

機関番号：51303

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760445

研究課題名（和文） 低炭素性・透明性の高い撃込み鉋による接合工法の開発

研究課題名（英文） High-transparent and Low-carbonaceous Connection Method of Powder Actuated Fastener

研究代表者

李晩在（LEE MANJAE）

仙台高等専門学校・建築デザイン学科・准教授

研究者番号：60442448

研究成果の概要（和文）：本研究で撃込み鉋接合と溶接接合を施した鋼材の引張特性を比較した結果、降伏応力度と最大応力度の違いはほぼ無いが、撃込み鉋接合の塑性変形能力は溶接接合より乏しいことは明らかになった。撃込み鉋接合の引剥し耐力及びせん断耐力はデッキプレート厚さの影響を最も受けており、根入れ深さや鋼種の影響をあまり受けないことが分かった。

研究成果の概要（英文）：In this study, there was almost no difference in the yield stress and ultimate stress of powder actuated fastener (PAF) and welding joint. However, it was clarified that the plastic deformation of PAF was less than that of welding joint. Pull-out strength and shear strength of PAF were most influenced by the thickness of steel deck and not by the penetration depth of PAF or steel type.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

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：撃込み鉋，シアコネクタ，合成梁，引張特性，破壊形状，組織観察

## 1. 研究開始当初の背景

火薬の爆発を利用する撃込み鉋接合は、電源は不要で天候に左右されないため、既往の溶接接合より省施工性、高安全性、工期短縮の可能な工法である。最近の建築現場では、上記のような省施工性の高い撃込み鉋接合の需要増加と適用範囲の拡大は明らかに期待されている。

## 2. 研究の目的

（1）撃込み鉋接合と溶接接合の接合性能の比較を行い、二つの接合要素が構造用鋼材の引張特性に与える影響を比較検討すること

を目的とする。

（2）撃込み鉋接合部位の硬さ試験及び組織観察を行い、撃込み鉋接合の接合メカニズムを明らかにすることを目的とする。

（3）鋼材とデッキプレートの接合に用いる撃込み鉋の引剥し試験とせん断試験を行い、撃込み鉋接合の接合性能を定量的に評価することを目的とする。

## 3. 研究の方法

（1）溶接接合（頭付きスタッド溶接）は試験体の中央部に1本を設置し、撃込み鉋接合用シアコネクタは2本を材軸と直角に設置し

て両側から単調引張载荷を行った。撃込み鋸接合と溶接接合の試験体幅は実際の鉄骨梁フランジ幅を想定した。

(2) 撃込み鋸接合の接合性能のメカニズム究明と信頼性向上を目的として、撃込み鋸接合界面のビッカース硬さ試験および光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡 (SEM) による組織観察を行った。

(3) 鋼材とデッキプレートに撃込み鋸接合を適用して、撃込み鋸接合部の引剥し実験とせん断実験を行った。鋼材には 6 mm 以下の軽量鉄骨の形鋼、平鋼、鋼管などを用い、デッキプレートには 1.2, 1.6 mm を用いた。

#### 4. 研究成果

(1) 撃込み鋸接合と溶接接合の接合要素を施した鋼材の引張試験結果、降伏応力度と最大応力度における撃込み鋸接合と頭付きスタッド溶接の違いはほとんど無いが、塑性変形能力は撃込み鋸接合が頭付きスタッド溶接に比較して乏しいことが明らかになった。(表 1, 図 1)

(2) 破断状況の分析結果、頭付きスタッド溶接は溶接部位を避けて破断線が形成されたが、撃込み鋸接合の破断線は撃込み鋸を通ることが判った。したがって、撃込み鋸接合は鋼材の破壊モードに関与することを念頭において使用しなければならない。(図 2, 3)

(3) ビッカース硬さ試験結果、撃込み鋸の主な固着原理は母材の残留応力による締付けであることが確認できた。(図 4)

