

# CSM 工法「クアトロサイドカッター機」による 大深度ソイルセメント壁の施工

—首都高速道路中央環状品川線大橋連結路工事—

原田 哲伸・井上 隆広・今若 弘孝

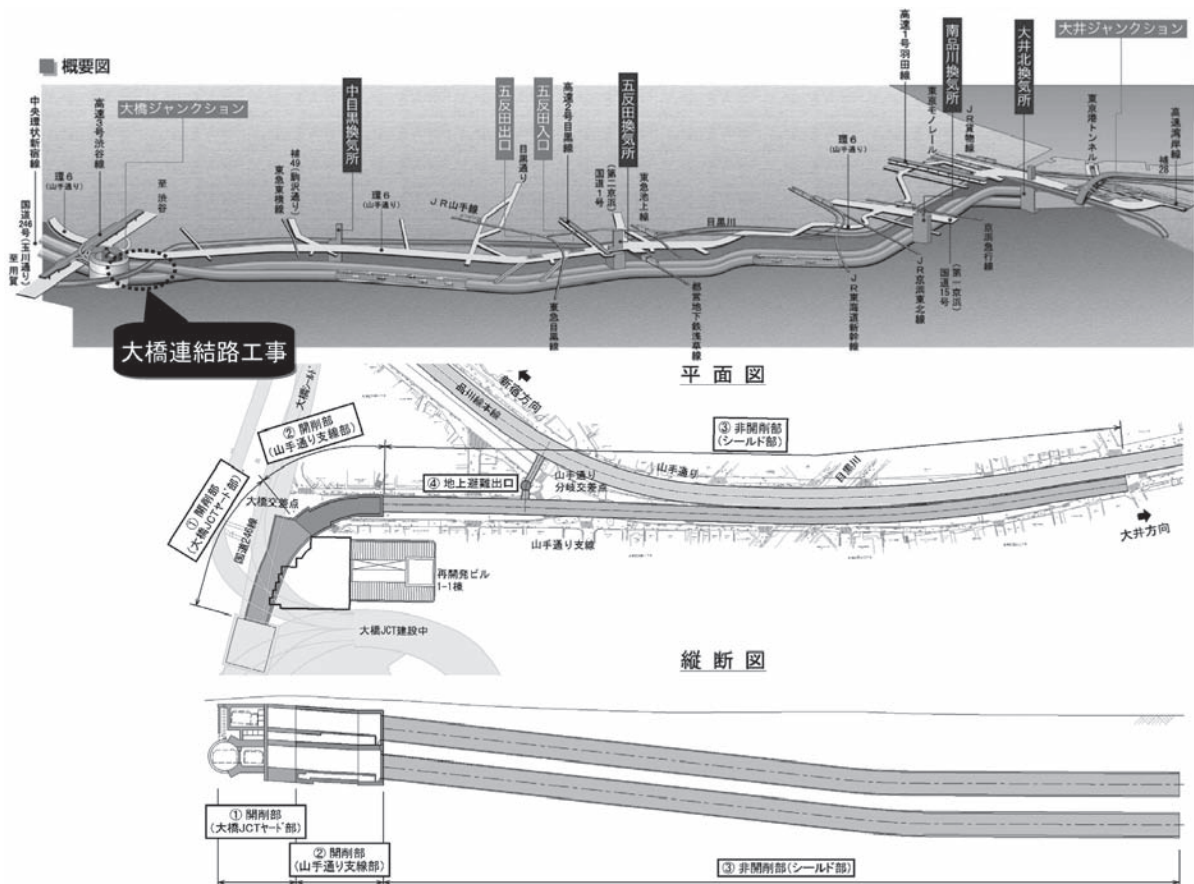
近年、大都市部における地下工事は大深度化が進み、硬い地盤への対応が必要になっている。また、施工条件として、地上交通を阻害せず（占有作業空間の最小化）、周辺住民にも不安感や圧迫感を与えない、よりコンパクトな施工機械へのニーズが高まっている。そこで、これらの課題を解決する工法として、硬質地盤への適用性が高く、作業幅6m以内で大深度ソイルセメント地下連続壁を構築できるCSM工法「クアトロサイドカッター機」を開発・導入し、首都高速道路中央環状品川線大橋連結路工事において採用した。現在、第1期の施工を完了したが、概ね想定した施工能力を発揮することができた。

