

## 1/12 スケール著大通り変位模擬試験装置によるレール張出し事象の再現

○ [土] 小野寺 孝行 (仙建工業㈱)

## A simulation of track buckling by the miniature model of a track, scale of 1 in 12

○Takayuki Onodera, (Senkenkougyou Company)

The track buckling is never happen accident. So, our track engineers have to know a phenomenon of track buckling. I developed the miniature model of a track, scale of 1 in 12, for simulation of track buckling. And I had very good result. This paper shows the development in brief outline, the control mechanism and some samples of the simulation results.

キーワード: レール張出し, 模擬試験装置

Key Words: Track buckling, miniature model, simulation

## 1. はじめに

保線関係の絶滅を帰すべき事故のひとつとして「レール張出し事故」があり、その事故を防止するためにロングレール管理手法等について集合研修等を行なっているが、実際の張出し事故事例がかなり過去のものであり、当時と今では、軌道構造もかなり異なっていることから、どうしても理論中心の座学が中心とならざるを得ず、ややもすると、レール張出し事故に対する危機意識が低くなりかねないこともある。一方で、張出し事故の卵ともいえる温度上昇にもなる著大通り変位が発生していることも事実である。やはり、何らかの方法で張出し現象を再現し実体験することにより、張出し事故に対する危機意識を常に高めておくことが必要であると強く感じている。

そこで、筆者は、小規模ながらも“張出し現象”を擬似体験できる模擬試験装置を開発し、様々な条件での再現試験を行なってきた。その結果、集合教育等で、道床横抵抗力確保の大切さを実感できるレベルの成果を得ることができた。本稿では、試験装置の開発概要、動作原理を述べるとともに、試験装置で再現できたレール張出し事象のいくつかの例を紹介する。

## 2. 装置の概要

## 2.1 外観・重量等

装置の外観を図1に示す。集合教育等での使用を前提として、可搬性を考慮し、約 1/12 スケールの模擬試験装置とした。全長約 2 m、幅約 0.5 m、高さ約 1 m、重量 40 kg 程度であり、2 人での積み降ろし、ワンボックスバンでの運搬が可能である。

レール軸力及び道床横抵抗力は、外部のエアークンプレッサーから供給される空気圧を、電氣的に制御できる空気圧制御器により調整することにより任意の力を付加できるものとした。制御は、一般的なミニタワー型のパソコンを使用している。

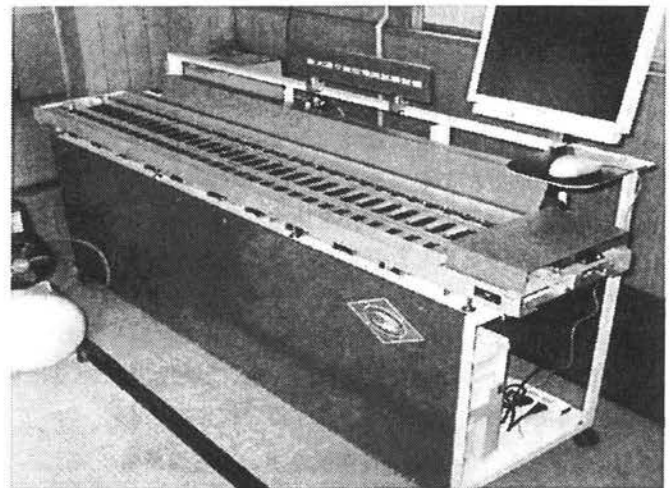


図1 模擬試験装置の外観

## 2.2 模擬レールの材質及び形状

スケールダウンしたモデルで実物と類似した事象を再現するには、様々なパラメータを相似測により一致させることが重要である。軌道の座屈に関する理論式は、さまざまな文献<sup>1)</sup>により提案されているが、無次元の定数が論理式に組み込まれており、相似測への影響度合いが未知数である。そこで、今回は一般的なオイラーの式により求めることとした。オイラーの式では、両端固定端の座屈加重は、

$$P = 4 \pi^2 EI / L^2$$

で表されるので、P (軸力)、E (ヤング率)、I (断面 2 次モーメント)、L (座屈長) を最適な値に組合せることが重要となる。

まず、I (断面 2 次モーメント) を決めるための模擬レールの断面形状については、材料加工の難易度の面からは、長方形や I 型が手軽であるが、今回の開発の目的であるロングレールの張出しを実感するには、やや物足りない形状である。やはり、可能な限りレール断面形状に近いものを追求すべきであった。そこで、複雑な形状でかつ細長い形状に材料を加工する技術の存在を入念に調査したところ、最近では、金属のみならず、プラスチック類についても、かなり複雑な形状に加工可能な専門会社が複数あることが判明した。よって、今回は、実レールの形状を 1/12 にスケールダウンした形状を採用することとした。具体的な寸法を図 2 に示す。

