

地中障害物撤去の新技术・新工法の開発

A-CR 工法

衣笠 正 則・井 上 雅 弘

A-CR (Absolute CRushing) 工法 (以下「本工法」という) は、硬質地盤用オールケーシング工の掘削の確実性とコンクリート圧碎機の圧碎力とを融合させた、低騒音・低振動で、安全に、環境にも配慮しつつ、汎用的に、鉄筋コンクリート、各種杭材等の硬質な地中障害物を速やかに撤去する新技术である。

本稿ではその基本的な装置構成および特長といくつかの最近の施工事例を紹介する。

キーワード：地中障害物撤去、ケーシング、圧碎機、低騒音・低振動、鉄筋コンクリート、橋梁基礎、ケーソン、ポンプ場

1. はじめに

平成 26 年度にインフラ長寿命化計画 (行動計画) が策定され、各種構造物の点検・診断／修繕・更新が進んでいる。

その背景には、例えば現在の我が国の橋梁において約 15 万橋 (橋長 15 m 以上) の橋梁のうち戦後間もない 1950 年までに架設された道路橋は約 5,000 橋に過ぎず、残りの 97% は自動車の普及に伴って近代的な道路整備が本格化した高度経済成長期以降であるため、1995 年には 1 万橋に満たなかった橋齢 40 年以上経過した道路橋は 2005 年に 2.5 万橋、2015 年には 6.4 万橋にまで急速に増え続けており、また、直轄国道で定期点検を実施した橋梁のうち、橋齢 40 年以上の約 5,000 橋の分析の結果、早急な補修が必要な橋梁が 45% に上り、半数近い橋梁に早急な補修が必要な損傷が報告されているなどの現状がある。

更に、90 年代半ば以降、阪神淡路 (1995)、鳥取県西部 (2000)、新潟県中越 (2004)、東日本 (2011)、熊本 (2016) と震度 7 に達する大地震がほぼ 5 年に一度の割合で、想定を超える広い範囲で発生している現状があり、全国的な構造物の耐震化は急務であり、補修・補強で対応できる範囲を超え更新を選択する事例も増えるものと予想される。

また、年々施工難度の高まっていることを実感する現場の感覚からいっても、上記のように今後増加する高度経済成長以降の当時の技術革新と共に頑丈になった構造物の撤去は、それ以前の構造物よりも撤去時の施工難度が高まることも必至である。

こうした現状において、全国各地でいよいよ本格化しつつある長寿命化計画における各種構造物の更新工事に向け開発した、低騒音・低振動で、安全に、環境にも配慮しつつ、より汎用的に硬質な地中障害物を速やかに撤去する本工法のいくつかの施工実績について報告する (写真—1)。



写真—1 本工法

2. 現在の地中障害物撤去工の問題点

まず、現在行われている地中障害物撤去工とその課題について俯瞰する。

(1) ケーシングの回転方法による分類

撤去対象が比較的深層にまで及ぶ地中障害物撤去工においては、一般的に確実な方法として、ケーシング回転掘削工法が採用される。同工法は、場所打ち杭造成技術の主流であり、ケーシング下端のタングステンカーバイド製の超硬ビット（写真—2 参照）により対象を切削することができること、また切り出した障害物の撤去の際の孔壁の保護ができることから、地中障害物撤去工に最も技術的に近接した機械設備であるといえる。

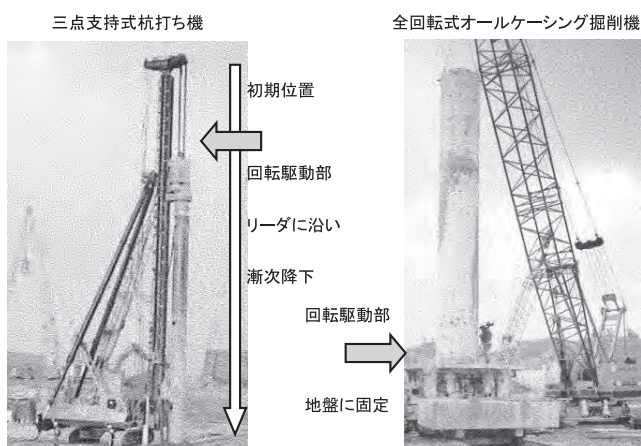
そして、ケーシング回転掘削による方法は、概ね以下の2つのタイプがある（図—1 参照）。

