

## 開削工事における水中掘削工法の適用性に関する考察

開削工事 水中掘削工事 限界深度

(株)建設技術研究所	国際会員	李 圭太
(財)地域地盤環境研究所	正 会 員	豊田 孝宏
中央復建コンサルタンツ(株)	正 会 員	新田 耕司
(財)地域地盤環境研究所	国際会員	長屋 淳一
(株)建設技術研究所		白井 拳次

## 1. はじめに

一般に開削工事では、土圧・水圧への抵抗を確保し、かつボーリングに対する安全率を満足するような土留め支保工(土留め壁、切梁、アンカーなど)を採用し、さらにドライワークエリアの確保や盤ぶくれ対策として地下水低下工法を用いることが多い。土留め掘削時における周辺への影響抑制および作業性確保の観点からは、この施工方法が基本と考えられるが、地下水位を低下させることは井戸枯れや地盤沈下など種々の周辺地盤環境に対し問題を引き起こすこととなる。また、最近の工事の大規模化・大深度化に伴いそれらの仮設工事に要する費用は非常に大きなものとなっている。

地下水位の低下による影響を抑え、かつ工事コストを削減する方法として、オランダをはじめヨーロッパ各国では水中掘削工法が一般的に実施されている。そこで、本研究ではこの水中掘削工法の日本における適用性を検討することを目的として、浅い掘削と深い掘削の2ケースを対象として、現行の設計法を基本にし、各地盤特性に対する限界掘削深度に着目した検討をし、水中掘削工法の適用性と課題について考察を行った。

## 2. オランダにおける水中掘削工法

オランダにおける開削工事の特徴としては、土留め壁は G.L.-15m 程度までは鋼矢板、G.L.-15m ~ 25m 程度では鋼管と鋼矢板の複合構造、G.L.25m 程度以深は RC 連続地中壁を用いることが多い。切梁は土留め壁頭部 1 段目のみ概ね 8m ピッチに設置し、剛性の大きい鋼管を用いている。構内の掘削は水中掘削を行い、最終掘削底面に水中コンクリートを打設する。構造物構築時は、構内の水を排水し土留め工は壁頭部に設置した切梁と底面の水中コンクリートによって、背面地盤の土圧・水圧を支持する構造である。その際、底部において盤ぶくれ対策が必要となる場合は、地盤改良工法ではなくテンションパイルを打設する対策工法を用いている。オランダをはじめヨーロッパ諸国では、遮水層が適当な深度に存在しないことが多いことから、このような水中掘削工法が標準工法となっている。この水中掘削工法では、中間切梁を設置しないことから、水中における施工は、水中掘削工と底盤部における水中コンクリート打設工のみとなり、施工の効率化を図っている。土留め工の設計では、近接構造物への影響をプロジェクト毎に検討して、許容変位量を設定しているという特徴が挙げられる。

## 3. 浅い掘削の場合の水中掘削工法

道路土工指針<sup>1)</sup>に基づき、河川水路構造物を想定した図 1 に示す浅い掘削の場合に対して、水中掘削工法を用いた場合の限界掘削深度に着目した。試設計にあたっての荷重モデルを図 2 に示す。検討地盤ケースは CaseA:  $\phi=30^\circ$ , CaseB:  $\phi=35^\circ$ , CaseC:  $\phi=38^\circ$  とし、下方地盤に不透水層は無いものとした。また、地下水位(HI:G.L.-m)もパラメータとした。なお、水中掘削工法の施工性を考慮し、本検討では、1 段梁を想定した施工を基本として行った。本検討において、着目する土留め壁の変位を地中部(検討モデルの煩雑さを考慮し、最小根入れに着目した検討の CaseA は土留め壁頭部の変位である。)とし、最も深い掘削深を把握する目的から、どの検討ケースにおいても 1 段目の梁を G.L.-1.5m と設定した。

