

建築構造用TMCP極厚H形鋼(NSGH)の開発

Giant H-Shapes (NSGH) for Building Structural Use

長谷川 博行^{*(1)} 山口 種美^{*(2)} 鈴木 孝彦^{*(3)} 澤 泉 紳 一^{*(3)}
 Hiroyuki HASEGAWA Tanemi YAMAGUCHI Takahiko SUZUKI Shinichi SAWAIZUMI
 児 玉 雅 生^{*(4)} 山 本 広 一^{*(5)} 杉 山 博 一^{*(6)} 佐 藤 寛 哲^{*(7)}
 Masao KODAMA Kouichi YAMAMOTO Hirokazu SUGIYAMA Hironori SATO

抄 録

建築構造用TMCP極厚H形鋼(NSGH: New Structural(Nippon Steel) Giant H-Shapes)は、旧来の極厚H形鋼と比較して高強度(降伏強度: 325N/mm²以上)で且つ、耐震性と高溶接性を備え、1994年に開発した新鋼材である。板厚が40mmを超える柱部材にNSGHを使用することで、建築基準法における鋼材及び溶接部の設計基準強度(F値)設定時の低目評価が不要となり、鋼材重量節減の経済効果、高溶接性に伴う品質向上が図れるTMCP極厚H形鋼の材質性能等について紹介した。

Abstract

TMCP giant H-shapes for building structural use are a new steel product developed by Nippon Steel in 1994. Marketed under the abbreviation of NSGH (New Structural (Nippon Steel) Giant H-Shape), they excel in earthquake resistance and weldability despite the higher strength (325 N/mm² min. yield strength) compared to conventional ultrathick H-shapes. This paper reports on the material properties and performances of TMCP giant H-shapes which realize economic merits through steel weight reduction by the unnecessaryness of reducing the design datum strength (F value) of steel materials and welds stipulated in the Building Standards Act, made possible by the use of the subject H shapes in columns whose thickness exceeds 40mm, and the quality improvement achieved by the high weldability.

1. はじめに

極厚H形鋼は高層建築物の柱材として1960年代に本格使用された構造部材であったが、1969年の常温における脆性破壊問題の指摘等に伴い、その使用量は減少傾向を辿ってきた。その後、1990年代に入り、鉄鋼メーカーにおける製鋼・圧延技術の進歩による熱加工制御圧延法(TMCP)を応用したTMCP極厚H形鋼の開発と、利用者側における材料費の低減、加工の合理化、検査の簡素化等の建設コスト削減ニーズとがあいまって、TMCP極厚H形鋼が高層建築物の柱材として再び設計使用される物件事例が増えてきている。

本報告では、極厚H形鋼の歴史を振り返りながら、TMCP法で開発された490N/mm²級NSGHの材質性能を紹介するとともに、今後の課題について述べる。

2. 国内における極厚H形鋼の歴史

一般的に極厚H形鋼とは、ウェブ高さ(H)とフランジ幅(B)に対して、 $H \times B = 400 \times 400, 500 \times 500$ シリーズで、フランジ厚(t_f) 30mm以上のH形鋼の総称であり、フランジ厚70mm超を超極厚H

形鋼と区別して称することもある(図1参照)。

わが国の極厚H形鋼の製造は、建築用柱材として1964年9月に富士製鐵広畑製鐵所がインドネシアのヌサンタラ会館用にH400×400シリーズ32(ウェブ厚)/45(フランジ厚)を供給したのが始まりである。国内では、同年の“高層建築技術指針”の刊行にともない、高層ビルの建設研究が進展し、日本初の高層ビルとなった三井霞ヶ

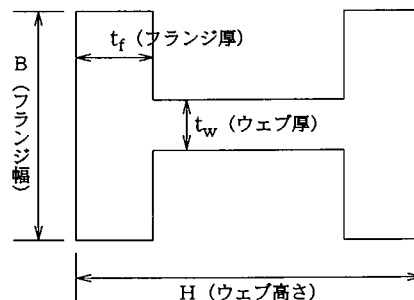


図1 H形鋼の寸法構成

*⁽¹⁾ 建材営業部 マネジャー
 東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-7878
 *⁽²⁾ 建材開発技術部 マネジャー
 *⁽³⁾ 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 主任研究員

