

高周波誘導加熱（I H）技術による 除去式アンカー工法

岡 利博¹・谷 喜宣²・三浦 利浩²・山本 弘³・渡邊 寿史³

¹飛島建設 土木事業本部（〒102-8332 東京都千代田区三番町 2 番地）

²飛島建設 名古屋土木事業部（〒460-0017 愛知県名古屋市中区松原 3-2-8, 7 F）

³飛島建設 関東土木事業部（〒102-8332 東京都千代田区三番町 2 番地）

高周波誘導加熱による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、アンカー先端部の P C 鋼より線を安全確実に切断可能であり、また切断後の P C 鋼より線引き抜き荷重が小さいので一括引き抜き撤去が可能なことである。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：グラウンドアンカー，除去式，高周波，誘導加熱，共振周波数，I H

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。

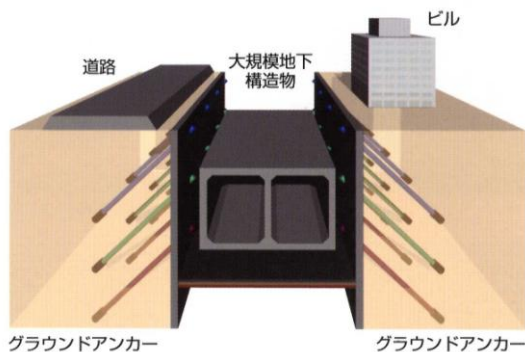


図-1 グラウンドアンカー概念図

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。そのため連続地中壁工事やシールド工事等で、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場合が多

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。著者らは高周波誘導加熱技術を、建設工事に応用することで、簡単で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

(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¹⁾（以後往復工法と呼ぶ）。図-2に往復工法の概念図を示す。

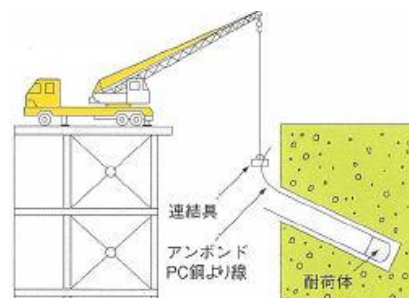


図-2 往復工法概念図

② P C 鋼線の中心部分に引抜き用部材を組み込んでおき、これを事前に撤去することで P C 鋼線の拘束力を解放し除去する方法²⁾

③ アンカー定着部にグラウト破砕用部材を組み込み、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³⁾。

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。

(2) 開発目的

本工法の開発目的は、従来の除去式アンカー工法が有する設計上の制約や除去時の施工性改善をするため、高周波誘導加熱を利用した簡単な構成で、P C 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. I H 除去装置

(1) I H 加熱原理

本装置の原理を図-3に示す。導電体である P C 鋼線に絶縁被覆のコイルを巻き、このコイルに高周波電流を流すと、誘導磁界によって P C 鋼線に高密度の渦電流が流れる。この渦電流により発生するジュール熱で、P C 鋼線が発熱する(写真-1参照)。高周波電流による誘導加熱では P C 鋼線自体が発熱するのでニクロム線等の輻射熱によるヒータ加熱方式より熱効率が高く、短時間で高温まで加熱することが可能である。

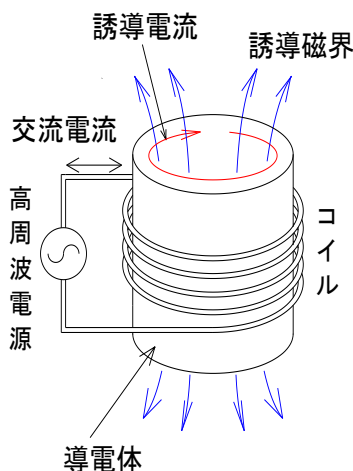


図-3 誘導加熱の原理

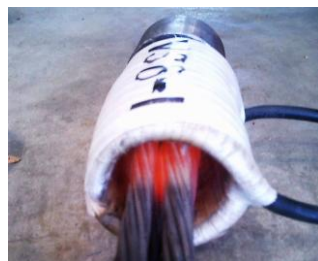


写真-1 加熱状況

(2) 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。L C R 直列回路のインピーダンスは次式で表される。

