

# 鋼管柱・H形はり接合部の終局強度解析(その1)

## ——実験結果との比較——

Ultimate Strength Analysis of Tubular Column to H-Beam Connections (Part 1)  
—Comparisons with experimental results—

弓 削 康 平\*・都 井 裕\*・寺 岡 勝\*  
Kohei YUGE, Yutaka TOI and Masaru TERAOKA

### 1. 序

鋼管柱を用いたラーメン架構における鋼管柱・はり接合部の局部耐力については、すでにいくつかの実験的あるいは理論解析的研究がみられるが<sup>2)~4)</sup>、複雑な挙動であるから、定性的および定量的により完全な把握に至るためには、数値シミュレーション手法に頼らざるを得ないと思われる。

著者らは文献1)において低次シェル要素による準静的超大変形圧壊挙動解析用の有限要素プログラムを開発した。この解析プログラムを用い、高張力遠心鋼管柱とH形はり接合部が鉛直荷重を受ける場合について終局強度解析を実施し、得られた結果を既存の実験結果と比較したところ良好な対応を得たので報告する。

### 2. 有限要素解析アルゴリズム<sup>1)</sup>

解析に用いた有限要素プログラムは、準静的に圧壊する構造要素のエネルギー吸収特性評価を目的としてupdated Lagrange流の増分理論に基づいて作成されたものであり、塑性変形を伴う超大変形解析が可能である。

本プログラムでは図1に示す4節点アイソパラメトリックシェル要素を使用している。要素は1節点あたり図に示す6自由度を有しており、座標系としては全体座標系(x, y, z)以外にひずみと応力の方向を定義する要素座標系(x', y', z')、変位自由度の方向を定義する節点座標系(x'', y'', z'')、要素空間をパラメータ表示するためのξ-η座標系を使用する。要素剛性は要素中心(ξ=η=0)における1点積分法により算定する。1点積分法により大幅に計算時間が短縮され、また比較的粗い要素分割でも良好な結果を得られることが報告されている。この要素はアワーグラスモードと呼ばれる零エネルギーモードを含むが、これを制御するため、Belytschkoらにより提案されたアワーグラスモードと直交する仮想弾性剛性を付加する。また、肉厚方向に数

点の積分点を設置する層分割法を採用することにより、断面内の降伏、除荷、ひずみ硬化などに関し厳密な解析を行っている。

### 3. 実験概要

比較解析を実施した実験は昭和46年に神戸大学伴研究室<sup>3)</sup>で行われたものであり、その供試体の寸法を図2(a), (b), (c)に示す。本供試体は高張力遠心鋼管柱とH形鋼を溶接接合したものであり、鋼管の接合部はスチフナリングおよびブラケットにより補強されている。実験では、H形鋼はりの両端部を単純支持し、鋼管の上端より鉛直荷重を載荷しており、荷重・変位関係、ひずみ分布などが計測されている。

### 4. 解析仮定

要素分割は問題の対称性により供試体の1/2部分に対し実施し、接合部付近は特に細かい分割となるよう留意した(図3)。鋼管は軸方向にテーパが付けられており、肉厚も変化しているが、本解析では1要素の肉厚は一定とし接合部に近い要素ほど肉厚を厚くすることによ

