1101　車輪・レール間の接触幾何特性の最適化に向けた検討

学［機］○坂本　正哉　（東大院）　　正［機］　須田　義大　（東大生研）

正［機］　林　世彬　　（東大生研）

正［機］　合田　憲次郎（日立研究所）　正［機］　千鯛　正隆　（日立研究所）

Study on optimization of contact geometry characteristic between wheel and rail

Masaya SAKAMOTO, The University of Tokyo 7-3-1, Hongo, Bunkyou-ku, Tokyo, 113-8654

Yoshihiro SUDA, Institute of Industrial Science 4-6-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505

Lin Shi-pin, Institute of Industrial Science 4-6-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505

Kenjiro GODA, Hitachi Reserch Laboratory, Hitachi,Ltd., 2-832 Horiguchi, Hitachinaka-shi, Ibaraki, 312-0034

Masataka HIDAI, Hitachi Reserch Laboratory, Hitachi,Ltd., 2-832 Horiguchi, Hitachinaka-shi, Ibaraki, 312-0034

This paper presents the running stability and curving performance of the railway vehicle. In order to improve the running stability and curving performance, it is important to consider the effects of the contact geometry between the wheel and the rail. The contact geometry depends on the parameters of the wheel and the rail. Since there are many combinations, the study that investigated these influences systematically has not been done so much. In this paper, the characteristics of the contact geometry between Japan and EU are compared and some knowledge for optimization of contact geometry is obtained.

Keywords : wheel/rail, contact geometry, wheel profile, rail profile, slack, check gauge

1．はじめに

鉄道車両の車両運動性能（例えば，走行安定性，乗心地，曲線通過など）の議論するうえで，車輪・レール間の接触幾何は大きな影響を及ぼすため，その影響を無視することはできない．車輪やレールにおけるパラメータが接触幾何に与える影響に関する研究として，レールにおけるスラックが車両の走行性能に与える影響[1)2)]，タイプレート角度が車両の曲線通過性能に与える影響[3)]などがある．車輪・レールのパラメータは，車輪踏面の形状，レールの頭頂面形状，タイプレート角度，スラック量等があり，その組合せは膨大に存在する事から，これらのパラメータが接触幾何特性に与える影響を体系的に調査した研究は，あまり行われていない．

本論文では，車輪・レール間の接触幾何特性の最適化に向け，日本と欧州の高速鉄道で用いられている代表的な車輪踏面形状，及びレール頭頂面形状を対象に，接触幾何に影響を及ぼすパラメータを定義し，これらのパラメータの変動が接触幾何に及ぼす影響に関しての調査・検討を行った．

2．接触幾何モデルと解析パラメータ

本研究では，日本と欧州の高速鉄道の車輪・レール形状を用いた接触幾何解析により，図1に示すパラメータ(車輪踏面形状，レール頭頂面形状，スラック，タイプレート)が接触状態に与える影響を解析評価した．車輪・レールの形状として，日本は新幹線円弧踏面と JIS60kg レール頭頂面を，欧州は S1002 踏面と UIC60 頭頂面を用いる．なお，形状はいずれも新製形状とする．また，軌間は 1435mm，バックゲージは 1360mm とする．ここで，日本と欧州では，レール幅の違いにより，左右のレール頭頂面の中心間距離と左右の車輪踏面の設計中心間の距離が異なる．日本では，レール中心間距離は 1500mm，車輪間隔は 1490mm であるが，欧州では，それぞれ 1509.3mm と 1500mm となる．これらはすべて車輪とレールの横方向の相対変位であることから，元となる車輪間隔を基準として，等価スラックを用いて表すことにする[5)]．等価スラックの概念を導入した理由は，車輪・レールの横方向の相対的な位置関係を一元的なパラメータにて表す事を狙いとしている．なお，等価スラック 0mm とは，バックゲージ 1360mm の条件とした車軸がレールに乗った条件の事を意味する．

以上より，表1に本解析で用いるパラメータを示す．

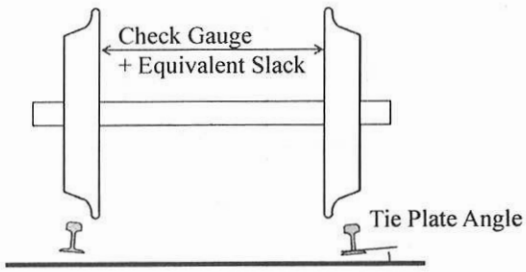

Fig.1 Parameters

Table 1 Parameters

Wheel Profile	Arc (Shinkansen), S1002
Rail Profile	JIS60, UIC60
Equivalent Slack	-2, 0, +2, +4 [mm]
Tie Plate Angle	0:40, 1:40, 2:40 [-]

