

# 論文 コンクリートに埋め込まれた金属系アンカーボルトの高温加熱後の引抜特性に関する研究

刈田 祥彦\*1・松沢 晃一\*2・橘高 義典\*3・八木沢 康衛\*4

**要旨:** 本研究では、金属系アンカーボルトである芯棒打込み式アンカーボルト 2 種を施工したコンクリートを、800°Cまでの高温環境下に曝した後に、アンカーボルトの引抜試験を行い、高温加熱後のアンカーボルトの引抜特性について検討を行った。その結果、引抜強度は通常型の場合では 20°Cと比較して、500°Cでは 80%程度まで、800°Cでは 25%程度まで低下すること、アンダーカット型の場合では 20°Cと比較して、500°Cでは 50%程度まで、800°Cでは 14%程度まで低下することが明らかとなった。また、加熱温度が高くなると、最大引抜荷重後の荷重低下がゆるやかになることが示された。

**キーワード:** コンクリート, 高温加熱, アンカーボルト, 引抜荷重

## 1. はじめに

あと施工アンカーボルトは金属系アンカーボルト, 接着系アンカーボルト, その他のアンカー類に区分されるが, その中の金属系アンカーボルトとは, 既に硬化したコンクリートにドリル等で穿孔し, アンカーボルトの芯, もしくは外周部を打込んで物理的にコンクリートに固定するアンカーボルト (以下, アンカー) である<sup>1), 2)</sup>。

近年, 金属系アンカーは位置決めが正確にでき, 施工が簡単であることなどの特徴から, 既存のコンクリート構造物の増・改築工事や, 設備の資機材の取り付けなどへの需要が増加している。しかし, 火災時または発電所や工場などのコンクリート構造物は高温にさらされる可能性があり, その構造物の安全性を確保するためには高温加熱を受けたコンクリートの挙動が重要である。コンクリートの物性は温度による影響を受け, 強度変化や収縮, 部材表面の爆裂などが生じることが知られている<sup>3)</sup>。

コンクリート構造物に使用されているアンカーはコンクリート部材に直接固定されており, その引抜特性はコンクリートの耐力や破壊特性の影響を受ける<sup>4), 5)</sup>。そのため, 加熱によるコンクリートの耐力低下, 性状変化はアンカーの引抜特性を検討する上で非常に重要な問題となる。

アンカーに関しては, 工法, 種類が多様であり設計指針などが刊行されている<sup>1), 2)</sup>。その中でも, 頭付きアンカーや接着系あと施工アンカーについては, 高温加熱に関する検討もなされている<sup>6)-8)</sup>。しかし, これらのアンカーと同様に多く用いられている金属系アンカーにおける高温加熱での影響に関する検討はなされていない。

本研究では, 金属拡張アンカーである芯棒打込み式ア

ンカー 2 種類が施工されたコンクリートが, 常温から 800°Cまでの高温環境下に曝された後に, アンカーの引抜試験を行い, 高温加熱後のアンカーの引抜特性について検討を行なった。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体概要

#### (1) コンクリート

表-1 に使用材料, 表-2 に調合, を示す。コンクリートは, レディーミクストコンクリート工場 (神奈川県相模原市) の 2 軸強制練りミキサ (公称容量 1.7m<sup>3</sup>) を用いて製造された, 呼び強度 27, 目標スランブ 18cm, 目標空気量 4.5%のものをを用いた。

図-1 に供試体概要を示す。供試体は, 各試験条件につき, アンカーの引抜特性を評価するための供試体 (250×250×150mm) 3 体, 圧縮強度およびヤング係数測定用供試体 (φ100×200mm) 3 体とした。アンカーの引抜特性を評価するための供試体には, アンカーを 250×250 の面の両面の中心に 1 本ずつ施工し, 試験することとした。供試体は打込み後 2 日で脱型し, 材齢 13 週まで標準養生を行った後, 加熱および各試験を行うこととした。表-3 にフレッシュ性状と材齢 4 週および 13 週標準養生後の強度試験結果を示す。

