



画像認識 AI を用いた骨材のふるい分け試験の効率化・省力化への取り組み

前田道路(株) 技術本部 技術研究所 平野 麻衣子
// 遠藤 紗希
// 高橋 知

1 はじめに

近年の働き方改革により、建設業界においてもロボットやAIの活用による効率化、省力化に向けた取り組みが積極的に行われている。国土交通省は2024年4月、新たに「i-Construction 2.0」を策定し、建設現場における生産性を1.5倍向上することを目指している¹⁾。このように、建設現場、特に施工管理の生産性向上に対する期待は大きく、取り組み事例も多い。一方、建設現場で使用する材料の製造現場における取り組み事例は多くない。

このような背景のもと、筆者らはアスファルト合材工場(以下、プラント)の日常管理としての品質管理業務の効率化、省力化に関する取り組みとして、骨材のふるい分け試験に画像認識AIを活用する検討を行ってきた。その検討の中で、骨材の画像からその粒度を推定できる可能性を見出し²⁾、骨材の色や形が推定に影響を与えるという知見を得た³⁾。

そこで今回は、既往の研究成果を踏まえ、汎用的な粒度推定システムの開発を目的に、まず全国各地のプラントで実際に使用している骨材を用いて推定モデルを構築した。次に、その推定モデルを用いてプロトタイプシステムを開発し、実プラントで試用実験を行った。本論文では、推定モデ

ルの精度とプロトタイプシステムの概要および試用実験の結果について報告する。

2 プラントでの主な品質管理業務

プラントでの主な品質管理項目には、表-1に示すように、骨材を代表とする材料に対する品質管理と、製造したアスファルト混合物に対する品質管理がある。なかでも、骨材のふるい分け試験は、材料である常温骨材だけでなく、ホットビン骨材やアスファルト混合物からの抽出骨材の粒度管理にも用いられており、実施頻度の高い業務である。そこで、まずは骨材のふるい分け試験の効率化、省力化を目指した。

表-1 プラントでの主な品質管理項目

種別	試験項目	試験方法
材料	常温骨材の粒度	骨材のふるい分け試験方法 : 舗装調査・試験法便覧 [2]-16
	常温骨材の密度、吸水率	骨材の密度および吸水率試験方法 : 舗装調査・試験法便覧 [2]-6、[2]-11
混合物	ホットビン骨材の粒度	骨材のふるい分け試験方法 : 舗装調査・試験法便覧 [2]-16
	抽出骨材の粒度	骨材のふるい分け試験方法 : 舗装調査・試験法便覧 [2]-16
	アスファルト量	アスファルトの抽出試験 : 舗装調査・試験法便覧 [4]-318
	マーシャル安定度、フロー	マーシャル安定度試験方法 : 舗装調査・試験法便覧 [3]-5

3 骨材の粒度推定システムの開発

3-1 推定モデルの構築

全国各地のプラントで実際に使用している骨材を用いて、推定モデルを構築した。学習に使用した骨材は12種であり、画像数は合計3,581枚であった(表-2)。

表-2 推定モデルの構築に使用した骨材種と画像数

種別	粒度	骨材種	画像数	種別	粒度	骨材種	画像数
常温骨材	粗	4号	80	ホットビン骨材	粗	5ビン	10
		5号	343			4ビン	191
		6号	428			3ビン	499
		7号	371			2ビン	507
		砕砂	220			1ビン	510
	細	粗砂	189				
		細砂	233				

