

I - 50

複雑地下構造系の動的応答に関する基礎検討

東北大学 学○ 佐茂 隆洋 鹿島建設技術研究所 正 大保 直人
東北大学 正 市村 強

1. はじめに

近年、我が国では大都市圏を中心に地下利用が積極的に進められつつある。地下空間は、高密度化の進む都市域における貴重な空間資源であると言うことができ、今後さらに大規模で複雑な地下構造物を輻輳化が進む地下に建設することが予想される。このような地下空間の積極的利用とともに、世界第一級の地震国である我が国に於いて地下構造物の耐震安全性の検討はますます必要不可欠なものとなっている。

現在、我が国において、線状地中構造物の耐震設計法には応答変位法が用いられることが多い。しかし、同手法は元々、周囲地盤条件に著しい変化がないことを前提としているため、地盤条件が大きく変化する場合には地震時断面力を補正しなければならないこと、あるいは近接構造物や自身の構造が複雑であった場合等、構造系による影響が予想される場合や入力地震動に位相差がある場合にはその影響による断面力の変化を正しく算出することができないことなどの問題を有している¹⁾。

これから構築されるであろう複雑地下構造物の中には、過去に例の無い地盤条件や構造条件を有しているものも少なくないと考えられ、上記のような仮定をそのまま当てはめることはことは耐震設計上危険を伴う。そこで、本研究では、都市再生プロジェクト内で進められている、数 km 範囲で構築される可能性のある地下インターチェンジ等の地下高速道路構造物や地下管渠構造を念頭に、構造物及び周囲地盤を簡便な動的解析モデルに置き換えるのではなく、上記のような三次元的な効果や複雑な構造の動的挙動をさらに正確に見積もるため、三次元構造をそのままモデル化した構造物の地震時応答を評価するための基礎検討を行い、適用例を示す。

2. 手法

本解析では、地盤-構造物連成系の三次元構造を CAD データからそのままモデル化し、動的応答を数値計算により求める。数値計算の対象は、半無限地盤中に構造物が含まれている系である。三次元的な実構造物の動的挙動を求める場合に、三次元的効果の程度を調べることを目的としているため、今回は簡単に微

小変形弾性体を仮定する。より実際の挙動を求めるためのモデル化等関しては、今後の検討課題としている。減衰として Rayleigh 減衰を考え、支配方程式は

$$d_i(c_{ijkl}d_{ljk}(x,t)) = \rho\ddot{u}_j(x,t) + \rho\alpha\dot{u}_j(x,t)$$

を用いた。ここで、 c_{ijkl} 、 d_l 、 ρ 、 α はそれぞれ、弾性テンソル、 i 方向に関する微分、密度、減衰定数、時間微分を表している。汎用性及び今後の拡張が容易な事から、空間方向の離散化には有限要素法 (FEM) を、時間積分には中心差分法を適用した。本解析では、構造物周辺域のみの有限領域を取り出し、その周囲に半無限吸収境界条件を適用する。構造物などの複雑な部位を四節点四面体要素で離散化し、その周囲の単純な構造は均一な要素で離散化を行うボクセル有限要素法 (VFEM) により離散化する。離散化された式の解法として、Element-by-Element 法による剛性行列の評価を行うことにより、計算コストの軽減を図っている。

3. 曲がりのある地中構造物の動的応答

複雑な形状の地下管渠構造物を対象として動的応答を検討する。図-1 に示す A 地点と A' 地点を結ぶために実際に施工された曲線構造をもつ地下管渠構造物と A 地点と A' 地点を直線で結んだ直線モデルの動的応答の違いについて検討する。また、入力波の位相差が動的応答に及ぼす影響についても検討を行った。

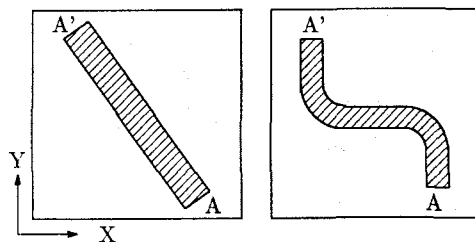


図-1 解析用モデル

解析の対象領域として、 $280 \times 320 \times 70$ (m) ($x \times y \times z$) の領域を考え、そのうち図-1 に示す $140 \times 160 \times 35$ (m) ($x \times y \times z$) については通常の FEM により、その他の部分については VFEM により離散化を行った。地盤は均質とした。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) で一定とする。物性は表-1 を用いた。数値解析に用いたモデルを図-2 に示す。離散化により、直線モデルの