①三点支持式杭打ち機（アースオーガ）スタイルの掘削機により回転するタイプ

杭打ち機のリーダーに装着した回転駆動装置（減速機）によりケーシングを回転させ、掘進と同時にケーシング上部と連結した回転駆動装置は降下する。



写真—2 ケーシングと先端の掘削ビット



図—1 ケーシングの回転方法による分類

②全回転式オールケーシング掘削機により回転するタイプ

地盤上に定置・固定した専用の回転圧入装置により、ケーシングの回転と地中への押し込みを行う。

一般的に低騒音・低振動の掘削には、①の三点支持式杭打ち機をベースマシンとしたオーガ掘削機が多く用いられるが、鉄筋コンクリートの撤去などは、破砕片のスパイラルリフト式の排出（スクリュウに沿って杭上端まで螺旋状にせり上げて排出する）は抵抗が大きく困難であるため、障害物撤去に対する汎用性に欠ける。

また、①の方法による場合掘進直後は回転駆動装置がリーダーの上端に位置しており、杭打ち機の重心位置が高い。また、回転駆動装置が屹立した長いリーダーに装着される機械構成から、回転トルクはリーダーの強度に制限される。

従って、地表付近に硬質な対象が分布することもあり地中障害物撤去工では、掘削初期からケーシング回転の抵抗が大きく機械の重心位置が高い状態で大きな負荷が生ずる結果、重機の安定度が低く、転倒の危険性を孕んでいる。

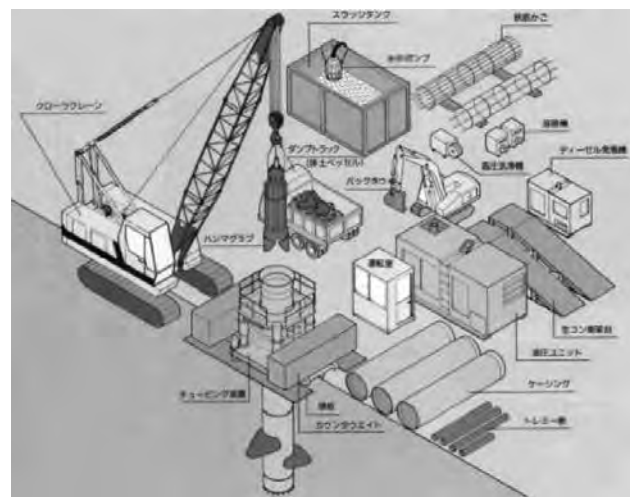
一方、②の全回転式オールケーシング掘削機による方法の場合、ケーシングの回転駆動部は、地盤に固定された一定の重心位置の低い状態で作業でき、安全性が高い。

以上のことから、市街地において硬質な人工障害物を撤去するに際しては、全回転型オールケーシング掘削機の適性がより高いと考えられる（図—2 参照）。

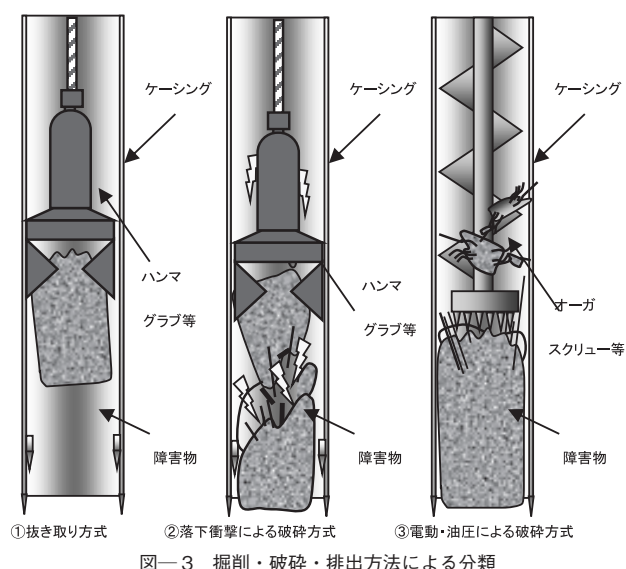
(2) 掘削・破砕・排出方法による分類

またケーシング内掘削（障害物排出）の方法により、

①抜き取り方式、②落下衝撃による破砕方式、③電動



図—2 障害物撤去に用いられるケーシング回転掘削工法の機械構成



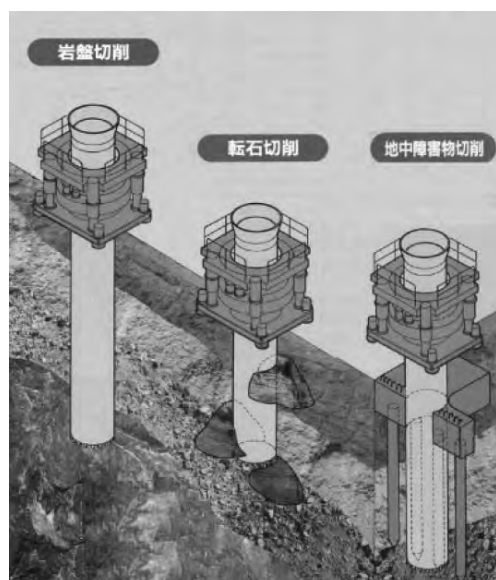
式もしくは油圧式（スクリー等による）掘削による破砕方式の3つのタイプに分けられる（図—3 参照）。

