

高周波誘導加熱を利用した除去式アンカー工法

堀崎 敏嗣・三浦 利浩・高橋 昌秀

高周波誘導加熱を利用した除去式アンカー工法とはIHクッキングヒータなどで使用される高周波誘導加熱技術を利用し、山留め壁などで使用し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を用いPC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PC鋼より線を人力で引抜き、除去できるようにした。

本報告では除去装置の原理や特徴、試験施工事例として1段式及び2段式耐荷体仮設アンカーの除去実施例を紹介する。本工法はKEK、高エネルギー加速器研究機構との共同開発である。

キーワード：基礎、グラウンドアンカー、除去式アンカー、高周波誘導加熱

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、土留め仮設工法としてグラウンドアンカー（以後アンカーと呼ぶ、図-1）が多用される。

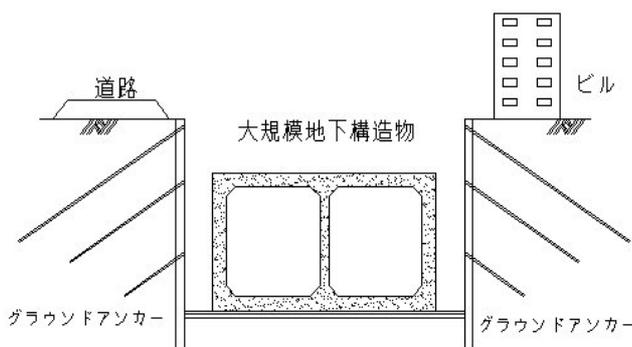


図-1 グラウンドアンカー概念図

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、構築後残置されたケースもあった。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、施工困難となった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ケースが多く、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。

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PC鋼より線（以後PC鋼線と呼ぶ）を往復させ、撤去時にPC鋼線のみを引抜き、除去する方法¹⁾（以後往復工法と呼ぶ）。概念図を図-2に示す。

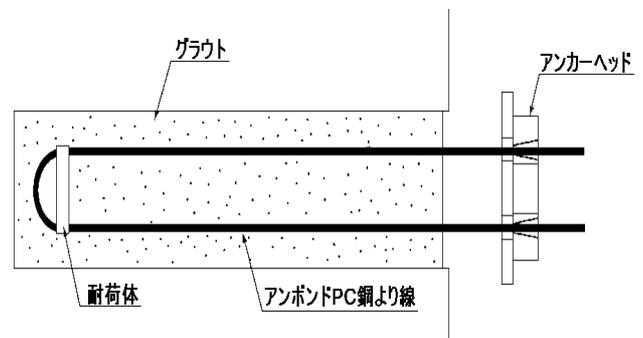


図-2 PC鋼線往復工法概念図

- ②PC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PC鋼線の拘束を解放し除去する方法¹⁾。

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抜く方法¹⁾。
 これら工法の中で、①が現在最も一般的に使用されている。

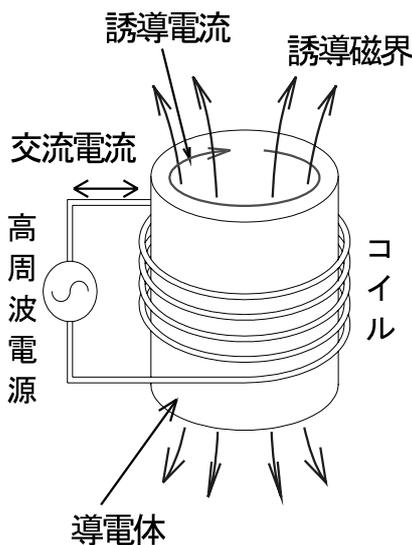
(2) 開発目的

本装置の開発目的は、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

本装置の基本原理の概略図を図—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 鋼線が発熱する事を利用するのが本装置の原理である。

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ヒータ等を利用した間接加熱方式より熱効率が良く、短時間で加熱することが可能であり、また炎も出ないので安全でもある。