FEM部は要素数418651, 節点数81062となり, 曲線モデルのFEM部は要素数501510, 節点数96813となった。VFEMは両者とも共通で要素数49504, 節点数49716となった。

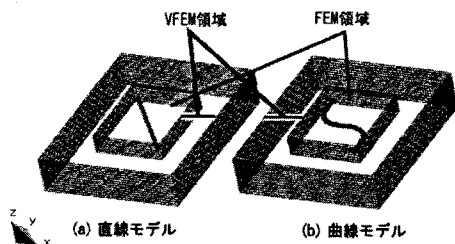


図-2 解析用モデル

物性	地盤	コンクリート
縦波速度 (m/s)	617	3373
せん断波速度 (m/s)	296	2127
単位体積重量 (kg/m ³)	1735	2500
減衰比	0.02	0.001
ヤング率 (N/m ²)	4.116×10^8	2.646×10^{10}
ポアソン比	0.35	0.17

表-1 各材料物性値

入力波として, 中心周波数1[Hz], 中心時間1[sec]のRicher wavelet波を速度波としてモデル下端よりx方向に平面波入力する。また, 波の入力面をX軸周りに-5° 擬似的に傾けることによって波の位相差を表現し, それぞれのモデルに入射した。解析時間は3秒間, 0.01秒ごとに結果を出力する。各ケースの最大von Mises応力の分布を図-3, 4に示す。可視化レンジは比較のために全ケース中の最大応力値を1.000としている。

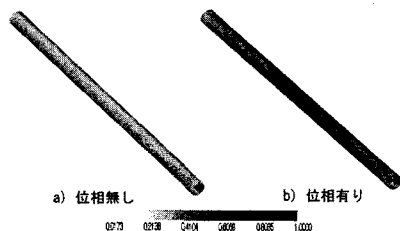


図-3 直線モデル

まず, 直線モデルについて位相差の無いものと有る物を比較検討する。図-3において, その応力最大値は位相有りの方が大きくなっている事が分かる。位相の

無い場合には構造物はxy断面において均等に地盤からの力を受けるため, 応力集中が起こりにくい。波に位相差が有る場合は波の通過に伴って構造物への応力集中が発生し, 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。

次に, 複雑な形状の及ぼす影響について検討する。

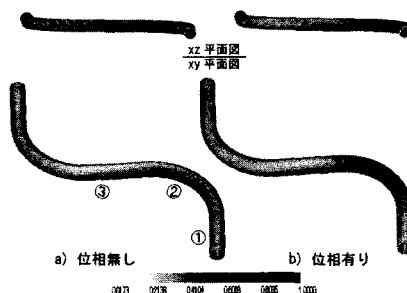


図-4 曲線モデル

まず, 図-3(a)と図-4(a)の比較から, 図-4(a)②部位に応力集中が発生している。これは, 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部位との境目に位置しているため, 両者の変動の差を受け, 応力が集中したのだと考えられる。また, 図-4(a), (b)の比較から, 応力の集中する部位はどちらも曲線部となっているが, その応力集中域の広がり異なることが分かり, 位相によって動的応答が変化し, 応力分布などが大きく影響を受けることが分かった。

4. まとめ

地下の複雑な構造物に地震波が入力される場合, その構造物の形状に起因する応力集中や, 入力波の位相差による構造物の応力値の変化が顕著に現れることが本研究より分かった。今後は, 実際の設計施工を視野に入れながら, 実即的な解析条件により, より照査な解析を行っていく予定である。

謝辞

鹿島建設技術研究所山田岳峰主席研究員, 沖見芳秀主事, 阿部裕副所長, 東京大学地震研究所堀宗朗教授, 東北大学池田清宏教授, 伊丹洋人さんに有益なご助言を頂きました。ここに記して感謝いたします。

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.