

論文 コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響

川口 潤*1・国枝 稔*2・牧田 通*3

要旨: 母材コンクリート強度やひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響について検討するため、異なる条件下で接着系および金属系アンカーの引抜き試験を実施した。母材強度の影響は、破壊モードがコーン状破壊となる金属系アンカーで顕著であった。ひび割れの影響については、接着系アンカーでは幅 0.5mm 以上かつアンカーの直上にある場合に耐荷力の低下が著しいこと、ひび割れ幅 0.2mm であっても、アンカー施工後にひび割れが導入された場合、耐荷力に影響することが分かった。金属系アンカーでは、本研究の範囲内では、ひび割れ幅や導入時期に関わらず、ひび割れからの距離が 8d の場合であっても耐荷性が低下した。

キーワード: あと施工アンカー, 母材コンクリート強度, ひび割れ幅, ひび割れからの距離

1. はじめに

現在、高速道路のジェットファンや付帯設備等の固定に多く利用されているあと施工アンカーの設計・施工・維持管理に関する基規準作成・改訂が急がれている。平成 26 年 3 月に土木分野において初めて統一された指針¹⁾が発行されたものの、あと施工アンカーを適切に用いるために更なるデータの蓄積が必要となっている。

あと施工アンカーに関する既往の研究は、大半は多様な施工条件の接着系・金属系アンカーの引張りやせん断の静的荷重に対する性能評価であり、母材コンクリートやひび割れに対する性能評価についての報告は少ない。

(一社)日本建築あと施工アンカー協会の「あと施工アンカー設計指針(案)・同解説」²⁾では、ひび割れによる影響は、ひび割れの大きさ、ひび割れの深さ、ひび割れからの距離などにより変化し、その要因が複合的であり、影響度合の判断も困難であるため、ひび割れを考慮する場合には、ひび割れ幅が 0.3mm 以下の場合にはひび割れ係数を 0.5 とするのがよいとされている。すなわち、現段階では、ひび割れの発生状況と耐荷性を定量的に関係づけるには至っていない。

本研究は、接着系および金属系あと施工アンカーを対象として、母材コンクリートの強度の違いやひび割れの有無があと施工アンカーの耐荷性に及ぼす影響について実験的な検討を行い、データの充実を図ることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 概要

本研究では母材コンクリートの強度の違いやひび割れの有無等があと施工アンカーの耐荷性に与える影響を明

らかにするため、接着系および金属系の 2 種類のあと施工アンカーを対象に、母材コンクリート強度、アンカー埋込み長さ、ひび割れ幅、ひび割れからアンカーまでの水平距離、ひび割れ導入時期をパラメータとして引抜き試験を行った。表-1 に本実験における実験シリーズと検討パラメータを示す。

強度シリーズでは、母材コンクリートの強度の違いが耐荷性に及ぼす影響を検討した。初期ひび割れシリーズでは、ひび割れた母材コンクリートに対してアンカーを施工し、ひび割れ幅およびひび割れからの水平距離が耐荷性に及ぼす影響を検討した。ひび割れの発生したコンクリートに対してどの程度の距離を確保してアンカーを施工すべきかについての知見を得ることを目的としている。導入ひび割れシリーズでは、アンカー施工後にひび割れを導入し、ひび割れ幅およびひび割れからの水平距離が耐荷性に及ぼす影響を検討した。アンカー施工後にひび割れが発生する場合を想定し、点検すべきひび割れの幅や位置等に関する知見を得ることを目的としている。

表-1 実験シリーズにおける主な検討パラメータ

| シリーズ名 | 主な検討パラメータ | 摘要 |
|------------|------------------------|----------------------|
| 強度シリーズ | ・母材コンクリートの強度 | — |
| 初期ひび割れシリーズ | ・ひび割れ幅 ・ひび割れからの水平距離 | ・ひび割れたコンクリートにアンカーを施工 |
| 導入ひび割れシリーズ | ・ひび割れ幅 ・ひび割れからの水平距離 | ・アンカー施工後にひび割れを導入 |

*1 岐阜大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (学生会員)

*2 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 中日本高速道路株式会社 技術・建設本部 Ph. D (非会員)

