

レール継目部応力の光弾性学的研究

正員 小 西 一 郎*
 正員 丹 羽 義 次**
 正員 川 本 脩 万***

PHOTO-ELASTIC STUDIES OF STRESS OF RAIL JOINT

By Dr. Eng., Ichiro Konishi, C.E. Member, Dr. Eng. Yoshiji Niwa, C.E. Member and Toshikazu Kawamoto, C.E. Member

Synopsis : In this paper the authors investigated photo-elastically on the sectional stresses of rail at the joint part, and the distributions of stress around the bolt-holes and the fish plates. First, the relations between the locations of sleeper and wheel load and the concentrated stresses around the bolt-holes were discussed by means of the two dimensional photo-elasticity. Next the distributions of the sectional stress of rail and fish plate were studied by the three dimensional photo-elastic experiments for the cases that the wheel load acted on the rail joint under the same conditions as the practical one.

要 旨 レール継目部におけるレール断面応力、ボルト孔周辺応力及び継目板の応力分布について光弾性実験法を用いて考察を行った。すなわち二次元実験によりマクラ木の配置、輪荷重の位置とボルト孔周辺集中応力との関係を求め、さらに三次元実験により実際の敷設レールと同様な環境のもとで継目部に輪荷重が作用したときのレール及び継目板の断面応力の分布を求め、それらについて検討した。

I. 概 説

レール断面応力の研究に対する必要性については土木学会論文集第 51 号において述べたとおりである。そこではまず荷重点下のレール応力に着目して種々の荷重条件がレール断面に及ぼす影響や、それらの条件を考慮した場合のレール断面形状と応力との関係について二次元実験により考察し、また三次元実験により 3 種の状態にたいして、それぞれレール断面応力の分布状態を明らかにした。しかしこれらの実験はいずれも一本の完全なレールを対象としているものであった。ところが実際にしばしば見うけられる敷設レールの折損はレール端のボルト孔よりキレツが発生してひき起される場合が多く、レール継目部の応力状態を究明することが問題となってくる。継目部におけるレールの折損を防止するためには継目部のマクラ木の配置、継目板の力学的作用、レール温度応力の分布、継目ボルト孔周辺応力等について詳細な実験、実測を行う必要がある。

この点に鑑み本論文において、レール継目部につき、まず二次元光弾性実験によりマクラ木の配置、輪荷重の位置とボルト孔周辺集中応力との関係を求め、さらに実際の断面形状をもつ三次元模型により三次元光弾性実験を行つて継目部のレール及び継目板の応力状態を考察した。

II. 二次元光弾性実験による考察

上にも述べたようにこれらの問題に関しては継目板の作用状態がとくに重要な問題となるわけであるが、この点を明らかにするには実際の敷設レールにおける綿密な実測や三次元的な実験結果を必要とする。したがつてここでは第 1 段階として一応継目板は考慮の外におくこととし、またボルト孔は継目ボルトの影響を受けないものとした。実験には 50 kg レールの 1/6 模型を用い、レール断面を矩形としボルト孔は中立軸を基準にして実物レールのボルト孔と相対応する位置に設けた。

マクラ木の配置は図-1 (a), (b), (c) に示す 3 種を採用した。(a) の場合は国鉄標準の配置であり、(b) はさらに突出部を大きくしたものであり、(c) はレール継目部にマクラ木を配置したものである。この場合いずれもレールは一端で固定され、図の様な位置において石膏マクラ木(論文集 51 号参照)で支持された。この 3 種のマクラ木配置に対して、鉛直荷重をレール端から移動させて載荷し、各荷重位置において第 1 孔及び第 2 孔にひき起せられる最大圧縮及び引張集中応力(⊕: 圧縮, ⊖: 引張)を検討した。この場合の等色線写真の一例を示すと写真-1 のようであり、またこの結果を示せば図-2 (a), (b), (c) のとおりである。

