

大阪市営地下鉄の防災対策 DISASTER PREVENTION OF OSAKA MUNICIPAL SUBWAY

綿谷茂則*・隅野洋治**・東川忠***

Shigenori WATATANI, Yoji SUMINO, and Tadashi TOKAWA

Safety, comfort, rapidity are the first priority with operating subway transportation, and safety is the most important characteristic among them. To keep our subway system safe, we take many means. In this paper, we will introduce three of them: seismic disaster prevention, fire prevention, and flooding prevention. Firstly, we will show the extent of damage by Hyogoken-Nanbu Earthquake, and seismic design method based on the earthquake, and its application to structure design for new lines. Secondly, procedures of fire occurrence prevention, initial extinguishment, fire spreading control, and passenger evacuation control will be shown. Finally, we will introduce two systems of flooding prevention facilities: facilities in tunnels and those at subway portals.

Keywords: Disaster prevention for subway system, seismic disaster prevention, fire prevention, flooding prevention.

1. はじめに

昭和8年5月20日、大阪市は、公営交通最初の地下鉄を梅田～心斎橋間(3.1km)で開業し、以後約70年にわたり、市内の乗客輸送サービスの向上を図るため、戦時中の一時期を除き営々と建設を行ってきた。地下鉄路線網の延長は現在7路線115.6kmに達し、これに新交通のニュートラム6.6kmを加えると、総延長122.2kmとなっており、全線で1日当たり約260万人の乗客を輸送する都市交通の基幹的役割を果たしている。

大阪市のこのように長い地下鉄事業の歴史において、昭和9年の秋に到来した第一室戸台風による高潮被害の影響を受けたことや、最近では平成7年の兵庫県南部地震により高架駅が被害を受け列車運行に大きな影響を与えたような被害事例がある。また、国内外においても列車火災や脱線衝突、水害、震災などの被害事例も多く報告されている。

鉄道事業の役割は、乗客を安全快適に早く目的地へ輸送することにあるが、その中でも安全の確保が最重要課題という認識のもと、各種の防災対策を講じてきた。

本文では、現在大阪市の地下鉄で行っている防災対策について、主に施設面を中心に紹介する。

キーワード：地下鉄の防災対策、地震対策、火災対策、浸水対策

* 正会員 大阪市交通局建設技術本部計画部長

** 正会員 大阪市交通局建設技術本部計画部設計改良課長

*** 正会員 大阪市交通局建設技術本部計画部設計改良課設計係長

2. 地震対策

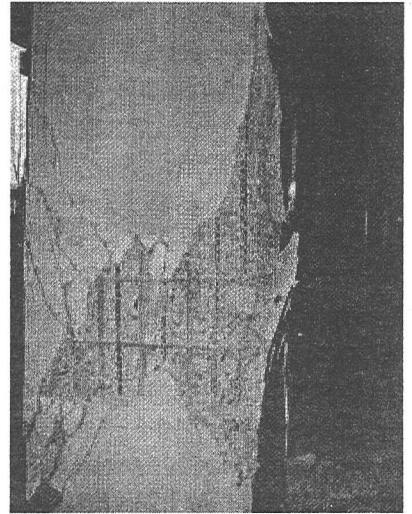
2.1 兵庫県南部地震における被害と復旧の状況

平成7年1月17日早朝、直下型の兵庫県南部地震の勃発により、神戸市を中心に未曾有の大被害をもたらした。大阪市においても、各所で被害を受け都市機能麻痺が起こったが、緊急の復旧により都市機能の回復も早急に行われた。

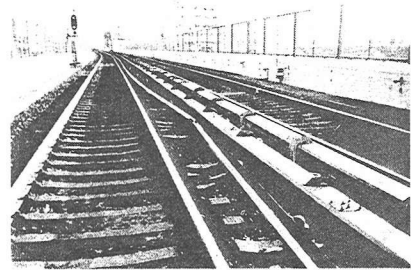
大阪市営地下鉄（図－1）における被害は、高架部分の橋脚の損傷や地下部分での漏水発生などが見られた。具体的には、構築物の被害としては、御堂筋線の江坂駅の橋脚被害（写真－1）が最も大きなものであったが、その他にも同じく御堂筋線の、高架部分で江坂駅～東三国間の各所での桁ずれや沓座の損傷、地下部分で大国町～動物園前間の構築物の漏水、さらには、中百舌鳥検車場内の重力式擁壁の傾斜があった。電気関係の被害では、同じく御堂筋線の江坂駅～中津駅間の高架部分の各所で電車線である第3軌条の脱落が見られた（写真－2）。

