

地下鉄の坑口における防水ゲートによる 大規模浸水対策

羽場 鴻太郎¹・藤岡 崇晃²・小西 真治³・青木 正明²

¹ 非会員 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 土木課 (〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6)
E-mail: k.haba.f7x@tokyometro.jp

² 非会員 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 土木課 (〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6)

³ 正会員 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 土木課 (〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6)

近年の異常気象により、都市部での大雨、高潮による水害が顕著となっている。また、内閣府中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」報告書²⁾ ³⁾や東京都の洪水ハザードマップ⁶⁾では、水害によって地下空間への浸水の発生が示されている。そこで東京地下鉄株式会社では、列車の安全、安定輸送確保のための大規模浸水対策の一環として、浸水が予想される各坑口において防水ゲートの設置を進めている。設置にあたり、各坑口の周辺環境を踏まえ、異なるタイプの防水ゲートを検討し、剛体架線など地下鉄特有の設備に対応した構造での設置を進めている。ここでは、最近完成した千代田線北千住坑口防水ゲートと、現在施工中の2つの防水ゲートの設置工事について報告する。

Key Words: flood damage, large-scale flood control, waterproof gate, subway tunnel, disaster prevention

1. はじめに

我が国では、過去幾度も自然災害、中でも大雨による水害に見舞われてきた。

東京地下鉄株式会社（以下、東京メトロとする。）が地下鉄を運営している東京都も例外ではなく、荒川決壊や高潮被害、各種河川の氾濫による水害が想定されている。

東京メトロで発生した過去の水害での被害としては、1982年9月12日、台風18号に伴う豪雨による被害がある。この豪雨により、神田川が氾濫したことで、隣接する丸ノ内線中野車両基地が浸水し、さらに坑口からトンネルへ流入したことで、丸ノ内線中野坂上駅～方南町駅間で浸水した（写真-1）¹⁾。

水害においては異常気象や、地球温暖化などの影響により、近年その激しさと脅威を増しており、2009年1月23日に内閣府より発表された「荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定公表について」²⁾では、荒川の決壊により溢れ出た水が地下鉄トンネルに流入することにより、大手町や銀座など都心各地への被害拡大をもたらすことが指摘されている。現状の設備では対応しきれない規模の被害想定が発表されたことで、東京メトロとしても水害対策を再検討するに至った。

そこで、東京メトロでは、総延長195.0kmのうち、約85%を占めるトンネルへの浸水を防ぐために、浸水が懸

念される区域での換気口や、換気塔、駅出入口に加え、地上とトンネルとの接続部となるトンネル坑口における浸水対策の整備に取り組んでいる（図-1）¹⁾。

本稿では、東京メトロにおける大規模浸水対策の取り組みについて述べ、特に規模の大きな浸水対策となる坑口防水ゲート設置について報告する。

2. 東京メトロにおける浸水対策

東京メトロでは、従来取り組んできた浸水対策に加え、各基準等の改正や被害想定の見直しを受け、浸水対策に取り組んでいる。ここでは、東京メトロにおける大規模浸水対策の概要について述べる。



