

# 土木建材技術の変遷と展望 — 阪神・淡路大震災以降の耐震設計思想と 土木建材市場の変化に着眼した技術開発の推移 —

## Technological Transition and Survey of Civil Engineering Structural Steel Materials — Trends of Technological Developments after the Hanshin Great Earthquake and the Change of Civil Engineering Material Market Needs —

川 端 規 之<sup>\*(1)</sup>  
Noriyuki KAWABATA

### 抄 録

本報告では、土木建材技術開発の10年間の変遷と今後の展望をまとめた。過去10年間の土木建材技術の動向については、1995年の阪神・淡路大震災を契機とする耐震設計基準の改定に対応し、耐震強化を目的とした技術開発が発展され、2000年以降の動向としては、公共事業予算の縮減に寄与するコスト縮減技術開発が重点的に推進された。これらの耐震強化とコスト縮減に関する技術開発課題について概要をまとめた。

### Abstract

This paper summarizes the technological transition and survey of civil engineering structural steel materials. As for the last decade, the technological aspects of civil engineering material development can be divided into two parts. The damage by the Hanshin great earthquake to civil structures has changed the principal design codes for bridges and port structures and so on. According to the changes of design criteria the required performance of civil engineering materials changed a lot. Consequently, several earthquake-resistant construction methods are developed. During the latter half of this decades the Japanese government decided to reduce the public construction budget. To meet the cost saving construction demand, some new civil engineering structural materials are also developed to decrease the material costs.

### 1. はじめに

この約10年間の土木建材技術の変遷をまとめるにあたり、技術動向の起点として1995年の阪神・淡路大震災による耐震設計技術の変化を起点とすべきであろう。そして2000年以降については、行財政改革の一環としての公共工事コスト縮減対策に対応する技術開発を中心にまとめることが適当と思われる。

1995年の阪神・淡路大震災における土木構造物の被災により、種々の社会基盤構造物の耐震設計思想が大幅に変化した。それらは、“道路橋示方書”と“港湾の施設の技術上の技術”(以下、“港湾技術基準”という)及び“鉄道構造物等設計標準”等の改訂に反映され、その後の10年間に建設された土木構造物は以前のものに比べ、飛躍的に耐震性能が向上している。また、種々の構造設計基準が従来の許容応力度設計法から限界状態設計法や性能設計法に移行し、発注者、構造設計者、施工者及び材料供給者の建設事業への関わりも大

きく変化した。例えば、我々材料供給者は、許容応力度設計においては下限値としての降伏強度を保証すればよく、構造物の健全性や破壊確率を保証する必要はなかったが、限界状態設計法あるいは性能照査型設計法の導入により、終局強度や変形性能等の照査項目が追加され、従来以上に鋼材品質への要求性能が高度化した。

その結果、供給メーカーとしての品質責任範囲が増加した。即ち、従来の許容応力設計では、降伏強度を安全率で除して、想定地震力に対する安定性が確認されてきたが、性能照査型設計では降伏強度と伸び性能を用いて破壊安全率を評価しており、材料品質から構造物の破壊安全率を設定するという点でメーカーの責任範囲が明確化されたことになる。以下に、阪神・淡路大震災を契機とした設計体系の変化を総括し、耐震設計に対応した土木建材の技術開発と、その後の政府のコスト縮減要請に応じた種々の技術開発についてとりまとめておく。

<sup>\*(1)</sup> 建材事業部 部長  
東京都千代田区大手町2-6-3 〒100-8071 TEL:(03)3275-7741

## 2. 道路橋基礎構造物の耐震設計の変化と建材の技術開発

1995年の阪神・淡路大震災における橋梁構造物の破壊が橋梁技術者に与えた衝撃は図り知れず、中小規模地震を対象とする200ガルレベルの耐震設計では構造物の耐震安全性を確保するには不十分であったことが証明された。大規模な地震に対する構造物の2段階設計法は阪神・淡路大震災以前に建築構造物には適用されていたが、道路橋示方書の改定においても2段階設計法が導入されることとなった。同時に、設計照査法も許容応力度設計から限界状態設計法に基づく性能照査型の設計法に移行し、大幅な設計体系の改定がなされた。

道路橋示方書に基づいて設計される新日本製鐵の製品としては、橋梁用鋼材と下部工に使用される鋼管杭及び鋼管矢板が代表的なものである。ここでは、下部工を中心にその設計体系の改訂概要と関連する土木建材の技術開発について述べる。

1996年及び2002年の道路橋示方書の改訂における鋼管杭に関連する主な改訂は以下の各点であった。

- ① 大規模地震に対応する地震強度の設定(L2荷重として最大2000ガルを想定)
- ② 橋脚及び基礎への保有水平耐力設計法の導入(鋼管杭の許容塑性率4の設定)
- ③ 水平変位の制限の緩和(軟弱地盤について、従来の1%変位を3.5%に緩和)

