

明 細 書

発明の名称：鋼材及び鋼材の用途

技術分野

[0001] 本発明は、柱梁接合構造における柱本体の被接合板に用いる鋼材及び鋼材の用途に関する。

本願は、2023年6月19日に、日本に出願された特願2023-099748号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 1994年にアメリカ合衆国で、ノースリッジ地震が発生した。このノースリッジ地震が発生するよりも前においては、図19に示す柱梁接合構造200が採用されていた（非特許文献1参照）。すなわち、柱梁接合構造200は、柱201と、梁211と、を備える。柱201は、柱用H形鋼（H形鋼）で構成された柱本体202と、一对のスチフナ（ダイアフラム）203と、シアプレート204と、を有する。

柱本体202は、一对の柱用フランジ206及び柱用ウェブ207を有し、上下方向に沿って延びている。

各スチフナ203は、水平スチフナであり、水平面に沿って配置されている。各スチフナ203は、上下方向において、梁211における後述する一对の梁用フランジ216と同じ位置に配置されている。各スチフナ203は、柱201（柱本体202）の一对の柱用フランジ206及び柱用ウェブ207に、溶接により形成された溶接部208によりそれぞれ接合されている。

シアプレート204は、柱201の柱用フランジ206に溶接等により接合されている。

[0003] 梁211は、梁用H形鋼（H形鋼）212と、一对の裏当て金213と、を有する。梁用H形鋼212は、例えば、JIS（日本工業規格）G 3192：2014 熱間圧延形鋼の形状、寸法、質量及びその許容差（以下

では、単に J I S G 3 1 9 2 とする) により規定される H 形鋼である。

梁用 H 形鋼 2 1 2 は、一対の梁用フランジ 2 1 6 及び梁用ウェブ 2 1 7 を有する。一対の梁用フランジ 2 1 6 は、上下方向に対向するように配置されている。一対の梁用フランジ 2 1 6 のうち、上方に配置された梁用フランジ 2 1 6 が上フランジ 2 1 6 A であり、下方に配置された梁用フランジ 2 1 6 が下フランジ 2 1 6 B である。

[0004] 各梁用フランジ 2 1 6 は、裏当て金 2 1 3 が梁用フランジ 2 1 6 の下方に取り付けられた状態で、溶接部 2 1 8 により柱本体 2 0 2 の柱用フランジ 2 0 6 に接合されている。

梁用ウェブ 2 1 7 とシアプレート 2 0 4 とは、高力ボルト等の締結部材 2 1 9 により互いに接続されている。なお、梁用ウェブ 2 1 7 は、シアプレート 2 0 4 と締結部材 2 1 9 による接続に加え、溶接により接続される場合もある。また、梁用ウェブ 2 1 7 は、柱用フランジ 2 0 6 に直接溶接により接合される場合もある。

柱梁接合構造 2 0 0 において、柱 2 0 1 と梁 2 1 1 とは、接合部 2 2 2 で互いに接続されている。接合部 2 2 2 は、いわゆるプレノースリッジ (Pre-N orthridge) 接合部である。

ここで、柱用ウェブ 2 0 7 における、上下方向において梁 2 1 1 の範囲内の部分を、接合部パネル 2 0 7 a と規定する。

[0005] 柱梁接合構造 2 0 0 のノースリッジ地震による破壊形式には、図 2 0 に示すように、線 L A, L B, L C, L D で表される亀裂に対応する T y p e A から T y p e D がある。

T y p e A, B は、柱用フランジ 2 0 6 を、柱用フランジ 2 0 6 の主面と平行に引き裂く方向 (板厚方向 S) の破壊靱性に依存する。T y p e C では、亀裂を表す線 L C は、梁用フランジ 2 1 6 を貫通するように進展している。

T y p e D は、柱用フランジ 2 0 6 を材軸方向 (長手方向) に分断する方向 (ロール方向 L) の破壊靱性に依存する。

図 2 1 に示すように、Type D はさらに、接合部パネル 2 0 7 a のせん断変形に起因する柱用フランジ 2 0 6 の局所的な曲げ変形によって誘起される。なお、図 2 1 に示す柱梁接合構造 2 0 0 A では、柱 2 0 1 に一对の梁 2 1 1 が接合されている。柱 2 0 1 の柱用フランジ 2 0 6 における範囲 R 1 の部分、及び梁 2 1 1 の梁用フランジ 2 1 6 における範囲 R 2 の部分には、それぞれ局所的なキンク（振れ。kink）変形が生じている。これら範囲 R 1 , R 2 の部分が、局所的な曲げ変形が生じている部分である。

[0006] このように、Type C を除き、いずれも、下フランジ 2 1 6 B の裏当て金 2 1 3 と柱 2 0 1 との間に形成されたスリットで、亀裂が発生、進展したことを示している。

[0007] 欧米の現在の耐震構造に用いられる柱梁接合構造は、ノースリッジ地震における、柱梁接合構造 2 0 0 の接合部 2 2 2 での破壊形式を踏まえて、多数回の繰返し変形に耐えうるように、接合部の詳細構造が決められている。

具体的な詳細構造として、図 2 2 に示すように、柱梁接合構造 2 0 0 B は、下記の（１）～（３）の対策を講じることが義務付けられている。

（１）柱 2 0 1 を、スチフナ 2 0 3 により補強する。

（２）柱 2 0 1 の接合部パネル 2 0 7 a を、柱用ウェブ 2 0 7 を厚くするようにダブルプレート 2 2 5 により補強する。

（３）梁 2 1 1 A の端部を現場で溶接した後に、梁 2 1 1 A の下フランジ 2 1 6 B に取り付く裏当て金 2 1 3 を除去し、補強溶接する。

すなわち、梁 2 1 1 A は、梁 2 1 1 の各構成において、下フランジ 2 1 6 B 周辺に裏当て金 2 1 3 を有さない。ダブルプレート 2 2 5 は、柱 2 0 1 に備えられ、接合部パネル 2 0 7 a に接合される。

[0008] 柱 2 0 1 と梁 2 1 1 A との接合部 2 2 2 A は、いわゆるポストノースリッジ（Post-Northridge）接合部である。接合部 2 2 2 A は、Type A から Type D の破壊を防止するための接合部である。

（１）及び（２）の対策により、柱用フランジ 2 0 6 及び接合部パネル 2 0 7 a の塑性変形を抑制している。（３）の対策における裏当て金 2 1 3 の

除去には、例えばアークガウジング工法が用いられる。補強溶接は、裏当て金 2 1 3 を除去した部分で、除去した部分の下方から上向きに行われる。裏当て金 2 1 3 の除去により、破壊の起点となるスリットを無くし、補強溶接により、下フランジ 2 1 6 B の溶接部 2 1 8 の応力集中を緩和している。

これらの対策は、柱用フランジ 2 0 6 に板厚方向 S 及びロール方向 L の破壊靱性が比較的低い鋼材を用いる場合において、早期の脆性破壊を防止するには有効な対策である。

先行技術文献

非特許文献

- [0009] 非特許文献1：中島正愛、“兵庫県南部地震と米国ノースリッジ地震における鉄骨建造物柱はり接合部破断現象とその比較”、[online]、平成8年4月、京都大学防災研究所年報、第39号、B-1、[令和4年8月3日検索]、インターネット<<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no39/39b1/a39b1p02.pdf>>

