

社会基盤を支える建材新技術

New Construction Materials for Social Infrastructures

島岡 久壽 建材センター 建材技術開発部 部長
沢村 一巳 住宅建材チーム マネージャー
岡本 隆 基盤技術研究所 都市工学研究部 部長 工博

Hisatoshi Shimaoka
Kazumi Sawamura
Takashi Okamoto

当社は、建材分野においてその時々々の社会ニーズに応え、建材技術のパイオニアとして先進的技術を駆使しながら時代をリードする画期的製品を送り出してきた。本稿では、それら代表的製品について概観するとともに、社会資本整備における建材分野をとりまく動向とニーズ、そして、それに対応する主要な技術・製品への取り組みについて報告する。

NKK has been a leading company in developing and introducing brand-new construction materials and products with a leading technology as a frontier manufacturer. This paper describes a trend and demand for materials of construction fields for establishing social infrastructure. Also as outline of NKK's products and main technologies for construction developed by NKK are introduced in this paper.

1. はじめに

建材の製品開発は、昭和 30 年代前半の水江製鉄所冷延工場の生産開始に伴う冷延鋼板の用途開発を嚆矢としている。この時期、ガードレール・デッキプレート・コルゲートパイプなど数々の軽量建材を世に出し、昭和 40 年代前半、日本鋼管ライトスチール(株)へと引き継がれた。これと相前後して、鋼管杭・鋼矢板・H 形鋼などの重量建材の開発にも着手し、今日の建材主力製品の原形が誕生した。これら軽量建材を含む建材製品の多くは、当社が世に先駆けて開発しており、当社が建材のパイオニアと呼ばれる所以となっている。

以来、先達の意志を受け継ぎ、社会ニーズに呼応した建材新製品を開発してきており、以下に土木・建築建材おのの製品開発への取り組みについて、その概要を述べる。

2. 土木建材製品開発への取り組み

国土の発展を支える社会基盤の整備に関連して、とりわけ基礎杭を中心に時代の要請に応える土木建材製品を生み出してきた。それぞれの土木建材製品の開発の背景には公共事業、民間投資動向および世の中の技術動向の変化に対応した課題があり、製品化には常に新しい試みが伴っている。NF パイルにおいては軟弱地盤における沈下対策としての二重塗覆層によるネガティブフリクション低減という機能付与、NKTB 杭においては新たに開発した内面リブ付鋼管と場所打ちコンクリート杭との一体化による耐震性向上、HYSC 杭においては地盤改良と外面リブ付鋼管との複合化による高支持力化、NKK ネジールでは現場溶接の代替として人力で接合できるねじ継手の導入、つばさ

杭においては環境問題への解決を他社に先駆けて実現してきた。

本稿では、基礎杭における代表的な開発製品である、NF パイル、NKTB 杭、HYSC 杭、NKK ネジール、つばさ杭を紹介するとともに、つばさ杭の大径化の開発状況を報告する。

3. 土木用建材の代表的な開発製品

3.1 NF パイル(軟弱地盤用鋼管杭)¹⁾

1970 年代には特に臨海埋立地において軟弱な地盤を貫いて支持層に達する長尺鋼管杭が広く採用された。このような軟弱地盤に施工された杭には地盤沈下に伴いネガティブフリクションが作用し、杭の沈下や杭材の圧壊・座屈を起こし、不同沈下を生じ上部構造に有害な影響を及ぼす。この杭に働くネガティブフリクションを低減し、かつ施工性の向上を目的に開発された杭が NF パイルである。

NF パイルは Fig.1 に示すように杭外周にポリエチレンの保護層、特殊なアスファルトによるすべり層の二層塗覆を行うことにより、すべり層によるネガティブフリクションの低減と保護層による施工性の改善を図ったものである。模型杭の載荷試験、粘弾性物質のクリープ試験、プラスチックの耐衝撃性試験・耐候性試験などの室内試験にはじまり、打ち込み施工試験、引き抜き載荷試験、長期観測実験などの現場試験を経て実用化・製品化に至った。扇島の建設工事を初めとする多くの臨海埋立地での工事において採用されている。

