

大深度道路換気所の開削工法による 急速施工（要町換気所）

Rapid Construction of a Deep Subterranean Ventilation Station
for Expressway Tunnel Built by Cut-and-covered Method

渡邊健司¹・齋藤純一²・大住元豊³・斎木一誠⁴・大西亮⁵

Kenji Watanabe, Junichi Saito, Yutaka Ohsumimoto, Issei Saiki and Akira Onishi

¹正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局（〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-6-2）

E-mail: k.watanabe6161@shutoko.jp

²首都高速道路株式会社 東京建設局（〒171-0021 東京都豊島区西池袋5-13-13）

E-mail: j.saito197@shutoko.jp

³間・東洋・太平JV（〒171-0014 東京都豊島区池袋3-11-1）

E-mail: ohsumimoto@hazama.co.jp

⁴間・東洋・太平JV（〒171-0014 東京都豊島区池袋3-11-1）

E-mail: saikii@hazama.co.jp

⁵株式会社間組 関東土木支店（〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5）

E-mail: onishiryo@hazama.co.jp

Kanamecho Ventilation Station is the northern-most facility out of nine ventilation stations for the Yamate Tunnel of Central Circular Route (Rte. C2), Tokyo Metropolitan Expressway. It is equipped with electrostatic precipitator and denitrofication systems as well as 12 ventilation fans in the six-storied underground structure underneath the surface street and the expressway tunnel. The tunnel and the ventilation station were constructed by the cut-and-covered method deploying the various construction measures in order to shorten the project duration to meet the expressway opening schedule. This paper briefly reports the rapid construction of the large-scale, deep subterranean structure.

Key Words : *top-down construction, simultaneous multi-story construction,
steel diaphragm wall, vertical belt conveyor*

1. はじめに

首都高速中央環状線は首都圏3環状道路の最も内側を形成する環状道路である。このうち西側区間は東京都目黒区から板橋区までの約11km区間で、その約9割が1方向2車線往復分離のトンネル構造（山手トンネル）となっている。

平成19年12月に4号新宿線～5号池袋線間6.7kmが開通し、残る南側区間3号渋谷線～4号新宿線間は平成21年度の開通予定で工事中である（図-1）。

要町換気所は今回開通した区間にあり、山手トンネル全区間に9箇所設置される換気所のうち、最も北側に位置する大規模換気所である。設備は換

気ファン12基、電気集塵機、低濃度脱硝装置等が設置されている。本工事は高速道路階およびダクト階からなるトンネル構造およびその下部に6層の換気所構造物を、開削工法により構築した工事である（図-2）。

南北約190m区間の工区のうち南側での用地取得の遅延により工区の南半分における土留壁構築の工程が大幅に遅れることとなり、予定されていた高速道路の開業時期に間に合わない見込みとなった。このため、当初道路トンネル下の工区全区間に配置されていた換気所構造のうち、工区南半分を北半分に集約することになり、大幅な構造変更を行った。

