

第4章 鋼床版デッキプレートとトラフリブ溶接部の疲労試験

4-1 背景と目的

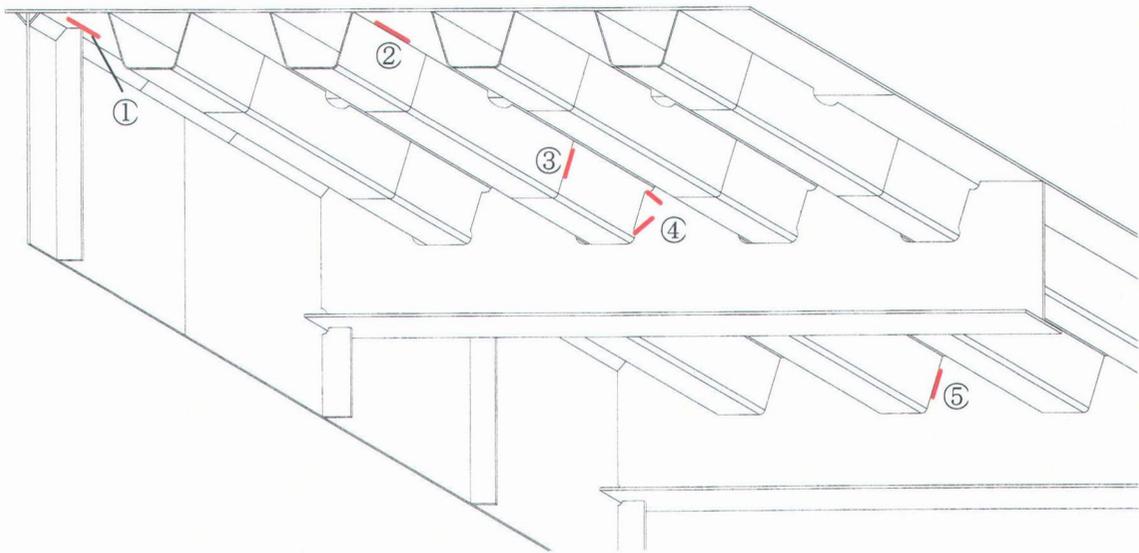
鋼道路橋の床版は、鋼床版とコンクリート系床版に大別される。鋼床版は、コンクリート系床版に比べて、その重量が1/2～1/3であるため、死荷重が設計上特に問題となる長大橋に用いられてきた。また、鋼床版は橋梁架設後のコンクリート工事がないために工期が短縮できるなどの利点も有している。このような利点がある一方で、比較的薄い鋼板を用いて溶接により組み立てた構造であるために、溶接欠陥や残留応力、あるいは変形等が生じる可能性も少なくなく、さらに自動車荷重を直接支える役割上、自動車の走行に伴う高い繰り返し応力が生じるため、鋼床版は耐疲労性に問題があるとされることもある。

現在までに報告されている鋼床版の疲労損傷事例を図1.1に示す。

また、数年前からいくつかの橋梁において、鋼床版のデッキプレート・トラフリブ溶接部に疲労亀裂の発生事例が報告されている。これらの疲労亀裂にはこれまでに例のない新種のものも含まれており、その発生原因は明らかにされていない。デッキプレート・トラフリブ溶接部に疲労亀裂が発生・進展すると考えられる位置・断面を図4-1に示す。

疲労亀裂の発生が予想される破壊起点は図に示すA点～D点である。A点はデッキプレート表面、B点は溶接ルート先端、C点はデッキプレート側溶接止端、D点はトラフリブ側溶接止端である。また、疲労亀裂の進展が予想される断面は、①～⑥である。①と②はデッキプレートに垂直な断面、③は溶接ビードに垂直な断面、④は溶接ルート先端からデッキプレート側溶接止端に進展する断面、⑤はトラフリブウェブを貫通する断面、⑥は溶接ルート先端からトラフリブ側溶接止端に進展する断面である。断面①と断面②に疲労亀裂が発生した場合、アスファルト舗装があるために発見は困難であり、亀裂がさらに進展した場合には、アスファルト舗装の損傷、路面の平坦性の欠如など、道路としての機能の低下につながるばかりでなく、床版の陥没を引き起こす恐れがある非常に危険な損傷である。

本試験では、鋼床版デッキプレート・トラフリブ溶接部に生じる疲労亀裂に対する輪荷重位置、溶接溶け込み量の影響を明らかにする目的で、鋼床版1パネルを対象とした疲労試験を行った。



- | | |
|---|---------------------|
| ① | デッキプレートと垂直補剛材のすみ肉溶接 |
| ② | デッキプレートと縦リブのすみ肉溶接 |
| ③ | 縦リブの現場突合せ溶接 |
| ④ | 横リブと縦リブの交差部 |
| ⑤ | 端横桁と縦リブのすみ肉溶接 |

