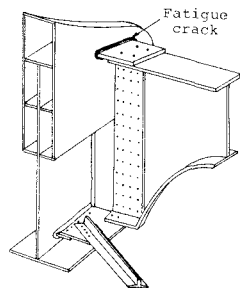


大阪大学大学院 学生員 芝池 利尚
大阪大学工学部 正員 前田 幸雄
大阪大学工学部 正員 大倉 一郎

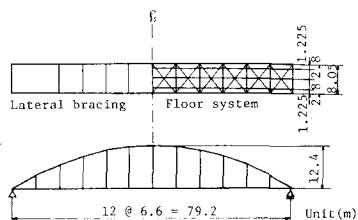
1. まえがき 近年、橋りょうの部材連結部に、設計上考慮されなかった2次応力によって疲労亀裂が発生している事例がいくつか報告されている。ランガー桁橋の場合、吊り材の取付部の他に、図-1に示すように、端横桁の上フランジを補剛桁に連結するコネクションプレートの溶接部に疲労亀裂が発生することがある。本報告では、この疲労亀裂の発生原因を明らかにするために、ランガー桁橋の3次元骨組構造解析を実施し、さらにコネクションプレートのモデル試験片による疲労実験を行なった結果について報告する。



2. ランガー桁橋の3次元骨組構造モデル 実存するランガー桁橋(2等橋) 図-1 コネクションプレートに発生する疲労亀裂

に基づいて、図-2に示すような3次元骨組構造モデルを作成した。コネクションプレートに生じる2次応力の増減に及ぼす力学的影響因子を明らかにするために、次の3つの構造モデルについて解析を行なった。

(I)下横構およびアーチと補剛桁間の偏心を無視したモデル。(II)下横構を無視し、アーチと補剛桁間の偏心(本ランガー桁橋の場合40cm)を考慮したモデル。(III)下横構およびアーチと補剛桁間の偏心を考慮したモデル。



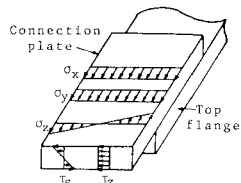
3. 荷重モデル 現在の日本の道路橋示方書においては、疲労設計を 図-2 ランガー桁橋の3次元骨組構造モデル

行なうための荷重が規定されていないので、次の3つの荷重モデルについて計算を行なった。(A)死荷重載荷。(B)活荷重載荷;車道全面に自動車が満載した場合を想定して、道路橋示方書(昭和55年度版)の活荷重(L-1/4)のうち等分布荷重を載荷する。(C)T荷重載荷;自動車1台が橋を通過する場合を想定して、道路橋示方書のT-1/4を載荷する。ただし、本ランガー桁橋の場合、片側1車線なので、1/4の集中荷重を補剛桁の隣の縦桁上を移動させる。

4. コネクションプレートに生じる応力 端横桁に生じる断面力から 表-1 コネクションプレートに生じる各応力成分

求められるコネクションプレートの各応力成分の比較を表-1に示す。ここで、 σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} は、それぞれ端横桁の軸力、面内方向の曲げモーメント、面外方向の曲げモーメント、面外方向のせん断力、ねじりモーメントに対応する。また、表中の荷重モデルCに対する各応力成分の値は、集中荷重が橋上を通過する際に生じる最大応力と最小応力の差である。表からわかるように、どの荷重モデルに対しても σ_z が他の応力成分よりも非常に大きく生じる。また、構造モデル(I), (II), (III)に対して σ_z の変動はわずかであるので下横構あるいはアーチと補剛桁間の偏心の存在は、 σ_z の発生にはあまり関係しないようである。

Load model	Structure model	Stress components (kgf/cm ²)				
		σ_x	σ_y	σ_z	τ_{yz}	τ_{xz}
A	I	1	5	2716	21	0
	II	1	8	2596	20	2
	III	1	7	2539	20	2
B	I	0	1	1221	10	0
	II	0	3	1176	10	1
	III	0	3	1141	9	1
C	I	0	20	402	3	1
	II	0	20	412	3	1
	III	0	20	399	3	1



荷重モデルCで構造モデルIIの場合について、集中荷重が橋上を移動するときの σ_z の変化を図-3に示す。荷重が端横桁上を通過する際にも σ_z が生じる。これは、次のように説明できる。端横桁に荷重が載る、支点で橋軸回りの回転が生じる。支点では、鉛直断面のアーチが補剛桁に対して、斜めに接合されているため、この回転に対して、鉛直軸回りの回転成分が生じる。この鉛直軸回りの回転成分によって、

