

円形断面を有するシールドトンネル横断方向の地震時変形性能

戸田建設（株） 正会員 高尾聡秀
 建設省土木研究所 正会員 運上茂樹
 建設省土木研究所 正会員 大住道生

1. はじめに

円形断面を有するシールドトンネルの横断方向は耐震性能に優れているため、特殊な条件下以外では、一般に横断方向に対する地震時検討は行われていない。本文では、有限要素法を用いた応答震度法により、兵庫県南部地震相当の慣性力を表層地盤に余弦分布として与えた解析を行い、シールドトンネル横断方向に関する耐震性能の検討を行った。また、自由地盤のみの応答解析結果からシールドトンネルの耐震性を概略的に判断することを目的として、慣性力を漸増させる解析を行い、シールドトンネル横断方向の変形性能について考察した。

2. 解析対象モデル

解析の対象としたシールドトンネルを図-1に示す。形状は、RCセグメントを用いた直径 $D=10\text{m}$ のボルト継手方式とした。RCセグメントの高さ、引張り鉄筋比は、シールド工用標準セグメント¹⁾に準拠し、それぞれトンネル径の4%(40cm)、有効断面積1%とした。

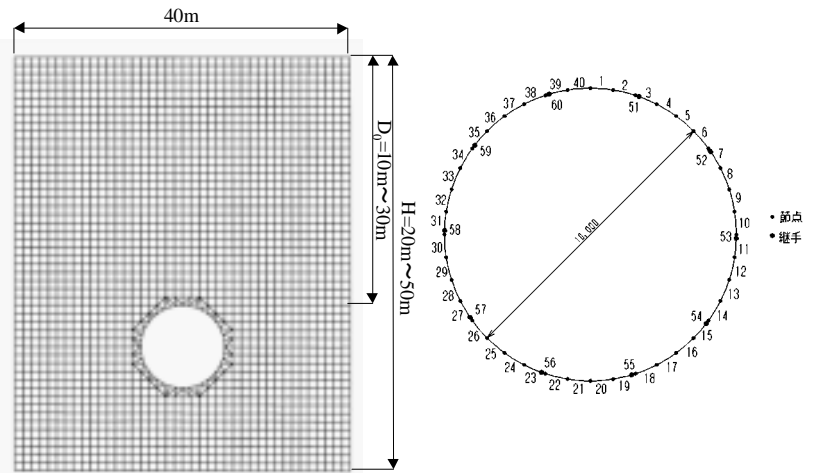


図-1 シールドトンネル解析モデル

3. 解析手法と解析条件

解析手法は、有限要素法による応答震度法を用いた。地盤は平面ひずみ要素で評価し、線形モデルとした。シールドトンネルのRCセグメントは、軸力変動を考慮したトリリニア骨格曲線で非線形性を評価した。この時、コンクリートの終局ひずみ ϵ_{cu} は 0.0035 とした²⁾。継手部は、継手金具板が引張力によって両端固定支持から両端ヒンジ支持の状態となるバイリニア型の剛ばね要素でモデル化した³⁾。また、有限要素の境界条件としては、底盤境界を固定、側方境界を水平ローラーとした。

表層地盤に作用させる慣性力は、別途、1次元動的解析を用いて地表面における最大応答加速度を求めて、工学的基盤で0となるような余弦分布と仮定した。この時用いた入力加速度波形は、兵庫県南部地震でのポートアイランドにおける工学的基盤相当で観測された加速度波形を1次元動的解析によって引き戻した入射波(2E)とした。表層地盤の地震時地盤物性値は、単純化のために地表面から工学的基盤面まで一定とし、地震時地

表-1 解析ケース

ケースNO.	単位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
トンネル径D	m	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
土被りD ₀	m	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10
D ₀ /D	—	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
表層厚H	m	50	50	50	50	50	50	50	50	20	40	20	40	20	40	20
トンネルと基盤間距離h	m	30	10	30	10	30	10	30	10	0	0	0	0	0	0	0
h/H	—	0.6	0.2	0.6	0.2	0.6	0.2	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0
地震時せん断波速度V _s	m/s	50	50	100	100	150	150	50	50	50	50	100	100	150	150	50
地震時せん断剛性G _s	kN/m ²	4500	4500	18000	18000	40500	40500	4000	4000	4500	4500	18000	18000	40500	40500	4000
単位体積重量γ _t	kN/m ³	17.65	17.65	17.65	17.65	17.65	17.65	15.69	15.69	17.65	17.65	17.65	17.65	17.65	17.65	15.69
ポアソン比ν	—	0.4	0.4	0.35	0.35	0.3	0.3	0.45	0.45	0.4	0.4	0.35	0.35	0.3	0.3	0.45
地表面加速度a ₀	cm/s ²	104.66	104.66	165.31	165.31	218.86	218.86	221.30	221.30	283.75	141.69	357.35	190.25	603.07	281.11	432.76

キーワード シールドトンネル 横断方向 応答震度法 非線形解析 変形性能

連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設（株）土木設計室 TEL 03-3535-1607 FAX 03-3564-0475

〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地 建設省土木研究所耐震研究室 TEL 0298-64-4966 FAX 0298-64-4424

盤せん断波速度 V_s を粘性土が 50m/s、砂質土が 50m/s、100m/s、150m/s の 4 ケースとした。シールドトンネルの土被り D_0 は、10m、30m の 2 ケースとした。この時の表層地盤厚 H は一律 50m とした。また、シールドトンネル底部と工学的基盤の距離 h が 0 の場合は、シールドトンネルの土被り D_0 を 10m、30m とし、表層地盤厚 H をそれぞれ 20m、40m とした。表-1 に解析ケースを示す。

