

組立補剛された山形鋼トラス部材の座屈耐力に関する研究

－ 細長比と補強効果 －

日大生産工(院)
日大生産工○佐藤 凱
小松 博アイ・ティ・シ・コンサルティング
飯島建築事務所石井 桂吾
八木 茂治

1. はじめに

山形鋼を用いた鉄骨トラス梁は 1950～1970 年頃に工場建屋などで多く採用されたが、現耐震基準を満たしていない既存不適格なものが散見され、耐震補強の必要がある。このため、山形鋼組立材による鉄骨トラス梁の耐震補強方法として、既往研究¹⁾では平鋼を取付金物により山形鋼フィレット部に圧着することで、部材に一切加工を行わない簡便かつ施工性の高い補強方法を提案した。

本研究では、この手法を用い中心圧縮実験および有限要素解析により、無補強試験体と補強試験体の座屈耐力を求め、細長比の違いによる補強効果について検証を行った。また、実験で行っていない取付角度を変えた補強効果の有限要素法により確認を行った。

2. 中心圧縮実験

2.1. 試験体

本実験で使用する試験体形状を図1・2に示す。試験体はトラス部材の等辺山形鋼L-75×75×6を2丁でT字型に組み合わせた試験体を使用する。補強方法は図2に示すようにタイプAは山形鋼組み立て材の各フィレット部分に平鋼FB-4.5×125を取付金物により圧着する。タイプBはタイプAに加え山形鋼の間のつづり材を平鋼FB-6.0×180に置き換え連続材として取り付けたものである。山形鋼、平鋼の機械的性質を表-1に、試験体一覧を表-2に示す。細長比は $\lambda=80, 100, 120, 140$ （一般化細長比 $\lambda_c=1.02, 1.27, 1.53, 1.78$ ）の4種類で無補強材を各2体、補強材を各3体としている。

δ は支点間の材軸方向の縮み量で、 δ_y は降伏ひずみ $\varepsilon_y=1896 \times 10^{-6}$ に山形鋼寸法を掛けた降伏変位である。

一般化細長比 λ_c

$$\lambda_c = \lambda \times \sqrt{\frac{\sigma_y}{\pi^2 E}}$$

 σ_y : 降伏応力度 E : ヤング係数 σ_{cr} : 座屈応力度=537kN

2.2. 実験方法

実験装置を図3に示す。実験は 1000kN および 2000kN 万能試験機を用いた中心圧縮実験である。試験体の両端には厚さ 25mm のエンドプレートに溶接し、そのエンドプレートに高さ 120mm のナイフエッジをもったピン支持装置をボルト締めで固定し、組立材の弱軸方向のみに回転が自由とした。荷重は試験機より直接検出し、変位は試験体の材軸方向および材端の回転角を測定している。

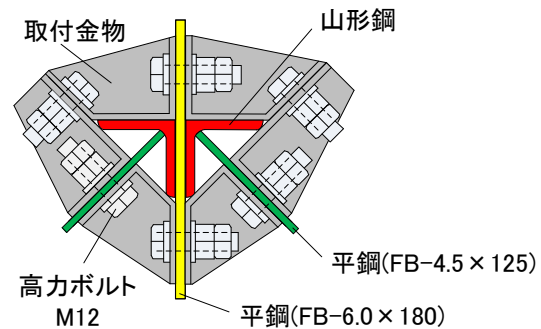


図1 補強試験体断面図

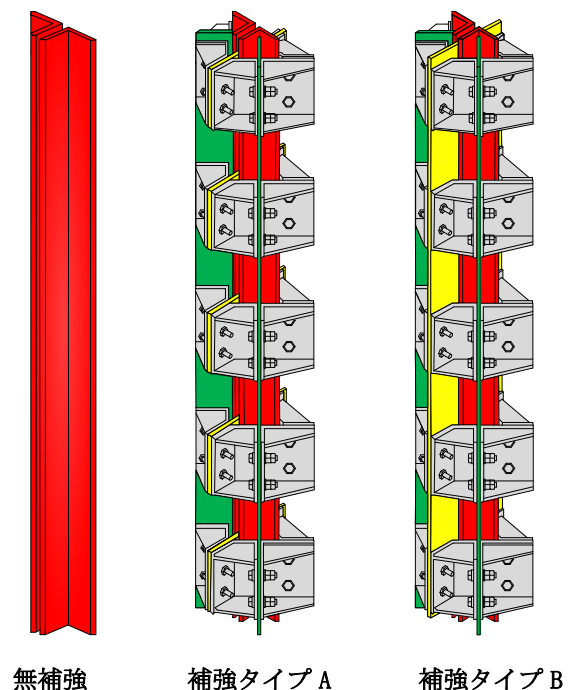


図2 試験体形状

Study on Buckling Strength of Angle Steel Truss Member Reinforced with Built-Up Method

