

明 細 書

発明の名称：接合構造

技術分野

[0001] 本発明は、接合構造に関する。

背景技術

[0002] 鉄骨構造や合成構造の床を支える小梁は非耐震部材として扱われ、一般的に小梁端接合部は大梁に設けたガセットプレート（フィンプレートとも呼ぶ）に小梁ウェブをボルト接合し、小梁の上下フランジは大梁に接合しないピン接合である。このようなピン接合で支持された小梁に鉛直荷重が作用すると、主に小梁に作用する力の作用中心（小梁ウェブの板厚中心）と、ガセットプレートからの反力の作用中心（ガセットプレートの板厚中心）とが偏心しているために、小梁ウェブおよびガセットプレートに付加曲げが作用する。一般的に小梁ウェブおよびガセットプレートの面外曲げ剛性は小さいため、上記の付加曲げによって小梁ウェブに面外変形が生じ、それに伴って小梁の下フランジが変位することによって小梁端に作用する圧縮力の伝達効率が低下する。そうすると、小梁のたわみを低減するのに十分な接合部の回転剛性や耐力が得られなくなる。

[0003] これに対して、小梁ウェブに加えて上下フランジについてもボルト接合や溶接によって大梁に接合する剛接合や、例えば特許文献1、特許文献2および特許文献3に記載されているように下フランジのみを接合する半剛接合も知られている。これらの接合ではピン接合に比べて小梁の中央部にかかるたわみやモーメントが抑制されるため、小梁の断面の小型化および軽量化が可能であり、大スパン構造などで活用されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2022-069006号公報

特許文献2：特開2021-156116号公報

特許文献2：特開2021-156115号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、例えば上記の剛接合の場合は、小梁フランジを大梁または大梁に取り付けられたブラケットに現場で接合するため、溶接の場合はフランジ端部における開先加工や現場溶接などの工程が、ボルト接合の場合はフランジ端部への穴開け加工や摩擦面処理、添接板の設置などの工程が必要になる。半剛接合の場合も、溶接や接触部材の設置などの工程が必要になる。つまり、工程の省力化という点でピン接合は有利である。

[0006] そこで、本発明は、ピン接合の施工性を損なうことなく、小梁ウェブの面外変形を抑制することで接合部の回転剛性や耐力を確保し、小梁の中央部にかかるたわみやモーメントを抑制することで小梁の断面の小型化および軽量化を可能にする接合構造を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] [1] H形断面を有する大梁と、H形断面を有し上記大梁に交差する方向に延びる小梁の材軸方向の端部とを連結する接合構造であって、少なくとも上記大梁のウェブおよび上フランジに接合されるガセットプレートと、上記小梁の梁せい方向に配列され、上記ガセットプレートを上記小梁のウェブに接合するボルト列とを備え、上記ボルト列の下端に位置するボルトの軸心から上記小梁の下フランジの下面までの距離は、上記小梁の梁せいの $1/5$ 未満である接合構造。

[2] 上記ガセットプレートの板状の本体部に交差し、かつ上記大梁のウェブにも交差するように配置され、少なくとも上記ガセットプレートに接合される補強リブをさらに備える、[1]に記載の接合構造。

[3] 上記小梁のウェブの高さ中心線よりも下側で上記ガセットプレートの側端面に接して配置される少なくとも1枚の補強プレートをさらに備え、上記補強プレートは、上記小梁のウェブにボルト接合される、[1]または[2]に記載の接合構造。

〔４〕上記補強プレートは、上記小梁のウェブに高力ボルト摩擦接合される、〔３〕に記載の接合構造。

〔５〕上記ガセットプレートは、上記小梁のウェブに高力ボルト摩擦接合される、〔１〕から〔４〕のいずれか１項に記載の接合構造。

〔６〕上記大梁および上記小梁の上方に構築されるコンクリート床スラブをさらに備え、上記小梁の上フランジは上記コンクリート床スラブに接合される、〔１〕から〔５〕のいずれか１項に記載の接合構造。

[0008] 上記の構成によれば、ガセットプレートと小梁ウェブとを接合するボルト列の下端のボルトが小梁の下フランジの近くまで配置されるため、ガセットプレートが小梁ウェブの面外変形を拘束する効果が高まり、小梁下フランジの変位を抑えて接合部の回転剛性や耐力を確保することができる。これによって、小梁の中央部にかかるたわみやモーメントを抑制され、小梁の断面の小型化および軽量化が可能になる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の第１の実施形態に係る接合構造を示す斜視図である。

