

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2007～2008
課題番号：19360206
研究課題名（和文） 2方向テーパプレートを用いた鋼・合成構造部材の力学性能の解明と合理的活用法
研究課題名（英文） Study on Mechanical Behavior of Steel/Composite Structural Members with Longitudinally and Transversally Profiled Steel Plates and Rational Application
研究代表者 山口 隆司（YAMAGUCHI TAKASHI） 大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授 研究者番号：50283643

研究成果の概要：

鋼・複合構造部材の合理化の一方策として、部材軸方向およびそれと直角な方向に板厚が変化する2方向テーパプレートの適用を提案し、それらを用いた部材の力学的挙動を載荷実験と数値解析により明らかにした。その結果、幅方向テーパプレートを用いた柱部材、および桁部材において、それを用いることで最大強度以降の強度低下、および変形性能の改善に有効であることを明らかにした。また、合成部材の連結材としての2方向テーパプレートにも注目し、載荷実験結果から、その有効性を明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2008年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,500,000	4,650,000	20,150,000

研究分野：橋梁工学・鋼構造工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼構造，LP鋼板，2方向テーパ，耐荷力，変形性能，板要素，柱

1. 研究開始当初の背景

橋梁建設コストの縮減を目標に、構造物設計の観点から鋼材重量の削減、および施工工程数の低減を図る鋼橋の合理化・省力化技術の開発が積極的に進められている。例えば、作用外力による発生断面力に対してプレートガーダー橋の主桁フランジ・ウェブの各部位において均一な安全性を担保するために、変厚鋼板（LP鋼板）を用いるものがある。変厚鋼板は圧延時に作用させる力を調整して、板厚を連続的に変化させたものであり、LP鋼板（Longitudinally Profiled Steel Plate）、

テーパ鋼板と呼ばれている。これまでに、テーパ鋼板は鋼I桁の上下フランジなどに適用された実績がある。同種の事例としては、フランジだけでなく、腹板についても部材軸方向に板厚を変化させたLP鋼板を用いる事例も提案されている。さらに、コンクリートを充填せずに鋼製橋脚の耐震性能を向上させ、同時に製作コストの縮減も期待した、橋脚基部の補剛板にテーパ鋼板を適用する構造形式についても研究が進められている。

2. 研究の目的

本研究では、鋼橋の合理化を一層、促進するため、これまでの、主として部材軸方向の応力伝達を視野に入れた LP 鋼板を発展させ、圧延工程で製作可能な板幅方向にも板厚を変化させる多様な 2 方向テーパ鋼板を提案し、その構造性能の解明と合理的な活用法について研究を行う(図 1)。

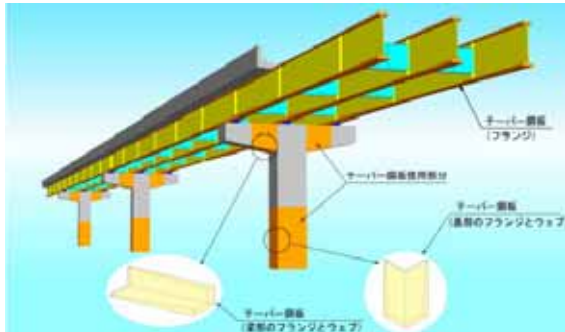


図 1 多様なテーパ鋼板を用いた橋梁の例

具体的には、下記の項目に対しての研究を行う。

(1)2方向テーパ鋼板を用いた箱形断面柱の力学性能の解明

- ・ 2方向テーパ鋼板の残留応力分布、力学性能に与える残留応力の影響
- ・ 繰り返し荷重作用下での力学性能
- ・ 最適断面形状(テーパ率、テーパ設定区間)

(2)2方向テーパ鋼板を用いた鋸桁の力学性能の解明

- ・ 最適断面形状(テーパ率、テーパ設定区間)

(3)断面内にテーパを有する部材の摩擦接合継手の力学性能の解明

- ・ 変厚連結板の影響
- ・ 変厚座金の挿入効果

(4)2方向テーパ孔あき鋼板ジベルを用いた合成部材の力学性能の解明

- ・ 2方向テーパ孔あき鋼板の力学性能改善効果
- ・ 曲げ部材に適用した場合の合成効果に与える影響

3. 研究方法

上記の(1)から(4)の研究項目に対して、載荷実験および有限要素法を用いた非線形弾塑性有限要素法により、力学性能の解明、各種構造パラメータの力学的挙動に与える影響評価を行った。

