

## テーパードナットアンカー工法の適用条件の提案



大矢 智之\*<sup>1</sup>



渡部 太一郎\*<sup>2</sup>

### Proposal of applicable conditions for post-installed anchors with tapered tip fixer

Tomoyuki OYA\*<sup>1</sup>, Taichiro WATANABE\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Researcher, Structural System Design Unit of Research and Development Center of JR East Group

\*<sup>2</sup> Chief Researcher, Structural System Design Unit of Research and Development Center of JR East Group

#### Abstract

Post-installed anchors are classified into adhesive anchors and metal anchors, but their strength is limited by the adhesive strength of the filler and the strength of the metal parts themselves. As a result, the amount of construction work has increased, causing problems such as interference with reinforcing bars in existing structures. This time, we conducted a tensile test and clarified the applicable conditions for the post-installed anchors with tapered tip fixer, which is expected to have high strength.

●**Keywords:** Post-installed anchors, Anchors with tapered tip fixer, Tensile testing, Edge distance, Cone-type failure

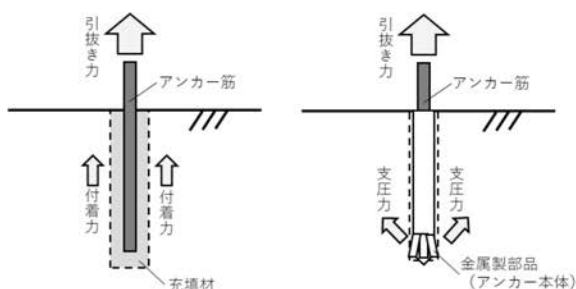
\*<sup>1</sup>JR東日本研究開発センター 構造システムデザインユニット 研究員

\*<sup>2</sup>JR東日本研究開発センター 構造システムデザインユニット 主幹研究員

## 1. はじめに

あと施工アンカー工法は、既存のコンクリート構造物に対して補強工事や付帯設備の取付けを行う際に多く用いられている工法である。図1にあと施工アンカーの分類を示す。あと施工アンカーは、その材料や施工方法により、接着系アンカーおよび金属系アンカーに分類されている。接着系アンカーは、アンカー筋を充填材により固着させたアンカーであり、アンカー筋に作用する引抜き力をアンカー筋と充填材および充填材と母材との付着力により抵抗する構造である。一方金属系アンカーは、直接母材に固着させる金属製の部品で構成されるアンカーであり、アンカー筋に作用する引抜き力を固着部からの削孔面へ支圧力を伝達し抵抗する構造である。

あと施工アンカーの耐力はアンカー筋自体の強度のほか、接着系アンカーの場合はアンカー筋と充填材あるいは充填材と母材との付着力、金属系アンカーの場合はアンカー部品本体の強度にも左右されることとなり、アンカー1本あたりの耐力には限界がある。そのため、図2に示すように、既存構造物に対し重量物の取付けを行う場合は、アンカーの施工数量を増やすこととなり、作業量が増加する他、既存構造物内部に配筋されている鉄筋と削孔器具が支障し、アンカーの配置計画の見直しが生じるほか、最悪の場合は所定数量の施工が不可能となることもある。



a) 接着系アンカー

b) 金属系アンカー

図1 あと施工アンカーの分類

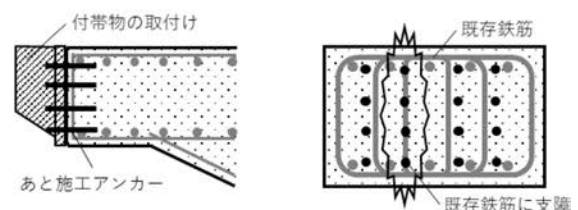


図2 あと施工アンカー工法の課題 (既存鉄筋への支障)

