

土木学会技術開発賞
—その後—

**SINCE WINNING THE
INNOVATIVE
TECHNIQUE AWARD**

技術開発賞 その後 急カーブ掘進型シールド機械の開発

DEVELOPMENT OF SHARP TURNING SHIELD MACHINE

杉 正*・桑原 洋**・貝沼憲男***
原田光男****

Tadashi SUGI, Hiroshi KUWAHARA,
Norio KAINUMA and Mituo HARADA

* 正会員 東京電力(株) 立地環境本部環境部部長
(〒100 千代田区内幸町 1-1-3)

** 正会員 東京電力(株) 送变电建設所副所長

*** 正会員 東京電力(株) 技術研究所構造研究室主管研究員

**** 正会員 東京電力(株) 千葉火力発電所
千葉ガス導管建設所導管第二土木課長

Keywords : shield machine, radius of least curvature,
outbreak

1. 開発の背景

近年、都市部の送電線は、都市の過密化、環境問題等の理由からシールド機械で構築される地中送電用洞道に収納されることが多くなってきている。洞道は一般に道路下に建設されることが多く、首都圏のように建物の高密度化が進み、幅員の狭い道路が交差している箇所や、地下鉄および上・下水道等の地下埋設物が輻射している箇所では、急カーブ施工ならびに既設埋設物を回避するための伏越し施工が必要となる。従来のシールド機械では、施工可能な最小曲率半径が大きすぎるため、シールド機械の方向転換用の立坑や深度変更用の立坑を設けて工事を行っていた。しかしながら、このような中間立坑の建設に当たっては、

- ① 交通量の増加等により、立坑の用地を確保することが難しい。
- ② 立坑の建設に伴う騒音、振動等周辺環境に与える影響が大きい。
- ③ 立坑の建設費が高く、洞道のコストアップにつながる。

等の問題が生じており、立坑用地を確保できない箇所では、洞道のルート変更等を余儀なくされる事態が生じている。

このため東京電力(株)は石川島播磨重工業(株)ならびに川崎重工業(株)とそれぞれ共同研究により、図-1に示すような交差点直下での急カーブ施工が可能な急カーブ掘進型シールド機械を開発した。

2. シールド機械の概要

東京電力(株)が石川島播磨重工業(株)と共同開発した東電-石播タイプならびに川崎重工業(株)と共同開発した東電-川重タイプの急カーブ掘進型シールド機械の



図-1 交差点直下での急カーブ施工

概要を図-2および図-3に示す。

従来から、カーブ施工には、中折れ装置を持つシールド機械が用いられていた。これは、シールド機械の胴体を、その中間部で折り曲げ、機械の形状をカーブのルート線形に近づけることで、カーブ掘進時の余掘量を出来る限り小さく抑えようとするものであるが、その中折れ角度は、中折れ部の止水性能が低下する等の理由により最大で2.5°程度であった。

このような中折れ装置を持つ密閉型のシールド機械で施工可能な最小曲率半径は、土質、シールド機械の規模など、その施工条件にもよるが、シールド機械外径φ4.5m程度で40m~50mとなっている。

開発した急カーブ掘進型シールド機械は、基本的には、球面摺動機構等による新しい中折れ機構を採用することにより、中折れ角度を、これまでの2~3倍と大きくし、急カーブ施工時の余掘量を小さくしようとしたもので、