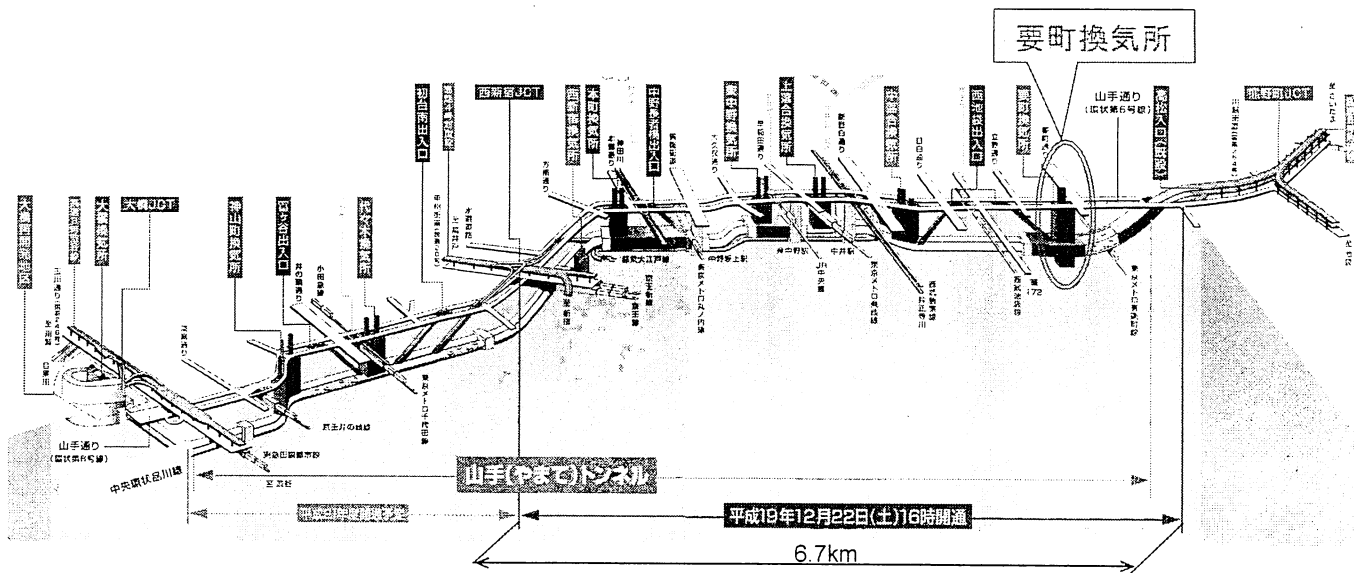


図-1 首都高速中央環状線・山手トンネル概要図

この構造変更により南側区間については工程上の問題が解決されたが、北側区間では換気所の階層が増え掘削深度が深くなったため、急速施工による工程短縮を図ることとなった。

本報文では急速施工を行うために実施した設計上および施工方法に関する対策について報告する。

工事名称：S J 6 2 工区（1）トンネル工事
 事業者：首都高速道路株式会社 東京建設局
 施工場所：東京都豊島区千早一丁目地先
 工期：平成16年2月19日～平成20年8月31日
 工事内容：

・工事規模

換気所部（北側）：延長100m×幅40m×深さ53m
 CVCF室（中間）：延長 20m×幅40m×深さ35m
 道路部（南側）：延長 70m×幅40m×深さ20m

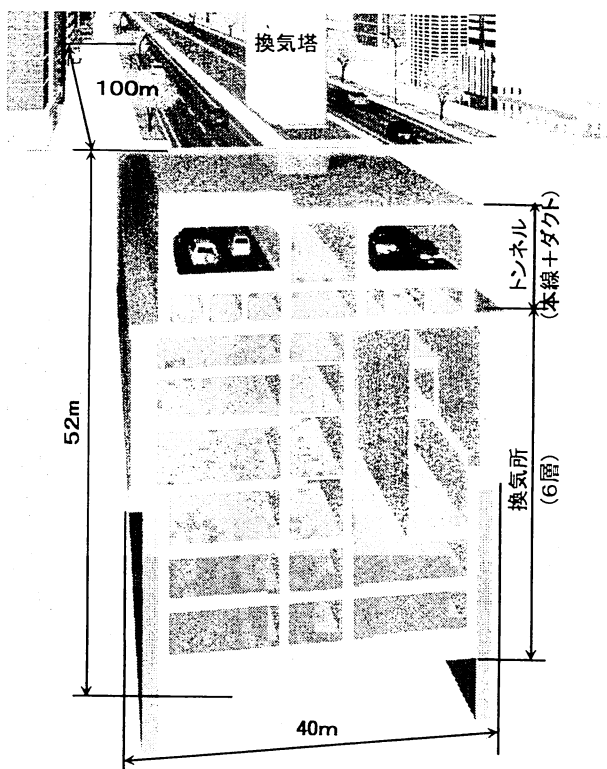


図-2 換気所の構造

表-1 主な工事数量

工 種	単位	数 量
土 工	m ³	253, 000
路面覆工	m ²	8, 000
地中連続壁 (RC壁式)	m ²	17, 000
地中連続壁 (柱列式)	m ²	650
地中連続壁 (鋼製壁式)	m ²	5, 300
土留支保工 (切梁・腹起)	t	10, 130
躯体工 鉄筋	t	12, 700
コンクリート	m ³	79, 100

3. 急速施工の概要

(1) 概説

前述のとおり、当初計画では換気所に必要な構造を工区全区間（延長190m）にわたって配置する構造（延長190m×幅40m×深さ40m）であった。しかし、工区南半分の区間において用地買収の難航等の諸事情により施工に着手できる時期が大幅に遅れていた。この段階で高速道路の供用工程には間に合わない見通しであった。

