

大 阪 府 正会員 芝池 利尚
 大阪大学工学部 正会員 前田 幸雄
 大阪大学工学部 正会員 大倉 一郎

1. まえがき

近年、鋼橋の部材連結部に疲労亀裂が発生している事例がいくつか報告されている。若者らは、既報^{1), 2)}で、ランガー桁橋とワーレントラス橋の横桁連結部に発生した疲労亀裂の発生原因を明らかにした。本報告では、これら2つの疲労亀裂の発生原因を比較検討した結果について発表する。

2. 橋の全体挙動と2次応力の関係

(1) ランガー桁橋 ランガー桁橋(道路橋・2等橋)においては、端横桁の上フランジを補剛桁に連結するコネクションプレートの溶接ビード部に疲労亀裂が発生した。自動車(14t)1台が橋上を通過する場合、コネクションプレートに生じる応力成分の中で最も大きい応力成分は、面内曲げ応力(598 kgf/cm^2)であり、この次に大きい応力成分は、引張応力(67 kgf/cm^2)であった。面内曲げ応力の発生機構は次の3つに分類できる。
 ・荷重が橋上にある場合；補剛桁と縦桁との間の橋軸方向の相対的な変位差、アーチ部材の橋軸直角方向の変位。
 ・荷重が端横桁上にある場合；支点での鉛直軸回りの回転成分。

他方、引張応力の発生機構は次の2つに分類できる。
 ・荷重が橋上にある場合；アーチ部材の橋軸直角方向の変位。
 ・荷重が端横桁上にある場合；端横桁に対するアーチ部材と補剛桁による回転拘束。

(2) ワーレントラス橋 ワーレントラス橋(道路橋・2等橋)においては、端横桁およびそれに隣接する2つの中間横桁の上フランジの切欠部に疲労亀裂が発生し、横桁のウェブを伝播していた。上フランジの切欠部に生じる応力成分の中で最も大きい応力成分は、ウェブの板曲げ応力であり、この次に大きい応力成分は膜応力であった。端横桁のウェブに生じる板曲げ応力と膜応力の主応力分布をそれぞれ図-1、2に示す。上フランジの切欠部から離れると、板曲げ応力は急激に小さくなるが、反対に膜応力が大きくなる。したがって、板曲げ応力が疲労亀裂の発生原因であり、膜応力は疲労亀裂の伝播に影響していたと考えられる。自動車(14t)1台が橋上を通過する場合、上フランジの切欠部に生じる板曲げ応力と膜応力の最大主応力は、それぞれ 477 kgf/cm^2 、 36 kgf/cm^2 であった。板曲げ応力の発生機構は次の2つに分類できる。
 ・荷重が橋上にある場合；下弦材と縦桁との間の橋軸方向の相対的な変位差。
 ・荷重が端横桁上にある場合；支点での鉛直軸回りの回転成分。

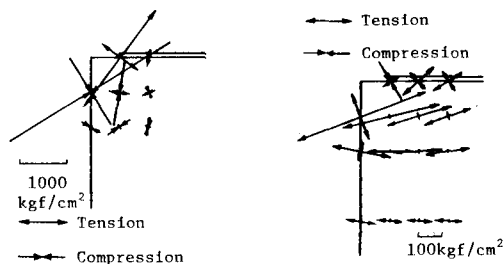


図-1 板曲げ応力の主応力分布 図-2 膜応力の主応力分布

他方、膜応力は荷重が端横桁上にある場合に、端横桁に対する下弦材の回転拘束によって生じる。

(3) 2次応力 ランガー桁橋の場合、コネクションプレートに生じる面内曲げ応力が、またワーレントラス橋の場合、上フランジの切欠部に生じるウェブの板曲げ応力が疲労亀裂の発生原因である。これらの応力は設計上考慮されない応力であり、本報告では2次応力とよぶ。2次応力は、おもに、ランガー桁橋の場合、補剛桁と縦桁、ワーレントラス橋の場合、下弦材と縦桁との間の橋軸方向の相対的な変位差によって生じる。

(4) 下横構の効果 下横構は、橋軸方向の相対的な変位差を抑制するために、2次応力を低減する効果があると考えられる。表-1からわかるように、ワーレントラス橋の場合には、下横構の存在によって2次応力が約20%低減しているが、ランガー桁橋の場合には約3%低減しているに過ぎない。これは、アーチ部材の橋軸直