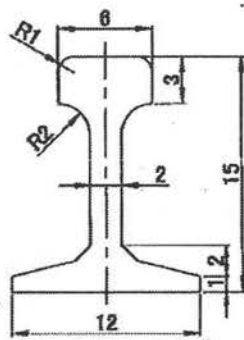


図 2 模擬レールの形状

一方、P (軸力) については、試験装置で付加可能な加重の範囲、L (座屈長) については、装置の大きさの制約を受けることから、適切な E (ヤング率) を有する材質を選定する必要がある。そこで、様々な素材のヤング率に基づき、座屈荷重や座屈長を比較検討したところ、アクリル樹脂が最も適した素材であることがわかった。計算例を表 1 に示す。座屈長が 0.5~1.0m (実スケールに換算すると 6~12m) の場合の座屈荷重は、31~124N となり、軌きよう剛性等を考慮しても、試験装置で容易に付加可能な軸力で座屈が発生すると推定できる。

表 2 代用的な素材の座屈荷重

| 材質        | レール   | アルミ   | アクリル | ポリエチレン |
|-----------|-------|-------|------|--------|
| ヤング率[GPa] | 206   | 70.3  | 3.14 | 0.76   |
| 座屈荷重      | L=1.0 | 2,031 | 693  | 31     |
| N         | L=0.5 | 8,124 | 277  | 124    |
|           |       |       |      | 30     |

### 2.3 道床横抵抗力及び道床縦抵抗力の付加方法

模擬レールを支えるマクラギと試験装置筐体間には、ベアリング式のスライダを縦方向と横方向に取り付け、マクラギが自由に移動できる構造とし、横方向のみ超小型のエアシリンダーで保持し、このシリンダーの圧力を変化させることにより任意の横抵抗力を付加できるようにした。図 3 に軌きよう取り付け

状態略図を、図 4 にその写真を、図 5 に横抵抗力付加部の拡大写真を示す。加圧シリンダーは、内径 2mm 受圧面積 12.6mm<sup>2</sup> であり、ストロークは 20mm である。シリンダーは、最大に伸長した状態でマクラギ端面に最大 1mm 程度の隙間を残して、ほぼ接触するように設置してあり、通り変位が発生した際に、張出した側のみに抵抗力が作用する構造とした。1mm 程度の隙間をあけているのは、張出し現象が発生しやすくするために、軌きよう若千の初期通り変位を与えるためである。開発当初は、シリンダー等の設置位置を細かく調整し、通り変位が全くない状態で、シリンダーとマクラギを完全に接触させていたが、この状態で試験を行うと、道床横抵抗力が全くない状態であっても、軸力が 40kg 超えても張出しが発生しなかった。そこで今回は、あえて隙間を設けることとした。

また、張出し現象が発生し、シリンダーが急激に収縮すると、一般的なシリンダーの場合には、シリンダー内の空気圧が上昇し、圧力が上昇してしまうが、この装置では、高性能な電気制御式の空気圧制御装置によりシリンダーの圧力を一定に保持している。そのため、通り変位が発生しても横抵抗力は変化しない仕組みとなっている。この空気圧制御装置の制御圧力範囲は、0~0.4MPa であることから、シリンダー内の摩擦抵抗等を考慮すると、マクラギ一本あたり 1.0N (約 100gf) ~ 5.0N (約 500gf) 程度の横抵抗力を付加することができる。

