新幹線における列車動揺の低減化に対する検討

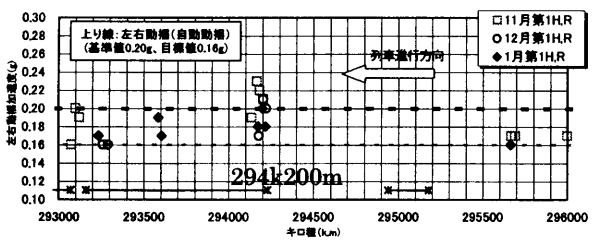
JR東日本　正会員　○　池谷　和之
JR東日本　　廣田　和義

1．研究の目的と着目点

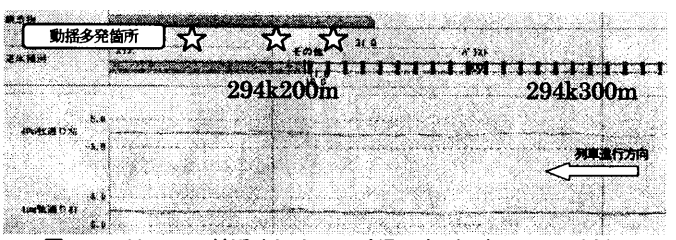
東北新幹線は開業から20年が経過し、お客様により快適な乗り心地を提供するため、列車動揺を低減させることが求められている。現在では40m弦等の長波長軌道整備により、軌道変位に起因した動揺発生の多くは低減されたが、軌道変位が小さくても動揺が発生することが見られ、動揺を完全に低減させるまでには至っていない。そこで軌道変位が小さくても動揺が発生する原因を解明することを目的に、列車動揺と相関が高い横圧の発生とレール断面形状に着目して検討を行った。

2．列車動揺の発生区間

東北新幹線(白石蔵王～仙台)の上り線で左右動揺の発生が多く、特に図－1に示す294k200m直線・バラスト/スラブ境付近が自動動揺測定等で左右動揺基準値(0.20g)を超過している。この区間のH15.1月のマヤチャートは図－2のとおりで、左右動揺を発生させて乗り心地を損なうと考えられている長波長軌道変位40m弦通りは2mm程度まで整備しているものの、依然として左右動揺が発生している。



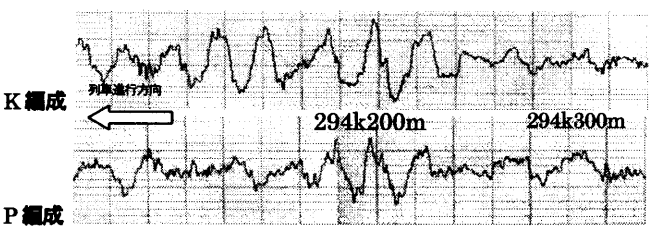
図－1　左右動揺の発生区間（H14.11～H15.1）



図－2　294k200m付近マヤチャート 40m弦通り左・右（H15.1.7測定）

3．異なる列車編成による動揺測定

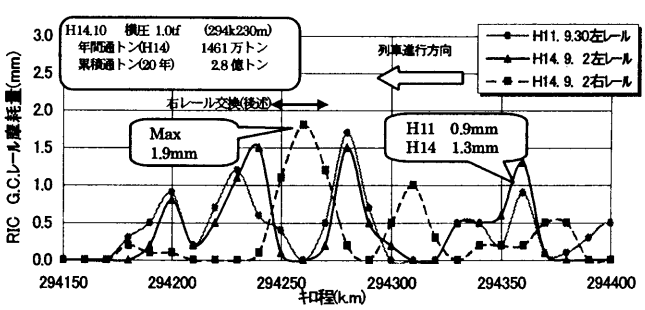
左右動揺の発生状況を確認するため、H14.9.2に異なる列車編成により手動揺測定を行い、その測定結果に対して検討を行った。図－3は、上り294k200m付近の左右動揺のチャートで、上段はK編成(200系:236km/h)、下段はP編成(E4系:235km/h)の波形である。この図から294k200m付近を通過する列車は、左右動揺の振幅は異なるものの、列車編成にかかわらずほぼ同一な方向・周期で左右動揺が発生していることが確認された。



図－3　異なる列車編成による動揺測定（H14.9.2測定）

4．列車動揺発生区間のレール断面形状の検討

294k200m付近を通過する列車がほぼ同一な方向・周期で左右動揺が発生する原因を解明するため、列車動揺と相関が高い横圧の発生およびレール断面形状について検討を行った。横圧の発生は、H14.10のHISTIM測定結果から294k560mで水準変位3.0mmにより微小な左右動揺0.04gおよび横圧1.8tfが発生し、その後断続的に350mほど蛇行動を続け、左右レールへ交互に横圧0.5tf程度が発生し、294k230mで最大1.0tfの発生が確認された。またレールの断面形状は、左右レールの横圧発生箇所とゲージコーナー部(G.C.)の摩耗箇所は一致し、図－4に示すような摩耗量となっていた。この図－4に用いた摩耗量データは、この区間で左右動揺の発生が顕著となったH11とH14にRICで測定したものである。そこで図－4からレール摩耗



図－4　294k200m付近のレール断面形状（H11.9、H14.9）

キーワード　列車動揺，レール摩耗，横圧，動揺周期，レール削正
連　絡　先　〒100-0005　東京都千代田区丸の内1-9-1　JR東日本　新幹線運行本部　TEL 03-3240-9635　FAX 03-3240-9700