角方向の変位によってコネクションプレートに生じる面内曲げ応力を考慮することによって説明することができる。

3. 2次応力と部材連結構造の関係

(1) 端横桁と縦桁の連結構造 端横桁と縦桁の連結構造が2次応力の増減に与える影響を、有限要素法による端横桁の板解析によって調べた。図-3に示す斜線部分の節点に変位差を導入した。ケース1が、疲労亀裂が発生したランガー桁橋およびワーレントラス橋の縦桁と端横桁の連結構造に相当し、縦桁の上フランジと端横桁の上フランジが連結されている。ケース2と3は、縦桁が端横桁のウェブにのみ連結されている場合に相当する。解析結果を表-2に示す。ランガー桁橋とワーレントラス橋ともに、端横桁と縦桁の連結部において、縦桁を端横桁の上フランジに連結しない構造にすると、2次応力をかなり軽減することができる。しかし、この場合、端横桁と縦桁の連結部において、端横桁のウェブに疲労亀裂が発生する可能性がある³⁾。

(2) 端横桁と下弦材の連結構造 ワーレントラス橋の端横桁の板解析において、図-4に示すように、最上のリベットと上フランジの間隔を実際の2倍にとって計算を行なうと、2次応力は約40%減少した。

4. 死荷重が疲労亀裂発生に与える影響 ランガー桁橋のコネクションプレートに生じる応力を、隅肉溶接の理論のと断面上に生じる応力に換算した結果を表-3に示す。ここで自動車1台は20tfである。死荷重によってかなり大きな応力が理論のと断面上に生じるため、板モデル試験片によるコネクションプレートの疲労試験を応力比Rが0と0.5の2つの場合について行なった。面内曲げを受ける場合のS-N曲線を図-5に示す。理論のと断面上の応力全振幅で表わした200万回疲労強度は、R=0の場合2959 kgf/cm²、R=0.5の場合1795 kgf/cm²であり、応力比を0から0.5にあげると疲労強度が約40%低下した。表-3の面内曲げ応力から換算された理論のと断面上の応力の値とこれらの疲労強度とを比較すると、自動車荷重によって生じる理論のと断面上の応力が、死荷重によって応力比があがり低減した疲労強度を超える可能性が十分考えられる。次に、引張りを受ける場合のS-N曲線を図-5に示す。理論のと断面上の応力全振幅で表わした200万回疲労強度は、R=0の場合1065 kgf/cm²、R=0.5の場合848 kgf/cm²であり、応力比を0から0.5にあげると疲労強度が約20%低下した。表-3の引張応力から換算された理論のと断面上の応力の値とこれらの疲労強度とを比較すると、引張応力が疲労亀裂の発生に与える影響は小さいと考えられる。

謝辞 試験片の製作にあたり御協力いただいた

た川崎製鉄株式会社の川井豊氏に感謝の意を表わす。

参考文献 1)第38回年次講演会I-150。2)昭和59年度関西支部I-65。3)Fisher, J.W.: Bridge Fatigue Guide, Design and Detail, AISC, 1977。

表-1 下横構の影響

下横構	ランガー桁橋	ワーレントラス橋
有	598	477
無	616	587

(kgf/cm²)

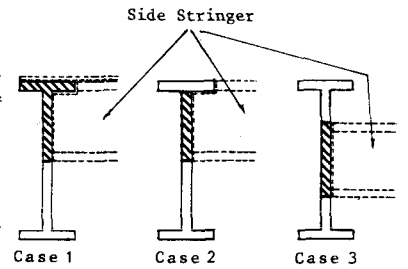


図-3 変位差の導入位置

表-2 解析結果

ケース	ランガー桁橋	ワーレントラス橋
1	1214	2685
2	683	109
3	630	136

(kgf/cm²)

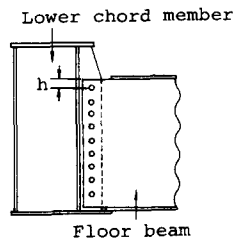


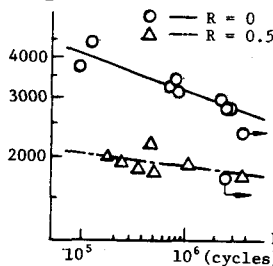
図-4 端横桁連結部

表-3 隅肉溶接の理論のと断面上に生じる応力

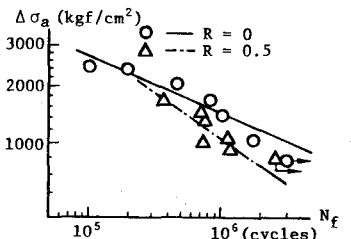
荷重	面内曲げ応力	引張応力
死荷重	4669	-37
自動車1台	950	116
自動車2台	1684	222

(kgf/cm²)

(a) 面内曲げ



(a) 面内曲げ



(b) 引張り

図-5 S-N曲線