

RC柱の圧縮靶性に関する実験的研究

第2報 コンクリートの圧縮強度に及ぼす横補強筋量の影響

椎原 寛喜¹・位田 達哉²・福島 順一²

¹第一工業大学 学生 建築デザイン学科

²第一工業大学 指導教員 建築デザイン学科

(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail : t-inden@daiichi-koudai.ac.jp

Experimental Study on the Compression Toughness of the RC Columns

Part2 Influence of Lateral Reinforcement Content on the Compressive Strength of Concrete

Hiroki Shiihara, Tatsuya Inden and Jun-ichi Fukushima

Dept. of Architecture and Design, Daiichi Institute of Technology

Abstract

This study inspects the compression toughness of the supporting columns which prevented layer collapse and installed with the goal of securing of human life and relations with the wide shear reinforcement quantity experimentally for old RC structure buildings.

This report has collated the validation data for the purpose of clarification of the influence of reinforcement content on compressive strength of concrete. As a result, horizontal reinforcement is more, the empirical formula was found to provide a slight excess of rating.

Key Words : RC column, Seismic strengthening, Confined effect, Protection of the human life

1. 緒 言

我が国の建築においては建築基準法で定める耐震性能が基準であり、既存建築物では、これを満たすための方法として、補強部材を追加することが基本となっている。そのため、学校建築の長手方向のような場合、補強壁を多数配置することになり、多額の費用が必要となることから耐震補強に至らないケースは非常に多い。

本研究は、多額の費用等の経済的な理由で耐震基準に満たない建物が放置されている状況を背景として、ローコスト補強を実現するために被災建物の使用は期待せずに、もっぱら人命保護に特化した耐震補強工法を提案するものであ

る。すなわち、既存柱に添わせて新たな柱（添柱）を構築し、この添柱によって軸力を保持させることによって震災時における避難シェルターを実現しようとするものである。

前報¹⁾では、添柱に使用する材料の力学的性質の解明のため、プレーンコンクリートの強度を共通条件とし、横補強筋量(p_w)を実験要因とした圧縮試験を実施した。添柱に作用する軸力が最大応力度を超えた場合であっても急激な軸崩壊が生じないように圧縮靶性を持たせておくことは、シェルター空間の創出や避難時間確保の観点からも必要であることは明らかであり、添柱に圧縮靶性を付与するためには、横補

強筋量 (p_w) に対し、最大応力度以降の応力低下率 (α) と鉛直ひずみ増大率 (β) の関係が明らかでなければならない。図1は、横補強筋量をパラメータとして応力低下率とひずみ増大率との関係を示した既報の実験結果である。横補強筋量が大きくなるに伴い、供試体のひずみ増大率は小さくなる傾向にあることを確認した。しかしながら、パラメータとなる横補強筋ピッチの種類が少なく、また、統計的にも実験回数が十分でないことなどから、定量的な評価には至っていない。

そこで本報では、圧縮強度に及ぼす横補強筋量の影響の究明のほか、前報¹⁾で不足していたパラメータ（横補強筋ピッチおよび本数）を補い補強効果を検証するため、横補強筋量のパラメータを増やし、前報では十分な検討ができなかった応力低下率 (α) とひずみ増大率 (β) に及ぼす横補強筋量の影響を究明するための基礎データの整理を目的とする。

2. コンクリートの圧縮強度に及ぼす横補強筋量の影響に関する実験

2.1 使用材料およびコンクリートの調合

本報では、急激な耐力劣化の恐れがある高強度コンクリートは対象とせず、一般的に用いられている呼び強度 30N/mm^2 をプレーンコンクリートの強度として検討した。調合は、普通 30-12-20N とし、全国生コンクリート協同組合連合会に加盟するレディミクストコンクリート工場からアジテート車で運搬したものを用いた。

