

長期屋外暴露された鋼板接着工法に用いるエポキシ樹脂系接着剤の耐久性評価

ショーボンド建設（株） 正会員 ○山崎 大輔
東京工業大学 正会員 岩波 光保
阪神高速道路（株） 正会員 伊佐 政晃

1. はじめに

橋梁の床版補強工法である鋼板接着工法では、補強用鋼板と既設床版を一体化させる目的でエポキシ樹脂系接着剤が使用されている。これまで、道路管理者により、エポキシ樹脂系接着剤の耐久性を評価する目的で、工事に使用された接着剤の試験体を屋外に暴露し、定期的に材料試験が行われてきた。その結果、経年とともに強度が低下することが確認された¹⁾。しかし、実構造物に施工された鋼板接着部分は剥がれなど少なく、良好な状態を保っており、暴露試験体と実構造物との相関は見られていなかった。暴露試験体の強度低下の原因を把握することは、実使用される接着剤の耐久性を考えるうえで有用な情報となり、また、社会インフラの長寿命化技術の信頼性向上に役立つものと考えられる。そこで、暴露試験体の強度低下の原因について検証した。

2. 試験体の種類と暴露条件

暴露された試験体は、鋼板接着工法に用いられたアミン系の二液性エポキシ樹脂系接着剤であり、関西地方の都市部で 30 年以上屋外にて保管されていた。写真 1 に示すような専用の保管庫に静置されており、日光および雨は直接当たらないが、側面に金網が設置されており、大気が循環される状態であった。



写真 1 保管庫

3. 試験体の経年変化

暴露開始以降、数年ごとに材料試験が行われており、最長 30 年程度の試験結果を得ている。暴露開始から 10 年程度までは強度増進傾向を示したが、それ以降、圧縮強さは緩やかな低下傾向を示し、引張せん断強さは保持されていた。一方で、曲げ強さと引張強さは明らかに低下傾向を示し、30 年程度経過時点での強度は、最小で初期値の 40%程度（曲げ：34.9MPa、引張：22.7MPa）であった。

4. 劣化原因の検証試験

4. 1 水による影響の検証

試験体は、長期間大気暴露されたことで大気中の水分および暴風雨による滞水の影響を受けたことが考えられた。エポキシ樹脂は、一般的に耐水性に優れる素材であるが、吸水初期に軟化し、時間の経過とともに加水分解を受け、劣化が進行する可能性もある。そこで、水の影響を検証するため、現在市販されている同系統のエポ

表 1 試験体養生条件

試験体 No.	養生条件
20℃Air7d	20℃65%RH 環境で 7 日
20℃Air14d	20℃65%RH 環境で 14 日
90℃Air7d	20℃65%RH 環境で 7 日→90℃気中環境で 7 日→20℃65%RH 環境で 24 時間
90℃Water7d	20℃65%RH 環境で 7 日→90℃水中環境で 7 日→20℃真空乾燥環境で 24 時間

キシ樹脂系接着剤を用いて、水中浸漬後の曲げ試験（JIS K 7171）および引張試験（JIS K 7113）を実施した。養生条件を表 1 に示す。なお、劣化促進のために 90℃の水中に浸漬した。また、実暴露試験体の表面から深さ方向の劣化状況を確認するために、表面・界面切削分析装置を用い、みなしせん断強さを求め、強度比較を行った²⁾。

4. 2 硬化過程における内部応力による影響の検証

エポキシ樹脂の特徴である安定した機械的特性を発揮できるのは、3 次元網目構造によるものであり、その形成過程では、①直鎖状生長、②側鎖形成、③網目形成が常に観察される。しかし、アミン系では、反応率 80%付近まではほとんどが①および②の鎖状ポリマーであり、その後に急速に網目形成が行われるとされている³⁾。ところが、網目形成時には収縮し、亀裂、剥離、ボイドの形成、内部応力の発生などの問題発生の可能性が指摘されている³⁾。

キーワード エポキシ樹脂、耐久性、鋼板接着工法

連絡先 〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-17 ショーボンド建設株式会社 TEL 029-857-8101

そこで、試験体に発生している内部応力を確認するために、ASTME837-13aで規格化された穿孔法により内部応力の測定を行った。試験体には、1985年に打設された暴露試験体と経年変化が確認できるように比較用として4.1で使用したエポキシ樹脂系接着剤を用いた。なお、比較用の試験体は、20℃65%RHで7日間養生した。

