

第8章 推定地震波と脱線経過との対応

東日本旅客鉄道株式会社の上越新幹線脱線調査専門委員会において、レール及びスラブ上の車輪走行痕や車両の損傷状況を調査した結果に基づき「とき325号（325C列車）」の各号車・各軸が脱線した地点と脱線順序（以下、脱線シナリオと記す）を推定した。その結果を表8.1に示す。本章では、表8.1の脱線地点推定結果をもとに、高架橋上の推定地震波形のなかで脱線に影響を及ぼした波を推定し、推定地震波と脱線シナリオとの対応関係を確認する。

表8.1 脱線シナリオ（現地調査による推定結果）

脱線順序	号車	軸位	脱線痕跡開始位置	高架橋	脱線方向
第1回	10	4	206k217m	R4	左
第2回		3	206k264m	R5	左
第4回	9	4	206k450m	R9付近	右
		3	同上	R9付近	右
第2回	8	1	206k191m	R3	右
第3回	5	1	206k294m	R5	左
—	4	4	206k310m 以降	R6	軌間内
		3			
		2			
第4回	3	1	206k303m	R5	左
		4	206k295m	R5	左
		3	206k292m	R5	左
		2	206k278m	R5	左
		1	206k275m	R5	左
最後	2～1号車		軌道破壊による脱線		

- ※ 表に記載していない号車及び軸位は脱線していなかった。
- ※ 脱線順序は、ほぼ同時刻に脱線したと推定されるものを括り、時系列で脱線発生順序を示したものである。
- ※ 表中の高架橋は脱線地点の橋梁種別（十日町BL），脱線方向は進行方向に対する左右を示す。

8.1 各号車の脱線した時刻（相対時間差）

325C列車が一定速度204km/hで走行していたと仮定すると、各号車・各軸の相対位置関係と脱線地点から、各々が脱線した時刻が推定できる。最初に脱線したと考えられる10号車第4軸が脱線した時点をも0秒として、他の軸が脱線するまでに経過した時間（相対時間差）を計算した結果を表8.2に示す。なお、計算には以下の数値を用いた。

- ・ 走行速度：204km/h（56.7m/s）
- ・ 軸距：2.5m，台車中心間距離：17.5m
- ・ 隣接車両の軸間距離：5.0m（例えば、10号車第1軸と9号車第4軸との前後距離）

表8.2より、事故現場の痕跡等から大きな軌道振動が原因と考えられる325C列車・10号車第4軸～3号車第1軸の脱線は、最初に10号車第4軸が脱線してから約0.8秒後、3.9秒後、4.5秒後に発生していることが分かる。

表8.2 列車先頭軸と各軸の距離・脱線までの経過時間

号車	軸位	脱線痕跡開始位置	相対距離(m)	相対時間差(s)
10	4	206k217m	0	0
	3	206k264m	2.5	0.87
9	4	206k450m	25.0	4.55
	3	同上	27.5	4.60
8	1	206k191m	70	0.78
5	1	206k294m	145	3.92
4	4	206k311m	150	—
	3		152.5	
	2		167.5	
	1	206k303m	170	4.52
3	4	206k295m	175	4.46
	3	206k292m	177.5	4.46
	2	206k278m	192.5	4.47
	1	206k275m	195	4.46
1	1	—	245	—