*⁽⁴⁾ 建材営業部 グループリーダー
 *⁽⁵⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員(現 ㈱日鐵テクノリサーチ)
 *⁽⁶⁾ 堺製鐵所 形鋼部
 *⁽⁷⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 研究員

関ビル(高さ147m)に、1966年4月富士製鐵広畑製鐵所がH400×400シリーズ40/60を中心に約5 000トンを納入したのが始まりである。さらに、1967年10月には八幡製鐵堺製鐵所で開発した超極厚H形鋼のH400×400シリーズ90/125がニューヨーク市のワールドトレードセンタービル(高さ417m)向けに納入され、極厚H形鋼は高層建築用柱材として一躍脚光を浴びることになった。

しかし、1969年の加藤、森田による極厚部材の常温での脆性破壊問題の指摘¹⁾、オイルショック等の経済環境変化、ラーメン構造建築物の普及、ボックス柱の生産合理化等により、建築用柱材としての使用は減少を辿った。一方で、より大断面へのステップアップとしてH500×500シリーズがその頃に出現している。このような中、近年の市場ニーズとして、建築業界における調達コスト削減、自動加工ラインの導入、検査の簡素化等による建設コスト削減ニーズから極厚ロールH形鋼を柱材として採用する動向と、その部材性能として建築物の高層化、大スパン化、大型化等ともなう耐震性能を具備した高強度高溶接性能が要求される傾向が出てきた。

このような市場環境変化への対応と需要家ニーズに応えるため、新日本製鐵は1994年9月、TMCP法適用による耐震性能を具備した高強度高溶接性極厚H400×400シリーズを開発した²⁾。1997年2月には、H500×500シリーズへのステップアップを図り、TMCP法で製造された新しい建築構造用極厚H形鋼(以下NSGHと称す)を建築市場に普及させることに成功した。ここに、極厚H形鋼は約30年ぶりに建築市場で再び脚光を浴びつつ、現在に至ることになった。

3. NSGHの開発

3.1 製造プロセス概要³⁾

TMCP法は、圧延温度、圧下条件等の制御により鋼材組織の微細化を図り、高強度、高靱性、高溶接性の鋼材を製造する技術であり、主として厚板分野で広く適用されている材質制御技術である。

H形鋼分野へのTMCP法の適用は、1980年に新日本製鐵がH形鋼のフランジ外側中央部に集中冷却する技術を開発したが、当時の国内におけるH形鋼の冷却制御技術は形状と残留応力の制御を主目的として適用されていた。材質制御を狙いとするTMCP技術は、1990年の低降伏比(降伏比 $\leq 80\%$)ハイパービーム製造技術の一環として導入した圧延中水冷法(IMC: Inter Mill Control)と圧延完了後に水冷する加速冷却法(ACC: Accelerated-Cooling)を組み合わせた水冷型TMCP法の開発で大きな進展を遂げるようになった。この基本技術とH形鋼の形状特性とミル負荷制約に伴う高温、軽圧下による結晶粒粗粒化対応として1970年頃から実用化されたマイクロアロイ技術、1980年前半に溶接熱影響部の靱性改善を目的に開発されたオキサイドメタラジー技術を統合した新しい形鋼プロセスメタラジー技術により、NSGHを開発した。その製造プロセス概要を図2に示す。

本プロセスは、1988年にARBED社が開発した圧延中にH形鋼のフランジ部外側中央部を選択的に冷却し(TM-SC: Thermo Mechanical Treatment with Selective Cooling)、H形鋼の断面温度均一化後、圧延完了後水冷によるH形鋼表層の焼き入れ、焼き戻し(QST: Quenching and Self Tempering)で製造するプロセスとは技術コンセプトの異なる材質均一化と高強度、高靱性、高溶接性を狙った製造プロセスである。

