

(37) 接着系あと施工アンカーの 耐アルカリ性評価方法に関する検討

富山 禎仁¹・西崎 到²

¹正会員 国立研究開発法人土木研究所 材料資源研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:tomiya@pwri.go.jp

²正会員 国立研究開発法人土木研究所 材料資源研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:nisizaki@pwri.go.jp

本報では、コンクリート内部の高アルカリ環境下における接着系あと施工アンカーの劣化挙動と、その試験評価方法について検討した結果を報告する。ACI 355.4-11を参考に、水酸化カリウム水溶液への浸せきによる接着剤の力学特性の変化を、アンカーのスライス試験片の押抜試験によって評価した。また、浸せき前後のアンカー接着剤について赤外線分光分析を行い、接着剤の化学構造の変化を調べた。その結果、40℃で4000時間浸せきした場合においても、接着強さの明確な低下は認められなかった。一方で、接着剤の樹脂成分である不飽和ポリエステルは、水酸化カリウム水溶液によって加水分解を生じることが明らかとなった。加水分解の程度は環境液の温度が高い方が大きく、また、浸せき時間が長くなるにつれ、接着剤表面から内部へ徐々に進行する挙動を示した。

Key Words : post-installed adhesive anchor, durability, immersion test, alkaline fluid, punch test

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、土木構造物においても付帯施設や耐震補強などに広く用いられている。しかし、コンクリート内部におけるこれらの長期的な挙動については、十分に解明されていないのが現状であり、さらなるデータの充実が必要である。

そこで本研究では、コンクリート内部の高アルカリ環境下で生じるアンカー接着剤の劣化挙動を明らかにすることと、その適切な評価方法を提案することを目的として、接着系アンカーのアルカリ浸せき試験を行った。その一部として、接着系アンカーの試験方法の一つであるACI 355.4-11¹⁾を参考に、水酸化カリウム（以下、KOHと称す）水溶液への浸せきによるアンカー接着剤の力学特性の変化を、押抜試験によって評価した。

本報では、スライス試験片の厚さや押抜試験における反力板の開孔孔径等を変えて実験を行い、破壊形態や最大押抜荷重に及ぼす試験条件の影響について検討した結果と、浸せき前後のアンカー接着剤について赤外線分光分析を行い、接着剤の樹脂成分の化学構造変化から、水酸化カリウム水溶液による接着剤の劣化挙動について検討した結果について報告する。

2. 実験方法

(1) 試験片

a) 接着系あと施工アンカー

接着系アンカーは、製品の形態や施工方法、使用されている接着剤樹脂の種類等が異なる、さまざまな製品が市販されている²⁾。本研究ではこれらの中から、ガラス製カプセルに接着剤（主剤、硬化剤）と骨材とが封入された「カプセル方式」の製品を用いた。このカプセルは、ドリル孔に挿入し回転・打撃を与えて施工する「回転・打撃型」である。接着剤樹脂の種類は、ビスフェノール系不飽和ポリエステル樹脂とした。実験に用いた接着系アンカーの製品規格における寸法、強度を表-1に示す。

b) 母材コンクリート

試験片の母材となるコンクリートは、内径194 mm、高さ150 mmの硬質塩化ビニル厚肉管（管厚11 mm）を型枠にして打設した。母材コンクリートの配合を表-2に示す。材齢28日目の圧縮強度は約23 N/mm²であり、これはACI 355.4-11で規定される母材コンクリートの圧縮強度2500～4000 psi（17.2～27.6 MPa）に準拠している。

c) 試験片作製方法

製造メーカーが指定する方法により、母材コンクリートに接着系アンカーを施工した。養生後の母材コンクリ

表-1 実験に用いた接着系あと施工アンカーの寸法と強度（製造メーカーの技術資料より）

外径 (mm)	長さ (mm)	容量 (mL)	アンカー筋	ドリル径 (mm)	削孔長 (mm)	最大引張 強度(kN)	付着強さ※ ² N/mm ²
13	100	10	M12※ ¹	14.5	100	57.4	14.3

※1: SUS304 全ねじボルト 先端斜め45° カット

※2: 有効付着長（削孔長－カット部長）により算出

表-2 母材コンクリートの配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤A	混和剤B
		水	セメント	細骨材	粗骨材		
70	47	163	23.3	87.4	1001	セメント×0.25%	セメント×0.003%

