

論文 埋込長 15φの接着系あと施工アンカーの破壊形態に関する一考察

岡本 圭太*1・坂岡 和寛*2・野村 展生*3・中田 裕喜*4

要旨: 埋込長 15φの接着系あと施工アンカーを用いて、へりあきおよびアンカー間隔の影響をパラメータとした実験を行った。その結果、へりあきおよびアンカー間隔の影響が小さい場合の破壊形態は、コーン破壊と付着破壊が複合した破壊形態となった。また、へりあきおよびアンカー間隔の影響が大きい場合の破壊形態は、コーン破壊面積が減少することでコーン破壊と付着破壊が複合した破壊形態から、アンカー下端におけるコーン破壊に変化した。へりあきの影響範囲は埋込長によって変化すること、埋込長と比較してアンカー間隔が小さい場合、アンカー間隔の変化に伴う最大荷重の変化量が小さくなる可能性があることがわかった。

キーワード: あと施工アンカー、へりあき、アンカー間隔、コーン破壊

1. はじめに

コンクリート構造物に落橋防止工などを設置する際は、あと施工アンカーが多く用いられる。設置する部材や配筋によっては多くのあと施工アンカーを設置する必要があるが、あと施工アンカー1本あたりの引抜耐力は、その配置に応じて低減して評価する必要がある。

図-1にあと施工アンカーの破壊形態を示し、図-2にへりあきおよびアンカー間隔がコーン破壊面におよぼす影響を示す。笠ら¹⁾は、接着系の充填剤を用いたあと施工アンカー（以下、アンカー）の耐荷機構について、アンカーの破壊形態はコーン破壊と付着破壊が複合した複合破壊であること、引抜耐力はコーン破壊耐力と付着力の累加により評価できることを確認している。また、三倉ら²⁾は、へりあきおよびアンカー間隔の影響によりアンカー1本あたりのコーン破壊面の面積が変化し、その変化が引抜耐力におよぼす影響を確認している。

コーン破壊面の形状は、コーン破壊が発生する深さと角度によって決まる。コーン破壊が発生する深さは、既往の実験結果において、へりあきおよびアンカー間隔の影響が小さい場合は3~6φであり¹⁾、へりあきおよびアンカー間隔の影響が大きい場合は埋込長に応じて概ねア

ンカー下端である²⁾。そのため、へりあきおよびアンカー間隔によるコーン破壊面の変化が引抜耐力におよぼす影響は、埋込長に応じて異なる可能性がある。

一方で、あと施工アンカーの設計・施工の手引き（以下、手引き³⁾）では、図-3に示すように、へりあきおよびアンカー間隔が最大荷重におよぼす影響を受ける範囲は埋込長によらず、それぞれ0~10φ、0~20φとしている。この範囲は、主に埋込長7φ~10φの試験体を用いた実験結果を包括するように設定されているため、15φなど埋込長が長くなると手引きよりも広がる可能性がある。しかし、埋込長を15φとした実験はアンカーの降伏が先行しやすくなることから²⁾、実験では、埋込長15φの場合、一般的な降伏強度であればアンカーの降伏が耐力の決定ケースとなることを確認している。したがって、アンカーの施工量を減じるために高強度鉄筋を用い、アンカー先行降伏とするために埋込長を15φなど長くする場合は注意を要するが、耐荷機構や破壊形態が不明であるため、その評価は困難となっている。