－ Slenderness ratio and the reinforcing effect －

Kai SATO, Keigo ISHI, Hiroshi KOMATSU and Shigeharu YAGI

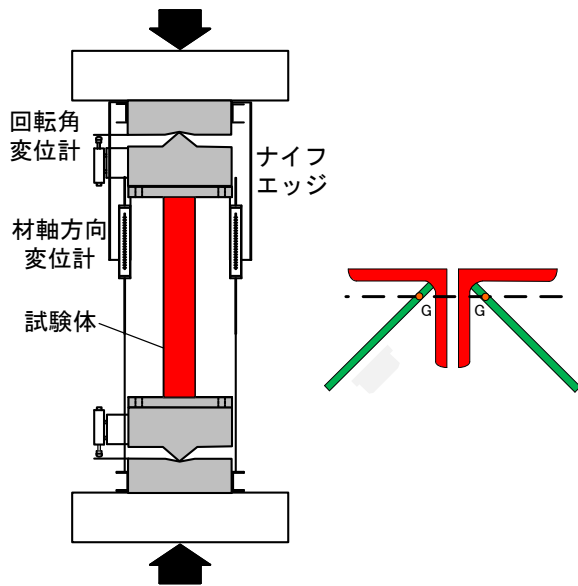


図3 実験装置

表1 鋼材の機械的性質

	降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	伸び率 ε_b (%)
山形鋼	310	443	193000	27.0
FB-4.5×125	330	465	194000	26.0
FB-6.0×180	343	472	196000	28.8

表2 試験体一覧

細長比 λ	座屈長さ (mm)	山形鋼寸法 (mm)	補強材寸法 (mm)
80	1873	1583	1563
100	2300	2010	1990
120	2760	2470	2450
140	3220	2930	2910

2.3. 実験結果および考察

図3に座屈耐力と細長比の関係を示す。各補強材の座屈耐力をプロットしている。また併せて図中には無補強材のジョンソン・オイラー式から求めた理論解を破線で示す。無補強材はほぼこの理論解の曲線上にある。補強タイプAは無補強材に沿うように細長比の増大に対して最大耐力が低下しているが、補強タイプBは細長比にかかわらずほぼ一定の最大耐力となっている。これはタイプAの最大耐力の決定が、図4aのように無補強材と同様に試験体中央での曲げ座屈を起こしたのに対し、タイプBは図4bのように山形鋼端部の局部座屈によって決定しているため、十分な補強効果を示したものと見える。

図5に耐力増加率と細長比の関係を示す。耐力増加率は無補強材に対する補強材の最大耐力比である。補強タイプAでは1.3～1.9倍の増加となり、

細長比が120以上では補強効果が鈍化しているが、前報1)の細長比が小さい場合は最大で約1.2であったことから、細長比が大きい場合には効果を示している。一方補強タイプBでは1.3～3.1倍となり細長比が140まで直線的に増加しており、十分な補強効果となっている。

図6aおよび6bに履歴性状を示す。補強タイプAでは、細長比140を除いて初期剛性が一致している。これは弾性荷重域においては、補強材に軸方向力が導入されず、山形鋼が曲げ座屈を起こした始めたときにのみ補剛効果を示すためである。補強タイプBは、つづり材を連続材としてつづりボルトにより山形鋼と固定したため、初期剛性は細長比が140以外は多少高くなっている。

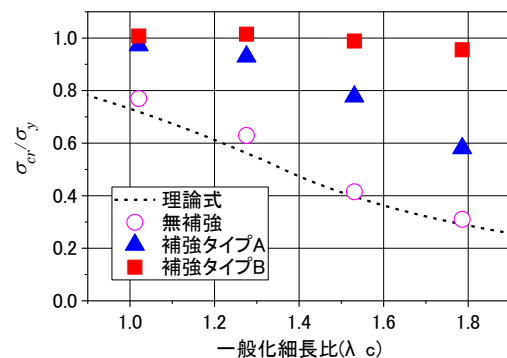


図3 座屈耐力-細長比関係



図4a 補強タイプAの破壊性状(λ=120)



図4b 補強タイプBの破壊性状(λ=120)

