

厳しい施工条件を克服する圧入工法の開発 —GRB システム工法—

山口 日出男

GRB システム工法は、厳しい制約条件や複雑な現場条件下でも、周辺環境を保全し、かつ現状の機能を維持したまま杭を圧入施工する工法である。それを可能としたのは、既設杭の引抜抵抗力を反力として静荷重で杭を地中に貫入させる圧入原理の優位性である。圧入機を先頭に、システム化された専用機器が杭材の搬送、吊込み、圧入の全工程を既設杭の天端上で行う。そのため、工事の影響範囲を機械幅にまで極小化でき、水上、傾斜地、不整地、狭隘地、低空頭地における仮設レス施工を実現した。

キーワード：油圧式杭圧入引抜機、圧入工法、仮設レス施工、科学的な環境監視

1. はじめに

日本における建設機械のほとんどは、海外からの技術導入によって製品化されてきた。既製杭を地中に打込む施工機械（杭打ち機）の分野では、1951年にディーゼルハンマ、1960年にバイプロハンマが初輸入され国産化、高性能化の道をたどった。しかし、叩くか振動させるという施工原理は変わらず、杭打ち工事が発生させる騒音と振動によって、社会生活を豊かにするための工事で住民に建設公害を強いる結果となった。

1975年、杭施工の原理そのものを変革してこの問題を解決したのが、油圧式杭圧入引抜機（以下、圧入機）、サイレントパイラー（写真—1）である。

既設杭をつかんでその引抜抵抗力を反力とし、静荷

重で次の杭を地中に押込む全く新しい原理（以下、圧入原理）の実用化であった。地球に逆らうのではなく、地球と一体化しその力を利用することで、小さな機体から大きな力を発揮する。

この圧入原理の優位性こそが、複雑な現場条件と厳しい制約条件を克服する GRB (Giken Reaction Base) システム工法の根幹である。

圧入機は、数ある建設機械の中でも基本原理の発見から製品化までを、すべて日本で発案し実用化した純国産建設機械である。誕生から30年、環境に優しい施工技術は圧入工法 (The Press-in Method) として成熟し、日本はもとより世界の建設業界において、持続可能社会の実現に向け貢献している。

2. 圧入工法

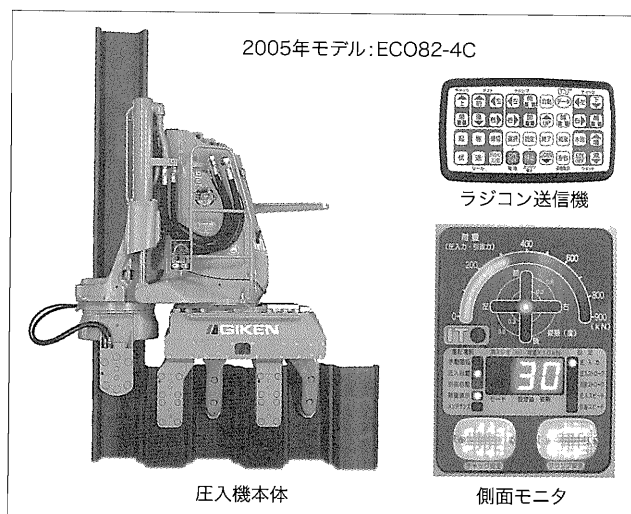
(1) シンプルな施工手順

圧入機本体は、地中に完全に押込まれた杭（完成杭）の天端を油圧でつかむ機構により、原理的に転倒する危険性がない。また、圧入する杭（圧入杭）においても施工地面に最も近い部分を把持しており、近接構造物や作業者に対しても安全である。

さらに、圧入杭を施工しながら完成杭上を前進する工程（自走）により、クレーンで圧入機本体を吊り移動することなく、シンプルかつ定格的な施工手順（図—1）を可能とした。

