



## あと施工アンカーによる応力伝達

千葉工業大学  
創造工学部 教授 中野 克彦

### 1. はじめに

あと施工アンカーによる接合部の応力伝達性能については、1977年に日本建築防災協会より「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針」が示され、ここで耐震補強のための部材の計算方法およびアンカーの取り扱い方が示された。その後、1990年に改訂され、対象とするアンカーの種類としては、金属系アンカーだけでなく、接着系アンカーも加えられている。1978年の宮城県沖地震では、都市型の被災がクローズアップされ、特に、設備機器の耐震取付け方法が問われることとなった。つまり、地震時に安全であるのは建築構造体だけではなく、建物の機能を維持するための設備機器類の安全性が重要であることが再認識され、設備機器と構造躯体との接合方法としてのアンカーの役割の重要性とその設計法が示されるようになった。

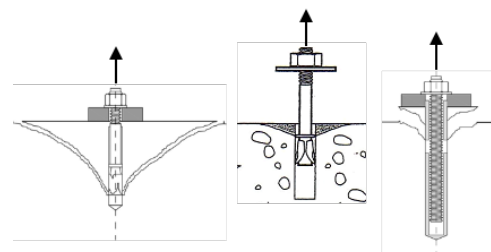
日本建築学会では、1985年に、「各種合成構造設計指針」の第4編として「各種アンカーボルトの設計指針・同解説」を示している。ここでは、非構造部材の取付け用としての各種アンカーの耐力に関する設計法を示しているが、アンカーによる接合部の応力伝達性能については、構造用、非構造用といった区別はないことが解説されている。この設計指針には、コンクリート躯体に定着されたアンカーについて、作用力に対応した破壊モードの基本を示し、それらについて、多くの基礎実験結果に基づいた設計式が示されている。2010年に改定された現行指針では、接着系アンカーの設計を中心として示されたが、多種多様に使用されるようになった金属系アンカーの設計は技術データに乏しいため資料として示されている。現在は、2023年の発刊を目標に、最近の技術と知見を加味し、金属系アンカーを含めた設計指針としての改定作業が行われている。

本稿では、想定する構造物、構造部材、設備機器、あるいは、他の付属物とコンクリート構造物との接合に用いるあと施工アンカーの用途と選定に重点をおいて、この問題の概観を試みたいと思う。

### 2. あと施工アンカーの性能と種別

#### 2. 1 あと施工アンカーの破壊形式

図1に、あと施工アンカーの引張力を受ける場合の破壊形式の一例<sup>1)</sup>を示す。一般に、破壊形式は埋込み長さにより異なる。埋込み長さが短ければ、コーン状の破壊、抜け出し



【コーン状破壊】【抜け出し破壊】【付着破壊】

図1 引張破壊形式一例<sup>1)</sup>

破壊および付着破壊等の脆性的な破壊が起こり、埋込み長さを長くすることで、接着系アンカーであればコーン状破壊から付着破壊へ移行しやすくなり、十分長い場合にアンカー筋の降伏が起こる。どのような破壊形式へ誘導すべきかは、アンカーの設置（施工）やアンカー部の破壊が、アンカーによる接合部も含めた設備機器類と部材、もしくは部材と部材からなる構造系全体へ与える影響を考えた上で決定される。

## 2. 2 あと施工アンカーに作用する荷重

あと施工アンカーに作用する荷重には、静的なものと同動的なものがある。このうち静的な荷重には、構造物や設備機器類の自重、水圧、土圧あるいはこれらによって引き起こされる力があり、これらは一方向に継続的に作用する。付属設備等を構造物の①天井に吊す場合、②壁面に懸ける場合、③床に据え付ける場合がある。その各々で、アンカーに作用する荷重の形態が異なり、①の場合では、付属設備の重量が引張力としてアンカーに加わるし、②の場合では、せん断力として加わる。③の場合には、地震力が作用すると引張力とせん断力の組合せ荷重となる。

