

積層ゴム支承における内部鋼板とゴムの接着層の劣化特性評価

阪神高速技術(株) 正会員 ○ 坂本 直太 阪神高速技術(株) 正会員 向井 梨紗
 阪神高速道路(株) 正会員 篠原 聖二

1. はじめに

27年間供用下にあった積層ゴム支承を実橋から取り出してせん断特性試験を行ったところ、せん断耐力の著しい低下が確認された¹⁾。せん断載荷により破壊させた支承の破断面を調査したところ、内部鋼板とゴムとの接着面に錆が発生していることが判明した。本研究ではゴム支承のせん断耐力の低下要因を究明するためにゴムと鋼板の接着に着目し、現地から取り出した支承を解体した上で成分分析等を行い、劣化要因とせん断耐力の低下メカニズムを推定した。

2. 支承解体調査

27年間供用下にあった積層ゴム支承(図-1)を現地から取り出したもの(以下、劣化品)と、劣化品と同じレシピで再現製造された支承(以下、リファレンス)をウォータージェットにて切断解体した。調査対象の支承はせん断載荷試験時に破壊した支承を用いている。

(1)外観観察および錆の分析 劣化品のフランジ部分を詳細に観察したところ、アンカーボルト孔付近が著しく腐食しており、t=2mmの被覆ゴムが容易に剥がれる状態であった(写真-1)。積層部のt=5mmの被覆ゴムを剥がして内部鋼板の側面を観察したところ、一部で錆が確認された(写真-2)。これはオゾン劣化等により被覆ゴムが劣化し、内部鋼板が部分的に腐食したことを示している。

積層部を液体窒素にて冷却し、ゴムと鋼板を強制はく離させて錆の侵食状況を確認した。下フランジに発生した錆は、積層内部に約2cm程度侵食していた(写真-3)。死荷重が作用して圧縮状態にある支承においても錆は積層部まで侵食することが判明した。この錆の侵食は、支承がせん断変形した場合、錆部が先行はく離して応力集中を招き、破壊の起点となった可能性がある。

フランジ部に発生した錆の断面をSEM-EDX(走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型X線分析装置)により元素分析したところ、錆の内部に広く塩素が分布していた(写真-4)。冬期に凍結防止剤が多量に散布される地区に位置していたこの支承は、凍結防止剤に含まれる塩化物の影響で錆が促進された可能性がある。

(2)ゴムおよび接着剤の組成分析 せん断耐力が異なる劣化品とリファレンスにおいて、ゴム材料と接着剤に差異がないか確認するために、ガスクロマトグラフ等の分析装置を用いて組成分析を行った。

ゴムの老化防止剤の定量分析を行った(表-1)。フランジ部のゴムは老化防止剤の量が著しく低下しており、長期間の供用により消費及び漏出してゴムが劣化していた。このことがフランジ部の鋼材腐食を著しく進行させた要因の一つと考えられる。

