

## 第 I 部門 水平力とねじり力を受ける鋼管集成橋脚の耐震性に関する研究

京都大学工学部 学生員 ○森 勇樹 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 橋本 国太郎 阪神高速道路株式会社 正会員 西岡 勉  
 阪神高速道路株式会社 正会員 丹波 寛夫

## 1. 研究背景および目的

兵庫県南部地震により多くの橋梁は多大な被害を受けた。鋼製橋脚に対しても耐震性の向上が求められるなか、金治ら<sup>1)</sup>によって履歴型ダンパー機能を有する鋼管集成橋脚が提案されている。鋼管集成橋脚とは、図1に示すように4本の鋼管に横繋ぎ材であるせん断パネルを数段配置し、立体的に鋼管を組み上げた骨組構造である。さらに、この構造はフーティングを省略し、杭基礎へ直接連結可能であると考えられ、従来の鋼製橋脚と比較して60%程度まで建設コストを削減できるとの報告もある<sup>1)</sup>。実際に、阪神高速道路3号神戸線海老江JCTで鋼管集成橋脚の建設が予定されている。海老江JCTは曲線高架橋で構成されるため、地震時に水平力だけでなく、ねじり力も発生すると考えられ、その耐震性への影響が懸念されている。そこで本研究では、水平力とねじり力の組み合わせ荷重が鋼管集成橋脚に及ぼす影響を確かめるために、FEM解析および載荷実験を行い、その耐震性について検討を行った。

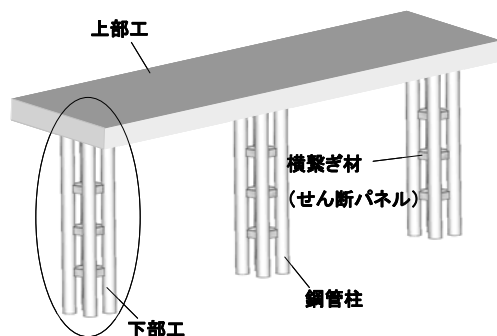


図1 鋼管集成橋脚

## 2. 解析および実験概要

## (1) 解析モデル

まず、FEM解析によって鋼管集成橋脚の基本挙動を精査し、その結果を参考として載荷プログラムを立案した。本解析では、図2に示すように、阪神高速道路3号神戸線海老江JCTに建設予定である鋼管集成橋脚の約1/20の小型モデルを対象とした。

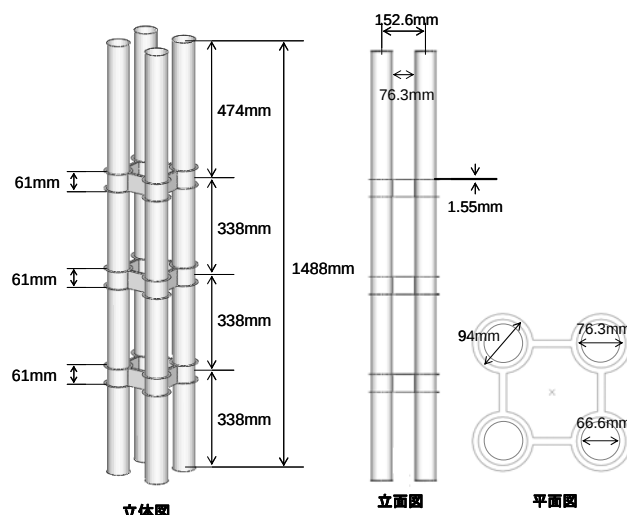


図2 供試体モデル

鋼種は鋼管がSTK400材、パネルがLY225材、フランジがSS400材とした。各鋼材の応力-ひずみ関係は事前に行った材料試験の結果（表1を参照）を参考し、マルチリニア型で導入した。なお、FEM解析には汎用構造解析コードABAQUS<sup>3)</sup>を用いた。また、残留応力は考慮せず、初期変形のみを考慮し、パネルに $b/250$ となるsin波の初期たわみを与えた。

( $b$ : 腹板高=61mm)

表1 機械的性質

|        | 降伏強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(GPa) | ポアソン比 |
|--------|------------------------------|------------------------------|---------------|-------|
| STK400 | 370.3                        | 433.0                        | 201.9         | 0.26  |
| SS400  | 324.1                        | 425.3                        | 200.4         | 0.29  |
| LY225  | 180.6                        | 294.4                        | 204.4         | 0.28  |

## (2) 実験概要

本実験で使用した供試体も図2に示した実橋の約1/20モデルである。実験は京都大学地球系総合研究棟内の構造実験室に設置された三次元構造物試験装置を用いて行った。載荷は以下の2種類で行った。

1. ねじり力のみ単調載荷
2. 一定軸力・一定ねじり力下での正負交番水平力載荷

なお、一定軸力は鋼管断面の軸降伏荷重の10% ( $0.1P_y=153\text{kN}$ )、一定ねじり力は荷重ケース1の結

果よりパネルが降伏する時のねじりモーメント  $13\text{kN}\cdot\text{m}$  を載荷した。交番載荷では、解析結果よりパネルの降伏水平変位を  $\delta_y=4.0\text{mm}$  と定義した。各  $\delta_y$  にて1サイクルを載荷し、正負漸増繰返し載荷を最大  $15\delta_y$  まで実施した。