(2) 科学的な施工品質管理

圧入工法では、工場生産による均一な品質と保証さ



写真—1 圧入機サイレントパイラー

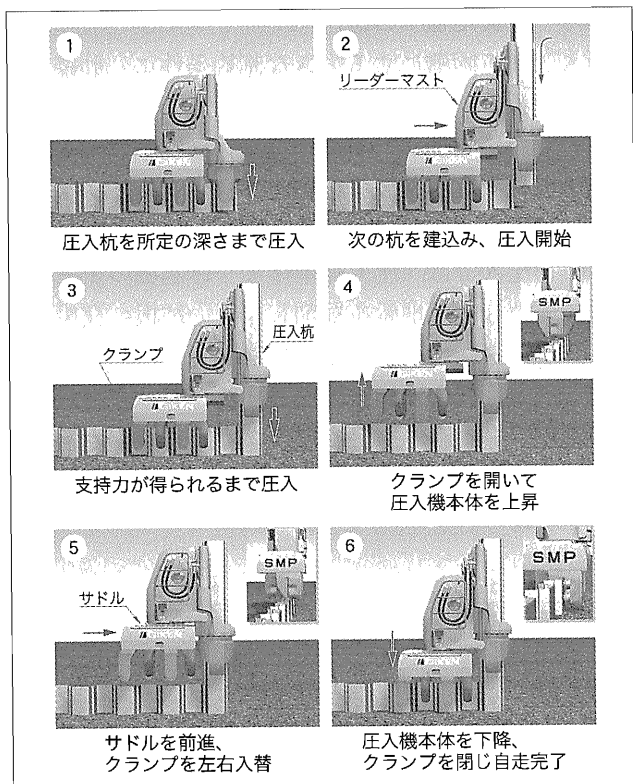


図-1 圧入工法の標準施工手順

れた強度を持つ既製杭を、現場で地上から直接圧入し構造物を構築する。一本一本の圧入杭には地盤の貫入抵抗に応じた大きさの静荷重（圧入力）が加えられ、周辺地盤をいたずらに乱すことなく、土を縦横に押しつけながら地中に割込み、水平方向と垂直方向のいずれにも強い完成杭がつくられる。

この圧入の仕組みと、杭の挙動を油圧で制御する機構により、施工品質を科学的に管理している（圧入管理システム）。圧入杭が施工されている最中の、

- ・ 圧入力
- ・ 引抜力
- ・ 周面摩擦抵抗値
- ・ 先端抵抗値
- ・ 杭の貫入深さ

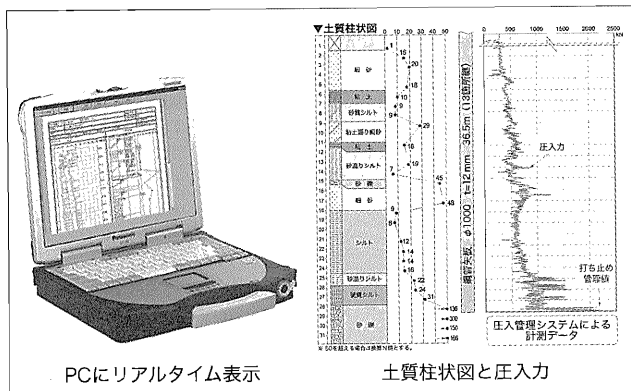


図-2 圧入管理システム

- ・ 圧入時間
- ・ 圧入スピード

などの圧入データを自動計測し、リアルタイムで記録・出力する（図-2）。

地中での異常を早期発見できるのはもちろん、施工中に完成杭1本毎の支持力が確認できることから、将来的には最終的な構造体としての性能を保証することも可能である。

（3） 各種圧入杭材への適用

実用第1号機から68.6 MPa（700 kgf/cm²）という、超高圧かつ大流量の油圧を採用している圧入機は、圧入能力を大きくしても機体は必要最小限の大きさに維持できる。この特長を活かし、工事目的や構造物の規模に応じて異なる杭の材質、形状、断面に対応する、各種杭材専用圧入機（写真-2）を開発した。

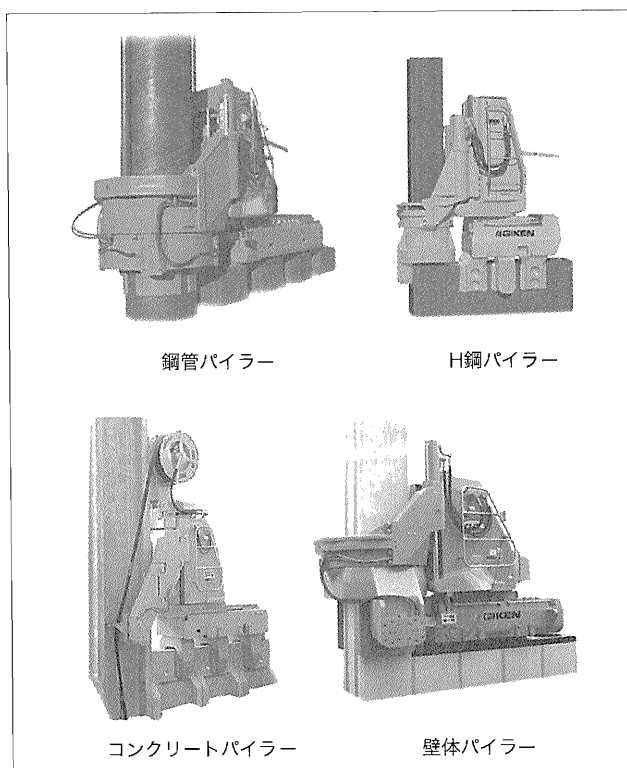


写真-2 各種杭材専用圧入機

鋼管パイラーは高強度で耐久性の大きい鋼管矢板（杭径φ500～1,500 mm）を圧入し、港湾工事や河川流域の洪水・高潮対策、橋脚の耐震補強や橋梁基礎（鋼管井筒）に適している。

