

# 建築構造用 520 N/mm<sup>2</sup> 級 TMCP H 形鋼「HBL<sup>®</sup>-H355」の特長と適用検討

## Characteristics and Application of TS 520 N/mm<sup>2</sup> Class SHH Shapes Manufactured by Thermo-Mechanical Control Process (TMCP) for Building Frames “HBL<sup>TM</sup>-H355”

前田 晋吾 MAEDA Shingo JFE スチール 建材センター 建材技術部 建築技術室 主任部員 (副課長)  
安永 隼平 YASUNAGA Jumpei JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員 (副課長)・博士 (工学)  
【現 建材センター 建材技術部 建築技術室 主任部員】  
福永 湧大 FUKUNAGA Yudai JFE スチール 建材センター 建材技術部 建築技術室

### 要旨

JFE スチールでは、形鋼独自の TMCP 技術を適用し、外法一定 H 形鋼では国内最高強度となる引張強さ 520 N/mm<sup>2</sup> 級の鋼材「HBL<sup>®</sup>-H355」を提供し、これまで高層建築物等をはじめ広くご採用頂いている。本報では、「HBL-H355」の鋼材特性および製品の特長を述べる。また、大梁材を一般強度である 490 N/mm<sup>2</sup> 級から 520 N/mm<sup>2</sup> 級の H 形鋼へ置換えた場合の試設計を行い、高強度化による鋼材重量の低減メリットについて紹介する。

### Abstract:

JFE Steel has applied its original TMCP technology to H-shaped steel, and 520 N/mm<sup>2</sup> class steel “HBL<sup>TM</sup>-H355”, which has the highest strength in Japan for fixed outer dimension H-shaped steel, has been supplied, and widely used in high-rise buildings, etc. This paper describes the characteristics of “HBL-H355” and the features of the product. Trial design was carried out in the case of replacing girder material with H-shaped steel of 490 N/mm<sup>2</sup> class which is the general strength to 520 N/mm<sup>2</sup> class, and this paper introduces the effect of weight reduction by strengthening.

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災以降、建築物のさらなる耐震性向上が求められている。また、近年の建築物の高層化、大スパン化に伴い、大断面かつ高強度の鋼材を適用する事例が増加している。このような背景のもと、JFE スチールでは、2011年に熱間圧延技術と形鋼冷却設備「Super-OLAC<sup>®</sup>S」を活用した形鋼独自の TMCP (Thermo-mechanical control process) 技術を適用し、建築構造用 490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼 (SN490) と同じ降伏比 (80%以下)、炭素等量 (0.44%以下) でありながら、外法一定 H 形鋼では国内最高強度となる引張強さ 520 N/mm<sup>2</sup> 級の鋼材「HBL<sup>®</sup>-H355」を開発した。また、同年に大臣認定 (MSTL-0314) を取得している。構造部材の高強度化による鋼材重量削減で経済的・効率的な設計に貢献する、高い靱性を確保し耐震性の高い H 形鋼として、これまで広くご採用頂いている。

本報では、「HBL-H355」について、製品概要、部材の構造性能、製品の特長および構造設計における諸設計条件の取り扱いについて概説する。また、高層事務所ビルを対象

とした試設計を実施し、490 N/mm<sup>2</sup> 級から 520 N/mm<sup>2</sup> 級の H 形鋼へ置換えた場合の重量低減メリットについて述べる。最後に、これまでの採用実績について紹介する。

## 2. 鋼材特性

### 2.1 鋼材規格

表 1 に HBL-H355 の化学成分の規格値を、表 2 に機械的性質の規格値を示す。SN 規格に準拠した化学成分とし、当社独自の形鋼冷却設備である「Super-OLACS」を用いた TMCP 技術を駆使することにより、SN 材と同等の溶接性を確保しながら、80%以下の低降伏比、基準強度 355 N/mm<sup>2</sup> および狭い YP レンジを実現している。

### 2.2 製造実績

図 1 に降伏耐力および降伏比に関する製造実績の統計的データを示す。データの平均値および標準偏差も併せて示す。各項目とも概ね正規分布に近く、降伏耐力の平均値は規格値の下限より十分大きく、降伏比の平均値も規格値の上限より十分小さい値となっている。

