

# 論文 ヘリあきが小さいあと施工アンカーの耐荷特性に関する研究

加藤 祐哉\*1・古賀 裕久\*2

**要旨:** あと施工アンカーに関する指針類では、設計上想定する破壊面である 45° のコーンが母材コンクリートの寸法を逸脱する場合、その面積を減じて設計コーン状破壊耐力を求めてよいとしている。しかし、実際に試験を行うと破壊コーンは指針類が想定する 45° のコーンより扁平で大きい場合も多い。そこで複数のあと施工アンカーを用い、ヘリあきが 45° のコーンが逸脱しない最小の条件で引張試験を行った。その結果、45° より扁平な形状で破壊しコーンが端部で分断したり、破壊モードがコーン状破壊にならない場合が多くあることを確認した。

**キーワード:** あと施工アンカー, 耐荷特性, 引張耐力, コーン状破壊, ヘリあき

## 1. はじめに

種々のあと施工アンカーがコンクリート構造物に附属物を設置する目的などに使用されている。コンクリートに設置したあと施工アンカーおよび周囲のコンクリートが破壊して第三者被害が及ぶことを防止するために、あと施工アンカーの引張耐力等の耐荷特性を適切に把握することは重要である。

あと施工アンカーに関する国内の指針類<sup>1),2)</sup>では、設計コーン状破壊は、母材コンクリートが 45° のコーン状に破壊することを想定している。例えば、土木学会指針<sup>1)</sup>が示す設計コーン状破壊耐力  $T_{cd}$  は、金属系アンカーは式(1)、接着系アンカーは式(2)で示されており、コーン状破壊面の有効水平投影面積  $A_c$  の関数となっている。

$$T_{cd} = \frac{0.31K_t A_c \sqrt{f'_{cd}}}{\gamma_b} \quad (1)$$

$$T_{cd} = \frac{0.23K_t A_c \sqrt{f'_{cd}}}{\gamma_b} \quad (2)$$

ここに、 $T_{cd}$  : 設計コーン状破壊耐力

$K_t$  : 短期使用 1.0, 長期使用 0.5

$A_c$  : コーン状破壊面の有効水平投影面積  
( $= \pi l_e (l_e + D_a)$ ), 図-1 参照

$l_e$  : 有効埋込み長さ

金属拡張アンカー : ( $= l - D_a$ )

接着系アンカー (寸切り) : ( $= l$ )

$l$  : アンカーの埋込み長さ

$D_a$  : アンカー本体の直径

$f'_{cd}$  : 母材コンクリートの設計圧縮強度  
( $= f'_{ck}/1.3$ )

$f'_{ck}$  : 母材コンクリートの設計基準強度

$\gamma_b$  : 部材係数 (一般に 1.6 としてよい)

なお、文献 1) と 2) は  $l_e$  の求め方が異なる。また、前述の指針類<sup>1),2)</sup>では、ヘリあき (あと施工アンカーから母

材コンクリート端部までの長さ) が小さく、45° のコーンが母材端部から逸脱する場合は、図-1(c)に示すように逸脱する部分を減じて  $A_c$  を計算することとし、逸脱しない場合は、母材端部の影響は考慮しなくてよいものとされている。

一方で、筆者らが主にスリーブ打込み式の金属拡張アンカーを対象に実施した、支点間隔を十分にとった引張試験では、写真-1 に示すように、多くのあと施工アンカーで 45° のコーンより扁平で水平投影面積の大きな形状での破壊が見られた<sup>3)</sup>。これより、従来、母材端部の影響を見込まなくてよいとされるアンカーの配置であっても、ヘリあきが比較的小さいことによる影響を受けるおそれがあることが示唆された。実際に、接着系アンカーではヘリあきが埋込み長さ  $l$  を超えてもコーンが逸

