

応答変位法による開削トンネルの縦断方向耐震設計に用いる地震波に関する研究

阪神高速道路公社 正会員 ○ 足立 幸郎

同 上 中本 寛

建設技術研究所 正会員 鈴木 直人

1. はじめに 一般に開削道路トンネルの構造目地間隔は 20m 程度とされる場合が多い。しかしながら、経済的で耐久性の高い構造とするためには、構造目地間隔を長くすることが望ましい。ここでは、阪神高速道路淀川左岸線と対象とし、応答変位法による縦断方向の耐震設計に用いる合理的な地震波長について検討し、その検討結果に基づき構造目地間隔の長間隔化について検討した結果について報告する。

2. 地震波の設定の考え方 応答変位法による縦断方向の耐震設計に用いる正弦波は、以下の方針に基づき設定した。振幅は地盤の 1 次せん断波震動による地表面最大振幅とした。さらに、地動の変位振幅の大部分が Rayleigh 波や Love 波等表面波の伝播に起因するとみなして計算¹⁾される地盤ひずみ、地盤の不均一性により生じる地表面波形の箇所別変化に起因する地盤ひずみ、の両者を組合せた地盤ひずみにより波長を設定した。これは、表面波の見かけの波速はやや深い地盤に支配されることから、表層地盤の不均一性によって生じるローカルな地盤ひずみの影響については別途考慮することを考えたものである。

3. 地表面変位波形の伝播による地盤ひずみ 淀川左岸線の建設地点では、常時微動のアレー観測から Rayleigh 波の位相速度の分散特性が得られている²⁾。図 1 より観測結果と観測地点の地盤構造条件から Haskell の方法³⁾を用いて計算された表面波の位相速度の分散特性とは精度よく一致していることがわかる。また同図より、L2 地震時での表層地盤の剛性低下を表現するため表層地盤のせん断波速度を 1/2 に低減した解析の結果では Love 波においてその影響が大きいことがわかる。この表層の剛性低下を考慮した位相速度の分散特性を以後の地表面波動のシミュレーションに用いた。シミュレーションに用いた地表面波動は、L1 地震には道示 種地盤スペクトル適合波⁴⁾、L2 地震には阪神公団基盤波⁵⁾により算定される当該地盤での地表面変位波とした。図 2 に L2 地震で検討対象とした地表面変位波形を示す。地表面変位波の伝播シミュレーションは、まず地表面変位波をフーリエ分解し、位相スペクトルに対して設定した位相遅延量 ($\Delta\phi$) だけ遅ら