H鋼パイラーは、高強度・高剛性でありながら壁体の厚さを薄く抑えたH鋼矢板を、大規模化、大深度化する都市部の地下構造物用として圧入する。

コンクリート製の壁体を工場生産することにより、現場での土留、掘削、型枠などの仮設工事をなくし、狭隘な場所でも急速施工を可能としたのがコンクリー

トパイラー（平形 500 mm，溝形 1,000 mm）である。壁体パイラーは，PC 壁体（□600～800 mm）専用の圧入機である。

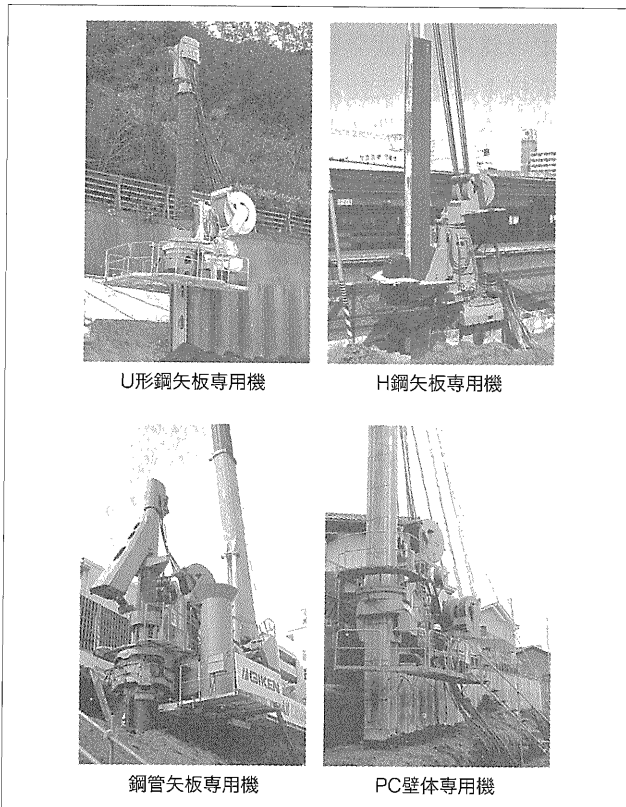


写真-3 クラッシュパイラー

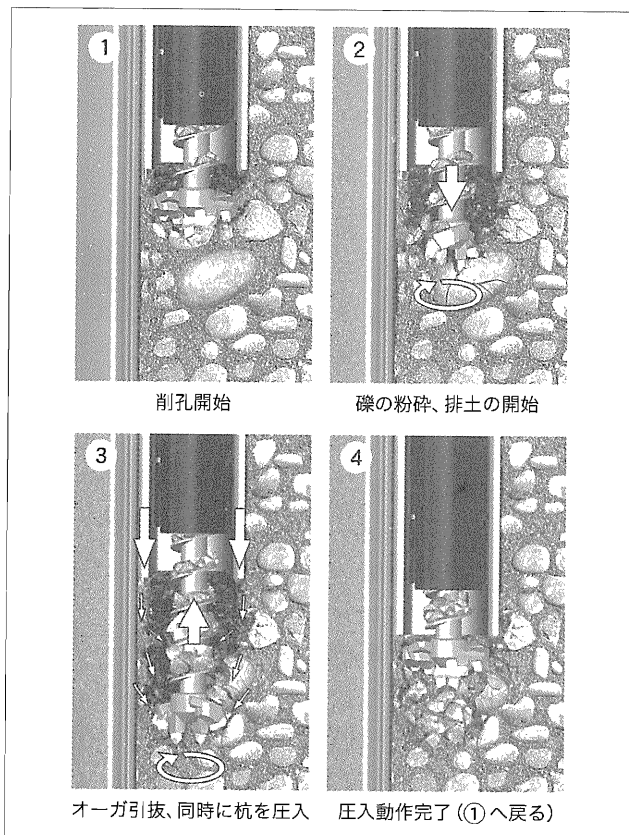


図-3 芯抜圧入（砂礫・玉石層）

（4）硬質地盤への適用

圧入工法を困難にする大きな制約条件に，砂礫・玉石層や転石・岩盤層などの硬質地盤があった。そこで，独自の「芯抜き理論」を実用化し，硬質地盤でも圧入工法の優位性を損なわず杭施工できるクラッシュパイラーを開発した（写真-3）。

