

R2国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事の ニューマチックケーソンの施工に向けた 事前置換工法の導入

鹿間 美咲

川崎国道事務所 工務課 (〒213-8577 神奈川県川崎市高津区梶ヶ谷2-3-3)

国道357号の多摩川トンネルは、大田区羽田空港から川崎市川崎区浮島までの首都高速湾岸線と並走する外径約16mのシールド工法で掘削される水底トンネルである。現在は、羽田地区および浮島地区にて立坑を施工しているが、首都高速との近接により施工条件が厳しいことや事前調査の結果から地中障害物が確認されたため施工の支障となることが判明されている。

これらの対策として、φ2,000大深度オールケーシングによる置換工法を導入した。また、陸上部において杭長が最長であり、周面摩擦を減らすために径の異なるケーシングを使用している。その結果、ケーシングの引抜きに成功し、立坑に着手できる可能性を示唆した。

キーワード 置換杭工法、ニューマチックケーソン施工、地中障害物、近接施工対策

1. はじめに

国道357号の多摩川トンネルは、東京湾岸道路事業のうち、東京都大田区羽田空港から神奈川県川崎市川崎区浮島までの約3.4kmで首都高速湾岸線と並走する水底トンネルである。本線トンネルは、外径約16mのシールド工法掘削され、片側対面1車線の構造となっている。現在は、シールドマシン掘進の準備段階である立坑を施工しており、浮島側で発進立坑（以下、「浮島立坑」とする。）、羽田側で到達立坑（以下、「羽田立坑」とする。）の工事が進められている。浮島立坑や羽田立坑の施工場所は、軟弱地盤の埋立地であることや首都高速湾岸線が近接する現場であるため施工条件が厳しい。さらに、本体工着手前の調査より、コンクリート・アスファルト殻、鋼管矢板および松杭等の地中障害物が確認され、立坑の施工の支障となることが判明されている。

そこで、これらの対策として、φ2,000大深度オールケーシングによる置換工法を導入した。本稿では、国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事の大深度オールケーシングによる置換工法の取り組みに関して詳説する。

2. 国道357号多摩川トンネルの事業・工事概要

(1) 国道357号多摩川トンネルの事業概要

本節では、国道357号多摩川トンネルの事業概要を詳説する。国道357号東京湾岸道路は、千葉県・東京都・

神奈川県を結ぶ延長約80kmの海岸沿いに伸びる主として埋立地を利用した道路である。臨海部に面する各都市を結び、空港や港湾等の物流拠点やオフィス・レジャー施設へのアクセスの向上等の様々な都市機能の効率的な交流と連携を図ることを目的としている。

東京湾岸道路の区間の中でも、浮島（神奈川県川崎市川崎区）と羽田空港（東京都大田区）間を一般道で往来する道路が未整備のため、産業道路や国道1号、国道15号を経由する必要がある。しかし、これらの路線の断面交通量は10万台/日を超え飽和状態となっているため、多摩川トンネルの整備が進められている。

多摩川トンネルは、延長が3.4kmで、そのうち2.7kmがシールドマシンにて掘削される計画となっている（図-1参照）。本トンネルの掘削で使用するシールドは外径約16mの大きさで、片側対面1車線の構造である。

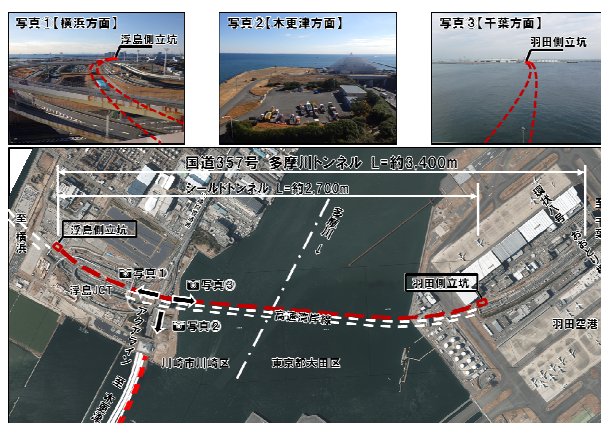


図-1 多摩川トンネルの全体図

(2) 国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事の概要

本節では、前節の工事のうち、浮島立坑の工事概要に関して詳説する。本工事の工事概要を表-1に示す。本工事は、トンネルを掘り進めるために必要な立坑を施工する工事である。浮島立坑の大きさを図-2に示す。幅は、シールド発進スペース（18.2m）、昇降路（5.7m）および内空壁（1.0m）の和である内壁の長さ（24.9m）と躯体厚（7.0m）とを加算した31.9mとしている。長さは、