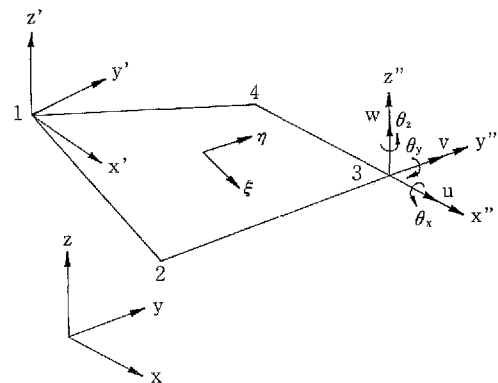


図1 4節点シェル要素

\*東京大学生産技術研究所 第2部

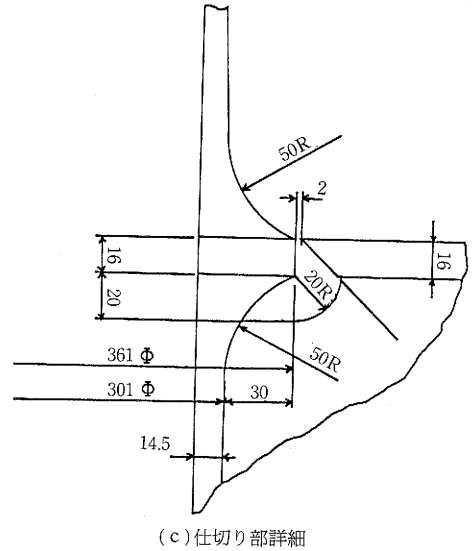
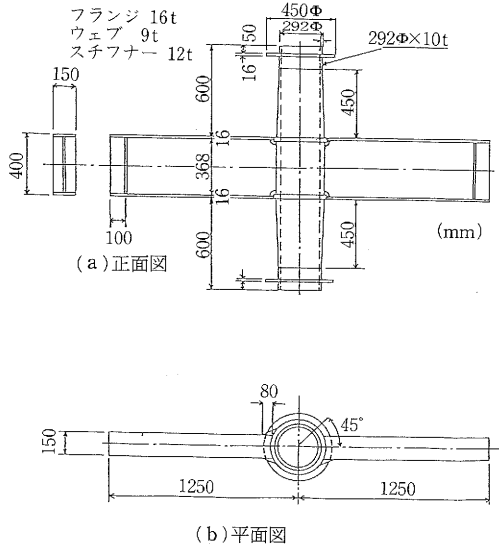


図2 鋼管柱・H形はり接合部供試体

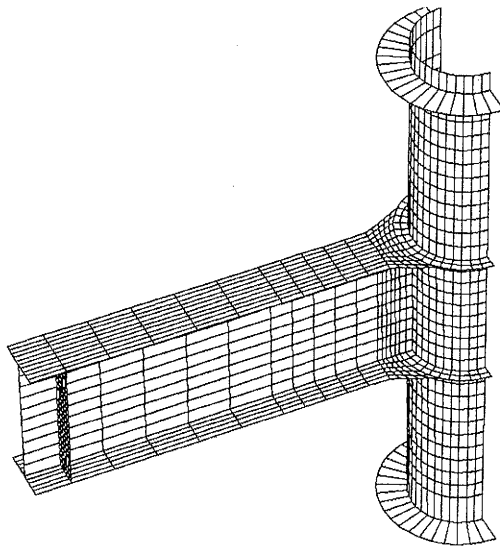


図3 鋼管柱・H形はり接合部解析モデル

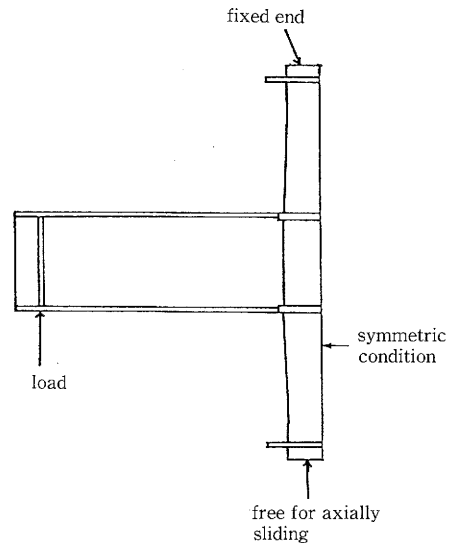


図4 解析における境界条件および荷重条件

りこれに対処した。また、H形鋼との接続部位に設けられたスチフナリングは40mmの様な厚さを有するものと仮定した。接合部付近のウェブに設けられたスカラップは該当する要素剛性を非常に小さくすることにより考慮した。本要素分割における要素数は1400、節点数は1465、自由度数は8790である。解析における境界条件および荷重条件を図4に示す。

各部の材料定数は材料試験結果に従い以下の値を用いた。

フランジ	$E = 21000 \text{ kg/mm}^2$	$\sigma_y = 38 \text{ kg/mm}^2$
ウェブ	$E = 20700 \text{ kg/mm}^2$	$\sigma_y = 40 \text{ kg/mm}^2$
鋼管	$E = 21000 \text{ kg/mm}^2$	$\sigma_y = 36 \text{ kg/mm}^2$

