

長期暴露した高強度鋼線の水素吸蔵量測定

本州四国連絡高速道路（株）

正会員 荻原 勝也

正会員 花井 拓

1. はじめに

吊橋ケーブル用高強度亜鉛めっき鋼線を含む高強度鋼においては、鋼中に吸蔵された水素量によって引張強度より低い応力で割れを生じることがあり、水素脆化あるいは遅れ破壊と呼ばれている。明石海峡大橋や来島海峡大橋のケーブルには、従来のものよりも高強度である引張強度 $1,760\text{N/mm}^2$ の鋼線が開発され使用されているが、この鋼線については、設計上見込んでいる応力では遅れ破壊が生じないことが確認されている¹⁾。一方で、実環境においてどの程度の水素が鋼線内に吸蔵されるかという知見は少ないため、実環境において長期間暴露を行い、水素吸蔵量を計測した。

2. 暴露試験体

試験体は、線径 5.23mm の $1,760\text{N/mm}^2$ 級亜鉛めっき鋼線のめっきを除去し平滑に仕上げたもので、長さ 30cm の鋼線試験体と、約 5mm の長さに切り出したチップ試験体を、平成 14 年 2 月 5 日より明石海峡大橋補剛桁内の管理路（神戸側アンカレイジから約 190m の地点）に暴露している。試料採取は暴露開始から 10 年以上経過した平成 24 年 8 月 27 日に実施した。回収した試験体は、試験までの間に水素の浸入・放出がないように、液体窒素中にて保管した。回収前の試験体の暴露状況を写真-1 に示す。一部の試験体は、暴露開始の 1 ヶ月、3 ヶ月、1 年及び 3 年後に回収されている。今回回収した試験体は、いずれも長期間の暴露により、表面に厚く錆層が生成した状態であった（写真-2）。



写真-1 試験体暴露状況（回収前）



(a) 素線試験体



(b) チップ試験体

写真-2 回収した試験体の状態

3. 水素吸蔵量測定

水素吸蔵量の測定には、図-1 に示す大気圧イオン化質量分析計（略称：API-MS）を使用した。測定条件は表-1 の通り。素線試験体は、約 5mm 長さの分析用チップを湿式切断により切り出した 3 試料、チップ試験体は、回収した 3 試料を試験対象とした。いずれの試験体も、分析前に表面錆層を研磨によって除去した。

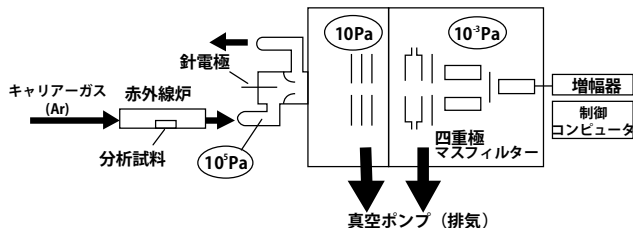


図-1 大気圧イオン化質量分析計の概要図

表-1 水素吸蔵量測定条件

測定温度範囲	20～500℃
昇温速度	12℃/分
測定タイミング	30 秒ごと（6℃ごと）

キーワード 高強度鋼線、水素脆化、遅れ破壊、拡散性水素、ケーブル

連絡先 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 本州四国連絡高速道路株式会社
TEL 078-291-1071 FAX 078-291-1087

図-2、図-3 に測定結果を示す。図の左側縦軸は水素放出速度である。遅れ破壊の原因となる鋼中に吸蔵された水素は、応力集中部に拡散移動・濃化することから拡散性水素と呼ばれ、亜鉛めっき鋼線を加熱することによって、200℃程度以下で放出される水素量（拡散性水素量第1ピーク）と200～400℃程度で放出される水素量（拡散性水素量第2ピーク）に区分される。拡散性水素量第1ピークは遅れ破壊に直接影響するが、第2ピークは直接的に関与しないとの報告がなされている²⁾。今回の分析結果では、水素吸蔵量が小さく、明確な水素放出ピークは確認されなかった。

