

I - B 390

兵庫県南部地震による神戸市営地下鉄（線路部）の被害要因

（株）鴻池組 土木設計部 正会員○福田尚晃，正会員 河西 寛
神戸市交通局 技術部 正会員 佐俣千載，正会員 水口和彦

1. はじめに

1995 年 1 月の兵庫県南部地震では，耐震性に優れていると言われていた地下構造物においても一部において甚大な被害が生じた。神戸市営地下鉄では上沢駅，三宮駅，上沢駅と新長田駅付近の線路部などにおいて被害が生じた。本報告は，兵庫県南部地震の前後で実施された神戸市営地下鉄のクラック調査より明らかになった地震による線路部のクラック分布を用いて，地盤条件との関係について検討したものである。

2. 地震によるクラック分布とその特徴

神戸市営地下鉄では構造物の健全度を把握する目的で天井と側壁部のクラックに関する目視調査が行われており，その調査結果はクラックのスケッチと集計表（位置，方向，幅，長さ）に整理されている。これらの調査結果より表-1に示す地震の後のデータから地震前のデータを差し引くことにより，板宿駅～新神戸駅間の線路部全線（延長6692m）の地震による横断クラックと縦断クラックの分布が明らかになっている²⁾。この研究成果より図-1に上沢駅～湊川公園駅間における横断クラック長さと縦断クラック長さの分布図を地形・地質図とともに示す。ここで，横断クラックはトンネル断面方向に走行する輪切り状のクラックを，縦断クラックは線路方向に走行するクラックをそれぞれ指しており，図の縦軸の横断クラック長さ（mm）と縦断クラック長さ（mm）の総和で表示している。

図-1に示す上沢駅～湊川公園駅間の線路部のクラック分布をみると，(a)横断クラックは概ね同程度の分布になっているが，(b)縦断クラックは駅間の中間点よりも上沢駅側で多くなっている。また，(c)の地形・地質縦断図をみると，縦断クラックの多い上沢駅寄りの区間ではトンネル周辺は粘土層を主体としているのに対して，縦断クラックの少ない湊川公園駅寄りの区間は砂層を主体としている。すなわち，縦断クラックの発生量はトンネル周辺が粘土層の場合と砂層の場合で大きく異なる結果になっている。

3. 地盤の等価線形地震応答解析による要因分析

ここでは図-1(c)に示すA断面とB断面の地盤を対象として，等価線形化法により地盤の材料非線形性を考慮した地震応答解析を行い，地盤条件による縦断クラックの発生要因について検討した。

A断面は縦断クラックが多い上沢駅寄りの地盤であり，トンネル

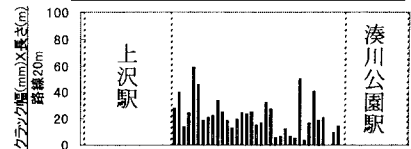
キーワード：震害，地中構造物，地震応答解析，地下鉄

連絡先 神戸市交通局 神戸市中央区加納町6丁目5番1号 TEL 078-322-5972 FAX 078-322-6186

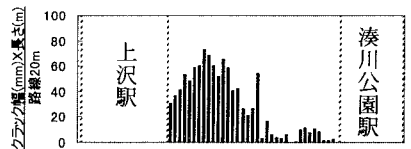
（株）鴻池組 大阪市中央区北久宝寺3丁目6番1号 TEL 06-244-3617 FAX 06-244-3676

表-1 調査時期

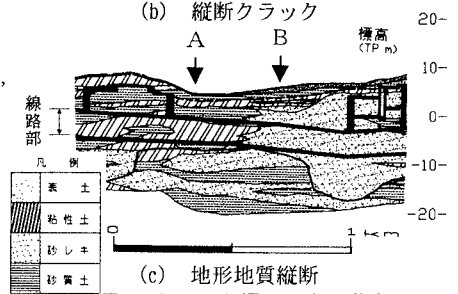
区間	調査時期	
板宿 ～大倉山	1992年2月 ～1992年3月	1996年8月 ～1996年10月
大倉山 ～新神戸	1993年2月 ～1993年3月	1997年4月 ～1997年8月



(a) 横断クラック



(b) 縦断クラック



(c) 地形地質縦断

図-1 クラック幅×長さの分布

表-2 地層構成と入力物性値 A断面(粘土地盤)

地質	標高 T.P. (m)	上面	下面	厚さ (m)	γ (tf/m ³)	G_0 (tf/m ²)	ひずみ依存曲線 (図-2参照)
As	4.80	2.70	2.10	1.70	6900	沖積砂	
Ac2	2.70	0.90	1.80	1.70	5000	沖積粘土	
T2a2	0.90	-2.20	3.10	2.00	12600	洪積砂	
T2c	-2.20	-3.70	1.50	1.70	8500	洪積粘土	
T1c	-3.70	-8.20	4.50	1.70	8300	洪積粘土	
T1a2	-8.20	-10.00	1.80	2.00	18800	洪積砂	
Oc1	-10.00	-10.90	0.90	1.70	14900	洪積粘土	
Og	-10.90	-15.00	4.10	2.10	24900	洪積砂	
Os	-15.00	-16.90	1.90	2.00	23700	洪積砂	
Og	-16.90	-19.30	2.40	2.10	24900	洪積砂	
Os	-19.30	-23.10	3.80	2.00	23700	洪積砂	
基礎 (Og)	-23.10			2.10	40000		