芯抜き圧入では，圧入機本体と一制御のオーガ装置で杭先端の直下地盤を掘削し，圧力球根の発生を抑制したまま瞬時にオーガを引抜き，同時にその間隙を埋めるように杭を地盤へ貫入させる（図-3）。

掘削径は最小限で排土量は少なく，環境への配慮と貫入抵抗力の低減を効果的に両立できた（硬質地盤クリア工法）。

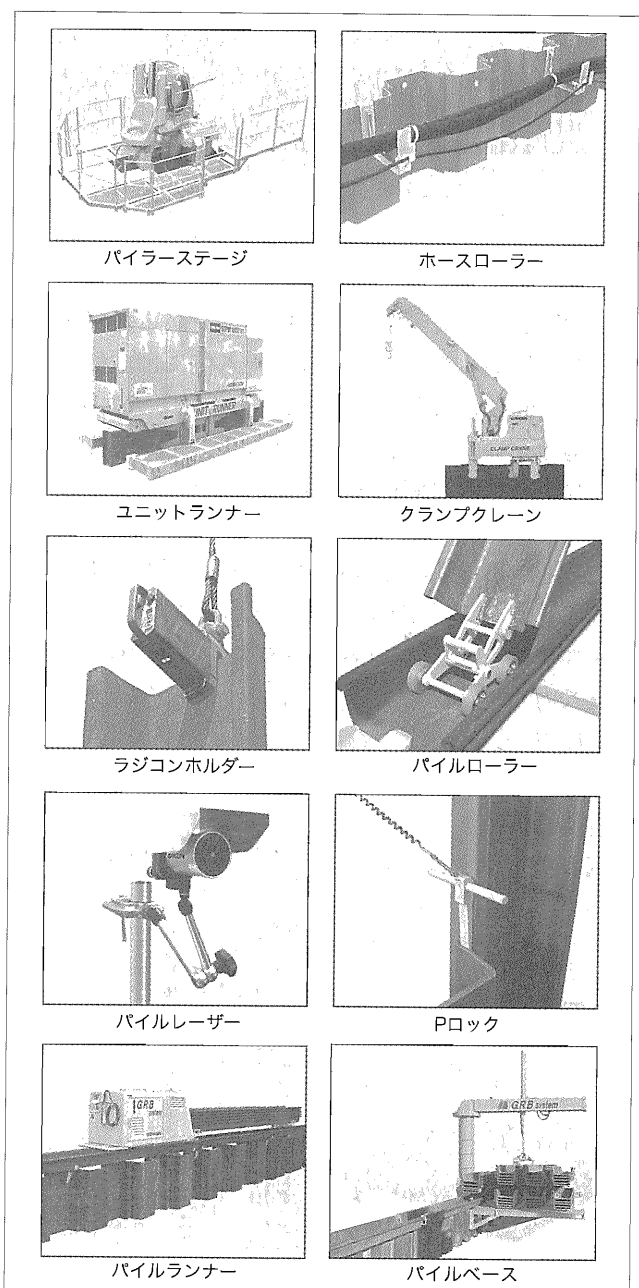


写真-4 システム機器

(5) システム機器の充実

圧入機が誕生以来有している公害対処・環境配慮という素性は、業界初となる生分解性油脂（パイラーエコオイル/グリース）の標準採用や、資源を浪費せず環境に負荷を与えない環境配慮設計の徹底により進化させてきた。しかし、都市再生プロジェクトの多くは、複雑な現場条件と厳しい制約条件下で、周辺環境を保全し都市機能を維持したまま工事の目的を達成しなくてはならない。

洪水対策としての水辺環境の整備、幹線道路や鉄道の拡幅、老朽化した橋の架替え、駅前再開発に伴う立体交差や地下道の建設、密集市街地でのインフラストラクチャ整備、橋脚の基礎や鉄道法面の耐震補強などである。

これらのプロジェクトにおいて、「建設の五大原則（環境性、安全性、急速性、経済性、文化性）」を遵守するため、杭工事全体をシステム化する種々の専用機器を開発した（写真—4）。

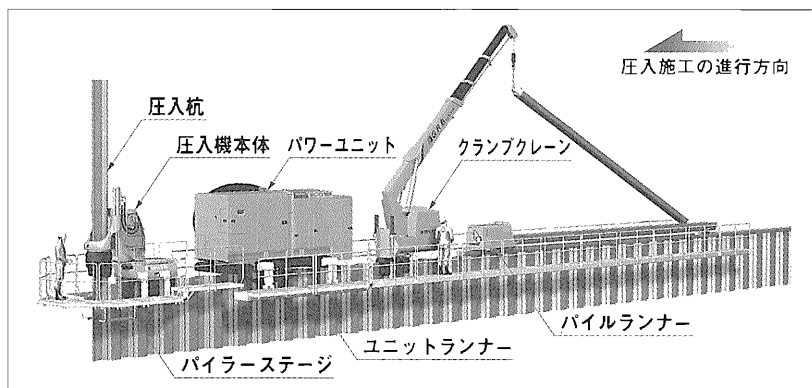
圧入原理の優位性と先進の機械技術の融合により、圧入工法はあらゆる条件下での都市再生プロジェクトに適用可能となった。

