

2404 新幹線軌道スラブに作用する応力に関する調査

正 [土] 輪田 朝亮 (JR 東日本)

Investigation of Stress Caused in Slab track of Shinkansen

TOMOAKI WADA, East Japan Railway Company, Research & Development Center of JR East Group Technical Center
2-479 Nisshin-cho, Kita-ku, Saitama-shi, Saitama, Japan

In order to estimate influence on slab track of Shinkansen due to increasing operating speed, we measured stress caused in the slab tracks at train speed from 285 to 395 km/h. As a result of measuring, we found that stress was 3.81MPa or less, and confirmed that it was less than the threshold of speed-up. The threshold of stress caused in slab track PRC type install on the site is 4.7MPa.

Next, we investigated the relationship between the stress and speed using the results of measuring, however we did not found constant tendency. Then we looked for other factor which increased the stress caused in slab track.

As a result, we found that the stress caused in slab track is influenced by vertical displacement of the edge of the slab track, and that the level of the stress is influenced by difference between maximum and lowest temperature along the day, the influence of it is larger than that of train speed.

Keywords: Shinkansen, slab track, stress, speed-up

1. はじめに

新幹線の高速営業運転に対する軌道材料への影響を検討する上で、軌道スラブは取替が困難な部材であることから、高速化が長期耐久性へ与える影響の評価を行う必要が生じた。スラブの耐久性について考えると、表面に過大な引張応力が作用しひび割れが発生すると、雨水の浸入による凍結融解などによりひび割れが拡大するとともに、鉄筋の腐食が生じることも懸念される。

上記の理由から、速度向上試験において、列車通過時にスラブ表面に発生する動的応力について測定し、速度向上の走行判定標準に基づき評価するとともに、速度影響について分析したので報告する。



2. 測定概要

スラブ表面応力測定の時期、場所、速度域や測定方法などについて下記に示す。

【測定時期】2006年6月～7月

【測定場所】東北新幹線 一ノ関～水沢江刺

【測定車両】軸重 約 12t (空車時)

【測定速度】285km/h～395km/h (合計: 10 本)

【測定項目】スラブ表面応力 (PRC スラブ 6 枚)
スラブ上下変位

【測定方法】

図1の通り、スラブ応力は突起部付近、上下変位は路盤を基準としスラブ端部で測定した。測定は、R=6000m における 6 枚のスラブで実施した。スラブ下の CAM 状態は、同程度のものを選定した。

【応力測定位置】

表面応力は、列車が通過する(輪重が載る)際に、引張りが働きやすく、走行判定標準値も厳しい、レール直角方向(マクラギ方向)を測定した。(図1)

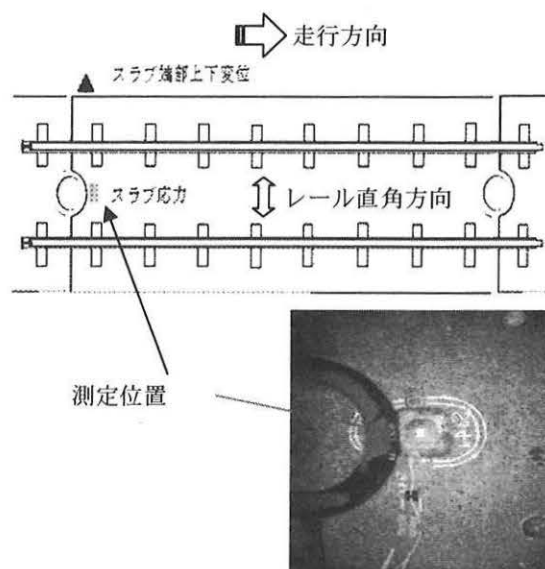


図1: 測定概要

3. 速度向上判定標準

走行判定標準値は、スラブ板に対し、レール方向、直角方向にそれぞれ定められている。(表1、図2)

表1：スラブ表面応力走行判定標準値

方向別	標準値 (PRC スラブ)
レール長手方向	5.0MPa 3.0MPa+2.0MPa (2.0MPa:有効プレストレス)
マクラギ方向	4.7MPa 3MPa+1.7MPa: (1.7MPa:有効プレストレス)

「鉄道技術研究所速報
(軌道関係走行判定標準の提案) より」

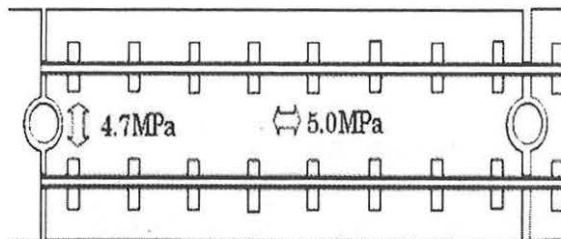


図2：標準値（方向別）

4. 測定結果

6測点の測定結果を、縦軸に応力、横軸に速度をとり、測定点別にプロットした(図3)。

395km/hまで測定した結果、速度向上に伴う応力増大の傾向は認められなかった。最大値は、286km/h時に観測された3.81MPaで、当該スラブ(PRC)形式の標準値4.7MPa以内であることが確認できた。

