している。このため、バイブレータの挿入を忘れる箇所や振動時間の過不足により材料分離や未充填が生じる可能性があり、密実性や均質性が損なわれてコンクリート構造物の品質を低下させる恐れがある。そこで、打込み中に確実かつ効率的に締固め管理を行える手法が求められる。本報では、拡張現実（以下、AR と称する）技術を活用して締め固めた位置や時間を可視化できる締固め管理システムについて、実施工に適用した事例とその効果を示す。

2. システムの概要

図-1 に、締固め管理システムの概要図を示す。本システムは、締固め作業者の腕に装着した携帯端末の LiDAR 機能によって自己位置と作業姿勢を検知し、締固め位置と時間を取得するものである。これらの結果は、携帯端末および管理 PC に表示、記録される。携帯端末には、バイブレータの挿入位置を中心とした直径 50cm の締固め範囲と同範囲を締め固めた時間が AR で着色して表示される。また、バイブレータ挿入間隔の目安として 50cm 間隔のメッシュも AR で表示され、締固め作業者はこれらの表示を確認しながら作業ができる。管理 PC には、図面上に複数の携帯端末から取得した締固め位置と時間が集約されて示され、元請職員は締固め作業を一元的に管理できる。

3. 実施工における適用性の検討

3.1 実施概要

梁構造物（幅 3.0m×高さ 1.8m×延長 19.0m）を対象に、締固め管理システムを適用した。表-1 に、コンクリートの配合を示す。高炉セメント B 種を使用した水セメント比 49.5%のものである。打込みは、ポンプ車のブームを用いて行った。締固めは、筒先付近に 2 名、後追いに 1 名の合計 3 名の作業で行い、後追いの 1 名に携帯端末を装着した。システムの表示は、締固め時間が 5 秒で青色、10 秒で赤色に着色されるよう設定した。

コンクリート打込み後材齢 6 日の時点において、梁側面を対象に表層目視評価<sup>1)</sup>、トレント法による透気係数、テストハンマーによる圧縮強度および表面気泡面積率を測定した。ここで、表面気泡面積率は、30cm×50cm の測定範囲内に生じた直径 0.4mm 以上の気泡の面積割合として算出した。これらの測定は、下端から高さ 0.3m の位置において合計 8 箇所で行い、その平均値と標準偏差で評価した。比較として、本システムを適用せずに標準的な締固め管理を行っ



図-1 締固め管理システムの概要

表-1 コンクリートの配合 (27 15 20 BB)

| W/C (%) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |      |
|---------|-----------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
|         |           |         | W                        | C   | S1  | S2  | G   | Ad   |
| 49.5    | 15.0±2.5  | 4.5±1.5 | 173                      | 350 | 462 | 308 | 990 | 3.50 |

W : 上水道水  
C : 高炉セメント B 種, 密度 3.04g/cm<sup>3</sup>  
S1 : 砂, 表乾密度 2.60g/cm<sup>3</sup>, F.M. 2.30  
S2 : 砕砂, 表乾密度: 2.62g/cm<sup>3</sup>, F.M. 3.05  
G : 砕石 2005, 表乾密度: 2.66g/cm<sup>3</sup>, 実積率 59.0%  
Ad : AE 減水剤遅延型

キーワード コンクリート, 締固め, 品質確保, 可視化, 表層品質

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

た別の梁構造物でも同じ測定を行った。以下、本システムを適用した場合を「提案管理」、適用していない場合を「標準管理」と称する。

### 3.2 適用結果

締固め作業者は、50cm 間隔のメッシュを目安にして、締固め位置が赤色に変化したことを携帯端末で確認しながら締め固めることができた。元請職員は、管理 PC により締固めの進行状況をリアルタイムに把握しながら管理することができた。特に、図-2 に示すように締め固められていない箇所が明確に表示されたため、即座に締固め作業者に伝達して当該位置を改めて締め固めることで、バイブレータの挿入忘れを防ぐことができた。打込み完了時には、かぶりから内部まで全体的に 10 秒程度の振動時間を確保し、均一な締固めが行えた。