3.2 NKTB 杭(場所打ち鋼管コンクリート杭)²⁾

1978 年の宮城県沖地震では建築物の基礎杭が破損するという被害が発生し建築物基礎の耐震性に関心が集り、軟

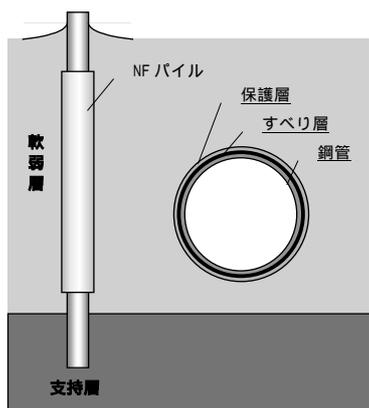


Fig.1 NF-Pile

弱地盤上の建築物の基礎に広く使われている場所打ちコンクリート杭においては、強い地震動に対する杭体の耐力が懸念されていた。この課題を解決すべく開発された杭が、NKTB杭である。NKTB杭は杭頭部などの大きな曲げモーメントやせん断力の作用する部分にリブ付鋼管を巻いた場所打ち鋼管コンクリート杭である。鋼管内面にスパイラル状のリブを有する内面リブ付鋼管を新たに開発し、地盤中に孔を掘削し中にコンクリートを流し込み造成する場所打ちコンクリート杭工法において鋼管とコンクリートの一体性の確保を図った。さらに鋼管と鉄筋籠と一緒に掘削孔に建て込む同時建て込み工法 (Photo 1) や杭頭接合部工法など工法の改良に努めている。1995年に発生した兵庫県南部地震において NKTB杭による基礎を有する建物には被害がなくその耐震性が実証された。また NKTB杭は、杭体のじん性が大きく耐震性に優れているばかりでなく、場所打ちコンクリート杭に比べて杭径を細くでき、残土・産業廃棄物の発生量を大きく低減できることから近年では環境にも優しい工法として評価されている。土木分野においても2000年には(財)土木研究センターの技術審査証明を取得し、液状化や側方流動地盤に対する適用が期待されている。



Photo 1 NKTB-Pile

3.3 HYSC 杭(鋼管ソイルセメント杭)³⁾

橋梁をはじめとする土木構造物の基礎には打撃工法による鋼管杭が広く使用されてきた。打撃工法は打撃エネルギーと貫入量より支持力管理が可能であり施工上の人為差が少なく、また打撃工法によると杭1本当たりの支持力が大きく施工速度も早く経済性にも優れている。しかしながら騒音・振動の建設公害に対する規制から市街地での施工が難しい。このため都市域では打撃工法は使用されず、場所打ち杭工法・埋め込み杭工法が採用されている。この内、埋め込み杭工法による鋼管杭は杭体の耐力に見合う地盤支持力が期待できず不経済となっていた。この状況に対応して鋼管の耐力を有効に利用した低騒音・低振動施工の新たな工法としてHYSC杭を開発した。

HYSC杭は、Fig.2に示すように軟弱な中間地盤を現位置で円柱状に改良しソイルセメント柱とし、その中にスパイラル状のリブを設けた外面リブ付鋼管・内外面リブ付鋼管 (Photo 2) を建て込んで造るソイルセメント柱と鋼管の合成杭である。低騒音・低振動工法であるばかりでなく周辺地盤や先端地盤をゆるめることがなく、かつリブとソイルセメントの良好な付着性能によりソイルセメント柱径を有効径とした優れた支持力性能を期待できる。またその排土量は同等支持力を有する場所打ちコンクリート杭の1/6~1/8程度で環境問題対策にも有効な工法である。

HYSC杭工法は、(財)国土開発技術研究センターの技術審査証明を取得しており、2002年4月に改訂された道路橋示方書に鋼管ソイルセメント杭として新たに記述され、今後、橋梁基礎杭を中心に広く適用することが期待されている。

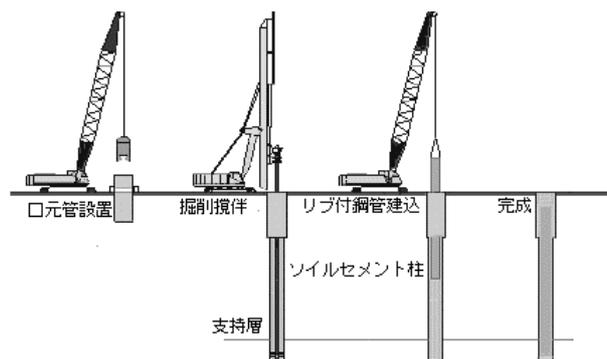


Fig.2 Construction method of HYSC-Pile



Photo 2 Steel pipe with ribs

3.4 NKK ネジール(ねじ継手式地すべり抑止鋼管杭)⁴⁾

我が国は、急峻な地形、複雑な地質および変化の激しい気候条件などの理由から地すべり災害が多い。地すべりは不安定になった土塊が滑動する現象であり、1997年度の地すべり防止区域における危険箇所は、全国で20883箇所にも達している。これらの地域では、地すべりの発生状況に応じ、経年的な観測のほか抑止工あるいは抑制工の対策が講じられ、その数は年間数千箇所にも及んでいる。

地すべり抑止鋼管杭は、すべり面下の不動土塊まで鋼管杭を挿入・固着するもので、地すべり力に対し直接的に抵抗する抑止工の代表的な工法である。近年、建設費の経済性を追求することから小口径で厚肉の鋼管杭が多く採用されるようになった。施工現場は、山間部で狭隘な環境のため、短い鋼管杭を現場溶接しながら用いられている。このため現場での接合作業に多大な時間を要することや、施工管理が難しい風雨時には施工できないなど、多くの問題が生じており、施工の合理化・省力化に配慮した接合技術の開発が強く望まれていた。

NKK ネジールは、Photo 3 に示すような鋼管本体にあらかじめ工場でねじ継手を溶接したものであり、施工状況を Photo 4 に示す。鋼管本体には設計上厚肉のものが要求され、鋼管径の小さいものではシームレス鋼管、鋼管径の大きいものでは、UOE 鋼管やベンディング鋼管が用いられている。ねじ継手には本体鋼管より強度の大きな高張力鋼材を用いテーパ状とすることにより、薄い板厚で杭本体より大きい耐力を有するよう設計されている。NKK ネジールは、無溶接継手を鋼管杭の分野に導入した画期的技術であり、施工省力化に大きく寄与するものとして高い評価を得ている。



