

# 住友重機械技報

第153号 橋梁・鋼構造物小特集 平成15年12月

巻頭言 橋梁・鋼構造物小特集号発刊にあたって

清家康彦

## 橋梁・鋼構造物小特集

論文・報告	鋼橋への新しいニーズに対する挑戦	1
	藤本朗, 武内隆文, 中村幸, 小西拓洋	
	PC床版の設計・施工技術	5
	穴戸康彦, 中村幸, 遠藤誠治, 吉田達矢, 篠原隆之	
	橋梁の合理化に向けた新しい耐風技術	9
	斉藤善昭, 武内隆文, 宮崎正男, 大東義志, 鹿島主央	
	次世代橋梁生産システム シンフォニー	13
	加藤智信, 下村真司, 和田正行, 近藤直意	
	橋梁架設・架替えのニーズ変化への対応	17
	岡田親治, 澤田陽介, 室塚直人	
	維持管理技術の高度化に向けた取組み	21
	荒居祐基, 小西拓洋, 佐々木靖彦, 有井一晃, 池田茂	
	短期間立体交差化工法 SMArt Crossing	25
	浅井一浩, 武内隆文, 藤本朗, 吉田達矢, 高野光史	
	港湾複合構造物への取組み	29
	江崎慶治, 荒居祐基, 浅井一浩, 前田滋, 河野信久	
	新型油圧式水門開閉装置	33
	岩長孝啓, 窪谷博道, 佐藤直哉	
	供用中検査用改良型AUTシステムの開発	37
	岡正明, 川島賢一	

## 論文・報告

住友マイクロオプティクス成形機 NANO-Press	41
	黒岩秀樹
薄肉容器の新成形法 Wedge Molding Process	45
	滝川直樹, 井辻孔康
スクリューアセンブリの樹脂替え技術	49
	佐藤雄司
300Wエキシマレーザの開発	53
	平田一弘, 河村譲一, 棧敷一明, 加藤宏之
RFデフレクタの開発	57
	宮崎洋文, 熊田幸生, 星加敬三

## 新製品紹介

水門扉開閉用減速機 SGDシリーズ	61
標準減速機 パラマックス 9000シリーズ(新サイズ追加)	62
自走式ロールクラッシャ SS100RG	63
荷役ファジィ制御の電磁比例弁搭載バッテリーフォークリフト	64

On Publishing Special Section of Bridges & Steel Structures

Yasuhiko SEIKE

## Special Section of Bridges & Steel Structures

---

T/PAPER	Challenge to New Needs for Steel Bridges	1
	Akira FUJIMOTO, Takafumi TAKEUCHI, Miyuki NAKAMURA, Takuyou KONISHI	
	Development of Prestressed Concrete Slab	5
	Yasuhiko SHISHIDO, Miyuki NAKAMURA, Seiji ENDOU, Tatsuya YOSHIDA, Takayuki SHINOHARA	
	New Wind Resistance Technology for Cost-effective Bridges	9
	Yoshiaki SAITO, Takafumi TAKEUCHI, Masao MIYAZAKI, Yoshiyuki DAITOU, Kazuteru KASHIMA	
	Bridge Production System of Next Generation SYMPHONY	13
	Tomonobu KATOU, Shinji SHIMOMURA, Masayuki WADA, Naoi KONDOU	
	Bridge Erection and Replacement Work Meeting Recent Needs	17
	Shinji OKADA, Yousuke SAWADA, Naohito MUROZUKA	
	Development of Bridge Maintenance Technologies	21
	Masaki ARAI, Takuyou KONISHI, Yasuhiko SASAKI, Kazuaki ARII, Shigeru IKEDA	
	Development of Short-term Overhead Crossing Construction Method Called " SMART Crossing "	25
	Kazuhiro ASAI, Takafumi TAKEUCHI, Akira FUJIMOTO, Tatsuya YOSHIDA, Kouji TAKANO	
	Development of Hybrid Structure in Port Facilities	29
	Keiji ESAKI, Masaki ARAI, Kazuhiro ASAI, Shigeru MAEDA, Nobuhisa KOUNO	
	New Water Gate Hoist Model Driven by Hydraulic Motors	33
	Takahiro IWANAGA, Hiromichi KUBONOYA, Naoya SATOU	
	Development of Modified AUT System for In-service Inspection	37
	Masaaki OKA, Kenichi KAWASHIMA	

## T/PAPER

---

Sumitomo Micro Optics Molding Machine NANO-Press	41
	Hideki KUROIWA
New Concept for Thin-wall Container Wedge Molding Process	45
	Naoki TAKIGAWA, Yoshiyasu ITSUJI
Technology of Resin Change in Screw Assembly	49
	Yuji SATOU
Development of 300 Watts Excimer Laser	53
	Kazuhiro HIRATA, Joichi KAWAMURA, Kazuaki SAJIKI, Hiroyuki KATO
Development of RF Deflector	57
	Hirofumi MIYAZAKI, Yukio KUMATA, Keizo HOSHIKA

## NEW PRODUCT

---

Water Gate Drive SGD Series	61
Standardized Gear Box PX9000 Series (New Size Add)	62
Roll Crusher SS100RG	63
Fuzzy-controlled Proportional Electro-hydraulic Valves Battery Forklift	64

橋梁・鋼構造物小特集号発刊にあたって

## これからの橋梁建設に求められるもの

専務執行役員

鉄構・機器事業本部長 清 家 康 彦



「橋梁・鋼構造物小特集号」の発刊にあたり、弊社の橋梁・鋼構造事業に対する平素のご支援とご協力で衷心より御礼と感謝を申し上げます。

公共事業を取り巻く環境は、財政的制約が強まる中で益々厳しさを増して来ております。我々橋梁建設事業を営む者にとっても、社会・産業インフラ整備に貢献する上で技術力を磨き、コスト構造改革に取り組み、より良い橋梁を適正コストで供給することが使命であります。特に、わが国の経済の活力や国際競争力を一段と高めるためには、21世紀型の交通体系、魅力ある都市再生などの社会資本整備に向けて、重点的かつ計画的なメリハリのある投資を行う必要があると言われています。

平成15年4月1日に施行された社会資本整備重点計画に基づき、10月10日には重点計画が閣議決定されました。政府は、平成15年度から5年間の道路整備事業の総額が38兆円を上回らない投資規模とする、ことを決めました。計画の骨子は「重点的、効果的かつ効率的な実施に向けた取り組み」として、成果主義に基づく道路行政マネジメントの導入、効率的に「つくる」、有効に「使う」、開かれた道路行政に向けて、道路関係4公団の改革、既存制度の見直し、から成っています。

財政的な制約を踏まえ、生活の質の充実を図りつつ、都市機能と社会の活力を高める施策が求められていると言えます。たとえば、大都市圏の環状道路の整備比率が示すごとく、パリやロンドンに比べ半分以下の水準にあり、新たな視点で都市機能の再生・強化を推進する必要があります。

また、地域の実情に応じた効率的な社会資本の整備と既存ストックの有効活用への貢献も重要課題です。いわゆるローカルルールを導入による、地域の特性を活かし、地域間のネットワークを構築する道路整備は、効率的な社会資本整備のひとつの事例です。さらに、交通渋滞を引き起こしているボトルネック踏切や交差

点の渋滞解消を目的とした立体交差化なども我々が技術力を高め、インフラ整備に貢献していかなければならない分野です。

既存ストックの活用においては、昭和30年代以降に建設された道路、橋梁の老朽化が集中的に進む中で、維持管理・保全に関わる投資の重要性が高まっています。この補強・補修事業は、技術的問題をはじめ、諸基準の整備、維持管理コストの低減等に、官・学・民の連携で強力に取り組むべき分野と考えます。

わが国の橋梁建設は、本四架橋の建設が完了した1990年代後半から減少傾向にあり、大きな転換点に差し掛かっております。橋梁建設業としての競争力の観点から、総合評価落札方式、入札時VE方式、設計・施工一括発注方式等への対応、また、創意工夫、施工の安全、工期短縮、維持管理等にも鋭意取り組んでまいります。これから必要とされる新しい橋梁建設のあり方を十分に認識し、微力ながら事業の発展に尽くしてまいりたいと存じます。

先の小特集号からすでに5年が経過し、鉄構・機器事業本部が取り組んできた課題も大きく変化してきています。従来からの耐震・耐風や疲労などの基盤技術に加え、検査・診断、維持補修に関する技術開発、立体交差化急速施工をはじめとした施工技術の提案が増加してきたことが特徴です。さらには、新しい形式の合理化・複合橋梁技術、プレストレストコンクリート床版に関する技術、ならびに鋼とコンクリートのハイブリッド構造技術においても前進があります。特に、維持管理に関する技術は益々重要性を増すものであり、点検・診断・保全に関するキー技術を保有する住重鐵構工事株式会社、住重試験検査株式会社とも協力し、取り組んでまいります。

本小特集号では、弊社の橋梁技術の全体像について紹介させていただきました。皆様方のお役に立てますれば望外の喜びでございます。今後ともご指導・ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

# 鋼橋への新しいニーズに対する挑戦

Challenge to New Needs for Steel Bridges

藤本 朗\* 武内 隆文\* 中村 幸\* 小西 拓洋\*

Akira FUJIMOTO

Takafumi TAKEUCHI

Miyuki NAKAMURA

Takuyou KONISHI



図1 波形鋼板を用いた複合橋  
Composite bridge using corrugated steel plate

社会情勢や経済環境の変化から、道路橋に対するニーズも変化してきた。新しいニーズとして、工費縮減を背景とした合理化・新形式橋梁および既存橋梁の有効活用を背景とした維持管理技術、都市再生を背景とした渋滞緩和橋梁、さらにこれらの基礎となる複合構造技術、耐疲労技術、および耐風・耐震技術が挙げられる。新しいニーズへの対応を図るために、道路構造令や道路橋示方書も改訂されるに至った。

本報では、これらの項目を中心に当社における取組みを紹介する。

Changes in our social situation and economic environment have created new needs or requirements for highway bridges. The new needs include : economical bridge designs to reduce construction cost, maintenance technologies to effectively utilize the existing infrastructures, and bridges for easing traffic congestion with the aim of redeveloping urban areas. To support the aforementioned needs, the development of new technologies is also required such as compound structure technology, fatigue-resistant technology, wind- and quake-resistant engineering. Road Structure Ordinance and Specifications for Highway Bridges have also been revised to meet the recent social needs. This report outlines our activities for these new tasks.

## 1 まえがき

高度経済成長期においてはその社会適用要請から高速道路や一般道路の計画・工事が行われ、それに伴い数多くの道路橋が建設された。この時代には、大型プロジェクトも計画され、本四架橋などに代表される長大橋の技術開発に多くの目が向けられ、世界一の支間長を誇る明石海峡大橋をはじめとする多くの長大橋が建設された。

いわゆるバブル経済崩壊後の現在においては、長期的には少子高齢化社会の到来やそれに伴う労働人口の減少、また日本の厳しい財政状態を反映し、公共投資、特に道路の建設に対してはその説明責任とともに工費の縮減が強く求められるようになってきた。これらを反映した施策として、VE方式、

総合評価方式、さらには設計施工一括発注方式など新しい発注方式が試行されている。また、効率的な道路の建設が求められ、道路構造令も高規格幹線道路などにおける1.5車線構造や乗用車専用道路を規定するなど大幅に改訂されるに至った。既存ストックの有効活用、環境への配慮に関連した技術がより一層重要視されるようになってきた。

以上の背景から、橋梁に対しても新たなニーズが生まれてきている。設計・施工の自由度を増し、新たな要求への対応を可能にするために、2002年度には道路橋示方書が性能規定化の技術基準をめざした改訂がなされた。これにより新技術の導入が容易になり、社会ニーズにこたえることが可能となった。新しい設計法が本格的に導入されるには性能保証をどのように確保するかといった大きな課題はあるものの、今



図2 福岡北九州高速道路公社501工区（開断面箱桁）  
Fukuoka Kitakyushu Urban Highway 501 work section

後はこれらの適用が広まってくると考えられる。新しい設計法の整理も含めて、新たなニーズを反映した新しい発想の構造や技術開発が従来以上に重要になると考えられる。

当社においても、新規必要技術に関する開発を積極的に進めており、本報では、鋼橋の新しいニーズに対する最近の取り組みを紹介したい。

## 2 合理化橋梁・新形式橋梁への取り組み

工費縮減のニーズから、より合理的な構造の橋梁が求められている。少数1桁橋や開断面箱桁橋は、従来の構造と比較すると大幅に部材数を減らした構造となっている。少数1桁橋はその施工実績も多くなり、60m以下の支間長の橋梁においては経済的に優位性のある標準的な桁構造となった。また、開断面箱桁橋は福岡北九州高速道路公社や日本道路公団などにおいて積極的に採用されてきたことから、施工実績も順次増えてきた。

これらの桁形式では、プレストレスト コンクリート床版（PC床版）や合成床版を用いることにより、床版支間を従来の3m程度から6m以上に広げ、かつ耐久性の向上を図っている。これらの床版は床版厚が厚く、高強度のコンクリートを用いることから、より高度なコンクリートの設計・施工技術が必要とされるようになってきた。PC床版に対する取り組みを、本報別稿『PC床版の設計・施工技術』（p.5～p.8）において説明する。合成床版は、型枠や床版施工用足場を省略することが可能で、現場作業の省力化と安全性の向上、現地工期の短縮を図ることができる。今後は、主構造の一層の合理化も併せ、さらに合理的な構造として採用例は増加するものと思われる。

合理的な構造として、鋼とコンクリートという異種の材料の長所を生かした複合構造がある。複合構造を活用した新形式の橋梁が開発され、実橋に多く適用されるようになってきた。波形鋼板ウェブPC橋は、PC箱桁のウェブを軽量の波形鋼板に置き換えることにより、PC橋の死荷重の軽減を図った複合構造である（図1）。本構造においては、鋼板ウェブ部の継手構造が技術的な課題の1つとなっている。継手形式として溶接構造を用いる場合には、溶接スカーラップ近傍の応



図3 有松高架橋（合理化鋼床版桁）  
Arimatsu Viaduct Bridge

力集中による疲労損傷が問題となる。当社では、載荷試験やFEM解析を実施し、継手部の応力評価方法や応力集中の少ない新たなスカーラップ形状を提案した。

連続ラーメン構造は耐震性に優れることに加え、支承が不要になることから維持管理の軽減も可能となる。近年、このような利点を生かした合理的な構造として、鋼桁と鉄筋コンクリート橋脚を剛結する複合ラーメン橋梁が注目され、採用も増加している。

従来より死荷重の軽減を目的として鋼床版が採用されてきたが、本構造においても大断面トラフリブを用いた合理化鋼床版が採用されるようになってきている。

当社において取り組んだ合理化橋梁・新形式橋梁の事例について、以下に紹介する。

### 2.1 福岡北九州高速道路公社501工区（開断面箱桁橋）

本橋は、福岡高速5号線の中の1工区を構成する全長270mの橋梁である（図2）。本橋では、上フランジ部材をI桁と同様な構成とし、床版と合成することにより開断面を形成する開断面箱桁橋を採用した。開断面箱桁橋は、架設時は上フランジがオープンでねじり剛性が小さく不安定な状態であるため、底鋼板パネルを搭載することにより擬似箱桁を形成して架設時の必要な剛性を確保することが可能な鋼・コンクリート合成床版を採用した。長支間対応床版との組み合わせにより、縦桁、ブラケット、および横桁などの部材を省略し、鋼重、部材数、および塗装面積の削減を図った。これらにより将来の維持管理に寄与することができる。

### 2.2 有松高架橋（合理化鋼床版橋）（図3）

本橋は第2東名高速道路上の橋梁で、橋長655mの6径間連続鋼床版箱桁橋である。本橋においては、縦リブを従来のU-Rib幅320mm t=6mmから剛性の高いU-Rib幅450mm t=9mmに変更し、断面を大きくすることで縦リブの本数を減らした合理化鋼床版構造を採用した。さらに、デッキプレートも従来のt=12mmから18mmへ増厚し、溶接歪みを抑えるとともに構造詳細の改善により疲労耐久性も向上させている。また、デッキの増厚および剛性の高い縦リブの使用に伴い、縦リブ支間を従来の約2mから4m以上に増大させ、横リブを省略化し、部材数の削減を図った。本橋では、国内で



図4 栄高架橋（複合ラーメン橋）  
Sakae Viaduct Bridge

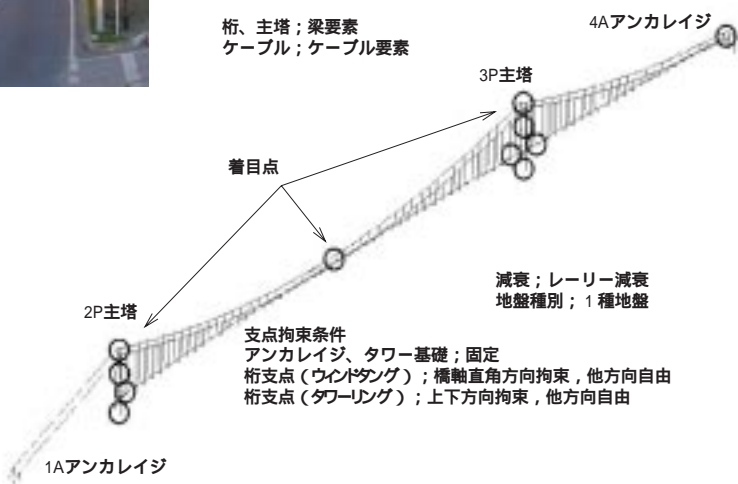


図5 耐震構造検討  
Study of aseismatic structure

も例の少ない長支間での多径間連続送出し工法（総重量12000t・総送出し延長724m）を採用することにより、架設期間を短縮することを可能とした。

2.3 栄高架橋（複合ラーメン橋）(図4)

本橋は、東京外環自動車道三郷JCT～三郷南IC間の連続高架橋区間を構成する上下部一体構造の複合ラーメン形式の鋼連続2主桁橋である。本橋では、鋼桁とRC橋脚の剛結に鉄筋定着方式の接合構造を採用している。本構造は、密閉構造とした鋼製横梁部にRC（鉄筋コンクリート）橋脚の主鉄筋を貫通させ、高流動コンクリートを充填して橋脚と横梁を一体化するもので、横梁に作用する断面力は鋼部材とコンクリートの支圧によって橋脚に伝達される。このため、高流動コンクリートの狭隘部への充填性や打設後に生じる残留気泡が接合部の性能に影響を及ぼす。本工事では、先に実施された施工実験を踏まえた構造詳細や打設方法を採用することにより、十分な品質確保を図っている。

鋼橋のコスト縮減を目指した合理化・新形式橋梁は、今後増加が予想されている。今後は、吊り橋や斜張橋などの型式も含んだより支間の長い橋梁に関しても合理的な構造を開発してゆくことが必要になると考えられる。実施工を通じた設計・施工技術の蓄積や得られた知見を生かし、さらなる合理化構造の提案につなげたいと考えている。

3 耐風・耐震技術への取組み

前節に述べた様な合理化・新形式構造の採用に伴い、これらに対する耐風安定性などの照査も新たに必要となってきた。橋梁に影響を及ぼす風特性は架設地点の地形に大きく影響されるため、さらに精度の高い耐風安定性を照査するため

には、周囲の地形を考慮した風洞実験が必要となる。これらの耐風技術に対する取組みを、本報別稿『橋梁の合理化に向けた新しい耐風技術』（p.9～p.12）において紹介する。

阪神淡路大震災（平成七年兵庫県南部地震）以降、橋梁の耐震性に関しては数多くの研究が行われ、その成果は実橋の施工や補強において活用されている。今後は、長大橋に対しても高精度の耐震性照査と耐震性能向上が要求される。長大橋は地震時の挙動が複雑であることから、動的応答解析による耐震性評価が必要である。特に、吊り橋は非常にたわみやすい構造物であるため、応答変位が耐震設計上の評価指標として重要となる。精度の高い耐震性照査には、材料非線形特性に加えて、幾何学的非線形性も考慮した吊り橋全体系地震応答解析を行うことが望ましいが、未だその事例は少なく、耐震性評価手法は今後さらなる開発が必要と考えられる。また吊り橋においては、従来から補剛桁の変位制限や吊り橋全体の振動特性の改善を目的としてステイクールを設置することが多いが、大地震時はスティが破断することが予測される。スティ損傷後の動的挙動の変化を把握し、必要な対策を講じることにより、吊り橋全体の耐震性能を向上することが可能となる。

以上のような観点から、当社では、橋長2500m級の長大吊り橋を対象とした動的応答解析を実施し、入力地震動や幾何学的非線形性が各種応答値に与える影響の検討、ステイクールの降伏を考慮した非線形解析による動的応答特性の検討および耐震性能の照査、上記検討を踏まえた合理的な耐震性向上対策の検討などをテーマとした解析的研究を実施している（図5）。



