

投稿論文 (和文報告)
TECHNICAL
REPORT

大規模斜張橋ケーブル定着構造の疲労

遠藤武夫¹・松本毅²・塚原弘光³・三木千壽⁴

- ¹正会員 本州四国連絡橋公団 顧問 (〒105 東京都港区虎ノ門5-1-5虎ノ門45森ビル)
²正会員 本州四国連絡橋公団 企画開発部 (〒105 東京都港区虎ノ門5-1-5虎ノ門45森ビル)
³正会員 (株)横河ブリッジ 橋梁本部 (〒273 千葉県船橋市山野町27横河ビル)
⁴正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

斜張橋のケーブル定着構造には、設計方法、製作方法、疲労に対する安全性などを考慮する必要がある。本検討では、鋼斜張橋ケーブル定着部として、箱形状の定着部を主桁ウェブに取り付けた、2つの構造形式を取り上げ設計方法を検討し、実寸大の試験体を用いて製作方法を確認し、大型疲労試験を行った。また、試験体の応力状態を実橋と比較するため、両者のFEM解析も行った。両形式とも所定の品質、精度が確保でき製作可能な構造であることを確認した。疲労試験では主に、ケーブルソケットが直接あたる支圧板の溶接部に亀裂が生じた。これらの亀裂は支圧板の板曲げを原因とするもので、支圧板周辺部の詳細構造を若干変更することで解決でき、両形式とも十分な疲労強度を有していることが解った。

Key Words : cable stayed bridge, cable anchor, fatigue test

1. まえがき

斜張橋のケーブル定着部は、ケーブルと主桁の構造上の接点にあたり、大きなケーブル張力を主桁に伝達する重要な部分である。ケーブル定着部には、ケーブル張力が直接作用するので、活荷重の作用による張力変動の影響が大きく、疲労強度の検討が必要となる。ケーブル定着部は、集中力として作用するケーブル張力に抵抗すべく、設計上厚板を用いることになり、それらを狭い範囲に溶接集成して構成されることが多く、溶接施工性の確認も必要である。

大規模な斜張橋のケーブル定着構造としては、名港西大橋、生口橋などで実績のあるパイプ形式がある。この形式の疲労特性については、生口橋に関して実施した大型疲労実験により把握済みである¹⁾。しかしパイプ形式の定着構造は、定着部の下端が桁の下フランジ面から突出すること、大規模の斜張橋でケーブル面が傾斜している場合は、パイプがウェブ面に納まらなくなること、パイプとウェブの溶接に特別な配慮が必要となるなど検討の余地がある。そこで本試験では、長大斜張橋に適用できるパイプ形式以外の定着構造として、箱形状の定着部を主桁ウェブの外側に取り付けた構造を取り上げ、主桁への張力伝達方法の異なる2形式について検討した。

試験目的は、実寸供試体による製作方法の検討、および疲労試験による疲労特性の把握である。設計方法、試験体と全体系のFEM解析の比較も行っており、合わせて報告する。

2. 定着構造および設計方法

桁構造は矩形断面の鋼床版箱桁とし、定着部は桁の外に取り付け、かつフェアリング内に納まる構造とした。ケーブルは支圧板に支圧定着されている。

(1) 定着梁形式

図-1に定着梁形式の構造図を示す。構造としては、箱断面を有する張り出し長さの短い片持ち梁である。定着部は主桁ダイヤフラム間に納まる形状とした。この形式では、ケーブル角度の変化に対しては、支圧板の角度の変化で対応できる。主桁ウェブとの取付部には、主桁ウェブからケーブル定着位置までの張り出し長さをアーム長とする曲げモーメントと、ケーブル張力によるせん断力が作用する。

主桁ウェブとの取付部の設計では、簡易的にケーブル張力を水平、鉛直成分に分けて考えた。水平成分に対しては、デッキプレートと下フランジがせん断力を分担し、曲げモーメントは、前面フランジと

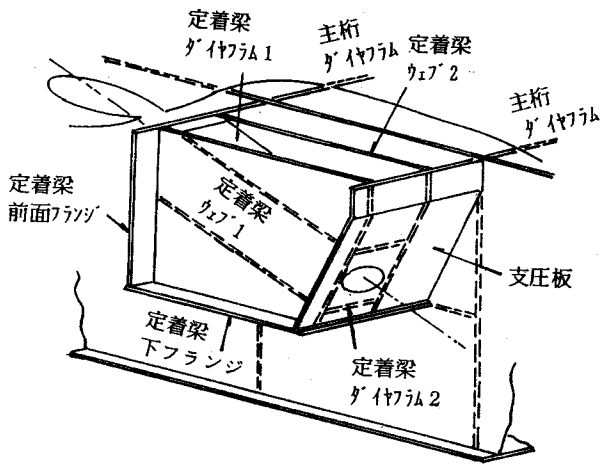


図-1 定着梁形式構造図

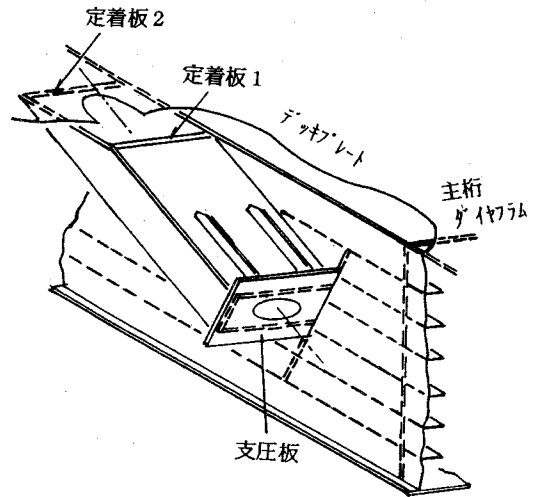


図-2 定着柱形式構造図

支圧板に偶力として伝えられると考える。鉛直成分に対しては、前面フランジと支圧板がせん断力を分担し、曲げモーメントは、デッキプレートと下フランジが偶力として分担すると考える。

定着梁ウェブ1, 2はその周辺の板に張力を分散するため、またダイヤフラム1, 2はウェブの補剛のために設けてある。

(2) 定着柱形式

図-2に定着柱形式の構造図を示す。構造としては、主桁ウェブからの張り出し長さの小さい、ケーブル方向に長い柱である。主桁ウェブからの張り出し長さを極力抑えることで、ウェブとの取付部に生ずる曲げモーメントを小さくし、ケーブル方向に十分な定着長をとることでケーブル張力をスムーズに主桁に伝達しようとする構造である。

ケーブル反力は、定着板1, 2を通して主桁ウェブにせん断力として伝達されるため、反力の水平成分は大部分主桁ウェブで分担される。主桁ウェブへの取付部に生ずる曲げモーメントは、支圧板とデッキプレートに偶力として伝達される。

この形式はパイプ形式と類似しており、定着柱各部位の役割が明確であることが特徴である。

3. 供試体形状

今回の検討では、多々羅大橋を取り上げ、その最上段ケーブルを対象とした。ケーブル角度は 22° 設計最大張力は $P_{max}=782tf$ (内、設計活荷重による張力は $P=174tf$)である。ケーブル断面はPWS $\phi 7mm \times$