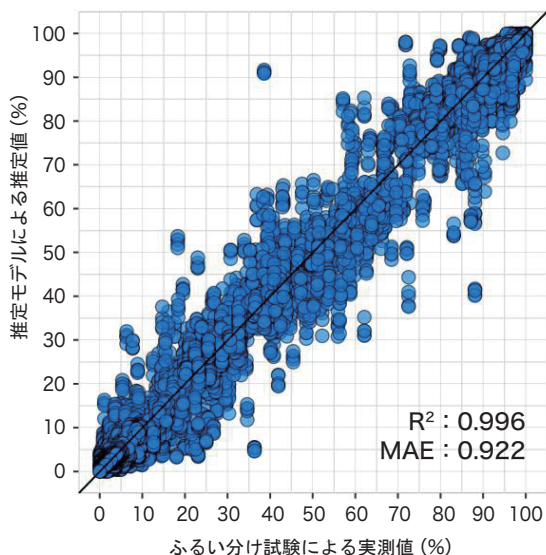


図-1 実測値と推定値の比較

3-2 推定精度の目標

骨材のふるい分け試験方法における測定の不確かさを評価した報告書⁴⁾では、あらかじめ粒度調整を行った試料(砕砂と砕石)を用いて、11人の測定者がサブサンプリングを含んだふるい分け試験を行った結果が記載されている。その結果では、あらかじめ調整した通過質量百分率と測定した通過質量百分率には、砕砂は最大で3.2%の差、砕石は最大で5.6%の差が生じていた。そこで、構築する推定モデルの精度は、ふるい分け試験で実測した通過質量百分率と推定した通過質量百分率の差(以下、残差)が±5%以内を目標とした。

3-3 推定精度の結果

(1) 全体の推定精度

ふるい分け試験で実測した通過質量百分率と、構築した推定モデルで推定した通過質量百分率のプロットを図-1に示す。極端な外れ値はあるが、決定係数 R^2 値は0.996であり、残差の絶対値の平均(以下、MAE)は0.922で推定できていた。

次に、残差のヒストグラムを図-2に示す。残差の平均値は0.090であり、残差が0付近の結果が支配的であった(図-2(A))。ヒストグラムの裾の分布を確認するため度数を対数変換したところ、外れ値はあるが、裾が左右対称に近い分布となっていた(図-2(B))。また、目標値である残差が±

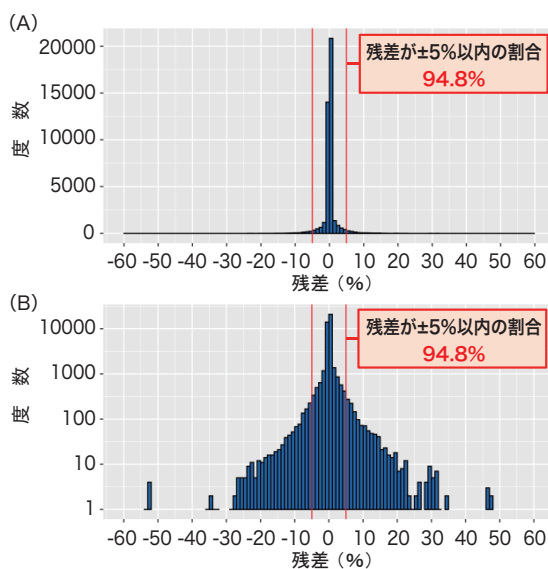


図-2 残差のヒストグラム

5%以内の割合は94.8%と良好な結果であった。

(2) 骨材種ごとの推定精度

骨材種ごとの目標値の達成割合を図-3(A)に、使用した画像数を図-3(B)に示す。最も精度良く推定できていたのは3ビンで、残差が±5%以内の割合は99.0%であった。一方、最も精度が悪かったのは細砂で、86.1%であった。細砂や1ビン以外の骨材種では、画像数に比例して推定精度が高くなる傾向がみられた。一方、細砂や1ビンといった細骨材では、画像数は比較的多いにもかかわらず推定精度は粗骨材と比較すると劣っていた。

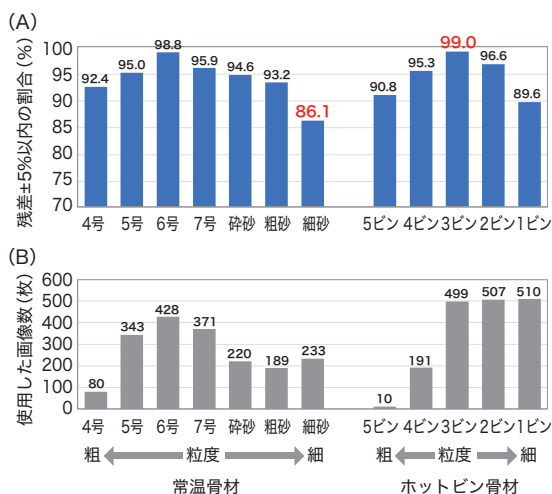


図-3 目標値の達成割合(A)と使用した画像数(B)

