

吊橋主ケーブルの挙動による管理路取付けボルトの破断原因

本州四国連絡高速道路 正会員 ○大川 宗男
 本州四国連絡高速道路 正会員 宮口 典博
 (社) 日本建設機械化協会 正会員 小野 秀一

1. はじめに

瀬戸中央自動車道の海峡部9.4kmに架かる瀬戸大橋は、3つの長大吊橋、2つの長大斜張橋、1つの長大トラス橋とそれらを結ぶ高架橋で形成される道路・鉄道併用橋であり供用開始後22年を経過している。この長大吊橋の主ケーブルに設置されている維持管理用階段の取付けボルトで破断が確認された。破断面の目視観察から疲労破壊の特徴であるビーチマークが確認されたが、疲労に至った主たる作用外力の種類を推定することを目的に詳細調査を実施した。本文では、電子走査型顕微鏡(SEM)による詳細観察及び列車や風荷重による主ケーブルの変動データの検討結果について報告する。

2. 破断ボルトの概況

ボルトの破断は、図-1に示すように吊橋塔頂部の維持管理用階段ケーブル固定ボルト側で発生し、固定部には、ケーブルの変位による階段と取付け部の相対的な変位を吸収させるためのゴム板が設置されている。また、階段の塔側はヒンジ構造のため、ケーブルの上下方向の変位によりボルトには橋軸方向の曲げが作用する状態となっている。なお、この取付けボルト(M16×L140:材質SUS304)は、供用開始6年後の基本点検で緩みが確認されたことから再締付けが行われ、さらに14年後にボルト交換を行ったが、それから約7年が経過した時点で破断に至っている。



図-1 維持管理用階段

3. 破断面の目視観察結果

破断したボルトの外観および破断面に残されている破

断形態に応じた特有の模様を観察することによって、ボルトの破断原因及び外力の作用状況を推定することとした。図-2に観察結果を示す。

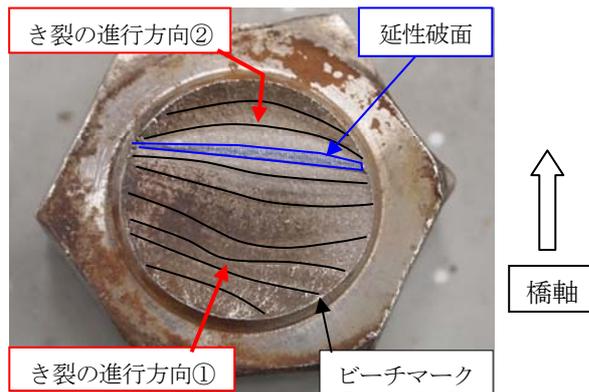


図-2 破断面と観察結果のスケッチ
 観察結果を要約すると、以下の内容であった。

- ①.疲労の特徴的様相であるビーチマークが見られることから、ボルトの破断原因は疲労である。
- ②.き裂の起点は2箇所あり、ボルトの軸に対して直角方向(前後あるいは左右)に交番して繰返される両振りの曲げによる疲労であると推定される。
- ③.破断面の中央部に延性破面が見られるが、全破断面積に占める割合が小さいことから、非常に小さい繰返し応力による破断現象であったと推測される。
- ④.き裂の起点付近にはサビが見られるが、最終破断部である延性破面の周辺にはサビが見られないことから、き裂が発生し破断に至るまでの進展の速度は遅かったものと考えられる。③で述べたように応力が小さければ、き裂の進展も遅いと考えられ、これらの二つの現象は互いに裏付けされた結果を示していると言える。

4. 破断面のSEMによる調査結果

き裂の進展速度が変化することで現れるビーチマークの本数とボルトの使用期間(約7年)から、図-3の破断メカニズムに示すようなケーブルの挙動に伴うボルトの曲げ応力の変化によって破断が生じたものと考えられる。疲労の場合、荷重1回の繰返しごとにストライエ

キーワード: 疲労, 破断, ケーブル挙動

連絡先: 〒762-0025 香川県坂出市川津町下川津 4388-1 本州四国連絡高速道路 坂出管理センター TEL (0877) 45-5511

ーションと呼ばれるミクロな縞模様が破面に残される。
 そこで、ストライエーションの間隔を詳細に調査することにより、ボルトに作用した荷重の繰り返し回数及び種類を推定することとした。

