

# 清掃工場建替えにおける地下工事の合理化

## Rationalization of underground construction in Incineration plant rebuilding

鍋島 謙信\*1 大成 祐司\*1 高橋 宏明\*1  
 Kenshin Nabeshima Yuji Ohnaru Hiroaki Takahashi  
 野津 直紀\*1 藤原 正彦\*1 小川 雅史\*2  
 Naoki Notsu Masahiko Fujiwara Masafumi Ogawa

### 要旨

本工事は、旧清掃工場の老朽化に伴う都市型清掃工場の建替え工事である。新工場の地下躯体工事は、旧工場の杭や地下構造体を解体しながら様々なステップを踏んで進められる。本報告は20mを超える大深度のごみバンカ掘削・山留め工事、および厳しい工期に対処するために採用した地下躯体のPCa化などの合理化施工について報告する。

キーワード：都市型清掃工場 大深度掘削 山留め工事 地下躯体のPCa化 合理化工法

### 1. はじめに

光が丘清掃工場（東京都練馬区）は、地域のシンボルである光が丘公園や商業施設、病院、また多くの集合住宅に囲まれた都市型の清掃工場である（図1）。旧工場（写真1）は1983年の稼働開始から32年が経過、23区内の老朽化した焼却施設は、現施設を解体し建て替えることを基本とし



図1 施工場所



写真1 旧清掃工場全景（2016年）

ている。解体および新築に際しては、周辺環境に対し最大限に配慮した施工法が求められた。一方、過去の東京都における同種案件のなかで、最も短工期となる条件で発注された工事であった。そのため、計画段階より「解体（土木）・新築（建築）・プラント」それぞれの設計・施工担当者が定期的に打合せを行い、環境面や省力化に配慮した構工法を立案した。解体工事については既報<sup>1)</sup>の通りであるが、本報告では20mを超える大深度のごみバンカ掘削・山留め工事、および厳しい工期に対処するために採用した地下躯体のPCa化などの合理化工法について報告する。

### 2. 工事概要

工事概要を表1に示す。

表1 工事概要

工事名称	光が丘清掃工場建替工事
工事場所	東京都練馬区光が丘5丁目3番1号
発注者	東京二十三区清掃一部事務組合
設計・施工	タクマ・鴻池特定建設工事共同企業体
施工形態 (分割施工)	解体工事：(株)鴻池組東京本店（土木） 新築工事：(株)鴻池組東京本店（建築） プラント工事：(株)タクマ
全体工期	2016年6月28日～2021年3月15日
主要用途	ごみ焼却場（焼却能力300t/日）
敷地面積	約23,000 m <sup>2</sup>
建築面積	約7,850 m <sup>2</sup>
延床面積	約22,000 m <sup>2</sup>
建築工事	[工場棟] 地下2階、地上4階/高さ約27.0m 地下：RC造、地上：SRC造・S造 [煙突] RC造外筒・ステンレス製内筒型/高さ約150m [付属施設] 計量棟、洗車棟 ほか

\*1 東京本店 建築部 \*2 東京本店 建築技術部

### 3. 建物概要

#### 3.1 建物の特徴

新築建物の特徴を以下に示す。

##### ①地域環境との調和

都市型清掃工場を多く抱える東京 23 区では、地域環境に配慮して建物の高さを抑え、その分地下を深くする方法が最近の主流となっている。本工事においても、旧工場の建物高さ 40.7m に対して、新工場の建物高さを 27m に抑えた（図 2）。また、建物高さを抑え深くした地下部に、焼却炉やボイラ、汚水処理などの主要設備を配置した。さらに、積極的な緑化を図るなど、周辺環境に調和したデザインとした。

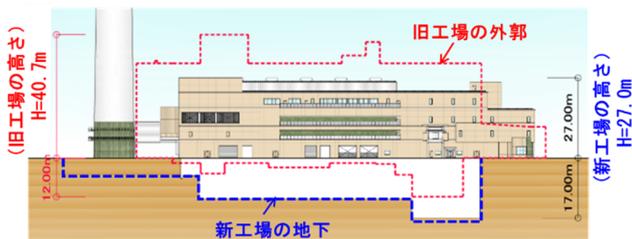


図 2 旧工場との高さ比較

##### ②地球温暖化の防止

従来よりも効率の高い廃棄物発電設備を導入し、発電電力量の増加を図った。また、建物緑化による冷暖房使用電力量の低減および LED 照明による電力量の低減など、省エネルギー化を推進し、CO<sub>2</sub> 排出量の削減に努めた。

##### ③自然エネルギーの利用

太陽光発電パネルやトップライトなどにより、自然光を積極的に利用する計画とした（図 3）。



図 3 完成予想図

#### 3.2 建物の構造

新築建物の構造種別を図 4 に示す。

地下部は RC 造で、建物高さを抑えた分、焼却炉やボイラ、汚水処理などの主要な設備は地下 2 階からの配置となっている。地上部の大部分は S 造だが、清掃工場特有の粉塵や臭気が外部に影響を与えるおそれがある部分については S

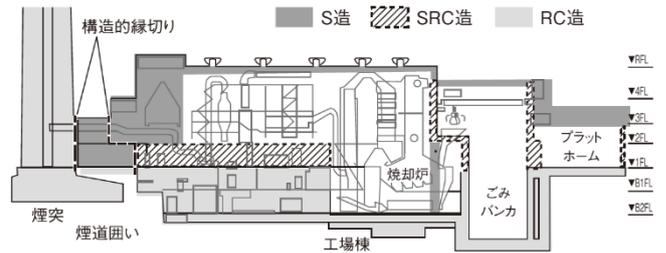


図 4 構造種別（南北断面図）<sup>2)</sup>

RC 造としている。

煙突高さは約 150m で、旧工場の煙突を基礎まで解体したあと、新たに杭を打設し RC 造の煙突（外筒）を構築した。

### 4. 工程計画

当工事の全体工期は、2016 年 6 月 28 日着工～2021 年 3 月 15 日竣工の 56.5 ヶ月で、旧工場の解体工事や新築建物・プラント施設の設計期間と、施設完成後の試運転期間を含んだものである（図 5）。