横補強筋として、図2に示すような $\phi 3.2\text{mm}$ の針金をスパイラル状に巻き上げたものを用いた。ここで、実柱に挿入する横補強筋ピッチは、コンクリートの充填性を考慮した最小間隔（50mm程度）から定まる補強筋量および建築基準法で定める最大間隔（@100mm）の制限から定まる補強筋量によって、上限・下限の配筋量を決定する。前報¹⁾では、これを条件にD13筋の使用を仮定した3タイプを標準として実柱の補強筋とし、この補強筋量にほぼ等しい等価な補強筋量を設定した。本報においては、応力低下率 (α) とひずみ増大率 (β) に及ぼす横補強筋量の影響の究明を目的として、実用的には不適合であるピッチも含め、表1のように横補強筋の13種類のピッチとした。

2.2 供試体の作製および養生

使用したレコンクリートは、アジテート車により運搬し、受け入れ試験によってスランプ（12.5cm）および空気量（3.2%）を確認した。

コンクリートの打設は、予めスパイラル状に巻き上げ加工した横補強筋を挿入した鋼製型枠（ $\phi 100 \times 200$ ）を用い、受け入れ試験完了後のコ

ンクリートを直ちに型枠へ打設した。打設は2層に分け、1層目を打設した後、突き棒で11回突き、木槌で充分に側面を叩いて締固めた。そして、2層目も同様の手順で打設した。供試体は、横補強筋のピッチごとに6体作製し、比較用として無補強のコンクリートを6体作製した。打設後の供試体は乾燥の少ないコンクリート養生室へ静置し、打設から24時間経過後に

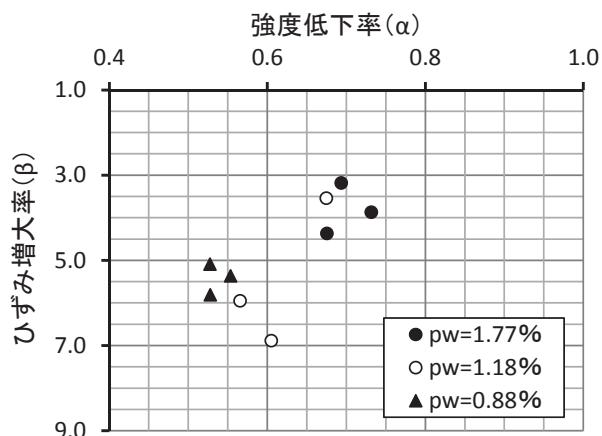


図1 応力低下率とひずみ増大率との関係

表1 横補強筋の記号と横補強筋量

記号	横補強筋比 (%)	D13換算時ピッチ
$\phi 3-@4$	3.54	@25
$\phi 3-@6$	2.36	@35
$\phi 3-@8$	1.77	@50
$\phi 3-@10$	1.41	@60
$\phi 3-@12$	1.18	@75
$\phi 3-@14$	1.01	@85
$\phi 3-@16$	0.88	@100
$\phi 3-@18$	0.78	@110
$\phi 3-@20$	0.71	@120
$\phi 3-@24$	0.59	@150
$\phi 3-@32$	0.44	@200
$\phi 3-@48$	0.29	@300
$\phi 3-@64$	0.22	@400

