

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	幅厚比の大きな角形鋼管柱の当板補剛による補剛効果に関する基礎的研究 その2：有限要素法解析
Title(English)	Fundamental Study on Effect of Reinforcement by Cover Plates for Steel Hollow Section Columns with Large Width-thickness Ratio (Part2: Finite Element Analysis)
著者(和文)	木下 堯之, 佐藤 由悟, 五十嵐 規矩夫
Authors(English)	KINOSHITA Takayuki, SATO Yugo, IKARASHI Kikuo
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 1143-1144
Citation(English)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, , , pp. 1143-1144
発行日 / Pub. date	2022, 7
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

幅厚比の大きな角形鋼管柱の当板補剛による補剛効果に関する基礎的研究  
その2：有限要素法解析

正会員 ○ 木下 堯之\*  
同 佐藤 由悟\*  
同 五十嵐 規矩夫\*\*

角形鋼管 幅厚比 塑性変形能力  
当板補剛 局部座屈 有限要素法解析

1. 序

その2では補剛材板厚、補剛長さに着目した有限要素法解析について示す。

2. 解析概要

解析には非線形有限要素法解析プログラム MSC. Marc2019 Feature Pack 1 を用いる。対象とする角形鋼管柱は曲げ試験と同じく □300×9 (BCR295, 幅厚比  $D/t=33.3$  (種別 FC)) とし、対称性を考慮して図 1(a) に示す 1/4 モデルで解析を実施する。ここで、事前の解析検討によって、本補剛方法では溶接部余盛形状の表現の有無で座屈性状が変化しうることを確認している。よって本検討では前報の曲げ試験との対応を踏まえ、角形鋼管とダイアフラムの溶接部に相当する固定端近傍と補剛材の全周隅肉溶接部の要素形状を図 1(b) のような概形でモデル化することとした。

要素は 8 節点六面体ソリッド要素とする。角形鋼管の構成則は橋口モデル<sup>1)</sup>を適用し、平板部・角部それぞれキャリブレーション解析により、材料試験結果に合うように表 1 の通り諸係数を決定した。ここで、橋口モデルは降伏面の内部の応力変化による塑性変形を表現する下負荷面という概念を導入し、弾性から塑性へ滑らかに遷移することが可能である。また補剛材は板厚によらず、SS400-2.3mm の材料試験結果に基づく真応力-真塑性ひずみ関係を多折れ線に近似して与えるものとし、硬化則は等方硬化則を適用する。そのほかの材料特性としてヤング係数 205,000N/mm<sup>2</sup>、ポアソン比 0.3、Mises の降伏条件を全材料共通で与える。また、角形鋼管と補剛材が当接する箇所には接触条件を与え、摩擦係数を 0.2 とした。

ここで、前報の曲げ試験における補剛ありの試験体 2.3×360 の試験結果と本解析モデルの  $M/\rho M_p - \theta/\rho \theta_p$  関係の比較を図 2 に示す。本解析モデルは曲げ試験結果を精度よく再現できることを確認した。

解析パラメータおよび各種諸元を表 2 に示す。解析パラメータは角形鋼管の板厚に対する補剛材板厚の比  $t_r/t$ 、角形鋼管径に対する補剛長さの比  $h_r/D$  とする。また補剛材の幅  $b_r$ 、および隙間  $s_r$  は前報の曲げ試験と同一とする。

載荷方法は単調載荷および繰返し載荷をそれぞれ実施する。本解析における繰返し載荷の載荷履歴は無補剛の角形鋼管の全塑性曲げ耐力の計算値  $\rho M_p$  に対応する制御点の変位の計算値  $\rho \delta_p$  を基準とし、この値の 1 倍の振幅を 1 サイクル載荷したのち、2 倍、4 倍の振幅を 2 サイクルずつ載荷する。

3. 解析結果

解析で得られた局部座屈性状を図 3 に示す。本解析では前報の曲げ試験で観測された非巻込型、巻込型の局部座屈のほか、過度の耐力上昇を防ぐことを意図して設けた隙間に座屈の頂点が現れる局部座屈が発生した(以下、隙間型と呼ぶ)。本解析結果より、局部座屈性状と解析パラメータの定性的な関係は次のように整理できる。

表 1 角形鋼管に適用する橋口モデルの諸係数

	降伏応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	等方硬化		移動硬化		弾性 限界比 $R_e$	R の発展則	
		$h_1$	$h_2$	$C_k$	$\zeta$		$\bar{u}$	$U_c$
平板部	360	0	0	1350	0.320	0.5	250	5
角部	481	0	0	5500	0.105	0.45	250	5

