T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	文献調査に基づく柱梁接合部の累積塑性変形倍率の分析 その2 実験パラメータと累積塑性変形倍率の関係
Title	
著者(和文)	中郡良, 加藤翼, 佐藤 利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 長江拓也
Authors	Ryo Chugun, Toshiaki Sato, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2014, 3
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf:http://ci.nii.ac.jp/naid/110009858311

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

Architectural Institute of Japan

2013年度日本建築学会
関東支部研究報告集Ⅰ
2014年2月

文献調査に基づく柱梁接合部の累積塑性変形倍率の分析
その2　実験パラメータと累積塑性変形倍率の関係

構造ー振動

準会員 ○ 中郡　良[*1]　正会員 加藤　翼[*1]　同 佐藤利昭[*1]
同 佐藤大樹[*2]　同 北村春幸[*1]　同 長江拓也[*2]

鋼構造　柱梁接合部　累積塑性変形倍率
長周期地震動

1. はじめに

本報その1では，既往研究で実施された柱梁接合部に対する要素実験の結果を整理し，実験に採用された載荷履歴や試験体仕様について，記載状況とその概要を報告した。

本報その2では，スカラップ形状やエンドタブの差異など，試験体の仕様に関連する各種の条件および載荷履歴が柱梁接合部の保有耐力に与える影響に着目し，結果を整理する。ここでは特に，梁端部が終局状態に至るまでに有する性能を評価することを念頭におき，柱梁接合部におけるエネルギー吸収能力の評価指標である累積塑性変形倍率を，既往研究で実施された実験結果より抽出し，それを項目に分けて分析を行う方針とする。

2. 調査対象とする試験体・実験パラメータ概要

2.1 試験体の選定

調査対象とする試験体は，本報その1に示した全試験体972体のうち，柱・梁・パネル部に補強・補修が施されていた試験体や，溶接欠陥等の不具合を設けた試験体を除く，試験体634体とする。表1に調査対象とした試験体の累積塑性変形倍率の記載状況を，算定方法と破壊性状ごとに分類して示す。

表1　累積塑性変形倍率の記載状況（634体）

	破断			耐力劣化		
	回転角 η_f	等価 $_E\eta_f$	不明 $_{un}\eta_f$	回転角 η_u	等価 $_E\eta_u$	不明 $_{un}\eta_u$
全履歴	155	240	11	101	44	13
骨格曲線	147	168	6	32	20	5

本報では，本調査結果と時刻歴応答解析結果の適応性を考慮し，時刻歴応答解析では，部材や層の復元力特性を骨格曲線部とバウシンガー部に分離することが困難であるという背景[27]を踏まえ，表1で太枠によって囲んだ，全履歴曲線から求まる累積塑性変形倍率のみに着目する。同表で，η の左側の添字は算出方法を示し，回転角に基づく算出は記載せず，履歴面積に基づく算出は E，算出方法不明は un で示す。η の右側の添字は，終局状態を意味する記号で，破断による終局は f，耐力劣化による終局は u で示す。

2.2 載荷履歴の選定

その1で述べた通り，既往研究では漸増載荷と一定載荷を採用した結果が多いため，いずれかの載荷履歴を適用した試験体の結果に着目する。ただし，両載荷履歴における加力パターンは多種多様であるため，本節ではまず，以降で調査対象とした加力パターンについてまとめる。

2.2.1 漸増載荷の調査対象加力パターン

漸増載荷については，過半数で採用されていた標準試験法[24]に準拠した加力パターン（全塑性モーメント M_P に対応する回転角 θ_P を基準として $\pm2\theta_P$，$\pm4\theta_P$，$\pm6\theta_P$，$\pm8\theta_P$，…と各変形2回ずつ繰返す載荷方法）を採用している試験体を調査対象とする。該当試験体数は404体である。

2.2.2 一定載荷の調査対象加力パターン

鋼部材実験の既往研究成果より，鉄骨部材が正負交番の繰返し載荷履歴を受ける場合，変位振幅が小さいほど，部材の塑性変形能力は増大することが報告されており[28,29]，長周期地震動に対する柱梁接合部の保有耐力を検証するためには，既往の実験成果に基づいて提案されている要求性能の見直しが必要であると考えられる。しかし，長周期地震動を想定して実施された実験は依然として少ないのが現状であり，その中で実験結果として累積塑性変形倍率の記載された試験体数はわずか9体，全試験体972体の内の1%にも満たない。ここで，上記の長周期地震動を想定した実験[22,35]で採用された載荷履歴を図1に示す。

