

土留壁を本体利用した開削トンネルの地震時動的応答特性の検討

鹿島建設 技術研究所 正会員 河野 哲也
 鹿島建設 土木設計本部 正会員 塩崎 信久
 鹿島建設 ITソリューション部 正会員 桑原 泰之

1. はじめに

近年、開削トンネルのコスト縮減を目的として、仮設土留壁のソイルセメント柱列壁とトンネル本体の鉄筋コンクリート側壁を一体化させる構造が提案されている。一般的な矩形の開削トンネルについては地震時動的応答特性の検討が実施されており、応答変位法による耐震検討結果は非線形動的解析による結果と概ね変わらないことが報告されている¹⁾。ソイルセメント柱列壁を本体利用した開削トンネルの非線形動的応答特性については十分に検討されていないことから、本検討ではその動的応答特性の把握を目的として非線形動的解析を実施し、応答変位法による解析結果と比較検討を行った。また、土留壁の有無による動的応答特性への影響について検討した。

2. 解析対象構造物および解析条件

図-1 に示した土留壁を本体利用した開削トンネル（高さ12.8m、幅26.8m）を解析対象とする。対象構造物の周辺地盤は表-1 に示すような水平成層地盤であり、深度-48.1m に工学的基盤面を有する。工学的基盤面における入力地震動を開削トンネル耐震設計指針(案)²⁾によるL2標準加速度波形とする(図-2)。

(a) 応答変位法解析

解析に用いる常時荷重と地震時荷重については、常時荷重を躯体重量、土圧、上載荷重、揚圧力およびトンネル内死荷重とし、地震時荷重をSHAKEによる一次元地盤応答解析によって得られた最大変位分布、躯体慣性力、周面せん断力としている。

解析モデルについては、構造部材を梁要素とし、コンクリート、鉄筋及びH鋼の応力～ひずみ特性については土木学会コンクリート標準示方書設計編³⁾に従い、トリリニアでモデル化している。周辺地盤の地盤バネについては、SHAKEによる一次元地盤応答解析によって得られ

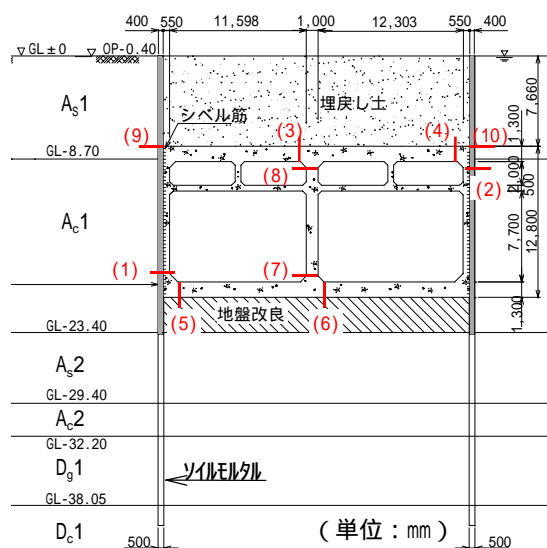


図-1 合成土留壁開削トンネル
表-1 地盤条件

標高 O.P.-m	深度 G.L.-m	構造物位置 ▽	層厚 m	土質		内部摩 擦角 度	平均 N値	単位体 積重量 kN/m ³	せん断弾 性波速度 m/sec	動的ポア ソン比
				区分	粘着力 kN/m ²					
8.80	8.70	頂版位置 (G.L.- 8.31)	8.70	As1	22	25	5	17.7	130	0.496
		底版位置 (G.L.- 19.8)	14.7	Ac1	44	0	2	15.7	110	0.495
23.50	23.40		6.00	As2	25	30	20	17.7	220	0.489
29.50	29.40		2.80	Ac2	64	0	5	15.7	150	0.494
32.30	32.20		5.85	Dg1	0	35	54	19.6	370	0.479
38.15	38.05		10.05	Dc1	88	0	7	15.7	240	0.487
48.20	48.10	基盤	5.10	Ds1			60	18.6	300	0.480
	53.20		7.30	Dg2			50	19.6	430	0.472
60.60	60.50		2.70	Dc2			11	17.7	260	0.484

*) 水中の土の単位体積重量は上表の値から1.0差し引いたものとする

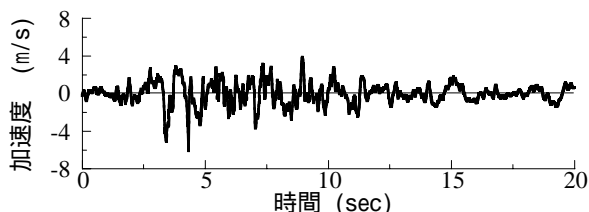


図-2 入力地震波形

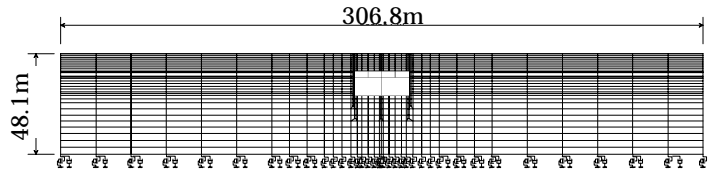


図-3 解析モデル

キーワード：開削トンネル，合成土留壁，耐震設計，非線形動的解析

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL0424-89-7076 FAX0424-89-7078