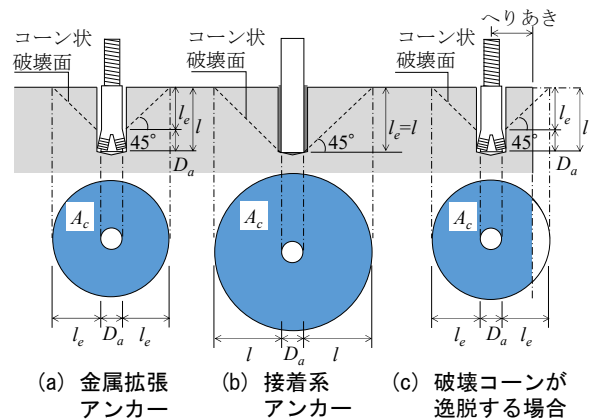


図-1 有効水平投影面積  $A_c$  の求め方<sup>1)</sup>



写真-1 引張試験における破壊コーンの例

\*1 土木研究所 先端材料資源研究センター 主任研究員 工修 (正会員)

\*2 土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員 博士 (工学) (正会員)

表-1 母材コンクリートの配合, フレッシュ性状, 引張試験時の圧縮強度

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (材齢 28 日) (N/mm <sup>2</sup> )	引張試験時の圧縮強度 (材齢 47 日) (N/mm <sup>2</sup> )
		水	普通ポルトランドセメント	細骨材	粗骨材 (Gmax: 20mm)	混和剤				
57.0	43.8	159	279	810	1068	2.99	7.5	3.7	28.3	28.4

表-2 実験に使用したあと施工アンカーの概要

あと施工アンカーの種類	固着方法等	アンカーの寸法等						孔の寸法		施工トルク (Nm)	へりあきが小さいケースのへりあき <sup>1)</sup>
		アンカーボルトの材質	アンカーボルトの呼び	外径 (mm)	埋込み長さ <i>l</i> (mm)	有効埋込み長さ <i>l<sub>e</sub></i> (mm)	穿孔径 (mm)	穿孔深さ (mm)			
金属系	金属拡張式	(1)スリーブ打込み式	SUS304	M12	17.3	50	32.7	18.0	56	—	41
		(2)芯棒打込み式	SUS304	M12	12.0	60	48	12.5	75	—	54
		(3)締付け式(ウェッジ式)	SUS304	M12	12.0	60	48	12.0	75	50	54
金属系	金属拡底式	(4)拡底式	SUS304	M12	17.5	—	60	18.0	68	30	69
接着系	注入式	(5)無機系接着剤 (引張試験時の圧縮強度 {7 日} : 47.0N/mm <sup>2</sup> )	SNB7	M12 (平寸切り)	12.0	60	60	16.0	60	—	60

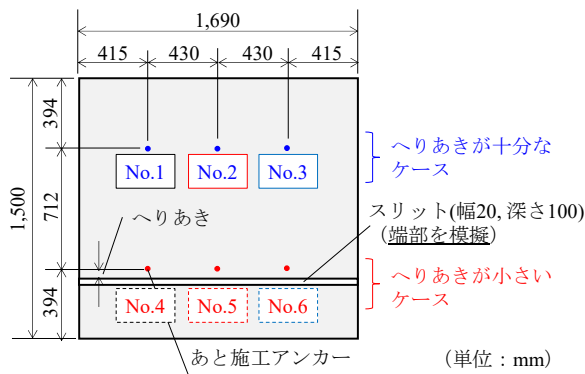


図-2 試験体の形状 (平面図)

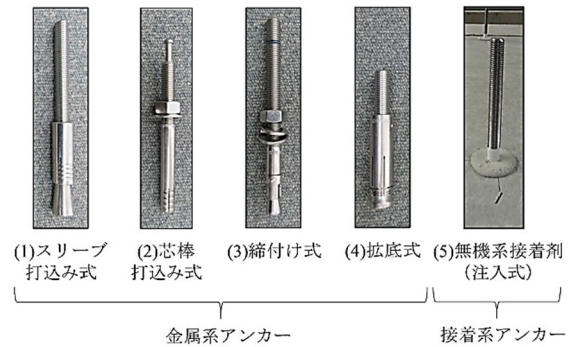


写真-1 実験に使用したアンカーの外観

脱し, 引張耐力が低下した事例が報告されている<sup>4)</sup>。しかし, へりあきの影響について, 金属系あと施工アンカーを対象に比較検討した例は必ずしも十分ではない。

