

第8章 文献調査

本章では、過去10年間のスカラップに関する論文を整理したものである。対象とした文献は、土木学会論文集、構造工学論文集、年次学術講演会概要集、鋼構造論文集、鋼構造年次論文報告集および橋梁と基礎から抜粋したものである。ただし、文献が年度ごとに連載されているものについては10年を越える文献もある。ここで紹介する文献リストを以下に示す。

文献リスト

- [1] 坂野昌弘, 三上市蔵, 米本栄一, 安池寿夫: 4種類の垂直補剛材取付部をもつプレートガーダー試験体の疲労実験と寿命予測, 構造工学論文集, Vol. 38A, pp999~1010, 1992.3
- [2] 松居伸明, 大倉一郎, 福本晴士, 菊池俊浩: 垂直補剛材端ギャップが横桁連結部の疲労強度に与える影響, 第50回年次学術講演会概要集 I-379, pp.758~759, 1995.9
- [3] 嘉指 敦, 松井伸明, 大倉一郎, 福本晴士: 水平補剛材端ギャップがプレートガーダーの疲労強度に与える影響, 第50回年次学術講演会概要集/I-382, pp.764~765, 1995.9
- [4] 森山陽一, 村山 陽, 慶 甲秀, 長谷川和正, 北山耕造, 三木千壽: 第二東名神における少主桁橋の垂直補剛材下端の構造詳細に関する検討, 第51回年次学術講演会概要集/I-A279, pp558-559, 1996.9
- [5] 稲田育朗, 半野久光, 宇佐見健太郎: 実橋における鋼I桁橋の主桁と対傾鋼取合い部の疲労補修に関する検討, 第49回年次学術講演会概要集/I-217, pp432-433, 1995.9
- [6] 明橋克良, 大塚久哲, 佐賀弘一, 辻正樹: 並列I桁橋における対傾構及び横構取付部近傍の有限要素法応力解析, 第44回年次学術講演会概要集/I-199, pp450-451, 1989.9
- [7] 三木千壽, 館石和雄, J.F. RICCI, 梶本勝也: 橋梁部材のスカラップ部に生じる面外変形挙動とその疲労強度に関する研究, 構造工学論文集Vol. 39A, pp989-997, 1993.3
- [8] 田島二郎, 山下清明, 津田徹: 曲げ部材のスカラップ周辺の応力集中について, 第41回年次学術講演会概要集/I-266, pp531-532, 1986.11
- [9] 山下清明, 田島二郎: 曲げ部材のスカラップ周辺の応力集中について(その2) 第42回年次学術講演会概要集/I-202, pp438-439, 1987.9
- [10] 須田博幸, 田島二郎, 山下清明: 曲げ部材のスカラップ周辺の応力集中について(その3), 第43回年次学術講演会概要集/I-216, pp486-487, 1988.10
- [11] 須田博幸, 田島二郎, 山下清明: 曲げ部材のスカラップ周辺の応力集中について(その4)-せん断力の影響-, 第44回年次学術講演会概要集/I-239, pp530-531, 1989.10

- [12]三木千壽，館石和雄，石原謙治，梶本勝也：溶接構造部材のスカラップディテールの疲労強度，土木学会論文集 No.483/I-26， pp79～86， 1994.1
- [13]館石和雄，三木千壽，梶本勝也：疲労強度向上のためのスカラップディテールの改良方法，第49回年次学術講演会概要集/I-237， pp472-473， 1994.9
- [14]三木千壽，館石和雄：鋼橋 I 形断面部材におけるスカラップディテールの疲労設計法，土木学会論文集 No.563/I-26， pp41～47， 1997.4
- [15]南 邦明，三木千壽，館石和雄：スカラップを有する厚板 I 型断面現場溶接継手部の疲労強度，土木学会論文集，No.577/I-41 pp121～130， 1997.10
- [16]森 猛，内田大介：公称応力範囲を用いた鋼 I 桁スカラップ溶接部の疲労強度評価方法，鋼構造年次論文報告集，第 5 巻， pp473-480， 1997.11
- [17]春日井俊博，和内博樹，大森邦雄：鋼橋の合理化に関する一提案，橋梁と基礎 pp27-33， 1994.7
- [18]勝野寿男，渡辺保之，熊谷洋司，依田照彦：縦リブと横リブとを溶接しない補剛板の耐荷力特性，鋼構造年次論文報告集，第 1 巻， pp555-562， 1993.7
- [19]三木千壽，館石和雄，奥川淳志，藤井祐司：鋼床版縦リブ・横リブ交差部の局部応力と疲労強度，土木学会論文集，No.519/I-32， pp127～138， 1995.7
- [20]三木千壽，塩崎匡克，館石和雄，大橋治一：箱断面桁のダイアフラムと下フランジ縦リブの交差部の疲労強度，土木学会論文集，No.563/I-39， pp35～40， 1997.4
- [21]町田文孝，三木千壽，吉岡昭彦，越後滋，多田賢，吉家賢吾：鋼床版縦リブのスカラップの疲労強度について，第50回年次学術講演会概要集/I-390， pp760-761.1995.9
- [22]坂井涉，岩崎雅紀，寺尾圭史，深沢誠：鋼床版横リブ構造の簡略化に伴う疲労挙動の検討，第48回年次学術講演会概要集/I-231， pp.610～611， 1993.9
- [23]岩崎雅紀，寺尾圭史，深沢誠：開断面縦リブを使用した鋼床版横リブの疲労損傷防止検討，構造工学論文集 Vol.38A， pp1021-1029， 1992.3
- [24]程 小華，西川和廣，村越 潤，福地友博，大橋治一：鋼床版デッキプレートと主桁補剛材の溶接部の疲労に関する検討，第52回年次学術講演会概要集/I-A252， pp502-503， 1997.9
- [25]大橋治一，藤井祐司，村瀬佐大美：鋼床版の疲労を考慮したディテールの改良，橋梁と基礎 pp31-36， 1997.4

題 目 : 4種類の垂直補剛材取付部をもつプレートガーダー試験体の疲労強度と寿命予測

著 者 : 坂野昌弘、三上市蔵、米本栄一、安池寿夫

出典名 : 構造工学論文集Vol.38A, pp.999~1010, 1992.3

要旨

図に示す4種類の方法で垂直補剛材を取付けたプレートガーダー試験体を用いて長寿命域を中心とした疲労実験を行い、各ディテールの疲労亀裂発生・進展挙動および疲労強度特性について検討している。また、疲労亀裂進展解析により、各ディテールの疲労強度の違いについて定量的な評価を試みている。

疲労実験の結果、疲労亀裂は、ディテール①、②のウェブ側の垂直補剛材下端部の回し溶接止端および④のウェブとフランジを接合するすみ肉溶接と垂直補剛材取付けのためのすみ肉溶接の交差部の溶接止端から発生し、ディテール③では疲労亀裂は発生しなかった。疲労強度は、表面長さ20mm、深さ8mm程度に成長するまでに、フランジ破断の80%以上が費やされるとしている。疲労限はディテール③が最も高く100MPa以上、次に①と②が85MPa程度、④が最も低く65MPaとなっている。なお、ディテール①の疲労限はウェブ側の溶接部のものであり、垂直補剛材と引張フランジを溶接することによる疲労強度の低下はみられなかったとしている。フランジの破断寿命を基準とすれば、垂直補剛材取付部の疲労強度は全て、仕上げなしの前面すみ肉溶接継手に適用されるJSSC疲労設計指針のE等級を十分満たし、ディテール③については仕上げた前面すみ肉溶接部に適用されるD等級以上を満たしている。

ディテール①、②、③の疲労強度に関しては2次元的な溶接止端形状(止端角度と曲率半径)の違いにより、また、ディテール④に関しては、溶接線交差部の応力方向に突出した形状の影響を考慮した疲労亀裂進展解析により、定量的に説明できるとしている。

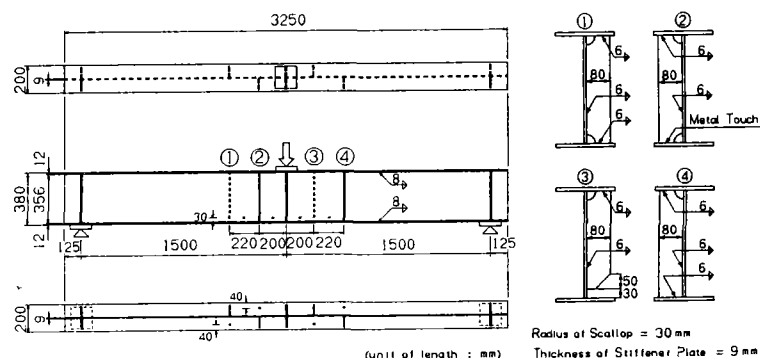


図-1 試験体の形状と寸法(・印はひずみゲージ貼付位置を示す)

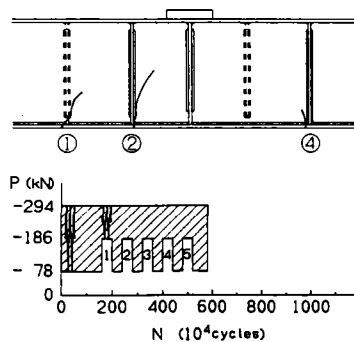


図-5 疲労亀裂発生位置(試験体No.1)

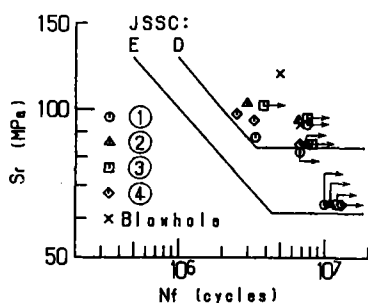


図-14 フランジ破断寿命Nf

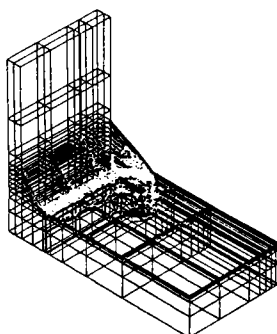


図-19 3次元FEM要素分割

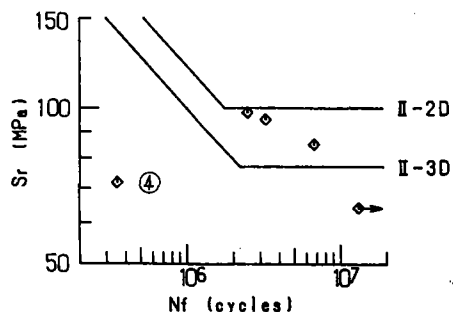


図-20 ディテール④の寿命予測

題目：垂直補剛材端ギャップが横桁連結部の疲労強度に与える影響

著者：松井伸明、大倉一郎、福本湧士、菊池俊浩

出典名：土木学会第50回年次学術講演会概要集/I-379、pp.758~759、1995.9

要旨

プレートガーダーの製作において、ロボット溶接による自動化を困難にしている原因の一つに垂直補剛材とフランジの連結構造が挙げられる。本研究では垂直補剛材端ギャップが主桁と横桁の連結部の疲労強度に与える影響を、異なる垂直補剛材端ギャップを有する横桁連結部の疲労試験によって明らかにすることを目的としている。

図-1に試験体図を示す。左右の主桁形状は全く同じで、横桁の支間中央に繰返し荷重を作用させることにより主桁ウェブに面外変形を与え、垂直補剛材端に板曲げ応力を発生させた。図-2にフランジと垂直補剛材の連結構造を示す。補剛材端は図に示す通りすみ肉溶接されたもの、メタルタッチのもの、ウェブギャップ(35mm, 55mm)を有するものの4種類である。

疲労試験は図-1のD、E点に繰返し荷重($P_{min}=2\text{tonf}$ 、 $P_{max}=30\text{tonf}$)を与え、273万回の荷重繰返しで試験を終了した。図-3に疲労亀裂の状況を示す。

タイプ1の亀裂のS-N関係を図-4に示す。フランジとウェブを連結するすみ肉溶接のウェブ側止端の位置の表面応力範囲をS、溶接止端に沿う亀裂の長さが25mmから44mmの間で発見されたときの繰返し回数をNとした。モノレール鋼製軌道桁の走行路の疲労試験の結果¹⁾も合わせて示す。最小2乗法の適用によって、S-N曲線が次のように与えられた。ただし、 $\Delta\sigma$ ：単位MPa

$$\log N = 16.656 - 4.5821 \log(\Delta\sigma) \quad (\text{標準}\xi_N = 0.289)$$

結論として、フランジと垂直補剛材端の間の主桁ウェブに生じる板曲げ応力を減少させることに対して、垂直補剛材端ギャップを大きくすることの効果は明らかにできなかった。しかし、疲労試験では横桁連結部の垂直補剛材端に3種類の亀裂が確認でき、フランジとウェブを連結するすみ肉溶接のウェブ側止端に発生した疲労亀裂に対してS-N曲線を与えた。

参考文献 1)大倉、堀池、福本：Fatigue cracks at runways of monorail girders、土木学会論文集、Vol.404、pp.111-120。

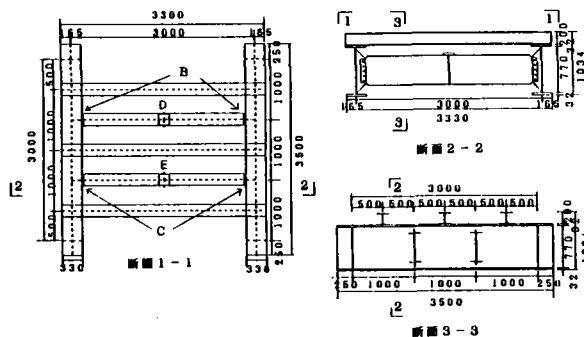


図-1 試験体VF一般図

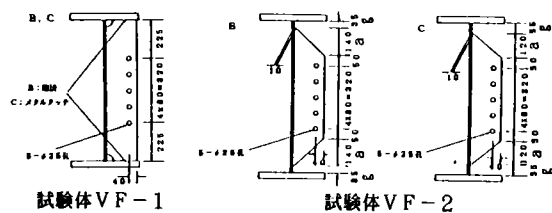


図-2 フランジと垂直補剛材の連結構造

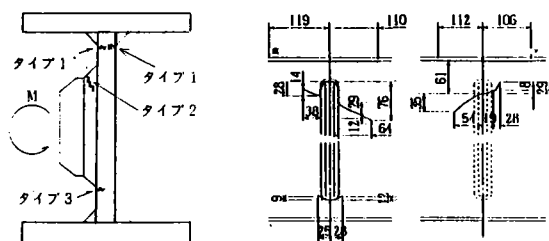


図-3 疲労亀裂

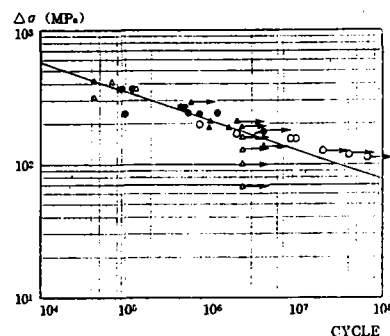


図-4 S-N曲線

題目：水平補剛材端ギャップがプレートガーダーの疲労強度に与える影響

著者：嘉指教、松井伸明、大倉一郎、福本昉士

出典名：土木学会第50回年次学術講演会概要集/I-382、pp.764~765、1995.9

要旨

プレートガーダーの製作において、ロボット溶接による自動化を困難にしている原因の一つに水平補剛材と垂直補剛材の連結構造が挙げられる。本研究は水平補剛材端ギャップがプレートガーダーの疲労強度に与える影響を、疲労試験によって明らかにすることを目的としている。