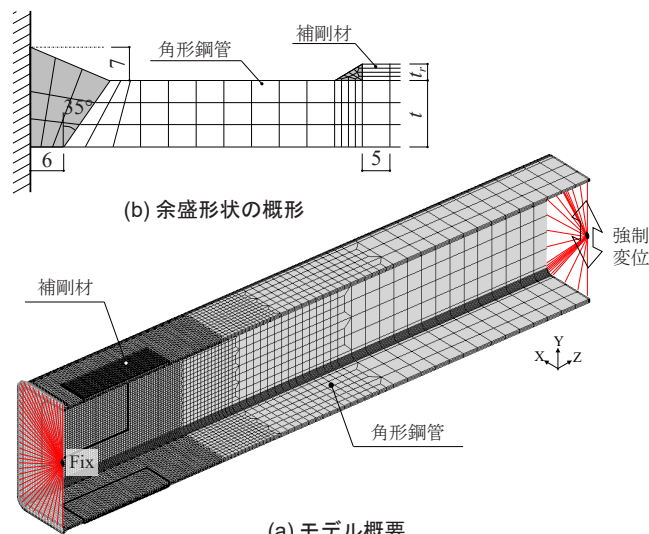


図 1 解析モデル

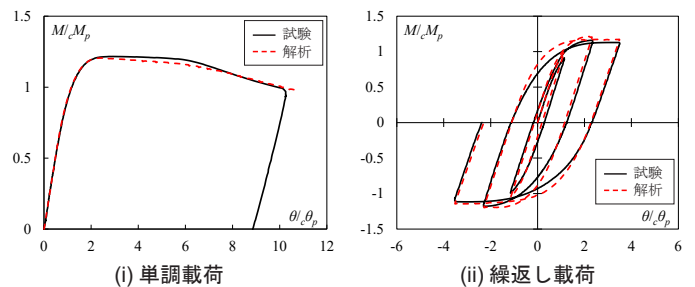


図 2 曲げ試験結果・解析結果比較

表 2 解析パラメータおよび各種諸元

分類	内容	
角形鋼管	□300×9, $D/t=33.3$ (FC), せん断スパン比 $L/D=5$	
補剛	板厚比 $t_r/t$	0.13, 0.26, 0.36, 0.50, 0.67
	補剛長さ比 $h_r/D$	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2
	幅 $b_r$ [mm]	150
	隙間 $s_r$ [mm]	60

(a) 非巻込型

…補剛長さが比較的短く，補剛材板厚が厚い

(b) 巻込型

…補剛長さが比較的長く，補剛材板厚が薄い

(c) 隙間型

…補剛長さが比較的長く，補剛材板厚が厚い

単調荷重の  $M/cM_p - \theta/c\theta_p$  関係の代表例として補剛材板厚比  $t/t=0.36$  の結果を図4に示す。最大耐力は局部座屈により決定し，無補剛に対して1.01～1.12倍であり，過度の耐力上昇は見られなかった。また補剛長さが長くなると，局部座屈性状が変化するのに伴って，最大耐力後の耐力劣化が緩やかになることを確認した。

単調荷重の塑性変形倍率  $e\eta$  および繰返し荷重の全履歴での累積塑性変形倍率  $e\eta_A$  の関係を図5に示す。ここで，図中には要求性能の目安として，構造ランク I の柱の要求性能<sup>2)</sup> および幅厚比種別 FA, FB に対応する要求性能の参考値を記載している。なお前述の参考値は，BCR295 の種別 FA, FB の境界の幅厚比をもつ無補剛の角形鋼管の解析モデルを作成し，本解析と同じ材料特性を与えた FEM 解析結果から導出したものである。

図5(i)より， $e\eta$  は補剛長さが長くなるにつれて概ね向上することが確認できる。また，補剛材板厚が同一の場合，非巻込型と比較して巻込型あるいは隙間型の局部座屈となる方が  $e\eta$  が高く，FA 下限の要求性能の参考値を上回った。さらに，巻込型あるいは隙間型の局部座屈が発生する補剛長さになると  $e\eta$  はある程度頭打ちになっている。図5(ii)より， $e\eta_A$  についても  $e\eta$  と概ね同様の傾向が見られた。 $e\eta_A$  は補剛材板厚と補剛長さによっては構造ランク I (局部座屈) の要求性能を上回るものも見られた。以上より，補剛仕様に応じて局部座屈性状を判定することで，効率的に補剛効果を得られる可能性を確認できた。

4. 結

補剛材板厚と補剛長さを解析パラメータとした有限要素法解析を実施し，補剛仕様に応じた局部座屈性状の変化と塑性変形能力との関係について定性的な傾向を確認した。

補剛仕様に応じた局部座屈性状の判定手法については今後の課題とする。

【参考文献】

- 橋口公一：弾塑性論の新体系—下荷重面の概念—，土木学会論文集 C, Vol.63 No.3, 691-710, 2007.7
- 鋼材倶楽部：角形鋼管設計研究会報告書，1993.11

