

山留壁の異なる二つの大深度シャフトの設計について

山王博之¹・高橋正登¹・北原陽太郎¹・深山大介²

¹大林・竹中土木・西武建設共同企業体（〒150-0046 東京都渋谷区松濤2-7-12）

²正会員 首都高速道路(株) 東京建設局 設計第一グループ（〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-6-2）

近年、都市内における開削工事では、地下空間を有効利用するために大深度掘削の立坑工事が行われており、本換気所工事においても道路トンネル（シールド工法）と換気ダクト他を接続するためのシャフトを2箇所構築した。本稿では、本体利用RC連壁とベントナイトモルタル充填式仮設連壁を用いたこの2つの大深度シャフトについて、工法選定の経緯および設計内容を報告する。

キーワード：地中連続壁、本体利用、剛結継手、接続鉄筋、逆巻き施工

1. はじめに

首都高速中央環状新宿線（以下、新宿線）は、東京都目黒区青葉台から板橋区熊野町に至る延長約11kmの自動車専用道路であり、首都高速3号渋谷線、4号新宿線、5号池袋線と連絡するとともに、6ヶ所の出入口、9ヶ所の換気所を有する（図-1）。本路線の内10kmは、幅員40mに拡幅される都道環状6号線（山手通り）の地下にトンネル構造で計画され、その約7割にシールド工法が採用されている。

本工事は、新宿線のうち、神山町換気所本体の構

築および代々木シールドトンネルと換気所を接続するシャフトを構築するものである。本工区は、換気所の下方に縦併設の道路シールドトンネルが構築され、道路トンネルに必要な避難通路、パイプスペース、ダクトはトンネルの側部に構築した南北2箇所のシャフトを介して換気所と接続される。2つのシャフトは、掘削深度は同程度であるが、山留壁が異なる。（図-2～5）

本稿では、この2つのシャフトの工法選定の経緯および設計について報告する。

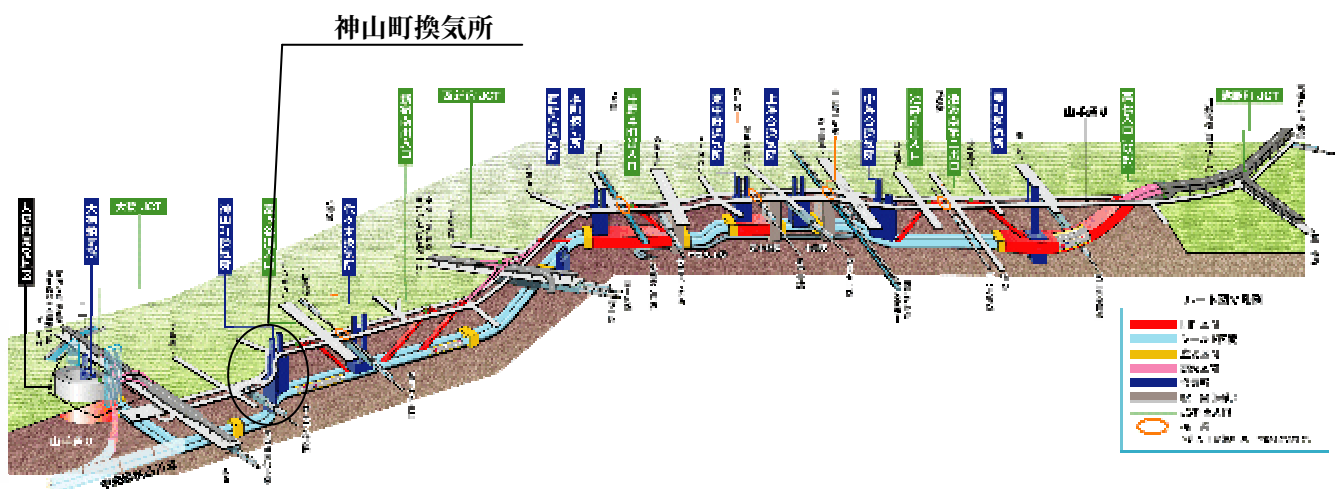


図-1 新宿線路線概要図

2. 工事概要

- ① 工事名称：SJ12工区 換気所工事 {南側シャフト連壁工事はSJ12工区(1)山留壁(その2)工事}
- ② 発注者：首都高速道路株式会社
- ③ 施工場所：渋谷区松濤2丁目・神山町・富ヶ谷2丁目
- ④ 工期：平成14年3月14日～平成17年6月30日 {SJ12工区(1)山留壁(その2)工事は平成13年10月25日～平成15年3月28日}
- ⑤ シャフト部主要工事数量：表-1参照
- ⑥ 全体施工順序：図-6参照