写真-1 浸水した中野新橋駅（1982年9月12日撮影）

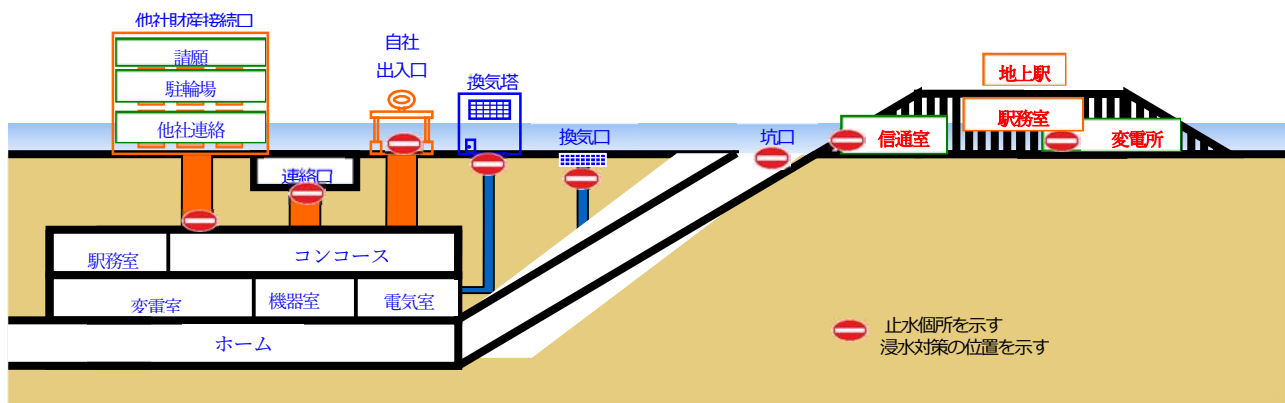


図-1 東京メトロ浸水対策のイメージ

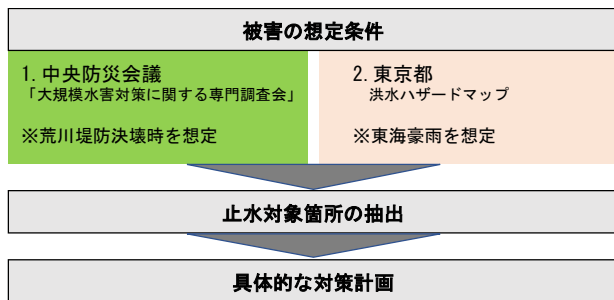


図-2 浸水被害の想定規模

表-1 東京メトロにおける浸水対策

設備種類	標準対策
換気口	浸水防止機設置、改良
換気塔	開口高さの嵩上げ、 防水扉設置
駅出入口	防水扉設置、 防水上家建替
坑口	防水ゲート設置

(1) 検討条件と東京メトロにおける想定

国土交通省は、2000年9月の東海豪雨の被害を受けて「都市型水害緊急検討委員会」を設置し、「都市型水害対策に関する緊急提言」を発表した。これに合わせて、東京都も「東京都都市型水害対策委員会」を設置した。これを受けて、東京都各23区は河川氾濫による洪水浸水被害をまとめたハザードマップを公表している⁹⁾。なお、東京メトロの路線は、ハザードマップ対象となる河川のうち、神田川、隅田川、石神井川、白子川、城南地区河川、江東内部河川、中川・綾瀬川更には高潮被害地域のいずれかを通過している。

また、2009年1月に内閣府中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」²⁾は、「荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定公表について」³⁾を発表した。これにより、地下鉄への浸水被害の危険性が示されると同時に、出入口や坑口へ浸水対策を施すことにより、完全な止水を行わなくとも、被害を抑えられることが示唆された。

東京メトロでは、上述の「東京都洪水ハザードマップ」⁹⁾および中央防災会議より「荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定」³⁾による浸水想定に基づき、河川氾濫による外水被害と、下水道処理限界を考慮した内水被害の両方の観点から、東京メトロの各施設の浸水予想水位を整理した。これによって、対策箇所の特定を行い、必要に応じた対策方法を検討することで、浸水対策

の計画策定を行った(図-2)。

(2) 大規模浸水対策

東京メトロにおける浸水対策の主な対象箇所は、a)換気口、b)換気塔、c)駅出入口、d)坑口である。

浸水予想水位に対して、対象とする施設に応じた浸水対策を計画、実施している(表-1)。しかし、同じ種類の設備であっても構造が異なるため、個別に計画、設計を行っている。以下に各設備における浸水対策の概要について紹介する。

a) 換気口

換気口における浸水対策は、開口部分に浸水防止機を設置している(写真-2)。

換気口の開口部には、開口からの浸水を防ぐために、従来から水深2mの浸水に耐えることができる浸水防止機を設置していた。しかし、新たな浸水予想により、不十分である箇所があったため、新たに水深6mまで対応可能な浸水防止機を開発し、導入することとした。6m対応の浸水防止機の基本的な構造は2m対応のものと同様であるが、アーム部の耐力を向上させ、6mまでの水深に対応した。これにより、浸水予想水位に応じて、2m対応の浸水防止機と6m対応の浸水防止機を使い分けている。



