基盤内に根入れした大深度立坑の耐震設計における地盤応答解析領域に関する数値解析的研究

早稲田大学　学生会員　○石井 貴大
熊谷組　正会員　山口 哲司
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　松本 拓未
早稲田大学　正会員　岩波 基

1.はじめに

一般的に地下構造物の耐震設計を行う際には，道路橋示方書や鉄道構造物等設計標準に基づき耐震設計上の基盤面を設定し，地震波を入力することで解析を行う．しかし，大深度立坑は耐震設計上の基盤面よりもその底面が深くなっており，耐震設計上の基盤面に地震波を入力して解析することは妥当ではない．また，このような場合に地盤応答解析領域どこまで拡げるべきかに関する規定は無いため，明確な根拠のないまま地震波を入力する基盤面（以後，解析基盤面）を設定しているのが現状である．そこで，本報告では立坑底面から様々な深さに仮の解析基盤面を設定し，地震波の引き戻し解析と三次元 FEM モデルによる動的解析を行うことで基盤深さごとの比較を行って断面力への影響が一定に収束する深さを把握する．

2.検討対象

本報告で対象とする地盤は埼玉県東部（以後，地点 A）および東京都南東部（以後，地点 B）とし，検討する立坑の深さはそれぞれ 70m および 90m とする．地盤の土質構成と物性値を表-1 および表-2 に示す．

表-1　地盤の土質構成と物性値（地点 A）

地層	土質	層下端深度 H(m)	単位体積重量 γ (kN/m³)	N 値
沖積層	粘性土	3.25	14	0
	砂質土	5.50	18	9
洪積層	砂質土	12.60	19	15
	粘性土	16.70	17	21
	砂質土	18.80	17	50
	粘性土	21.30	17	36
	砂質土	29.40	19	50 以上
	粘性土	36.00	18	50 以上
	砂質土	49.10	19	50 以上
	粘性土	52.40	18	30
	砂質土	60.00	19	50
	礫質土	64.70	20	50 以上
	砂質土	75.60	19	50 以上
	粘性土	79.85	17	34
	砂質土	88.75	19	41
	粘性土	95.40	18	45
	粘性土	103.15	18	37
	礫質土	107.50	20	50 以上
	砂質土	110.30	19	50 以上
	粘性土	119.70	17	42
	砂質土	122.00	19	50 以上

表-2　地盤の土質構成と物性値（地点 B）

地層	土質	層下端深度 H(m)	単位体積重量 γ(kN/m³)	N 値
沖積層	ローム	6.97	16	2
洪積層	ローム	8.82	14	4
	細砂	11.17	17	9
	砂礫	15.42	20	69
	固結シルト	34.67	19	89
	細砂	37.87	20	113
	固結シルト	62.67	19	89
	細砂	72.17	19	150
	固結シルト・細砂互層	86.07	19	126
	細砂	92.92	19	116
	砂質固結シルト	96.62	19	106
	細砂	100.47	20	150
	固結シルト・細砂互層	112.87	19	95
	固結シルト・細砂互層	116.87	20	188
	固結シルト	140.67	19	83

3.解析概要

本報告では，地震波の引き戻し解析を行い，得られた基盤波を用いて三次元 FEM 動的解析を行う．

地震波の引き戻し解析では，表-1 および表-2 の物性値を用いて，立坑底面からの深さが 10m 刻みで 10～100m の一次元地盤モデルを作成し，各深さでの基盤波を抽出する．

三次元 FEM 動的解析では，地震波の引き戻し解析で得られた基盤波を立坑と地盤の連成モデルの下端に入力し，逐次非線形解析を行うことで立坑の断面力を算出する．ここで，立坑をシェル要素，地盤をソリッド要素でモデル化し，地盤の非線形性を修正 GHE モデルで表現する．

検討に用いた地震波は EL CENTRO 波，八戸波および神戸波であり，いずれも地表面観測波である．これらの地震波形をそれぞれ図-1，図-2 および図-3 に示す．

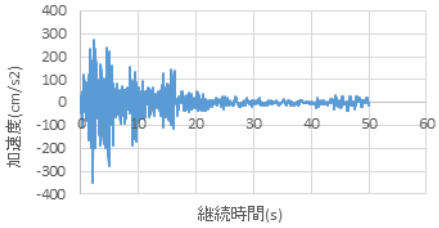

図-1　EL CENTRO 波

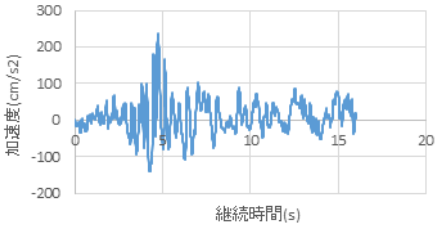

図-2　八戸波

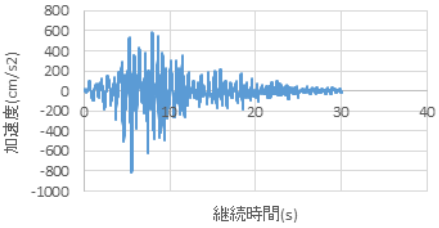

図-3　神戸波

© Japan Society of Civil Engineers

4.解析結果

三次元 FEM 動的解析によって得られた立坑の曲げモーメントとせん断力について，解析基盤深さごとに比較を行う．なお，3 波で解析を行ったが，代表して神戸波の結果を示す．図-4，図-6 に発生断面力を，図-5，図-7 に d/D（d:解析基盤深さ，D:立坑の外径）と最大発生断面力の関係を示す．