表-1 シャフト部主要工事数量

	南側シャフト	北側シャフト
掘削土量	7,200m ³ (平面形状 27.9m×9.0m, 掘削深度 H=38.5m)	24,200m ³ (平面形状 37.4m×19.8m, 掘削深度 H=32.9m)
山留壁	R C地中連続壁 (t=2.0m, L=63.9m, A=4,780m ²)	ベントナイトモルタル充填式地中連続壁 (t=0.7 m, L=39.5m, A=4,600m ²)
山留支保工	支保工段数 9 段 (H=300～H=500, 重量 W=200tf)	支保工段数 9 段 (H=300～H=500, 重量 W=1,420tf)

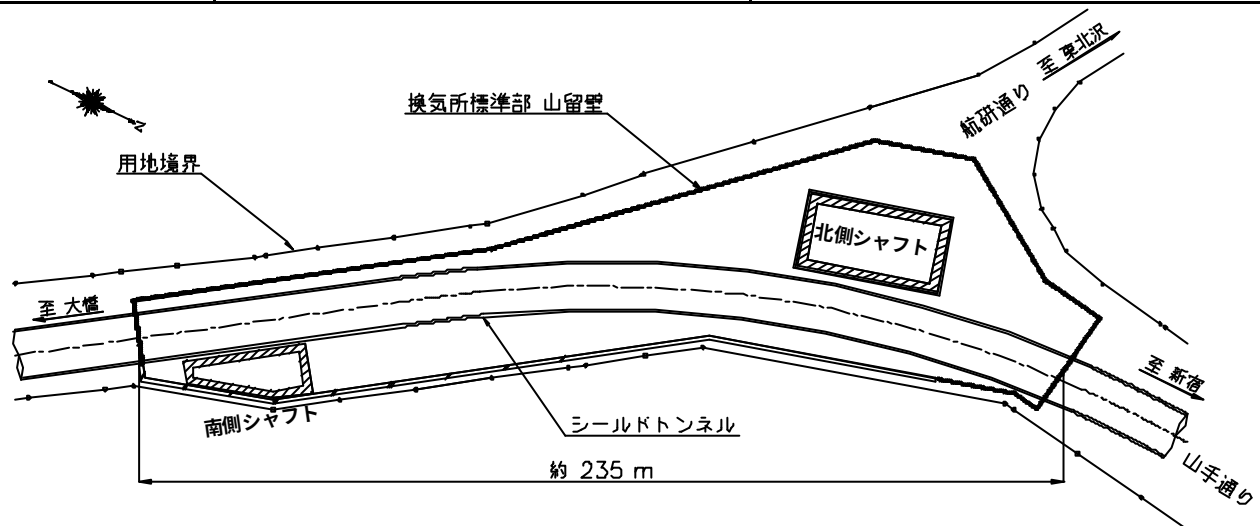


図-2 全体平面図

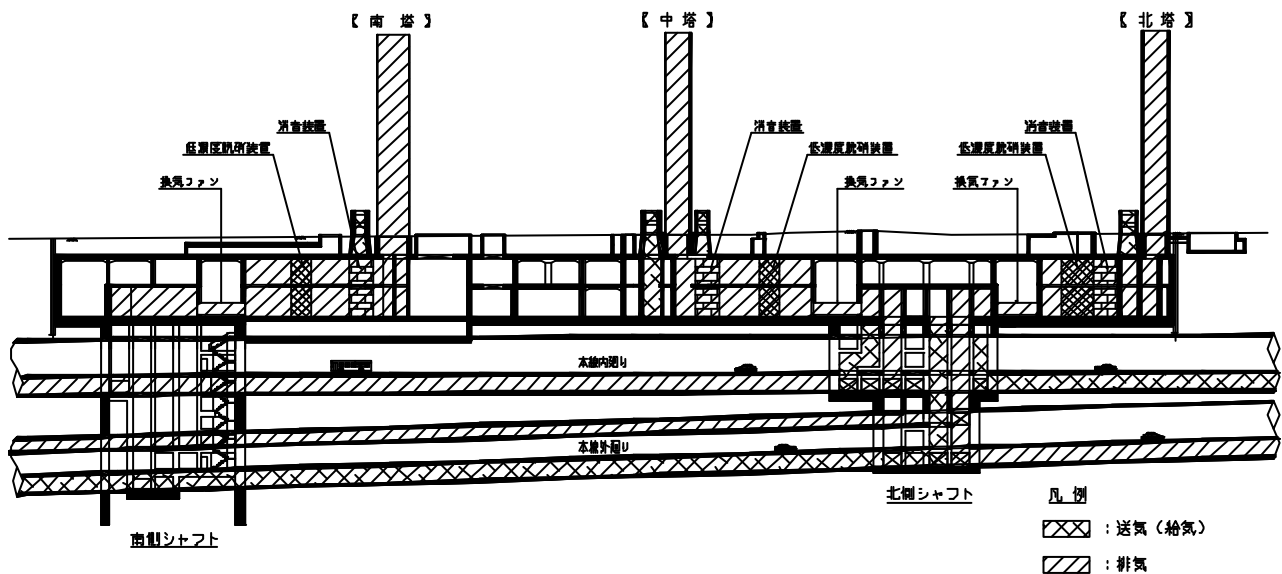


図-3 縦断面図

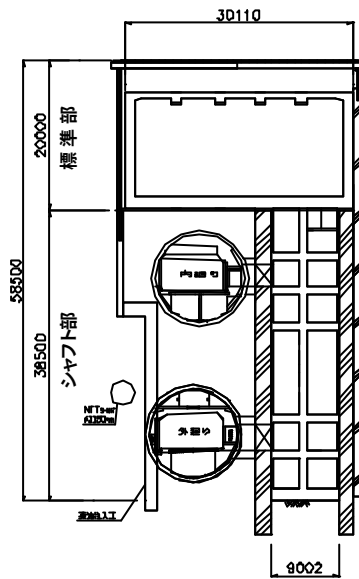


