

高層建築物解体工事における破砕物落下振動低減技術の検討

(株)福田組 ○星 寛和 小林 正利

高層建築物解体時に発生する破砕物の落下振動をウレタン系防振材（以下、防振材）を用いて低減する検討を行った。防振材は産業機械の高周波振動を低減する効果があり、広く実用化されている。本検討では、高層建築物解体の破砕物落下振動の特性を考慮し、防振材の物性評価、振動低減効果の数値シミュレーション、及び実証実験を実施した。

1. はじめに

都市部における建築物解体において振動は騒音と並び最も重要な環境要素である。高層建築物解体では、高層階で発生する破砕物をエレベータホールから地上階に投下するため落下地点での振動が懸念される。本稿では、振動対策として機械振動対策で実績のある防振材の適応を検討した。防振材は(株)イノアックコーポレーション製セルダンパーBF400を用いた。本製品は、高周波数領域で振動低減効果がある(図 1.1)。1回当たり 0.5 m³程度の破砕物を投下するため見かけ上の落下周波数は高いが、破砕物が同一点に落下する確率は低いため低周波数となり防振効果が得られない。この問題を解決するため、防振材の上面に剛性板を設置し、破砕物落下加重を面で受けることによる高周波数化と荷重分散化を試みた。

本検討では、防振材の物性特評価、数値シミュレーションによる防振効果の予測、及び実証実験を実施した。

2. 防振材の物性評価

(1) 測定条件

数値シミュレーションに必要な材料物性を把握するため、密度測定（JIS K 7112A 法）と動的粘弾性試験を実施した。動的粘弾性試験条件を表 2.1 に示す。

(2) 測定結果

測定より得られた貯蔵弾性率 G' と損失弾性率 G'' のマスターカーブより、Ninomiya 式(式 2.1)を用いて緩和スペクトルを求めた。

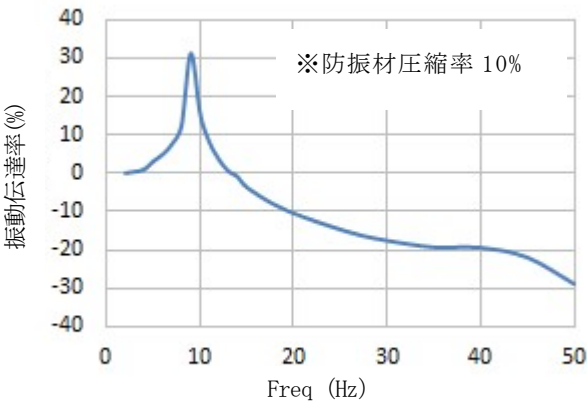


図 1.1 BF400 の振動伝達率と周波数の関係
(株)イノアックコーポレーション提供データより作成)

表 2.1 動的粘弾性試験条件

	温度依存性	周波数依存性
試験方法	強制振動法	
試験モード	圧縮	
測定温度	−150～200℃ (2℃/min)	−120～140℃ までの計 19 温度
加振周波数	1 Hz (振幅 10μm)	0.1 ～100Hz (振幅 10μm)

$$Gr(t) = G'(\omega) - 0.4G''(0.4\omega) + 0.014 G'(10\omega) \cdots \text{式 2.1}$$

得られた緩和スペクトルに対して Prony 級数(式 2.2)により近似を行った結果を図 2.1 に示す。

$$Gr(t) = Ge + \sum Gi e^{-t/\tau_i} \quad i = 1 \sim n \quad \dots \text{式2.2}$$

Gi : 緩和係数(MPa), Ti : 緩和時間 (s)

本測定で得られた数値シミュレーションのパラメータを表 2.2 に示す。

3. 数値シミュレーション

(1) 解析条件

解析ソルバーは LS-DYNA R11.0.0 (MPP/倍精度/16CPU) を用い、解析手法は動的陽解法、解法は有限要素法 (FEM) + 個別要素法 (DEM) とした。

解析モデルは、地盤上のコンクリート床版に防振材と剛性版を設置し、その上に破砕物が落下するものとする。解析対象の剛性板と防振材は 2000mm×2000mm とした。防振材は粘弾性体とし、それ以外の構造は弾性体とした。

