

鋼橋技術研究会  
設計部会 W / G (Cグループ)

調査研究報告書  
溶接・添接に関する調査

平成15年3月

目 次

はじめに	-----	3
第1章 接合一般	-----	4
第2章 複合継手	-----	8
第3章 フィラープレートを用いた継手	-----	23
第4章 孔引き、長孔	-----	30
第5章 多列ボルト	-----	34
第6章 溶接接合	-----	50
第7章 その他	-----	73
文献リスト	-----	109

118/E

## はじめに

近年、建設コストの縮減を背景に鋼橋のコストダウンを目的とした合理化設計が主流となってきた。そのため、鋼橋の接合部には従来設計ではあまりみられなかった①フィラープレートを用いた板厚差のある接合が多用されるようになり、また一方で合理化設計により使用鋼板の厚板化が進み、②ボルトの多列化や③厚板の現場溶接といった新たな問題も顕在化するようになってきた。これに伴い、最近では上記の新しい問題に対して様々な実験的、解析的研究が広く行われており、同時に鋼橋の合理化の一環として④孔引きや⑤複合継手等の接合部の合理化に着目した文献や報告も多くみられる。

そこで、本ワーキンググループでは、日々進歩する接合技術に対し、設計実務者への情報伝達と活用を目的に広く文献収集を行った。さらに、それらを以下の7つのテーマに体系化して整理し、各々の文献の概要が簡単にわかるようなレジユメの作成を行うとともに、キーワードを付与し、取り纏めた。本報告が設計実務者の接合部設計時の一助になれば幸いである。

### テーマの分類項目

- 1) 接合一般
- 2) 複合継手
- 3) フィラープレートを用いた継手
- 4) 孔引き、長孔
- 5) 多列ボルト
- 6) 溶接接合
- 7) その他

## 第1章 接合一般

本章に紹介する文献は、添接技術に関する一般事項的な文献である。文献1-1は溶接技術の発展および溶接橋梁の現状について纏められたものであり、文献1-2は最新の高力ボルト 接合の研究成果について非常にわかりやすく纏められている。

なお、2章以降には、複合継手、フィラーを用いた継手等、各詳細項目毎の文献を紹介しているため、各章を参照願いたい。

文献 1-1	溶接橋梁-鋼材接合法の進歩と発展-
1997年	JSCE VOL82(成瀬)

キーワード 溶接、溶接橋梁

本文献では、国内外の溶接技術の変遷が纏められている。

#### 溶接接合の始まり

当初、アーク溶接とガス溶接の2種類で溶接がなされていたが、1907年にスウェーデンのシュルベリーが発明した被覆金属棒によるアーク溶接がアーク溶接の方向を決定付けた。

#### 溶接橋梁の揺籃時代

橋梁の溶接化で先行したのは、アメリカ、ドイツ、ベルギーなどである。しかしながら、溶接技術、検査法も未熟な時代であり、トラブルも多発した。

- (1) ミューレンフリース橋…支間61.2mの多径間連続桁。下フランジが完全に破断し、ウェブ上面まで破断。
  - (2) ハッセルト橋…支間74.52mのアーチ橋。きわめて僅かな活荷重により完全に破断、落橋。
- 1930年代からは鋼床版の普及により、溶接による鋼橋技術の発展に大きな役割を果たしている。

#### 日本の溶接橋梁の始まり

1930年頃、西鹿兒島駅構内の跨線橋に始まる。  
X線検査法が溶接橋梁に用いられてのは1920年頃から始まっていたようだが、なかなか鑑別が困難だったようである。溶接の示方書としては1931年に“電弧炉溶接鋼構造物設計及製作示方書”が最初である。

#### 戦後の日本の溶接橋梁

戦時中の溶接艦船建造で蓄積された技術を活かし、溶接橋梁も進歩を始める。しかし、1955年を過ぎる頃から減少し、しばらくして鋼床版などで部分的に復活するまではほとんど施工例が見られなくなった。反対に、西欧諸国では現場溶接が盛んに採用されるようになってきた。  
これは、西欧と日本の溶接技術や鋼材材質に格差があったわけではなく、品質管理の要求水準が日本に比べて低かったこと、当時の日本の橋梁メーカーの溶接技術格差に原因があると思われる。

#### 溶接橋梁の現状

##### (1) 工場溶接

現在は全姿勢の溶接が可能で、CO<sub>2</sub>系、MIG、MAG系のガスシールドアーク溶接が主流である。またサブマージアーク溶接は小回りを要求される時に使用されている。溶接部検査方法としては、超音波自動探傷が適用されてきている。

##### (2) 現場溶接

1965年前後から都市内高架橋の鋼管橋脚と鋼床版の現場溶接が復帰し始めた。最近の事例ではSCW570-CF、125mmの鋼管橋脚をグループ溶接した実績もある。  
最近、鋼橋の現場溶接はやむを得ない場合に限って行うのではなく、溶接技術の進歩に加え、維持管理面、景観面からの溶接化への期待が高まってきている。

#### 海外の現場溶接

アメリカは州毎に異なるが、I断面主桁の現場突き合わせ溶接は以前からかなり行われている。しかし、桁橋以外の溶接はあまり熱心ではない。  
西欧諸国では現場継手の溶接化は一般化している。新設橋梁でボルト添接を見つけることは困難である。

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手

### 1 まえがき

我が国において、鋼構造部材の接合材として高力ボルトが導入され約45年となる。その間、「高力ボルト摩擦接合概説(1966)」、「鋼構造接合資料集成(1977)」が纏められた。

以降、高力ボルト摩擦接合継手の使用法の多様化に対して、種々の検討が行われてきたが、いずれも基準の改定に反映されることがなかった。実験的研究が中心であった高力ボルト摩擦接合継手の研究に対して、計算機の大容量化と数値解析技法の発達により数値シミュレーションによる解析的検討が用いられるようになり、実験的に測定不可能であった継手の局部挙動の解明が進められた。

本文献では、近年の高力ボルト摩擦接合継手に関する研究の動向と合理的設計法の導入に向けての方向性を論じている。

(なお、内容が多岐に渡るため概要のみを述べる。詳細については本文献を参照のこと)

### 2 設計基準の国際比較と実験データ

#### (1) 接触面の処理状態とすべり係数

接触面のすべり係数については、諸外国の設計基準では接触面の状態により規定されるが、我が国の設計基準では接触面の処理状態に関わらず一律であり、その値は相対的に小さめである。

#### (2) 引張部材の断面設計法

引張部材の有効断面積の考え方については道路橋示方書等では純断面積を有効断面積としているが、AASHTO, DINではボルト孔による断面控除率を考慮しており、有効断面積は純断面積より大きくなっている。

許容応力度設計法と限界状態設計法の違いはあるが、我が国の設計基準は控えめに規定されている。

#### (3) 実験データの統計処理

摩擦接合面の表面処理の状態に関わらず、現状は $\mu=0.4$ で設計が行われている。ここでは、

①ブラスト後そのまま(無塗装)、②ブラスト+無機ジンクリッチペイント、③ブラスト+有機ジンクリッチペイントの3つのケースについて、継手のすべり強度/母材純断面積降伏強度= $\beta$ というパラメータにより摩擦係数 $\mu$ の値について提案を行っている。

### 3 高力ボルト摩擦接合継手の限界強度数値シミュレーション

近年、高力ボルト摩擦接合継手の数値解析検討が可能となってきた。

解析手法としては(1)長嶋らによる研究および(2)本論文著者らによる研究が有用であると思われる。

(1)については、モデル化が比較的簡素であり、局所的な再現力には多少の問題があるが、全体挙動を把握する上では有効である。(2)については、解析モデルが比較的複雑となるため、全体挙動の把握には不向きだが、実現象の再現性に優れる。

### 4 引張力を受ける摩擦接合継手の挙動

道路橋示方書では、継手強度の許容値をすべり限界、降伏限界を基準として規定している。

しかしながら、すべり先行型継手では、すべり強度に対して降伏強度に余裕がある場合、すべり発生以降も大きな余剰体力を確保できる。現状の許容応力度設計法に即した考えでは、主すべりや降伏以降に存在する母材の破断や押し抜きせん断破壊などの終局限界状態を念頭に置いておらず、限界状態設計法、性能照査型設計法の導入に向けた、また合理化設計を考えた場合、望ましいものとは言えない。

### 5 合理化桁の高力ボルト摩擦接合

ここではトピックスを述べるにとどめることとする。

- (1) すべり係数と引張材の有効断面の見直し
- (2) 多列ボルト継手におけるすべり係数の低減
- (3) フィラープレートを用いた継手のすべり係数
- (4) LP鋼板の高力ボルト継手の限界強度
- (5) 長尺ボルト継手のすべり係数
- (6) 曲げ継手のすべり機構と限界強度
- (7) 溶接・高力ボルト併用継手の施工要領と限界強度

### 6 施工および維持管理

おなじトピックスを述べるにとどめる。

- (1) 肌すき
- (2) 軸力抜け
- (3) 腐食

文献 1-3	鋼橋の接合に関する調査研究
1989年	鋼橋技術研究会 設計部会(1989年3月) (関西道路研究会 道路橋調査研究委員会)

キーワード

文献リスト、BS5400、AASHTO、ECCS、DIN、道示

1 はじめに

鋼橋の接合に関する調査研究として、関西道路研究会で文献リストを作成している。  
また、BS5400、AASHTO、ECCS、DIN、道路橋示方書のボルトに関する規定の比較表も合わせて作成している。

2 比較内容

比較内容を以下に示す。

- a)ボルトの品質
- b)初張力
- c)許容体力
- d)すべり係数
- e)荷重係数
- f)他の接合法との併用
- g)ボルト孔
- h)ボルト配置

## 第2章 複合継手

鋼橋の現場接合には、高力ボルト摩擦接合と現場溶接接合の2種類がある。

前者は、施工性が良く、施工品質が安定しているといったメリットがあるが、孔引きに伴うフランジ断面の増大やスプライスプレートの大型化といったデメリットもある。

さらに、厚板（板厚50mm以上100mm以下）の使用範囲が広がったことで、長尺ボルトの使用頻度も増えており、以下の点も問題視する必要がある。

①所定の摩擦力が得られるか。

②肌隙などによるボルト軸力の抜けを適切に制御できるか。

一方、後者は、添接板の重量が低減でき、景観的配慮ができるといったメリットもあるが、施工工期の長期化や作業設備の増大といったデメリットも抱えている。

これらのデメリットを補う方法としては、両者を併用した接合方法が有望であると考えられる。

上記の接合方法は、建築鉄骨分野では一般的に用いられているが、鋼橋においては鋼床版桁（デッキプレートが溶接接合でウェブと下フランジが高力ボルト摩擦接合）で例がある程度であり本格的に用いられてこなかった。

その理由としては、従来の薄肉構造ではボルト継手に比べて現場溶接に経済性を見いだせないことに加え、施工要領や最大耐荷力に至るまでの挙動が明らかでないといった課題もあったためであると考えられる。

しかし、高力ボルト摩擦接合と溶接接合を併用することにより、多列ボルト接合が解消でき、エレクションピースを省略する事もできるため、様々なメリットを見込むことができる。

本章では、主に、併用継手（1つの継手において1種類の力に対し複数の接合方法で抵抗する）と混在（混合）継手（1つの継手において複数の力に対してそれぞれ別の接合方法で抵抗する）について着目し、文献収集を行った。

## 1. 宿茂高架橋の継手

本工事は「ジャッキアップ回転架設工法」の採用により、主桁の継手を鉛直時に接合する工法であるため、基本的に高力ボルト接合で行う予定であるが、板厚が50mm以上の箇所についてはボルト列数が多くなることにより、フランジを現場溶接、ウェブを高力ボルトで接合する混合継手にて検討を行う。

## 2. 混合継手の選定理由

全断面現場溶接と比較した場合を下記に示す。

- 1) 溶接部の施工時間および検査時間を短縮できる。
- 2) ウェブの添接によって継手部の形状を早期に保持できる。
- 3) ウェブのストロングバックが不要であるとともに、ウェブの開先加工、目違い矯正が無くなる。
- 4) 本工事で採用された架設工法では、施工性の面で有利である。

## 3. 混合継手の長所、短所

### 長所

- ①高力ボルト継手と比較して
  - ・フランジ部の添接板や孔引きによる鋼重増加がない。
  - ・プレキャスト床版の調整モルタル高さが小さく済む。
- ②全断面現場溶接と比較して
  - ・溶接部の施工時間及び検査時間を短縮できる。
  - ・ウェブの添接によって継手部の形状を早期に保持できる。
  - ・ウェブのストロングバックが不要であるとともに、ウェブの開先加工、目違い矯正及び立向溶接作業がなくなることで製作や現場施工の省力化が図れる。

### 短所

- ①溶収縮によって高力ボルトにすべりが発生する影響を考慮したウェブボルトの連結手順の検討が必要。
- ②終局限界状態の挙動に不明な点が多い為、設計法が確率されていない。
  - ・混合継手の場合の挙動はそれぞれが荷重を分担し、耐荷重はその重ね合わせになると予想できるものの、その分担関係や高力ボルト継手部のすべり荷重、溶接継手の降伏応力の設計法に関しては不明である。

## 4. 混合継手の問題点对策

- 1) フランジ部の溶収縮による高力ボルトのすべりを考慮した施工方法を確立する。
- 2) 終局限界状態における挙動については、溶接実験での収縮量のデータに基づき有限要素解析による数値シミュレーションを行う。

## 5. 宿茂高架橋混合継手採用によるメリット

- 1) ジャッキアップ回転架設工法では、垂直時に主桁継手を行う為、施工時間および検査時間を短縮できる事はジャッキアップのサイクル工程のばらつきが少なくなる。
- 2) 腹板のHTB接合により桁の継手形状を早期に保持出来る事から施工速度が速くなる。
- 3) 混合継手の場合、フランジ溶接にはロボット溶接で行う事により安定した溶接ができました、腹板の溶接による水平曲がり変形は少なくなる。

## 6. 混合継手の現場溶接試験

供試体の形状は、弛緩80～100m、幅員10m程度の1桁2主桁橋の試設計から得られた実物大の1桁(ウェブ高のみ約)1/2に縮小)とした。

ジャッキアップ時の作業性を考慮し、ウェブは高力ボルト接合、フランジは溶接接合の試験体とした。また、材質は耐候性鋼材SMA570Wとした。

## 7. 混合継手の有限要素解析

腹板の高力ボルトの必要仮締め本数や終局限界状態における挙動を有限要素解析による数値シミュレーションで検討を行った。

併用継手の腹板は、片側29行×6列の摩擦接合ボルト継手が用いられているが、解析容量を考慮して解析モデルは片側29行×3列とし、フランジ溶接による収縮量は片側1.0mmと固定する。(強制変位)

解析対象領域は施工実験との比較と同様に対称性を考慮して1/8モデルとする。

各ボルトに初期ボルト軸力を導入し収束計算を行った後、溶接による収縮を強制変位で与えていく。

規定の大きさの変位を与え、仮締めボルトに残りの軸力を与えて解析終了。

## 8. 結論

本解説では腹板ボルト配置は29行×3列であるが、宿茂高架橋併用継手では腹板のボルト配置は29行×6列である。

列数が3列から6列になるとすべり強度も2倍となり部分すべりが発生しにくくなる。

そのことにより若干の応力の上昇が考えられるが、フランジの引張応力は小さく問題にならない。

以上のことより、宿茂高架橋併用継手の施工においては、上下フランジ近傍の5行程度を手締めとすることが妥当であると言える。

### 1. 概要

本稿では宿茂高架橋の腹板連結構造を対象として、高力ボルト摩擦接合継手の有限要素解析プログラムSABOL(Slip Analysis of BOLted joint)による弾塑性解析により、フランジ溶接時の継手挙動を明らかにするとともに、併用継手の施工要領を取りまとめた。

### 2. 併用継手における腹板ボルトの施工

宿茂高架橋の併用継手における腹板の高力ボルトは、主桁の計画キャンバーを保持することが主たる役割である。

従って、フランジ溶接時に腹板の高力ボルトに課される条件は以下の通りである。

- (1) フランジ溶接による収縮に対してフランジの溶接部に過大な引張残留応力が生じないように溶接時にフランジ近傍の高力ボルトを弛緩しておき、溶接終了後に初期ボルト軸力を導入する。
- (2) 溶接前に所定の初期ボルト軸力を導入しておく高力ボルト群の最外列で、溶接による収縮によって生ずる内力によるすべりが発生して主桁のキャンバー管理を乱すことのないようにする。

### 3. 解析プログラムの妥当性の照査

高力ボルト摩擦接合継手の有限要素プログラムSABOLを適用するに際し、道路公団で行われた併用継手の施工実験を数値シミュレーションによって再現しプログラムの妥当性を確認する。

### 4. 宿茂高架橋併用継手のフランジ溶接時の挙動

#### 4.1 解析モデル

併用継手の腹板は片側29行×6列の摩擦接合ボルト継手が用いられているが、解析容量を考慮して解析モデルは片側29行×3列とし、フランジ溶接による収縮量は片側1.0mmと固定する。

解析対象領域は施工実験との比較と同様に対称性を考慮して1/8モデルとする。

要素分割および拘束条件も施工実験との比較と同様とする。

フランジ近傍の2行、4行、5行および6行に初期ボルト軸力を導入せずに手締めとした合計4ケースの解析を行った。

#### 4.2 フランジ溶接による応力の分布

フランジ溶接終了時における各ケースごとの腹板直上のフランジ、腹板中央面および添接板中央面における相当応力分布図より、手締めのボルトが増えるに従ってフランジおよび腹板の相当応力が徐々に減少しているのがわかる。

一方、添接板では初期導入ボルト軸力による板厚方向圧縮応力に加えて、ボルト軸力を導入している最外行ではフランジの溶収縮に伴う引張力の反力による部材軸方向圧縮応力が作用して相当応力は降伏応力の90%程度に達している。

各ケースごとのフランジの板厚中央面における部材軸方向直応力分布図では、各タイプともフランジ応力は継手中央から100cm程度でほぼ消滅している。

また、フランジ板厚方向断面中央において応力が最大となるのは溶接線のフランジ幅方向の中央で、その最大値は手締めのボルト行数を増加させるとほぼ線形的に減少している。

フランジの最大引張応力と手締めボルト行数の関係においては、各タイプとも継手中央のフランジ下端と腹板が接している箇所引張応力が最大となっている。

その最大値は、断面中央の最大値と同様に手締め行数が増加するとほぼ線形的に減少していく傾向が見られる。

#### 4.3 腹板—添接板間の接触状況および相対変位

各ケースの初期ボルト軸力導入時およびフランジ溶接終了時における接触面の状況において、2行手締めタイプでは溶接收縮終了後に初期ボルト軸力を導入している3行目および4行目に固着域が存在しなくなり部分すべりの状態となっている。

4行、5行手締めタイプでは、それぞれ初期軸力を導入している5行目、6行目に固着域がなくなり部分すべりの状態となっている。

6行手締めタイプでは、溶接收縮終了時には7行目において固着域が存在しており部分すべりは発生していない。

溶接收縮終了時の腹板と添接板間の相対変位図において初期軸力を導入していないボルト周辺では溶接收縮に伴う腹板と添接板の相対変位が大きくなっている。

また、部分すべりが発生したボルト行でも相対変位が若干生じていることが確認できる。

溶接收縮終了時における各ボルト行の平均相対変位と手締め行数の関係では、各タイプとも腹板と添接板の相対変位が最大となる1行目においても0.9mm以内に収まっており、ボルト孔とボルト径の差(2.5mm)に達していないためボルトが支圧状態になることはない。

また、6行手締めタイプの7行目ボルトの平均相対変位は0.04mmであり部分すべりが発生していない。

それより平均相対変位が大きい場合は、そのボルト行において部分すべりが発生していることが確認できる。

#### 4.4 結論

施工実験との比較解析を行うとともに宿茂高架橋の併用継手部を対象に最適な手締め行数を解析的に検討した。

本報告で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 実験と比較を行うことにより併用継手の挙動を確認するとともに解析の妥当性を検証した。
- (2) 手締めのボルト行数を増加させるとフランジおよび腹板の相対応力が徐々に減少する。
- (3) フランジの部材軸方向の直応力についても、相当応力と同様に手締めのボルト行数が増加すると線形的に減少している。
- (4) 手締め行数が2行、4行および5行では、手締めボルト行に隣接する初期軸力導入行でいずれも部分すべりが発生し、6行手締めタイプでは部分すべりは発生しなかった。
- (5) すべてのタイプにおいて腹板と添接板の相対変位は最大で0.9mm程度であり、ボルト孔とボルト径の差(2.5mm)に達していないためボルトが支圧状態になることはない。

本解説では腹板ボルト配置は29行×3列であるが、宿茂高架橋併用継手では腹板のボルト配置は29行×6列である。

列数が3列から6列になるとすべり強度も2倍となり部分すべりが発生しにくくなる。

そのことにより若干の応力の上昇が考えられるが、フランジの引張応力は小さく問題にならない。

以上のことより、宿茂高架橋併用継手の施工においては上下フランジ近傍の5行程度を手締めとすることが妥当であると言える。

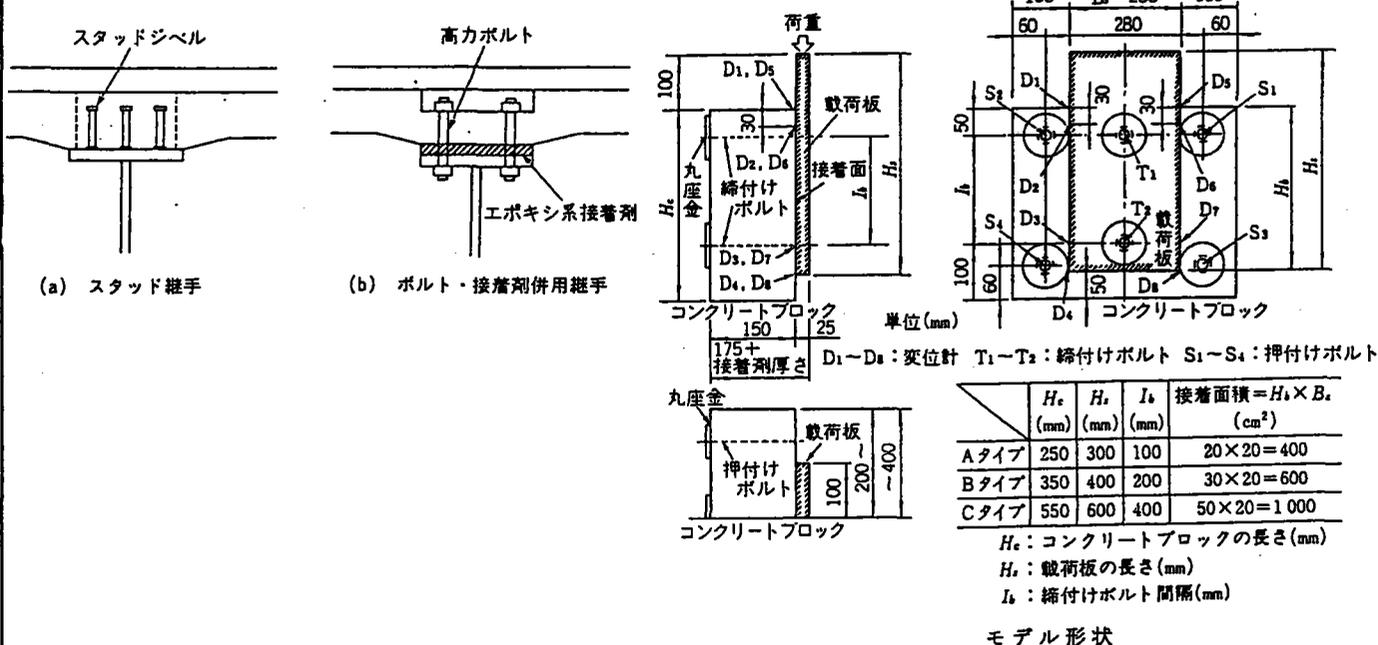
キーワード: 高力ボルト・接着剤、せん断強度、疲労耐久性

### 1. まえがき

合成桁の設計・施工でのプレハブ床版の使用は、合理化、省力化のポイントのひとつである。そこで、接合部にボルトとエポキシ系接着剤を併用した継手構造を提案した。本報告は、静的なせん断強度試験と、疲労耐久性試験をもとに①破壊せん断応力と締付け応力の関係、②せん断継手の耐久性の確認、これらを総合しての③併用継手を使用した設計法の提案である。

### 2. 実験概要

合成桁のコンクリート床版と鋼桁上フランジの接合部分を簡略にモデル化して、コンクリートブロックと鋼載荷板をエポキシ系接着材を用いて接着し、高力ボルト2本で締め付ける供試体を作成し載荷実験を行った。



### 3. 実験結果

- 1) ボルト・接着剤併用せん断継手は、エポキシ接着剤自身の引張りせん断接着強度(約150kg/cm<sup>2</sup>)に比較して、締付け応力のない場合でも、その4割(60kg/cm<sup>2</sup>)程度の耐荷強度をもつ。
- 2) 締付け応力を与えることによりせん断破壊応力が増加する。
- 3) 接着面の締付け応力とせん断破壊応力は、今回の試験条件の範囲内ではあるが、ほぼ線形関係がある。
- 4) 接着面のせん断破壊後、継手のせん断力伝達機構が変化し、せん断力はボルト軸部を介しての支圧とせん断により伝達される。継手の最終破壊はボルト軸部のせん断破壊による。
- 5) 接着面がせん断破壊に至るまでの鋼板とコンクリートブロック部の相対変位は小さく、0.2mm程度である。
- 6) 施工時の不陸等の調整作業を考慮した細骨材を混練したエポキシモルタルの強度は、エポキシ樹脂の単独使用に比べて、平均1割程度大きい値を示す。
- 7) 温度変化および活荷重を想定した耐久性試験の結果より、破壊せん断応力の5割以下の作用応力のもとでは、併用せん断継手の耐久力は問題ない。
- 8) 熱冷サイクル作業後も、接着部の強度は低下しない。
- 9) 従来のスタッドジベルと比較した試設計では、ボルトの径・ピッチ等の検討は残るものの、従来の設計所要スタッド本数に対して、併用継手の高力ボルト数を4割程度とする設計が可能である。

キーワード: 混在継手

### 1. まえがき

本鋼製橋脚は、2層門型橋脚であり上層梁に高力ボルト継手、下層梁に溶接継手構造を用いているが、特に下層梁の溶接による収縮を考慮した部材の製作と現場の施工手順が重要であった。

### 2. 溶接收縮に対する配慮

下層梁は現場継手部10箇所のうち、デッキプレート面のみ現場溶接を行うのが4カ所、全断面現場溶接を行うのが6カ所であった。

現場溶接1カ所あたりの縮み量は、実績から2mmとした。従って全断面溶接部材では、1シームあたり1mm長く製作した。これにより工場仮組立て時には、中央ブロックのルートギャップは0となった。

また、3種類のエクシジョンピースを用いて仕口形状を整えた。下層梁全長にわたって設けられた受け梁をベントで支持した。

### 3. 下層梁の架設

工程・溶接精度・経済性から下層梁を単材架設とした。閉合時には、数値上余裕ゼロの状態(工場仮組立て時と同じ)での架設となり、100tジャッキ2台を用いて閉合作業を行った。

### 4. 溶接設備

溶接作業用足場は、梁・柱部共合板の全面板張りにて防風対策を行った。

### 5. 施工要領・管理目標

開先部のルートギャップ・目違い量を管理目標とした。下層梁閉合部材のルートギャップについては、左側柱のシームでは計画した縮み量(約6mm)が確保できたが、右側柱のシームでは縮み量が少なくルートギャップが規定値に達しなかったため、グラインダーにて整形後溶接した。

### 6. 非破壊検査

検査は、放射線透過試験(R. T)と超音波探傷試験(U. T)によった。

1) R. T…JIS Z 3104(1968)鋼溶接部のR. Tおよび透過写真の等級分類法の2級以上を合格とした。

2) U. T…JIS Z 3060鋼溶接部のU. Tおよび試験結果の等級分類法の2級以上を合格とした。

### 7. 検査結果

1) R. Tの検査結果… すべて1級合格であった。

2) U. Tの検査結果… すべて1級合格であった。

キーワード: 併用継手、疲労

## 1. まえがき

応急橋梁の現場継手構造を簡素化して、現場施工を容易にし、架設工事期間を短縮する目的で継手試験を行った。継手構造は、圧縮フランジ部および腹板部の端部にエンドプレートを用いた高力ボルト引張接合を採用するとともに、引張フランジ部には高力ボルト摩擦接合およびピン接合の2種類の併用継手構造とした。この試験の結果、応急橋梁の主桁現場継手構造として十分適用可能な構造であることが確認されたので報告する。

## 2. 試験方法

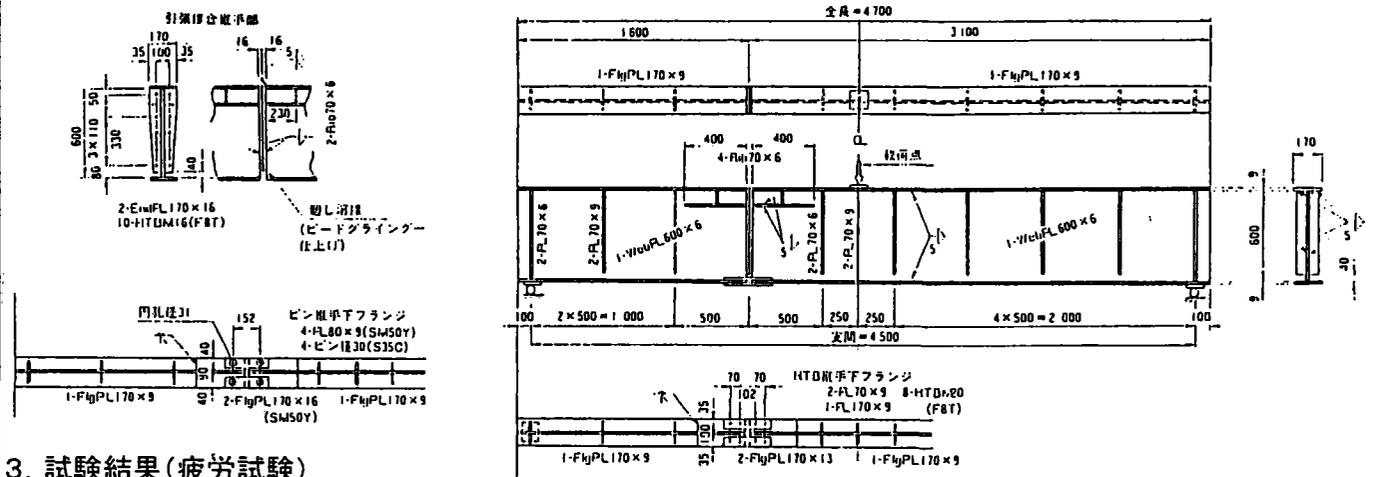
試験は、2試験体について静的載荷試験を行い、その後同じ試験体により疲労試験を実施することにした。

### (1) 静的載荷試験

載荷は、両端をローラーで支持された試験体の中央1点載荷とし、継手部近傍のひずみおよび桁のたわみをひずみゲージ・変位計により計測する。載荷荷重は、2.5ton刻みとして、最大載荷荷重は15tonとした。この載荷重15tonは、設計許容荷重の25%増に相当する。

### (2) 疲労試験

静的載荷試験の終了した試験体を使用して疲労試験を実施することにし、上限載荷重は10ton、下限載荷重は2tonとして載荷回数は、200万回を目標とした。この上限荷重10tonは、設計許容荷重の75%に相当する。また、載荷サイクルは250cpmとした。



## 3. 試験結果(疲労試験)

### (1) 引張接合・ピン接合併用継手

この試験体は、載荷回数32万回で引張接合の最下端の高力ボルトが1本破断した。ボルト破断位置はネジ部である。破断ボルトを取り替えて疲労試験を継続したが、載荷回数約40万回で継手部エンドプレート下端部のウェブとの隅肉溶接部に亀裂が発生した。そのまま試験を継続したが、亀裂の増大と共にボルトが下端側から順次破断し、載荷回数62万回で亀裂長が約35mmに達すると共にボルト4本が破断して載荷のコントロールが不能となり、試験を中止した。なお載荷回数は、試験初めからの通算回数である。

### (2) 引張接合・摩擦接合併用継手

載荷回数200万回まで疲労試験を実施したが、継手部およびその他試験体には全く変状はみられなかった。また、試験終了後に継手部を解体し、継手構造のエンドプレート、添接板およびその接触面、ボルト孔等を調べたが各部共に健全であり変状は認められず、継手部材としては再使用可能な状態であった。

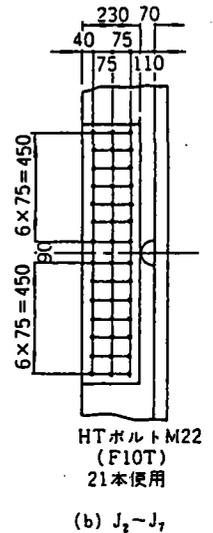
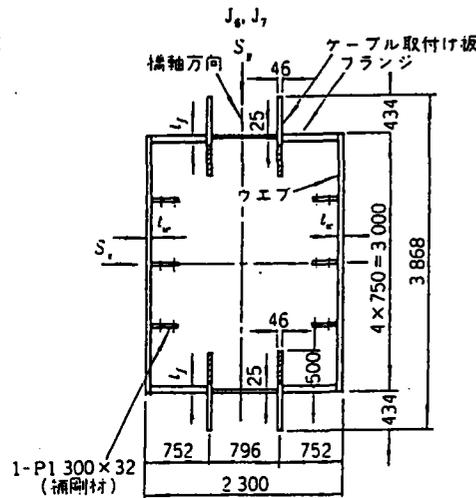
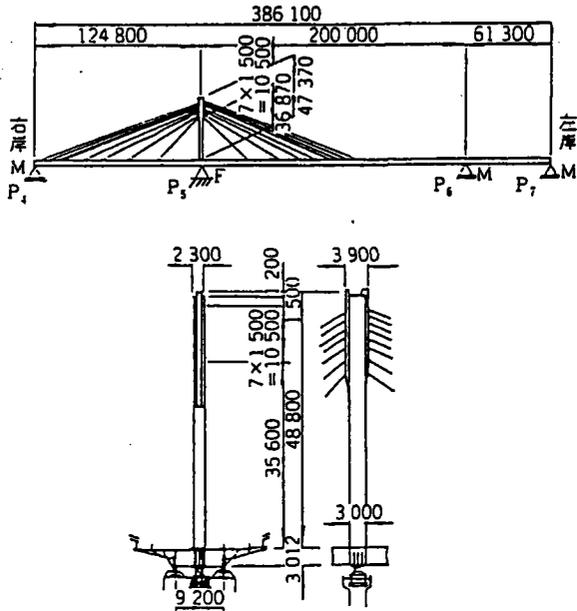
## 4. 考察

これらの試験結果から、高力ボルトを使用した引張接合・摩擦接合の有効性が判明した。この引張接合・摩擦接合併用構造は、引張疲労に対して敏感な高力ボルトを引張フランジに高力ボルト摩擦接合を適用することにより補強され、かつ圧縮フランジは、支圧で応力を伝達される構造であって効率のよい継手構造である。今後、引張接合部のエンドプレートの剛性・応力および高力ボルト軸力変動等の挙動が確かめられれば、応急橋梁の主桁継手構造だけでなく、一般の鋼構造物の継手構造として適用範囲の広い構造と考えられる。

キーワード: 面接触継手

1. まえがき

斜張橋は、曲げモーメントに比べ軸方向力による直応力が支配的となるので断面内には圧縮応力のみしか生じない場合が多い。このような応力性状の継手では、鉛直方向力に対して「防水用シール溶接した面接触接合と高力ボルト摩擦接合した補剛材」で、またケーブルの不均衡力・風荷重・地震の影響等によるせん断力に対しては「高力ボルト摩擦接合した補剛材」で伝達する継手形式を採用することができる。



2. 応力測定

設計上、2種類の接合性能が全く同じ性能を発揮すると仮定しているが、実際の挙動が果たしてこの仮定と対応しているのかを判定するため、モデルあるいは実橋で詳しく調べる必要がでてきた。このような理由から補剛材とウェブ・フランジの応力を測定し設計仮定との整合性をしらべることにした。そこで、補剛材の添接板に単軸ストレインゲージを1箇所あたり4枚、計40枚貼り、主塔の鋼重による応力を測定した。なお、ウェブ・フランジにも照査用として20枚貼った。この測定はケーブル張渡し状態についても継続して行き構造の安全性を確認している。

3. 測定結果

断面内の応力の負担割合から求めた断面要素別分担率を見ると、主塔架設時・ケーブル張渡し時共ほぼ満足できる結果となっている。せん断遅れ現象でコーナーと補剛材に応力集中が見られたが当初設定した設計上の仮定が十分満足されていることが確認された。

キーワード: 腐食部材、併用継手

1. まえがき

本研究は、鋼橋腐食鋼板を用いて作製した高力ボルト摩擦接合、並びに構造用接着剤を用いた高力ボルト・接着剤併用継手などの強度特性を明らかにし、鋼構造腐食部材の補修・補強法に対する接着剤の適用効果について基礎的資料を得ようとするものである。

2. 試験要領

- 1) 本研究で用いた供試体は下図のとおり。
- 2) 腐食鋼板は、共用年数50年で撤去された2径間I桁橋の腹板(40キロ鋼)より採取したものである。
- 3) 高力ボルト摩擦接合は、鋼板をショットブラスト後、高力ボルトS10T・M20(軸力18tf)で締め付け組み立てた。
- 4) 併用継手は、鋼板接触面にエポキシ樹脂を塗布後、高力ボルトで締め付け組み立てた。
- 5) 図2に鋼板の腐食状態を示す。
- 6) 静的引張試験は、表1に示す表面状態の異なる3種類の鋼板を用いて組み立てた接着接合、高力ボルト摩擦接合、及び併用継手について実施した。

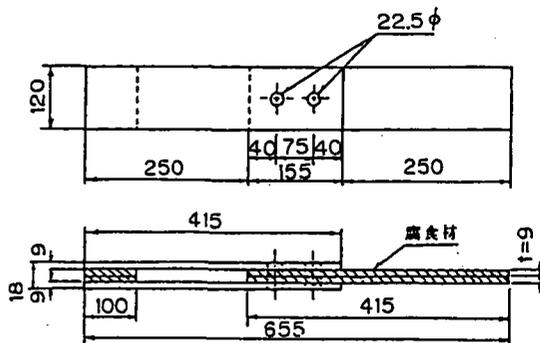


図1 供試体の形状・寸法

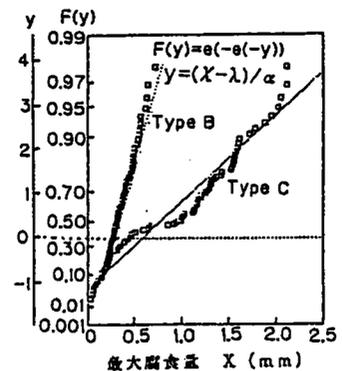


図2 鋼板の最大腐食深さ分布 (Gumbel確率プロット)

3. 試験結果

(1) 接着接合の引張試験

接着接合の引張試験は、鋼板接着後室内で1週間養生後実施した。試験結果を図3に示す。図中には別途実施した引張せん断強度に及ぼす接着面積の影響をみた試験結果も併記してある。図中の\*印を付したデータは接着部両端に高力ボルトを1本導入した継手のものである。

表1 最大腐食深さ分布のパラメータ、及び腐食深さの最大値

供試体	尺度パラメータ $\alpha$ (mm)	位置パラメータ $\lambda$ (mm)	測定腐食量最大値(mm)
Type A*	0.025	0.048	0.134
Type B	0.128	0.290	0.737
Type C	0.501	0.595	2.271

\*: 無腐食継手

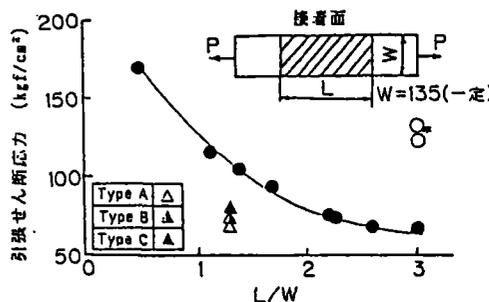


図3 L/Wと引張せん断強度の関係

(2) 併用継手の引張試験

図4は高力ボルト摩擦接合、及び併用継手における軸力の経時変化を示したものである。併用継手の軸力低下は、高力ボルト摩擦接合の場合に比して大きく、また、表面状態によっても影響を受けることが推察される。しかしながら、軸力低下率は10%以下であり、設計で考慮している許容範囲を越えるものではない。図5、図6は、高力ボルト摩擦接合、及び併用継手の引張試験結果を縦軸にすべり荷重 $P_s$ 、横軸に尺度パラメータ $\alpha$ を取って図示したものである。

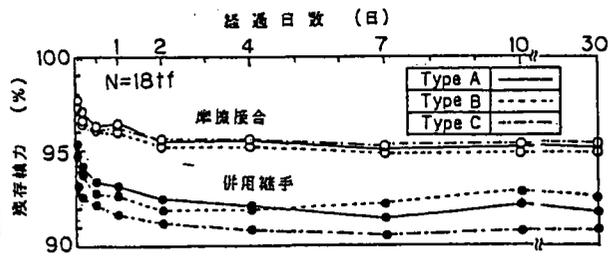


図4 ボルト軸力の経時変化

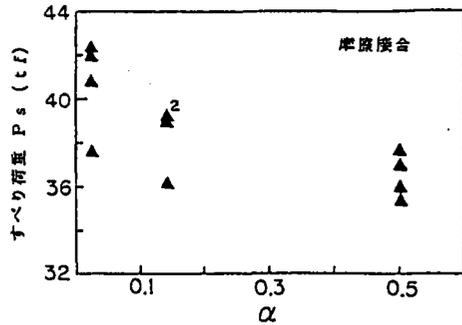


図5  $\alpha$ とすべり荷重の関係

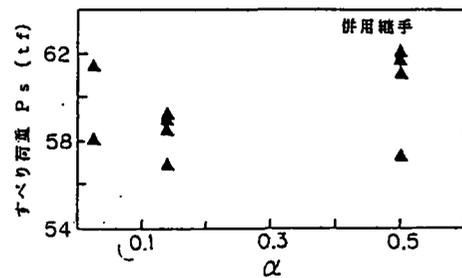


図6  $\alpha$ とすべり荷重の関係

4. 考察

鋼板の腐食状態にかかわらず、高力ボルト摩擦接合への接着剤の適用効果は、極めて良好と考えられる。しかしながら、併用継手を実用化するためには、今後耐候性・疲労問題などについて十分な検討を行う必要がある。

