

氏 名 : 佐久間 誠也

論文題名 : CUTTER SOIL MIXING 工法の設計・施工技術および二段土留めの設計手法の確立に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

わが国において、土留め・締切り技術が掘削工事に伴う土木技術として発展してきたのは、地下構造物の構築が必要となってきた明治時代以降である。その後、特に発展を遂げたのは戦後の復興期から高度成長期にかけてであり、これ以後は、コストダウン・工期短縮を主目的とした技術や大深度・大壁厚、本体利用を実現するための新技術・新工法の開発が進んで現在に至っている。本論文は、水平多軸回転カッターを用いて土とセメント系懸濁液を原位置で攪拌混合し、等壁厚の土留め壁や遮水壁（以下、ソイルセメント壁）と矩形のソイルセメント地盤改良体を造成することが可能な CUTTER SOIL MIXING（以下、CSM）工法を取り上げ、この工法の設計から実用機完成までの経緯を、現場での試験施工や実施工結果、数値解析的検討等々を加えて取りまとめたものである。すなわち、CSM 工法の N 値 50 以上の硬質地盤への適用や大深度・大壁厚への対応、さらには低空頭・狭隘地対応型掘削機械の新規開発に関する設計・施工技術の確立に取り組み、その特徴を抽出して整理し、新たな CSM 機を完成させた。また、CSM 工法と他工法とを組み合わせたソイルセメント鋼製地中連続壁の開発を掘削機械の改良と並行して進め、新工法として大深度・大壁厚の土留め構造の本体利用の可能性について言及するとともに、CSM 工法も含む土留め工法の設計に関し、設計基準類に明確な設計手法や解析の手順が示されていない二段土留めに着目し、これの設計時に配慮すべき項目を明確にすることを目的とした。

第 1 章は緒論であり、本論に入る前の背景として、土留め技術の歴史的変遷や動向、近年の大深度・大壁厚化や本体利用に寄与した地中連続壁工法の実態、各種土留め工法の選定手法、CSM 工法の開発・改良・展開およびソイルセメント鋼製地中連続壁工法の開発への関与などを具体的かつ詳細に論評するとともに、本論文の各章の構成内容を示した。

第 2 章では、ソイルセメント壁を造成する工法のひとつである CSM 工法の設計・施工技術について、海外からの技術導入の経緯や、大深度・低空頭型 CSM 工法の開発と試験施工、硬質地盤への適用の可否を判断するために行った岩盤掘削性能試験の内容をまとめた。大深度・低空頭型 CSM 工法の開発では、新しいソイルセメント地中連続壁工法の確立を目的として、新たに開発した吊下げ方式 CSM 機の機能を証明するために試験施工を行った。その結果、掘削速度に対して N 値 20 程度の砂質土では 19 cm/min、N 値 50 程度の砂質土に対しては 14 cm/min、N 値 10 程度の粘性土に対しては 9 cm/min の掘削速度が得られ、掘削速度は吊下げ方式とケリーバー方式で大差ないことが判明した。また、砂質土において N 値が 20 から 50 への変化に対し、掘削速度の低下の割合もケリーバー方式が 67 % に対し吊下げ方式は 73 % とケリーバー方式と遜色なく、吊下げ方式 CSM 機の掘削性能が実証された。さらに壁体の品質面では、鉛直施工精度、ソイルセメントの透水係数、一軸圧縮強度を確認し、実用上問題ない値が得られた。この吊下げ方式 CSM 機（クアトロカッターと呼称）の狭隘地対応型への改良については、下部旋回台に加え上部旋回台を設けて、キャタピラー部、ベースマシン部、カッター部がそれぞれ自由に旋回できる狭隘地対応型のクアトロサ