### 3. 結果および考察

荷重ケース 1 のねじりモーメント-ねじり角関係とイベントの関係を図3に示す。ねじりモーメントが約  $13\text{kN}\cdot\text{m}$  でパネルが降伏し橋脚の剛性は若干低下する。さらに約  $30\text{kN}\cdot\text{m}$  で鋼管が降伏することによって橋脚の剛性は大きく低下する。しかし、約  $30\text{kN}\cdot\text{m}$  まではパネル降伏後も鋼管は弾性応答内に留まることを確認した。また解析結果からねじり耐力に関しては初期たわみの影響はほとんどないことも合わせて確認した。

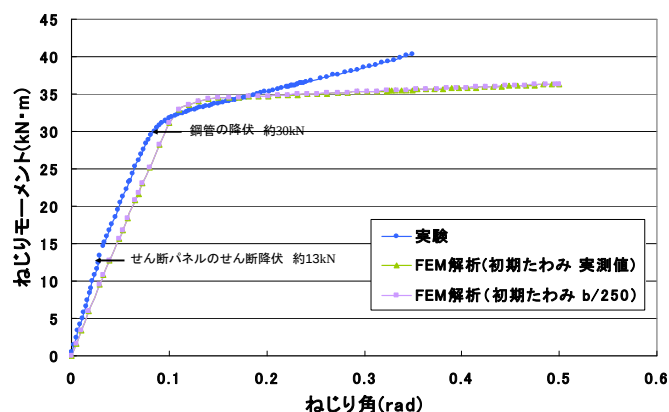


図3 ねじりモーメント-ねじり角関係とイベントの関係

荷重ケース 2 の水平荷重-水平変位関係を図4に、包絡線とイベントの関係を図5に示す。 $4\delta_y$  のとき、鋼管の基部が降伏し始め、 $5\delta_y$  でパネルのせん断座屈を確認した。さらに  $8\delta_y$  で全鋼管の基部が降伏し、最大荷重  $34.0\text{kN}$  を確認した。それ以降は荷重が低下している。なお、上段パネルのき裂と鋼管基部の局部座屈を目視で確認したのは  $14\delta_y$  であった。（上段パネルのき裂と鋼管基部の局部座屈に関しては、若干早い段階で発生したと考えられる）しかし、これらが耐力低下に及ぼす影響は大きいと思われる。特に、耐力低下後の挙動が解析結果と大きく異なっている要因として、パネルにき裂が発生したことが考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、鋼管集成橋脚の水平力やねじり力に対する耐震性を検討するために、FEM 解析およびね

じり力単調載荷実験、一定軸力・一定ねじり力下での正負交番水平力載荷実験を行った。鋼管集成橋脚がねじり力を受けるとき、横繋ぎ材の初期たわみの影響はほとんどなく、横繋ぎ材が降伏しない程度のねじり力であれば、橋脚のねじり耐力に及ぼす影響も少ない。また、鋼管集成橋脚がねじり力や水平力を受けるとき、横繋ぎ材は早期に降伏するが、鋼管の塑性化に及ぼす影響は小さく、橋脚としての高い耐震性は確保できることがわかった。

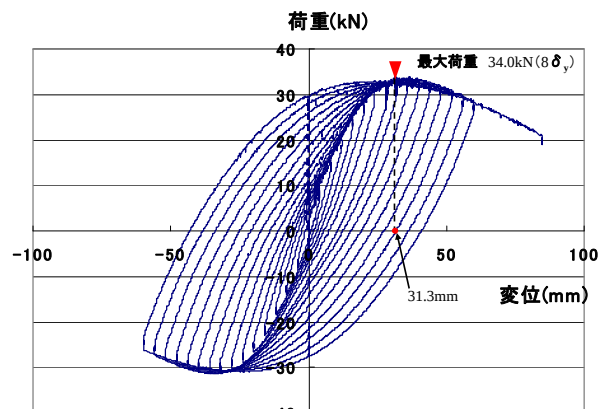


図4 水平荷重-水平変位関係

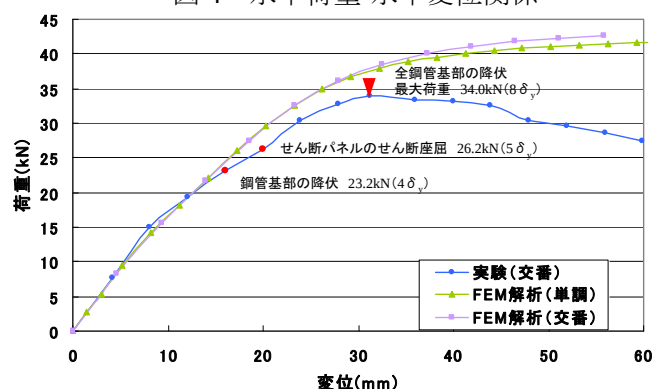


図5 包絡線とイベントの関係

### 参考文献

- 1) 金治英貞, 鈴木英之, 野中哲也, 馬越一也: 履歴型ダンパーつき鋼管集成橋脚の損傷制御構造に関する基礎的研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.50A, pp.559-566, 2004.
- 2) 林訓裕, 金治英貞, 西海健二, 豊島径: モデル載荷試験による鋼管集成橋脚の力学的特性の検証, 第60回土木学会年次学術講演会, 2005.
- 3) Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc: ABAQUS/Standard User's Manual Volume I - III Version 6.3, 2002.

### 謝辞

本研究の実施にあたっては、京都大学大学院工学研究科 檜垣義雄氏、有馬博人氏に大変なご協力とご指導を頂きました。厚く感謝申し上げます。