

音響加振を用いたベルトコンベア支持構造物の局部断面振動モードの同定

東京大学 学生会員 ○加藤宗 正会員 長山智則 蘇迪
新日鐵住金 正会員 久積和正 富永知徳

1. はじめに

数十年にわたる長期的なプラント稼働の中でその設備であるベルトコンベア支持構造物の腐食が生じている。プラント内には数 10 km におよぶ支持構造物がある場合があり、その腐食を検知する手法確立のニーズが高い。プラント内のベルトコンベアは近接することが難しいため、非接触の損傷検知手法の開発が期待される。支持構造物中の腐食部材を評価するために、局部断面振動モード(CSM)の利用が Rana ら(2016)¹⁾によって提案された。このモードは損傷に敏感で、また各部材の損傷の影響がその部材のモードに局在化するという性質を持つため、モード振動数変化から損傷が評価できるというものである。しかし対象物の計測は非接触であるのに対し振動励起のために直接の打撃を要し、またモード振動数はスペクトルから目視によって断定している。そこで本研究では、非接触加振方法としての音響加振を用いた実験から得られたスペクトルに対し、モード形状に基づいた局部断面振動モード判別指標を適用することで、計測、加振ともに非接触で対象モードの振動数をより明確に判断することを目的としている。

2. 局部断面振動モード判別指標の提案

対象とする局部断面振動モードの形状を把握するため、有限要素解析ソフト Abaqus によって図 1 のモデルを構築し、300-700Hz の帯域において固有値解析を行った。300 以上あるモードのうち、本研究対象である 3 次、4 次の局部断面振動モードがそれぞれ 420-440Hz、620-640Hz の振動数帯域に複数見られた。これらとは異なるが有効質量の比較的大きなモードの一例として開閉モードがある。以上に挙げたモードとその断面形状について図 2 に

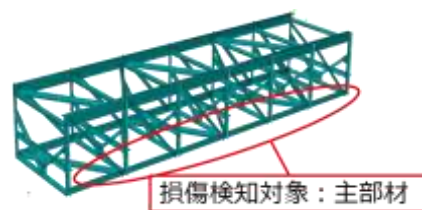


図1 固有値解析モデル

示した。断面振動モードの特徴として、二つの部材面が隅角部 B を中心として同一方向に回転運動をしているということ、さらに隅角部 B の振動成分が微小であるということが挙げられる。そこで部材断面上の 3 点 A, B, C の速度 V_A, V_B, V_C を用いてこれらの特徴づけ、断面振動モードのみを判別する指標を提案する。二つの部材面が開閉するモードの影響を除去し、回転するモードのみを抽出する補正関数 1 ($G_1(f)$)、隅角部 B が振動するモードの影響を除去し、隅角部 B の振動成分が微小なもののみを抽出する補正関数 2 ($G_2(f)$)をそれぞれ図 3 のように定義した。いずれ

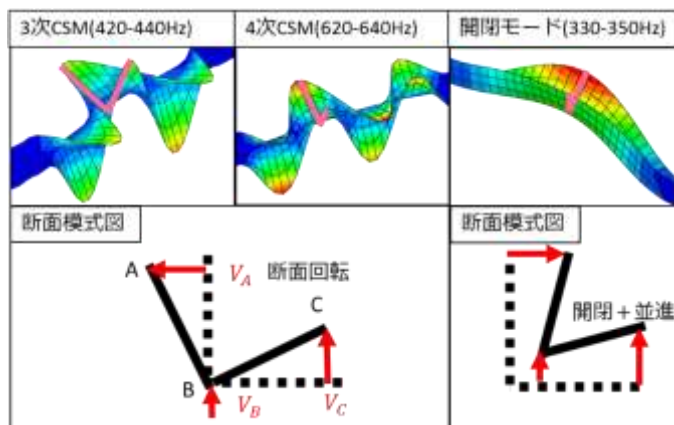


図2 断面振動モード、開閉モード形状、断面模式図

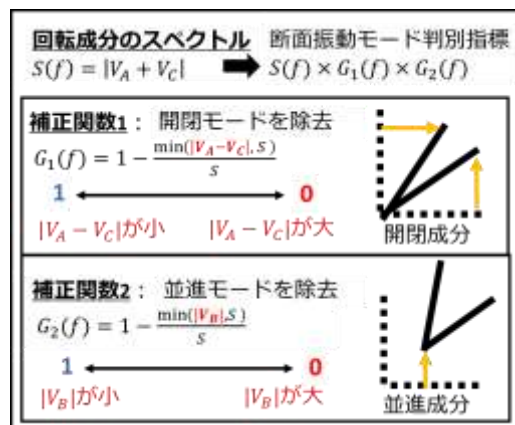


図3 断面振動モード判別指標

キーワード 非接触損傷検知、音響加振、局部振動モード

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学橋梁研究室 TEL 03-5841-6097

の補正関数も 0 から 1 の値をとる無次元量である。また、断面端部 A,C の速度の和のスペクトル $S(f)$ は回転成分を強調する量である。そこで、回転成分のスペクトル $S(f)$ に、断面振動モードでないモードの影響を取り除く補正関数 1,2 を掛け合わせた $S(f) \times G_1(f) \times G_2(f)$ を局部断面振動モードの判別指標とした。

