

UME-319	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） T.L.M.Morgado, and A.Sousa e Brito : Case Studies in Construction Materials 3 (2015) 40-47		本資料の作成者名 梅村文夫
整理番号	資料のタイトル A failure analysis study of a prestressed steel cable of a suspension bridge		
失敗事例のタイトル 腐食に起因する疲労強度の低下が原因となったつり橋の倒壊		一次原因（材料要素） 腐食（孔食）、応力腐食割れ、腐食疲労	
機種 つり橋	部品 ケーブル	材料 炭素鋼（高強度鋼）	使用環境 大気中（川水が飛散する）
損傷発生時の状況 ポルトガルの中心部の川を横切るつり橋を支えている 12 本のケーブルの内、1 本のケーブルが損傷を受け強度を失い、橋が倒壊し、交通機能が長期間に渡って不能となった。各ケーブルは 8 4 本のワイヤー（撚線）からなり、各ワイヤー径は 4.5~4.65 mm、長さは 1950 mm であった。幾つかのワイヤーでは、酸化や腐食が激しく生じ、孔食の発生が見られ脆性破壊の様子を呈して損傷しており、他のワイヤーはカップ・コーン形態の延性破壊によって破断していた。 なおつり橋は、川水の飛散を浴び、腐食環境に晒されていた。			
調査内容とその結果 ワイヤーの金属組織に関する顕微鏡観察を実施したが、損傷を受けて破損した部分と、破壊を免れた非破損部（破損部から離れた健全部）において、いずれも炭素鋼の通常の金属組織を示しており、両者間に相違は見られなかった。また、破損の原因となりえるような金属欠陥（製造過程あるいは加工過程で生じる欠陥）は存在してなかった。破面観察の結果からは、損傷ステップは次のように推測された。すなわち、ケーブル内の多数のワイヤーが腐食され、かつ割れを発生し、残りのワイヤーが負荷応力に耐えられず延性破壊を起こした。 実験的に、あらかじめ水道水に曝し腐食を生じさせた（実機つり橋のワイヤーの状況を模擬した）ワイヤーと健全なワイヤーについて、疲労試験を行った。その結果、あらかじめ水道水に曝し腐食を被ったワイヤーの疲労強度は著しく低下した。 ワイヤーの強度試験は、降伏強さは 1652MPa、最大引張り強さは 1899MPa を示し、ワイヤーは高強度材の特性を示していた。			
損傷発生のシナリオ ワイヤーの一部は、川水の飛散水に曝され、孔食を発生するとともに、疲労強度が低下し、孔食を起点として応力腐食割れ及び腐食疲労を生じた。その結果、残存していた健全なワイヤーは負荷荷重に耐えられず、延性破壊を生じ、ケーブルは強度を失い、つり橋が倒壊した。			
対策（損傷発生時にとられた対策あるいは現在とるべきと考えられる対策） ケーブルに、耐食性と耐久性のある被覆管を使用する。			
教訓 ワイヤーの疲労強度は、腐食（孔食）の発生により、著しく低下する。			
備考 本事例の原文では、損傷原因の 1 つとして応力腐食割れを挙げている。ところで、腐食防食学会出版の腐食・防食ハンドブックによると、引張強度が 1200MPa 以上の高強度材は水素が関与する遅れ破壊感受性を示すようになり、強度が増すほど遅れ破壊感受性が增大するとされている。原文で、損傷原因のひとつについて応力腐食割れと判断しているが、遅れ破壊の事を意味していると推測される（データ採録者加筆）			
主要因		教訓とすべき対象者	
チェックボックス		チェックボックス	
<input type="checkbox"/>	当時の技術レベルでは不可抗力	<input type="radio"/>	設計者
<input type="checkbox"/>	情報伝達不備・不足	<input type="radio"/>	製作者 / 建設担当者
<input type="radio"/>	担当者不勉強/教育不十分/意識不測	<input type="checkbox"/>	検査者
<input type="checkbox"/>	指示ミス	<input type="radio"/>	使用者
<input type="checkbox"/>	うっかり、ぼんやり	<input type="checkbox"/>	メンテナンス者
<input type="checkbox"/>	その他	<input type="checkbox"/>	その他

2 ページ以降に写真、図表等を添付してください