キーワード：地下連続壁，ソイルセメント，等壁厚，水平多軸回転カッター，大深度，硬質地盤，低空頭，狭隘地

## 1. はじめに

首都高速道路中央環状品川線は、高速湾岸線から3

号渋谷線間を連携する延長約9kmの地下トンネルであり、現在、鋭意建設が進められている。このうち、本工事は大橋ジャンクションへの連結路を開削工法お



図—1 中央環状品川線・大橋連結路概要図

よび非開削工法により構築するものである(図-1)。

開削工事は、幹線道路(国246号,山手通り)を結末する山手通り支線に位置し,作業帯を占有して大規模な地下連続壁を構築する必要がある。しかし,道路幅員が狭いうえに,沿道には商店等が隣接しており,施工にあたっては,「1車線規制のみの狭隘な作業帯で施工が可能であること」,「周辺住民に与える圧迫感が小さいこと」,「硬質地盤でも施工が可能であること」が課題となった。そこで,これらの施工条件を満足する工法として,作業幅6m以内で大深度ソイルセメント地下連続壁を構築できるCSM工法「クアトロサイドカッター機」を開発・導入し,本工事において採用した。

本稿ではCSM工法「クアトロサイドカッター機」の概要と施工状況について報告する。

## 2. 工事概要

### (1) 全体概要

工事名:中央環状品川線大橋連結路工事

工事場所:東京都目黒区青葉台二丁目~大橋一丁目

発注者:首都高速道路株式会社

施工者:株式会社 間組

工期:平成19年5月22日~平成25年6月30日

工事内容:大橋連結路(上層)L=550m,(下層)L=540m

- ①開削部 : 延長55m,掘削幅13~20m,掘削深度33m
- ②シールド部 : 延長(上層)475m,(下層)450m,シールド外径 $\phi$ 9.7m
- ③切開き部 : 延長(上層)210m,(下層)180m
- ④地上避難出口:掘削深度50m,掘削外径 $\phi$ 5.1m
- ⑤その他 : 道路床版工,耐火工

### (2) 施工対象(土留め壁)

「クアトロサイドカッター機」は,シールド発進立坑の土留め壁の構築に適用した。当該立坑では上下2段の大断面シールドを施工するため,強度および剛性の高い土留め壁が必要であり,等壁厚ソイルセメント地下連続壁を採用した。土留め壁の諸元を以下に示す(図-2)。

- ・壁厚:900mm(等壁厚ソイルセメント地下連続壁)
- ・芯材:H-700×300×13×24(間隔:600mm)
- ・壁長:35.5m
- ・施工延長:約38m(17エレメント)

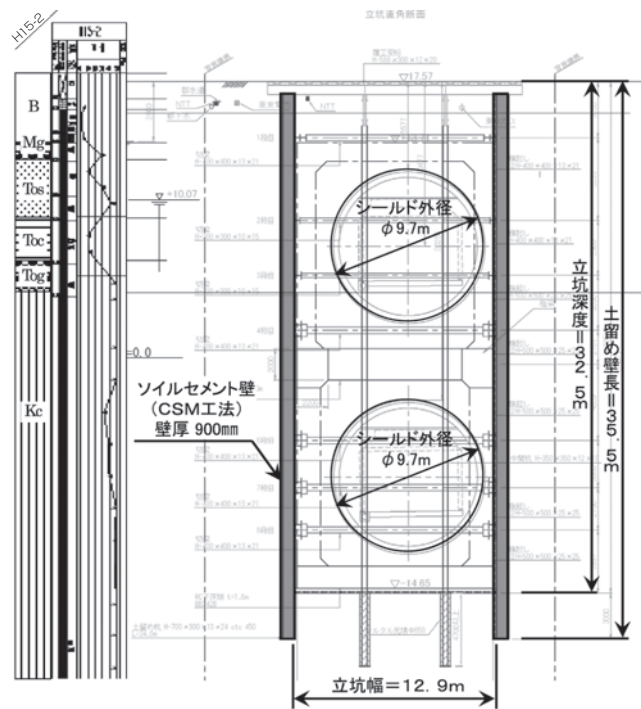


図-2 立坑概要図

### (3) 土質条件

施工地点の地質は,新第三紀鮮新世~第四紀更新世の上総層群の泥岩(Kc)を基盤岩とし,その上位に第四紀更新世武蔵野礫層(Mg),東京層砂質土(Tos),粘性土(Toc),東京礫層(Tog)および埋土,ローム層,凝灰質粘性土などの地表層(B)が分布する。