図-4 南側シャフト部断面図

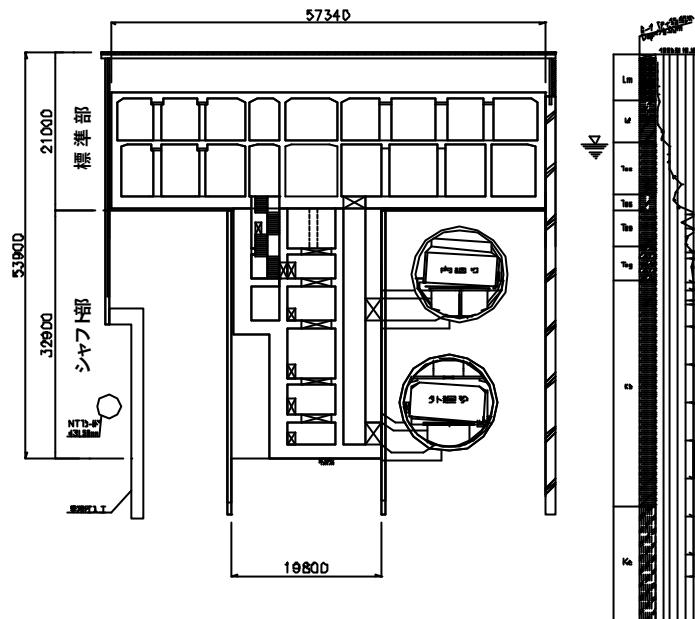


図-5 北側シャフト部断面図

3. シャフトの計画概要

(1)基本レイアウト

神山町換気所は、隣接する換気所との離隔および換気所内レイアウト（北側換気ダクト＋管路，南側換気ダクト＋避難通路，管路）により，神山町換気所の下方を通過するシールドトンネルに接続する2箇所のシャフトが必要となった。また，シャフトの平面形状は，換気容量によるダクト面積，電気他のパイプスペース，トンネルからの避難通路および管理用通路の配置から決定された。

(2)シャフトの平面配置

神山町換気所は，都道環状6号線（山手通り）の下に構築されるが，本換気所は山手通りと航研通りの三叉路に位置することから，中央環状新宿線で一般的な換気所形状である長方形ではないために，換気所内レイアウトおよびシールドトンネルの線形を考慮して，南北シャフトの平面位置が計画されている（図-2）。