このような被害に対し都市機能の早期回復を目的に、当面仮復旧で対応しながら、緊急に復旧工事を行い、御堂筋線を除く路線はその日の内に、御堂筋線も一部区間で徐行運転を残しながらも翌日中には全線運転再開にこぎつけた。

その後、江坂駅の橋脚被害や江坂駅～東三国間の桁ずれについては本復旧工事を実施し、おおむね2月末までには徐行運転の解除も行われ、本来機能の回復が図られた。



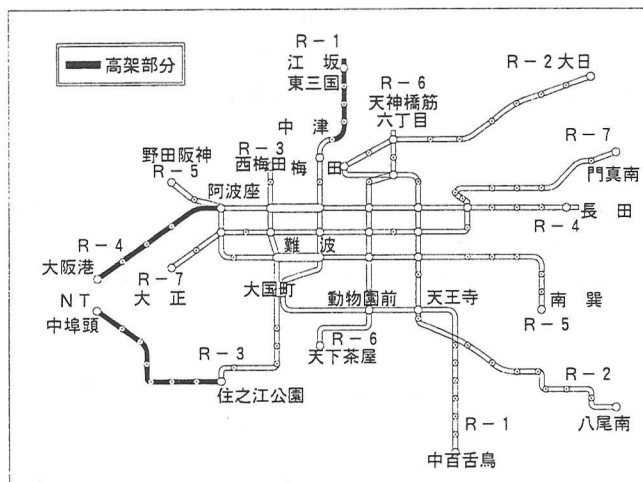
写真－1 江坂駅橋脚損傷



写真－2 第三軌条脱落

2.2 既設地下鉄構造物の緊急耐震対策

兵庫県南部地震による鉄道構造物の被害の状況に鑑み、運輸



図－1 大阪市営地下鉄路線図

省鉄道局において鉄道構造物の被害の状況及び復旧工法の検討、さらには新しい耐震設計基準の検討を行う「鉄道施設耐震構造検討委員会」（委員長：松本嘉司東京理科大学教授、以下、松本委員会と言う）が設置され、平成7年7月には「既存の鉄道構造物にかかる耐震補強の緊急措置について」が提言され、各鉄道事業者に対し運輸省から委員会の提言に基づく通達が出された。

当局ではその通達に従い、各種構造物の耐力診断を行い、「緊急耐震補強計画」を策定し、平成7年度末より高架橋のＲＣ柱の耐震補強工事および落橋防止工事、箱形トンネルのＲＣ中柱の耐震補強工事を進めてきた。

2.2.1 既設高架構造物の耐震補強

高架構造物区間では、橋桁の落下等の大惨事には至らなかったが、御堂筋線高架部で橋桁落下につながる恐れのある桁ずれ及び沓座の損傷が起り、落橋防止の重要性が再認識された。このため、桁ずれ及び沓座復旧については、早急に列車運行を確保するために仮復旧を行ったが、その後の本復旧においては、現行の設計指針を考慮しながら大規模地震にも対応可能な内部規定を作成しそれにより設計を行い、本復旧工事を行った。また、地震時に最悪の事態である橋桁の落橋をしないということを目的に、御堂筋線に加え中央線の高架部分の橋脚の沓座拡幅も実施した。

本市地下鉄の高架区間は、御堂筋線の中津駅以北及び中央線の阿波座駅以西でトータル約10kmあり、橋脚本数も1,200本余りある。現在、このうち約1,000本を対象として鋼板巻きによる耐震補強を進めているが、その考え方は次のようである。

既設の高架橋脚の耐震補強に当たっては、前述の松本委員会の提言に沿って、まず耐震性の判定を行い、曲げ破壊よりせん断破壊が先行する破壊形式となる橋脚について、補強を行うことになっている。

破壊形式の判定は、部材の応力を求める所定の算定式により、橋脚の曲げ耐力に達するときのせん断力「 V 」、橋脚のせん断耐力「 V_u 」を求め、

- ① $V/V_u < 1.0$ の場合曲げ破壊先行
- ② $V/V_u > 1.0$ の場合せん断破壊先行

により判定を行い、②のせん断破壊先行となる部材に対して耐震補強を行うこととしている。

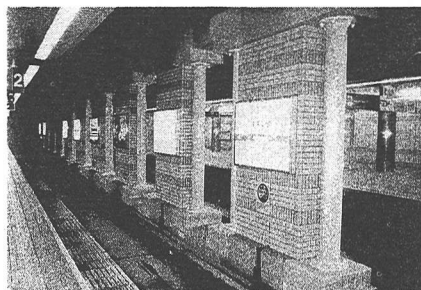
このようなせん断補強を行うことにより、兵庫県南部地震規模の地震が発生しても、橋脚は曲げ降伏～曲げ破壊に至る変形性能によって地震のエネルギーを吸収し、崩壊には至らない。ただし当然のことながら曲げ破壊が生じてもいけないので、変形性能に関する照査についても行っている。