シミュレーションに用いた材料物性値を表 3.1 に示す。

また、解析条件を以下に示す。

- ・落下物と剛性板の摩擦係数 ($\mu=0.5$ を仮定)
- ・剛性板、防振材、コンクリート版、地盤の減衰 5 %
- ・落下物は初速 $V_0=24256.937\text{mm/sec}$ (高さ $h=30\text{m}$)
- ・落下物は 25 個/秒で 4 秒間落下する
- ・5 秒までを 1 ケースとして計算を実施
- ・振動測定は防振材端部より 2.5m 離れた位置

解析は材料の組み合わせと初期荷重の有無により 4 ケースで実施した。解析ケースを表 3.2 に示す。ケース 4 の初期荷重は、高さ 2m まで堆積した破砕物の荷重により防振材が 10% 変形した状態を想定している。

(2) 解析結果

落下時間 4 秒間の等価振動レベルを表 3.3 に示す。ケース 2 では防振材の振動低減効果があり、ケース 3 では防振材上に剛性版を設置することによりさらに低減効果が高く、落下加重の分散と高周波化の効果が確認できた。ケース 4 では、破砕物の堆積 (10% 変形) により落下振動低減効果が損なわれた。

周波数解析の結果として、図 3.1 に各ケースの周波数と加速度振幅の関係を示す。

ケース 1 では落下周波数 (25Hz) の共振周波数でピークがみられた。ケース 2 では倍音周波数でピークがあ

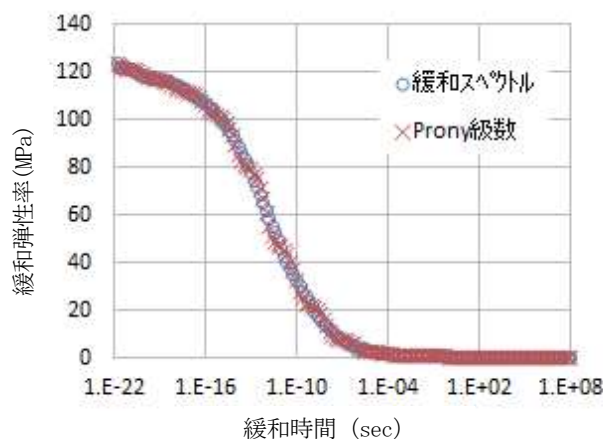


図 2.1 緩和スペクトルと Prony 級数近似曲線

表 2.2 数値シミュレーションパラメータ

項目	測定値
密度	0.37 (g/cm ³)
瞬間せん断弾性率	120(MPa)
無限せん断弾性率	0.13(MPa)

表 3.1 材料物性値

材料	厚さ (mm)	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比	質量密度 (t/mm ³)
地盤※	—	112.0	0.3	2.0E-09
コンクリート版	1,000	2.17E+04	0.2	2.4E-09
剛性版	19	2.0E+05	0.3	7.85E-09
落下物※※	φ=100	2.17E+04	0.2	2.4E-09
防振材	50	1. の密度と Prony 級数を用いた粘弾性モデル		

※N 値=40 の下層路盤

※※コンクリート球体

表 3.2 解析ケース

ケース	内容
1	剛性版のみ
2	防振材のみ
3	防振材+剛性版
4	防振材+剛性版 (初期荷重有り)

表 3.3 等価振動レベル (単位: dB)

ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
92.4	87.4	76.1	92.4

るが、共振周波数のピーク成分は著しく減少した。ケース3では更に明確なピークがなくなった。ケース4では倍音周波数で明確なピークが残るが、ケース1と比較してその他の共振周波数のピークは小さかった。

以上より、防振材は剛性版と併用で落下加重分散と高周波数化により振動低減効果が高くなると推定される。ただし、落下物堆積荷重により防振材が圧縮されると防振効果が低減すると推定される。

4. 予備実験

(1) 実験条件

実験条件を表 4.1 に示す。

表 4.1 実験条件

落下高度	8.5m
落下物	コンクリート破砕物（最大粒径≒200mm）
防振材条件	・ 防振材なし ・ 防振材あり（防振材+剛性版）
落下方法	落下堆積物高さ 1～1.5m になるまで 0.4 m ³ 級 BH を用いて高さ 8.5m から自然落下。（概ね 10 バケツ）
実験回数	N=3
測定機器	普通振動計 VM-53A データレコーダ DA-20
測定方法	特定建設作業 JIS Z 8735 に準拠
測定条件	周波数特性：Lv 動特性：630msec 分解能：20msec 振動発生源～測定位置距離：5m
解析方法	各振動ピーク±0.5sec を対象に 1/3 オクターブバンド分析