1. はじめに

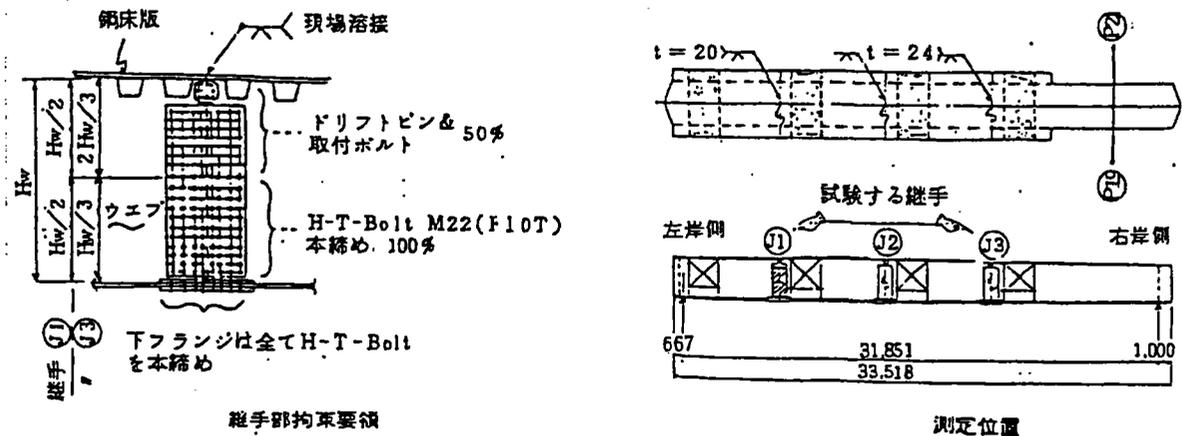
現場継手に現場溶接と高力ボルトを併用した場合、溶接收縮により高力ボルト接合部に拘束応力が作用する。

この拘束応力の程度を実橋にて調査し、高力ボルトに作用している拘束力を推定する。

2. 試験方法

試験は、P20橋脚横梁の継手J1とJ3を用いて調査する。

下フランジは全量高力ボルトを本締めし、ウエブについてはJ1がウエブ下端から1/2まで、J3がウエブ下端から2/3まで本締めをし、その状態で鋼床版の現場溶接を行い、デッキプレート、ウエブ、ウエブスプライスプレートの溶接による収縮量を測定する。



3. 実験結果

- (1) デッキプレートの溶接收縮量は、1.2~2.0mmの範囲にある。  
SParagenの式より溶接收縮量を試算してみるとJ1が1.1mm、J3が1.3mmとなり、本試験の実測値と近い値を示している。
- (2) 試験結果より高力ボルトに作用している拘束力は許容ボルト力内である。  
しかし、下フランジから2/3ウエブ高まで高力ボルトを本締めしたケースのボルト力は、完成系のボルト力を増加させる方向であり、上端の合成ボルト力は許容値にも近いことを考慮し、ウエブ高の1/2以上の位置で本締めした高力ボルトは新しいものに交換することにした。

キーワード 併用継手、拘束度

1. はじめに

本研究では、溶接と高力ボルト摩擦接合との併用継手に関して、既往の実験例について詳細な解析を行い、併用継手の力学的特性を明らかにした。  
 また、併用継手の合理的な施工方法について提案する。

2. 併用継手に関する解析手法についての検討

図1の形状の併用継手において、溶接により発生した継手線上の収縮量を強制変位量として与え、弾性変形状態から弾性変形と局部的な微少すべりが混在している状態を経て、主すべり状態に至るまでのすべり挙動の解析を行った。

解析ケースは、すべての高力ボルトを本締めした場合(ボルト軸力19.6tf)と、一部の高力ボルトを仮締めした場合(ボルト軸力4.84tf)の2ケースとした。

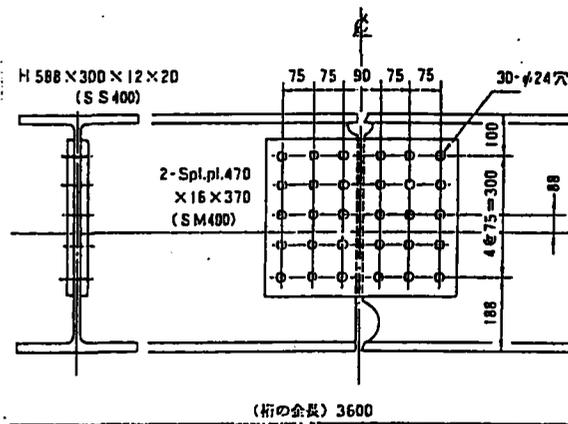


図1 試験体モデル

3. 併用継手の合理的施工方法に関する検討

併用継手の合理的施工方法について検討するために、図1の試験体モデルについて、残留応力が集中する溶接部に最も近い列の高力ボルトの締め付け力を変化させて、上記の非線形すべり挙動解析を行った。解析ケースは、

- ①すべての高力ボルトを本締めした場合(ボルト軸力19.6tf)
  - ②溶接部に最も近い列の高力ボルトを本締めの場合の1/2(ボルト軸力9.8tf)で締め付け、それ以外の高力ボルトを本締めした場合
  - ③溶接部に最も近い列の高力ボルトを本締めの場合の1/4(ボルト軸力4.9tf)で締め付け、それ以外の高力ボルトを本締めした場合
- の3ケースとした。

4. おわりに

既往の実験例について詳細な解析を行い、実験値と比較した結果、高力ボルト摩擦接合継手の非線形すべり挙動解析手法は溶接と高力ボルト摩擦接合との併用継手においても適用できることがわかった。  
 また、その解析手法を用いて高力ボルトによる残留応力の拘束度を変えて解析した結果、合理的な併用継手の施工方法について明らかにできた。

キーワード 現場継手の合理化、併用継手

## 1. はじめに

鋼橋の現場接合方法には、主として高力ボルト摩擦接合と溶接接合がある。これらの接合方法には、それぞれ一丁一端があり、検討すべき点が多々ある。本報告は、既往の研究成果を調査することにより、高力ボルト継手と溶接継手の合理化に向けた課題を整理するとともに、併用継手の適応性について検討したものである。

## 2. 全断面高力ボルト継手の合理化検討

### (1) 接触面のすべり係数

- ・ すべり係数に影響を与える塗料の研究、接合面の素地調整、塗膜厚等の検討を行ないすべり係数の引上げに努める。

### (2) I桁におけるフランジ・ウェブの共同作用

- ・ 現在、鋼橋の高力ボルト継手は、フランジ、ウェブの継手を独立したのものとして設計しているが、共同作用を考慮した総すべりモーメントの考え方をを用いることで高力ボルト本数の低減を図っていく。

## 3. 現場溶接継手の合理化検討

- ・ 溶接接合は、大断面I桁などの厚板部材でも接合が可能な反面、施工工期は高力ボルト継手に比べて長期化するという問題がある。こうした問題を解決するために、大入熱溶接による高機能化と施工の省力化に取り組む必要がある。

## 4. 併用継手による現場継手の合理化

### (1) 併用継手の検討例

- ・ 鋼I桁の接合に併用継手を用いたという報告例は、現在のところ皆無であるが、鋼床版桁や建築鉄骨での併用継手を適用する際に基礎試験が行われており、適用課題を整理するために下記の検討例をまとめた。
  - ①単純引張試験による検討(土木学会第22回年次学術講演会講演概要集)
  - ②桁曲げ試験による検討(横河橋梁技報No. 7)

### (2) 現場接合に併用継手を適用するための課題

- ・ 現場接合に併用継手を適用するには多くの課題があり、その提案を下記に示す。
  - ①桁の設計法の確率
  - ②フランジの溶接收縮対策
  - ③内部拘束応力導入時の検討

## 5. まとめ

現場継手の合理化に関する提案を下記にまとめる。

- (1) 高いすべり係数を安定して確保するための塗料技術開発を行う。
- (2) I桁におけるフランジ・ウェブの共同作用を考慮した設計手法の紹介
- (3) 全断面溶接継手施工工期短縮のための高能率溶接工法および省力化工法の紹介
- (4) 過去に行われた鋼床版桁や建築鉄骨での併用継手基礎実験結果の整理。その結果、併用継手を鋼I桁に適用する場合の課題について検討するための実験方法を提案した。

## (1) 併用継手の検討概要

フランジを現場溶接、ウェブを高力ボルト摩擦接合継手とする併用継手で、実際の橋梁への適用を念頭において実施したフランジの溶接による熱収縮がウェブボルトの挙動に与える影響についての解析結果について報告する。

## (2) 設計・施工時の注意事項

- ①部分すべりによってボルト軸力の低下、あるいは摩擦面の劣化によるすべり強度の低下などが懸念されるため、ウェブの高力ボルト締め付け範囲を決定する必要がある。
- ②桁ブロックを支持せずに接合を行う場合には、ウェブのボルトだけでは死荷重に対して抵抗できない可能性があるため、フランジ溶接用のエレクションピースで強度を保持するなどの工夫が必要である。

## (3) 解析モデル

対象とした継手の構造、寸法を図-4.2.19に示す。

解析モデルは計算の効率化のため1/8モデルを用いた。

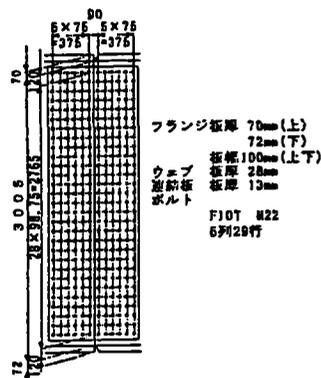


図-4.2.19 対象とした継手の構造

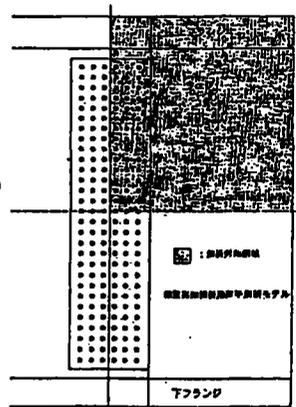


図-4.2.20 解析対象領域

## (4) 解析結果

6行を手締めとしたタイプでは、軸力を導入した行の最外列である7行目での平均相対変位が約0.04mm程度であり、部分すべりは発生していないと判断された。

その他の2~5行のボルト行を手締めしたタイプでは、初期ボルト軸力を導入したボルトの最外行において相対変位量が大きく、そのボルト行において部分すべりが発生していることが確認された。

## (5) 今後の課題

検討の結果、併用継手は施工上で若干の注意点はあつものの、十分に適用性があり、合理的な工法であると判断される。

しかしながら今後、より合理的な設計法を確率していくためには、施工法のみならず、設計法の合理化について検討の余地がある。

すなわち、最大耐荷力に至るまでの挙動についてはほとんど明らかにされておらず、今後のデータの蓄積が望まれるところではある。

### 第3章 フィラープレートを用いた継手

合理化鋼桁橋設計の考えの一部として現場接合部について『鋼道路橋設計ガイドライン（案）建設省 1995.10』にある程度の基本事項（最大板厚差、フィラー材質等）が示されており、当面の設計にいたってはそれらを準用すれば良いと思われる。

しかし、今後さらに部材の統一化や構造の簡素化が考えられ、その対象の一部として現場接合部が着目されることと思われる。

そこで既に各方面でフィラーに着目した検討がなされているため、それらの文献を収集し本章でとり纏めたものである。収集した文献の多くは、机上だけでは得られない試験体を用いた各種検討結果である。

文献 3-1	高力ボルト継手設計法の合理化に関する実験的研究 —継手部にフィラープレートを設置した小型試験体の引張試験—
1998年	土木学会第53回年次学術講演会(平成10年10月)(水口、宮本、望月、小枝、宮地)

キーワード 高力ボルト、摩擦接合継手、フィラープレート

### 1 はじめに

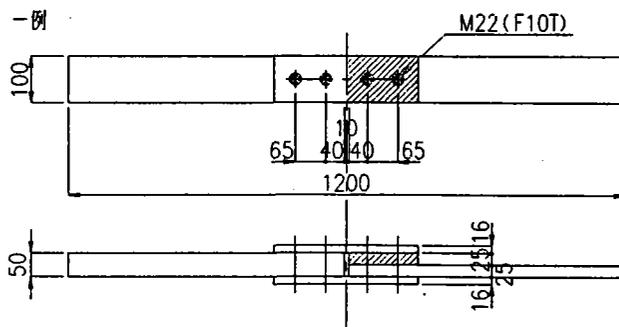
フィラープレートが継手部のすべり耐力や応力性状に対し、少なからず影響を及ぼす可能性のあることが推察される。

そこで、フィラープレートを有する高力ボルト摩擦接合継手部のすべり耐荷力や応力性状を、フィラープレートの板厚や継手長さを種々変化させて引張試験を実施する。

### 2 試験方法

試験は以下に示す項目に着目して行われた。

- (1) フィラープレートを使用する事によるすべり耐荷力の測定
- (2) フィラープレートの摩擦面の相対ずれの測定
- (3) 母材、添接板のコバ面のひずみを測定



母材、添接板 : SM490Y  
フィラープレート : SS400

ボルト列数、及びフィラープレート厚を変化させ、試験を行った。

### 3 試験結果

- (1) フィラープレートの存在が高力ボルト摩擦接合継手部のすべり耐荷力に及ぼす影響は微小である。
- (2) フィラーを挿入した側の添接板端部の相対ずれのみが比較的顕著に現れており、フィラープレートは継手部のすべり挙動に対しては、少なからず影響を及ぼしている。
- (3) 最大荷重付近でフィラープレートの引張ひずみが大きく減少し、逆にフィラープレートに面した添接板で引張ひずみが大きく増加する性状が読み取れる。フィラープレートを有する場合の軸力伝達性状についてはさらなる考察が必要と思われる。

文献 3-2	フィラープレートを有する高力ボルト摩擦接合引張継手の強度 および荷重伝達機構に関する解析的研究
1998年	土木学会第53回年次学術講演会(平成10年10月)(松野、亀井、西村、宮地)

キーワード 高力ボルト摩擦接合引張継手、フィラープレート、有限要素、  
パラメトリック解析、荷重伝達機構

### 1 はじめに

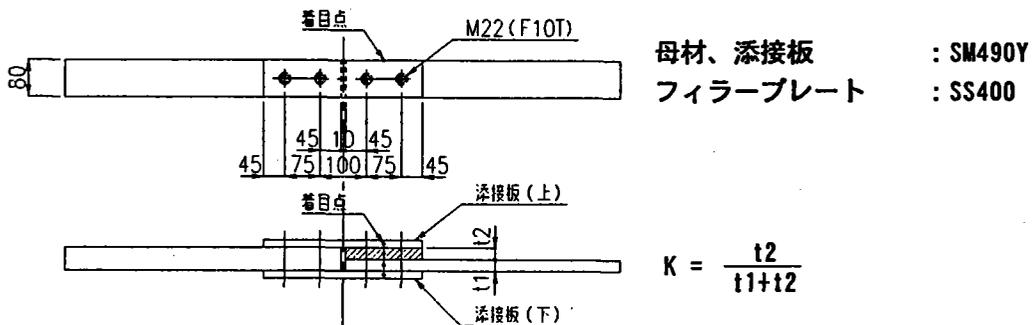
鋼桁製作の省力化の一手法として、現場接合部においてフィラープレートを用いることにより、断面を変化させる考えが普及しつつある。フィラープレートを有する高力ボルト摩擦接合継手のフィラープレート厚が継手の強度および荷重伝達機構に与える影響について考察を行う。

### 2 試験方法

試験は以下に示す項目に着目して行われた。

- (1) フィラープレート厚の母材に占める割合(断面変化率)を変化させ、すべり強度の変化を測定する。

断面変化率(K)は、  
 モデルA (K=0.0%)    モデルB (K=20.0%)    モデルC (K=33.3%)    モデルD (K=42.9%)    モデルE (K=50.0%)  
 とする。



- (2) 各荷重レベルにて母材、添接板、フィラープレートのコバ面のひずみを測定し、荷重分担率を求める。

### 3 試験結果

- (1) すべり強度の結果

- ・モデルB, C    主すべりは添接板(上)～フィラープレート間で発生  
モデルAと比べ強度は5%程低下
- ・モデルD    主すべりは添接板(上)～フィラープレート間で発生  
すべり強度は公称値に対して4%程下まわる。
- ・モデルE    母材純断面の降伏により、線形限界に達する

- (2) 荷重伝達の分担率

- ・すべてのケースで添接板(上)とフィラープレートの合計は、添接板(下)の分担率とほぼ等しい。
- ・すべてのケースで母材とフィラープレートの分担率の合計は同程度である。
- ・荷重レベルが低い時、すべてのケースで添接板の分担率は変化がない。
- ・荷重レベルが上がると(すべり強度の60%以上)
  - モデルB    分担率変化なし
  - モデルC, D    フィラープレートの分担率徐々に低下する

文献 3-3	フィラープレートを介在する支圧接合ボルト継手の実験的研究
--------	------------------------------

1998年	土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（本郷、塩出、鈴木）
-------	-------------------------------------

キーワード 支圧接合、フィラープレート、送電用鉄塔

### 1 はじめに

送電用鉄塔には、フィラープレートを介在する2面せん断の支圧接合においてフィラー厚さが6mmを超える場合、フィラーに余長部を設け、ボルトを追加することが規定されている。しかしこの規定の根拠が明確でない為、継手部の実験を実施する。

### 2 試験方法

以下の条件にて、せん断破壊強度、及びスプライスプレートの荷重-ひずみ関係を測定する。

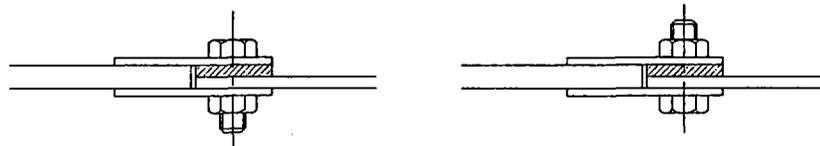
- (1) フィラープレート厚の変化  $t_{Fill}=6\text{mm}$ 、 $t_{Fill}=14\text{mm}$ 、なし



- (2) フィラープレートの余長 有り/無し



- (3) ボルト差し込み方向 フィラープレート側に ネジ/軸



### 3 試験結果

- (1) ネジ部がせん断面になる支圧接合では、ボルトの差し込み方向によって継手強度が変わり、母材側がネジ部となる方向では、継手強度が低下する。その低下の度合は、フィラープレート厚さが6mmの場合は無視できる範囲であるが、14mmの場合は単純せん断試験による想定強度の86%しかない。
- (2) フィラープレートに余長部を設けてボルトを追加しても、強度低下の補強効果はあまり期待できない。
- (3) 軸部せん断ボルトにした場合は、ボルトの差し込み方向は無関係となり、フィラープレート厚さが14mmの場合でも継手部の強度低下は少なく、設計強度( $\sigma_y$ )レベルでは補強の必要はない。

文献 3-4	フィラーを用いた高力ボルト摩擦接合継手に関する検討
1997年	横河ブリッジ技報No.26 (1997年1月) (寺尾、名取)
<p>キーワード 高力ボルト、フィラープレート材質、フィラープレート厚さ、肌すき</p> <p>1 はじめに</p> <p>現場高力ボルト継手部で、断面変化を行う場合に用いるフィラープレートについて以下の点を検討する。</p> <p>(1) 母材材質とフィラープレート材質の関係</p> <p>(2) フィラープレート厚が厚くなった場合の影響</p> <p>(3) 継手部の母材板厚差が小さい場合の肌すきの影響</p> <p>2 試験方法</p> <p>試験は以下に示す項目に着目して行われた。</p> <p>(1) フィラープレート材質にSS400、SM520を用いてすべり挙動を確認する。</p> <p>(2) フィラープレート厚を<math>t=19\text{mm}</math>、<math>t=6\text{mm}</math>としてすべり挙動、応力性状を調べる。</p> <p>(3) 継手に2mmの肌すきを設定して、すべり挙動を確認する。</p> <p>3 試験結果</p> <p>(1) フィラープレートの材質が母材の材質と異なる場合でも、すべり挙動に有意な変化は見られなかった。</p> <p>(2) フィラープレート板厚が厚くなると、添接板に流れる力が不均一になり、力の負担割合が多い側ですべり耐力が決まる為、見かけのすべり耐力は低下する。 ただし、フィラー厚19mmの場合でも設計耐力に対して十分なすべり耐力を有する。</p> <p>(3) 肌すきがあるとすべり耐力が低下し、肌すきが2mmの場合に低下割合は6%程度である。 肌すき量が増えるほど、また、添接板が厚くなるほどすべり耐力が低下する傾向にある。</p>	

キーワード

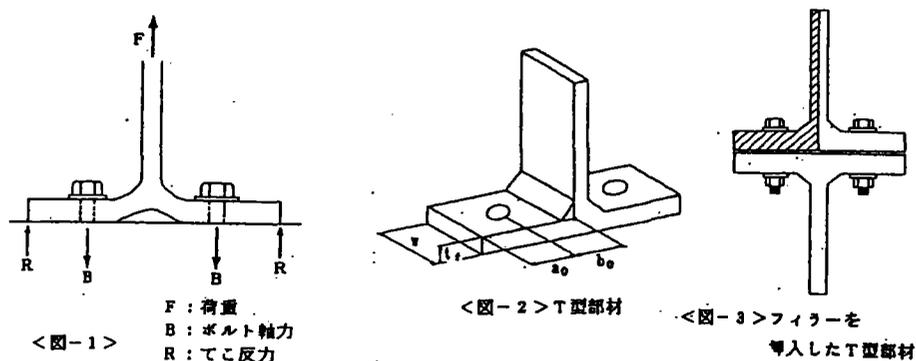
T型接合、高力ボルト引張接合、フィラープレート

### 1. はじめに

T型接合部では、てこ反力と呼ばれる付加接触応力が生じ、これにより、接合部の最大耐力が減少する。これを防ぐ方法として、ウェブ直下位置にフィラーを挿入する方法が挙げられる。そこで、フィラーを挿入したT接合部の挙動について、数値解析を行った。

### 2. 解析対象と解析モデル

解析モデルは、T型部材が突き合されている形式(TT形式)を用い、対称性を考慮してT型部材の半分を用いた。



### 3. 解析方法

EPIC-IVを改良した境界非線形弾塑性平面有限要素解析法を用い、相当応力-相当ひずみ関係にはバイリニア型モデルを用いた。

### 4. 解析結果

#### (1) フランジ厚の検討

フランジよりボルトが先に破断することが望ましい。フランジ厚が19mm以上であれば、ボルト破断より先にフランジが破断する現象は起こらなかった。

#### (2) 最大耐力の比較

フィラーがない場合は、てこ反力のために最大荷が7~23%小さくなる。

#### (3) フィラーの必要板厚

ST形式の場合、1.0mm以上(TT形式では2.0mm以上)の板厚があれば、最大荷重に達しても先端は接触しない。

4. おわりに

今回の検討は、道路橋示方書のファイラープレートの材質に関する規定についても確認実験として行ったものである。

表-1 各供試体の実験結果

実験ケース	供試体名	すべり荷重 (tf)	すべり係数	すべり位置
CASE1A (ファイラー19mm, SS400)	1A-1	205	0.50	ファイラー挿入部
	1A-2	224	0.55	ファイラー挿入部
CASE1B (ファイラー19mm, SM520B)	1B-1	210	0.51	ファイラー挿入部
	1B-2	210	0.51	ファイラー挿入部
CASE2A (ファイラー6mm, SS400)	2A-1	272	0.66	ファイラー挿入部
	2A-2	285	0.70	ファイラー挿入部
CASE2B (ファイラー6mm, SM520B)	2B-1	279	0.62	単材部
	2B-2	275	0.61	単材部

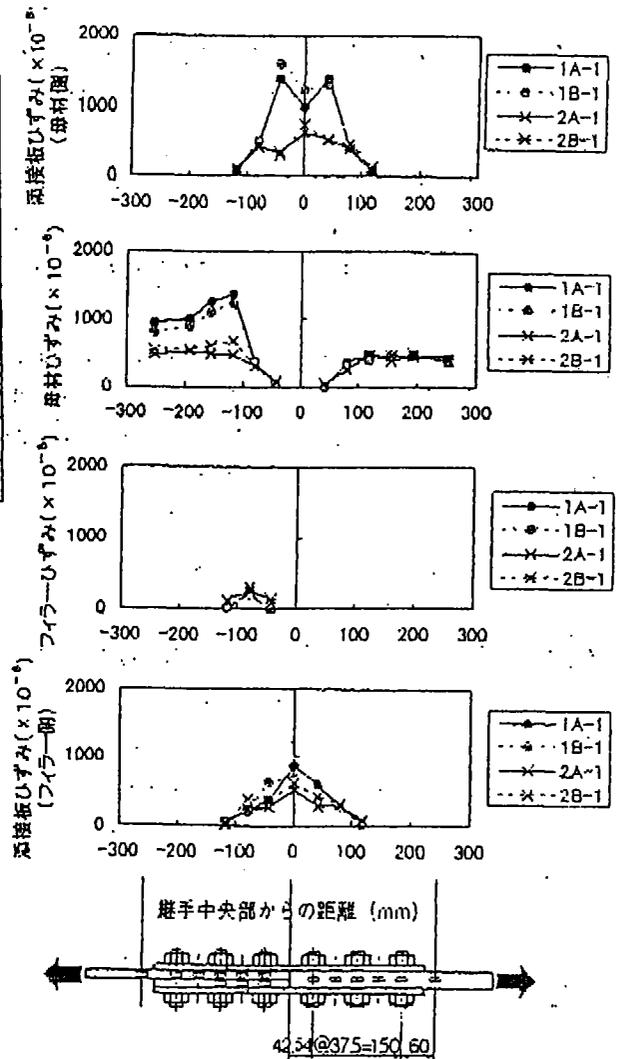


図-3 供試体側面のひずみ分布 (荷重170tf時)

## 第4章 孔引き、長孔

平成14年3月改訂の道路橋示方書・同解説も従来の添接計算から一部改訂されており、今後添接に関してもさらなるコスト縮減が望まれている。

### 1) 孔引き

引張り応力度が作用する部材の断面積は、従来から材片の総幅からボルト孔により失われる幅を除いて考えられている。このような考えは、以下の理由による。

- ①孔のある部材における孔周辺の応力分布は、応力集中が生じ複雑であり、ボルトの有無によってもその状態は異なる。
- ②破断強さも孔の位置や、孔の幅の総断面積に対する割合でも異なる。

近年、構造の合理化・コスト縮減の観点から引張り力が作用する部材のボルトの設計について、研究、実験が多数行われており、これらに関する文献を収集した。

### 2) 長孔

架設（現場）の合理化、工期短縮という観点から、構造物の大型化や一括架設が多数採用されることが多くなってきている。このような状況の中では、決められた工期（時間）内に定められた仕様を満足するため、長孔や拡大孔を用い作業性の向上をはかり、また製作・架設時の誤差を吸収している。

ここでは、これらの長孔や拡大孔について行われた実験、研究に関する文献を収集した。

キーワード 引張り力、孔引有効断面

### 1. はじめに

引張り力が作用する高力ボルト摩擦接合継手は、道路橋示方書に規定されているように、ボルト孔による欠損断面を考慮した純断面で応力度照査が行われる。

高力ボルト摩擦接合の力学的特性を見た場合、鋼板を高圧縮力で締め付け接触面の摩擦抵抗で力の伝達を図るものであるからボルト孔に至るまでかなりの力が伝達されているはずである。

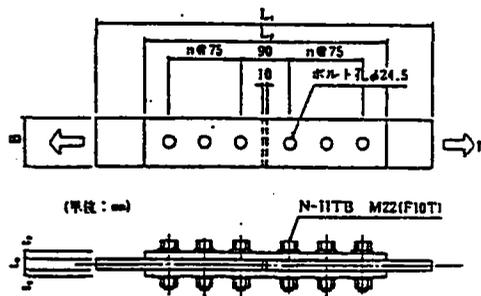
上記問題の解明に向けた基礎実験として短冊形試験体を用い、孔引き応力に着目した実験を行った。

### 2. 試験方法

母材および添接板の材質は、一般に使用されているSS400, SM490Y, SM570の3種類とする。

高力ボルトは、一般に使用されている材質F10T、サイズM22を使用した。

断面積比  $\alpha$  が70%と80%の場合を考え、ボルト孔径は、24.5mmとした。



### 3. 試験結果

母材の降伏強度が低い場合、降伏による板厚の減少によりボルト軸力が低下し、すべり強度が低下する。その結果、みかけ上の設計すべり係数が確保出来ない場合がある。

純断面での応力分布は現行設計許容荷重レベルでは等分布状態にあり孔の影響は見られない。

摩擦による荷重伝達率に着目した場合、ボルト中心位置までにすでに4割以上の荷重は伝達されており、ドイツの設計基準(DIN)は妥当といえる。

荷重伝達率は、発生応力・鋼板の材質・純断面積比などにより影響される。

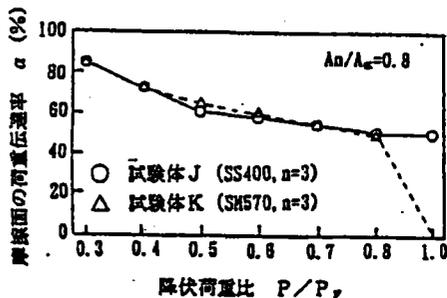


図-4 荷重伝達率と荷重強度比の関係

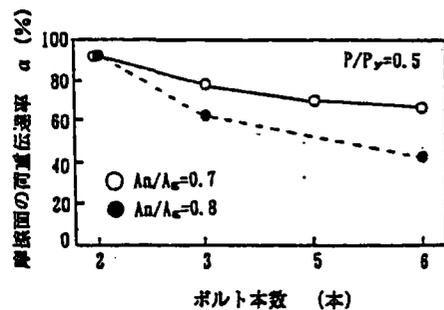


図-5 ボルト本数と荷重伝達率の関係

キーワード 高力ボルト、長孔、過大孔、すべり試験

### 1. はじめに

長孔、過大孔を用いた高力ボルト継手では、標準孔を用いた継手に比べ、すべり係数が低下するものと考えられる。

大ブロック架設等において、標準のボルト孔では孔合わせが困難となる場合がある。

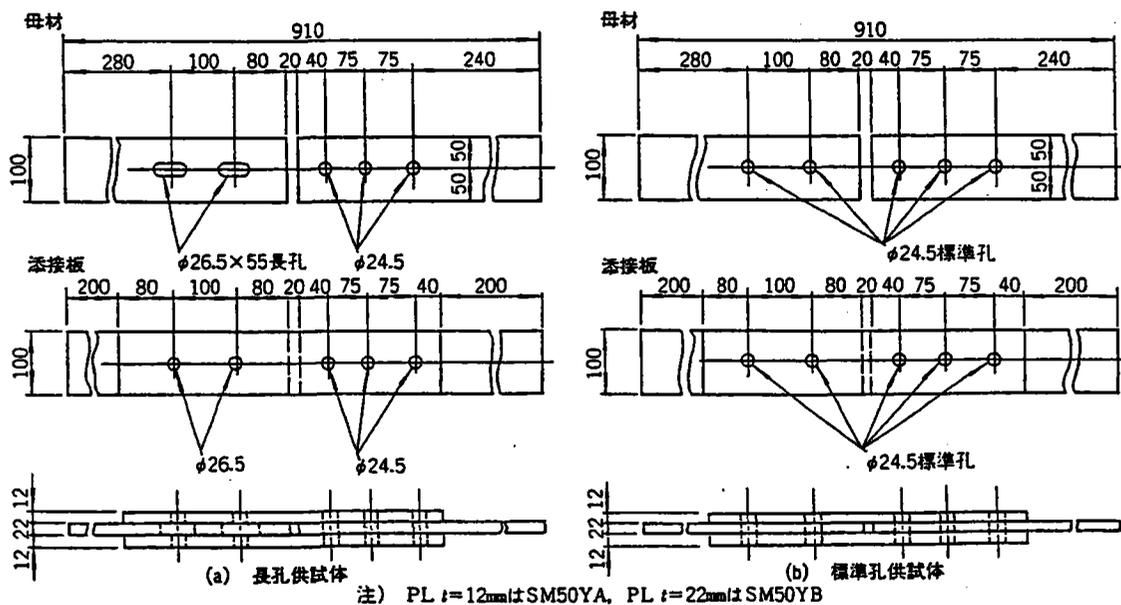
架設条件により、長孔・過大孔を使用した場合のすべり耐力を確かめるため模型供試体によるすべり試験を行った。

### 2. 試験方法

使用ボルトは高力六角ボルトM22(F10T)および、トルシア型高力ボルトM22(S10T)とする。

長孔は、母材側としφ26.5×55。

過大孔は、添接板側としφ26.5。



### 3. 試験結果

標準孔を有する継手に比べ、著しいすべり係数の低下はないように思われる。

長孔を使用した場合、すべりを生じた後のボルト軸力の減少量が大きい。

キーワード 高力ボルト、拡大孔、すべり試験

### 1. はじめに

高力ボルト孔径は、呼び径+2.5mmが標準として用いられているが、施工上やむを得ない場合、呼び径+4.5mmまでの拡大孔を認めている。

拡大孔、フィラープレート、摩擦面に厚膜型無機ジンクリッチペイントを塗布した結果全てを組合わせた継手試験結果はまだ報告されていない。

本報告は、これらを組み合わせた高力ボルト継手のすべり試験を実施した。

### 2. 試験概要

継手試験は、高力ボルト M22 (F10T)を基本とする。

ボルト孔径は、標準孔( $\phi 24.5\text{mm}$ )と拡大孔( $\phi 26.5\text{mm}$ )の2種類。

フィラープレート有( $t=22\text{mm}, 3.2\text{mm}$ )とフィラープレートなし。

摩擦接合面は、無塗装と厚膜型無機ジンクリッチペイント( $75\mu\text{m}$ )塗布。

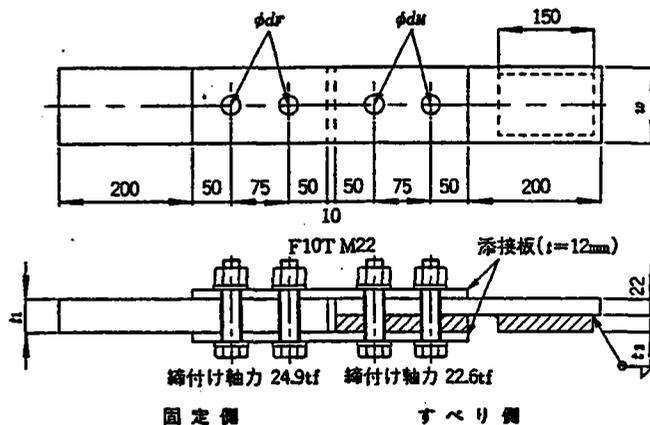


図-1 試験体の形状・寸法

### 3. 試験結果

ボルト孔径の大小、フィラープレートの有無、接合面の塗装の有無ともに、設計計算上必要なすべり係数値0.4をすべて満足している。

M20のボルトについては、ボルト径と孔径との比率が上がるため、若干のすべり係数の低下が予想される。

## 第5章 多列ボルト

省力化設計の流れで継手の大型化が進んでおり、作用応力方向にボルト列数が多くなる（多列ボルト）機会が増えてきている。しかし、摩擦接合においてボルト列数が多くなった場合、各々のボルトに作用する力が不均等になり、すべり強度が低下することが分かっている。

また別の問題として、接合部に板厚差があった場合にもすべり強度が低下するなどの問題がある。

このため、ボルト列数とすべり強度の関係や板厚差とすべり強度の関係に関する解析・実験が数多く行われてきた。

本章では、上記の問題を中心に文献を収集した。

キーワード

高力ボルト摩擦接合、合理化設計法

1 まえがき

著者らが実施した鋼 I 桁モデルの滑り耐力試験や引張試験の結果から、プレートガーダーにおける高力ボルト摩擦接合継手の滑り耐力は、フランジとウェブ継手の協同作用による滑りモーメントで評価できると考えられる。そこで、本報告では、高力ボルト継手設計方法の一試案として『総滑りモーメントを用いた合理化設計法』を提案する。また、その妥当性を検討した少数主桁の試設計結果についても報告する。

2 合理化設計法の提案

フランジとウェブの協同作用を考慮して、継手全体の滑り抵抗モーメントを以下の式で算出し、設計曲げモーメントと比較し強度評価を行う。

$$MSL = \sum (r_i \times \rho)$$

フランジ継手 :  $\rho = 2 \times \mu \times N / 1.7$

ウェブ継手 :  $\rho = [(2 \times \mu \times N / 1.7)^2 - (S/n)^2]^{1/2}$

- ここに  $r_i$  : 各々のボルト位置から桁の中立軸までの距離  
 $\rho$  : ボルト1本(2面摩擦)あたりの滑り強度  
 $N$  : ボルト軸力  
 $\mu$  : 滑り係数  
 $S$  : 継ぎ手部に作用するせん断力  
 $n$  : ウェブのボルト本数

3 試設計

表-1 試設計による比較検討結果の一例(G1桁のJ2継手)

設計断面力		M=2093 tf·m S=97 tf			
設計手法		現行設計法	試設計 (協同作用を考慮し、総すべりモーメントで設計)		
			① $\mu=0.40$	② $\mu=0.45$	③ $\mu=0.50$
ボルト本数	U-Flg	108	108	96	84
	Web	102	112	112	112
	L-Flg	108	108	96	84
	合計	408 (ウエブ 192, フランジ 216)	328 (ウエブ 112, フランジ 216)	304 (ウエブ 112, フランジ 192)	280 (ウエブ 112, フランジ 168)
総すべりモーメント, Mt(tf·m)	Mt = 2471 tf·m (Flg 1763) (Web 708)	Mt = 2134 tf·m (Flg 1763) (Web 371)	Mt = 2181 tf·m (Flg 1763) (Web 419)	Mt = 2180 tf·m (Flg 1714) (Web 468)	
継手形状	U-Flg				
	Web				
	L-Flg				

4 まとめ

本検討で提案した合理化設計法を適用すれば、ウェブ継手のスリム化が可能となり、ボルト本数を大幅に低減できるケースが少なくないと考えられる。滑り係数を大きく設定すればフランジのボルト本数の低減も可能であるが、その妥当性について別途慎重な議論が必要である。

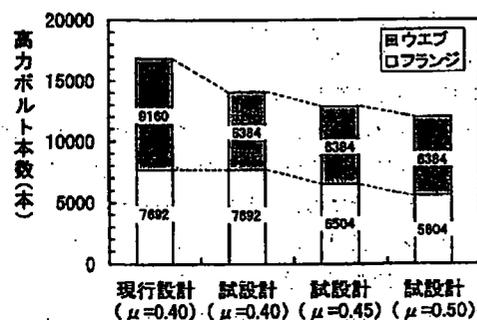


図-2 高力ボルト本数(一連分、主桁3本の合計)

キーワード 摩擦接合、ボルト連結、板厚差、数値解析、すべり係数

1. まえがき

鋼板の板厚公差や設計上の制限などの様々な理由から、接合部に板厚差が生じてしまうことがある。そのような場合、通常フィラープレート挿入して対応しているが、コスト的に不利な面も多い。そこで、本研究ではフィラープレート挿入しない場合に実用上十分な摩擦抵抗を保持できるかどうか、実験と解析を行った。

2. 実験概要

1) 試験に用いた供試体を下図に示す。

2) 供試体の諸量

- ・母材板厚(薄い側の鋼板 $t=23\text{mm}$ )、SM490Y
- ・添接板  $t=14\text{mm}$ , SM490Y
- ・板厚差  $\delta=0, 2, 3\text{mm}$ の3種類  
( $\delta=3\text{mm}$ はテーパ加工処理ケースもあり)
- ・使用高力ボルト M20(F10T)、M20(S10T)の2種類

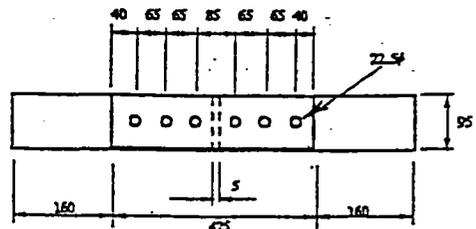


図1 試験体寸法(mm)

3. 実験結果と考察

- 1) 板厚差2mmのケースの摩擦係数は板厚差のないケースの75%程度であった。また、板厚差2mmと3mmのケースでは両者の摩擦係数にはほとんど差異がみられなかった。
- 2) テーパー加工を行ってもすべり荷重の大きな向上には至らなかった。

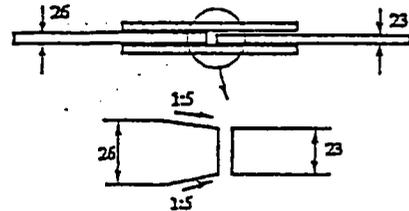


図2 板厚3mm差テーパ加工略図

4. 数値解析概要

- 1) 有限要素法により弾塑性解析(構成式はJ2流れ理論)を行い、板厚差の有無による接触圧の比
- 2) 巨視的にみてクーロンの摩擦則が成り立っていると仮定して接触圧よりすべり荷重の低下を算出。

5. 数値解析結果と考察

- 1) 2~3mmの母材板厚差により20%~35%程の接触厚の低下がみられ、板厚の影響が大であった。

6. まとめ

- 1) 実験と解析結果の比較表を下表に示す。

表1: 実験と解析結果 (右4列は等厚を100とした場合のパーセンテージ: 解析は接触圧、実験は滑り荷重の比較であるが、クーロン摩擦が成り立つとして同等のものとして扱った。)

ボルト列	試験体番号 (母材厚)	全接触圧 A(kgf)	薄板側接触圧 B(kgf)	比較(%) 2B/A × 100	実験結果 (%)		
					六角 ショット	六角 グリッド	TC ショット
2	23 × 23	72600	36300	100.0	100.0	100.0	100.0
	23 × 25	72600	24200	66.7	78.2	71.9	81.7
	23 × 26	72100	23700	65.7	69.0	72.5	71.1
	23 × 26*	72700	24600	67.7	68.4	74.3	75.9
	23 × 23	108900	54450	100.0	100.0	100.0	100.0
3	23 × 25	108900	42300	77.7	73.6	81.2	87.0
	23 × 26	-	-	-	72.3	82.0	85.0
	23 × 26*	108900	42700	78.4	74.7	83.4	87.6

\*はテーパ加工したもの

- 2) ボルト2列で一部接触圧に10%の開きがある以外は解析値と実験値が比較的近い結果であった。
- 3) すべり荷重の低下は母材の板厚差に極めて鋭敏であることがわかった。
- 4) 有限要素法によりある程度実験値を予測できることが確認できた。
- 5) 今後、実験数を増やし精度を高めるとともに、解析モデルも2次元から3次元へと実際のものに近づけ、材質・板厚・表面処理などの各種因子の影響を明確にしていく。

