

JCI 規準

付着力試験による接着系あと施工アンカー一部の耐アルカリ試験方法

JCI-S-013-2017

Method of test for alkali resistance of embedment zone of post-installed adhesive anchors in concrete by adhesion test

1. 適用範囲

本規準は、接着系あと施工アンカーを母材コンクリートに固着したあと施工アンカー部について、母材コンクリートのアルカリ環境による劣化を想定し、アルカリ水溶液に浸漬した場合のあと施工アンカー部の付着力を試験する方法について規定する。

2. 引用規格等

次に掲げる規格は、本規準に引用されることによって、本規準の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む）を適用する。

JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法

JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法

JIS A 1132 コンクリートの強度試験用供試体の作り方

JIS B 4652 手動式トルクツールの要求事項及び試験方法

JIS B 7503 ダイヤルゲージ

JIS B 7507 ノギス

JIS B 7721 引張試験機・圧縮試験機-力計測系の校正方法及び検証方法

JIS G 4107 高温用合金鋼ボルト材

JIS K 8574 水酸化カリウム（試薬）

3. 試験用装置、測定用装置及び器具

3.1 供試体浸漬用装置

3.1.1 浸漬装置

浸漬装置は、**図 1** に示すような水槽、温度制御装置（サーモスタット、温度センサ）、投込みヒータ、温水攪拌機、pH 計測装置からなり、**3.1.2** に規定する浸漬溶液中に試験片全体を浸漬させ、試験期間を通して、浸漬溶液を設定した温度の $\pm 2^{\circ}\text{C}$ で制御できる装置とする。

3.1.2 浸漬溶液

浸漬溶液は、JIS K 8574 に規定する水酸化カリウムを蒸留水またイオン交換水に溶解した水酸化カリウム

(KOH) 水溶液とし、設定した水温の条件で、試験期間を通して $\text{pH}13.2 \pm 0.2$ の範囲で調整さ

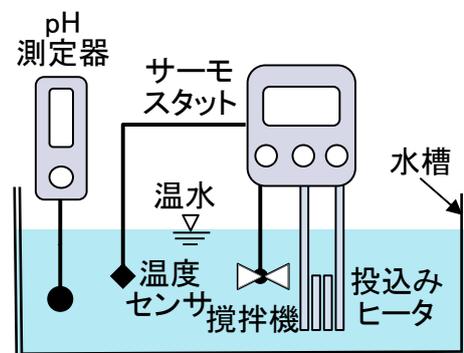


図 1 浸漬装置

れたものを使用する。

3.2 アンカー筋の軸力導入用器具

アンカー筋への軸力導入用の器具、及び、载荷試験の際に供試体の周方向に拘束力を付加する器具には、JIS B 4652 に規定する許容差 $\pm 4\sim 6\%$ の手動式トルクツールを使用する。また、トルクの値は、機械式スケール、ダイヤルまたは電気式表示器で指示できる測定器を用いる（図 2 参照）。



図 2 トルクツール

3.3 付着力測定用载荷試験機

あと施工アンカー部の付着力の試験には、JIS B 7721 の 7. (試験機の等級) に規定する 1 等級以上の载荷試験機を使用する。

4. 供試体

4.1 母材コンクリートの製作

4.1.1 母材コンクリートの材料

あと施工アンカーを固着する母材は、粗骨材の最大寸法 25mm 以下のコンクリートとする。コンクリートのスランプや強度等の仕様に特に指定がない場合は、JIS A 5308 に規定されたスランプ 8~18cm の範囲で、呼び強度 18~24 の範囲の普通コンクリート、あるいは、これと同等の範囲のコンクリートを使用する。

4.1.2 母材コンクリートの打込み

母材コンクリートは、JIS A 1132 に準拠してコンクリートを打ち込み、製作する。なお、母材コンクリートの製作とともに、JIS A 1132 により圧縮強度試験用供試体¹⁾を試験材齢ごとに少なくとも 3 本以上を製作する。

圧縮強度試験の方法は JIS A 1108 により、5.1 に示す浸漬試験開始時、および、5.2 に示すあと施工アンカーの付着力確認試験時に母材コンクリートの圧縮強度を確認する。

注¹⁾ 母材コンクリートの製作から、最終的な付着力確認試験が終了するまでの期間が比較的長期にわたるため、これらとは別に、材齢 4 週、8 週及び 13 週で圧縮強度試験を行なうのがよい。

4.1.3 母材コンクリートの形状・寸法

母材コンクリートの形状寸法²⁾は、直径 150mm 以上で、高さ 250mm 以上の円柱形とし、その寸法の許容差は直径で 0.5% 以内、高さで 5% 以内とする（図 3 参照）。

注²⁾ 圧縮強度を試験する供試体ではないので、高さを直の 2 倍としなくてよい。

4.1.4 母材コンクリートの個数

母材コンクリートの個数は、試験条件の

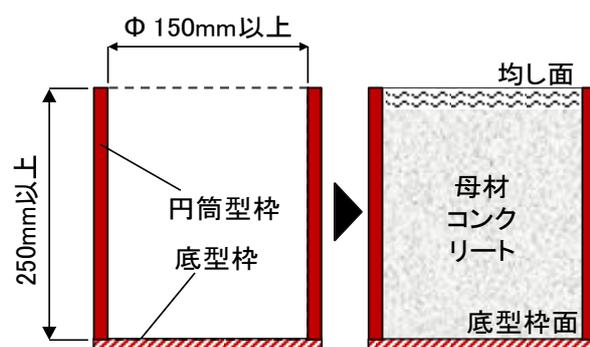


図 3 母材コンクリートの形状

違いごとに、アンカー筋に軸力を導入しない無応力供試体は 10 個以上、及び、アンカー筋に軸力を導入する有応力供試体は 5 個以上を製作するのに十分な個数とする。

また、これらとは別に同一形状・寸法の母材コンクリートを各条件³⁾ごとに 2 個以上製作し、有応力供試体に導入するトルク値を設定するためのトルク値設定用供試体、及び、浸漬期間を通して導入したトルクを一定の範囲で管理するためのトルク値管理用供試体の 2 種類のダミー供試体に使用する。

注³⁾ 試験条件には、試験に使用する接着系あと施工アンカーの種類、有応力供試体に導入する軸力の違い、及び、浸漬条件（浸漬溶液の水温、浸漬開始材齢、最終浸漬期間）などがある。

4.1.5 養生

母材コンクリートの型枠の取外し、及び、養生は JISA 1132 による。型枠を取り外した後、あと施工アンカーを固着するまで、温度 20°C±2°C の状態で封かん養生する。なお、養生期間に特に指定がない場合は 4 週間以上とする。

4.2 あと施工アンカーの施工

4.2.1 接着系あと施工アンカーの種類

接着系あと施工アンカーに使用するアンカー筋には、載荷にともない降伏や破断が生じないように十分な降伏点（耐力）と引張強さを有するものを使用し、JIS G 4107 に規定される SNB7 相当品以上の材質の全ねじ棒鋼とする。

アンカー筋の形状・寸法は、公称径 12mm で、有効埋込み長さ 100mm 以上あり、アンカー筋に軸力を導入するための固定治具やナット等を取り付けるのに十分な余長を加えた長さとする。

アンカー筋を固着する接着剤には、指定された仕様のものを使用する。接着剤の仕様に特に指定がない場合には、使用する樹脂にフィラー⁴⁾として 8 号ケイ砂を適当量（樹脂：ケイ砂＝質量比 1：1.5 程度）混合したものをを用いる。