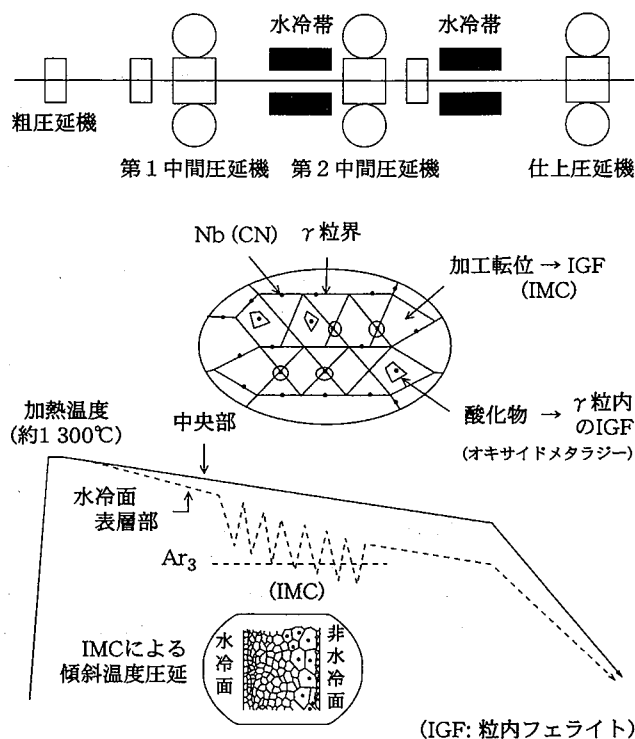


図2 TMCPプロセスイメージとフランジ部の温度履歴

3.2 製品の特徴

前節で述べたプロセスで製造されるNSGHは、以下の特徴を有している。

- (1) 1998年時点では個別物件毎の大臣認定が必要であるが、板厚が40mmを超え100mmにおいても、表1の建築基準法における鋼材および溶接部の設計基準強度設定時の低目評価が不要となるため、鉄骨重量の削減が図れる。
- (2) 表2に示す各種性能のレベルアップによって、鉄骨製作における品質レベルの維持、向上が図れる。
- (3) 溶接四面ボックス、コラム、溶接H形鋼に比べ、溶接加工を簡素化したプレハブ素材であり、また、閉じた面がないため柱-梁接合部加工および品質検査等が簡素となり、鉄骨加工業界でのコストダウンが図れる。

3.3 材質性能

本節では、NSGHの材質性能について、1972年竣工の晴海東京国際貿易センターに使用された極厚H形鋼(以下従来鋼と称す)と比較しながら素材・溶接性能^{4,5)}を紹介する。併せて、阪神大震災で確認された溶接支口部の脆性的な破断に鑑み、NSGHとH形鋼梁からなるラーメン骨組の柱-梁接合部を対象とした実大十字形部分骨組の載荷試験による構造性能^{6,7)}を紹介する。表3に比較サイズを示す。

3.3.1 素材性能

表4に化学成分の製造実績を示す。NSGHは溶接加工性能を向上させるため炭素等量および溶接割れ感受性組成に配慮した成分系としている。また、溶接性能を示す基本特性試験である溶接熱影響部最高硬さ試験結果と斜めy型溶接割れ試験結果を図3、図4に示す。従来鋼に比べて溶接性が著しく改善されている。

図5に強度特性として引張試験結果を示す。NSGHは従来鋼に比べ低成分系でありながら従来鋼と同レベルで、且つ所定の強度を保

表1 基準法での設計基準強度比較(50kgf/mm²級鋼)

	NSGH NSGH325B・C	従来鋼 SM490B
板厚40mm超鋼材 基準強度(kgf/cm ²)	3 300	3 000

表2 規格仕様, 材質性能比較(50kgf/mm²級鋼, t_r ≤ 50mm)

性能項目	NSGH NSGH325・C	従来鋼 SM490B
成分		
C(%)	≤0.18	≤0.18
Si(%)	≤0.55	≤0.55
Mn(%)	≤1.60	≤1.60
P(%)	≤0.020	≤0.035
S(%)	≤0.008	≤0.035
強度性能		
降伏点(N/mm ²)	325~445	≥295
引張強さ(N/mm ²)	490~610	490~610
伸び(%)	≥23	≥23
破断性能		
降伏比	≤0.8	不問
板厚方向絞り値(%)	≥25	不問
衝撃靱性値(J)	√E _{0C} ≥ 27	√E _{0C} ≥ 27
溶接性能		
炭素当量Ceq*(%)	≤0.38	不問

