

鋼管集成橋脚の CFT 柱の静的繰返し載荷実験および再現解析

名古屋工業大学 学生会員 ○上田翔平 正会員 野中哲也, 海老澤健正
阪神高速道路(株) 正会員 篠原聖二, 川田歩美

1. はじめに

鋼管集成橋脚に対して、これまで著者らは 1/10 スケール模型のコンクリート充填（以下、「CFT」という。）した鋼管集成橋脚単体ならびに鋼管集成橋脚を用いた 2 径間連続高架橋模型の動的加振実験を実施してきた。これらの実験は、設計地震動を上回る超過地震動による崩壊挙動を解明するための実験であったが、予想以上に鋼管集成橋脚の耐震性があり崩壊には至らず、十分に終局状態や崩壊メカニズム等の解明までは至らなかった。そこで、本研究では、鋼管集成橋脚の耐震性能に大きく影響する主部材の CFT 柱に着目し、これまで実験で用いてきた同じ供試体から CFT 柱を切り出し、その CFT 柱に対して静的繰返し載荷実験を行い、CFT 柱自体の終局状態を明らかにすることにした。さらに、その実験が精度よく再現できる実務者向けの新たな解析モデルを提案する。

2. CFT 柱の実験供試体および実験条件

鋼管集成橋脚の 4 本の鋼管から、図-1 に示すように、鋼管 1 本の基部付近のみを取り出して、繰返し載荷実験を実施する。実際の鋼管集成橋脚の鋼管には、水平荷重（地震力）によって、押し込みと引き抜きが繰返し起こるため、実際の鋼管の軸力は大きく変動し軸力値も大きい。そのため、本実験では、過去に実施した実験の繰返し載荷による CFT 柱基部の発生軸力をもとに、一定軸力（軸力比 0.5 の高軸力）と変動軸力の 2 ケースの繰返し載荷を行った。本論文では一定軸力の検討結果を示す。

3. 静的繰返し載荷実験結果

一定軸力の載荷実験結果の荷重－変位曲線を図-2 に示す。同図からは、最大荷重が現われ、面積が大きい紡錘型の履歴ループを描いているのがわかる。さらに、高軸力下においても荷重低下は緩やかであり、十分な耐震性がある CFT 柱といえる。実験終了後の実験供試体を写真-1 に示すが、CFT 柱の損傷は、柱基部に若干の局部座屈が発生している程度であった。1 本の CFT 柱です

