

制振ダンパー向け 高減衰ゴム用添加剤の開発

Development of additives for high damping rubber for damping dampers



土居祥子 / 樹脂・化成品事業カンパニー営業部第二営業課
Shoko Doi Section 2 Sales Resins & Tall Oil Products Company

1 はじめに

世界中に大きな衝撃を与えた東日本大震災から10年、大きな被害が発生した熊本地震から5年が経過した。特に熊本地震では震度7の地震が2回も発生し、住宅被害件数は一部破損から全壊まで合わせると約18万棟にも上る（2回目の地震で被害件数が一気に増加した）¹⁾。これは、震度7以上の大規模地震が、連続して発生することが想定されていなかったためだといわれており、建物の地震対策も見直されている。このように近年の大規模な地震災害の経験の影響もあり、我々の地震対策に関する意識はより一層高まっている。また、それと同時にさまざまな地震対策も提案されている状況にある。

そこで本稿では、建物を対象とした地震対策を取り上げ、まずはその対策の考え方やいくつかの異なる種類のダンパー装置の概要について述べ、その後、それらダンパー装置の中で制振ダンパーに着目し、そこに使用されるゴムの減衰性向上を目指した開発について報告する。

2 建物の地震対策～「耐震」「免震」「制振」～²⁾

建物の地震対策には大きく分けて3つの考え方があり、通常「耐震」、「免震」、「制振」に大別される（表1）。「耐震」とは、建物の構造を強化することで、建物の崩壊や損傷を防ぐ技術のことである。この手法は、比較的簡単に施すことができるので最も多く取り入れられている。一方で、耐震は振動エネルギーが直接建物に伝わるため、想定よりも大きな地震や繰り返し地震には弱くなってしまおうという特徴がある。

「免震」は、建物と地面の間に免震装置を設置する構造設計のことである。建物と地面を切り離すことで地震のエネルギーを直接建物に伝えず、免震装置によって建物の固有周期（その建物固有の揺れやすい周期）を伸ばし、揺れを防ぐ技術だ。この場合、大きな地震には強いが、コストが高く、工事が大規模という欠点がある。

これらに対して、「制振」は、地震の揺れにより建物に変形した際に、制振ダンパーと一緒に変形することで、振動エネルギーの一部が熱エネルギーに変換され、結果、揺

れが収束してゆくという現象を利用した技術である。変形で振動を熱に変えるために建物にダメージを与えにくく、また、比較的lowコストで制振ダンパーを取り付けることができることが特徴といえる。

表1 耐震・免震・制振の違い

	耐震	免震	制振
技術	・構造強化で揺れに耐える	・揺れを建物に伝えない ・免震装置で揺れを防ぐ	・ダンパーで揺れを熱に変換し、揺れを収束
特徴	・想定より大きな地震に弱い ・建物にダメージ	・地震に強い ・建物にダメージなし ・高コスト	・繰り返し地震に強い ・建物にダメージなし ・低コスト

3 制振ダンパー³⁾

制振ダンパーとは揺れを収束させる装置のことで、鋼材ダンパー、粘性ダンパー、オイルダンパー、粘弾性ダンパーの4種類に大別できる（表2）。どのダンパーも振動エネルギーを熱エネルギーに変えることでエネルギーを吸収している。

【鋼材ダンパー】

金属に力を加えたときの塑性変形でエネルギーを吸収する。

【粘性ダンパー】

粘性液体の中を通過する際の抵抗を利用してエネルギーを吸収する。

【オイルダンパー】

筒部分に開いている穴からオイルが出てくる際の抵抗（管路絞り抵抗）と、そのオイルの流動抵抗で、エネルギーを吸収する。

【粘弾性ダンパー】

高減衰ゴムによる変形（せん断抵抗）で、エネルギーを吸収する。

特に粘弾性ダンパーは他のダンパーと比較し、比較的安価で、風などの極微小な揺れから地震などの大きな揺れまで幅広く対応できること、メンテナンスが不必要なことが特徴だ。

制振ダンパーにはさまざまな形状がある。例として、図1に間接接合-間柱型の制振ダンパーを示す。例えば、こ

表2 制振ダンパーの分類

	鋼材ダンパー	粘性ダンパー	オイルダンパー	粘弾性ダンパー
原理	・塑性変形	・せん断抵抗 ・流動抵抗	・管路絞り抵抗 ・流動抵抗	・せん断抵抗
メリット	・安価 ・メンテナンスフリー	・極微小～大きな揺れまで効果を発揮		・極微小～大きな揺れまで効果を発揮 ・メンテナンスフリー ・比較的安価
デメリット	・耐久性低い ・微小な揺れ効果なし	・温度で性能変化 ・高価	・オイル漏れ点検必要 ・高価	・温度で性能変化

