

## 接着系あと施工アンカーのせん断耐力に及ぼすへりあき効果の影響

### Influence of Edge distance for Shear capacity of Post-installed bonded anchor

○安藤 祐太郎\*<sup>1</sup>, 中野 克彦\*<sup>2</sup>

Yutaro ANDO and Katsuhiko NAKANO

本研究では、接着系あと施工アンカーにせん断力を作用させたときの諸性能（せん断耐力、変形状および破壊性状）を実験的に把握することを目的としている。ここでは、へりあき寸法の小さい状況下で接着系アンカーを定着させた場合の、耐力、変形状および破壊性状を実験により把握し、へりあき寸法、アンカー筋の埋め込み長さが接着系あと施工アンカーの抵抗機構に及ぼす影響およびせん断耐力評価方法について検討した。

**Keywords** post-installed bonded anchor, edge distance, embedment length, shear load acting parallel to the edge, shear capacity  
接着系あと施工アンカー、へりあき寸法、埋め込み長さ、へりあきに平行なせん断力、せん断耐力

#### 1. はじめに

接着系あと施工アンカーは、一般に  $7d \sim 10d$  程度 ( $d$ : アンカー筋径) の埋め込み長さで設計されているが、通常、異形鉄筋をコンクリートに定着させる場合、 $30d \sim 40d$  程度の埋め込み長さが設計上必要となる。この差異の理由として、接着系あと施工アンカーの設計は十分にへりあきが確保された条件が想定されているからである。

しかし、実際に耐震補強などで、あと施工アンカーを施工する際、へりあきを十分に確保できない場合が多い。現状では、接着系あと施工アンカーの日本におけるせん断耐力式では想定破壊モード（アンカー筋の降伏、コンクリートの支圧破壊）ごとに耐力算定を行い、その最小値を設計耐力としている。これらの設計式では、へりあき及び群効果の影響については考慮されていない。

そこで、本研究では、へりあきの小さい接着系あと施工アンカーに面内方向のせん断力を作用させる実験を行

い、先付けアンカーの実験結果と比較することにより、へりあき、アンカー筋の埋め込み長さが、せん断耐力、変形状などに及ぼす影響を明確にすることを目的とする。さらに、接着系あと施工アンカーのせん断耐力に対する抵抗機構および耐力評価方法についても検討した。

#### 2. 実験概要

##### 2.1 試験体

表1に試験体要因および実験結果一覧、図1に試験体概要図を示す。共通要因は、コンクリート圧縮強度  $\sigma_B = 29.5 \sim 31.3 \text{ N/mm}^2$ 、アンカー筋 D19 (SD345) とした。

変動要因は、(1) 付着タイプ 2 種類（先付けタイプ「N-type」、インジェクションタイプのあと施工アンカー「I-type」）、(2) アンカー筋の埋め込み長さ 3 水準 ( $l_e = 7d, 14d, 21d$ :  $d = \text{アンカー筋呼径}$ )、(3) へりあき面数 3 水準（へりあき十分、片面へりあき、両面へりあき）、(4) へりあき寸法 2 水準 ( $c_1 = 35 \text{ mm}, 75 \text{ mm}$ ) とした。

\*1 新潟工科大学大学院工学研究科  
\*2 新潟工科大学 教授・博士（工学）

Graduate Student, Niigata Institute of Technology  
Prof., Niigata Institute of Technology, Dr.Eng

## 2.2 実験方法

図2に加力装置および変位測定位置図を示す。加力方法は、試験体上に取付鋼板を設置し、センターホールジャッキ、ロードセル、球座を設置し、取付鋼板と接続したPC鋼棒に引張力を与える形式とした。また、取付鋼板とコンクリートとの間には、テフロンシートを敷くことで鋼板とコンクリート間の付着を除去した。荷重はロードセルにより、変位は変位計によりせん断ずれ変形量と浮き上がり量について測定した。アンカー筋の歪みをアンカー筋に貼り付けた歪みゲージにより測定した。荷重初期で滑りが生じたものについては、滑り量を差し引く処理を行った。