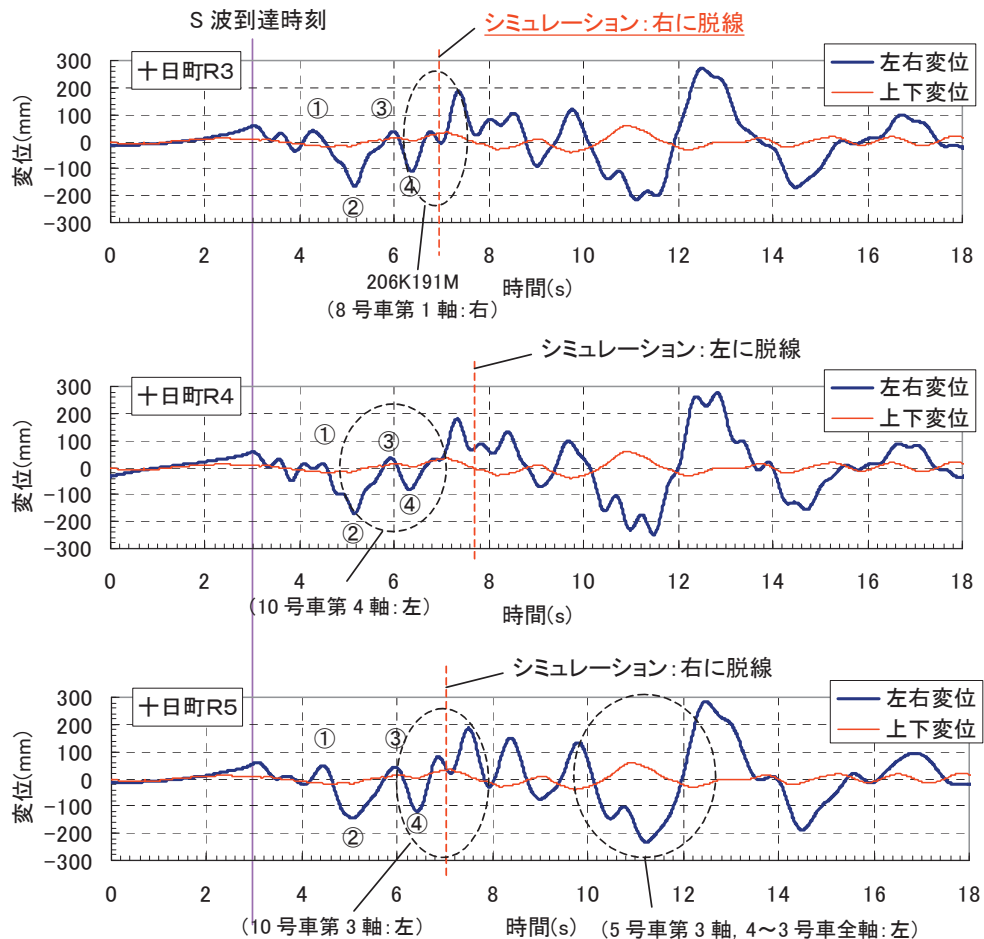
- ※ 相対距離は10号車第4軸から各軸までの前後距離を示す。
- ※ 相対時間差は、10号車第4軸が脱線してから他の各号車・各軸が脱線するまでの経過時間を示す。

8.2 各号車が脱線したときの地震波

十日町BL R3～R5上の推定地震波と表8.2の結果から、各号車が脱線したと思われる振動波形を推定した。車両運動シミュレーション結果に基づき、地震波開始時刻0から6.9秒後に8号車第1軸が十日町BL R3で進行方向右側に脱線した場合の推定結果を図8.1に示す。図中には、表8.2の相対時間差から逆算し各軸が脱線したと推定される時刻の波を破線の丸印で示した。

図8.1より、前章に述べた車両運動シミュレーション結果と脱線シナリオとの関係について、以下のことが分かる。

- (1) 十日町BL R3における8号車の右脱線については、シミュレーションにより再現できた。
- (2) 十日町BL R4における10号車第4軸の左脱線については、シミュレーションでは地震波開始後7.7秒で発生したが、脱線シナリオからは8号車が脱線する約0.8秒前（地震波開始後約6.1秒）に起きたと考えられる。シミュレーション結果では、地震波開始後6.1秒の時点で、脱線には至らないが各軸の左車輪が約10mm上昇しており（第7章・図7.10），5秒～6.5秒の間の実振



- ※ 破線の丸印は各軸が脱線したと考えられる波を示す。
- ※ 図中の左右変位は東方向（車両進行方向右向き）を正、上下変位は上向きを正で示す。
- ※ 丸付き数字は左右振動波形のピーク番号を示す。

