

局部振動に着目したベルトコンベアトラス構造の部材剛性評価手法の開発

東京大学 正会員 ○長山 智則 アミン・ホナルバクシュ フェロー会員 藤野 陽三
新日鐵住金 正会員 富永 知徳 久積 和正 菅野 良一

1. はじめに 産業プラントのベルトコンベアには、設置から多年が経過し腐食などの劣化が進むものも多い。総延長の長いベルトコンベアを適切に管理・運用していくため、構造状態を定量的にかつ効率的に評価する技術の開発が急を要する課題となっている。これまで振動計測に基づく損傷同定が研究されているが、ベルトコンベアでは多数の変状が混在することや、構造部材と比べて頻繁に更新されるベルトや回転部品、歩廊部材などが動特性に影響することから、従来の手法の適用は難しい。そこで、対象構造物と遠隔非接触計測機器の特性を考慮して、これまで損傷同定に利用されることの少なかった2種類の局部振動モードに着目した、ベルトコンベアの損傷同定法を提案した。

2. 対象構造物 ベルトコンベアのトラス構造は、形鋼のフレームとそれらを互いに接続する多数の部材から成る。橋梁などの構造物と異なり、鉛直部材、水平部材、水平・鉛直斜材には同一の材料・形状の部材が多数存在する(図1)。一方で、フレーム主部材はベルト進行方向に連続で、一般に断面・剛性が大きい。

石炭・鉄鉱石といった材料の運搬に利用されるベルトコンベアは、ベルト下方の部材に粉塵がつもり、腐食が進むケースが多い。同一のトラスに、腐食が進む部材が多数存在することもある。また、腐食が進む部材に粉塵が固着し、断面欠損等の変状を確認することが困難なことも多い。本研究では互いに諸元が同一の鉛直部材、水平部材、水平・鉛直斜材を対象に(図1)部材毎の剛性を評価する。

3. 周期的局部振動モード 多数の部材から成るコンベアトラス構造には振動モードが多数存在するが、その中でも、同一の部材のみが振動する局部モード(周期的局部振動モード Periodic Local Vibration Mode; PLVM)に着目する。例として、ベルトコンベアトラスの有限要素モデルを作成し、固有値解析を

行ったところ、図2に示すモードが存在した。鉛直斜材のみが大きな振幅を示し、諸元の異なる水平部材、鉛直部材、フレーム部材等の振幅は極めて小さい。水平部材や鉛直部材、水平斜材のみが振動する局部振動モードも確認された。

4. 周期的局部振動モードを用いた剛性評価 腐食による複数部材の減肉を想定して、トラス構造の4部材の剛性をそれぞれ2, 5, 10, 20%低下させ、固有値解析を行った。図3に示すように、PLVMでは、剛性低下部材の振幅が他部材に比べて極めて小さくなった。一方で、剛性低下部材がそれぞれ大きな振幅を持つ4つの孤立局部振動モード(Isolated Local Vibration Mode; ILVM)が、PLVM振動数よりも低い振動数で確認された。これらのILVMは、対応する部材の剛性低下幅が大きいほど振動数が小さくなっている。

次に、フレーム主部材や脚部材の剛性変化に対するPLVM, ILVMの感度を調べた。それぞれ80%の剛性低下を導入し、モード振動数を同定したところ、たわみモード、ねじれモードといった全体モードでは数%から数10%の大きな振動数変化が生じた一方で、PLVM, ILVMの振動数変化は1%未満であった(図4)。

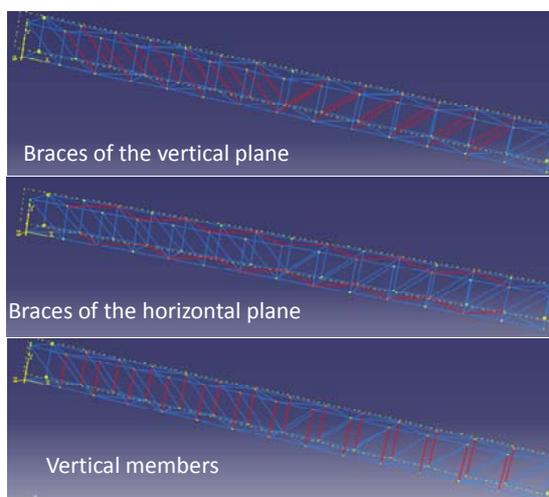


図1 ベルトコンベアトラス構造の同一諸元部材

キーワード 局部振動, ベルトコンベア, 腐食, 剛性評価

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3-1 東京大学大学院工学系研究科 TEL03-5841-6144

表 1 複数部材に導入した剛性低下とその同定値 (%)

| Member sets | member 1 | member 2 | member 3 | member 4 | member 5 |
|-----------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Bottom and top braces | 74.81/ 75 | 4.50/5 | 10.10/10 | 19.70/20 | 35.19/35 |
| Side braces | 89.86/90 | 5.15/5 | 64.38/65 | 25.39/25 | 25.39/25 |
| Vertical members | 85.11/85 | 5.27/5 | 55.32/55 | 15.86/15 | 31.74/30 |
| Lateral members | 4.28/5 | 14.06/15 | 39.69/40 | - | - |