注⁴⁾ 接着系あと施工アンカーに使用する接着剤は、樹脂の粘性の調整や熱硬化時の収縮量の低減のために、フィラーと称する細粒の骨材（ケイ砂）を混合した調合とするのが一般的である。

4.2.2 穿孔及び固着

母材コンクリートへの接着系あと施工アンカーの施工は、以下の手順による。

注記 あと施工アンカーの品質は、使用材料の違いとともに、施工の良否に大きく左右されるため、穿孔や固着等の施工に習熟した専門技術者や技能者が行なうのが望ましい。

a) 穿孔

4.1.3 にしたがって養生した母材コンクリートの底型枠面に、使用する接着系あと施工アンカーの仕様にしたがって、アンカー筋を挿入するための穿孔を行なう。穿孔方法等の仕様に特に指定がない場合は、穿孔径は Φ14mm でその許容差は±1mm 以内とし、穿孔深さは 150mm 以内でその許容差は 5%以内とする。

b) 孔内清掃・乾燥

穿孔後は、孔内を集じん機等で吸じんし、専用ブラシによって孔壁や孔内をブラッシングした

後、再度、吸じんを行ない、孔壁や孔内に付着したゴミや粉塵を確実に取り除くようにする。次に、孔内を乾布等で十分に拭き取り、孔内に水や湿気が残らないようにする。

c) 樹脂（接着剤）の充填

穿孔部の清掃と乾燥を確認し、使用する接着系あと施工アンカーの仕様にしたがって、樹脂の注入あるいは樹脂カプセルを装填する。樹脂の注入方法に特に指定がない場合は、穿孔の上面端より 20～30mm の高さまで樹脂を注入するか、あるいは、これと同等量の樹脂カプセルを装填する。

注記 樹脂を充填する方式には、予め混合した樹脂を穿孔内に注入してアンカー筋を挿入する方法（注入方式）と樹脂を収容したカプセル状の容器を孔内に挿入した状態でアンカー筋を挿入する方法（カプセル方式）とがある。

d) アンカー筋の挿入・固着

アンカー筋の挿入及び固着は、穿孔部の上部から十分に樹脂が流出するまでアンカー筋を挿入し、固着する。挿入に際しては、事前に穿孔部周囲をビニールテープ等でシールし、流出した樹脂が母材コンクリートに付着しないようにする（図 4 参照）。

なお、樹脂の注入や樹脂カプセルの装填、アンカー筋の挿入や固着などの施工は、冷氣や日射、風雨が直接当たらないように室内にて行なう。なお、施工に際して外気温や湿度が指定されている場合には、その指定条件にて施工し、特に指定がない場合には、20℃程度の室内で施工する。

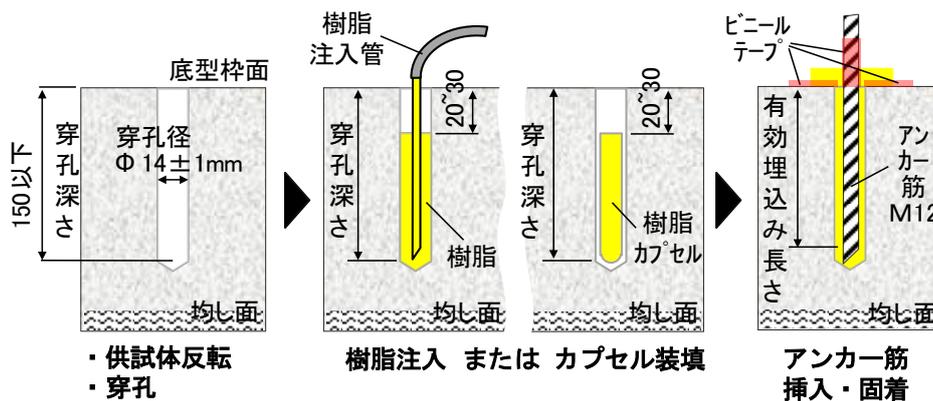


図 4 あと施工アンカーの施工

4.2.3 硬化養生

あと施工アンカー施工後、樹脂が十分に硬化するまで、使用するアンカーの仕様において指定された期間、温度 20±2℃、湿度 60±5%の恒温恒湿環境において養生する。なお、養生期間に特に指定がない場合は 7 日間以上とする。

4.3 浸漬供試体の製作

4.3.1 供試体の作製方法及び形状寸法

あと施工アンカーを固着した供試体の硬化養生が終了した後、コンクリートカッター等でアンカー筋が切断面に垂直になるように供試体の上端から厚さ 30mm ごとに切断し、浸漬供試体を製作する。なお、切断時の摩擦熱による樹脂への影響を抑えるため、湿式で切断する。

浸漬供試体の寸法の許容差は、JIS A 1132 及び JIS A 1107 により、直径で 0.5%以内、高さ

で5%以内とし、平面度は直径の0.05%以内とする。ここで、供試体の寸法はJIS B 7507に規定するノギス等を用いて、供試体の上下端面付近及び厚さの中央付近で、互いに直交する2方向の直径を±0.1%以内の精度で測定し、その平均値を供試体の平均直径とする。また、厚さの最大値と最小値を±1%以内の精度で測定し、その平均値を供試体の平均厚さとする。

切断したスライス片のうち、アンカー筋が突き出している最上層のものはアンカー筋に引張軸力を導入する有応力供試体とし、中層より深いスライス片は軸力を導入しない無応力供試体として使用する(図5参照)。

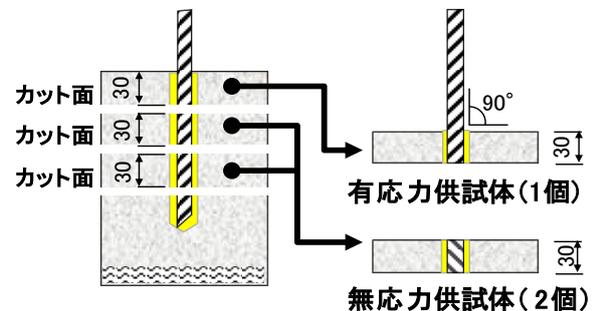


図5 浸漬供試体の形状

4.3.2 浸漬供試体の個数

浸漬供試体の個数は、同一条件の試験について、無応力供試体は10個以上、有応力供試体は少なくとも5個以上とする。

なお、有応力供試体については、これらの浸漬供試体とは別に、有応力供試体に導入するトルク値を設定するために使用するトルク値設定用供試体、及び、浸漬期間を通して、浸漬開始時に導入したトルクを管理するためのトルク値管理用供試体の2種類のダミー供試体も合わせて製作する。

4.3.3 有応力供試体への軸力の導入

最初に、有応力供試体のアンカー筋に導入する軸力を使用するアンカー筋の仕様に基づき設定する。導入軸力に特に指定がない場合には、SS400相当の全ねじ棒鋼の最小引張荷重(公称径12mmの場合、33.5kN)の20~50%の範囲を目安に設定する。

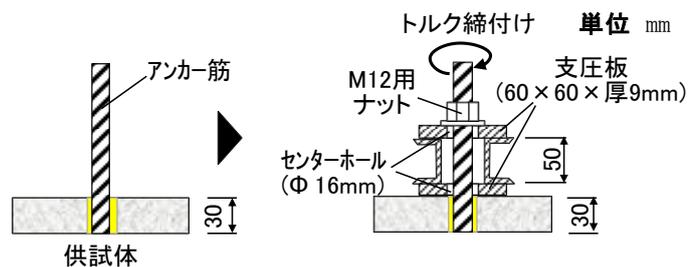


図6 軸力の導入方法(有応力供試体)