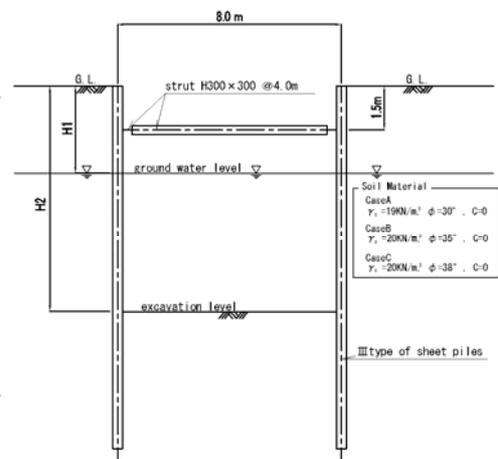


図 1 浅い掘削の場合の検討モデル

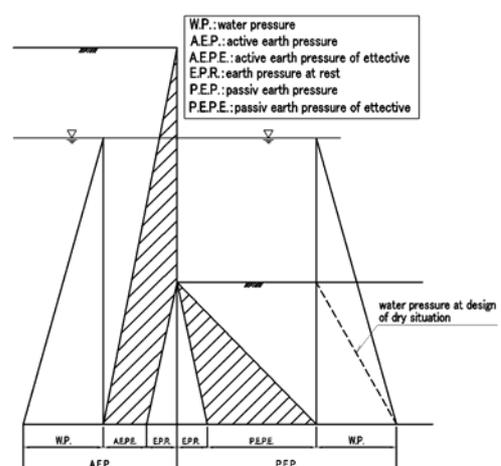


図 2 浅い掘削検討時の荷重モデル

本論文では、土留め壁の施工性を考慮した最小根入れ長 3.0m に着目した検討(図 3)、一般に設計時に用いる許容変位 5.0cm に着目した検討(図 4)、土留め壁の許容応力度に着目した検討(図 5)の 3 項目における水中掘削工法における限界掘削深度に対する検討を行った。土留め壁の根入れ長は、掘削底面の安定、つり合いから決定されるが、比較的硬質な地盤では、必要根入れ長が非常に小さく計算される場合があり、土留め壁根入れ部の十分な拘束を考えて、国内における関連指針では最小根入れ長を 3.0m と規定している。図 3 に示すこの最小根入れ長に着目した検討結果図より、地下水位が G.L.-2m の場合、限界掘削深度は CaseA(=30°): 4.5m, CaseB(=35°): 6.6m, CaseC(=38°): 8.3m となり、地中部における土留め壁の変位は、それぞれ、73mm, 41mm, 79mm となる。地下水位が低くなるにしたがい、水中掘削工法の効果が小さくなり限界掘削深度は浅くなる。最小根入れ長における土留め壁の変位も小さくなる傾向となった。図 4 に示す一般的に設計時に用いる許容変位 5.0cm に着目した結果図より、CaseA の検討モデルでは、地下水位がどの高さにあっても掘削深と同程度の根入れ長を施すことにより許容変位を満足することが解る。一方、CaseC の検討モデルでは、地下水位に関わらず 4.5m 程度の根入れ長が必要となる。許容変位量に着目した検討結果と最小根入れ長に着目した検討結果を比較することから、根入れ長をある程度深くすることにより土留め壁の変位を抑制することが可能であることが解る。なお、この許容変位量に着目した検討の CaseA、地下水位 G.L.-2m は地中部で最大変位になるように 1 段目切梁を G.L.-1.2m としたものである。前述示した土留め壁の許容変位量 5.0cm は一般的に用いられているものであり、道路土工指針では鋼矢板の最大変位量は 30cm 程度を目安とすることとなっていることを踏まえ、図 5 に示す土留め壁の許容応力度に着目した検討を行い、発生する変位量と水中掘削工法における限界掘削深度を算出した。この検討結果から、土留め壁の変位は 16cm 程度発生するものの、許容変位量に着目した検討結果と比較して、約 2m 程度掘削深が深くなっており、本検討モデルとした規模の構造物構築に関わる開削工事においては、水中掘削工法は効果的と考えられる。紙面の都合上詳細は割愛するが、通常掘削(気中掘削)の場合、底盤下地盤に薬液注入などの地盤対策工が必要となるため、地下水環境保全のみならず、経済的にも水中掘削工法は有効と思われる。