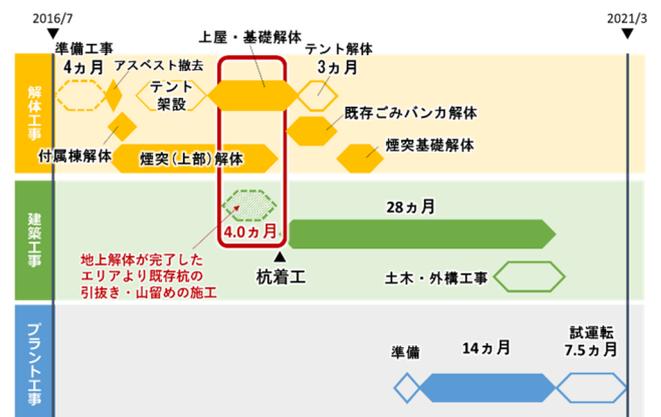


図 5 全体工程表

土木部門が担当した解体工事は、粉塵の飛散や騒音の抑制など、周辺環境へ最大限に配慮した施工法として、発注者の仕様により「全覆いテント」を設置したなかでの施工となった（図 6）。旧工場の建屋全体を覆う超大型テントは、幅約 78m、高さ約 47m、長さ約 150m、内部体積が 43 万 1,545m<sup>3</sup>あり、当時（2018 年）、世界最大の体積を誇る負圧密閉式テントとしてギネス記録に認定された。

全覆いテントは、周辺環境に対する工事影響を抑制する効果が大きいものの、欠点として組立・解体に多くの日数を要する点が挙げられる。今回のような大規模テントでは、杭・基礎の施工から始まり、スライド工法によるフレーム

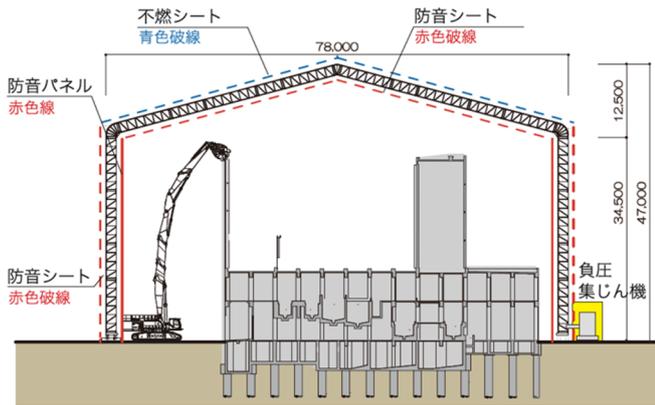


図6 全覆いテント断面図

の建方、屋根・防音壁の完成までに約10ヶ月を要し、本設の工場建設並みの日数が必要となった。また、テントの上屋解体にも3ヶ月を要する。

全体工程を考慮すると、「全覆いテント」の解体を待って建築工事を開始する工程では、プラントの機器搬入までに地下躯体工事が完了しないことが判明していた。そのため、解体工事と建築工事の工程を一部ラップさせると同時に、建築の山留め、および地下躯体工事の合理化が工程を厳守するためのポイントとなっていた。そこで解体工事（土木）と建築工事の担当者間で検討し、以下の工期短縮策を立案した。

- ①既存工場の基礎解体後、埋戻しを行わない。  
→スロープを設けることで、建築工事の施工地盤をGL-2.1mに設定した。
- ②既存ごみバンカなど、地下解体に使用する山留めは新築工事と兼用する。  
→解体工事単独で鋼板壁の施工・引抜きを行う場合、別途60日の工程が必要となる。ただし、兼用する場合は解体工事の段階で建屋配置を決定する必要がある。
- ③テント内の解体手順は、次工程の建築工事に配慮した手順とする。  
→テントが架設された状態で、分割した工区毎に建築に作業エリアの引き渡しを行い、解体工事と並行して建築工事（山留め・既存杭引抜き・杭工事）を開始する。

上記の短縮策に基づいて、既存基礎（一部地下）解体と並行して山留め工事（ソイルセメント壁）を行い（写真2）、上下作業とならないように調整しながら、テントの解体と並行して杭工事（現場造成杭）を行った（写真3）。その結果、建築工事を約120日前倒しで開始することができた。

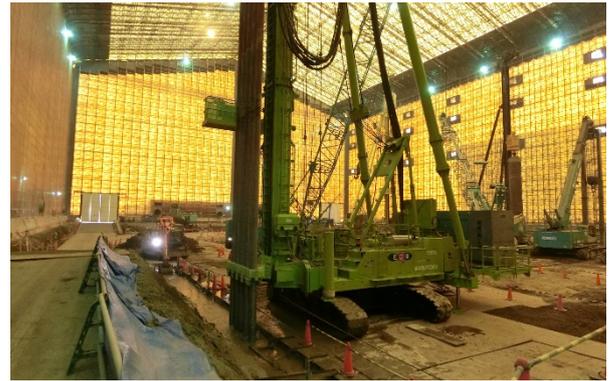


写真2 山留め（ソイルセメント壁）工事施工状況



写真3 杭工事施工状況

## 5. 山留め計画

### 5.1 地盤概要

地層断面図を図7に示す。当地は武蔵野台地と呼ばれる洪積台地に属し、標高はTP+38.0m前後に位置する。表層GL-3.0m付近まで一様に盛土層(B)が分布しているが、その下部には旧表土である関東ローム層(L<sub>m</sub>・L<sub>c</sub>)が分布。以降は段丘礫層砂礫層(T<sub>g</sub>)、上総層群江戸川層(Ed<sub>g</sub>)と呼ばれる関東地方特有の硬質な砂礫層および砂層が分布している。

地下水は敷地内に4ヶ所存在する観測井戸を常時観測しており、GL-7.0m付近が常水位となっている。

新設する「ごみバンカ」は20mを超える大深度の掘削となるが、図7に示すように、明確な遮水層といえる粘性土層がGL-45m以深にしか存在しない。

### 5.2 掘削計画

掘削計画を図8に示す。最深部のごみバンカは、掘削深さがGL-21.5m。主要なプラント設備が配置される一般(地下2F)部はGL-13.7m。その他、建屋の外周に面して灰バンカ(GL-18.8m)や、オーバーハングする形で地下1F(GL-8.7m)となる部分がある。

