

第37回 ばねと疲労

鈴木金属工業(株) 林 博昭

人もばねも疲労する。人の疲労は汗にも多く含まれている乳酸が原因である。乳酸は筋肉中に蓄積されているグリコーゲンが、運動により分解する過程で生成される。この乳酸が筋肉中に溜まると、筋肉活動が阻害され、疲れとなる。

ばねの多くは金属材料を用いている。金属の疲労は、金属の結晶面がごくわずかずつ移動する「すべり」と呼ばれる塑性変形がその原因である。金属に繰り返し力を加えると、1度の負荷では破壊しないような荷重でも破壊してしまうことがある。見えないところですべり変形がじわじわと生じているのである。

金属疲労が話題になる時は、技術者にとってはうれしくない話が多い。御巣鷹山に墜落した JAL123 便の圧力隔壁、動燃「もんじゅ」の Na 漏洩事故における熱電対のさや、最近では、敦賀原子力発電所 2号機の冷却水漏れ事故のパイプ。いずれも高サイクル疲労破壊（繰り返し数の非常に多い疲労破壊）という現象で、破面にストライエーションと呼ばれる模様が認められ、典型的な疲労破壊として報告されている。しかし、金属疲労の破面に常にストライエーションが認められるかというそうではない。われわれが日常扱っているばね材料のような高強度材では、すべり変形のピッチがあまりにも細かく、電子顕微鏡でもわからないことが多い。

疲労破壊の特徴としては次のことが挙げられる。

- (1) 繰り返し応力がその材料の引張強さや降伏点以下でも破壊にいたる。
- (2) 目に見えるような塑性変形を伴わず破壊する。
- (3) 負荷応力の大きさが大きいほど破壊までの繰り返し数が小さくなる。
- (4) 部品や材料の最も弱い部分に集中して発生する。

疲労の原因はすべり変形であると述べたが、疲労破壊のメカニズムについてもう少し詳しく説明しよう。

疲労破壊は大きく分けて、

- ① 疲労き裂の発生過程
- ② 疲労き裂の伝ば（進展）過程
- ③ 最終破壊（延性破壊）過程

の 3 過程を経て生じる。き裂の発生及び伝ばの過程には、その応力以下ではき裂が進展しないという下限値が存在する。負荷応力がその応力以下ならば、疲労破壊は発生しない。しかし、マクロ的にはその応力以下でも、ミクロ的には局部的な応力集中が生じ、下限値を超えた応力が働いて、疲労き裂が発生・進展することがある。ばね材料の代表例としては、きずや非金属介在物による疲労破壊がある。

おっと、だいぶ話が難しくなってきた。話の方向を変えよう。どうしたら疲労強度を高めて、疲労破壊が防げるのだろうか。

シドニー五輪の女子マラソンで高橋尚子選手が金メダルを獲得したが、最後は彼女も疲労してリディア・シモン選手に追いつかれそうになった。はらはらしながらテレビで応援していた方も多かろう。

42.195km を他人より早い速度で走りきるため（ばねが

高い負荷応力下で耐久するため）には、次のことが必要である。

その1 長距離を走る素質・基本体力があること→（高い負荷応力に耐える素材であること）

高い負荷応力に耐えるためには、やはりそれなりの材料・材質でなければならない。病弱な体や肥満して贅肉がついた体では金メダルはおろか、42.195km を完走することすらおぼつかない。ばねも材質や強度など耐疲労性について吟味された材料でなければならない。ピアノ線や弁ばね用と表記される鋼線は製鋼・製線の段階において、他の鋼線よりきず・脱炭・非金属介在物に関する品質管理レベルが厳しくなされており、耐疲労性を要求される場合には、線に限らずこのような材料の使用が望ましい。

その2 けがや故障がないこと→（きずなどの欠陥がないこと）

高橋選手もセベリアの世界陸上選手権時にはひざに故障があり、直前に参加を取り止めている。きずなどの欠陥をもった材料やばねは、高い負荷応力に耐えられない。高橋選手の足と同様、ばねの表面はばねの命である。前述の表面欠陥の少ない材料を用いても、ばね製造時にきずをつけては何もならない。

その3 きちんとしたトレーニングを積み、コンディションが整えられていること→（低温焼なましやショットピーニングなどの表面処理がきちんとなされていること）

高橋選手はシドニー五輪参加に際して、米国コロラド州で高地トレーニングを行い、心肺機能と精神力を高めている。過酷なレースを戦い抜くには素質だけではむずかしいのである。その素質を十二分に生かすコンディショニング（調質）が重要である。ばねも低温焼なましやショットピーニングなどがいいかげんでは、どんなに素材が良くてもダメで、適正な熱処理や表面処理が不可欠である。

その4 オーバーペースにならないこと→（過大な応力をかけないこと）

高橋選手は 35km 手前で自分の体力、スピードを考慮して一気にスパートをかけ、勝負に出て勝った。しかし、最初から世界記録をねらってとばしていたらどうであつたろうか。あの難コースでは最後までもたなかったであろう。良い素材できちんとした処理を施しても、無理な負荷応力ではやはり耐えられないのである。

高橋選手をゴール手前で苦しめた乳酸はどうすれば減らせるだろうか。答えは有酸素運動とビタミンB群及びクエン酸の摂取だそうである。高橋選手に限らず心肺機能に優れた長距離ランナーは、ペースを落として体内の酸素供給状態を有酸素状態に保ち、適宜エネルギーやビタミンB群を補給すれば筋肉は疲れず、相当な長距離走に耐えることができる。しかし、金属やばねの疲労を回復させるビタミン類はいまだ見つかっていない。残念ながら前述の 4 ケ条をしっかり守るしか手がない。