

## 1.はじめに

現在、建築鋼構造物における部材間の接合部において、溶接や高力ボルトを使用することは標準的な工法となっている。この接合部は概ね一体化されていると考えられ、部材には座屈荷重となる力が確実に伝達される。一方、高力ボルトを使わず接触程度の組立てで施工されている仮設程度の構造物がある。角型鋼において、その側面板材の座屈を考慮しなければならない場合には、接触による影響は無視できない。本研究では接触の影響を検討する事例として、道路などの側溝に設置するかさ上げ材を取り上げる。数値シミュレーションの手法で座屈挙動に対する接触の影響を検討する。本論文ではかさ上げ材に荷重を伝達する上部の接触を考慮した昨年度の検討に対して、両端ピン支持として処理されたかさ上げ材の下部の支持条件を変更して、コンクリート支持体との接触を考慮した数値解析の検討を行う。また、載荷梁と見なされているグレーチングのサイズや角型鋼管の種類を増やし、接触による座屈耐力の低下や座屈モード、座屈荷重を比較検討する。

## 2.座屈たわみ角法

本論文の座屈解析モデルを図1に示す。梁の役割を果たすグレーチング材を通じて積載荷重が接触によって支持材に伝達され、支持材の座屈によって最大耐力に達すると考えられる。ここでの支持材の鋼管断面をラーメン構造とみなせば、この鋼管の座屈荷重に関して、既存の座屈たわみ角法を応用すれば算出することができる。以下にその概要を示す。図2に示すように、両端に曲げモーメントと軸力を受ける部材の曲げ座屈を考える。部材の曲げ剛性を  $EI$ 、部材端1と2に作用する曲げモーメント  $M_{12}$  と  $M_{21}$  により部材端の回転角  $\theta_1$  と  $\theta_2$  が生じる。また  $R$  は部材角である。  $L$  を  $Z$  方向の水平距離とする。

$$M_{12} = \frac{EI}{L} \{s\theta_1 + sc\theta_2 - s(1+c)R\} \quad (1)$$

$$M_{21} = \frac{EI}{L} \{s\theta_2 + sc\theta_1 - s(1+c)R\} \quad (2)$$

ここで

$$s = \frac{(\sin \alpha - a \cos \alpha)\alpha}{2(1 - \cos \alpha) - a \sin \alpha} \quad c = \frac{\alpha - \sin \alpha}{\sin \alpha - a \cos \alpha} \quad (3)$$

また  $\alpha$  は以下の式となる。

$$\alpha = L \sqrt{\frac{N}{EI}} \quad (4)$$

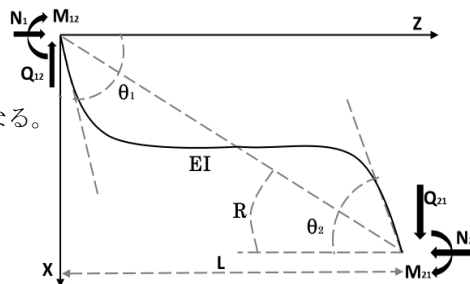


図2 部材耐力と変形

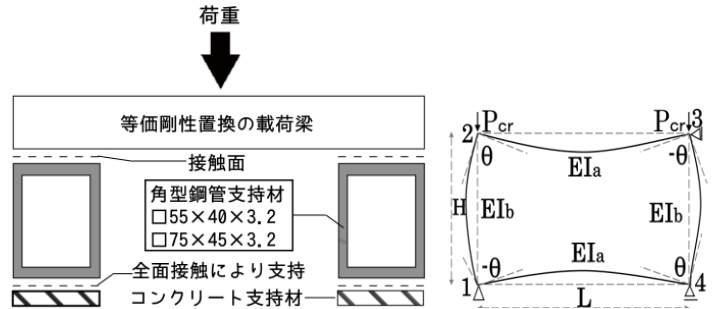


図1 解析モデル概要

図3 長方形ラーメンの座屈

$s$ 、 $c$  は安定関数と呼ばれ、軸力に左右される項である。

次に水平移動を拘束されたラーメンについて検討すると梁軸力が0とみなすので  $s=4$ 、 $c=0.5$  となる、式(1)と(2)を図3の点2について代入すると次式が得られる。

$$M_{21} = \frac{EI_b}{H} s(1-c)\theta \quad (5) \quad M_{23} = \frac{2EI_a}{L} \quad (6)$$

