

1205 無道床橋りょう用脱線防止ガードの設計仕様の検討

正 [土] ○丸山 真一 (JR 東海) フェロー [土] 関 雅樹 (JR 東海)
フェロー [土] 松田 猛 (JR 東海) 正 [土] 曾田 祥信 (JR 東海) 正 [土] 村松 浩成 (JR 東海)

Design and specification of anti-derailing Guard Rail for ballastless bridge

Shinichi MARUYAMA, JR central, 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi
Masaki SEKI, JR central Takeshi MATSUDA, JR central
Yoshinobu SODA, JR central Hironari MURAMATSU, JR central

It reports on the result of the design and specification tests of anti-derailing Guard Rail for ballastless bridge that considers the effect and the practicality (strength, rigidity).

Keywords: anti-derailing Guard Rail, ballastless bridge, design and specification, Tokaido Shinkansen

1. はじめに

東海道新幹線では、地震時の脱線そのものを極力防止するため、地震発生時の特に地震動が強いと想定される地区、および脱線時の被害拡大の恐れが大きい高速で通過する分岐器の手前区間を中心に、脱線防止ガードを順次敷設している。本稿では、全線のうち上下線合わせておよそ 35km の延長を有する無道床橋りょう用の脱線防止ガードを開発したので報告する。無道床橋りょうは有道床一般区間と水平剛性が異なるため、設計荷重の再検討を行った。これに基づき、基本構造の検討を行い、各種載荷試験により必要性能を評価した。

2. 設計荷重の検討

有道床一般区間用脱線防止ガードの設計の際、実台車を用いた加振試験により見込んだ作用力に加え、ガードの変形等に伴う背面横圧を考慮して設計荷重を 170kN としている¹⁾。これに基づき、無道床橋りょう用脱線防止ガードとして見込むべき設計荷重を衝撃載荷試験により再考した。

2.1 地震動に伴う車輪とガードの衝撃による作用力

一般区間用では、実台車を用いた加振試験の結果、計測された最も大きな作用力は 108kN であったことから、衝撃による作用力として 100kN を見込んでいる。この際の衝撃エネルギーについて、輪軸を用いた衝撃載荷で再現することとした。

図 1 に示すような PC まくらぎ 9 本、まくらぎ間隔 581mm で構成される試験軌きょう、および図 2 に示すような新幹線輪軸を吊り下げるための試験架台を製作した。本試験では、重量 2t の輪軸をワイヤーにて吊り下げ、牽引力を調整することで任意の高さから衝撃可能とした。

実台車を用いた加振試験の際には、試験用バラスト軌道上に実台車を載せて加振を行っていた。この際の上載荷重を模擬するために、本試験では、PC まくらぎを鉄板とボルトで締め付けることでプレストレスを導入した(図 3)。この際の締付力は、No5 まくらぎに輪軸が有ると仮定した場合の理論計算で算出したばね定数に基づき導入している。

本試験では、牽引量を変えてガード材に衝撃させた際の荷重を車輪横圧により計測し、既往の実台車加振試験で得られた地震動に伴う衝撃分である 108kN に相当する輪軸高さを導く。