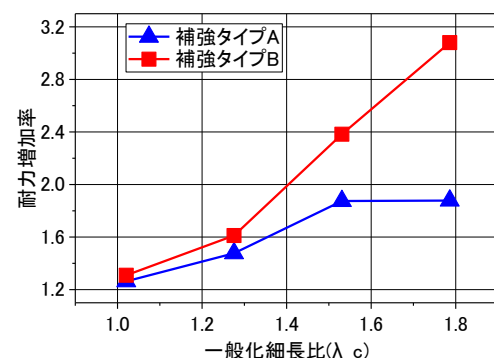


図5 耐力増加率-細長比関係

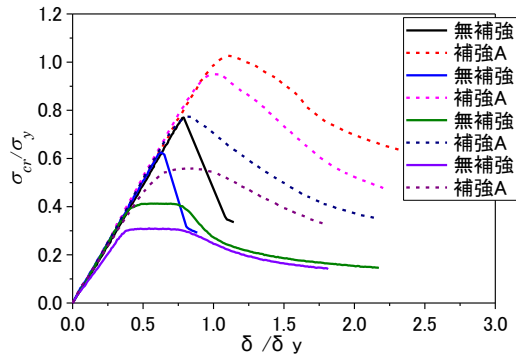


図 6a 補強タイプ A の履歴性状

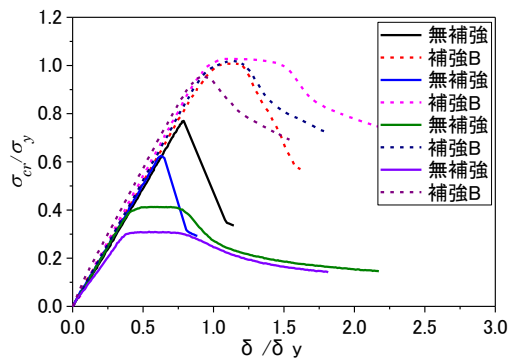


図 6b 補強タイプ B の履歴性状

3. 有限要素解析

3.1. 解析概要

解析は有限要素法に基づく汎用非線形構造解析ソフトMARCを用いる。実験で用いた等辺山形鋼および平鋼にシェル要素を用いる。等辺山形鋼と平鋼の機械的性質には実験の試験体と同様の表1の数値とする。拘束条件は、実験におけるナイフエッジを用いた山形鋼の弱軸曲げと同様とする。これにより山形鋼が座屈する前では、山形鋼の剛性に平鋼の剛性が影響を与えない接触要素とし、山形鋼の座屈とともに平鋼に応力が伝達されるようにする。実験と同寸法の細長比 $\lambda=80, 100, 120, 140$ (一般化細長比 $c=1.02, 1.27, 1.53, 1.78$)の解析モデルとする。図7に等辺山形鋼L-75×75×6のフレット部分に平鋼FB-4.5×125を取付角度 $\theta=45^\circ$ (a)と $\theta=30^\circ$ (b)で取り付けけた断面図を示す。図8に無補強材と取付金物を5箇所に取り付けた補強材のアイソメ図を示す。

3.2. 解析結果および考察

図9に無補強実験と無補強解析の履歴性状を示す。実験と解析の初期剛性がほぼ一致したことから実験と解析の整合性が確認された。最大耐力について細長比 $\lambda=120, 140$ は実験と解析はほぼ同等の数値になったが、細長比 $\lambda=80, 100$ は解析と比べ実験の値の方が高い数値になった。これは細長比 $\lambda=80$,

