

平成 21年 5月 29日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560586

研究課題名 (和文) 省力化と高耐震性を旨とした鋼・コンクリート合成骨組の開発

研究課題名 (英文) Development of Steel and Concrete Composite Frames aimed for Labor-Saving and Large Earthquake Resistant Properties

研究代表者

堺 純一 (SAKAI JYUNICHI)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：30215587

研究成果の概要：

薄肉鋼管で横補強した鋼・コンクリート合成柱材は優れた耐震性能を示すことを明らかとしているが、本研究では、同断面のスタブカラムの圧縮実験および弾塑性解析を行い、薄肉鋼管および内蔵鉄骨によって拘束されたコンクリートの構成則について明らかとした。さらに本合成柱と鉄骨梁で構成された混合骨組の載荷実験を行い、本骨組は柱が高軸力を受ける場合でも優れた耐震性能を発揮することを明らかとした。特に、柱崩壊先行型の試験体でも大変形域まで耐力が低下することなく安定した挙動を示すことから、本柱材を使用することで建築構造物の柱崩壊先行型の骨組の設計法の可能性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：建築構造，耐震性能，載荷実験，合成構造，骨組，崩壊型

1. 研究開始当初の背景

地震国である我が国においては優れた耐震性能を保持しながら、建築物の建設に伴う消費エネルギーの低減及び省人化・省力化された構造骨組の工法および設計法を開発することが望まれている。そこで、本研究では鉄骨鉄筋コンクリート構造の特徴である高耐震性能のさらなる向上と建設工事における省エネルギー化・省力化・省人化を旨とした鋼・コンクリート合成骨組を開発すること

にある。

2. 研究の目的

平成 17・18 年度の科学研究費補助金 (基盤(C), 研究代表者：堺 純一) により、薄肉鋼管で横補強された合成柱材 (図 1 参照) の弾塑性性状に関する研究を行い、本柱材は高軸力下で優れた耐震性能を発揮することを示した。本柱材は鉄骨鉄筋コンクリート柱から主筋およびせん断補強筋を省いた SC 柱であり、コンクリート打設用の型枠およびコン

クリートの拘束効果を期待して薄肉鋼管を巻いた柱であり、省人化・省力化を目指した合成柱材であると考えられる。本研究ではこの柱を用いた時の骨組の弾塑性挙動を明らかにすることを主目的として、下記の3点を明らかにすることを目的とした。

- (1) 本合成柱材の優れた弾塑性挙動を定量的に評価するために、薄肉鋼管と内蔵鉄骨によって拘束されたコンクリートの構成則を明らかにすること。
- (2) 地震時応力に対応する、一定軸力と繰り返し水平力を受ける本合成柱材と鉄骨梁で構成された骨組の弾塑性性状を明らかにすること。特に柱崩壊先行型の骨組の弾塑性挙動とその設計の可能性を調べる。
- (3) 鉄骨梁フランジ間にコンクリートを打設したSC梁と本柱材との組み合わせも考えるが、そのSC梁での鋼とコンクリートの応力伝達法に穴あきジベルを使用した時の応力伝達機構を明らかにすること。