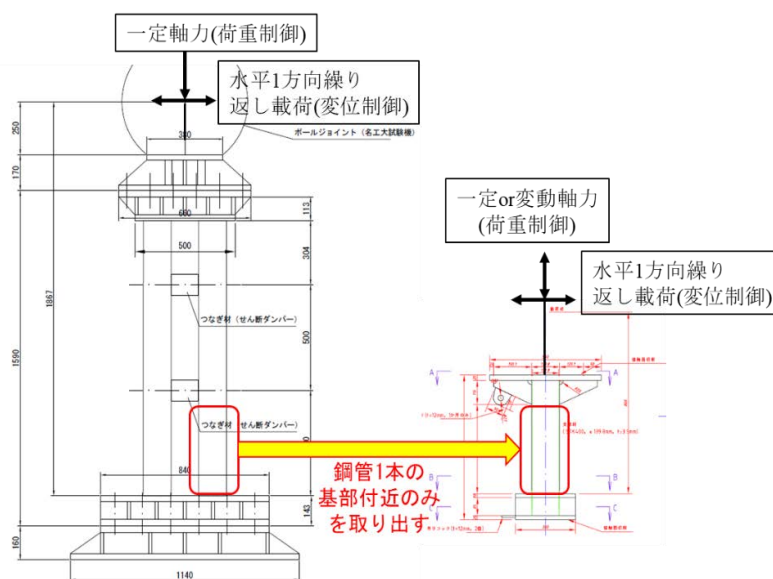


図-1 実験供試体

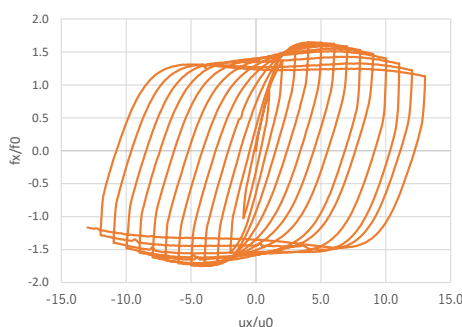


図-2 荷重－変位曲線

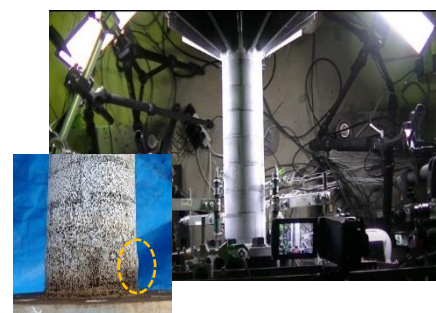


写真-1 実験終了後の供試体

ら、荷重が大きく低下しないことから、それが組み合わさった鋼管集成橋脚全体は、明確な最大荷重や最大荷重以降の荷重低下が現れにくいといえる。

4. CFT 柱の提案モデル

実務の鋼管集成橋脚の耐震設計では、ファイバー要素でモデル化する場合が多い。一般的な材料構成則を用いたファイバーモデルにより本実験の再現解析した結果を図-3 に示す。この図から、最大荷重付近までは概ね実験と一致するが、それ以降は異なっているのがわかる。特に第 2, 4 象限で解析結果が角張った形で荷重が大きくなり実験と異なっている。これでは、最大荷重以降を正確に表現することができない。また、文献 1)2)で高精度なモデルが紹介されている

キーワード 鋼管集成橋脚, CFT 柱, 解析モデル, 充填コンクリート
連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

が、使用する解析ソフトやモデルのパラメータ設定等において、必ずしも実務向けとは言えない。

そこで、本研究では、実務で使用されている解析ソフトおよび標準的な材料構成則を用いた新たな CFT 柱の解析モデルを提案する。まず、鋼管に対しては局部座屈が表現できるようにシェル要素でモデル化し、鋼管と充填コンクリートは図-4 に示すように剛体要素で接合する。鋼管から充填コンクリートへ力の伝達は、この剛体要素を経由して伝わることになる。シェル要素の材料構成則には、一般的なバイリニアの移動硬化則を使用する。次に、充填コンクリートに対しては、図-4 で示したファイバー要素でモデル化する。充填コンクリートをモデル化する上で、最も困難なコンクリートの挙動はひび割れである。文献 2) では、充填コンクリートをソリッド要素でモデル化し、圧縮側はそのソリッド要素の塑性理論で表現するが、引張側は疑似的にひび割れを表現するため、仮想水平ひび割れ面を経験的に設定している。この設定は、過去に実施した実験をもとにしているため、実務者においては設定が困難であると思われる。よって、本提案モデルでは、そのひび割れ面を実務者が設定するのではなく、材料構成則側で自動的に評価できるようにした。具体的には、図内に示すように充填コンクリートを複数のファイバー要素でモデル化し、最も引張応力が大きいところでひび割れが発生することになる。このときのコンクリートの材料構成則は、一般的な充填コンクリートの構成則（引張側の応力がゼロで簡易的にひび割れを表現）で十分である。また、鋼管集成橋脚の CFT 柱には高軸力が発生し、必要以上にコンクリートのファイバー要素が縮む傾向を示すため、それを回避するため、同図内に示すようにトラス要素をコンクリートのファイバー要素と重ねて定義することにした。このトラス要素の軸剛性は、経験的に鋼断面部の 1/2 程度にする。なお、充填コンクリートは、鋼板が内側に局部座屈したときに接触してそれを抑制する効果があるが、円形断面の CFT 柱では矩形断面と異なり鋼板は通常外側に変形して座屈するため、その接触をモデル化する必要がない。

