水酸化カリウム水溶液を用いた接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性評価

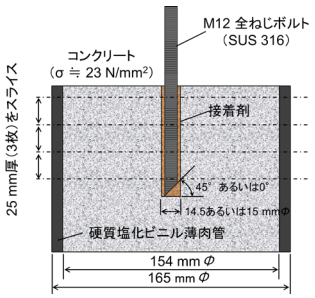
土木研究所　正会員　○冨山　禎仁
土木研究所　正会員　新田　弘之

１．はじめに

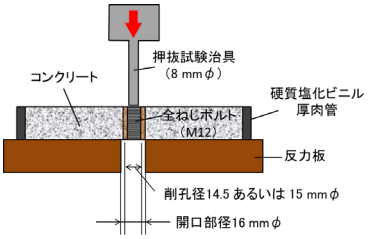
接着系あと施工アンカー（以降，接着系アンカーと称す）は比較的容易に定着が可能なことから，今後も土木構造物の付帯施設や耐震補強などに広く用いられるものと思われる．しかし，これらの長期的な挙動については未だ不明な点が多く，さらなるデータの充実が必要である．そこで本研究では，接着系アンカーの試験方法の一つである ACI 355.4-11 を参考に，水酸化カリウム（以下，KOH と称す）水溶液を用いた浸せき試験を実施し，高アルカリ環境下で生じる接着系アンカーの劣化挙動について検討している．本報では，その中間結果を報告する．

２．実験方法

検討対象とした接着系アンカーは，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」[1]の製品 4 種類である（**表－１**）．試験片の母材となるコンクリート（φ154 ×150 mm）は水セメント比を 70%とし，硬質塩化ビニル管を型枠にして打設した．材齢 28 日目の圧縮強度は約 23 MPa である．材齢約 15 週の母材コンクリート上面中央に，メーカーが指定する径，長さ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，製品 A，B，C については先端を斜め 45° にカットした全ねじボルト（M12）を挿入しながらカプセルに回転・打撃を与え，製品 D については先端が平らな全ねじボルト（M12）にハンマーで打撃を与えながら挿入し，施工した．アンカー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，本研究ではやや薄い 25 mm で試験した（**図－１**）．



図－１　浸せき用試験片作製方法の概略図



図－２　押抜試験の概略図

母材の材齢が約 20 週となった時点で，試験片の KOH 水溶液への浸せきを開始した．KOH 水溶液は試験期間を通じ pH 13.2～13.5 程度，液温 40℃一定となるように保持した．所定の時間が経過した時点で試験片を取り出し，軽く水洗後，押抜試験を実施した．試験片の数量は，一水準あたり 10 枚とした．

押抜試験は万能試験機を用い，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．試験速度は 1 mm/min.とし，反力板の開孔部の直径は 16 mm とした．破壊に至るまでの最大荷重と，アンカーと母材との接着面積からアンカー接着強さを求めた．また，浸せきによる接着剤樹脂の化学構造の変化を調べるため，押抜試験後の接着剤破断面近傍から少量の樹脂を採取し，赤外顕微鏡により分析した．

表－１　実験対象とした接着系あと施工アンカーの寸法と強度（メーカー技術資料より）

製品種別	アンカーのタイプ (いずれもカプセル方式)	接着剤樹脂※1	外径 (mm)	長さ (mm)	アンカー筋	ドリル径 (mm)	削孔長 (mm)	最大引張荷重 (kN)	付着強さ※2 MPa
A	回転・打撃型	UP	13	100	M12※3	14.5	100	57.4	17.3
B	回転・打撃型	VE	12.7	100	M12※3	14.5	100	73.1	22.0
C	回転・打撃型	VU	13.1	127	M12※3	14	110	54.2	14.7
D	打込み型	UP	13	102	M12※4	15	110	52.7	12.7

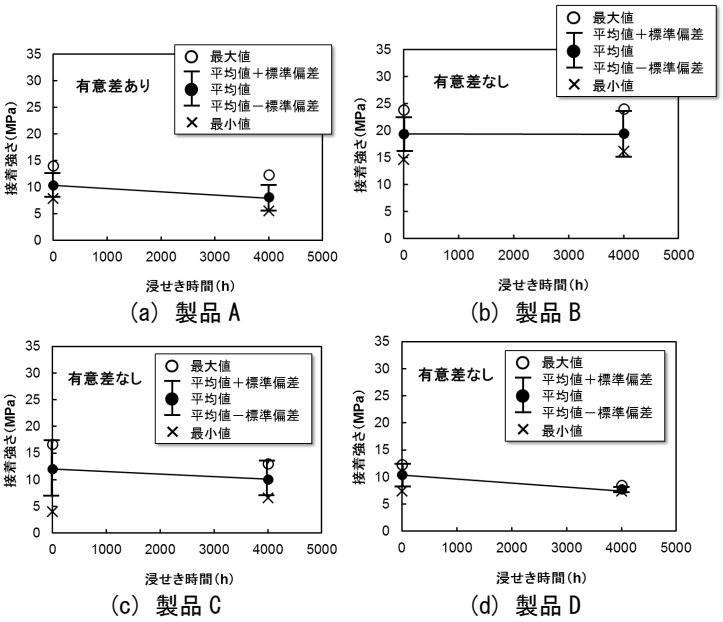
※1: UP/不飽和ポリエステル樹脂、VE/ビニルエステル樹脂、VU/ビニルウレタン樹脂　※2: 有効付着長（削孔長－カット部長）により算出
※3: SUS304　全ねじボルト　先端斜め 45° カット　※4: SUS304　全ねじボルト　先端斜めカットなし