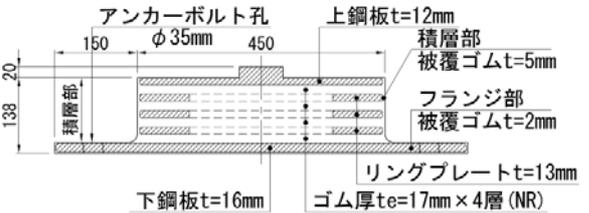


図-1 積層ゴム支承構造図

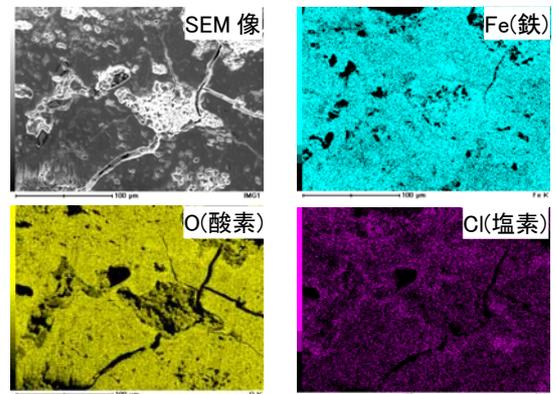
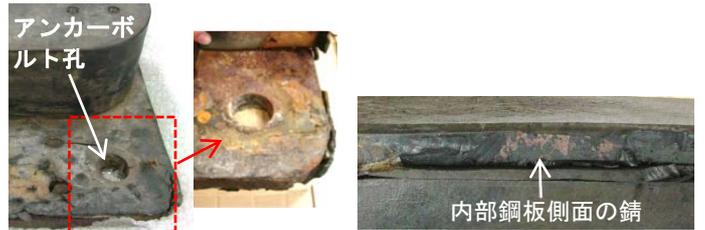


表-1 ゴムの老化防止剤定量分析結果(wt%)

| 項目 | 劣化品 | | リファレンス | |
|----------|---------|---------|--------|------|
| | フランジ部 | 積層内部 | フランジ部 | 積層内部 |
| ADPAL量 | 0.005未満 | 0.26 | 0.22 | 0.37 |
| IPPD量 | 0.005未満 | 0.26 | 0.11 | 0.29 |
| 6PPD量 | 0.005未満 | 0.005未満 | 0.11 | 0.13 |
| パライワックス量 | 0.02 | 0.72 | 0.58 | 0.73 |

キーワード ゴム支承, 経年劣化, 接着層, 内部鋼板, 腐食

連絡先 〒541-0053 大阪市中央区本町2-5-7 阪神高速技術(株)技術部調査点検課 TEL 06-6265-2590

ゴムの配合は一部異なる配合が確認されたものの、基本的な成分は劣化品とリファレンス支承で同様であることが確認できた。

接着剤の成分においても劣化品とリファレンスにおいて同成分が検出され、同様のものを使用していることが確認できた。なお、接着剤の成分を構成する特徴的なものは、プライマーはチタン、接着剤は塩素である。

(3)接着層の分析 接着層に有機物由来の不純物の存在を確認するために、劣化品、リファレンスそれぞれを液体窒素にて冷却し、ゴムと鋼板を強制はく離させた面を FT-IR(フーリエ変換赤外分光光度計)で分析した。いずれの試料からも有機物由来の成分は検出されなかった(図-2)ことから、製造時や供用時に接着層に不純物は混入していないと考えられる。

接着剤とプライマーの厚さおよびケレン状況を劣化品とリファレンスで比較したところ、両者に大きな差はなく(写真-5)、同様の製作が行われたと考えられた。これらのことから、製作時の品質の違いによりせん断耐力に差が生じた可能性は小さいと考えられる。

(4)接着層の劣化分析 接着層が劣化することが考えられたため、接着層内部の主成分である塩素の化学結合状態を XPS(X線光電子分光法)により分析した。試料は劣化品、リファレンスそれぞれを液体窒素により冷却して接着を強制はく離させて接着層から採取した。分析の結果、劣化品は塩素のうち無機塩素由来のピークがリファレンスに比べ相対的に大きいことが判明した(図-3)。これは、接着層内に異種物質が存在することを意味し、接着力の低下を招く要因となる物質が生成された可能性を示唆するものである。

既往の研究²⁾では、金属の腐食による電気化学的作用により接着層に腐食反応生成物が発生し、接着力が低下することを指摘している。既往の研究では腐食反応生成物の特定には至っていないが、今回の分析で確認された無機塩素が腐食反応生成物と考えられる。これが接着層の劣化要因の一つと考えられ、結果的にせん断耐力の低下につながった可能性がある。

