

幹線道路上での高さ45mの換気塔工事について

波津久 毅彦¹・田中 智隆²・渡辺 朗³・木村 美行³・北原 陽太郎³

¹首都高速道路株式会社 東京建設局 設計第一グループ（〒160-0023 東京都新宿区西新宿六丁目6-10）

²首都高速道路株式会社 東京建設局 施設工事グループ（〒160-0023 東京都新宿区西新宿四丁目15-3）

³大林・竹中土木・西武SJ12換気所特定建設工事共同企業体（〒150-0046 東京都渋谷区松濤二丁目7-12）

首都高速中央環状線神山町換気所は、交通量の多い都道環状6号線（山手通り）に位置し、閑静な住宅街に近接することから、周辺環境に対して細心の注意を払いながら早期に完成させることが要求されていた。このような施工環境下、大型重機を用いた「プレキャストブロック+ポストテンション方式」による高層の換気塔構築を行い、大幅な省力化と工期短縮の実績をあげることができた。本稿では、換気塔基部の変更設計による補強と、換気塔の実施工について述べる。

キーワード：換気所、換気塔、プレキャストブロック、ポストテンション方式、耐震設計

1. はじめに

首都高速中央環状線山手トンネルは、高速5号池袋線の高松入口から、都道環状第6号線（山手通り）の地下を南下し、西新宿で高速4号新宿線とジャンクションして、大橋で高速3号渋谷線に至る全長11kmの地下高速道路である。平成19年12月に高松から高速4号新宿線間を供用し、平成21年度内に大橋までの供用をめざしている。

トンネル内の換気・排煙・防災を担う施設として、路線全体で9箇所の換気所が設置され（図-1）、高速4号新宿線と高速3号渋谷線の間位置する神山町換気所では、地下換気所躯体の上部に高さ45mの排気塔3塔（PC構造）と高さ5mの給気塔4塔（RC構造）

が設置される。

一方、本工事場所は、交通量が4～5万台/日の山手通りに位置し閑静な住宅街に接することから、交通渋滞の回避、振動・騒音の抑制、休日・夜間の作業時間制限など工事環境に配慮しながら早期に完成されることが要求された。

このため、神山町換気所では、大型重機を用いてプレキャストブロックをポストテンション方式にて圧着一体化する施工方法により、短期間で換気塔（排気塔）の構築を完了させた。