図 4 - 1 疲労損傷事例

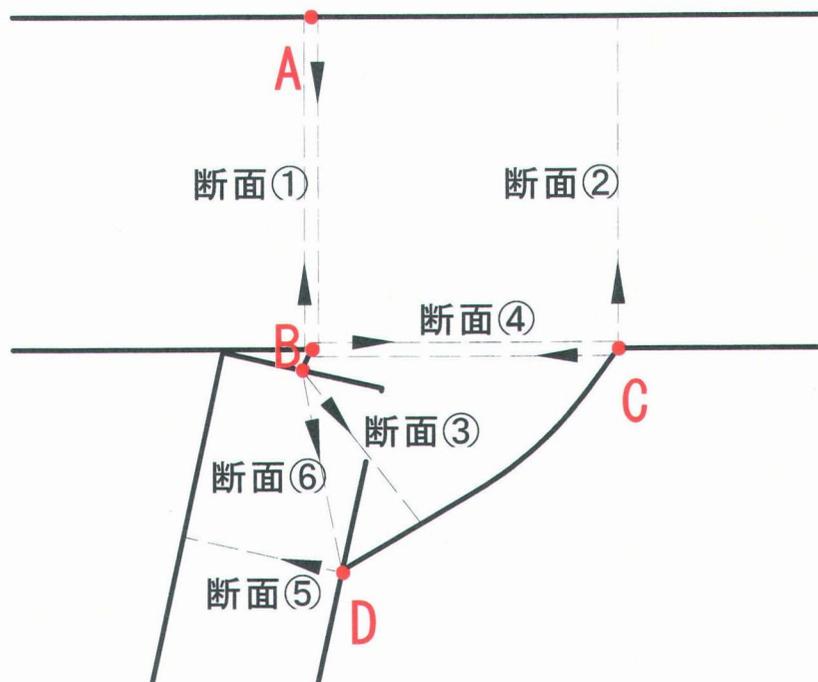


図 4 - 2 疲労亀裂発生予想断面図

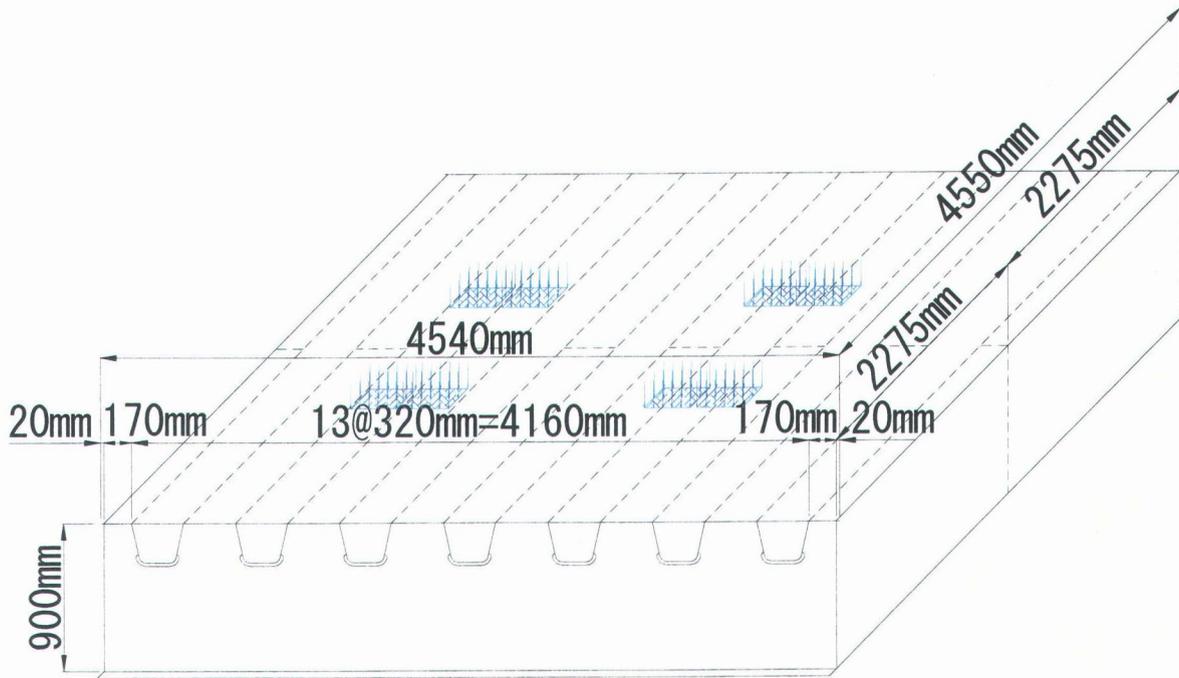
4-2 荷重条件の検討

4-2-1 タイヤ荷重

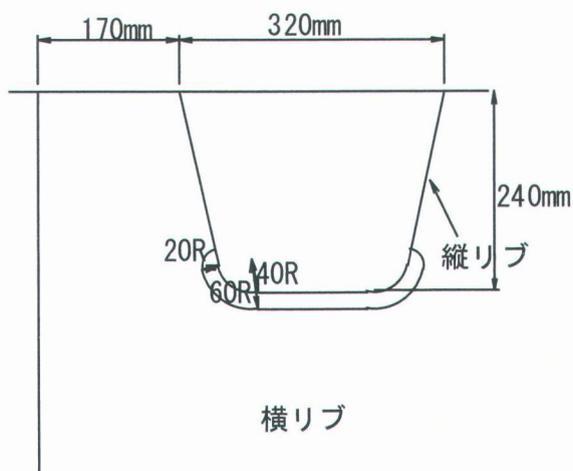
本試験では、鋼床版の疲労損傷に影響が大きいと予想される大型トラックのタイヤに着目する。最も一般的な普通車両は前1軸、後1軸の計2軸であるが、大型トラックの中でも多くみられるのが前1軸、後2軸のリアタンデム形式であり、後輪のタンデムタイヤ間の距離は一般的に1310mmである。また、後輪に関しては大型トラック、ダンパー、大型バス等の大型車両に使用されるタイヤの形式としてダブルタイヤがある。ダブルタイヤはその構造上2つのタイヤ間に間隙があり、その距離は車両により異なるが一般的には40~50mmである。大型トラックに使用されるタイヤの多くはタイヤ幅280mmで、タイヤの接地長さは130mmである。本試験では特にタンデム形式、後輪ダブルタイヤの構造を持つ大型トラックが鋼床版を通過した場合の影響について検証することとし、前輪のシングルタイヤ、後輪のダブルタイヤ荷重を対象とする。

4-2-2 荷重の干渉範囲

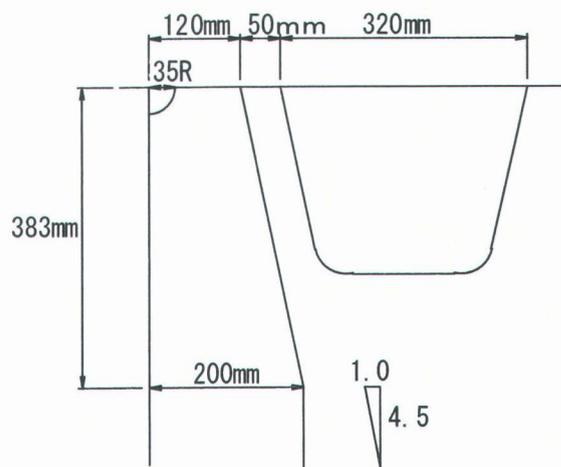