①抜き取り方式

硬質地盤や岩盤を掘削対象として開発された（図—4、写真—3 参照）全回転式オールケーシング掘削機を用い、ケーシング内壁側に取り付けた専用の切削ビットで障害物の周囲にリーミングを施し、ハンマグラブのシェルで把持して排出する方法がある。

更に近年では、ケーシングの回転圧入の際に、高圧のウォータージェットカットを用いて地盤と障害物との縁を切り、障害物を原型のままワイヤーをかけて、クレーンにより抜き取るなどの方法が行われている。

これらの方法は、撤去対象となる障害物がフーチングや床版、地中梁といった掘進方向に短い（薄い）場合には効率良く施工でき、そのような条件下で狭隘で



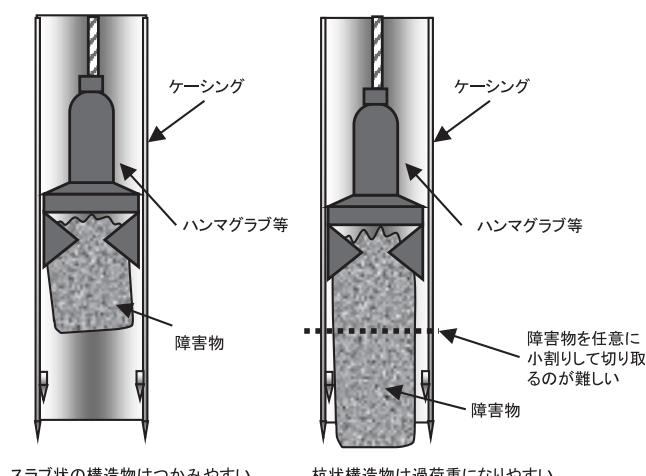
写真—3 ハンマグラブで破砕・把持した岩盤・転石

自由度が低いケーシング内の硬質な障害物の破砕作業を回避し作業の負荷を軽減することは、専用の掘削装置が無い状態では、合理的な方法である。

しかし一方で、杭形式の構造物のような掘進方向に長い対象では、ケーシング先端で障害物を水平方向に任意の位置で切断する、すなわち小割りにして排出することは困難である。掘削機の強い回転トルクを利用して対象を捻り切る方法等も用いられるが、つかみ出す大きさを任意に制御することは困難である（図—5 参照）。

その結果、ケーシング内の障害物を排出する重機に適した重量に分割できず、過負荷の作業が行われ引き抜きの際の吊りワイヤーの破断やクレーン転倒等の重大事故の危険要因が十分には排除できない。

従って、地中深くに及ぶ杭状（各種杭基礎・地中連



続壁)、平面的に広範囲で比較的浅い位置に分布するスラブ状(直接基礎・ケーソン・地中梁等)の構造が、同じ場所に複合的に階層を成して存在する多くの現場条件に照らせば、その適応範囲は極めて限定されたものとなる。

また、体積の大きいコアを一度に急激に地中から引き上げることで、ケーシング内部にピストン作用が起こり、外周の地下水を孔底から吸引する結果、地盤沈下や緩みの危険が生ずる。

更に特に工場跡地等の土壤汚染が生じているサイトにおいて、対象物の抜き取りを円滑化するために泥水や大量のウォータージェット等を使用することは、大量の水を使用することで汚泥、汚染水の処理量の増加につながり大量の産業廃棄物を発生させ、また市街地における敷地境界を越えた地下水の汚染の拡散等の原因とも成り得る。

以上のような複合的にリスクを孕む方法で、市街地や道路橋、鉄道橋等の既設構造物の近接施工を行うには、安全確保や環境保全の見地から懸念がある。

②落下衝撃による破碎方式

上記①同様全回転型オールケーシング掘削機を用いた一般的に「硬質地盤用オールケーシング工」と呼ばれる自然由来の硬質地盤や岩盤を掘削対象として開発されたハンマグラブの落下衝撃により掘削対象を破碎し掴み出す方法であり、施工の確実性により場所打ち杭の造成方法として広く普及しているが、近年騒音・振動のため市街地では使用できないなど、適用範囲が限定されている。