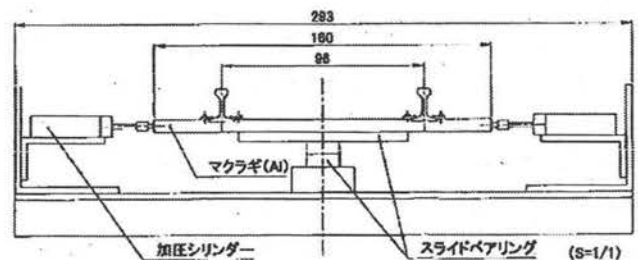


図 3 軌きよう取り付け状態の略図

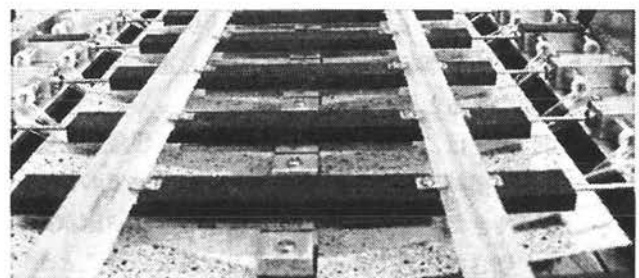


図 4 軌きよう取り付け状態の写真

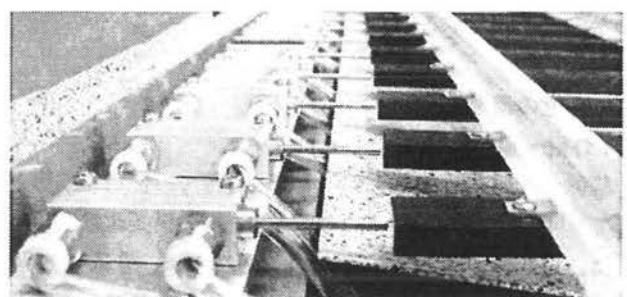


図 5 横抵抗力付加部の拡大写真

## 2.4 レール軸力の付加方法

ロングレールの張り出しを実感するためには、レール両端部を固定しレール温度を上昇させ軸力を発生させることが理想ではあるが、アクリル製レールを均一に加熱する手頃な装置が見つからなかったこと、及び夏季や冬季間の暖房の効いた室内では、加温だけでなく冷却設備も必要であることから、レール温度による軸力発生方法は、断念せざるをえなかった。そこで、前項で記したように、軌きょう縦方向についても筐体からの抵抗が加わらない構造としていることから、レールの端部から軸力を付加すれば、レール全体に均等な軸力が発生することになるので、端部から直接軸力を付加することとした。軸力付加は加圧シリンダーの空気圧とストロークを制御することにより行うこととした。なお、張り出し事象が発生し軸力が急激に低下した場合であっても、きめ細かくシリンダーのストロークを制御することにより、過度のシリンダーの伸長による軸力の過付加を防止している。

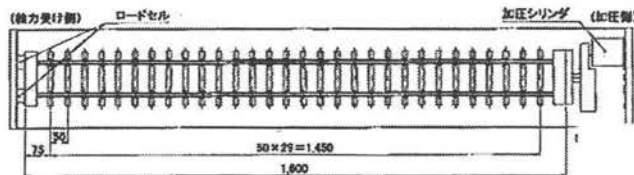


図6 軸力付与装置

## 2.5 制御方法

試験装置は、延長約1600mm、マクラギ30本の軌きょうとなっており、デスクトップ型汎用パソコンのPCIスロットに装着したI/Oボードを介して、横抵抗力制御用の空気圧制御装置、レール軸力付加用のシリンダーストローク制御装置、軸力測定用のロードセル等と接続されており、すべての制御がパソコン上で可能となっている。模擬試験を実施する際には、マウスでアイコンを操作するだけで様々な条件での試験が可能である。操作画面を図7に示す。

道床横抵抗力は、両端部を9本ずつ、中央部の12本のマクラギについては4本ずつ1グループとして、それぞれのグループで独自の横抵抗力を設定することが可能であり、部分的に道床横抵抗力が不足している状態を再現することができる。加えて、中央部の12本のマクラギについては、マクラギ毎に電磁弁によりシリンダー内の圧力を開放することが可能となっており、浮きマクラギ状態を模擬することもできる。設定画面の拡大図を図8に示す。(※プログラムミスにより道床横抵抗力が半分の値で表示されている) また、集合研修での活用を考慮し、ロングレール等の予備知識がなくても体験できるように、細かい設定が不要な、①「道床状態良好」、②「道床不足」、③「道床肩不足6本連続」、④「道床肩不足12本連続」、⑤「浮きマクラギ6本連続」、⑥「浮きマクラギ12本連続」の6つの状態別試験モードを用意した。

また、試験を開始し張り出しが発生すると、軸力の変化を検知し、試験が終了する。画面には、図9に示すように、張り出し直前の軸力と張り出し直後の軸力が表示される。なお、試験終了時には、リセットボタンをクリックすることにより、自動でレール軸力を開放し、横抵抗力用のシリンダーを伸縮させ、軌きょうを軌道変位のない元の状態に復帰することが可能である。