アンカー本数の削減、施工性の向上を目的に、小林らはPC鋼棒先端にテーパ型に加工したナットを螺合させたアンカー（以下、テーパナットアンカーと呼ぶ。）をあと施工アンカーとして使用する工法を考案した。その破壊性状は定着長としてPC鋼棒直径の20倍（20φ）を確保することで、PC鋼棒の破断となることが報告されている（小林他、2016）。本稿では、テーパナットアンカー工法の概要と、実際の現場導入に向けてテーパナットアンカーの引抜き試験を実施し、アンカーの配置条件等の適用条件を整理したため、それを報告する。

## 2. テーパナットアンカー工法の概要

テーパナットアンカー工法の概要図を図3に示す。通常、あと施工アンカーはアンカー筋として異形鉄筋を用いているが、テーパナットアンカーは、アンカー筋自体の耐力を向上させるため高耐力のPC鋼棒を用いている。また、アンカー筋埋込側の先端には定着体としてテーパ型に加工したナットを螺合させている。このアンカーを無機系の充填材にて固着させた工法がテーパナットアンカー工法である。PC鋼棒と充填材の間には付着が少なく、アンカー筋に作用する引抜き力は直接定着体に伝達され、そのテーパ形状により充填材および母材へ支圧力として伝達される。接着系アンカーでは引抜き力をアンカー筋と充填材および充填材と母材との付着力にて抵抗させていたが、これを支圧力にて抵抗させていること、また、金属系アンカーのように強度の定められたアンカー部品も不要となることから、従来工法よりも高い耐力が期待できる構造となっている。

仮に従来工法に用いるアンカー筋を異形鉄筋SD345（降伏強度345N/mm<sup>2</sup>）、今回工法に用いるアンカー筋をPC鋼棒C種1号SBPR1080/1230（0.2%永久伸びに対する耐力1080N/mm<sup>2</sup>）とした場合、アンカー筋の強度は1080/345=3.13倍となる。したがって、本工法を用いることで、従来工法で必要であったアンカー総断面積（アンカー断面積×本数）を約1/3に低減できることになり、現場作業量の削減および既存構造物内部の鉄筋との支障回避検討が可能となる。

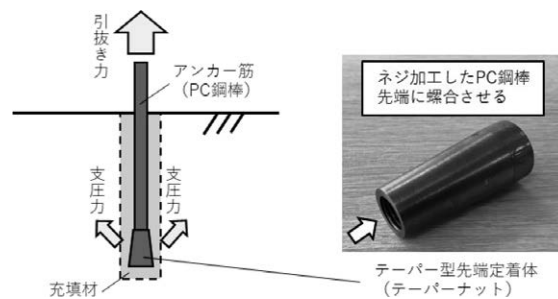


図3 テーパナットアンカー工法

## 3. テーパナットアンカーの引抜き試験

既往の研究による実験成果により、テーパナットの形状や削孔径あるいは充填材の材質・強度については既に知見が得られている。また、上述したとおりテーパナットアンカーは定着長として20φを確保することで引抜き耐力がアンカー筋（PC鋼棒）の破断に達することが確認されているが、現場への導入にあたっては、母材強度やアンカー筋の中心から母材縁端までの距離などについてテーパナットアンカーの適用条件を整理する必要がある。これらの条件を整理するため、テーパナットアンカーの引抜き試験を実施した。

### 3・1 アンカー筋の中心から母材縁端までの距離と破壊性状との関係

アンカー筋の中心から母材縁端までの距離と破壊性状との関係を確認するため、図4に示す方法でテーパナットアンカーの引抜き試験を実施した。定着長は20φとし、載荷装置の反力はナット頭部から45度線の範囲以上に離れた位置に配置した。これは、定着長を20φ未満とした引抜き試験において発生したコーン状の破壊がナット頭部から生じたことを考慮して設定した。アンカー径は試験体形状の制約や実際の現場で使用頻度が高いと想定されるφ17を中心にφ13～φ23とし、母材の設計強度は土木工事標準仕様書にて定められている設計強度のうち最も低い18.0N/mmとして試験を実施した。母材コンクリートの試験体の配筋は製作・運搬に必要な最小限の配筋とした。