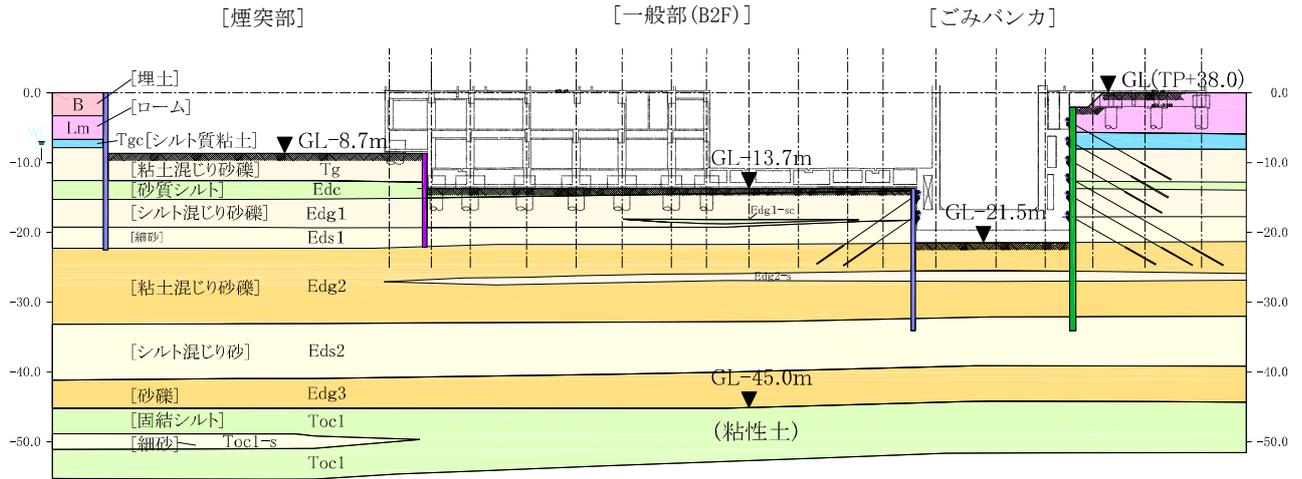


図7 地層断面図

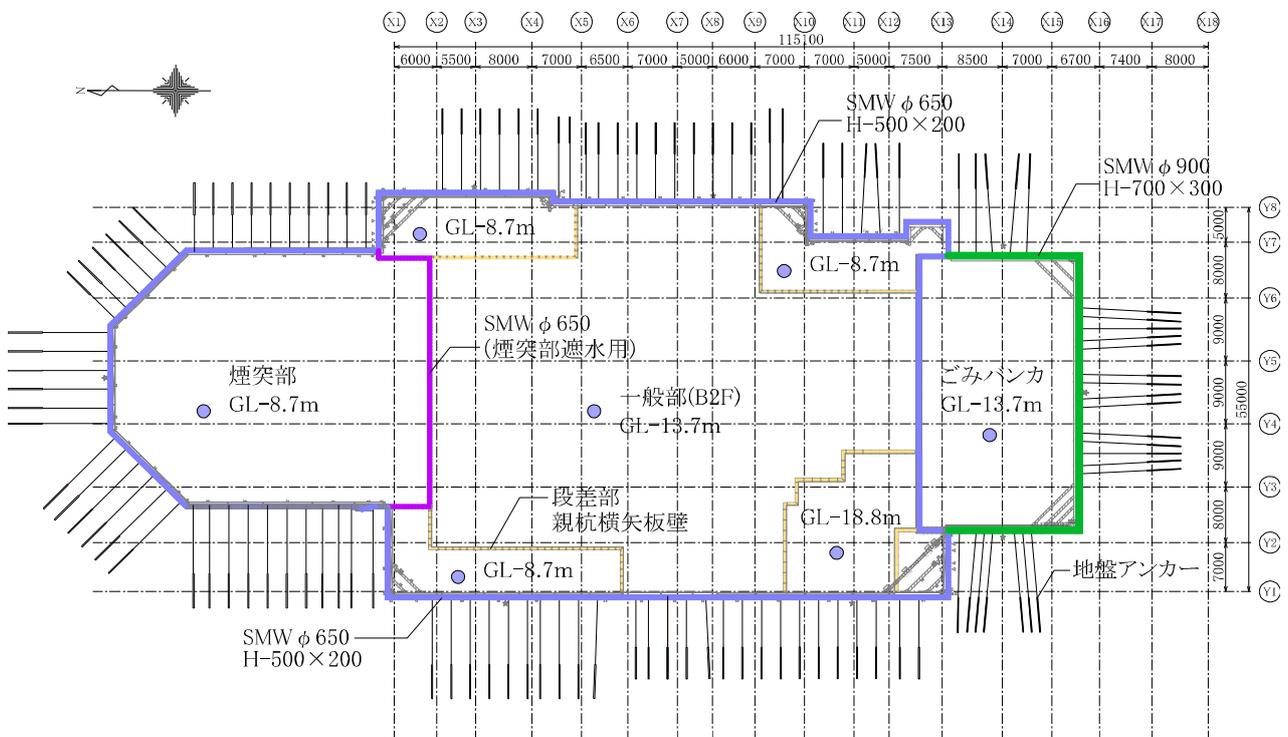


図8 掘削計画図

### 5.3 山留め計画の基本方針

山留め壁の仕様は、地下水など周辺環境へ与える影響を最小限に抑えるため、環境アセスメントにおいてソイルセメント壁の採用が条件となっている。本工事では大深度となる「ごみバンカ」の周囲は、大口径（φ900）のソイルセメント壁（L=32.0m）とし応力材はH-700×300を使用した。その他、煙突を含む建屋外周部は、φ650のソイルセメント壁（L=20～27.0m）とし、応力や変形に応じてH-500×200～H-440×300の応力材を使用した。また、建屋内の段差山留めは親杭横矢板壁とした。

新設ごみバンカには、ほぼ同位置に既存のごみバンカ（深さGL-14.0m）が存在したが、山留め壁は双方を包含する平面位置に配置し兼用とした。

工程上、プラントの施工開始に間に合わせるためには、地下2Fの一般部がクリティカルとなり、ごみバンカの掘削完了を待たずに基礎工事を開始しなければならなかった（写真4）。そのため、山留め支保工は、対面する山留め壁が受ける側圧との荷重バランスや作業手順に左右されず、平面工区ごとに掘削や躯体構築作業が可能となる地盤アンカー工法を採用した。