試験体図を図-1に、水平補剛材端ギャップの詳細を図-2に示す。Aは水平補剛材が垂直補剛材に溶接されず密着させたもの、B、C、Dはギャップサイズ g をそれぞれ35mm、45mm、55mmとしたもので、 $g+a$ はいずれも125mmである。疲労試験に先立ち、水平補剛材端のまわし溶接の近傍のウェブ両面に添付した応力集中ゲージが与えるひずみを外挿することにより、まわし溶接のウェブ止端に生じるひずみを推定した。全ての測定点において膜ひずみは公称ひずみより大きい。

疲労試験は図-1のE、F点に繰返し荷重($P_{min}=2\text{tonf}$ 、 $P_{max}=38\text{tonf}$)を与え、荷重制御で行った。各試験体の疲労亀裂の伝播状況を図-3に示す。疲労亀裂は水平補剛材端のまわし溶接のウェブ止端に発生した。この亀裂はウェブ板厚方向を進展し、ウェブ裏面に到達後貫通亀裂としてウェブを鉛直方向に伝播した。

試験結果を図-4に示す。縦軸に亀裂発生位置の公称応力範囲、横軸に亀裂がウェブ板厚を貫通したときの荷重繰返し回数 N をとっている。試験結果は疲労強度等級Gを満たしている。

結論として、疲労亀裂がウェブの板厚を貫通するまでの疲労寿命に関しては水平補剛材端ギャップの大きさの影響は小さいこと、また、貫通亀裂としてウェブを鉛直方向に伝播する亀裂伝播寿命の観点からは $g=55\text{mm}$ の水平補剛材端が他の場合より優れていることがわかった。

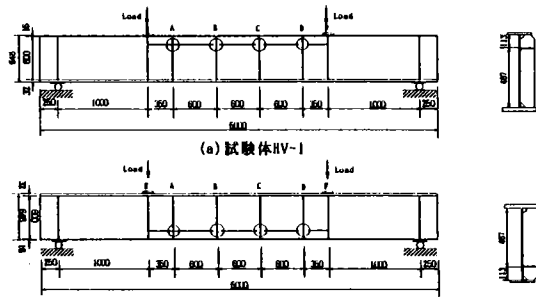


図-1 試験体図

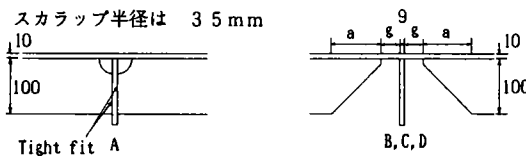


図-2 水平補剛材端ギャップ詳細

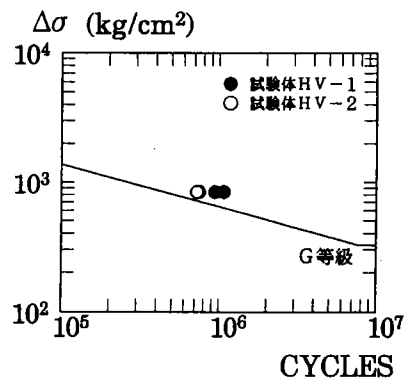


図-4 S-N線図

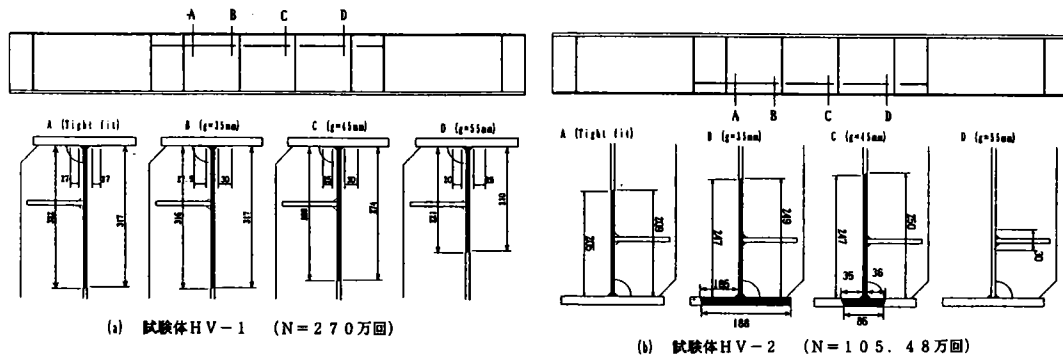


図-3 疲労亀裂の伝播状況

題目：第二東名神における少数主桁橋の垂直補剛材下端の構造詳細に関する検討

著者：森山陽一、村山陽、慶甲秀、長谷川和正、北山耕造、三木千壽

出典名：土木学会第51回年次学術講演会概要集/I-A279、pp.558~559、1996.9

要旨

鈹桁橋の横桁や対傾構を取り付けた荷重集中点の垂直補剛材と引張フランジとの取り合いは、疲労への配慮から原則として溶接せず密着させている。荷重集中点以外の垂直補剛材は、引張フランジに密着させなくても支障がないと考えられるため、防錆や施工性に配慮して35mm程度の間隔をあけている。鋼橋の製作における省力化、溶接の施工性および疲労について配慮すると、間隔 g' を可能な限り大きくあけることが望ましい。しかし、間隔 g' をあけすぎると主桁ウェブの板曲げにより垂直補剛材下端のまわし溶接近傍に疲労に関して有害な応力が発生することが予想される。

本報告では、実橋の1/2スケールの試験体による静的載荷試験を実施し、間隔 g' の変化によるその近傍の発生応力の変動を調べ、実橋への適用に際しての疲労照査方法について述べている。

3主である実橋の垂直補剛材下端と下フランジの取り合い部の構造を図-2に示す。応力測定後、G3の垂直補剛材下端に幅50mmの鋼板を取り付け間隔 g' を50mmとし、G1にはスカラップを設けた100mmの鋼板を取り付け下フランジと溶接した構造に改造し、再度応力測定を実施した。

試験の結果、間隔 g' を100mmとしたG3では、主桁ウェブの表裏で応力の符号が反転していることから、板曲げが発生していることが分かる。G2については下フランジに溶接されていることから板曲げ応力の発生は見られない。また、改造により間隔 g' を50mmとしたG3の応力範囲は100mmの場合の60%程度に低減され、下フランジと溶接した主桁G1の発生応力は小さい。

疲労照査の結果、垂直補剛材下端と引張フランジとの間隔は、疲労設計上最大100mmまで安全であることが分かった。しかしながら、橋梁によっては主桁高や横桁の構造などが異なることから、本検討結果が全ての橋梁に適応するとは限らないため、別途照査が必要であると考えられる。

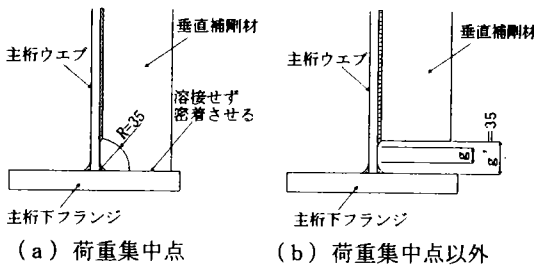


図-1 垂直補剛材下端の構造詳細

表-1 垂直補剛材下端部の発生応力

		改造前			改造後		
		最大応力 kgf/cm ²	最小応力 kgf/cm ²	応力範囲 kgf/cm ²	最大応力 kgf/cm ²	最小応力 kgf/cm ²	応力範囲 kgf/cm ²
主桁G1側:	W1	28.4	-86.1	114.5	4.2	-18.9	23.1
	W2	66.2	-30.5	96.7	0.0	-6.3	6.3
主桁G2側:	W3	-2.1	-48.3	46.2	-	-	-
	W4	0.0	-33.6	33.6	-	-	-
主桁G3側:	W5	71.4	-46.2	117.6	33.6	-38.9	72.5
	W6	37.8	-86.1	123.9	23.1	-44.1	67.2

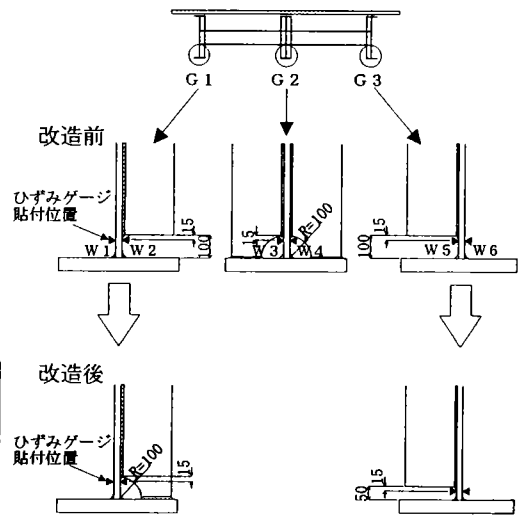


図-2 試験体の構造およびひずみゲージ貼付位置

表-3 垂直補剛材下端部の疲労照査

	板厚			採用間隔 g'	応力範囲 $\Delta\sigma$ (T-60相当)			打切り限界 $\Delta\sigma_{ce}^{(5)}$ G等級	判定	
	ウェブ	下フランジ	垂直補剛材		構造応力範囲		板厚比①			間隔比②
	t_w	t_f	t_s		$\Delta\sigma_s$	実橋/2/模型	実橋/2/模型			$\Delta\sigma_s/\phi \cdot \phi$
1/2模型	9	25	16	50	217.5	-	-	-	326.5	-
実橋	12	22	25	100	217.5	0.67	1.00	326.3	326.5	OK
	14	22	25	100	217.5	0.78	1.00	279.6	326.5	OK
	14	38	25	100	217.5	0.78	1.00	279.6	326.5	OK
	15	27	25	100	217.5	0.83	1.00	261.0	326.5	OK
	15	37	25	100	217.5	0.83	1.00	261.0	326.5	OK
	16	26	25	100	217.5	0.89	1.00	244.7	326.5	OK
	16	59	25	100	217.5	0.89	1.00	244.7	326.5	OK
	17	53	25	100	217.5	0.94	1.00	230.3	326.5	OK
	17	75	25	100	217.5	0.94	1.00	230.3	326.5	OK
	18	75	25	100	217.5	1.00	1.00	217.5	326.5	OK

題目：実橋における鋼I桁橋の主桁と対傾鋼取合い部の疲労補修に関する検討

著者：稲田育朗、半野久光、宇佐見健太郎

出典名：土木学会第49回年次学術講演会概要集/I-217、pp.432~433、1995.9

要旨

本研究では首都高速道路4号線において実橋載荷試験を行い、対傾構取合部の疲労損傷の補修方法について検討した。

着目橋梁の一般図を図-1に示す。A橋では一般的な縦桁増設の効果を明らかにし、B橋では局部補強後に縦桁増設を実施した。局部補強方法はTYPE-A1、A2、B1、B2の4種類で、その詳細を図-2に示す。計測は20t車1台の静的載荷および動的載荷試験と、実働応力頻度計測を補強前、局部補強後(A橋は無し)、縦桁増設後の3段階で実施した。

各補強タイプごとの補強効果を比較するため、局部補強前発生応力と局部補強前後での発生応力比の関係を図-3に示す。ここで疲労寿命推定結果を見ると増厚を行ったTYPE-Aにおいては、局部補強前後の疲労寿命はいずれも50年以上の値となっているが、増厚しないTYPE-Bでは局部補強後も疲労寿命50年以下の部位が散見された。

動的載荷試験結果を図-4に示す。図より垂直補剛材上端部の発生応力には明確に前後輪の影響が認められ、床版たわみの影響が大きいと考えられた。これより縦桁増設による効果は非常に大きく、局部補強を行わないA橋においても縦桁増設後に最大発生応力は30%以下に低減し、疲労寿命も最低で200年以上を示しており、十分な補強効果が得られた。なお、動的載荷試験結果として3軸ゲージ計測値より最大・最小主応力と方向を求め図-4に示した。主応力方向は車両通過中ほぼ一定であることがわかる。

結論として、縦桁増設を行う場合には応力減少が期待でき、溶接部に損傷が発生していない場合には溶接部への局部補強を必要としない。一方、縦桁補強を行わない場合には垂直補剛材の増厚取替が必要となる。

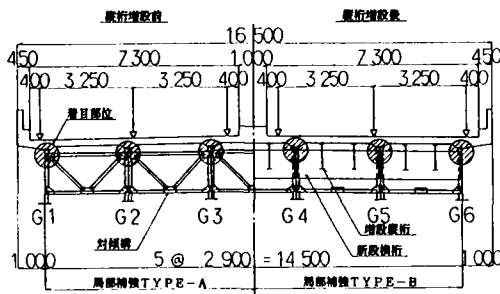


図-1 着目橋梁一般図

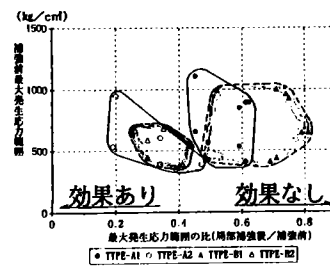


図-3 局部補強前後での比較

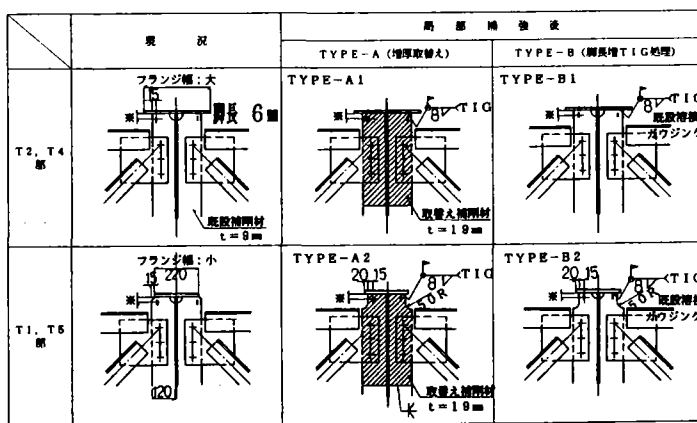


図-2 局部補強法詳細

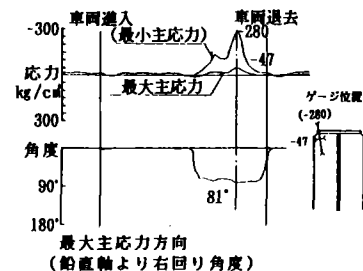


図-4 動的載荷試験結果

題目：並列 I 桁橋における対傾構及び横構取付部近傍の有限要素法応力解析

著者：明橋克良、大塚久哲、佐賀弘一、辻正樹

出典名：土木学会第 44 回年次学術講演会概要集/I-199, pp. 450~451, 1989. 9

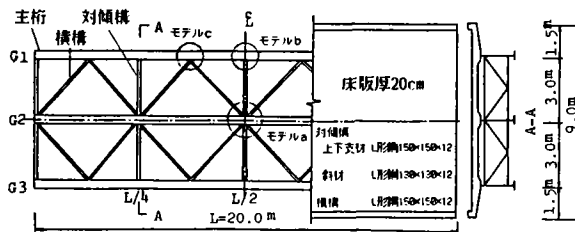
要旨

合成 I 桁橋を対象とし、有限帯板法 (F. S. M) を用いた橋梁全体の立体応力解析を行って各部材に働く特性を把握する。この結果を利用して、対傾構及び横構取付部の応力をより詳しく調べるために、部分解析モデルをズームアップ手法で取り出し、FEM解析するものである。