写真-2 換気口浸水防止機

b) 換気塔

換気塔における浸水対策は、既設構造物の開口高さを嵩上げし、浸水予想水位よりも開口位置を高くすることによって開口部からの浸水を防止する。また、点検用の扉が設置されている箇所では、水位に応じて扉を水密性の高い防水扉に交換した（図-3）。

検討の結果、浸水予想水位が上昇したことで、構造物に加わる水圧が増加し、既設構造物では耐力不足となる箇所があること判明した。そこで、構築の補強を行い、予想水位に達したとしても、水圧に耐えうる構造とした。

c) 駅出入口

駅出入口における浸水対策は、既設上家躯体に止水板を設置している。浸水予想水位によって、止水板による対策が不可能であると判断された場合は、上家を水密性の高い上家に建替え、出入口には防水扉を設置することで出入口から駅構内への流入を防いでいる（写真-3）。

上家の建替えを行う際、上家構築の重量増加により、既設地下躯体では耐力不足となる場合、必要に応じて地下躯体の補強を行い、必要な耐力を確保した。

d) 坑口

坑口における浸水対策は、浸水予想水位に合わせて防水ゲートの設置を進めている（写真-4、5）。

防水ゲートには、トンネル上部に防水ゲートおよび付随する機械を格納して、ゲートを落とし込む機械式防水ゲート（写真-4）とトンネル側部に防水ゲートと機械類を設置して防水ゲートを開閉するスイングゲート（写真-5）の2方式の防水ゲートを採用している。防水ゲート設置の際は、施工現場に合わせて、最適な方式を検討しながら計画を進めている。

東京メトロでは、過去の浸水対策と併せて、複数の坑口防水ゲートを設置している（表-2）。



写真-3 完全防水型出入口

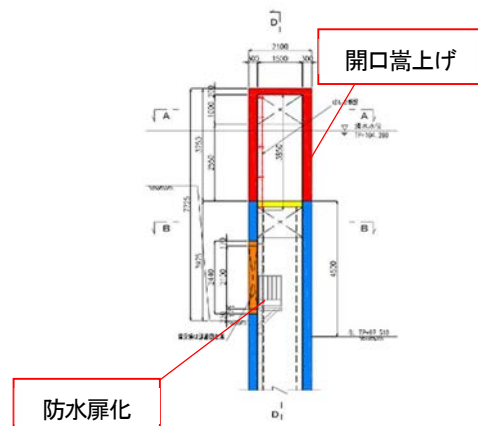


図-3 換気塔浸水対策



写真-4 丸ノ内線中野通路線坑口防水ゲート



写真-5 丸ノ内線御茶ノ水坑口防水ゲート

表-2 浸水対策における坑口防水ゲート

路線名	坑口位置	状態	
丸ノ内線	中野通路線坑口	運用中	既設
丸ノ内線	御茶ノ水坑口	運用中	既設
有楽町線	辰巳坑口	運用中	既設
銀座線	上野通路線坑口	施工中	新設
日比谷線	三ノ輪坑口	施工中	新設
千代田線	北千住坑口	設置完了 (運用中)	新設

3. 坑口防水ゲート

東京メトロの浸水対策は、前述の通り換気口、換気塔、駅出入口、坑口を中心に計画されている。中でも特に坑口における防水ゲートの設置は、施工規模が大きく、土木構造物、建築構造物、電気設備が必要であるため、施工難易度が高い。また、営業線のトンネル内部に設置することから、建築限界の制約があり、限られた空間の中で施工する必要がある。