表-2 パラメータ・試験結果一覧(強度シリーズ)

| No. | アンカー種類 | アンカーボルト径 | 目標母材強度(N/mm ²) | 埋込み長さ | N数 | 設計耐力(kN) | 最大荷重の平均値(kN) |
|-----|---------|----------|----------------------------|-------|----|---------------|--------------|
| 1 | 接着系アンカー | M16 | 36 | 8d | 3 | 50.2(アンカー筋降伏) | 65.9 |
| 2 | | | | 4d | 3 | 13.3(コーン状破壊) | 37.9 |
| 3 | | | 24 | 8d | 3 | 48.8(コーン状破壊) | 72.4 |
| 4 | | | | 4d | 3 | 10.5(コーン状破壊) | 26.1 |
| 5 | | | 12 | 8d | 3 | 41.3(コーン状破壊) | 58.4 |
| 6 | | | | 4d | 3 | 8.8(コーン状破壊) | 20.9 |
| 7 | 金属系アンカー | M24 | 36 | 140mm | 3 | 87.0(コーン状破壊) | 192.9 |
| 8 | | | 24 | | 2 | 68.1(コーン状破壊) | 162.0 |
| 9 | | | 12 | | 2 | 57.6(コーン状破壊) | 100.3 |

表-3 パラメータ・試験結果一覧(初期ひび割れシリーズ)

| No. | アンカー種類 | アンカーボルト径 | 目標母材強度(N/mm ²) | 埋込み長さ | 初期ひび割れ幅(mm) | ひび割れからの水平距離 | N数 | 設計耐力(kN) | 最大荷重の平均値(kN) |
|-----|---------|----------|----------------------------|-------|-------------|-------------|----|------------------|--------------|
| C1 | 接着系アンカー | M16 | 24 | 8d | 0.2 | 0 | 2 | 24.4 (コーン状破壊) | 60.8 |
| C2 | | | | | | 4d | 3 | | 68.6 |
| C3 | | | | | | 8d | 3 | | 68.1 |
| C4 | | | | | 0.5 | 0 | 2 | | 37.5 |
| C5 | | | | | | 4d | 3 | | 57.0 |
| C6 | | | | | | 8d | 3 | | 64.0 |
| C7 | | | | | 1.0 | 0 | 2 | | 30.7 |
| C8 | | | | | | 4d | 2 | | 55.5 |
| C9 | | | | | | 8d | 2 | | 66.8 |
| C11 | 金属系アンカー | M24 | 24 | 140mm | 0.2 | 0 | 2 | 34.1 (コーン状破壊) | 82.5 |
| C12 | | | | | | 4d | 3 | | 123.8 |
| C13 | | | | | | 8d | 2 | | 111.0 |
| C14 | | | | | 0.5 | 0 | 2 | | 90.0 |
| C15 | | | | | | 4d | 3 | | 93.7 |
| C16 | | | | | | 8d | 3 | | 93.5 |
| C17 | | | | | 1.0 | 0 | 2 | | 84.4 |
| C18 | | | | | | 4d | 3 | | 85.6 |
| C19 | | | | | | 8d | 2 | | 124.5 |

表-2~4に各シリーズの詳細なパラメータを示す。なお、設計耐力は土木学会の提案式¹⁾より算出し、ひび割れを有するものに関しては既報²⁾より、ひび割れ幅の違いによらず、ひび割れ係数を0.5として算出した。

2.2 あと施工アンカー

本研究では接着系および金属系の2種類のあと施工アンカーを対象とした。図-1, 2に用いたアンカーを示す。接着系アンカーには変性ビニルエステル樹脂を用いたカプセル方式のあと施工アンカーを用い、アンカーボルト径 M16、穿孔深さ 130mm、穿孔径 18mm、埋込み長さ 8d(130mm)、有効埋込み長さ 7dを標準とした。なお、後述のとおり、接着系アンカーに限っては、埋込み長さ 4dのケースも検討した。

金属系アンカーには打込み方式の拡張式あと施工アンカーを用い、アンカーボルト径 M24、穿孔深さ 155mm、穿孔径 35mm、埋込み長さ(スリーブ長さ) 140mm、有効埋込み長さ 96mmとした。

2.3 母材コンクリート

母材コンクリートの目標強度は 36(N/mm²)、24(N/mm²)、12(N/mm²)の3種類とした。なお、粗骨材の最大寸法は 40mmとした。Φ125mm×250mmの円柱供試体を用いて材齢 28日における圧縮強度を測定したところ、各 3体ずつ測定した平均値はそれぞれ 36.2(N/mm²)、22.2(N/mm²)、15.9(N/mm²)であった。

