

S2-1-7 次世代分岐器におけるグリッドまくらぎの開発とメンテナンス

[土] ○堀 雄一郎 (東日本旅客鉄道株)

天津 牧人 (株)スミハツ)

Development and maintenance of the Grid Sleeper of the Next Generation Turnout
Yuichiro Hori, Member (JR East) Makito Amatsu, (SUMIHATSU Co., Ltd.)

We developed the Next Generation Turnout (NGT) in order to prevent switch failures and decrease maintenance of turnouts. One of the important components of the NGT is the Grid Sleeper (GS). The GS is composed of longitudinal and lateral members in order to strengthen a track panel structure in a switch part of turnouts. The GS is a hybrid sleeper which is welded steel pipes and foamed urethanes with glassed fibers. This paper is described for about a structure, the strength, effects for track maintenance reduction, workability by the Switch Multiple Tie Tamper of the GS.

キーワード：次世代分岐器、グリッドまくらぎ、合成まくらぎ、スイッチマルタイ、軌道変位

Keyword: The Next Generation Turnout, The Grid Sleeper, synthetic sleepers, SMTT, track deformation

1. はじめに

JR 東日本では、分岐器の設備故障防止と省メンテナンス化を目的とした新しい構造の分岐器「次世代分岐器」を開発した。次世代分岐器を構成する主要部材の一つが、ポイント部のまくらぎをパネル状にした「グリッドまくらぎ」である。

本稿では、グリッドまくらぎに着目しその開発経緯、基本構造、強度の検証、軌道保守量削減効果の検討、スイッチマルタイによる施工性の検証、そして専用のジャッキアップ治具の開発などの取り組みについて紹介する。

2. グリッドまくらぎの開発経緯

分岐器ポイント部における転換力増大や調整不良などの課題は、高低、通りなどの軌道変位に起因していることが多い。特に、分岐線側を走行する車両から繰り返し受ける横圧によって、トンダレール先端部付近に通り変位が生じているケースが多い。

そこで、次世代分岐器の開発に際して軌道変位の進捗を抑制できる軌道構造を検討した。具体的には、てん充剤で道床を固める TC 型省力化軌道やラダーまくらぎ等を検討したが、施工コスト、重量、分岐器への適用性、メンテナンス方法などを総合的に勘案し、最終的に既存のスイッチマルタイでつき固めが可能な「グリッドまくらぎ」構造を考案した。

グリッドまくらぎは、縦材と横材を格子状に組み合わせた形状としたが、その材質を検討するため、PC まくらぎ製、鉄まくらぎ製、合成まくらぎ製について解析及び試作試験等を行い、最終的に製作コスト、施工コスト、軌間絶縁性

などの面で最適な「合成まくらぎ+汎用角型鋼による複合まくらぎ」構造とした(写真1)。



写真1 グリッドまくらぎ

なお、グリッドまくらぎはポイント部に使用するものであり、リード部、クロッシング部については既存の横まくらぎ(合成まくらぎ)を使用することとした。

3. グリッドまくらぎの基本構造

3.1 構成部材

グリッドまくらぎは、横材及び縦材を溶接して一体の格子状としている。このうち横材は、概ね4本に1本の割合で軌間保持のための長まくらぎを配することとし、その他は短まくらぎとしている。これは、短まくらぎの素材コストが安価なため、長まくらぎの割合を極力減らしたためである。

長まくらぎは、軌間絶縁性を確保するため、内部を合成まくらぎ(ガラス繊維及び発泡ウレタン樹脂の合成体)とし、その表面の一部を鉄板で覆っている。一方、横材短まくらぎ及び縦材は、それぞれ 350×150、250×150 の汎用角型鋼(SS400)を使用し、端面は鉄板を溶接して蓋をして、内部は空洞としている。なお、この角型鋼には十分厚い鋼板(t=12)を使用し、腐食に対しては鉄まくらぎと同等の性能を考えている。また、品形統一のため同一分岐番数であれば片開き、両開き、振分用の左右とも共通化している。

3.2 主要諸元 (表 1)

まくらぎ幅は、汎用角型鋼の規格、合成まくらぎの製造設備、ポイント床板の外形寸法及びスイッチマルタイのツール間隔から、短まくらぎ部 350mm、長まくらぎ部 300mm とした。

まくらぎ間隔は、まくらぎ幅を含めた軌きよう剛性や、部品の共通化を検討して、750mm に統一した。

重量は、例えば 60k10 番分岐器の場合でグリッドまくらぎ重量が 3.9 トンと従来分岐器ポイント部の横まくらぎ (2.3 トン) より重い、分岐器総重量で比較すると従来分岐器とほぼ同等である。

表 1 分岐器の各種諸元比較 (60k10 番)

分岐器種別	まくらぎ幅 mm	まくらぎ間隔 mm	P 部まくらぎ重量	分岐器総重量
次世代分岐器	長部 300 短部 350	750	3.9 トン	16.0 トン
101 分岐器	230	550	2.3 トン	15.9 トン