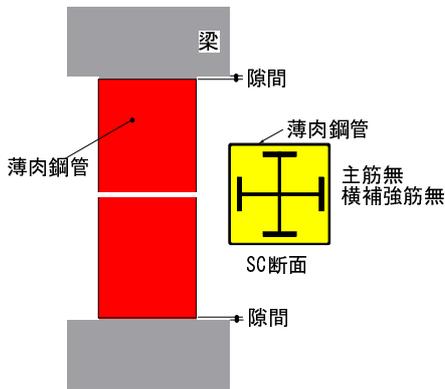


図1 薄肉鋼管を用いたSC合成柱の概略

3. 研究の方法

上記の目的項目を明らかにすべく、下記の研究方法により検討を行った。

(1) コンクリートの構成則について

本柱材のコンクリートは薄肉鋼管と十字鉄骨によって拘束されるので、圧縮強度およ

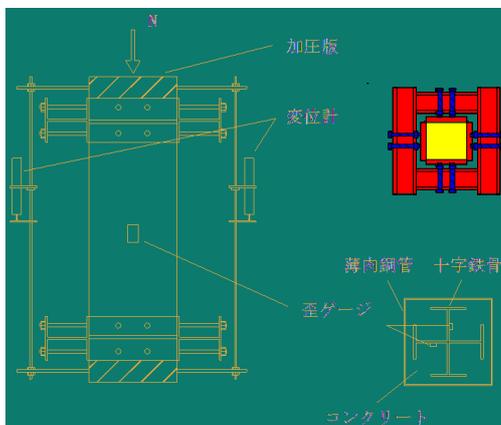


図2 スタブコラムの中心圧縮試験

び圧壊後の強度劣化が抑制されることが考えられる。そこで、図2に示すスタブコラム試験体を製作し、中心圧縮実験を行った。試験体の断面は200mm×200mmで、主な実験変数は内蔵鉄骨（十字形断面）の寸法

(CH-160x80x4.5x6, CH-160x80x2.3x2.3の2種類) および薄肉鋼管の幅厚比 (87(板厚2.3mm)と125(板厚1.6mm)の2種類) であり、内蔵鉄骨がない試験体も含め、計12体の試験体の載荷試験を行った。さらに実験結果を基に、コンクリートの負担圧縮軸力と歪の関係より、コンクリートの構成則について解析的に検討を行った。

(2) SC柱と鉄骨梁で構成された骨組の弾塑性性状について

SC柱と鉄骨梁で構成された骨組の弾塑性性状を調べるために、図3に示す十字骨組試験体を製作し、載荷実験を行った。実験変数には骨組の崩壊型(柱崩壊先行、梁崩壊先行、仕口パネル崩壊先行型の3種類)と柱の作用軸力(柱崩壊先行試験体のみ、柱断面圧縮耐力に対する作用軸力の比を0.3と0.6の2種類)とした。他の試験体は軸力比を0.3としている)とし、計5体の試験体の載荷実験を行った。試験体の設計は柱断面は全試験体で同一とし、柱脚部で塑性ヒンジが生じると共に、柱頭部の柱あるいは梁あるいは仕口パネルに塑性ヒンジを生じさせるように梁断面および仕口のウェブ厚を調整している。載荷は一定軸力を載荷し、その軸力を保持した状態

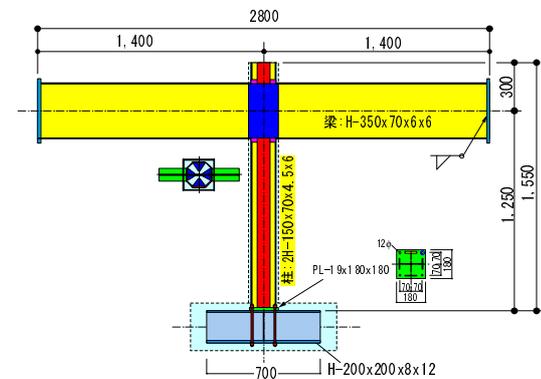


図3 十字骨組試験体(鉄骨部のみ)

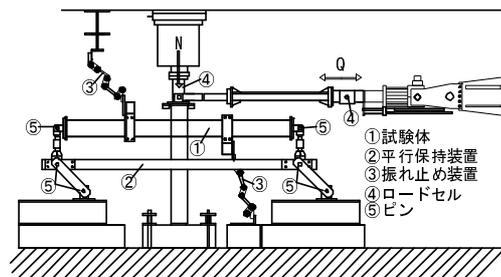


図4 十字骨組試験体の加力装置

で、柱頭部に正負交番の繰返し水平力を載荷した（図4参照）。

(3) 孔あきジベルによる鋼とコンクリートの応力伝達について

本研究で対象としている SC 合成柱に取り付く梁として、鉄骨梁あるいはH形鋼フランジ間にコンクリートを打設した SC 合成梁を考えているが、SC 合成梁の優れた耐震性能を発揮させるためには、鋼とコンクリートの応力伝達機構を明らかにしておく必要がある。そこで、本研究では SC 梁の挙動を調べる前に、省人化・省力化を目指すことを主眼において孔あきジベルを用いた場合の鋼とコンクリートの応力伝達機構について検討した。一般に、鋼とコンクリートのずれ止め要素としてスタッドジベルを設けることが

