

高温履歴を受けたあと施工アンカー接着剤の力学特性に関する基礎的検討

土木研究所 正会員 ○富山 禎仁
土木研究所 正会員 新田 弘之

1. はじめに

接着系あと施工アンカーの火災時および火災後の特性については、主に建築分野において、鉄筋コンクリート耐震補強や付属設備吊り下げ用途の定着等を想定した研究事例がある。一方で、トンネル等の道路構造物における火災の規模や特性は一般的な建築物とは大きく異なることが知られているが、この様な構造物における火災を想定したあと施工アンカーの耐火性能に関する検討事例は少ない。そこで、その実験条件を設定するための基礎的検討として、熱重量示差熱分析 (TG-DTA) によりアンカー接着剤の熱的变化を把握するとともに、高温履歴を受けたアンカー接着剤の力学特性について評価した。

2. 実験方法

2.1 アンカー接着剤の熱挙動の把握

火災により高温に曝された時のアンカー接着剤の熱的变化や反応について明らかにするため、熱重量示差熱分析 (TG-DTA) を行った。この分析方法は、試料と基準物質の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、試料の質量や、試料と基準物質との温度差を温度の関数として測定するものである。温度変化に伴って生じる試料の様々な熱挙動 (表-1) を把握することができる。接着系あと施工アンカー製品のうち、「現場調合方式」の有機系アンカー2種類 (いずれもエポキシ樹脂)、「カートリッジ方式」の無機系アンカー1種類 (セメント系) の分析を行った。有機系アンカーは接着剤樹脂を 170×170×2 mm の平板状に成形し、ここから分析試料を採取した。一方、無機系アンカーは、モルタル試験用の金型を用いて 40×40×160 mm の供試体を作製し、ここから分析試料を採取した。TG-DTA 分析では昇温速度 20℃/min、窒素ガス流量 40 mL/min.とした。

2.2 高温履歴を受けたアンカー接着剤の力学試験

トンネル内の車両火災を想定した温度-時間曲線の一つにドイツ交通省「道路トンネルの設備と運用に関する指針」で規定される RABT 曲線があり、覆工コンクリートの耐火性の評価などで採用されるケースが増えている。これは発火から5分で1200℃に達し、その状態が30~60分持続した後、鎮火していく状況を模擬したものである。一方で、コンクリート内部の温度は、火炎に曝される表面から深さ方向に徐々に低下し、深さ 100 mm 程度では200~300℃にとどまるとの報告もある³⁾。あと施工アンカーはコンクリートに埋設した状態で用いられることから、本研究では常温~350℃の範囲における接着剤の挙動について評価することとした。

本研究における温度-時間曲線の例を図-1に示す。供試体の加熱にはマッフル炉を用いた。炉内に供試体を静置した後、室温から設定した最高温度まで約10分で急速に昇温させ、そのまま60分間保持した。その後、約120分間かけて室温まで徐々に冷却し、供試体が完全に常温となってから力学試験に供した。有機系アンカーは170×170×2 mm に成形した平板から40×25×2 mm の供試体を切り出し、試験に用いた。また、無機系アンカーは40×40×160 mm の供試体を用いた。試験時の材齢は、供試体の作製から10日後とした。有機系については JIS K 7171: プラスチックー曲げ特性の求め方に準拠した曲げ試験を行い、曲げ強さによって評価した。また、無機系については JIS R 5201: セメントの物理試験方法に基づき、曲げ強さ、圧縮強さによって評価した。

表-1 試料の熱挙動と TG-DTA 曲線²⁾

熱挙動	TG	DTA	熱挙動	TG	DTA
熱分解	↘	∨	昇華・蒸発	↘	∨
燃焼	↘	∧	転移・融解	—	∨
酸化	↗	∧	結晶化	—	∧
還元	↘	∨	ガラス転移	—	↘

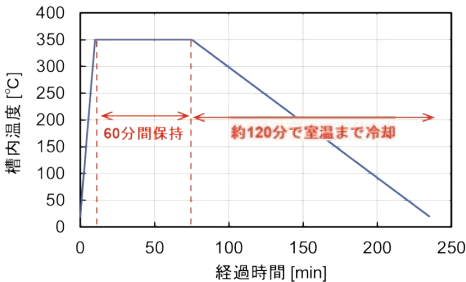


図-1 本研究における温度-時間曲線の例 (設定最高温度 350℃)

キーワード あと施工アンカー, 接着系, トンネル火災, 高温履歴, 熱重量示差熱分析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 (国研) 土木研究所 材料資源研究グループ TEL029-879-6763

3. 実験結果と考察

3.1 アンカー接着剤の熱挙動

各種接着系アンカーの TG-DTA 分析の結果を図-2 に示す。有機系アンカーの接着剤はどちらの製品も 100℃付近から水分の蒸発と見られる質量減少が始まり、250℃付近で吸熱を伴う質量減少、250～500℃付近、500～650℃付近で大きな発熱を伴う質量減少が生じた。エポキシ樹脂 A では 700℃までに全量が焼失した一方で、エポキシ樹脂 B では約 20%の残留が認められた (図-2 (a) (b))。250℃付近より生じた質量減少は、有機成分の熱分解および燃焼に起因する変化であると考えられる。エポキシ樹脂 B では燃焼反応後も成分が残存したが、これは製品に含まれている顔料等の無機成分によるものと思われる。一方、無機系アンカー接着剤は、100℃付近で水分の蒸発によるものと考えられる大きな吸熱反応と質量の減少が認められた (図-2 (c))。その後、試料を昇温させると 300℃、500℃、700℃付近で CaCO_3 の脱炭酸や $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の脱水などによるものと思われる小さな吸熱反応が生じたが、その際の質量減少は小さく、常温から 1000℃までの昇温で減少したトータルの質量は、加熱初期に生じたおよそ 20%程度のみであった。