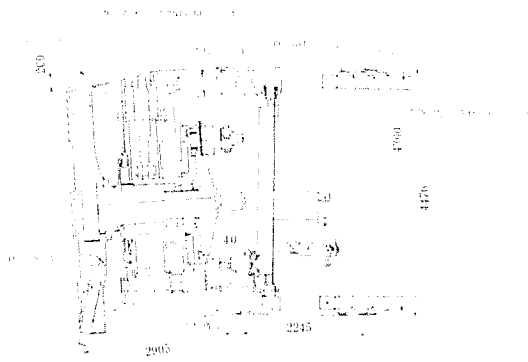


図-2 東電-石播タイプ急カーブ掘進型シールド機械

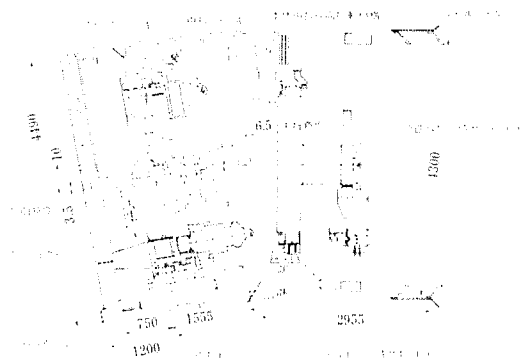


図-3 東電-川重タイプ急カーブ掘進型シールド機械

さらに、余掘量を低減するために、カッター・ディスクの偏心装置（東電-石播タイプ）、カッター・ディスクの屈曲装置（東電-川重タイプ）を開発し、装備したものである。

3. 施工実績

1991年7月現在での最小曲率半径 $R=80\text{ m}$ 以下の急カーブ掘進型シールド機械の施工実績は、東電-石播タイプ80件および東電-川重タイプ91件の合計171である。

このうち、特に急カーブの最小曲率半径 $R=15\text{ m}$ 以下の施工実績を示すと表-1のとおりであり、東電-石播タイプ14件および東電-川重タイプ11件の合計25件である。この内訳は、電力洞道2件、下水道等23件であり、大半が下水道事業用に用いられている。

4. 最近の施工事例

ここでは、東電-石播タイプならびに東電-川重タイプの急カーブ掘進型シールド機械による最近の施工例を紹介する。

(1) 富津～袖ヶ浦間ガス導管工事

富津～袖ヶ浦間ガス導管工事は、千葉県に立地する富

津火力発電所と袖ヶ浦火力発電所の間を結ぶ延長25 km間に、口径600 mmのガス導管2条を敷設する工事である。途中、木更津港および小櫃川等、海域や河川を横断するが、この部分については、シールド工法により内径3000 mmのトンネルを構築し、ガス導管を敷設する。

特に、小櫃川の河川横断部は、土盛り16 m～21 m程度の下部有楽町層粘土層 (N 値2～7) を通過する延長687.2 mのシールドトンネルであるが、河川区域の横断は直線で最短距離とするとともに、民地部の通過長をできる限り短くする等の条件から図-4に示すような最小曲率半径 $R=20\text{ m}$ 、曲線長 (C.L.) = 32.6 mの急曲線部を1箇所、 $R=60\text{ m}$ 、 $R=100\text{ m}$ の曲線部を3箇所含む平面線形となっている。

当該工事では、この急曲線部の施工を行うため、東電-石播タイプの急カーブ掘進型シールド機械を採用した。

本機は、シールド機械外径 $\phi 4\,030\text{ mm}$ の土圧式シールド機械で、① シールド機本体の中折れ装置 (最大中折れ角度 6°)、② カッターディスクの偏心装置 (最大偏心量150 mm)、③ テーパーフード、④ シールドジャッキの後胴取付、⑤ コピーカッター (最大余掘り量200 mm) 等の急曲線施工対応の装備を持つものである。シールド機械の外観を写真-1に示す。

施工にあたっては、軟弱な粘土層においてシールド機械の回転反力を確保するとともに、余掘りによる周辺地盤のゆるみを防止する等の目的で、カーブ内・外側およびシールド頂部に置換工法による柱列杭を打設するとともに、セグメント外径 $\phi 3\,870\text{ mm}$ 、テーパー量64 mm (セグメント幅: $B_{\max}=332\text{ mm}$ 、 $B_{\min}=268\text{ mm}$) の鋼製セグメント (直線部では $\phi 3\,900\text{ mm}$ 、 $B=1\,000\text{ mm}$ のRCセグメント) を採用した。

施工後の出来型線形から計算される急曲線部の曲率半径は19.9 m程度で、カーブ直上の地表面沈下も3 mm程度と小さく、良好な結果が得られている。

$R=20\text{ m}$ 箇所のトンネル内の仕上り状況を写真-2に示す。

(2) 都下水第二地蔵堀幹線工事

本工事は、東京都下水道局三河島処理場内での工事であり、文京区、荒川区の汚水・雨水を処理場内に流入させる幹線下水道工事である。工事箇所は全て三河島処理場内であり、各種施設の構造物の基礎杭を避けるため、図-5に示すような曲率半径 $R=20\text{ m}$ のS字曲線および $R=10\text{ m}$ の急曲線の施工となったものである。

これらの急曲線施工を行うため、東電-川重タイプの急カーブ掘進型シールド機械を採用した。

本機は、シールド機械外径 $\phi 6,150\text{ mm}$ の土圧式シールド機械で、① シールド機本体の中折れ装置 (最大中折れ角度 6.5°)、② カッターディスクの屈曲装置 (最大屈曲角度 2.5°)、③ シールドジャッキ偏心装置 (最