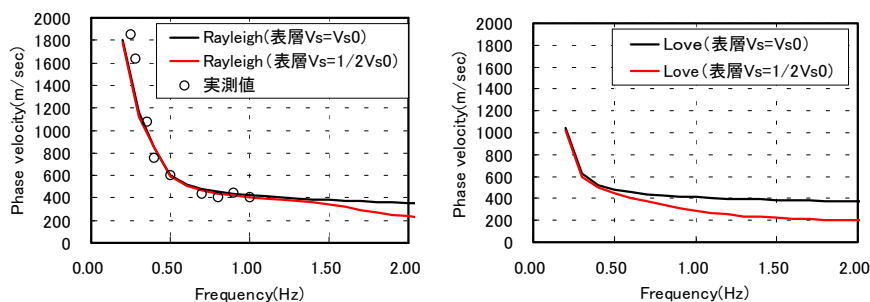


図 1 位相速度の分散曲線（実測値および Haskell 法による計算値、Rayleigh 波：左、Love 波：右）

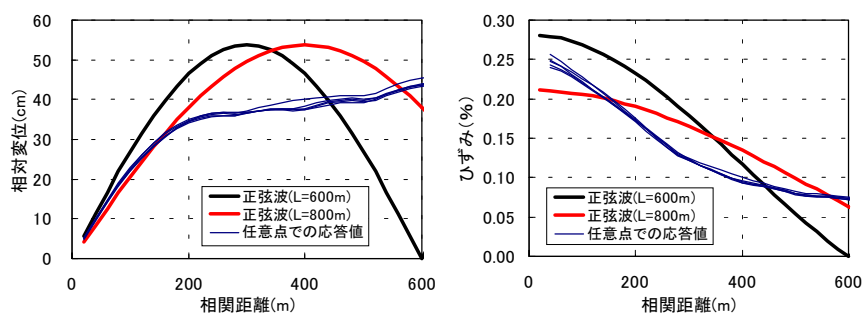


図 4 波形シミュレーション / 正弦波による地盤の相対変位（左）とひずみ（右）（L2, Rayleigh 波型）

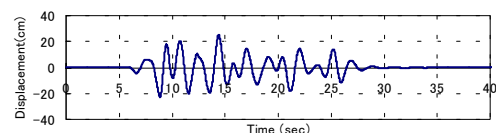


図 2 L2 地震動の地表面波形

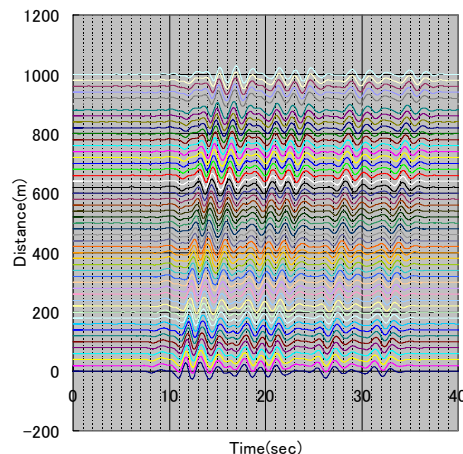


図 3 地表面変位波形の伝播シミュレーション結果

キーワード：地中構造物、開削トンネル、耐震設計、応答変位法、縦断方向、アレー観測

連絡先：大阪市中央区久太郎町 4-1-3 TEL 06-6252-8121 FAX 06-6252-4583

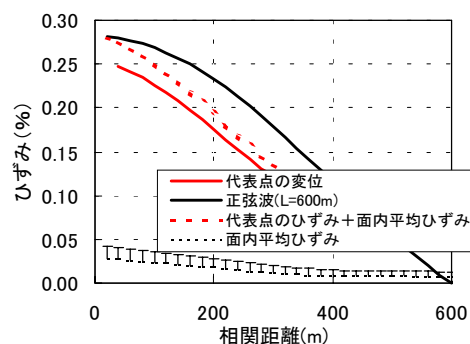
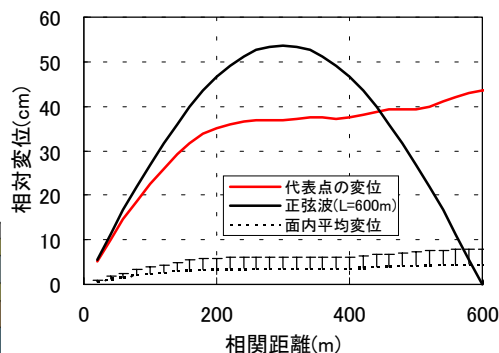
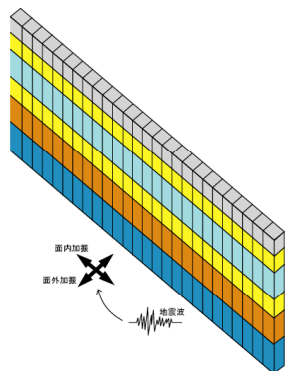


図5 3次元FEMモデル

図6 地盤の不均一性から生じる地盤の相対変位(左)とひずみ(右)(L2,Rayleigh波型)