そこで、本論文では、埋込長15φのアンカーを用いて、へりあきおよびアンカー間隔をパラメータとした実験を行い、破壊形態を検証することとした。

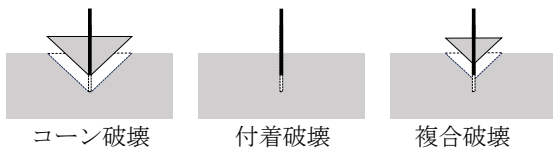


図-1 アンカーの破壊形態

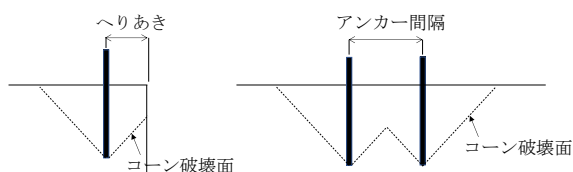


図-2 へりあきおよびアンカー間隔の破壊面への影響

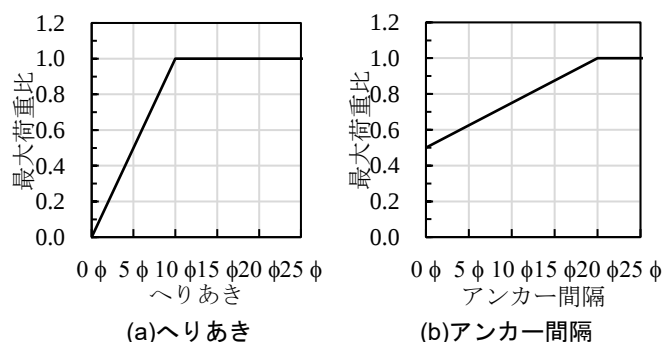


図-3 最大荷重比とへりあきおよびアンカー間隔の関係

*1 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 構造技術室 主査 修士（正会員）

*2 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 構造技術室 課長代理 博士（学術）（正会員）

*3 株式会社ケー・エフ・シー 技術部ファスニング・耐震技術室 室長

*4 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 主任研究員 博士（工学）（正会員）

2. 実験概要

写真-1 に試験体概要を示し、表-1 に試験体パラメータを示す。試験体は、厚さ 600mm のコンクリート版に設置したアンカーである。コンクリート硬化後にドリルで孔をあけ、下向きにアンカー ($\phi=12\text{mm}$) を設置し、エポキシ樹脂で充填している。パラメータはへりあき、アンカー間隔である。No.1 および No.2 はへりあきを 5ϕ および 10ϕ とし、No.3 および No.4 はアンカー間隔を 5ϕ および 10ϕ とした。No.0 は基本試験体として、コンクリート版端部から 25ϕ 以上離れた位置にアンカーを設置した。各試験体数は、それぞれ 3 つとした。

表-2 に、材料諸元を示す。アンカーは、降伏強度が 1080N/mm^2 である SUP12 に対して熱処理を施してネジ加工を行い、M12 細目ねじピッチ 1.5 と同等の形状としている。なお、既往の実験²⁾における M12 のアンカーではネジふし鉄筋が使用されており、アンカーと充填剤の界面では付着切れが生じていない。細目ネジを使用した本実験においても、既往の実験と同様にひずみゲージ設置箇所付近を含め、アンカーと充填剤の界面で付着切れが生じていないことを確認している。

図-4 に、アンカーに用いた鋼材の引張試験結果を示す。引張試験には、5 本の鋼材を使用した。載荷初期から概ね 6500μ までは線形となっているが、同ひずみ以降は曲線形となっており明確な降伏点を有していない。

図-5 に載荷状況を示す。載荷は、センターホールジャッキを用いた鉛直上向きの静的な単調載荷とした。計測項目は、荷重、アンカーの鉛直変位、アンカーのひずみである。アンカーの鉛直変位は、試験体表面から 65mm の位置に設置した変位計を用いて測定しており、荷重変位関係は、試験体表面から変位計の範囲における弾性変形量を減じて示している。アンカーから反力架台までの距離は、拘束の影響を小さくするため 25ϕ 以上とした。

図-6 に、ひずみの測定位置を示す。ひずみゲージは、試験体表面から 5.0mm、47.5mm、90.0mm、132.5mm、175.0mm の位置で貼り付けており、それぞれ表裏 2 面で測定している。



写真-1 試験体概要

表-1 試験体パラメータ

No.	アンカー	削孔径	埋込長	充填剤	パラメータ	
0	M12	18mm	15 ϕ	エポキシ樹脂	基本	
1					へりあき	5ϕ
2						10ϕ
3					間隔	5ϕ
4						10ϕ

表-2 材料諸元

鋼材		母材コンクリート		充填剤
径 mm	断面積 mm^2	圧縮強度 N/mm^2	弾性係数 kN/mm^2	引張耐力※ kN
12	88.1	27.9	26.4	61

※仕様書の値 (M12, コンクリートの圧縮強度 24N/mm^2 使用)