*1 Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + v/14

表3 比較サイズ

供試材	サイズ (H×B×t _w ×t _r)	規格記号
NSGH	H498×432×45×70	NSGH325C-SN490C
従来鋼	H498×432×45×70	SM490B

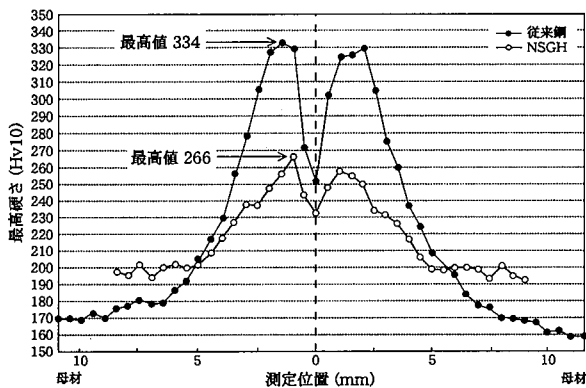


図3 溶接熱影響部最高硬さ試験結果(試験部位: 1/4B)

表4 化学成分分析値

	C	Si	Mn	P	S	Ti	V	T-Al	Ceq	Pcm
NSGH	0.10	0.16	1.42	0.008	0.003	0.01	0.07	0.001	0.364	0.206
従来鋼	0.18	0.46	1.25	0.023	0.016	0.01	0.04	0.020	0.427	0.272

Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14

Pcm = C + Mn/20 + Si/30 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B

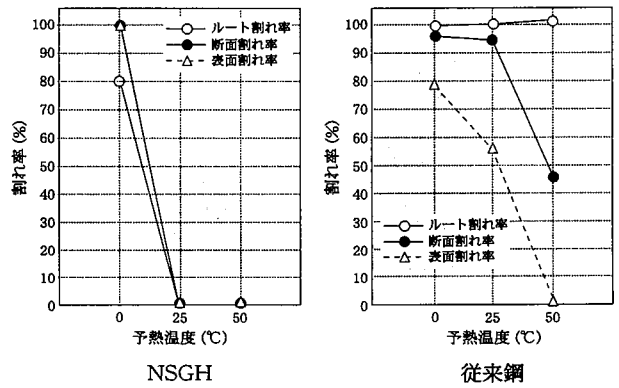


図4 斜めY型溶接割れ試験結果(試験部位: 3/4B)

持っている。NSGHの場合、YR(降伏比)が従来鋼に比べ高くなる傾向にあるが、そのレベルは、1994年6月にJIS化された建築構造用鋼材(SN規格)に定められているYR規制(80%以下)を十分に満足しており、耐震性能は確保されている。

表5、図6に靱性特性を表すシャルピー衝撃試験結果と板厚方向引張試験結果を示す。NSGHは各部位、各方向において優れた耐ラメラティア性と耐衝撃性を有しており、特に過去に溶接部からの脆性破断問題で指摘された板厚方向の衝撃特性は従来鋼に比べ著しく改善されている。

3.3.2 溶接性能

NSGHは主として高層建築物の柱材として使用されるため、溶接継手としては図7に示すような柱-柱の突き合わせ継手、柱-梁のT継手が主体となり、この溶接継手部の材質性能が構造上、極めて重要な要素となる。これら溶接継手部の材質性能を確認するため、表6に示す条件で柱-柱突き合わせ溶接施工を行い、溶接部の引張試験とシャルピー衝撃試験を行った結果を表7、表8に示す。尚、従来鋼については実構造物から採取したデータである(溶接条件等は不明)。NSGHは、各試験値とも素材の所定の強度、靱性を保持していると同時に、溶接性能も従来鋼に比べ著しく改善されている。

3.3.3 構造性能

図8に実大十字形部分骨組載荷試験体の寸法を、表9に各試験体の諸元を示す。図9、図10に梁端の剪断力-変位の関係を、表10に各試験体の最大耐力と累積塑性変形倍率を示す。最大耐力はパネル降伏耐力の1.6倍以上、且つ、柱の全塑性耐力レベルまで十分な耐力上昇を示しており、また、柱全塑性耐力時の変形を基準とした累積塑性変形倍率は30~40程度と大きな値を示している。このように、NSGHは建築構造用鋼として要求される耐力および塑性変形性能を十二分に兼ね備えている。

