

# 高周波誘導加熱を利用した除去式アンカーの開発

## Development of Removable Ground Anchor using High-Frequency Induction Heating Method

岡 利博<sup>\*1</sup> 向谷 常松<sup>\*1</sup> 堀崎 敏嗣<sup>\*1</sup>  
Toshihiro Oka Tunematsu Mukaidani Toshiji Horisaki  
三浦 利浩<sup>\*2</sup> 高橋 昌秀<sup>\*3</sup>  
Toshihiro Miura Masahide Takahashi

### 【要旨】

高周波誘導加熱を利用した除去式アンカー工法とは、高周波焼き入れ等で用いられる誘導加熱技術を利用し、山留め材として使用後不要となった仮設グラウンドアンカーを切断・除去する工法である。本工法の特徴は高周波誘導加熱により、P C鋼より線アンカー先端部で安全確実に切断し、ポリエチレンシース内のP C鋼より線を人力でも引き抜き撤去できることである。本報告では高周波誘導加熱を利用した除去装置の原理や工法の特徴、試験施工事例として1段式および2段式耐荷体を有する除去式アンカーの実施例を紹介する。

【キーワード】 除去式アンカー、耐荷体、高周波、誘導加熱、共振周波数

### 1. はじめに

都市部における大規模コンクリート構造物の構築に際し、土留め仮設工法のひとつとしてグラウンドアンカー（以後アンカーと呼ぶ、図-1）が採用される。

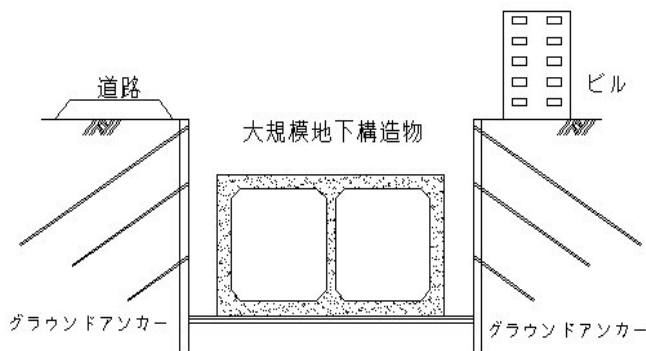


図-1 グラウンドアンカー概念図

これら仮設アンカーは構造物構築後速やかに撤去されるべきものであるが、撤去費用・構築物とのクリアランス不足・工程等により、構築後残置される場合が多い。そのため別途地中壁やシールド工事などの施工途中、残置された仮設アンカーに遭遇し、施工困難となる事例も報告されている。

特に都市部においては隣接する第三者所有の権利区域や道路面下に仮設アンカーを施工する 경우가多く、除去式アンカーの施工が増えてきている。これらニーズに対応して各種の除去式アンカー工法が提案されているが、解決すべき諸課題があった。

我々は高周波誘導加熱技術を、建設工事に応用することで、簡単に低コストの新たな除去式アンカー工法を開発したので、それについて報告する。

### 2. 従来技術と本開発の目的

#### 2.1 従来技術

現在、代表的な除去式アンカー工法として、以下の3タイプが使われている。

①アンカー先端部の耐荷体でアンボンドP C鋼より線（以後P C鋼線と呼ぶ）を往復させ、撤去時にP C鋼線のみを引抜き、除去する方法<sup>1)</sup>（以後往復工法と呼ぶ）。概念図を図-2に示す。

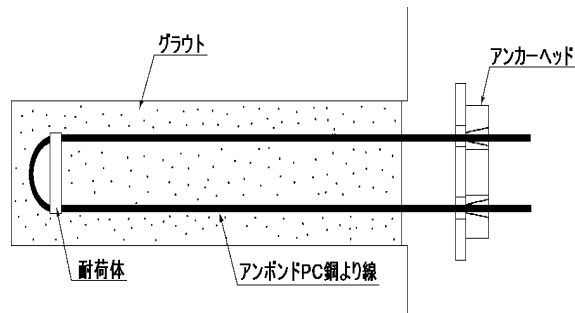


図-2 P C鋼線往復工法概念図

②P C鋼線の中心部分に引抜き用部材を組み込んでおき、これを撤去することでP C鋼線の拘束を解放し除去する方法<sup>2)</sup>。

③アンカー定着部にグラウト破碎用部材を組み込み、グラウトを破壊することで拘束力を低減し引き抜く方法<sup>3)</sup>。

これら工法の中で、①の往復工法が現在最も一般的に採用されている工法である。

1 本社 技術研究所, 2 名古屋土木事業部 東名阪植田南(作), 3 関東土木事業部 高エネ研ニュートリノT2K(作)