図6 金属溶射  
Metalikon

#### 4 補修・補強技術，耐久性向上への取組み

過去においては，鋼道路橋の設計において疲労現象は十分に考慮されておらず，供用期間が40年以上の鋼道路橋が増えた現在，特に通過交通量の多い都市内高速道路の橋脚や鋼床版その他の部位において疲労クラックの発生が報告されるようになってきた。既存ストックの有効活用，LCC（Life Cycle Cost）の面から，これらを適切に点検・調査し，必要な場合には補修・補強を施し，今後も活用し続けることは重要な課題である。点検・診断や補修・補強技術に対する取組みを，本報別稿『維持管理技術の高度化に向けた取組み』（p.21～p.24）において詳述する。

これらの背景を受け，2002年度版の道路橋示方書では新たに「耐久性の検討」の章が設けられ，疲労の影響を考慮することが明示されるようになった。耐疲労性のある材料や構造の開発がより重要になってきた。また，防錆・防食は疲労と並び，鋼橋の寿命を左右する課題である。道路橋示方書では塗装に加え，耐候性鋼材，亜鉛メッキ，および金属溶射の活用についても記述された。耐候性鋼材を使用した橋梁は，LCCの面からは最良の選択であるが，初期におけるさび汁の発生や飛来塩分などの厳しい環境下ではその性能が十分に発揮されないことに留意する必要がある。溶融亜鉛メッキは，メッキ施工時の残留応力の解放による変形や溶接割れ問題に配慮した構造詳細にする必要があり，メッキ設備の能力によりブロックサイズが制限されるなど，現状ではその施工例は限られている。最近では，防食機能の長寿命化が期待できる金属溶射工法が注目されており，施工実績も増加している。金属溶射工法は，燃焼または電気エネルギーを用いて溶射材料を加熱し，溶融またはそれに近い状態にした粒子を被溶射体の素材に吹き付けて，皮膜を形成する工法である。

当社においても，福北501工区で金属溶射工法を採用した。施工試験や実橋における施工の結果，狭隘部の細部構造の工夫や塗装仕様との併用，さらに素地調整および粗面処理の重要性を認識することができた。次世代の防錆・防食技術の一つとして，さらなるデータの蓄積を図りたいと考えている（図6）。

#### 5 架設技術への取組み

社会資本整備において，地方の高速道路の建設から都市部の交差点や踏切での交通渋滞解消など都市部の道路整備が目されてきている。これにともない鋼橋の架設においても，工事の渋滞緩和などのニーズがより強くなってきている。このような背景を受け，短期間で交差点を立体化し渋滞を緩和する工法が各社より提案されている。当社での取組みを，本報別稿『短期間立体交差化工法 SMArt Crossing』（p.25～p.28）において紹介する。

また，既設道路においては新たに道路を新設するのではなく，既設の下部工を利用した橋梁の架替えや拡幅をする事例が多くなってきた。特に架替え工事においては，工事による渋滞を極力少なくするために急速施工の要求が高い。当社の急速施工の事例を，本報別稿『橋梁架設・架替えのニーズ変化への対応』（p.17～p.20）において紹介する。

#### 6 むすび

社会環境・情勢の大きな変化から，鋼橋においてもコスト構造改革（縮減）を柱とした新しいニーズが生まれてきた。本報で紹介したように，これらのニーズに対応した合理化・新形式橋梁および補修・補強技術や架設技術など多くの新しい構造や技術が提案・施工され，今後とも開発が進められると考えられる。

当社でも合理化・新形式橋梁に対する開発に加え，今後は，急速施工立体交差化技術や小型道路対応橋梁など都市再生に向けた技術開発，さらに，これらを支える疲労や耐風・耐震技術などの要素技術への取組みを積極的に実施したいと考えている。

ニーズを的確に把握しきめ細かな対応するべく，当社では全社を挙げて6活動をはじめとした品質改善活動に取り組んでいる。これらの活動を推進するとともに，一層の技術開発を進めてゆきたい。

##### （参考文献）

- 日本道路協会. 道路構造令の解説と運用. Feb., 1983.
- 日本道路協会. 道路橋示方書・同解説. Apr., 2002.
- 江崎慶治, 小西拓洋, 坂井逸朗, 武内隆文. 波形鋼板ウェブ橋継手部X型スカラップ部の疲労強度. 第56回年次学術講演会, Oct., 2001.
- 永元直樹, 坂井逸朗, 春日昭夫, 小西拓洋, 高木康宏. 波形鋼板ウェブ橋の横方向疲労特性に関する実験的研究. プレストレスコンクリート技術協会, 第11回シンポジウム論文集, Nov., 2001.
- 雀津祐, 大塚久哲, 山平喜一郎. 支間14000m級吊橋の地震応答特性に関する研究. 土木学会第58回年次学術講演会概要集, Sep., 2003.

# PC床版の設計・施工技術

Development of Prestressed Concrete Slab

宍戸 康彦\*

Yasuhiko SHISHIDO

中村 幸\*

Miyuki NAKAMURA

遠藤 誠治\*

Seiji ENDOU

吉田 達矢\*

Tatsuya YOSHIDA

篠原 隆之\*

Takayuki SHINOHARA



図1 PC床版  
Prestressed concrete slab

当社では、現在主流となりつつあるプレストレストコンクリート床版（PC床版）の施工に当たり、床版ひびわれ防止や施工合理化のため、膨張コンクリート、逐次ジャッキアップダウン工法、および移動型枠を用いた床版施工などの新材料・新工法の採用に努めてきた。本報では、PC床版に関する設計・施工の技術的要点とともに、当社のPC床版への取組みについて報告する。

Prestressed concrete slab has become the primary application for bridge construction. Our company has striven to develop and apply new materials and construction technologies for prestressed concrete slab in order to reduce the construction period and to prevent crack formation. The technologies applied to our projects are the use of expansive concrete, the prestressing by sequential jack-up and jack-down, and the slab casting with the use of traveling forms. This report presents the technical features in our designs and construction methods of prestressed concrete slab for bridges.

## 1 まえがき

近年、公共事業費縮減といった社会的背景や建設業界の労働者不足および熟練労働者不足の状況の中で、コストダウンを目的とした橋梁構造の合理化は、橋梁業界をあげて取り組んでいる重要課題である。鋼道路橋においては、図1に示すような高耐久性を備えたプレストレストコンクリート床版（PC床版）を用いて床版支間を広げ、主構造部材の合理化を図った少数主桁橋梁の採用が広がっている。本報では、現在主流となっているPC床版の設計・施工に関する技術的な要点とともに、当社のPC床版への技術的取組みについて報告する。

## 2 PC床版の現状と課題

### 2.1 プレキャストPC床版と場所打ちPC床版の比較

PC床版は製作方法の違いにより、プレキャストPC床版と場所打ちPC床版に大別される。プレキャストPC床版は設備

の整った工場で製造するので、品質が高く、均一性に優れた製品が得られ、大量生産が可能であるため全体工程の短縮が図れるというメリットを有する。しかし曲線桁や幅員変化への対応が難しく、輸送上の制約を受けることがデメリットとなっている。一方、場所打ちPC床版は移動型枠や固定型枠を用いて現地で床版コンクリートを打設する方法である。移動型枠工法は主桁に移動式の型枠設備を設置し、床版をブロック単位でサイクル施工する工法であり、工程の短縮や省力化を図ることができる。本工法は、平面線形が単純で、施工延長が比較的長い（180m以上）場合にはその効果を発揮するが、施工範囲の短い工事では不経済であり、繰返し利用や設備の低価格化が課題となっている。固定型枠工法は、複雑な平面線形、主桁間隔の変化、および短い施工延長など移動型枠工法の採用が困難または不経済である場合に適用されている。型枠構造は従来の鉄筋コンクリート床版（RC床版）と同様であるが、床版支間が長いために支保工設備が大掛かりとなり、組立て・解体に日数がかかる。



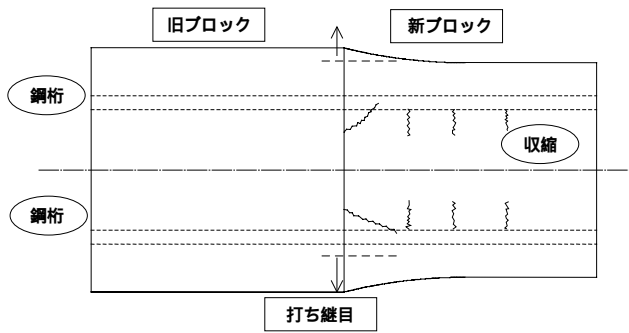


図2 ひび割れ概念図  
Concept of cracks

2.2 連続合成桁への対応

わが国では、1970年代より鋼橋で最も一般的に用いられてきたRC床版の損傷事例が多発し、RC床版の耐久性が疑問視されるようになった。これに伴い、連続合成桁橋の採用が見合われるようになり、連続非合成桁橋が主流をなすようになった。1990年代に入ると、RC床版の損傷メカニズムおよび原因が明らかになると同時に、LCC (Life Cycle Cost) の概念が導入され、RC床版よりも耐久性を有するPC床版が登場してきた。その後、スラブアンカを用いた連続非合成桁は、実際には連続合成桁に近い挙動を示すことが明らかとなり、さらに公共事業におけるコスト縮減の要求が極めて強くなったことから、再び連続合成桁が脚光を浴びてきた。しかし連続合成桁は、中間支点部の負曲げモーメントで床版コンクリートに発生する橋軸方向引張応力が最も懸念され、道路橋示方書では、この引張応力に対して、プレストレスする設計方法とプレストレスを行わずひび割れを許す設計方法が示されている。現状では、床版の耐久性を確保するという観点で、床版に付加的な圧縮応力を導入する例が多く、その場合床版内部へ配置したPC鋼材の緊張のほか、中間支点のジャッキアップダウンによるプレストレス導入を実施する方法が採用されている。ただし、プレストレスの導入は、設計および施工が煩雑となる点や導入した圧縮力の経年変化による減少が課題となっている。

2.3 床版コンクリートの初期ひび割れ

PC床版の採用増加に伴い、材齢初期の床版コンクリートのひび割れ防止対策が重要であることが認識されるようになった(図2)。当社においても社団法人日本橋梁建設協会の各種検討業務に参画し、同種のひび割れ発生事例の調査、原因究明、および防止対策の検討などの活動を行ってきた。検討の結果、初期ひび割れの発生原因は、水和熱で上昇したコンクリート温度が低下する際の収縮を、鋼桁および既設床版が拘束することで発生する新設床版コンクリートの温度応力の影響が主要因であることが判明した。

従来、温度応力とはダムなどの部材寸法の大きいマッシュンな構造物特有の問題と考えられてきたが、鋼道路橋の少数主桁化で床版厚が厚くなり、かつセメント量が多くなること、早強セメントコンクリートの採用から、温度応力の影響を無視できなくなっている。実工事では、床版内部の温度上昇・降下による応力性状を事前に把握するために、断熱温度上昇特性および熱伝達率などの諸条件を設定した温度応力解析(図3)を行っている。その結果から、床版に発生する引張

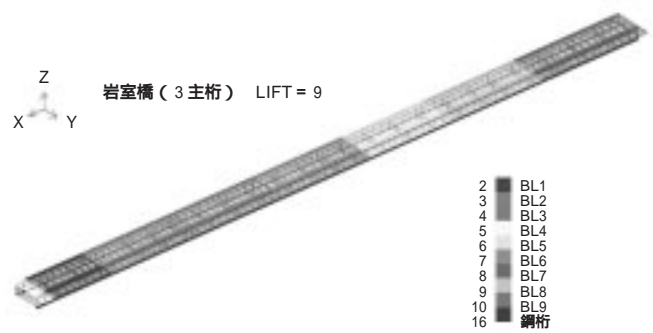


図3 温度応力解析モデル図  
FEM analysis model of thermal stress

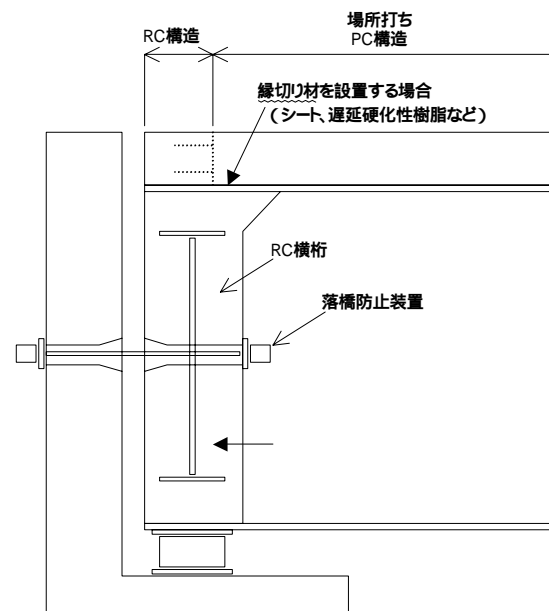


図4 端支点上横桁の巻立てコンクリート  
End cross beam addition to concrete

応力を極力抑える床版打設順序の検討や、許容引張応力を超える箇所には用心鉄筋による補強を行って有害なひび割れ発生防止に努めている。

2.4 桁端部構造

鋼桁の桁端部には、活荷重によって発生する伸縮装置の衝撃音の緩和や、桁端部の防錆といった目的で、端支点上横桁をコンクリートで巻立てる構造が採用されることが多い。この構造は、落橋防止構造からの地震時水平反力の支持や桁端部における床版の支持にも寄与している。

通常巻立てコンクリートは、施工性の観点から端横桁上のPC床版打設より先行して施工することが多く、巻立てコンクリート上のPC床版にプレストレス導入が困難となる。加えて、巻立てコンクリートとの材齢差によるPC床版の乾燥収縮の拘束、伸縮装置によるPC床版の弾性変形および乾燥収縮の阻害が原因で、端部床版にひび割れが発生する可能性がある。

現状では、端部床版と巻立てコンクリートの間にシートや遅延硬化性樹脂などの縁切り材を使用し、PCケーブル緊張時のコンクリート弾性変形を逃がす施策や桁端部の張出し床版にブラケットを設置し、端部床版をRC構造で設計する方法が提案されている(図4)。

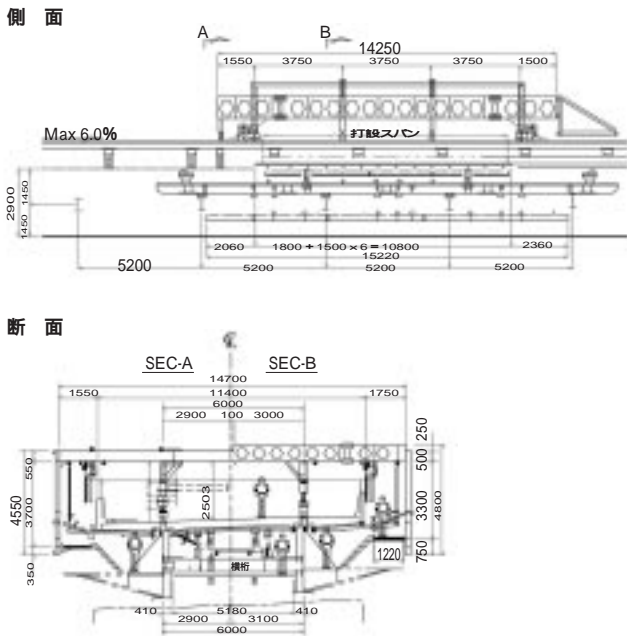


図5 移動型枠寸法  
Dimensions of movable forming equipment

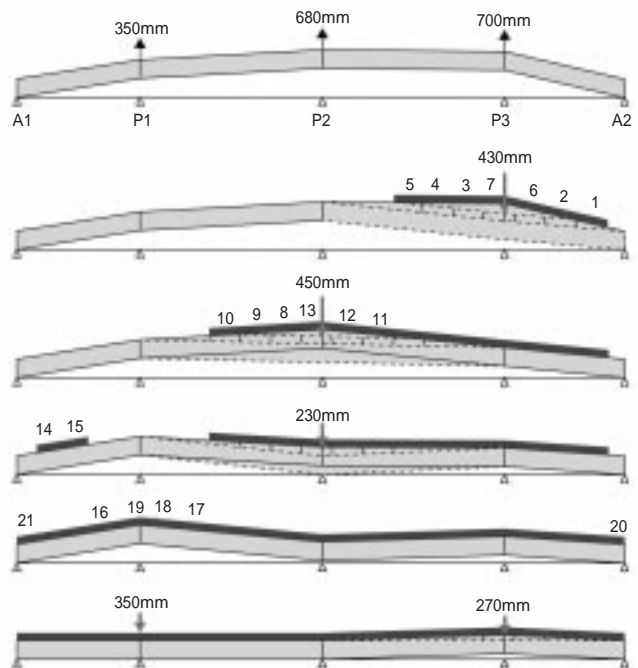


図7 5段階ジャッキダウンによるプレストレス導入  
Prestressing by 5 step-jack-down

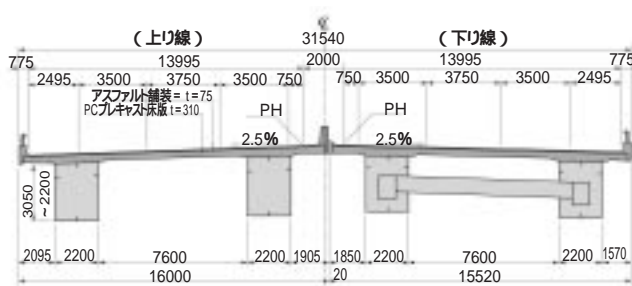


図6 上郷高架橋断面  
Kamigo Viaduct Bridge section configuration

げモーメントによる引張力が発生する。この引張応力軽減方策として、プレキャストPC床版内部の橋軸方向にPC鋼材を配置し、鋼桁と剛結する前にPC鋼材を緊張することで床版への付加的な圧縮力導入を行った。

瀬馬淵高架橋は、完成時死荷重状態の床版応力を圧縮状態にする目的で、床版にジャッキアップダウンによる橋軸方向のプレストレス導入を行った。桁長が長いと事前検討では、一括ジャッキダウンによるプレストレスの導入には、P2中間支点で2mを超えるジャッキダウンが必要となった。そこで、床版施工進捗に合わせて5ステップに分けたジャッキダウンを行うことで、ジャッキダウン量を700mmに抑え、床版打設作業とジャッキダウン作業の安全性を確保した(図7)。

岩室橋は、PC床版を用いた4径間連続合成鋼桁橋である。Bランプ(2本主桁)、上り線(3本主桁)、および下り線(4本主桁)の3橋から構成されている。いずれも床版は、固定型枠による場所打ちにて施工した。本橋の床版コンクリートは、早強セメントコンクリート( $\sigma_{ck} = 36\text{N/mm}^2$ )とし、収縮補償型膨張材を $30\text{kg/m}^3$ を添加したものを使用した。

本橋では、中間支点部の負曲げによる床版引張応力を軽減するために、床版施工進捗に合わせた逐次ジャッキアップダウン工法(図8)を採用し、橋軸方向にプレストレスを導入した。ジャッキダウン量は、最大110mmに抑え床版打設作業とジャッキダウンの安全性を確保した。さらに、そのプレストレス導入効果を把握するために、ひずみゲージを用いて実橋計測を行った。その結果、導入された床版応力度は $\sigma_{ck} = 4.9\text{N/mm}^2$ となり、骨組み解析結果の $\sigma_c = 4.8\text{N/mm}^2$ とほぼ同様の値が得られたことから、橋軸方向へのプレストレス導入効果の妥当性を確認することができた(図9)。

### 3.3 温度応力解析への取り組み

岩室橋では、水和熱および膨張材の影響により床版に発生する応力を、三次元FEMモデルを用いた温度応力解析によ

## 3 当社における技術的な取り組み

### 3.1 移動型枠の開発

瀬馬淵高架橋は、当社にとって城の谷橋および橋高架橋に続いて3橋目に施工したPC床版を有する連続合成鋼桁橋である。本橋のPC床版は、当社で開発した移動型枠によって場所打ち施工を行った。

移動型枠装置は、自重の軽量化、装置の使用性、およびコンクリート打設・PCケーブル緊張などの施工性に配慮し開発を行った。移動型枠装置の性能を以下に示すとともに、構造概要図を図5に示す。

形式 ハンガタイプ  
(内型枠はそり式とし横げたで支持)

床版幅 11.5m以下(本橋11.1m)

主桁間隔 6.0m前後

打設長さ 11.0m以下(本体最大10.3m)

### 3.2 橋軸方向へのプレストレス導入

上郷高架橋は鋼7径間連続鋼桁(上下線)と鋼8径間連続箱桁(上下線)からなる橋梁で、床版はプレキャストPC床版( $\sigma_{ck} = 50\text{N/mm}^2$ )を採用した(図6)。本橋の箱桁は、連続合成桁として設計しており、中間支点部の床版には負曲