鋼床版箱桁橋の断面を想定し、鋼床版2パネル(1パネル4540mm×2275mm)を対象として応力解析を行った。解析対象のモデル図を図4-3に示す。各部材の板厚は、デッキプレート12mm、トラフリブ6mm、主桁ウェブ14mm、横リブウェブ12mm、横リブ下フランジ16mm、垂直補剛材19mmである。トラフリブの断面寸法は320mm×240mm×6である。横リブ間隔は2275mmであり、横リブ支間中央には垂直補剛材を配置している。荷重は、大型トラックのリアタンデム形式ダブルタイヤ4輪を図4-3に示すように載荷した。荷重の大きさは、ダブルタイヤ1輪で72.8kNとした。大型トラックの1軸ダブルタイヤ2輪を載荷した位置の橋軸直角方向の橋軸直角方向応力分布を図4-4(1)に示す。ダブルタイヤ1輪がデッキプレートに影響を及ぼす範囲は、ダブルタイヤ中心から700mm程度であり、極めて局部的である。そのため左右の輪荷重により生じる応力は互いに独立しているため、デッキプレート・トラフリブ溶接部の損傷原因を明らかにする上で片側の輪荷重のみを対象とすればよいと考えられる。また、大型トラックの橋軸方向後輪2軸リアタンデム形式を載荷した場合の橋軸方向の橋軸直角方向応力分布を図4-4(2)に示す。後輪2軸リアタンデム形式を載荷した場合においても、デッキプレートに生じる応力は極めて局部的であり、タンデムタイヤ前輪と後輪の輪荷重により生じる応力は互いに独立している。これらのことから、デッキプレート・トラフリブ溶接部の局所的な応力を明らかにする上で、1つの輪荷重のみを用いて疲労試験を行うこととした。