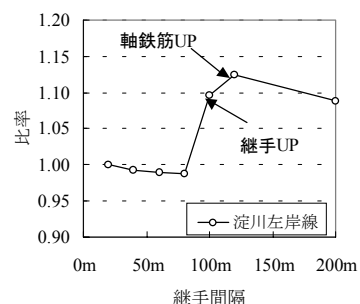
せたのち、フーリエ逆変換を行い地表面にそって x だけ離れた地点の地表面変位波を推定した。ここで位相遅延量は $\Delta\phi = -2\pi \cdot f_i / cs_i \cdot x$ (f_i : 周波数、 cs_i : f_i に対応する位相速度) と与えた。図3に Rayleigh 波の伝播特性を用いたシミュレーション結果を示す。任意の2点間の距離(相関距離)と、その2点間の最大相対変位を相関距離で除した地盤ひずみの関係を図4に示す。また、波長を 800m および 600m とした正弦波によって生じる最大相対変位および地盤ひずみも併せて示す。アレー観測結果では当該地盤の波長は 800m となるが、Rayleigh 波の伝播特性を考慮したシミュレーション結果と正弦波 ($L=600m, 800m$) の結果を比較すると、相関距離が 150m までの区間においては正弦波 ($L=600m$) が地盤ひずみを設計上安全側に評価することがわかる。このことから当該地盤では Rayleigh 波型の波動伝播を考える場合は、L2 地震に対して正弦波 ($L=600m$) を応答変位法に用いることが望ましいことがわかる。同様の Love 波特性を用いた計算結果では、L2 地震に対して波長を 400m とすることが望ましいことが計算された。L1 地震についても同様の計算結果となった。

4. 地盤の不均一性から生じる地盤ひずみ 層厚などが不均質な地盤では、入力される地震波が同じであっても、位置によって異なる応答を示すため相対差が生じる。このような、ローカルな地盤の不均一性によって生じる地盤ひずみを検討するため、図5に示す淀川左岸線の地盤モデルに地震波を入射した場合に生じる地表面のひずみを3次元FEM地震応答解析により求めた。淀川左岸線のほぼ直線区間を、平面状に 10m 間隔に区切り、奥行き方向に 10m の1要素を有する3次元モデル化した。図6に面内方向の検討結果を示す。ここでは、モデル端部からの距離(相関距離)、面内方向に生じる最大応答変位の平均値および地盤ひずみ、前節の Rayleigh 波型の伝播特性を考慮した地表面波動シミュレーションにおける代表値との関係を示す。面内方向の変位およびひずみは、平均値および平均値 + 1 × 標準偏差の形で図化している。L2 地震では Rayleigh 波型を仮定した場合正弦波 ($L=600m$) を設定すれば地盤ひずみを安全側に評価することがわかる。同様の検討結果、L2、L1 地震で Rayleigh 波型の波動を仮定する場合は正弦波 ($L=600m$)、Love 波型の波動を仮定する場合は正弦波 ($L=400m$) を設定すれば安全側の評価がなされることが判明した。ちなみに、淀川左岸線の地盤条件では、共同溝設計指針の場合正弦波 ($L=300m$)、ガス導管設計指針の場合正弦波 ($L=1490m$) と算定される。

6. 構造目地間隔 上述した方法で計算された地震波を用いて、軸方向鉄筋が主鉄筋量の 1/6 の条件で、かつ継手等が最も経済的になる構造目地間隔を検討した結果を図7に示す。図7は、L1 地震には施工目地/構造目地の目開き量、L2 地震には函体の損傷に限界状態を設定して算出された経済性比較検討結果である。これより構造継手間隔を 80m にすることにより経済的であることが計算された。

7. おわりに 今後さらに建設地点の地域性を考慮した地震波を設定し、より地域性を考慮した入力地震動の検討を行う予定である。

参考文献 1)高田ら：ライフライン系解析のため相対地震動、土論 No.299、1980.7、2)土木学会関西支部：シールドトンネルの合理的耐震設計ガイドライン(案)、平成11年3月、3)Haskell et al: The dispersion of surface waves on multilayered medium, Bulletin of the seismological society of America, Vol43, 1953、4)日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する参考資料、平成9年3月、5)阪神高速道路公団：開削トンネル耐震設計指針(案)、平成11年12月

図7 構造目地間隔と建設コスト関係
(構造継手間隔 20m の場合で基準化)