* 工学博士, 京都大学教授, 工学部土木工学教室 ** 工学博士, 京都大学助教授, 工学研究所
 *** 熊本大学助教授, 工学部土木工学教室

図-1

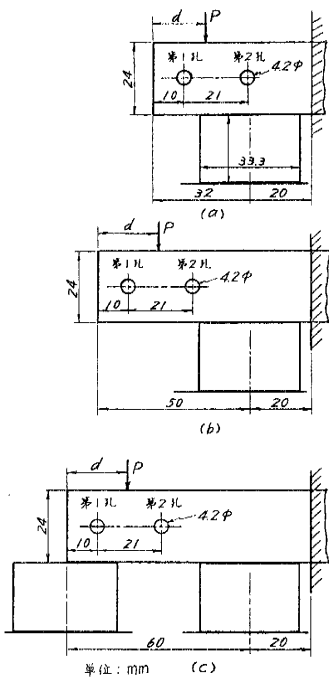


写真-1 a型マクラ木配置

$d=0\text{ mm}, P=21.45\text{ kg}$

$d=6.0\text{ mm}, P=35.52\text{ kg}$



$d=20.0\text{ mm}, P=37.80\text{ kg}$

$d=30.0\text{ mm}, P=33.35\text{ kg}$

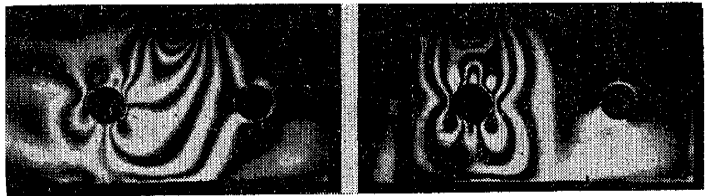


図-2 (a) においては第1孔に生ずる圧縮, 引張応力(実線)ともレール先端に荷重が作用した場合最大である。第2孔に生ずる応力(点線)はレール端より6cmの位置に荷重が作用した場合最小となり, 約18cmの位置すなわち第2孔の直上に荷重がきた場合に最大となる。

(b) においても第1孔に生ずる応力は荷重がレール端のとき最大であり, 荷重の移動とともに急激に減少している。第2孔に生ずる応力はモーメントの影響を受けて, レール端に荷重があるとき最大で, ほぼ第1孔と同じ大きさの応力を生ずるが, 荷重の移動にしたがって漸減している。

図-2 (a)

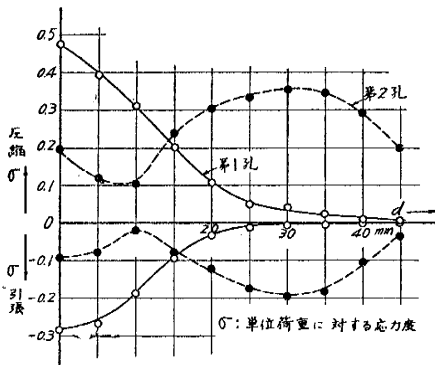


図-2 (b)

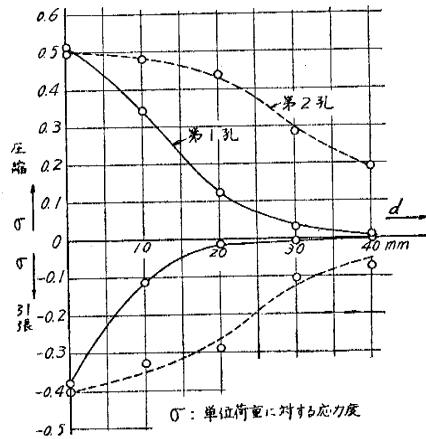
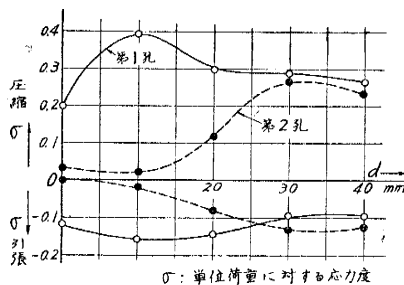


図-2 (c)



つぎに 図-2 (c) においては、第1孔に生ずる応力はレール端より約 6 cm の位置に荷重が作用した場合に、また第2孔の応力はレール端より約 18 cm の位置に作用する場合に最大となる。

