

**投稿論文** (和文報告)

**TECHNICAL  
REPORT**

# 大型供試体による鋼床版高力ボルト継手部の強度実験

金原 慎一<sup>1</sup>・能登 宥愿<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 俣宮地鐵工所 技術研究室(〒103 東京都中央区日本橋小伝馬町15-18日本橋SKビル)

<sup>2</sup>正会員 俣宮地鐵工所 技術研究室 室長( 同上 )

本報告は、鋼床版縦リブの高力ボルト継手部の強度に着目した実橋サイズの供試体による静的載荷実験について述べたものである。鋼床版縦リブの高力ボルト継手は、ハンドホールが必要なため、その断面欠損を補う目的で母材を増厚する構造となっている。これに伴う縦リブの突合せ溶接部は疲労強度が非常に小さく、鋼床版の構造上の弱点である。限られた範囲での実験ではあるが、縦リブ継手部の母材の増厚の有無について比較を行い、両者の静的な強度にほとんど差がないという結果を得た。

*Key Words* :orthotropic steel deck,longitudinal rib,loading capacity,high strength bolted joint

## 1. はじめに

鋼床版は、橋梁の道路床組として1960年代から採用され始めた構造であり、主桁の上フランジとして用いられることにより、合理的な断面を構成することができる。しかしながら、輪荷重が直接載荷されることや、軽量であるため走行車両による振動の影響を受けやすいことから、疲労に対する検討が必要な部材である。このことから、鋼床版の疲労に着目した研究が数多く報告されている。その中で、縦リブの継手に着目したものについて、まず、佐伯らは、U型の縦リブの突合せ溶接継手に着目し、4種類の溶接構造について疲労試験を行い、その疲労強度の比較を行っている<sup>1)</sup>。その結果、縦リブ同士の継手には、縦リブ内面に取り付けフラット・バー(平鋼、以後F.Bという)、もしくは、ダイアフラムを裏当て金に用いる突合せ構造の疲労強度が高いとして推奨されており、これら2種類が現在採用されている継手形式の主流となっている。

近藤らはF.B.を用いた現場溶接継手において、その裏当て金と縦リブとの隙間の大きさが疲労強度に与える影響について実験的に検討を行っている<sup>2)</sup>。D.ULEEらも、裏当て金を用いた突合せ溶接部の隙間の量と強度について考察している<sup>3)</sup>。また、藤井らは、斜張橋主桁に用いられる鋼床版箱桁の継手部に着目した疲労試験を行って、その圧縮応力域内での疲労強度について報告している<sup>4)</sup>。

これらは、縦リブに関する研究の一例であるが、

今までの成果を反映した文献<sup>9)</sup>によると、縦リブの継手に用いられている裏当て金付きの突き合わせ溶接の疲労強度はきわめて低い。筆者も実橋サイズの鋼床版モデル(横リブ間隔:3.0m)による疲労試験を行い、縦リブの突き合わせ溶接を省略した構造の方が、高力ボルト接合部を突き合わせ溶接によって増厚した構造より、疲労強度が高いことを確認している<sup>14)</sup>。

鋼床版の高力ボルト継手部に増厚を省略する構造を採用するにあたっては、疲労強度について検討すると同時に、静的な耐荷力を確認する必要がある。金崎らは、デッキプレートの有効幅を考慮した縦リブを取り出した部分モデルによる耐荷力試験を行い、増厚の有無による強度の差がほとんどないことを報告している<sup>15)</sup>。しかしながら、縦リブの高力ボルト継手部の耐荷力に着目した研究は少なく、実用に用いられるほどのデータの蓄積も充分とはいえない。

本報告は、文献<sup>14)</sup>の疲労実験に用いた大型供試体を用いて、鋼床版縦リブ継手の耐荷力に着目して行った実験について述べるものである。

## 2. 実験概要

### (1) 供試体

本実験は、文献<sup>14)</sup>で述べた疲労実験に使用した供試体の亀裂発生部を補修して行った。供試体の概要を図-1に示す。

使用した縦リブは、実橋において、閉断面リブで

最も使用頻度の高いU形鋼(U-320×240×6-40)とし、横リブ間隔、縦リブ間隔は最近の6年間に竣工した鋼床版桁を参考としている。横リブ間隔は、このサイズのU形鋼の標準的な縦リブ支間でもある3mとした。供試体の鋼床版の幅は、同様に主桁のウェブ間隔の平均的な寸法から2,600mmとした。そして、2本の主桁の間に4本の縦リブを配置するものとした(縦リブ間隔: 600mm)。横リブのサイズも同様に実橋を参考として、ウェブ高さ、ウ