母材となる供試体寸法は 800mm×1000mm×300mmとし、底面に用心鉄筋(D22)を2本配置した。強度シリーズ

表-4 パラメータ・試験結果一覧(導入ひび割れシリーズ)

| No. | アンカー種類 | アンカーボルト径 | 目標母材強度 (N/mm ²) | 埋込み長さ | 導入ひび割れ幅(mm) | ひび割れからの水平距離 | N数 | 設計耐力 (kN) | 最大荷重の平均値(kN) | |
|-----|---------|----------|-----------------------------|-------|-------------|-------------|----|------------------|------------------|-------|
| A1 | 接着系アンカー | M16 | 24 | 8d | 0.2 | 0 | 3 | 24.4 (コーン状破壊) | 31.7 | |
| A2 | | | | | | 4d | 3 | | 48.7 | |
| A4 | | | | | | 0 | 2 | | 21.2 | |
| A5 | | | | | 0.5 | 4d | 3 | | 48.9 | |
| A6 | | | | | | 8d | 3 | | 66.0 | |
| A7 | | | | | | 0 | 3 | | 24.6 | |
| A8 | | | | | 1.0 | 4d | 3 | | 59.3 | |
| A9 | | | | | | 8d | 3 | | 75.8 | |
| A11 | | | | | | 0 | 3 | | 76.7 | |
| A12 | 金属系アンカー | M24 | | 24 | 140mm | 0.2 | 4d | 3 | 34.1 (コーン状破壊) | 87.7 |
| A13 | | | | | | | 8d | 3 | | 132.2 |
| A14 | | | | | | | 0 | 3 | | 80.8 |
| A15 | | | | | | 0.5 | 4d | 3 | | 73.4 |
| A16 | | | | | | | 8d | 2 | | 102.1 |
| A17 | | | | | | | 0 | 3 | | 85.8 |
| A18 | | | | | | 1.0 | 4d | 3 | | 85.8 |
| A19 | | | | | | | 8d | 3 | | 114.5 |



図-1 接着系アンカー



図-2 金属系アンカー

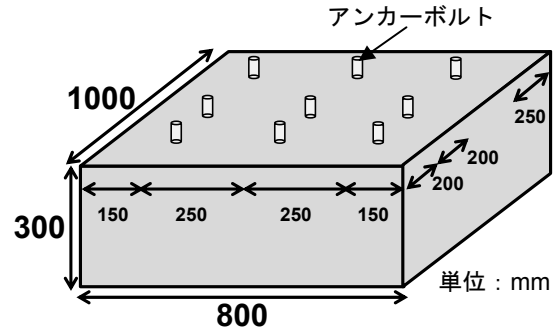


図-3 供試体概要(強度シリーズ)

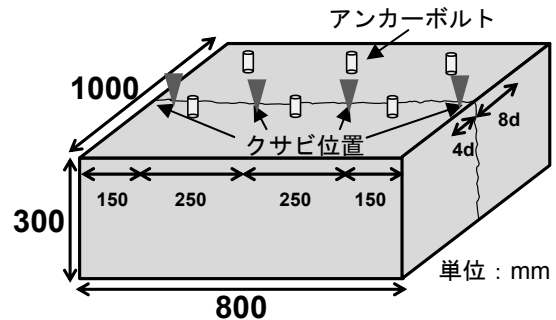


図-4 供試体概要(初期・導入ひび割れシリーズ)

では埋込み長さが異なる接着系アンカー2種類と金属系アンカー1種類を図-3のように配置した。

初期ひび割れシリーズおよび導入ひび割れシリーズにおいては、ひび割れからアンカーまでの水平距離を0(ひび割れ直上), 4d, 8dとした。なお、水平距離0のケースについては、ひび割れ直上に2本のアンカーを配置し、それ以外は図-4のようにアンカーを各3本ずつ配置した。供試体上面の4か所にクサビを挿入することでひび割れを導入し(底面に鉄筋を配置しているため、曲げひび割れが生じる)、ひび割れ幅を維持するため所定厚のプレートを含んだ。なお、供試体表面におけるひび割れ幅は0.2mm, 0.5mm, 1.0mmとした。

