

あと施工アンカーの信頼性向上に関する研究②

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 27

担当チーム：材料資源研究グループ

研究担当者：古賀 裕久、中村 英佑

【要旨】

接着系あと施工アンカーの耐荷性能の確保とその適切な評価方法の確立に向けて、①引張耐力の評価試験方法、②施工時の品質管理方法、③接着剤の品質が引張耐力に与える影響について検討した。この結果、コーン状破壊時の引張耐力を把握するためには載荷試験時の支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの4倍以上とすることが望ましいことがわかった。また、コンクリートにひび割れがある場合や孔内の清掃が十分でない場合、母材コンクリートと接着剤の界面で付着破壊が発生した範囲が広くなり引張耐力が低下することがわかった。さらに、収縮量の大きい接着剤や保水能力の低い接着剤を用いると、引張耐力のばらつきが大きくなることなどがわかった。キーワード：接着系あと施工アンカー、引張耐力、品質管理、収縮特性、保水性

1. はじめに

接着系あと施工アンカーは、比較的容易に設置が可能であることから、付帯設備の設置、既設構造物の補修や補強などに幅広く利用されている。しかし、接着系あと施工アンカーの耐荷性能の評価試験方法や品質管理方法は十分には確立されていない。また、接着剤の品質が接着系あと施工アンカーの耐荷性能に与える影響も明確ではない。接着系あと施工アンカーを用いた土木構造物を今後も安全に利活用していくためには、接着系あと施工アンカーの耐荷性能の評価試験方法を確立するとともに、施工時の品質管理方法や耐荷性能を低下させる要因を明確にしておく必要がある。

本研究課題では、接着系あと施工アンカーの耐荷性能の評価試験方法と施工時の品質管理方法を明確にするため、次の(1)～(3)について検討した。

(1)引張耐力の評価試験方法

接着系あと施工アンカーの引張耐力と破壊モードは載荷試験時の支点間隔によって変化するため、支点間隔を変化させた引張試験を行い、引張耐力の適切な評価試験方法について検討した^{1), 2)}。

(2)施工時の品質管理方法

接着系あと施工アンカーでは、施工作業の良否や母材コンクリートのひび割れの有無によって引張耐力が変化する可能性が高いため、各種の施工条件の違いが接着系あと施工アンカーの耐荷性能に与える影響を明らかにするための実験を行い、施工時の品質管理方法について検討した^{1), 3)}。

(3)接着剤の品質が引張耐力に与える影響

特に無機系接着剤では、施工後の接着剤自体の収縮や接着剤に含まれる水分が母材コンクリートに吸収されることによって付着力が低下することが懸念されるため、収縮特性や保水能力の異なる無機系接着剤を用いた実験を行い、無機系接着剤の品質が接着系あと施工アンカーの引張耐力に与える影響について検討した。

2. 引張耐力の評価試験方法の検討

2. 1 検討の背景と目的

国内外の接着系あと施工アンカーの非拘束引張試験方法では載荷時の支点間隔の推奨値が異なり、国内ではアンカーボルトの埋込み長さの2倍以上⁴⁾、国外では4倍以上⁵⁾とされ統一的な見解が得られていない。また、国内の指針⁶⁾では引張荷重作用時の破壊モードを「アンカーボルトの降伏及び破断」、「コーン状破壊」、「付着破壊」に分類して各々で異なる耐力算定式を採用しているが、引張耐力と破壊モードは載荷時の支点間隔によって変化することが報告されている⁷⁾。そこで、載荷時の支点間隔の異なる供試体の引張試験を行い、接着系あと施工アンカーの引張耐力の評価方法について検討した。

2. 2 実験方法

2. 2. 1 使用材料と実験パラメータ

あと施工アンカーを設置する母材に使用したコンクリートの配合とフレッシュ性状を表-1に示す。接着剤には注入式の超速硬セメント系接着剤、アン

表-1 母材コンクリートの配合とフレッシュ性状

| 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 s/a (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | フレッシュ性状 | | |
|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|--------------|------------|------------|
| | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | 混和剤 A | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 温度 (°C) |
| 64.1 | 47.5 | 160 | 250 | 881 | 1000 | 2.50 | 5.5 | 5.7 | 22.0 |

表-2 実験パラメータ

| 供試体寸法(mm) | | | 接着剤 | アンカー ボルト直径 d_a (mm) | 埋込み 長さ l_e (mm) | 支点間隔 | | 実験 本数 | 圧縮強度(N/mm ²) | |
|-----------|------|-----|--------------|-----------------------------|-------------------------|------|------------------|----------|--------------------------|------|
| 縦 | 横 | 高さ | | | | (mm) | ($\times l_e$) | | コンク リート | 接着剤 |
| 450 | 750 | 250 | 超速硬 セメント系 | 16 | 80 ($5d_a$) | 30 | 0.375 | 4 | 27.3 | 57.2 |
| 815 | 815 | 250 | | | | 80 | 1 | 4 | | |
| 815 | 815 | 250 | | | | 160 | 2 | 4 | | |
| 1040 | 1040 | 250 | | | | 240 | 3 | 4 | | |
| 690 | 1260 | 250 | | | | 320 | 4 | 2 | | |
| 690 | 1260 | 250 | | | | 448 | 5.6 | 2 | | |

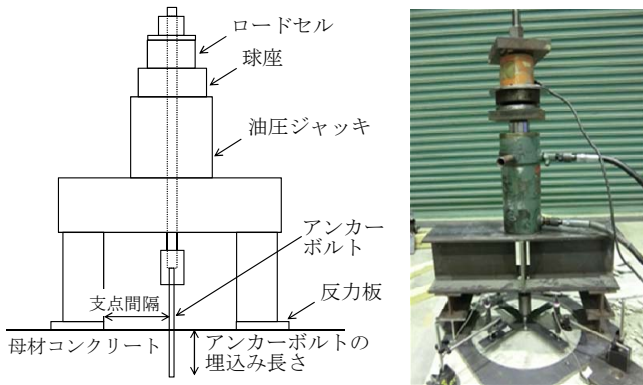


図-1 引張試験の実施状況

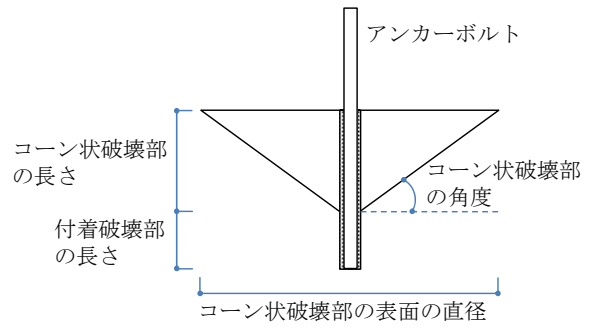


図-2 破壊形状の測定項目

カーボルトには寸切り全ねじボルト SNB7 M16 (引張強度 928N/mm²) を使用した。

実験パラメータを表-2 に示す。アンカーボルトの埋込み長さ (l_e) を直径 (d_a) の 5 倍に固定し、載荷時の支点間隔を埋込み長さの 0.375、1、2 (国内推奨値の最小値⁴⁾)、3、4 (国外推奨値の最小値⁵⁾)、5.6 倍の 6 水準として載荷時の支点間隔の違いが引張耐力と破壊モードに及ぼす影響を検討した。