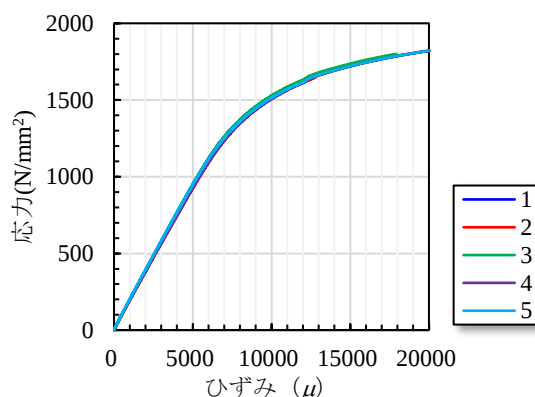


図-4 鋼材引張試験結果

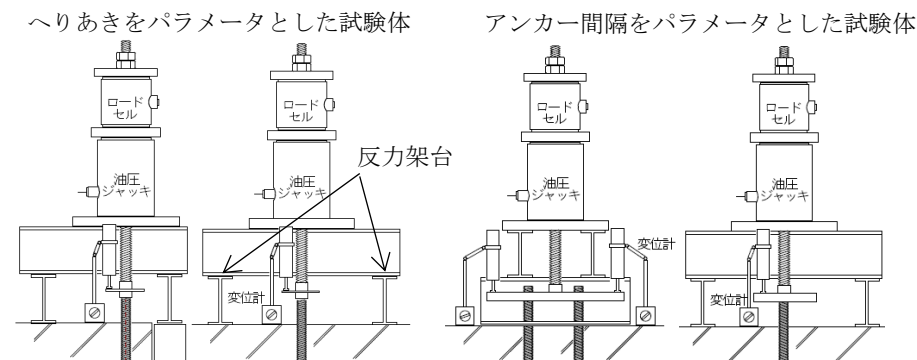


図-5 載荷概要

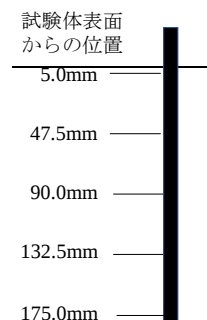
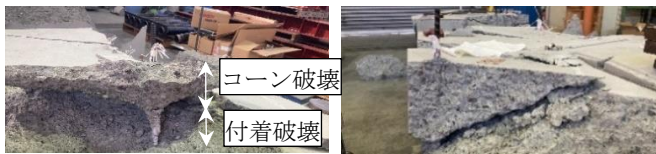


図-6 ひずみ測定位置



(a) No.0-3 (b) No.1-2
写真-2 試験体損傷状況(No.0-3, No.1-2)

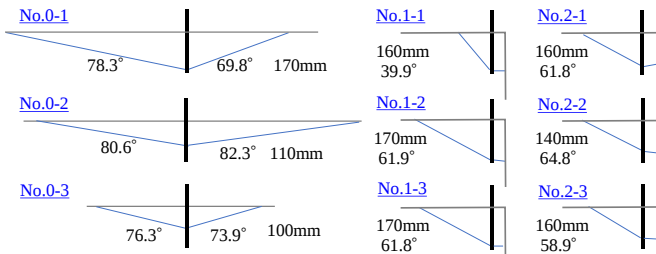


図-7 コーン破壊深さおよび角度 (No.0, No.1, No.2)

3. ヘリあきが破壊性状におよぼす影響

写真-2に載荷終了後における No.0-3 および No.1-2 の試験体損傷状況を示し、図-7 にコーン破壊深さおよびコーン破壊角度を示す。破壊性状について、No.0 のうち No.0-1 はアンカー下端からのコーン破壊であり No.0-2, 3 は複合破壊であった、No.1 と No.2 は、それぞれ3体ともにアンカー下端からのコーン破壊となった。コーン破壊の角度は、No.0 は概ね 70~80° 程度であった。また、No.1, No.2 の破壊面は、アンカーから試験体側面に向かうひび割れは概ね水平であり、その逆側は No.1-1 が 40° であったが、他の試験体は概ね 60° 程度であった。

図-8 に、No.0, 1, 2 の荷重変位関係を示す。最大荷重の平均は、No.0 が 138.7kN, No.2 が 100.2kN, No.1 が 81.5kN となり、ヘリあきが小さいほど最大荷重は小さい結果となった。No.0 のコーン破壊深さのパラつきは 100~170mm と大きい、最大荷重のパラつきは小さい。これは、ヘリあきやアンカー間隔の影響がない試験体についてコーン破壊深さが最大荷重におよぼす影響が小さいとする既往の実験結果¹⁾と同様であった。

