

水平スチフナとはりフランジに 心ずれがあるH形鋼柱はり接合部に関する研究

(その1. 接合部はりフランジ面の応力伝達に及ぼす影響について)

H-type Steel Column-to Beam Connection with Misalignment at the Horizontal Stiffener and Beam Flange

原 昭 恵* 宮 坂 睦 夫**
Shohe HARA Mutsuo MIYASAKA

Summary

For beam-to-column connection of steel structures, the column side is reinforced with a stiffener at the beam flange. Normally, this stiffener is installed so that it does not cause any misalignment at the beam flange. However, if assembly accuracy is deficient, misalignment can occur.

The effects of misalignment on the strength of members, stress propagation, and deformation of the framework of members were studied by carrying out tension tests on model specimens.

As a result of these tests, it was proved that stress propagation occurred satisfactorily and the strength of the members did not decline when the quantity of misalignment was within the thickness of the beam flange.

1. まえがき

建築鉄骨の柱はり接合部（仕口部）について、今までに数多くの実験が行なわれ、そのディテールは、ほぼ標準化されてきている。しかし、製造過程での省力化が求められ、また組立、溶接の自動化が推進されている現在、構造ディテールの見直しを行ない、鉄骨の機能を損なわずに、経済的、合理的に製作ができないか、追求することも大切な試みである。

柱はり接合部では、通常はりフランジ位置に水平スチフナを心ずれのないように取り付けるのが原則であるが、現実にははりの組立精度やスチフナの取付精度に差が出たり、圧延H形鋼を使用したはりの場合は、はり成の許容差がやや大きいことで、心ずれが生ずることがある。また圧延H形鋼の各シリーズのサイズがフランジ内面寸法が一定として作られ、フランジ厚の変化によってはり成が変わるため、同一仕口部で使用する場合、スチフナを必要以上に厚くするなど設計上の制約もでてくる。

このように、はりフランジと水平スチフナが心ずれした場合の仕口耐力への影響を実験的に調査した例¹⁾²⁾等から、日本建築学会「鉄骨工事技術指針」³⁾では、スチフナ（ダイヤフラム）とはりフランジの心ずれの許容差を、柱はりそれぞれのフランジ厚の相互関係により定めている（図-1）。

一方、柱断面の直交する2軸に取付くはり成が異なる

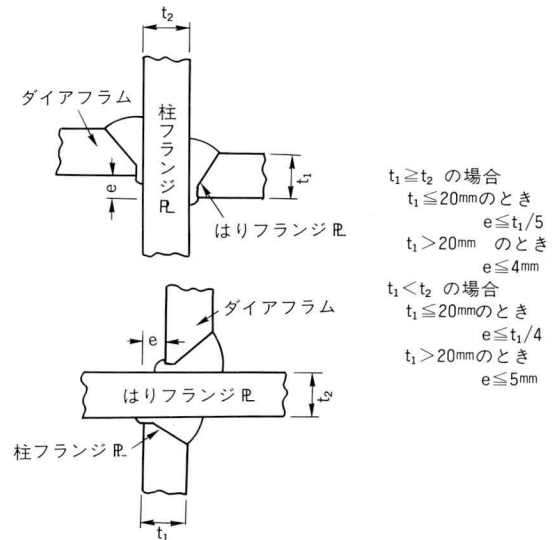


図-1 ダイヤフラムとフランジのずれ許容差³⁾

場合、2枚のスチフナの間隔がどの程度までは片側のスチフナを割愛することができるかを実験的に調査した研究⁴⁾⁵⁾⁶⁾では、100mm未満の差であれば1枚のスチフナではりの許容耐力を十分伝達することができるという報告もされている。

そこで、この水平スチフナとはりフランジとの心ずれ量に改めて着目し、許容差の見直しについての基礎資料を得るために、模型試験体により心ずれによる応力伝達、変形、耐力への影響調査実験を行なったので報告する。

* 松本工場製造部次長

** 技術本部技術開発部技術開発課課長代理

2. 試験体及び実験方法

試験体はH形断面の柱貫通型で、強軸方向にI形はりを持つ仕口部を想定した引張試験体とした。

試験体の形状寸法を図-2に、試験体一覧を表-1に示す。

本試験では中規模の建築物を想定し、又試験機の能力を考慮した上で諸寸法を決定した。試験体は材質40キロ鋼の鋼板を加工した溶接構造で、はりフランジを想定したつかみ板および水平スチフナと柱フランジのT継手は、裏当金付の完全溶込溶接、その他は隅肉溶接である。溶接法は炭酸ガス半自動溶接でワイヤ径は1.2φを使用した。

また突合せ溶接終始端は鋼製エンドタブを使用し、5mm残して切断をした。

試験体は、はりフランジ厚、水平スチフナ厚を同厚(16mm)とし、水平スチフナの無いAシリーズ試験体、水平スチフナがはりフランジ心より0mm、4mm、8mm、12mm、16mm、心ずれたB、C、D、E、Fシリーズ試験体について、それぞれ柱フランジ厚を12mm、16mm、19mmと変化させ、合計18体製作した。