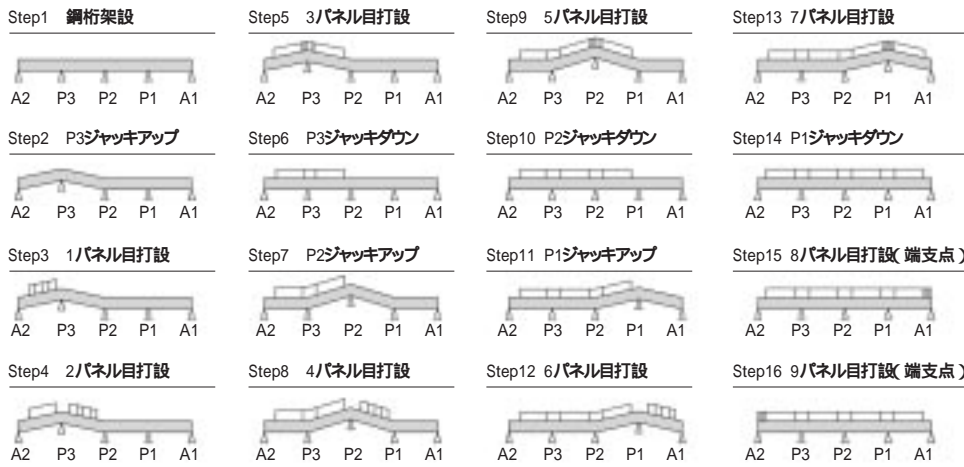


図8 逐次ジャッキダウン工法  
Jack-up-down construction method

り算出した。その結果、床版コンクリート応力度が許容値（一般部で $2.1\text{N/mm}^2$ ）を超える箇所が生じたため、コンクリートに生じる引張力を鉄筋で負担（鉄筋設計応力度 $120\text{N/mm}^2$ ）できるように、橋軸方向鉄筋を主桁上でD22の3段配置とした。新設ブロックの打ち継ぎ目近傍の橋軸直角方向鉄筋は、先の温度応力解析の結果から、2.5mの範囲でD13からD19へとサイズのランクアップを行った。

### 3.4 桁端部床版の施工方法の検討

池山高架橋は、PC床版を有する5径間連続非合成鈹桁橋である。本橋の伸縮装置近傍の後打ち部床版コンクリートは、既設床版・伸縮装置・端横桁巻立てコンクリートに拘束された条件にあり、水和熱による温度応力、乾燥収縮、およびプレストレスなどの外力を受けることで床版に引張応力が生じ、有害なひび割れが発生することが懸念された。

そこで床版端部については、PCケーブル緊張時のコンクリートの弾性変形を逃し、かつ乾燥収縮やクリープの影響によるひび割れを防ぐため、床版と端横桁巻立てコンクリートの間に縁切り材を設置した。さらに、伸縮装置による拘束の影響を考慮した応力性状を把握するため、床版端部をモデル化したFEM解析を実施し、補強検討を行った。その結果、端部床版に発生する $1.3\text{N/mm}^2$ 程度の引張応力度に対して鉄筋で負担できるように設計し、橋軸および橋軸直角方向の鉄筋D19を125ピッチで2段配置とした。施工は、後打ち部床版コンクリートと端横桁巻立てコンクリートとの材齢差が少なくなるようコンクリート打設を行った。これらの妥当性は、打設中の床版コンクリートのひずみ計測により確認した。

## 4 むすび

本報では、高耐久性化によるLCCの削減に向けて採用が拡大しているPC床版への当社の技術的取組みについて詳述した。

自重の軽量化およびコンクリート打設・PCケーブル緊張などの施工性に対処した移動型枠装置を開発した。

連続合成桁の中間支点上負曲げ対応は、プレキャスト床版では橋軸方向に設置したPCケーブルの緊張で、場所打ちPC床版では支点上のジャッキアップダウンによる橋軸方向のプレストレス導入を実施し、負曲げによる

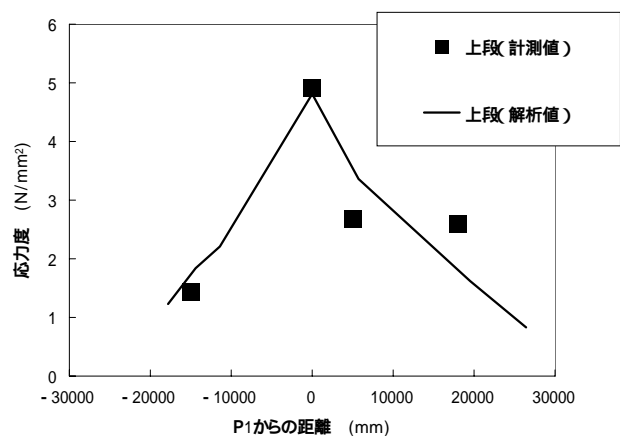


図9 ジャッキダウンによる計測値 - 解析値の比  
Comparison graph of experiment and analysis by jack-down

引張応力を軽減した。

材齢初期の床版コンクリートひび割れ対策として、温度応力解析を実施し、用心鉄筋を適切に配置することによりひび割れの発生を防止した。

桁端部の床版コンクリートひび割れ対策として、床版と端横桁巻立てコンクリートの間に縁切り材を設置して、コンクリートの弾性変形を逃す構造を採用した。さらに、応力解析および打設中のひずみ計測を実施し、設計・施工の妥当性を確認した。

最後に、これらの床版設計・施工に際しての指導と、本稿の作成に当たっての資料提供を頂いた日本道路公団に感謝の意を表す。

### (参考文献)

大山理, 蛭名貴之, 穴戸康彦, 嶋田昇一. 連続合成鈹橋およびずれ止め構造の現状と課題. 第三回道路橋床版シンポジウム, Jun., 2003.  
坂井田実, 加藤繁治, 堀重雄, 遠藤誠治. 瀬瀬洲高架橋の設計・施工. 住友重機械技報, vol.47, no.141, p.39~42, Dec., 1999.  
穴戸康彦, 都竹一幸, 山口高広, 中村幸, 遠藤誠治. 鋼3主鈹桁橋における場所打ちPC床版の計測(第二名神高速道路 岩室橋) 第58回土木学会年次講演会概要集, Sep., 2003.

# 橋梁の合理化に向けた新しい耐風技術

New Wind Resistance Technology for Cost-effective Bridges

斉藤 善昭\*  
Yoshiaki SAITO

武内 隆文\*  
Takafumi TAKEUCHI

宮崎 正男\*  
Masao MIYAZAKI

大東 義志\*  
Yoshiyuki DAITOU

鹿島 主央\*  
Kazuteru KASHIMA



二次元風洞試験  
Wind tunnel test

近年の橋梁建設は、長大橋から中小橋梁へと移行してきた。今後、経済性を考慮した合理化技術を適用する橋梁が主流となるであろう。ここでは、新たな合理化端2主桁斜張橋の開発と吊り形式橋梁四車線箱桁断面の新しい桁耐風対策の開発について報告する。研究成果を、以下に示す。

端2主桁断面について振動メカニズムを踏まえた耐風安定化策が見出された。

4車線箱桁では、遮風スクリーンを設置して使用性を向上させ、耐風部材の組み合わせによって耐風安定化断面を開発した。

中央開口部の形状変更による制振効果が確認できた。新タイプの耐風対策として開発を進める予定である。

Since the completion of the national project to build long-span bridges between Honshu and Shikoku, the construction of medium-scale bridges has become dominant. The medium-scale bridges that require cost-effective technologies will become the main stream of bridge construction. The current design study on wind resistance has also been handling medium-scale bridges. This paper reports the development of cost-effective two edge girders for a cable-stayed bridge, and of the wind resistance design for the four-lane box girder of a suspension bridge.

1) The aerodynamic characteristics of a two-edge girder were examined using a wind tunnel, and the relation between flutter onset velocities and the girder designs was identified. From the analysis, a basic design consideration was proposed for wind resistance.

2) The effects of grating, windshield screen and other accessories to divert airflow were examined for a four-lane box girder. The optimum design for wind resistance has been derived for a combination of airflow control accessories.

3) The shape effect of central opening was studied for controlling aerodynamic pressure from the viewpoint of wind resistance. Since its effectiveness for oscillation control has been recognized, it will be further pursued to establish a new type of wind resistance technology.

## 1 まえがき

近年、長大橋の国家プロジェクトとして代表される本四架橋が一段落した後、公共事業費削減が叫ばれる中で地方自治体に建設される中規模橋梁は「経済的合理性」が最重要課題の一つになった。この背景から耐風設計技術も、また長大橋から経済性を考慮した合理化技術により建設される中規模橋梁に移行している。合理化技術は、橋梁の設計、製作、およ

び架設と広い範囲で検討されているが、多くの技術的な課題が未解決のままである。本報では、安全性という観点から特に重要となる耐風設計技術に関し、新形式の合理化桁断面の開発と4車線箱桁断面の耐風対策の開発について報告する。

## 2 合理化端2主桁斜張橋の耐風技術

斜張橋は、自然条件、経済性、橋長、および支間割などのさまざまな条件により構造形式が決定されるが、大きく、コ

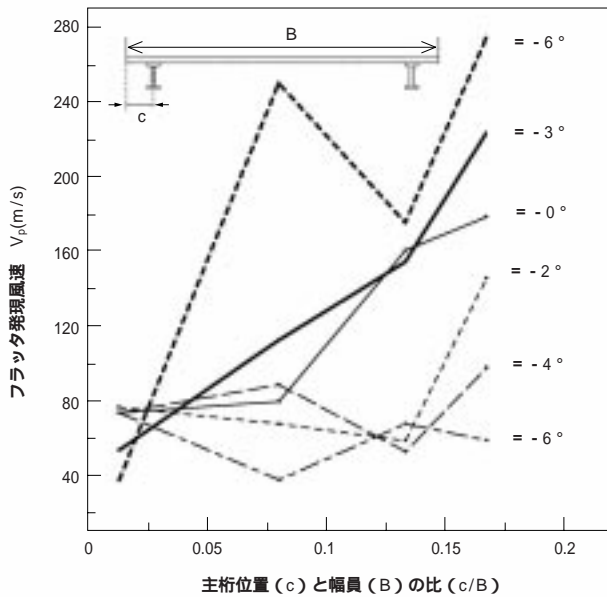


図1 主桁位置とフラッタ発現風速の関係  
Relationship between flutter onset velocity and main girder position

ンクリート構造、鋼構造、および鋼とコンクリートの複合構造に分けられる。この複合構造には、合成構造と混合構造があり、前者は材料を組み合わせることで断面を構成するもので合成桁などがあり、後者にはコンクリート製主塔に鋼桁を組み合わせた構造などがある。この中でも、特に少主桁構造（2主桁）の合成桁はすでに合理化桁としてプレートガーダ橋として実用に供されており、その経済的利点から斜張橋への展開が注目されている。

本章では、合理的な斜張橋桁断面としてプレストレストコンクリート床版（PC床版）を持つ鋼少数主桁断面について、図1に示すような2本の主桁を設けた端2主桁（2-edge girders）断面を提案し、その基本断面（高欄など設置しない断面）の空力特性を検討した。一般的にマルチケーブル形式の斜張橋は、吊り橋と比べ斜めに張られたケーブルにより全体剛性を高められるため、風によって落橋した旧 Tacoma Narrows 橋と幾何学的類似性をもつこのような断面でも、耐風特性を発生メカニズム含めて十分に把握すれば斜張橋への適用が期待できる。

端2主桁断面の耐風性を調査する上で、主桁の位置、主桁の形状、および桁高さは設計上基本的な要素となることから、それらをパラメトリックに変化させ調査・検討した。想定した橋梁は中央径間長600m級の3径間連続斜張橋で、風洞試験を主体に耐風性を調査した成果を以下にまとめる。

2.1 主桁位置による影響

図1に、主桁位置の違いによる応答を比較する。主桁位置を内側に設置するほど（c/Bを大きくする）フラッタ（風速の増加とともに振幅が増大して最終的には破壊に至る発散振動）の発現風速が高くなり耐風安定性が向上する。また、渦励振（低風速域において風速範囲と振幅が限定される振動）についてもその応答特性から同様に耐風安定性が向上することがわかっている。しかし、ケーブル定着構造を考慮すると、主桁は断面端部にある方が構造的には合理的であるため、主桁を床版端部に設置した断面での耐風安定性向上の開発が

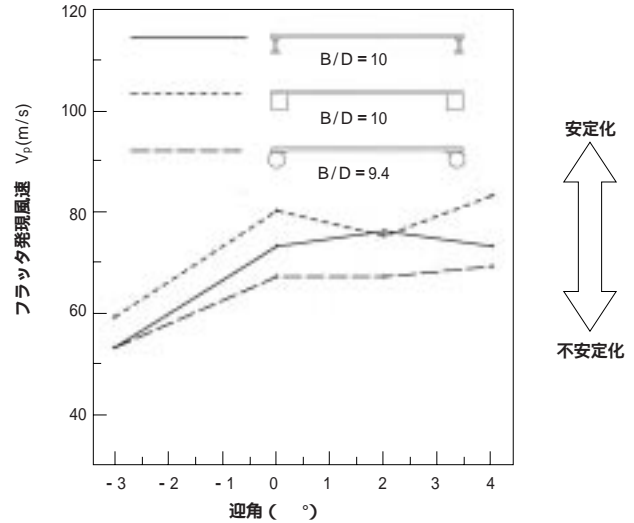


図2 主桁形状とフラッタ発現風速の関係  
Relationship between flutter onset velocity and main girder shape

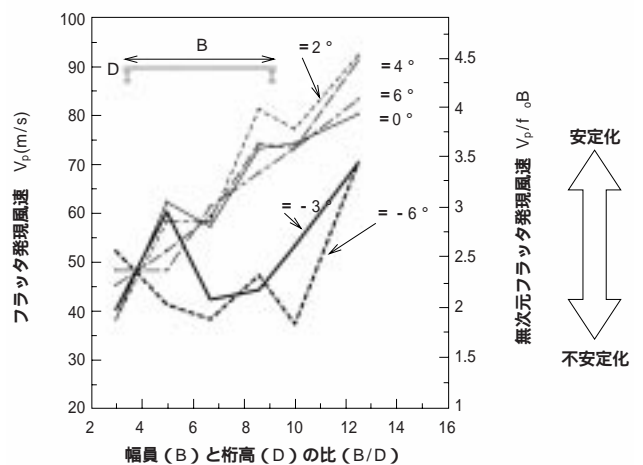


図3 桁高さとフラッタ発現風速の関係  
Relationship between flutter onset velocity and height of girder

必要である。

2.2 主桁形状による影響

図2に、各主桁形状のフラッタ発現風速と気流の傾斜角（迎角は、+が桁に対して吹上げを示し、-は吹降ろしと定義）の関係を示す。フラッタは、円柱、I桁、Box桁の順で安定化するが、その差は小さく主桁形状変化による影響は小さいものと考えられる。

2.3 桁高による影響

図3に、I桁断面の幅員（B）と桁高（D）の比率（B/D）に対するフラッタ発現風速の関係を示す。図より、桁高さを低く（B/Dが大きくなる）すると、フラッタ発現風速が上昇し耐風安定性は向上する。そのため、桁高を低くすると桁断面剛性が小さくなりフラッタ発現風速が低下して問題になることがあるが、斜張橋ではケーブルシステムで桁の断面剛性を補うことで、比較的桁高を抑えた断面でも耐風性を確保することが可能である。

2.4 端2主桁断面の耐風安定化策

これらの基本特性の他に、端2主桁断面の断面周りの非定常な圧力特性から振動発生メカニズムも検討した。その

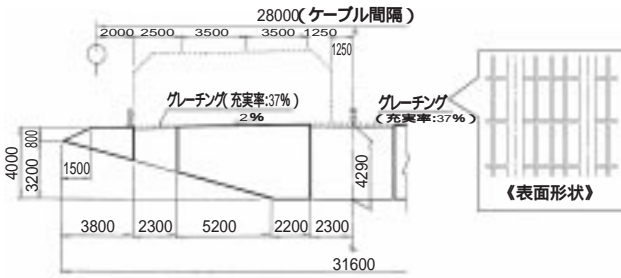


図4 開口部を有する4車線箱桁断面  
4-lane box girder cross section with opening

結果、端2主桁断面が風によりねじれ振動が起こる原因として、ねじれ振動の励振力が断面後流側の上下面に存在することが明らかになった。それに基づいてその励振力を発生させる流れ場を断面中央での鉛直プレート（中央自動車防護柵と兼用）や断面端部の主桁形状変化（水平プレートや角度のついた下フランジの設置）によって制御する耐風安定化策の提案を行っている。

今後は、得られた基本的耐風性のデータと斜張橋設計の周辺合理化技術（合理化設計）と組み合わせ、耐風安定性に優れているだけでなく設計、製作、および架設それぞれにおいてもより経済的な斜張橋を開発したいと考えている。

### 3 吊り形式橋梁4車線箱桁の耐風制振

近年の吊り橋や斜張橋の主桁は、経済性を考慮して6車線から4車線が主流となっている。特に、海上部に架かる橋梁で航路高さ制限から桁の高度が海面上40m以上になる場合、クリアしなければならないフラッタ照査風速が高くなるため耐風設計はより重要となってくる。そこで、橋梁の使用性の向上を考え、強風による通行止め回数の低減や強風時の走行安定性を確保する目的から橋面に遮風スクリーンを設置した場合の桁の耐風性調査を行ってきた。ここでは、風洞試験で使用する4車線箱桁模型のグレーチング部分を従来型（金網）から実機形状を相似させた模型（エッチング）に変更し、遮風スクリーンの形状および新タイプの耐風対策に関して検討した成果を報告する。

#### 3.1 グレーチング設置による耐風性への影響

既往の長大橋では、耐風安定化の理由からグレーチングが配置されている主桁が研究されており、その効果は風洞実験で検証されてきた。グレーチング模型は、縮尺の関係で実機と同じく細部まで再現することはできないので、種々の検討から充実率を相似した織金網が代用されてきた。しかし、金網の素線が円形であるためレイノルズ数影響の懸念は残されたままとなっている。そこで、その影響を排除するため実機形状を極力相似させたグレーチング模型を製作し、従来型と耐風性能を比較検討した。対象断面は、図4に示す桁中央部と路肩部にグレーチング部を配置した4車線箱桁である。グレーチング相似模型は、図4に示すように電子基板加工技術（エッチング）を適用して表面形状を相似（充実率は既存品と同等の37%）させ、モデル化した縦桁をその裏側に配置した構造となっている。この形状相似模型ならびに織金網をグレーチング部に使用してパネ支持試験を実施し、空力特性を調査した。模型縮尺は1/60で、実験諸元はたわみ振動数が

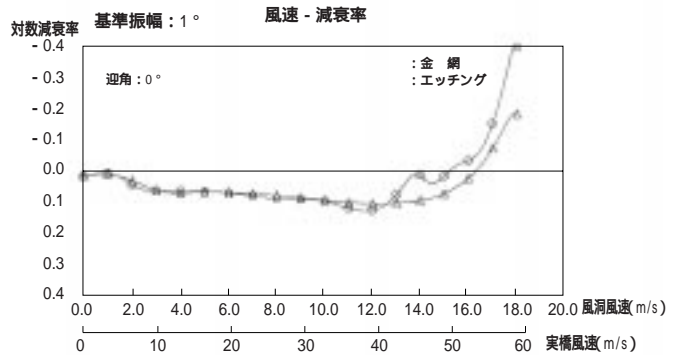
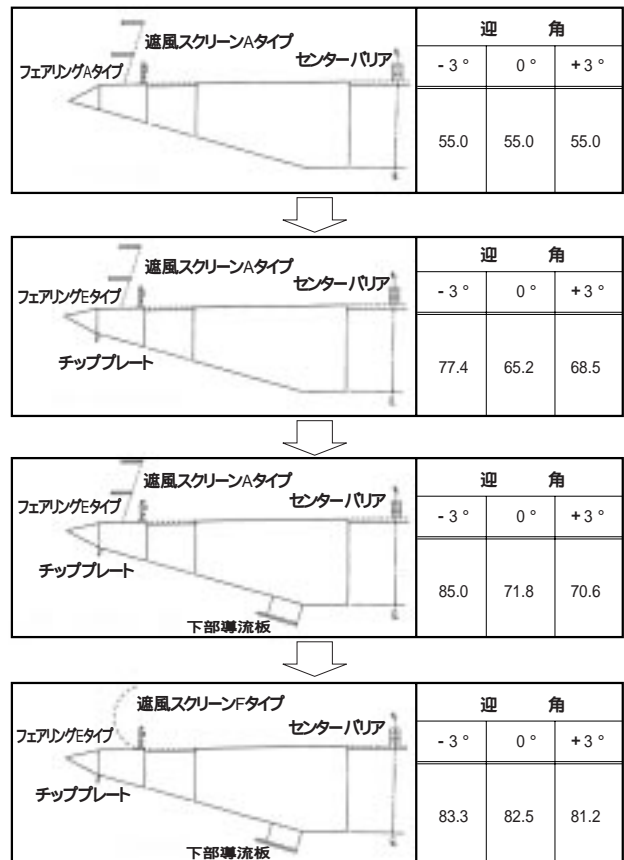


