

コンクリート工の生産性向上に資する骨材選定と締固め完了判定に関する研究

Research on the selection of aggregate and determination of compaction completion for the improvement of productivity of concrete work



林 俊斉 Toshinari HAYASHI *1

要 旨

国土交通省は生産性革命プロジェクトの一つとして「i-Construction」を導入し、政府は建設現場の生産性を2025年までに20%向上させることを宣言した。様々なICT技術の導入が進む一方、コンクリート工の生産性向上はまだまだ改善の余地がある。特に、コンクリートの製造および施工過程においては、技術者の経験やノウハウへの依存度が高く、近年の技術者の減少はコンクリートの品質低下に繋がると懸念している。そこで、コンクリートの品質を確保することを前提とし、生産性向上に資する技術の開発に取り組んだ。

コンクリート工において、材料選定、配合設計、練混ぜ、打込み、養生の各段階における既往の研究を調査した。その結果、生産性向上に貢献できる開発余地があると判断した「骨材選定」および「締固め」に着眼点を置き、研究に着手した。

コンクリートに使用する骨材は、コンクリート容積の約7割を占めており、コンクリートの品質に大きな影響を及ぼす。また、骨材は原材料単価が安く輸送コストが大きいいため、地産地消が原則とされているが、近年、良質な骨材の減少やコンクリートの収縮抑制を目的として石灰石骨材の使用が増え、遠方より輸送して使用するケースも散見されるようになった。コンクリートに使用する骨材はJISの品質規格に基づいて選定されるが、選定した骨材を使用したコンクリートの性能を骨材試験の結果のみで評価することは困難である。しかし、コンクリート供試体による試験の検証は数か月を要するため、コンクリートの性能に及ぼす骨材の品質を適切かつ短時間で評価できる技術の開発が求められている。そこで、コンクリートの性能で重要な乾燥収縮ひずみと、骨材の品質（吸水特性およびひずみ特性）との関係について追及し、ひずみ特性と強い相関があることを確認した。さらに、骨材のひずみ特性の要因として、化合水含有率という新たな指標を見出し、粗骨材の化合水含有率は骨材のひずみ特性と強い相関があることを明らかにした。化合水含有率の測定は、少量のサンプルでよいこと、粗骨材に限らず細骨材あるいは粉体でも測定可能であり、測定における個人差が少ないことが利点である。本論文では、化合水含有率を用いた新たな骨材の評価手法を提案し、検証した結果、細骨材および粗骨材の化合水含有率からコンクリートの乾燥収縮ひずみを推定できる可能性を示した。

コンクリートの締固め程度の判断は、従来、作業従事者の経験に基づく目視判定と感覚に基づいて行われている。コンクリートの締固めは、振動や突きなどを与え、型枠の隅々までコンクリートを行き渡らせるとともに、空隙を減らして密実にする行為とされているが、それを定量的に評価できる指標がないのが現状である。締固めの定量化に対する取組みは様々行われており、コンクリート中の振動加速度、バイブレータの負荷電流などの測定事例が報告されている。しかし、コンクリートの締固め性状は様々な要因が影響しており、数点のデータでは評価できないことや、高価なセンサを埋設できないことなどが問題としてある。本論文においては、新たに安価かつ簡易な判定手法として、浮遊体を提案し、評価を行った。プラスチック製の浮遊体をコンクリートに埋設し、バイブレータによる締固めに伴うコンクリートの液状化とともに浮遊体が浮上する仕組みである。スランプ10cm、13cm、16cmのコンクリートに対し、種々のサイズの浮遊体で試験を行ったところ、直径40mmの浮遊体を用いた場合に締固めを判定できる可能性を示した。また、浮遊体の浮上条件と加速度の関係を検証し、新たな指標として累積加速度で判定できる可能性を示した。

実施工では、前述したように、締固めの程度は技術者の目視判定が基本として行われている。本論文では、熟練工の減少によるコンクリートの品質低下を防止するため、締固め判定にAIの導入を試みた。棒状バイブレータを用いて締固め中のコンクリート表面の映像を記録し、複数のコンクリート技術者の判定を正解ラベルとしてAIに学習させると、AIが自動でコンクリート技術者と同様な判定が可能か否か、つまり、従来の目視判定の代替技術と成り得るか検証を行った。その結果、学習データを適切に処理することで、正解率80%を超える判定を確認することができた。さらに、コンクリートの基本性状であるスランプや空気量などの数値データを画像データとともに学習することでさらなる精度向上を図り、リアルタイムに判定結果を可視化することに成功した。

本論文では、コンクリート工の生産性向上に資する技術の開発に取り組んだ結果、化合水含有率を用いた骨材選定手法、浮遊体の浮上による締固め完了判定手法、および、AIによる自動締固め完了判定技術を新たに提案した。

キーワード：コンクリート工、生産性向上、化合水、締固め、累積加速度、AI

SUMMARY:

While the introduction of various ICT technologies is progressing, there is still room for improvement in improving the productivity of concrete works. In particular, in the concrete manufacturing and construction process, there is a high degree of reliance on the experience and know-how of engineers, and there is concern that the decrease in engineers in recent years will lead to deterioration of concrete quality. Therefore, on the premise of ensuring the quality of concrete, this paper worked on the development of technology that contributes to productivity improvement.

In the concrete work, I investigated the past research at each stage of material selection, mix design, mixing, placing, and curing. As a result, I focused on "aggregate selection" and "compaction", which I judged to have room for development that could contribute to productivity improvement, and started research.

The aggregate used for concrete is selected based on the JIS quality standard, but it is difficult to evaluate the performance of concrete using the selected aggregate based only on the results of the aggregate test. However, since the test using the concrete specimen takes several months, it is required to develop a technique that can appropriately evaluate the quality of the aggregate on the performance of the concrete in a short time. Therefore, I investigated the relationship between the dry shrinkage strain, which is important for concrete performance, and the quality of aggregates (water absorption characteristics and strain characteristics), and confirmed that there is a strong correlation with the strain characteristics. Furthermore, I found the compound water content as a factor that makes the strain of aggregate different, and clarified that the compound water content of coarse aggregate has a strong correlation with the strain characteristics of aggregate.

Judgment of the degree of concrete compaction has conventionally been made based on visual judgment and feeling based on the experience of workers. In this paper, I proposed and evaluated hollow balls as a new inexpensive and simple judgment method. The hollow ball is buried in concrete, and the hollow ball floats as the concrete liquefies due to compaction by a vibrator. It was shown that compaction can be determined when a hollow ball with a diameter of 40 mm is used for concrete with a slump of 10 cm to 16 cm. In addition, I verified the relationship between the floating condition of the hollow ball and the acceleration, and showed the possibility that it can be judged by "cumulative acceleration" as a new index.

On the other hand, in contrast to the conventional visual judgment, I tried to introduce AI for the compaction completion judgment. As a result, by appropriately creating the learning data, it was possible to confirm the accuracy with which the correct answer rate of the AI judgment result for the correct answer label exceeds 80%. Furthermore, by inputting numerical data such as slump and air volume into AI, the judgment accuracy was improved and the judgment result was successfully visualized in real time.