

I-B 440 大阪南港トンネルの兵庫県南部地震での挙動の追跡調査

運輸省第三港湾建設局 正会員 梅山和成
 運輸省港湾技術研究所 正会員 清宮 理
 オリエンタルコンサルタンツ〇正会員 橋 義規
 運輸省第三港湾建設局 浜山 晴夫・小泉勝彦

1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、建設中の大阪南港沈埋トンネルでは、トンネルの変形を示すいくつかの痕跡が地震後の点検により確認されている¹⁾。本検討は、地震当時の施工状況（図-1参照）を踏まえた解析モデルによる地震応答解析を実施し、点検結果と比較を行い、施工中の沈埋トンネルの地震時挙動の再現を試みたものである。

2. 地震応答解析の方法

地震応答解析モデルは、沈埋トンネルの耐震検討で一般的に用いられている、バネ・質点モデルを基本とした。埋戻しが完了していない6号函の1/3の部分に関しては、地盤のばね作用は底面地盤のみを考慮し、周囲の水による付加質量効果²⁾、躯体慣性力の影響を考慮した。可撓性継手に関しても、継手部材の施工の進捗状況に応じて剛性評価を行った。また、トンネル建設地点での基盤地震動が得られていないため、神戸ポートアイランドのGL-83mで得られた加速度記録を、Joyner&Boore³⁾の震源近傍での距離減衰特性を用いて加速度振幅が40%に低減するものと仮定し、入力地震動を設定した。トンネル建設地点と断層までの実効距離は、約15kmである。鉛直地震動に関しては、距離減衰特性が不明であること、既往の解析結果から鉛直動が沈埋トンネルの挙動に及ぼす影響があまり大きくないことから、本検討では考慮しなかった。図-2にトンネル軸方向と直角方向の入力地震動を示す。

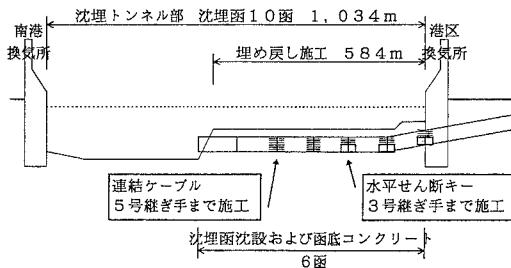


図-1 地震時の施工状況

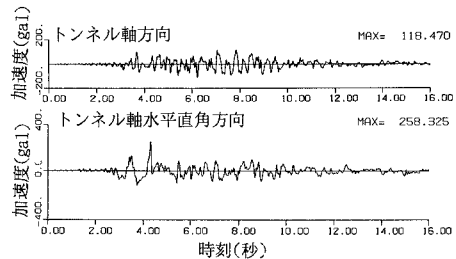


図-2 解析に用いた基盤地震波形

3. 地盤の地震応答解析

トンネルの地震応答解析に先立ち、SHAKEにより地表面の地盤加速度を算定した。図-2に示した加速度波形を合成し、最大加速度が発生する方向の成分を取り出し、これを入力とした。表-1に地表面の応答加速度を、本トンネルの周辺地域での地震観測結果と比較して示す。観測結果と比較すると、いくぶん小さな解析結果となった。

4. 点検データの整理

地震中のトンネル継手部の変形を示す痕跡として、地震直後に実施された点検により、①鉛直せん断キーのこすれ跡¹⁾、②水平せん断キーの埋殺し型枠（発泡スチロール）のつぶれ量¹⁾が測定されており、さらにその後の調査で、③継手変位計のこすれ跡（変位計の心棒が相手方の鉄板につけた跡）のデータが得られたが、ここでは①を主に採用し、継手変形量の点検結果として整理した。②に関しては発泡スチロールの弾性反発により、地震中の圧縮量よりも小さな値が計測された可能性があるため、①のデータが得られなかった箇所のみ参考として用いた。また、③に関しては、図-3に示すように、地震中の継手部のせん断ずれの様

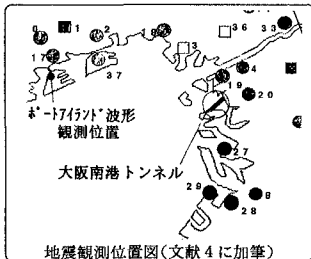
子を克明に示す痕跡ではあるが、1号継手（港区換気所と沈埋函の間）以外では、こすれ跡が途中で途切れていたり、変形が拘束されている鉛直方向にも大きくこすれ跡が残っていることから、地震以外の要因によるものと判別がつかないため採用しなかった。なお、1号継手については、こすれ跡がほぼ連続しているため、このデータも用いることとした（注：1号継手は鉛直方向の変形が拘束されていない）。以上のデータは、地震後の位置を基準に計測されているため、地震前後の測量結果等から残留移動量も求め、これで補正することで、地震中の最大変位振幅を求めた。