この要因の一つとして、細骨材で形成された面の乱雑さが挙げられる。使用した細砂の画像例を写真-1に示す。細砂で形成された面が滑らかなものから凸凹しているもの、または団粒化した細砂が含まれているものまで、様々な面を有する画像が存在していた。この面の乱雑さが推定精度に影響を与えていると考えられる。したがって、細骨材については撮影方法の改善も含め検討することで、更なる精度向上が期待できる。

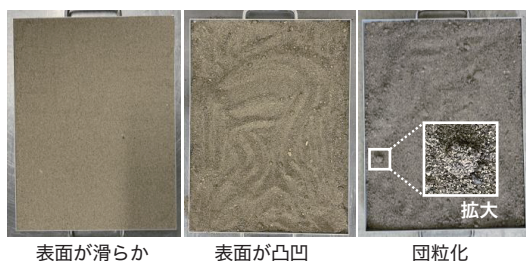


写真-1 使用した細砂の画像例

以上の結果から、細骨材の精度は粗骨材と比較すると劣っていたが、全体的には残差が±5%以内という目標値を94.8%の割合で達成できたため、良好な精度であると判断した。よって、この推定モデルを使用してプロトタイプシステムを開発することとした。

3-4 プロトタイプシステムの概要

(1) 粒度推定に必要な機器

開発したプロトタイプシステムで粒度を推定するために必要な機器は、骨材を入れる撮影用バツ

ト、スマートフォンおよびスマートフォンを固定するカメラスタンドの3点のみである(図-4)。



図-4 必要な機器

(2) 骨材画像の撮影方法

粒度推定に使用する骨材画像の撮影方法は、推定したい骨材を撮影用バツに入れ、カメラスタンドを使用してスマートフォンのカメラで撮影するだけである(写真-2)。



写真-2 撮影方法

(3) プロトタイプシステムでの推定方法

プロトタイプシステムを使用してプラントで、ホットピン骨材の粒度を推定する状況を写真-3に示す。まず、ホットピンから推定したい骨材を

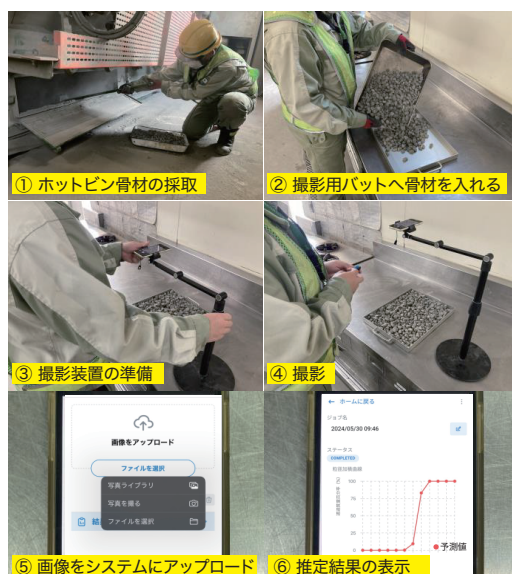


写真-3 ホットピン骨材の粒度推定状況

採取する。そして、撮影用バットに骨材を入れ、カメラスタンドとスマートフォンをセットして撮影する。撮影した画像をスマートフォンまたはPCからシステム（Webアプリ）にアップロードすると、数分で推定結果が表示される。ホットビン骨材の採取後、撮影用バットに骨材を入れるところから推定結果が表示されるまでに要する時間は5分程度と、簡便かつ迅速なシステムである。

4 プロトタイプシステムの試用実験

4-1 概要

プロトタイプシステムの精度や導入効果を評価するため、実プラントで約3か月間の試用実験を行った。実施条件を表-3に、試用実験で推定した骨材種ごとの画像数を表-4に示す。試用実験中に推定した画像数は合計360枚であった。以下では、360枚の推定結果から算出したプロトタイプシステムの推定精度と、システムの利用者に実施したアンケート結果について記す。