379本、ソケット外径は $\phi 405mm$ である。

図-3に定着梁形式試験体、図-4に定着柱形式試験体を示す。後述の載荷試験の都合より、定着部の支圧板と水平になるように、桁を斜めに切断し、ベースプレートを取り付けた形状である。

各形式とも、定着部に作用する応力を無理なく主桁に分散させるために、主桁ウェブの内側に内部補強を設けた。定着梁形式では、定着梁下フランジと支圧板に対応する主桁ウェブに内部補強を設けた。定着梁前面フランジに対応する内部補強は、主桁ダイヤフラムに兼用させた。定着柱形式では、せん断力だけを伝達する定着板には内部補強は不要であり、支圧板に対応する内部補強だけを設けた。偶力によって支圧板に生ずる引張力は、内部補強梁に伝えられ、主桁ウェブの水平補剛材を経由して主桁ダイヤフラムに伝えられる。

定着構造の寸法、板厚構成、溶接部のディテールは実構造と同一とした。

4. 製作方法の検討

定着部の製作のしやすさは構造選定の大切な要素である。特に溶接施工性が疲労強度に大きく影響するため、実施工における製作方法を確認した。製作はケーブル定着部の溶接を優先しつつ、総組立溶接を基本とした。

(1) 定着梁形式試験体

組立順序と溶接の種類を図-5に示す。本形式で溶接施工上最も注意が必要なのは、主桁ウェブと定

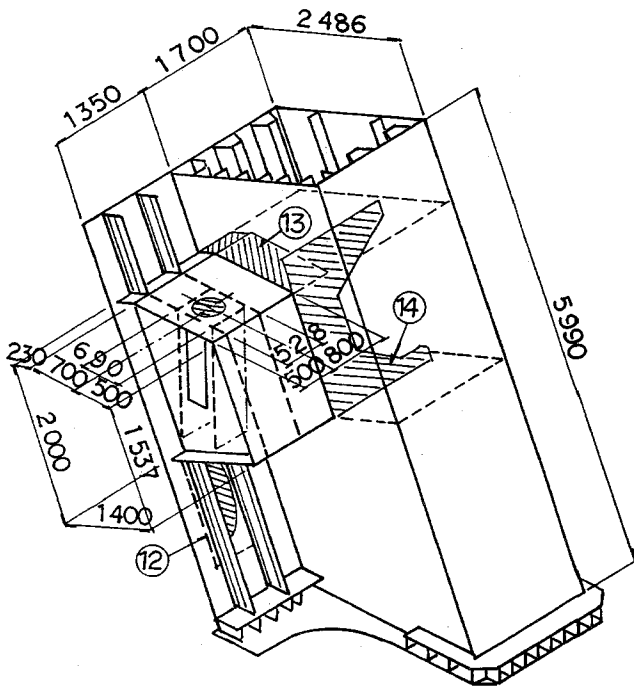


図-3 定着梁形式試験体構造図

- ① 支圧板 1-PL 1292*25*1488
 - ② 定着梁前面フランジ 1-PL 1292*25*1400
 - ③ 定着梁下フランジ 1-PL 1292*25*1887
 - ④ 定着梁ウェブ 1 1-PL 1400*28*1975
 - ⑤ 定着梁ウェブ 2 1-PL 1400*28*1975
 - ⑥ ダイアフラム 1 1-PL 500*22*1530
 - ⑦ ダイアフラム 2 1-PL 500*22*1530
 - ⑧ 支圧補強板 2-PL 300*19*1200
 - ⑨ デッキプレート t=16
 - ⑩ 主桁ウェブ t=16
 - ⑪ 主桁下フランジ t=10
 - ⑫ 主桁開口部のダブルリング t=16
 - ⑬ 支圧板の内部補強 t=25
 - ⑭ 定着桁下フランジの内部補強 t=25
- 注) 材質は全てSM490Y

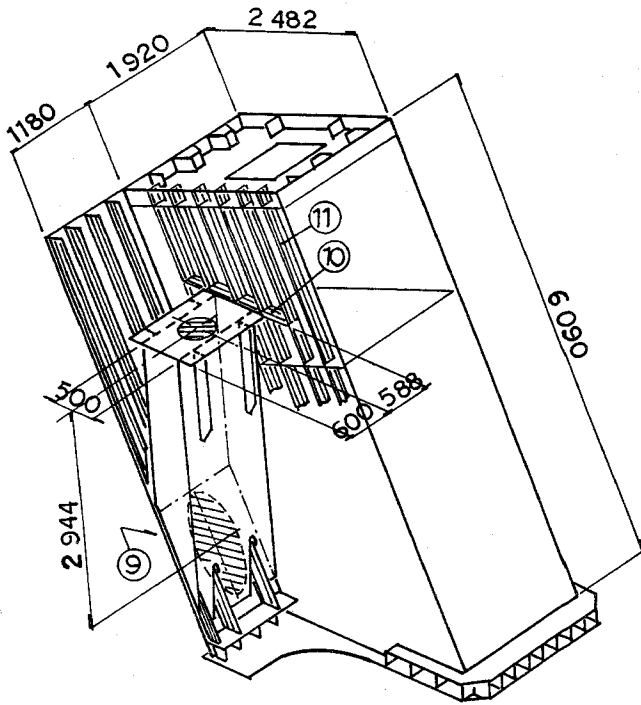
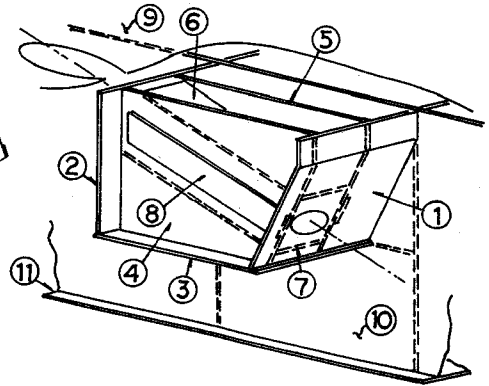
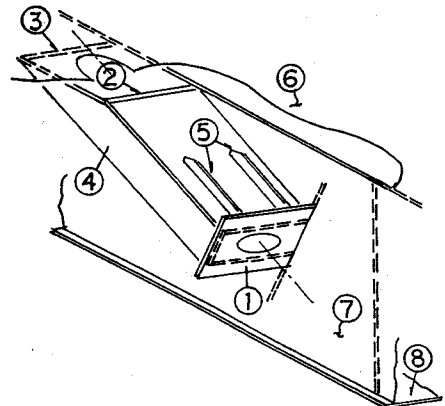
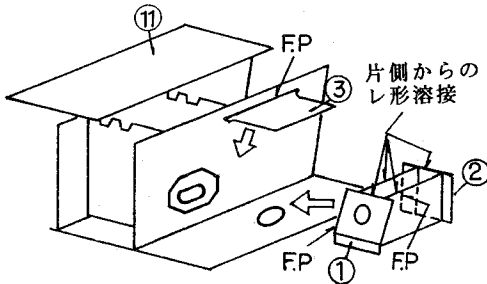
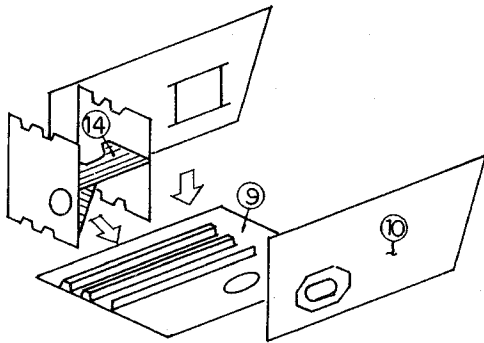