表-1 試験体一覧

試験体名称	柱部材	柱フランジ厚 c_{fr}	スチフナ厚 t_D	心ずれ量
A-1	B・H-350×250×9×12	12	無	—
A-2	B・H-350×250×9×16	16	//	
A-3	B・H-350×250×9×19	19	//	
B-1	B・H-350×250×9×12	12	16	0
B-2	B・H-350×250×9×16	16	//	
B-3	B・H-350×250×9×19	19	//	
C-1	B・H-350×250×9×12	12	//	$1/4t_D$ (4mm)
C-2	B・H-350×250×9×16	16	//	
C-3	B・H-350×250×9×19	19	//	
D-1	B・H-350×250×9×12	12	//	$2/4t_D$ (8mm)
D-2	B・H-350×250×9×16	16	//	
D-3	B・H-350×250×9×19	19	//	
E-1	B・H-350×250×9×12	12	//	$3/4t_D$ (12mm)
E-2	B・H-350×250×9×16	16	//	
E-3	B・H-350×250×9×19	19	//	
F-1	B・H-350×250×9×12	12	//	$4/4t_D$ (16mm)
F-2	B・H-350×250×9×16	16	//	
F-3	B・H-350×250×9×19	19	//	

(単位：mm)

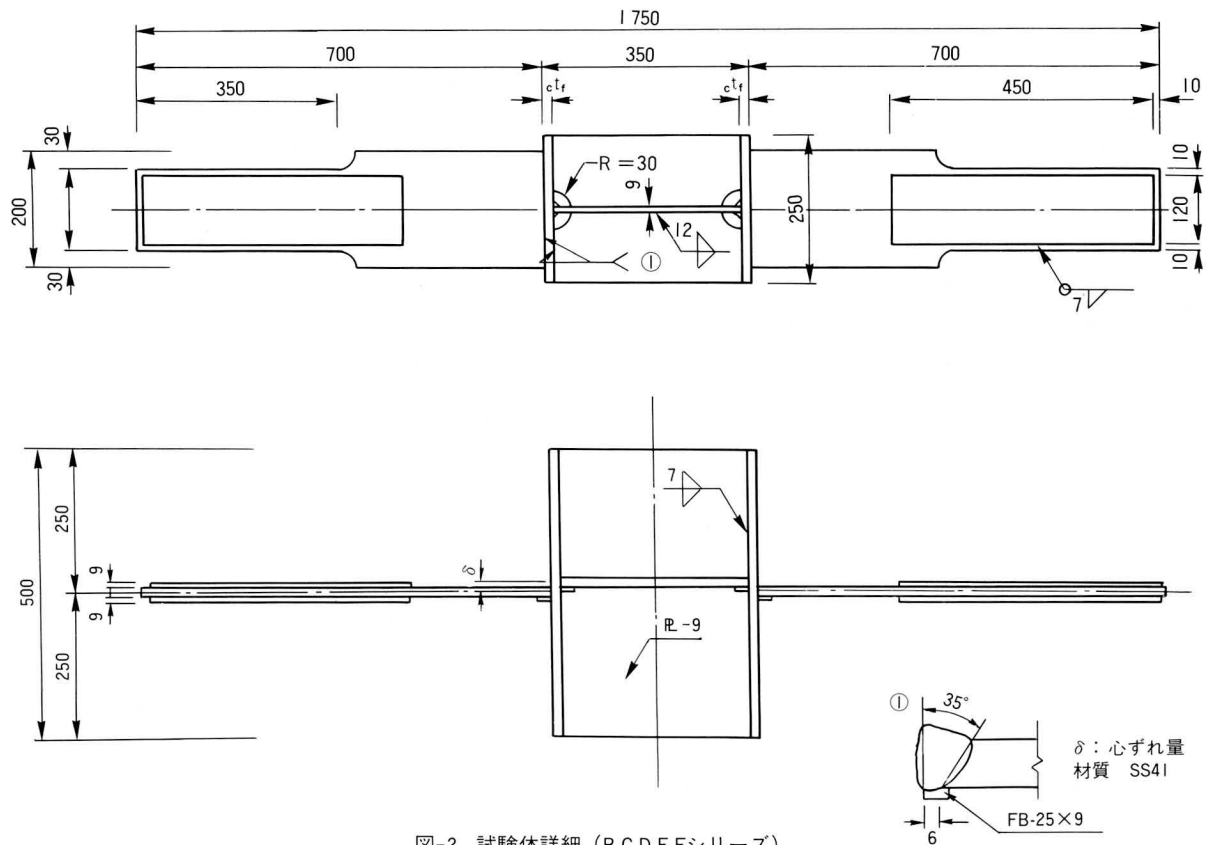


図-2 試験体詳細 (B.C.D.E.Fシリーズ)

表-2 に使用鋼材の機械的性質試験結果を示す。

試験体各部のひずみと変位は図-3 に示す箇所でワイヤストレインゲージおよび変位計を用いて計測を行った。水平スチフナの単軸ゲージと水平スチフナが心ずれた C~F シリーズ試験体のはりフランジの単軸ゲージは両面に貼付した。また柱ウェブの三軸ゲージは片面のみ貼付を行い、水平スチフナの無い A シリーズ試験体のはりフランジ中心にも貼付した。

