

金属材料の疲労破壊機構と最新研究

富山大学大学院理工学研究部 教授 小熊規泰



1. 疲労破壊とは 2. 金属材料の疲労特性 3. オンライン寿命予測 4. 建築に関連した研究





▶日航ジャンボ機墜落事故(1985年8月12日) 後部圧力隔壁の金属疲労 ▶美浜原発事故(1991年3月13日) 蒸気発生器内伝熱管の金属疲労 ▶高速増殖炉「もんじゅ」ナトリウム漏洩事故(1995年12月8日) 温度計さや管の金属疲労 ▶ガルーダ・インドネシア航空機事故(1996年6月13日) 第3エンジンコンプレッサーファンの金属疲労 ▶ドイツ・インターシティエクスプレス脱線事故(1998年6月3日) 車輪の金属疲労 ▶ 三菱自動車タイヤ脱落事故(2002年1月10日) ハブボルトの金属疲労 ▶エキスポランド・ジェットコースター転落事故(2007年5月5日) 車軸の金属疲労(直後に米国・中国でも発生)





なぜ事故が起きるか?

▶疲労設計ミス

- ・異なる負荷形式の疲労強度データに基づく設計
- ・形状の設計ミス(応力集中の未考慮)
- ・安全率の過小評価

▶コスト優先メンテナンス

- ・点検周期の延長や点検の割愛
- ・高精度(高価な)検査技術の軽視

> 不適切な使用

- ・スペック以上の負荷(人為的または想定外)
- ・設計想定外の過酷環境

≻技術者不足

- ・疲労の本質を理解した設計技術者不足
- ・経営と安全を見据える現場技術者不足

















200µm

100 µ **m**

AI合金A2024の高サイクル疲労



鉄鋼SUJ2の超高サイクル疲労

2. 金属材料の疲労特性

外力や部材強度だけでなく疲労強度や疲労寿命も固有のばらつ きをもつ.負荷応力レベルが一定であっても,疲労寿命は大き なばらつきをもつ(それゆえ,寿命は対数軸で表示する)

疲労寿命の分布特性はワイブル分布に従い,疲労強度のそれは 正規分布に従うことが知られている









Stress amplitude vs. Number of cycles to failure

高強度鋼の超長寿命疲労特性

回転軸の応力繰返し数

	区間	往復距離	便数	法令検査	走行距離	タイヤ径	総回転数
新幹線	東京-博多	2,130km	2往復/日	30日 (7日)	(127,824km) 30,000km	860mm	4.73×10 ⁷ 1.11×10 ⁷
自家用車	富山-奈良	800km	1往復/月	24月	19,200km	615mm	9.94×10 ⁶

応力繰返し数107回の疲労限度設計では危険

高強度鋼のS-N曲線(近年の研究)

> 二重S-N曲線(表面起点型:内部起点型)



製鋼技術の向上による酸素含有量の減少







酸化物系介在物



窒化物系介在物

酸素濃度=低 介在物寸法=小 疲労寿命=長











制限視野X線回折パターン

ロール加工(寿命向上策)

高硬度ボール, ローラーを表面に 押し付け, 表面粗さを小さくする











内部起点型破壊 (破壊起点の深化→応力振幅の減少)











AE信号の界面減衰





回転体の損傷監視

 ・回転軸や軸受などの回転体をAE法で監視する場合,従来の 有線AEセンサでは,距離減衰・界面減衰の影響を受ける
 ⇒ ワイヤレス化



・FM方式ワイヤレスAEセンサでは, バッテリー, アンテナの スペースが必要, かつ, バッテリー切れが懸念



・電磁誘導方式のワイヤレスAEセンサを開発

有線AEセンサ



ワイヤレスAEセンサ



(b) 軸端型ワイヤレスAEセンサ

AE計測システム



AE計測結果 持続時間



(a) 有線AEセンサAE504A 40μs
(b) 有線AEセンサ M-WW 60μs
(c) 軸周型ワイヤレスAEセンサ 20μs
(d) 軸端型ワイヤレスAEセンサ 40μs



素子に対するAEの受波方向の調査



AE波伝播特性



AE計測結果 累積AEエネルギー値

有線AEセンサ

軸端型ワイヤレスAEセンサ



損傷診断と寿命予知の可能性



軸端型ワイヤレスAEセンサ

疲労後期になるほど累積AEエネルギーは累乗的に増加

・累積AEエネルギー値が任意のしきい値を超えれば損傷検出可 ・累積AEエネルギーの勾配の分析により寿命予知の可能性あり

5. 建築に関連した研究

▶ 木造住宅へのニーズ

- ・間取りの自由度を高める大空間化
- ・開放感のある室内空間を確保する大開口化

> 公共建築物木材利用促進法の制定





大震災 ⇒ 強度向上, 揺れの吸収機構の開発

> 柱と梁の締結部の強度向上と美観のための部材
 ⇒ 特殊螺旋ボルト(Lag Screw Bolt : LSB)
 > 加工方法:切削加工→転造加工

- ・素材コスト削減
- ・加工コスト削減
- ・部材強度向上







転造シミュレーションによる最適加工条件の特定

- > ダイス
 - ・回転速度:10,30,60min⁻¹(両ダイス駆動)
 - ・制御:変位制御=ダイス中心間隔207mmへ移動

> 素材の摩擦条件

- ・クーロン摩擦:0.5
- ・粘塑性摩擦:相対すべり速度依存式

 アプリケーション

 3次元弾塑性解析ソフトウェア FORGE HPC・2011SP1





ダイス回転速度と最大主応力の関係



回転速度20~30rpmがダイス負荷の小さい条件



機械構造物の安全・安心を確保する ための疲労特性研究・評価技術開発 に日夜邁進しております

ご清聴ありがとうございました