#### (2) アンカーボルト

図-2 に使用したアンカーの形状, 表-4 に実験の要因と水準を示す。アンカーは金属系アンカーである芯棒打込み式アンカー (以下, 通常型) と芯棒打込み式のアンダーカットアンカー (以下, アンダーカット型) の 2 種を用いた。図-3 にアンカー作動概要を示す。通常型

\*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 大学院生 (正会員)

\*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 助教 修士 (工学) (正会員)

\*3 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博 (正会員)

\*4 サンコーテクノ (株)

表-1 使用材料

材料	種類	記号	物性
セメント	普通 ポルトランドセメント	C	密度 3.16 g/cm <sup>3</sup>
	硬質砂岩砕砂 (相模原産)	S1	表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率 3.00
細骨材	硬質砂岩砕砂 (八王子産)	S2	表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率 3.00
	山砂 (富津産)	S3	表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率 1.60
粗骨材	硬質砂岩砕石 (相模原産)	G1	表乾密度 2.66g/cm <sup>3</sup> , 実積率 60.0
	硬質砂岩砕石 (八王子産)	G2	表乾密度 2.66g/cm <sup>3</sup> , 実積率 60.0
混和剤	高性能 AE 減水剤	Ad	ポリカルボン 酸系化合物

表-2 調合

W/C (%)	s/a (%)	質量(kg/m <sup>3</sup> )							
		W	C	S1	S2	S3	G1	G2	Ad
56.8	49.0	175	309	351	307	220	463	463	2.78

表-3 フレッシュ性状および強度試験結果

スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	
		4週	13週	4週	13週
17.5	4.9	30.4	34.5	25.2	26.4

表-4 実験の要因と水準

要因	水準
アンカー種類	芯棒打込み式 (M10) 芯棒打込み式アンダーカット (M10)
埋め込み深さ (mm)	40
最高温度 (°C)	20, 100, 200, 300, 500, 800
最高温度保持時間 (h)	1

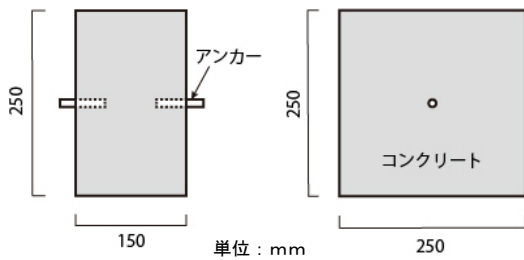


図-1 供試体概要

はアンカー本体に挿入される芯棒を打込んで拡張部を開かせる構造であり、アンダーカット型はアンカー拡張部に相当する位置に拡大穴を穿孔し、アンカー拡張部をこの拡大穴に適合させて拡張できるような構造である<sup>2)</sup>。アンカーの埋め込み深さは40mmとし、各試験条件で3本施工した。

芯棒打込み式アンカーの施工には、通常はハンマーが用いられるが、ハンマーではアンカーに対して完全に垂直方向から衝撃を与えることは難しく、また、毎回アンカーに伝わる衝撃荷重を同じにすることは困難であり、施工による個体差が生じてしまう恐れがあるため、本研究では、ハンマーではなく、油圧式万能試験機を用いてアンカーの施工をすることで、個体差を小さくすることとした。図-4に打込み概要、図-5に試験機での施工に