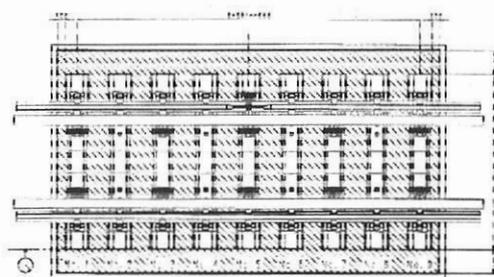


図 1 PC まくらぎ試験軌きょうの概要

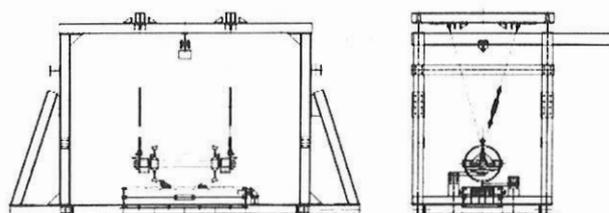


図 2 試験架台の概要

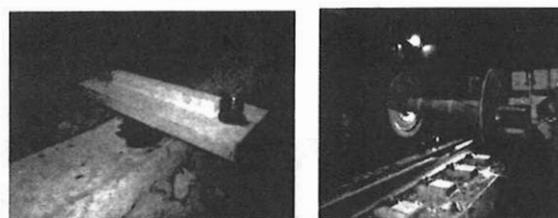


図 3 PC まくらぎ軌きょう衝撃載荷試験の状況

試験は 4 試番実施した。試験状況を図 3 に示す。第 1 試番、第 2 試番の衝撃高さと同横圧の関係に基づき、輪軸高さを 110mm として第 3 試番を実施した結果、衝撃力は 103.2kN であった。再度 110mm の高さで衝撃したところ 113.2kN であったため、第 3 試番が特異値でないことを確認し試験を終了した。試験結果を図 4 に示す。以上より、110mm の高さからの衝撃で、108kN と同等の作用力が生じることが認められた。従って、本試験結果で得られた 2t 輪軸および高さ 110mm という力学的エネルギーは、地震時において実台車が脱線防止ガードに衝撃する際のエネルギーと同等と考えられる。

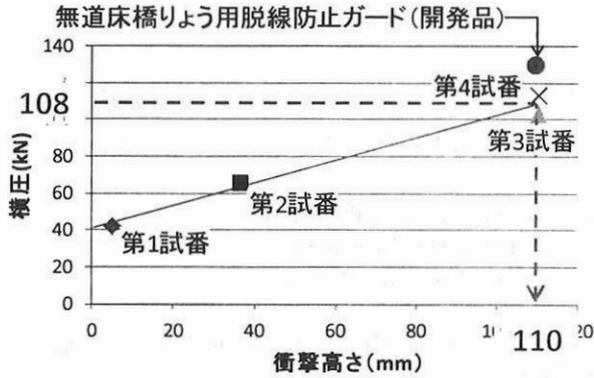


図4 PCまくらぎ衝撃载荷試験結果

次に、無道床橋りょうを想定した合成まくらぎ9本、まくらぎ間隔500mmの試験軌きょうを組み衝撃载荷試験を行った。合成まくらぎの固定は、実際の無道床橋りょうと同様にΦ22mm横縫いボルトによるまくらぎ受け構造とした(図5)。衝撃载荷に際しては、PCまくらぎの試験と同様の試験架台を用いている(図2)。輪軸の吊上げ高さはPCまくらぎ試験の結果導かれた110mmとした。本試験で敷設した脱線防止ガードは「3.無道床橋りょう用脱線防止ガードの検討」で詳述する。

試験状況を図5に示す。本試験を2試番実施した結果、得られた輪軸横圧は第1試番が129.4kN、第2試番が128.8kN、平均で129.1kNであった(図4)。PCまくらぎ軌きょうの横圧よりも大きい値となったのは、まくらぎの固定方法の相違(PCまくらぎはバラストによる抵抗力に依る。一方、合成まくらぎは横縫いボルトによる固定)、およびまくらぎ敷設間隔が短いため、軌きょうの水平剛性が大きいことに起因するものと考えられる。

以上より、実台車载荷試験で策定された一般区間用脱線防止ガードの設計荷重(地震動に伴う衝撃分)100kNに基づき、合成まくらぎ軌きょうの設計荷重のうち地震動に伴う衝撃分は130kNとした。

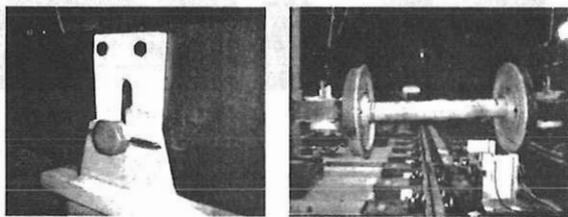


図5 合成まくらぎ軌きょう衝撃载荷試験の状況

2.2 ガードの変形等に伴う背面横圧

隣接するガードの継目部を車輪が乗り移る際の衝撃緩和を目的に、図6のようにガードの端部に1/100のテーバーを設けているため、ガードの変形等に伴う背面横圧を参考文献²⁾に基づき算出した。算出に用いた緒元を表1に示す。

ここで車輪誘導量 δ は、進行方向手前側のガードの水平変位量に相当すると考え、実台車を用いた加振試験結果¹⁾に基づき、6mmとした。また、ガードの横剛性は、「3.無道床橋りょう用脱線防止ガードの検討」で詳述する衝撃載

