

I - 470

兵庫県南部地震による留置列車の脱線・転覆と周辺地盤の常時微動特性の関係

（財）鉄道総合技術研究所 正員 中村 豊

1. はじめに 兵庫県南部地震では多数の列車が脱線・転覆した。脱線・転覆にはさまざまな要因が考えられる。ここでは、軌道には変状はなく振動現象のみで脱線・転覆が生じたと推測されるものについて検討する。こうした列車には走行中のものと停車中のものがある。ここではまず、停車中の列車の脱線・転覆と表層地盤の地震動増幅特性の関係を調査するため、鷹取駅構内において常時微動の高密度測定を行った。

2. 脱線・転覆の状況 図1は鷹取駅構内に留置された列車群の脱線・転覆の様子を示したものである。完全に横転したのもあれば、全く脱線せずに残っているものもある。脱線・転覆の状況を図2の中に簡単に示した。脱線・転覆したものはすべて海側に脱線し、転覆している。構内は南北約100m、東西約800mの紡錘形状をした高さ約2.5mの広い盛土地盤である。留置線はこのほぼ中央に位置し、脱線・転覆列車群の端から西方約50mの位置に今回の地震で水平最大加速度 616Gal ($=\text{cm/s}^2$)を記録した警報地震計が設置されている。



図1 鷹取駅構内列車の脱線・転覆状況

（産経新聞臨時増刊「阪神大震災」より）

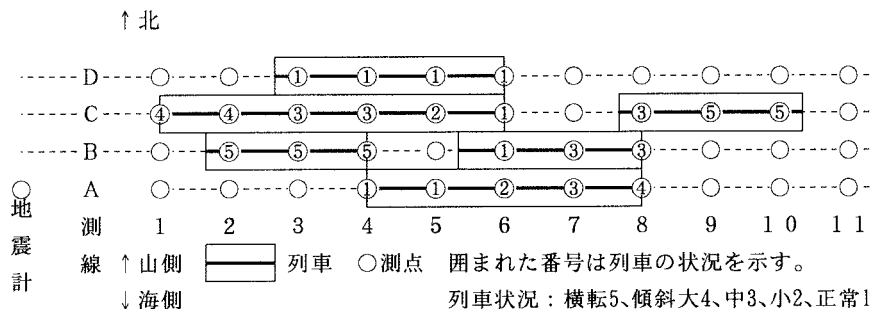


図2 鷹取駅構内の常時微動測点の配置図

3. 常時微動測点と分析方法 測定は図2に示すように4留置線を同時に25m間隔で行った。合計44測点について1回約41秒間（1/100秒間隔で4096データ）の測定を3回実施した。1回の測定では2台のPIC91を用いて、4留置線上の測点の3方向成分（線路方向、線路直交方向および上下方向）を同時測定した。測定日時は1995年2月16日14時～17時である。測定された微動波形の水平スペクトルを上下スペクトルで除したQTスペクトル¹⁾を用いて表層地盤の卓越振動数Fおよび増幅倍率Aを読みとり、液化化しやすさを表すK値²⁾ ($=A^2/F$)を算出した。

4. 測定結果と考察 各測点の線路直交方向のQTスペクトルから卓越振動数F、増幅倍率Aを読み取り、K値を算出した。図3はこれらの変化状況を各測線別に示したものである。これには脱線・転覆の状況を次

のように数値化して表示した。すなわち、横転5、傾斜：大4、中3、小2、および正常1である。

これによると、脱線・転覆の状況とK値の対応関係がよいことに気づく。対応が悪いと考えられるところについても、B測線の7と8測点の車両はA測線の対応測点にある傾斜車両の台車のために横転まで至らず、C測線の1～3測点および8測点にある車両もB測線の対応測点にある傾斜車両の台車に阻まれて横転できなかったと考えられる。したがって、K値と脱線・転覆の対応関係はきわめてよいと推測される。ノースリッジ地震の際の脱線現場における常時微動測定結果でも、K値の大きなところと脱線位置がよく対応しており、K値と脱線・転覆の間の密接な関係を示唆している。

