

## 非構造部材による補剛効果を考慮したH形鋼梁の横座屈性能評価

著者	吉野 裕貴
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	11301甲第16446号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/60893">http://hdl.handle.net/10097/60893</a>

よしのゆうき  
氏 名 吉野裕貴  
研究科, 専攻の名称 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻  
学位論文題目 非構造部材による補剛効果を考慮した H 形鋼梁の横座屈性能評価  
論文審査委員 主査 東北大学教授 木村 祥裕 東北大学教授 植松 康  
東北大学教授 前田 匡樹

## 論文内容要約

巨大地震による大空間構造物の崩壊挙動について明らかにされつつあるが、構造部材のみで構成された構造物を対象とした研究である。また、建築物の許容応力度設計や保有水平耐力計算では構造部材のみを対象としているが、写真1のような空間構造物における構造部材には母屋や屋根折板等の非構造部材が取り付く。

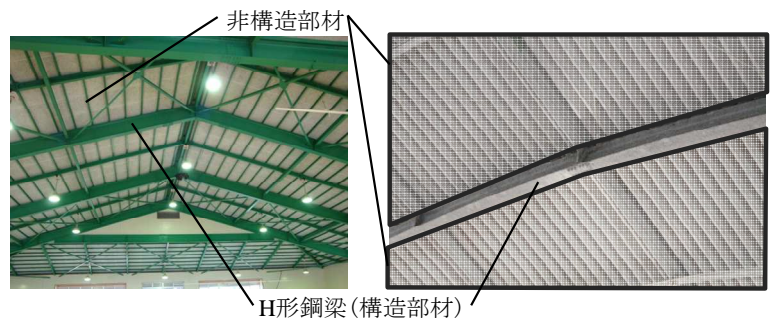


写真1 実際の空間構造物の例

構造部材と非構造部材の接合部の剛性や強度が不十分な場合、地震外力を受けることで局所的な座屈変形を引き起こし、構造部材が予期しない挙動を示すとも考えられる。さらに、非構造部材の補剛効果で構造部材である主梁の耐力が設計耐力より大きくなり、梁と柱の力のバランスが崩れ、柱が崩壊することで架構全体の倒壊を引き起こす可能性も考えられる。このように非構造部材にもある一定の安全性が要求されるが、現行の耐震設計法では非構造部材の影響について考慮されておらず、建築物の耐震設計時の解析モデルと地震時の実挙動が異なるため、建築物の正確な地震応答や耐震性能を把握することは難しい。構造部材に取りつく非構造部材の補剛効果も考慮されれば、より実構造物に近い耐震性能が明らかになる。

近年、空間構造物に対する需要の増加に伴い、経済的な理由から主梁に H 形鋼が多く用いられている。H 形鋼梁の梁長が長い場合、曲げモーメントを受けることで、梁の振れを伴い面外曲げ変形を生じ、梁は横座屈（横倒れ座屈）を引き起こす可能性がある。現行の設計法では小梁などのつなぎ梁（補剛材）を圧縮応力が生じる上フランジに取り付け補剛することで横座屈を効果的に抑制している。しかし、梁に作用する外力の組み合わせによっては、下フランジに圧縮応力が生じ、上フランジ補剛した場合でも、下フランジで水平変形が生じ、横座屈する危険性がある。上フランジ補剛において、下フランジの横座屈変形を拘束するためには、水平方向のみでなく、振れを拘束する必要がある。一方で、非構造部材が梁の上フランジに取り付くとき、構造部材である梁と非構造部材の接合部が十分に剛接合されていれば、構造部材である H 形鋼梁の横座屈に対する補剛効果が期待できる。

本論文では、勾配曲げモーメントを受ける上フランジ補剛 H 形鋼梁の横座屈荷重に及ぼす非構造部材の補剛効果を明らかにし、横座屈性能について検討することを目的とする。本論文の構成としては、第1章で研究背景、既往の研究、研究目的について述べている。第二章から第五章は以下の手順で上フランジ補剛された H 形鋼梁の横座屈性能を把握した。

- 1) 非構造部材による水平方向及び回転方向の拘束効果を考慮した H 形鋼梁の弾性横座屈荷重式を誘導し、弾性固有値解析により弾性横座屈荷重式の有効性を検証する。

- 2) 非構造部材の補剛位置及び補剛剛性が勾配曲げモーメントを受ける H 形鋼梁の弾性横座屈荷重に及ぼす影響を把握する。
- 3) 非構造部材を補剛材として活用するために補剛材に要求される水平補剛剛性及び回転補剛剛性を提示し、要求性能を満たさない範囲についても非構造部材による H 形鋼梁の横座屈拘束効果を把握する。
- 4) 弾塑性大変形解析により H 形鋼梁の弾塑性横座屈性状を把握する。そして、弾性横座屈荷重式を一般化細長比に適用した、鋼構造限界状態設計指針・同解説<sup>1)</sup>における座屈曲線を用いて、弾塑性座屈耐力の座屈設計式への適用を検討する。