図5 風速と減衰率の関係  
Apparent damping-wind velocity



表中単位：m/s

図6 各対策断面のフラッタ発現風速  
Flutter onset velocity of each aerodynamic countermeasure cross section

$f = 1.10\text{Hz}$ 、ねじれ振動数が  $f = 2.33\text{Hz}$  である。迎角は  $= 0^\circ, \pm 3^\circ$  で、気流は一様流とした。試験結果より、迎角  $0^\circ$  のねじれ片振幅  $1^\circ$ （基準振幅）における風速と空力対数減衰率の関係を、図5に示す。図中の対数減衰率が0となる風速がフラッタ発現風速となる。迎角  $0^\circ$  では金網の方がフラッタ発現風速は低いことがわかった。また、ここでは示していないが迎角  $\pm 3^\circ$  ではほとんど差がなかった。

これらの結果から、従来型の織金網を使用した風洞試験の耐風評価はおおむね安全側の評価になると思われる。

#### 3.2 遮風スクリーンの耐風性への影響

前節のグレーチング相似模型を使用した4車線箱桁を対象に、図6に示すように桁上端部の遮風スクリーン、フェアリング、チッププレート、および下部導流板について、それ

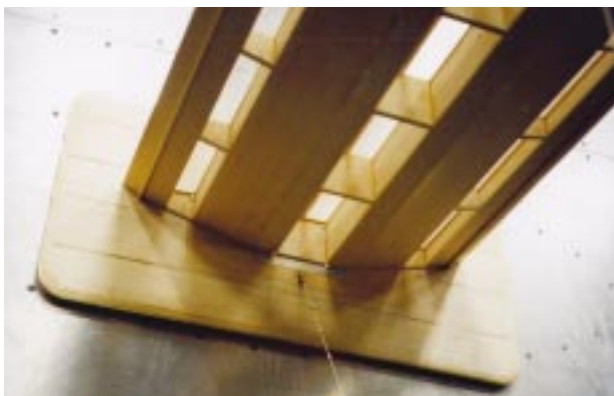


図7 従来型の中央開口部形状  
Traditional-model central opening

それぞれの最適形状を検討した。実験諸元を前節と同じとし、それぞれの断面に対してパネ支持試験を実施した。試験結果より、代表とする断面のフラッタ発現風速 (m/s) を図6にまとめ、以下に各部材の耐風効果をまとめる。

フェアリングではEタイプの形状が最適で、迎角 $+3^\circ$ のフラッタ発現風速は5m/s以上向上する。

チッププレートは、迎角 $0^\circ$ と $+3^\circ$ のフラッタ発現風速が10m/s以上向上し、迎角 $-3^\circ$ は20m/s以上と負迎角側に効果があることがわかった。

下部導流板の設置は、迎角 $0^\circ$ 及び $-3^\circ$ のフラッタ発現風速が7m/s程度向上しており、チッププレート同様に負迎角側に効果があることがわかった。

遮風スクリーンの形状は、図6のFタイプ(円弧型)の耐風性が良好で、迎角 $0^\circ$ 及び $+3^\circ$ のフラッタ発現風速を10m/s程度向上させる効果があることがわかった。

最終的に、これらの最適化により目標としたフラッタ発現風速 $V_{cr} = 80\text{m/s}$ をクリアする耐風安定化断面を開発することができた。特に、チッププレートのような小さな部材でも大きな制振効果を有することから、乱流影響も含めた制振メカニズムを解明した上で橋桁の新しい耐風対策に展開したいと考えている。

### 3.3 新タイプの耐風対策

「景観に配慮したシンプルな空力制振対策」の開発を目的に、前節の耐風安定化断面の下部導流板に代わる制振対策の検討を行った。その制振対策のポイントは、桁下面の中央開口部形状である。この桁下面の開口部では、上流側から流入した流れが開口部下流端部でまた再剥離するという流れのメカニズムに着目し、その再剥離の強さをコントロールすることで制振効果が得られるのではないかと考えた。このような制振対策は、従来型にないタイプである。

図7および図8に、従来型の開口部形状と本検討の楕円形状を示す。この楕円形状により、中央開口部から再剥離する流れを三次元的(橋軸方向に分散)に干渉させることで、本体に発生する空気を低減させる効果(制振効果)が期待された。

両断面の実験諸元は同一とし、開口部形状のみの影響に注目したパネ支持試験を実施した。試験結果より各迎角のフラッタ発現風速は、楕円形状にすると従来型よりフラッタ発現風速の増加(最大で $+7\text{m/s}$ )が見られ制振効果が確認され



図8 楕円形状の中央開口部  
Central opening of ellipse

た。今後は、桁下面の開口部形状の変更による制振メカニズムを把握した上で、新タイプの耐風対策として開発を進める予定である。

## 4. むすび

合理化吊り形式橋梁桁断面に採用可能な断面の耐風安定性に関して、これまでの検討で得られた成果を以下にまとめる。

合理化斜張橋を対象とした端2主桁断面の検討では、振動発生メカニズムを踏まえた耐風安定化策が見出せ、さらに実橋適用に向けた耐風安定化断面の開発を進める。

付加価値を有する4車線箱桁では、桁端部のフェアリングおよび遮風スクリーンの形状、下部導流板とチッププレートとの最適な組み合わせにより目標フラッタ発現風速 $V_{cr} = 80\text{m/s}$ をクリアする耐風安定化断面が開発できた。

中央開口部を有する4車線箱桁では、開口部の下面形状を変更することで制振効果が期待できることが判明した。今後、最適化を図り新タイプの耐風対策として開発を進めるものである。

なお、「合理化端2主桁斜張橋の耐風技術」について京都大学大学院工学研究科松本勝教授の指導、白土博通助教授、八木知己助手、および阿南景子助手をはじめとする松本研究室の助力に感謝の意を表す。

本報の後半に記した「4車線箱桁」の研究は、独立行政法人土木研究所、本州四国連絡橋公団、財団法人土木研究センター、および民間8社による共同研究「経済性を考慮した超長大橋の耐風設計法に関する研究」の一環として実施したものである。

### (参考文献)

大東義志, 松本勝, 荒木健二. 長大斜張橋端2主桁断面の空力振動発生メカニズム. 日本風工学学会誌第79号, p.81~82, 1999.

M.Matsumoto, Y.Daito, (2000), Aerodynamics of Two Edge Girders for Long-Span Cable-Stayed Bridge, Proceedings of 7th International Conference on Flow Induced Vibration (FIV2000), Lucerne Switzerland, p.149~156, 2000.

大東義志, 松本勝, 武内隆文, 坂井田実. 長大斜張橋端2主桁断面の異なる振動モード間の空力振動干渉および動的耐風性向上に関する研究. 第17回風工学シンポジウム論文集, p.387~392, 2000.

斎藤善昭, 宮崎正男. 開口部を有する一箱桁断面の耐風性検討. 土木学会第55回年次学術講演会概要集, p.48~49, 2000.

# 次世代橋梁生産システム シンフォニー

Bridge Production System of Next Generation SYMPHONY

加藤 智信\* 下村 真司\* 和田 正行\* 近藤 直意\*

Tomonobu KATO

Shinji SHIMOMURA

Masayuki WADA

Naoi KONDOU

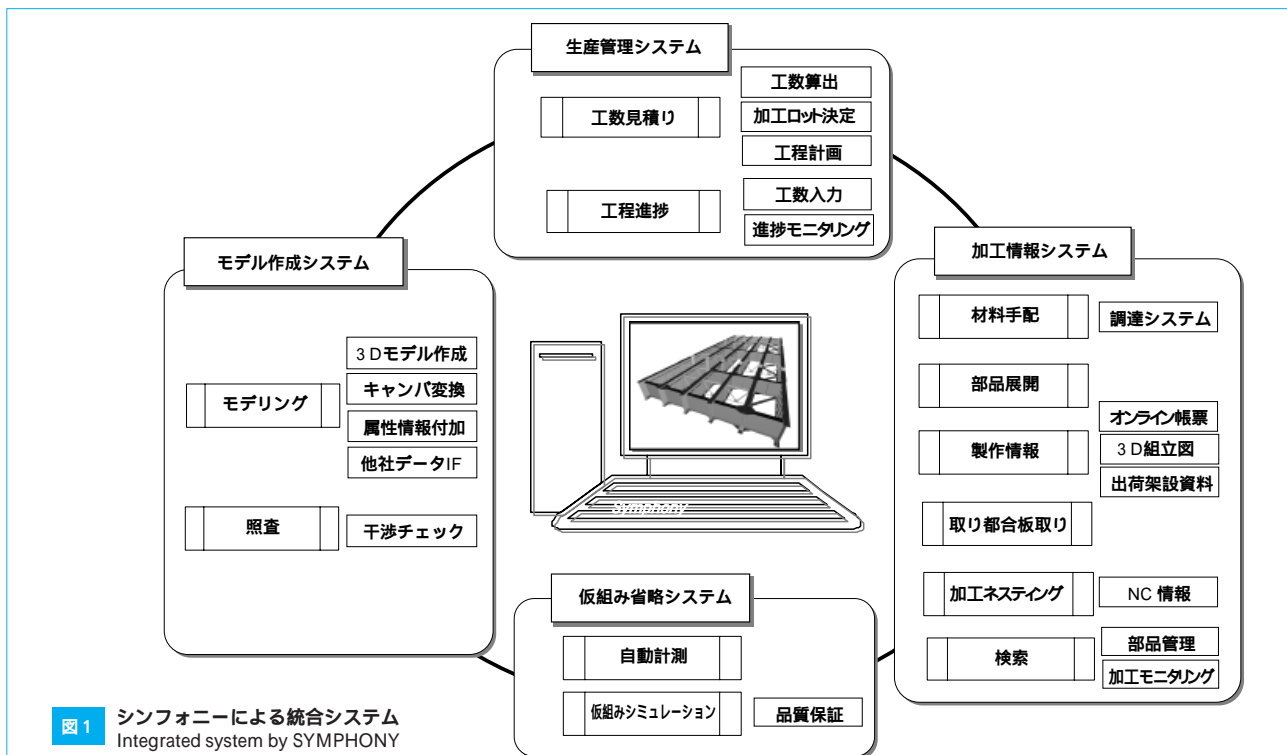


図1 シンフォニーによる統合システム  
Integrated system by SYMPHONY

橋梁製品モデルを中心とした生産システム『シンフォニー』を業界6社で共同開発し、実用化した。製品モデルは橋梁形式の多様化や建設CALSに対応が可能で従来の生産方式を変革できる。

シンフォニーは市販の三次元CADとデータベースの組み合わせによるシステムである。共同開発されたツールを加えることにより、製品モデルを効率良く作成する。このモデルを基に周辺のサブシステムへデータを供給する統合型のシステムである。

本報では、その特徴と導入効果を記述し、当社の三次元製品モデルを中心とした生産システム技術を紹介する。

The production system called "SYMPHONY" based on a bridge model was developed jointly by six companies in the bridge manufacturing industry and has been put into practical use. The production model can accommodate diversified bridge types and is compatible with the construction CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support). The system will change the conventional way of bridge building. SYMPHONY is basically a combined system of a commercial 3-dimensional CAD and a database. By incorporating the jointly developed tool, the system efficiently creates a product model. In reality, this is an integrated system that provides its peripheral subsystems with data of the product model. This paper reports the features and the effect of its introduction and discusses the production system derived from the 3-dimensional product model.

## 1 まえがき

近年、急激なITの進歩による建設CALS/ECなどの電子情報化の推進、建設コスト縮減に向けた合理化橋梁による橋梁構造の変化、およびシミュレーションによる仮組み精度保証など、鋼橋業界の環境が変化している。これらに対応した次世代橋梁の製作には、統合型橋梁生産システム、仮組立省略の適用範囲のさらなる拡大、製造工程におけるリードタイムの短縮、在庫量の削減、および工程の最適化、設計

工程における作業手順の最適化などの技術革新が必要と考えられる。

当社は、1998年より次世代生産システムの導入を目的として橋梁プロダクトモデル共同開発会に参画してきた。(構成は、株式会社東京鐵骨橋梁、日本車輛製造株式会社、日本鉄塔工業株式会社、日立造船株式会社、株式会社シーディアイ、および当社の6社である)

開発会では、製品モデルの考え方を核として、橋梁の構造形式に限定されない生産システムを検討・開発してきた。



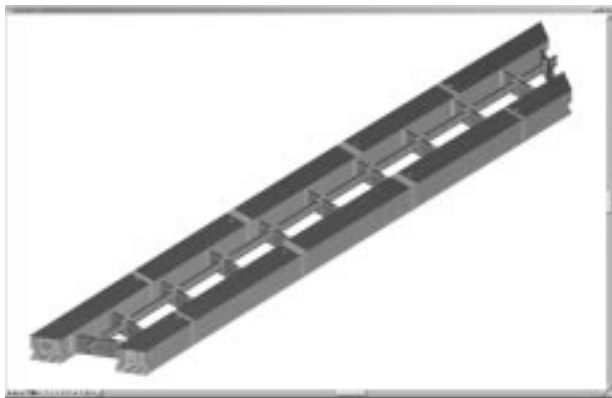


図2 箱桁橋の製品モデル  
Product model of box girder bridge

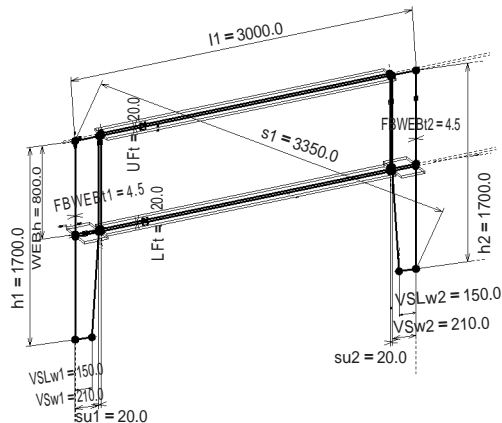


図4 縦桁用のオブジェクト  
Object for stringer

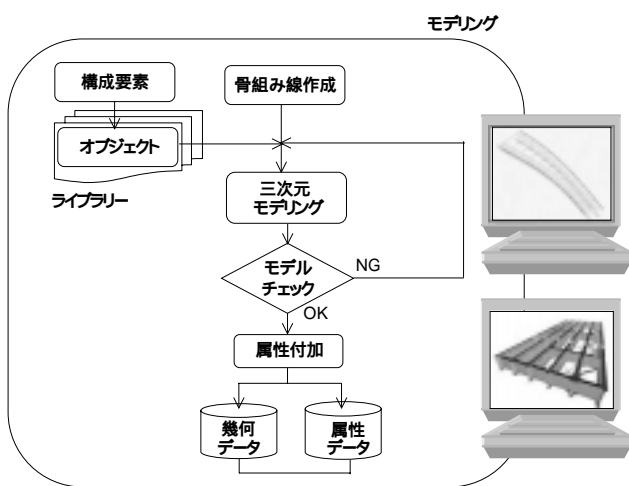


図3 モデル作成のフローチャート  
Flow chart of product model creation

『シンフォニー』と名付けられたこのシステムは、2002年4月には生産システムとしての実用レベルに達し、これまでに当社では、21物件、約6800tを適用したところである。

本報では、橋梁製作の技術革新の中核である統合型橋梁生産システムシンフォニーについて述べる。

## 2 シンフォニーの特徴

シンフォニーは、市販の三次元CAD (Micro Station) と、データベース (Oracle) の組み合わせで成り立つ。共同開発されたツールを加えることにより、中心となる製品モデルを効率良く作成する。これを基に周辺のサブシステム (生産情報、生産管理、および仮組みシミュレーション) ヘデータを供給することができる統合型のシステム (図1) となっている。

特徴を、次に示す。

三次元CADのソリッド要素でビジュアルにモデルが作成でき、構造形式にとらわれない。

CADで構成部品要素を作成・登録し、三次元的にパラメトリック処理しながら配置することによりモデルを効率的に作成できる。

CAD内に配置された部品と、属性情報を格納するデ

ータベースが1対1でリンクするため、必要な情報を随時登録および参照表示できる。

部品展開機能を有し、部品取付け線情報、切抜き情報、および孔情報を含んだ展開図形を発生することにより、NC工作機械へのデータ供給や、単品製作図の出力が可能となっている。

三次元モデルの形状情報をテキスト形式のファイルに出力することができ、仮組みシミュレーションシステムへ三次元データを供給できる。

生産管理システムヘデータを供給することにより、製作工数の自動見積りを行うことができる。

箱桁橋の製品モデルを、図2に示す。

## 3 モデル作成機能

三次元の製品モデルを効率良く作成するための機能を共同開発した。モデル作成のフローチャートを、図3に示す。

次に、モデルの作成方法を紹介する。

### 3.1 オブジェクトの作成と登録

#### 3.1.1 構成要素

奥行を除く部品形状を二次元で作成し、形状要素が拘束するように決定条件を設定する。長さや角度は変数設定することにより、値により画面上で自由に伸縮することができる。このように作成された形状を、構成要素として登録する。

#### 3.1.2 オブジェクト

登録された構成要素を呼び出し、三次元空間上で奥行を変数設定する。構成要素を複数個組み合わせ、その相対位置関係を定義する。変数化された位置関係には、後述する骨組み線の実長を参照する機能を定義できる。このように、製品に使用される部品をパターン化し、オブジェクトとして登録する (図4)。

使用頻度の高い部品をオブジェクトとして登録し、管理することにより、モデル作成の効率化を図ることができる。

### 3.2 骨組み線の作成

製品全体の形状を決定する主要な座標値を三次元空間上に骨組み線としてモデル化する。座標値は、完成時の三次元座標に加え、製作キャンバとして三次元での変位置を入力することができる。CSV形式でデータを作成し、ファイルを読み込むことで、自動的に骨組み線モデルが作成される。この骨

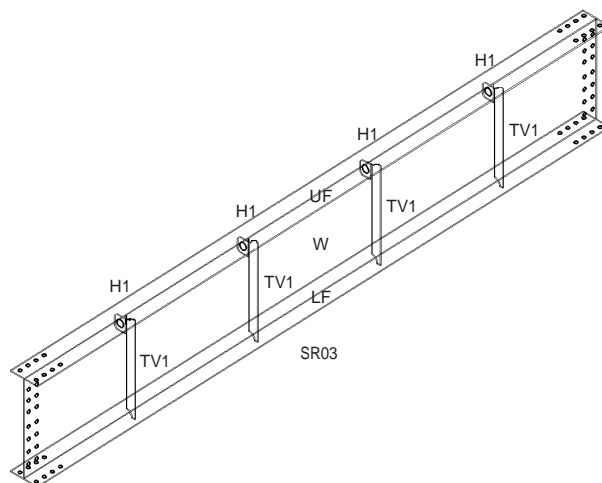


図5 部品取付け図  
Parts attachment

組み線は、オブジェクトを配置する時の基準点となる。

完成系でモデルを作成した際には、入力した変位置が製作系への自動変形時に参照される。

### 3.3 オブジェクトの配置

登録したオブジェクトを効率良く配置するために、部品の形状タイプを考慮して、次の2種類の配置方法を開発した。

#### 3.3.1 スイープ

骨組み線に沿って部品断面を引き伸ばし、オブジェクトの変数を決定し配置する方法である。主に主桁のウェブおよびフランジに適用する。

#### 3.3.2 単独配置

骨組み線上の点を使って、登録したオブジェクトを同一面上で変形して変数を決定し配置する方法である。主に補剛材、ダイヤフラム、および横桁に適用する。

### 3.4 属性の付加

製品を三次元空間にモデル化しただけでは、幾何情報しか存在しない。そこで、モデルを構成する最小単位である部品に対して、材質、部品名称、およびブロック名称などを文字属性として与えることにより生産活動に貢献できる製品モデルに仕上げていく。属性情報は部品と常にリンク状態であり、三次元空間上で選択した部品の属性を参照することが可能である。また、属性条件を指定して、三次元空間上に該当する部品を表示させることも可能になっている。

属性情報は情報の分類によりテーブル管理することができ、必要に応じて塗装情報や溶接情報のデータ群を格納することができる。

## 4 製作展開機能

### 4.1 部品の二次元展開

製作に必要な部品の形状を決定するため、モデル上の部品を二次元展開する。展開は構造形式にとらわれることなく処理できるように、次の機能を開発した。

部品取付け位置は、ソリッド要素が互いに接触している箇所を自動認識して二次元展開形状に反映させる。また、接触している部品の属性情報をリンケージすることにより、二次元展開図形の状態で取付け部品の