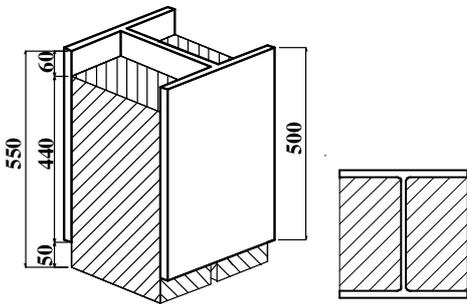
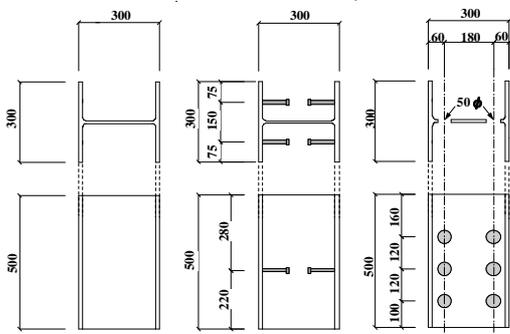


図5 孔あきジベルの付着実験試験体概略



(a) ずれ止め無し (b) スタッドジベル (c) 孔あきジベル

図6 鉄骨試験体

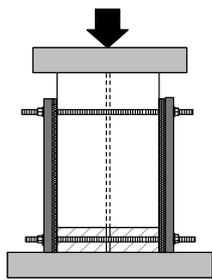


図7 加力装置

多いが、フランジ間にコンクリートを打設した SC 梁の場合には、スタッドを鉄骨フランジ内面に設けることが望ましく、施工機械の関係上、スタッドの溶接が難しいことがあげられる。土木分野では鋼材に孔をあけることでコンクリートと鋼材との応力伝達が可能であることが示されているが、この工法を参考にしてウェブに孔をあけるだけの孔あきジベルでどの程度の応力が伝達できるかを調べるために付着実験を行った。試験体の概略を図5に示す。主な実験変数は、孔の個数と配置、孔の中に高強度モルタルの円柱体を挿入したものとしていないもの、さらにコンクリートの横拘束の有無であり、スタッドジベルを付けた試験体を含め、計 27 体である（図6参照）。載荷実験は図7に示すように、載荷板を介して鉄骨部に中心圧縮力を載荷し、鉄骨部とコンクリートのずれ量を測定している。

4. 研究成果

上述した3つの研究目的に対して実験および解析を行い、以下の成果を得た。

(1) コンクリートの構成則について

薄肉鋼管で横拘束された SC 柱の中心圧縮を行った。その結果の一例を図8に示す。実験結果を太実線で示している。さらに、薄肉鋼管と十字鉄骨で拘束されたコンクリートの構成則について検討した結果も同図に示している。図中の解析結果3.4は十字鉄骨で囲まれた部分とその外にコンクリートを分け、それぞれの部分のコンクリートの構成則を検討して求めたもので、実験結果をよく評価していると考えられる。

本実験および解析を行い、以下の点が明らかとなった。

- ①内蔵された十字鉄骨によるコンクリートの拘束効果が大きく、内蔵鉄骨無しの試験体と比較して、コンクリートは圧縮強度および最大耐力発揮後の劣化性状の点で優れている。但し、薄肉鋼管の幅厚比 (125 あるいは 87) の違いによるコンクリートの横補強の効果の違いはあまり見られない。

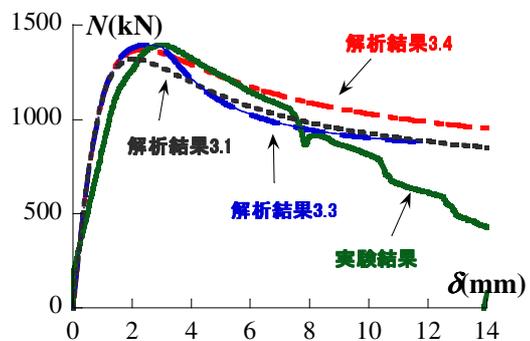


図8 薄肉鋼管と十字鉄骨で拘束されたコンクリートの圧縮軸力と縮み関係

- ②内蔵鉄骨のフランジ、ウェブの幅厚比が小さい方がコンクリートの拘束効果が高い。
- ③今回の実験の範囲において、薄肉鋼管で拘束されたコンクリートと、内蔵十字形鉄骨で拘束されたコンクリートの拘束効果には違いがあり、それぞれのコンクリートの構成則を分けて考えることにより、コンクリートの負担軸力の実験挙動を精度良く評価できる。