さらに、アンカーが使用される構造物、付属設備の種類によっては、静的な荷重以外が作用することも多い。動的な荷重には地震力、風圧力、機械振動による荷重などがあり、これらは時間の変化とともにその作用する方向が変化する。例えば、気体や液体の輸送管（排気管や排水管）を固定する場合には、アンカーに動的荷重（振動）が加わるし、耐震補強用フレーム等を固定する場合には大変形繰返し荷重が加わる。また突風を受ける構造を固定する場合には衝撃的な荷重が加わるし、さらには、長期にわたって持続される荷重を検討しなければならない場合もある。荷重が動的である場合、振動増幅効果があるので、これを適切に考慮することが必要である。また、機械振動による荷重などの中に、あと施工アンカーに生じる応力度のレベルが高く、しかもきわめて多数回の繰返しをする場合には、あと施工アンカーが疲労により破壊することもあるので、その対応も必要である。

## 2. 3 あと施工アンカーの種別

あと施工アンカーは、使用目的に応じて適切な性能を有するものを適切な部分に使用すべきである。各種あと施工アンカーを、適用対象と要求性能の区分により、表1に示す3つの種別に分類する。

S種は、主構造体の主筋の定着を含む一般の定着部（主筋、スラブ筋、鉄骨造アンカーボルト等）の軸方向鉄筋に用いるアンカーである。設計には、適用する定着部に要求される剛性、強度、塑性変形等の構造性能を保証可能な手法を用いる。

A種は、例えば設備機器類およびその支持

表1 あと施工アンカーの種別

種別	定義	具体的な性能
S種	主構造体に用いる定着部と同等の構造性能を有するアンカー。	剛性、強度、塑性変形が保証されるアンカー。
A種	設備機器類およびその支持構造物の定着部、ならびに耐震補強用としての後打ち耐震壁、枠付き鉄骨ブレース等の周辺部材との接合に用いるアンカー。	剛性、強度が保証されるアンカー。許容荷重がアンカーの降伏で決まらない場合は、十分な安全率を持って設計荷重を設定し、定着部を取付ける金物の降伏で決まるような破壊を推奨する。
B種	簡易な取付け方法による設備機器類の固定に用いるアンカー。	設計強度のみが確保されるアンカー。

構造物の定着部、耐震補強用としての後打ち耐震壁、枠付き鉄骨ブレース等の周辺部材との接合に用いるアンカーである。設計には、適用する定着部に要求される剛性、強度等の構造性能を保証可能な手法を用いる。破壊モードは鋼材の降伏を原則とし、鋼材部分の伸び出し変形以外の抜け出し変形は許容しない。ここでいう「抜け出し」とは金属拡張アンカーなどの先端拡張部が滑る（抜け出す）現象が支配的な変形であり、「伸び出し」とは定着先端での滑りが僅かでアンカーボルト鋼材の歪み（伸び）が支配的となる変形である。後者の「伸び出し」変形が望ましい変形性状である。

B種は、主として簡易な取付け方法による設備機器類の固定に用いるアンカーである。設計には、設計強度の保証可能な手法を用いるが、A種と同様な要求性能を満たすことを推奨する。破壊モードには、鋼材の降伏およびあと施工アンカー特有の破壊モード（コンクリートの付着破壊およびコーン状破壊、抜け出し破壊、プライアウト破壊 等）が含まれる。

なお、A種、B種の場合で、許容引張荷重があと施工アンカー特有の破壊モード（コンクリートの付着破壊およびコーン状破壊、抜け出し破壊、プライアウト破壊 等）で定まる場合は、アンカー定着部の破壊では定まらないように、設置状況等を考慮して安全率が設定された設計荷重に対して、許容荷重が上回ることを確認する必要がある。安全率はA種で3～5倍程度（吊り下げ物で7倍程度）以上、B種で5～10倍程度（吊り下げ物で10倍程度）以上は必要と思われる。また、全てのアンカーにおいて、せん断力を受けるアンカーとする場合は、引張力とせん断力を同時に受ける場合においても各アンカーの性能が確保される設計方法を用いる。

### 3. 接合部の応力伝達を設計する上での留意事項

あと施工アンカーによる接合部の応力伝達設計は、一般的には強度を主として検討しているが、アンカーの降伏に依存させた変形性能を期待した検討方法も可能である。強度および変形性状は、アンカーの種類および設置状況により想定される破壊モードに依存するのでこれらの点についてしっかりした認識をしておくことが大切である。

