

新しい形式の鉄骨コンクリート柱 の力学的特性に関する基礎的研究

藤井 英希* 福原 実苗** 南 宏一***

Experimental Study on Strengthening Effects
of New Type Steel-Concrete Columns

Hideki FUJII* Minae FUKUHARA** and Koichi MINAMI***

ABSTRACT

Recently, the situation of the construction cost is reflected and SRC structures decreases. An excellent mechanical property cannot be shown though construction is difficult and the cost is high because the cause uses the iron frame compared with the RC structure. Therefore, the SRC structure and the CFT structure characteristic are made the best use of, and the iron frame concrete composite construction of a new system with the earthquake-resistant, the workability, and the economy is researched. To obtain the seismic performance of new system of composite structure, 6 columns specimens (6 on B series) were tested. The B series is the box shape steel pipe and diagonal steel section. The B series is the box shape steel pipe and diagonal steel section. Test specimens with the box shape steel pipes have the good deformation ability under the high axis load. Because, the box shape steel pipes is prevented to concrete compression failure and the compression buckling of the steel. New type composite columns with diagonal section have about twice the bending yield strength with ordinarily section and, it has the transformation ability. It obtained of the basic characteristic of new type steel-concrete composite structures, and the evaluation of ultimate strength and ductility of steel-concrete columns is examined. In conclusion, steel-concrete composite structures of proposed new type have been understood that it has seismic performance and economical construction is done compared with ordinarily SRC structures, and CFT structures.

キーワード:鉄骨コンクリート合成柱, CFT 柱, SRC 柱, 対角線形鉄骨断面,孔あき鋼板ジベル

Keywords: Steel concrete Composite Structures, Concrete Filled Tube Structures,
Steel Reinforced Concrete Structures, Diagonal Steel Section,
The Dowel using Perforated Plate

1. はじめに

日本の国土交通省が毎年実施している建築動向統計調査¹⁾によると日本における建築物の建設事情が一変してきている。構造別着工棟数の推移の総計を図 1-1(a)

に, 10~15 階建建築物を図 1-1(b)に示す。ここで示す対象建築物は, 2005 年 1 月~2005 年 12 月の集計を 2005 年計としている。

日本における構造物の着工棟数の総計は 1996 年より減少しており, RC 構造および SRC 構造ともに横ばい

*大学院建築学専攻 **建築学科 研究員 ***工学部建築学科

である。

一方、10～15 階建てに着目すると、中・高層建築物に採用される構造形式は、2000 年から総計は増加しており、従来、活用されていた SRC 構造が急激に減少するのに対して、RC 構造が SRC 構造の減少分を補う形で急激に採用されていることである。

RC 構造は、2000 年(平成 12 年)に建築基準法の改正にともなって、限界耐力法、性能設計法の確立、および、RC 構造の鉄筋およびコンクリートの材料の高強度化、さらに免震、制震技術の導入にともなって、十分に適正な構造計画および構造設計が、RC 構造で可能となり、RC 構造の中高層建築物が比較的容易に建設できるようになったことが、高層建築物の構造形式として RC 構造が採用される理由の 1 つとしてあげられる。

このような状態になっている第一の要因として、SRC 構造は RC 構造と比べて、鉄骨を使用することによって材料および施工の両面においてコスト高になり、本来の SRC 構造が RC 構造と比較して、保有する優れた力学的特性の反映ができていない状況になっていることがあげられる。

そこで、本研究では、SRC 構造と CFT 構造の特性を生かして、RC 構造に対抗できる構造性能と構造コストを

有した、鉄骨を内蔵し、かつ、柱頭・柱脚部のみに鋼管を被覆した、鉄骨コンクリート(以下 SC という)構造を開発する。この構造システムの普及によって鋼コンクリート合成構造の普及を図ることを目的とする。

