

第7章 まとめ

この報告書を締めくくるに当たって、はじめに地下構造分科会が兵庫県南部地震の地下構造物の被害調査をまとめる際に、産学官の本当に多くの人々の助力・協力を得たことに感謝の意を表しておきたい。地下構造物の被害は、全般的に見て文中にもあるとおり地表に比べて軽微ではあったが、大開駅など前例のない被害を生じたところもあり、被害を受けたことに間違いはない。地下構造物といえども、地震動や構造物・地盤特性の影響を強く受けることは確かであり、この地震は大きな教訓と実験室では得られない事例をたくさん残してくれた。地下構造物での被害はなぜ生じたのか、被害の程度の差はどのような原因で生じたのか、地下構造物設計法に問題はないのかなどについて疑問に思うことは当然であり、それを明らかにすることを目標に、この報告書では、資料を収集した上で、被害の原因や特徴について詳細な検討や考察を行った。

得られた成果を概略述べると以下のようである。

内陸直下型地震である兵庫県南部地震は、近代都市に存在する地下構造物に予想外の被害を発生させた。現地調査の結果、山岳トンネルでの被害の特徴は、断層粘土・断層破砕帯で発生したことが判明し、断層部における常時の健全度確認と維持・管理の必要性が再認識された。都市トンネルでは、大きな被害を受けた事例がいくつかあり、今後の対応が問題となり、様々な調査・解析が行われ、後に示すような成果が得られている。地下街・地下駐車場の被害は軽微であり、ライフライン施設では、規模は大きくないがシールドトンネルでの二次覆工コンクリートのクラック発生が報告されている。このように、地下構造物も地震動や構造物・地盤特性の影響を強く受けることが明らかになり、収集されたデータが貴重なものとして保存が考えられている。

今後の地下構造物耐震設計での課題として錯綜している計算手法がどのように使われるか問題となった。そこで、地下構造物の耐震計算手法の体系的な整理、比較的簡便な手法として用いられている応答変位法における地震荷重の検討、耐震計算法における課題が議論するテーマとして掲げられ、現行の耐震計算法における問題点や、今後研究の進展が望まれる課題についてまとめ、成果として各耐震設計法の現状の指針類とともに既往の研究を組み入れ、地下構造物の耐震設計法の課題を整理した。

なぜ被害が発生したかは、重要な検討項目の一つである。被害を起こさせた要因分析を行うために、現地調査、数値シミュレーションを実行している。その結果は、「上層部の鉄筋コンクリート造の中柱に集中して受けたせん断破壊が主な要因」である。これには、地震動によって沖積層の上部付近で比較的大きなせん断ひずみが発生したことも誘因と考えられる。特に、大開駅近傍地盤の地震応答解析を行った結果からは、地盤の応答に及ぼす地層構造の局所的な不均質性の影響が大きいため、せん断ひずみに差があることが判明した。また、今回のいくつかの数値解析結果からは、中柱のせん断耐力が小さく、曲げ耐力に比べ余裕が少ないことが指摘される。したがって、今後地下構造物を設計する場合には地盤の地震時挙動十分に把握し、せん断耐力にも配慮した設計がなされるべきと思われる。

本報告には、今後の地震にも耐えられるように復旧工法と復旧過程の例も入っている。地震はいつ来るかも知れず、十分な対応を心がけておくことは基本であり、復旧の記録は貴重である。

以上のように、地下構造分科会の成果は今後の地下構造物の設計に大きな貢献をするものと期待できる。今回の地震でややもすると地下構造物の脆弱性が強調されすぎ、すべての構造物が補強の対象になるような論調も目に付いた。この分科会で得られた結果を参考に、場所・条件によって補強・補修のメリハリをつけることが可能になると予測される。

今回の地震の後、地震時の地下構造物の解析法の不備が指摘されたが、地震動予測や地盤と構造物の相互作用を考慮した解析について整理が出来、合理的で十分な耐震性を有する地下構造物を構築するための一歩が踏み出せたと考えている。今後は、ハード的な面だけでなく、ソフト的にも比較的安全な地下構造物を災害時の避難場所に有効利用するような方策も検討していくことも重要であろう。