2. 2. 2 アンカー施工

母材コンクリートには、材齢 7 日まで湿潤養生した後、実験室内に保管したものを使用した。材齢 28 日以降に、ハンマードリルで円形孔の穿孔を行った。穿孔径については、20mm とした。穿孔時及び穿孔後にブラシと集塵機を使用して孔内の切粉を除去した。なお、あと施工アンカーの設置位置については、アンカーボルトから母材コンクリート側面までの距離や支点間隔を十分に確保し、各供試体の表面に均等になるように設定した。

母材コンクリートでは $\phi 100 \times 200$ mm、接着剤では $\phi 50 \times 100$ mm の円柱供試体を使用して JIS A 1108

に準拠し、引張試験の直前に圧縮強度を測定した (表-2 参照)。

2. 2. 3 引張試験と破壊状況の目視観察

引張試験の実施状況を図-1 に示す。載荷時の支点間隔を変化させるため、所定の寸法の円形孔を設けた鋼製の反力板を供試体表面に設置し、載荷速度約 3kN/sec⁴⁾ で引張試験を行った。供試体表面から約 10mm の位置でアンカーボルトの変位を測定した。

引張試験後の破壊状況の測定項目を図-2 に示す。載荷時の支点間隔とアンカーボルトの埋込み長さが破壊状況に及ぼす影響を明らかにするため、「付着破壊部の長さ」と「コーン状破壊部の表面の直径」を等間隔に 4 点で測定して平均し、これらとアンカーボルトの埋込み長さの関係から「コーン状破壊部の長さ」と「コーン状破壊部の角度」を算出した。

2. 3 実験結果および考察

2. 3. 1 載荷時の支点間隔と引張耐力の関係

載荷時の支点間隔と引張耐力の関係を図-3 に示す。支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの 0.375 ~ 1 倍とした場合には引張耐力は同程度であったが、

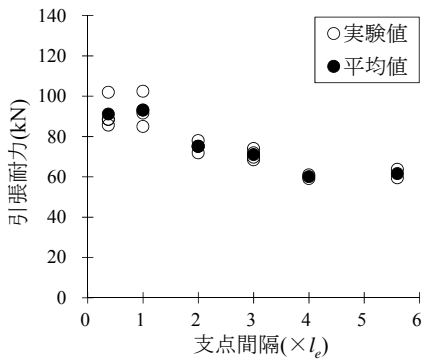


図-3 支点間隔と引張耐力

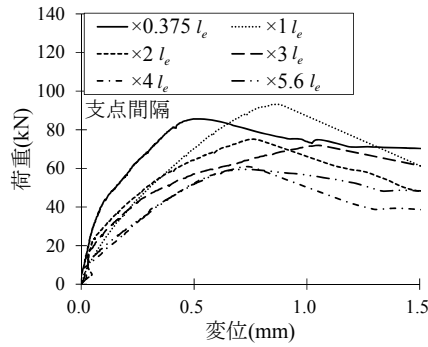


図-4 荷重-変位曲線

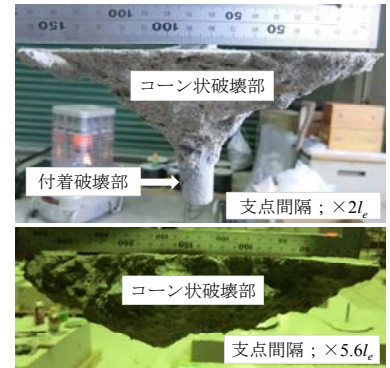


図-5 試験後の破壊状況の例

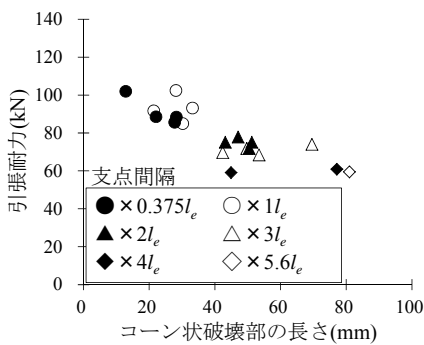


図-6 コーン状破壊部の長さで引張耐力

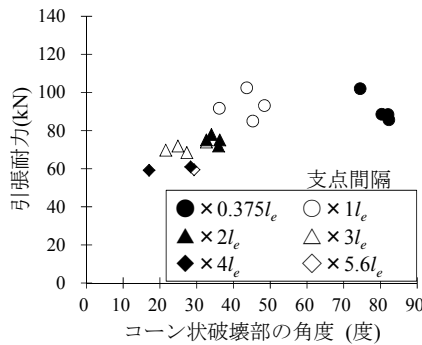


図-7 コーン状破壊部の角度で引張耐力

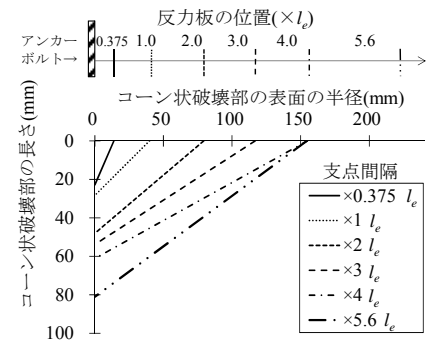


図-8 コーン状破壊部の形状

1~4 倍とした場合には引張耐力は支点間隔を大きくするほど低下した。しかし、4~5.6 倍とした場合には、引張耐力の低下はほとんど生じなかった。なお、引張耐力の実測値と既存の耐力算定式⁵⁾によるコーン状破壊時の引張耐力の計算値を比較した結果、4~5.6 倍とした場合でも実測値は計算値を上回った。

代表的な荷重-変位関係を図-4 に示す。若干のばらつきはあるが、支点間隔を大きくするほど変位 0.5mm 程度までの載荷初期の剛性が低下した。支点間隔を大きくした場合にアンカーボルト周囲のコンクリートの非拘束範囲が広くなり、アンカーボルトの抜け出し量と非拘束範囲の母材コンクリートの弾性変形が大きくなったためと考えられる。

2. 3. 2 載荷時の支点間隔と破壊状況の関係

引張試験後のアンカーボルト周囲では、図-5 の上部の写真のようにコーン状破壊と付着破壊が複合的に発生することが多かった。引張耐力とコーン状破壊部の長さの関係を図-6 に、コーン状破壊部の角度の関係を図-7 に示す。アンカーボルトの埋込み長さを一定として支点間隔を大きくすると、コーン状破壊部の長さが大きく、コーン状破壊部の角度が小さくなり、引張耐力が低下したことがわかる。

次に、コーン状破壊部の形状を視覚的に把握する

ため、横軸をコーン状破壊部の表面の半径、縦軸をコーン状破壊部の長さとしてコーン状破壊部の形状を再現したグラフを図-8 に示す。同図の上部には支点間隔ごとの反力板の位置も併記した。支点間隔を埋込み長さの 0.375~4 倍とした場合、コーン状破壊部の表面の半径が反力板の位置と概ね一致しており、コーン状破壊は反力板の端部直下のコンクリートの圧壊を起点に発生したと考えられる。また、コーン状破壊部の形状は載荷時の支点間隔の大きさに相似して変化せず、支点間隔を埋込み長さの 1~4 倍とした場合には、支点間隔を大きくするほどコーン状破壊部の長さが大きく、角度が小さくなった。埋込長さの 1~4 倍の範囲内では、支点間隔を大きくすると、アンカーボルトと反力板の間で形成されるコンクリートコーンの形状が大きくなったが、付着破壊部の長さが小さくなり、接着剤の付着で負担する引張荷重が低下して引張耐力が低下したと考えられる。