ポアソン比はすべて0.3とした。解析プログラムはupdated Lagrange流の増分理論に基づいているため応力・ひずみ関係として真応力・真ひずみ関係が必要であるが、これらの関係は与えられていないので、降伏後の接線係数 $E_t$ はヤング率の1%と仮定した。

研究速報

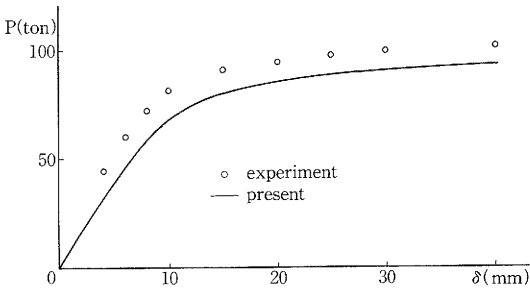


図5 荷重(P)・荷重点変位( $\delta$ )関係

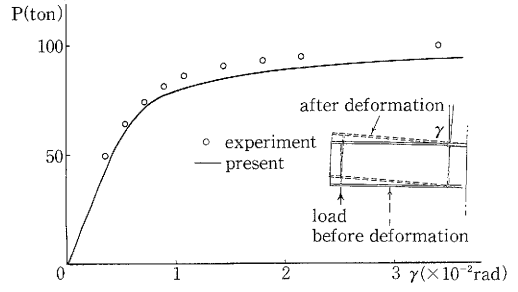


図6 荷重(P)・継手部回転変位( $\gamma$ )関係

5. 解析結果

得られた荷重・荷重点変位の関係および荷重・接合部回転変位の関係を実験結果と比較して図5と図6に示す。解析結果は実験結果を若干下回る荷重を与えているが、両者はほぼ良好に対応している。

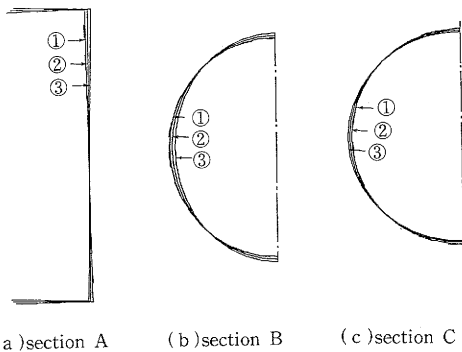
直接実験結果と対比することはできないが、解析により得られた断面変形図を図7に示す。断面変形図では図中に示すように、H形はりの鋼管接合部に沿った縦方向断面と鋼管側スチフナリング設置部分の横断面の変形を示している。はりの圧縮側フランジに接する鋼管断面のはり方向の扁平化、およびはりの引っ張り側フランジに接する鋼管断面の伸張変形が観察される。図8は接合部付近のフランジ、ウェブ、鋼管のひずみを表示したも

のである。解析プログラムは構造要素の圧壊時におけるエネルギー吸収量の算定を目的に作成されたものであり、厳密な応力履歴を追跡可能となっているが、ひずみは増分形で計算する機能しか有していない。そこで本図は荷重増分の第1ステップ(荷重5.99ton)において計算されるひずみを出力したものである(線形ひずみと見なすことができる)。参考のため荷重40ton時(ほぼ線形挙動の状態)の同位置での計測ひずみを同一荷重に換算して比較してある。解析結果は実験結果と良好に対応していることがわかる。