図-3 に表層目視評価の評価点を示す。表層目視評価は、提案管理によって表面気泡および打重ね線の項目で評価点が向上した。図-4 に表面気泡面積率の平均値を示す。表面気泡面積率は標準管理に対して提案管理の方が約 70%低減し、表面気泡の低減効果を定量的に確認できた。また、図示しないが透気係数の平均値は、標準管理で  $0.06 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、提案管理で  $0.04 \times 10^{-16} \text{m}^2$  とどちらも「良」の判定範囲であるものの、提案管理の方がわずかに優れていた。推定圧縮強度の平均値は、標準管理で  $22.9 \text{N/mm}^2$ 、提案管理で  $23.2 \text{N/mm}^2$  と同程度であった。なお、呼び強度 27 よりも低い値になったのは、測定時の材齢が 6 日と短いためと考えられる。透気係数と推定圧縮強度のばらつきに着目すると、図-5 および図-6 に示すように提案管理によって透気係数の標準偏差が 38%低減、推定圧縮強度の標準偏差が 15%低減し、ばらつきの小さい均質な表層品質が得られていることを確認した。これはシステムの適用によって部材全体が均一に締め固められた効果と考えられる。

### 4. まとめ

締固め管理システムにより、バイブレータの挿入忘れを防ぎ、部材全体を均一に締め固めることが可能であった。その結果、表層目視評価の評価点が向上し、表面気泡面積率が 70%低減した。また、透気係数の標準偏差が 38%低減、推定圧縮強度の標準偏差が 15%低減し、均質な表層品質が得られた。本システムを用いた締固め管理を行うことで密実性だけでなく均質性が向上し、コンクリート構造物の品質確保に寄与できることを確認した。

### 参考文献

- 1) 坂田ら：コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法，コンクリート工学，Vol.50，No.7，pp.601-606，2012.7

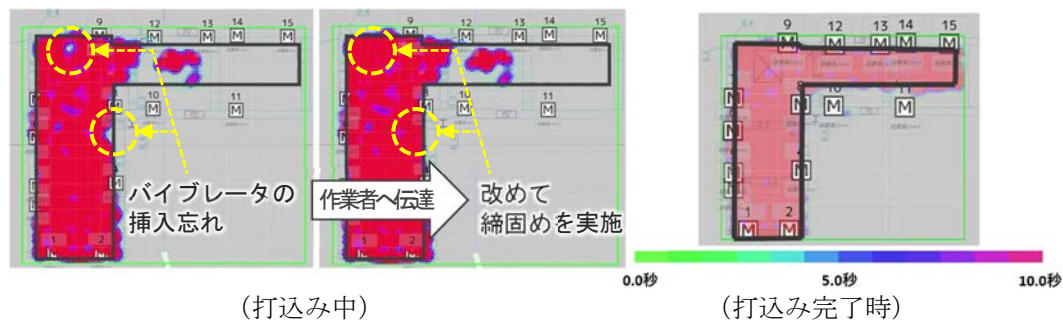


図-2 管理 PC 画面の例

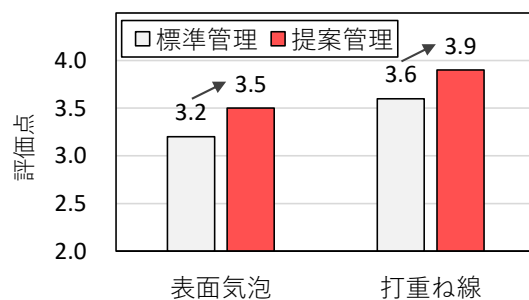


図-3 表層目視評価の評価点

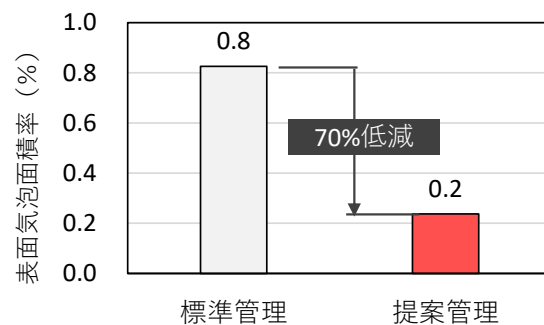


図-4 表面気泡面積率

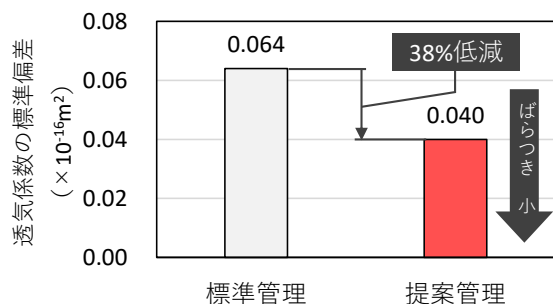


図-5 透気係数の標準偏差