Photo 3 Pile with a screw



Photo 4 Pile jointing

3.5 つばさ杭(先端翼付き回転貫入鋼管杭)

建築では一般に中低層建築物の基礎には中掘り工法による既製コンクリート杭、高層建築物では場所打ち鉄筋コンクリート杭が主に用いられてきた。しかしながら近年、市街地施工における振動・騒音問題に加えて建設残土処理などに代表される施工時の環境負荷軽減に対する社会的要求が高まっている。また、地下水汚染への配慮としてセメントミルクなどの使用を極力少なくしたいとのニーズもある。

これらの要求に対応して、鋼管の持つ大きなねじり剛性を利用して、地盤に無排土で回転貫入可能な杭工法つばさ杭を開発した⁵⁾。つばさ杭は、Fig.3 に示すように鋼管杭と、半円状の鋼製円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。杭先端部を完全閉塞状態にする翼の存在により、木ねじの要領で回転貫入が容易になるとともに大きな先端支持力が得られる。大きな先端支持力によるコスト低減と、無排土施工による環境対策が加わった理想的な基礎杭である。当社では、第1段階として、1999年2月、杭径 318.5 mm ~ 508mm (翼径は杭径の2倍)の範囲で、製品化し販売開始している。その後、第2段階として、つばさ杭のさらなる耐震性向上を課題とし、水平支持力を大幅に増大する拡頭タイプの開発に取り組んだ。この拡頭タイプは Fig.4 に示すように、従来のつばさ杭の杭頭部に拡大鋼管を使用し、一般部鋼管と円盤継手を介して接合するものである。形状・寸法については、施工試験、現場水平載荷試験および FEM 解析による応力解析などを行い、Table 1 の組み合わせを設定している。これらのつばさ杭の施工方法は Fig.5 に示すように三点支持式杭打ち機に取り付けた汎用の回転用モーターにより鋼管杭頭部より鋼管杭へ回転力を与え回転貫入させ支持層へ根入れするものである。施工状況を Photo 5 に示す。

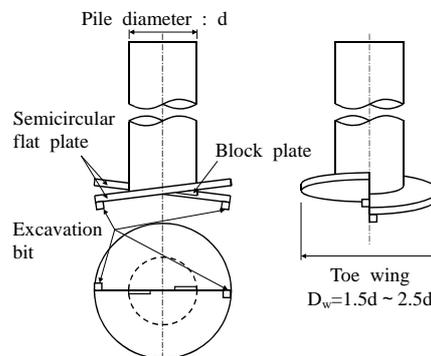


Fig.3 Composition of Tsubasa Pile

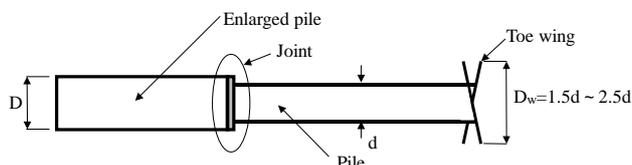


Fig.4 Tsubasa Pile (Enlarged-Pile top Type)

Table 1 Combination of pile and Enlarged-Pile top diameters

Pipe outer diameter (mm)	Enlarged-Pile top diameter (mm)					
	400, 406.4	450, 457.2	500, 508.0	600	700	800
318.5						
355.6						
400, 406.4						
450, 457.2						
500, 508.0						

Table 2 Relationship of pile and wing diameters

Pipe outer diameter (mm)	Ratio of the toe wing diameter	Toe wing	
		Diameter (mm)	Thickness (mm)
600	1.5 1.75 2.0	900 ~ 1500	20 ~ 35
700		1050 ~ 1400	20 ~ 45
800		1200 ~ 1600	20 ~ 50
900		1350 ~ 1800	20 ~ 55
1000		1500 ~ 2000	20 ~ 60
1100		1650 ~ 2200	20 ~ 65
1200		1800 ~ 2400	20 ~ 70

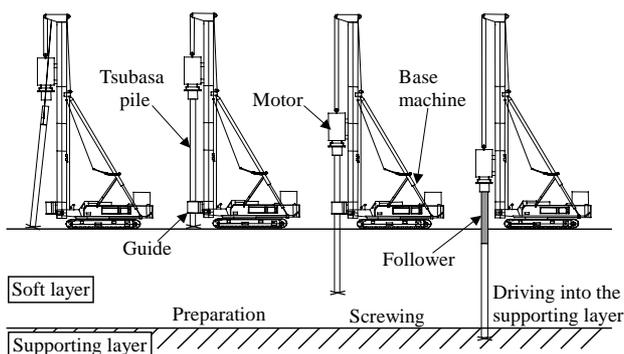


Fig.5 Construction method of Tsubasa Pile



Photo 5 Construction method

つばさ杭の技術評価に関しては、通常タイプ（杭径 318.5 mm ~ 508mm）は、1998 年 12 月、拡頭タイプについては、2000 年 5 月に建築センター評定を取得している。また、2001 年 5 月には、（財）土木研究センターの技術審査証明を取得し、土木・建築の構造物基礎に広く適用可能となっている。

現在、次の段階として高層建築物にも適用でき、場所打ち鉄筋コンクリート杭と同程度の価格競争力を持たせることを目標にして、つばさ杭の大径化（以下、大径つばさ杭と略記する）に注力している⁶⁾。