これらの防水ゲートの運用方法と現在の計画について述べる。

(1) 防水ゲートの運用方法について

東京メトロでは、開扉条件及び列車運行開始までの取り扱いを定めた規則を制定し、運用にあたっている。

防水ゲートの操作については、災害時に社員の安全を確保する観点から、坑口に行かずに総合指令所から操作できるよう、全ての防水ゲートの遠隔操作化を進めている。

また、災害時に適切に防水ゲートを操作できるよう、年に2回防水ゲート設置訓練を実施している。訓練方法としては、気象庁から大雨・高潮注意報が発令されたと想定し、総合指令所からの指令により、防水ゲートを実際に閉扉し設置するものである。

(2) 坑口防水ゲート設置における現在の計画

上述の浸水想定に基づき、東京メトロでは表-2 に示す通り、3カ所の坑口に防水ゲートの新設を計画している。

その中でも、北千住坑口に設置完了した防水ゲート（以下、北千住坑口防水ゲート）は、営業線内での施工の難しさと、住宅地に隣接した施工環境からいくつかの課題を解決しながらの施工となった。

4. 北千住坑口防水ゲート

(1) 北千住坑口防水ゲートの概要

北千住坑口防水ゲートは、千代田線綾瀬駅、北千住駅間の坑口に設置された防水ゲートである（写真-6）。想定浸水水位は、坑口の全断面を超える高さとなったため、機械式防水ゲートによって、坑口の全断面を塞ぐことができる設計とした。また、防水ゲートおよび防水ゲートに付随する機械設備を全て上屋の中に格納することで、トンネルの大規模改良を行わずに防水ゲートを設置することが可能となった（図-4、5、写真-7）。

