

Deep Learning によるコンクリート骨材の粒度分布推定に関する基礎的研究

(株)熊谷組 ダム技術部 正会員 ○佐藤 英明
(株)熊谷組 機 材 部 正会員 北川 博一

1. まえがき

コンクリートの製造において骨材の品質は重要な管理項目であり、安定したコンクリートの製造が行えるよう品質管理に十分な配慮が必要である。筆者らは、これまで粒径（寸法／分級）や岩種を判別する技術について、AI（Deep Learning：深層学習）による判別技術^{1),2)}の研究を行っており、AI による技術で十分な精度で判別できることを実プラントでも確認している。一方、骨材の品質管理項目のうち粒度分布については、一般的には現行の JIS 法による試験が1回/週程度であるものの、試験における人的および時間的な負荷が大きいことや、日々の骨材の品質変動などに対しては十分に把握しきれていないのが現状であった。これに対し、近年デジタルカメラによる画像処理による粒度管理技術^{3) 4)}などが開発されているが、サンプリング試料によるものや粒度分析までの処理時間が必要なものもあるようである。一方、ICT 技術の活用による i-Construction の推進において、コンクリートにおいても全数管理の実現化に向けての研究開発が推進されている。

本研究では、骨材粒径／岩種判別で研究してきた Deep Learning を応用し、コンクリート骨材の粒度分布の推定の全数管理の可能性について研究を行った。開発した AI 粒度分布推定システムは実際のプラントに設置しデータを採取中であるが、概ね十分な精度で推定できるものと考えられる。以下に、その概要について示す。

2. Deep Learning による骨材粒度分布の推定概要

(1) 使用した骨材

Deep Learning に用いた骨材は、実際のレディーミクストコンクリート工場で使用されている粗骨材 2 種類、細骨材 2 種類の計 4 種類で、それぞれ所要の比率で合成してコンクリート骨材として用いられているが、品質管理は 4 種類個別に実施されている。表-1 に、各骨材の諸元を示す。

区 分	粗骨材			細骨材		
	G1 20～13mm	G2 13～ 5mm	合成 (G1:G2=30:70) 20～ 5mm	S1 ≦ 5mm	S2 ≦ 5mm	合成 (S1:S2=75:25) 20～ 5mm
産 地	福井県坂井市産			福井県坂井市産		
岩 種	安山岩砕石	安山岩砕石	安山岩砕石	安山岩砕砂	陸砂	—
表乾密度 (g/cm ³)	2.68	2.69	2.62	2.64	2.58	2.69
絶乾密度 (g/cm ³)	2.64	2.65	2.57	2.59	2.52	2.65
吸水率 (%)	1.24	1.37	2.11	2.05	2.22	1.32
粗粒率	7.15±0.20	6.45±0.20	6.66±0.20	3.10±0.15	1.70±0.20	2.75±0.20

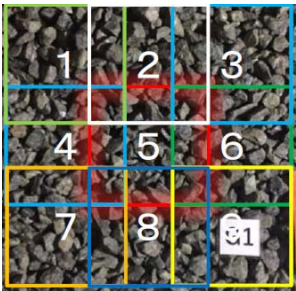


図-1 教師データ画像の切り出し(G1)

JIS 法による各骨材のふるい分け試験（JIS A 1102）に先立ち、各骨材を大型のパットに敷き均して、試験室内にてそれぞれ 5 枚ずつ iPad で撮影した。撮影した各写真は、分解能を約 0.3mm/pixel となるよう調整し、距離補正を行った後に 1 枚当たり約 13.44×13.44cm（448×448pixel）で 9 箇所切り出し（写真-1）、5 枚×9 箇所からランダムに 20 枚を Deep Learning 用画像として抽出した。

(2) 教師データ

教師データについては、2019 年 10 月 18 日から 11 月 18 日までの 5 回分のふるい分け試験に合わせて撮影・抽出した 400 枚（＝骨材 4 種類×20 枚×5 回）の画像を用いた。教師データの Deep Learning は、GPU 搭載の PC で市販の画像処理ライブラリで画像とふるい分け試験結果（各ふるいの累積通過質量百分率）とを関連付けて学習させた。



写真-1 AI システムのベルトフィーダへの設置

キーワード コンクリート，骨材，粒度分布，人工知能，深層学習

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組 土木事業本部 ダム技術部 TEL 03-3235-8646

3. 実プラントにおける粒度分布の推定結果

開発した AI モデルを搭載したシステムを実プラントに導入し、粒度分布の連続的な推定を行った。画像を撮影するカメラは、骨材を投入するホップの直下に設けられたベルトフィーダ上に設置し、バッチャに搬送される骨材を連続的に撮影して、プラント操作室の PC で粒度分布を推定しモニタリングする方式をとった（写真-1）。各骨材のホップへの投入は 3.0m^3 のホイールローダで行い、ベルトフィーダによる引き出し時間は 1 バケット当たり約 90s で、その間に撮影／粒径判別、岩種判定／粒度分布推定とデータ保存を同時に行いながら一連の処理を約 3.4s/回で連続的に行った。