荷試験の結果を参考に12.5kN/mmとした。算出結果を図7に示す。これより、脱線防止ガードの継目部で生じる作用力については、70kNとし、前項で示した地震動に伴う衝撃分130kNと合わせ、無道床橋りょう用脱線防止ガードの設計荷重を200kNとした。

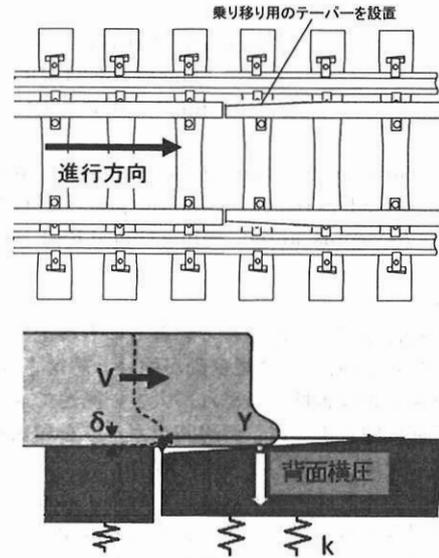


図6 テーバーの設置により生じる背面横圧

表1 背面横圧の算出緒元

項目	条件
M: バネ下質量	2t…N700系の値に基づく
X/Y: テーパー形状	1/100
Q1: レール/車輪間の摩擦力	1.25t
δ : 車輪誘導量	6mm
k: 脱線防止ガードの横剛性	12.5kN/mm(合成まくらぎ継目衝撃载荷試験結果より)

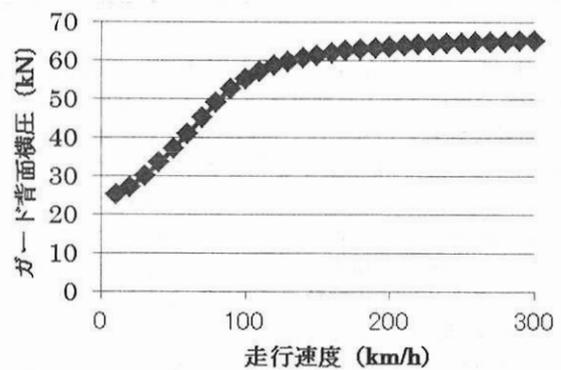


図7 背面横圧の算出結果

3. 無道床橋りょう用脱線防止ガードの検討

3.1 構造検討

策定した設計荷重に基づき、無道床橋りょう用脱線防止ガードの試作を行った。基本的な構造については、有道床

一般区間用の脱線防止ガードと同様に、締結ブロック材にガード材を挟み、固定金具を介してボルトで定着する構造とした。また、設置位置に関しても、レールからの離れ80mm、高さ20mmとすること、締結ブロック材をまくらぎ1丁おきに設置することも一般区間と同様とした。無道床橋りょう用脱線防止ガードの開発に際しては、締結ブロック材の形状および橋まくらぎに対する固定方法を下記の通り検討した。

- ・ 無道床橋りょうでは、軌道整備作業の一般区間用脱線防止ガードが有する転換機能は不要であることから、ブロック材とベース材を一体構造（以下衝立部とする）とした。
- ・ 橋まくらぎに対する固定方法としては、ねじくぎの使用が一般的であるが、引抜抵抗力が60kN程度と小さいこと、および経年による強度低下が懸念されることから、貫通ボルトにより固定することとした。
- ・ 橋まくらぎの敷設間隔は500mmと狭小なため、まくらぎ下の支圧板を貫通ボルトで緊締することは困難となる。従って、予め支圧板を溶接接合した固定治具を製作し、衝立の固定に係る作業を簡易にした。
- ・ 合成まくらぎの製作公差や加工状況により、まくらぎ高さにバラつきが生じている可能性がある。これに対し、固定用治具をM字型に加工することで、上下方向の動きを容易にし、多少のバラつきに対しては対応可能とした。

