

シャフト充填式解体コンクリート塊排出工法

Concrete Debris Removal Method Using Temporary Storage Shaft

茂木正史* 河野政典** 稲留康一* 柳沼勝夫*

要旨

建物の上層部で解体したコンクリート塊を低振動で地上まで卸す工法を開発した。解体建物の床に仮設開口を設け、さらに下部階では仮設開口を囲むシャフトを構築し、最上階で投下した解体コンクリート塊はこのシャフト内に蓄積され、排出される。小割したコンクリート塊がシャフト内で詰まることはほとんどないが、閉塞が発生する恐れのある排出口の上部に閉塞を抑制させる装置（以後「閉塞解放装置」と呼ぶ）を備え、閉塞に対するリスクの軽減を図っている。この工法により、超高層に分類される高さ 60m からコンクリート塊を投下しても、シャフトから 10m 離れた地点での振動は 55dB 以下に抑えられるとともに、騒音も規制値以下となる。なお、仮設開口を設けずに既存のエレベータシャフトを利用する場合もある。

キーワード：解体、シャフト、閉塞、振動、騒音

1. まえがき

高度成長期に建設された建物が建替え時期を迎え、今後、解体工事の需要は増加すると推測される。コンクリート系建物を解体する際には解体重機が用いられる。解体重機による解体方法は地上解体と階上解体に分類できる。地上解体は敷地に余裕があり、建物外部から解体できる場合に採用されるが、採用される建物の高さは解体重機のブームの長さに制限される。ロングブームを用いると、高さ 40m 程度の建物の解体まで対応できる。

狭小地に立地する建物や、地上からの解体ができない高さの建物を解体する際には、階上解体が採用される。階上解体は解体重機を建物の最上階に楊重し、上階から下階に向かって解体重機が降りながら建物を解体する工法である。この解体方法においては、地上まで解体コンクリート塊を卸す方法が作業の効率や周辺環境への影響を左右する。

これまで、エレベータシャフトなどの堅穴や、スラブの一部を先行解体して設けた仮設開口を利用して解体コンクリート塊を投下する方法が採用されている。その際、下部に緩衝材を敷くなどの工夫をしても落下時の振動が問題となる場合がある。また、解体物をクレーンで荷卸しする場合もあるが、クレーンを設置する場所が確保できる場合に限定され、コストの増加にもつながる。

そこで、クレーンを使わず、シャフトに充填させた解体コンクリートを閉塞することなく排出できる工法を開発した。本工法は、シャフト内に充填するコンクリート

の緩衝効果により振動を低減させることを狙った技術であり、充填高さにより振動レベル低減量を制御できる。

本報では、工法の概要、および開発に当たって実施した縮小模型と実大模型による実験結果を示す。

2. 工法の概要

2.1 解体コンクリートの排出方法

シャフト充填式解体コンクリート塊排出工法の概要を図-1に示す。以下の手順で階上解体により発生したコンクリート塊を地上階に卸し、排出する。

i. 事前工事

- ・下層階でシャフトの構築とシャフト位置のスラブの解体を行う（スラブに開口を設ける）
- ・上層階のシャフト位置のスラブを解体し、開口を設け、その解体コンクリート塊、および各階から発生するコンクリート系解体物をシャフトに充填する（振動対策用の緩衝材として利用）

ii. 解体重機による階上解体の開始

- ・最上階から人頭大以下に破碎した解体コンクリート塊をシャフト内に投下する
- ・シャフト内に 6m 程度の高さでコンクリート塊を充填させながら、地上でコンクリート塊を排出させる

2.2 工法の特長

本工法では、シャフト内にコンクリート塊を充填させるため、高さ 60m からコンクリート塊を投下しても、

*技術研究所環境研究グループ **技術研究所建築研究グループ



図-1 工法の概要

高さ 6m のコンクリート塊が緩衝材となり、発生する振動を人が体感できるといわれている振動レベル (55dB) 以下に抑えることができ、騒音も規制値以下になる。コンクリート塊を人頭大以下の大きさ (シャフト幅の 1/6 以下) とすれば閉塞しないが、閉塞が発生する場合に備えて閉塞解放装置を設け、閉塞に対するリスクの軽減を図った。

3. 縮小模型実験

本章では、縮小模型を用い工法の妥当性を確認するために実施した実験結果について示す。

3.1 シャフト底面の荷重

シャフトにコンクリート塊を詰めると、シャフトの底面が受ける荷重は、コンクリート塊の充填高さの増加に応じて増加する。しかし充填高さが増加すると、コンクリート塊とシャフト壁面の摩擦力によって壁面にアーチの支点が形成され、コンクリート塊にアーチが発生し、底面に作用する荷重は頭打ちになると予想された。

