

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

車軸と台車枠の き裂を監視する

車軸や台車枠の安全性を高めるために、疲労強度を高める方法や、新しい評価方法の提案、非破壊検査精度の向上などにこれまで取り組んでいます。これらの安全性をさらに高めるための手段として、構造健全性評価手法のひとつである「破断前漏洩概念」を適用した車軸や台車枠の常時監視手法について検討を行いましたので、その概要と、実物大車軸および台車枠を用いた検証結果について紹介します。



山本 勝太
Masataka Yamamoto
車両構造技術研究部
車両強度研究室
副主任研究員
【専門分野】金属材料、
疲労強度



宮地 徳蔵
Tokuzo Miyachi
環境工学研究部
熱・空気流動研究室
主任研究員
【専門分野】トンネル微
気圧波、圧縮性流体力学

はじめに

鉄道車両は、台車枠や軸箱を介して、車輪・車軸に支持され、レール上を走行します(図1)。そのため、車軸や台車枠の損傷は脱線などの重大な事故につながる可能性があります。

車軸や台車枠の検査は、車両のメンテナンスに合わせて実施されています。定期検査の間隔は、供用中にき裂などが発生しても次の検査までは安全性や重要な性能が確保できるという概念に基づき決められていますが、設計や形状の不良、想定外の材料欠陥などが存在する場合は、致命的な損傷に至るリスクが潜在します。従来の定期検査に加えて、供用中の車軸や台車枠に発生したき裂を常時監視し、車軸や台車枠の折損に至る前に検知できれば、このようなリスクを低減することができます。そこで、破断前漏洩(Leak Before Break; LBB)概念¹⁾(図2参照)

を適用した車軸・台車枠のき裂常時監視手法について評価を行いました。

き裂常時監視手法の概要

内部に圧縮空気などの流体が封入された中空の車軸に、き裂が発生し、進展する様子を図2に模式的に示します。通常のLBBでは、配管の内面よりき裂が発生するケースを想定しますが、ここでは車軸や台車枠への適用性を検討するものであるため、外周からき裂が発生した場合を示しています。発生した初期き裂(i)は、車軸の外周から内周に向かって進展しますが、(ii)の段階では内周に達していません。このようなき裂を「未貫通き裂」と呼びます。き裂がさらに進展し、(iii)のようにき裂先端が車軸内周に到達すると、内部流体の漏洩が始まります。さらに進展すると、(iv)のようにき裂は内周上でも大きく進展し、内圧が降下しま

図2 破断前漏洩概念 (Leak Before Break; LBB)

原子力機器などで使用される構造健全性評価手法の一つ。配管などにき裂が発生したとしても、急速破断に至る前に、内部流体の漏洩が起これば、これを検知することによって配管の破断を防ぐことができます。このように、き裂が管壁を貫通して内部流体の十分な漏洩の後に、急速破断に移行するという概念を破断前漏洩概念と呼びます。

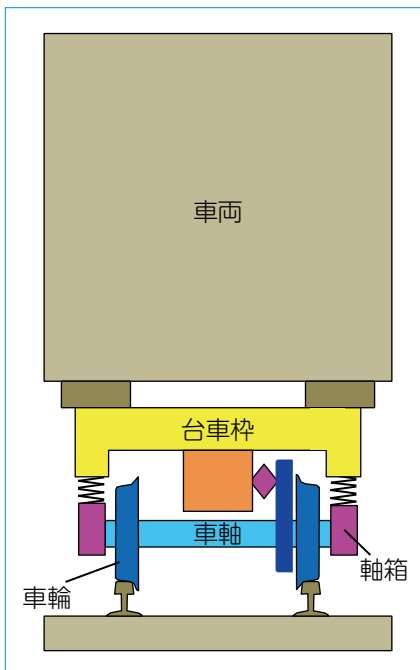


図1 鉄道車両各部の名称

す。このようにき裂が肉厚を貫通した状態を「貫通き裂」と呼びます。き裂が大きくなるのにしたがって、車軸の耐荷能力は低下し、ある段階で急速破断が生じます。急速破断が (iv) に至る前に発生すればLBBは成立しない、(iv) 以降に発生すればLBBは成立すると言えます。