2. 工事概要

一方で、工区北半分の区間では土留壁(RC連壁)の築造に既に着手しており、その後も支障なく工事を進めることが出来る状況であった。

そこで、換気所として必要な設備空間を北半分の区間に集約し、工区南半分を道路トンネル構造のみを構築するように、大幅な構造変更を行った。このことにより南半分の区間における工事量を少なくし、用地買収の遅延が供用工程へ与える影響を最小限とするように工程変更した。

また、掘削深さが大きくなった北側区間では築造済みの土留壁(RC連壁)の内側に鋼製連壁を路下施工で築造することとなった。

その後換気所施設工事の発注に伴い工程調整を行ったところ、換気所の範囲が狭く階層が深くなったことなどにより、土木躯体工事のしゅん工後に施設工事を施工するのでは工程が供用に間に合わないことが判明し、重層施工等による躯体構築の更なる工程短縮と、躯体構築が完了した階層から順次施設工事が乗り込めるようにするといった工夫が必要となった。

(2) 構造変更に伴う実施設計

換気所部における工程短縮のための方策は2段階に分けて行った。まず、前述の構造変更により掘削深度が深くなったこと(40m⇒53m)、および換気所部構造の階層が増えたこと(3層⇒6層)により実施設計を行い、次に、以下の(2) a)～(3) b)の変更や工程短縮策を盛り込んだ。

a) 掘削深度の変更に伴う鋼製連壁の追加

既存のRC連壁は掘削深度40mに合わせて設計されているため、その内側に路下施工による鋼製連壁を追加し、本体構造側壁の一部として利用した。

b) スラブの逆巻き施工

トンネル構造の底版に相当するスラブを逆巻き施工とし、スラブ上での躯体工と下部での掘削工を同時に施工することにより工程の短縮を図った(図-3(1)・(2))。

これにより中間杭には逆巻きスラブ自重等の施工時荷重が付加されるため支持力および軸方向耐力をより大きく取れるよう変更した。

c) 昼夜間施工の実施

路面覆工下では昼夜間施工が可能であったが、路上は近隣の住環境保全のため施工時間が原則として8:00～20:00に制約されており、当初設計では昼間施工を前提に工程を設定していた。しかし、掘削工と躯体工を同時に施工するためには昼夜間

作業が不可欠(昼間は掘削土の揚土・搬出、夜間は躯体工の材料投入)であることから、常設作業帯内に防音ハウスを設置した。このことにより昼夜間施工を前提とした工程に変更することが可能となった。

また、掘削土の揚土箇所が逆巻きスラブの開口部に限定されることや、大深度におけるクラムシエルの効率低下を考慮して可変式垂直ベルコンを導入した。

d) 高流動コンクリートの採用

逆巻きスラブ直下でスラブと接合する側壁および中壁は、部材厚が大きいこと、空頭の余裕が小さいことにより挿入式バイブレータによる締め固めが困難となった。このため当該箇所については締め固めが不要な高流動コンクリートを採用した。

(3) 躯体工施工順序変更に伴う修正設計

前項の設計(平成15年5月完了)に沿って工事を進めていたが、換気所設備工事(別途発注)の請負者を交えた工程調整会議(平成16年9月～平成17年1月)において設備工事を高速道路の供用開始に間に合わせるためには設備工事の着手時期の前倒しが必要であり、そのために土木工事の更なる工程短縮や換気所エリアの部分引渡しを可能とする方策が要求された。

この方針を受けて躯体工の施工手順変更による工程短縮等を可能とするべく修正設計を行った。

a) 重層施工(複数階層同時施工)

換気所部の偶数階(B2F, B4F, B6F)に該当する逆巻きスラブおよび底版を基面として上部階層に向けての躯体工(図-4)が可能となるよう各スラブを補強した。

b) 中間杭先行切断

通常は構造物(構造物の設計断面に相当する部分)が完成してから中間杭を切断するが、完成した階層から順次、設備工事にエリアを引き渡すために、一部の中間杭を先行して切断撤去を行うことができるように関連する部材を補強した。

4. 鋼製連壁(本体利用)の路下施工

(1) 鋼製連壁(北側工区)の本体利用

RC連壁の内側に鋼製連壁を追加することにより換気所の下半分の階層では有効幅員が小さくなるが、鋼製連壁には本体構造として利用可能な部材を採用することにより影響を小さくした。