#### 4. 深い掘削の場合の水位中掘削工法の特徴

前述の浅い掘削は切梁を 1 段として検討を行ったが、深い掘削の場合、水中掘削工法を適用することにより、切梁段数は低減することは可能となる、しかし、切梁またはグラウンドアンカーの水中施工が必要となり、施工が困難となると思われる。また、深い掘削であることから、底盤部の揚圧力対策が重要となり、水中コンクリートを切梁として評価する場合、掘削底面地盤が全塑性し、土留め根入れ長が増大する可能性があるため、水中コンクリートの評価方法についての技術的検討が必要となる。さらには、水中コンクリートの品質管理や支保工の架設、全工種の水中処理などの施工技術に関する検討も必要と考えられる。

#### 5. まとめ

本論文では、開削工事において浅い掘削モデルにおける水中掘削工法の有効性、適用可能性を確認することができた。また、深い掘削の場合における底盤部の水中コンクリートの評価方法、施工技術に関してなど、実施に向けては課題があることも解った。

本論文には、水中掘削工法研究会(委員長: 京都大学大学院岡教授)で得られた成果も含まれている。今後、この研究会で得られた成果や本論文内容を踏まえて、日本での水中掘削工法の実用に向けた準備を進めていく予定である。

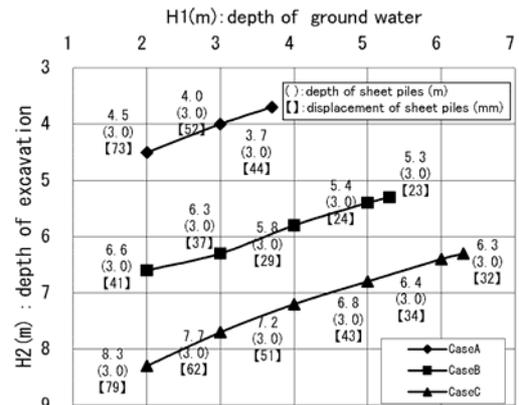


図 3 最小根入れ長に着目した検討結果図

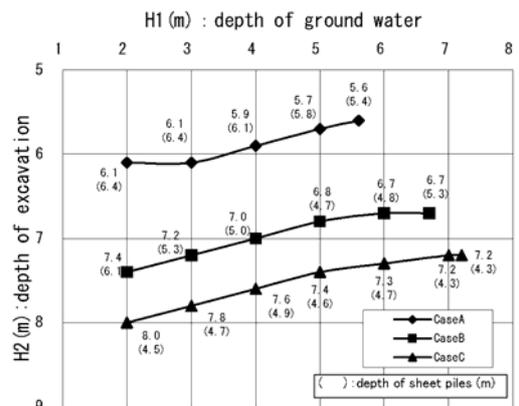


図 4 許容変位量(5cm)に着目した検討結果図

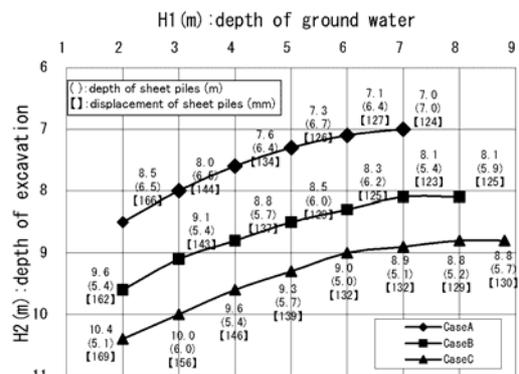


図 5 土留め壁の許容応力度に着目した検討結果図