

I - B 430 開削トンネルの耐震性能と層間変形量の関係

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 西山誠治 室谷耕輔
 同上 フェロー 西村昭彦
 (株)TESS 正会員 加藤淳一

1. はじめに

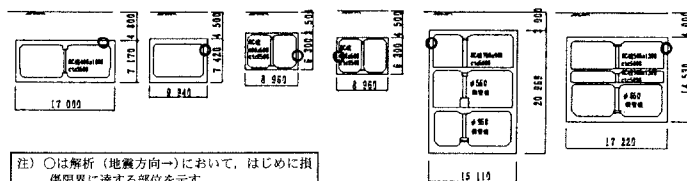
L2地震動に対する開削トンネルの耐震設計は、部材の変形性能に期待し、ある程度の損傷を許容するのが合理的である。鉄道耐震標準では、許容する損傷を地下構造物の補修の困難さを考慮して定めている¹⁾。その損傷限界に基づく構造物全体系の変形量を調査しておくことは、耐震性能と応答値の関係から安全性を照査できるため、非常に有用である。地下構造物の応答値すなわち地震時の変形は、地盤変形に追従することから、地盤の変形量から簡易に推定できる²⁾。このとき、構造物の損傷限界変形量が把握できていれば、推定された変形量との比較により簡易に安全性の照査が可能となる。そこで、本研究は、一般的な開削トンネルを対象に、せん断補強鉄筋比をパラメタとして構造物の変形と耐震性能の関係を調査し、簡易に安全性の照査が実施できる応答変形量の目安値を得ることを目的とする。

2. 検討方法

対象とする構造物を図1に示す。図には後述の解析で損傷限界となる部位も示している。いずれも、永久荷重に対して許容応力度法で設計された構造物であるが、配筋および材料強度等を若干アレンジし、旧来の常時設計を考慮してせん断補強鉄筋比は0.1%とした。限界変形量と耐震性能の関係は、それぞれが存在した地盤に神戸ポートアイランド波を入力した地盤変位分布を用いて、応答変位法による静的非線形解析により調査する。なお、解析では、いずれかの部材が損傷限界となる変形量が現れるまで荷重を比例倍させた。

限界となる変形量は、図2に示す耐震性能の限界とする。それぞれの耐震性能は図3に示す部材の損傷レベルにより表現されている。このうち、損傷レベル2における塑性ヒンジ部分の変形角を、せん断補強鉄筋比(ρ_w)ごとに図4に示す。L2地震動に対しては、

土に接する部材は最大耐力を維持できる程度に、補修が可能な中柱等については降伏耐力を維持できる損傷に抑えるのがよいと考えている。本検討では、中柱は両端固定梁と仮定すれば簡易に応答変形量の推定は可能と考え検討から省略し、永久荷重の影響が大きく簡



(1) Model1 (2) Model2 (3) Model3 (4) Model4 (5) Model5 (6) Model 6
 図1 対象構造物一般図

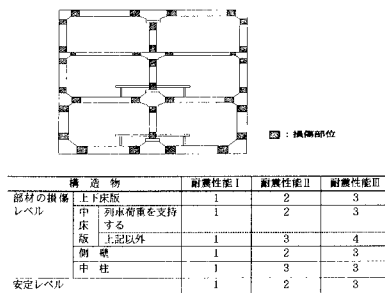


図2 耐震性能の概念

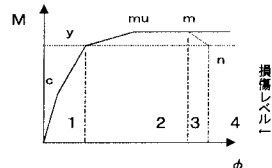


図3 部材の損傷レベルの概念と解析上のモデル化¹⁾

易な推定の困難な側壁および床版について、耐震性能ⅠおよびⅡとなる変形量を調査する。

RC部材の非線形性は、図3の実線に示すようにモーメント～曲率関係でモデル化を行い、最大耐力以降は剛性の小さい勾配とした。なお、非線形特性には鉄筋の抜出しの影響は、その影響が小さいと考え考慮していない。また、永久荷重は設計での想定荷重を用い、下床版の支持条件は釣合反力の載荷モデルとした。さらに、側方土圧は設計で考慮している荷重が最大値を与えていると考え、これをそのまま用いる。

