

CMI 報告

公園遊具の破損事故原因調査

小野 秀一

1. はじめに

施工技術総合研究所では、構内で実物大模型による載荷試験や繰り返し載荷等を行って耐荷性能や疲労耐久性の検証などの調査研究を行うとともに、建設機械や橋梁部材など様々な実構造物の損傷状況の調査や原因の解明、さらにそれらの対策方法の検討や追跡調査などを行っている。

本報告では、これまでに検討を行った各種損傷原因の調査研究業務等の中から、最近実施した公園遊具の損傷原因に関する調査研究について紹介する。対象とした遊具は、水上アスレチックの吊りカゴ遊具（ロープウェイ型遊具）と呼ばれるもので、三人の子供が吊りカゴに乗って遊んでいた際に、ロープを支える鋼鉄製の金具が壊れ、吊りカゴとともに乗っていた子供が落下した、というものである。本業務は、破損した遊具を詳細に調査するとともに、遊具の使用状況を再現した現地試験を実施し、FEM解析と合わせて遊具の破壊メカニズムおよび破損原因を推定したものである。

2. 対象遊具と損傷状況

遊具の概観を写真-1に示す。川を挟み、8.5m間隔で立てられた2本の支柱間にはロープが張られ、ロープには人が乗ることができる吊りカゴが取り付けられている。この吊りカゴに乗った人が誘導ロープを操作することで吊りカゴが動き、支柱間を移動できる。吊りカゴは、子供一人が乗ることができる程度の大きさであるが、複数の子供や、大人も乗ることができる。



写真-1 遊具の概観

人が吊りカゴに載った時に生じるロープの張力は、ロープ両端の鋼鉄製の取り付け金具を介し、遊具支持フレーム（横梁、支柱）へと伝達される。支柱に使用されている鋼材は、一般構造用角形鋼管 STKR400（□125×125×3.2）であった。ロープ取り付け部は、2枚のプレート（厚さ6mm、幅90mm）が支柱の角形鋼管側面にすみ肉溶接で取り付けられている。

写真-2には破断したロープ取り付け部の状況を示す。破断はロープ両端の取り付け部のうち片側で生じた。破断の状況から、取り付け金具の横梁側溶接止端に沿ってき裂が進展し、破断したと推定された。また、取り付け金具の側面側には、横梁の管軸方向（水平方向）に進展するき裂も確認され、引きちぎられたような横梁のソリも確認された。

