建設廃材の排出塔からの流出挙動に関する研究

中央大学　学生会員　○合田　明弘
中央大学　正会員　前川　亮太
中央大学　フェロー会員　山田　正

1．はじめに

近年，高度経済成長期に建設された建物を中心に，老朽化した建物の解体の需要が高まっている．建物を解体する工法の１つに階上解体という工法がある．階上解体では，建物上層から大量の建設廃材(主に，コンクリート塊)を地上まで卸す必要がある．コンクリート塊をクレーンで荷卸しする場合もあるが，この工法はクレーンを設置する場所が確保できる場合に限定され，コストの増加にも繋がる．そこで本研究ではクレーンを使わず，排出塔に充填させたコンクリート塊を流出させる工法に着眼した．**図-1** はこの工法の概念図を示している．この工法では，コンクリート塊が排出塔下端に至る前にアーチアクションにより排出塔内での閉塞が生じ，建設廃材の搬出効率が悪くなることが課題となっている．**図-2** はアーチアクションの原理を示している．アーチアクションとは，排出塔内でコンクリート塊がアーチを形成し，力がつり合うことで，動かなくなる現象である．原理は橋梁構造の１つあるアーチ橋と同様である．本研究では閉塞に対して粒径や排出塔幅等の寸法の関係が流出に与える影響を分析し，閉塞回避の目安として解析によって有効な寸法を検討した．

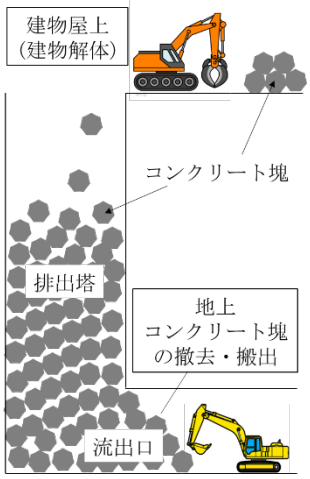

図-1 階上解体の概念図

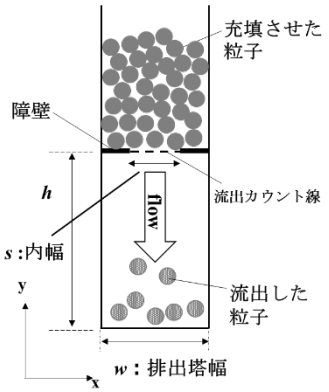

図-3 解析形状
（閉塞回避の検証）

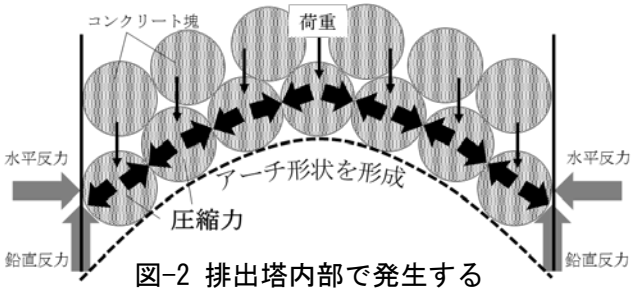

図-2 排出塔内部で発生する
アーチアクションの原理

2．数値解析手法 [1)2)]

本研究では，数値解析手法として複雑な粒子挙動の根底にある粒子レベルのメカニズムを観察することができる個別要素法を用いた．個別要素法は，多数の個々の粒子や物体からなる数値モデルを作り，個々の粒子や物体の有限な変位および回転を模擬的に再現する解析手法である．個別要素法における粒子に作用する接触力は，弾性力と粘性抵抗力の足し合わせであり，フォークトモデルで表現する．接触力は法線方向成分と接線方向成分に分けられる．粒子の並進運動と回転運動の式はそれぞれ次のようになる．

$$(\text{並進}) \qquad m\frac{d^2u}{dt^2}+\eta\frac{du}{dt}+Ku=0 \qquad (2.1)$$

$$(\text{回転}) \qquad I\frac{d^2\phi}{dt^2}+\eta r^2\frac{d\phi}{dt}+Kr^2\phi=0 \qquad (2.2)$$

ここで $m, r, u, \phi, \eta, K, I$ はそれぞれ，粒子の質量，半径，並進変位，回転変位，粘性係数，弾性係数，慣性モーメントである．解析に用いた各諸量はビー玉の物性を参考 [2)]に**表-1** のとおりとした．

表-1 物性値・計算条件

物性値・計算条件	値	単位
総粒子数	200	[個]
粒径	1.0	[cm]
粒子密度	2.5×10^3	[kg/m^3]
ヤング率（粒子）	4.9×10^9	[Pa]
ヤング率（壁）	3.9×10^9	[Pa]
ポアソン比（粒子）	0.23	[-]
ポアソン比（壁）	0.25	[-]
摩擦係数（粒子間）	0.25	[-]
摩擦係数（粒子-壁間）	0.17	[-]
計算時間	0.7	[s]
計算時間間隔	1.0×10^{-6}	[s]

※ガラスビーズの物性値に可能な限り近づける

表-2 計算ケース

内幅s [cm]	排出塔幅w [cm]
3	3.5 / 4 / 4.5 / 5 / 6 / 7
4	4.5 / 5 / 5.5 / 6 / 7 / 8
5	5.5 / 6 / 6.5 / 7 / 8 / 9
6	6.5 / 7 / 7.5 / 8 / 9 / 10

キーワード　解体工事，アーチアクション，個別要素法，フォークトモデル
連絡先　〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学　TEL：03-3817-1805　E-mail：a14.nh6h@g.chuo-u.ac.jp

３．解析概要

本来, コンクリート塊は個々に不規則な形状をしている. 解析によって個々の物体形状の不規則性を再現することは困難であるので, ここでは球形を対象とする簡便化を図った.

