

社会基盤を支える建材技術

Construction Material Technology for Supporting Social Infrastructure

春日 正巳 KASUGA Masami JFE スチール 建材センター 建材技術部長
橋本 修身 HASHIMOTO Osami JFE スチール 建材センター 建材技術部 土木技術室長
中村 信行 NAKAMURA Nobuyuki JFE スチール 建材センター 建材技術部 建築技術室長

要旨

鋼材は容易な加工性ととも、高強度ならびに優れた塑性変形性能に基づく高耐震性、リサイクル性などの特長を活かして、建設用資材として重要な役割を担っている。本報では、代表的な建材新製品について概観するとともに、社会環境動向とニーズを踏まえた製品開発への取り組みについて述べる。

Abstract:

Steel products play an important role as construction materials by taking advantage of a number of outstanding features, which include easy formability, high strength combined with high earthquake resistance based on excellent plastic deformation performance, recyclability and so forth. This paper describes an outline of representative new construction products and JFE Steel's approach to product development based on trends and needs in the social environment.

1. はじめに

建材市場はわが国の国内鉄鋼需要の半分を占める巨大マーケットであり、鉄鋼会社の事業戦略を決定する上で非常に重要な分野である。当社の建材事業の源流は1950年代からの臨海製鉄所や寮・社宅・病院・体育館など周辺施設の建設に端を発している。鋼管杭、鋼管矢板（特に井筒基礎）、H形鋼など、今日の建材主力製品の原型が誕生するとともに、溶鉱炉基礎などの重量構造物建設技術、港湾建設技術、軟弱地盤対策技術、鋼構造建築建設技術など、建材の利用技術を培ってきた。

以来、建設環境（低騒音、低振動）の変化、阪神大震災を契機とした耐震性要求の高度化、建設コスト縮減、環境への配慮といった社会ニーズに呼応した建設材料の開発に努め、多くの製品を世に送りだしてきた。

以下に、当社の Only 1, No. 1 製品を中心に、土木・建築分野それぞれの建材開発への取り組みについて述べる。

2. 土木建材

2.1 道路・鉄道分野

道路・鉄道分野は、橋梁基礎としての鋼管杭や鋼管矢板基礎を中心に鋼材利用技術の開発・普及が進められてきた分野である。鋼管杭の施工方法も当初打撃工法中心であったが、騒音・振動規制対応として中掘り工法、さらに鋼管ソイルセメント杭工法や回転杭工法¹⁾など新工法が開発されてきた。一方、鋼管矢板複合基礎²⁾に代表される大型橋梁基礎を対象とした工法・材料開発も進んできている。

また、慢性的な交通渋滞や道路・鉄道による市街地分断などの問題解消に向け、地下空間利用が再び注目されている。地下空間利用にあたっては、鋼矢板による開削工法や鋼管矢板による非開削工法（パイプルーフ工法）などがあるが、都市内の道路・鉄道を供用したまま施工を行うという観点からは必ずしも十分なものではなく、狭隘地・低空間向けの建材開発に注力してきた。その代表例として、低空間土留め材であるKドメール³⁾や長距離のアンダーパス構築部材であるJES形鋼⁴⁾さらにはアンダーピニング

用鋼管杭の急速接合法⁵⁾であるハイメカネジなどがある。

2.1.1 ^{ハイエスシー}HYSC (鋼管ソイルセメント) 杭工法⁶⁾

HYSC 杭工法とは、Fig. 1, Photo 1 に示すように、原地盤の土にセメントミルクを注入・混合攪拌して築造したソイルセメント柱と、同時または後からリブ付き鋼管を沈設して一体化を図った合成杭工法である。

HYSC 杭工法の主な特長として以下の点が挙げられる。

(1) 建設発生土が少ない低振動・低騒音工法

原地盤の土を杭体の一部(ソイルセメント)として活用するため、場所打ちコンクリート杭工法や他の埋込み杭工法に比べ建設発生土が少ない。

(2) 高い支持力性能を発揮

原地盤を緩めない工法であり、支持力に関してはソイルセメント柱の径を杭径(設計径)として設計できるため、従来の杭に比べて優れた支持力性能を発揮し、杭本数低減、フーチングコンパクト化が可能である。

平成 14 年道路橋示方書⁷⁾ 改訂にともない、本工法が新杭工法として記載されたことにより、今後道路橋基礎に多

くの採用が期待される。

2.1.2 鋼管矢板複合基礎

「鋼管矢板複合基礎」は、大規模橋梁向けに開発を進めてきた新しい基礎工法である。この基礎は、従来の鋼管矢板基礎に改良を加えたものであり、Fig. 2 に示すように、「鋼管コンクリート合成構造」および「場所打ちコンクリート杭」からなる複合杭と、これらを相互に連結する「高耐力継手」により構成される。

(1) 「高耐力継手」

「高耐力継手」は Fig. 3 に示すように、鋼管矢板基礎の P-P 型継手⁸⁾ を基本として、次の(a)~(c)を取り入れることで継手のせん断耐力を大幅に向上させたものである。(a) 継手管の内表面に突起を設ける。(b) 高強度モルタルを使用する。(c) 継手管の外径を 165.2 mm から 267.4 mm に拡大する。なお、継手管の外径を大きくすることにより、継手管内洗浄の施工性が向上することも併せて期待できる。

(2) 「鋼管コンクリート合成構造」

「鋼管コンクリート合成構造」は、鋼管内にコンクリートを充てんした構造であり、鋼管内面に突起(リブ)を設けることにより、合成構造としての効果が期待できる。

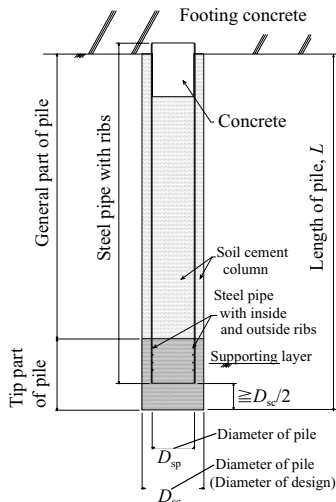


Fig.1 Outline figure of HYSC pile



Photo 1 HYSC pile

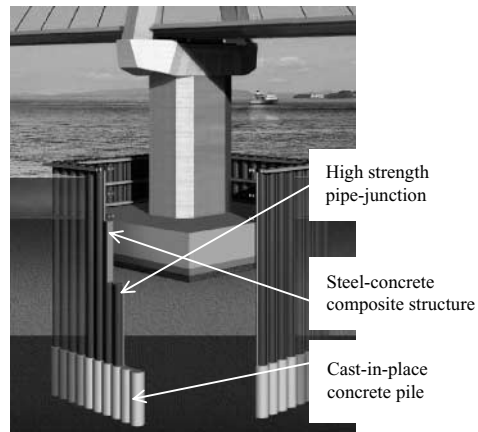


Fig.2 Schema of steel pipe sheet pile composite foundation method

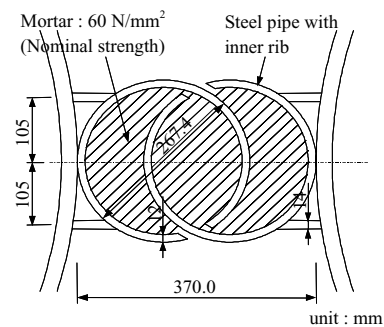


Fig.3 High strength pipe-junction



Photo 2 H-shaped steel sheet pile(K-domeru)

(3) 「場所打ちコンクリート杭」

鋼管矢板を支持層へ十分に根入れさせることが施工上困難な場合、支持層部分を「場所打ちコンクリート杭」とすることにより、施工性を損なうことなく、鉛直支持力の不足分を補うことができる。

鋼管矢板複合基礎を適用することにより、基礎の剛性を高め、必要な鉛直支持力性能を確保することができ、従来の鋼管矢板基礎に比較して平面寸法を縮小できる効果がある。この効果によって、従来の鋼管矢板基礎では橋脚の平面寸法に対する基礎の平面寸法の比が大きくなる傾向にある大規模橋梁において経済的となる。

2.1.3 地下構造用建材

(1) Kドメール

Kドメールは、鋼矢板セル工法に用いられる直線形鋼矢板と厚板または形鋼(CT, H)を溶接加工によって組み合わせた鋼製土留壁である。断面形状がH形のもを連続して配置するため、ソイル柱列壁などの従来の工法と比べて薄い壁厚で高い断面剛性が得られる。施工法としては小型の自走式圧入工法による施工が可能のため、道路・鉄道などの近接施工や桁下施工など、狭隘な環境下で威力を発揮している(Photo 2)

(2) JES形鋼

線路下や道路下を横断して道路、河川、人道用地下通路などを非開削で構築する工法として、東日本旅客鉄道(株)と鉄建建設(株)の共同開発により「HEP (high-speed element pull) & JES (jointed element structure) 工法」が実用化された。当社は、本工法の主要部材である「JES形鋼」として、この工法の専門工事会社である(株)ジェイテックとの協定のもと、列車の繰返し荷重などに対する疲労耐力を有した熱間圧延形鋼を開発した。