本稿では、耐震設計条件の変更による換気塔基部の補強方法とあわせて、実施工で採用した工程短縮のための方策等について述べる。

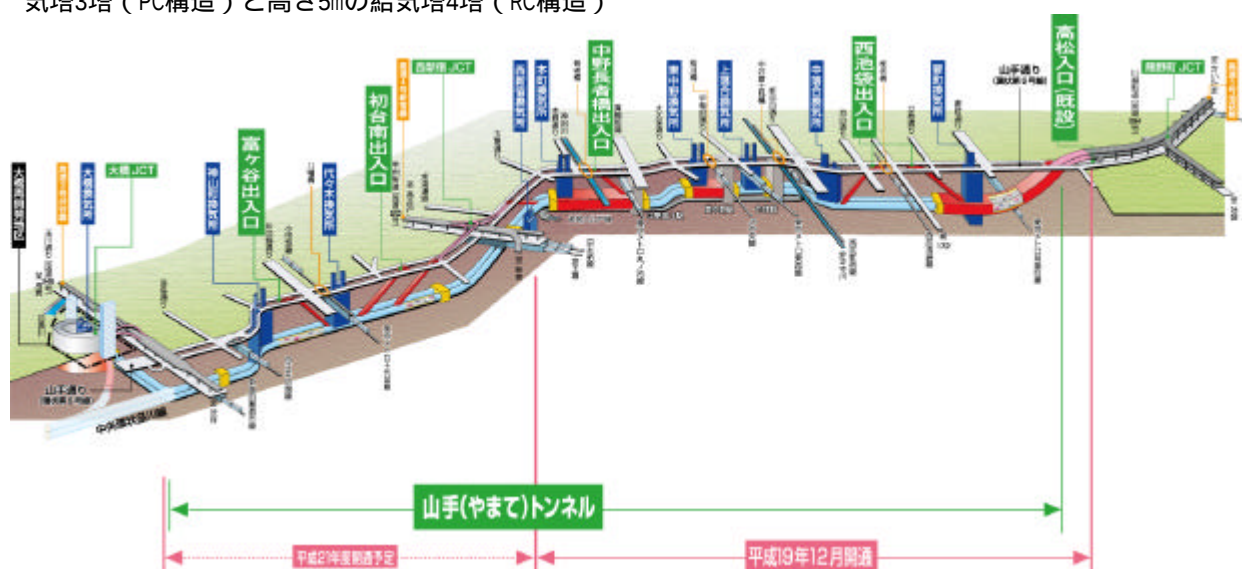


図-1 首都高速中央環状線全体概要図

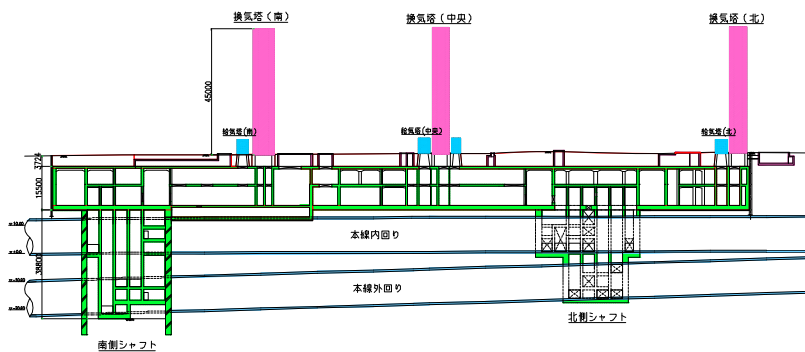


図-2 神山町換気所全体構造



写真-1 神山町換気所

2. 工事概要

工事名称：SJ12工区換気所（その3）工事

発注者：首都高速道路株式会社

請負者：大林・竹中土木・西武SJ12換気所
換気特定建設工事共同企業体

施工場所：東京都渋谷区松濤二丁目，神山町，
富ヶ谷二丁目

工期：平成17年3月5日～平成20年3月29日
（換気塔構築は平成18年6月から12月）

換気塔（排気塔）諸元：

- ・平面形状：六角形
- ・直径：南塔7.4m，中塔6.0m，北塔6.0m
- ・高さ：45m
- ・プレキャストブロック
 - 1ピ-スは六角形の半分（2ピ-スで1段分）
 - 1ピ-スの高さ2.5m（18段で全高45m）
 - 設計基準強度50N/mm²
 - 総重量：2,416t

神山町換気所の全体構造を図-2に，換気塔構築完了時の状況を写真-1に示す。

3. 換気塔基部の設計反力変更に伴う設計検討

(1) 検討の経緯

ここでは，換気塔反力の増加に伴う換気所躯体の設計検討の経緯を述べる。

換気所躯体の構造設計は当初設計（平成15年）に基づいて行われ，換気塔基部のアンカ - 本数は第1回変更設計（平成16年）に基づき設定された。

しかしながら，第2回変更設計（平成17年）に換気塔の耐震設計条件が変更されたことにより，換気塔基部から換気所躯体に伝達される反力が変化するため，躯体の再照査が必要となった。

設計の変遷をまとめると次のとおりである。

a) 当初設計（平成15年）

構造：給気塔と排気塔が一体の矩形断面，

R C 構造（給気塔・排気塔ともH=45m）

耐震設計レベル：中地震時（レベル1）

準拠基準：（社）日本建築学会「煙突構造設計施工指針」1982年版

b) 第1回変更設計（平成16年11月）

構造：給気塔と排気塔は独立，

給気塔は矩形断面のR C 構造（H=5m）

排気塔はP C 構造の六角形断面（H=45m）

耐震設計レベル：中地震時（レベル1）

準拠基準：（社）日本建築学会「煙突構造設計施工指針」1982年版

c) 第2回変更設計（平成17年12月）

構造：b) と同

耐震設計レベル：大地震時（レベル2）

準拠基準：（社）日本道路協会「道路橋示方書
耐震設計編」平成14年3月

(2) 設計反力増加に伴う課題

上記経緯に伴い，換気塔基部反力が変化することによって次の3点の課題が生じた。

換気所躯体のせん断耐力不足

換気塔基部の上床版差筋アンカーの本数不足

アンカー筋定着部の換気所中壁の引張耐力不足

(3) 換気塔基部補強方法の検討

a) 課題 に対して

南換気塔基部においては，せん断力が当初設計の1.3倍となった。換気所躯体は当初設計で構築されているため，排気塔と給気塔の基部の一部を一体化し荷重分担幅を広げることにより，耐震性能を確保した。

b) 課題 に対して

南・中・北換気塔とも，基部引抜力が第1回変更設

(反力, 耐力單位: KN/柱)

Figure 1: Reinforcement details for the deck slab. (a) Section view showing vertical dimensions: total height 700mm, concrete cover 350mm, and reinforcement spacing of 250mm. It shows PC reinforcement #32mm and #40mm, and a 200mm wide section. (b) Plan view showing horizontal dimensions: total width 1250mm, center-to-center spacing of 250mm, and a 125mm wide section. It shows PC reinforcement #26mm and a 12mm wide section.

