

## 要求性能に応じた最適応答を実現する二重管柱構造の基礎的検討

東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター 正会員 ○伊東 佑香  
 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター フェロー会員 小林 薫

### 1. 検討の目的

土木構造物の柱部材は、複数の要求性能を同時に満足する必要がある<sup>1)</sup>。本稿では、各要求性能に対して最適化した要素を組み合わせることで柱部材を構築し、合理的な柱部材を実現するための基礎的検討を行った。

### 2. 提案する柱部材の概要

柱部材の要求性能を下記の通り定め、要求性能に対応する要素を選定し、本稿にて提案する柱部材を構成した。

本稿の要求性能は、(1)常時死荷重を支持する、(2)設計耐用期間中に数回程度発生する地震動(以降 L1 地震動)に無損傷である、(3)考えられる最大級の強さをもつ地震動(以降 L2 地震動)に損傷するが倒壊しない、(4)L2 地震動作用後も死荷重を保持できる、の4点とした。

この要求性能を満足する要素は図-1の通り、(1)の死荷重を支持させる CFT 要素、(2)および(3)の L1, L2 地震動による水平荷重を CFT 要素経由で負担する中空鋼管要素、CFT 要素から中空鋼管要素へ L1 地震動を伝達し、かつ(3)の L2 地震動で脆性的に破壊するヒューズ要素、ヒューズ要素が破壊された後に CFT 要素の復元力となり、同時に柱部材の長周期化による応答加速度低減を図るバネ要素を選定した。ここで(4)の L2 地震動作用後の死荷重は、CFT 要素の下端をピン結合とし、下端の曲げモーメントによる損傷を抑制することで、CFT 要素単体で保持させた。

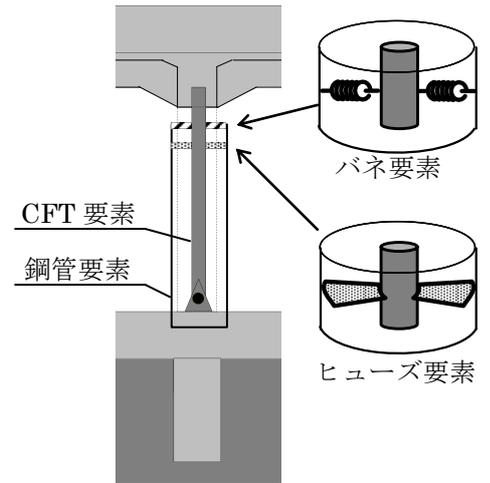


図-1 提案構造の概要

### 3. 提案構造の挙動検討

各要素の静的圧縮試験、各要素から構成された柱部材試験体の静的交番載荷試験および動的加振試験により、柱部材の挙動検討を実施した。

柱部材試験体は、図-2のように CFT 要素をφ114.3mm(厚さ6.0mm)の鋼管柱に圧縮強度60N/mm<sup>2</sup>のモルタルを充填して製作し、下端を加振方向に対してピン結合とした。中空鋼管要素はφ318.5(厚さ6.0mm)を用い、治具にて固定した。ヒューズ要素は、CFT 要素と中空鋼管要素間のあき96.1mmの長さとし、厚さ20.0mmの45°扇形試験片を低強度モルタル( $f_c=18\text{N/mm}^2$ )で製作した。また、バネ要素はヒューズ要素と同じ長さでバネ定数40N/mmのものを配置した。

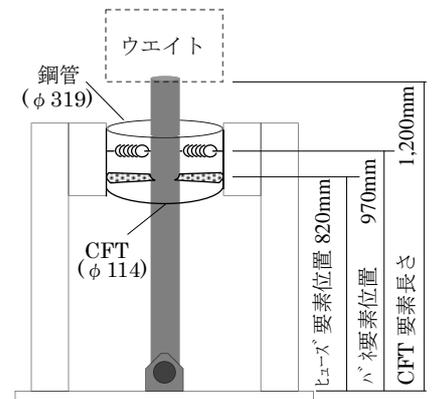


図-2 試験体諸元

#### 3-1 要素試験

ヒューズ要素およびバネ要素について、静的圧縮試験を実施した。

ヒューズ要素の静的圧縮試験の結果を図-3に示す。ヒューズ要素の試験体は、圧縮力に対し割裂状のひび割れが生じ、脆性的に破壊した。破壊形態は、モルタル強度を高強度に変更した場合は爆裂へ移行したが、寸法を実構造物大に変更した場合には寸法によらず同様の破壊形態となった。

バネ要素の静的圧縮試験結果を図-4に示す。バネ要素の初期剛性は、設計バネ定数通りとなるが、設計強度の1.1倍以上でバネ要素の鋼材同士が密着することにより、急激に剛性が上昇する挙動を示した。この傾向はバネ定数や径を変更した場合でも、設計強度に対する剛性上昇時荷重の比率も含め同様の結果となった。

キーワード 柱部材, 要求性能, 長周期化

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地 JR 東日本研究開発センター TEL 048-651-2552

