

換気塔基部の耐震設計

株式会社エンケルカンパニー 正員○井上 陽介・橘 義規
 首都高速道路公団 正員 角田 浩・川田 成彦・國井 一史

1. はじめに

首都高速道路中央環状新宿線のトンネル部には、1～1.5kmの間隔で地下に換気所を設ける計画である。換気塔基部のトンネルは換気のための開口を有する上に、管理や設備スペースの制約から、壁や柱の配置が不規則なため、一般部のトンネル断面に比べ複雑な構造になっている。また、換気塔基部のトンネルは、地震時の地盤変位に加えて、換気塔に作用する慣性力の作用を受ける。本検討では、換気塔基部の設計モデル・設計方法の検討を行うために、詳細な立体シェルモデルによる解析と平面フレームモデルによる解析の比較を行うとともに、地盤変位と換気塔荷重の組み合わせ方法についても検討を行った。

2. 解析モデルの検討

通常のトンネル横断方向の設計では、解析は平面フレームモデルを用いる¹⁾。平面フレームモデルを用いた解析では、奥行き方向の構造は同一で、その単位幅を取り出すことが前提となるため、本換気所のように、開口部を有し、奥行き方向に構造が変化し（壁と柱）、かつ、換気塔から集中荷重を受けるような場合は、モデル化の手法を検討する必要がある。

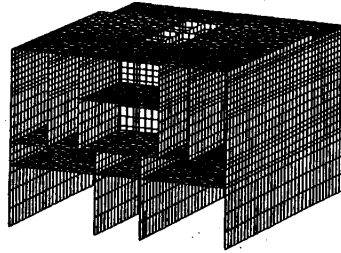


図-1 立体シェルモデル

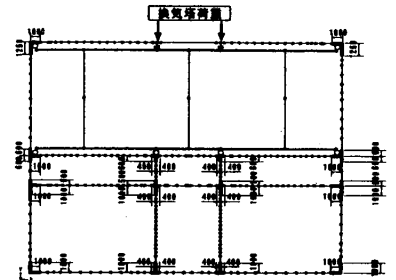


図-2 平面フレームモデル

そこで、図-1に示す立体シェルモデルと図-2に示す平面フレームモデルに対し、応答変位法による解析を実施し、その結果を比較することで、平面フレーム解析のモデル化について検討した。

(1) 解析モデルの作成

① 立体シェルモデル

床版、縦断および横断方向壁は全てシェル要素でモデル化した。部材剛性の非線形性については、等価剛性として考慮することとし、変形が一定値に収れんするまで繰り返し解析を行った。また、縦断方向と横断方向の配筋が異なるため、異方性要素を用いた。

② 平面フレームモデル

床版および縦断方向壁はトリリニア型の復元力特性を有する非線形梁要素²⁾でモデル化した。また、横断方向壁については、その中心線上に梁としてモデル化し、その上下端に剛梁を設けて、柱・梁の節点へピン結合した³⁾。開口部については、開口部の床版端部を仮想ばりとして考え（仮想ばりの有効幅は図-3参照）、柱や壁を固定端として、トンネル軸方向に上床版がたわむと考慮して（図-4参照）、その変形特性をばねでモデル化した。

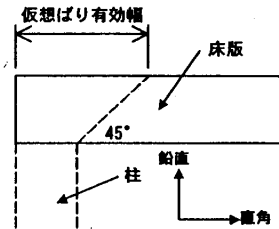


図-3 仮想ばりの有効幅

③ 周辺地盤のモデル化

周辺地盤は、地盤反力の上限值を考慮した非線形ばねによりモデル化した。地盤反力の上限值は水平方向に対しては、常時受動土圧を超えず、かつ引張りは生じないものとした。せん断方向に対しては、周面摩擦強度を超えないものとした。

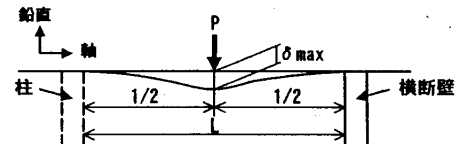


図-4 仮想ばりのモデル

(2) 地震時荷重の設定

地震の影響として、地盤変位、周面せん断力と本体および換気塔慣性力を考慮した。この内、換気塔慣性力以外は、地盤の地震応答解析により求めたトンネル頂底版間の層間変位が最大となる時刻における地盤の応答値より算出した。地盤の地震応答解析に用いる入力地震波は、図-5に示すレベル2タイプII地震動を用いた。

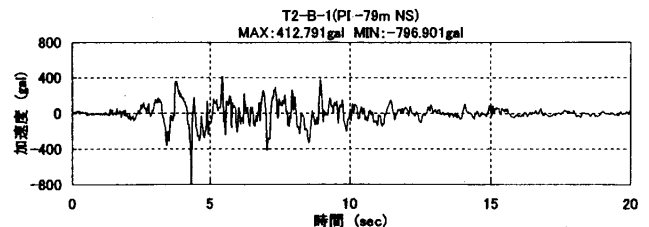


図-5 入力地震動（PI-NS調整波）

キーワード：耐震設計法、開削トンネル、地中構造物、立体シェル解析、応答変位法

〒213-0011 川崎市高津区久本 3-5-7 ニッセイ新溝の口ビル TEL:044-812-8815 FAX:044-812-8825

(3) 立体シェル解析と平面フレーム解析の比較

換気塔荷重の影響を最も受ける上床版について、平面フレームと立体シェルの応答比較を行った結果を図-7に示す。ここで、平面フレームモデルについては図-6に示す近接部材（横断方向壁）の考慮の有無で2ケースについて示した。図-7に示すように、近接部材を考慮することで、平面フレームモデルによる解析結果は、立体シェルによる結果に近づく傾向となっている。よって、奥行き方向に構造が変化する構造物を平面フレームモデルで解析する際には、検討断面の応答に影響を与えと考えられる壁等の近接部材の影響も考慮した適切なモデル化を行うことが必要である。