図-3は本研究で用いる解析形状である. 実際の工事においてはコンクリート塊が排出塔下端に至る前に, アーチアクションにより排出塔内での閉塞現象の発生が懸念された. このことから, 閉塞に対して粒径や排出塔幅等の寸法の関係が流出に与える影響を把握するために, 意図的にアーチアクションが発生しやすく考慮された, **図-3**の解析形状を設けた. 球形の粒子ではアーチアクションによる閉塞が生じにくいため, ここでは**図-3**のとおり, 排出塔内の高さhの位置で障壁を設けており, 障壁に停留した粒子の摩擦力により, アーチアクションが発生しやすく設定している. 解析では, 図中に点線で記載されている「流出カウント線」が, 時刻tが0の瞬間に壁が消滅して粒子の移動流出が開始されるように設定した. 以降, 流出開始0.5秒後に流出した粒子の個数(以下, 流出個数)を用いて分析を行った. 実際の工事では, **図-1**に示す流出口から流出したコンクリート塊を撤去した瞬間に全体のコンクリート塊が移動して, 再び安定状態で静止するため, 解析の評価指標は, 流出開始直後の移動挙動を表す指標が妥当であると考えた. **表-2**は本研究で行う計算ケースである. 内幅と排出塔幅をそれぞれ変化させることによってアーチアクションによる閉塞を様々に発生させた. その結果から, 閉塞回避の目安として解析によって有効な寸法を検討した.

４．解析結果

図-4 は排出塔幅 w ごとに内幅 s を変化させたときの流出開始0.5秒後の平均流出個数を算出した結果である. 各ケースとも充填した粒子中の空隙位置をランダムに発生させることとして 50 回ずつ計算した. 図中のエラーバーは正負方向ともに標準偏差の大きさを表示している. 横軸の障壁幅は 排出塔幅 w から内幅 s を引いた値であり, 粒子の流出を妨げる障壁の大きさを示している.

全てのケースにおいて, 障壁幅が 1 cm から 1.5 cm に変化するときに, 流出個数が減少することがわかった. 特に, 内幅が小さくなるほど, 流出個数の減少が顕著である. また内幅が 6cm のとき流出個数の減少が他のケースと比べて小さいことがわかる. このことを勘案すると, 粒径に対して内幅が 5 倍以下, 障壁幅が 1.5 倍以上存在するときアーチアクションが発生しやすい. そのため閉塞回避を避けるためには, 粒径に対して 6 倍以上の排出塔幅が望ましいと考えられる. また, 障壁幅が 1.5 cm 以上のとき, どの内幅でも流出個数は概ね変わらないことがわかる. これは障壁幅が 1.5 cm 以上になると, 障壁が流出個数に与える影響は概ね同じであることを示している.

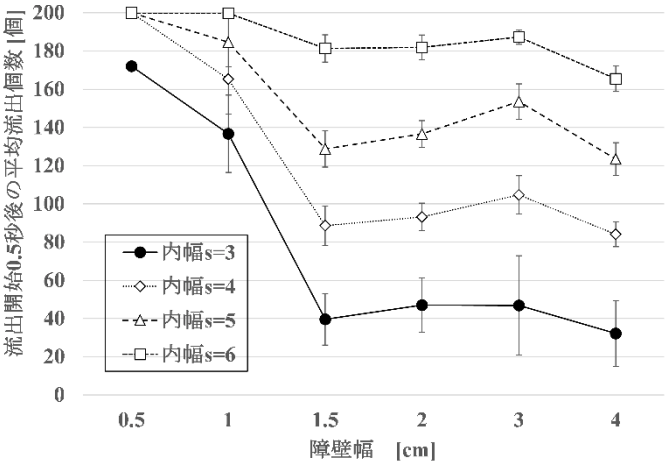

図-4 障壁幅を変化させたときの流出開始 0.5 秒後の平均流出個数

全てのケースにおいて, 障壁幅が 1 cm から 1.5 cm に変化するときに, 流出個数が減少する.

５．結論

排出塔に充填させたコンクリート塊を流出させる工法において, アーチアクションの発生による閉塞が懸念された. このことから, 本研究では, 閉塞に対して粒径や排出塔幅等の寸法の関係が流出に及ぼす影響を把握し, 閉塞回避の目安として解析によって有効な寸法を検討した. 得られた知見を以下に示す.

1) 粒径に対して内幅が 5 倍以下, 障壁幅 (排出塔幅 w－内幅 s) が 1.5 倍以上存在するときアーチアクションによる閉塞が発生しやすい条件であると考えられる.
2) 内幅が 6 cm のとき流出個数の減少が他のケースと比べて小さいことから, 閉塞を避けるためには, 粒径に対して 6 cm 以上の排出塔幅が望ましいと考えられる.
3) 障壁幅が 1.5 cm 以上のとき, どの内幅でも流出個数が概ね変わらないことから, この条件のとき, 障壁が流出個数に与える影響は概ね同じであることを示した.

以上の知見から, 排出塔に充填させたコンクリート塊を流出させる工法において, 排出塔幅を粒径に対して概ね 6 倍とすると, 閉塞回避の観点から有効であること明らかにした.

本研究では, コンクリート塊を球形, 単一粒径で解析を行っている. そのため, 今後は粒子の形状や粒径を変化させ, さらに実現象に近い解析を行う.

参考文献

1) Catherine O’ Sullivan 著 鈴木輝一 訳：粒子個別要素法 particulate Discrete Element Modelling : A Geomechanics Perspective, 森北出版株式会社, 2014.
2) 粉体工学会 編：粉体シミュレーション入門 コンピュータで粉体技術を創造する, 産業図書,1998.