この現象を確認するための実験装置を図-2、写真-1に示す。底面に作用する荷重は図に示すように、排出口の反対側の壁に底面を模擬したパネルを蝶番で止め、排出口側は排出口より同パネルを突出させ、その先端の荷重をバネばかりで測定し、その測定値を底面に作用する荷重とした。なお、充填する碎石の径 (ϕ) は $10\text{mm} \leq \phi \leq 20\text{mm}$ と $10\text{mm} \leq \phi \leq 30\text{mm}$ の2ケースである。充填高さと底面圧力の関係を図-3に示す。碎石の粒度に関わらず、底面圧力は充填高さの増加にしたがって増加するが、一定の充填高さ以上になると増加せず頭打ちとなる。また、碎石の粒径が大きくなると、底面圧力が頭打ちになる高さと底面圧力の値が大きくなった。

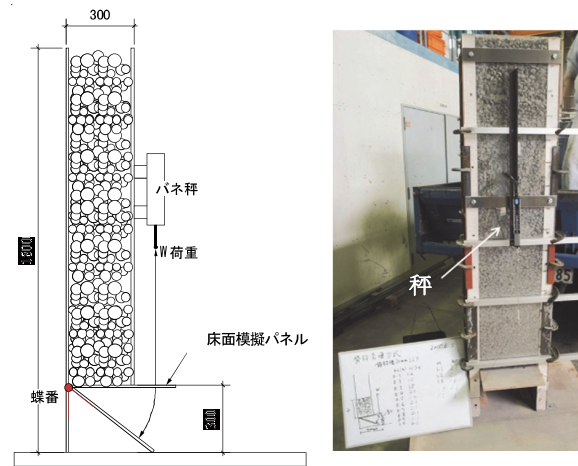


図-2 実験装置 (断面) 写真-1 実験装置

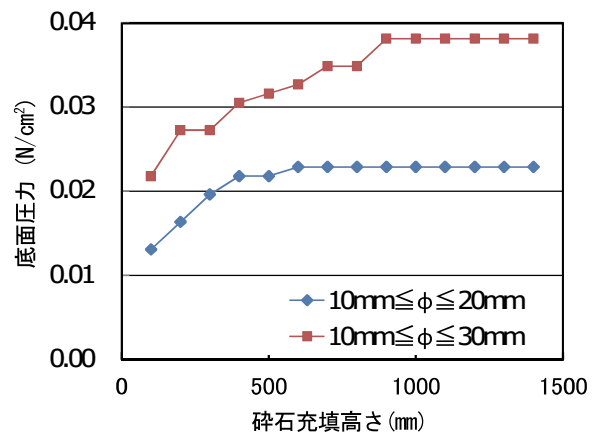


図-3 充填高さと底面圧力

3.2 シャフトの側圧

前節の結果より、シャフトの壁が受ける側圧も碎石の充填高さを増加させれば頭打ちになると予想される。そこで、碎石の充填高さとの関係について縮小模型による実験を実施した。図-4、写真-2に実験装置を示す。受圧板を図-4に示すシャフト壁の L、U 点に設置して側圧を測定した。図-5に同一条件で繰り返した 3 回の測定結果を示す。図中の“L1st”は下のロードセルの 1 回目の測定結果である。測定点 L のロードセルの場合、碎石が受圧板にかかった (高さ 450mm) 後に側圧が発生し、その上部では充填高さの増加に伴う側圧の増加量は小さくなり、頭打ちになる。したがって、充填高さによって側圧の最大値は変化しないので、シャフトの壁は側圧の最大値を参考に設計できる。

3.3 閉塞解放方法の検討

アーチ効果により、底面荷重や側圧の最大値は充填高さによって変化しないことが分かった。しかし、この効果によって閉塞を発生させる恐れもある。実験から、閉塞は排出口上部で生じることが分かったので、この部分でアーチを崩す、次の閉塞解放方法を検討した。