(a) 全体モデル

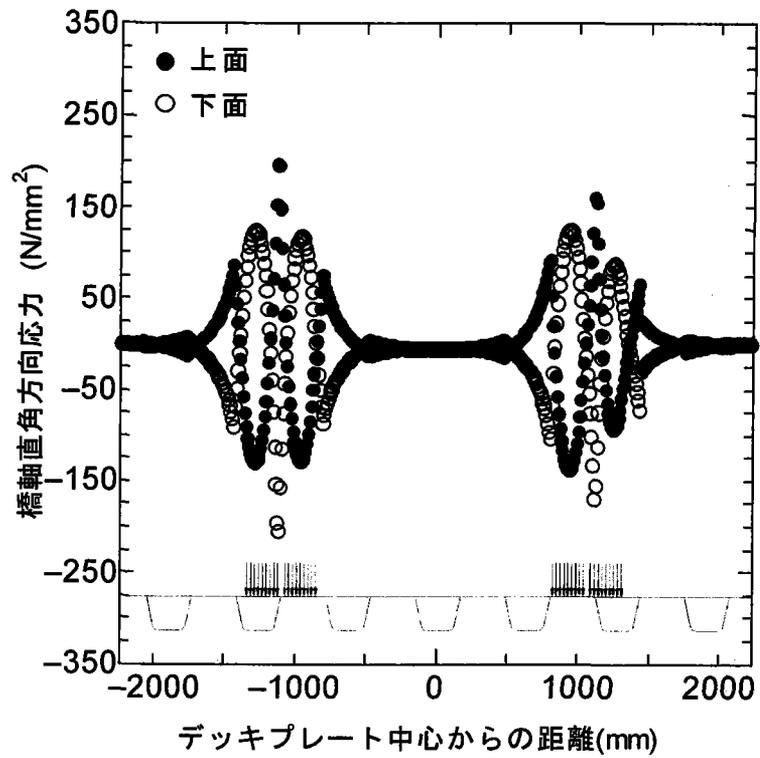


(b) 縦リブ・横リブ交差部の詳細図

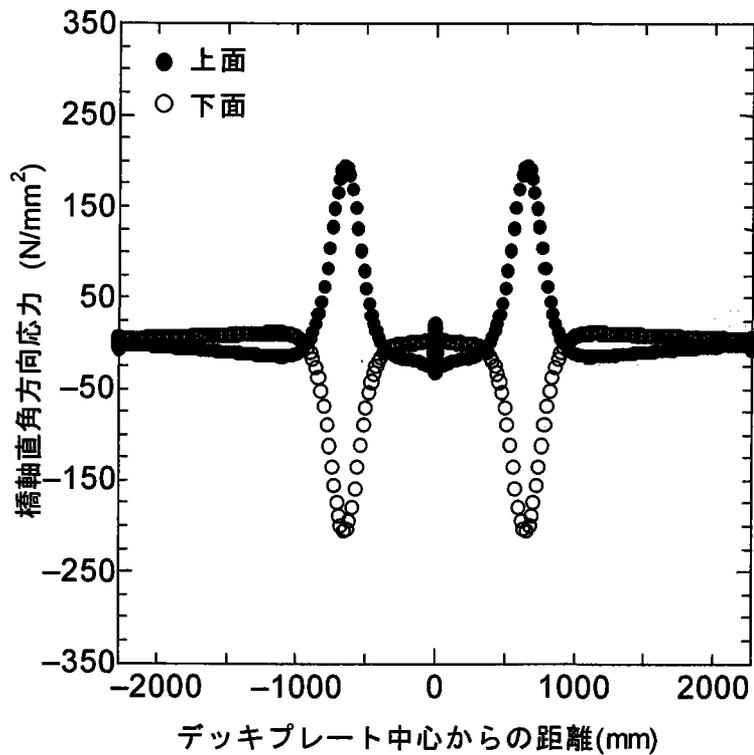


(c) 垂直補剛材の詳細図

図 4 - 3 解析対象



(1) ダブルタイヤを二輪載荷した場合の橋軸直角方向応力分布



(2) リアタンデムを載荷した場合の橋軸方向の橋軸直角方向応力分布

図 4-4 隣接するタイヤの干渉範囲

4-2-3 試験体

鋼床版 1 パネルを対象とした試験体の形状と寸法を図 4-5 に示す。デッキプレートの板厚は 12mm であり、トラフリブの板厚は 6mm である。疲労試験に用いた試験体は、デッキプレート・トラフリブ溶接部の溶接溶け込み深さが 75% 以上の試験体（以後、75% 試験体と呼ぶ）と、溶接溶け込み深さがほぼ 0% の試験体（以後、0% 試験体と呼ぶ）の 2 種類である。これらの試験体の溶接部における断面マクロ写真を写真 4-1 に示す。75% 試験体ではトラフリブ厚に対して溶接が深く溶け込んでいるのに対し、0% 試験体では明らかに溶接溶け込みが浅くなっている。