北側シャフトは，路上が交差点部で躯体幅の広い

箇所に位置するため配置上余裕があったが，南側シャフトは，既設NTT洞道およびシールドトンネルとの離隔を確保する上で必要な平面形状とすることが非常に困難であった。

(3)構造形式

通常，開削工法で地下構造物を構築する場合は，仮設の山留壁の内部を掘削して本体構造物を築造するが，用地に制約がある場合には山留壁を本体利用し，山留壁＋本体構造物の壁厚を縮小することがある。南側シャフトにおいてもその案を採用し，RC連壁本体利用（単独壁）とした。なお，壁厚が厚く（ $t=2.0\text{m}$ ）路下での施工は困難であったため，路上からの施工とした（空掘り部約20m）。それに対し北側シャフトは，換気所標準部の体幅が広く，かつNTT洞道との離隔もあったため，山留壁は換気所標準部床付面（GL－約20m）からの路下施工とした。南北シャフト構造形式を表-2に示す。

表-2 南北シャフト構造形式比較表

	南側シャフト	北側シャフト
山留壁種	RC地中連続壁（本体利用）	ベントナイトモルタル充填式地中連続壁（仮設利用）
山留壁厚	$t=2.0\text{m}$	$t=0.7\text{m}$
山留壁施工基面	路上	路下（GL－20m）
本体壁厚	連壁 $t=2.0\text{m}$ ＋化粧壁 $t=0.2\text{m}$	本体壁 $t=2.0\sim 2.2\text{m}$

