

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760378
 研究課題名（和文） 鋼構造梁端混用接合部における梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の力学挙動に関する研究
 研究課題名（英文） Study on the Static Behavior of the Friction Joint Used HTB at Beam Web of WBFW Type Beam-to-column Connection
 研究代表者
 中野 達也（NAKANO TATSUYA）
 宇都宮大学・工学研究科・助教
 研究者番号：00361361

研究成果の概要：梁端混用接合部の力学性状を有限要素解析と実大加力実験により検討した。有限要素解析の結果から、梁フランジ溶接接合部分と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部分の変形適合挙動、高力ボルト配置と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力の関係を明らかにした。また、実大加力実験で確認された脆性破断について、発生メカニズムの調査と要因分析を行い、サブマージアーク溶接や未溶接スリットによる定性的な影響を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	570,000	3,670,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：鋼構造，柱梁接合部，脆性破断，サブマージアーク溶接，破壊靱性値，
 実大加力実験，有限要素解析

1. 研究開始当初の背景

鋼構造中高層ラーメン骨組のように大型の梁材を用いる場合、梁フランジを現場溶接とし梁ウェブを高力ボルト摩擦接合とする、いわゆる梁端混用接合形式が多く用いられている。しかし、梁端の梁フランジ溶接部分は地震時には応力的に最も厳しい条件となる部位であり、現場溶接は工場溶接に比べて溶接条件が悪いことから溶接欠陥が起りやすい。さらに、この部分を溶接するとき、下フランジは内側から溶接することになり、

下フランジの溶接継ぎ目ではルート部がフランジの表面側になり、特に大きな応力を受けることとなるため、構造的にみて大きな問題を含んでいる。また、梁断面が大きくなると梁ウェブの曲げ負担が大きくなるが、この形式の接合部では、ボルト孔による断面欠損および摩擦接合特有のすべりによる摩擦抵抗力の低下などにより、梁端部を溶接接合とする場合に比べ梁ウェブ接合部分の負担曲げ耐力を確保することが難しいこと、柱に角形鋼管を用いる場合には柱面の面外変形が生じてさらに負担曲げ耐力が低下すること

から、梁ウェブ接合部分における曲げ耐力の負担状況を明確にすることが必要である。

現行の梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の耐力評価式は、柱面の面外曲げ剛性の程度に対応した曲げ負担領域を算定し、この範囲内に配された高力ボルトで曲げを負担して中立軸付近の残りの高力ボルトでせん断力を負担するという考え方により構築されている。力学的にはH形断面の梁ウェブにおけるせん断応力度分布はほぼ等分布となることは明らかであり、実際には最外縁に位置する高力ボルトもせん断力を負担していると考えられる。現行の耐力評価式ではこれを無視しているため、梁ウェブ接合部分の負担曲げ耐力を過大評価している可能性がある。

2. 研究の目的

研究の全体構想としては、梁端混用接合部における梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の力学挙動を把握しこれを反映した耐力評価式を構築すること、この部分の負担曲げ耐力と接合部性能の関係を定量的に明らかにするために必要な基礎資料の蓄積を図ることが最終目標である。

今回の研究範囲では、梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部に着目した梁端混用接合部の基本的な力学性状を明らかにすることを目的とした。具体的な着眼点は以下の3点である。

- (1) 梁フランジ溶接接合部分と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部分の変形適合挙動を明らかにする。
- (2) 高力ボルト配置と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力の関係を定量的に明らかにする。
- (3) 梁端混用接合部の力学性能と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力の関係に関する基礎資料を蓄積する。

3. 研究の方法

(1) 梁フランジ溶接接合部分と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部分の変形適合挙動

梁端混用接合部は1つの接合部内に連続型の梁フランジ溶接接合部分と離散型の梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部分が存在しており、これら間の変形適合挙動が複雑であるため、最大曲げ耐力の理論的評価は極めて難しい。そこで、まず、梁フランジ溶接接合部分と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部分の変形適合挙動を明らかにすることを目的として、接合箇所を解析変数とした有限要素解析を行った。

解析モデルは、梁フランジを溶接接合とし

梁ウェブを高力ボルト摩擦接合とした一般的な梁端混用接合部を有する Type1、梁フランジを溶接接合し梁ウェブ中立軸位置にせん断力を負担させるベアリング機構を設けた Type2、梁ウェブのみを高力ボルト摩擦接合した Type3 を設定した。図1に Type1 の接合部詳細を示す。