(2) 結果と考察

防振材ありの場合となしの場合それぞれについて落下回数別振動レベルを図 4.1 に示す。各落下回数において、N=1～3 それぞれの最大振動レベルを抽出し平均値をプロットした。振動レベルの有意な落下回数（堆積量）依存性はなかった。防振材なしの場合、全体の平均値 58dB、最大値 59dB だった。これに対し、防振材ありの場合、平均値 53dB、最大値 54dB だった。振動加速度換算で平均 43% の低減であった。

図 4.1 において、防振材の有無による振動レベルの差が最も大きい第三落下の時間波形を抽出し、周波数解析を実施した。

0～20Hz の周波数帯域では、振動レベルに大きな

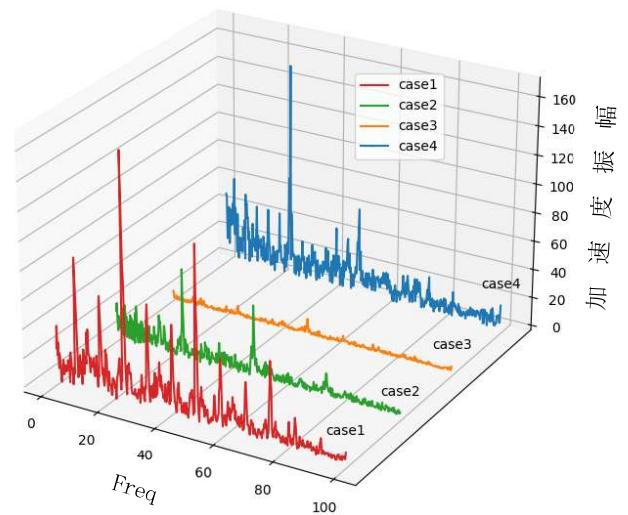


図 3.1 加速度振幅と周波数の関係

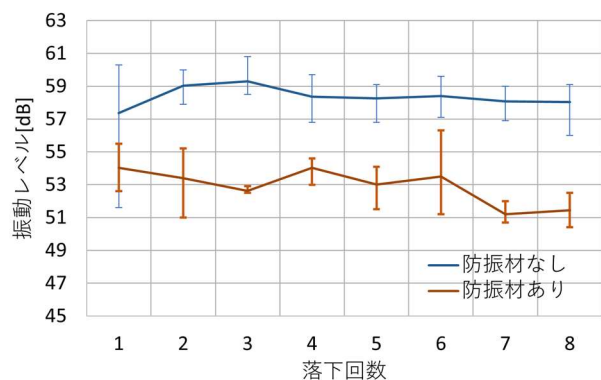


図 4.1 予備実験 落下回数別振動レベル

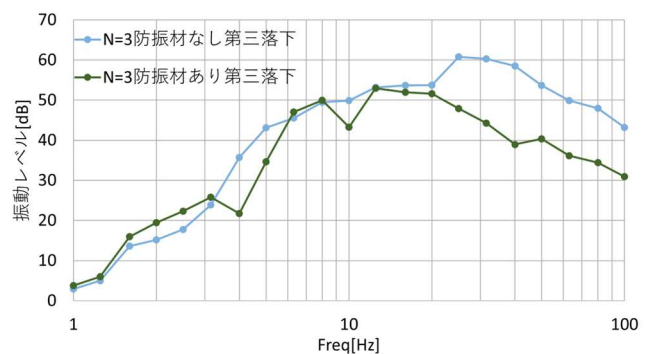


図 4.2 予備実験 1/3 オクターブバンド分析結果

違いはなかった。一方、25～100Hz の周波数帯域では防振材ありで大きく振動レベルが低下した。40Hz で振動レベルの差は最大であり、防振材なしの場合 58dB、防振材ありの場合 39dB であった。振動加速度換算で平均 89% の低減であった。