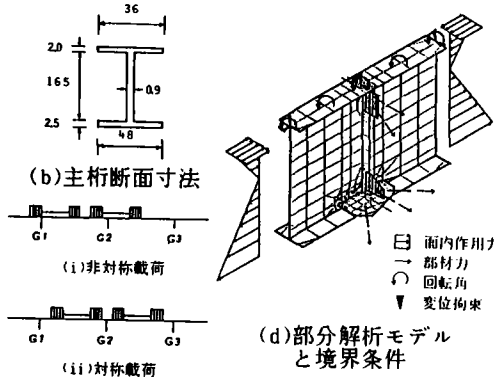
解析の方法としては、図に示すような単径間 3 主桁合成 I 桁に荷重を載荷し、F. S. M による立体応力解析法により主桁、対傾構及び横構の断面力や床版の回転角を求め、全体解析を行う。さらに対傾構と中桁及び外桁との取付部 (モデル a, b) 及び横桁と外桁の取付部 (モデル c) について、ズームアップして有限要素法を用いた部分解析を行った。

部分解析の結果では、部分モデルの変形については各作用力についての変形が的確に把握でき、有用である。構造詳細部に働く応力では、図に示すように部材取付部、スカラップ部に働く応力集中現象を定性的にとらえることが分かった。

本研究は、構造詳細部に働く局部応力の一解析手法を示したものであり、本解析で用いたズームアップ手法が疲労損傷の分析及びその補修法を考える際の方法の一つとして、非常に有効である。

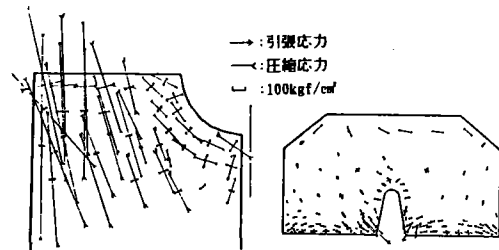


(a) 解析対象橋梁



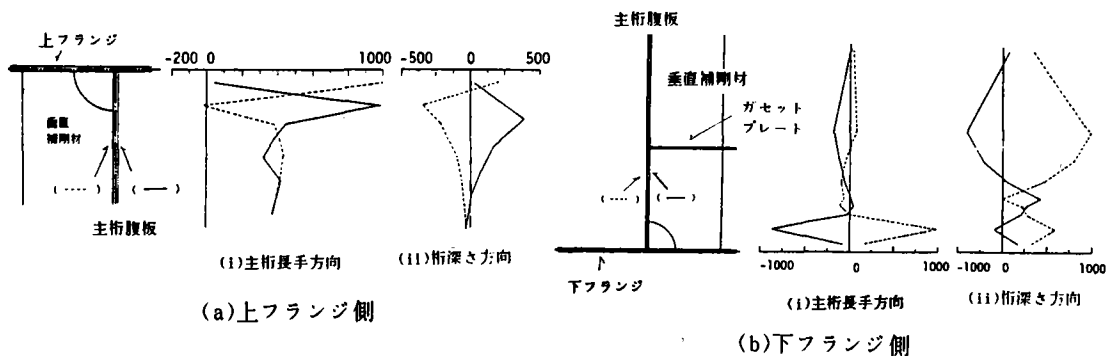
(c) 荷重載荷位置

図 1 解析対象橋梁と部分解析モデル



(a) 垂直補剛材 (b) ガセットプレート

図 4 モデル a の主応力の分布状況



(a) 上フランジ側

(b) 下フランジ側

図 5 モデル c の面外曲げ応力の分布状況 (単位: kgf/cm²)

題 目 : 橋梁部材のスカールップ部に生じる面外変形挙動とその疲労強度に関する研究

著 者 : 三木千寿、館石和雄、J.F. RICCI、梶本勝也

出典名 : 構造工学論文集Vol. 39A, pp. 989~997, 1993. 3

要旨

橋梁に生じる疲労亀裂は、縦方向部材と横方向部材の接合部に発生する例が多い。これは橋上の活荷重荷によって橋梁全体が3次元的に変形し、横方向部材に生じる力によって縦方向部材の溶接線に囲まれた狭い部分に面外方向変位が発生することが主な原因とされており、その接合部にスカールップが設けてあった場合、その開孔された部分の板に面外変形が集中することになる。

試験体は、図に示すようにスカールップ構造をモデル化したもので、ギャップ部に面外変形を導入するようにして疲労試験を行い、ギャップサイズと疲労強度の関係や疲労破壊モードについて検討した。なお、各溶接止端に番号をつけて呼ぶことにする。

試験結果の主な結論は、

- ・ 止端①、②に生じる疲労亀裂は、その発生により継手の変形性能が増加する。それに対して止端④に生じる疲労亀裂は、継手の変形性能にあまり影響を与えず、変位制御条件下でも進展しやすいといえる。
- ・ 亀裂長20mmの時点疲労寿命とすれば、荷重制御の条件下ではスカールップのギャップサイズの継手の疲労強度が最も高い。それに対して変位制御の条件下ではいずれのギャップサイズの試験体とも疲労強度に大きな差は見られなかった。
- ・ 疲労試験結果をホットスポット応力で整理した結果、試験結果のばらつきはほぼJSSCのE等級を下限とする領域におさまった。

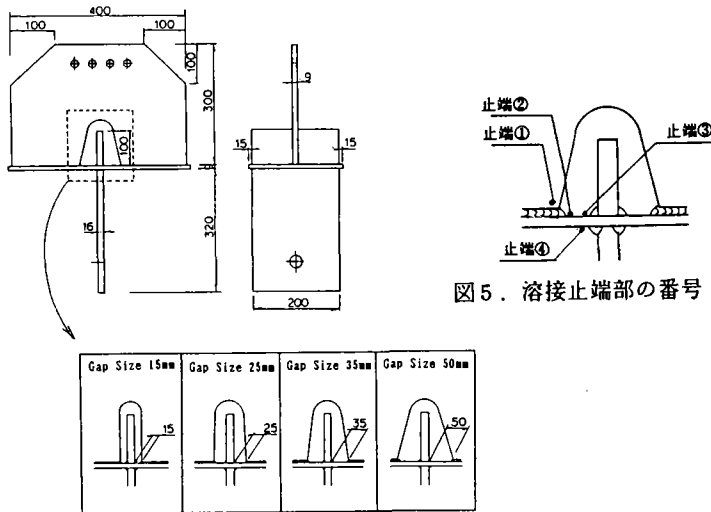


図1. 試験体の形状・寸法

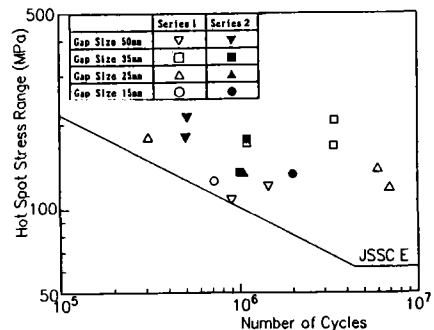


図22. ホットスポット応力と疲労寿命(き裂長20mm時)の関係

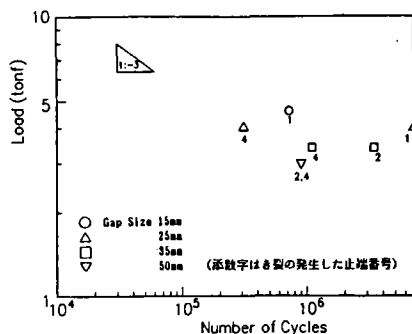


図17. 荷重と疲労寿命(き裂長20mm時)の関係 (シリーズ1: 荷重制御試験)

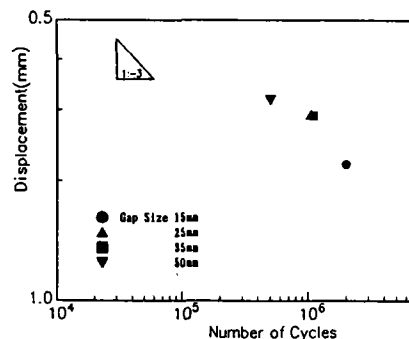


図18. 荷重点変位と疲労寿命(き裂長20mm時)の関係 (シリーズ2: 変位制御試験)

題目 : 曲げ部材のスカーラップ周辺の応力集中について

著者 : 田島二郎、山下清明、津田徹

出典名 : 土木学会第41回年次学術講演会/I-266, pp. 531~532, 1986. 11

要旨

トラス構造における主構下弦材と床桁との取付部には大きな応力の不均衡が生じ、横桁ウェブにスカーラップがある場合その程度は更に大きくなる事が判明している。この研究では、床桁からの曲げ荷重に注目して、トラス格点部の床桁取付部を箱断面とI断面との単純なモデルに置き換え曲げ試験及び解析にてスカーラップ近傍の応力状態とその構成平板の板厚変化による板曲げに伴う応力集中への影響を検討し、その関係を明らかにしている。

試験体は、TypeA, TypeB, TypeC の3種類を作成し、曲げ試験を行っている。FEM解析は、TypeC にスカーラップ近傍要素を細分化し、弦材ウェブの板曲げを考慮したTypeD を加えた4種類で行っている、さらにフランジ、ウェブ及び弦材ウェブの板厚を変化させている。

実験及び解析結果は、図の応力分布が示しているとおおり、スカーラップ近傍の応力変化が激しく特に裏面のスカーラップ始点に顕著な集中現象がみられる。また、解析値は実験値と比べ、要素分割の粗さと、試験体の隅肉溶接サイズの影響が原因と思われるピーク位置のずれが認められ、その値が多少小さくなるものの、集中現象をよく現している。TypeD は、より複雑な応力性状を示し局部板曲げの影響にて、板厚中心と裏面で約2倍の応力の違いが生じている。また、図の板厚・スカーラップ比と応力集中率の関係が示しているとおおり、フランジの板厚増加に伴い応力集中率は減少する傾向にあり、ウェブ及び弦材ウェブの板厚は変化しても応力集中率に変化が認められない。

結論として、本構造系の場合、局部板曲げによる応力集中が解析により得られること、スカーラップ始点の裏面で局部板曲げに伴う応力集中現象が激しく、その曲げ成分応力は、軸成分応力の約2倍となること、部材が引張力のみを受ける場合と比べ、応力性状がより複雑になることが判ったそして、フランジ板厚・スカーラップ半径比を大きくすることで、応力集中率を軽減できる。

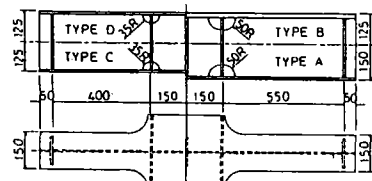


Fig. 2 試験体形状・寸法

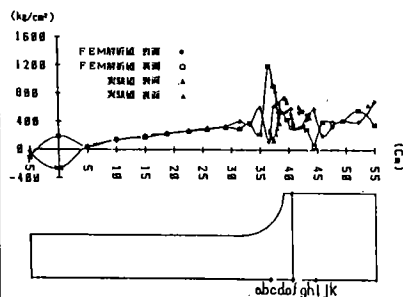


Fig. 3 応力分布

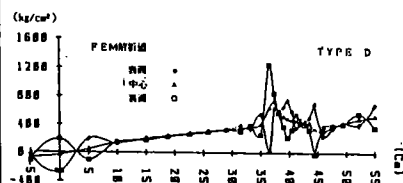


Fig. 4 応力分布

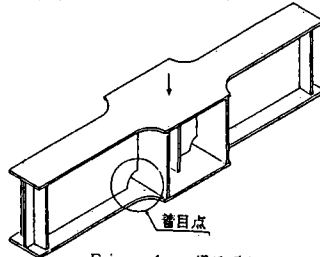


Fig. 1 梁モデル

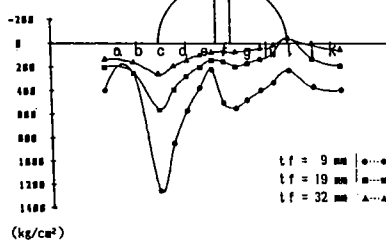


Fig. 5 (a) スカーラップ周辺の応力分布

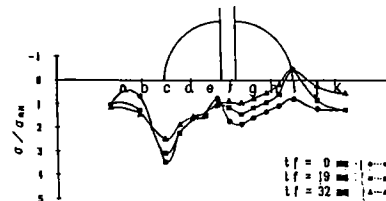


Fig. 5 (b) 応力集中率

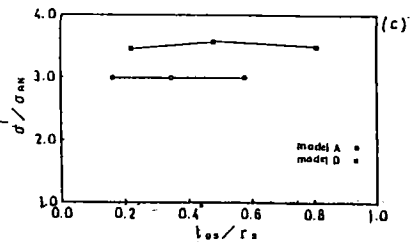
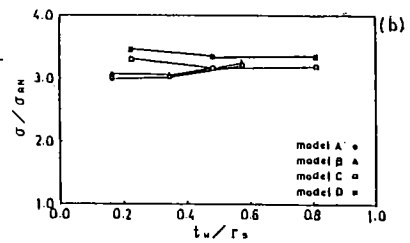
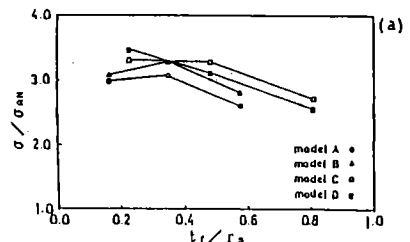


Fig. 6 板厚・スカーラップ比と応力集中率の関係

題 目 : 曲げ部材のスカールップ周辺の応力集中について (その2)

著 者 : 山下清明、田島二郎

出典名 : 土木学会第42回年次学術講演会/I-202、pp. 438~439、1987. 9

要旨

前回報告から、さらに今回は、曲げ部材腹板スカールップ周辺のフランジに生ずる、板曲げによる応力集中が、曲げ荷重に伴うせん断力によりどのように変化するかと、スカールップ内でフランジ板厚を変化させた場合の影響について検討している。

解析モデルは、TypeA, TypeB, TypeC の3種類とし、FEM解析を行っている。なお、Typeの違いは、フランジ板厚の違いである。解析手法として、スカールップ位置での曲げモーメントを一定としたまま腹板のせん断力を変化させる様に作用荷重を操作している。

解析結果は、図の下フランジ内側の応力分布が示すとおり、せん断力が増加するに従い、弦材腹板の両側スカールップの始点で大きな変化が現れている。すなわち、支点側では、引張応力を増加させ、支間中央側では反対の傾向を示している。最も注意すべき支点側スカールップ始点位置に注目し、せん断力による応力変化を図に示しているが、この図から、いずれのモデルでも直線的に変化することが認められた。図のせん断歪と応力集中率が示すとおり、せん断歪が増加するに従い応力集中率も増加しているが、フランジ厚が増加すると応力集中率は減少する。図の張り出し長さ l と応力集中率が示すとおり、厚いフランジが張り出すに従い応力集中率は2割程度の増加となっている。(実際の構造では、主構造フランジと床桁フランジの接続部がスカールップ内に置かれる場合がある。)

