

## 論文 テーパーナットを用いたあと施工アンカー工法の適用条件の提案

大矢 智之\*1・渡部 太一郎\*2

**要旨：**アンカー1本あたりに高い耐力を期待できるテーパーナットを用いたあと施工アンカー工法について、引抜き試験を実施し現場への導入に向けた適用条件を整理した。その結果、アンカー筋と母材縁端までの距離を  $10\phi$  に縮小してもアンカー筋の降伏まで耐力を有すること（母材強度が  $20.9\text{N/mm}^2$  以上であることが条件）、アンカー筋同士の中心距離を  $10\phi$  に縮小してもアンカー筋の降伏まで耐力を有すること（母材強度が  $22.8\text{N/mm}^2$  以上であればであることが条件）が確認できた。

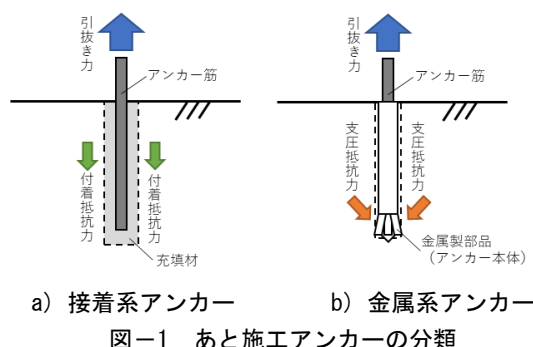
**キーワード：**あと施工アンカー、テーパーナット、PC 鋼棒、コーン状破壊

## 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本あたりの耐力に上限がある。そのため、図-2 に示すように、既存構造物に対し付帯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たり、最悪の場合は所定数量の施工が不可能となることがある。その他、耐久性の観点から使用頻度の高い接着系アンカーは、引抜き力を充填材の付着力により抵抗する機構のため、所定の耐力を確保するために高い施工精度（確実な充填材の施工）が必要となることも課題となっている。

アンカー施工数量の削減、既存構造物内部の鉄筋との支障回避および施工への信頼性向上を目的に、小林ら<sup>1)</sup>は PC 鋼棒先端にテーパー型に加工したナットを螺合させたアンカー（以下、テーパー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



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

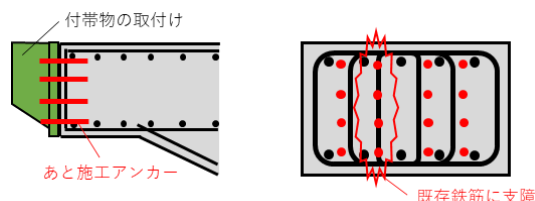


図-2 あと施工アンカー工法の課題（既存配筋への支障）

の破壊性状は定着長として PC 鋼棒直径の 20 倍（ $20\phi$ ）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。しかしながら、試験はアンカー筋中心から母材縁端まで十分な距離を保っており、1 試験体に対してアンカー筋 1 本のみで試験を実施しているため、母材縁端までの距離が短い箇所での施工あるいは近接して複数アンカーを施工する場合など、実際の現場適用に向けては性能確認が不十分であった。本稿では、テーパーナットアンカーの現場導入に向け、引抜き試験を実施し、母材縁端までの距離が短い場所での施工や近接して複数アンカーを施工する場合等の適用条件を整理したため、それらについて報告する。なお、せん断力への抵抗については構造上、通常のあと施工アンカーと同様であることから検討は省略する。

\*1 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 構造システムデザイン UT 研究員（正会員）

\*2 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 構造システムデザイン UT 主幹研究員 博(工)（正会員）

## 2. テーパーナットアンカー工法の概要

テーパーナットアンカー工法（テーパーナットアンカーを用いたあと施工アンカー工法）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、テーパーナットアンカーは、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ー型に加工したナットを螺合させている。なお、アンカー筋のネジ加工は転造ネジとしているため、ネジ部の断面欠損はなく、アンカー筋の降伏は軸部の断面積で評価できる。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ー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、そのナット頭部（加工の都合上2mm程度アンカー筋から突出する。）および側面のテーパー面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。