2 実験計画

2.1 実験概要

本研究では、表 2-1 に示す B-1 から B-6 の 6 体の試験体を計画する。この試験体の特色は従来の十字形鉄骨に対して、その主軸を 45° 回転させて従来の十字形鉄骨断面と比べて、ほぼ 2 倍の曲げ耐力を発揮できるように計画したものである。さらに、高圧縮力に対して、両端部における変形能力を大きくするために、補強板をリング状に取り付けて(以下、箱形鋼管という)、内部のコンクリートを拘束するものである。また、鉄骨により分割されたコンクリートの一体性を図るために、鉄骨ウェブ部分に孔を開け、孔あき鋼板ジベルによってコンクリートの付着力を向上させる試験体(写真 2-1)もあわせて計画する。

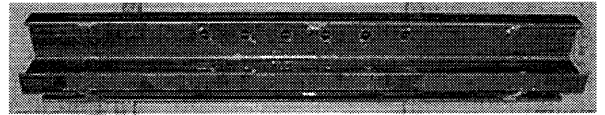


写真 2-1 孔あき鋼板ジベルのための鉄骨孔あけ加工状況

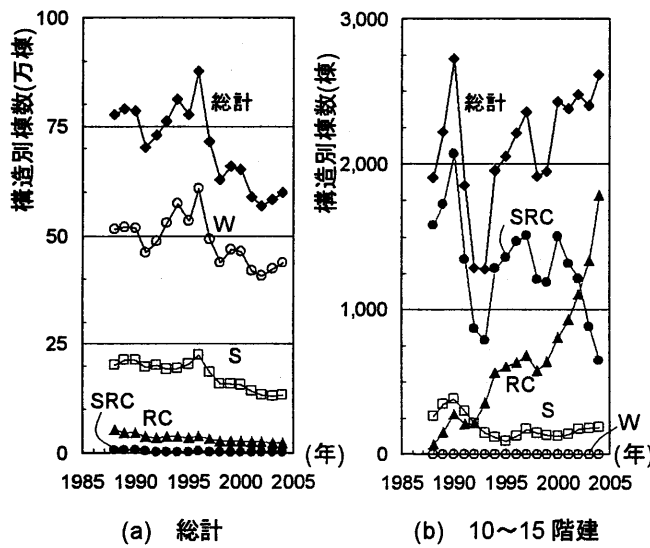


図 1-1 構造別着工棟数の推移

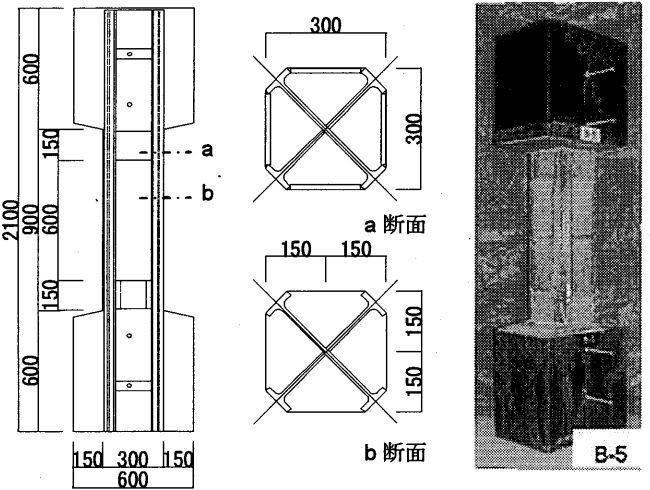


図 2-1 試験体形状および断面形状 [B-5, B-6] (単位: mm)

表 2-1 実験計画一覧

試験体名	断面形状 (mm)	H/D	軸力比 ($s_c n$)	F_c (N/mm^2)	鉄骨			補強板		(材質)	
					断面 (材質)	角度	孔	厚み t_s (mm)	長さ l_s (mm)		
B-1	300 × 300	3	0.3	30	2H-300X150X6.5X9 (SS400)	0°				(SS400)	
B-2											
B-3											
B-4											
B-5					2H-350X75X7X11*1 2H-350X175X7X11*2 (SS400)	45°	40φ-@150				
B-6						0.6	40φ-@150	6	150		