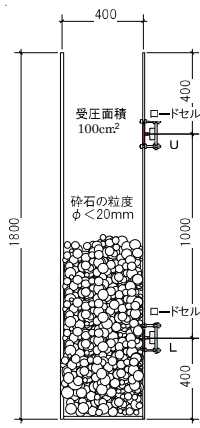


図-4 実験装置



写真-2 実験装置

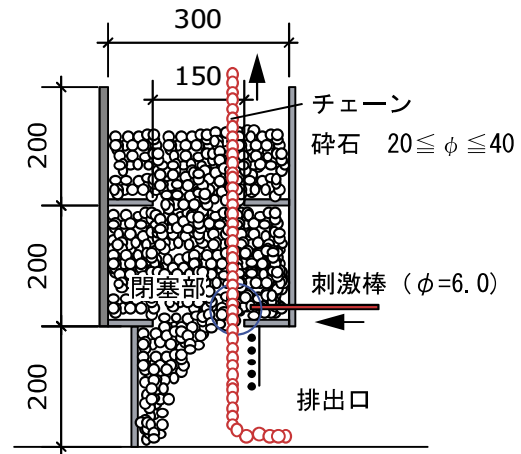


図-6 閉塞実験装置

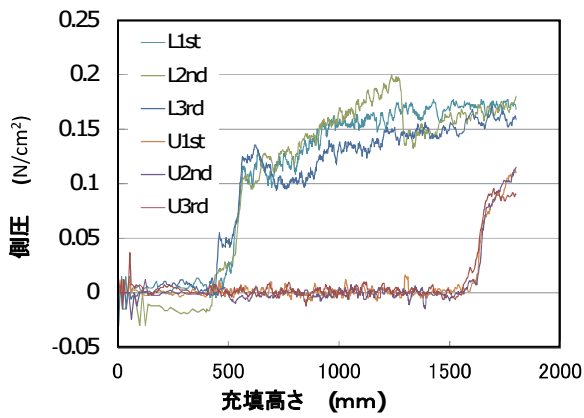


図-5 充填高さと側圧



写真-3 鋼棒



写真-4 チェーン

- i. 閉塞部のアーチ支点を鋼棒で解放する
- ii. 閉塞部のアーチ支点を事前に仕込んだチェーンで解放する

図-6に閉塞実験装置を示す。実験装置の製作に当たっては閉塞が生じやすくなるように各層の境界の砕石が通過する面積を小さくした。写真-3に鋼棒の実験状況、写真-4にチェーンの実験状況を示す。鋼棒を使って約60Nの力で閉塞部を突くと、閉塞部が解放された。また、チェーンによる閉塞解放も可能であったが、チェーンのまわりに空洞ができた後はチェーンから砕石に力が伝わらなくなり、機能を果たせなくなる場合もあった。

3.4 縮小模型実験のまとめ

縮小模型実験により確認した内容を以下に示す。

- i. アーチ効果により砕石の重量がシャフトの底面に作用する圧力とシャフトの壁に作用する側圧は頭打ちとなる
- ii. 閉塞の支点は排出口の上部に生じ、この部分の砕石を鋼棒でずらすと閉塞は解放される

また、実工事における排出作業やシャフト構築に際して応用できる内容を以下に述べる。

図-7は実験結果より推測されるシャフト内で生ずる力である。図より、排出口が開いていると、シャフトに充填された砕石の重量をシャフト底面とシャフトの壁(側圧の鉛直成分)が支えている。⑤に発生する、砕石を外に押し出す圧力が図-3に示すように一定値となるため、排出される砕石量は一定量となる。また、充填高さが一定値を超えると、砕石の作用荷重は頭打ちになるので(図-3)、それ以後の排出長さは排出口の高さと摩擦力で決められる。したがって、排出作業において排出口の高さを調節することで状況の変化に応じて排出長さを変えることができる。また、シャフトの側圧は充填高さが一定値を超えると、高さによらず一定になるので(図-5)、シャフト壁の構造仕様はこの側圧に対して設定できる。

4. 実大模型実験

実大模型試験の実施に当たっては、実建物解体におけるコンクリート塊の径やシャフトの寸法を考慮した。実験の目的を以下に示す。

- i. コンクリート塊のシャフト内流動性と排出状況の把握
- ii. コンクリート塊充填時のシャフト側圧の把握
- iii. コンクリート塊投下時の振動・騒音の把握
- iv. 閉塞解放装置の動作確認

4.1 実大模型と計測概要

a. シャフト

シャフトの構造を図-8に、外観を写真-5に示す。シャフトはH型鋼を柱として、壁を鋼管パイプと合板で製作した。高さは10mである。また、排出口は鉄筋(φ32)を150mmの間隔で取り付けてその高さを変えられるようにした。

b. 側圧測定治具

図-9に側圧測定治具を示す。シャフトの側面の上下(U: +7,000mm、L: +1,650mm)に測定治具を設置した。図に示すように1,100mm×1,150mmの鋼板を受圧面とし、5個のロードセルで鋼板に作用する荷重を測定した。ロードセルの反力はH鋼柱で受けた。



