

# 新しい建築合成構造システムの開発



研究ノート

倉本 洋\*

Development of New Composite Structural Systems for Buildings

Key Words : Composite Structures, Concrete Encased Steel, Seismic Performance

## 1. はじめに

建築物の構造形式は使用する材料によって大きく異なる。一般によく知られたものとしては、木質構造、鉄筋コンクリート構造（以下、RC 構造と略記）あるいは鉄骨構造が挙げられる。一方、以外に知られていない構造として、鉄筋コンクリート構造と鉄骨構造を組み合わせた鉄骨鉄筋コンクリート構造（以下、SRC 構造と略記）という構造形式がある。SRC 構造は大正時代にわが国において開発され、その後、独自の発展を遂げてきたものであり、合成構造とも呼ばれ、最も優れた耐震構造の一つとして大規模建築物や超高層建築物に適用されてきた。

しかし、1990 年代初頭のバブル経済崩壊をきっかけに SRC 造建築物の建設棟数が急減した。これは景気の低迷に加え、高強度 RC 構造や免震構造などの新しい建築技術の台頭により、それまで SRC 構造が得意としていた大規模建築物や超高層建築物にこれらの構造形式が採用される傾向が高まったことが大きいと考えられる。特に、SRC 構造の設計・施工が他の構造形式に比べて複雑かつ困難であり、結果として工期の長期化・コスト高を招く傾向があることが主因であろうと推察される。

一方で、1995 年の兵庫県南部地震における建物被害調査結果<sup>1)</sup>から、SRC 構造の総合的な耐震性能は他の構造形式に比べて卓抜していることが明ら

かにされており、SRC 構造（特に充腹形鉄骨を内蔵したもの）への耐震安全性の信頼は未だ揺るぎないものであるといっても過言ではない。

筆者も部材（特に、柱材）の内部に“心棒（充腹鉄骨）”がある SRC 構造は極めて安心できる魅力的な耐震構造であると考えていた。また、高軸力・高せん断力に対処するために  $100\text{N/mm}^2$  超の高強度コンクリートを用いるという方法も否定はしないが、鉄骨を入れて比較的安価で施工性のよい  $30\text{N/mm}^2$  程度のコンクリートを用いるほうが合理的であるとも考えていた。そのような観点から、前述の SRC 構造に関わる設計・施工問題の解決策として、図 1 に示すような SRC 構造から鉄筋をすべて抜いた鉄骨コンクリート構造（Concrete Encased Steel 構造：以下、CES 構造と略記）を考案し、1998 年頃から実用化のための研究・開発に着手した<sup>2)</sup>。

本稿では、新しい建築合成構造システムである CES 構造の基本的構造性能とそのメリットについて紹介する。

## 2. CES 構造部材の基本構造性能

『鉄骨とコンクリートのみから構成される合成構造』は誰でも考えつきそうな構造システムであるが、未だ実用化されていない理由の一つに無筋コンクリートの損傷制御の問題が挙げられよう。筆者らもこの



\* Hiroshi KURAMOTO

1959年11月生

大阪工業大学大学院工学研究科建築学専攻・博士前期課程修了（1986年）

現在、大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 教授 博士（工学） 建築耐震工学、鉄筋コンクリート構造、鋼コンクリート合成構造