2.2.2 既設地下構造物の耐震補強

地下構造物は、これまで地震に対して安全とされていたが、直下型の兵庫県南部地震により多くの損壊が見られ、特に、応力の集中しやすい中柱がせん断破壊を起こした事例が多く見られた。

本市交通局では、前述の高架構造物の橋脚の耐震性の判定と同様に、箱形トンネルのＲＣ中柱の耐力診断を行い、地盤変位が大きい箇所、かつ、せん断破壊が先行する柱約1,500本を抽出し、鋼板巻立て工法を中心とした耐震補強を行うこととした。

また、柱に付帯している支障物の一時移転などにより鋼板巻立て工法が難しい場合は、炭素繊維シート巻立て工法や鋼管柱添え柱工法も採用して行うこととした（写真－３）。トンネル内の中柱補強工事は、地下鉄を営業しながらの工事であるため、空間的な制約に加え、工事時間も営業終了後から翌朝の営業開始時までのわずかな時間しかなく、時間的制約の大きな工事で

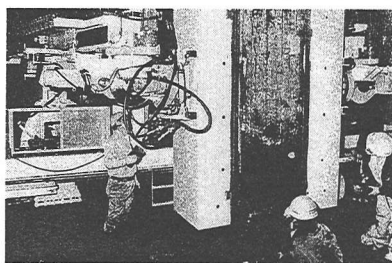


写真－３ 添え柱工法

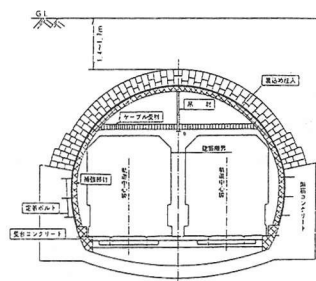
ある。このため、効率的かつ安全に作業が行えるよう、これまでの軌道車クレーン、チェンブロック等を使った従来の工法に変えて耐震補強工作車を製作し工事を進めた（写真－４）。

本市地下鉄のトンネルには上記の箱形トンネルのほか、戦前戦後の建設資材の調達が困難な時期に建設されたトンネルの中には石積みアーチトンネルや無筋アーチトンネルといった特殊な構造物も存在している。構造的な概要は、側壁部とインバート部は無筋コンクリートを打設し、アーチ部は花崗岩の切石積み構造や無筋コンクリート構造になっており、これらはいずれも常時荷重に対しては軸圧縮力のみ働く極めて安定した構造であるが、直下型の大地震時にはアーチ部に引張力が働く挙動を示し、アーチ部に鉄筋等の引張材が入っていないため、その力に抵抗できず崩壊に至る危険性をはらんでいる。

このため、各種の耐震解析および補強方法の検討を行った結果、いずれもトンネル内側に鋼材による補強材を設置するとともにトンネル構造物の間に裏込め材を充填して補強を行うこととした。石積みアーチトンネルの補強はすでに終了し、現在、無筋アーチトンネルの補強を進めているところである。石積みアーチトンネルの補強の概要を図－２に示す。



写真－４ 耐震補強工作車



図－２ 石積みアーチトンネル補強図

2.3 新線建設耐震設計

大阪市では、21世紀の豊かで快適な市民生活の実現をめざした町づくりを進める中で、利便性の高い公共交通サービスを提供するため、新しい地下鉄路線として平成11年度から地下鉄第8号線の整備を進めている。この路線は、人口が高度に集積する大阪市東部地域において、環状方向に整備することにより都心に対して放射状に整備されている既設地下鉄（谷町線・長堀鶴見緑地線・中央線・千日前線）およびJRや京阪等の鉄道と連絡することにより、放射状路線の混雑緩和や東部地域の移動を円滑にするとともに、同地域のまちづくりを促進し、地域の活性化に寄与する路線である。

この新しい路線を建設するに当たっては、当然、兵庫県南部地震の教訓を踏まえ新たな耐震基準に基づき設計を行う必要があったが、新耐震基準は国レベルにおいても検討段階であったため、本市交通局でも学識経験者等で組織する委員会を設置し、国の検討と平行して設計手法の検討を進めた。