ート上面中央に直径14.5 mm、深さ100mmの孔をハンマードリルで設けてアンカーのカプセルを挿入し、先端を斜め45° にカットした全ねじボルトを挿入しながら、カプセルに回転・打撃を与えて施工した。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型枠ごとスライスし、これを試験片とした。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。試験片の厚さについてACI 355.4-11では1 3/16±1/8インチ（27～33.3 mm）と規定しているが、本研究ではこれに準拠した30 mmと、やや薄い25 mmの2種類について試験し、結果を比較した。これは、カプセル方式の接着系アンカーの場合、製品の寸法に応じてドリル削孔長に制約があり、スライス試験片の厚さを30 mmに設定すると、1本のアンカーからスライス試験片を3枚採取するのが困難となる場合があるためである。接着系アンカー打設後のコンクリート断面と、試験片採取方法の概略を図-1に示す。

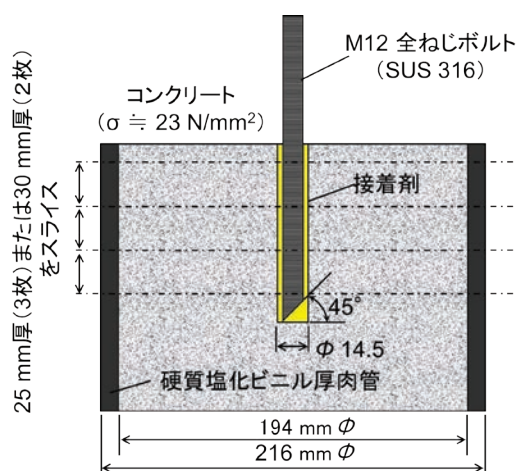


図-1 接着系アンカー打設後のコンクリート断面と試験片採取方法の概略

(2) 薬液浸せき

作製した試験片は、プラスチック製水槽に満たしたKOH水溶液中に浸せきした。KOH水溶液の濃度は約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。浸せき試験時の試験片設置状況を図-2に示す。所定の時間が経過した時点で試験片を取り出し、軽く水洗した後、押抜試験を実施した。押抜試験は、試験片取り出し後から1時間以内に実施した。ACI 355.4-11の規定に準拠し、20℃、湿度60%RHの空气中に暴露した試験片についても同様に評価した。スライス試験片の数量は、一水準あたり10枚とした。

(3) 押抜試験

押抜試験の概略図を図-3に示す。押抜試験は、厚さ25 mmの鋼製反力板で試験片の底面全面を支持し、直径8 mmの治具により、試験片上面よりボルト中心に荷重を加えることにより行った。反力板の開孔部の直径は16, 17, 20, 23 mmとし、結果を比較することとした。押抜



図-2 浸せき試験時の試験片設置状況

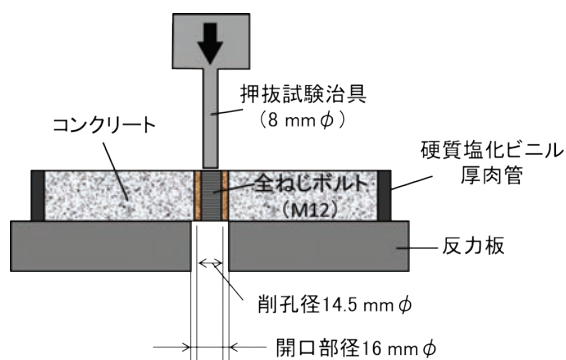


図-3 押抜試験の概略図

試験には万能試験機を用い、試験速度は1 mm/minで行った。破壊に至るまでの最大荷重から、式 (1) により接着強さを求めた。

$$\tau_{dur,i} = \frac{N_{u,i}}{\pi d_a h_{sl}} \quad (1)$$

ここに $\tau_{dur,i}$: 接着強さ (MPa), $N_{u,i}$: 最大荷重 (N), d_a : アンカー径 (mm), h_{sl} : 試験片厚さ (mm)

(4) 赤外線分光分析

赤外線分光分析は、有機化合物の中の炭素同士や、炭素－酸素、炭素－水素などの化学結合の様々な振動による光の吸収が、赤外線域に現れることを利用した化学分析手法である。試料の赤外線（波長800～4000nm程度）吸収スペクトルから、樹脂の種類や劣化の有無に関する情報が得られる³⁾。そこで、押抜試験後の接着剤の表面から採取した少量のサンプルについて赤外線分光分析を行い、薬液浸せき前後における接着剤の化学構造の変化について調べた。

接着剤から得られる試料には樹脂分と骨材分とが混合しているため、光学顕微鏡で観察しながら樹脂分と思われる微量な試料を採取し、これをコンプレッションセルで加圧圧縮することで赤外顕微鏡を用いた透過スペクトルの測定を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 押抜試験における試験片厚さの影響

