

水酸化カリウム水溶液中における接着系あと施工アンカーの劣化挙動の検討

土木研究所 正会員 ○富山 禎仁
土木研究所 正会員 西崎 到

1. はじめに

接着系あと施工アンカー（以降、接着系アンカーと称す）は比較的容易に定着が可能なことから、今後も土木構造物の付帯施設や耐震補強などに広く用いられるものと思われる。しかし、これらの長期的な挙動については不明な点が多いのが現状であり、さらなるデータの充実が必要である。そこで本研究では、接着系アンカーの試験方法の一つである ACI 355.4-11 を参考に、水酸化カリウム（以下、KOH と称す）水溶液を用いた浸せき試験を実施し、高アルカリ環境下で生じる接着系アンカーの劣化の挙動を検討している。本報では、その中間結果を報告する。

2. 実験方法

市販されている不飽和ポリエステル樹脂系のアンカー1 種類を選び、試験に供した。製品はガラス製のカプセルに接着剤（主剤、硬化剤）と骨材が封入されたタイプであり、これをドリル孔に挿入し回転・打撃を与えて施工する。試験片の母材となるコンクリート（ $\phi 194 \times 150$ mm）は、硬質塩化ビニル管を型枠にして打設した。水セメント比は 70%，材齢 28 日目の圧縮強度は約 23 MPa である。このコンクリート円柱に、上記の接着系アンカーをメーカーの指定する方法（削孔径 14.5 mm，削孔長 100 mm）で打設した。アンカーの接着剤が完全に硬化した後、コンクリート円柱を水平方向に厚さ 25 mm となるように型枠ごとスライスし、これを試験片とした（図-1）。試験片はコンクリート円柱の上面近傍を避け、1 体につき 3 枚ずつ採取した。

作製した試験片は、ポリプロピレン製水槽を用い KOH 水溶液中に浸せきした。環境液の濃度は約 0.2 mol/L で pH 13.2～13.5 程度となるように調製し、液温は恒温恒湿室内で 20℃あるいは 40℃一定で保持した。試験片は、互いに 30 mm 程度の間隔を保つよう、水槽中に立てて静置した（図-2）。所定の時間浸せき後に試験片を取り出し、押抜試験により破壊に至るまでの最大荷重を求めた。押抜試験では厚さ 25 mm，開口部径 16 mm の鋼製反力板で試験片の底部全面を支持し、直径 8 mm の治具で試験片上面からアンカーのボルト部分に荷重を加えた。試験速度は 1 mm/min.とした。20℃，60%RH の気中に 2000 時間暴露した試験片についても同様に評価し、これを「未浸せき」のデータとした。

3. 実験結果と考察

押抜試験で得られた典型的な荷重－変位曲線では、最大荷重に至るまで滑らかな曲線を示す①のパターンと、試験初期の比較的低い荷重で極値を示す②のパターンがあった（図-4）。②を示したサンプルでは、試験初期の比較的低い荷重で接着剤に局所的な破壊が生じたものと推察される。②の荷重－ひずみ曲線は、最大荷重が 10 kN 未満のサンプルで特に多く見られた。

40℃の KOH 水溶液に浸せきした時の、アンカーの最大押抜荷重の経時変化を図-5 に示す。20℃，60%RH の気

キーワード あと施工アンカー，接着系，耐アルカリ性，不飽和ポリエステル樹脂，浸せき試験，押抜試験

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 TEL 029-879-6763

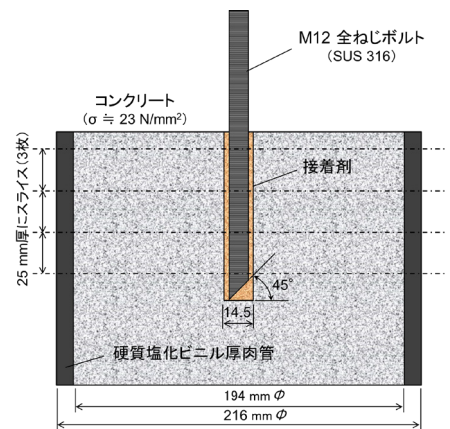


図-1 浸せき用試験片作製方法の概略図



図-2 浸せき試験時の試験片設置状況

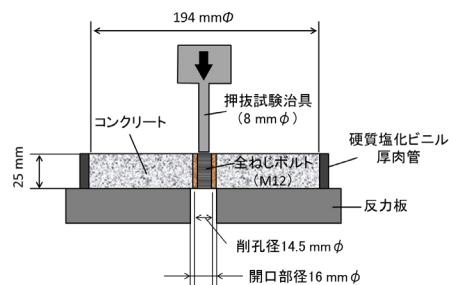


図-3 押抜試験の概略図

中に 2000 時間暴露した試験片の結果については、「浸せき 0 時間」の結果としてプロットした。また、いずれの浸せき時間についても、10 枚の試験片のデータすべてをプロットした。浸せきの有無にかかわらずデータのばらつきは大きく、いずれの浸せき時間においても変動係数は 20~30% となった。荷重-変位曲線のパターンは、1000 時間浸せき後においていずれのサンプルとも図-4 の②となったが、その他は①と②とが混在しており、浸せきによる変化の傾向は認められなかった。各浸せき時間における最大荷重の平均値を比較したが、2000 時間浸せき後においても明確な低下は認められなかった。これは、20℃で浸せきした場合においても同様であった。