国においては、前記の松本委員会のもと、より具体的な検討を行うため、「耐震基準検討小委員会」（委員長：濱田政則 早稲田大学教授）に委託して検討が進められた。そして、平成10年11月「鉄道構造物等設計標準（耐震設計）」としてとりまとめられ、翌12月に同標準を今後新設される構造物の耐震設計の審査基準とする旨が通達された。

本市交通局においては、それまでの検討成果と新たに出示された国の基準との整合性も勘案し、「大阪市高速電気軌道第8号線耐震設計基準」を平成11年2月にとりまとめ、新路線の設計に適用してきたところである。

耐震設計の基本的な考え方としては、構造物の耐用期間内に数回発生する大きさの地震動をレベル1地震動としこれに対しては、地震後にも構造物の機能は健全で補修を要しないで使用可能であり、地震時にも列車の走行性を確保できるように構造物の設計を行う。

構造物の耐用期間内に発生する確率の極めて低い地震動をレベル2地震動とし、陸地近傍に発生する大規模なプレート境界地震に加えて、いわゆる内陸型の直下型地震を対象とする。レベル2地震動に対する耐震設計では、構造物の使用条件・機能・重要度に応じて以下の耐震性能を保有することを目的として構造物の設計を行う。

- ・地震後に機能が短期間に回復でき適度な補強を必要とする。
- ・地震によって構造物全体が崩壊しない。

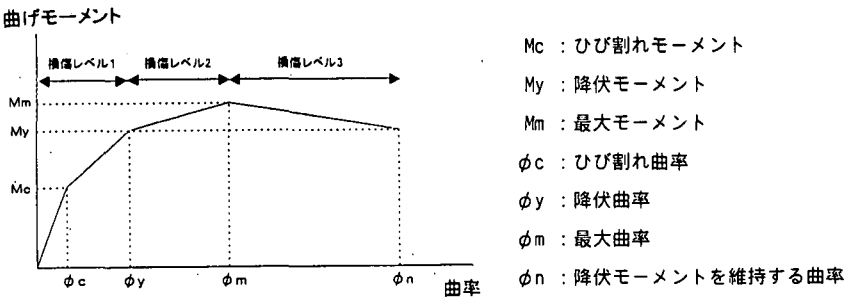
具体的には、最大の地震応答が許容される塑性変形もしくは許容される耐力の限界を超えないように設計を行うもので、部材の損傷レベルを3段階設定し、構造物の損傷は許容損傷レベル以内に止めるものとする（表－1・表－2・図－3）。

表－1 部材の損傷レベル

	損傷のレベル	曲げモーメント	せん断力
損傷レベル1	無損傷	降伏曲率以内	終局耐力以内
損傷レベル2	場合によっては補修が必要な損傷	最大曲率以内	終局耐力以内
損傷レベル3	補修が必要な損傷	降伏モーメントを維持する曲率以内	終局耐力以内

表－2 許容する損傷レベル

対象構造物	レベル1地震動 に対する設計	レベル2地震動に対する設計	
		土と接する部材 (上下床版・側壁)	土と接しない部材 (中柱・中床版)
本体構造物	損傷レベル1	損傷レベル2	損傷レベル3
付帯構造物	損傷レベル1	損傷レベル3	損傷レベル3



図－3 損傷レベルと部材のM－φ関係

3. 火災対策

3.1火災対策の経緯

近年、建物の高層化・地下街の発達にともなって、ひとたび火災が発生すれば大きな人的被害になる恐れがあると各方面から指摘され、その被害を最小限にくい止めるための対策が強く打ち出されており、本市地下鉄においてもそれぞれ対応をしてきたところである。

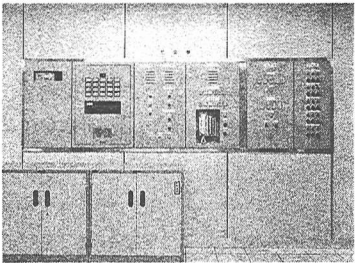
昭和50年1月「地下鉄道の火災対策の基準について」・同年2月「地下鉄道の火災対策の基準の取り扱いについて」の運輸省通達・通知がなされ、また、消防庁から同年1月「トンネル等における列車火災事故