結論として、腹板にスカールップを有する曲げ部材のフランジに発生する応力集中は、せん断力存在により著しく影響を受け、疲労強度を検討する場合に問題となることが明らかとなった。またスカールップ内に板厚の厚いフランジが張り出すと応力集中率が2割程度増加することが明らかとなった。

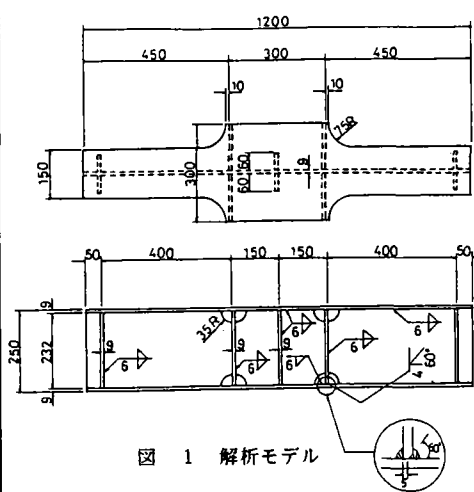


図 1 解析モデル

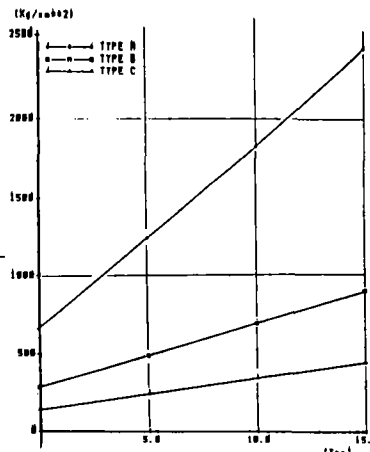


図 3 せん断力による応力変化

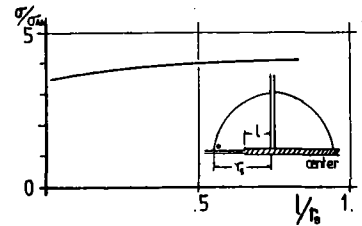


図 5 張り出し長さ l と応力集中率

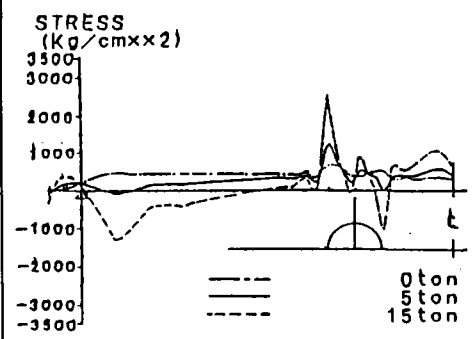


図 2 下フランジ内側の応力分布

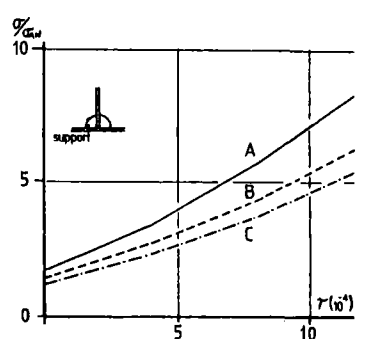


図 4 せん断歪と応力集中率

題目：曲げ部材のスカールップ周辺の応力集中について（その3）

著者：須田博幸、田島二郎、山下清明

出典名：土木学会第43回年次学術講演会/I-216、pp. 436~487、1988. 10

要旨

前回報告から、さらに今回は、従来検討していたモデルから弦材腹板を取り除いた、より単純化したI型断面にて曲げ実験とFEM解析を行い、実験と解析の対応性の検討している。また、フランジ板厚及びスカールップ半径変化の応力集中への影響をFEM解析にて検討している。モデル単純化の主旨は、スカールップ周辺の応力集中の発生機構を明確にとらえやすくするためである。

試験体は、1種類のみ作成し、曲げ試験を行っている。FEM解析には、スカールップ半径とフランジ板厚を変化させて15体のモデルを作成している。なお、試験体のスカールップの回し溶接に研磨部と未研磨部を設けている。

実験及び解析結果は、図の下フランジ内側応力分布（研磨側）が示すとおり、実験値がFEM解析値の約3割増しとなっている。図の下フランジ外側応力分布は、応力のピーク位置のずれが見られるが、研磨側でも未研磨側でも実験値とFEM解析値はほぼ一致している。

図の下フランジ内側応力分布の示すとおり、スカールップ中央の弦材腹板を取り除いたため、スカールップ周辺での応力性状がより明確となっている。

図のStress Concentration Factor が示すとおり、スカールップ半径を拡張していくと、スカールップ始点での応力ピーク値は増加傾向となり、この影響を計る尺度の一つであるせん断歪を用いると、せん断歪の増加と応力集中率の増加が比例していることが明らかとなる。

結論として、このモデルでは、スカールップ周辺のフランジ内側で、FEM解析値の約3割増しの局所的な応力集中が発生し、フランジ外側はFEM解析とほぼ同一の応力性状であることが、明らかとなった。

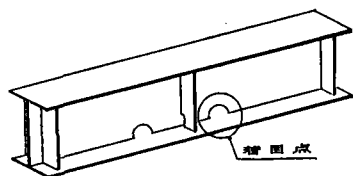


図2 新モデル

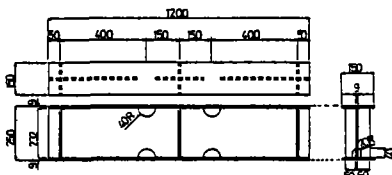


図3 実験供試体形状・寸法

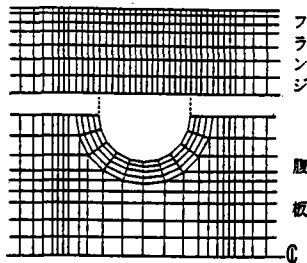


図4 スカールップ周辺要素分割図

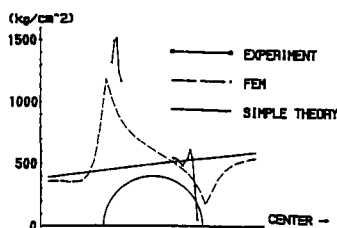


図5 下フランジ内側応力分布（研磨側）

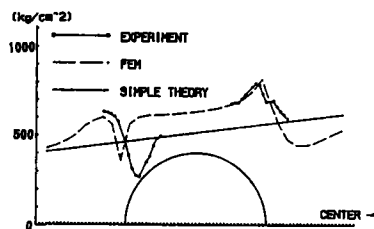


図6 下フランジ外側応力分布（研磨側）

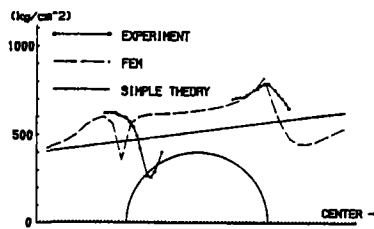


図7 下フランジ外側応力分布（未研磨側）

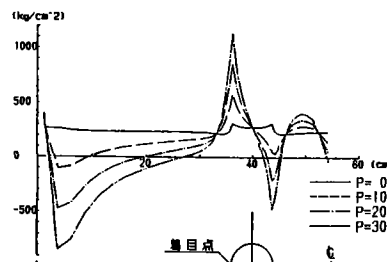


図8 下フランジ内側応力分布

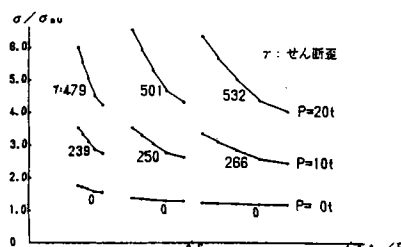


図9 Stress Concentration Factor

題目 : 曲げ部材のスカーラップ周辺の応力集中について (その4) -せん断力の影響-

著者 : 須田博幸、田島二郎、山下清明

出典名 : 土木学会第44回年次学術講演会/I-239, pp. 530~531, 1989. 10

要旨

前回報告から、さらに今回は、FEM解析による検討を進め、板厚、スカーラップ半径の変化が応力集中に及ぼす影響について検討している。

解析モデルは、前回同様の簡略I断面モデルとし、TypeA, TypeB, TypeC, TypeD, TypeE の5種類で行っている。なお、各々、スカーラップ半径を3種類設けている。

解析結果は、図の応力集中率とフランジ板厚の関係が示すとおり、純曲げの場合、フランジ板厚を増加させると、応力集中率は、多少低減する傾向にある。図の応力集中率と腹板板厚の関係が示すとおり、せん断力のみによる影響による応力集中率は、腹板板厚を増加することにより、低減できることが確認できた。また、図の応力集中率と R/T_f の関係が示すとおり、応力集中率と R/T_f は直線関係となっている。また、図の応力集中率とせん断歪の関係が示すとおり、応力集中率とせん断歪にも直線関係が認められる。

結論として、今回モデルが曲げを受ける場合、スカーラップ半径・フランジ板厚比と応力集中率曲げに伴うせん断力による腹板のせん断歪と応力集中率とは、直線関係にあり、スカーラップの存在による腹板の断面欠損を考慮することにより、ほぼ一本の直線になることが明らかとなった。

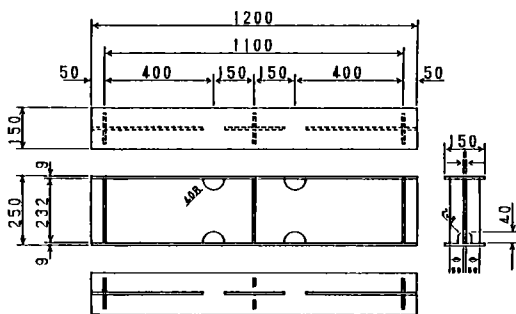


図1. 解析対象モデル

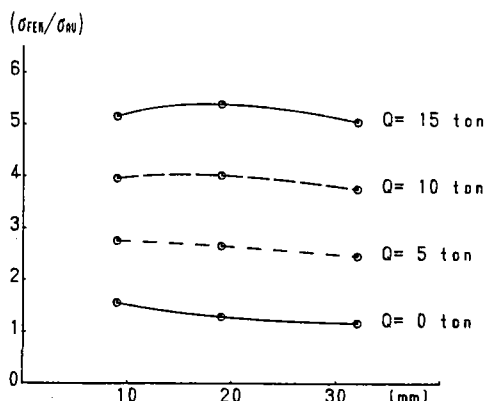


図2. 応力集中率とフランジ板厚の関係

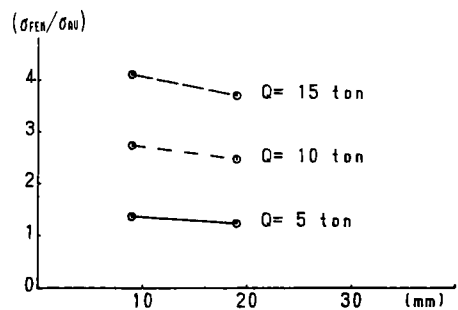


図3. 応力集中率と腹板板厚の関係

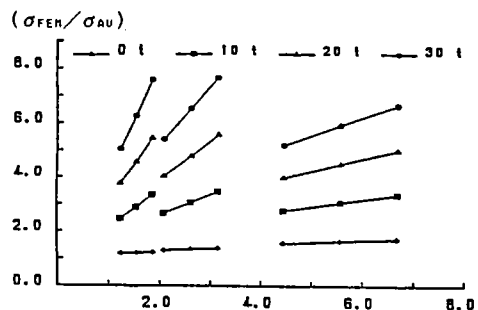


図4. 応力集中率と R/T_f の関係 (R/T_f)

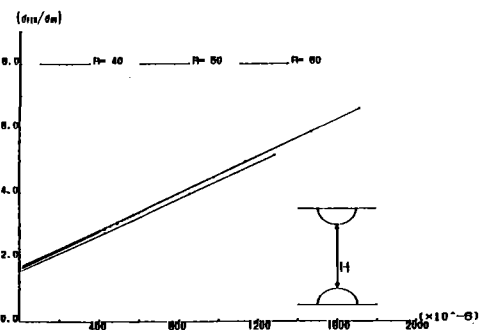


図5. 応力集中率とせん断歪の関係

題目：溶接構造部材のスカラップディテールの疲労強度

著者：三木千寿、館石和雄、石原謙治、梶本勝也

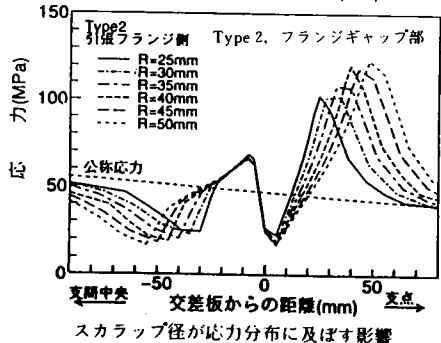
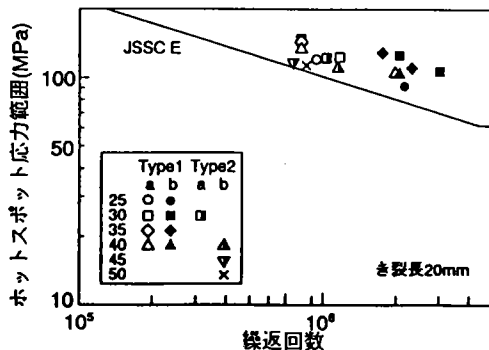
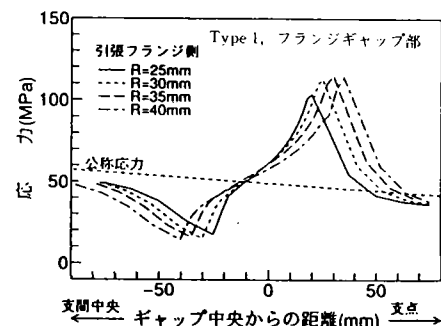
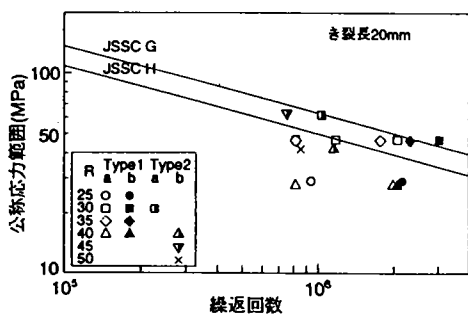
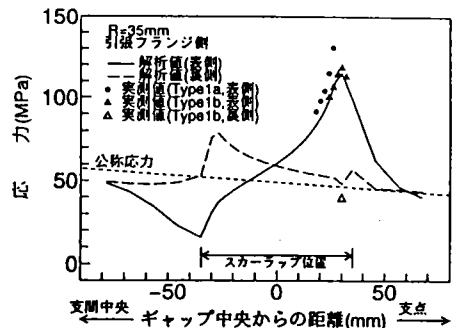
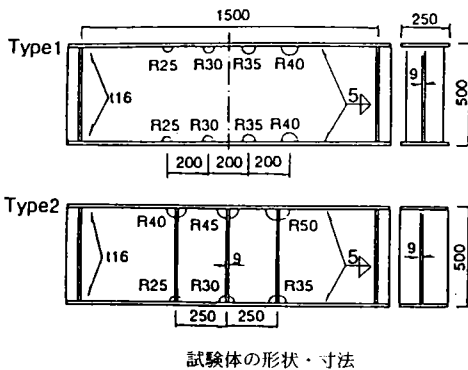
出典名：土木学会論文集 No. 483/I-26, pp79~86, 1994. 1