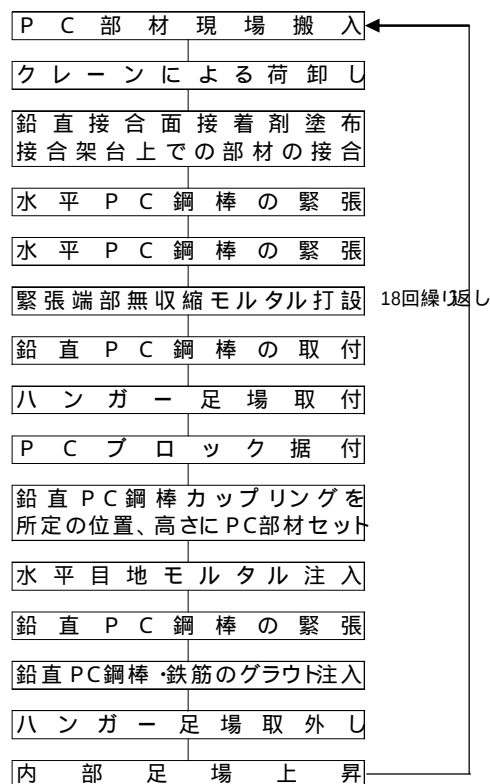
となり、基部の引張耐力が不足すること
に上床版上の差筋アンカーを増やす対策
スペースがない上に、上床版下部の中壁
が不足することとなる。よって、補強ア
ルとしてPC鋼棒を追加配置するとともに、こ
の下部に定着することによって中壁の抵抗
力、引張耐力を確保することとした。

(4) 補強PC鋼棒の配置と中壁の増打ち

施工手順は、上床版のコア削孔 PC鋼棒の挿入 PC鋼棒貫通部にエポキシ樹脂を充填 PC鋼棒定着ブラケットを中壁下部に固定 PC鋼棒を定着増打ちコンクリート打設（ $t=300\text{mm}$ ）である。

4. 換気塔の施工

使用部材	P C 鋼棒 C 種1号 SBPR1080/1230
引張り耐力	1080(N/mm ²)
せん断耐力	624(N/mm ²)
引張り強さ	1230(N/mm ²)

[illegible]

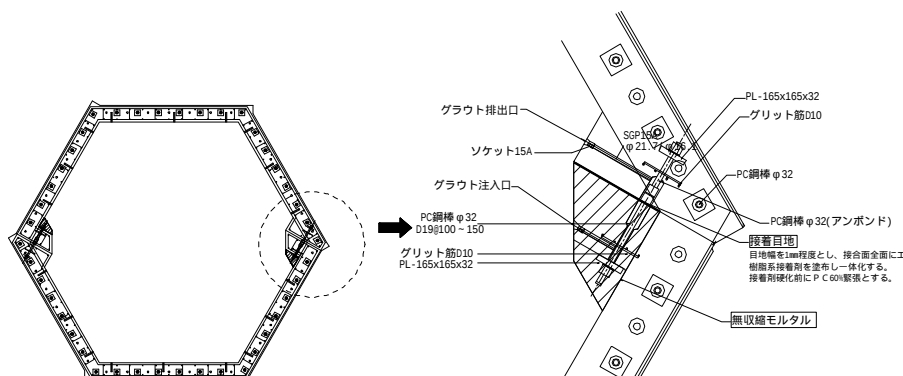
(1) 施工フロー

換気塔は平面形状が六角形であり、すべてプレキャスト部材で構成されている。1部材の大きさは六角形を2分割した3辺分であり、高さ2.5m、重量26t、設計基準強度50N/mm²である。