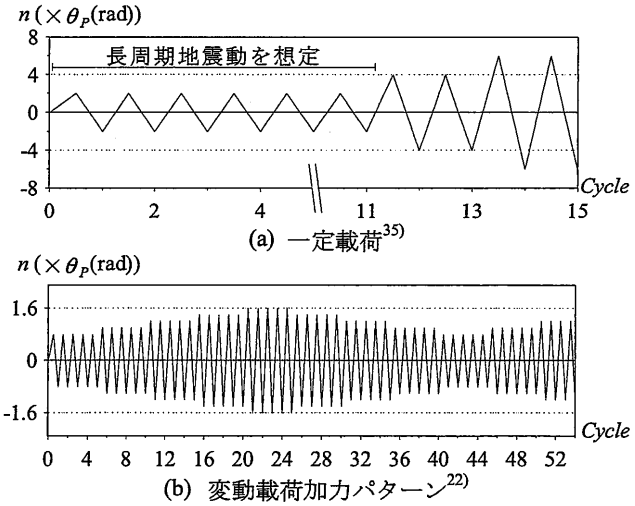


図1　長周期地震動を想定した載荷履歴

本報その1でも述べた通り，長周期地震動を想定した載荷履歴には，一定載荷もしくは変動載荷が用いられており，その変位振幅は，図1(a)，(b)より，$0.8\theta_P$ ～$2.0\theta_P$ となっていることが確認できる。

NII-Electronic Library Service

以上を踏まえ，本報その2では，終局に至るまでに経験した履歴が $1.2\theta_P$，$2.0\theta_P$，$3.0\theta_P$，$4.0\theta_P$ の4通りの加力パターンの一定載荷を採用した試験体を調査対象とし，その内，加力振幅が $1.2\theta_P$，$2.0\theta_P$ のものを，長周期地震動を想定した載荷として扱い，考察することとする。該当試験体数はそれぞれ11体，19体，20体，8体である。なお，変動載荷については，初期の超高層建物を想定した試験体を用いた実験で採用されており，他の試験体に比べ，試験体条件が大きく異なり，比較検証を行うことが困難で有ると判断し，本報では調査対象から除外した。

2.3 試験体条件の選定

柱梁接合部のエネルギー吸収能力に影響を及ぼす諸因子を明らかにするためには，着目する実験パラメータ以外の実験条件を可能な限り統一し，実験結果に作用する他の要因を極力排除する必要がある。そこで，実験条件を限定することで，実験パラメータが接合部に及ぼす影響についての分析を行う。考慮する試験体条件は，本報その1で挙げた条件の内，柱の断面形状，柱の鋼材種，梁の鋼材種，接合形式，ダイアフラム形式，スカラップ形状，エンドタブの種類とする。表2に各試験体条件の内訳と調査対象載荷履歴を組み合わせた場合の該当試験体数を示す。なお，柱の断面形状については，全調査対象試験体で箱型断面が使用されていた。スカラップ形状については，スカラップ底に設けられたアールが10mm未満のものを従来型とし，10mmのものをJASS6推奨型[30]として扱う。従って，本報その1で報告した複合円型は，スカラップ底のアールの大きさにより，従来型とJASS6推奨型のそれぞれに分類される。

表2 調査対象載荷履歴毎の各試験体条件の内訳と該当試験体数

		漸増載荷	一定載荷			
			$1.2\theta_P$	$2.0\theta_P$	$3.0\theta_P$	$4.0\theta_P$
柱の鋼材種	BCP325	1	2	2	2	2
	BCR295	125	9	7	8	6
	SN490	8	0	0	0	0
	STKR400	3	0	0	0	0
梁の鋼材種	SM490	30	0	0	0	0
	SN400	12	0	5	10	0
	SN400	4	4	2	3	1
	SS400	88	7	7	7	7
接合形式	現場溶接	37	0	8	5	0
	工場溶接	119	11	11	15	8
ダイアフラム	通しダイアフラム	129	11	9	13	8
	内ダイアフラム	25	0	10	7	0
スカラップ形状	ノンスカラップ	12	7	7	6	5
	従来型	14	0	6	6	0
	JASS6推奨型	58	4	3	4	3
	半円型	34	0	0	0	0
	四角型	25	0	0	0	0
エンドタブ	固形タブ	50	0	10	8	0
	スチールタブ	102	10	8	8	7