#### 3. 1 金属拡張アンカーの強度と変形性状

金属拡張アンカーの有効埋込み長さは、アンカー軸部の4～5倍程度であるので、破壊モードとしてはコーン状破壊および抜け出し破壊のような強度依存型の破壊傾向がある。また、固着方法によっては、抜け出し変形により、剛性が低くなるものもある。

図2は、実際の工事現場の地中連続壁頭部の建築物躯体との接合部（仮設躯体）に施工したあと施工アンカー（44種類 528本）の引張試験結果により分類された履歴性状である<sup>2)</sup>。使用したあと施工アンカーは、図2に示す金属拡張アンカーおよび接着系アンカー（エポキシ系、ポリエステル系、無機系）である。分類されたA～Dの履歴性状の特徴を下記に示す

A：初期剛性が大きく、短い変形で破壊。

B：比例限荷重以降の荷重の増加が大きい。

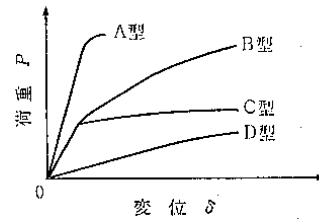
C：比例限荷重以降の荷重の増加が小さい。  
 D：初期剛性が小さく大変形まで破壊しない。

金属拡張アンカーは、その固着方式、施工方法等の違いにより、かなり異なった性状を示す。このような場合、一律に同じ安全率を与えて許容荷重を求めることは不合理である。また、同様に履歴性状の異なるものを同じ条件で同じ部材に用いることは、固着された部材の変形制限等を考えると不都合ではないかと思われる。例えば、大きな変形を許容できない箇所にD型を使用すると、許容耐力をかなり小さくしなければならないし、A型を使用するのも適切ではない。B、C型は、許容耐力を比例限荷重で抑えたとすると、最大荷重までの余裕度に大きな違いがでることになる。

図3は、同一ボルトサイズ(M10)における各種アンカーの引張力と抜け出し量の関係を比較した図である<sup>3)</sup>。接着系アンカー、インサート、内部コーン打込み式に用いたアンカー接合筋は高強度の寸切りボルト(材質：SNB7)であり、引張試験時のコンクリート圧縮強度は20.7～28.5N/mm<sup>2</sup>である。

最終破壊状況は、全てコーン状破壊の様相を示している。図3より接着系アンカーおよびインサートの伸び出し量が最大耐力時で1mm以下となっており、金属拡張アンカーの抜け出し量に比べて非常に小さく、SS400程度のアンカー筋を用いれば、0.3mm以下でアンカー筋が降伏することを示している。一方、金属拡張アンカーは施工方法および固着方法の違いにより、抜け出し量が3mm時で耐力はほぼ等しくなっているが、抜け出し耐力(比例限荷重)、最大耐力および引張力に対する抜け出し剛性に違いが見られる。

したがって、設計方針としては、使用箇所による条件を考慮して、その条件に適合した



初期拡張・打撃式：  
 おねじ型→C型，めねじ型→B，C型  
 追随拡張・打撃式：  
 おねじ型：B型  
 追随拡張・ねじ込み式：  
 おねじ型：全型，めねじ型：B，C型  
 初期固定：ポリエステル系：C型，

		おねじ型	めねじ型
メカニカル・アンカー	初期拡張型	打撃式 芯棒を叩き込み、先端を開かせる。	打撃式 スリーブを叩き込み、先端を開かせる。 内部コーンを叩き込み、先端を開かせる。
	追随拡張型	打撃式 スリーブを叩き込み、先端を開かせる。	打撃式 スリーブを叩き込み、先端を開かせる。
	ねじ込み式	ねじ込み式 一定のトルクをかけ、先端を開かせる。	ねじ込み式 一定のトルクをかけ、先端を開かせる。
接着アンカー	初期固定型	接着材により固定する。	