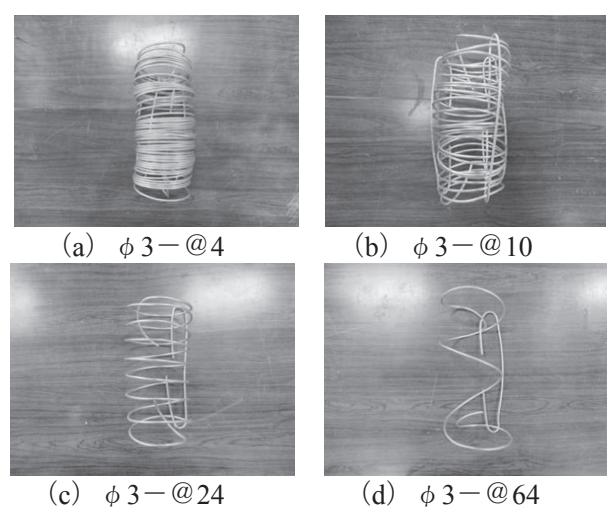


図2 スパイラル状に巻き上げた横補強筋

脱型し、ただちに恒温水槽（水温 20±3°C）へ入れ、試験材齢（28 日）まで水中養生を施した。

2.3 圧縮試験の方法

所定期間の水中養生を完了した供試体は、JIS A 1108に準じて圧縮試験を実施した。同時に、電気式変位計（精度：0.01mm）を用いて板間変位を 2箇所から実測し、その平均値によってひずみ度を計算した。一般的なコンクリートの圧縮試験であれば、ひずみ度の測定には ~~位~~ ~~は達~~ ~~成~~ ジャンゲージやコンプレッソメータを用いることが望ましいが、最大荷重以降、供試体の横方向へのはらみが大きいことから、上述の方法で最大荷重以降の靶性を評価するのは困難である。そこで、板間変位より間接的にひずみ度を測定することとした。

2.4 試験の結果

表乾密度および圧縮強度の試験結果を表 2 に示す。また、代表的な応力度-ひずみ度曲線を図 3 に示す。各供試体の変動係数は概ね 3%程度であり、目視確認と合わせて施工不良などの影響はなかったと判断できる。横補強筋量が増加に伴う圧縮強度の向上が確認できた。一方で、表乾密度には明確な差は確認されなかった。また、定量的な評価には至っていないが、横補強筋量が増加するにつれて、最大荷重後の勾配が緩やかになっており、靶性の向上を確認することができた。

各供試体の代表的な最終破壊状況を図 4 に示す。比較的ピッチが細かく密に配筋された供試体では、全体に渡ってかぶりコンクリートが剥落し、補強筋の拘束効果が良く表れている様子がうかがえる。一方、@20mm 以上のピッチの粗い供試体では、横補強筋による拘束効果が充分に現れていない破壊状況であった。

2.5 考察

最大強度時に横補強筋（SUS304A）は降伏強度に達していると仮定し、規格降伏点強度（0.1%耐力）の 1.1 倍を実降伏点強度として、横方向の静水圧を受けるコンクリートシリンダーの破壊試験結果に基づく実験式（1）式を用いて計算値 (f_{cc}) を算出した。

$$f_{cc} = f'_c + 8.2 \frac{f_y A_{sp}}{D \times s} \quad [\text{N/mm}^2] \quad \dots (1)$$

ここに、
 f_y : 横補強筋の降伏点強度 $[\text{N/mm}^2]$
 f'_c : プレーンコンクリートの圧縮強度 $[\text{N/mm}^2]$
 A_{sp} : 横補強筋の断面積 $[\text{mm}^2]$
 D : 供試体の直径 $[\text{mm}]$
 s : 補強筋のピッチ $[\text{mm}]$

表 2 表乾密度および圧縮強度の測定結果

記号	表乾密度 $[\text{g/cm}^3]$ ¹⁾	圧縮強度 $[\text{N/mm}^2]$ ¹⁾
φ 3-@4	2.71 (1.67)	76.6 (2.91)
φ 3-@6	2.57 (3.47)	65.8 (5.93)
φ 3-@8	2.49 (1.94)	57.4 (4.53)
φ 3-@10	2.46 (1.33)	47.2 (1.20)
φ 3-@12	2.47 (1.98)	45.5 (1.64)
φ 3-@14	2.44 (2.15)	44.0 (1.35)
φ 3-@16	2.41 (1.78)	42.3 (1.50)
φ 3-@18	2.42 (2.42)	40.7 (1.13)
φ 3-@20	2.43 (1.06)	39.1 (1.49)
φ 3-@24	2.42 (1.04)	38.7 (0.94)
φ 3-@32	2.37 (1.49)	37.1 (1.15)
φ 3-@48	2.36 (1.70)	36.4 (0.39)
φ 3-@64	2.37 (0.85)	34.4 (3.58)
nRC	2.37 (3.19)	30.1 (2.84)