## 2.2 開発目的

本工法の開発目的は、従来の除去式アンカーが有するコスト・施工性等の諸課題を解決するため、高周波誘導加熱を利用した簡単な構成で、PC鋼線を安全確実に短時間で切断、除去し、コストダウン可能な工法として確立することにある。

## 3. 除去装置の原理

本装置の概略を図-3に示す。金属導電体である被加熱物に絶縁被覆導線のコイルを巻き、このコイルに高周波電流を流すと、金属導電体内の誘導磁界によって被加熱物中には、高密度の渦電流が流れる。この金属抵抗中を流れる渦電流により発生するジュール熱で被加熱物であるPC鋼線が発熱する。

高周波電流を使う誘導加熱は被加熱物自体が発熱するので輻射熱によるヒータ加熱方式より熱効率が良く、短時間で高温まで加熱することが可能である。

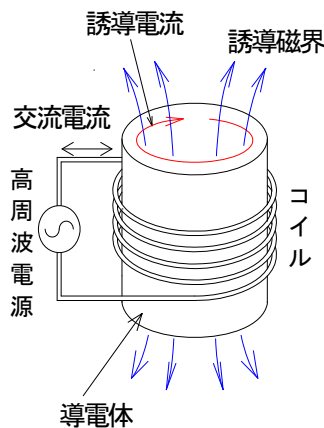


図-3 高周波誘導加熱の概略図



写真-1 PC鋼線加熱状況

### 3.1 共振周波数と電流

一般に、コイルに交流電流を流すとインピーダンスが大きくなり、電流が流れにくくなる。そこで通常はコイ

ルにコンデンサーを付加して直列共振回路を形成し、大電流が流れるようにする必要がある。

LCR直列回路のインピーダンスは次式で表される。

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad \text{式(1)}$$

$$= R + jX$$

$Z$  = インピーダンス

$L$  = インダクタンス

$C$  = 静電容量  $R$  = 抵抗  $\omega$  = 角周波数

$jX=0$ の時 $Z=R$ となり直列共振となる。この時の共振周波数 $f_0$ は次式で示される。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{式(2)}$$

従って、印加電圧の周波数を $f_0$ とした時、インピーダンスは最小となりLCR直列回路に流れる電流は最大となる。

### 3.2 PC鋼線高温引張り強さ

PC鋼線の引張り強さは自身の温度に依存する<sup>4)</sup>。図-4に示すように常温から100°C程度まではほとんど変化しないが、200°C以上になると急激に低下し、400°Cでは引張り強さがほぼ50%にまで低下する。

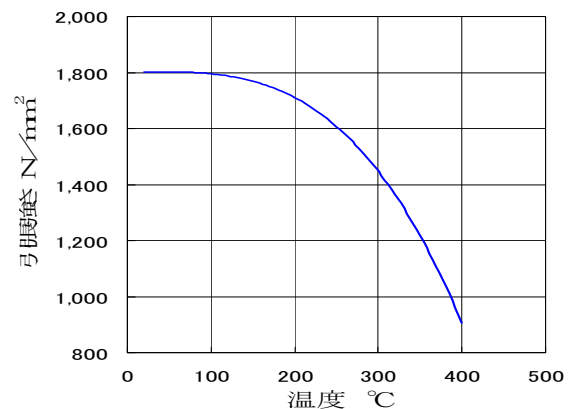


図-4 PC鋼線高温引張り強さ

緊張状態にあるPC鋼線に設置した加熱コイルに、共振周波数と一致する高周波電流を加えるとPC鋼線が急激に発熱するため、加熱コイルがPC鋼線の輻射熱で溶断する前にPC鋼線の引張り強度が低下し、破断させることが可能である。

## 4. 加熱破断と温度上昇評価

### 4.1 周波数をパラメーターとした加熱実験

加熱コイルに共振周波数を加えるとPC鋼線を短時

間に加熱することができることを確認するため、高周波周波数をパラメータとした加熱実験を行い、各ケースの温度上昇を確認した。

表-1 誘導加熱の条件

PC鋼より線	φ12.7 1本
加熱コイル	KIV 14.0 mm <sup>2</sup>
出力	0.8 kW
周波数 1	15kHz
周波数 2	22kHz
周波数 3	30kHz