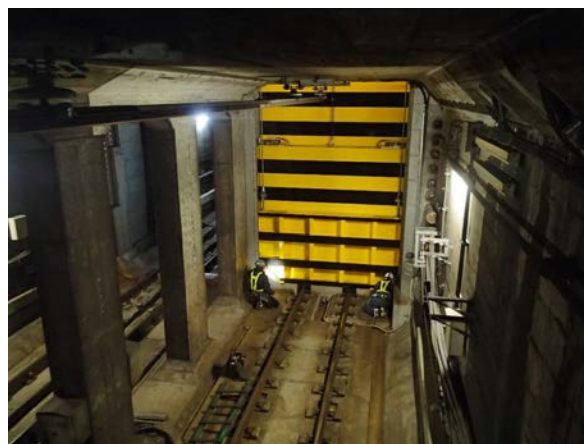


写真-6 北千住坑口防水ゲート閉扉状況



写真-7 北千住坑口防水ゲート設置状況

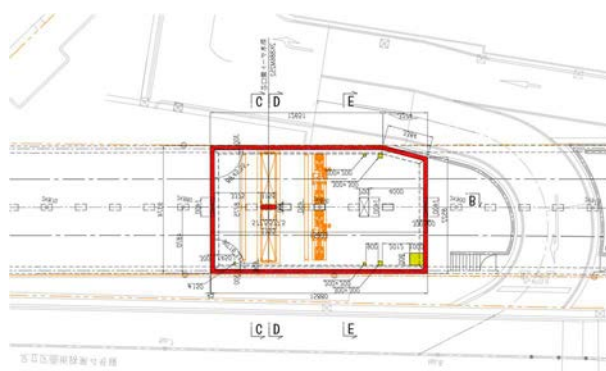


図-4 防水ゲート上屋平面図

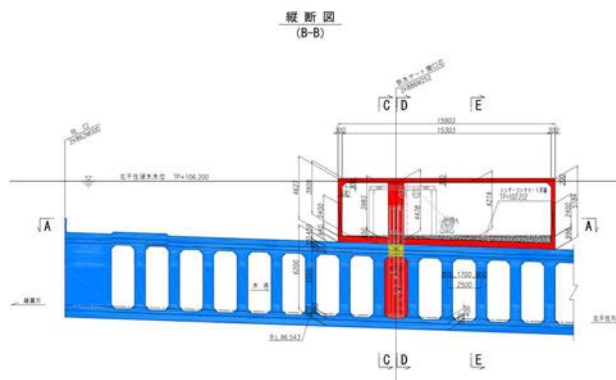


図-5 防水ゲート断面図

(2) 施工にあたっての主な課題

北千住坑口防水ゲートの施工にあたっての主な課題は、a)営業線内設備の支障物移設、b)周辺環境への配慮の2点であった。以下に施工時の課題解決に向けた取り組みを紹介する。

a) 営業線内設備の支障物移設

防水ゲート設置の施工にあたって、防水ゲートの閉扉をガイドするために、ガイドレールをトンネル側壁設置する必要がある。この際、側壁に設置されている信号通信用ケーブルなど、列車運行に必要な設備が支障するため、移設する必要がある。

そこで、側壁を一部撤去改良することにより、側壁内部ケーブル類を埋め込む空間を確保し、坑口の狭い建築限界の中でガイドレールの設置を可能にした(図-6)。

また、ガイドレールに沿って防水ゲートが軌道面まで閉扉する際には、列車に電気を供給するための剛体架線が支障するため、この処理も必要であった。

剛体架線については、防水ゲート閉扉の際に当該箇所では折れ曲がる剛体架線移動装置を挿入し、防水ゲートの動作に支障しない仕様とした(写真-8)。

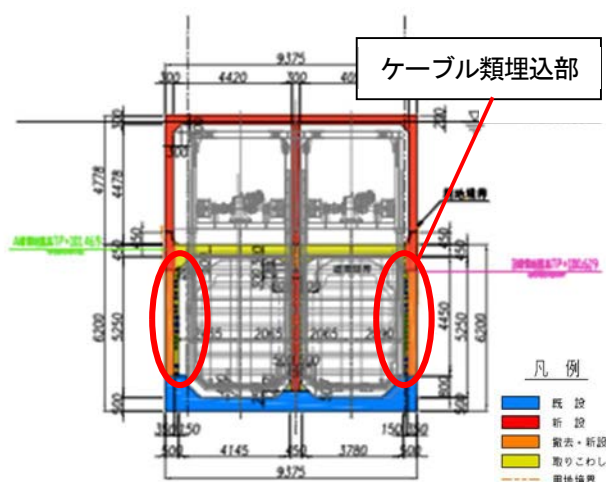


図-6 防水ゲート断面図



写真-8 剛体架線移動装置

b) 周辺環境への配慮

北千住坑口の周辺は住宅地が広がる地域となっているため、マンションやデパートが隣接しており、施工に際して、工事騒音及び道路規制について、景観及び日照権について対応を行った。

1 点目の工事騒音及び道路規制について、北千住坑口の施工では、騒音対策を十分に行う必要があった。また、隣接している商業施設への搬入のためのトラックが施工現場周辺を通行することから、近隣住民および通行車両の安全を確保するために、商業施設との道路規制の調整を行う必要があった。

今回の施工では、前述の通り、ガイドレール設置や支障物移設のための既設トンネル改造、防水ゲート及び諸機械を格納するための上屋の新設を行う必要があるため、既設トンネルをこわす音や重機の駆動音、資機材同士がぶつかり合う音が騒音の発生源として考えられた。

そこで、騒音及び道路規制の問題を解決するために、防音ハウスを設置し、作業場所全体を囲った上で施工を行い、さらに騒音計を設置して計測管理を行った。(写真-9、10)。