ここでは、中空加工された車軸や台車枠の閉空間にあらかじめ圧縮空気を封入し、その圧力変化をセンサーにより常時監視することでき裂を検知する手法について検討を行いました。圧力センサーを用いるメリットは、①センサーが安価で小型化・無線化が容易、②走行中も含めて常時監視できる、③1つのセンサーで閉空間全体を監視できる、④従来の非破壊検査に支障を来さない、などが挙げられます。一方で、⑤中空部や閉空間のみにしか適用できない、⑥貫通き裂しか検知できない、などのデメリットがあります。この方法では、通常の定期検査で確認されるような小さなき裂を発見すること

疲労試験

材料に繰り返しの負荷を与えた場合の、強さを評価する試験方法。

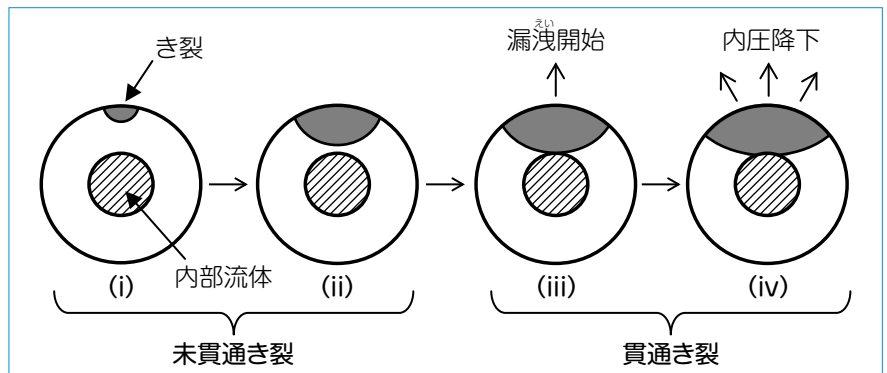


図2 車軸のき裂進展に伴う内部流体漏洩過程の模式図

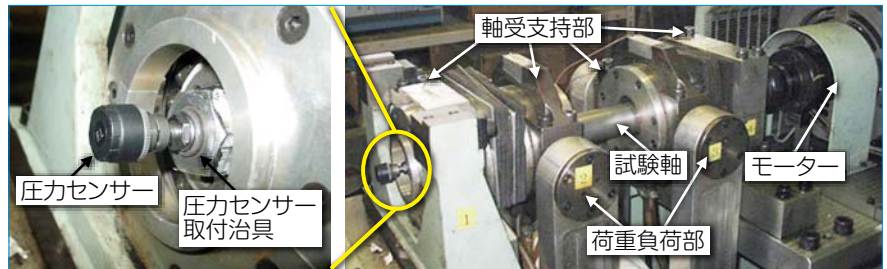


図3 疲労試験状況

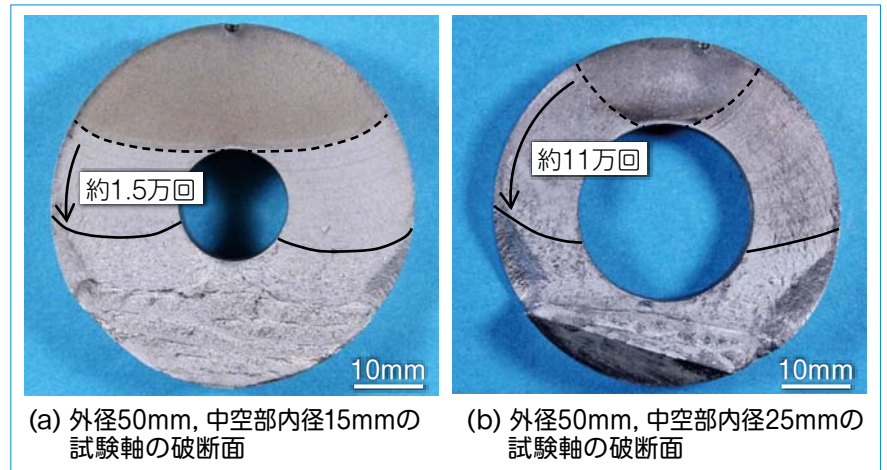


図4 小型試験軸を用いた疲労試験結果の一例

はできないため、現在の定期検査の代替となるものではありません。しかし、急速破断に至る前の段階でき裂を確実に発見できれば、車軸や台車枠の折損を防ぐための最終手段として活用できると考えています。