(4) 光学顕微鏡観察結果、亜鉛メッキとローレット加工の施されている撃込み鋸側面で界面のはく離が発生していることと、鋼材は強加工を受けていることが明らかになった。また、はく離部とローレット加工による溝に亜鉛が溜まっていることから、鋼材と撃込み鋸は高速で衝突・変形し、撃込み鋸底部では爆発圧接が生じ、亜鉛はほとんど上部に吹き出されたと考えられる。(図 5)

(5) SEM 観察結果、撃込み鋸底面の鋼材との界面に亜鉛は検出されず、完全にクラッド化していることが明らかになった。そのため、撃込み鋸のせん断試験および撃込み鋸接合デッキプレートのせん断試験において、撃込み鋸が破断する場合でも撃込み鋸底面の界面の圧接状態は良好であり、強固な接合となっていると考えられる。(図 6)

(6) 撃込み鋸接合の引剥し耐力はデッキプレート厚さの影響を最も受けており、根入れ深さと鋼種の影響をあまり受けないことが分かった。最大引剥し耐力はデッキプレート

表 1 引張試験結果

	$\sigma_y$		$\sigma_u$		$\epsilon_u$		$\epsilon_e$	
	値	係数	値	係数	値	係数	値	係数
DC-12 -1	373	1.02	503	1.03	13.5	0.75	23.6	0.51
-2	358	0.98	483	0.99	13.6	0.75	22.8	0.50
-3	359	0.99	499	1.02	13.9	0.77	22.6	0.49
平均	363	1.00	495	1.01	13.6	0.76	23.0	0.50
HC-12 -1	366	1.01	494	1.01	17.8	0.99	46.5	1.01
-2	359	0.99	486	0.99	19.2	1.07	45.1	0.98
-3	367	1.01	490	1.00	17.0	0.94	46.4	1.01
平均	364	1.00	490	1.00	18.0	1.00	46.0	1.00
DC-19 -1	381	1.01	544	1.00	15.2	0.84	28.5	0.62
-2	376	1.00	544	1.00	15.1	0.84	29.7	0.64
-3	373	0.99	540	0.99	15.8	0.88	24.8	0.54
平均	377	1.00	542	1.00	15.4	0.85	27.7	0.60
HC-19 -1	374	0.99	543	1.00	17.9	1.04	44.0	0.97
-2	377	1.00	548	1.01	16.6	0.97	45.9	1.02
-3	377	1.00	544	1.00	17.0	0.99	45.6	1.01
平均	376	1.00	545	1.00	17.2	1.00	45.2	1.00

$\sigma_y$ :降伏応力度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_u$ :最大応力(N/mm<sup>2</sup>),  $\epsilon_u$ :最大応力時の歪度(%),  $\epsilon_e$ :破断歪度(%)