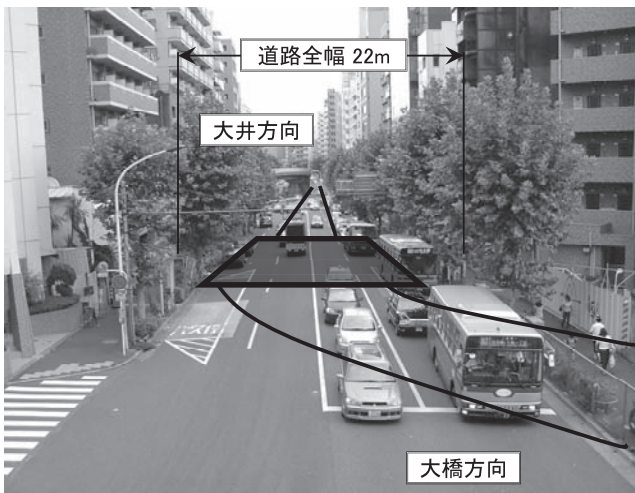
特に,泥岩( $q_u = 3\text{N/mm}^2$ 程度)はGL-13m以深に厚く堆積しており,土留め壁の施工方法として硬質地盤での施工性,経済性に優れた工法を選定する必要がある。

### (4) 施工環境

当該工事現場は,歩道を含めた道路幅員が22mと狭いうえに,沿道には飲食店や商店,集合住宅等が隣接しているため,施工に伴う交通渋滞や周辺に与える圧迫感,騒音,振動などについて慎重に配慮する必要がある。

そこで,現況4車線のうち3車線(大井方向1車線,大橋方向2車線)を確保し,常設作業帯(幅6m×延長60m)で昼間に土留め壁の施工を行うことが条件となる(写真-1~写真-2)。

以上の施工条件を踏まえ,コンパクトな機械で,硬質地盤に大深度ソイルセメント地下連続壁を構築できる,「クアトロサイドカッター機」の開発に至った。



写真一 1 施工環境 (工事着手前)

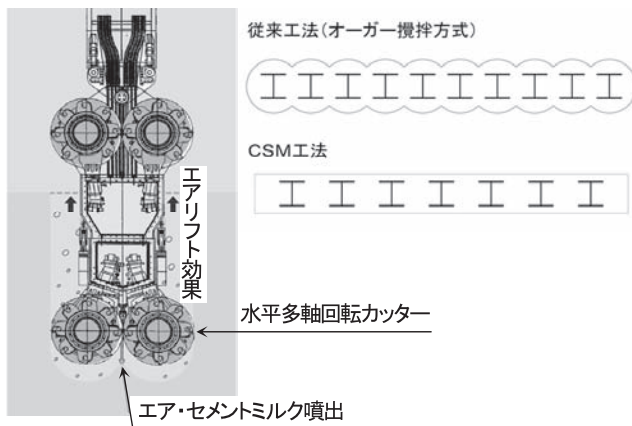


写真一 2 作業帯状況

### 3. CSM 工法「クアトロサイドカッター機」

#### (1) CSM 工法の概要

CSM 工法とは、水平多軸型地下連続壁掘削機と同様の水平多軸回転カッター (Cutter) を用いて土 (Soil) とセメント系懸濁液を原位置で攪拌混合 (Mixing) し、



図一 3 CSM 工法概念図

等壁厚のソイルセメント壁体 (土留め壁・遮水壁等) を造成する工法である (図一 3)。その特長には原位置土攪拌混合工法の特長に加え、以下のような点がある。

- ① 水平多軸回転カッターの高い掘削性能により、岩盤や硬質地盤においても先行削孔等の補助工法が不要もしくは軽減できる。
- ② エアブローを併用した高速回転カッターにより、高い攪拌性能を持つ。
- ③ 等壁厚のソイルセメント壁が造成されるので、芯材配置を任意に設定でき、設計の自由度が高い。
- ④ 壁体がパネル状に造成されるため小さな円形立坑の施工が可能である。
- ⑤ 壁体の接続は止水性の高いカッティングジョイントとなる。
- ⑥ カッター部に内蔵した傾斜計により、リアルタイムでの掘削精度確認が可能である。

#### (2) 「クアトロサイドカッター機」の開発経緯

表一 1 に CSM 機の種類と実績を示す。

ケリーバー方式の CSM 機は 2003 年にドイツにおいて開発され、2004 年に BCM3 型が、続いて同方式の BCM5 型が日本に導入された。

しかし、ケリーバー方式の CSM 機は、大深度を施工する場合にケリーバーを長くする必要があり、施工機械の大型化が避けがたく、おのずと掘削深度に限界 (35 m 程度) があった。そのため吊り下げ方式の開発が進められ、大深度施工が可能な BCM10 型が、試験施工を経て日本に導入された (2005 年)。