(3)式をそれぞれ代入し、点2のモーメントの釣合より(7)式が得られる。ここでは柱梁剛比を  $k_c$  としている。

$$2\alpha(k_c - 1)\sin \alpha - (\alpha^2 k_c + 4)\cos \alpha - \alpha^2 k_c + 4 = 0 \quad (7)$$

(7)式を  $\alpha$  について解き、解を(8)式に代入すれば、弾性座屈荷重が得られる。弾塑性座屈の場合、本論文では(8)式の弾性座屈荷重を(9)式で単材の弾塑性座屈荷重で置換えて対応する。

$$P_{cr} = \frac{\alpha^2}{\pi^2} N_E \quad (8) \quad N_E = A \left( \sigma_y - \frac{\sigma_y^2}{4 \frac{I}{k_c \pi^2 E}} \lambda^2 \right) \quad (9)$$

## 3.数値解析

### 3.1 解析概要

汎用プリポストシステム HyperMesh を用いて解析モデルを作成し、汎用構造解析ソフト Abaqus を用いて数値解析を行った。解析モデルは図1のように2つの支持材である鋼管の上に荷重を伝達する梁が設置され、梁材と支持材の間は接触の関係になっている。この梁は本来グレーチング材であるが、そのままでは解析が煩雑となるので梁材として同じ断面二次モーメント  $I$  でモデルを作成している。下部の支持層はコンクリート材として設定し、かさ上げ材の角形鋼管との間に解析上の接触を設けて、支持反力の正確な分布状態をシュミレートする。この場合、角形鋼管の座屈に対する底面の拘束効果は接触による支持反力の分布で再現している。また、数値解析では梁材、コンクリート材を弾性材とし、鋼管は弾塑性の STKR400 材の真応力-真ひずみ関係を使用する。解析モデルについては、図1に示す  $\square 55 \times 40 \times 3.2$ 、及び  $\square 75 \times 45 \times 3.2$  の鋼管材を採用する。鋼管の断面をラーメンのように使用し、奥行きを 40mm とした。梁材の中央には載荷するための剛体を挟み、荷重の伝



図5 □55×40の左側鋼管の座屈モード(変形倍率5倍)

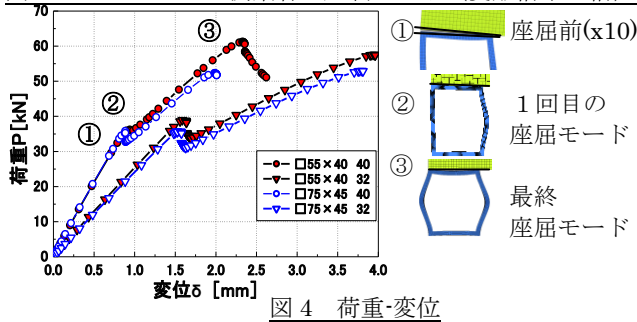


図4 荷重-変位

達において過大な局部変形が生じないようにしている。載荷梁の剛性によって座屈の状態が異なるので、座屈耐力などに対する影響を検討するため梁材として設定した等価梁の梁せいである板厚は16mm~40mmとした。解析に使用した静摩擦係数は0.45とし、鋼材のヤング係数は $2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、コンクリートについてはFc21を採用しヤング係数は $2.19 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ と設定した。

### 3.2 解析結果及び考察

図4は代表的な荷重と変位の関係を示したグラフである。変位制御で載荷しているため梁材中央の載荷点の反力と変位を取り出してプロットした。同図から分かるように最大耐力に達するまで2回スリップしたような曲線となっている。このスリップは座屈によるものである。載荷の初期では、梁の曲げ変形により角形鋼の内側のみが接触し、内側柱が先に座屈する。これが1回目のスリップである。その後、外側柱が梁材に接触し外側柱も座屈することによって最大耐力に達する。表1は各梁せいの最終的な座屈荷重を示したものである。梁せいが増加していくにつれ座屈耐力が上昇している。これは内側柱が座屈するとき、外側柱頭部と梁との距離、つまり離間距離が原因である。梁の断面二次モーメントが小さいケースでは梁のたわみ角が大きく、離間距離が顕著になる。図5は梁せい20mmと40mmの座屈モードを5倍にしたものである。梁せいの変動により鋼管の座屈モードが異なった。これは梁の断面二次モーメント増加することにより梁のたわみ角が減少し、鋼管と梁との接触が変化していると考えられる。図6は□55×40の内側柱の水平変位及び鉛直変位を示している。初期の接触によるばらつきはあるものの、どの梁せいでも34~36kNで座屈している。表2と表3に等価置換梁の各梁せいにおける1回目の座屈時の荷重と理論値を示した。理論値との差は最大5%であるが、これは接触の影響と考えられる。図7は□75×45の内側柱の水平変位及び鉛直変位を示している。結果から分かるように、角形鋼管材が異なるものの、1回目の座屈に若干程度の違いにとどまっていることもあって、最終的にほぼ同様の座屈耐力となった。