註1) 軸力比 $s_c n = N / (b \cdot D \cdot \sigma_B + s \cdot A \cdot \sigma_y)$
 註2) *2の規格鉄骨のフランジを *1の寸法に加工する

変動因子は、荷重する軸力比、内蔵する十字形鉄骨の傾き、柱頭・柱脚部の補強板の有無である。試験体寸法、コンクリート強度などは全て共通とし、B-5 および B-6 の試験体形状および断面形状を図 2-1 に示す。

2.2 材料特性

材料試験をした結果から耐力評価に用いるコンクリート強度は、実験前(材齢 42 日)、後(材齢 66 日)の平均値で $\sigma_b=44.8\text{N/mm}^2$ 、鋼材の降伏点は、鉄骨 t6.5 は 338N/mm^2 、鉄骨 t9 は 338N/mm^2 、鉄骨 t7 は 384N/mm^2 、鉄骨 t11 は 384N/mm^2 となった。

また、鋼材の降伏点については、0.2%オフセット耐力によって求めている。

2.3 荷重方法

荷重は、図 2-2 に示す建研式荷重装置を用いた。荷重は L フレームを介して柱長さの 1/2 の点に水平荷重を作用させる。柱頭の水平変位制御とし、水平変位および鉛直変位は、試験体上下端に固定した治具に変位計を 2 個ずつ取り付け測定し、平均値を用いる。加力サイクルは、変位部材各 $R(=\delta/H)$ による変位制御として、 $R=0.25 \times 10^{-2}\text{rad}$ を正負 1 サイクル荷重として行い、 $R=0.50 \times 10^{-2}\text{rad}$ を正負 2 サイクル行う。その後、 $R=0.50 \times 10^{-2}\text{rad}$ ずつ増加させる毎に各 2 サイクルずつ繰り返し荷重を行い、最終材角 $R=5.0 \times 10^{-2}\text{rad}$ まで荷重を行う。また、最大耐力の 70% に耐力が低下した場合、または軸力保持が不能になった場合、その段階で実験を終了する。

3 実験結果

3.1 終局時の破壊状況

終局時の破壊状況を、図 3-1 に示す。十字形鉄骨の

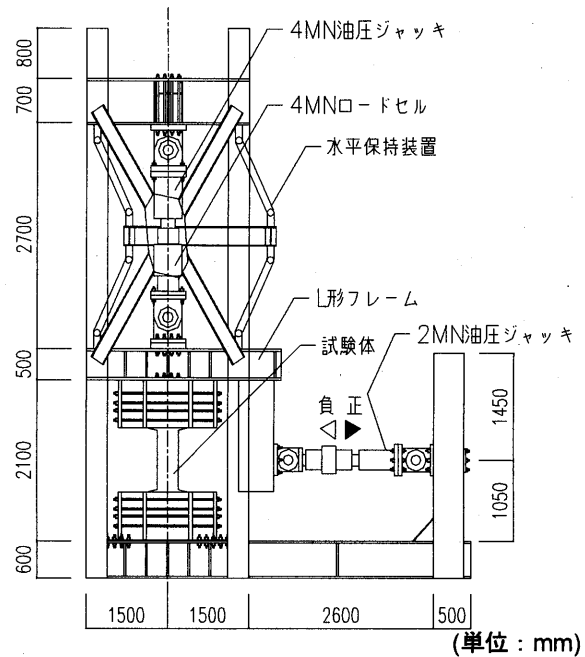


図 2-2 試験体形状および断面形状

角度が 0° の試験体は、変位部材角 R が $2.0 \times 10^{-2}\text{rad}$ 程度でコーナー部のコンクリートが剥落し、その後で鉄骨フランジの座屈が生じた。