KOH 水溶液浸せきによる接着剤の劣化の有無を調べるため、接着剤表面近傍の樹脂について、赤外顕微鏡による化学構造分析を行った。アンカーの接着剤には樹脂、骨材、破碎したガラスカプセルなどが混在しているが、光学顕微鏡により接着剤表面を観察し、樹脂と思われる部分よりサンプルを採取した。図-6 は気中あるいは 40℃ の KOH 水溶液中で 2000 時間経過後の、接着剤表面の赤外吸収スペクトルを示している。いずれのスペクトルにおいても 1730 cm^{-1} 付近に、エステル結合の強い吸収ピークが認められる。これは、不飽和ポリエステル樹脂のスペクトルの特徴の一つである。 40°C に浸せきした接着剤のスペクトルでは、 1730 cm^{-1} 付近の吸収がやや弱まり、 1580 cm^{-1} 付近に新たな吸収ピークの出現の兆候が認められた。既往の研究などから、不飽和ポリエステル樹脂に含まれるエステル結合がアルカリ存在下で加水分解しカルボン酸塩を生じた場合に、同様の赤外吸収スペクトルの変化を示すことが明らかとなっている¹⁾。すなわち、図-6 で示したスペクトルの変化から、 40°C の KOH 水溶液に浸せきしたことにより、接着剤表面近傍の樹脂が加水分解を生じていることが示唆された。既往の知見¹⁾から、加水分解が進行するほど 1580 cm^{-1} 付近のピークは強くなり、逆に 1730 cm^{-1} 付近の吸収は弱まるものと考えられるため、これらの 2 つの吸収ピークの比を指標として利用し、浸せきによる加水分解の程度を評価した(図-7)。この結果、浸せき時間が長くなるにつれて吸光度比は増加する、すなわち樹脂の加水分解の程度が進行する傾向にあることが明らかとなった。2000 時間経過後の結果について比較すると、 20°C 浸せきよりも 40°C 浸せきの方が大きく、環境液の温度が高い方がより促進的に加水分解が進行しているものと思われる。ただし、図-5 の試験結果から、浸せき 2000 時間の時点における樹脂の加水分解の程度は、接着剤の強度低下を生じるほどまでには達していないものと考えられる。

4. まとめ

今後、より長時間の浸せき試験を行うとともに、異なる樹脂系での試験や分析データを取得し、アルカリ環境下での接着系アンカーの劣化メカニズムについて、さらに詳細に検討する予定である。

参考文献

- 1) 例えば Chin, et al. *Polymer Composites*, **22** (22), pp. 282-298, 2001

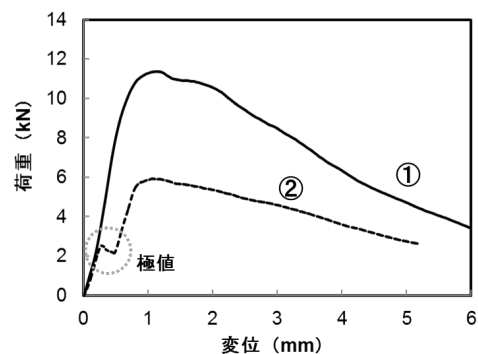


図-4 押抜試験における典型的な荷重-変位曲線

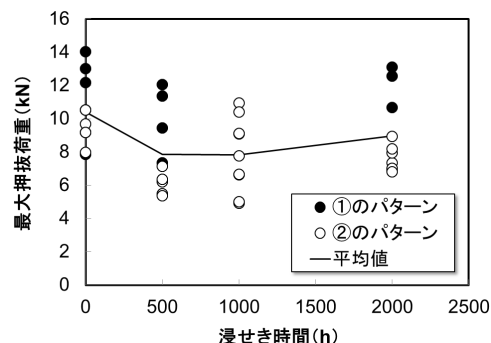


図-5 浸せきによる最大押抜荷重の経時変化

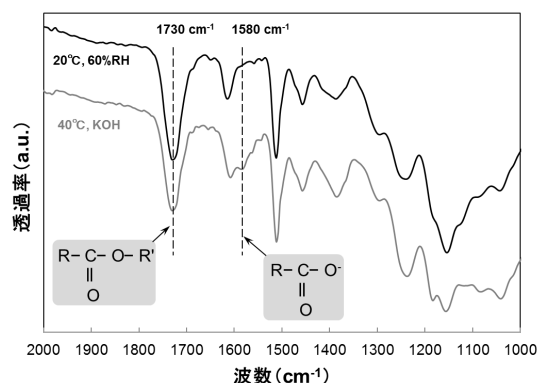


図-6 接着剤表面の典型的な赤外吸収スペクトル (2000 時間経過後)

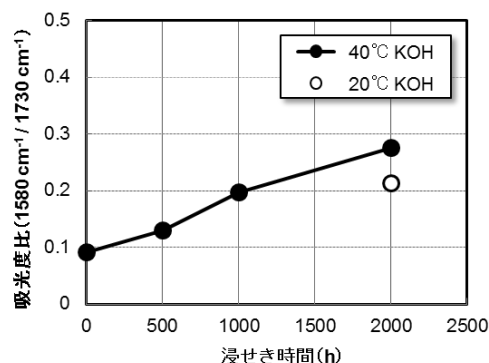


図-7 赤外吸収スペクトルにおける吸光度比の経時変化 (1580 cm^{-1} 付近 / 1730 cm^{-1} 付近)