詳細は割愛するが、これらの設計方針の変更により鋼材の持つ高い強度と変形性能が有効に設計に反映されることとなり、コンクリート系の杭に対する設計上の競争力が増加し、鋼管杭及び鋼管矢板の需要の拡大に繋がった。

同時に利用技術開発の観点でも、上記設計法の改訂に対応すべく材料と施工法の技術開発を進めてきた。鋼管杭に関しては、ガンテツパイル工法の開発とNSエコパイル工法の開発が代表的な例である。外面突起付き鋼管とソイルセメントを利用したガンテツパイル工法の開発には、震災以前から着手してきたが、震災を契機としてその支持力評価と水平抵抗挙動に関する研究を進め、載荷試験データに基づいて、ソイル径による鉛直ばね定数の設定や、水平抵抗設計を示方書に盛り込み、鋼管ソイルセメント杭の設計体系を構築できた(写真1)。

また、先端羽付き鋼管杭の回転圧入施工法によるNSエコパイル工法の開発には当初は建築基礎工法として着手し、種々の載荷試験を経て、鉄道橋基礎及び道路橋基礎に適用されている。回転杭については、道路橋示方書の補足的な基準となっている“杭基礎施工便覧”(2007年)に盛り込まれ、今後の道路橋分野での普及が期待される(写真2)。

鋼管矢板基礎については、大型橋梁基礎工法としてケーソン基礎と並んで国内での実績が増加している。震災における鋼管矢板基礎の損傷事例はなく、高い耐震性が証明された。鋼管矢板の保有水平耐力設計では、水平剛性を支配する継ぎ手強度の向上が重要な課題であり、継ぎ手の技術開発も進めてきた。近年の大型橋梁基礎の施工例として東京港臨海大橋がある。本件では継ぎ手強度の向上対策として採用されたP-P型継ぎ手鋼管として、縞鋼管を用いて継ぎ手のせん断強度を増加させている。写真3は東京港臨海大橋の施工状況である。また、2007年から施工される羽田空港再拡張工事では、埋



写真1 ガンテツパイル工法の施工  
Gantetsu Pile construction method



写真2 NSエコパイルの施工  
NS-Eco-Pile construction method



写真3 東京港臨海大橋における鋼管矢板の施工  
Pile driving on barge at the site of Tokyo Trans Bay Bridge

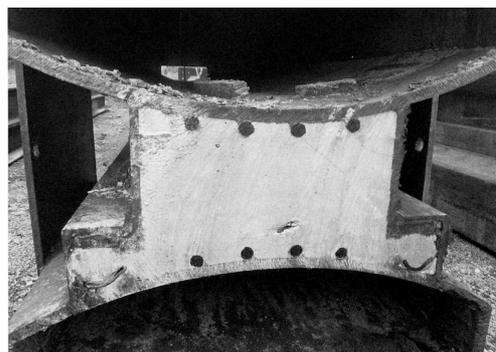


写真4 広幅高耐力継ぎ手  
High Capacity and Broad type steel sheet pipe pile junction

め立て部とジャケット部の接合部分に新日本製鐵が主体となって開発した広幅高耐力継ぎ手が採用されている。人工島の接合部には地震時に大きな水平土圧が作用し、鋼管矢板継ぎ手には大きなせん断力が発生する。これを支持するために、写真4のような継ぎ手構造の改良を行い、公的機関の承認を得て、羽田空港再拡張工事への適用が確定している。

### 3. 港湾構造物の耐震設計法の変化と建材の技術開発

港湾構造物としての土木建材製品としては、栈橋構造に使用される鋼管杭と、護岸構造の控え式鋼矢板が代表的な製品である。震災に遭遇した神戸港は比較的良好な地盤が多く、岸壁や外周護岸構造物はコンクリートケーソン構造の比率が高かったが、鋼管杭栈橋や矢板式護岸の被災事例もあった。もともと港湾構造物は道路橋に比べ耐震設計震度が低かったことに加え、埋め立て地盤の液状化という新たな現象も発生し、神戸港の被災は甚大なものとなった。この被災を踏まえ、港湾技術基準が1998年に改定されている。港湾技術基準における栈橋と矢板式係船岸の耐震設計改定のポイントは以下のような点であった。

- ① 活断層と港湾の地盤特性を考慮した設計地震動の設定
- ② 栈橋の固有周期を考慮した地震力の設定
- ③ 栈橋構造全体系での保有耐力設計法の導入
- ④ 鋼矢板の剛性を考慮した設計土圧の設定
- ⑤ 控え式護岸設計における非線形有効応力解析法による照査法の導入