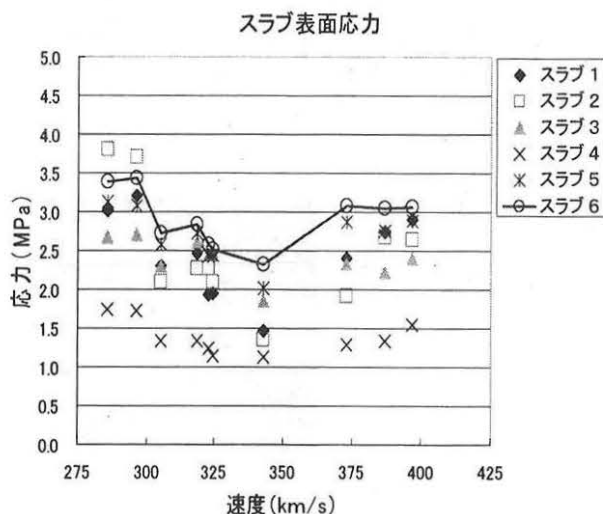


図3：速度向上とスラブ応力

5. スラブ応力変動に関する要因分析

スラブの動的応力は、輪重の入力に伴い発生するため、応力の程度は輪重の大小に依存すると想定される。そして、測定した曲線区間において、外軌側の輪重は速度とともに増大することが確認されている。(図4)しかしながら、スラブ応力の測定結果は、前述のとおり、速度との相関は認められなかった。

そこで、過去の知見をもとに、スラブ応力の大小に与える要因について分析した。

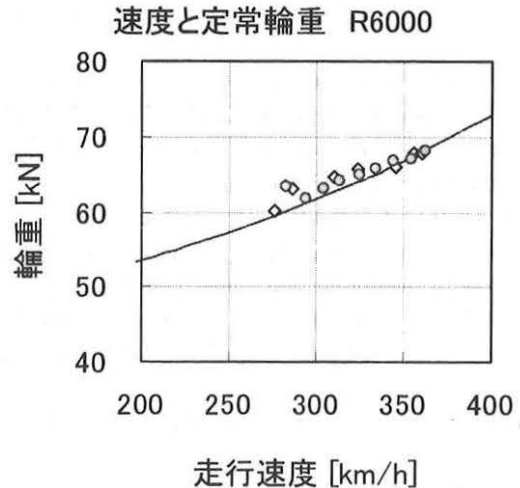


図4：速度と輪重（外軌）の関係

5.1 過去の知見

鉄道総研による室内試験結果によれば、静的荷重条件下で、スラブ端部は室温が最低のときに上向きにそりあがり（スラブは凹の形状）、室温が最高の時に、端部の変位は下向き（スラブは凸の形状）に最大になる。また、スラブ端部の時刻による推移は、夜間20:00頃から明け方4:00頃までスラブ端部のそり変形が大きくなる。そして、変形量は、日較差の影響を受け、日較差が大きくなるとそり変形の量も大きくなると報告されている。

5.2 分析概要

上記の知見から、営業線上におけるスラブ端部にも図5のように、スラブ端部に変形（そり）が生じ、列車通過時に輪重が作用して、表面に引張り応力が新たに発生する。そして、その程度は、そり変形量に依存すると推定される。この仮定によれば、気温低下時、また日較差が大きな日に、そり変形量が増加し、それにともないスラブ応力も増大すると予想される。そこで、上記の仮定を確認するため、次の調査を行った。