イドカッターを誕生させた。硬質地盤への CSM 工法の適用については、ケリーバー方式 CSM 機を用いて岩盤掘削性能試験を行い、花崗岩の日本応用地質学会による岩盤分類 DH 級で掘削速度が平均 7.7 cm/min、CL 級で平均 2.3 cm/min、CM 級で平均 1.3 cm/min、CH 級で掘削不能と言う結果を得て、その適用範囲を示した。品質面では、ソイルセメントの透水係数、一軸圧縮強度についてそれぞれ試験を行い、実用上問題のない結果が得られた。これらの結果は、その後の具体的な工事における施工の可否の判断材料となった。施工実績では、実際の廃棄物処分場適正閉鎖工事において採用された CSM 工法が工程短縮および工費削減に極めて有効な工法であることが確認できた。

第 3 章では、CSM 工法で造成したソイルセメント壁体内に鋼製連続壁用部材を建て込むソイルセメント鋼製地中連続壁工法への展開に向けた、嵌合部施工法のプレート付き防護パイプの開発とその試験施工結果を示した。この試験結果は、プレート付き防護パイプの実用性を示している。また、CSM 工法を用いたソイルセメント鋼製地中連続壁工法が東京近傍の私鉄地下駅の構造体に採用され、順調に施工が完了した現場への展開事例について述べるとともに、これまでの技術開発によって CSM 工法の壁厚が 1,200mm まで施工が可能になったことやフランジ端部に嵌合継手を有する止水性の高い高剛性鋼製部材の部材高さ 900mm へ対応、狭隘な場所で 60m の大深度施工が可能になったことを示した。

第 4 章では、ソイルセメント鋼製地中連続壁が本体への単独壁利用が可能となった背景から、一般の土留め壁の剛性や掘削幅などが土留め壁の変形に与える影響に関する検討、CSM 工法も含む二段土留めの土留め壁の挙動に及ぼす各種要因の検討、二段土留めにおける二次土留め壁の変形抑制対策として切梁やアンカーのプレロード導入に関する検討、アンカー工法を用いた場合の二次土留め壁の挙動に関するアンカー単独工法とアンカー補助工法に関する検討を行った。その結果、土留め壁の剛性や掘削幅の変化による土留め壁への影響が確認され、剛性が大きくなるほど掘削に伴う土留め壁の変形量が抑制され、掘削幅が広がるほど変形量が大きくなることを明らかにした。また、二段土留めの挙動に及ぼす各種要因の検討においては、一次土留め壁と二次土留め壁の水平距離、土質の相違、一次土留め壁の根入れ長さに着目して解析を行った。その結果、一次土留め壁と二次土留め壁の水平距離と一次土留め壁の根入れ長さは、二次土留め壁に影響を及ぼす重要な要因であることが判明した。二次土留めの切梁やアンカーのプレロード導入に関する検討では、プレロードの有無によって掘削に伴う二次土留め壁の変形量には明らかな差異があり、切梁やアンカーにプレロードを導入することにより、二次土留め壁の変形量を抑制できることを示した。アンカー工法を用いた二次土留めの施工においては、切梁とアンカーを併用して施工することで施工空間を確保し、二次土留め壁の変形量を抑制できることを示した。

第 5 章では、前章の検討結果を基に既存の二段土留めに関する技術指針に、一次土留め壁の根入れ長の決定に対して、二次土留め壁の変位も考慮した根入れ長の検討を考慮する概念を示した。また、二段土留めの変形抑制方法では、アンカー工法や二次土留め壁へのプレストレストの導入は、切梁支保工の段数を減らして作業空間を広げ得るため、実用的に有効な施工法となることを述べた。さらに、アンカーによる二次土留めの変形抑制工法の提案を行い、具体的なアンカーの施工法について、スプリッツアンカーによるプレストレストの導入例を示すとともに、このスプリッツアンカーによるアンカーの定着方法は、現状の技術で施工が十分可能であることを説明し、等壁厚のソイルセメント壁工法である CSM 工法は応力材の任意配置が可能であることから、多くのソイルセメント壁工法の中で優位性のある工法であることを示した。最後に、二段土留めの施工事例として海外の事例を含む 4 例を紹介し、二段土留めが採用された理由について説明した。

第 6 章は、結論であり、上述各章を総括したものである。