表-1 工事概要

工事名	R2国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事
施工場所	神奈川県川崎市川崎区浮島町地先
工期	令和3年3月23日 ～ 令和6年3月29日
発注者	国土交通省関東地方整備局
受注者	五洋建設株式会社
工事内容	トンネル発進立坑 1基 立坑：幅31.9m、長さ37.0m、高さ48.4m (ニューマチックケーソン工法) 地中連続壁工 1式 地盤改良工 1式 仮設工 1式

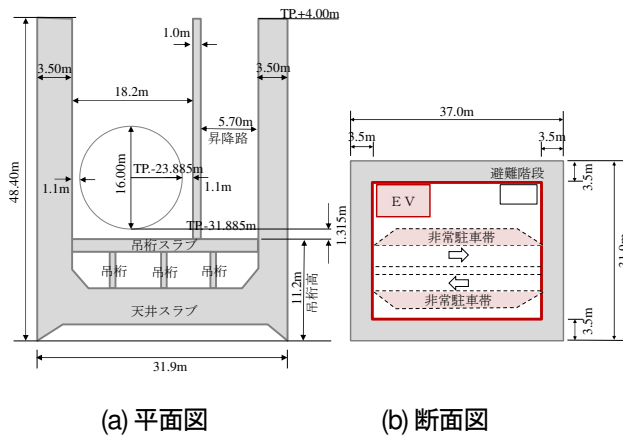


図-2 浮島立坑の平面図及び断面図

非常駐車帯（30.0m）と躯体厚（7.0m）とを加算させた37.0mとしている。高さは、吊桁全高である11.2m、底版をシールドより1.3mおよび土被り1D以上から設定し48.4mとしている。

また、施工箇所は、本体内着手前のボーリング調査および地中障害物探査結果より軟弱地盤であることが確認されている。そのため、軟弱地盤の地下工事を低コストかつ安全で施工できる工法を比較検討した（表-2参照）。本工事の立坑施工の工法では、ニューマチックケーソン工法およびオープン掘削工法（以下、「開削工法」とする。）が候補に挙がった。ニューマチックケーソン工法は、コンクリートで作られた函の中に空気を送り地下水の流入を防ぎながら掘削する工法であり²⁾、開削工法は、土留めをして、支保工をかけながら掘削する工法である³⁾。開削工法は、開削範囲が軟弱地盤であり、土留めの際に変位が生じることや掘削範囲が大きく近接構造物との離隔（約2.0m）が少ないため不利である（図-3参照）。一方、ニューマチックケーソン工法は、フリクションカット部の緩みや沈下時に引込を起こす可能性があるが、掘削範囲が小さく近接構造物との離隔（約4.0m）が確保