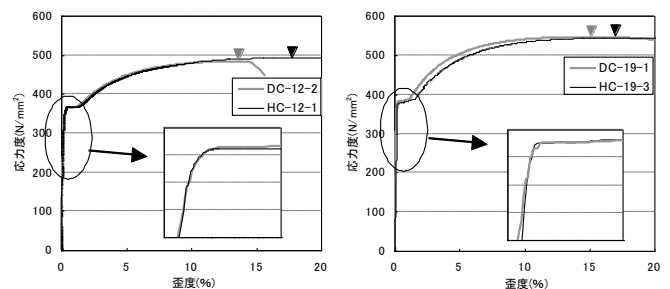


図 1 応力度 - 歪度関係

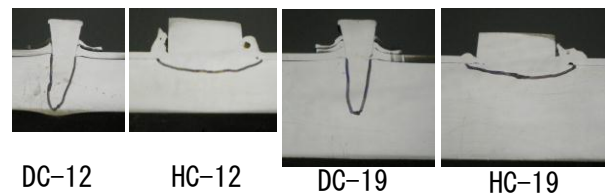


図 2 欠損部の断面

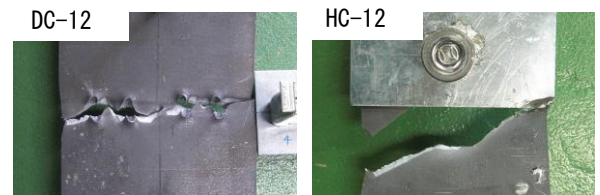


図 3 破断状況

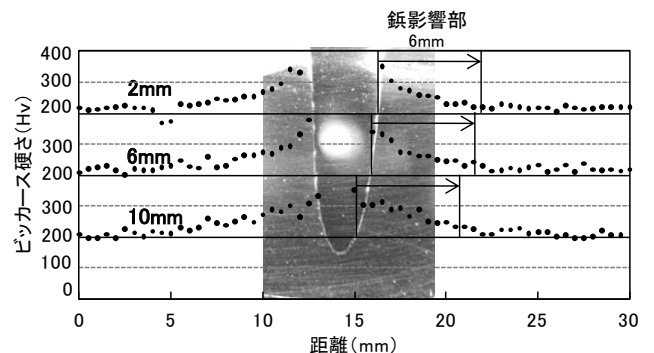


図 4 ビッカース硬さ試験結果 (HC 型)