の防止に関する具体的対策について」の通知がなされた。これらを基本とし、大阪市消防局と「地下鉄道の火災対策に関わる設計基準」、計画調整局と「大阪市地下停留場の取り扱いについて」を協約し、また、市域外延伸部においても関係機関と同様な協議を行い火災対策を行ってきた。

3.2火災対策の基本的な考え方

過去の国内外の列車火災やトンネル火災等を教訓とし、また、関係法令をうけて火災対策の基本的な考え方は次のように考えている。

- ① 建造物の不燃化――内装は下地を含め不燃材料を使用する。
- ② 防災管理室の整備――駅には、情報の収集、連絡及び命令の伝達、旅客への案内放送並びに防火シャッター等の監視及び制御を行う係員が常時勤務する防災管理室を設ける。
- ③ 警報設備・通報設備・避難誘導設備の整備
 - ・自動火災報知設備とその受信機を防災管理室に設ける。
 - ・防災管理室と警察・消防等各機関・駅内各所・地上との通信設備、放送設備、連絡設備を設ける。
 - ・異なる2方向の避難通路、避難のための誘導設備、有効な排煙設備、防火戸等の確保をする。
- ④ 消火設備の整備――消火器・消火栓・スプリンクラー・連結送水管等を設置する。
- ⑤ 防火管理体制の整備――防災関連諸規程及び消防等防災機関との連絡等の緊急処理体制を整備する。

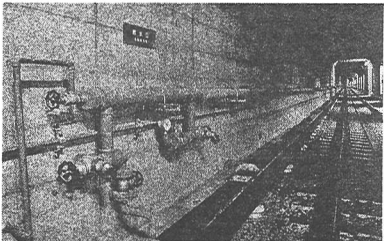


写真－5 防災盤

3.3火災対策設備

火災対策の第一歩は「火を出さない」こと、万一火が出ても「広がらない」ことであり、小規模段階で消火することである。このことを基本とし内装の下地を含め不燃化を徹底し、万一火災が発生してもそれが拡大しないように防火区画を設けている。

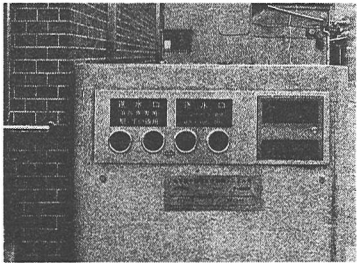
また、駅長室は防災管理室と定め防災盤を設置し、火災通報を自動的にキャッチし、適切に警報・通報・避難誘導・排煙等をし、初期消火のための各設備を設置した。さらに、火災時には停電も予想されるのでこれらの設備には非常用電源、または、自家発電により供給できるようにしている。主な設備とその仕様を表－3に示す。



写真－6 連結送水管

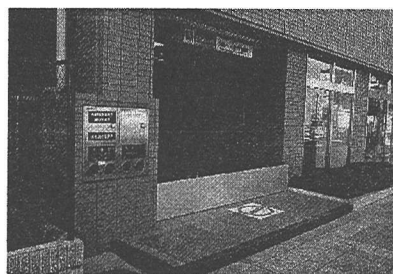
表－3 火災対策設備

設 備	仕 様
自動火災報知設備	○ 感知器は乗降場・コンコース・通路を除く箇所に設置し、受信機は防災管理室（駅長室）の防災盤に設置する（写真－5）。
通報設備	○ 防災管理室と消防・警察・運転指令所・電気指令所・駅各部所間との電話連絡設備。

