

論文の内容の要旨

氏名：宮 田 敦 典

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：合理的手法に基づくコンクリートポンプ工法の圧送計画に関する研究

コンクリートポンプ工法は、現在のコンクリート工事において欠かすことのできない非常に有用なものとして建設工事において重宝されていることは言うまでもなく、その利用は、ブーム付きのコンクリートポンプ車で圧送できる程度の比較的短い距離の圧送工事から高さ 150m を超える超高層建築物への高所圧送、1000m を超える長距離圧送など多岐にわたっている。

コンクリートポンプ工法は、1960 年代にわが国の建築工事に導入され、コンクリートを打込み箇所まで連続して大量かつ迅速に運搬できるという施工の利便性から 1960 年代後半に急速に普及し始めた工法である。しかしその反面、当時は、コンクリートポンプ工法による施工の際、コンクリートの圧送性だけが重要視される傾向にあり、圧送作業の効率を向上させるためにスランプを過大に設定し、打ち込まれたコンクリートの材料分離や品質低下を招くなどの問題が多く生じていた。このような背景を踏まえて、日本建築学会では、1967 年にコンクリートポンプ工法小委員会を発足し、圧送に伴うコンクリートの品質変化によって構造体コンクリートの品質や性能が損なわれることを防止するとともに、工事の円滑な進行に役立つことを目的として、1972 年に「コンクリートポンプ工法施工指針案・同解説」を発刊した。その後、全国コンクリート圧送事業団体連合会「コンクリートポンプ圧送マニュアル」、土木学会「コンクリートのポンプ施工指針（案）」および日本コンクリート工学協会（現：日本コンクリート工学会）「コンクリート圧送工法ガイドライン 2009 および解説」などのコンクリートポンプ工法に関する指針や技術書が発刊され、圧送実績が蓄積されるとともに現在のようなコンクリートポンプ工法の圧送技術が確立されてきた。

コンクリートポンプがわが国に導入された当時、コンクリートポンプによる施工は、圧送中の閉塞やコンクリートポンプの故障などのトラブルが多く発生していた。さらに、当時のコンクリートポンプの性能は、現在の機種のように十分な能力を有していなかったため、圧送計画において圧送の可否の判断が重要であった。近年は、コンクリートポンプの性能の向上や圧送技術の確立、圧送作業に従事する圧送技能者の経験が豊富となり、コンクリートポンプがわが国に導入された当時のように綿密な圧送計画を立案せずには圧送施工が行えるようになってきた。しかし、近年においても、コンクリートポンプに係わるトラブルや事故は少なからず発生しており、特に、圧送中の閉塞は、圧送時に発生する最も多いトラブルの一つとなっている。

圧送中に発生する閉塞は、配管内におけるコンクリートが材料分離、圧送によるコンクリートの品質変化およびコンクリートポンプの能力不足など、圧送するコンクリートの品質や圧送条件の様々な要因が複合して発生するものと推察される。前述したように、コンクリートポンプの性能の向上や圧送技術の確立された近年においても閉塞が発生していることを鑑みると、実際の圧送施工において圧送によるコンクリートの品質変化が想定よりも大きくなっていることや、コンクリートポンプの機種を選定するための管内圧力損失および圧送負荷を適切に算定できていないことなど、現状の圧送計画が実施工に十分対応できていないことが原因の一つとして考えられる。さらに、近年は、高強度コンクリートや高流動コンクリートのような粘性の大きいコンクリートが多用されるようになったことや、建築物の高層化に伴う圧送高さの増大および鋼管充填コンクリートの圧入施工などの高度な技術を必要とする圧送が増えつつあることから、圧送計画をより一層綿密に立案する必要があるといえる。

このような背景から、本研究では、これまでに報告された圧送実験や施工記録を精査し、現在の圧送施工において頻繁に発生している閉塞などのトラブルの低減を目的とした圧送計画の合理的手法を提案することとした。ここでは、圧送条件やコンクリートの調合条件に応じた圧送前後のコンクリートの品質変化および圧送負荷の算定方法について、文献調査ならびに圧送実験により調査・検討し、これらの結果に基づいた圧送計画の合理的手法について検討している。

本論文は、全 7 章から構成されており、各章の要約は以下のとおりである。

第1章「序論」では、研究の背景として、コンクリートポンプ工法の沿革とコンクリート工事におけるコンクリートポンプの役割と現状について述べるとともに、本研究の目的および圧送計画の合理的な位置付けについて示した。また、本論文で用いる用語の定義、本研究の構成および概要を示した。