端横桁の取付部に面外方向の曲げモーメントが生じ、これによって σ_z が生じる。荷重が端横桁を通過すると、縦桁を通して端横桁に分配される荷重が急激に減少するため、この現象は消滅する。次に、荷重が橋上にあるときの σ_z の発生は次のように説明できる。ランガー桁橋においては、補剛桁は、常に引張りの軸力を受けるため、橋軸方向に変位する。したがって、補剛桁と縦桁との相対的な変位差が生じ、この相対的な変位差によって、端横桁の取付部に面外方向の曲げモーメントが生じ、これによって σ_z が生じる。

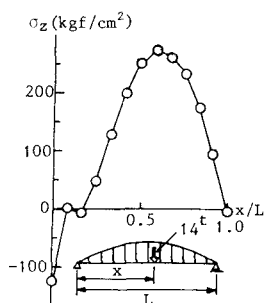


図-3 σ_z の変化図

5. モデル試験片による疲労実験 ランガー桁橋の3次元骨組構造解析により、端横桁のコネクションプレートの取付部に発生する疲労亀裂の発生原因は、コネクションプレートに生じる面内の曲げ応力 σ_x であると考えられる。したがって、図-4に示すようなモデル試験片について疲労実験を行った。モデル試験片の鋼種はSM50Aで、すみ肉溶接にはJIS D5016の50キロ級高張力鋼用低水素系溶接棒を使用した。疲労実験は、荷重制御により、荷重の下限0.5t、繰り返し速度5Hzで行なった。

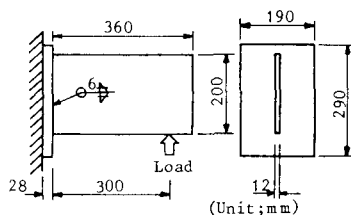


図-4 モデル試験片

6. 疲労亀裂の発生および伝は状況 引張り側のまわし溶接部で、発見された疲労亀裂の発生パターンを図-5に示す。

A; まわし溶接のルート部から45°方向に溶着金属部を伝はする亀裂。 B; まわし溶接の止端部から両側のすみ肉溶接の止端に沿って母材を伝はする亀裂。 C; まわし溶接部で溶け込みがある場合、まわし溶接の止端部から、これによる母材熱影響部に沿って伝はする亀裂。

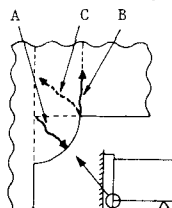


図-5 疲労亀裂の発生パターン

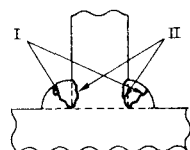


図-6 疲労亀裂の伝はパターン

次に、板幅方向の伝はパターンを図-6に示す。

I; 溶着金属部を伝はする亀裂。

II; 母材熱影響部に沿って伝はする亀裂。

なお、今回の実験では、発生パターンBの疲労亀裂は、母材の進展途中から、ここに示す伝はパターンに変化した。

7. S-N線図 モデル試験片の疲労破壊が主に溶着金属部で生じているので、S-N線図のSとして、理論のビ断面の応力レンジ $\Delta\sigma$ を採用した。また、繰り返し数Nとして、 N_c (発生パターンAの疲労亀裂が、溶着金属の表面で発見されたとき)と、 N_f (疲労亀裂が板幅方向に約6cm進展して、試験片の変形が大きくなり、試験片が疲労試験機の挙動に追従しなくなったとき)を 図-7 S-N線図 採用した。S-N線図を図-7に示す。 $\Delta\sigma$ と N_c および N_f を回帰分析した結果は、それぞれ次のようになる。

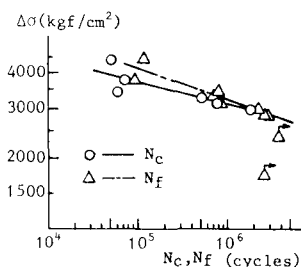


図-7 S-N線図

$$\log(\Delta\sigma) = -0.0803 \log(N_c/10^4) + \log(4462) \quad (\text{相関係数} = -0.8483)$$

$$\log(\Delta\sigma) = -0.1095 \log(N_f/10^4) + \log(5289) \quad (\text{相関係数} = -0.9296)$$

これより、200万回疲労強度は N_c, N_f に対して、それぞれ2916 kgf/cm², 2961 kgf/cm²になる。ランガー桁橋の3次元骨組構造解析によれば、死荷重において、すでに大きな面内の曲げ応力がコネクションプレートに生じているので、引き続き高い平均応力下での疲労実験を行なう予定である。

謝辞: 試験片の製作にあたり御協力いただいた川崎製鉄株式会社の川井豊氏および、解析実験にあたり御協力いただいた福永勲氏(現・本州四国連絡橋公団)に感謝の意を表わす。