3. せん断耐力の低下メカニズム

既往の研究ならびに本研究から判明した内容から、現地から取り出した積層ゴム支承のせん断耐力が低下したメカニズムは以下のようになる可能性が示された。①鋼材を覆っているゴムが劣化し、水分や塩化物によりアンカーボルト孔等の鋼材が腐食しやすい部分から鋼材が腐食する。②鋼材の腐食が進行し、錆が積層ゴム部の内部まで侵食する。③鋼材の腐食により、ゴムと鋼板の接着層が劣化する。④積層ゴムが大きくせん断変形をした場合、積層ゴム部の内部まで侵食した鋼材腐食箇所が破壊の起点となり、接着層が劣化した部分が接着はく離を起し、せん断耐力を失う。

4. おわりに

本研究では、積層ゴム支承のせん断耐力が低下した要因を究明するために、現地から取り出した支承の解体調査を行った。その結果、積層ゴム部の内部まで進展した内部鋼板の腐食箇所が破壊開始の起点となり、さらに内部鋼板とゴムの接着層の劣化により接着はく離が生じ、せん断耐力を失った可能性がある。

参考文献 1)濱野ら:経年劣化ゴム支承の載荷試験による残存性能の調査,土木学会第 69 回年次学術講演会, I -315,2014 2)飯泉信吾:腐食環境におけるゴム/金属加硫接着体の耐久性,日本ゴム協会誌 65,96,1992

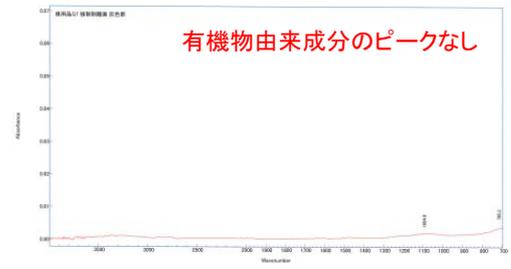


図-2 劣化品の接着層の FT-IR 結果

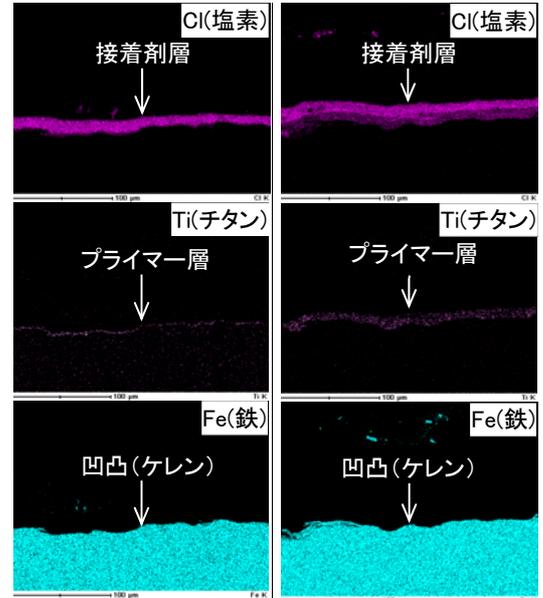


写真-5 接着層断面の SEM-EDX 結果

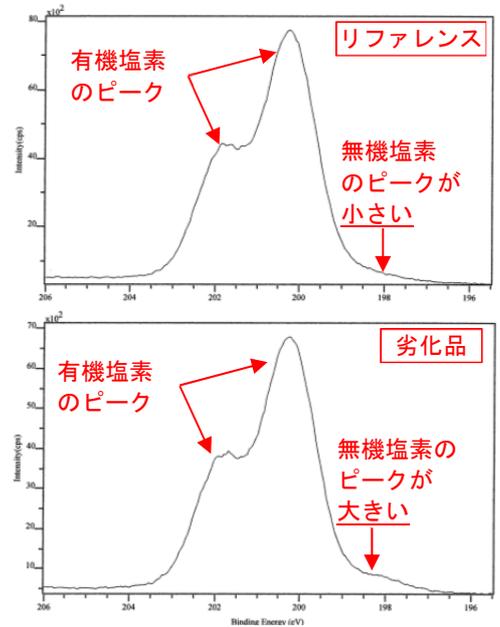


図-3 接着層の XPS 結果