図2 履歴性状の分類<sup>2)</sup>

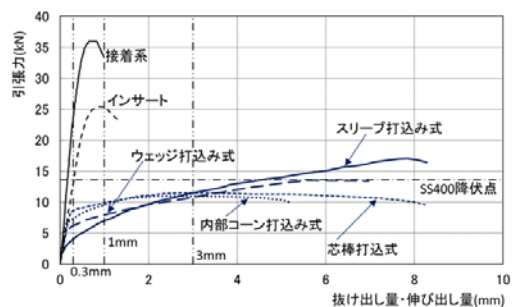


図3 各種アンカーの引張力と抜け出し量・伸び出し量の関係<sup>3)</sup>

履歴性状のもの、および安全率を採用することが必要であると思われる。

### 3. 2 接着系アンカーの強度と変形状

接着系アンカーの場合、有効埋込み長さはアンカー筋径の10倍程度とした製品が主体であるので、通常の使用条件下では、アンカー筋が降伏する、いわゆる変形依存型の設計に対応することも可能である。このアンカーを建築物の増改築に、構造用として積極的に利用していくには、固着するコンクリートの応力状態、さらには、そのコンクリート部材にアンカーの耐力発揮時に生じさせる応力状態および損傷状態から影響される部材としての構造性能の把握についても検討が必要になる。具体的には、RC部材とRC部材の異形鉄筋による定着、木造建築物および鉄骨造建築物のRC造基礎へのアンカーによる定着等、それぞれの定着方法、埋込み位置に対応した付着特性を再現する必要がある。

図4は、埋込み長さ $40d_a$ の長尺接着系あと施工アンカーの軸方向の応力度分布と付着応力度分布である。この結果は、軸方向の接着系アンカーの付着強度を変化させることにより、アンカーからコンクリートに伝達される付着応力度分布をコントロールした実験によるものである<sup>4)</sup>。付着強度 $\tau_b$ の異なる無機系接着剤(以下、グラウトと呼ぶ)4種を、埋込み長さ $10d_a$ ずつの4区間に分けて注入した(図4参照)。グラウトの付着強度( $\tau_b$ )は付着強度の低いものから $\tau_1$ ( $3.4\text{N/mm}^2$ )、 $\tau_2$ ( $5.9\text{N/mm}^2$ )、 $\tau_3$ ( $9.9\text{N/mm}^2$ )、 $\tau_4$ ( $20.1\text{N/mm}^2$ )とした。使用したアンカー筋はD25の異形PC鋼棒(降伏点 $1155\text{N/mm}^2$ )であり、実験時のコンクリート圧縮強度は $41.9\text{N/mm}^2$ である。No.1は木造住宅の基礎に用いられているホールダウンアンカー、No.2は耐震補強用に用いられている接着系あと施工アンカー、No.3は $10d_a$ ごとに付着強度を変化させたアンカーであり、No.4は鉄骨露出柱脚用のアンカーボルトを想定したものである。