第2章「コンクリートポンプ工法の現状と問題点」では、日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」における圧送計画について取りまとめ、さらに、日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」とその他のコンクリートポンプ工法に関連する指針・技術書との関係および相違点について整理した。また、現在の圧送計画に至った経緯や建築で用いられるコンクリートの仕様の変化について取りまとめた。その結果、現在の圧送計画の基本的な概念が1970年頃に行われた圧送実験を基に構築されたものであること、コンクリートの調合条件や使用材料は1970年以降著しい変化が見られていることおよび圧送計画は現在まで特段の変更がなされていないことを示した。これらの調査を踏まえて、現在の圧送計画の問題点を抽出し、本研究の位置付けを示した。

第3章「圧送前後のコンクリートの品質変化に及ぼす圧送距離の影響」では、文献調査によってコンクリートの品質と圧送距離の区分ごとの圧送前後の品質変化について系統的に検討した。その結果、スランプおよびスランプフローが圧送後に低下する傾向を示し、圧送距離が長くなるとその低下量が大きくなる傾向を示した。また、空気量が圧送距離にかかわらず圧送後に僅かに増加する傾向を示すことを明らかにした。さらに、水平換算距離が300mを超える圧送実験により圧送に伴うコンクリートの品質変化を確認し、文献調査によって得られた圧送距離の区分ごとに検討した圧送前後のコンクリートの品質変化の傾向の妥当性を確認した。

これらの調査・検討結果から、圧送距離が150mを超えるような配管条件の場合は、荷卸し地点におけるスランプまたはスランプフローの目標値を1ランク大きくするなどの対策を施す必要があることを示した。

第4章「水平管の管内圧力損失に及ぼす各種要因の影響」では、水平管における直管およびベント管の管内圧力損失に及ぼすコンクリートの調合条件や圧送条件の影響を文献調査ならびに圧送実験により明らかにした。文献調査では、直管の管内圧力損失について、水セメント比の区分ごとに検討し、水セメント比が45%を超える場合にスランプの区分が小さくなると管内圧力損失が大きくなる傾向を示すこと、水セメント比が45%以下の場合に単位水量の区分が小さくなると管内圧力損失が大きくなる傾向を示すことを明らかにした。これらの結果から、実吐出量と管内圧力損失の関係式を求め、普通ポルトランドセメントを用いた輸送管径125A(5B)の管内圧力損失の標準値を提案した。また、ベント管の管内圧力損失について、直管とベント管の管内圧力損失の比(ベント管の水平換算係数)が、ベント管の根元圧力の増大に伴い大きくなる傾向を明らかにした。

圧送実験では、水平換算距離100m程度の配管条件において、水平管における直管およびベント管の管内圧力損失を実測し、水平管における直管の管内圧力損失およびベント管の水平換算係数について、文献調査によって得られた傾向の妥当性を確認した。さらに、本章で示した直管の管内圧力損失の標準値の有用性についても検証した。

第5章「鉛直管の管内圧力損失に及ぼす各種要因の影響」では、コンクリートの種別を普通骨材コンクリートと軽量骨材コンクリートに分類し、文献調査により水平管と鉛直管の管内圧力損失の関係の傾向を明らかにした。その結果、日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」の計算方法で圧送負荷を算定すると、実際の圧送負荷よりも小さく算定される、すなわち圧送負荷が危険側に算定される可能性が多いことを明らかにした。また、普通骨材を用いたコンクリートのとき、鉛直管の管内圧力損失が、水平管の管内圧力損失の1.07倍にコンクリートの単位容積重量を加えた値に概ね近似する傾向を明らかにし、この結果を踏まえて、圧送負荷を安全に算定するための計算式を提案した。さらに、建築高さ150mを超える高層鉄筋コンクリート造の施工において高所圧送時の管内圧力を測定し、文献調査から得られた傾向の確認と、本章で提案した圧送負荷の計算式の有用性についても確認した。

第6章「合理的手法に基づくコンクリートポンプ工法の圧送計画の提案」では、圧送によるコンクリートの品質変化や管内圧力損失に及ぼす各種要因を考慮した合理的手法に基づくコンクリートポンプ工法の圧送計画を提案した。ここでは、第3章の検討を踏まえ圧送距離に応じたスランプおよびスランプフローの低下量の標準値を示し、圧送によるコンクリートの品質変化を考慮するものとした。また、管内圧力損失および圧送負荷の算定方法として、第4章および第5章で明らかにした直管、ベント管および鉛直管の管内圧力損失の傾向を踏まえた安全な算定方法を示した。さらに、現状のポンプ指針において、圧送負荷の算定およびコンクリートポンプの機種を選定の過程を省略できる一般的なコンクリートおよび施工の範囲においても、圧送負荷およびコンクリートポンプの機種を選定を確認することとし、これらを簡易に確認できる計算図表を提案した。さらに、建築高さ約70mの施工において、本章で提案した圧送計画の合理的手法を適用し、その有用性についても検証した。

第7章「総括」では、本研究で得られた成果を総括し、さらに、今後検討すべき課題と展望について示した。