図-9(a)(b)(c)に、No.0, 1, 2 について荷重 20kN ごとのひずみ分布を示す。いずれの試験体も、試験体表面から深部に向けてひずみが減少している。試験体表面から -5mm の位置については、載荷が進行し、6000 μ 付近に達して以降は荷重増加に伴いひずみが増加していない。これは、載荷端付近でコンクリートの損傷が生じた影響であると考えられる。また、いずれの試験体も各荷重におけるひずみ分布は概ね同等であり、例えば、80kN において試験体表面から -42.5mm の位置では 4000~5000 μ 程度のひずみが生じ、同位置から深部に向けて概ね線形で分布し、-175mm の位置で 0 μ 程度となっている。

図-9(a)(b)(c)に、併せて、黒線でコーン破壊深さを示す。荷重の増加に伴いひび割れが発生し、さらに荷重を増加させた場合、ひび割れ発生箇所付近でひずみが急増

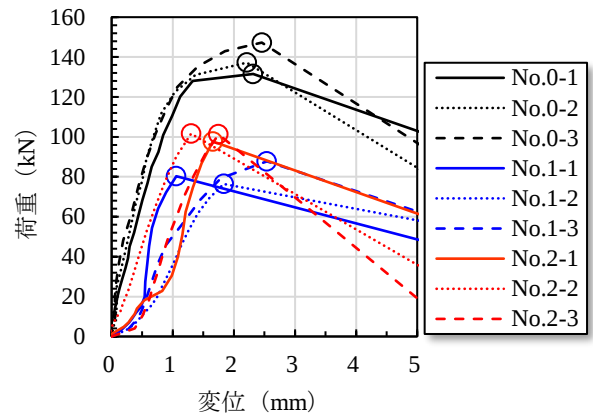


図-8 荷重変位関係 (No.0, 1, 2)

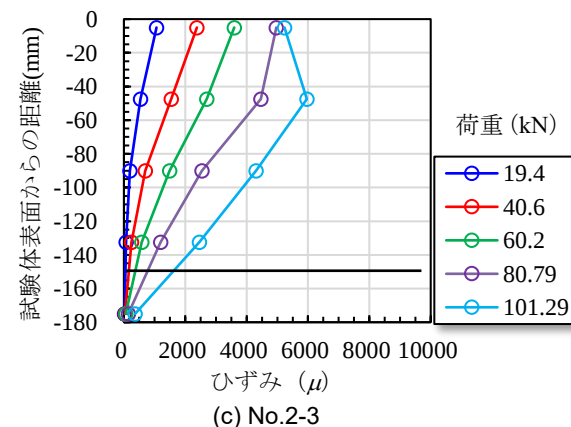
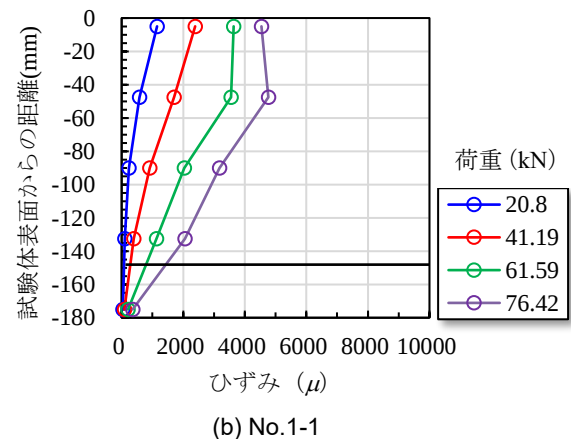
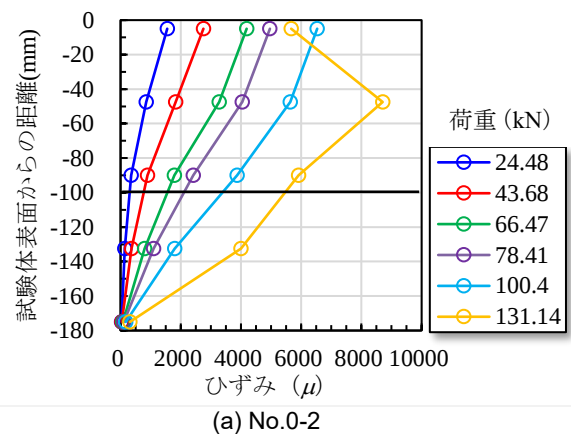


図-9 ひずみ分布 (No.0-2, No.1-1, No.2-3)