ェブ厚、下フランジ幅、および下フランジ厚をそれぞれ600mm、9mm、200mm、12mmとした。

縦リブの継手は、ハンドホールの欠損の補強を主な目的としてリブ板厚を6mmから8mmに増厚したJ1と、6mmのままとしたJ2の2種類とし、添接板は両者板幅および板厚をそれぞれ180mm、12mmとした。また、継手J1の突き合わせ溶接部の裏当て金は板厚16mmのダイヤフラム形式とした。なお、供試体の使用材質は全てSS400とした。

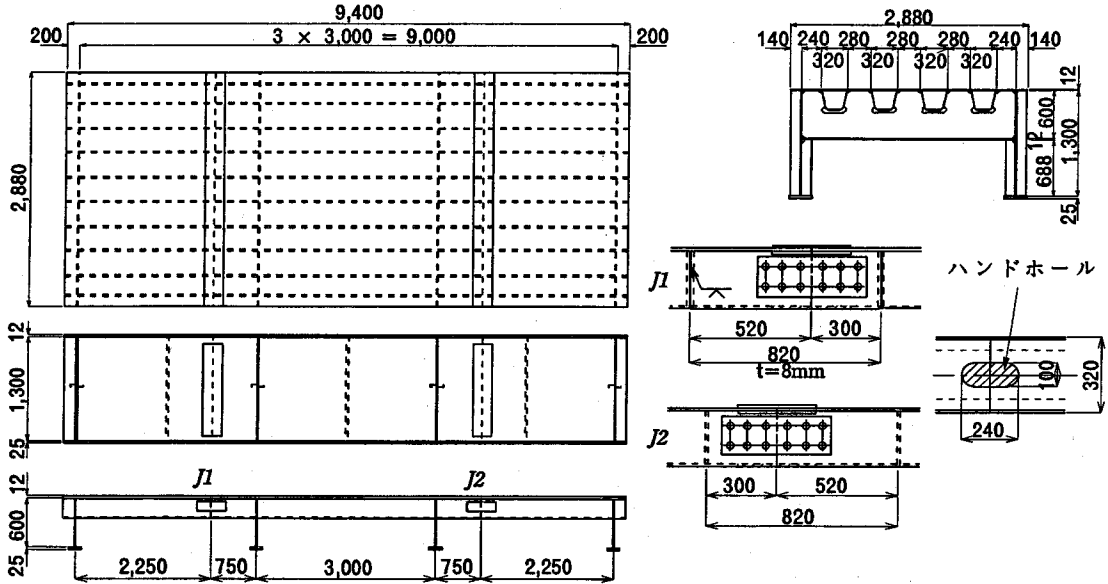


図-1 供試体概要

(2) 実験方法

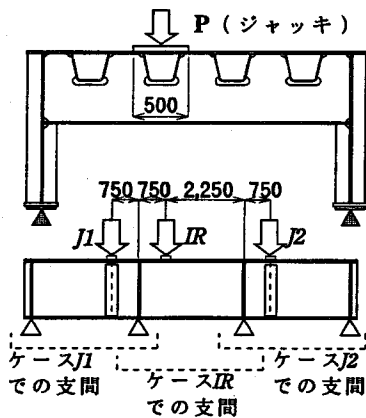


図-2 載荷要領

図-2に示すように、各実験で着目する縦リブの継手直上に荷重を載荷した。なお、ジャッキの下に

は、後輪荷重を想定して、橋軸方向200mm、直角方向500mmの載荷板を置き、その下に荷重が均等にかかるように硬質ゴムを敷いた。支点は、着目する縦リブ支間が単純支持されるように、両外の主桁ウェブ直下に設けた。

橋梁設計者が、鋼床版縦リブの現場継手を設計する場合、母材の剛性や強度を上回るような板厚構成を採用する。このことから、鋼床版縦リブの一般部の強度とも比較検討する目的で、継手のない支間についても載荷を行うこととした(図-2にIRと記号表示)。なお、荷重は図-2に示すように、全て縦リブ支間の1/4の位置に載荷した。

(3) ひずみゲージ貼付位置

図-3にひずみゲージ貼付位置を示す。ひずみゲージは、荷重点直下を中心に縦リブの両側面および下面に貼付した。しかし縦リブ内部への貼付はスペース的に難しかった。下面のゲージは基本的に1断

