

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

状態で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ので、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ろう。

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

るため、クラックが生じた部分が弱点となってセグメント継ぎ手の開きが拡大したという2つが考えられるが、実際のところはよくわからない。二次覆工に鉄筋を入れていたらクラックは入らなかっただろうか。化粧にすぎない二次覆工が被害

を拡大させたとしたら、二次覆工の意味を再考する必要があるのではないか。たとえば、柔軟で、セグメントの変形に追従できるような材料で二次覆工を施工した方がよいのではないか。今後の検討課題と思われる。

地下構造物（シールドトンネルと立坑）の被害状況について

正会員 神戸市下水道局 中央下水道事務所管路第2係長 古川 正明 Masaaki FURUKAWA

市南西部の震度6地域の埋立地（砂礫層）と海底部（シルト質粘土層）を走るシールドトンネルは、地震動を受けて継手部でコンクリートセグメント端部のコンクリートがはがれ、漏水がひどくなった。

しかし、埋立地に位置する立坑のコンクリート地下構造物は被害がなかった（SMW・深さ20m）。

市東部の震度7～超震度7地域を東西方向・南北方向に貫くシールドトンネルの2次覆工・巻きコンクリートは、地震動により全延長にわたって管軸方向のクラックが発生した（写真-1）。また、曲線部（50R・60R）区間では、セグメント継手位置と全く同じ位置に円周方向のクラックが入っている。しかし、深さ20mの立坑（SMW）は躯体コンクリート打設前の仮設の状態であるが、被害はなかった。

震源地近くの浅く埋設されたカルバートボックスは、地震動によりジョイントの一部に損傷があった他、無傷であった。

同位置の沖積砂質土層・大阪層群礫質土層を貫くシールドトンネルも被害がなく、可とうジョイントの変位も見られない。

立坑は仮設の状態でも地震動に耐えているが、内部に打設する躯体コンクリートと一体化した状態では、かなりの耐力を有し、今回の地震でも無被害と言ってよい。

管路は線状構造物であり、地震動の影響を受け



写真-1 市東部シールドトンネル
2次覆工のコンクリートひびわれ

やすい地下構造物と言えよう。

立坑コンクリート構造物との接合部や地質の変化点・軟弱地盤では、耐震上考慮を要することは周知の事項である。大きな地震の発生が予想される地域では可とうジョイントのみに頼るのでなく、1次覆工外側に免震層を設けたり、シールドセグメントの弱点箇所である継手部の耐震化等、きめ細かい耐震設計が必要とされる。供用開始後の補修は至難の技である。

大深度空間の有効利用時代を迎えて、今後30～50m以上の大深度立坑の建設が増加していく。

西日本が活断層の活性期に突入したと懸念される今日、兵庫県南部地震を機に、設計震度を含めて立坑・地下構造物の耐震性をチェックする必要があるだろう。