掘削深度は従来機に比べ大幅に深くなり、機械高さ 15 m、機械長 9.5 m と小型化されたが、都市部での施工を想定した場合、さらなる小型化が望まれた。そして、コンパクト化された (機械高さ 6.5 m) クアトロカッター機 (低空頭対応型) が 2006 年に開発された。






さらに今回、上部旋回台を設けて、カッターをベースマシンのサイドに配置することにより、狭隘地 (作業幅 6 m 以内) での施工が可能な「クアトロサイドカッター機」を考案、製作をパワーマシーネン社に依頼し、本工事に導入した。

#### (3) 「クアトロサイドカッター機」の特長

「クアトロサイドカッター機」は、従来のケリーバー方式の特長に加えて次の特長がある。

- ① ホースドラムを利用した吊り下げ方式の採用により大深度 (最大 65 m) 施工が可能である。
- ② 転倒に対する安定性が高く、また周辺に対する圧迫感がない。

表-1 CSM機の種類と実績

種類	ケリーバー方式		吊り下げ方式	
	2カッター		2カッター	クアトロカッター (4カッター)
機械姿写真				 
開発年：日本導入年度	2004年	2004年	2005年	2006年 (サイドカッター：2007年)
国内保有台数	1台	2台	0台 (海外2台)	2台 (サイドカッター：1台)
カッター	型式	BCM3型	BCM5型	BCM10型
	トルク	0-30 kN・m	0-45 kN・m	0-80 kN・m
ベースマシン	機械高	～35m程度	～35m程度	約15m (CBC25)
	機械長	10m程度	10m程度	9.5m程度
掘削深度 (実績最大深度)	～35m (20m)	～35m (31m)	～60m (60m)	～65m (60m)
掘削壁厚	500～700mm	500～900mm	640～1,200mm	500～1,200mm
掘削幅	2,200mm	2,400mm	2,800mm	2,400mm
施工実績 (試験施工除く)	3件 (海外19件)	4件 (海外33件)	1件 (海外7件)	11件 (海外0件)

2008年12月末現在：パワー工法研究会調べ (パワーマシーネン社製機械のみ)

- ③ 4カッター化により方向制御および掘削・攪拌性能が向上する (下部カッターは掘削・攪拌機能, 上部カッターは攪拌およびカッター引上げ時の抵抗低減機能を有する (写真-3))。
- ④ リアルタイムモニターによる掘削精度確認に加え, カッター部に姿勢制御フラップを装備しており, 壁直角方向およびねじれ方向の掘削精度が向上する (写真-4)。

#### 4. 施工状況

土留め壁の施工は, 作業帯を切替えながら3期に分割して行うが, 現在, 第1期の施工 (7エレメント) を終え, 「クアトロサイドカッター機」は概ね想定どおりの施工能力を発揮している。施工状況を写真-5に示す。