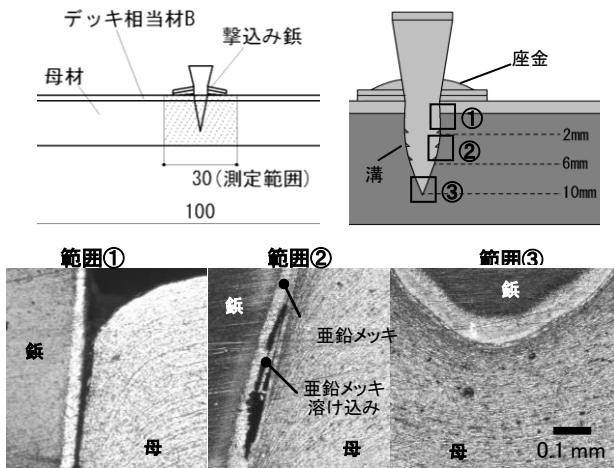


図5 光学顕微鏡写真

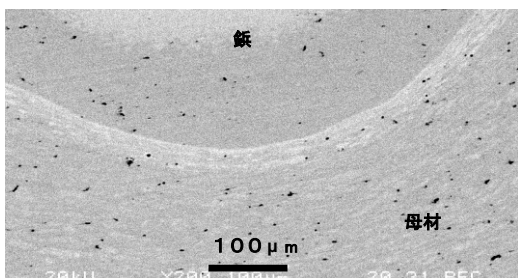


図6 SEM 観察画像

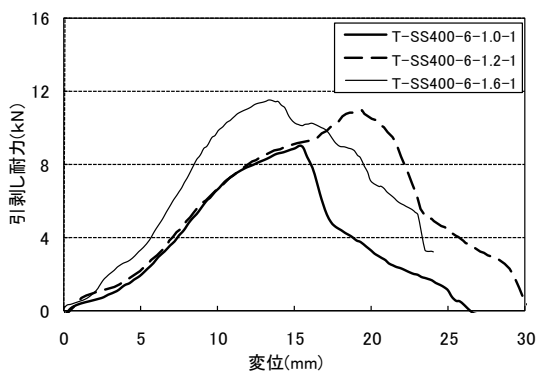


図7 引剥し耐力-変位

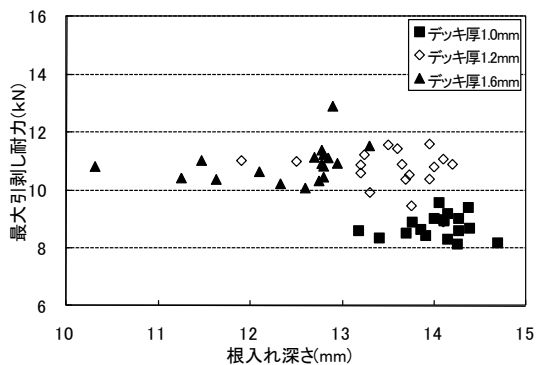


図8 最大引剥し耐力-根入れ深さ

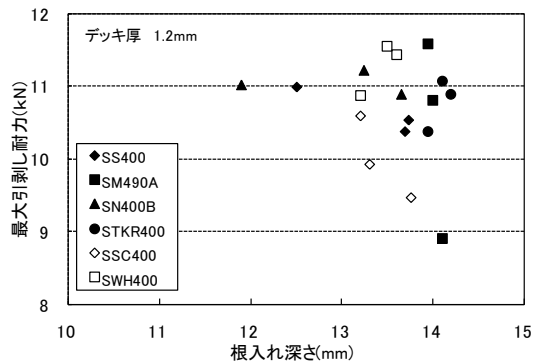


図9 最大引剥し耐力-根入れ深さ



A: デッキ破壊 B: 撃込み鉄の座金抜け

図10 最終破壊形状

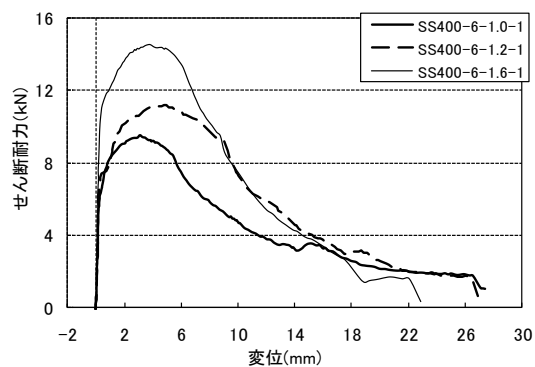


図11 せん断耐力-変位関係

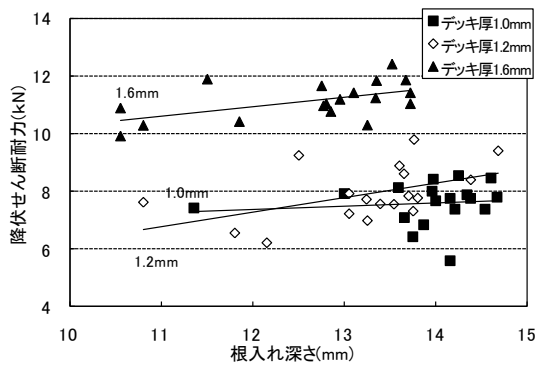


図12 降伏せん断耐力-根入れ深さ関係

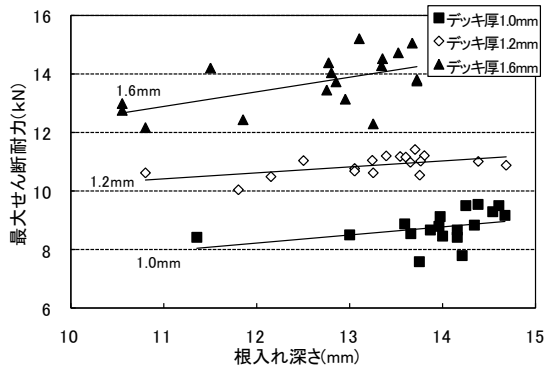
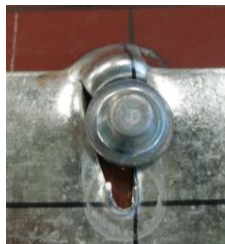


図 13 最大せん断耐力-根入れ深さ関係



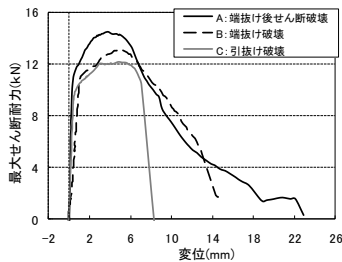
A: 端抜け後せん断破壊



B: 端抜け破壊



C: 釘引抜け破壊



せん断力-変位関係

図 14 最終破壊形状

厚さ 1.0mm に比べ、1.2 と 1.6mm で大きい値を示すが、1.2 と 1.6mm の差はあまりなかった。(図 7, 8, 9)