未浸せきの試験片を用い、押抜試験を実施した。試験片の厚さをACI 355.4-11で規定される範囲内にある30 mmと、これよりもやや薄い25 mmの2種類について試験した結果を図-4に示す。試験片厚さが30 mm、25 mmのいずれの場合においても、接着強さの平均値は11.1 MPaとなった。厚さ30 mmにおける標準偏差、変動係数はそれ

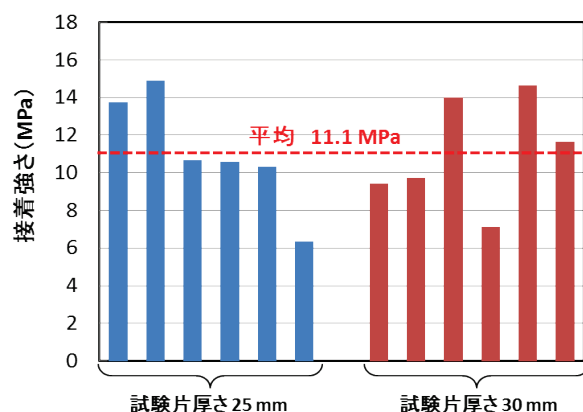


図-4 押抜試験における試験片厚さの影響

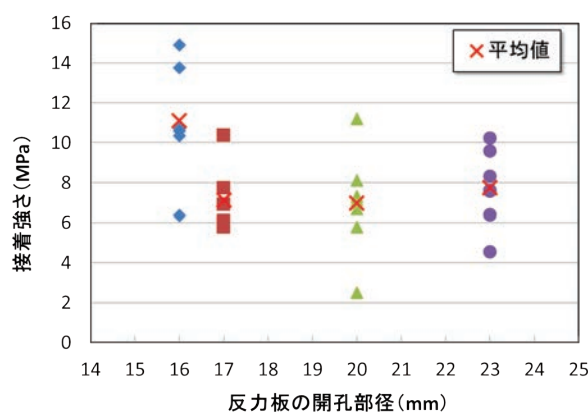


図-5 押抜試験における反力板の開孔部径の影響

ぞれ2.9 MPa、0.26である一方、厚さ25 mmの場合の標準偏差、変動係数は3.0 MPa、0.27であり、ほぼ同じ結果となった。これらの結果に基づき、以降の実験については、ACI 355.4-11の規定外である25 mm厚の試験を用いて行うこととした。

(2) 押抜試験における反力板の開孔部径の影響

ACI 355.4-11では、押抜試験における反力板の開孔部径については、特に規定が無い。そこで、未浸せきの試験片を用い、反力板の開孔部径を変えて押抜試験を実施した。その結果を図-5に示す。反力板の開孔部径が大きい場合、アンカーの接着強さは低くなり、開孔部径16 mmの接着強さは平均で11.1 MPaであるのに対し、開孔部径17、20、23 mmではいずれも平均で7～8 MPaとなった。開孔部径17、20、23 mmで試験を行った場合、図-6に示すように、試験片底面近傍で母材コンクリートが円錐状に破壊する「コーン状破壊」が認められた。これは、押抜せん断破壊において特徴的に見られる破壊形態であ