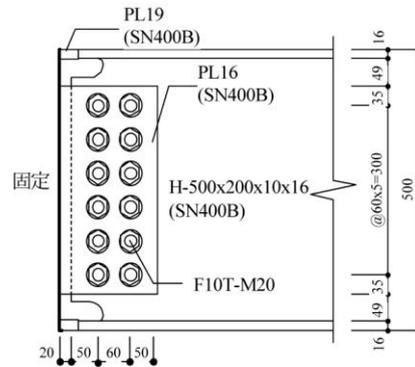


図1 Type1の接合部詳細

(2) 高力ボルト配置と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力の関係

(1)の検討結果から、梁端混用接合部の梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部におけるボルト1本当たりの耐力負担状況を検討するためには、梁フランジおよび梁ウェブの両方を接合とした接合部を対象とする必要があることが分かった。そこで、このような梁端混用接合部を対象として、梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部分の高力ボルト配置を解析変数とした有限要素解析を行った。

解析モデルは、高力ボルト配置を図2に示す4種類設定し、比較のために梁ウェブを溶接接合とした解析モデルも用意した。

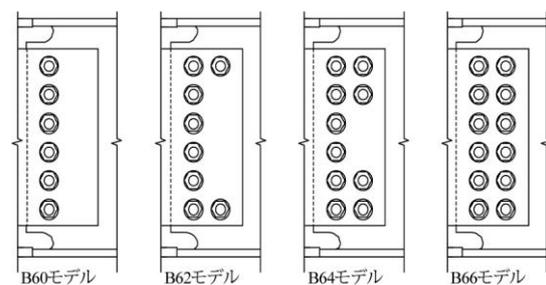


図2 解析モデルの高力ボルト配置

(3) 接合部性能と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力の関係

梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力が比較的小さい梁端混用接合部を対象として、実大せん断曲げ実験を行なった。

試験体は逆T字形の部分骨組架構とし、梁材にBH-750x300x16x28 (SN490B) を使用

した。実験パラメータは柱面の面外剛性とし、柱に BH 材と角形鋼管を用いた。図 3 に接合部詳細を示す。上下フランジとも内開先とし、スカラップ形状は 35R と 10R の複合円型スカラップとした。

加力は油圧ジャッキによる正負交番漸増繰返し载荷として計画した。

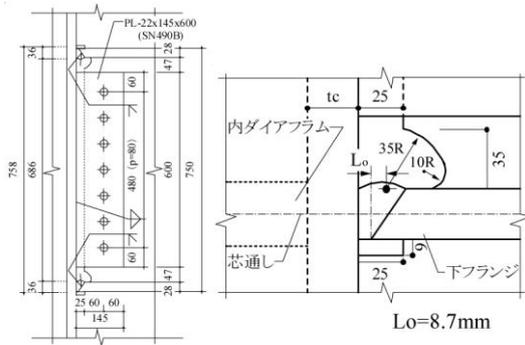


図 3 試験体の接合部詳細

4. 研究成果

(1) 梁フランジ溶接接合部分と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部分の変形適合挙動

①高力ボルト摩擦接合部の高力ボルト 1 本当たりの負担耐力

梁フランジ・ウェブ共に接合した Type1 と梁ウェブのみ接合した Type3 を比較して、同一変形時の高力ボルト摩擦接合部の高力ボルト 1 本当たりの負担耐力を検討した。せん断負担耐力について、梁フランジ・ウェブ共に接合した場合はボルト位置によらずほぼ均等であるのに対し、梁ウェブのみを接合した場合は中央部に比べて最外縁の方がせん断負担耐力は小さくなっていった。一方で、曲げ負担耐力については両者に大きな違いはなくほぼ同程度であった。

②梁フランジ接合部分の歪性状および負担曲げ耐力

梁フランジ・ウェブ共に接合した Type1 と梁フランジのみ接合した Type2 を比較して、梁フランジ接合部分の歪性状および負担曲げ耐力を検討した。梁ウェブを接合しない場合の方が同一変形時の歪集中位置での歪度は大きくなり、負担曲げ耐力も大幅に小さい。

③変形適合条件を用いた各接合部分の負担耐力算定法の妥当性

梁ウェブのみ接合した試験体との変形適合条件を用いて、接合部全体の曲げ耐力から梁フランジ接合部分と梁ウェブ接合部分それぞれの負担曲げ耐力を算出する方法は、せ

ん断負担耐力が曲げ負担耐力に比べて小さいため、算出される耐力に大きな差はなく概ね妥当であると言える。ただし、高力ボルト 1 本当たりの応力負担状況が異なるため、せん断スパン比が小さい場合、高力ボルトのせん断破断によって決まる最大曲げ耐力には大きな違いが生じることが予測される。