の制振ダンパーは3枚の金属板の間に2枚のゴムが挟まれた形態をしており、外側の金属板は支持部材①に、中央の金属板は支持部材②に固定されている。地震が発生したときは、建物が揺れ、架構が変形してしまうが、支持部材①に固定された金属板と支持部材②に固定された金属板間で変位が生じ、ゴムが変形することで揺れが収束する。

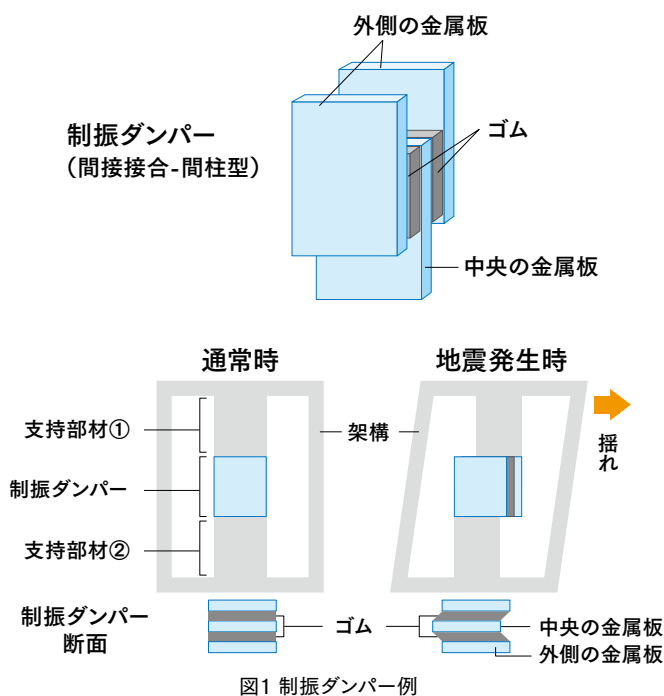


図1 制振ダンパー例

4 減衰性

図2は3枚の金属板に2枚のゴムが挟まれた制振ダンパー断面図を用いて、ゴムによって揺れが収束する様子のイメージ図を描いたもの。ゴムが変形すると、ゴム内部で熱が発生することで、ゴムの変形量が小さくなる。それが繰り返されることで、さらにゴムの変形量が小さくなり、最終的に揺れが収束する。このように揺れが次第に収束することを「減衰」といい、揺れを減衰させるゴムを減衰ゴム、揺れを早く収束させる性能のことを「減衰性」という。振動エネルギーによってゴムが変形し、ゴム内で発熱（＝熱エネルギーに変換）することで減衰しているため、発熱が大きいほど、減衰性が高いとみなせる。

この減衰性は、一般的にヒステリシスループで表すことができる（図3）⁴⁾。外側の金属板を強制的に一方方向に変

位させ、その後強制的に反対方向に変位させる、これを1サイクルとしたときのゴムの変位量に対する応力を測定すると、楕円形になる。これをヒステリシスループという。このヒステリシスループの面積がゴムの変形運動中に失われたエネルギー、つまり熱エネルギー（エネルギー吸収）を示しており、この面積が大きいほど、減衰性が良好であるといえる。この面積から、減衰性の指標である等価粘性減衰定数（Heq）を求めることができる。

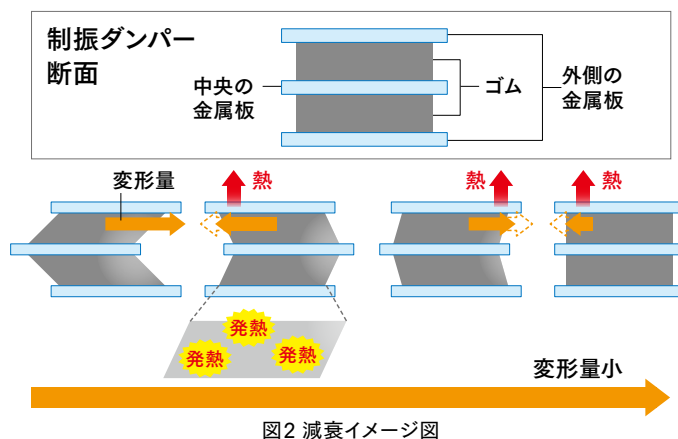


図2 減衰イメージ図

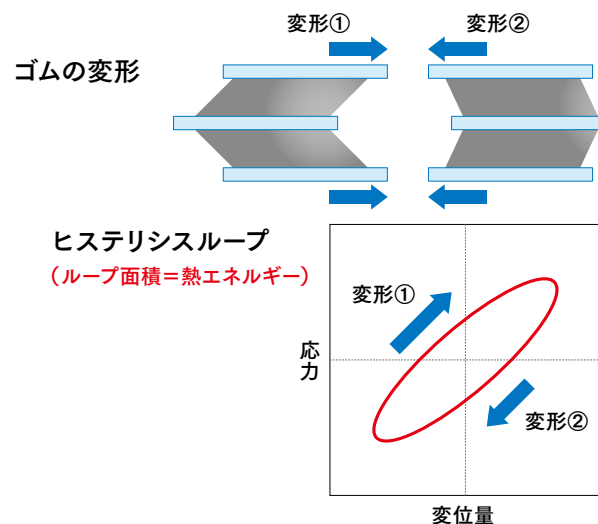


図3 ゴムの変形とヒステリシスループ

5 制振ダンパー向け高減衰ゴム用添加剤の開発

5-1 課題と開発コンセプト

高減衰ゴム組成物は、ゴム、フィラー（カーボンブラッ



ク、シリカ)、樹脂をメイン配合にしていることが多い。一般的にゴムにフィラーや樹脂を配合することで、高減衰ゴム組成物は変形時のヒステリシスループが大きくなり、振動エネルギーを効率よく熱エネルギーに変換し、速やかに減衰する(減衰性良好)といわれている。そのため、減衰性を高めるには、フィラーや樹脂を増量させることが好適と考えられる。

しかし、多量のフィラーを配合したゴム組成物は、混練時の粘度が上昇して、加工性が低下するという課題があった。また、多量の樹脂を配合したゴム組成物は、粘着性が高くなって、ゴム混練時の機械からの排出性が悪くなり、加工性が低下するという課題もあった。そこで、良好な加工性でかつ多量に添加しなくても減衰性が向上する制振ダンパーを対象とした高減衰ゴム用添加剤の開発を行った。

5-2 開発品のベース樹脂

まず、開発品のベース樹脂として、ロジンを選定した。ロジンは昔から粘着付与樹脂に使用され、ゴム組成物によく配合されている。

5-2-1 ロジンの種類⁵⁾

ロジンはマツ科植物に多量に含まれる松やにの揮発性成分であり、樹脂酸と呼ばれる炭素数20の三環式ジテルペノイド異性体を主成分としている。また、ロジンは製法により、トールロジン、ガムロジン、ウッドロジンに分類される。

【トールロジン】

トールロジンは、木材チップに化学薬品を加え、高温、高圧力下で分解するクラフトパルプ製造時に副生する粗トール油を精留し、トール脂肪酸を除去することで得られる。当社では国内唯一のトールロジンメーカーとしてトールロジンを生産している。

【ガムロジン】

ガムロジンは、松の幹に傷をつけ、そこから滲み出る樹液(生松やに)を濾過した後、水蒸気蒸留を行い、低沸点成分(テレピン油)を除去することで得られる。

【ウッドロジン】

ウッドロジンは、松の切株のチップから樹脂成分を溶剤にて抽出し、水蒸気蒸留にて抽出物から溶媒と低沸点成分(テレピン油)を除去することで得られる。

これら3種のロジンは樹脂酸組成が違うため、酸価や軟化点が若干異なる(表3)。ロジンの種類の特徴を理解したうえで選定することが重要だ。

表3 各ロジンの恒数

ロジン種	トールロジン	ガムロジン	ウッドロジン
酸価(mgKOH/g)	165-175	160-170	160-170
軟化点(°C)	70-75	70-80	70-80
色調	N-X	N-X	D-X

5-2-2 ロジンの変性⁵⁾

ロジンは樹脂酸の混合物であるが、主成分であるアビエチン酸の特徴として、ヒドロフェナントレン骨格と称される疎水性の高いバルキーな環構造を持つ。また、親水性で化学活性なカルボキシル基を持ち、さらには、化学活性な共役二重結合を持つことで、反応性に富む(図4)。

バルキーな構造
(疎水性が高い)

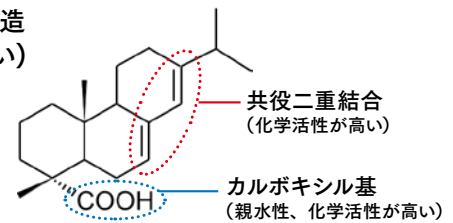
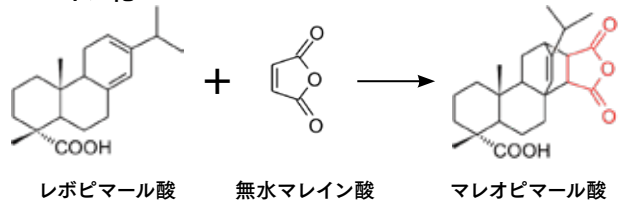


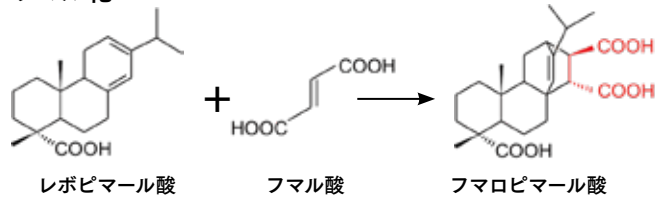
図4 ロジンの化学構造

ロジンを化学修飾するには、共役二重結合にマレイン酸やフマル酸をディールスアルダー付加(図5)、多価アルコールによるカルボキシル基のエステル化(図6)、強酸触媒を用いたロジンの二量化などの方法が挙げられる。また、共役二重結合は熱安定性や酸化安定性が不安定であるが、水素化や不均化によって、安定化することも可能だ(図7)。