Fig. 4 にJES工法概念図を示す。本工法では、鋼製エレメントを特殊継手(JES継手)に沿わせてけん引掘進した後、この継手にグラウトを充填し、エレメント内にコン

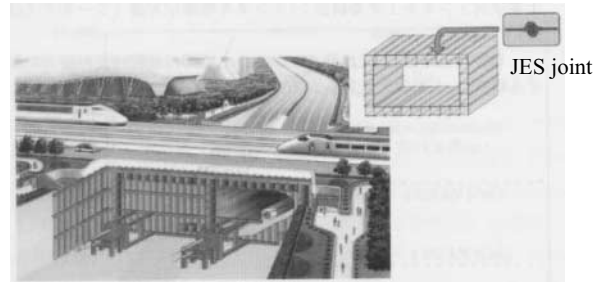


Fig. 4 Outline of construction JES method



Photo 3 Jointed element structure-shaped steel (Jointed element structure method)

クリートを充填することでトンネル本体構造物を構築する。特長としては、線路下横断延長に制限を受けず、施工期間中の軌道面への影響が少なく、経済的で施工が容易な点あげられる。また、トンネルの断面形状としては、一般的な矩形断面の他に円形断面にも適用が可能である(Photo 3)。

2.2 港湾分野

我が国の港湾は軟弱な沖積地盤を有する地帯に建設されることが多く、深部の支持層に固着するための高い施工性、ならびに地震力や波力などの水平方向外力に抵抗するための高い曲げ・せん断特性など鋼材の有する利点を発揮しやすい領域である。その一例として、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板を用いた自立式・控入式・組杭式護岸構造が挙げられ、軟弱地盤での一般的な護岸・棧橋構造として広く一般に認知されてきた。また地盤の有するせん断抵抗力を活かした構造形式としての鋼(管)矢板2重壁構造や鋼矢板セル構造、近年では大水深や高波力など大きな水平外力に対する合理的な構造形式としての格点式ストラット工法⁹⁾などが港湾分野での主力商品となりつつある。

新たな分野として、最近の廃棄物処分場の不足から海面処分場建設の動きが活発となっており、鋼(管)矢板を用いた鉛直遮水壁¹⁰⁾構造も実績を挙げつつある。

(1) 格点式ストラット工法

格点式ストラット工法(Photo 4)は、鋼管杭および鋼管矢板によるラーメン構造を斜材により補剛し、作用外力を鉛直・水平方向に分散することで地盤の鉛直・



Photo 4 Strutted frame quay-wall structure



Photo 5 Steel sheet pile joints with polymer seals swelled with water

水平支持力を有効に活用し、高い水平剛性を実現することができる工法である。近年既存施設の維持補修がキーワードとなり、建設用地などが制限された既存岸壁の改修工事が増加する傾向にあるが、本工法は杭・斜材などの各部材の組み合わせにより現場条件に合わせた構造形式が選択可能であること、従来工法と比して占有幅を小さく抑えられることから、制限条件下で真価を発揮する工法である。

(2) 鋼(管)矢板を用いた鋼製遮水壁

海面処分場における鋼(管)矢板遮水工は、鋼材自体は不透水であるので、漏水経路は矢板同士の継ぎ手に限定されるため、継ぎ手形状に応じた以下の方法にて一般に遮水処理がなされている。

(i) 鋼矢板の遮水方法

鋼矢板の継ぎ手の遮水方法は、特殊ポリウレタン樹脂からなる吸水膨張性止水材を、鋼矢板の打ち込み前に塗布し、数時間から1日程度養生し硬化させた後、鋼矢板を嵌合打設する。止水材は水中にて吸水膨張するため、継ぎ手の空隙が膨張した止水材により埋められることにより継ぎ手の遮水性を確保するものである(Photo 5)。

(ii) 鋼管矢板の遮水方法

鋼管矢板は、Fig 5 のように鋼管本体の側面に継ぎ手を溶接したものであり、継ぎ手形式には主に3つの形態がある。遮水方法としては、鋼管矢板を

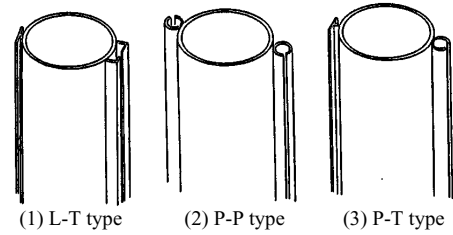


Fig.5 Type of steel pipe sheet pile joint

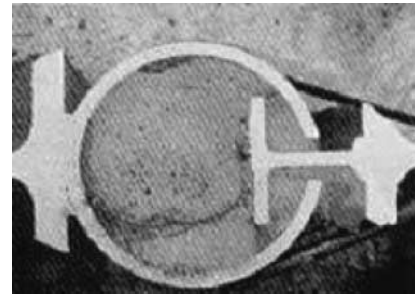


Photo 6 T-P joints of steel pipe sheet pile with mortar

嵌合打設した後、継ぎ手内に侵入した土砂をウォータージェットなどを用いて排除し、継ぎ手空間に止水用のモルタルを充填する(Photo 6)。なお、海底面以浅部では充填モルタルは、継ぎ手のスリットからの漏れ防止のため、ナイロン性の細長い袋(モルタルジャケット)を差込み、その中にポンプで圧入する。

2.3 治山分野

本分野の代表的な鋼材製品として地すべり抑止用鋼管杭が挙げられる。地すべりは不安定になった土塊が滑動する現象であり、代表的な対策工としてすべり面下の不動土塊まで鋼管杭を挿入・固着して滑動を抑止する方法が用いられる。施工現場は山間部や狭隘地であり、輸送や施工機械・設備の関係から短い鋼管杭を現場溶接により結合する方法が用いられる場合が多い。また、経済性を追求するために、厚肉鋼管杭を用いて本数を減らすケースが多く、現場溶接に多大な時間がかかることや天候に左右されやすいことなどの問題点があった。

それらを解決する方法として、最近では570 N/mm²級(SM570 相当)の引張強度を有する高強度材が用いられるケースが増えてきている¹¹⁾。さらに、Fig. 6 に示すねじ継手(「ネジール」¹²⁾)、「メカネジ」¹³⁾を併用することで、施工時間を短縮でき、施工管理を容易にすることができる。ねじ継手は、杭本体と同等以上の引張、圧縮、曲げ、せん断耐力を有し、継ぎ手嵌合作業時に、特殊な機材や技能が不要であり、かつ短時間に嵌合できる特徴を有している。高強度材およびねじ継手を適用することで、施工性改善に寄与でき、建設費のコスト縮減が可能となる。



Fig. 6 Mechanical joints

2.4 建築基礎分野

(1) 先端翼付き回転貫入鋼管杭（つばさ杭）

都市部における杭の施工は、低騒音・低振動が必須条件であり、さらに残土などの処理も問題となっている。そこで、鋼管を回転させて地盤に貫入させることにより、低騒音、低振動、無排土で施工できる杭工法「つばさ杭」を開発した。このように、回転させながら硬い支持層へも貫入する方法は、鋼管の持つ大きなねじり剛性を利用して初めて可能となった。

つばさ杭は、鋼管杭と、半円状の鋼製平板を互いに交差させて先端に取り付けた翼により構成される（Fig. 7, Photo 7）。適用範囲は、杭外径 318.5 ~ 1 200 mm であり、先端翼は杭外径の 1.5 ~ 2.5 倍（600 ~ 1 200 mm までは 1.5 ~ 2.0 倍）の範囲で設計に応じて選定可能とした。先端翼の板厚は、杭に作用する軸力に応じて選定する。この先端翼は平板状であるため、加工が容易であるという特長を有する。また、軟弱地

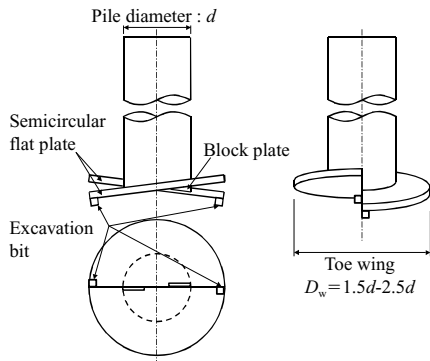


Fig. 7 Composition of Tsubasa Pile



Photo 7 Toe wing

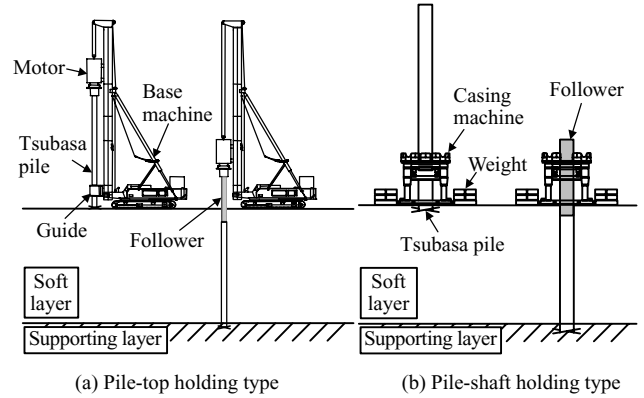


Fig. 8 Construction method

盤や液状化地盤に対しては、杭頭部を拡径化した拡頭つばさ杭（400 ~ 1 800 mm（一般部杭外径に対して約 1.5 倍））が適用できる。

施工は、杭外径 318.5 ~ 600 mm の範囲では 3 点式杭打ち機を用いた頭部回転方式（Fig. 8 (a)）とし、杭外径 500 mm 以上は全周回転機を用いた胴体回転方式（Fig. 8 (b)）とした。これらの施工方法では、回転トルクと 1 回転当たりの貫入量を計測することにより、支持層の判別が容易な施工管理を実施することができる。