【注】1) 括弧内の数値は変動係数（%）を示す。

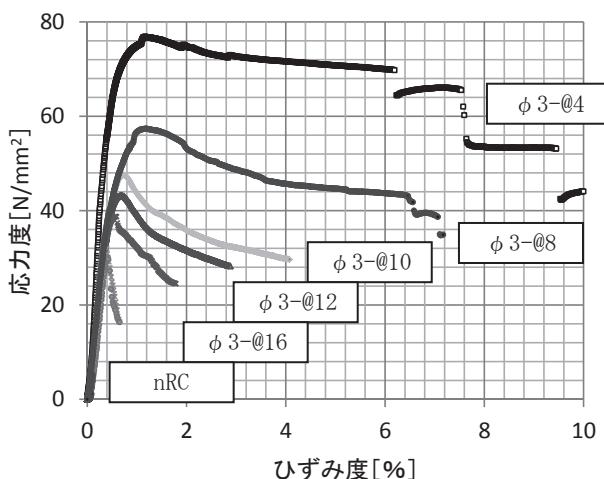


図 3 応力度-ひずみ度曲線

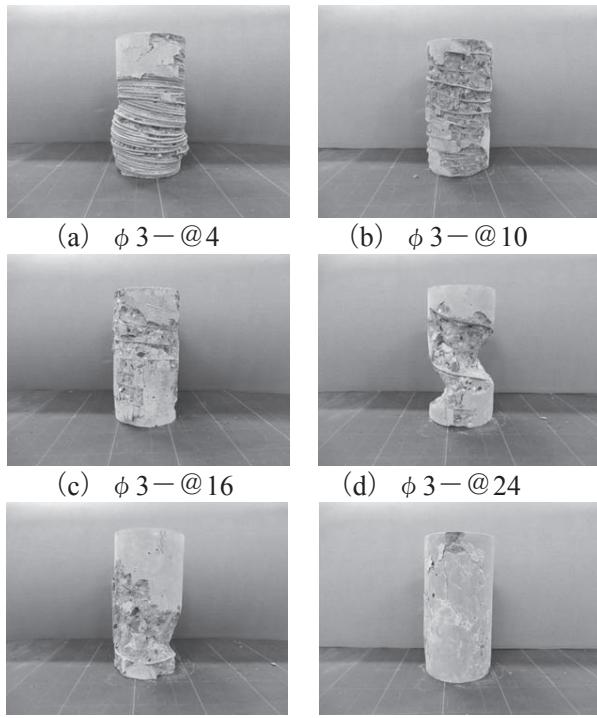


図 4 供試体の破壊性状の一例

表3および図5は圧縮強度および実験式による推定強度を比較したものである。横補強筋量が多くなるに従って f/f_{cc} （実験値／計算値）がやや小さくなる傾向が確認できる。なお、横補強筋のひずみ量を測定していないため、最大荷重時の横補強筋応力度は不明であるが、破壊経過から推定して、横補強筋量の多い供試体において最大荷重時に横補強筋が降伏していないと考えられるケースが多かった。このことから、

(1) 式は横補強筋量が多い場合には過剰評価となることが示唆される。本研究は最大荷重以降の剛性低下程度（圧縮韌性）と横補強筋量の関係を調べるのが目的であるため、本件に関する考察は以上に留める。

図6は、最大圧縮強度に及ぼす横補強筋量の影響を示し、無補強試験体の最大圧縮強度の平均値との比を示したものである。横補強筋量の増加に伴って圧縮強度は指数関数的に上昇する傾向を示した。

3. 結 言

圧縮韌性に及ぼす横補強筋量の影響を実験的に検証することを目的とし、その過程で得られた一部の成果（圧縮強度と横補強筋量の関係）について考察した。その結果、既往の実験式