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

Z = インピーダンス

L = インダクタンス

C = 静電容量 R = 抵抗 ω = 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。

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

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

(3) P C 鋼線高温引張強さ

P C 鋼線の引張強さは温度に依存する⁴⁾。

図-4に示すように常温から 100℃程度まではほとんど変化しないが、200℃以上になると急激に低下し、400℃では引張強さがほぼ 50%にまで低下する。

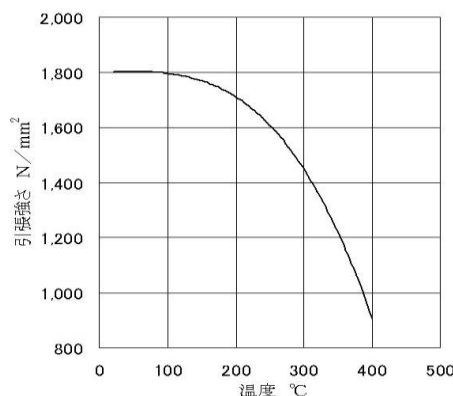


図-4 P C 鋼線高温引張強さ

緊張状態にある P C 鋼線に、加熱コイルを設置し、共振周波数と一致する高周波電流を加えると、P C 鋼線が急激に発熱する。加熱コイルが P C 鋼線の輻射熱で焼損する前に、P C 鋼線を破断させることが可能となる。

4. 加熱切断と温度上昇評価

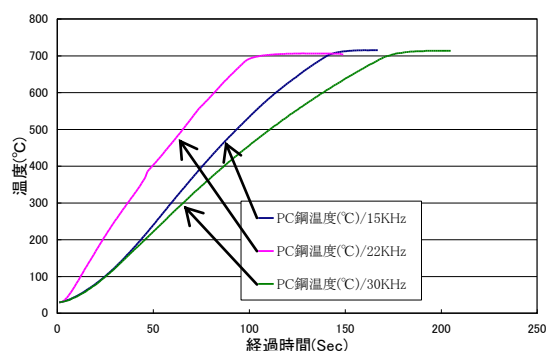
(1) 周波数をパラメーターとした加熱実験

加熱コイルに共振周波数を加えると P C 鋼線を短時間に加熱できることを確認するため、周波数をパラメーター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

P C 鋼より線	φ 12.7 1 本
加熱コイル	KIV 14.0 mm ²
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。

(2) 緊張力を導入した加熱切断実験

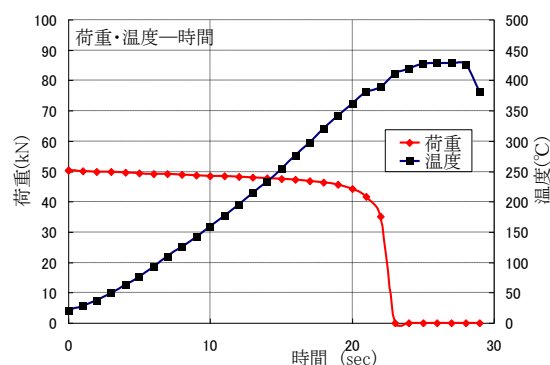
油圧ジャッキで単線 P C 鋼線に 50 k N の緊張力を導入後、加熱コイルへ高周波電流を流し、P C 鋼線の切断実験を行った。

表－2 誘導加熱切断の条件

P C 鋼より線	φ 12.7 1 本
加熱コイル	KIV 5.5 mm ²
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。
φ 12.7mm P C 鋼線の場合、50 k N の緊張力が導入されていれば、23 秒、約 430℃で切断可能で

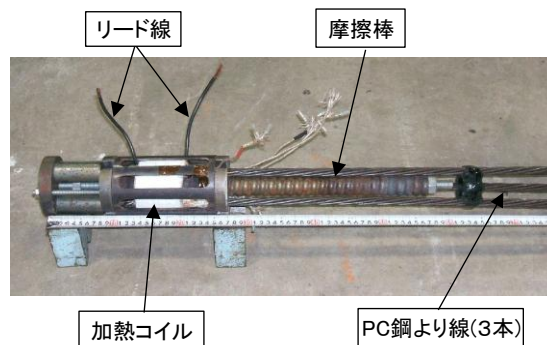
あることを確認した。



図－6 荷重・温度－時間

(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、P C 鋼線 3 本、摩擦棒等の誘導加熱温度上昇を確認した。

