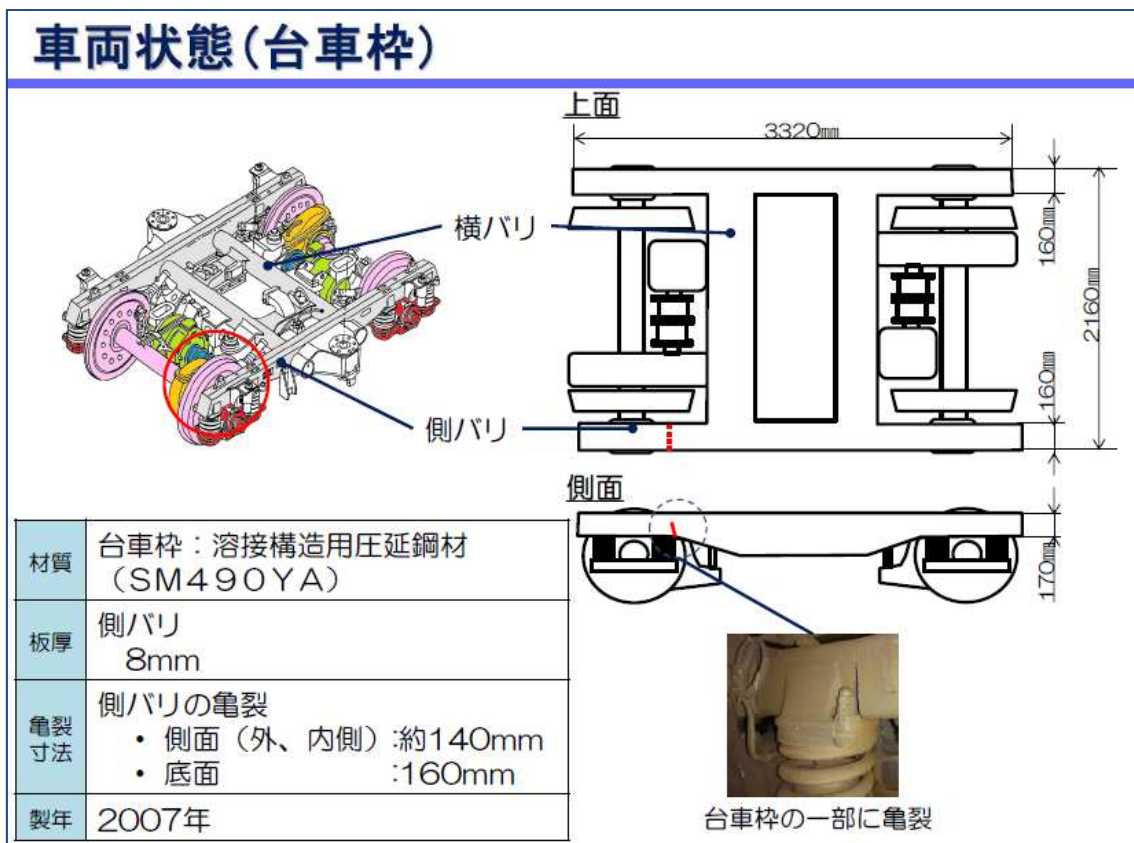


新幹線台車亀裂発生事故についての材料力学的評価 by 技術士だあーちゃん

[技術士 機械部門/電気電子部門]

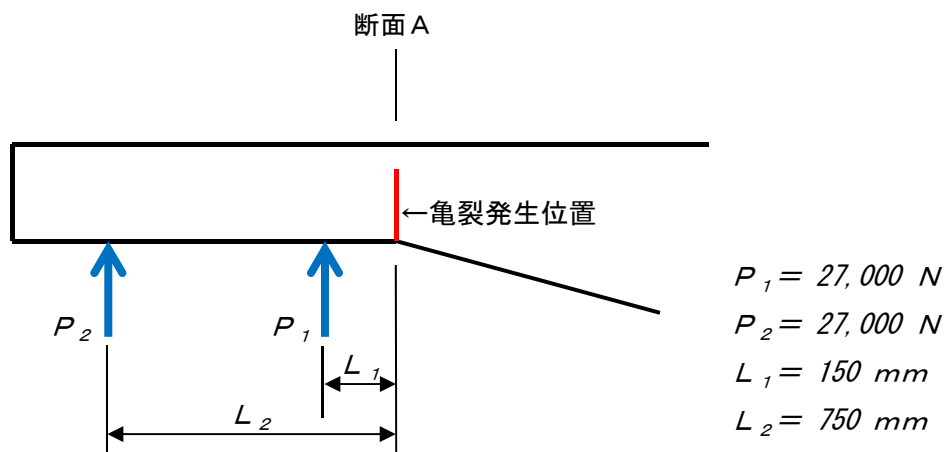
列車の設計に関与したことがないので、詳しい構造などはわかりませんが、JRのホームページなどから収集できるデータで評価してみました。

