

応答変位法による耐震設計における地盤応答と鉄筋量の関係

(株)熊谷組 正会員 大越 靖広
 (株)熊谷組 小林 宏光
 (株)熊谷組 正会員 渡邊 弘行

1. はじめに

応答変位法は、開削トンネルの耐震設計手法として一般的に広く用いられており、設計体系として概ね確立されている。しかし、この耐震設計業務では、鉄筋量が要求される性能に適合するよう試行錯誤の後に求められるため煩雑である。したがって、開削トンネルの耐震設計を行う際に鉄筋量と地盤の応答値や物性値との関係の大枠を知ることは、設計業務の合理化および最適な鉄筋量の使用といったコスト縮減のために重要である。この様な観点から、応答変位法を用いて必要鉄筋量を求めるケーススタディーを行い、地盤応答と鉄筋量の関係について調べた。

2. 検討条件

対象とする構造物は、図1に示す中柱を有する1層2径間の開削トンネルである。検討には入力地震動として、兵庫県南部地震の神戸大学 NS 成分波を用いた。地盤応答は、等価線形化法に基づく重複反射理論により解析し、部材の非線形特性は H8 道路橋示方書・同解説 編によるものとした。

本検討では、地盤の応答と鉄筋量の関係を調べるために、表1に示す Case1 ~ Case3 の解析を行った。Case1 では、トンネルの構築される層のせん断波速度を 100 ~ 200(m/s) の範囲で 5 または 10(m/s) ピッチで変化させて検討した。また Case2 では、トンネル側壁に地層の境界がある場合の影響を検討するため、層のせん断波速度 ~ ごとに層のせん断波速度を 100 ~ 200(m/s) まで変化させた。Case3 については、せん断波速度は変化させずに構造物の位置を層内で 5 ~ 15m まで変化させて、土被りの影響について検討した。なお、断面と配筋は全断面一律とし、Mu を越える部材が 1カ所までという条件で必要鉄筋量を求めた。

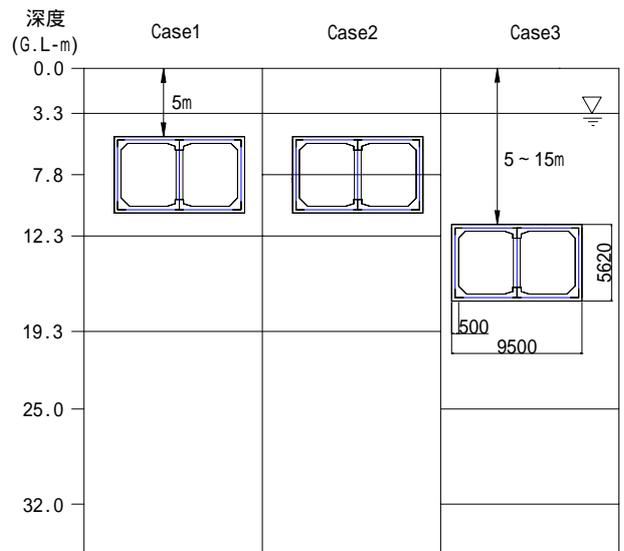


図1 対象構造物と地層の関係

3. 検討結果

Case1,2 について、層のせん断波速度と地盤の相対変位、最大せん断ひずみの関係を図2, 図4に示す。Case3 については、土被りと地盤の相対変位、最大せん断ひずみの関係を図6に示す。なお、ここでいう相対変位とは、上床版と下床版の位置での地盤の最大相対変位を表す。また、それぞれの条件から得られた地盤相対変位と必要鉄筋比、常時鉄筋比の関係を図3, 図5, 図7に示す。常時解析における必要鉄筋量は破線で、相対変位と鉄筋比の近似曲線は実線で示している。