面左右2枚ずつ貼付することとしたが、ハンドホール近傍については縦リブ下面の中央にもゲージを配置した(図中⑩⑪)。また、荷重の分配傾向を調べる目的で、荷重による応力の乱れの影響が小さいと考えられる図中③、④印位置には、両隣の縦リブ下面にもひずみゲージを貼付した。

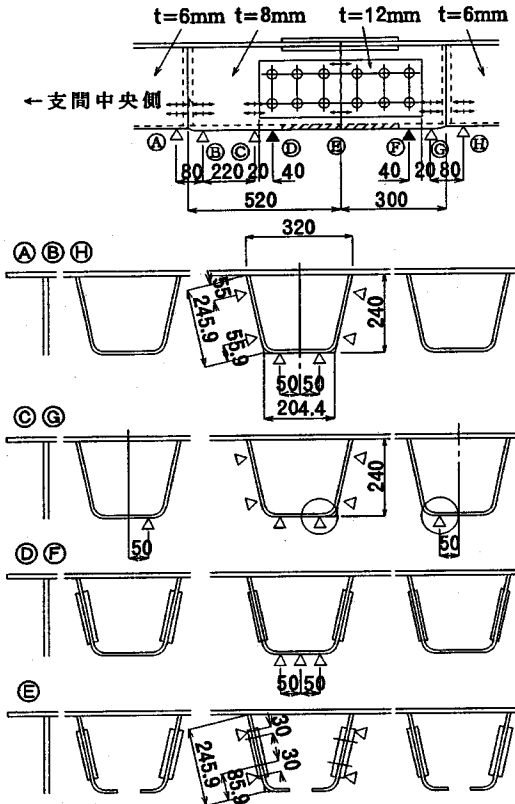


図-3 ひずみゲージ貼付位置

### 3. 鋼材の機械的性質

載荷試験終了後、縦リブおよびデッキプレートから試験片を切り出し、その機械的性質を調べた。

表-1 供試体材料の機械的性質

部位	板厚 (mm)	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
縦リブ	6	358	446	20
	6	390	456	23
	6	388	455	27
	8	363	441	24
	8	369	444	25
デッキ	12	277	412	33

その結果を表-1に示す。

機械試験を行った材料の降伏点は、特に縦リブがかなり高い。この傾向は、文献(15)でも報告されている(公称値の約1.4倍)が、本実験での降伏点は、切り出し位置の差からそれより多少高くなっている。

### 4. 実験結果

#### (1) 橋軸方向応力

図-4は、20tonfの荷重を載荷したときの縦リブ下面の橋軸方向応力度を解析値(縦リブ一般部の計測値の検証と継手部の計測値の確度を知るため)と比較したものである。解析値は、通常的设计に用いられているように、鋼床版を直交異方性板と考え、有限帯板法<sup>13)</sup>(以下FSM)を用いて求めた(図-5に解析モデルの概略を示す)。