名称を参照できるようにする。

切抜きとボルト孔は、その面積で判定値を設けて識別する。

部品の曲がり・折れ・テーパ部は専用のシンボルを定義することにより、展開形状に特性を反映させる。

製作に必要な外形線、部品取付け線、切抜き線、およびボルト孔は区別して展開する。部品の位置関係が特定できるように方向マークを書き込む。

### 4.2 製作情報の出力

二次元展開した部品は、製作上必要な変形量を予め想定して加工し、最終形状を決定する。形状データはXCLフォーマットのデータとして出力し、ネ스팅システムで処理され、NC野書き切断データおよびNC孔明けデータを工場内へ配信する。

一方、製作に必要な帳票類はdxfデータで図面サーバへ蓄積され、必要に応じて工場内に配置された端末から自由に取り出すことができる。三次元モデルの特性を生かし、鳥瞰図形式の部品取付け図(図5)を作成して、製作に役立てている。

## 5 導入による効果

### 5.1 展開技術の脱技能化

従来システムが適用できないトラス、アーチ、および鋼製橋脚は、二次元CAD上で昔ながらの手作業原寸を行い、複雑な構成面にある部品の展開は熟練した技術が必要であった。

シンフォニーでは、通常の薄板で構成される部品形状であれば、自動的に製作に必要な取合い・切抜き情報を含めて二次元展開処理をすることができる。したがって、モデルの作込みが十分にできれば、機械的に部品形状を誰でも取り出すことができる。最近の景観を重視した複雑な構成面を有する製品に対して、作業の効率化と、脱技能化に貢献している。

### 5.2 帳票類の削減

三次元モデルを活用した帳票システムの適用により、帳票枚数を大幅に削減することができる。これに伴い、帳票を作成する作業工数が改善される。

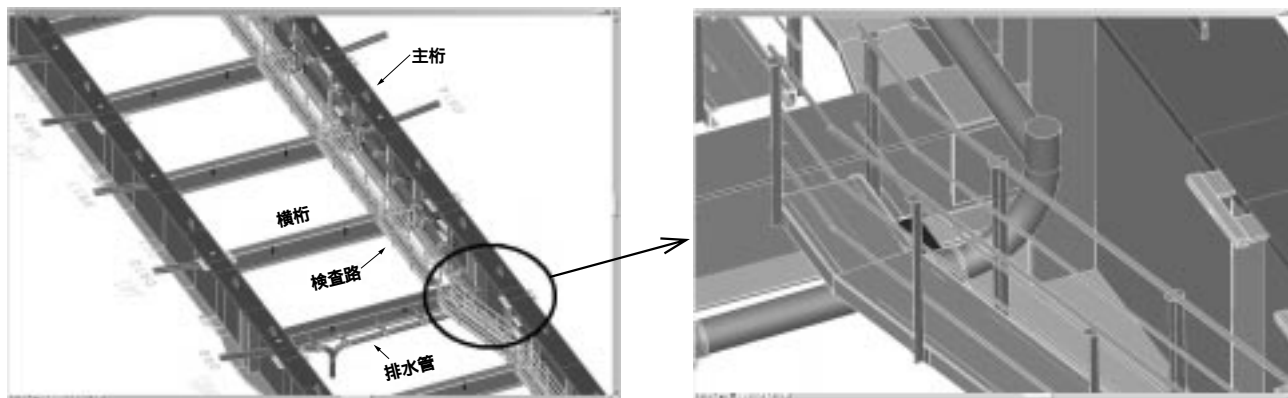


図6 付属品を含めたモデル  
Model including accessories

### 5.3 視覚的な製品のチェック

製品モデルを作成することにより、従来システムでは実現ができなかった製品のビジュアル化が可能となった。

本体と付属品や付属品相互の干渉は、複雑な配置になると見落としがちであり、チェックには図面情報から立体的な位置関係を各断面で落とし込む必要があった。三次元製品モデルでは、重点箇所を切り出し、部品を一部透明化して仮想的に状況を確認・チェックできる。また、下部構造をモデル化すれば、現地据付け時の状態もコンピュータの画面内で表現できるため、早期の段階で干渉不具合を防止することができる。鈹桁橋の付属品を含めたモデル状況を、図6に示す。

## 6 今後の展望

製品モデルを核に持ち、柔軟なデータベース構造を構築できるシンフォニーは、発展性の高いシステムであると考えられる。生産システムにとどまらず、詳細設計段階から現地架設および将来の維持管理までをカバーするシステムとして成長させていきたい。

### 6.1 設計ツールとしての活用

標準的な部品構成のオブジェクトを整備して、簡単に三次元モデルが作成できるようになると、設計段階での検討ツールとして活用できる。排水経路の計画や付属品の配置計画を、ビジュアルに確認しながら検討できる。この段階で干渉確認を行えば、精度の高い設計が実施できる。

また、ソリッド要素の特性を生かして、積算用の数量データを自動発生させることも可能である。

### 6.2 架設計画ツールとしての活用

工場製作で作成された製品モデルは、架設計画の検討にも共有できると考える。製品モデルはソリッド要素で表現されるため、例えば、大ブロック架設の範囲を選択することにより、繋ぎ合わせた状態でのブロック重量やブロック重心位置を算出することができる。

また、架設ヤードの地形データなどが簡単に入手できるようになれば、ベント位置の検討、クレーンの配置や旋回状況の確認をシミュレーションすることが可能になるであろう。

### 6.3 維持管理を考えた資産としてのモデル

モデルとデータベースの関係がリンクすることにより、将来の維持管理に必要なデータを属性として格納することができる。例えば、溶接線に対して、タイプやサイズの情報を格納し製品モデルとして保存することにより、補修箇所を選択するだけで必要な情報を収集できる。このことは、従来の図面や文書での保存に比べ情報の欠落がなく、再読取り・再計算といったむだな作業が省略できる。

### 6.4 建設CALSへの対応

鋼橋業界において、三次元製品モデルでのデータ交換が標準化される動きがある。2003年7月、株式会社横河技術情報が開発した三次元プロダクトモデル『ジュピター』とシンフォニーとの連携についての合意が発表された。これは、両システム間で三次元製品モデルベースでのデータ交換を行うものであり、このデータ変換フォーマットが標準化されれば、シンフォニーと他のシステムとの製品モデルベースでのデータ交換が可能になると考えられる。

## 7 むすび

製品モデルを核としたシンフォニーと当社の生産システム技術を紹介した。

橋種にとらわれない生産システムを構築し、実用化することができた。

三次元モデルとして、製品をビジュアルに表現でき、情報を共有することにより製作過程における意思疎通のスピードアップが図れた。

今後の課題として、詳細設計での検討ツールとしての活用や架設検討を含めた総合的な製品モデルの共有および建設CALSへの対応を推進してゆく。

(参考文献)

新井裕之・中野清文．製品モデル・システム「シンフォニー」．建設業界のためのデータモデル，工学社，p.146～154，2003．

# 橋梁架設・架替えのニーズ変化への対応

Bridge Erection and Replacement Work Meeting Recent Needs

岡田 親治\*

Shinji OKADA

澤田 陽介\*

Yousuke SAWADA

室塚 直人\*

Naohito MUROZUKA



図1 川辺橋架替え  
Kawabe-bashi Bridge replacement

市街地の橋梁工事における第三者からの強い要望として、工事期間の短縮や車線規制によって生じる交通渋滞の緩和がある。工事は車線規制や通行止めを行いながら作業エリアを確保し、安全を最優先として行いが、その車線規制や通行止めの期間を極力短くすることが、近年の橋梁工事における近隣住民や道路利用者のニーズにこたえる重要なポイントとなっている。

本報では、こうした社会的ニーズにこたえた橋梁架設・架替え工事の事例を示し、それら工事で実施した施工技術について詳述した。

通行止め期間を5日間に抑えた橋梁の急速架替え工事

供用下における既設トラス橋の桁拡幅工事

供用中の道路上および近接で行う新橋架設工事

When bridge construction work is implemented in an urban area, the neighborhood and road users strongly request the shortening of its construction period and alleviation of the traffic congestion caused by lane control during the period. Normally, safety in the construction work is the top priority, requiring secured working areas by a lane control or traffic closure. It has become more important, however, to shorten the period of lane control or road closures as much as possible in order to meet the needs and requests. This report presents several cases of bridge building and replacement work that responded to such community requirements, and details the applied construction technologies.

- 1) Quick replacement of a bridge implemented within a five-day road closure.
- 2) Lane expansion of a truss girder bridge remaining in service.
- 3) Erection of a new overpass-bridge above an underpass in service and its vicinity.

## 1 まえがき

市街地の橋梁施工に際して、近隣住民や道路利用者など第三者からの強い要望として、施工期間の短縮や車線規制に伴う交通渋滞の緩和があげられる。主要道路に近接する橋梁や主要道路を跨ぐ橋梁の施工においては、第三者に対して近傍、上空での作業となるため、車線規制、交通切回し、および通行止めなどを行いながら、安全を最優先とした作業エリアを確保して施工を行うことが重要である。この交通規制を極力少なくし、短時間で安全に施工を完了させることが、近隣住民の社会的ニーズに応える重要なポイントとなっている。

本報では、こうした社会的ニーズに対応した当社施工の橋梁架設や架替えの工事例を紹介し、そこで実施した施工技術的な工夫や改良について報告する。

## 2 急速架替え工事

### 2.1 概要

川辺橋は岡山県清音村に流れる高梁川に架かる橋梁で、単純下路式ワーレントラス7連で構成される橋長458m、有効幅員7.0m（上下1車線）の橋梁である。本橋の東詰め交差点で発生する朝夕の交通渋滞を解消する目的で、右折車線を増設する橋梁拡幅工事が計画された。しかし下路式トラスという構造的な制約により、現橋の幅員を拡幅することは困難と判断されたことから、東側2径間の単純トラスを撤去し、新たな広幅員の2径間連続鋼床版箱桁に架け替えて、交差点の改良を行うこととなった（図1、図2）。ただし、本橋の計画交通量は1万台/日を超え、工事による長期間の通行止めは道路利用者の利便性に大きな影響を与えることが予想され、通行止め期間を極力短期間に抑える必要があった。

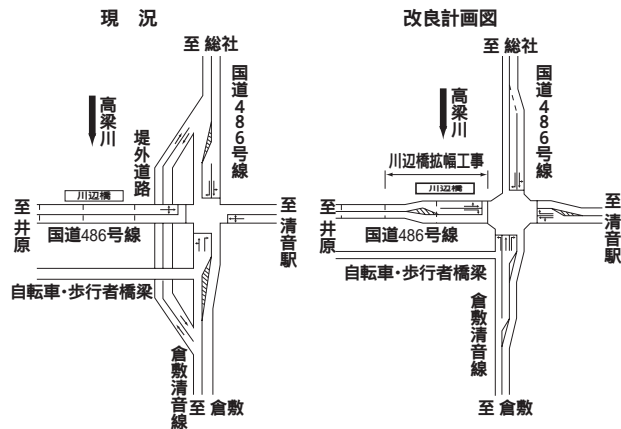


図2 交差点改良図  
Outline of intersection improvement

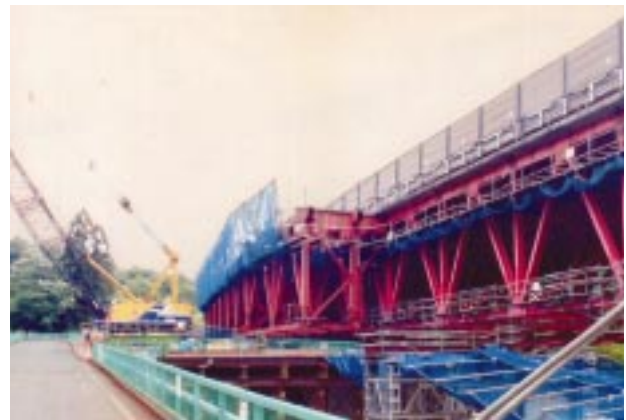


図4 宮谷橋拡幅工事  
Widening construction of Miyatani-bashi Bridge

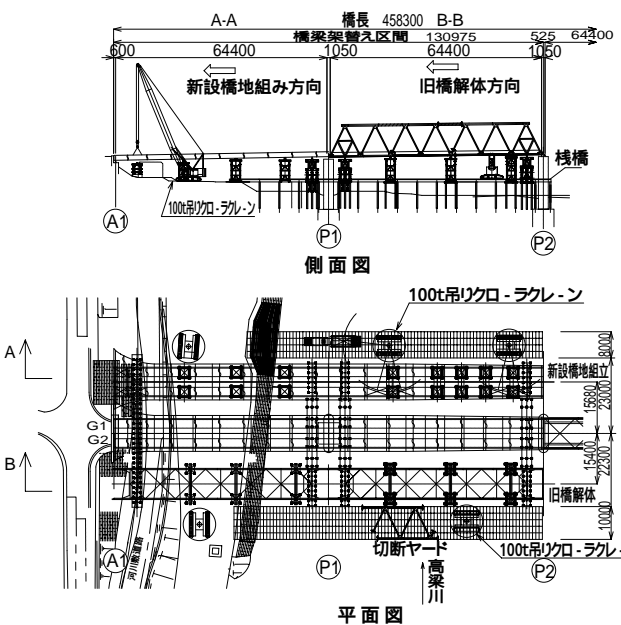


図3 川辺橋架替え要領図  
Outline Kawabe-bashi Bridge replacement

そこで架替え位置の上下流側に棧橋および支保工設備を設け、その片側で現橋供用中に新設橋の地組立てを行い、通行止め開始後に横移動工法によって現橋撤去および新設橋の設置を行う施工方法を採用して、通行止め期間の短縮化を図った(図3)。

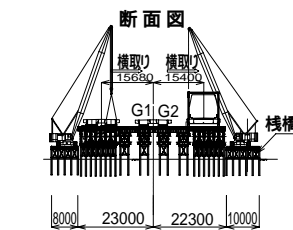
### 2.2 通行止め作業期間の設定

通行止め期間を短縮化するため、事前作業が可能な工種は供用中に施工し、通行止め期間中の作業を最少限にした。

新設橋の地覆コンクリートの施工および鋼製高欄の設置は、コンクリートの養生などに数日間を要することから、地組立て時に事前施工した。その際、桁の横移動時およびジャッキダウン時の変形によって地覆コンクリートのひび割れ発生が懸念されたが、5 m間隔に伸縮目地を施工することでひび割れ防止対策とした。

橋脚および橋台上での支取替作業は、事前の計測と墨出し、カット目施工、およびアンカ孔の削孔を既設桁の干渉しない範囲で事前施工をしておいた。

通行止め期間中の作業量を最小限にする施工手順を十分に検討し、24時間2交代体制の作業タイムスケジュールを設定することで、通行止め開始から交通開放までの期間をわず



か5日間で計画することができた。

### 2.3 旧橋・新設橋の横移動施工

1000tを超える旧橋および新設橋を、それぞれ8箇所の支点で仮受けしながら横移動設備上を横移動させるが、ジャッキ設備の盛替え作業によるタイムロス避けるため、旧橋と新設橋の横移動ジャッキの転用は行わず、各々に横移動ジャッキを準備して作業時間の短縮を行った。また、新設橋の伸縮装置も地組立て時に取り付けておいた。新設橋の横移動時に干渉する既設橋端部の高欄は、一部の範囲を切断しておき、施工後に復旧した。

新設橋の縦断線形はA1側に低い勾配であり、横移動時に桁がA1側へずれることが懸念された。横移動作業時の縦方向の位置調整は大きなタイムロスとなることから、A1橋台と桁端の間隔を保持するローラをあらかじめ桁端部に設置しておき、橋台前面に取り付けたステンレス板を滑らせながら縦方向の移動を抑えた。

### 2.4 広報・交通誘導

川辺橋の通行止めによる渋滞や混乱を防止するよう、各所に通行止めを通知する垂れ幕や看板を設置するとともに、1ヶ月前からラジオ放送による広報活動を行った。また、通行止め期間中も周辺各所に交通整理員を配備し、渋滞の程度に応じた臨機応変の交通誘導を行った。渋滞の状況を時間単位で関係各署へ報告し、メディアを通じた渋滞情報を道路利用者へ流した。その結果、通行止めによる大きな渋滞、混乱もなく工事を完了することができた。

## 3 橋梁拡幅工事

### 3.1 概要

中央自動車道富士吉田線は25年前に供用が開始されたが、現在の交通量に対して対応しきれなくなっており、慢性的な交通渋滞が発生していた。したがって、交通容量の増大を目的とした3車線化の拡幅工事が、上野原インターチェンジ

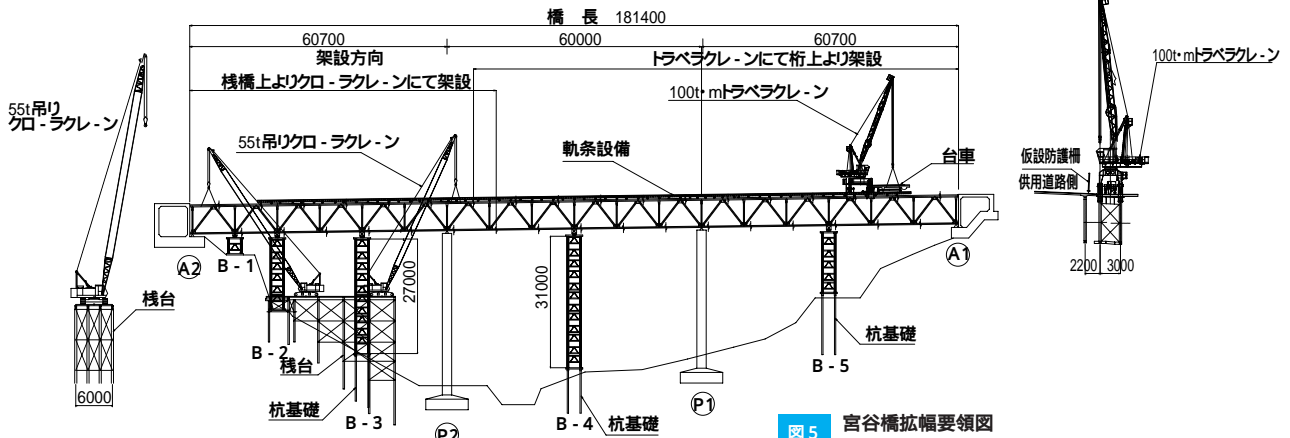


図5 宮谷橋拡幅要領図  
Outline of widening construction of Miyatani-bashi Bridge

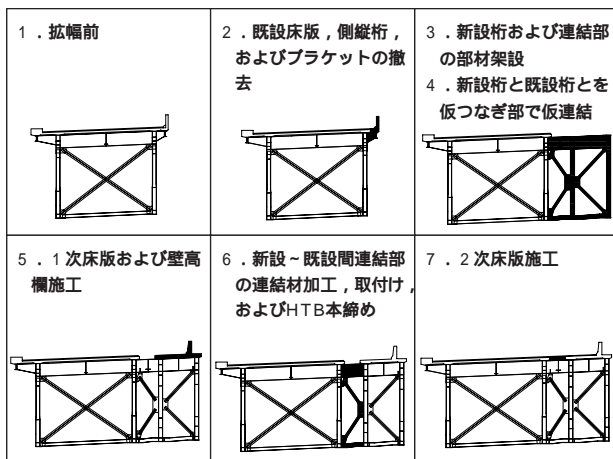


図6 宮谷橋拡幅ステップ図  
Widening step of Miyatani-bashi Bridge

から大月ジャンクションまでの区間で行われた。宮谷橋は、その区間に架かる3径間連続上路式トラス橋である。

宮谷橋の拡幅工事は、供用中の既設トラス桁に隣接して主構間隔3.0mの拡幅トラス桁を架設し、既設桁と拡幅桁の連結および床版の一体化を行う工事である(図4)。

### 3.2 拡幅桁の架設

本工事の施工計画では、供用中の車線規制を行わないことを前提条件とする必要があった。架設用作業ヤードの確保できない区間については側面に作業構台を設置し、構台が設置できない谷間についてはトラベラクレーン工法を採用した(図5)。

トラベラクレーンは架設の完了したトラス上を順次前進させるが、クレーンが旋回すると供用中の車線上を占有してしまうという問題があった。これに対しては、クレーン脚部を改造して嵩上げし、架設部材をクレーン下で背面から前面へ通過させて荷取りする方法を採用し、クレーンの旋回を回避した。

### 3.3 連結横桁の架設

連結横桁の架設に際しては、トラス主構の格点ごとに仕口部材の寸法計測、切断、加工、および溶接を行う必要があった。供用下の現場溶接は車線走行に伴う振動の影響による溶接欠陥が懸念されたため、最も振動の大きい支間中央部において、事前の溶接施工試験を実施し、溶接施工の品質に問題のないことを確認して施工を行った。