(1)2方向テーパ鋼板を用いた箱形断面柱の力学性能の解明

数値解析により、最適と判断された断面形状を基本断面とし、幅厚比パラメータをパラメータとした複数の断面形状に対し、単調繰

り返し載荷実験、および耐震性能を評価するためのハイブリッド実験を行った(写真 1)。



写真 1 実験中の供試体

(2)2方向テーパ鋼板を用いた鋸桁の力学性能の解明

鋸桁腹板中央部を厚くした凸型と中央部を薄くした凹型、それぞれにおいて数値解析により最適と判断されたテーパ形状を有する試験桁を製作し、せん断力が卓越する場合と曲げモーメントが卓越する場合の 2 種類の実験を行った(写真 2 (せん断力卓越型)。その後、さらに実験結果を補完するため有限要素解析を行い、鋼桁腹板に最適な形状について検討した。

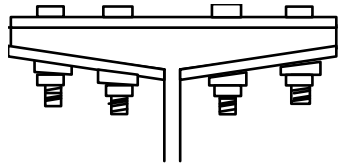


写真 2 実験前のせん断載荷用供試体

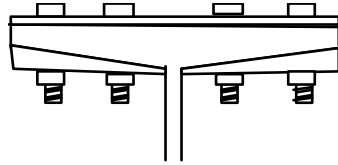
(3)断面内にテーパを有する部材の摩擦接合の力学性能の解明

図 2 に示すような幅方向に板厚が変化する母板を連結する場合の摩擦接合継手を想定した実験供試体を製作し、単調引張載荷実

験を行った。



(a) 勾配座金タイプ



(b) 変厚連結板タイプ

図2 テーパープレート摩擦接合供試体



写真3 実験中の供試体

(4) 2方向テーパー孔あき鋼板ジベルを用いた合成部材の力学性能の解明

鋼とコンクリートとの合成方法の一つである孔あき鋼板ジベルの引抜き耐力および変形性能の改善を目的として、テーパー鋼板を用い、高さ方向に板厚が変化する孔あきテーパー鋼板ジベル構造(図3)を提案し、孔あきテーパー鋼板の板厚変化率をパラメータとした供試体を用いて引抜きせん断試験を行った(写真4)。

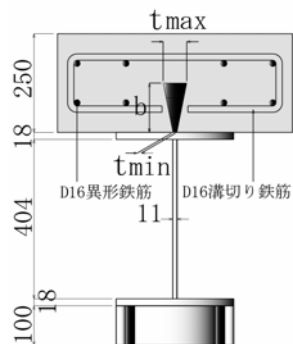


図3 孔あきテーパー鋼板ジベル供試体

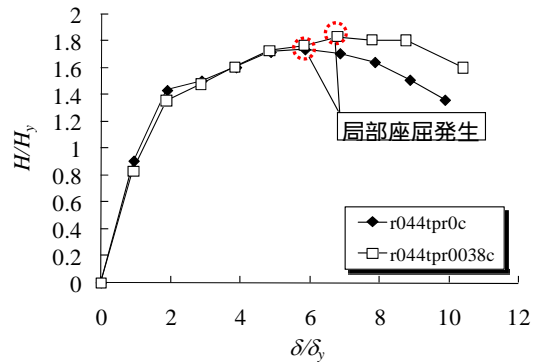


写真4 実験中のテーパー鋼板ジベル供試体

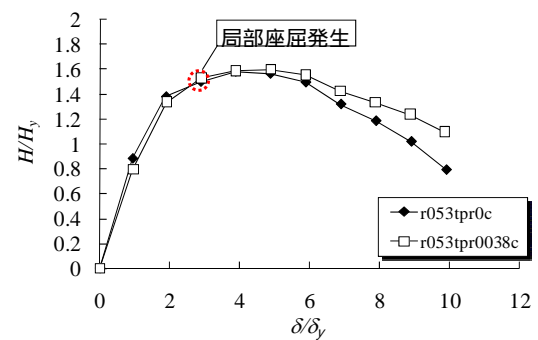
4. 研究成果

(1) 2方向テーパーを用いた箱形断面柱の力学性能の解明

単調繰り返し載荷実験では、2つの異なる幅厚比パラメータ($R=0.46, 0.53$)を対象とし、幅方向にテーパーを有する場合と通常の等厚板の場合とを比較した(図4)。