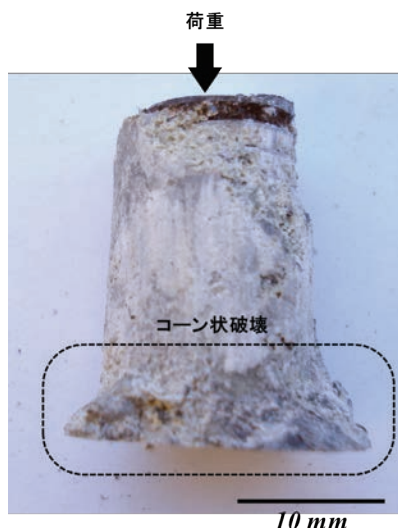


図-6 押抜試験後のアンカーに認められるコーン状破壊（開孔部径23mm）

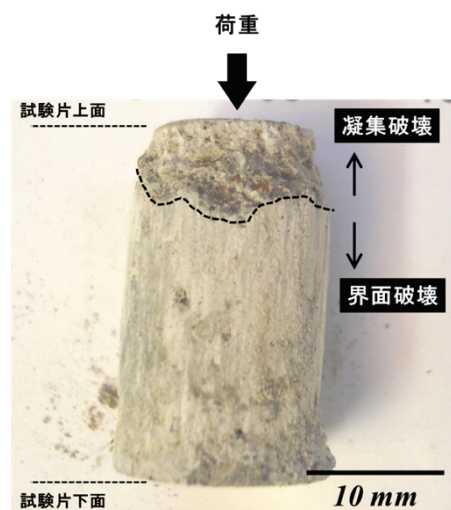


図-7 押抜試験後のアンカーの典型的な外観（開孔部径16mm）

る。コーン状破壊部の水平投影面積は反力板の開孔部とほぼ一致しており、開孔部が大きくなるにつれてコーン状破壊の規模も大きくなった。このことから、反力板の開孔部径が大きい場合にはコンクリートの押抜せん断破壊が支配的であり、これが図-5の結果のように比較的低い荷重での破壊に繋がったものと考えられる。高アルカリ環境下における接着剤の劣化を押抜試験によって評価するためには、接着剤の強度や接着剤とコンクリートとの接着強度を適切に評価する必要がある、そのためにはコンクリートの押抜せん断破壊の影響を極力排除する必要がある。上記の実験結果から、コンクリートの押抜せん断破壊の影響を排除するためには、反力板の開孔部径を小さく設定することが望ましいと言える。なお、本研究ではドリル削孔径を14.5 mmとしているが、この場合、開孔部径を16 mm よりも小さくすると、試験時に抜け出したアンカーが開孔部内壁と干渉してしまう。したがって、本研究では反力板の開孔部径を16 mm と設定し、以降の試験を行った。

(3) 押抜試験における破壊形態

押抜試験後の試験片からアンカーを完全に抜き取り、外観観察を行った結果、接着剤層内で凝集破壊が生じている部分と、コンクリート／接着剤の界面破壊が生じている部分があった（図-7）。いずれのサンプルにおいても接着剤の上側（試験片上面側）は凝集破壊しており、相対するコンクリート母材の孔内には接着剤の破片が接着したまま残留していた。一方で、接着剤の下側（試験片底面側）は、接着剤とコンクリートとの界面で破壊しており、試験片底面近傍では母材コンクリートの付着が見られた。

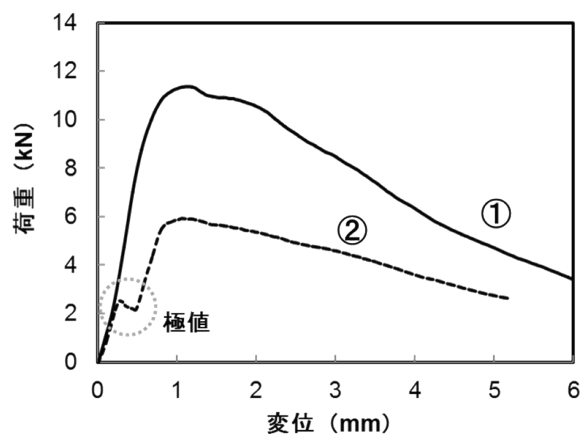


図-8 押抜試験における典型的な荷重－変位曲線

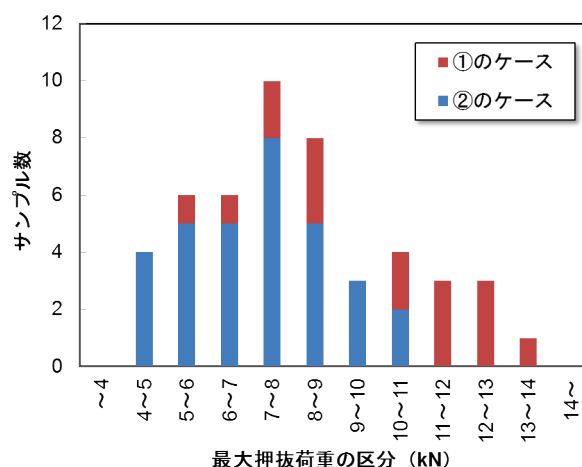


図-9 押抜試験における最大荷重と荷重－変位曲線のパターンとの関係

押抜試験で得られた典型的な荷重－変位曲線（図-8）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のパターンが見られた。②を示した試験片では、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。押抜試験で得られた全ての荷重－変位曲線を①②のパターンに分類し、最大荷重の区分毎に該当する試験片数をカウントした結果を図-9に示す。最大荷重が小さくなるにつれて②のパターンの荷重－変位曲線を示すものの割合が大きくなり、逆に最大荷重が11 kNを超えたものについては全て①のパターンの荷重－変位曲線となった。

(4) KOH浸せきにおける接着系アンカーの力学的変化

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-10に示す。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-8における②になったが、その他は①と②とが混在しており、浸せきによる破壊モードの変化に明確な傾向は認められなかった。各浸せき時間における接着強さの平均値を比較したところ、浸せき初期にわずかな低下が見られた後は、4000時間浸せき後においても明確な強度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の挙動であった。浸せき初期の強度低下は、浸せき0時間（未浸せき）の試験片が乾燥状態で試験されるのに対し、浸せき後の試験片は湿潤状態で試験されているためであり、両者の物理的な状態の違いにより生じたものであると考えられる。