[図2]図１のＡ－Ａ線およびＢ－Ｂ線に沿った矢視図に対応し、実施形態の第１の例を示す図である。

[図3]図１のＡ－Ａ線およびＢ－Ｂ線に沿った矢視図に対応し、補強リブおよび補強プレートが追加された実施形態の第２の例を示す図である。

[図4]図１のＡ－Ａ線およびＢ－Ｂ線に沿った矢視図に対応し、図３とは異なる形状の補強プレートが追加された実施形態の第３の例を示す図である。

[図5]図２～図４に示された距離 e_v の特定の仕方について説明するための図である。

[図6]図２～図４に示された距離 e_v の特定の仕方について説明するための図である。

[図7]実施例の解析における接合部の回転角の算出方法を示す図である。

[図8]実施例の解析における小梁下フランジの変位の算出方法を示す図である。

[図9]実施例および比較例における小梁断面N o. 1の接合部モーメントと回転角との関係を示すグラフである。

[図10]実施例および比較例における小梁断面N o. 2の接合部モーメントと回転角との関係を示すグラフである。

[図11]実施例および比較例における小梁断面N o. 3の接合部モーメントと回転角との関係を示すグラフである。

[図12]実施例および比較例における小梁断面N o. 1の初期剛性および接合部モーメント最大値を、基準ケースを1とする比で示したグラフである。

[図13]実施例および比較例における小梁断面N o. 2の初期剛性および接合部モーメント最大値を、基準ケースを1とする比で示したグラフである。

[図14]実施例および比較例における小梁断面N o. 3の初期剛性および接合部モーメント最大値を、基準ケースを1とする比で示したグラフである。

[図15]実施例および比較例における小梁断面N o. 1の下フランジの変位と回転角との関係を示すグラフである。

[図16]実施例および比較例における小梁断面N o. 2の下フランジの変位と回転角との関係を示すグラフである。

[図17]実施例および比較例における小梁断面N o. 3の下フランジの変位と回転角との関係を示すグラフである。

[図18A]実施例における最大耐力時の変形状態および相当塑性ひずみコンターを示す図である。

[図18B]実施例における最大耐力時の変形状態および相当塑性ひずみコンターを示す図である。

[図18C]実施例における最大耐力時の変形状態および相当塑性ひずみコンターを示す図である。

[図19A]比較例における最大耐力時の変形状態および相当塑性ひずみコンターを示す図である。

[図19B]比較例における最大耐力時の変形状態および相当塑性ひずみコンターを示す図である。

[図19C]比較例における最大耐力時の変形状態および相当塑性ひずみコンターを示す図である。

[図20]実施例および比較例における接合部の回転剛性の基準ケースに対する比率と e_v/H との関係を示すグラフである。

[図21]実施例および比較例における接合部の最大耐力の基準ケースに対する比率と e_v/H との関係を示すグラフである。

[図22]実施例および比較例における小梁断面No. 1の接合部が最大モーメントの時にコンクリート床スラブが支持する積載荷重上限と、両端をピン接合で支持された小梁に対するたわみ低減率との関係を示すグラフである。

[図23]実施例および比較例における小梁断面No. 2の接合部が最大モーメントの時にコンクリート床スラブが支持する積載荷重上限と、両端をピン接合で支持された小梁に対するたわみ低減率との関係を示すグラフである。

[図24]実施例および比較例における小梁断面No. 3の接合部が最大モーメントの時にコンクリート床スラブが支持する積載荷重上限と、両端をピン接合で支持された小梁に対するたわみ低減率との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] 以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、本明細書および図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複した説明を省略する。

[0011] 図1は本発明の実施形態に係る接合構造を示す斜視図であり、図2～図4の(A)および(B)は、それぞれ図1のA-A線およびB-B線に沿った矢視図に対応する。図示されるように、本実施形態に係る接合構造は、大梁1に接合されたガセットプレート2と、大梁1に交差する方向に延びる小梁3との間に形成される。以下の図では、小梁の長手方向をX方向、小梁の梁せい方向をY方向、大梁の長手方向をZ方向として示している。大梁1および小梁3はそれぞれH形鋼で構成され、大梁1はウェブ11、上フランジ12および下フランジ13を有し、小梁3はウェブ31、上フランジ32およ

び下フランジ33を有する。ガセットプレート2は大梁1のウェブ11、上フランジ12および下フランジ13に溶接され、ガセットプレート2と小梁3のウェブ31との間がボルト41を用いてボルト接合される。なお、大梁1および小梁3は、H形断面を有するものであればH形鋼には限られず、例えばH形断面を有する溶接部材で構成されてもよい。