十字形鉄骨の角度が 45° の試験体は、柱コーナー部に鉄骨フランジがあるため、コンクリートのひび割れの発生が少なかった。

鉄骨ウェブに孔を設けない試験体ではコンクリートは単独となっているため徐々に剥落するのではなく、一つの塊として剥落した。鉄骨ウェブに孔を設けた試験体は、孔を設けることによりコンクリートが鉄骨フランジ部分と一体化し、初期のひび割れの発生がおそ

	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
sc η	0.3			0.6		
	箱形鋼管なし			箱形鋼管 $s_t=6$		
Q_{ma}	676	654	760	721	788	704
R_u	5.0	5.0	5.0	4.5	5.0	2.0

註) Q_{max} : 最大耐力(kN) (正負の最大値とする), R_u : 最終部材角(10^{-2}rad)

図 3-1 終局時の破壊状況

かった。しかし、コンクリートが一体化し鉄骨ウェブとともに変形するため、終局時の鉄骨の座屈変形は大きくなった。

また、鉄骨の柱頭・柱脚に箱形鋼管を取り付けることにより、曲げ圧縮域コンクリートを拘束しているため、試験体にはほとんどひび割れの発生はなかった。同形状の試験体で高軸力($scn=0.6$)の試験体については、軸力比の小さい試験体と比べひび割れの発生、拡大、コンクリートの剥離は生じたが、鉄骨の柱頭・柱脚の箱形鋼管は座屈を生じることもなく、変位部材角 $R=2.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ においても軸力を保持するだけの能力を有した。