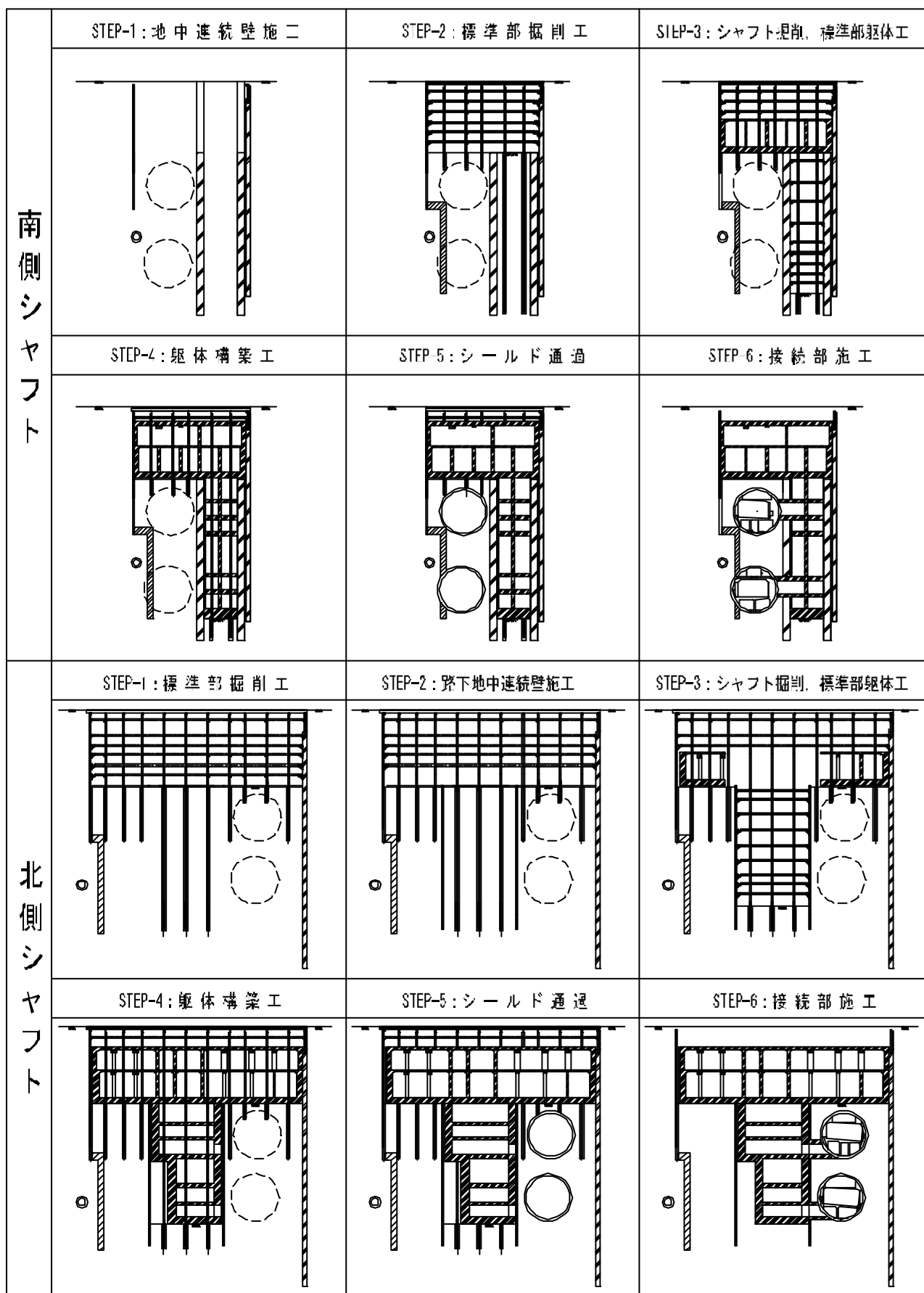


図-6 換気所標準部およびシャフト部 全体施工順序図

4. シャフト部の設計概要

(1) 南側シャフト

a) 仮設時

仮設時のRC連壁の解析は、鉛直方向の部材として土留支保工および地盤をバネとする弾塑性法で行った。ただし、完成時は水平方向が主筋（鉛直継手は剛結継手）となっているため水平方向のリングバネを考慮し設計を行った。シャフトの掘削深度は38.5mだが、片側の連壁は1次山留壁に近接しているため偏土圧を受ける非対称モデルとして解析を行った（図-7）。なお、許容応力度は本体利用連壁の仮設時検討のため、長期の値の1.3倍とした。

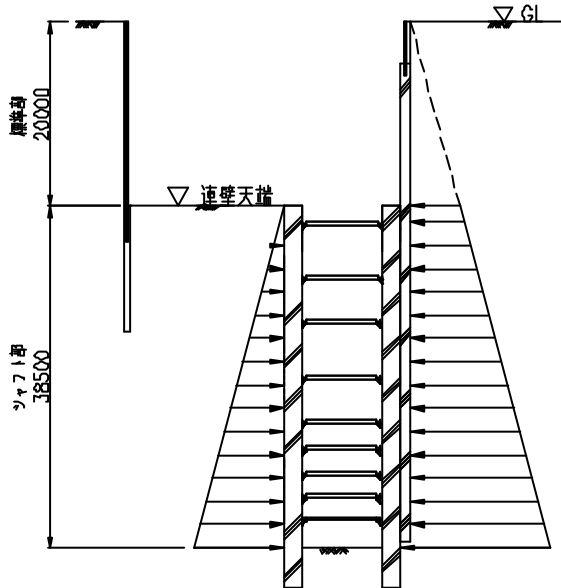


図-7 南側シャフト非対称モデル

山留支保工は、連壁の鉛直ジョイントが剛結合となっているため、腹起しを省略し短辺方向の切梁のみ架設した。（図-8）

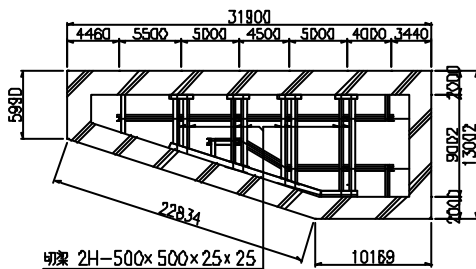


図-8 南側シャフト支保工平面図

b) 完成時

完成時の連壁の解析は、連壁エレメント間の継手を剛結継手により水平方向の部材として解析を行なった。

剛結継手は水平方向の鉄筋をエレメント間でラップする形式で、軸力、せん断力とともに曲げモーメントを伝達できる継手タイプである（図-9）。構造上の利点は、壁を水平方向の版または二方向版設計することで、本体壁や支保工の断面を小さくできることであり、これは南側シャフトのように深さに比べて平面形状が小さい立坑等で特に有効である。

