3 次元 FEM 解析による既設シールド幹線の耐震診断

コンサルタント国内事業本部 流域・都市事業部 上下水道部　中谷　浩平　他

○キーワード
3 次元 FEM モデル、動的非線形解析、耐震照査、シールド幹線、鋼製セグメント、レベル 2 地震動、耐震診断

○概要
本稿は新たに提案した耐震設計検討手法を用いて、シールド工法で施工された既設下水道幹線を対象に、耐震性能を評価したものである。検討に当たっては横浜市で昭和 38 年に施工されたシールド幹線の S 幹線（延長 2,052m、管径 φ 3,600mm、土被り約 8.0m）を対象に、3 次元 FEM モデルを用いて動的非線形解析を行った。その結果、既設シールド幹線の耐震対策を検討するうえで重要な知見が得られ、その手法に基づく耐震診断が可能となった。

○技術ポイント

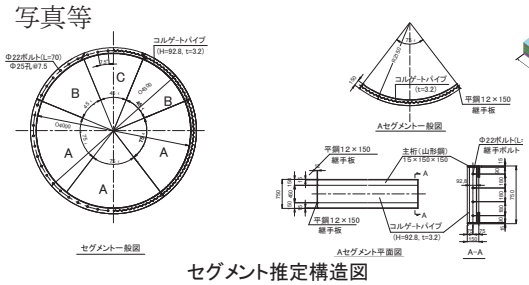
① 地盤条件、構造条件の設定
- 土質データより幹線と土質断面図を重ね合わせ、地盤急変部（モデル1）と軟弱地盤（モデル2）の2箇所を選定。
- セグメント構造は過去の論文、竣工図、第一版（昭和48年）の標準セグメント図より再現。

② 解析モデルの作成
- セグメントのモデル：解析モデルの規模を抑えるため、地震時応力度集中が発生する領域に位置するシールドトンネルを着目し、詳細にモデル化する。その他の領域のシールドトンネルを等価な縦断方向剛性を持つ円筒に置き換える。セグメント継手、リング継手はばねでモデル化し、セグメントピースは等価な板に置き換えた。
- 地盤解析の考え方：対象地震動はレベル1、レベル2とし、「道路橋示方書・同解説Ｖ耐震設計編」に示される地震波形で最も安全側になるよう設定した。地盤の動的解析はパラメータの設定が少なく簡便である等価線形化法で行った。

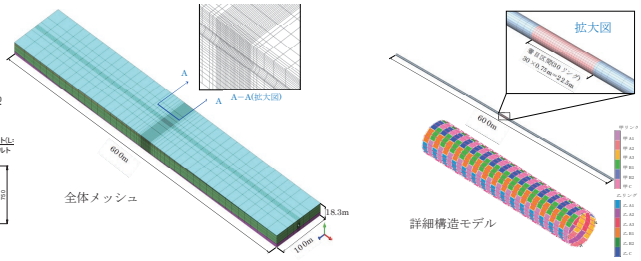
③ 3 次元 FEM 解析
解析手法は、汎用地盤解析ソフトウェアSoil Plus Dynamicを用い、固有値解析によりレーリー減衰常数を設定する。次にSHAKEによる地盤応答解析から算出した地盤の低下剛性値を用い、3次元FEM動的解析を行った。

④ 耐震照査
レベル2地震動のモデル1において、縦断方向の継手部と横断方向の本体部で耐震性能が確保できなかった。地盤急変部において発生応力が大きく地盤特性に起因した地震の影響が大きいことがわかった。また、従来手法の応答変位法との比較では、既往の研究成果で示されているように、今回の解析結果は応答変位法よりも小さい値となった。この解析結果を利用することで実際に対策が可能な範囲を絞り込むことが期待できる。

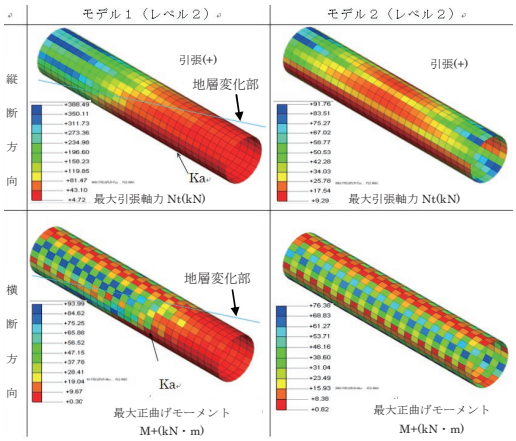
○図　表　写真等



セグメント推定構造図



FEM 構造解析モデル



動的解析結果（最大断面力）

照射結果一覧表（L2）

	部材	照査項目	モデル 1	モデル 2
縦断方向	セグメント本体	圧縮軸力	0.287<1.0 / OK	0.071<1.0 / OK
		引張軸力	0.295<1.0 / OK	0.070<1.0 / OK
	リング継手部	ボルト引張軸力	0.708<1.0 / OK	0.226<1.0 / OK
		ボルトせん断力	1.506>1.0 / NG	0.812<1.0 / OK
		継手板引張り力	1.558>1.0 / NG	0.498<1.0 / OK
		継手板引せん断	0.141<1.0 / OK	0.045<1.0 / OK
横断方向	セグメント本体	最大曲げモーメント	1.270>1.0 / NG	0.960<1.0 / OK
		最大せん断力	0.380<1.0 / OK	0.290<1.0 / OK
	セグメント継手部	最大曲げモーメント	0.090<1.0 / OK	0.100<1.0 / OK
		最大せん断力	0.980<1.0 / OK	0.720<1.0 / OK
		目開き量(mm)	1.66<5.0 / OK	1.71<5.0 / OK