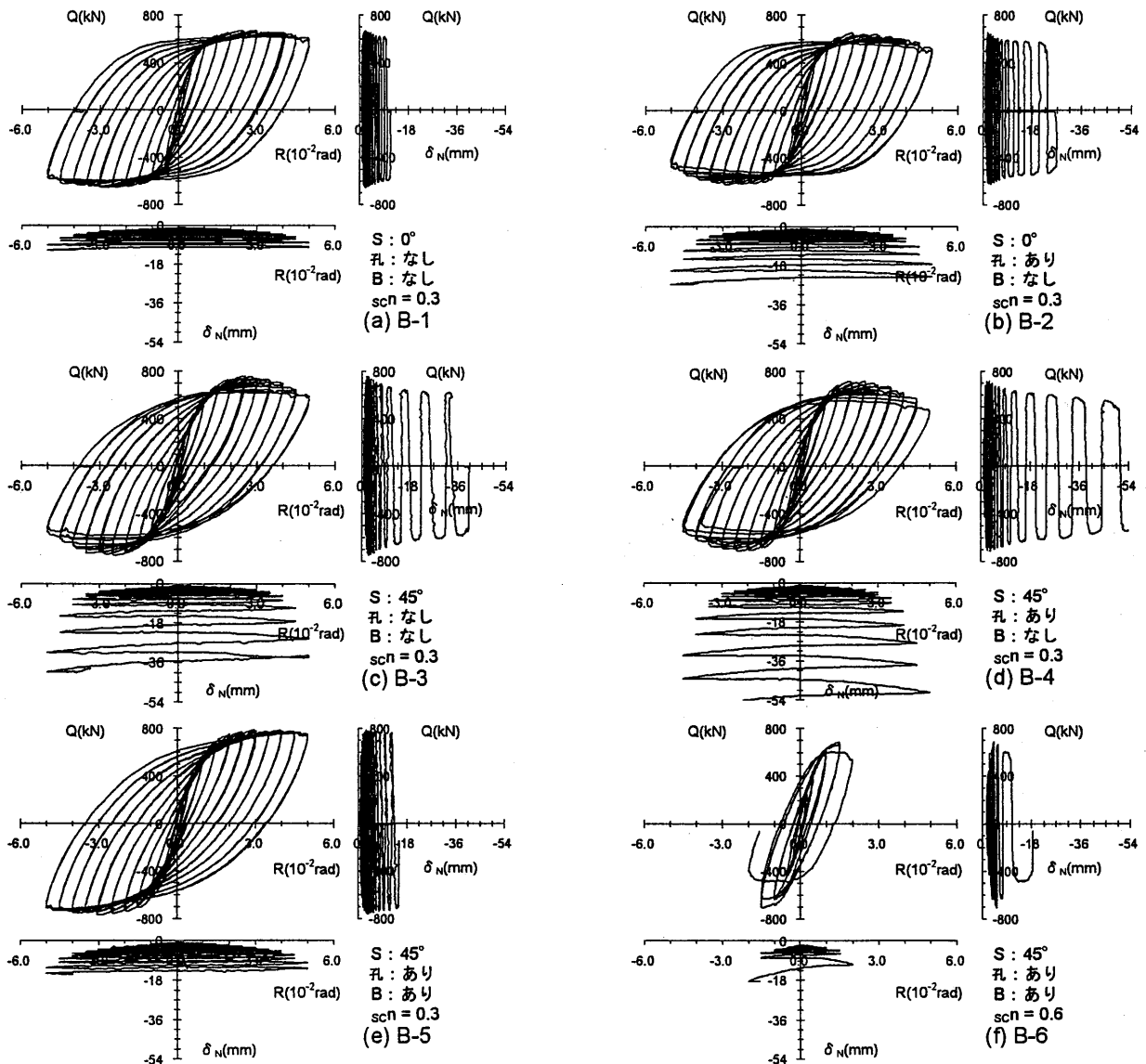
3.2 履歴性状

図 3-2 に履歴性状を示す。荷重-変形曲線では、縦軸

に水平荷重 Q (kN)、横軸に変位部材角 R (10^{-2}rad) を示す。鉛直変位の関係では、縦軸に水平荷重 Q (kN)、横軸に鉛直変位 δ_N (mm) と縦軸に鉛直変位 δ_N (mm)、横軸に変位部材角 R (10^{-2}rad) とを共に示し、圧縮力による縮みをマイナスとした。また、鉛直変位 δ_N が 9mm の時、鉛直ひずみ度は 1% となる。

十字形鉄骨が 0° の試験体には、鉄骨ウェブに孔のある試験体(B-2)に比べ孔のない試験体(B-1)は、最大耐力大きく、最大耐力以降の耐力低下の勾配が小さい。また、鉛直変位も小さい。十字形鉄骨が 45° の試験体(B-3, B-4)においても十字形鉄骨が 0° と同様の傾向が見られた。

十字形鉄骨の傾きによる違いについて比較すると、鉄骨ウェブの孔の有無にかかわらず、十字形鉄骨が



S : 内蔵する十字形鉄骨角度($0^\circ, 45^\circ$), 孔 : 鉄骨ウェブの孔($40\phi @ 150$)の有無, B : 箱形鋼管の有無, scn : 軸力比

図 3-2 履歴特性および鉛直変位

45° に対して 0° の試験体は、最大耐力大きく、最大耐力以降の耐力低下の勾配が小さく、鉛直変位も小さいが、最大耐力時の部材角は大きい。また、箱形鋼管をつり付けることにより、最大耐力が大きくなり、最大耐力以降の耐力低下の勾配が小さい。これは、柱頭・柱脚部の応力が大きくなる部分に箱形鋼管を取付けることにより、試験体全体のコンクリートのひび割れが少なくなっており、コンクリートが鉄骨を拘束しており、鉛直変位も小さく抑えられていると考えられる。鉄骨ウェブに孔をあけ、箱形鋼管が取り付けいた高軸力を受ける試験体は、軸力比が $s_c n = 0.6$ (コンクリート断面のみで軸力を負担した場合；軸力比 $c_n = 1.1$) と高軸力にも関わらず、変位部材角 $R = 1.5 \times 10^{-2} \text{rad}$ (1/67) において軸力を保持しており、優れた特性を有していた。

