

17. ソイルセメント柱列壁工法における 出来形計測システムの開発

株式会社竹中工務店 ○ 濱田 幸弘 浦瀬 誠
田屋 裕司 三幸 謙一

1. はじめに

市街地で増加する大規模な地下空間を有する建物の構築では周辺環境に対する影響を抑制することや地下水対策へのコスト低減が求められ、これまでも敷地や地盤等の施工条件に沿った最適な山留め壁に関する技術が数多く開発されてきた(図-1)。しかし近年、建物の地下深さや規模が大きくなるにつれ、山留め壁の不具合による出水が工期やコストに多大な影響を与える事例が発生している。特に大規模な出水事故は復旧に労力と時間がかかると共に、周辺建物やインフラに対して甚大な影響がある事象である。このような地下工事の出水リスクを低減するためには地下工事の要となる山留め壁の品質を確実に管理し、確保することが重要である。

本技術は、山留め壁の構築においてこれまで実現されていなかった汎用機による出来形計測手法を実用化することで掘削前に不具合範囲(出来形精度不良に伴うラップ不足等)の検知が可能な画期的なものである。この技術は地下工事のリスクを大きく低下させ、安心・安全な施工の実施に大きく貢献するものである。本技術の開発について以下に報告する。

2. 開発のねらい

近年、関西圏で発生した当社施工の大規模地下工事における、山留め壁の不具合による出水事象とその概要を図-2に示す。また、図-3から当社大阪本店管轄の過去10年間のB2F以深の地下階を有する建物の施工において採用した山留め壁の工法の過半はソイルセメント柱列壁工法であることが分かる。そこで地下工事の出水リスクの低減には採用事例が多いソイルセメント柱列壁の品質確保がより効果的で重要であるといえる。

2.1 山留め壁の遮水性不良原因の追求

開発に先立って、ソイルセメント柱列壁から出水が生じたNプロジェクトでの原因の追求を行うこ

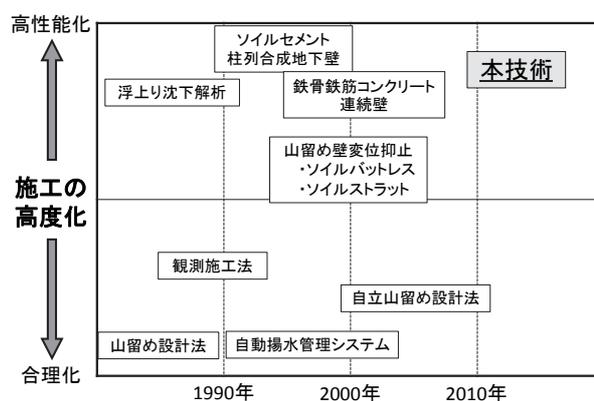
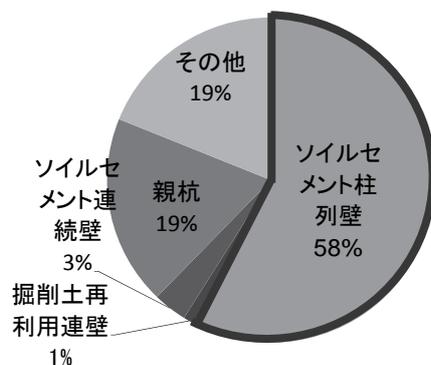


図-1 当社における本技術開発の位置づけ

項目	工法名	ソイルセメント柱列壁
プロジェクト		Nプロジェクト
断面形状		
ソイルセメントの造成方法		オーガ先端から固化液を吐出して原位置土と混合攪拌
出水状況		 山留め壁から出水 想定出水量(最大5m³/分)