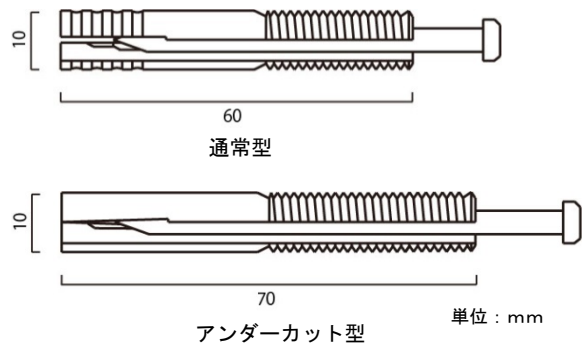


図-2 使用アンカーの形状

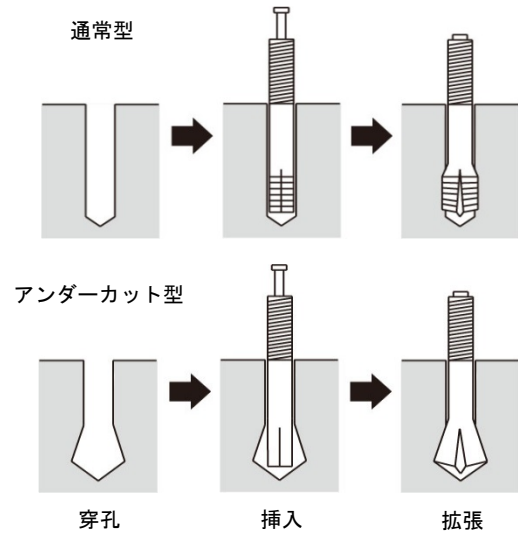


図-3 アンカー作動概要

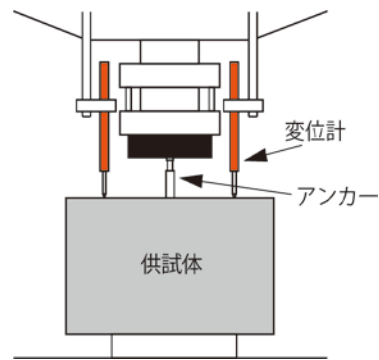


図-4 打込み概要

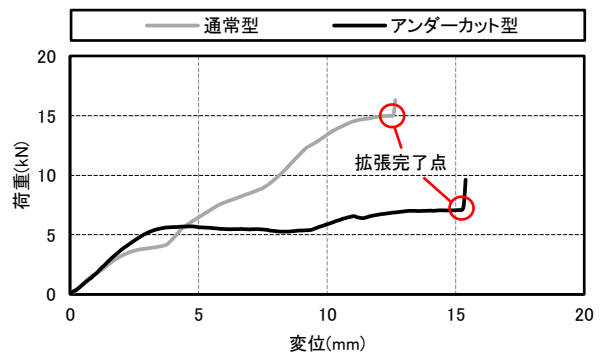


図-5 試験機での施工による変位と荷重の関係

よる変位と荷重の関係を示す。通常型は拡張部の内側が3段の階段状になっており、その影響によりグラフにも3つの段が見られた。アンダーカット型は構造特性の影響により、通常型より拡張完了点での荷重が低くなった。また、アンダーカット型の拡張部の内側は2段の階段状になっており、グラフも2つの段状となった。

なお、拡張完了は、アンカーの打込荷重が拡張完了点到達後、2kN増したところとした。

## 2.2 試験方法

### (1) 加熱方法

図-6に加熱履歴を示す。供試体加熱時の炉内最高温度（以下、加熱温度）は20（常温）、100、200、300、500、800℃の6通りとした。

加熱には、プログラム調整器付きマッフル炉（炉内寸法W310×D610×H310mm、左右2面加熱）を用いた。炉内の昇温速度は供試体表面と内部中央との温度差が小さくなるように0.5℃/minとした。炉内温度が目標温度に達した後は、その温度を1時間保持して加熱を終了した。供試体の温度が外気温度と同程度になるまで炉内にて自然除熱し、各試験を行うこととした。

また、あらかじめ熱電対を埋め込んだ供試体にアンカーを打込み、昇温速度0.5℃/minで1000℃まで加熱を行い、温度測定点は3箇所とし、供試体内部の温度を計測した。図-7にその供試体内部の温度変化および測定点を示す。加熱中は供試体表面部に対して、最高20℃程度遅れて内部の温度が上昇した。また、除熱中は表面部に対して、最高50℃程度遅れて温度が下降した。