前述したとおり、本アンカーの破壊性状は定着長として $20\phi$ を確保することでPC鋼棒の破断となる。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 $345\text{N/mm}^2$ ）、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 $1080\text{N/mm}^2$ ）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、従来工法で必要の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の恐れを低減することが可能となる。

## 3. テーパーナットアンカーの引抜き試験

既往の研究により、テーパーナットアンカーは定着長として $20\phi$ 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ー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、テーパー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ー

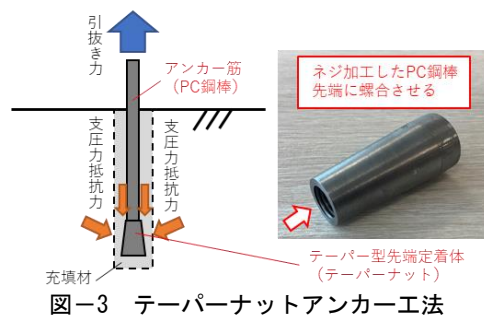


図-3 テーパーナットアンカー工法

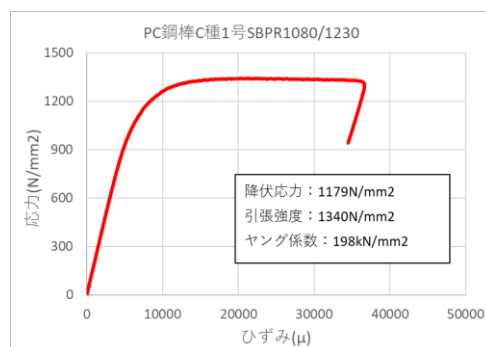
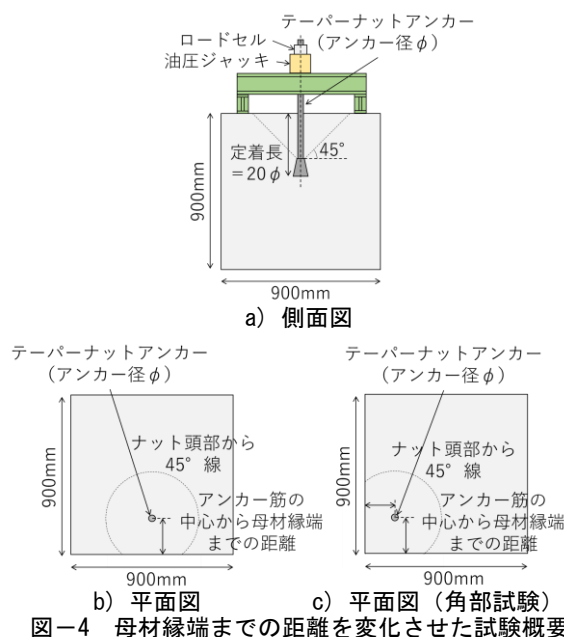


図-5 アンカー筋の材料試験結果（応力-ひずみ関係）

ナットアンカーの引抜き試験を実施した。定着長は $20\phi$ 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、ナット頭部からの支圧力により発生し得るコーン状破壊を載荷装置の反力により押さえつけることを避けるためである。アンカー筋はPC鋼棒C種1号SBPR1080/1230とし、径は試験体形状の制約等により $\phi 17$ を主として試験を実施した。一部アンカー筋の材料試験結果（応力-ひずみ関係）を図-5に示す。母材コンクリートの試験体の配筋は図-6に示すとおり製作・運搬に必要な最小限の配筋とし、試