キーワード 摩擦接合、ボルト連結、板厚差、数値解析、すべり係数  
 cf.『板厚差のある摩擦接合継手の研究』、鋼橋技術研究会/施工部会報告書(H10.12)

1. まえがき

道示では高力ボルト摩擦接合部に肌隙はあってはならないとされており、また同時に2mm以下のフィラーの使用は防錆上使用しない方が良くともかかれている。しかしながら、板厚公差や設計上の制約から接合する2つの材片の板厚が異なることもあり、合理化や省力化の観点から板厚差のある材片をそのまま接合したらどうかとの意見もあるため、ここでは板厚差のある材片間の摩擦接合継手のすべり耐力を明らかにすることを目的に解析や実験を行った。

2. 試験体および試験方法

- 1) 試験に用いた供試体を下図に示す。
- 2) すべり耐力に影響を及ぼすと考えられる①母材の材質、②材片の板厚差、③ボルト列数、④表面処理、⑤ボルト間隔などをパラメータにして試験体の種類を決定した。
- 3) 上記以外に①フィラーの両側使用、②ボルト中心間距離、③SPLのナックル加工の影響も調べた。

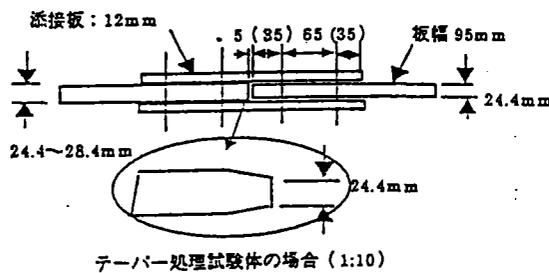


図-1 試験体の概要 (CASE1)



71-7効果試験 (片側挿入) 概要 (CASE 2)



71-7効果試験 (両方挿入) 概要 (CASE 2)

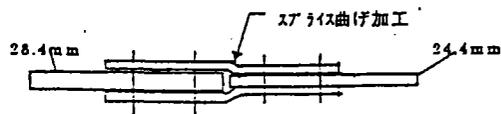
表-2 試験体の種類 (各ケース 3体)

材質-板厚差(mm) (ケース)	ボルト列	縁端 (mm)	表面 処理	
SM490Y (CASE1)	0,1,2,3,4	2,3,4	35	無錆
	2,3,4	2,3	// (T)	
SM570 (CASE1)	0,1,2,3,4	2,3,4	35	無錆
	0,1,2,3,4	2,3,4	//	赤錆
SS400* (CASE4)	4→0 添 接板 KL	2	35	赤錆
SS400* (CASE3)	0,1,2,3,4	2	40~87.5* (仮縁端)	赤錆
SM490Y (CASE3)	0,1,2,3	3	//	//
SM570 (CASE3)	0,1,2,3	3	//	//
SM570 (CASE2)	F(0.67)	2	35	赤錆
	F(0.00)	2	//	

(T) : 厚板側母材縁端のテーバー処理(1:10)  
 SS400\* : 添接板のみ SS400/母材 SM490Y  
 F(0.67) : 板厚差 0.67mm のフィラー試験体  
 F(0.00) : // 0mm // (数量は表-4 参照)  
 40~87.5\* : 仮縁端距離 (実縁端距離+5mm ギャップ)



縁端拡大 (CASE 3) 試験体概要



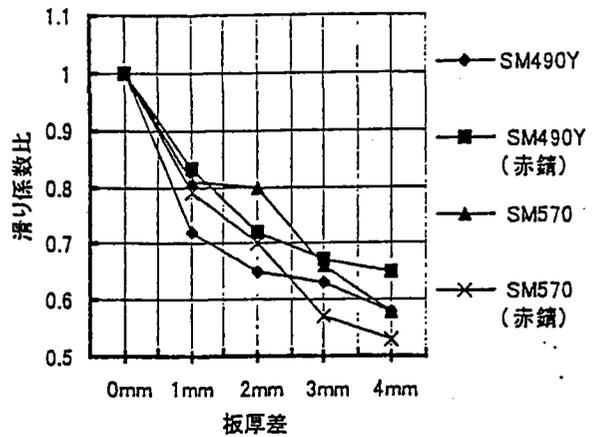
肌隙改善 (添接板ナックル加工) 試験体概要 (CASE 4)

図-2 試験体の概要 (滑り耐力改善対策)

3. 結果とまとめ

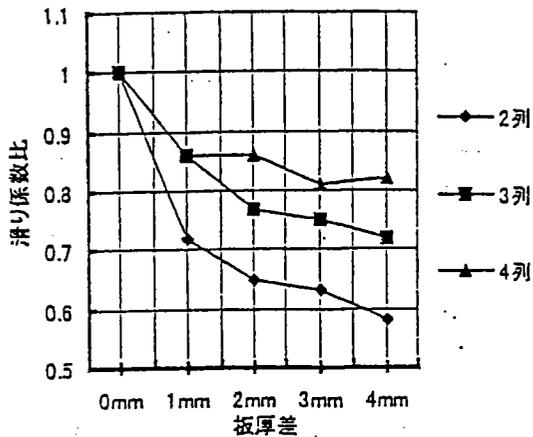
結果を下図に示す。

- 1) 板厚差に応じて肌隙が生じ、接触圧が減少するためすべり係数が低下する。ただし、ボルトの中心間隔を変えることによって改善が可能。
- 2) 板厚差によるすべり係数の低下は鋼材の降伏強度が大きくなるにつれ顕著になる。
- 3) 板厚差によるすべり係数低下はボルト列数が多くなるにつれ、希薄になる。
- 4) 低材質のフィラープレートを用いても、すべり係数は低下しない。
- 5) 厚板側にテーパ処理を施すことにより、すべり係数を改善できる。
- 6) 添接板に曲げ加工すると見かけ上肌隙はなくなるが、すべり係数はあまり改善できない。
- 7) 2次元モデルを用いた弾塑性有限要素解析でも、板厚差による摩擦継手のすべり耐力の予測が可能である。

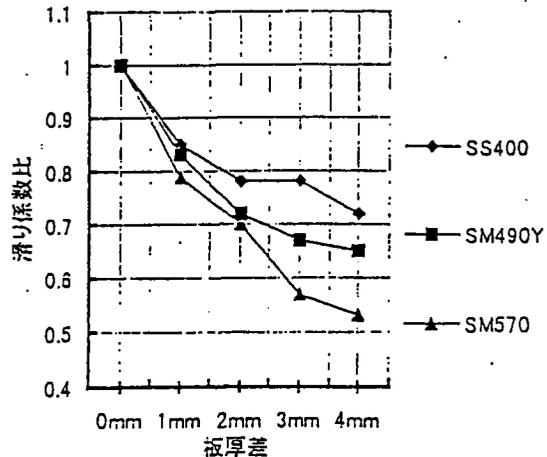


(a) 2列継手

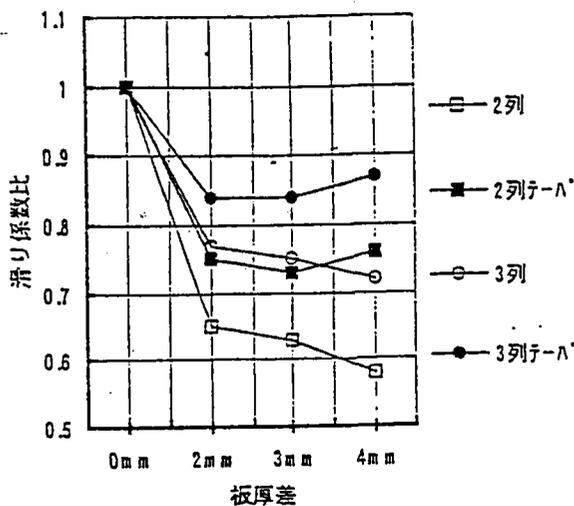
図一7 板厚差と滑り係数低下比



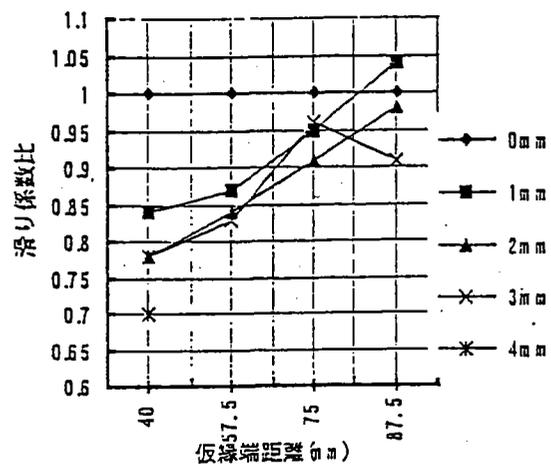
図一8 ボルト列の影響 (SM490Y: 無錆)



図一12 材質の影響 (2列: 赤錆)



図一14 テーパー効果試験 (SM490Y)



(a) SS400/2列継手

図一15 縁端距離拡大効果

キーワード

高力ボルト摩擦接合、板厚差、すべり係数

第1章 序論

1.1 高力ボルト摩擦接合の歴史

表-1 高力ボルト摩擦接合継手の歴史

1964 (S39):	高力ボルト JIS 規格 (F7, 9, 11, 13T)
1966 (S41):	高力ボルト摩擦接合指針 (日本道路協会)
1967 (S42):	高力ボルト JIS 改正 (F8, 10, 11Tに変更)
1970 (S45):	高力ボルト JIS 規格改正
1973 (S48):	道路標示方書: 高力ボルトが採用される。 肌隙の規定: 密着させる/食通いの発生処置方法有り フィーラー: 2mm 以下は腐食の点から使用しないほうがよい
1977 (S52):	鋼構造接合資料集発行される (これ以降の出版はない)
1980 (S55):	道路標示方書: 若干表現が変わる (S52版に対し) 肌隙の規定: 現場での食違い→ターフ等の処理/肌隙→密着 フィーラー: S48版同様
1990 (H02):	道路標示方書: 拡大孔、TCボルト、摩擦面に厚膜無機ゾウが登場 肌隙の規定: 肌隙→密着 フィーラー: S48版同様
1994 (H06):	道路標示方書: 摩擦接合の項 H02版と同じ
1995 (H07):	鋼道路橋設計ガイドライン (案): 省力化橋梁設計について 主要継手にフィーラー採用 (ただし材質は母材に合わせる)
1996 (H08):	道路標示方書: 耐力点法の登場 肌隙の規定: 肌隙→密着 (H02版と同様) フィーラー: S48版同様であるが、材質は一般構造用圧延鋼材でよい

1.2 すべり耐力に影響を与える要因

- ①継手母材の接触面の状態
- ②ボルト軸力
- ③継手を組み立ててからの経過時間
- ④継手母材の強度
- ⑤荷重の種類
- ⑥継手の形式
- ⑦継手の形状 (サイズ、ボルトの配列)
- ⑧ボルトのグリップ長
- ⑨板厚差
- ⑩過大孔および孔のくい違い
- ⑪温度、湿度
- ⑫滑り継手材片の応力、有効断面

1.3 板厚差に関する既往の研究

表-4 板厚差に関する主要研究例

研究例	板厚差	材質	ボルト例	母材	添接板	備考
八幡製鉄 (株) NO248 1964/9: 加藤他	不明	不明	不明	不明	不明	1mm は許容 2mm は 7列以上は 影響なし
土木学会第20回年次講演会 1965/5: 玉井他	2mm	不明	1行 4列	30mm	14mm	2mm で低下比 0.9
日本建築学会大会権覧集 1973: 安田	1~5 mm	SS400	1行 2列	3.9.12 mm	4.5、6 、9mm	2mm で低下比 0.9

- 第2章 研究方法
- 第3章 板厚差を有する摩擦接合継手の実験
- 第4章 数値解析
- 第5章 すべり耐力改善の研究
- 第6章 研究のまとめ
- 第7章 今後の課題

文献5-2, 5-3と同じ内容のため、詳細の記述は省略する。

キーワード 摩擦接合、ボルト連結、孔引き、多列ボルト

### 1. 研究目的

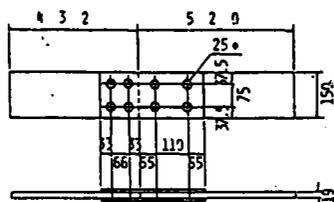
本研究の目的は以下の通り。

- ①引張荷重を受ける摩擦接合継手で母材純断面(孔引き断面)応力が降伏強度を超える場合の継手のすべり耐力を明らかにし、母材の断面計算の孔引き省略の可否について検討すること。
- ②多列ボルトのすべり耐力及びメカニズムを明らかにし、応力方向の最大ボルト本数に関する道示規定の妥当性について検討すること。

### 2. 試験方法

1) 孔引き検討用(供試体は図-1)

- ①使用鋼材: SS41, SM50, SM50Y, SM58の4種
  - ②同一純断面積に対するボルト軸力の総和をパラメータにし、応力方向のボルト本数およびボルト締め付け軸力を変化させている
- 2) ボルト列数検討用(供試体は図-2)
- ①使用鋼材: SM50の1種
  - ②ボルト列数は4, 6, 8, 10, 12列の5種類
  - ③使用ボルトはM22(F10T)



- 1-PL 19x150x520 SM50
- 1-PL 19x150x432 SM50
- 2-PL 10x150x352 SM50

図-1 供試体寸法(1)

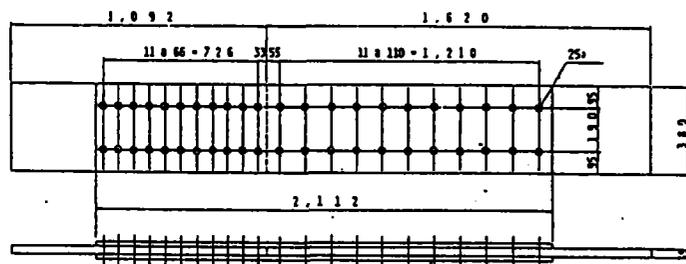


図-2 供試体寸法

### 3. 試験結果と考察

1) 孔引きについて

- ①孔引き純断面の応力が降伏強度を超えると、見かけ上の摩擦係数が減少することが確認できた。
- ②ボルト軸力を大きくしても、継手の破断荷重は一定である。また、破断荷重は純断面積と素材の引張強度の積よりも10~20%程度高い。
- ③本結果をそのまま孔引きの省略に結びつけることはできないが、例えば純断面積の応力が許容応力度をわずかに超えるくらいであれば、ボルト本数の割増しにより対処することも不可能ではない。

2) 多列ボルトについて

- ①摩擦係数は4~12列で目立った減少傾向はみられなかった。
- ②8列以下の継手では全体すべりが起こった後、部材の破断に至ったが、10列のボルトを境にすべりから破断に至る様相が異なっていることが明らかになった。

具体的には

- 10列 … 部材の部分的な伸びにより端ボルトが支圧状態→部材の破断(全体すべりなし)
- 12列 … 部材の部分的な伸びにより端ボルトが支圧状態→支圧状態のボルトにはさまれた部分の部分すべり→端ボルトの破断

キーワード

高力ボルト摩擦接合、多列ボルト、すべり強度

1 まえがき

高力ボルト摩擦接合を対象にした弾塑性有限変位解析によりボルト列数、母材及び添接板の降伏強度、母材-添接板間のすべり強度をパラメータにした解析を行い、それらの諸元が継手に与える影響度について考察した。そして、多列高力ボルト摩擦接合引張継手のすべり強度低減のメカニズムについて考察するとともに強度低減係数について検討を行った。

2 解析手法と解析モデル

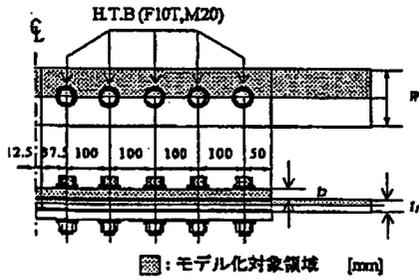


図-2 解析モデル

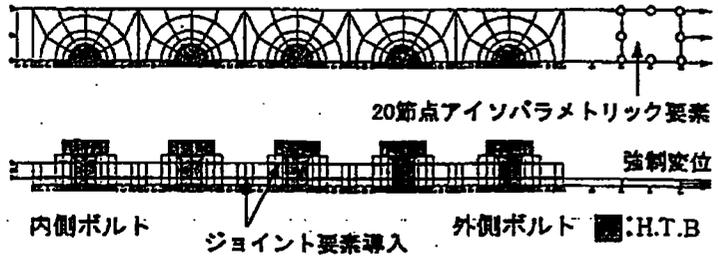


図-3 要素分割図

3 解析結果

- ・すべり耐力はすべり強度、母材降伏強度比  $\beta$  と添接板・母材降伏強度比  $\gamma$  により決まるが、 $\beta$ 、 $\gamma$  が等しいにもかかわらず、ボルト列数が増加するに従いすべり強度は低下する傾向を示す。
- ・層間せん断力の標準偏差は同荷重レベルでもボルト本数が多いほど顕著に表れた。層間せん断力の不均一の程度がすべり強度の低減に大きく関与すると考えられる。

4 強度低減係数

- ・ISOにより規定されている低減係数は、解析結果の下限値相当である。

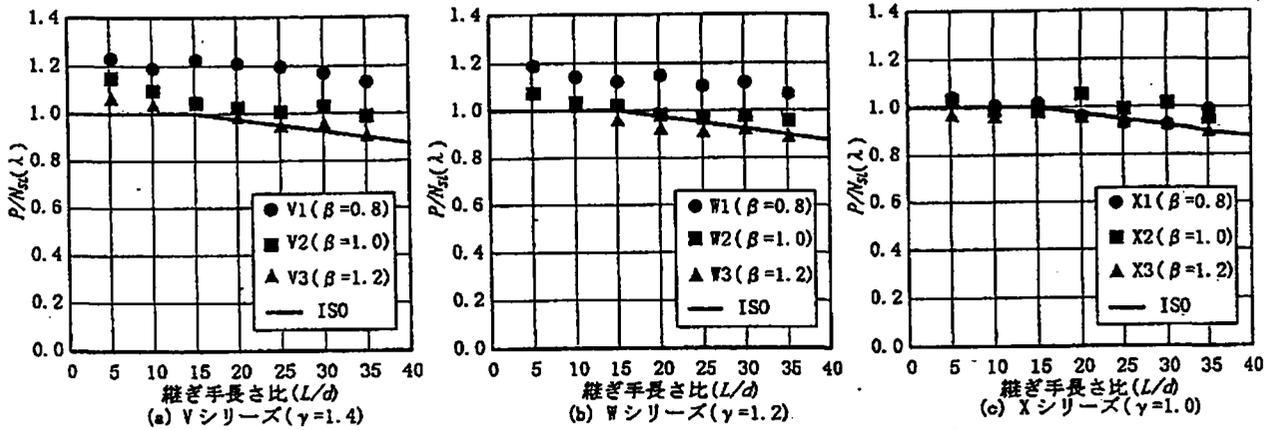


図-6 強度低減係数

キーワード 国際基準、ボルト連結、拡大孔、長孔、 多列ボルト

1. 拡大孔、長孔に関して

Contents		ISO10721-1
A. 8. 8. 2. 2	ボルト孔	普通ボルトでは、孔径がボルト径より3mm大きくなるため 間隙が生じるが、これは構造物の架設を容易にする上で 必要である。長孔または拡大孔の使用は、これと同じ配慮。
	拡大孔と長孔を使用する継手の条件	
	a) 拡大孔	拡大孔は、支圧タイプの連結部に使用不可。摩擦接合継 手ではどの層でも使用可能。 $d \leq 22\text{mm}$ $D \leq d + 4\text{mm}$ $d \leq 24\text{mm}$ $D \leq d + 6\text{mm}$ $d$ : ボルト直径 $d > 27\text{mm}$ $D \leq d + 8\text{mm}$ $D$ : 拡大孔径
	b) 短い長孔	長孔の幅 $B = d + 2\text{ mm}$ 長孔の長さ $L = D + 2\text{ mm}$ ここに $D$ は上に規定。 摩擦接合継手では、どの層にも、また全層に使用可能。 また、長孔は作用方向のどの方向でも使える。 支圧タイプの接合部では、どの層にも使えるが、長孔の長 さ方向は作用方向に直角でなければならない。
	c) 長い長孔	長孔の幅 $B = d + 2\text{ mm}$ 長孔の長さ $L > D + 2\text{ mm}$ $\leq 2.5d\text{ mm}$ 摩擦接合連結と支圧タイプの連結とも、接合面に隣り合う 1層のみ使用可能。 摩擦接合連結では、作用方向と無関係に使用できるが、 8. 8. 3とA. 8. 8. 3を満足する必要ボルト数にさらにそ の1/3を追加しなければならない。 支圧タイプの接合部では、長孔の長さ方向は作用方向に 対し直角でなければならない。

2. 多列ボルトに関して

Contents		ISO10721-1
A. 8. 8. 6	連結長	<p>連結部の最初と最後のボルト間の間隔が15d以上(dはボルト径)である時は、この連結部の耐力は、図A. 8. 8. 6に示した係数<math>\beta</math>を使って減じる必要がある。                      ただし、この低減は、例えば梁や柱の腹板からフランジにせん断力を伝達する場合など、連結長全体にわたって力が等分布される場合には適用されず、また、摩擦接合連結のすべり計算にも適用されない。</p> <p> <math>L \leq 15d</math>                    <math>\beta = 1.0</math>  <math>15d &lt; L \leq 65d</math>        <math>\beta = 1.075 - L/200d</math>  <math>L &gt; 65d</math>                    <math>\beta = 0.75</math> </p>

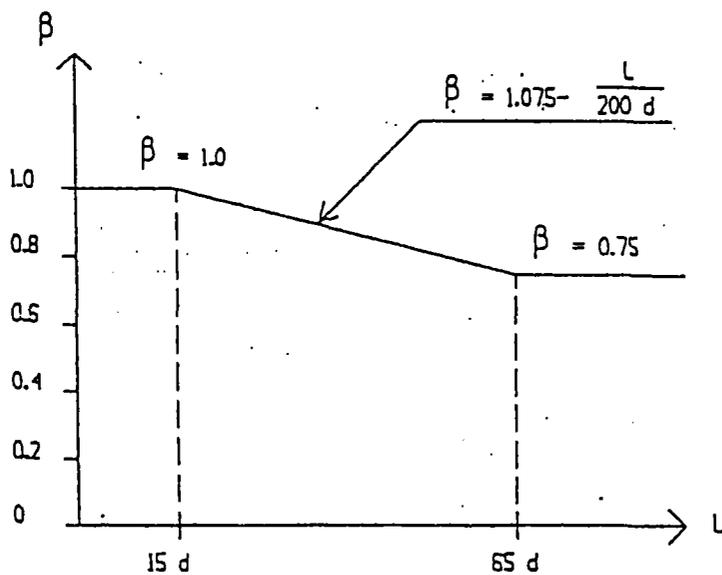


図-A.8.8.6 長い継手における減少率

キーワード 国際基準、ボルト連結、拡大孔、長孔、 多列ボルト

### 1. まえがき

ISO/TC等の設計基準では、高力ボルトの多列化に伴うすべり強度の低減について規定しているが、我が国の現行の道示ではこのような考慮が明確になされていない。

多列高力ボルト継手に関する既往の研究については、すべり特性やボルト孔のクリアランス量等の形状効果など、様々な実験的研究が行われているが、継手長さ比増加に伴うすべり強度低減に主眼をおいた研究は少なく、すべり強度低減のメカニズムを解析的に評価した研究は報告されていない。

ここでは、ボルト列数、ボルト間隔、母材および添接板の降伏強度、母材一添接板間のすべり強度をパラメータに解析を行い、これらの影響とすべり強度低減のメカニズムについて考察をしている。

### 2. 解析方法

1)弾塑性有限変位解析を行っている。

2)鋼板の塑性化に伴うボルト軸力の減少や、鋼板の全接触面にジョイント要素を導入し、摩擦面の固着や すべり、剥離といった継ぎ手特有の挙動を表現できるプログラムとなっている。

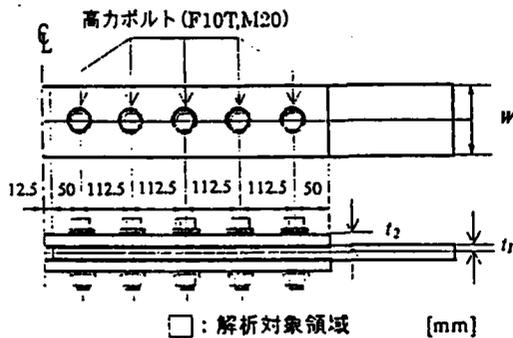


図-3 解析モデル (5列, 間隔112.5mm)

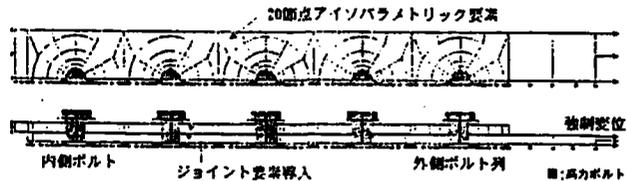


図-4 要素分割図 (5列)

### 3. 結論

1)ボルト行数の変化は列数の変化ほどすべり強度に影響を及ぼさない。

2)ボルト列数増加によるすべり強度低減の大きな要因の一つに、母材一添接板間における継手長さ方向の層間せん断力の不均一が挙げられる。

3)継手長さ比がL/dが15を超えるとすべり強度が公称値を下回る継手があった。また、すべり強度・母材降伏強度比βが1.2の継手の下限値相当はISO基準値とほぼ一致する結果となった。

4)すべり強度・母材降伏強度比βが小さく、添接板・母材降伏強度比γが大きいほどすべり強度限界は大きくなる。これは、βが小さいほど降伏の影響が緩和され、またγが大きいほど添接板の補剛効果が期待できるためである。

5)主すべりが限界状態となる継ぎ手では、ボルト列数増加に伴う、すべり強度と公称値の比の低下はほぼ比例関係にあり、列数が1列増加するごとにすべり強度は2.5%程度低下する。

6)基本すべり強度を基準とした場合、すべり強度低減係数は次式で表すことができる。

$$P_{sL} = \lambda \cdot P_{BSL}$$

$$\lambda = 0.3 \times 10^{-2} \times (\text{Row}-2)^2 - 0.45 \times 10^{-1} \times (\text{Row}-2) + 1$$

$P_{sL}$  : すべり強度

$P_{BSL}$  : 基本すべり強度

Row : ボルト列数

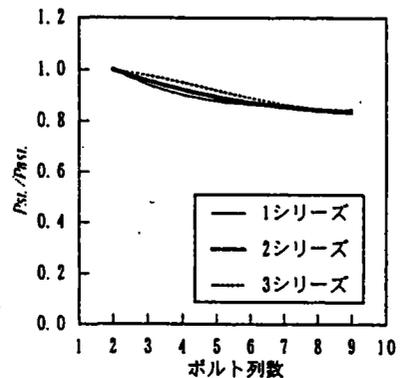


図-15 強度低減係数④

キーワード

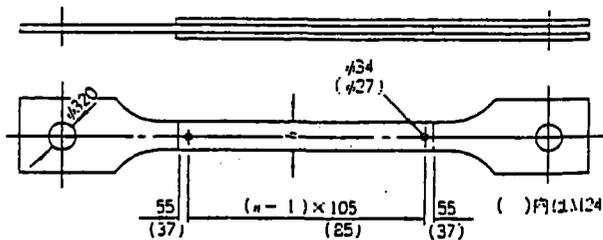
多列高力ボルト、すべり試験、クリープ試験

1 はじめに

多列高力ボルト継手についての性状を明らかにするため、静的すべり試験、クリープ試験を行い、すべり係数、継手部の応力分布、ボルト軸力の変化、添接板を2分割にした場合の継手性能の調査をした。

2 静的すべり試験

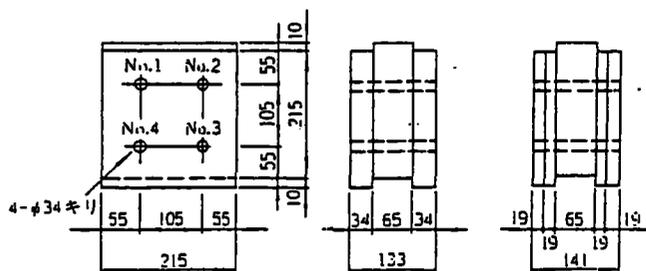
ボルト列数、ボルトの呼び径、添接板枚数の影響を調査する。



ボルト 6 列, 12 列, 18 列  
すべり試験供試体の形状

3 クリープ試験

太径防錆処理高力ボルト摩擦継手のクリープに、添接板枚数、鋼板材質(SM58、SS41)がどう影響するか。



クリープ試験の供試体

4 結果

- ・実験した全供試体のすべり係数は、0.481～0.560で現状の設計は十分安全側である。
- ・ボルト列数によるすべり係数は、多列になると低下するとは断定できない。
- ・添接板を2枚にした場合は、すべり係数で約2%低下したが0.5であった。クリープによる軸力減少は、1枚に比べて約4%多い。

キーワード

高力ボルト、摩擦接合、すべり荷重、最大荷重

1 はじめに

高力ボルト摩擦接合は応力の流れが円滑で継手の剛性が高く疲労に強い優れた現場接合であることが広く知られている。しかし、激震時にはすべりが生じるにより骨組みの履歴性状がスリップ型となり耐震的には好ましくないと考える。

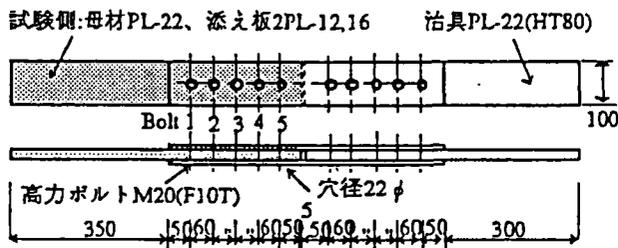
本研究では、一般的な高力ボルト摩擦接合として、F10T、M20高力ボルトを用いた多列高力ボルト摩擦接合部を取り上げ、引張力を受ける場合の変形性状、初期すべり耐力と降伏耐力の相関、破断耐力について実験的に検討・考察し、すべり耐力に関する基礎的設計資料を提示するものである。

2 高力ボルト摩擦接合部のすべり実験

試験体は1行多列高力ボルト継手供試体で、高力ボルトとしてF10T、M20を試験側の母材・添え板には各々PL-22、PL-12あるいはPL-16のSS41鋼板を使用した。なお、治具側はHT80材とし、降伏しないようにした。

試験体一覧

試験体記号	数量	ボルト列数	添え板板厚	備考
MB20-1-12	2	1	12	シリーズA
MB20-2-12	2	2		母材:PL-22(SS41)
MB20-3-12	2	3		高力ボルト:M20x85,F10T
MB20-4-12	2	4		摩擦面:グリッドブラスト
MB20-5-12	2	5		
MB20-1-16	2	1	16	シリーズB
MB20-2-16	2	2		母材:PL-22(SS41)
MB20-3-16	2	3		高力ボルト:M20x90,F10T
MB20-4-16	2	4		摩擦面:ショットブラスト
MB20-5-16	1	5		



多列高力ボルト摩擦接合試験体 (n=5)

3 実験結果とその考察

1) 変形性状と崩壊性状

総ての供試体で主すべりが認められた。n=2の供試体では1体を除き主すべりが生じた後、母材の欠損部(第1ボルト部)降伏、母材軸部の全面降伏が起こった。しかし、いずれの供試体も母材欠損部で破断した。n=3の試験体では軸部の全面降伏前後で主すべりが生じた。また、n≥4では母材の欠損部降伏、全面降伏後主すべりが生じ、母材欠損部の絞りで最大荷重が生じた。

2) 降伏耐力と最大耐力

主すべりが先行しない場合、母材の欠損部(第1ボルト部)降伏荷重 $F_{ye}$ は理論値 $P_{ye}$ より大きくなる。この増加量(摩擦力)はボルト孔前面の摩擦面で伝達される応力の総和であるが、第1ボルト部母材側面が降伏歪に到達した時点の引張力(=欠損部降伏荷重)とこの母材欠損断面での降伏耐力 $P_{ye}$ との差として評価すれば、13-24%上昇する。

次に、母材欠損部で破断する場合の最大荷重は母材の破断耐力の1.08-1.12倍である。この場合の理論値との差としての摩擦力の評価においては孔部近傍(第1ボルト部母材)での2軸応力の影響が含まれる。

3) すべり耐力

初期すべり耐力が降伏耐力より十分小さい場合、すなわち、単一ボルトではすべり荷重はすべり耐力の0.80-1.14倍であるが、 $P_{so} > P_y$ では母材の降伏の影響が認められ、この関係を線形近似すれば次の実験式が得られる。

$$F_s/P_y = 0.0122 + 0.9759 \cdot P_{so}/P_y \quad (P_{so} < P_y)$$

$$= 0.6738 + 0.3163 \cdot P_{so}/P_y \quad (P_{so} > P_y)$$

文献 5-11	千鳥配置多列高力ボルト摩擦継手の疲労設計における列数 — 数値実験による列数の数え方に関する考察 —
1985年	土木学会第40回年次学術講演会概要集(長嶋、伊藤)

キーワード

千鳥配置、多列ボルト、疲労設計

1 はじめに

高力ボルト摩擦接合継手の疲労強度について、「国鉄建造物設計標準」ではボルト本数に応じてA(1~4本)、A'(5~15本)およびC(16本以上)の3ランクを設定し、漸時低減することになっている。ただし、千鳥配置等におけるボルト本数の数え方については明記されていない。

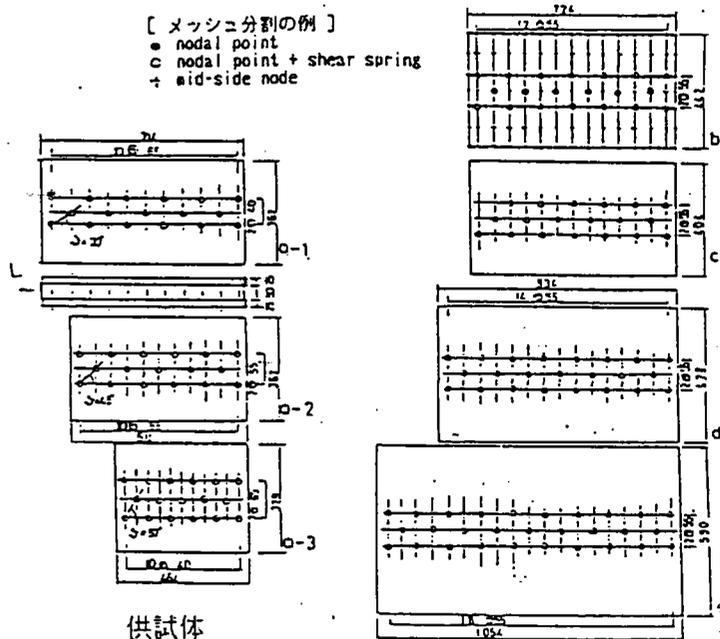
千鳥配置の場合は、列数をそのまま本数に読み替えるには多過ぎるように思われ、また全ボルト本数をゲージラインの本数で単純に除した数をそのまま使うには多少抵抗がある。

本報告は、単一ゲージラインの摩擦接合のすべり問題に対して良好な結果が得られた、剛体一ばねモデルを平面的に拡張し、高次の有限要素との混合型数値実験モデルを作成し、これを用いて上記の問題に対する検討を行ったものである。

2 数値実験モデルと供試体

数値実験用供試体はすべて3ゲージラインを有する千鳥配置高力ボルト継手とし、その全ボルト本数nに対してa~eの分類をした。(ただし、ケースaでは配置角度を3通り(33°、45°、57°)に変化させる事にした。継手断面は主すべり荷重と純断面降伏荷重が一致するように設計されており(F10T-M22、SM53)、母材と添接板の板厚はそれぞれ50mm、25mmに統一している。

摩擦係数はすべての供試体で一定値0.55とし、初期ばね定数を求める際に必要な補正係数もそれぞれ一定値、 $\phi = 0.4$ 、 $\psi = 1.3$ とした。



3 静的繰返し載荷試験から疲労強度を推定する方法について

許容応力度を最大とする片振りの場合の疲労強度に対する最大ボルト本数は、継手のすべりに対する許容力の1/2と端ボルトの局部すべり荷重 $L_1s$ が一致する時のボルト列数に当たることになる。また逆に、 $L_1s$ の2倍を総断面積で除したものが疲労強度に相当すると考えられる。

4 結果と考察

千鳥配置多列高力ボルト摩擦接合継手の疲労設計における列数の数え方は、「1つのゲージラインに含まれる本数の最大の値で読み替えても一般にさしつかえない」ように思われる。ただし、配置角度が小さくて継手が長くなる場合やケースcのように端ボルトの本数が少ない場合は上記の値に、数本加えるべきである。

キーワード

すべり挙動解析、疲れ強さ

1 はじめに

ボルト列数とボルト配置を変えた継手に対するすべり挙動解析を行い、継手の相対的疲れ強さの推定を試みる。

2 実験

数値実験用供試体は総て3ゲージラインを有する千鳥配置高力ボルト摩擦接合とし、その総ボルト本数nに対して図-1に示すようにa~eの分類をした。

ケースaでは配置角度を3通り(33°、45°、57°)に変化させ、その他のケースでは45°に統一した。

継手の板厚は板厚の違いによる影響を避けるために母材50mm、添接板25mmに統一した。摩擦係数は総ての供試体で一定値、 $\phi = 0.4$ 、 $\psi = 1.2$ とした。

図-2

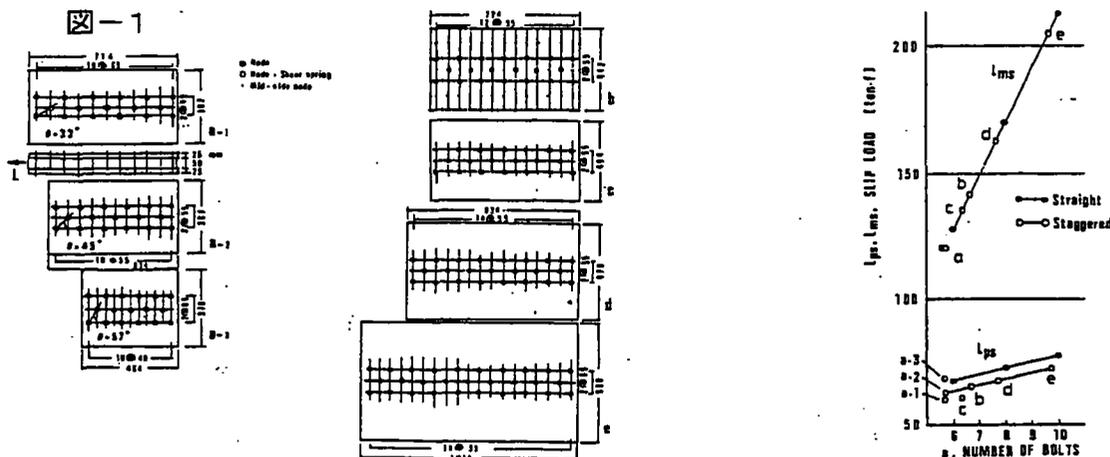


図-2はa~eの供試体の数値実験結果をまとめたものであり、総ボルト本数をゲージラインの数で除した単純平均ボルト本数nで、主すべり荷重Lms及び端ボルトの微小すべりLpsを表したものである。

3 結果

微小すべり荷重Lpsには若干の差が現れ、千鳥配置の場合が低くなる。この差はa-2、b、d、eの各ケースについて同程度のものとなっており、単一ゲージ継手のLpsに一致させるためにはボルト列数を2列程度減らす方向へ平行移動させる必要がある。すなわち、ボルト2列に相当する差が生じる。

ケースaの場合には配置角度の違いにより継手長さが異なり、その影響で微小すべり荷重に差が出ている。配置角度を $\theta = 57^\circ$ とした短い継手は単一ゲージ継手相当のLpsを持つ事が分かる。端ボルト本数が少ない、ケースcの場合にはLpsが低くなっている。この場合は単一ゲージ継手の微小すべり荷重値に一致させるためには $\theta = 45^\circ$ の場合に対してさらにボルト1列の差がある事が分かる。

4 まとめ

ボルト配置ピッチは疲れ強さに対しても小さくする方が良さそうである。

千鳥配置の場合には端ボルト本数が少なくなるような配置は避ける方が望ましい。

端ボルト本数が少ない場合や、配置角度が小さくて継手が長くなるような場合にはこれに1~2本加えるべきである。

キーワード

すべり係数

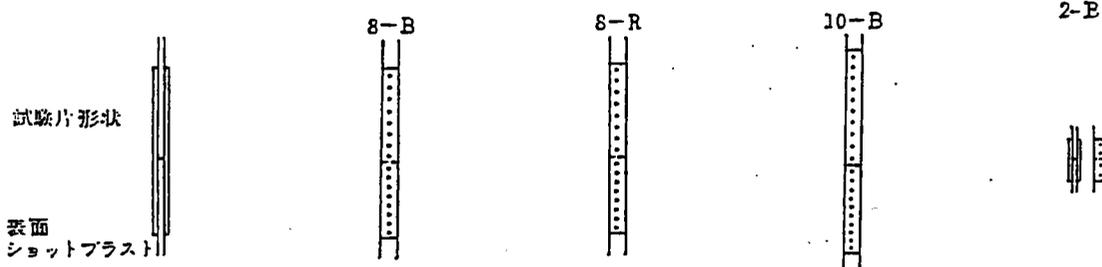
1 はじめに  
継手のサイズ、ボルト配置が摩擦抵抗に及ぼす影響を調べる。

2 実験

荷重方向に8本及び10本のボルトが並んだ継手と、それと同断面の2本ボルトの継手について引張り試験を行った。  
結果、すべり係数 $\mu$ は以下のようになった。

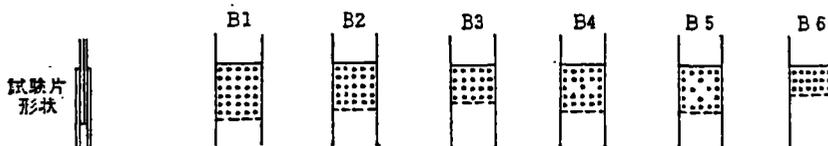
	ピッチ66mm(3d)	ピッチ110mm(5d)
2本	0.420	0.495
8本	0.385	0.464
10本	0.375	0.399