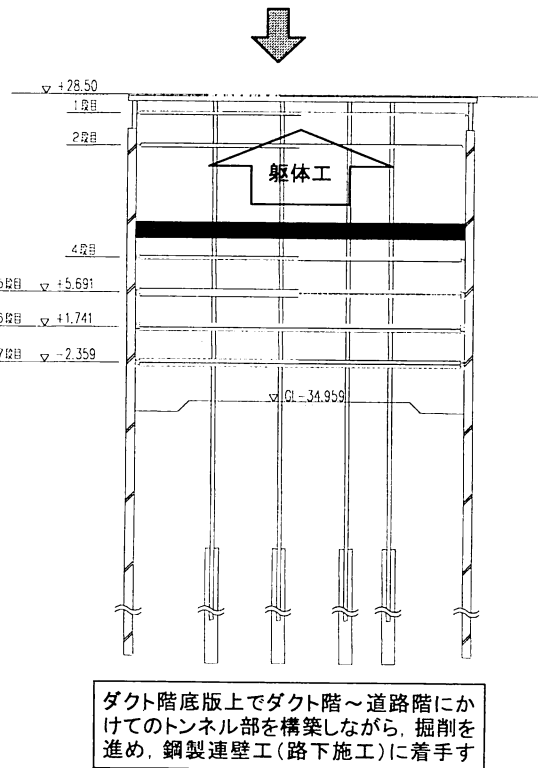
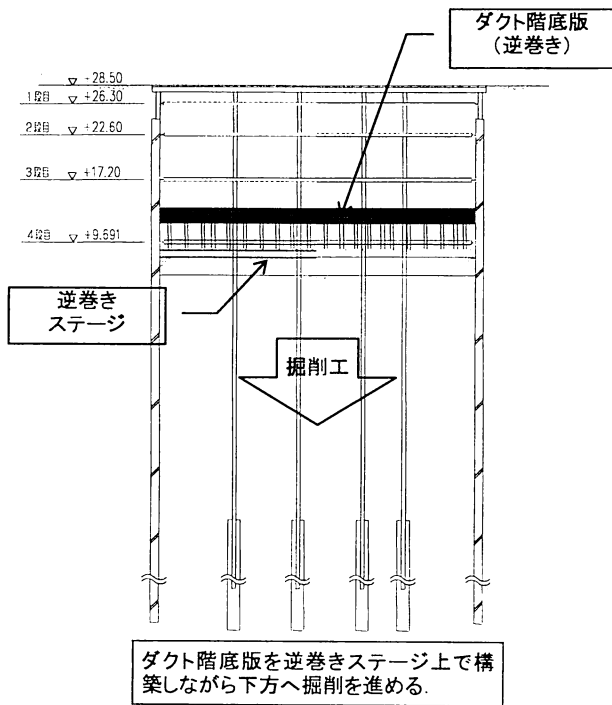


図-3(1) スラブの逆巻き施工(1)

※右上に続く

5. 逆巻き施工によるスラブの構築

(1) 逆巻きステージ

ダクト階底版およびB2F床版に関しては、そ

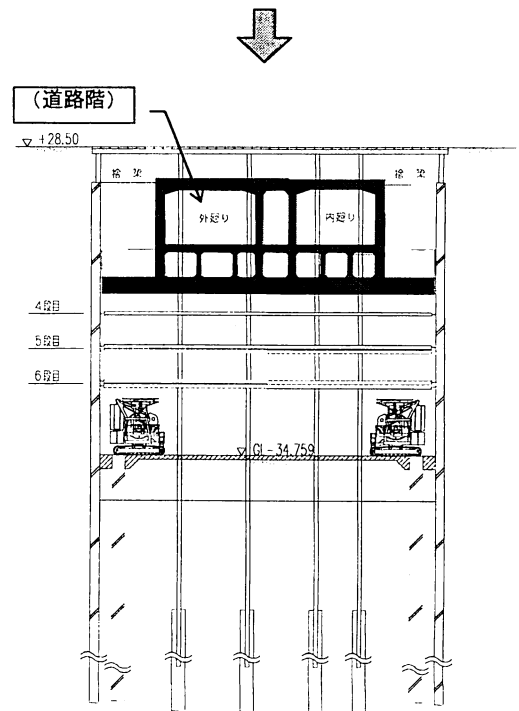


図-3(2) スラブの逆巻き施工(2)