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] しかしながら、上記（１）～（３）のような対策は、いずれも、製作や施工の負荷が高い。また、柱梁接合構造 2 0 0 B の接合部 2 2 2 A では、地震外力によるエネルギーを吸収する際の破断の態様によっては、エネルギー吸収性能を発揮できない場合があった。
- [0011] 本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであって、エネルギー吸収性能が高い接合部を有する柱梁接合構造における柱本体の被接合板に用いる鋼材及び鋼材の用途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

- [0012] 前記課題を解決するために、この発明は以下の手段を提案している。
- （１）本発明の一態様に係る鋼材は、柱本体を有する柱と、一对の梁用フランジを有する梁用 H 形鋼を有する梁と、を備える柱梁接合構造において、溶接部を介して前記一对の梁用フランジに直接接合される前記柱本体の被接合

板に用いる鋼材であって、S含有量が0.011質量%以下であり、JIS Z 2242:2018の規定に基づく、 -20°C における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(L,T)}$ と定義し、 0°C における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(L,T)}$ と定義したとき、下記の式(1A)及び式(1B)と、下記の式(2A)及び式(2B)との少なくとも一方を満たす。

$$vE_{-20(S)} \geq 35 \text{ J} \cdots (1A)$$

$$vE_{-20(L,T)} \geq vE_{-20(S)} \cdots (1B)$$

$$vE_{0(S)} \geq 47 \text{ J} \cdots (2A)$$

$$vE_{0(L,T)} \geq vE_{0(S)} \cdots (2B)$$

[0013] (2) 上記(1)に記載の鋼材は、質量%で、V:0.005~0.10%、Nb:0.005~0.10%の少なくとも一方を含有してもよい。

[0014] (3) 本発明の第二の態様は、柱本体を有する柱と、一对の梁用フランジを有する梁用H形鋼を有する梁と、を備える柱梁接合構造において、溶接部を介して前記一对の梁用フランジに直接接合される前記柱本体の被接合板としての鋼材の用途であって、前記鋼材は、S含有量が0.011質量%以下であり、JIS Z 2242:2018の規定に基づく、 -20°C における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(L,T)}$ と定義し、 0°C における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(L,T)}$ と定義したとき、下記の式(1A)及び式(1B)と、下記の式(2A)及び式(2B)との少なくとも一方を満たす。

$$vE_{-20(S)} \geq 35 \text{ J} \cdots (1A)$$

$$vE_{-20(L,T)} \geq vE_{-20(S)} \cdots (1B)$$

$$vE_{0(S)} \geq 47 \text{ J} \cdots (2A)$$

$$\nu E_{0(L,T)} \geq \nu E_{0(S)} \cdots (2B)$$

発明の効果

[0015] 本発明によれば、エネルギー吸収性能が高い接合部を有する柱梁接合構造における柱本体の被接合板に用いる鋼材及び鋼材の用途を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の一実施形態の柱梁接合構造の要部の斜視図である。

[図2]図1中のA1部拡大図である。

[図3]シャルピー試験片の形状を示す図であり、(A)は平面図、(B)は正面図、(C)は(A)中の切断線A3-A3の断面図である。

[図4]圧延鋼材からシャルピー試験片を採取する際の試験片及びノッチの向きを説明する図である。

[図5]柱用フランジから板厚方向のシャルピー試験片を採取する手順を示す図である。

[図6]ノッチが形成される平面がロール方向に直交するシャルピー試験片を用いた、JIS Z 2242:2018による試験結果を示す図である。

[図7]ノッチが形成される平面が板厚方向に直交するシャルピー試験片を用いた、JIS Z 2242:2018による試験結果を示す図である。

[図8]柱梁接合構造用の試験装置の概要を説明する正面図である。

[図9]サンプル1に作用させる載荷履歴1を説明する図である。

[図10]サンプル2に作用させる載荷履歴2を説明する図である。

[図11]米国緊急事態管理庁の実験結果を表す図である。

[図12]Shinの文献の実験結果を表す図である。

[図13]サンプル1の実験結果を表す図である。

[図14]実施例及び従来の接合部を比較した結果を表す図である。

[図15]実施例の実験結果を表す写真である。

[図16]本発明の一実施形態の柱梁接合構造の第1変形例における、要部の斜視図である。

[図17]本発明の一実施形態の柱梁接合構造の第2変形例における、要部の斜視図である。

[図18]本発明の一実施形態の柱梁接合構造の第3変形例における、要部の斜視図である。

[図19]ノースリッジ地震以前に用いられていた柱梁接合構造の要部の正面図である。

[図20]同柱梁接合構造の破壊形式を説明する要部の拡大図である。

[図21]柱梁接合構造の接合部パネルがせん断変形している状態を示す側面図である。

[図22]ノースリッジ地震より後で従来用いられている柱梁接合構造の要部の斜視図である。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明者らは、ポストノースリッジ接合部と同等以上の変形性能を確保することが可能な柱梁接合構造における柱用鋼材（以下、単に鋼材と呼称する場合がある）について鋭意検討した。

一般的に、柱用鋼材における被接合板は温度が高くなるに従い靱性が高くなる。被接合板が実際に使用される温度では靱性がさらに高くなるため、梁が有する梁用H形鋼の一对の梁用フランジが、被接合板に溶接部を介して直接接合された場合であっても、被接合板が板厚方向と直交する方向に破断する（図20のLA、LB）ことを抑制することができる。

板厚方向と直交する方向の破断（図20のLA、LB）が抑制されると、梁の下フランジが接合された部位から被接合板表面に発生したき裂は被接合板の板厚方向に進展する（図20のLD）。

板厚方向と直交する方向の破断（図20のLA、LB）が抑制されない場合は、き裂が板厚方向と直交する方向に進展する（図20のLA、LB）ため、梁の下フランジから作用する引張力を柱に伝達する経路の連続性が失われ、直ちに柱梁接合部の耐力が低下する。

本発明者らは、所定温度での、板厚方向とロール方向との関係を適切に制

御した柱用鋼材を被接合板として用いることにより、き裂は被接合板の板厚方向に進展する（図20のLD）ため、

（a）梁の下フランジから作用する引張力を柱に伝達する経路の連続性は失われないこと、

（b）き裂が進展する間も柱梁接合部の耐力は安定すること、
により、柱と梁との接合部におけるエネルギー吸収性能を高めることができることを見出した。

[0018] さらに、本発明者らは、被接合板の板厚方向の靱性が一般的な被接合板と比べて一定以上高いことに加え、板厚方向と直交する方向の靱性が板厚方向の靱性より高い場合に、き裂が被接合板の板厚方向に安定的に進展する（図20のLD）ことを見出した。すなわち、所定温度での、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーとロール方向のシャルピー吸収エネルギーとの関係を適切に制御した柱用鋼材を被接合板として用いることにより、梁の下フランジからの破壊を抑制することができ、上フランジの破壊により終局を迎えるまで、柱梁接合部の耐力は安定し、柱と梁との接合部におけるエネルギー吸収性能を維持することができる。

[0019] 本発明は上記知見に基づきなされたものである。以下、本発明の実施形態に係る鋼材が適用される柱梁接合構造を、図1から図18を参照しながら説明する。

[0020] [1. 建築物の構成]

[1-1. 柱梁接合構造の構成]