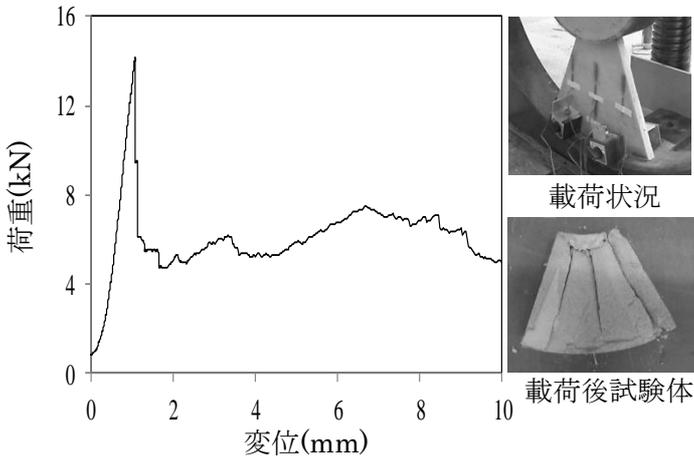


図-3 ヒューズ要素 荷重変位関係

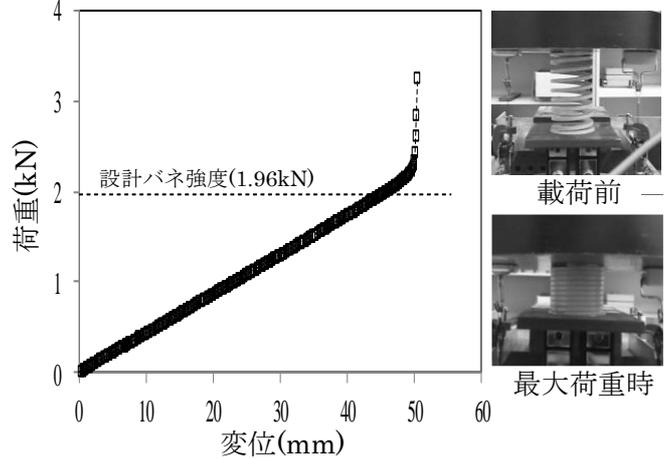


図-4 バネ要素 荷重変位関係

3-2 柱部材試験

図-2 の柱部材試験体に対して、静的交番荷試験および動的加振試験を実施した。

静的交番荷試験の CFT 要素天端での荷重変位関係を図-5 に示す。骨格曲線は、ヒューズ要素とバネ要素を足し合わせた剛性で荷重が上昇し、ヒューズ要素が最大荷重に達した後、割裂したヒューズ要素の噛み合わせによりバネ要素分に加えてヒューズ要素が若干の荷重を保持する。次いで、変位がバネ要素の剛性上昇の範囲となると再度剛性が増加する。除荷時、ヒューズ要素は概ね初期剛性に等しい除荷剛性となり、当該変位でバネ要素が負担する荷重まで低下するとバネ要素の剛性で挙動する。このように提案構造は任意の荷重変位関係が可能となる。

動的加振試験は、CFT 要素天端に 7kN のカウンターウェイトを配置した。バネ要素の剛性から定まる長周期化後の固有周期は 0.84sec である。この試験体に、加速度振幅を漸増させながら 2Hz の sin 波を 3 波入力し、応答を確認した。要素試験結果とウェイト重量から、応答加速度 2,000gal 付近でヒューズ要素の破壊が想定された。

加振時、ヒューズ要素が破壊しない段階では、CFT 要素は変位がほぼ見られない剛な構造として挙動した。入力加速度 700gal 時点でヒューズ要素が破壊され、バネ要素が水平力を負担することで、CFT 要素に急激に変位が生じた。700gal 時点の CFT 要素天端位置での加速度応答を図-6 に示す。ヒューズ要素破壊後の自由振動から求めた柱部材試験体の固有周期は 1.05sec であり、バネ要素による長周期化を確認した。ヒューズ要素が破壊される時点で 3,660gal の加速度応答が確認されたが、これはヒューズ要素破壊時の局所的な応答を反映したものとみられる。

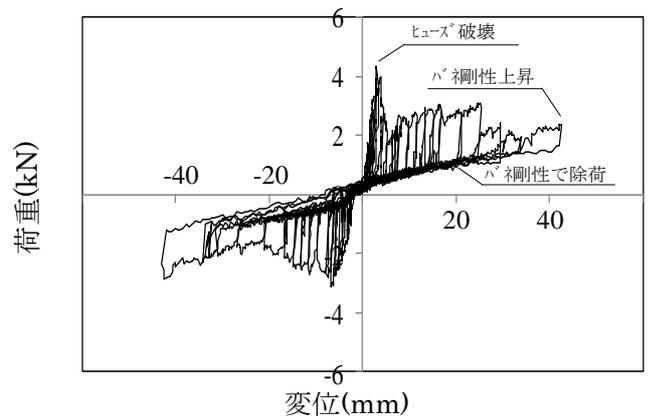


図-5 柱部材 静的荷重変位関係

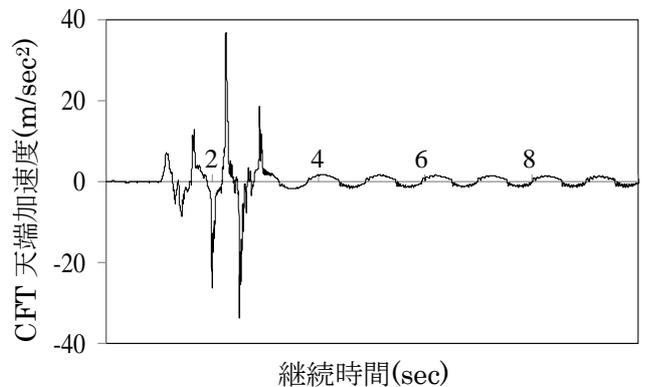


図-6 柱部材 動的天端加速度履歴

4. まとめ

合理的な柱部材の提案に向け、挙動確認試験を実施した。試験結果より、バネ要素とヒューズ要素の組合せから任意の荷重変位関係を柱部材に付与可能であること、ヒューズ要素破壊前は柱部材が剛で挙動するため変位を抑制できること、ヒューズ要素破壊後はバネ要素による長周期化が実現可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)：鉄道総合技術研究所編, 平成 24 年 9 月