車軸への適用性の評価

LBB概念に基づいたき裂検知手法の車軸への適用性を評価するために、小型試験軸および実物大試験軸の疲労試験(参照)を実施しました。試験状況を図3に示します。

小型試験軸を用いた試験結果の一例

として、外径50mm、中空径15mmおよび25mmの試験軸の疲労試験結果を図4に示します。試験軸の中空部に圧縮空気を封入し、中空部の圧力を無線センサーで常時監視しながら、疲労試験を進めました。ここでは、両方の試験軸に同じ繰り返し負荷を加えた際に、①き裂がどのような大きさになるとき裂が発見できるか、②き裂が発見されてから、急速破断に至るまでにどの程度の余裕があるか、を確認しました。図4中の点線は、中空部内圧の低下によりき裂が検出された際のき裂形状を、実線は急速破断した際のき裂

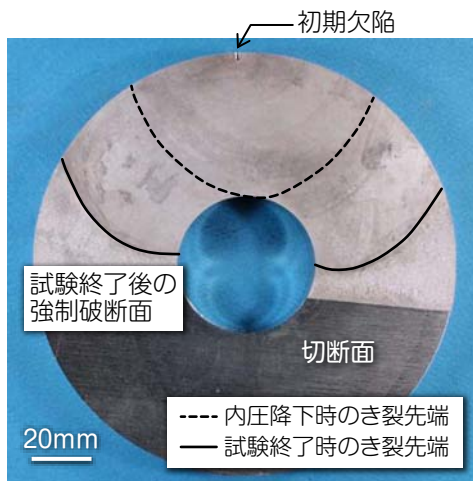


図5 試験後の実物大車軸の破断面

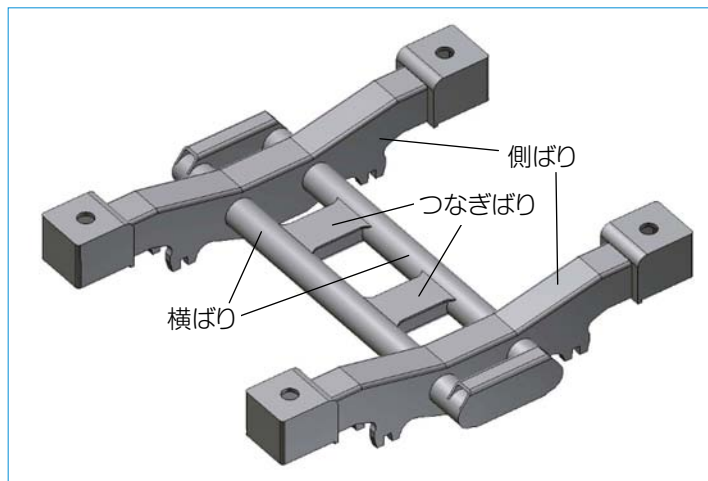


図6 ボルスタレス台車枠の模式図

形状を示しています。いずれも、き裂が中空部に到達した段階で中空部内圧が降下し、き裂が検出できたことがわかります。中空部の内径が15mmと比較的小さい試験軸は、き裂検出後、約1.5万回で急速破断に至りました。一方、中空部の内径が25mmと比較的大きい試験軸では、き裂検出後、約11万回で急速破断に至りました。このような差が生じた原因としては、外径に対する中空部の内径が大きい方が、き裂がより小さい段階で中空部に到達できるためだと考えられます。