(1) 式は横補強筋量が多い場合には過剰評価となることがわかった。

次報では、本報で得られたデータをもとに、最大強度以降の圧縮韌性と横補強筋量との関係を報告する予定である。

謝 辞

本実験の実施にあたっては、第一工業大学の徳山ミヨーキン教授および岡林巧教授にご協力をいただきました。また、コンクリート打設にあたっては、建築デザイン学科3年生有志の協力なくしては成立しませんでした。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 位田、福島：RC柱の圧縮韌性に関する実験的研究、第一工業大学研究報告、第25号、2013.3

表3 圧縮強度および実験式による推定強度

記号	ρ_w [%]	f [N/mm ²]	f_{cc} [N/mm ²]	f/f_{cc}
$\phi 3-@4$	3.54	76.6	81.5	0.94
$\phi 3-@6$	2.36	60.6	64.7	0.94
$\phi 3-@8$	1.77	53.3	56.3	0.95
$\phi 3-@10$	1.41	47.9	51.2	0.94
$\phi 3-@12$	1.18	46.1	47.9	0.96
$\phi 3-@14$	1.01	44.3	45.5	0.97
$\phi 3-@16$	0.88	42.8	43.7	0.98
$\phi 3-@18$	0.78	41.4	42.3	0.98
$\phi 3-@20$	0.71	40.1	41.2	0.97
$\phi 3-@24$	0.59	38.4	39.5	0.97
$\phi 3-@32$	0.44	37.3	37.4	1.00
$\phi 3-@48$	0.29	36.3	35.3	1.03
$\phi 3-@64$	0.22	34.2	34.2	1.00
nRC		31.1		

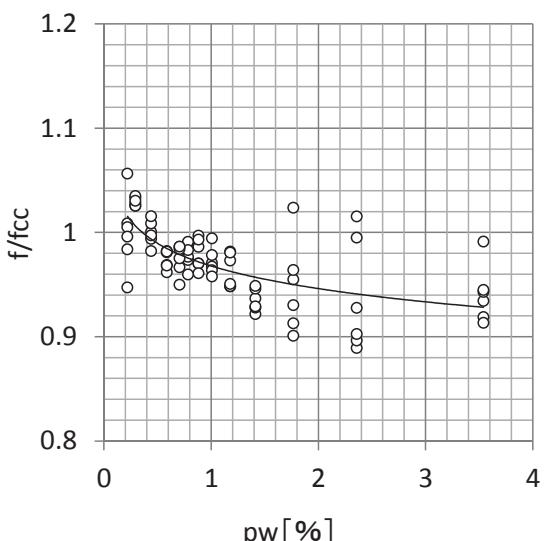


図5 圧縮強度の実測値と計算値との比較

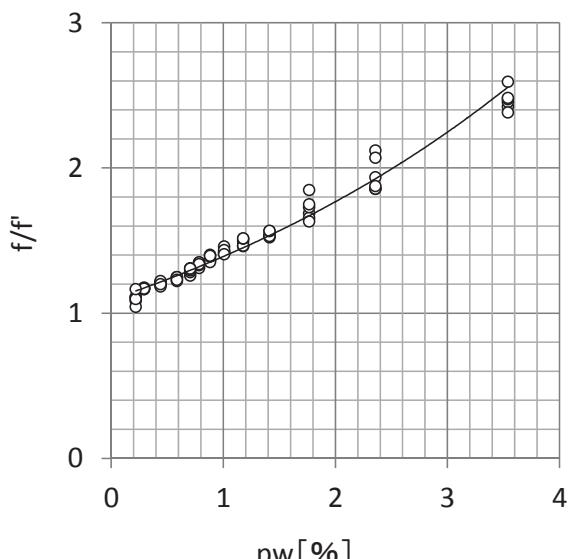


図6 圧縮強度に及ぼす横補強筋量の影響

平成25年度において学外に発表された論文及び講演

(2014年3月現在)