4. グリッドまくらぎ強度の検証

グリッドまくらぎの強度については、まず FEM による構造解析と実物を使用した静的载荷試験を行い、輪重 (40kN × 2、解析のみ 80kN × 2)・横圧 (60kN) による最大発生応力を計算・測定し、鋼材 (SS400) の許容応力を十分下回ることを確認した (表 2)。

表 2 グリッドまくらぎ強度の構造解析及び静的試験結果

荷重条件	解析値	実測値	許容値
輪重 (40kN × 2)	16.5	21.8	98.0
輪重 (80kN × 2)	38.6	—	98.0
横圧 (60kN)	30.9	33.4	98.0

※単位: Mpa。許容値は文献¹⁾による。

次に動的载荷試験として実物を大宮工場線に敷設し、列車通過時の輪重と発生応力を測定した。そして、その結果から設計最大輪重载荷時の発生応力を推定し、鋼材 (SS400) の許容応力を十分下回ることを確認した (表 3)。

表 3 グリッドまくらぎ強度の動的試験結果 (n=36)

荷重条件	輪重 (kN)	応力 (Mpa)	許容値 (Mpa)
実測平均値	64.4	41.0	98.0
推定最大値	95.5	61.0	98.0

※115 系電車使用、速度域 25~75km/h、速度相関 0.1 未満

5. グリッドまくらぎによる軌道保守量削減効果の検討

グリッドまくらぎによる軌道保守量の削減効果として、通り (左右方向) 及び高低 (上下方向) の軌道変位進み抑制制度について検討した。また、最初に敷設した次世代分岐器 (大宮駅構内 80イ) の敷設後 3 年半 (通トン 1.4 億トン) 経過時における軌道変位の状態を紹介する。

5.1 通り変位 (左右方向)

左右方向の検討は、FEM による軌きようの構造解析と静的载荷試験の結果を組み合わせで行った。静的载荷試験は、従来の横まくらぎ使用分岐器とグリッドまくらぎ使用分岐器とで横方向荷重载荷時の変位量を測定し、その比率を用いて軌きようの横抵抗力を比較した。その結果、左右方向の変位量の比率は従来の 0.14 倍、すなわち軌きようの横抵抗力は約 7 倍となった (表 4)。

表 4 横まくらぎ軌道とグリッドまくらぎ軌道の変位量

まくらぎ種別・間隔	条件	左右変位量	比率
横まくらぎ 600mm	実験	2.26mm	1.00
グリッド 900mm	実験	0.68mm	0.30
グリッド 900mm	解析	0.79mm	0.35
グリッド 750mm	解析	0.32mm	0.14

※横圧 40kN 载荷時の左右変位量と比率、60kg レール

5.2 高低変位 (上下方向)

上下方向の検証は、前項の通り変位と同じ方法で静的に確認したほか、同一箇所 (大宮駅構内 80イ分岐器) における旧分岐器と次世代分岐器との列車通過時の動的な路盤圧力と道床振動加速度を測定し、両者のデータを比較する方法によった。本項では、後者について紹介する。

(1) 測定方法

路盤圧力及び道床振動加速度の測定にあたっては、ポイント中央部のまくらぎ直下に加速度計を埋め込んだ砕石と、路盤内に土圧計を配置し、浮きまくらぎの影響を除くため、前者は 4 点、後者は 8 点測定した。

(2) 測定結果

路盤圧力及び道床振動加速度最大値の新旧比較を表 5 にそれぞれ示す。

表 5 路盤圧力・道床振動加速度最大値の新旧比較

測定項目	旧分岐器	次世代	比率
路盤圧力 (kPa)	26.7	18.0	0.67
道床振動加速度 (dB)	113	110	0.97

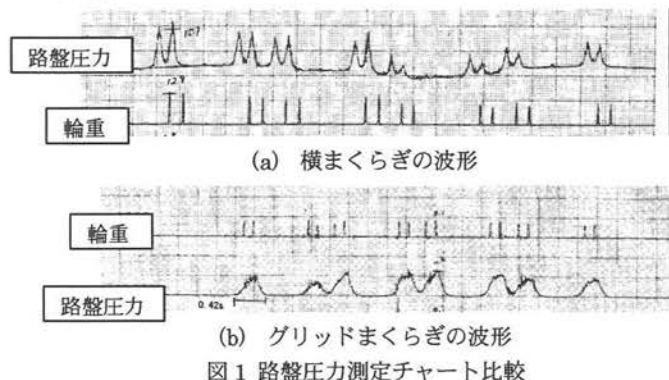
(3) 考察

路盤圧力は、旧分岐器、次世代分岐器ともその絶対値が一般的な値より小さめであったが、新旧間の測定条件は同一であるから相対比較としては成立すると考えた。今回の測定結果によれば、輪重条件が概ね同一の場合、旧分岐器と比較して次世代分岐器の路盤圧力は 3 割減少 (すなわち 1.4 倍程度強化) している。