(a) $R=0.44$ の場合



(b) $R=0.53$ の場合

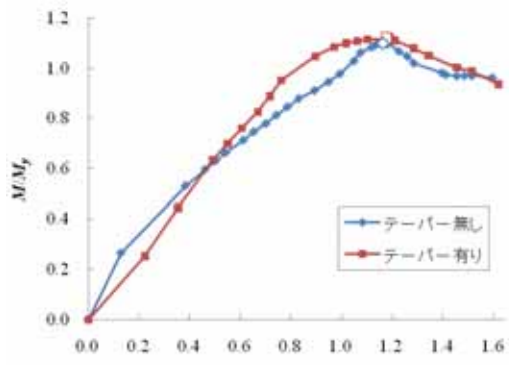
図4 繰り返し載荷実験の包絡線の比較

その結果、いずれの幅厚比パラメータの場合に対しても、終局強度の向上はほとんど見られなかったが、変形性能の改善、劣化勾配の減少が認められた。特に、その傾向は、幅厚比パラメータの大きな場合に顕著であった。局部座屈の発生部位、座屈変形状況は、テーパー率がそれほど大きくないため、テーパーを有しない場合と大きな差異は見られ

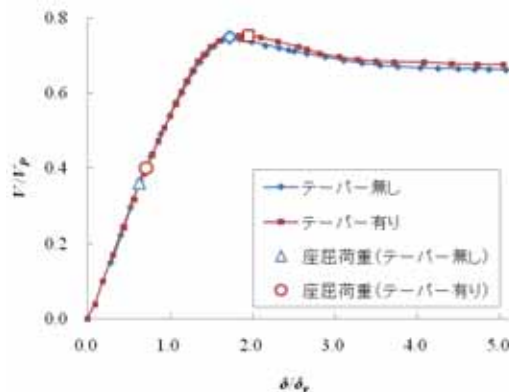
なかった。累積エネルギー吸収能についても幅方向テーパ鋼板を用いた方が優れており、特に幅厚比パラメータ $R=0.53$ の場合、等厚鋼板の場合に比較して12.4%向上したハイブリッド実験による耐震性能評価については、幅方向テーパ鋼板を用いた場合、等厚板を用いた鋼製橋脚と比較して、塑性率が大きくなり、変形性能が優れていることがわかった。

(2)2方向テーパ鋼板を用いた鉸桁の力学性能の解明

桁断面にテーパ鋼板を適用した場合を検討するため、腹板の高さ方向に板厚を変化させた桁供試体を作成し、腹板厚の変化がせん断抵抗、曲げ抵抗に与える影響を載荷実験により調べた(図5に結果の一例を示す。)



(a)曲げモーメント卓越型



(b)せん断力卓越型

図5 断面力 - たわみ曲線

その結果、上下フランジ付近が厚く中央部が薄い、もしくは上フランジ付近が厚い腹板形状を有する鋼鉸桁は、テーパ率が大きくなるほど、曲げ耐力が向上することが明らかになった。また、引張主応力が生じる対角方向を相対的に厚くした腹板形状を適用することにより、せん断耐力が向上することが明らかになった。しかしながら、その強度上昇

は5%程度であり、限定的なものとなった。一方、変形性能は大きく改善されることがわかった。また、有限要素解析を行い、鉸桁腹板にテーパプレートを用いる場合の最適なテーパ形状について検討し、それを明らかにした。

(3)断面内にテーパを有する部材の摩擦接合継手の力学性能の解明

通常の等厚部材の摩擦接合継手と同等のすべり係数およびすべり耐力を確保できることを確認した。

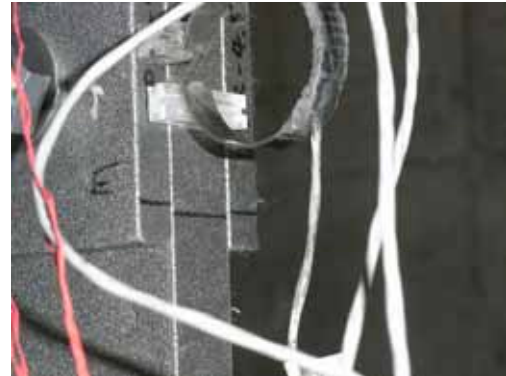


写真5 すべり後の実験供試体の一例

(4)2方向テーパ孔あき鋼板ジベルを用いた合成部材の力学性能の解明

表1に示すように孔あきテーパ鋼板の板厚変化率を設定し、図3に示したような実験供試体を対象に引抜きせん断試験を行った。

表1 供試体のパラメーター一覧

供試体名	テーパ率	最大板厚 t_{max} (mm)	最小板厚 t_{min} (mm)
TPR0	0	16	16
TPR032	0.032	18	14
TPR128	0.128	24	8