図-2 に、AI によって推定した各累積通過質量百分率から求めた粒度分布の日平均粗粒率と JIS 法による試験結果とを併せて示す。なお、1 日の平均的な画像枚数は、骨材毎にそれぞれ 200~400 枚程度であった。JIS 法と AI による推定値は概ね一致しており、AI による骨材粒度の推定は可能であるものと考えられる。また、JIS 法による試験では 1 回/週であるが、AI の画像分析では骨材粒度の日々の変動を捉えることができ、きめ細かい品質管理を行うことが可能となると考える。

図-3 に、粗粒率の JIS 法による試験結果と AI による日平均値との比較を示す。細骨材はやや推定誤差が大きい傾向にあるが、全体として十分な精度で推定可能であることが分かる。

図-4 に、各投入バッチにおける AI による平均粗粒率の日内変動の一例（2020/1/13）を示すが、このように連続的に粗粒率の変動を監視することできめ細かい施工管理が可能となり、ブレンド比率の変更などコンクリート骨材としての合成粒度のきめ細かい品質管理を行える可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、骨材の粒度分布における AI による推定の可能性について検証を行ってきた。その結果、教師データとして適切な画像データを学習させることで、瞬時に十分な精度で粒度分布を推定できることが把握できた。すなわち、一方向（片面）からの画像であっても、粗骨材については良好な推定精度が確保できることが明らかとなった。なお、粒度分布を評価するための教師データ画像は正確な寸法精度が出ていなければならないが、粒径の小さい細骨材については良好な AI モデルが構築できていなかった可能性もあると思われる。今後は、教師データの画像補正の見直しやデータの蓄積などを含め、さらに研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 北川ら：Deep Learning によるコンクリート骨材の粒径判別技術に関する基礎的研究，土木学会第 74 回年次学術講演会，VI-1069，2019。
- 2) 佐藤ら：Deep Learning によるコンクリート骨材の粒径岩種技術に関する基礎的研究，土木学会第 74 回年次学術講演会，VI-1070，2019。
- 3) 藤崎ら：デジタルカメラ画像を用いた CSG 材の粒度変動監視システム，ダム工学，Vol.23，No.1，pp.19-26，2013。
- 4) 田中ら：画像処理による CSG 材の粒度分布推定技術の開発，土木学会第 70 回年次学術講演会，VI-386，2015。

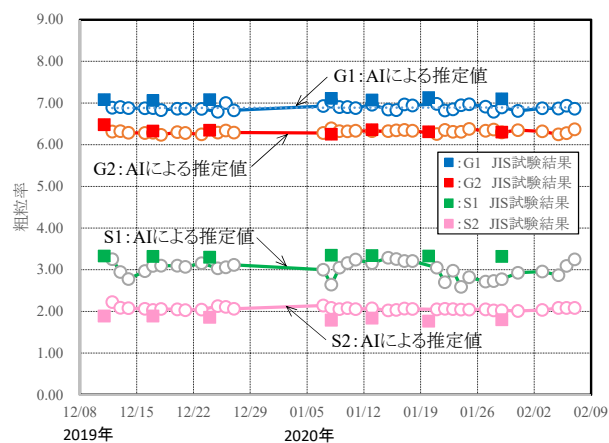


図-2 粗粒率の AI による日平均推定値と JIS 法によるふるい分け試験結果

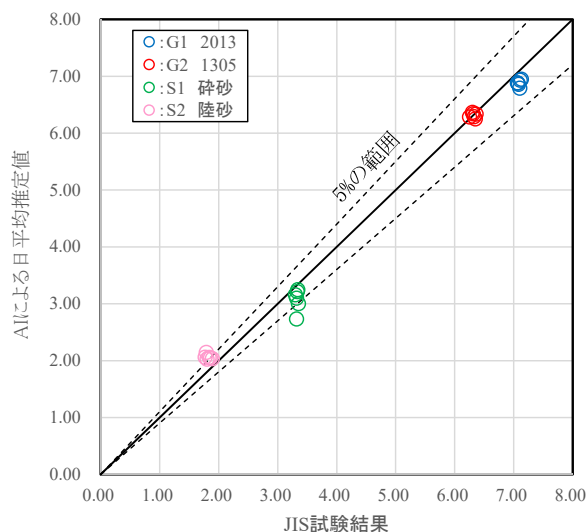


図-3 JIS 試験結果と AI 推定値との粗粒率の比較

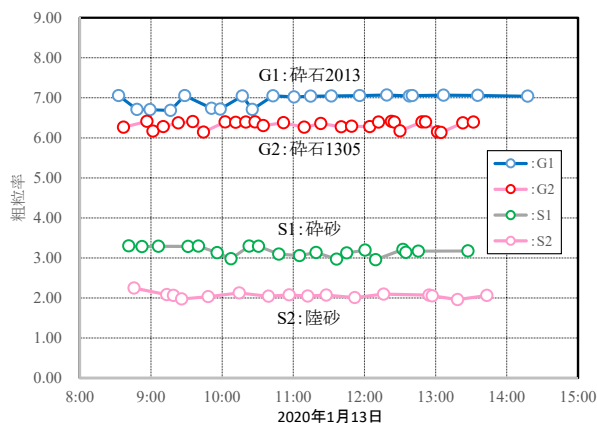


図-4 AI による各投入バッチの平均粗粒率の変動