つばさ杭は、先端翼を利用して木ねじの要領で杭を貫入させるため無排土施工が可能であるなど、近年の環境問題に対応した杭工法として位置づけられている。

つばさ杭は建設大臣認定（2002 年）および建設技術審査証明（土木研究センター、2003 年）を取得し、建築基礎分野を主に土木の基礎分野にも採用されるようになり、2002 年度までに総重量約 31 000 t の実績を重ねてきた。

(2) 中掘鋼管杭工法（KING 工法）

建築基礎分野における鋼管杭の利用拡大を目指して、大径・長尺杭の施工に適し、かつ幅広い地盤で適用可能な工法として鋼管杭の中掘根固め工法の開発に取り組み、1998 年に KING 工法として世に送り出した。（Photo 8）

この工法は鋼管の中にオーガースクリューを挿入し、杭をケーシング代わりに利用して杭先端部の土砂を排出しながら杭を支持層まで沈設し、さらに、支持層においては杭先端部にセメントミルクを注入して拡大根固め部の築造を行い、その根固め部の硬化によって支持力を発現させるものである。

KING 工法は杭径 1 000 mm までを対象として旧建築準法 38 号に基づく建設大臣の認定を取得している。また、2001 年から 2002 年にかけては杭径 1 200 mm での載荷試験を実施し、1 000 mm を超える杭に対する適用性を確認することで、実工事での採用を積み重



Photo 8 Inner pile excavation method of steel pipe (King method)

ねてきている。その結果、2003年2月までに総施工延長250,000m、鋼管杭の総重量45,000tを超える実績を有し、建築基礎分野における主力工法の一つに成長している。

3. 建築建材

3.1 高機能・高性能鋼板

3.1.1 建築構造用 550 N/mm²TMCP 鋼材「HBL385」

都市部の高層建築用として強度の高い鋼材が求められている。一方、兵庫県南部地震における梁端溶接部の破断被害などから、建築鉄骨に降伏比（降伏耐力* / 引張強さ）が低く、靱性が高く、しかも溶接性の良い高性能鋼材のニーズが高まっている。また最近では経済情勢を反映し、建設コストの低減が強く求められている。

このようなニーズに対応し、経済性・耐震性・溶接性を併せ持った高張力鋼材として、降伏耐力下限値 385 N/mm² の厚板「HBL385」¹⁴⁾を開発し、2002年4月に建築基準法第37条による国土交通大臣の認定を取得した。本鋼材は当社が誇る最先端の加速冷却設備を用いたTMCP技術を駆使することにより、世界で初めて製造可能になったものである。

HBL385の板厚範囲は19mmから100mm、降伏耐力の下限値は385 N/mm²（レンジ120 N/mm²）、引張強さの下限値は550 N/mm²（レンジ120 N/mm²）、降伏比は80%以下、0でのシャルピー吸収エネルギーは70J以上、化学組成は低炭素当量化を実現している。

現在使用されている建築用鋼材を降伏耐力レベルで見ると、235 N/mm²、325 N/mm²、355 N/mm²および440 N/mm²となる。一般に高強度の鋼材を使用した方が、必要部材断面の減少による鋼材重量の軽減、および鉄骨加

* 降伏点または耐力

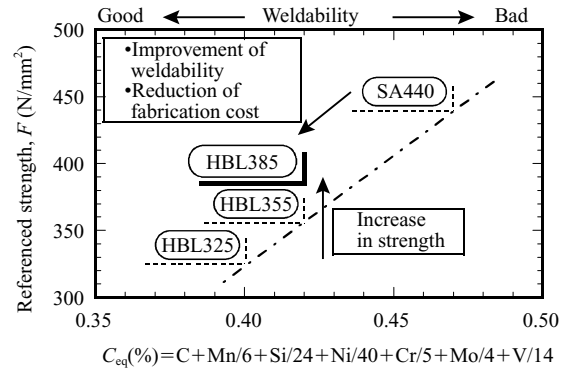


Fig. 9 Concept of the developed HBL385

工、運搬・建方負荷の軽減がもたらされるため、高層建築になるほど鋼材の高強度化が求められる。一方、SA440は強度が高く優れた性能を持っているが、合金元素の添加と圧延後の複雑な熱処理工程が不可欠であり、鋼材コストが高くなることが避けがたく、また鉄骨加工時の溶接施工においても厳格な管理が必要であるなど難点があった。このため、高層建築の鋼材は、325 N/mm²級が建築標準となっていた。

当社はTMCP分野ではトップレベルの製造・品質管理技術および豊富な実績を有しており、圧延、加速冷却条件を高精度に制御することにより、化学成分アップを抑制しながら強度アップを可能にし、Fig. 9に示すように鋼材の低コスト高強度化を実現した。HBL385の溶接施工性はHBL325、355と同等であるため、強度が高いわりには鉄骨加工時の溶接施工コストを低く抑えることが可能である。また、溶接部の衝撃特性についても充分配慮した化学成分系になっており、鉄骨加工時の大入熱溶接の厳しい要求性能にも対応が可能となっている。

HBL385は降伏耐力235～440 N/mm²級鋼材の中で、強度、経済性、溶接性、耐震性の総合性能として最も優れた高性能高張力鋼材である。HBL385の提供により、設計の自由度を拡大し、また高層建築用鋼材の降伏耐力グレードとして、385 N/mm²をスタンダードにすることで、多様化する社会的ニーズに対応が可能と考えている。

3.1.2 溶接性に優れた高強度厚板・溶接技術

建築物のボックス柱などにすでに使用され、旧建設省総合技術開発プロジェクトでその利用技術指針が活用された高性能590 N/mm²級高張力鋼は、当社が世に先駆けて開発した鋼である。本開発鋼は、溶接性を考慮しつつ、最適化学成分系と特殊熱処理を施すことにより、耐震性の観点から重要な低降伏比を80%以下に制御したもので、1992年大河内記念技術賞を受賞している。1996年には、SA440として建設大臣一般認定を取得し、すでに1万トンを超える受注製造実績を有している。しかしながら、従来のSA440鋼は強度が高いために490 N/mm²級鋼に比べ、溶接施工時の予熱温度、ビード長さなどの制約が多く、その改善が求められていた。

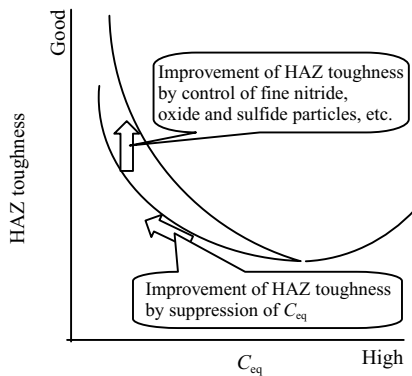


Fig. 10 Concept of improvement technology in HAZ toughness for high heat input welding

このような背景のもと、現用鋼の有する優れた特性（高強度、低降伏比、高靱性）を継承しつつ、C量を従来鋼の約2/3に低減することで、飛躍的に溶接施工性を改善したSA440-Uを開発している。本開発鋼は従来鋼に比べ以下の特長を有している。

- (1) 予熱温度を低減あるいは予熱作業を省略できる。
- (2) 組み立て溶接（仮付け溶接）の溶接ビード長さを短くできる。
- (3) 局部加熱による材質変化が小さい。
- (4) 突き合わせ溶接部、付属金物取り付け部の材質変化が小さい。

本開発鋼は開発直後より鉄骨製作者のみならず、設計者からも高い評価を受け、すでに数多くのプロジェクトに採用され約4000t以上の受注製造を達成している。

また、最近の高層建築物での溶接部の高いHAZ靱性要求に対応すべく、梁端溶接部のみならず、ボックス柱の角溶接部（サブマージーク溶接）や、ダイヤフラム溶接部（エレクトロスラグ溶接）などの高効率の超大入熱溶接が施工される部位においても優れた靱性を有する590 N/mm²級鋼も開発しており、490 N/mm²級鋼から590 N/mm²級鋼まで、0 で平均70 J以上の靱性要求に対応可能となっている。これらは、JFE スチールの技術統合によって実現した造船材などでの超大入熱溶接部 HAZ 高靱化技術と同様の JFE 高 HAZ 靱性化技術 (EWEL) を適用している。これは、当社の強みである TMCP 技術の活用と、これによる C_{eq} の低減、さらに、微細な窒化物や酸化物、硫化物などの制御による、旧 γ 粒の微細化、フェライト生成の促進、上部ベイナイトなどの脆化相の抑制などを通じた HAZ 高靱化技術¹⁵⁾ を活用したものであり、溶接部における高い靱性値の確保を可能としている (Fig. 10)。また、角溶接部のサブマージーク溶接用およびエレクトロスラグ溶接用として、溶接金属の高靱性要求に対応可能な溶接材料を開発しており、鋼材と溶接材料、溶接施工法の最適な組み合わせが提供可能となっている。HBL325 (490 N/mm² 級) 鋼および HBL355 (520 N/mm² 級) 鋼については、すでに、高 HAZ 靱性の要求される指定柱への

