

# 環境に配慮した土留材の引き抜き工法について

西 靖彦

CPA西技術士事務所 代表 (〒569-1115大阪府高槻市古曾部町2-18-6)

環境に配慮しSDGSに貢献する仮設工法として、鋼矢板等の鋼製の土留杭を周辺地盤の沈下を抑制しながら引き抜くことを可能とした工法で、全国で約400件、近畿管内においても新名神高速道路等において約50件の実績があります。高規格道路や鉄道、都市部のビル等の民間建物への近接施工において周辺地盤の沈下を抑制し安全に引き抜くことができ、鋼材のリサイクル、コスト縮減、地下空間の有効活用などが可能です。存置された土留杭除去による道路陥没防止、同時充填による河川堤防の危険性排除や土壌汚染拡大抑止も可能となります。

キーワード SDGS, リサイクル, 地盤沈下抑制、近接施工、コスト縮減、地下空間有効活用

## 1. 土留部材引抜同時充填工法とは

本工法は、仮設の鋼矢板、鋼管矢板、仮設栈橋のH杭、既設杭などの杭を引抜く場合の沈下対策の特許工法です。

本工法専用の充填材を引抜ながら同時に充填することで、引抜後も周辺地盤にほとんど影響を及ぼさず、安心して撤去できるようになりました。

本工法は、軟弱地盤はもちろんのこと、あらゆる地盤条件、引抜き方法において採用可能です。

近年は集中豪雨による大災害が頻発していることもあり、河川やため池堤防における仮設工事において、水みちを作らないオンリーワン対策工法として河川管理者にも注目されています。水中での施工も可能です。

さらに土壌汚染修復工事の分野でも汚染物質の移動を遮断する方法として施工実績が増えています。

図1は、充填完了後の状況です。これは鋼矢板ではありません。本工法により生成されたものです。

鋼矢板引き抜き後の空洞に瞬時に充填剤が充填され、固化したことで矢板の形状をなしているものです。

隙間を確実に埋め合わしている状況が確認できます。

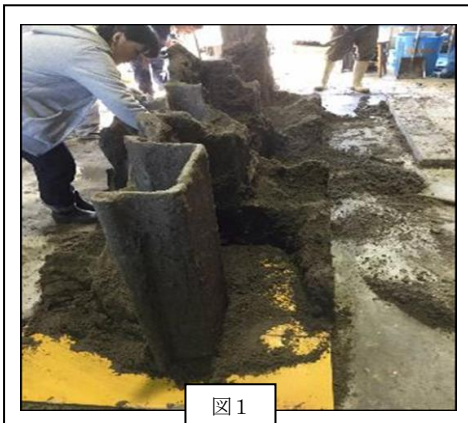


図1

## 2. 鋼矢板引き抜きの周辺地盤への影響

図2は、鋼矢板設置から引き抜きまでの期間における周辺地盤の沈下量を示したものです。

引き抜き時の沈下量は、大きく、距離ゼロ地点では、埋戻し時の7cmに対し17cmと約2.5倍の沈下が発生しています。その差は距離20mでは更に広がり、埋戻し時1cmに対し、引き抜き時4cmと4倍の沈下が発生しています。また、沈下の影響範囲も、掘削・埋戻し時は山留壁から10mを超えるとほぼ終息しているのに対し、引き抜きによる沈下は、40m離れた地点にならないと終息せず、30mでも2cmの沈下量が発生しており、近接家屋等に与える影響の大きさを示しています。

図3は、沈下量を時系列で示したものです。

矢板引き抜き時の230日あたりから急速に沈下量が大きくなっていることが確認できます。距離ゼロ地点では、230日から20日間で7cmから15cmと沈下量が急増(沈下速度=8cm/20日=0.4cm/日)しており、掘削から引き抜きまでの沈下速度(7cm/230日=0.03cm/日)と13倍の沈下速度となっています。鋼矢板引き抜きによる沈下が、その影響範囲、沈下速度ともに、掘削、埋戻しの数値を大きく上回っており、施工地に近接して家屋や鉄道などがある箇所においては、家屋の沈下や鉄道施設への影響が大きく懸念され、未対策の場合の事業損失や家屋への損害賠償へのリスク回避として本工法による対策があります。