周辺は粘土層を主体としている。これに対して、B断面は縦断クラックが少ない湊川公園駅寄りの地盤であり、トンネル周辺は砂層を主体としている。

各断面の地層構成と入力物性値を表2および表-3に示す。地盤の初期せん断剛性 G_0 はN値から推定したせん断波速度を用いて算定し、材料非線形特性は検討地点より約1.2~1.3km離れた調査地点における中空ねじり試験結果に基づいて設定した。図-2に地盤のせん断剛性比 G/G_0 と減衰定数 h のひずみ依存曲線を示す。また、解析に用いた入力地震動は、ポートアイランドGL-83m位置での地震観測記録より、主軸方向に水平2方向成分を合成した波形を上昇波(E)に分解し、これを半無限基盤における上昇波成分として与えた。図-3にその加速度波形（最大加速度305Gal）を示す。

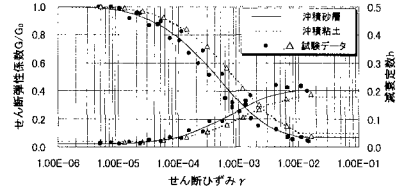
図-4は、A断面とB断面の等価線形地震応答解析結果より、最大応答加速度、最大応答変位および最大せん断ひずみの深さ方向分布を示したものである。図-4をみると、トンネルが存在する概ねTP.-2m~9mの範囲においては、最大応答加速度、最大応答変位および最大せん断ひずみはいずれもB断面よりもA断面の方が大きくなっている。とりわけ、最大せん断ひずみはA断面がB断面の2倍程度の大きさになっている。これは、上沢駅側（A断面）で縦断クラックが多く生じていることと整合している。したがって、線路部の縦断クラックの発生要因にはトンネル周辺に存在する粘土層の応答が深く関与していると考えられる。

4. おわりに

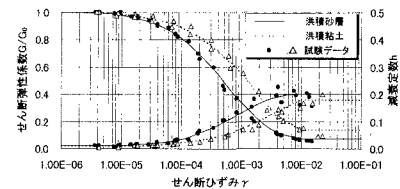
本報告は、土木学会地震工学委員会トンネル・地下構造物被害原因検討小委員会の神戸市営地下鉄被害原因検討ワーキンググループにおける研究成果の一部をとりまとめたものである。貴重なご意見を頂いた東京都立大学若槻教授を始め、ワーキンググループの各位に感謝いたします。

表-3 地層構成と入力物性値 B断面（砂質地盤）

地質	高さ 上面	高さ 下面	層厚(m)	γ (tf/m ³)	G_0 (tf/m ²)	ひずみ依存曲線 (図-2参照)
B	6.90	5.40	1.50	1.70	6900	沖積砂
As	5.40	3.90	1.50	1.70	6900	沖積砂
Ac2	3.90	3.50	0.40	1.70	6900	沖積粘土
As	3.50	2.20	1.30	1.70	6900	沖積砂
Ac2	2.20	1.45	0.75	1.70	5000	沖積粘土
As	1.45	0.40	1.05	1.70	6900	沖積砂
TJg	0.40	-8.60	9.00	2.10	24900	洪積砂
OG	-8.60	-12.55	3.95	2.10	24900	洪積砂
Os	-12.55	-16.95	4.40	2.00	23700	洪積砂
OG	-16.95	-17.70	0.75	2.10	24900	洪積砂
Os	-17.70	-19.50	1.80	2.00	23700	洪積砂
基盤(OG)	-19.50			2.10	40000	



(a) 沖積層



(b) 洪積層

図-2 地盤のひずみ依存曲線

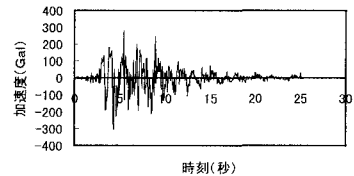


図-3 入力加速度波形(上昇波:E)

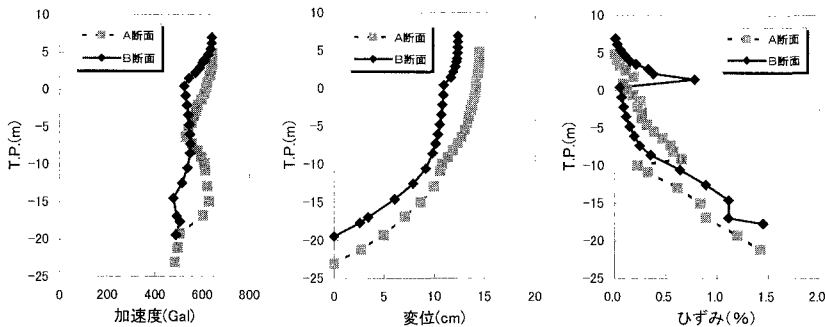


図-4 最大応答量分布

参考文献

- 1) 佐俣千載:兵庫県南部地震での地下鉄構造物の被害と復旧,土木学会論文集 No.534/IV-30,pp.1-17,1996.3
- 2) 中村,河西他:兵庫県南部地震による神戸市営地下鉄(駅間線路部)の被害分析,第10回日本地震工学シンポジウム,1998(投稿中)