その結果を図-5に示す。共振周波数に対応する22kHzでは加熱開始後100秒程度で700℃に達するが、共振点から外れた15kHzと30kHzではそれぞれ150秒および170秒を要した。

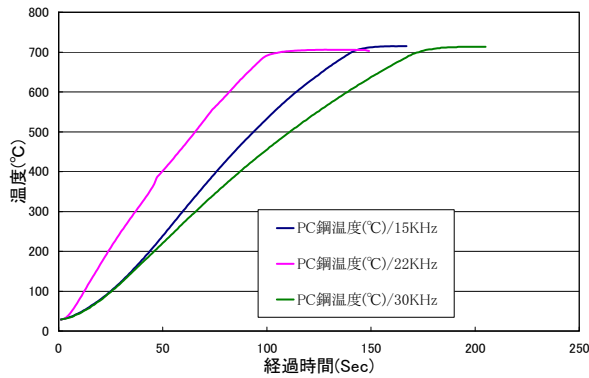


図-5 周波数別温度上昇実験

即ち切断のために通電する高周波周波数は共振周波数にマッチングさせることが本質的に重要である。

#### 4.2 緊張力を導入した加熱切断実験

油圧ジャッキで単線PC鋼線に50kNの緊張力を導入した後、加熱コイルに高周波電流を流し、PC鋼線の切断実験を行った。

表-2 誘導加熱切断の条件

PC鋼より線	φ12.7 1本
加熱コイル	KIV 5.5 mm <sup>2</sup>
出力	0.8 kW
周波数	20 kHz
引張荷重	50 kN

荷重・温度-時間の変化を図-6に示す。

φ12.7mm PC鋼線の場合、50kNの緊張力が導入されていれば、23秒、約420℃で切断可能であることを確認した。

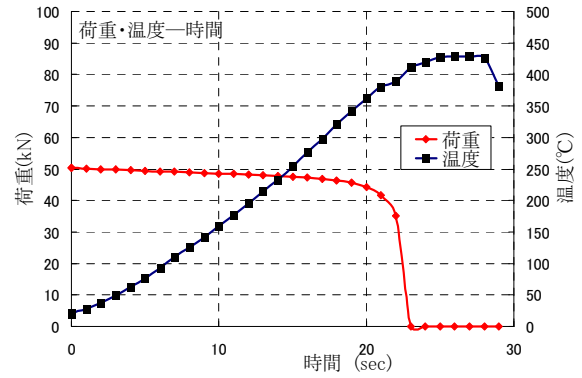


図-6 荷重・温度-時間

#### 4.3 耐荷体モデルでの加熱実験

加熱実験に用いた耐荷体モデルを写真-2に示す。本ケースでは緊張力を与えず、PC鋼線3本、摩擦棒等の誘導加熱温度上昇を確認した。

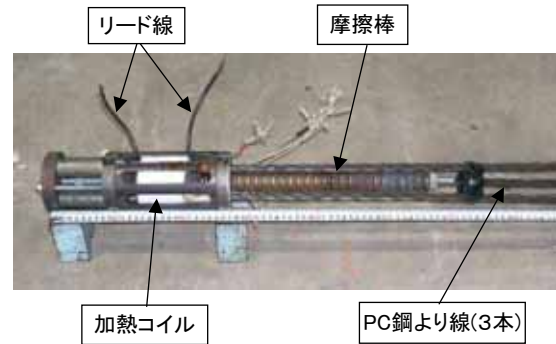


写真-2 耐荷体モデル

表-3 誘導加熱の条件

PC鋼より線	φ12.7 3本
加熱コイル	KIV 8.0 mm <sup>2</sup>
出力	1.6 kW
周波数	21 kHz

3本のPC鋼線、防護管および摩擦棒の表面温度計測結果を図-7に示す。

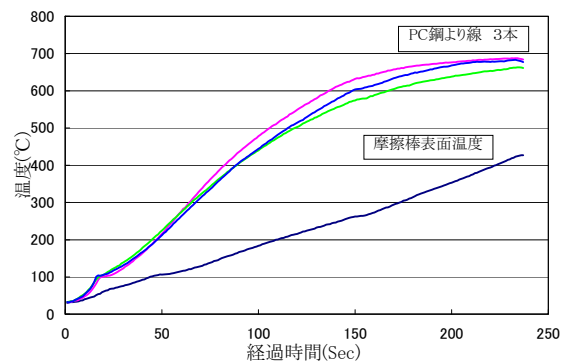


図-7 部材別温度上昇結果

PC鋼線温度は3本ともほとんどばらつきが無く550°C近傍まで急激に温度上昇している。

実機モデルでは前述の単線のPC鋼線加熱切断実験で得られた切断温度420°Cまでの到達時間は約90秒と延びてはいるが、最大上昇温度は700°Cまで上昇し充分実用性を有していると判断できた。