適用実績を挙げており、今後、HBL385 および SA440 についても、高層建築物の指定柱への適用を進め、建築物の安全性、信頼性の向上に寄与できるものと考えている。

3.1.3 耐久性に優れた建築構造用クロム鋼材「R410DH」

地球環境問題への対策の一つとして、循環型社会構築に向けた法体系の整備が進められている。官公庁に対してはグリーン購入法が制定され、建設分野においては建設リサイクル法が施行されている。もともと、鋼材はリサイクル体系が確立された環境負荷の少ない建築材料であり、適切な防錆処置を施すことにより耐食性も確保できることから、サステナブル建材として、重量鉄骨部材の柱・梁リユース工法、長寿命3世代対応住宅、中古住宅の鋼材を再利用した住宅などへの展開も始まっている。ただし、鋼材の防錆処置として一般的な塗装や亜鉛めっきを施すことで、現場施工でのタッチアップ処理や、高力ボルト接合部の養生などの付加的な作業が必要となる場合がある。一方、建築基準法改正にともない使用できるようになった SUS304A などのステンレス鋼材は、防錆処置を施すことなく極めて高い耐食性を有するが、高価格であり、かつ設計手法も一般の炭素鋼と異なるため、エントランスホールなどの外観が重視される部位以外にはなかなか使われていないのが現状である。

そこで、一般的な建築構造用鋼材と同じ設計手法が適用でき、かつ耐食性に優れる「建築構造用 11% Cr 鋼材 R410DH (以下、R410DH)」を開発し、国土交通大臣の材料認定 (2002 年 1 月 28 日: MSTL - 0071) を取得した。

R410DH は製造プロセスの工夫により機械的性質が建築用 400 N/mm² 級炭素鋼と同等になるように制御している。オーステナイト組織である SUS304 と比較して、R410DH はフェライト組織であるため、弾性剛性、降伏比や伸び性能などの挙動も建築用 400 N/mm² 級炭素鋼と同等である。また、溶接部において靱性に優れた微細なマルテンサイト組織を十分に生成させるように成分設計していることから、一般的な建築構造用鋼材と同等以上の溶接部靱性を確保している。

R410DH は Cr を 11% 含むために、大気環境において極めて優れた耐久性を示す。Fig. 11 に暴露試験した結果を示すが、R410DH は建築用 400 N/mm² 級炭素鋼の 1/76 の腐食減量である。旧建設省総合技術開発プロジェクトで提出された住宅構造材の寿命予測の式¹⁶⁾ に従うと、4.5 mm 厚の建築用 400 N/mm² 級炭素鋼の寿命が約 19 年であるのに対し、単純な比例計算では R410DH の寿命は約 1400 年となる。

住宅品質確保法に基づく 10 年瑕疵保証の義務化など、一般消費者にも建築物の耐久性への関心が高まっている。R410DH は新しいコンセプトの鋼材であり、今回使用が可能となった建築構造用鋼材としての用途以外に、耐久

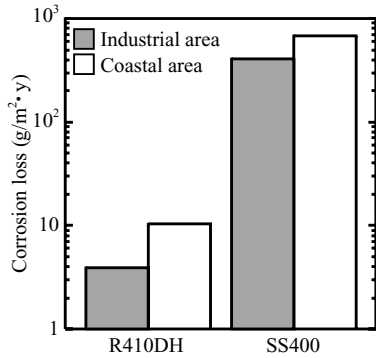


Fig. 11 Corrosion loss of R410DH and SS400 steels after one year field exposure test

性を活かした種々の用途への適用が期待される。

3.2 さまざまなニーズに応える鋼管製品

3.2.1 豊富なレパートリーを誇る角形鋼管「JFE コラム」

建築構造用の柱材として、角形鋼管は幅広く使用されている。当社の角形鋼管「JFE コラム」は Table 1 に示すように、製造方法から、(1) ロール成形電縫溶接角形鋼管、(2) プレス成形溶接大形厚肉角形鋼管「P コラム」(製造・販売はセイケイ(株))、(3) 熱間成形シームレス角形

鋼管、に分類される。降伏耐力レベルは、235, 295, 325, 440 N/mm² の 4 種類である。

BCR, BCP は建築構造用柱材としての溶接性能と塑性変形性能を向上させた角形鋼管であり、国土交通大臣認定を取得している。

また、新たに開発した高性能冷間プレス成形角形鋼管 BCP325T は、靱性を高めた高性能な原板を使用することにより、冷間加工後も優れた靱性を有し、全断面 70 J の靱性を保証している。Fig. 12 に平坦部、角部の衝撃性能を示す。

さらに、超高層建築物などの大規模建築物用として、590 N/mm² 冷間プレス成形角形鋼管 (JPC440)¹⁷⁾ も開発している。BCP325T 同様、鋼管角部においても十分な靱性を保持し、優れた溶接性と高い耐震性を有している。Table 2 に曲げ試験結果、Fig. 13 に試験により得られた径厚比と塑性変形能力の関係を示す。溶接部で破断するこ

Table 1 Rectangular hollow section columns

Process	Grade	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YS (%)	vE ₀ ^{*1} (J)
Cold roll	BCR295	295-445	400-550	≦90	27≦
		235-355	400-510	≦80	27≦
Cold press	BCP325	325-445	490-610	≦80	27≦
		325-445	490-610	≦80	27≦
	BCP325T	325-445	490-610	≦80	70≦ ^{*2}
		440-540	590-740	≦80	47≦ (-40°C)
Seamless	STKR400-SH	245≦	400≦	-	-
	STKR490-SH	325≦	490≦	-	-

^{*1}Flat position, ^{*2}Flat and corner positions, YS: Yield strength, TS: Tensile strength, YR: Yield ratio, vE₀: Charpy absorbed energy at 0°C

Table 2 Test results of bending test

Column size	Rank	D/t	(ex. M _y)/(cal. M _y)	(ex. M ₀)/(cal. M _p)
-600×19	FC	31.6	1.02	1.20
-600×25	FB	24.0	1.02	1.40
-600×40	FA	15.0	1.02	1.49

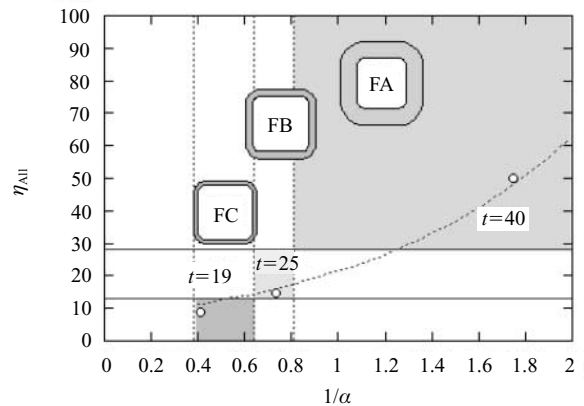


Fig. 13 Relationship between diameter-width ratio and cumulative ductility factor

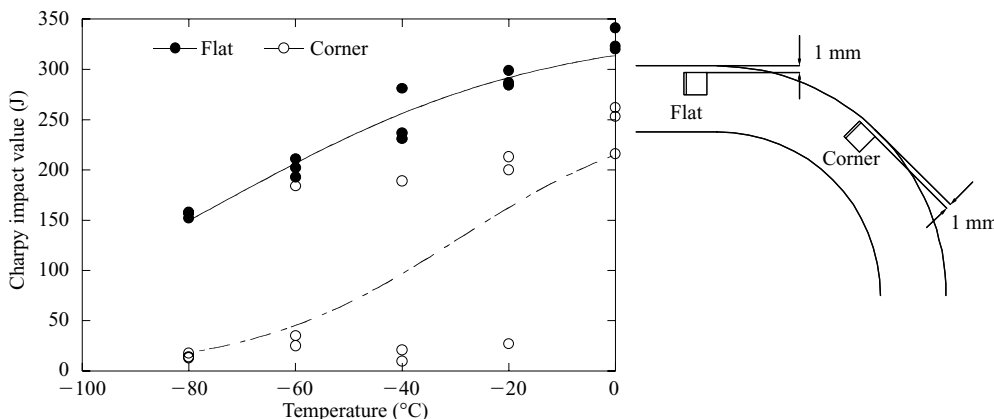


Fig. 12 Relation between Charpy impact value and temperature for BCP325T column at flat and corner positions

