

## 鋼下路鉄道橋縦桁・横桁連結部の疲労メカニズムに関する研究

1070538 番 細木 達朗

### 1. はじめに

鉄道鋼下路橋の縦桁横桁連結部において 図 1 に示すような疲労亀裂が報告されている。亀裂は縦桁上フランジ及び下フランジ切欠き部、及び縦桁とコネクションプレートを繋ぐリベットから発生している。この亀裂を放置すると、縦桁の破断の可能性や、それによる列車走行の安全性への影響が大きいと考えられ、適切な亀裂の補修法及び補強法の検討が火急の課題となっている。

本研究は縦桁横桁連結部の疲労損傷の発生メカニズムを解明し、更に補修・補強方法を検討する事が最終目的である。そのためには、亀裂発生部位での応力発生性状や発生メカニズムを把握する必要がある。本報告では実橋全体をモデル化した FEM 解析により亀裂発生部位の応力状態を検討した結果を報告する。FEM 解析の精度については、同様の橋梁における現場測定により検証する予定である。又、縦桁・横桁の形状、寸法やそれらの取り合いディテールによって亀裂の発生傾向が異なる事が報告されている。そこで本研究では、まず代表的な横桁縦桁寸法を持ち、又、取り合い部も代表的な縦桁上フランジ差込みタイプの橋梁を対象に FEM 解析を用いて応力発生メカニズム及び応力性状の検討をした。

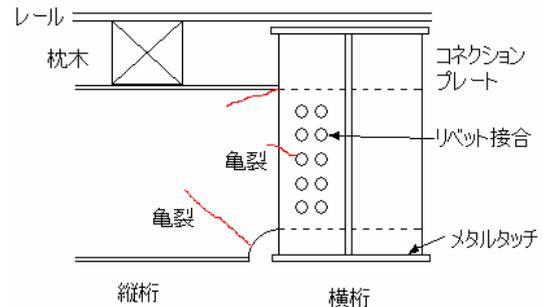


図 1 縦桁・横桁連結部亀裂

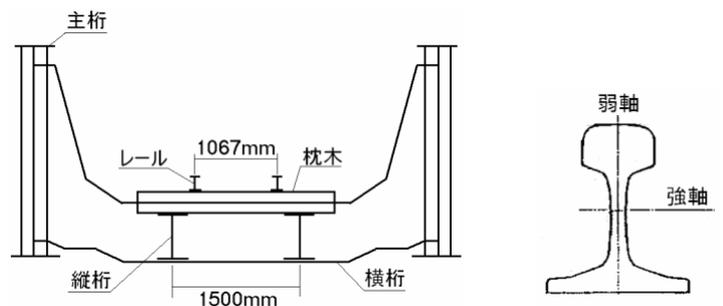


図 2 橋梁の断面及びレールの形状

	枕木	レール
断面積(mm <sup>2</sup> )	40,000 (200 × 200)	6,420
弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	11,580	210,000
断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )	1.3 × 10 <sup>8</sup>	強軸 1.9 × 10 <sup>7</sup> 弱軸 3.22 × 10 <sup>6</sup>

表 1 梁要素の幾何条件

### 2. 解析モデル

本研究では実際の鋼下路橋全体を忠実にモデル化し、列車の車軸位置をパラメータとして横桁・縦桁連結部の応力性状を検討した。

本解析では有限要素法ソフトウェア

MARC を用いて解析を行った。図 2 に対象とした橋梁の断面形状とレールの断面形状を示す。横桁間隔は 3000mm である。図 3 に要素分割図を示す。要素数約 168000、接点数 169000 である。図 4 に示すように対称性から 1/2 モデルとした。枕木とレールは梁要素でモデル化を行い、それ以外はシェル要素を用いてモデル化した。枕木とレールの幾何条件を表 1 に示す。枕木は横桁間隔に 5 本ずつ計 45 本を設置した。載荷点は橋端から 134 点を 200mm おきに配置した。荷重は 1 点ごとに 10kN を載荷した。

