

大阪大学工学部 正員 大倉 一郎
大 阪 府 小笠原 洋一

近畿大学理工学部 正員 前田幸雄
三井造船株式会社 正員 祝 賢治

1. まえがき 大阪モノレールの鋼製軌道桁の横断面の一例を図-1に示す。幅が650 mmで高さが2420 mmの幅の狭い箱断面の2つの軌道桁がI断面の横桁で連結されている。軌道桁の上フランジの上をモノレールの車輪が走行する。軌道桁と横桁の連結部は、その応力性状が明らかでないうえに、溶接線が集中しているために疲労強度が低いと予想される。そこで、軌道桁と横桁の連結部の疲労強度を明らかにするために、モデル試験体による疲労試験を実施した。

2. 横桁に生じる断面力 横桁に生じる曲げモーメントの分布とせん断力の分布を模式的に図-2に示す。図-2(a)に示すように、モノレールが軌道桁 G_1 に載った場合、曲げモーメントは横桁の中央で0になり、軌道桁 G_1 の位置の曲げモーメントと大きさが同じで、これと符号が反対の曲げモーメントが軌道桁 G_2 の位置に生じる。他方、図-2(b)に示すように、モノレールが軌道桁 G_2 に載った場合の曲げモーメントの分布とせん断力の分布は、それぞれ図-2(a)の分布と符号が反対の分布になる。したがって、モノレールが軌道桁 G_1 と G_2 を交互に通過した場合、軌道桁と横桁の連結部には大きさの等しい交番応力が生じる。

3. 試験体1 図-3に示すような軌道桁と横桁の要素分割に対するF.E.M.による横桁連結部の応力解析の結果の検討から、図-4に示すような試験体を製作した。横桁の長さは、実構造物の横桁支間長の半分である。軌道桁の高さは実構造物の安定面板の中央の位置の高さに等しく、上端に板厚30 mmの補強板が設けられている。この補強板を除いて、各部材の寸法、板厚、および溶接条件などは実構造物と同じである。鋼種はSM41である。試験体を上下反対にして、軌道桁の上端の補強板をボルトで試験ベットに固定し、横桁の端部の下フランジに荷重を与えた。±15 tonの両振りの荷重制御で疲労試験を行った。15 tonの荷重に対して、棒理論から計算される、横桁取り付け位置のフランジ応力は483 kgf/cm²になる。横桁の上フランジと軌道桁のウェブの連結部に図-5に示すような疲労亀裂が発生した。繰返し数5700回で、軌道桁のウェブと横桁の上フランジとのK型T継手溶接のウェブ側の溶接止端に45 mmの非常に浅い(A)の亀裂が発見された。その後、この亀裂は上フランジの板幅方向およびウェブの板厚方向に進展し、開口が大きくなった。他方、横桁の上フランジの延長上にある軌道桁内のリブプレートとウェブを連結するK型T継手溶接のウェブ側の溶接止端に(B)の亀裂が現れ、(A)の亀裂と貫通亀裂になった。繰返し数4万回で、軌道桁内のダイヤフラムをウェブに連結する隅肉溶接の溶接ビードに(C)の亀裂が発生し、その後、進展方向を転じてダイヤフラムに進入し(D)の亀裂になった。繰返し数218970回で横桁のたわみが大きくなり、試験体が疲労試験機の挙動に追従しなくなったので、疲労試験を終了した。軌道桁内のリブプレートをウェブに連結するK型T継手溶接のリブプレート側の溶接止端に沿ってリブプレートの全幅にわたって(E)の亀裂が進展していたことが、横桁連結部の切り出しにより発見された。この亀裂は、リブプレートのスカーラップから発生していた。

4. 試験体2 F.E.M.解析の結果の検討から、横桁の上フランジと軌道桁のウェブの間に図-6に示すようなコネクションプレートを設け、ダイヤフラムの穴を添接板で塞いだ。さらに、軌道桁内のリブプレートのスカーラップを溶接により詰めた。±9.2 tonの両振りの荷重制御で疲労試験を行った。9.2 tonの荷重の大きさに対して、棒理論から計算される、横桁の取り付け位置のフランジ応力は296 kgf/cm²になる。図-7に示すような疲労亀裂が発生した。繰返し数が60万回から80万回の間で、横桁のウェブのスカーラップからウェブ側の隅肉溶接止端に沿って2~5 mmの長さの(A)の亀裂が発生しているのが発見された。この亀裂は、その後の荷重の繰返しによる進展が遅く、281万回の疲労試験終了時には、亀裂の長さは、ウェブの右側と左側でそれぞれ13 mmと16 mmであった。繰返し数230.8万回で、コネクションプレートの上端に、水平方向に22 mmの長さの(B)の亀裂が発見された。繰返し数270万回で、軌道桁内のダイヤフラム