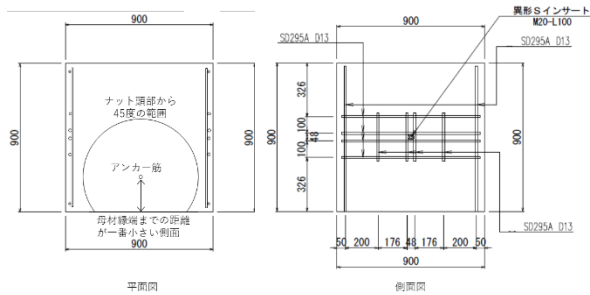


図-6 試験体配筋図

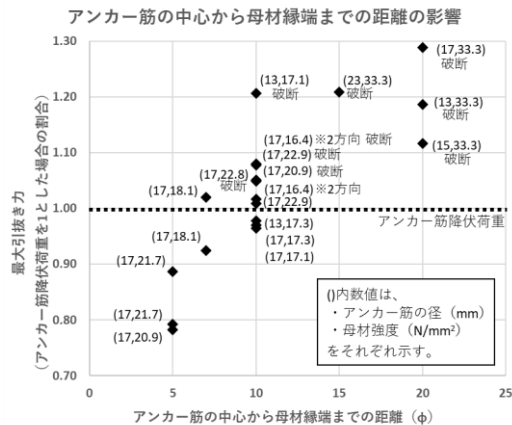


図-7 母材縁端までの距離と最大引抜き力の関係

試験結果に配筋の影響が出ないよう、ナットの頭部から45度線の範囲およびアンカー筋から一番近い側の試験体側面に配筋は行っていない。また、アンカー筋の充填に用いる無機系の充填材は母材コンクリート強度以上の強度が確保できる無収縮モルタルとし、試験時の材料強度は45~70N/mm<sup>2</sup>であった。なお、本試験はアンカー筋の破断まで载荷することを基本とするが、試験治具等の状況により降伏までの载荷としている場合もある。

試験結果を図-7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-8には試験で得られた主な荷重-変位関係を示す。なお変位は試験体表面から100mmの高さの位置で計測

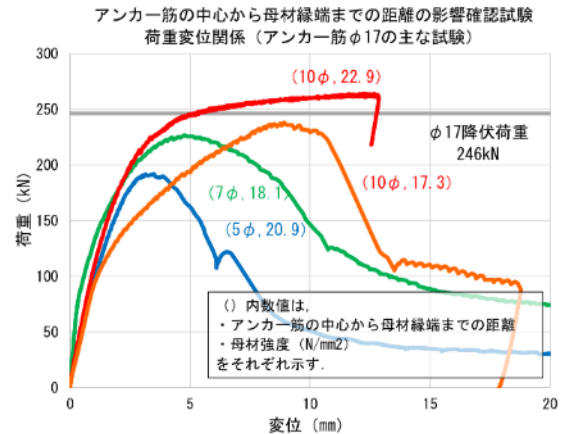
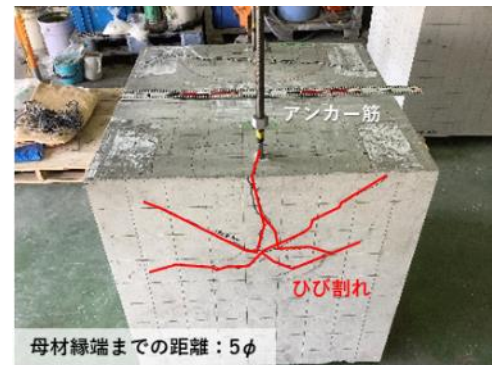


図-8 母材縁端までの距離による荷重-変位関係の比較



a) アンカー筋の破断（母材強度22.9N/mm<sup>2</sup>）



b) 母材の破壊（母材強度20.9N/mm<sup>2</sup>）

写真-1 母材縁端までの距離による破壊性状の例

したアンカー筋の変位である。アンカー筋の中心から母材縁端までの距離が10φで母材強度が22.9N/mm<sup>2</sup>の試験ではアンカー筋の破断に達した一方で、その他の試験ではアンカー筋の降伏に満たず母材が破壊した。母材縁端までの距離が小さくなるほど、また母材強度が小さくなるほど最大荷重が小さくなる傾向がみられる他、アンカー筋の中心から母材縁端までの距離が5φの試験では最大荷重に達してからの荷重低下が比較的早く、脆性的な破壊が生じていることがわかる。また、アンカー筋の中心から母材縁端までの距離が10φで母材強度が17.3N/mm<sup>2</sup>の試験では荷重が100kNを超えた付近から剛性が落ちる様子がみられた。剛性が落ちる際、試験体表