写真-5 シャフトの外観（実験状況）

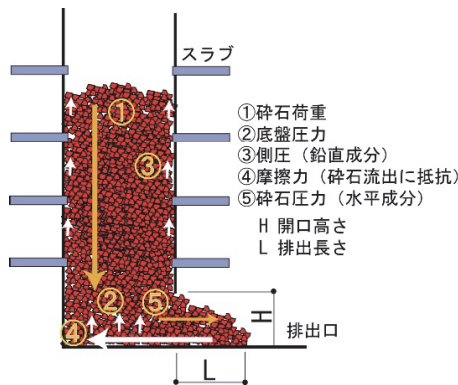


図-7 シャフト内の力

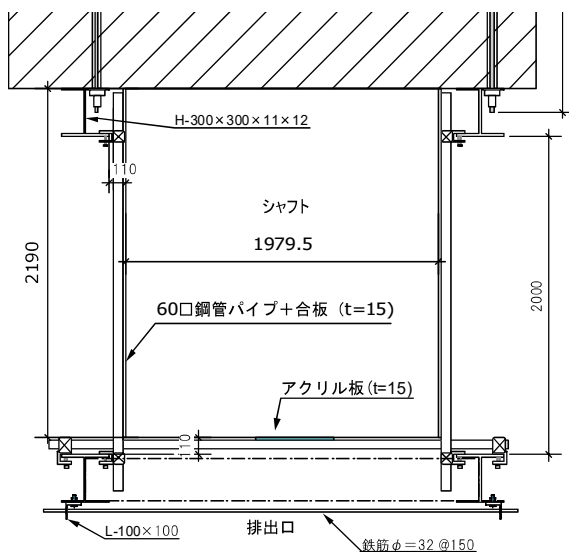
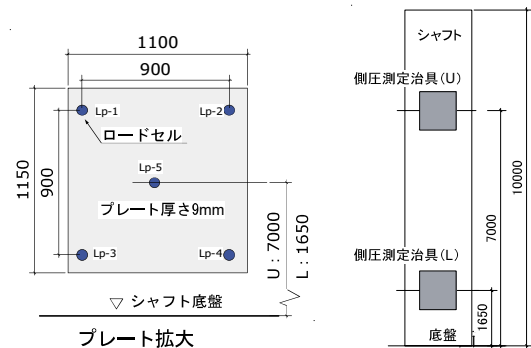


図-8 シャフトの構造（平面）



プレート拡大

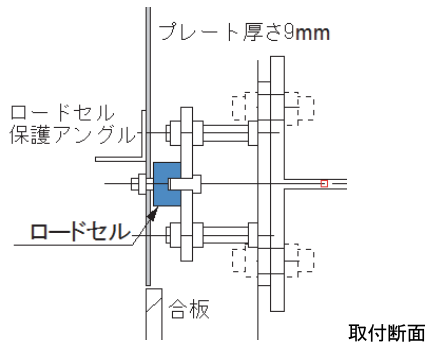


図-9 側圧測定治具

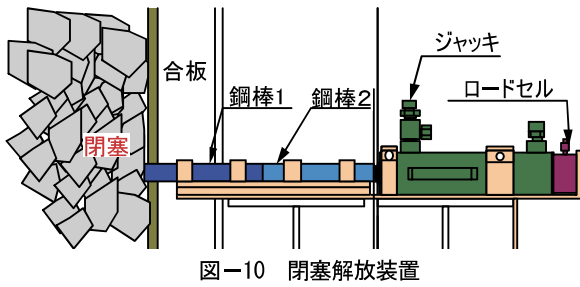


図-10 閉塞解放装置



写真-7 コンクリート塊

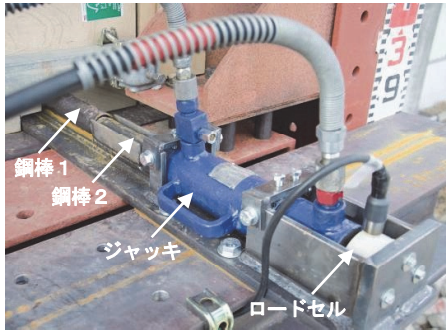


写真-6 閉塞解放装置

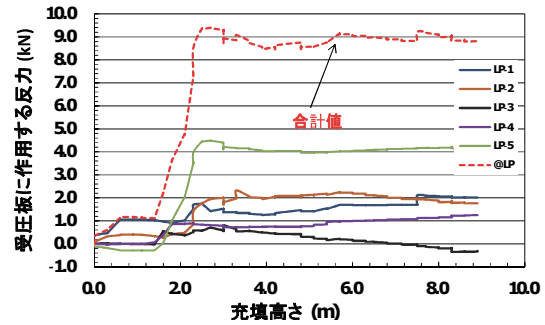


図-11 充填高さと同側圧

c. 閉塞解放装置

閉塞解放装置を図-10、写真-6に示す。ジャッキのシリンダーでシャフト内に鋼棒を押し込む構造となっており、ジャッキのシリンダーをシャフト内に挿入させないように製作した。この装置を排出口上部に3台設置して、遠隔操作した。また、シリンダー圧をジャッキ後部のロードセルで測定した。