図—3 高周波誘導加熱の概略図

(1) 共振周波数

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。

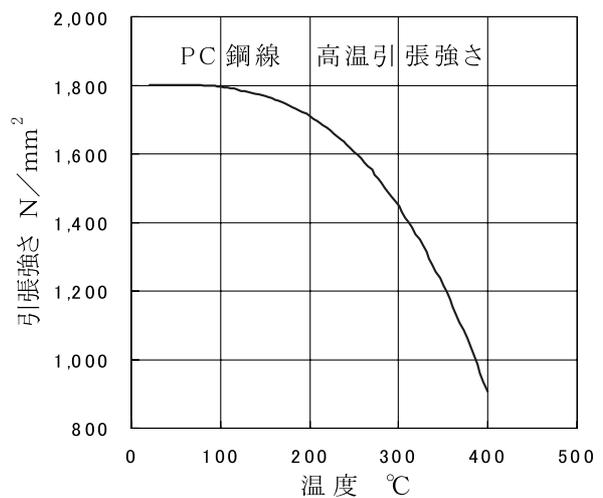
この事情を実験的に検証するために、PC 鋼線に加熱コイルを巻きつけるだけでも簡単な共振回路が形成されるかどうかの実験から実施した (写真—1)。



写真—1 PC 鋼線加熱状況

(2) PC 鋼線高温引張り強さ

PC 鋼線の引張強さは自身の温度に依存する²⁾。図—4に示すように常温から 100℃程度まではほとんど変化がないが、200℃以上になると急激に低下し、400℃ではほぼ50%にまで低下する。



図—4 PC 鋼線高温引張強さ

除去対象アンカーの緊張状態にある PC 鋼線に設置された加熱コイルに、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となる。

4. 加熱破断と温度上昇評価

(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被加熱物を極めて短時間に加熱することができる。高周波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)。

表-1 誘導加熱の条件

PC 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	15 kHz
周波数 2	22 kHz
周波数 3	30 kHz

その結果を図-5に示す。共振周波数に対応する22 kHz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15 kHzと30 kHzではそれぞれ150秒および170秒を要した。

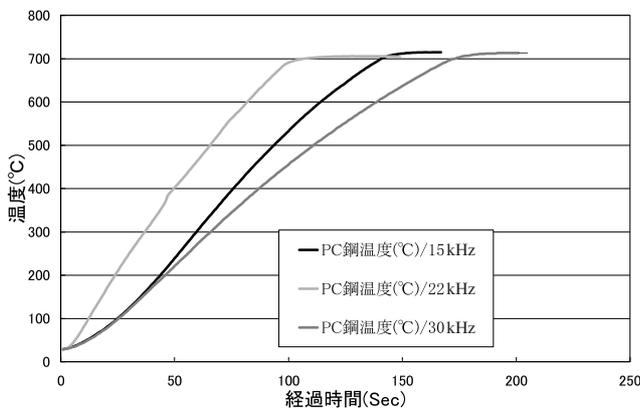


図-5 周波数別温度上昇実験

すなわち、本方式の場合、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) 加熱切断実験

油圧ジャッキで単線 PC 鋼線に 50 kN 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 鋼線切断実験を行った(表-2)。