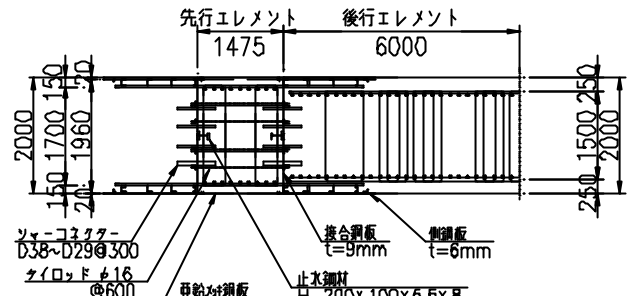
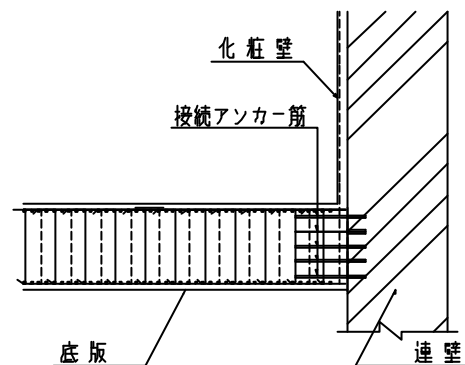


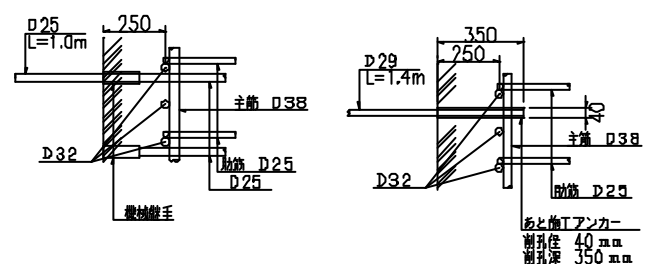
図-9 連壁剛結継手平面図

c) 連壁接続鉄筋

連壁からの応力伝達、底版に作用する揚圧力に抵抗させるために、連壁内の中壁および床版に接続鉄筋を配置した。仕様を図-10に示す。接続鉄筋は連壁施工時に機械式継手を埋め込むタイプと、あと施工アンカーを打設するタイプの2種類とした。あと施工アンカーは、先行エレメントの側鉄板により機械式継手が設置できない箇所に採用した。



機械継手位置図



機械継手詳細図

あと施工アンカー詳細図

図-10 南側シャフト 連壁接続鉄筋図

(2)北側シャフト

a)仮設時

山留壁の解析は、鉛直方向の部材として山留支保工および地盤をバネとする弾塑性法で行った。北側シャフトは換気所標準部のほぼ中央に位置するが、深部は1次山留壁背面の地表面からの土塊重量の影響を受けるため、影響範囲のみ過載荷重として考慮した。(図-11)

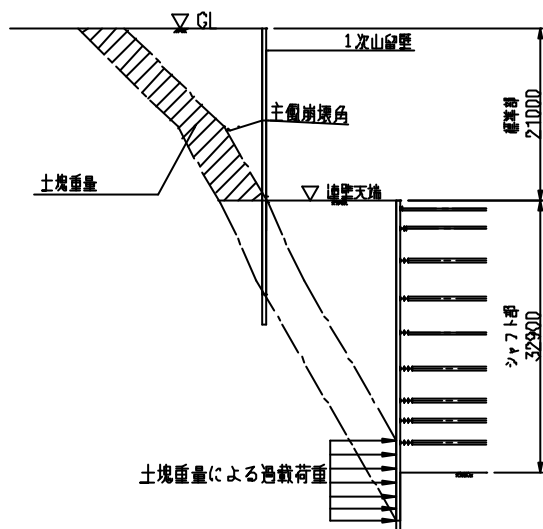


図-11 北側シャフト設計荷重

山留支保工は、施工開口を広く確保する目的で、集中切梁形式を採用するとともに、火打梁を極力省略するために腹起しはH-500×500-3段(6~9段目支保工)とした。(図-12)

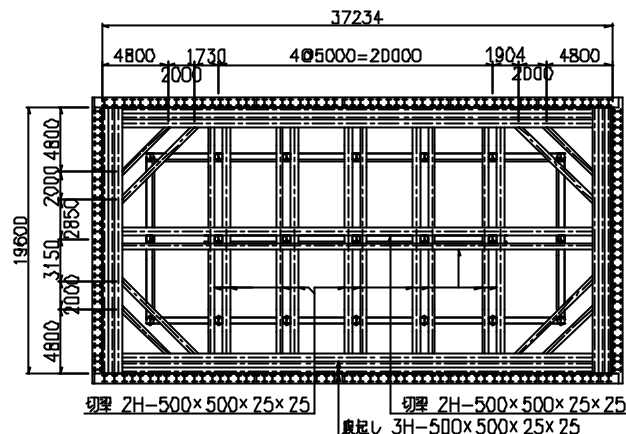


図-12 北側シャフト支保工平面図(6~9段目)

b)完成時

本体構造物は、基本的に鉛直方向のフレーム計算により断面力の算出を行った。ただし、ダクト部、階段部等床版が存在しない箇所は別途水平方向の版または二方向版として設計を行った。