図-2 出水事故発生事例



(当社大阪本店過去10年間B2F以上)
図-3 山留め工法種類

とで技術開発の方向性を探った。このプロジェクトではφ900@600, L≒40mの大口径ソイルセメント柱列壁工法を採用したが、GL-35m～40mの砂礫層の遮水性確保が不十分であったことが、掘削前の揚水試験で確認された。原因追及の手順は遮水不良範囲を推定し、不良個所のソイル壁体の出来形や性状をコアボーリング試料により判断する方法とした。試験概要及びコアボーリング採取結果を図-4に示す。コア採取試料より遮水不良はGL-35m以深で発生しており、セメント分が少なく遮水性が低い状態であった。この結果からコアボーリング孔自体がソイル径内から外れた、または不具合部分の山留め壁は構築中にセメント分が流出したことが想定された。Nプロジェクトで想定されたソイルセメント柱列壁の遮水不良の主な原因を図-5に示す。遮水不良を引き起こす様々な原因が推定されたがコア採取した試料からは鉛直精度によるラップ不足の可能性が最も濃厚であると考えた。このようなソイル体同士のラップ不足は、地盤条件や施工手順に関わらず大深度のソイルセメント柱列壁工法において起きうる事象であり、解決策を見出すべき最重要の課題と考えた。

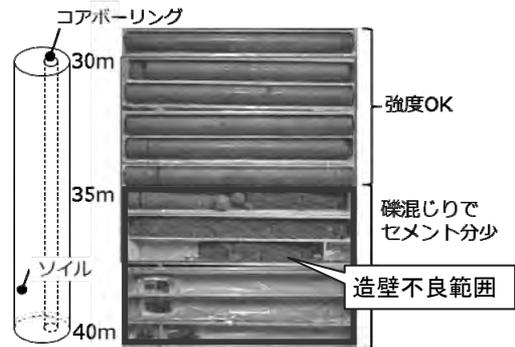


図-4 ソイルセメント柱列壁の遮水不良原因

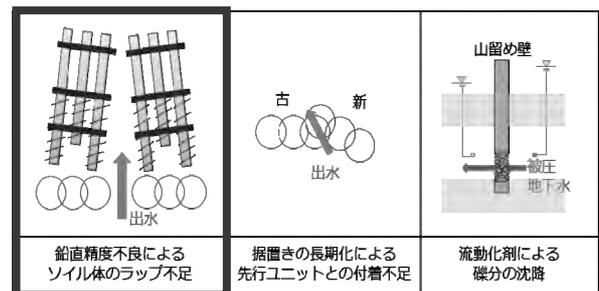


図-5 ソイルセメント柱列壁の遮水不良原因

2.2 ソイル体のラップ量計測方法の確立

ソイルセメント柱列壁からの出水事故を防止するためには、山留め壁構築時の鉛直精度を確保する、もしくは山留め壁の出来形を確認し不具合範囲を見つけ出して対策を実施することが必要である。鉛直精度を確保する技術は施工中に様々な工夫が実施されているものの、その精度を掘削前に確認することは容易ではない。そこで必要な技術開発は山留め壁の出来形を計測し不具合範囲を確実に特定し評価することだと考えた。そのためには山留め壁構築時の鉛直精度の計測により出来形として隣り合うユニット同士のラップ量が算出できなければならない。写真-1, 2, 3に既往のソイルセメント柱列壁の施工時の鉛直精度の計測が可能な専用機の写真を示す。現在、山留め壁の出来形計測技術は、R社とS社の2社が保有している。既存技術の特徴は差動トランス式ローラー型傾斜計を山留め機のロッド中央部に直接内蔵し有線で計測器本体と接続することで削孔時にリアルタイムで傾きを計測しながら鉛直精度とラップ量を検出するものである。高い精度かつリアルタイムで測定できる反面、傾斜計を削孔ロッドの内部に内蔵させるためにロッド内径が汎用機の50mm程度に対して約120mmと2倍以上も大きいものである。さらに傾斜計と計測器を結ぶ電線が接続され、システムと常に連動するために山留め機本体が出来形を計測するための専用の機械となっている。この山留め壁の出来形計測がリアルタイムで可能な機械は国内に数台程度である。山留め壁出来形の