軸力の導入は、3.2において規定する手動式トルクツールにより、アンカー筋に取り付けたナットを締め付けることによる(図6参照)。

ここで、軸力の導入に際しては、事前に、4.3.2において製作したトルク値設定用供試体を用いて軸力と締め付けトルク値とのキャリブレーションを行ない、4.3.3において設定した軸力に相当する締め付けトルク値を確認する(図7参照)。

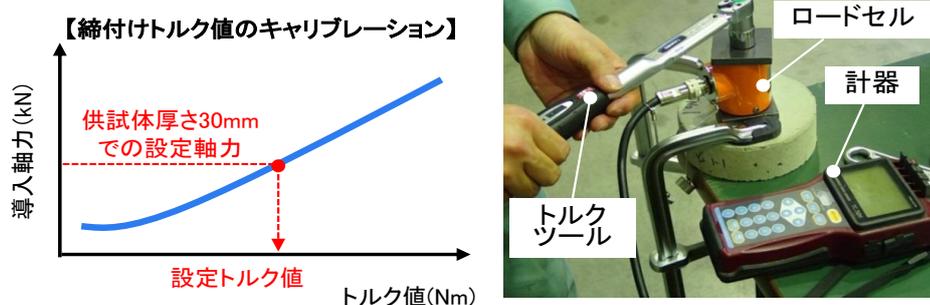


図7 所定軸力に相当する締め付けトルク値の設定

5. 試験方法

5.1 浸漬試験

5.1.1 浸漬方法

浸漬試験に際しては、浸漬試験は、3.1.1 に示す各種装置からなる浸漬容器の中に水酸化カリウム水溶液を湛水する。浸漬容器を二重槽にする場合には、それぞれの容器に水酸化カリウム水溶液あるいは水道水を湛水し、水温が安定するのを待って、4.3 にて製作した浸漬供試体を浸漬し、以降、設定した浸漬期間まで浸漬する（図8参照）。

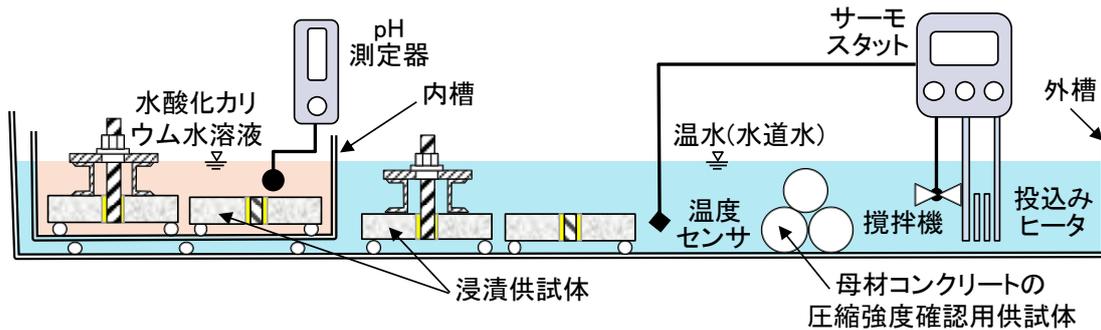


図8 浸漬試験の方法

浸漬期間を通して、水酸化カリウム水溶液のpHを確認する。pHの確認は、定常的にpH13.2±0.2の範囲になるまでは1回/日の頻度とし、以降は1回/週で行なう。なお、pHが13.0を下回った場合には、その期間は浸漬期間に含めてはならない。

浸漬溶液の水温を20～60℃の範囲とする場合には、浸漬期間を通して、設定した水温の±2℃の範囲になるようにする。また、図8に示すように浸漬容器を二槽にする場合は、内槽の浸漬溶液にも攪拌機を設置するか、あるいは、適時攪拌して、槽内全体にわたって水温が均一になるようにする。

浸漬期間は、浸漬0時間（浸漬開始時）から所定の浸漬終了期間までとし、特に浸漬期間に指定がない場合は最大の浸漬期間を2000時間とする。

5.1.2 浸漬期間中の導入トルクの管理

有応力供試体については、浸漬期間を通して、4.3.2において製作したトルク値管理用供試体を用いて浸漬開始に導入したトルク値の変動を確認する。

トルク値の変動の範囲は、4.3.3において浸漬開始時に導入したトルク値の±10%以内を目安とし、トルク値管理用供試体のトルク値に10%以上のロスが確認された場合には、速やかに、浸漬供試体の全てについて設定トルク値まで再度締付けを行なう。

ここで、導入トルク値の確認及び浸漬供試体の再締付けは、図9に示す要領にて浸漬開始から1週

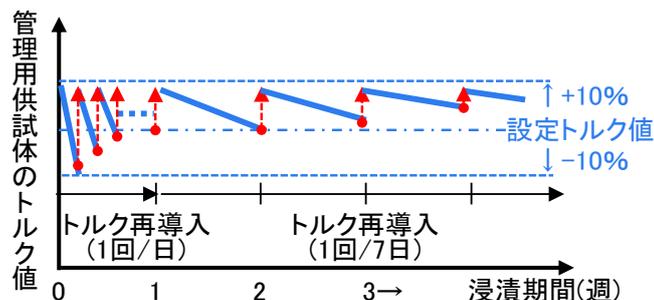


図9 トルク値管理用供試体による導入トルク値の管理

間は1回/日の頻度で行ない、2週目以降は1回/週を目安とする。

5.1.3 浸漬試験体の引上げ・養生

5.1.1において設定した浸漬時間が終了したら、速やかに供試体を浸漬溶液から引き上げ、有応力供試体については、締付け具を緩めて導入した軸力を除荷する。

以後、4.2.3に示したのと同じ養生条件にて7日間の養生を行なう。養生条件に特に指定がない場合は、室温 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%\text{RH}$ とする。

5.2 あと施工アンカーの付着力の確認試験

5.2.1 供試体周方向の拘束方法

載荷時の母材コンクリートの割裂破壊を抑制する目的で、供試体の周方向にゴム板（厚さ1~2mm、硬質ゴム）を挟んだ状態で厚さ10mm以上の鋼板を当て、供試体を周面を拘束する（図10参照）。

拘束力の導入は、3.2において規定する手動式トルクツール等を使用して、拘束用ボルト（M10程度）を締め付けることにより行なう。ここで、

導入トルク値はM10ボルトの場合で30Nm程度（ボルト軸力として15kN程度）とする。

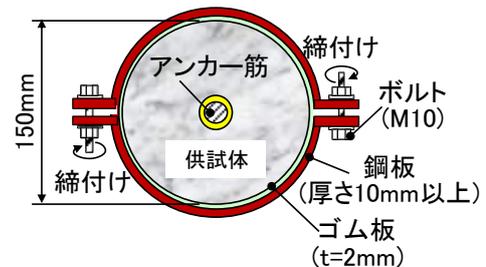


図10 供試体周面の拘束方法

5.2.2 載荷試験方法

3.3において規定する載荷装置を用いて、図11に示す要領にて、無応力供試体については押抜き載荷を、有応力供試体については引抜き載荷を行なう。ここで、押抜き載荷と引抜き載荷に際しては、供試体の高さ位置と上下面を確認し、アンカー筋の抜き出し方向が同一になるようにする。

載荷に際しては、アンカー筋先端部分の母材コンクリートの局所的なコーン破壊を抑制する目的で、中央に $\Phi 16\text{mm}$ の拘束孔を設けた、直径 $\Phi 150\text{mm}$ で厚さ20mm以上の鋼板製支圧板の上に供試体を置き、載荷する。ここで、載荷の際に支圧板が供試体周方向の拘束具に接しないようにするとともに、中央の拘束孔が抜け出たアンカー筋や樹脂に接しないように留意する。