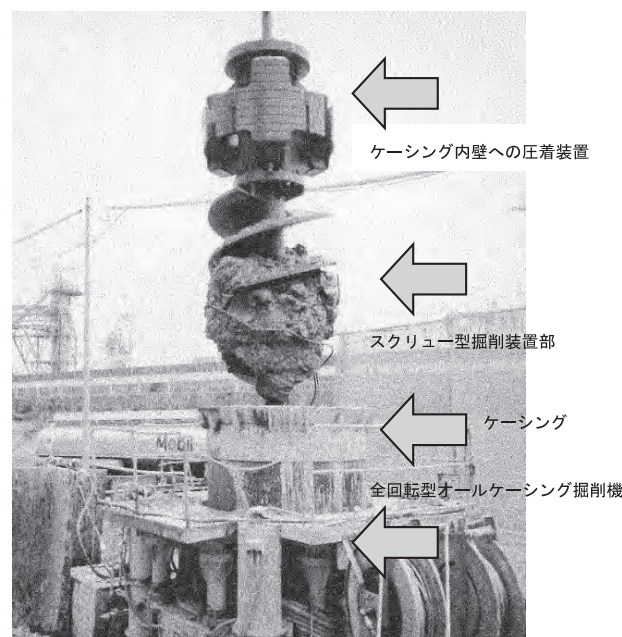
特に、ハンマグラブやチゼル等の落下衝撃による破碎は、本来人工構造物の撤去を想定したものではなく、対象が鉄の靱性により補強された鉄筋コンクリート等の場合には、落下回数が飛躍的に増加して騒音・振動が増大するため、効率に関わり無く市街地施工には馴染まない。

③電動もしくは油圧駆動による破碎方式

一般的な低騒音・低振動掘削の施工にはスクリーを用いるが、鉄筋コンクリート等の場合には、対象の破碎が困難であるとともに、破碎片のスクリーによる排出が困難である。

従って近年では、前記掘削機の強いトルクをケーシング内の掘削にも援用できるよう、ケーシング内壁に圧着する機構を持つオーガスクリュー型の掘削装置が実用化され成果を上げるようになった(写真—4参照)。

この方法によれば(主として)油圧駆動の掘削機のケーシング回転トルクと押し込み力により鉄筋コンクリートのような硬質障害物の低騒音・低振動の破碎作



写真—4 ケーシング内部に圧着する機構を持つオーガスクリュー型の掘削装置

業も可能であるが、鉄筋構造はその用途に応じて様々な方向に配筋されており、回転と押し込みというケーシングの駆動方向にのみ破碎力の印加方向が限定される方法では、破碎の効率向上が依然困難である。

以上のように、現在の地中障害物撤去工は、上記のような様々な施工上の課題を残したまま行われているのが実情である。

更に、近年比較的新しい耐震性の高い構造物の撤去に際しては、一層施工難度が高まりつつある。

このような条件下で工期短縮を実現しようとする結果、狭隘で多様な機能が密集した市街地施工を行う地中障害物撤去工に関するリスクは、更に増大していると考えられる。

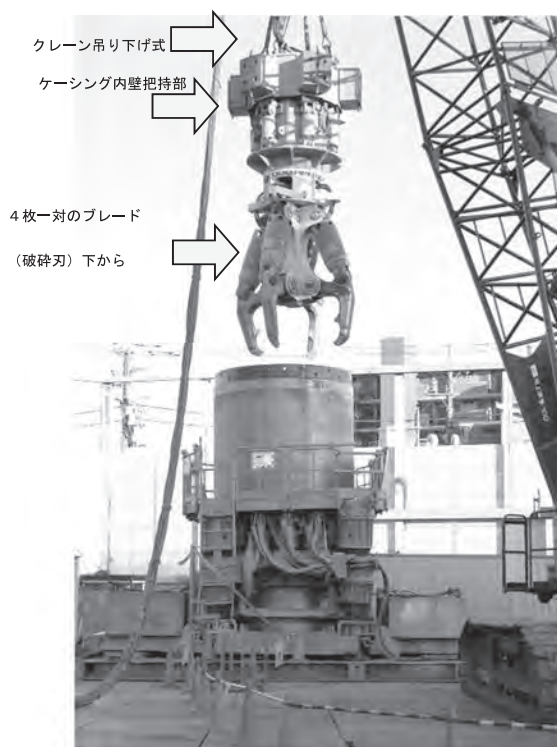
3. 新しい掘削機と施工方法(本工法)