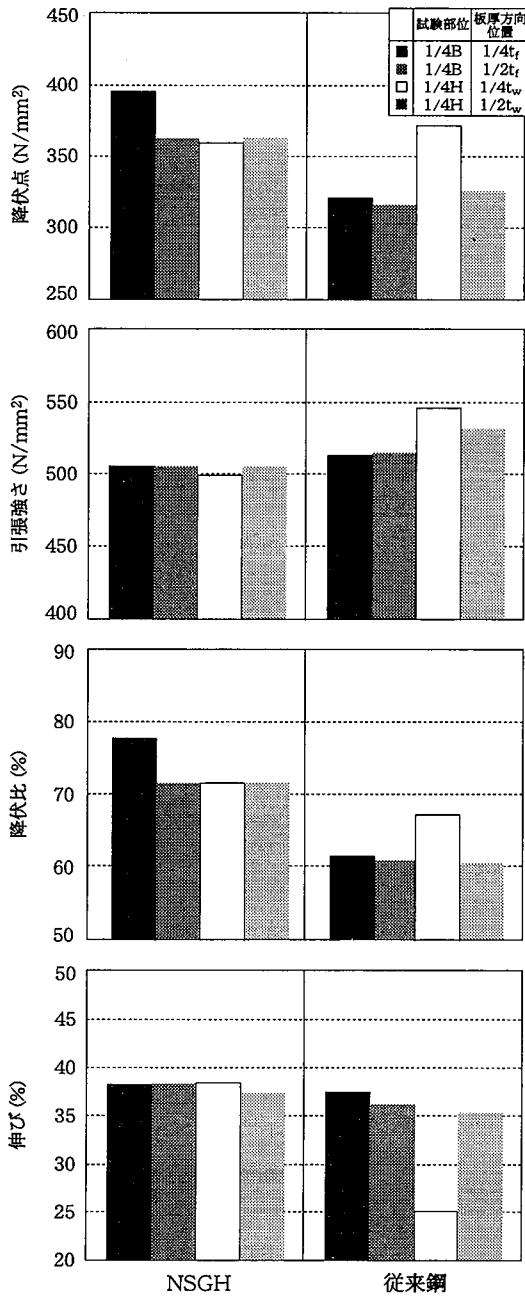


図5 圧延方向引張試験結果

表5 シャルピー衝撃試験結果

供試材	試験方向	試験部位	板厚方向位置	$v_{E_{0rc}}$	
				吸収エネルギー (J)	脆性破面率 (%)
NSGH	圧延方向	1/4B	1/4t _r	298	8
			1/2t _r	307	10
		1/2B	1/4t _r	246	18
			1/2t _r	223	40
	1/4H	1/4t _w	326	0	
		1/2t _w	183	47	
板厚方向	1/4B	1/2t _r	141	52	
	1/2B	1/2t _r	103	65	
従来鋼	圧延方向	1/4B	1/4t _r	62	92
			1/2t _r	34	97
		1/2B	1/4t _r	114	72
			1/2t _r	107	73
	1/4H	1/4t _w	17	100	
		1/2t _w	15	100	
板厚方向	1/4B	1/2t _r	15	100	
	1/2B	1/2t _r	17	100	