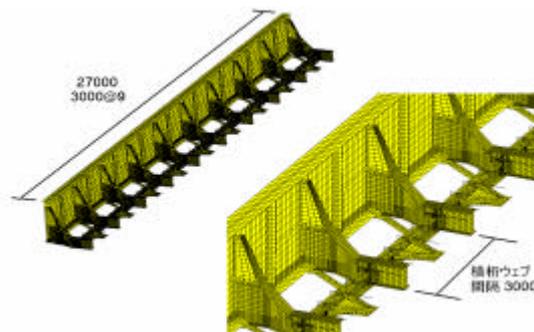


図 3 要素分割図



図 4 データ抽出位置

### 3 . 解析結果

本研究では図 5 に示す点 A,B,C の応力を検討した。B 点は縦桁下フランジ切欠き中心のこば面であり、A 点は B 点と同位置の上フランジ側である。C 点は縦桁スパンの下フランジ中央である。

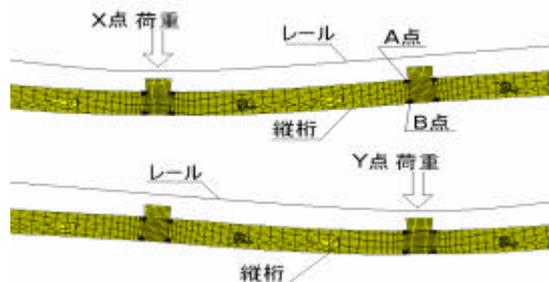


図 5 荷重通過に伴う縦桁の挙動

#### 3 - 1 . 縦桁下フランジ長手方向応力

図 6 に横桁 5 番及び 6 番位置のレールに載荷したときの縦桁の変形図を示す。図 7 に縦桁中央下フランジの長手方向応力を示す。横桁 4 - 5 間中央から引張応力が発生し始め、載荷点が着目点直上に荷重がある時にピークを迎えている。影響線長は着目縦桁支間の両隣の支間 (4-5、4-6) までであり、縦桁の挙動は両隣の支間まで含めて検討しなければならない事が分かる。

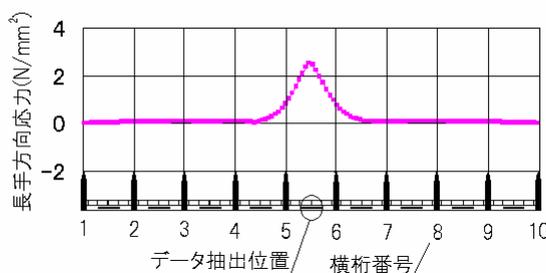


図 6 C 点における長手方向応力

#### 3 2 切欠き部の応力性状

A 点と B 点の応力性状は、長手方向応力及び鉛直方向応力について整理した。又、その発生メカニズムを検討することを目的として、面内応力成分、面外応力成分に分離して報告する。面内成分は表裏の応力の平均値である。面外成分は表裏の応力の差の二分とし、面外成分が正の時には主桁側が引張り側となるように縦桁が曲がる事を表している。

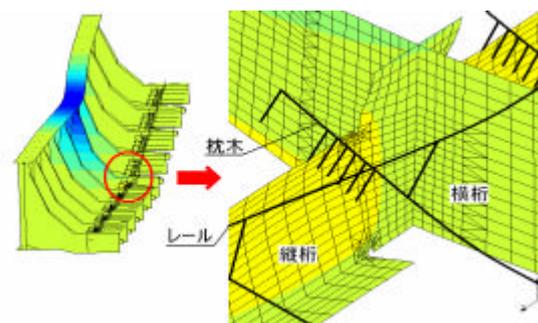


図 7 縦桁 横桁の変形図

### 3 2 1 上フランジ側 A 点の応力性状

図 7 に着目点近傍に載荷した時の縦桁横桁連結部近傍の変形図を示す。図 8、9 にそれぞれ着目点 A の長手方向応力、鉛直方向応力の面外成分、面内成分の影響線を示す。A 点では鉛直方向も長手方向も面外応力成分が顕著に出ており、着目点近傍になるに従い非常に大きくなる。

図 8 では、長手方向応力の面外成分は横桁 4 - 5 間から上昇し始め、5 - 6 間中央から着目点最近傍枕木直上まで急峻な勾配で上昇し、荷重が枕木直上の時にピークを迎えている。図 7 に示すように、この面外曲げはレール側に縦桁が曲がり、主桁側に引張曲げ応力が発生している。面内成分は橋梁全体の動きとして広い影響線となっているが、面外応力と比較して非常に小さい値となっている。

