

直接基礎の高層建築物に近接するシールドトンネルの地震時の照査に関する一考察

北大阪急行電鉄（株）  
阪急設計コンサルタント（株）

秦 健太郎  
正会員 ○岡重 嘉泰

1. 目的

近年、都市部においては高層のビルが多く建設されている。その中には、地盤が良好なため直接基礎で施工されている建築物も見られる。そのような状況において、鉄道トンネルは平面線形や縦断勾配に制約が多いため、トンネルを建築物に近接した位置に構築せざるを得ない場合もある。その場合、トンネルの設計は、地震時に高層建築物から作用する荷重も考慮した照査が必要であり、コンピュータの能力も飛躍的に向上している現在では、高層建築物とトンネルを一体化したモデルを作成し検証をすることも可能であるが、そのためには、モデル化に伴う費用や時間が多く必要となる。

そこで、筆者らは、鉄道トンネルに近接する高層建築物の建設時の地震時動的解析の結果（層せん断力）を用い、直接基礎の底盤下面や側面に作用する荷重を簡易的に求め、トンネルと地盤をモデル化した FE モデルに作用させトンネルの増荷重を算出し、トンネルの照査を実施するものである。

2. 設計の条件

2-1. トンネルの条件

本検討の対象となる鉄道トンネルは、単線シールドトンネルで諸定数を表-1 に示すとおりである。

表-1 セグメント諸条件

| セグメント種別 | 合成セグメント |
|---------|---------|
| 内径      | 6.2m    |
| 外径      | 6.8m    |
| セグメント厚さ | 0.3m    |
| セグメント幅  | 1.2m    |

2-2. 高層建築物の条件

本検討の対象となるシールドトンネルに近接する高層建築物は、地下 2 階、地上 49 階の直接基礎構造であり免震装置を備えた建築物である。また、鉄道シールドトンネルとの位置関係は、図-1 に示すとおりである。

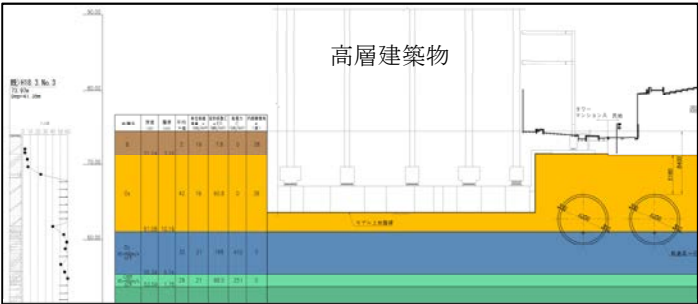


図-1 高層建築物とシールドの関係

2-3. 地盤の状況

本検討の対象となる地盤は、図-1 に示すように表層付近から洪積砂層が出現する非常に良好な地盤である。

3. 高層建築物からの荷重の算出方法

高層建築物は建築基準で設計され、鉄道トンネルは鉄道規準（土木の設計）である。そのため、規準が混在する形となり、安全側の設計にするためには両者の規準を包含する作用力によって検証を行う必要がある。ここで、建築基準と鉄道規準での違いは、入力地震動の大きさの違いと動的解析のモデル（建築：多自由度系、鉄道：1 自由度系）である。本来であれば、多自由度系のモデルに鉄道規準の地震動を入力する方法もあるが、高層建築物で解析された結果を用い『鉄道規準を下回らない』あるいは『建物の終局復元力を超えない』という考えで入力値を決める。

3-1. 入力地震動の建築基準と鉄道基準の加速度応答スペクトル比較

【レベル 1】

高層建築物側の解析で、レベル 1 においては『Taft 1952 EW』の入力地震動が決定地震動となっている。図-3 の加速度応答スペクトルに示すように、『Taft 1952 EW』の地震動の加速度応答スペクトルを 2 倍したスペクトルは、鉄道規準の加速度応答スペクトルより周波数帯（0.10 秒～5 秒）で上回っていることが確認できる。

【レベル 2】

キーワード：シールドトンネル、高層建築物、層せん断力、加速度応答スペクトル  
連絡先：阪急設計コンサルタント(株) 都市土木部 大阪市北区芝田 1-4-8 Tel 06-6359-2755 Fax06-6359-2762

高層建築物側の解析で、レベル2においては『告示波C』の入力地震動が決定地震動となっている。図-2の加速度応答スペクトルに示すように、『告示波C』の地震動の加速度応答スペクトルを2倍したスペクトルは、鉄道規準の加速度応答スペクトルより周波数帯(0.8秒~5秒)で若干上回っている事が確認できる。

3-2. 高層建築物からの作用力

以上の結果から、下記の式を用いて高層建築物のからの作用力を算出する。

転倒モーメント  $kN \cdot m = \Sigma ((高層建築物の各層の最大応答加速度 \text{ cm/s}^2) \div 980 \text{ cm/s}^2 \times 2.0 \times (各層の荷重 \text{ kN}) \times (各層の階高さ \text{ m}))$