写真-1 山留め出来形計測専用機



写真-2 山留め出来形計測専用機

計測を要望する際には専売技術による高額な施工



写真-3 専用機のロッド形状

費と専用機の逼迫度に縛られることになる。専用機での山留め壁の出来形計測が汎用性の高い技術となるためには機械の台数の増加が必要となる。数千万~数億円/台の投資となる為、現実的ではないのが実情である。さらに、リアルタイムで計測し、ラップ不良が発覚しても施工途中での削孔穴の修正が困難なため再削孔による対策を行っているのも事実である。このようなことから本開発の方針は山留め壁の出来形計測において汎用機で尚且つ、どこの専門会社でも容易に施工時に計測可能で、さらに現場の施工管理者が施工日毎に出来形を確認することで不具合想定範囲への止水対策と地盤状況に応じた早期の掘削工法の選択が可能なるものを目指すものとした。上記に挙げた山留め壁の出来形計測における技術開発に際して、以下の方針を設定し取組んだ。

- ① 汎用機に簡易に設置可能な計測器の開発と工事手順の確立。
- ② PC上で容易に見える化できるデータ処理システムの開発。

2.3 精度確認と解析技術の確立

ソイルセメント柱列壁の計測値として必要な位置や傾斜、回転等の測定が可能となる機器はGPSや角度計、傾斜計、加速度計等である。計測器に求められる性能は山留め機への取付けを考慮するとコンパクトなサイズ且つ、無線又は接続のための線がないことである。また、地中や水中での