表-3 試用実験の実施条件

試用期間	2024年6月3日～8月30日
試用したプラント等	18か所（プラント17か所＋技術研究所1か所）

表-4 試用実験で推定した骨材種と画像数

種別	粒度	骨材種	画像数	種別	粒度	骨材種	画像数
常温骨材	粗	4号	3	ホットビン骨材	粗	5ビン	0
		5号	34			4ビン	27
		6号	36			3ビン	31
		7号	45			2ビン	36
	細	砕砂	32		細	1ビン	72
		粗砂	17				
		細砂	27				

4-2 推定精度の結果

(1) 全体の推定精度

ふるい分け試験で実測した通過質量百分率と、プロトタイプシステムで推定した通過質量百分率のプロットを図-5に示す。決定係数 R^2 値は0.991であり、MAEは1.722であった。

次に、残差のヒストグラムを図-6に示す。なお、残差の平均値は1.229であり、推定モデル構築時のヒストグラム（図-2（A））と同様に、残差が0付近の結果が支配的であったため、度数を対数変換した。ヒストグラムの裾は、左右対称とは言

えず、右側に歪んだ分布であった。このことから、ふるい分け試験で実測した通過質量百分率よりも小さい、つまり粒度を粗く推定した結果が多かったことが分かった。また、目標値である残差が $\pm 5\%$ 以内の割合は88.5%であり、推定モデル構築時と比較すると精度が低下した結果となった。

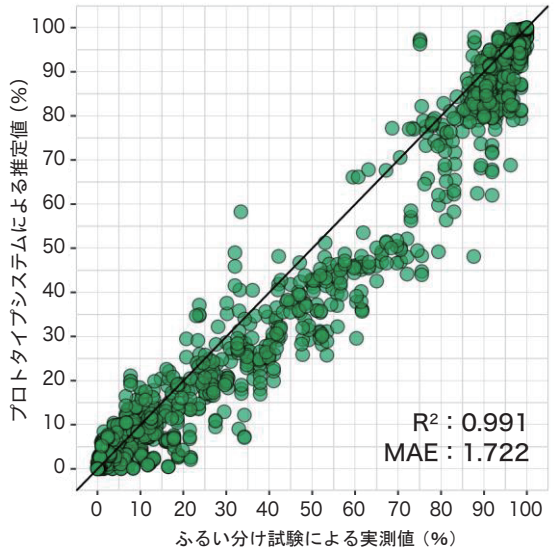


図-5 実測値と推定値の比較

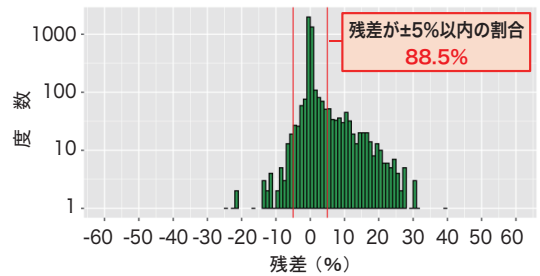


図-6 残差のヒストグラム

(2) 骨材種ごとの推定精度

骨材種ごとの目標値の達成割合を図-7に示す。最も精度良く推定できていたのは推定モデル構築時の結果（図-3（A））と同様に3ビンで、残

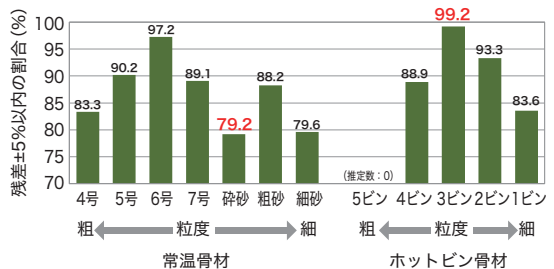


図-7 目標値の達成割合

差が±5%以内の割合は99.2%であった。一方、最も精度が悪かったのは砕砂で、79.2%であった。砕砂以外の骨材種では、推定モデル構築時の精度の高低と同様の傾向がみられた一方で、砕砂の精度のみが著しく低下していた。