加力は 200 t アムスラー型長柱試験機を使用して、単調引張載荷で破断するまで行なった。実験状況を写真-1 に示す。

表-2 使用鋼材の機械的性質試験結果

材名	材質	降伏点 (kgf/cm ²)	引張り強さ (kgf/cm ²)	伸び率 (%)	摘要
R-9	SS41	3 050	4 440	29.1	柱ウェブ
R-12	SS41	2 550	4 330	30.9	柱フランジ
R-16	SS41	2 640	4 230	33.5	柱・梁フランジ 水平スチフナ
R-19	SS41	2 530	4 170	34.3	柱フランジ

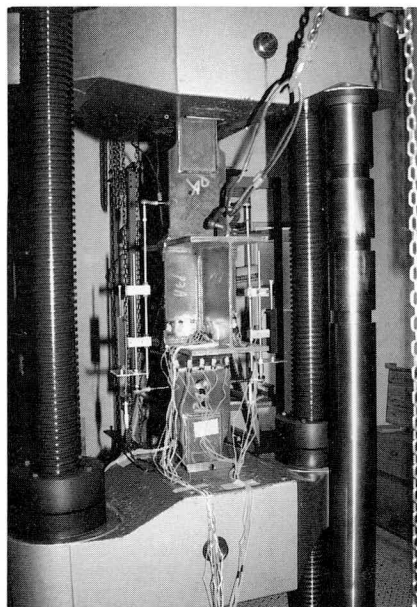


写真-1 実験状況

3. 実験結果

降伏耐力、最大耐力の計算値と実験値を破断状況を含めて表-3 に、荷重-変位曲線を図-4、5、6、7 に示す。

B~F シリーズ試験体の計算値は、心ずれにより柱フランジに生じる 2 次応力とはりフランジに生じる局部曲げの影響を考慮しないで、①はりフランジ母材部、②柱フランジ、はりフランジ溶接部、③柱フランジと水平スチフナ、ウェブ溶接部 ④水平スチフナ、ウェブ母材部の耐力を比較し、最小のものとした。

A シリーズの計算値は、柱ウェブの母材部の耐力で、降伏耐力ははりフランジの応力が柱フランジの面外曲げ抵抗を介して柱ウェブに伝達されると考えて提案された、Zoetemeijer P. の降伏耐力評価式(①式)を使用した。また最大耐力は、①式を拡張して最大耐力の評価もできるとした報告例⁷⁾により②式を使用した。

$$nPy = 2 ctf \sqrt{cb \cdot ctw \cdot f \delta_y \cdot w \sigma} + (btf + ctf) ctw \cdot w \sigma_y \dots \textcircled{1}$$

$$nPm = 2 ctf \sqrt{cb \cdot ctw \cdot f \delta_t \cdot w \sigma} + (btf + ctf) ctw \cdot w \sigma_t \dots \textcircled{2}$$

- | | |
|-----------------|--------------------------|
| nPy : 降伏耐力 | cb : はりフランジ巾 |
| nPm : 最大耐力 | $f \delta_y$: 柱フランジ降伏点 |
| ctf : 柱フランジ厚 | $w \sigma_y$: 柱ウェブ降伏点 |
| ctw : 柱ウェブ厚 | $f \delta_t$: 柱フランジ引張強度 |
| btf : はりフランジ厚 | $w \sigma_t$: 柱ウェブ引張強度 |

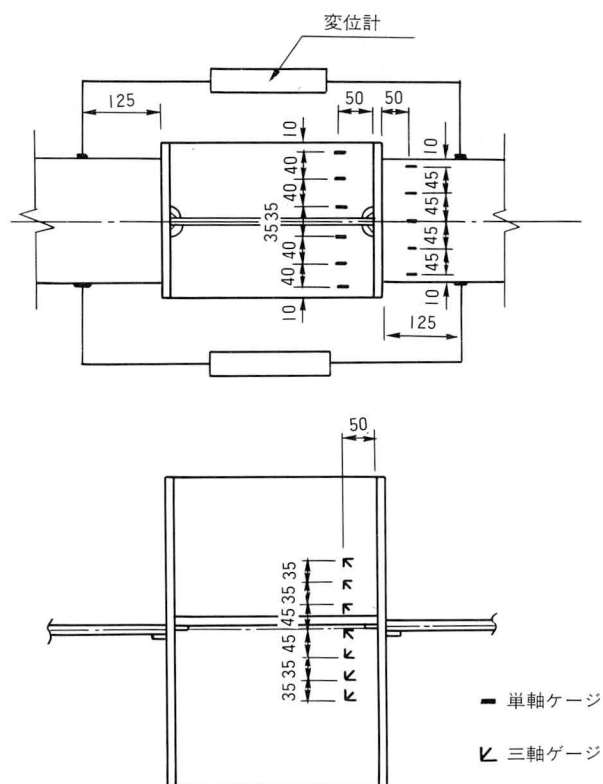


図-3 ゲージ貼付位置および変位計取付位置

又Aシリーズの実験値の降伏耐力は、General Yield Point法により求めた。

B、C、D、E、Fシリーズの計算値は、はりフランジ母材部の耐力で、断面積を実測寸法による有効断面積とし、素材引張試験結果（表-2）より降伏耐力、最大耐力を算出した。