一方、支点間隔を埋込み長さの 4~5.6 倍とした場合には、引張耐力及びコーン状破壊部表面の半径が概ね同程度となった。特に支点間隔を埋込み長さの 5.6 倍とした場合、コーン状破壊部の長さがアンカーボルトの埋込み長さと同程度で付着破壊部がなく、コーン状破壊部表面の半径が支点間隔よりも小さく

表-3 母材コンクリートの配合とフレッシュ性状、材齢 28 日の圧縮強度

| 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | スランブ (cm) | 空気量 (%) | 温度 (°C) | 圧縮強度 (N/mm ²) |
|------------|----------|--------------------------|--------|-----|------|------|-----------|---------|---------|---------------------------|
| | | 水 | 普通セメント | 細骨材 | 粗骨材 | 混和剤 | | | | |
| 64.1 | 47.5 | 160 | 250 | 881 | 1000 | 2.50 | 5.5 | 5.7 | 22.0 | 25.9 |

表-4 実験パラメータ

| 施工条件 | 供試体寸法 (mm) | | | 接着剤 | 穿孔径 (mm) | 埋込み長さ l_e (mm) | 支点間隔 (mm) | 供試体数 | 実験本数 | 圧縮強度(N/mm ²) | | |
|------|------------|-----|-----|-----|----------|------------------|-----------|------|------|--------------------------|-------|------|
| | 縦 | 横 | 高さ | | | | | | | コンクリート | 接着剤 | |
| 標準 | 450 | 750 | 250 | A | 20 | 80 ($5d_a$) | 30 | 1 | 4 | 27.3 | 57.2 | |
| | | | | B | 18 | | | | 4 | 26.8 | 117.4 | |
| ひび割れ | 300 | 750 | 250 | A | 20 | | | 8 | 8 | 8 | 27.3 | 57.2 |
| | | | | B | 18 | | | | | 4 | 27.3 | 57.2 |
| 清掃不良 | 450 | 750 | 250 | A | 20 | | | 1 | 4 | 4 | 27.3 | 57.2 |
| | | | | B | 18 | | | | | 4 | 27.3 | 99.6 |
| 水浸し | 450 | 750 | 250 | A | 20 | | | 1 | 4 | 4 | 27.3 | 57.2 |
| | | | | B | 18 | | | | | 4 | 27.3 | 99.6 |
| 傾斜 | 球座有 | 750 | 250 | A | 20 | | | 1 | 4 | 4 | 27.3 | 57.2 |
| | | | | B | 18 | | | | | 4 | 27.3 | 99.6 |
| トルク | 球座無 | 750 | 250 | A | 20 | | | 1 | 4 | 4 | 27.3 | 57.2 |
| | | | | B | 18 | | | | | 4 | 27.3 | 57.2 |
| トルク | | | | A | 20 | | 35 | 1 | 4 | 27.3 | 57.2 | |

なり、図-5の下部の写真のような純粋なコーン状破壊が生じた。これらの結果を踏まえると、非拘束状態で純粋なコーン状破壊発生時の引張耐力を確認するためには、支点間隔の影響を小さくするため、支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの4倍以上とすることが望ましいと考えられる。

2. 4 まとめ

非拘束状態の引張試験では、載荷時の支点間隔の違いによって引張耐力とコーン状破壊部の形状が変化することがわかった。また、純粋なコーン状破壊が発生する場合の引張耐力を確認するためには、支点間隔の影響を小さくするため、支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの4倍以上とすることが望ましいことがわかった。

3. 施工時の品質管理方法の検討

3. 1 検討の背景と目的

国内の指針⁶⁾では母材コンクリートのひび割れのない箇所にあと施工アンカーを設置することを想定しているが、特に既設構造物では、あと施工アンカーの設置予定箇所の近傍にあらかじめひび割れが発生している可能性もある。また、特に接着系あと施工アンカーでは、施工作業の良否によって耐荷挙動が変化することが高い。そこで、様々な施工条件を模擬して設置した接着系あと施工アンカーの引張試験を行い、接着系あと施工アンカーの引張耐荷挙動に施工条件が及ぼす影響を明らかにした上で、施工時の品質管理方法について検討した。

3. 2 実験方法

3. 2. 1 使用材料と実験パラメータ

母材に使用したコンクリートの配合とフレッシュ性状、材齢 28 日の圧縮強度を表-3に示す。超速硬セメント系（以下、接着剤 A）、エポキシ系（以下、接着剤 B）の 2 種類の接着剤を使用し、いずれも注入式とした。アンカーボルトには、寸切り全ねじボルト SNB7 M16（引張強度 928N/mm²）を使用した。

表-4に実験パラメータの一覧を示す。施工条件は、「標準施工」、「ひび割れ箇所への施工」、「清掃不良での施工」、「水浸し状態での施工」、「傾斜孔への施工」、「トルク導入」の 6 種類である。

「標準施工」では、施工不良がなく適切に施工された状態を再現するため、各工法の施工マニュアルに準拠して、あと施工アンカーを設置した。

「ひび割れ箇所への施工」では、アンカー施工前に曲げ載荷を行って供試体のスパン中央に曲げひび割れを導入し、供試体表面のひび割れ位置と円形孔の中心が一致するように穿孔してあと施工アンカーを設置した。円形孔の両端部でクラックゲージにより測定したひび割れ幅の平均値は 0.050~0.125mm であり、供試体の両側面で測定したひび割れ深さはアンカーボルトの埋込み長さよりも大きくなった。

「清掃不良での施工」では、穿孔時及び穿孔後に孔内を全く清掃せず、あと施工アンカーを設置した。

「水浸し状態での施工」では、孔内を完全に水で浸して、あと施工アンカーを設置した。

「傾斜孔への施工」では、供試体表面の直角軸に対し 2~4 度の傾斜をつけて穿孔し、あと施工アン

カーを設置した。また、載荷試験時に、球座を使用する場合と使用しない場合の引張試験を行った。

「トルク導入」では、引張試験の直前にトルクレンチで $100\text{N}\cdot\text{m}$ のトルクが導入されるようにアンカーボルトをナット締めして固定した。

なお、「標準施工」、「清掃不良での施工」、「水浸し状態での施工」では接着剤 A と接着剤 B、「ひび割れ箇所への施工」、「傾斜孔への施工」、「トルク導入」では接着剤 A のみを使用した。

3. 2. 2 アンカー施工

材齢 7 日まで湿潤養生した後、実験室内で母材コンクリートを保管した。その後、材齢 28 日以降に実験室内の床に静置した供試体の上面に対してハンマードリルで下向きに円形孔を穿孔し、あと施工アンカーを設置した。穿孔径を接着剤 A で 20mm 、接着剤 B で 18mm 、アンカーボルトの埋込み長さ (l_b) を直径 (d_a) の 5 倍とした。「清掃不良での施工」以外では、穿孔時及び穿孔後にブラシと集塵機で孔内の切粉を除去した。「ひび割れ箇所への施工」以外では、あと施工アンカーの設置位置をアンカーボルト同士の間隔とへりあき距離が 150mm となるように設定した。