押抜き載荷に使用する押抜き棒は、JIS G 4107に規定されるSNB7相当品以上の材質の丸鋼とする。押抜き棒の長さは20~30mmとし、また、アンカー筋周囲の樹脂部や母材コンクリートに掛からないようにアンカー筋径よりも1~2mm小さい径のものを使用する。なお、載荷の際にアンカー筋に偏心しないように、押抜き棒を供試体面に垂直に立てるとともに、アンカー筋の中心に確実に当てるようにする。

押抜き載荷及び引抜き載荷のいずれも、供試体に衝撃を与えないように一様な速度で載荷する。載荷速度は5.2.3に示す式(1)を用いて算出される付着応力度において、その増加率が毎秒 $0.06\pm 0.04\text{N/mm}^2$ を目安とし、最大荷重に至るまで、その増加率を保持する。

また、図11に示す要領においてアンカー筋自由端（あるいは押抜き棒）と母材コンクリートにダイヤルゲージあるいは変位計を設置し、最大荷重に至るまで、載荷荷重の増加にともなう供試体面からのアンカー筋の抜き出し量を測定する。ここで、ダイヤルゲージはJIS B 7503に規定する目量 0.01mm で測定範囲5mm以上のものを使用するか、あるいは、これと同等の精度を有する変位計を使用する。

なお、載荷荷重の増加に比べてアンカー筋の抜き出し量の増加が大きく、最大荷重が明確に検出できない場合には、抜き出し量3mmに至った時点を載荷終了とし、この時の荷重を最大荷重とする。

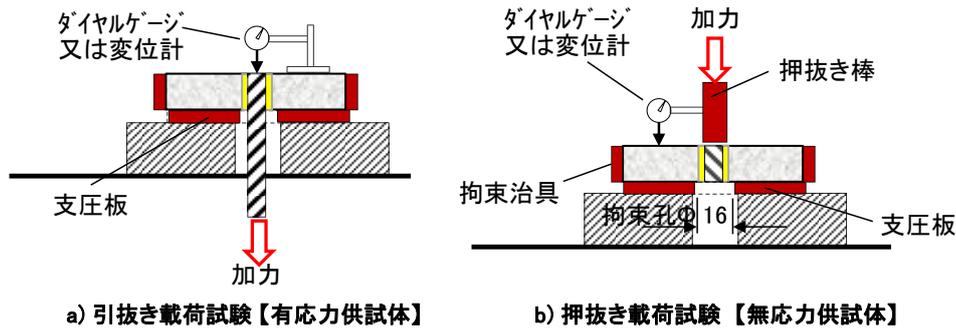


図 11 荷重試験の方法

5.2.3 結果の整理

a) 荷重試験結果を整理し、式(1)によって付着応力度 τ を計算し、有効数字 3 けたに丸める。また、付着応力度～すべり量曲線を描く。

$$\tau = \frac{P}{\pi DL} \quad (1)$$

ここに、 τ : 付着応力度(N/mm²)

P : 荷重荷重 (N)

D : アンカー筋の呼び径(mm)

L : アンカー筋の付着長さ (供試体の厚さ) (mm)

b) 上記の式(1)に最大荷重 P_{max} を代入して、付着強度 τ_u を算出する。

また、最終的な破壊形態を観察し、図 12 に示すように分類する。

なお、アンカー筋自由端近傍の母材コンクリートに供試体厚さの 10%以上の深さのコーン状破壊が認められる場合は、試験結果から除外する。

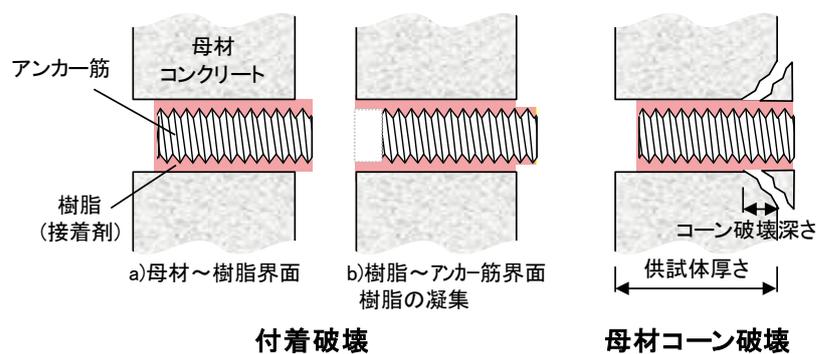


図 12 破壊モードの分類

6. 報告

報告は、次の事項について行う。

6.1 必ず報告する事項

a) 母材コンクリートに関する事項

- 1) コンクリートの呼び強度, 配(調)合
- 2) フレッシュコンクリートの品質(スランプ, 空気量, 単位容積質量, コンクリート温度)
- 3) 母材コンクリートの作製日時
- 4) 母材コンクリートの形状, 寸法及び打込み方法
- 5) 製作後の養生方法及び養生温度
- 6) 母材コンクリートの本数及び識別番号
- 7) コンクリートの圧縮強度試験結果(20°C±2°C養生での材齢 4 週, 8 週及び 13 週)

b) 接着系あと施工アンカーに関する事項

- 1) 使用する樹脂の仕様, 配調合
- 2) アンカー筋の呼び径
- 3) あと施工アンカー施工時の気温及び湿度
- 4) あと施工アンカー施工日時
- 5) 穿孔方法(有効埋込み長さ, 穿孔径, 穿孔深さ)
- 6) あと施工アンカーの種類(注入方式, カプセル方式, その他)
- 7) アンカー筋の挿入方法(回転挿入, 回転打撃, 打込み, その他)
- 8) あと施工アンカー施工後の養生方法及び養生温度
- 9) あと施工アンカーの施工本数及び識別番号

c) 浸漬試験に関する事項

- 1) 切断後の浸漬供試体の形状寸法(直径, 厚さ, 平面度, 質量)
- 2) 浸漬供試体の個数及び識別番号
- 3) 有応力供試体に導入する設定軸力及び締付けトルク値
- 4) 浸漬溶液の種類(水酸化カリウム水溶液の濃度及び pH, 浸漬温度)
- 5) 浸漬条件(浸漬温度, 浸漬時間)
- 6) 浸漬期間における, 浸漬溶液の pH 及び水温の測定値(履歴)
- 7) 浸漬期間における, トルク値管理用供試体でのトルク値の測定値(履歴)
- 8) 同一浸漬条件でのコンクリートの圧縮強度試験結果(浸漬開始時, 浸漬終了時)

d) 載荷試験に関する事項

- 1) 試験日時
- 2) 載荷試験時での累積浸漬時間
- 3) 載荷試験の方法(押抜き載荷, 引抜き載荷)
- 4) 供試体周方向の鋼板の締付け力
- 5) 載荷試験結果(付着応力度～すべり量曲線, 最大荷重, 付着強度)
- 6) 同一浸漬条件でのコンクリートの圧縮強度試験結果(載荷試験時)

6.2 必要に応じて報告する事項**a) 母材コンクリートに関する事項**

- 1) コンクリート試料の作り方又は試料採取方法
- 2) 使用材料の種類と品質
- 3) 母材コンクリート作製時の気温及び湿度

b) 接着系あと施工アンカーに関する事項

- 1) アンカー筋の機械的性質(引張強さ, 規格降伏点, 伸び率)

c) 浸漬試験に関する事項

- 1) 切断後の浸漬供試体の形状寸法(直径, 厚さ, 平面度, 質量)
- 2) トルク値設定用供試体における軸力と締付けトルク値とのキャリブレーション結果
- 3) 浸漬期間における, 有応力供試体のトルク再導入の履歴

d) 載荷試験に関する事項

- 1) 供試体引上げ時での累積浸漬時間
- 2) 載荷試験までの供試体の養生方法及び養生温度
- 3) 試験日時
- 4) アンカー筋抜け出し部の破壊状況(母材～樹脂界面, 樹脂～アンカー筋界面, 樹脂の凝集, 母材コンクリートのコーン破壊の有無, ひび割れ発生の有無)