試験結果を図5に示す。横軸にアンカー筋の中心から母材縁端までの距離を、縦軸に最大引抜き力（アンカー筋の降伏荷重を1とした場合の比率）をそれぞれ示している。また、それぞれの試験結果プロットに記載のある（）内数値は、アンカー筋の径（mm）および母材強度（N/mm<sup>2</sup>）を示している。母材強度にばらつきがあるものの、アンカー筋の中心から母材縁端までの距離が離れるほど最大引抜き力が増加する傾向にあり、距離が10φ以上（10φの場合は母材強度が20.9N/mm<sup>2</sup>以上）でアンカー筋の降伏荷重に達することがわかった。また、図4 c)に示すように角部のようなアンカー筋中心から母材縁端までの距離を2方向で考慮する必要がある場合を想定した引抜き試験も実施した。母材縁端までの距離は10φ（母材強度16.4N/mm<sup>2</sup>）として実施し、アンカー筋の降伏荷重に達することが確認できた。

図6には引抜き試験後の試験体の状況写真を示す。図6 a)にはアンカー筋が破断した状況、図6 b)には母材破壊となった状況の写真をそれぞれ示す。引抜き力がアンカー筋の降伏荷重に満たなかった各試験は、いずれもアンカー筋から母材縁端側に割裂破壊が発生し荷重が低下した。