図1に示すように、柱梁接合構造1は、建築物2に用いられる。柱梁接合構造1は、柱11と、一对の梁211Bと、を備える。なお、柱梁接合構造1が備える梁211Bの数は限定されず、1本でもよいし、3本以上でもよい。

柱11は、柱用H形鋼（H形鋼）で構成された柱本体12を有する。柱本体12は、上下方向に沿って延びている。柱本体12は、一对の柱用フランジ16と、柱用ウェブ17と、を有する。柱用フランジ16は、後述する梁

が接合される被接合板である。すなわち、本実施形態のように、柱 11 が柱用 H 形鋼で構成された柱本体 12 を有する場合においては、柱用フランジ 16 が被接合板として機能する。

一对の柱用フランジ 16 及び柱用ウェブ 17 は、圧延鋼材で形成されていることが好ましい。

[0021] 一对の柱用フランジ 16 は、互いの板厚方向 S に対向するように配置されている。柱用ウェブ 17 は、一对の柱用フランジ 16 の間に配置されている。柱用ウェブ 17 は、一对の柱用フランジ 16 の幅方向 T の中心に、それぞれ接合されている。

[0022] 以下、柱用フランジ 16 の化学成分について説明する。尚、以下の説明において、含有量に関する％は質量％を意味する。

柱用フランジ 16 においては、 -20°C 又は 0°C における、板厚方向 S の靱性を確保することが重要である。そこで、本願においては、柱用フランジ 16 における S 含有量を 0.011% 以下に制御する。

一般的に、S は、鋼材中の Mn と結合して、不純物として鋼材に含有される元素である。S は、鋼材中の Mn 及び Ca と結合して MnS 及び CaS の介在物を形成し、鋼材を脆化させる作用を有する。これらの介在物は、圧延によって板厚方向 S に潰れることから、特に、板厚方向 S の靱性を劣化させる。従って、柱用フランジ 16 が含有する S 含有量を 0.011% 以下に制御することにより、柱用フランジ 16 の靱性を比較的高くすることができる。S 含有量は、 0.006% 以下であることが好ましく、 0.003% 以下であることが更に好ましい。

S 含有量は低いほど好ましいが、不可避免的に混入する S を 0.001% 以下に抑制することは脱硫工程での負荷が高く、製造コストの増大につながる。従って、S 含有量の下限値は 0.001% 超、又は、 0.002% 超に設定してもよい。

尚、従来、建築物の柱部材に用いる鋼材の S 含有量は、 $0.02\sim 0.03\%$ 程度である。本願においては、板厚方向 S の靱性を高めることがエネル

ギー吸収性能の向上に寄与するとの新たな知見に基づき、従来以上にS含有量を低減するという発想に至っている。S含有量を0.011%以下にまで低減する方策としては、例えば、製鋼段階において、脱硫方法を工夫することが挙げられる。具体的には、脱硫剤(CaO等)を用いて、転炉での精錬前に予備溶銑処理を行い、更に転炉や電炉で還元精錬を行うことで、S含有量を低減することができる。

尚、S含有量は、例えばJIS G 0320「鋼材の溶鋼分析方法」に準拠すると、

JIS G 1215-1「鉄分離硫酸バリウム重量法」、

JIS G 1215-2「クロマトグラフ分離硫酸バリウム重量法」、

JIS G 1215-3「硫化水素気化分離メチレンブルー吸光光度法」、

JIS G 1215-4「高周波誘導加熱燃焼-赤外線吸収法」

等を用いて測定することができる。

[0023] 本願において、柱用フランジ16の化学成分としては、上述のように、S含有量の制御が肝要である。他の元素については、柱の強度と溶接性が得られる範囲で適宜設定されればよい。

化学組成の一例としては、C:0.05~0.20%、Si:0.05~0.60%、Mn:0.50~2.00%、Ti:0.002~0.060%、Cu:0~0.50%、Ni:0~0.50%、Cr:0~0.40%、Mo:0~0.20%、Nb:0~0.10%、V:0~0.10%、Al:0~0.05%、B:0~0.10%、Ca:0~0.10%、W:0~0.50%、Zr:0~0.50%、P:0.035%以下、S:0.011%以下、N:0.10%以下、O:0.50%以下、であり、残部がFe及び不純物である化学組成が挙げられる。

[0024] また、VとNbについては、微量添加することでオーステナイトの再結晶を抑制して結晶粒を細粒化し、鋼材の強度と靱性を確保する効果がある。従って、特に鋼材の厚さが大きい場合(例えば25mm以上)に、V:0.005~0.10%、及び

Nb : 0.005 ~ 0.10%

の少なくとも一方を含有する化学組成であることがより好ましい。

[0025] また、上記の化学組成の範囲において、下記の式(1)から計算される炭素当量Ceqが0.26%以上0.48%以下であってもよい。

$$Ceq(\%) = \min(C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14, C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15) \dots (1)$$

ここで、上記(1)式中のC、Mn、Si、Ni、Cr、Mo、V、Cu、Bは質量%で表した各元素の鋼材中の含有量であり、含有しない元素の項には0を代入する。

すなわち、

$$C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 \text{ と } C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$$

の計算値のいずれか小さい値を炭素当量Ceq(%)とする。

前者の数式は、JIS (Japan Industrial Standards) で規定されている数式であり、後者の数式は、IIW (International Institute of Welding) で規定されている数式である。二つの数式から計算する値の最小値を炭素当量Ceqとして定め、この値を0.26%以上0.48%以下に制御することで、溶接熱影響部の最高硬さを抑制し、溶接熱影響部の靱性をより確実に確保することができる。

[0026] また、上記の化学組成の範囲において、下記の式(2)から計算される溶接割れ感受性組成PCMが0.14%以上0.29%以下であってもよい。

$$PCM(\%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \dots (2)$$

ここで、上記(2)式中のC、Mn、Si、Ni、Cr、Mo、V、Cu、Bは質量%で表した各元素の鋼材中の含有量であり、含有しない元素の項には0を代入する。

[0027] 本願においてC、Mn、Siは強度、靱性を両立させるために重要であり

、上記の式（２）から計算される溶接割れ感受性組成PCMは0.14%以上に設定されることが好ましい。

一方、溶接時の初層の割れを防止するためには、式（２）から計算される溶接割れ感受性組成PCMが0.29%以下に抑制することが好ましい。

[0028] 本実施形態において、柱11は、図22等にしたようなスチフナ203及びダブラープレート225を有さない構成としている。ただし、柱11は、補強を目的としてスチフナ203及びダブラープレート225の少なくとも一方を有する構成であってもよい。

[0029] 図1及び図2に示すように、梁211Bは、梁211の各構成における、一对の裏当て金213に代えて、一对の裏当て金21を有する。

図2に示すように、この例では、各梁用フランジ216における柱用フランジ16側の端部には、柱用フランジ16に近づくに従い漸次、下方に向かう斜面216aが形成されている。

[0030] 裏当て金21は、直方体である。各裏当て金21は、各梁用フランジ216（下フランジ216B）に下方から取り付けられている。なお、図1に示す例では上フランジ216Aにも裏当て金21が取り付けられているが、上フランジ216Aには裏当て金21が取り付けられなくてもよい。

溶接部218は、梁用フランジ216の斜面216aと柱用フランジ16との間に配置されている。裏当て金21は、梁用フランジ216（下フランジ216B）及び柱用フランジ16に、それぞれ溶接部218を介して接合されている。

