

## I - 2 高靱性コンクリートによる構造コントロール

### Structural Performance Control of Buildings by Utilizing Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composite

(研究期間 平成 13～17 年度)

構造研究グループ

Dept. of Structural Engineering

福山 洋

Hiroshi Fukuyama

諏訪田晴彦

Haruhiko Suwada

Structural control techniques with ductile fiber reinforced cementitious composites which have strain-hardening and multiple-cracking properties were developed to meet variety type and high level in social demands. Mix condition, production method and quality control methods have been established by using large equipments of pre-cast concrete products. Design and construction of cementitious damper applied to the soft-first-story buildings have been developed through analyses and tests. High strength with high ductility element for seismic retrofit with parallel dampers and damage tolerant nonstructural wall with ductile cementitious composite have been developed.

#### 【研究目的及び経過】

社会・経済の発展に伴い、建築構造への要求性能はより高度化・多様化してきた。それに伴い設計も性能設計へと移行してきた。最近では、環境問題の観点から建築物の長寿命化が求められ、また、事業継続計画立案の必要性も高まっている。構造性能の観点からは、高い構造安全性や長期耐用性（高い耐損傷性（修復性）や耐久性）等の要求性能をコストも含め適切に充足する技術が強く求められている。一方、コンクリート系構造の損傷や性能劣化はコンクリートの引張脆弱性に起因するところが大きい。高靱性コンクリートの利用はこの問題を根本から解決するに十分な可能性を有する。そこで本課題は、高靱性コンクリートを高性能な構造空間の構成材料として一般化するとともに、それをを用いた構造制御技術を開発し、多様な要求に答える新しい構造・材料技術を社会に提供することを目的とする。この目的の下に、材料開発、応答制御要素の開発、自己損傷制御要素の開発、それらの設計・施工法の検討を行った。その結果を以下に報告する。

#### 【研究内容】

以下の 3 項目について、それぞれ系統立てて開発目標を設定し、研究開発を行った。

- 1) 高靱性コンクリート材料の調合・製造・品質管理法の開発：高靱性コンクリートの部材をプレキャスト工場で大規模生産できるように、実機練りが可能な調合・製造方法、および品質管理方法を、実験に基づき開発する。
- 2) 高靱性コンクリートを用いた応答制御要素の設計・施工法の開発：極めて高い平均せん断応力下で高い靱性能を発揮する応答制御要素をピロティ構造物の構造補強に用いる適用と、それらを並列に用いた

“靱性を有する耐震壁要素”を中高層建築物の耐震補強に用いる適用について、実験並びに解析検討に基づき設計法と施工法の検討を行った。

- 3) 高靱性コンクリートを用いた自己損傷低減要素の開発：高靱性コンクリート材料の考え方を応用し、自ら損傷を防止・低減できるコンクリート系要素を開発し、施工実験や構造実験に基づいてその適用方法を検討する。

#### 【研究結果】

- 1) 高靱性コンクリート材料の調合・製造・品質管理法の開発：

さまざまな材料の練混ぜ試験を実施し、施工性の観点から検討を行うとともに、一軸引張試験や圧縮試験等により、力学性能についても検討を行い、品質管理の観点も含めて総合的な観点から、目標に合致する調合を複数開発した。その典型的なもの（鋼繊維と有機繊維を体積比で 0.75% ずつ混入したハイブリッド型）を用いて、実機練り試験、施工実験、力学試験、品質管理試験を行い、その妥当性を確認した。

- 2) 高靱性コンクリートを用いた応答制御要素の設計・施工法の開発：

応答制御要素のピロティ構造への適用に関して、時刻歴応答解析により実現可能性を検討した後、応答制御要素の単体試験（鉛直変位を拘束した場合と変動軸力を掛けた場合）、部分架構実験の仮動的実験を行い、それらの知見から設計・施工法を開発した。また、短スパン部材である応答制御要素を並列に並べた“靱性壁”についての水平加力実験（写真 1）を行い、耐震壁要素に匹敵する高い剛性と 1/50 を超える変形能を有することが確認された（図 1）。なお、強度については主筋量を増やすことにより制御が可能である。