写真4 一般部の基礎先行施工状況

新設ごみバンカの基礎は、ラップルコンクリートを打設しマットスラブを構築する直接基礎形式となっている。掘削には写真5に示すように、既存ごみバンカの場所打ち杭を解体する作業を伴ったが、山留め支保工に地盤アンカーを採用したことで、切梁や棚杭などの干渉に配慮することなく、広い空間で安全に作業を進めることができた。



写真5 ごみバンカ掘削状況

## 6. 山留めの設計

### 6.1 設計用地盤定数

山留め架構の設計に用いた地盤定数は、土質・N値および

土層 No	深さ (山留め設計GL-m)	層厚 (m)	土質名	N値	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$K_h$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	0.0 ~ 3.5	3.5	盛土	4	15	25	0	2500
2	3.5 ~ 5.9	2.4	粘土	1	14	20	0	2000
3	5.9 ~ 10.4	4.5	砂礫	40	20	0	43.3	40000
4	10.4 ~ 15.4	5.0	砂礫	50	20	0	45	50000
5	15.4 ~ 18.9	3.5	細砂	12	18	0	30.5	12000
6	18.9 ~ 30.0	11.1	砂礫	50	20	0	45	50000
7	30.0 ~ 36.5	6.5	細砂	40	19.5	0	43	40000

表2 設計用地盤定数

び土質試験結果から判断し、表2に示す値とした。N値は旧工場設計時や環境アセスメント策定時に実施された過去の試験結果も参考に、過大な値を除いた平均N値を採用している。

### 6.2 上載荷重の設定

旧工場解体後の整地高さをGL-2.1m (TP+35.9)と設定し山留め設計GLとした。山留め壁背面の盛土荷重と、建屋外周で作業を行うクローラークレーン(200t)の荷重を上載荷重として見込み、山留め設計GL上に換算上載荷重として作用させた(図9)。

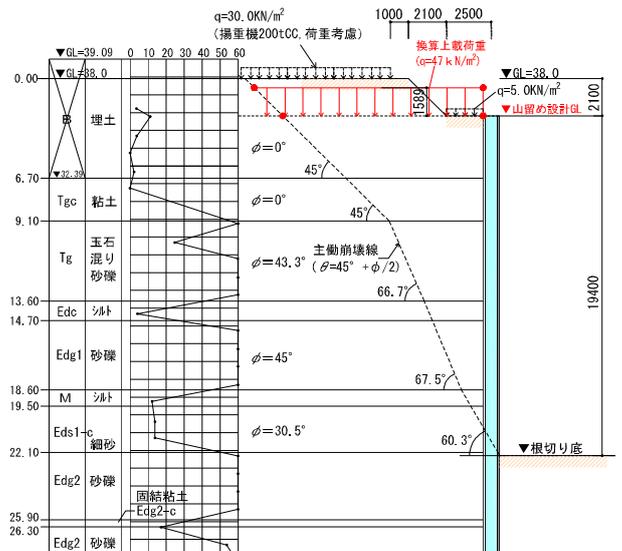


図9 上載荷重 (断面図)

### 6.3 側圧の設定

背面側側圧には土水圧一体とした側圧係数法を採用し、図10に示すように、ランキン・レザール法で求めた側圧を包含するように、土層ごとに側圧係数を設定した。表3に設計に用いた側圧係数を示す。掘削側側圧の設定については6.5で述べる。

掘削後の平衡側圧の評価には、「除荷に伴う土圧の残留を考慮する方法<sup>3)</sup>」を採用し、掘削側地盤が過圧密状態であることを想定し、土圧係数を割り増して算定した。

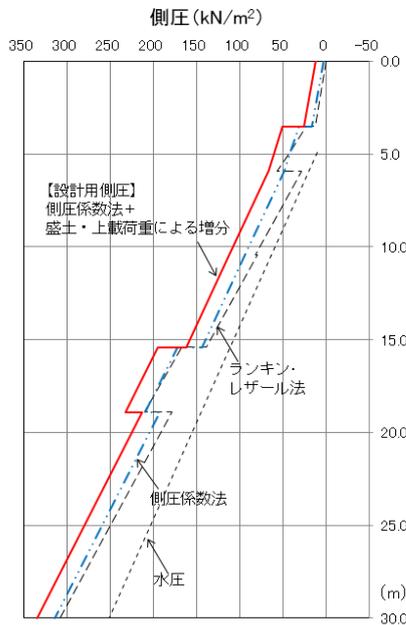


図 10 背面側側圧図

モデルによる解析を行った。

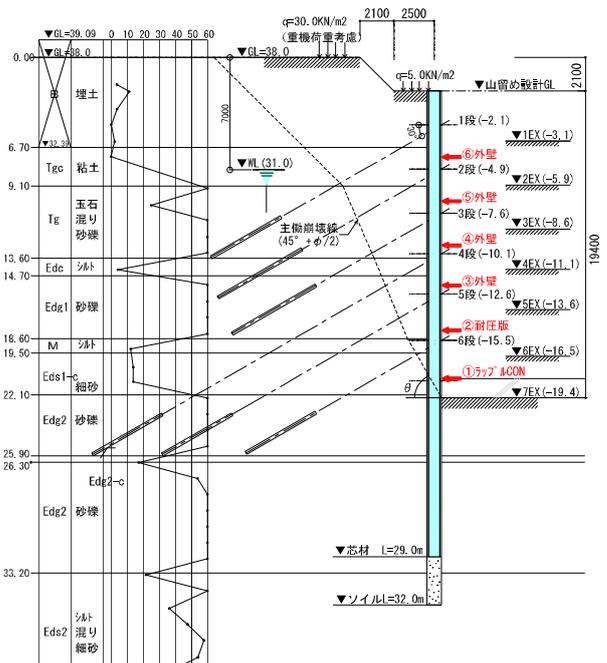


図 11 山留め架構 (断面図)