柱と梁の試験体形状および材料強度がもたらす影響については，「鋼構造接合部設計指針[25]」（以下，指針）で提案されている接合部係数 α を用いることで考慮する。α は，柱・梁の断面寸法と材料強度から定まる塑性変形能力確保の指標であり，指針では梁の鋼材種ごとに下限値を定めている。α の算出方法を(1)，(2)式に示す。

$$\alpha = \frac{{}_jM_u}{{}_bM_p} \tag{1}$$

$${}_jM_u = {}_jM_{fu} + {}_jM_{wu} \tag{2}$$

ここで，${}_bM_p$：梁の全断面を有効とした全塑性モーメント，${}_jM_{fu}$：梁フランジ接合部の最大曲げ耐力，${}_jM_{wu}$：梁ウェブ接合部の最大曲げ耐力である。α を算出する際に用いる材料強度は，試験片の引張試験結果を参照する。ただし，引張試験結果が記載されていない場合は，JIS規格で鋼材の厚さごとに定められている材料強度の下限値を用いた。

2.4 実験条件の組み合わせ

本節では，実験パラメータが柱梁接合部の保有性能に及ぼす影響を分析するため，着目する試験体条件，載荷履歴以外の実験条件を統一したGroupを作成する。表3に作成したGroup1～5の実験条件の組み合わせと該当試験体数を示す。

表3 実験条件の組み合わせ

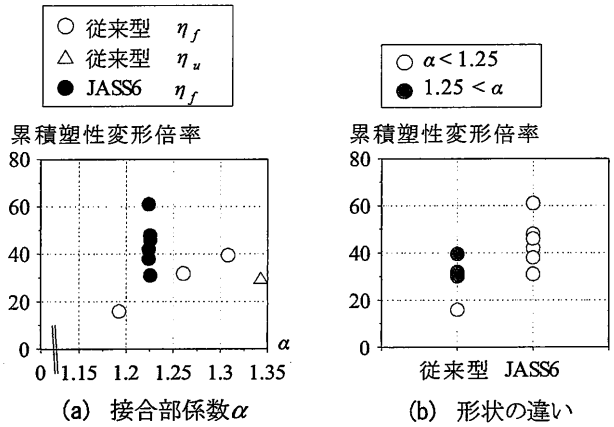
	Group1	Group2	Group3	Group4	Group5
載荷履歴	漸増載荷	漸増載荷	漸増載荷	漸増載荷	
柱の断面	箱形	箱形	箱形	箱形	箱形
柱の鋼材種	BCR295	BCR295	BCR295	BCR295	BCR295
梁の鋼材種	SS400	SN400	SN490		SN490
接合形式	工場	工場	工場	工場	工場
ダイアフラム形式	通し	通し	通し	通し	通し
スカラップ形状			JASS6	JASS6	無・JASS6
エンドタブの種類	固形	固形		固形	固形
試験体数	10	5	22	29	41

表中の太枠の項目は，着目するパラメータを示す。Group1～4は，それぞれスカラップ形状，エンドタブの種類，梁の鋼材種に，Group5は，漸増載荷と一定載荷の加力パターンの違いに着目する。

3. 試験体条件の違いによる影響の分析

本章では，表3に示したGroup1～4を用いて，スカラップ形状，エンドタブ，梁の鋼材種の違いと梁端部の累積塑性変形倍率の関係を評価する。図2～5(a)にGroup1～4における接合部係数 α と各種累積塑性変形倍率の関係を示す。図2～5(b)に着目するパラメータ詳細と各種累積塑性変形倍率の関係を示す。