要旨

I型断面を現場溶接する場合、ウェブにスカラップを有する構造ディテールとなる。このスカラップを開口することによって、応力の流れが阻害され、せん断変形などにより局所的な応力集中が生じ、疲労強度の低い継手となる。この試験では、面内に曲げられるI型断面梁部材の中に存在するスカラップディテールの疲労性状を検討し、その疲労照査方法を提案している。

試験体は2Typeで行っており、またスカラップの廻し溶接部を行ったもので行わなかったもそれぞれa、bのケースで疲労試験を行っている。図に亀裂長が20mmになったときの公称応力で整理した結果を示す。JSSCの疲労設計指針では、本ディテールをG等級としているが、試験結果ではH等級を下回っており、廻し溶接を行ったほうが強度が低い結果となっている。また、ホットスポット応力で整理した場合、E等級を下限とするせまい範囲に収まっており、これで疲労照査を行うことが有効であるとしている。さらに、静的載荷試験およびFEM解析を実施し、スカラップ近傍の局部応力を検討している。その結果、スカラップにはさまれた区間の支点部側に高い応力が発生する。

結論として、スカラップ内のギャップ部にはせん断変形によって局所的な高い応力集中が発生し、せん断力が大きくなれば応力集中係数も高くなる。また、スカラップ半径とフランジ板厚の比が大きいと応力集中係数も高くなるので、スカラップ径は小さい方が望ましい。



題目 : 疲労強度向上のためのスカラップディテールの改良方法

著者 : 館石和雄、三木千寿、梶本勝也

出典名 : 土木学会第49回年次学術講演会概要集/I-237, pp472~473, 1994.9

要旨

溶接構造物中部材交差部では、溶接線の交差に伴う欠陥の発生の防止などを目的としてスカラップが設けられている。スカラップの形状や大きさについては、回し溶接や裏当て溶接などの際の溶接の施工性から決めていが、スカラップ部での疲労損傷が目立っていることから、スカラップディテールの形状、有無などの点について、疲労強度の観点から検討する必要がある。そこで様々なタイプのスカラップディテールを有する試験体による疲労実験を行って疲労強度上有利な形状を考察している。

試験体は、図-1に形状・寸法を示す。部材の交差部をモデル化したもので、交差部材のウェブを模した板を試験体ウェブに貫通させ交差部の上下にスカラップを設けている。N試験体は、交差部に通常のスカルップ半径25~50mmの円形で回し溶接を施したものと省略した2タイプを S試験体は、交差部の上下に10mmのコーナーカットを設けて、溶接の処理方法を図-2に示す3タイプを試験体とした。試験方法は、荷重は3点曲げとし、下限荷重1tonf、荷重範囲40または45tonf、繰り返し速度は1~2Hzであった。

疲労き裂の発生状況を図-3に示す。連続溶接を施したS-2試験体の疲労強度は低く、N試験体の強度と同程度である。スカラップの手前で溶接を止めたS-1試験体、およびスカラップを埋戻したS-3試験体の疲労試験結果はほぼF等級の強度曲線上にあり、N試験体、S-2試験体よりかなり疲労強度が高い結果となった。溶接線を連続させた場合、スカラップ端部において比較的大きな応力集中が発生するのに対して、溶接線をスカラップ手前で止めた場合はその端部における応力集中が小さいことがわかる。これは、スカラップの手前で溶接を打ち切ることにより溶接ビードによる拘束が弱くなるためである。

結論として、スカラップの手前で溶接を止め、端部を仕上げること、または、スカラップを溶接により埋め戻すことにより、スカラップディテールの疲労強度が改良できることがわかった。

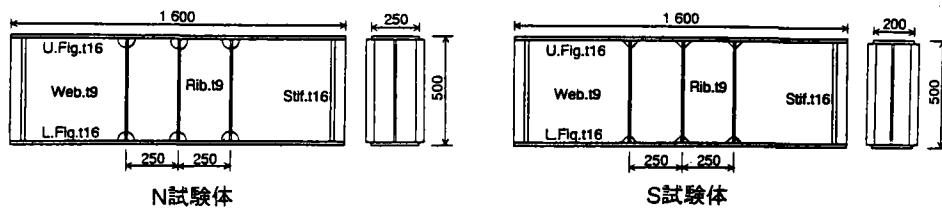


図-1. 試験体の形状・寸法

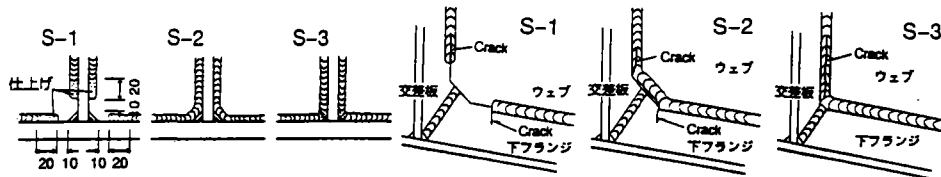


図-2. スカラップディテール形状

図-3. 疲労き裂

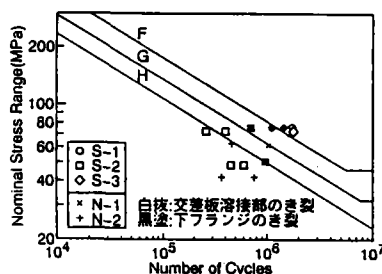


図-4. 疲労試験結果

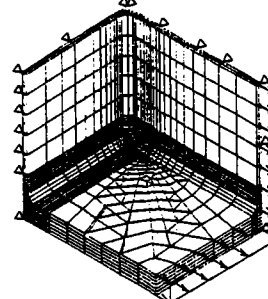


図-5. 解析モデル

題目 : 鋼橋 I 形断面部材におけるスカラップディテールの疲労設計手法

著者 : 三木千壽、館石和雄

出典名 : 土木学会論文集 No.563/I-26、pp.41~47、1997.4

要旨

I 形断面部材に設けられるスカラップディテール周辺の局部応力を有限要素解析により求め、スカラップの大きさやフランジ板厚などの幾何学的なディテール形状や载荷条件から応力集中係数を推定するための手法を明らかにした。この手法をもとに、スカラップディテールの疲労設計手法について検討し、せん断の影響をとりこんだ疲労設計曲線の適用方法を提案している。

図-1に示す I 形断面の梁を検討の対象とする。スカラップ内部のフランジ板に生じるせん断変形に着目し、これを両端固定梁の支点到に相対変位が生じる状態にモデル化することにより、スカラップディテールの局部応力を支配するパラメータとして、フランジ厚とウェブ厚の比、スカラップ半径とフランジ厚の比およびせん断力とフランジ幅の積と曲げモーメントの比を抽出している。

様々なスカラップ径、フランジ厚・幅、ウェブ厚・高を有する梁モデルに対し有限要素解析を行い、その結果を前記パラメータに着目して整理することにより、スカラップディテールの局部応力がこれらのパラメータから精度よく推定できることを示し、その推定式を提案している。

また、提案した局部応力推定式を、過去に行われた応力測定結果、疲労試験結果によって検証し、それが妥当であることを示している。

実橋部材におけるディテール形状の実態を考慮して前記提案式を簡略化し、せん断応力と曲げ応力の比と応力集中係数との関係を明らかにした。この結果に基づいて、せん断を考慮したスカラップディテールの疲労照査手法を提案している。

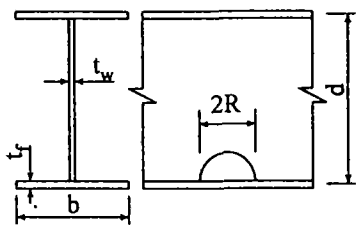


図-1 対象断面

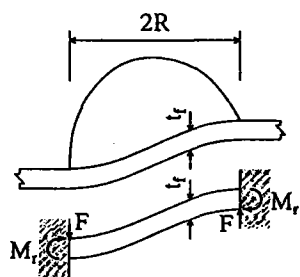


図-2 せん断変形のモデル

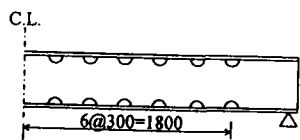


図-3 解析モデル

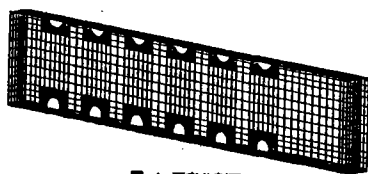


図-4 要素分割図

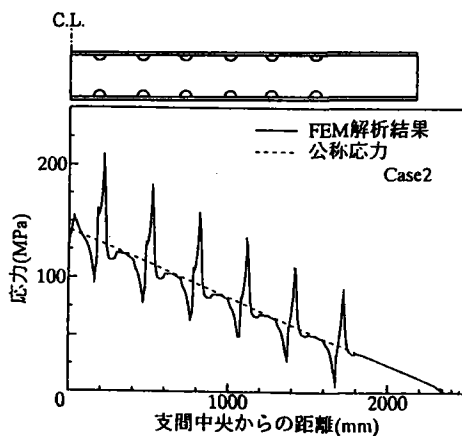


図-6 応力分布の例

表-3 疲労設計曲線の提案

	JSSC 強度等級	200万回 疲労強度
$\tau/\sigma=0$	F	65
$0 < \tau/\sigma \leq 0.4$	G	50
$0.4 < \tau/\sigma \leq 0.7$	H	40

$$S.C.F. = 1 + 1.5 \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^{-0.54} + 2.8 \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^{0.23} \left(\frac{T}{\sigma} \right) \quad (14)$$

題 目 : スカラップを有する厚板 I 型断面桁現場溶接継手部の疲労強度

著 者 : 南 邦明、三木千壽、館石和雄

出典名 : 土木学会論文集 No.577/I-41、pp.121~130、1997.10

要旨

近年、橋梁の製作費の削減から少主桁が採用されるようになり、この際、現場での部材の接合を溶接接合が使用されている。この場合、フランジとウェブの溶接施工上からウェブにスカラップを設ける構造となり、本報告では、疲労試験およびFEM解析から、厚板フランジにおけるスカラップディテールの疲労強度を明確にし、設計・施工上考慮すべき事柄を述べている。

疲労試験体を図-1に示し、図-2にe部でのFEM解析およびひずみ計測結果を示す。疲労試験は、せん断の影響を見るため、3本のジャッキでそれぞれ位相を変えて行っており、図-3に疲労試験結果を示す。亀裂は、いずれも局部応力が高いスカラップに挟まれた支点部側の廻し溶接部止端から発生している。等級としてはビード仕上げを行っていない部分はG等級を下回っているが、仕上げを行った部分は亀裂が発生せず、F等級を満足している。

次に、図-4には板厚を、図-5はスカラップ径をパラメーターとする解析結果を示す。板厚が厚くなることによって、応力集中率のピークが小さくなっていくが、板厚が上がるにつれ減少率も小さくなっていく。また、スカラップ径が小さくなると、応力集中率も小さくなることはいえる。

疲労試験およびFEM解析から結論として、厚板においてもせん断力が働く場合はG等級を下回り、廻し溶接部をグラインダー仕上げすることが望まれる。すなわち、少主桁橋のように極厚のフランジであっても、疲労強度の改善効果は少ない。また、設計面ではスカラップディテールはせん断の影響が大きく、フランジの公称応力だけでなくせん断応力も考慮して疲労強度評価することが望まれる。次に施工面では、施工可能な範囲でスカラップ径を小さくすることが望まれる。

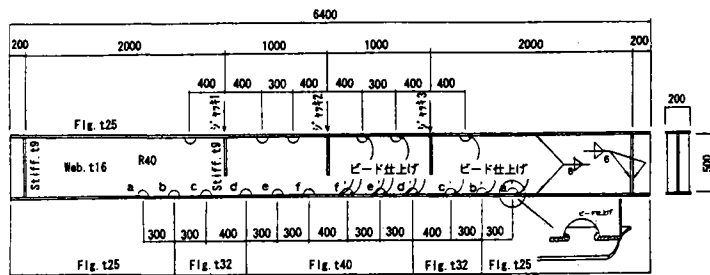


図-1 疲労試験体形状

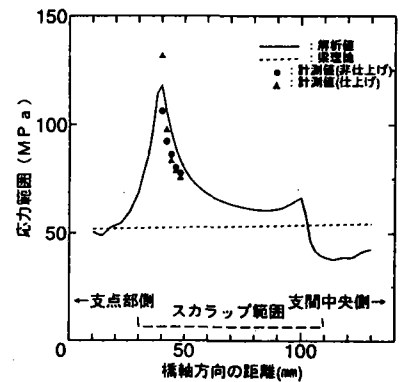


図-2 スカラップ近傍の局部応力

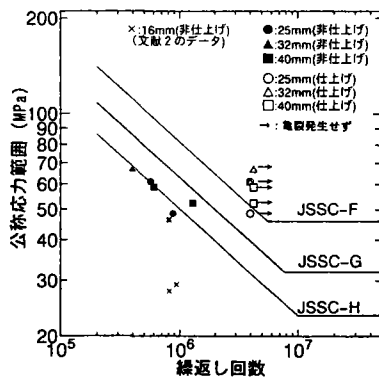


図-3 疲労試験結果

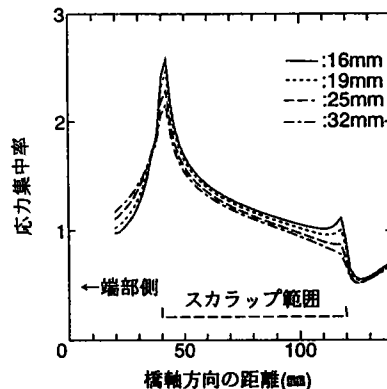


図-4 板厚と応力集中率

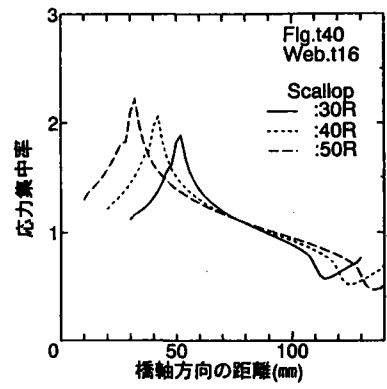


図-5 スカラップ径と応力集中率

題目：公称応力範囲を用いた鋼I桁スカラップ溶接部の疲労強度評価方法

著者：森 猛、内田大介

出典名：鋼構造年次論文報告集、第5巻、pp.473~480、1997.11

要旨

I型断面桁のウェブにスカラップを設けた場合には、曲げモーメントによって生じる応力に加えて、せん断力によりスカラップ内のフランジに板曲げ応力が生じる。また、曲げモーメントによる応力についても、廻し溶接などの形状に起因する応力集中に加えてスカラップという断面欠損によって増分を考慮する必要がある。そのため、梁理論から計算される公称応力のみでスカラップ溶接部の疲労強度評価を行うことは不合理であり、ホットスポット応力を用いて評価するのが妥当とされており、ホットスポット応力を計算するための式も提案されている。しかし計算の簡便さや他の継手との整合性を考慮すれば、スカラップ溶接部に対しても公称応力範囲を用いた評価が望ましい。そこで、本研究では、スカラップ溶接部を面外ガセット継手と見なし、板曲げ応力と断面欠損による応力の増分を考慮した公称応力算定式を用いてスカラップ溶接部の疲労強度を評価するための方法を提案している。

