

IV-112 角折れ区間の実車走行安定性実験

国鉄、鉄道技術研究所 正員 伊藤 文人

同 上 新井 清之助

同 上 平田 五十

同 上 正員 ○奥田 寿夫

1. 目的 長大吊橋の主塔部および橋台部において、列車荷重などに依り軌道かへの字型に曲がる大きな角折れ現象が予想される。このような角折れ区間を列車が走行すると、輪重抜けと横圧が発生して脱線の危険があるので、緩衝けたを用いて4個の連続した小さな角折れに分散させて、走行安定性を図る構造が考えられた。この構造の実車走行安定性を確認するために実車実験を行なった。

2. 実験条件

2. 1. 試験場所および時期 旧根室本線 新内・新得間 狩勝

実験線内で、昭和45年10月12日

～30日に行なつた。

2. 2. 供試車と試験速度

供試車の種類、軸距、輪重および試験走行時の編成を図1に

示す。試験速度はワム形で30～

70 km/h、ワム形で30～80 km/h、

セキ形で30～65 km/hであった。

2. 3. 角折れ部の線路条件

図2に示すように、垂直角折れ

10/1000、水平角折れ5/1000が

それぞれ4個同時に存在する場合、

角折れが全くない直線路

の場合の両者について実験した。

実験設備として使用した橋け

たの主要諸元を表1に示す。橋脚は4本の柱に沿って上下できる縦はり

と横はりによって構成され、

橋けたの支承は横はりに据えられており、これによつて垂直の角折れを与える。

また、4本の柱は

線路に直角で水平方向に平行移動が可能で、これによつて水平の角折れを与える。

レールの締結は上

フランジと木マクラギをフックボルトでとめ、JRS-F型の締結装置を用いて弾性締結にした。

直線路から角折れ状態に移行させた結果生じる折れ角を橋けたに

ついてトランシットで測定した。その値を表2に示すように設定予定値

に近いものであった。また、角折れ部に生じる軌道形状を1 m弦によ

つて曲率半径を、10 m弦によつて曲線部長さを測定した。垂直曲線半

表1 使用した橋けたの主要諸元

けた	形式	KS	支間	高さ	心々幅	重量
第1連	連680	15	9.750	1.089	1.219	6.137
第2連	連680	18	9.750	1.232	1.680	7.438
第3連	連509	15	9.800	1.060	1.700	6.011
第4連	連680	15	9.750	1.104	1.219	6.074
第5連	連1084	12	9.800	1.020	1.700	5.543

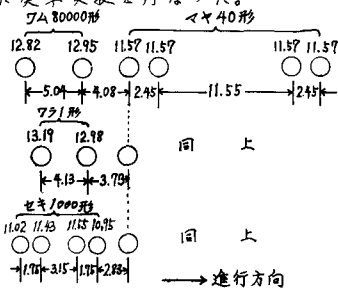
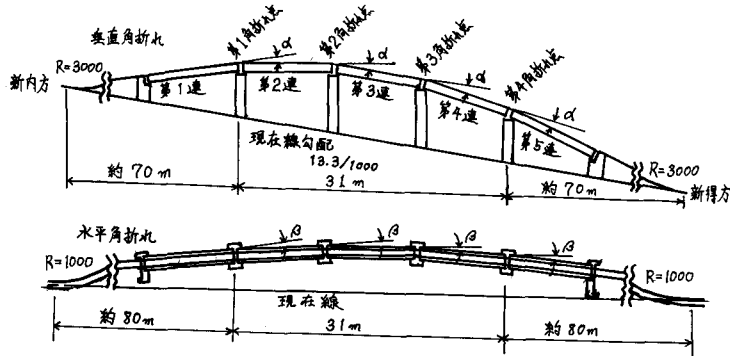


図1 供試車および編成(輪重も、軸距も)



直線路の場合 $\alpha = 0/1000$ 角折れの場合 $\alpha = 10/1000$
 $\beta = 0/1000$ $\beta = 5/1000$

