

I-B 352 常時微動を用いた鉄道列車脱線危険度指標Kd値の提案

(財)鉄道総合技術研究所 正員 中村 豊

1. はじめに 1995年1月17日の早朝に発生した兵庫県南部地震の震源域周辺では、数多くの列車が脱線転覆した。幸いこの脱線事故では旅客などに犠牲者は出ていない。地震時の脱線転覆への対策を考える上で場所毎の脱線しやすさを的確に把握しておく必要がある。これまでの調査結果に基づいて脱線危険度指標Kd値を新しく提案するとともに、JR灘-三ノ宮間を走行中の3本の列車で検証したので報告する。

2. 基本的な考え方 これまで脱線転覆現象と表層地盤の液化化危険度K値¹⁾には良い相関があることを報告してきた^{例えば2)}。K値(=A²/F)に基盤加速度 α_B の自乗を乗じると、地表面での応答加速度 α と応答速度 v を掛け合わせた形となる。これに地震動が作用する物体の質量を乗じると、単位時間当たりに地震動が地表の物体に対してなす仕事量に関係する量となる。このため、K値が脱線転覆と強い相関を示したものと考えられる。そこで、構造物上を走行することが多い鉄道列車の脱線転覆の危険度を判定する指標として、地盤と構造物が連成した固有振動数 F_{sg} と応答倍率 A_{sg} を用いて、脱線危険度指標Kd値($Kd=A_{sg}^2/F_{sg}$)を提案する。 F_{sg} および A_{sg} は、構造物の上で計測した線路直角方向の常時微動のフーリエスペクトルHTuと地盤表面で計測した上下方向の常時微動のフーリエスペクトルVdの比から読みとられる。

3. 灘-三ノ宮間における地震時に走行中の列車脱線状況 JRによる調査記録³⁾や国際航業株式会社が地震当日の午後撮影した航空写真によると、灘-三ノ宮間の複々線に在線していた列車とその周辺の地震後の概況は次のとおり。

1) 臨時急行シュプール号第9506列車(DD51+オハ14系6両、下り内側線) この列車は全軸脱線し、585K240M~380M付近に停止している。先頭のディーゼル機関車と最後尾車両はもとの軌道に載っているものの他の車両は大きく浜側に孕みだして脱線している。機関車とそれに続く客車1両の車体はほとんど傾斜していないが、2両目から最後の6両目の客車は浜側に大きく傾斜している。また、585K150M付近から軌道に異常がみられる。地上調査によれば、585K180M付近には車輪が山側に落下した痕跡が認められ、内側下り線の山側に設置された割塚通第三架道橋(585K199M、L=15.2m)の鋼版の上を車輪が走行した跡が起点方に2筋、終点方に3~4筋認められる。585K220M付近~360M付近の区間はPC枕木やレール締結器等が著しく破損し、この間を多くの脱線車両が通過したことを物語っている。

以上の既述と車軸の残存状況から当該車両は地震発生時には割塚第三架道橋を跨いで走行中で、その最後尾は585K150M付近を走行していたと考えられる。停止までの走行距離は90m程度と推定され、80km/hで走行していた当該列車の走行時間は約8.1秒間、平均減速度は $2.7m/s^2$ (= $9.7km/h/s$)と推定される。

2) 普通電車第110C列車(201系EC7両、上り内側線) この列車は、2基取り付けられたパンタグラフ(2両目前部および5両目前部)のうち後部のパンタグラフが破損してなくなっているほかには大きな損傷はなく、どの車軸も脱線していない。地震後の位置は585K780M~920Mである。地震時の走行速度は80km/hと考えられている。非常減速度を $1.1m/s^2$ と仮定すれば、制動距離は概ね220mとなる。この場合、地震時の列車の位置は586K000M~140Mとなる。

3) 回送電車第5101M列車(485系EC10両、下り外側線) この列車は先頭から3両目の前部台車の2軸と2両目と8両目以外の全車軸が脱線した。また、前から5両目のパンタグラフが破損している。調査結果によると、586K012Mおよび014Mのレールには、浜側へ車輪が乗り上げた痕跡が認められる。ここから20m程度の区間では枕木に1軸分の車輪痕があり、さらに90m位の区間で2軸、さらに80mの区間で3~4軸、さらに586K200M以降は10軸以上の車輪痕が認められる。586K180M~340M位までの区間はレ