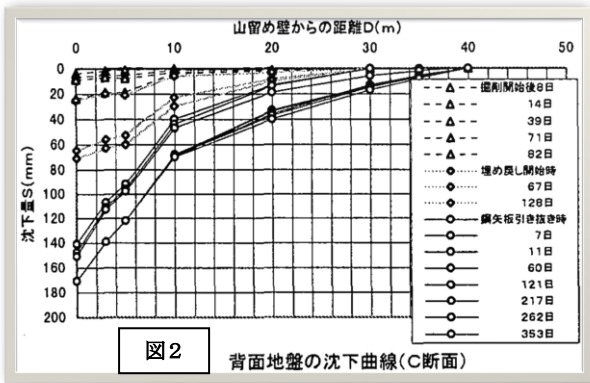


図2 背面地盤の沈下曲線(C断面)

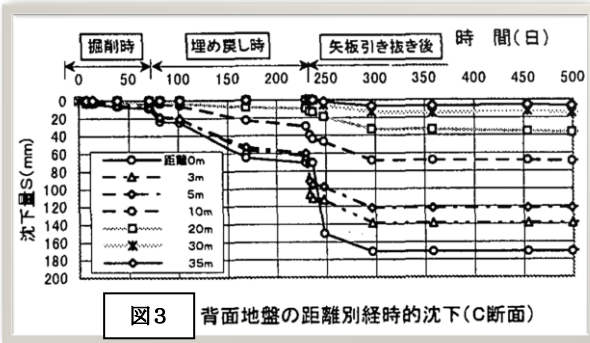


図3 背面地盤の距離別経時的沈下(C断面)

出典：鋼矢板引き抜きの周辺地盤への影響 堀内孝英 他 土木学会

### 3. 工法の原理

本工法では、まず充填菅を鋼矢板に沿わせて据付けておき、施工機械によって一定の長さ（50cm）ごとに引拔を行い、空隙が生じる度に充填菅から充填剤を充填します。この作業を鋼矢板が全て引き抜かれるまで繰り返します。充填された充填剤は約1分でゲル化して空隙を埋めるので、半永久的な地盤対策が可能となります。

充填剤が空隙に入っているイメージを現したのが、図4ですが、ここにこの工法の原理があります。鋼矢板を50cm引きあげると、鋼矢板が占めていたスペースが空洞となり、その空間は負圧状態となり、空洞周辺の土粒子や水分、空気はその空間へ引き寄せられようとしています。

その際、周辺土壌が挙動するより早く、引き抜きと同時に水より密度の高い充填剤を負圧と同レベルの圧力で注入させます。この結果、負圧のかかった空間のみに充填剤がいち早く充填されることとなり、不要な土壌への圧入も発生させず、鋼矢板の形状をした空間が充填剤で満たされ、数分で固化し、充填剤の鋼矢板が発生することとなります。このことが、周辺地盤の沈下発生を生じさせる余地を無くす本工法の原理です。

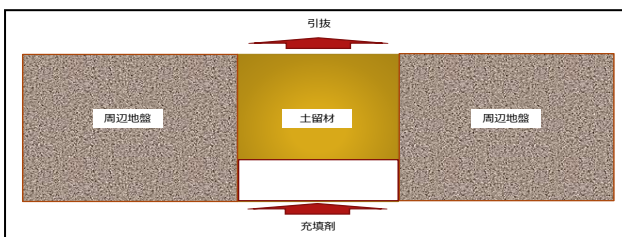


図4

### 4. 充填剤の特性

充填剤は、本工法用に独自に開発された恒久的なセメント系注入材の一つで、2液を混合することで約1分のゲルタイム（流動性がなくなる時間）でゼリー状に固まります。約3時間で人が乗っても壊れない硬さが得られ、強度発現も早いのが特徴です。下図に示すとおり、最終的にはN値15～30程度なので、将来的な地下空間を活用した他工事の地中障害物にもなりません。

