

ポンプ圧送によるコンクリートの品質変化評価に関する一検討

摂南大学大学院	学生員	○中川	佳祐
摂南大学	正会員	熊野	知司
清水建設(株)	フェロー	名倉	健二
清水建設(株)	正会員	浦野	真次

1. はじめに

ポンプ圧送によってスランプの低下などフレッシュコンクリートの品質が変化することは知られている。コンクリート標準示方書¹⁾では標準的な配合での施工条件の場合、ポンプ圧送によって低下する量を考慮してスランプの設定を行うように規定されているが、特殊な材料や配合、500m以上の長距離圧送や高所、低所への圧送という特殊な条件下のスランプ低下量の規定がなく、試験施工等に基づき設定することとなっている。これより、ポンプ圧送での品質変化を施工を行う前に把握することが施工設計を行う上で重要な問題といえる。そこで本研究では、配管内のコンクリートが管壁から受ける力学的な影響を現場計測のデータから考察し、ポンプ圧送によるスランプの変化を室内実験により評価する方法について検討した。さらに代表的な配合のコンクリートに対して回転粘度計を用いた場合のフレッシュコンクリートのスランプの変化を観察し、一般的な傾向と比較、検討を行った。

2. 配管内コンクリートが管壁から受ける力学的影響

図-1に水平管におけるフレッシュコンクリートの管内流動の模式図を示す。半径 r の配管内の管壁に発生するすべり抵抗応力を τ とし、区間 dx における力のつり合いをとると²⁾

$$\pi r^2 P - \pi r^2 (P + dP) + 2\pi r dx \tau + \pi r^2 dx \rho \frac{dv}{dt} = 0 \quad (1)$$

ここに、 ρ : コンクリートの密度である。慣性力を無視すれば、

$$\frac{dP}{dx} = \frac{2}{r} \tau \quad (2)$$

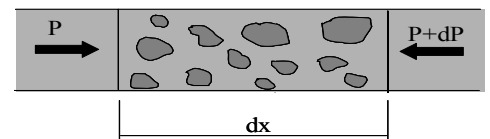


図-1 管内流動の模式図

となる。式(2)に対してすべり抵抗応力がすべり速度に比例すると、圧力分布は式(3)のように直線分布となる。

$$P = P_0 - \frac{2}{r} (\eta V + \tau_s) \cdot (l - x) \quad (3)$$

ここに、 η : すべり粘性(Pa・s)、 τ_s : すべり降伏値(Pa)である。一方、すべり抵抗応力が管壁とコンクリートの接触による摩擦抵抗により表されると、圧力分布は式(4)のように指数関数で表わされる。

$$P = \frac{\mu P_0 + C}{\mu} e^{-\frac{2}{r}(l-x)\mu} - \frac{C}{\mu} \quad (4)$$

ここに、 μ : 摩擦係数、 C : 付着力(Pa)である。圧力分布のデータは数多く公表されているが、直線分布なのか指数分布なのかを視覚的に判断するのは困難である。そこで本研究では、すべり抵抗応力がすべり速度と圧力の両方に依存するとして提案されている複合モデル³⁾に着目し、公表されている圧力分布の現場測定データを用いて、定量的に検討することにした。複合モデルによるすべり抵抗応力は、式(5)のように示される⁴⁾。

これを式(2)に代入し、境界条件 $x=l$ で $P=P_0$ とすると、

$$P = \frac{(S_1 V + S_3) P_0 + S_2 V + S_4}{S_1 V + S_3} e^{-\frac{2}{r}(l-x)(S_1 V + S_3)} - \frac{S_2 V + S_4}{S_1 V + S_3} \quad (5)$$

となる。この式中において S_1 および S_3 は圧力によって生じる管壁との摩擦抵抗に関する係数であり S_2 および S_4 はすべり速度に起因する抵抗応力に関する係数である。施工現場において計測された圧力分布に式(5)をあてはめたとき、圧力に起因する摩擦抵抗の影響が大きいのか、それともすべり速度に起因する抵抗応力による影響が大きい

キーワード ポンプ圧送、品質変化、すべり速度、スランプ

連絡 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8 摂南大学大学院工学研究科社会開発工学専攻 TEL 072-839-9123

のかが、 S_1 , S_2 , S_3 , S_4 の値の傾向として表れると考えられる。そこで、本研究では、公開されている圧力分布の測定結果^{2),5),6)}から最小二乗法によるデータフィッティングすることによって、これらの係数の評価を試みた。