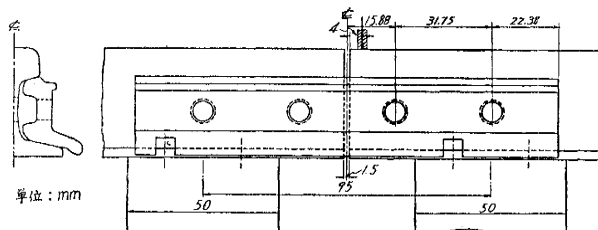
以上の結果から継目板の作用を考慮しない場合の継目ボルト孔周辺応力と輪荷重位置との関係が、種々のマクラ木配置に対して明らかにされたと思うが、実際には継目部のマクラ木配置には継目板の作用、レールの勾進、レール端における衝撃等の影響をも考慮されねばならない。

III. 三次元光弾性実験による考察

II. の二次元実験においては一応継目板の作用を無視したのであるが、実際には継目部のレール応力が継目板の作用状態によつて左右されることは明らかであり、またボルトの影響をうけたボルト孔周辺応力など、そのほかに三次元実験でなければ解決されない多くの問題がある。

ここでは論文集 51 号における三次元模型と同一の材料、加工方法によつて作られたレール及び継目板模型 (図-3) を用い、応力凍結法により実験を行った。この場合の輪荷重は論文集 51 号において用いられた実験式より

図-3



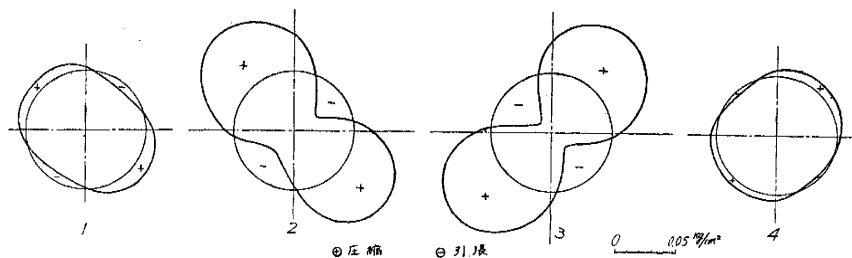
算定した載荷面 (模型において長径 10.0 mm, 短径 3.0 mm の楕円形) を通してかけられたが、そのほかつぎのようにした。

- (i) 継目ボルト ワッシャーはスプリングワッシャーとせず、座金式のワッシャーとした。
- (ii) 犬釘は真鍮製ボルト・ナットを用いた。
- (iii) マクラ木にはレール材と同じエポキシ樹脂を用いた。なおこの場合レールの載荷時における変形を考慮して、レール端より 4 mm の位置に載荷した。このようにして得た応力凍結模型は継目中心より 5 mm 間隔のスライスに切斷され、各スライスの等色線写真より各局部応力が求められた。写真-2 は継目板全体の等色線縞を示すものであるが、まずこれよりボルト孔周辺応力分布を求めれば 図-4 のようである。なお応力図はすべて単

写真-2

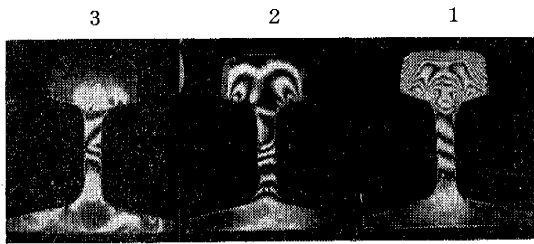


図-4



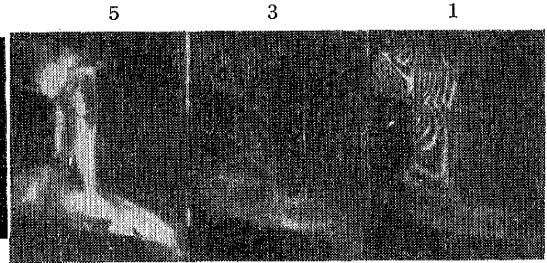
位輪荷重 1 kg に対する応力度 kg/cm^2 (⊕: 圧縮, ⊖: 引張) で表わされている。写真-3, 4 はレール及び継目板の各スライスの等色線の一列を示す。これよりレール及び継目板の載荷点断面及びマクラ木端断面の断面応力分布を図示すれば 図-5 のようであり、また各断面の局部応力の軸方向分布を求めれば 図-6, 図-7 (a), (b) のようである。

写真-3



(数字はスライス番号を示す)

