

I - B412

地震防災の観点から見た地下鉄の施設・運用の現状と課題

大阪市 正会員 浅岡 克彦\*  
 名城大学都市情報学部 正会員 若林 拓史\*\*  
 京都大学防災研究所 フェロー 亀田 弘行\*\*\*

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震は、近代都市神戸を襲った最大規模の都市直下型地震であり、ビル等の建築物のみならず都市基盤施設である高速道路、鉄道、港湾施設等に対しても大きな被害を与えた。このうち地下施設は、過去の内外の大地震において大きな被害を受けておらず、地震に対し強いと考えられてきたが、兵庫県南部地震では、神戸高速鉄道大開駅等で被害が発生した。ここでは、地下構造物の代表例として、都市交通の重要な一翼を担う日本の地下鉄の地震防災の現状を取り上げ、日本と並ぶ地震多発地帯であるアメリカ西海岸の地下鉄の地震対策と比較し、その課題について述べる。

2. 地下鉄構造物の耐震基準

兵庫県南部地震以前では、地下構造物は、特殊な条件下でなければ地盤の振動とほぼ同様に振動するため、地震の影響を受けることなく安全であると考えられていた。しかし、前述のように同地震において地下鉄は、大開駅や神戸市営地下鉄三宮・上沢・新長田等で被害を受けた。このため各地下鉄事業者とも既設構造物の耐震補強を実施するとともに、土木学会等の動向を踏まえ設計基準の改定を進めている。以下、構造物の耐震基準や既設構造物の補強等を中心に述べる。

2.1 兵庫県南部地震以前の耐震基準

国内地下鉄の耐震基準は、大きく2つに大別できる。1つは、トンネルは一般的に排除した土の重量より軽く、地震時には地盤の動きに追随していくと考えられるので、均質な地盤の中にある場合には、地震の影響は考慮しなくて良いと考えるもので、ほとんどの事業者で、その考えを基本に地下構造物の耐震設計を行っている。ただし、特殊な構造や地盤条件の場合、必要に応じ地震の影響を考慮するとしている。他の1つは、代表断面については、応答変位法で設計するという考

え方で営団・東京都営地下鉄の最新の路線で地盤条件が悪い一部の区間は、この考え方で設計されている。

2.2 兵庫県南部地震後の既設構造物の耐震補強

兵庫県南部地震後の1995年7月31日、運輸局長より各鉄道事業者に対し、既設開削トノ中柱等の耐力の診断を行い、補強が必要な柱について補強工事を行うよう通達があった。開削トノ中柱については、次の条件に当てはまる柱を補強するよう指導がなされた。

- ・大規模地震が発生した時に大きな地盤変位を起こしやすい地盤条件下にある中柱(地盤変位が大きく地震時に上床版と低床版のずれが大きい構造)
- ・上記条件に加え、せん断に対する安全度が曲げに対する安全度より小さい中柱(せん断破壊先行)

補強が必要なRC中柱は、全地下鉄事業者で4,100本ある。大阪市交通局でも全既設柱数15,623本中、1,029本の中柱に対して6mm厚の鋼板を巻いて補強する必要があり、耐震補強工作車を特別に製作し、平成12年度中の完了を目標に工事の進捗に務めている。

2.3 地下鉄の耐震基準の改定

兵庫県南部地震でも地下構造は、大開駅等の一部の事例を除き地上構造と比べ被害は少なく、人命に直接関わる被害ではなかった。このことから、今までの耐震の基準でもある程度の規模の地震に対しては安全ではあるともいえるが、兵庫県南部地震のような直下型大地震に対しては充分ではなく、設計基準の改定が必要であると考えられる。大阪市交通局でも、土木学会等の動向を踏まえ、応答変位法を主体とする耐震設計基準(新線対象)の改定作業を完了しており、他事業者でも同様な方向で基準が改定、ないしは改訂が予定されている。

3. 地震時の運行管理について

地震が発生した場合、どのようにして地震の大きさを把握し、どこに伝達・協議し、どのような対策をとるのかということは非常に重要なことである。各地下鉄とも地震加速度の大きさに応じ警報を発するように定めており、警報が発令された場合の対応についても対策を定めている。基本的には表-1の大阪市交通局の事例と同様に警報は、運転指令所に伝達される。そ

キーワード: 地下鉄, 耐震対策, 運行管理システム, 非常時マニュアル  
 \*〒550 大阪市西区九条南1-12-52 Tel06-585-6642 Fax06-585-6617  
 \*\*〒509-02 可児市虹ヶ丘4-3-3 Tel0574-69-0131 Fax0574-69-0155  
 \*\*\*〒611 宇治市五ヶ庄 Tel0774-38-4040 Fax0774-33-0963

表-1 大阪市交通局の地震時対応

地震計設置位置及び警報を免する加速度	弁天町・大団間にSM41型地震計を設置。大震災後、森ノ宮・江坂に追加設置他にニュートラム用を中心頭に設置。データは運転指令所に通報される。 ・第1次地震警報→25gal以上 80gal未満 ・第2次地震警報→80gal以上150gal未満 ・第3次地震警報→150gal以上
対応	第1次警報→25km/h以下で徐行運転。列車添乗での巡視後、平常運転 第2次警報→25km/h以下で次駅まで運転後、運転中止。徒歩巡視。異常がなければ無乗客で列車運行後、平常運転。 第3次警報→自動的に送電停止。再送電が可能ならば15km/h以下で次駅まで運転。他は第2次警報と同じ