- [0012] さらに、図2～図4に示すように、大梁1および小梁3の上方にはコンクリート床スラブ5が構築される。図示された例においてコンクリート床スラブ5はデッキ合成スラブであり、コンクリート51と、鉄筋52と、デッキプレート53とを含む。大梁1および小梁3の上フランジ12、32にはデッキプレート53を貫通してスタッド6が立設されており、スタッド6はコンクリート51に定着させられる。つまり、図示された例において小梁3はコンクリート床スラブ5に接合されており、これによって小梁3の上フランジに作用する引張力がコンクリート床スラブ5に伝達される。一方、小梁3の下フランジ33は、大梁1およびガセットプレート2に直接的には接合されていない。
- [0013] 図2～図4のうち、図2は上述した構成要素が配置される最も単純な例を示す図である。図3および図4は、以下で説明するように接合構造に図1には示されていない追加の構成要素が配置される例を示す図である。また、図2～図4には、後述する実施例で参照される寸法も示されている。各図の例において、ガセットプレート2を小梁3のウェブ31に接合するボルト41は、小梁3の梁せい方向に配列されるボルト列を構成し、このボルト列の下端に位置するボルト41の軸心から小梁3の下フランジ33の下面までの距離 e_v は、小梁3の梁せい H の $1/5$ 未満である。これによって、ガセットプレート2が小梁3のウェブ31の面外変形を拘束する効果が高まるため、下フランジ33の変位を抑えて小梁端に作用する圧縮力の伝達効率を維持することができる。距離 e_v の梁せい H に対する比 e_v/H は、好ましくは 0.18 未満であり、さらに好ましくは 0.16 以下である。なお、簡単のため距離 e_v 以外の寸法は図3のみに示しているが、図2および図4の例についても

同様である。

- [0014] 図3および図4に示す例では、図1で説明した構成要素に加えて補強リブ21および補強プレート7が配置される。補強リブ21は板状の部分であり、小梁3のウェブ31に沿って配置されたガセットプレート2の板状の本体部に交差し、かつ大梁1のウェブ11にも交差するように配置される。このような補強リブ21は、例えばガセットプレート2とは別の板状部材がガセットプレート2に隅肉溶接されることによって形成されてもよいし、ガセットプレート2が予めL字形断面に成形されていてもよい。また、補強リブ21は、大梁1のウェブ11にも隅肉溶接などによって接合されてもよい。図3および図4に示された例ではガセットプレート2の補強リブ21よりも下の部分がなく、ガセットプレート2が図1の例とは異なり大梁1の下フランジ13に溶接されていないが、他の例ではガセットプレート2に補強リブ21よりも下の部分があって下フランジ13に溶接されてもよい。この場合、補強リブ21はガセットプレート2の中間部に取り付けられ、補強リブ21の大梁1のウェブ11に接する部分にガセットプレート2とウェブ11との間の溶接部との干渉を避けるために切り欠きが形成されてもよい。
- [0015] 補強リブ21が配置されることによって、例えば小梁3のウェブ31とガセットプレート2との間で板厚中心が偏心しているために生じる付加曲げによるガセットプレート2の面外変形が抑制される。なお、ガセットプレート2は小梁3のウェブ31の片面にのみ接合される（一面摩擦の）ため、補強リブ21もウェブ31に対して片側にのみ形成される。これによって、小梁3の曲げによって発生する圧縮力を、ウェブ31からガセットプレート2を介して大梁1に確実に伝達することができる。圧縮力の伝達のために、ガセットプレート2は小梁3のウェブ31の高さ中心線Cよりも下側まで配置され、補強リブ21はウェブ31の高さ中心よりも下側の領域に配置される。なお、補強リブ21は例えば小梁3の下フランジ33との間で端面同士を突き合わせるために配置されるリブとは異なり、小梁3の下フランジ33とは異なる高さ、より具体的には小梁3の下フランジ33よりも上に位置する。

小梁 3 の材軸方向で見た場合に補強リブ 2 1 をガセットプレート 2 のほぼ全長にわたって形成し、小梁 3 の下フランジ 3 3 と重複させることによって、補強リブ 2 1 がガセットプレート 2 の面外変形を抑制する効果をより高めることができる。

[0016] 補強プレート 7 は、ウェブ 3 1 の高さ中心線 C よりも下側でガセットプレート 2 の側端面に接して配置され、追加ボルト 7 1 で小梁 3 のウェブ 3 1 にボルト接合される。図 3 の例のように追加ボルト 2 列分の大きさの補強プレート 7 が配置されてもよいし、図 4 の例のように追加ボルト 1 列分の大きさの補強プレート 7 A が配置されていてもよい。また、例えば補強プレート 7 A に隣接してさらに補強プレートが配置されてもよい。ここで、ガセットプレート 2 および補強プレート 7, 7 A の側端面は、小梁 3 の材軸方向に面した端面である。補強プレート 7, 7 A には、ガセットプレート 2 とは異なり補強リブは形成されない。

[0017] 補強プレート 7, 7 A が配置されることによって、ボルト 4 1 と追加ボルト 7 1 とを合わせると、ウェブ 3 1 の高さ中心線 C よりも下側に配置されるボルトの数が高さ中心線 C よりも上側に配置されるボルトの数よりも多くなる。これによって、コンクリート床スラブ 5 の鉄筋 5 2 が負担する引張力に対して偶力になる圧縮力を接合部の下側でより多く負担させることができる。追加ボルト 7 1 についてもボルト 4 1 と同様に高力ボルトとしてもよく、その場合は高力ボルト摩擦接合によって接合構造の挙動をさらに安定させることができる。なお、図 3 および図 4 の例のように補強リブ 2 1 に加えて補強プレート 7, 7 A を配置してもよいし、図 2 の例のように補強リブが配置されない場合でもガセットプレート 2 の側端面に接して補強プレート 7, 7 A を配置してもよい。