d. コンクリート塊

建物解体で発生するコンクリート塊を想定して、コンクリート塊の径を $50\text{mm} \leq \phi \leq 350\text{mm}$ (最大径はシャフト幅の 1/6) 程度とした。なお、投下実験を繰り返すと小口径のコンクリート塊の割合が増加した。写真-7にコンクリート塊を示す。

4.2 実験手順

実験を以下のステップで実施した。

- ①排出口を閉鎖する
- ②底開きバケツに 0.5m^3 のコンクリート塊を積み込み、シャフト上部から投下する
- ③充填高さが9mになるまで②を繰り返す
- ④充填高さが増加する過程において、側圧、振動・騒音を測定する
- ⑤充填高さが9mに達したら、下部開口を開け、排出を開始する
- ⑥排出途中で、コンクリート塊をシャフトに再投下し、投下時の排出口部分への影響を確認する
- ⑦閉塞発生時は、閉塞解放装置を作動させるとともに、作動時にジャッキに働く荷重を測定する。

なお、閉塞解放実験では排出口上部のシャフトの内側に

閉塞を促進させる H 型鋼の閉塞促進梁を設けた(写真-8)。実験状況を写真-5に示す。

4.3 実験結果

a. 側圧測定結果

図-11に、下部受圧板(H=1650)における充填高さと同側圧の一例を示す。投下実験を5回実施したが、いずれの測圧も同様の傾向を示した。受圧板に作用する荷重を5個のロードセルで測定し、ロードセルの合計値を側圧とした。コンクリート塊の充填高さが増加すると側圧(圧縮力)も増加するが、充填高さが約2.5m以上になると、側圧はほぼ一定になる。これより、一般的な階高の建物に本実験と同等寸法のシャフトを構築すれば、2階以上の仮設シャフトの壁に作用する側圧はほぼ一定であると考えられる。

b. 閉塞解放実験

シャフトの排出口上部の内側に閉塞促進梁(H-250×250)(写真-8)を設置し、閉塞を促進させた。閉塞部より下部に蓄積されたコンクリート塊をシャフトの外まで排出すると閉塞が確認できた。写真-8にシャフトの内観、写真-9に閉塞時の排出口を示す。この状況で閉塞解放装置を作動させた。閉塞解放用鋼棒がシャフト壁内に約80mm挿入された瞬間に閉塞が解放され閉塞部とその上に堆積していたコンクリート塊が落下した。図-12に閉塞解放時のジャッキの荷重の推移を示す。約30kNで閉塞部を押すことで閉塞部が解放された。その時の振動レベルは54.4dBであった。他のケースも同様の傾向を示した。



写真-8 シャフト内観 写真-9 閉塞時の排出口

c. 排出状況

シャフトの高さ9mまでコンクリート塊を充填してから排出させた。目視確認した特徴を以下に示す。

- ・ 排出口の開口高さを1.3mとして排出させると、排出口面から約1.1mまで排出し(写真-10)、開口高さ2.3mでは約1.9mまで排出した。このコンクリート塊を除去すると同量が排出した。これより排出口の高さを変更することによって排出量を変えることができる。
- ・ 排出を続けてコンクリート塊の充填高さが約3mになった時点で、再度シャフト上部から0.5m³のコンクリート塊を投下したが、排出口部のコンクリートは静止していた。これは、縮小模型での実験結果で得られたように、充填高さが一定値を超えると、シャフト底盤で受けるコンクリート塊の荷重が頭打ちになることから推測できる。また、以上より解体作業時に排出口での作業と投下口での作業は独立して行うことができる。