表 1 HBL<sup>®</sup>-H355 の化学成分

Table 1 Chemical compositions of HBL<sup>TM</sup>-H355

	Thickness	C	Si	Mn	P	S	$C_{eq}$	$P_{CM}^*$
HBL-H355B	$t \leq 40$	$\leq 0.20$	$\leq 0.55$	$\leq 1.65$	$\leq 0.030$	$\leq 0.015$	$\leq 0.44$	$\leq 0.29$
HBL-H355C	$t \leq 40$	$\leq 0.20$	$\leq 0.55$	$\leq 1.65$	$\leq 0.020$	$\leq 0.008$	$\leq 0.44$	$\leq 0.29$

$C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$

\* By agreement between the parties, it is possible to apply  $P_{CM}$  instead of  $C_{eq}$ .

表 2 HBL<sup>®</sup>-H355 の機械的性質

Table 2 Mechanical properties of HBL<sup>TM</sup>-H355

	Thickness	YP or YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	YR (%)	EL (%)	$\sqrt{E_{0^\circ C}}$ (J)	RA <sub>Z</sub> (%)
HBL-H355B	$t \leq 40$	355~475	520~640	$\leq 80$	$\geq 19$	$\geq 27$	—
HBL-H355C	$t \leq 40$						$\geq 25$ (Ave.) $\geq 15$ (each)

YP: Yield point YS: Yield strength TS: Tensile strength YR: Yield ratio EL: Elongation

$\sqrt{E_{0^\circ C}}$ : Charpy absorbed energy at 0°C RAZ: Reduction of area in Z-direction

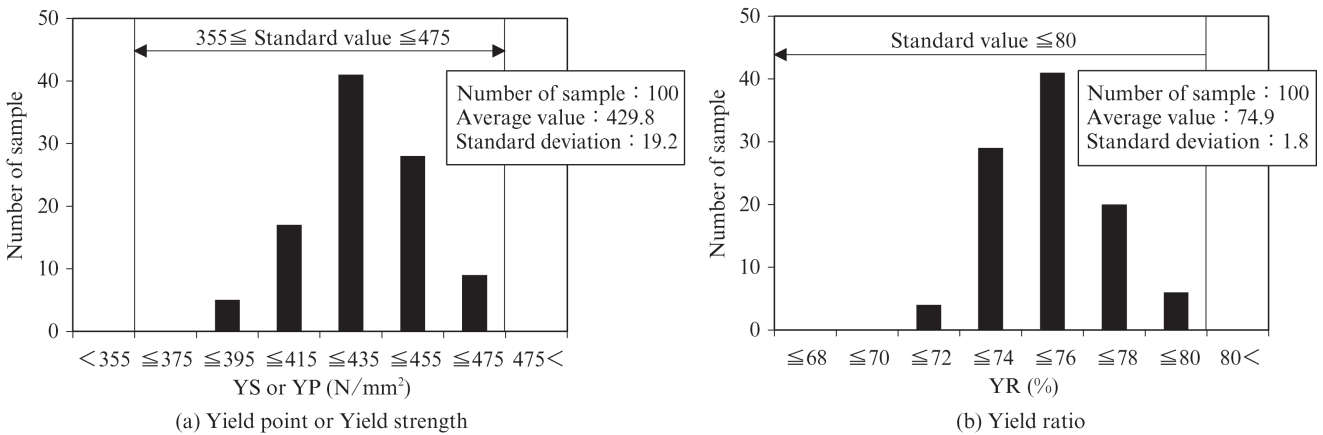


図 1 統計的データ

Fig. 1 Statistical data

### 3. 部材実験

#### 3.1 実験概要

部材の座屈性能を確認するために、短柱圧縮試験と曲げ試験を実施した。試験体一覧を表 3 に、試験体形状を図 2 に示す。なお、短柱圧縮試験体の形状は、H 形鋼の上下フランジから切り出した平板を溶接組立した十字型断面とし、試験体高さは幅 B<sub>1</sub> の 3 倍としている。部材試験に用いた材料の引張試験結果を表 4 に示す。