このように、各梁用フランジ216は、柱本体12の柱用フランジ16に溶接部218を介してそれぞれ直接接合されている。

柱用フランジ16と裏当て金21との間の接触面には、溶接部218が僅かに溶け込むものの、形状的に応力の集中するスリット21bが形成される。

[0031] ここで、図1に示すように、柱用ウェブ17における、上下方向において梁211Bの範囲内の部分を、接合部パネル17aと規定する。

柱梁接合構造 1 において、柱 1 1 と一対の梁 2 1 1 B とは、接合部 2 3 で互いに接続されている。

[0032] [1 - 2. 柱用フランジの材料についての検討]

図 1 に示すように、例えば、一対の梁 2 1 1 B に、曲げモーメントである荷重 F 1 が作用すると、被接合板である柱用フランジ 1 6 に板厚方向 S に力が作用する。発明者等は、柱用フランジ 1 6 に、板厚方向 S の靱性が高い材料を用いることにより、荷重 F 1 が作用したときに接合部パネル 1 7 a がせん断変形し、それに伴い柱用フランジ 1 6 が曲げ変形を生じつつも板厚方向 S の荷重に抵抗し、荷重 F 1 によるエネルギーを吸収すると考えた。

なお、板厚方向 S の靱性が低い柱用フランジに板厚方向 S に力が作用すると、柱用フランジに、球根状剥離 (Divot fracture) が生じる虞がある。

[0033] 部材の靱性を測定する方法として、J I S Z 2 2 4 2 : 2 0 1 8 金属材料のシャルピー衝撃試験方法の規定 (以下では、単に J I S Z 2 2 4 2 という) が知られている。J I S Z 2 2 4 2 では、図 3 に示すシャルピー試験片 1 5 0 を用いて試験が行われる。シャルピー試験片 1 5 0 の軸線方向の長さは、5 5 m m である。シャルピー試験片 1 5 0 における、軸線方向に直交する断面形状は、1 0 m m × 1 0 m m の矩形状である。シャルピー試験片 1 5 0 において、軸線方向の中心の外面には、ノッチ 1 5 1 が形成されている。ノッチ 1 5 1 は、軸線方向に直交する平面 S 1 上に形成される。ノッチ 1 5 1 は、深さ 2 m m の V ノッチである。ノッチ 1 5 1 は、シャルピー試験片 1 5 0 におけるこの深さ方向に、部分的に形成されている。

ノッチ 1 5 1 は、軸線方向に直交する方向に延び、シャルピー試験片 1 5 0 の全幅にわたって形成されている。

[0034] 図 4 を用いて、柱用フランジ 1 6 等の圧延鋼材 1 5 5 からシャルピー試験片 1 5 0 を採取する際の試験片及びノッチの向きについて説明する。なお、図 4 では、シャルピー試験片 1 5 0 を、後述するノッチ 1 5 1 の形状も含めて模式的に示している。

圧延鋼材 1 5 5 は、圧延機で、鋼を、板厚方向 (Thickness Direction) S

に薄くしながら、ロール方向 (Rolled Direction) L に延ばして製造される。ここで、板厚方向 S 及びロール方向 L にそれぞれ直交する方向を、幅方向 (Width Direction) T という。ロール方向 L 及び幅方向 T は、それぞれ板厚直交方向 (板厚方向 S に直交する方向) である。

例えば、ノッチ 151 が形成される平面 S1 が板厚方向 S に直交し、ノッチ 151 の深さ方向が幅方向 T に平行なシャルピー試験片 150 を、「S-T」又は「シャルピー試験片 150_{ST}」と表記する。

JIS G 0416 では、ノッチ 151 が形成される平面 S1 が、ロール方向 L 又は幅方向 T に直交するシャルピー試験片 150_{LS}, 150_{LT}, 150_{TS}, 150_{TL} が用いられる。ノッチ 151 が形成される平面 S1 が、板厚方向 S に直交するシャルピー試験片 150_{ST}, 150_{SL} を用いたシャルピー衝撃試験は、用いるシャルピー試験片 150 の採取手段以外は、JIS Z 2242 の手順で行われる。

[0035] 図 5 に、柱用フランジ 16 からシャルピー試験片 150_{SL} を採取する手順を示す。ここで、柱用フランジ 16 の板厚を、 t_1 (mm) と規定する。柱用フランジ 16 の板厚方向 S を向く面であって、後述する延長棒 (extending bar) 156 が接合される面を、面 16a と言う。シャルピー試験片 150_{SL} のノッチ 151 と面 16a との板厚方向 S の距離を、 t_2 (mm) と規定する。

[0036] 柱用フランジ 16 の面 16a に、円柱状の延長棒 156 を、摩擦圧接接合により接合する。摩擦圧接接合により接合するのは、柱用フランジ 16 と延長棒 156 との接合部に形成される熱影響部 (HAZ: Heat-Affected Zone) を、極力狭い範囲に抑えるためである。これにより、シャルピー試験片 150 のノッチ 151 に熱影響が生じない形で、シャルピー試験片 150 を製作することができる。

このとき、延長棒 156 の軸線方向が、板厚方向 S に沿うように配置する。例えば、延長棒 156 の長さは 120 mm であり、延長棒 156 の径は 30 mm である。延長棒 156 を形成する材料は、柱用フランジ 16 を形成す

る材料と同一であることが好ましい。

摩擦圧接接合は、延長棒 156 の全断面が柱用フランジ 16 の面 16a に接合されるように実施する。

[0037] 例えば、板厚 t_1 が 40 mm 以下の場合には、距離 t_2 は $(t_1 / 4)$ とする。板厚 t_1 が 40 mm を超える場合には、距離 t_2 は 10 mm とする。柱用フランジ 16 と延長棒 156 との接合部には、熱影響部が、狭い範囲ではあるが形成されるため、板厚 t_1 に応じて、距離 t_2 を前記のように設定することが好ましい。

例えば、柱用フランジ 16 の板厚 t_1 は、19 mm 以上である。

[0038] 一般的に、JIS Z 2242 で測定されるシャルピー吸収エネルギーが大きくなるほど、靱性が高くなる。

[0039] 図 6 に、ノッチ 151 が形成される平面 S1 がロール方向 L に直交するシャルピー試験片 150_{LT} を用いた、JIS Z 2242 による試験結果を示す。図 6 において、横軸はシャルピー試験片 150_{LT} の温度 (°C) を表し、縦軸はシャルピー吸収エネルギー (J) を表す。以下では、ノッチ 151 が形成される平面 S1 がロール方向 L または幅方向 T に直交するシャルピー試験片 150_{LS}, 150_{LT}, 150_{TS}, 150_{TL} によるシャルピー吸収エネルギーを、ロール方向 L のシャルピー吸収エネルギー $v E_{(L, T)}$ と言う。

[0040] 白丸印は、柱用フランジ 16 に用いる高靱性鋼材による結果を表す。実線による線 L1 は、白丸印が表す結果を近似した曲線を表す。白三角印は、比較となる従来から柱用フランジ 16 に使用されている一般的な鋼材（以下では、従来鋼材と言う）による結果を表す。点線による線 L2 は、白三角印が表す結果を近似した曲線を表す。