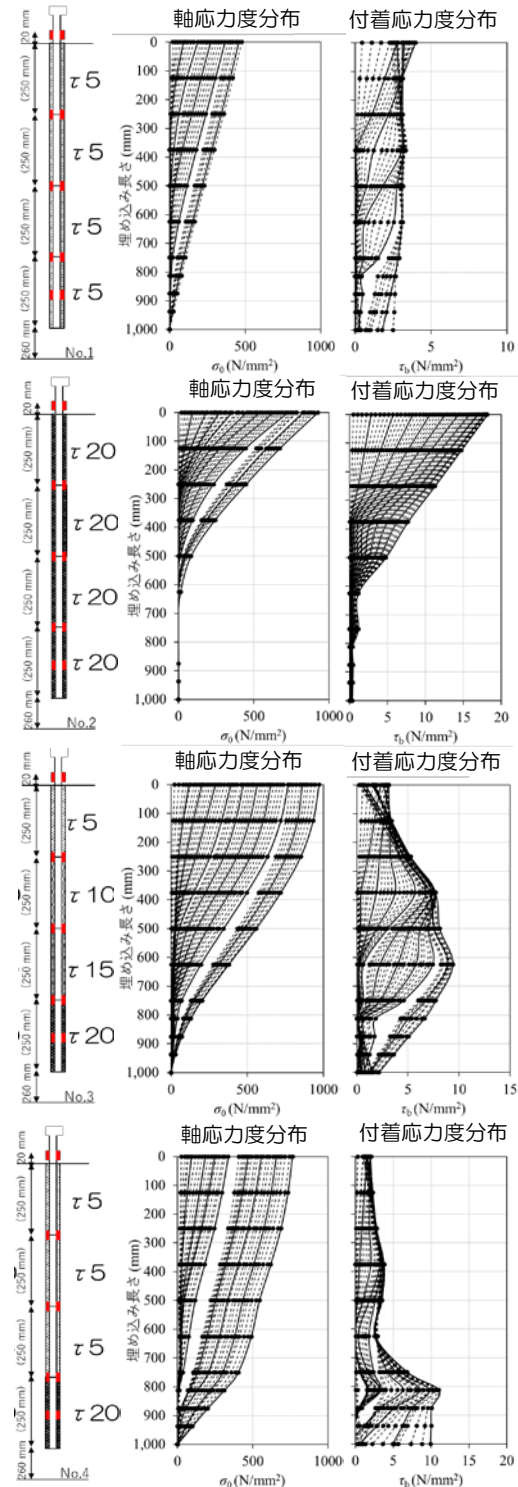


図4 長尺アンカーのひずみ度分布と応力度分布<sup>4)</sup>

No. 1 では、孔口から付着力が徐々にアンカー筋下部に伝達され、最大付着応力度が付着強度である  $3\text{N/mm}^2$  程度に抑えられることにより、付着力が最下端の  $40d_a$  位置まで伝達されており、丸鋼の付着特性を再現している。No. 2 では、最大付着応力度は付着強度には至らず、アンカー筋上部に付着力伝達区間が集中しており、異形鉄筋の付着特性の様相を示している。No. 3 では、各区間で異なる付着特性を示しており、グラウトの付着強度を変化させることにより、アンカーに生じる引張応力のレベルにより付着力伝達区間をコントロールできることがわかる。No. 4 では、孔口から  $30d_a$  までの区間は No. 1、残りの  $10d_a$  区間では No. 2 と同様な付着特性を有している。初期の引張力には  $30d_a$  までの区間で付着力を伝達し、高引張力に対しては深い埋込み位置である  $10d_a$  区間で付着力を伝達しており、鉄骨造露出柱脚の定着板を有するアンカーの定着性能を再現している。

設計方針としては、接着系アンカーの付着強度による平均付着強度のチェックだけではなく、使用箇所による条件を考慮した固着するコンクリートの応力状態のひび割れに対する許容される付着強度、そのコンクリート部材にアンカーの耐力発揮時に生じさせるための応力状態を実現する付着力伝達区間のコントロール等が必要であると思われる。

#### 4. おわりに

あと施工アンカーによる接合は、建築設計時、建築工事時、日常生活時、そして、地震発生後における復旧時等々、それぞれの段階で有用な技術として深く浸透してきている。一方、あと施工アンカーは多種多様であり、使用目的に応じて、適切な性能を有するものを適切な部分に使用するべきである。特に、アンカーを増改築の構造用として積極的に使用できる状況を作っていくためには、製品の規格化および標準試験法の確立による基礎データの収集を行い、それぞれのアンカーに対する信頼度を明らかにし、安全率を決定する必要がある。また、アンカー本体だけでなく、アンカーにより応力伝達されるコンクリートの応力状態、さらには、そのコンクリート部材にアンカーの耐力発揮時に生じさせる応力状態および損傷状態から影響される部材としての構造性能の把握についても検討が必要になることもある。こうした検討の中で、単に固着強度を上げるだけでなく、変形性能を念頭に置き、従来より有効埋込み長さの長いアンカー、先端拡張穿孔方式を使用したアンカー等もそれぞれの設計条件に対応させていくために利用できるであろう。

#### 参考文献

- 1) fib Bulletin 58: Design of anchorages in concrete、2011.7
- 2) 大島和義、鬼沢浩志、島崎昭彦、久保健治：あと施工アンカーの現場比較試験と設計上の留意点、コンクリート工学、Vol. 22 No. 7、pp. 62-66、1984. 7
- 3) 徳重充、中野克彦、他：自家用発電設備における機器配管の支持・固定用アンカーボルトの耐力に関する実験研究 その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 687-690、2014. 9
- 4) 沼田卓也、今井清史、秦啓、中野克彦、他：長尺あと施工アンカーの性能確認試験 その3、その4、その5、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 97-102、2020. 9