となく十分な耐力と塑性変形能力を有していることを確認している。

3.2.2 経済性に優れた高強度円形鋼管
「P-325/355/385/440」

円形鋼管は断面性能、断面形状に方向性がなく、任意の角度で梁を取り付けることができる。また、コンクリート充填鋼管柱として使用すれば、鋼管の拘束効果によりコンクリート圧縮強度の増加も期待できるなど、経済性に優れた鋼材である。

当社の建築構造用高強度円形鋼管は Table 3 に示す 4 種である。製造は、UOE またはプレスバンドによるが、所定の降伏比を満足させるため、Fig. 14 に示すように径厚比 (t/D) に応じて成形方法を決めている¹⁸⁾。

P-385 は当社独自の強度レベルの円形鋼管である。Fig. 15 に曲げ試験 ($D/t = 24$, FA ランク) 結果を示す。溶接部での破壊は発生せず、最終的に鋼管の局部座屈で耐力低

Table 3 Mechanical properties of tubular column

Grade	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	vE ₀ (J)
P-325B,C	325-475	490-610	≦85	27≦
P-355B,C	355-505	520-640	≦85	27≦
P-385B,C	385-535	550-700	≦85	70≦
P-440B,C	440-590	590-740	≦85	47≦

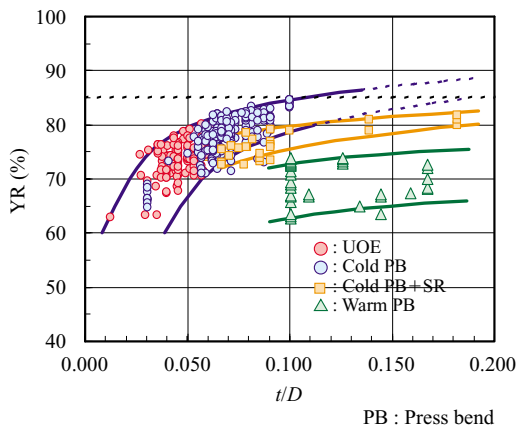


Fig. 14 Influence of tube forming on yield ratio

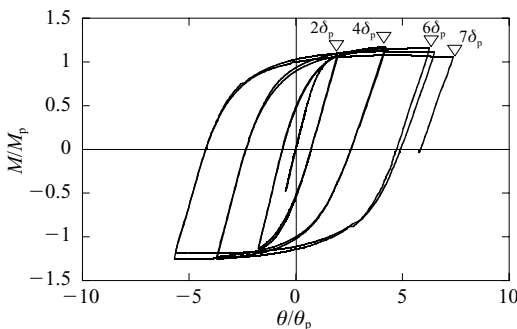


Fig. 15 M-θ relation

下が生じ、必要とされる塑性変形能力を有していることを確認している。

3.3 大断面・高強度H形鋼

3.3.1 大断面外法一定H形鋼
「スーパーハイスレンドH」

当社は、外法一定H形鋼「スーパーハイスレンドH(以下、SHH)」を1989年11月より販売開始し、以後、製造範囲を拡大し、現在はFig. 16に示す国内最多42シリーズ、292サイズを製造している。

1999年2月のウェブ高さ1000mm、950mmなどの大断面H形鋼の商品化は¹⁹⁾、西日本製鉄所倉敷地区大形工場のリフレッシュ工事(1996年6月)による中間圧延機的能力増強とFig. 17に一例を示す孔形圧延技術の発展により実現した。各サイズの断面積と断面二次モーメントの関係をFig. 18に示す。ウェブ高さが950mmや1000mmのSHHは900mm以下のH形鋼と比較し最大5割程度断面効率が向上する。

3.3.2 大断面TMCP極厚H形鋼「HBL-JH325/355」

当社は、TMCPをH形鋼製造に適用し、Table 4に示す製品規格のTMCP極厚H形鋼「HBL-JH325/355」を開発し、1995年より製造開始した。本製品は、厚板のTMCP鋼と同様に建築基準法第37条に基づく認定を取得した。基準強度は325, 355 N/mm²の2種である。

また、断面効率に優れた「700×500シリーズ」極厚H形鋼²⁰⁾を1998年11月より工程生産開始し、大断面化の要求に応じてきた。Fig. 19に示すように、700×500シリーズのウェブ高さ内法寸法は500×500シリーズに対し、150mm程度大きく、同断面積の既存シリーズに比べ断面2次モーメントが1.5~2倍程度となる。

ここで、基準強度の低減が不要な大断面H形断面柱材とボックス柱を、高さ165m、地上35階の建築物に適用した場合の重量比較をTable 5に示す。H形断面柱重量がボックス柱重量に対し約2~3%少なく、特に

Width Depth	(mm)				
	200	250	300	350	400
400	◇				
450	◇	◇			
500	◇	◇	●		
550	◇	◇	●		
600	◇	◇	◇		
650	◇	◇	●		
700	◇	◇	◇	●	
750		◇	●	●	
800		◇	◇	●	●
850		◇	◇	●	●
900		◇	◇	●	●
950		●	●	●	●
1000		●	●	●	●

Fig. 16 Size variety of Super HISLEND H

Table 4 Specification of HBL-JH325/355

Specification	Chemical composition (mass%)					C_{eq} (%)	P_{CM} (%)	Mechanical property						
	C	Si	Mn	P	S			YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	El (%)	Thru-thickness reduction of area(%)	vE_0 (J)	
HBL-JH325B	40 < t ≤ 50	0.18	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.030	≤ 0.015	≤ 0.38	≤ 0.24	325-445	490-610	≤ 80	21 ≤ No.1A	-	27 ≤
	50 < t	0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.030	≤ 0.015	≤ 0.40	≤ 0.26				23 ≤ No.4		
HBL-JH325C	40 < t ≤ 50	0.18	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.020	≤ 0.008	≤ 0.38	≤ 0.24	325-445	490-610	≤ 80	21 ≤ No.1A	-	27 ≤
	50 < t	0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.020	≤ 0.008	≤ 0.40	≤ 0.26				23 ≤ No.4		
HBL-JH355B	40 < t ≤ 50	0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.030	≤ 0.015	≤ 0.40	≤ 0.26	355-475	520-640	≤ 80	19 ≤ No.1A	-	27 ≤
	50 < t	0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.030	≤ 0.015	≤ 0.42	≤ 0.27				21 ≤ No.4		
HBL-JH355C	40 < t ≤ 50	0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.020	≤ 0.008	≤ 0.40	≤ 0.26	355-475	520-640	≤ 80	19 ≤ No.1A	-	27 ≤
	50 < t	0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.020	≤ 0.008	≤ 0.42	≤ 0.27				21 ≤ No.4		

*1 Average for three pieces,

*2 For each test value,

$$P_{CM} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5B, \quad El : \text{Elongation,}$$

vE_0 : Charpy absorbed energy at 0°C

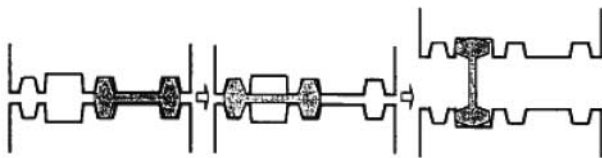


Fig. 17 Rolling method of breakdown mill

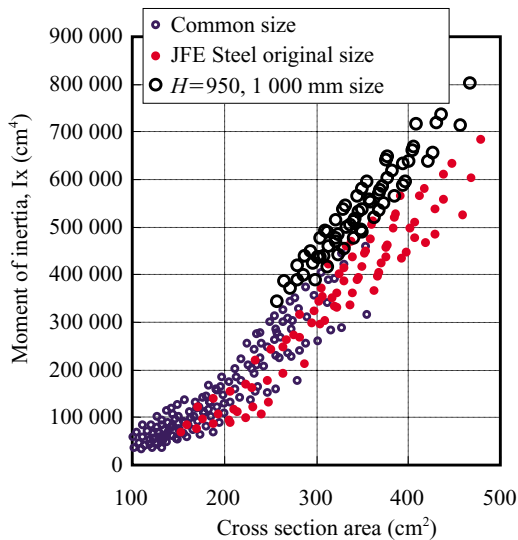


Fig. 18 Relation between moment of inertia and cross section area for Super HISLEND-H

700 × 500 シリーズは最も効率的な断面形となる。

3.3.3 建築構造用 550 N/mm² H 形鋼「HBL-H385」

当社は、基準強度が 385 N/mm² である TMCP550 N/mm² H 形鋼を 2000 年に開発した¹⁴⁾。「HBL-H385」は最先端の形鋼 TMCP 設備 (Super-OLAC S) と高度な製造・品質管理技術により実現したものであり、断面サイズは、JISH 形鋼および外法一定 H 形鋼をカバーする。

製品規格を Table 6 に示す。SN490B に比べ、降伏耐力および引張強さを 60 N/mm² 増加しながら、 C_{eq} および P_{CM} は同程度に抑えている。このため、建築物に適用した