初期ひび割れシリーズにおいては事前に導入されたひび割れ位置をもとにアンカー位置を決定し、導入ひび割れシリーズにおいては供試体中央部のひび割れ導入予定位置にアンカーを施工し、その後にクサビを打ち込んでひび割れを導入した。なお、試験中にはひび割れ幅の制御は行わなかった。

2.4 実験方法

図-5に引抜き試験装置を示す。供試体に支点間距離が



図-5 引抜き試験装置

300mm の 4 本柱のジグを設置し，上部に容量 300kN のセンターホールジャッキおよび容量 300kN，精度 100N のロードセルを配置してアンカーに作用する引張力を測定した。また，引抜き時にアンカーの先端位置の変位をストローク 25mm，精度 1/500mm の高感度変位計を用いて測定した。

3. 実験結果

3.1 母材コンクリート強度が耐荷性に及ぼす影響(強度シリーズ)

(a) 接着系アンカー

図-6 に試験後の破壊性状を，図-7 に施工条件と引張試験の最大荷重の関係を示す。これより，接着系アンカーでは埋込み長さが 8d の場合，最大荷重は 60~70kN であり，金属系アンカーと比較すると母材コンクリート強度の影響は小さかった。これはアンカーの破壊モードが全て付着破壊であったためと考えられる。一方，埋込み長さが 4d の場合，最大荷重は 20~40 kN となり，埋込み長さが短い場合においてのみ，母材コンクリート強度の影響がみられた。これは，埋込み長さが短い場合には，全てコンクリートのコーン状破壊と付着破壊の混合であったためと考えられる。図-8 に，接着系アンカーでの荷重-変位曲線を示す。耐荷性については前述のとおりであるが，埋込み長さの違いによって最大荷重以降の低下の割合に差が生じた。これは，埋込み長さが長い場合には付着破壊となり，変位が大きくなっても摩擦によって抵抗力が持続するのに対し，埋込み長さが短い場合には付着破壊とコーン状破壊の混合破壊となり，エネルギー吸収量が減少したためと考えられる。

(b) 金属系アンカー

図-9 に試験後の破壊性状を，図-7 に施工条件と引張試験の最大荷重の関係を示す。これより，金属系アンカーでは母材コンクリート強度の影響を受けやすいことが分かる。これは全てのケースにおいてコンクリートのコーン状破壊となったためと考えられる。また，図-10 に荷重-変位曲線を示す。これより，最大荷重に至る直前に，アンカーボルトの抜け出しに伴う強い非線形性が認められ，最大荷重時の変位が 10mm 程度以上となり，最大荷重までのエネルギー吸収が大きいことが分かった。

3.2 ひび割れ幅およびひび割れからの水平距離が耐荷性に及ぼす影響(初期ひび割れシリーズ)

(a) 接着系アンカー

図-11 にひび割れ種類と最大荷重の関係を示す。ひび割れ幅 0.2mm の場合においては，ひび割れの位置に関わらず，耐荷性に及ぼす影響は小さかった。一方，ひび割れ幅 0.5mm，1.0mm の場合，特にひび割れ直上の場合において，耐荷性に及ぼす影響が大きかった。これはアン

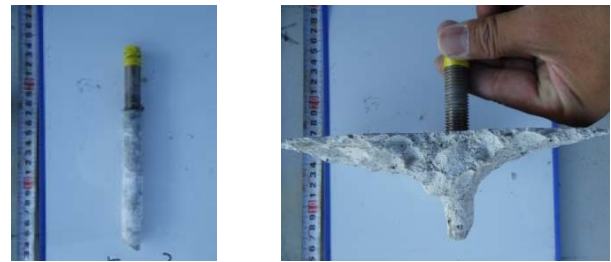


図-6 試験後の破壊性状(接着系)

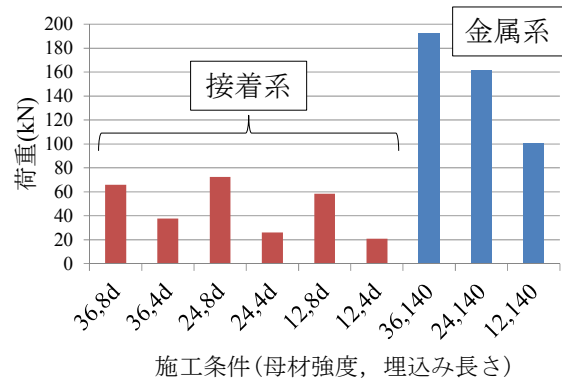


図7 施工条件と最大荷重の関係(強度シリーズ)

