

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
早稲田大学 正会員 岩波 基
熊谷組 正会員 山口 哲司

1.はじめに

一般的に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を行うことができない。また、このような場合での地盤応答解析領域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、二次元 FEM モデルによる地盤動的解析および応答変位法の構造解析を行うことで基盤深さと立坑応答の比較を行う。

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/m ³)	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/m ³)	N 値
沖積層	ローム	6.97	16	2
	ローム	8.82	14	4
洪積層	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

表 1 および表 2 のデータを用いて、立坑底面からの深さが 10～50m の一次元地盤モデルを作成し、一次元地盤応答解析プログラム「SHAKE」によって地震波の引き戻し解析を行い、基盤波を算出する。次に、作成した基盤波を二次元地盤 FEM モデルに入力することで、地盤の水平変位を算出する。そして、立坑を鉛直方向はり、地盤をばねにモデル化し、地盤の水平変位を入力する応答変位法によって立坑の断面力を算出する。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。

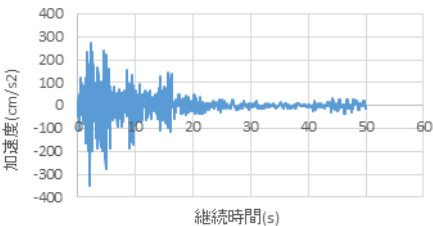


図 1 EL CENTRO 波

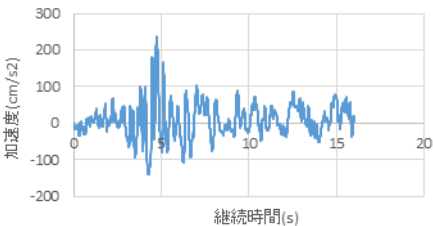


図 2 八戸波

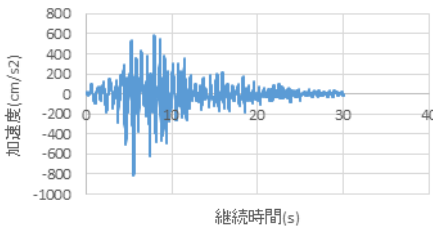


図 3 神戸波

4.解析結果

(1) 二次元地盤 FEM モデルによる動的解析

算出した地盤の水平変位を、立坑位置での立坑底面との相対変位で比較する。なお、3 波で解析を行ったが、代表して神戸波の結果を図 4 に示す。

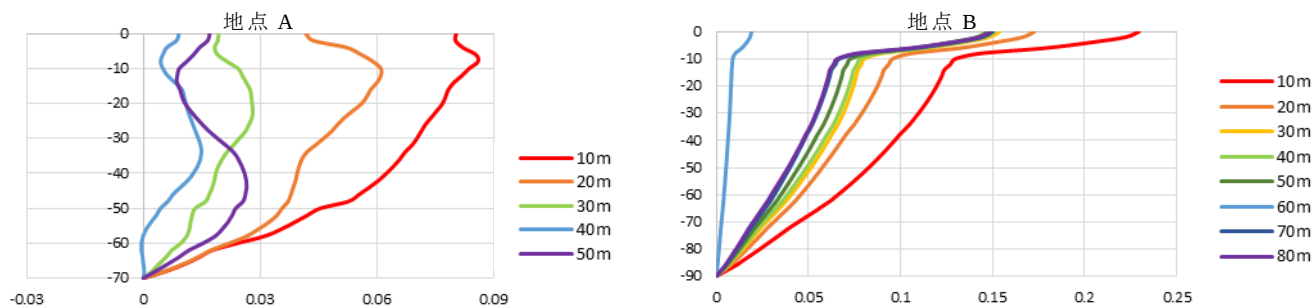


図 4 神戸波による立坑位置での立坑底面との相対変位 (縦軸: 深さ(m) 横軸: 相対変位(m))

(2) 応答変位法

応答変位法による解析結果を曲げモーメントとせん断力について、解析基盤面の深さごとに比較をする。図 5 に地点 A、図 6 に地点 B での解析結果を示す。

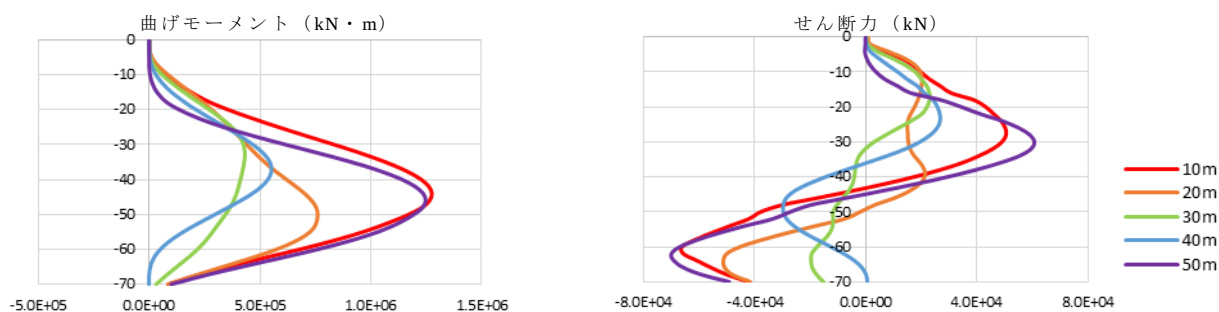


図 5 地点 A での神戸波による断面力

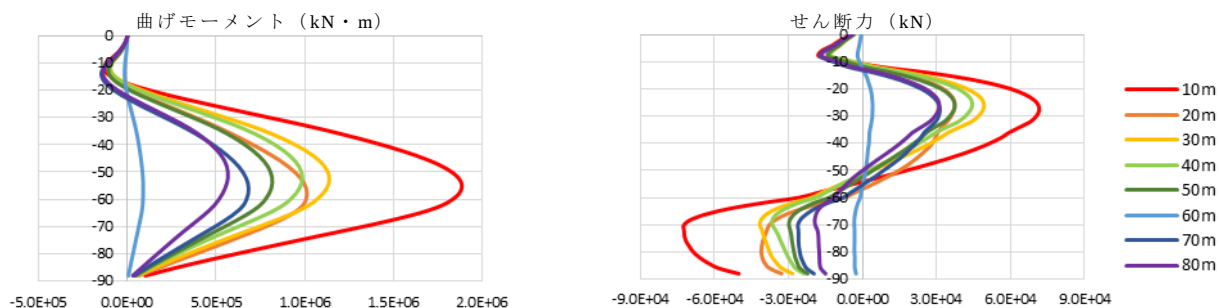


図 6 地点 B での神戸波による断面力

5.おわりに

地盤応答解析結果では、地盤の変位に関して、地点 A では地震波入力位置を深く設定するほど相対変位は小さくなったが、地点 B では地震波入力位置が立坑底面から 60m で最小となり、60m 以深の場合で再度大きくなっている。

立坑の応答変位法の結果は、地点 A での断面力は地震波入力位置ごとの規則性が見られないが、地点 B では地盤の変位と同様に地震波入力位置が立坑底面から 60m で最小となり、60m 以深の場合で再度大きくなっている。

今後は、三次元 FEM モデルの動的解析によって立坑の断面力を算定して比較を行い、適正な地震動入力深さの決定方法について検討を行う予定である。

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