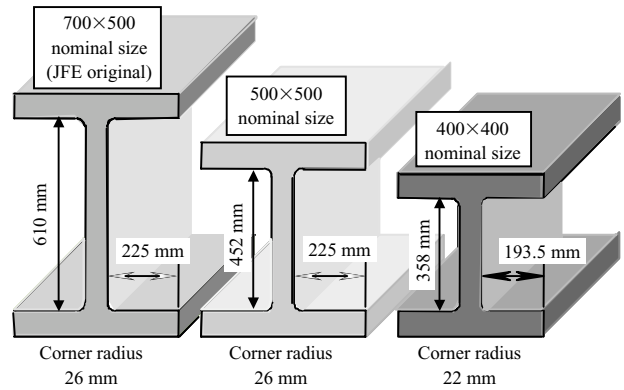


Fig. 19 Inside dimensions of heavy wide flange H-shapes

Table 5 Structural performance and weight of column

Nominal size		Rectangular hollow section	700×500 nominal size	500×500 nominal size
Displacement (cm)	X-direction	41.09	42.08	43.77
	Y-direction	40.51	39.70	41.88
Weight of column (%)		100	99	98

場合、490 N/mm² 鋼材に比べ 1 ~ 2 サイズの断面低減を達成しつつ、鉄骨加工時の溶接施工費を低く抑え、大幅な建設費用削減が可能である。CO₂ 溶接部は Table 7 に示すように、十分な衝撃性能を確保しており、柱梁接合部の繰返し載荷実験においても梁端部の必要性能を十分満足することを確認している²¹⁾。

次に、SRC 構造は鉄骨造に比べ座屈しにくいことや剛性が高いことなど、高強度鋼材に有利に働くことが多いが、コンクリートとの強度差が及ぼす影響など未解明の部分があるため、SRC 柱の軸力下での繰返し曲げ載荷実験を行った。実験結果の一例を Fig. 20 に示す。実験から得た耐力は SRC 規準²²⁾ の算定式を満足しており、本鋼材にも同規準の算定式を適用できることを確認した。

Table 6 Mechanical properties of HBL-H385

Grade	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	vE ₀ (J)	C _{eq} (%)	P _{CM} (%)
HBL-H385B	385-505	550-670	≦80	≧70	≦0.44	≦0.29
SN490B	325-445	490-610	≦80	≧27	≦0.44	≦0.29

Table 7 Charpy impact test result of CO₂ welded joint

Test position	vE ₀ (J)	
	Each	Average
Weld metal	134	163
	170	
	183	
Bond	213	183
	179	
	159	
Bond +1 mm	234	231
	228	
	232	
Bond +3 mm	225	238
	241	
	249	

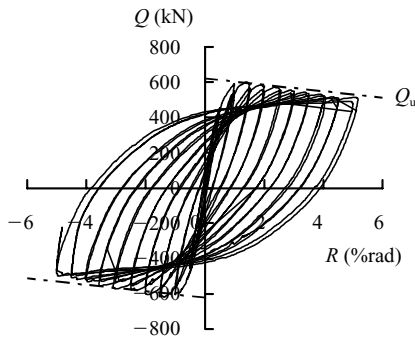


Fig. 20 Relation between bending load and displacement for SRC column under axial load

3.4 耐震性に優れた建築工法

3.4.1 低降伏点鋼制振ダンパー

低降伏点鋼を用いた制振ダンパーは、地震によって構造物に投入されるエネルギーを積極的に吸収し、構造物の応答を低減するために有効である。

制振ダンパーに使用される低降伏点鋼は、普通鋼と比較し降伏耐力が低く、そのバラツキも厳しく管理されたものでなければならず、地震時の繰り返し塑性変形に耐えうる延性と靱性が要求される。

当社では Table 8 に示すように、厚板 3 種、継ぎ目無

し鋼管 2 種の計 5 種の低降伏点鋼を描入している。

制振ダンパーは、せん断降伏型と軸降伏型に大別され、それぞれ制振壁と制振間柱、制振ブレース^{23, 24)}を商品化している。

制振ブレースについては、Fig. 21 に示すようにブレース芯材の座屈補剛の形式により、外側の補剛管が内側の軸力管を座屈補剛する二重鋼管座屈補剛ブレースと、平鋼のブレース軸材を角形鋼管で座屈補剛する鋼管補剛平鋼ブレースの 2 種類がある。

Fig. 22 に従来の鋼管ブレースと制振ブレースの復元力特性を比較して示す。制振ブレースは剛性・耐力ともに圧縮・引張が同等で安定した履歴特性と、高い塑性変形能力を有している。

3.4.2 鋼管柱 - H 形鋼梁の新接合法

「耐震ジョイント」

耐震ジョイントは接合ディテールを改良することにより、梁端での脆性的破断を防止した当社独自の接合法で、複雑な設計・施工管理が不要となる。本工法にはブラケット方式に対応したボルト接合タイプ (TJB) と現場溶接方式に対応した溶接接合タイプ (TJW) の 2 種類がある。

Fig. 23 (a) に示す TJB は、通しダイヤフラムとブラケットフランジを一枚板で形成し、モーメント勾配にしたがってフランジを拡幅している。柱から最も遠い梁側第一ボルト孔欠損部が最弱断面となり、延性に優れた梁母材側でエ

Table 8 Mechanical properties of steel plates and seamless pipes with low yield strength

	Grade	YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	YR (%)	EI (%)
Plate	JFE-LY100	100±20	200-300	≦60	≧50
	JFE-LY160	160±20	220-320	≦80	≧45
	JFE-LY225	225±20	300-400	≦80	≧40
Seamless pipe	RF100-S	100±20	200-280	≦60	≧50
	RF225-S	225±20	300-400	≦80	≧35

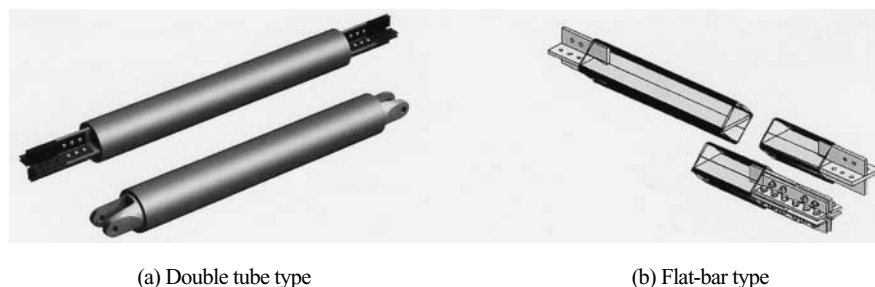


Fig. 21 Type of brace damper

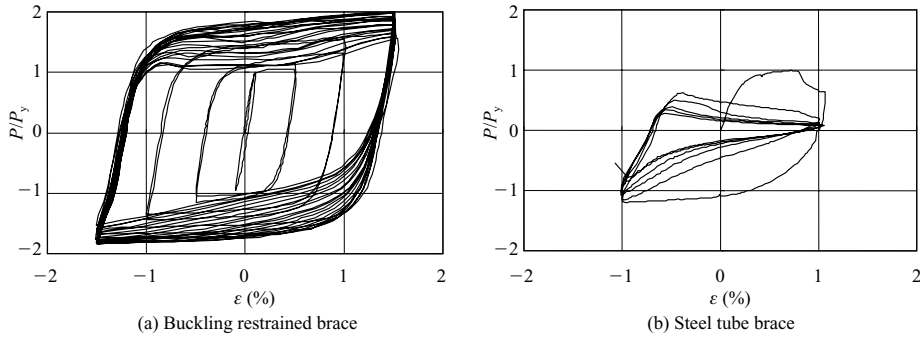


Fig. 22 Relations between non-dimensional axial load and displacement for buckling restrained and steel tube braces

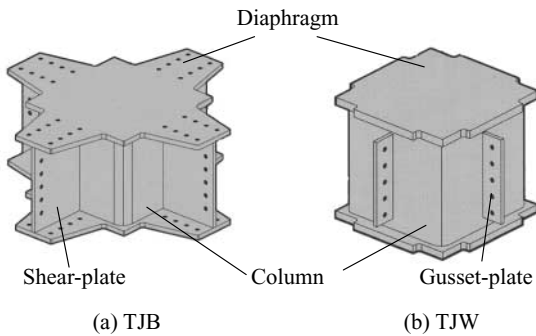


Fig. 23 Schematic of earthquake resistant joint

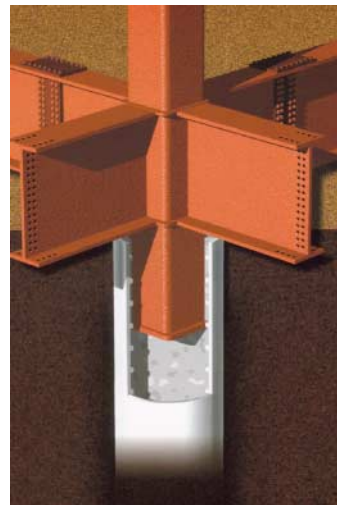


Fig. 25 Outline of pile to column direct connection

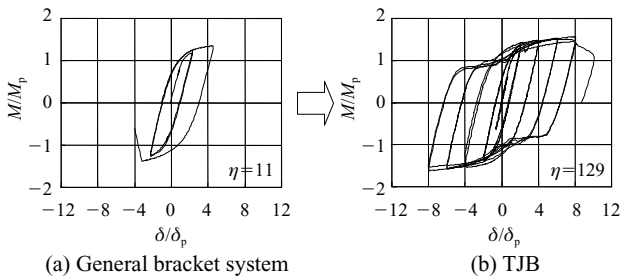


Fig. 24 Comparison in hysteresis curve for two different type of earthquake resistant joint