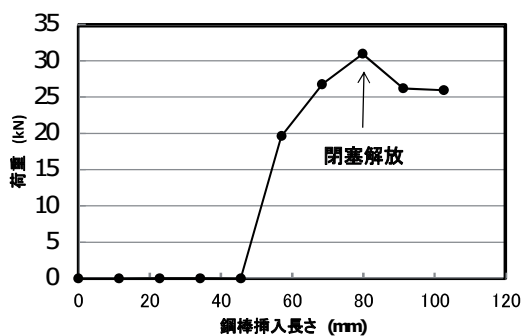


図-12 閉塞解放時のジャッキ荷重



写真-10 排出状況

4.4. 振動・騒音の測定結果

a. 振動

コンクリート塊の落下時は、コンクリート塊がシャフト内のコンクリート塊やシャフト面に衝突して振動が発生し、その振動が地盤へ伝搬する。

図-13にコンクリート塊(0.5m³)をシャフトの上部より自由落下させた時の鉛直方向の振動レベル最大値を示す。測定位置は、シャフト側面から10m離れた地盤上である。図に示すように、振動レベル最大値は充填高さ0m(落下高さ10.5m程度)では55dB程度であり、コンクリート塊の充填高さが高くなるにつれて低下し、充填高さ6m程度(落下高さ4.5m程度)では45dB程度まで低減した。

充填高さ別の周波数特性を図-14に示す。31.5Hz帯域~63Hz帯域で卓越している。さらに、充填高さ0.5m時の振動加速度レベルと比較して、各充填高さで周波数別に整理した振動加速度レベル低減量を図-15に示す。振動加速度レベルの低減量は周波数で異なる。充填高さによる低減効果は高周波数側に顕著に表れ、充填高さが高くなるほどこの傾向が著しい。

コンクリート塊の充填高さが高くなると振動レベルが減少することを確認したが、実測による評価では、充填高さが高くなるにつれて落下高さが低くなり、位置エネルギーが小さくなるので、充填高さの効果のみを評価できない。そこで、実測した振動レベルのデータに対して落下高さ分の振動レベルを減じ、落下高さ1mの場合の充填高さの効果を求めた。このデータを用いて、充填高さ0mと比較した振動レベル低減量で整理した結果を図-16に示す。なお、図中の回帰直線は、実用的な観点から1次近似とした。図より、充填高さ6m程度で振動レベルが8dB程度低減することが分かる。

また、実用的には、回帰式を参考にしてシャフト内のコンクリート塊の充填高さを変更し、解体現場の状況に応じて発生振動レベルを調整できる。

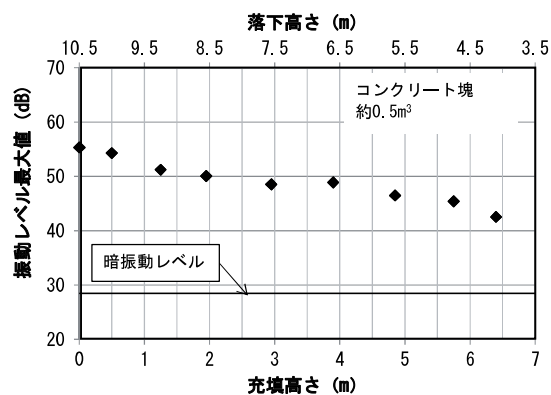


図-13 振動レベル最大値
(シャフト側面から10m離れた地盤上での実測値)

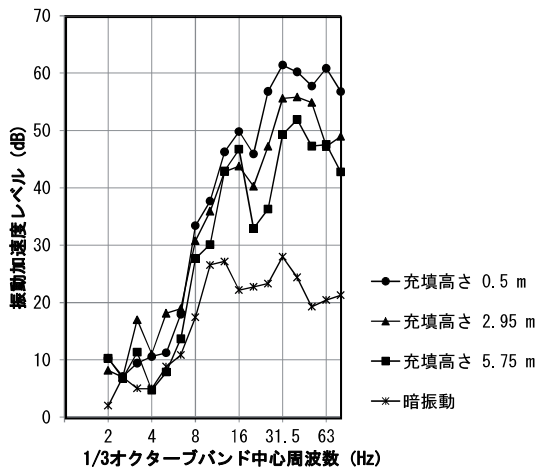


図-14 振動レベル最大時の周波数特性
(シャフト側面から10m離れた地盤上での実測値)

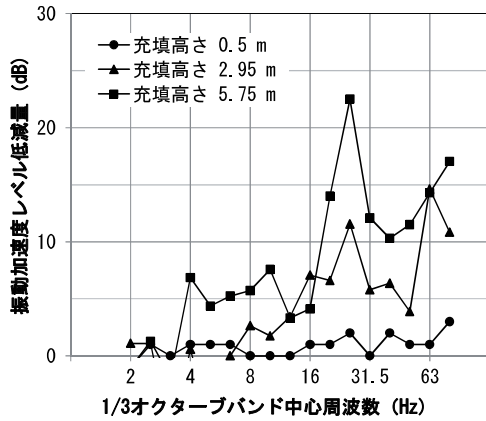


図-15 振動加速度レベル低減量
(シャフト側面から10m離れた地盤上での実測値)