第六章では本研究で得られた結論をまとめている。

以下に各章の位置付け及び主な結論を示す。

第二章、第三章では、基本的な横座屈性状の把握を目的とし、等曲げモーメントを受ける上フランジ補剛 H 形鋼梁の横座屈性能を把握した。その際、第二章では図 1(a)のように補剛位置が部材中央に取り付く場合、第三章では図 1(b)のように母屋のように材長方向に複数の非構造部材を設ける場合もしくは屋根折板のように材長方向に連続補剛された場合を対象とした。現行の設計指針において規定されていない上フランジで引張側フランジ補剛となる場合を対象とし、梁の横座屈荷重に対する水平及び回転補剛効果を把握した。さらに、横補剛材として活用されている小梁が主梁 (H 形鋼梁) に直交する場合、小梁は主梁のスティフナを介してボルト接合されている場合が多い。一方で、上フランジに取り付く母屋を横補剛材とすれば、補剛位置にスティフナが有るとは限らない。スティフナを設けない場合には補剛点を基点として回転変形を拘束することで H 形鋼梁はウェブ変形を伴った横座屈変形を生じる。そこで、第二章の部材中央での一点補剛の場合には補剛位置にスティフナを設けることでウェブ変形の影響について明らかにした。一方で、第三章の連続補剛の場合には補剛位置でスティフナを設ける場合、設置箇所が複数となり施工が煩雑となることから、ウェブ変形が生じる場合についてのみ対象とした。

等曲げモーメントを受け、上フランジ補剛された H 形鋼梁の弾性座屈荷重式をエネルギー法による変分原理により算定した。その際、2 種類の荷重条件を対象とし、図 2 のように上フランジに引張応力領域が広く分布する場合(左端の曲げモーメントが反時計回り)を Type A、上フランジに圧縮応力領域が広く分布する場合(左端の曲げモーメントが時計回り)を Type B とした。Type A は屋根面が風荷重による吹き上げを受けることで、下フランジに大きな圧縮応力が生じる場合を想定した。

次に、有限要素法による弾性固有値解析を行い、エネルギー法を用いて誘導した横座屈荷重式の有効性を明らかにした。さらに、上フランジ補剛による横座屈荷重の上昇、補剛材による拘束度による横座屈荷重の相違を明らかにし、補剛位置で座屈変形が完全拘束となるために要求される必要補剛剛性を提示した。その際、現行の設計指針において横座屈変形を拘束するための要求値と前述の必要補剛剛性の比較を行うと同時に、既存の空間構造物 (体育館など) で使用されている非構造部材の補剛剛性を算出した。その結果、非構造部材の補剛剛性は本論文で算出した必要補剛剛性の

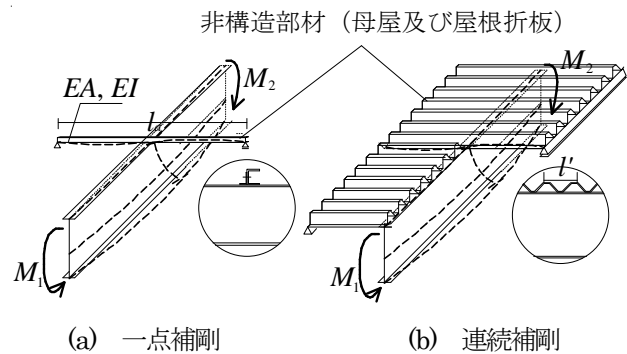


図 1 補剛条件

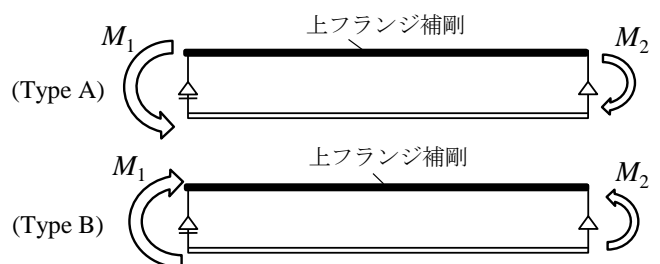


図 2 荷重条件

要求値を満たさない場合もあり、実構造物では非構造部材の水平方向の支持条件が完全な固定とはならず、梁の横座屈変形に対して十分に水平抵抗できないときや、並列に配列した主梁が同時に横座屈するとき、梁の横座屈に対する非構造部材の水平方向の拘束効果が低下するため、必ずしも補剛箇所での水平変形が十分に拘束されるとは限らない。ただし、非構造部材の剛性が補剛材に要求される剛性を持たなくても、非構造部材により、ある程度の拘束効果が期待できる。そこで、実構造物から算定した水平剛性と回転剛性の値を満たさない範囲について検討した。次に、弾塑性大変形解析を行い、必要補剛剛性を満たす範囲と満たさない範囲における横座屈性状の相違、補剛材の水平・回転補剛剛性の組み合わせによる弾塑性横座屈性状の相違を把握した。さらに、算定した弾性横座屈荷重式を用いた修正一般化細長比を提案し、修正一般化細長比を適用した現行の設計指針の横座屈耐力曲線により弾塑性横座屈耐力を評価した。