荷重・温度-時間の変化を図-6に示す。PC 鋼線は高周波誘導加熱開始後23秒、約420℃で破断した。

表-2 誘導加熱切断の条件

PC 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

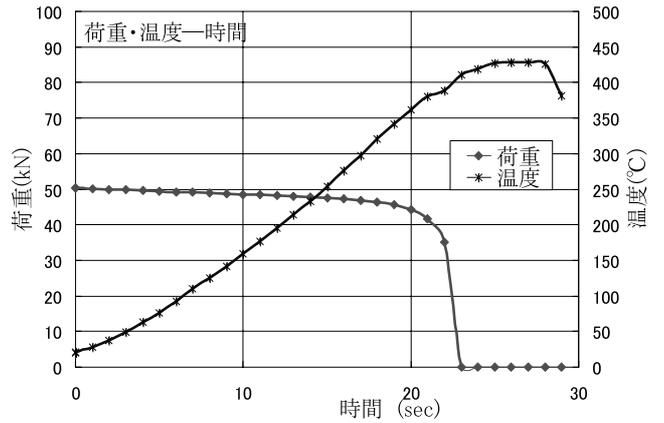


図-6 荷重・温度-時間

(3) 実機モデルでの加熱実験

加熱実験に用いた実機モデルを写真-2に示す。本ケースでは緊張力を与えず、PC 鋼線3本、摩擦棒の誘導加熱温度上昇状況を確認した(表-3)。

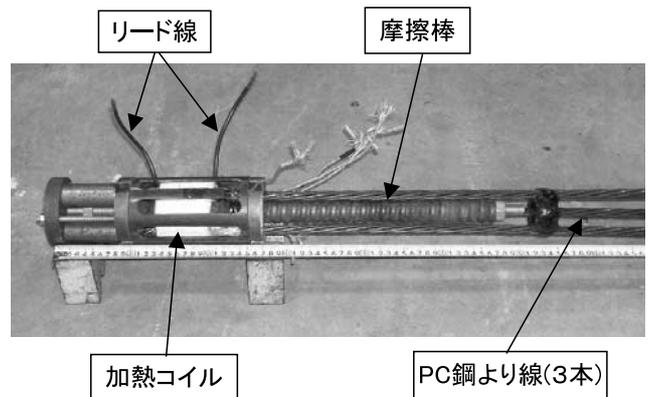


写真-2 実機モデル

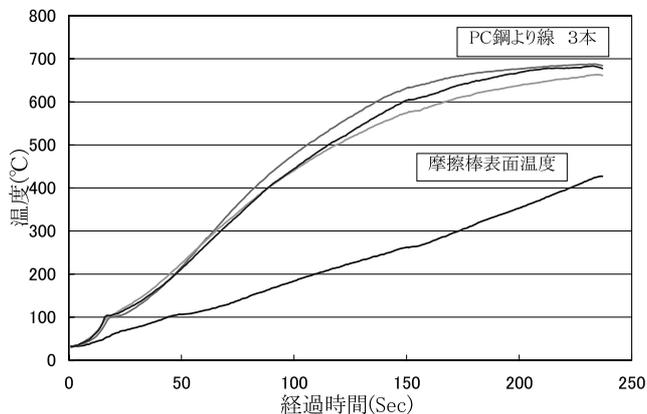
表-3 誘導加熱の条件

PC 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PC 鋼線、摩擦棒の表面温度計測結果を図-7に示す。

PC 鋼線温度は3本ともほとんどばらつきがなくほぼ同時に550℃まで急激に温度上昇している。

実機モデルでは加熱切断実験で得られた切断温度



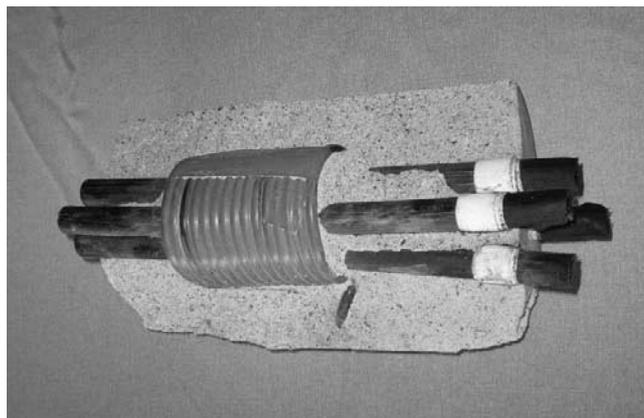
図一七 部材別温度上昇結果

420℃までの到達時間は約90秒と伸びてはいるが、最大上昇温度は700℃弱でクリアしており、充分実用性を有していると判断できた。

(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、写真一三に示すように、加熱切断部をモルタル内に埋設後、PC鋼線4本同時切断実験を実施した。実験結果として、大気中同様良好な切断結果を得た。



写真一三 モルタル内での切断実験

5. 試験施工

(1) 試験施工その1概要 (表一四, 図一八)

実施目的：本工法の有効性及び長期信頼性の確認

実施時期：平成18年11月

試験施工現場名：中日本高速道路㈱

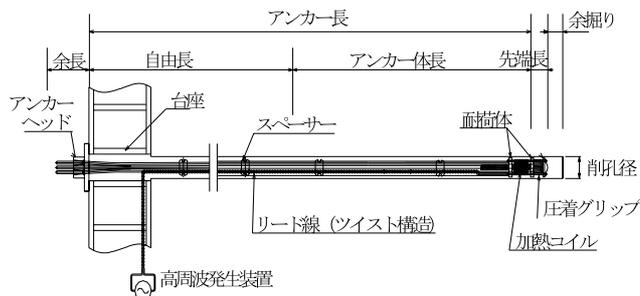
東名阪自動車道 植田南工事

試験施工本数：7セット

内 長期信頼性分 4セット

表一四 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



図一八 鋼製耐荷体アンカー概念図

(2) その1 試験施工結果

アンカーの設置は従来同様の施工法で設置、養生し、多サイクル確認試験等で所定のアンカー性能確認後、高周波誘導加熱切断・PC鋼線除去を行った。

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、異常がないことを確認後、切断装置に共振周波数の高周波電流を通電した (写真一四)。