なお、未破壊側のロープ取り付け金具の溶接部においても、取り付け金具の回し溶接止端部にき裂が生じていることが確認された。

3. 調査結果

遊具の破損原因を推定するため、破断面の破面観察、部材の材質確認、現地における再現実験、FEM解析を行った。以下にこれらの検討結果を示す。

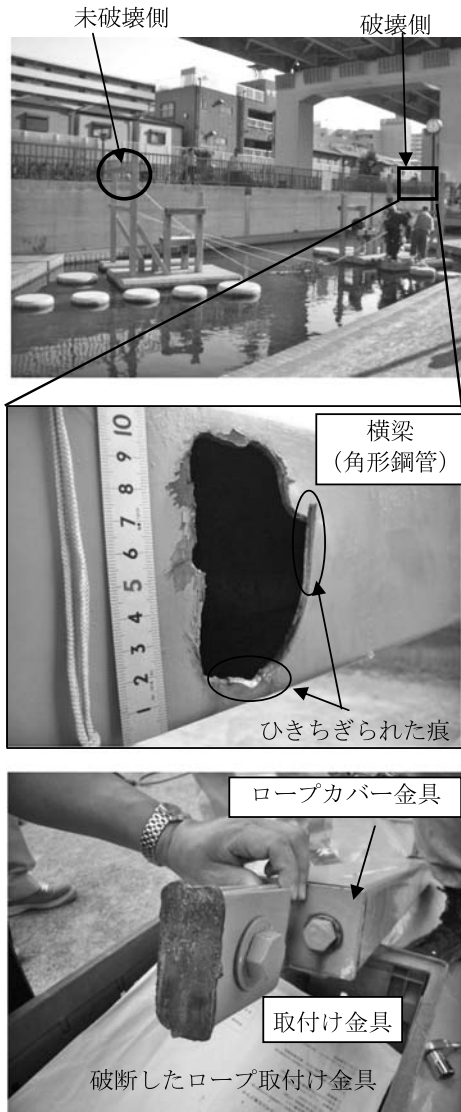
(1) 破断面の破面観察

破断形態を調査するため、破断面のマクロ観察ならびにSEM（走査電子顕微鏡）観察を行った。

取り付け金具上側の破面を写真-2に示す。き裂の起点付近と考えられる破面には、疲労破面の特徴であるラチェットマーク（階段状段差模様）が確認され、破面にはビーチマーク（貝殻状縞模様）も観察された。よって、取り付け金具の回し溶接部を起点とする疲労破面であると推定された。

さらに、写真-3のSEM観察写真に示すように、

一部にストライエーション（疲労破面に見られる特徴的な縞模様）が観察されたことから、疲労破面であると判断された。また、ストライエーションの方向から、疲労き裂は金具が取付けられていた横梁の外面から内面に向かって進行したと推定された。



写真—2 遊具の破損状況

(2) 部材の材質確認

遊具に使用されていた材料が仕様通りであったかどうかを確認するため、横梁材料の成分分析および引張試験を行った。

その結果、使用されていた横梁はJISの一般構造用角形鋼管STKR400であり、問題ないことが確認された。

(3) 現地再現試験

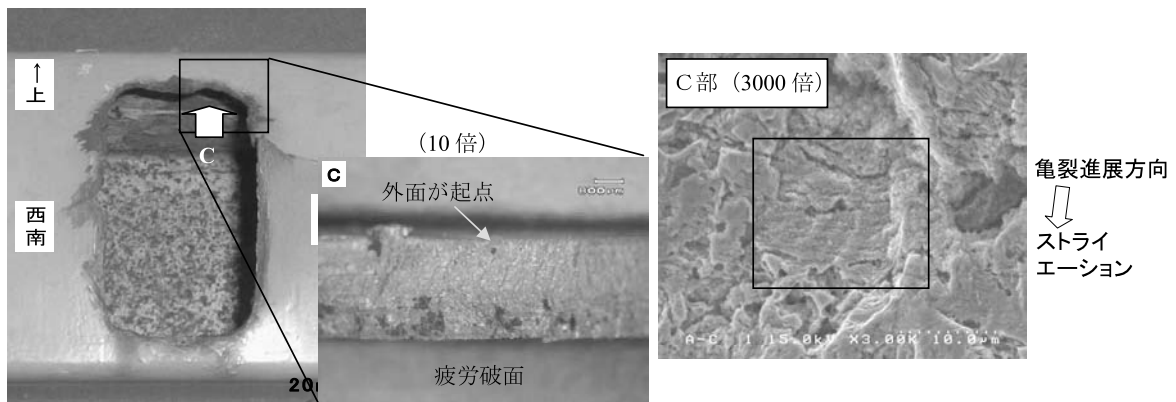
破断した部材の破面観察等から、取付け金具は疲労によって破断したもので、疲労き裂の起点は取付け金具の上下端の溶接止端部であると推定された。そこで、遊具に人が乗ることによってロープ取付け金具部に疲労が生じるような応力が発生しているかどうかを確認するため、現地再現試験を行い、ロープ取付け金具周辺の応力測定を実施した。

現地再現試験は、破損した部材を取外し、破損した部材と同一規格の材料で同等形状の部材を新たに製作・取付けた上で実施した。

現地確認試験状況を写真—4に示す。再現試験では、



写真—4 現地再現試験状況



写真—3 破断面の観察結果

作業員A（体重約120kg；小学5年生女兒3人分），または作業員B（体重約60kg）が実際の吊りカゴに乗り，その際の取付け金具部近傍のひずみ測定を行った。

試験の結果，作業員Aが乗載した際に取付け金具上部の溶接ビード近傍に，最大130MPaの高い応力が測定された。このような測定結果から，溶接ビード上部には疲労き裂が生じやすい状態であったと考えられる。