写真-2 プレキャスト部材の荷下し～建起し

水平鋼棒詳細図



水平緊張順序図

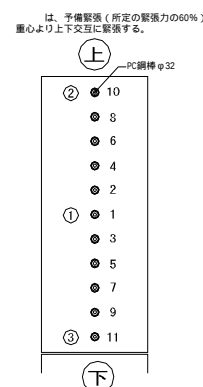


図-6 水平 P C 鋼棒の配置図および緊張順序図

よって、「2つの部材を地組み接合してPC鋼棒で横締めし、六角形となったブロックを1段積上げるごとにPC鋼棒で縦締めする」作業を18段繰返す工程であった。

(2) プレキャスト部材の地組

a) 荷下し、建起し

プレキャスト部材は、その形状寸法と車両制限から、写真-2 左に示すようにトレーラに寝かせた状態で現場に搬入した。

当初は、荷下しした部材を、山留材 H-300 で組立てた専用の建起し架台により 90° 建起す計画であった。しかしながら、架台自体の重量が 6t となり建起し時に衝撃を伴う可能性があること、建起しスペースとして 45 m²程度が必要となることから、専用の吊り治具(H-200)と電動チェーンブロックを用いて建起す方法とした(写真-2 中、右)。

これにより、プレキャスト部材をトレーラから荷取りし、空中で 90° 回転させ、地組み架台上に下すことができたため、安全性と作業効率の向上につながった。

b) 水平 P C 鋼棒の定着

2つのプレキャスト部材を六角形に組合せた接合面(鉛直目地)では、水平PC鋼棒緊張時に、接合面の不陸に起因する応力集中が生じクラックが発生する可能性がある。そのため、塗布厚2mm程度を標準として接合面に2液混合型エポキシ樹脂系接着剤を塗布し、水平緊張を行った。

接着剤は、水平PC鋼棒緊張までの可使用時間とプレキャストブロック吊上げまでの硬化時間を考慮し、硬化後の強度がプレキャスト部材の設計基準強度と同じ50N/mm²となるものを採用した。

水平緊張時においては、接着剤硬化までは適度な圧縮応力が作用するよう水平PC鋼棒の半数で仮緊張を行い、接着剤硬化後に全数を緊張した。

水平PC鋼棒の緊張順序は、図-6に示すとおり上下千鳥とした。

(3) プレキャストブロックの据付

a) ハンガー足場の採用

換気塔の外周には、当初、枠組足場を全面設置する計画であったが、高所作業に伴う墜落・飛来落下

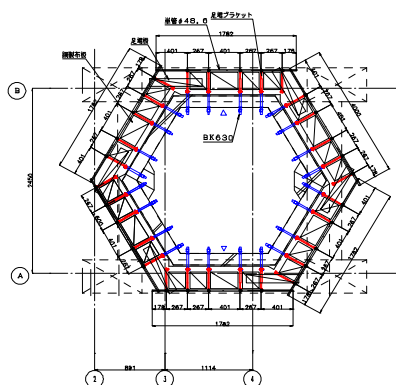


図-7 ハンガー足場構造

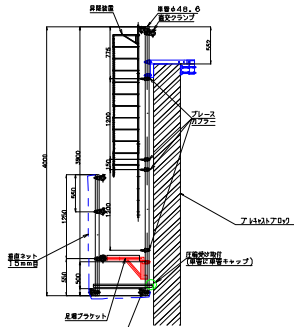


写真-3 ハンガー足場

2台のジャッキを対角線上に配置し、順次緊張作業を行う。

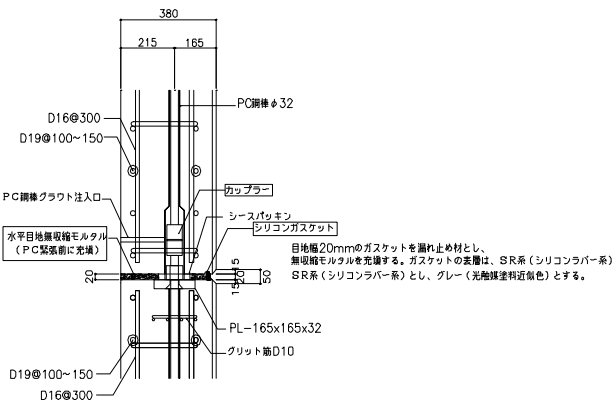
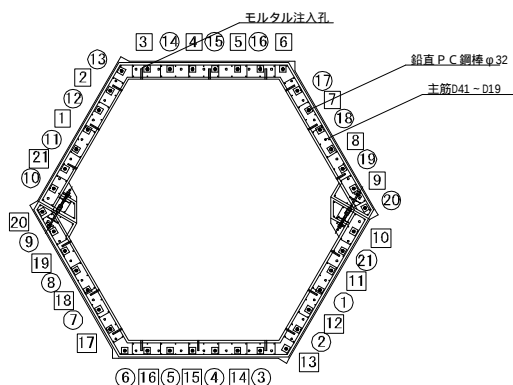