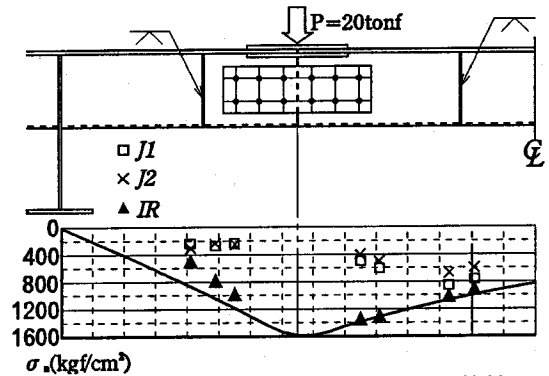


図-4 縦リブ下面の橋軸方向応力度の比較

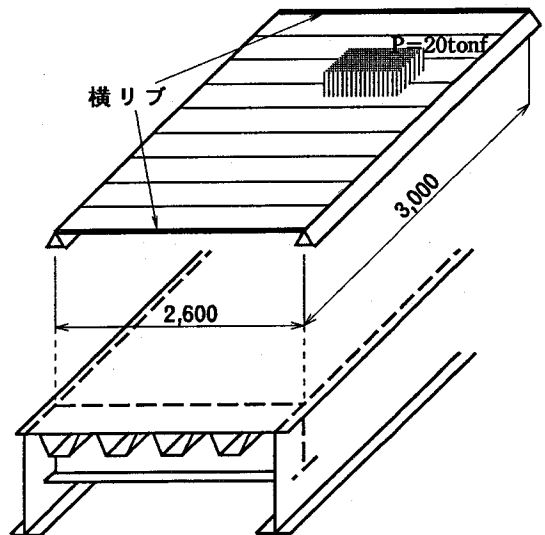


図-5 FSM解析モデルの概略

なお、鋼床版の橋軸方向の剛性は、縦リブを  $U-320 \times 240 \times 6-40$  として求めている。

図より、縦リブ一般部 ( $IR$ ) では、解析値と実験値がよく一致していることがわかる。一方、高力ボルト継手部の応力度は、ハンドホルルの補強のための増厚をした  $J1$ 、補強をせず  $6\text{mm}$  のトラフリブを通した  $J2$  の両方とも縦リブ下面に発生する応力度が、一般部  $IR$  の応力度に比べてかなり小さい。これは、縦リブ下面にハンドホールがあることによって、母材（縦リブ）の負担する応力割合が小さくなること、および、高力ボルトによって接合された添接板の剛性が高く、添接板の負担する応力の割合が高くなっていることを示すものと推察される。

また添接板が  $12\text{mm}$  あり、 $J1$  と  $J2$  の応力度にほとんど差がないことから、縦リブ母材の板厚を増すことによる断面欠損に対する補強効果はほとんどないものと考えられる。

## (2) 荷重変位曲線

図-6に載荷実験で得られた荷重-変位曲線を示す。実験を行った3ケースとも荷重強度  $60\text{tonf}$ （弾性限界荷重）あたりから非線形挙動を示し、 $100\text{tonf}$  付近以上の範囲で再び直線的な荷重の増加がみられる。

高力ボルト接合部である  $J1, J2$  における荷重と変位の増加は、添接板の影響が大きいため増厚による補強の有無に関係なく、ほぼ同じ曲線上で推移している。一方、縦リブ一般部  $IR$  のケースでは、荷重強度  $90\text{tonf}$  付近でクリッピングが生じ一旦荷重が減少する。その後、ほぼ直線的に荷重が増加するが、 $J1, J2$  の  $100\text{tonf}$  以上の範囲における勾配より小さい。

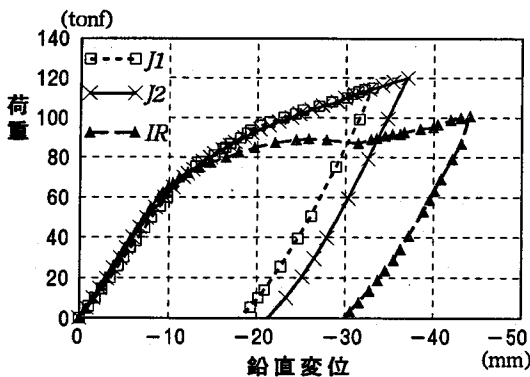


図-6 荷重-変位曲線

実験では、最終耐力を求めているわけではないが、荷重-変位曲線の傾向から、高力ボルトを用いた現場継手部のほうが、縦リブ一般部に比べて、強度が高いことが推察される。

載荷点付近の変形形状に着目すると、縦リブ一般部  $IR$  では、荷重直下の縦リブに局部座屈（クリッピング、写真-1参照）が生じている。これに対して、高力ボルト継手部  $J1, J2$  では、面外変形はほとんどみられず、添接板面内の塑性変形が生じているのみである。

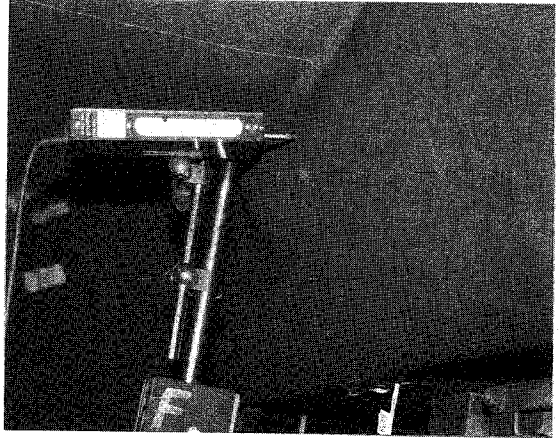


写真-1 縦リブの変形形状 ( $IR$ )

図-7は、 $J2$  については添接板上下端付近、 $IR$  については、 $J2$  と同じ位置の縦リブ母材に貼付したひずみゲージで測定した両ケースでの荷重とひずみの関係を示したものである。なお、 $J1$  における添接板の荷重-ひずみ曲線も  $J2$  と同様な傾向を示している。