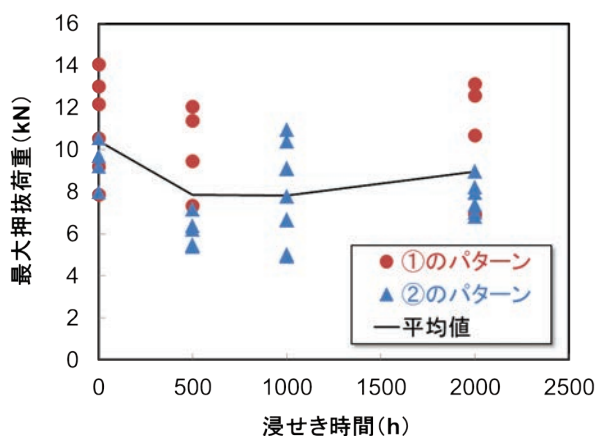


図-10 最大押抜荷重の経時変化(40℃, pH13.2 KOH水溶液浸せき)

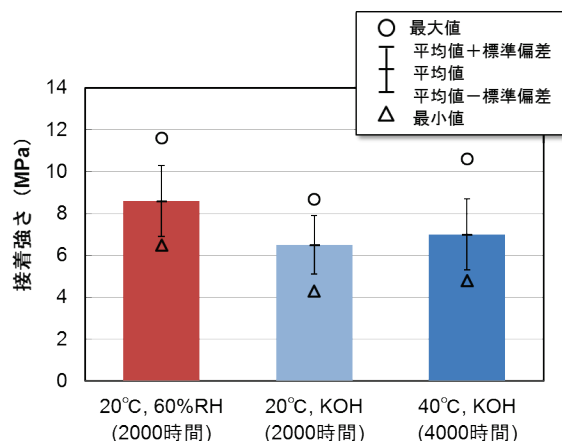


図-11 各環境条件下で浸せき（暴露）後のアンカー接着強さ

各環境条件下で所定の時間浸せき（暴露）後、押抜試験によりアンカー接着強さを求めた結果を図-11に整理した。20℃, 60%RHの気中に2000時間暴露した試験片では最も接着強さが大きく、平均で8.6 MPaとなった。一方で、KOH水溶液に浸せきした場合には、20℃, 2000時間で平均6.5 MPa, 40℃, 4000時間で7.0 MPaとなり、環境液の温度や浸せき時間による差異は明確ではなかった。気中暴露の試験片でアンカー接着強さがやや高かったのは、前述のとおり、押抜試験時における試験片の物理的な状態の差異によるものであると考えられる。

(5) KOH浸せきにおける接着系アンカーの化学的变化

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、押抜試験後の接着剤破断面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。図-12は20℃, 60%RHの気中または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℃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^{4,5)}。すなわち、図-12で示したスペクトルの変化から、40℃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することにした。方法は以下のとおりである⁹⁾。

- ① スペクトルを吸光度に換算して解析する。
- ② 1580cm^{-1} 付近および 1730cm^{-1} 付近の吸収ピークそれぞれについて、ベースラインからピークトップまでの高さを求める。ベースラインは各吸収ピークの高波数側／低波数側の2点のピーク立ち上がり部を結ぶ直線とする（図-13）。なお、 1580cm^{-1} 付近に明確な吸収ピークを持たない試料については、 1580cm^{-1} における吸光度とベースラインとの差をピーク高さとする。
- ③ 上記で求められる 1580cm^{-1} 付近／ 1730cm^{-1} 付近の吸収ピーク高さの比が当該スペクトルの加水分解度合いの指標となる。（ $1580\text{cm}^{-1}/1730\text{cm}^{-1}$ 比が大きいほど加水分解が進んでいることとなる。）