解説

付着力試験による接着系あと施工アンカー一部の耐アルカリ試験方法

1. 制定の趣旨及び経緯

あと施工アンカーは、アルカリ環境である母材コンクリート中に埋設された状態で、常時引張作用や疲労、振動などの変動作用などを受けるが、これらの条件下で長期にわたって使用した場合の性能については、未だ十分に明らかとなっていないのが現状である。各種あと施工アンカーのうち、特に樹脂系の接着剤を使用する接着系あと施工アンカーについては、その固着メカニズム上、母材コンクリートのアルカリに対する樹脂そのものの耐アルカリ性ととも、その性能の良否によるあと施工アンカー部の固着力への影響を適切に評価する必要がある。

この種の試験方法としては、ACI355.4-11[2]をはじめ海外に参考となる基準類はあるものの、得られた結果をどのように評価、取り扱おうかなど、その適用性については未だ検討の余地が残されていた。そこで、本規準では、ACI355.4-11を参考とした押抜き載荷試験に加えて、新たにアンカー筋に軸力を導入した有応力条件での引抜き載荷試験を提案している。これは、実際のあと施工アンカーの供用中を想定した場合、アンカー筋には付帯設備の取付け等により相応の軸力が作用している状態にあることを考慮したことによる。

当委員会では、以上のような改定を加えた検証実験を行なうとともに、国内の各種機関によって提案された知見を反映させた上で、より信頼性が高く、実効性のある標準化試験法の確立を目指して、JCI規準として制定することとした。

なお、本規準は、上記を背景に日本コンクリート工学会に設置された「接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会」[1]における調査・研究を基に作成されたものである。本規準は、アルカリ水溶液浸漬後の接着系あと施工アンカーと母材コンクリートとの付着力を測定する方法について規定するものであり、アルカリ環境である母材コンクリート中に固着される接着系あと施工アンカー部の耐アルカリ性を把握するのを目的としている。そのため、供用期間に応じた評価値等の判断基準は規定していない。ただし、アルカリ環境の影響を比較するような場合には、本規準に規定する方法を参考にして、蒸留水やイオン交換水による浸漬試験、あるいは気中試験を行なうことができる枠組みとした。

2. 適用範囲

2.1 ACI355.4-11 規準との関連性

この種の試験として標準化されているものには ACI355.4-11「Qualification of Post-installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary」規準[2]がある。

ACI 規準に適用される供試体の形状は、 $\Phi 150\text{mm}$ のコンクリート円柱供試体に接着系あと施工アンカーを固着した後、厚さ 30mm に切断し、 $\Phi 150\text{mm} \times$ 厚さ 30mm に成形したものであり、同一試験条件に対して 10 個以上製作することとしている。

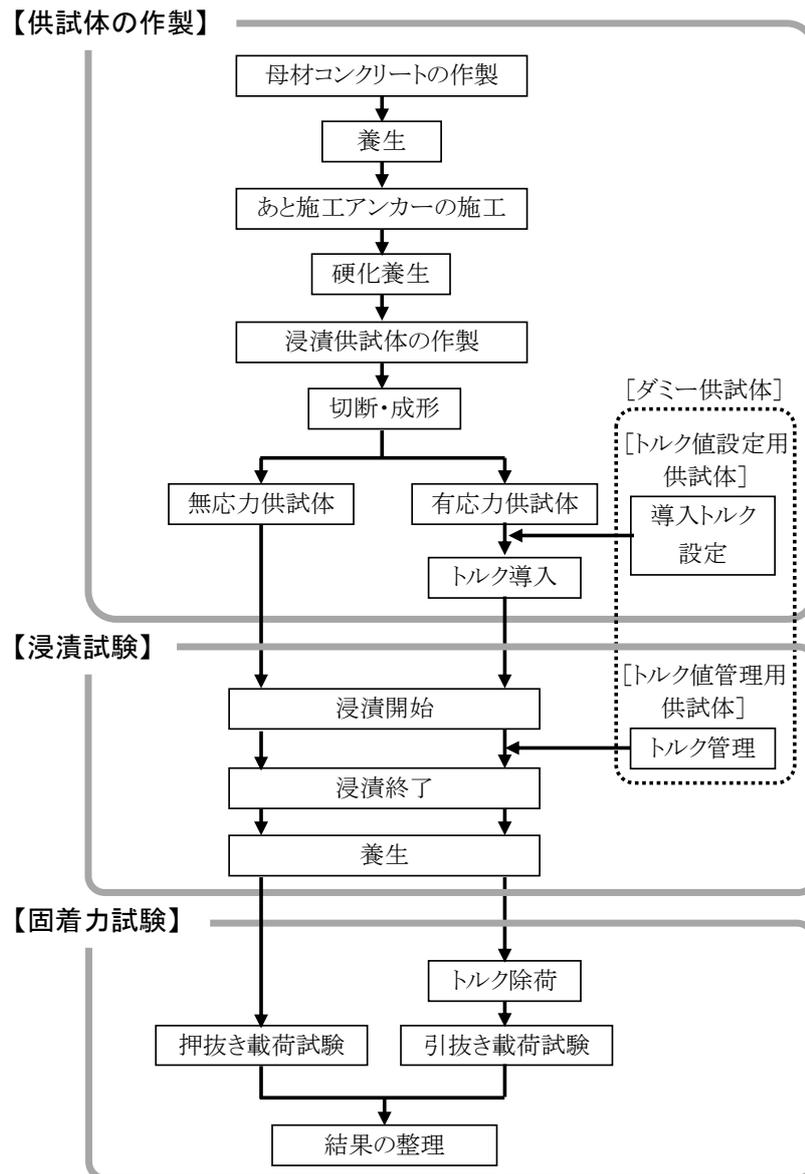
浸漬条件は、 $\text{pH}13.2 \pm 0.2$ の水酸化カリウム (KOH) 水溶液を用いて、 20°C 程度の通常水温の状態、最大 2000 時間まで浸漬することとしている。

所定の浸漬期間を終了後、押抜き載荷により、アルカリ水溶液浸漬後のあと施工アンカー一部の固着力を試験する方法が示されている。

2.2 本規準の適用範囲

本規準では、**解図 1** に示すとおり、先の ACI355.4-11 規準を準用した無応力状態での浸漬と押抜き荷試験に加えて、アンカー筋に軸力を導入した有応力条件での浸漬、引抜き荷試験も行うこととした。

これは、実際のあと施工アンカーでは、付帯設備の取付け等により、アンカー筋には一定の軸力が作用している状態にあることを考慮したことによる。



解図 1 本規準試験フロー[1]