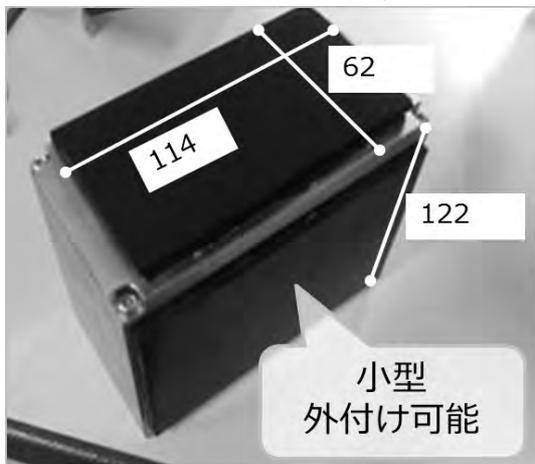


写真-4 ジャイロ計測器

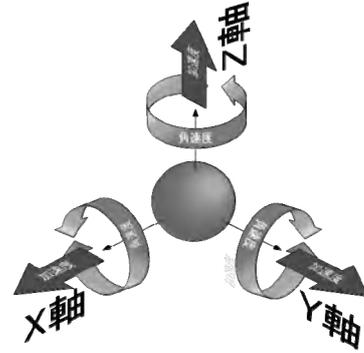


図-6 ジャイロ計測器概念図

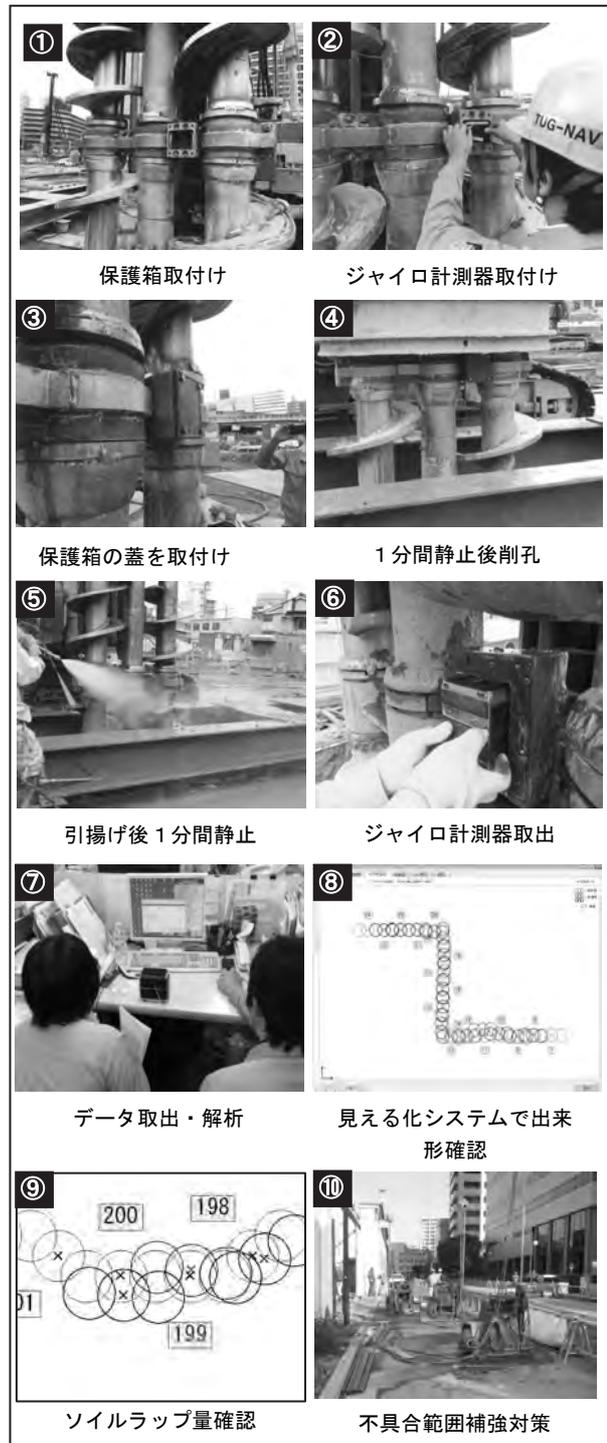


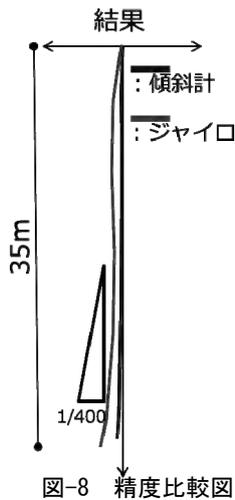
図-7 山留め壁出来高計測フロー

計測のための耐久性が確保される加工処理ができること、数cm単位での精度で検出できることである。コストや精度に対する信頼性、汎用性を検討した結果、全ての面で優位性を確認したメモリー機能を有するジャイロ計測器（写真-4）を用いることとした。ジャイロ計測器は加速度や角速度を累積しながら計測することにより位置情報を記録できる機器（図-6）であり、携帯やデジカメの手振れ補正さらには乗り物の姿勢制御などに使われていて信頼性も高い。