#### 3.2 短柱圧縮試験結果

応力-歪関係を図 3 に示す。計算上の降伏応力  $\sigma_y$  および降伏歪  $\varepsilon_y$  でそれぞれ基準化している。いずれの試験体も載荷荷重限界 (10 MN) に至っても耐力低下が見られなかったため途中で載荷を終了しているが、最大変形時の塑性率 ( $\mu = \varepsilon_{max}/\varepsilon_y$ ) は鋼構造限界状態設計指針・同解説<sup>1)</sup> による FA

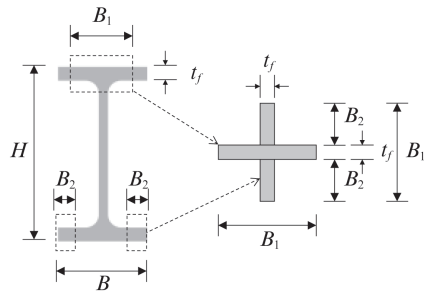
ランクの必要塑性率  $\mu \geq 5$  (塑性変形倍率  $R \geq 4$ ) を上回っており、十分な塑性変形性能を有しているといえる。

#### 3.3 曲げ試験結果

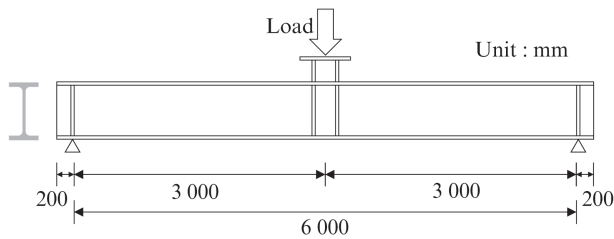
曲げモーメント-回転角関係を図 4 に示す。計算上の全塑性モーメント  $M_p$  と全塑性時回転角  $\theta_p$  でそれぞれ基準化している。最大曲げモーメントは全塑性耐力の約 1.4 倍に至っている。試験体 No. 3 では、局部座屈の発生に伴い耐力が低下したが、試験体 No. 4 では、急激な耐力低下は見られず、載荷装置の制約から、約 1/10 rad に達した時点で載荷を終了した。基準化フランジ幅厚比と塑性変形倍率  $R$  の関係を図 5 に示す。図中には、文献<sup>1)</sup> に基づく必要塑性変形倍率と、既往の文献<sup>2)</sup> にある他の鋼種の試験結果を併記している。本試験結果は必要塑性変形倍率を大きく上回り、HBL-H355 は他の鋼種と比較しても同等の塑性変形性能を有していることが分かる。

表 3 試験体一覧  
Table 3 List of test specimens

Test	No.	Cross section	Rank <sup>1)</sup>	
			Flange	Web
Compression	1	$B_1 = 280 \text{ mm}, t_f = 32$	FA	
	2	$B_1 = 230 \text{ mm}, t_f = 40$	FA	
Bending	3	H-800×400×19×32	FA	FA
	4	H-800×350×19×40	FA	FA



(a) Compression test



(b) Bending test

図 2 試験体形状  
Fig. 2 Shape of test specimens

表 4 素材引張試験結果  
Table 4 Results of tensile test

	Yield stress (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile stress (N/mm <sup>2</sup> )	Yield ratio (%)	EL (%)
Flange $t_f = 32.0$	406	556	73.0	28
Flange $t_f = 40.0$	395	540	73.1	31

## 4. HBL<sup>®</sup>-H355 の特長

### 4.1 製品サイズ

表 5 に製品サイズ一覧を示す。当社の外法一定 H 形鋼「スーパーハイスレンド<sup>®</sup>H」の大断面部分を網羅し、高さ 600 mm から 1 000 mm、幅 300 mm から 400 mm の 19 シリーズ、全 81 サイズを展開している。梁の幅厚比種別が FA となる断面をメインとしており、設計上使用しやすい断面レパートリーとなっている。寸法精度は、一般鋼の「スーパーハイスレンド H」と同等である。