3. GRB システム工法

圧入機は既設杭に反力を求め、その天端を自走しながら作業を進める。この施工原理を発展させ、圧入杭連続壁体を構築する全工程を既設杭上で完了する施工技術、それが「GRB システム（Giken Reaction Base System）」である。杭の搬送、吊込み、圧入を、すべて杭天端を作業軌道として行う。これにより、工事の影響範囲を杭上の施工機械幅のみにまで極小化できた。

(1) GRB システムの基本構成

GRB システムは、圧入機本体と作業足場であるパイラスステージ、圧入機の動力源パワーユニットとそ



図—4 GRB システムの基本構成

の移動装置ユニットランナー、杭を吊込むクランプクレーン、作業基地から杭を搬送するパイルランナーを基本構成とする（図—4）。

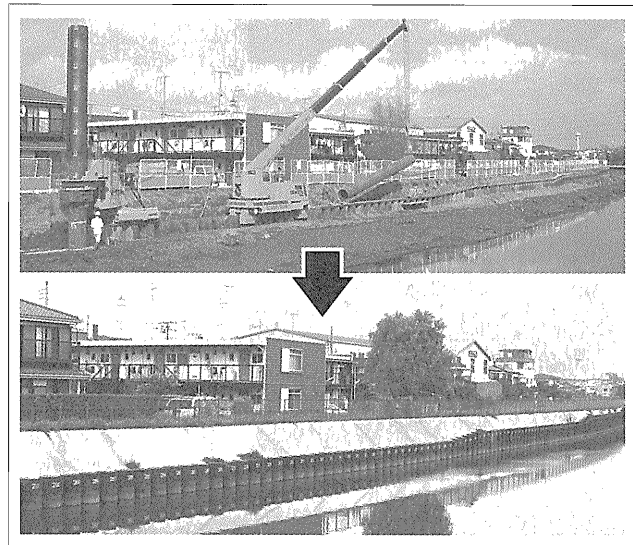
クランプクレーンは、吊り能力で2.9tから160t級までの機種が揃っており、適応する杭材も圧入機のバリエーションに準じたものとなっている。

(2) 仮設レス施工を実現

従来の杭打設工法では、杭打ち機の他にも関連工事車両が必要であり、現場条件によっては大掛かりな付帯設備や仮設工事が欠かせない。一方、GRB システム工法は、施工空間や施工地盤の制約をほとんど受けない。したがって、水上、傾斜地、不整地、狭隘地、低空頭地においても仮設栈橋や迂回道路は不要であり、本来の目的である壁体構築工事だけを合理的に行う「仮設レス施工」を実現した（写真—5）。

それによって工事における環境負荷を大きく低減させ、各方面から高い評価を受けている（表—1）。

GRB システム工法では、克服すべき制約条件の特性を強調した、個別の工法名称を設定している。



写真—5 仮設レス施工による護岸構築

表—1 GRB システムの受賞歴

GRB システムの受賞歴	
・2000年4月	日本機械学会賞（技術）/ （社）日本機械学会
・2001年5月	日本建設機械化協会貢献賞/ （社）日本建設機械化協会
6月	環境賞「優良賞」/ （財）日立環境財団、日刊工業新聞社
・2002年2月	高知エコ産業大賞「特別賞」/ 高知エコデザイン協議会
3月	中堅・中小企業新機械開発賞/ （財）機械振興協会

(3) 水上施工（ノン・ステージング工法）

洪水対策や地震対策などで護岸改修の緊急性が高い地域ほど、周辺には文化施設や住宅が密集し工事の難易度も高い。そこで、流下断面内に工事用施設を一切設置しないノン・ステージング工法により、水上施工が多い河川工事で、建物が近接して工事用地が狭い現場でも河川の流路を阻害せず、近隣住民の日常生活にも影響を及ぼさずに工事を遂行する（写真—6）。