亀裂が発生したのは、図1（JR西日本のホームページより）の箇所で、この図から、評価に必要な寸法を必要に応じ物差しで求めました。

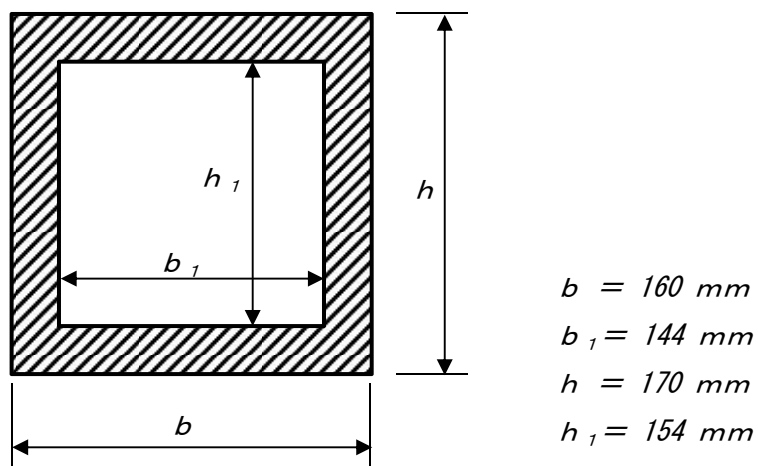


https://www.westjr.co.jp/press/article/2017/12/page_11639.html

第1図 台車の説明図 (JR西日本HPより)



第2図 台車にかかる荷重と位置



第3図 亀裂の入った断面の形状

亀裂が発生した位置から2個のSpringまでの距離は、それぞれ $L_1 = 750 \text{ mm}$ と $L_2 = 150 \text{ mm}$ 程度だと思われます。

また、亀裂が発生した台車の断面は、外寸が幅 $b = 160 \text{ mm}$ 、高さ $h = 170 \text{ mm}$ で、厚さ $t = 8 \text{ mm}$ の鋼鉄の角パイプ状の構造となっています。内寸は、幅 $b_1 = 144 \text{ mm}$ 、高さ $h_1 = 154 \text{ mm}$ ということになります。

また、この台車にかかる力は、同じくJR西日本のホームページに書かれているN700系新幹線の重量から算出しました。

総重量約700 tを16両で割ると、1両当たりの重量は、約44 tとなります。1両は、8個の車輪で支えられており、1個の車輪につき2個のスプリングで台車と繋がっています。1個のスプリングが台車を支える力は、 $P_1 = P_2 = P = 44 \text{ t} \div (8 \times 2) = 2.75 \text{ t}$ ($\div 27000 \text{ N}$ [ニュートン]) となります。

これらの数値から強度を評価してみます。

台車の亀裂が発生した部分が、スプリングからの力により、どれくらいの曲げようとする力(曲げモーメント M) が発生するかを計算すると以下ようになります。

$$M = P \times L_1 + P \times L_2 = 24,300,000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

また、亀裂が発生した断面が、曲げに対してどれくらい強いかを示す係数(断面係数 Z) を計算すると以下ようになります。

$$Z = (b \times h^3 - b_1 \times h_1^3) / (12 \times (h/2)) = 255,052 \text{ mm}^3$$

この曲げモーメント M と断面係数 Z から、1平方ミリメートルあたりに発生する力(曲げ応力 σ [シグマ]) を、以下のように計算することができます。

$$\sigma = M/Z = 95.3 \text{ MPa}$$

使用している鋼鉄は、1平方ミリメートル当たり490 Nまで耐えられる材料です。従って、材料の耐える力の5分の1程度の力しかかかっていないこととなります。

この評価に使った曲げモーメント M は、新幹線が静止している時の値なので、走行時には振動などの影響で、その2倍の力をスプリングから受けたとしても、台車の材料の2.5分の1程度の力しか掛かっていないこととなります。ですから、すぐに破壊することのないような設計になっているということが分かりました。

しかし、実際には亀裂が入ってしまいました。なぜ、亀裂が入ったのか、考えてみました。

「金属疲労」という言葉は聞かれたことがあると思いますが、たぶん、この「金属疲労」により亀裂が発生したものと思われます。

普通は、材料が耐えられる強さ（引張強さ）より小さな力が働いても材料は破断することはないのですが、小さな力でも繰返し掛かると、そのうち小さな亀裂が発生し、繰返しの回数が増えるにしたがって亀裂が進展し、いつか破断してします。この現象を「金属疲労」と言います。溶接の状態、熱処理の状態、表面の状態等により、亀裂が発生する時期、亀裂の進展速度が変わってきます。

繰返しの力を受ける構造物は、「金属疲労」を考慮して、定期的に点検し、必要に応じ交換することになります。

今回の新幹線の台車の亀裂発生事故は、

- ・溶接不良・熱処理不良等が原因で、予想より早く（点検間隔よりも短い間に）、亀裂が発生し、進展した。
- ・小さな亀裂が発生していたが、定期点検で亀裂を見落としました。
- ・本来外面で発生する亀裂が、溶接不良・熱処理不良等が原因で、内面から発生・進展していたので、定期点検で見つけられなかった。

というのが、原因ではないかと想像することができます。