[0018] さらに、追加ボルト 7 1 で補強プレート 7, 7 A をウェブ 3 1 に高力ボルト摩擦接合する場合は、補強プレート 7, 7 A をコンクリート床スラブ 5 の構築後に取り付けることによって、補強プレート 7, 7 A をコンクリート床スラブ 5 の自重によって生じる曲げモーメントに関与させず、補強プレート

7, 7Aとウェブ31との間の摩擦接合を維持するための追加ボルト71の数を少なくすることができる。

[0019] 以上で説明したような本発明の実施形態は、小梁端のピン接合を、工程を追加しないか（図2の例）、または簡易な補強のみ（図3および図4の例）で半剛接合化するものといえる。ピン接合において、ガセットプレートと小梁ウェブの偏心による付加曲げによってガセットプレートの大きな面外変形が生じると、早期に剛性および耐力が低下するため、設計上は接合部の固定度を考慮することができなかった。これに対して、本実施形態ではガセットプレート下端位置を小梁ウェブ下端に近づけることで、ガセットプレートをせん断力の伝達部材としてのみならず小梁ウェブの面外剛性の補強材としても利用することで、ウェブの面外変形を抑制する。上記のように下端のボルトの軸心から小梁下フランジの下面までの距離 e_v を小梁の梁せいHの $1/5$ 未満とすることで、ガセットプレート下端位置が小梁ウェブ下端近く（圧延H形鋼のフィレットや溶接組立H形鋼の溶接隅肉の上端近く）になり、上記のように小梁ウェブの面外変形を抑制する効果を十分に得ることができる。さらに、ガセットプレートの面外曲げを抑える水平リブを小梁下フランジ寄りに配置することで、小梁下フランジの水平変位や小梁の材軸回りの回転変形（ねじれ）を抑制する効果を高めてもよい。また、補強プレートを配置することによって小梁ウェブの下フランジ側にボルトを多く配置し、コンクリート床スラブの打設後に床スラブ内の鉄筋が負担する引張力に対して偶力になる圧縮力を小梁端接合部の下部に多く負担させて接合部の安定性を増してもよい。コンクリート床スラブが小梁上フランジの水平移動を拘束することによっても小梁の材軸回りの回転変形（ねじれ）が抑制され、小梁下フランジからの圧縮力を安定的に大梁に伝達することができる。本実施形態では上記のような構成によって、一般的なピン接合に比べて接合部が非線形挙動を示す耐力を大幅に向上させつつ、より高い接合部回転剛性を得ることができ、設計上接合部の固定度を考慮したたわみ低減効果を得ることができる。

[0020] 図5および図6は、図2～図4に示された距離 e_v の特定の仕方について説明するための図である。図5に示された例では、図中の右側の補強プレート7が上側にずれて配置されているため、補強プレート7をウェブ31に接合する追加ボルト71のうち下側のボルトが、ガセットプレート2をウェブ31に接合するボルト列の下端のボルト41よりも上に位置している。一方、図6に示された例では、図中の右側の補強プレート7が下側にずれて配置されている。このため、補強プレート7をウェブ31に接合する追加ボルト71のうち下側のボルトが、ガセットプレート2をウェブ31に接合するボルト列の下端のボルト41よりも下に位置している。図5および図6のいずれの場合も、距離 e_v はボルト列の下端のボルト41の軸心から小梁下フランジの下面までの距離である。追加ボルト71は、図2～図4の例のようにボルト列の下端のボルト41と同じ高さに位置していてもよいし、図5の例のように下端のボルト41よりも上に位置していてもよいし、図6の例のように下端のボルト41よりも下に位置していてもよいが、距離 e_v は追加ボルト71の位置には影響されない。

実施例

[0021] 以下では、上述したような本発明の実施形態の効果を検証するためのFEM解析の結果について説明する。大梁と小梁の接合部を対象に、従来技術と、本発明の実施例の接合部の初期剛性と耐力を算出した。各例の接合部形状は図2～4に示され、寸法パラメータは主に図3に示されている（図2および図4についても同様）。主なパラメータは、小梁の梁せい H 、フランジ幅 B_f 、ウェブ板厚 t_w およびフランジ板厚 t_f によって規定される以下のNo. 1～No. 3の3種類の断面、小梁ウェブとガセットプレートとを接合するボルトの梁せい方向における数 n_b 、間隔 p_v およびガセットプレートの高さ h_{fin} によって決まる、下端のボルトの軸心から小梁の下フランジ下面までの距離 e_v （ $e_v/H=0.125\sim0.286$ の範囲で変化させた）、補強リブおよび補強プレートの有無の3つである。