するなど、荷重増加に伴うひずみの増加量に影響をおよぼすと考えられる。しかし、No.0-2 はコーン破壊深さ付近においてひずみの急増は確認できなかった。これは、アンカーから試験体表面に向かって徐々にひび割れが進展して破壊面を形成したことで最大荷重に達したのではなく、最大荷重時において急激にひび割れが進展して破壊面を形成したことで最大荷重に達したためであると考えられる。また、いずれの試験体もコーン破壊深さ以外の点においてひずみの急増はなく、図-10 に示すコーン破壊面以外、試験体上面からコーン破壊深さまでの間でコーン破壊ひび割れは確認できなかった。また、試験体側面において、アンカー引抜に伴う付着割裂ひび割れも認められなかった。



写真-3 試験体損傷状況 (No.3-1)

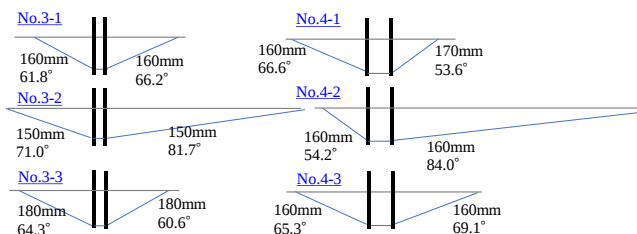


図-10 コーン破壊深さおよび角度 (No.3, 4)

4. アンカー間隔が破壊性状におよぼす影響

写真-3 に載荷終了後における No.3-1 の破壊状況を示し、図-10 に No.3, No.4 のコーン破壊深さおよびコーン破壊角度を示す。No.3 と No.4 は、いずれの試験体も概ねアンカー下端におけるコーン破壊となった。コーン破壊の角度は、いずれの試験体もアンカー間は水平なひび割れであり、その逆側は 80° 、 50° となっている破壊面もあるが、概ね 60° 程度であった。

図-11 に、No.3, 4 の荷重変位関係を示す。最大荷重の平均は、No.3 が 178.1kN 、No.4 が 178.4kN となり、本実験の範囲内においては、アンカー間隔が最大荷重におよぼす影響は小さい結果となった。

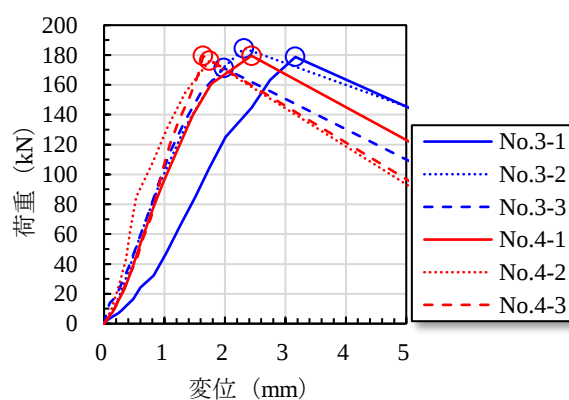
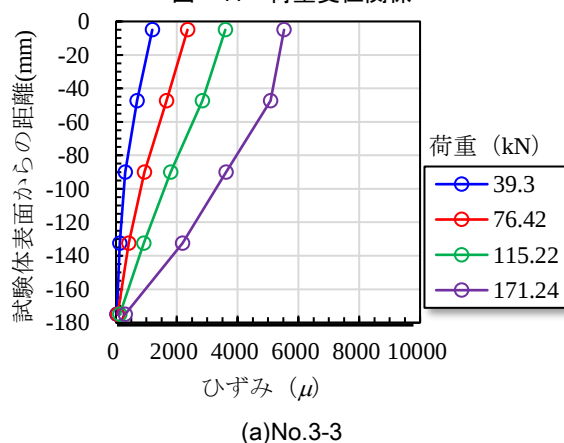