TEL : 06-6879-7635

FAX : 06-6879-7637

E-mail : kuramoto@arch.eng.osaka-u.ac.jp

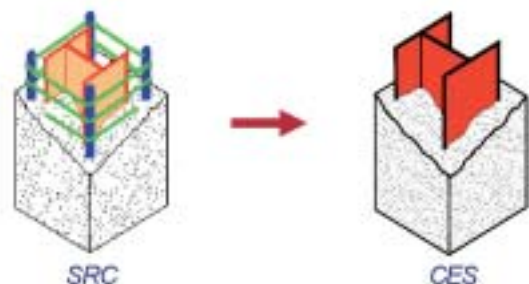


図1 SRC と CES

問題の解決が最優先課題と位置付け、CES 柱の構造性能の把握に関するフィジビリティスタディを実施してきた<sup>3)・7)</sup>。

図2はフィジビリティスタディの第一段階として実施した実験結果<sup>3)</sup>を示したものである。この研究では、CES 柱の基本的な構造性能の把握と無筋コンクリートによる過大なひび割れの防止に対する高靱性モルタルの有効性の検討を主たる研究目的として、実験変数に鉄筋の有無 (SRC と CES) と CES に使用するコンクリートの種類 (普通コンクリートと高靱性モルタル) を選択した。図に示されるように、普通コンクリートを用いた CES 柱 (中段) はかぶりコンクリートの剥落が顕著であるが、高靱性モルタルを使用することにより破壊状況は一変し (下段) SRC 柱 (上段) よりも損傷が少なくなっていることが認められる。また、復元力特性に着目すると CES 柱は相対部材角で 0.05 radian という大変形までほとんど耐力劣化が生じておらず、SRC 柱と同等以上の構造性能を有していることも見てとれる<sup>\*1)</sup>。

しかしながら、この実験では高靱性モルタルの製造および施工が困難であること、モルタルであるがために乾燥収縮による初期ひび割れの発生が顕著であることなどの問題点も明らかとなった。そこで、その当時の現状では高靱性モルタルの使用は実用的でないと判断し、以降の研究では若干ひび割れ分散能力が劣るが繊維補強コンクリート (FRC) を用いることとした。

図3は体積混入率で 1.5% のビニロン繊維を混入した FRC を用いた CES 柱の実験結果の一例<sup>5)</sup>を示している。この柱は軸力比 ( $N/b \cdot D \cdot \sigma_B$ ) で 0.6 の高軸力を受ける場合の耐震性能を検討したものである (通常の軸力比は 0.2 程度である)。同図より、軸力比で 0.6 程度の一定軸力下においても P-Δ 効果の影響を除くとほとんど耐力劣化のない復元力特性を示すと共に、相対変形角  $R=0.05$  radian の大変形を経験した後もかぶりコンクリートの剥落がほとんどないことが認められる。

\*1 図2中のグラフは柱に作用させた水平荷重とそれによる相対水平変位の関係を描いたものであり、建築・土木の分野では構造部材の耐震性能の尺度として用いられる。すなわち、荷重 - 変形曲線で囲まれた面積 (地震エネルギー吸収能力) や変形の増加に伴う荷重の劣化度合いなどを耐震性能の尺度としている。

図4はCESを集成材で被覆した木質ハイブリッド柱 (EWECS 柱) の構造性能を調べたものである<sup>6)</sup>。この研究の目的は、耐火問題等で従来4階建て以上の高層化が困難であった木質系建築物に対して