表-3 実験結果一覧

試験体名称	計算値		実験値				破断箇所
	降伏耐力①	最大耐力②	降伏耐力③	③/①	最大耐力④	④/②	
A-1	38.14	57.09	35.0	0.92	64.0	1.12	柱ウェブ
A-2	50.16	72.15	43.0	0.86	85.0	1.18	//
A-3	57.46	88.15	50.0	0.87	97.0	1.10	//
B-1	81.02	129.82	75.6	0.93	132.92	1.02	梁フランジ
B-2	81.03	129.83	77.0	0.95	132.60	1.02	//
B-3	81.92	131.26	76.6	0.94	133.96	1.02	//
C-1	80.80	129.47	76.3	0.94	132.12	1.02	//
C-2	81.35	130.35	76.8	0.94	132.88	1.02	//
C-3	81.57	130.71	77.0	0.94	133.40	1.02	//
D-1	80.78	129.43	77.8	0.96	131.92	1.02	//
D-2	80.91	129.63	78.1	0.97	133.32	1.03	//
D-3	81.25	130.19	78.6	0.97	133.88	1.03	//
E-1	81.68	130.87	77.5	0.95	133.36	1.02	//
E-2	81.84	130.13	78.3	0.96	133.40	1.03	//
E-3	81.05	129.86	77.9	0.96	133.16	1.03	//
F-1	81.37	130.38	78.5	0.96	133.68	1.03	//
F-2	81.04	129.85	77.3	0.95	133.84	1.03	//
F-3	80.97	129.73	78.9	0.97	134.12	1.03	//

(単位: ton)

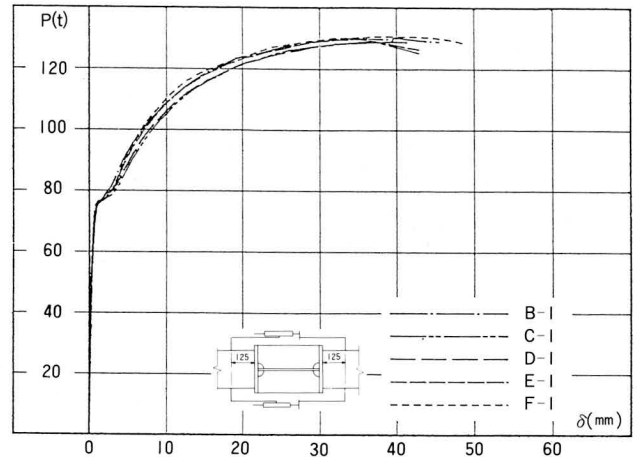


図-5 荷重—変位関係

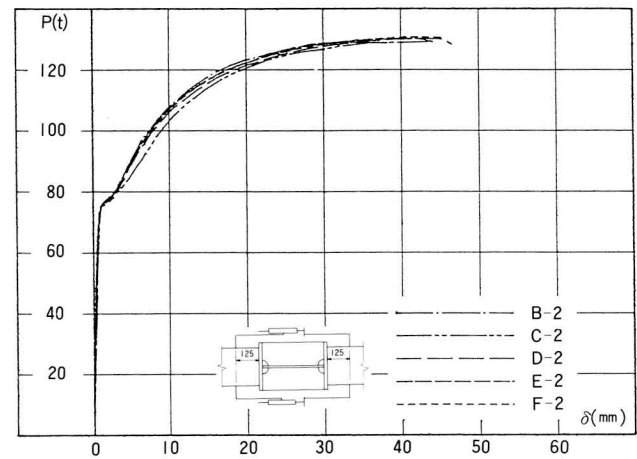


図-6 荷重—変位関係

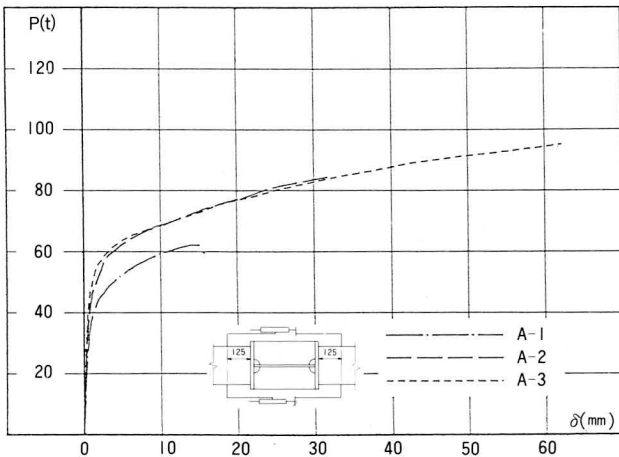


図-4 荷重—変位関係

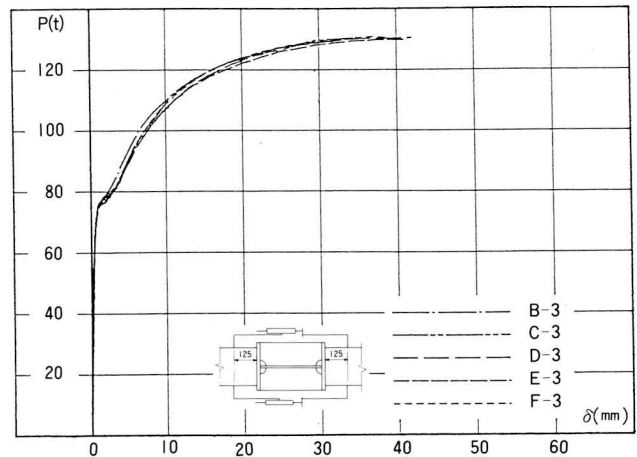


図-7 荷重—変位関係

破壊形式は、Aシリーズが柱ウェブのすみ肉溶接止端部付近での局部引張破壊、B～Fシリーズがはりフランジの引張破断であり、破断箇所は柱フランジとつかみ部分補強プレートの中央付近であった（写真-2、3）。なお試験後の観察において、すべての溶接部に割れ等の異常は認められなかった。