—油圧圧砕機のケーシング内施工への適用—

本工法は、上記のような地中障害物撤去の状況を改善するべく開発された新しい工法である。

施工上の信頼性の高い「硬質地盤用オールケーシング工」と、地上の解体作業の低騒音・低振動施工に用いる油圧式圧砕機を組み合わせ、ケーシング切削で掘進しつつ、場所打ち杭、連続壁、鋼管杭等を落下衝撃による破壊力や、ウォータージェットカッタ等によらずに圧砕・除去する。

いわば、地上の鉄筋コンクリート等で確かな実績のある油圧式撤去工法を地中作業用に最適化したものである。



写真一5 本工法施工機 吊り下げ状況

従って、掘削装置としての操作性を求め設計された新圧碎機は、油圧ショベルのアタッチメントとなる従来機と大きく異なる下記の特徴がある(写真一5参照)。

- ①任意の深度に対応するため、ハンマグラブ等掘削装置と同様のクレーン吊り下げ式の装置である。
- ②ケーシング内壁に油圧グリップ機構で自身を固定し、圧碎作業の反力を確保する。
- ③圧碎と孔外排出を確実に行うために、4枚の圧碎刃が1対となっている。

4. 施工手順

また、その施工手順は以下のようになる(図一6参照)。

①掘削機据え付け

クローラクレーンにより、全回転式オールケーシング掘削機(以降 掘削機)を設置する。

②ケーシング挿入セット

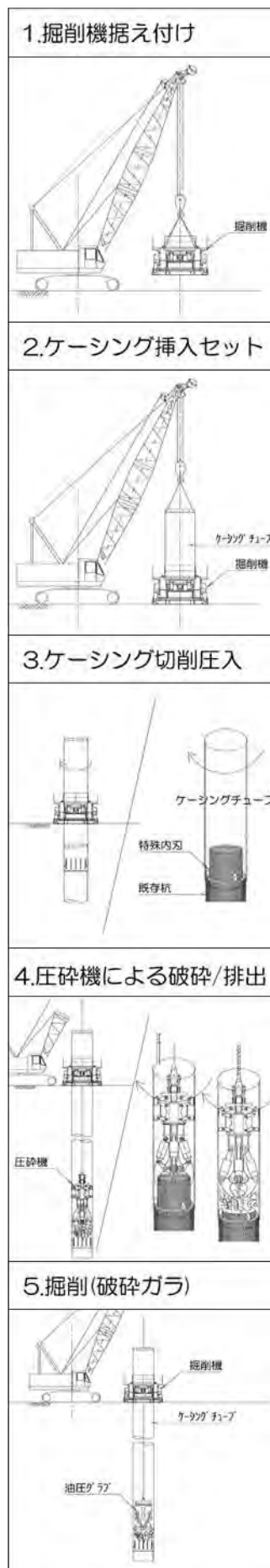
掘削機にケーシングチューブを挿入、セットする。

③ケーシング切削圧入

掘削機によりケーシングチューブを回転、切削圧入させる。

④圧碎機(A-CR 機)(以下「本工法施工機」という)による破碎

クローラクレーンに装備した圧碎機(本工法施工機)をケーシング内に挿入セットし、障害物を圧碎する。



図一6 A-CR 工法による障害物撤去工の施工手順

⑤掘削（破碎ガラの排出）

クローラクレーン装備を油圧式または機械式グラブに替え、圧砕した障害物をケーシング内より除去する。

5. 本工法の利点

上記機構と手順により行う本工法の性能は、ケーシング径 ϕ 1,500 ～ 3,000 mm 対応で実用化されて、その実績は、既に施工総本数 1,180 本、掘削総延長が約 22,500 m にも及んでおり、実地で以下のような効果が確認できている。また更に現在では、ケーシング径 ϕ 3,200 mm の施工に対応可能である（表－1）。

表－1 本工法施工機シリーズ諸元一覧（暫定）

A-CR 機 規格	全回転型オールケーシング掘削機規格	ケーシング 外径 (mm)	本工法施工機 アーム最大開 口径 (mm)	理論先端破碎 力 (kN)
A-CR1500	1500 mm 級	ϕ 1500	992 mm	1063
A-CR2000	2000 mm 級	ϕ 2000	1326 mm	1561
A-CR2500	3000 mm 級	ϕ 2500	1759 mm	2052
A-CR3000	3000 mm 級	ϕ 3000	2055 mm	3029