写真一四 高周波電流通電

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なく、30～40秒で3セットすべてのアンカーを切断。

③ PC鋼線除去

切断後、人力にてPC鋼線引抜きを実施 (写真一五)。

④ PC鋼線切断箇所状況

引抜き後の確認でPC鋼線切断箇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 (写真一六)。



写真一五 人力による引抜き状況



写真一六 PC鋼線切断状況

(3) 試験施工その2 概要

実施目的：コンクリート製及び2段式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

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：5セット

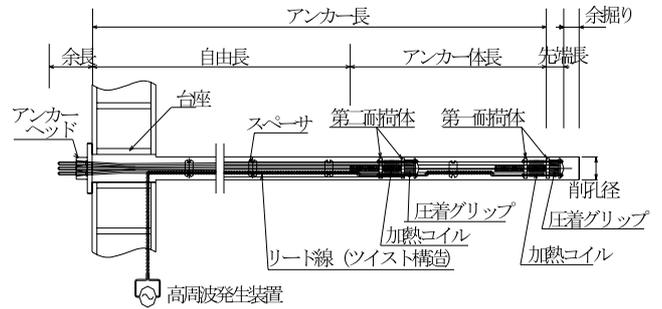
内 長期信頼性分 2セット

①鋼製耐荷体 (表一5, 図一9)

②コンクリート製2段耐荷体 (表一6)

表一5 除去式アンカー①概要

PC鋼より線	φ 12.7 2本組
アンカー長	12 m
耐荷体	鋼製1段1セット, 2段2セット
緊張荷重	200kN



図一9 鋼製2段耐荷体アンカー 概念図

表一6 除去式アンカー②概要

PC鋼より線	φ 12.7 2本組
アンカー長	12 m
耐荷体	コンクリート1段, 2段各1セット
緊張荷重	200 kN

(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

加熱コイルに共振周波数の高周波電流を通電。

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なく, 以下の時間で各アンカーを切断。

- 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

③PC鋼線除去

切断後, PC鋼線を人力にて引抜き, 除去完了。

(5) 長期信頼性試験

その1は鋼製1段耐荷体4セット, その2は鋼製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, 各作業所の工程に合わせ, 設置後おおむね1~2年後, 切断・除去予定である。完了後, 再度報告したいと考えている。

なお, 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、フィールド試験施工により十分に実用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従来の除去式アンカー（往復工法）はPC鋼線が偶数本の構成に限定されるが、本方式では奇数本でもよく、最適経済設計が可能である。
- ②往復工法除去アンカーのように耐荷体でループ加工の必要がないので、PC鋼線許容荷重の低減（ループ加工すると-10%程度）がなく、経済設計が可能である。
- ③PC鋼線の引抜き時に、従来はウインチ等が必要であったが、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ノングリスタイ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、環境負荷も小さくなる。
- 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。

7. 謝辞

工法開発にあたり高エネルギー加速器研究機構、吉岡正和、竹田繁、松本浩の各教授よりご指導をいただき、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。 JCMMA

- 1) ㈱日本アンカー協会：グラウンドアンカー施工のための手引き書、P.119 (2004)
- 2) 神鋼鋼線工業(株)：神鋼のPC鋼線、[44], P.56

【筆者紹介】



堀崎 敏嗣 (ほりさき としじ)
飛鳥建設株式会社
技術研究所 第三研究室
メカトロニクスグループ 担当部長



三浦 利浩 (みうら としひろ)
飛鳥建設株式会社
名古屋支店 東名阪植田南作業所
課長



高橋 昌秀 (たかはし まさひで)
飛鳥建設株式会社
関東土木支店
高エネ研ニュートリノ T2K 作業所
主任