道床振動加速度は、旧、次世代間に有意差はみられない。なお、道床振動加速度の周波数分析結果はほぼ同一であった。

ここで、列車通過時の路盤圧力波形を図 1 に示す。旧分岐器の場合、1 軸毎にピーク値が発生しているのに対して、次世代分岐器の場合は高周波成分が目立つものの、低周波としては 1 台車 (2 軸) で 1 ピークという傾向にある。これは、グリッドまくらぎがレール長手方向に一体化している縦剛性が強いいため、荷重が緩慢に伝達された効果である

と考える。すなわち、軌道破壊進みの進行が荷重載荷回数に比例するという従来の考え方（文献②）を準用すると、同一の通トンでも軌道破壊進みが半減するのではないかと考えた。



(4) 軌道変位進み低減量の推定

文献②によれば、通常、軌道破壊進みは道床振動加速度×（圧力）²（今回は路盤圧力）の比率で比較することが可能とされている。今回は、道床振動加速度は変わらないものの、路盤圧力が1.4倍と見込まれるという結果から、これを2乗すると約2倍となり、これに、さらに前述の載荷回数半減効果を2倍すると、次世代分岐器は旧分岐器に比較して約4倍の軌道変位抑制効果があると考えた。

5.3 敷設後3年半経過時における軌道変位進みの状況

2002年2月に大宮駅構内80イ分岐器（60k12番片開き、3800万トン/年）に敷設した次世代分岐器の最新の軌道変位データを図2に示す。グリッドまくらぎ部は概ね安定していることがわかる。

また、敷設後3年半の推移をみると、グリッドまくらぎ前端の高低変位を除いて高低・通りとも5mm未満で安定している（図3、図4）。グリッドまくらぎ前端の著大高低変位は絶縁継目を使用していたため、2004年12月に斜めIJに交換した後は安定している（図3）。

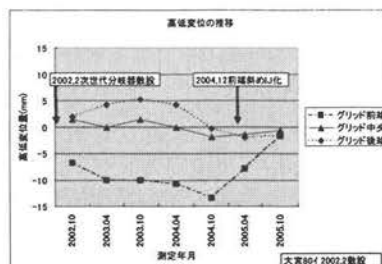
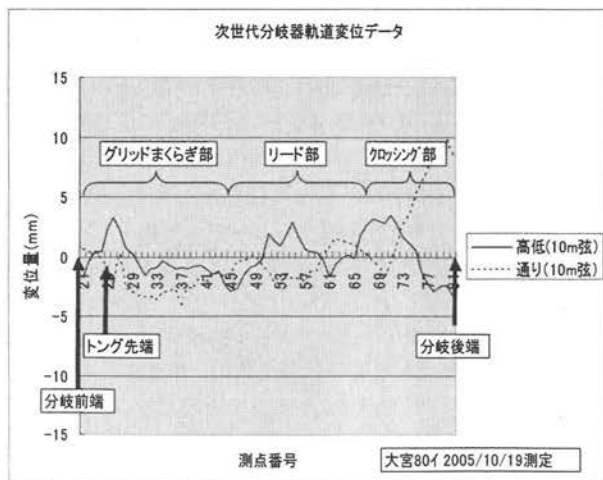


図3 グリッドまくらぎの軌道変位進み（高低）

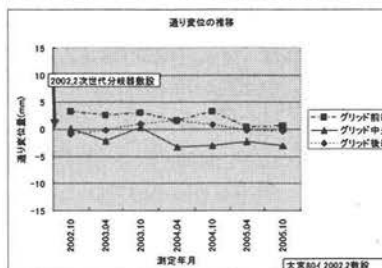


図4 グリッドまくらぎの軌道変位進み（通り）

6. スイッチマルタイによる施工性の検証

次世代分岐器にグリッドまくらぎ構造を考案した最大の理由は、既存のスイッチマルタイでつき固め施工を可能とするためである。そこで、スイッチマルタイによる施工性について、理論的な検討と実施工による確認を行った。

6.1 レールクランプ方法

スイッチマルタイには、クランプとフックがあるが、レール底部より支えるフックは、グリッドまくらぎの縦材が干渉するため使用できない。一方、次世代分岐器の基本レール締結は全てファーストクリップを使用しレールプレスがないため、任意の箇所でもクランプにより頭部あご下から持ち上げることが可能である（写真2）。



写真2 レールクランプ

6.2 グリッドまくらぎこう上時の変形特性

(1) グリッドまくらぎの弾性変形範囲の検討

グリッドまくらぎの縦材及びレールの断面係数から、スイッチマルタイでグリッドまくらぎ部を持ち上げた場合における、グリッドまくらぎの持ち上げ量と発生応力の関係を計算で求めた。その結果、グリッドまくらぎの許容応力98Mpaとなる最大持ち上げ量は、21.8mmであった。すなわち、スイッチマルタイによるグリッドまくらぎの持ち上げ量は20mm程度までとする必要があることがわかった。

次に、グリッドまくらぎの実物を用いて自重によるたわみ量とそのときの発生応力を測定し、グリッドまくらぎの断面二次モーメント（I）を逆算した。その結果、レールを