3. 試験の方法

3.1 締付けトルク値の設定方法及び管理方法

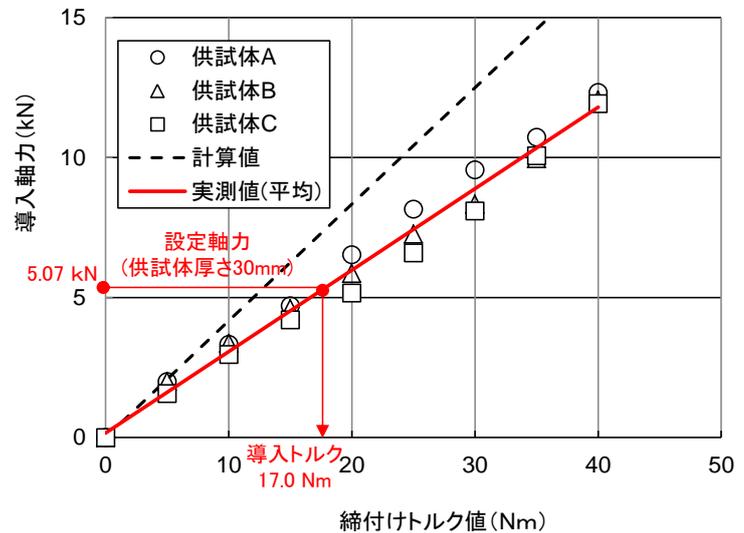
本規準に新たに規定した有応力供試体について、そのアンカー筋に導入する軸力は、荷重を一定に制御できるジャッキや重錘等により一定の軸力を作用させる方法が望ましいが、ここでは、

試験の簡便性を図り、手動式トルクツール等を用いて、所定の軸力に相当するトルク値を導入する方法とした。

そのため、浸漬供試体とは別に、これと同一形状のトルク値設定用供試体とトルク値管理用のダミー供試体を用意し、トルク値設定用供試体により浸漬試験開始時の導入トルク値を定めた上で、その設定トルク値が浸漬期間を通して一定の範囲に収まるようにトルク値管理用供試体によりトルク値を管理することとした。

解図 2 は、本規準 4.3.3 に規定する方法により、トルク値設定用供試体にて行った手動式トルクツールの締付けトルク値とロードセルにより測定したアンカー筋の軸力の関係を示す。

一般的に、アンカー筋を導入する軸力に相当するトルク値は、**解式 (1)** により算出されるが、**解図 2** に示すとおり、締付けトルク値に対して、実際にアンカー筋を導入される軸力と計算値との差は比較的大きい。そのため、本規準では、事前に、トルク値設定用供試体を用いて締付けトルク値とアンカー筋の軸力とのキャリブレーションを行ない、設定した軸力に相当するトルク値を定めるように規定した。



解図 2 締付けトルク値と実導入軸力との関係[1]

$$T = kDN$$

解式 (1)

ここに、 T : 締付けトルク (Nm)

k : トルク係数 (一般的に 0.2 とする)

D : アンカー筋の呼び径 (mm)

N : アンカー筋の軸力 (kN)

解図 3 と **解図 4** は、本規準 5.1.2 に規定する方法により、トルク値管理用供試体にて行った 2 種類の樹脂におけるトルク値の経時変化を示す。ここでは、浸漬開始時に所定軸力に相当するトルク値を導入した以降、トルク値のロスを確認しながら、概ね 2~3 日間経過ごとに浸漬開始時のトルク値まで再導入することを繰り返している。

これらの図に示すとおり、導入トルク値は時間経過にともないロスを生じるが、1 週間程度の間でのトルク値のロスは、樹脂 A の場合が 5% 程度と比較的小さく (**解図 3** 参照)、樹脂 B の場合でも 10% 程度のロスに止まっている (**解図 4** 参照)。

そこで、本規準では、所定の設定軸力の変動が $\pm 10\%$ 以内になるのを目安として、浸漬開始から1週間は毎日、それ以降は1週間に1回の頻度で導入トルク値を確認し、 10% を超える変化が確認された場合には、開始時に導入したトルク値まで再導入する方法とした。

3.2 荷重時の供試体周方向の拘束力と付着強度の関係

押抜き荷重及び引抜き荷重に際しては、アンカー筋の抜け出しにともない、母材コンクリート部にアンカー筋近傍から放射状のひび割れを生じる場合がある。

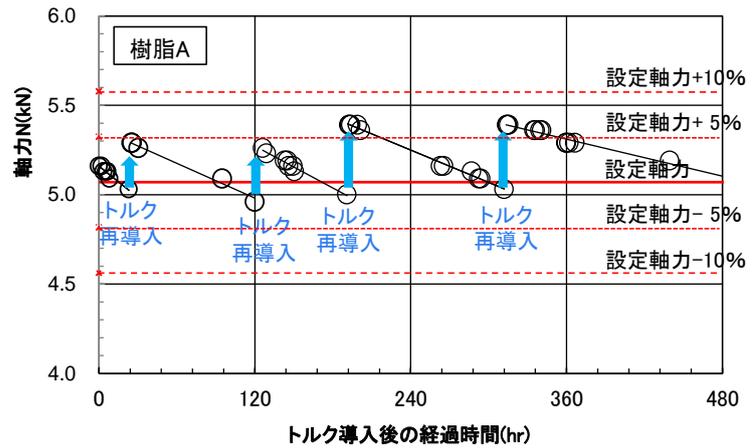
このような割裂破壊を抑制するために、本規準では、5.2.1に示す方法により、供試体の周方向に拘束力を加える方法を規定した。本規準に示す手順で解図5に示すようにスライスした供試体について、本規準5.2.1の方法により、M10ボルトを用いて周方向を30Nm（ボルト軸力として15kN程度、拘束力として200N/mm²程度）と60Nm（ボルト軸力30kN、拘束力400N/mm²程度）の2水準のトルク値で拘束した場合の荷重試験結果を行なった。

ここで、供試体の数は、それぞれの拘束トルク値について、引抜き荷重供試体を10個、押抜き荷重供試体を計20個（上層部10個、下層部10個）である。

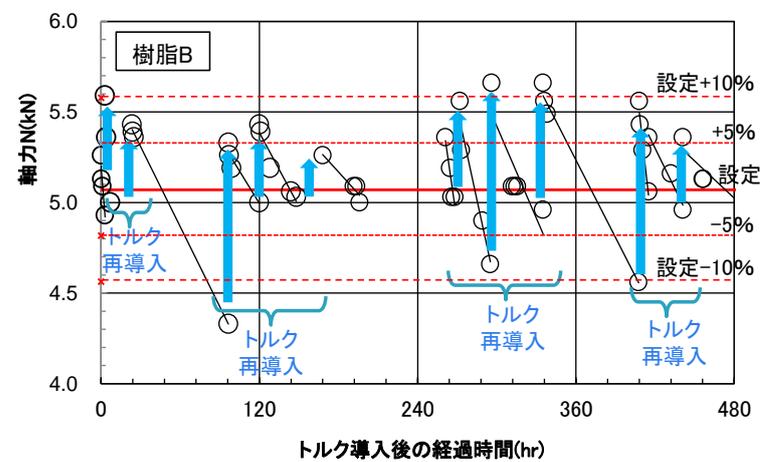
なお、検討要因を周方向の拘束力に限定するため、供試体は20℃程度の室内において気中養生し、また、引抜き荷重供試体のアンカー筋には軸力を導入しない無応力条件である。また、引抜き、押抜きのいずれの場合も、荷重にともなうアンカー筋の抜け出しが同じ方向になるように試験を行なった。

荷重試験及び押抜き荷重試験の結果をそれぞれ解図6、解図7に示す。

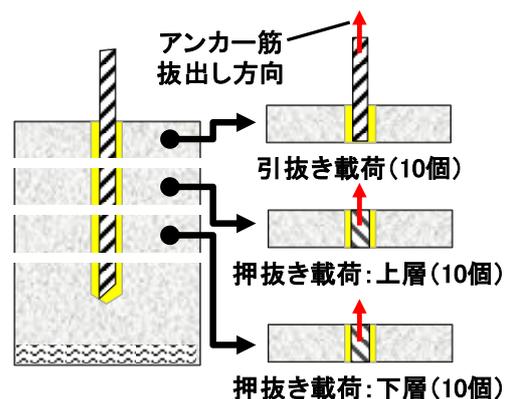
解図6に示すとおり、引抜き荷重の場合、拘束トルクの大小による付着強度の差は僅かであり、