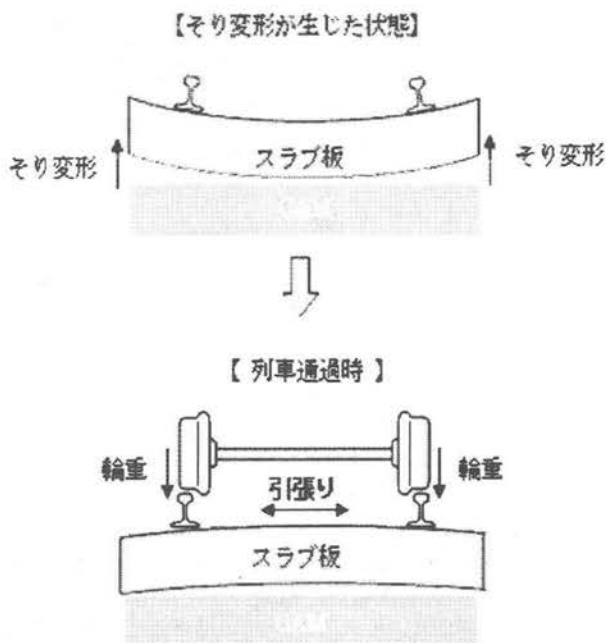


図5：スラブ端部のそり変形

5.3 スラブ表面応力とスラブ端部の上下変位

縦軸に列車通過時のスラブ表面応力を、横軸にスラブ端部の動的な上下変位をプロットし、両者の関係を調査した。1例を図6に示す。

測定結果から、測点により傾きは異なるが、スラブ応力とスラブ端部変位には、明確な関係が認められた。つまり、列車通過時にスラブ表面に発生する応力と、スラブ端部の動的上下変位は密接に関係していると言える。

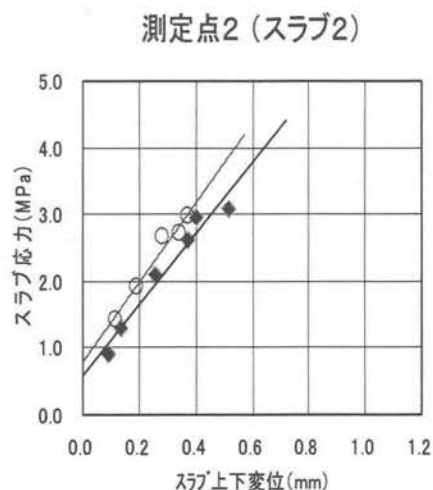


図6：スラブ表面応力とスラブ上下変位

5.4 スラブ応力の時刻暦変化

次に、スラブ応力の時刻暦変化と気温の関係を調査した。測定は、ある1日の中で10時～22時(12時間)の間、1時間おきに実施した。なお、条件をそろえるため、全て275km/h程度で通過する営業車通過時に測定している。

図7にスラブ表面応力の時刻暦変化(上図)と気温の推移(下図)を示す。

測定位置により応力に差があるものの、共通する傾向として、気温が低下する夜間に向けて動的に発生する応力が増大し、20:00頃に最大を記録した。これは、前述の過去の知見で、上向きの変位(そり変形)が夜間、気温低下時増大する推移傾向と同様であり、スラブ端部の静的な変位がスラブ表面応力に影響しているという推定を裏付けるものと考えられる。

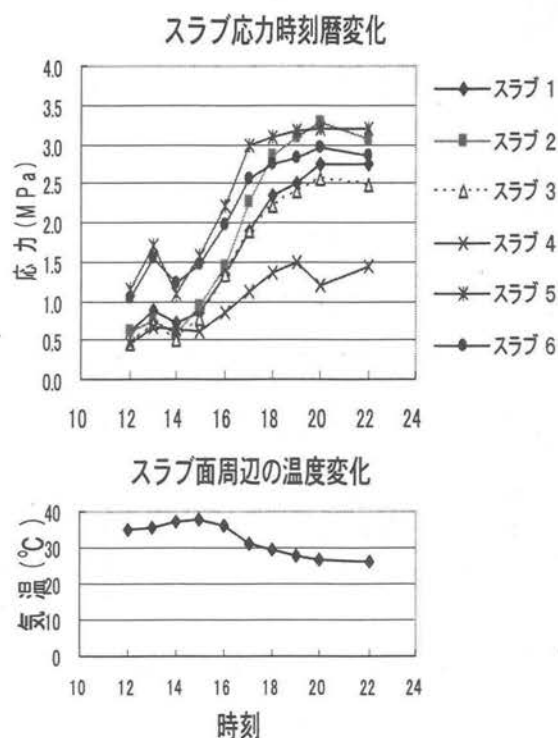


図7：スラブ応力、気温の時刻暦変化

5.5 日較差に対する考察

次に、試験期間中の試験列車のスラブ表面応力との関係について考察した。

図8は、2つの縦軸をもち、左軸はスラブ応力、右側軸は日較差をあらわす。両者は同様の傾向を示し、最大応力3.81MPaを記録した日が最大日較差10.2℃、最低2.34MPaを記録した日が最低日較差3.2℃であることが分かった。