固有値解析で算出されたすべてのモード形に対して、補正関数 1,2 を掛け合わせた $G_1(f) \times G_2(f)$ を適用した結果を図 4 に示す。ただし、補正関数 1,2 にそれぞれ $G_1(f) > 0.8$ 、 $G_2(f) > 0.9$ という閾値を設定し、この値よりも小さい場合は 0 となるようにした。この結果からモード形のみに着目すれば、補正関数から 3 次、4 次の局部断面振動モードを抽出可能であることが読み取れる。

3. 実験概要

音響加振実験の概要を図 5 に示す。対象となる構造物はプラントで使われなくなった支持構造物を切り出したものである。健全部材、損傷部材それぞれについて測定を行った。測定点は部材のほぼ中点を通る断面上の 3 点とした。測定点から 5m の位置にある指向性スピーカーによって音響加振を与え、2 台のレーザードップラー速度計(LDV)により同時に対象部材断面上の 2 点の計測を行った。図 3 の指標を用いるため、2 通りの測定点の組み合わせで 3 点の速度を得た。音源は 300-800Hz 帯域に制限されたホワイトノイズ波形で、音量は測定点近傍で 100dB 程度となるように調節した。

4. 実験結果

図 6 に損傷部材について指標を適用せずに 1 点の速度データから得られるスペクトルを、図 7 に損傷部材、健全部材それぞれに指標を適用した結果を示す。図 6 では 580-630Hz の帯域で卓越しているが、図 7 の損傷部材についての結果では打ち消されており、430-445Hz の帯域のみが局部断面振動モードであると判別できる。また、健全部材では 3 次の断面振動モードが 480Hz で卓越しているが、損傷部材では 430-445Hz において卓越しており、損傷によって 40-50Hz 程度局部振動モードの振動数が低下していることが読み取れる。健全部材、損傷部材ともに 4 次モードは検出されなかったが、測定点が部材中点を通る断面としており、モード形の節に当たっていたためと考えられる。

5. まとめ

モード形状に着目した判別指標を実験結果に適用することで、音響加振時に、多数のモードの中から検出対象の局部断面振動モードのみを判別することができ、損傷による振動数変化を観測することができた。

参考文献

- 1) S. Rana, T. Nagayama, K. Hisazumi, T. Tominaga: Clarification of cross-sectional vibration characteristics for damage identification of belt conveyor support structure, Proc. the International Conference on Smart Infrastructure and Construction, Cambridge, UK. 27-29 June 2016.

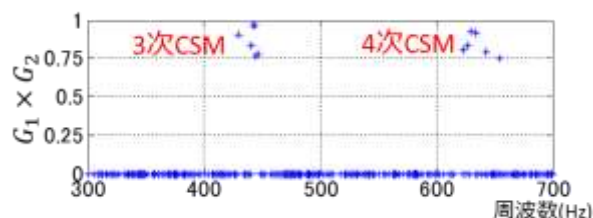


図 4 補正関数による断面振動モードの判別

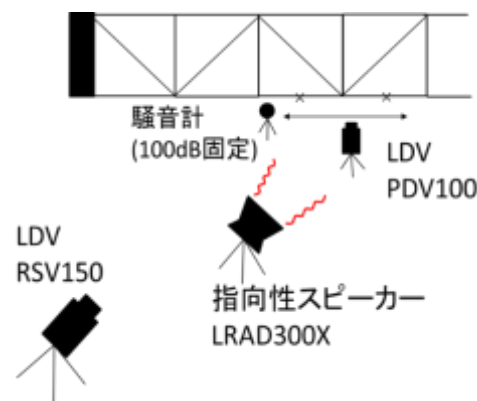


図 5 音響加振実験概要

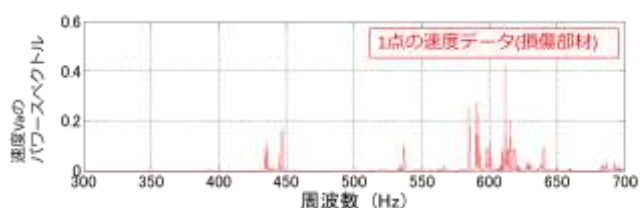


図 6 1 点の速度のスペクトル

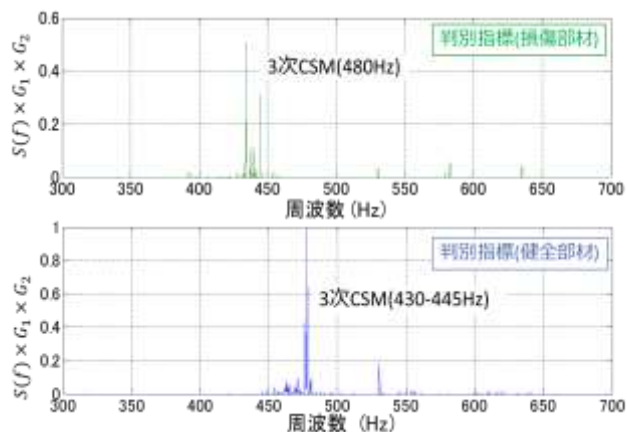


図 7 健全部材、損傷部材での判別指標比較