3.3 鉛直変位の累積状況

図 3-3 に除荷時に生じている鉛直変位 δ_N (mm) と載荷の繰返し回数 K を示す。横軸の各サイクルの繰返し回数 K は、正載荷時を 1/2, 同一部材角の負載荷時を 2/2 とカウントする ($R = +0.25 \times 10^{-2} \text{rad}$ 1 回目は $K = 1/2$, $R = -0.25 \times 10^{-2} \text{rad}$ 1 回目は $K = 2/2$, $R = +0.5 \times 10^{-2} \text{rad}$ 1 回目は $K = 3/2$)。また、縦軸は鉛直変位 δ_N が 9mm の時、鉛直ひずみ度は 1% となる。

鉄骨ウェブに孔をあけることにより鉄骨とコンクリートの付着力が向上し、鉛直変位の蓄積は大きくなり、十字形鉄骨の角度を 45° にすることによっても、鉛直変位の蓄積は大きくなった。しかし、柱頭・柱脚部に箱形鋼管を取り付けることにより、十字形鉄骨が 45° の試験体 (B-5) において、十字形鉄骨角度が 0° で鉄骨ウェブに孔をあけていない試験体 (B-2) に次いで鉛直変位の蓄積は小さく抑えられていることが認められた。また、箱形鋼管を取り付けることにより、高軸力を受ける試験体 (B-6) においても、変位部材角 $R = 1.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ (繰返し回数 $K = 10/2$) において 4.5mm (鉛直ひずみ度 0.5%) と小さく抑えられており、箱形鋼管を取付けることにより軸力保持能力の向上が見られた。

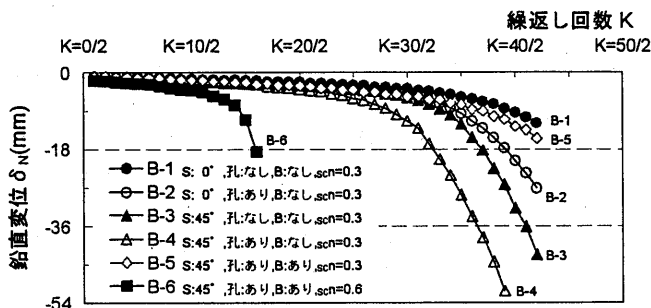


図 3-3 鉛直変位の累積状況

4 終局耐力の算定

4.1 鉄骨コンクリート柱の終局耐力

SRC 部材では鉄骨部分と RC 部分の付着力は極めて小

さいことから、それぞれ別々に曲げモーメントとせん断力に抵抗する。SC 部材においても同様になることから、文献 2), 3) にもとづいて数式化して表すと、

$$Q_U = c Q_U + s Q_U \quad (1)$$

$c Q_U$: コンクリート部分の終局耐力

$s Q_U$: 鉄骨部分の終局耐力

となる。ここで、SRC 部材と同様にコンクリート部分、鉄骨部分の終局耐力は、破壊モードを考慮して求められ、それぞれ曲げ耐力とせん断耐力のいずれかの小さいほうの耐力の累加によって求められ、以下のようになる。

$$c Q_U = \min(c Q_{sU}, c Q_{bU}) \quad (2)$$

$$s Q_U = \min(s Q_{sU}, s Q_{bU}) \quad (3)$$

$c Q_{sU}$: コンクリート部分の終局せん断耐力

$c Q_{bU}$: コンクリート部分の終局曲げ耐力

$s Q_{sU}$: 鉄骨部分の終局せん断耐力

$s Q_{bU}$: 鉄骨部分の終局曲げ耐力

4.2 終局曲げ耐力

文献 4) にもとづいて、一般化累加強度理論により算定を行う。鉄骨角度が 0° の試験体については、コンクリート、強軸の鉄骨、弱軸の鉄骨の耐力の累加とし、鉄骨角度が 45° の試験体については、コンクリート、鉄骨フランジ、鉄骨ウェブの耐力の累加とした。鉄骨角度が 45° の試験体については、図 4-1 に示すように、コンクリートは等価な断面積となるよう正方形断面とし、鉄骨ウェブは断面積が等しい角度が 0° の断面に置換を行った。

