

高知工科大学 ○学生員 細木達朗
高知工科大学 正会員 穴見健吾

1.はじめに

鋼下路鉄道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。亀裂は縦桁との取り合いの縦桁下フランジ切欠き部、上フランジ側首部、及び縦桁のリベット孔から発生している。この亀裂は進展すると、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。本報告では橋梁全体を忠実にモデル化した FEM 解析により連結部の縦桁フランジ上下切欠き部近傍の応力状態を検討した結果を報告する。

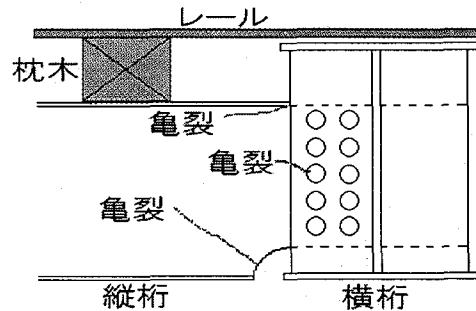


図1 縦桁・横桁連結部亀裂

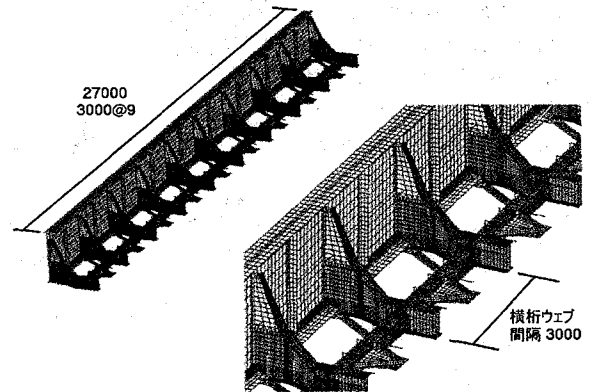


図2 要素分割図

2.解析モデル

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。横桁間隔は 3000mm である。図2に要素分割図を示す。対称性から 1/2 モデルとした。縦桁取り合い部は図 3 に示すように代表的な縦桁上フランジ差込みタイプとしたが、その詳細なモデル化手法については今後更に検討をしていく予定である。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。要素数約は 168000 である。本研究では応力の発生性状を影響線から検討することを目的とし、載荷点をレール上でずらしながら 134 ケースの解析を行った。図5～7の結果はレールに 10kN ずつ載荷(実際には橋梁に 20kN 載荷されている)したときの結果を示している。

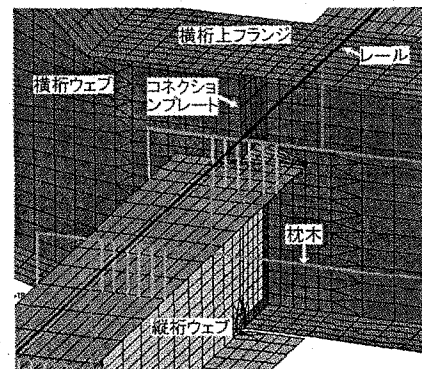


図3 縦桁横桁連結部取り合い形状

3.解析結果

本研究では亀裂発生部位での応力性状、また、縦桁の挙動を把握するために図 4 に示す点 A,B,C についての応力を検討した。B 点は縦桁下フランジ切欠き中心のこぼ面であり、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。

3.1 縦桁下フランジ長手方向応力

図5に縦桁中央下フランジの長手方向応力を示す。影響線幅は着目縦桁支間の両隣の支間まで及んでおり、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。

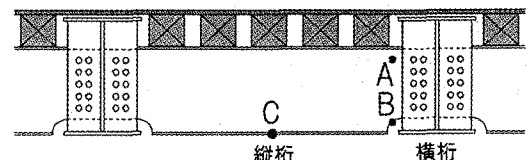


図4 データ抽出位置

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。また、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、面外曲げ応力成分に分けて検討する。なお、縦桁ウェブの面外曲げ成分が正の時には縦桁ウェブの主桁側が引張りとなるようにウェブが曲がることを表している。

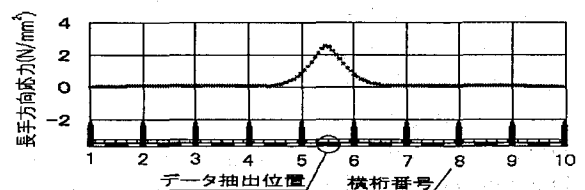


図5 C点における長手方向応力

3.3 上フランジ側A点の応力性状

図6に着目点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曲げ成分が顕著に表れており、荷重が最近傍枕木直上に载荷された際に最も高い応力が発生している。これは図3に示すように、レール間隔が縦桁間隔より軌道中心側に位置しているため、レール上の载荷により、枕木がたわみ、そのたわみに追従するように縦桁上フランジが首振り、ウェブが面外変形する事によるものである。面内成分は面外曲げ成分と比較して非常に小さく、図7に示すB点の面内成分より著しく小さい。これはA点では切欠きによる応力集中が無い事、又、レールが縦桁の曲げ合成に寄与し、中立軸が上方に移動した事などが大きな原因であると考えられる。