4. 解析結果

4.1 兵庫県南部地震相当の慣性力を作用させた解析

RCセグメント本体の最大発生曲率を図-2 に示す。地震時地盤のせん断波速度 V_s の値が小さいケースでは、RCセグメントはひび割れ曲率を越えているが、降伏曲率（0.008 程度）に達していない。また、比較的良好な地盤では、RCセグメントはひび割れ曲率に達していない。

また、継手部の応答は弾性範囲であった。

4.2 慣性力を漸増させた解析

兵庫県南部地震相当以上の慣性力を漸増させ、RCセグメント部材が終局曲率に達するまでの損傷過程それぞれの変形性能について考察を行った。仮定した損傷事象は以下のとおりである。

損傷事象 1：RCセグメントがひび割れ曲率に達した状態。損傷事象 2：継手金具板の両端がヒンジとなる状態。損傷事象 3：継手金具板の変位が 1mm となる状態。損傷事象 4：RCセグメントが降伏曲率に達した状態。損傷事象 5：RCセグメントが終局曲率に達した状態。

それぞれの損傷事象について、各損傷事象におけるトンネル頂底点間の相対変位に対するシールドトンネル直径の比（ドリフト比）を図-3 に示す。損傷事象 4 と損傷事象 5 において、ドリフト比が算出されていないのは、軸力変動モデルにおいて、RCセグメント本体の軸力が引張り耐力を越えたためである。

解析の結果、損傷箇所は、トンネル中心から 45 度方向に生じていた。

また、若干のばらつきはあるが、それぞれの損傷事象において、シールドトンネル頂底点間の相対変位に対するトンネル直径の比（ドリフト比）は、概ね一致している事がわかった。損傷事象 1 でのドリフト比は 0.001、損傷事象 2 では 0.005、損傷事象 3 では 0.01、損傷事象 4 では 0.02、損傷事象 5 では 0.04 であった。

5. おわりに

兵庫県南部地震相当の慣性力を作用させた有限要素解析によって、円形断面を有するシールドトンネル横断方向の耐震性能の検討を行った。また、自由地盤のみの応答解析結果からシールドトンネル横断方向の耐震性を概略的に判断する簡易手法として、仮定した損傷事象とドリフト比の関係を求めた。

参考文献

1) (社)日本下水道協会：シールド工用標準セグメント,1973 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説コンクリート橋編,平成8年12月 3)建設省土木研究所：土木研究所資料第2277号,昭和60年12月,シールドトンネルの耐震性に関する研究 - (その2) 覆工の軸剛性の非線形性を考慮したシールドトンネルの動的応答解析 -

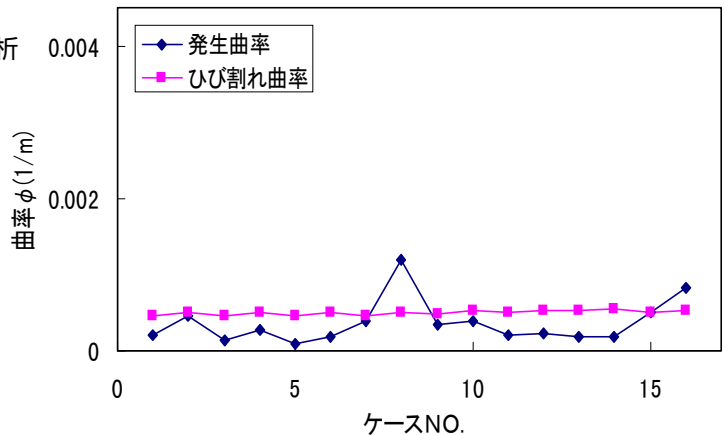


図-2 RCセグメント本体の最大発生曲率

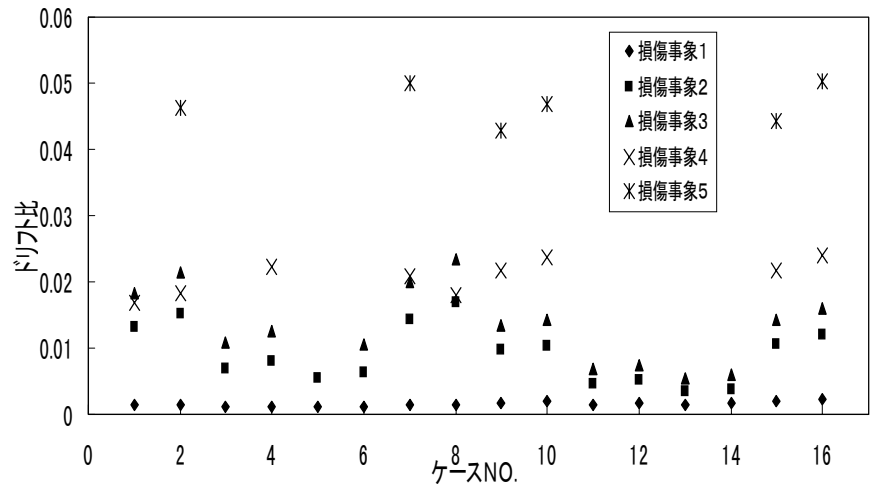


図-3 各損傷事象におけるドリフト比