### (2) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じて行った。また、同時にコンプレッソメーターを用いてヤング係数を測定した。（JIS A 1149）

### (3) 引抜試験

アンカーの引抜きには油圧式引張試験機を用い、変位および荷重を測定した。また、アンカー引抜き後の破壊特性を検討するために、施工面における破壊面積、破壊深さ、引抜き後のアンカー最大拡張部の径を測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 コンクリートの力学特性

図-8に圧縮強度と加熱温度の関係を示す。本研究での加熱条件では100℃で圧縮強度が最大となり、100℃以降は、300℃で再度強度が増したが、300℃以降は加熱温度の上昇とともに圧縮強度が直線的に低下した。

図-9にヤング係数と加熱温度の関係を示す。ヤング係数は、温度の影響を大きく受けるとされていて<sup>9)</sup>、本研究でも既往の研究と同様に、20℃で最大となり、加熱温度の上昇とともに低下した。

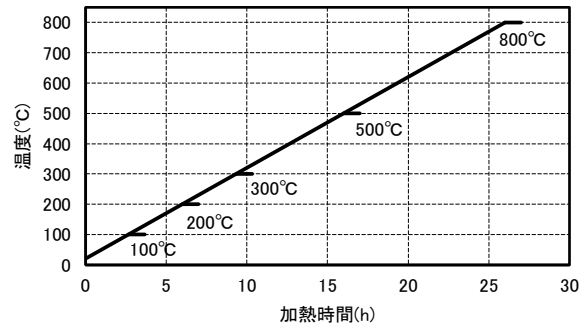


図-6 加熱履歴

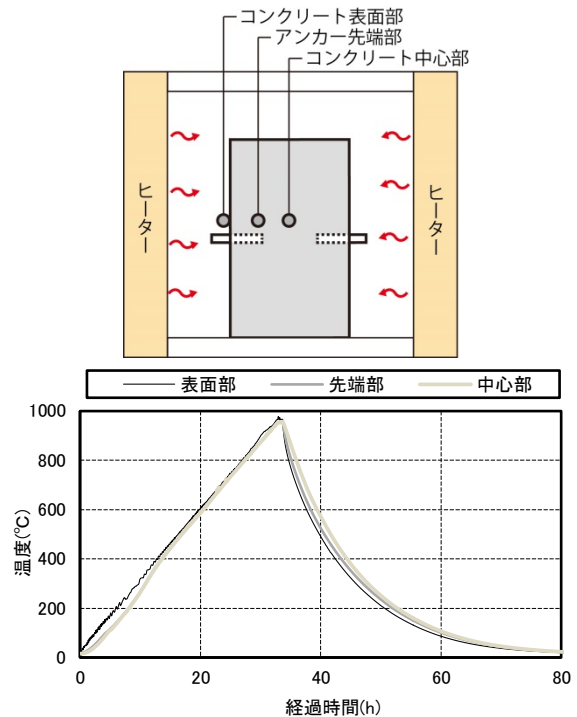


図-7 供試体内部の温度変化および測定点

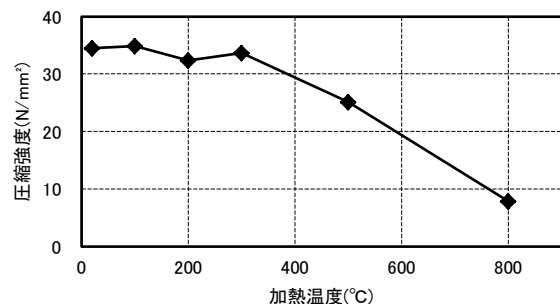


図-8 圧縮強度と加熱温度の関係

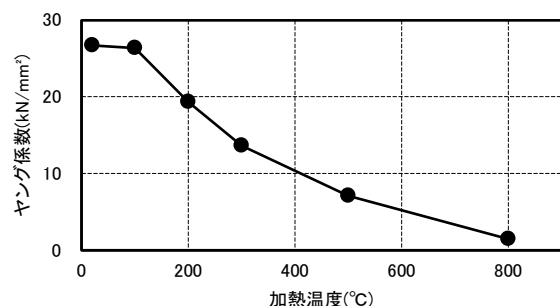


図-9 ヤング係数と加熱温度の関係

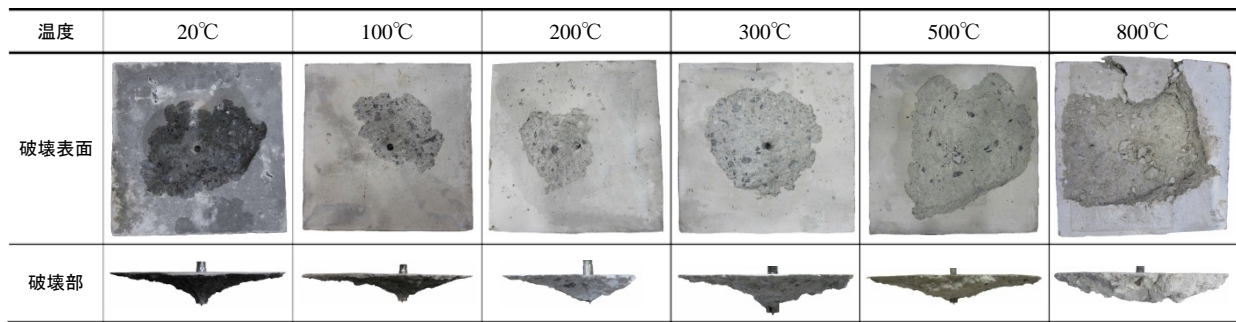