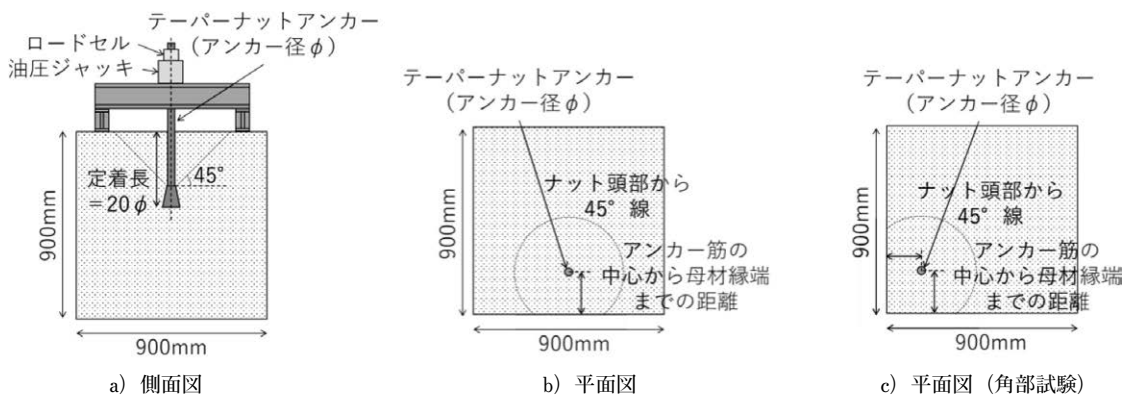


図4 試験方法（アンカー筋の中心から母材縁端までの距離と破壊性状との関係）

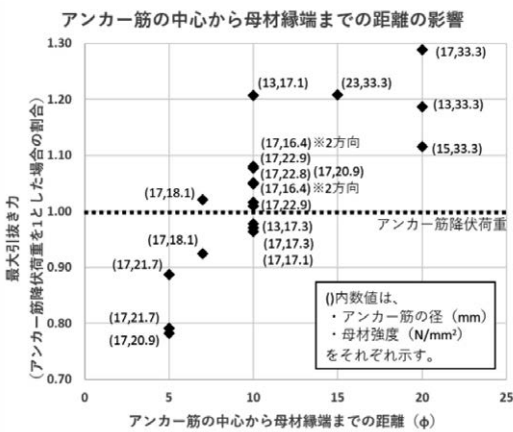


図5 試験結果



a) アンカー筋の破断

b) 母材の破壊

図6 試験状況

### 3・2 アンカー筋同士の中心距離と破壊性状との関係

アンカー筋同士の中心距離と破壊性状との関係を確認するため、図7に示す方法でテーパナットアンカーの引抜き試験を実施した。2本のアンカー筋を同時に引抜く試験とし、前項試験と同様に定着長は20φ、載荷装置の反力はナット頭部から45度線の範囲以上に離れた位置に配置した。アンカー径は試験体形状の制約や実際の現場で使用頻度が高いと想定されるφ17とし、母材の設計強度は土木工事標準仕様書にて定められている設計強度のうち最も低い18.0N/mmとして試験を実施した。なお、本試験はφ17のみの試験となっているが、各パラメータ（定着長やアンカー筋同士の中心距離）はいずれもφで表記しているため本試験結果は他の径にも反映可能と考えている。その他、母材コンクリートの試験体の配筋は製作・運搬に必要な最小限の配筋とした。なお、本試験はアンカー筋が破断すると試験治具が倒壊するおそれがあるため、荷重はアンカー筋の降伏荷重までとした。

試験結果を図8に示す。横軸にアンカー筋同士の中心距離を、縦軸に最大引抜き力（アンカー筋の降伏荷重を1.0とした場合の比率）をそれぞれ示している。また、それぞれの試験結果プロットに記載のある（）内数値は、アンカー筋の径（mm）および母材強度（N/mm<sup>2</sup>）を示している。母材強度にばらつきがあり、アンカー筋同士の中心距離と最大荷重に明確な相関関係はみられなかつ

たものの、アンカー筋同士の中心距離が $10\phi$ において、母材強度 $22.8\text{N/mm}^2$ 以上でアンカー筋の降伏荷重に達することが確認できた。

図9に引抜き試験後の試験体の状況写真を示す。図9 a)にはアンカー筋が降伏した状況、図9 b)には母材破壊となった状況の写真をそれぞれ示す。引抜力がアンカー筋の降伏荷重に満たなかった各試験はいずれもアンカー筋同士を結ぶように母材の割裂破壊が発生し、荷重が低下した。