線 L3 は、Eurocodes 及び AISC (American Institute of Steel Construction: 米国鋼構造協会) に基づく必要性能を表す。必要性能は、 -21°C から -20°C において、シャルピー吸収エネルギーが 27 J 以上となることである。

[0041] 高靱性鋼材及び従来鋼材のいずれにおいても、温度が高くなるのに従い、

シャルピー吸収エネルギーが大きくなった。温度によらず、高靱性鋼材のシャルピー吸収エネルギーは、従来鋼材のシャルピー吸収エネルギー以上となったが、 -20°C 及び 0°C におけるシャルピー吸収エネルギーの差は僅少であった。

-60°C から 80°C において、高靱性鋼材及び従来鋼材のいずれのシャルピー吸収エネルギーも、Eurocodes及びAISCに基づく必要性能を満たした。

[0042] ここで、測定した、高靱性鋼材のJIS Z 2242に基づく、 -20°C における、ロール方向Lのシャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(L,T)}$ を、図6中に、点 $P_{-20(L,T)}$ として示す。高靱性鋼材のJIS Z 2242に基づく、 0°C における、ロール方向Lのシャルピー吸収エネルギー $vE_{0(L,T)}$ を、図6中に、点 $P_{0(L,T)}$ として示す。

[0043] 図7に、ノッチ151が形成される平面S1が板厚方向Sに直交するシャルピー試験片 150_{SL} を用いた、JIS Z 2242による試験結果を示す。軸、凡例、及び線L1, L2の意味は、図6と同一である。シャルピー試験片 150_{SL} の場合には、Eurocodes及びAISCに必要性能は規定されていない。

以下では、ノッチ151が形成される平面S1が板厚方向Sに直交するシャルピー試験片 150_{ST} , 150_{SL} もしくはこれらを板厚方向Sと平行な軸周りに回転した位置で採取したシャルピー試験片から得られるJIS Z 2242に基づくシャルピー吸収エネルギーを総称して、「板厚方向のシャルピー吸収エネルギー」と呼び、 $vE_{(S)}$ と表記する。さらに、シャルピー試験温度 $T^{\circ}\text{C}$ における板厚方向Sのシャルピー吸収エネルギーを、 $vE_{T(S)}$ と表記する。すなわち、シャルピー試験温度 0°C における板厚方向Sのシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(S)}$ 、シャルピー試験温度 -20°C における板厚方向Sのシャルピー吸収エネルギーを、 $vE_{-20(S)}$ と表記する。

シャルピー試験片 150_{SL} の場合でも、シャルピー試験片 150_{LT} と同様の傾向が視られた。さらに、シャルピー試験片 150_{SL} の場合には、高靱性鋼材のシャルピー吸収エネルギーと従来鋼材のシャルピー吸収エネルギーと

の差が大きくなった。

さらに、後述する柱梁接合構造の実験により、シャルピー試験片 150_{LT} による $vE_{-20(L,T)}$ 及び $vE_{0(L,T)}$ が従来鋼材と大差ない鋼材であっても、接合構造のエネルギー吸収性能に大きな差が生じる場合があることがわかった。この差は、従来着目されていなかったシャルピー試験片 150_{SL} による $vE_{(S)}$ の差に新たに着目することで、説明できることがわかった。すなわち、 $vE_{(S)}$ の値に優れる鋼材を用いることで、接合構造のエネルギー吸収性能を有意に向上できることがわかった。

[0044] ここで、測定した、高靱性鋼材の JIS Z 2242 に基づく、 -20°C における、板厚方向 S のシャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ を、図 7 中に、点 $P_{-20(S)}$ として示す。高靱性鋼材の JIS Z 2242 に基づく、 0°C における、板厚方向 S のシャルピー吸収エネルギー $vE_{0(S)}$ を、図 7 中に、点 $P_{0(S)}$ として示す。

シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ は、35 J 以上である。シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ は、47 J 以上であることが好ましい。

シャルピー吸収エネルギー $vE_{0(S)}$ は、47 J 以上である。シャルピー吸収エネルギー $vE_{0(S)}$ は、70 J 以上であることが好ましい。

[0045] -20°C における、シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(L,T)}$ 及びシャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ が、(6) 式を満たすことが好ましい。

$$vE_{-20(S)} \geq 0.5 \times vE_{-20(L,T)} \quad \cdots (6)$$

すなわち、 -20°C における、シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ に対応する柱用フランジ 16 の板厚方向 S の靱性が、シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(L,T)}$ に対応する柱用フランジ 16 のロール方向 L の靱性に対して一定の割合以上高いことが好ましい。

また、 0°C における、シャルピー吸収エネルギー $vE_{0(L,T)}$ 及びシャルピー吸収エネルギー $vE_{0(S)}$ が、(7) 式を満たすことが好ましい。

$$vE_{0(S)} \geq 0.5 \times vE_{0(L,T)} \quad \cdots (7)$$

すなわち、 0°C における、シャルピー吸収エネルギー $vE_{0(S)}$ に対応する

柱用フランジ 16 の板厚方向 S の靱性が、シャルピー吸収エネルギー $v E_{0(L, T)}$ に対応する柱用フランジ 16 のロール方向 L の靱性に対して一定の割合以上高いことが好ましい。

[0046] 更に、 -20°C における、シャルピー吸収エネルギー $v E_{-20(L, T)}$ 及びシャルピー吸収エネルギー $v E_{-20(S)}$ が、(6') 式を満たすことが好ましい。

$$v E_{-20(L, T)} \geq v E_{-20(S)} \quad \cdots (6')$$

すなわち、 -20°C における、シャルピー吸収エネルギー $v E_{-20(L, T)}$ に対応する柱用フランジ 16 のロール方向 L の靱性が、シャルピー吸収エネルギー $v E_{-20(S)}$ に対応する柱用フランジ 16 の板厚方向 S の靱性に対して同等以上になることが好ましい。

また、 0°C における、シャルピー吸収エネルギー $v E_{0(L, T)}$ 及びシャルピー吸収エネルギー $v E_{0(S)}$ が、(7') 式を満たすことが好ましい。

$$v E_{0(L, T)} \geq v E_{0(S)} \quad \cdots (7')$$

すなわち、 0°C における、シャルピー吸収エネルギー $v E_{0(L, T)}$ に対応する柱用フランジ 16 のロール方向 L の靱性が、シャルピー吸収エネルギー $v E_{0(S)}$ に対応する柱用フランジ 16 の板厚方向 S の靱性に対して同等以上になることが好ましい。

[0047] このように柱用フランジ 16 のロール方向 L の靱性が柱用フランジ 16 の板厚方向 S の靱性に対して同等以上となることで、板厚方向 S の破壊を抑制することでき裂が板厚貫通方向に進展する場合についてもき裂の進展が安定的となり延性的な破壊性状となり、よりエネルギー吸収性能が高い接合部となる。