(4) FEM解析による検証

数値解析的に現地再現試験結果を検証するとともに，遊具全体の変形挙動を把握することを目的として，汎用有限要素プログラムを用いた遊具の立体FEM解析を実施した。

要素は，ロープ以外はシェル要素（平板要素）を用い，ロープはバー要素（棒要素）を使用した。ロープのたわみ形状については，無載荷時（カゴのみ）において支柱間の中央部でワイヤロープが380mm撓んでいたことから，ロープは直線で，ロープ中央で380mmのたわみを初期状態として解析モデルを構築した。荷重はロープの支間中央部に作業員A相当を載荷した。

解析結果として，図-1に取付け金具部の変形状態および応力分布を示す。取付け金具部の横梁面は，断面が凸状に変形しており，鋼管の角部との範囲で局部的に変形していることがわかる。また，局部変形が見られるロープ取付け金具上端部および下端部におい

ても高い応力が生じていることがわかる。これらの部位は，疲労き裂が確認された部位と一致している。

(5) 破損シナリオの推定

上述した破断部の破面調査や現場再現実験，立体FEM解析等から，ロープウェイ型遊具（角型鋼管使用）の破壊メカニズムおよび破断に至るシナリオは以下のように推定された。

- ①ロープ張力の作用：遊具（吊りカゴ）に人が乗るたびにロープに張力が作用する。
- ②ロープ取付け金具上側部に疲労き裂が発生：遊具に荷重が作用する（ロープ張力が作用する）と，金具取付け部の角形鋼管に応力集中が生じる。ロープ張力は斜め下方向に作用しているため，取付け金具の上側に高い応力が生じ，繰返される荷重によって上側に疲労き裂が生じる。
- ③ロープ取付け金具下側部に疲労き裂が発生：ロープ取付け金具の下側部にも応力集中が生じているため，下側部に疲労き裂が生じる。
- ④ロープ取付け金具の左右部に疲労き裂が進展：繰返して荷重を受けることにより，取付け金具の上下側に生じた疲労き裂が左右に進展する。
- ⑤破断：残った断面で過荷重状態となり，破壊する。

4. おわりに

これまでに，同様な損傷事例がない公園遊具（ロープウェイ型遊具）の損傷について，損傷原因の調査を行った結果，遊具で人が遊ぶ（カゴに乗る）ことで，繰返し荷重が作用し，疲労が生じたものと推測された。今回のケースでは特に，横梁に角形鋼管を使用していたことから，局部的な変形が生じ，溶接止端部に高い応力集中が生じていたことが原因の一つであったと考えられる。

今後，当研究所では，特に安心・安全が求められる公園遊具に損傷が生じたことを受け，この事例をもとに広く関係機関に注意を喚起するとともに，より安心・安全な公共施設を維持管理するための一助となるよう業務に邁進していく所存である。

JCM/A

[筆者紹介]

小野 秀一（おの しゅういち）
 (株)日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所 研究第二部
 次長

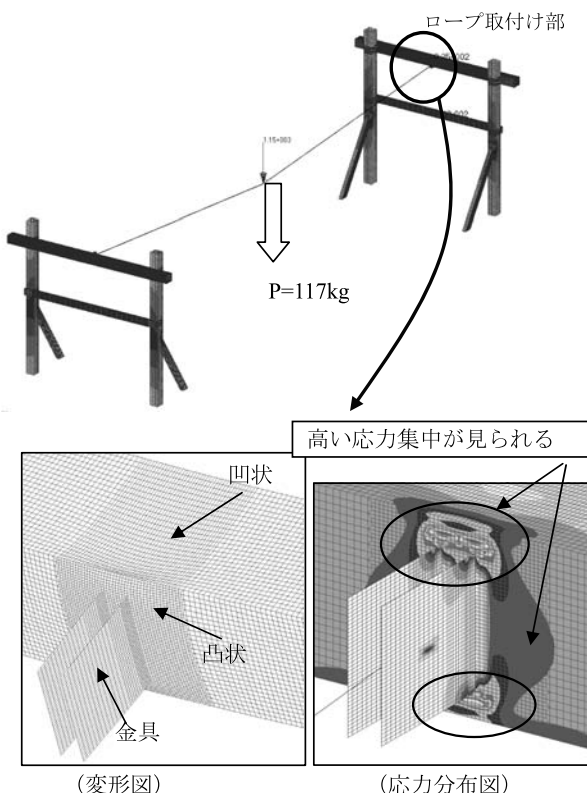


図-1 FEM解析による遊具に作用する応力の推定