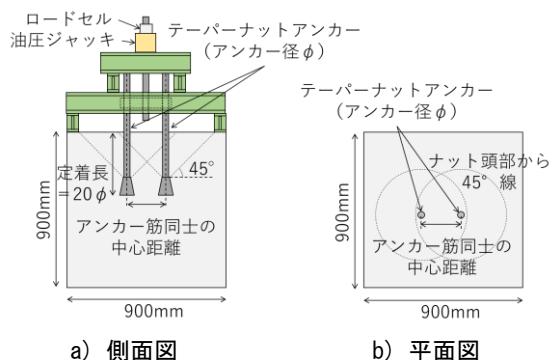


図-9 アンカー筋同士の中心距離を変化させた試験概要

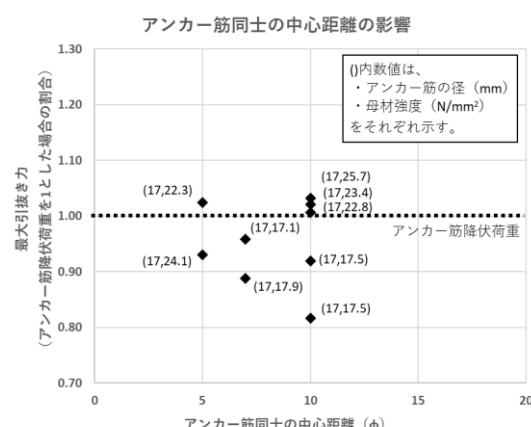


図-11 アンカー筋同士の中心距離と最大引抜き力との関係

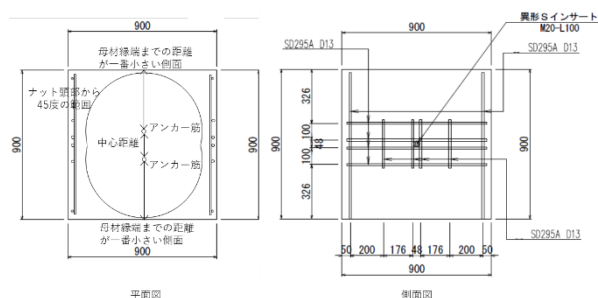


図-10 試験体配筋図

面にはひび割れが観測できなかったため、試験体内部のコンクリート強度が低いことにより剛性低下が早かったものと推察される。

写真-1 には引抜き試験後の試験体の状況写真を示す。写真-1 a) にはアンカー筋が破断した状況、写真-1 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試験体は、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。

### 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-9 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  $20\phi$ 、載荷装置の反力はナット頭部から  $45^\circ$  度線の範囲以上に離れた位置に配置した。アンカー筋は PC 鋼棒 C 種 1 号 SBPR1080/1230 とし、径は試験体形状の制約等により  $\phi 17$  を主として試験を実施した。アンカー筋は 3.1 に示した試験と同ロットであり、材料試験結果（応力-ひずみ関係）は図-5 に示すとおりである。母材コンクリートの試験体の配筋は図-10 に示すとおり製作・運搬に必要な最小限の配筋とし、試験結果に配筋の影響が出ないよう、ナットの頭部から  $45^\circ$  度線の範囲およびアンカー筋から一番近い側の試験体側面に配筋は行っていない。

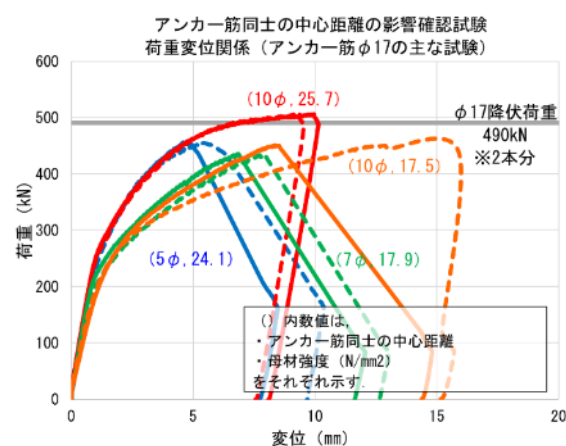


図-12 アンカー筋同士の中心距離による荷重-変位関係の比較

また、アンカー筋の充填に用いる無機系の充填材は母材コンクリート強度以上の強度が確保できる無収縮モルタルとし、試験時の材料強度は  $45 \sim 70 \text{ N/mm}^2$  であった。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、載荷はアンカー筋の降伏荷重までとした。