## 3. 実験結果

### 3.1 破壊性状

図3に試験体破壊状況を示す。表1より破壊モードは、へりあきの十分なものでは付着タイプおよび埋め込み長さに関係なく全ての試験体で図3-①のような鋼材破断となった。また、片面へりあき ( $c1=35\text{ mm}$ ,  $75\text{ mm}$ )、両面へりあき ( $c1=c2=75\text{ mm}$ ) では共に、付着タイプ、埋め込み長さに関係なく全て図3-②、図3-③のようなコンクリートの剥離破壊となった。両面へりあきの試験体の中には、片面のみ剥離破壊した試験体も見られた。

### 3.2 耐力および変形状

図4に各変動要因によるせん断耐力 ( $Q$ ) - せん断ずれ変形量 ( $\delta_{sd}$ ) 関係を示す。

#### (1) 付着タイプによる影響

図4 a)に  $le=7d$  における  $Q-\delta_{sd}$  関係を示す初期剛性は多少のばらつきが出てしまったものの N-type, I-type において、へりあき寸法それぞれでほぼ同様の性状が見られ、最大耐力にもそれほど大きな差異は見られなかった。

#### (2) へりあき寸法・へりあき面による影響

以下、付着タイプによる影響は少ないことから、I-type で各要因の検討を行う。

図4 b)に I-type,  $le=7d$  における  $Q-\delta_{sd}$  関係を示す。へりあき寸法が大きくなるにつれて最大耐力およびその変位ともに大きくなる傾向が見られた。1面へりあき ( $c1=35, 75\text{ mm}$ ) で最大耐力を比較すると、へりあき寸法  $c1$  が  $35\text{ mm}$  から  $75\text{ mm}$  になると  $7d$  では  $1.8$  倍程度、 $14d$  では  $2.3$  倍程度最大耐力は上昇した。また、1面へりあき ( $c1=75\text{ mm}$ ) と2面へりあき ( $c1=c2=75\text{ mm}$ ) で比較すると、へりあき寸法が同じである場合、へりあき面数が最

表1 試験体要因および実験結果一覧

No.	試験体要因				実験結果			
	付着*1 タイプ	有効 埋め込み長さ $le$ (mm)	へりあき 面数	寸法		最大耐力 $Q_{max}$ (KN)	変位 $\delta_{sd}$ *2(mm)	破壊 モード
				$c1$ (mm)	$c2$ (mm)			
1	N-type	7d(133)	Center	$le <$	$le <$	103	22.4	鋼材破断
2		14d(266)				130	29.6	鋼材破断
3	I-type	7d(133)	Center	$le <$	$le <$	105	20.6	鋼材破断
4		14d(266)				129	29.4	鋼材破断
5	N-type	7d(133)	1面	75	$le <$	54.1	6.18	剥離破壊
6		14d(266)				60.0	28.9	剥離破壊
7	I-type	7d(133)	1面	75	$le <$	61.1	5.67	剥離破壊
8		14d(266)				83.0	25.9	剥離破壊
9	I-type	7d(133)	1面	35	$le <$	33.3	2.46	剥離破壊
10		14d(266)				35.4	3.49	剥離破壊
11	N-type	7d(133)	2面 (両面)	75	75	51.8	5.12	剥離破壊
12		14d(266)				60.8	7.98	剥離破壊
13		21d(399)				68.5	48.4	剥離破壊
14	I-type	7d(133)	2面 (両面)	75	75	51.5	4.46	剥離破壊
15		14d(266)				60.8	8.55	剥離破壊
16		21d(399)				62.4	4.90	剥離破壊

\*1 N-type: 先付けタイプ, I-type: インジェクションタイプのあと施工アンカー \*2  $\delta_{sd} = (\delta_1 + \delta_2) / 2$ : 最大耐力時のずれ変形量