図-10 通常型の引抜破壊形状

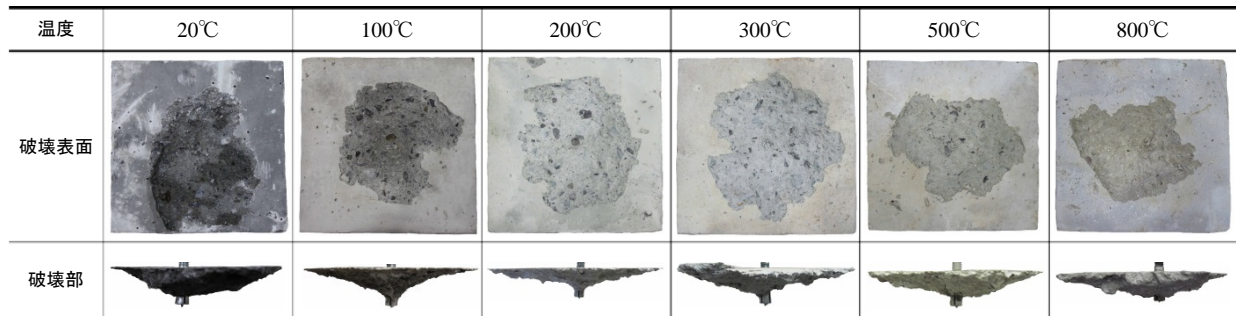


図-11 アンダーカット型の引抜破壊形状



写真-1 縦割裂破壊



写真-2 表面割裂破壊

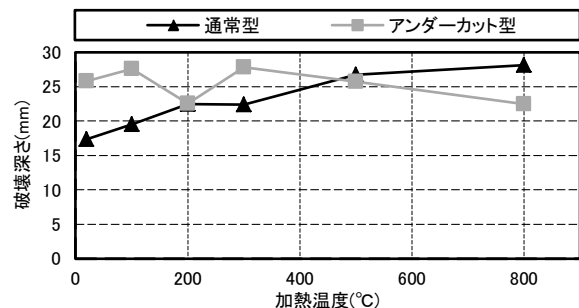


図-12 破壊深さと加熱温度の関係

### 3.2 アンカーの引抜特性

#### (1) 破壊特性

図-10、図-11、写真-1、写真-2に通常型とアンダーカット型の引抜破壊形状を示す。ほとんどの供試体は、通常型、アンダーカット型の両方ともコーン状破壊（逆富士状破壊）となった。しかし、200℃以上の加熱時には写真-1に示すように、供試体に縦にひび割れが生じ、供試体が2つに割れてしまう割裂（縦割裂）破壊、また写真-2のような破壊時のコンクリート表面における破壊面積（以下、破壊面積）が、アンカー施工面内に収まらずアンカー施工面の表面が割裂してしまう割裂（表面割裂）破壊がみられた。これは、高温加熱によりコンクリートの引張強度が低下したためであると考えられる。アンカー引抜き時には、最大荷重まではコンクリート表面にひび割れ等の変化は見られず、最大荷重後に荷重がある程度低下した後に破壊した。また、加熱温度が上昇するにつれて破壊部の先端部での破壊角度が大きくなる傾向が見られた。

破壊面積は同じ加熱条件でもばらつきが大きく、加熱温度や引抜荷重との関係性も明確ではなかった。これは、高温加熱によりコンクリートの性状が変化し、特に、供試体の表層部における変化が大きいためであると考えられる。