車軸には、車輪や歯車などが圧入(☞参照)されています。圧入によって組み立てられた部品との境界部にき裂が発生した場合にも、中空部内圧を監視することでき裂が検出できるかどうかを、小型試験軸の疲労試験で確認しました。結果としては、図4と同様に、き裂が中空部に達した段階で検出できることが確認されました。

小型試験軸を用いた疲労試験によって、LBBを適用したき裂検知手法を車軸に適用できると考えられました。そこで、実物大の車軸を用いた疲労試験を実施し、き裂が検出されてから急速破断するまでの時間(安全余裕度)を検証しました。

実物大車軸は外径140mm、中空部

内径45mmとしました。この試験軸は、外径に対する中空部内径の比率が図4(a)に近く、き裂の大きさが比較的大きくならないと検出できない(安全余裕度が比較的小さくなる)ことが予想されます。仮に、この試験軸でも十分な安全余裕度を持つことが証明されれば、これよりも中空部内径が大きな車軸ではより安全だと言えます。小型試験軸による試験と同様に、試験軸の中空部に圧縮空気を封入し、中空部の圧力を無線センサーで常時監視しながら、疲労試験を進めました。試験結果を図5に示します。図5の点線は中空部内圧の低下によってき裂が検出された際のき裂形状を、実線は試験終了時のき裂形状を示します。実線より下側にある濃い灰色の領域は、試験後に試験軸を切断した面を、実線と切断面 사이의薄い灰色の領域は試験終了後に強制開口した破断面を示しています。疲労き裂が長さ約95mmとなった段階で実物大車軸の中空部内圧が降下し、き裂が検出されました。そ

の後、走行距離に換算して7000kmを超える繰り返し負荷を加えましたが、車軸が急速破断することはありませんでした。この結果は、LBBを適用したき裂検知手法を車軸に適用できることを示すとともに、十分な安全余裕度を有することを示しています。

台車枠への適用性の評価

一般的な溶接構造台車枠の模式図を図6に示します。たとえば、車両長手方向に伸びる「側ばり」は、厚さ10~20mm程度の板を組み合わせ、1辺が180~200mm程度の長方形断面で製作されます。また、側ばりをまくらぎ方向につなぐ「横ばり」は直径160mm程度、板厚12mm程度のパイプで構成されることが多いです。車軸での試験結果を参考にすると、肉厚が比較的小さい台車枠では、LBBを適用したき裂検出手法によって、比較的小さいき裂を検出できると考えられます。一方で、車軸に比べて中空部の容積が大きく、き裂からの圧縮空気の漏

☞ 圧入

車軸には、車輪や歯車などが取り付けられています。たとえば、車輪の場合、車輪の内径は車軸の外径より0.2mm程度小さく加工され、油圧などの力を使ってはめ合わせます。このように、内径が外径より小さい状態で組み立てることを「しまりばめ」、このような組み立て方法を「圧入」と呼びます。