ールと枕木は分離し、枕木はバラスト内に沈み込むなど、PC 枕木やレール締結部に著しい破損が生じていた。また、若菜架道橋（586K084M、L=15.4m）のガーターおよびバラスト止鋼版の起点側には車両が衝突して破損した痕があった。地震後の列車停止位置は 586k160M～360M である。地震時の走行速度は 100km/h と考えられている。航空写真によると、586K030M 付近から軌道に異常が認められる。今回の脱線は一気に生じたものと考えられ、地震時の列車位置は概ね 586k000M～200M であつたらうと考えられる。したがって減速度は 2.4m/s^2 ($=8.7\text{km/h/s}$) となる。

4. 常時微動測定に基づく Kd 値と列車脱線などの関係 図は 585K から 586K500M 付近までの軌道面と地盤の常時微動を同時測定した結果から Kd 値を算定したものである。○印が下り外側線の外側、△印が上り外側線の外側における値である。この図には各列車の地震時の推定位置と地震後の位置を示している。これによると、9506 列車や 5101M 列車が地震時にいた地点付近の Kd は大きく、車両全体が一度に脱線したことを示唆するものとなっている。9506 列車の機関車と最後尾客車の位置では地震動は相対的に小さく、これらの車両が地震後も当初の軌道上にあったことや列車の中央部が浜側に孕みだしていることなどと整合する。5101M 列車についてはレール乗上痕が認められる付近でかなり大きな Kd 値となっており、先頭車など脱線していない車両に対応するところでは Kd 値は小さくなっている。110C 列車が走行する上り線の Kd 値は下り線に比べてかなり小さく、この列車が脱線せずにいたことと整合している。下り線に比べると小さいながらも上り線の 586K 付近の Kd 値は突出して大きい。ここは推定された地震時の列車位置では 2 両目付近に相当している。おそらく 2 両目前部のパンタグラフはこの地点より起点方にあり、5 両目前部のパンタグラフがこの地点に突っ込んで破損したものと想像される。

以上、提案した Kd 値は脱線状況と良く整合しており、脱線危険度指標として利用できる可能性が高い。

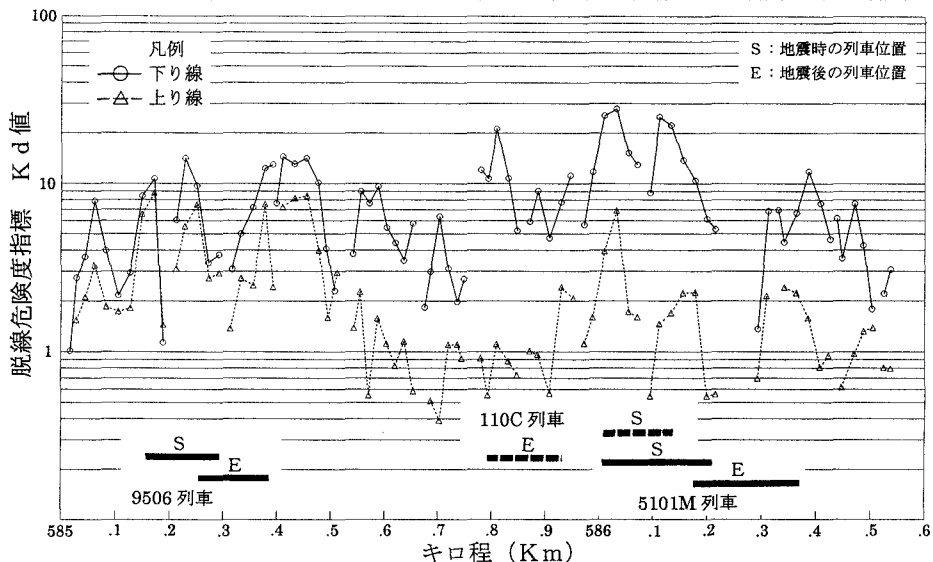


図 離一三ノ宮間の列車位置と Kd 値の関係

謝 辞: 資料を使わせていただいた J R 西日本神戸支社の中田昌典担当課長をはじめとする皆様に感謝します。J R 総研の石田弘明室長、内田雅夫主幹技師には脱線状況等をご教示いただきました。謝意を表します。

- 参考文献:** 1) 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 7 卷 10 号、pp.62-72、1993.10
 2) 中村: 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、第 50 回土木学会年次学術講演会、I-470、pp.940-941、1995.9
 3) 兵庫県南部地震鉄道被害報告書、鉄道総研報告特別 4 号、1996.4