表-1 急カーブ掘進型シールド機械施工実績 (R=15m以下)

納入年	工事名称	シールド機仕様	土質	N値	土被り	施工延長(m)	最小曲率半径R(m)	最大中折角度(°)	*方式
昭和60年	東京電力㈱川崎臨海地区管路新設(その3)工事	3.70mφ土圧式	シルト	0~5	9~10	797	15	±6.0	T-K
昭和61年	広島市下水道局古市地区下水道築造工事	2.14mφ泥土圧式	礫混じり砂	20~40	8~12	901	15	±4.0	T-I
昭和62年	横浜市下水道局港北処理区第2太尾幹線下水道整備工事	3.48mφ泥土圧式	粘性土	0	13.3~17.9	1544	13	±7.5	T-I
	横浜市下水道局神奈川処理区北寺尾幹線下水道整備工事	3.7mφ泥水圧式	土丹シルト	50以上	5.3~13.9	375	11	±7.0	T-K
	千葉県建設局下水道部大宮汚水幹線工事1工区	2.28mφ泥水圧式	細砂、シルト シルト質粘土	0~50	7.5~13.5	1330	15	±6.3	T-K
昭和63年	埼玉県中川下水道事務所中川流域下水道伊那幹線管渠造2工区2号その1工事	2.13mφ泥水圧式	砂質シルト	0~50	11~16	970	15	±6.0	T-I
	東京都下水道局東金町雨水幹線その4工事	5.25mφ泥土圧式	シルト砂	0~20	7~8	1100	15	±6.0	T-I
	横浜市下水道局北部処理区鶴見末吉幹線下水道整備工事(その2)	2.68mφ、土圧式	粘土質シルト	0~3	17.7	630	15	±6.0	T-I
	東京都下水道局第二地蔵堀幹線その1工事	6.15mφ泥土圧式	沖積シルト粘土	0	14~16	597	10	±6.5	T-K
	静岡県袋井土木事務所天竜川左岸流域下水道事業管渠工事	2.48mφ泥土圧式	砂砂礫	30~50以上	13.5	900	15	±7.5	T-K
	東京都下水道局世田谷区中町2丁目、等々力3丁目付近線工事	3.29mφ泥土圧式	凝灰質粘土 シルト質細砂 固結シルト、砂礫	1~50以上	11.1	808	15	±9.0	T-K
平成1年	大和市下水道部引地川下流1号第1工区その1工事	2.14mφ泥土圧式	砂礫	50以上	20.3	982	10	±7.5	T-I
	東京都下水道局大田区南雪ヶ谷5丁目久ヶ原1丁目付近管渠整備工事	2.88mφ泥土圧式	砂礫	30~50	6~15.5	556	15	±6.0	T-I
	東京都下水道局大田区東雪ヶ谷1丁目~池上給水所送水工事	2.14mφ泥土圧式	土丹粘土・砂	18~50	20~30	943	12	±7.5	T-I
	豊橋市下水道局排水施設築造工事(1工区)	2.89mφ泥土圧式	砂礫 シルト混じり砂	20	3.0~6.4	1400	10	±9.0	T-I
	東京都下水道局東金町3号雨水幹線工事	3.95mφ泥水式	砂質シルト	0~2	8.2	655	15	左9.0	T-K
	東京都下水道局大田区仲池上2丁目、中央6丁目付近枝線工事	3.29mφ泥水式	泥岩・中細砂・砂礫・粘土質シルト・シルト	0~50	13.8~32.1	2020	15	±9.0	T-K
平成2年	東京都大田区土木部大田区田園調布3,4丁目付近枝線その3立坑設置工事	2.48mφ泥土圧式	細砂 シルト質細砂 固結シルト	0~50以上	4.5~15	1094	15	±7.0	T-I
	横浜市下水道局南部処理区岡村第2幹線下水道整備工事	5.25mφ泥水式	土丹・砂礫 粘性土	0~50以上	5.2~21.1	2013	10	±9.0	T-I
	藤沢市下水道部国城東20工区弥勒寺用水1号幹線築造工事	3.29mφ泥土圧式	砂岩・シルト質 細砂・シルト	15~50	9.2~27	986	13	左9.0 右2.0	T-K
	横浜市下水道局北部処理区大曽根第2幹線下水道整備工事	2.28mφ泥土圧式	シルト 砂質シルト	1~5	4.5~9.5	618	15	±7.5	T-K
	千葉県建設局下水道部下水道排水施設工事(浜野川雨水1号幹線2第1工区)	3.49mφ泥水式	沖積粘土 "砂質土 "土	0~20	13.6	1513	15	左3.0 右9.0	T-K
	平成3年	大阪府田尻町役場吉見第2雨水および汚水幹線築造工事	2.49mφ泥土圧式	砂礫・粘土 シルト	3~40	3.2~6.5	673	10	±9.0
横浜市緑処理区上白根2号雨水幹線下水道整備工事		2.49mφ泥水式	砂質泥岩	50以上	19.2	1222	10	±9.0	T-I
東京電力㈱新宿5丁目付近管路新設工事		3.13mφ泥土圧式	砂層	27	8.4	350	10	±9.0	T-I