以上を踏まえ、開発した脱線防止ガードを図8および図9に示す。

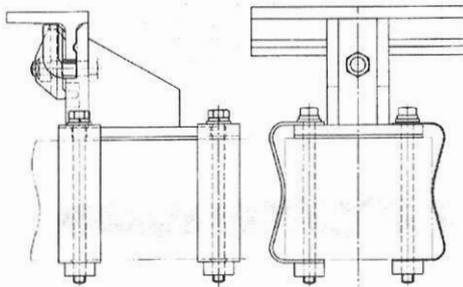


図8 ガード図面



図9 ガード近影

3.2 基本性能の確認

無道床橋りょう用脱線防止ガードが有すべき性能は、一般区間用脱線防止ガードで目安としている水平剛性10kN/mm、および前項で策定した設計荷重である。開発した脱線防止ガードが、これらを満足していることを各種荷重試験により評価した。

3.2.1 水平剛性確認

水平剛性の確認は、前項と同様に合成まくらぎ軌きょうにおける輪軸を用いた衝撃荷重試験により行った。試験概要は前項で示した通りである。試験ケースとしては、衝立部直上、衝立部中間、およびガード継目部の3ケースの衝撃方法を設けた。

試験結果の一例として、衝立部直上の場合における輪軸横圧と相対変位（ガード変位-まくらぎ変位）の関係を図10に示す。これによれば、水平剛性はおよそ16kN/mmであり、目安となる10kN/mmを満足していることを確認した。また、その他のケースにおいても、同様に10kN/mm以上であることを確認した。

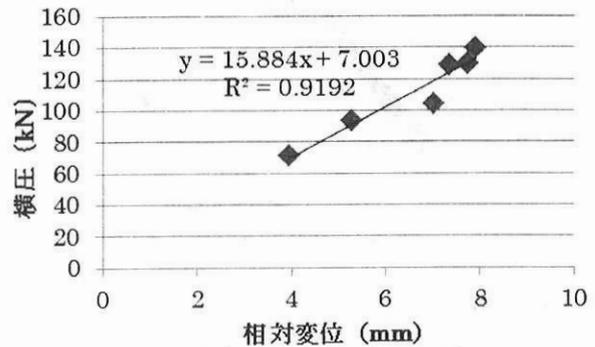


図10 衝撃荷重試験結果

3.2.2 強度確認

地震時水平力に対する強度確認として、合成まくらぎ軌きょうにおける静的荷重試験を行った。図11のように合成まくらぎ11本を用いて、横縫いボルトによる固定により軌きょうを組んだ。油圧ジャッキによりガード材を漸増荷重して荷重と変位を計測した。試験ケースとして、衝立部直上、衝立部中間、およびガード継目部の3ケース設けた。

試験の実施状況を図12に、試験結果を図13に示す。いずれのケースとも250kNまで荷重を行い、設計荷重200kNを満足していること確認した。加えて、図13によれば、ほぼ弾性的な挙動を示していることから、強度上問題ないことを確認した。

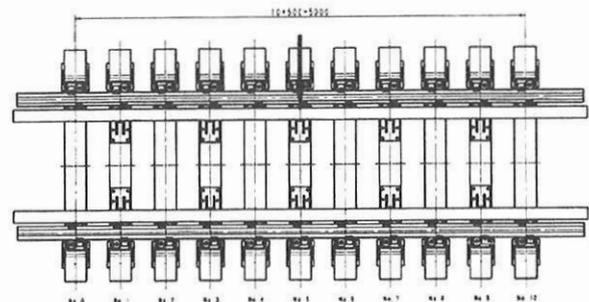


図11 直上荷重試験の概要

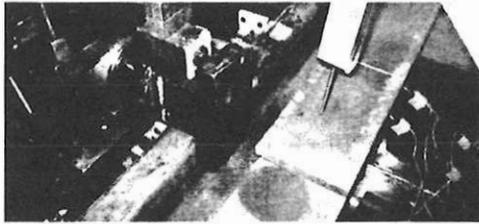


図 12 軌きょう静的荷重試験の状況（継目荷重）

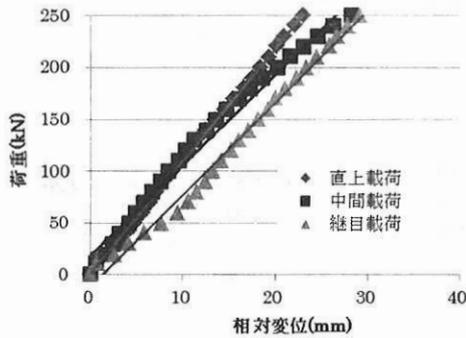


図 13 静的荷重試験結果

3.2.3 耐久性確認

営業線に敷設された場合、列車走行によりレールが繰返し荷重されることを想定し、脱線防止ガードを構成するボルト・ナット等の各部材に弛緩等の変状が生じないことを確認する目的で、研究施設内の試験線において繰返し荷重試験を実施した。