図 9 では鉛直方向応力の面外成分は着目点最近傍枕木でピークを迎え、影響幅は前後に横桁間隔 1.5 程度。着目点桁間での影響が強く、これは図 7 に示すようにレール間隔と縦桁間

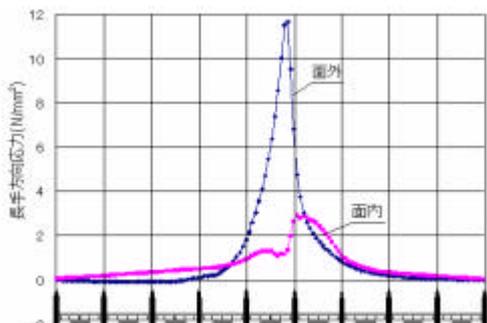


図 8 A 点長手方向応力の面外-面内成分

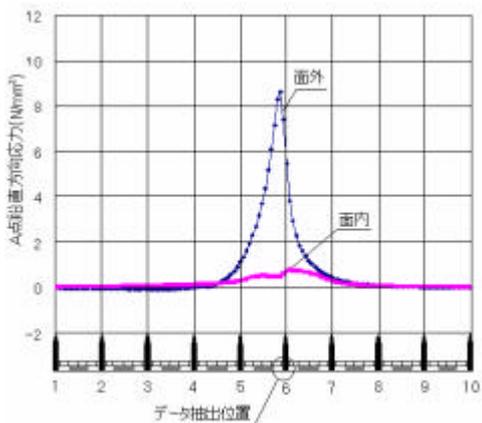


図 9 A 点鉛直方向応力の面外-面内成分

隔は違うが、レールを支えているのは木である為、枕木がたわみ、上フランジの首振りの影響が強くなったと考えられる。面内成分は全体的に出ているが非常に小さい。

### 3 2 2 下フランジ側 B 点の応力性状

図 10、11 にそれぞれ着目点 B の長手方向応力、鉛直方向応力の面外成分、面内成分の影響線を示す。B 点では長手方向応力、鉛直方向応力、共に面内成分が顕著に現れており、載荷点が着目点近傍になるに従い大きくなる。

図 10 では長手方向応力の面内成分は着目点最近傍横桁に荷重がある時にピークを迎え、載荷点から前後に 5m 程度の影響幅を持っている。載荷点が着目点を過ぎると一度圧縮に転じる。荷重が横桁 6 から横桁 7 に近づくに従い、図 5 に示すように、横桁ウェブの傾き方向が逆転するため B 点では 6 - 7 間中央から 7 にかけて圧縮側に傾く。長手方向応力面外成分は非常に小さい。

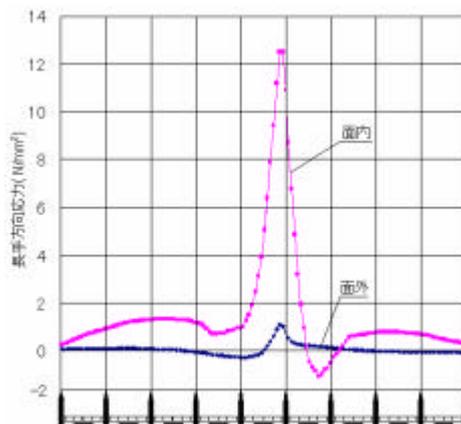


図 10 B 点長手方向応力の面外-面内成分

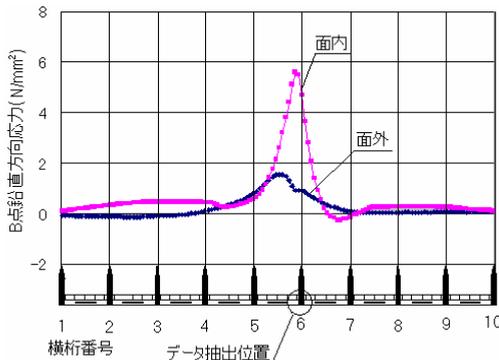


図 11 B 点鉛直方向応力の面外-面内成分

図 11 では、鉛直方向応力の面内成分は橋端から影響度を示し、4 - 5 間で一度下がった後、最近傍枕木でピークを迎える。6 - 7 間で正負が交番する。鉛直方向応力の面外成分も非常に小さい。