母材コンクリートでは $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 、接着剤 A では $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体を使用して JIS A 1108 に準拠し、接着剤 B では $15 \times 17 \times 43\text{mm}$ の角柱供試体を使用して JIS K 7181 を参考に、引張試験の直前に各材料の圧縮強度を測定した (表-4 参照)。

3. 2. 3 引張試験と破壊状況の目視観察

引張試験の実施状況を図-9 に示す。アンカーボルト周辺が拘束された状態で引張荷重の作用する場合に、各種の施工条件の違いが付着破壊時の引張耐力に及ぼす影響を明らかにするため、反力板の支点間隔を「トルク導入」以外で 30mm 、「トルク導入」ではナットと反力板の干渉を避けるため 35mm とした。載荷速度を約 3kN/sec とし⁴⁾、供試体表面から約 10mm の位置でアンカーボルトの変位を測定した。

試験後の破壊状況の例を図-10 に示す。施工条件の違いが破壊状況に及ぼす影響を明らかにするため、破壊面を「接着剤とアンカーボルトの界面の付着破壊部」、「母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部」、「コーン状破壊部」の 3 種類に分類し、各部分の範囲を目視で記録してアンカーボルト周囲全長の破壊面に占める割合を算出した。

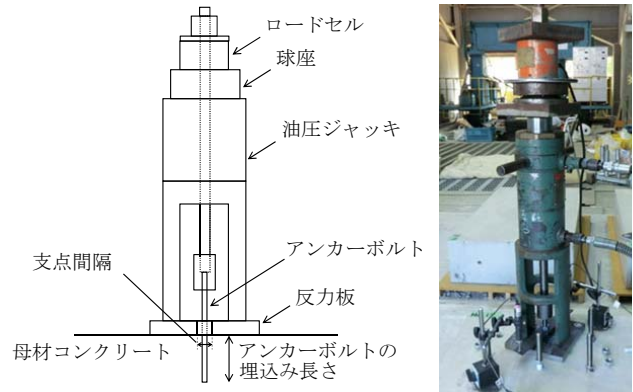


図-9 引張試験の実施状況

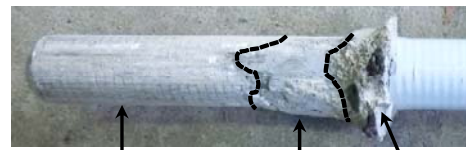


図-10 試験後の破壊状況の例

3. 3 実験結果および考察

3. 3. 1 ひび割れ箇所への施工

コンクリート表面の孔周辺のひび割れ幅と破壊状況、引張耐力の関係を図-11 に示す。若干のばらつきが認められるが、供試体表面に $0.050 \sim 0.125\text{mm}$ の曲げひび割れを導入した箇所に接着系あと施工アンカーを設置した場合、引張耐力は、曲げひび割れを導入していない場合よりも低下する傾向にあった。曲げひび割れを導入した場合、引張耐力の平均値は、約 20% 低下した。次に、破壊状況に着目すると、曲げひび割れを導入していない場合は接着剤とアンカーボルトの界面の付着破壊部が多くなったが、曲げひび割れを導入した場合は母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部が多くなり、この傾向が主に引張耐力の低下割合の大きい供試体で現れたことがわかる。曲げひび割れを導入した位置に接着系あと施工アンカーを設置すると、引張荷重作用時にひび割れの存在により母材コンクリートによる接着剤とアンカーボルトの拘束効果が低下するとともに、ひび割れ近傍で母材コンクリートと接着剤の界面の剥離が発生したためと考えられる。

孔周辺のひび割れ幅と引張耐力の関係を図-12、供試体側面のひび割れ深さと引張耐力の関係を図-13 に示す。曲げひび割れの導入により引張耐力が低下する傾向を確認できるが、引張耐力の低下傾向とひび割れの幅や深さとの関係は明確ではなかった。こ

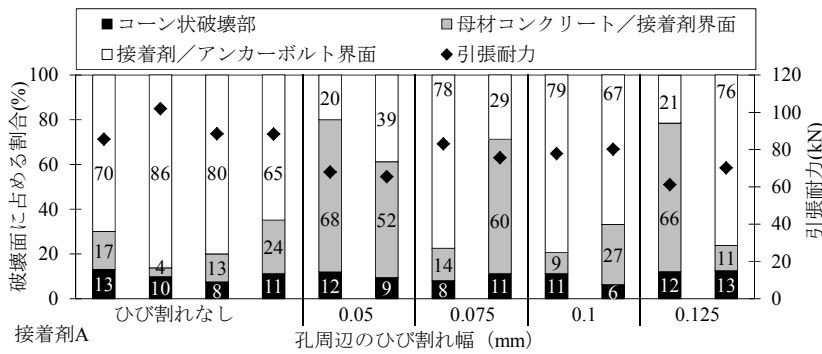


図-11 ひび割れ幅と破壊状況、引張耐力

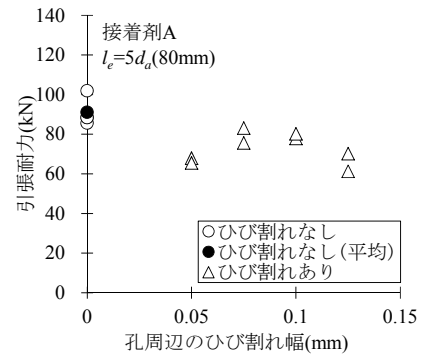


図-12 ひび割れ幅と引張耐力

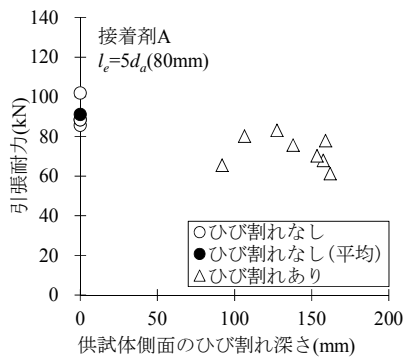


図-13 ひび割れ深さと引張耐力

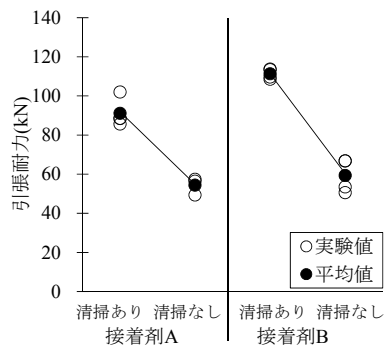


図-14 清掃の有無と引張耐力

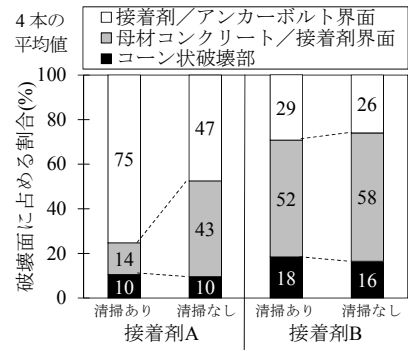


図-15 破壊状況 (清掃の有無)

ここでは供試体表面でひび割れ位置と円形孔の中心が一致するように穿孔を行ったが、供試体内部のひび割れ進展状況と円形孔の位置関係が供試体ごとに異なった可能性があり、供試体表面のひび割れ発生状況と引張耐力に明確な関係が現れなかった可能性があると考えられる。