8号車第1軸が地震波開始から6.9秒後にR3で脱線した場合

図8.1 推定地震波と各号車の脱線との対応（脱線シナリオから逆算）

動波形が入力した推定波形と微妙に異なれば、地震波開始後約6.1秒で脱線する可能性があると考えられる。

- (3) 十日町BL R5における10号車第3軸の左脱線については、すでに同じ台車の第4軸が左へ脱線した状態で走行している際に大きな地震波を受けているため、シミュレーションでの再現は困難である。
- (4) 十日町BL R5における4, 3号車の左脱線については、列車前部車両の脱線により軌間拡大や通り変位等を生じた軌道を走行中に大きな地震波を受けたと考えられるが、脱線時の軌道条件を正確に推定することは困難である。軌間拡大等によって地震波開始後7.0秒では脱線を免れ、10秒付近の大きな振動によって左へ脱線した可能性がある。

個々に見れば以上のような車両挙動の解析状況であったが、十日町BL R3～R5では地震波開始後5～13秒の8秒の間、片振幅100mm以上の200系新幹線電車の走行安全限界を超える波が複数あり、この間であれば車両が脱線する可能性は十分にあると考えられる。

なお、シミュレーション結果によれば、10号車が地震波開始後7.7秒の時点で左へ脱線した可能性もある。この場合には、図8.1に付した破線の丸印をすべて1.6秒分だけ右へずらしたところの波で各号車が脱線したことになる。シミュレーションで得られた8号車（十日町BL R3）または10号車（十日町BL R4）のいずれの脱線時刻が事故現場の状況に近いかを精査するため、次に軌間拡大との対応を確認する。

8.3 列車位置と軌間拡大との関係

脱線事故後の軌間検測結果を図8.2に示す。

軌間拡大は205k960m付近（渡沢北BL 8P）から始まっており、205k958m～206k060mではタイプレートとレールとのすき間分最大約5mmの拡大、206k060m～206k200mではタイプレートの移動により最大10mm強の拡大があった。

325C列車が一定速度204km/hで走行していたと仮定し、

地震波開始時刻0秒，S波到達時刻3秒，図8.1ピーク番号②の時刻5.0秒，図8.1ピーク番号④の時刻6.4秒の各時点における10号車第4軸（列車先頭軸）と1号車第1軸（列車最後尾軸）及び8号車第4軸の位置を計算した結果を表8.3に示す。表8.3は，地震波開始後6.9秒の時点で8号車第1軸が脱線した図8.1に示す場合を想定した計算結果である。

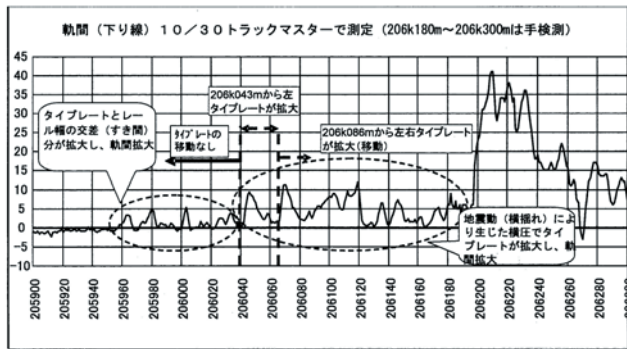


図8.2 軌間拡大の発生状況

表8.3 地震波開始後の時刻と列車位置

8号車第1軸の脱線地点（十日町BL R3）を基準とした場合

時刻(s)	10号車第4軸 キロ程 (km)	1号車第1軸 キロ程 (km)	8号車第4軸 キロ程 (km)
地震波開始:0	205.870	205.625	205.820
S波到達:3.0	206.040	205.795	205.990
ピーク②:5.0	206.153	205.908	206.103
ピーク④:6.4	206.233	205.988	206.183

表8.3の結果に基づき10号車第4軸が脱線したときの列車全体の位置を求め，これと軌間拡大発生区間，各号車の脱線地点との関係をまとめて図8.3に示す。

軌間拡大開始点の渡沢北BLと十日町BLでは振動波形が必ずしも同一ではないが，205k958mより東京方に軌

間拡大が発生していなかったことから，図8.1に示した振動波形ピーク④以降の大きな地震波が来た際，325C列車はすでに205k958m地点を通り過ぎて新潟方を走行していたと考えられる。図8.3のとおり，地震波開始後6.9秒で8号車第1軸が脱線したと考えれば，振動波形ピーク②～④の間に列車最後尾軸がいた地点と軌間拡大開始地点が一致する。また，地震波開始後7.7秒で10号車第4軸が脱線したと仮定すると，振動波形ピーク④が来た6.4秒時点では，列車は図8.3より73.7m東京寄りになっていたことになる。このとき列車最後尾軸のキロ程は205k898mであり，205k958mよりさらに東京方から軌間拡大が始まった可能性が高い。