(2) 高力ボルト配置と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力の関係

①梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部と接合部全体の力学挙動の対応

接合部全体の降伏曲げ耐力点と梁ウェブ高力ボルト接合部のすべり発生点がほぼ一致し、ボルト本数が少ない場合ほど降伏曲げ耐力が低下し、降伏後の剛性も低下する。

梁ウェブ高力ボルト接合部の力学挙動としては、全ての解析モデルが明確なすべり挙動を示し、すべり後の負担曲げ耐力は 1 列配置の B60 で増減が見られず、2 列配置の B62, B64, B66 で変形の増加に伴って低下していた。支圧状態になると摩擦に加えて支圧により応力を伝達し、負担曲げ耐力は再び上昇する。支圧による負担曲げ耐力は支圧後の変形の増加に伴って上昇し、摩擦による負担曲げ耐力は減少していた。

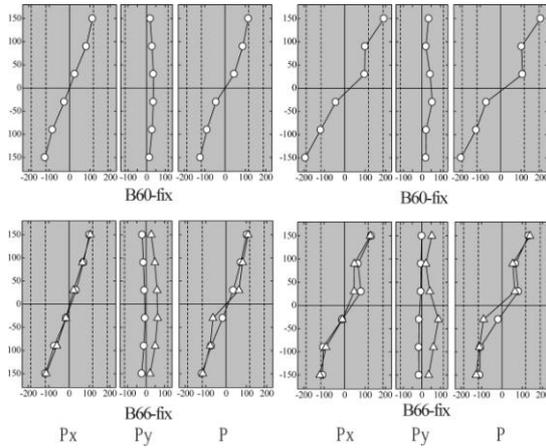
②梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部のボルト 1 本当たりの作用応力分布

図 3 に各ボルトへの作用応力分布の一例を示す。梁材軸方向の作用応力を P_x 、梁材軸直交方向の作用応力を P_y とし、主応力方向の作用応力を P として示している。また、図中にボルト 1 本当たりのすべり耐力 P_{bs} と破断耐力 P_{bu} を破線で示している。

すべり発生時の P の応力分布は、 P_x の方が P_y に比べて大きいため、ほぼボルト群図心からの三角形分布であり、すべり発生時には最外縁のボルトへの作用応力がすべり耐力 P_{bs} に達していることが分かる。 P_y の応力分布について、1 列配置の B60 では中央部付近のボルトの P_y が大きくなっている。一方で、2 列配置の B66 は 1 列目で応力をほとんど負担せず、2 列目の方が大きくなっている。また、作用応力は 1 列配置の場合に比べて 2 列配置の 2 列目の方が大きくなっている。

最大耐力時の P の応力分布は、すべり発生時と異なりボルト群図心からの三角形分布になっておらず、最外縁のボルトは P_{bs} を超えた応力を負担しているが、それ以外のボルトは P_{bs} までの応力を負担していない。 P_y の応力分布もすべり発生時と異なって複雑であり、最外縁のボルトにも比較的大きな P_y が作用していることが分かる。2 列配置の B66 は 1 列目で応力をほとんど負担していない点と、作用応力は 1 列配置の場合に比べて

2列配置の2列目の方が大きくなっている点は、すべり発生時と共通である。



すべり発生時 最大耐力時
図3 作用応力分布

(3) 接合部性能と梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担曲げ耐力の関係

加力実験を行った結果、梁材にSN材を使用し、指針等で推奨される接合ディテールを採用していたにも関わらず、写真1~3に示すように梁フランジ溶接部あるいは梁フランジ母材が早期の脆性破断を生じた。そのため、実験パラメータとして設定していた柱面の面外剛性の影響による顕著な接合部性能の変化を得ることができなかった。しかし、脆性破断が生じた要因を詳細に分析し、以下の結果を明らかにすることができた。

① 今回の脆性破断の発生メカニズム

梁材に先組みBH梁を使用したため、スカラップ底にフランジとウェブの未溶接スリットが露出していた。写真4に破面概観を示し、写真5に断面マクロ組織を示す。これらの観察から、このスリットから延性亀裂が発生し、サブマージアーク溶接の熱影響部で破壊形態が脆性破壊となり梁フランジ幅方向に向かって破断したことがわかった。

② サブマージアーク溶接による素材の破壊靱性値の低下

梁材に対してシャルピー衝撃試験を行った。その結果、実大加力実験の実施温度である30℃での吸収エネルギーは、梁フランジ母材で210J、梁フランジ中央部で121J、サブマージアーク溶接金属部で68Jであった。また0℃での溶接金属部の吸収エネルギーは37Jであった。サブマージアーク溶接は大入熱となるため、その熱影響で梁材の吸収エネルギーが大幅に低下することがわかった。