はじめに，図2，3(a)，(b)のスカラップ形状の違いに着目する。

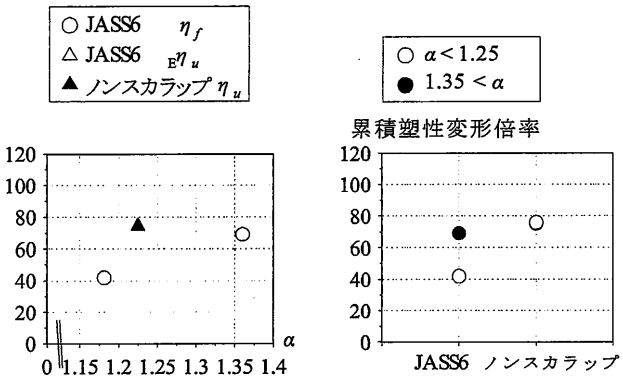


(a) 接合部係数 α　　(b) 形状の違い

図2 スカラップ形状と累積塑性変形倍率（Group1）

NII-Electronic Library Service

図2(a)より，$\alpha \fallingdotseq 1.26$ までの範囲では，JASS6推奨型は従来型よりもαが小さいが，累積塑性変形倍率は従来型よりも大きい傾向を示す。また図2(b)より，JASS6推奨型は従来型に比べ，累積塑性変形倍率が大きく，JASS6推奨型は従来型に比べ塑性変形能力に優れていると考えられる。既往の研究より，従来型はスカラップ底に著しい応力・歪集中を促しやすいが[25]，JASS6推奨型は，この応力・歪集中を緩和するためにスカラップ底に10mm程度のアールを設けているため，従来型よりも高い塑性変形能力を示すことが報告されている[31,32]。

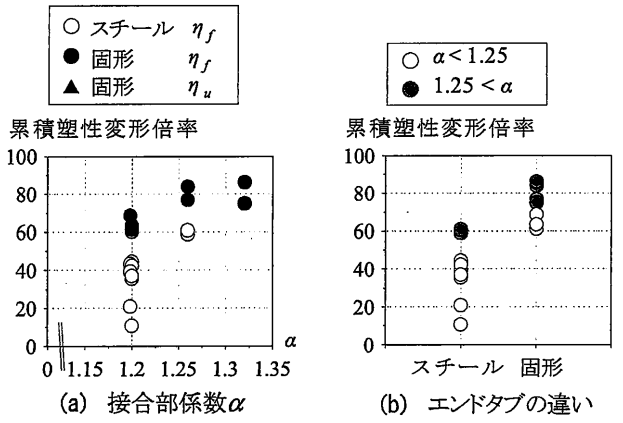


(a) 接合部係数α　(b) 形状の違い

図3 スカラップ形状と累積塑性変形倍率（Group2）

図3(a)より，$\alpha \fallingdotseq 1.2$ でJASS6推奨型とノンスカラップ型の累積塑性変形倍率に大きな差が生じている。図3(b)より，$1.35 < \alpha$ のJASS6推奨型は，$\alpha < 1.25$ のノンスカラップ型と累積塑性変形倍率が概ね等しい。ノンスカラップ型では，スカラップによる梁ウェブの断面欠損が無いため，早期脆性破壊の一因であるスカラップ底を起点とする破断を回避でき，JASS6推奨型に比べ塑性変形能力が大きいと考えられる。