5. 点検結果との比較

地震応答解析による継手変形量と点検結果を比較して表-2に示す。解析結果、点検データともに、換気塔取付部の1号継手で変形が最も大きくなる傾向が見られる。トンネル軸方向の伸縮のうち、開き量に関しては、解析値と点検データは概ね近い値となっている。圧縮量に関しては、1～3号継手の解析値が点検結果よりもかなり大きくなっている。但し、地震後の位置を基準とした点検結果と比較すると、比較的近い値となっている。水平直角方向のせん断ずれに関しては、1号～3号継手では概ね解析値と点検データは近い値となっている。点検データによれば、水平せん断キーが施工済みの2、3号継手の方が、未施工の4、5号継手よりもせん断ずれが小さく、せん断キーのずれ拘束効果が現れたと思われる。一方、解析結果では、2～6号継手で同程度のせん断ずれ量となり、せん断キーの効果は明瞭に現れなかった。

表-1 地表面加速度の比較

		地表面加速度(gal)
応答解析		164
地震観測	NO. 4	NS:180 EW:212
	NO. 19	266 (最大加速計)
	NO. 20	185 (最大加速計)



地震観測位置図(文献4に加筆)

表-2 地震応答解析と点検データの比較

継手番号	軸方向伸縮量				せん断ずれ		継手の施工状況	
	開き量(mm)		圧縮量(mm)		(mm)		継手連結	水平
	解析結果	点検結果	解析結果	点検結果	解析結果	点検結果	ケーブル	せん断キー
1	18	21(14)	16	2(9)	35	13(16) (25)	施工済み	施工済み
2	16	不明	12	0(5)	1	3(1)	施工済み	施工済み
3	13	8(5)	8	2(5)	1	5(5)	施工済み	施工済み
4	7	8(7)	5	不明	1	25(15)	施工済み	未施工
5	3	7(6)	3	4(5)	1	7(7)	施工済み	未施工
6	9	不明	3	不明	2	不明	未施工	未施工

注1) 継手番号は港区側換気所取付部を1号とする。
 注2) 点検結果の()内は継手変位計のこすれ跡による値。()内の値は地震後の位置を基準にした変形量。

6. おわりに

地震応答解析結果は、水平せん断キー未施工部のせん断ずれなど、傾向を再現できない部分もあったが、その他は概ね点検データによる継手変形量と整合する結果となった。なお、地震応答解析の結果として得られた躯体断面力や継手変形量に対して、トンネル各部の応力度や止水性を確認したところ、損傷や漏水が発生するような状態には至っていなかった。最後に、本トンネルの設計・施工にあたって、ご指導・ご助言を頂いている「大阪南港トンネル技術検討委員会（委員長：長尾義三京大名誉教授）」の関係各位の方々に、紙上を借りて深謝申し上げます。

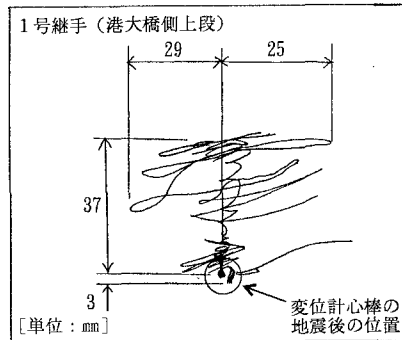


図-3 継手変位計の接触跡

参考文献：1) 小島, 松永, 洪山, 岡部, 小泉(1995):1995年兵庫県南部地震における大阪南港トンネル可とう性継手の挙動について, 土木学会第50回年次学術講演会概要集第1部
 2) 橘, 柄川, 谷, 須田(1992):露出した沈埋トンネルの地震時挙動・その3, 土木学会第47回年次学術講演会概要集第1部
 3) W. B. Joyner, D. M. Boore(1981):PEAK HORIZONTAL ACCELERATION AND VELOCITY FROM STRONG-MOTION RECORDS INCLUDING RECORDS FROM THE 1979 IMPERIAL VALLEY, CALIFORNIA, EARTHQUAKE, Bull. Seism. Soc. Am. VOL. 71 NO. 6
 4) 土木学会(1995): 阪神大震災震災調査第二次報告会資料