発表者	題 目	雑誌名・講演会名	発表・開催年月
1 印刷論文・著書			
松 藤 信 哉 棚 田 嘉 博	系 列	知識ベース「知識の森」β版, 電子情報通信学会, pp.16(24)-19(24)	2014 年1 月
Y.Tanada,K.Sato	Long Huffman Sequences Derived from Even Functional Quadratic Residues	Proc. International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, pp.56-59	2013 年10 月
若 井 一 顯	トコトンやさしい無線通信の本	日刊工業新聞社出版	2013 年8 月
若 井 一 顯	A study of medium wave isolator design with quasi gyrator	2013 IEEE Broadcast Symposium 9-10 October 2013, 9-Pages	2013 年10 月 SanDiego, CA,USA
若 井 一 顯	蛍光灯照明装置における電磁雑音と信頼性評価	信学技報 IEICE Technical Report R2013-90 EMD2013-146 (2014-2) .pp.35-40	2014 年2 月
Q. Chen, T. Nagano, Y. Nakamura, Y. Maeda, N.Kawagoishi	Initiation and propagation behavior of a fatigue crack of maraging steel in high humidity	Proceedings of The 13th International Conference on Fracture (ICF13) , CD-ROM	2013 年6 月
N.Kawagoishi, K. Kariya, T. Nagano, Y. Nakamura	Effect of second-step-aging on the fatigue properties of maraging steel	Proceedings of The 13th International Conference on Fracture (ICF13) , CD-ROM	2013 年6 月
Y. Nakamura, K. Kariya, N. Kawagoishi	Some microstructural aspects on humidity enhanced deterioration in the fatigue strength of age hardened 7075 Al alloy	Proceedings of The 13th International Conference on Fracture (ICF13) , CD-ROM	2013 年6 月
N.Kawagoishi, K. Kariya, H. Matsusako, Y. Nakamura, X. Wang, Q. Wang	Effect of humidity on fracture mechanism of age-hardened Al alloys under ultrasonic loading	Proceedings of The 13th International Conference on Fracture (ICF13) , CD-ROM	2013 年6 月
Q. Chen, Q. Wang, N. Kawagoishi, K. Kariya, Y. Nakamura, N. Yan	Effect of aging condition on fatigue strength of maraging steel in long life region	Proceedings of The 13th International Conference on Fracture (ICF13) , CD-ROM	2013 年6 月
X. Wang, X. Guo, X. Li, N. Kawagoishi	Effect of different micro-arc oxidation coating layer types on fatigue life of 2024-T4 alloy	Proceedings of The 13th International Conference on Fracture (ICF13) , CD-ROM	2013 年6 月
M. Goto, S. Z. Han, K. Euh, N. Teshima, T. Yakushiji, N. Kawagoishi	Fatigue damage formation and microstructure of ultrafine grained copper under two-step loading	Computational Methods and Experimental Measurements XVI (WIT Transaction on Modelling and Simulation)	2013 年6 月
N.Kawagoishi, K. Kariya, Y. Maeda, E. Kinoshita, Q. Chen, M. Goto	Fatigue Strength of Aluminum Cast Alloy in Plant Oil	Key Engineering Materials	2013 年9 月
N. Teshima, M. Goto, S. Z. Han, K. Euh, T. Yakushiji, N. Kawagoishi	Surface Damage and Fatigue Strength of Ultrafine Grained Copper Treated by Mild Annealing	Key Engineering Materials	2013 年9 月