[0048] 本願の鋼材は、柱梁接合構造における柱本体の被接合板としての用途（適用、使用）として特徴を有する。

柱梁接合構造は、柱本体を有する柱と、一对の梁用フランジを有する梁用 H 形鋼を有する梁と、を備える柱梁接合構造である。

柱本体の被接合板は、溶接部を介して一对の梁用フランジに直接接合され

る部位である。

上述した鋼材、すなわち、S含有量が0.011質量%以下であり、JIS Z 2242:2018の規定に基づく、 -20°C における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(L,T)}$ と定義し、 0°C における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(L,T)}$ と定義したとき、下記の式(1A)及び式(1B)と、下記の式(2A)及び式(2B)との少なくとも一方を満たす鋼材を、柱梁接合構造における柱本体の被接合板として用いることにより、柱と梁との接合部におけるエネルギー吸収性能を高めることができる。

$$vE_{-20(S)} \geq 35 \text{ J} \cdots (1A)$$

$$vE_{-20(L,T)} \geq vE_{-20(S)} \cdots (1B)$$

$$vE_{0(S)} \geq 47 \text{ J} \cdots (2A)$$

$$vE_{0(L,T)} \geq vE_{0(S)} \cdots (2B)$$

[0049] [1-5. 建築物の他の構成]

建築物2は、図示しない床スラブ等を備えている。床スラブは、柱梁接合構造1の梁211B等により、床スラブの下方から支持されている。建築物2は、床スラブ等により上下方向に仕切られた複数の層(階)を有してもよい。

例えば、建築物2は、床スラブ上に、机や書類棚等の設備を置いて使用される。

[0050] [2. 高靱性鋼材の製造方法]

高靱性鋼材の原板となるスラブは、S含有量を0.011質量%以下にまで低減する必要がある。例えば、脱硫剤(CaO等)を用いて、転炉での精錬前に予備溶銑処理を行い、更に必要に応じて転炉や電炉で還元精錬を行った上で連続 casting してスラブを製造する。

高靱性鋼材は、上述の化学組成を有する casting スラブを $1050 \sim 1350^{\circ}\text{C}$ に加熱し、仕上圧延を $600 \sim 950^{\circ}\text{C}$ で行うことにより得ることができる。

。

また、仕上圧延に引き続いて、加速冷却を行い、 100°C 以上 600°C 以下で加速冷却を停止することが好ましい。

[0051] [3. 柱梁接合構造のエネルギー吸収性能の検討実験]

図8に示す実験装置160に柱梁接合構造1を取付けて、実験を行った。以下では、柱梁接合構造1が備える一対の梁211Bのうち、一方を梁211BAと言い、他方を梁211BBと言う場合がある。なお、柱梁接合構造1は、実際の建物における配置から横倒しした状態で設置されており、柱と梁の構面が水平面にくるように設置されている。

実験装置160は、反力壁接続治具161と、梁用ジャッキ162A、162Bと、柱用ジャッキ163と、横補剛治具164と、軸力フレーム165と、パンタグラフ治具166A、166Bと、反力治具167と、を備える。

[0052] 反力壁接続治具161は、実験場の反力壁に取り付けられている。反力壁接続治具161には、梁用ジャッキ162A、162B、及び軸力フレーム165が固定されている。柱用ジャッキ163は、軸力フレーム165の反力壁接続治具161が接合されている端部とは反対側の端部に固定されている。

梁用ジャッキ162Aは、梁211BAにおける柱本体12に接合されている端部とは反対側の端部を、上方及び下方に交互に移動させる。梁用ジャッキ162Bは、梁211BBにおける柱本体12に接合されている端部とは反対側の端部を、下方及び上方に交互に移動させる。

柱用ジャッキ163は、柱本体12の材軸方向に圧縮軸力を作用させる。

横補剛治具164とパンタグラフ治具166A、166Bは、実験場の反力床に取り付けられ、試験体の柱本体12及び梁211Bが構面外に変形するのを抑制する。

反力治具167の両端は、それぞれ柱本体12の下端部と反力壁接続治具161に接合されている。反力治具167は、梁用ジャッキ162A、16

2 Bからの力により柱に作用するせん断力を反力壁接続治具 1 6 1 に伝達する。

[0053] 柱梁接合構造 1 の諸元は、表 1 に示す通りである。

[0054] [表1]

柱本体				梁(梁用H形鋼)			
断面寸法	長さ mm	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	断面寸法	長さ mm	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²
H-498x432x45x70	4550	379	546	H-650x300x16x25	8000	380	513

[0055] 表 1 に示すように、柱本体 1 2 の断面寸法は、H-4 9 8×4 3 2×4 5×7 0とした。柱本体 1 2 の長さは、4 5 5 0 mmとした。柱本体 1 2 の降伏強度は、3 7 9 N／mm²とし、引張強度は5 4 6 N／mm²とした。

[0056] 表 1 に示すように、梁用H形鋼 2 1 2 の断面寸法は、H-6 5 0×3 0 0×1 6×2 5とした。梁用H形鋼 2 1 2 の長さ（梁用ジャッキ 1 6 2 Aと梁用ジャッキ 1 6 2 Bの距離）は、8 0 0 0 mmとした。梁用H形鋼 2 1 2 の降伏強度は、3 8 0 N／mm²とし、引張強度は5 1 3 N／mm²とした。

[0057] 柱本体 1 2 は図 6 及び図 7 に示す高靱性鋼材であり、化学組成は、表 2 に示す成分設計とした。梁用H形鋼 2 1 2 は、一般的な鋼材であるJIS G 3136 SN490Bを用いた。

[0058] [表2]

(mass%)										
	C	Si	Mn	T.Al	P	S	N	他	残部	(1)式
実験例 1	0.16	0.3	1.4	0.032	0.017	0.004	0.004	Cu=0.012 Ni=0.012 Cr=0.022 Mo=0.006 V=0.042 Ti=0.001 Ca=0.003	Fe+ 不純物	0.41
										(2)式
										0.251

[0059] 実験装置 1 6 0 は、梁用ジャッキ 1 6 2 Aにより梁 2 1 1 B Aの端部を上方に移動させると同時に、梁用ジャッキ 1 6 2 Bにより梁 2 1 1 B Bの端部を下方に移動させる、第 1 移動状態にする。また、実験装置 1 6 0 は、梁用ジャッキ 1 6 2 Aにより梁 2 1 1 B Aの端部を下方に移動させると同時に、

梁用ジャッキ 1 6 2 B により梁 2 1 1 B B の端部を上方に移動させる、第 2 移動状態にする。実験装置 1 6 0 は、第 1 移動状態及び第 2 移動状態を 1 サイクルとして、交互に繰り返すことにより、柱梁接合構造 1 が逆対称曲げとなる荷重を作用させる。

構成が柱梁接合構造 1 として互いに同一である、サンプル 1 及び 2 を用意した。サンプル 1 に対しては、図 9 に示す載荷履歴 1 で荷重を作用させ、サンプル 2 に対しては、図 1 0 に示す載荷履歴 2 で荷重を作用させた。

[0060] 図 9 及び図 1 0 において、横軸はサイクルを表し、縦軸は柱梁接合構造 1 の層間変形角 (rad) を表す。

載荷履歴 1 は、米国設計規準 ANSI/AISC341-16 で定められる耐震構造接合部の性能確認実験の標準載荷履歴で用いられた載荷履歴である。AISC は、米国の鋼構造に関する基準を制定する団体であり、鋼構造耐震設計規定等を発行している。載荷履歴 2 は、耐震構造検討プロジェクト SAC で用いられた載荷履歴である。SAC は、ノースリッジ地震で発生した鋼構造の溶接接合部破壊の対策検討を目的に組織されたプロジェクトである。