算定式を下記に示す。ここで、 κ 、 δ はスカラップ半径、フランジ厚、フランジ幅、ウェブ厚、ウェブ高のパラメータにより変化する係数である。本研究では、これらパラメータの値を変えた30モデルを対象とするFEM解析を行い、 κ 、 δ とこれらパラメータとの関係を最小二乗法により近似式にまとめている。各パラメータが κ 、 δ に及ぼす影響を図に示す。

本研究では、ここで提案した算定式の妥当性を検証する目的で桁試験体を用いた応力測定試験と疲労試験結果を行っている。応力測定結果と解析結果は、よく一致した結果となっている。また、提案する算定式より求めた応力範囲で整理した疲労試験結果は従来の方法（梁理論から計算される応力範囲）で整理した試験結果に比べてばらつきが小さく、また面外ガセット継手に適用される強度等級Gも十分に満たしていることがわかる。

- $\sigma_{ms} = \delta \cdot \sigma_m$ 、 $\sigma_{ss} = \delta \cdot \kappa \cdot \tau_s \cdot \tau_c$
 σ_{ms} : 曲げモーメントによるスカラップ溶接部の公称応力
 σ_m : 梁理論から計算される曲げモーメントによる公称応力
 σ_{ss} : せん断力によるスカラップ溶接部の公称板曲げ応力
 δ : 断面欠損を考慮した応力の補正係数
 κ : 板曲げ応力の傾き
 τ_s : スカラップ半径
 τ_c : 道路標示方書に従って求めたせん断断力 (せん断力をウェブの断面積で除したもの)

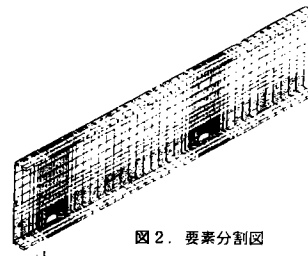


図2. 要素分割図

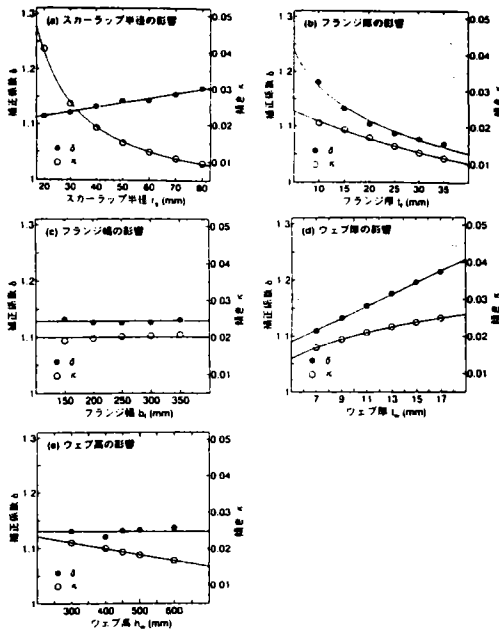


図5. δ と κ の値に及ぼす各構造パラメータの影響

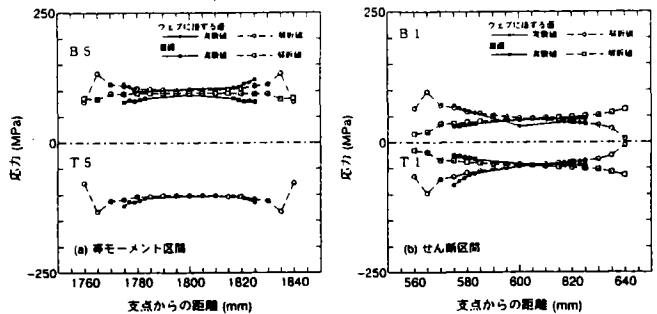


図8. 応力測定結果と解析結果の比較

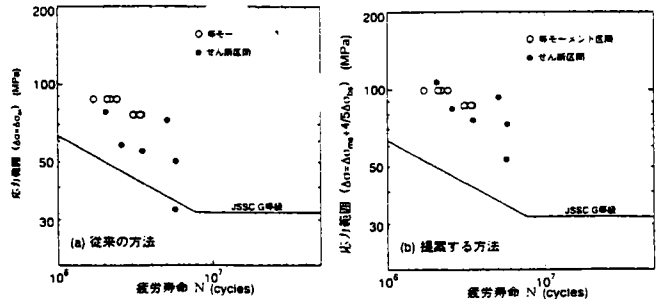


図9. 疲労試験結果

題目：鋼橋の合理化に関する一提案

著者：春日井俊博、和内博樹、大森邦雄

出典名：橋梁と基礎，pp27-33，1994.7

要旨

鋼箱桁内の溶接作業の中で、溶接個所が多く煩雑な作業となっている圧縮フランジの縦リブと横リブの交差部の構造を検討し、溶接で固定しない構造にできれば製作の合理化に寄与するところが極めて大きいと提案している。構造形状は、縦リブと横リブの交差部は従来形(図-1)タイプAの様に固定された構造及び固定しない構造(図-2)タイプBとがある。

試験体は、実用上標準的なサイズの補剛板にモデルを絞って検討している。構造パラメーターとしては、3項目について行っている。①補剛板の幅厚比・②縦リブの幅厚比・③補剛板の面外曲率について計算している。結果として①縦リブの幅厚比が道示・鋼橋編に定める局部座屈を起こさない幅厚比であれば、リブ交差部の構造の違いは補剛板の幅厚比によらず補剛板の耐荷力特性に影響を与えず、座屈モード、応力分布とも差が現れない。②縦リブの幅厚比が大きい場合、リブ交差部の構造の違いは縦リブの横リブ位置での局部座屈の有無として現われるが、縦リブが局部座屈を起こした場合でも、補剛板の耐荷力に着目すれば溶接固定しない構造の耐荷力の低下はわずか0.8%である。③面外曲率を持つ補剛板の場合は、下フランジタイプの場合にリブ交差部の構造の違いの影響が現われ、曲率が大きくなるほどタイプAとタイプBの耐荷力の差が大きくなるが、現実のアーチ橋のアーチリブのフランジとして最大の曲率の場合でも、リブ交差部を溶接固定しないことによる耐荷力の低下は1.2%である。

結論として、リブ交差部の構造を従来の溶接固定するタイプAから溶接固定しないタイプBへ変更しても、実用上問題となるような補剛板の耐荷力の低下は発生しないことがわかった。

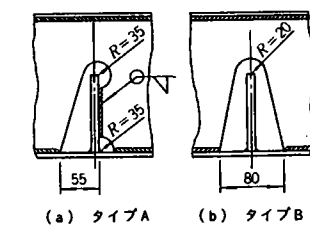


図-1 縦リブと横リブの交差部の構造

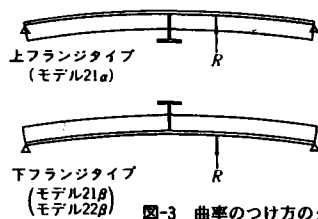


図-3 曲率のつけ方のタイプ

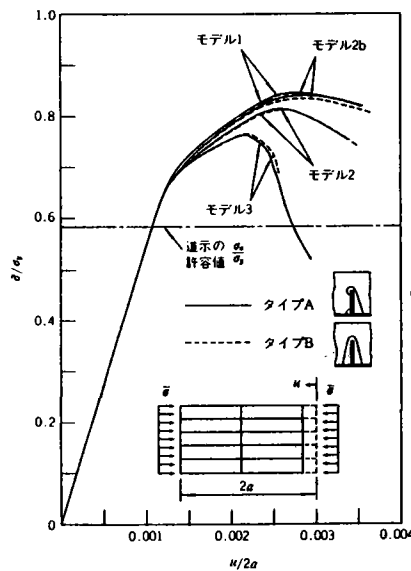


図-11 リブ交差部の構造の影響

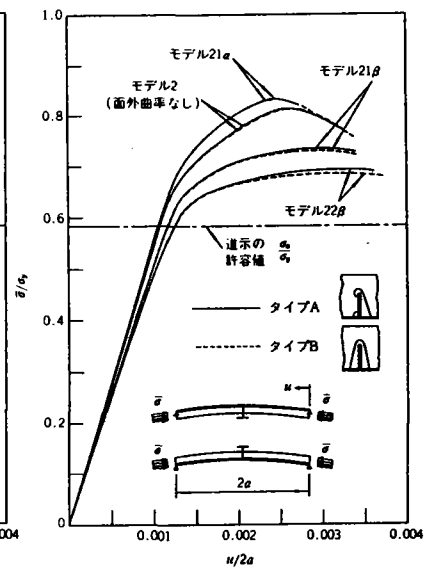


図-18 面外曲率の影響

表-2 解析モデル(面外曲率を持つ補剛板)

	曲率 $1/R$	無次元化幅厚比 R_h
モデル21a	0.0138	0.544
モデル21b		
モデル22b		

表-1 解析モデル(SM490Y級, $\sigma_y=3600\text{kgf/cm}^2$)

	無次元化幅厚比 R_h	フランジ板厚 t_f (mm)	縦リブ			横リブ			
			必要剛比 r_{req}	実剛比 r_t	使用断面 $h \times l_f$ (mm)	必要剛度 I_{req} (cm ⁴)	実剛度 I (cm ⁴)	使用断面 (mm)	
			フランジ	ウエブ					
モデル1	0.348	25	13.6	15.3	190×19	4900	38060	200×10	350×9
モデル2	0.544	16	27.2	29.3	160×16	2550	26710	#	300×9
モデル3	0.726	12	26.2	30.3	130×13	1040	#	#	#
モデル2b	0.544	16	27.2	53.4	215×12	2550	38060	#	350×9

題目：縦リブと横リブとを溶接しない補剛板の耐荷力特性

著者：勝野寿男、渡辺保之、熊谷洋司、依田照彦

出典名：鋼構造年次論文報告集，第1巻，pp555-562，1993.7及び三菱重工技報Vol.24No.4，1987.7

要旨

道路橋示方書・同解説の圧縮補剛板に関する条項は、等間隔に配置された縦リブと橋軸直画方向に配置される横リブで囲まれる個々のパネルについて、その幅厚比を制限したうえで、一本の縦リブのみを有するパネルの耐荷力実験の結果を基に定めているが、複数の縦・横リブを持つ全体パネル実験ではないため、その力学的挙動を性格にすることはできない。縦リブを横リブで溶接固定する力学根拠は、必ずしも明らかになっていない。溶接構造と非溶接構造とを比較すると、非溶接構造は、溶接残留応力と製作工数の面で有利となり、縦・横リブ格子効果が減少するため終局耐力の面で不利になると考えられる。本報告は、圧縮補剛板に限定し、実橋縮尺供試体による耐荷力実験と、有限要素法による数値解析により実橋の圧縮補剛板の耐荷力特性を明らかにし、併せて非溶接構造の安全性を考察している。

実験は、図に示すタイプ1の供試体1体（終局限界が弾性座屈状態のパネル構成）と、タイプ2の供試体2体（終局限界が塑性状態のパネル構成）を用いて圧縮補剛板の耐荷力特性と、溶接・非溶接構造の耐荷力機構の差異に着目した実験を行っている。タイプ1の供試体は、a部（非溶接構造）と、b部（溶接構造）の二つの試験パネルを持、タイプ2-A、2-Bは、同一の形状寸法で違いは、2-Aが非溶接構造、2-Bが溶接構造である。

実験と数値解析より、1）縦リブと横リブの溶接固定の有無による、圧縮補剛板の理想座屈応力度（最大差0.9%）と座屈モードの差異は無視できる。2）初期変形量が道示の規定を満足している限り、非溶接構造の耐荷力は減少しないという解析結果が得られた。3）圧縮補剛板の終局限界状態が弾性座屈で決まるパネル構成の場合には、初期変形形状によりその耐荷力が決定され、塑性状態で決まるパネル構成の場合には、その耐荷力は残留応力と初期変形に依存する。そのため結論として溶接・非溶接の構造の差異に直接起因する耐荷力機構の差異はないと考えられ残留応力の影響を考えない場合、縦・横リブ間を溶接しなくても、耐荷力は減少しない。

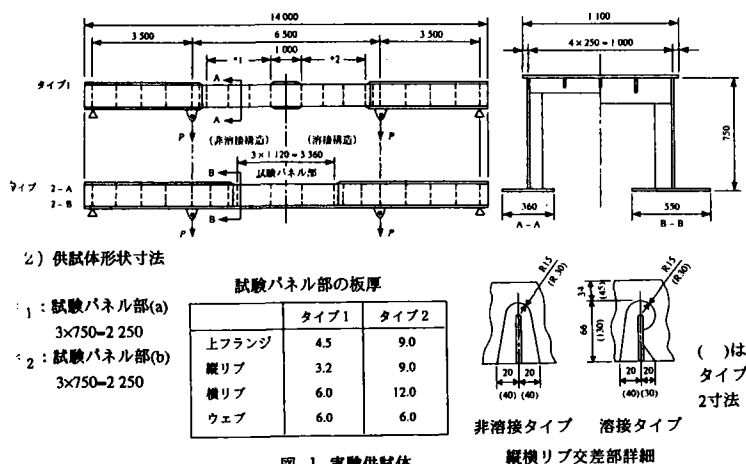


図.1 実験供試体

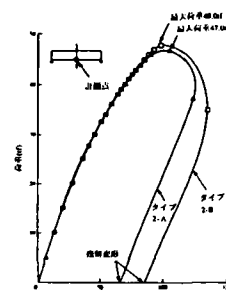


図.6 供試体の鉛直方向変位と荷重との関係 (タイプ2)

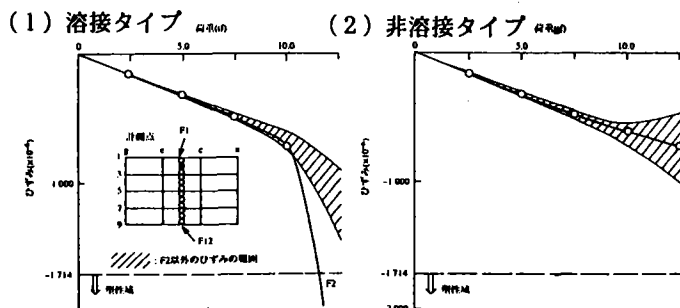


図.4 フランジの軸ひずみと荷重との関係 (タイプ1)

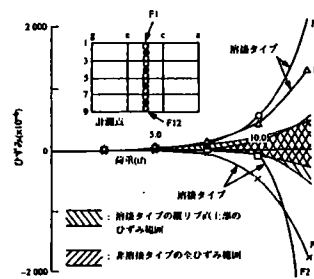


図.5 フランジの曲げひずみと荷重との関係 (タイプ1)

題目：鋼床版縦リブ・横リブ交差部の局部応力と疲労強度

著者：三木千寿、館石和雄、奥川淳志、藤井祐司

出典名：土木学会論文集、No. 519/I-32、pp. 127~138、1995.7

要旨

鋼床版横リブウェブに生じる面外変形挙動を実験的に再現するため、3本の载荷ジャッキを用いて橋上を通過する移動荷重をシミュレートする载荷システムを構築し、実寸大試験体を用いた静的载荷試験および疲労試験を実施し、縦リブ・横リブ交差部に関して、疲労に対して抵抗力のあるディテール形状を検討している。検討している縦リブ・横リブ交差部のディテールは上側スカラップを設けたモデルと省略したモデルである。