(4) 傾斜地施工（ノン・ステージング工法）

都市の急速な発展に伴う幹線道路の拡幅工事や鉄道の耐震補強工事などにおいて、作業用地が傾斜地や不整地であってもノン・ステージング工法は仮設足場を

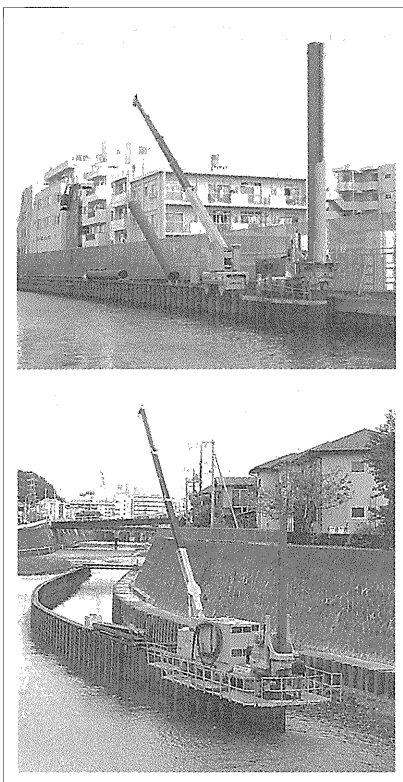
必要とせず、現況の交通環境を維持したままで工事を遂行する（写真—7）。

(5) 狭隘地施工（狭隘地クリア工法）

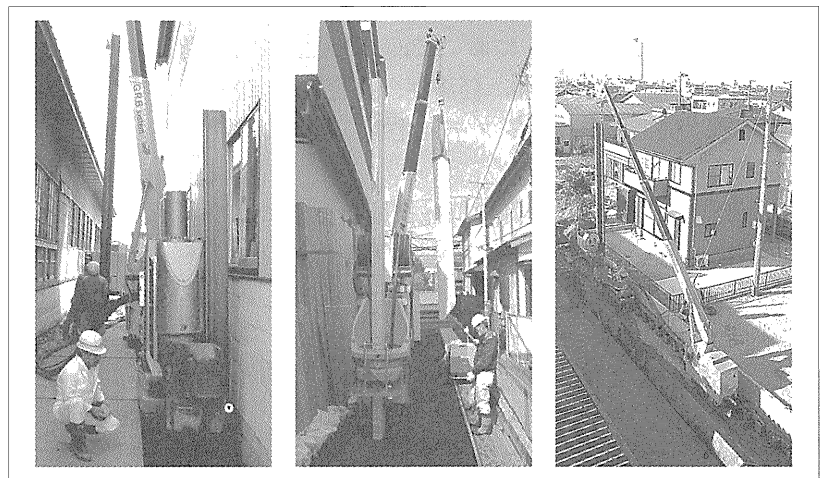
急激な都市化が進む中、工事用機械の進入できない路地裏や、道路封鎖の影響が大きすぎて着工できない区域などが、開発計画から取残されたままになっている。そういう、側方領域が著しく制限された施工環境でも、狭隘地クリア工法なら下水道や遊歩道の敷設工事などを計画通り遂行できる（写真—8）。