注) *方式

T-K 東電-川重タイプ

T-I 東電-石播タイプ

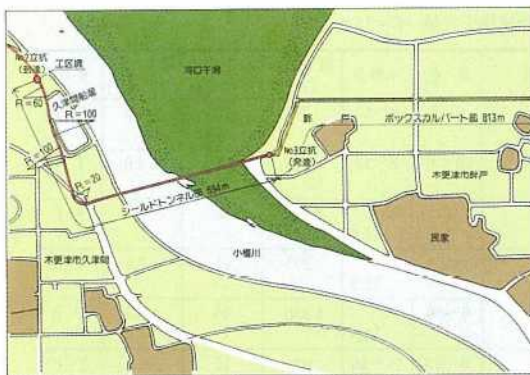


図-4 富津～袖ヶ浦間ガス導管工事計画線形

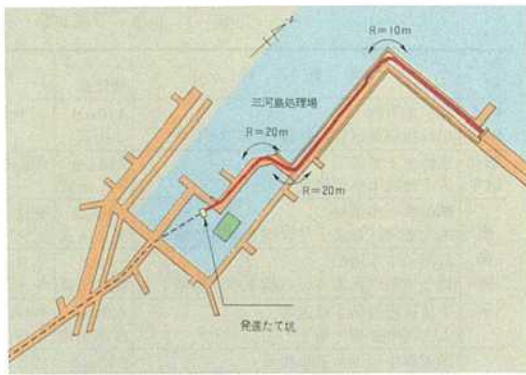


図-5 都下水第二地蔵堀幹線工事計画線形



写真-1 東電-石播タイプ急カーブ掘進型シールド機械



写真-2 R=20 m 箇所トンネル内状況



写真-3 東電-川重タイプ急カーブ掘進型シールド機械



写真-4 R=10 m 箇所トンネル内状況

大偏心量 80 mm), ④ コピーカッター (最大余掘量 1,000 mm×1 基, 400 mm×2 基) 等の急曲線施工対応の装備を持つものである。シールド機械の外観を写真—3 に示す。

施工にあたっては、急曲線箇所では、シールド機械の回転反力を確保する等のため、事前にコラムジェットグラウト工法による地盤改良を行ってからシールド掘進を行った。急曲線箇所では、シールド機械本体を中折れさせるとともにカッターディスクを屈曲させて、急曲線線形にできるだけ沿わせるとともに、さらに必要な余掘りについてはコピーカッターを用いて掘削した。工事の実施にあたっては、十分な施工管理が行われ、地上への影響もなく、計画線形からの水平ずれ量も最大 70 mm 程度と、施工精度もほぼ良好な結果が得られた。

R=10 m 箇所のトンネル内の仕上がり状況を写真—4 に示す。

5. あとがき

当初、この急カーブ掘進型シールド機械は地中送電用洞道を交差点直下に回転立坑を用いずに構築することを目的として開発したものであるが、施工実績で示したとおり、電力洞道建設工事に用いられているほか下水道等に広く採用され、各工事においてその効果を十分に発揮していることは、研究開発に携わった一員として非常に喜ばしいことであり、関係者の努力に深く感謝の意を表したい。

また、東京電力(株)ではこの急カーブ掘進型シールド機械の開発に引き続いて、現在超長距離シールド機械(掘進距離 10 km, 掘進速度 500 m/月, 耐水圧 10 kgf/cm²)および鉛直水平両用シールド機械(立坑および水平坑を 1 台で掘削できるシールド機械:立坑掘削深度 100 m, 耐水圧 10 kgf/cm²)についても平成 5 年度を目途に鋭意研究開発を進めており、今後とも広く斯界に役立つ研究開発を行って行きたいと考えている。

(1991.7.31 受付)