一般に、地盤の最大せん断ひずみが 2, 3 % を越えるような非線形挙動に等価線形解析を用いると、精度面での課題から適用に注意が必要であることが知られている。本検討では、地盤相対変位と最大せん断ひずみの関係が比較的良好な 5 % 未満を適用範囲とした。そこで、Case1 について最大せん断ひずみが 5 % 未満の等価線形解析の適用範囲内で、地盤の相対変位と鉄筋量の関係を調べると、図3に示す関数のように対数による近似曲線でその関係を表すことができた。この近似曲線より、地盤の相対変位が大きくなるに伴って必要鉄筋比の増加量は少なくなり、単調増加ではないことが分かる。Case2 についても同様で、図5より等価線形解析の適用範囲内では、の結果をプロットすると、各々の必要鉄筋比の結果が、対数による同一の近似曲線で表すことができた。また、Case3 より土被りを変化させた検討でも、図7に示すように同様の結果が得られた。なお、応答変位法は地盤変位による荷重・慣性力・周面せん断力の3つの荷重を外力とする手法であるため、本来はそれらと鉄筋量の関係についても調べる必要がある。しかし、本検討でも慣性力と周面せん断力に関して鉄筋比との関係を調べたが、相対変位に比べて相関関係は見られなかった。

表1 各 Case におけるせん断波速度

地層	Case1		Case2			Case3		
	深度(m)	Vs(m/s)	深度(m)	Vs(m/s)		深度(m)	Vs(m/s)	
				I	II	III		
①	3.3	136	3.3	136			3.3	136
②	12.3	100~200	7.8	100~200			25.0	120
②'			12.3	200	160	145		
③	19.3	467	19.3	467			32.0	467
④	47.0	413	47.0	413			47.0	413

※ Case1,2では、構造物の土被りは5mで、Case3では土被りを5~15mまで変化させた。

キーワード：応答変位法、耐震設計、鉄筋量、開削トンネル

連絡先：〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪 1043 (株)熊谷組技術研究所 TEL 0298-47-7502 FAX 0298-47-7480

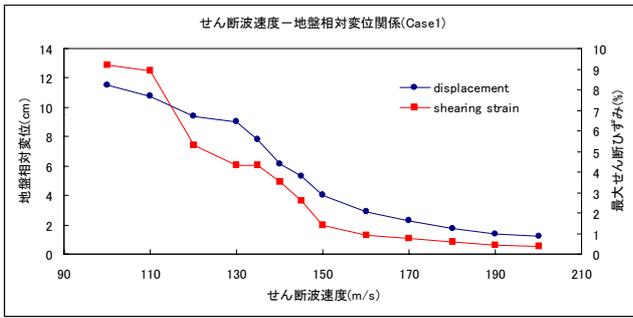


図2 せん断波速度 - 地盤相対変位、最大せん断ひずみ関係

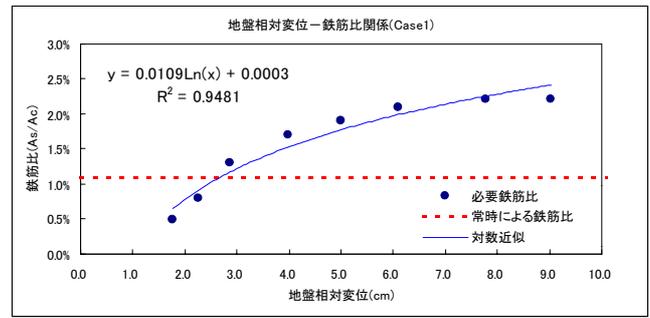


図3 地盤相対変位 - 鉄筋比関係 (Case1)