#### 4. 列車走行シミュレーション

第二段階での疲労試験を行う為に、列車通過の際の応力波形を把握するためここでは列車の通過を数値的にシミュレーションした。

列車は図 12 に示す 10 両編成の M 荷重とした。応力波形は 134 点の集中荷重から得られた解析結果を用いて、重ね合わせにより求めた。

図 13, 14, 15 は先頭車両から 2 車両目が通り過ぎるまでの点 C, A, B における応力波形である。図 14 では、A 点での応力が面外成分が顕著に現れていたために、表裏の長手方向応力を示している。引張側の応力が発生している方が主桁側の面である。図 15 では、B 点の応力が面内応力が卓越していたために、長手方向の面内応力成分の応力波形を示している。

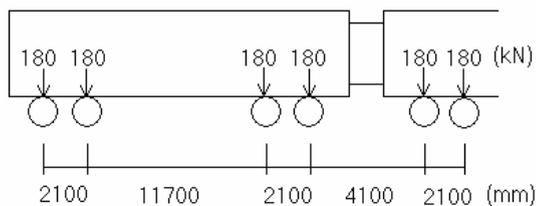


図 12 車軸間隔と荷重

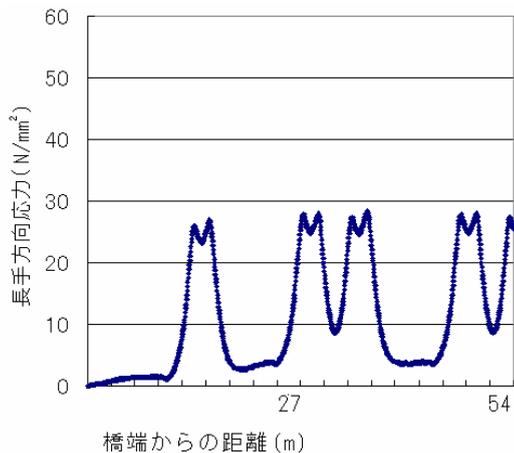


図 13 車両通過時の C 点長手方向応力

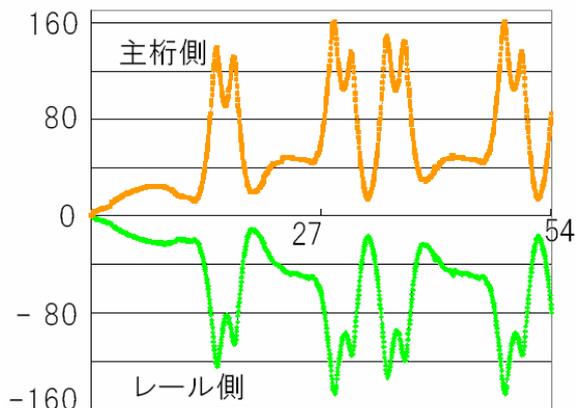


図 14 車両通過時の A 点長手方向応力

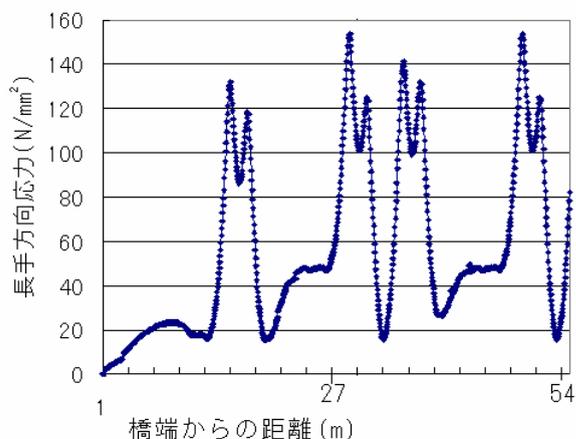


図 15 車両通過時の B 点長手方向面内応力

#### 5. まとめ

本研究より、現在のところ以下のことが分かった。

縦桁の影響線長は、着目縦桁スパンの両隣のスパンまで広がっている。

上フランジ側の切欠き部の応力は、レールと縦桁位置が異なることにより生じる面外応力成分が卓越する。

下フランジ側の切欠き部の応力は、面内応力成分が卓越する

上下切欠き部の応力の最大値は、最近傍枕木位置のレールに載荷されたときに生じる。