以上の比較より実験結果と解析結果はほぼ良好に対応しており、本解析コードが接合部の終局強度解析に有効であることがわかる。

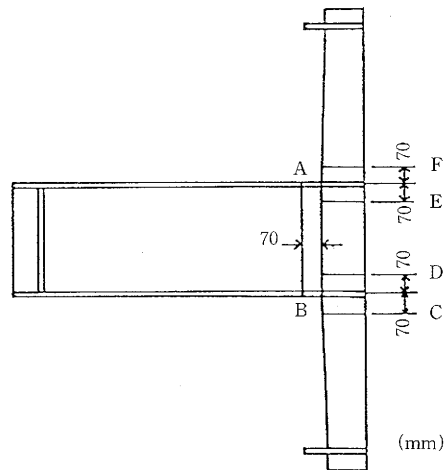
6. 結 言

構造要素の圧壊解析を目的として開発した有限要素コードを用いて、十字型の高張力遠心鋼管柱・H形はり接合部が鉛直荷重を受ける場合について終局強度解析を

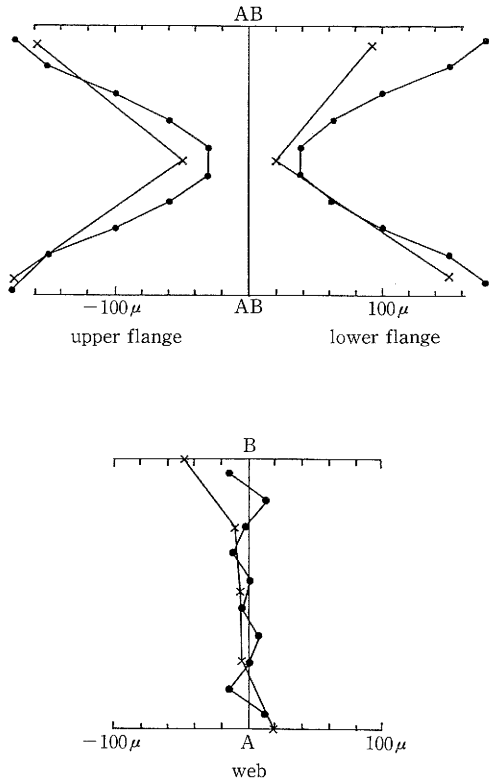


- ①  $\delta = 11.9\text{mm}$ ,  $P = 72.8\text{ton}$
- ②  $\delta = 30.1\text{mm}$ ,  $P = 90.2\text{ton}$
- ③  $\delta = 48.4\text{mm}$ ,  $P = 95.1\text{ton}$

図7 断面変形図



(a) ひずみ出力位置  
図8 ひずみ分布図

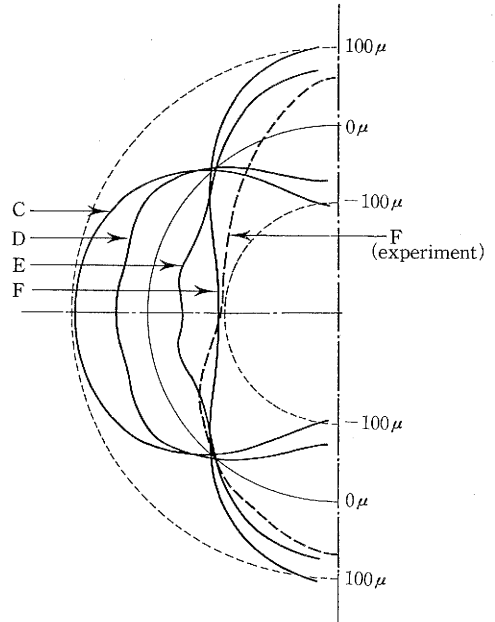


●—● analysis  
 ×—× experiment

(b) はり部ひずみ  
 図8 ひずみ分布図

実施し、既存の実験結果と良好に対応することを確認した。

比較解析を実施した供試体ではH形はりフランジと円筒鋼管の肉厚がバランスよく設定されているため、両者はほぼ同時に塑性化する。次報では円筒鋼管の肉厚を種々変化させた場合の崩壊モードの相違についてパラ



(c) 鋼管部ひずみ  
 図8 ひずみ分布図

メータ解析を実施する。 (1989年3月24日受理)

参考文献

- 1) 都井, 弓削, 川井: 構造要素の衝突圧壊強度に関する基礎的研究 (その1: 有限要素法による超大変形圧壊解析), 日本造船学会論文集, 第159号, (1986), 248.
- 2) 神戸大学伴研究室: 高張力遠心鋳鋼管柱 (Gコラム) と H形断面はりの接合部実験, (1969)
- 3) 上場, 金谷, 藤原, 田淵: 鋼管柱・H形はり接合部の単純模型実験 (鋼管柱溶接接合部の研究 I), 日本建築学会論文報告集, 第322号, (1982), 44.
- 4) 上場, 金谷, 藤原, 田淵: 鋼管柱・H形はり接合部の耐力推定式 (鋼管柱溶接接合部の研究 II), 日本建築学会論文報告集, 第325号, (1983), 67.