キーワード　あと施工アンカー，接着系，耐アルカリ性，浸せき，押抜試験，赤外吸収スペクトル
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

© Japan Society of Civil Engineers

３．実験結果と考察

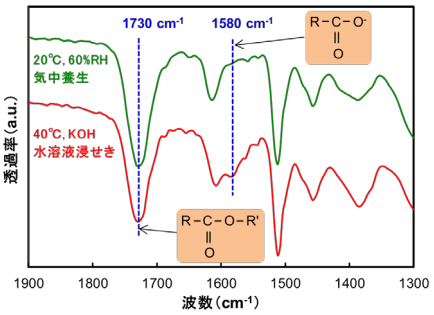
KOH 水溶液中におけるアンカー接着強さの経時変化を**図－３**に示す．いずれの実験ケースにおいても，母材コンクリートには肉眼で確認できるひび割れは生じなかった．また，浸せきによる破壊モードの明確な変化は認められなかった．いずれの製品もばらつきは大きく，変動係数は製品 A，B，C，D の順にそれぞれ 23%，18%，37%，13%となった．製品 B を除き，接着強さの平均値はいずれも浸せきによりわずかに低下しているように見えるが，ばらつきが大きく変化が明瞭ではないため，検定により有意性の有無を判断することにした．浸せき前と 4000 時間浸せき後の全データについて，有意水準 5%で F 検定および t 検定を行ったところ，製品 A は有意差あり，製品 B，C，D については有意差無しとの結果が得られた．この結果から，製品 A では浸せきによる接着強さの低下あり，その他製品は無しと判断された．



図－３　接着系あと施工アンカーの接着強さの経時変化（40℃，pH13.2 水酸化カリウム水溶液浸せき）

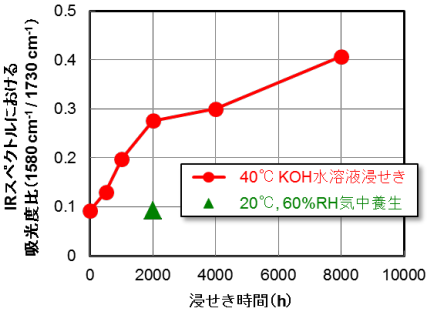
押抜試験後の製品 A 表面の典型的な赤外吸収スペクトルを**図－４**に示す．この図には比較として，同様に作製した試験片を 2000 時間気中（20℃，60%RH）養生し，押抜試験した試料のスペクトルも示している．KOH 水溶液浸せき後のスペクトルでは，1730 cm^{-1} 付近の吸収ピークが気中養生後に比べてやや弱くなっており，1580 cm^{-1} 付近に新たな吸収ピークの出現が認められた．既往の研究などから，不飽和ポリエステル樹脂に含まれるエステル結合がアルカリ存在下で加水分解しカルボン酸塩を生じた場合に，同様のスペクトル変化を示すこと，加水分解が進行するほど 1580 cm^{-1} 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ことが明らかとなっている [2)]．すなわち，浸せき後のスペクトルに現れた変化は，製品 A の接着剤樹脂が KOH によって加水分解を生じた結果であると考えることができる．一方，製品 B，C，D についても同様の分析を行ったが，いずれも浸せきによるスペクトルの明確な変化は認められなかった．

製品 A の試験片についてさらに長期の浸せきを行い，同様にして得られた赤外吸収スペクトルから 1580 cm^{-1} および 1730 cm^{-1} の吸収ピークの比を求め，これらを指標として加水分解の進行を評価した（**図－５**）．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，すなわち加水分解の程度が増大する傾向にあることが明らかとなった．



図－４　接着剤表面の典型的な赤外吸収スペクトル（製品 A：2000 時間経過後）

以上の結果から，**図－３**で示した製品 A の接着強さの低下は，KOH よる接着剤樹脂の加水分解に起因する可能性が示された．一方，実験を行った範囲内では製品 B，C，D の劣化は認められず，製品 A と D のように同種の樹脂が用いられている場合でも，製品によって劣化のしやすさに差異があることが示された．今後，接着剤樹脂の加水分解の進行程度と接着強さの低下との相関について，さらに詳しく検討する予定である．



図－５　赤外吸収スペクトルにおける吸光度比の経時変化（製品 A：1580 cm^{-1} 付近 / 1730 cm^{-1} 付近）

４．まとめ

同種の樹脂が用いられている接着系アンカーでも，製品によって KOH による劣化のしやすさに差異があることがわかった．接着強さの低下は，KOH よる樹脂の加水分解に起因している可能性が示唆された．

参考文献

1)　日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー技術資料　第 7 版, 66 p., 2009
2)　例えば Chin, et al. *Polymer Composites*, **22** (22), pp. 282-298, 2001

© Japan Society of Civil Engineers