をウェブに連結する隅肉溶接のビードに斜めに（C）の亀裂が進展しているのが発見された。その後、この亀裂はウェブを水平に進展し（D）の亀裂になった。（B）と（D）の亀裂は貫通亀裂になり、繰り返し数281万回で、（B）の亀裂は82 mmになった。設計繰り返し数281万回の疲労試験終了時においても、試験体は疲労試験機の挙動に追従していた。

疲労試験は、三井造船株式会社の千葉研究所で実施した。

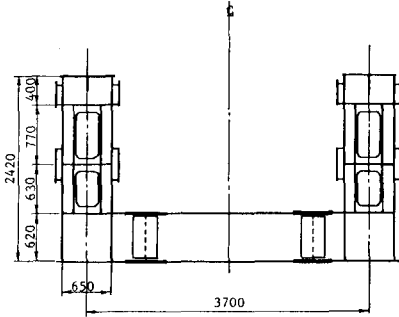


図-1 鋼製軌道桁の横断面

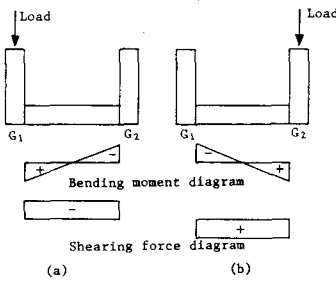


図-2 横桁に生じる断面力

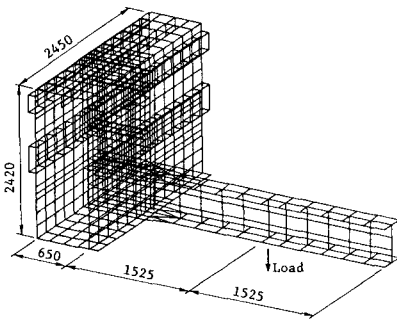


図-3 F.E.M.解析モデル

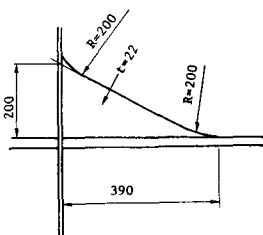


図-6 コネクションプレート

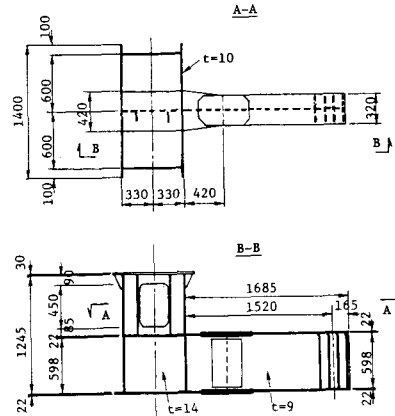


図-4 試験体

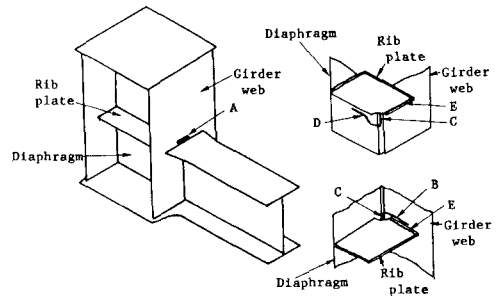


図-5 疲労亀裂の発生状況

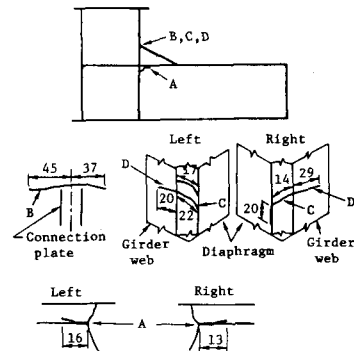


図-7 疲労亀裂の発生状況（繰り返し数281万回）