南北シャフト設計概要比較表を表-3に示す。

表-3 南北シャフト設計概要比較表

	南側シャフト(本体壁構造)	北側シャフト(仮設壁構造)
仮設時	- 鉛直方向の部材として山留支保工及び地盤をバネとする弾塑性法で解析 - 偏土圧を考慮し、非対称モデルで解析 - 水平方向のリングバネを考慮 - 許容応力度は長期の値の1.3倍	- 仮設利用の連壁を鉛直方向の部材として山留支保工及び地盤をバネとする弾塑性法で解析 - 許容応力度は長期の値の1.5倍
完成時	連壁エレメント間の鉛直継手を剛結継手によりすることにより水平方向で解析	- 鉛直方向のフレーム計算 - ダクト部、階段部等床版が存在しない箇所は別途水平方向の版または二方向版として設計
連壁接続鉄筋	- 連壁からの応力伝達、底版に作用する揚圧力に抵抗させるために、連壁内の中壁および床版に接続鉄筋を配置 - 仕様は連壁施工時に機械式継手を埋め込むタイプと、あと施工アンカーを打設するタイプの2種類	無し

5. シャフト部の施工

換気所工事全体工程の中で、シャフト部分の掘削、躯体構築→換気所標準部の躯体構築がクリティカルになっていた。そこで、施工方法での工夫を設計に反映させることにより工期短縮を図った。

(1)南側シャフト

標準部の山留支保工は、躯体構築とともに順次解体する計画となっているが、南側シャフトは換気所標準部山留壁の端部に位置しているため、通常の順巻き施工では標準部の躯体構築を行なわないと山留支保工の撤去ができなかった。

そこで、シャフト掘削前にシャフト上部B2F床版を先行施工（逆巻き施工）することにより、標準部の躯体構築・山留支保工解体とシャフト部の掘削・躯体構築を併行作業とし、工期を短縮することとした。南側シャフト部でB2F床版先行施工が可能であった理由を以下に示す。

- ・南側シャフトの山留壁が本体利用のRC連壁であり、仮設時の応力に余裕があったため、鉛直荷重の支持が可能であった。
- ・シャフトの幅が狭いため中間杭に鉛直荷重を負担させる必要がなかった。

ただし、完成時にはシャフトの内部には標準部躯体を支持する中壁が構築されるが、B2F床版を先行施工するため、床版他の自重を考慮して先行施工部

分に鉄筋補強を行った。

また、大深度のシャフト掘削の前に、床版で1次山留を支持することは山留壁の変形を抑制し周辺地盤への影響を少なくする効果も期待された。特に南側シャフトは、家屋が近接しているため有効であった。

(2)北側シャフト

北側シャフトは躯体幅の広い換気所標準部の中央部に位置していたため、シャフト周囲の躯体構築・山留支保工解体とシャフト部の掘削・躯体構築を併行作業で行なうことが可能であった。

ただし、標準部支保工解体時に山留の支持点として期待する均しコンクリートは、作用反力を考慮して鉄筋補強を行った。

北側シャフトは、南側シャフトと同様の逆巻き施工は不可能であった。その理由を以下に示す。

- ・北側シャフトの掘削幅が広いため中間に逆巻きスラブを支持する中間杭が必要であった。
 - ・既存の中間杭および山留壁の設計で逆巻きスラブを受ける鉛直荷重を考慮していなかった。
- シャフト掘削時の断面図を図-13に示す。