### 3.4 床版の施工

床版はまず拡幅桁の桁上のみを施工し、拡幅桁と既設桁間の床版は横桁連結後に施工した(図6)。これにより供用中

の桁から伝わる通行車輛の振動によって発生が懸念されるコンクリートのひび割れや材料分離を防止した。また連結部の床版については、車輛振動の影響を最小限にするため、早強コンクリートに膨張材を配合したコンクリートを使用し、ひび割れの発生を抑制した。

### 3.5 安全対策

新設の拡幅桁は縦長の断面形状であるため、既設桁と一体化するまでの期間において、風および地震に対して不安定な状態となる。そこで横桁設置までの期間は、支点部および中間格点部で仮連結材による既設桁との連結を行い、転倒を防止した。

また架設作業は供用中道路の近接作業となる。一般走行車輛に不安を与えず、かつ作業員の安全を確保するため、路肩部に高さ3mの仮設防護柵を設置した。

## 4 供用中道路上での架設工事

### 4.1 概要

東名阪自動車道の橋ジャンクションランプ橋工事は、供用中の東名阪自動車道本線と東海交通事業城北線の間設置される3径間連続鋼床版箱桁(SF0C桁)と東名阪自動車道を跨ぐ3径間連続曲線変断面鋼床版箱桁(SF3C桁)の2橋の架設工事である。

SF0C桁の中央径間部は、国道41号線の上を跨ぎ、かつ国道41号線上に架かる高架構造の名濃道路の下をくぐる空間配置となっていた。名濃道路と本橋のクリアランスはわずか5m程度しかなく、クレーンを使用した架設工法の選定が困難であったため、送出し架設工法を採用した(図7)。

SF3C桁の中央径間部は、供用中の東名阪自動車道の本線上を跨ぐ架橋位置となり、桁下にベントを設置できる空間がなかった。また架設ブロックの近傍にクレーンを設置することも困難であり、クレーンの設置可能な北西側ヤードに750t吊りの大型クローラクレーンを設置して、一括架設を行うこととした(図8)。

### 4.2 SF0C桁の送出し架設

送出し架設を行うSF0C桁の壁高欄と供用中の東名阪自動車道の壁高欄が300mmと接近しており、桁を500mm横ヘシフトさせて送出しを行った。

軌条設備ヤードは地耐力不足であったゆえ、H鋼による杭基礎で地盤補強を行った。杭の施工は低騒音・低振動のアースオーガによるプレボーリング工法を採用し、周辺環境に配慮した。桁の送出しは国道41号線を挟んで、PF2橋脚からPF1橋脚

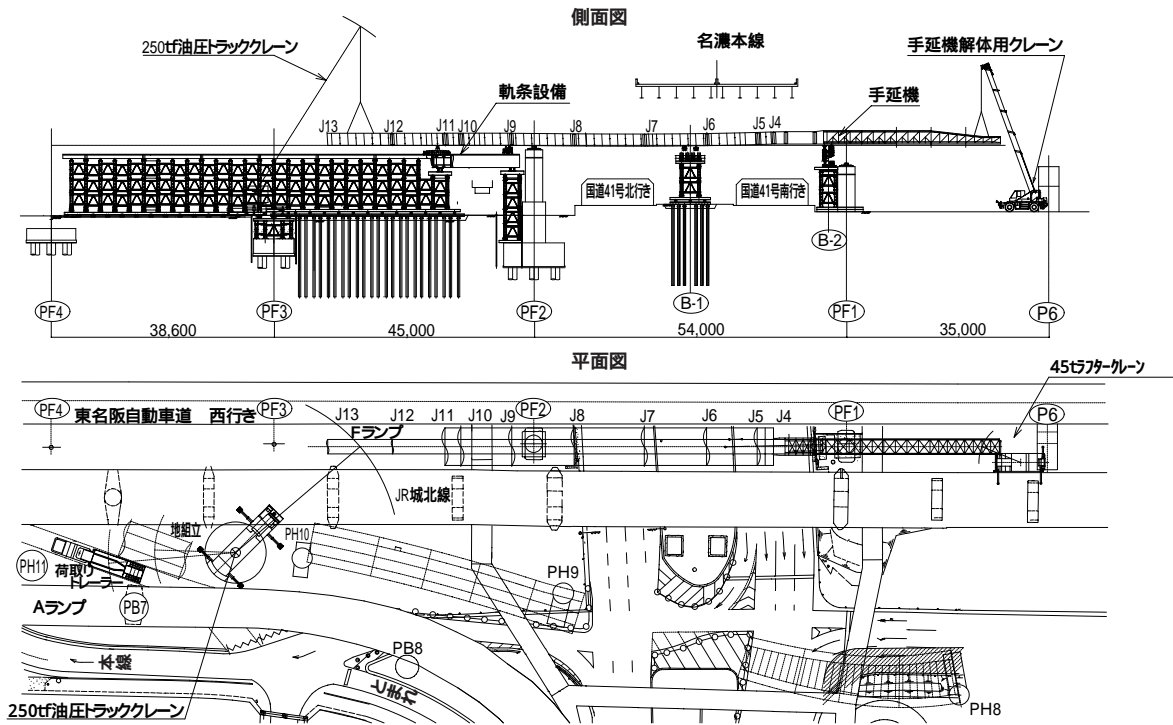


図7 橋ジャンクションFランプ橋 (SF0C) 送出し架設要領図  
Outline of launching erection of F-ramp girder (SF0C)

で、ブロック継手位置の塗装および付属物の搭載はすべて地組立て時に完了させて一括架設に望んだ。

地組立て位置は架設クレーンの吊上げ可能範囲にあることが望ましいが、本工事では地組立て完了後に架設クレーンの組立てスペースがないという問題があり、離れたヤードで地組立てを行い、一括架設時に自走台車で小運搬を行うことで対処した。

#### 4.4 安全対策

SF0C桁の架設は供用中道路近接での施工であったので、施工区間200mにわたって防護ネットを設置し、道路側に落下物がないように安全対策を施した。また送出しの作業は、桁下の国道41号線を夜間15分間の断続通行止め規制を行いながら実施し、国道通行車輛への妨げを最小限とした。

### 5 むすび

本稿では、工事施工期間の短縮や車線規制に伴う交通渋滞の緩和という社会的ニーズに対応した、次の3件の橋梁工事事例と施工技術を報告した。

その3点は、次のとおりである。

- a. 通行止め期間を5日間に抑えた橋梁の急速架替え工事
- b. 供用下における既設トラス橋の桁拡幅工事
- c. 供用中の道路上および近接で行う新設橋架設工事

今後の技術的課題として、急速施工を可能にする新材料・新工法の開発、計測や解析、および予備実験などによる入念な事前検討技術、そして短期間集中工事を円滑に進めるマネジメント技術の向上などが挙げられ、当社もこうした技術的取組みを積極的に行っていく所存である。

最後に、ここに紹介した工事に際して多大な指導を頂いた岡山県倉敷地方振興局建設部、日本道路公団名古屋建設局東名古屋工事事務所、および日本道路公団東京建設局上野原工事事務所の関係者に深く感謝の意を表する。

#### (参考文献)

津田聖郎, 室塚直人. 宮谷橋の拡幅工事. 住友重機械技報 no.147, Dec., 2001.

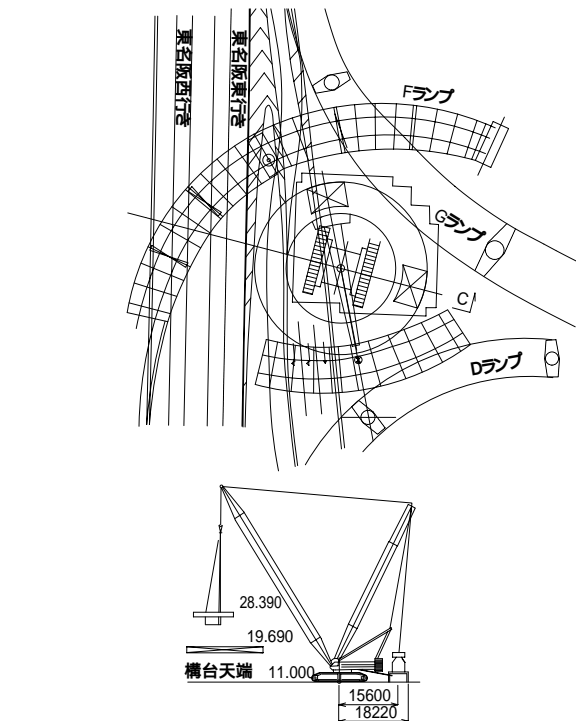


図8 橋ジャンクションFランプ橋 (SF3C) 一括架設要領図  
Outline of large block erection of F-ramp girder (SF3C)

に向かって行すが、到達側のPF1橋脚はPF2橋脚よりも約3m低い天端高となるので、桁を水平に送り出した後に、起点側PF2を回転支持点として、到達側PF1で3mのジャッキダウンを行った。ジャッキ設備は、桁勾配の変化に追従できるユニバーサルヘッド付きジャッキを使用した。

ジャッキダウン完了後、スライドジャッキを使用して桁を正規の位置に500mm横移動させて架設を完了した。

#### 4.3 SF3C桁の一括架設

SF3C桁の一括架設は、東名阪自動車道のリフレッシュ工事期間に合わせて一夜で実施することとなった。

架設ブロックの地組立ては、160t吊り油圧式クレーンを用いて行ったが、架橋位置が東名阪自動車道の直上となるの

# 維持管理技術の高度化に向けた取組み

Development of Bridge Maintenance Technologies

荒居 祐基\*

Masaki ARAI

小西 拓洋\*

Takuyou KONISHI

佐々木 靖彦\*

Yasuhiko SASAKI

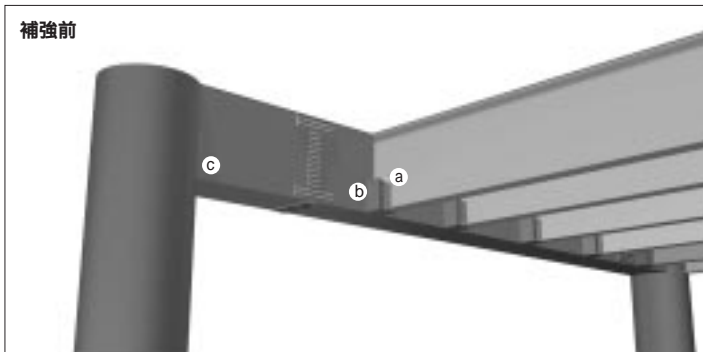
有井 一晃\*\*

Kazuaki ARII

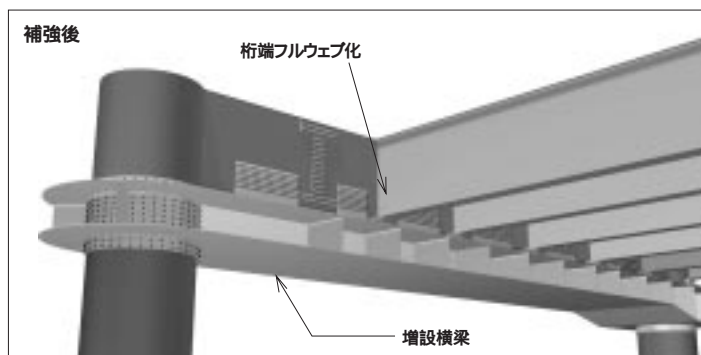
池田 茂\*\*\*

Shigeru IKEDA

補強前



補強後



都市内高架橋の疲労損傷補強

Retrofitting of fatigue damage at steel piers and girders

橋梁などの社会資本ストックの老朽化に伴い、維持管理の重要性が増している。ここでは、以下に示すような当社の維持管理技術を紹介する。

現場でも適用可能な可搬式X線装置による診断技術の確立と実橋適用。

電磁誘導法による溶接部および鉄筋破断調査法の開発。

赤外線サーモグラフィによる内部欠陥調査法の確立。

橋脚隅角部、桁端切欠き部、および支承受台部の疲労損傷に対する大規模な補修・補強対策実績。

アーチリブ形補強材を使用した耐震補強工法実績。

鋼橋の外ケーブル補強工法に関する設計法の提案。

Aging of social infrastructures such as steel bridges necessitates the enhancement of maintenance technology. This paper reports our new maintenance technologies developed for that purpose.

1) Development of diagnosis technology with a portable radiographic testing device applicable in the field and its application to a bridge.

2) Development of an inspection method by electromagnetic induction for welds and reinforcing-bar breaks.

3) Development of an inspection method by infrared thermograph for internal defect detection.

4) Major repair and reinforcement of bridge parts of steel piers and girders damaged by fatigue.

5) Aseismic reinforcement of a bridge using steel arch rib members.

6) Design proposal for girder reinforcement by outer cables.

## 1 まえがき

わが国の社会基盤整備は高度経済成長期に集中的に行われたことから、この時期に建設された膨大な社会資本ストックの老朽化が進行し、今後逼迫する公共投資において、維持管理費用の増加が社会的問題になると予想される。一方、わが国では新しいものをつくる技術や体制は確立されているものの、今あるものの延命化や効率的な活用技術、体制は必ずし

も十分に整っているとは言い難い。当社の橋梁事業においても、これまでの技術開発の取組みは、新橋建設や架替えの技術が中心であった。

こうした背景を踏まえて、社会的要請が強い既設橋の効率的活用の観点から、その重要性が一層増すと考えられる維持管理技術に関して、当社の近年の取組みを総括する。本報では、当社の維持管理技術を、近年注目される非破壊検査を中心とした点検・診断技術と、より高度化・特殊化が進む補





図1 ポータブルX線発生装置  
Portable radiographic testing device

修・補強技術に大別して、技術開発動向や施工事例について紹介する。

## 2 点検・診断技術

### 2.1 X線診断技術

X線を利用した非破壊検査技術は、従来から鋼構造物の溶接部検査に用いられており、欠陥部を調査する上で最も一般的な技術であるとともに確実な手法である。

住重試験検査株式会社ではX線発生装置として、最大6MeVまで出力可能な高エネルギー用ライナック、450kVpまで出力可能な低エネルギー用の移動式X線発生装置、および300kVpまで出力可能な可搬式X線発生装置を保有しており、極厚鋼板の溶接部検査から移動困難な対象物の検査まで幅広い検査を実施している。特に可搬式の低エネルギーX線発生装置は、総重量が100kg以下であり、現場でのX線透過試験にも十分適用可能であると考えている。

透過像の受け手側としては、従来高感度フィルムを使用していたが、リアルタイム性とデジタルデータとしての保存性を考慮して、イメージングプレートを用いたデジタルX線画像検査システム（FCR）を新たに導入している。イメージングプレートはフィルムに比べて約20倍の感度があり、デジタル画像処理が容易に行えることから、より詳細な検査が可能である。

近年、プレストレストコンクリート（PC）橋のPCグラウトの充填不良が問題となっているが、当社では前述の移動式X線発生装置とイメージングプレートを組み合わせたシステムを構築し、現場でのグラウト充填検査が容易に行えることを試験的に確認している。厚さ500mmのコンクリートブロックに対して、X線発生装置の管電圧を450kVp、管電流を10mA、撮影時間を20分としてグラウト充填状況の判別ができた。さらに現場でのハンドリング性を高めるために、携帯可能なよりコンパクトなX線装置（図1）の適用も検討中である。

### 2.2 電磁誘導診断技術

電磁誘導法は、鋼構造物の溶接部表層の欠陥検査やコンクリート構造物の鉄筋位置、かぶり調査に利用されている技術である。溶接部の欠陥検査は従来から渦流探傷試験として実施されており、塗膜上から欠陥部の特定ができる手法として実用に供されている。住重試験検査株式会社ではセンサ部に

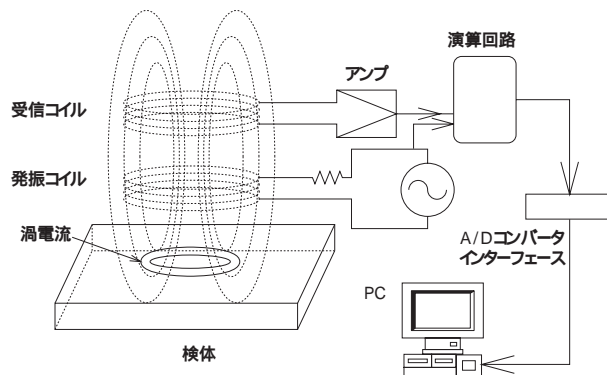


図2 電磁誘導による調査法  
Inspection method by electromagnetic induction phenomena

相互誘導タイプのコイルを使用し、塗膜上からの溶接部欠陥調査に対して、センサコイルの巻き数、周波数の最適化を図ることで一層の検出精度の向上を図った（図2）。現在鋼製橋脚の隅角部や各種タンクの溶接部検査などへの適用を目指し、実験供試体を用いた検証試験を行っている。

電磁誘導法の鉄筋探査への適用は一般的で、当社においても各種装置を使用して、配筋状態およびかぶり厚の調査を行っている。また、最近コンクリート製橋脚で問題となっているアルカリ骨材反応が引き起こす鉄筋破断に対して、電磁誘導法を用いた調査が有効であることを確認しており、現在基礎データの蓄積を行っている。センサには鋼構造物用と同じく相互誘導タイプを使用し、コンクリート構造物への磁束の透過力を強めるために、コイルの巻き数、半径を大きくした装置化を図っている。またコンクリートの中酸化および塩害などによる鉄筋の腐食に対しても、電磁誘導法による調査が可能であるか、人工的に腐食させた鉄筋を使用して検証試験を実施している。腐食状態の判定には検出コイルに発生する起電力の振幅に加え、基本波との位相差を考慮する必要があり、振幅と位相差から鉄筋の腐食率を定量的に推定することが今後の課題である。

### 2.3 赤外線サーモグラフィによる診断技術

赤外線サーモグラフィ法は、赤外線装置（カメラ）によって物体表面の温度分布を把握し、特異温度領域を抽出することで内部欠陥を調査する手法である。プラント配管の異常高温部調査、コンクリート構造物の剥離、ジャンカ、および漏水・滞水調査などに適用されている。

プラントの配管で高温のガス漏れが生じている場合、その温度は非常に高くなることから測定温度範囲の大きな赤外線装置が必要となるが、住重試験検査株式会社では2000℃まで測定可能な装置で対応している。また、コンクリート構造物の剥離を検出する場合、剥離部と健全部との温度差は一般的に0.5℃程度と言われており、日照の状況や計測時間帯、季節によってさらに温度差が小さくなることもあることから、異常部の検出には高い温度分解能を持った赤外線装置が必要とされる。住重試験検査株式会社の保有する赤外線装置は最小温度検知差が0.08℃であり、悪条件下においても比較的精度良く調査が可能である。しかし日射のまったくない場所や夜間など、十分な温度差が得られない場合には、ヒータなどを用いた強制加熱による方法や、撮影時間帯を変えた温度デ



図3 赤外線サーモグラフィ法  
Infrared thermography method

ータから差分をとって温度差を強調する方法などを行う必要があり、こうした手法の最適撮影条件を設定することが今後の課題である。

高速道路高架橋の舗装表層剥離調査を実施した事例では、剥離ありと判定された特異温度箇所と、実際に剥離が存在した箇所との一致を確認している(図3)。

### 3 補修・補強技術

#### 3.1 疲労損傷補修

道路橋の設計基準体系である道路橋示方書・同解説によれば、2002年の改訂まで鉄筋コンクリート床版を有する一般的な道路橋においては、疲労の影響を考慮しなくてもよいとされてきた。しかし応力集中が生じる不適切な構造詳細や、車両大型化と交通量増加に起因する疲労損傷が近年顕在化するようになり、改訂後の基準では道路橋においても疲労の影響を考慮して設計を実施することが義務付けられた。

ここで紹介する疲労損傷補修は、供用後40年近く経過した首都高速都心環状線神田橋付近の高架橋の切欠き桁において、過去に疲労損傷対策を実施したにもかかわらず、その後の重交通の影響により再度補修・補強を実施したもので、疲労の発生源となる応力集中部を大規模な構造変更によって除去した事例である。

疲労による損傷は、桁端切欠き部のコーナ部(冒頭の図のa部)と横梁から突き出た支承受台部(冒頭の図のb部)、および円柱と矩形横梁からなるラーメン橋脚の隅角部(冒頭の

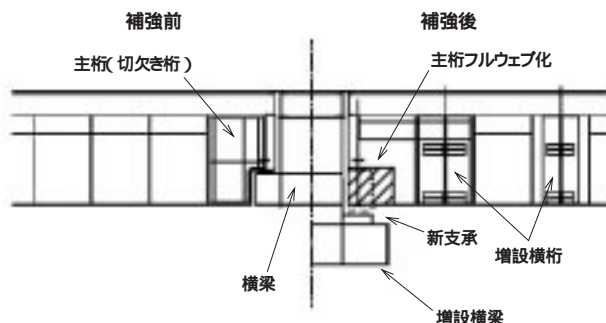


図4 大規模疲労損傷補強  
Large-scale retrofitting for fatigue damage at steel piers and girders