3. 3. 2 清掃不良での施工

清掃の有無と引張耐力の関係を図-14 に示す。穿孔時及び穿孔後に清掃を行わなかった場合、引張耐力の平均値は、清掃を行った場合と比べて接着剤 A で約 40%、接着剤 B で約 47%低下した。清掃を行わなかった場合には切粉が孔底部に残り、清掃を行った場合と比べてアンカーボルトの埋込み長さが約 10%減少した。この埋込み長さの減少も引張耐力の低下の一因となったと考えられるが、清掃を行わなかった場合の引張耐力の低下は著しく、施工不良による接着系あと施工アンカーの引張耐力の低下を避けるためには、穿孔時及び穿孔後に孔内の清掃を適切に行うことが不可欠と考えられる。

清掃の有無と破壊状況 (各条件 4 本の平均値) の関係を図-15、試験後の破壊状況の例を図-16、代表的な荷重-変位関係を図-17 に示す。清掃を行わなかった場合、清掃を行った場合と比べて母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部が増加した。こ

の傾向は、清掃を行った場合に母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部が少なかった接着剤 A で特に明確に現れた。清掃不良で孔内に残存した切粉によって母材コンクリートと接着剤の界面の付着が阻害され、引張荷重が適切に伝達されなかったためと考えられる。また、接着剤 A の荷重-変位関係では、清掃を行わなかった場合に最大荷重までの変位が大きくなった。孔内の切粉により母材コンクリートと接着剤の付着不良が生じ、界面の滑りが連続的に発生したためと考えられる。

3. 3. 3 水浸し状態での施工

水浸しの有無と引張耐力の関係を図-18、破壊状況 (各条件 4 本の平均値) を図-19 に示す。孔内を水で浸した場合、若干のばらつきが認められるが、引張耐力の平均値は、接着剤 A で約 3%、接着剤 B で約 10%低下した。また、いずれの接着剤でも母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部が若干増加した。接着剤 A では孔内の水により接着剤に脆弱層が生じたため、接着剤 B では母材コンクリートと接着剤の界面の付着不良が生じたためと考えられる。ただし、孔内を水で浸した場合の引張耐力の低下割合は、清掃不良の場合よりも小さくなった。

3. 3. 4 傾斜孔への施工

傾斜及び球座の有無と引張耐力の関係を図-20 に



図-16 試験後の破壊状況の例

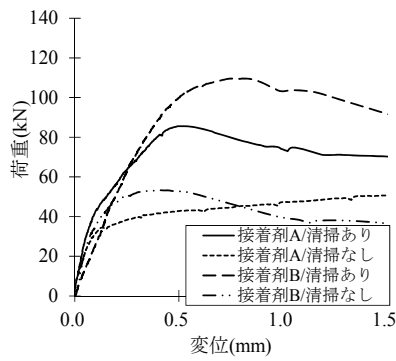


図-17 荷重-変位関係 (清掃の有無)

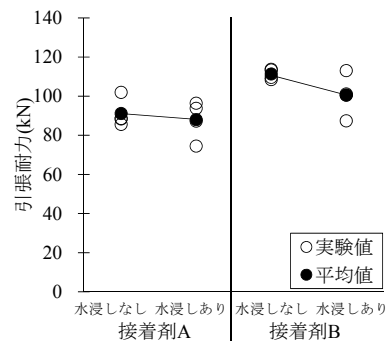


図-18 水浸しの有無と引張耐力

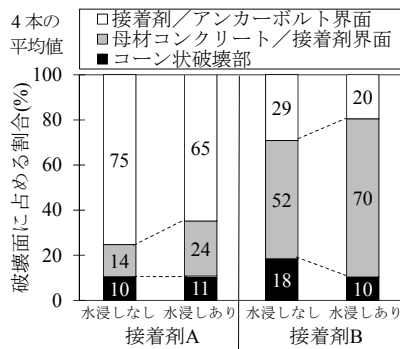


図-19 破壊状況 (水浸しの有無)

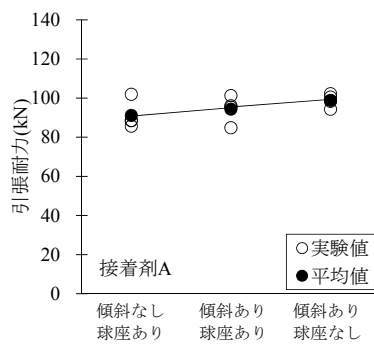


図-20 傾斜の有無と引張耐力

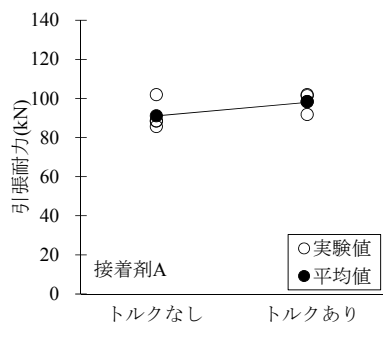


図-21 トルクの有無と引張耐力

示す。既存の研究⁸⁾では、傾斜のある状態のアンカーボルトの引張試験を行うと、引張耐力が低下することが報告されている。しかし、ここでは傾斜角度が2~4度と小さく、傾斜により引張耐力の平均値は若干増加したが、複数回の試験のばらつきも考慮すると大幅な変化はなく、破壊状況も概ね同様であった。

3. 3. 5 トルク導入

トルク導入の有無と引張耐力の関係を図-21に示す。引張耐力の平均値はトルク導入により若干増加したが、複数回の試験のばらつきも考慮すると、大幅な変化はなく、破壊状況も概ね同様であった。

3. 4 まとめ

接着系あと施工アンカーの引張耐力は、曲げひび割れが生じている場合や孔内の清掃が十分でない場合、孔内が水で浸されている場合に低下する傾向にあった。また、特に孔内の清掃が十分でない場合に、引張耐力の低下割合が最も大きくなり、接着剤の種類によっては母材コンクリートと接着剤の界面で付着破壊が発生した範囲が大幅に広がった。接着系あと施工アンカーの耐荷性能を確保するためには、孔内の清掃を適切に行うことが不可欠と考えられる。アンカーボルトが2~4度傾斜している場合やナット締めにより100N・mのトルクが導入されている場合には、引張耐力の大幅な変化は生じなかった。

なお、ここでは2種類の接着剤を使用した実験の結果を示したが、接着剤の種類や性能によっては異なる傾向の結果が得られる可能性がある点には接着剤の選定時や施工時に十分に留意する必要がある。

4. 接着剤の品質が引張耐力に与える影響の検討

4. 1 検討の背景と目的

無機系接着剤はセメントを主成分とするため、施工後の収縮に伴って接着剤自体の体積が変化することや硬化前の接着剤に含まれる水分が母材コンクリートに吸収されることによって付着力が低下することが懸念される。しかし、無機系接着剤の収縮特性や保水性があつて施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響は明確ではない。そこで、無機系接着剤の収縮特性と保水性があつて施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響について検討した。

4. 2 実験方法

4. 2. 1 使用材料

母材に用いたコンクリートの配合とフレッシュ性、圧縮強度を表-5、無機系接着剤の配合を表-6に示す。無機系接着剤はカルシウムアルミネート系の超速硬セメントを用いたセメントモルタル (S/B=1、W/B=35%) であり、収縮特性と保水性の異なる4種類 (接着剤A~D) とした。