(1)地点 A

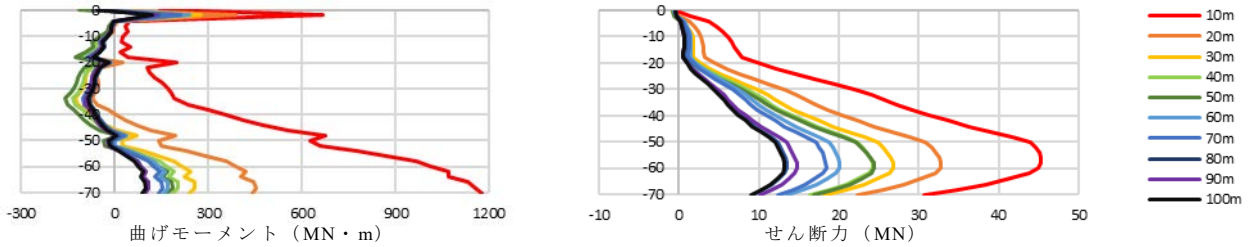

図-4　地点 A での神戸波による断面力

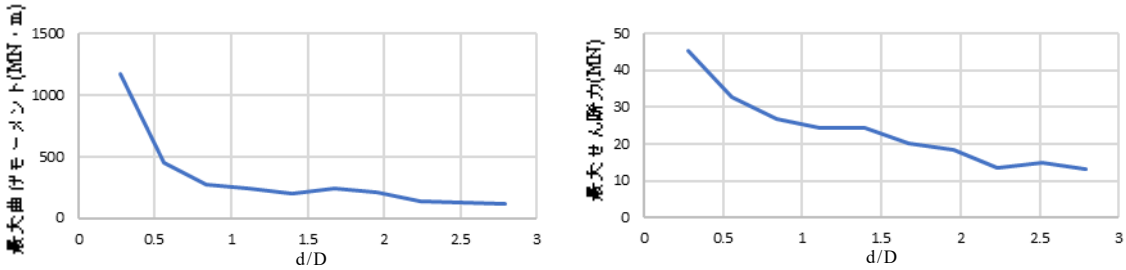

図-5　地点 A での神戸波による d/D と最大発生断面力の関係

(2)地点 B

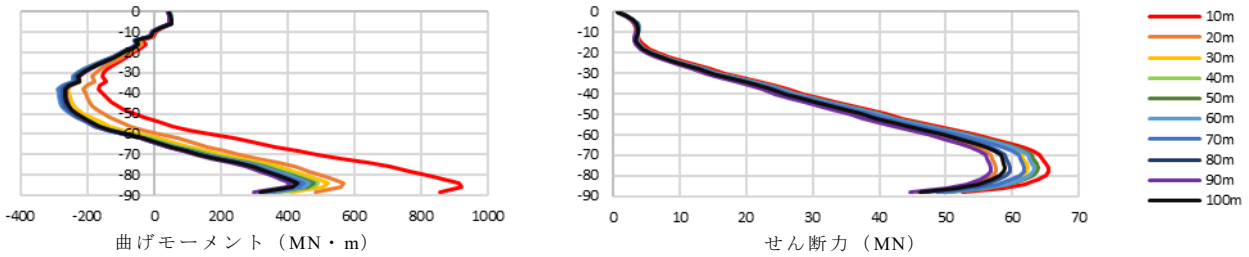

図-6　地点 B での神戸波による断面力

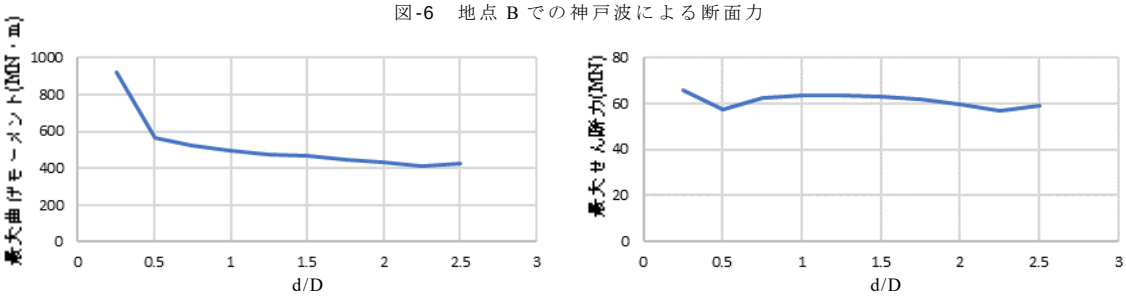

図-7　地点 A での神戸波による断面力

5.おわりに

解析結果より，立坑の発生断面力は硬質地盤中で卓越している．また，立坑の最大発生断面力は d/D の値が 2 以上で一定になる傾向が見られた．

今後は，汎用性の検討のため地震波と地盤の検討ケースを追加して解析を行う．地震波は道路橋示方書や鉄道構造物等設計標準の設計地震動においても，今回の大深度立坑や別の大深度立坑でも同様のことが解析結果となるか確認する予定である．

6.参考文献

（1）日本道路協会：道路橋示方書・同解説　耐震設計編，2017.11
（2）鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説　耐震設計，2012.9
（3）土木学会：シールド工事用立坑の設計，トンネル・ライブラリー，第 27 号，2015.1

キーワード　大深度，立坑，地盤応答解析

連絡先　〒169-8555　東京都新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 51 号館 1608 室　　ＴＥＬ 03-5286-3402

© Japan Society of Civil Engineers