[0022] <小梁断面>

N o. 1 : $H = 700 \text{ mm}$ 、 $B_f = 200 \text{ mm}$ 、 $t_w = 9 \text{ mm}$ 、 $t_f = 16 \text{ mm}$

N o. 2 : $H = 450 \text{ mm}$ 、 $B_f = 150 \text{ mm}$ 、 $t_w = 3.6 \text{ mm}$ 、 $t_f = 6 \text{ mm}$

N o. 3 : $H = 500 \text{ mm}$ 、 $B_f = 200 \text{ mm}$ 、 $t_w = 5.5 \text{ mm}$ 、 $t_f = 9 \text{ mm}$

[0023] 表 1 に、各例の条件を示す。解析モデル名について、最初の「1」～「3」の数字は小梁断面が上記の N o. 1 ～ N o. 3 のいずれであることを示す。「R」はコンクリート床スラブが構築され、小梁の上フランジに立設されたスタッドがコンクリートに定着させられることによって上フランジ水平面内移動が拘束されていることを示す（すべての例が該当する）。「MG」、「TG」および「HG」は、ガセットプレートの高さ h_{fin} が通常よりも高く、従ってガセットプレート下端位置が小梁ウェブの下端に近いことを示す（高さ h_{fin} は「MG」、「TG」、「HG」の順でより高くなる）。「EXC2」および「EXC」は、図 3 および図 4 の例のような補強プレートおよび追加ボルトが配置される場合を示す。なお、「EXC2」では図 3 の例のように 2 列の追加ボルトが配置され、「EXC」では図 4 の例のように 1 列の追加ボルトが配置される。（t 6）および（t 9）は、それぞれガセットプレートの板厚が 6 mm および 9 mm であることを示す。実施例では、上記の図 2 ～図 4 の例のように小梁の下フランジの下面から下端ボルトの軸心までの距離 e_v が梁せい H の $1/5$ よりも小さく、従って $e_v/H < 0.2$ である。比較例は $e_v/H \geq 0.2$ の例、および小梁の上下フランジを大梁側に溶接した剛接合の例を含む。

[0024]

[表1]

解析モデル名	断面	t_{fin} [mm]	h_{fin} [mm]	p_v [mm]	n_b [本]	e_v [mm]	e_v/H	端あき [mm]	リブ	プレート	追加 ボルト	
1-R(t9)	No.1	9	380	60	6	200	0.286	40	—	—	—	比較例
1-TG-R(t9)	No.1	9	605	105	6	87.5	0.125	40	—	—	—	実施例
1EXC2-R(t9)	No.1	9	380	60	6	200	0.286	40	○	○	2×2	比較例
1EXC2-TG-R(t9)	No.1	9	605	105	6	87.5	0.125	40	○	○	2×2	実施例
1Rigid	No.1	※剛接合										比較例
2-R(t6)	No.2	6	320	60	5	105	0.233	40	—	—	—	比較例
2-TG-R(t6)	No.2	6	400	80	5	65	0.144	40	—	—	—	実施例
2EXC-R(t6)	No.2	6	320	60	5	105	0.233	40	○	○	2×1	比較例
2EXC2-R(t6)	No.2	6	320	60	5	105	0.233	40	○	○	2×2	比較例
2EXC2-TG-R(t6)	No.2	6	400	80	5	65	0.144	40	○	○	2×2	実施例
2Rigid	No.2	※剛接合										比較例
3-R(t6)	No.3	9	320	60	5	130	0.26	40	—	—	—	比較例
3-MG-R(t6)	No.3	9	400	80	5	90	0.18	40	—	—	—	実施例
3-TG-R(t6)	No.3	9	420	85	5	80	0.16	40	—	—	—	実施例
3-HG-R(t6)	No.3	9	440	90	5	70	0.14	40	—	—	—	実施例
3EXC2-R(t6)	No.3	9	320	60	5	130	0.26	40	○	○	2×2	比較例
3EXC2-MG-R(t6)	No.3	9	400	80	5	90	0.18	40	○	○	2×2	実施例
3EXC2-TG-R(t6)	No.3	9	420	85	5	80	0.16	40	○	○	2×2	実施例
3EXC2-HG-R(t6)	No.3	9	440	90	5	70	0.14	40	○	○	2×2	実施例
3Rigid	No.3	※剛接合										比較例

表1: 実施例および比較例の条件

[0025] 解析では、まず小梁ウェブとガセットプレートとを接合するボルトに所定の初期導入張力を加える。より具体的には、小梁断面No. 1およびNo. 3の例ではF10T-M20のボルトに180kNの初期導入張力を加え、小梁断面No. 2の例ではF10T-M16のボルトに110kN初期導入張力を加える。次いで、片持ち梁形式で接合部とは反対側の小梁先端に20mmまで強制変位をかけ、接合部モーメント M_j [kNm] と回転角 ϕ_j [rad]、および小梁下フランジの小梁直交方向（Z方向）の変位 [mm] を算出した。