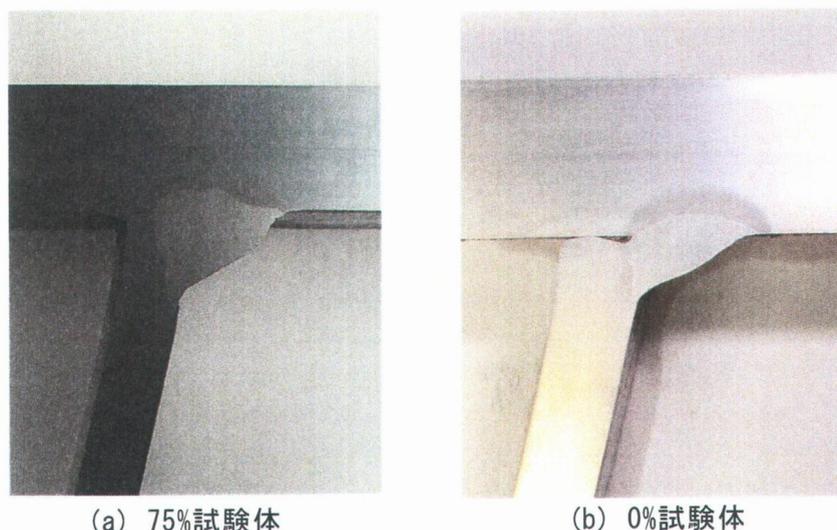


写真 4-1 溶接溶け込みの比較

4-3 疲労試験

4-3-1 疲労試験方法

疲労試験は動的能力 300kN の油圧サーボ式試験機を用いて行った。載荷は、図 4-6 に示す 2 ケースで行った。荷重ケース 1 はダンプトラック後輪のダブルタイヤ、荷重ケース 2 は前輪のシングルタイヤを模擬したものである。載荷は、タイヤの接地面積を模擬した厚さ 25mm の鋼板の下に同じ寸法の厚さ 30mm の硬質ゴムを挿入して行った。疲労試験は、下限荷重を 10kN として所定の荷重範囲で疲労試験を行い、目視あるいは磁粉探傷試験により疲労亀裂の有無を観察した。所定の荷重範囲で 200 万回の載荷を行っても疲労亀裂が確認されなかった場合は、荷重範囲を大きくして再度疲労試験を行った。疲労亀裂が確認された場合には、再度疲労試験を行い、疲労亀裂の進展を観察して試験を終了した。なお、繰返し速度は 1.8~2.0Hz である。

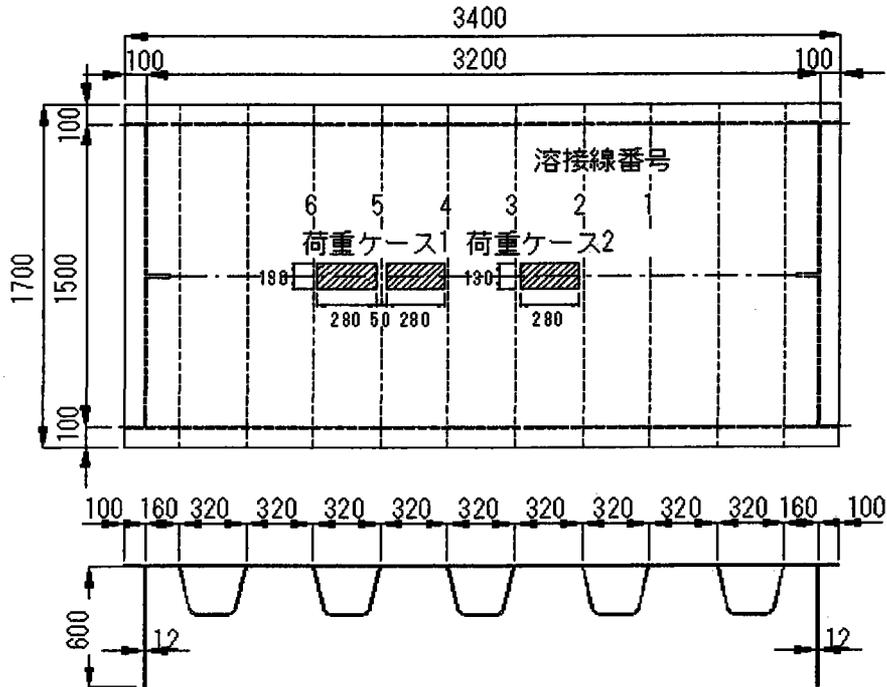


図 4 - 6 疲労試験載荷位置

4-3-2 疲労試験結果

1) 75%試験体の試験結果

荷重ケース 1 では、荷重範囲を 150kN として 200 万回の載荷を行ったが、目視及び磁粉探傷試験で疲労亀裂の存在を確認することはできなかった。その後、荷重範囲を 200kN として 60 万回載荷したところ、写真 4 - 2 に示すように 2 つの載荷板の間のデッキプレート表面に長さ 61mm、15.5mm、10mm の 3 つの疲労亀裂が観察された。その位置は、図 4 - 6 に示す溶接線 5 のルート部ほぼ直上である。その後さらに 10 万回載荷したところ、3 つの疲労亀裂は合体し、長さ 200mm まで進展した。そこで疲労試験を終了した。