図2 軌道角折れ部の線路条件

表2 検測によるけたの角折れ量

方向	第1	第2	第3	第4
垂直角折れ	12.0 1000	10.9 1000	10.4 1000	9.6 1000
水平角折れ	4.4 1000	5.3 1000	5.0 1000	4.9 1000

径は約200 mであったが、水平曲率半径は軌道狂い量と同程度の曲かりにあり、十分正確と信じての結果を得られなかった。他方、垂直曲線部長さは2 m前後で、水平曲線部長さは垂直曲線部長さよりもはるかに長く、全体としてなめらかな曲線状になっている。また、角折れ部のレールに発生する応力は垂直曲線に対して約 4 kg/mm^2 、水平曲線に対して約 3 kg/mm^2 であった。

3. 試験結果

3・1. 車上関係。測定車(マヤ40形)よりFMテレメータで送られた測定波形は地上で受信の後、ペンコンロに記録される。測定値は角折れ点1～4の各点を通過後の各速けた相当区間の値を示す。たとえば、角折れ点1～2間の値は第2速相当区間のものを示す。

○横圧。前軸左車輪のスプークの曲がりをひずみゲージで検出する。ワラ1形、セキ1000形で角折れのある場合の横圧は直線路の場合の約0.5t増して2t前後であったが、ワム8000形では両場合ともほとんど変わらない。ワラ1形、ワム8000形で速度 $30 \sim 40 \text{ km/H}$ 、セキ1000形で速度 $40 \sim 50 \text{ km/H}$ の附近で極大値を示す傾向がみられた。

○輪重抜け。前軸左車輪のスプークの軸力をひずみゲージで検出する。輪重の極小値を $P_{\min}$ 、平均輪重または静止輪重を P_0 とした時、輪重抜け $\Delta P/P = (P_0 - P_{\min}) \times 100 / P_0$ (%)は輪重の減少した割合を示す。全車種ともに角折れのある場合の輪重抜けは直線路の場合のものよりも大きい。ワム8000形で速度 71 km/H 、第2速相当区間で44.4%を示し、他の値は全て40%以下であった。ワラ1形も40%以下で、セキ1000形では一般にその値は小さく、速度 65 km/H 附近まで約30%以下であった。

○脱線係数。横圧と横圧が発生した時の輪重との比で脱線係数を表わし、各区間の最大値を求めた。角折れのある場合の脱線係数は直線路の場合のものよりも大きい。ワラ1形、ワム8000形では横圧と同様に速度 $30 \sim 40 \text{ km/H}$ で極大値を示し、それぞれ0.3、0.2前後であり、高速度域では第2速相当区間の値が大きくなる。セキ1000形では速度 $40 \sim 50 \text{ km/H}$ で0.25の極大値を示し、それ以上の高い速度域では速度が上昇しても増大する傾向がみられない。

○セリ上り度。車輪フランジがレールにせり上る割合を示すもので、ビデオコーダで走行中の供試車の車輪踏面の再生画面を見て判断する。今回の試験ではセリ上りは全く起きていなかった。

○車体加速度。前、後軸上の車体左右、上下方向の加速度を測定した。左右方向加速度については、角折れの有無に大差がなく、ワラ1形、ワム8000形で 60 km/H 附近に極大値があるが、速度に対して大きな変化はなく、いずれも全振中で0.45g以下であった。セキ1000形は明らかに速度とともに増加する傾向がみられるが、全振中で0.23g以下である。他方、上下方向加速度については、各車種とも速度に比例して振中で増大し、角折れのある場合の値が直線路の場合のものよりも大きい。ワラ1形では、後軸上の値が速度 67 km/H で0.55gの極大に達し、その他の速度では前、後軸上の値がほぼ同じである。ワム8000形は前軸上の値が後軸上の値よりも大きく、前軸上の値が速度 80 km/H で0.7gに達した。セキ1000形では両軸上の値に大差なく、その値も小さく速度 68 km/H で前軸上で0.44gの最大値を示した。