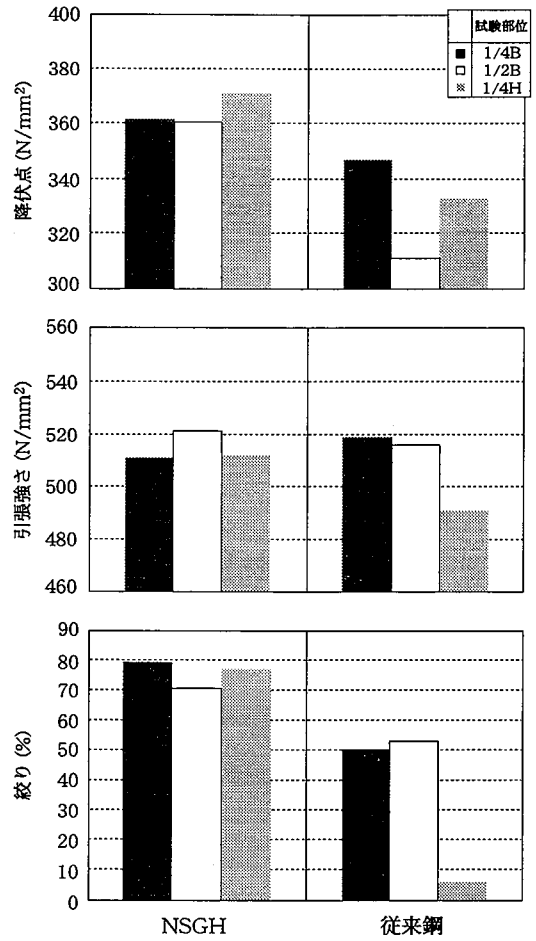


図6 板厚方向引張試験結果

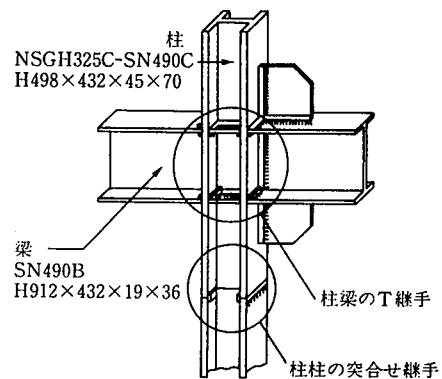


図7 極厚H形鋼柱の柱梁接合部

表6 溶接施工条件

試験体	溶接位置	溶接想定場所姿勢	開先形状	溶接施工条件				
				方法	溶材	パス回数	層間入熱 (J/cm)	
柱-柱	フランジ	現場横向		CO ₂ 半自動	YM-26 1.2mmφ	70	250	17 000

表7 溶接継手引張試験結果

試験体	NSGH		従来鋼		
	項目	引張強さ (N/mm ²)	破断位置	引張強さ (N/mm ²)	破断位置
試験部位	1/4B	562	溶接熱影響部	446	溶接熱影響部

表8 溶接継手衝撃試験結果

単位(J)

試験体	NSGH				従来鋼			
	圧延方向		板厚方向		圧延方向		板厚方向	
位置	BOND	HAZ	BOND	HAZ	BOND	HAZ	BOND	HAZ
1/4B(1/2tr)	198 (38)	183 (28)	60 (48)	115 (57)	41 (82)	209 (18)	50 (75)	34 (92)
1/2B(1/2tr)	168 (25)	213 (20)	104 (22)	95 (25)	64 (47)	204 (22)	48 (78)	37 (100)

注 ()内は脆性破面率(%), 試験温度: 0℃

4. おわりに

以上述べたように、NSGHの性能は旧来の極厚H形鋼に比べ著しく進歩を遂げ、耐震性、高溶接性能を求めた建築用鋼材としての性能を十分に満足し、各需要家からも高く評価されている。H500×500シリーズ(写真1参照)にステップアップした1997年2月以降、堂島アバンザ向け(写真2参照)を皮切りに、1年間で全国各地で1万トンにも迫る使用例を見るに至っている。

NSGHは、建築基準法(建設省告示1906号)に定めるF値の低目評価が不要である。現在は個別物件毎の評定、認定が必要であるが、需要の拡大には一般認定化と更なるコスト低減に向けた高強度化(60kgf/mm²級鋼等)を進める必要がある。