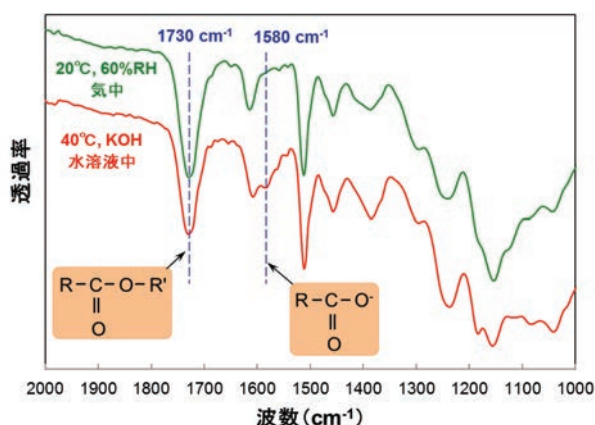


図-12 接着剤表面の典型的な赤外吸収スペクトル（2000時間経過後）

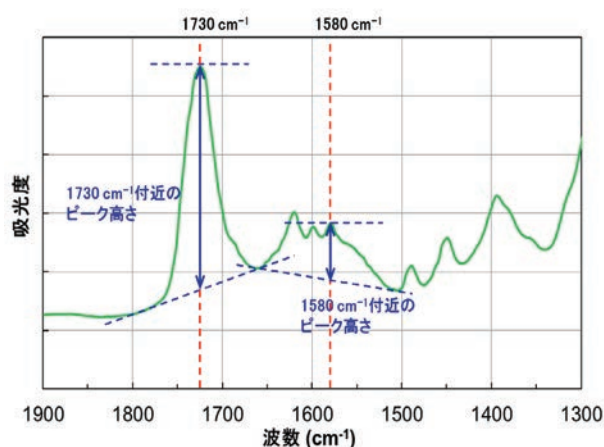


図-13 赤外吸収スペクトルにおけるピーク高さの求め方

赤外吸収スペクトルの解析結果を図-14に示す、 40°C のKOH水溶液に浸せきした場合の吸光度比（ 1580cm^{-1} 付近／ 1730cm^{-1} ）の経時変化に着目すると、浸せき時間の増加に伴い、吸光度比も増加していることがわかる、すなわち、浸せき時間の増加に伴って、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時間経過時点の吸光度比について比較すると、 20°C 浸せきよりも 40°C 浸せきの方が大きいことから、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考えられる。 20°C 、60%RH気中に暴露した試験片については、2000時間後においても初期とほぼ同程度の吸光度であることから、加水分解は生じていないものと推察される。 40°C のKOH水溶液では4000時間まで浸せきを継続したが、この時点においても吸光度比は上昇傾向にあると考えられることから、引き続き浸せきを継続し、さらに長期のデータを取得していきたい。

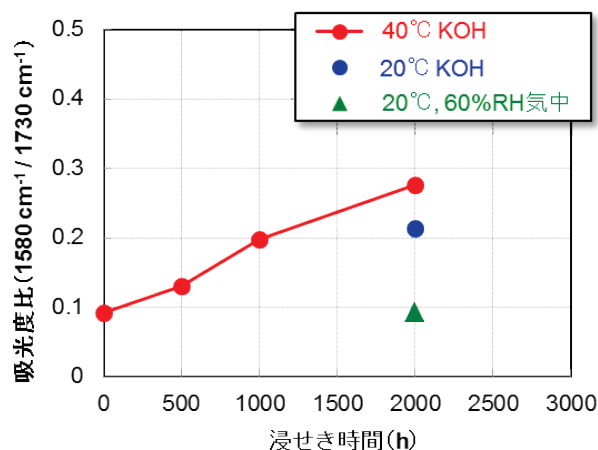


図-14 赤外吸収スペクトルにおける吸光度比の経時変化（ 1580cm^{-1} 付近／ 1730cm^{-1} 付近）

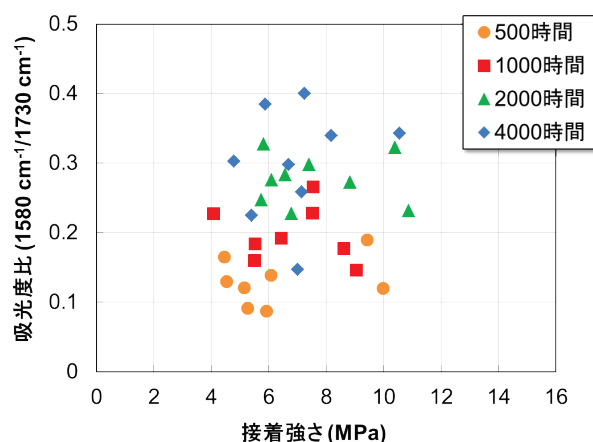


図-15 吸光度比とアンカーの接着強さとの相関（ 40°C 、KOH水溶液浸せき）

試料ごとに、押抜試験で得られたアンカーの接着強さと、赤外吸収スペクトルにおける吸光度比（ 1580 cm^{-1} 付近 / 1730 cm^{-1} ）との関係をプロットしたグラフを図-15に示す。これによると、本実験からは吸光度比の大小と押抜試験による接着強さとの間には、明確な相関が認められなかった。その理由の一つとして、押抜試験における結果のばらつきの大きさ（変動係数20～30%）が挙げられる。すなわち、接着系アンカーの接着強さをアンカーの劣化の指標として用いるためには、ばらつきを低減するための試験方法の改良が必要であると思われる。一方、本実験では浸せき時間が短く、接着剤の力学性能に影響が及ぶほど樹脂の加水分解が進んでいないことも考えられることから、今後、さらに長期の浸せきを行い、アンカーの劣化挙動について引き続きデータを収集したい。

