

本州四国連絡橋公団舞子工事事務所 正会員 青野 宏  
 本州四国連絡橋公団舞子工事事務所 正会員 石倉 健治  
 前田建設工業(株)土木設計第3部 正会員 ○関 順一  
 前田建設工業(株)舞子トンネル中北作業所 正会員 東山 基

1. はじめに

舞子トンネルは本州四国連絡道路「神戸・鳴門ルート」の内、神戸市垂水区の市街地における延長約3.3kmの双設3車線偏平大断面トンネルであり、中北工区はこの内上り線約1.2km、下り線約1.3kmを施工している。(図1)。当工区の地質は大部分が第4紀更新世大阪層群を主体とし、砂層と粘土層が多数挟在する未固結砂礫層で、これを中壁分割(CD)工法により掘削している。

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震では、震源からわずか約6.5kmの距離で震度6(烈震)を記録し、地上部では家屋の損壊や斜面の大きな沈下等の被害があったのに対して、施工中のトンネルには殆ど被害が生じなかった。しかしながら今回、坑内外の計測により地震前後の地山やトンネルの状態の変化を捉えることが出来たので、その一部を報告する。

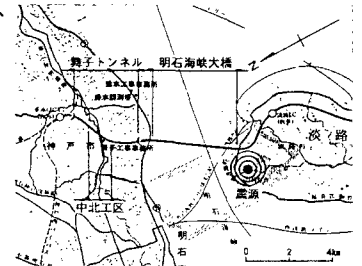
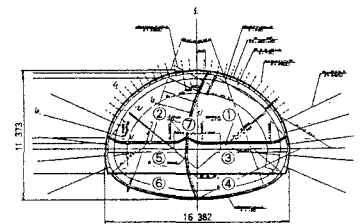


図1 舞子トンネルの位置

2. 地震発生時の施工状況

図2に標準的な支保パターンと施工順序を、図3に地質縦断と地震時の各切羽の位置を示す。

地震発生時、上り線の先進上半切羽は工事始点より約700m進んだSTA.19付近を掘削中であつた。土被りは約30mで、掘削面はほぼ全面がN値50以上の大阪層群(砂礫層)だが、地表面から約25mの深さ迄はN値10~20の道路造成時の盛土に覆われており原地山被りが特に薄い箇所であつた。



①先進坑上半 ⑤後進坑下半  
 ②後進坑上半 ⑥後進坑ハット  
 ③先進坑下半 ⑦中壁撤去  
 ④先進坑ハット

(上り線は左右逆となり左側が先進坑)  
 図2 支保パターン図(Dc1-1)と施工順序

3. 地震によるトンネル内外の挙動

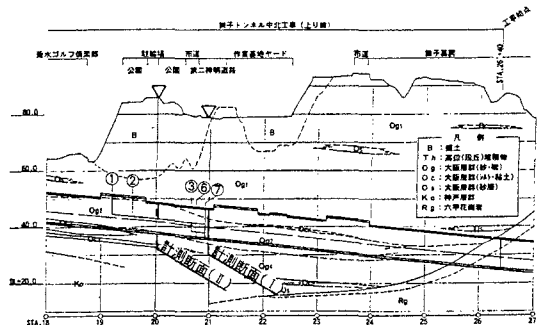
トンネルの形状や地質条件による地震時の挙動の差を明確にする為に離隔約100mで近接し、土被りがいずれも約30m程度である、以下の計測断面における地震前後の計測値の比較を行う。

・断面Ⅰ：全断面掘削後、中壁撤去を完了した段階で被りの殆どは大阪層群の砂礫層からなる。また、直上部の第二神明道路の地表面沈下抑制のため、上半外周部4.0mの範囲に薬液注入による地盤強化を行っている。

・断面Ⅱ：上半部のみを掘削(後進上半②迄を掘削)した段階で、被りの約8割を盛土層が占める。

①天端沈下・内空変位

図5に地震前後のF1(図4参照)沈下量と盛土厚の縦断分布を示す。STA.20'+70を境に全断面閉合した区間は隆起が、上半部のみ掘削した区間は沈下が生じている。また、上半部のみ掘削した区間では、盛土厚が大きくなるに従い、地震による沈下量も増大する傾向が

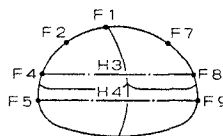


(図中の丸数字は図2における施工段階を示す)

図3 地質縦断図(上り線)と地震発生時の切羽位置

Hiroshi AONO, Kenji ISHIKURA, Jun'ichi SEKI, Motoi HIGASHIYAMA

ある。表1に各断面での地震前後の計測値を示す。断面Ⅰでは地震により全体が5mm程度ほぼ一様に隆起する一方、内空水平変位は最大で3.1mm(H4)の縮小を示している。これに対し断面Ⅱでは全体に沈下を示している上に天端(F1)の沈下量は10.5mmと、脚部(F4, F8)のそれの約2倍である。加えて内空変位(H3)は4.8mm拡大していることから、半円が頂部から押し潰された様な挙動となっている。