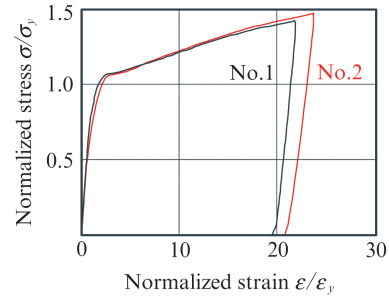


図 3 基準化応力-歪の関係 (短柱圧縮試験)

Fig. 3 Stress - strain relationship (Compression test)

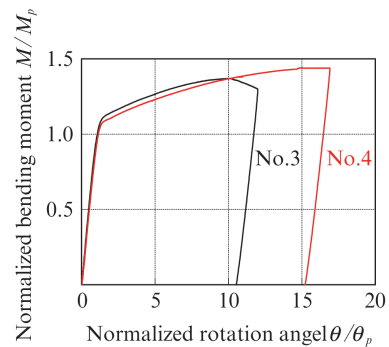


図 4 基準化曲げモーメント-回転角の関係 (曲げ試験)

Fig. 4 Normalized bending moment - rotation angle relationship (Bending test)

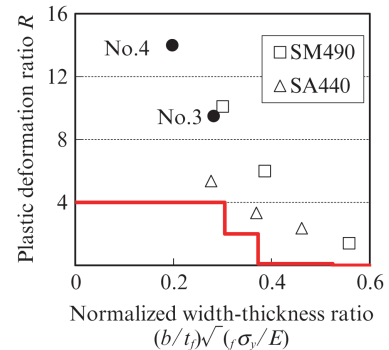


図 5 基準化フランジ幅厚比-塑性変形倍率の関係 (曲げ試験)

Fig. 5 Normalized width-thickness ratio - plastic deformation ratio relationship (Bending test)

### 4.2 溶接施工

溶接施工については、建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事 (2018)<sup>3)</sup> に準拠し、溶接施工管理は建築材で使用される JIS 規格の 520 N/mm<sup>2</sup> 級鋼厚板と同様である。施工試験が不要な溶接材料を表 6 に示す。代表的な溶接要領として、表 7 に予熱条件、表 8 に溶接条件を示す。なお、予熱条件および溶接条件は、確認試験を実施し安全性を確認した場合は、別途設定できる。なお、表 7、表 8 の条件で y 型溶接割れ試験、継手試験を実施しており、良好な溶接性を有していることを既報<sup>4,5)</sup> で報告している。

表5 製品サイズ一覧  
Table 5 HBL-H355 section table

Depth	Width	300					350			400		
		22	25	28	32	36	40	32	36	40	32	36
600	9											
	12	●	●									
	14	●	●	●								
	16	●	●	●								
650	9											
	12	●										
	14	●	●									
	16	●	●	●								
700	9											
	12	●	●									
	14	●	●	●								
	16	●	●	●	●			●				
750	12											
	14	●	●					●				
	16	●	●	●				●	●			
	19											
800	14	●	●	●								
	16	●	●	●	●			●	●		●	●
	19							●	●	●	●	●
	19											
850	14											
	16							●			●	
	19							●	●		●	●
	19											
900	14											
	16							●			●	
	19							●	●	●	●	●
	19											
950	16							●			●	
	19				●	●		●	●		●	●
	19											
	19											
1000	16							●			●	
	19				●	●		●	●	●	●	●
	19											
	19											

表6 溶接材料  
Table 6 Welding material

	Type	Use
SMAW	JIS Z 3211 E4916	Assembling welding
	JIS Z 3211 E6216-N1M1U	Assembling welding Regular welding Repair welding
GMAW	JIS Z 3312 YGW11	Assembling welding
	JIS Z 3312 YGW18	Assembling welding Regular welding Repair welding
	JIS Z 3313 T550T1-ICA-U	
	JIS Z 3313 T550T1-OCA-U	

### 4.3 諸設計条件に関する考察

#### 4.3.1 梁の横補剛間隔に関する考察

2020 年度版建築物の構造関係技術基準解説書<sup>6)</sup>をはじめ、各種指針や規・基準<sup>1,7,8)</sup>では、横座屈を制御し、はりに所要の変形量を確保するため、横補剛材を設置する間隔を定