して軽度の警報の場合は、徐行運転で列車添乗による巡回により異常の有無を確認することとしている。また、大きな地震動を感知した場合は、次駅まで徐行し営業を中止して、徒歩などによる巡回により構造物の異常の有無を確認するようにしている。

4. アメリカの地下鉄の耐震対策(BARTを例にとって)<sup>1)</sup>

日本と並ぶ地震多発地帯であるアメリカ・カリフォルニア州に建設された地下鉄であるBART(Bay Area Rapid Transit)は、サンフランシスコの代表的公共交通機関で、路線延長は130kmである。ここでは、BARTの各種地震時対策及びロマ・プリアタ地震時の状況について述べる。

(1) 耐震設計基準

- ・0.1gまでの地震に対しては、弾性範囲内であり何の被害もないこと
- ・地盤の固い地域では極限設計で0.33gまで、柔らかい地域では0.5gまでの地震に対して破壊しないこと

(2) 地震計と警報

活断層の位置を考慮して8駅に強震加速度計を設置。0.1g以上を感知すると運転指令所に連絡される。

(3) 地震時対応計画

- ・対応計画I: 運転士が地震を感じて列車を停止させた後、被害報告もなく、地震計の警報も発せられない場合、徐行運転で軌道の検査を実施。異常がなければ平常運転に。
- ・対応計画II: 運転士が被害報告を受けているが、地震計の警報がない場合、乗客を次駅で降ろし、該当区間の軌道検査を徐行で実施。ただし盛土区間は特別点検を実施する。異常があれば計画IIIに移行。異常がなければ平常運転に。
- ・対応計画III: 地震計の警報があれば運転士は、全列車の緊急停止を命じる。ただし地下区間の列車は安全な所まで移動することも認められている。該当区間に、保険担当の職員が派遣され、軌道の点検を実施。被害があれば構造関係の技術職員も派遣され対応を検討、指令所に対策を報告する。

(4) ロマ・プリアタ地震時の状況

地震時対応計画IIIが発動され、ヘリコプター等を利用して調査が実施された。その結果、軽微な構造被害が数カ所あったが、線路保守が必要な箇所は全くなかった。ただし、停電のため深夜まで営業は中止した。なお、ベイブリッジの落橋に伴う乗客ニーズに対応するため終夜運転を実施し、ベイブリッジ再開後も始発時刻を約

1時間早めるサービスを実施している。

4. 日米の地下鉄の対震対策の比較

大阪市地下鉄とBARTの地震時対策について比較する。km当り輸送人員は日本が圧倒的に多い。また駅間距離も日本の地下鉄が短く、日本の都市交通では地下鉄が重要な役割を果たしていることが分かる。耐震基準の比較では、兵庫県南部地震以前の日本の地下鉄の耐震基準は、一部の新しい路線を除き、基本的には常時荷重で決定されるとしており、極限設計の考えも取り入れた米国の地下鉄の設計基準の方に一日の長があったことは否めない。しかし、大阪市地下鉄でも応答変位法を主体とし、地盤等が複雑な場合は動的解析を併用する基準に改定されており、既設構造物の補強の実施と併せると、構造物の耐震性の差違は、日米でほとんどなくなると考えられる。また、非常照明や受電対策等の面でも日米ともほぼ同様な対策を取っている。

このようにハード面での問題はないものの、地震発生後の対応といったソフト面の対応では、米国の地下鉄は、マニュアルが充実しており具体的行動が明確でかつ柔軟性に富んでいる。加えて情報の集中している運転指令所の長に責任と権限を与えているなど責任の所在が明確である。一方、日本の地下鉄でも各種の対応が定められているが、概略的であるため非常事態で予想通りの対応が取れない場合、誰が責任を取りどのように行動するのかという面で問題があると考えられる。

5. 今後の課題

ロマ・プリアタ地震では、ベイブリッジが落橋したにもかかわらず同じルートのBARTには被害がなく、地震後の地域交通に大きな力を発揮する等、今まで地下鉄は地震に強いと考えられてきたが、兵庫県南部地震では地下鉄もかなりの被害を受けた。このため日本の地下鉄では、既設構造物の補強を進めるとともに設計基準を改定し、より安全な地下鉄を目指している。しかし、耐震基準を厳しくしても完全に被害を防ぐことは困難であり、万一のために、被害を受けた場合どうするのかといったソフト面の対策の充実を図ることは、地下鉄のみならず日本の社会全体に課せられた課題であると言える。

【参考文献】

1) 龜田弘行・浅岡克彦・小川権行・能島暢昌(1991) ロマ・プリアタ地震がサンフランシスコ湾岸地域の交通システムに与えた影響, [京大大学防災研究所都市施設耐震システム研究センター研究報告, 別冊第7号]