

目視に替わるコンクリートの締固め自動判定システムに関する検討

安藤ハザマ 正会員 ○林 俊斉, 高木亮一, 齋藤 淳
金沢工業大学 長田茂美, 塩浜 健

1. はじめに

コンクリートの締固めの程度や完了時期の判断は、従来から技術者の経験に基づく目視判定と感覚で行われている。このような判定方法は、コンクリートの品質のばらつきや品質低下の一因となる懸念がある。技術者の減少が続く状況を鑑みると、ばらつきのない判断指標や生産性向上に向けた技術開発が求められている。

そこで筆者らは、従来の目視判定の代替となり得る、深層学習に基づくコンクリートの締固め判定システムを提案および評価してきた¹⁾。本稿では、これまでに提案してきたコンクリートの締固め完了判定システムを発展させた小領域ごとのきめ細やかな判定を実現できる実用的なシステムの検証試験について述べる。

2. 試験概要

(1) システム概要

本検討では、過去の検証¹⁾において比較的良い判定精度が得られた深層学習ニューラルネットワーク NIN (Network In Network)²⁾を採用した。

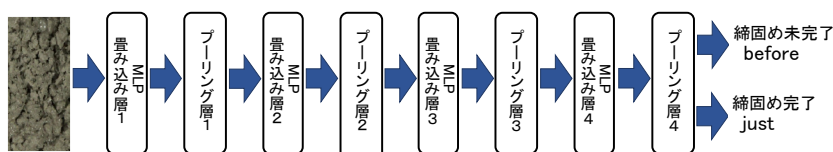


図-1 システムの概要

図-1 に、NIN を用いたコンクリートの締固め自動判定システムの概要を示す。NIN は、画像・動画の認識分野で広く利用されている畳み込みニューラルネットワーク CNN (Convolutional Neural Network) の一種で、単純な畳み込みフィルタの代わりに小規模な多層パーセプトロン (MLP : Multilayer Perceptron) を組み込むことにより、通常の CNN よりも画像の特徴抽出能力の向上が期待できる。

システムへの入力は、締固め中のコンクリート表面のフレーム画像、出力は締固め未完了状態を表す「before」と締固め完了の適正状態を表す「just」の2クラスの尤度である。予めシステムにフレーム画像と締固め状態との対応関係を学習しておくことで、入力したフレーム画像は尤度の高いクラスに分類される。

(2) 検証画像の取得およびラベルの付与

撮影範囲は、約 600×340 mm (1920×1080 ピクセル) の範囲とし、フレッシュ性状の異なるコンクリートの締固め映像を取得した。

締固めはバイブレータの周辺から徐々に完了するため、撮影範囲全体ではなく、より小さな領域毎に締固め状態を判定する必要がある。そこで、図-3 に示すように、締固め映像のフレーム画像を 270×270 ピクセル (約 84×84 mm) の24個のメッシュ領域に分割 (24 フレーム) し、これらを締固め判定の対象領域とした。

取得したすべてのフレーム画像に、3名の技術者が判定した締固め完了の適正時間の平均値に基づいて、「before」および「just」の正解ラベルを付与した。

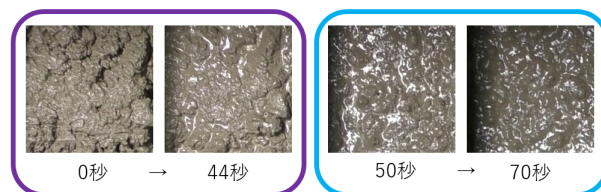


図-2 ラベル付きフレーム画像の一例

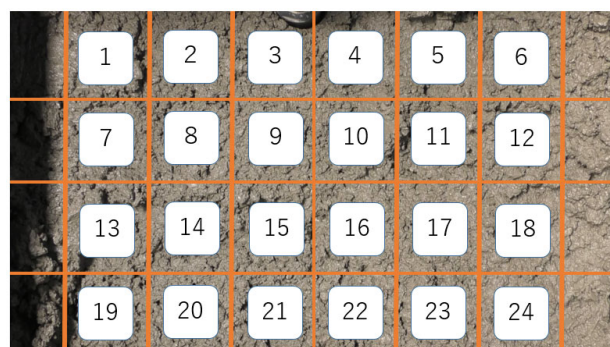


図-3 締固め判定対象領域 (メッシュ判定)

キーワード 締固め, 完了判定, AI, 深層学習, メッシュ領域

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 安藤ハザマ技術研究所 TEL:029-858-8813