水平スチフナとはりフランジのひずみ分布を図-8に示す。各ひずみの値は表裏の測定値の平均で示した。

図-9に柱ウェブの主ひずみ分布を示す。また図-10に荷重-水平スチフナ応力負担率(α)の関係を示す。負担率は各荷重段階でのひずみ平均値より算出した。また図中の理論値は、スチフナと柱ウェブの有効断面積の比から求めた。

4. 考察

(1) 降伏耐力、最大耐力

水平スチフナのないAシリーズにおいて、計算による降伏耐力は実験値よりもやや高く、最大耐力は逆に実験値よりもやや低い結果となったが、比較的良好に対応しているといえる。

B～Fシリーズにおいて、各試験体の降伏耐力、最大耐力の実験値は、はりフランジの計算上の引張降伏耐力、

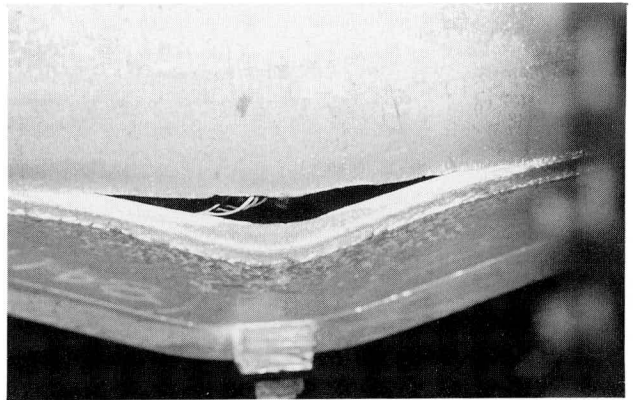


写真-2 破断状況(A-3)

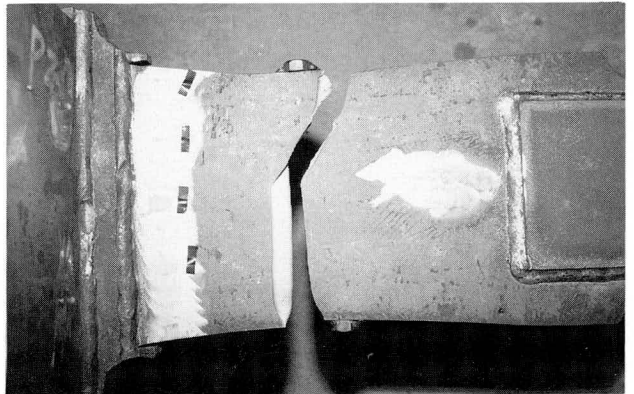


写真-3 破断状況(C-3)