試験片形状



試験結果より、ボルト数が多いほど $\mu$ は減少する傾向を示した。また、ピッチ3dと5dの比較では、ピッチ3dの方がややすべり抵抗が小さいような傾向が見られるが、他の実験ではピッチの大きいほうが先にすべる傾向もみられており、すべり抵抗の差は小さく通常継手部に使用されるピッチの範囲ではほとんど差がないといえる。

下図は、Foremanほかの大型継手引張り試験片である。  
ボルト30本から18本までのB1～6の6本について比べると、間を最も抜いているB5が $\mu$ は最小で0.321と特に小さく、次が間を2本抜いたB4の $\mu=0.390$ である。  
この結果から、摩擦抵抗はボルト軸力、表面状態のみでなく、ボルト配置にも関係がある。



3 まとめ

- ・突合わせ継手では、荷重方向にボルトが1～6本まではボルト数に関係なく摩擦抵抗はほぼ一定と考えて良い。
- ・荷重方向にボルトが8本、10本となった場合、すべり係数の低下が見られたが、すべり応力が高くなっていったので、実際バランスした設計の場合を考えれば、 $\mu$ の低下はないように思われる。

## 第6章 溶接接合

溶接技術は鋼橋の設計・施工技術体系において大変重要な位置を占めるものであり、溶接設計、施工が鋼橋の品質を左右するといっても過言ではない。我々は溶接設計のみならず、溶接施工技術についても幅広い知識を持つておくことが必要である。

昨今、景観上の理由から現場溶接が採用される機会が多くなってきており、中でも合理化版桁橋の現場溶接採用拡大に伴い溶接技術、非破壊検査技術も大幅な進歩を遂げ、最大100mmの板厚までの溶接施工が認められるようになった（現場溶接含む）。

しかしながら、溶接設計が適切に行われていなかったり、溶接施工部に不具合があると、溶接部は鋼橋における最大の欠点箇所ともなり得る。溶接設計の中でも疲労に対する配慮は特に留意を要するものであろう。

上記の様な背景から、本章で収集した文献の多くは合理化版桁橋の現場溶接に関する文献、溶接部疲労強度に関するものが多くなっている。これらの技術は鋼橋全ての溶接技術に通ずる所が多いため、技術者には大いに参考になるものと考えられる。

キーワード 炭素当量、溶接割れ感受性組成

1 はじめに

平成8年の道路橋示方書改訂により、予熱有無の判定が従来の炭素等量Ceqから溶接割れ感受性組成Pcmに変更された。

改訂前の示方書に従った橋梁に使われている鋼材は、予熱の有無がCeqで判定されていたので、0.44%を越える鋼材はほとんど無かったものと思われる。ところが、予熱判定有無にPcmを用いることになるとこれまでと同じ製造工程の鋼材を用いた場合、予熱の機会が増加する可能性もある。

本研究ではCeqとPcmの関係を把握するため、ファブリケーターで取り扱った(H5年)構造用鋼材の実績調査を行った。

2 分析方法

溶接割れ感受性組成(Pcm)(%)および炭素等量(Ceq)(%)について記載されていないミルシートもあったので以下の評価式を使ってPcm、Ceqを計算した。

Pcm = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B

Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14

3 調査結果および考察

CeqとPcmの関係、およびCeqと板厚の関係を図1に示す。この図からCeqが0.44%を越えるものは合計27個である。Pcmに関する基準を図1に適用すると、予熱を必要とするものが257個もある。このことから、予熱に関する規定がきわめて厳しくなったことが分かる。

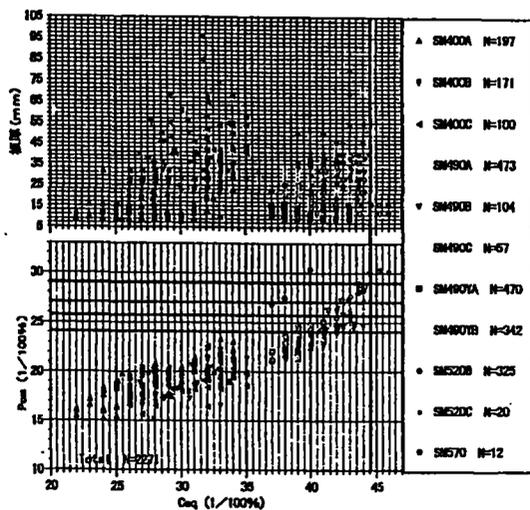


図-1 板厚とCeq、PcmとCeqの関係

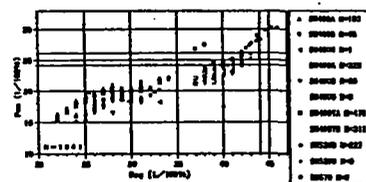


図-2 板厚が25mm以下のPcmとCeqの関係

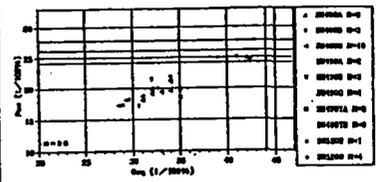


図-4 板厚が40mmと50mm以下のPcmとCeqの関係

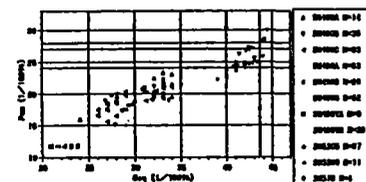


図-3 板厚が25mmと40mm以下のPcmとCeqの関係

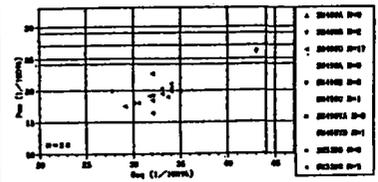


図-5 板厚が50mmとそれ以上のPcmとCeqの関係

また、Pcmと板厚の関係を調査したところ、板厚が薄い方に予熱を必要とする物が多く、これまでの経験と矛盾する結果となった。

キーワード 現場溶接

1 はじめに

本論文では実物大I桁継手を用いて、従来架設工法に対応した溶接試験と、山岳橋梁で優位性を発揮するジャッキアップ回転架設工法に対応した溶接試験の2種類を実施し、その施工方法ならびに溶接継手の性能を確認した。

2 試験概要

供試体形状は支間80m、幅員10m程度の2主桁橋の試設計から決定した実物大I桁とした。材質はSM570Wである。

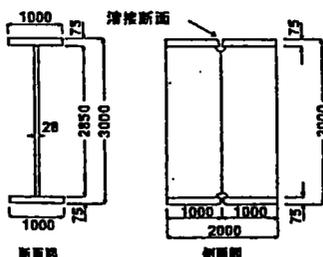


図1 I桁の供試体形状

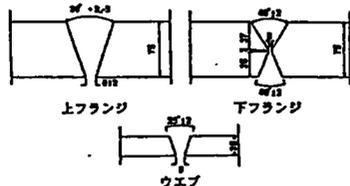


図2 従来工法対応の継手開先形状

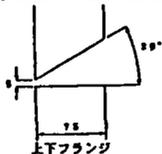


図3 ジャッキアップ工法対応の継手開先形状

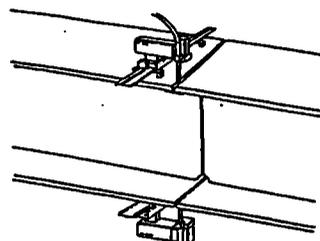


図4 現場溶接のイメージ

表3 角変形の計測結果

部位	従来		ジャッキアップ
	角変形量	収縮量	収縮量
上フランジ	0.16°	3.4mm	2.4mm
ウェブ	1.0mm	3.4mm	—
下フランジ	0.15°	1.7mm	2.3mm

表4 引張試験結果

種類	引張強さ		破断位置
	規格値	試験値	
従来	上フランジ	592	母材部
	下フランジ	570~720	母材部
ジャッキアップ	IFフランジ	623	母材部

表5 衝撃試験結果

種類	規格値	試験値
従来	-5℃	91
ジャッキアップ	≥ 47J	98

表6 外観検査結果

検査項目	判定基準	検査方法	判定
目遣い	1/20以下	ゲージ	合格
溶接割れ	あてはまらない	目視	合格
アングカッタ	あてはまらない	ゲージ	合格
オーバーラップ	あてはまらない	目視	合格
ビード表面凹凸	2mm以下	ゲージ	合格
表面ピット	あてはまらない	目視	合格
角変形	5mm以下	ゲージ	合格

表7 超音波探傷試験結果

種類	試験結果	判定
従来	無欠陥、1類	合格
ジャッキアップ	無欠陥、1類	合格

3 試験結果

(1) 角変形および収縮量の計測結果

上下フランジの角変形量については、従来工法で0.15~0.16°、収縮量は1.7~3.4mmであった。ジャッキアップ回転工法では収縮量は2.3~2.4mmであった。これら値は現場組み立て時に影響がない。

(2) 機械試験結果

引張、衝撃試験、曲げ試験いずれにおいても許容値内で問題はなかった。

(3) 外観検査、非破壊検査

ともに判定基準を満足した。

(4) 溶接時間の調査結果

従来工法で準備撤去を含めた全作業時間は13H、ジャッキアップ回転工法では7Hであった。

キーワード 溶接継手、非破壊検査

### 1 はじめに

鋼少数主桁橋のフランジには最大板厚が100mmに及ぶ厚板が用いられており、従来から使用されている低エネルギー型X線撮影装置による放射線透過試験を採用した場合、信頼性のある試験結果を得ることは難しい。近年超音波自動探傷試験が溶接内部の非破壊検査として採用されてきているが、100%保証されるものとはなっていない。このため、手動超音波探傷試験との併用で検査が行われているのが現状である。そこで、予めキズおよび欠陥の発生位置を予測して探傷試験領域を絞った検査が行えれば超音波自動探傷試験の検査結果の信頼性も向上すると予想される。

### 2 溶接の概要

今回調査対象とした橋梁は、上下フランジ22~75mm、ウェブは12~22mmの板厚で構成される。ウェブとフランジの交差部にはR50のスカラップが設けられている。上下フランジはCO<sub>2</sub>ガスシールドアーク溶接による下向き溶接、ウェブはエレクトログラスシールドアーク溶接による立向き溶接、一部半自動CO<sub>2</sub>ガスシールドアーク溶接で実施した。

### 3 調査方法

溶接部の調査は、超音波自動探傷試験によりキズの検出のため1次探傷を実施した後、キズの合否判定を手動超音波探傷試験による詳細な2次探傷で行った。

### 4 調査結果

手動超音波探傷試験によりキズ種類を推定し、その種類別の発生割合を部位毎に整理した結果を図2に示す。

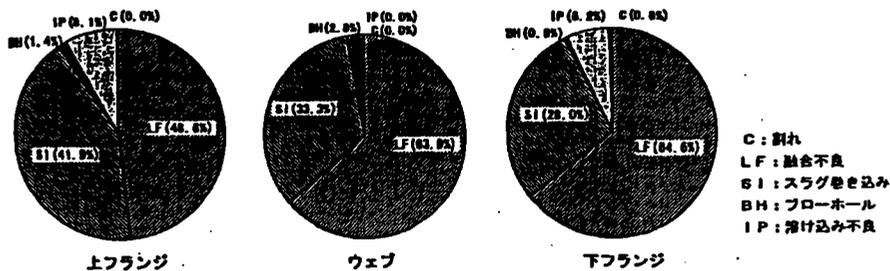


図-2 部位別キズ種類の発生率

次に、開先内のキズおよび欠陥の発生分布として、多層盛りした下フランジの分布を板厚毎に整理した結果を図3に示す。

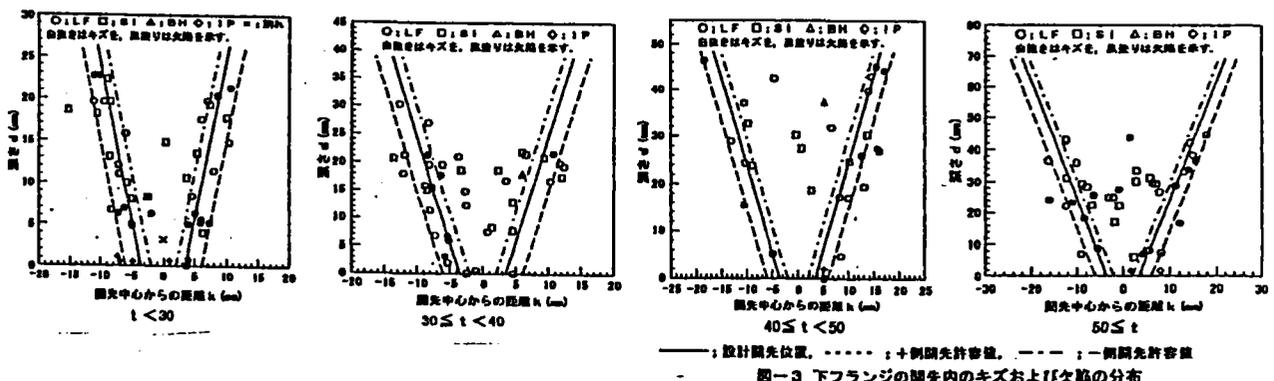


図-3 下フランジの開先内のキズおよび欠陥の分布

欠陥と判定されたキズは、母材と溶接金属間の融合不良が大半を占めていた。また、溶け込み不良と推定されたキズはほとんどが欠陥として判定されていた。

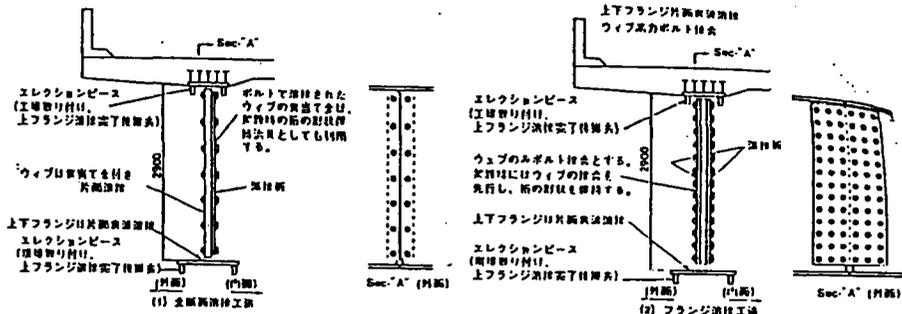
キーワード 大断面I桁、現場溶接、疲労強度、入熱量

### 1 はじめに

本報告書では、大断面の合理化鉄桁橋の合理的な現場溶接工法について検討を行っている。溶接方法として、全断面現場溶接工法と、フランジ溶接工法を提案している。

### 2 溶接工法の提案

- (1) 全断面溶接工法(ウェブ裏当て金付き片面エレガス溶接、上下フランジ片面裏波ガスシールドアーク溶接)
- (2) フランジ溶接工法(ウェブ高力ボルト接合、上下フランジ片面裏波ガスシールドアーク溶接)



### 3 上記工法の課題

- (1) 混在継手の疲労強度特性の把握  
異なるスカラップを設けた供試体を7体製作し、疲労実験を実施している。その結果、スカラップ部には公称曲げ応力の2倍の局部応力が生じるが、現場溶接タイプ、スカラップ形状による有意な差は見られない。スカラップ部の補強としてカバーPLを設け、G仕上げをすることが望ましい。
- (2) ボルト継手の検討  
両工法とも溶接收縮量が大きく、ボルト孔を拡大孔にする必要がある。溶接收縮に対する様々な検討(溶接順序、ボルト締め付け順序)を行う必要がある。
- (3) 大入熱溶接に対する考慮  
エレガスによる入熱量は約100KJ/cmとなり、継手部の靱性低下が危惧される。このような溶接に対して、大入熱溶接用に開発されたSM570Qを用いることが望ましい。

### 4 実物大溶接施工試験

- (1) 溶接施工試験体  
上FLG500mm、板厚28mm、WEB高2900mm、板厚22mm、下FLG720mm、板厚40mm  
開先形状…上下フランジともV30°  
溶接方法…上フランジCO2自動溶接  
          ウェブ エレクトロガスシールドアーク溶接+半自動CO2  
          下フランジ CO2半自動溶接

### 5 まとめ

- (1) 溶接收縮量  
全断面自動溶接工法…3mm  
フランジ溶接工法…2mm  
フランジ溶接工法…2mm
- (2) 開先精度 上下フランジの開先はV30°、ルートギャップ7mm  
ウェブの開先はV40°、ルートフェイス0mm、ルートギャップ7mm。エレガス溶接ではルートギャップ5mm  
また、開先防錆材を開先両側30mmに塗布する。
- (3) 全断面溶接工法では、ウェブ溶接に先立ってS10Tを本締めしてよい。フランジ溶接工法では仮締めとする。

キーワード 全断面溶接、非破壊検査

### 1 はじめに

本報告は名古屋高速道路公社「県道名古屋新宝線名駅(その1)工区上部工工事」の現場溶接施工試験報告である。構造は、左右に張り出し横梁を持つT型鋼製橋脚であり、横梁寸法が3200X2800、材質はSM58Q(54mm)とSM53C(42mm)である。

### 2 試験詳細

#### (1) 小型試験

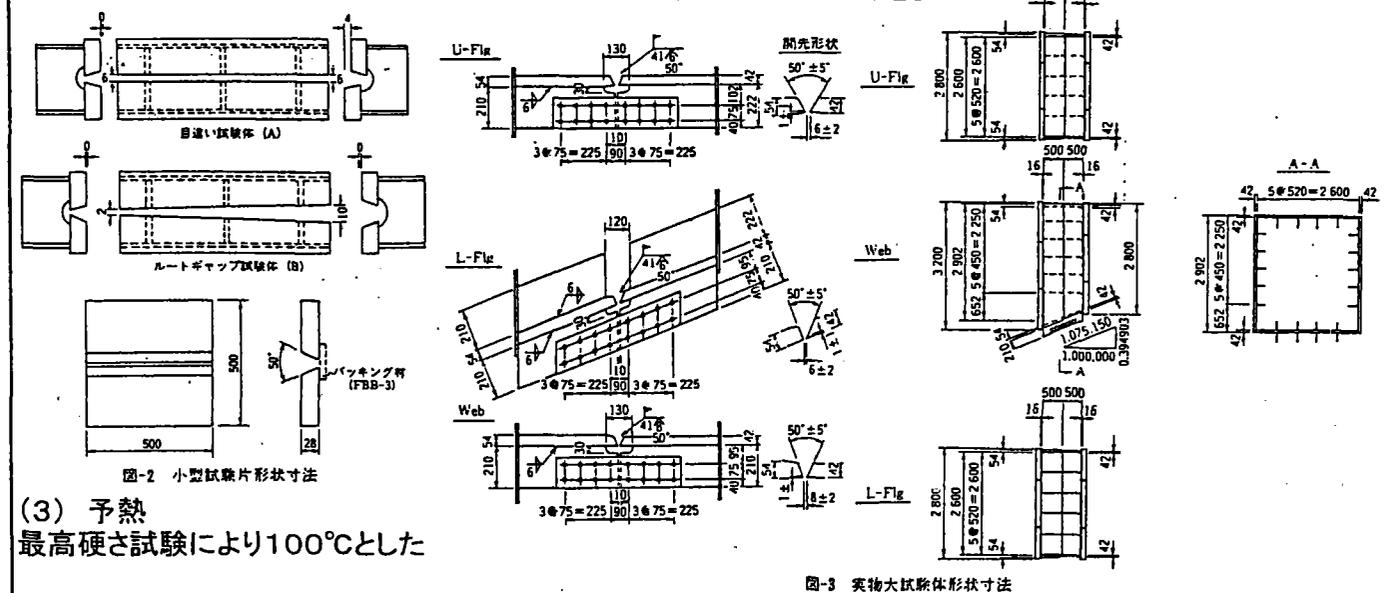
1. 外観検査 2. 放射線透過試験(X線) 3. 断面マクロ試験  
(ルートギャップの影響を受けやすい、初層溶接に着目し、SM50B、28mmの板を使用)

#### (2) 実物大試験

供試体寸法 2900mmX2600mm、奥行き1000mmのBOX、ルートギャップ8mm

1. 面外変形 2. 収縮量 3. 高力ボルトのすべり 4. 溶接継ぎ目部の健全性  
5. 隅角部溶接の健全性確認 6. 継手部の機械的性質

溶接機は炭酸ガス、もしくは混合ガスを用いた自動溶接(PICOMAX-2)を使用



#### (3) 予熱

最高硬さ試験により100°Cとした

### 3 試験結果

#### (1) 小型試験

目違いについては、下向き、立向き共X線およびマクロ試験において4mmの目違いでも良好であったが、外観において、3.5mmを越えると裏ビードの止端部がオーバーラップになったり、アンダーカットが発生した。ルートギャップは下、立向き共スタート部から約30mm(ルートギャップ2, 3mm)はX線判定4級であったが、ルートギャップの広い方では10mmでも問題がなかった。

#### (2) 実物大試験

- 1) 面外変形…面外変形量は上フランジ部で3.0mm、ウェブ部で5.2~5.3mmで許容値を満足
- 2) 収縮量…総じて収縮量は2~3mm程度である。縦収縮は平均0.25mmでわずかである。
- 3) 高力ボルトのすべり…すべりは発生しなかった。
- 4) 溶接継ぎ目健全性…下フランジX試験の結果、欠陥はなく1級であった。
- 5) 隅角部溶接部の健全性…超音波探傷試験とマクロ試験により確認したところ、1カ所で長さ30mmの溶接欠陥が検出された。原因は融合不良である。立向き溶接の電流、電圧は低めであり、ウィービングの状態によってビードが凸型になり融合不良を起こしやすい。次層を溶接する場合にはグラインダーなどの整形が有効である。
- 6) 継手部の機械的性質…X線検査の結果34枚中1級27枚、2級7枚で全数合格であった(2級の内訳は全てブローホール)。外観検査も良好であった。

キーワード 鋼床版、疲労強度

1 はじめに

本報告では、鋼床版の横リブとUリブ交差部の疲労強度についてFEM解析および疲労試験によりその特性を検討している。本報告では、通常の鋼床版におけるUリブと横リブの交差部に着目したFEM解析と、曲線橋に対応するためにスカーラップ形状を変更した鋼床版の疲労試験を実施している。

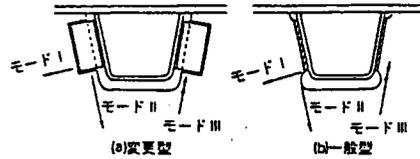


図-1 交差部に働く応力成分

2 解析および結果

解析モデルは幅員3.3m、横桁間隔2.1mの3径間連続モデルとし、3次元FEM解析を行った。

結果を纏めると以下ようになる。

- (1) 横断方向の荷重位置とスカーラップ部の応力関係は、圧縮応力ではUリブ直上の位置に荷重された場合、引張応力では同一Uリブの反対側のウェブ直上に荷重された場合が最も大きくなる。その応力発生位置は圧縮、引張ともスカーラップ周辺の交差部接合部よりやや離れた位置で最大値をとる。
- (2) 橋軸方向の荷重位置とスカーラップ部の応力関係は、Uリブの内側に荷重された場合、横リブ直上が最大となる。しかし、UリブとUリブの間に荷重される場合は横リブからやや離れた位置が最大となる。
- (3) スカーラップ部の表裏の主応力の差に着目した場合、その荷重位置と応力関係は、横断方向でUリブ片側ウェブ直上、橋軸方向では横リブから650mm離れた位置で最大値となっている。また横リブ直上では0となる。
- (4) 横リブとUリブの接合部である①要素のUリブウェア直角方向応力は、一様な引張、圧縮ではなく偶力のモードが卓越する。

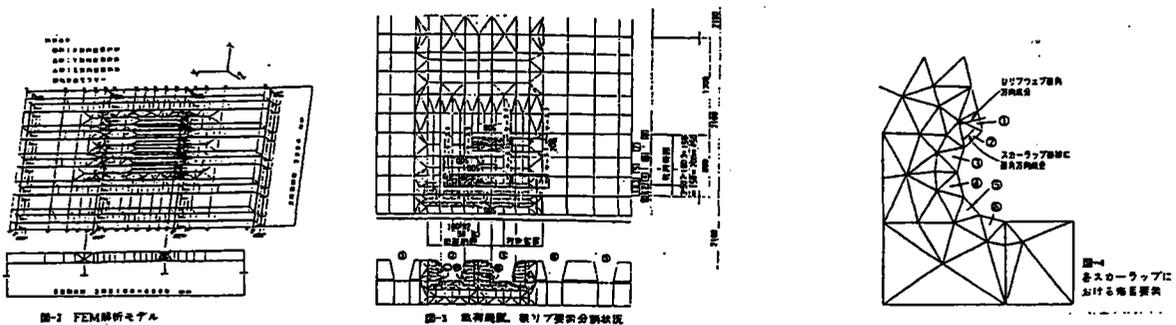


図-2 FEM解析モデル

図-3 荷重位置、横リブ要素分割状況

図-4 スカーラップにおける荷重位置

3 疲労試験

疲労試験は横リブとUリブの交差部に働く応力方向(図1)ごとにモデル化した部分試験体により行った。疲労試験の対象とした構造は一般型と変更型であり、両者を比較することにより変更型の疲労特性を評価する。

実験結果を纏めると以下ようになる。

- (1) モードIでは、一般型と変更型の疲労強度に有意な差は見られない。
- (2) モードIIの変更型は構造的に劣っているにもかかわらず、一般型に比べ55~60%の疲労強度を「確保できる。亀裂は一般型ではスカーラップ部、変更型ではパッチプレート溶接部前面より発生した。
- (3) モードIIIでは一般型と変更型に有意差は見られない。また、一般型では縦リブと横リブの溶接止端部に相当する位置が疲労上の弱点となっており、亀裂の発生位置は異なるが、疲労強度は同程度となっている。

## キーワード 全断面現場溶接

### 1 はじめに

東海IC橋(橋長197m、936t、3主桁桁)の現場溶接継手に全断面溶接継手を採用している。本報告では現場施工に先立ち溶接施工試験結果について報告している。

### 2 溶接方法

上フランジ…ガスシールドアーク自動溶接

ウェブ…同材質の場合エレクトロガスシールドアーク溶接、異材質の場合、ガスシールドアーク溶接  
(入熱量制限)

下フランジ…ガスシールドアーク半自動溶接

### 3 裏当て材

ガラステープ系とセラミック系の2種類で試験を行っている。

結果として、ガラステープ系はビード幅、余盛りとも不安定な結果となった。

セラミック系では、溶着金属のもれもなく、裏波ビード外観も良好であった。

### 4 最高硬さ試験

鋼材の炭素等量が高い場合、冷却速度が大きな場合は溶接部予熱影響部の最高硬さが高くなり、 $Creq$ が0.44%を越える場合、また外気温が $5^{\circ}C$ 以下の場合には予熱を行うことになっている。

そこで、エレクトロガスシールドアーク溶接以外の溶接法で最高硬さ試験を行っている( $Creq$ は0.44%以下)。その結果、 $Hv$ (ピッカース硬さ) $\leq 370$ となり予熱なしでも最高硬さについては問題無いことが確かめられた。

### 5 現場継手性能試験

溶接施工試験体について、マクロ試験、UT、RTを実施している。

RTにおいて、L-FLGの一部に微小なブローホールが認められたが、判定基準2級以上を満足していた。

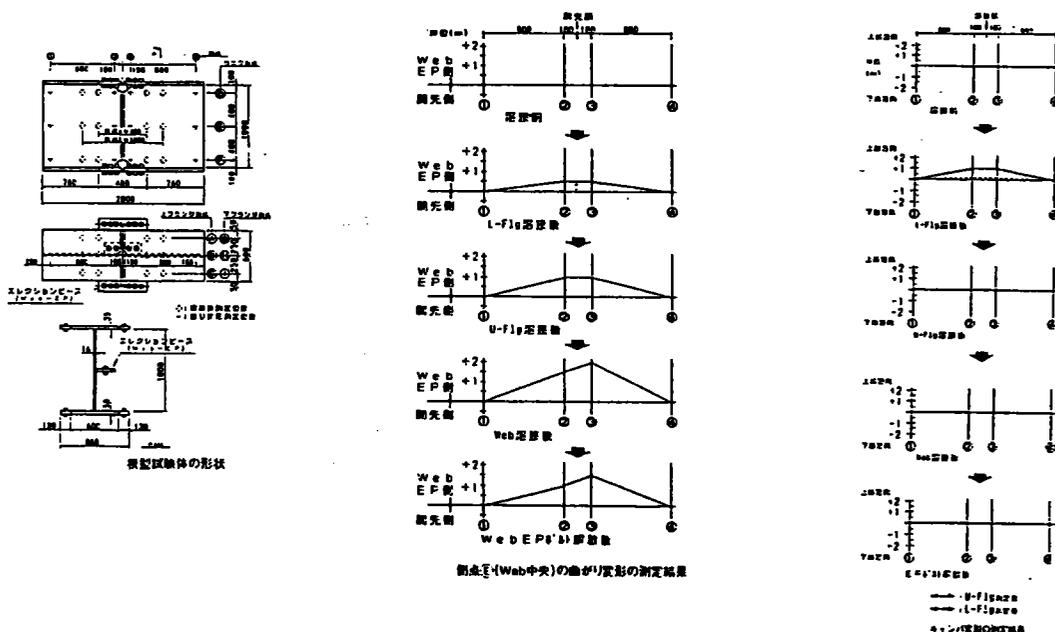
### 6 模型試験

現場溶接の溶収縮による変形量と変形形態の確認を行うために模型試験を実施している。

模型試験体はU-FLG35mm、L-FLG50mm(幅600mm)、Web16mm(高さ1000mm)である。

結果的にフランジ、ウェブ共に最終収縮量は2mmであり、平行に収縮する(キャンバーの変化無し)。

ウェブについては最大1.5mm凸型に変形したが、道路橋示方書の板の平面度(ウェブ高/250)を満足している。但し、実橋では桁高が3倍となり、変形が大きくなることも予測されるため、フランジ溶接後のエレクトロピースをゆるめ収縮に対する拘束力を開放し、再度目違いを合わせることにしている。



キーワード 現場溶接、溶接変形

1 はじめに

第二東名名神では、鋼少数主桁橋が本格的に採用され始め、その現場継手においては現場溶接が採用される。本報告では、現場溶接における問題点として、現場溶接施工法、溶接変形、継手性能に着目した実験を行い、その結果について報告している。

2 平板試験

幅500mm、厚さ25、50、80mmの板(SM570)について溶接施工試験を行っている。パラメータは溶接方法、板厚、ルートギャップ、溶接順序である。

1) 標点間距離及び測定位置と溶接変形量の関係

角変形および横収縮量の溶接変形は溶接部およびその近傍に限定される。

2) 溶接方法と溶接変形量の関係

角変形量、横収縮量、溶接変形量はCO2アーク溶接(12層28パス)がサブマージアーク溶接(12層22パス)よりも若干大きい。

3) 溶接方向と溶接変形量の関係

溶接方向は角変形量および横収縮量の溶接変形量に大きな影響を及ぼさない。

4) ルートギャップと溶接変形量の関係

ルートギャップに比例して角変形量、横収縮量が大きくなる。

5) 板厚と溶接変形量の関係

板厚の増加に伴い、角変形量、横収縮量が比例して大きくなる。

3 溶接変形量の近似式

1) 角変形量

角変形量は、佐藤らの次式を参考にして、実験値に近似させるために係数を再計算して実験式(1)を求めた。

$$\theta = C_1 \cdot (A/t)^2 \cdot [2 \exp(-C_2 t^{-0.5}) \cdot (W/W_0)^{-0.5} - \exp(-C_3 t^{-0.5})] \cdot (180/\pi) \quad (\text{佐藤ら}^{1)})$$

$$\theta = 0.2(A/t)^2 \times [2 \exp(-2.5t^{-0.5}) \times (875/t)^{-0.5} - \exp(-2.5t^{-0.5})] \times (180/\pi) + 0.04(1-25) + 0.2 \quad (1)$$

$\theta$  : 角変形量 (deg)  
 $C_1, C_2$  : 実合せ継手の略算式における定数  
 $W$  : 溶接長 1 cm 溶着金属重量 (g/cm)

$W_0$  : 表溶接の溶着金属重量 (g/cm)  
 $A$  : 開先断面積 (cm<sup>2</sup>)  
 $t$  : 板厚 (cm)

2) 横収縮量

横収縮量の近似は、橋梁関係でよく使用されるSpraragenの実験式<sup>2)</sup>と、佐藤・寿崎<sup>3)</sup>の式が一般的である。

$$Sp = 0.18Aw/t + 0.05d \quad (\text{Spraragenの実験式}^{2)})$$

$Sp$  : 横収縮量 (mm)  
 $Aw$  : 溶融断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $t$  : 板厚 (mm)  
 $d$  : ルートギャップ (mm)

$$S = \alpha Q / C \rho t \quad (\text{佐藤・寿崎}^{3)})$$

$S$  : 横収縮量 (cm)  
 $\alpha$  : 熱膨張係数 (K<sup>-1</sup>)  
 $Q$  : 溶接入熱 (kJ/cm)  
 $C$  : 比熱 (kJ/g·K)  
 $\rho$  : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
 $t$  : 板厚 (cm)

ただし、Kは絶対温度の単位(ケルビン)を示す。  
本検討では、これら2式による計算値と実験値との比較を行ったが、Spraragenの実験式は、このままでは相関が良くないので、実験値に近似させるために係数を再計算して実験式を求めた。

得られた実験式は、  
 $Sp = 0.136Aw/t + 0.05d \quad (2)$   
である。

4 結論

1) 角変形量は、溶接方法、溶接姿勢、順序に依存せず、開先断面積と板厚をパラメータとした佐藤らの式を改良した実験式で比較的良好に推定できる。

2) 横方向収縮量も、溶接方法、溶接姿勢、順序に依存せず、開先断面積と板厚をパラメータとしたSpraragenの改良実験式で比較的良好に推定できる。

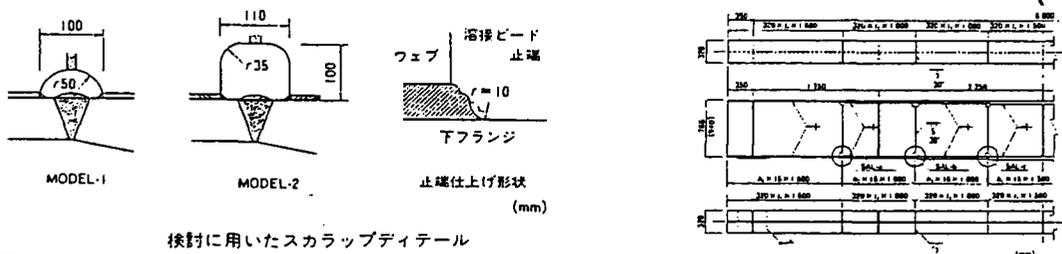
キーワード 鋼少数桁、スカラップ、疲労強度

### 1 はじめに

全断面溶接のI桁では、フランジとウェブの溶接線の交差を避けるために(品質を確保するために)スカラップが設けられる。スカラップ周辺は応力集中箇所となりやすく、スカラップまわし溶接止端部に大きな局部応力が生じる。少数主桁橋の場合、フランジ板厚は平均30~40mm、最大75mm(研究当時)と既往の研究に用いられた物よりも厚くなり、疲労強度も大きく低下しないと予想される。しかし溶接機のトーチ通過が可能な大きなスカラップになることも予想され、本研究では実物大の試験体を製作し静的および疲労試験を実施すると共にFEM解析を実施した。

### 2 静的載り荷試験

2種類のスカラップを2種類の断面構成を持つ供試体に適用し、合計4体の試験体により荷重載荷位置を変えて実験を行った。



検討に用いたスカラップディテール

### 3 試験結果

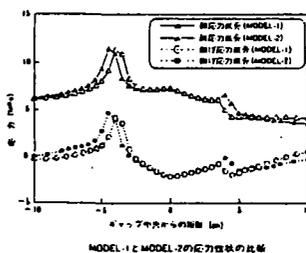
スカラップ廻りの応力性状において、フランジ厚の影響が見られなかった。フランジ厚50mmと70mmの突き合わせ溶接位置のスカラップ廻りの応力性状は、荷重載荷位置の移動により大きさ、方向が大きく変化する。スカラップモデル1の場合、コバ面(スカラップ45°位置)やウェブの突き合わせ溶接位置で大きな正負に変動応力が生じている。モデル2の場合、モデル1で大きな変動応力が生じた位置に加え、フランジとウェブとのすみ肉溶接ウェブ止端部で大きな変動応力を生じた。

### 4 FEM解析

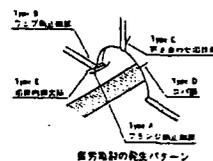
FEM解析によりピーク応力を評価するためにはソリッド要素を用いることが必要である。フランジ厚50mmの位置に設けたモデル1とモデル2のスカラップFEM解析結果を膜応力成分と曲げ応力成分に分解してプロットすると、ギャップの長さ分だけモデル1のプロットをスライドすれば、モデル2の応力とほぼ一致する。これは、ギャップが大きくなるに従って、板曲げ変形を起こしやすくなり、曲げ応力成分が大きくなる為である。

### 5 疲労試験

- ケース1の荷重状態でT60荷重による疲労試験を行った。35MPの応力振幅で200万回の繰り返し荷重試験後も疲労亀裂が見られず、50MPに引き上げ引き続き1000万回までの疲労試験を実施した。
- 疲労亀裂のパターンは5タイプに分類される。(図参照)。
- 曲げモーメントとせん断力が作用した場合、スカラップを有する薄板フランジの疲労強度は大きく低下するが、中厚、厚板フランジに用いられる場合、その疲労等級はG等級を満足する。
- 溶接止端部をグラインダー仕上げ(r=10mm)に仕上げることにより疲労強度が向上する。しかし、仕上げ形状によっては疲労亀裂発生が発生しうるため注意が必要である。
- 縦長スカラップモデル2の場合、局部応力が大きく、フランジギャップ部だけでなく、スカラップ廻りか疲労亀裂が発生しやすい。
- ウェブ突き合わせ溶接のアンダーカットやスカラップコバ面のノッチなどから疲労亀裂が発生したので製作には注意を要する。
- せん断力が作用することにより生じる中厚、厚板のフランジギャップ部応力集中係数は0.5以下であり、かつ等しい場合にはフランジの板厚による影響は小さい。



MODEL-1とMODEL-2の応力性状の比較



疲労亀裂の発生パターン

キーワード 疲労強度、高強度鋼、寸法効果、止端部仕上げ

### 1 はじめに

鋼橋へ高強度鋼を有効活用した場合に生じる疲労問題を明らかにすべく、著者らの過去における疲労試験結果を中心に鋼橋の代表的な溶接継手形式である縦方向溶接継手、十字溶接継手、面外ガセット継手について行われた疲労試験結果を整理し、鋼材強度や継手寸法に対する依存性に注目しながら溶接まま継手の疲労強度特性について検討した。

### 2 既存データに基づく溶接継手部の疲労強度の材料依存性の検討

- (1) 縦方向継手…小型継手供試体と桁供試体との間に明瞭な疲労強度の鋼材強度依存性はないといえる。
- (2) リブ十字継手…桁供試体ではJSSCのE等級を下回るデータもあり、材料強度逆依存性が現れている。
- (3) 面外ガセット継手…桁供試体では小型供試体よりも大きく疲労強度が低下し、鋼材強度逆依存性が現れている。

表-1 疲労試験結果の整理

	小型継手試験体	桁試験体
縦方向溶接継手	JSSC-D 鋼材強度非依存	JSSC-D 鋼材強度非依存
リブ十字継手	JSSC-E 鋼材強度非依存	<JSSC-F 鋼材強度逆依存性 寸法効果
面外ガセット継手	JSSC-F 鋼材強度非依存	<JSSC-H 鋼材強度逆依存性 寸法効果

### 3 面外ガセットの溶接継手疲労強度特性

本文献で整理した継手形式の中で、最も寸法効果、鋼材強度逆依存性が見られた面外ガセット継手に対して小型供試体、桁供試体を製作し、詳細な検討を行った(SM570、900MPa級高強度鋼)。

#### (1) 疲労試験結果

小型試験供試体では両鋼種で疲労強度では才が見られない  
桁供試体では小型供試体と比較すると疲労強度が非常に低く、JSSCのH等級に満たないデータも数多く見られた。また、900MPa級鋼材を用いた試験体の疲労強度がSM570のものより非常に低い。

#### (2) 小型継手試験体と桁試験体との違い

桁供試体の疲労強度は小型供試体の疲労強度より2~3等級低くなる。主な原因として、溶接止端部の応力集中の差異が考えられる。

高強度化により疲労強度が上がらず、大型化により疲労強度が低下するこの形式の溶接継手に高強度鋼を用いるためには、疲労強度を向上させる必要がある。

### 4 止端部処理による疲労強度向上

縦方向溶接継手部の疲労強度は溶接欠陥の大きさや溶接ルート部の形状、性状に大きく影響を受けるために疲労強度を向上させるためには、完全溶け込みにするなどの溶接条件の工夫や有害な欠陥を確実に発見し除去できる検査システムの構築が必要である。ここでは、止端部処理としてTIG処理、ハンマーピーニング処理、グラインダー処理を行う。

#### (1) 小型供試体の疲労強度向上結果

各処理により疲労強度が向上しており、結果はJSSCのD等級を全て満足した。向上の結果は鋼種によらずほぼ同等であった。

#### (2) 桁供試体の疲労強度向上結果

桁供試体においても、各処理により疲労強度が向上した。SM570と900MPa級で疲労強度自体は大きく異なるが、向上効果はほとんど差異がない。  
但し、TIG処理、グラインダー処理はJSSC D等級を向上目標とした場合、必ずしも十分な手法であるとは言えない。

キーワード 鉄道橋、全断面現場溶接

1 はじめに

中央線東京駅付近重層化呉服橋、常磐橋は鉄道橋としては初の全断面現場溶接を採用している。本文では、全断面現場溶接桁の架設を中心に工事概要を報告している。

2 全断面現場溶接

呉服橋は全断面現場溶接と上下フランジに各々2本の縦継手を有するが、上フランジは工程短縮のため高力ボルト継手を採用している。下フランジは景観設計上継手が外側から見えないように、過去に例のない縦リブ継ぎ合わせ方式となっている。

常磐橋は全断面現場溶接と上下フランジに各々3本の縦継手を有するが、いずれも現場溶接である。

3 スカラップ形状

下フランジ側(引張側)

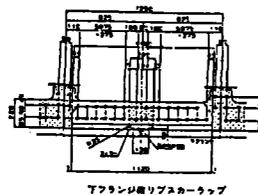
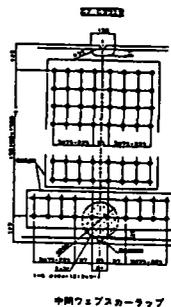
- (1) ウェブ、縦リブの溶接ビードをスカラップ部で切らない。
- (2) ウェブ直下を横継手ビードの継ぎ目とせずに通過させる。
- (3) 縦リブ部は自動溶接機を通過させる。

