

I-10 チャンネル材の強度と設計に関する研究

東北大学 ○学生員 須藤 聡
 東北大学 正 員 倉西 茂
 東北大学 正 員 中沢正利

1. まえがき

これまで、チャンネル材等の一軸対称断面部材が梁の主要部材として用いられることはまれであった。これは、部材断面のせん断中心上への荷重が困難で部材にねじれが生じるため、I形等の二軸対称断面に比べ強度的に不利であると考えられていたからである。しかし、チャンネル材は、他の部材との接合が容易な断面形状をしており、また、フランジが片側にしか突出していないため、景観上視覚的にもすっきりしたものとなる。これまでおこなわれたチャンネル断面部材梁に関する研究はまれで、その強度特性は十分に明らかにされていなかった。そこで、ここではチャンネル断面の利点を積極的に利用し、また、橋梁設計における、形状の自由度を広げるために、チャンネル材梁の強度特性を明らかにする。さらに、チャンネル材がプレートガーダーの主桁等を使用された場合、荷重は横桁等を介して作用するため、荷重の載荷点では横桁との接合によりねじれが拘束されると考えられる。よって、現実により近い拘束条件として、集中荷重の載荷点でのねじれ変位を拘束した場合の強度特性を調べ、実際の構造物での強度特性を把握することにする。

解析については、立体骨組弾塑性有限要素法解析の手法を用いた。ここでは、部材の幾何学的非線形性および材料非線形性を考慮している。立体骨組はそりを考慮した一節点7自由度としている。また、降伏条件は、von Misesの降伏条件に従い、応力-ひずみ関係は弾性域ではHookeの法則に従い、塑性域ではPrandtl-Reussの流れ則に従う。材料は、完全弾塑性体と仮定した。

2. チャンネル材の強度特性

(1) 解析モデル

断面形状はチャンネル材については、プレートガーダー主桁への使用を想定したウェブ幅厚比 152, 140 の2断面と形鋼程度の大きさの2断面を用いた。また、I形では幅厚比 152のチャンネル材と同じフランジおよびウェブの大きさのものとする。境界条件は両端単純支持と両端そり固定の2つの場合とする。荷重は両端曲げモーメントとスパン中央集中荷重とする。載荷位置はせん断中心、ウェブ中心、図心の3箇所とする。また、初期不整について残留応力は、プレートガーダー主桁には溶接型、形鋼には圧延型の分布を図1のように与え、初期曲がり、断面のウェブ方向に部材長の1/1000の振幅のsin半波の形で与えた。

(2) 解析結果

図2は、等曲げを受けるチャンネル材の耐荷力を示したものである。また、I形部材の耐荷力も比較のために示した。ここでは初期不整は与えていない。横軸は断面の全塑性モーメント M_p を弾性横ねじれ座屈式¹⁾から得られる弾性横ねじれ座屈モーメント M_E で割りその平方根をとっている。ここで

$$M_E = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{1}{8} E I_z G J \left(1 + \frac{\pi^2 E I_w}{G J L^2} \right)}, \quad \lambda = 1 - \frac{I_z}{I_y} \quad (1)$$