港湾構造と橋梁構造の耐震設計における技術課題の相違として、次の2点が考えられる。第1は橋梁が常に新たな路線での橋梁建設を推進する事業であるのに対し、港湾構造は特定された港湾地域で建設と更新を繰り返しており、地域的な地震特性を十分に把握しながら耐震設計を実施できること。第2に日本の港湾の多くは埋め立て地域を沖合いに展開することで拡大しており、軟弱地盤を常に対象としていること。今回の港湾技術基準の改定においてこの2点の研究が進み、港湾構造物の耐震設計は世界最高水準に達している。写真5は港湾技術基準の改訂後に建設された耐震強化岸壁の代表といえる東京港の大井埠頭の耐震強化岸壁(斜杭式栈橋)である。その耐震設計では港湾技術基準の改訂に従って、地盤と栈橋構造の非線形動的解析が実施された。

### 4. 震災以後の国土交通省コスト縮減要請に対応する土木建材の技術開発

震災以後、財政改革法に基づく“公共工事コスト縮減対策に関する行動計画”が決定され、国土交通省から自治体及び関係団体に対し、公共事業コストの縮減要請が発せられた。公共事業予算の縮減に対し、事業推進規模を維持するためには、事業コストの縮減が不



写真5 大井埠頭耐震バースにおける斜杭の施工  
Pile driving by offshore pile driver at the site of Ooi container berth

可欠であった。民間各社に対してもコスト縮減に資する技術開発要請があり、種々の事業分野で技術開発が推進された。以下に新日本製鐵で実施してきた事業分野別の開発概要を記す。

#### 4.1 河川分野の土木建材技術開発

公共事業費に占める河川関連事業予算の比率は高く、水源の治水事業や堤防の耐震強化及び都市洪水対策等、多岐に亘る。鋼矢板は、河川改修事業における堤防根固め対策や、河川護岸及び堤防の耐震強化等の工事で使用されてきた。従来の400mm幅のU型鋼矢板は河川改修工事等の本体構造として施主の強い信頼を得ており、再使用を前提とする仮設部材と本設構造部材の双方に用いられてきた。本設構造に対しては、広幅化による鋼重縮減メリットが期待できることから、1996年に600mm幅の広幅鋼矢板を製品化した。さらなるコスト縮減と構造信頼性及び施工性向上を狙い900mm幅のハット形鋼矢板900の開発に着手し、2006年に製品化を完了している。ハット形鋼矢板900の開発では、鋼矢板の継ぎ手位置を中立軸から外縁に変更し、断面剛性に関する継ぎ手効率を向上している。本開発では、製造技術開発から施工技術開発までを短期間で完了させた。写真6はハット形鋼矢板900の施工写真である。

近年の都市部への人口集中により計画洪水量が増大し、都市河川の流下能力不足に対する洪水対策事業が増加している。河川断面の増深工事を対象として周辺敷地の制約から高い剛性を有する護岸構造で、狭隘地での施工性の高い鋼管の回転圧入工法によるジャイロプレス工法が開発された。また、河道拡幅の困難な河川に対しては洪水貯留のための地下河川施設が建設されている。都市洪水対策は河川事業として実施される場合と下水道事業として実施される場合がある。都市部の地下河川はシールド工法により施工される場合が多いが、洪水流入時に内圧が作用することとなり、従来のRCセグメントでは引張強度が不足することや止水性能を確保できない点もあり、合成セグメントが利用される場合が増加している。写真7は東京都の神田川調節池の施工写真である。NMセグメントの開発は1993年に完了しているが、神田川調節池で採用されたNMセグメントはコスト縮減の観点で継ぎ手板を簡素化している。

#### 4.2 都市道路分野での土木建材技術開発

道路分野の事業については、道路建設投資の効率化の観点から、



写真6 ハット形鋼矢板900の施工  
Hat type sheet pile driving



写真7 神田川地下調節池のNMセグメント  
NM segment at the site of the Kanda River underground reservoir



写真9 君津製鐵所における角太橋の施工  
Construction of Kakutabashi at Kimitsu Works



写真8 富ヶ谷出入口トンネルの鋼殻セグメント  
Large section steel segments at Tomigaya entrance tunnel of Tokyo Metropolitan Express Highway



写真10 複合ラーメンHBBの施工  
Construction of HBB with rigid beam ends

従来の国土幹線道路ネットワークの整備から大都市圏の交通ネットワークの効率化を目指した環状道路整備計画に投資が移行しつつある。首都圏では、圏央道、外郭環状道路、中央環状道路の所謂3環状道路の整備が進んでいる。また東海圏では、東海環状道路の整備が進んでいる。これらの事業に対応した土木建材の開発としては、都市内トンネルの分岐合流部への適用を狙った鋼殻セグメントと都市外郭部の半地下道路への適用を狙った鋼管矢板本体兼用壁工法がある。