表 3 設計用側圧係数

土層 No.	深さ (GL※) -m	土質名	側圧係数 K
1	0.0 ~ 3.5	盛土	0.25
2	3.5 ~ 5.9	粘土	0.50
3	5.9 ~ 10.4	砂礫	0.50
4	10.4 ~ 15.4	砂礫	0.50
5	15.4 ~ 18.9	細砂	0.60
6	18.9 ~ 30.0	砂礫	0.55

※)山留め設計 GL 基準

表 4 解析施工ステップ

ステップ番号	施工段階	掘削 (GL※) m	支保工 (GL※) m	撤去ステップ
1	1次掘削	-3.1	-	-
2	1段アンカー緊張	-3.1	-2.1	19
3	2次掘削	-5.9	-	-
4	2段アンカー緊張	-5.9	-4.9	18
5	3次掘削	-8.6	-	-
6	3段アンカー緊張	-8.6	-7.6	17
7	4次掘削	-11.1	-	-
8	4段アンカー緊張	-11.1	-10.1	16
9	5次掘削	-13.6	-	-
10	5段アンカー緊張	-13.6	-12.6	15
11	6次掘削	-16.5	-	-
12	6段アンカー緊張	-16.5	-15.5	14
13	7次掘削	-19.4	-	-
14	ラップルコン打設 ①	-19.4	-17.9	-
15	耐圧版打設 ②	-19.4	-14.9	-
16	外壁立上打設③	-19.4	-12.1	-
17	外壁立上打設④	-19.4	-9.6	-
18	外壁立上打設⑤	-19.4	-6.9	-
19	外壁立上打設⑥	-19.4	-4.1	-

※)山留め設計 GL 基準

#### 6.4 山留め架構

図 11 にごみバンカ山留め架構の断面図を示す。掘削深さは GL-21.5m で、地盤アンカーは掘削底から発生する仮想主働すべり面 (45° + φ/2) の外側で、N 値 40 以上の砂礫層に定着体を配置した。

ごみバンカ部の山留め壁仕様は以下の通りである。

山留め壁 : ソイルセメント壁、柱列式、φ900mm

@600mm、L=32.0m

応力材 : H-700×300×13×24 (SS400)

@600mm、L=29.0m

#### 6.5 山留め壁の検討と実測

山留め壁の検討は、表 4 の施工手順に基づき、梁・ばね

掘削側側圧の上限値については、当初、ランキン・レザール法による検討を行い、ソイルセメント壁の仕様を決定したが、掘削前の 2017 年 11 月に改訂された「日本建築学

会：山留め設計指針」では実測結果などをもとに、梁・ばねモデルによる解析を行う場合はクーロンの方法を用いても良いことが示された<sup>4)</sup>。そこで、硬質な砂礫地盤を主体とする本工事について検証するため、ごみバンクの長辺(中央)部において再解析を実施、実測値との比較を行った。なお、山留め壁と地盤との摩擦角は $\delta = \phi/3$ とした。

解析結果を図12および図13に示す。図12は掘削施工ステップごとの解析結果で、最終(7次)掘削時における変

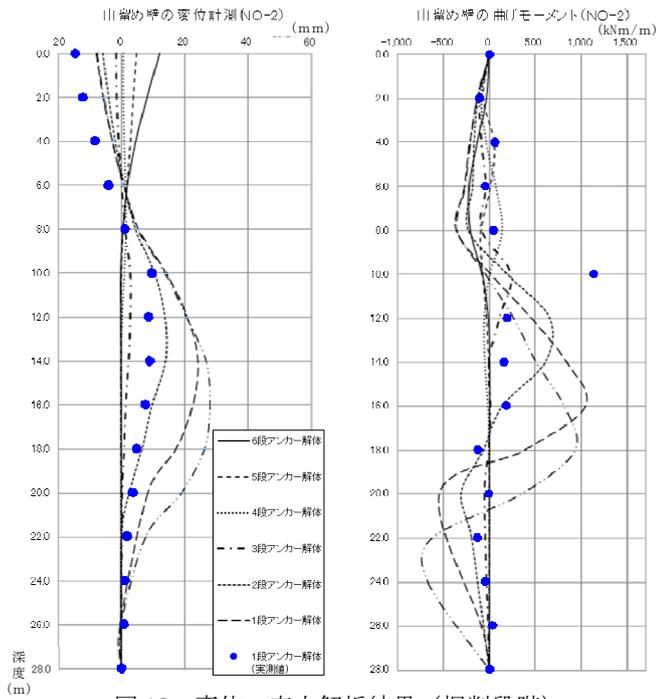


図12 変位・応力解析結果(掘削段階)

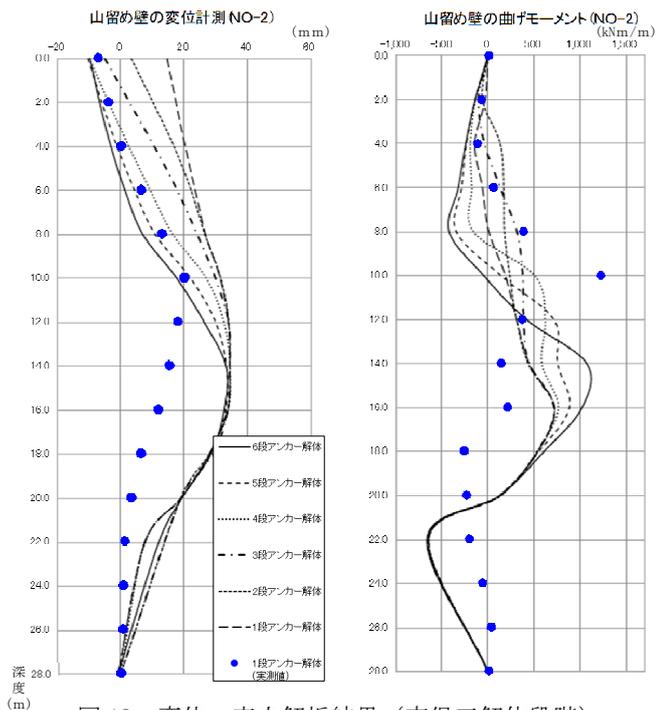


図13 変位・応力解析結果(支保工解体段階)