図-1 呉服橋 鋼桁形状及び溶接施工概要

溶接部名称	溶接種	鋼桁形状	鋼桁断面寸法 (単位)				溶接機	溶接方法	溶接材料
			フランジ幅 (mm)	フランジ厚 (mm)	ウェブ幅 (mm)	ウェブ厚 (mm)			
U/F <sub>1</sub> (S45C)	T角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
L/F <sub>1</sub> (S45C)	T角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
L/F <sub>2</sub> (S45C)	上角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
Web (S45C)	縦直角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
R/F <sub>1</sub> (S45C)	T角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
R/F <sub>2</sub> (S45C)	上角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80

図-2 常磐橋 鋼桁形状及び溶接施工概要

溶接部名称	溶接種	鋼桁形状	鋼桁断面寸法 (単位)				溶接機	溶接方法	溶接材料
			フランジ幅 (mm)	フランジ厚 (mm)	ウェブ幅 (mm)	ウェブ厚 (mm)			
U/F <sub>1</sub> (S45C)	T角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
L/F <sub>1</sub> (S45C)	上角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
Web (S45C)	縦直角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
R/F <sub>1</sub> (S45C)	T角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
R/F <sub>2</sub> (S45C)	上角		フランジ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80
			縦リブ	1000	10	100	自動溶接機	半自動	CO <sub>2</sub> + 80% Y80-80 AC130-80



4 現場溶接施工

下フランジ溶接は上向きMAG自動溶接を採用しているが、溶接機の走行レールを支持する仮付けピースの溶接が疲労上問題となるので、走行レールの直角方向に溝型鋼を取り付け、床面からジャッキサポートで支持した。また、上フランジ横継手J1部の縦方向ボルト継手とのT字交差部は溶接ビードに亀裂を生じやすいため、溶接後50φのストップホールを設けた。溶接完了後、自動・手動を併用して超音波探傷検査を行った結果、判定基準を全て満足した。

キーワード すみ肉溶接、 $\sqrt{2t}$ 、溶接急冷割れ

### 1 まえがき

鋼橋においては、従来50mm以下の板厚が使用されていたが、平成8年度の道路橋示方書の改訂において100mmまでの板厚使用が可能となった。

これに伴い、主要部材の応力を伝えるすみ肉溶接のサイズ(S)は厚い方の母材の板厚(t)に対して $S \geq \sqrt{2t}$ という規定が板厚100mmまで適用されることとなった。

しかしながら、この規定はリベット接合が主体であった昭和32年当時の道路橋示方書から見直しがされていないこと、また当時に比べて鋼材や溶材の品質が進歩していることから見直しの必要性が高まってきている。

本文献では、 $S \leq \sqrt{2}$ という規定が定められた根拠を調査し、今までに発表されている論文や研究報告をもとに、板厚100mmまでに適用されている道路橋示方書の規定が妥当であるか検証する。

### 2 各種設計基準の比較

#### 1) 道路橋示方書

①等脚すみ肉とするのが原則

②主要部材の応力を伝える場合、 $S \geq 6\text{mm}$ で次式の満足を標準とする

$$t_1 \geq \sqrt{2} t_2 \quad S: \text{サイズ}, t_1: \text{薄い方の母材厚さ}, t_2: \text{厚い方の母材厚さ}$$

#### 2) 鉄道構造物設計標準・同解説(鉄道総合研究所 1992年)

①等脚すみ肉とするのが原則

②主要部材の応力を伝える場合、 $S \geq 6\text{mm}$ でなるべく次式を満足する。

③フランジプレートと腹板を連結する溶接はすみ肉溶接とし、そののど厚の合計は腹板の厚さ以上とするのを原則とする。

④構造上、厚い板が用いられ、腹板に作用するせん断応力度が十分小さい場合、規定の照査をへて腹板の厚さ以下に低減できる。但し、上記②式の制限を受ける。

#### 3) 鋼構造設計基準(日本建築学会 1990年)

①すみ肉サイズは薄い方の母材の厚さ以下でなければならない。

② $t_1 \leq 6\text{mm}$ のとき(T継手に限る)Sは $t_1$ の1.5倍または6mmまで増すことができる。

③ $t_1 \geq 6\text{mm}$ のとき、 $4\text{mm} \leq S$ 且つ $1.3\sqrt{t} \leq S$ でなければならない

④ $S \geq 10\text{mm}$ のときはこの限りではない。

⑤Sの最大値規定はない

#### 4) AWS (Structural Welding Code 1992)

	Minimum Size
$T \leq 6.4$	3 mm
$6.4 < T \leq 12.7$	5 mm
$12.7 < T \leq 19.0$	6 mm
$19.0 < T$	8 mm

このことから共通して言えることは、細部に違いがあるものの、基本的に溶接部の急冷割れを念頭に最小サイズが規定されている。道路橋示方書規定の $\sqrt{2t}$ は総じて平均的な値となっている。

### 3 溶接の急冷割れについて

急冷割れを起こす原因

①拡散性水素の存在

②じん性低下(溶接急冷による結晶粒粗大化で鋼材組成と溶接熱履歴に依存)

③引張応力の存在(材片の拘束、残留応力、応力集中による)

すみ肉溶接と急冷割れ…溶接部急冷と特に材片拘束度に注目する必要がある。

溶接割れ感受性指数…道路橋示方書P406参照

すみ肉溶接と拘束度…拘束度 $K(\text{kgf}/\text{mm} \cdot \text{mm})$ は”溶接継手の開先間隔を弾性的に平均1mm短縮せしめるに要する単位溶接長さ当たりの力の大きさ”

※ 本件に関しては報告書が約70Pとなっており、詳細については本文献を参照されたい。

## キーワード

疲労強度、箱桁、現場溶接継手、溶接変形

## 1 はじめに

現場溶接は屋外で行うため、気象条件の影響を受け、また溶接継手の位置によっては不利な姿勢で溶接を行うことになり、溶接欠陥を生じやすい。しかしながら現場溶接であっても、溶接部の仕上げが可能で、溶接欠陥が発生しないような溶接法を使用し、非破壊検査で確認できるのであれば、工場溶接と同様に扱うことが可能であると考えられる。

## 2 非破壊試験結果

- (1) 下向き溶接部(図⑧)には、端部のカスケード法で溶接した部分以外は欠陥が見られず、全て1級であった。
- (2) 縦向き溶接部(図⑤、⑥)ではカスケード法で溶接した部分以外は1級および2級であった。
- (3) 水平継手部(図③、④)はW1では、カスケード法で溶接した部分に融合不良が認められた。
- (4) 2カ所のパッチ部では溶接始点に近い下側の部分で融合不良が認められた。上側は1級であった。
- (5) 十字溶接部は交差部およびカスケード部の始末端部に融合不良が認められた。

## 3 疲労試験

A,B,C,D,E各タイプ試験片により、応力比 $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = 0.05$ の片振りで繰り返し速度10Hz、応力範囲100~240MPaで疲労試験を行った。

- (1) 溶接部の仕上げ状況および内部欠陥の状況により疲労亀裂の発生する位置及び疲労強度は異なる。
- (2) 溶接したままの供試体タイプAは、裏あて材を設けた下向き溶接であるため、溶接ビード形状は良好であり、疲労強度はJSSCのD等級を許容応力度を十分満足した。
- (3) 1.0mmからのブローホールが1、2個あり、溶接止端部余盛りを丁寧に仕上げたタイプB供試体ではそこから亀裂が発生し、疲労強度はB等級を満足した。但し多数の集中したブローホールがあるとB等級を下回る。
- (4) タイプC、D、Eのように溶接線が交差するような場合、欠陥が生じやすい。
- (5) 表面に1mm程度の欠陥、例えばブローホールが表面にある場合およびグラインダーによる切り欠きがある場合、JSSCの継手等級区分のD等級が適当であると考えられる。また、長さ2mm、幅4mm程度の融合不良が作用応力に垂直にあると疲労強度は著しく低く、E等級程度となる。
- (6) 従って溶接線が交差する箇所では非破壊試験が出来ない場合、疲労強度はE等級まで下げる必要がある。

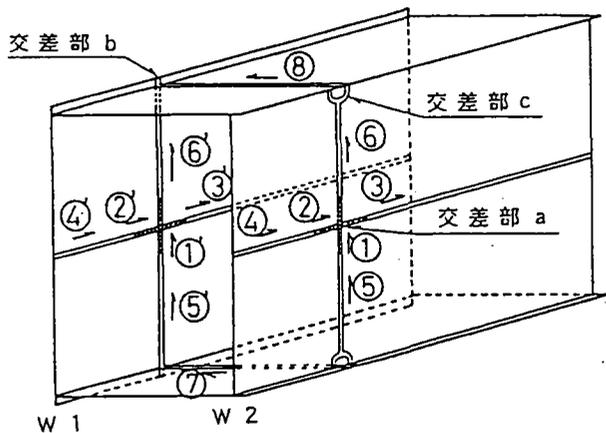
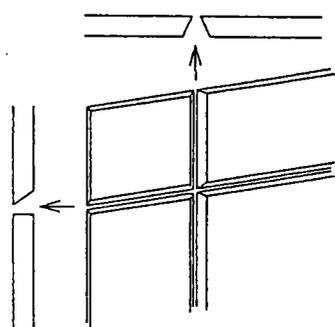


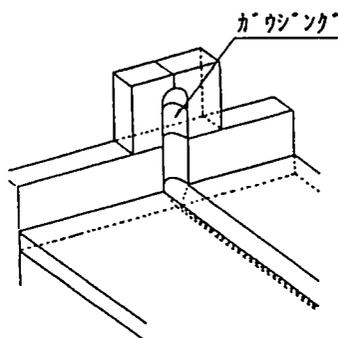
図-4 溶接順序

表-3 溶接方法および姿勢

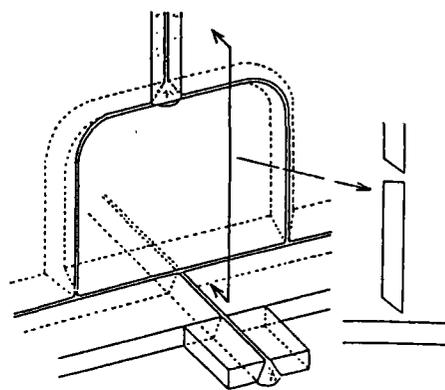
継手	溶接箇所	溶接方法	溶接姿勢
水平	ウェブ	CO <sub>2</sub> 片面自動溶接	横向き
	ウェブ	MAG片面自動溶接	立向き
全断面	下フランジ	MAG片面自動溶接	上向き
	上フランジ	CO <sub>2</sub> 片面自動溶接	下向き



(a) ウェブ



(b) ウェブとフランジ  
(カスケード法で溶接)



(c) ウェブとフランジ  
(パッチ処理)

図-5 溶接線交差部の開先とタブプレート

キーワード I型断面、スカラップ、疲労強度

### 1 はじめに

I型断面では経済性および施工性からボルト接合が多く用いられてきたが、少数主桁橋のように極厚フランジなどの断面構成になると溶接接合の方が有利になることも考えられる。この場合、スカラップの疲労強度がG等級もしくはH等級を下回ることがあるが、本報告に於いてI型断面で現場溶接を想定した厚板フランジでの疲労強度を確認した。

### 2 試験方法

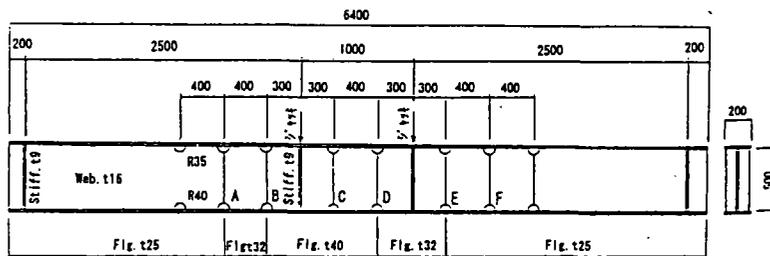


図-1 試験体形状

フランジについてはCO2溶接の下向き多層盛り、ウェブでは上進立向き溶接で製作。下フランジに40R、上フランジに35Rのスカラップを設け、廻し溶接部は棒グラインダーで軽く仕上げている。載荷は3点曲げ、下限荷重1tf、荷重範囲27tf、繰り返し周期は1Hzで行われた。

### 3 試験結果

350万回での繰り返しの結果、下フランジ4カ所の廻し溶接部から疲労亀裂が発生し、フランジ内に進展した。但し、板厚が厚くなるにつれスカラップ開口によるせん断変形量が少なくなり応力集中が緩和され疲労強度が向上する(32mm以上でG等級を満足する)。

### 4 結論

スカラップ部の廻し溶接部のビード仕上げをすることによって公称応力で評価した場合、板厚が32mm以上ではG等級を満足する。

キーワード スカーラップ、疲労、現場溶接

1 はじめに

都市部に架設される鋼橋では景観も重視するため、現場溶接がよく用いられる。しかしながら、箱桁内面のリブや腹板の溶接線とフランジの現場溶接線が交差する箇所に設けられるスカーラップ部には疲労の問題がある。

2 試験方法

試験は以下に示す項目に着目して行われた。

- (1) スカーラップの形状・寸法が与える影響
- (2) スカーラップも含め縦方向溶接を連続させる効果
- (3) スカーラップ部を当板等で埋め戻したときの影響

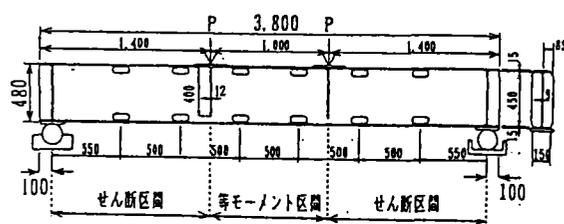


図-1 試験体

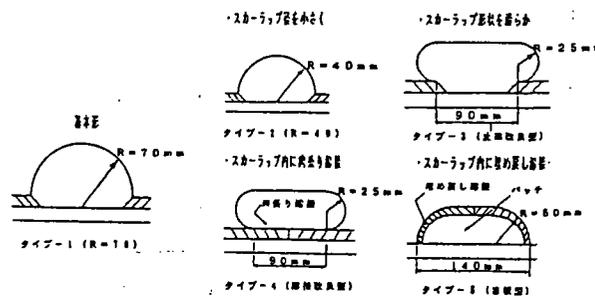


図-2 スカーラップ部の構造詳細

3 試験結果

- (1) タイプ3の供試体では、スカーラップの両端で梁理論では検出し得ない応力集中が確認された。
- (2) タイプ1, タイプ2を比較した場合、タイプ2の方が等モーメント区間で7%、せん断区間で19%発生応力が小さくなった。
- (3) 止端部をなめらかにする効果については、スカーラップの長さが70mmと90mmでの比較となったが形状による差はさほど認められなかった。
- (4) 溶接ビードを連続させた場合、等モーメント区間で27%、せん断区間で20%程度に応力が低減しかなり大きな効果が認められた。
- (5) スカーラップを埋め戻した場合、応力集中の影響はほぼ無くなり、梁理論での応力と等しくなった。

キーワード 全断面現場溶接、スカラップ、疲労強度

### 1 まえがき

少数主桁橋では鋼重の増加を防ぐために部材を現場溶接で接合することになる。しかし、溶接部にスカラップを有するディテールはせん断力等の作用によりフランジギャップ部に大きな応力集中が生じ、疲労上の弱点になりやすい。ロボットによる自動溶接を導入した場合、現状の半自動溶接を想定したR=35~50mm程度のスカラップよりも大きなスカラップが必要となる。本研究では、スカラップ形状が疲労特性に及ぼす影響について検討を行っている。

### 2 試験体および試験方法

下に示す試験供試体に上フランジ上面の応力が35MPiになるように荷重を設定して200万回、その後50MPiに変更して長寿命の繰り返し载荷を実施した。

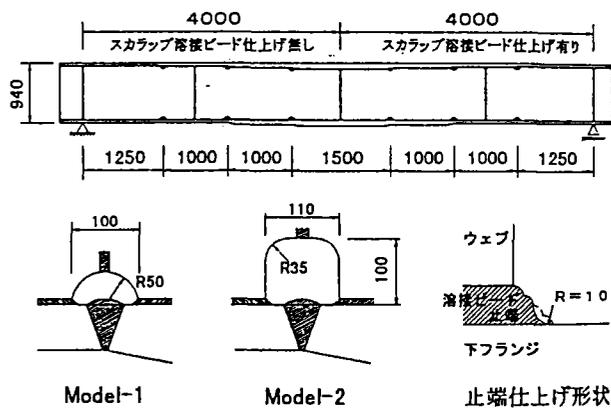


図-1 試験体概略図

### 3 試験結果

疲労亀裂はフランジ側廻し溶接止端部に2カ所発生した(Model 1-2)。しかし、溶接止端部にグラインダー仕上げを施したスカラップについては疲労亀裂は発生しておらず、スカラップの溶接止端部を仕上げることで疲労強度を向上させることができた。

JSSC疲労設計指針の疲労等級ではスカラップを有する縦継手の設計強度等級をG等級としているが、止端仕上げ無しのスカラップはG等級を下回りH等級に近い疲労強度となった。

### 4 まとめ

Model1-1の場合、スカラップのコバ面、ウェブ溶接近傍についてはノッチやアンダーカットを除去することにより疲労強度は向上する。

Model1-2の場合、ウェブコバ面とフランジ溶接のウェブ側溶接止端部にかなり大きな局部応力が発生するため、溶接止端部を仕上げるだけでなく形状等の改善が必要である。

スカラップの溶接止端部にグラインダー仕上げを施すことは疲労強度の向上に有効である。

実橋における活荷重の移動を考えると、スカラップ周辺の疲労強度はさらに低くなることが考えられる。

キーワード ルートギャップ、溶接姿勢、疲労強度、十字溶接継手

## 1 はじめに

既存の鋼橋における十字すみ肉溶接継手部は、当時の部材加工精度や製作精度により、ルートギャップが生じているケースがある。このルートギャップが主要因となり疲労損傷が生じた事例も報告されている。また、十字すみ肉溶接継手は水平、立向上進、立向下進等の溶接姿勢により疲労強度が異なると考えられる。本研究では、溶接姿勢、ルートギャップが荷重伝達型十字すみ肉溶接継手の疲労強度に及ぼす影響を明らかにするために疲労試験を行っている。

## 2 疲労試験

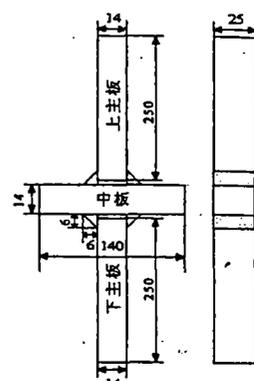
鋼材はSM490Aを用い、板厚は14mmでルートを0mm、3mm、5mmとして水平、立向上進、立向下進で製作した。荷重波形は正弦波、繰り返し速度は10Hzとした。

## 3 試験結果

39体中35体はルート部から亀裂が発生して破断し、残り4体は溶接止端部から破断した。

## 4 まとめ

- 1) ルートギャップが3mmの場合、溶け込みのためのど厚が大きくなり疲労強度は低下しない。さらに立向上進溶接した場合、溶け込み量が大きくなることで止端部破壊をするために、JSSC-E等級となる。
- 2) ルートギャップが5mmの場合、水平溶接および立向下進溶接をすると融合不良が生じる。その結果溶接の溶け込みによるど厚の増加は期待できず、疲労強度は低下する。
- 3) ルートギャップや溶接姿勢によらずのど厚が同じであれば、疲労強度は同程度となる。
- 4) ルートギャップを3mm以内とし、立向下進溶接をしない場合の疲労強度はJSSC-H等級程度となる。



G 3 - H  
 ↑ 溶接姿勢 水平 (H)  
 ↑ ギャップ量 立向上進 (U)  
 ↑ 立向下進 (L)

図1 試験体の形状および寸法

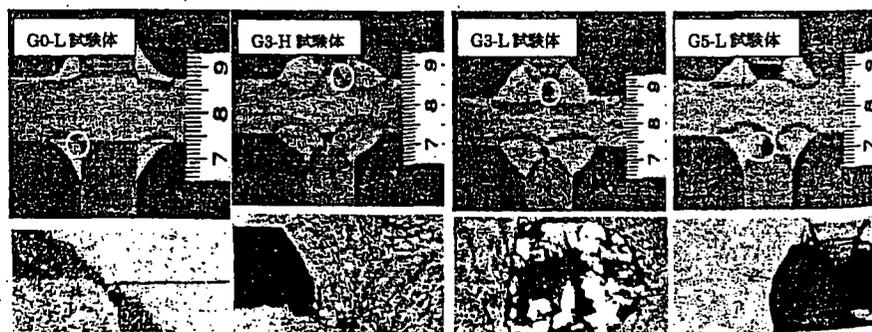


写真1 試験体のマクロ写真および顕微鏡写真

キーワード 大入熱溶接、表面亀裂、破壊靱性、高性能鋼

1 はじめに

破壊靱性試験は、鋼母材、熱影響部、溶接金属といったエレメントに対して個別に実施されてきた。しかし、構造物における実際の破壊モードは、表面から疲労亀裂が板厚方向へ進展して生じると考えられ亀裂が複数のエレメントを横切り、亀裂先端の組織が一樣ではない場合が多いと考えられる。本研究では、溶接継手部に表面亀裂が進展し、鋼母材、熱影響部、溶接金属といった異なった組織が亀裂先端に分布したときの溶接継手の破壊靱性について検討した。

2 実験手法

長さ3000mmのI桁の試験体にフランジ突き合わせ溶接部を設け、3点载荷試験を行っている。引張フランジ部には溶接金属と母材を横切るように半円形の表面切り欠きを設けている。桁試験体は開先形状、入熱量(溶接手法)、鋼種を変えて15体製作している。

3 実験結果

入熱量に着目すると、もっとも入熱量が大きなエレクトロスラグ溶接では、降伏前に脆性破壊した。入熱量の多いエレクトロガスでは全供試体で脆性破壊が生じているが、炭酸ガスシールドアーク溶接では全供試体で脆性破壊を生じなかった。高性能鋼と通常鋼を比べると、最大亀裂開口変位(CMODmax)からは高性能鋼の利用により変形性能が向上している。破面を走査型顕微鏡で観察した結果、亀裂先端に沿ったストレッチゾーン幅は限界CTOD(CMOD?)値の1/2の値であるとされており、大入熱溶接を用いても優れた靱性をしめしている。

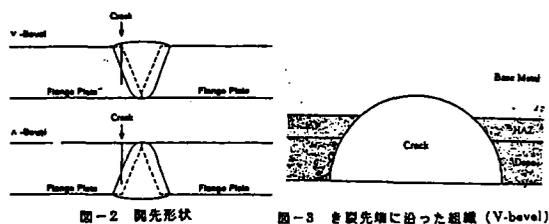
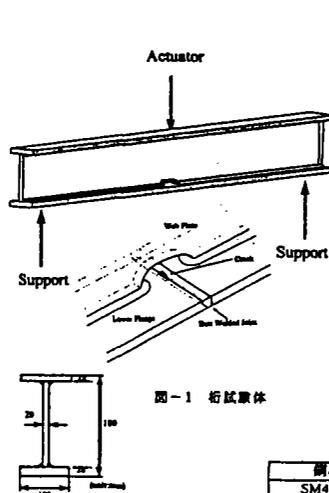


表-1 試験体

呼称	鋼材	溶接手法	入熱量 (kJ/cm)	開先形状
T	SM490YB	Electroslag	370	I-bevel
C-1,2	SM490B	Electrogas	120	V-bevel
G-1,2	SM490B	Electrogas	120	△-bevel
A-1,2	SM490YB-TMC	Electrogas	150	V-bevel
E-1,2	SM490YB-TMC	Electrogas	150	△-bevel
D-1,2	SM490B	CO2 Gas Shield Arc	27	V-bevel
H-1,2	SM490B	CO2 Gas Shield Arc	27	△-bevel
F-1,2	SM490YB-TMC	CO2 Gas Shield Arc	24	△-bevel

表-2 化学成分

鋼材	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Al
SM490B	0.17	0.34	1.27	0.013	0.002							
SM490YB	0.17	0.46	1.27	0.013	0.002					0.02		
SM490YB-TMC	0.07	0.14	1.53	0.009	0.003		0.16	0.01	0.003		0.002	

表-3 機械的性質

鋼材	呼称	板厚 (mm)	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	Charpy Energy vEo(J)
SM490YB		20	436	569	181
SM490B	通常鋼	28	368	514	244
SM490YB-TMC	高性能鋼	28	449	514	357

表-4 実験結果のタイプ分け

Type	状況
1	降伏前に脆性破壊
2	降伏後に脆性破壊
3	脆性破壊発生せず

表-5 実験結果

試験体	表面亀裂長さ (mm)	試験温度	詳細挙動	CMODmax (mm)	Type of Result
T	26	T=40°C	脆性破壊	-	Type1
C-1			脆性破壊	0.49	Type2
G-1			脆性破壊	1.48	Type2
A-1			脆性破壊	0.86	Type2
E-1			脆性破壊	1.95	Type2
D-1			脆性化	-	Type3
H-1			脆性化	-	Type3
F-1			脆性化	-	Type3
E-2			脆性化	-	Type3
A-2			脆性破壊	2.70	Type2
C-2			脆性破壊	1.20	Type2
D-2			疲労破壊	-	-
H-2	30	T=40°C	脆性破壊	0.50	Type2
F-2			疲労破壊	-	-
G-2			疲労破壊	-	-

キーワード 現場溶接、少数主桁橋

1 概要

(a) 現場溶接の経緯

日本における最初の現場溶接…昭和24年頃(主桁と主桁の溶接、主桁と対傾構、横構との溶接)リベット構造から高力ボルト構造へ(現場溶接のコスト高)

鋼床版、厚板鋼製橋脚の出現、外観重視の観点から再び現場溶接が現れる。

(b) 問題点

溶接作業能率がきわめて低い  
変形が生じやすい  
現場工事費が割高

(c) 現場溶接に対する要求

箱桁の大ブロック架設の場合の接合  
角形橋脚の柱および梁の接合  
主塔の接合  
プレートガーダーの主桁の接合

(d) 現場溶接の最近の動向

JHホロナイ川橋、東海大府高架橋を皮切りに多くの合理化少数主桁橋主桁接合に採用。

実績的には、75mm(SM570)までがあるが、道路橋示方書で100mmまでの板厚が規定され、今後さらなる厚板現場溶接が採用される。

溶接作業順序	溶接方法	開先角度・28-32°形状	溶接作業順序	溶接方法	開先角度・28-32°形状
	①上下75mm MAG自動溶接 下向(多層盛溶接OK)① ②120°、180°、270°除主 梁の仕上げ溶接、1'30"作業 系-CO溶接 ③Web120°、270°自動溶接 (立向) ④Web上端部厚し第一CO溶接 ⑤120°除主梁の仕上げ溶 接、1'30"作業-CO溶接			①上75mm-CO自動溶接下向 下75mm-MAG自動溶接上向 ②Web-CO自動溶接立向 ③120°、180°、270°除主 梁の仕上げ-CO、1'30" 作業 ④120°除主梁の仕上げ溶 接、1'30"作業-CO、1'30" 作業	
	①上下75mm MAG自動溶接 下向(多層盛溶接OK) ②120°、180°、270°除主 梁の仕上げ溶接、1'30"作 業-100MAGEE ③Web-CO自動溶接 立向 (多層盛自動溶接機) ④120°除主梁の仕上げ溶接、 1'30"作業-100MAGEE ⑤120°埋め戻し-100MAGEE			①下75mm-MAG自動溶接上向 ②上75mm-CO自動溶接下向 ③Web-CO自動溶接立向 ④120°埋め戻し-CO、半自 動溶接(上向及び下向) ⑤片面裏面溶接用裏面材料取 去後、隅角溶接-CO、半自動 溶接 ⑥120°、180°、270°除主 梁、1'30"仕上げ-CO、半自 動溶接	

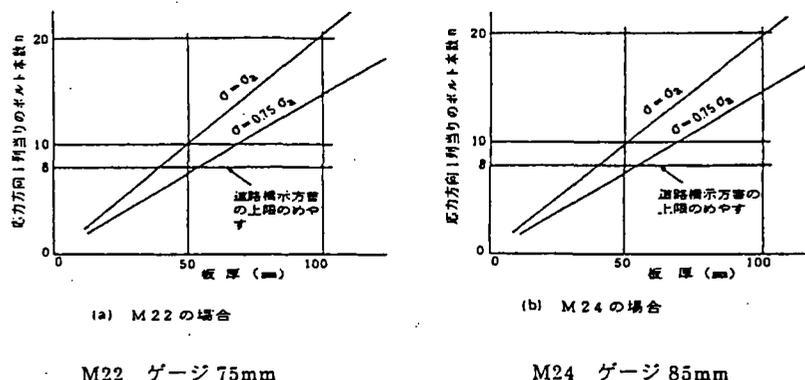
キーワード 現場溶接、少数主桁橋

### 1 現場溶接設計、施工計画における留意点

#### (A) ボルト接合の限界

ボルトの添接長が長くなると、ボルトに作用する力が不均等となる可能性があり、道路橋示方書では応力方向1列あたり8本程度以下にするのがよいとしている。

接合部の鋼種をSM570Q、ボルト等級F10T、ゲージ間隔を最小としてボルト本数の関係をもとめると下図のようになる。



板厚が40~50mm程度で8列を越える可能性があり、80mm程度以上となると12列を越え、すべり耐力の低下が問題となる場合があるので、設計上注意を要する。

#### (B) 全断面現場溶接

上下フランジ溶接…ガスシールドアーク溶接、サブマージアーク溶接  
 ウェブ溶接…オシレート式ガスシールドアーク溶接、エレクトログラスアーク溶接  
 ※両方とも片面裏波自動溶接で溶接される場合が多い。

下フランジは上向き溶接で行われるケースがほとんどになってきている(溶接装置、溶接機の開発)

#### 上向き溶接の短所

- ・1パスの溶着量が少ないために、作業能率が劣る。
- ・スパッタがノズルに付着しやすいので長尺溶接が難しい。
- ・レール取り付けピースを溶接完了後、主桁フランジ外面から除去しなければならない。
- ・ビード余盛り仕上げがある場合、仕上げ幅が多い。

#### (C) 高性能鋼材

##### ・余熱低減鋼

Pcm値の規定により溶接における余熱処理を低減できる(道路橋示方書P405参照)

SM490級から570級鋼については、TMCPの適用によりPcm値が0.20以下の鋼板が製造可能。

HT780鋼板の場合、120°Cの余熱が必要であったが、Pcm0.23以下にすることにより、余熱温度50°Cに下げることができた。

#### (D) 大入熱溶接用鋼

道路橋示方書では入熱量を70000J/cmと規定しているが、エレクトログラス溶接等は施工時にこれを越える入熱量を鋼材に与える。

溶接熱影響部(HAZ)領域が拡大し、強度低下を生じる場合がある。

この現象を抑制し、大入熱溶接に対応するために適用されているのが、Ti、Ti+MnsあるいはTiO等の微細析出物のピンニング効果によるオーステナイト結晶粒の粗大が抑制と析出の核として変態後のフェライト結晶粒内フェライトプレート発生(IFP)を助けることにより組織を微細化するなどの技術である。

## キーワード

## 溶接継手

## 1 はじめに

連結方法にはHTB継手と溶接継手があり、HTBはトルシア形高力ボルトが主流となっている。溶接継手では、鋼床版の溶接はサブマージアーク溶接、鋼橋脚・主桁フランジ等の厚板溶接はCO<sub>2</sub>アーク溶接が用いられている。最近では桁の全断面溶接に対しエレクトログラスアーク溶接が用いられるようになった。

溶接検査は従来X線試験が採用されていたが、最近は厚板溶接に対応できる、簡便な超音波によるAUT検査が採用されている。

## 2 HTB継手

ほぼ完成された継手法であり、現地での施工性は高いが、少数主桁の厚板フランジにおいてはHTB数が多く、配置が困難となる場合がある。また孔引きによるフランジ厚の増が発生することがある。

## 3 全断面溶接継手

少数主桁に対応して採用された継手法でありウエブをエレクトログラスアーク溶接、フランジをCO<sub>2</sub>アーク溶接で施工するのが一般的である。

溶接にあたっては風防設備を設ける必要があり、工期はHTBに比べて長くなる。

## 4 HTBと溶接併用継手

工期が長くなるという全断面溶接法の欠点を補う方法である。ウエブをHTB接合とし施工性を高め、フランジを溶接接合とし孔引きによるフランジ厚増等に対応する工法である。

本工法は今後有望な継手法である。

## 第7章 その他

本章は、前章までの6項目に該当しない文献をとり纏めたものである。

収集した文献内容は様々であり、なかでも最近の合理化に着目した文献が多く収集されている。

今後の継手設計の参考資料として利用できると思われる。

キーワード: 高力ボルト, 摩擦接合継手, すべり強度

1. まえがき

プレートガーダーにおける高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力は、フランジ継手あるいはウェブ継手の共同作用による継手全体としてのすべり抵抗モーメントで評価できる。本研究は、この共同作用を考慮した合理的な高力ボルト継手設計法を確立する目的で、大スケールの鋼 I 桁モデルで高力ボルト摩擦接合継手部のすべり耐荷力試験を実施したものである。

2. 実験概要

試験体諸元および材料試験結果は、表-1。継手形状は4種類(表-2)。モデルAは、本試験体について仮定した設計曲げモーメントに対し、現行の示方書の規定によりボルト配置を定めたものである。 $(\beta = 0.98)$  一方モデルB-1は、共同作用を期待した合理化設計の試案としてフランジ部のボルト列数をモデルAより1列減じた4列としウェブ継手には2列ボルト配置の1枚添接板を用いたものである。また、モデルB-2はボルト列数がモデルB-1と同じでフランジ継手に板厚 $t = 25\text{mm}$ なるフィラーを挿入したものであり、モデルCは、モデルB-1よりもフランジのボルト列数を1列多くしたタイプである。試験を実施するにあたっては、摩擦面に厚膜型ジンクリッチペイントを塗布する条件のもと図-1に示すような4点曲げ方式で継手部に曲げモーメントとせん断力を作用させ、すべり抵抗モーメントの測定を行うこととした。

3. 試験結果

上記のように継手形状が異なるそれぞれの試験体について、継手部のすべり抵抗モーメントの測定結果を表-3に示す。

4. まとめ

本試験で得られた結果より、母材孔引断面に著しい引張降伏が現れない一般の高力ボルト継手ではフランジとウェブの共同作用を十分に期待でき、継手部のすべり強度を総すべりモーメントで安全側に評価できることが確認された。ただし、フィラーの存在が継手部のすべり強度や応力性状に及ぼす影響については、さらに詳細な検討が必要と判断された。

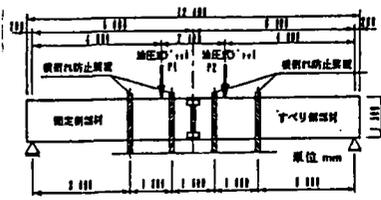


図-1 載荷試験方法 (4点曲げ方式)

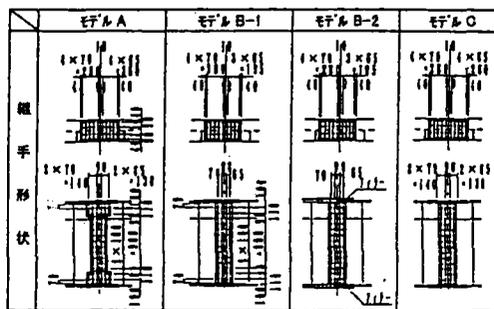
表-1 試験体の諸元等

鋼 I 桁支間長	L = 12.0 m (両支点: コム支梁)	
フランジ	幅 390mm × 板厚 25mm (SM490Y)	
ウェブ	高さ 1500mm × 板厚 10mm (SM490Y)	
添接板 (SM490Y)	フランジ板厚 10mm, ウェブ板厚 9mm	
フィラー (モデルB-2)	フランジ部: 板厚 25mm (SM400A)	
降伏点 (平均値)	フランジ 板厚 25mm $\sigma_T = 4080 \text{ kgf/cm}^2$	
	ウェブ 板厚 10mm $\sigma_T = 4440 \text{ kgf/cm}^2$	
	添接板 板厚 10mm $\sigma_T = 4080 \text{ kgf/cm}^2$	
	φ 板厚 9mm $\sigma_T = 4100 \text{ kgf/cm}^2$	
	フィラー 板厚 25mm $\sigma_T = 2630 \text{ kgf/cm}^2$	

表-3 高力ボルト軸力 (試験直前) とすべり抵抗モーメント

		モデルA	モデルB-1	モデルB-2	モデルC	備考	
高力ボルト列数 (列)	フランジ (4本/列)	5	4	4	5	すべり側 高力ボルト: M20 (F10T)	
	ウェブ最上行	3	2	2	2	設計ボルト軸力は $N = 18.5 \text{ tf/本}$	
高力ボルト導入軸力の測定値 (試験直前) (tf/本)	上フランジ (平均)	14.0	13.6	15.7	14.4	すべり抵抗モーメントの計算値の算出には、左記の軸力測定値を使用	
	ウェブ (上2行の平均)	13.5	12.5	13.9	13.7		
	ウェブ (下2行の平均)	14.2	13.6	14.6	13.7		
	下フランジ (平均)	14.9	14.0	15.5	14.3		
すべり抵抗モーメント (tf-m)	計算値	運轉指示方書 MF $\mu = 0.4$	448	334	371	427	7フランジ又はウェブ最上行ボルトが独自に
		の規定 MW $\mu = 0.4$	481	294	317	297	すべり耐力に連する作用モーメント
		総すべりモーメント MT1 $\mu = 0.4$	489	373	415	458	各ボルトのすべり抵抗モーメントの総和
		MT2 $\mu = 0.8$	733	559	623	684	MT = $\sum (\rho_i \times x_i)$
	実験値	MSL 以上	808	357	442	試験時の載荷荷重より算出	

表-2 試験の対象とした高力ボルト継手形状



注) + 印: M20, - 印: M22  
左側は固定端, 右側はすべり側

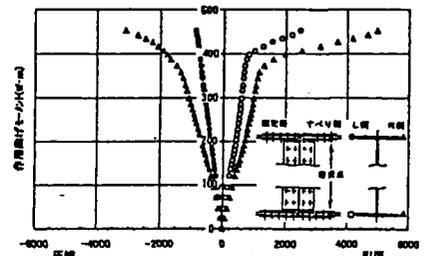


図-2 モデルCのひずみ (母材孔引断面のコバ面)

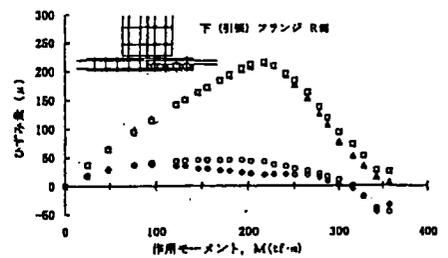


図-3 モデルB-2のひずみ (フィラーのコバ面)

### 1. まえがき

鋼橋は様々な構造要素から成り立っており、維持管理を効率的に行うためには、各要素の経年劣化特性を正確に把握し、点検結果を分析した上で各要素の余寿命を評価しなければならない。

今回は高力ボルト摩擦接合の耐久性を評価すべく、実橋において測定したデータを中心にデータベースを構築し、分析を行った研究成果の一部を報告する。

### 2. データベースの構築

高力ボルト摩擦接合の耐力を決定付ける要因は、ボルト軸力とすべり係数である。

ただし、これらの要因はばらつきを有するとともに経年的に変化することが知られている。

実橋を中心にデータを収集し、分析を試みたがデータに規則性がなく、ばらつきも大きいため、データベースを構築し重回帰分析をあるいはニューラルネットワークを用いた分析を行うこととした。

データベースには、個々のボルトに関する測定データ、それらの統計量、ボルトの基本諸元、経年変化に影響を与えそうな全ての要因、すべり係数に関するデータを収集・記録した。

### 3. データベースの分析例

ボルト軸力の経時変化ならびに錆とボルト軸力の関係を分析し、結果を紹介する。

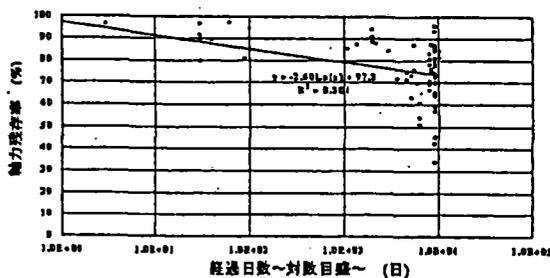


図-1 経過日数とボルト軸力残存率の関係

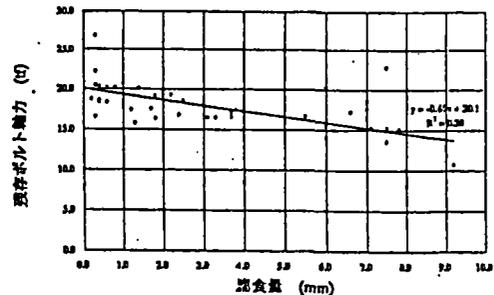


図-2 腐食量と残存ボルト軸力の関係

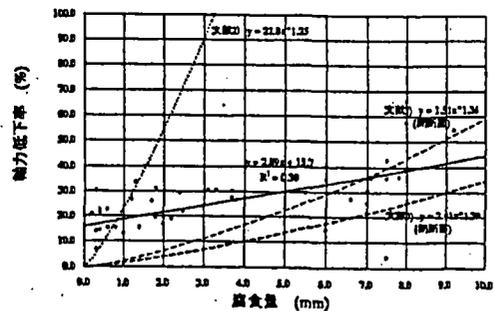


図-3 腐食量と軸力低下率の関係

### 4. あとがき

実橋においては、継手部が過酷な環境に置かれ、予想以上に耐力が低下しているケースも見受けられる。

今後、分析を進めるとともにボルト軸力の経年変化シミュレーション等を行い、高力ボルト摩擦接合継手の余寿命予測に役立てたいと考えている。

1. 序論

高力ボルト摩擦継手のボルト軸力は締め付け後、経過年数が増えるほど鋼材のリラクゼーションによって軸力低下が生じる。

過度の発錆によってそれは加速される。

高力ボルト頭部の形状を皿ボルトにした場合、添接板上に突出する部分が無く、塗膜面は平坦になることにより雨水の滞留がなく、発錆要因を大きく減少させることが出来る。

しかしマイナス要因として頭部の剛性が減少する事によりグリップ力を低下させる懸念がある。

本研究は高力皿ボルトの軸部を細くすることにより、通常のトルシアボルトより対リラクゼーション性能を向上させることが出来ることを示すことが目的である。

2. 試験体及び実験方法

実験に用いた高力皿ボルトの形状を Fig.2に示す。

材質は F10T、ネジ径は22.0mmとし、通常の高力ボルト製造工程から制作した。

長さは100mmとし、d/Dは0.88(谷径)、0.93(有効径)と1.0(通常径)の3種類とした。

供試体のプレート表面はブラストと無機ジंकリッチペイント処理の2種類。

ボルト軸力測定方法は頭に2軸ひずみゲージを貼り付ける方法により測定した。

予め静的引張試験に用いた治具及び試験機によりキャリブレーションしたひずみ値をもとに、締め付け軸力の管理と経時変化を測定した。

Table 1: Plate Bolt Dimensions

供試体名	寸法					
	Type	d	R	D	H	φ
TP1	A	22.0	3	44.0	31	90
TP2		22.0	3	44.0		
TP3	B	20.25	3	42.4		
TP4		20.25	2	42.4		
TP5	C	19.24	3	41.3		
TP6		19.24	2	41.3		