逆富士状破壊は、通常型ではアンカー拡張部先端より5mm程度のところから始まる傾向が見られた。これは、通常型のアンカー拡張部内側の形状が3段階の凹凸となっており、アンカーの拡張力が最大となる部分が先端から5mmまでであることが影響していると考えられる。また、アンダーカット型では、逆富士状破壊がアンカー拡張部先端より10mm程度のところから始まる傾向が見られた。これは、コンクリートとの定着が、アンダーカット型では拡張部先端から10mmのところから始まることの影響していると考えられる。

図-12に破壊深さと加熱温度の関係を示す。通常型では、加熱温度が上昇するにつれて、破壊深さは深くなる傾向が見られた。これは、加熱温度が高くなるにつれて

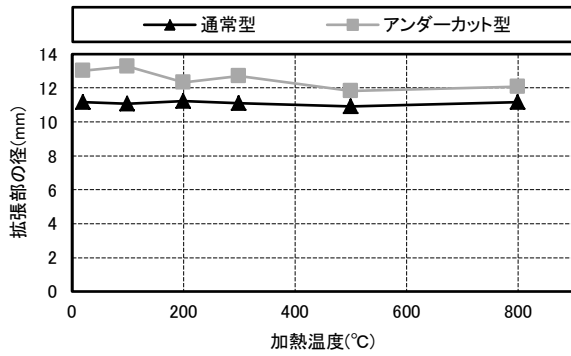


図-13 加熱温度と最大拡張部の径の関係



左から, 20, 100, 200, 300, 500, 800°C

写真-3 加熱後の通常型の形状



左から, 20, 100, 200, 300, 500, 800°C

写真-4 加熱後のアンダーカット型の形状

コンクリートの強度は低くなるため、アンカーの摩擦による定着力が破壊強度を超えやすくなり、アンカーのずり抜けが抑制されることが原因として考えられる。また、アンダーカット型では、加熱温度による破壊深さの変化に相関は見られなかった。通常型と違い、アンダーカット型はその特性上、ずり抜けしにくいことが原因として挙げられる。

図-13 に加熱温度と引抜後のアンカー最大拡張部の径の関係を示す。これを見る限り、高温加熱によってアンカー拡張部が収縮や膨張などの影響を受けることはないと考えられる。

写真-3、写真-4 に通常型とアンダーカット型の加熱後のアンカーの形状を示す。アンカー本体の変形や膨張は見られなかったが、加熱温度が上昇するにつれてアンカー表面に施されているメッキが変色した。また、800°C では変色だけでなく、メッキの膨張も見られた。