サンプル 1 及び 2 のいずれにおいても、柱用ジャッキ 1 6 3 により、柱本体 1 2 に、降伏軸力の 2 0 % という、一定の圧縮軸力 (5 0 0 0 k N) を作用させた。柱本体 1 2 に一定の圧縮軸力を作用させつつ、一対の梁 2 1 1 B に複数サイクルの荷重を作用させた。

[0061] ここで、既往の研究における接合部の実験結果を、図 1 1 及び図 1 2 に示す。図 1 1、図 1 2、及び後述する図 1 3 において、横軸は層間変形角 (rad) を表し、縦軸は荷重である層せん断力 (k N) を表す。

図 1 1 は、米国緊急事態管理庁 (Federal Emergency Management Agency。以下では、単に FEMA という) の 1997 年の実験結果を表す。この実験で用いられた接合部は、プレノースリッジ接合部である。

図 1 2 は、Shin の文献 (以下では、単に Shin とも言う。〔 7. 〕 参照) による実験結果を表す。この実験で用いられた接合部は、ポストノースリッジ接合部である。

図 1 3 は、本試験のサンプル 1（実施例）による結果を表す。

図 1 1 から図 1 3 の横軸の範囲は互いに同一であり、図 1 1 から図 1 3 の縦軸の範囲は互いに同一である。縦軸の層せん断力は、試験体の断面寸法等に応じて変わるため、直接比較することはできない。一方で、横軸の層間変形角は、柱梁接合構造の変形性能を表す無次元量である。層間変形角が大きな領域まで層せん断力を保持している場合の方が、高い変形性能を有していることを意味する。図 1 3 の層間変形角は最大で 0.08rad と、図 1 1 及び図 1 2 の最大層間変形角を大きく上回り、高い変形性能を有していることが分かった。

尚、同様の試験を、S含有量が0.019質量%の成分系の鋼材、及び、S含有量が0.025質量%の鋼材でそれぞれ行い、層間変形角はそれぞれ0.03radと0.07radであったとの報告がある（Shin, 2017）。これはS含有量が高いことにより板厚方向の靱性が低いためであると推察される。このように、S含有量が高い場合には、高い変形性能を発揮することができないことがわかる。

[0062] [表3]

	(mass%)					
	C	Si	Mn	P	S	N
実験例 2	0.08	0.26	1.35	0.016	0.019	NA
実験例 3	0.08	0.24	1.36	0.009	0.025	NA

[0063] また、図 1 1 から図 1 3 において、実験結果の曲線で囲まれた領域は柱梁接合構造で吸収されたエネルギーを表し、各载荷サイクルにおける吸収エネルギーの累積が柱梁接合構造のエネルギー吸収性能となる。図 1 3 は、図 1 1 及び図 1 2 に比べてより多くのサイクルにおいて層せん断力を保持しているため、累積の吸収エネルギーが極めて大きい。このため、図 1 3 に示す柱梁接合構造 1 の接合部 2 3 は、FEMA及びShinの接合部よりもエネルギー吸収性能が高いことが分かった。

[0064] 図 1 4 に、実施例の柱梁接合構造 1、及びFEMA等の従来の接合部を比較した結果を示す。図 1 4 中には、従来の接合部として、Chi & Uangの文献（以

下では、単にChi & Uangとも言う。〔7.〕参照）、Riclesの文献（以下では、単にRiclesとも言う。〔7.〕参照）、及びRahiminia & Nambaの文献（以下では、単にRahiminia & Nambaとも言う。〔7.〕参照）の結果も示した。

[0065] 図14の上部には、各接合部に対する変形性能として、層間変形角（rad）を示す。

図14中には、米国設計規準AISC341-18の必要性能（0.04）を実線による線L5で表す。

米国設計規準AISC341-18では、載荷履歴1による荷重を想定している。米国設計規準AISC341-18では、層間変形角が0.04 radになったときに、全塑性耐力の80%以上の耐力が残存することを、耐震構造用の接合部の必要性能として定めている。

[0066] 図14中に、実施例の柱梁接合構造1等の試験結果を示す。

耐震性能の欄において、「×」（bad）は耐震性能が悪いことを意味し、「○」（good）は耐震性能が良いことを意味し、「◎」（very good）は耐震性能が非常に良いことを意味する。

[0067] 実施例の柱梁接合構造1の接合部23は、線L5で表される米国設計規準AISC341-18の必要性能を大幅に超過している。サンプル1及び2は、ほぼ同様の破壊形式を示した。

これにより、実施例の柱梁接合構造1の接合部23が、今回の試験条件において、耐震構造の接合部の必要性能を安定して上回ることを示した。

なお、実施例の柱梁接合構造1の接合部23の終局状態は、非特許文献1のType Dに類似する。すなわち、柱用フランジ16の表面に発生したき裂が、板厚方向Sに貫通する破壊形態を示した。

[0068] しかし、図15に示すように、き裂LFの発生進展は上フランジ216A側に生じており、本発明の鋼材を柱用フランジ16に用いることで、下フランジ216Bが起点となる破壊が抑制されていたことを示している。

[0069] また、現在、設計で想定する規模を超える極大地震による倒壊に対する余

裕度（リダンダンシー）や、地震後の残存性能の評価（補修の可否判定）の研究が進んでいる。この中で、実施例の柱梁接合構造 1 の接合部 2 3 の性能は、これらの視点で高い優位性を持つことが分かった。

[0070] [5. 本実施形態の効果]

[0071] JIS Z 2242 に基づく、 -20°C における、柱用フランジ 1 6 の板厚方向 S のシャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ が、 35 J 以上である。従って、 -20°C における、柱用フランジ 1 6 の板厚方向 S の靱性が、一定以上高くなる。一般的に、柱用フランジの温度が高くなるのに従い柱用フランジの靱性が高くなる。柱用フランジ 1 6 が実際に使用される温度では靱性がさらに高くなるため、梁 2 1 1 B が有する梁用 H 形鋼 2 1 2 の一对の梁用フランジ 2 1 6 に、柱用フランジ 1 6 が溶接部 2 1 8 を介して直接接合された場合であっても、柱用フランジ 1 6 が板厚方向 S に破断するのを抑制することができる。

シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ 、 $vE_{-20(L,T)}$ が、(6) 式を満たす場合がある。この場合には、 -20°C における、シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(S)}$ に対応する柱用フランジ 1 6 の板厚方向 S の靱性が、シャルピー吸収エネルギー $vE_{-20(L,T)}$ に対応する柱用フランジ 1 6 のロール方向 L の靱性に対して一定の割合以上になる。このため、方向による柱用フランジ 1 6 の靱性の差が少なくなり、安定的な亀裂の進展を誘発することで延性的な破壊性状となり、よりエネルギー吸収性能が高い接合部になる。

[0072] JIS Z 2242 に基づく、 0°C における、柱用フランジ 1 6 の板厚方向 S のシャルピー吸収エネルギー $vE_{0(S)}$ が、 47 J 以上である。従って、 0°C における、柱用フランジ 1 6 の板厚方向 S の靱性が、一定以上高くなる。一般的に、柱用フランジの温度が高くなるのに従い柱用フランジの靱性が高くなる。柱用フランジ 1 6 が実際に使用される温度では靱性がさらに高くなるため、梁 2 1 1 B が有する梁用 H 形鋼 2 1 2 の一对の梁用フランジ 2 1 6 に、柱用フランジ 1 6 が溶接部 2 1 8 を介して直接接合された場合であっても、柱用フランジ 1 6 が板厚方向 S に破断するのを抑制することができる。