そこで本研究では, へりあきが, 45° のコーンの有効水平投影面の円が母材コンクリート端部に接する場合, 引張耐力等の耐荷特性に影響が生じないか確認するために, 複数種類のあと施工アンカーを用いて検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 コンクリート試験体

へりあきが十分に確保されているケースと, 45° のコーンの有効水平投影面の円が母材コンクリート端部に接するケース (以下, へりあきが小さいケース) の2ケースで, あと施工アンカーの耐荷特性を評価するために図-2 に示す形状 (1,690mm×1,500mm×厚さ 300mm) のコンクリート試験体を 5 体作製した。1 体の試験体の平滑面 (型枠面) に各ケースのあと施工アンカーを 3 本ず

つ配置した。

へりあきが小さいケースでは, 試験体端部付近にアンカーを設置すると 2.3 で後述する引張試験装置の反力板を適切に設置できないため, 図-2 に示すようにスリット (幅 20mm, 深さは埋込み長さ *l* より大きい 100mm とした) を設けて母材コンクリート端部を模擬した。

あと施工アンカーの最小ピッチ (あと施工アンカーの最小間隔) は, 反力板の設置を考慮し, 430mm とした。

コンクリート試験体に用いたコンクリートの配合, フレッシュ性状, 圧縮強度を表-1 に示す。コンクリート打設後材齢 7 日まで湿潤養生を行い, 材齢 28 日以降にあと施工アンカーを設置した。

### 2.2 使用したあと施工アンカーと設置方法

実験には, 表-2 および写真-1 に示す 4 種類の金属系アンカーと 1 種類の接着系アンカーの計 5 種類のあと施工アンカーを使用した。アンカーボルトのねじの呼びは全て M12 だが, 金属系アンカーの外径, 先端部の形状および拡張 (拡底) 後の大きさは異なる。(1)スリーブ打

込み式はアンカーボルトの先端にスリーブを打ち込むこと、(2)芯棒打込み式はアンカーボルト中心部の芯棒を打ち込むこと、(3)締付け式(ウェッジ式)は所定のトルクでナットを締め付けてボルトを引き上げることで先端部を拡張し、孔壁に固着させるものである。(4)拡底式は所定のトルクでアンカーボルト先端にスリーブを挿入させ、穴の底部の拡径と先端の拡張を同時に行うことで孔壁に固着させるものである。(5)無機系接着剤(接着系アンカー)は接着剤を孔内全体に注入し、接着剤による付着や接着剤に含まれる骨材と孔壁・ボルトとのかみ合いによって孔壁との固着力を得るものである。接着系アンカーのアンカーボルトは平寸切りとした。また、接着剤の引張試験時(材齢7日)の圧縮強度は47.0N/mm<sup>2</sup>であった。

設置方法は、各アンカーのカタログに記載の穿孔径で下向きに穿孔、清掃を行い、(3)締付け式と(4)拡底式はカタログに記載の施工トルクを導入して設置した。

へりあきが小さいケースでは、より端部に近い位置でアンカーの耐荷特性を把握するため土木学会指針<sup>1)</sup>を参考とし、スリットで模擬した母材コンクリート端部に、45°のコーンの有効水平投影面の円がほぼ接する位置