#### 4.4 モルタル内における加熱切断実験

実際のアンカー体はグラウトの注入により地中で造成される。そのため加熱切断装置の内部や周辺にもグラウト材が充填される。

確認のため実アンカーに模し、写真-3に示すように、加熱切断部をモルタル内に埋設後、PC鋼線4本の一括切断実験を実施した。実験結果として、大気中と同様良好な切断結果を得た。



写真-3 モルタル内での切断実験

### 5. 試験施工

#### 5.1 試験施工その1

実施目的：実フィールドでの施工性及び長期信頼性確認

実施時期：平成18年11月13日（施工性確認）

平成20年4月25日（長期信頼性確認）

試験施工現場名：中日本高速道路(株)

東名阪自動車道 植田南工事

試験施工本数：3セット（施工性確認）

4セット（長期信頼性確認）

表-4 除去式アンカー概要

PC鋼より線	φ12.7 3本組
アンカー長	14m
耐荷体	鋼製1段 7セット
緊張力	311kN

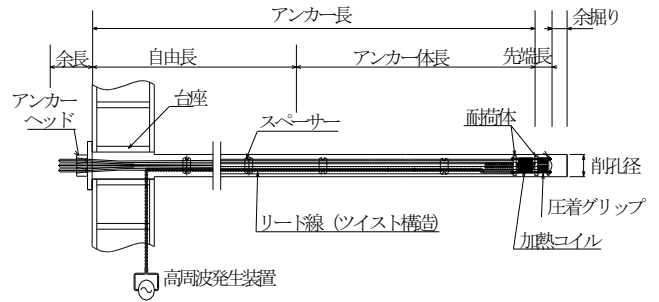


図-8 鋼製耐荷体アンカー

#### 5.2 その1 試験施工結果

アンカー体は従来と同様の施工法で設置、養生し、多サイクル確認試験等、引抜き試験で所定のアンカー性能確認後、高周波誘導加熱切断を行った。

##### (1) 切断加熱コイルへの通電

切断前に加熱コイル及びリード線全体の絶縁・導通計測を行い、異常が無いことを確認後、切断装置に共振周波数の高周波電流を通電した。

##### (2) アンカー切断

通電後PC鋼線3本のばらつきはほとんど無く、30～40秒で3セットすべてのアンカーを切断した。



写真-4 高周波電流通電

##### (3) PC鋼線除去

切断後、人力にてPC鋼線を引抜き除去した。



写真-5 人力による引抜き状況

(4) PC鋼線切断ヶ所状況

引抜き後の確認でPC鋼線切断ヶ所は直線的に切断されており、引抜き作業も容易であった。



写真-6 PC鋼線切断状況

(5) 長期信頼性確認試験施工

本施工の目的は、除去装置設置後1年2ヶ月後でも確実に切断可能であり長期信頼性を有することを確認するために実施した。

結果は、高周波電源通電後4セット全て1～2分で切断可能であり、高周波切断装置が長期信頼性を有することを実証した。

5.3 試験施工その2

実施目的: 2段式耐荷体、コンクリート製耐荷体の有効性及び長期信頼性の確認

実施時期: 平成19年9月21日

試験施工現場名: 高エネルギー加速器研究機構

高エネ研ニュートリノT2K作業所

試験施工本数: 3セット (2段・コンクリート耐荷体確認)

2セット (長期信頼性確認)

(1) 鋼製耐荷体 (単段, 2段耐荷体)

表-5 鋼製除去式アンカー概要

PC鋼より線	φ12.7 2本組
アンカー長	12m
耐荷体	鋼製1段1セット, 2段2セット
緊張荷重	200kN

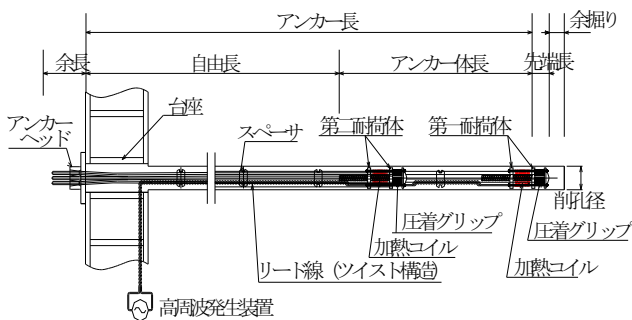


図-9 鋼製2段耐荷体アンカー



写真-7 鋼製第1耐荷体



写真-8 鋼製第2耐荷体

(2) コンクリート製耐荷体 (単段, 2段耐荷体)