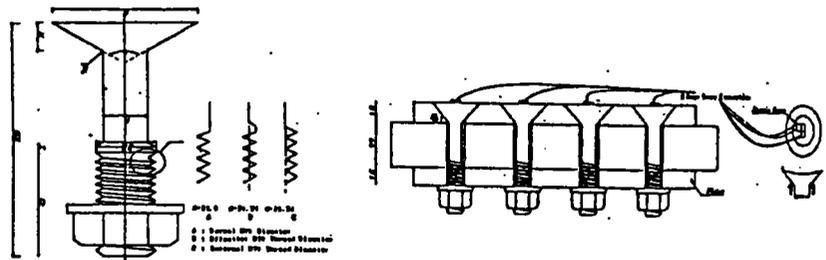


Fig 2 Plate Bolt

3. 軸力経時変化実験結果

軸部を細くした場合の影響

両方のプレートに皿ボルトの軸部を細くするほど軸力低下が減少した。

プレート表面の影響

無機ジंकリッチペイントプレートの場合の軸力低下抑制効果はブラスト処理プレート程ではなかった。

首下丸み半径の影響

無機ジंकリッチペイントプレートにおける3mmボルトは2mmより軸力低下は少ない傾向がある。

ブラスト処理プレートにおける3mmボルトは1種類だけ2mmよりよい軸力低下抑制を示す。

頭部形状の影響

タイプAの皿ボルトは通常トルシアボルトより大きい軸力低下を示す。

4. 結論

軸部を細くするほどボルト締め付け後の軸力低下がより押さえられる。

ボルト頭部を皿形に変えると軸力低下は増加するが軸部を細くすることで補える。

無機ジंकリッチペイントプレートは、ブラスト処理プレートより軸力低下抑制効果が少し低い。

また、無機ジंकリッチペイントプレートではボルト全種類でR=3mmボルトより2mmの方が大きく軸力低下した。

キーワード 鋼製橋脚、大変形解析、延性破壊

## 1. はじめに

鋼製橋脚の繰返し載荷実験により、アンカーボルトがアンカー部の地震時終局挙動を支配する重要な構造要素の一つであることは明らかになった。

しかしながら、その終局挙動を実験的に予測することは困難な場合が多く、何らかの解析的手法により終局挙動を予測する必要がある。

本論文ではマイクロボイドの発生する材料に対して考案されたGrusonの多孔質塑性モデルを導入し、アンカーボルトの終局挙動解析への適用性について検討を行う。

## 2. 解析概要

### (1) マイクロボイドの発生と生長

アンカーボルト用鋼材としては主に一般構造用圧延鋼材(SS400)と機械構造用炭素鋼材(S35CN, S45CN)があり、成分中に炭素、けい素、硫黄等を含んでいる。

アンカーボルトが変形を起こすと、介在物がマイクロボイドを発生させ破断の原因となる。

ここでは化学成分中で最もマイクロボイドの発生に関係すると考えられる炭素に注目し鋼種別の炭素含有率の大小関係がボイド体積率の大小関係と一致するように決定する。

### (2) 材料定数の同定

塑性モデルでの材料定数は、基本母材断面50φ供試体の引張試験をもとに決定する。

引張試験で試験片は最大引張荷重点までは一様変形をするが、ピーク点以降はネッキングによるひずみの集中化が卓越するために一様変形しない。

したがって、ピーク点以降の非一様変形領域については、有限要素解析によりネッキング現象を解析し、その挙動が一致するように、いわゆるキャリブレーションにより応力-ひずみ関係を同定する。

### (3) アンカーボルトのモデル化

引張試験の解析に用いるモデルはアンカーボルトのねじ部を近似的に軸対称と仮定したため、ねじ部の解析では全体の1/4の部分解析となる。

また形状寸法の決定には、供試体の設計に用いたISOメートル並目ねじの基準山形と基準寸法を採用し、ねじ底の曲率半径、とがり山高さ、ねじ底角度を決定した。

要素分割は要素数を変え荷重位置関係の収束性の検討を行い、ひずみ集中の発生するねじ底部の要素については細かい要素分割になるように決定した。

解析には汎用ソフトABAQUSを、要素には8節点要素CAX8と6節点要素CAX6を用いた。

## 3. 解析結果

多孔質塑性モデルと比較のために実験値とボイドの発生を考慮しない有限要素解析モデル(以下通常の塑性モデルとする)との3つを荷重-変位関係で比較している。

結果より通常の塑性モデル、多孔質塑性モデルいずれも実験値の最大応力近傍まで妥当な精度で解析し得る。

延性の大きいSS400ではいずれの塑性モデルを用いても最大応力点から破断近傍まで精度良く解析でき、特に、多孔質塑性モデルの精度が良い。

## 4. まとめ

多孔質塑性モデルは延性の大きなアンカーボルトについてピーク以降の挙動を解析する場合には通常の塑性モデルよりも精度が良いことが分かった。

しかし、ここでの検討例だけで、本モデルの延性破壊挙動一般への適用性を議論することはできない。

今後、このモデルの材料パラメータの同定法を含めて、より詳細な検討が必要である。

キーワード end-plate系接合、M-θ<sub>r</sub>曲線、四要素パワーモデル

1. はじめに

本論文では、end-plate系接合のM-θ<sub>r</sub>曲線を適切に評価するモデルとして、三要素パワーモデルの発展形で塑性勾配を考慮できる四要素パワーモデルの利用を提案し、データベースに収納されている実験データを用いて、その適用性に関する検討を行った。

2. end-plate系接合の概要

end-plate系接合は一般に工場で梁の端部にプレート溶接し、現場ボルトを用いて柱と連結させるもので接合形式の中で最も剛結接合に近い剛性特性を有する。

その接合はextended end-plate接合とflush end-plate接合に分類され、前者は後者のプレート部分を拡張し接合部の剛性を向上させた接合形式である。

本研究では、接合形式、補剛材の有無により、4つのケースに分けて検討を行うこととした。

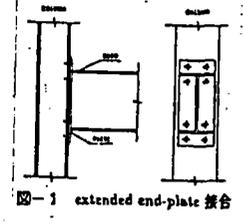


図-1 extended end-plate 接合

3. end-plate系接合のモデル化

本論文ではend-plate系接合のM-θ<sub>r</sub>曲線評価モデルとして、塑性勾配を考慮することが可能な四要素パワーモデルの利用を提案している。

四要素パワーモデルは、接合部初期剛性R<sub>ki</sub>、接合部塑性剛性R<sub>kp</sub>、初期モーメントM<sub>0</sub>及び形状指数nの4つのパラメータから構成されるものであり、次式のように示される。

$$M = (R_1 \theta_r / [1 + (\theta_r / \theta_0)^n])^{1/n} + R_{kp} \theta_r$$

ここで、M: 接合部曲げモーメント、 R<sub>1</sub>: R<sub>ki</sub>-R<sub>kp</sub>  
 θ<sub>0</sub>: 塑性回転角(= M<sub>0</sub>/R<sub>1</sub>)、 θ<sub>r</sub>: 接合部相対回転角  
 図-2に四要素パワーモデルの概略図を示す。

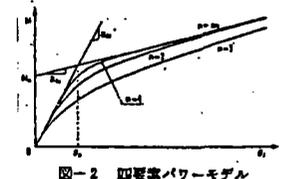


図-2 四要素パワーモデル

4. 解析結果及び考察

四要素パワーモデルによるM-θ<sub>r</sub>曲線は、実験結果を良く回帰していることがわかる。

表-1より、誤差の平均値はいずれのケースに関しても2.0~2.6%程度、最大でも5.9%程度であることが明らかになった。

これより、end-plate系接合のM-θ<sub>r</sub>曲線に関する四要素パワーモデルの適用性は高いものと考えられる。

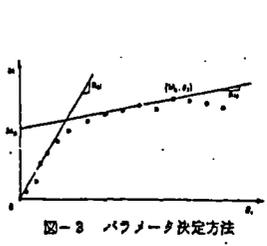


図-3 パラメータ決定方法

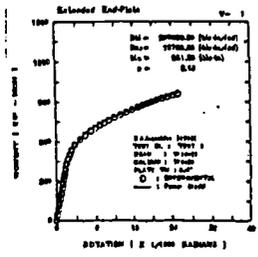


図-4 M-θ<sub>r</sub>曲線のモデル化

表-1 モデル化の誤差

接合形式	補剛材	個数	平均値	最大値
extended	無し	53	5.9%	2.6%
end-plate	有り	59	5.5%	2.5%
flush	無し	34	4.0%	2.0%
end-plate	有り	38	4.5%	2.5%

5. まとめ

四要素パワーモデルによりモデル化されたM-θ<sub>r</sub>曲線は、実験データを良く回帰しており、その誤差も最大で5.9%程度であることから、end-plate系接合のM-θ<sub>r</sub>曲線に四要素パワーモデルを適用することは工学的に十分可能であることが明らかとなった。

キーワード: 高力ボルト、初期軸力、エネルギー吸収量

1. まえがき

接合部の設計では、接合部の剛性はほぼ無限大であるとみなされており、それが構造全体のエネルギー吸収量や変形量に寄与する効果は、慣習的に無視されていることが多い。本研究では、フランジ厚及び初期ボルト軸力に注目し、接合部のエネルギー吸収量を簡単なモデルを用いて検討した。

2. 実験概要

検討する構造要素は、図-1に示すはり-柱接合部である。接合部のエネルギー吸収量は、 $M=kh^2\phi$ の関係における面積( $\int M d\phi$ )とする。また、数値解析は、境界非線形弾塑性平面解析システムを用いて、フランジ厚を22,25,28,32,36,40,45,50mmの8通り、初期軸力を20,40,60,67,80%の5通りの計40通り行った。

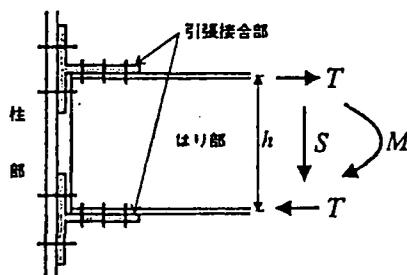


図-1 構造要素のモデル

3. 試験結果

エネルギー吸収量と初期軸力の関係を図-5に、エネルギー吸収量とフランジ厚の関係を図-6に示す。フランジ厚の大小にかかわらず、初期軸力が減少するとエネルギー吸収量は増加する。初期軸力が同じ場合フランジ厚が36mmの付近で上に凸のグラフとなる。

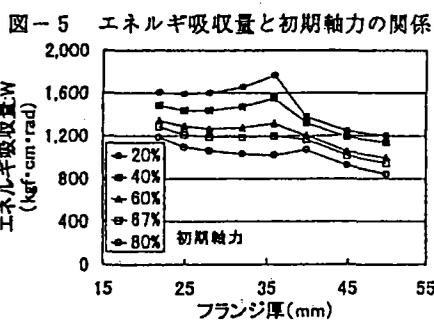
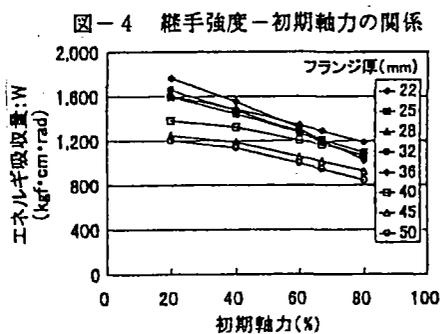


図-6 エネルギー吸収量とフランジ厚の関係

表-1 エネルギー吸収量

フランジ厚 (mm)	初期導入軸力(%)					増加率
	20%	40%	60%	87%	80%	
22	1,603	1,484	1,341	1,288	1,188	35%
25	1,588	1,438	1,291	1,209	1,093	45%
28	1,598	1,436	1,285	1,186	1,061	51%
32	1,654	1,470	1,275	1,187	1,031	60%
36	1,762	1,550	1,313	1,198	1,021	73%
40	1,378	1,320	1,203	1,101	1,068	29%
45	1,245	1,189	1,057	1,018	927	34%
50	1,200	1,135	998	948	844	42%
増加率	34%	31%	34%	36%	41%	

4. まとめ

初期軸力の大きさを選択することにより、フランジ厚の変更よりもより接合部のエネルギー吸収量もしくは剛性を制御することができる。接合部の剛性は、エネルギー吸収量に大きな影響を及ぼすとともに、構造全体の挙動に大きく影響することから、より合理的なモデルによる検討が必要である。

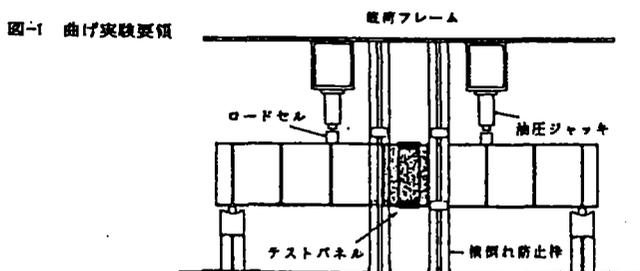
キーワード: すべり強度、有効断面積

1. まえがき

本文では、鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化を図ることを目的とし、I 桁の高力ボルト継手の曲げ実験の結果を基にして、継手設計法の検討を行った。そして、フランジと腹板の共同作用を考慮したすべり強度の評価法を提案した。また、引張フランジのボルト孔を考慮した有効断面積については、純断面積に対する有効断面積の比として 1.1 を提案した。さらに、これらの提案に基づいて継手の試設計を行い、鋼 I 桁の高力ボルト継手の設計を合理的に行うことができることを示した。

2. 実験概要

実験供試体は、支間中央に高力ボルト継手を含む鋼 I 桁である。(図-1)  
 高力ボルト継手については、道路橋示方書の規定に基づき、作用荷重が断面の局部座屈強度に達する前に、継手部においてすべりまたは、引張フランジの降伏が生じるように計画し、ボルトの本数および配置を決定した。すべりとフランジの降伏について、以下の 2 タイプとした。  
 ① 継手部において引張フランジの降伏が発生する前に、すべりが生じるタイプ  
 ② 継手部においてすべりと引張フランジの降伏がほぼ同時に発生するタイプ  
 それぞれのタイプについて、フランジ部のボルト配置を 4 本と 6 本の 2 種類とし、合計 4 体の供試体とした。



3. 実験結果

実験より得られた各種限界状態荷重を表-1に、引張フランジのすべり係数を表-2に示す。表-2におけるC6の値は、高力ボルト摩擦接合継手の引張実験のうち継手部の母材の純断面降伏強度とすべり強度を設計上等しくした継手タイプの結果を表している。

表-1 各種限界状態荷重 (単位: t/m)

	MBS1	MBS2	MFY1	MFY2
フランジ 計算値1	86.1	122.5	69.1	105.1
純断面 計算値2	93.1	136.1	78.8	112.1
降伏荷重 実験値①	82.6	117.4	66.2	102.6
フランジ 計算値1	71.1	103.7	55.5	88.1
純断面 計算値2	77.0	115.2	63.4	94.0
降伏荷重 実験値②	77.6	111.2	62.5	102.3
すべり 計算値1③	52.2	86.1	54.9	88.6
荷重 実験値④	87.6	127.4	73.6	130.9
最大荷重	105.5	140.4	76.1	132.5
②/①	0.939	0.947	0.944	0.997
④/③	1.68	1.48	1.34	1.48

表-2 引張フランジのすべり係数

	初期導入軸力 (実験値) で評価	すべり発生時軸力 (実験値) で評価
MBS1	0.629	0.784
MBS2	0.596	0.690
MFY1	0.476	0.620
MFY2	0.545	0.768
C6**	0.412	0.472

注) 計算値1: 公称材料強度と設計断面による計算値  
 計算値2: 材料試験強度と実測断面による計算値

4. まとめ

- ① I 桁の高力ボルト摩擦接合継手において、フランジと腹板の共同作用を考慮することによりすべり強度をより合理的に評価できる。これに対し、すべり抵抗モーメントの考え方をを用いて、フランジと腹板の共同作用を考慮したすべり強度の評価法を提案した。その際、すべり係数はすべり強度・降伏強度比  $\beta$  を考慮した。そして、実験供試体を対象にしてすべり強度の試算を行った結果、推定値と実験値との誤差が 5% 以下であり、本提案法の妥当性を確認した。
- ② 引張フランジについて、ボルト孔を控除した純断面積を有効断面積とした場合、継手部の降伏強度はかなり安全側に評価される。実験供試体を対象にして、引張フランジの純断面積に対する有効断面積比を計算した結果、1.18 前後であった。これに対して、データのばらつきなどを考慮し、有効断面積比として 1.1 を提案した。
- ③ I 桁の高力ボルト継手の設計法に関する本提案により、現行設計法に比べてボルト本数が少なくなる。腹板の継手は、シアプレート 1 枚ものに行うことができる。また、引張フランジの増厚が不要になるケースが多くなるなど、鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化や製作・現場施工の省力化を図ることができるものと考えられる。

キーワード: 水平補剛材

1. まえがき

著者らは、水平補剛材を有する I 桁に対し、①高力ボルト摩擦接合継手部の腹板パネルにおける水平補剛材の省略の可能性、②高力ボルト摩擦接合継手部において水平補剛材に代わる補剛法について、弾塑性有限変位解析プログラムを用いた耐荷力の数値シミュレーションにより検討を行っている。本研究は、これらの数値解析結果による高力ボルト摩擦接合継手部の耐荷力特性および補剛構造の合理化に関する提案を実験的に検証することを目的とした。

2. 実験概要

実験供試体は、支間中央に高力ボルト摩擦接合継手を設けた鋼 I 桁である。そして継手部の構造パラメータが異なる3種類とする。3ケースの継手パネルの構造パラメータを表-1に示す。腹板の幅厚比及びアスペクト比について、提案済みの水平補剛材省略可能範囲における位置付けは、図-1のとおりである。供試体の形状を図-2に示す。荷重載荷方法は図-3に示す。

表-1 供試体継手パネルの構造パラメータ

項目	CASE 1	CASE 2	CASE 3
鋼種	SM490Y		
降伏応力度 $\sigma_f$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	3600 (公称値)		
腹板 断面 $h \times t_w$ (mm)	1350 × 6		
断面積 $A_w$ (cm <sup>2</sup> )	81.0		
フランジ断面 $b_f \times t_f$ (mm)	290 × 14		
断面積 $A_f$ (cm <sup>2</sup> )	40.6		
曲げ降伏強度 $M_p$ (t·m)	251.6 (公称値)		
垂直補剛材間隔 $a$ (mm)	800	600	800
腹板の幅厚比 $h_w/t_w$	225.0	225.0	225.0
アスペクト比 $\alpha = a/h_w$	0.593	0.444	0.593
断面積比 $A_w/A_f$	2.00	2.00	2.00

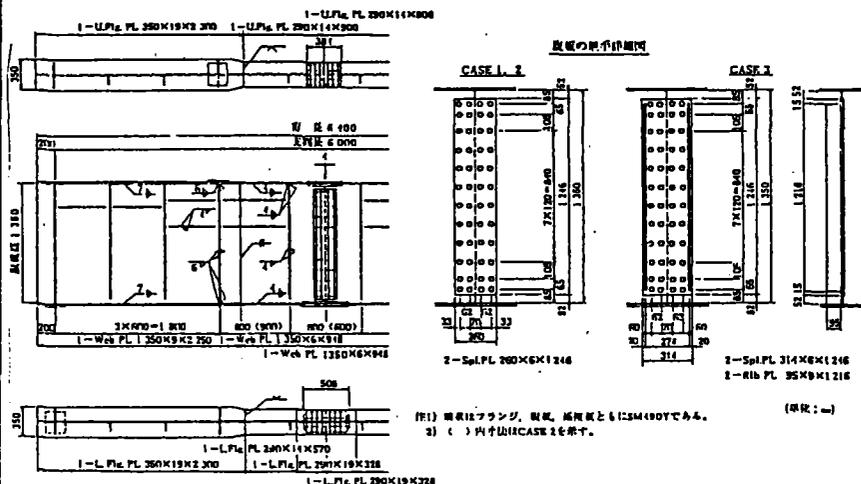


図-2 供試体の形状

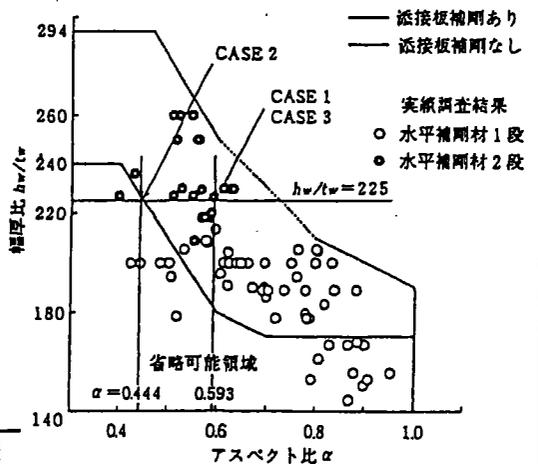


図-1 水平補剛材省略可能範囲 (SM490Yの場合) (1) (2)

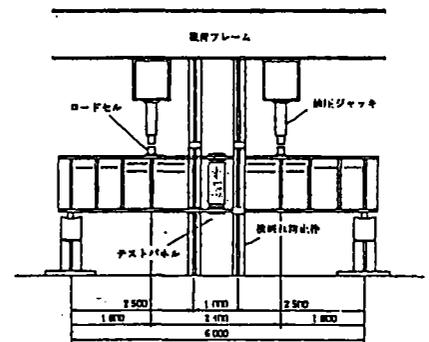


図-3 荷重載荷方法

3. まとめ

- 1) 水平補剛材が必要な鋼 I 桁の高力ボルト継手部において、腹板パネルのアスペクト比が小さい場合、この部分における水平補剛材を省略しても継手部の曲げ降伏強度を確保することができる。そして、曲げ降伏強度の確保が可能な腹板パネルのアスペクト比および幅厚比の範囲は、数値解析結果(図-1)による推定が妥当である。
- 2) 水平補剛材を省略すると継手部の曲げ降伏強度の確保ができない場合でも、腹板において補剛リブ付き添接板を用いることにより、水平補剛材を省略しても曲げ降伏強度を確保することができる。そして、前記1)と同様に曲げ降伏強度の確保が可能な構造パラメータの範囲は、図-1による推定が妥当である。
- 3) 腹板において補剛リブ付き添接板による補剛方法は、終局強度を高める効果があるが、添接板上端と上フランジとの隙間の高さが終局強度以降の変形に対して影響を及ぼすことがある。従ってこの隙間高さをあまり大きくしないよう注意する必要がある。

キーワード:高力皿ボルト

1. まえがき

高力ボルト摩擦継手のボルト軸力は、締め付け後経過年数が増えるほど鋼材のリラクゼーションによって軸力低下が生じる。本研究は、高力皿ボルトの軸部を細くすることにより通常のトルシアボルトより対リラクゼーション性能を向上させることが出来ること、および摩擦継手に用いた場合にすべり係数に与える影響について調査することを目的とした。

2. 実験方法

試験は3種類行った。

- 1) 引張破壊試験を行い、塑性率を調べた。
- 2) ボルト軸力測定方法は、頭に2軸ひずみゲージを貼り付ける方法により測定した。
- 3) すべり係数測定試験では下図に示すように4箇所のクリップゲージを取り付け、引張試験機によって引っ張った。

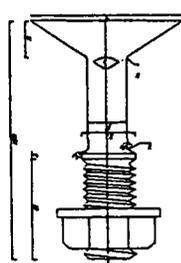


Fig.1 Plate HTB

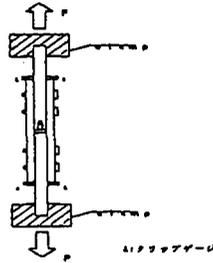


Fig.2 Friction Grip joint setup

Type	d (mm)	R (mm)
A1-3-80	22	3
A1-3-80		
A2-3-90	22	2
A2-3-80		
B1-3-90	20	3
B1-3-80		
B2-3-90	20	2
B2-3-80		
C1-3-90	19	3
C1-3-80		
C2-3-90	19	2
C2-3-80		

Table 1 : Specimen Types

3. 実験結果

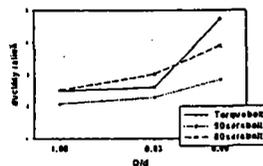


Fig.3 Ductility ratios for HTBs

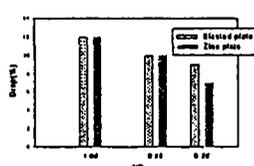


Fig.4 80° plate HTB shaft tension at slip

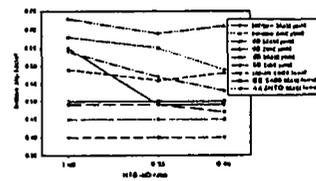
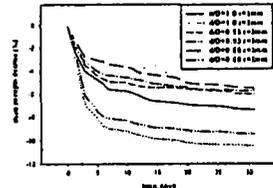
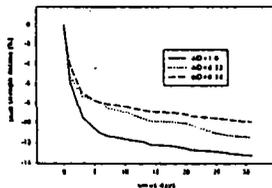
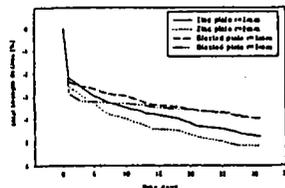


Fig.5 Slip factors for joints



4. 結論

- 1) 軸部を細くするほどボルト締め付け後の軸力低下がより押さえられる。
- 2) ボルト頭部を皿形に変えると軸力低下は増加するが、軸部を細くすることによって補うことができる。
- 3) 皿ボルトの軸部を細くしたボルトを用いても、すべり係数の結果には問題ないと考えられる。
- 4) 無機ジンクリッチペイント処理した場合、軸部を細くしたボルトを用いてもすべり係数は良好である。
- 5) 無機ジンクリッチペイントプレートは、ブラストよりも軸力低下抑制の効果は少し低いことがわかった。
- 6) プレートの種類による軸力低下の差は、軸部が細くなるほど少なくなった。
- 7) 無機ジンクリッチペイントプレート(特に80°の場合)では、ボルト全種類でR=3mmのボルトより2mmのほうが大きく軸力低下した。
- 8) 首下丸み半径による軸力低下の差は、軸部が細くなる程少なくなる傾向を示した。

キーワード: 高力ボルト、グラインダー処理

1. まえがき

摩擦接合面にグラインダー処理を行うと、鋼板は0.1~0.3mm程度の深さに表面が削りとられる。この結果、意図した接合耐力が得られなくなる可能性が考えられる。そこで、FEM解析をもちいて接触圧の分布を計算し必要な接触圧比を求めることにより、この施工法の適用範囲(板厚の限界)を与えることとした。

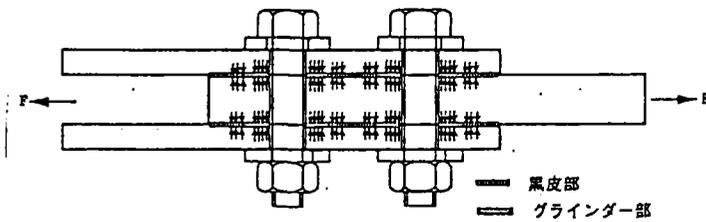


図2 グラインダーがけした高力ボルト摩擦接合部

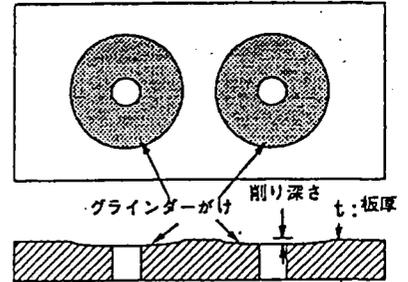


図1 グラインダーがけ状態

2. 解析方法

- 1) 解析モデルは右図とする。
- 2) ボルト径: M16, 20, 22, 24
- 3) ボルト導入軸力: F8T, F10T, F10Tの1.5倍
- 4) 板材の降伏点: 324KN/mm<sup>2</sup>(SM490)
- 5) 板厚: 4~24mm
- 6) 削りしろ: 0.1, 0.2, 0.3mm
- 7) 側板の周辺の拘束: 自由を標準  
(外周上の接点に半径方向の拘束を加えたものについても解析した。)

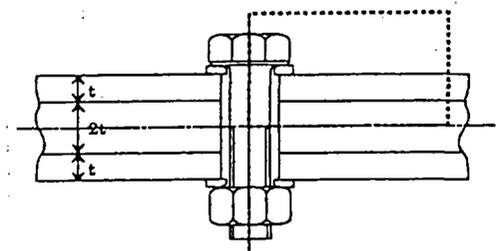


図4 FEM解析対象範囲

3. 解析結果

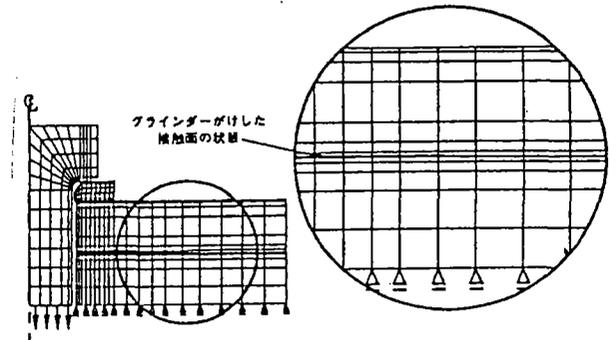
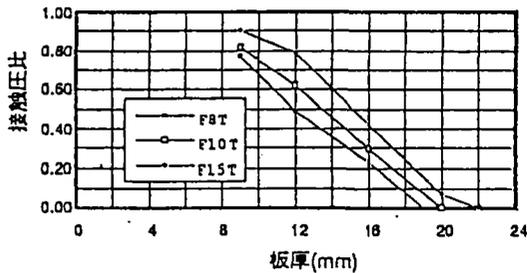
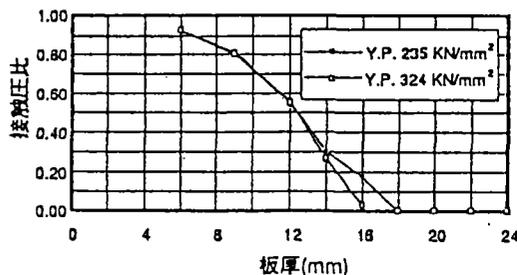
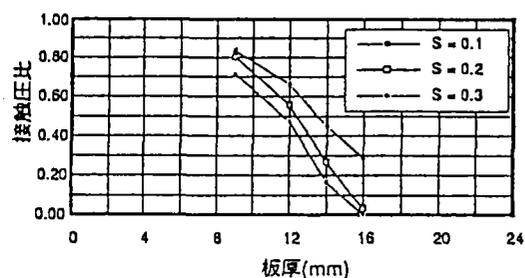


図5 FEM解析モデル

c. M22ボルト・板材降伏点324 KN/mm<sup>2</sup>の場合



f. 板材の降伏点に関する比較  
(F10T・M20の場合)



g. 削り代に関する比較  
(F10T・M20の場合)

4. 結論

必要接触圧比0.5を得るためには、グラインダーによる削り代0.3mm程度を配慮すれば側板の板厚は、M16でボルト径の0.5以下、M20・M22・M24では約0.55以下である必要がある。しかし、グラインダーがけする場合にその効果を期待するとすれば接触圧比は0.5以上とし、側板の板厚はボルト径の1/2以下にとどめておきたい。

キーワード: 鋼床版, 高力皿ボルト

1. まえがき

鋼床版の現場接合に、継手面を平らにできる片面添接の打込式高力皿ボルト支圧接合継手を採用することができれば、舗装厚を薄くすることができる。本研究では、打込式高力皿ボルトを用いた片面添接継手部の曲げによる応力分布性状と疲労破壊性状について実験的に検討する。

2. 試験概要

- 1) 試験に用いた供試体は、下図の通り。
- 2) 載荷方法は、支間320mmで支間中央載荷の3点正曲げ載荷(B1-PB)、及び負曲げ載荷(B1-NB)、支間640mmとし各支点から内側160mmの2点を載荷点とした4点正曲げ載荷(B2-PB)、及び負曲げ載荷(B2PB)の計4タイプ。
- 3) 応力分布性状を明らかにするため、歪測定を行う。
- 4) 継手部端部の母板と添接板の開口量、支間中央における母板間の隙間の変化を見るためクリップゲージによる測定を行う。
- 5) 疲労試験は、油圧サーボ式試験機を用い、下限荷重0.1TONから供試体の一部が降伏点に達するまでと、その約1割り増しの範囲の2ケースを片振りで行う。(繰り返し速度:3点曲げ480cpm、4点曲げ210cpm)

①: 母材 PL 170×12×370  
 ②: 添接板 PL 170×12×306  
 鋼板材質: SS41  
 打込み式高力皿ボルト: 4×M22×45×37(B10T)  
 ボルト孔径:  $d\phi = 21.5\phi$

図-1 供試体

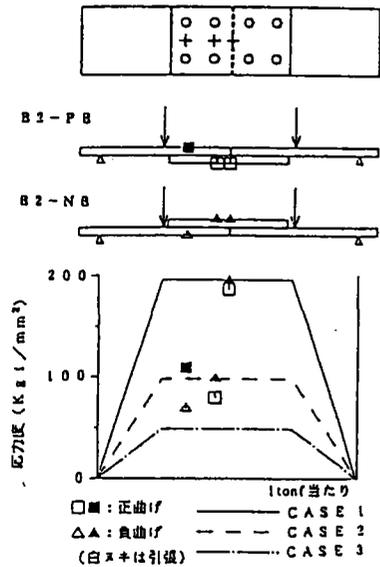
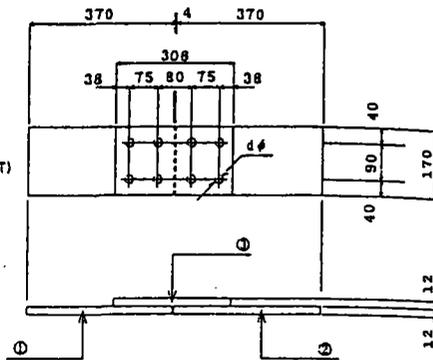


図-2 長手方向の応力分布

3. 試験結果

4点曲げ時の板幅中央部長手方向の応力分布を有効断面の考えを違えた下記の3つの理論値と比較して図-2に示す。

- CASE-1... 母板のみを有効断面とした場合
- CASE-2... 母板と添接板を重ね梁とした場合
- CASE-3... 全断面を有効とした場合

疲労試験の結果を表-1に示す。  
 計算値で整理したS-N図を先の文献での結果とともに図-4に示す。

表-1 疲労試験結果

供試体	荷重範囲(tf)	繰り返し回数(万回)	破断位置	図-3における破断位置
B2-PB_1	0.1-1.4	125	母板	E, F, G, H
B2-PB_2	0.1-1.4	43	母板	E, F, G, H
B1-NB_1	0.1-1.4	235	添接板	A, B, D
B1-NB_2	0.1-1.4	147	添接板	A, B, C, D
B1-PB_1	0.1-1.2	470	破断なし	
B1-NB_1	0.1-1.4	500	添接板	B
B1-NB_2	0.1-1.4	247.5	添接板	A, B, D

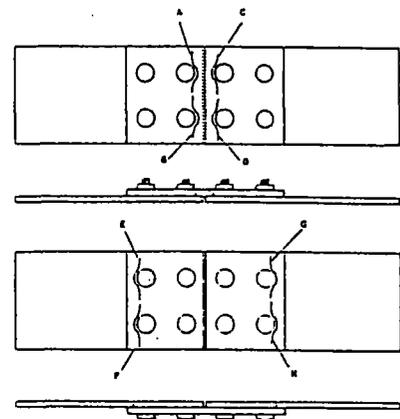
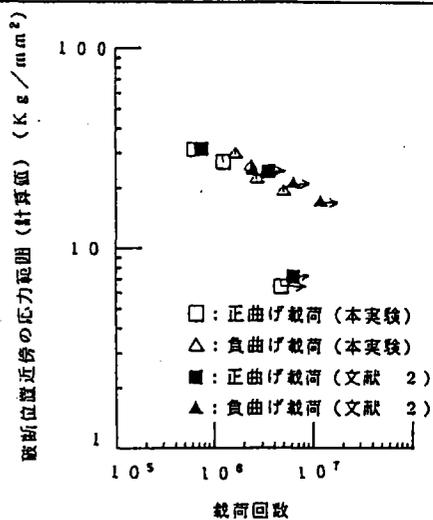


図-3 クラックの発生位置



2) 奥川ほか;高力皿ボルトを用いた座板接合継手のすべり耐力及び疲労強度、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月

4. 考察

- 1) 応力伝達機構は正曲げ、及び負曲げの場合により異なっている。
- 2) 3点曲げにおいてもほぼ同様の結果が得られ、4点曲げ時とほぼ同程度の割合で応力を伝達している。
- 3) S-N図によると、応力範囲の違い、载荷条件の相違にも関わらず、先の文献と同様の傾向を示している。

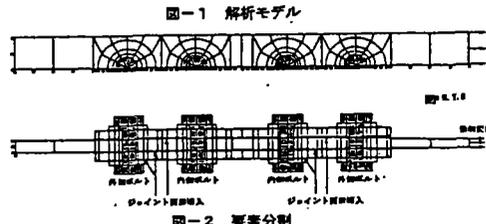
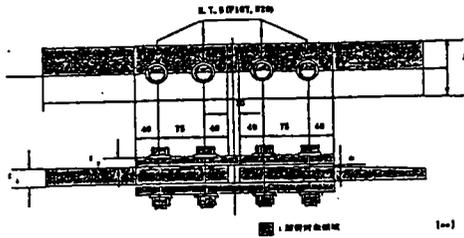
キーワード LP鋼板、すべり強度

1 まえがき

LP鋼板の連結部に等厚部を設けず、板厚変化部で高力ボルト摩擦接合を用いる場合、製作上のメリットが生じるが、連結されるLP鋼板間のテーパ勾配が異なるために、すべり強度に対する影響を確認する必要がある。本報告では、LP鋼板高力ボルト摩擦接合を対象に、弾塑性有限変位解析を行い、テーパ勾配が継手部の応力、有効摩擦面積などに与える影響について、解析的に検討をした。

2 解析手法と解析モデル

解析モデルを図1、2に示す。テーパ勾配は0~0.004である  
なお、材質はSM490YB、ボルトはF10TM22とした。



3 解析結果

1行2列のテーパ勾配2/1000において、等厚部側ボルト軸力導入時と軸力導入完了時の応力状態を比較すると、継手部両端部の添接板(上)の応力が若干増加するものの明確な変化は見受けられない。この結果は4列モデル、テーパ勾配4/1000モデルにおいても同様である。

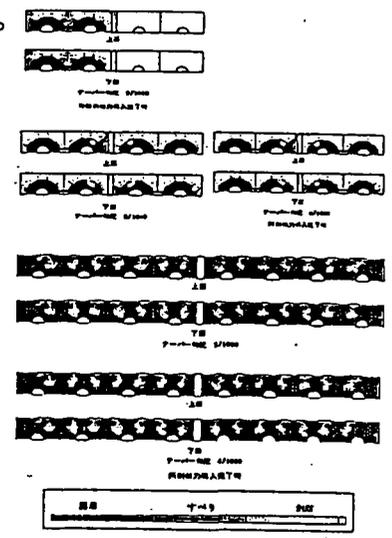
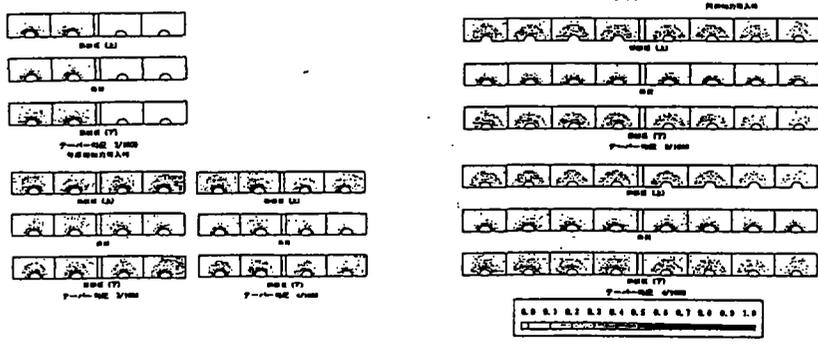
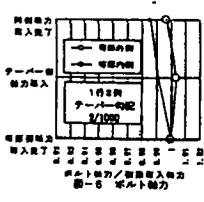


図6にテーパ側軸力導入時における等厚側のボルト軸力変化を示す。等厚側の軸力導入完了後、テーパ側の軸力を導入すると等厚側のボルト軸力はほぼ線形的に減少する。それに対して外側ボルト軸力はテーパ勾配の影響により一旦は増加するもののボルト軸力導入完了時には減少傾向を辿り、初期軸力を下回った。



キーワード LP鋼板、すべり強度

1 まえがき

LP鋼板の連結部に等厚部を設けず、板厚変化部で高力ボルト摩擦接合を用いる場合、製作上のメリットが生じるが、連結されるLP鋼板間のテーパ勾配が異なるために、すべり強度に対する影響を確認する必要がある。本報告では、等厚部を省略したLP鋼板高力摩擦接合を対象にした引張試験を行い、テーパ勾配がすべり強度に与える影響について検討した。

2 実験供試体

供試体タイプは図1に示すタイプに分類される。テーパの勾配は0.002、0.0048の2種類である。



図-1 LP鋼板摩擦接合継手のタイプ

表-1 実験供試体の諸元

供試体記号	LPJ2IN	LPJ4IN	LPJ2OUT	LPJ4OUT
添接板内折れ	添接板内折れ	添接板内折れ	添接板外折れ	添接板外折れ
ボルト間隔(mm)	2.0/1000	4.8/1000	2.0/1000	4.8/1000
添接板厚(mm)	34.00	35.00	34.00	34.00
鋼板厚(mm)平均	33.54	33.90	34.46	35.10
鋼板厚(mm)最大	33.42	33.61	34.58	35.38
α値(鋼板の厚部)	0.767 0.758	0.756 0.738	0.758 0.750	0.758 0.739
α値(薄部の厚部)	1.13 1.12	1.11 1.09	1.12 1.11	1.12 1.09
最大板厚差(mm)	0.460	1.104	0.460	1.104
供試体数(枚)	3	3	3	3

