

複雑な三次元形状をもつ地下構造物の動的応答に関する基礎検討

東北大学 学生会員 佐茂隆洋
 東北大学 正員 市村強
 東北大学 学生会員 伊丹洋人
 東北大学 正員 池田清宏

鹿島建設技術研究所 正員 山田岳峰
 鹿島建設技術研究所 正員 大保直人
 鹿島建設技術研究所 正員 沖見芳秀
 東京大学地震研究所 正員 堀宗朗

1. はじめに

近年、我が国では大都市圏を中心に地下利用の積極化が進んでおり、今後さらに輻輳化が進む地下に大規模で複雑な地下構造物を建設することが予想される。しかし、過去に施工例が少なく、地震時挙動も解明されていない構造物が多く、これらの構造物の地震時の挙動を解明することは、その耐震設計において重要である。地下構造物の耐震設計に広く用いられている応答変位法では、複雑な地盤構造や入力地震動の位相差、自身や周囲の構造系の影響等による応力変化を考慮することは難しい。

そこで本研究では、入力地震動の空間的な位相差の効果や、複雑な構造の動的挙動を必要十分な精度で見積もるため、構造物及び周辺地盤を CAD データより直接三次元的にモデル化し構造物の地震時応答を評価するためのプラットフォーム・シミュレータを開発した。さらに、これを用いて、実際に施工された構造物及び施工が検討されている複雑地下構造の動的応答解析を行い、構造物の形状、入力地震動の性質、位相差、地盤構造等が構造物に発生する応力分布に及ぼす影響について検討を行った。

2. 解析手法

図-1 のように半無限地盤から解析領域を取り出し、三次元有限要素法を用いて地盤・構造物連成数値解析モデルを作成する。対象構造物を四面体要素で分割し、その周辺領域をボクセル要素で分割した。時間積分には、中心差分法とニューマークの β 法の何れかを選択して適用することができる。境界条件として半無限・吸収境界を適用している。

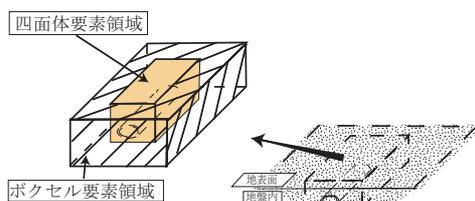


図-1 有限要素解析モデル

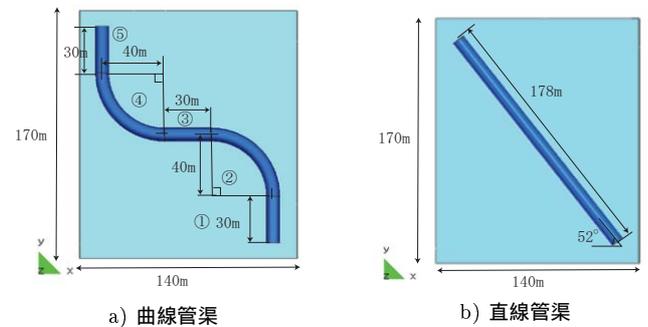


図-2 解析対象平面図

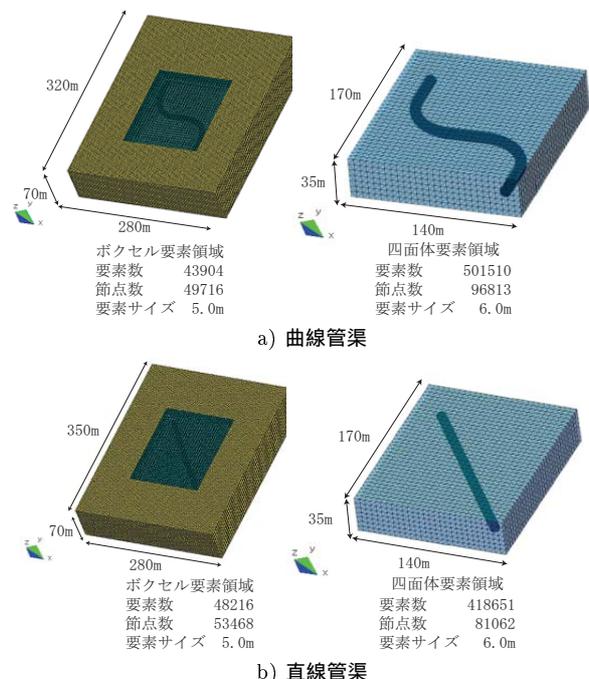


図-3 数値解析モデル

3. 直線・曲線管渠モデルの動的応答解析

図-2 に示すような、実際に施工された曲線型・直線型地下管渠構造物を例にして、構造物の形状、入力地震動の性質や位相差が応力分布に及ぼす影響について検討を行った。管渠はコンクリートからなり、外径 8.8(m)、外壁厚さ 0.4(m)、土被りは 15.5(m) で一定とし、地盤の物性は均質であると仮定した。この構造物の 3 次元 CAD データより図-3 に示す 3 次元数値解析モデルを生成し動的応答解析を行った。入力波には、中心周波数 1[Hz]、中心時間 1[sec] の Richer wavelet 波を解析モデル下端より平面波として速度で