○バネのたわみ。供試車の左右バネたわみが同位相であることから、ピツケンク、上下動が主で、ローリングは少ないことがわかった。ワラ1形、ワム8000形で速度に対する傾向は車体上下方向加速度と同様に、速度に比例して増大しており速度 75 km/H で $16 \sim 20 \text{ mm}$ を示す。セキ1000形では速度に対して増加の傾向はあるが、その値は小さく速度 70 km/H で $3 \sim 5 \text{ mm}$ であった。

3・2. 地上関係. 車両走行時の実験条件を明確にするため, 供試車の前第1軸が第2角折れ点を通過中の動的角折れ変化量を求める。

○橋げたとレールの相対変位. 第2角折れ点をさみ, 図3に示す6測定点で橋げたとレールの相対変位を測った。その値は速度に対して増減の傾向がほとんどないので, 各軌道条件に対する供試車種による全速度についての平均値を各測点について現わしたものが図3である。車種による差はほとんど認められないが, 角折れの有無による軌道条件の差が有意である。

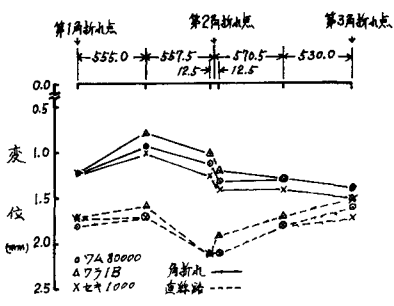


図3 橋げたとレールの相対変位の観平均

○車両走行による角折れ部レールの応力. 第2角折れ点のレール底部の軸重に依る垂直曲げ応力は, 角折れのある場合の値の方が直線路の値にくらべて小さく, 最大で 7kg/mm^2 であり, 速度による影響も顕著でない。横圧による第2角折れ点のレール底部の水平曲げ応力は両場合とも 1.5kg/mm^2 以下であり, 速度の影響もほとんど無い。

○橋げたのためみ. 第2連および第3連の支間中央のけたのためみを測った。速度に対するためみの増加傾向は顕著でなく, 角折れのある場合のためみは直線路の場合のためみよりも一般に少なく, 2.5mm 以下であった。

○橋げたの横ためみ. 第2連および第3連の支間中央のけたの横ためみは, 角折れの有無に依る差は, および速度の影響もみられず, 0.3mm 以下であった。

4. 考察

○横圧. フラ1形, Wm 80000形で速度 $30\sim 40\text{km/h}$ で極大を示す傾向が見られたが, これは設定された水平角折れを曲線路に通り狂いのある軌道とみなした場合, 両車種の固有振動数約 0.9Hz に対して区間 10.36m (隣接角折れ点間の距離) でその共振速度は 33.6km/h となり, ほぼ実験速度と一致するので, 共振に依る影響とおもわれる。

○輪重抜け. 輪重抜けの脱線に対する限度として 70% が用いられているが, 実測値は最大で 44.4% , その他は 40% 以下なので, この限度に対して充分に小さい。

○車体加速度. 脱線に対する安全の目安として, 左右方向加速度は全振中で $0.6g$ である。フラ1形, Wm 80000形で全振中で $0.45g$ 以下, セキ1000形で $0.25g$ 以下であり, これは安全の目安値よりも充分小さい。他方, 上下方向加速度の限度については脱線に対するものとして特に定められてはいないが, 目安として $0.5g$ かとされている。この値は当然片振中であるがしかし, 脱線係数および輪重抜けが測定されていない場合に, 脱線に対する危険度の目安として考えるべきものである。

積荷の移動の面を考えると, Wm 80000形の最大加速度は速度 80km/h で下向加速度 $0.36g$ (片振中), 左右方向加速度 $0.15g$ の場合, Wkgの荷物には左右方向には 0.15Wkg , 下向きには 0.64Wkg の力が作用することになる。荷物と床の摩擦係数を μ とすれば, $0.64\text{W}\mu < 0.15\text{W}$ の関係が成立つ時, 荷物は横に移動を始める。すなわち, $\mu < 0.23$ の場合で, この値は特に小さいものではない。