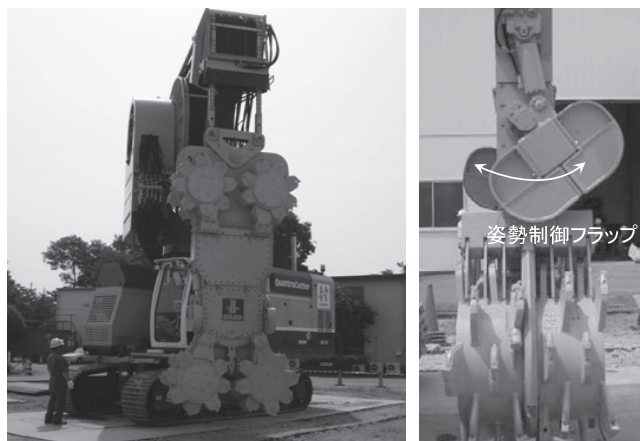


写真-3 旋回中のカッター

写真-4 姿勢制御装置

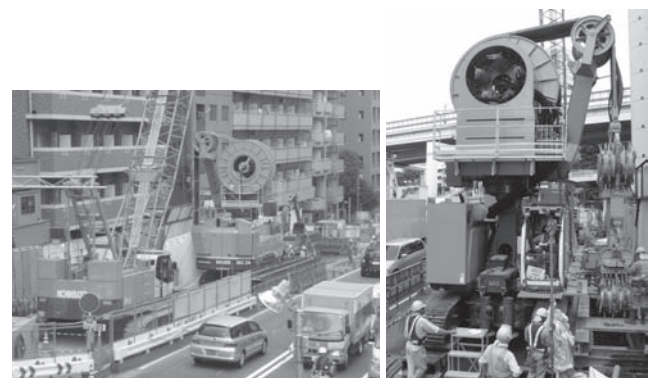


写真-5 「クアトロサイドカッター機」の稼働状況

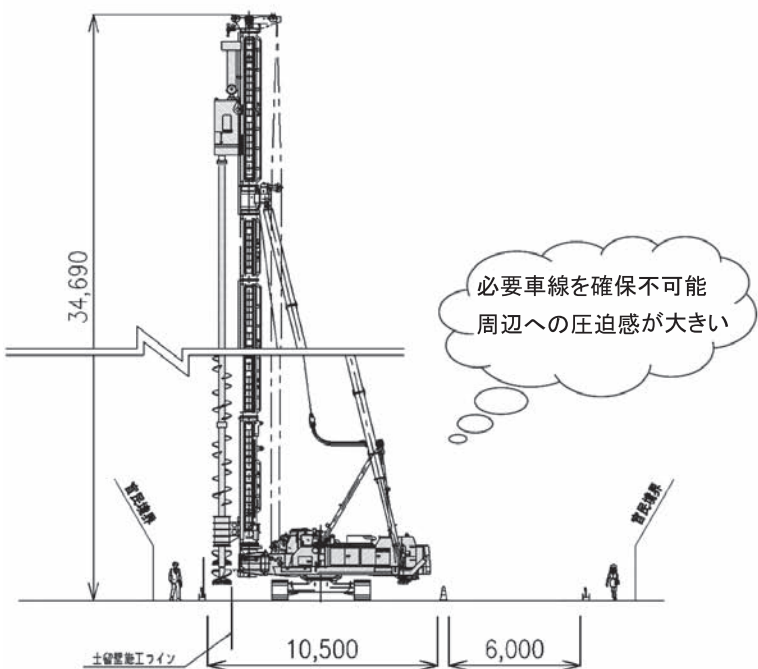
##### (1) 施工サイクル

標準的な施工サイクルの実績を表-2に示す。

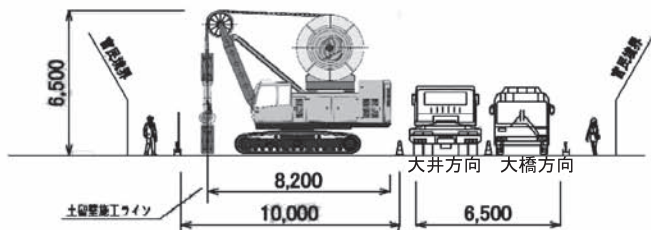
本工事は, 大深度, 硬質地盤での施工であるため掘削に長時間を要するうえに, 作業帯が狭小であることから芯材の継手が多く, 建込みに長時間を要する。そこで, 施工途中のセメント固化によるトラブルを避けるため, 掘削と造成を個別に行う2サイクル施工を適用した。

- ⑤ 低空頭, 狭隘地での施工が可能である (図-4)。  
クアトロカッター機 : 機械高 6.5 m  
クアトロサイドカッター機 : 機械幅 4.4 m + 壁厚 / 2

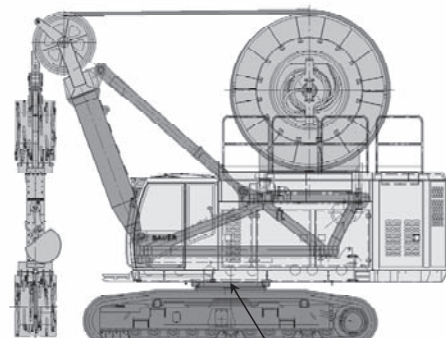
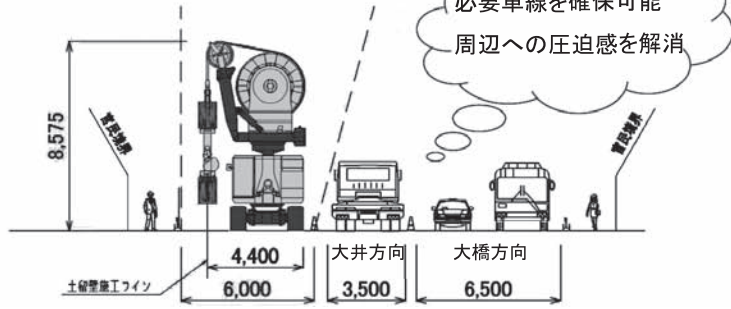
従来工法 (SMW工法など)