図-4 定着柱形式試験体構造図

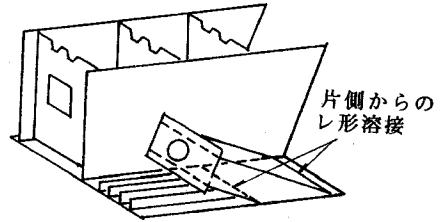
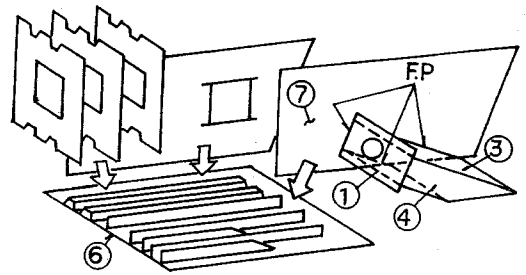
- ① 支圧板 1-PL 900*25*1188
 - ② 定着板 1 1-PL 1158*38*2271 (SM520)
 - ③ 定着板 2 1-PL 1158*38*3635 (SM520)
 - ④ 定着柱ダイアフラム 1-PL 530*16*3577
 - ⑤ 補強リブ 4-PL 120*25*1000
 - ⑥ デッキプレート t=12
 - ⑦ 主桁ウェブ t=25
 - ⑧ 主桁下フランジ t=10
 - ⑨ 主桁開口部のダブルリング t=12
 - ⑩ 支圧板の内部補強梁 250*25
 - ⑪ 主桁ウェブ水平補剛材 320*30
- 注) 記入なき材質はSM490Y





F.P : 完全溶込み溶接

図-5 定着梁形式試験体の組立方法



F.P : 完全溶込み溶接

図-6 定着柱形式試験体の組立方法

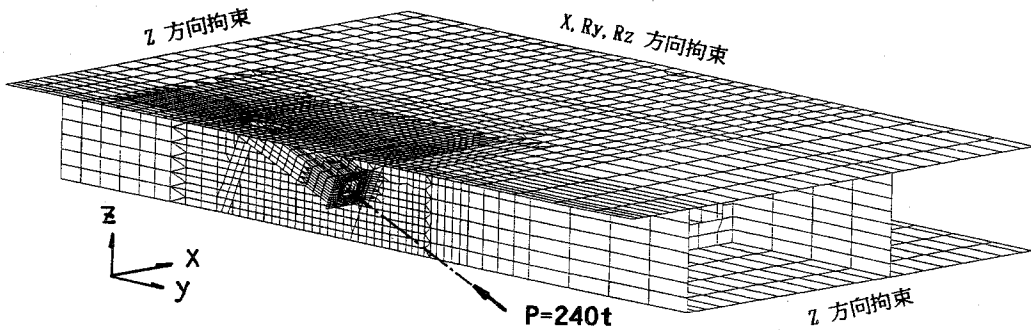


図-7 定着柱形式全体FEM解析モデル

着梁の溶接であり、この点に着目して製作方法を検討した。主桁ウェブにマンホールを設け、定着梁の内側の溶接を可能とした。定着部を単体で組立溶接し、別途組み立てておいた主桁に取り付け、内部補強を取付け総組み溶接を行った。総組み後では2枚の定着梁ウェブの間は内部から溶接作業が出来ないので、外側からの片面部分溶込み溶接とした。主桁ウェブと定着梁の溶接は、定着梁ウェブ2と主桁ウェブの間が非常に狭いため作業性が悪かった。

(2) 定着柱形式試験体

組立順序と溶接の種類を図-6に示す。本形式で

は、主桁ウェブと定着柱の溶接施工性および定着柱の方向を所定のケーブル角度に合わせることに着目して製作方法を検討した。支圧板および定着板と主桁ウェブとの溶接は総組立後の溶接では、溶接姿勢に問題が生ずる。このため、主桁ウェブにあらかじめ定着柱を溶接し、加熱矯正による歪取りを行った後に桁の総組み立てを行った。デッキプレートと定着板は鋭角で交わっており、溶接施工はかなり難しい。しかし後述のFEM解析によると、定着板から主桁ウェブへの力の伝達がスムーズであり、この溶接部には、直応力がほとんど作用しない。そこで、角度が大きい側からの片面部分溶込み溶接とした。

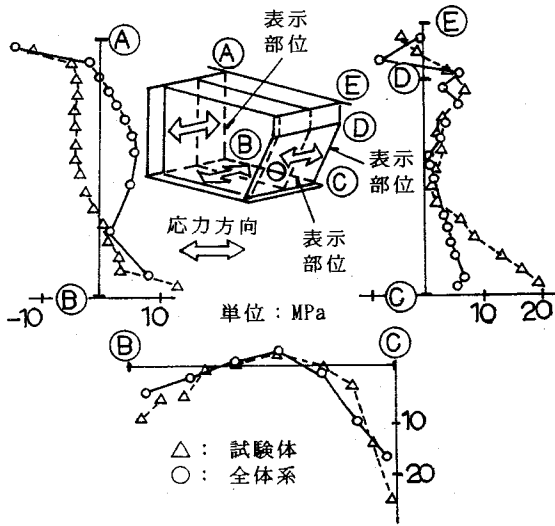


図-8 主桁ウェブ取付部の直応力

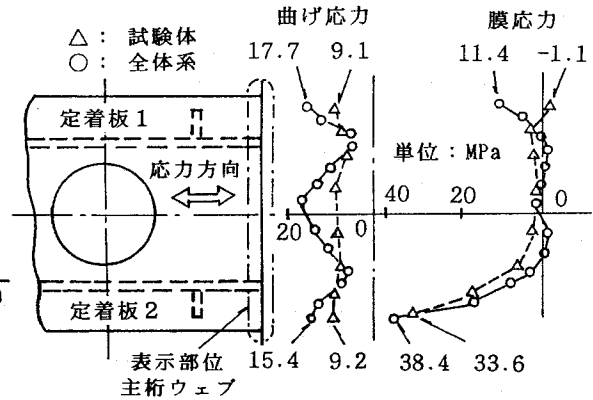


図-10 支圧板の主桁ウェブ取付部の応力

5. FEM解析

疲労試験における試験対象部の応力状態は、実橋での応力状態をできるだけ再現したものでなければならぬ。しかし試験機による制約条件から、試験体固有の応力状態となる箇所がある。このため、疲労試験に先だてて試験体モデルと実橋モデルについてFEM解析を実施し、応力状態の差異を確認した。