チャンネル材とI形部材の耐荷力はほぼ等しく λ が1以上では、ほぼ弾性横ねじれ座屈曲線と一致し、 λ が1以下では、降伏モー

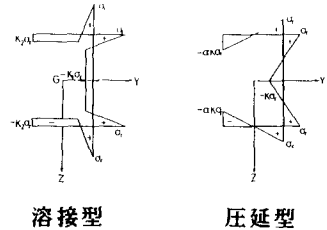


図1 残留応力分布

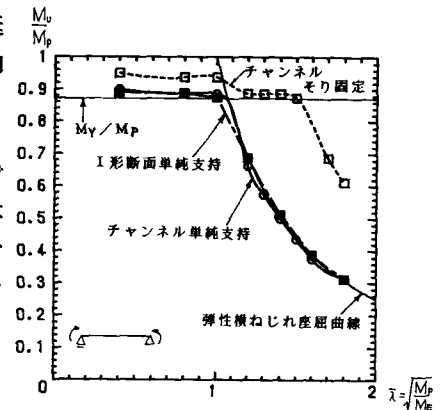


図2 等曲げを受けるチャンネル材の耐荷力曲線

メント M_v とほぼ等しいことが分かる。境界条件の違いによる耐荷力の影響は単純支持に比べり固定の場合の強度がかなり大きい。これは、座屈モーメントが端部でそりを拘束した場合に有効座屈長が短くなるためである。式 (1) のそりねじれに関する右辺の平方根内の第二項の $\pi^2 EI_\omega / GJL^2$ と関係すると考えられる。そこでねじり定数比 $\kappa = L\sqrt{(GJ/EI_\omega)}$ と解析解でのねじれ拘束の場合の横ねじれ座屈モーメント M_{we} を単純支持の場合の座屈モーメント M_{se} で割り比較し図3に示した。この図から κ が小さいほど座屈強度比が大きくなり、 κ が大きいほどそり拘束が強度的に有効であることが分かった。図4a, b は載荷位置が耐荷力に及ぼす影響を示したもので、それぞれの荷重条件を等曲げ、スパン中央集中荷重とした。境界条件は単純支持とし、初期不整を与えている。等曲げ、集中荷重ともに、載荷位置がせん断中心から離れるに従い耐荷力が低下している。これは、等曲げの場合せん断中心以外に載荷された場合、曲げモーメント以外にせん断中心からの距離に比例したそりモーメント M_ω を受けるためである。また、集中荷重の場合は鉛直力の他に、ねじり T を受けるためである。また、図4b でウェブ中心載荷の場合 λ が小さい範囲で耐荷力が減少している。これは、部材の崩壊にねじれが大きく影響したためである。図5はスパン中央に集中荷重を受ける場合に、荷重の載荷部でねじれ変位を拘束した場合の耐荷力曲線である。 λ が1以上の範囲でねじれ変位が拘束されていない場合に比べ、かなり大きい耐荷力を示している。これは、ねじれ変位が拘束されたため、有効座屈長が減少し、実質的に κ の値が減少したためである。このねじれ変位拘束の強度への影響は大きく、単純支持非拘束でせん断中心に載荷された場合に比べ λ が1.8 で2倍以上の耐荷力を示している。また、ねじれ拘束により載荷は実質的にせん断中心に行われることになり、載荷位置による強度の低下を考慮しなくて良くなった。単純支持とそり固定の強度の差は λ が0.4~1.8の範囲ではほとんど無かった。この結果から、チャンネル材がプレートガーダーの主桁に使われ、載荷部で完全にねじれ変位が拘束された場合、その強度的問題点はほとんど無いことが分かった。

3. 結論

1. せん断中心上に等曲げを受けた場合、その耐荷力はチャンネル材とI形とはほぼ等しく、 M_v と式(1)の弾性横ねじれ座屈式でほぼ表すことができる。
2. 実際の構造物の境界条件を考慮し、荷重載荷部での断面のねじれ変位を拘束した場合を考えると、チャンネル材は強度的に不利な部材とはならない。

参考文献

- 1) 土木学会・鋼構造委員会：座屈設計ガイドライン，p110，土木学会，1987

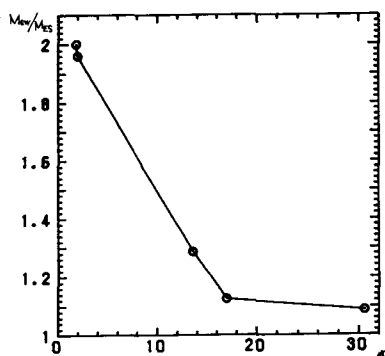


図3 ねじれ定数比 κ の影響

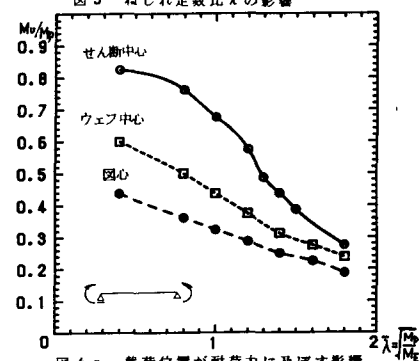


図4a 載荷位置が耐荷力に及ぼす影響

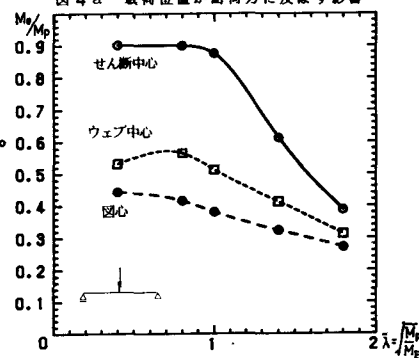


図4b 載荷位置が耐荷力に及ぼす影響

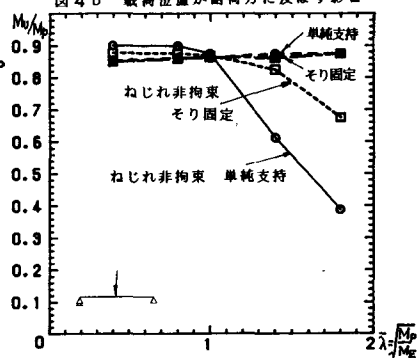


図5 載荷部でねじれ拘束した梁の耐荷力