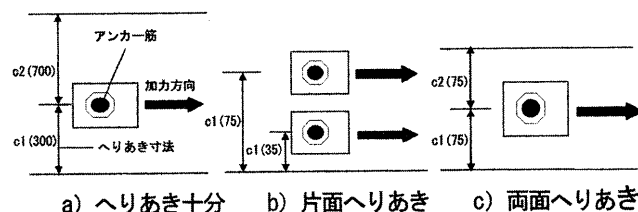


図1 試験体概要図

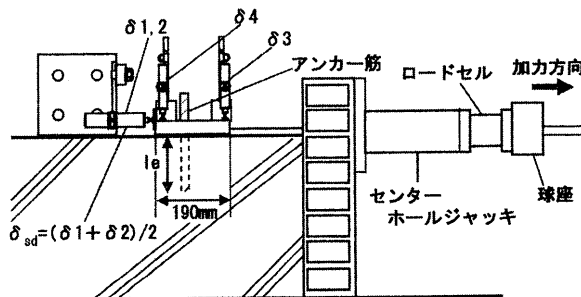
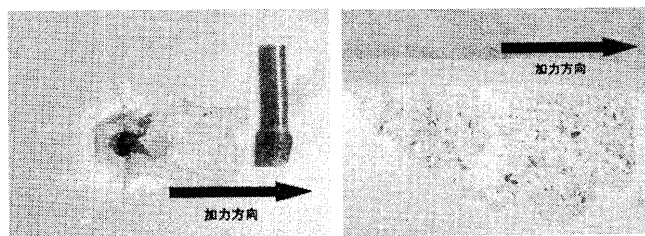
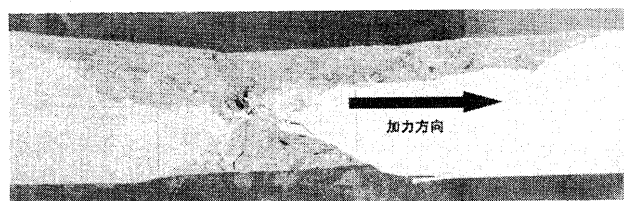


図2 加力装置および変位測定位置図



①鋼材破断 ②剥離破壊(1面へりあき)



③剥離破壊(2面へりあき)