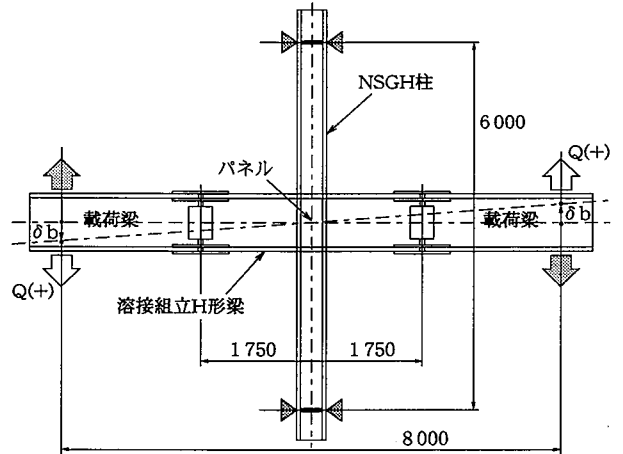


図8 試験体および試験方法

表9 試験体一覧

試験体 No.	試験体寸法			梁端接合 詳細	柱・梁・パネル耐力					
	極厚H形鋼柱 [NSGH325C] H×B×t _w ×t _r (mm)	H形梁 [SM490B] H×B×t _w ×t _r (mm)	ハネ割アブラ [SM490B] 板厚 (mm)×枚数		柱・梁・パネル耐力比			全塑性耐力 (ton f)		
					柱/梁	パネル/梁	パネル/柱	柱	梁	パネル
1	498×432×45×70	900×300×25×40	16×2	工場溶接	0.971	0.587	0.604	154.8	159.4	93.5
2		900×350×25×60	28×2	ノスカトップ	0.677	0.521	0.770	154.8	228.6	119.2