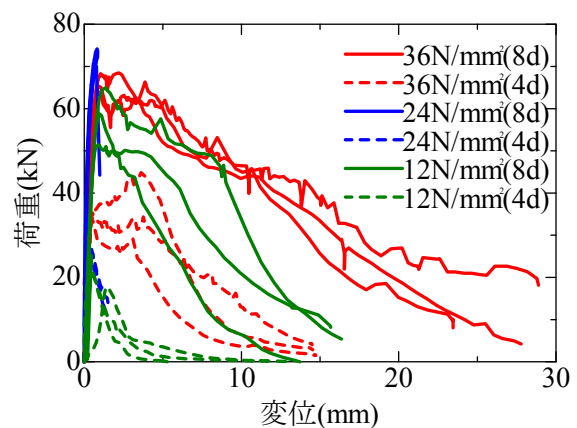


図-8 荷重-変位曲線(接着系：強度シリーズ)



図-9 試験後の破壊性状(8-1, C12-1)

カー施工の際にひび割れに接着剤が充填され，アンカーボルト周辺の接着剤不足を招いたためと考えられる。また，図-12 にひび割れ幅 1.0mm の場合の荷重-変位曲線を示す。これより，ひび割れがアンカー直上にある場合と 4d, 8d にある場合では抜け出しの挙動が異なることが分かる。すなわち，前者では変位が 10mm 程度で最大荷重となり，その後も緩やかに荷重が低下していくのに対

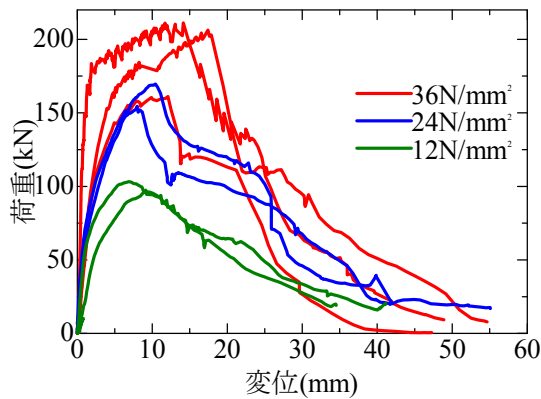


図-10 荷重-変位曲線(金属系：強度シリーズ)

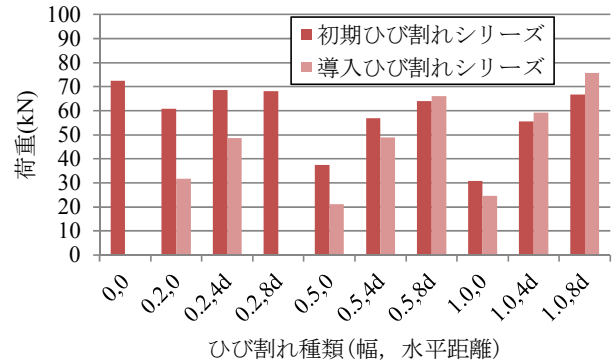


図-11 ひび割れ種類と最大荷重の関係(接着系)

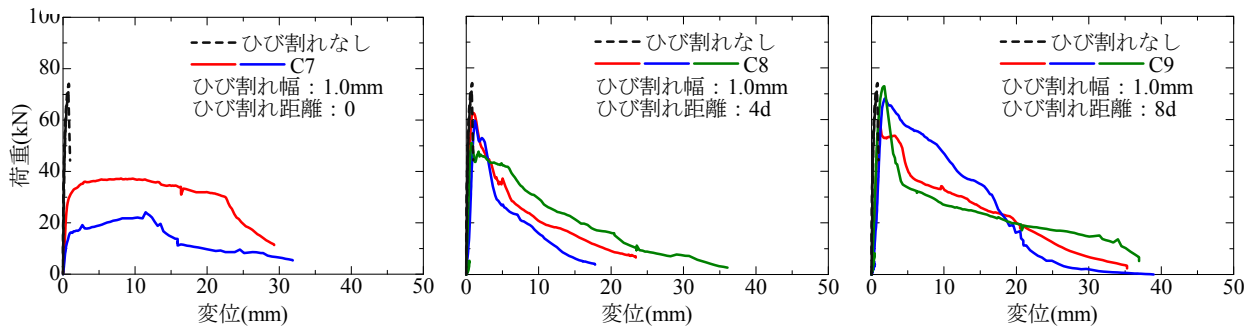


図-12 荷重-変位関係(接着系：初期ひび割れシリーズ)