図3 試験体破壊状況

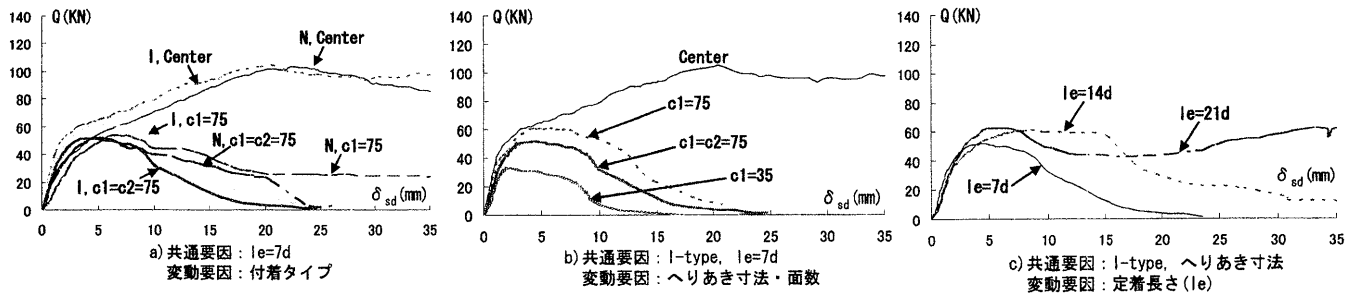
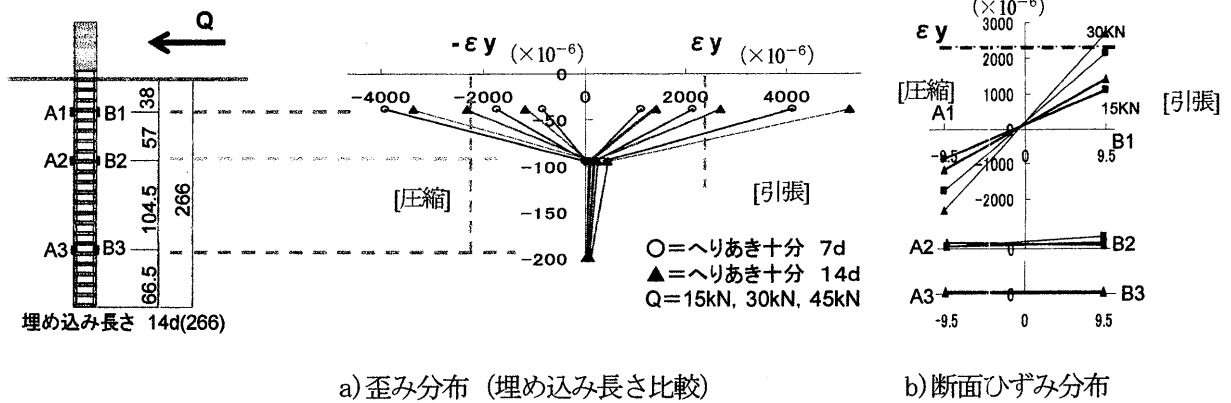


図4 せん断耐力(Q)－せん断ずれ変形量(δ<sub>sd</sub>)関係



a) 歪み分布 (埋め込み長さ比較)

b) 断面ひずみ分布

図5 アンカー筋の歪み分布

大耐力に影響をおよぼすことが確認できた。

(3)有効埋め込み長さによる影響

図4c)に2面へりあき (c1=c2=75 mm) におけるI-typeのQ-δ<sub>sd</sub>関係を示す。埋め込み長さが長くなるにつれて最大耐力およびその変位は大きくなっている。また、7d, 14d はコンクリートの剥離破壊によりアンカー筋が抜出してしまったのに対し、21d では埋め込み長さが長いことで剥離破壊後もアンカー筋の抜出しを防ぎ、耐力を維持した。

3.3 歪み性状

図5に埋め込み長さを変動要因としたアンカー筋の歪み分布を示す。埋め込み長さ 7d, 14d の試験体ともに A1, B1 (2d) の歪みは変動して曲げ応力が生じているものの、A2, B2 (5d), A3, B3 (10d) とアンカー筋の下部では全く変動が見られない。このことから、アンカー筋のせん断荷重に対する抵抗の仕方として、45kN 程度では埋め込み長さに関わらずアンカー筋の上部 (2d 程度) でせん断荷重に抵抗し、アンカー筋の下部では付着力により抵抗していると考えられる。

4. せん断耐力の評価

4.1 実験結果の検討

(1)へりあき十分

図6にへりあき寸法で比較したせん断耐力(Q)とせ

ん断ずれ変形量(δ<sub>sd</sub>)の関係を示す。7d, 14d とともに、δ<sub>sd</sub>=20 mm程度まで同様の挙動を示した。δ<sub>sd</sub>=20 mm以降7d は付着による定着機構が喪失することにより耐力が上がらず破断したが、14d は耐力が上昇し、最大耐力で破断した。破断強度が引張で168.7kN、せん断で97kNなので、le=14dの最大耐力は、鉄筋の純引張の破断強度程度である。埋め込み長さが2d部分(歪みA1, B1)のせん断面においては、δ<sub>sd</sub>=2 mm程度で引張側と圧縮側で降伏(局所降伏)している。長期および短期荷重の設計値は(1)式より、破壊モードが支圧破壊となる。