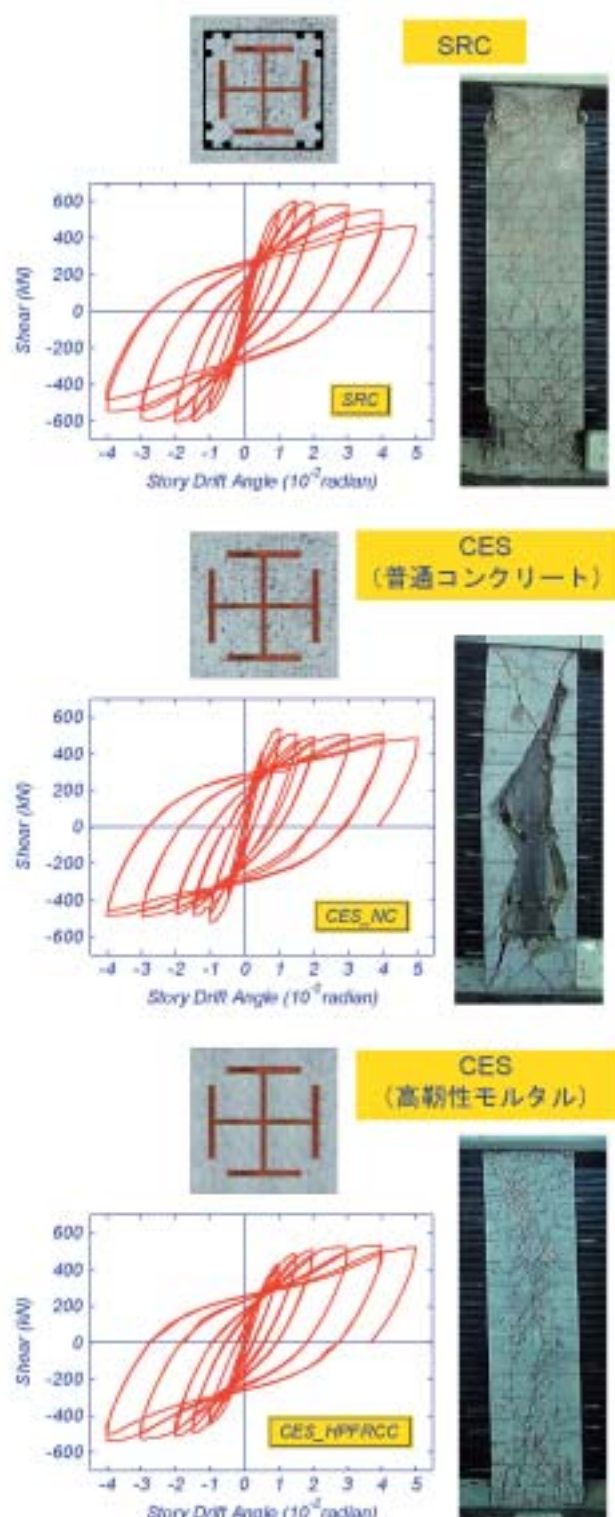


図2 高靱性モルタルを用いた CES 柱の実験結果<sup>3)</sup>

CES を内蔵して燃え止まり部材とすると共に部材自体の耐震性能を向上させることによって当該建築物の高層化の可能性を見出すことにあった。同図に示されるように EWECS 柱の復元力特性は極めて良好なものであり、内蔵 CES のみならず、外郭集成材も圧縮抵抗要素として有効に作用していることが確認された。また、相対部材角で 0.03 radian という大変形においても外郭集成材は端部のめり込みと浮き上がり（下段の写真）によってほとんど無損傷であることが認められる。

### 3. CES 合成構造システムのメリット

CES 構造のメリットとしては、まず、SRC 構造とは異なり部材内部に鉄筋がないため、施工の簡略化と工期の短縮が期待できるという点が挙げられる。また、構造面においても SRC 構造に比べて内蔵鉄骨の断面形状や継手位置の自由度があり、柱脚などはベースプレートの拡大によってアンカーボルトの増量が容易で、固定度の高い露出型柱脚も可能となる。柱梁接合部も、柱を CES とすることで内部鉄骨による直接的な応力伝達が可能となり、CES 梁はもちろんのこと、鉄骨梁および RC 梁等の異種構造部材との併用も可能となり、構造形式のバリエーションにも広がりを持たせることができる。さらに、SRC 構造では困難であったプレキャスト化も可能である。

一方、CES 構造がどのような建築物に適しているかを考えると、CES 柱、梁部材に安定した構造性能を期待できることから、高層建築物や SI 住宅のスケルトン等の大規模構造が第一に挙げられる<sup>8)</sup>。また、低層住宅に適用する場合には、従来の壁式コンクリート系住宅に比べて開口部やスパンを大きくとれること、軽量鉄骨住宅についても柱を CES とするだけで中層化が容易に図れることなどのメリットが考えられる<sup>9)</sup>。さらに、既存建築物の耐震補強要素としても活用可能である<sup>10)</sup>。このように、CES 構造は大規模建築物から低層建築物に至るまで、さらには既存建築物の耐震補強工法にと幅広い適用が期待できる。

### 4. まとめ

本稿では、新合成構造システム「CES」における構造部材の基本構造性能、および CES 合成構造シ

ステムのメリットについて概説した。

CES 合成構造システムに関する研究開発は漸く軌道に乗ってきたところであるが、現在までの研究成果を見る限り、実用化に向けて開発するに値する耐震構造システムであると筆者は考えている。当該構造システムの実用化には、適した構造形式の検討、