大径つばさ杭は、従来のつばさ杭と同様の形状をしているが、Table 2 に示すように、杭径が 600mm ~ 1200mm、翼径 / 杭径 = 1.5 ~ 2.0 であり、杭 1 本当当たりの極限鉛直支持力として 10000 ~ 40000kN レベルを期待する杭である。また、拡頭タイプについても、従来と同様に拡頭径 / 杭径 = 1.5 を目安にして、水平支持力の増強を図っている。

従来のつばさ杭とは異なり、地盤への貫入には大きなトルクを必要とするため、Fig.6 に示す全周回転機を用いた胴体回転方式で施工する。Photo 6 にその施工状況を示す。

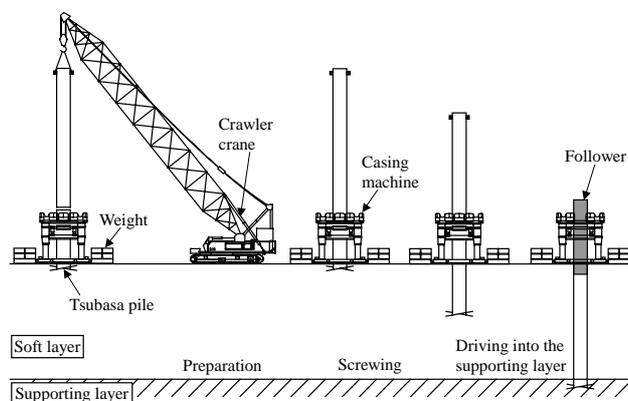


Fig.6 Construction method using casing machine



Photo 6 Construction method

Fig.7 は胴体回転方式の施工試験結果の一例を示している。試験杭は杭径 1200mm、翼径を 2400mm、翼傾斜角度を 14.4°、支持層への根入れ長を 1d として施工した。施工地盤は G.L. - 47 ~ 50m 付近に N 値 50 を超える中間砂層を有し、G.L. - 58.6m から支持砂層となっている。

施工においては、支持層の確認および確実な根入れを行うことが品質管理上極めて重要であり、回転貫入時には、式(1)に示すトルク T を 1 回転当たりの貫入量 S で除した硬さ指標 K (kN・m/cm)を用いて、その変化により支持層到達の判断指標としている。

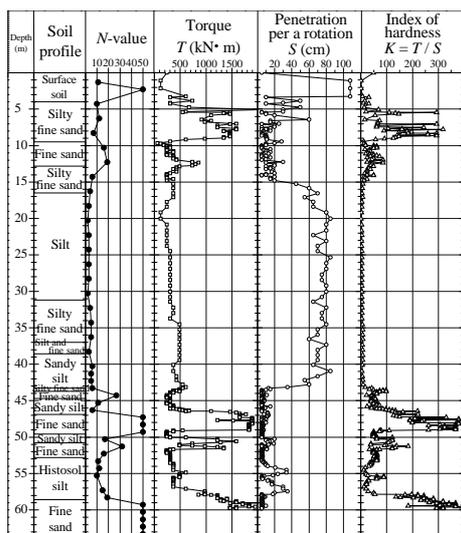


Fig.7 Result of construction (Case of d=1200mm)

$$K = T/S \quad \dots\dots(1)$$

施工試験の結果 Fig.7 に示すように支持層付近で硬さ指標 K が、N 値と対応して、明確な変化を示し、支持層へ確実に貫入していることが確認できている。

施工試験に引き続き、杭径 800mm, 1200mm の大径つばさ杭の実大載荷試験を実施した。深度方向 6 断面にひずみゲージを貼り付け、各層ごとの周面摩擦力と先端の支持力を計測した。載荷試験は、地盤工学会基準³⁾に準拠して実施した。Photo 7 に載荷試験状況を示す。800mm では最大杭頭荷重 21500kN, 1200mm では最大杭頭荷重 44100kN まで載荷した。これら載荷試験では、杭径が相違しても、翼面積および翼径で正規化した荷重～変位関係が一致し、先端支持力と先端翼閉塞面積は、ほぼ比例関係にあることを確認した。これら結果より、大径化に伴う先端支持力に関して、寸法効果の影響は少なく、従来のつばさ杭の支持力公式で評価が可能である結論を得た。

これら結果より、大径つばさ杭についても、拡張タイプを含めて 2002 年 6 月国土交通省の大臣認定を取得し、引き続き（財）土木研究センターの技術審査証明の取得を予定している。



Photo 7 Static load test (d=1200mm)

4. 建築建材製品開発への取り組み

鉄骨系建築物の構造要素として、鋼材には強度、靱性、溶接性などの諸性能が要求される。当社はこれまで、構造用材料の高強度化の流れに対応しつつ、大地震による被害の分析や実験・解析による検討を行い、経済性と性能の両立を図った鋼材を市場に提供してきた。また、建設業界においては、部材の合理化や施工の簡略化による建設コストの削減が大きな課題となっている。当社は、単なる鋼材供給にとどまらず、これらの課題を解決するための加工建材や、施工法を含めた工法の提案を行いユーザーに提供してきた。さらに、住宅建材分野においても、鋼材の特長を生かした研究開発を実施してきている。