$$(Q_a)_a = \min\{(Q_{a1})_a, (Q_{a2})_a\} \dots \dots (1)$$

$$\text{鋼材降伏} : (Q_{a1})_a = \phi_1 \cdot 0.7 \cdot \sigma_y \cdot s_e$$

$$\text{支圧破壊} : (Q_{a2})_a = \phi_2 \cdot 0.4 \cdot s_e \cdot \sqrt{\sigma_B \cdot E_c}$$

$$\phi_1 : \text{長期} 2/3, \text{短期} 1.0 \quad \sigma_y : \text{降伏点強度} (N/mm^2) \quad \sigma_B : \text{圧縮強度} (N/mm^2)$$

$$\phi_2 : \text{長期} 1/3, \text{短期} 2/3 \quad s_e : \text{有効断面積} (mm^2) \quad E_c : \text{ヤング係数} (N/mm^2)$$

支圧破壊の長期荷重レベルがδ<sub>sd</sub>=2 mm程度で局所降伏状態であり、短期荷重レベルがδ<sub>sd</sub>=5 mm程度で剛性が変化する点で、せん断面において全塑性の状態であると考えられる。このことからせん断耐力はδ<sub>sd</sub>=5 mm程度で評価することが妥当である。

(2)1面へりあき

へりあき75 mmでは、δ<sub>sd</sub>=5 mm程度まで同様の挙動を示

した。 $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ 以降, 7d は耐力が低下しアンカー筋が抜出したが, 14d はしばらく耐力を維持した。へりあき 35 mm では,  $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ 程度まで同様の挙動を示した。 $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ 以降, 7d は体力が低下し, 14d は  $\delta_{sd}=20\text{ mm}$ まで耐力を維持した。支圧破壊の長期荷重レベルでは, へりあき 75 mm で  $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ 程度で, 短期荷重レベルでは  $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ 程度を示した。へりあき 35 mm でも長期荷重レベルが  $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ 程度を示した。

**(3) 2面へりあき**

へりあき 2面の試験体では  $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ 程度まで同様の挙動を示した。 $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ 以降, 7d は耐力が低下しアンカー筋が抜出したが, 14d, 21d と埋め込み長さ長いほどアンカー筋の抜出しを防ぎ, 耐力を維持する結果となった。支圧破壊の長期荷重レベルは  $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ 程度で, 短期荷重レベルでは  $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ 程度を示した。

**4.2 せん断耐力の検討**

実験結果の検討より, へりあき寸法に関係なく支圧破壊の長期荷重レベルが  $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ 程度, 短期荷重レベルで  $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ 程度を示すことから,  $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ , 5 mm の耐力検討を行う。図7に  $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ , 5 mm 時の計算値-実験値比較を示す。短期荷重レベル ( $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ ) で, 1面へりあき (35 mm) 以外は, 0.8~1.2程度と対応した。長期荷重レベル ( $\delta_{sd}=2\text{ mm}$ ) は, ばらつきがあるものの, おおむね 0.8~1.2 と対応する結果となった。

**5. まとめ**

本実験範囲内において以下の知見を得た。

- (1) 有効埋め込み長さおよびへりあき寸法の増加に伴い, 最大耐力は上昇する。また有効埋め込み長さを長くすることでアンカー筋の抜出しを防ぐことができる。
- (2) アンカー筋のせん断力に対する抵抗の仕方として2d程度でもっとも曲げ応力が生じ, 5d程度では曲げはほとんど生じていない。
- (3) へりあき 75 mm (4d程度) なら,  $\delta_{sd}$ が 5 mm 時の耐力は確保できる。しかし, へりあきが 35 mm (2d程度) ではアンカー筋が抜けてしまい耐力が確保できない結果となった。
- (4) せん断耐力を評価する際に,  $\delta_{sd}$ を考慮した耐力とすべきであり, 実験結果より  $\delta_{sd}=5\text{ mm}$ 程度が妥当である。