エネルギー吸収を行うため Fig. 24 (b) に示すような高い変形能力が得られる²⁵⁾。その他、梁端の食違いや溶接施工管理の削減、輸送効率の上昇、仕口加工費の低減などのメリットがある。

Fig. 23 (b) に示す TJW は、通しダイアフラムの梁フランジ取付け位置に、円弧状の入隅部をもつ突出部を設けたもので、溶接始末端部での溶接欠陥の発生や応力・ひずみ集中が避けられ、変形能力が大幅に向上する。

いずれのタイプも簡易な入力により、設計から図面作成、積算まで出力可能な一貫設計プログラムを用意している。また本商品は、当社が紹介する加工業者での製作・販売のほか、受注ファブリケータでの製作も可能である。

3.4.3 鋼管柱 - 鋼管コンクリート杭一体化工法 「いちいち基礎工法」

建物と杭との新しい接合方法として、柱鋼管を杭鋼管に直接埋め込み、基礎梁も H 形鋼梁とする、新しい基礎工

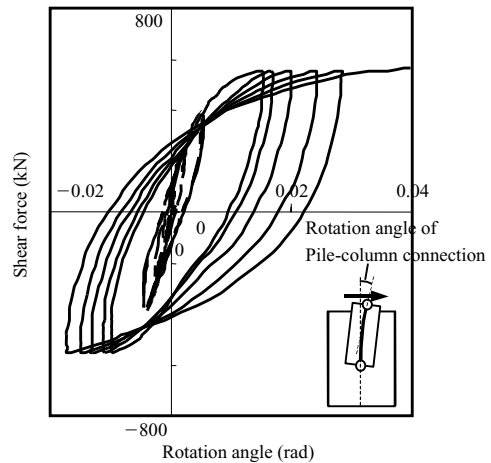


Fig. 26 Q-θ relation of specimen

法「いちいち基礎工法」を開発した (Fig. 25)。

本工法によれば、接合部を保有耐力接合とすることで、ヒンジ発生位置を靱性の高い鉄骨部材に限定することができるため、Fig. 26 に示すように高い変形能力と耐震性が確保できる。また、通常のフーチングがなくなり、基礎梁の高さを小さくできることから、掘削土量の低減、コスト削減や工期短縮を図ることができる。

本工法の設計方法は、多くの構造実験結果を基に、独自

の設計式を構築し²⁶⁾、(財)日本建築総合試験所より建築技術性能証明(第02-10号)を取得しており、すでに5件の施工実績がある。

4. 共通資材

4.1 環境に優しい建材商品

4.1.1 スラグ利用建材

鉄を製造する際に副生するスラグを利用した環境にやさしい建材商品群を紹介する。

Fig. 27 に港湾工事・海域環境修復向けのスラグ製品を示した。「フェロフォーム」はセメントや天然骨材を一切使用しない鉄鋼スラグからなる水和固化体で、コンクリートと同等の強度を示し、アルカリ溶出性が小さい、生物付着性がよいなど港湾用ブロック・石材として優れた特長を持つ。「マリンプロック」は製鋼スラグにCO₂を吸収させて固化させた多孔質ブロックであり、藻の着生が良好であり、海藻の着生基盤として好適である。これは、CO₂を製造時に吸収、また海藻による固定も期待でき地球温暖化防止に貢献できる材料である。「水砕スラグ覆砂材」は底質の環境改善用の砂材であり、天然砂にくらべ硫酸還元菌の発生を抑制する効果があるとともに、天然砂採取にともなう環境破壊を引き起こさない。

都市環境改善用商品としては「ヒートアイランド抑止舗装用の保水材」がある。透水性舗装などの開口性アスファルト合材の空隙に高炉スラグ微粉末を主成分とするスラリーを注入し硬化させたもので、形成された多孔質体内に保持した多量の水を徐々に放出して、気化熱で路面を冷

却するもので、夏場の路面温度を17℃低下させる効果を持つ。

4.1.2 再生樹脂によるコンクリート型枠「NFボード」

当社では2002年から材料リサイクル事業として、「地球にやさしい未来を拓く」という思いを込めて、再生プラスチックを主原料としたコンクリート型枠「NFボード(new future, frontier, friendly)」の製造を開始した。NFボードは中心層を発泡構造とした複層構造で、軽量化と強靭さを両立させ、従来の合板と同様の扱いやすさと、より優れた施工性を実現している。さらに木材合板の原料である南洋材伐採削減という観点からも地球環境に配慮した商品である。

NFボードの特長を以下に示す。

- (1) 木材合板に比べ耐久性に優れ、転用回数が大幅に伸び、トータルコストが削減できる。
- (2) 木材合板と同じ工具で同じように加工(切断、穴あけ、釘打ち)ができる。
- (3) 木材合板とほぼ同等の軽さでかつ脱型性に優れた扱いやすいボードである。
- (4) 使用済みのボードは回収され、製鉄原料としてリサイクルされる仕組みが確立されている。

NFボードは鹿島建設(株)大成建設(株)清水建設(株)の3社共同出資によるグリーン建材(株)が販売しており、2002年9月の工場竣工以来、120社以上に出荷され、ご使用いただいている(2003年4月現在)。

この商品は再生型枠として財日本建築センターの「新建築技術認定」を取得した。

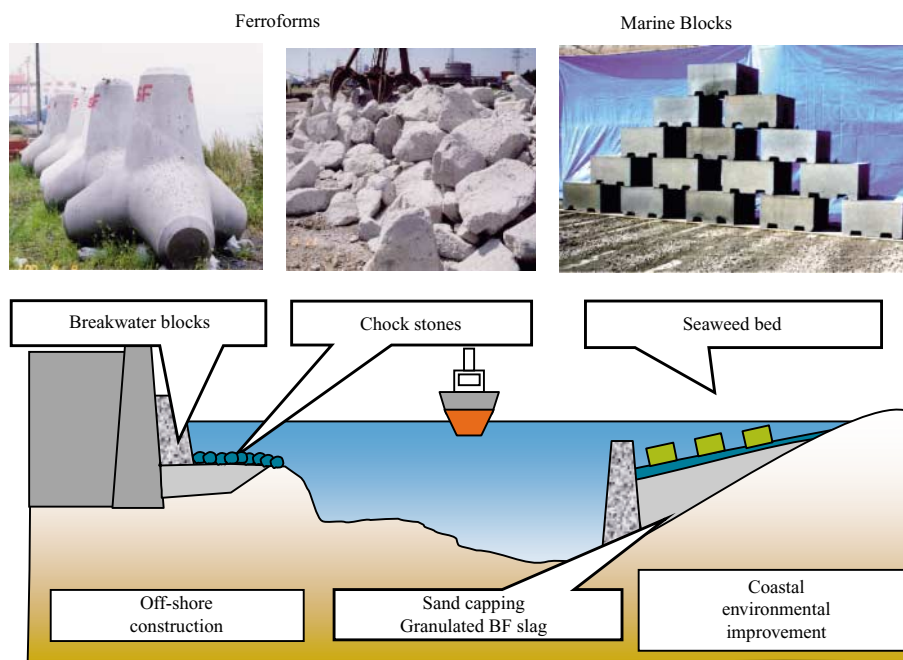


Fig.27 Products made from slag for off-shore construction and coastal environmental improvement

4.2 耐震性を高める高強度せん断補強筋

4.2.1 高強度せん断補強筋「リバーボン」

近年、耐震性向上の要求にともない、鉄筋コンクリート造建築物の柱や梁に使用するせん断補強筋や、土木構造物の高架橋柱や橋脚に使用するせん断補強筋に、普通鉄筋に変わって高強度鉄筋が採用されるケースが増えている。これは、耐震性向上の要求により、軸力と高いせん断力を要求されているため、降伏耐力が 295 N/mm^2 級の普通鉄筋では必要せん断補強筋量を満たすことが困難になるためである。

そこで JFE テクノワイヤでは、高強度せん断補強筋「リバーボン785」、「リバーボン1275」の2種類の降伏耐力²⁷⁾をもつ製品を開発し、それぞれの特徴を生かすことにより、多種多様な設計施工に対応可能とした。