図-11 荷重変位関係

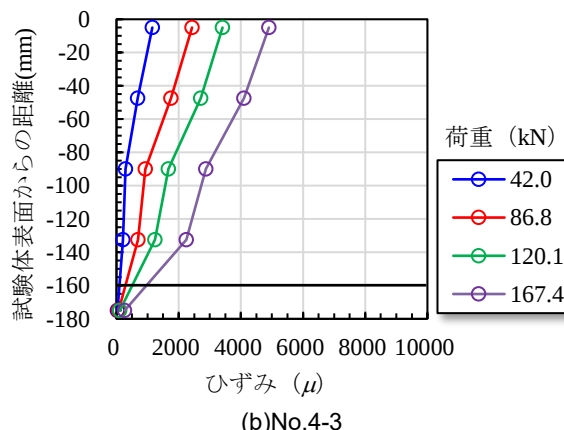
図-12(a)(b) に、No.3-3, No.4-3 について荷重 40kN ごとのひずみ分布を示す。No.3, No.4 はアンカー間隔をパラメータとした試験体でありアンカーを2本有するため、荷重 40kN 、 60kN におけるひずみ分布は、図-9(a)(b)(c) における荷重 20kN 、 30kN におけるひずみ分布と対応している。各荷重におけるひずみ分布について、アンカー間隔 5ϕ と 10ϕ で概ね同等の分布となっており、いずれの試験体も 160kN 付近において -42.5mm の位置で $4000 \sim 5000\mu$ 付近のひずみから深部に向けて概ね線形で分布しており、 -175mm の位置で 0μ 程度となっている。



(a)No.3-3

図-12(a)(b) に、併せて、黒線でコーン破壊深さを示す。コーン破壊深さ付近やそれ以外の位置において荷重の急増などは確認できなかったため、基本試験体やへりあきをパラメータとした試験体と同様に、最大荷重時において急激にひび割れが発生し、破壊面を形成して最大荷重に至った可能性がある。

以上のことから、へりあきおよびアンカー間隔の影響が小さい試験体、へりあきをパラメータとした試験体、アンカー間隔をパラメータとした試験体において荷重とアンカーのひずみ分布の関係は概ね同等であり、最大荷重に至る耐荷機構も概ね同様であると考えられる。



(b)No.4-3

図-12 ひずみ分布 (No.3-3, No.4-3)

5. コーン破壊深さが破壊性状におよぼす影響

図-13 に、へりあきをパラメータとした実験に基づく最大荷重比を示す。最大荷重比は、各試験体の最大荷重を基本試験体の最大荷重の平均値で除して求めた。図中には、併せて、手引き記載の最大荷重比を示す。埋込長 15ϕ の実験結果から得た最大荷重比について、へりあき 5ϕ では手引き記載の最大荷重比と概ね一致している。しかし、へりあき 10ϕ では手引き記載の最大荷重比が 1.0 であるのに対し、実験に基づく最大荷重比は 0.7 程度となっている。

図-14 に、コーン破壊深さとへりあきの関係を示す。図中には埋込長 15ϕ の本実験結果に加えて、三倉らの埋込長 7ϕ 、 10ϕ の実験結果も示しており、点線は埋込長を示している。埋込長 7ϕ 、 10ϕ のコーン破壊は、概ねアンカー下端付近で生じている。一方、埋込長 15ϕ については、へりあきが増加するとコーン破壊深さは小さくなっている。

図-15 に、へりあきが破壊形態におよぼす影響を示す。実験より、へりあきの影響が小さい試験体の破壊形態は複合破壊となった。複合破壊が発生する場合、青で示すアンカー下端におけるコーン破壊の耐力よりも、赤で示すコーン破壊耐力と付着力を累加した複合破壊の耐力のほうが小さくなっていると考えられる。一方で、へりあきの影響が大きい試験体の破壊形態は、アンカー下端におけるコーン破壊となった。アンカー下端におけるコーン破壊は、付着力を有する複合破壊の耐力と異なり、コーン破壊耐力のみで引抜力に抵抗する。そのため、へりあきによりコーン破壊面の大きさが減じられた場合、引抜耐力の減少率は複合破壊よりもアンカー下端における破壊の方が大きいと考えられる。

したがって、へりあきの影響が大きい場合は、コーン破壊面積が減少することで、アンカー下端におけるコーン破壊の耐力が複合破壊における耐力よりも小さくなり、破壊形態は、アンカー下端におけるコーン破壊になりやすいと考えられる。

図-16 に、アンカー下端でコーン破壊が生じたときの埋込長とへりあきの影響範囲の関係を示す。へりあきの影響が大きい試験体は、アンカー下端から破壊面が形成され、コーン破壊面の角度 θ は埋込長に関わらず同等であった。そのため、へりあきの影響範囲は埋込長に応じて変化すると考えられる。このことから、埋込長 7ϕ および 10ϕ の実験結果から最大荷重を包括するように設定した、手引き記載のへりあきの影響範囲の境界であるへりあき 10ϕ の最大荷重比は、埋込長 15ϕ においては精度が低下する可能性がある。