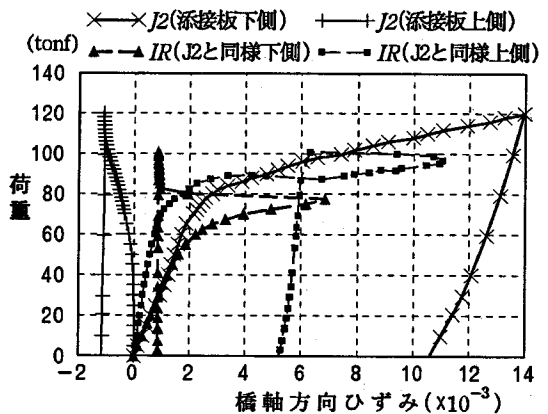


図-7 添接板上下辺付近位置でのひずみの推移

継手 J2 では、添接板の下縁部分が降伏域に達した後、添接板全体が降伏に至るまでほぼ直線的に荷重が増加していくものと考えられる。ケース IR では写真-1 に示すようなクリッピングが生じている。このため、荷重点直下の縦リブは面外変形がかなり大きくなる 80~95tonf から橋軸方向のひずみが急激に減少する傾向にある。

### (3) 縦リブの荷重分配

図-8、図-9 は、それぞれ J2、IR において、図-3 中、◎の位置の○で囲んだゲージの橋軸方向ひずみと荷重との関係を示したものである。高力ボルト継手部 J2 では、荷重 80tonf 付近から添接板の塑性変形が支配的となるため、着目点では降伏応力に達していないものの、これ以降、荷重が増加しても応力は増えない。すなわち、荷重点直下の縦リブの継手位置に塑性ヒンジが発生することによって、それ以上の応力は伝達されない。そして、添接板の塑性変形が大きくなるにしたがって、隣接する縦リブ（相対的に剛性が大きくなる）の応力の増加する割合も大きくなることから、応力が再配分されていることがわかる。

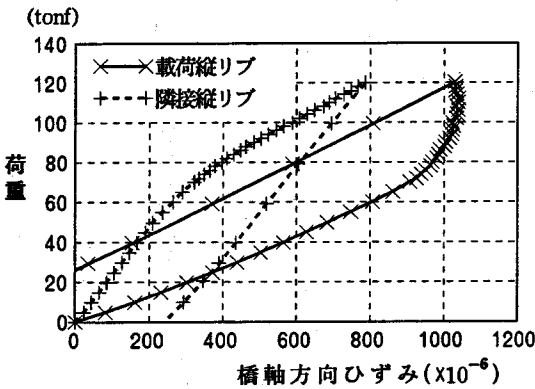


図-8 縦リブ下面のひずみの推移(J2)

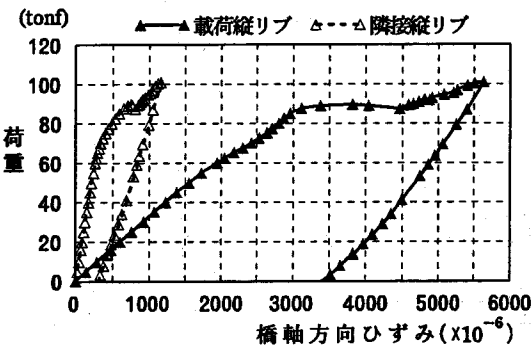


図-9 縦リブ下面のひずみの推移(IR)

縦リブ一般部では、荷重点直下の縦リブ側面の面外変形が顕著に現れ出す 60tonf 付近から、応力の再配分がみられる。また、縦リブ着目点のひずみは、クリッピングによる著しい断面変形が生ずるまでほぼ一様に増加する。

## 5. まとめ

鋼床版の高力ボルト継手部の強度に着目して、実橋サイズの供試体を用いた静的荷重実験を行った。今回行った実験は、一タイプにつき一試験体ということであるが、その結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 通常鋼床版の設計に用いられている FSM 解析での縦リブ応力度と本実験の計測値はよく近似しており、縦リブ一般部の応力度評価法の妥当性が再確認された。
- 2) 高力ボルト継手部に発生するひずみの大きさとその分布性状は、J1、J2 とともにほぼ同じであった。縦リブを増厚することによる補強効果は認められない。
- 3) 高力ボルト継手部 J1、J2 と縦リブ一般部 IR では、崩壊形状が異なる。縦リブ一般部では、縦リブ側面が傾いていること、面外剛性が低いことから、荷重の増加に伴って面外変形も大きくなり、最終的にクリッピングが生じて崩壊する。これに対して、高力ボルト継手部は、添接板により縦リブ側面の面外剛性が高くなることにより、一般部のように局部座屈が発生することはなく、添接板面内の塑性変形が進行し、塑性ヒンジが生ずる。