発表者	題 目	雑誌名・講演会名	発表・開催年月
皮籠石 紀 雄 中 村 祐 三 坂 三 二 陳 孝 二 永 強 二 野 茂 二 前 憲 二 田 和 二	マルエージング鋼の疲労特性改善に有効な時効条件	材料 第62卷 第12号 pp.756-763	2013年12月
Y. Nakamura, N.Kawagoishi, K. Kariya	Tensile Properties and Fatigue Strength in High Humidity in Extruded 7075 Al Alloys with Different Aging Conditions	Advanced Materials Research	2014年1月
K. Ooe	A Speech assistance compact pump system with piezo micro pump units	Proceedings of ICFPAM 2013, BIO-T8	2013年12月
K. Ooe, R. Kishimoto Y. Hashimoto	Myoelectric control method for controllable electrolarynx	Proceedings of IEEE SENSORS 2013, pp1262-1265	2013年11月
大 恵 克 俊	頸部筋電位信号により開閉制御を行う小型スピーキングバルブの提案	第58回音声言語医学会総会・学術講演会予稿集, 演題番号120	2013年10月
大 恵 克 俊	頸部筋電位信号を用いた発声補助福祉デバイスの開発	日本機械学会九州支部鹿児島講演会講演論文集, pp259-260	2013年9月
大 恵 克 俊 安 里 翼 櫻 井 康 平	低呼吸抵抗を目指した電気制御型スピーキングバルブの提案	第28回リハ工学カンファレンス 予稿集, pp168-169, CD-ROM	2013年5月
田 中 龍 児	ハンディGPSを用いた海岸地形測量方法の開発	土木学会論文集 B3 (海洋開発)	2013年6月
T.Inden	Utilization of Fruit Core Carbide with Adsorption Capability as Aggregate for Wet Materials	Proceedings of International Conference on Functional Materials and Applications 2013	2013年12月
K.Sakaguchi and T.Inden	Upgrade of Existing Performance or Adding of New Feature by Classification of Building Construction Method (A Case Study on Partition Wall)	Proceedings of International Conference on Functional Materials and Applications 2013	2013年12月
A.Arimizu, T.Inden, S.Nemoto and A.Imabeppu	Creation of Function in Already-Known Material by Diversion of Existing Materials (A Case Study on Spatial practice in bamboo forest)	IEEE R10 Humanitarian Technology Conference 2013, pp.89-94	2013年8月
古 田 智 基	Earthquake Response of Wooden House with Wood Braces Fastened by New Developed Brace	SE-50 EEE (Skopje Earthquake – 50	2013年5月
古 田 智 基 中 尾 方 人 完 山 利 行	緩衝材入り筋かい金物を用いた筋かい耐力壁の地震応答の評価	日本建築学会技術報告集 第19巻 第42号	2013年6月
Tetsuya Muraoka, Hiroaki Ikeda	Selection of Displays Operated Harmlessly to Human Eyes Based on Their Readability	IEEE R10 Humanitarian Technology Conference 2013, pp.89-94	2013年8月
建 宮 努	予想問題とイラストで合格販売士3級 第三版	中央経済社刊 単著書籍	2013年7月
海光 歩(建宮 努)	販売士3級一発合格テキスト問題集 第二版	翔泳社刊 単著書籍	2013年5月
ローズ平田昌子	映像を用いた実践における語彙知識の深まり	桜美林大学言語教育論叢 第10号	2014年3月
ローズ平田昌子	映像を用いた実践における語彙学習プロセス - 関与不可仮説の枠組みによる 教室内インターアクションの分析 -	言語教育研究 第4号	2014年3月