(へりあき=有効埋込長さ $l_e$ +アンカー本体の半径 $D_a/2$ 、表-2参照)にあと施工アンカーを設置した。なお、(4)拡底式の $l_e$ は、メーカーカタログを参考に母材コンクリート表面から拡径後の拡径部までの長さとした。ここで、本実験は2020年に実施しておりその時点での土木学会指針<sup>1)</sup>には $A_c$ の求め方が記載されていなかったため、他の金属系アンカーと同様の方法としたものである。その後、土木学会指針は改訂され<sup>5)</sup>、金属拡底アンカーの $D_a$ はアンカー拡径後の直径とされた。実験後に取り出した(4)拡底式の拡径後の直径は、表-2に示す外径(17.5mm)より大きい約22mmとなる。よって、文献5)に従えば(4)拡底式のみ、45°のコーンの有効水平投影面の円は母材コンクリート端部から約3mm逸脱している。


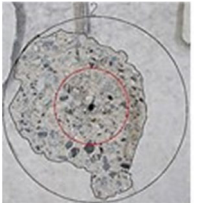
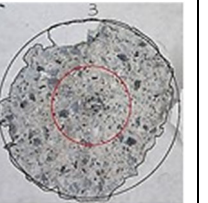
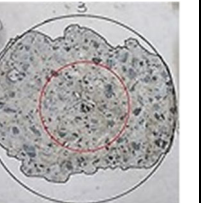
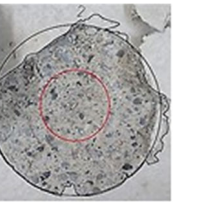
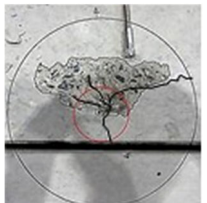
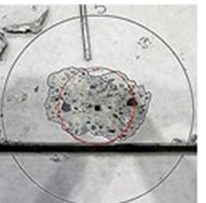
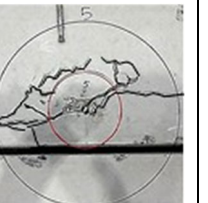
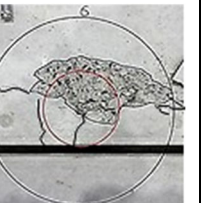
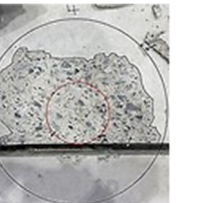
### 2.3 引張試験方法

引張試験装置および試験状況を写真-2に示す。コーン状破壊耐力を適切に求めるために十分な支点間隔(4l以上)を確保し、直径360mmの孔を有する反力板(鋼製、760mm×760mm厚さ19mm)を試験体表面に設置して載荷した。載荷速度は約3kN/sとし、アンカーに作用する引張荷重をロードセルで、変位を4個の変位計の平

表-3 引張試験後の破壊モード

あと施工アンカーの種類		固着方法等	破壊モード					
			へりあきが十分なケース			へりあきが小さいケース		
			No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
金属系	金属拡張式	(1)スリーブ打込み式	コーン状	コーン状	コーン状	割裂	割裂	割裂
		(2)芯棒打込み式	コーン状	コーン状	コーン状	コーン状	コーン状	割裂
		(3)締付け式	引抜き	引抜き	コーン状	割裂	割裂	割裂
	金属拡底式	(4)拡底式	コーン状	コーン状	コーン状	割裂	割裂	割裂
接着系	注入式	(5)無機系接着剤	コーン状	コーン状	コーン状	コーン状	コーン状	割裂

表-4 引張試験の破壊状況写真の代表例

	金属系アンカー				接着系アンカー
	(1)スリーブ打込み式	(2)芯棒打込み式	(3)締付け式	(4)拡底式	(5)無機系接着剤
へりあきが十分なケース	 No.1: コーン状	 No.2: コーン状	 No.3: コーン状	 No.3: コーン状	 No.2: コーン状
へりあきが小さいケース	 No.4: 割裂(ひび割れ)	 No.5: コーン状	 No.5: 割裂(ひび割れ)	 No.6: 割裂(ひび割れ)	 No.4: コーン状(コーン分断)