疲労試験の結果、疲労亀裂は図に示す位置で生じている。これらの疲労亀裂は横リブの面内変形あるいは荷重の直下载荷によって発生したものと考えられるものであり、従来よりその存在が指摘されていた横リブ面外変形による疲労亀裂は発生しなかった。すなわち、縦リブ・横リブ交差部においては、横リブウェブの面外変形よりも面内変形による影響が大きく、面内変形によって大きな応力が生じる上側スカラップ周辺が特に疲労強度上の弱点となるとしている。さらに、Uリブとデッキプレートとの縦方向溶接のとけ込み深さ、ルートギャップをパラメータとしたFEM解析より、スカラップを省略した場合、とけ込み深さが浅い場合にはルートギャップの有無によらず高い局部応力が発生するとしている。

以上より、上側のスカラップを省略することによりスカラップ始末端近傍での疲労亀裂の発生を防止できること、その際にはデッキプレートとUリブの縦方向溶接部のルート部付近の局部応力が高くなるが、この溶接を全面とけ込み溶接とすることによりスカラップを設けた場合の同位置での局部応力と同程度まで応力を減らすことができるとしている。すなわち、デッキプレートとUリブの溶接部を完全とけ込み溶接とし、上側のスカラップを省略するディテールが疲労に対して最も抵抗力のあるディテールであるといえると述べている。

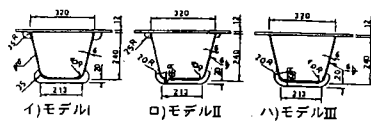


図-3 縦リブ・横リブ交差部ディテール

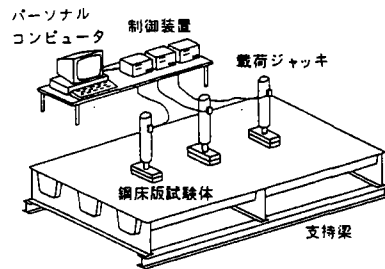


図-10 3連ジャッキ载荷システム

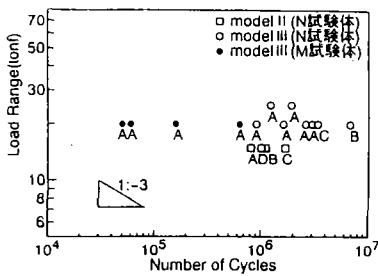


図-14 疲労試験結果

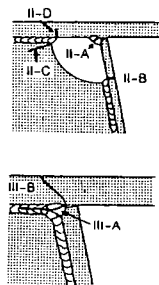


図-19 スカラップがない場合の主応力分布

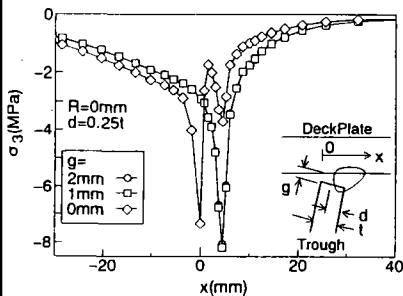


図-20 ルートギャップの大きさによる主応力の変化

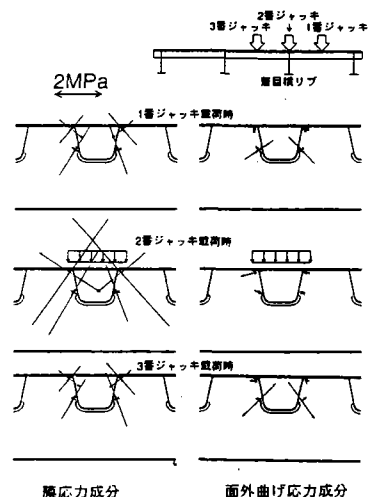
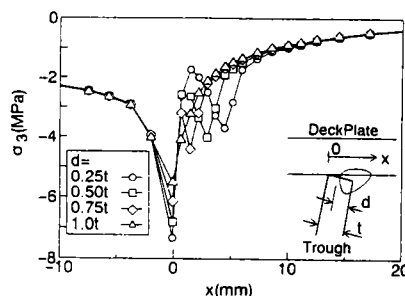


図-5 横リブウェブの主応力成分

題 目 : 箱断面桁のダイヤフラムと下フランジ縦リブの交差部の疲労強度

著 者 : 三木千壽、塩崎匡克、館石和雄、大橋治一

出典名 : 土木学会論文集, No.563/I-39, pp. 35~40, 1997. 4

要旨

吊橋の箱断面補剛材のハンガー定着ダイヤフラムと下フランジのUリブ交差部に着目し、疲労試験およびFEM解析を行ったものである。

この部分は、橋軸直角方向に卓越した曲げ応力が働いていること、交差部が引張側であること、輪荷重が直接載荷されないこと、など従来検討されてきた鋼床版と違う要素がある。

まず疲労試験では、図に示すようにダイヤフラムと下フランジUリブを橋軸直角方向で切り出したモデルとし、スカラップディテールを35R廻し溶接有り、35R廻し溶接なし、15R廻し溶接なし、およびスカラップ無しとして実験を行っている。その結果、疲労亀裂は15R以外のものについてすべて発生しており、廻し溶接の有無は疲労強度に影響を与えないことがわかった。

FEM解析は、対称性を考慮して1/4モデルでシェル要素を用い全体解析を行っている。その結果、せん断力を受けるスカラップでは等曲げを受ける部分とのピーク値は同程度であった。

このことから、スカラップNo. 1とNo. 4を対象にソリッド要素による詳細解析を行った。

全ての試験体での解析結果を図に示す。いずれもスカラップ端部で高い応力が発生しているが、応力集中程度を把握するためにホットスポット応力を用いて評価を行った。その結果を表に示すが次のことを結論として述べている。

- ・スカラップ径を小さくするほど局部応力小さく、疲労強度も高くなる。
- ・スカラップを無くすことでUリブとフランジの溶接部に高い局部応力が発生し、疲労強度は低くなる。
- ・スカラップ部の廻し溶接の有無による有意差はない。

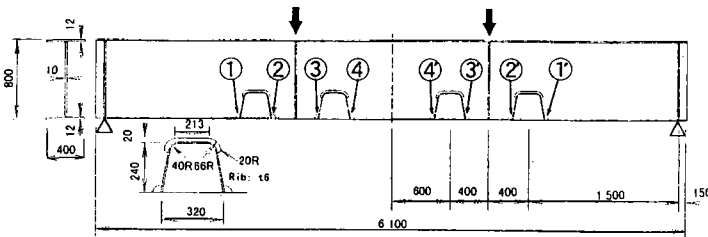


図-2 試験体形状・寸法

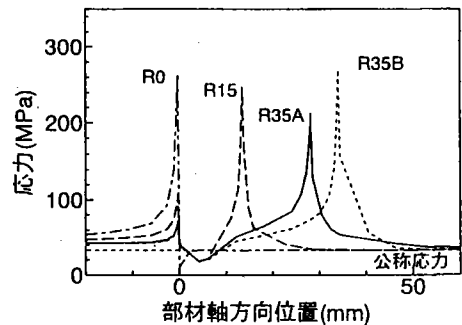


図-10-a 等曲げ区間

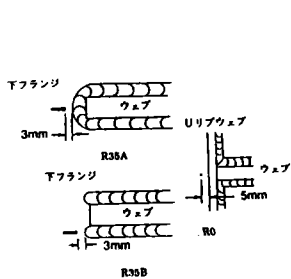


図-3 ひずみ測定位置

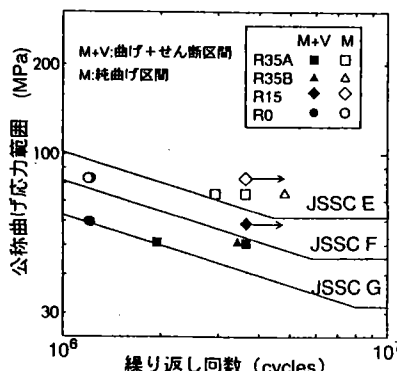


図-6 公称応力で整理した疲労試験結果

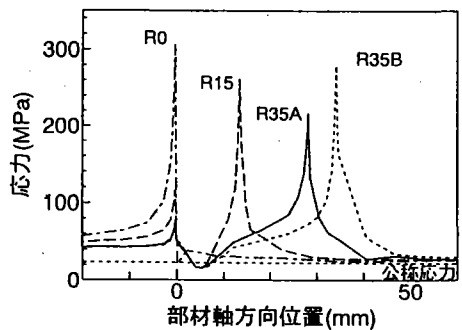


図-10-b 曲げ+せん断区間

表-1 試験体の諸元

試験体記号	スカラップ半径(mm)	廻し溶接
R35A	35	有
R35B	35	無
R15	15	無
R0	-	-

表-3 ホットスポット応力の解析結果

試験体記号	等曲げ区間		曲げ+せん断区間	
	HSS	SCF	HSS	SCF
R35A	106	3.18	106	4.51
R35B	104	3.12	103	4.38
R15	92	2.76	94	4.00
R0	94	2.82	104	4.43

HSS: ホットスポット応力, SCF: 応力集中係数

題目：鋼床版縦リブのスカラップの疲労強度について

著者：町田文孝、三木千寿、吉岡昭彦、越後滋、多田賢、吉家賢吾

出典名：土木学会第50回年次学術講演会概要集/I-390、pp.760~761、1995.9

要旨

鋼床版縦リブの現場継手を高力ボルト継手とする場合、鋼床版溶接のためのスカラップを有するディテールとなる。このスカラップ部の疲労強度について、スカラップの大きさを小さくすることにより、疲労強度の向上効果の確認を行っている。

試験体はTYPE-1~3まで行っており、それぞれのスカラップの大きさを120, 75, 55mmとし端部のまわし溶接を行ったものと溶接を止めたものについて実施している。

試験の結果、まわし溶接を行ったものではいずれもまわし溶接止端側とスカラップこぼ面に発生している。図はデッキプレート側の疲労亀裂の長さが20mmとなった時の繰り返し回数と応力範囲を整理したものである。縦方向溶接にスカラップがある場合の疲労強度は、JSSCの設計強度等級としてG等級を設定しているが、せん断力が作用する区間ではこれを下回っており、特にスカラップの大きいTYPE-1ではH等級を大きく下回る疲労強度になっていた。また、溶接を止めたものではTYPE-1について疲労亀裂の発生は見られたものの、TYPE-2、3では発生していない。

これらの結果より、せん断力が作用することにより疲労強度が非常に小さくなることが確認されスカラップを小さくすることによりその疲労強度が改善されることが認められており、スカラップは可能な限り小さくすることが望ましい。

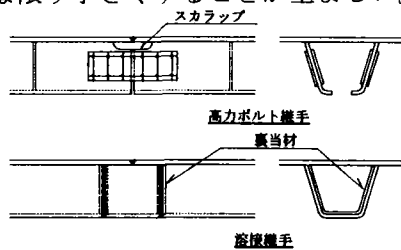


図-1. 鋼床版縦リブの現場継手

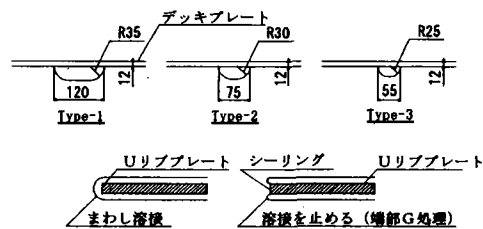


図-3. スカラップのディテール

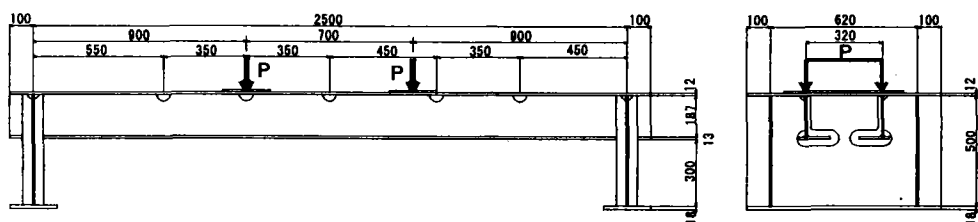


図-2. 試験体図

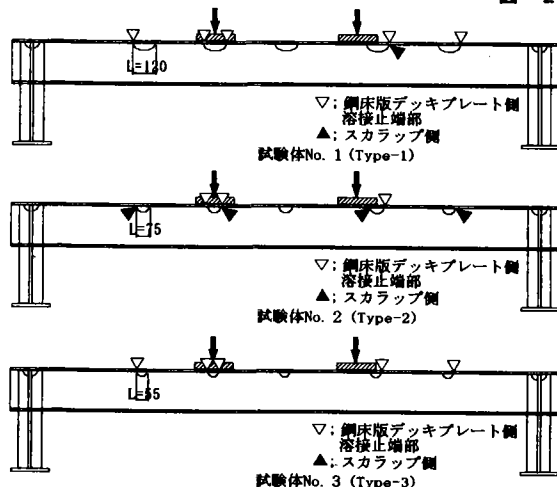


図-5. 亀裂発生位置

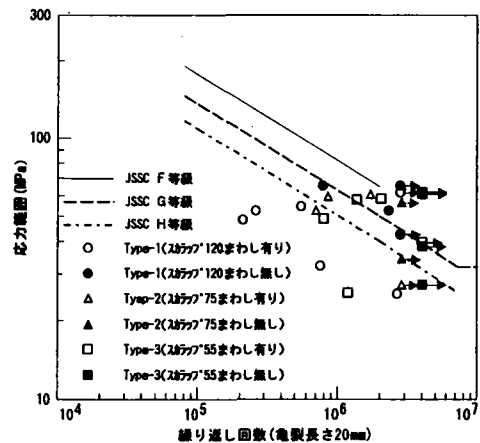


図-6. 疲労試験結果

題目：鋼床版横リブ構造の簡略化に伴う疲労挙動の検討

著者：坂井渉、岩崎雅紀、寺尾圭史、深沢誠

出典名：土木学会第48回年次学術講演会概要集/I-231、pp.610~611、1993、9

要旨

筆者らは橋梁の製作の自動化・省力化と疲労を考慮した鋼床版構造の改良に着目して、縦リブ・横リブ交差部の改良構造を提案した¹⁾。本報告では実大規模の鋼床版模型を用いて輪荷重相当の載荷による疲労検討を行った。

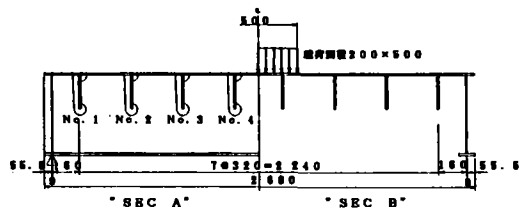
本実験に用いた試験体の概略図およびスリット構造を図-1に示す。試験方法は、①T-20後輪荷重相当の当分布荷重による橋軸方向の影響線静的載荷試験と②移動輪荷重を想定した2台のジャッキを用いた疲労試験の2種類である。スリット局部の応力は3軸ひずみゲージにより測定した。

静的載荷試験の結果、偏載荷による面外曲げの影響が見られた。主応力で評価した場合も、(SU)では面外曲げ応力が見られるが、(WU)における応力に比較して十分小さかった。改良前後におけるひずみおよび主応力の全振幅比を表-1に示す。