図-7に定着柱形式の全体系FEM解析モデルを示す。橋軸方向はケーブル間隔の1/2の20m、幅員方向は橋軸中心までをモデル化した。荷重は後述の疲労試験の関連で240 tfとし、定着梁ウェブの上に線荷重として載荷板の範囲に作用させた。供試体モデルについては、載荷方法は全体系と同じとし、境界条件については載荷試験と同じ条件になるようにベースプレート部を固定した。要素はシェル要素を用い、両者を比較する部分は要素分割を一致させた。以下では、試験体モデルと実橋モデルで異なる点、および実橋モデルの解析から明らかとなった各定着部の構造面の特徴をまとめる。

(1) 定着梁形式

図-8は、主桁ウェブへの取付部で、定着梁の橋軸直角方向の膜応力を試験体と全体系の解析結果から比較したものである。全体的な応力状態は似ているが、各部材の端部には試験体特有の応力集中がみられる。図-9は、デッキプレートの橋軸方向応力の比較である。試験体の特徴は、デッキプレート張出し部の応力が高くなっていることである。実橋モデルの場合は、定着部からの力が主桁へ流れるのに対し、試験体モデルでは、定着部位置と下端拘束部が近いために、力の多くはデッキプレートの張出部

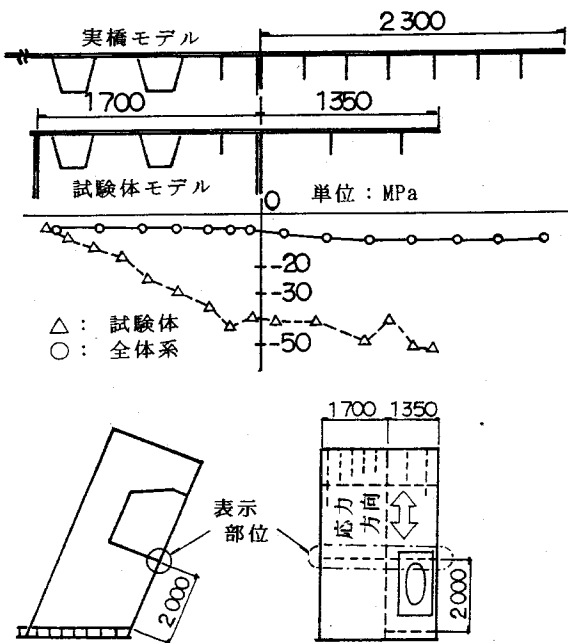


図-9 デッキプレートの橋軸方向応力

両形式とも、定着部周りの製作では、組立→溶接→加熱矯正→組立といった手順を繰り返すことになり、複雑で難しいものであった。しかしながら、両形式ともに組み立て方法を工夫し、所定の品質、精度を確保した。なお、作業性の点から両形式を比べた場合、定着柱形式の方が部材数、溶接量ともに少なく、作り易い構造であると言える。

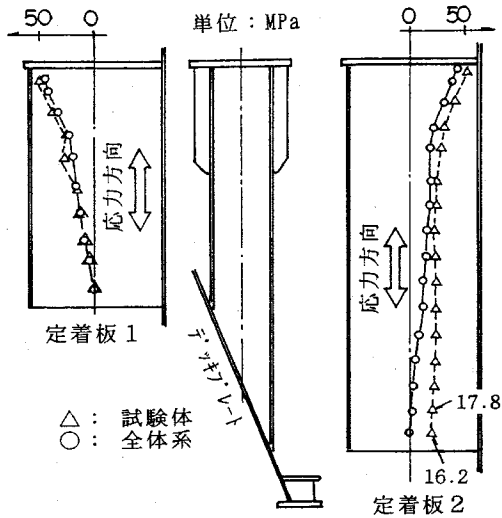


図-11 定着板の軸圧縮応力

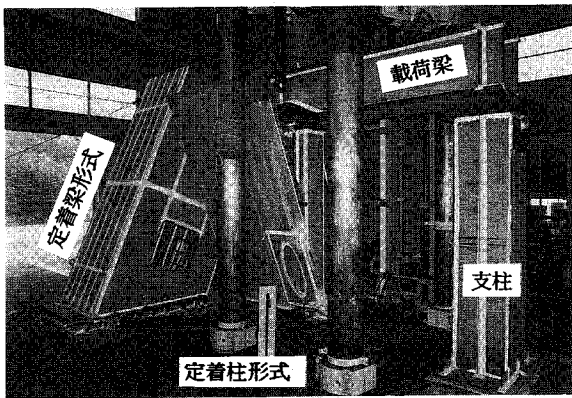


写真-1 試験体載荷状況

へ流れるためである。

定着梁形式では、梁の方向とケーブル方向が合っていないため、直応力、せん断応力ともに梁の角点に集中する傾向があった。

(2) 定着柱形式

図-10は、主桁ウェブとの取付部で、支圧板の応力を試験体と全体系の解析結果から比較したものである。全体的な応力状態はほぼ等しくなっている。支圧板には面内応力、および面外の曲げ応力が作用しており、試験体モデルの場合、定着板2の側では、面内応力が34MPa、面外応力が9MPaとなっている。

図-11は、定着板の中央部で、ケーブル方向の直応力を比較したものである。全体系FEM解析では定着板1、2ともに三角形分布をしており、定着板

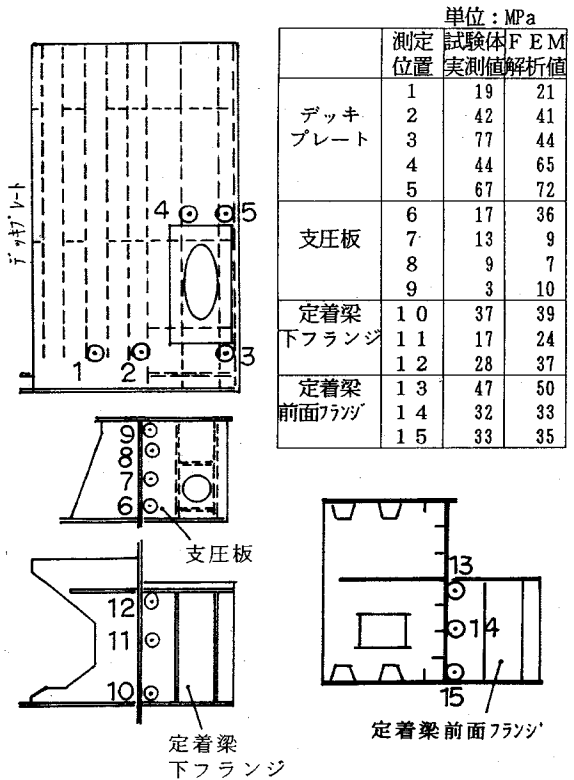


図-12 定着梁形式の静的測定結果

から荷重が主桁ウェブに十分伝達し、定着板がデッキプレートを突き上げるような応力状態にはない。これに対し試験体FEM解析の定着板2では、作用荷重の主桁ウェブへの分散が少なく、荷重が直接ベースプレートに伝えられていることを示している。

定着柱形式の試験体では、支圧板近傍の応力は実橋の応力を再現しているが、定着板2の下端がベースプレートに非常に近く支点拘束しているため、この部分は実橋より厳しい応力状態にある。定着柱形式はケーブル方向に定着長さが十分取られているため、ケーブル張力はスムーズに主桁ウェブに流れることが確認できた。今回試験体に用いた支圧板の内部補強の構造では、内部補強の剛性が小さかったため、主桁ウェブに若干の面外変形とそれともなう板曲げ応力が生じた。しかし応力レベルとしては、支圧板の近傍で、試験体で5MPa、全体系で13MPa程度の値であった。