※写真中の赤い円は45°のコーンの有効水平投影面の円、黒い円は反力板の孔を示している。

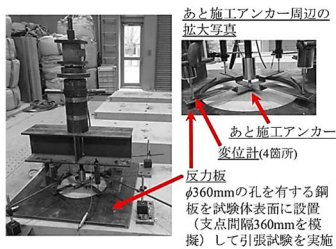


写真-2 引張試験装置および試験状況

均値として測定した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 破壊モード

引張試験後の破壊モードを表-3に示す。また、破壊状況写真の代表例を表-4に示す。

へりあきが十分なケースでは、ほとんどがコーン状破壊で破壊した。(3)締付け式のNo.1, 2のみ、アンカーが孔から引き抜ける引抜き破壊となった。表-4の上段には代表的な写真のみ示しているが、コーン状破壊したものは、全て45°コーンより扁平な形状で破壊した。

へりあきが小さいケースでは、多くの場合で写真-3に示すような、母材コンクリートにひび割れが生じる割裂破壊が観察された。また、(2)芯棒打込み式のNo.4, 5と(5)無機系注入式(接着系アンカー)のNo.4, 5ではコ

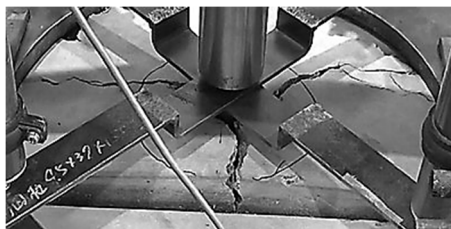


写真-3 割裂破壊の例

ーン状破壊も観察された。本実験では、(2)芯棒打込み式

はいくらか変位(引抜け)が生じたのちにコーン状破壊したため、コーンがあまり大きくなり、コーンが母材コンクリート端部から逸脱しなかった。(5)無機系注入式はへりあきが十分なケースと同様に大きなコーンで破壊し、コーンの一部が母材コンクリート端部にかかってコーンが分断する形となった。

#### 3.2 引張耐力

引張試験で得られた引張耐力(最大荷重)の実測値と平均値を図-3に示す。図-3には、比較のため式(3)(金属系アンカー)および式(4)(接着系アンカー)で求めたコーン状破壊耐力 $T_c$ の計算値も表示した。 $T_c$ は式(1)および(2)の $\gamma_b$ を無視し、 $K_t$ を1.0、 $f_{cd}$ を引張試験時の母材コンクリートの圧縮強度 $f'_c$ として計算したもので、 $T_c$ より大きな値となる。

$$T_c = 0.31A_c\sqrt{f'_c} \quad (3)$$

$$T_c = 0.23A_c\sqrt{f'_c} \quad (4)$$

ここに、 $T_c$  : コーン状破壊耐力

$f'_c$  : 引張試験時の母材コンクリートの  
圧縮強度 (=28.4N/mm<sup>2</sup>)

5種類のあと施工アンカー全てにおいて、引張耐力の平均値は、へりあきが十分なケースよりもへりあきが小さいケースの方が小さい傾向があった。ただし、(2)芯棒打込み式、(4)拡底式は、その差は比較的小さかった。また、表-3に示す通り、へりあきが十分なケースでは(3)締付け式の一部に引抜き破壊、へりあきが小さいケースでは大多数が割裂破壊であり、実測値にはコーン状破壊ではない破壊モードのデータも含まれているが、すべての実測値が $T_c$ の計算値を超えていた。