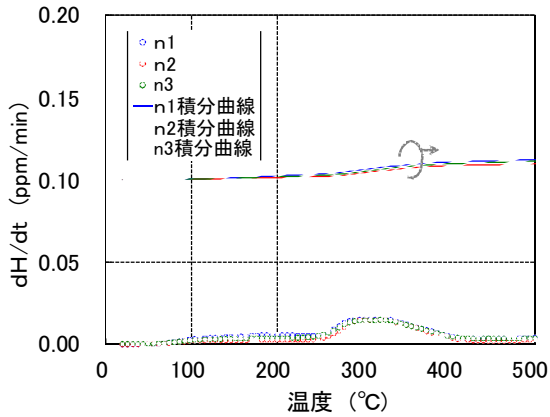


図-2 暴露試験体（素線）の水素昇温分析結果

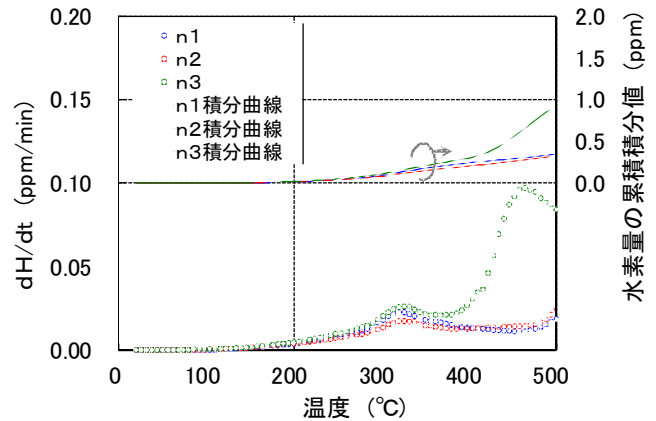


図-3 暴露試験体（チップ）の水素昇温分析結果

また、図-2、図-3 の水素放出速度を、20～236℃まで積分したものを第1ピーク、236～362℃まで積分したものを第2ピークとし、全ての試験体の平均をとったものを図-4 に示す。同図には、これまでに回収して実施した調査結果もあわせて横軸を暴露期間として整理している。図より、水素吸蔵量は、10年間の暴露期間を通じて増加が無かったことが分かる。同図には、文献3)に示される、遅れ破壊発生限界水素量（約0.55ppm）もあわせて示しているが、本暴露供試体での計測結果は、遅れ破壊に影響しない第2ピークを足しあわせてもその半分以下となっている。

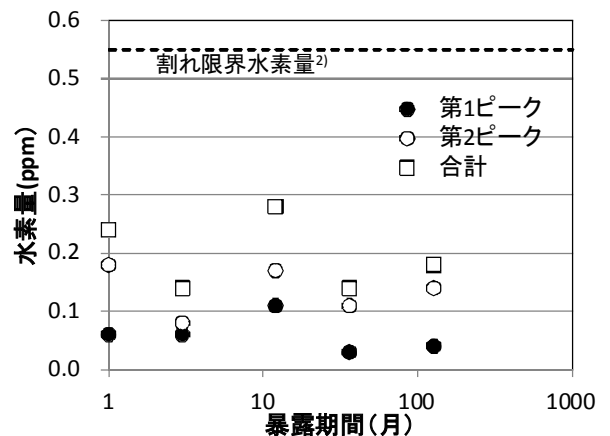


図-4 水素吸蔵量と暴露期間の関係

4. まとめ

亜鉛めっきを除去し10年間暴露された高強度鋼線においても、吸蔵される水素量は遅れ破壊を生じさせるレベルよりもかなり低いことが分かった。また、文献1)では、陰極チャージによって水素吸蔵を促進しながらの引張試験を実施し、1,760N/mm²鋼線（許容応力度800N/mm²）が1,470N/mm²で遅れ破壊を生じているが、その際の水素吸蔵量は約1ppmであることを確認している。これに比べても、大気中暴露による水素吸蔵量はかなり小さい値であるため、遅れ破壊については問題にならないと考えられる。

参考文献 1) 秦健作、森下尊久、遠山直樹：吊橋ケーブル用高強度亜鉛めっき鋼線の遅れ破壊に対する安全性評価、本四技報、Vol.29、No.105、pp863-868、2005

2) 高井健一、綿貫隆、野末章：高強度鋼の遅れ破壊に無害なトラップ状態の水素の抽出、材料とプロセス、vol.14、No.3、2001

3) T. Tarui, N. Maruyama, T. Eguchi, S. Konno: Development of High Strength Galvanized Steel Wire for Bridge Cable, 2001 IABSE Conference on Cable-Supported Bridge in Seoul, 2001