試験結果を図-11 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 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 ( $\text{N/mm}^2$ ) 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ったものの、アンカー筋同士の中心距離が  $10\phi$  の場合において、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-12 には試験で得られた主な荷重-変位関係を示す。なお変位は試験体表面から  $100 \text{ mm}$  の高さの位置で

計測したアンカー筋の変位である。本試験は2本のアンカー筋を同時に引っ張っているため、実線と点線にて2本それぞれのアンカー筋の荷重－変位関係を示している。また、縦軸は2本合計の荷重を示している。前述したとおり本試験では母材強度にばらつきがあり、アンカー筋同士の中心距離が $10\phi$ で母材強度が $25.7\text{N/mm}^2$ の試験で降伏に達した以外、最大荷重に大きな傾向の違いはみられなかった。しかしながら、母材強度の低い2試験（アンカー筋同士の中心距離が $10\phi$ で母材強度が $17.5\text{N/mm}^2$ の試験およびアンカー筋同士の中心距離が $7\phi$ で母材強度が $17.9\text{N/mm}^2$ の試験）の荷重－変位関係をみると荷重が $200\text{kN}$ を超えた付近から剛性の低下がみられた。1本あたりに作用している荷重は $100\text{kN}$ 程度であり、3.1の試験と同様の履歴を示していることがわかる。剛性低下時において試験体表面にはひび割れがみられなかったことから、本試験においてもテーパナットアンカーの定着部から受ける支圧力により、試験体内部のコンクリートに局所的な微破壊が生じ剛性が低下したものと考えられる。

写真－2 に引抜き試験後の試験体の状況写真を示す。

写真－2 a) にはアンカー筋が降伏した状況、写真－2 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。

#### 4. テーパーナットアンカー工法の適用条件

既往の研究内容と、3. で実施したテーパナットアンカーの引抜き試験結果を基に、現場導入に向けたテーパナットアンカー工法の適用条件を提案する。

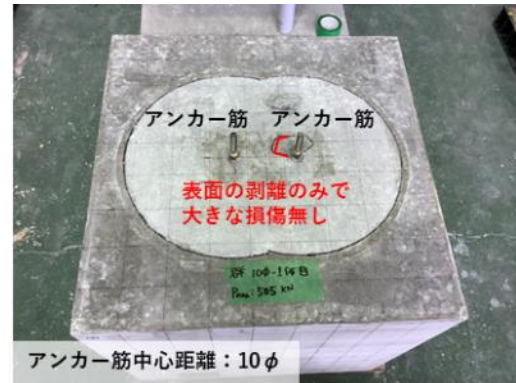
##### 4.1 適用箇所および施工の向き

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大きくなるおそれがある。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、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部材に対し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。