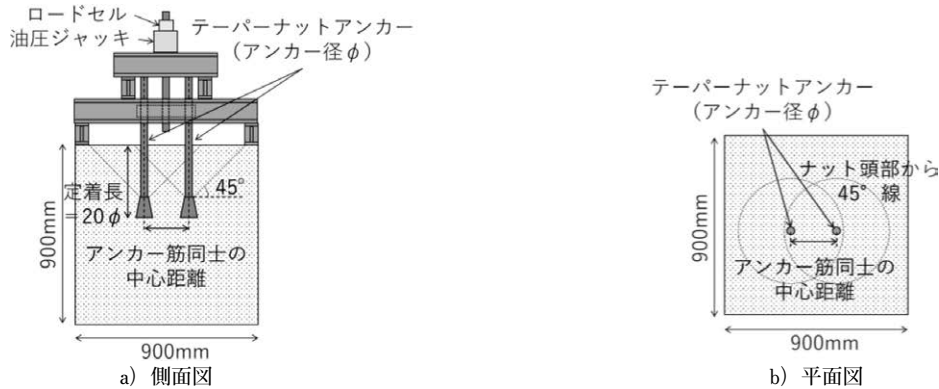


図7 試験方法（アンカー筋同士の中心距離と破壊性状との関係）

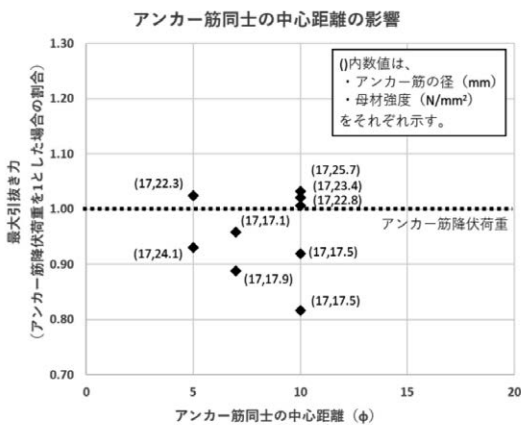


図8 試験結果



a) アンカー筋の降伏

b) 母材の破壊

図9 試験状況

## 4. テーパーナットアンカー工法の適用条件の提案

### 4.1 適用箇所および施工の向き

テーパナットアンカーはアンカー筋と充填材との付着が小さいため、引抜き力に対するアンカー筋の変位が従来の工法と比べ顕著となるおそれがある。また、長期的な荷重に対するテーパナットの定着性能についても明確になっていないことから、構造部材や長期にわたり大きな引張荷重・繰返し荷重を受け、列車または旅客公衆への影響が大きい箇所に施工される非構造部材については適用しない方がよいと考えられる。また、施工方法については接着系アンカーと同様であるが、アンカー筋の先端が平坦であることからカプセル式の充填材は使用できず、注入工法による施工となる。そのため、上向きの施工は困難となる。また、従来工法よりもアンカー筋の径と比較して削孔径が大きいため、横向きの施工についてもアンカー固定用の治具を使用するなどの工夫が必要である。

### 4.2 母材強度

3の引抜き試験結果(図5、図8)によると、テーパナットアンカーは母材強度が高いほど耐力が大きくなる傾向がみられる。逆に母材強度が低いほどアンカー筋降伏前に母材破壊が発生するおそれがあるため、本工法の現場導入にあたっては母材強度の

最低値を設定しなければならない。3.1の引抜き試験結果(図5)によれば、アンカー筋の中心から母材縁端までの距離が $10\phi$ の場合、母材強度が $20.9\text{N/mm}^2$ 以上でアンカー筋降伏まで耐力を有することがわかる。そのため、母材強度を $21.0\text{N/mm}^2$ 以上に設定するとアンカー筋中心から母材縁端までの距離が $10\phi$ の場合でも適用可能となり、アンカー配置の自由度が向上することとなる。

#### 4・3 引抜き力に対する検討

引抜き力に対する検討について、従来の工法は式(1)および式(2)により、アンカー筋と母材のコーン状破壊の2項目について照査を実施するのが一般的である。(金属系アンカーの場合はアンカー部品本体の強度についても確認を行う。)これに対し、テーパナットアンカー工法は本章に示す適用条件を満足することで、母材のコーン状破壊はせず、アンカー筋の降伏まで強度があることが実験的に確認できている。そのため、式(2)の母材のコーン状破壊の検討は省略し、式(1)のアンカー筋の検討のみでよいと考えられる。

$$\sigma_s \leq \sigma_{sa} \quad (\text{アンカー筋の検討}) \quad (1)$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{aa} \quad (\text{母材のコーン状破壊の検討}) \quad (2)$$

ここに、

$\sigma_s$  : アンカー筋に作用する引張応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

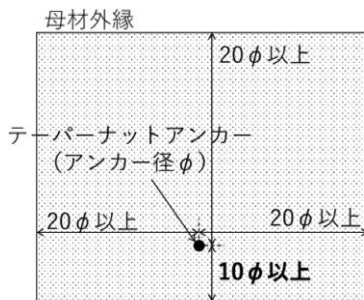
$\sigma_{sa}$  : アンカー筋の降伏により決まる許容引張応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{aa}$  : 母材のコーン状破壊により決まる許容引張応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

#### 4・4 アンカーの配置条件

##### (1) アンカー筋の中心から母材縁端までの距離

引抜き試験の結果から推察されるテーパナットアンカーのアンカー筋の中心から母材縁端までの距離に関する配置条件を図10および図11に示す。3.1の引抜き試験結果(図5)では、母材強度が $21.0\text{N/mm}^2$ 以上の場合において、アンカー筋の中心から母材縁端までの距離が $10\phi$ 以上でアンカー筋の降伏を確認できた。このことから、図10 a) のとおりアンカー筋の中心から一方向において母材縁端までの距離 $10\phi$ 以上とできることとし、それ以外の三方向については $20\phi$ 以上とすることとした。 $20\phi$ 以上とは、テーパナットアンカーの定着長を $20\phi$ 未満とした引抜き試験において、ナット頭部からコーン状の破壊が生じたことを考慮し安全側に設定した。また、試験ではアンカー筋の中心から母材縁端までの距離が二方向 $10\phi$ の場合においてもアンカー筋の降伏まで耐力があった。このことから、図10 b) のとおりアンカー筋の中心から母材縁端までの距離が隣接する二方向において $10\phi$ 以上とすることも可能とした。なお、アンカー筋に対して三方向以上の検討や、図11のように隣接していない二方向での検討は行っていないため、現時点でこのような配置はできないこととした。