ここでは、建築構造用鋼材、加工建材および工法、住宅建材について代表的な開発製品とその取り組みについて紹介する。

5. 建築構造用鋼材

5.1 SA440

建築構造用鋼材の近年の開発製品を Table 3 に示す。これらはいずれも塑性変形能力を重視する最新の耐震設計に対応させるため開発したものである。この塑性変形能力を強く意識させる先駆けとなった鋼材は、いわゆる低降伏比 60 キロ級鋼材である。建築構造用鋼材では、降伏点を材料強度に比べて 2 割程度低く抑えることにより、降伏後の塑性変形能力を確保しているが、従来の鋼材製造技術では高強度で、塑性変形能力の大きい低降伏比鋼は製造できず、建築ではほとんど使用されなかった。それに対し当社では、最先端の建築設計技術の分析と最新の製造技術をマッチさせ日本で初めて実用化に成功させたものである。

Table 3 Resent development of steel for building structure

鋼種	適用範囲
SN400, 490	厚板, 形鋼
STKN400, 490	円形鋼管
HIBUIL325, 355, 385	厚板
SA440, NKK-SA440-U	厚板
BCR295	ロール成形角形鋼管
BCP235, 325	プレス成形角形鋼管
NKBCP440	プレス成形角形鋼管
HIBUIL-H325, 355, 440	TMCP 極厚 H 形鋼
NK-LY100, 160, 225	構造用極軟鋼

この鋼材の初採用は Photo 8 に示す興和川崎東口ビルであり、適用に際して Photo 9 に示す実大規模の柱・梁骨組の実験により、地震時の安全性を実証した。その後、この厚板の 60 キロ級鋼 (590N/mm² 級鋼) は官・学・民共同の建設省総合開発プロジェクトのテーマとなり、業界共通

規格である SA440 として完成している。当社は低降伏比 60 キロ級鋼のパイオニアとして円形鋼管 (NT-SA440) , 極厚 H 形鋼 (HIBUIL-H440) , および冷間成形プレスコラム (NKBCP440) の大臣認定を業界に先駆けて次々と取得し、この分野での柱用鋼材のリーダーたる地位を確立している。



Photo 8 KOWA KAWASAKI BUILDING

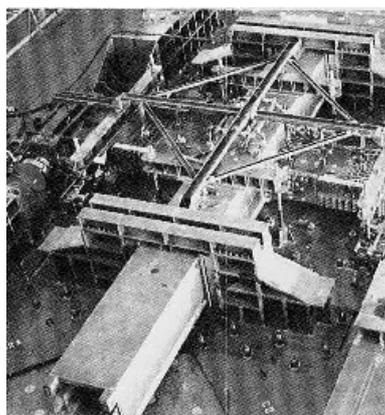


Photo 9 Large-scale beam-to-column test

5.2 HIBUIL385

HIBUIL385 は、2002 年 4 月に国土交通大臣の材料認定を取得した当社の最も新しい建築構造用鋼材である。

鉄骨造建築物の高層化やメガストラクチャーの採用による建築用鋼材の厚肉化に対応し、当社は鋼材の成分調整により炭素等量、溶接割れ感受性組成を低く抑え溶接性を向上するとともに、熱制御圧延法により板厚 40mm を超える範囲においても設計基準強度 (F 値) の低減が不要な鋼材を開発し、市場に提供してきた。Fig.8 に示すように、これまでに F 値レベルで 325N/mm²、355N/mm²、440N/mm² の 3 種類の鋼材を開発してきたが、355N/mm² 級鋼と 440N/mm² 級鋼間の強度および価格レベルの差が大きいのことを考慮して、この中間の強度を持つ 385N/mm² 級鋼を開発し、ユーザーの選択肢を広げたものである。

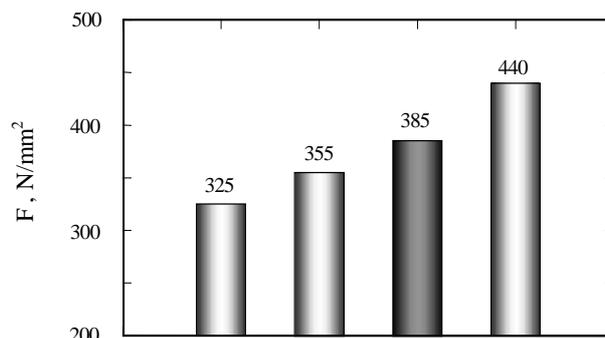


Fig.8 Comparison between HB385 and conventional steel

HIBUIL385 の品種および適用範囲を Table 4 に、機械的性質の規格を Table 5 に示す。また、HIBUIL385C OL では、板厚方向の特性として絞り値を平均 25%以上、最低 15%以上に規定している。また、HIBUIL385B OL、HIBUIL385C OL とともに、0 におけるシャルピー吸収エネルギーは 70J 以上を保証している。

Table 4 Plate thickness of HB385

Grade	Thickness
HIBUIL385B OL	19mm t 100mm
HIBUIL385C OL	

Table 5 Mechanical properties of HB385

Grade	YP/YS N/mm ²	TS N/mm ²	YR %
HIBUIL385B OL	385	550	80
HIBUIL385C OL	505	670	

本鋼材を建築構造用部材に適用した場合の構造性能を確認するため、(1) 溶接四面 BOX および溶接組み立て H 形断面の短柱圧縮実験、(2) T 形試験体による柱梁接合部の繰返し載荷実験、および(3) 溶接四面 BOX 柱の繰返し曲げ実験を実施した。本稿では、このうち溶接四面 BOX 柱の繰返し曲げ実験の概要を紹介する。