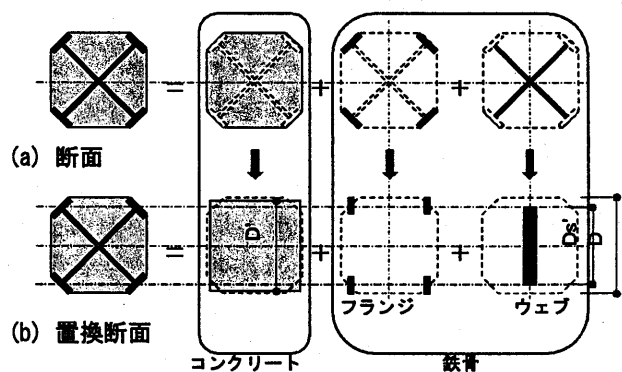
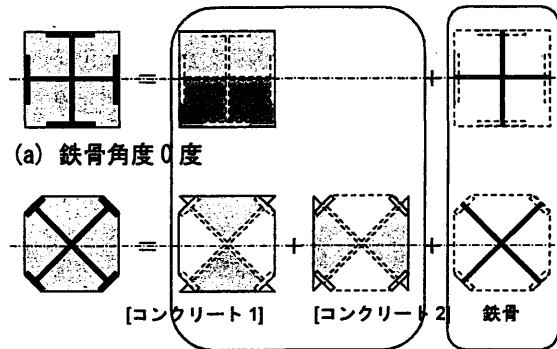


図 4-1 鉄骨角度 45 度試験体の曲げ耐力算定断面

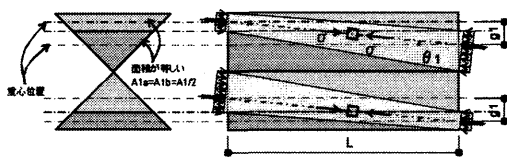
4.3 終局せん断耐力

終局せん断耐力算定用断面を図 4-2 に示す。コンクリートの終局せん断耐力については、図 4-2 に示す鉄骨ウェブによって分割された断面について、それぞれアーチ機構が形成されるとして算定を行った。図 4-2 (b) に示す鉄骨角度 45 度の試験体については、図 4-3 (a), (b) に示すように鉄骨断面で分割された三角形のコンクリート断面 1, 2 についてせん断抵抗機構を仮定した。中立軸

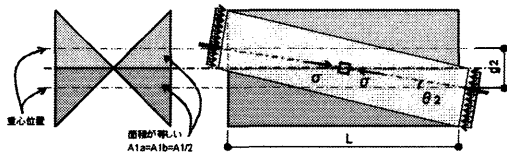
は、断面積が等しくなる位置とし、各断面の重心位置に集中する力間でアーチ機構が形成されたときの角度を θ とした。



(b) 鉄骨角度 45 度



(a) コンクリート 1



(b) コンクリート 2

図 4-3 鉄骨角度 45 度における
コンクリートのせん断抵抗機構(アーチ機構)

4.4 終局耐力と実験値の比較

以上の耐力評価の方法により算定した終局耐力と実験値を図 4-4 に示す。鉄骨ウェブに孔がなく、箱型鋼管のない試験体(B-1, B-3)については、 scQ_u / Q_{exp} が 1.20 程度とほぼ評価できているといえる。鉄骨ウェブに孔がある試験体(B-2, B-3)については 1.15 程度、箱形鋼管を取付けた試験体(B-4)については 1.23 とそれぞれの影響がでている。これは、鉄骨ウェブに孔を設けることによる鉄骨ウェブの耐力は減少し、箱形鋼管を取付けることによるコンクリートの拘束効果によりコンクリートの耐力が増加したためと考えられる。