(2) SC柱と鉄骨梁で構成された骨組の弾塑性性状について

骨組の崩壊型を主な実験変数に選び、載荷実験を行った結果として、柱崩壊形で、柱の軸力が圧縮耐力の60%を受けるときの骨組の水平力と部材角の関係を図9に示す。図中の計算耐力は、柱の合成断面の材料強度を用いて計算した累加強度を柱頭および柱脚で発揮するとして求めたときの水平耐力である。本骨組は計算耐力を大きく上回る耐力を保持していることがわかる。

実験を行った結果、以下の点が明らかとなった。

- ①梁崩壊型と柱崩壊型ではほとんど同等な耐震性能を保持していることがわかった。本研究で対象としているSC合成柱材は耐力低下が少なく、大きな塑性変形能力を保持しているため、柱崩壊型の設計でも優れた耐震性能を発揮できるため、実際の建築構造物の設計においても本柱材を使用する場合には柱で降伏させるような設計も可能であると考えられる。但し、建物のある層の全ての柱材で柱頭と柱脚に塑性ヒンジを生じさせると、層崩壊を起こすことになるので、特定層の層崩壊を起こさない程度に一部の柱に損傷が生じることは許容できると考えられる。建築構造物の設計では梁崩壊先行の骨組となるように、柱の耐力を梁の耐力の1.5倍以上の耐力比となるように設計されているが、優れた性能を保持する柱では、柱梁耐力比を小さくしても問題はないと考えられる。
- ②十字鉄骨を内蔵し、薄肉鋼管で横補強した柱材は、断面圧縮耐力の60%の高軸力下においても、計算耐力を早期に発揮でき、大変

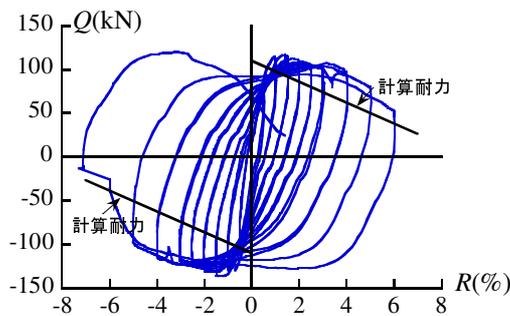


図9 柱崩壊先行骨組の弾塑性挙動

形時での耐力低下も少なく優れた耐震性能を保有している。さらに、最大耐力は計算耐力を大きく上回っている。これは、薄肉鋼管と内蔵鉄骨によって拘束されたコンクリートの拘束効果による効果が大きく、柱脚、柱頭で計算耐力を大きく上回ることによると考えられる。

- ③柱がSC化することにより柱断面の構造性能が向上し、断面寸法が小さくてよいことになるが、柱崩壊型の場合軸縮みの変形量が大きく、柱の軸方向剛性に関する検討が必要となってくると考えられる。

(3) 孔あきジベルによる鋼とコンクリートの応力伝達について

H形鋼のウェブに孔あき鋼板ジベルを形成したSC部材の付着抵抗機構について実験的に検討した結果の一例として、孔あきジベルとして高強度モルタル円柱体をウェブ孔に配置した試験体とスタッドボルトを付けた試験体および補強無し試験体の比較を図10に示す。本実験を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ①孔あきジベルは、スタッドジベルに比べより剛なずれ止めと評価できる。
- ②コンクリートを横拘束することにより、最大せん断耐力の向上と、その後の耐力低下を抑制する効果が確認された。
- ③孔あきジベルは、ウェブ孔に円柱体の高強度モルタルを通すことで、せん断耐力とずれ剛性の増大を図ることが可能である。
- ④SC部材に孔あきジベルを用いた場合、Leonhardtらの算定式を含め、既往の研究でいくつか提案されている式の適用に向け、耐力算定法の確立が課題である。