K値はもともと表層地盤のせん断歪 γ を概略推定するための指標であり、したがって、液化化しやすさをあらわす。ここに、 $\gamma = K \times \alpha / (\pi^2 V_s)$ 、である。 α は基盤加速度、 V_s は基盤のS波速度である。

ここで、 $\eta = K \times \alpha^2$

という量を考えれば、

$$\eta = A \alpha \times A \alpha / F$$

$= A \alpha \times A v =$ 地表面の加速度 $\times$ 地表面の速度、となる。

η に地表面にある物体の質量を掛けた量 W は、 $W = M \eta =$ 地震による慣性力 $\times$ 地表面の速度、となり、地表面地震動による仕事率をあらわすことになる。仕事率ならば脱線・転覆と関係してもおかしくない。

K値が脱線・転覆と密接な関係を示すのは上述のような事情によるものであろう。

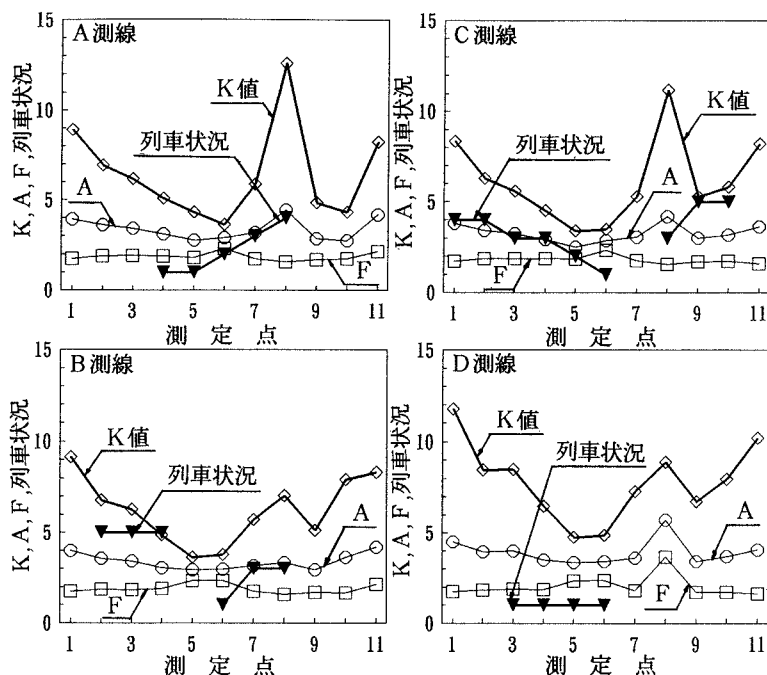


図3 常時微動測定結果と脱線・転覆状況の比較

5. まとめ 兵庫県南部地震で脱線・転覆した留置中の列車周辺で常時微動を測定した結果、QTスペクトルのピークから算出されるK値と脱線・転覆との対応がきわめてよいことがわかった。K値と脱線・転覆の関係についてはノースリッジ地震の際の脱線・転覆現場でも確認されている。K値は表層地盤のせん断歪に関係した量として開発されたものであるが、地表面地震動による仕事率にも関係していることが推測された。今後、K値と物体の跳躍現象などとの対応関係についても検討をすすめていきたい。

謝辞 JR西日本の方々には常時微動測定の便宜を図っていただき、鉄道総合技術研究所の日高和利氏、上半文昭氏、および(株)SDRの立花三裕氏には測定を手伝っていただきました。記して謝意を表します。

文献 1) 中村：常時微動に基づく表層地盤の地震動特性の推定、鉄道総研報告1988.4.、2) 中村ほか：常時微動による地盤変状予測の試み、鉄道総研報告1993.10.、3) 中村・齋田：ノースリッジ地震による脱線転覆事例と常時微動を用いた分析、鉄道総研報告1995.3.