さらに、トラス構造の自重から生じる各部材の軸力を考慮に入れて振動数変化を調べたところ、最も大きなものでも 0.85% の変化であった。

以上のことから、PLVM と ILVM の振動数を特定すれば、剛性低下部材を抽出できると考えられる。そこで、PLVM と ILVM の振動数は各部材が独立に存在する場合の振動数に近いことを利用して、剛性低下の定量的評価を行う。振動数は他部材や脚の剛性変化に対しては感度が極めて小さい一方で、フレームと各部材との接合条件には大きく依存する。まず、両端を回転ばねで拘束された単純梁として各部材をモデル化し、PLVM 振動数を利用して回転ばね定数を同定する。幾何形状等諸元には設計値を用いる。次に、同様の単純梁モデルに、同定された回転ばね定数を設定し、ILVM の振動数を利用して、剛性低下部材の単純梁の剛性を同定する。

5. ベルトコンベアトラスモデルの剛性評価

ベルトコンベアの有限要素モデルを作成し、鉛直・水平斜材、水平部材、鉛直部材それぞれについて 5 つの部材に 5-90% の剛性低下を導入し、PLVM, ILVM から各部材の剛性を推定した。剛性低下量の推定値と導入量の差は 1% 程度である (表 1)。さらに、アルミ製のトラス模型を作成し PLVM, ILVM を同定した (図 5)。部材のうち複数本を断面積の異なる部材としたところ、断面に応じた ILVM 振動数が同定できることを確認した。

6. 結論

PLVM と ILVM の 2 種類の局所振動モードに着目して、ベルトコンベアトラス構造の部材剛性評価手法を提案した。これらの局所モードは他部材や境界条件の変化に対する感度が極めて低く、各部材の剛性に敏感であるため、複数部材の剛性が変化する場合でも各部材剛性を 1% 程度の精度で同定できることを示した。さらに、アルミ製トラスを作成して振動計測から局所モードを同定した。

参考文献

Honarbaksh Amin ら: Damage identification of belt-conveyor support structure using global and local vibration modes, EACS 2012 – 5th European Conference on Structural Control, Genoa, Italy, 2012.

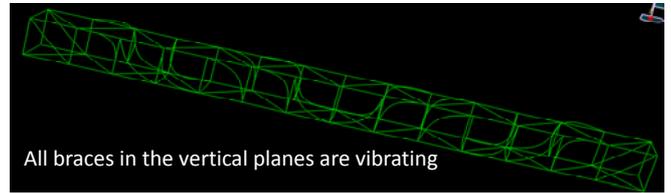


図 2 周期的局部振動モードの例

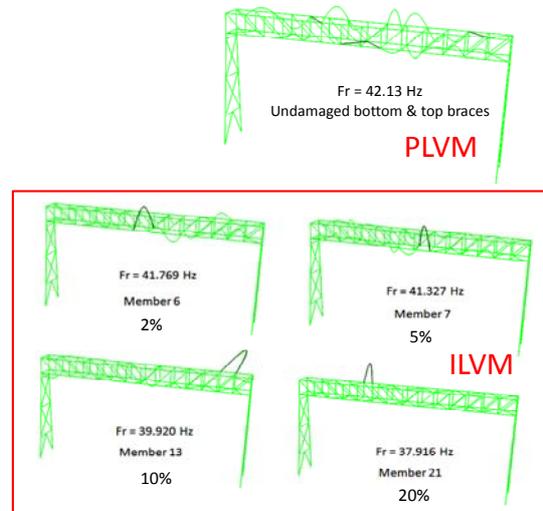


図 3 4 部材の剛性低下後の PLVM と ILVM

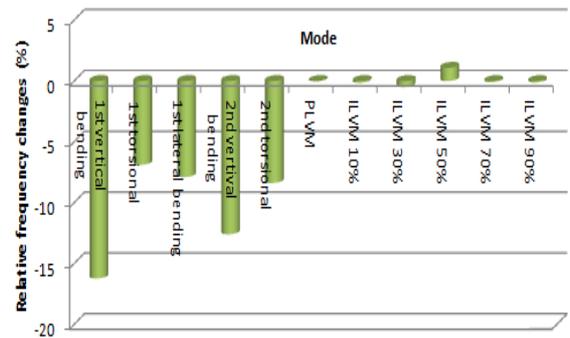


図 4 フレーム主部材剛性低下時の振動数変化

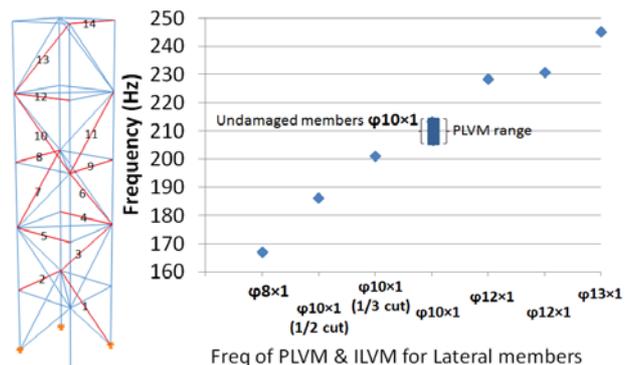


図 5 アルミ製トラス部材の PLVM, ILVM 推定