分岐合流部向けの鋼殻セグメントの開発では、都市内シールド道路の複雑な施工ステップを考慮してセグメント発生応力を評価できるプログラムを開発し、首都高速の中央環状新宿線に適用している。写真8は新宿線の富ヶ谷出入口工事の施工例である。

また、都市周辺部の半地下道路向けの鋼材利用技術として、仮設兼用本体壁鋼管矢板工法の開発とソイルセメント鋼製連壁工法を開発を行った。鋼管矢板壁工法の開発では、鋼管と2次施工される現場打ちコンクリートの一体性を確保する目的で穴明き鋼板ジベルによる重ね壁構造を考案し、施工主との共同研究により設計施工マニュアルを日本鋼構造協会にて作成した。ソイルセメント鋼製連壁工法の開発では、国土開発技術研究センターにおいて設計施工マニュアルを作成している。

上記の2課題の他にソイルセメント鋼製連壁工法等、都市道路分野での土木建材商品の開発を進めており、今後の都市道路への展開により工法の拡大を期待している。

#### 4.3 橋梁分野での加工橋梁の開発

過去10年間の国内の橋梁建設事業は減少傾向にあるが、高度成長

期に建設された橋梁が50年近い供用年数を経過し、橋梁の老朽更新事業が今後は増加するものと考えられる。特に、中小橋梁については、老朽化や道路線形の変更要請等による橋梁の架け替えニーズが多い。このニーズに対応し、中小橋梁向けに角太橋(写真9)と複合ラーメンHBB(写真10)を開発した。

角太橋は、スパン15mクラスの小規模橋梁向けに、角形鋼管を併設し円形鋼管による横連結部材を現地で挿入し、横連結部をコンクリートで結合する新しい橋梁形式である。橋梁部材への角形鋼管の適用については、隅角部の冷間曲げ加工部の疲労特性や、横連結部材の荷重分散効果等を実験により確認し、実用化している。

また、複合ラーメンHBBは従来のHBBの施工スパンの限界であった25mを超える橋梁に対し、桁端部を剛結し、発生モーメントの低減によるロングスパン化を目指し開発したものである。桁端部の剛結方式について、種々の固定方法を検討した結果、孔開き鋼板ジベルによる固定が性能、コストの両面で優れていることを確認し、実用化している。また、耐候性鋼材と桁高1000mmの圧延H形鋼の使用により、今後実績が増加してくるものと期待している。

### 5. 土木建材技術開発の今後の動向

1995年の阪神・淡路大震災による種々の鋼構造物の破壊は、鋼構造に対する信頼性を揺るがせ、同時に土木鋼構造技術者の自信を喪失させる局面があった。しかし、その後の数多くの耐震技術の研究により、鋼構造に対する信頼と技術者の自信を回復することができた。そして21世紀を迎え、まさに本州四国連絡橋の最後のルートである尾道今治ルートの完成(1999年)を待つかのように、2000年に公共工事コスト縮減対策が打ち出され、公共事業規模の縮小とともに

に、改正独占禁止法の施行により入札競争が激化し、工事受注金額は減少の一途を辿る状況にある。加えて、鋼材供給については需給のギャップが拡大し、原燃料の高騰とともに、鋼材価格が上昇基調にある今日は、土木建材関係者は阪神・淡路大震災時に匹敵する困難な局面に立っている。

そもそも、土木構造物建設における材料の選択は建設地域の材料供給状況に応じて最小コスト材料を選択するという原則があり、橋梁や堤防及びダム の材料の世界各地での様々な選択は、土木技術の多様性と価格志向の厳しさの結果とも言える。現在の鋼材価格の高騰と工事価格の低下という相反問題をどのように解決するのかは、土木建材関係者の共通の課題であり、企業活動の有効性と社会活動の合理性を整合させつつ解決していくべき課題である。

このような状況下で、鉄鋼土木技術者の目指すべき市場と技術の

方向性については、第1に製造業の国際競争力向上に資する道路・港湾ネットワークの整備に市場を求め、そこにある都市土木技術における鋼材利用技術の開発を推進することにあると考える。第2には、大規模地震や地球温暖化から生じる洪水、高潮等に対応する安心、安全な国土形成に資する鋼材の有効活用技術の開発も重要である。第3に土木建材市場を地域成長する海外に求め、海外の建材市場ニーズに対応する建材商品の開発も重要な課題と考える。

建設市場に低コストでかつ信頼性の高い鋼材を供給するという命題は、土木建材技術者の永遠の課題である。時代の状況に応じて新たな技術課題を設定し解決していく時に、常に鉄の特性(強い、軽い、伸びる、早い)を活かすという原点を忘れることなく、スピーディーな技術開発を推進したい。