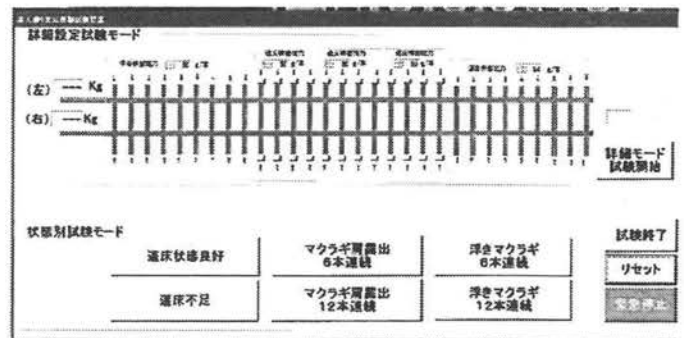
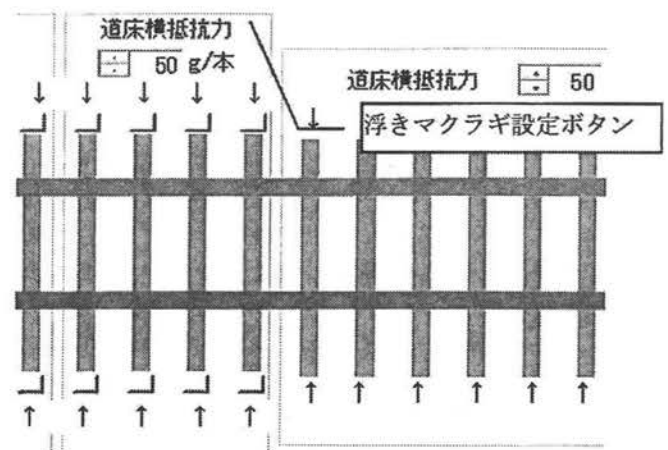


図7 操作画面



※プログラムミスにより道床横抵抗力が半分の値で表示されている

図8 道床横抵抗力設定画面の拡大図

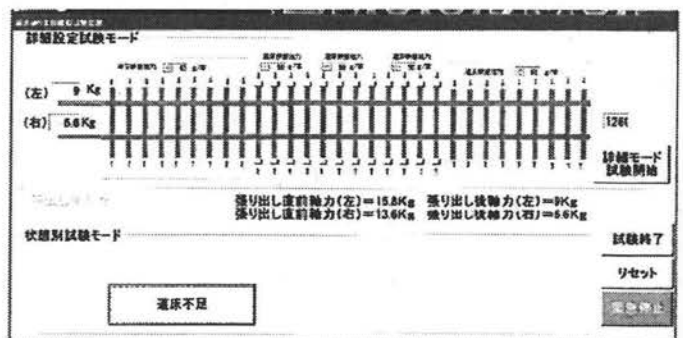


図9 試験結果画面

### 3. 張出し現象の例

状態別試験モードのうち「道床不足」、「マクラギ肩露出12本連続」、「浮きマクラギ6本連続」、「浮きマクラギ12本連続」の4つのモードで試験した結果を以下に示す。なお、「道床状態良好」ではレール軸力を片側300N以上ずつ付加しても張出し現象は発生しなかった。

張出しの形状を示したものが図10である。道床不足の場合にはS型にその他の場合には、片側に張出している。また、浮きマクラギ6本連続と12本連続を比較すると、6本連続よりも12本連続の方が、なだらかな形状で張出していた。

なお、図11に真上から見た状態を、図12に斜め上から見た状態を示す。

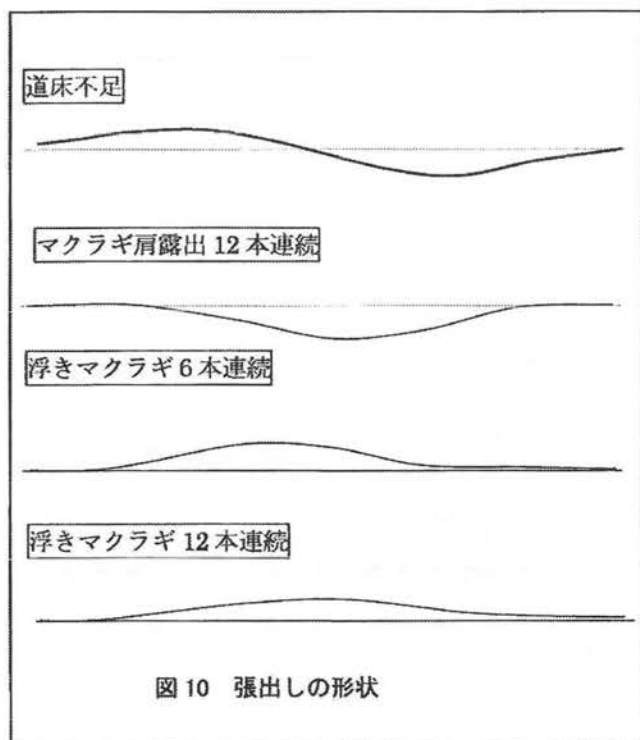


図10 張出しの形状

### 4. まとめ

今回の取組みにより、様々な形状の張出し現象を再現することができた。集合研修等でこの模擬試験装置を体験することにより、レール張出し現象を実感するとともに、レール張出しを防止するには、道床横抵抗力の確保が重要であることを容易に理解することができると思われる。今後は、積極的に活用していく。