表7 予熱条件  
Table 7 Preheating condition

Welding process	Plate thickness (mm)		
	t < 25	25 ≤ t < 32	32 ≤ t ≤ 40
SMAW	unnecessary	unnecessary	50°C
GMAW	unnecessary	unnecessary	unnecessary

表8 溶接条件  
Table 8 Welding condition

Position	Welding process	Welding heat input (kJ/cm)	Interpass temperature (°C)
Downward Horizontal	GMAW	≤ 30	≤ 250

めている。以下に示す2つの設計式のどちらかで横補剛間隔を設定し、鋼材の強度に応じて係数A, B およびC を決定する。

①はり全長にわたって均等間隔で横補剛を設ける方法

$$\lambda_y \leq A + 20n$$

$\lambda_y$ : 梁の弱軸まわりの細長比 (mm)

$n$ : 横補剛の箇所数

A: 400 N/mm<sup>2</sup> 級鋼 170, 490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼 130

②主としてはり端部に近い部分に横補剛を設ける方法

$$l_b \cdot h / A_f \leq B \quad \text{かつ} \quad l_b / i_y \leq C$$

$l_b$ : 横補剛間隔 (mm)

$h$ : 梁のせい (mm)

$A_f$ : 圧縮フランジの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$i_y$ : 梁の弱軸まわりの断面二次半径 (mm)

B: 400 N/mm<sup>2</sup> 級鋼 250, 490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼 200

C: 400 N/mm<sup>2</sup> 級鋼 65, 490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼 50

設計式の係数については、鋼種の違いによる塑性変形能力の差異がなければ、文献<sup>6)</sup>と同様の考え方で、強度比に応じて係数を設定できる。文献<sup>9)</sup>によれば、一般化細長比と塑性変形倍率との関係は鋼種によらずほぼ同じ値となることが示されており、3章で行った実験の範囲では、HBL-H355についてもその他鋼種と大きな差異がないことが確認できている。これらを踏まえ、横補剛間隔の設計式を定めることができる。

#### 4.3.2 安全率αに関する考察

柱・梁の接合部仕口部および継手部の安全率αは、文献<sup>6)</sup>によれば、仕口・継手部の応力集中、鋼材の降伏点のばら

つきや歪効果の影響、部材の塑性化や崩壊メカニズム予測の不確実性を考慮して設定されている。

材料強度のばらつきについては、文献<sup>1)</sup>では、降伏点および引張強さの平均値を規格中央とし、平均値の上下3 $\sigma$ がその規定幅に等しいとして得られる降伏比を仮定値とし、降伏比の仮定値と、降伏耐力と引張強さの公称値から求まる降伏比の比から材料強度のばらつき度を推定している。HBL-H355における材料強度のばらつきは、降伏比の統計データである図1(b)より、降伏比の平均値は0.749、標準偏差は0.018であり、降伏比の仮定値は、0.767となる。HBL-H355の降伏耐力と引張強さの公称値から求まる降伏比は0.68であるので、それぞれの降伏比の比は、1.13となる。一方で、文献<sup>10)</sup>で示されている、SN490材のH形鋼の降伏比の平均値は0.739、標準偏差は0.027であり、降伏比の仮定値は、0.766となる。SN490材の降伏耐力と引張強さの公称値から求まる降伏比は0.66であり、それぞれの降伏比の比は、1.16であるので、HBL-H355の降伏比のばらつき度はSN490材のH形鋼と比較して同等以上と考えられる。

また、曲げモーメントの上昇率の検討においては、3点曲げ試験における単調載荷時の曲げモーメント一回転角関係である図4より、 $\theta/\theta_p$ が2から8の範囲では、 $M/M_p$ が1.13から1.34となる結果となっている。これらを踏まえ、柱・梁の接合部仕口部および継手部の安全率 $\alpha$ を定めることができる。

### 4.3.3 幅厚比ランクに関する考察

HBL-H355の基準強度は、355 N/mm<sup>2</sup>であり、建築基準法告示における幅厚比規定の適用範囲(205 N/mm<sup>2</sup> ≤ F ≤ 375 N/mm<sup>2</sup>)内である。また、3章で行った曲げ試験結果より、フランジおよびウェブの幅厚比と塑性変形倍率の関係は、他の鋼種と同等であることが分かっている。これらを踏まえ、