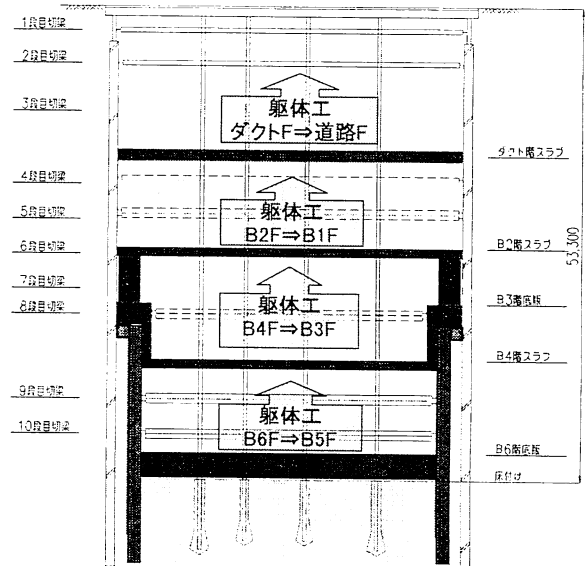


図-4 複数階層の同時施工

の構築と下方での掘削を同時に施工できるように仮設の鋼製架台（逆巻きステージ）上でスラブの施工を行った。

(2) 逆巻きスラブの支持方法

a) 土留壁との接合部

ダクト階底版とRC連壁との接合箇所では、接着式の後施工アンカー（3-D22@150～3-D25@150，L=1175）をRC連壁に埋め込むことにより結合した。

B4F～B6Fの各床版と鋼製連壁との接合部には工場にて鋼製連壁芯材のフランジ面の所定の位置に機械式継手のカプラー（凹）を溶接しておき、掘削の進捗に沿ってこれを露出させ、スラブの主筋（B4F：D19@150）およびせん断補強筋（B4F：4D25／芯材1本あたり）をここに結合する。

b) 中間杭との接合部

① スタッド鉄筋

逆巻きスラブと中間杭の間に作用するせん断力を杭材に溶植したスタッド鉄筋（D22，L=690，により受け持たせる。このスタッド鉄筋はスタッドジベルと同様の方法で鋼材表面に溶植するため先端には特殊加工が施されている。

② 縦断梁

全体の構造系が完成する前の施工段階における逆巻きスラブは両端の連壁と中間杭により支持される両端固定連続梁として設計されている。しかし、中間杭の縦断方向の間隔は5mであり、このままでは横断方向の2次元モデルで設計された梁の支点としての条件を満足できない。よって中間杭間を縦断方向に梁構造により連結し、支点の役割を担うよう断面設計をした。梁は本体スラブに内蔵するRC梁として設計した。

(3) 中間杭の支持力および耐力の増強

a) 拡底杭の採用

中間杭の許容支持力を増強するためには①根入長の増により周面摩擦力を増やすこと、②根入部の径を大きくして先端支持力と周面摩擦力とを増やすこと、が考えられる。しかし、①では削孔長および杭長が長くなることにより中間杭工の所要日数および杭材等の費用が杭長に比例して大きくなる。②では根入部以外の削孔径も大きくなるため排土量が大きくなり産廃費用等が大きくなる。また、削孔機械も大出力・大口径の機種に限定される。

本工事では根入部以外の削孔径を最小限に抑えながら根入部先端の径のみを大きくできる拡底杭（HAMAN工法）を採用することにより先端支持力を増強し、なおかつ工程と費用の増を抑制した。

b) 厚肉鋼材の採用

逆巻きスラブ自重等の荷重が作用する範囲では杭材の軸方向耐力を増強するために肉厚鋼材を使

用した。

6. 昼夜間施工と掘削効率の向上

(1) 防音ハウスの導入

当工区は住宅地に近接しており、環境条例等により1日の延べ作業時間を10時間以下に制約され、また近隣との取り決めにより作業時間帯は原則として8:00～20:00とされていた。

工程短縮のためには昼夜間作業の実施が不可欠であるため防音ハウスを設けることにより、工事による騒音を近隣へ影響が及ばない程度まで低下させることが可能となり、条例の適用除外と昼夜間作業の実施に対する近隣住民の了解を得ることができた。