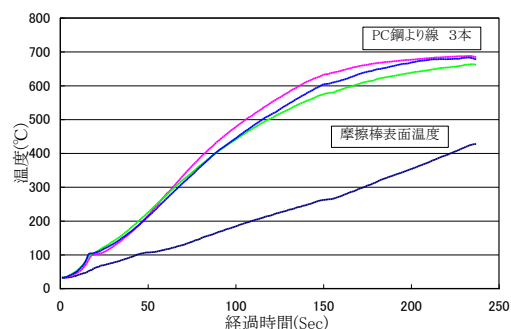


写真－2 耐荷体モデル

表－3 誘導加熱の条件

P C 鋼より線	φ 12.7 3 本
加熱コイル	KIV 8.0 mm ²
出力	1.6 kW
周波数	21 kHz

3 本の P C 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

P C鋼線温度は3本共ほとんどばらつき無く550℃近傍まで急激に温度上昇している。耐荷体モデルでは、前述の単線P C鋼線加熱切断実験で得られた切断温度 420℃までの到達時間は約 90 秒と延びてはいるが、最大温度は700℃まで上昇し充分実用性を有していると判断できた。

(4) セメントミルク内における加熱切断実験

実際のアンカー体はセメントミルク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セメントミルクが充填される。セメントミルク内での切断を確認するため、実アンカーに模し、写真-3に示すよう加熱切断部をセメントミルク内に埋設後、P C鋼線4本の一括切断実験を実施した。実験結果は、大気中と同様に良好な切断結果を得た。

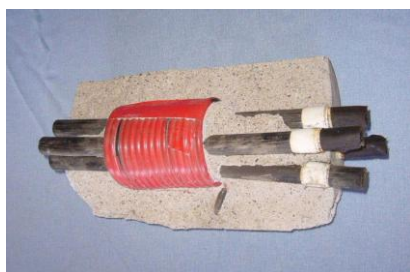


写真-3 モルタル内での切断実験

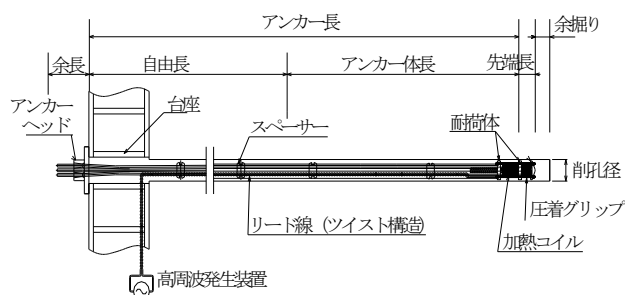


図-8 鋼製耐荷体アンカー

a) 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、養生した。その後多サイクル性能試験等を行い所定のアンカー性能確認し、高周波誘導加熱切断を行った。

通電後P C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できた。



写真-4 高周波電流通電状況

5. 試験施工

(1) 試験施工その1

実施目的：施工性および長期信頼性確認

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

P C 鋼より線	φ 12.7	3 本組
アンカー長	14m	
耐 荷 体	鋼製 1 段	7 セット
緊 張 力	311kN	

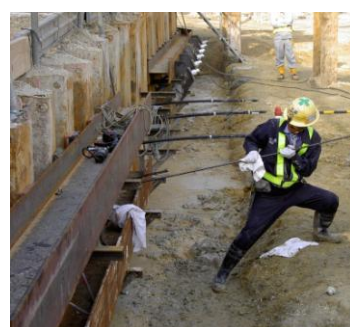


写真-5 人力による引抜き状況



写真-6 P C 鋼線切断端状況

b) 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4セット全て切断でき、高周波切断装置および耐荷体が長期信頼性を有することを実証した。

(2) 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

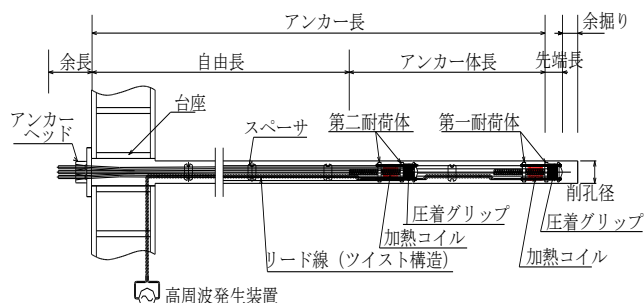
試験施工本数：3セット（コンクリート耐荷体確認）

2セット（長期信頼性確認）

① 鋼製耐荷体（単段および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

② コンクリート製耐荷体（単段及び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 $70\text{N}/\text{mm}^2$ を目標として製作した。写真－7、写真－8参照。