続いて，図4(a)，(b)のエンドタブの違いに着目する。

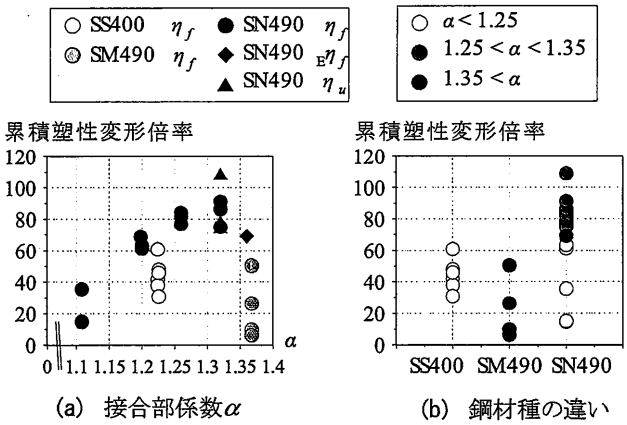


(a) 接合部係数α　(b) エンドタブの違い

図4 エンドタブの種類と累積塑性変形倍率（Group3）

図4(a)より，$\alpha \fallingdotseq 1.2$，1.26の試験体において，固形タブはスチールタブよりも累積塑性変形倍率が大きい。図4(b)より，$1.25 < \alpha$ のスチールタブは $\alpha < 1.25$ の固形タブと累積塑性変形倍率が概ね等しい。エンドタブの種類についても，固形タブはスチールタブよりも大きな累積塑性変形倍率をとることが実験により報告されており[33]，これらの研究結果と良好な対応を示していると言える。

最後に，図5の梁の鋼材種の違いに着目する。



(a) 接合部係数α　(b) 鋼材種の違い

図5 梁の鋼材種と累積塑性変形倍率（Group4）

図5(a)より，α が1.2以上の範囲で，SN490はSS400，SM490に比べて大きな累積塑性変形倍率を示している。図5(b)より，SN490はSS400，SM490より累積塑性変形倍率が大きい傾向を示しているが，$\alpha < 1.25$ では下回る場合も見られた。主要構造部材に用いられるSN材はSS材，SM材と異なり，シャルピー衝撃値や降伏比の限界値の規定に加え，化学成分の限界値も厳しく規定されており[34]，SN材はSS材，SM材より高い塑性変形能力を示すと考えられる。

4. 載荷履歴の違いによる影響の分析

本章では，Group5を用いて，漸増載荷と一定載荷の各加力パターンの違いが梁端部の累積塑性変形倍率に与える影響を分析する。ただし，本報その1で示したとおり，一定載荷は漸増載荷に比べ，試験体数が少ないため，実験パラメータを限定すると，比較検証することが困難となる。そこで，前章のGroup2の分析結果より，$1.35 < \alpha$ のJASS6推奨型と $\alpha < 1.25$ のノンスカラップ型は概ね等しい塑性変形能力を有すると考え，Group5では，それらの条件を満たす場合は同一条件として扱い，Groupの限定条件を緩和することで載荷履歴の違いについて分析する。図6に載荷履歴の違いと累積塑性変形倍率の関係を示す。

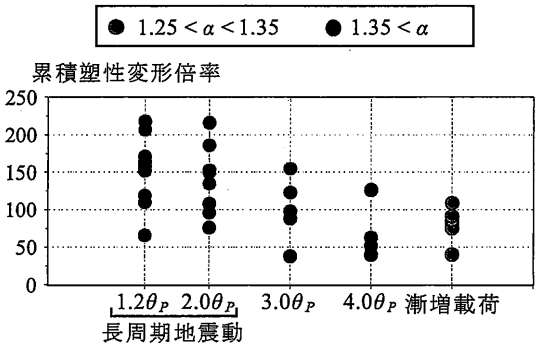


図6 載荷履歴の違いと累積塑性変形倍率（Group5）

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

図6より，一定載荷の加力振幅θ_Pが大きいほど，累積塑性変形倍率の値は小さくなる傾向が見られる。加力振幅が$1.2\theta_P$と$2.0\theta_P$の一定載荷を長周期地震動と見なすと，長周期地震動は漸増載荷に比べ，ばらつきは大きいが，累積塑性変形倍率は大きくなる傾向を示す。

以上より，長周期地震動を考慮した場合，柱梁接合部の累積塑性変形倍率は，漸増載荷実験で主に採用される標準試験法の実験結果に比べ，大きくなることが示唆される。

5. まとめ

本報では，鋼構造建物の柱梁接合部に関する既往研究を基に作成したデータベースを基に，スカラップ形状やエンドタブ等の試験体の仕様に関連する各種の条件および載荷履歴の差異が，柱梁接合部のエネルギー吸収能力に及ぼす影響を把握することを目的に，梁端部の累積塑性変形倍率に着目した分析を行った。