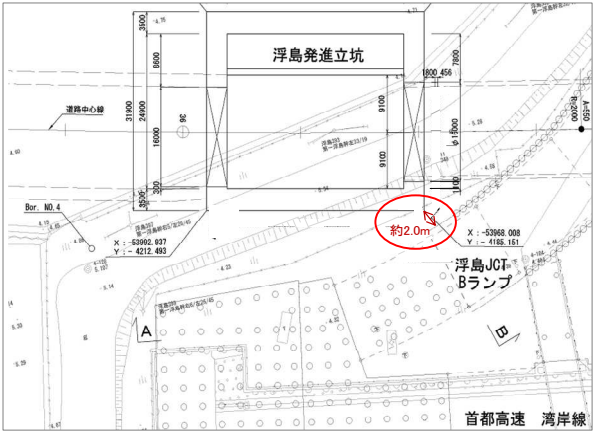


図-3 浮島立坑と近接する首都高構造物との離隔

表-2 立坑の施工比較

項目	ニューマチックケーソン工法	開削工法
施工断面図		
近接影響 (首都高速)	1. 近接構造物への影響（地盤変位）の主要因 ・フリクションカット部の緩み ・沈下時引込 ⇒開削工法と比較して周辺への変状影響は小さい傾向となる 2. 開削工法と比較して掘削範囲が小さくできる ・近接構造物との離隔（約4.0m）が確保できる ⇒変状影響は優位になる ○（少ない）	1. 近接構造物への影響（地盤変位）の主要因 ・掘削時の土留め変位 ・掘削範囲は軟弱地盤（埋土層、沖積層） ⇒ニューマチックケーソン工法と比較して周辺への変状影響は大きい傾向となる 2. ニューマチックケーソン工法と比較して掘削範囲が大きい ・近接構造物との離隔（約2.0m）が少ない ⇒変状影響は不利となる △（左工法に比べて大きい）

できるため変状影響は少ない。そのため、本工事では、ニューマチックケーソン工法を採用し、立坑を施工することとなった。

3. 置換工法の導入の背景

本章では、国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事にて、当初施工内容に含まれていなかった置換工法を導入した背景に関して詳説する。本土工着手前のボーリング調査および地中障害物探査にて、TP -33mm付近までコンクリート・アスファルト殻、鋼管矢板および松杭等の地中障害物が確認された（図-4参照）。立坑沈設時に、地中の殻が支障となり立坑の安定性を損なう可能性が大きいほか、沈下掘削時に撤去した場合、周辺地盤に緩みが生じる恐れがある。また、近接する首都高構造物への影響検討（FEM解析）の結果、影響対策が必要であった。

そこで、本工事では、ケーシングを回転して押し込みながら掘削する⁴⁾オールケーシング工法による置換工法にて置換杭を施工することとなった。置換工法は、軟弱地盤の全部または一部を砂や碎石、無筋コンクリート等に置き換える工法である。本工事では、置換工法で使用する材料として、碎石、無筋コンクリートおよび流動化処理土を選定した。地表から立坑の刃口部までを碎石にすることで、立坑が沈下しやすくなるようにしている。また、刃口の下を無筋コンクリートで置換することで、軟弱地盤でも立坑の自重を耐えられるようにしている。さらに、中杭部の流動化処理土は首都高速道路との近接施工であることから、立坑の沈下の位置を固定するために選定されている。

本工事にて施工する置換杭の配置図を図-5および図-6に示す。本工事では、総数168本で4種類の置換杭を施工している。ケーシングの径は、本土工着手前の調査結果より、支障物の大きさが1.0m～1.1m程度であったことから、 $\phi 2,000\text{mm}$ 、 $\phi 2,500\text{mm}$ および $\phi 3,000\text{mm}$ を選定した。また、立坑の形状から、必要置換幅が4.0mであったため、引抜き時の検討結果よりケーシングの径の組合せを選定した。その結果、均一な層で立坑を着底させる必要があるため、外杭の置換杭は、 $\phi 2,000$ 、 $L=38.51\text{m} \times 60$ 本（以下、「置換杭(1)」とする。）と $\phi 2,500$ 、 $L=53.45\text{m}$ （刃先+2.0m） $\times 42$ 本（以下、「置換杭(2)」とする。）をそれぞれ碎石に置換える。また、立坑の施工時において、近接する首都高構造物への影響検討の結果、置換杭(2)を2本に1本の間隔で $\phi 2,500$ 、 $L=51.40\text{m}$ （碎石）と $\phi 2,000$ 、 $L=29.60\text{m}$ （無筋コンクリート）とを合わせた $L=81.00\text{m}$ の置換杭（以下、「置換杭(3)」とする。）26本を配置する。さらに、内杭の置換杭である $\phi 2,500$ 、 $L=51.40\text{m}$ を流動化処理土、 $\phi 2,000$ 、 $L=29.60\text{m}$ は無筋コンクリート（以下、「置換杭(4)」とする。）40本も配置する。