なお、この装置は疑似体験するレベルでの機能は十分と思われるが、相似則等が十分に満足しておらず、張出しのメカニズムやロングレールの理論を検証する等の研究目的のためには、より精密な装置の開発が必要である。

### 参考文献

- 1) 宮本俊光 渡辺信年 編：線路—軌道の設計・管理 p478～p479 1980.7 ほか

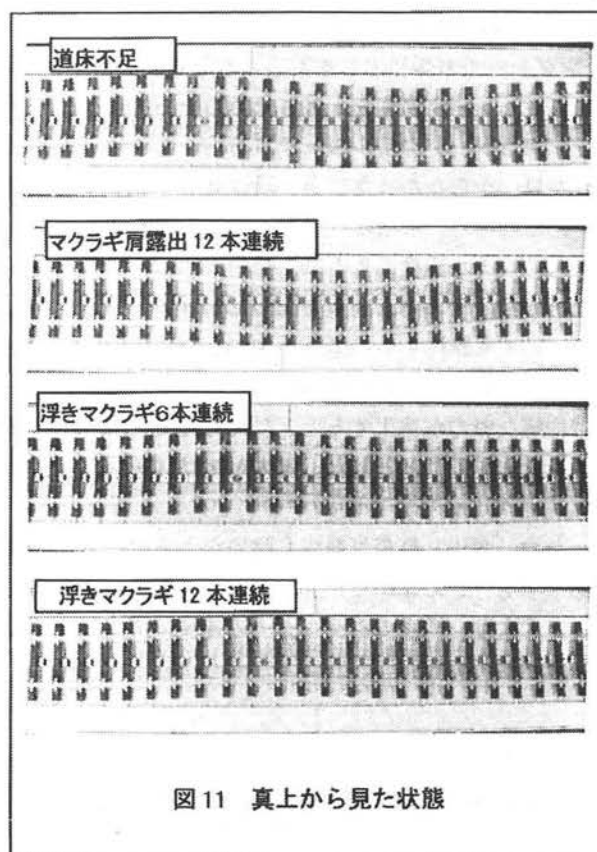


図11 真上から見た状態

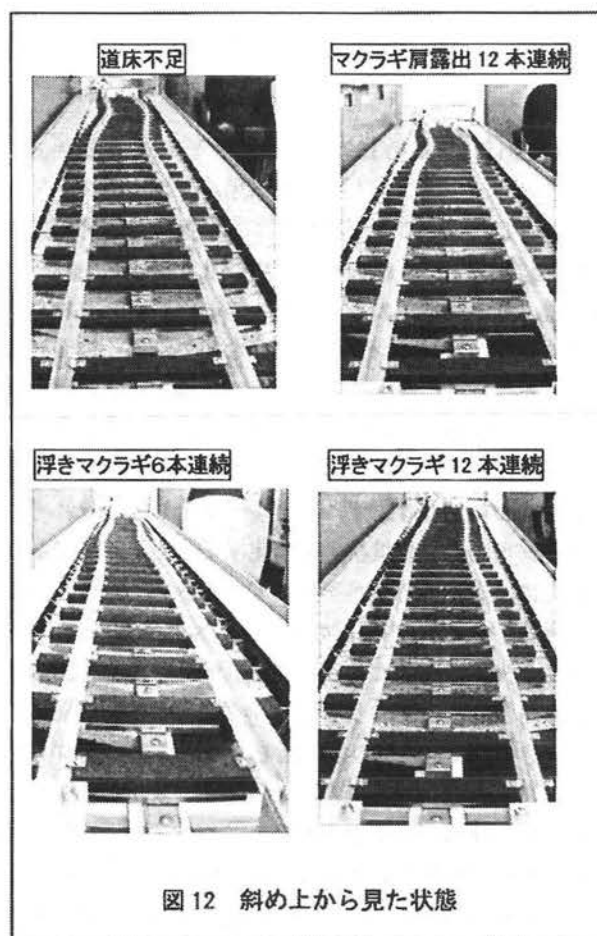


図12 斜め上から見た状態