実験は Fig.9 に示すとおり、支点間距離 5m の中央に正負交番荷重を載荷した。試験体断面は - 500 × 19mm (幅厚比 26.3) であり、SAW 溶接 (溶接材料; KW55X, KB551) により組み立てた。また、加力部には板厚 32mm の内ダイアフラムを ESW 溶接により取り付け付けた。

試験体の寸法計測結果および材料試験結果から求めた試験体諸元を Table 6 に示す。載荷は試験体の全塑性モーメントに対応するスパン中央部のたわみ p を基準として、 $2p$ 、 $4p$ 、 $6p$ を正負 2 回ずつ繰返し、最終的に $10p$ までの変形を与えた。

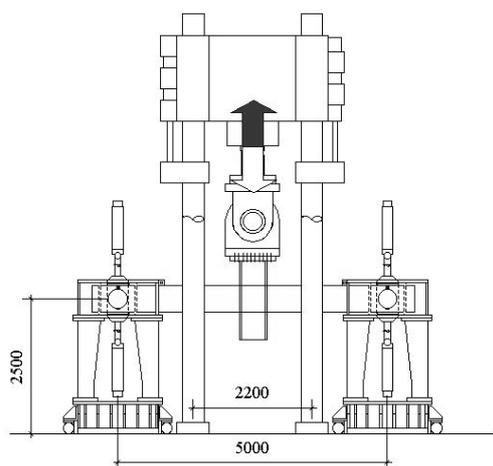


Fig.9 Test set-up of bending test

Table 6 Sectional properties of specimen

	Zy cm ³	Zp cm ³	y mm	p mm
- 501 × 19.9	5919	6913	15.4	18.0

試験体の曲げモーメント - 部材角関係を Fig.10 に、試験後の加力部周辺の状況を Photo 10 に示す。柱フランジの局部座屈は 6 p の載荷ループにおいて発生したが、その後の耐力低下は小さく、安定した履歴を示している。

本鋼材については、H 形鋼での材料認定も取得をしている。また、今後円形鋼管や冷間成形角形鋼管への適用も進め、建築用建材全体での品揃えを計画之中である。

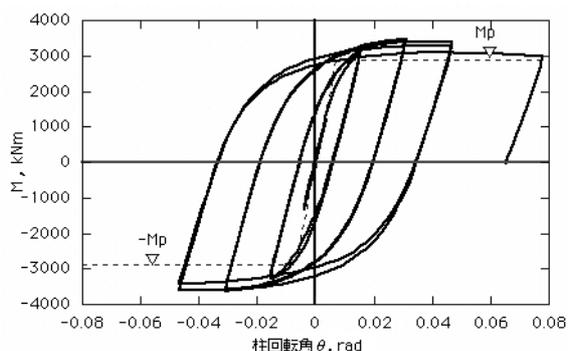


Fig.10 M - relationship



Photo 10 Specimen after loading

6. 加工建材および工法

6.1 NT コラム

NT コラム (Photo 11) は、円形鋼管に外リングダイアフラムを挿入し溶接して一体化させた柱通しタイプの仕口付円形鋼管柱である。当社は、梁の偏心や梁との接合部におけるリングの切断などの特殊なケースにも対応できる独自の設計式を構築し、柔軟な設計を可能とした。

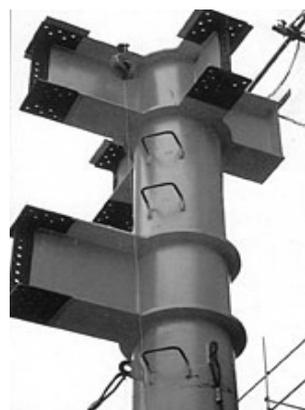


Photo 11 NT Column

6.2 制震ダンパー

近年高層建築物においては極低降伏点鋼を用いた制震ダンパーが採用される例が多いが、当社は独自の強度レベル (LY160) の鋼材とともに、Fig.11 に示す 3 タイプの履歴型制震ダンパーを開発し、デバイスとしても供給している。Photo 12 は、A タイプの適用例である。

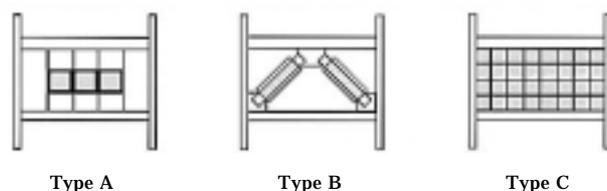


Fig.11 Hysteretic dampers



Photo 12 Hysteretic damper (Type A)

6.3 鋼・コンクリート合成構造

高軸力を負担する柱を中心に普及が進んでいる鋼管コンクリート柱についても、当社はその構造性能、耐火性能の研究とともに、コンクリートの調合を含めた打設技術の開発にも取り組み、鋼管内部のダイアフラム下部にも、隙間なくコンクリートを充填できる施工技術を確立し、Photo 13 に示す施工試験で確証している。