2.4 効果の確認及び検証

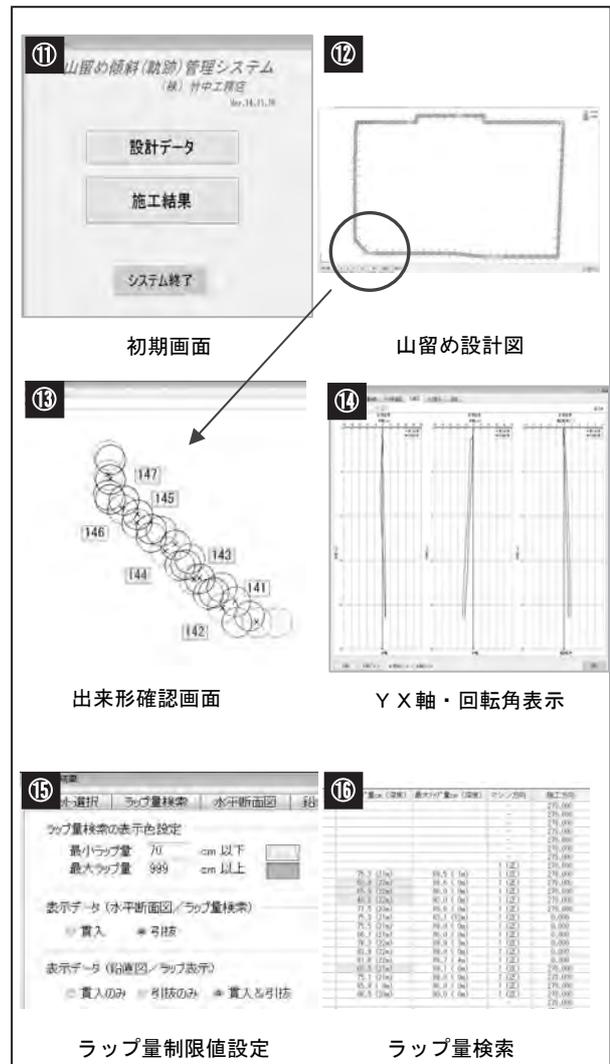
2.4.1 山留め壁出来形計測システム概要

計測から出来形確認までの作業フローを図-7に示す。①ジャイロ計測器を山留め機の多軸ロッドの連結バンドに固定した②保護箱の中に入れる。③水密性を確保するためにゴムパッキンを挟みながら保護箱の蓋を閉め、④1分間の静止をユニット毎に行い削孔する。1分間の静止の目的はジャイロ計測器が始動後に受ける旋回や振動及び移動に関する計測値（ドリフト量）を削孔開始時刻の特定により、不要なデータとして自動的に排除し精度を高めることである。⑤山留め壁の構築は通常の施工ステップで行い、最後の引き上げ時に再度補正のための1分間の静止を行う。⑥施工終了後にジャイロ計測機を保護箱から取り出しデータを吸い上げ見える化システムでソイルの出来形を確認し、遮水性の確保を判断する。計測精度は挿入式傾斜計との実測値を検証し約1/400の精度であることを確認している。



2.4.2 山留め壁出来形見える化システム概要

見える化システムはジャイロ計測器で計測したデータをCSV形式に変換してデータを読み込み図面やグラフとしてアウトプットできるものである。作業所のPCの画面上で削孔深度毎の出来形が設計図との比較で容易に確認できる。(図-9) ⑫において着色されている部分は計測が実施されている部分を示している。出来高確認画面⑬は山留全体図の一部分を拡大したものであり、この水平断面図からソイル体が深度毎どれだけずれているのかの確認が可能である。また、⑭のように鉛直方向に関してXY軸と回転角としてのずれも併せて確認できるものとなっている。さらに、要点であるラップ量は制限値を設定することで、簡易な検索



で値を超えているものがマーキングにより一目で確認できる。(16) この見える化システムを使用し、Sプロジェクトで全ユニットの計測を行いソイルラップ量の状況を確認した。揚水試験の結果は、計測したソイルの出来形で想定される箇所と同一の場所で遮水不良の可能性を示し、本システムの有効性を証明することができた。

3. 結論

山留め壁の出来形を汎用の山留め機で計測する技術を開発し、実用化および特許の取得を行った。また、併せて計測結果からソイルユニットのオーバーラップの状態を見える化するソフトを開発し、不具合範囲の特定を速やかにして、対策の可否判断が行えるものとした。実施工においてもソイルの出来形確認から不具合範囲を特定し掘削前や掘削時の対策が確実に実行できることを確認している。本技術は、大深度ソイルセメント柱列壁を施工する複数の物件で今後採用が予定されている。また、これからの地下工事において、安心安全を増すことに寄与するものである。