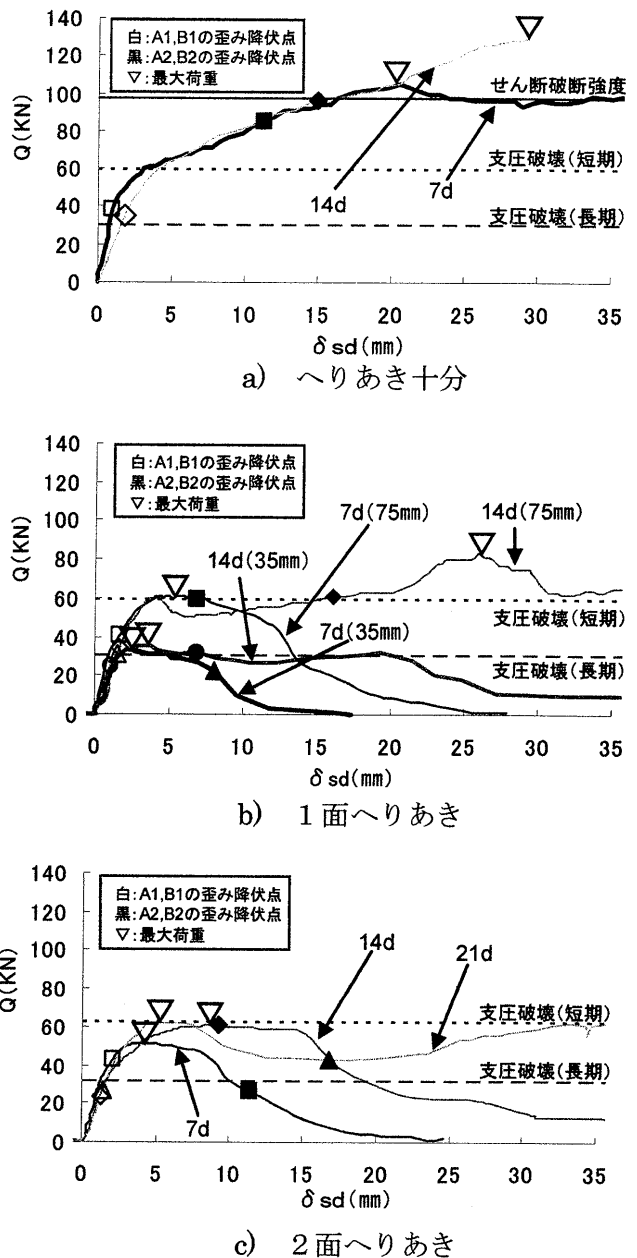


図6 Q -  $\delta_{sd}$  関係 (へりあき比較)

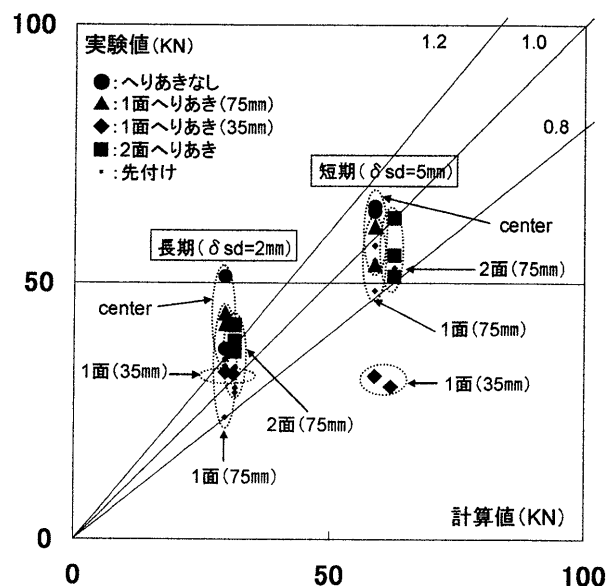


図7 計算値-実験値比較