(6) 接着剤断面の劣化分布

赤外線分光分析は、接着剤表面の任意の複数箇所から試料を採取して行ったが、試料採取箇所による吸光度比、すなわち樹脂の加水分解程度の違いは明確ではなかった。そこで、ATR（減衰全反射）法による接着剤断面の赤外線分光分析を行い、接着剤の深さ方向について、樹脂の加水分解の程度をさらに詳細に分析した。

ATR法は、先の尖ったゲルマニウム等のATRクリスタルと試料とを密着させ、赤外線をクリスタル／試料界面で全反射させたときの反射スペクトルを測定する方法であり、数 $10\mu\text{m}$ の微小領域を非破壊で直接分析することができる（図-16）。試料表面は研磨はせず、純水で軽く洗浄した後に分析に供した。接着剤表面から接着剤／ボルト界面まで、接着剤の深さ方向に3つ（接着剤表面、中央、ボルト近傍）の領域に区切り、領域ごとにそれぞれ30か所の測定点を顕微ATR法で測定した。測定点は接着剤断面を光学顕微鏡で観察し、樹脂と思われる部分から選定した。顕微ATR法による接着剤断面の赤外線分光分析方法の概略について、図-17に示した。

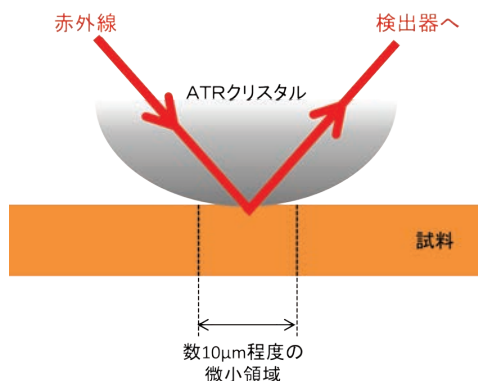


図-16 ATR法の概略

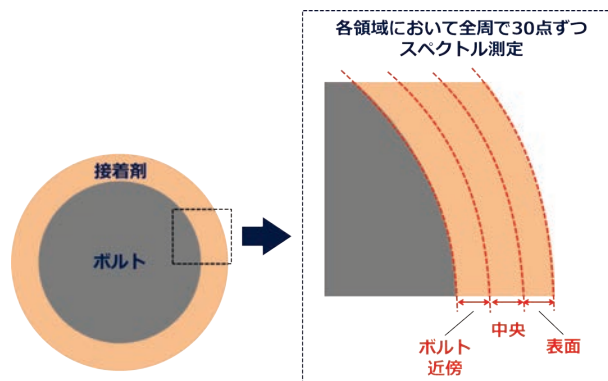
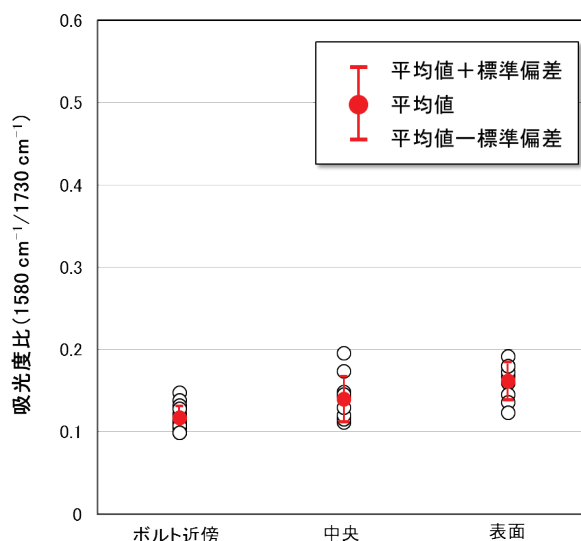
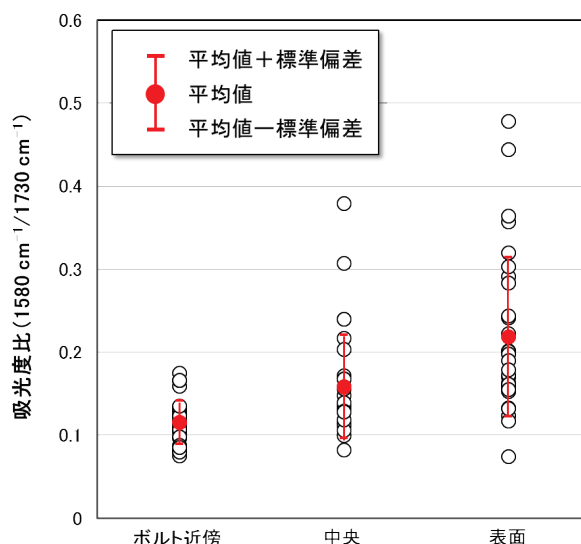


