

トンネル天井板吊り材の損傷原因の調査

首都高速道路(株)	正会員	○小西	由人
首都高速道路(株)	正会員	若林	登
(一財)首都高速道路技術センター	正会員	大住	圭太
(一財)首都高速道路技術センター	正会員	村野	益巳

1. はじめに

首都高速 1 号羽田線の羽田トンネルでは、プレキャストコンクリートの天井板がステンレスボルト (旧 JIS 規格の SUS7. 現 JIS 規格の SUS304 とほぼ同等の材料成分. 以降, 吊り材と称す.) によりトンネル上床版より設置されていた (図-1).

2012 年 12 月 2 日に発生した笹子トンネル天井板落下事故後, 羽田トンネル天井板を撤去したが, 2 本の吊り材の破断を確認したため, 破断原因について調査することとした. 本稿は, この調査結果について報告する.

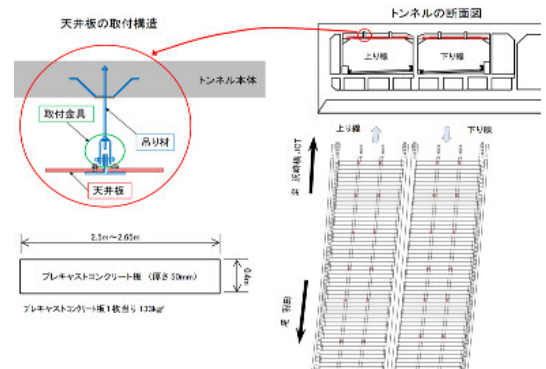


図-1 羽田トンネルおよび天井板構造概要

2. 調査内容

破断原因究明の目的で, 最初に入手(天井板撤去前)できた 1 本の破断した吊り材について, その破面を走査型電子顕微鏡にて調査した. その後, 後述するその結果報告を踏まえ同吊り材の断面観察などの追加調査や天井板撤去後に入手したもう 1 本の吊りボルトの破断原因の追加調査を実施した. また, 破断していない吊り材 3 本についても, 健全性確認の目的であわせて追加調査を実施した. 実施した試験項目は以下のとおりとなる.

(1) 破面観察

破断部の外観を観察した後, 破断面の破面形態を走査型電子顕微鏡 (以降 SEM と称す) で観察した. 撮影倍率は 30 倍, 100 倍, 500 倍, 2000 倍で実施した.

なお, 最初の調査では, 破断した吊り材により本観察のみを実施した.

(2) 断面観察

各吊り材の中心を縦方向に切断し, 切断面を鏡面研磨しエッチングして観察した. 観察は金属顕微鏡で撮影倍率を 12.5 倍～200 倍で実施した.

(3) 吊り材成分分析

吊り材の材料は, しゅん功図面において旧 JIS 規格の SUS 7 と確認できたが, 製造時期が古いことから材料成分のばらつきの可能性も考慮したため実施した. また, 破断部と非破断部での成分に違いがあるのではないかと考えての実施でもある. 具体的には分析方法は, C, S の分析については燃焼赤外線吸収方法により, Si, Mn, P, Cr, Ni は蛍光 X 線分析法によりそれぞれ実施した.

(4) 付着物成分分析

吊り材の表面に堆積した付着物の分析を実施した. 無機分析として電子線マイクロアナライザー (EPMA) により実施した.

3. 調査結果

調査の結果, 破断した吊り材の原因は応力腐食割れに起因したものと確認された. また, 破断していない吊り材および破断していた吊り材の非破断部についても, ごく微細ではあるが吊り材ねじ部において応力腐食割れが発生していることが確認された. 応力腐食割れは, 材料, 環境, 引張り応力の三要素が揃った場合に発生

キーワード 天井板, 吊り材, オーステナイト系ステンレス鋼, 塩化物, 引張り応力, 応力腐食割れ

連絡先

〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 (日土地ビル) TEL 03-3502-5676

すると報告されているが、材料と環境の組合せとしてオーステナイト系ステンレス鋼と塩化物の存在がよく知られており、化学プラント等で多く発見されている事象で、道路構造物の事象は同様の報告はほとんど事例がない。代表として、破断した吊り材の1本の調査結果、および破断していない吊り材の調査結果をそれぞれ以下に示す。なお、これら吊り材の概要および調査箇所等をそれぞれ図-2、3に示す。

(1) 破面観察結果

破断した吊り材の破面観察結果の代表例を図-4に示す。応力腐食割れの特徴的な破面形態のファンシェーブトパターン（羽毛状模様あるいは流れ模様）であることが確認された。