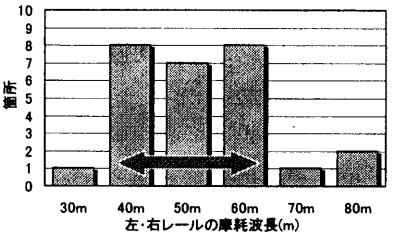
進みを算出し、レール摩耗性状と左右動揺の関係を検討した。

①G.C.のレール摩耗進み(H11 左、H14 左)

この区間のレールはS57 開業時の敷設から約 20 年間が経過し、H11.9：0.9mm、H14.9：1.3mm の摩耗が左レールで進行した。よって H11 から H14 まで直線区間で横圧が 1.0tf 程度に発生している場合、摩耗進みは 0.4mm/3 年と算出できる。また H14 の年間通トンが 1461 万トンであることから、この区間における摩耗進みは 0.1mm/1000 万トン(0.13mm/年)と推定できる。

②左右レールの摩耗性状(H14 左･右)

H14 現在、左右レールの G.C.摩耗量は 2mm 程度まで摩耗が周期的に進行し、左右レールでその周期に半波長の位相差が見られる。そこでこれらの摩耗ピーク点間の摩耗波長とその箇所数の分布は図―5 のとおりで、294k200m 付近には 40～60m の摩耗波長が卓越している。またこの摩耗波長は、列車固有振動数 1.0～1.5Hz に対する 235km/h から算出される動揺波長の 43.5～65.3m と一致している。



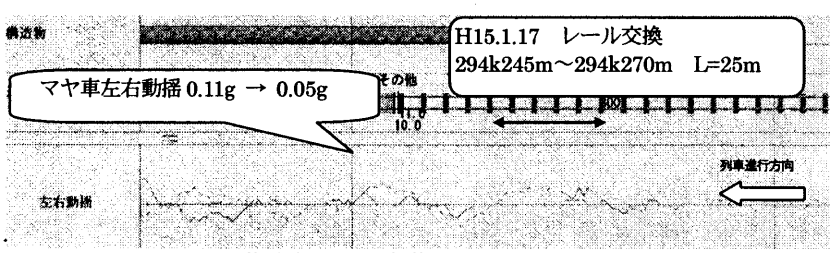
図―5 左･右レールの摩耗波長の分布

よって 294k200m 付近は、過去に軌道変位等で発生した列車動揺が同一箇所で繰返され、その横圧により左右レールの G.C.等が列車動揺と同程度の 40～60m 波長で 2mm 程度まで摩耗が進行した。そして現在では長波長整備を実施しているにもかかわらず、350m 程度離れた区間で小さな軌道変位により発生した動揺でも、摩耗周期と列車動揺周期が一致して共振するため、0.20g 程度の左右動揺が発生していると考えられる。

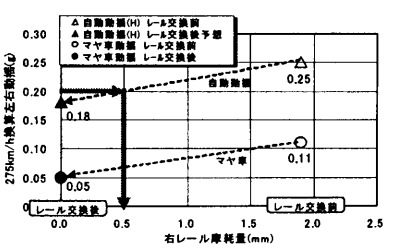
5．レール交換による左右動揺の低減効果の検証

そこで周期的なレール摩耗を除去することで左右動揺がどの程度低減されるかを検証するため、図－4 でレール摩耗量が 1.9mm まで進行した 294k260m を含む、294k245m～294k270m(L=25m:右レール)に対してレール交換を実施した。レール交換後に 25m レールを測定した結果、局所的に 2mm の摩耗が見られ、直線区間にもかかわらず F.C.に 2mm のきしみ割れも多数発生していたことから、左右動揺等に伴って横圧および輪重が長期間にわたって作用していたことが確認できた。

レール交換前後のマヤチャートは図－6 のとおりで、レール交換箇所でマヤ車左右動揺が 0.11g:266km/h→0.05g:270km/h に低減された。よってレール交換により周期的なレール摩耗を除去(レール断面修復)することで左右動揺が 0.06g:275km/h 換算程度低減できることが確認された。またレール交換前に自動動揺測定で左右動揺･0.20g:230km/h (0.25g:275km/h 換算)は、交換後に動揺設定値 0.14g:230km/h (0.18g:275 km/h 換算)を超えるものが見られなかったことから、動揺設置値以下まで低減されたと予想できる。図－7 にレール交換前後のレール摩耗量(1.9mm→0mm)と 275km/h 換算左右動揺(マヤ･自動動揺)の推移を示す。この図からこの区間で自動動揺測定等の 275km/h 換算左右動揺を基準値 0.20g 以下に抑えるためには、周期的なレール摩耗量の振幅を 0.5mm 以内に抑えることが必要であり、摩耗進み 0.13mm/年から 1 回/3.8 年程度のレール削正により周期的な摩耗の予防に努める必要がある。



図－6 レール交換前後の左右動揺推移(マヤチャート:H15.1.7、H15.1.20 測定)



図－7 摩耗除去による左右動揺の低減効果

6．まとめ

294k200m 付近で長波長軌道変位が小さくても左右動揺が発生する原因は、長期的に繰返された列車動揺の横圧で左右レールが周期的に摩耗し、微小な左右動揺でもレール摩耗周期と列車動揺周期が一致し共振したためと考えられる。今後は周期的なレール摩耗を削正等で除去することで、どの程度まで動揺が低減されるか検証し、動揺対策としての軌道整備では、長波長軌道変位を小さくするのと同時に、周期的なレール摩耗管理を実施していくことが必要である。