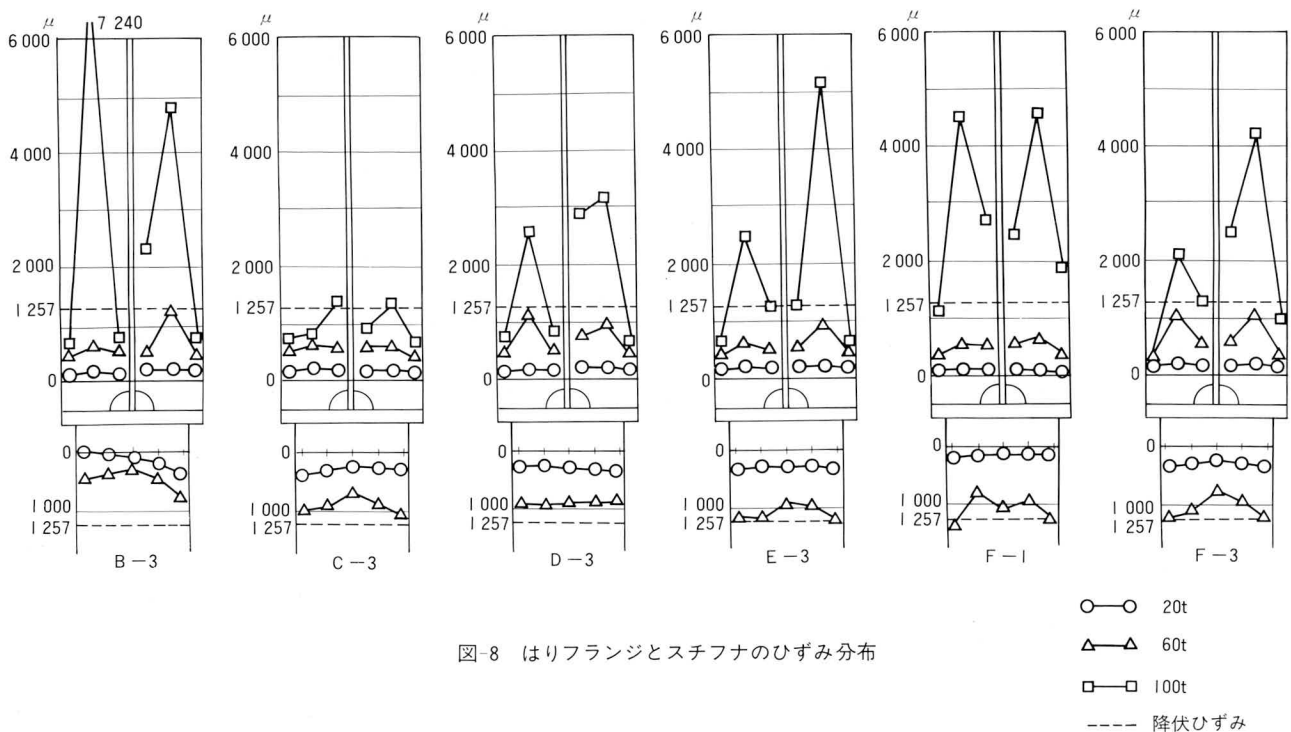


図-8 はりフランジとスチフナのひずみ分布

○—○ 20t
 ▲—▲ 60t
 □—□ 100t
 ---- 降伏ひずみ

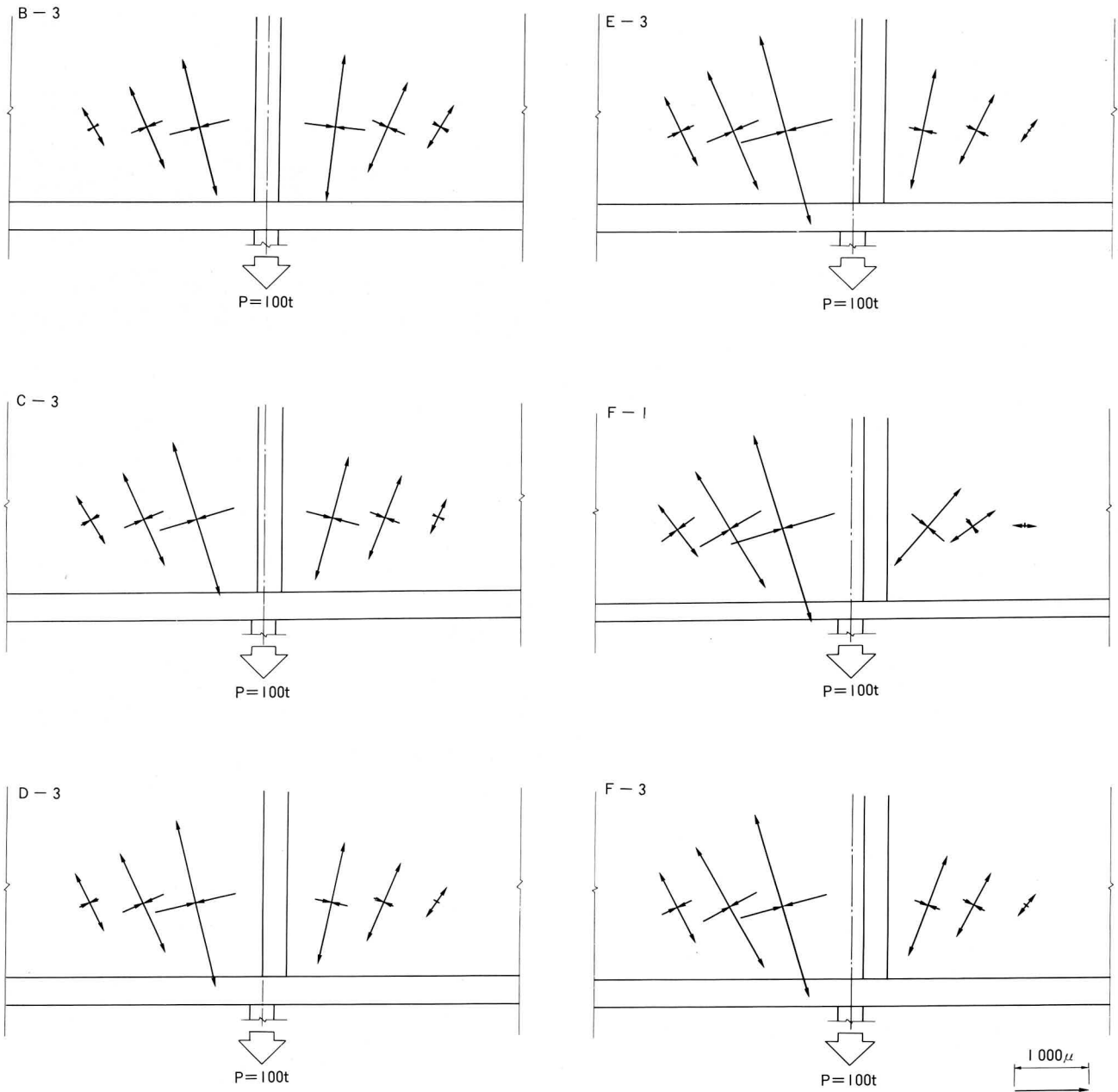


図-9 柱ウェブ主ひずみ分布

最大耐力にはほぼ一致している。最大耐力にくらべて、降伏耐力は若干の違いが見られるものの、心ずれ量の大きさには無関係であり、今回計画したはりフランジ厚程度までの心ずれ量では、はりフランジおよび水平スチフナに生じる2次曲げ応力の影響は無視することができる結果となった。