入力した。また、入力地震動の位相差による影響を検討するため、波の入力面を x 軸周りに -5° 傾け、入力波の位相差を考慮した数値解析も行った。

各ケースの最大 von Mises 応力の分布を図-4, 5 に示す。可視化レジェンドは比較のために全ケース中の最大応力値を 1.0 とした。

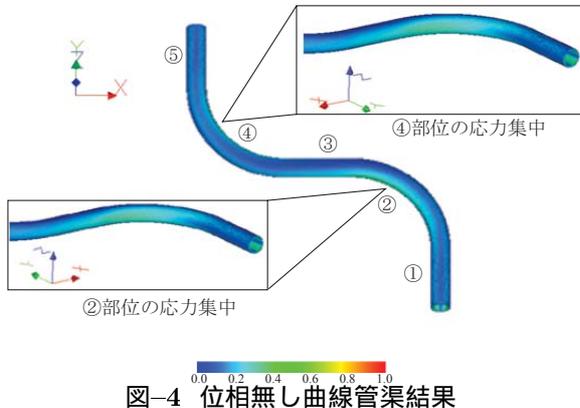


図-4 位相無し曲線管渠結果

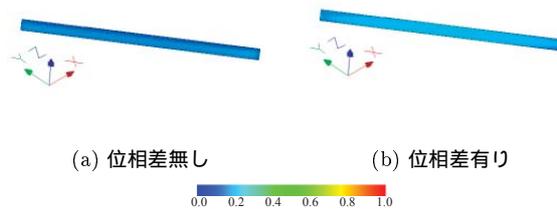


図-5 直線管渠結果

三次元的構造の影響による応力分布の違いについて検討するため、図-4 と図-5(a) を比較してみる。直線管渠では見られない応力集中が曲線管渠では曲線部②, ④部位に発生している。②部位は、地盤から x 方向の荷重の影響を受け易い①部位とそれを受け難い③部位とに挟まれており、④部位においても同様に⑤部位と③部位に挟まれていることから、この二つの部位は隣接する部位の変動の差を受けて、応力が集中したものと考えられる。

次に、入力波の位相差が構造物に与える影響を検討するため、図-5(a) と図-5(b) を比較してみる。その応力最大値は、位相差有りの方(図-5(b)) が大きくなっていることが分かる。位相差の無い場合には、単純構造物は xy 断面において均等に地盤からの力を受けるため局所的な変形が起きにくい。位相差がある場合には波の通過に伴って局所的に変形する箇所が生じるため、周囲との相対的な変形としては大きくなり、最大応力値が位相差の無い時に比べて大きくなったものと考えられる。また、この応力集中は波の通過と共に伝播し、均等に管渠モデルを伝わるため、最大応力分布には偏りがみられなくなると考えられる。

4. 地下インターチェンジの カルバート・ランプ部の解析

現在構想中の地下インターチェンジにおける、地上との連絡部分であるカルバート部～ランプ部について動的応答解析を行った。入力波には中心周波数 1[Hz], 中心時間 1[sec] の Ricker wavelet 波を変位としてモデル下端より x 方向に平面波入力する。入力地震動に位相差のある場合についても解析を行ったが、解析結果に同様の傾向が見られたため、ここでは位相差無しの結果のみを示す。解析モデル、及びその結果を図-6 に示す。なお、結果図の格子は地盤層の変化面である。この結果より、地盤の固い層と軟らかい層の境界面近傍で応力の集中が起きていることが分かる。また、構造が急変する箇所に応力が集中していること等も分かる。

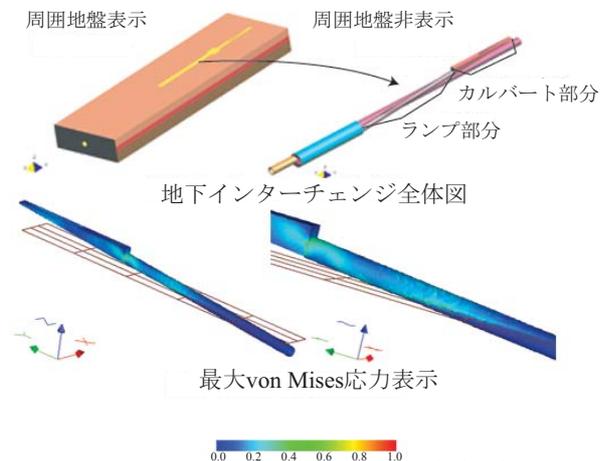


図-6 カルバート・ランプ部の解析結果

5. 結論

本研究により、地下構造物に地震波が入力される場合、その構造物の形状や形状の変化、周囲地盤層の複雑な構造、入力波の位相差によって、構造物に生じる応力分布に大きな変化が現れることを示した。今後は、実設計への適用を視野に、このような詳細な解析手法を必要十分な精度まで発展させ、複雑な構造物に対して、より合理的な設計手法の検討及び提案を行っていくことを予定している。

謝辞

鹿島建設の技術研究所副所長阿部裕氏、土木管理本部部長早川康之氏、また、カルバート・ランプ部の解析モデル設定の際データを提供いただいた アライドエンジニアリングに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川島 和彦 編著: 地下構造物の耐震設計, 第4刷, 鹿島出版会, (1997).
- 2) 大保 直人, 林 和生, 上野 健治: 大深度鉛直地下構造物の動的応答特性と地震荷重, 構造工学論文集, pp.1353-1363, Vol.38A (1992).