図-17 に、アンカー間隔をパラメータとした実験に基づく最大荷重比を示す。最大荷重比は、各試験体の最大

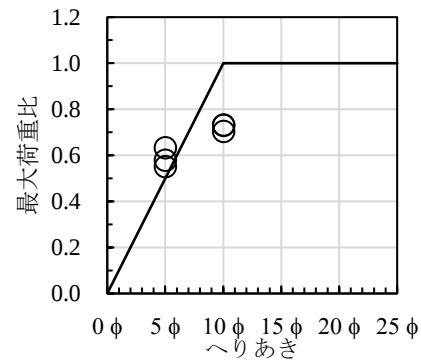


図-13 実験に基づく最大荷重比（へりあき）

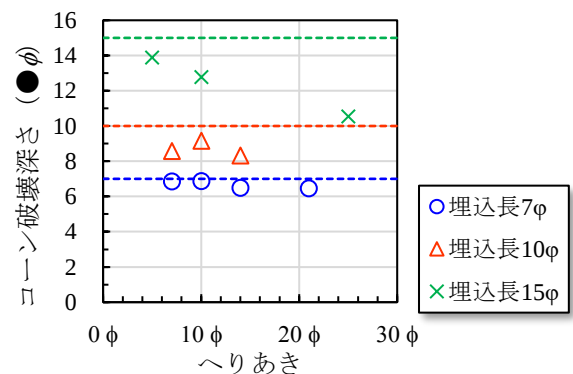


図-14 コーン破壊深さとへりあきの関係

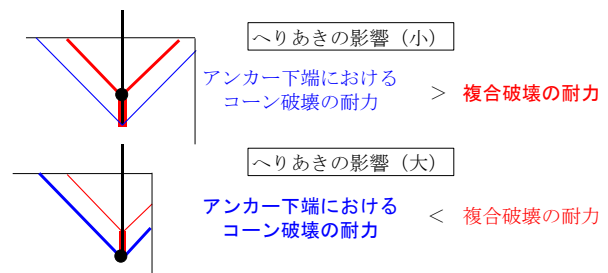


図-15 へりあきが破壊形態におよぼす影響

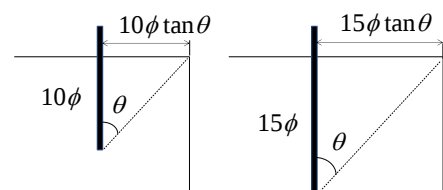


図-16 埋込長とへりあきの影響範囲の関係

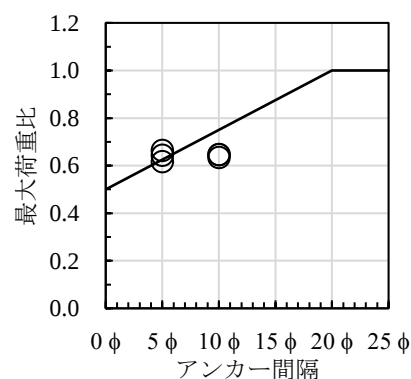


図-17 実験に基づく最大荷重比（アンカー間隔）

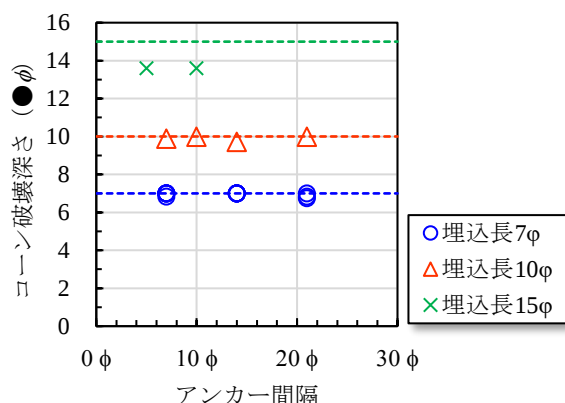


図-18 コーン破壊深さとアンカー間隔の関係

荷重を基本試験体の最大荷重の平均値を2倍した値で除して求めた。図中には、併せて、手引き記載の最大荷重比を示す。手引き記載の最大荷重比は、アンカー間隔 5ϕ はアンカー間隔 10ϕ よりも小さい値となっているが、実験から求まる最大荷重比はアンカー間隔 5ϕ とアンカー間隔 10ϕ は同等であった。