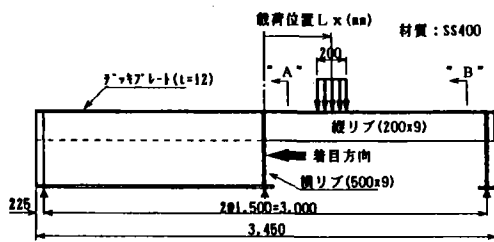
疲労試験の結果、従来形と改良1形に荷重振幅18tfで振幅繰返し数約350万回で亀裂が発生した。亀裂発生位置を図-2に示す。この結果は参考文献1)の試験結果と傾向が一致する。ただし荷重条件を考慮すると、実用上は改良1形を用いても疲労強度上は問題がないと考えられる。

結論として、今回提案したスリット形状は従来形状に比べて応力挙動・疲労強度的に実用上の差異はないと判断される。ただし改良2形が最も強度的に有利であるが、実構造では縦リブとしてバルブプレートが用いられることが多いので、改良1形の採用が望ましいと考えられる。

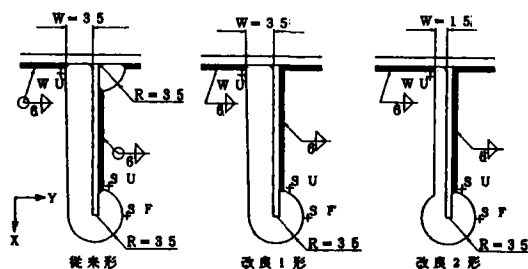
参考文献 1)岩崎、寺尾、深沢：開断面縦リブを使用した鋼床版横リブの疲労損傷防止検討、土木学会構造工学論文集Ⅲ Vol.38A、1992.3



横リブ断面図



鋼床版断面図



スリット構造(WU, SU, SF:ゲージ添付位置)

図-1 試験体概略図

表-1

(1) ひずみ全振幅比

	改良1/従来	改良2/従来
WU_X	0.89	1.02
SU_Y	0.81	0.36
SF_X	1.03	0.64

(2) 主応力全振幅比

	改良1/従来	改良2/従来
WU_σMIN	0.77	0.78
SU_σMIN	1.07	0.75
SF_σMIN	1.03	0.63

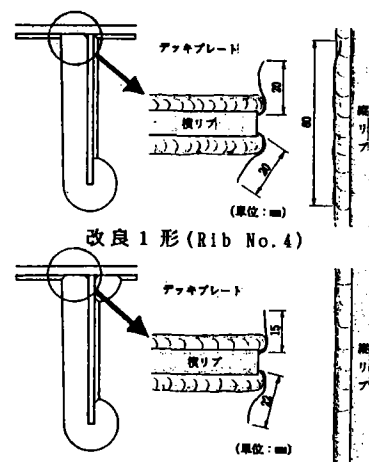


図-2 亀裂発生位置
(荷重振幅18tonf, 350万回載荷後)

題目：開断面縦リブを使用した鋼床版横リブの疲労損傷防止検討

著者：岩崎雅紀、寺尾圭史、深沢誠

出典名：構造工学論文集 Vol.38A pp.1021~1029, 1992.3

要旨

開断面縦リブ（平板形状の縦リブ）を用いた鋼床版横リブのスリットの内、箇所数が多い輪荷重直下に位置しないスリット部を対象にF.E.M.解析と疲労試験を実施し、疲労防止上の観点からウェブ高さおよびスリット形状について検討している。

F.E.M.解析結果より、スリット自由縁には、ウェブ高さの増加に伴って主応力は低下するものの、断面欠損を考慮したせん断応力の約3~5倍以上高い二次応力が、せん断変形に伴って発生する。また、スリット上縁のデッキプレートとの取合い部には、スリット自由縁よりも約20~25%程度高い応力集中が生じる。特にデッキプレートには、高い面外曲げ応力が発生し、スリット間において応力の交番が生じることがわかった。

F.E.M.解析モデルと同様の試験体を用いた疲労試験では、疲労亀裂は、スリット上縁では縦リブの位置およびスリットの向きによらず発生し、進展する。一方、スリット自由縁においては最大主応力が最大となる位置に発生し、スリット自由縁の法線方向に進展することがわかった。

スリット形状の検討については、5種類の改良構造案のうち、鉄道橋の鋼床版において用いられる非常に高い製作精度が要求される構造(a)と鋼床版の場合縦リブに作用するせん断力を横リブに伝達する必要があることから適用できない(b)を除いた(c)、(d)、(e)について同様のF.E.M.解析を実施している。その結果、(d)の構造が、標準構造に比べ、スリット自由縁では約50%に主応力が減少し、最も効果的であるとしている。これが難しい場合には、(e)のように上端部スカラップを無くし、スリット幅を狭くすること(Lw=15mm)が望ましいとしている。

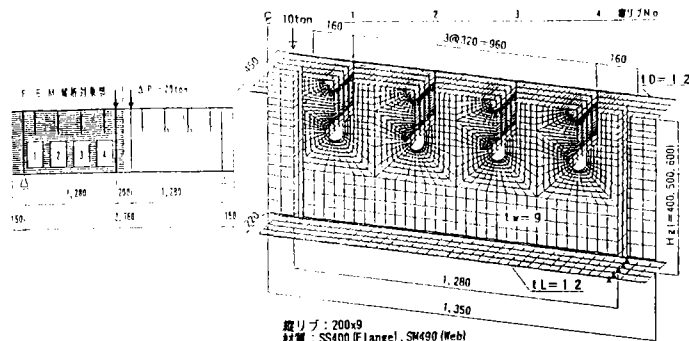


図-2 F.E.M.解析モデル(疲労試験モデルの片側半分に相当,単位:mm)

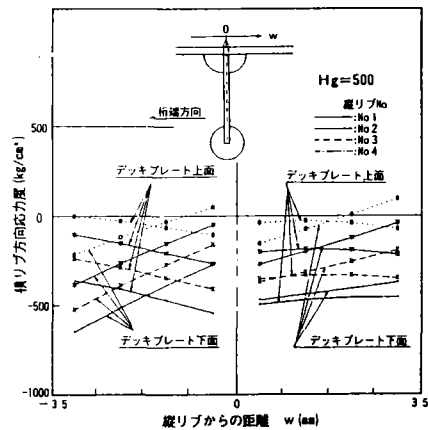


図-9 上端部スカラップ内におけるデッキプレートの応力分布

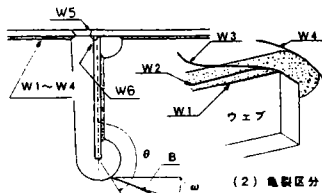


図-6 亀裂発生位置の区分

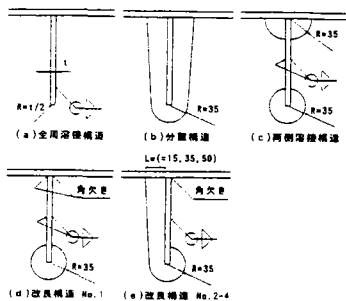


図-7 改良構造案

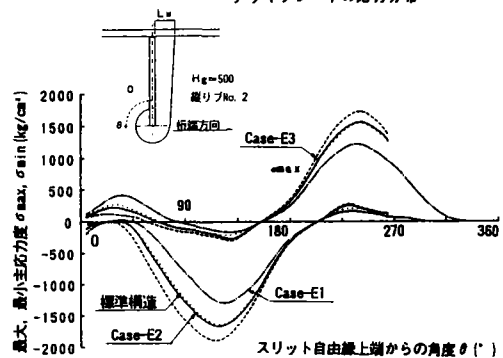


図-10 スリット自由縁の主応力度及ぼすスリット幅の影響

題目：鋼床版デッキプレートと主桁垂直補剛材の疲労に関する検討

著者：程小華、西川和廣、村越潤、福地友博、大橋治一

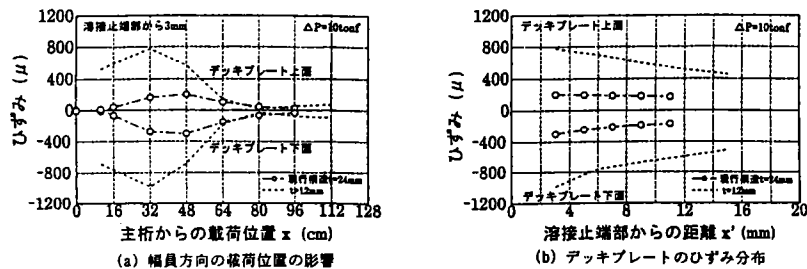
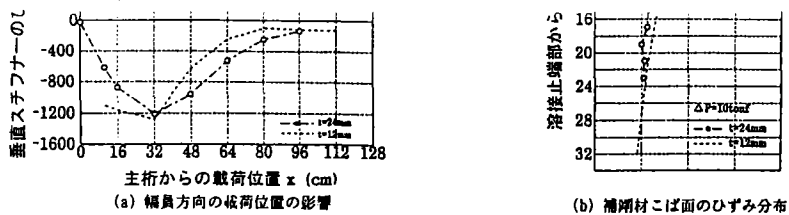
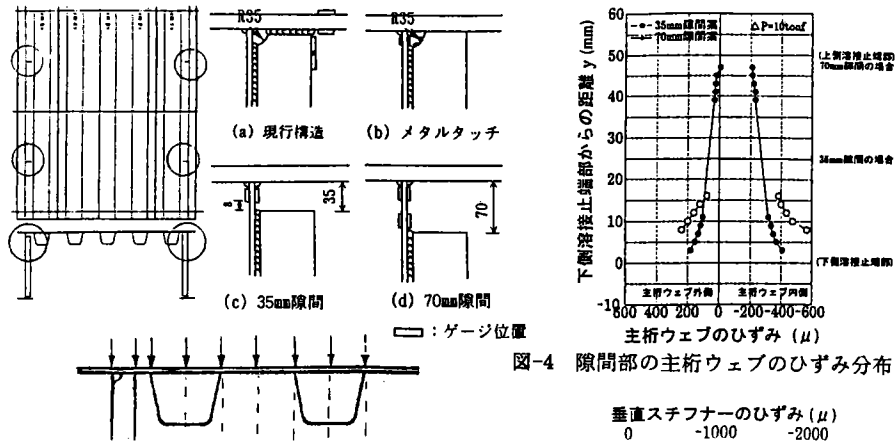
出典名：土木学会第52回年次学術講演会概要集/I-A252、pp.502~503、1997、9

要旨

鋼床版デッキプレートを24mmに増厚し、かつ各種細部構造を設けた大型供試体を用いて載荷試験を行い、デッキプレートの厚板化が細部構造の疲労耐久性に与える影響について検討した。本文では各種検討の中から、主桁垂直補剛材の上端部の疲労についての検討結果を報告している。

供試体はデッキプレート幅3500mm、長さ4300mm、厚さ24mm、主桁高1300mmである。横リブ間中央部にある主桁垂直補剛材上端部4カ所について、現行構造（すみ肉溶接）、35mm隙間あけ、70mm隙間あけならびにメタルタッチの4構造とている。

実験結果、デッキ厚の増厚（12mm→24mm）により、垂直補剛材上端部の溶接止端部補剛材側のひずみは77%となった。デッキ側のひずみは1/3程度に小さくなり、デッキ面外曲による疲労は解消されると考えられる。また、隙間あけ構造の場合には、垂直補剛材の拘束によるデッキプレートの局所的な面外曲げによるひずみを防ぐことができる。なお、上端部の隙間の処理に課題はあるものの疲労の観点からメタルタッチ構造も望ましいと考えられる。



題 目 : 鋼床版の疲労を考慮したディテールの改良

著 者 : 大橋治一、藤井祐司、村瀬佐太美

出典名 : 橋梁と基礎、1997.4

要旨

鋼床版の疲労について着目した種々の試験が行われてきたが、実設計にあたりどのようなディテールが耐疲労性を向上させるかについて、その根拠となる試験結果を示し、まとめたものである。疲労を考慮したディテールを以下に示す。

3-1 デッキプレート関係

- (1) 橋軸方向の現場継手位置は、大型車の車輪の常時通行位置を避けるものとする。
- (2) デッキプレートの現場継手は、裏当て材を用いた片面からの全断面溶込みグループ溶接を標準とする。
- (3) 現場溶接部の非破壊検査は、自動超音波検査あるいは放射線検査によるものとする。

3-2 縦リブ関係

① 縦リブとデッキプレートとの溶接

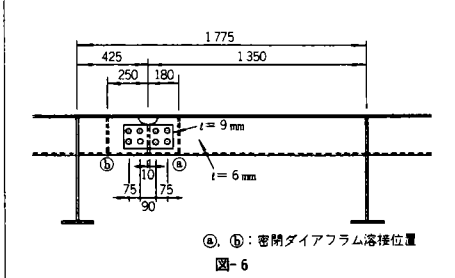
- (1) 板厚6mmの縦リブとデッキプレートの溶接は、すみ肉溶接によるものとする。
- (2) 板厚8mmを超える縦リブには原則として適当な大きさの部分開先をとるものとする。
- (3) 縦リブのすみ肉溶接のサイズは6mm以上とし、板厚の75%の溶込みを確保するものとする。

② 縦リブの現場継手

- (1) 縦リブの現場継手は、縦リブ支間中央より $L/4$ (L : 縦リブ支間長) 以上、支点寄りに位置させなければならない。
- (2) 縦リブの現場継手は、原則として高力ボルトによるものとする。
- (3) 現場継手の前後の縦リブ内には密閉ダイヤフラムを設けるものとする。

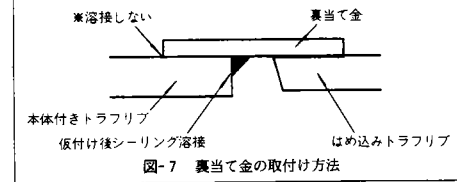
③ 縦リブの高力ボルト継手

- (1) 高力ボルト継手を用いる場合、継手部の縦リブを増厚してはならない。
- (2) 輪荷重載荷位置直下に位置する縦リブ継手部のスカラップは、長手方向の大きさを75mmより小さくすることとし、回し溶接部の止端仕上げを行うものとする。
- (3) 連結板の設計は、縦リブ母材の断面欠損の影響を考慮するものとする。
- (4) 継手部は密閉構造とならないので防錆に対して考慮するものとする。



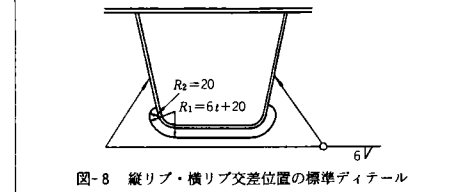
④ 縦リブの現場溶接継手

- (1) 縦リブの突合わせ溶接継手は、裏当て金を用いた全断面溶込みグループ溶接とする。
- (2) 裏当て金の材質はSS400とする。
- (3) 裏当て金はトラフリブに密着させるものとし、仮付け溶接は突合わせ溶接の開先部にのみ行い、その後、シーリング溶接を行うものとする。
- (4) 本溶接は、十分な溶込みが得られるような施工を行わなければならない。



3-3 縦リブ・横リブ交差部関係

- (1) 縦リブは横リブの腹板を貫通して連続されるものとし、下図のディテールを標準とする。
- (2) 縦リブ・横リブ交差部の縦ヒード貫通部にはスカラップを設けないものとする。



3-4 鉛直補剛材関係

- 横リブの鉛直補剛材は、デッキプレートに溶接しないものとし、下図のディテールを標準とする。