Photo 13 Construction test of CFT

場所打ち鋼管コンクリート杭の杭頭部に、上部構造の柱脚を直接埋め込んだ“いちいち工法”は、杭と柱の接合部の応力伝達機構が明解で、信頼性の高い柱 - 杭接合部を提供する。Photo 14 に柱と杭の接合部を示す。この工法では、杭頭直上の鉄骨柱に靱性に富んだ鉄骨基礎梁を接合することも容易であり、また、フーチングの省略と基礎梁断面の低減により、地盤掘削量も低減できる。当社は、柱 - 杭接合部の構造性能評価法を構築するとともに、上下部一体構造の設計法、柱と杭の施工法についても開発した。



Photo 14 Column-to-pile joint

6.4 耐震ジョイント

1995年の兵庫県南部地震では、鋼管柱の通しダイアフラムとH形鋼梁フランジの溶接接合部近傍において、脆性的な破断事例が多く報告された。これを契機として、鋼材の

材質や溶接施工条件に関する研究が進められるとともに、改正建築基準法においては、通しダイアフラムと梁フランジとの食い違いに関する規定が盛り込まれた。

耐震ジョイントは、通しダイアフラムの形状を工夫することにより、梁端での脆性的な破断を防止し、変形能力の向上を実現した工法であり、ボルト接合タイプと溶接接合タイプの2種類を開発している。

ボルト接合タイプは通しダイアフラムとブラケットのフランジ部を一体化し、高力ボルト摩擦接合により梁を接合するタイプである (Fig.12, Fig.13(a))。このタイプでは、ブラケット側の有効断面を確保するため、フランジ幅が拡大されている。このため、柱から最も遠いボルト位置から梁側に塑性化領域が形成されるので、H形梁部材本来の変形性能を発揮することが可能となる。

溶接接合タイプは、通しダイアフラムの梁接合位置に、入隅部がr加工された突出部を設け、梁フランジを現場溶接するタイプである (Fig.13(b))。このタイプでは、r部の形状効果により応力集中が緩和され、溶接部の破断防止に効果を発揮する。

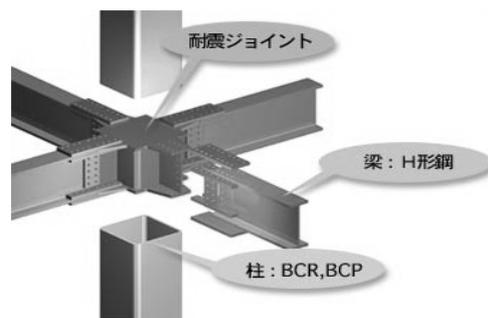


Fig.12 NKK-TAISHIN Joint

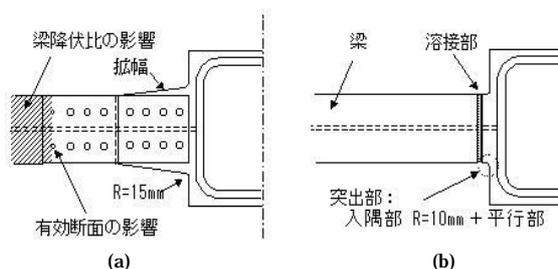


Fig.13 Detail of NK-TJ

本接合部の構造性能は、Fig.14 に示す T字型試験体の繰り返し載荷実験により確認した⁷⁾。ボルト接合タイプにおいては、ボルト孔欠損率や梁の降伏比が接合部の変形能力に大きな影響を及ぼすと考えられることから、これらをパラメータとした実験を実施した。また、溶接接合タイプでは、FEM 解析により応力集中の緩和に効果的な入隅部の曲率半径を設定し、実験においては梁幅をパラメータとした。

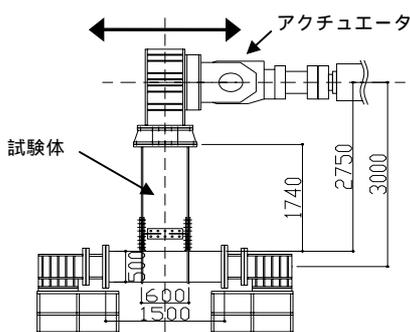


Fig.14 Test set-up

ここで、ボルト接合タイプの実験結果の一例を示す。試験体梁断面の諸元を Table 7 に示す。ここに、 Z_{pe} はボルト孔欠損を考慮した塑性断面係数である。ボルトはトルシアボルト (S10T, M24) を使用し、全強接合となる本数を配置した。梁の鋼材は 400N/mm^2 級、ダイアフラムは 490N/mm^2 級とし、板厚は同一とした。

Table 7 Mechanical and sectional properties of specimen

	y N/mm ²	u N/mm ²	Zp cm ³	Zpe cm ³
H - 600 × 200 × 9 × 22	270	429	3280	2619

柱フェイス部での曲げモーメント M と加力点位置での変位 ρ の関係を Fig.15 に示す。図の縦軸と横軸はそれぞれ、 M_p (柱フェイス部の全塑性曲げモーメント) および ρ_p (M_p に対応する加力点位置での弾性変形) で規準化している。10 ρ_p のサイクル 2 回の繰り返しまで安定した履歴を示した後、最終的には梁側の柱から最も遠い位置のボルト孔欠損部から破断して載荷を終了した。