- スカラップ形状，エンドタブの種類，梁の鋼材種といった試験体仕様の差異により，柱梁接合部のエネルギー吸収能力に大きな影響を与えることが確認された。
- 一定載荷は，加力振幅の大きさが小さいほど，梁端部が終局に至るまでの累積塑性変形倍率が大きいことが確認された。
- 加力振幅が$1.2\theta_P$と$2.0\theta_P$の一定載荷を，長周期地震動を想定した載荷履歴と見なした場合，漸増載荷に比べ，累積塑性変形倍率が大きくなる傾向が見られた。このことから，長周期地震動を想定した場合，梁端部の累積塑性変形倍率は大きな値をとることが予想され，柱梁接合部の要求性能の見直しが示唆された。

本調査は，一部の限定条件下での分析に過ぎないため，今後はさらに範囲を拡大し，検証を進める必要がある。

謝辞

本研究成果は、防災科学技術研究所と東京理科大学の共同研究の一部です。検討を進めるにあたり，（株）日建設計 石井正人氏，吉江慶祐氏，オイレス工業（株）宮崎充氏，佐々木和彦氏，岩崎雄一氏に貴重な助言を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

1. 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：1995年兵庫県南部地震鉄骨造建物被害調査報告書，1995.5
2. 日本建築学会：大振幅地震動と建築物の耐震性評価-巨大海溝型地震・内陸地震に備えて-，2013.9
3. 伊藤拓海，杉田朋哉，桑村仁：H形鋼梁の耐力と変形能力のデータベース，日本建築学会構造工学論文集，Vol.51B，pp381-393，2005.3
4. 伊藤拓海，森健士郎：繰返し塑性振幅載荷を受けるH形鋼梁の塑性変形性能と累積損傷評価法，日本建築学会構造系論文集，第691号，pp1603-1612，2013.9
5. 木村祥裕：局部座屈崩壊型H形鋼梁の塑性変形性能と累積塑性変形性能に及ぼす載荷履歴特性の影響-片持ち梁形式の載荷実験データベースの構築-，日本建築学会構造系論文集，第76巻，第664号，pp1143-1151，2011.6
6. 中野達也，増田浩志，田中淳夫：鋼構造梁端混用接合部の力学性能に関する調査研究，日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集，第8巻，pp193-200，2000.11
7. 石井匠，菊川春三，森田耕次，高梨晃一：通しダイアフラム形式・柱梁接合部の破断性状に関する実験的研究，日本鋼構造協会鋼構造論文集，第6巻，第24号，pp87-102，1999.12
8. 焦喩，角野大介，島田侑子，吉敷祥一，山田哲：繰り返し荷重を受ける梁部材のエネルギー吸収能力（その2 実験の結果と考察），日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp569-570，2008.9
9. 高塚康平，吹田啓一郎，田中剛，真鍋義貴：塑性歪を受ける鋼構造柱梁接合部の変形能力 その11 梁断面寸法の違いが変形能力に及ぼす影響，日本建築学会近畿支部研究報告集，第52号，pp457-460，2012.5
10. 梅田敏弘，高塚康平，吹田啓一郎，田中剛：スカラップの有無と梁断面寸法の違いが変形能力に及ぼす影響 塑性歪履歴を受ける鋼構造柱梁溶接接合部の変形能力 その13，日本建築学会学術講演梗概集（北海道），pp739-740，2013.8
11. 井口智晴，田渕基嗣，田中剛：梁フランジ幅厚比が梁の破壊性状に与える影響，日本鋼構造協会鋼構造論文集，第13巻，第50号，pp57-72，2006.6
12. 中込忠男，藤田哲也：角形鋼管柱に通しダイアフラム形式で溶接接合される圧延H形鋼梁端部の力学的性能 梁スカラップの有無および形状と目違いが破壊性状に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，第455号，pp187-196，1994.1
13. 松本由香，秋山宏，山田哲：鋼構造柱梁接合部における梁の変形能力とウェブの継手効率，日本建築学会構造系論文集，第523号，pp117-124，1999.9
14. 杉本浩一，高橋泰彦：角形鋼管柱-水平ハンチ付きH形梁接合部に関する実験的研究，鋼構造年次論文報告集，第8巻，pp201-208，2000.11
