

CS-64 開削箱型トンネルの耐震検討法に関する課題

大阪市交通局 正会員 仲井信雄  
 大阪市交通局 正会員 太田 擴  
 中央復建コンサルタンツ フェロー 山口直紀

1. まえがき

「兵庫県南部地震」の被災による教訓として、地下鉄や地下街等の地下構造物の耐震設計法が課題となっている。特に、「大開駅」の一部崩壊や「三宮駅」・「上沢駅」等のRC柱破壊事例から、開削工法により建設されたRC箱型構造物が注目されている。それらの破壊メカニズムの究明が各研究機関で鋭意進められているなかで、水平振動に伴うせん断破壊を主因とする報告例が多い。<sup>1) 2)</sup>

一方、都市内の地下構造物においては、近年のシールド工法の採用例が増加しているなかで、従来から主流であった開削式箱形トンネルのストックは相当な量におよび、既設地下構造物の耐震性評価と補強対策の実施が緊急の課題である。

「兵庫県南部地震」と同規模の大地震に対して、新設および既設地下構造物の実用的な耐震性評価法として、応答変位法を適用する例が多い。この応答変位法は、地下構造物は周囲の地盤と同様に振動し、構造物の地震時挙動は周辺の地盤変位に追従するという基本概念にもとづいたものである。

当報告は、応答変位法を適用した検討実務を通して得られた知見から、今後の研究成果を期待する課題として提起するものである。

2. 都市内の地下構造物

都市施設としての地下構造物は、地下鉄道をはじめ地下街・地下道、上下水道・ガス・電力・通信等のライフライン施設、地下河川等と多種の機能に対して建設されている。これらの地下施設構造物は、主として施工法で大別される構造形式に分類され、開削工法による箱型構造、シールド工法によるリング構造、ライフライン系の埋設工法による管渠構造が代表的なものである。ここでは、開削工法で建設されたRC箱型構造に着目し、代表的な構造形式を図-2に示す。

- タイプA 地下鉄
- タイプA：地下鉄等のトンネル標準断面
- タイプB：地下街等の面的構造
- タイプC：複合一体構造物

図-2 代表的な構造形式

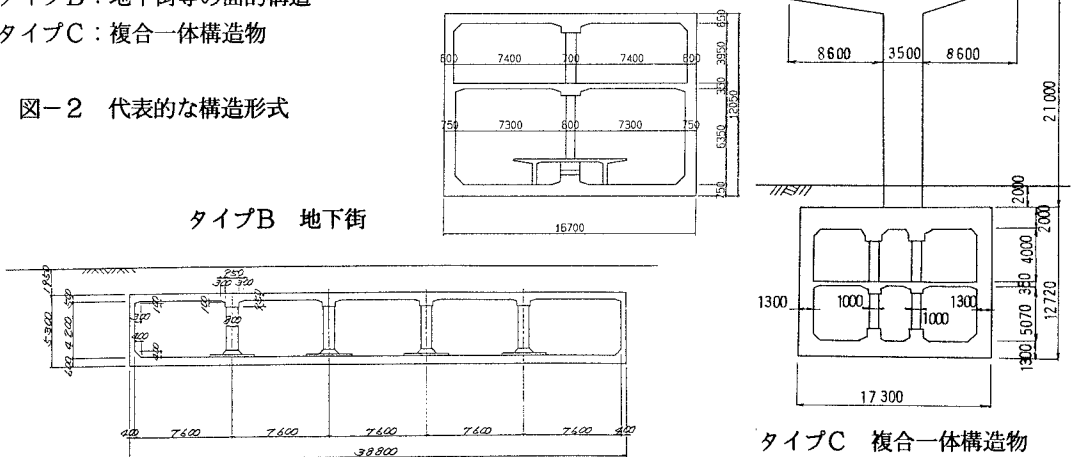


図-1 地下施設の分類

### 3. 耐震検討法と問題点

「兵庫県南部地震」と同規模の大地震を想定した場合、開削式RC箱型構造の耐震性評価を目的とした解析に要求される条件を以下に列挙する。

- ①表層地盤の水平振動に伴う応答を基本とする。②表層地盤と構造物の動的相互作用の把握が重要。
- ③地盤のせん断ひずみレベルに応じた非線形性を考慮する必要がある。④終局状態との比較が判断指標となるので、構造物材料の非線形性を考慮する必要がある。

上記の動的問題は3次元あるいは2次元の地盤と構造物の非線形性を考慮した連成解析を必要とするが、数値解析上の実用面では限界がある現状である。

一方、被災メカニズムの究明結果から応答変位法を適用した耐震検討法が提起されており<sup>1)</sup>、地下鉄構造物は応答変位法による耐震性評価法が主流になりつつある。

地下鉄構造物に応答変位法を適用した検討実務を通して得られた知見および今後の研究課題を列挙する。

- 1) 被災メカニズムの究明にあたっては、同年代に同構造形式で建設され軽微な被害で済んだ構造物の存在する事実をも説明する必要がある。
- 2) 地盤の非線形性はせん断ひずみに依存するものとして、ひずみレベルに応じたせん断剛性と減衰定数の算出式が用意されているが（建設省土木研究所等）、想定地震動の規模および地盤によってはひずみレベルが $10^{-2}$ オーダーと大きくなり、適用範囲（ $10^{-3}$ ）を越えていると考えられる。  
また、洪積砂質層のひずみ依存データがないのが現状であり、耐震基盤層の深度によっては洪積砂質層のひずみ依存曲線を要する。
- 3) せん断剛性と減衰定数は各々独立ではなく、せん断ひずみレベルと振動数に依存する<sup>3)</sup>。
- 4) 強震時においては、地盤と構造物の接触面での滑りや剝離現象を把握する必要がある。
- 5) 応答変位法で考慮する荷重のなかで、構造物規模に応じて大きな影響を及ぼす周面摩擦力と3)に関連する限界値の設定法が課題である。
- 6) 液状化の可能性が高い地盤中では、表層地盤の変位だけでなく液状化の影響の評価法が問題となる。
- 7) タイプCのような複合一体構造物では、上載構造物からの反力のモデル化が課題となるほか、応答変位法の適用性に関する検討が必要である。一体解析の結果から、高架橋反力と地下鉄断面力の最大応答時刻が異なること、両者を分離解析するための条件などが一部判明している<sup>4)</sup>。
- 8) 既設構造物の耐震性評価を行う場合、曲げ終局状態におけるコンクリートの終局ひずみをどの程度許容するのが課題である。新しく構造物を設計する立場とは異なり（ $\epsilon_c=0.0035$ ）、径年構造物の補強部材の特定化と補強策を決定する重要な一要因である。

### 4. あとがき

前述したように、従来の耐震検討ではみられなかった新しい問題が浮かびあがった。これは、「兵庫県南部地震」と同様な大規模な直下型地震を想定せざるを得ないこと、都市施設として崩壊等の被害を避けなければならない使命を帯びていること、そのために必要な補強策を緊急に実施しなければならないことなどが背景にある。多種多様な構造形式を有する地下施設の耐震性評価法として、実用上簡便な方法が望まれるとともに、合理性も要求される問題である。

参考文献：1) 鉄道施設耐震耐震構造検討委員会；運輸省鉄道局

2) 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp221～270; 土木学会, 1996. 1

3) 佐藤忠信：地盤と構造物の動的相互作用の解析法、土と基礎、1992. 8

4) 太田・大西・家村・斉藤・山口：高架橋と地下鉄の一体構造物の耐震解析法に関する考察、土木学会第51回年次学術講演会、1996. 9