図のc部)で発生していた。

具体的な対策としては、コーナ部に応力が集中する桁端切欠き構造と疲労強度の著しく低い継ぎ手を有する受台構造をやめ、フルウェーブに改造した主桁を既設横梁の下側に設けた増設横梁で受ける構造に変更した(図4)。このような大規模な改造を重交通が走行する供用下で実施するために、以下に示すような綿密な事前検討と計測や解析による検証を行った。

##### 3.1.1 増設横梁の構造の検討

増設横梁はフルウェーブ桁の支点、および主桁ジャッキアップ時の反力受けになるとともに、横梁全長にわたって設置し脚柱と接合することで隅角部の補強部材としての機能も有する。これらの機能を満足させるために、FEM解析により応力状態を考慮した構造検討を行った。

##### 3.1.2 施工ステップの検討と施工時の安全性の検討

主桁間に増設縦桁・横桁を設けて主桁をジャッキアップしたが、その施工ステップの検討および主桁改造順序の検討を行った。ジャッキアップ時には、ジャッキ反力、増設部材の応力、および桁の変形などに着目したFEM解析と施工時計測モニタリングの実施で安全性を検証した。

##### 3.1.3 完成時の検討

完成時における隅角部の応力低減効果と、増設横梁の実挙動を確認するため、施工前後に荷重車を走行させた応力測定および応力頻度測定を行った。

本対策の実施により、疲労損傷の発生源である切欠き桁と受台構造がなくなるとともに、橋脚隅角部の応力がほぼ半減し、応急的な措置として疲労寿命を向上させることができた。隅角部については、補強後に亀裂の除去を行って恒久的な疲労対策とした。

今後道路橋においても、重交通の影響により疲労損傷が顕在化し、こうした大規模な補修・補強を含む対策が数多く実施されるものと予想されることから、これらの成果を活用し、積極的に取り組みたい。

#### 3.2 特殊な耐震補強

阪神淡路大震災(平成七年兵庫県南部地震)以降、鋼製、コンクリート製を問わず橋脚や上部構造の耐震補強工事が盛んに行われているが、ここで紹介する耐震補強工法は、支間長約17mのPC桁橋の桁下に、鋼製のアーチリブ補強材を設置して構造系を変更することで、耐震性能を向上させた工法である。



図5 アーチリブ形補強材による耐震補強  
Aseismic reinforcement using steel arch rib members

鋼製アーチリブ形補強材の端部は橋脚基礎のフーチングに固定し、主桁をクラウン部で積層ゴム支承を介して支えることで、免震効果と桁に作用する地震時の水平力をアーチリブで分散させる効果を期待している。

鋼製アーチリブ形補強材は予め3分割して製作しておき、両端部を橋脚基礎のフーチングにジャッキを介して仮固定して、上部部材を専用のリフトアップ車で挿入し、部材を溶接接合した後に、補強材の端部に水平力を導入してクラウン部に突き上げ力を作用させた。当社はこのアーチリブ形補強材を使用した補強工事として、国土交通省九州地方整備局より遠賀高架橋の耐震補強工事を受注し、2003年1月に施工を完了させた(図5)。

### 3.3 外ケーブル補強

鋼橋の耐荷力向上を目指した補強工法で、活荷重応力は低減させるものの、死荷重応力の改善を行う方法は少ない。外ケーブル補強工法は、単純合成桁の下フランジ近傍のプレストレス導入で主桁の死荷重曲げ応力度を低減する補強工法で、経済性および施工性の面で期待される工法である(図6)。

本工法は鋼橋での施工実績が少なく、その設計法も十分に確立されていないのが現状であるが、住重鐵構工事株式会社ではPCケーブルの強度特性試験による耐久性の検証や設計法の提案を行うとともに、実橋試験で補強前後の挙動・効果確認を行うなど、鋼橋の外ケーブル補強工法に関する設計・施工技術を確立している。

外ケーブルによる主桁の死荷重曲げモーメントの改善効果は、 $(\text{ケーブル軸力}) \times (\text{桁断面の中立軸との偏心量})$ で表すことができる。住重鐵構工事株式会社で施工した橋梁での実橋計測によれば、補強により約3割の死荷重応力度の改善が確認できた。また補強前後で行った荷重車載荷試験によって、活荷重に対しても下フランジの応力度低減に有効であることを確認した。

補強に用いる外ケーブルは主にPCケーブルが用いられ、現有する設計指針もPC橋を対象としたものであることから、鋼橋への適用に際しては、以下の点に留意する必要がある。

PC橋に比べて死荷重に対する活荷重(応力振幅)の比率が大きく、さらに過積載の存在がある。

PC橋を想定したPCケーブルの安全率を採用すること



図6 外ケーブル補強工法  
Girder reinforcement with outer cables

の可否に留意する。

住重鐵構工事株式会社ではケーブルの終局状態を想定した繰返し引張試験を実施して、導入軸力の設定や破断に対する安全性の照査を実施し、上記の留意点を考慮した鋼橋での設計法を検証している。

## 4 むすび

本報では、近年社会的要請の強い維持管理技術について、当社の開発技術と施工技術に関して以下に詳述した。

現場でも適用可能な可搬式X線装置による診断技術の確立と実橋適用。

電磁誘導法による溶接部および鉄筋破断調査法の開発。

赤外線サーモグラフィによる内部欠陥調査法の確立。  
橋脚隅角部・桁端切欠き部・支承受台部の疲労損傷に対する大規模な補修・補強対策実績。

アーチリブ形補強材を使用した耐震補強工法実績。

鋼橋の外ケーブル補強工法に関する設計法の提案。

当社では現在橋梁を中心とした構造物の維持管理に対して、住重試験検査株式会社および住重鐵構工事株式会社とともにグループを挙げた総合技術力により鋭意取組み中であり、これからも構造物の維持管理をとおして、社会へ貢献していくことを目指す所存である。

### (参考文献)

社団法人日本道路協会. 道路標示方書・同解説 . Apr., 2002.

石丸浩司, 増田高志, 佐々木靖彦, 小西拓洋, 滋谷敦. 鋼橋の橋脚隅角部・桁端切欠き部・支承受台部の疲労損傷に対する大規模対策. 土木学会第58回年次学術講演会概要集, Sep., 2003.

アーチ形補強材で耐震性を向上. 日経コンストラクション, 2002.11.22, p.26~30.

岡本晃, 神田一夫, 中原浩昭. PC外ケーブルを用いた既設鋼板げた橋の補強対策. 東名片山高架橋. EXTEC no. 63, p.51~54, Dec., 2002.

中島隆二, 服部宏, 池田茂, 藤本朗. 新白川橋の外ケーブル工法による桁補強工事. 橋梁と基礎, vol.36, no.9, p.20~27, 2002.

荒居祐基, 鈴木隆久, 池田茂, 諸隈成幸. 橋梁保全技術の開発. 住友重機械技報 no. 150, Dec., 2002.

# 短期間立体交差化工法 SMArt Crossing

Development of Short-term Overhead Crossing Construction Method Called "SMArt Crossing"

浅井 一浩\*  
Kazuhiro ASAI

武内 隆文\*  
Takafumi TAKEUCHI

藤本 朗\*  
Akira FUJIMOTO

吉田 達矢\*  
Tatsuya YOSHIDA

高野 光史\*  
Kouji TAKANO



図1 SMArt Crossing

都市部で発生する交通渋滞対策として行われている交差点の立体交差化工事において、従来の工法では工事期間中に交通渋滞を増加させるとともに工期が1年から2年にも及び、周辺住民に大きな負担が掛かっていた。そのため、沿道住民の社会的負担を増やすことなく、経済効果と環境負荷軽減の早期発現が期待できる交差点渋滞解消技術の開発が望まれている。従来工法が抱えていた問題を解決するため、株式会社浅沼組と共同で開発した短期間立体交差化工法『SMArt Crossing』について報告する。

同工法の特長として、次の3点が挙げられる。

工事期間中も右折車線を確保し工事渋滞を回避。

工期を4ヶ月に短縮。

交差点部の架設工事を一夜で実施。

The construction of an overhead crossing at an intersection aims to ease traffic congestion in an urban area. However, traffic congestion tends to worsen during the construction period that takes one to two years by a conventional construction method. The people living in the vicinity are forced to put up with the inconvenience. A breakthrough technology has long been desired for overhead crossing construction, which will quickly realize the economic effect and lessen the burden on the environment without bringing inconvenience to the neighborhood. We have developed a construction method of an overhead crossing called "SMArt Crossing" in cooperation with Asanuma Corporation in order to solve the potential problems involved in conventional construction.

The features of the new construction method are:

- 1) A right turn lane is secured to avoid traffic congestion during a construction period.
- 2) The construction period is reduced to four months.
- 3) The construction of an overhead crossing at an intersection is implemented overnight.

## 1 まえがき

都市部で発生する交通渋滞は、時間やエネルギーのロスにより経済活動へ多大な損失を与えると同時に、環境問題や交通事故の増加を引き起こしている。交通渋滞による時間損失額が、全国で年間12兆円との国土交通省の試算もある。

その対策として行われているバイパスの整備や現道の拡幅工事は、交通容量の飛躍的な拡大をもたらすが、事業費が大きく、かつ事業期間も長いという問題を抱えている。また、

立体交差化工事においても、従来の工法では工事期間中に交通渋滞を増加させるとともに工期が1年から2年にも及ぶことから、周辺住民に大きな負担が掛かっていた。そのため、沿道住民の社会的負担を増やさず、経済効果と環境負荷軽減の早期発現が期待できる交差点渋滞解消技術として「急速立体交差化技術」の開発が望まれている。当社は工事期間中の渋滞を抑え、短期間で平面交差を立体交差化する工法『SMArt Crossing』を株式会社浅沼組と共同で開発した(図1)。SMArt Crossingは、完成時だけでなく工事期間中にも

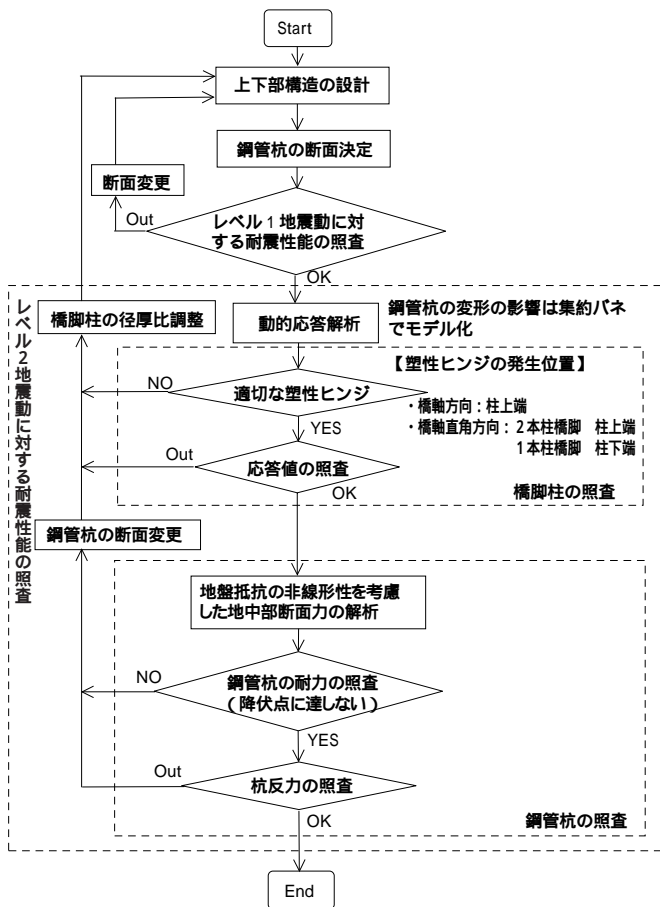


図2 設計フロー Design flow

右折車線を確保することで工事渋滞を回避し、従来工法と同程度の工費で工期を4ヶ月に短縮する画期的な立体交差化工法である。

## 2 開発コンセプト

本工法の開発コンセプトを示すと、以下のようになる。

鋼製桁と鋼製橋脚を用いた軽量な立体ラーメン構造を採用し、交差点部の橋脚を1本柱にすることで、完成時のみでなく工事期間中でも右折車線を確保する。

1柱1杭構造の採用により基礎杭の本数を減らし、さらに施工速度の速い鋼管杭とプレハブ化された部材の採用で、現場作業の省力化を図る。

鋼管杭と橋脚柱の接合部に誤差吸収可能な独自の杭頭接合構造を開発し、フーチングの施工作業を省略して工期を短縮する。

中央径間部の架設は自走式多軸台車による一括架設工法を採用し、交差点の通行止め期間を一夜のみとする。

上記の～を実現し、上下部工架設と基礎工事を並行作業とすることにより全体工期を4ヶ月とする。

## 3 開発工法の特徴

### 3.1 想定条件

本工法の開発に当たって想定した条件は、以下のとおりである。

交差道路は都市部に適用される第4種1級道路で、総幅員25m(片側2車線)の道路の交差点とする。工事期間中は歩道幅を1.5mまで縮小することができる。

立体高架橋部は2車線道路で、縦断勾配は5%とする。地盤条件は比較的都市部に多い種地盤(N値5~30)とし、支持地盤は-30mとする。

工事に支障となる埋設物はないものと想定する。

### 3.2 上下部・基礎構造の設計

上下部構造の設計は、鋼桁と橋脚を剛結した立体ラーメン構造をモデル化した立体骨組解析により行う。一方、杭基礎の設計は橋脚と直接一体化する1柱1杭構造であることと、特に中央径間部の橋脚が1本柱であることを勘案して、各橋脚の常時、地震時の荷重分担と整合させながら断面決定を行う必要がある。このため耐震設計においては、上下部構造と杭基礎を一体とした全体系モデルにより動的応答解析を行うのが望ましいが、大規模地震時における地盤抵抗の非線形性(塑性化)を精度よく全体系動的応答解析に考慮することは、煩雑であり実務上困難である。

このことから、本工法では上下部構造と杭基礎の各々の解析を連動させることにより、各構造部材の最適設計を行うこととした。具体的には、橋脚の設計に当たり、レベル2地震時に橋脚の適切な位置を塑性化させることで地震エネルギーを吸収し、各部材への地震の影響を低減させる。鋼管杭の設計としては、鋼管杭の変位が大きくなる場合には、地盤の塑性化を考慮する必要がある。この場合、鋼管杭に発生する最大断面力は杭頭部ではなく地中部となるので、地盤抵抗の非線形性を考慮した鋼管杭の地中部断面力解析により耐力の照査を行う。図2に、設計フローを示す。

### 3.3 開発工法の基本構成

#### 3.3.1 上下部構造

交差点の立体化工事を短時間で施工するには、地盤改良をなくすとともに、基礎構造をできるだけ小さくして掘削量を削減することと、鉄筋の組立てやコンクリート打設などの現場工期が長くなる工程を削減することが重要となる。

そのため、上部構造には構造全体を軽量化でき、かつ現場での作業工数を削減できる鋼5径間連続鋼床版箱桁を採用する。

なお、提案構造では2箱桁の採用により桁高をできるだけ低くし、地震時の上部慣性力の作用位置を低くしている。交差点の状況や立体道路の幅員などの条件によっては、一箱桁や細幅箱桁などの適用により、さらなるコスト縮減も考えられる(図3、図4)。

下部構造には、プレハブ軽量化が可能となる鋼製柱を採用し、鋼管杭との取合いを考慮して円柱とする。

#### 3.3.2 基礎構造

基礎構造は、建設発生土の削減ができる無排土施工の鋼管杭を採用した。また、杭打設の精度を確保するため、全周旋回式の杭打ち機と打設する杭との間にライナを設けて極力杭頭位置を拘束した状態で施工し、±50mm以内の打設精度を確保する。

#### 3.3.3 柱と杭の接合構造

柱と杭との接合部には、杭施工で発生する施工誤差の吸収

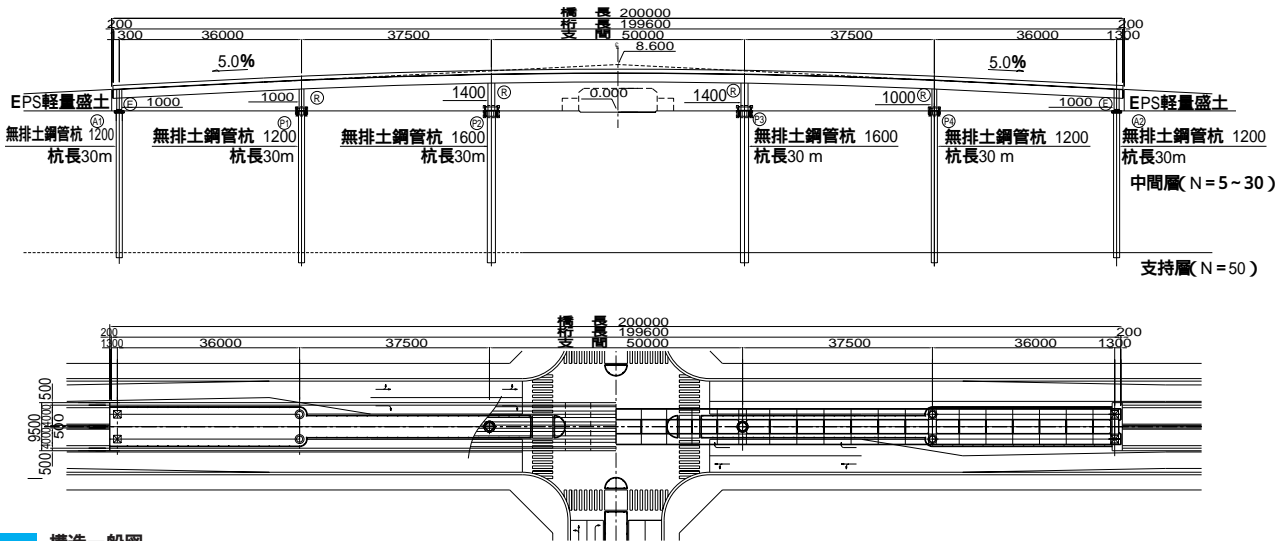


図3 構造一般図  
Drawing of general structure

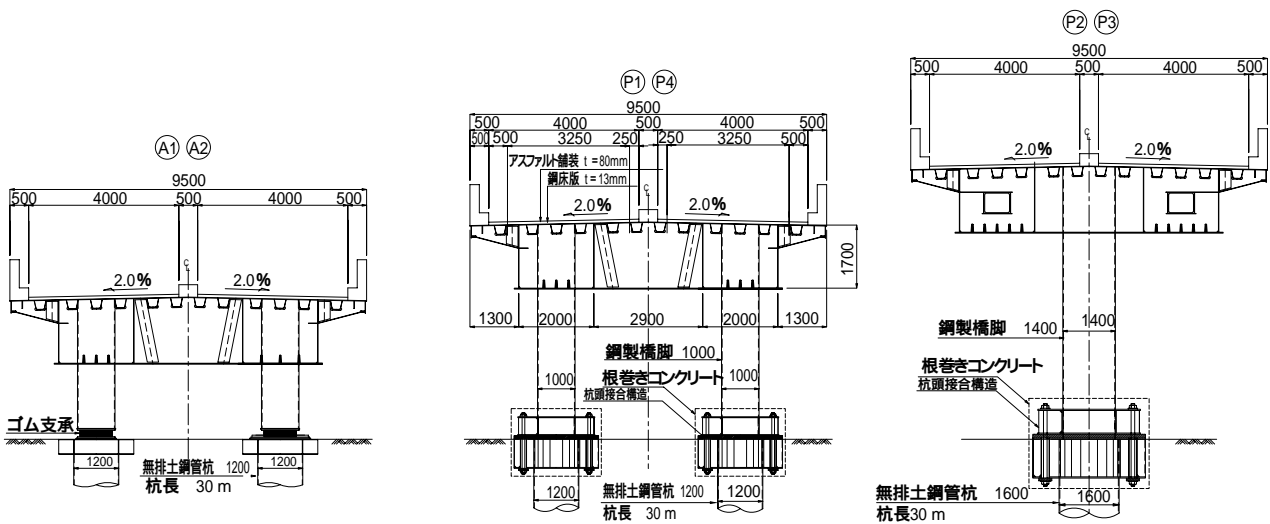


図4 断面図  
Cross section

可能な独自の杭頭接合構造 (SMarT Composite Joint 図5) を開発した。これにより、従来杭施工における誤差吸収に不可欠であったフーチングの施工を省略することができる。