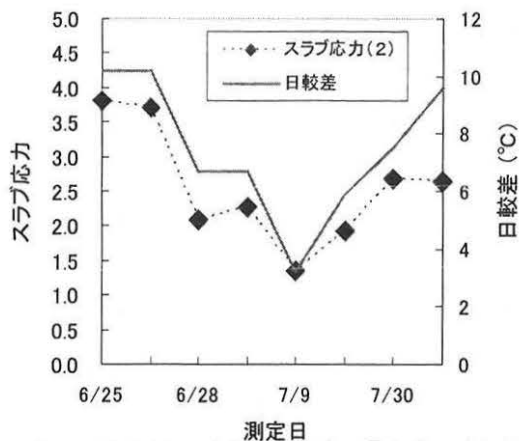


図8：日較差とスラブ表面応力

さらに、列車通過時におけるスラブの動的上下変位と日較差についても同様の検討を行った。

図9に検討結果を示す。縦軸は列車通過時のスラブ上下変位、横軸に日較差を表す。

結果、両者は非常に相関が高く、列車通過時の上下変位は、日較差の影響を強く受けていることが確認できた。また、試験列車データは、速度が異なる（340km/h～395km/h）にも関わらず相関が高いことから、速度より、むしろ日較差の影響を受けていると考えられる。

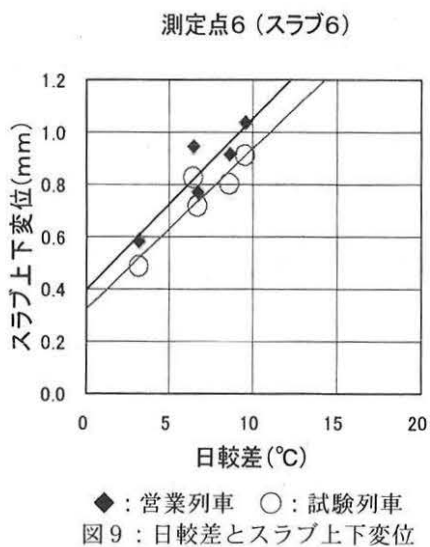


図9：日較差とスラブ上下変位

5.6 速度影響に関する分析

前述の図7に示したとおり、スラブ応力は、ある1日の時刻暦変化において、夜間、近い時刻には、ほぼ等しいことがわかっている。

そこで、日較差が同じ条件、つまり同日の、ほぼ同時刻に測定した、速度の異なるデータを、測定点ごとに比較した。図10は、横軸に275km/hのスラブ応力、縦軸にほぼ同じ時刻の345km/h～395km/hのスラブ応力を取り、両者を比較したものである。

グラフより、両者はほぼ1対1の関係にあり、速度影響は些少で、むしろ日較差の影響が大きいことが確認された。

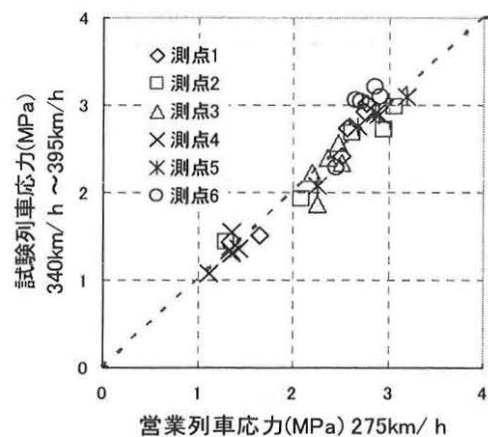


図10：速度影響分析

6. まとめ

- (1) 試験列車通過時のスラブ表面応力（通過時に発生する動的な引張り応力）について、285km/h から395km/h まで測定した結果、最大3.81MPaで、当該スラブ(PRC)形式の走行判定標準値4.7MPa以内であることが確認できた。
- (2) 今回の測定結果からは、速度の増大に伴い応力が增大する傾向は認められなかった。
- (3) スラブ表面応力は、列車通過時のスラブ端部の上下変位に強く影響されることが判明した。
- (4) スラブの表面応力は、気温低下時に大きくなることが判明した。これは、気温低下時にスラブ端部に上向きのそり変形が生じるという過去の知見と傾向が一致することから、スラブの表面応力はスラブ端部のそり変形量に影響を受けると推定される。
- (5) スラブ表面応力の程度、スラブ端部の上下変位は、両者ともに日較差（最高温度と最低温度の差）の影響を受けることが分かった。
- (6) 速度による影響は、日較差による影響に比べ些少であることが分かった。

7. おわりに

試験列車通過時のスラブ動的応力について、285km/h から395km/h まで測定した結果、最大3.81MPaで、当該スラブ（PRC）形式の速度向上走行判定標準値（4.7MPa）以内であることが確認された。

しかしながら、今回の測定結果からは、速度の増大に伴い応力が增大する傾向は認められなかったため、応力を増大させる要因について分析した。

その結果、スラブ応力は、列車通過時のスラブ端部の上下変位に影響を受け、応力の程度は、速度よりむしろ、日較差（最高温度と最低温度の差）の影響が大きいことが分かった。

参考文献

- 1) 安藤勝敏、堀池高広、三浦 重：温度変化時におけるスラブ軌道の荷重変形特性，鉄道総研報告，Vol.3，No.10，89.10