

自転車フレームに使用されるアルミニウム合金のX線回折計測による物性評価について

事故通知内容

折りたたみ自転車で走行中、トップチューブ(本体フレーム)が破断し、転倒、負傷した。

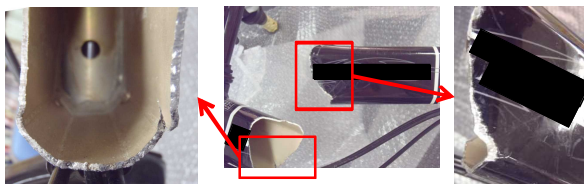
事故品調査

- フレーム材質:アルミニウム合金 A6061
- 熱処理:T4/T6 (メーカー情報)
- 製造年:2012年
- 化学成分(wt%):

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	その他	Al
0.40	0.7	0.15	0.15	0.8	0.04	0.25	0.15	0.15	残部
~0.8	以下	~0.40	以下	~1.2	~0.35	以下	以下	以下	

JIS H 4140参照

○破断面観察:



乗車による応力によってパイプ下側にクラックが発生し、破断に至った可能性が高い。

物性評価

複数台の事故同等品(2012年モデル及び2013年モデル)の振動試験(JIS D 9301)において、2012年モデルのフレームに破損が集中した。

製造年による材料物性の違いあり?

1. 元素分析の結果

蛍光X線分析装置を使って各モデルのフレーム材に含まれる元素を確認

組成	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	その他	Ti	Al
2012年製	0.65	0.13	0.19	—	1.0	—	0.08	0.02	0.01	97.9
2013年製	0.46	0.18	0.21	—	1.1	—	0.01	0.03	0.02	98.0

フレーム材の組成に大きな違いはない。

2. ビッカース硬度試験の結果

試験結果

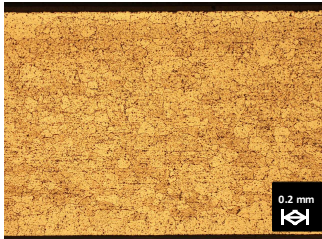
2012年モデル	2013年モデル
75~78	101~105

(HV0.5/10)

約30%程度の硬度の差が認められ、2012年モデルの方が硬度が低い。

3. 金属組織観察

2012年モデル 長手方向

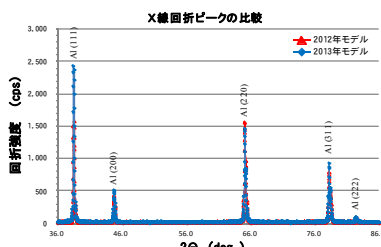


2013年モデル 長手方向



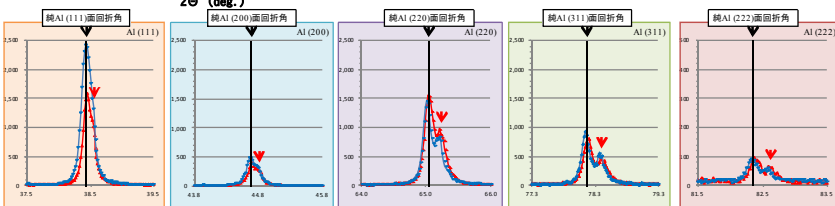
金属組織状態に違いはみられない。

4. X線回折による結晶構造観察



X線回折ピークから得られる情報
○ピーク位置(角度)
⇒格子面間隔や格子定数に依存
⇒結晶構造を同定

○ピーク強度
⇒原子座標や構造因子※に依存
⇒結晶構造の同定に加え、結晶の配向性についての情報が得られる。
※構造因子:結晶内の原子配列に依存する物理量



○ピーク位置について
・全体としては、母相であるAlの結晶構造を反映したピークが観測された。
・ピーク1つ1つは構造を持っている。
→純Alの回折ピークに加えて高角度側にシフトしたピークが観測された。(→赤矢印)
→格子面間隔が小さくなっていることから圧縮側に歪んでいる相が存在していることが分かる。

両モデルともに内部にMg₂Siの時効析出によるAlの圧縮歪み相が存在している。

○ピーク強度について
・同等品に比べて、事故品(111)面の回折ピークの強度が低い。

2012年モデルは2013年モデルに比べて、[111]方向の配向性が弱い。

まとめ

元素分析及び金属組織に差異が見られず、硬度のみが異なるアルミニウム合金を対象にX線回折による結晶構造観察を行った結果、硬度の低い材料では[111]方向の配向性が弱い傾向があることが判明した。

これまで脚立などアルミニウム合金材料の破断事象で、製品起因が疑われる場合に、元素分析、金属組織観察、寸法、硬度測定に著しい差が無ければ「事故原因不明」と結論づけざるを得ず、それ以上の評価手法をNITEは持っていなかった。

X線回折を用いることにより、材料が影響する事象か否かの判断精度の向上が期待される。