また、収縮もしないことから地下水の流路となる恐れもありません。施工方法は、図5の2液を別々のホースでロッドの先端まで供給し、先端モニター内で混合していきます。

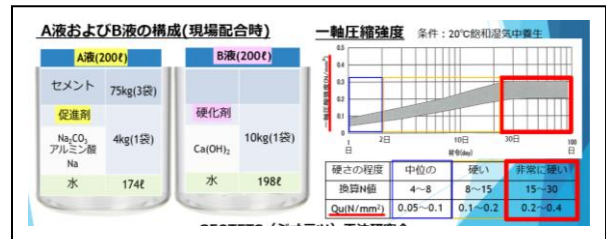


図5

### 5. 施工法

本工法には、充填菅の設置方法により2つの工法が存在します。鋼矢板を打ち込む前に充填菅を溶接固定しておくYT-1工法と、鋼矢板の打ち込み後、鋼矢板の直近でボーリングマシンにて削孔し、充填菅を据付けるYT-3工法の2工法があります。YT-1工法は削孔の必要がないため、削孔しづらい固い地盤に対し施工性に優れています。YT-3工法のメリットは、打ち込みが終わっている鋼矢板に後付けで施工することができる点です。

現場条件の検討によりいずれかの工法を選択することとなります。（図7参照）

充填菅は、鋼矢板一枚ごとに必要になるわけではなく、図6のように、一本の充填菅で6枚の鋼矢板充填が可能です。開発当初は、2枚程度でしたが、宮崎大学との合同研究、施工実績等により6枚まで可能となり、コストも大きく縮減されました。

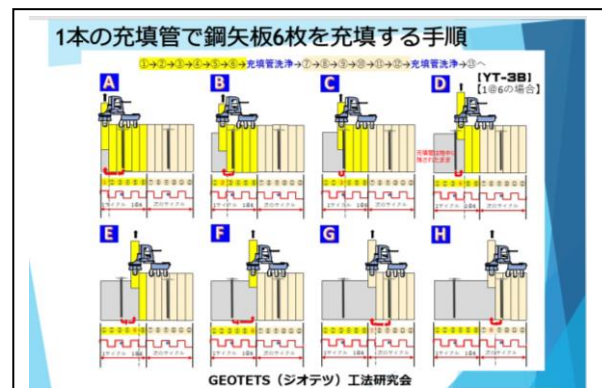


図6

6. 公共事業実施による事業損失を未然に防ぐ

例えば、家屋に近接して河川改修工事を実施する場合、改修工事完了後、時間の経過とともに杭の引抜による地盤沈下が発生するリスクがあります。2. で示した土木学会での発表のとおり、引き抜き箇所から最大30mの範囲まで沈下影響の可能性があるため、完成後、河川周辺の家屋から家屋の傾斜やひび割れ等の被害の報告があり、事業損失補償をめぐる、因果関係を立証する手段も見当たらず、訴訟となる可能性があります。

また、道路下にボックスカルバートを敷設する工事の場合にも、敷設工事完了後、道路内に残存物件は認められないので引き抜くこととなりますが、沿道家屋、さらに背後地の家屋にまで、時間の経過とともに地盤が沈下し、特に背後地の家屋には事前顔育調査をしていないケースもあり、因果関係が示せず訴訟となる可能性があります。さらに新設ボックスカルバートについても、カルバートより深く打ち込んでいた杭の引き抜きにより、カルバート本体が沈下するケースがあります。水路構造物の場合、逆勾配になるなど流水機能が満たされなくなり、再構築しなくてはならない可能性もあります。

また、このような沈下を恐れて、やむなく上部のライフライン等の占用空間のみ切断し、それより深い部分は残す場合がありますが、将来的な地下空間計画の支障物となるだけでなく、図9のとおり、止水性の異なる土留材に沿って地下水の流路が生成されるケースもあり、この場合、夏季には、空洞化により供用中の道路面が陥没し、重大事故につながるリスクがあります。