F: 天端(脚部)沈下  
H: 内空水平変位  
図4 A計測配置図

測点 測線	累積変位量(mm)					
	計測断面Ⅰ(全断面)			計測断面Ⅱ(上半)		
	地震前	地震後	差	地震前	地震後	差
F1	-13.3	-8.8	+5.6	-39.5	-50.0	-10.5
F2	-10.8	-3.1	+7.7	-25.7	-33.7	-8.0
F7	-12.1	-5.9	+6.2	-20.2	-28.8	-8.6
F4	-10.1	-4.8	+5.3	-17.1	-22.7	-5.6
F8	-10.0	-4.1	+5.9	-15.7	-19.8	-4.1
F5	2.8	+1.2	+4.0	-	-	-
F9	-0.9	+4.4	+5.3	-	-	-
H3	-7.5	-8.0	-0.5	+2.3	+7.1	+4.8
H4	-2.1	-5.2	-3.1	-	-	-

天端沈下-(+):隆起, (-):沈下 内空変位-(+):拡大, (-):縮小  
表1 地震前後のA計測値の比較

### ②吹付コンクリート応力(図6)

2断面共に全般に圧縮応力が增加しているが、全断面閉合している断面Ⅰではほぼ一様に圧縮応力が增加している。一方断面Ⅱでは、沈下が大きかった天端部で圧縮応力が減少したのに対して、脚部の圧縮応力が増加している。

### ③盛土部での層別沈下

断面Ⅱにおけるトンネル直上と側方部の地震前後の層別沈下分布を図7に示す。尚、地震による沈下状況をより明確にする為、いずれも最深部を不動点としての絶対沈下表示としている。大阪層群砂礫層においてはE1で10~17mmの隆起が生じているほかはあまり大きな沈下は見られないが、旧地形線を境として盛土層では地表面から深さ20m付近までの範囲で顕著な沈下が生じている。

## 4. まとめ

これらの計測結果から以下のことがいえる。

- ① 全断面を閉合した形状のトンネルは、ほぼ一様に圧縮応力や変位が生じるのに対し、極端に偏平な状態では脚部の沈下に対して天端の沈下が大きく、押し潰される様な挙動が見られた。
- ② 大阪層群の地山と比較して盛土層での沈下が大きいことや、盛土層の厚い区間でのトンネル天端部の沈下が大きいことから、トンネル上部の地山に盛土がある場合、地震動により盛土に緩みが生じ、トンネルに上からの荷重が大きく作用すると考えられる。

## 5. おわりに

各地に未曾有の被害をもたらした大地震であったが、いくつかの調査報告<sup>1)</sup>を見ても山岳トンネルでは甚大な被害は報告されておらず、また、本トンネルの様な施工途中のトンネルにおいても大きな被害が生じなかったことから、地震に対する地下構造物、特にトンネルの強さが証明されたといえる。今後は、本文で紹介できなかったその他の計測結果をまとめて、機会があれば報告したいと考えている。

【参考文献】1) 例えば、「兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報)」神戸大学工学部, 1995.2

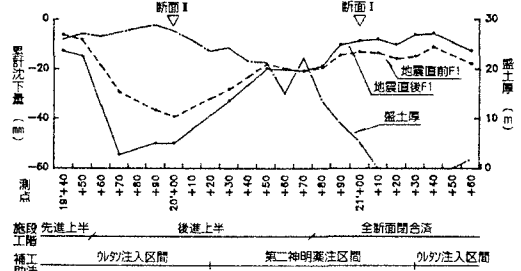


図5 地震前後の天端沈下量(F1)縦断分布

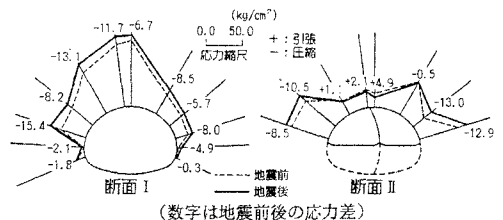


図6 吹付コンクリート応力分布の比較

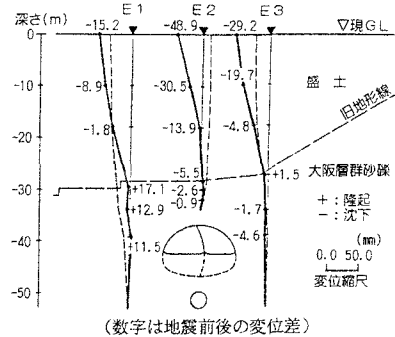


図7 盛土部における地中(層別)沈下分布[断面Ⅱ]