表－6 コンクリート製耐荷体概要

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－7 コンクリート製第1耐荷体



写真－8 コンクリート製第2耐荷体

a) 試験施工その2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PC鋼線を切断、除去した。PC鋼線間の切断時間ばらつきはほとんど無く、各アンカーを切断できた。切断時間は以下のとおりである。

- ・鋼製1段式 72秒
- ・鋼製2段式 66秒
- ・コンクリート製2段式 66秒

また、PC鋼線は人力での引抜き除去が可能であった。写真－9参照。



写真－9 人力による引抜き状況

b) 長期信頼性試験（試験施工その2）

長期信頼性確認のため、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、アンカー設置11ヶ月後、切断・撤去した。鋼製2段耐荷体（PC鋼線4本）は72～79秒で切断できた。コンクリート製耐荷体（PC鋼線3本）は72～78秒で切断できた。本施工により当該形式の耐荷体が長期信頼性を有することを実証した。尚、切断装置の耐久性中間確認として定期的に導通・絶縁測定を行い、全数が線間零Ω、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であった。

6. IH除去式アンカー現場施工にあたって

今後、高周波誘導加熱（IH）除去式アンカーを現場適用するにあたり、耐荷体部を鋳物製（FCD）とし、量産効果によるコストダウンを図った。鋳物製耐荷体は単体で極限载荷テストを行い、耐荷体性能確認をした。また、鋳物製2段耐荷体による载荷性能試験を行い、従来の鋼製耐荷体と同等の性能であることも確認した。鋳物製耐荷体を写真-10に示す。

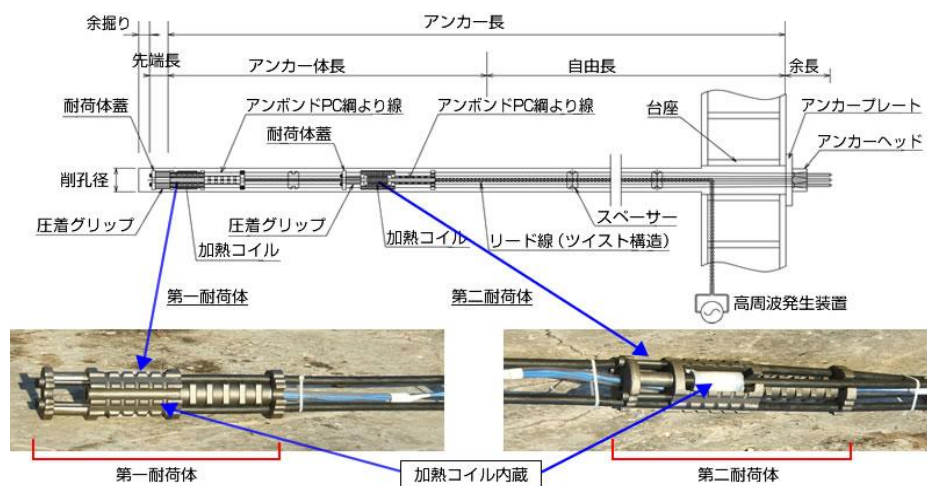


写真-10 鋳物製耐荷体

現在、鋳物製耐荷体によるIH除去式アンカー（PC鋼線総数 55 本）を建築作業所の仮設山留め材として建込んでおり、（写真-11 参照）2009 年 12 月に撤去予定である。結果については追って報告したい。



写真-11 FCD 耐荷体の建込み状況

7. 本研究開発のまとめ

各種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な実用性、耐久性を有していることが証明できた。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。
- ②IH除去式アンカーは耐荷体でシーブ加工の必要がないので、PC鋼線許容荷重の低減（シーブ加工すると 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須であったが、本方式では人力での引抜き除去が可能である。

- ④従来方式（往復式）では除去したPC鋼線に螺旋状の癖がつき、引抜き後の収集・運搬に課題が有った。本方式ではPC鋼線が直線的に切断されるのでこれらの処理が容易である。
- ⑤アンカー体費用と除去費用を含めたトータルコストの低減が可能である。

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), 2003