図-8 鉛直 PC 鋼棒配置および緊張順序

表-3 PC 鋼棒緊張力一覧

部材	場所	種類	断面積	引張荷重	降伏荷重	許容引張荷重		設計緊張力	導入緊張力
			(mm ²)	(kN)	(kN)	導入時(kN)	定着完了時(kN)	(kN)	(kN)
鉛直鋼棒	南塔	PC鋼棒32φ (SBPR1080/1230)	804.2	990	869	738	692	681	695
	中央・北塔		804.2	990	869	738	692	691	704
水平鋼棒	南塔	PC鋼棒32φ (SBPR1080/1230)	804.2	990	869	738	692	692	706
	中央・北塔		804.2	990	869	738	692	692	706

のリスクを減らし、かつ工程短縮を図るために、架設するプレキャストブロック上端から足場を吊る「ハンガー足場」に変更した(図-7、写真-3)。

これは、工場製作時に部材表面の光触媒塗装を行っており、換気塔外面の仕上げ作業等を行う必要がなかったため、足場設置撤去数量ならびにこれに伴うクレーン拘束時間の削減が可能となった。

b) 水平目地の施工

プレキャストブロック間の水平目地には、無収縮モルタルを充填した。高所作業かつ狭隘な作業環境から、無収縮モルタルの外側への漏洩が懸念されたため、目地の形状、ガasketの材質、無収縮モルタルの注入方法等について検討した。

ガasketの材質は、プラスチック系と合成ゴム系に大別されるが、30～50年の耐久性を有し、高層ビルでの施工実績も多く、着色可能な「シリコンラバー」を採用した。

また、無収縮モルタルの注入においては、充填状況を目視確認できるよう、透明アクリル製型枠を使用した。

無収縮モルタルは、翌日に上段の鉛直緊張を可能にするため、早強タイプを使用した。

c) 緊張管理

鉛直PC鋼棒の緊張順序は、図-8に示すとおり2台のジャッキを対角線上に配置して順次緊張した。

水平PC鋼棒とあわせて緊張力一覧を表-3に示す。



写真-4 中換気塔構築状況



写真-5 北換気塔構築状況

表-4 換気塔構築実施工定表

施工場所	工種	H18.5	6	7	8	9	10	11	12	H19.1
南換気塔	基部躯体工									
	換気塔構築									
中換気塔	基部躯体工									
	換気塔構築									
北換気塔	基部躯体工									
	換気塔構築									

計画
 実績

(4) 揚重機の選定

1段で51tの重量物を地上45mまで吊り上げるため、大型クレーンが必要となる。南・中換気塔の施工においては、作業帯内でブーム組立てスペースを確保できるため、350t吊りクローラクレーンを使用した。

一方、北換気塔の施工においては、秋から年末にかけての作業であり強風時に短時間でブームを伸縮できること、南・中換気塔に比べて相対的に近隣建物が低層であり重機自体が周囲に圧迫感を与えることから、500t吊りトラッククレーンを使用した。

大型クレーンによる換気塔構築状況を写真-4、写真-5に示す。

(5) 実施工程

換気塔構築の実施工程表を表-4に示す。中・北換気塔では、先行の南換気塔での習熟もあって、それぞれ約40日間（2日で1段のペース）で施工できた。

5. おわりに

換気所躯体工事開始から換気塔構築完了まで3年の工程であった。その間、耐震設計条件の変更により換気塔基部の補強が必要となったが、PC鋼棒を効果的に配置することにより、換気所本体躯体の構造への影響を最小限にとどめることができた。

一方、換気塔の構築では、それまで路下施工が主体であったのに対し、一変、路上での「大きな積木工事」となった。一般交通車両や近隣住民の衆目の的となる失敗の許されない施工環境であったが、工程短縮のために工夫を凝らし、テンポよく積上げていったこともあって、無事完成させることができた。

本工事が、路上で大型プレキャスト構造物を構築する同種工事の参考となれば幸いである。

現地施工にあたっては、財団法人首都高速道路技術センター殿に終始適切なるご指導をいただいた。ここに記して、謝意を表します。