防音ハウスは幅約12m・長さ約17m、高さ約7mとし、防音ハウス内天井にクレーンを設けることでハウス内での吊り作業を可能とした。これにより、工事騒音を遮断することが可能となり、工事中断の基準と定めていた80dBを約30dB下回る騒音に抑えることができた(図-7)。防音ハウス内に重機を駐車する、あるいは天井クレーンを用いることで道路規制を行って重機を使用する必要がなくなったため、周辺交通の安全を確保することができた。

また、防音ハウス設置の効果として、1日当たりの作業時間を延ばすことが出来たため、工期の短縮につながった。更に、施工中の工事現場への雨水や第三者の侵入を防止することが出来たため、円滑な工事進行を行うことが出来た。



写真-9 防音ハウス外観

次に、2 点目の景観及び日照権について、北千住防水ゲートでは、機械式防水ゲートの方式を採用している。この方式では、トンネル内の建築限界への影響を最小限に抑えることができるが、トンネルの躯体上に防水ゲートや機械類を設置するため、躯体上に天井の高い上屋を設置する必要がある。当初の設計では、上屋の高さは 8m 近くに到達してしまうため、景観の問題や、上屋の日陰に入ってしまう位置への日照権の問題があった。

そこで、当初 1 枚として設計していた防水ゲートを 3 段式へ変更し、開扉時の扉の高さを 1/3 に抑えることとした。これにより、上屋の高さを地上面から 5m 以内に抑えることが出来た。また、当初の設計で用いる予定だった 1 枚による防水ゲートは現場周辺の状況から、防水ゲート自体を現場へ搬入することが困難であった。しかし、防水ゲート 1 枚当たりの大きさを抑えることが出来たため、現場への搬入を容易に行うことが可能となった。

5. その他の新設坑口防水ゲート設置

(1) 銀座線上野通路線坑口防水ゲート設置

銀座線上野通路線坑口（写真-11, 12）についても、上記北千住坑口の事例を参考に現在、設置を進めている。しかし、調査の結果、昭和 2 年(1927 年)に建設された上野通路線坑口構造物は、既設構築の部材厚や鉄筋量だけでは、防水ゲートの載荷荷重に耐えられないことがわかった。このため、既設の擁壁に荷重を与えない構造を検討した。この個所が、単線区間であることや道路側の用地が活用できることから、図-8 に示すように擁壁の外側にゲートの支柱（SM490）とフーチングを設け、狭隘なスペースとなる東京Metro技術区ビル側については、図-9 に示すように地下車両基地とアンカーで定着させて、門型の構造体を新規に構築した（写真-13, 14）。防水ゲートの荷重を擁壁以外に分散させることで、既設躯体への負荷を最小限にする方法で防水ゲートの設置を進めている。また、防水ゲートを閉める際に支障となるサードレールは、ゲート戸当たり部で切断し、サードレール接続線で電気回路を繋げ、トンネル内に敷設された電気ケーブル類は、北千住と同様に構築内に配管を設け、切り回す構造とした（写真-15）。