位・応力の実測値をプロットしたものである。同様に図13は、盛替え(反力)躯体を構築後、地盤アンカーの解体施工ステップごとの解析結果と最終(1段)アンカー解体後の実測値をプロットしたものである。図12および図13の結果より、変位は解析値の58%、応力(曲げモーメント)は解析値の108%であることを確認した。

工程上、ごみバンクの掘削開始後に山留め壁背面の杭を打設するが必要があった。地盤アンカーは杭を避けるため、あらかじめ水平方向についても傾角(図14)の管理が必要となり、写真6に示すようにレーザー分度器を用いて慎重に削孔した。日本建築学会「建築地盤アンカー設計施工指針・同解説」ではアンカー同士、障害物との離隔は1.0m以上離すことを基本としているが、今回はそれを満足できない箇所が発生した。杭施工時には地盤の緩みによるアンカー軸力の低下が懸念されたため、地盤アンカーに導入したプレロード量は設計軸力の100%とした。杭施工はアンカーに設置した軸力計を監視しながら慎重に行ったが、幸い軸力低下などの異常はみられなかった。

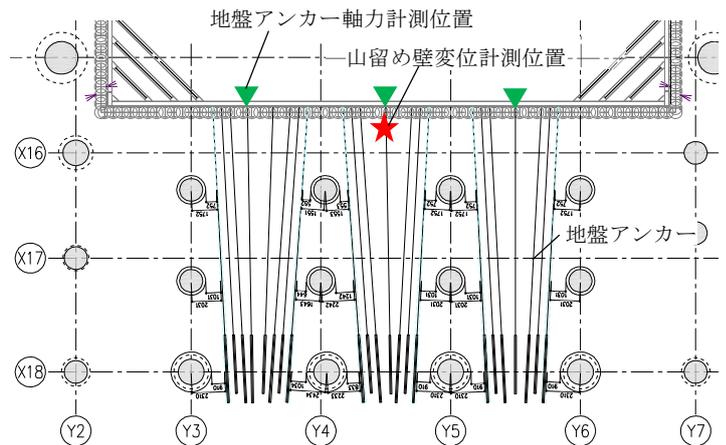


図14 ごみバンク背面山留め図



写真6 レーザー分度器を用いたアンカー傾角管理

山留め壁の実測結果で変形が過小、応力が設計値を若干超過した理由は、地盤アンカーの導入軸力が大きかったことが起因すると想定するが、山留め壁の応力材は変位量で決定しており、曲げ応力に対しては中期許容応力度（短期と長期の中間値）に対して1.6倍の安全率を確保しているため、耐力的に問題はないものとする。

### 6.6 山留め壁根入れ長さの合理化

当地は5.1に示すように、明確な遮水層といえる粘性土層がGL-45m以深にしか存在しない。通常20mを超えるような大深度の掘削を行う場合、無条件で粘性土層へ根入れを行い完全遮水工法として施工する。

しかし今回は、常時計測している被圧水頭がGL-7.0mと低く、また、旧工場建設時や環境アセスメント評価時に実施された土質試験から粒度分布を調査したところ、掘削底以深の山留め壁根入れ部における砂礫層(Edg<sub>2</sub>)・砂層(Eds<sub>2</sub>)においては、30%を超える粘土・シルト分を含んでいることが判明した。当時の透水試験結果より同部位の透水係数は、 $k=1.17 \times 10^{-6} \sim 9.81 \times 10^{-6}$  (m/s) と低い透水性であることを確認した。そこで新築設計のボーリング調査時においても根入れ部の砂礫層および砂層において透水試験を実施した。その結果、砂礫層(Edg<sub>2</sub>)では $k=6.27 \times 10^{-6} \sim 9.76 \times 10^{-6}$  (m/s) と限りなく $10^{-5}$ に近い値を示したが、その下部の砂層(Eds<sub>2</sub>)では $k=2.16 \times 10^{-6}$  (m/s) と過去に得られた透水係数と同等の低い透水性が確認された。よってEds<sub>2</sub>層を難透水層と評価し、ボーリングに対して安全であることを確認したうえで、ソイルセメント壁の先端を2m定着させることにした(図15)。

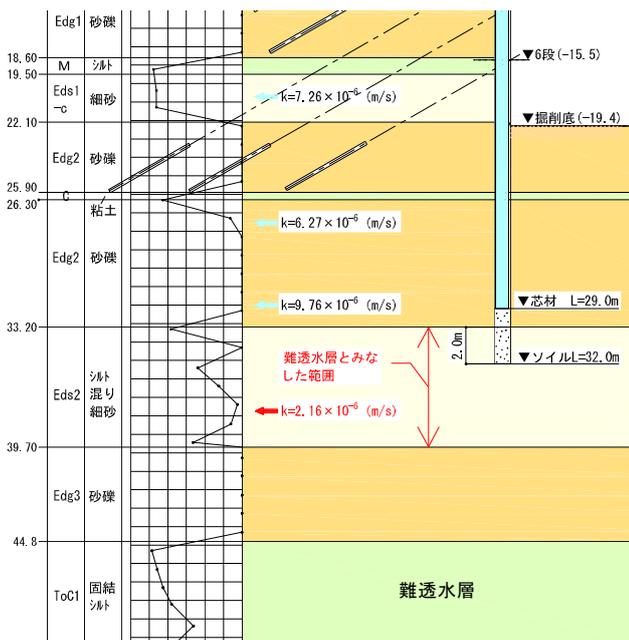


図15 ソイルセメント根入れ図

### 6.7 建屋外周の二段山留め

#### 6.7.1 合理的な地下断面の設計

図16に建屋外周の断面を示す。地下外周(B1F)と内部(B2F)のレベル差より二段山留めとし、外周の山留め壁を「外壁」、内部の山留め壁を「内壁」とする。外壁の掘削深さはGL-8.7mで地下水位(山留め設計GL-4.9m)より深い位置が掘削底となるため、「ソイルセメント壁」とし地下水を遮水、また、段差処理のための内壁は親杭横矢板壁とした。二段山留めは実務において遭遇することが多いが、外壁と内壁の水平距離が小さい場合は、相互の壁の影響を考慮した設計が必要となり過大な設計となるケースも多い。