#### 3.3 引張試験中の変位

引張試験中の荷重と変位の関係を図-4に示す。引張載荷時の、最大荷重までの変位(拔出)の増加量は、へりあきが十分なケースとへりあきが小さいケースのど

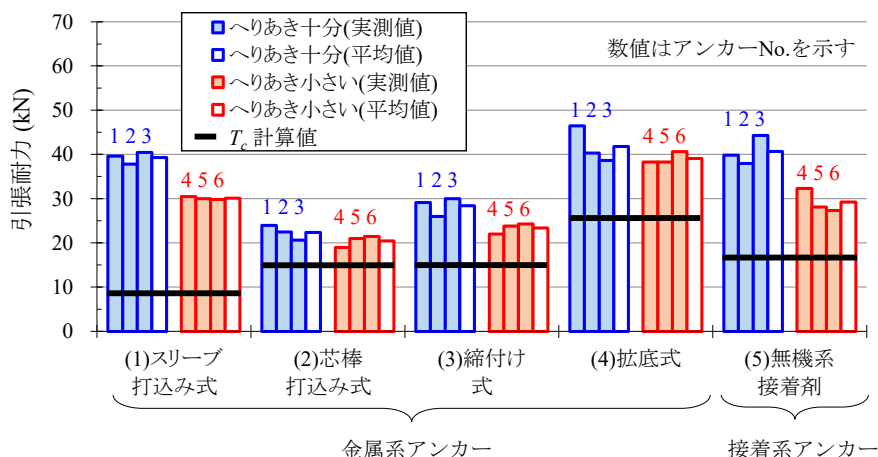


図-3 引張耐力

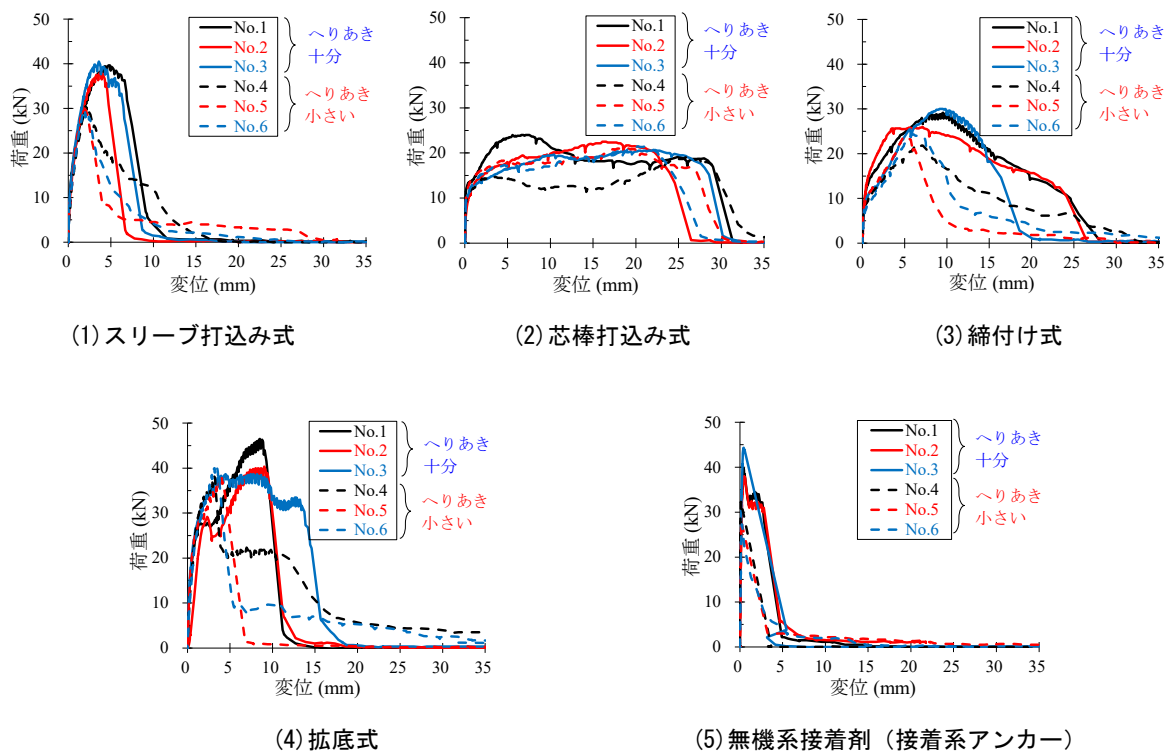


図-4 引張試験時の荷重と変位の関係

ちらにおいても顕著な差はなく、(1)スリーブ打込み式と(4)拡底式は比較的小さく、(2)芯棒打込み式と(3)締付け式は比較的大きい特徴が確認された。(2)芯棒打込み式と(3)締付け式は、アンカー先端の拡張部が他の金属系アンカーと比較して小さいタイプであることから、拔出しによる変位が増加しやすい特徴があると考えられる。接着系アンカーの(5)無機系接着剤は、孔内全体に充填された接着剤により固着しているため、最大荷重に到達するまでの変位は極めて小さい特徴が確認された。

先に述べたように最大荷重（引張耐力）は、へりあきが小さいケースの方が小さくなる傾向があり、最大荷重時の変位も、(2)芯棒打込み式を除き、へりあきが小さいケースの方が小さい変位で最大荷重に到達していた。(2)芯棒打込み式では、明確な差はなかった。

### 3.4 アンカーの種類ごとのへりあきの影響

#### (1) スリーブ打込み式

表-3、表-4、図-3(1)、図-4(1)より、へりあきが十分なケースでは3本全てが45°のコーンより扁平で大きなコーン状破壊となり、引張耐力は平均値で40kNであった。一方、へりあきが小さいケースでは3本全てが変位の小さなところで、計算式で想定するコーン状破壊と異なる割裂破壊となり、引張耐力は平均値で30kNと小さな値を示した。へりあきが小さい場合や薄肉部材等では割裂破壊が生じやすいとされており<sup>9)</sup>、本実験でもこの傾向が示されたと考えられる。なお、両ケースで引

張耐力は $T_c$ の計算値を大きく超えており、設計に用いる $T_{cd}$ は $T_c$ よりも小さいことから、今回の検討の範囲では、へりあきが小さいケースにおいても引張耐力の面で直ちに問題は生じにくいと考えられる。

