

個別要素法を用いたコンクリート運搬システムの性能評価に関する研究

東京大学大学院 学生員 ○吉國 美涼
 東京大学生産技術研究所 正会員 加藤 佳孝
 東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本 健人

1. はじめに

現在、建設現場におけるコンクリートや土砂の輸送はベルトコンベヤやダンプトラック等で行われている。しかし、いずれの工法も設備規模が大きくなることや、コスト、自然環境面で問題があることが指摘されている。そこで、このような現状を解決するために、新たな運搬工法が開発され、現在ダム工事現場において実施工されている。図-1 に運搬システムの概要を示す。この装置は、円管の内側に数枚の硬質ゴムの羽根を螺旋状に取り付けたもの（以下「搬送管」という）を回転させることにより、コンクリートや土石類を安定した状態で、連続して大量に運搬するものである。この装置は実機による運搬試験によってその有効性が確認されているが、実機を基礎としているため、必ずしも施工性能の評価が十分でなく、検証した範囲内での性能保証しかできないのが現状である。そこで本研究では、個別要素法(Distinct Element Method)を用いて、コンクリートの運搬状況をシミュレーションすることにより、各要因が装置の運搬性能に及ぼす影響を評価することを目的とした。



図-1 運搬システムの概要

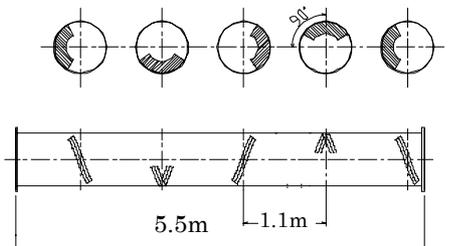


図-2 羽根配置図

2. 個別要素法の基本原理

個別要素法は非連続体をシミュレーションするための手法であり、対象物を独立した小要素の集合体として取り扱うため、材料の不均一性を考慮することができる。コンクリートの分野では、吹付けコンクリートのシミュレーションや自己充填コンクリートの流動状況の可視化等に利用されている。

個別要素法では、要素の変形は別の要素との接点のみで生じるものとし、接触したブロック間にばねを置き、力のやりとりを表現している。要素ごとに独立な運動方程式をたて、時間領域で漸進的に解き、個々の要素の運動を追跡していく。式 (1), (2) に質量 M_i 、慣性モーメント I_i のある 1 つの要素 i についての運動方程式を示す。

$$M_i \cdot \ddot{u} + C_i \cdot \dot{u} + F_i = 0 \quad (1) \quad I_i \cdot \ddot{\phi} + D_i \cdot \dot{\phi} + M_i = 0 \quad (2)$$

ただし、 F_i : 要素に働く合力, M_i : 要素に働く合モーメント, C_i, D_i : 減衰定数

U : 要素の変位ベクトル, ϕ : 要素の回転変位

3. 解析手法

今回の解析では、搬送管の傾斜角度と回転数の関係(CASE1)、搬送管の羽根の枚数と回転数の関係(CASE2)を把握することを目的とした。

実機の搬送管の長さは約 200m 程度であるが、解析を行うに当り、搬送管の基本構造部 L のみを取り出し、解析を行った。CASE1 は管径 ϕ 700mm, L=5500mm, 羽根の枚数は 5 枚とし、搬送管の傾斜角度 20 度および 40 度の場合について解析を行った。CASE2 は管径は ϕ 500mm, L=3314mm, 搬送管の傾斜角度 35 度とし、羽根の枚数が 4 枚, 6 枚, 7 枚の 3 ケースについて解析を行った。図-2 に羽根配置図 (CASE1) を示す。解析

キーワード: DEM, RCD コンクリート

連絡先 : 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 魚本研究室 TEL 03-5452-6393

表-1 コンクリートの配合

単位量 (kg/m ³)					
W	C	S	G		
			G1	G2	G3
83	120	724	639	479	479

表-2 解析に用いた値

ばね定数 (N/m)		減衰定数 (Ns/m)		摩擦係数
垂直方向	せん断方向	垂直方向	せん断方向	
1×10^5	5×10^4	0.01	0.01	0.01