本件では、外壁と内壁の水平距離については相互の山留め壁に影響を与えない距離として7.0m以上、内壁は自立工法とすべく自立高さの限界を5.0mに設定し、設計担当者との協議のうえ、この条件を満足する設計とした。

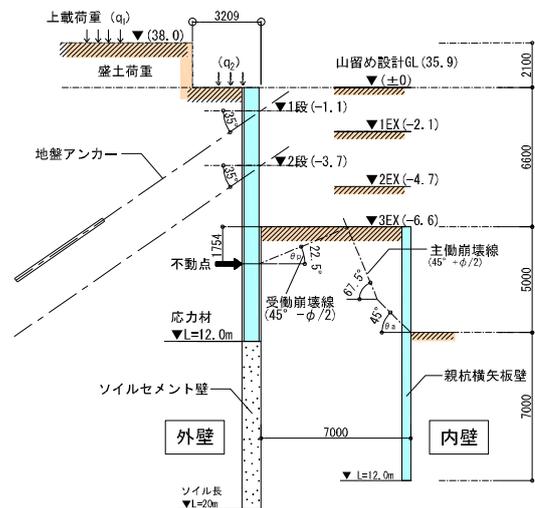


図16 地下外周の2段山留め断面図

#### 6.7.2 圧入工法による親杭横矢板壁の施工

親杭横矢板壁は一般にアボロン式杭打機(オーガスクリー方式)で施工し、標準的な地盤では1日あたり100m/台程度の歩掛で施工されるが、N値が50を超えるような硬質な砂礫地盤では、歩掛が50~60%程度に低下する。そこで本件では「RG工法」と呼ばれるドイツ、パウアー社製の伸縮型リーダーを有する超高周波パイロ杭打機を使用し圧入で施工した(写真7)。

内壁の親杭横矢板壁(自立山留め)の応力材には、H-400×400×13×21を使用し、頭部にはヤットコ(写真8)を用いて落し込みを行った。親杭1本あたりの打設長さはヤットコを含めてL=18.5mと長く、中間でボルト接合が必要な条件となったが、N値300相当の硬質地盤を打ち抜くことができる本工法の採用により、1日平均150mもの高い歩掛

を記録しVEが図れた。

本工法の打設機械は国内に数台しか存在しないため汎用性には劣るが、圧入施工のため削孔時のセメントミルクが不要で、また、残土が発生しないため環境負荷の低減を図ることができた。

なお、本工法は2017年に、東京都羽村市で施工した硬質砂礫地盤における親杭横矢板壁の施工実績を評価し、採用したものである。



写真7 親杭打設状況 (写真7)



写真8 ヤットコ接続状況

す。部材総数は414ピースで、部材の架設には120tクローラクレーン2台を用いた。部材分割の基本ルールは揚重機能力と作業構台仕様とのコストバランスを鑑みた結果、1部材あたりの最大重量が15t以下となるように設定した。制限荷重を超える柱部材については、脚部に一部在来の躯体を立ち上げて高さを調節し、また、大梁については内部をくり抜いて重量を調節した。

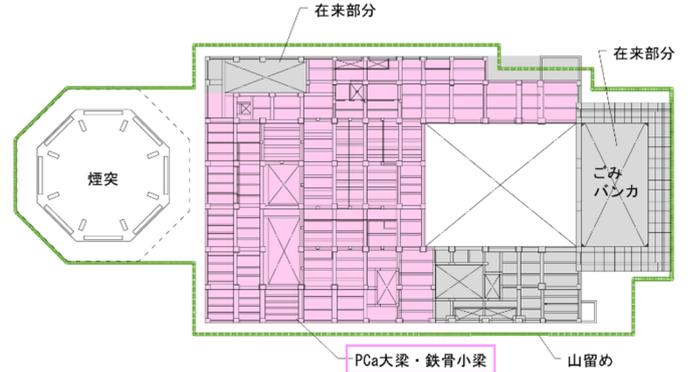


図17 地下躯体のPCa化範囲

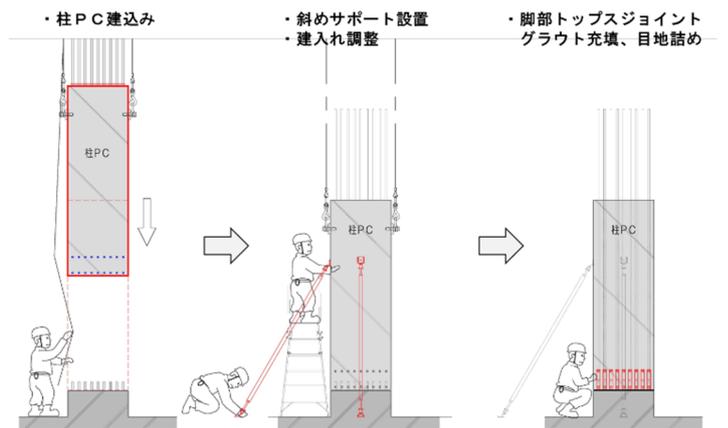


図18 柱PCa部材取り付け状況

## 7. 地下躯体工事の省力化施工

### 7.1 地下構造躯体のプレキャスト（PCa）化

前述の通り、プラント工事着手までの工程が厳しいため、地下躯体工事の工期短縮が望まれていた。また、当建物の地下は階高がH=5.5mと高く、工程だけではなく、安全面や品質面でも多くの課題を克服する必要がある。さらに、東京オリンピックに向けた関連工事によって技能工不足も懸念された。そこで、これらの問題を解決するために、地下躯体を「PCa工法」で構築する計画とした。PCa化した部位は「柱」、「壁」および「大梁」で、鉄骨小梁の採用や、床版型枠のデッキ化などと合わせて省力化を図った。