この結果は、図 1.1 に示した 15Hz 以上の高周波数帯域で振動低減効果を発揮する防振材特性と概ね一致した。

以上の結果を踏まえ、高層建築物解体工事での実証実験を実施した。

5. 実証実験

(1) 実験条件

実験条件を表 5.1 に示す。

表 5.1 実験条件

実験場所	名古屋市内の集合住宅
落下高度	24.85m (10 階層)
落下物	コンクリート破砕物 (最大粒径≒200 mm)
防振材条件	・ 防振材なし ・ 防振材あり (防振材+剛性版)
落下方法	0.4 m ³ 級 BH を用いて 10 階層開口部から EV ホールに堆積物高さ 1.5~2m になるまで投下。
実験回数	N=10
測定機器	普通振動計 VM-53A データレコーダ DA-20
測定方法	特定建設作業 JIS Z 8735 に準拠
測定条件	周波数特性: Lv 動特性: 630msec 分解能: 20msec 振動発生源~測定位置距離: 5m
解析方法	各振動ピーク±0.5sec を対象に 1/3 オクターブバンド分析

(2) 結果と考察

等価振動レベルは、防振材ありで平均 32dB, 最大 34dB, 防振材なしで平均 37dB, 最大 48dB であり、防振材の効果が認められたものの、振動レベルは微小であった。実際の建築物は、落下面が梁・柱で構造的に連続であるため、破砕物落下による振動エネルギーは建築物全体に分散されたと考えられる。シミュレーション時に落下面での振動のみを考慮し、梁・柱への振動エネルギーの分散を想定していなかったこと、および予備実験は野外で実施したことにより、シミュレーション・予備実験と実証実験の結果に乖離が生じたと考えられる。

防振材ありの場合となしの場合それぞれの代表データについて、周波数解析の結果を図 5.1 に示す。

比較のため、振動レベル表示に変換したシミュレーション結果と予備実験結果も併せて示す。

実証実験の防振材ありの場合となしの場合のいずれにおいても、明確なピークは確認されなかった。また振動レベルについても、シミュレーション及び予備実験の結果より著しく小さかった。

シミュレーションと比較して、予備実験・実証実験では低周波領域の振動レベルが低い結果となった。これはシミュレーションでは落下物の堆積を考慮していなかったことが要因と考えられ、堆積物による振動低減効果が示唆される。

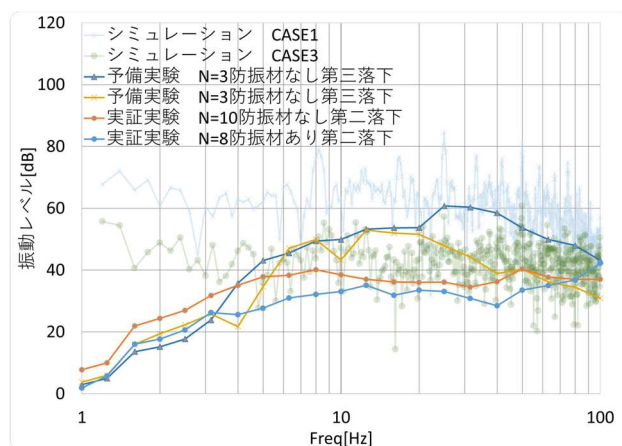


図 5.1 実証実験 1/3 オクターブバンド分析結果

※シミュレーション及び予備実験との比較

6. まとめ

高周波数領域で振動低減効果が期待される防振材について、動的粘弾性試験、及び数値シミュレーションにより高層建築物解体における破砕物落下振動低減効果を推定した。

予備実験で、20Hz 以上の領域での振動低減効果があり、防振材の機能・性能が確認できた。

実証実験では、落下面と建築構造物が連続した条件では振動エネルギーが分散し、想定よりも振動レベルが小さいことが明らかとなった。

今後の課題として、本検討で得られた防振材の性能を発揮できる適応条件・用途を検討する。

Study on a Vibration-Reduction Technique for Falling Debris in High-Rise Building Demolition

Hirokazu HOSHI, and Masatoshi KOBAYASHI

This study examines the use of a urethane-based anti-vibration material (hereafter, “the isolator”) to reduce vibrations generated by falling debris during the demolition of high-rise buildings. Such isolators are effective in attenuating high-frequency vibrations in industrial machinery and are widely used in practice. In consideration of the vibration characteristics specific to debris impacts in high-rise demolition, we conducted (i) material property evaluations of the isolator, (ii) numerical simulations of its vibration-reduction performance, and (iii) demonstration experiments.