5. 試験結果と考察

5. 1 水の影響の検証

曲げ強さおよび引張強さの強度変化を図1に示す。20℃気中養生(20℃Air7d, 20℃Air14d)では、材齢とともに強度が増進し、7日以降も反応が継続した。一方、90℃気中養生(90℃Air7d)では、20℃14日(20℃Air14d)よりも強度が小さく、97%程度であった。

また、水中浸漬した試験体(90℃Water7d)では、90℃気中養生(90℃Air7d)の80%程度であり、吸水による軟化および加水分解による劣化が考えられた。次に暴露試験体の表面・界面切削分析装置による測定結果を図2に示す。結果より、表面部分で大きく強度低下していることが確認できた。

5. 2 硬化過程における内部応力による影響の検証

暴露試験体の内部応力測定結果を図3に示す。暴露試験体では、最大で6MPa程度の応力が表面部分に発生しており、この内部応力が暴露体の強度低下の原因であることが考えられた。この内部応力が発生した原因として、接着剤は数日の反応で硬化物を形成するが、さらに時間の経過とともに反応が進行することで網目が形成され、それに伴う硬化収縮により発生する内部拘束力が考えられる。しかし、暴露試験体の引張強さは最大で47MPa程度あり、内部応力だけでは大幅な強度低下には繋がりにくい。一方、比較用の試験体では、表面部分での内部応力は発生していなかった。

6. まとめ

今回の検証によって、暴露試験体は大気中の水分により影響を受け、表面部分の強度が低下し、さらに硬化収縮に伴う内部応力が発生することを確認できた。この表面に発生した低強度層は、内部応力と試験時の外力が集中することで欠陥の起点を形成し、暴露試験体のような大幅な強度低下を引き起こしたものと考えられる。

ただし、現時点での暴露試験体の強度は一般的なコンクリートの強度を十分上回っており、また、鋼板接着工法では、その性能を十分に発揮できる条件での破壊形態は、コンクリートの引張破壊となることが知られている⁴⁾。さらに、使用される接着剤は、鋼板とコンクリート面とに挟まれた密閉状態にあるため、暴露試験体のように水の影響は受け難い。これより、30年経過したエポキシ樹脂系接着剤は、鋼板接着工法用の接着剤としての性能を十分に保持しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 藤田麗, 坂本直太, 鈴木英之: RC床版補修工事に用いるエポキシ樹脂の品質経年変化, 阪神高速道路第44回技術研究発表会論文集, pp.333-336, 2012.5.
- 2) 木嶋芳雄, 西山逸雄: 異種材料界面の諸特性評価システム「サイカス」, 日本接着学会誌, Vol.41, No.6, pp.234-241, 2005.
- 3) 新保正樹: エポキシ樹脂ハンドブック, 日刊工業新聞社, 1987
- 4) 安東祐樹, 浦田美生, 山本健太, 松田浩: 鋼板の接着幅が端部ではなく離現象に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, pp.1603-1608, 2008.6

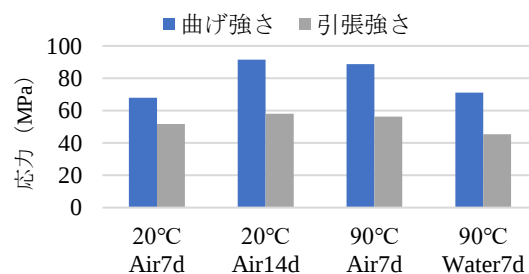


図1 曲げ強さ・引張強さの変化

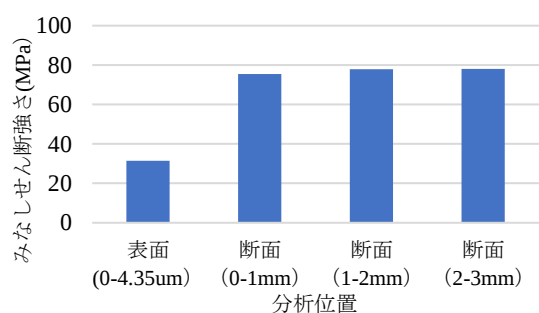


図2 表面・界面切削分析装置によるみなしせん断強さ

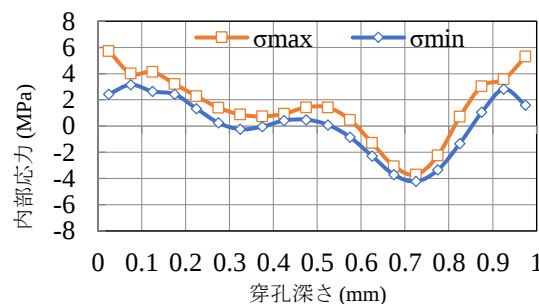


図3 暴露試験体の内部応力測定結果