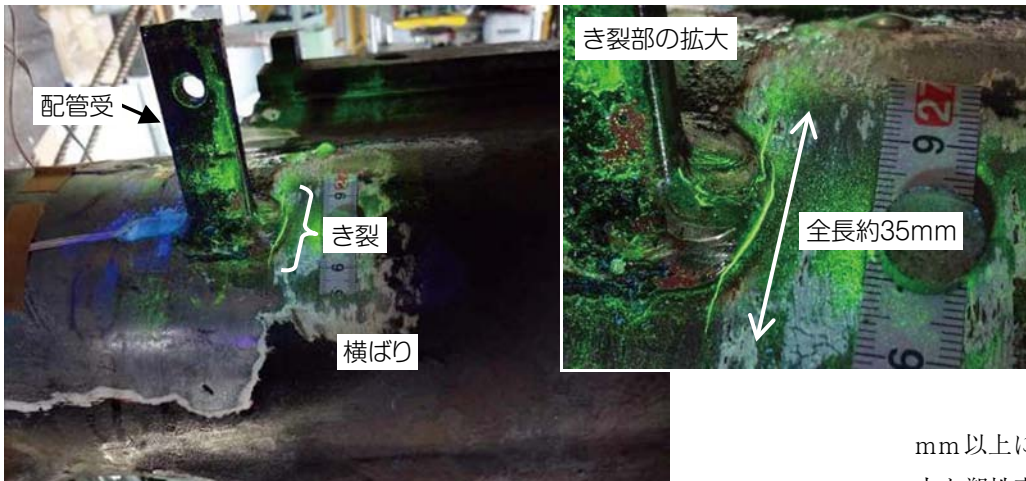


図7 き裂検出時の磁粉探傷試験結果

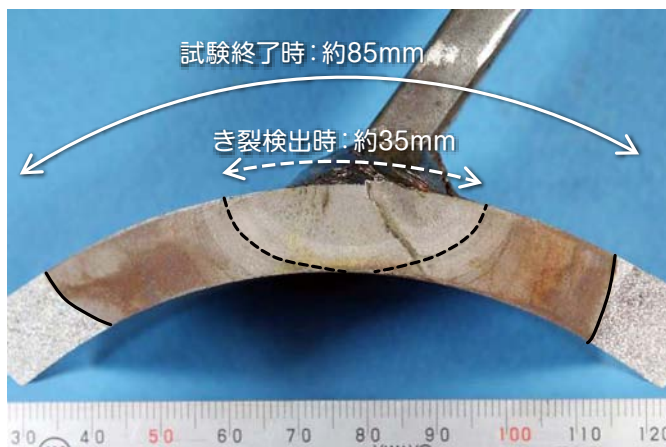


図8 試験後の破断面

洩に時間がかかることが予想されます。そこで、LBBを適用したき裂検知手法が適用できるか、また、適用できる場合に検出できるき裂の大きさや安全余裕度を確認するために、実物の台車枠を用いた疲労試験を実施しました。評価対象は横ばりとし、横ばり内部に圧縮空気を封入し、内圧を常時監視しながら疲労試験を進めました。このような台車枠に繰り返し負荷を加えたところ、約100万回後にき裂を検出することができました。この時の台車枠の

磁粉探傷試験(☞参照)結果を図7に示します。横ばりと配管の固定部材(配管受)との溶接止端部に長さ35mmのき裂が発生した段階で、LBBによりき裂を検出することができました。

き裂検出後の台車枠に対して、さらに300万回以上の繰り返し負荷を加え、き裂を全長85mmまで成長させました。試験後の破断面を図8に示します。点線は、き裂が検出された際のき裂形状を、実線は試験終了時のき裂

形状を示します。き裂先端が横ばり内面に到達した段階で、き裂が検出できたことが確認できます。また、今回の試験では全長85mmのき裂となった段階で試験を終了しましたが、

一般には、き裂が数百mm以上に進展しないと、台車枠に著大な塑性変形が生じることはないと言われておりますので²⁾、LBBを適用したき裂検出手法を台車枠に適用した場合の安全余裕度は十分大きいと言えます。

おわりに

破断前漏洩(LBB)概念を適用したき裂常時監視手法の車軸・台車枠への適用性について、検討しました。

実物大の車軸および台車枠を用いた疲労試験を実施し、提案した手法によってき裂が検出されたのち、急速破断に至るまでに十分な安全余裕度をもっていることが確認されました。このことは、本手法によって車軸や台車枠のき裂を常時監視することで、これらの急速破断を未然に防ぐことが可能であることを示します。また、現在の定期検査で実施される磁粉探傷などの検査精度と比較すると、き裂の検出性能は低く、現状のメンテナンスの代替手段となるものではないことも、合わせて示しています。

本研究の結果が、車軸や台車枠の安全性を高めることに役立つよう、さらに検討を進めて行きます。RRR

☞ 磁粉探傷試験

非破壊検査法の一つで、鉄鋼などの強磁性体の表面に発生するき裂やキズを検出するのに適した検査方法です。表面き裂のある試験体を磁化すると、き裂部分から磁束が漏洩します。このような状態で磁粉などを散布すると、き裂部分に付着するため、容易にき裂を検出できます。

文献

- 1) 矢川元基：破壊力学，培風館，1988
- 2) 長瀬隆夫：溶接台車枠の強度と保守，研友社，1999