



図-1 市営地下鉄新長田駅—大倉山駅の地質縦断面

さかった新長田駅は全体が軟らかい地盤のなかに (Ac層とT_{2s}層), またやはり被害のなかった湊川公園駅は全体が固い地盤 (T_{2g}層とT₁層) のなかにある。

以上により「地下構造物の被害は土被厚の大きさよりも、むしろ構造物周辺の地層環境すなわち地震時における地盤の相対変位の大きさに左右さ

れる」といえるのではないだろうか。このことは応答変位法による地下構造物の耐震設計が妥当であるということであるが、今後この地盤変位の真値を求める適切な手法あるいは地盤と構造物との一体的な挙動を解析する手法の研究が求められる。

地下構造物の実体に合わせた耐震検討と免震化

正会員 (株)大林組 技術研究所 土木第5研究室主任研究員 松田 隆 Takashi MATSUDA

都市内高速鉄道網としての地下鉄の役割は大きく、今回の地震でその地下構造物に大きな被害が生じ、運行に支障をきたした。地下鉄の被害のうち甚大なものは、主に開閉式函体構造の中柱で生じた。この中柱の主な役目は常時の上載圧を支えることであり、周辺土圧の抵抗とその外力による函体の変形は側壁と床版で持たせることが設計の根底にあった。そのため、中柱は上下方向の荷重を伝達できればよく、床版との接合は軸力だけを

伝達するピンとして検討されていた。しかし、実際の構造は、上床版が受ける土圧を中柱に有効に伝達できるように、中柱の鉄筋は床版に埋め込まれ、接合部コンクリートは一体化しているため床版と中柱は剛結状態となっている。このとき、実際の不静定次数は設計で考慮した不静定次数より高くなるため、一般的に安全側になる。しかし、函体全体が地震動によりせん断変形した場合、実際には剛結状態である中柱に大きな曲げモーメン

トヤせん断力が発生する。中柱がこれらの断面力に対して安定であれば問題はなかった。この点、震災後の数値解析による検討から、中柱に生じる断面力はその部分の強度を大きく上回った可能性が指摘された。もちろん、その位置での地震力は推定であることからその検討結果からだけでは断定できないが、剛結状態の中柱には無視できない断面力が発生したと考えられる。当然、床版と中柱の結合をピン結合にした場合、側壁の断面力分担は大きくなるが中柱にはほとんど断面力が発生せず、従来の設計で想定していた状況に近くなる。現在、今回の地震で被害を受けた大部分の構造物が設計された時代とは異なり、地盤と構造物の相互作用を考慮した地震応答解析は、比較的容易にできる環境にある。このとき、構造物は実物に近い

状態モデル化することが可能であり、無理矢理簡素な条件を課す必要はない。すなわち、実際に近い状態のモデルを用いて地震時挙動を推定することがかえって容易であり、また重要な耐震検討と思われる。

一方、中柱をピン結合にした方が有利なら、そのような構造を採用することは重要であり、その技術力もあるはずである。この場合、床版の変形や断面力を中柱には伝えない、一種の免震化を計ることが考えられる。地中構造物は、そこに発生する加速度ではなく、相対変形に支配されることが認知されている。この点を考慮し地中構造物の免震として、最初に外力を受ける構造の変形のある部位で分断し、その変形を伝達しない工夫を採用することもひとつの耐震構法ではなかろうか。

■ シールドトンネルの二次覆工は被害を拡大させたのだろうか

正会員 工博 大阪市立大学助教授 工学部土木工学科 東田 淳 Jun TOHDA

今回の地震では地中構造物の被害は軽微とされているようである。確かに、地上構造物の壊滅的な破壊状況と比べれば、相対的に軽微という印象はある。しかし、筆者が調査した範囲では、阪神地域のシールドトンネルの二次覆工（無筋コンクリート）が、神戸市から大阪市にかけて少なくとも21 kmにわたって軸方向、および周方向にクラックを生じており、大半が漏水を伴うという被害を生じている。軸方向クラックはクラウンから $\pm 60^\circ$ 、インバートから $\pm 30^\circ$ の4カ所に発生したものが大半であったが、中にはインバートに入ったものや、側面からクラウンやインバートにかけてX形に入ったものも見られた。また、周方向クラックはセグメント幅のちょうど2~3倍のピッチで入っているものが多かった。一次覆工はコンクリートセグメントとスチールセグメントであったが、クラックの出方には差異がなかった。

神戸市の東灘鳴尾下水道幹線では、たまたまスチールセグメントによる一次覆工が完了し、二次

覆工が未施工の工区1.8 kmがあったが、漏水も継ぎ手の開きもなかった。これに対して、スチールセグメントによる一次覆工と無筋コンクリートによる二次覆工が完了していた3.4 km区間は全線にわたって軸方向と周方向のクラックが生じ、漏水を生じた。このような状況から二次覆工が施工されていた区間でも、セグメントそのものはおそらく、破損せずに健全であると推定されるが、漏水はスチールセグメントの腐食を進行させ、また下水の浸出・地下水の侵入につながるため、補修する必要がある。このトンネルは未供用であったので、補修は割合、容易と思われるが、供用中のトンネルについては補修はかなり困難な作業となる。

このトンネルの被害の状況は、化粧である二次覆工の存在が被害を拡大させた可能性を示す。そのメカニズムとしては、二次覆工の存在によってトンネルの慣性質量が増大した、あるいは二次覆工によってセグメントの継ぎ手の変形が拘束され