このように様々な事業損失、もしくは社会的な損害の発生を未然に防ぐために、速やかに土と同等の材質で復し、沈下の余地を与えない本工法による事前対策は、長期的に見てもトータルコストを大きく軽減しますし、長期化する損害補償訴訟や道路管理瑕疵などを引き起こすことを防ぎ、安定した公共財の提供となります。

また、過去に様々な要因で存置せざるを得なかった杭についても引抜が可能ですので、道路面下の空洞調査を実施し、その進捗状況が激しいケースへの対応として本工法による残存物の除去と同時充填は、リスク回避として有効な手段となります。

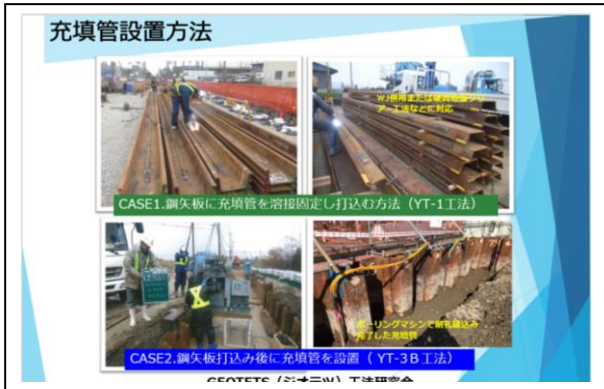


図7

5 他工法との比較

従来より、杭引き抜きによる沈下対策としては、引き抜き完了後に、後を追う形でCB等の充填剤を注入する方法がありますが、図8に示すように、引抜作業と近接しての施工はできないため、引抜後、数時間以上経過してからの充填となり、そのロスタイムに地中の引抜き後の孔壁は、空洞が地上までつながり負圧解放された状況となり、周辺土壌の空洞への側方流動が進み、空洞に崩壊しながら流入し、空洞が土壌で埋まっていきます。

その結果、徐々に孔壁周辺の地盤から緩みが始まり、しいては地盤面の沈下へとつながります。

ですので、すでに沈下の始まりを許した状態からの充填開始となり、密度も上がり負圧もなくなった状態に充填していくこととなります。当然、加圧が必要となり、かつ充填時間も長くなり、その充填範囲の把握も推測が困難ですし、効果を発現させるための所要量の把握もしにくいものと言えます。

本工法は、引抜直後のオンタイムで負圧発生直後に流動性の高い充填剤を孔壁が崩壊する前に空洞に充填させるために、瞬時に上記従来工法の課題を解決していただくことが可能となります。充填剤は、ゲルタイム1分なので、側方の土壌の土圧に変形されずに硬化が進み、かつ長期的にも収縮しない材質を有していますので、周辺地盤の緩みや沈下を大きく抑制することが可能な工法です。

比較項目	従来工法 (横道い器液注入)	新工法 GEOTETS工法
①材料種別	CB (又は急結CB)	本工法専用の充填材
②充填注入剤	すぐに固まらず、収縮する (1分ゲルタイム (例的に収縮せず長期的に安定、1分で固まる 0.5N/mm2程度))	恒久的に収縮せず長期的に安定、1分で固まる 0.2N/mm2程度、地下障害物にならないように強度をコントロールしてある。
③対策概要	CBを注入	
④充填 (注入) のタイミング	引抜きで既に乱れてしまった後の地盤に対して	乱れる前の地盤に対して引抜きと同時に
⑤充填 (注入) の特徴	圧力を掛けてゆっくり押込む	負圧を利用して、余分な圧力は掛けずに早く多量に
⑥充填注入管	引抜き箇所から安全距離を確保した上で、後を追いつけてボーリングマシンを移動させながら設置	引抜き前日までに事前に設置しておく、1@6が標準
⑦充填 (注入) 量	どれだけの注入量になるかやってみないと全く分からない。予測不能	豊富な施工実績データに基づき、施工条件に応じた適切な量で計画できる。

