

宇部興産(株) 正会員 竹本 信司
 宇部興産(株) 正会員 和多田康男
 宇部興産(株) 正会員 ○長久 義隆

1. はじめに

本構造は、橋梁上部工の変形を吸収するため、図-1 に示すように $\phi 60\text{mm}$ のピン (材質 S35C) と架台リブ (同 SM41B) ならなるヒンジ構造を有している。直接輪荷重を受ける厳しい使用条件下において供用後 10 年以上が経過し、ヒンジ部に 2~3mm のガタツキが生じて異音が発生するようになった。本稿では、これらの損傷原因を推定するため、現地にて採取した供試体の外観観察や寸法計測、断面観察等を行った結果について考察し、その劣化プロセスについて概要を報告する。

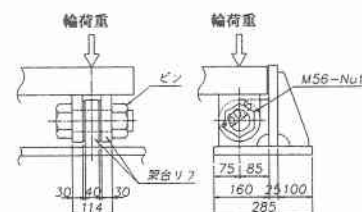


図-1 本構造の概要

2. 調査方法

採取した供試体の調査方法は以下のとおりである。

- (1) 外観観察: 撤去したピンおよび架台リブの外観写真を撮影し、目視により全体的な損傷傾向を把握する。
- (2) 寸法計測: ピンの外径および架台リブ孔径をノギスにて測定する。
- (3) 断面観察: 光学顕微鏡による金属組織の断面観察、および走査型電子顕微鏡 (SEM) による表面観察を行う。



写真-1 ピンの変形状態



写真-2 架台リブの変形状態

3. 調査結果

- (1) 外観観察: ピンおよび架台リブの変形形状、表面さびの状況について観察した結果を以下に示す。

- ・ピンの変形形状は、写真-1 に示すように竹の節状に変形している。
- ・ピンの表面は概して滑らかであり、剥離等の著しい腐食現象は観察されない。
- ・架台リブは、写真-2 に示すようにピン孔周辺部に部分的な変形が認められる。
- ・架台リブのピン接触面には粗い錆が認められ、錆の剥離も確認される。
- ・架台リブの側面にはピン頭部やナット等の接触による削り跡がある。
- ・架台リブには全体的な曲げ変形が認められる。
- ・ピン、架台リブとも接触面にパウダー状の細かい錆粉が一樣に付着している。

- (2) 寸法計測: ピンの外径、架台リブの孔径を測定した結果を以下に示す。(表-1)

- ・ピン径は、設計値 60mm に対して、平均で 59.03mm と 0.97mm 細くなっている。
- ・ピンの長径と短径の差は平均で 0.06mm であり、断面形状はほぼ円形に近い。
- ・架台リブの孔径は、設計値 60.5mm に対して平均で 0.90mm 拡大している。
- ・架台リブ孔の長径と短径の差は平均で 1.20mm であり、孔の形状は縦(鉛直)方向に長い楕円形状となっている。

- (3) 断面観察: 図-2 に示す要領で切断した断面のマクロ組織を撮影し、金属組織の流れや表面付近のミクロな形状を観察した結果をまとめると以下ようになる。(写真-3,4,5)

- ・ピンの断面は、表面が結晶粒単位程度の大きさで剥離しており、金属組織の塑性流動が部分的に認められる。
- ・架台リブの断面は、端部(エッジ部)においてピンと同様に若干の剥離が起こっている。また、中央部付近では、表面にせん断的な塑性流動が認められるが、ごく表層(約 50 μm)に限られており、表面はきわめて滑らかである。
- ・SEM によるピンの表面写真では、腐食跡・結晶粒露出等により様相の確認は困難であるが、結晶粒の剥離跡と思わ

表-1 ピン径および架台リブ孔径(mm)

	設計値	供試体の計測値			②-①
		①	長径	短径	平均②
ピン	60.00	59.06	59.00	59.03	-0.97
架台リブ	60.50	62.00	60.80	61.40	0.90
差	0.50	2.94	1.80	2.37	1.87