#### (2) 芯棒打込み式

表-3、表-4、図-3(2)、図-4(2)より、へりあきが十分なケースでは3本全てが45°のコーンより扁平で大きなコーン状破壊となり、引張耐力は平均値で22kNであった。一方、へりあきが小さいケースではNo.4、5がコーン状破壊、No.6が割裂破壊となった。引張耐力は破壊モードによらず平均値で20kNであり、へりあきが十分なケースより小さいがその差は顕著ではなかった。

両ケースとも最大荷重に達するまでの変位が比較的大きかった。コーン状破壊したものはある程度引き抜けてから破壊しており、破壊面は比較的小さかった。特に、へりあきが小さいケースのNo.4、5は、母材コンクリート端部から逸脱するほどコーンは大きくならなかった。本アンカーでは、へりあきが耐荷特性に及ぼす影響は、他のアンカーと比べて顕著ではなかった。

なお、両ケースで引張耐力は $T_c$ の計算値を超えていた。

#### (3) 締付け式

表-3、表-4、図-3(3)、図-4(3)より、へりあきが十分なケースでは、No.1、2が引抜き破壊、No.3がコーン状破壊となった。引張耐力は破壊モードによらず平均値で28kNであった。一方、へりあきが小さいケースで

は、3本全てが変位の小さなところで割裂破壊となり、引張耐力は平均値で23kNと小さな値を示した。

本アンカーも、両ケースとも最大荷重に達するまでの変位が比較的大きかった。No.3はある程度引き抜けてからコーン状破壊となったが、45°のコーンより扁平な形状で破壊したため、破壊面積は大きかった。

なお、両ケースで引張耐力は $T_c$ の計算値を超えていた。

#### (4) 拡底式

表-3、表-4、図-3(4)、図-4(4)より、へりあきが十分なケースでは3本全てが45°のコーンより扁平で大きなコーン状破壊となり、引張耐力は平均値で42kNであった。一方、へりあきが小さいケースでは、3本全てが変位の小さなところで割裂破壊となり、引張耐力は平均値で39kNであった。へりあきが十分なケースでは3本の引張耐力は比較的ばらついたが、両ケース間の平均値の差は比較的小さかった。