写真-10 騒音計測状況

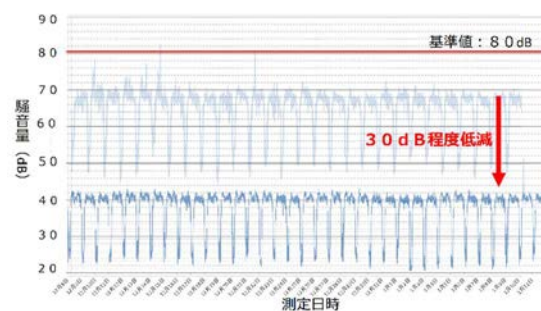


図-7 防音効果測定結果



写真-11 上野通路線坑口

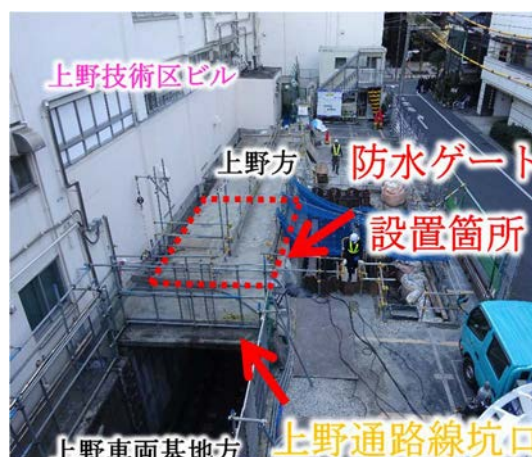


写真-12 上野通路線坑口防水ゲート設置位置

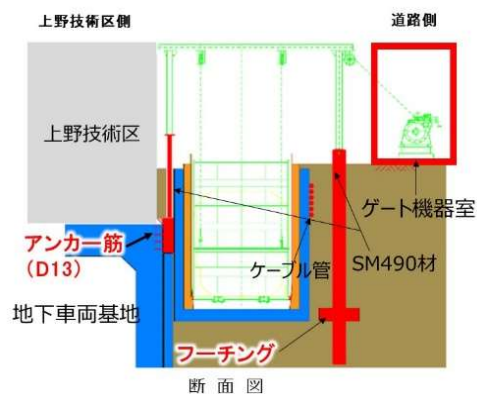


図-8 防水ゲートの断面図

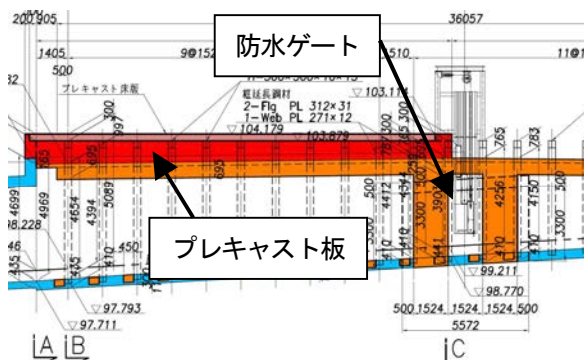


図-9 防水ゲートの縦断面図



写真-16 日比谷線三ノ輪坑口防水ゲート上屋完成予想



写真-13



写真-14

フーチング打設状況（道路側） アンカー打設状況（技術区側）

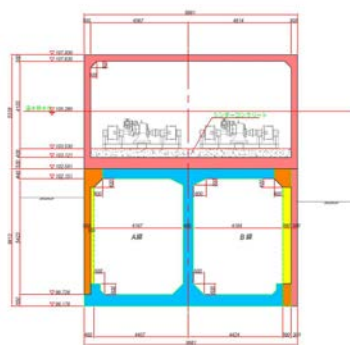


図-10 防水ゲートの断面図



写真-15 サードレールの状況（上野通路線）

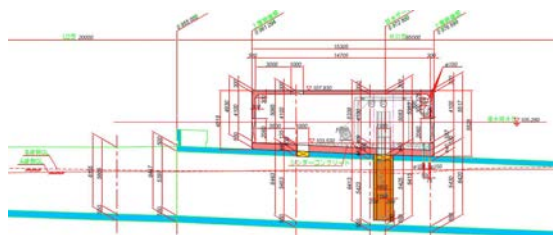


図-11 防水ゲートの縦断面図

(2) 日比谷線三ノ輪坑口防水ゲート設置

日比谷線三ノ輪坑口は、本線との位置関係や周辺環境条件がほぼ同様のため、上記北千住坑口の事例を参考に、設置工事を進めている。写真-16 に完成予想パース、図-10, 11 に防水ゲートの断面図および縦断面図を示す。また、写真-17, 18 に施工状況を示す。