表-5 母材コンクリートの配合とフレッシュ性状、圧縮強度

| 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 圧縮強度(N/mm ²) | | |
|-------------------|-------------|-------------------------|-----------------|----------|----------|-----|--------------|------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| | | 水 W | 普通 セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | 混和剤 | | | 材齢28日 | 引張試験時 | |
| | | | | | | | | | | アンカー 施工 28日後 | アンカー 施工 91日後 |
| 64.1 | 47.0 | 164 | 256 | 865 | 1000 | 2.6 | 11.5 | 5.5 | 23.9 | 27.1 | 26.0 |

表-6 無機系接着剤の配合

| 接着剤 | 水結合材比 W/B (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | 添加剤(B×%) | | | | |
|-----|---------------------|-------------------------|---------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----|-----|
| | | 水 W | 結合材B | | 細骨材 S | 消泡剤 | 凝結 調整剤 | 収縮 低減剤 | 増粘剤 | |
| | | | 超速硬セメント | 膨張材 | | | | | | |
| A | 収縮量:大 | 35 | 316 | 902 | — | 902 | 0.1 | 0.1 | — | 0.1 |
| B | 収縮量:中 | 35 | 316 | 902 | — | 902 | 0.1 | 0.1 | 2.0 | 0.1 |
| C | 収縮量:小 | 35 | 316 | 836 | 66 | 902 | 0.1 | 0.1 | 2.0 | 0.1 |
| D | 保水係数:小 | 35 | 316 | 902 | — | 902 | 0.1 | 0.1 | 2.0 | — |

表-7 無機系接着剤の物性

| 接着剤 | 圧縮強度 (N/mm ²) | | 自己収縮 ひずみ(μ) | | 全ひずみ (μ) | | 保水 係数 |
|-----|------------------------------|------|----------------|------|-------------|-------|----------|
| | 28日後 | 91日後 | 28日後 | 91日後 | 28日後 | 91日後 | |
| | A | 54.0 | 59.0 | -765 | -970 | -1365 | |
| B | 50.6 | 58.5 | -455 | -589 | -765 | -968 | 0.85 |
| C | 44.8 | 53.9 | +7 | -98 | -388 | -459 | 0.86 |
| D | 50.1 | 53.3 | -396 | -532 | -702 | -917 | 0.46 |

接着剤 A~C では、接着剤の収縮量を変化させるため、収縮低減剤と膨張材の添加量を調整した。接着剤 A では収縮低減剤を無添加として収縮量を大きくし、接着剤 B では収縮低減剤を添加して収縮量を小さくし、接着剤 C では収縮低減剤を添加するとともに超速硬セメントの一部を膨張材で置換して収縮量をさらに小さくした。一方、接着剤 D では、増粘剤を添加せず、接着剤 A~C と比較して保水能力を低くした。

アンカーボルトには、寸切り全ねじボルト SNB7 M16 (引張強度 928N/mm²) を用いた。

4. 2. 2 無機系接着剤の物性

無機系接着剤の物性を表-7 に示す。この結果は恒温恒湿室 (20℃、60%RH) での試験によって得られたものである。接着剤の練混ぜについては、モルタル用ミキサを用い、JISA 1171 に準拠して行った。

圧縮強度は、円柱供試体 (φ50×100mm) を用い、あと施工アンカーの引張試験の実施前に、JISA 1108 に準拠して測定したものである。アンカー施工 28 日後では接着剤 C の圧縮強度が若干小さくなったが、アンカー施工 91 日後では接着剤間の差が減少した。

自己収縮ひずみは封緘養生した角柱供試体 (40×40×160mm)、全ひずみは打込み翌日に脱型して気中養生した角柱供試体 (40×40×160mm) に設置し

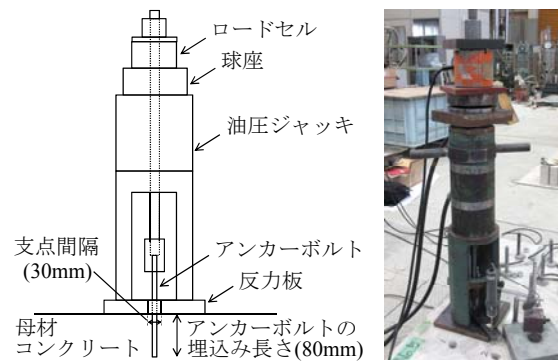


図-22 引張試験の実施状況

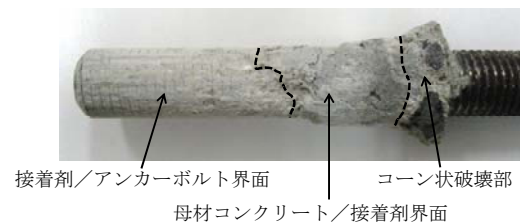


図-23 アンカーボルト周囲の破壊状況の例

た埋込型ひずみ計を用いて測定したものである。自己収縮ひずみは始発時間、全ひずみは脱型直後を基点として、各接着剤で 2 体の供試体の平均値とした。収縮量は、接着剤 A で最大、接着剤 C で最小となり、接着剤 B と接着剤 D で同程度となった。

保水係数は、JSCE-K 542⁹⁾を参考に、ガラス板上のろ紙の中央部に設置したアクリル製リング (内径 50mm、高さ 10mm) に練混ぜ直後の接着剤を充填し、これをガラス板に挟んで上下を逆にし、60 分後にろ紙へにじみだした水分の広がり測定して、式(1)から算出したものである。各接着剤で 2 回の試験の平均値とした。接着剤 D では、保水係数が接着剤 A~C よりも小さく、保水能力が低くなった。