[0026] 図7には、解析における接合部の回転角 ϕ_j の算出方法が示されている。回転角 ϕ_j は、小梁ウェブとガセットプレートとを接合するボルトの縦列中心と小梁ウェブの板厚中心との交線が、小梁の上下フランジの板厚中心と交差する2点のそれぞれにおける小梁の長手方向の変位 δ_{ft} 、 δ_{fb} の差分を、これらの2点の鉛直方向の距離 $H - t_f$ （ t_f はフランジ板厚）で除した値である。図8には、解析における小梁下フランジの変位の算出方法が示されている。

。小梁下フランジの水平面内の小梁直交方向（ $-Z$ 方向）への変位 z_{fb} は、上記の2点のうち下フランジ側の位置の Z 方向変位である。

- [0027] 大梁は梁せい800mm、フランジ幅300mm、ウェブ板厚12mm、フランジ板厚25mmとし、ボルト接合されるガセットプレートと小梁ウェブとの間の摩擦係数、および追加ボルトで接合される補強プレートと小梁ウェブとの間の摩擦係数は、実験で得られたすべり係数に基づいて0.6とした。その他の接触面の摩擦係数は、すべてミルスケール面同士の摩擦係数に相当する0.2とした。すべてのモデルで、大梁のウェブ板厚中心から小梁の強制変位点までの長さは1.5m（小梁の公称長さ）とした。接合部モーメント M_j は、強制変位点における反力と腕の長さ1.3m（小梁ウェブとガセットプレートとを接合するボルトの縦列中心から大梁のウェブ板厚中心までの距離0.2mを小梁の公称長さ1.5mから引いた値）との積とした。
- [0028] 実施例および比較例の解析結果を表2に、接合部モーメント M_j と回転角 ϕ_j との関係を図9～図11に示す。表2において、初期剛性 $S_{j,ini}$ [kNm/rad] は最大耐力の1/3耐力時の割線剛性であり、 $M_{j,max}$ [kNm] は接合部モーメントの最大値である。図12～図14は、小梁断面No. 1、No. 2およびNo. 3のそれぞれにおける実施例および比較例の $S_{j,ini}$ および $M_{j,max}$ を、基準ケースとする解析モデル1-R(t9)、2-R(t6)および3-R(t6)を1とした比で示したグラフである。実施例を比較例と比べると、ガセットプレートの高さを高く（TG, MG）することによって $e_v/H < 0.2$ とした実施例では、 $e_v/H \geq 0.2$ の比較例に比べて、同じ $M_{j,max}$ の値に対して $S_{j,ini}$ が向上していることがわかる。さらに、補強リブおよび補強プレートを配置した例（1EXC2-TG-R、2EXC2-TG-R、3EXC2-TG-Rおよび3EXC2-MG-R）では、補強リブおよび補強プレートが配置されない実施例、および補強リブおよび補強プレートが配置されるが $e_v/H \geq 0.2$ の比較例の結果から線形的に予想される $S_{j,ini}$ および $M_{j,max}$ を超える $S_{j,ini}$ および $M_{j,max}$ が得られる。この結果から、 $e_v/H < 0.2$ とするのに加えて補強リブおよび補強

プレートを配置することで相乗効果が得られることがわかる。

[0029] [表2]

解析モデル名	S_{jini} [kNm/rad]	M_{jy} at $S_{jini}/3$ [kNm]	M_{jmax} [kNm]	基準ケースに対する比率		
				S_{jini} の比	M_{jy} の比	M_{jmax} の比
1-R(t9)(比較例)	111251	179.8	205.8	1.00	1.00	1.00
1-TG-R(t9)(実施例)	243266	210.8	322.7	2.19	1.17	1.57
1EXC2-R(t9)(比較例)	157138	280.7	312.7	1.41	1.56	1.52
1EXC2-TG-R(t9)(実施例)	341527	437.7	511.3	3.07	2.43	2.48
1Rigid(比較例)	3973352	-	711.4	35.72	-	3.46
2-R(t6)(比較例)	27222	24.0	38.4	1.00	1.00	1.00
2-TG-R(t6)(実施例)	43333	35.6	48.3	1.59	1.49	1.26
2EXC-R(t6)(比較例)	40340	55.4	56.8	1.48	2.31	1.48
2EXC2-R(t6)(比較例)	45184	65.1	67.7	1.66	2.72	1.76
2EXC2-TG-R(t6)(実施例)	72316	105.0	110.6	2.66	4.38	2.88
2Rigid(比較例)	1543872	-	129.9	56.71	-	3.38
3-R(t6)(比較例)	47968	76.9	94.2	1.00	1.00	1.00
3-MG-R(t6)(実施例)	72197	84.6	114.0	1.51	1.10	1.21
3-TG-R(t6)(実施例)	82278	90.8	121.0	1.72	1.18	1.28
3-HG-R(t6)(実施例)	95362	94.0	131.1	1.99	1.22	1.39
3EXC2-R(t6)(比較例)	71844	141.6	150.5	1.50	1.84	1.60
3EXC2-MG-R(t6)(実施例)	108994	192.7	206.4	2.27	2.50	2.19
3EXC2-TG-R(t6)(実施例)	122608	211.7	227.9	2.56	2.75	2.42
3EXC2-HG-R(t6)(実施例)	140163	228.1	252.9	2.92	2.96	2.69
3Rigid(比較例)	2338325	-	287.2	48.75	-	3.05