○脱線係数. 脱線係数の限度は, 特に輪重抜けの多い場合を除いて 0.8 かとされている。実測値は概して 0.4 以下であり, 限度に対しては充分の余裕がある。

○橋げたとレールの相対変位. 軌道を弾性床とのりともみして輪重に依るためみ, すなわち橋け

たとえレールの相対変位を求める。軌道理論に依る分布バネ係数は 910 kg/cm で、各車輪に対して $0.47 \sim 0.55 \text{ mm}$ になり、この値は図3の実測値よりもかなり小さい。いま、実測値平均値 1.6 mm を用いて逆算した軌道の分布バネ係数 218 kg/cm を用いて、角折れ部に現われる曲率半径を計算すると 186 m で、実測値と良く一致する。またレール底部の垂直曲げ応力は 8.1 kg/cm^2 になり、実測値に近い。ゆえに、角折れ部のレールが橋げた側に押しつけられて軌道のバネが硬くなる、といったものと考えられる。

○車両走行による角折れ部レールの応力。バネ係数 910 kg/cm で各車輪に対して $3.3 \sim 3.9 \text{ kg/cm}^2$ 、バネ係数 218 kg/cm^2 で $4.7 \sim 5.5 \text{ kg/cm}^2$ となり、後者の値は実測値とかなりよく一致する。

○橋げたの実測たわみから求めた車両走行による角折れの増分。輪重が第2連と第3連に静的に加えられたと仮定して、各けた支間中央の静的計算たわみを求める。この値は実測たわみとよく一致した。また同状態における第2角折れ点側の支点における傾斜を計算する。橋げたに動的に生じている振動モードが静的たわみ曲線と相似であるという近似を仮定すれば、中央たわみの計算値と実測値の比が、支点における計算傾斜と実際の傾斜の比に等しい。したがって各けたの支点における傾斜が推定でき、第2角折れ点の折れ角増分はこれらの傾斜の和に一致する。この方法で求めた角折れ増分はワラ1形、 FM80000 形で $0.8/1000 \sim 1.0/1000$ 、セキ1000形で $1.0/1000 \sim 1.2/1000$ であった。

5. 結論

- 測定された横圧は小さく、角折れの場合でも約2g以下で問題はない。
- 輪重扱いは最大で FM80000 形、速度 71 km/h で 44% なので、限度の 70% に対して十分に小さい。
- 脱線係数は概して 0.4 以下で、限度の 0.8 に対して充分な余裕がある。
- 車輪のセリ上がりは全く生じていない。
- 車体左右方向加速度は概して全振巾 0.45 g 以下で、限度の 0.6 g に対して小さい。
- 車体上下方向加速度はワラ1形で 0.55 g 、 FM80000 形で 0.72 g 、セキ1000形で 0.44 g が最大であり、 FM80000 形の値は一般の走行時のものに較べて大きい。脱線の面、積荷の移動面から考えて問題はない。
- 橋げたの移動によって1角折れ点に付、約 $10/1000$ の折れ角を設定した場合、その角折れ点に現れる軌道の縦曲線の曲率半径は約 200 m 、縦曲線部の長さは約 2 m であった。
- 上記の角折れ設定にとりまわってレールに発生する垂直曲げ応力は約 7 kg/cm^2 であった。
- 車両走行によって橋げたに生じるたわみに起因する支点部の角折れ増分は約 $1/1000$ であり、この量は直線路の場合に較べて角折れのある場合の方が約 $0.2/1000$ ばかり小さかった。また、試験走行速度の範囲内では、速度による影響がほとんど認められなかった。
- 水平角折れ量が $5/1000$ 程度である限り、レールの水平方向曲げ応力度、車両走行が橋げたの動的垂直変位(たわみ)におよぼす影響は無視できる。

6. あとがき この実験は本州四国連絡橋公園の依頼に依って国鉄が行ったものである。関係者各位の絶大なる御協力があつた。