HBL<sup>®</sup>-H355における幅厚比ランクの算定については、建築基準法告示に示されている式に応じて定めることができる。

## 5. 試設計による 490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼との鋼重比較

### 5.1 検討条件

490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼と 520 N/mm<sup>2</sup> 級鋼を鉄骨梁に用いた場合の試設計を行った。図6に試設計に用いた建物の基準階伏図と軸組図を示す。8階建て高層事務所ビル<sup>11)</sup>を対象とし、柱断面は、□-500×500～□-600×600(BCP325)、梁断面は、GY1およびGY3梁については、H-800×250～350、その他梁についてはH-600×200～300である。柱梁の各部材は十分な塑性変形能力を確保できるよう幅厚比がFAとなる部材を選択した。柱梁接合部は通しダイアフラム形式とした。架構形式については、両方向制振ブレース付きラーメン架構とし、制振ブレースは低降伏点鋼LY225を使用した屈曲拘束ブレースとした。

検討は、まず490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼材のみを使用した設計を行い、その後、梁の耐力が同等となる520 N/mm<sup>2</sup> 級鋼材に置き換える方法により行った。設計は告示ルート3に則り行い、層間変形角が1/200程度となるような剛性を確保した部材選定とした。剛性率は各階0.6以上、偏心率は0.15以下を満足している。

### 5.2 検討結果

鋼種置換え前後の大梁断面一例および重量低減効果を表9に示す。スパンの短いGY2梁を除き耐力および層間変形角の設計目標を満足できたため、全断面を置換えることができています。また、各部材の重量低減効果は6～12%であり、490 N/mm<sup>2</sup> 級と520 N/mm<sup>2</sup> 級の強度比並みの重量低