6. 静的載荷試験

疲労試験に先だって静的載荷試験を行った。写真-1に載荷状況を示す。試験には、400 tf大型疲労試験機を用いた。試験体が試験機内に納まらないた

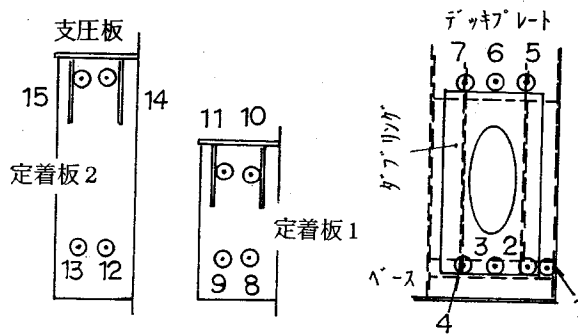


図-13 定着柱形式の静的測定結果

単位: MPa

| | 測定位置 | 試験体実測値 | FEM解析値 |
|---------|------|--------|--------|
| デッキプレート | 1 | 32 | 23 |
| | 2 | 18 | 17 |
| | 3 | 5 | 13 |
| | 4 | 12 | 18 |
| | 5 | 15 | 13 |
| | 6 | 12 | 13 |
| | 7 | 14 | 19 |
| 定着板1 | 8 | 15 | 14 |
| | 9 | 8 | 8 |
| | 10 | 23 | 37 |
| | 11 | 32 | 33 |
| 定着板2 | 12 | 17 | 21 |
| | 13 | 21 | 24 |
| | 14 | 24 | 36 |
| | 15 | 23 | 36 |

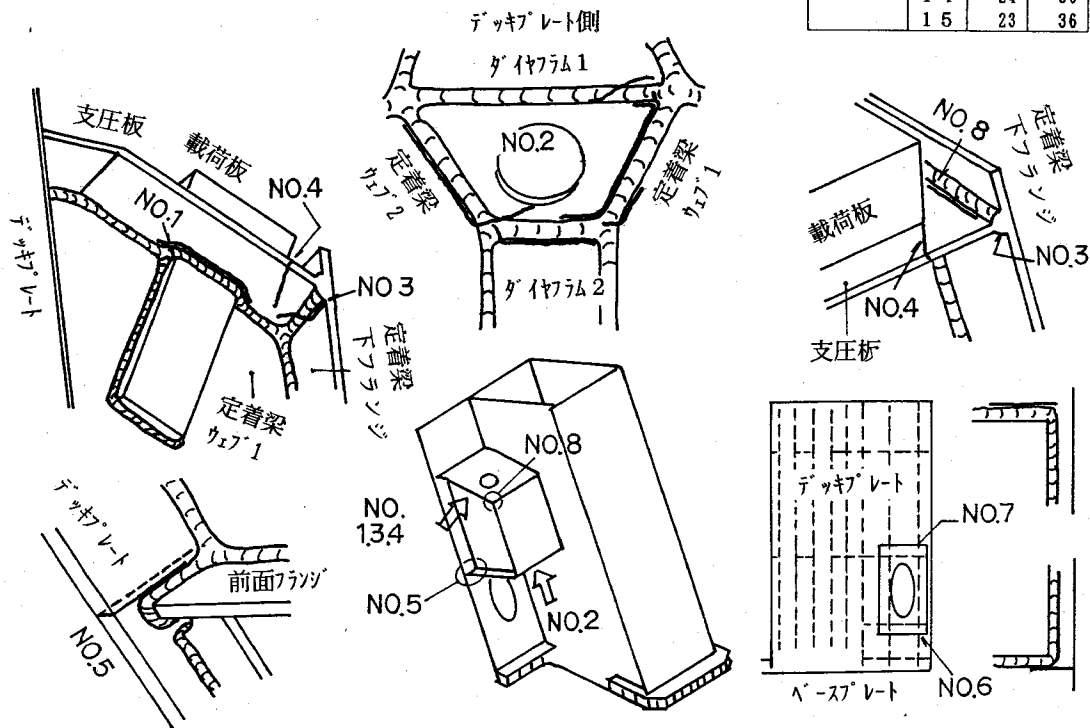


図-14 定着梁形式の亀裂発生箇所

めに、載荷梁を介して、その支点反力を試験荷重として載荷した。試験荷重は240 tfである。載荷点と試験体の重心の偏心のために、試験体には浮き上がりが生じる。そこで、一方の試験時に他体を支持体として利用し、ウェブ面同士を高力ボルトでとじ合わせた。支持体側にはやはり、大きな浮き上がりを生じるが、その程度に応じてアンカーボルトによりベースプレートを固定した。このことは、試験体の桁部分に圧縮力を作用させるためにも有効である。静的載荷試験では、試験体FEM解析の結果を参考に、定着梁形式で約80点、定着柱形式で約120点の

測定点を選出し、応力測定を行った。実測値とFEM解析値との比較は、複雑な応力状態が予想されるので、ともにVon Misesの相当応力を用いた。

図-12に定着梁形式の代表的な静的載荷の実測値とFEM解析値を示す。実測値と解析値はおおむね合っているが、FEM解析値は膜応力に着目しているのに対し、実測値は膜応力と板曲げ応力の合計値である。このため、板曲げが生じている位置では、若干異なった値となっている。

図-13に定着柱形式の代表的な静的載荷の実測値とFEM解析値を示す。実測値と解析値はほぼ合

表-1 定着梁形式検出亀裂一覧表

| 亀裂 NO | 亀裂発生箇所 | 検出回数 ($\times 10^4$) | 亀裂長さ(mm) | |
|----------|----------------------|---------------------------|----------|---------|
| | | | 検出時 | 200万回時 |
| 1 | 支圧板-定着梁ウェブ1溶接止端部 | 34 | 315 | 481 |
| 2 | 支圧板-ダイヤ、支圧板-定着梁ウェブ | 38 | 1021 1) | 1905 1) |
| 3 | 定着梁下フランジ-支圧板溶接止端部 | 65 | 120 | 221 |
| 4 | 支圧板母材部 | 82 | 142 | 186 |
| 5 | デッキプレート-前面フランジ溶接止端部 | 115 | 38 | 231 |
| 6 | デッキプレート-カバープレート溶接止端部 | 132 | 75 | 195 |
| 7 | デッキプレート-カバープレート溶接止端部 | 150 | 330 | 334 |
| 8 | 支圧板-定着梁下フランジ溶接止端部 | 150 | 120 | 120 |