「リバーボン785」および「リバーボン1275」は、 785 N/mm^2 および 1275 N/mm^2 級の降伏耐力を持ち、コンクリート強度の適用範囲も 21 N/mm^2 から 60 N/mm^2 まで(財)日本建築センターの評定を取得している。一般的な曲げ加工はもちろん、溶接閉鎖形の製作もともに可能である。特に「リバーボン1275」の溶接形状は、配筋時に主筋との干渉をなくすために、溶接部の膨らみを極めて小

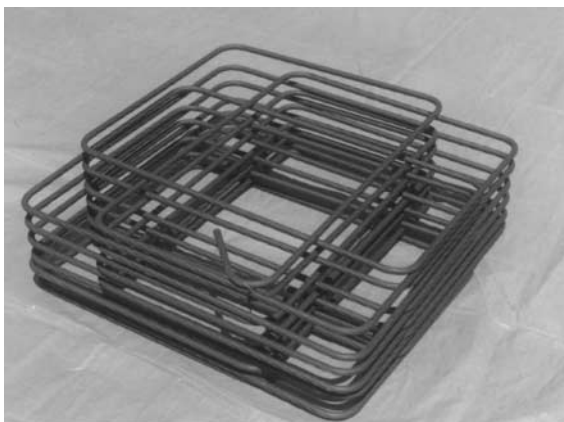


Photo 9 Riverbon 1275 multi spiral hoop

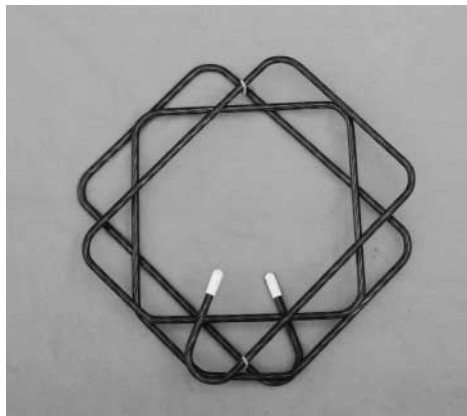


Photo 10 Riverren

さくしている。また、「リバーボン1275」の「マルチスパイラル」²⁸⁾ (Photo 9) は、1本の材料で外周筋と中子筋が連続で作られているため、フック部が少なく、重量軽減でき、配筋作業が容易で、画期的な商品である。

設計施工指針では「リバーボン785」²⁹⁾ は塑性理論式、「リバーボン1275」^{30, 31)} は荒川式、塑性理論式の2つの設計式を提案し安全性を確認している。特に、「リバーボン1275」に対しては、膨大な実験・解析結果に基づき JFE テクノワイヤ独自の設計式を確立し、高強度コンクリート使用時にその優位性を如何なく発現することが可能となり、中高層から超高層の鉄筋コンクリート造建築物まで幅広く適用できるようになった。

4.2.2 梁貫通孔補強筋「リバーレン」

貫通孔を設けた梁は、無孔梁と同等の性能を有する必要がある。その貫通孔に補強する金物「リバーレン」³²⁾ (Photo 10) は、降伏耐力 1275 N/mm^2 級の補強筋を一筆書きで製作しているため、構造上弱い部分がなく、均一な性能が発揮される。また、普通鉄筋の金物と比べても、細径化でき、枚数が削減できるため配筋が非常に容易である。

5. おわりに

耐震性への要求、環境に配慮した資材・工法、狭隘地、空頭制限など種々の制約条件のある建設現場での省力化、建設コストのさらなる縮減要請など、さまざまな問題への対応が建材製品に求められている。建材製品の開発においては、これらの時代・社会のニーズに耳を傾け、広い視野で市場を俯瞰するとともに、ブレークスルーとなる新しい技術を戦略的かつ着実に生み出していくことが重要となる。

参考文献

- 1) たとえば、森玄、篠原敏雄、林正宏．先端翼付き回転貫入鋼管杭(つばさ杭)の施工事例．基礎工．vol.28, no.12, 2002, p.71-75．
- 2) 大久保浩弥, 西澤信二, 三谷靖. 大規模橋梁向け鋼管矢板複合基礎工法の施工性と構造性能. 川崎製鉄技報. vol.34, no.4, 2002, p.175-181.
- 3) 石澤毅ほか. 鋼製土留壁「Kドメール」. 川崎製鉄技報. vol.24, no.3, 1992, p.24-32.
- 4) 三浦啓徳ほか. 疲労特性に優れた JES 形鋼のアンダーパスへの適用. 川崎製鉄技報. vol.34, no.4, 2002, p.188-194.
- 5) 清水満, 藤本英己, 村木康行. JR 営業線の空頭制限下での鋼管杭の打設. 基礎工. vol.29, no.10, 2001, p.50-54.
- 6) 坂口裕司, 中川敬. 鋼管ソイルセメント杭の設計と施工. 基礎工. vol.30, no.5, 2002, p.38-42.
- 7) (社)日本道路協会. 道路橋示方書・同解説, 下部構造編. 2002-03.
- 8) (社)日本道路協会. 鋼管矢板基礎設計施工便覧, 1997-12.
- 9) (財)沿岸開発技術研究センター. 格点式ストラット工法技術マニュアル, 2000.
- 10) (財)港湾空間高度化センター. 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル, 2000.
- 11) 豊原陽登志, 白井一矢, 置田孝一. 地すべり抑止杭用ねじ継手メカネジ. 川崎製鉄技報. vol.30, no.4, 1998, p.19-24.
- 12) (財)砂防・地すべり技術センター. 地すべり抑止鋼管杭用ねじ継手

- 砂防技術・技術審査証明報告書, 2000-02 .
- 13) (財)砂防・地すべり技術センター・地すべり抑止鋼管杭用ねじ継手(メカネジ) - 砂防技術・技術審査証明報告書, 1997-07 .
 - 14) 角博幸ほか. 建築用高性能鋼板(建築構造用 550 N/mm²級鋼の開発) CAMP-ISIJ, vol.16, 2003, p.344-347 .
 - 15) 木村達巳ほか. 超大入熱溶接部靱性に優れた建築構造用厚鋼板. 川崎製鉄技報. vol.34, no.4, 2002, p.158-163 .
 - 16) 建設省. 建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の耐久性向上技術の開発」報告書. 1985-03 .
 - 17) 猪砂利次ほか. 590 N/mm²級冷間プレス成形形鋼管の構造性能 その1～その2. 日本建築学会講演梗概集. C-1, 2002, p.539-542 .
 - 18) 和田典巳ほか. 建築構造用高性能鋼管(NTコラム). NKK 技報. no.157, 1997, p.37-43 .
 - 19) 河村有秀ほか. 超大型外法一定 H 形鋼 1000, 950 mm シリーズ. 川崎製鉄技報. vol.33, no.3, 2001, p.128-131 .
 - 20) 三浦啓徳ほか. 大断面広幅 H 形鋼 700 × 500 シリーズの開発. 川崎製鉄技報. vol.33, no.3, 2001, p.132-136 .
 - 21) 中村信行ほか. 高強度低降伏比の鋼材を用いた SRC 柱の弾塑性挙動に関する実験的研究. 日本建築学会講演梗概集. C-1, 2003, p.1047-1052 .
 - 22) 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. 2001, p.11-16 .
 - 23) 藤澤一善ほか. 極軟鋼を用いた制震ダンパーの構造性能. 川崎製鉄技報. vol.30, no.1, 1998, p.1-6 .
 - 24) 伊藤茂樹ほか. ダンパー用極軟鋼を用いた履歴型制震デバイス. NKK 技報. no.170, 2000, p.67-74 .
 - 25) 岡本晴仁ほか. 耐震ジョイント. NKK 技報. no.178, 2002, p.58-62 .
 - 26) 今野和近ほか. 鋼管柱と鋼管コンクリート杭の一体化構造に関する研究その1～その5. 日本建築学会講演梗概集. C-3, 2002, p.813-822 .
 - 27) 金杉英輝ほか. 高強度せん断補強筋「リバーボンスパイラル」, 「リバーボンマルチスパイラル」, 「リバーボン 785」, 高強度開孔補強筋「リバーレン」. 川崎製鉄技報. vol.30, no.1, 1998, p.65-68 .
 - 28) 中澤淳ほか. RC 部材の靱性に及ぼす高強度せん断補強筋形状の影響(リバーボンマルチスパイラルフープの開発). 川崎製鉄技報. vol.24, no.3, 1992, p.177-183 .
 - 29) JFE テクノワイヤ(株). 高強度せん断補強筋「リバーボン 785」を用いた鉄筋コンクリート部材の設計施工指針・同解説. 2002 .
 - 30) JFE テクノワイヤ(株). 高強度せん断補強筋「リバーボン 1275」を用いた鉄筋コンクリート部材の設計施工指針・同解説. 2002 .
 - 31) 中澤淳ほか. 高強度せん断補強筋の開発. 川崎製鉄技報. vol.23, no.3, 1991, p.112-118 .
 - 32) JFE テクノワイヤ(株). 高強度はり貫通孔補強筋リバーレン(設計施工指針). 2002 .



春日 正巳



橋本 修身



中村 信行