ただし、車両の出入りに伴う騒音を考慮し、頻度の大きいダンプトラックによる掘削土の搬出は24:00までとし、それ以降は躯体工の資機材の搬出入のみを行うこととした。

(2) 可変式垂直ベルコンの導入による掘削効率向上

当初予定されていた油圧ロープ式クラムシェルによる揚土作業において構造変更に伴い掘削深度が深くなったことによる効率低下が懸念された。

一方、垂直ベルコンによる揚土作業量は掘削深度に関わらず一定であり、実効値で60m³/hrの能力ある。

クラムシェルでは揚土してそのままダンプトラックに積み込むことができるが、垂直ベルコンのシステムでは揚土した土を一旦残土ピットへ溜め、そこからダンプトラックへ積み込むための0.7m³バックホウ（2台）が必要となる。

防音ハウス内に3台のクラムシェルを配置可能とすると、掘削深度22.5m近傍でクラムシェルの作業量と垂直ベルコンの作業量が均衡する。

これによりGL-20m（逆巻きステージ設置時の深度）以下での掘削には垂直ベルコンを使用した。

このとき路下での掘削作業には0.25m³バックホー（ショートリーチ）を用い、垂直ベルコン投入口までの掘削土の横移動には水平方向のベルコンを使用した。

なお、垂直ベルコンは可変式で掘削深度5.0m毎に下方へ延伸した。

7. 高流動コンクリートの採用

逆巻きスラブと側壁・中壁との接続部や高密度配筋箇所などにおいて、高流動コンクリートを採用した。中央環状新宿線他工区での実績や生コンプラントの設備等を考慮して粉体系の配合としたため設計基準強度（ $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ ）に対してセメント量が多くなり、実質的な配合は「48-60-20N」となった。

今回使用した高流動コンクリートはセメント量が多いため、ひとたびトラブル等により圧送が中断されると、圧送管内のコンクリートが通常のコンクリートよりも短時間でかつ固めに凝結することにより管が閉塞してしまい、圧送開始までに必要となる配管の解体・閉塞コン除去・配管復旧の一連の作業に、より長い時間を要する傾向が見受けられた。

当工区のように大深度での施工では配管長が大きくなるため、閉塞しやすく、また復旧の手間も大きくなるため配管方法や閉塞時の対応についても十分な検討が必要とされた。

8. 修正設計における変更（躯体の補強）

(1) 設計条件の変更

a) 床版荷重の変更

換気所の床版は換気、浄化、防災、電気・通信等の設備機器の荷重（ $10\sim50\text{kN/m}^2$ ）に対して設計されており、底版（地盤反力が作用）と一部の重量物が載荷される箇所以外の主筋はD19@150（最小鉄筋量）で計画されていた。また、逆巻きスラブ（B2F、B4F床版）については前述のように施工時荷重「スラブ自重＋作業荷重（ 5kN/m^2 ）」を受ける連続梁としての照査を行っ

ていた。

重層施工による工程短縮を可能とするため、従前の施工時荷重に加えて当該スラブから上の壁、および上の階の床版の自重を加算して計算を行った。

b) 支点条件の変更

換気所内の一部区間では部分的に先行して設備工事へ構造物を引き渡すため、構造系が完成形になる前に先行して中間杭を切断・撤去する。部分的に完成したダクト階からB4Fまでの構造を両側の鋼製連壁と中間杭2列（4列のうち2列を先行切断）により支持する形となる。これをモデル化した2次元フレーム計算を実施して各部材の照査を行った。

(2) 補強の概要

上記の変更による修正設計の結果、以下のような補強を行うこととした。

- a) 床版の応力増加
⇒ コンクリート強度を変更し、補強鉄筋を追加。
（従前の配筋の内側に補強筋を配置）
- b) 中間杭－スラブ結合部における支点反力の増加
⇒ スタッド鉄筋および縦断梁補強筋を追加。
- c) 鋼製連壁－スラブ結合部における支点反力の増加
⇒ 鋼製連壁フランジ面にスタッド鉄筋追加。
- d) 鋼製連壁頭部結合部における応力の増加
⇒ 頭部結合筋の変更