表2: 実施例および比較例の剛性およびモーメント

[0030] 図15～図17は、小梁断面No. 1、No. 2およびNo. 3のそれぞれにおける実施例および比較例の下フランジのZ方向変位（ z ）と回転角 ϕ_j との関係を示すグラフである。既に述べたように、下フランジのZ方向変位（ z ）が大きくなると、小梁の下フランジからウェブを介してガセットプレートに伝達される圧縮力とガセットプレート側の反力との間で板厚方向における偏心距離が大きくなり、小梁ウェブおよびガセットプレートの面外変形が助長されて下フランジからの圧縮力の伝達効率が低下する。図15～図17に示されるように、 $e_v/H < 0.2$ とした実施例では、同様の構成で $e_v/H \geq 0.2$ とした実施例に比べて、最大耐力以前の下フランジのZ方向変位が抑制されていることがわかる。補強リブおよび補強プレートを配置することによって、さらに下フランジのZ方向変位を抑制することができる。

[0031] 図18A～図18Cは、実施例（3-TG-R(t6)）の最大耐力時の

変形状態と相当塑性ひずみコンターを示す。図19A～図19Cは、同様に比較例（3-R（t6））の最大耐力時の変形状態と相当塑性ひずみコンターを示す。実施例では比較例に比べて、ウェブにおける相当塑性ひずみの大きな領域が狭くなり、下フランジ側に寄る傾向がみられる。すなわち、実施例ではウェブの広範囲での面外への曲げ変形が抑制されることが分かる。

[0032] 図20は実施例および比較例における接合部の回転剛性 $R_{S_{j, ini}}$ の基準ケースに対する比率と e_v/H との関係を示すグラフである。図21は、同様に接合部の最大耐力 $R_{M_{j, max}}$ の基準ケースに対する比率と e_v/H との関係を示すグラフである。図20および図21から、 $e_v/H < 0.2$ とすることで、 $S_{j, ini}$ 、 $M_{j, max}$ とも基準ケースに対して顕著に上昇することがわかる。さらに、 e_v/H を0.18未満、さらに好ましくは0.16以下とすることで、 $S_{j, ini}$ 、 $M_{j, max}$ とも基準ケースに対してより顕著に上昇することがわかる。

[0033] 表3および図22～図24に、実施例および比較例において接合部が $M_{j, max}$ の時にコンクリート床スラブが支持する積載荷重上限（Design load capacity）と、両端をピン接合で支持された小梁に対するたわみ低減率（ $(\delta_{pin} - \delta) / \delta_{pin}$ by $S_{j, ini}$ ）との関係を示す。解析の前提条件は以下の通りである。

[0034] ・解析で得られた初期剛性 $S_{j, ini}$ を有する接合部で中間支点を支持された小梁の5スパン連続梁の3スパン目（概ね、無限連梁の任意のスパンに相当）を検討対象とする。

・小梁のスパン L は断面No. 1の場合は15m、断面No. 2および断面No. 3の場合は7.5mとする。

・小梁の支配幅 B （小梁の長手方向と直交する方向における小梁同士の間隔）は3mとする。

・コンクリート床スラブは180mm厚とし、直径19mm、ピッチ200mmの頭付きスタッドで小梁上フランジと接合する。

・コンクリート床スラブの配筋は全面でD10@200とし、負曲げ領域に

- はD 1 0 @ 1 0 0の補強筋を配置する。
- ・ 小梁の曲げ剛性は完全合成梁の計算剛性とし、負曲げ剛性は床スラブのコンクリートが無視して床スラブの鉄筋の剛性を考慮、正曲げは床スラブのコンクリートのヤング係数を鉄骨のヤング係数2 1 0 0 0 0 N／m m²の1／1 5として算出する。
 - ・ 比較例の剛接合（1 R i g i d, 2 R i g i d, 3 R i g i d）についてはF E M解析を行わず、接合部が小梁の正曲げ剛性をスパン長で除した値（単位長さあたり合成梁曲げ剛性）の1 0 0 倍の回転剛性を持ち、降伏応力度3 2 5 N／m m²の2 フランジモデルの全塑性曲げ耐力を最大耐力と仮定して算出する。