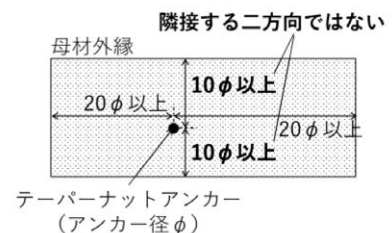


a) 一方向の検討



b) 隣接する二方向の検討

図10 アンカー筋と母材縁端が近接している場合の配置



テーパナットアンカー (アンカー径 $\phi$ )

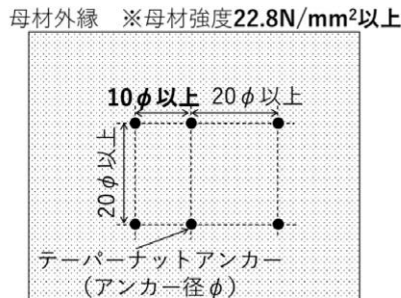
図11 アンカー筋と母材縁端が近接している場合の誤った配置

(2) アンカー筋同士の中心距離

引抜き試験の結果から推察されるテーパナットアンカーのアンカー筋同士の中心距離に関する配置条件を図12および図13に示す。基本的な配置については図12 a)に示すとおり、アンカー筋同士の中心距離は $20\phi$ 以上でアンカーを配置できることとした。これは、前述したとおりアンカー筋の中心から母材縁端までの距離が $10\phi$ でアンカー筋の降伏が確認できることから設定している。また、3.2の引抜き試験結果(図8)によれば、図12 b)のとおり母材強度が $22.8\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の場合は、これを $10\phi$ まで低減してよいと考えられる。ただし、引抜き試験は2本のアンカー筋のみによる検討であるため、アンカー筋同士の中心距離を低減できるアンカー筋の本数は、アンカー筋1本につき1本までとし、図13のように2本以上は縮小してはならない。



a) 一方向の検討



b) 隣接する二方向の検討

図12 複数のアンカーを近接させて施工する場合の配置

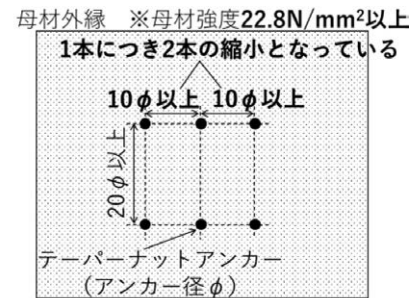


図13 複数のアンカーを近接させて施工する場合の誤った配置

## 5. まとめ

あと施工アンカー工法は既存のコンクリート構造物への補強工事や付帯設備の取付けを行う際、多く用いられる工法である。中でも対象となる既存構造物が古い場合、詳細な図面が残存していなかったり、図面とは異なる配筋になっていたり、あと施工アンカーの施工に苦勞している事例を頻繁に耳にする。今回、あと施工アンカー工法の施工性向上を目的に開発されたテーパナットアンカー工法について、現場導入に向けた引抜き試験および適用条件の整理を行った。今回の検討内容を基に、あと施工アンカーマニュアルの改訂を予定しているが、これにより現場作業が少しでも効率化されることを期待したい。

### 参考文献

- 1) 小林薫、鈴木雄大、平林雅也、伊藤隼人、テーパ型ナットをPC 鋼棒定着体としたあと施工アンカー工法に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol. 38、No. 2 (2016)、pp. 1609-1614。