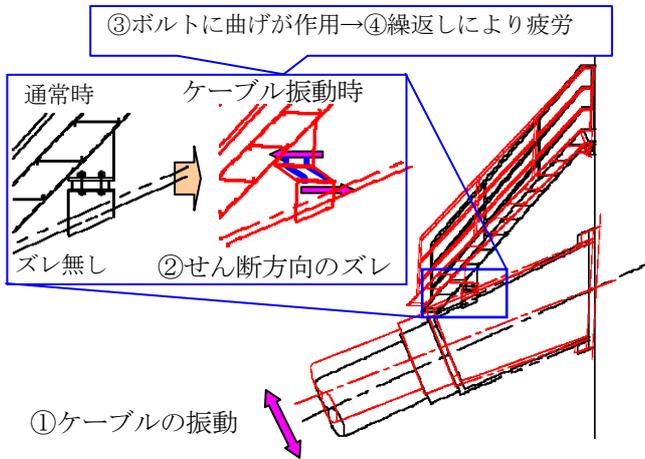


図-3 ボルトの破断メカニズム

SEM観察に先立ち調査した結果は図-4 に示すように 10本のビーチマークが確認され、その間隔は 0.54~1.78mm、太さは計測できた②~⑤で 0.06~0.09mmであった。

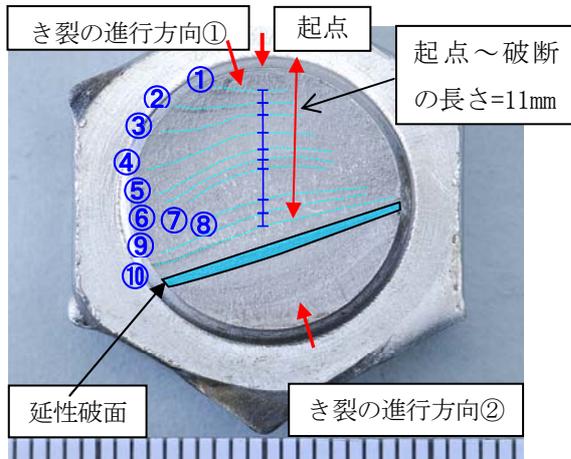


図-4 酸洗後の破面とビーチマークの観察結果

SEMによる観察箇所は、き裂の起点部、ビーチマーク部及びビーチマーク間を各 2箇所計 5箇所とし、代表的なストライエーションの最小間隔(赤色)の測定を行った。また、比較的間隔の大きいストライエーション(青色)についても測定した。表-1に測定結果、図-5に観察結果を示す。

表-1 ストライエーション間隔の測定結果

測定箇所	間隔(μm)	平均値	備考
①き裂起点部	-	ビーチマーク部	測定不可
②ビーチマーク部	0.050	0.054 μm	
③ビーチマーク間	0.060	ビーチマーク間	
④ビーチマーク間	0.052	0.056 μm	0.33 μm
⑤ビーチマーク部	0.057		0.47 μm

注釈) 備考欄の数値は青色のもので、間隔が大きいことから微小な複数のストライエーションが潰れて1本に合体したものとも考えられる。

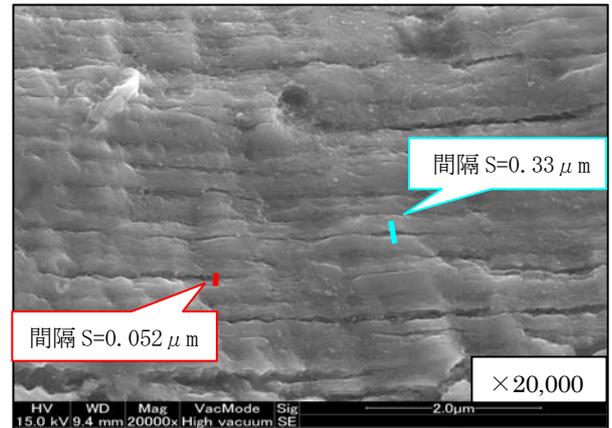


図-5 ストライエーション間隔結果(測定箇所④)

5. 破断原因の推定

ストライエーションの平均間隔が 0.055 μm であり、破断面の長さが 11mm であったことから、き裂が生じてから破断に至る繰り返し回数を推定すると、20 万回 (11mm/0.055 μm) となる。

ここで、荷重の大きい列車荷重による回数を算定すると 7年間で約 40 万回 (155 本/日) となり前述の 2 倍に相当する。ボルトの破断に至るまでの疲労寿命は、き裂発生寿命とき裂進展寿命の合計であり、列車荷重のみを想定した疲労寿命では、約 20 万回の繰り返しでき裂が発生し、その後約 20 万回 (約 3.5 年) でき裂が進展し破断に至ったと考えることができる。

一方、風荷重による影響については、これまでの動態観測結果より台風時など風速 30m 以上の突風が連続して吹いた場合でも、列車通過時(旅客 6 両編成)と同程度のたわみが生じることが確認されている。これらの強風の作用日数による繰り返し回数は、列車荷重以上に発生すると推定された。その回数は、約 25 万回/年とストライエーションから推定したき裂進展寿命より大きい。このことから、き裂が生じてから破断に至るまでの破断寿命は 1 年以下であったと推測される。

6. まとめ

ボルトの破断原因について調査・検討した結果、風荷重及び列車荷重が複合的に繰り返し作用したことが、ボルトの疲労破断に影響を及ぼしたと考えられる。