る。

シャルピー吸収エネルギー $v E_{0(S)}$, $v E_{0(L,T)}$ が、(7) 式を満たす場合がある。この場合には、0℃における、シャルピー吸収エネルギー $v E_{0(S)}$ に対応する柱用フランジ 16 の板厚方向 S の靱性が、シャルピー吸収エネルギー $v E_{0(L,T)}$ に対応する柱用フランジ 16 のロール方向 L の靱性に対して一定の割合以上になる。このため、方向による柱用フランジ 16 の靱性の差が少なくなり、安定的な亀裂の進展を誘発することで延性的な破壊性状となり、よりエネルギー吸収性能が高い接合部となる。

[0073] [6. その他]

以上、本発明の一実施形態について図面を参照して詳述したが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の構成の変更、組み合わせ、削除等も含まれる。

例えば、前記実施形態では、柱梁接合構造 1 は、裏当て金 21 を備えなくてもよい。

[0074] 図 16 に示す第 1 変形例の柱梁接合構造 1 A のように、柱 31 の柱本体 32 は、溶接組立箱形断面で構成されてもよい。

この例では、柱本体 32 は、一对の平板部（被接合板）33 A 及び一对の平板部 33 B を互いに溶接して構成されている。一对の平板部 33 A は、互いに対向するように配置されている。一对の平板部 33 B は、互いに対向するように配置されている。各平板部 33 B は、一对の平板部 33 A の端部にそれぞれ接合されている。

梁用 H 形鋼 212 の一对の梁用フランジ 216 は、各平板部 33 A に溶接部 218 を介してそれぞれ直接接合されている。一对の平板部 33 B は、梁 211 B の長手方向に沿って延びている。

[0075] 接合部パネル 33 B a は、一对の平板部 33 B における、上下方向において梁 211 B の範囲内の部分である。柱梁接合構造 1 A において、柱 31 と一对の梁 211 B とは、接合部 35 で互いに接続されている。

第 1 変形例の柱梁接合構造 1 A は、スチフナ 203 及びダブラープレート

225の少なくとも一方を有してもよい。

[0076] 図17に示す第2変形例の柱梁接合構造1Bのように、柱41の柱本体42は、鋼板を折り曲げて溶接することにより製造された角管鋼管で構成されてもよい。この場合、角管鋼管の平面部が被接合板として機能する。

[0077] 柱用H形鋼及び梁用H形鋼は、JIS G 3192により規定されるH形鋼に限定されず、軸線方向に直交する断面がH形の鋼材でもよい。

また、柱用H形鋼の代わりに、柱用H形鋼と、その柱用ウェブの両面に接合された一対のCT形鋼とにより構成されたクロスH形鋼を用いてもよい。すなわち、図18に示す第3変形例の柱梁接合構造1Cのように、柱51の柱本体52は、柱用H形鋼521と、その柱用ウェブの両面に接合された一対のCT形鋼522とにより構成されたクロスH形鋼を用いてもよい。この場合においては、柱用H形鋼521の一対のフランジ部521Aが、被接合板として機能する。

H形鋼の代わりに、鋼板を溶接して形成したクロスH形鋼を用いてもよい。また、柱用H形鋼の代わりに、円形鋼管、円形や角形のCFTの場合でも、同様の効果が期待できる。尚、円形鋼管の場合、周面部が被接合板として機能する。

[0078] [7. 文献一覧]

Shin : Shin, S. 2017, “Experimental and analytical investigation of panel zone behavior in steel moment frames”, PhD Thesis, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Texas at Austin, TX, USA.

Chi & Uang : Chi, B., and C.-M. Uang. 2002, “Cyclic response and design recommendations of reduced beam section moment connections with deep columns”, Journal of Structural Engineering, 128 (4): 464-473, American Society of Civil Engineers.

Richles : Richles, J. M., C. Mao, L.-W. Lu, and J. W. Fisher. 2000, Development and evaluation of improved details for ductile welded un

reinforced flange connections, SAC Background Document, Report No. SAC/BD-00/24, SAC Joint Venture, Sacramento, CA, USA.

Rahiminia & Namba : Rahiminia, F., and H. Namba, 2013, "Joint panel in steel moment connections, part 1: experimental tests results", Journal of Constructional Steel Research, 89: 272-283.

産業上の利用可能性

[0079] 本発明によれば、エネルギー吸収性能が高い接合部を有する柱梁接合構造における柱本体の被接合板に用いる鋼材及び鋼材の用途を提供することができる。

符号の説明

[0080] 1, 1 A, 1 B 柱梁接合構造
1 1, 3 1, 4 1 柱
1 2, 3 2, 4 2 柱本体
1 6 柱用フランジ（被接合板）
1 7 柱用ウェブ
2 1 裏当て金
3 3 A 平板部（被接合板）
2 1 1 B 梁
2 1 2 梁用H形鋼
2 1 6 梁用フランジ
2 1 6 B 下フランジ
2 1 8 溶接部
S 板厚方向

請求の範囲

[請求項1]

柱本体を有する柱と、
一対の梁用フランジを有する梁用H形鋼を有する梁と、
を備える柱梁接合構造において、溶接部を介して前記一対の梁用フランジに直接接合される前記柱本体の被接合板に用いる鋼材であって、
S含有量が0.011質量%以下であり、
JIS Z 2242:2018の規定に基づく、
−20℃における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(L,T)}$ と定義し、
0℃における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(L,T)}$ と定義したとき、
下記の式(1A)及び式(1B)と、下記の式(2A)及び式(2B)との少なくとも一方を満たす、鋼材。
$$vE_{-20(S)} \geq 35 J \cdots (1A)$$
$$vE_{-20(L,T)} \geq vE_{-20(S)} \cdots (1B)$$
$$vE_{0(S)} \geq 47 J \cdots (2A)$$
$$vE_{0(L,T)} \geq vE_{0(S)} \cdots (2B)$$

[請求項2]

質量%で、
 $V: 0.005 \sim 0.10\%$ 、
 $Nb: 0.005 \sim 0.10\%$
の少なくとも一方を含有する、請求項1に記載の鋼材。

[請求項3]

柱本体を有する柱と、
一対の梁用フランジを有する梁用H形鋼を有する梁と、
を備える柱梁接合構造において、溶接部を介して前記一対の梁用フランジに直接接合される前記柱本体の被接合板としての鋼材の用途であって、

前記鋼材は、

S含有量が0.011質量%以下であり、

JIS Z 2242:2018の規定に基づく、

−20℃における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{-20(L,T)}$ と定義し、

0℃における前記被接合板の、板厚方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(S)}$ 、ロール方向のシャルピー吸収エネルギーを $vE_{0(L,T)}$ と定義したとき、

下記の式(1A)及び式(1B)と、下記の式(2A)及び式(2B)との少なくとも一方を満たすことを特徴とする鋼材の用途。

$$vE_{-20(S)} \geq 35 \text{ J} \cdots (1A)$$

$$vE_{-20(L,T)} \geq vE_{-20(S)} \cdots (1B)$$

$$vE_{0(S)} \geq 47 \text{ J} \cdots (2A)$$

$$vE_{0(L,T)} \geq vE_{0(S)} \cdots (2B)$$