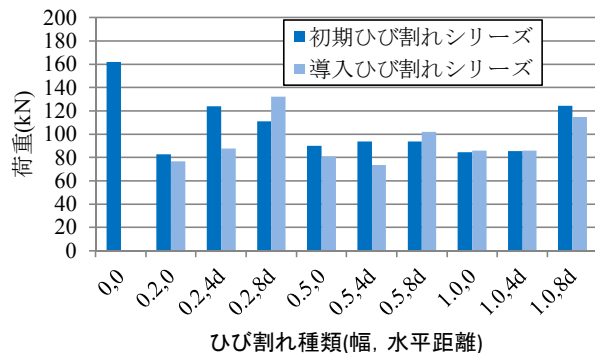


図-13 ひび割れ種類と最大荷重の関係(金属系)



図-14 試験後の母材コンクリート(8-1~3)

し、後者では数 mm 程度で最大荷重となった後に、急激に荷重が低下し、10~20mm 程度で最大荷重の半分程度となった。なお、ひび割れ幅 0.5mm の場合においても、同様の傾向を示した。

ひび割れからの水平距離が耐荷性に及ぼす影響については、ひび割れ幅が 0.5mm、1.0mm の場合において、ひび割れ直上および 4d の場合には、最大荷重が低下する傾向にあったが、8d の場合にはひび割れのないケースと同程度であった。すなわち、本研究の範囲内では、接着系アンカーにおいては、ひび割れ直上の場合はもとより、ひび割れから 4d 離れた場合でも耐荷性への影響が認められるが、8d 離れた場合には耐荷性に与える影響が小さい結果となった。

(b) 金属系アンカー

図-13 にひび割れ種類と最大荷重の関係を示す。なお、破壊モードは全てのケースにおいてコーン状破壊であっ

た。図-13 より、アンカーからひび割れからの距離が 0, 4d の場合において、ひび割れ幅の違いによらず、耐荷性に及ぼす影響が大きいことが分かる。接着系の場合と異なり、ひび割れからの距離が 8d の場合でも、耐荷性への影響が認められた。これは、図-14 に示すように、金属系アンカーでのコーン状破壊の範囲が、当初の想定(コーン半径が 8d+アンカーボルトの半径)よりも大きくなり、ひび割れの影響、アンカー同士の影響、はしあきの影響などを受けたことによると推察される。この理由としては、既報³⁾にて示されているように粗骨材最大寸法に比例して引抜き耐力が大きくなり、コーン状破壊の範囲も大きくなったためと考えられる。

また、図-15 にひび割れ幅 1.0mm の場合の荷重-変位曲線を示す。これより、ひび割れからの距離が 0, 4d の場合、最大荷重は大幅に低下しており、かつ初期剛性が低下するものもあった。特に、ひび割れからの距離が 0

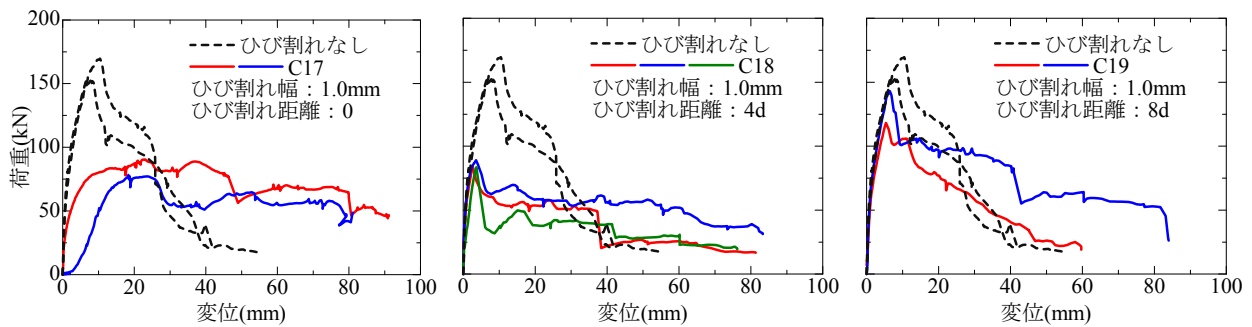


図-15 荷重-変位関係(金属系：初期ひび割れシリーズ)