発表者	題 目	雑誌名・講演会名	発表・開催年月
2 口頭発表			
若 井 一 顕	A study of medium wave isolator design with quasi gyrator	2013 IEEE Broadcast Symposium 9-10 October 2013, 9-Pages	2013 年10 月 SanDiego,CA,USA
若 井 一 顕	蛍光灯照明装置における電磁雑音と信頼性評価	信学技報 IEICE Technical Report R2013-90 EMD2013-146 (2014-2) .pp.35-40	2014 年2 月
若 井 一 顕	放送のハイブリッド化とソーシャルメディアとの共存（メディアの新時代を展望する）	鹿児島工業高等専門学校	2013 年7 月
若 井 一 顕	とことんやさしい無線通信の本と技術の歩み（企業の中で技術を磨く）	鹿児島工業高等専門学校	2013 年11 月
若 井 一 顕	4K, 8Kテレビジョンとやさしい無線通信の本	鹿児島工業高等専門学校	2014 年1 月
仮 屋 孝 二 皮籠石 紀 雄 陳 強 中 村 祐 三 前 田 義 和 松 迫 憲	超音波と通常の繰返し速度下における疲労特性の比較	日本材料学会 第62期通常総会・ 学術講演会	2013 年5 月
皮籠石 紀 雄 Xi-Shu WANG Xing-Wu GUO Xu-Dong LI 中 村 祐 三	時効硬化Al 合金の疲労強度に及ぼすプラズマ酸化処理の影響	日本機械学会 九州支部 鹿児島講演会	2013 年9 月
仮 屋 孝 二 陳 強 後 藤 真 宏 中 村 祐 三 前 田 義 和	ショットピーニングによる時効硬化Al 合金の高湿度中における疲労強度の改善	日本機械学会 九州支部 鹿児島講演会	2013 年9 月
陳 強 Qingyuan WANG 仮 屋 孝 二 皮籠石 紀 雄 後 藤 真 宏	高強度金属材料の超音波疲労におけるき裂伝ば機構	日本機械学会 九州支部 鹿児島講演会	2013 年9 月
大 恵 克 俊	低呼吸抵抗を目指した電気制御型スピーキングバルブの提案	第28回リハ工学カンファレンス	2013 年8 月
大 恵 克 俊	頸部筋電位信号を用いた发声補助デバイスの開発	日本機械学会九州支部 鹿児島講演会	2013 年9 月
大 恵 克 俊	頸部筋電位信号により開閉制御を行う小型スピーキングバルブの提案	第58回音声言語医学会総会・ 学術講演会	2013 年10 月
Katsutoshi Ooe	Myoelectric control method for controllable electrolarynx	IEEE SENSORS 2013	2013 年11 月
Katsutoshi Ooe	A speech assistance compact pump system with piezo micro pump units	ICFPAM 2013	2013 年12 月
田 中 龍 児 岡 林 巧	森林傾斜地の迅速かつ効率的な地形測量法の開発	平成25 年度土木学会 西部支部研究発表会	2014 年3 月
羽 野 晓	魅力ある橋梁景観づくり -鹿児島県内に現存する大正・昭和初期橋梁の意匠-	平成 25 年度（公財）鹿児島県建設 技術センター建設技術研修会特別講演	2013 年5 月

発表者	題 目	雑誌名・講演会名	発表・開催年月
羽野 晴	大正～昭和初期橋梁の親柱・高欄デザインサーベイ －福岡県及び鹿児島県の現存橋梁を対象として－	土木学会景観・デザイン研究発表会、ポスター発表	2013年12月
本田 泰 寛 小林 一郎 増山 晃太	フランスにおける木造アーチ橋の発展	第33回土木史研究発表会	2013年6月
古田 智 基 中尾 方 人	緩衝材入り筋かい金物を用いた在来軸組工法 2階建木造住宅の地震応答性状	日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ	2013年8月
村岡 哲 也 池田 弘 明	工事現場等で遭遇する不慮の事故での危機回避行動に関するモデル研究	日本信頼性学会第21回春季信頼性シンポジウム発表報文集, 4-1, pp.7~10	2013年6月
村岡 哲 也 池田 弘 明	三相誘導モーターのライフサイクルコスト, －具体的データによるモデルの検証 その4－	日本信頼性学会第26回秋季信頼性シンポジウム発表報文集, 4-1, pp.59~62	2013年11月
平田 昌 子	テストを短縮するツール： LRT-CAT の開発と今後の課題	日本教育工学会 第29回全国大会	2013年9月
平田ローズ昌子	ダイナミック・アセスメントを取り入れた読みの活動 －マクロおよびミクロ・スキヤフォールディングによる分析－	日本語教育学会秋季大会	2013年10月
ローズ平田昌子	映像を用いた実践における語彙知識の深まり	桜美林大学言語教育研究所公開研究会	2014年2月