荷重ケース 2 では、荷重範囲を 80kN として 200 万回載荷したが、疲労亀裂を観察することはできなかった。その後、荷重範囲を 110kN として 135 万回載荷した時点で、溶接線 3 のデッキプレート側溶接止端に沿って長さ 58mm の亀裂を検出した。この疲労亀裂の状況を写真 4 - 3 に示す。その後 50 万回の載荷を行い、亀裂長さが 102mm となった時点で疲労試験を終了した。

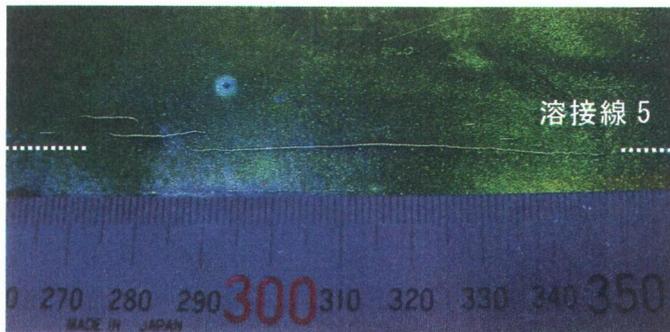


写真 4 - 2 75%試験体 溶接線 5
(60 万回載荷)

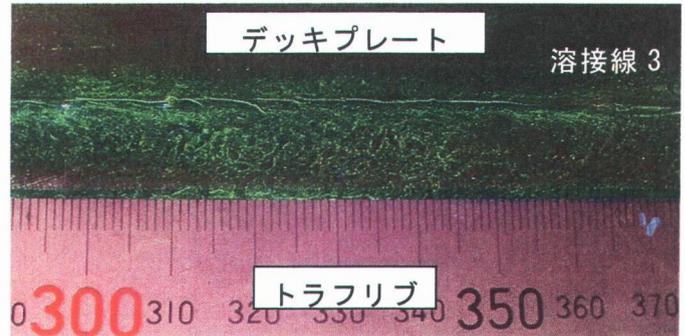


写真 4 - 3 75%試験体 溶接線 3
(135 万回載荷)

荷重ケース1

	荷重範囲	載荷回数	試験体の状態
1	150kN	200万回	亀裂の存在確認できず
2	200kN	60万回	デッキプレート表面 61mm、15.5mm、10mm
3	200kN	10万回	疲労亀裂の合体 200mmに進展

荷重ケース2

	荷重範囲	載荷回数	試験体の状態
1	80kN	200万回	亀裂の存在確認できず
2	110kN	135万回	デッキプレート側溶接止端 58mm
3	110kN	50万回	102mmに進展

2) 0%試験体の試験結果

荷重ケース 1 では、75%試験体で疲労亀裂が観察された同一の荷重範囲 200kN で疲労試験を行った。40 万回載荷したところ、写真 4 - 4 に示すように 2 つの載荷板の間のデッキプレート表面に長さ 41mm、21mm、23mm の 3 つの疲労亀裂が観察された。その位置は、図 2 に示す溶接線 5 のルート部ほぼ直上であり、75%試験体で観察された位置と同一であった。その後さらに 10 万回の載荷を行ったところ、3 つの亀裂は合体し、長さ 167mm まで進展した。そこで疲労試験を終了した。

荷重ケース 2 においても、75%試験体で疲労亀裂が観察された同一の荷重範囲 110kN で疲労試験を行った。150 万回載荷したところ、写真 4 - 5 と 4 - 6 に示すように溶接線 2 と 3 のデッキプレート・トラフリブ溶接部のトラフリブ側溶接止端近傍で疲労亀裂が観察された。その長さは、溶接線 2 で 58mm、溶接線 3 で 73mm であった。その後さらに 10 万回載荷したところ、溶接線 2 で観察された亀裂は 374mm まで進展し、溶接線 3 で観察された亀裂は 182mm まで進展した。そこで試験を終了した。



写真 4 - 4 0%試験体 溶接線 5
(40 万回載荷)