アンカー除去後、地中に残存させる鋼材の量を最小限化するために、耐荷体の管体部をコンクリート製とした。コンクリート強度としては70N/mm<sup>2</sup>を目標として製作した。

表-6 コンクリート製耐荷体除去式アンカー概要

PC鋼より線	φ12.7 2本組
アンカー長	12m
耐荷体	コンクリート1段, 2段各1セット
緊張荷重	200kN



写真-9 コンクリート製第1耐荷体



写真-10 コンクリート製第2耐荷体

## 5.4 その2試験施工結果

その1同様、所定のアンカー性能確認、切断装置の絶縁・導通計測を行い異常が無いことを確認した後、高周波電流を通電し切断、除去した。

### (1) 切断加熱コイルへの通電

加熱コイルに所定の共振周波数の高周波電流を通電した。

### (2) アンカー切断

その1同様、PC鋼線間のばらつきはほとんど無く、以下の高周波通電時間で各アンカーを切断できた。

- |               |     |
|---------------|-----|
| 1) 鋼製1段式      | 72秒 |
| 2) 鋼製2段式      | 66秒 |
| 3) コンクリート製2段式 | 66秒 |

### (3) PC鋼線除去

切断後、人力にてPC鋼線を引抜き除去した。



写真-11 人力による引抜き状況

## 5.5 長期信頼性試験

長期信頼性確認試験のため、鋼製2段耐荷体、コンクリート製1段耐荷体各1セットを残置し、作業所の工程に合わせ、設置後おおむね1年後、切断・除去の予定である。今後施工完了後、再度報告したいと考えている。

尚、切断装置の耐久性確認として定期的に導通・絶縁測定を行い、全数が線間0Ω、大地間が100MΩ以上の数値であり、加熱コイル、リード線とも良好な状態と考える。

## 6. 本研究開発のまとめ

室内試験により本除去式アンカーの基本特性を確認し、更にフィールド試験施工により十分に実用性、耐久性を有していることが証明できたので今後、工法展開に努めたい。

以下に本方式の特徴をまとめる。

- ①従来の往復式除去アンカーはPC鋼線が偶数本の構成に限定されるが、本方式では奇数本にも対応でき、最適経済設計が可能である。
- ②往復式除去アンカーは耐荷体でループ加工が必要ないので、PC鋼線許容荷重の低減(ループ加工すると10%の減)がなく、経済設計が可能である。
- ③PC鋼線の引き抜き時に、従来は特殊ウインチあるいは移動式クレーン等が必要であったが、本方式では人力での引抜き除去も可能である。
- ④従来方式では除去したPC鋼線に螺旋状の癖がつき、引抜き後の処理に課題が生じる。本方式ではPC鋼線が直線的に切断されるので処理が容易である。
- ⑤ロングリスタップのアンボンド鋼線が採用可能なので除去後の処理が容易で、環境負荷が小さくなる。
- ⑥コイルは安価であり、処理費用も含めたトータルコストの低減が可能となる。

**謝辞:** 高周波除去式アンカーの開発にあたり、高エネルギー加速器研究機構の吉岡教授および竹田名誉教授にご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。

フィールド試験施工を行うにあたり、中日本高速道路株式会社名古屋工事事務所殿、高エネルギー加速器研究機構殿には試験施工のご許可をいただきました。ここに感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1),2),3) グラウンドアンカー施工のための手引き書 P.119, (社)日本アンカー協会, 2004
- 4) 神鋼のPC鋼線, No.44, P.56, 神鋼鋼線工業(株)

**Summary** The removable ground anchor method using high frequency induction heating uses the induction heating technology, which is commonly applied for high frequency induction hardening or other purposes, to cut and remove temporary ground anchors that are no longer necessary for earth retaining. The method involves the cutting of prestressing steel strand at the tip of the anchor securely by high frequency induction heating and makes it possible to manually pull out prestressing strand from the polyethylene sheath. This paper describes the principle of a ground anchor removing system using high frequency induction heating and the characteristics of the method of removal, and presents case studies of removable ground anchors with a single and double load carrying elements.

**Key Words:** Removable ground anchor, Load carrying body, High frequency, Induction heating, Resonance frequency