1) 亀裂の合計長さ

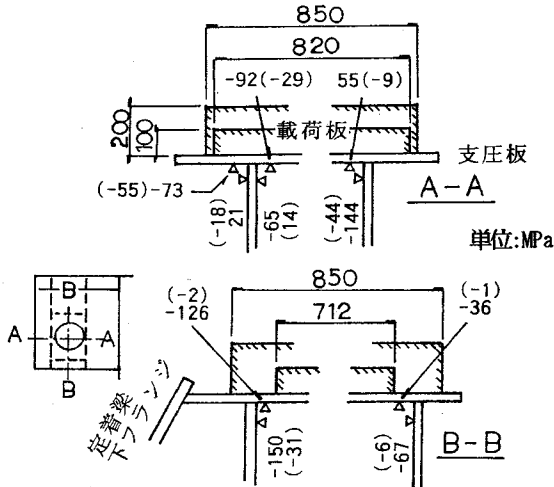


図-15 支圧板回りの溶接止端部近傍の応力

っているが、定着板の支圧板直下部(測定No.10, 11, 14, 15)の応力はいずれもFEM解析結果が大きくなっている。これは解析では、荷重を線荷重として定着板上に作用させているのに対し、試験では載荷板を介して面荷重として支圧板の広い範囲に載荷させているためである。載荷方法の違いが影響する支圧板近辺、および構造的な応力集中部で板曲げを生じる部分を別とすれば、応力測定値とFEM解析値とがほぼ合っている。したがって、今回の試験の載荷方法に問題がないことが確認できた。

7. 疲労試験

静的載荷試験と同様な載荷方式で疲労試験を実施した。試験荷重は、最大荷重245tf、最小荷重5tf、荷重範囲240 tfである。構造上の弱点を明らかにするために、試験荷重を大きめに設定し、早期に亀裂を発生させることとした。

この荷重範囲は、設計活荷重(174tf)に対して1.4倍、T荷重(幅員方向にTT43を2台、T20を4台)に対して4.5倍である。

(1) 定着梁形式

疲労試験は200万回まで繰り返した。発生した亀裂の一覧を表-1に、発生状況を図-14に示す。亀裂のNoは検出順に付けた。ベースプレートの溶接部にも亀裂が発生したが、試験体特有の亀裂と考えると試験対象外とした。

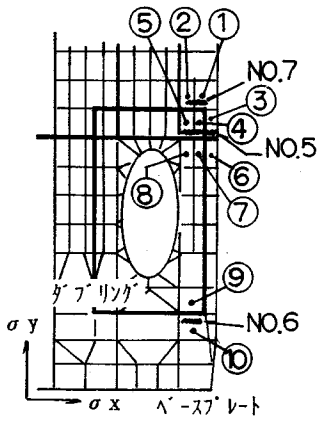
定着梁形式の亀裂の発生箇所は、支圧板の周辺とデッキプレートの溶接部に分けることができる。支圧板の周辺に発生した亀裂の内、No.1, 2の亀裂は、載荷板直下にかかなり早い段階で発生している。いずれも、定着梁ウェブ、ダイヤフラムと支圧板との完全溶け込み溶接部の止端部である。

図-15に、疲労試験途中に行った支圧板周辺の応力測定の結果を示す。当初 $t=100\text{mm}$ の載荷板を、2枚の定着梁ウェブで2辺支持の状態で行っていたが、50万回時に載荷板を $t=200\text{mm}$ に変更するとともに、ウェブとダイヤフラムの4辺で支持できるように大きくした。()外は当初 $t=100\text{mm}$ の載荷板を用いた時の応力、()内は $t=200\text{mm}$ に変更後の応力である。載荷板の剛性が少ないために板曲げ変形が大きく発生し、そのために支圧板、定着梁ウェブ、ダイヤフラムとも板曲げ変形を起こし、高い応力が生じている。 $t=200\text{mm}$ の載荷板でもその量は小さくなったものの、板曲げが生じている。

亀裂No.3, 8は、支圧板と定着梁下フランジの溶接止端部に発生した。試験で用いた載荷板は広く、支圧板の張り出し部にも載っていたため、この部分に板曲げ変形を生じさせ、亀裂が発生したものと考えられる。

亀裂No.4は、載荷板コーナー直下の支圧板表面から発生し、端部に向かって進展した。載荷板の当たり具合で載荷板の直下には局部的に大きな支圧応力が発生したものと考えられる。

亀裂No.5は、前面フランジとデッキプレートの完全溶け込み溶接の止端部から発生した。No.6, 7はデッキプレートのダブリングのすみ肉溶接止端部に



| 要素 | σ_y (MPa) | |
|----|------------------|-------|
| | 膜応力 | 板曲げ応力 |
| 1 | -38 | 3 |
| 2 | -54 | 3 |
| 3 | -49 | 2 |
| 4 | -41 | 0 |
| 5 | -29 | 1 |
| 6 | -54 | 3 |
| 7 | -48 | 9 |
| 8 | -48 | 14 |
| 9 | -40 | 1 |
| 10 | -41 | 1 |