第四章、第五章では、より現実的な荷重条件を想定し、勾配曲げモーメントを受ける上フランジ補剛 H 形鋼梁の横座屈性能を把握した。その際、第四章では補剛位置をパラメータとし補剛位置  $z$  と材長  $l$  の比が  $z/l=0.2\sim 0.5$  を、第五章では材長方向に複数の補剛材を設ける場合もしくは屋根折板のように材長方向に連続補剛されば場合を対象とした。さらに、勾配曲げモーメントを受ける場合、等曲げモーメントの場合と異なり、曲げモーメントが材軸方向の関数となり、弾性横座屈荷重式が煩雑となる。そこで、第二章、第三章で誘導した弾性横座屈荷重式及び設計指針<sup>1)</sup>のモーメント勾配係数を参考にし、簡便な手法を用いて近似的に勾配曲げモーメントを受ける上フランジ補剛された H 形鋼梁の弾性横座屈荷重式を誘導した。その際、①補剛効果やモーメント勾配効果を力学的項目（梁の曲げ剛性、ねじり剛性、補剛剛性など）の関係を明確にする、②補剛効果をできるだけ高い精度で評価することを目的とした。

第四章では梁の横座屈を圧縮フランジの曲げ座屈として捉え、材軸方向に変化する軸力勾配を受ける圧縮補剛部材の弾性曲げ座屈荷重式を誘導し、この式より補剛位置、補剛剛性の影響を考慮した軸力勾配係数を求めた。軸力勾配係数を第二章で誘導した等曲げモーメントを受ける無補剛梁の弾性横座屈荷重式に乗じることで勾配曲げモーメントを受ける H 形鋼梁の弾性横座屈荷重式とした。そして、横座屈荷重式の精度について弾性固有値解析により検証した。次に、勾配曲げモーメントを受ける梁の場合、補剛効果が最も高い補剛位置は部材中央である等曲げモーメントを受ける梁と異なる。そこで、補剛効果が最も高い補剛位置を「最適補剛位置」とし、モーメント勾配に応じた最適補剛位置を明らかにした。

第五章では勾配曲げモーメントによって反曲点を持つ場合には補剛している上フランジだけでなく、下フランジにも圧縮領域が存在するため、第四章と同様な手法（軸力勾配係数を第三章で誘導した等曲げモーメントを受ける無補剛梁の弾性横座屈荷重式に乗じる手法）は適用できない。そこで、補剛効果やモーメント勾配効果を力学的項目（梁の曲げ剛性、ねじり剛性、補剛剛性など）の関係を明確にすること、補剛効果をできるだけ高い精度で評価することを目的とし、勾配曲げモーメントを受ける無補剛梁の横座屈荷重に連続補剛による荷重の上昇分を加算することで勾配曲げモーメントを受ける H 形鋼梁の弾性横座屈荷重式とした。そして、横座屈荷重式の精度について弾性固有値解析により検証した。

最後に、第四章及び第五章において、それぞれの補剛形式で弾塑性大変形解析を行い、補剛剛性、補剛位置、梁に作用するモーメント勾配をパラメータとした弾塑性横座屈性状の相違を把握した。そして、図3に示すように弾性横座屈荷重式を適用した修正一般化細長比を用いて、勾配曲げモーメントを受ける上フランジ補剛された H 形鋼梁の弾塑性横座屈耐力が補剛剛性、補剛位置、梁に作用するモーメント勾配によらず設計指針の横座屈耐力曲線により評価できることを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造限界状態設計指針・同解説，1998.10

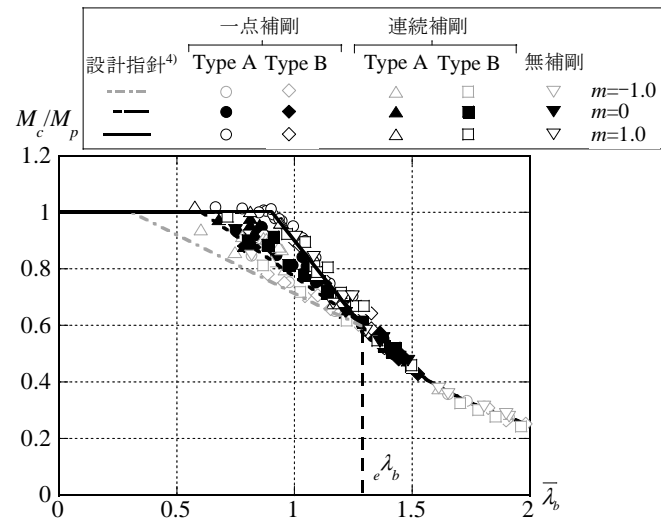


図 3 勾配曲げモーメントを受けるH形鋼梁の弾塑性横座屈耐力評価