写真1 韌性壁の水平加力実験

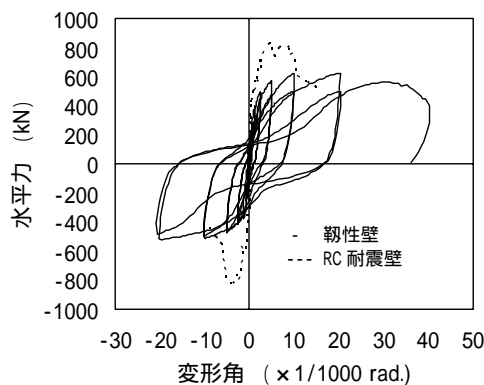


図1 韌性壁の履歴特性 (RC耐震壁との比較)

### 3) 高韌性コンクリートを用いた自己損傷低減要素の開発 :

RC 共同住宅の廊下側構面の非構造部材を対象に、高韌性コンクリートを用いることによりひび割れ損傷がどの程度低減できるかを、水平加力実験により検討した。なお、高韌性コンクリートの壁は、実機により練り混ぜた材料でプレキャストパネルを作成し、通常のプレキャストを用いた施工と同様な方法により試験体を作製した。1/200rad.の変形時では、RC 耐震壁には幅が 10mm を超えるような大きなせん断ひび割れが発生しているが、高韌性コンクリートの壁は目に見えないほどの微細なひび割れの発生に止まっており、極めて優れた損傷制御効果が確認された。

図2の履歴特性では、RC 耐震壁が約 1/400rad.の変形角で著しい耐力低下が見られたのに対し、高韌性コンクリートの壁は、正負ともに 1/100rad.まで耐力低下は見られなかった。なお、最大耐力については、正側で RC よりも低く、負側で RC よりも高い値を示した。これは、高韌性コンクリート壁は通常のプレキャスト壁の仕様と同じく左右にはシアコッターを設けたが、上下には設けていないため、界面にて滑り変形が生じたことによるものと思われる。



写真2 RC非構造壁 (1/200rad.変形時)



写真3 高韌性コンクリートPca壁 (1/200rad.変形時)

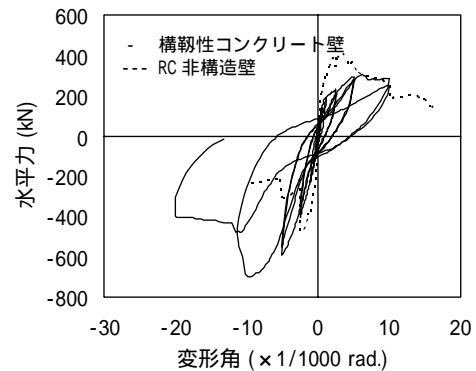


図2 RC非構造壁と高韌性コンクリート壁の履歴特性

以上より、当初設定した3つの研究開発目標（材料開発、応答制御要素の開発、自己損傷制御要素の開発）は、何れも達成された。

### 【参考文献】

- 1) Fukuyama, H. and Suwada, H.: Experimental Response of HPFRCC Dampers for Structural Control, Journal of ACT, JCI, Vol.1, No.3 pp.317-326, 2003.11
- 2) 福山洋, 岩淵一徳: 空間の確保と損傷の防止を目的とした既存ピロティ建築物の地震応答制御, 日本建築学会構造系論文集, 第580号, pp.105-112, 2004-6
- 3) 諏訪田晴彦, 福山洋: 高韌性セメント複合材料を用いた構造要素のせん断破壊挙動に関する非線形FEM解析, 日本建築学会構造系論文集, 第585号, pp.147-154, 2004-11
- 4) 諏訪田晴彦, 福山洋他: 強度・剛性・韌性を兼ね備えた高性能耐震要素の構造実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.1087~1092, 2005