なお、両ケースで引張耐力は $T_c$ の計算値を超えていた。

#### (5) 無機系接着剤

表-3、表-4、図-3(5)、図-4(5)より、へりあきが十分なケースでは3本全てが45°のコーンより扁平で大きなコーン状破壊となり、引張耐力は平均値で41kNであった。一方、へりあきが小さいケースでは、3本全てが変位の小さなところで破壊し、No.4、5がコーン状破壊、No.6が割裂破壊となった。引張耐力はNo.4が32kN、No.5、6が破壊モードによらず28kNであった。コーン状破壊した5本全てが45°のコーンより扁平で大きなコーンで破壊したが、へりあきの小さいケースにおいては母材コンクリート端部でコーンが分断され、破壊面積が減少したことで引張抵抗が低下し、へりあきが十分なケースと比べて引張耐力が小さくなったと考えられる。この結果のように、設計で想定する45°のコーンより大きなコーンで破壊する事例があるため、へりあきが小さい場合、破壊面の水平投影面積は端部による分断によって小さくなる場合のあることが確認された。

なお、両ケースで引張耐力は $T_c$ の計算値を超えていた。

#### (6) へりあきの影響のまとめ

今回実験したへりあきが小さいケースでは、アンカーの種類によってへりあきの影響の大小が異なっていたが、引張耐力の極端な低下は見られず、全ての実測値(コーン状破壊以外の破壊も含む)はコーン状破壊耐力の計算値を超えていた。ただし、割裂破壊のように、設計で意図しない破壊モードで破壊した場合もあり、条件によっては、破壊モードが異なることの影響が顕著に生じて設計コーン状破壊耐力の計算値を下回るおそれもあると考えられる。

また、スリーブ打込み式と同様の拡張機構の本体打込み式を用いた既往研究でも、へりあきが埋込み長さ $l$ の

1.2倍以下でコーン状破壊耐力が低下した事例がある<sup>7)</sup>。このため、へりあきは、できる限り大きく確保するなど余裕を取る必要があると考えられる。

## 4. まとめ

本研究では45°のコーンの有効水平投影面の円が母材端部とほぼ接する場合に、あと施工アンカーの耐荷特性にどのような影響が生じるか確認を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 設計で想定する45°のコーンより大きなコーンでコーン状破壊するアンカーが多く、コーンが母材コンクリート端部で分断されたり、割裂ひび割れが生じたりして破壊する場合(割裂破壊)があった。
- (2) へりあきが十分確保されている場合と比べて、引張耐力が小さくなる場合が多い傾向を示した。ただし、極端な低下は見られず、全ての実測値(コーン状破壊以外の破壊も含む)はコーン状破壊耐力の計算値を超えていた。
- (3) 一部のあと施工アンカーを除き、引張耐力(最大荷重)を示すときの変位量が低下する傾向があった。
- (4) (1)~(3)から、へりあきを総合的に考慮し、本実験の割裂破壊のように、設計で意図しない破壊モードで破壊するおそれがあることから、安全のためにへりあきはできる限り余裕を確保することが望ましいと考えられる。

## 参考文献

- 1) 土木学会：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)，pp.178，2014
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針，pp.207-273，318-328，2010
- 3) 中村英佑，栗原勇樹，古賀裕久：金属系あと施工アンカーの引張耐力に関する基礎的研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム論文報告集，Vol.17，pp.69-72，2017
- 4) 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
- 5) 土木学会：コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針(案)，p.60，2022
- 6) 日本建築学会：各種合成構造設計指針，pp.232-234，2010
- 7) 清水泰：金属拡張系あと施工アンカーの引抜き耐力に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.471号，pp.131-139，1995