

論文の内容の要旨

氏名：入 江 正 明

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：フライアッシュを混和したプレキャストコンクリートの製造効率化に関する研究

コンクリート構造物は、現場打ちコンクリート又はプレキャストコンクリートのいずれかの手法により構築される。中でもプレキャストコンクリートは管理された工場で製造するため、運搬時の品質変動、配筋・締固めに係る技術力、さらに養生時の外部環境条件等に影響されず、比較的低廉で高性能かつ品質ばらつきが小さいコンクリートが実現できることが知られている。このプレキャストコンクリートの建設思想は、すでに100年以上前から採用されており、規格化された床や柱等を組み合わせた住宅建築に、土木施設では杭・側溝等に用いられてきた。今日では国土交通省によるi-constructionプロジェクトとして、熟練技術者の退職や若手の建設分野からの離職など、人材不足によるコンクリート構造物のプレキャスト化の推進が進められているところである。

土木分野のプレキャストコンクリートは、JIS 製品として高品質を確保した上で低廉製品として求められているが、セメントや骨材といった構成材料や蒸気養生用燃料等の製造費の高騰があり、コスト削減の対策として製造効率化が求められている。こうした背景を踏まえてプレキャストコンクリートの製造における制度や基準、使用材料、製造工程及び養生まで現状を徹底的に調査し、製造過程の問題点の抽出と改善点を整理した結果、効率的に製品製造を行うためには製造工程の約9割を占める蒸気養生履歴の最適化とともに、以下に示す2つの相反する性能（強度）を同時に満足することが必要であることが明らかになった。

(A) 製品としての出荷時強度（出荷時材齢14日又は7日）

(B) 製造硬化過程での脱型時強度（脱型時材齢4～10時間）

この2つの性能要求を同時に満足するためには、市販のセメント材料及び標準的蒸気養生履歴を採用する一般的な製造法では、単位セメント量が増大し不経済になることに加え、収縮ひび割れ等の不具合が発生しやすく品質の低下につながる。また、近年の社会的要求としてリサイクル材のうち、CO₂排出削減効果が高くセメント硬化体の収縮特性に優れているフライアッシュの混和が求められているが、ポゾラン反応による強度発現が遅いことから、2つの相反する性能を同時に満足するためにはますます単位セメント量を増やすことになり、高コスト化・非効率化となり、新たな製造効率化の技術開発が求められているところである。

そこで、本研究では、環境負荷低減対策や収縮特性に優れているフライアッシュセメントを採用したうえで、現行JIS制度を逸脱しないプレキャストコンクリートの製造効率化の技術開発を行ったものであり、その手法は、2つのステップから構成されている。第一ステップはフライアッシュセメントを用いた場合の(A)製品強度を満足するための示方配合と最適な蒸気養生履歴を見出す。これにより基本的製造法を確定する。第二ステップは、基本的製造法に対して不足する(B)脱型強度のみを向上させるために独自開発した速硬性混和材の添加を行う。この2つのステップにより、(A)製品強度及び(B)脱型強度を満足する合理的な強度発現曲線が得られることになる。つまり、本手法は、強度性能を発現する水和反応のメカニズムを化学的特性に着目してかつ合理的に利用したもので、蒸気養生履歴の最適化まで踏み込んだ製造効率化の先行事例は存在しない。

本論文を構成する各章の内容を簡単に紹介し、本論文の構成を説明する。

第1章「はじめに」では、本研究の背景について概説し、プレキャストコンクリートの製造効率化の必要性を社会的背景及び製造企業のニーズから整理し、本研究の目的を明確化した。

第2章「プレキャストコンクリートに関する現状及び既往の研究」では、プレキャストコンクリートの規格や基準の現状をJISの歴史の変遷の視点からまとめ、問題点の抽出や昨今の環境対策の要求に対する各自治体の制度設計についてまとめた。さらに、コンクリート構築におけるプレキャストコンクリートと現場打ちコンクリート工法と比較し、プレキャストコンクリートは、品質及び性能等多くの項目で優位性があるが、技術基準や積算基準がないことが、採用機会の障壁となっていることが

明らかになった。

第3章「コンクリート構造物に関する技術基準」では、コンクリート構造物の設計に関する技術基準を法体系から整理した。これにより、コンクリート構造物の要求機能及び要求性能とその性能の評価指標が明確になり、国等の設計要求に対する性能評価手法や適用できる材料等を明確化した。

第4章「プレキャストコンクリートの製造効率化における課題の抽出」では、プレキャストコンクリートの要求性能を明確にし、使用される材料と示方配合さらに設計及び製造手法について現状を把握し、プレキャストコンクリートの製造方法の効率化に対する具体的改善点について見出した。その結果、プレキャストコンクリートの製造効率化では、使用材料に応じた蒸気養生履歴の最適化による（A）出荷時強度が必要であること、さらに（B）脱型時強度を向上させる速硬性混和材が不可欠であることを見出した。特に、リサイクル材としてフライアッシュを適用するためには、この2つの手法の組み合わせは不可欠であることを示した。

第5章「プレキャストコンクリートの速硬性混和材による製造効率化」では、プレキャストコンクリートの製造時の要求性能である（B）脱型強度を確保するために独自に開発した「速硬性混和材」の製造方法と各種特性について明らかにした。速硬性混和材による強度増加は、セメント材料の空間を埋めるフィラー効果と比表面積拡大による水和反応の促進の2つの効果によることを明らかにした上で、比表面積と添加率の関係を見だし、脱型時強度増に寄与する配合の設定法を示した。

これらの成果により、プレキャストコンクリートの速硬性混和材による製造効率化を実現した。

第6章「フライアッシュ混和型プレキャストコンクリートの蒸気養生履歴の最適化による製造効率化」では、使用セメントと最適蒸気履歴を見出すため、普通及び早強ポルトランドセメントとそれにフライアッシュを混和したセメントに対する基本特性の試験を行い、フライアッシュ混和セメントにおける最適な蒸気養生履歴を見出した。

これらの成果により、プレキャストコンクリートの蒸気養生履歴の最適化による製造効率化を実現した。

第7章「プレキャストコンクリートの製造効率化の構築」では、第5章で示した速硬性混和材による製造効率化及び第6章で示した蒸気養生履歴の最適化の2つの手法を組み合わせたプレキャストコンクリートの製造効率化の設定フローを示し、製造効率化のシステムについて提案した。

第8章「結論」では、本研究で明らかにしたプレキャストコンクリートの製造効率化に関する技術を整理するとともに、さらなる市場拡大の問題点と解決法を提案し本論の結びとした。