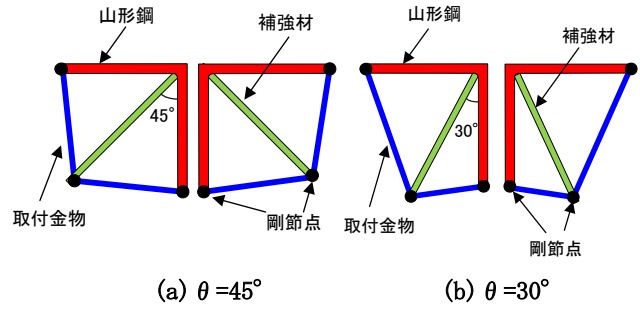


図 7 解析モデル断面図

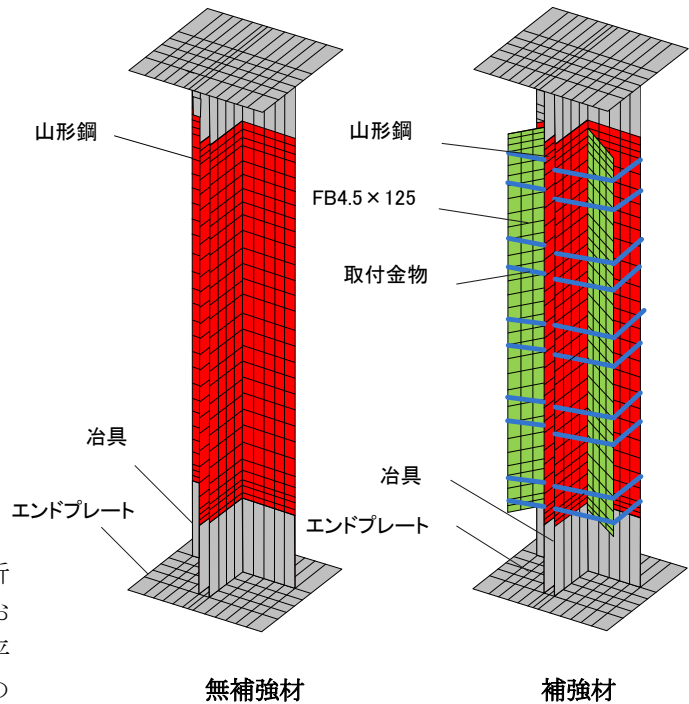


図8 解析モデルアイソメ図

100 と 120, 140 で座屈方向が逆になったからだと考えられる。

図10に実験と解析の座屈耐力-細長比関係を示す。無補強実験、補強タイプA実験と無補強解析、補強タイプA解析から得られた座屈耐力の各値を実験値とともに示す。図中の無補強理論式であるジョンソン・オイラー式に沿った形で載せている。これにより無補強実験と無補強解析共にジョンソン・オイラー式に沿った形で結果が得られているので、整合性の確認がとれた。補強タイプA実験と補強タイプA解析は座屈耐力の各値をプロットしたものがほぼ一致した。このことから補強タイプAの整合性の確認がとれた。

図11に補強タイプAのモデル破壊性状を示す。細長比 $\lambda=80$ はエンドプレート端部で局部座屈しているが、細長比 $\lambda=100$ 以降はモデル中央で座屈している。応力分布で見ると細長比 $\lambda=100$ は平鋼中央から全体高い応力が分布しているところがある。これにより実験を行った範囲での細長比において、解析で

の破壊形状の再現が検証された。

図 12 に補強タイプ A 解析、取付角度 $\theta = 45^\circ$ と $\theta = 30^\circ$ の耐力増加率を示す。各解析モデルともに細長比 $\lambda c = 1.02, 1.27$ では補強効果に差が見られない。細長比 $\lambda c = 1.53, 1.78$ では補強タイプ A は取付角度 $\theta = 45^\circ$ より $\theta = 30^\circ$ の方が耐力増加率の増分が大きい。特に増分が大きい細長比間は $\lambda c = 1.27 \sim 1.53$ 間である。平鋼の角度を変えることによって平鋼の断面二次モーメントが大きくなったため耐力が増加した。これは平鋼を強軸曲げ方向に傾けたためであると考えられる。山形鋼の補強率 I_t/I_v (I_t : 補強時の山形鋼弱軸に関する断面二次モーメント I_v : 山形鋼弱軸断面二次モーメント) より、取付角度 $\theta = 45^\circ$ の補強率は 1.83、 $\theta = 30^\circ$ の補強率は 2.24 である。このことから取付角度 $\theta = 45^\circ$ より $\theta = 30^\circ$ の方が補強率が高いことが確認された。平鋼の取付角度による補強効果が検証された。

図 13 に無補強解析と補強タイプ A 解析、取付角度 $\theta = 45^\circ$ と $\theta = 30^\circ$ の履歴性状を示す。各補強の細長比は同様に初期剛性が一致し、無補強に比べ取付角度 $\theta = 45^\circ$ 、 $\theta = 30^\circ$ の座屈耐力が増加していることがわかる。また座屈後の挙動において細長比 $\lambda = 100, 120, 140$ では取付角度 $\theta = 30^\circ$ の変形性能が最も高いことが確認された。取付角度による補強効果が確認された。