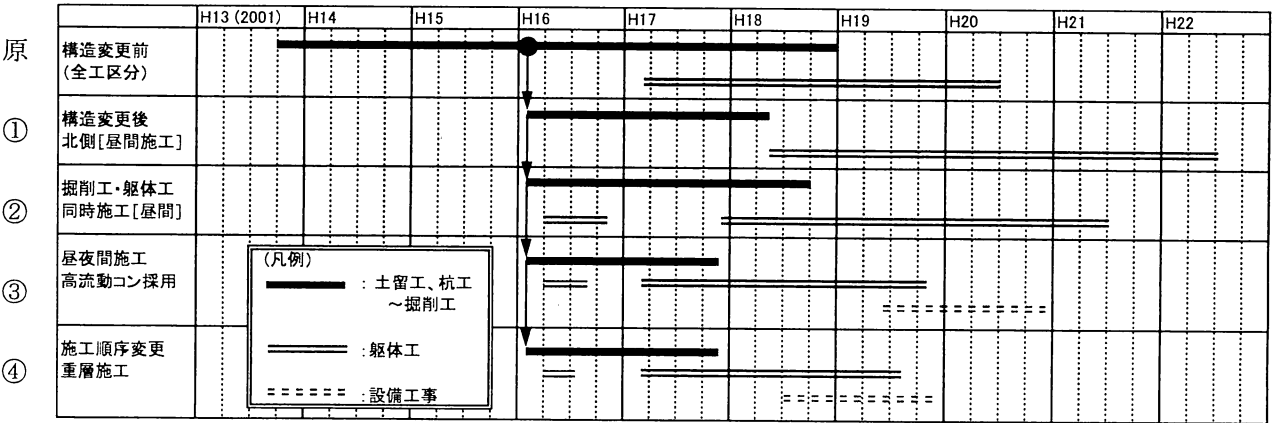


図-5 急速施工対策の適用による工程短縮の効果

9. 急速施工の効果

以上、急速施工のために適用した各変更に伴う工程の変遷を図-5に示す。

原設計に比べ、構造変更により工区の北側における工程は大幅に長くなった(図-5 ①)が、これまで記載してきた各種方策を盛り込んだ変更により工程を短縮(図-5 ②～④)することができた。

10. おわりに

換気所部における土木工事、施設工事ともに高速道路の供用工程に遅れることなく無事に工事を完了し、山手トンネルの開通を迎えることができた。

要町換気所の急速施工、大深度施工に適用された個々の技術のみを取り挙げればとりわけ目新しいものはない。しかし、当初中央環状線山手トンネルのクリティカルパスであった当工区において厳しい工程短縮が要求される状況下で、大規模な構造変更・施工法変更を含む考え得る限りの設計・施工技術を尽くし、地下6層にも及ぶ大規模・大深度の地下換気所の急速施工を行うことにより、最終的にはクリティカルパスを脱して工程内に完成させたことは、最も評価されるべき点であると考えらる。

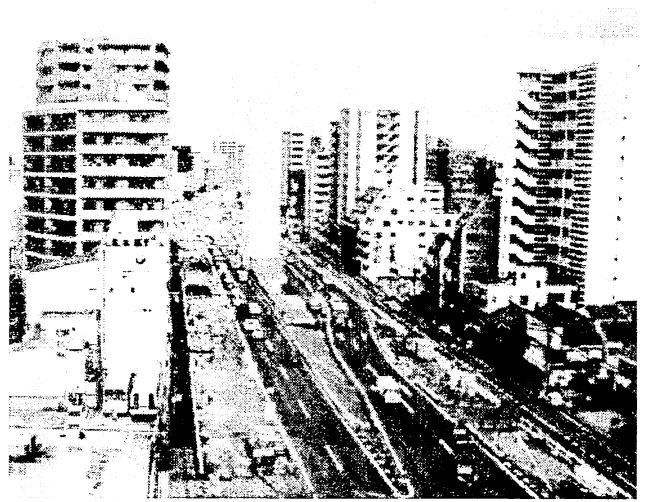


写真-1 完成した要町換気所(2008.8撮影)

参考文献

- 1) 大住元豊, 大西亮: 都心幹線道路下の大規模換気所の大深度施工(発表報告), 第58回施工体験発表会, (社)日本トンネル技術協会, 2006.
- 2) 渡邊健司, 齋藤純一, 大住元豊: 大深度開削トンネルで路下施工した地中連続壁(鋼製壁式)の設計施工—要町換気所, 基礎工, Vol.35, No.12, pp.32~35, 総合土木研究所, 2007.