この要因を探るため、推定に使用した砕砂の粒度分布を比較した。推定モデル構築時の実測値、プロトタイプシステム試用実験時の実測値および推定値について、ふるい目サイズ0.075mm、0.15mm、0.3mmの通過質量百分率の平均値と標準偏差を図-8に示す。推定モデル構築時の実測値と比較して、試用実験時の実測値では、ふるい目サイズ0.075mmおよび0.15mmの通過質量百分率が大きく、粒度が細かい傾向にあった（青枠部分）。しかしながら、試用実験時の推定結果は、推定モデル構築時の実測値に類似し粒度を粗く推定していた（赤枠部分）。

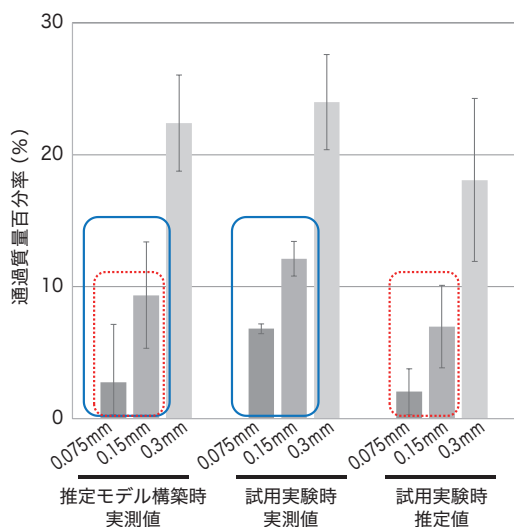


図-8 砕砂の粒度分布比較

このことから、試用実験での精度低下の要因の一つとして、推定モデル構築時に使用した学習データとは異なる粒度分布を持つ骨材の推定が多く含まれていたことが挙げられる。したがって、学習データを増やし、様々な粒度分布を有する骨材画像を学習させることで精度向上が期待できる。

4-3 アンケート調査

試用実験を行ったプラント等の品質管理業務担当者に対して、骨材の粒度推定システムが実用化した場合に使用するか否かについてアンケートを

実施した。回答結果を図-9に示す。精度次第と回答した割合は50.0%であり、その理由として「細骨材の精度が向上すれば活用したい」が挙げられた。次に、使用すると回答した割合は37.5%であり、その理由として「省力化が期待できるから」が挙げられた。以上の結果から、粒度推定システムを導入することで、プラントの品質管理業務担当者の立場からも省力化が期待できるが、実用化には細骨材の精度向上が必要であることが分かった。

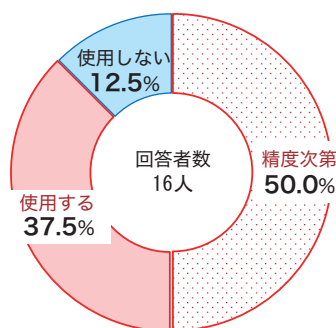


図-9 使用可否の回答割合

5 導入効果

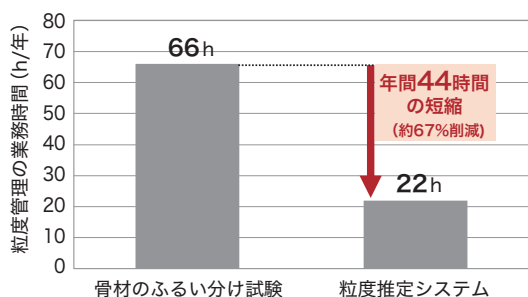
アンケート結果より、粒度推定システムによる省力化が期待できることが示唆された。ここでは、粒度推定システムを導入した場合の効果について試算した。

5-1 時短効果による働き方改革への貢献

骨材のふるい分け試験を実施した場合と粒度推定システムを活用した場合で、1年間に要する粒度管理の業務時間を比較した。粒度管理業務にかかる時間は、使用機器の準備から機器の後片づけが終わるまでとし、骨材のふるい分け試験で測定する場合は15分/回、粒度推定システムで推定する場合は5分/回と仮定した。また、試験頻度はホットビン骨材は4種類を4回/月実施、常温骨材は6種類を1回/月実施とした（合計22回/月）。