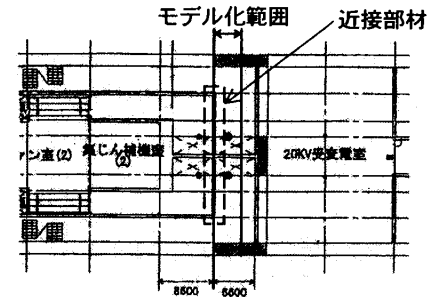


図-6 平面モデルのモデル化範囲

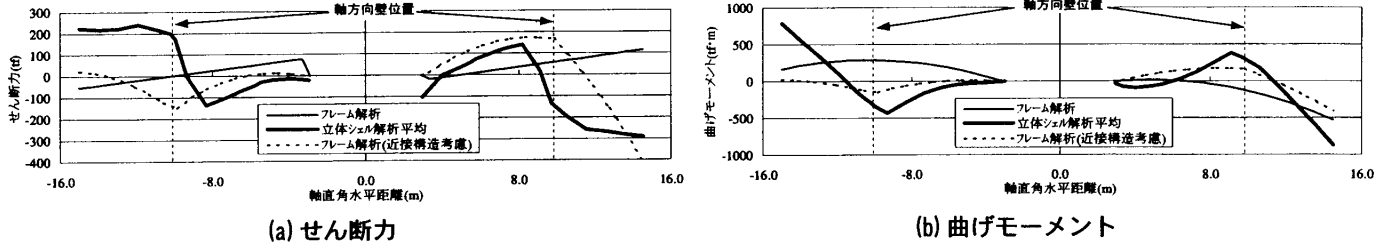


図-7 平面フレームと立体シェルの上床版応答比較

3. 換気塔荷重の組合せに関する検討

換気塔基部のトンネルには、地盤変位による荷重に加えて、換気塔に作用する慣性力の作用を受ける。以上までの解析では、換気塔の慣性力と地盤変位は同方向に作用させ、かつ、最大値を考慮した。しかし、地盤変位は表層地盤の応答に伴い発生し、換気塔慣性力は換気塔自身の動的応答の結果として生じるため、最大値の発生する時刻や作用する方向が必ずしも一致しないと考えられる。そこで、換気塔の地震応答解析を多質点系モデルで実施し、地盤変位と換気塔慣性力の実際の位相差を確認した。図-9に地盤変位と換気塔基部のせん断力の時刻歴波形を示す。地盤変位が大きくなる時刻における換気塔基部のせん断力の大きさと作用方向に着目すると、地盤変位が最大となる時刻のせん断力は最大値の2割以下となった。しかし、せん断力と地盤変位の位相のずれは微妙であり、少し周期がずれると最大値同士が重なるケースや逆位相になるケースもあると考えられる。

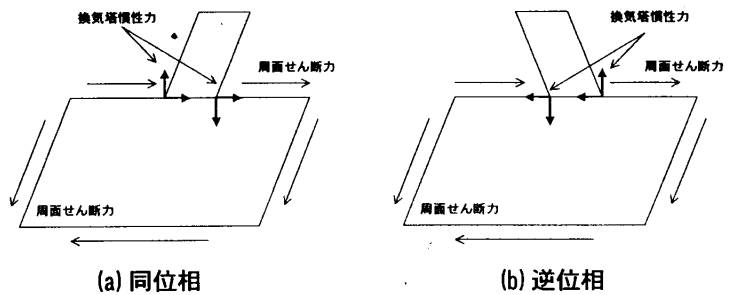


図-8 換気塔とトンネルの位相差の概念

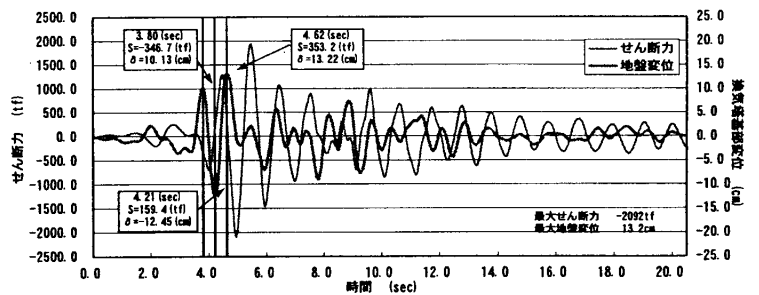


図-9 地盤変位と換気塔基部せん断力の時刻歴応答の比較

4. おわりに

本稿では、換気塔基部のトンネルを対象に耐震検討を行い、設計モデル・設計方法の検討を行った結果を報告した。換気塔基部の構造は複雑なため、立体シェルなどの3次元モデルを使用する方がより力学的な挙動は表現しやすいが、モデル化が煩雑で計算量も多くなるため、必ずしも設計にはなじまない。このため、設計では平面フレームモデルによる解析が中心となるが、その場合は検討断面に近接する壁や柱などの影響を考慮することが必要である。

また、換気塔からの荷重の影響に関しては、地盤変位と換気塔基部のせん断力の位相特性に規則性は見られなかった。このため、地盤変位と換気塔荷重の組み合わせとして、同位相と逆位相の両方について検討することが必要である。

【参考文献】

- 1) トンネル設計基準（案）開削工法 耐震設計編 平成10年7月 首都高速道路公団
- 2) 道路橋示方書V耐震設計編 平成8年12月 日本道路協会
- 3) 駐車場設計・施工指針 平成4年11月 日本道路協会