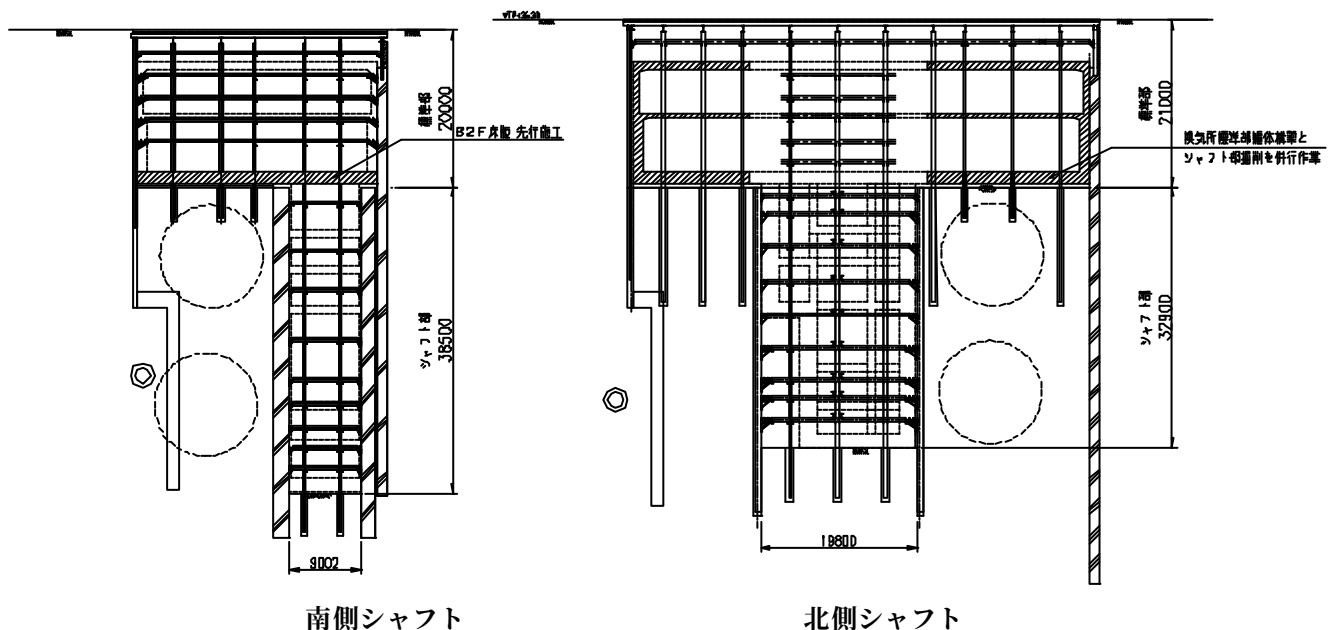


図-13 シャフト部 躯体構築断面図

6. おわりに

本工事では、掘削深度はほぼ同じだが、山留壁の異なる2つのシャフトの設計・施工を行なった。

北側シャフトは従来の仮設山留壁内部に躯体を構築する方法を、南側シャフトは用地の制約上 連壁を本体利用する方法を採用した。

本工事における山留形式の違いによる得失を表-4に示す。

山留壁の選定は、種々の条件を考慮して行わなければならないが、用地の制約、周辺環境への影響、安全性に関しては連壁本体利用が優れている。特にシャフトのように平面形状が小さい場合には、剛結

継手の採用は本体壁厚や山留支保工の断面を小さくできるメリットがある。

シャフト体積あたりの工費については明らかに仮設壁構造が有利あるが、用地買収等が必要な場合はトータルコストでの比較が重要と考える。

今後、都市部や大深度掘削において、事業計画・設計・施工計画も含め、当工事の事例が参考になれば幸いである。

表-4 本工事における山留形式の違いによる得失

	南側シャフト（本体壁構造）	北側シャフト（仮設壁構造）
占有幅 （山留壁＋本体壁）	本体利用（単独壁）のため占有幅は少ない。（占有幅 $B=2.2\text{m}$ ）	仮設山留壁＋本体壁の占有幅が必要である。（占有幅 $B=2.9\text{m}$ ）
山留支保工	剛結継手のため腹起しの削減が可能であり、支保工段数の減少が可能である。（支保工重量／掘削土量 $=28\text{kg}/\text{m}^3$ ）	支保工数量の削減は出来ない。（支保工重量／掘削土量 $=59\text{kg}/\text{m}^3$ ）
鉛直荷重の支持	仮設時の応力に余裕があったため鉛直支持は可能である。（逆巻き施工可能）	曲げ応力に余裕が無い場合は不可能である。（逆巻き施工不可能）
周辺環境への影響	剛性が高いため、掘削時の山留壁の変形が小さい。（ δ ＝約 1cm ）	剛性が低いため変形が大きい。（ δ ＝約 5cm ）
シールド接続工事での問題点	連壁の撤去が困難である。	山留壁の変形により背面地盤の緩みが懸念される。
工費（比率）	2.0	1.0