試算結果から、粒度推定システムを用いることで年間44時間の時間短縮（約67%削減）が期待できることが分かった（図-10）。近年、働き方改革が本格的に進められており、2019年4月には「年5日の年次有給休暇の確実な取得」が義務付けられた。また、2024年4月には、猶予されていた時間外労働の罰則付き上限規制が建設業にも適用された。粒度推定シ

ステムの時短効果により、年次有給休暇の更なる取得率向上や時間外労働の削減につながり、働き方改革の推進に寄与することができると考えられる。

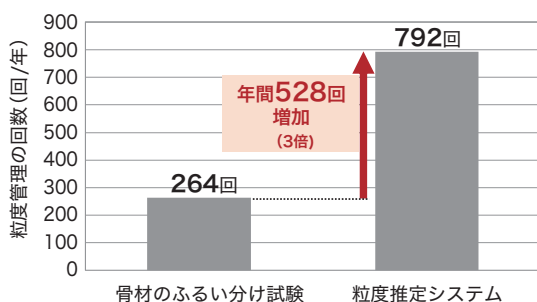


図－10 粒度推定システムによる時短効果

5-2 粒度管理回数の増加によるアスファルト混合物の品質向上

試算結果から、骨材のふるい分け試験を行う場合、1年間で264回実施すると66時間かかることが分かった。粒度推定システムを用いた場合、66時間で何回推定を実施できるかを算出したところ、1年間に792回実施できる結果となった(図－11)。

よって、粒度推定システムを用いることで、業務時間を増加させることなく粒度管理の回数を年間528回増加(3倍)できる。回数が増えることにより、アスファルト混合物の品質向上につながると期待できる。また、粒度推定システムにより削減できる年間44時間を、他の品質管理業務にあてることによって、品質の向上に寄与することができると考えられる。



図－11 粒度推定システムにより増加する粒度管理の回数

6 まとめ

今回の取り組みにより得られた知見を以下に示す。

- ① 構築した推定モデルは、残差が $\pm 5\%$ 以内という精度目標を94.8%の割合で達成できた。一方、細骨材の推定精度が粗骨材と比較すると劣

るという課題が得られた。細骨材の推定精度には、細骨材で形成された面の乱雑さが影響していると考えられる。したがって、撮影方法の改善も含め検討することで、精度の向上を図ることができると考えられる。

- ② 開発したプロトタイプシステムを実プラントで試用したところ、残差が $\pm 5\%$ 以内の割合は88.5%であり、推定モデル構築時より精度が低下した。これは、推定モデル構築時に使用した粒度分布とは異なる分布を有する骨材を推定していたことが一因として挙げられる。したがって、学習データを増やし様々な粒度分布を有する骨材を学習させることで精度向上が期待できる。
- ③ 品質管理業務担当者へのアンケート結果から、粒度推定システムにより省力化が期待できるが、実用化には細骨材の精度向上が必要であることが分かった。
- ④ 粒度推定システムを実用化できれば、計算上では骨材の粒度管理業務にかかる時間を約67%削減できる。この時短効果による働き方改革の推進や、業務時間を増やすことなく粒度管理の回数を増やせることで、アスファルト混合物の品質向上につながると考えられる。

7 おわりに

今回の取り組みから、画像認識AIを用いた粒度推定システムにより、骨材のふるい分け試験の効率化、省力化が期待できることが示唆された。今後は、高速道路工事現場で中長期的に試用し、学習データを収集しながら精度や効果について更なる検討を行い、実用化を目指したいと考える。また、骨材のふるい分け試験以外の品質管理業務についても効率化、省力化に向けて検討を進め、製造現場の生産性向上に挑戦していきたい。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：i-Construction 2.0～建設現場のオートメーション化へ、2024.4
- 2) 平野ほか：畳み込みニューラルネットワークを用いた骨材の粒度分布推定、土木学会第75回年次学術講演会、V-486、2020.9
- 3) 佐藤ほか：深層学習を用いた合材工場の品質管理業務の省力化、第34回日本道路会議、No.3008、2021.11
- 4) (財)日本建築総合試験所：工業標準化法JNLA制度における測定の不確かさ推定及び技能試験用試料開発に係る調査研究成果報告書、JIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」、2006.2