[0035] [表3]

解析モデル名	L [m]	B [m]	$(\delta_{pin}-\delta)/\delta_{pin}$ by S_{ini} [-]	$M_{j,max}$ [kNm]	Distributed load [kN/m]	Design load capacity [kN/m ²]
1-R(t9)(比較例)	15	3	44%	205.8	20.2	6.7
1-TG-R(t9)(実施例)	15	3	55%	322.7	25.7	8.6
1EXC2-R(t9)(比較例)	15	3	49%	312.7	27.6	9.2
1EXC2-TG-R(t9)(実施例)	15	3	58%	511.3	38.5	12.8
1Rigid(比較例)	15	3	67%	711.4	46.8	15.6
2-R(t6)(比較例)	7.5	3	35%	38.4	18.7	6.2
2-TG-R(t6)(実施例)	7.5	3	43%	48.3	19.5	6.5
2EXC-R(t6)(比較例)	7.5	3	42%	56.8	23.6	7.9
2EXC2-R(t6)(比較例)	7.5	3	44%	67.7	27.0	9.0
2EXC2-TG-R(t6)(実施例)	7.5	3	50%	110.6	38.9	13.0
2Rigid(比較例)	7.5	3	64%	129.9	36.3	12.1
3-R(t6)(比較例)	7.5	3	39%	94.2	42.1	14.0
3-MG-R(t6)(実施例)	7.5	3	45%	114.0	43.6	14.5
3-TG-R(t6)(実施例)	7.5	3	47%	121.0	44.4	14.8
3-HG-R(t6)(実施例)	7.5	3	50%	131.1	46.1	15.4
3EXC2-R(t6)(比較例)	7.5	3	45%	150.5	57.6	19.2
3EXC2-MG-R(t6)(実施例)	7.5	3	51%	206.4	70.2	23.4
3EXC2-TG-R(t6)(実施例)	7.5	3	53%	227.9	75.5	25.2
3EXC2-HG-R(t6)(実施例)	7.5	3	54%	252.9	81.5	27.2
3Rigid(比較例)	7.5	3	67%	287.2	76.3	25.4

表3: 実施例および比較例の積載荷重上限およびたわみ低減率

- [0036] 表3 および図2 2～図2 4に示されるように、 $e_v/H<0.2$ とした実施例では、同様の構成で $e_v/H\geq 0.2$ とした実施例に比べてたわみの低減効

果が大きく、また積載荷重の上限値も高い。補強リブおよび補強プレートを設置することによって、さらに、たわみの低減効果や積載荷重の上限値を向上させることができる。

[0037] 以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、請求の範囲に記載された技術的思想の範囲内において、各種の変形例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

符号の説明

[0038] 1…大梁、1 1…ウェブ、1 2…上フランジ、1 3…下フランジ、2…ガセットプレート、2 1…補強リブ、3…小梁、3 1…ウェブ、3 2…上フランジ、3 3…下フランジ、4 1…ボルト、5…コンクリート床スラブ、5 1…コンクリート、5 2…鉄筋、5 3…デッキプレート、6…スタッド、7，7 A…補強プレート、7 1…追加ボルト。

請求の範囲

- [請求項1] H形断面を有する大梁と、H形断面を有し前記大梁に交差する方向に延びる小梁の材軸方向の端部とを連結する接合構造であって、
- 少なくとも前記大梁のウェブおよび上フランジに接合されるガセットプレートと、
- 前記小梁の梁せい方向に配列され、前記ガセットプレートを前記小梁のウェブに接合するボルト列と
- を備え、
- 前記ボルト列の下端に位置するボルトの軸心から前記小梁の下フランジの下面までの距離は、前記小梁の梁せいの $1/5$ 未満である接合構造。
- [請求項2] 前記ガセットプレートの板状の本体部に交差し、かつ前記大梁のウェブにも交差するように配置され、少なくとも前記ガセットプレートに接合される補強リブをさらに備える、請求項1に記載の接合構造。
- [請求項3] 前記小梁のウェブの高さ中心線よりも下側で前記ガセットプレートの側端面に接して配置される少なくとも1枚の補強プレートをさらに備え、
- 前記補強プレートは、前記小梁のウェブにボルト接合される、請求項1または2に記載の接合構造。
- [請求項4] 前記補強プレートは、前記小梁のウェブに高力ボルト摩擦接合される、請求項3に記載の接合構造。
- [請求項5] 前記ガセットプレートは、前記小梁のウェブに高力ボルト摩擦接合される、請求項1に記載の接合構造。
- [請求項6] 前記大梁および前記小梁の上方に構築されるコンクリート床スラブをさらに備え、
- 前記小梁の上フランジは前記コンクリート床スラブに接合される、請求項1に記載の接合構造。