今回は、鋼床版の床組作用としての強度を調べることを目的として荷重実験を行った。本実験でのこの荷重状態では、鋼床版の静的耐荷力は 80tonf 以上となり、T 荷重の輪荷重 14tonf（衝撃含む）と比べて十分大きいと言える。

縦リブ母材の増厚による補強は、高力ボルト継手部の強度に対してはほとんど寄与しないものと考えられる。鋼床版縦リブの高力ボルト継手部の強度は、添接板の剛性とその強度が支配的になるものと推察される。縦リブの突き合わせ溶接部の疲労強度がかなり低いこと<sup>9),14)</sup> を考え合わせると、文献 15) でも述べられているように、高力ボルト位置での縦リブ母材の増厚を行わない方がよいと考えられる。今後は、本実験の結果をふまえて、継手部の強度評価に関する解析的な検討を進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 佐伯, 西川, 滝沢: 鋼床版トラフ形縦リブ溶接継手の疲労試験 (I) 継手形式の選定, 土木研究所資料 第 2149 号, 1984.11
- 2) 近藤, 山田, 青木, 菊池: 鋼床版閉断面縦リブ現場溶接継手の疲労強度, 土木学会論文報告集 第 340 号, 1983.12
- 3) Dong Uk LEE, Kohsuke HORIKAWA : Fatigue Strength of Oneside-Welded Joint with Backing Strip, *Proc. of JSCE*, Vol 2, No.2, pp.81-86, 1985.10
- 4) 藤井, 松本, 三木, 小野: 鋼床版縦リブ継手部の圧縮疲労強度, 構造工学論文集 Vol.39A, pp.999-1009, 1993.3
- 5) SUZUKI I., KAGAYAMA T., IWASAKI M. : Effect of Longitudinal Rib Spacing on Deformation of Asphalt Pavement and Fatigue of Welds in Orthotropic Steel Deck Bridge, *Proc. of JSCE* No.432/1-16, pp.1-10, 1991.7
- 6) 長谷川, 近藤, 山田, 石崎: 箱桁橋鋼床版の疲労照査, 構造工学論文集 Vol.35A, pp.929-938, 1989.3
- 7) 鋼構造委員会 鋼床版の疲労小委員会: 鋼床版の疲労, 土木学会論文集 第 410 号/1-12, 1989.10
- 8) 鋼構造委員会 鋼床版の疲労小委員会編: 鋼床版の疲労, 土木学会, 1990.9
- 9) (社) 日本鋼構造協会編: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報堂出版, 1993.4
- 10) PELIKAN W., ESSLINGER M. : Die Stahlfahrbahn, Berechnung und Konstruktion, MAN Forschungsheft, No.7, 1957
- 11) 建設省土木研究所: 直交異方性版理論による鋼床版実用計算法, 土木研究所報告 137 号の 1, 1969.8
- 12) 建設省土木研究所: 直交異方性版理論による鋼床版実用計算法・補遺, 土木研究所資料第 690 号, 1971.7
- 13) 多田和夫: **Finite Strip Method** による鋼床版の実用的計算法, 橋梁と基礎 Vol.5, No.10, 1971.5
- 14) 金原慎一: 斜橋の支点上ダイヤフラムの挙動と鋼床版の疲労強度に関する基礎的研究, 信州大学学位論文, 1994.3
- 15) 金崎, 伊藤, 尾下, 井上: 鋼床版縦リブ継手部の耐荷力実験結果, 土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集, pp.308-309, 1994.9

(1995. 3. 2 受付)

## STRENGTH TEST OVER THE HIGH STRENGTH BOLTED JOINTS IN STEEL DECK WITH LARGE SCALE SPECIMENS

Shin-ichi KIMBARA and Hiroyoshi NOTO

This paper reports and discusses the statical loading test over longitudinal ribs in the orthotropic steel deck, focusing on the strength of high strength bolted joints in a specimen with dimensions almost equal to the full size. Hand holes are required in the joints which causes the loss of a section. To compensate it, the base metal are increased in thickness. Regarding the process, the fatigue strength in the butt weldings are low that can be a structural defect. Comparisons are made between the base metal increased in thickness joints and unchanged thickness joints at the longitudinal ribs, the consequences of the tests were almost the same.