図-17 ATR法による接着剤断面分析方法の概略



(a) 20℃, 60%RH気中暴露



(b) 40℃, KOH水溶液浸せき

図-18 2000時間浸せき（暴露）後における接着剤断面の吸光度比の分布

20℃、60%RH気中暴露あるいは40℃KOH水溶液浸せき2000時間後の接着剤断面について、顕微ATR法により赤外線分光分析を行った結果を図-18に示す。気中暴露の場合、深さ方向での吸光度比の変化はほとんど無く、いずれの領域においても0.1～0.2程度となっている。一方、40℃のKOH水溶液に浸せきした試料については、ボルト近傍では気中暴露とほぼ同じ吸光度比を示したが、表面に近づくにつれて吸光度比の分布は大きくなり、中央では0.1～0.4程度、表面では0.1～0.5程度となった。

気中暴露の接着剤においては、樹脂の加水分解はほとんど生じていないものと考えられる。これと同程度の吸光度比を示す箇所が、KOH水溶液浸せき後の接着剤表面や中央部にも含まれることから、いずれの領域においても樹脂の加水分解が進行している箇所と、そうでない箇所とが混在した状態となっているものと思われる。吸光度比は接着剤表面の方が中央よりも相対的に大きいことから、この浸せき試験においては、加水分解による接着剤の劣化は接着剤表面から内部へと徐々に進行しているものと推察される。

4. まとめ

本報では、コンクリート内部の高アルカリ環境下における接着系あと施工アンカーの劣化挙動と、その試験評価方法について検討した結果について報告した。ACI 355.4-11の試験方法を参考に、水酸化カリウム水溶液への浸せきによる接着剤の力学特性の変化を、アンカーの押抜試験によって評価した。また、浸せき前後のアンカー接着剤について赤外線分光分析を行い、接着剤の化学構造の変化を調べた。その結果、40℃で4000時間浸せき

した場合においても、アンカーの接着強さの明確な低下は認められなかった。その一方で、接着剤の樹脂成分である不飽和ポリエステルは、水酸化カリウム水溶液によって加水分解を生じることが明らかとなった。加水分解の程度は環境液の温度が高い方が大きく、また、浸せき時間が長くなるにつれ、接着剤表面から内部へ徐々に進行する挙動を示した。

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や、ばらつきの少ない試験評価方法について、さらに詳細に検討する予定である。

参考文献

- 1) ACI 355.4-11: Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary, 2011.
- 2) 日本建築あと施工アンカー協会編：あと施工アンカー技術資料第7版. 66 p., 日本建築あと施工アンカー協会, 2009.
- 3) 泉 美治, 小川政彌, 加藤俊二, 塩川二郎, 芝 哲夫: 機器分析のてびき 第2版, pp. 1-23, 化学同人, 1996.
- 4) J. W. Chin, K. Aouadi, M. R. Haight, W. L. Hughes and T. Nguyen: Effects of water, salt solution and simulated concrete pore solution on the properties of composite matrix resins used in civil engineering applications, *Polymer Composites*, Volume 22, Issue 2, pp. 282-298, 2001.
- 5) 富山禎仁, 久保内昌敏, 仙北谷英貴, 津田 健: 高分子系材料の腐食検知をめざした赤外線透過ファイバセンサの特性評価, Vol. 49, No. 6, 強化プラスチック, pp. 258-264, 2003.
- 6) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会: トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書, pp. 29-30, 2013.

EXPERIMENTAL STUDY ON ALKALI RESISTANCE OF POST-INSTALLED ADHESIVE ANCHOR

Tomonori TOMIYAMA and Itaru NISHIZAKI

The aim of this study is to clarify degradation mechanism of post-installed adhesive anchor in alkaline solution and to establish an evaluation method for the alkali resistance properties. We have investigated behavior in mechanical properties of the anchor adhesive in potassium hydroxide (KOH) solution by reference to ACI 355.4-11. In addition, change in chemical structure of the adhesive in the alkaline solution have been analyzed with infrared spectroscopy. From the results, drastical deterioration in bond strength of the adhesive was not demonstrated after immersion for 4000 hours in KOH solution at 40 degrees Celsius. However, unsaturated polyester resin, which is a component of the adhesion, showed hydrolysis with KOH solution. It was indicated that the hydrolysis reaction was accelerated by alkaline solution temperature and the reaction progressed from adhesive surface to inside with increasing of immersion time.