(6) 近接施工（ゼロクリアランス工法）

敷地を最大限に活用したい建築工事や、狭隘な施工



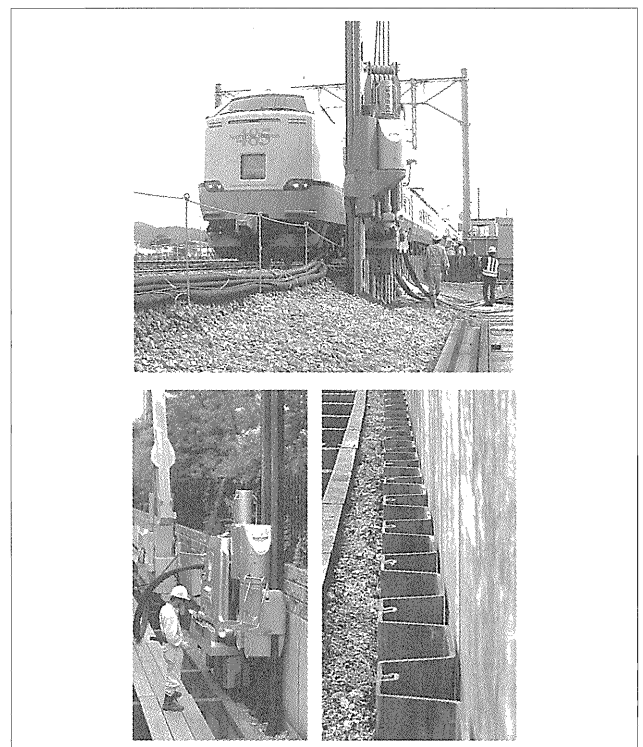
写真—6 ノン・ステージング工法
（護岸改修）



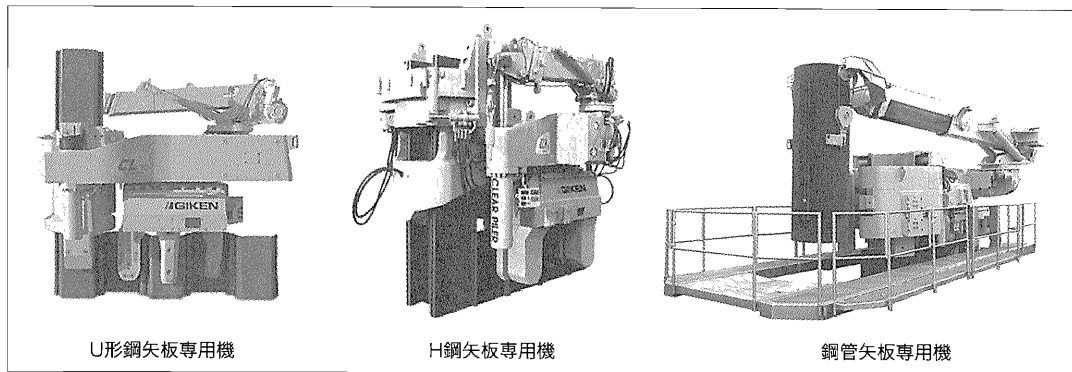
写真—8 狭隘地クリア工法



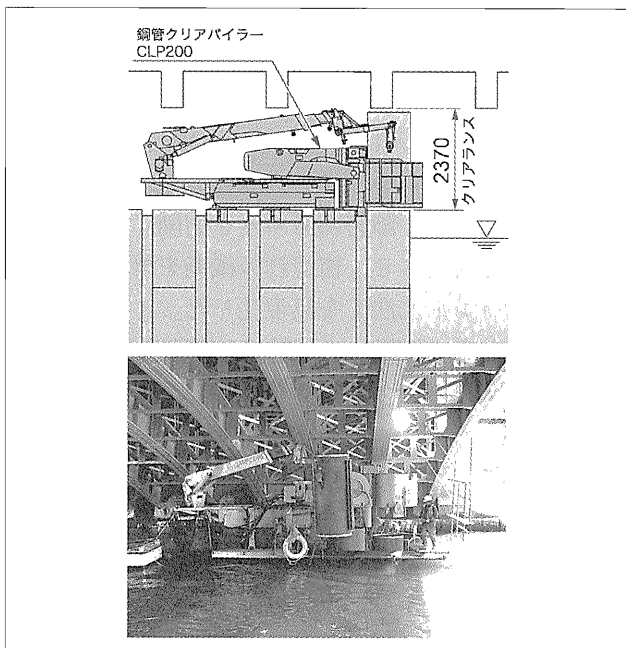
写真—7 ノン・ステージング工法（道路拡幅）



写真—9 ゼロクリアランス工法



写真—10 クリアパイラー



写真—11 上部障害クリア工法（橋梁耐震補強）

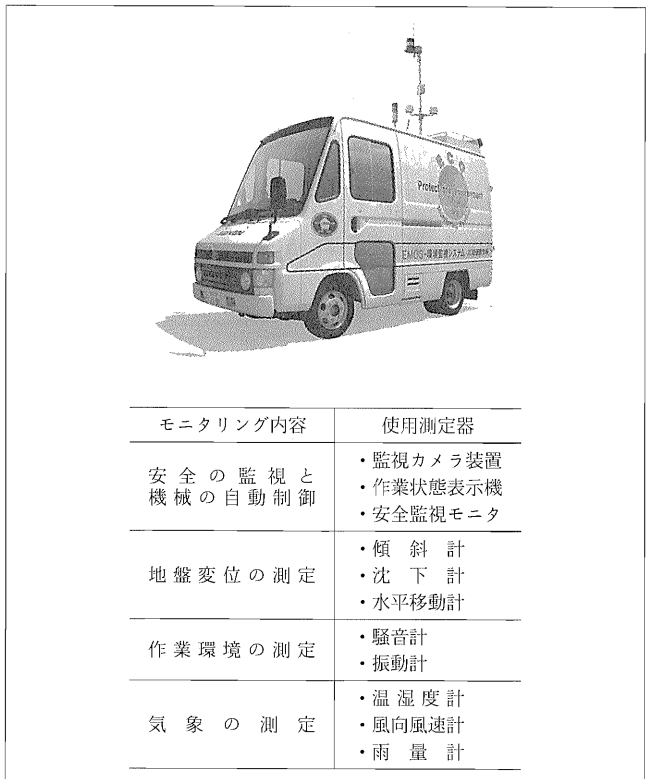
環境に高い安全性が求められる鉄道近接工事などで、隣接構造物や建築限界に隙間ゼロで圧入施工ができるのがゼロクリアランス工法である（写真—9）。