図-4 浮島立坑施工箇所を確認された地中障害物

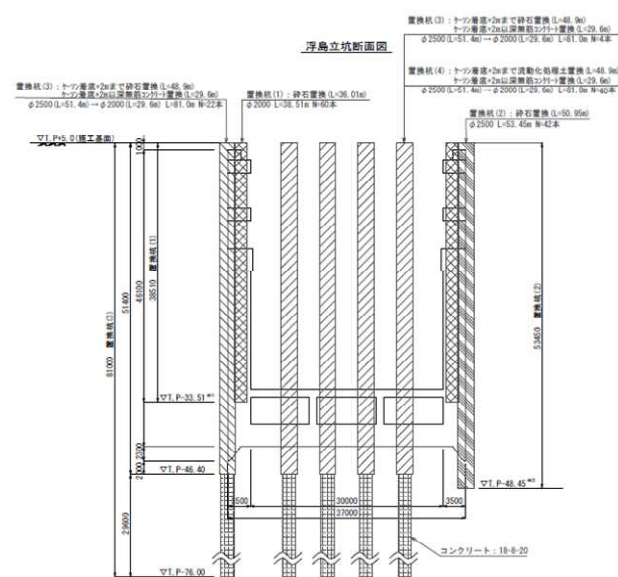


図-5 浮島立坑の置換杭の断面図

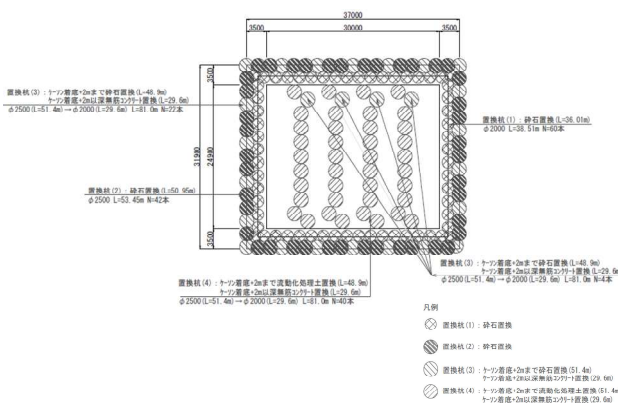


図-6 浮島立坑の置換杭の平面図

本工事の置換杭(3)および置換杭(4)の杭長は81.00mとなっており、陸上部における杭長の過去実績である67.40m（スーパートップ工法協会）を上回り最長となっている。そのため、施工実績がないことや施工箇所が埋立地であ

り地下水位が高いことから引抜きの際に周面摩擦が増大し施工が難しいと考えられる。そこで、本工事では、異径ケーシングを先行圧入することにより、引抜きが可能となると判断した。本工事の置換杭(3)および置換杭(4)の施工手順を図-7に示す。置換杭(3)では、まず、φ2,500のケーシングで地中障害物の撤去および周面摩擦を切るために、30.00m掘削してφ2,500のケーシングを抜かずに発生土を埋戻す。次に、φ2,000のケーシングで81.00m掘削し、29.60mはコンクリートを打設し、21.40mは発生土を埋戻す。最後に、φ2,500のケーシングで51.40mまで掘削し、碎石で置換える。なお、置換杭(4)については、φ2,500の碎石置換えが流動化処理土となる。また、この手順により置換杭を1本施工するのに昼間施工で14日かかることを見込んでいる。

4. 置換工法の導入による結果

本章では、前章の置換工法を採用したことによる結果を詳説する。2024年1月15日時点の置換杭工の進捗を表-3に示す。表より、全体168本のうち、156本（約93%）の施工が完了している。ケーシングの引抜きにおいて、増大する周面摩擦が課題となっていたが、異径ケーシング（φ2,500、30.00m）を先行で圧入することにより、周面摩擦を減少させ引抜きが可能となった。

また、施工箇所は1m間で何mm傾斜しているかを測定できる傾斜測定器によって鉛直精度管理している。本施工の許容誤差は、出来形管理基準及び規格値により、φ2,000のとき10mmとなる。鉛直測定器は、φ2,500の掘削完了時およびφ2,000の掘削完了時に測定している。測定の結果、φ2,500およびφ2,000ともに、x軸方向は最大3mm、y軸方向は最大4mmの誤差が生じた。これは、許容誤差になっているため、陸上部において、初めてφ2,000以上の置換杭の施工に成功したこととなった。さらに、2024年3月に置換工の施工が完了予定である。