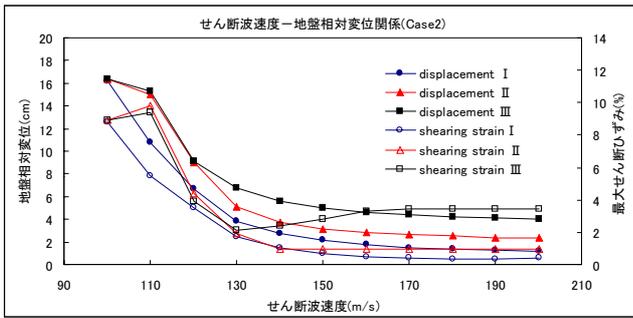


図4 せん断波速度 - 地盤相対変位、最大せん断ひずみ関係

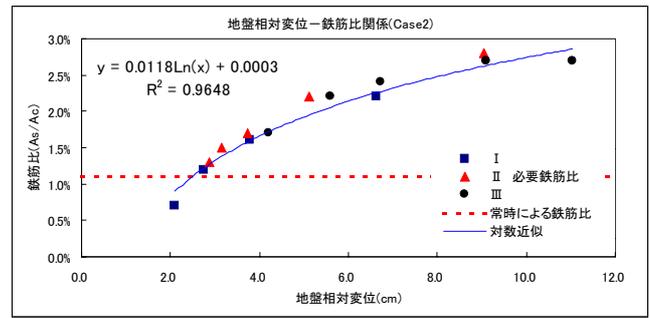


図5 地盤相対変位 - 鉄筋比関係 (Case2)

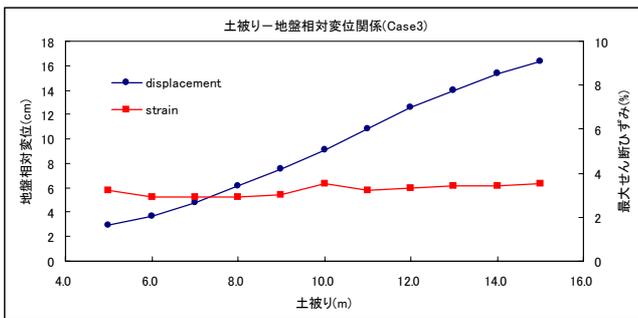


図6 土被り - 地盤相対変位、最大せん断ひずみ関係

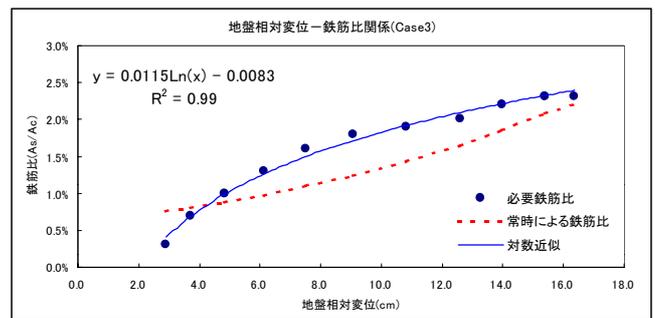


図7 地盤相対変位 - 鉄筋比関係 (Case3)

本稿では省略したが、地盤の物性値や構造物の大きさを変えてケーススタディーを行った結果、地盤相対変位と必要鉄筋量の関係が対数による近似曲線で得られることも確認している。また、各 Case と近似曲線を求める際には、2,3 の標本で回帰分析することによって、十分な精度の近似曲線を得ることができた。

4. 考察

・ Case 1 ~ 3 の地盤条件に対して必要鉄筋量を求めるケーススタディーを行った結果、地盤の等価線形解析の適用範囲内では、地盤の相対変位と必要鉄筋量の関係を対数による近似曲線で表すことができた。したがって、2,3 断面の設計後にこの近似曲線を回帰分析より求めれば、地盤の相対変位より鉄筋量の予測をすることが可能で、同様な地盤内に多くの断面の設計を行う際に有効である。

・ 次式のように、対数による近似曲線の定数を、地盤条件や地盤の応答加速度、せん断力などから決定することができれば、諸条件によらずに地盤の応答解析結果より鉄筋量の予測が可能となり、有力な手法であると考えられるので今後の課題としたい。

$$Y = A \log(X) + B \quad X: \text{必要鉄筋比} \quad Y: \text{層間変形角} \quad A, B: \text{定数}$$

・ 地盤の最大せん断ひずみが大きく、等価線形解析の適用範囲を越える場合については、今後、地盤の非線形解析を行って同等の検討を行い、本検討結果の信頼性について確かめる方針である。

参考文献

- 1) 西山他：開削トンネルの応答変位法による荷重変位曲線の算定に関する一考察，第 56 回年次学術講演会 I-B487，2000,9
- 2) 土木学会 トンネル工学委員会：開削トンネルの耐震設計
- 3) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計基準・同解説 耐震設計 設計計算例 開削トンネル
- 4) 地盤工学会：地盤・基礎構造物の耐震設計
- 5) 川島 一彦：地下構造物の耐震設計