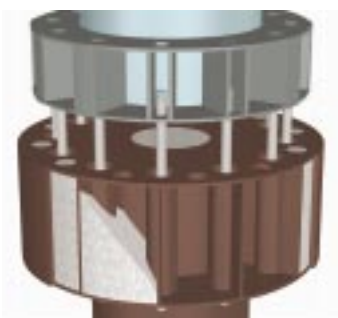
開発した杭頭接合構造は、鋼とコンクリートの複合構造としたアンカボルトによる定着構造である。杭の施工誤差は、杭頭剛結構造に内蔵したパイプの内径とアンカボルトの外径差により吸収する。本構造は杭と同径の鋼管の円周上にリブプレート付きのパイプを配置し、上下フランジとカバープレートで密閉構造としてコンクリートを充填する。これにより、橋脚基部から伝達されるアンカボルト力およびベースプレート圧縮力に抵抗できる構造としている。

コンクリート充填は製造工場または現場で行うが、現場で行う場合は杭施工期間中などの工程上支障にならない時期に行う。

### 3.3.4 桁端部構造

桁端部は短い橋脚を桁と剛結することで一般的な橋台を省略し、現場施工工数を削減した。なお、端部橋脚部付近では桁の伸縮量が地震時よりも温度時の方が支配的となるため、ゴム支承を採用して温度時の応力を開放した。

図5 SMarT Composite Joint



### 3.3.5 アプローチ部

アプローチ部においては、現場での加工が容易で、かつ人力による組立てができる壁面付きEPS (発泡スチロール) 盛土を採用し、施工速度を速めた。EPSブロックは軽量ゆえ、想定条件での地盤条件であれば地質改良を行わずに済み、従来工法の約1/2の工期に短縮できる。なお、下部には自動車の衝突耐力を確保する目的で、プレキャストコンクリート防護擁壁を設ける。上部については壁面付きEPSとすることで、通常のEPS盛り土では必要なコンクリート防護壁の施工を省略することを可能とする。

### 3.4.6 付属物

高架橋部には鋼製壁高欄を採用し、アプローチ部にはプレ

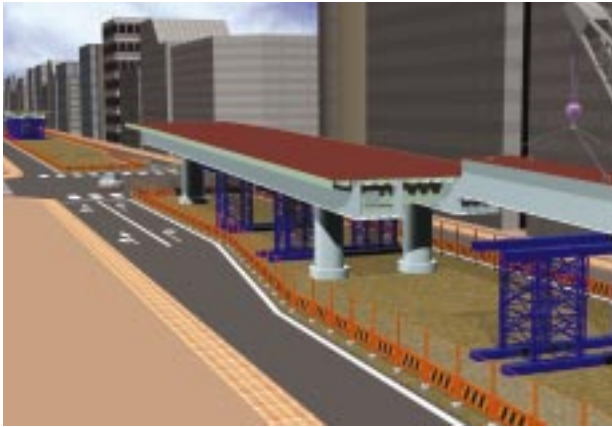


図6 A2側側径間架設  
Erection of A2 side span

キャストコンクリート製壁高欄を採用することにより高欄施工工程の短縮を図った。

伸縮装置は車輛走行時の衝撃音の低減を目的として、ゴム製伸縮装置の使用を基本とする。

高架橋部には地覆部に排水溝を設置し、現場での施工工数の削減を図った。アプローチ部は、透水性舗装を採用する。

## 4 施工手順の概要と特徴

本工法の施工手順と特徴について説明する。

### 4.1 基礎工の施工及び中央径間の地組立て

架設工程としてまず2週間の準備工を行った後、基礎工の施工を行う。鋼管杭の打設は、自走式の全周旋回杭打ち機により中央径間側から側径間側へ移動しながら行う。1柱1杭構造による杭本数の削減と施工速度の速い鋼管杭でかつ無排土杭であるため、基礎工の施工は4週間で完了することができる。

基礎工を施工している間、高架橋の中央径間部をA1側アプローチ部にて自走多軸台車が入れる高さに地組立てを行う。杭基礎としては比較的小径な鋼管杭の施工により大きな架設機材は必要なく、一般部の工事占有幅は12m、交差点部においては10mで済む。

### 4.2 A2側の側径間上部工の架設

独自の杭頭接合構造の採用でフーチングの施工を省略しているため、A2側の側径間の架設(図6)はトラッククレーンベント工法により2週間で施工できる。中央径間の架設に先立ちA2側側径間を架設しておくことにより、1本柱橋脚で両端支持される中央径間部の架設時安全性を向上させることが可能である。

### 4.3 中央径間の一括架設

A2側の上部工架設終了後、地組立てした中央径間を自走多軸台車により一括架設する(図7)。これにより、交差点の交通止め回数は夜間1回だけとすることができる。

### 4.4 A1側上部工架設およびA2側アプローチ施工

残りの側径間の架設を、トラッククレーンベント工法により2週間で行う。この間に、既に施工済みのA2側側径間のアプローチ部の施工に着手する。

### 4.5 A1側アプローチ部の施工

高架橋部の架設後、4週間でアプローチ部の施工を行う。



図7 中央径間架設  
Erection of center span

## 4.6 橋面工

アプローチ部壁高欄、舗装、および排水装置の施工などの橋面仕上げを1週間で行う。

## 5 工法の経済性

本開発工法と従来工法との経済性を比較すると、工事費については従来の鋼製橋梁と同程度とすることができた。現場工期においては、従来発注工事の現場工期が1~2年掛っていたのに比べて、独自杭頭接合構造の開発適用によるフーチングの省略と無排土の鋼管杭の採用により施工速度を速めたこと、可能な限りプレファブ化した部材の採用などにより、工期は4ヶ月に短縮することができた。

社会コストについては、現場工事期間中にも右折車線を確保することができ、工事渋滞の発生を緩和できた。交差点の通行止めについても一回とし、影響を最小限にできた。なお、無排土の杭の使用により建設発生土も削減できている。

## 6 むすび

本報では、1年から2年の工期を要し、工事渋滞を発生させていた従来の交差点立体交差化工事が抱えていた問題を解決するため、株式会社浅沼組と共同で開発した短期間立体交差化工法SMArt Crossingについて記述した。

開発した工法の特長として、次の3点が挙げられる。

- 工事期間中も右折車線を確保し工事渋滞を回避。
- 工期を4ヶ月に短縮。
- 交差点部の架設工事を一夜で実施。

今後は、片側3車線道路交差点の4車線立体への適応性の確認や斜め交差など交差点間隔が長く中央径間が長くなる交差点での適応性についても確認を行う予定である。また、設計荷重が3tとなる乗用車用の小型車道路への適応性についても今後確認を行う。

本工法の開発に当たり、基礎構造やアプローチ部の検討を含め、工法全般について共同で検討を行ってきた株式会社浅沼組土木技術部に対し深く感謝の意を表する。

(参考文献)

社団法人日本道路協会. 道路橋示方書同解説(平成14年3月)

# 港湾複合構造物への取組み

Development of Hybrid Structure in Port Facilities

江崎 慶治\*

Keiji ESAKI

荒居 祐基\*

Masaki ARAI

浅井 一浩\*

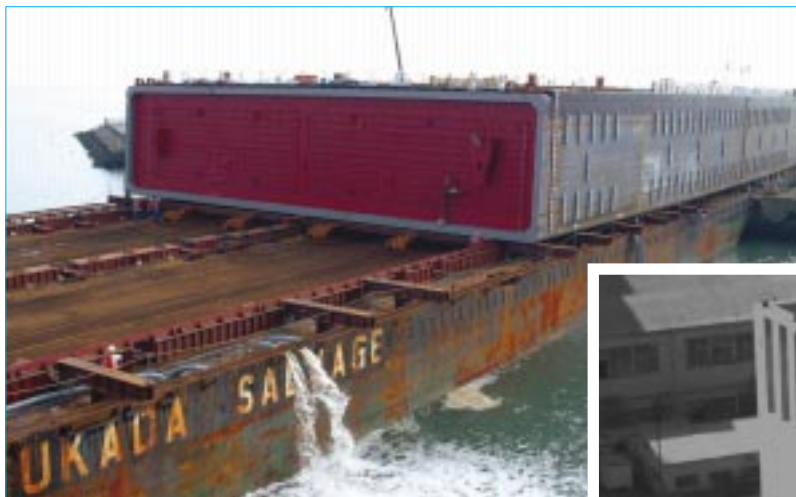
Kazuhiro ASAI

前田 滋\*

Shigeru MAEDA

河野 信久\*

Nobuhisa KOUNO



鋼殻積み込み

Loading of steel plate shell



横須賀港大津地区防波堤  
Breakwater in Yokosuka Port Otsu District

近年、複合構造に関する設計・製作技術の発展に伴い、港湾施設において複合構造物が多く採用されている。当社では、港湾複合構造物に関する研究開発を実施している。本報では、次の研究開発を紹介する。

## 沈埋函の短時間台船積み込み工法の開発

短時間に重量構造物を台船に積み込む工法として、テフロンスキッド工法および積み込み管理システムを開発した。本工法を那覇港沈埋トンネル2号函の鋼殻台船積み込みに適用し、開始から約2時間で台船に積み込みを無事完了した。

## フーチングに作用する圧力の研究

ハイブリッドケーソンは長いフーチングを特徴とするケーソンである。現行設計法において、長いフーチングに作用する波の影響は考慮されていない。したがって、長いフーチングを有するケーソンの水理実験を実施し、フーチング上面に作用する圧力と揚圧力を考慮した算定式を提案した。

Different kinds of hybrid structures have been applied to harbor facilities along with the progress of design and manufacturing technologies. Our company has been implementing R&D projects on hybrid structures for harbor facilities.

This paper reports two recent achievements.

- 1) Barge loading of a prefabricated steel shell to be immersed at a site. A new loading technology was developed, which enabled loading of a heavy prefabricated structure onto a barge in a short period of time. The technology enabled sliding of the shell welded with skids on the skid supports. The contact surface of the support was clad with Teflon boards to reduce friction while pushing the shell onto the barge. This technology was applied to the loading of the No.2 shell section for the Naha submerged tunnel. The loading onto the barge was successfully completed in about two hours.
- 2) Study on estimating the effect of wave pressure on caisson footing. A hybrid caisson is featured with its long footing. The current design practice does not consider the effect of wave pressure on footing. An experimental study with models of long footing was conducted to estimate the effect. An empirical formula was derived for accurately estimating the resultant pressure acting on the footing.

## 1 まえがき

近年、港湾施設において、建設費の縮減や大水深域への建設といった社会的要求を背景に、複合構造の設計および製作技術が発展し、港湾や臨港道路などに採用されるようになった。

港湾における主な複合構造物には、防波堤や岸壁などに利

用するハイブリッドケーソン（HBケーソン）やハイブリッドポンツーン、および沈埋トンネルに利用するハイブリッド沈埋函などがある。当社はこれらの港湾複合構造物の設計および製作の実績を通して、一層多様化する社会的要求にこたえるための設計法や製作技術の開発を行っている。

本報では、当社の港湾複合構造物の製作事例をいくつか紹



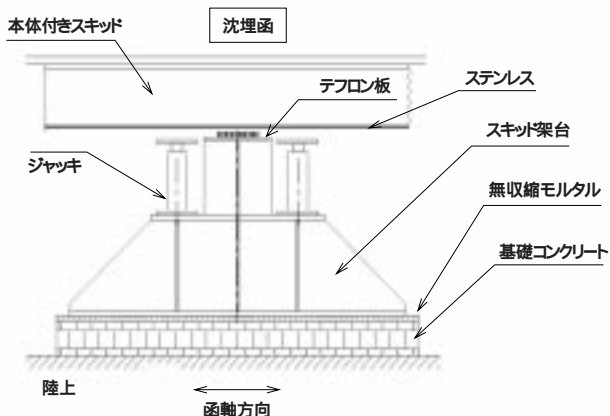


図1 スキッド架台  
Skid rail and support

介するとともに、これら港湾複合構造物に関する技術開発として、沈埋函の短時間台船積み技術とHBケーソンの特徴であるフーチングに作用する圧力を考慮した設計法の提案について記述する。

## 2 沈埋函の短時間台船積み工法の開発

### 2.1 那覇港沈埋トンネルの概要

本沈埋トンネルは那覇臨港道路空港線の一部で、那覇ふ頭港口を横断する自動車専用道路である。トンネルの延長は約1.1kmで、そのうち724mの区間が8函の沈埋函で構成される。このうち2号函の製作工事を、東洋建設・住友重機械工業・佐伯建設工業 特定建設工事共同企業体が受注し、2002年3月に工事を竣工した。2号函の諸元を、以下に示す。

基本寸法(m)：36.94(W)×8.70(H)×92.00(L)

鋼殻重量：2887t

沈埋函の構造は鋼板で仕切られた区画にコンクリートを充填して一体化させるフルサンドイッチ構造である。本構造の採用により、コンクリート工事の省力化や工期短縮によるコスト縮減が実現でき、さらに海底の厳しい条件下において、高い止水性能を保有することが可能になる。

沈埋函の製作は、次に示す手順で行った。

- ヤードでの鋼殻製作
- 半潜水式台船への鋼殻積み込み
- 那覇港への回航
- 洋上でのコンクリート打設

### 2.2 港湾構造物の積み込み工法と那覇沈埋函への適用検討

#### 2.2.1 港湾構造物の積み込み工法

一般的に港湾構造物は陸上で製作された後、進水工を経て現地に海上輸送される。陸上で製作される港湾構造物は、時として数千トンにおよぶ重量になるため、進水工は大規模な工事となることが多い。現状の進水方法をまとめると、以下のように大きく三つに分類できる。

陸上ヤードで製作し、起重機船を用いて構造物を吊上げ、台船上への積み込みや海中へ進水させる吊上げ進水工法。

陸上ヤードで製作し、スキッドやエアキャスタ、ドーリーを用いて台船に積み込んで進水する横引進水工法。

ドライドックやフローティングドック上で構造物を製作し、進水させるドック進水工法。

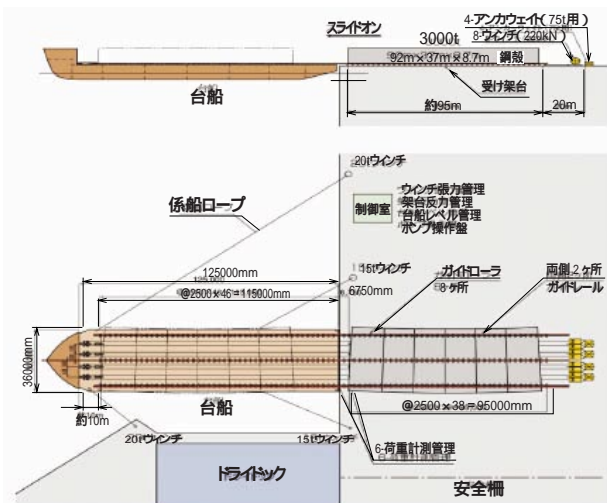


図2 台船積み込み作業一般配置図  
General arrangement of loading onto barge

#### 2.2.2 那覇沈埋函への適用の検討

本工事においては、鋼殻の製作工場である当社東予製造所(愛媛県)から那覇港まで沈埋函を回航しなければならないので、陸上で製作した鋼殻をいったん半潜水式台船に積み込む必要があった。ここで、2号函の積み込み条件を以下に示す。

鋼殻重量2887tの重量構造物である。

東予製造所に隣接する東予港では、約3時間ごとにフェリーが発着する。

潮の干満差および鋼殻の積み込みにより台船が沈み込む。

高圧空気をを用いて搬送する方法は、多数のエアキャスタを数10mの移動ごとに盛替える必要があるため、搬送時間が長時間におよび時間的制約を受ける2号函の搬出には適用し難いと判断した。したがって、短時間での積み込みを可能にする新たな積み込み工法として、テフロンスキッド工法の開発を行った。

#### 2.3 テフロンスキッド工法

テフロンスキッド工法は、図1に示すように本体付きスキッド下面に取り付けたステンレス板(t=6mm)とスキッド架台天端に設置したテフロン板により摩擦係数を低減して重量構造物を搬送する工法である。

テフロン板とステンレス板の間の摩擦係数特性を確認する目的で実験を実施したところ、摩擦係数は $\mu = 0.04$ と非常に小さく、テフロン板に作用する圧縮力が大きくなっても摩擦係数はほとんど変化しないことが明らかとなった。

スキッド架台は比較的単純な構造で一般的な材料を用いており、大量に製作しても経済的な負荷は少ない。スキッド架台をあらかじめ2号函の移動区間に渡って設置し、連続作業による短時間の積み込みを可能にした。

一方、陸上から台船への不連続な路盤上を短時間で重量構造物を積み込むためには、架台のレベルと反力バランスの状態を逐次管理し、陸上での引込みや台船のバラスト調整を行う必要があった。ゆえに、陸上から台船へ積み込む際に必要な管理データを一元管理し、作業指示をタイムリーに発信するシステムを構築して円滑な積み込み作業を支援することとした(図2)。その際、積み込み時の管理データは以下に示す7項目である。

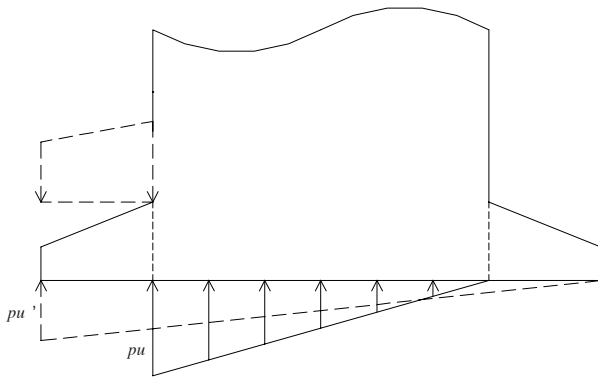


図3 フーチングを有するときの揚圧力  
Uplift pressure distribution with footing

スライドオン位置

張力

台船レベル

架台反力

水中ポンプ稼動状況

潮位

バラスタタンク内水量

2.4 那覇港沈埋函の積み込み

2001年9月25日、フェリーの発着時刻を避け、かつ潮位変動の少ない時間帯に、2号函の半潜水式台船への積み込み作業を実施した。

ヤードおよび半潜水式台船上に配置したスキッド架台の総数は114個である。超音波式変位センサで半潜水式台船の船首と船尾を計測しながらスキッド架台のレベルを維持し、圧縮型ロードセルを陸上端部架台および台船上端部架台に配置して計測し、架台反力バランスを維持した。

一元管理されたデータをもとに集中作業室よりウインチおよび水中ポンプへの作業指示が発信され、2号函は順調に半潜水式台船へ積み込まれ、作業開始から約2時間で積み込みを無事完了することができた(冒頭写真左)。

3 フーチングに作用する圧力の研究

3.1 HBケーソンの特徴

ここでは、特徴的なHBケーソンの事例として横須賀港大津地区スリット付きHBケーソン製作工事を紹介する。本工事は、2002年度神奈川県建設技術協会の優良工事として表彰された工事である。

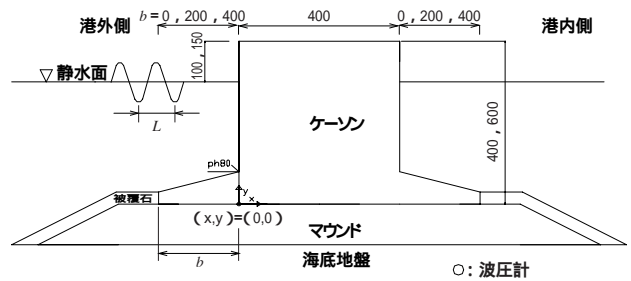
本HBケーソンは横須賀港大津地区の小型船だまりの防波堤として供用されるもので、現地はN2の軟弱なシルト層が広がっていることから、フーチングの張出し長を長くして函体重量を分散できるハイブリッド構造が採用された(冒頭写真右)。本HBケーソンの函体諸元を、以下に示す。

基本寸法(m): 5.00(W)×11.00(H)×35.00(L)

進水重量: 2394t

ケーソンは本体幅が5.0mで、海および陸側のフーチング長を3.0mとした非常にスレンダな構造となっている。通常、RC(鉄筋コンクリート)ケーソンでは材料の制約からフーチングの張出し長を1.5mまでの範囲内で断面検討されるが、HBケーソンの場合は底版やフーチングに鋼材を配置して部材の高強度化が図れるため、フーチングを大きく張り出すこ

実験概要



実験条件

Case No.	h(m)	Ho(m)	To(s)	Lo(m)	Ks	
A1	0.40	0.20	1.50	3.51	1.01	
A2		0.25				
A3		0.30				
A4		0.20	2.00			6.24
A5		0.25				
A6		0.20	2.50			9.75
A7		0.25				

Case No.	h(m)	Ho(m)	To(s)	Lo(m)	Ks
B1	0.55	0.30	1.50	6.24	1.07
B2		0.20			
B3		0.25	2.00		
B4		0.30			
B5		0.25	2.50		

h: 水深, Ho: 沖波波高, To: 沖波周期, