

自由テーマ部門

「超音波を用いた免震積層ゴムの非破壊検査法に関する基礎的検討」

大畑勝人（竹中工務店 先進構造エンジニアリング本部）

鈴木庸介（竹中工務店 先進構造エンジニアリング本部）

加藤直樹（昭和電線デバイステクノロジー）

福田滋夫（昭和電線デバイステクノロジー）

山口裕三（アイレック技建）

関 基成（アイレック技建）

1. はじめに

免震建築物は、免震部材の適切な点検・検査による維持管理を行うことが重要であり、その管理基準として「免震建物の維持管理基準-2010-」などが整備されている。しかしながら、免震部材で最も普及している免震積層ゴムの維持管理手法は、寸法計測および、外観の目視点検に限られており、免震積層ゴム内部の状態は検査法がなく対象外となっている。東日本大震災では、免震構造の高い免震効果が再確認された一方で、道路橋において積層ゴム支承の大きな損傷を伴う被害事例が複数確認された。

元来、免震積層ゴムはロバスト性が高いため多少の損傷があったとしても免震性能に大きな影響を与えることはないが、今後の免震建築物の更なる普及のためには、免震積層ゴムの健全性評価の一助となる非破壊検査法の確立が望まれる。

本研究は、超音波を用いた免震積層ゴムの非破壊検査法に関するフィージビリティ・スタディを行うことにより、将来的な非破壊検査法の確立に向けた技術的課題を抽出することを目的とする。

2. 免震ゴムシートの超音波入力特性

板状のゴムを伝播する超音波は、一般に固体中を伝播する超音波の種類のうち、実体波である縦波、横波もしくは、板波と呼ばれる伝播速度が周波数×板厚により変化（速度分散）するガイド波がある。ただし、既往研究が十分になく、その実際は不明であるのが現状である。

本研究では、免震積層ゴムでの検討に先立ち、

加硫成型した免震ゴムシート（□880mm×537mm×10mm，せん断弾性率 $G=0.39\text{N/mm}^2$ ）1枚と鋼板（□870mm×530mm×9mm）2枚を用いて、免震ゴムシートの超音波入力特性（音速計測）の検討を実施した。参考までに音速の理論式より算出したゴムの縦波速度と鋼の縦波、横波速度は以下である。

ゴム：縦波 約 1300m/s

鋼：縦波 約 5900m/s，横波 約 3200m/s

図1に計測状況、計測条件を示す。また、表1に検討ケースを示す。

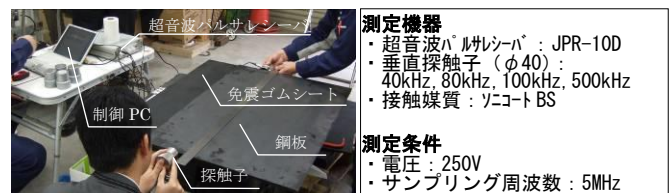


図1 計測状況

表1 検討ケース

計測位置・方法		ゴム+鋼板 1枚	ゴム+鋼板 2枚
短辺	透過法 (2探触子)		
	反射法 (1探触子)		
長辺	透過法 (2探触子)		
	反射法 (1探触子)		

ここでいう透過法、反射法は、それぞれ以下の計測方法を意味する。
 透過法: 2探触子を用いて、一方(発信)から他方(受信)の透過波を計測する。
 反射法: 1探触子を用いて(発信/受信兼用)、反射波を計測する。

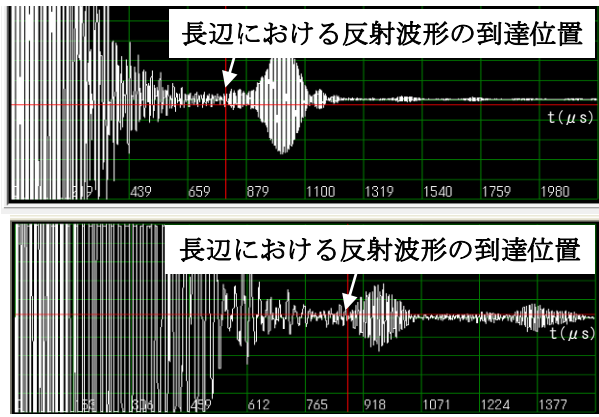


図2 計測波形図(探触子 100 kHz)
(上: ゴム+鋼板 1 枚、下: ゴム+鋼板 2 枚)

図2に計測波形の一例を示す。免震ゴムシート上部に鋼板のないケースでは、ゴムの縦波に近い音速 1200m/s 程度の反射波形を受信できた。一方、免震ゴムシートを鋼板で挟んだケースでは、ゴムの縦波に近い音速の波形とともに、鋼板の影響と考えられるより速い波形が伝播する現象を確認した。また、探触子の中心周波数によっては明確な伝播を確認できないケースもあった。

3. 免震積層ゴムの超音波入力特性

免震積層ゴムの超音波入力特性に関して、鉄道振動に対する防振性能を有する1層のゴム厚が大きいφ520の免震積層ゴム(以下、免震防振積層ゴム)と一般的なφ800の免震積層ゴムとの2種類の実大試験体を用いて検討を実施した。図3に試験体図、理論式によるゴムの縦波速度(参考値)を示す。測定方法は、探触子の中心周波数が80, 100, 200, 500 kHzを採用した他は、前章と同様である。なお、φ800の免震積層ゴムへの超音波入力にはアクリルまたはゴムの治具を用いた。図4に計測状況を示す。

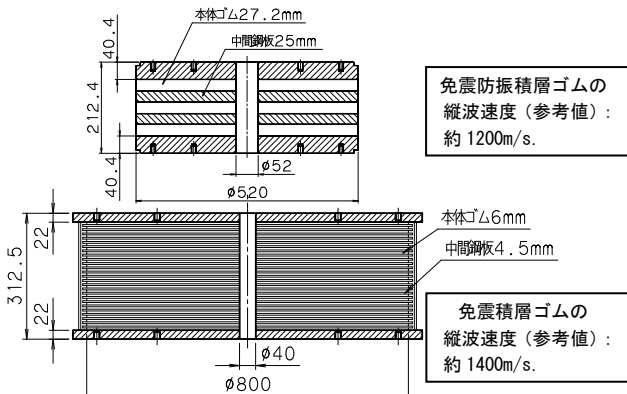


図3 試験体図(上: 免震防振積層ゴム、下: 免震積層ゴム)

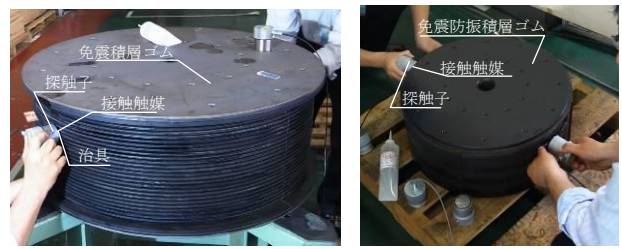


図4 計測状況

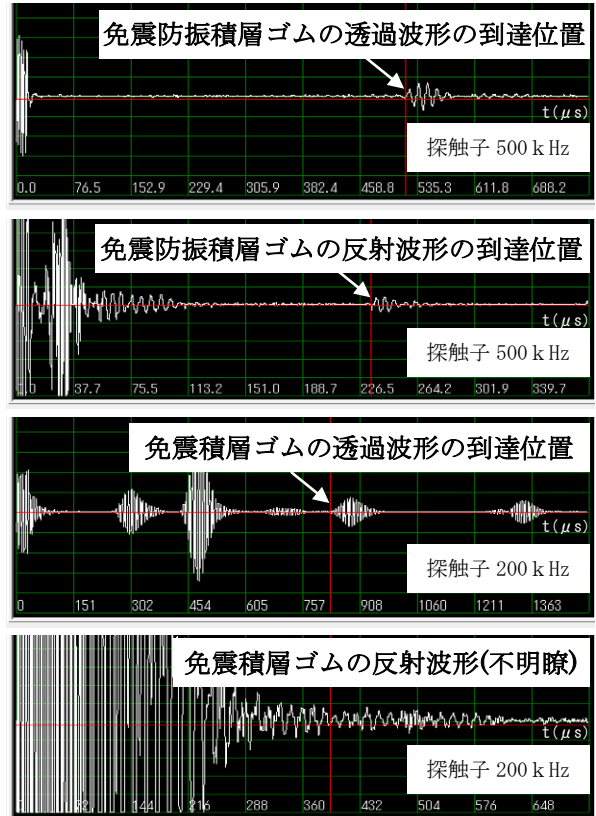


図5 計測波形図

図5に計測波形の一例を示す。ゴム厚が大きい免震防振積層ゴムでは、透過法、反射法ともに理論式によるゴムの縦波速度(参考値)より少し速いが、1500m/s程度の波形が計測された。

免震積層ゴムでは、ゴム厚が薄く超音波が伝播しにくいため、明瞭な受信波を得たケースが少なかったが、今回用いた探触子の中では、200kHzの探触子を用いたケースが比較的良い波形を得て、透過法では1500m/s程度の音速が計測された。しかしながら、いずれのケースも反射法による受信波は確認できなかった。超音波が中心孔に反射する際に減衰するため、受信強度が一層弱くなることが一因と考えられる。

4. 免震積層ゴムの非破壊検査の試行

免震防振積層ゴムについては透過法、反射法ともにゴムの伝播波が確認できたため、実際に免震防振積層ゴムに過大なせん断変形を与えて、内部損傷を与えた状態で（内部損傷は中心孔から目視確認）、図6に示す3種類の超音波計測方法を用いた非破壊検査の試行を行った。

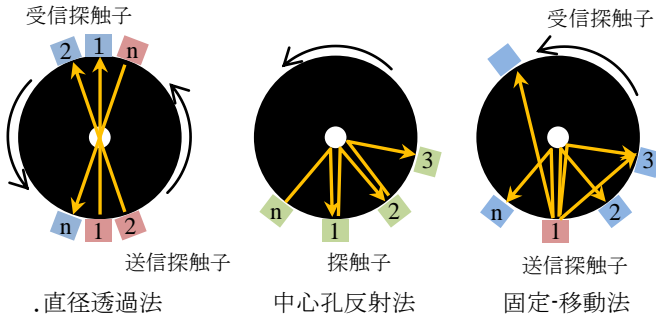


図6 超音波計測方法

ここでは、紙面の都合のため、内部損傷までの距離が測定できる中心孔反射法の一結果について報告する。探触子は中心周波数 500kHz を用いた。測定点は免震防振積層ゴム円周を 20 分割した 20 点とした（図7）。

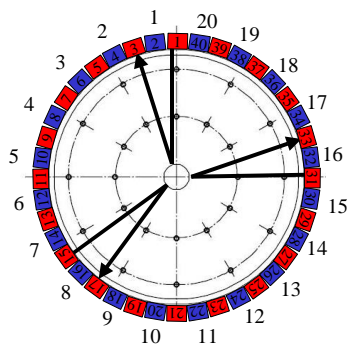


図7 中心孔反射法の測定位置

図8に実験・検討のフローを示す。各測定点において、中心孔反射法で計測された波形より反射した距離を求め、内部損傷の位置を推定した後、試験体を裁断し比較検証を行った。

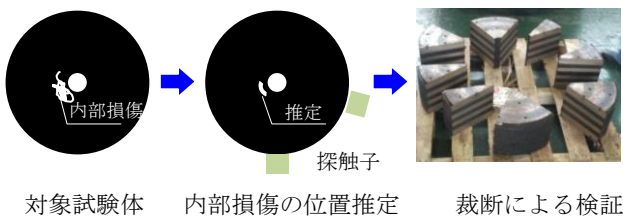


図8 非破壊検査の試行フロー

中心孔反射法の計測波形例を図9に示す。

図10に中心孔反射法の計測波形より推定した内部損傷の位置と裁断により確認した内部損傷の位置の比較検証結果を示す。本研究における一例ではあるが、推定した内部損傷の位置が裁断による実測結果と概ね整合したことを確認した。

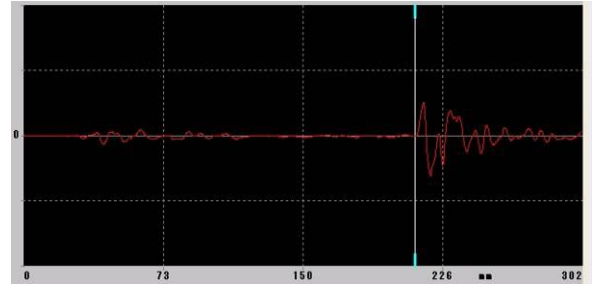


図9 中心孔反射法の計測波形例

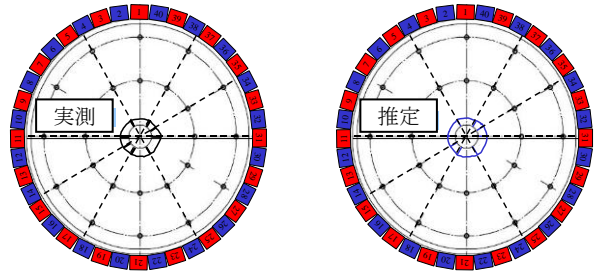


図10 内部損傷の位置図(左：実測、右：推定)

5. まとめ

本研究で得た知見ならびに、今後の課題・展望を以下に記す。

- ・免震ゴムシートの超音波入力特性に関して、実機の最大径サイズに相当する、880mm×2の反射波形を確認した。
- ・免震防振積層ゴムに関して、透過法、反射法ともに伝播波形を確認し、非破壊検査の試行の結果、内部損傷の位置特定の可能性を示した。
- ・免震積層ゴムに関して、本研究の検討範囲では透過波形は確認できたが、反射波形の計測ができなかった。受信強度の向上のため、治具の検討、適切な探触子の選定、改良が必要である。

免震積層ゴムの超音波非破壊検査に関して一可能性を示したが、将来の実用化においては、解析的検討手法を含めた継続的な基礎検討が必要であると考えます。

謝辞

本研究の推進に際し、NTT 東日本の永島裕二氏、ジャパンプローブ株式会社の高橋修氏には、多くの有益なご助言を頂きました。ここに記して、感謝致します。