(2) 断面観察結果

a) 破断部の断面観察結果

破断した吊り材における破断部付近の断面観察結果の代表例を図-5に示す。写真左は、エッチング後の撮影倍率が12.5倍の写真であり、上方が破断部である。応力腐食割れ特有の樹枝状に分岐したひび割れ状のき裂が確認された。

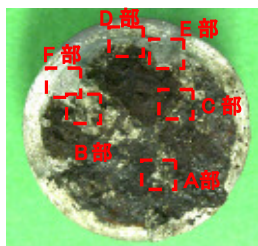


図-4 破断した吊り材の破面観察結果

(左) 破面観察箇所位置図, (中) 破面 A 部 (×500), (右) 破面 B 部 (×500)

b) 破断していない吊り材の断面観察結果

破断していない吊り材における断面観察結果の代表例を図-6に示す。そもそも破断部付近との状態の違いを明らかにするために本調査を実施したのだが、ごく微細ではあるが破断部同様応力腐食割れ特有の樹枝状に分岐したひび割れ状のき裂が確認された。

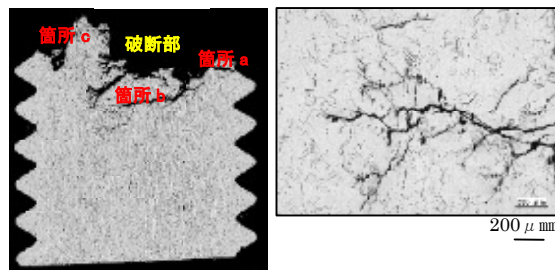


図-5 破断した吊り材の断面観察結果

(左) 断面状況 (×12.5),

(右) 代表断面 B 部における撮影状況 (×50)

(3) 吊り材成分分析結果

(1)および(2)の結果を踏まえ、応力腐食割れであることの検証を目的とし本分析を実施した。いずれの吊り材も図面どおりSUS7であり、オーステナイト系ステンレス鋼であることが確認された。

(4) 付着物成分分析結果

(3)同様、応力腐食割れであることの検証、破断部と非破断部での違いの確認を目的とし本分析を実施した。分析の結果全ての分析箇所において腐食性作用のある塩素の存在が確認された。

4. まとめ

以上のとおり、天井板の吊り材に応力腐食割れという道路構造物では過去にほとんど報告されていない事象が生じていることが確認された。また、破断している吊り材だけでなく、破断していない部分においても応力腐食割れの事象が発生していることが確認された。

今回の調査を実施するにあたり、一般財団法人首都高速道路技術センター 三木千壽氏に貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝します。

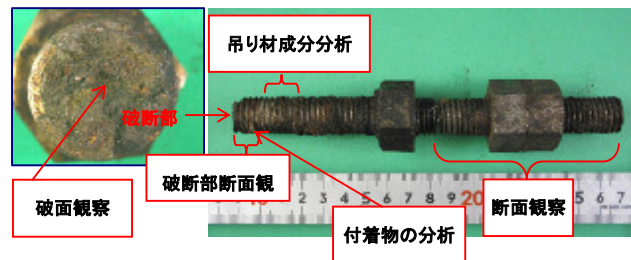


図-2 破断した吊り材の概要および調査箇所

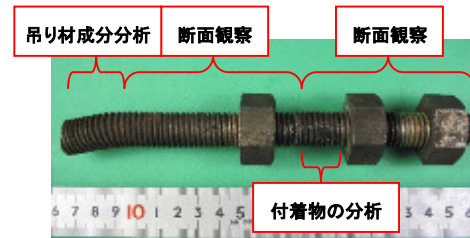


図-3 破断していない吊り材の概要および調査箇所

概要および調査箇所

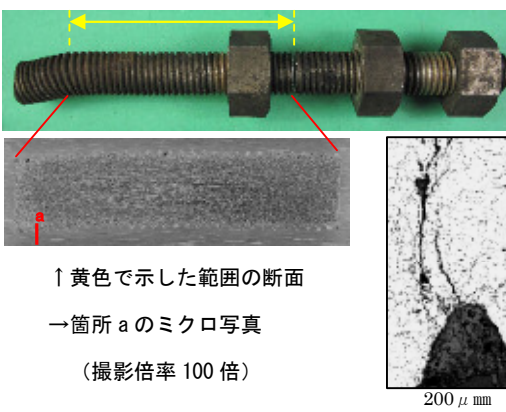
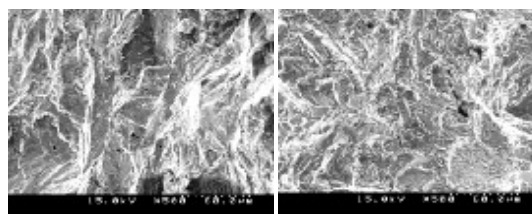


図-6 破断していない吊り材の断面観察結果