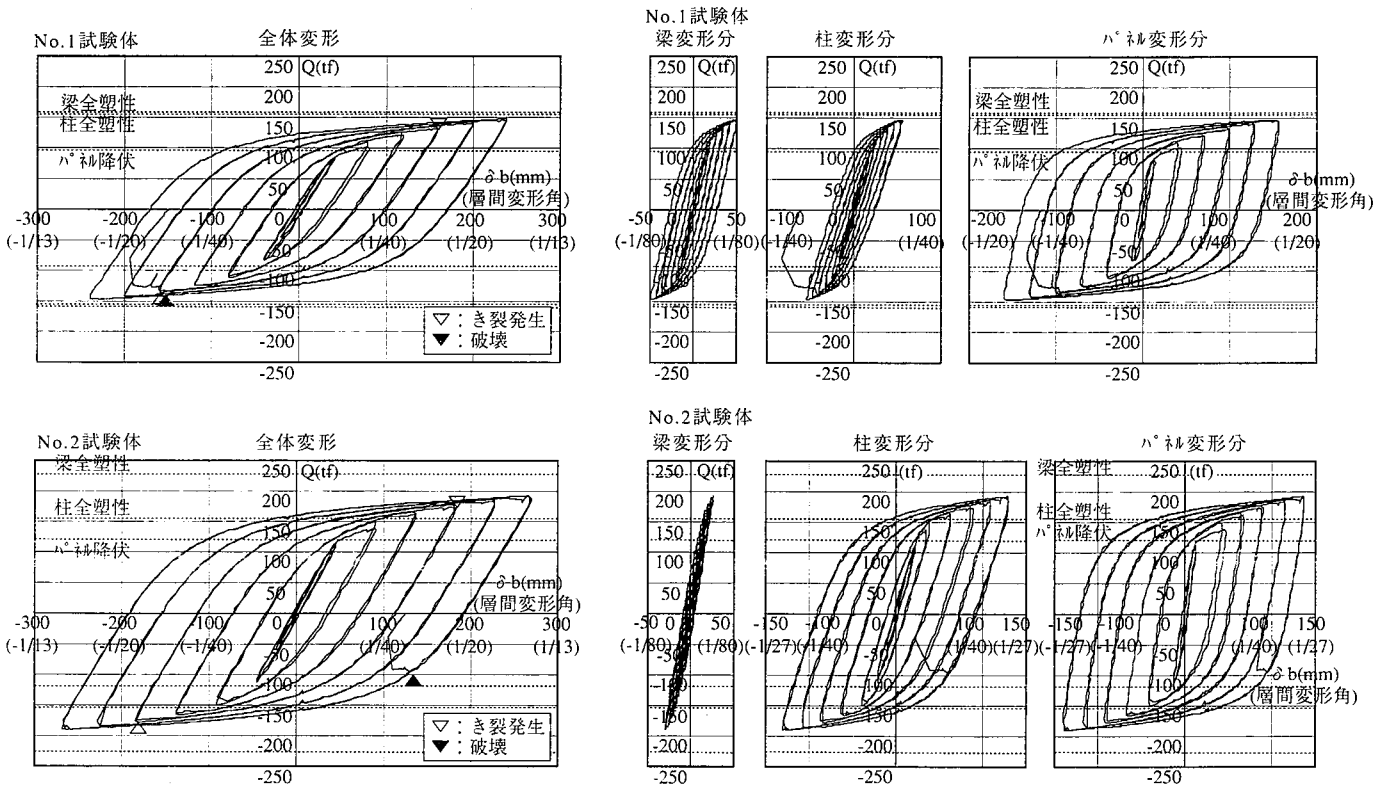


図9 梁端せん断力Q-梁・端変位δb関係

図10 梁端せん断力Q-変位δb(梁・柱・パネル成分)関係

表10 試験結果一覧

試験体 No.	実験結果	
	最大耐力(上昇率) Q_{max} (tonf)	累積塑性変形倍率 (nf)
1	150.2 (1.61)*	30.8 (51.0)*
2	195.8 (1.64)*	41.6 (54.0)*

* ()内はパネル降伏時の変形を基準とした値

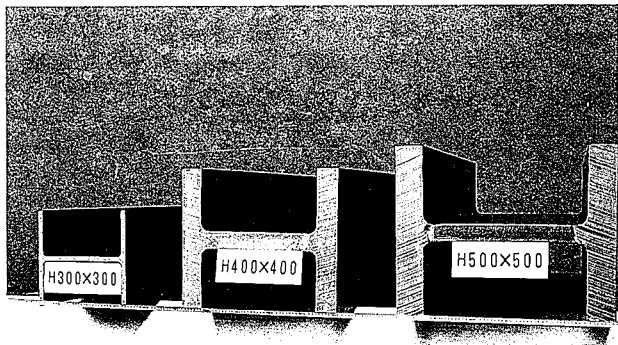


写真1 NSGHシリーズ(H400×400, H500×500)

謝 辞

NSGHの性能評価にあたり、千葉大学工学部建築学科の森田耕次教授から包括的ご指導と清水建設技術研究所の矢部喜堂部長、坂本真一氏から従来鋼の性能データを提供いただいた。更に日建設計、大林組、竹中工務店、鹿島建設共同企業体からNSGHを使用した貴重な建築構造物写真を提供いただいた。お礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 加藤, 森田: 日本建築学会論文集. (156), 1-10 (1969) 2
- 2) 窪田, 山口, 長谷川, 上遠野: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995.8
- 3) 山本: ふえらむ. (2) 5, 51-57 (1997)
- 4) 山口, 岡田, 長谷川, 望月, 萩原, 宇野, 計良: 新日鉄技報. (356), 24-25 (1995)
- 5) 佐藤, 山本, 杉山, 小野寺, 長谷川: 材料とプロセス. 11, 345 (1998)
- 6) 澤泉, 鈴木, 山口, 森田: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997.8
- 7) 澤泉, 鈴木, 山口, 長谷川, 森田: 鋼構造年次論文報告集, 5, 1997.11

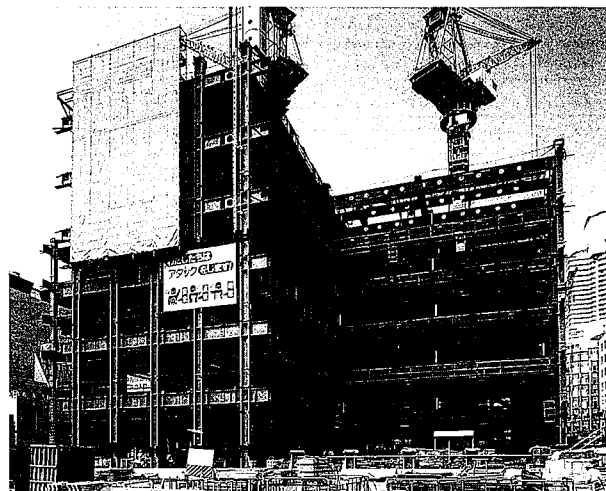


写真2 NSGH500×500シリーズ建方工事例
(堂島アバンザ/大阪 1996.5着工, 1999.2完成予定)