

立坑周辺の地震時地盤挙動分析

九州大学大学院工学府 学生会員 ○吉村 茂
 九州大学大学院工学研究院 フェロー 大塚 久哲
 (株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橘 義規

1. はじめに

一般に、トンネル縦断方向の耐震設計において考慮する地盤変位は、立坑の影響を考慮せずに地盤のみのモデルで算定している。しかし、地盤が軟弱な場合や立坑規模が大きい場合、あるいは立坑底面が良好な地盤や基礎に支持されているような場合は、立坑を考慮した場合としない場合で算出される地盤変位に大きな差が生じることが予想される。

本研究では、立坑周辺地盤の地震時挙動を明らかにする目的で3次元FEM解析を行った。

2. 解析モデル及び解析条件

対象とした立坑のタイプは、図-1に示すような沈埋トンネル立坑を想定したモデル、及び図-2に示すようなシールドトンネル立坑を想定したモデルである。

沈埋トンネルの解析ケースは表-1に示すように、立坑を含む場合と含まない場合、さらに立坑が杭基礎で支持されている場合とされていない場合を地盤定数もパラメータにして比較する。

シールドトンネルの解析ケースは表-2に示すように、立坑底面地盤が軟弱な場合と硬質な場合を地盤定数もパラメータにして比較する。また、立坑規模についても大規模な場合と中小規模の2通りを考える。

解析に用いたFEMモデルは、地盤、及び立坑はソリッド要素で、杭基礎は梁要素で作成した。入力地震動は道路橋示方書V編¹⁾、I種地盤タイプIIの標準波形を用い、トンネル軸方向に加振した。数値解析法はNewmarkの β 法($\beta=1/4$)による直接積分法により行い、線形解析とした。

3. 解析結果

トンネル縦断方向の耐震設計では、トンネル軸線に沿った地盤ひずみが問題となる。そこで、図-3～図-5にトンネル敷設位置における地盤の軸ひずみの分布を示す。同図の横軸は立坑接合部からの水平距離である。

(1) 沈埋トンネル立坑

自由地盤と杭の無い立坑の場合には、地盤の軸方向ひずみはほぼ等しく、斜面先端で最大値をとる。一方、立坑が杭に支持されている場合は、他の2ケースとは分布傾向が異なっており、立坑近傍の地盤ひずみは杭が無い場合の概ね3～4倍となり、立坑から離れると逆に杭が無い場合の1/2～1/4程度となっている。この差は表層地盤が軟質であるほど大きい。このように、自由地盤や杭が無い場合に比べて、杭がある場合は杭によ

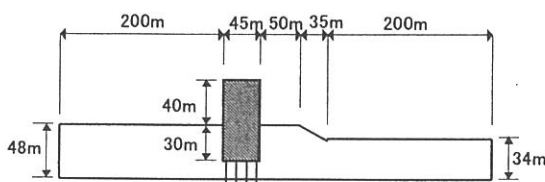
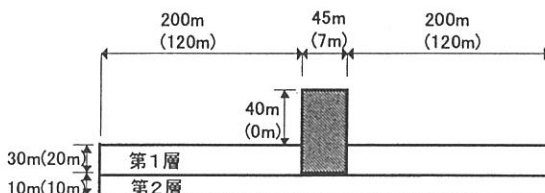


図-1 沈埋トンネル立坑モデル



注) 括弧内は中小規模立坑ケースの数値を示す

図-2 シールドトンネル立坑モデル

表-1 沈埋トンネル解析ケース

立坑ケース	立坑無し (地盤のみ)	立坑有り 杭有り	立坑有り 杭無し
地盤定数	$\gamma t=1.7\text{tf/m}^3$ $V_s=50\text{m/s}$	$\gamma t=1.8\text{tf/m}^3$ $V_s=100\text{m/s}$	$\gamma t=1.9\text{tf/m}^3$ $V_s=150\text{m/s}$

表-2 シールドトンネル解析ケース

第1層	$\gamma t=1.7\text{tf/m}^3$ $V_s=50\text{m/s}$	$\gamma t=1.8\text{tf/m}^3$ $V_s=100\text{m/s}$	$\gamma t=1.9\text{tf/m}^3$ $V_s=150\text{m/s}$
第2層	第1層と同じ $\gamma t=2.0\text{tf/m}^3$, $V_s=200\text{m/s}$		