解図3 時間経過にともなう導入トルクの変化（樹脂A）[1]



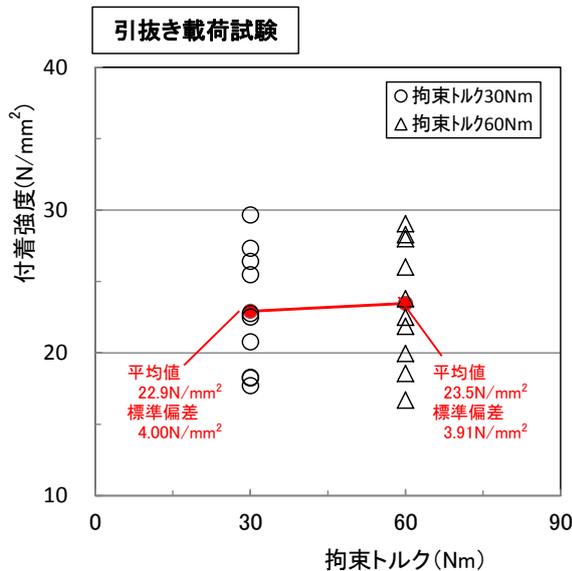
解図4 時間経過にともなう導入トルクの変化（樹脂B）[1]



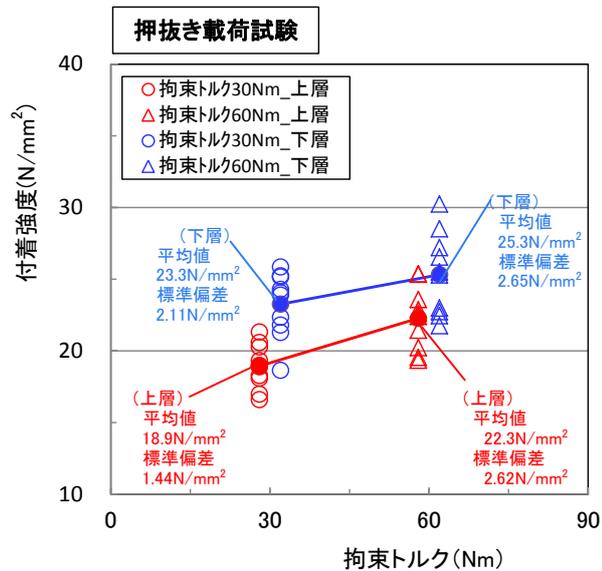
解図5 周方向拘束力の確認用供試体[1]

両者のばらつきは17%程度とほぼ同等である。また、**解図7**に示す押抜き载荷の場合、拘束トルクが大きい方が付着強度が10%程度大きく、拘束力の影響が認められるが、付着強度のばらつきはいずれも10%程度であり有意な差は認められない。

以上のことから、付着強度を過大評価しないように、周方向拘束力は拘束トルク30Nm（ボルト軸力として15kN程度、拘束力として200N/mm²程度）とするのが適切であると考えられ、本規準においては、この拘束力を標準とすることとした。



解図6 周方向拘束力と付着強度の関係[1]
(引抜き载荷試験)



解図7 周方向拘束力と付着強度の関係[1]
(押抜き载荷試験)

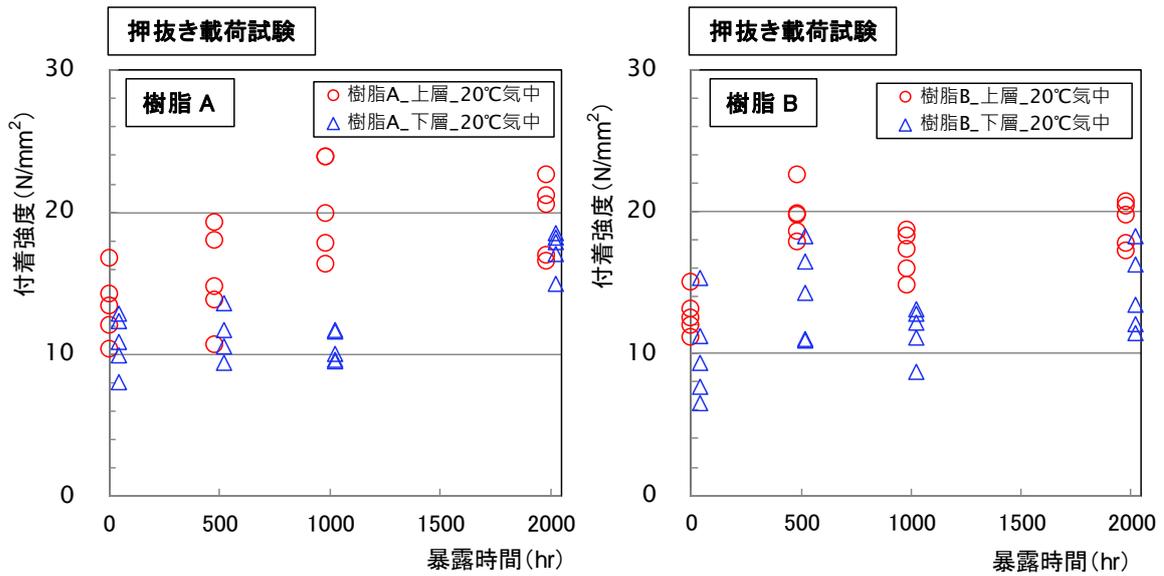
ここで、**解図7**に示す押抜き载荷では、上層の付着強度と比べて、下層の方が全体的に大きい傾向にあり、母材コンクリートからのスライス位置による差が認められる。この理由としては、母材コンクリートや注入樹脂の材料や施工面での均質性などの影響と考えられることから、载荷試験に際しては、スライス片が母材コンクリートのどの部位であるか、アンカー筋を固着した方向も含めて、把握しておく必要がある。

上記とは別の押抜き载荷試験であるが、参考として、アンカー筋の拔出し方向を考慮しないでランダムに载荷した結果を**解図8**に示す。母材コンクリートの配合や使用した接着剤の種類は異なるが、同じ手順で製作、切断したスライス片を、同じ室内にて気中養生し、载荷試験に際しては、周方向を30Nmのトルク値で拘束して試験を行なった場合である。

解図8を見ると分かるように、全体的に下層の方が上層の付着強度と比べて小さい傾向にあり、先の**解図7**に示した傾向とは逆の結果である。使用した母材コンクリートや接着剤が異なり、アンカー筋の拔出し方向もランダムであるため、アンカー筋の拔出し方向が要因の一つであるか否かは不明であるが、使用した母材コンクリートや接着剤の違いや部位の違いをより正確に把握するためには、少なくとも载荷に際してのアンカー筋の拔出し方向を明確にしておくことが重要である。

以上のことから、規準においては、载荷試験に際して、不確定要因をできるだけ排除するように、どの部位のスライス片であるかを把握するとともに、アンカー筋の拔出しを同じ方向になる

ように載荷する規定とした。



解図 8 押抜き載荷試験におけるスライス片の部位と付着強度の関係[1]
(アンカー筋抜き方向ランダム)

3.3 載荷時の供試体のひび割れと付着強度の関係

3.2の載荷試験について、載荷を通してどの時点でひび割れが発生したかは特定はできないが、引抜き載荷、押抜き載荷の載荷方向の違いによらず、また、いずれの供試体にも、アンカー部周辺から放射状に複数本のひび割れが生じた（解写真 1）。