三ノ輪坑口では、写真-19 に示すように、坑口防水ゲート設置現場と隣接して、日本貨物鉄道株式会社（以下、JR 貨物とする。）の路線が運営されている。坑口ゲート設置工事にあたって、施工時の振動等による設備への悪影響が懸念された。そこで、JR 貨物と協議を行い、掘削等の大規模な施工を伴う期間は、影響範囲内の JR 貨物設備を水準測量、水平測量および目視により計測管理を行った。これにより、変状の発生やその兆候を早期に把握し、速やかに対策を講じられる体制で施工を進めることができ、円滑な進捗と安全管理の徹底を図れた。



写真-17 施工状況（ケーブル配管用アングル）



写真-18 施工状況（防水ゲート上屋コンクリート打設）

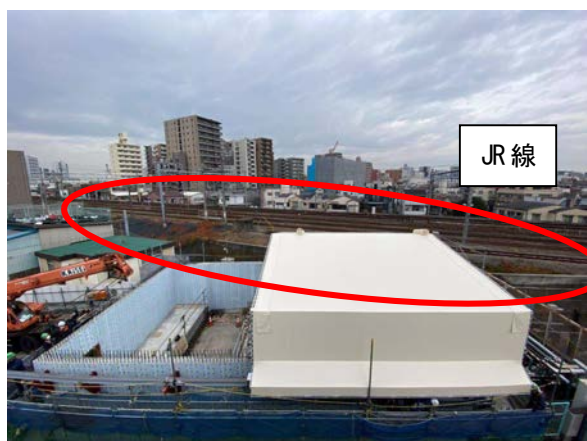


写真-19 三ノ輪坑口防水ゲート周辺状況

6. おわりに

東京メトロの浸水対策と中でも、坑口における防水ゲートの設置について紹介してきた。

年々激甚化する風水害に対応した鉄道システムを構築するためには、過去の被害を繰り返さないためにも、地下空間の防護が必要不可欠である。東京メトロでは、坑口防水ゲートを含む浸水対策の検討を進め、必要な対策を整えることで、防災に貢献していく。

参考文献

- 1) 新才浩之：メトロの浸水対策の備え，基礎工，2018 年 1 月号，pp. 84-87，2018
- 2) 内閣府中央防災会議，大規模水害対策に関する専門調査会報告，2010
- 3) 東京都建設局，浸水予想区域図，2021
- 4) Toshiki Imamura, Kota Sasaki, Koichi Kawakami, Toshihide Abe: NEW ANTI-INUNDATION MEASURES FOR SUBWAY TUNNELS, *Proceedings of 11th World Conference of Railway Research (WCRR) 2016 in Milan Italy-Research and Innovation from Today Towards 2050*, OP60, No.5, (ID Number 198488) ,2016.
- 5) Yoji AOKI, Atsushi YOSHIZAWA, Tomoya TAMINATO : Anti-inundation Measures for Underground Stations of Tokyo Metro, *15th World Conference of Associated research Centers for the Urban Underground Space, Underground Urbanization as a Prerequisite for Sustainable Development Saint Petersburg in Russia 12-15 September 2016 conference Proceeding* pp429-435, 2016
- 6) 内閣府防災担当，荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定公表について，2009

BY WATERPROOF GATE AT THE ENTRANCE OF THE SUBWAY MEASURES AGAINST LARGE-SCALE FLOODING

Kotaro HABA, Takaaki FUJIOKA, Shinji KONISHI and Masaaki AOKI

Due to abnormal weather in recent years, flood damage caused by heavy rains and storm surges in urban areas has become prominent. In Tokyo Metro Co., Ltd., the risk of flooding the underground space due to these floods and hindering safe and stable transportation has been increasing year by year. Therefore, as part of large-scale inundation measures to ensure train safety and stable transportation, Tokyo Metro Co., Ltd., are proceeding with the installation of waterproof gates at each wellhead where inundation is expected. For installation, we selected different types of waterproof gates according to the surrounding environment at each wellhead, and designed them for equipment peculiar to the subway, such as overhead conductor rail. This report describes construction works that the Chiyoda Line Kitasenju wellhead waterproof gate and others two constructing wellhead waterproof gates.