① 4 枚のブレードによる障害物のつかみ出しが可能で、クレーンによる装置の持ち替えが自在で、圧砕されたコンクリートと切断鉄筋の油圧グラブによる排出や底浚えも容易であり、障害物の形状や状態などに応じてフレキシブルな低振動・低騒音施工が可能である（写真－6、7 参照）。

② ケーシング内で圧砕でき、圧砕物が飛散しない。

③ 圧砕し所定の大きさで掴み取るため、杭 1 本を一度に引き抜き施工と比べ、掘削クレーン負荷を低減し安全で、ウォータージェットカッタ等も不要で環境負荷が低い。

④ 油圧圧砕機の圧砕力と、全回転式オールケーシング掘削機の強力な回転・押し込み力により、多方向の破碎力を加えることができ、高い靱性の鋼材で断面性能が高められた撤去対象を確実に破碎でき、既に鋼管杭の撤去や被災して傾斜した導流堤基礎の鋼管



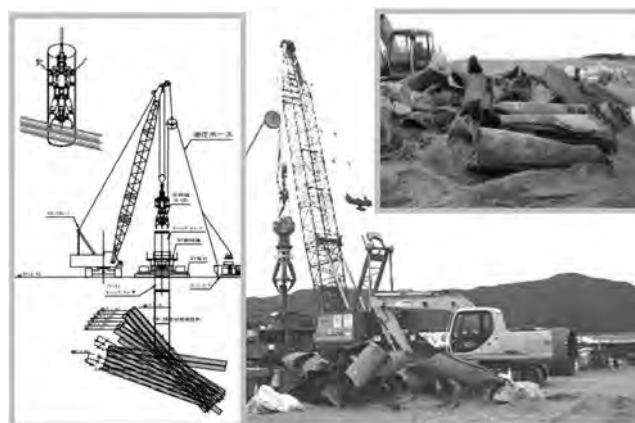
写真－6 本工法施工機による障害物の排出状況



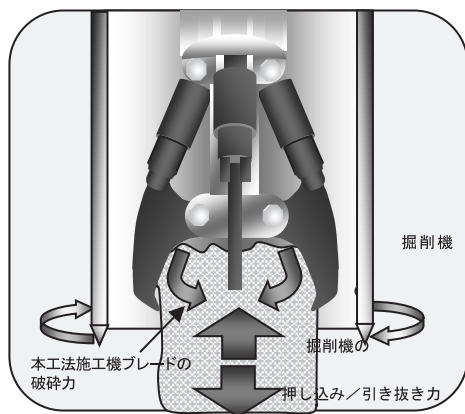
写真－7 油圧グラブによる障害物の排出状況



写真－8 本工法施工機による鋼管杭引き抜き状況



写真－9 導流堤鋼管矢板撤去状況 撤去された鋼管矢板



図一七 本工法の多方向の複合的な破砕力

矢板の撤去等の実績がある(写真一8,9,図一7参照)。以下いくつかの具体的な施工事例を紹介する。

6. 施工事例1—都市部のポンプ所更新工事

現在、資産集中や地下空間利用の進展等都市機能の高度化が極度に進んだ国内各地の大都市においては、地表の大部分がコンクリートやアスファルトで覆われており、近年のゲリラ豪雨の増加や台風の大規模化と進路の不安定化等に伴い、下水道の処理能力を超える雨水による市街地内の浸水被害は広域化・頻発化しており、浸水による都市の被害ポテンシャルはますます増大している。

その拡張し続けるリスクに対応するため、雨水ポンプ場の多くが建設後40～50年が経過し更新時期を迎えた多くの大都市においては、整備水準の向上等を視野に入れた浸水に強い街づくりが求められている。

しかし一方で、都市部では敷地に余裕がないところが多く、近隣の居住環境に配慮しつつ、また場合によっては、排水機能を維持しながら施工を行う必要がある。

そのような環境下で老朽化対策や地震対策を含めた再構築を早急に実現するには、低騒音・低振動で且つ確実な施工が求められているが、そのような厳しい制約条件下の現場において本工法は有効な施工方法である。

最新の事例では、3,000 mmのケーシング径で効率的に施工を行い、松杭、鉄筋コンクリート外壁や耐圧板、松杭など多様な素材や形状の障害物を確実に撤去することができることを確認した(写真一10～12)。

またケーシング掘削を行う本工法では、障害物を撤去する際、蜂の巣状にケーシングを配置するが、多様な形状の障害物を撤去するにあたっては、ケーシング刃先や本工法施工機のブレードの位置によって大きく施工効率が左右されるため、綿密な施工計画が必要と