水平力  $kN = (高層建築物の免震層の層せん断力 \text{ kN}) \times 2.0$

3-3. 上部構造の復元力特性からの検証

上部構造の復元力特性は、図-5のとおり高層建築物の資料に示されている。そこで、前項で示した式により求めた各層の層せん断力を赤字で転記している。結果として、40階以上では算出した層せん断力より高層建築物の解析による層せん断力が大きくなっているが、それよりも下位の層については、今回算出した層せん断力が大きな値を示しているので、算出した結果は鉄道基準を下回らないと考えられる。

4. 地盤変位による作用力の算出

シールドトンネル周囲の地震時の地盤変位による荷重は、「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編 H29.4」に記載の慣用法にて算出している。

5. 解析結果

これまで結果を踏まえ、図-6に示すFEモデルに作用力を加えシールドトンネルに作用する荷重からセグメントの横断方向の照査を実施する。

その結果は、表-2に示すとおりである。ここで、継手部のコンクリートが負曲げ(圧縮)で許容応力度(31.5N/mm<sup>2</sup>)を超える38.32N/mm<sup>2</sup>となっているが、作用力がかなり安全側の値であることと、コンクリートの設計基準強度が48N/mm<sup>2</sup>以下であることから構造上は問題無いと考える。

6. 考察

鉄道トンネルの設計基準において、設計基準に記載の要件に該当する場合を除き、地震時の横断設計は実施していないのが実情である。しかしながら、本業務のように特殊な作用力が側方から作用する場合等においては、トンネルであっても地震時の照査は必要であると考える。

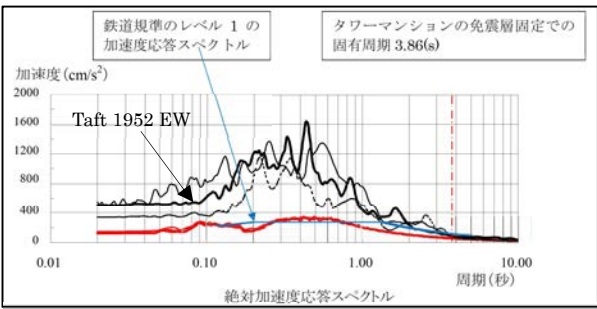


図-3 レベル1の加速度応答スペクトルの比較

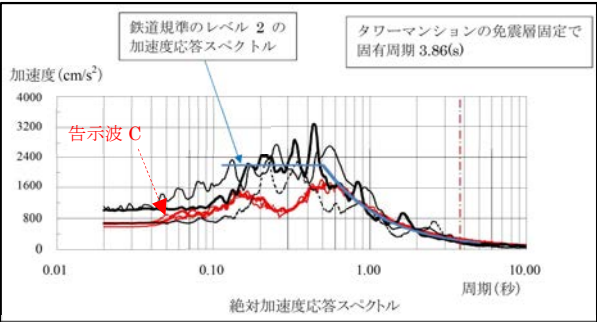


図-4 レベル2の加速度応答スペクトルの比較

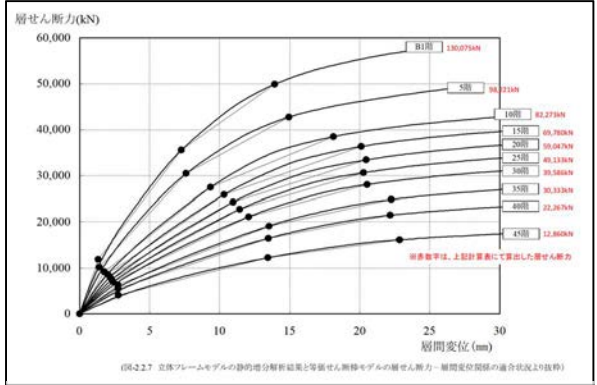


図-5 レベル2の加速度応答スペクトルの比較

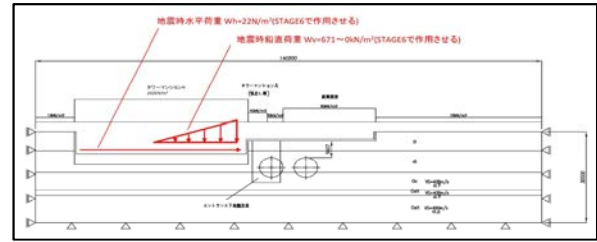


図-6 FEモデルと作用力

表-2 セグメントの照査結果

| 断面力    | 曲げモーメント<br>軸力<br>せん断力 | $M_d (kN \cdot m)$<br>$N_d (kN)$<br>$S_d (kN)$ | 正曲げ<br>$M_{max}$ | 負曲げ<br>$M_{min}$ | せん断<br>$S_{max}$ |
|--------|-----------------------|------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|        |                       |                                                | 263.09           | -283.27          | -                |
|        |                       |                                                | 409.60           | 752.40           | -                |
| コンクリート | 圧縮応力度                 | $\sigma_c (N/mm^2)$                            | 18.34            | 38.32            | -                |
|        |                       |                                                | <31.5 (OK)       | >31.5 (NG)       | -                |
| 継手ボルト  | 引張応力度                 | $\sigma (N/mm^2)$                              | 597.54           | 792.91           | -                |
|        |                       |                                                | <900 (OK)        | <900 (OK)        | -                |
|        | せん断応力度                | $\tau (N/mm^2)$                                | -                | -                | 35.31            |
|        |                       |                                                | -                | -                | <520 (OK)        |