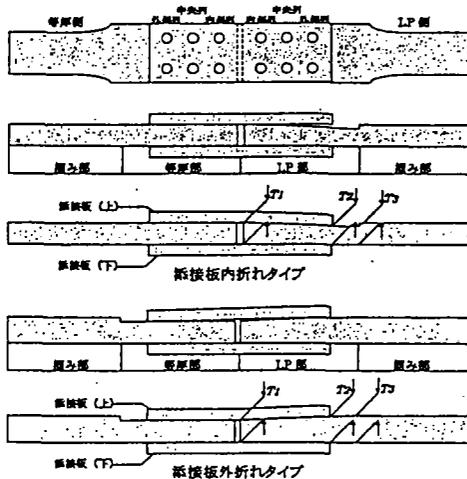


図-2 実験供試体

3 実験結果

図4に荷重-全伸び関係を示す。●は各供試体で最初の主すべり発生時を表す。添接板内折れタイプに比べて外折れタイプの方がすべり強度が高くなっている。これはテーパ勾配の影響により、添接板内折れタイプでは添接板が浮き上がるような状態となり、外折れタイプでは添接板の弾性変形に伴うスプリング効果によりボルト軸力による板厚方向作用力以上の力が発生しているためと思われる。

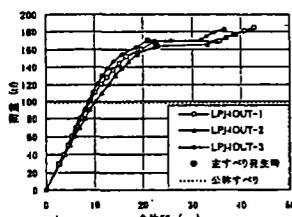
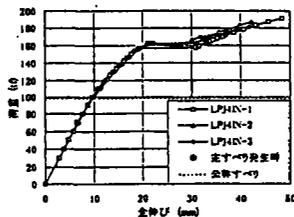


図-4 荷重-全伸び

表2にすべり係数の一覧を示す。全ての供試体において公称すべり係数を上回っており、テーパ勾配の範囲が0.0048程度であれば大幅なすべり係数の低下は起こらないことが確認できた。

表-2 すべり強度一覧

	LPJ2IN	LPJ4IN	LPJ2OUT	LPJ4OUT
公称20.5tf	0.557	0.651	0.621	0.681
1割増22.55tf	0.507	0.592	0.565	0.619

文献 7-14 高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態の区分

1996年 駒井技報Vol.15 (秋山)

キーワード 限界状態

### 1 はじめに

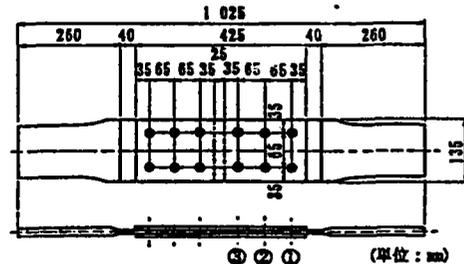
高力ボルト摩擦接合引張継手部について、①摩擦伝達力、②引張材におけるボルト孔による断面控除の影響、③摩擦接合引張継手の限界状態の区分に着目して引張実験を行った。

実験データにより、各区分における限界強度の評価法の提案、さらに本提案に基づく高力ボルト継ぎ手の試設計を行い現行設計法と比較する。

### 2 実験データ

実験供試体は以下の3タイプ

- ① Aタイプ：母材および添接板の弾性状態において滑りが発生し、ボルトのせん断破断で終局状態に達する。
- ② Bタイプ：滑りが発生する前に母材または添接板が降伏状態になり、その破断により終局状態に達する。
- ③ Cタイプ：母材および添接板の降伏と滑りが同時に発生する。



母材および添接板の板厚はともに10mmである。  
高力ボルトは等級F10T、サイズM20である。

### 3 実験結果

#### 1) 線形限界

- ・ Aタイプではすべり現象が線形限界である。
- ・ B fタイプは母材の降伏によって線形限界に達する。
- ・ B sタイプは添接板の降伏によって線形限界に達する。注) 供試体タイプに関する詳細は、添付の本文参照
- ・ Cタイプは母材や添接板の降伏あるいはすべりによって線形限界に達する。

実験供試体の形状(Bf6タイプ)

#### 2) 終局限界

- ・ Aタイプではボルトの破断による破壊形式。
- ・ B fタイプ、Cタイプは最も外側のボルト列位置での母材の延性破壊。
- ・ B sタイプは最も内側のボルト列位置での添接板の延性破壊。

### 4 限界状態の区分

高力ボルト継ぎ手引っ張り実験の本データおよび、辻岡・脇山、建設省土研の実験データにより、すべり強度、降伏強度比 $\beta$ に着目し、これらの限界状態の区分を検討する。

### 5 抵抗強度の評価

実験データにより継ぎ手のすべり強度や降伏強度など抵抗強度を評価する方法として、データの直観的な下限値より評価する。

### 6 本提案と現行設計法との比較

本提案と現行設計法による設計結果は、あまり差がない。

キーワード 引張部材におけるボルト孔断面控除の影響

1 はじめに

諸外国の各種設計基準の差異に対し、①摩擦接合引張継手終局限界の区分②高力ボルト摩擦伝達力、③引張部材においてボルト孔による断面控除の影響、④高力ボルト摩擦接合引張継手の終局強度および変形能に着目し実験を行った。

2 実験内容

実験供試体は以下の3タイプ

- ① Aタイプ：母材および添接板の弾性状態において滑りが発生し、ボルトのせん断破断で終局状態に達する。
- ② Bタイプ：滑りが発生する前に母材または添接板が降伏状態になり、その破断により終局状態に達する。
- ③ Cタイプ：母材および添接板の降伏と滑りが同時に発生する。

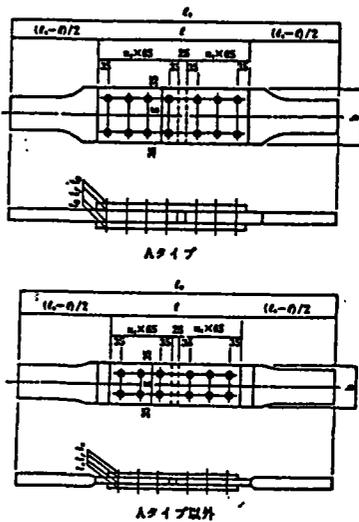


表-1 供試体の形状

	Aタイプ		Bfタイプ		Bsタイプ		Cタイプ
	A4	A6	Bf4	Bf6	Bs4	Bs6	C6
$l_0$	930	1060	895	1025	895	1025	1055
$l$	360	490	295	425	295	425	425
$b$	180	180	135	135	135	135	146
$g$	110	110	65	65	65	65	78
$n_1$	1	2	1	2	1	2	2
$n_2$	2	3	—	—	—	—	—
$lf$	42	42	10	10	25	25	22
$ls$	22	22	10	10	10	10	11
材質	母材 SM570		SS400		SM490Y		SM490Y
添接板	SM490Y		SS400		SS400		SM490Y

3 実験結果

- 1) Aタイプ  
ボルト本数の相違により供試体のすべり強度に著しい差が現れた。
- 2) Bfタイプ (母材降伏タイプ)  
部分的なすべりが生じ、母材と添接板間のすべりは最も外側のボルト列付近から添接板端部までの範囲で確認された。
- 3) Bsタイプ (添接板降伏タイプ)  
荷重が継ぎ手供試体の線形状態に達する前に、最も内側のボルト列付近において添接板が降伏している。
- 4) Cタイプ (降伏-スリップ複合タイプ)  
すべりによって継ぎ手の線形限界が定まっている。

4 まとめ

・わが国の設計基準についても降伏限界においてボルト孔による断面欠損の影響がわずかであることを考慮して、有効断面の評価法を見直す必要があると考える。

・ボルト継ぎ手におけるすべり現象の影響がわずかである場合、すべり限界に対して材料の降伏と同様の安全性を確保することは必ずしも合理的でない。限界状態の使い分けを考慮する事による設計の合理化も必要である。

キーワード

合理化桁、LP鋼板、少数主桁、高力ボルト摩擦接合

本デザインマニュアルでは、スパン長が30~60mの標準的なI断面桁および箱桁形式の鋼桁を対象としており、新技術としての主要な項目として、下記の4つについて検討している。

- (1) LP鋼板の主桁フランジへの適用
- (2) 少数主桁構造の適用と横つなぎ材の簡素化
- (3) 高力ボルト摩擦接合継ぎ手の設計法の合理化
- (4) 主桁腹板の補剛方法の合理化

基礎データとして、次の事項について、検討した。

- (1) 少数主桁構造に適した床版構造
- (2) 架設時構造系の座屈安定照査法
- (3) 合理化桁の試設計例

1 多列ボルトの設計

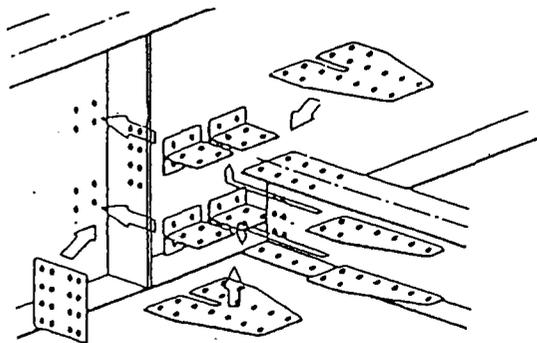
ISOにおける滑り強度低減係数 $\beta$ と、M27~36の太径・長尺ボルトの適用を前提とした設計法が求められている。(M30で18列としても、M24の場合と同等の滑り係数が得られることが報告されている。)

2 LP鋼板の接合

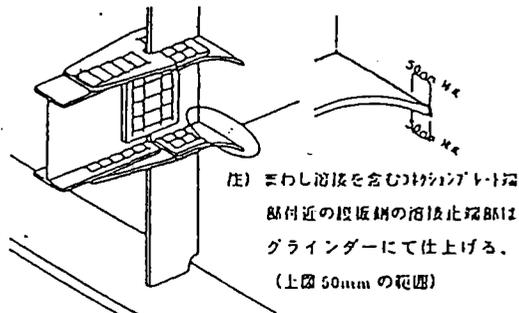
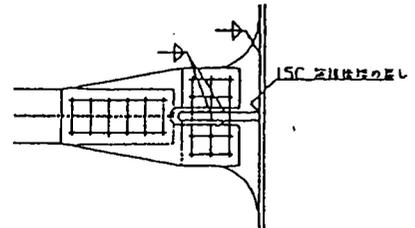
等厚部での接合、および、添接板内折れと外折れタイプが実用的に可能。

3 横桁の主桁への接合

断面が小さいことから、局所的な応力集中、主桁の首振り挙動が発生することから、スプリットT式、コネクションプレート式がある。



(a) スプリットT方式



(b) コネクションプレート方式

文献 7-17	連結について
1998 年	省力化設計検討委員会 技術検討会資料(1998年11月)(曾我)
<p>キーワード</p> <p>現場溶接部、ボルト中心間隔、多列ボルト、板厚差、フィラープレート</p> <p>(1)現場継手部の段差について</p> <p>ボルト接合部は、剛度が急変するため、応力集中とまではいかないまでも、付加的な応力は発生するものと考えられる。</p> <p>(2)ボルトの中心間距離</p> <p>板厚差のある場合の継手部の滑り係数は、既往の研究から1~2mm程度であれば、0.4以上は確保されていることが確認されているため問題ないと考えられるが、安全をみて、ボルトの中心間隔を広げて添接板のなじみを期待して、滑り係数を向上させる方法もある。</p> <p>(3)ボルトの列数について</p> <p>実験結果では、12列までは滑り係数0.4は確保できているが、8列までが全体滑り、それを越える場合は部分的な延びによる端ボルトの支圧で破断している。</p> <p>(4)板厚差の制限</p> <p>土木研究所の研究では、フィラーの板厚の増加に伴う荷重伝達の偏りにより、滑り係数が低下すると報告されているが、メーカーによる実験等では、25~32mmのフィラープレートを用いた場合でも滑り係数が十分確保できているとの報告もある。</p> <p>(5)フィラープレートの材質について</p> <p>通常、SS400を使用することが多いが、母材がSM570の場合における安全性の確認が必要である。</p>	

キーワード

合理化桁橋、強度、ボルト継手、LP鋼板、2主桁構造

1. はじめに

LP鋼板等の材料に起因するもの以外に、鋼橋の合理化に対して、様々な技術革新が導入されてきている。本稿は、強度面からの課題に対する検討結果とともに、試設計による経済面からの新技術の評価を報告する。

2. 高力ボルト継手の設計法の合理化

(1) すべり係数

ボルト接合において、母材及び添接板に引張力が作用すると、これらのポアソン効果による板厚減少によりボルトの軸力抜けが生じる。母材及び添接板が降伏状態に近づくにつれてボルトの軸力抜けが顕著になり、すべりが発生する。従って、すべり係数はこのことを考慮する必要がある。

ここでは、すべり係数に対し、すべり強度・降伏強度比  $\beta$  をパラメーターとして考慮する。

$$\beta = N_{SL} / N_{YN}$$

$N_{SL}$  : すべり強度の公称値 (tf)

$N_{YN}$  : 母材の降伏強度の公称値 ( $= A_n \times \sigma_Y$ )

すべり係数  $\mu$  - すべり強度・降伏強度比の関係を見出すために、既往の高力ボルト継手引張実験データに整理した。

- ①  $\beta \leq 0.7$  の範囲では、すべり係数は  $\beta$  との相関性があまりなく、平均値 0.52 の一定値とみなせる。
- ②  $0.7 < \beta$  の範囲では、すべりと母材の降伏は独立したものになっていない。つまり、引張応力によって母材及び添接板の板厚が減少し、そのため、ボルトの軸力抜けが進み、すべりが発生する。そして、みかけのすべり係数が低下したように見える。
- ③ すべり係数と  $\beta$  との間には、線形関係が認められる。

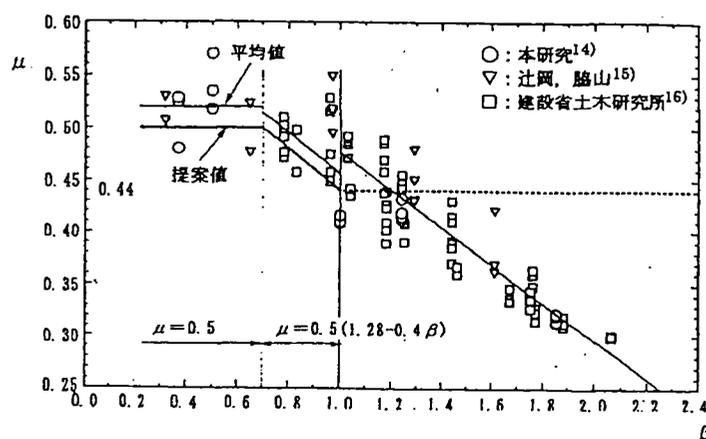


図-10 すべり係数  $\mu$  - すべり強度・降伏強度比  $\beta$

$\beta \leq 0.7$  の場合 : すべり係数  $\mu = 0.5$  (基本すべり係数)  
 $0.7 < \beta \leq 1.0$  の場合 : すべり係数  $\mu = 0.5(1.28 - 0.4\beta)$  (すべり係数の低減)

(2) 引張材の継手強度

引張を受ける継手強度の限界状態の区分については、上記実験より、パラメーター  $\beta$  の範囲に応じて以下のように区分できる。

- $\beta \leq 1.0$  の場合 : すべり限界を線形限界とする。
- $1.0 < \beta \leq 1.2$  の場合 : 母材の降伏限界を線形限界とし、母材の純断面降伏強度に基づく。
- $1.2 < \beta$  の場合 : 母材の降伏限界を線形限界とし、母材の純断面降伏強度に基づく。

文献 7-18	合理化鋼桁橋にむけての強度面からの検討
1998 年	第1回 鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集(西村、秋山、堀田)
<p>ここで、実験データの平均値とそのばらつきを考慮して、すべり係数や降伏強度など抵抗強度を評価する。この場合、SGST-Formatに従うものとする。</p>	
<p>(3) I形断面桁の曲げ継手強度</p>	
<p>フランジとウェブの継手はすべりに対して協同的に抵抗する。このことを考慮して、I形断面桁の継手のすべり強度の評価法として、下記のすべりモーメントを考える。</p>	

キーワード

高力ボルト、高変形能ボルト、引張継手

1. はじめに

高力ボルトは、形状の異なる軸平行部とネジ部からなっており、終局状態において塑性変形はネジ部のみに集中するため、引張継手は有利な構造と言えない。  
 本研究では、小さい軸平行部を有する高変形能ボルトの力学特性を検討し、引張接合への適用の有効性を明らかにした。

2. 研究手法

汎用有限要素解析プログラムABAQUSにより解析する。局所的な応力・歪みと構造全体の挙動を関連づけて検討する。

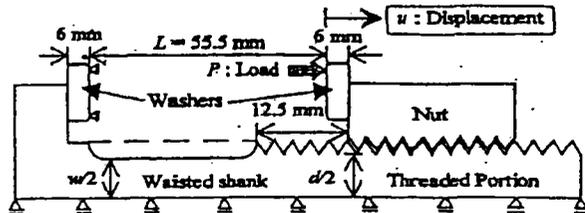
様々な軸平行部を有するボルトの軸対称解析によって、軸方向荷重載荷下における高変形能ボルトの力学的特性を検討する。その結果に基づき、ボルトのネジ部の等価応力-歪み関係を構築し、高変形能ボルトを適用した引張継手に対して3次元解析を行い、有効性を確認する。

3. 軸対称有限要素解析

解析モデルの概要をfig.1およびtable.1に、解析から得られた有効応力-平均歪みをfig.2に示す。

Table 1 高変形能ボルトの材料特性<sup>2)</sup>

Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yielding stress (MPa)	Hardening modulus (GPa)	Ultimate stress (MPa)	Ultimate strain
206	0.3	882	2.06	1,176	0.14



最小断面積  $A_{min} = \min(\pi^2 d/4, \pi^2 w/4)$   
 有効応力  $\sigma_{eff} = P/A_{min}$   
 平均ひずみ  $\bar{\epsilon} = v/L$

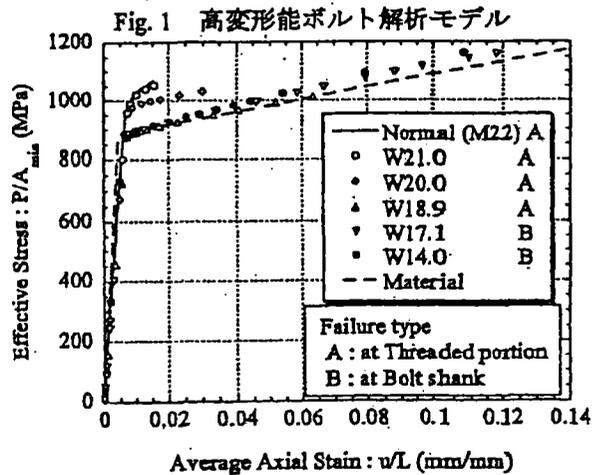
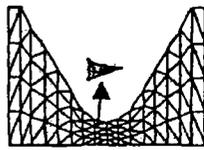


Fig. 2 有効応力-平均ひずみ関係

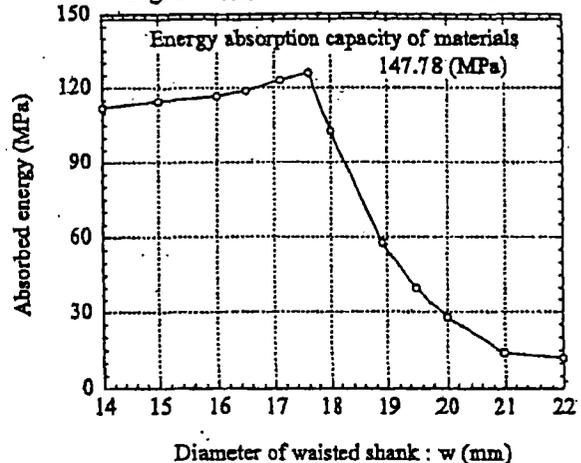


Fig. 3 エネルギー吸収能

文献 7-19	高変形能ボルトの開発とその引張継手への適用
1997 年	土木学会第52回年次学術講演会(平成9年9月)(藤原、渡邊、杉浦、山口)

通常、ボルトのように軸並行部径が大きいモデルに対する曲線形状はネジ部の変形性状が顕著に現れる。すなわち、ネジ底の応力集中部から徐々に塑性化が進展していくにつれ、剛性が低下している。一方、軸並行部径の小さいモデルでは、材料本来の応力-歪み曲線に近い形状となる。

#### 4. 結果および結論

- ・軸平行部径を小さくすることで、ボルトのエネルギー吸収性能が向上した。また、高変形能ボルトのエネルギー吸収能が大きく向上した。

- ・高変形能ボルトを引張継手に適用すれば、特に、フランジ板の厚い形式においては大きく変形能が向上し、優れた変形能を有する接合形式であることを確認した。

- ・フランジ板の薄い形式に対しては、変形能向上のためには軸平行部径の十分小さいボルトを用いることが望ましい。

キーワード 吊り金具、高力ボルト、てこ反力

1. はじめに

近年、橋桁を吊り上げる際の施工性を考慮し、吊り金具を溶接せずに高力ボルトを用いる場合がある。

ここでは、降伏点強度以上の締め付けを与えた高力ボルトの性状を把握するため、引張り力実験を行った。

2. 試験概要

厚さの異なる鋼板(t=12mm,25mm)に4本の高力ボルトにて引張接合する。  
高力ボルト軸力が、設計軸力の約1.5倍に達するまで締め付ける。  
ピン治具を介して10tf毎に暫増繰り返しで50tfまでの引張荷重を鉛直方向に載荷した。

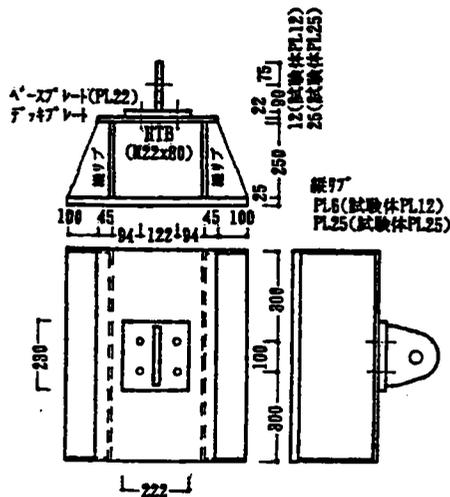


図1 試験体の形状

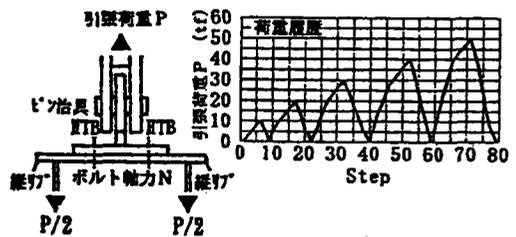
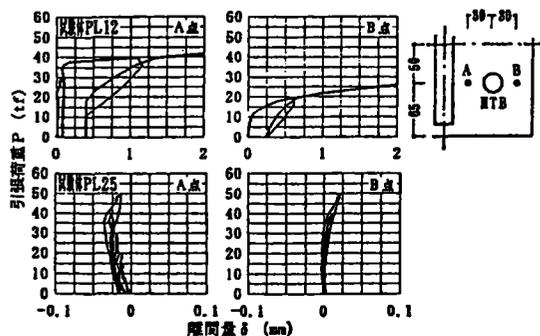


図2 加力方法と荷重履歴

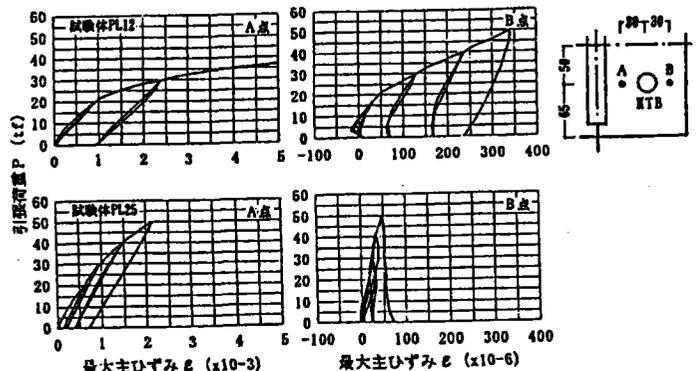
3. 結果

高力ボルト軸力は、2回目以降の繰り返し載荷において作用する引張り力に反比例して減少した。  
吊り金具のベースプレートの離間は、載荷点近傍では引張荷重がある程度の大きさに達してからまた載荷点から離れるにしたがって小さな引張荷重段階時に生じる。

ベースプレート上のひずみは、載荷点近傍ほど大きく、またデッキプレートの厚さの影響を受ける。



引張荷重Pと離間量δの関係の一例



引張荷重Pと最大主ひずみεの関係の一例

キーワード 高力ボルト、引張接合

1. はじめに

高力ボルト引張接合は、導入する軸力が継手部の変形、剛性、破断に対して影響を与えることから、初期導入軸力が継手部挙動に及ぼす影響に関して数値解析を行った。

2. 解析概要

T型接合型式は、下図に示す(1/2モデル)。高力ボルトは、M22-F10Tとする。

導入軸力は、20.5tfの他にJISで規定されている引張強さを100%とし、その20%、40%、60%、80%の5種類導入した。

解析には、弾塑性平面解析システムに境界非線形性の取り扱いを組み込んだシステムを使用した。

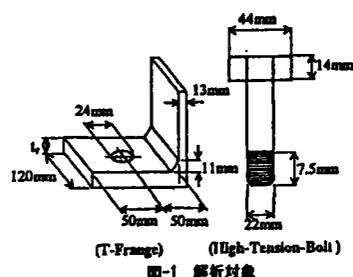


図-1 解析対象

表-1 材料特性値一覧

	ボルト		フランジ部
	軸部	ネジ部	
ヤング率 (GPa)	206	49	206
ポアソン比	0.3	0.3	0.3
降伏応力 (MPa)	882	697	235
硬化係数 (GPa)	2.94	4.99	1.18
引張強さ (MPa)	981	783	402

表-2 破断様式の種類

導入軸力 (t)	フランジ厚 (mm)							
	16	19	22	25	28	32	40	50
① 6.06 (20%)	×	×	×	×	×	○	○	○
② 12.12 (40%)	×	×	×	×	×	○	○	○
③ 18.18 (60%)	×	×	×	×	×	○	○	○
④ 20.50 (67.7%)	×	×	×	×	×	○	○	○
⑤ 24.24 (80%)	×	×	×	×	×	○	○	○

(○: ボルト破断モード ×: フランジ破断モード)

3. 解析結果

フランジ厚に着目すると、フランジ厚が薄い場合はフランジの曲げ剛性が低いため、フランジの変形により継手剛性が急激に低下する。フランジ厚が厚くなるにともない、フランジの曲げ剛性が増加し、継手剛性の低下はフランジとボルトの変形に起因し緩やかになる。フランジがほとんど変形しない場合は、ボルトの変形により継手剛性は急激に低下する。

引張接合は、ボルトの導入軸力によって、継手の挙動を制御することができる接合方式である。

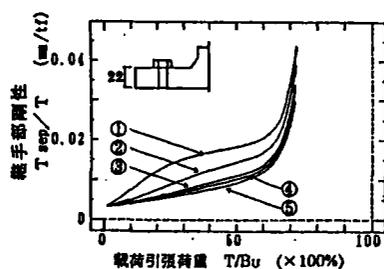


図-2 荷重と継手変形度合の関係(1)

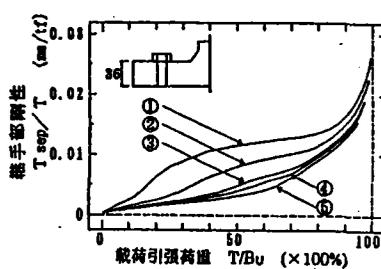


図-3 荷重と継手変形度合の関係(2)

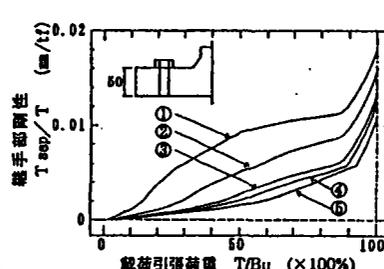


図-4 荷重と継手変形度合の関係(3)

キーワード スプリットティー、引張継手

1. はじめに

高力ボルト引張継手は、溶接接合に比べ施工性がよく有利であるが、静的・動的力学的挙動に関するデータが不足している。特に土木構造物への適用に際しては、疲労照査は重要である。

ここでは、繰り返し荷重下における継手の力学的挙動を明らかにするために、高力ボルト単体の疲労試験および、スプリットティー継手の3次元有限要素解析を行った。

2. 試験概要

高力ボルトの疲労試験は、断面急変部が疲労強度に大きな影響を与えることが考えられるため導入軸力を変化させて行った。

スプリットティー継手の解析は、継手の対称性を考慮し1/8モデルとした。フランジ板厚は $t=10\text{mm}$ 、 $t=22\text{mm}$ とし、高力ボルトはM12とした。

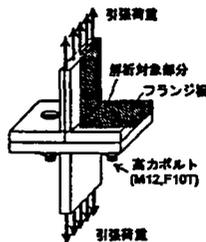


図1 スプリットティー継手

表1 各供試体の試験条件

	A	B	C	D	E
応力範囲( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	3000	2000	1000	3000	2000
M12 導入軸力( $\text{kg}$ )	6260	6260	6260	3130	3130
荷重範囲( $\text{kg}$ )	2520	1680	840	2520	1680
M20 導入軸力( $\text{kg}$ )	18200	18200	18200	9100	9100
荷重範囲( $\text{kg}$ )	7350	4900	2450	7350	4900

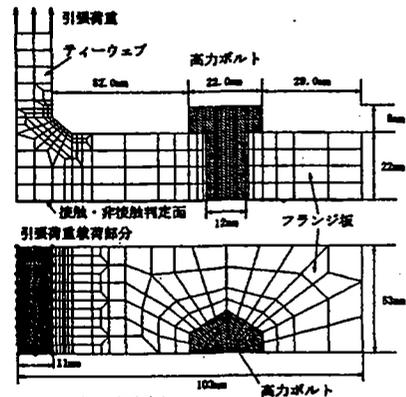


図5 解析モデルの隅元と要素分割

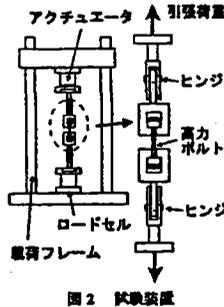


図2 試験装置

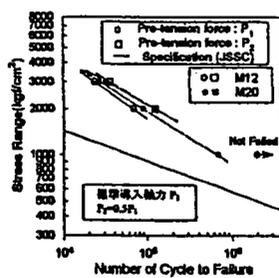


図3 S-N線図



図4 疲労破壊部位

表4 最大応力集中度とその部位

解析ケース	最大応力集中度	部位
SPT10	18.2	A
SPT20	6.03	A

A: ティーウェブとフランジ板の溶接部分

3. 試験結果

高力ボルトの疲労強度は、ボルト径に関わらず導入軸力の影響が顕著に現れ、JSSCの疲労設計指針によるS-N線図が十分安全側であることがわかった。

スプリットティー継手の最大の応力集中は、ティーウェブとフランジの溶接部分が最も高い。

キーワード      スプリッター、引張継手、有効幅係数

### 1. はじめに

高力ボルト引張継手は、接合部の剛性も高く優れた力学的特性を有しているが、施工実績は少ない。合理的な設計法を確立するためには、多くの実験・解析が必要となるが、予算・時間的な制約を受けることから、3次元弾塑性有限要素解析の結果をもとに、2次元解析に有効幅係数を導入しその妥当性を検討する。

### 2. 解析方法

3次元解析モデルは、構造上の対称性を考慮し1/8モデルとした。解析ケースは、フランジ板厚フランジ板幅を変化させた15ケースとする。

2次元解析モデルでは、フランジ板の要素、高力ボルトの要素に対して有効幅係数を導入し、その有効幅係数を検討する。

有効幅係数の評価は、荷重-離間量曲線より目視による差異を評価した。

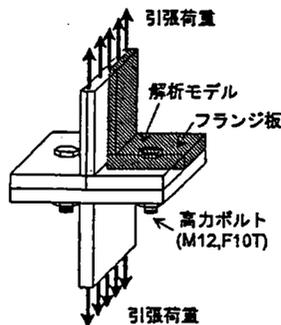


図-1 スプリッター継手モデル

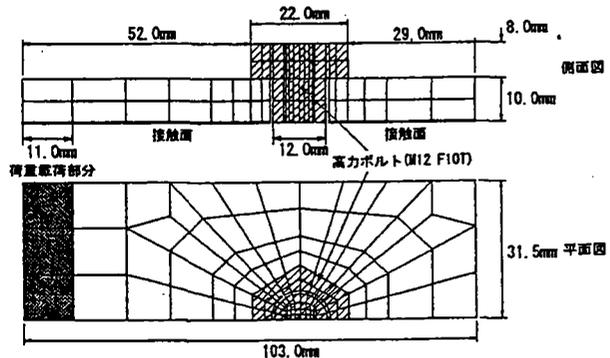


図-3 解析モデルの概要と要素分割 (STF2)

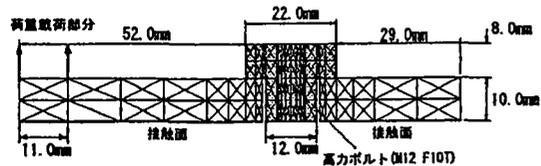


図-5 2次元解析モデル (板厚10mmの場合)

### 3. 解析結果

有効幅係数(フランジ板 :0.90、高力ボルト:0.65)を用いることにより、2次元解析において3次元挙動を正しく予測できる。

最大応力およびその位置は、板厚の薄い場合は2次元解析と3次元解析結果はよく一致していた。

キーワード 鉄道橋、めっき、鋼繊維補強コンクリート、合成桁

1. はじめに

本橋の箱桁内部は、防音効果を高めるため制振コンクリートを打設し、下フランジには防錆処理として溶融亜鉛メッキを施している。

下フランジの溶接時の熱影響にたいして、溶融亜鉛めっきの品質保証を確定するため溶接施工試験を行った。

2. 試験方法

亜鉛の溶融温度は、419℃であるため、その85%の350℃を施工管理上の最高到達温度とした。

溶接時の鋼板裏面の最高到達温度は、下記式より算出した。  
下フランジ裏面に熱電対を装着し、溶接中の温度を測定する。

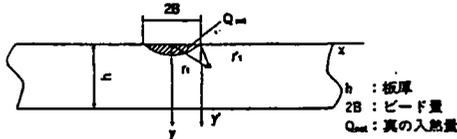


図-2 溶接熱源の考え方

$$\frac{1}{\theta_{max} - \theta_0} = \frac{1}{\theta_M - \theta_0} + \frac{r_1'^2}{0.234 Q_m / c \rho} \quad \dots\dots\dots(1)$$

- $\theta_{max}$  : 最高到達温度 (℃)
  - $\theta_0$  : 鋼板の初期温度 溶接パス開始時温度 (℃)
  - $\theta_M$  : 鋼板の溶融温度 1534℃
  - $Q_m$  : 真の溶接入熱量 (J/cm)
  - $r_1'$  : 溶融線からの距離 (cm)
  - $c$  : 鋼の比熱 (J/g℃)
  - $\rho$  : 鋼の比重 (g/cm<sup>3</sup>)
- $Q_m$ について整理すると(1)式は以下になる。

$$Q_m = \left[ \frac{1}{\theta_{max} - \theta_0} - \frac{1}{\theta_M - \theta_0} \right]^{-1} \cdot \frac{r_1'^2 \cdot c \cdot \rho}{0.234}$$

3. 試験結果

溶接前後のめっき付着量および、密着性試験結果は、溶接前後でほとんど差はなかった。  
外観検査においても異常はなかった。  
ウェブ溶接時の最高到達温度は、施工目標値を満足していた。  
マクロ試験においても欠陥は見あたらなかった。

表-2 供試鋼材

対象箇所	鋼材	板厚(mm)	製造業者
ウェブ	SM400A	11	住友金属工業
下フランジ	SM400B	18*	住友金属工業

\*) 本工事での下フランジの最小板厚

また、試験体形状および試験片採取要領を図-3に示す。

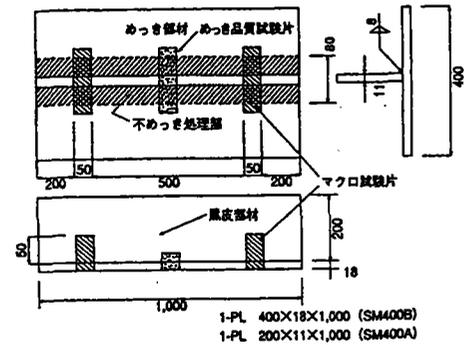


図-3 試験体形状および試験片採取要領

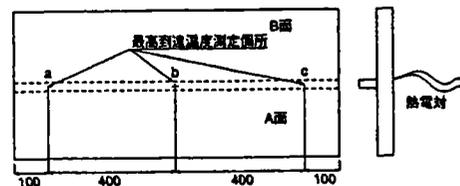


図-4 鋼板裏面の温度測定要領

キーワード：すべり係数

1. 目的

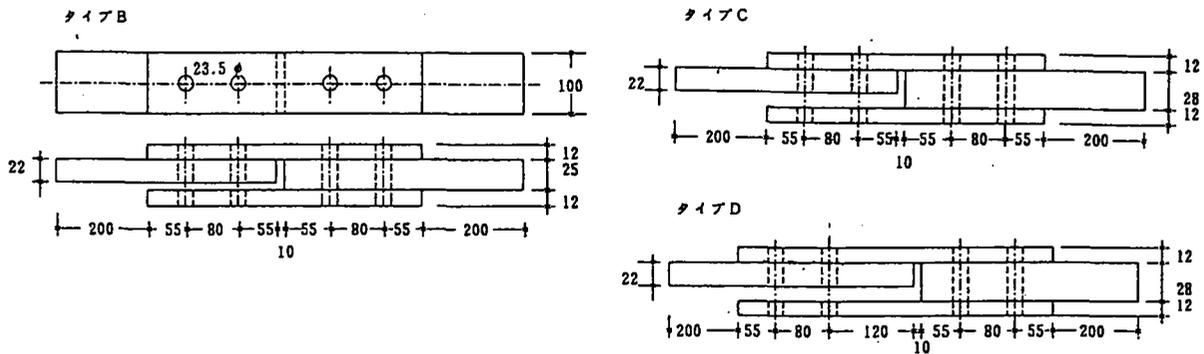
トルシア形高力ボルト摩擦接合面に肌すき (6mm, 3mm) を与えた場合のすべり係数を実験で確認することを目的とする。

2. 試験体

1) 使用鋼材

記号	フープ	中板		側板	
		規格	材質	規格	材質
B-1~3		JIS G 3106	SM 490A	JIS G 3106	SM 490A
C-1~3					
D-1~3					

2) 試験体の形状寸法



3) 使用高力ボルト：M22×85(S10T)

3. 摩擦面の処理および試験体数

記号	試験体形式	フープ	中板	側板	ボルトの呼び	試験体数量
B-1~3	肌すき(3mm) e=55mm		クインゲ-処理 (自然赤錆)	ショットブラスト処理 (自然赤錆)	M22	3体
C-1~3	肌すき(6mm) e=55mm					
D-1~3	肌すき(6mm) e=120mm					

4. 試験結果

試験体記号	等級	ボルトの呼び	ボルト導入軸力 N(tf)	ボルト本数 n	摩擦面数 m	すべり荷重 P(tf)	すべり係数		備考
							測定値	平均値	
B-1	S10T	M22	22.8	2	2	49.6	0.544	0.543	肌すき(3mm) e=55mm (自然赤錆)
B-2						49.5	0.543		
B-3						49.5	0.543		
C-1	S10T	M22	22.8	2	2	44.1	0.484	0.469	肌すき(6mm) e=55mm (自然赤錆)
C-2						44.5	0.488		
C-3						39.6	0.434		
D-1	S10T	M22	22.8	2	2	52.8	0.579	0.572	肌すき(6mm) e=120mm (自然赤錆)
D-2						51.6	0.566		
D-3						52.2	0.572		

すべり係数：  $\mu = P / (m \cdot n \cdot N)$

P：すべり荷重(tf)，m：摩擦面数(=2)

n：ボルト本数(=2)，N：ボルト導入軸力(tf)

キーワード：門型ラーメン橋脚，剛結構造

1. まえがき

溶接と高力ボルトの混在継手を有し，下層梁は上部工と剛結構造になっているP2脚の工場製作を中心に述べる。

2. 工事概要， 3. 構造概要

2. 工事概要

- (1) 発注者  
建設省 近畿地方建設局 阪神国道工事事務所殿
- (2) 工事名  
西神道路JCT外室山高架橋鋼脚工事
- (3) 工事場所  
神戸市垂水区名谷町室山地先
- (4) 施工範囲  
工場製作：材料手配～工場製作～工場塗装  
橋梁架設：輸送～架設～現場塗装（継手部のみ）

3. 構造概要

(1) P2脚

- 形 式—鋼製門型2層ラーメン橋脚（角柱）
- 鋼 重—1124t
- 柱 断 面—3.50m×3.50m
- 上層梁断面—3.50m×2.80m
- 下層梁断面—3.50m×2.95m
- 高 さ—28.880m
- 支 間—56.500m
- 上部工形式—上層 単純鋼床版桁  
2径間連続非合板桁  
下層 2径間連続鋼床版桁

(2) BP4脚

- 形 式—鋼製門型ラーメン橋脚（角柱）
- 鋼 重—108t
- 柱 断 面—2.50m×2.20m
- 梁 断 面—2.50m×2.20m
- 高 さ—7.750m
- 支 間—9.820m+10.100m+6.730m
- 上部工形式—2径間連続鋼床版桁  
単純桁  
2径間連続桁