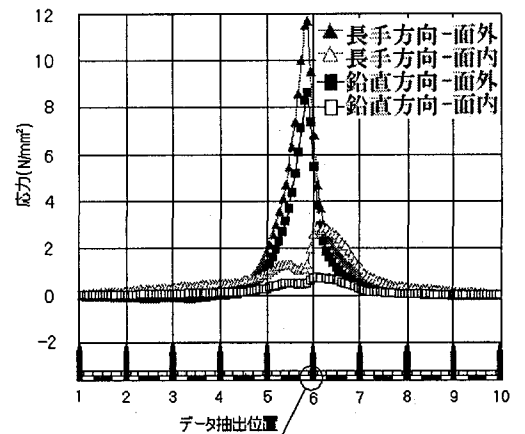


図6 A点長手方向・鉛直方向応力の面外-面内成分

3.4 下フランジ側B点の応力性状

図7に着目点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表れており、荷重が着目点最近傍枕木に载荷された際に最も高い応力のピークが発生している。面外成分は非常に小さな値となっている。

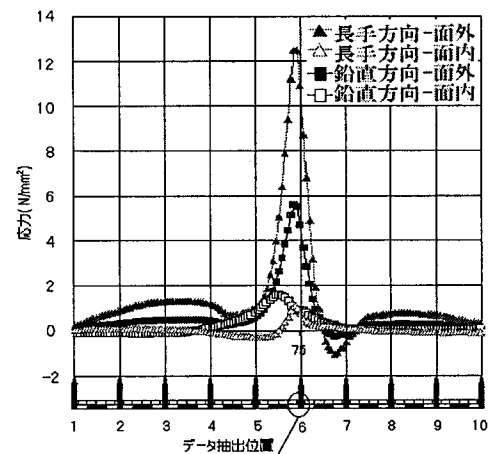


図7 B点長手方向・鉛直方向応力の面外-面内成分

4. 列車走行シミュレーション

以上の影響線より、列車通過による発生応力のシミュレーションを行った。

列車は図8に示す10両編成のM荷重とした。図9,10,11は先頭車軸が橋梁に侵入し、第二車両最終車軸が橋梁を出るまでの、点C,A,Bにおける応力波形であり、先頭車軸位置を横軸として示したものである。図10では、A点での応力は面外成分が卓越していたために、表裏の長手方向応力を示している。圧縮側の応力が発生している方が軌道中心側の面である。図11では、B点の応力は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。隣接車輪軸(軸間 2100mm)の影響は互いに重ね合わされるが、影響線の長さから非常に大きな応力の繰り返しが列車通過に伴い生じている事が分かる。

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。

- ① 縦桁の影響線長は、着目縦桁スパンの両隣のスパンまで及んでいる。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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载荷されたときに生じる。

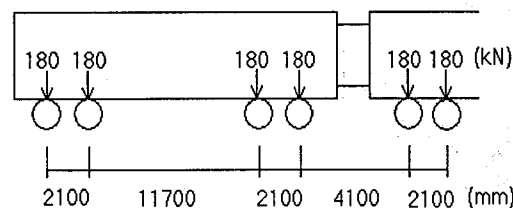


図8 列車走行シミュレーションに用いた列車荷重

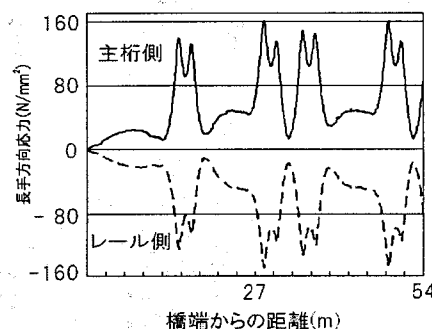


図10 車両通過時のA点長手方向応力

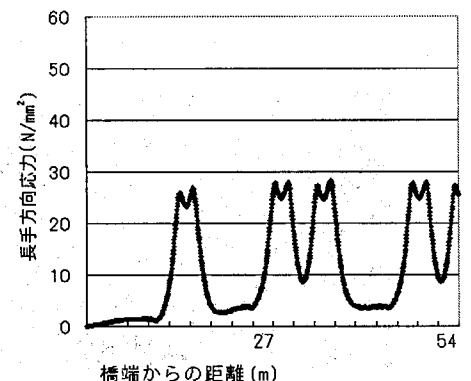


図9 車両通過時のC点長手方向応力

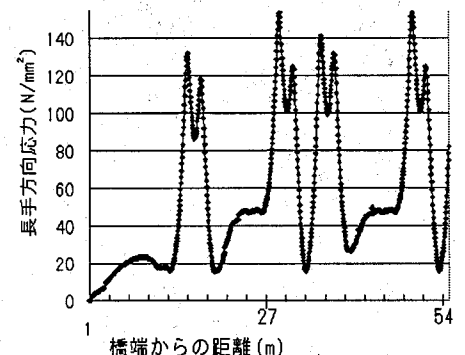


図11 車両通過時のB点長手方向応力