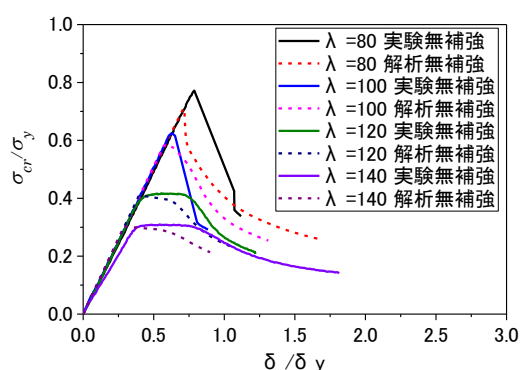


図 9 無補強実験と無補強解析の履歴性状

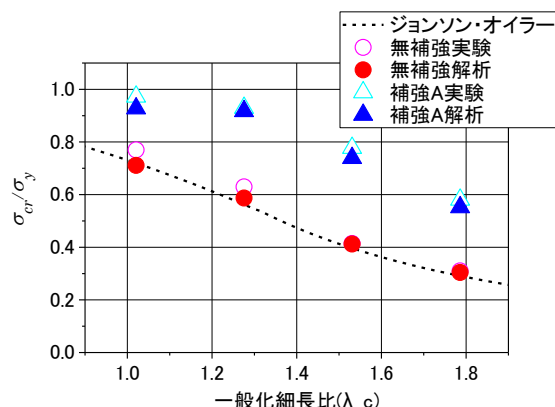


図 10 実験と解析の座屈耐力-細長比関係

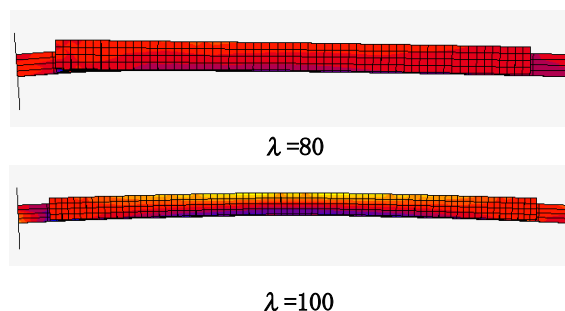


図 11 補強タイプ A のモデル破壊性状

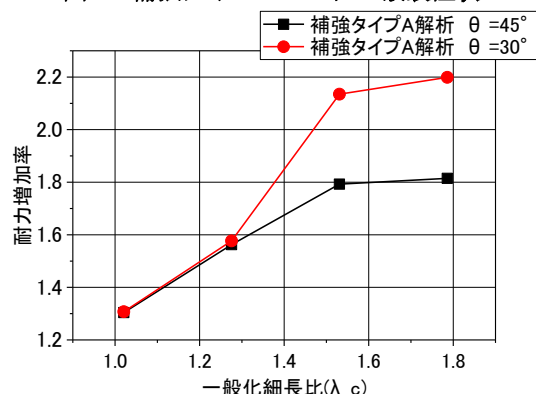


図 12 補強タイプ A 解析、 $\theta = 45^\circ$ 、 30° の耐力増加率

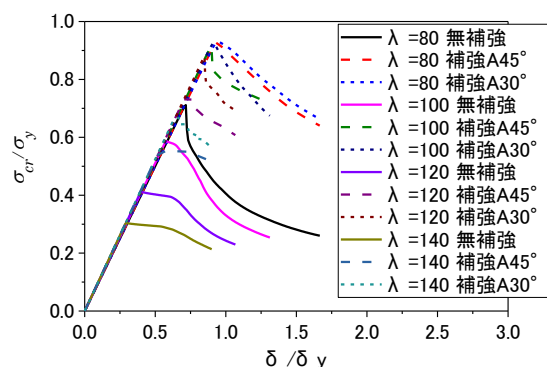


図 13 無補強解析と補強タイプ A 解析 ($\theta = 45^\circ$ 、 30°) の履歴性状

4. まとめ

本報告では、実験により補強タイプ A・B および有限要素法から補強タイプ A の補強材の角度の影響について、細長比と補強効果の関係を明らかにした。また有限要素解析は実験結果をよく追跡していることが確認された。

「参考文献」

- 1) 植野公友, 石井桂吾, 小松 博, 八木茂治: 組立補剛された山形鋼トラス部材の座屈耐力に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概 (2015), 構造 III, p.839~840, 2015年8月
- 2) 植野公友, 石井桂吾, 小松 博, 八木茂治: 組立補剛された山形鋼トラス部材の座屈耐力に関する研究-有限要素法を用いた数値解析-, 日本大学生産工学部学術講演会第48回学術講演会, 構造・強度