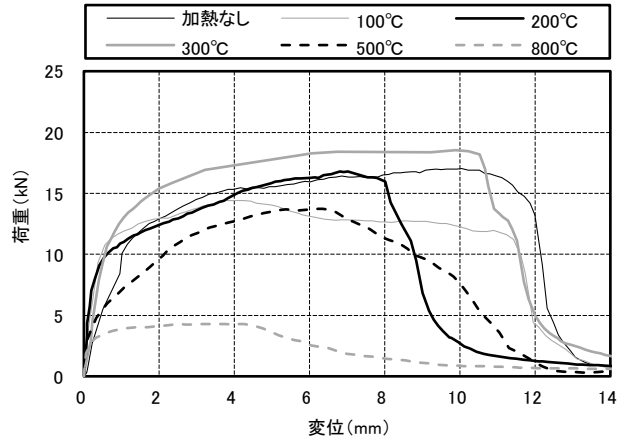


図-14 通常型の各加熱温度での引抜荷重

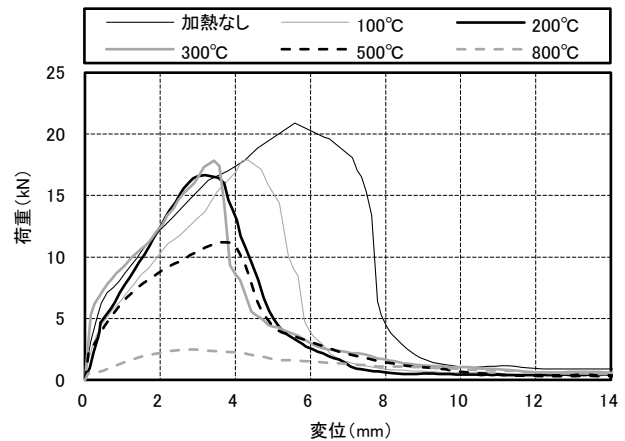


図-15 アンダーカット型の各加熱温度での引抜荷重

## (2) 引抜性状

図-14、図-15 に通常型とアンダーカット型の各加熱温度での引抜荷重と変位の関係を示す。通常型は荷重上昇が速く、通常型に比べて、アンダーカット型はゆるやかに上昇した。拡張部の位置に拡大穴を穿孔するアンダーカット型に比べて通常型は、拡張部の拡張力によりコンクリートが受ける力が大きく、アンカーのコンクリートへの定着力が高いため、早い段階から荷重が高くなったと考えられる。

また、アンダーカット型に比べ、通常型の方が荷重上昇後、高い荷重を維持する時間が長い。これは、アンダーカット型は荷重が最大に達すると、ずり抜けを起こすことなく、破壊するのに対し、通常型は荷重が高くなるとその荷重を保ったまま、ずり抜けを生じることが原因であると考えられる。

加熱温度が高くなるにつれて、最大荷重後の荷重低下がゆるやかとなった。これは、加熱によりコンクリート内部に微細なひび割れが生じたため、引抜きによる破壊が直線的に進行せず微細なひび割れを介して徐々に進行するようになったためと考えられる。

### (3) 最大荷重

最大引抜荷重は通常型の場合では 20℃と比較して、500℃では 80%程度まで、800℃では 25%程度まで低下し、アンダーカット型の場合では 20℃と比較して、500℃では 50%程度まで、800℃では 14%程度まで低下した。800℃では加熱後のコンクリート表面に多数のひび割れが確認されたことから、このひび割れが 500℃から 800℃にかけての大幅な荷重低下に影響を与えていると考えられる。

通常型では、最大引抜荷重が高いほど、最大引抜荷重時の変位が大きくなる傾向が見られた。これは、アンカーのずり抜けによる影響が大きく、最大引抜荷重が高いほどコンクリートの強度は高く、アンカーの拡張によるコンクリートへの定着力よりも破壊強度が高くなったことがアンカーのずり抜けを促進させたと考えられる。また、通常型に対し、アンダーカット型は全体的に最大引抜荷重時の変位が小さくなった。通常型よりもアンダーカット型の方がずり抜けに対し、抵抗性があるといえる。

図-16 に圧縮強度と最大引抜荷重の関係を示す。本研究では、既往の研究<sup>4)</sup>と同様に、コンクリートの圧縮強度が高いほど最大引抜荷重が高くなる傾向が見られた。アンカーの引抜荷重は、加熱後のコンクリート強度の変化の影響を大きく受けるといえる。