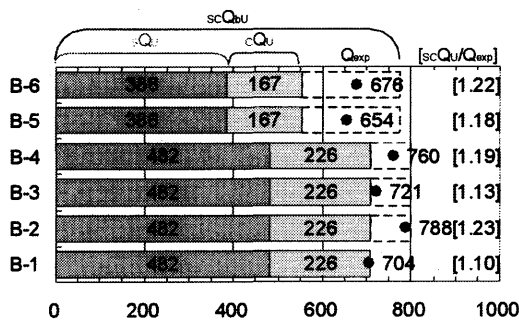


図 4-4 実験値と理論値の比較

5. 結論

十字形鉄骨を 45°に傾けることにより最大耐力および最大耐力時の変位部材角が大きく、最大耐力時付近における鉛直変位は、ほとんど変わらない。

鉄骨ウェブに孔をあけ、孔あき鋼管ジベルを設けることで鉄骨とコンクリートの付着力は向上しているが、鉄骨部の座屈も大きくなる。しかし、柱頭・柱脚部に箱形鋼管を設けることにより、内蔵鉄骨の座屈は抑えられる。

箱形鋼管を取付けることにより、高軸力下においても柱頭・柱脚部のコンクリートの圧壊を防止し、内蔵鉄骨の座屈を防止するため、変位部材角 $R=1.5 \times 10^{-2} \text{rad}$ (1/67)まで変形能力がある。また、箱形鋼管は、終局時においても座屈は生じていない。

十字形鉄骨の角度を考慮した耐力の評価については、本論で提案する評価方法において評価できる。

鉄骨ウェブに孔を設けた(孔あき鋼管ジベル)の影響、柱頭・柱脚部に箱形鋼管を取付けた影響を考慮した耐力評価の確立が必要である。

謝辞

本研究は、(社)日本鉄鋼連盟「2005年度鋼構造研究・教育助成事業 先導研究助成」を受け実施されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 財団法人 建設物価調査会：建築統計年報，第 59 表，2005.09
- [2] 若林實，南宏一，谷資信，平野道勝：新構造学体系 42 合成構造の設計 4章 鉄骨鉄筋コンクリートの設計，pp.83~209，1986.8
- [3] 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，5章 保有水平耐力の検討，2001年改訂 第5版第3刷，pp.25~31，165~194，2001.3
- [4] 日本建築学会：地震荷重と建築構造の耐震性，pp.340-355，1977.01
- [5] 福原実苗，南宏一：新しい形式の鉄骨コンクリート構造の開発研究，日本建築学会大会学術講演集 C-1，pp.1073~1074，2006.9
- [6] 福原，寺井，堺，倉本，宮内，西村，南：SRC 柱と CFT 柱の特性を活かした新形式の鉄骨コンクリート構造の開発研究，第 11 回建築構造研究助成事業 建築構造研究フォーラム梗概集，pp.1~6，2007.3
- [7] 福原実苗，南宏一：SRC 柱と CFT 柱の特性を考慮した新形式の鉄骨コンクリート柱の耐力と靱性，コンクリート工学年次論文集，vol.29，No.3，pp.1357~1362，2007.7
- [8] 藤井英希，福原実苗，南宏一：新しい形式の鉄骨コンクリート構造の開発研究(その 2)，(その 3)，日本建築学会大会学術講演集 C-1，pp.1217~1220，2007.08
- [9] 福原実苗，南宏一：SRC 柱と CFT 柱の特性を活かした新形式の鉄骨コンクリート柱の弾塑性挙動，第 7 回複合構造の活用に関するシンポジウム pp.45-1~45-6，2007.11