（7）低空頭地施工（上部障害クリア工法）

老朽化に伴う橋梁の架替えや橋脚の耐震補強では、物流や防災の観点から交通環境を維持したまま施工しなくてはならない。橋梁下の施工空間に厳しい制約がある場合、機械全高を徹底的に圧縮した超低空頭地専用圧入機クリアパイラー（写真—10）を選定し、上部障害クリア工法で工事を遂行する（写真—11）。

4. 環境監視システム

圧入工法では、構築する壁体の施工品質を圧入管理システムによって科学的に管理することは先述した。しかし、GRBシステム工法を駆使せざるを得ない厳



写真—12 EMOS（イーモス）車両

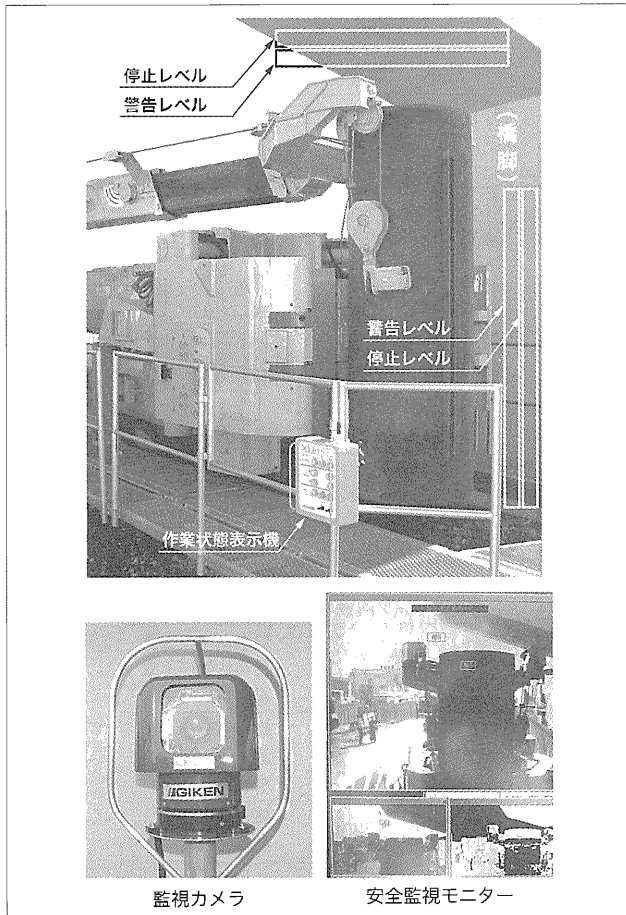
しい施工条件下では、周辺環境への高い安全性も保証できなくてはならない。勘や経験に頼らない、科学的な環境監視と安全制御が不可欠である。

そこで、環境監視に必要な種々の測定器を1台の専用車両に搭載し、施工機械の挙動を自動制御する安全監視システムと作業環境の科学的測定により、規制基準内で安全確実な工事が遂行されるよう監視する環境監視システム「EMOS（イーモス=Eco Monitoring System）」（写真—12）を開発した。

EMOS車両は車両単体で現場に直行し、測定器を測定箇所を設置するだけで直ちに環境監視を開始できる。測定データは車両内PCに無線送信されリアルタイムに表示、その場で印刷することも可能である。

既存の構造物に近接施工する場合、従来は防護柵や

吊防護など物理的な防護設備によってリスクマネジメントがなされてきた。しかし、この方法は狭い作業空間をさらに制限し、工期の長期化と工費の増大をもたらす。EMOSでは、カメラ監視装置と画像データ処理により近接安全領域を設定、監視状況に連動して圧入機の挙動を自動制御する（写真—13）。



写真—13 画像処理による安全監視

この科学的リスクマネジメントにより、近接構造物や鉄道の運行に高い安全性を確保しつつ、建築限界内の空間を最大限に活用して急速かつ経済的な施工が可能となった。

5. おわりに

杭打ち工事の振動と騒音を無くすために開発された圧入機は、30年間に及ぶ技術革新、杭材メーカーとの共同開発、ケンブリッジ大学をはじめとする学術機関との共同研究などにより、圧入原理の優位性を大きく発展させた。その成果の最たるものが、複雑な現場条件と厳しい制約条件を克服するGRBシステム工法である。

2003年には、圧入に回転を加えた新しい施工原理のジャイロパイラーを開発し、既存の地下構造物を解体撤去することなく障害部分のみを切削、そこに新たな構造部材を融合させ、構造物の機能を再生・強化する「インプラント工法」を具現化した。

これからも良い原理と技術開発で特殊条件を克服し、変化する社会のニーズに応え続けていく所存である。

JCMA

【筆者紹介】

山口日出男（やまぐち ひでお）
株式会社技研製作所
工法事業部
参事



建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々、そして建設事業に関心のある一般の方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289