図8

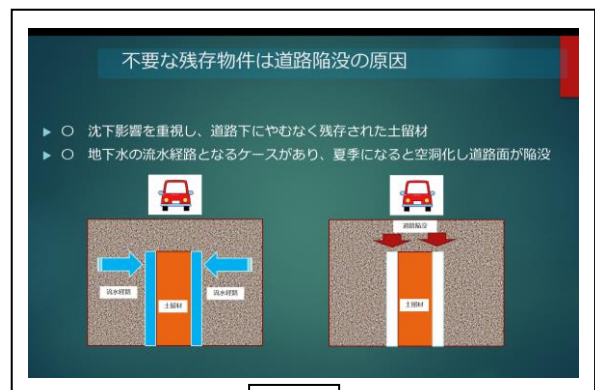


図9

## 7. 河川堤防の崩壊を防ぐ

河川区域内で道路橋や鉄道橋、河川施設、公共下水道施設、農業用施設などの工事を実施する場合、河川堤体内に新たに橋台や放流堰、そして仮設橋などの仮設構造物を設置することになり、土留杭を堤体内に打設し、最終的に引き抜くこととなります。

ここでも、最近、杭引き抜き後の堤体内の安定度を高め、堤体崩壊を防ぐ手法として本工法が注目されています。下図に簡単な崩壊へのイメージ図を示していますが、杭引き抜きによる連続した空隙の空間が、十分な充填や補強がなされていない場合、時間の経過とともに地下水の流路が形成され、最悪の場合、河川内の流水につながる流路となり、堤体が崩壊するリスクがあります。

本工法では、土留材の引抜き時に瞬時に空洞を充填し、早期にその強度も周辺土壌と同程度になり、長期的にも収縮が発生しませんので、図10のような流水経路が形成されるリスクを大きく軽減することができます。

昨年7月の前線豪雨による球磨川の崩壊など、昨今の集中した短時間での豪雨による災害では、東北や九州での大規模河川の堤体崩壊など、従来の基準を超えた崩壊モデルを目のあたりにしており、その更なる強靱化が求められています。堤体崩壊による被災影響は甚大なものとなりますので、日常的にその安定性を確保していくことが必要ですので、河川区域内工事による下図のような崩壊モデルを事前にリスク回避できる本工法の有効性が評価され、施工事例も急増しています。

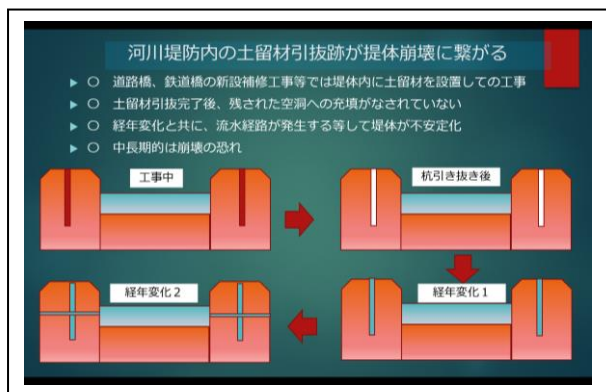


図10

## 8. 土壌汚染土対策 SDGSへの取り組み

地下に浸透する汚染物質に対し、地下水脈に載った周辺地盤への浸透影響を敷地内で防ぐ手段として本工法の適用事例が増えてきています。図11に示すように、汚染源から浸透移動する汚染物質水に対し、本工法による充填剤で構築された止水壁で囲い込むことで周辺への浸透を抑制することが可能です。図のように深部の難透水層が存在する場合には、その層まで突入させることで

らに浸透抑制効果は高まることとなります。従来は、鋼製の止水構造を地下に構築するなどの方法によるものでしたが、本工法を実施し、短期に充填剤で構築する矢板が連続することで、コストは大きく削減され、鋼製や板を繰り返し利用することで対策が可能となります。