た収束せん断剛性を用いてモデル化している。

(b) 2次元非線形動的解析

解析対象をトンネル横断方向の2次元モデルとし、地盤を平面ひずみ2次元ソリッド要素、構造物を梁要素でモデル化した(図-3)。解析には非線形動的解析コード SLAP⁴⁾を用いた。梁要素については合成土留壁部の非対称履歴特性を考慮できるようにファイバーモデルを採用した。また、地盤の応力～ひずみの非線形特性については任意方向のせん断面に対して双曲線型の仮想的なバネを考慮したマルチスプリングモデル⁵⁾を採用した。底部境界にはダンパーを配置して粘性境界とし、側方境界については同深度における左右の側方境界節点を剛な水平バネ及び鉛直バネで結び、左右の側方境界部で同じ変位になるようにした。また、土留壁の有無による動的応答特性への影響を把握するためにトンネル本体より上側の土留壁がない場合についても解析を行った。

3. 解析結果および考察

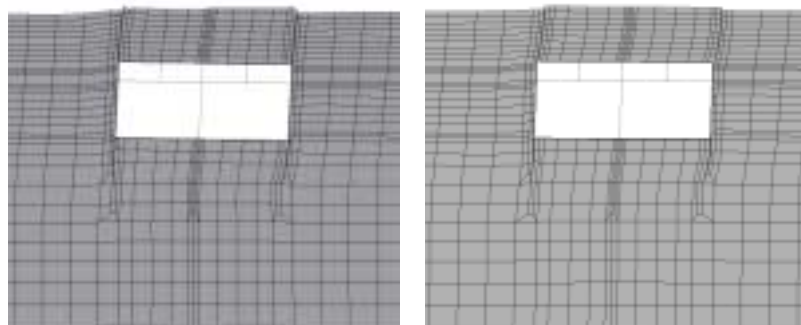
図-1 に示した主要な検討断面(1)～(10)について応答変位法及び非線形動的解析による最大応答値を表-2 に示す。断面(1)(2)の合成土留壁部においては非線形動的解析結果の方が若干小さい値となっているがほぼ同程度となった。ただし、断面(4)の頂版部や断面(7)の中壁部での最大応答曲率については、非線形動的解析結果は応答変位法による結果の1/13～1/5 とかなり小さな値となっている。これは、応答変位法においては躯体上面に作用させる周面せん断応力及び最大応答変位分布に自由地盤の地盤応答解析結果を用いていることによる影響が大きいと考えられる。

表-2 最大応答値(曲げモーメント、曲率)

	応答変位法			非線形動的解析					
				土留め壁有り			土留め壁無し		
	M (kN・m)	(1/m)	塑性率	M (kN・m)	(1/m)	塑性率	M (kN・m)	(1/m)	塑性率
(1)左側壁下	3404	1.784E-03	0.71	2941	1.631E-03	0.65	2881	1.589E-03	0.63
(2)右側壁上	2793	1.440E-03	0.58	2427	1.316E-03	0.53	2640	1.448E-03	0.58
(3)頂版中間左	3224	2.614E-02	13.31	2762	1.911E-03	0.97	2511	1.730E-03	0.88
(4)頂版右	3051	1.022E-02	5.20	2840	6.742E-03	3.43	2345	1.588E-03	0.81
(5)底版左	3834	4.184E-03	1.97	2765	1.801E-03	0.85	2706	1.731E-03	0.82
(6)底版中間右	2793	1.360E-03	0.64	2022	1.137E-03	0.54	1779	9.236E-04	0.44
(7)中壁下	2452	1.708E-02	5.59	2233	3.161E-03	1.03	2091	2.959E-03	0.97
(8)中壁上	1788	1.920E-03	0.63	1732	2.341E-03	0.77	1260	1.355E-03	0.44
(9)土留め壁左	995	3.616E-03	0.63	973	3.721E-03	0.65	-	-	-
(10)土留め壁右	1010	3.669E-03	0.64	1009	3.861E-03	0.68	-	-	-

トンネル躯体より上部の土留壁がある場合とない場合のそれぞれの頂版～底版間相対変位が最大となる時の変形形状を図-4 に示す。また、土留壁がない場合の最大応答値を表-2 に示す。

断面(4)の頂版では土留壁がある場合に比べ、土留壁がない場合は最大応答塑性率が1/4程度になっており、土留壁の有無が応答値に影響があることがわかる。



(a) 土留壁あり (b) 土留壁なし
図-4 頂版～底版間相対変位が最大時の変形形状

4. まとめ

土留壁を本体利用した開削トンネルの動的応答特性を把握するために応答変位法と非線形動的解析による応答値の比較を行った結果、側壁部ではほぼ同程度であったが、頂版部や中壁部では非線形動的解析の応答値の方が小さな値となった。また、土留壁の有無による動的応答特性の比較を行い、その影響があることを確認した。

[参考文献] 1) 西山誠治ほか：開削トンネルの各種耐震解析手法による比較解析，構造工学論文集，Vol.46A，2000年3月，2) 阪神高速道路公団：開削トンネル耐震設計指針(案)，1999年12月，3) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編，1996年，4) 沖見芳秀ほか：複合非線形フレーム解析システムの開発，技術最前線，土木学会誌，1995年1月，5) Towhata, I. and Ishihara, K., 「Modeling soil behavior under principal stress axes rotation」, Proc. 5th International Conf. on Numerical Methods in Geomechanics, Vol.1, 1985.4