クアトロカッター (低空頭型)



クアトロサイドカッター (狭隘地型)



※パーツ交換で相互にモデルチェンジ可能

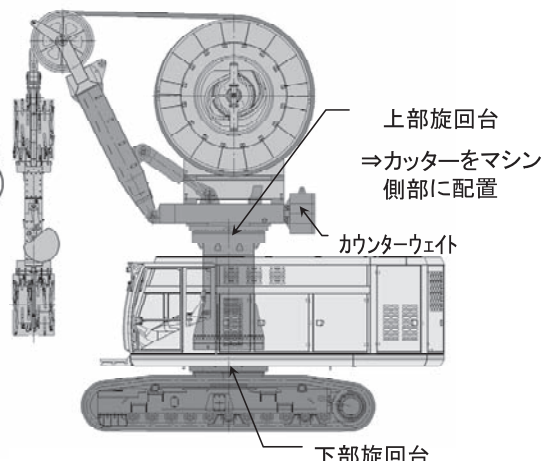


図-4 「クアトロサイドカッター機」の特長

表-2 施工サイクル実績 (2日/EL)

	作業内容	作業時間	備考
1日	点検・準備	8:15 ~ 9:00	壁厚 0.9 m, 掘削幅 2.4 m 掘削深度 38.5 m (余堀り含む) 掘削速度 5.5 m/hr
	掘削・引上	9:00 ~ 17:00	
	片付け	17:00 ~ 17:30	
2日	点検・準備	8:15 ~ 9:00	H-700 × 300 13 × 24@600 建込み 4本 継手 3箇所/本
	造成・引上	9:00 ~ 12:00	
	段取替え	12:00 ~ 12:30	
	芯材建込み	12:30 ~ 18:30	
	片付け	18:30 ~ 19:00	

2サイクル施工とは、1サイクル目にベントナイトを主体とする掘削液により地山を泥土状にほぐし、2サイクル目でセメント固化液を素早く混練して、フレッシュなソイルセメントに芯材を建込む方法である。

(2) 施工品質

壁体の掘削精度およびソイルセメントの圧縮強度は、表-3に示すとおり良好な結果が得られた。

表—3 掘削精度および圧縮強度

	管理値	実績
掘削精度	1/300	面内 1/440 ~ 2,060 面外 1/825 ~ 2,090
一軸圧縮強度 $\sigma_{28}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.50	1.12 ~ 2.56

### (3) 掘削・固化液の配合

掘削・固化液の配合は、試験練りの結果を基に表—4に示す配合を標準とした（設計基準強度 0.5 N/mm<sup>2</sup>）。

表—4 掘削・固化液計画配合 (kg/対象土量 1 m<sup>3</sup> 当り)

	セメント	ベントナイト	水	遅延剤	分散剤	注入率
掘削液	25	20	400	0	0	41.6%
固化液	200	5	200	8	2	27.7%

これに対して、実施工では掘削能率を優先した結果、掘削液の注入率は約 60% となり、その分、排泥量も増加した。

また、施工時期は真夏の炎天下であり、固化液混合土のテーブルフローの低下が速く、遅延剤の添加量は約 1.5 倍を要した。

## 5. おわりに

本工事において CSM 工法「クアトロサイドカッター機」を開発・導入し、実際に作業幅 6 m という極めて狭隘な施工条件で、硬質地盤に大深度ソイルセメン

ト地下連続壁の構築を行い、概ね良好な施工結果が得られた。

一方、掘削液や遅延剤は計画より多量に必要であった。今後、継続エレメントの施工データも含めて詳細な分析を行い、掘削・固化液の配合や注入率、遅延剤の添加量の決定手法などソフト面の合理化を図りたい。

本稿が今後の類似工事の参考になれば幸いである。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 佐久間誠也：ケリーバーおよび吊り下げ方式の CSM 機と施工事例、基礎工 (2006.3)

### 【筆者紹介】

原田 哲伸 (はらだ てつお)  
首都高速道路(株)  
東京建設局 大橋建設グループ



井上 隆広 (いのうえ たかひろ)  
(株)間組  
関東土木支店 大橋出張所



今若 弘孝 (いまわか ひろたか)  
(株)間組  
関東土木支店 大橋出張所