写真-4



これらの実験結果からつぎのことが明らかになる。

- ① 継目板の中心寄りのボルト孔周辺には、荷点直下の断面応力と同程度のかかなり大きい集中応力を生ずる。しかし端寄りのボルト孔では応力はきわめて小さい。
- ② 継目板ボルト孔の周辺における最大引張、圧縮応力の方向は、この場合水平方向とほぼ 45° の角をなす。
- ③ レールの断面応力の分布状態は、継目板の接触する付近を除けば固定または単純支持の場合とほとんど同じである。しかし継目板の影響を受けて全断面を通じて上首部の応力は一般に小さく、最大応力の位置が腹部に寄る傾向がある。

図-5

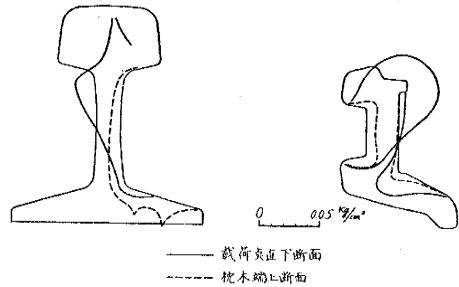
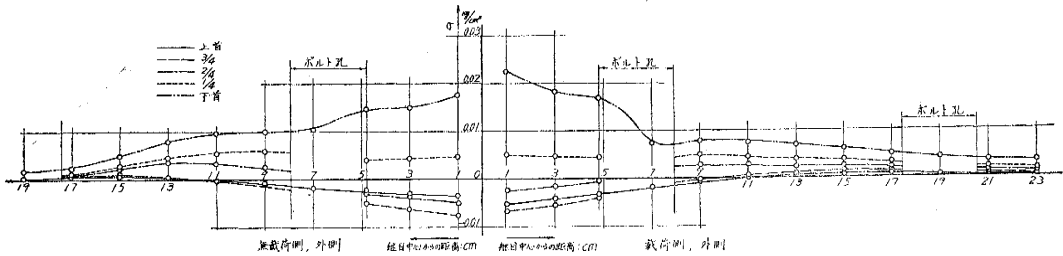


図-6 レール断面応力の軸方向分布



- ④ 荷点付近の継目板の断面応力は、内側の上首部及び外側の下首部でかなり大きく集中する。また外側の腹部より上首部にわたってわずかに引張応力を生ずる。
- ⑤ レール継目応力は断面中心寄りのボルト孔及びボルトの影響によりかなり攪乱される。この場合応力は上首部で減少し、下首部で増大しているが、一般にこの部分の応力状態は保線状態にかなり支配されるものと思われる。なお外側のボルト孔はほとんど影響を与えない。
- ⑥ 荷側と無荷側とではレール端（継目中心）付近の断面応力分布状態は逆になり、前者は後者の約2倍の最大応力を生じている。しかしマクラ木上では分布状態及び大きさともほぼ同一になっている。
- ⑦ 両側レールともマクラ木端では上首部より下首部の応力の方が大きく、また継目のないレールの場合と同様に、この部分から各部応力は一様に減少する。
- ⑧ 継目板断面応力の軸方向分布は荷側、無荷側ともよく類似している。また荷点近傍断面の内側上首部にかかなり大きい集中応力が認められるが、荷点より離れると急激に減少している。しかしマクラ木端付近で再び多少の増加傾向を示している。なお内側の応力分布は荷点付近では上首部より下首部にゆくに従って応力を減じているが、マクラ木上では下首部の方が大きくなる。しかし外側では全断面にわたって下首部の方が大きい。

IV. 結 語

以上においてレール継目部におけるレール断面応力、ボルト孔周辺応力及び継目板断面応力等の分布状態につき二次元及び三次元実験的に考察を行った。これらの研究結果を総合すればつぎのようである。