3. 解析結果

(1)実配筋における限界変形角 各ケースについて、荷重と変位の関係を調査した結果を図5に示す。横軸は、構造物上床版および下床版の相対水平変形量を構造物の高さで除して求まる構造物全体の変形角であり、縦軸は構造物の負担する水平力（層せん断力）を構造物の幅で正規化した値である。図中のプロットは、いずれかの部材がはじめに損傷限界を超えた状態を示す。なお、せん断破壊は生じないと仮定した。これより、耐震性能Ⅰの限界変形角は0.0014～0.0026(1/700～1/400)である。一方、耐震性能Ⅱでは、0.0086～0.014(1/115～1/70)程度の変形角である。このように、せん断破壊さえ生じなければ、一般に地下構造物は1/120程度の変形では、耐震性能Ⅱを満足する変形性能を有すると考えられる。

(2)せん断補強筋と限界変形角の関係 Model 5,6について、せん断補強鉄筋を0.2～0.6%とした場合の限界変形角を図6に示す。せん断補強鉄筋が増えることにより、構造物の限界変形量も大きくなるのが分かる。両者の勾配の違いは、Model5では断面内側が引張となる損傷に対してModel6では外側が引張りとなる損傷であるため、モーメントの勾配すなわちせん断スパンが異なること、また各階層での変形分布に起因していると考えられる。今後このような関係を明らかにする必要があるが、一般には、せん断破壊を防ぐため、せん断補強鉄筋を鉄筋比にして0.4%程度配筋したとすれば、構造全体の変形角にして、1/100程度の変形角までは、耐震性能Ⅱが満足されると考えられる。

4. まとめ

構造および地盤条件の異なる6種の開削トンネルを対象に、応答変位法による静的非線形解析を実施し、構造物の層間変形角と耐震性能の関係を調査した。その結果、せん断補強鉄筋比を0.4%程度確保できれば、1/100程度の曲げ変形に対する安全性は確保でき、この範囲の変形であれば耐震性能の照査のための非線形解析を省略しても良いと思われる。ただし、地下構造物は多種多様な地盤および構造条件が考えられ、今回の結果がすべての構造に適用できるとは考えられない。最も変形性能の小さいModel 3に2割程度の安全性を考慮して、1/150以上の変形を生じると予測される構造物については、非線形解析を実施するのが望ましいと考えられる。なお、せん断破壊については別途照査する必要があるが、土圧を負担した部材の最大せん断力の推定は今後の課題である。

参考文献

- 1) 西山他：地下構造物の簡易な応答値の推定に関する一考察，第 土木学会年次学術講演会，1998,9
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計（案），平成10年11月，（財）鉄道総合技術研究所

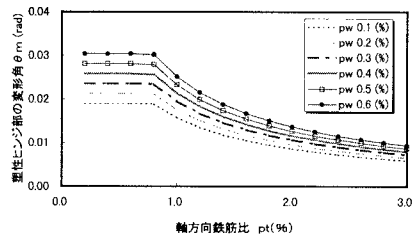


図4 損傷レベル2の部材変形角 (θ_{pm} , SD295)

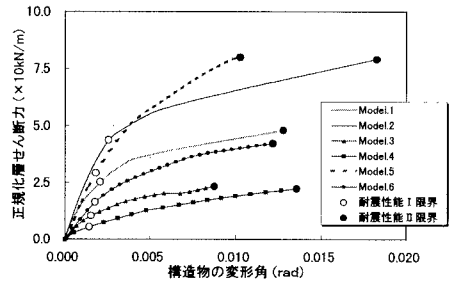


図5 層間変形角～層せん断力 ($\rho_w=0.1\%$)

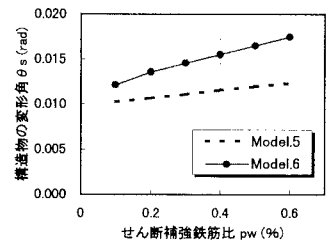


図6 せん断補強鉄筋比～限界変形角 (耐震性能Ⅱ限界)