

1. はじめに

現在、通常の建築鋼構造物における部材と部材の接合において、溶接や高力ボルトを使用することは標準的な工法になっている。この場合、接合部は概ね一体化されていると考えられるため、部材には座屈荷重となる力が確実に伝達されるが、仮設構造物などの場合では接触程度の組立にとどまることもある。この場合は剛性などのバランスによって荷重が偏っている可能性があるため、座屈に対する影響は無視できなくなる。本論文では、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て、接触を考慮した数値解析モデルを作成し、かさ上げ材を構成する軽量角型鋼管材の座屈解析を行い、接触の影響などを検討する。

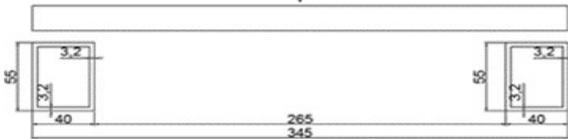


図1 解析モデルの概要

2. 座屈たわみ角法

本論文で取り上げる角型断面の支持材を図1に示す。単純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る。ここでこ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用いて算出することができる。以下はその概要を示す。

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、2に作用する曲げモーメント M_1 M_2 により部材端の回転角 θ_1 θ_2 が生じる。また、Rは部材角である。

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

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

ここで、

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

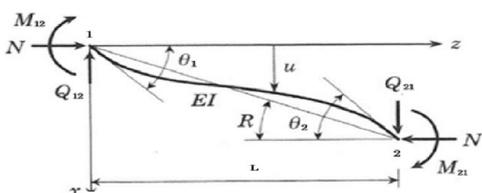


図2 部材端力と変形

また α は以下とする。

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

s, cは安定関数と呼ばれ、軸力により左右される。

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なので $s = 4, c = 0.5$ となる。(1),(2)に代入すると次式が得られる。

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

(3)式をそれぞれ代入し、モーメントの釣り合いより(6)式が得られる。 k_c 柱梁剛比, σ_y 降伏応力,Aは柱断面積とし、 λ は細長比であるが座屈長さ係数に $n = \pi/\alpha$ を用いる。

$$2\alpha(k_c - 1) \sin \alpha - (\alpha^2 k_c + 4) \cos \alpha - \alpha^2 k_c + 4 = 0 \quad (6)$$

(6)式を α について解き、解を(7)式に代入する。

非弾性座屈の際は(9)式の P_{cr} を使用する。

$$P_{cr} = \frac{\alpha^2}{\pi^2} N_E \quad (7)$$

$$N_E = \frac{\pi^2 EI}{H^2} \quad (8)$$

$$P_{cr} = A \left(\sigma_y - \frac{\sigma_y^2 \lambda^2}{4 \frac{1}{n} \pi^2 E} \right) \quad (9)$$

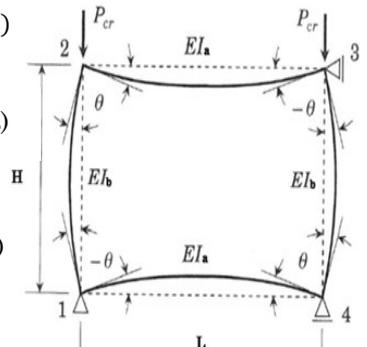


図3 長方形ラーメンの座屈

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のような二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、接合部に相当する梁材・支持材の間には接触の関係になっている。数値解析では梁材を弾性材と設定し、鋼管は弾塑性体として扱い、STKR400材の真応力-真ひずみ関係を使用する。鋼管に関しては $\square 55 \times 40 \times 3.2$ の断面をラーメンのように使用し、奥行方向の寸法を40mmとした。梁材の中央には載荷するための剛体を挟み、荷重の伝達において過大な局部変形が生じないようにしている。梁材として設定した板の厚みについては10mmから40mmとして、接触の影響があるか確認するため、比較の基準モデルとして離間しない接合を考慮して鋼管の真上から荷重をかけたモデルについても解析を行った。この場合剛体の梁による結果となるので、以後剛体モデルと表示する。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205kN/mm²と設定した。

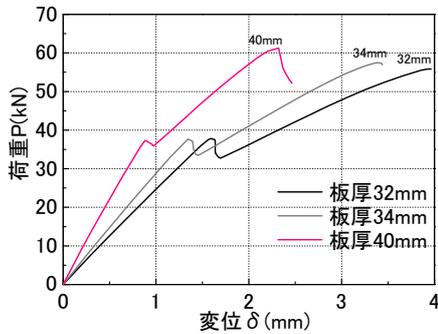


図4 荷重変位関係

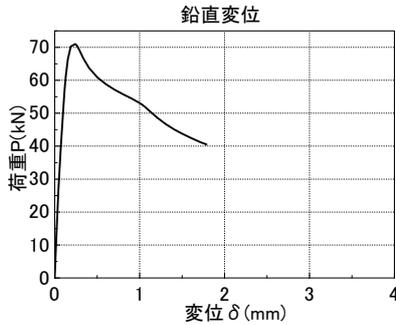


図5 離間しない接合の荷重変位関係

表1 座屈耐力と板厚の関係

| 板厚(mm) | 32 | 34 | 40 | 剛体 |
|----------|------|------|------|------|
| 座屈耐力(kN) | 55.8 | 57.4 | 61.3 | 71.0 |