止水性は、周辺土壌の間隙率等により左右されるので、充填剤の材質、補給量やその圧力調整による、対象土壌別の対策が必要となりますが、不要な資材を残さない本工法の適用は、SDGSへの取り組みとして環境対策上、有効です。また、本対策は、公共事業実施に伴う、農地の水枯れ、さらに井戸水の水枯れなどの補償工法としての利用にも活用の余地を残しており、いずれも自然環境の保全にもつながるSDGSな工法です。

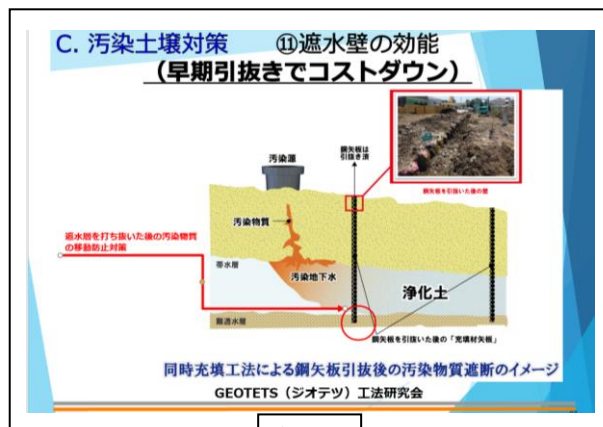


図11

## 9. 施工実績

図12に施工実績一覧及び本工法の特許内容を示しています。また目的別施工実績数を以下のとおりです。

- 1) 近接施工 231件
  - ① JR線軌道隣接、軌道近接
  - ② 民家に近接
  - ③ 地中障害物撤去時ビル近接
  - ④ 幹線道路（埋設管）
  - ⑤ 主要な生活道路と橋脚
  - ⑥ 下水道幹線の更新
  - ⑦ 杭基礎への影響抑止(水中施工)
  - ⑧ 道路防災工事
- 2) 堤防の水みち対策 150件
  - ① ため池/H杭引抜き(水中施工)
  - ② 一級河川堤防
- 3) 汚染土壌対策 15件
  - ① 遮水壁の効能
- 4) 既成杭の引抜 2件
  - ① 民家近接、河川堤防
  - ② 杭の引抜跡

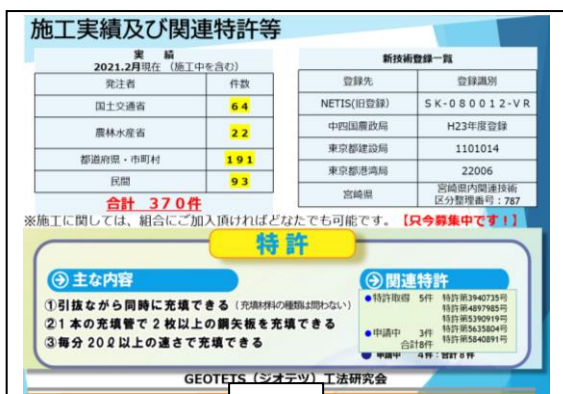


図12

## 10. 宮崎大学との共同研究

本工法は、GEOTETS工法研究会と宮崎大学との共同研究により開発されたもの（開発時の工法名は土留部材引抜同時充填工法）です。図13のとおり、宮崎大学で実施した検証実験では、大規模な試験施工を実施しました。鋼矢板を圧入し、固化した充填剤を掘り出して地盤沈下などの抑制効果を確認しており、また1で記載した図1のとおり、充填剤でできた矢板形状を確認して大規模な試験施工を実施しており、鋼矢板を圧入し、固化した充填剤を掘り出して地盤沈下などの抑制効果を確認しており、また1で記載した図1のとおり充填剤でできた矢板形状を確認しています。



図13

## 11. 今後の研究課題

これまでの施工地で得られた地盤変形に関するデータの数値解析によるモデル化、統計的解析による評価や要因分析を進め、本工法の更なる機能向上につなげることにしている。また、周辺地下水の浸透性能の把握や透水機能の変化の分析にも着手し、止水性の向上に適した充填剤の開発にも着手し、適用範囲を広げ、さらにSDGSに貢献できる工法となるよう進めていく予定である。