PCa化した範囲を図17に示す。地下躯体のPCa化率は67%となった。

図18～20に柱・壁・大梁PCa部材の取り付け状況を示

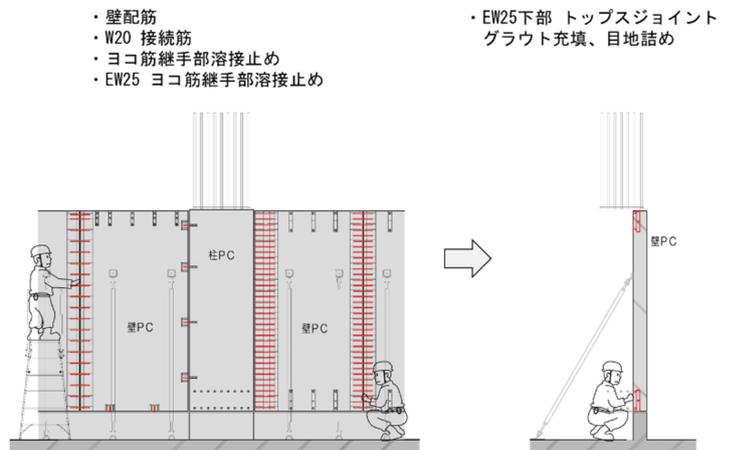


図19 壁PCa部材取り付け状況

大梁の PCa 部材の側面に鉄骨小梁接合用のガセットプレートを打ち込み (写真 9)。小梁の鉄骨化、床版のデッキ化により支保工を省力化した。しかし、PCa 大梁の内部をくり抜いた関係で小梁のアンカーボルトを梁内に完全には定着できず、鉄骨小梁の両端には支保工を設置した。

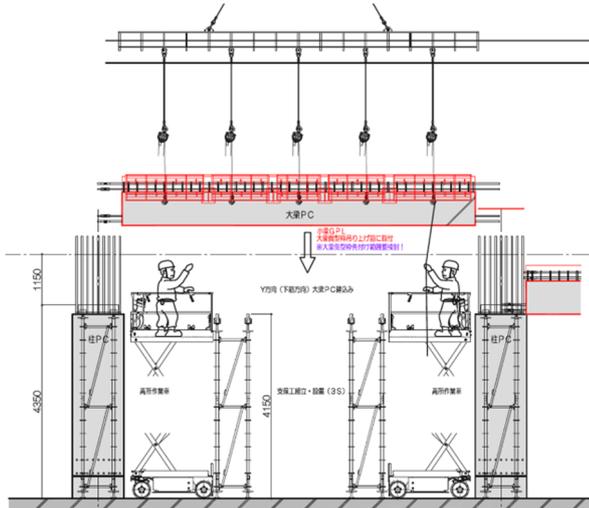


図 20 大梁 PCa 部材取り付け状況



写真 9 梁 PCa 部材取り付け状況

## 7.2 ごみバンカ躯体の省力化

ごみバンカの外周部躯体は、地下外壁からの漏水対策とバンカ内部からのごみ汁流出を防止するために点検スペースを有した二重壁構造となっている (図 21~22)。

ごみバンカの地下外壁は最下部の厚さが  $t = 2.15\text{m}$  と大断面であり、さらに内壁がある部分は型枠作業の関係で工程進捗に影響をおよぼす。特に二重壁の内部は幅員が狭いうえに階高が高く、型枠の組立・解体や搬出作業などが困難になることが予想された。そこで二重壁の「外壁」は、システム型枠を用いてコンクリートを先行打設することとした。システム型枠脱型後に「内壁」の点検通路側に PCF 版 (外殻プレキャスト版) を建て込み、中間スラブにはフラットデッキを用いることで、二重壁内部 (点検通路内)

の型枠解体作業を省略した (図 22)。

これら地下躯体の PCa 化やごみバンカ部型枠へのシステム型枠採用により、躯体工不足を回避することができ、約 1 ヶ月前倒してプラント工事に着手することができた。

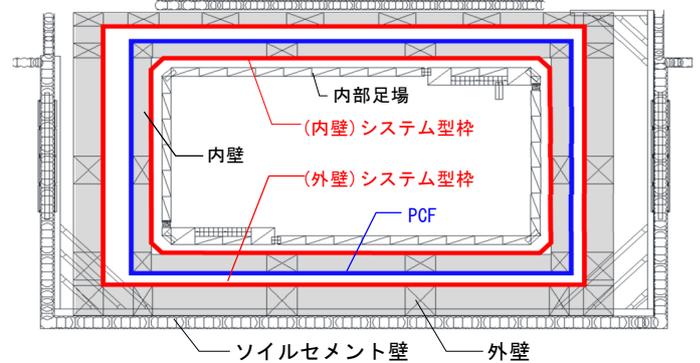


図 21 ごみバンカ (平面図)

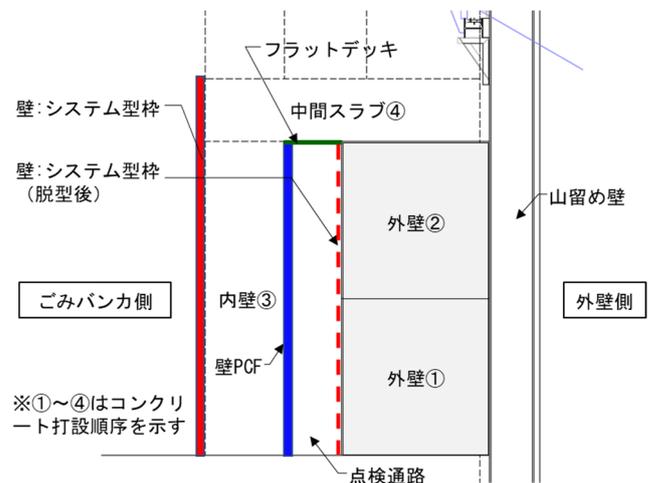


図 22 ごみバンカ二重壁概念図

## 8. おわりに

大規模な解体・地下工事を、周辺環境に配慮しながら短工期で施工するという難易度の高い工事であったが、関係者の協力により目標どおり地下躯体を完成し、プラント工事に着手することができた。2020 年 8 月の受電、2021 年春の竣工に向け、今後も安全・品質を確保しながら工事を継続し、省力化が図れる施工法を追及していきたい。

### 参考文献

- 1) 鴻池組技術研究報告 : vol. 28, p. 41-50, 2018. 7
- 2) 鍋島謙信, 小川雅史 : 解体と同時進行する大規模地下工事の省力化, 建築技術, No. 844, p. 143, 2020. 5,
- 3) 日本建築学会 : 山留め設計指針, p. 91-92, 2017. 11
- 4) 日本建築学会 : 山留め設計指針, p. 88-90, 2017. 11