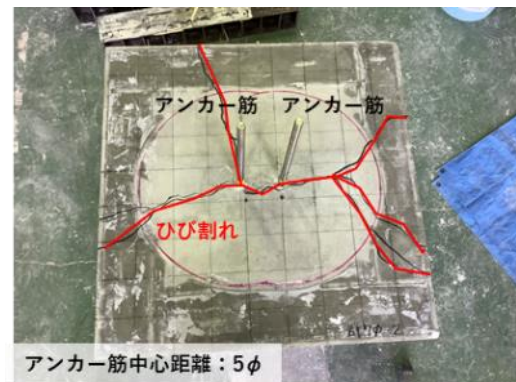
#### 4.2 テーパーナットアンカーの設計

##### 4.2.1 母材および充填材強度

3. の引抜き試験結果（図－7、図－11）によると、テー



a) アンカー筋の降伏（母材強度  $25.7\text{N/mm}^2$ ）



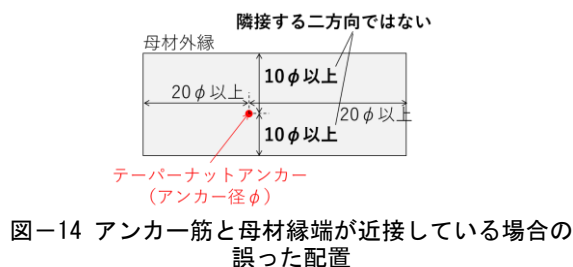
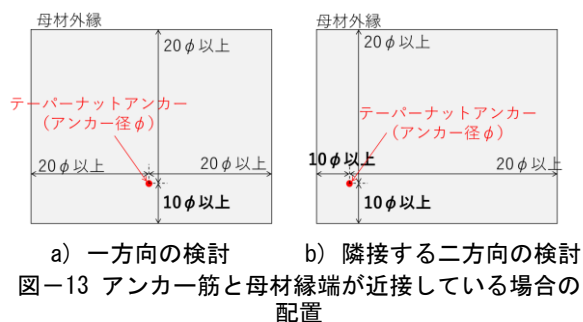
b) 母材の破壊（母材強度  $24.1\text{N/mm}^2$ ）

写真－2 アンカー筋同士の中心距離による破壊性状の例

パー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下限値を設定しなければならない。3.1の引抜き試験結果（図－7）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。また、充填材の無収縮モルタル強度は試験時 $45\sim 70\text{N/mm}^2$ であったため、 $50\text{N/mm}^2$ 以上の強度を確保しておけば充分であると考えられる。

##### 4.2.2 引抜力に対する検討

引抜き力に対する検討について、従来の工法は設計引抜力がアンカー筋の降伏から決まる許容値と母材のコーン状破壊荷重から決まる許容値以下となるよう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から決まる許容値に対しても確認を行う。）が、テーパナットアンカー工法は本章に示す定着長や母材強度等の適用条件を満足することで、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、母材の検討は省略し、アンカー筋の検討のみでよいと考えられる。

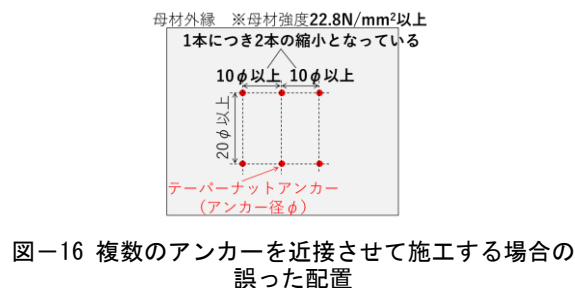
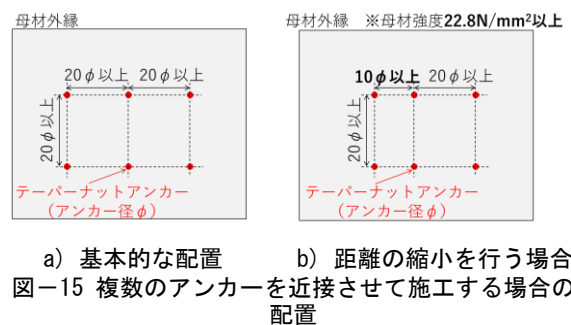
#### 4.2.3 アンカーの配置条件

##### (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-13 および図-14 に示す。3.1 の引抜き試験結果(図-7)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-13 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、それ以外の三方向については  $20\phi$  以上とするべきであると考えられる。 $20\phi$  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-13 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である。なお、アンカー筋に対して三方向以上の検討や、図-14 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するべきではないと考えられる。

##### (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-15 および図-16 に示す。基本的な配置については図-15 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-11)によれば、図-15 b) のとおり母材強度が  $22.8\text{N/mm}^2$  以上の場合、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-16 のように2本以上は縮小してはならない。

#### 5. まとめ

現場での施工性向上を目的にアンカー1本あたりの高耐力化を期待したあと施工アンカー工法(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、本工法の設計および施工マニュアルを作成し、現場への水平展開を図っていききたい。

#### 参考文献

- 1) 小林薫, 鈴木雄大, 平林雅也, 伊藤隼人: テーパー型ナットを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, pp.1609-1614, 2016.