溶接タイプも含め、いずれの試験体も、実用的なパラメータの範囲において、十分な変形能力を示し、本工法の有効性が確認された。

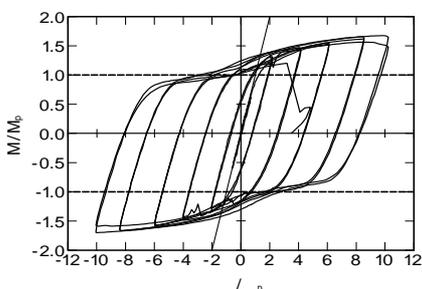


Fig.15 Normalized M - rho relationship

7. 住宅建材

当社は、鉄骨系住宅向けに溶融亜鉛めっき鋼板を使用した 2 つのシステム、スチールハウスと NKK フレームキットを開発している。

7.1 スチールハウス

スチールハウスは、板厚 1.0mm 前後の溶融亜鉛めっき鋼板を木造 2×4 工法のランバー材と同一の外寸に成形して、ドリリングタッピンねじで接合した枠組みに、構造用合板を取り付けたパネル方式の構造である。

我が国では、鉄鋼各社が中心となって設計・施工法の開発が進められてきたが、現在はその構造方法と設計法の共通項目が国土交通省告示第 1641 号として、一般に開示されている。

当社は現在、規格型の集合住宅をスチールハウスの大きな販路と位置付け、独自の断熱仕様や耐力壁の開発を実施している。Photo 15 は 2 階建て集合住宅システムの施工試験の外観である。



Photo 15 Construction test of 2-story steel house

7.2 NKK フレームキット

NKK フレームキットは、木造在来工法住宅の軸組部材 (柱、梁、筋かい) を溶融亜鉛めっき軽量鉄骨部材に置き換えた高耐久、高耐震性住宅用の構造建材である。

NKK フレームキットの骨組みを Photo 16 に示す。柱は 75mm 角、厚さ 3.2mm ~ 4.5mm の一般構造用角形鋼管、梁は BH-250 × 99 × 4.5 × 4.5 ~ BH-250 × 100 × 6 × 9 の溶接軽量 H 形鋼を使用し、3 階建てまで対応する。



Photo 16 Steel frame of NKK-Frame Kit

NKK フレームキットの耐震性は、M20 または M22 のターンバックルを使用したブレースパネルにより、確保される。このパネルは、同一幅の一般的な木造 2×4 パネルに比べて約 1.7 倍の耐力を有するため⁸⁾、耐力壁の配置数が少なく済み、より自由な平面計画が可能となる。

また、当社は専用の簡易構造計算プログラムにより、希望の間取りを入力するだけで、構造要素の配置を決定するシステムを確立しているため、鉄骨造の設計に不慣れな工務店でも、簡単に設計が可能である。詳細な構造計算は決定した間取りに基づき、当社が実施する。さらに、柱、梁などの部材をあらかじめ所定の長さに切断し、接合金物および施工マニュアルと合わせて供給するので、建設現場においてはこれらをボルト接合により組み立てるだけで、住宅の骨組みが完成させることが可能である。

一方、鉄骨系住宅においては、鉄骨部材が熱橋となり、結露や断熱性能の面が問題とされる場合があるが、これを解決するためには外断熱工法が有効な手段である。また、鉄骨系の骨組みに石膏ボードやサイディングを取り付けることは、木造系の工務店にとっては必ずしも容易なことではない。NKK フレームキット向けには、Photo 17 に示すように、断熱材を組み込んだ内外装下地システムを開発済みであり、断熱・結露上の課題を解決し、かつ内外装材の施工を容易にしている。



Photo 17 Insulation system of NKK-Frame Kit

8. おわりに

耐震性への要求、環境に配慮した資材・工法、建設現場での省力化、建設コストの更なる縮減要請など、さまざまな問題への対応を建材製品に求められている。建材製品の開発においては、これら時代・社会のニーズに耳を傾け、広い視野で市場を俯瞰し、ブレークスルーとなる新しい試みにチャレンジするとともに、戦略的に一步一步着実に進めることが重要である。数々の時代をリードする製品・工法を開発してきた歴史・技術をバックボーンとして、今後も他社に先駆けた開発を進め、社会の要請に応えていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 浜本ほか. “ネガティブ・フリクションを低減する新鋼管杭”. 建築技術. No.287, pp.121-137(1975).
- 2) 廣瀬ほか. “場所打ち鋼管コンクリート杭”. 日本鋼管技報. No.107, pp.46-54(1985).
- 3) 吉田ほか. “ソイルセメント合成鋼管杭”. NKK 技報. No.166, pp.27-32(1996).
- 4) 高野ほか. “ねじ継手式地すべり抑止鋼管杭「NKK ネジール」”. NKK 技報. No.151, pp.53-56(1995).
- 5) 岡本ほか. “先端翼付き回転貫入鋼管杭（つばさ杭）”. NKK 技報. No.169, pp.41-46(2000).
- 6) 林ほか. “「大径つばさ杭」”. NKK 技報. No.178, pp.37-42(2002).
- 7) 植木ほか. “柱梁接合ディテールの改善による変形能力の検証”. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002.
- 8) 伊藤ほか. “「NKK フレームキット」の構造性能”. NKK 技報. No.175, pp.21-25(2001).