以上より，軌間拡大発生箇所と列車位置との関係からみて，各号車・各軸が脱線した地震波は図8.1，すなわち，地震波開始後6.9秒付近において8号車第1軸が十日町BL R3上の206k191m地点で脱線したとみるのが妥当と考えられる。このとき，地震波開始時刻0での列車先頭軸（10号車第4軸）の位置は205k870m付近，S波到達時刻3秒での列車先頭軸（10号車第4軸）の位置は206 k040m付近となる。また，表8.3より地震波開始時刻0での8号車第4軸の位置は205k820mであり，時刻0において205k800m付近にいる車両が十日町BL R3付近で脱線するという動的角折れを考慮した車両挙動解析結果（第7章・図7.18）とも符合する。

8.4 検討結果のまとめ

脱線痕跡等から推定した325C列車の脱線シナリオと脱線箇所の推定地震波との関係を調べた結果，両者は概ね整合性が取れていることを確認した。

地震動によると考えられる車両の脱線は，最初に10号車第4軸が206k217m付近で脱線してから，約0.8秒，3.9秒，4.5秒後に発生したと考えられる。一方，高架橋上の推定地震波には，地震波開始後5～13秒の8秒間に片振幅約

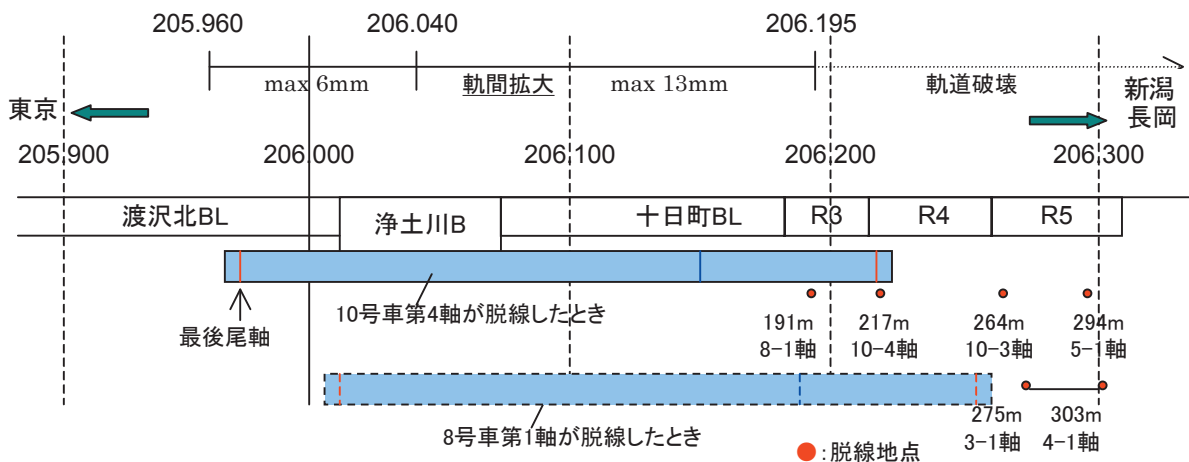


図8.3 列車先頭軸が脱線したときの列車位置と軌間拡大発生箇所

100mmあるいは、それ以上の大きな波があり、この間の軌道振動により200系新幹線電車が脱線する可能性は十分にある。また、地震波開始後約6.9秒付近において8号車第1軸が十日町BL R3上の206k191m地点で右側に脱線したと考えれば、軌間拡大発生箇所と列車位置との関係についても、事実と符合する妥当な結果となることが分かった。このとき、列車先頭軸（10号車第4軸）の位置は、地震波開始時刻0で205k870m付近、S波到達時刻3秒では206k040m付近となる。

なお、以上の検討は、列車が一定速度204km/hで走行したと仮定して行ったものである。車両が1秒間に約57m進むこと等を考え合わせると、本資料以上のさらに高い精度で、脱線現場の痕跡とシミュレーション結果との照合を行うことは難しい。