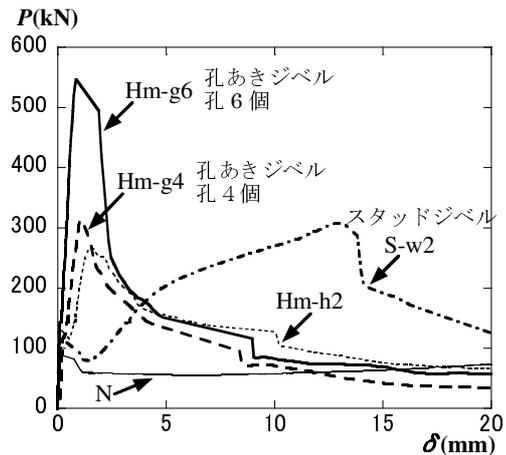


図10 荷重-変形関係

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 9 件)

- ① 倉富 洋, 堺 純一, 田中照久, 河本 裕行, 薄肉鋼管で横補強した鋼・コンクリート合成柱材のコンクリートの構成則に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 2009.7 (掲載予定), 査読有り.
 - ② 小川一貴, 堺 純一, 田中照久, 薄肉鋼管で横補強された鉄骨コンクリート柱と鉄骨梁で構成された骨組の弾塑性性状, コンクリート工学年次論文集, 2009.7 (掲載予定), 査読有り.
 - ③ 田中照久, 堺 純一, 孔あき鋼板ジベルを用いた SC 部材の付着抵抗機構に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 2009.7 (掲載予定), 査読有り.
 - ④ 小川一貴, 堺 純一, 田中照久, 鉄骨コンクリート柱と鉄骨梁で構成された骨組の弾塑性性状, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 48 号・1, pp. 317-320, 2009. 3, 査読無し.
 - ⑤ 倉富 洋, 堺 純一, 田中照久, 河本裕行, 鋼・コンクリート合成柱材のコンクリートの構成則に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 48 号・1, pp. 321-324, 2009. 3, 査読無し.
 - ⑥ 田中照久, 堺 純一, 孔あき鋼板ジベルを用いた SC 構造のずれ止め特性に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 48 号・1, pp. 329-332, 2009. 3, 査読無し.
 - ⑦ 河本裕行, 堺 純一, 田中照久, 薄肉鋼管で横補強した鉄骨コンクリート柱材のコンクリートの構成則に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 1175-1176, 2008. 9, 査読無し.
 - ⑧ 田中照久, 堺 純一, 鉄骨コンクリート梁材の付着特性に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 1255-1256, 2008. 9, 査読無し.
 - ⑨ 田中照久, 堺 純一, 鉄骨コンクリート梁材の弾塑性変形性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 3, pp. 1363-1368, 2008. 7, 査読あり.
- ④ 河本裕行, 堺 純一, 田中照久, 薄肉鋼管で横補強した鉄骨コンクリート柱材のコンクリートの構成則に関する実験的研究, 日本建築学会大会, 2008. 9. 19, 広島大学.
 - ⑤ 田中照久, 堺 純一, 鉄骨コンクリート梁材の付着特性に関する実験的研究, 日本建築学会大会, 2008. 9. 19, 広島大学.
 - ⑥ 田中照久, 堺 純一, 鉄骨コンクリート梁材の弾塑性変形性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次大会, 2008. 7. 9, 福岡国際会議場.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堺 純一 (SAKAI JUNICHI)
福岡大学・工学部・教授
研究者番号: 30215587

(2) 研究分担者

津田 恵吾 (TSUDA KEIGO)
北九州市立大学・国際環境工学部・教授
研究者番号: 50112305

李 麗 (Li Li)

熊本県立大学・環境共生学部・准教授
研究者番号: 20326490

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

田中照久 (TANAKA TERUHISA)
福岡大学・工学部・助手

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① 小川一貴, 堺 純一, 田中照久, 鉄骨コンクリート柱と鉄骨梁で構成された骨組の弾塑性性状, 日本建築学会九州支部, 2009. 3. 8, 琉球大学.
- ② 倉富 洋, 堺 純一, 田中照久, 河本裕行, 鋼・コンクリート合成柱材のコンクリートの構成則に関する研究, 日本建築学会九州支部, 2009. 3. 8, 琉球大学.
- ③ 田中照久, 堺 純一, 孔あき鋼板ジベルを用いた SC 構造のずれ止め特性に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部, 2009. 3. 8, 琉球大学.