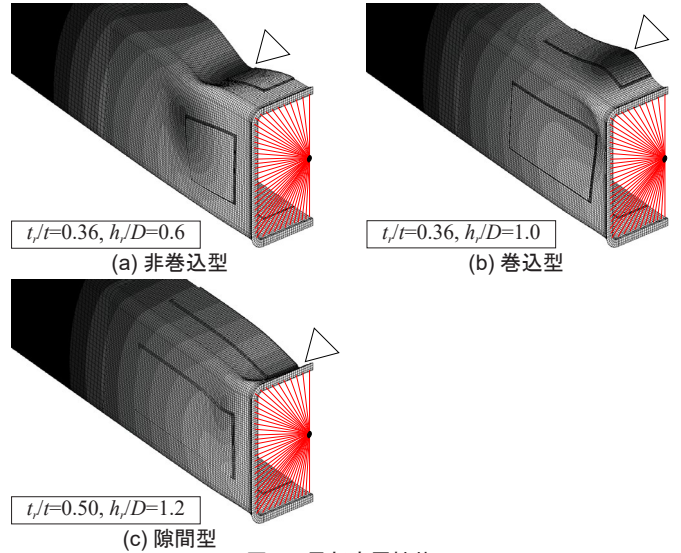


図3 局部座屈性状

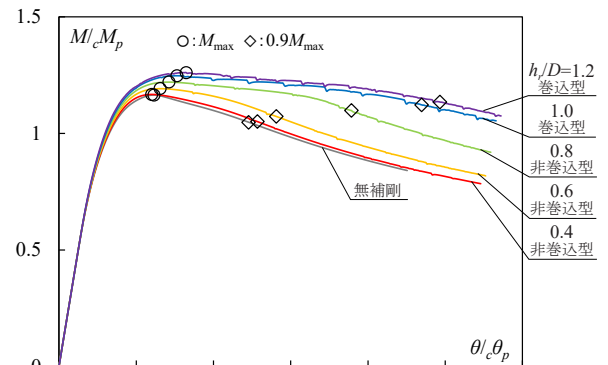
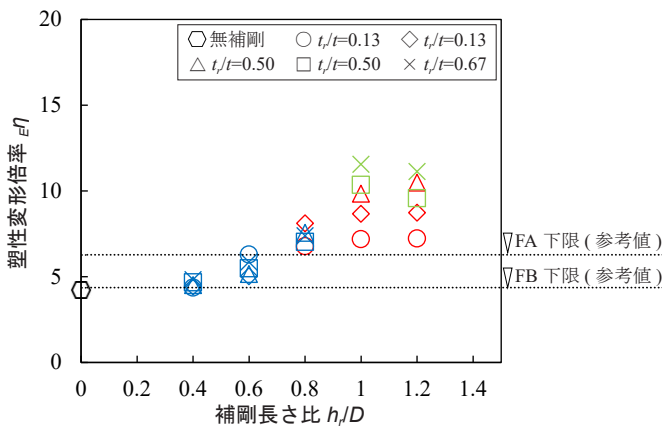
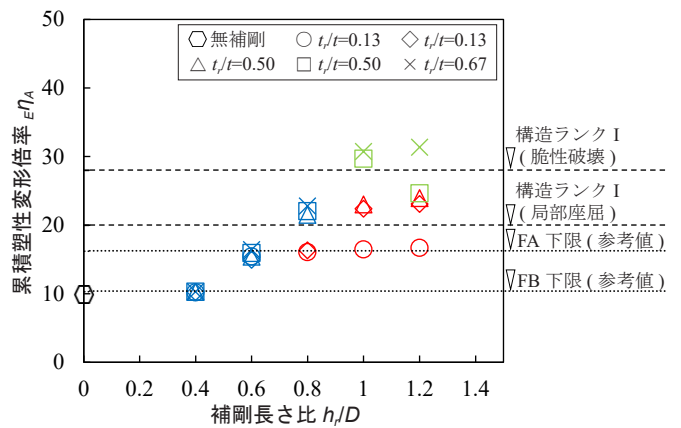


図4 単調荷重  $M/cM_p - \theta/c\theta_p$  関係 ( $t/t=0.36$ )



(i) 単調荷重



(ii) 繰返し荷重

※図中シンボルの色は青：非巻込型，赤：巻込型，緑：隙間型局部座屈性状に対応する。

図5 補剛材板厚比  $t/t$ ・補剛長さ比  $h/D$  と累積塑性変形倍率との関係※

\* 日鉄建材

\*\* 東京工業大学

\*Nippon Steel Metal Products

\*\*Tokyo Institute of Technology