- ① レールの継目ボルト孔に及ぼすマクラ木配置の影響に対しては、レール継目部に直接マクラ木を配置した場合の方が応力的に小さい。

図-7 (a) 継目板断面応力の軸方向分布

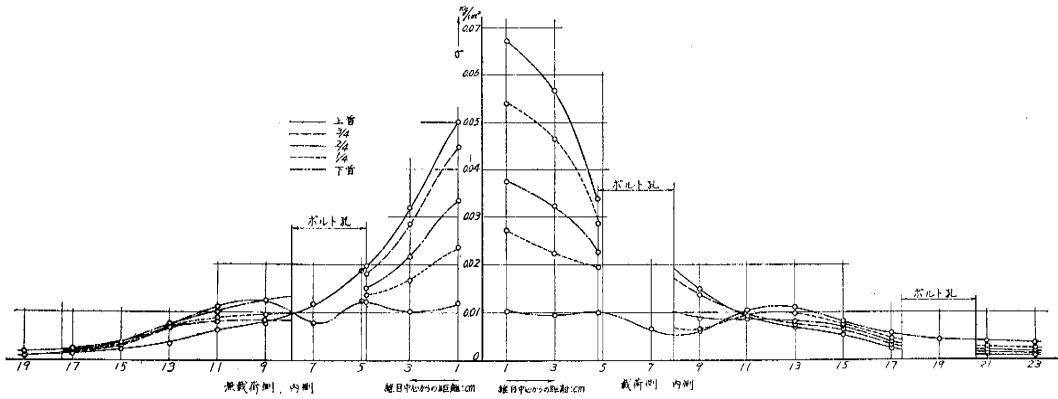
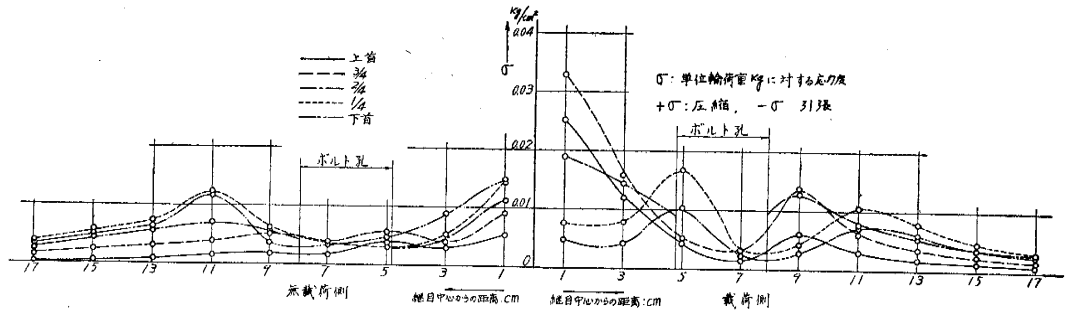


図-7 (b) 同 上



- ②この場合第1孔（レール端に近い孔）に生ずる応力はレール先端（継目部）に輪荷重が作用した場合最大であり、第2孔に生ずる応力は孔の直上に輪荷重が乗ったとき最大になる。
- ③継目端に輪荷重が作用した場合のボルト孔周辺応力の最大値は水平方向とほぼ 45° の傾きをなす。
- ④継目部のレール断面応力の分布状態は、継目板の接触する付近を除けば、他の部分のレール断面応力のものとほとんど同じである。
- ⑤輪荷重の載荷側と無載荷側とでレール断面応力にはかなりの差異が認められるが、継目板断面応力ではよく類似している。
- ⑥継目板の断面応力は全般にわたってレール断面応力より大きく、継目端では約2倍にもなる。
- ⑦ 9 t 輪荷重 ($d=0 \text{ mm}$, $\theta=0^\circ$) に対して継目板最大応力は約 620 kg/cm^2 である。

以上は輪荷重が継目部に静的に作用した場合の結果であり、最も基本的な荷重状態に対するものであるが、列車の通過によつて継目部においても輪荷重がくり返し作用するわけであつて、当然レール、継目板その他継目ボルト等の疲労についても考慮を払うべきである。この点についても本研究におけるごとき静荷重による断面応力の大きさ及びその分布状態は有力な資料となるだろう。ただしボルト孔に生ずる応力は輪荷重のほか継目における衝撃の大きさとその傾き、温度変化等に大いに左右されるものと思われる。とくにレールの膨脹収縮によるボルトの著しい支圧をうけるので、当然疲労ならびに塑性変形をうけるものと考えられるのであつて、今後この方面の研究が必要である。

註：本報告においては主として継目部の応力状態につき考察したのであるが、通常レールの断面応力との比較等から、レール応力の光弾性学的研究、土木学会論文集、第51号 (p. 1~p. 7) を参照されたい。