り立坑の水平変位が大きく拘束されることが分かる。

(2) シールドトンネル立坑

表層地盤の物性値が同じであっても、硬質層に支持されている方が立坑は変位しにくい、立坑近傍の地盤ひずみは大きくなる。また、立坑の規模が大きいた方が支持層の違いの影響が立坑から遠方まで及ぶ傾向にある。なお、本検討モデルのような水平成層地盤において、図-4～図-5に示すようなひずみが発生するのは、立坑と地盤の地震時挙動が異なることに起因している。よって同図では、立坑の影響を受けていない地盤ひずみと比較するため、高圧ガス導管耐震設計指針²⁾（以下、ガス指針）の規定に基づき、通常のトンネル設計で考慮される地盤ひずみを算定し、動的解析の結果と比較している。その結果、表層地盤のせん断波速度が50m/sで、硬質層に支持されている場合は、解析結果がガス指針の値を大きく超える結果となった。従って、地盤が軟弱で立坑が比較的良好な地盤に床付けされる場合は立坑近傍のトンネルの耐震性に注意する必要がある。

4. まとめ

地震時に立坑が周辺地盤の挙動に及ぼす影響について、動的解析により検討を行ったところ、次のような見を得た。即ち、軟弱地盤中で立坑が杭基礎により支持されている場合や、良好な地盤に床付けされている場合のように、構造系と周辺地盤の剛性差が大きく、水平変位に対する抵抗が大きい場合は、構造物の影響を考慮した地盤変位算定法を用いることが必要である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，1996.12
- 2) 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針，2000.3

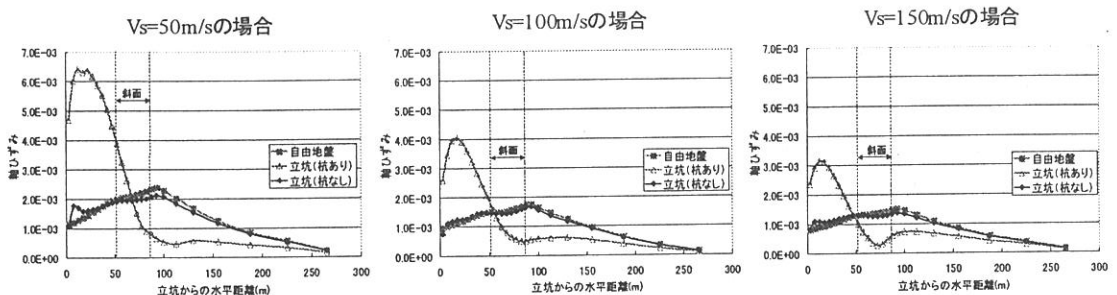


図-3 沈埋トンネル立坑周辺地盤の最大ひずみ分布

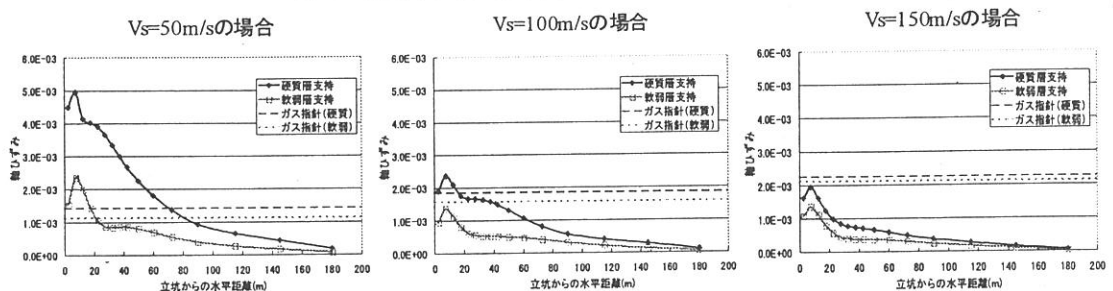


図-4 シールドトンネル立坑（大規模）周辺地盤の最大ひずみ分布

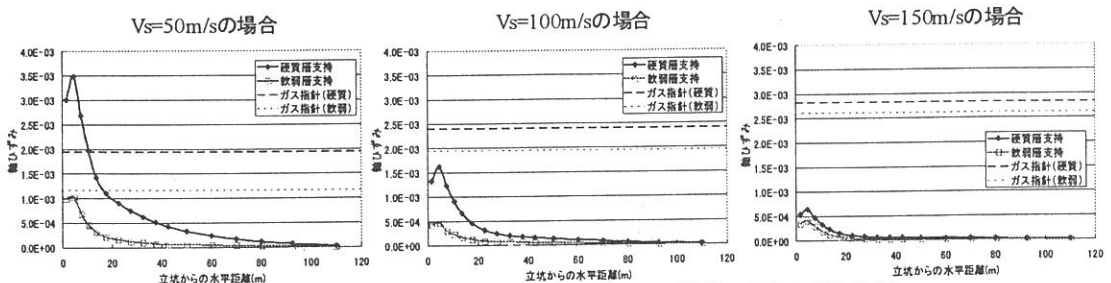


図-5 シールドトンネル立坑（小規模）周辺地盤の最大ひずみ分布