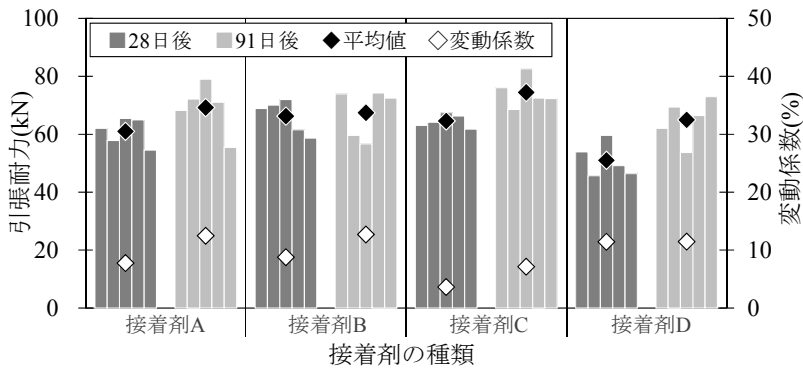


図-24 引張耐力

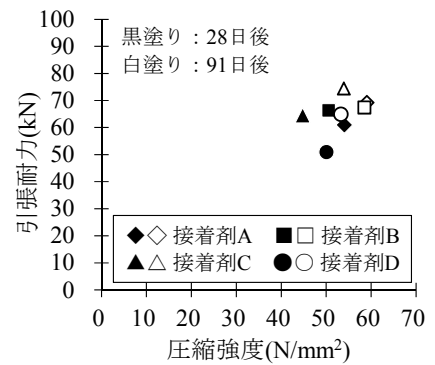


図-25 接着剤の圧縮強度と引張耐力

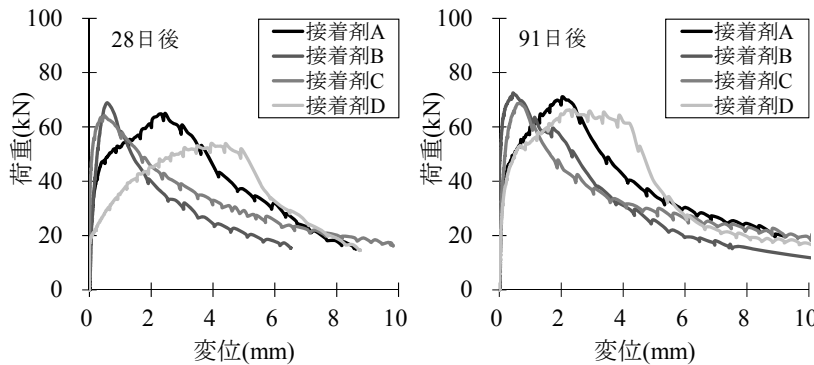


図-26 荷重-変位曲線の例

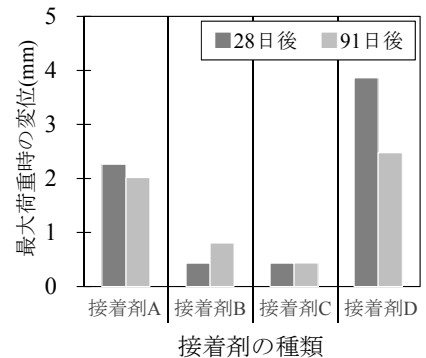


図-27 最大荷重時の変位

$$\text{保水係数} = D/D_1 \quad (1)$$

ここに、 D : アクリル製リングの内径(=50mm)、 D_1 : 水分の広がり短径と長径の平均値(mm)である。

4. 2. 3 アンカー施工

母材コンクリートは、450×900×250mmの角柱試験体とした。コンクリート打込み後、材齢7日まで湿潤養生を行い、材齢28日以降にハンマードリルを用いて下向きに円形孔を穿孔した。穿孔径は20mmとした。穿孔時及び穿孔後にブラシと集塵機を用いて円形孔内の切粉を除去した。恒温恒湿室(20℃、60%RH)に試験体を静置し、アンカー施工を行った。アンカーボルトの埋込み長さは、アンカーボルト直径(16mm)の5倍の80mmとした。アンカーボルトの設置位置については、アンカーボルトから母材コンクリート側面までの距離とアンカーボルト間の距離を150mmとし、各試験体に10本のアンカーボルトが均等に配置されるように設定した。

4. 2. 4 引張試験と破壊状況の目視観察

アンカー施工28日後と91日後にあと施工アンカーの引張試験を行った。引張試験の実施状況を図-22に示す。反力板の支点間隔を30mm、載荷速度を約3kN/sec⁴とした。また、試験体表面から約30mmの位置でアンカーボルトの変位を測定した。各材齢で各接着剤5本ずつの引張試験を行った。

引張試験後のアンカーボルト周囲の破壊状況の例を図-23に示す。アンカーボルト周囲の破壊面を「接着剤とアンカーボルトの界面の付着破壊部」、「母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部」、「コーン状破壊部」の3種類に分類し、各部分の範囲を目視で記録して、アンカーボルト周囲の破壊面全体に占める割合を算出した。

4. 3 実験結果および考察

4. 3. 1 引張耐力

各接着剤を用いたあと施工アンカーの引張耐力を図-24に示す。各材齢で各接着剤5本ずつの引張耐力の平均値と変動係数も併記した。28日後と91日後の各時点で引張耐力の平均値を比較すると、保水係数が同程度で収縮量が異なる接着剤A~Cでは、91日後の接着剤Cの引張耐力が若干大きくなったが、各時点では引張耐力に大幅な差は生じなかった。一方、収縮量が同程度で保水係数の大きい接着剤Bと保水係数の小さい接着剤Dでは、特に28日後において接着剤Dの引張耐力が若干小さくなった。28日後の接着剤Bと接着剤Dの圧縮強度は同程度であったため(表-7参照)、保水係数の小さい接着剤を用いることによって引張耐力が若干小さくなったと考えられる。ただし、前章で示したように、無機系接着剤を用いた別の実験では穿孔時の清掃不良に

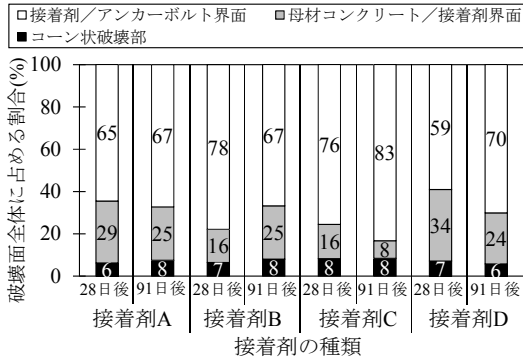


図-28 アンカーボルト周囲の破壊状況

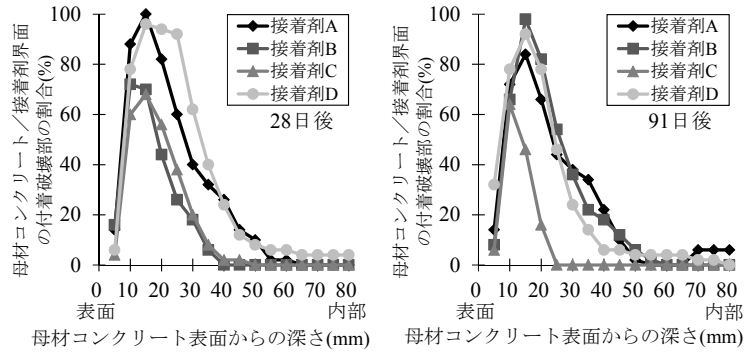


図-29 母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部の分布

よって引張耐力が約40%小さくなったことが確認されており、収縮量や保水係数の違いによる引張耐力の変化は穿孔時の清掃不良に起因するものほど大幅ではなかったと考えられる。

図-24 の引張耐力の変動係数を比較すると、接着剤Cの変動係数が最も小さくなった。収縮量の大きい接着剤や保水係数の小さい接着剤を用いた場合において、引張耐力のばらつきが大きくなったと考えられる。

次に、材齢の経過に伴う引張耐力の変化に着目すると、全ての接着剤で引張耐力の平均値は28日後よりも91日後で大きくなった。ここで、接着剤の圧縮強度と引張耐力の関係を図-25に示す。圧縮強度は3体、引張耐力は5本の平均値である。28日後から91日後にかけて、母材コンクリートの圧縮強度は同程度であったが(表-5参照)、各接着剤の圧縮強度の増加とともに引張耐力も大きくなった。接着剤の強度発現に伴う引張耐力の増加は無機系接着剤を用いた別の実験でも確認されており¹⁰⁾、28日後から91日後にかけて全ての接着剤を用いた場合に引張耐力が増加した原因は、材齢の経過に伴って接着剤の強度が増加したためと考えられる。

また、図-24で収縮量の最も小さい接着剤Cに着目すると、圧縮強度が同程度の他の接着剤よりも引張耐力が若干大きくなったことがわかる。膨張材の添加量の異なる無機系接着剤を用いた別の実験では、膨張材の添加量が多く膨張量が大きいほど引張耐力も大きくなることを確認されている¹¹⁾。ここでは収縮量の異なる接着剤を用いたが、文献11)の傾向と同様に収縮量の最も小さい接着剤Cでは引張耐力が若干大きくなった。ただし、収縮量の大きい接着剤Aと接着剤Bの引張耐力の差は明確でなく、収縮量の大小が引張耐力に及ぼす影響については引き続き検討を行う必要があると考えられる。