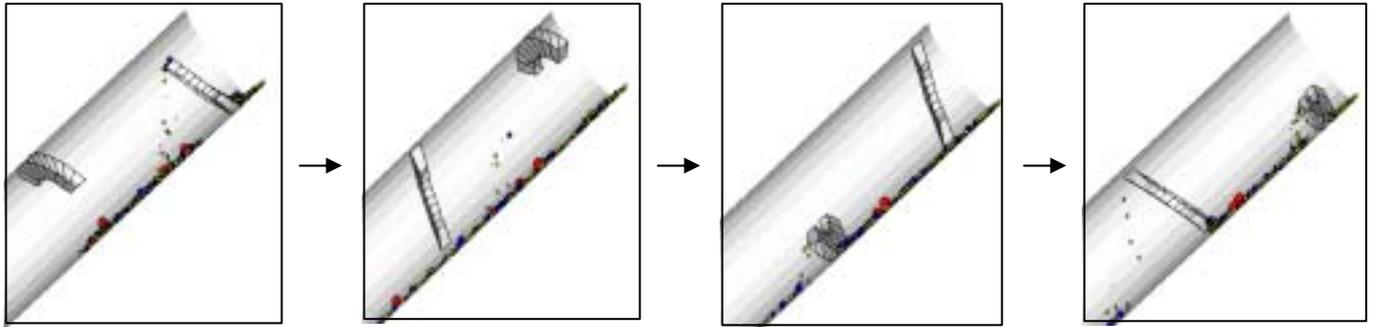


図-3 搬送状況

の都合上、円は正 24 角形とした。羽根の断面形状は台形とし、搬送管への投影で 120 度に相当する大きさとした。搬送管の回転の向きは下向きに右回転である。

解析に使用した RCD コンクリートの配合を表-1 に、シミュレーションに用いた各定数を表-2 に示す。今回はモデルとしたコンクリートが RCD コンクリートであることから各定数の値は骨材そのものの物性値をもとに波動伝播速度から算定した。また要素数は 1000 個とし、その大きさは粗骨材の粒度分布に従った。

4. 解析結果および考察

図-3 に CASE1 における搬送管の傾斜角度 40 度、回転数 30rpm の場合を例に搬送状況を示す。図は左から順に時系列で並べてある。コンクリートは羽根と羽根の間では分散するものの、次の羽根に到着すると再びかたまりとなって搬送されていくことがわかる。なお、この傾向は他のケースについても同様であった。

図-4 に CASE1 の結果を示す。グラフの縦軸は解析値については粒子の排出方向成分における平均速度を、実験値¹⁾についてはコンクリートの運搬量である。いずれの傾斜角度においても回転数の増加に伴い運搬能力は増加し、ある値を境として減少している。このことより、本解析は、実験結果の傾向をある程度再現できていることがわかる。運搬能力を最大とする回転数のピーク値が存在するのは、回転数が小さいときは、重力の影響がコンクリートに作用する遠心力と比較して大きく、回転数が増加するほど、遠心力の影響の方が大きくなるためだと考えられる。

図-5 に CASE2 の結果を示す。縦軸は図-4 と同様である。実験値では羽根の枚数が少ない方が運搬能力は大きく、また回転速度が速いほど運搬能力は大きい。これに対して、解析値では羽根の枚数が少ない方が運搬能力は大きかったものの、回転数については一定の傾向は認められなかった。実験値と解析値の傾向が異なる原因について、今回の解析、実験の範囲内では、断定できないが、運搬能力が最大となる回転数が存在することはあり得るものと考えられる。

5. 結論

個別要素法を用いることにより、コンクリートが搬送管内を搬送される状況及び実験傾向をシミュレーションできる可能性を確認できた。

謝辞 本研究を実施するにあたり、水資源開発公団荒川ダム総合事業所の方々には、多大なるご協力を頂きました。深く感謝の意を表します。

参考文献 1) 大藪勝美ほか;新しいコンクリート運搬工法SP-TOMを滝沢ダムへ適用するための検討

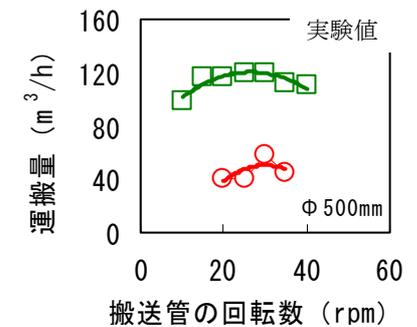
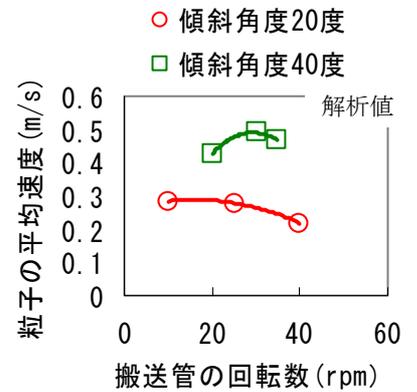


図-4 運搬能力 (CASE1)

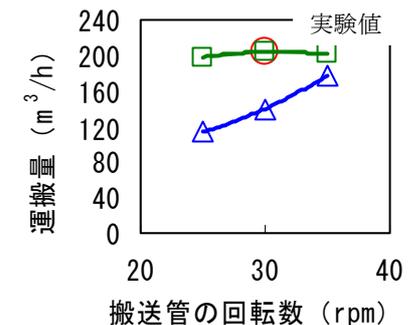
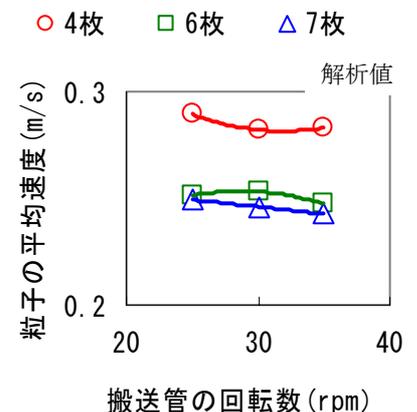


図-5 運搬能力 (CASE2)

ダム技術No. 178, pp. 9-33, 2001. 7