ひび割れ：3本

ひび割れ：4本

ひび割れ：5～6本

解写真 1 母材コンクリート部に発生したひび割れ状況の一例[1]

母材コンクリートに生じた放射状ひび割れの本数と付着強度の関係を整理し、解図 9 と解図 10 に示す。

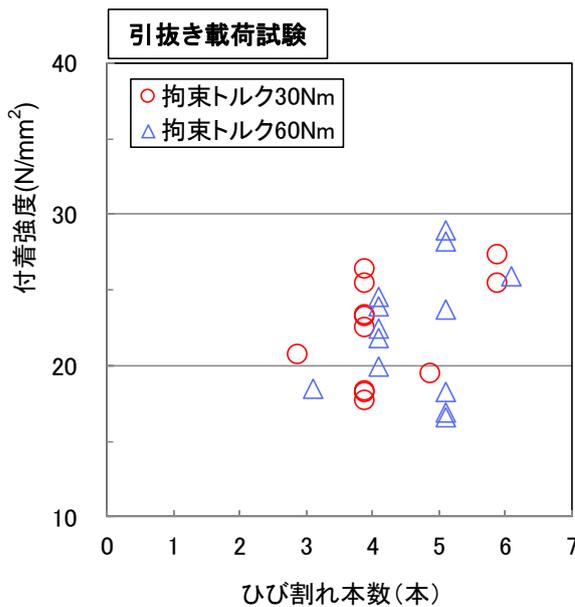
引抜き載荷（解図 9）と押抜き載荷（解図 10）において、発生したひび割れの本数を比較すると、全体的に引抜き載荷の方がひび割れ発生本数が多い傾向が認められるが、両者ともに付着強度は同程度の範囲であり、ひび割れ本数の多少と付着強度の大小との相関は特に認められない。

また、引抜き、押抜きの載荷方向の違いによらず、周面拘束力の大小とひび割れ発生本数との

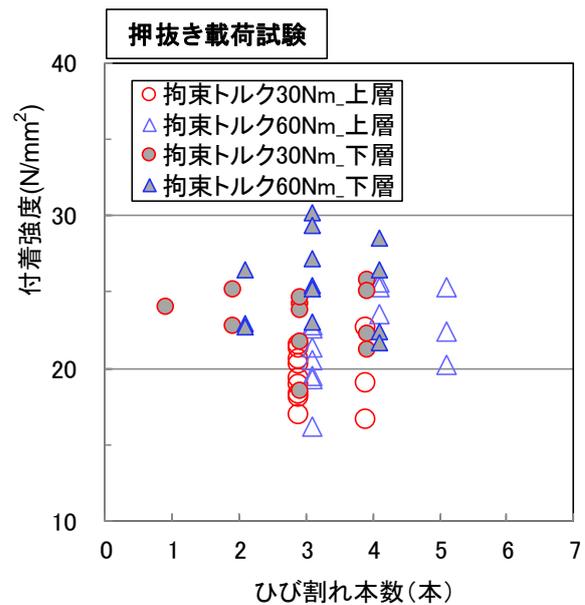
関係も明確には認められず、拘束トルクを大きくしても、特にひび割れ発生抑制効果が高まる傾向は認められない。

解図 10 の押抜き荷重試験において、上層と下層のひび割れ本数の違いを見ると、全体的に下層の方が付着強度が大きい傾向にはあるものの、ほとんどがひび割れ 3~4 本であり、ひび割れ本数の多少によらず、付着強度の大小との関係性は認められない。

以上のように、荷重時に発生するひび割れによる付着強度への影響は特に認められないことから、本規準では、供試体にひび割れが発生した場合の試験結果についても有意な試験値として採用することとした。



解図 9 引抜き荷重におけるひび割れ発生本数と付着強度の関係[1]



解図 10 押抜き荷重におけるひび割れ発生本数と付着強度の関係[1]

4. 懸案事項

本規準によって得られた結果をどのように評価し、使用する接着系あと施工アンカーの良否の判定や品質規格につなげるかは極めて重要な事項である。そのためには、以下に挙げるような課題を明らかとする必要があり、今後、本規準を適用した多くのパラメータスタディーによる検証データの集積に負うところが大きい。

a) 実環境と本規準との相関性について

本規準で規定する pH13.2 の水酸化カリウム水溶液の水温 (20~60°C)、浸漬期間などの促進条件が、母材コンクリート中の環境をどの程度促進させる条件となっているのか、実環境の何年に相当するのかを明らかとすることが今後の検討課題と言える。そのためには、アルカリ溶液浸漬とともに、気中暴露や通常水への浸漬試験を併用したり、さらに実構造物での長期的な実測データとの相関関係を集積することが望まれる。

b) 荷重試験結果のばらつきの評価

あと施工アンカー部の付着強度は、樹脂そのものの材料面での均質性はもとより、母材コンクリートの均質性、さらには施工方法の良否によっても大きく左右される。また、アンカー筋の中心をピンポイントかつ垂直に荷重することが求められるなど、荷重方法の難しさもある。

これらの材料や試験方法に関わる要因の影響とアルカリ環境によるダメージとが複雑に絡み合うため、比較的ばらつきを生じ易い試験方法と言える。

国内の既往の検討や ACI 規準の関連資料においても、同程度のばらつきの範囲が報告されているようであり、この種の試験において、ばらつきをできるだけ小さくできる試験方法の改善が必要と言える。ただし、実環境においても同程度のばらつきが生じている可能性もあり、今後は、実構造物での実測データとも照合し、実現象を模擬できる有意なばらつきの範囲であるか否かを明らかとしていく必要がある。

<参考文献>

- [1] 日本コンクリート工学会：接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会報告書, 2016.6
- [2] ACI355.4-11 : Qualification of Post-installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary, 2011

委員会報告書

「接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会報告書」(2016.6)

作成者一覧

(JCI-TC-145C 接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性試験方法に関する研究委員会)
(2014.8～2016.3)

委員長	中村 光	名古屋大学	
幹事	新藤 竹文	大成建設株式会社	
	中村 聡宏	名古屋大学	
委員	青木 圭一	中日本高速道路(株)	(～2015.6)
	広瀬 剛	株式会社高速道路総合技術研究所	(2015.7～)
	石橋 忠良	JR 東日本コンサルタンツ株式会社	
	国枝 稔	岐阜大学	
	久保内 昌敏	東京工業大学	
	佐藤 靖彦	北海道大学	
	中野 克彦	千葉工業大学	
	西崎 到	国立研究開発法人 土木研究所	
	濱崎 仁	芝浦工業大学	
	久田 真	東北大学	
	古市 耕輔	鹿島建設株式会社	
	三浦 泰人	名古屋大学	(2015.5～)
	向井 智久	国立研究開発法人 建築研究所	
	山崎 大輔	ショーボンド建設株式会社	
	大垣 正之	岡部株式会社	
	西田 聖二	旭化成ケミカルズ株式会社	
	櫻井 和人	日本ヒルティ株式会社	(～2015.3)
	寺崎 慎一	前田工織株式会社	(2015.5～)
	藤間 誠司	電気化学工業株式会社	
事務局	高田 和法	公益社団法人日本コンクリート工学会	

(JCI 規準委員会)

委員長	十河 茂幸	広島工業大学	
委員	大久保孝昭	広島大学	
	桜本 文敏	鹿島建設株式会社	
	椿 龍哉	横浜国立大学	
	渡辺 博志	国立研究開発法人 土木研究所	

(学術技術部門担当副会長)

二羽淳一郎 東京工業大学

以上