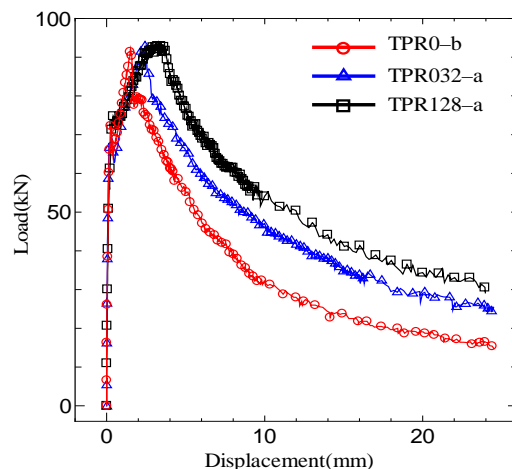


図4 荷重 - 引抜き変位量関係

実験結果の一例として、単調載荷試験による荷重と引抜き変位量との関係を図4に示す。

図4に示すように、ひび割れ発生時の荷重は、テーパ率に関係なく、約70kN程度であり、最大荷重も約90kNと、テーパ率に関係ないことがわかった。これは、本研究で用いた試験体では、コンクリートブロックの側方から拘束力を与えていなかったためであり、テーパ率が大きい程、ひび割れ幅が大きくなり、ひび割れ発生荷重および最大荷重が上昇しなかったためと考えられる。

一方、最大荷重時の引抜き変位に着目すると、テーパ率が大きい程、引抜き変位量が大きくなる傾向が見られた。また、最大荷重後の挙動に着目すると、テーパ率が大きい程、荷重の低下量が少なく、劣化曲線がなだらかとなり、テーパ率が大きいほど、より延性的な挙動を示すことも明らかになった。さらに、テーパ率が大きい程、残存耐力も大きくなった。これは、PBL孔付近のコンクリートが破壊した後もテーパ鋼板のくさび効果により引抜き力に抵抗したためと考えられる。

以上より、高さ方向に板厚を変化させた孔あきテーパ鋼板ジベルの引抜きせん断挙動は、テーパ率が大きいほど、最大荷重時の変位が大きく、ピーク後の耐力劣化曲線がなだらかになることが確認された。

今後は、ジベル接合として本研究で提案したテーパPBLを用いる場合は、テーパのくさび効果により強度も上昇すると考えられ、コンクリートの拘束効果について検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

1. 橋本国太郎、山口隆司、大塚浩介、杉浦邦征、鈴木康夫、熊野拓志：幅方向テーパを腹板に用いた鋼I桁の曲げおよびせん断挙動、構造工学論文集、Vol.55 A、土木学会、2009 (査読有)

[学会発表](計 4件)

1. 枚山功樹、鈴木康夫、中島章典、山口隆司：テーパ鋼板を用いたPBLの引抜きせん断挙動に関する実験的研究、第36回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、土木学会関東支部、I-13、2009年3月13日(千葉、千葉工業大学津田沼キャンパス)

2. 枚山功樹、鈴木康夫、中島章典、山口隆司：テーパ鋼板を用いたPBLの引抜きせん断挙動に関する基礎的研究、第64回年次学術講演会講演概要集、土木学会、I-556、2009年9月2,3,4日(福岡、福岡大学七隈キャンパス)
3. Kosuke OTSUKA、Takashi YAMAGUCHI、Kunitomo SUGIURA、Kunitaro HASHIMOTO、Yasuo SUZUKI、Takuji KUMANO：Strength and Ductility of Steel Plate Girders with Tapered Web Plate, The 11th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan, (CD-ROM), 2008.11.19
4. Masaya SHIROTANI、Takashi YAMAGUCHI、Kunitomo SUGIURA、Kunitaro HASHIMOTO、Yasuo SUZUKI、Takuji KUMANO：Experimental Study on Bending Behavior of Box Section Column with Transversely Profiled Steel Plates, The 11th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan, (CD-ROM), 2008.11.19

6. 研究組織

(1)研究代表者

山口 隆司 (YAMAGUCHI TAKASHI)
大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50283643

(2)研究分担者

杉浦 邦征 (SUGIURA KUNITOMO)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70216307

鈴木 康夫 (SUZUKI YASUO)
宇都宮大学・工学部・助教
研究者番号：50431698

橋本 国太郎 (HASHIMOTO KUNITARO)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：40467452

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

熊野 拓志 (KUMANO TAKUJI)
JFE エンジニアリング(株)鋼構造事業部

利根川 太郎 (TONEGAWA TARO)
住友金属工業(株)土木橋梁部