(2) 剛性

図-3～6に見られるように、B～Fシリーズでは、弾性域において、柱フランジ厚にかかわらず、心ずれ量

の変化による変位量の差は見られない。塑性域に入ってから若干の差が見られるが、心ずれ量と関係した特定の傾向はみられない。

(3) ひずみ分布および水平スチフナ応力負担率

弾性域におけるスチフナのひずみは中央部のやや高い凸形状を示し、荷重が上昇するに従って、中央部、ウェブ側の順序でひずみが増大して塑性域となってゆくが、降伏荷重を越えてもスチフナの木口側は塑性状態とならない試験体が多い。また心ずれ量の大きさによる著しい

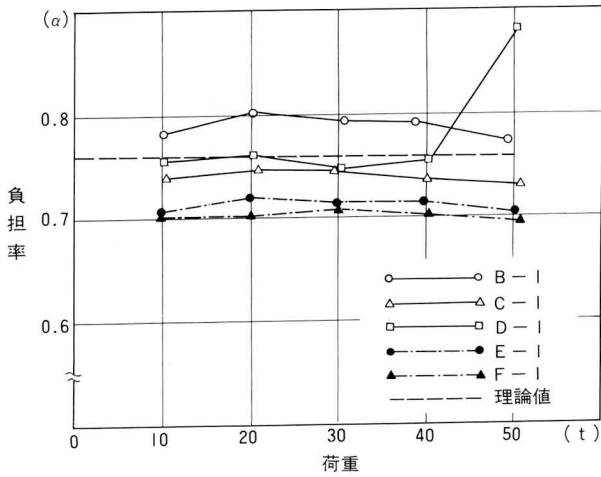


図-10 (a) スチフナ応力負担率 (柱フランジ厚12mm)

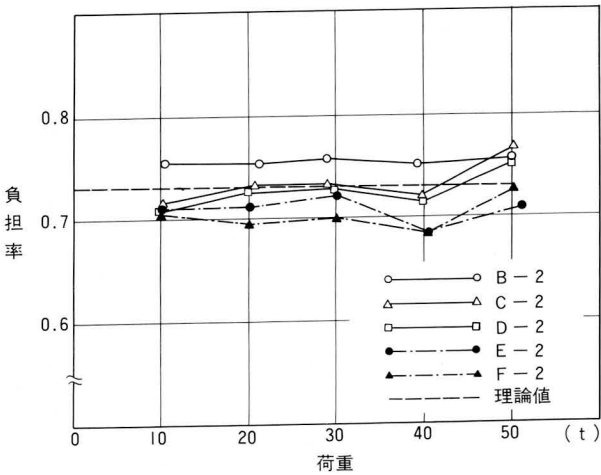


図-10 (b) スチフナ応力負担率 (柱フランジ厚16mm)

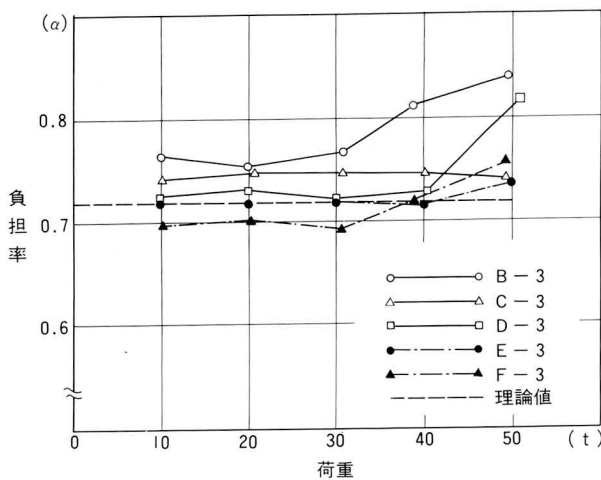


図-10 (c) スチフナ応力負担率 (柱フランジ厚19mm)

変化も見られない。

柱ウェブはスチフナの心ずれ量が大きくなるほど引張軸側のひずみが大きくなり、柱フランジが厚くなるほど主ひずみ方向が引張軸方向に近くなる傾向にある。

これはスチフナの心ずれ量が大きくなるほど引張軸側の応力負担が大きくなり、柱フランジが厚くなる程、面外曲げ抵抗が増し荷重の影響範囲が広がるためと考えられる。

スチフナの応力負担率は、弾性域の40 t 近くまではほぼ一定で、柱フランジ厚にかかわらず心ずれ量が多いほど低い傾向が見られる。40 t を過ぎると負担率が上昇する試験体が見られ、この傾向は柱フランジが厚くなるほど著しいが、スチフナのひずみ測定点が6点と少なく、木口側、柱ウェブ側の非測定部のひずみを過大評価したおそれもあるため、負担率の上昇傾向を断定することはできない。

5. まとめ

H形鋼を用いた柱はり接合部におけるはりフランジと水平スチフナの心ずれの許容差を見直すための実験を行い、次の結果を得た。

(1) はりフランジと水平スチフナの板厚を16mmとした場合、柱フランジ厚が12mm~19mmの範囲では、はりフランジ厚に等しいまでの心ずれがあってもはり曲げ応力伝達は十分可能であり、接合部の耐力低下は見られない。