図-16 デッキプレートの亀裂部のFEM解析結果

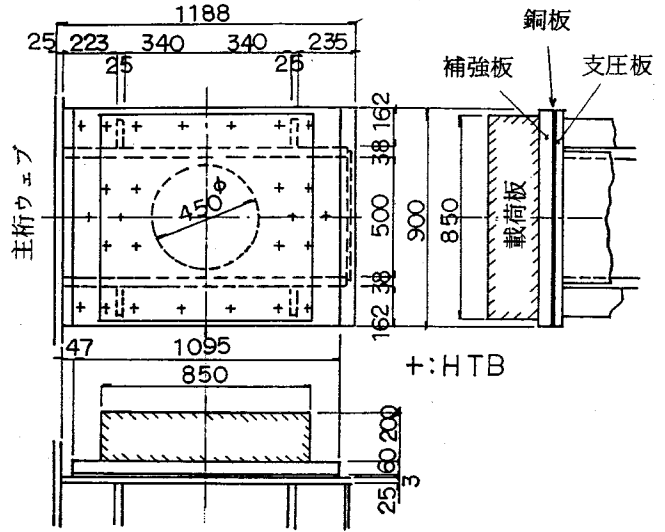


図-17 定着柱形式の支圧板構造

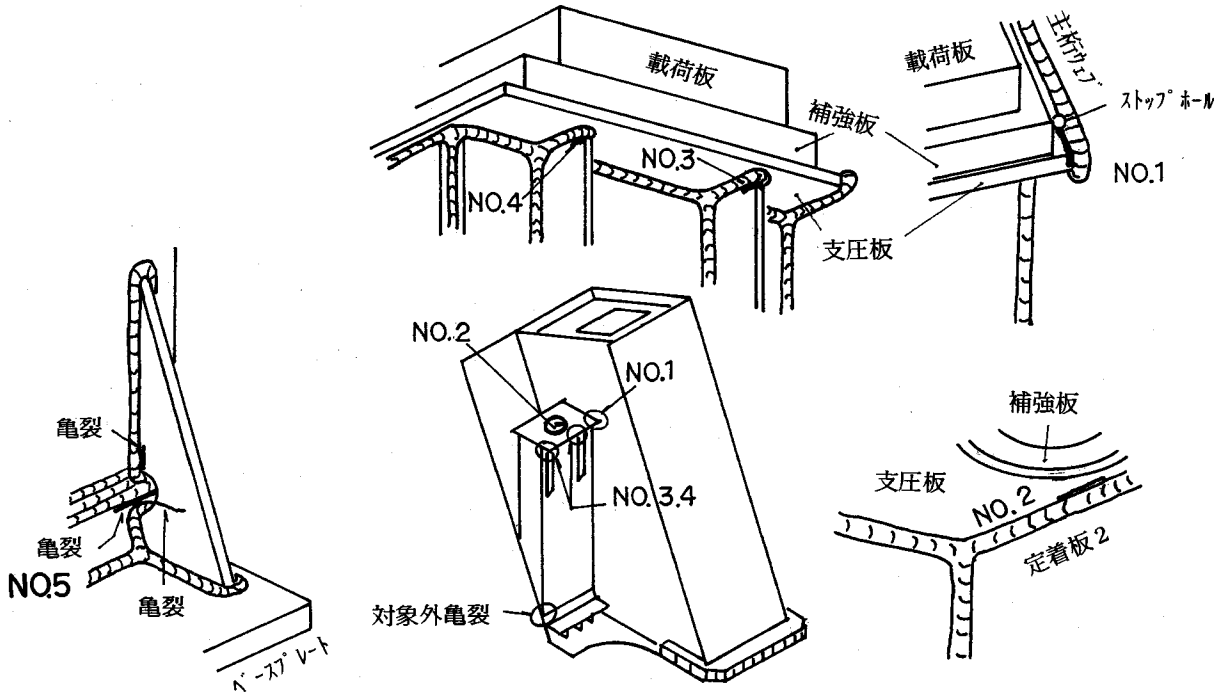


図-18 定着柱形式の亀裂発生箇所

図-19 定着柱形式の対象外亀裂

表-2 定着柱形式検出亀裂一覧表

| 亀裂NO | 亀裂発生箇所 | 検出回数 ($\times 10^4$) | 亀裂長さ(mm) | |
|------|---------------------|---------------------------|----------|--------|
| | | | 検出時 | 200万回時 |
| 1 | 支圧板-主桁外ウェブ回し溶接止端部 | 30 | 35 | 115 |
| 2 | 支圧板-定着板2溶接止端部 | 126 | 80 | 123 |
| 3 | 支圧板-定着板2補強リブ回し溶接止端部 | 163 | 44 | 50 |
| 4 | 支圧板-定着板2補強リブ回し溶接止端部 | 163 | 12 | 18 |

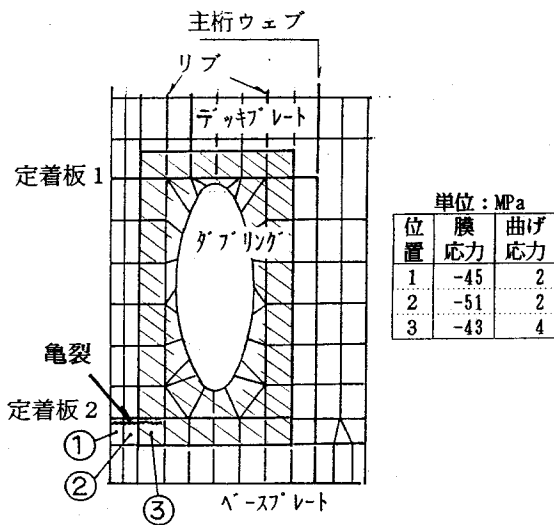


図-20 定着板2先端部の亀裂部FEM解析結果

発生した。亀裂周辺のFEM解析での応力を図-16に示す。3箇所ともデッキプレートの板曲げ応力は、0~14MPaで、それに対し膜応力が29~54MPaと大きく、亀裂の発生は面内力が支配的である。図-9で述べたように、試験体でのデッキプレートの応力は実橋よりも高いため、亀裂部の応力もこの点考慮して評価する必要がある。

(2) 定着柱形式

定着柱形式の支圧板についても、定着梁形式と同様に25mmで製作済みであったが、定着梁形式の疲労試験結果から、早い時期に支圧板回りに亀裂が発生することが予想され、さらに定着柱形式の支圧板は定着板での2辺支持状態となるため、定着梁形式よりさらに厳しい条件となる。このため応急対策として25mmの支圧板に60mmの板を重ねて高力ボルトで締める補強方法をとった。図-17に支圧板部の構造を示す。載荷板は定着梁形式と同じ $t=200\text{mm}$ である。

疲労試験は定着梁形式と同様に、200万回まで繰り返した。発生した亀裂の一覧を表-2に、その発生状況を図-18に示す。なお、定着板2の下端部はベースプレートに非常に近く、実橋より厳しい応力状態にあり、この部分にも亀裂が発生した。図-19に定着板2の下端部分の亀裂を示す。部分溶け込み溶接のビード止端部、および、補強リップスカラップ回りからも亀裂が発生している。構造としては重要な部位であるが、特殊な応力状態であることを加味して、試験対象外の亀裂と判断した。参考ま

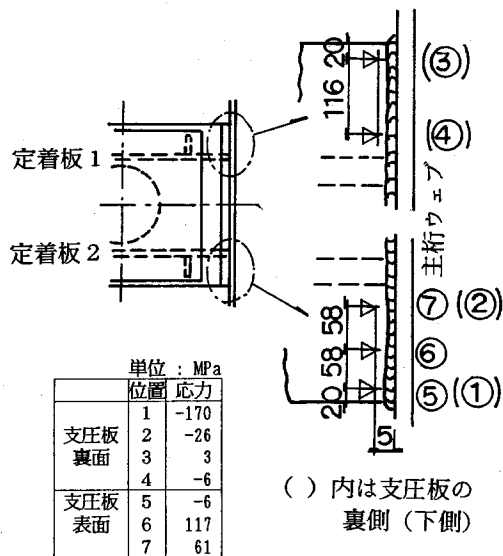


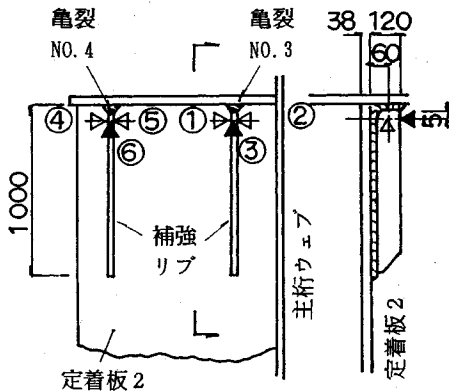
図-21 支圧板の主桁ウェブ溶接部での応力測定結果

でに、図-20に定着板2の下端部近辺のデッキプレートのFEM解析結果を示す。亀裂発生部近辺の要素の応力は膜応力が支配的で、おおよそ50MPaとなっている。

亀裂No.1は、支圧板と主桁ウェブの完全溶け込み溶接部の止端部に発生した。100万回時にストップホール加工を行い、試験終了時200万回時には亀裂はストップホールに到達して止まった。図-21に50万回時に行った支圧板と主桁ウェブ部での応力測定結果を示す。亀裂位置⑤の応力は、亀裂発生後の応力であるため、参考にはならないが、その近傍の表面⑥と裏面①ではそれぞれ117MPa、-170MPaと大きな板曲げ応力が発生している。さらに、表面⑦と裏面②の応力は、それぞれ61MPa、-27MPaであり、面内の引張応力17MPaと同時に板曲げ応力44MPaを受けている。このように、No.1の亀裂は支圧板張り出し部の板曲げが原因で発生したものである。載荷板が広いため、主桁ウェブ近くの張り出し部にも荷重が作用し、かつ補強板は主桁ウェブに溶接されていないため、この部分に集中的に板曲げが生ずる結果となった。