3.2 解析結果及び考察

図4は荷重と変位の関係を表したグラフである。変位制御で載荷しているため板材の中央の載荷点の反力と変位を取り出してプロットした。加えた荷重の半分が左右の鋼管に伝わると考え、比較では片側だけ使用している。同図のグラフから分かるように最大耐力に達するまで、それぞれ一回スリップしたような曲線となっている。このスリップは一回目の座屈によるものである。つまり梁材の曲げ変形によって、載荷の初期では、角型材の内側のみ接触が成立し、鋼管片側の柱が先に座屈する。その後逆側の柱に梁材として設定した板が接触し、内側柱が座屈後の軸方向変形が増大し、外側の柱も座屈することによって最大耐力に達した。表1は板材ごとの最終的な座屈荷重を表したものである。板厚が増加していくにつれ座屈耐力が上昇していることが分かり、二つの要因に支配されると考えられる。一つは、内側柱が座屈する時外側柱頂部と梁との距離、つまり離間の量による。梁材の断面が小さいケースでは梁のたわみ角が大きく、上記の離間が顕著になる。二つ目は内側柱の座屈後の耐力低下による。細長い部材であれば、弾性限内のままで座屈後の変形が進んで一回目の座屈後耐力の低下が無ければ、最大耐力が変わらないと考えられる。本論文の解析モデルでは、梁材となる板の断面二次モーメントが増加することにより、離間した距離が減少し外側鋼管の柱における座屈耐力後の低下が相対的に抑制されることから最大耐力の荷重が増加したと考えられる。図5は比較の基準(剛体)モデルとして離間しない接合の場合の荷重-変位の関係を示したグラフである。図4のグラフと比較すると、座屈後の耐力低下は同じであると言える。

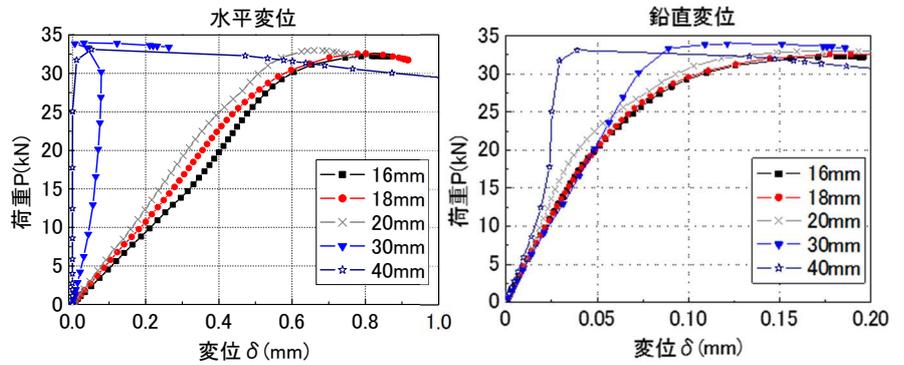


図6 解析モデルの荷重変位

図6は柱軸力と水平変位および鉛直変位の関係を示している。ここでは右側鋼管の内側柱のグラフになっている。グラフから分かるように同じ柱であるにも関わらず、初期不整の違いによるばらつきと類似している傾向がみられ、接触点の詳細な挙動による影響と考えられるが、どの板厚であっても座屈耐力は35kN程度で座屈していることが分かる。表2は板厚ごとの一回目の座屈耐力と理論値を比較したものを示す。この理論値は前節の座屈たわみ法によるものである。ただし(7)に示す P_{cr} の式に対して、オイラー弾性座屈式の代わりに限界細長比を超えた弾塑性座屈の計算式、つまり(9)式に置き換えた。この置き換えによって算出した理論値との差は多少見受けられたが、剛体に対しては1%未満の誤差であり、精度良く評価できたといえる。梁の剛性によって接触荷重による偏心のばらつきがあるにも関わらず、オイラー座屈式の置き換えを行った座屈たわみ角法で評価できると言える。

表2 解析値と理論値の座屈耐力

| 板厚(mm) | 32 | 34 | 40 | 剛体 |
|---------|------|------|------|------|
| 理論値(kN) | 35.7 | | | |
| 荷重(kN) | 33.8 | 33.7 | 33.1 | 35.5 |

4. まとめ

本研究では、接触によって伝わって来る荷重に対する仮設タイプの構造物の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、載荷梁の板厚を変えたモデルを作り、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) 一回目の座屈に対して接触による荷重の偏心が若干に異なるものの、座屈耐力には大差がなかった。
- (2) 座屈による最大耐力については、1~2割程度の耐力低下が生じることが分かった。
- (3) 座屈たわみ角法に対して、オイラー座屈式を弾塑性座屈の式に置き換えれば、概ね評価できる。

参考文献

- (1) 井上一郎：「建築構造の倫理と設計」大学学術出版会 2003年
- (2) 若林實：「鉄骨構造学詳論」丸善株式会社 1985年
- (3) 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
- (4) 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