15. 吹田啓一郎，田村匠，森田周平，中島正愛，マイケルDエングルハート：ノンスカラップ工法とRBS工法による柱梁接合部の塑性変形能力-改良型溶接柱梁接合部の実大実験-その1-，日本建築学会構造系論文集，第526号，pp177-184，1999.12
16. 関根誠司，杉本浩一，高橋泰彦：改良型ダイアフラム工法を用いた角形鋼管-H形梁接合部の動的載荷実験，鋼構造年次論文報告集，第5巻，pp47-54，1997.11
17. 吹田啓一郎，佐藤有希，長田暢浩：1980年代初頭に建設された既存鉄骨建物の溶接品質と現有耐震性能，日本建築学会構造系論文集，第586号，pp179-185，2004.12
18. 加藤勉，秋山宏：鋼構造部材の耐力（その4），日本建築学会論文報告集，pp15-20，1968.9
19. 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：通しダイアフラム形式で角形鋼管柱に接合されるH形鋼梁の塑性変形能力に関する実大実験報告書，1997.7
20. 山田哲，焦喩，柴田篤宏，島田侑子，吉敷祥一：載荷履歴の違いに着目した鉄骨梁のエネルギー吸収能力評価（その1 研究の概要），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），pp925-926，2009.8
21. 高塚康平，真鍋義貴，吹田啓一郎，田中剛，津嘉田敬章，蘇鐘鈺：スカラップの有無が変形能力に及ぼす影響-塑性歪履歴を受ける鋼構造柱梁接合部の変形能力その2-，日本建築学会構造系論文集，第77巻，第673号，pp453-459，2012.3
22. 安田聡，成原弘之，関清豪，長谷川隆：長周期地震動に対する鋼構造柱梁接合部の耐震性能，大成建設技術センター報，第45号，2012
23. 秋山宏，山田哲，箕輪親宏，寺本隆幸，大竹章夫，矢部喜堂：慣性加力装置を用いた構造要素の実大振動台実験方法，日本建築学会構造系論文集，第505号，pp139-146，1998.3
24. 建築研究所，日本鉄鋼連盟：鋼構造建築物の構造性能評価試験方法に関する研究員会報告書，2002.4
25. 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，第3版，2012.3
26. 豊田政男：建築鉄骨を壊さないために構造技術者がなすべきこと，片山技報，No.20，2000
27. 性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究-JSCA耐震性能メニューの安全限界値と余裕度レベルの検討-，日本建築学会構造系論文集，第604号，pp183-191，2006.6
28. 藤本盛久，泉満：欠陥を有する溶接部の変形能力に関する研究：T継手突合せ溶接部の低サイクル塑性疲労実験 その1，日本建築学会論文報告集，第288号，pp61-71，1980.2
29. 石軍，高橋誠，秋山宏：低サイクルの鋼素材の終局エネルギーの実験研究，日本建築学会学術講演梗概集（北陸），pp1409-1410，1992.8
30. 日本建築学会：建築工事標準仕様書JASS6鉄骨工事，1996
31. 山本昇，石井匠，森田耕次：はり端溶接接合部の力学的挙動におよぼすスカラップの影響，日本建築学会構造工学論文集，Vol.39B，pp493-506，1993.3
32. 皿海康行，斎藤英明，横山治男，青柳隆之，坂本真一，田沼良一：梁端ディテールの違いが角形鋼管柱-H形断面梁接合部における梁端仕口部の構造性能に及ぼす影響（梁全体の曲げ性能に占める梁フランジの割合いが比較的小さい場合），日本建築学会学術講演梗概集（九州），pp373-374，1998.9
33. 川乗安生，甲津功夫：現場接合形式柱梁溶接接合部の力学性状に関する研究 その1 エンドタブと溶接ワイヤ材質の影響，日本鋼構造協会鋼構造論文集，第7巻，第28号，pp71-85，2000.12
34. 日本鋼構造協会：わかりやすい鉄骨の構造設計 第四版，技報堂出版，2012.2
35. 山田祥平，北村有希子，吹田啓一郎，中島正愛：初期超高層ビル柱梁接合部の実大実験による耐震性能の検証，日本建築学会構造系論文集，第73巻，第623号，pp119-126，2008.1

*1 東京理科大学　　*2 （独）防災科学技術研究所

NII-Electronic Library Service