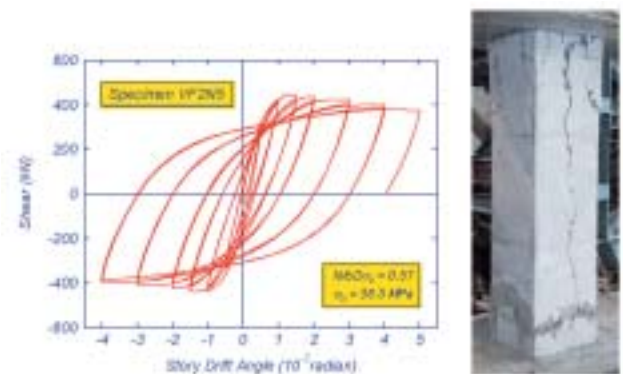


図3 高軸力下における CES 柱の構造性能<sup>5)</sup>

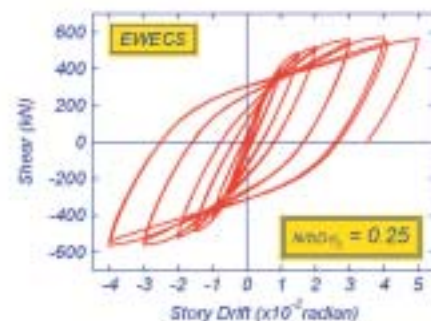


図4 外郭集成材で被覆した CES 柱の構造性能<sup>6)</sup>

必要な研究項目の抽出、構造性能評価法の開発、施工における問題点の抽出と改善、など越えるべき幾つものハードルが用意されているが、地道で継続的な研究開発によってそれらを解決してゆく所存である。

#### 参考文献

- 1) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書、3.2.1 RC造及びSRC造建築物、pp.165-353、1995.8
- 2) 倉本 洋：今伝えたいトピックス CES合成構造システム、建築雑誌、Vol.120、No.1535、pp.34-35、2005.7
- 3) 高橋宏行、前田匡樹、倉本 洋：高靱性型セメント材料を用いた鉄骨コンクリート構造柱の復元力特性に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、第22巻、第3号、pp.1075-1080、2000.6
- 4) 足立智弘、倉本 洋、川崎清彦：繊維補強コンクリートを用いた鉄骨コンクリート合成構造柱の構造性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、第24巻、第2号、pp.271-276、2002.6
- 5) 足立智弘、倉本 洋、川崎清彦、柴山 豊：高軸力を受ける繊維補強コンクリート-鋼合成構造柱の構造性能に関する研究、コンクリート工学年次論文集、第25巻、第2号、pp.289-294、2003.6
- 6) Fauzan, H. Kuramoto, Y. Shibayama and T. Yamamoto: Structural Behavior of Engineering Wood Encased Concrete-Steel Composite Columns, Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol. 26, No.2, pp. 295-300, July 2004
- 7) Fauzan, H. Kuramoto and K-H. Kim: Seismic Performance of Composite EWECS Columns Using Single H-Steel, Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol. 27, No.2, pp. 307-312, June 2005
- 8) 片岡隆広、石岡 拓：CESの大規模・高層建物への適用、2006年度日本建築学会大会（関東）構造部門（SCCS）パネルディスカッション「New Composite Structures - CES構造システムの実用化を目指して - 」資料、日本建築学会、pp.37-40、2006.9
- 9) 尾崎純二、河本孝紀：CESの中低層建築物への適用、2006年度日本建築学会大会（関東）構造部門（SCCS）パネルディスカッション「New Composite Structures - CES構造システムの実用化を目指して - 」資料、日本建築学会、pp.33-36、2006.9
- 10) 田口 孝：CESの既存建築物の耐震補強への適用、2006年度日本建築学会大会（関東）構造部門（SCCS）パネルディスカッション「New Composite Structures - CES構造システムの実用化を目指して - 」資料、日本建築学会、pp.41-44、2006.9