3．解析結果

3.1 新幹線円弧踏面が様々なレール上を走行する場合

本項では，新幹線円弧踏面が，国内レール JIS60，欧州レール UIC60 をそれぞれ走行した条件を仮定して，接触特性への影響を解析評価した．図 2 に本報での等価踏面勾配と輪径差の値をとる箇所を示す．等価踏面勾配は，輪軸左右変位 10mm での輪径差より算出した変位 0mm 付近の傾きの値として，輪径差は，車輪フランジがレールに接触する際の値として，それぞれ定義した．表 2 に車輪とレールの接触状態を，図 3・4 に等価踏面勾配と輪径差を示す．

表 2 に示すように，実在の組合せである新幹線円弧・JIS60(タイプレート角度 1:40)では，車輪がレール頭頂面中心で接触し，輪軸左右変位に伴い，接触位置が踏面を連続的に移動していく傾向が見られ，接触状態は良好である．

一方，実在しない組合せではあるが，新幹線円弧・UIC60 では，いずれの条件でも輪軸左右変位に伴って，接触位置が踏面からフランジ位置に非連続的に大きく移動してしまう傾向が見られる．このような接触状態は，局所的な摩耗を起こすことから，よい接触状態ではないと言える．また，新幹線円弧・JIS60（同 1:20）でも，接触位置が非連続的に移動してしまう傾向が見られる．

また，図 3・4 に示すように実在の組合せである新幹線円弧・JIS60 は，UIC60 との組合せに対して，タイプレート角度 1:20 を除き，等価踏面勾配，輪径差が大きい傾向がある．要因の考察は，次項にておこなう．

以上より，国内新幹線で実存の新幹線円弧踏面，JIS60 レール(同 1:40)は，接触幾何特性が適正化された組合せであると考えられる．

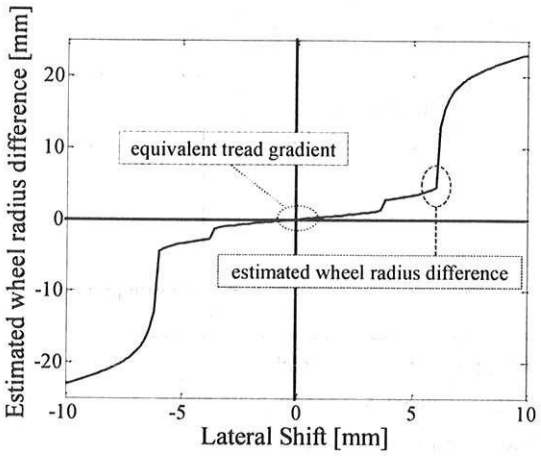

Fig.2 equivalent tread gradient and estimated wheel radius difference

Table 2 contact state

Table 2.1 combination with JIS60

Tie Plate Angle[-] \ Equivalent Slack[mm]	-2	0	+2	+4
0:40				
1:40				
2:40				

Table 2.2 combination with UIC60

Tie Plate Angle[-] \ Equivalent Slack[mm]	-2	0	+2	+4
0:40				
1:40				
2:40				

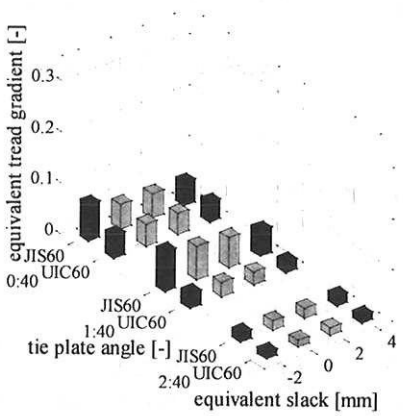

Fig.3 equivalent tread gradient

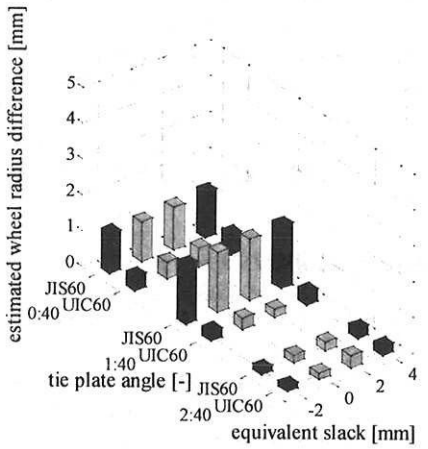

Fig.4 estimated wheel radius difference

3.2 UIC60 上を様々な車輪が走行する場合

本項では，UIC60 レール上を新幹線円弧踏面，欧州 S1002 踏面がそれぞれ走行した条件を仮定して，接触特性への影響を解析評価した．表 3 に車輪とレールの接触状態を，図 5・6 に等価踏面勾配と輪径差を示す．