図-2 にスランプと係数 S_1 , S_2 , S_3 , S_4 との関係を示す。図より、係数 S_1 と S_3 は 0 付近を中心に分布する傾向があることがわかる。一方、 S_2 と S_4 は全てが正の値となる範囲に分布する傾向があることがわかる。このことから、圧力よりもすべり速度に起因する抵抗の影響が大きいと思われる。

3. 室内実験方法の検討

前節の検討により配管内を圧送されるコンクリートはすべり速度に起因する抵抗の影響が大きいことが示された。本研究ではコンクリートにすべりを作用させ続けることのできる室内実験方法として二重円筒式回転粘度計に着目し、普通コンクリートにすべりを作用させ、コンクリートの品質変化を評価するとともに、一般的なポンプ圧送による品質変化の傾向と比較・検討することにした。表-2 に示方配合を示す。環境温度 20℃で行い、練上り後、施工における場外運搬を想定して 30 分間静置した。圧送前後での計測をイメージして、回転前後でスランプの測定を行った。内円筒の回転数 V_r は、5B 管で吐出量 $Q=20, 30$ および $40\text{m}^3/\text{h}$ の場合を想定し、次式によって算定した。

$$V_r = \frac{Q}{120\pi^2 r^2 R} \tag{7}$$

ここに、 r : 圧送管の半径(m), R : 回転粘度計内円筒の半径(m)である。回転時間は10分間で一定とした。この場合、吐出量 $20\text{m}^3/\text{h}$ の場合で約 270m, 30 m^3/h の場合で約 400m, 40 m^3/h の場合で約 550m の圧送距離に相当することになる。

図-3 に回転前後のスランプの比較を示す。回転前に比べ回転後はスランプが 3~4cm 低下していることがわかる。土木学会コンクリートのポンプ施工指針²⁾では、圧送距離が 150m を越える場合には平均で 1.5cm, 最大で 3cm 程度のスランプの低下が生じることが報告されている。本研究の場合、計算上の圧送距離が 270~550m と長距離圧送に相当することを考えると、定性的には妥当なスランプ変化となっているといえる。

4. まとめ

- (1) すべり速度と圧力の両方に依存するとして提案されている複合モデルを用いて、定式化した圧力分布式を実施工で得られたデータにあてはめた結果、壁面における摩擦に起因する抵抗よりもすべり速度に依存する抵抗による影響が大きいと思われる。
- (2) 標準的な配合により、二重円筒式回転粘度計を用いて回転によるすべりを与える実験を行ったところ、スランプの変化は定性的には圧送による品質変化の傾向と同様になった。

参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]，2007
2) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針，2000
3) 谷川恭雄他：フレッシュコンクリートのポンプ圧送性に関する理論的考察，平成 3 年度コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.1，pp.203-208，1991
4) 竹田宣典他：高流動コンクリートのポンプ圧送に関する一考察，平成 6 年度コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.1，pp.231-236，1994
5) 千々岩他：コンクリートポンプ工法における閉塞危険性に関する研究その 6．管内圧力測定結果，平成 21 年度日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.599-600，2009
6) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，1994

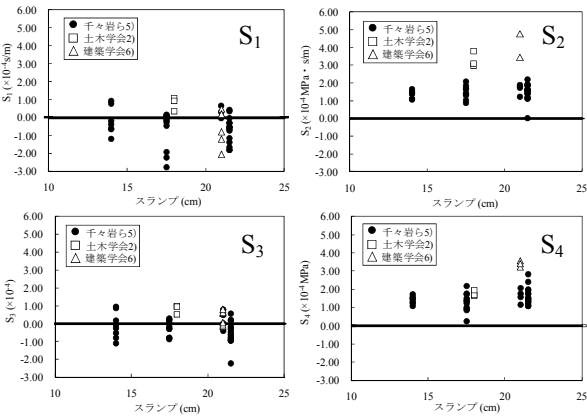


図-2 スランプと係数 S_1 , S_2 , S_3 , S_4 との関係

表-2 示方配合

スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	G _{max} (mm)	W	C	S1	S2	G	AE (g)
					(kg/m ³)					
10±1	55.0	4.5±1	46.7	20	170	313	549	275	966	C×0.25%

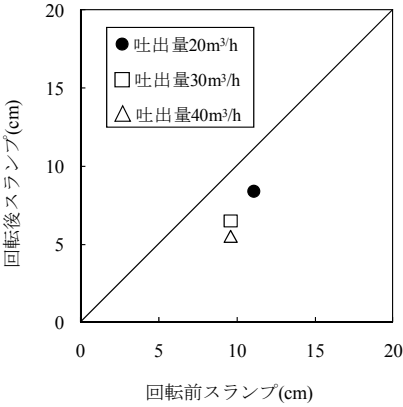


図-3 回転前後のスランプの比較