写真一十 本工法施工機 φ 3,000 mm 級 吊り下げ状況



写真一十一 撤去された2mを超える鉄筋コンクリート



写真一十二 分別された鉄筋片

なる。

また、ケーシング掘削はその掘進(沈下)スピードが施工効率に大きく影響するが、対象物の硬さによりコンピュータ制御でビット荷重を変化させることにより、最適の効率で掘削を行うようにするばかりでなく、ケーシングビット折損による掘進不能などの問題

が生じない様、装置出力を最適に維持するようにしている。

なお、油圧駆動型の装置のみで構成された環境対策型工法であり、本現場では騒音が79.8 dB、振動が56.4 dBと基準値を大きく下回る施工が可能であり、近隣の居住環境に配慮した施工が行えることが確認できた（表—2）。

この油圧駆動装置のみで作業を行う低騒音・低振動施工の性能により、本工法は、都市部の夜間施工においても活用されている（写真—13）。

表—2 本工法の騒音・振動データ

騒音	施工地点から5mの測定	単位：dB	
	工事状況（測定条件）	L_{A5}	L_{Aeq}
	①暗測定	64.1	63.2
	②掘削機のみ（低負荷）	74.7	72.3
	③掘削機のみ（高負荷）	76.6	73.3
	④掘削機＋本工法施工機	79.8	75.7
	特定建設作業に係る規制基準値 [敷地境界における基準値]	85.0	

振動	施工地点から10mの測定	単位：dB
	工事状況（測定条件）	L_{A10}
	①暗測定	23.5
	②掘削機のみ（低負荷）	50.8
	③掘削機のみ（高負荷）	56.4
	④掘削機＋本工法施工機	47.9
	特定建設作業に係る規制基準値 [敷地境界における基準値]	75.0

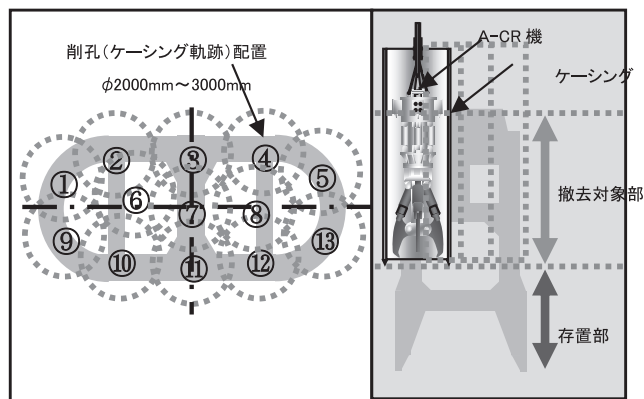


写真—13 本工法施工機の夜間施工

7. 施工事例 2

—河川内の橋脚基礎部の撤去工事

本工法は、河床の橋脚基礎部の撤去工事を行っているが、ケーソンなどの平面的に広範囲に広がる対象は、ラップ施工となる（図—8、写真—14、15 参照）。



図—8 ケーソン施工時のラップ施工概念図 平面図（左）断面図（右）



写真—14 某河川内の旧橋脚撤去の現場



写真—15 装置構成（左上）圧砕片集積状況（左下）
多様な圧砕片 1（右上）圧砕片 2（右下）

位置毎に障害物の形状や状態が異なるが、掘削位置を合理的に配置することで、最適化した施工を実施し確実に撤去を行っている。

しかし、今後橋梁の長寿命化計画が本格的に推進されると共に、老朽化した橋梁の更新工事が増加するものと考えられるが、河川内の非出水期に限定された工事期間内に仮設工で機械足場を確保し旧橋基礎部のような水上施工で撤去工事を完遂するのは難工事である。

本工法では既に、既設橋梁の基礎部の撤去工事を非出水期の限られた工事期間の中で行うにあたり、栈橋の急速施工方法である仮橋仮栈橋斜張式架設工法／LIBRA 工法（NETIS 登録番号 旧 KT-990222-VE 平成 28 年度推奨技術）による作業構台上から行う急速施工の実績を有している（写真—16）。