表 3 に示すように実在の組合せである S1002･UIC60(同 1:40)では，車輪がレール頭頂面中心で接触し，輪軸左右変位に伴い，接触位置が踏面を連続的に移動していく傾向が見られ，接触状態は良好である．一方，新幹線円弧・UIC60 の組合せでは，輪軸左右変位に伴って，接触位置が踏面からフランジ位置に非連続的に移動してしまう傾向が見られる．また，S1002・UIC60（同 1:20）でも，接触位置が非連続的に移動してしまう傾向が見られる．

また，図 5・6 に示すように，実在の組合せである S1002・UIC60 は，新幹線円弧・UIC60 に対して，タイプレート角度 1:20 を除き，等価踏面勾配，輪径差が大きい傾向が見られる．また，タイプレート角度 1:20 では，共に等価踏面勾配と輪径差が小さくなる傾向が見られる．

新幹線円弧・UIC60 において，接触状態が悪化し，等価踏面勾配と輪径差が小さくなる現象は，欧州 UIC60 レールが JIS60 に対して，レール幅が広く，レール中心間距離が広いことから，新幹線円弧踏面の車輪では，車輪踏面の設計中心ではなく，車輪外側にて接触することが一因であると考えられる．

以上より，欧州高速車両で実存の S1002 踏面，UIC60 レールは，接触幾何特性が適正化された組合せであると考えられる．

4．結言

本論文では，日本と欧州の高速鉄道の車輪・レール形状を用いた接触幾何解析により，各パラメータが接触状態に与える影響を解析評価し，以下の結果を得た．

・今回検討したパラメータ変動の範囲内では，日本及び欧州いずれにおいても現存の組み合わせ（車輪踏面形状，レール頭頂面形状，タイプレート角度，等価スラック量の組合せ)は，輪軸左右変位時において，接触位置が連続的に移動するなど，接触状態が良好である．

・新幹線円弧踏面と UIC60 レールの頭頂面形状の組み合わせでは，レール幅の違いによるレール中心間距離の違いにより，接触位置が車輪踏面の設計中心から外側に移動し，輪軸の左右変位時において接触位置が車輪の踏面とフランジを非連続的に移動する．

・車輪・レール間の接触幾何特性は，車輪，レール，及びそれぞれのパラメータ(車輪踏面形状，レール頭頂面形状，タイプレート角度，等価スラック量の組合せ)の組合せを考慮して評価を行い，最適化の検討を行う必要がある．

Table 3 contact state

Table 3.1 combination with S1002 Tread

Tie Plate Angle[-] \ Equivalent Slack[mm]	-2	0	+2	+4
0:40				
1:40				
2:40				

Table 3.2 combination with Arc Tread

Tie Plate Angle[-] \ Equivalent Slack[mm]	-2	0	+2	+4
0:40				
1:40				
2:40				

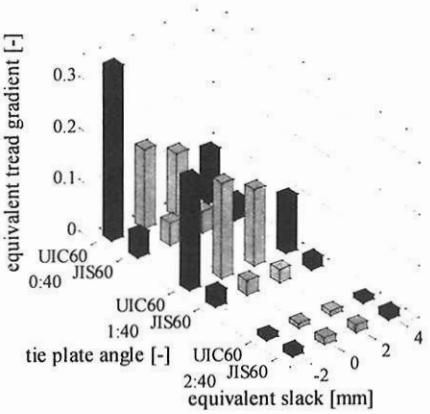

Fig.5 equivalent tread gradient

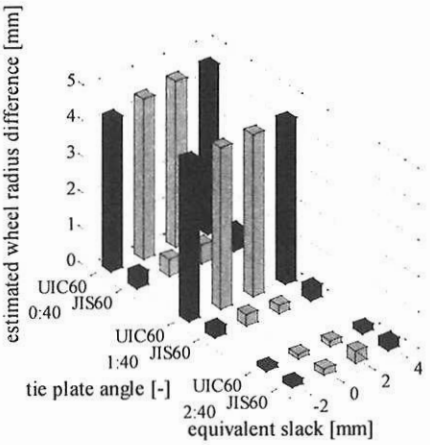

Fig.6 estimated wheel radius difference

参考文献

1) 森山淳, 谷藤克也, “スラックが 2 軸ボギー車の曲線通過に及ぼす運動学的影響”, 機論 C 編, Vol.68, No.673, pp. 104-110, 2002
2) 足立雅和, 松本 陽, “スラック拡大による鉄道車両の走行性向上効果に関する検討”, 機論 C 編, Vol. 75, No. 752, pp. 163-170, 2009
3) 足立雅和, 松本 陽, “車輪とレールの接触特性を考慮した鉄道車両の曲線通過性能向上”, 日本機械学会 D&D Conference CD-ROM 論文集, No.09-23, 2009.
4) 日本機械学会編, “車両システムのダイナミックスと制御”, 養賢堂, pp.122, 1999
5) 坂本正哉, 須田義大, 林世彬, 合田憲次郎, 干鯛正隆, “車輪・レールのパラメータ変更が接触幾何に与える影響”, 日本機械学会年次大会 CD-ROM, 2012.