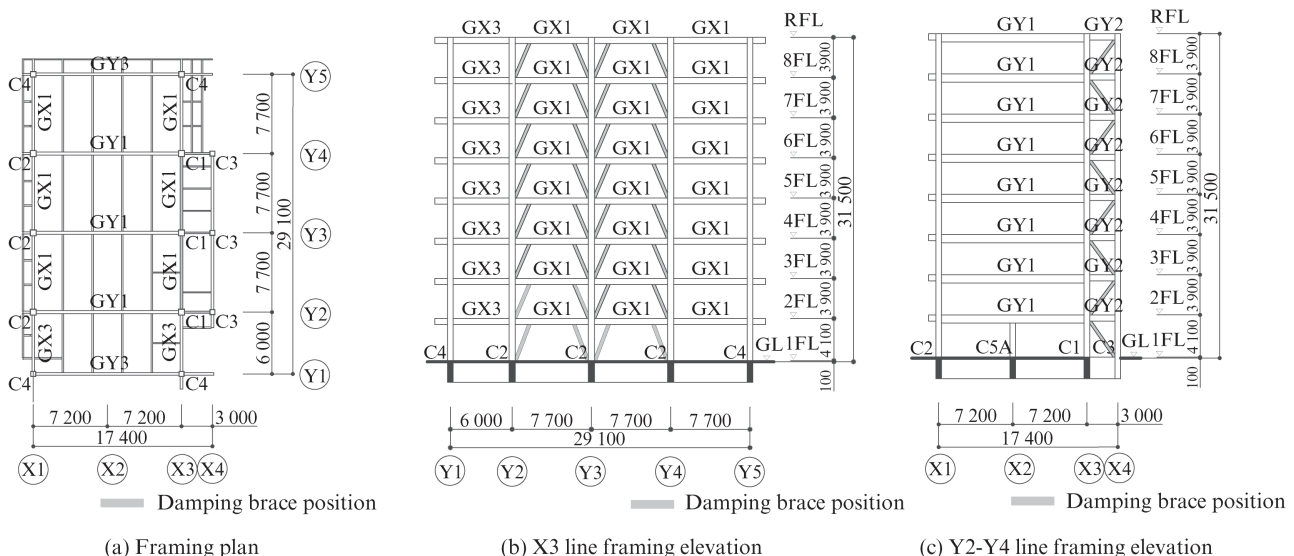


図6 試設計対象建築物

Fig. 6 Building for trial design

表 9 断面リスト  
Table 9 Section list

Girder	Floor	Position	Before	After	Weight reduction
GY1	7, 8, R	Full length	H-800×300×16×25	H-800×300×16×22	▲6%
	6	Full length	H-800×300×16×28	H-800×300×16×25	▲6%
	5	Full length	H-800×350×16×25	H-800×350×16×22	▲8%
	3,4	Full length	H-800×350×16×28	H-800×350×16×25	▲6%
	2	Full length	H-600×250×12×22	H-600×200×12×22	▲12%
GY3	8, R	Full length	H-800×250×16×22	same as on the left	—
	6,7	Full length	H-800×250×16×25	H-800×250×16×22	▲6%
	3,4,5	Full length	H-800×300×16×25	H-800×300×16×22	▲6%
	2	Full length	H-600×250×12×22	H-600×200×12×22	▲12%



写真 1 大阪梅田ツインタワーズ・サウス  
Photo 1 Osaka Umeda Twin Towers South



写真 2 ロジクロス春日部  
Photo 2 Logicross Kasukabe

減効果が得られたことが確認できている。

## 6. 適用例

**写真 1** は、大阪梅田ツインタワーズ・サウスである。2018 年に I 期棟 [階数：地上 13 階，地下 3 階，最高高さ：約 75 m] が竣工している。また、2022 年に竣工予定である超高層部の II 期棟 [階数：地上 38 階，地下 3 階，最高高さ：約 190 m] についても「HBL-H355」が採用されている。

**写真 2** は、2021 年に竣工したロジクロス春日部 [階数：地上 4 階，延床面積 3.8 万 m<sup>2</sup>] である。当社の鉄骨梁横座屈補剛工法<sup>12)</sup> についても適用され、鋼材重量の削減に貢献している。この他、超高層建築物，商業施設，大型倉庫を中心に幅広く採用されている。

## 7. おわりに

引張強さ 520 N/mm<sup>2</sup> 級の H 形鋼である「HBL<sup>®</sup>-H355」の製品概要，部材の構造性能および製品の特長について概説するとともに，490 N/mm<sup>2</sup> 級鋼材との置換えによる比較を行い，鋼材重量の削減メリットを示した。今後もお客様のニーズに合わせ，社会に貢献できる商品や技術の開発を行っていききたい。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会. 鋼構造限界状態設計指針・同解説. 2010.
- 2) 加藤勉, 中尾雅躬. 局部座屈に支配される H 形断面鋼材の耐力と変形能力. 日本建築学会構造系論文集. 1994, vol. 59, no. 458, p. 127-136.
- 3) 日本建築学会. 建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事. 2007.
- 4) 木村達己, 山本晃輝, 青木秀未. TMCP (加工熱処理) を活用した靱性に優れた高強度 H 形鋼の開発. JFE 技報. 2010, no. 26, p. 30-35.
- 5) 建築構造用 520 N/mm<sup>2</sup> TMCP H 形鋼「HBL<sup>®</sup>-H355」. JFE 技報. 2013, no. 31, p. 28-29.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか. 2020 年版建築物の構造関係技術基準解説書. 2020.
- 7) 日本建築学会. 鋼構造塑性設計指針. 2017.
- 8) 日本建築学会. 鋼構造座屈設計指針. 2018.
- 9) 宇田川邦明. 60 キロ級高性能はりの横座屈実験. 日本建築学会構造系論文集. 1994, vol. 59, no. 459, p. 143-152.
- 10) 藤沢一善, 一戸康生, 杉本真隆, 園田正雄. SN 鋼の機械的性質・化学成分に関する統計調査. 日本建築学会大会学術講演梗概集. 2013, p. 699-700.
- 11) 日本建築構造技術者協会. S 建築構造の設計. 2005.
- 12) 安田享平, 梅田敏弘, 金城陽介. HBL<sup>®</sup>385 鉄骨梁横座屈補剛工法の開発. JFE 技報. 2019, no. 43, p. 80-86.



前田 晋吾



安永 隼平



福永 湧大