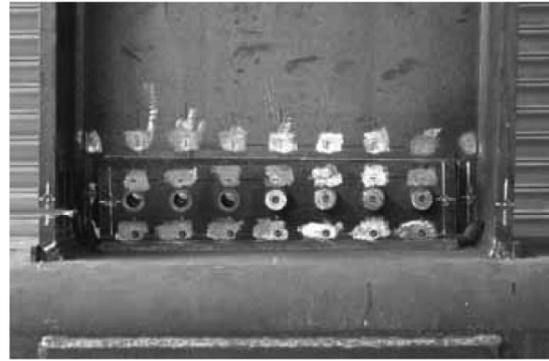


写真1 破断状況の概観

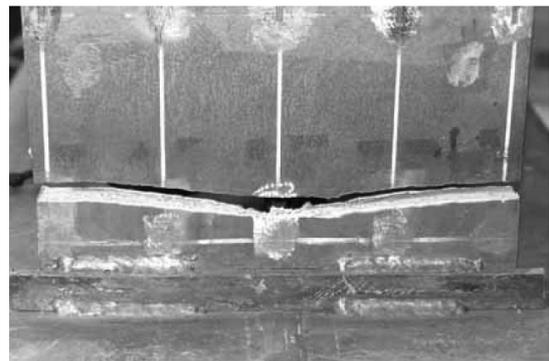


写真2 梁フランジの脆性破断（外面）



写真3 梁フランジの脆性破断（内面）

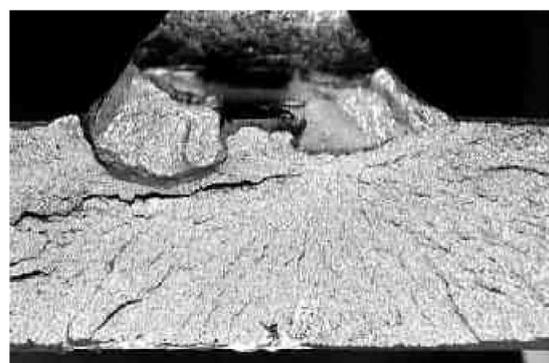


写真4 破面概観

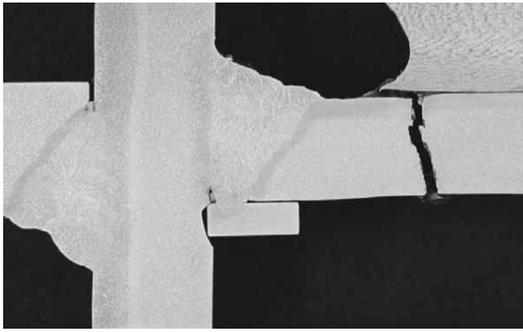


写真 5 断面マクロ組織

③未溶接スリットによる形状不連続の影響
スリットの影響について有限要素解析を行った。解析の結果、スリット近傍に生じる歪度は、スリットがスカラップ底に露出している場合、露出していない場合に比べて約1.5倍になり、ウェブを接合していない場合、接合している場合に比べて約2倍になることがわかった。つまり、実験ではせん断スパン比が小さかった上に梁ウェブ高力ボルト接合部は材軸直交方向にすべりを生じていたことから、スカラップ底には大きなせん断力による二次曲げモーメントが作用し、スリットが拡がることで早期に延性亀裂が発生した可能性がある。この点については、当初の検討事項である梁ウェブ高力ボルト摩擦接合部の負担耐力を確保する重要性を示していると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 中野達也，佐藤由悟，増田浩志：梁端混用接合部のウェブ負担耐力および力学性状に関する研究－その1 解析計画および解析結果－，日本建築学会大会(九州)，学術講演梗概集，C-1 構造Ⅲ，pp.815-816，2007.8，査読無
- ② 佐藤由悟，中野達也，増田浩志：梁端混用接合部のウェブ負担耐力および力学性状に関する研究－その2 ウェブ接合部の力学性状－，日本建築学会大会(九州)，学術講演梗概集，C-1 構造Ⅲ，pp.817-818，2007.8，査読無
- ③ 前山大，中野達也，増田浩志：梁端混用接合部の力学性能に関する研究－先組み溶接組立 H 形断面梁の脆性破断－，日本建築学会関東支部研究発表会，研究報告集，2038pp.1-4，2009.3，査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中野 達也 (NAKANO TATSUYA)
宇都宮大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：00361361