次に、高さ60mのビルの解体を想定して60mのシャフトに本工法を適用した場合に発生するコンクリート塊落下時の振動レベルを推定した。推定には、図-13の充填高さ0m(落下高さ10.5m)の振動レベルを用いる。これに落下高さを60mにすることによる振動レベル増加量($20\log\sqrt{(60m/測定高さ)}$)を加え、図-16中の回帰式から求めたコンクリート塊の充填効果を減じた。この結果を図-17に示す。充填高さを6m以上にすれば落下高さ60mにおける振動レベルが55dB以下となり目標が達成できる。なお、これまでの推定では、シャフト面にコンクリート塊が衝突する振動の影響も含めているので鉄筋コンクリート造のエレベータシャフトのように剛性の高いシャフトを利用する場合にはさらに振動レベルが低減すると考えられる。

b. 騒音

振動の測定と同時にコンクリート塊(0.5m³)を自由落下させた時の騒音レベルを測定した。敷地境界を想定

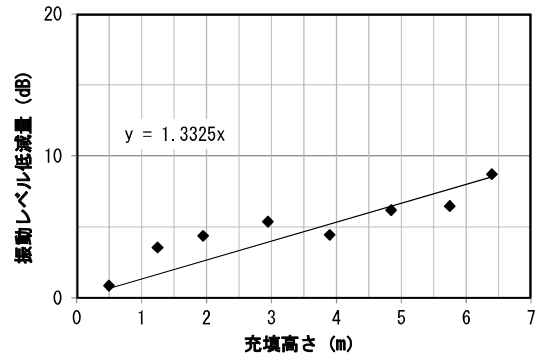


図-16 充填高さによる振動レベル低減量
(落下高さを1mに基準化)

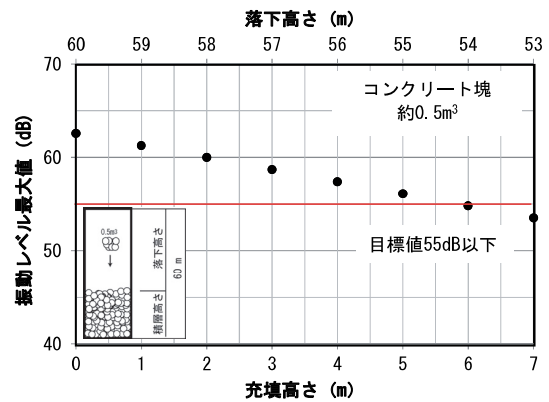


図-17 60m高さからコンクリート塊落下時の振動レベル最大値(計算値)

して、シャフト側面から10m離れた(高さ1.2m)位置での騒音レベル最大値を図-18に示す。目視結果より発生した騒音はコンクリート塊の落下時にシャフトの壁にぶつかる衝撃音と充填されたコンクリート塊とぶつかる衝撃音の合成音である。図より、発生する騒音は、充填高さが2m(落下高さ8.5m)程度になるまでは充填高さの増加にしたがって騒音レベルが大きくなるが、さらにコンクリート塊の充填高さが増加すると充填高さの増加にしたがい騒音レベルは低下していく傾向が表れた。これは、初期投下時は充填コンクリート量が増えるにしたがって、衝突して壁に当たるコンクリート塊の量が増え、第3、第4番目の投下コンクリートは側圧測定用の鋼板に衝突したので騒音レベルが増加したと考えられる。また、上部の減少傾向は落下高さが低くなっていくことと測定位置が音源と離れていくことが原因であると考えられる。

図-19に測定した騒音を1/3オクターブバンド分析した結果を示す。図に示すように125Hz帯域~4kHz帯域の広帯域でレベルが大きくなる周波数特性を示している。充填高さが高くなると、500Hz帯域以下の低周波数領域では低減効果がみられるが、500Hz帯域~2kHz帯域の

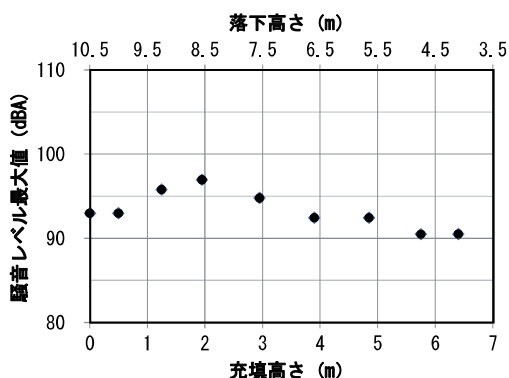


図-18 騒音レベル最大値 (シャフトから10m)