図-18 に、コーン破壊深さとアンカー間隔の関係を示す。埋込長 7ϕ 、 10ϕ のコーン破壊深さについて、へりあきと同様、アンカー間隔にかかわらず概ねアンカー下端付近でコーン破壊が生じており、埋込長 15ϕ のアンカー間隔 5ϕ 、 10ϕ についても同様である。

図-19 に、アンカー下端からコーン破壊する場合の破壊面を示す。埋込長が異なるがアンカー間隔が同一であるアンカーを考える。アンカー下端からコーン破壊すると埋込長に応じてコーン破壊面は大きくなるが、図中に太線で示すアンカー間に形成される破壊面は埋込長によらず一定である。そのため、埋込長に対してアンカー間隔が短い場合、コーン破壊面全体の面積に占めるアンカー間の破壊面の面積は小さくなり、アンカー間隔の変化に伴うコーン破壊耐力の変化量は小さく考えられる。その結果、アンカー間隔をパラメータとした本試験において、アンカー間隔 5ϕ と 10ϕ で破壊性状が概ね同様となった可能性がある。

図-20 に、アンカー間隔が破壊形態におよぼす影響を示す。アンカー間隔の影響が小さく複合破壊が発生する場合、青で示すアンカー下端におけるコーン破壊の耐力よりも、赤で示すコーン破壊耐力と付着力を累加した複合破壊の耐力の方が小さくなっていると考えられる。実験より、アンカー間隔の影響が大きい試験体の破壊形態は、アンカー下端におけるコーン破壊となっている。そのため、へりあきの影響が大きい試験体と同様に、アンカー間隔の影響が大きい場合は、コーン破壊面が減少することでアンカー下端におけるコーン破壊の耐力が複合破壊における耐力よりも小さくなり、破壊形態は、アン

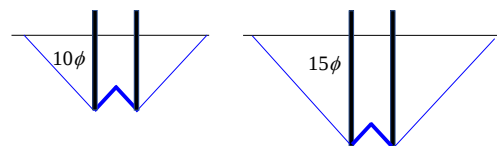


図-19 アンカー下端からコーン破壊する場合の破壊面

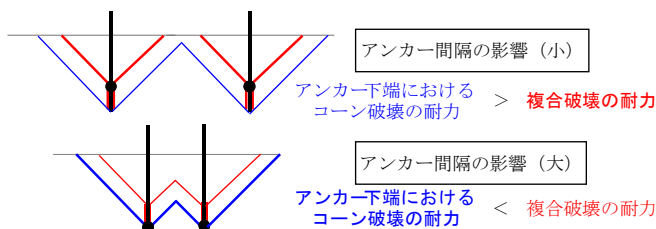


図-20 アンカー間隔が破壊形態におよぼす影響

カー下端におけるコーン破壊になりやすいと考えられる。

6. まとめ

以下に、本実験の範囲内において得られた知見を示す。

- (1) へりあきおよびアンカー間隔の影響が小さい場合の破壊形態は、コーン破壊と付着破壊が複合した破壊形態となった
- (2) へりあきおよびアンカー間隔の影響が大きい場合の破壊形態は、コーン破壊面積の減少に伴いコーン破壊耐力が低下することで、コーン破壊と付着破壊が複合した破壊形態から、アンカー下端におけるコーン破壊に変化する
- (3) アンカー下端からコーン破壊が発生する場合、へりあきの影響範囲は埋込長によって変化する。また、埋込長と比較してアンカー間隔が小さい場合はアンカー間隔の変化に伴う最大荷重の変化量が小さくなる可能性がある

本実験は限られた条件で行っているため、 15ϕ の埋込長に対応した、へりあきおよびアンカー間隔が最大荷重におよぼす影響を評価するには、パラメータの追加や、実験では困難であるコンクリート内部の応力状態の確認など、さらに検討を進める必要があると考える。

参考文献

- 1) 笠裕一郎, 田所敏弥, 岡本大, 古屋卓穂: 耐荷機構に基づくあと施工アンカーの引き抜き耐力に関する一考察: コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.505-510, 2015
- 2) 三倉寛明, 田所敏弥, 岡本大, 笠裕一郎: あと施工アンカーの引抜耐力におよぼすへりあき寸法とアンカー間隔の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp.463-468, 2017
- 3) (公財) 鉄道総合技術研究所: あと施工アンカーの設計・施工の手引き, 2018