の場合において、引抜き時にひび割れを大きく開口させたことに起因するものと考えられる。

3.3 ひび割れ導入時期が耐荷性に及ぼす影響(導入ひび割れシリーズ)

(a) 接着系アンカー

図-11 より、ひび割れ幅の違いに関わらず、ひび割れからの距離が 0, 4d の場合においては最大荷重が小さくなった。特に、ひび割れ幅 0.2mm では、ひび割れが既に入った状態で施工した場合(初期ひび割れシリーズ)には、ひび割れによる耐荷性への影響はほとんどみられなかったが、アンカー施工後にひび割れを導入した場合(導入ひび割れシリーズ)には耐荷性の低下がみられた。これはひび割れ導入によって母材コンクリートと硬化した接着剤の間に隙間(剥離)が生じ、接着力が低下したためであると考えられる。

(b) 金属系アンカー

図-13 より、ひび割れ幅の違いに関わらず、ひび割れからの距離が 0, 4d の場合においては最大荷重がやや小さくなったが、全体的には、ひび割れの導入時期の影響については明確な差異はみられなかった。

4. まとめ

母材コンクリート強度やひび割れの幅、ひび割れからの水平距離、導入時期に着目して、あと施工アンカーの引抜き試験を行った。本研究の範囲内で得られた主な結論を検討シリーズ毎に示す。

【強度シリーズ】

1. 接着系アンカーでは、埋込み長さが長い場合には、コンクリート強度の影響を受けにくかった。これはアンカーの破壊モードが付着破壊であったためと考えられる。一方、埋込み長さが短い場合には、コーン状破壊と付着破壊の混合破壊であったため、強度の影響を受けやすかった。

また、荷重-変位曲線の形状から、埋込み長さが長い場合には付着破壊となり、変位が大きくなっても摩擦によって抵抗力が持続するのに対して、埋込み長さが短い場合には付着破壊とコーン状破壊の

混合破壊となり、エネルギー吸収量が減少することが分かった。

2. 金属系アンカーでは、コンクリート強度の影響を受けやすかった。これは全てのケースにおいてコーン状破壊となったためと考えられる。また、最大荷重時の変位が 10mm 程度以上となっており、最大荷重までのエネルギー吸収が大きいことが分かった。

【初期ひび割れシリーズ】

3. 接着系アンカーでは、ひび割れ幅 0.2mm の場合においては、ひび割れの位置に関わらず、耐荷性に及ぼす影響は小さかった。一方、ひび割れ幅 0.5mm, 1.0mm の場合、特にひび割れからの距離が 0 の場合に耐荷性に及ぼす影響が大きいことが分かった。
4. 金属系アンカーでは、ひび割れからの距離が 0, 4d, 8d いずれの場合においても、ひび割れ幅に関わらず、耐荷性が低下した。特に、ひび割れからの距離が 0 の場合において、引抜き時にひび割れを大きく開口させ、耐荷性ととも初期剛性も小さくなる傾向を示した。

【導入ひび割れシリーズ】

5. 接着系アンカーでは、ひび割れ幅の違いに関わらず、ひび割れからの距離が 0, 4d の場合においては耐荷性が低下した。特に、ひび割れ幅 0.2mm の場合に耐荷性の低下がみられた。
6. 金属系アンカーでは、ひび割れ発生の時期が引抜き挙動に与える影響について、明確な差異はみられなかった。

参考文献

- 1) コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案), (公社)土木学会, 2014
- 2) あと施工アンカー設計指針(案)・同解説, (一社)日本建築あと施工アンカー協会, 2006
- 3) 橋高義典, 上村克郎, 高瀬憲克: 高強度コンクリートのボルトの引抜き耐力に及ぼす粗骨材種類の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1, pp.245-250, 1991