試験に際しては、列車走行時に発生するたわみを再現するために延長 7m の模擬桁を敷設し、合成まくらぎによる軌道および脱線防止ガードを敷設した。この後、図 14 の通りレール頭頂面に対し起振機により振動を与え、図 15 の通りボルト軸力の経時変化および合マークの確認を行った。

試験条件を表 2 に示す。繰返し荷重回数は、東海道新幹線の 1 年分の通過軸数を模擬して 370 万回とした。実測定によれば、延長 30m の鋼橋における新幹線走行時のたわみの振幅値は $\pm 1 \sim 1.5$ mm 程度である。本試験では、この 2 倍程度にあたる ± 2.5 mm と設定した。試験桁の延長は 7m であることから、荷重時の曲率を考慮すると相当に厳しい条件となっている。

試験結果として、ボルト軸力の推移を図 16 に示す。所定のトルクを導入して得られた軸力をゼロとし、これ以降 10 万回毎の推移を示している。軸力が抜ける方向がマイナス側を示している。これによれば、軸力変化は ± 10 kN の範囲内に留まっており、急激な弛緩に起因する軸力抜けは発生しないものと考えられる。一方、合マークの目視確認においても、図 17 の通り、弛緩は認められなかった。

4. まとめ

無道床橋りょう用脱線防止ガードの開発にあたり、設計荷重を再検討するとともに、無道床橋りょうの特状に応じて施工性、実用性を考慮した構造を検討した。さらに各種荷重試験により、所要の水平剛性、強度および耐久性を満

たしていることを確認した。

今後、本線敷設試験を行い、橋りょうの温度伸縮等が脱線防止ガードに及ぼす影響やガード材の施工性、列車走行が位置変動に及ぼす影響等を状態監視により評価する。

最後に各種荷重試験の実務について協力いただいた関連会社のご支援に対し、深く感謝の意を表する。

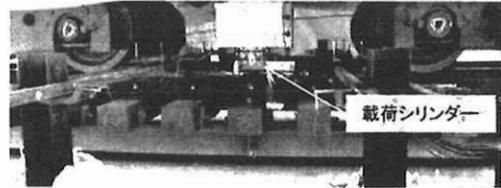


図 14 レール頭頂面に対する加振状況

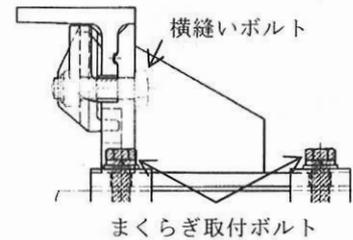


図 15 試験項目

表 2 加振条件

加振回数	370 万回
加振周波数	10Hz
加振方法	振動制御
加振振幅	6 ± 2.5 mm
基準加振力	60kN

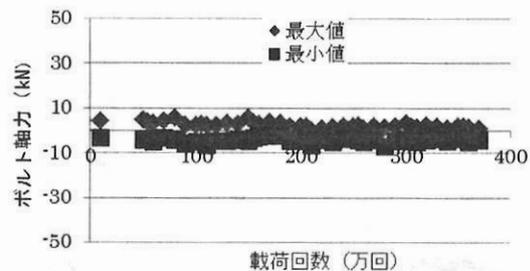


図 16 ボルト軸力の推移

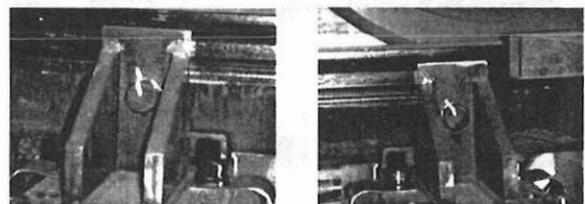


図 17 合いマークの目視確認

参考文献

- 1) 村松他: 実台車を用いた加振試験による脱線防止ガードの検討, 第 16 回鉄道技術連合シンポジウム, 2012, 9
- 2) 黒河内浩: 分岐器レール伸縮継目の設計に関する基礎的研究