(7) 最終的な破壊形状はほとんどデッキプレートの破断であるが、一部で撃込み鉋の座金抜けが見られた。しかし、座金抜けの場合も最大引剥し耐力はあまり低下しないことが分かった。(図 10)

(8) 撃込み鉋接合のせん断耐力はデッキプレート厚さの影響を最も受けているが、鋼種の影響は受けないことが分かった。また、せん断耐力はデッキプレートが厚くなる程、根入れ深さが大きくなる程、大きい値を示した。(図 11, 12, 13)

(9) ほとんどの試験体でデッキプレートの端抜け後せん断破壊が見られたが、比較的デ

ッキプレートの厚い 1.6mm ではデッキの端抜け後、せん断破断、端抜け破断、撃込み鉋引抜けの 3 種類の破壊形状が現れた。(図 14)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 李晩在、小林剛、田川泰久、撃込み鉋の接合性能に関する研究-デッキプレート-せん断試験及び引剥し試験-、鋼構造年次論文報告集、査読有、18 巻、2010、pp.77-84
- ② 李晩在、小林剛、野口浩平、田川泰久、撃込み鉋を用いたシアコネクタの設置本数の違いによる力学特性、鋼構造年次論文報告集、査読有、17 巻、2009、pp.607-612
- ③ 李晩在、小林剛、田川泰久、シアコネクタ接合に用いる撃込み鉋のせん断試験と引抜試験、鋼構造年次論文報告集、査読有、17 巻、2009、pp.599-606

[学会発表] (計 10 件)

- ① Manjae Lee、Push-out Test of Mechanical Shear Connector using Powder Actuated Nail、8th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia、2010.11.9、西日本総合展示場
- ② 李晩在、撃込み鉋とデッキプレートの接合性能に関する研究-せん断試験-、日本建築学会大会、2010.9.9、富山大学
- ③ 李晩在、撃込み鉋とデッキプレートの接合性能に関する研究-引剥し試験-、日本建築学会大会、2010.9.9、富山大学
- ④ 李晩在、撃込み鉋を用いたシアコネクタのせん断基礎実験-せん断試験 C-、日本建築学会大会、2010.9.9、富山大学
- ⑤ 李晩在、撃込み鉋とデッキプレートの接合性能に関する研究-引剥し試験及びせん断試験-、日本建築学会東北支部研究報告会、2010.6.19、東北芸術工科大学
- ⑥ 李晩在、撃込み鉋接合の界面評価、日本機械学会東北学生会卒業研究発表講演会、2010.3.5、秋田大学
- ⑦ 李晩在、撃込み鉋を用いたシアコネクタの押抜き試験及び解析、複合・合成構造の活用に関するシンポジウム、2009.11.5、日本建築学会会館
- ⑧ 李晩在、撃込み鉋を用いたシアコネクタの押抜き試験・合成梁曲げ試験-設置本数の違いが力学特性に与える影響-、日本建築学会大会、2009.8.27、東北大学
- ⑨ 李晩在、撃込み鉋接合と頭付きスタッド溶接が鋼材の引張特性に与える影響、日本建築学会大会、2009.8.27、東北大学
- ⑩ 李晩在、シアコネクタ接合に用いる撃込み鉋のせん断試験、日本建築学会東北

支部研究報告会、2009.6.20、コラッセふくしま

〔その他〕

ホームページ等

<http://natori.sendai-nct.ac.jp/aa/welgakka/kyokan/lee/lee.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

李晩在 (LEE MANJAE)

仙台高等専門学校・建築デザイン学科・  
准教授

研究者番号：60442448