の高周波数領域では大きな違いがみられない。これは、コンクリート塊の落下時の状況から高周波数帯域の数値はシャフトの側圧を測定するために設置した鋼板へぶつかる衝撃音が影響している可能性がある。また、125Hz帯域～500Hz帯域では、充填高さ2.95mの音圧レベルが充填高さ0.5mや5.75mよりも大きい。充填高さ2m程度で騒音レベルが大きくなること(図-18)と対応していると予測できる。

実験で測定された騒音は、建物外に構築したシャフトにコンクリート塊を落下させて発生させたものである。実際の解体建物では建物内のスラブに仮設開口を開けてシャフトを構築したり、エレベータシャフトを利用するため、建物の外周壁の遮音効果が見込め、実測値よりも騒音レベルが小さくなることを考える。そこで、実測値を用いてシャフトから発生する騒音のパワーレベルを求め、シミュレーションソフト (SOUND PLAN Ver7.2 SoundPLAN GmbH 社) を用いて、①建物の壁 (コンクリート系) に囲まれた場合、さらに②工事中防音パネルで囲んだ場合の効果を確認した。シミュレーションモデルを図-20に、シミュレーション結果を表-1に示す。なお、シャフトの大きさは、本実験と同様とした。

建物の壁に囲まれた場合には、シャフト側面から10m離れた位置で最大67dBA程度となり、さらに工事中防音パネルを設置することで63dBA程度になった。これは、他の解体機械の騒音レベル (音源から10m離れた位置で約70dBA以上)³⁾と比べて小さいレベルである。また、発生音は、コンクリート塊が落下時にシャフトにぶつかる衝撃音の影響が大きい。実際に用いるシャフトの開口径は本実験よりもさらに600mm大きくする計画である。コンクリート塊のシャフトへの衝突を緩和でき、さらに騒音を低減できると考えられる。

5. あとがき

高さ60m級の高層建物を解体する場合でも、解体コ

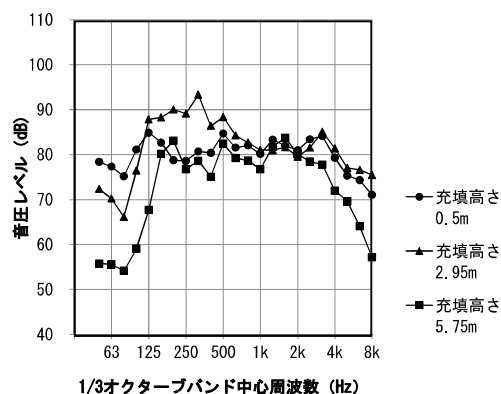


図-19 騒音の周波数特性 (シャフト側面から10m離れた地盤上での実測値)

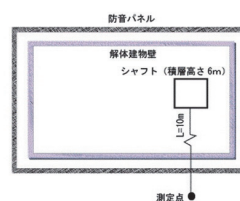


図-20 シミュレーションモデル

表-1 建物内シャフトから発生する騒音の予測

建物外周壁の条件	騒音レベル最大値(dBA)
建物の壁(コンクリート系に囲まれている場合)	67.3
建物周囲の工事中防音パネルをさらに追加した場合	63.2

ンクリート塊を最上階から投下できるシャフト充填式解体コンクリート塊排出工法を開発した。下部階にシャフトをつくり、このシャフト内にコンクリート塊を充填しながら排出させる。また、充填したコンクリート塊がシャフト内で閉塞する場合に備えて、閉塞解放装置を考案した。これは閉塞が発生しやすい排出口上部のスラブ上に設置して、小型ジャッキを用いて閉塞部のコンクリート塊をずらして閉塞を崩す。また、排出口の高さ調整により排出量が変わること、投下口と排出口の作業が独立して可能であることも特長である。さらに、シャフトに充填するコンクリート塊の効果により振動が低減でき、その充填高さによる振動の低減量を明らかにした。本工法は中層建物を含めた実工事に適用できる。

【参考文献】

- 1) 環境省・大気環境局大気生活環境室、地方公共団体担当者のための建設作業振動対策の手引き、2012、p22
- 2) 伊奈 潔、建設工事における建物振動被害の判定方法、日本建築学会環境系論文集、第77巻、2012.6
- 3) (社)日本騒音制御工学会編、「地域の音環境計画」技報堂、p.116