図-17 に加熱温度と最大引抜荷重の関係を示す。最大引抜荷重は 20℃、100℃、200℃では通常型よりもアンダーカット型の方が高く、300℃、500℃、800℃では通常型よりもアンダーカット型の方が低くなった。加熱温度が上昇すると、アンダーカット型は破壊深さにあまり変化はないが、通常型は破壊深さが深くなるため、300℃、500℃、800℃では通常型の方が荷重が高くなったと考えられる。これより、アンダーカット型と比べて、通常型の方が高温加熱に対して強いということがわかる。

#### 4. まとめ

本研究の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 引抜荷重は通常型では 20℃と比較して、500℃では 80%程に低下し、800℃では 25%程まで低下した。アンダーカット型では 20℃と比較して、500℃では 50%程に低下し、800℃では 14%程まで低下した。
- (2) 加熱温度が高くなるにつれて、最大引抜荷重後の荷重低下がゆるやかになる。
- (3) 20℃、100℃、200℃の温度範囲では、通常型よりもアンダーカット型の方が引抜荷重が高いが、300℃、500℃、800℃の温度範囲では通常型の方がアンダーカット型よりも引抜荷重が高くなる。
- (4) 通常型では、加熱温度が上昇するにつれて、破壊深さは深くなった。

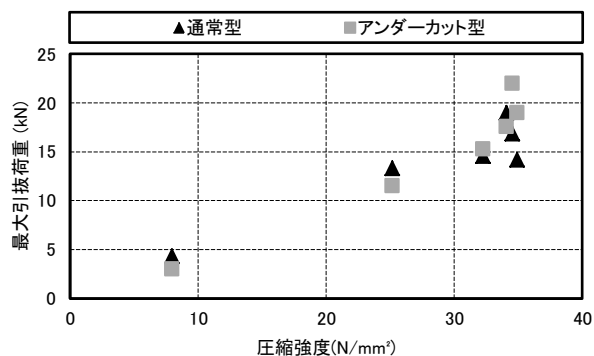


図-16 圧縮強度と最大引抜荷重の関係

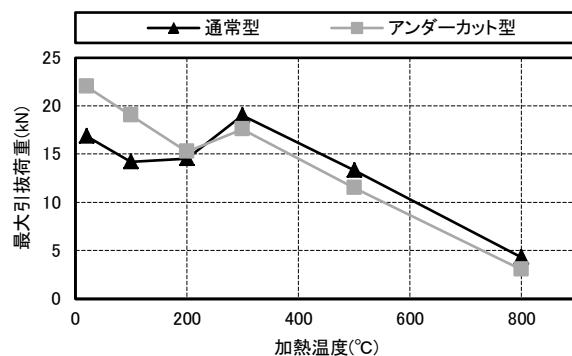


図-17 加熱温度と最大引抜荷重の関係

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、2010
- 2) 広沢雅也、松崎育弘：あと施工アンカー設計・施工読本 - 初歩から応用まで -
- 3) 日本建築学会：火災とコンクリート
- 4) 清水泰、遠藤利根穂：あと施工アンカーの引き抜き耐力に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.595-596、1987.10
- 5) 片桐太一、清水泰：あと施工アンカーの引抜き耐力に関する実験研究（その1）実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1001-1002、1991.9
- 6) 寺島悟、沢出稔、丹羽亮、秋山友昭、松崎育弘：加熱されたコンクリートの耐火性評価とあと施工アンカーに関する研究（その1、一面3時間加熱）、日本建築学会学術講演梗概集、pp.691-692、1994.9
- 7) 橋本純、滝口克己：熱を受けるコンクリート埋め込みボルトの引抜きに関する実験、日本建築学会構造系論文集、No.568、pp.123-129、2003.6
- 8) 米谷昌之、甲斐彰一郎、栗原洋一：樹脂系アンカーの耐火性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.923-924、1994.9
- 9) 松沢晃一、橋高義典：高温加熱を受けたコンクリートの破壊特性、日本建築学会構造系論文集、Vol.77、No.680、pp.1477-1483、2012.10