(3) 評価方法

取得した締固め映像から作成した「before」および「just」の2クラスの正解ラベル付きのフレーム画像のデータセットに対して、k-分割交差検証法(k=6)を適用し、6回の交差検証実験(CV1～CV6)の分類精度を評価した。6回の各々の交差検証では、映像1本をテストデータ、別の1本を検証データ、それ以外の4本を学習データとして使用し、その組み合わせは重複なしとした。評価にあたっては、過去の検証¹⁾に基づき、フレーム画像を正規化する方法を採用し、メッシュ領域ごとの分類精度を検証した。

3. 検証結果

交差検証結果を表-1 および図-4 に示す。再現率は「just」ラベル中の「just」判定フレームの割合、適合率は「just」判定フレーム中の「just」ラベルの割合、F値は両者の調和平均を示す。システムの精度としては、F値を高めることを重要視している。

表-1 より、スランプが大きい場合(CV3, CV5, CV6)では、高い精度で分類できていることがわかる。一方、スランプが小さい場合(CV1, CV2, CV4)は、特に再現率が低い傾向にあった。原因としては、スランプの大小によって締固め完了時(before/just境界)の表面状態の相違度が異なっていることが考えられる。この現象については、システムへの入力値に例えばスランプの値を含めることによって改善されると想定される。

図-4 は、正解率が高く F 値も高い CV3 のメッシュ領域ごとの分類結果の詳細を示す。縦軸はメッシュ領域番号、横軸はフレーム数(時間軸)である。本システムでは、型枠近傍の一部のメッシュを除き、境界付近の数秒の誤差はあるものの、与えた正解ラベルと同等の判定を行えることが検証できた。誤差の大きい一部のメッシュは、技術者が締固め時間等の視覚的情報以外の要因を重要視して判断してしまったがために、締固め完了の判断が遅れている可能性が考えられる。

4. まとめ

本検討では、深層学習に基づいてコンクリート表面の小領域ごとのきめ細かな判定を実現できる締固め判定システムを提案し、検証試験によりその有用性を確認した。今後は、コンクリートのフレッシュ性状を表す指標のシステムへの反映や、実時間判定などの検証を継続し、実用システムへと展開を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 林俊斉, 高木亮一, 長田茂美, 米澤康太, “深層学習に基づくコンクリートの締固め判定システムの提案と評価,” ViEW2019, IS2-C6, 2019.
- 2) Min Lin, Qiang Chen, Shuicheng Yan, “Network In Network,” arXiv:1312.4400, 2014.

表-1 交差検証結果

	正解率(%)	再現率(%)	適合率(%)	F値	スランプ(cm)
CV1	87.8	68.7	94.4	75.9	5.8
CV2	80.3	65.7	88.1	72.5	4.1
CV3	87.8	98.1	82.9	89.3	10.5
CV4	83.2	58.1	69.1	56.1	6.8
CV5	86.5	91.2	89.7	89.7	14.1
CV6	85.1	96.0	63.8	83.8	10.1
平均	85.1	79.6	81.3	77.9	

再現率: just判定の網羅性を表す指標(justラベル数に対するjust判定数の割合)

適合率: just判定の正確性を表す指標(just判定数に対するjustラベル数の割合)

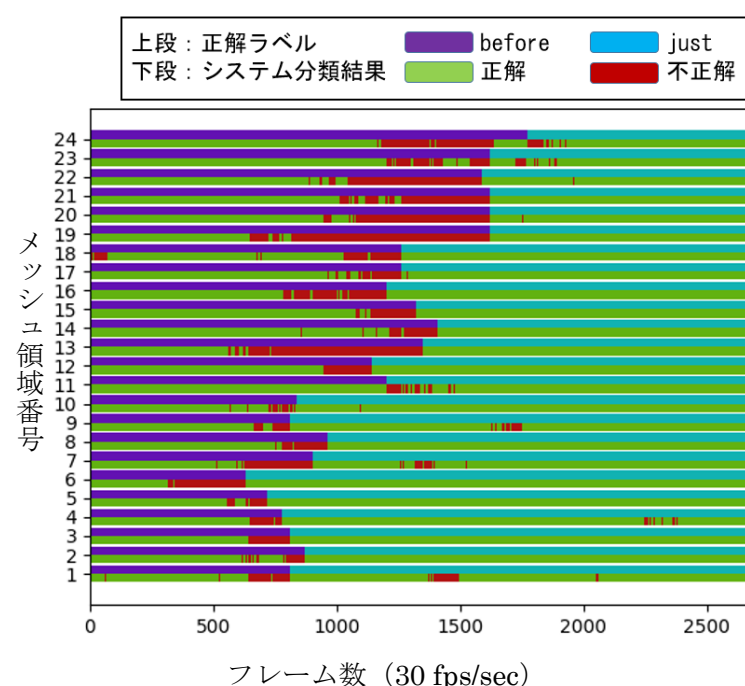


図-4 交差検証結果 (CV3)