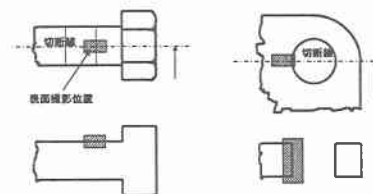


図-2 顕微鏡観察の撮影位置

れるクレーター状の凹みが多数認められる。

・素材の金属組織については、フェライトとパーライトが規則的に配列された組織を呈しており、素材の組織的な異常は特に認められない。

4. 損傷要因の推定

損傷要因として、塑性変形、疲労、摩耗、腐食などさまざまな原因が考えられるが、上記の調査・測定結果から以下のことが推測される。

- (1) 塑性変形：架台リブに全体的な曲げ変形が認められることから、局部曲げや変形により不均等な応力が作用し、降伏点を超過したピーク応力によって塑性変形が発生していたものと思われる。したがって、架台リブの変形や孔径の拡大は、断面剛性の不足によるマクロな意味での塑性変形に起因するものと推察される。
- (2) 疲労：ピン表面が滑らかで、顕微鏡観察においても疲労破壊の特徴であるフレーク状のクラックは見られないため、ピッチングやスポーリングのような高面圧下における剥離現象やすべり変形を伴った疲労破壊が直接的な要因ではないものと思われる。
- (3) 酸化摩耗(Fretting-corrosion)：ピンの断面がほぼ円形を保ったまま一様に径が細くなっていること、供試体にパウダー状の細かい錆粉が付着していること、架台リブの側面に削り跡が認められることを考えると、ピンは常時回転していたことが推測され、ガタ付きの有力な要因の一つがフレッチングであったものと思われる。フレッチングは、金属の接触面が空気に触れることによって酸化物(微細な錆)が発生し、その錆を噛み込みながら再び接触や摺動を繰り返すことによって生じる一種の磨耗現象である。光学顕微鏡による断面観察においても、ピン表面に細かい剥離や凹凸が生じており、結晶粒単位の小さな欠片が少しづつ剥離した痕跡が認められ、これを裏付ける結果となっている。一方、架台リブにおいては、面圧の高い端部にフレッチングと思われる細かい剥離が散見される。SEMによるピンの表面観察結果からはフレッチングとは特定できないものの、クレーター状の凹みが多数認められ、金属表面が削り取られているのが確認できる。
- (4) 腐食：ピン頭部やナット部など、常時、大気に曝されている部位の塗装(タールエボ)に若干劣化が認められる。また、主に架台リブのピン接触部上部に剥離を伴ったやや粗い錆が認められるが、これはピンと架台リブにガタが生じた後、その間隙に雨水等が進入して発生したものと思われる。

上記のことより、損傷メカニズムを推察すると、次のような劣化プロセスが循環的、継続的に発生しものと考えられる。

①局部曲げや変形により過大な二次的応力が作用し、架台リブに塑性変形が発生する。→②塑性変形によりピンとピン孔のクリアランスが拡大し「ガタ」が大きくなる。→③ピンの支圧接触面が大気に曝されやすい状態となり、微細な錆が発生する。→④フレッチングによる摩耗が生じてピン径が細くなり、「ガタ」がさらに拡大する。→⑤ピン自体が容易に回転できるようになるとともに、雨水の進入等により架台リブの腐食が促進される。

5. おわりに

本調査により得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- ・損傷は①架台リブの塑性変形、②ピンの酸化摩耗、③リブの腐食、の3つの複合的な原因によるものと思われる。
- ・設計においては構造物の全体剛性を高め、ヒンジ部に作用する面圧の低減を図ることによって塑性変形や酸化磨耗に対して効果が期待できる^りが、摩耗速度を定量的に評価することは難しい。また、降伏や破断といった終局限界状態のみでなく、サービスレベルに直接影響を与えるガタツキや異音といった使用限界状態を意識した変形量(剛性)による設計を行うことも必要である。
- ・酸化磨耗に対しては、素材の表面硬度を高めることが有効であるため、ピンの材質にS45CNの採用や熱処理(焼き入れ焼き戻し)の実施などが考えられる。また、酸化や腐食に対してはヒンジ付近のシーリングや水しぶきが直接かからないような処置も有効であるものと思われる。

参考文献 1)小笠原ほか：温間ローラ加工による圧入軸の疲れき裂の挙動，塑性と加工，vol.23，no.258，pp.643-649，1982

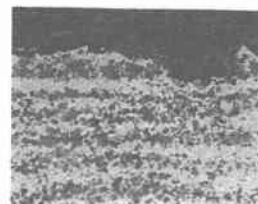


写真-3 ピンの金属組織

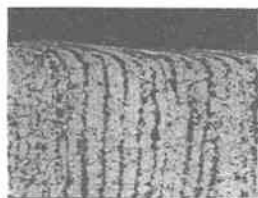


写真-4 架台リブの金属組織

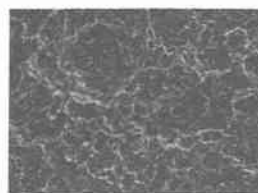


写真-5 SEMによるピンの表面