4. 3. 2 荷重変位曲線

引張試験時の荷重-変位曲線の例を図-26に示す。接着剤Bと接着剤Cでは最大荷重時までの荷重-変位曲線が概ね同様であった。一方、収縮量の大きい接着剤Aと保水係数の小さい接着剤Dでは、荷重-変位曲線が接着剤Bや接着剤Cから乖離し、最大荷重時までの変位の増加量が大きく、剛性が低下した。

次に、各接着剤を用いたあと施工アンカーの最大荷重時の変位を図-27に示す。各接着剤5本ずつの平均値である。ここでも接着剤Aと接着剤Dで最大荷重時の変位が大きくなったことを確認できる。

4. 3. 3 アンカーボルト周囲の破壊状況

アンカーボルト周囲の破壊面全体に占める各破壊部の割合を図-28、母材コンクリート表面からの深さ方向での「母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部」の分布を図-29に示す。各接着剤5本ずつの平均値である。図-28によると、若干のばらつきは認められるが、収縮量の異なる接着剤A~Cでは収縮量の大きい接着剤で、保水係数の異なる接着剤Bと接着剤Dでは保水係数の小さい接着剤Dで、「母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部」の割合が多くなる傾向にあった。また、図-29によると、「母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部」の割合の多い部分は試験体表面に近い領域であり、接着剤Aや接着剤Dでは他の接着剤と比較してこの付着破壊部の割合が試験体内部でも若干多くなる傾向にあった。前述したように、収縮量の大きい接着剤Aや保水係数の小さい接着剤Dでは、最大荷重時までの変位の増加量が大きく、剛性が低下した。この一因は、施工後の接着剤の収縮量が大きくなったことや硬化前の接着剤に含まれる水分が母材コンクリートに吸収されたことによって、母材コンクリートと接着剤の付着力が低下して引張荷重の伝達が適切に行われなかったためと考えられる。なお、試験

体表層ではコーン状破壊部が大部分を占めたため(図-23 参照)、図-29 では試験体表層の「母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部」の割合が少なくなったと考えられる。

4. 4 まとめ

保水係数の小さい接着剤を用いると、あと施工アンカーの引張耐力が若干小さくなった。一方、収縮量の大きい接着剤や保水係数の小さい接着剤を用いると、引張耐力のばらつきが大きくなるとともに、引張荷重作用時の剛性が低下した。また、収縮量の大きい接着剤や保水係数の小さい接着剤を用いると、引張試験後のアンカーボルト周囲の破壊面において母材コンクリートと接着剤の界面の付着破壊部の割合が増加する傾向にあった。

なお、本研究では4種類の無機系接着剤を用いて引張試験を行ったが、接着剤の種類や性能によっては本研究とは異なる傾向の試験結果が得られる可能性がある点には留意が必要である。

5. まとめ

本研究課題では、接着系あと施工アンカーの耐荷性能の評価試験方法や施工時の品質管理方法を明確にするとともに、耐荷性能を低下させる各種要因の影響を把握することを目的として検討を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 接着系あと施工アンカーの引張耐力の評価試験方法について検討した。この結果、載荷時の支点間隔の違いにより引張耐力とコーン状破壊部の形状が変化することがわかった。また、純粋なコーン状破壊が発生する場合の引張耐力を確認するためには、支点間隔の影響を小さくするため、支点間隔をアンカーボルトの埋込み長さの4倍以上とすることが望ましいことがわかった。
- 2) 接着系あと施工アンカーの品質管理方法について検討した。この結果、引張耐力は、曲げひび割れが生じている場合や孔内の清掃が十分でない場合、孔内が水で浸されている場合に低下した。特に孔内の清掃が十分でない場合に、母材コンクリートと接着剤の界面で付着破壊が発生した範囲が大幅に広くなり、引張耐力が大幅に低下することがわかった。接着系あと施工アンカーの耐荷性能を確保するためには、孔内の清掃を確実に行うことが不可欠である。一方、アンカーボルトが2~4度傾斜している場合やナット締めにより100N・mのトルクが導入されている場合には、引張耐力の大幅

な変化は生じなかった。

- 3) 無機系接着剤の品質が引張耐力に与える影響について検討した。この結果、保水能力の低い接着剤を用いると、あと施工アンカーの引張耐力が若干小さくなることがわかった。また、収縮量の大きい接着剤や保水能力の低い接着剤を用いると、引張耐力のばらつきが大きくなるとともに、引張荷重作用時の剛性が低下することがわかった。

参考文献

- 1) 川上明大ほか：「載荷方法と施工条件が接着系あと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響」、土木技術資料、Vol.58、No.5、pp.12-15、2016
- 2) 川上明大ほか：「非拘束引張試験における接着系あと施工アンカーの耐荷挙動」、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集第15巻、pp.185-188、2015
- 3) 中村英佑ほか：「接着系あと施工アンカーの引張耐荷挙動に及ぼす施工条件の影響」、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集第15巻、pp.377-380、2015
- 4) 社団法人日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー標準試験法・同解説、p.6-23、1987
- 5) ASTM E488/E488M-10：Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete Elements、2010
- 6) 一般社団法人日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、pp.256-259、2012
- 7) 守屋嘉晃ほか：「接着系あと施工アンカーの引き抜き耐力に及ぼす各影響因子に関する研究その1」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.71-72、2002.8
- 8) 津吉真人ほか：「傾斜あと施工アンカーのコーン状破壊強度に関する実験的研究」、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No.2、2012
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編]、JSCE-K542 コンクリート構造物補修用セメント系ひび割れ注入材の試験方法(案)、pp.442、2013
- 10) 安藤重裕ほか：「超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの環境および施工条件が付着強度に及ぼす影響に関する実験的研究」、コンクリート工学年次論文集、vol.35、No.2、pp.535-540、2013
- 11) 山田宏ほか：「超速硬セメント系あと施工アンカーの定着機構に関する検討」、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集第13巻、pp.349-356、2013

Study on Reliability Improvement of Post-installed Anchors (2)

Budget : Grants for operating expenses, General account

Research Period : FY2014-2015

Research Team : Materials and Resources Research Group

Author : KOGA Hirohisa,
NAKAMURA Eisuke

Abstract : The materials and resources research group conducted an experimental investigation to propose methods for ensuring and evaluating the load-carrying capacity of post-installed adhesive anchors. The experimental investigation was focused on the evaluation methods of the tensile strength of the post-installed adhesive anchors, the quality control during the preparation and installment of the post-installed adhesive anchors, and the effects of material properties of adhesives on the tensile strength of the post-installed adhesive anchors. The experimental results indicated that the distance from the anchor to the edge of the support was required to be set more than two times larger than the embedment depth of the anchor to measure the tensile strength at the concrete breakout failure. The reduction in the tensile strength was found due to the unswept drilled holes and cracking around the anchors in concrete. Additionally, the adhesives showing large shrinkage and low water-retaining performance resulted in large dispersion in the tensile strength of the post-installed adhesive anchors.

Key words : post-installed adhesive anchor, tensile strength, quality control, shrinkage property, water-retaining performance