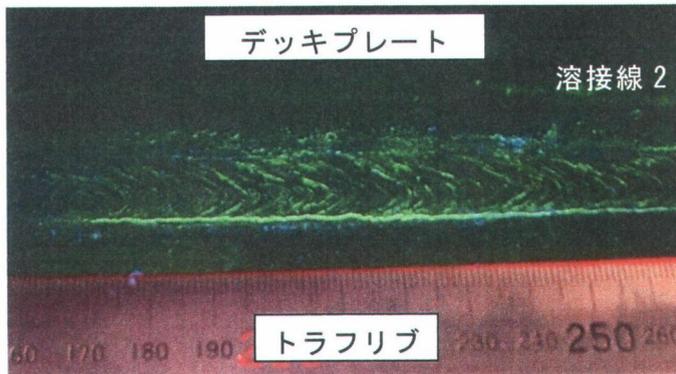


写真 4 - 5 0%試験体 溶接線 2
(150 万回載荷)

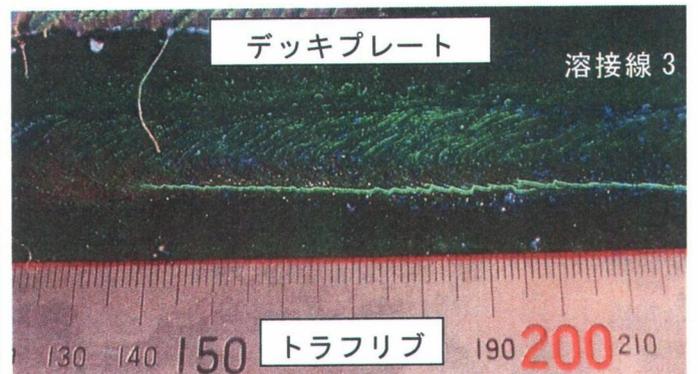


写真 4 - 6 0%試験体 溶接線 3
(150 万回載荷)

荷重ケース1

	荷重範囲	載荷回数	試験体の状態
1	200KN	40万回	デッキプレート表面 41mm、21mm、23mm
2	200KN	10万回	疲労亀裂の合体 167mmに進展

荷重ケース2

	荷重範囲	載荷回数	試験体の状態
1	110KN	150万回	トラフリブ側溶接止端 溶接線2: 58mm 溶接線3: 73mm
2	110KN	10万回	溶接線2: 374mmに進展 溶接線3: 182mmに進展

4-4 疲労亀裂の観察

疲労試験終了後、疲労亀裂の進展性状を調べるために図4-7に示すように各溶接線の周りを切り出し、その断面を研磨してデジタルマイクロスコープで観察した。75%試験体で検出された疲労亀裂の例を写真4-7と4-8に示す。写真4-7に示す溶接線5では、デッキプレート表面と溶接ルート部からそれぞれ疲労亀裂が生じている。写真4-8に示す溶接線3では、溶接ルートから発生した疲労亀裂と、磁粉探傷によって検出されたデッキプレート側溶接止端からの亀裂が確認できる。その他の溶接線では疲労亀裂は検出されなかった。0%試験体で検出された疲労亀裂の例を写真4-9と4-10に示す。写真4-9に示す溶接線5では、デッキプレート表面と溶接部の未溶着部から2つの疲労亀裂が生じている。写真4-10に示す溶接線2と3では、溶接ルート部から溶接ビードを切る方向に向かって進展する疲労亀裂が検出された。

これらの疲労亀裂を暴露した状況を写真4-11~4-14に示す。写真4-11と4-12は75%試験体、写真4-13と4-14は0%試験体の疲労破面を示している。写真4-11に示す溶接線5では、デッキプレート表面からの複数の疲労亀裂が生じ、それらが合体している様子が認められる。また、ルート部から生じた短い疲労亀裂も認められる。写真4-12に示す溶接線3では、溶接ルート部から多数の疲労亀裂が発生し、半楕円形亀裂として進展している。写真4-13に示す溶接線5では、75%試験体と同様にデッキプレート表面からの複数の疲労亀裂が生じており、ルート部から生じた短い疲労亀裂も認められる。写真4-14に示す0%試験体溶接線2と3では、溶接ルートからの多数の疲労亀裂が発生し、半楕円形亀裂として進展している。