亀裂No.2は、支圧板と定着板2との完全溶け込み溶接部に発生している。亀裂発生の原因は定着梁形式と同様に、支圧板の板曲げであると判断できる。今回用いた補強板の構造では、十分な効果が得られなかった。

亀裂No.3, 4は、支圧板と定着板に取り付けた補強リップのすみ肉溶接部に発生した亀裂である。補強リップの応力測定結果を図-22に示す。面外曲げは



単位：MPa

| 位置 | 応力範囲 | 膜応力 | 曲げ応力 |
|----|------|------|------|
| 1 | -137 | - | - |
| 2 | -117 | -127 | 10 |
| 3 | -105 | - | - |
| 4 | -84 | - | - |
| 5 | -33 | -59 | 25 |
| 6 | -141 | - | - |

図-22 補強リブの溶接部の応力測定結果

ほとんどなく、載荷板から伝えられる軸圧縮力により亀裂が発生したことが判る。

なお、先の図-6に示したように、定着板とデッキプレートの溶接は片面からのレ形溶接である。この溶接部に関しては、ビード表面には達しなかったものの、内部に亀裂が存在する可能性があった。このため試験終了後に定着板1、2の下端部をそれぞれ5断面切り出して破壊試験を行ったが、ルート内部にも亀裂は生じていなかった。

8. 定着構造の評価

本試験では、試験体特有の応力挙動に起因する亀裂が多く発生したが、各形式の疲労上の弱点部も明らかになった。これら弱点部の構造改善について、以下に示す。

(1) 支圧板周辺の亀裂

従来、定着部の支圧板は、慣例的に厚板が用いられることが多かった。しかし今回は鋼重軽減の観点から、載荷板の剛性に期待し、直接定着梁ウェブ・ダイヤフラムおよび定着板などの部材に張力を伝えることを考え、支圧板はフランジとして設計し、25 mmとした。疲労試験では早い段階から、支圧板の溶接部に板曲げに起因する亀裂が発生した。このことより両形式とも、支圧板回りの部材には板曲げを考

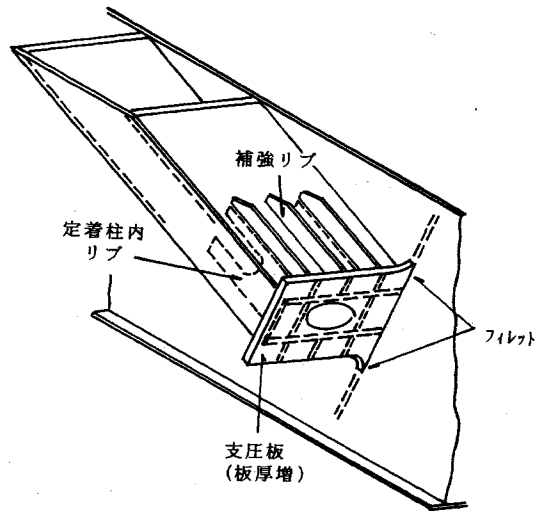


図-23 定着柱形式の改善

慮した設計が重要であり、これらの部分は厚板とする必要があることが再認識された。

定着柱形式では、2枚の定着板で支圧板を支持する構造であるが、支圧板の板曲げを小さくするため、定着柱内にリブを入れて4辺支持の構造とする必要がある。さらに、支圧板とウェブの突合わせ溶接部、支圧板と補強リブの溶接部についても留意する必要がある。前者については、支圧板を厚くして面内の引張り応力を小さくする。支圧板の端部はフィレット加工を行い、応力の集中をなくすことが有効である。また、後者の補強リブの取り付け部に生じた亀裂は、試験で用いた載荷板が広く、リブ端部まで覆っていたために生じたものである。実橋で用いる座金は載荷板ほど広くないため、問題とはならないが、本試験と同様な構造を取る場合には、支圧板下面に新たにリブを追加して圧縮力の分担を少なくする。もしくは、リブ板厚を上げるなどの構造詳細の変更が必要である。図-23に詳細構造を改善した定着柱形式の構造を示す。

(2) 定着梁形式のデッキプレート部の亀裂

試験体と全体系のFEM解析の比較で述べたように、試験体でのデッキプレート張出し部は高い応力が発生した。実橋モデルではこの部位の応力は小さくなり、亀裂が発生する可能性はないと思われる。しかしながら、ケーブル貫通用のデッキプレート開口部は、もともと定着梁の部材が入り組んでいるうえ、定着梁に非常に近く、応力的に厳しい部分である。断面補強のためにダブリング板を溶接接合した

が、定着梁周辺については、デッキプレートの板厚を上げる構造の方が適している。

9. まとめ

実寸サイズの供試体を用いて、斜張橋のケーブル定着構造の検討を行った。定着梁形式、定着柱形式の二つの形式を取り上げ、両者の構造比較、製作方法の検討、および疲労特性の把握を行った。検討結果を以下にまとめる。

(1) 両形式とも、所定の品質、精度が確保でき、製作可能な構造である。一部、完全溶込み溶接ができない継手が生じるが、作用応力的には問題ない箇所である。

(2) 疲労試験で、疲労上の弱点部が明らかになった。定着梁形式は、支圧板を厚くする、デッキプレート開口部のダブリングをやめ、デッキプレートの板厚を上げるといった構造変更が必要である。定着柱形式は、支圧板を増厚するとともに、4辺支持の構造とする、さらに端部にはフィレットを設ける

などの変更が必要である。なお今回の試験は、実荷重より相当大きな荷重を用いて行っているため、上記のような構造面の改良と合わせて考えれば、実橋でも耐疲労上の問題はない。

(3) 定着柱形式の方が、力の流れがスムーズであり、部材数、溶接量も少なく製作しやすい構造であることが判った。

謝辞：本研究を進めるにあたり、御指導を頂いた本州四国連絡橋鋼上部構造委員会（西野委員長）ならびに試験を担当されました建設機械化研究所の皆様、に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山岸, 矢野: 生口橋鋼桁の疲労に関する検討, 本四技報 Vol.15 No.57 1991.1.

(1994.11.1 受付)

FATIGUE OF CABLE ANCHORAGE OF LARGE CABLE STAYED BRIDGE

Takeo ENDO, Tsuyoshi MATSUMOTO, Hiromitsu TSUKAHARA and Chitoshi MIKI

Design considerations such as design schemes, the assemblage and welding of steel plates, and safety for fatigue of welded connections have to be taken for the cable anchorages of the steel cable stayed bridges. In this study, two full scale models, which have different shape of box anchorages welded to the web of the main girder, were made to investigate fatigue characteristics as well as assemblage of plate and welding details. Finite element analyses for both test models and actual bridges were carried out to compare stress distribution. It was confirmed that the assemblage and welding of both types of box anchorage were attainable with required quality and accuracy. According to the fatigue test, fatigue cracks originated from the weldings of the bearing plate to which the load from cable socket applied directly were caused by out-of-plane bending of the bearing plate. It was proved that the slight modifications of the details around the bearing plate resulted in sufficient fatigue strength in both types of anchorage.