(2) 日本建築学会の「鉄骨工事技術指針」で規定するスチフナとフランジの心ずれ許容差は、心ずれによって生じる2次曲げをはりフランジとスチフナにそのまま作用させたモデル実験の結果を参考に定められている。

柱はり交叉する実際の接合部では、心ずれによるはりフランジとスチフナの局部曲げ変形は柱フランジと柱ウェブの拘束を受けており、本実験結果から、現行の心ずれ許容差を拡大させる可能性を見出すことができた。

(3) 今回は柱フランジの軸方向力を考えない実験であるため、今後柱はりを交叉させた十字形試験体に逆対称荷重を作用させる実験を行い、接合部全体の弾塑性挙動に心ずれがどのような影響を及ぼすか、さらに検討する予定である。

〔謝辞〕

本研究は信州大学工学部建築工学科と当社との共同研究で行なわれた。計画段階から笹川 明教授に懇切な御指導を頂き、実験の実施および資料の整理では大学院生

の芦田知之、学部学生の中川靖久両氏の協力を得ました。
ここに深く謝意を表します。

〈参考文献〉

- 1) 武藤、遠山、氏家、宮下他；心ずれのある鉄骨十字形接合部の降伏性状（その1、2、3）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、昭和49年10月
- 2) 松本、荒家；鉄骨十字型溶接部の引張耐力に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、昭和52年10月
- 3) 日本建築学会；鉄骨工事技術指針 1987改訂
- 4) 日本鋼構造協会H形鋼構造接合部特別委員会・鋼材倶楽部；H形鋼構造標準接合部（I）
- 5) 藤本、松本、橋本、緑川；偏心水平スチフナをもつ

H型鋼柱梁接合部の力学的性状に関する実験的研究、
日本建築学会大会学術講演梗概集、1973.10

- 6) 藤本、羽倉、北後；H形鋼構造接合部の標準化に関する2、3の問題（その1標準化の意義とプラクティス）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1972.10
- 7) 森田、浦、植野；柱はり接合部のスチフナ補強に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集第376号、昭和62年6月
- 8) 日本鋼構造協会接合小委員会・鋼材倶楽部；鋼構造接合資料集成(2) 溶接接合（建築編）
- 9) 笹川、大江、荒井他；スプリットティーを用いた鋼構造柱はり接合部における水平ダイヤフラムの応力伝達機構について、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、昭和62年10月

グラビア写真説明

沢内橋

本橋は東北縦貫自動車道八戸線に架る橋梁である。八戸線は、弘前線と安代ジャンクションで分岐し、八戸市に至る延長約68kmの高速道路として東北北部の高速交通体制の一環をなし、岩手県北部の開発、八戸新産業都市及びむつ小川原開発計画等の促進へ重要な役割を果たすとともに、十和田、八幡平、陸中海岸国立公園等を短時間で結び広域観光を可能とするルートとして、また、八戸～苫小牧間のフェリー利用により北海道中央部への最短ルートとして、岩手県を始め関連地域から大きな期待をかけられている重要幹線道路である。

橋梁工事の特色は、集落地、耕地、神社及び環境緑地保全地区等を極力避けて丘陵や山岳地の急峻地形部に計画されているため、脚高40m以上のフレキシブル橋脚、高橋台上に架設する長大橋であった。このような地形的条件下、下部工と出合い施工であったため、特に資材搬入路や施工ヤードの確保が難しく、上部工架設、桁運搬、ベント位置等に制限を受ける厳しい施工条件となり、4径間架設に際しては地上の施工ヤードが確保できず、クローラークレーンによる張出し工法で架設した。3径間については桁運搬が工事用道路使用困難であったため、4径間架設桁上より台車運搬を行い搬入した。また積雪寒冷地のため、工程調整が難しく冬期間の施工を余儀なくされるなかで合理的、安全性、高品質な施工を要求されている。（柳川）

B101工区（その2）高架橋

本工事は、横浜港本牧埠頭のA突堤とB突堤間の水上部を渡る工区で、橋長は270mある。桁、脚合せて7500tにもなる大型工事である。本牧ランプ部と一体となり括巾されていて、ほそ長いバチ形となっている。標準部の湾岸線桁よりはるかに巾員が広いので、橋面に立つと野球が出来るかと思われるほどである。P5脚上に断面3.5m角の横梁があり、重量感のある構造物である。余談だが、昨年横須賀沖の潜水艦などおと釣船の衝突事故のおり、第一富士丸を海底から上げた事は記憶に新しいが、上げたFCは、本工区の水上架設に使用していたFCであり、架設が一段落して、B突堤で待機中の出来事であった。（若松）

緑橋

「川の街旭川」の中心部を流れる牛朱別川に鮮やかな緑色をして曲線を描く緑橋は、市役所をはじめ市立病院、総合公園など重要な公共施設を連絡する道路である。またこの一帯は平成2年9月で開基100年を迎える事業として、開基100年記念河川公園が広がる予定です。河川敷一体は夏祭り、冬祭り等、種々のイベントが行なわれ市民のマラソンコースにも指定されており、親しみのある空間とする為、橋上にバルコニー、彫刻とモニュメントを設置し、あわせて大雪山のパノラマ、冬のダイヤモンドグストを最も美しい角度で眺望する事が出来、市民を楽しませてくれる魅力ある橋ではないかと思っております。（川村）