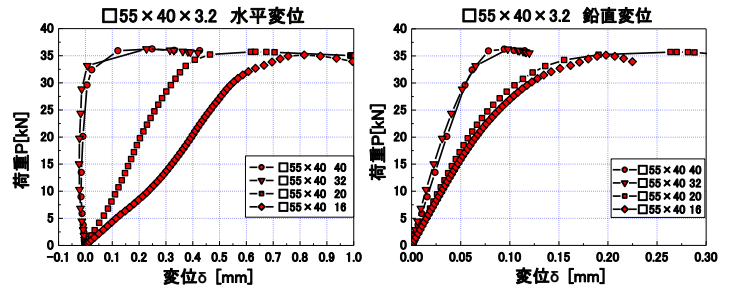


図6 各梁せいの荷重-変位 □55×40

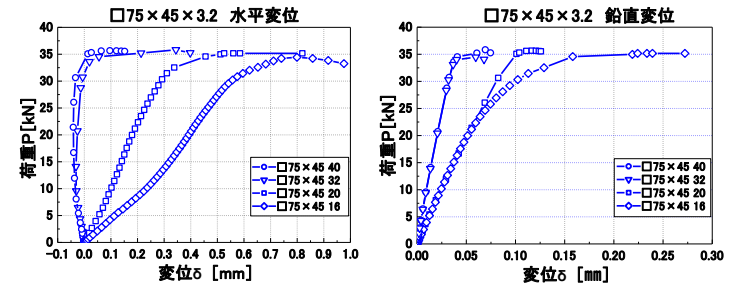


図7 各梁せいの荷重-変位 □75×45

表1 最終座屈荷重と梁せい

梁せい [mm]	□55×40×3.2		□75×45×3.2	
	32	40	32	40
理論値 [kN]	71.4		68.2	
荷重 [kN]	58.1	61.2	52.3	52.9

表2 1回目の座屈の解析値と理論値 □55×40

梁せい [mm]	□55×40×3.2			
	16	20	32	40
理論値 [kN]	35.7			
荷重 [kN]	35.0	35.7	36.0	36.2

表3 1回目の座屈の解析値と理論値 □75×45

梁せい [mm]	□75×45×3.2			
	16	20	32	40
理論値 [kN]	34.1			
荷重 [kN]	34.7	35.2	35.5	35.8

### 4 まとめ

本論文では、接触によって伝わってくる荷重に対する座屈挙動を検討するため、鋼管断面材の座屈問題を取り上げ載荷梁の等価梁せいを変化させたモデルを作成し、数値解析を行うことによって、座屈荷重に対する接触の影響を検討した。その結果、次のことが言える。

- (1) 1回目の座屈は、載荷梁の剛性が大きいと座屈耐力が大きくなる傾向がみられたが、梁の剛性が10倍以上違っても大差は見られなかった。
- (2) 座屈たわみ角法を適応した最終座屈荷重の計算理論値は、接触による影響を考慮しておらず最大30%程度の誤差が見られた。
- (3) 接触による座屈耐力の低下は細長比λの小さいケース程、顕著になる傾向が見られた。

### 参考文献

- (1) 石津健司:「接触の影響を考慮した軽量角形鋼管支持材の座屈耐力に関する研究」大阪工業大学論文集 2016年
- (2) 井上一郎:「建築構造の倫理と設計」大学学術出版会 2003年
- (3) 若林實:「鉄骨構造学詳論」丸善株式会社 1985年
- (4) 五十嵐定義、脇山廣三、中島茂壽、辻岡静雄:「エース鉄骨構造学」朝倉書店 2005年
- (5) 社団法人日本鋼構造協会:「わかりやすい鉄鋼の構造設計」鉄骨の構造設計改訂委員会 2013年