5. おわりに

本工事では、事前のボーリングおよび支障物探査結果にて、地中障害物が確認されたが、置換杭工によって、支障物を取り除くことができた。また、史上初の長さの置換杭であったが、出来形も基準値内に収めることもできた。さらに、支障物を取り除いたことによって、2024年度から立坑の施工を開始できる可能性を示唆した。

謝辞：五洋建設株式会社の関係者各位には、施工にあたって貴重なご意見および施工実績の資料提供を賜った。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 国土交通省：平成27年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 集計表、<<https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>>、（入手 2024.01.28）。
- 日本圧気技術協会：ニューマチックケーソンとは？ 概要・原理・沈下理論、<<http://www.pneumatic.gr.jp/pneumaticmethod/summary/>>、（入手 2024.01.28）。
- 京都市交通局：地下鉄のつくり方ー開削工法、<<https://www.city.kyoto.lg.jp/kotsu/page/000006907.html>>、（入手 2024.01.28）。
- 加藤製作所：オールケーシング工法とは、<<https://www.kato-works.co.jp/products/earth/html/all-casing.html>>、（入手 2024.01.28）。
- 国土交通省：出来形管理基準及び規格値（案）、I-20、<https://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou/pdf/300327kouji_sekoukanikijun01.pdf>、（入手 2024.01.28）。

表-3 置換杭の施工進捗状況（2024年1月15日時点）

置換工進捗表(1/15時点)				
	首都高影響範囲内	首都高影響範囲外	合計	
置換杭(1) φ2,000(38.51m) 碎石置換	昼間施工	43本 / 43本	43本	43本
	昼間夜間施工	2本 / 2本	17本	17本
	計	15本 / 15本	45本	60本
置換杭(2) φ2,500(53.45m) 碎石置換	昼間施工	15本 / 15本	15本	15本
	昼間夜間施工	12本 / 12本	15本	27本
	計	12本 / 12本	30本	42本
置換杭(3) φ2,500(51.40m) 碎石置換	昼間施工	6本 / 6本	6本	6本
	昼間夜間施工	12本 / 12本	18本	20本
	計	6本 / 6本	18本	26本
置換杭(4) φ2,500(51.40m) 流動化処理土置換	昼間施工	4本 / 11本	26本	29本
	昼間夜間施工	4本 / 11本	26本	30本
	計	4本 / 11本	26本	40本
合計		37本 / 44本	119本 / 124本	156本 / 168本 (約93%)

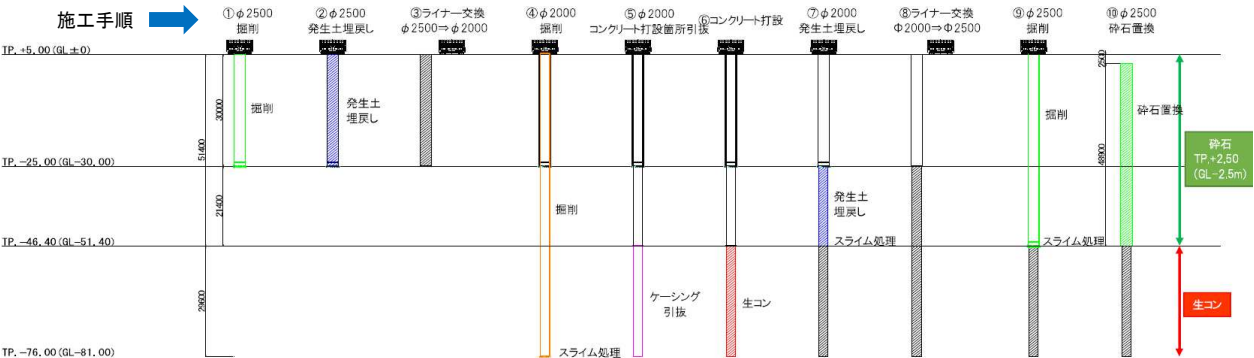


図-7 浮島立坑の置換杭81.00mの施工手順