3.2 高温履歴を受けたアンカー接着剤の力学特性

高温履歴後の各種アンカー接着剤の力学特性を図-3 および図-4 に示す。各水準で 5 回ずつ試験を行った。エポキシ樹脂 A は 200℃までの加熱で強度低下は無く、250℃で一部の供試体の曲げ強さが未加熱の場合の 10%程度まで低下した (図-3 (a))。一方、エポキシ樹脂 B では 150℃においても曲げ強さの低下が認められ、250℃では全ての供試体で未加熱の 40%を下回った (図-3 (b))。エポキシ樹脂 A とエポキシ樹脂 B とでは常温～300℃程度までの TG-DTA 曲線に大きな差異は無かった (図-2) 一方で、高温履歴後の曲げ特性に差が生じたのは、製品による接着剤樹脂の分子構造の違いや顔料等の副資材含有量の違い等によるものと推察される。一方、無機系接着剤は有機系とは挙動が異なり、150℃程度の加熱でも、未加熱の場合の 50%程度まで強度が低下することがわかった (図-4 (a) (b))。無機系アンカーでは、加熱により供試体表面に無数のひび割れが生じたことや、TG-DTA の結果を踏まえると、初期の急速な加熱によって接着剤に含まれる水分が急激に蒸発し、その蒸気圧によって接着剤内部に無数のひび割れが生じ、これにより大幅な強度低下がもたらされものと考えられる。

4. まとめ

一般に、有機系材料は無機系よりも耐熱性が劣るとされているが、今回の実験結果では、200℃程度までの温度条件では、無機系接着剤の方が強度低下が大きい結果となった。今後はこれらの結果を踏まえて適切な条件を設定し、高温時および高温履歴を受けたアンカー接着剤/コンクリートの付着特性等について評価する予定である。

参考文献

- 1) 大和征良, 池田憲一: エポキシ樹脂系注入方式接着系あと施工アンカーの火災時及び火災後の付着破壊強度に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 80, No. 717, pp. 1803-1809, 2015
- 2) 津越敬寿: 分析機器の正しい使い方 熱分析, ぶんせき, No. 516, pp. 568-574, 2017
- 3) 河村圭亮, 福浦尚之, 鈴木三馨, 服部佳文: 火災加熱を受けるコンクリートの変形挙動解析, 大成建設技術センター報, No. 44, pp. 1-7, 2011

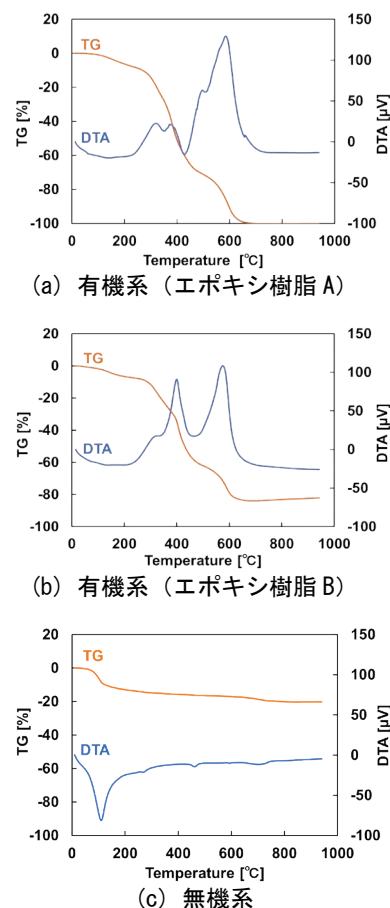


図-2 アンカー接着剤の TG-DTA 曲線

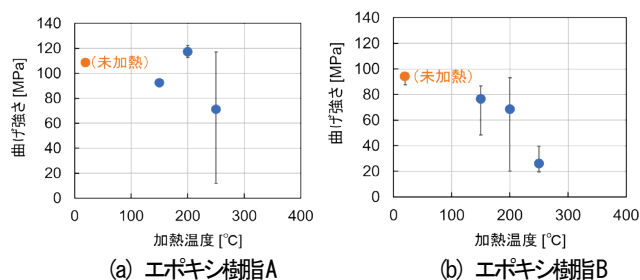


図-3 高温履歴後の有機系アンカー接着剤の曲げ強さ

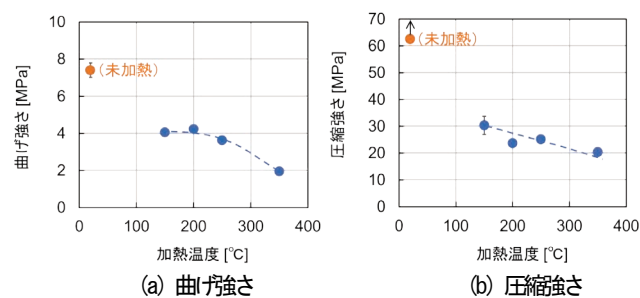


図-4 高温履歴後の無機系アンカー接着剤の曲げ・圧縮強さ