5. 実験の再現解析結果

本提案モデルを用いて、実験の再現解析を行った荷重－変位曲線を図-5 に示す。この図から、最大荷重およびそれ以降の挙動が実験と概ね一致していることがわかる。ただし、第 4 象限だけが実験と解析に差があるが、これは載荷荷重が小さいときに起きる実験の誤差等が原因であると思われる。10 δy のときの変形状態を図-6 に示す。この図から、実験で確認された局部座屈も表現できていることがわかる。

6. まとめ

本研究では鋼管集成橋脚の CFT 柱に着目し、その部分を取り出した供試体を製作して繰り返し載荷実験を行った。その結果、CFT の終局状態（十分な耐震性能）を確認することができた。また、CFT 柱に対する新たな解析モデルを提案して、そのモデルによる実験の再現解析を行った結果、実験と解析がよい精度で一致することがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会：2018 年制定 鋼・合成構造標準示方書 耐震設計編，丸善，2018.
- 2) 川西ら：コンクリート充填構造を対象とした 3 次元セグメントモデルの開発と耐震照査法，構造工学論文集，Vol.64A，pp.73-85. 2018.4.

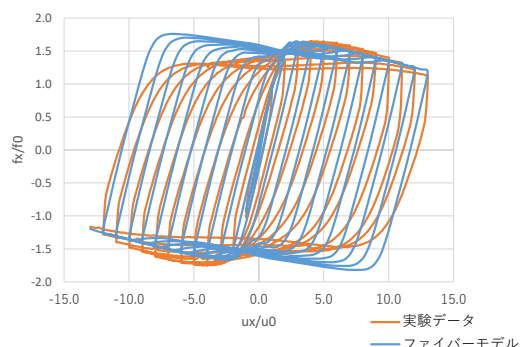


図-3 荷重－変位曲線(ファイバーモデル)

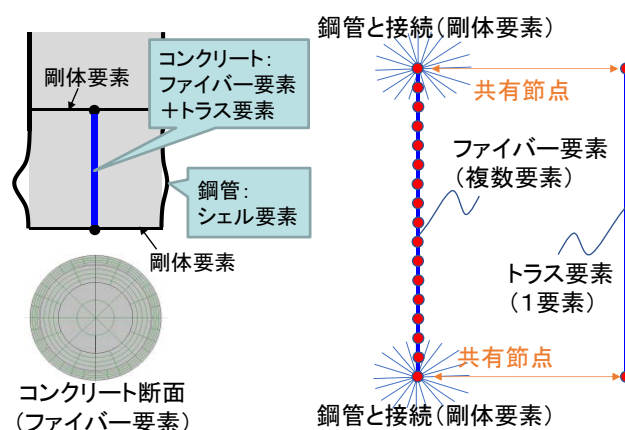


図-4 提案モデル

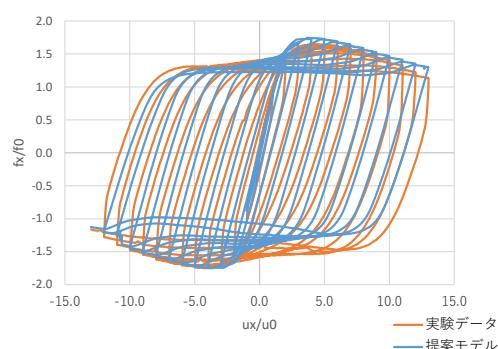


図-5 荷重－変位曲線(提案モデル)

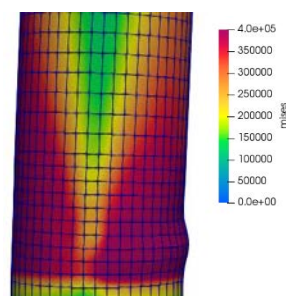


図-6 再現解析結果