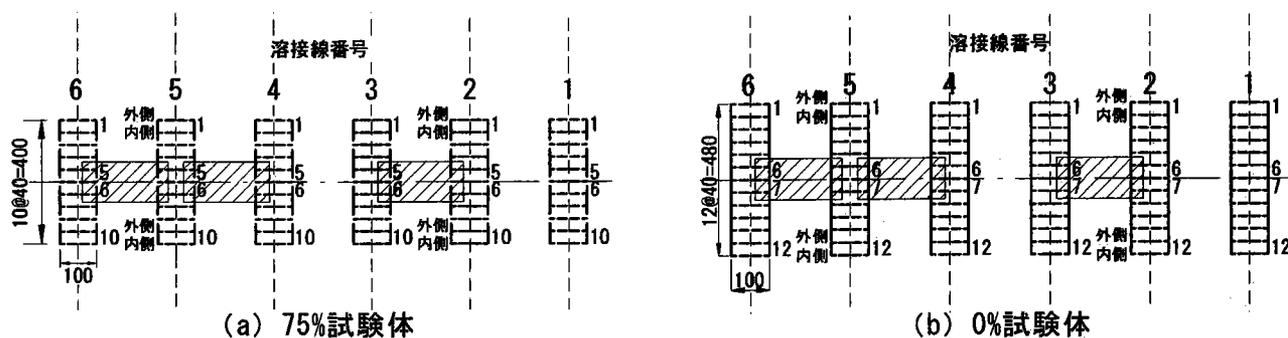


図4-7 試験体の切り出し位置

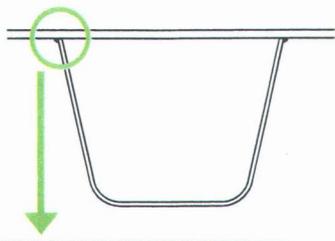
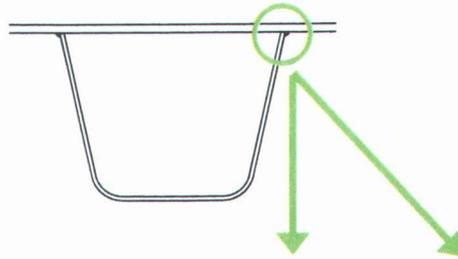


写真 4-7 75%試験体
(溶接線 5 ピース 4 外側)



(a) 溶接ルート先端
(溶接線 3 ピース 4 内側)



(b) デッキプレート側溶接止端
(溶接線 3 ピース 7 内側)

写真 4-8 75%試験体

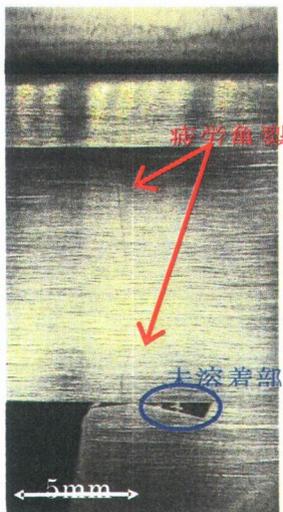
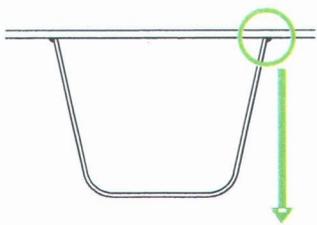
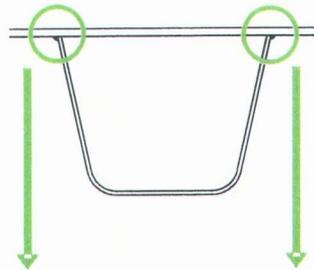


写真 4-9 0%試験体
(溶接線 5 ピース 5 内側)



(b) 溶接ルート先端
(溶接線 2 ピース 5 内側)

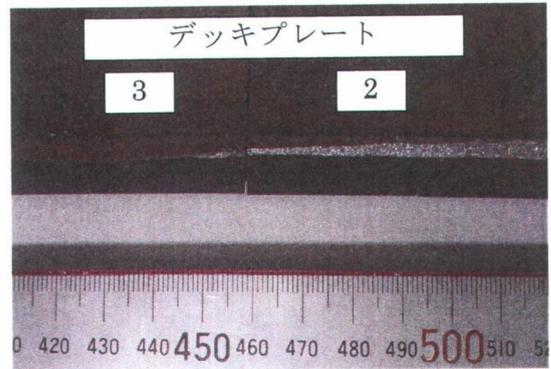


(a) 溶接ルート先端
(溶接線 3 ピース 2 内側)

写真 4-10 75%試験体



写真 4-11 疲労破面
(75%試験体 溶接線 5)



(a) 0%試験体 溶接線 2



写真 4-12 疲労破面
(75%試験体 溶接線 3)



(b) 0%試験体 溶接線 3



写真 4-13 疲労破面
(0%試験体 溶接線 5)

写真 4-14 疲労破面

4-5 まとめ

鋼床版 1 パネルを対象に溶接溶け込みを変えて疲労試験を行った。荷重ケース 1 では、溶接溶け込み深さに関らずデッキプレート表面と溶接ルート部から複数の疲労亀裂が発生・進展した。荷重ケース 2 では、溶接溶け込みが深い場合には、疲労亀裂は溶接ルート部からデッキプレートに進展し、溶け込みが浅い場合には溶接ルート部から溶接ビードを切る方向に進展した。

参考文献

1) 嶋原志保：鋼床版デッキプレート・トラフ溶接部の疲労性状、法政大学大学院工学研究科建設工学修士論文、2004年（指導教授 森 猛教授）