

論文審査の結果の要旨

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

審査委員：（主査） 教授 中 田 善 久

（副査） 教授 岡 田 章

講師 一 瀬 賢 一

客員教授 榊 田 吉 弘

東京工芸大学教授 陣 内 浩

コンクリートポンプ工法がわが国の建設工事に導入されてから50年余りが経過し、現在のコンクリート工事においてコンクリートポンプは必要不可欠なものとなっている。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が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、圧送計画においては圧送の可否の判断が大変重要であった。近年では、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になったことなどから、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圧送施工が行えるようになってきている。しかし、近年で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、圧送施工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と考えられる。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、申請者の研究では、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を目的として、これまでに報告された圧送実験や施工記録を精査し、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ならびに圧送負荷の算定方法について調査および実験的検討を行っている。なお、本論文では、コンクリートポンプにかかわる事象・現象を整理分析し、安全で円滑な圧送作業を行うための圧送計画の手法を合理的手法として扱っている。

本論文は、全7章から構成されている。審査の結果、次のように考えられる。

第1章「序論」では、本研究の背景として、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手法の位置付けについて示している。また、本論文で用いる用語の定義および本研究の構成および概要を示している。

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」における圧送計画の立案方法についてまとめ、さらに、その他のコンクリートポンプ工法に関連する指針・技術書との関係について整理している。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ている。これより、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り、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ものの、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ている。また、コンクリートポンプ工法に関連する指針・技術書における圧送計画と建築で用いられるコンクリートの仕様および圧送施工の実態との非合理性から現在の圧送計画の問題点を抽出し、本研究の位置付けを明確にしている。

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、コンクリートの種別をAE減水剤コンクリートおよび高性能AE減水剤コンクリートに分類し、文献調査により圧送距離の区分ごとに圧送前後のコンクリートの品質変化について系統的に明らかにしている。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ている。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ている。さらに、圧送距離が200m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ている。これらの調査および検討から、コンクリートの種別および圧送距離の区分ごとに圧送前後のコンクリートの品質変化の標準値を示し、圧送距離が150mを超えるような配管条件の場合には、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と結論付けている。

これらの結果は、コンクリートの圧送前後の品質変化に関する多数の文献から系統的に明らかにしていることや、申請者自らの圧送実験により文献調査の傾向と同様の傾向を確認できていることから信頼性が高く、これまでの指針では検討されていなかった圧送距離の観点から圧送前後のコンクリートの品質変化を検討していることは高く評価できる。このような点から、本章の結果は、圧送計画を立案する上で重要となる品質変化の標準値として、有益な指標を示していると考えられる。

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ている。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ている。ここでは、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し、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ている。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示している。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ている。圧送実験では、水平管における直管およびベント管の管内圧力損失を確認し、文献調査によって得られた傾向の妥当性を確認している。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ている。

圧送負荷を算定するために用いられる水平管の管内圧力損失の標準値は、1970年代の圧送実験や施工記録を基に1979年に示されたものであり、現在まで40年余りにわたり同一の値が使用されてきている。本章で提案している管内圧力損失の標準値は、近年の調合条件や使用材料など実態に則して見直された値であり、今後の圧送負荷の算定において貴重な資料となり得る成果であり高く評価できる。

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ている。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ている。また、鉛直管の管内圧力損失が、水平管の管内圧力損失の1.14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示し、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ている。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方法の有用性についても確認している。

コンクリートポンプ工法に関する文献のうち、鉛直方向の管内圧力、特に高所圧送の管内圧力を測定

しているものは極めて少なく、申請者が測定した高層鉄筋コンクリート造の施工における測定結果は大変貴重な資料となり得る。さらに、これらの結果から鉛直方向の圧送負荷の算定方法を検討していることは工学的有用性を有しているものと高く評価できる。

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、コンクリートポンプによる圧送施工を安全でかつ円滑に行うための圧送計画の合理的手法を提案している。ここでは、第3章で検討したコンクリートの種別および圧送距離ごとのコンクリートの品質変化の傾向、第4章で提案した水平管の管内圧力損失の標準値および第5章で検討した安全な圧送負荷の算定方法を考慮した計画手法を示し、現状の圧送計画のフローに変わる新たなフローを示している。また、これまで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た一般的なコンクリートおよび施工の範囲においても、簡易に計算および機種を選定が可能な計算図表を提案している。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ている。

この提案により、圧送計画の立案において重要項目である圧送によるコンクリートの品質変化、水平管の管内圧力損失の推定および圧送負荷の算定方法を合理的に計画することができると考えられる。また、一般的な圧送工事であっても計算図表により簡易に圧送負荷の算定やコンクリートポンプの機種を選定ができるようになり、円滑でかつ安全な圧送施工とトラブル低減が期待できるものとして工学的有用性を有しているものと高く評価できる。

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ている。

以上のように、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって、本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和元年10月17日