更にこの度、河川内の旧橋梁橋脚ケーソン部の撤去を行う際に、SEP 上からの施工を行うことができたので、その施工事例を紹介する（写真—17）。

一か所、最大約 L10 m × W10 m × H9 m のケーソンを、蜂の巣状に 49 ケ所の掘削孔を配置したラップ掘削により撤去を行った。

昇降能力 1,600 t 級の SEP 星都を用いてレグにより



写真—16 旧鉄道橋基礎撤去工事



写真—17 SEP 上から実施する本工法

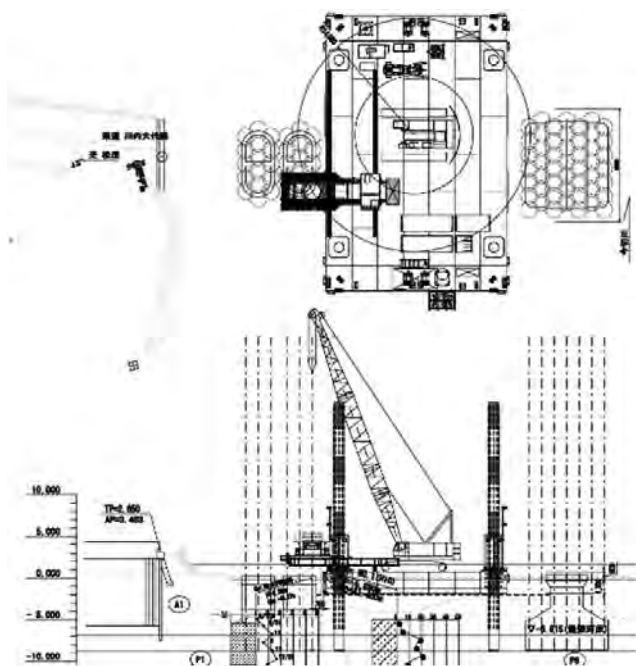
船体が固定できることにより、以下のような効果が得られている。

- ①仮栈橋が不要であるため、仮設工にかかる工期を短縮でき、また栈橋支持杭打設によって生じる近隣民家への振動・騒音を無くすることができる。
- ②河口に程近く約 1.7 m の潮位変動に影響を受けることなく撤去作業ができた。
- ③ 49 ケ所ものラップ掘削を行うにあたり、全回転式オールケーシング掘削機の走行レールを SEP 甲板上に長手方向に配置固定し、掘削機をスライドさせることで SEP の 1 シフトにつき一列 7 本全ての施工を行うことができ 7 回の SEP 移動で効率的に作業を行うことができた（図—9、写真—15）。

本来、硬質地盤用オールケーシング工をベースにした機械構成となる本工法では、まず、全回転式オールケーシング掘削機と相番クレーンが設置できる足場が必要であり、100 t を超えるクロウラクレーンや掘削機の強力な回転トルクの反力が提供できるような堅牢な足場を確保する必要がある。

換言すると、そのような構成に最適化した重機足場を迅速に確保する手段さえあれば、本工法では、三点支持式杭打ち機のような機械構成とは異なり、硬質地盤用オールケーシング工の構成で低重心の安全な施工を行うことができ、鉄道や道路橋の近接工事も安全に実施することができるようになる。

現在では、上記のように栈橋・SEP といった重機足場を施工条件に応じて素早く確保できるようにしたことで、本工法は現在、更にその用途を拡張している。



図—9 SEP 上の本工法の施工概念図

8. おわりに

今日、世界中で性急なグローバリズムへの反作用としての排外主義が急速に台頭する中においても、我が国の競争優位の源泉でもある各種工場などの優れた生産設備の「時宜を得た更新」が不可欠であることは、論を俟たない。

また、災害の世紀とも言われる今日、半世紀以上にも達する風雪に耐えた構造物の維持補修による長寿命化の推進は勿論のこと、刻々と変化する自然環境に最適化した機能追加、処理能力増強、多様な災害に対する全方位的な災害耐性の強化は喫緊の課題である。

その一方で、各種対策工事が行われるには、様々な技術分野で、夫々の現場が抱える固有且つ多様な条件下で確実な施工を行う技術の裏付けが必要となる。

本工法 A-CR 工法は、その中でも、地中に人工的に壊れにくく頑丈に作られた構造物を速やかに破碎し撤去するという矛盾したテーマに向き合う地中障害物撤去工の分野にひとつの解をもたらし、今もまた新しい

周辺の資機材との組み合わせにより施工の汎用性を更に拡張しつつあり、今後は各種の事業計画の推進に資することを期待している。

謝 辞

最後に、本工法 A-CR 工法施工機の開発に協力頂きました古河ロックドリル(株)殿をはじめ本工法に対して深いご理解を頂き本工法を採用頂きました工事請負者、発注者の関係者の皆様、また発展途上の工法の技術革新に、今もなお皆様にご尽力頂いている関係各位に感謝申し上げます。

J C M A

【筆者紹介】

衣笠 正則（きぬがさ まさのり）
（株）横山基礎工事
企画技術部
部長

井上 雅弘（いのうえ まさひろ）
（株）横山基礎工事
設計部
部長