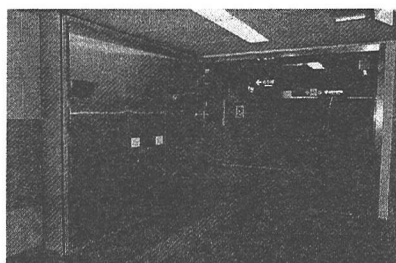


写真－7 出入口消防隊専用送水口

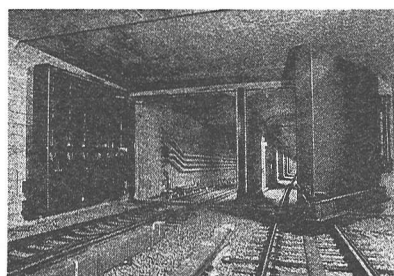
	○ 列車と運転指令所間 - - - 誘導無線。 ○ 防災管理室と地上送水口に乗降場・コンコースとの交信用無線アンテナ端子を設置。
避難誘導設備	○ 非常灯 - - - 直流電源を用い主要通路床面上で1ルクスを確保。 ○ 通路誘導灯 - - - 20m毎に設置。 ○ 避難口誘導灯 - - - 出入口通路部・乗降場階段上り口・通路に面する出入口等に設置
排煙設備	○ 乗降場 - - - 駅・駅間に設けた機械換気設備による。 ○ 居室、コンコース - - - 駅に設けた排煙機にて地上へ排煙。
屋内消火栓および連結送水管設備	○ 屋内消火栓、同ボックス 中階は半径25mで全域包含できるように配置、乗降場階は3カ所程度（45m包含）。 ○ 連結送水管設備 ・ 放水口は屋内消火栓ボックスに併設し、駅間は500m以内に設置する（写真－6）。 ・ サイヤミーズコネクション（消防隊専用送水口）は、各駅出入口2カ所を基準として設置する（写真－7）。
スプリンクラー設備	○ スプリンクラーヘッドは、居室・倉庫等に半径2.3mで全域が包含されるよう設置。



写真－8 出入口止水パネル



写真－9 通路部止水鉄扉



写真－10 トンネル内止水鉄扉

4. 浸水対策

4.1 浸水対策の経緯

地下鉄は路面下に構築されるので、常に浸水対策には万全を期しておく必要がある。高潮や地域的な異常出水などによる浸水対策は、過去に大阪地方を襲った第一室戸台風（昭和9年）・ジェーン台風（昭和25年）・第二室戸台風（昭和36年）等による高潮被害の苦い経験から教訓として行っている。

また、河川管理者との協議により河川横過部の両端駅では止水鉄扉を設置している。

4.2 浸水対策設備

地下鉄で問題となるのは、出入口・換気口等の開口部あるいは地下街や沿道ビルとの接続部からの浸水であり、これらに対してその地域の設計水位に応じて表－4に示すような浸水防止対策を行っている。

なお、設計水位は過去の高潮記録や高水位を基に設定しており、淀川以南はOP+4.50m、淀川以北はOP+7.00mである。

表－４ 浸水防止対策

施設の種類	浸水防止設備
出入口・地下街入口等	○ 止水パネルを出入口前面に設置する。ただし、設置後の止水パネル天端が設計水位以下の場合には、この止水パネルの他に出入口通路または出入口階段の踊場等に止水鉄扉を設置する（写真－８・９）。
換気口	○ 換気口を交通局用地内に設置する場合は、開口部が設計水位以上となるように設計し、道路上等に設置する場合で、開口部位置が設計水位下となる場合は、坑内に止水鉄扉を設置する。
Ｕ型トンネル	○ 高架構造からトンネル構造に移行するＵ型トンネル区間は、原則として止水鉄扉を設置する。ただし、地盤が設計水位より十分高い場合は止水パネルとする。
トンネル内	○ 万一トンネル内に浸水した場合、浸水被害路線全体や他路線まで及ぼさないため、市内中西部、梅田地区等の地盤の低い箇所に止水鉄扉を設置する。 ○ 河川横過部両側に止水鉄扉を設置する（写真－１０）。

５．おわりに

地下の構造物は地上施設とは異なり、避難方向が上方で出口が限定されること、外部からの消化・救助活動が行いにくいこと、熱・煙・水などが滞留し易く排出が困難であること、パニックを引き起こす可能性があること、被災後の復旧が困難であることなどの特殊性を有しており、これらに対する防災対策に万全を期することが求められている。

本稿においては、地震、火災、浸水に関する防災対策を主に施設整備の面から述べてきたが、乗客の安全を守るためには、それらに加えて列車運転手や駅務員等の迅速な対応が不可欠である。このため、災害時の被害を最小限に止めるための対策や乗客の避難誘導等に関するマニュアルとして「災害時活動体制の指針」を策定し、職員全員に周知するとともに、年に一度消防局等の関係機関とともに防災訓練を行い、機会ある毎に日頃から防災意識の向上を図っている。

今後、高齢化社会・環境保全が叫ばれる２１世紀を向かえ、地下鉄の果たす役割は依然として大きいものと考えられるが、その基本は安全輸送にあることを肝に銘じ、さらなる取り組みを行っていく必要があると考えている。

６．参考文献

- 1) 大阪市高速電気軌道第８号線耐震設計基準：大阪市交通局 平成１１年２月
- 2) 地下鉄道の火災対策の基準について：運輸省通達 昭和５０年１月
- 3) 大阪市地下鉄の建設１９８６～１９７７：大阪市交通局 平成１０年３月
- 4) 「地下空間と人間」④ 地下空間のデザイン：土木学会 平成７年１２月