マレイン化



フマル化



アクリル化

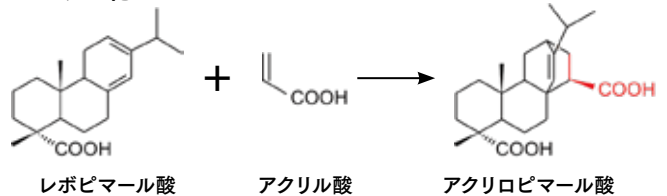


図5 ディールスアルダー付加反応

エステル化

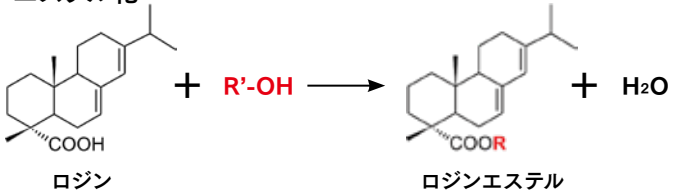


図6 エステル化反応

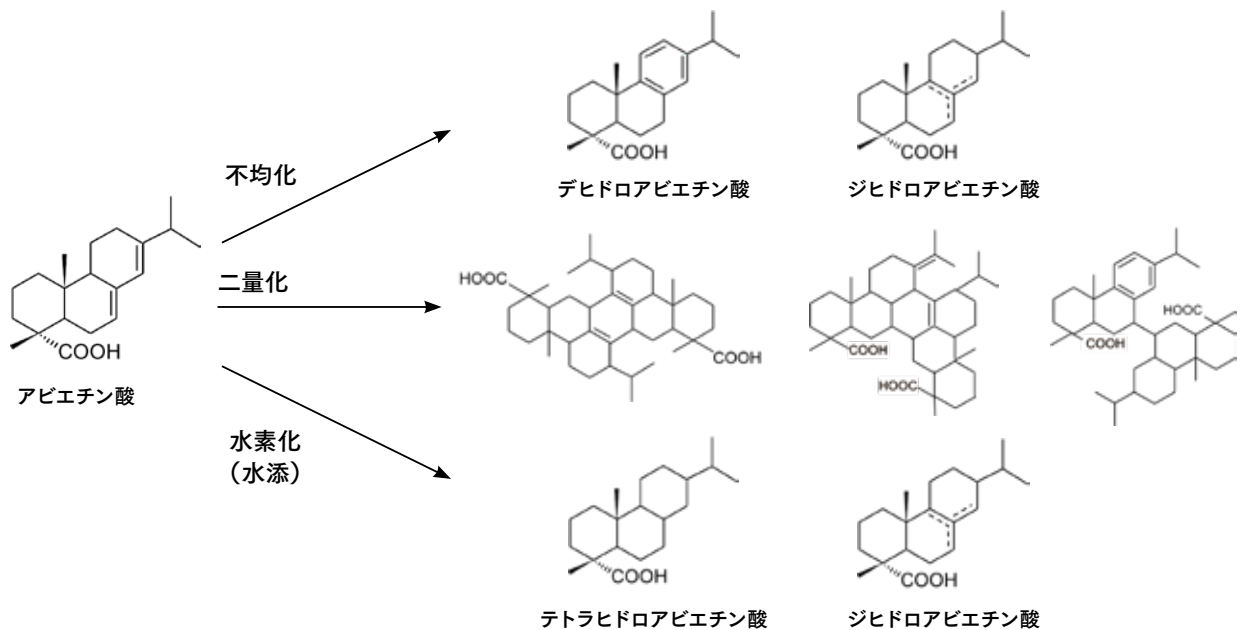


図7 安定化反応

これらの反応は単独で行うことは少なく、実際には要求性能が満たせる種々の反応を組み合わせる。これらの反応を複合的にを行い、以降のゴム評価で構造を変えた添加剤を種々検討した結果、減衰性が向上する添加剤が開発できた。

5-3 開発品の発熱評価

開発品を用いて、作製したゴム組成物に振動を与えたときの発熱性を測定した。減衰性が良好なゴム組成物は、振動エネルギーをより多くの熱エネルギーに変換するため、発熱量が多いと考えた。

【評価方法】

ゴム、フィラー、開発品をメイン配合としたゴム組成物をつくり、長方形のゴム組成物シートを作製した。このシートに引張歪を加えることで振動を与え、サーモグラフィーでゴム組成物シート表面の温度上昇度を測定した。開発品未添加では、開発品の代わりに加工助剤を添加した。

【評価結果】

開発品は、開発品未添加と比較し、温度上昇度が高く、ゴム全体の色の変化があったことから、優れた発熱性を有する結果となった(図8)。開発品はロジンをベース樹脂としているため、ゴムやフィラーとの相互作用が向上した

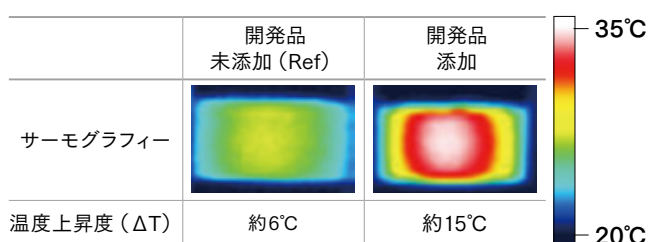


図8 発熱性評価結果

と推察している。

6

まとめ

ロジンをベース樹脂として、減衰性が向上する添加剤を開発した。これにより、フィラーや樹脂を増量することなく、良好な減衰性を有する高減衰ゴムの製造が可能となった。また、従来品と比較し、約42%も減衰性が向上する制振ダンパー用高減衰ゴムの開発に繋がった⁶⁾。大型ビル用制振ダンパーへの搭載や、より手軽に設置できる住宅用制振ダンパーで実用化を目指す。

7

おわりに

今回、開発した制振ダンパー向け高減衰ゴム用添加剤は、ロジンを使用することで性能が向上した。今後も「自然の恵みをくらしに活かす」というハリマ化成グループの企業理念のもと、さらに高まってくると予測される振動対策の需要や高減衰化の要望に対して、社会に貢献できるものづくりに努めていきたい。

<引用文献>

- 1) 平成28年版 消防白書 「熊本地震の被害と対応」(総務省消防庁ホームページ)
- 2) 日本経済新聞記事 「耐震、免震、制震の違いは2011年8月11日」(日本経済新聞社)
- 3) 笠井和彦 「コンクリート工学 No5 2003」(公益社団法人 日本コンクリート工学会)
- 4) 制振工学ハンドブック編集委員会 「制振工学ハンドブック 2008」(コロナ社)
- 5) 阿部洋樹、御厨昭平 「HARIMA Quarterly No.139 2019」(2019 ハリマ化成株式会社)
- 6) ハリマ化成グループ株式会社 広報グループ 「ニュースリリース2020年12月8日」(ハリマ化成グループ株式会社ホームページ)