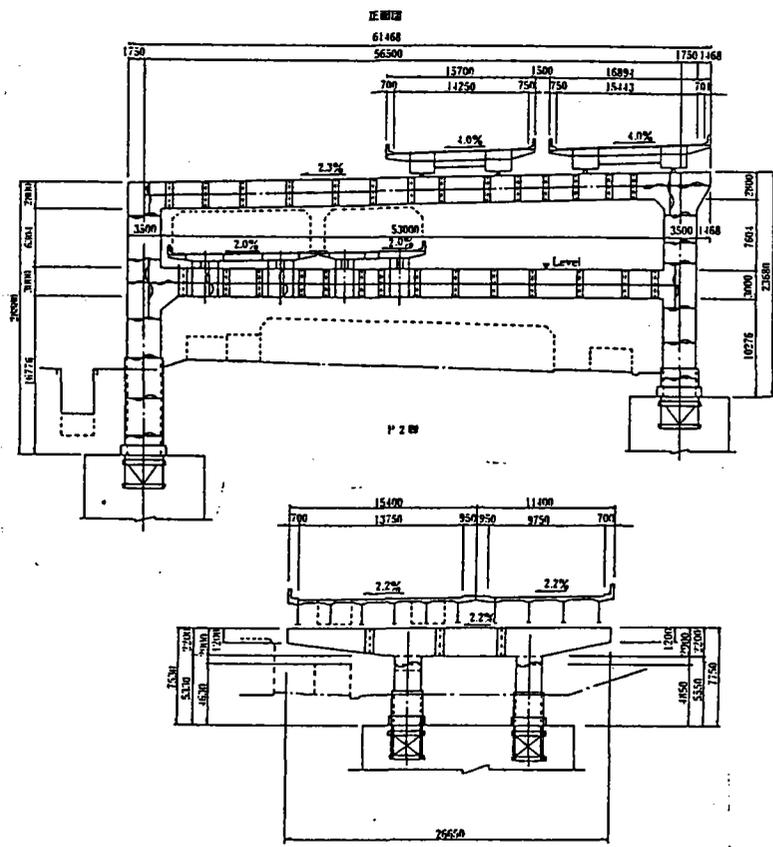


図-3 構造一般図

4. 製作上の検討事項

(1) 現場溶接継手

- 1) 柱部の現場溶接はレ形開先を用いた横向き溶接にて施工。現場架設時の柱の倒れを防止するため，上柱フランジの開先加工は両側を50mm残し。
- 2) 横梁隅角部は，仮組立時の形状保持を目的として，柱方向の溶接線を挟む縦リブの中間および横梁仕口にエレクトロンピースを500mmピッチで設置（図-7）。

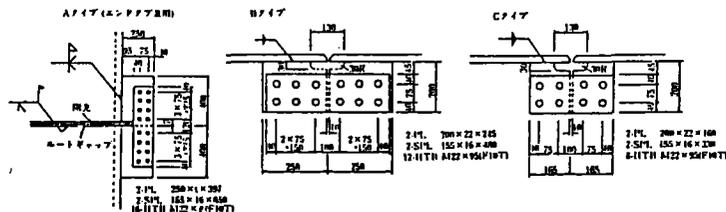


図-6 エレクトロンピース—見

5. 工場製作

柱ブロックの，角継手の工場溶接はサブマージアークを使用。開先形状は，内外の溶接量のバランスおよび溶接機の操作性を考慮して決定。

文献 7-27	多列配置高力ボルト引張継手の力学的挙動
1998年	土木学会第53回年次学術講演会(諸岡、渡邊、杉浦、山口、飯村、斉藤)

## キーワード

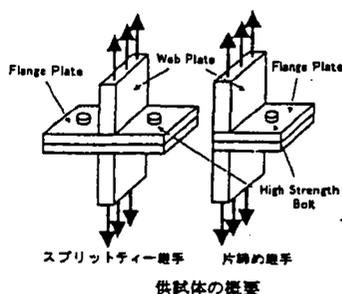
引張継手、スプリットティー継手

### 1 はじめに

高力ボルト引張継手は、あらかじめ高力ボルトに導入される高い軸力により、変動作用荷重下においても高力ボルトの軸力変動は小さく耐久性に優れている。また、溶接接合に比べて施工が容易であるなどの特色を有する。しかし、現在では少数主桁橋梁における主桁と横桁の接合部などに使われるなど、その適用範囲は拡大しつつあるが、橋梁の一般的な接合法として位置付けられていない。本研究では高力ボルト引張継手の性能向上を目的とした多列配置高力ボルト引張継手を対象とし、その力学的挙動を実験的に検討した。

### 2 実験手法

本研究では高力ボルト引張継手の最も基本的な継手形式であるスプリットティー継手タイプ(ST供試体)と箱桁などの閉断面継手の部分モデルを想定した片締め継手タイプ(OS供試体)の2種類に対し、ボルト本数を変化させた供試体(ST供試体3体、OS供試体2体の計5体)を準備した。ST、OSの後に続く数字はフランジ板片側に位置するボルトの本数を表している。



### 3 実験結果と考察

ST22-1とOS22-1は高力ボルトがナット近傍のネジ谷で破断した。一方、ST22-2、ST22-3およびOS22-2はボルトの破断は見られず、ボルトネジ部とフランジ板に塑性変形が見られた。

STタイプでは、ST22-2とST22-3の耐荷力はそれぞれST22-1の1.28倍、1.41倍となっている。しかしながら、ST22-3はST22-2に比べて耐荷力はそれほど大きく向上しておらず、3列目のボルトは耐荷力にほとんど影響しないことがわかる。一方、OSタイプでは、OS22-2のOS22-1に対する耐荷力は1.18倍となっており、STタイプに比べてその増加の割合は小さくなっている。ボルト本数が同数であるST22-1とOS22-2を比較するとOSタイプの耐荷力はSTタイプの約半分となっている。

### 4 おわりに

フランジ板を締め付ける高力ボルトを列方向に増やすことで継手の耐荷力や変形能は増加する。しかしながら、その耐荷力の向上はボルト本数の増加に伴っておらず、効率という点からは摩擦接合に劣ると思われる。特に3列目ボルトは効果的に働いておらず、現行の高力ボルトを使用する限りこれ以上の列数の増大による耐荷力の上昇は望めないと思われる。

キーワード

ノージョイント工法、設計法

1 連結部の構造検討・設計

ノージョイント工法を用いた場合の桁端の構造(連結方法)、及び設計法は以下とする。

- (1) 連結部の構造は活荷重によって発生する断面力に対して十分抵抗できる構造とする。
- (2) 連結部の設計応力度は、連結部での断面急変に伴う応力集中を考慮するものとする。

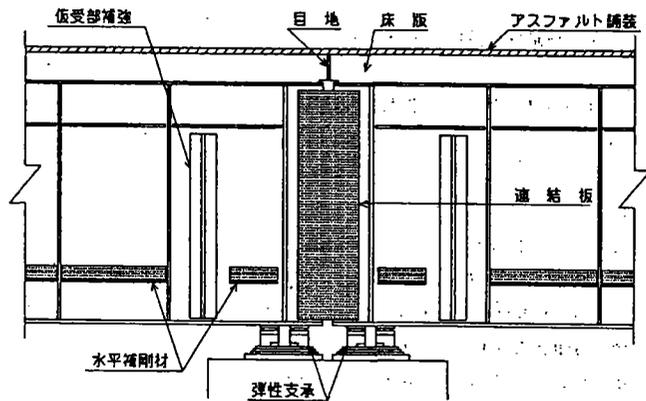
【解説】

(1) 連結部の構造は、構造的・施工性から腹板のみの連結が合理的である。

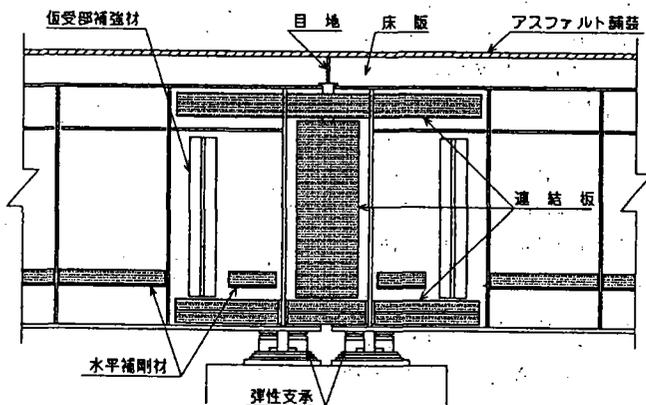
代表的な連結方法としては、①シャーププレート方式、②モーメントプレート+シャーププレート方式がある。

阪神公団での実物大模型による載荷実験、及び疲労実験より、②は施工性で①に及ばないものの、構造的に応力集中が少なく、また腹板縁端での高力ボルトの必要本数を配置できることから、ここでは②を推奨する。

(2) 連結板部で発生する応力集中は実験結果による応力度増分をもとに算出する。



図一解 6.4.2 シャーププレート方式



図一解 6.4.3 モーメントプレート+シャーププレート方式

キーワード

併用継手

1 はじめに

併用継手——1つの継手において1種類の力に対して複数の接合方法で抵抗する。  
混用継手——1つの継手において複数の力に対してそれぞれ別の接合方法で抵抗する。

高力ボルトと他の接合方法との併用継手が新築の構造物の設計時に採用されることはほとんどなく、増改築に伴って接合部を補強するためにやむえず使用することが多い。

2 高力ボルトと前面すみ肉溶接  
試験体

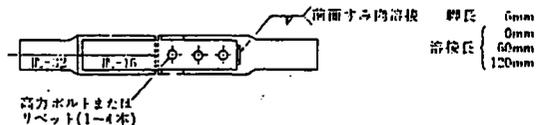


図-11.8.4 日本建築学会併用継手小委員会の実験に使用した試験体\*

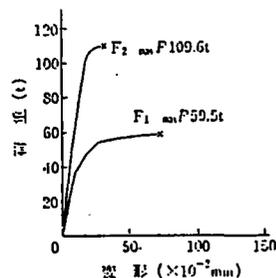


図-11.8.6 前面すみ肉溶接の荷重-変形曲線図\*

結果

併用継手の最大強度 = 溶接継手の最大強度 + 0.48 × 高力ボルト継手の最大強度  
= 溶接継手の最大強度 + 高力ボルトのすべり強度

溶接の最大強度と高力ボルトの最大強度は累加できないが、高力ボルトのすべり強度とは累加できる。

3 高力ボルトと側面すみ肉溶接  
試験体



図-11.8.4 日本建築学会併用継手小委員会の実験に使用した試験体\*

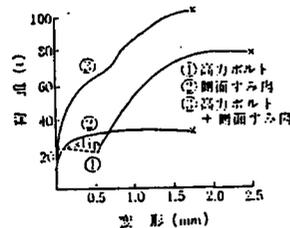


図-11.8.10 高力ボルトと側面すみ肉溶接の併用継手の模式図

結果

併用継手の最大強度 = 溶接継手の最大強度 + 0.62 × 高力ボルト継手の最大強度  
= 1.09 (溶接継手の最大強度 + 高力ボルトのすべり強度)

4 高力ボルトとリベット  
試験体

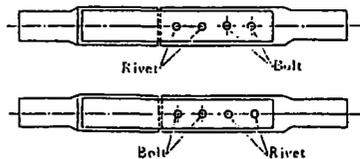
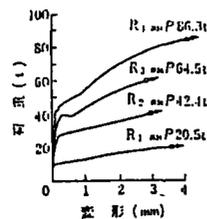


図-11.8.14 日本建築学会併用継手小委員会の高力ボルトとリベットの併用継手試験体形状\*



注) 試験体名体の番号はリベット本数を示す

図-11.8.15 リベット継手の荷重-変形関係\*

結果

高力ボルトとリベットの併用継手では強度の累加はかなり十分に成立する。これは、溶接に比べて、リベットの変形能力がかなり大きく、これが累加強度を成立させる大きな要素となっている。

キーワード

りん酸塩処理、リラクセーション

1 はじめに

溶融亜鉛めっき製品ですべり係数0.4以上を確保する方法である、めっき面をペーパーサンダー仕上げ後にりん酸塩処理を施す方法と、ブラスト処理の2タイプで経年後の性能を比較し、その後暴露試験を行う。  
 この確認方法として、リラクセーション調査と経年後のすべり試験を行う。

2 試験方法

標準すべり試験体を用い、下図に示したゲージを貼り付け引張較正を行った溶融亜鉛めっき高力ボルトF8Tを用いた。

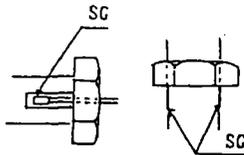


図-2 ボルトのゲージ取り付け状況

締め付け直後から軸力を測定し、その経過を下記の時間ごとに記録した。

1分、10分、30分、1時間、6時間、12時間、24時間、2日、3日、7日、14日、21日、1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月

3 試験結果

表-4 リラクセーションの平均値 (%)

材料	表面処理	直径	経過時間														
			1分	10分	30分	1時間	6時間	12時間	24時間	2日	3日	7日	14日	21日	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月
M16	りん酸塩処理	100	96.4	94.9	94.0	93.4	92.4	92.3	92.0	91.3	91.2	91.3	90.5	90.6	90.6	90.9	90.9
	ブラスト	100	94.7	91.8	90.4	89.0	87.4	87.1	86.7	85.7	85.5	85.4	84.5	84.5	84.4	84.3	82.5
M20	りん酸塩処理	100	96.8	95.2	94.5	93.7	92.5	92.4	92.1	91.3	91.2	91.2	90.6	90.5	90.4	90.8	89.6
	ブラスト	100	95.3	92.4	91.3	90.2	88.7	88.2	87.8	86.8	86.6	86.5	85.7	85.7	85.2	85.8	84.7
M24	りん酸塩処理	100	97.5	95.8	95.0	94.1	92.8	92.6	92.3	91.5	91.4	91.3	90.7	90.7	90.6	91.1	90.2
	ブラスト	100	96.6	94.4	93.1	92.3	90.4	90.3	89.9	89.0	88.8	88.6	87.8	87.7	87.7	88.0	87.1

表-5 すべり試験結果

材料	試験体No	表面処理	すべり係数	
			tf	すべり係数
M16	A1, 2*	りん酸塩処理	24.7	0.49
	A3, 4		24.5	0.46
	A5, 6*		25.3	0.51
	B1, 2*	ブラスト	26.7	0.54
	B3, 4		27.7	0.55
M20	A1, 2*	りん酸塩処理	34.8	0.45
	A3, 4		36.2	0.47
	A5, 6*		37.4	0.49
	B1, 2*	ブラスト	40.8	0.54
	B3, 4*		42.2	0.55
M24	A1, 2	りん酸塩処理	53.9	0.51
	A3, 4*		52.9	0.49
	A5, 6		53.6	0.49
	B1, 2*	ブラスト	60.7	0.56
	B3, 4		56.2	0.54

\* ゲージ貼り付け時の軸力すべり係数

以上の結果より

- 1) ブラスト処理よりもりん酸塩処理の方がリラクセーションは小さい。
- 2) りん酸塩処理の軸力減衰量は、ブラスト処理よりも少ない。
- 3) 表面粗さ測定結果はブラスト処理が粗く、りん酸塩処理が細かい。

4 まとめ

- 1) りん酸塩処理の軸力減衰はブラスト処理の減衰量よりも低く、信頼できる接合方法である。
- 2) 締め付けて暴露した結果からは、経年によりすべり係数自体が変化する傾向は見られなかった。
- 3) 水平暴露試験材では、腐食生成物が形成されてすべり係数に影響すると考えられる箇所も見られるが、めっき表面のサンダー掛けや、エッジングによる凹凸、腐食生成物によってすべり係数は維持されているものと考えられる。

## キーワード

限界状態設計法、すべり係数

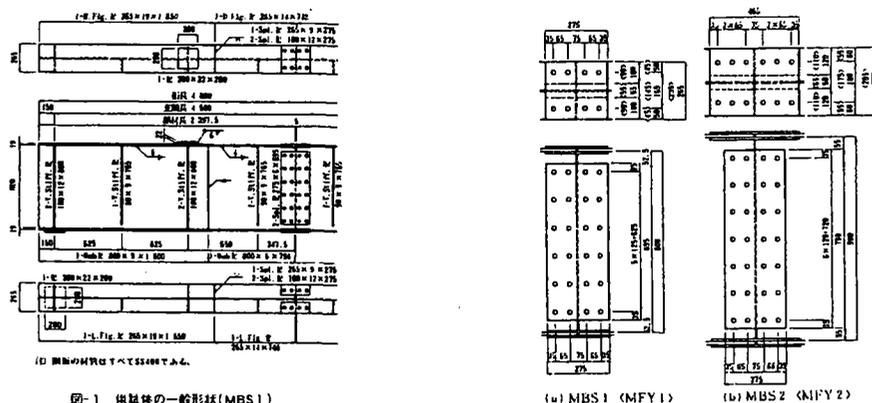
### 1 はじめに

今後わが国でも許容応力度設計法から限界状態設計法に移行せざるえない時期が来るものと思われる。これに対し、鋼構造の一般的な継手である高力ボルト摩擦接合継手についても使用限界状態及び終局限界状態についての評価法の確立が求められている。本研究では、鋼桁の高力ボルト摩擦接合継手を対象とした曲げ強度試験を行い、継手部の有効断面、すべり係数、終局強度などについて検討した。

### 2 実験内容

#### 供試体

MBSタイプ: 継手において、引張フランジの降伏が発生する前にすべりが生じる。  
 MFYタイプ: 継手部において、すべりと引張フランジの降伏がほぼ同時に発生する。  
 MBSタイプはプレートガーターの継手のすべり強度を調べることに着目したモデルである。また、MFYタイプは実際の継手の設計においてすべり強度とフランジの降伏強度が等しくなる場合を想定して、これらの強度がほぼ等しくなるように設計したモデルである。  
 供試体の設計及び製作は道路橋示方書の規定に準拠し、高力ボルトは等級F10T、サイズM20、鋼板は鋼種SS400を使用した。高力ボルトの初期導入軸力は18.2tとした。



### 3 実験結果

#### 1) MBSタイプ

荷重の増加に伴う引張フランジの板厚減少の影響により、フランジの高力ボルトの軸力抜けが生じる。フランジのボルト孔の周辺において局部的に降伏が生じるとこの傾向が顕著となり、すべり抵抗が限界に達すると、大きな音と共に引張フランジの片方及びその近傍の腹板において主すべりを生じた。試験終了後、供試体を解体して観察した結果、引張フランジおよびその近傍の腹板のボルト孔周辺に主すべりを示す跡が認められた。圧縮フランジには片方のボルト孔周辺にのみ主すべりが生じた。また、引張フランジおよびその近傍の腹板のボルト孔に塑性変形が認められた。

#### 2) MFYタイプ

引張フランジの降伏がすべりに先行して現れた。そのため、試験開始時からすべりに至るまでのボルト軸力の減少率はMBSタイプに比べて大きかった。MFYタイプでは、引張フランジの片方およびその近傍の腹板にすべりが発生し、すべりによる桁の鉛直変位量はMBSに比べて小さかった。

### 4 まとめ

プレートガーター現行設計法では、高力ボルト摩擦接合継手部のすべり強度をフランジおよび腹板について個別に設計している。しかし、これらはすべりに対して一体的に抵抗しているのでフランジと腹板の共同作用を考慮することによって、より合理的に継手のすべり強度を評価することが出来る。

キーワード

限界状態設計法、安全率

1 はじめに

我が国における現行の鋼構造物の設計に関する基準類に示されている高力ボルト摩擦接合継手に関連する規定は、20年以上前の実験データに基づいたものであり、この設計基準は許容応力度設計法に準拠したものである。

ここでは高力ボルト摩擦接合継手に関する規定について、すでに限界状態設計法に移行している諸外国の鋼構造設計基準と我が国の設計基準とを比較する。

2 各国基準の比較

対象とする基準は、我が国の道路橋示方書および鋼構造設計基準、アメリカのAASHTO、イギリスのBS5400、スイスのSIA161、ドイツのDIN18800である。

1) すべり係数(表-1)

摩擦面のすべり係数は、諸外国の基準では摩擦面の処理状態に応じて規定しており、またすべり試験によって決定することもできるが、我が国の基準では一種類の処理状態についてのみ規定している。

2) すべりに対する安全率(表-2)

使用限界状態においてすべりを生じないこととして考えると、道示におけるすべりに対する安全率は、他の基準に比べて大きいものとなっている。

3) 許容伝達力(表-3)

道示ではすべり係数を0.4として許容伝達力を規定しているが、ブラスト処理の摩擦面として外国と同様のすべり係数0.5とした場合、許容伝達力は1.56tf/cm<sup>2</sup>になる。この場合、各国の基準と比較するとその比(各国基準/道示)はAASHTOでは1.37、BSでは1.29、SIAでは1.28、DINでは1.17であり、安全率の違いが現れている。

4) ボルト孔による断面控除(表-4)

道示および鋼基準においては純断面積を有効断面積とし、この断面に対する引張応力度が許容応力度以下になるようにしている。AASHTOおよびBSでは有効断面積は純断面積より大きいものとなっている。そして、SIAでは純断面積における引張応力度の上限値を鋼の最小引張強度の80%としている。このことは我が国の基準とは大きく異なっている。またDINでは純断面積を有効断面積としているが、ボルト孔による断面減少が始まる前に荷重の一部が摩擦作用により伝達されているものとしており、道示よりも緩和された考え方である。

表-1 各国標準のすべり係数

国名	すべり係数	摩擦面の処理または状態
道示	0.4	鋼板を鋼板として鋼接とする。
英 国	0.15	鋼板を鋼板とした後、両面に自然状態にして完全な鋼板状態とする。 (許容応力度の値の異なるもの影響により0.3程度とする。)
AASHTO	0.33 0.50	滑油に鋼板状態 ブラスト処理された鋼板および鋼金剛
BS 5400	0.15 0.30	鋼板を鋼板とした後、両面にブラストまたはブラスト処理
SIA 161	0.30 0.50	HS C85 Part 2 higher grade (parallel shank) を採用する場合、すべり試験により決定する場合は、このすべり係数を「使用伝達力」。
DIN 18800	0.50	滑油、鋼板は鋼板でない ブラスト処理またはブラスト処理 鋼板

表-2 各国標準のすべりに対する安全率

国名	安全率	備 考
道示	1.7	すべり耐力が鋼材における引張強度に相当するものと見、設計引張応力度に対する安全率と同じと考える。
英 国	1.5 1.0	長期荷重に対して 短期荷重に対して
AASHTO	1.33 1.0	作用荷重設計 使用荷重設計 (許容伝達力、設計ボルト軸力およびすべり係数の規定より決定した値である。)
BS 5400		有効断面積比 許容断面積比
		高外付板厚 $t_m$ 1.2 1.3 厚分厚比 $t/t_m$ 1.0 1.1 $t_m = 7m + 70/ha$ 1.0 1.0 1.2 1.2
SIA 161		ここに、 $t_m$ はボルト孔距離に関する係数である。 標準孔 $ha = 1.0$ 標準孔 $ha = 0.85$ 標準孔 $ha = 0.85$ 最小孔 $ha = 0.7$
DIN 18800		すべりによる荷重物の 移動に付し必要な補修 が必要となる場合 減断面積 $\alpha = 0.7$ 0.8 1.0 1.25
JIS 1400	1.50 1.25	主筋量に対して (「正荷重」) に対して

表-3 各国標準の許容伝達力

国名	許容伝達力 (単位: tf/cm <sup>2</sup> )	備 考
道示	1.56	
英 国	1.37	引張孔の場合
AASHTO	1.33 1.33	ASTM A192について 鋼材状態のままの場合 ( $\mu = 0.33$ ) ブラスト処理の場合 ( $\mu = 0.33$ )
BS 5400	1.31 1.32	引張孔の場合 ブラスト処理の場合 ( $\mu = 0.33$ )
SIA 161	1.33 1.33	引張孔の場合 ブラスト処理の場合 ( $\mu = 0.33$ )
DIN 18800	1.33 1.33	引張孔の場合 ブラスト処理の場合 ( $\mu = 0.33$ )

表-4 引張鋼材のボルト孔による断面控除の影響

国名	有効断面積の考え方
道示	純断面積からボルト孔の増を控除した純断面積を有効断面積とする。
英 国	同上
AASHTO	ボルト孔を貫通した純断面積が純断面積の85%以上ならば純断面積を有効断面積とする。また、15%未満の孔引き分については純断面積から減じる。
BS 5400	有効断面積 $A_n = A_g - \sum (a_n \cdot t)$ ここに、 $a_n$ は孔の長さによる係数 a) 鋼材の材質による係数 (普通鋼は1.0、高強度鋼は1.1、高強度鋼は1.0) b) ボルト孔を貫通した純断面積 c) 使用係数
SIA 161	純断面積における引張応力度 $\sigma$ 引張強度 $f_t$ 純断面積に引張引張力 $P$ $\sigma \leq f_t$
DIN 18800	CVF値があるCVF値の場合、ボルト孔による断面減少が始まる前に、その断面にあるボルトの許容伝達力の90%がすでに摩擦作用により伝達されるものとする。

## 文献リスト

### グループ① 接合一般

		キーワード
1-1	溶接橋梁－鋼材接合法の進歩と発展－	溶接、溶接橋梁
	1997年 JSCE Vol.82 (1997年7月) (成瀬)	
1-2	高力ボルト摩擦接合継手に関する最近の研究動向	高力ボルト摩擦接合
	2000年 土木学会論文集 No.675/I-55, 1-14 2001.4 (西村、秋山、亀井)	
1-3	鋼橋の接合に関する調査研究	BS5400、AASHTO、ECCS、DIN 道路橋示方書
	1989年 鋼橋技術研究会 設計部会 (1989年3月) (関西道路研究会 道路橋調査研究委員会)	

グループ② 複合継手

		キーワード
2-1	松山自動車道 宿茂高架橋（鋼上部工）工事 混合継手の検討	併用継手、ジャッキアップ回転架設工法
	1999年 日本道路公団四国支社大洲工事事務所, 俣巴コーポレーション	
2-2	高力ボルト・溶接併用継手の施行要領（JH四国支社松山道宿茂高架橋）	併用継手、ジャッキアップ回転架設工法
	1999年 大阪大学土木構造研究室	
2-3	ボルト・接着剤併用せん断継手の研究	高力ボルト摩擦接合、接着剤 せん断強度、疲労耐久性
	1999年 橋梁と基礎99-6（山下、杉崎、喜多）	
2-4	溶接と高力ボルトの混在継手を有する2層門型鋼製橋脚の施工（垂水JCT室山高架橋南鋼脚工事）	併用継手
	1995年 MSC技報Vol.9（1995年10月）（笹路）	
2-5	応急橋主桁の高力ボルト引張接合併用継手疲労試験	併用継手、疲労耐久性
	1988年 宮地技報（鳥越、清水、佐藤）	
2-6	淀川橋梁（斜張橋）の面接触継手の設計・施工	面接触継手
	1987年 橋梁と基礎87-4（牧野、西川、安藤）	
2-7	腐食部材を用いた樹脂併用高力ボルト接合の静的強度	腐食部材、併用継手
	1991年 土木学会第46回年次学術講演会（平成3年9月）（村中、皆田、重吉）	
2-8	溶接・ボルト併用継手における影響調査	併用継手、溶接、高力ボルト摩擦接合
	1983年 首都高速道路公団技報	
2-9	溶接と高力ボルト摩擦接合との併用継手に関する解析的研究	併用継手、拘束度
	1993年 土木学会第48回年次学術講演会（平成5年9月）（柳沼、長嶋、阪本、穴見）	
2-10	現場継手の合理化に関する一提案	現場継手の合理化、併用継手
	2000年 横河ブリッジ技報NO.29	
2-11	溶接・高力ボルト併用継手	併用継手、少数主桁橋
	2000年 合理化桁に関するデザインマニュアル（（社） 日本鋼構造協会）	

グループ③ フィラープレートを用いた継手

		キーワード
3-1	高力ボルト継手設計法の合理化に関する実験的研究 －継手部にフィラープレートを設置した小型試験体の引張研究－	フィラープレート、合理化設計法
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（水口、宮本、望月、小枝、宮地）	
3-2	フィラープレートを有する高力ボルト摩擦接合引張継手の強度および荷重伝達機構に関する解析的研究	フィラープレート、摩擦接合引張継手
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（松野、亀井、西村、宮地）	
3-3	フィラープレートを介在する支圧接合ボルト継手の実験的研究	フィラープレート、支圧接合
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（本郷、塩出、鈴木）	
3-4	フィラーを用いた高力ボルト摩擦接合継手に関する検討	フィラープレート（材質、厚さ）、肌隙
	1997年 横河ブリッジ技報No.26（1997年1月）（寺尾、名取）	
3-5	接触面にフィラーを挿入したT接合部の力学的挙動の検討	フィラープレート、T型接合 高力ボルト引張接合
	1993年 土木学会第48回年次学術講演会（平成5年9月）（前野、西脇、増田）	
3-6	フィラーを用いた高力ボルト摩擦接合継手に関する検討	フィラープレート（材質）
	1997年 第22回日本道路会議論文集（西川、村越、宮崎）	

グループ④ 孔引き、長孔

		キーワード
4-1	引張力が作用する摩擦接合継手の孔引有効断面に関する実験的研究	引張力、孔引有効断面
	1994年 片山技報14 (石原、大田、皆田)	
4-2	長孔、拡大孔を有する継手のすべり試験	高力ボルト摩擦接合、長孔、拡大孔 すべり試験
	1990年 橋梁と基礎 90-7 (福岡、山下、安井)	
4-3	鋼道路橋設計ガイドラインに基づく高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験	高力ボルト摩擦接合、拡大孔 すべり試験
	1999年 橋梁と基礎 99-4 (滝澤、黒田、沢田、阿部)	

グループ⑤ 多列ボルト

			キーワード
5-1	高力ボルト継手設計法の合理化に関する検討ー協同作用を考慮した合理化設計法の提案と試設計ー		高力ボルト摩擦接合、合理化設計法
	1998年	土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（鈴木、水口、高田、望月、宮地）	
5-2	母材に板厚差のある高力ボルト摩擦接合の実験および数値解析		高力ボルト摩擦接合、板厚差、すべり係数
	1996年	土木学会第51回年次各術講演会概要集（平成8年9月）（宮崎、黒田、田中、森）	
5-3	板厚の異なる材片を接合した高力ボルト摩擦接合継手の滑り耐力		高力ボルト摩擦接合、板厚差、すべり係数
	1998年	構造工学論文集Vol.44A（1998年3月）（宮崎、黒田、田中、森）	
5-4	板厚差のある摩擦接合継手の研究		高力ボルト摩擦接合、板厚差、すべり係数
	1998年	鋼橋技術研究会 施行部会報告書 I（平成10年12月）	
5-5	高力ボルト摩擦接合継手に関する研究		高力ボルト摩擦接合、孔引き、多列ボルト
	1981年	第20回土木研究所研究発表会資料（西川）	
5-6	多列高力ボルト摩擦接合継手の強度低減範囲に関する検討		高力ボルト摩擦接合、多列ボルト すべり強度
	1998年	土木学会第52回年次学術講演会（松野、西村、亀井、池端）	
5-7	DIS 10721-1 Steel structures Part1 Materials and design		国際基準、ボルト連結、拡大孔、長孔 多列ボルト
	1997年	ISO	
5-8	多列高力ボルト摩擦接合引張継手のすべり強度に関する解析的研究		ボルト連結、多列ボルト、数値解析 すべり強度
	2000年	土木学会論文集、No.640/I-50（亀井、松野、西村）	
5-9	太径多列高力ボルト摩擦継手試験		高力ボルト摩擦接合、多列ボルト クリーブ試験、すべり試験
	1985年	橋梁と基礎（馬場、田島、平野）	
5-10	多列高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する実験的研究		高力ボルト摩擦接合、すべり荷重 最大荷重
	1994年	構造工学論文集、Vol.40B（辻岡、脇山）	
5-11	千鳥配置多列高力ボルト摩擦接合継手の疲労設計における列数		千鳥配置、多列ボルト、疲労設計
	1985年	土木学会第40回年次学術講演会（長嶋、伊藤）	
5-12	摩擦接合継手すべり問題および設計への適用		すべり挙動解析、疲れ強さ
	1991年	5章（長嶋）	
5-13	高力ボルト摩擦接合概説		すべり係数
	1966年	技報堂（田島）	

グループ⑥ 溶接接合

		キーワード
6-1	構造用鋼材の予熱条件に関する一考察	炭素当量、溶接割れ感受性組成
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（鈴木、田中）	
6-2	少数主桁橋における厚肉フランジ継手の現場溶接試験	ジャッキアップ回転架設工法、現場溶接
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（岩橋、栗生、平尾、中村）	
6-3	鋼I桁橋主桁現場突き合わせ溶接部のキズおよび欠陥の分布	非破壊検査
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（町田、村山、増田、香川）	
6-4	大断面I桁の現場溶接の合理化に関する実験的研究	大断面I桁、現場溶接工法
	1996年 横河ブリッジ技報No.25（1996年1月）（北目、大野、岩崎）	
6-5	全断面溶接継手の施行試験報告	鋼製脚現場溶接施工試験
	1986年 東骨技報（昭和61年）（小林、中村）	
6-6	鋼床版の横リブとUリブ交差部の疲労強度の検討	鋼床版、疲労強度
	1988年 東骨技報（昭和63年）（田中）	
6-7	I桁全断面現場溶接施工法の研究－東海IC高架橋橋体工（その1）工事の溶接施工試験報告－	全断面現場溶接
	1997年 高田機工技報No.13（1997年）（坂本、村上、安田）	
6-8	少数主桁方式鋼I桁の現場溶接施工法の検討（第1報）－溶接変形の基礎実験結果－	現場溶接施工法、溶接変形
	1998年 クリモト技報No.39（1998年9月）（河森、武田、大澤、岡田）	
6-9	鋼少数主桁橋の現場溶接継手部に用いられるスカラップ構造の疲労特性	鋼少数主桁、スカラップ、疲労強度
	1997年 川田技報Vol. 16（1997年）（町田、勝俣、川瀬、慶、吉家、岩崎）	
6-10	高強度鋼溶接継手部の疲労強度と疲労強度向上法	疲労強度、高強度鋼、寸法効果 止端部仕上げ
	2001年 土木学会論文集 No. 675/I-55, 251-260 2001. 4（穴見、三木、山本、樋口）	
6-11	鉄道橋における全断面現場溶接桁の施行（呉服橋・常盤橋）	鉄道橋、全断面現場溶接
	1995年 宮地技報No.11（安中、菅井、松本、佐直、森下）	
6-12	すみ肉溶接脚長に関する研究	すみ肉溶接、 $\sqrt{2}t$ 、溶接急冷割れ
	1998年 鋼橋技術研究会 施行部会報告書Ⅲ（平成10年12月）	

6-13	現場溶接継手の疲労強度		疲労強度、箱桁、現場溶接継手 溶接変形
	1994年	構造工学論文集Vol. 40A(1994年3月) (稲葉、保坂、酒井、山田、渡辺)	
6-14	I型断面現場溶接継手の疲労強度		I型断面、スカーラップ、疲労強度
	1996年	土木学会第51回年次学術講演会(平成8年9月) (南、三木、館石、穴見)	
6-15	鋼桁腹板スカーラップ部の疲労強度試験および応力解析		スカーラップ、疲労、現場溶接
	1996年	土木学会第51回年次学術講演会(平成8年9月) (田端、森下、荒、森)	
6-16	主桁現場溶接部のスカーラップ形状が疲労強度に及ぼす影響		全断面現場溶接、スカーラップ 疲労強度
	1996年	土木学会第51回年次学術講演会(平成8年9月) (角、檜作、勝俣、町田、熊谷、三木)	
6-17	ルートギャップと溶接姿勢が荷重伝達型十字溶接継手の疲労強度に及ぼす影響		ルートギャップ、溶接姿勢、疲労強度 十字溶接継手
	1999年	土木学会第54回年次学術講演会(平成11年9月) (川本、高松、貝沼、山田)	
6-18	溶接部に表面欠陥を有する溶接継手の破壊靱性		大入熱溶接、表面亀裂、破壊靱性 高性能鋼
	1999年	土木学会第51回年次学術講演会(平成8年9月) (南、三木、館石、穴見)	
6-19	現場溶接		現場溶接、少数主桁橋
	2000年	合理化桁関するデザインマニュアル( (社) 日本鋼構造協会)	
6-20	現場溶接(その2)		現場溶接の経緯、少数主桁橋
	2000年	合理化桁関するデザインマニュアル( (社) 日本鋼構造協会)	
6-21	連結		溶接継手
	-	新しい鋼橋の誕生ー公共工事のコスト削減をめざしてー( (社) 日本橋梁建設協会)	

グループ⑦ その他

		キーワード
7-1	高力ボルト継手設計法の合理化に関する実験的研究 －鋼I桁モデルで実験したすべり耐荷力試験の結果報告－	高力ボルト、摩擦接合継手 すべり強度
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（鈴木、宮本、宮地、小枝、秋山）	
7-2	高力ボルト摩擦接合の耐久性評価用データベースの構築と分析例	高力ボルト摩擦接合の耐久性
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（石原、狩野、亀井、谷平、丹羽、小林）	
7-3	高力皿ボルトを摩擦継手に用いた場合の諸特性について	High Tension Plate Bolts, Shaft Tension Loss, Friction Grip Joint
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（アントニーモンタ、石原、谷原、亀井、畑中）	
7-4	ボイドの発生と生長を考慮したアンカーボルトの延性破壊解析	鋼製橋脚、大変形解析、延性破壊
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（中島、藤原、後藤、小畑、田嶋）	
7-5	end-plate系接合の剛性特性評価に関する四要素パワーモデルの適用性	end-plate系接合、M- $\theta$ r曲線、 四要素パワーモデル
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（村田、岸、Rafiq Hasan、小室）	
7-6	高力ボルト引張接合短縮め形式における初期ボルト軸力が剛性及びエネルギー吸収量に及ぼす影響	高力ボルト、初期軸力 エネルギー吸収量
	1998年 土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（川田、西脇、増田、白旗）	
7-7	鋼I桁の高力ボルト継手設計法の合理化の提案	すべり強度、有効断面積
	1997年 駒井技報Vol. 16（秋山）	
7-8	鋼I桁の高力ボルト摩擦接合継手部腹板の補剛構造の合理化に関する実験	水平補剛材
	1995年 駒井技報Vol. 14（秋山）	
7-9	高力皿ボルトを摩擦継手に用いた場合の諸特性及びボルト形状の改善に関する研究	高力皿ボルト
	1999年 土木学会第54回年次学術講演会（平成11年9月）（アントニーモンタ、谷平）	
7-10	グラインダー処理をした高力ボルト摩擦接合部の接触圧分布	高力皿ボルト、グラインダー処理
	1993年 鋼構造年次論文報告集第1巻（1993年7月）（脇山、小林）	
7-11	片面添接の高力皿ボルト継手の曲げ性状	鋼床版、高力皿ボルト
	1991年 土木学会第46回年次学術講演会（平成3年9月）（石井、山下、田島）	
7-12	LPプレート高力ボルト摩擦接合に関する解析的研究	LP鋼板、すべり強度
	1998年 土木学会関西支部年次学術講演会（平成10年）（中村、亀井、西村、高木）	

7-13	等厚部を省略したLP鋼板摩擦接合継手のすべり強度実験		LP鋼板、すべり強度
	1999年	土木学会関西支部年次学術講演会（平成11年）（中村、亀井、西村、高木、秋山）	
7-14	高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態の区分		摩擦接合引張継手の限界状態区分
	1996年	駒井技報Vol. 15（秋山）	
7-15	高力ボルト摩擦接合引張継手の強度に関する実験		引張部材におけるボルト孔断面 控除の影響
	1993年	駒井技報Vol. 12（秋山、播本）	
7-16	合理化桁に関するデザインマニュアルその活用法についてー		合理化桁、LP鋼板、少数主桁 高力ボルト摩擦接合
	1999年	第3回土木鋼構造研究シンポジウム（1999年1月）（奈良）	
7-17	連結について（最終版）		継手部の段差、ボルトの中心間距離 フィラープレート材質
	1998年	省力化設計検討委員会 技術検討会資料（1998年11月9日）（曾我）	
7-18	合理化鋼桁橋に向けての強度面からの検討		合理化桁橋、強度、ボルト継手、LP鋼板
	1998年	第1回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集（1998年8月）（西村、秋山、堀田）	
7-19	高変形能ボルトの開発とその引張継手への適用		高力ボルト、高変形ボルト、引張継手
	1997年	土木学会第52回年次学術講演会（平成9年9月）（藤谷、渡邊、杉浦、山口）	
7-20	高力ボルトを用いた吊り金具の設計法の開発その2 デッキプレート厚の違いによる挙動		吊り金具、てこ反力
	1997年	土木学会第52回年次学術講演会（平成9年9月）（五十石、谷平）	
7-21	高力ボルト引張接合における軸力に関する一検討		引張接合
	1996年	土木学会第51回年次学術講演会（平成8年9月）（小林、西脇、増田、前野）	
7-22	スプリットティー継手の疲労強度に関する基礎的研究		スプリットティー継手、引張継手
	1995年	土木学会第50回年次学術講演会（平成7年9月）（山口、渡邊、杉浦、藤谷、三田村、葛西）	
7-23	スプリットティー継手の平面2次元解析における一検討		スプリットティー継手、引張継手 有効幅係数
	1995年	構造工学論文集Vol. 41A（1995年3月）（渡邊、山口、杉浦）	
7-24	堂々川橋の製作と架設（工事報告）		鉄道橋、めっき、合成桁 鋼繊維補強コンクリート
	1998年	技報まつおNo.35（1998年4月）（坂本、照山、山上、相場）	
7-25	高力ボルト摩擦接合 すべり係数試験報告書（肌すき）		すべり係数
	1993年	三星産業(株)（平成5年2月）	

7-26	室山高架橋（鋼製橋脚）の製作		門型ラーメン橋脚、剛構造
	1997年	日本橋梁技報（1997年）（堀田）	
7-27	多列配置高力ボルト引張継手の力学的挙動		引張継手、スプリットティー継手
	1998年	土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）（諸岡、渡邊、杉浦、山口、飯村、斉藤）	
7-28	既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き（案）		ノージョイント工法、設計法
	1995年	（財）道路保全技術センター（平成7年1月）	
7-29	リベット接合・高力ボルト接合		併用継手
	1977年	鋼構造接合資料集成（日本鋼構造協会 接合小委員会、（社）鋼材倶楽部）	
7-30	りん酸塩処理を施した摩擦接合部のリラクセーションと経年後のすべり試験		りん酸塩処理、リラクセーション
	1999年	鋼構造論文集第6巻第21号（1999年3月）（小端、佐藤）	
7-31	鋼I桁の高力ボルト摩擦接合継手の曲げ強度に関する実験		限界状態設計法、すべり係数
	1994年	駒井技報Vol.13（秋山）	
7-32	高力ボルト摩擦接合継手に関する設計規準の国際比較		限界状態設計法、安全率
	1992年	駒井技報Vol.11（秋山、播本）	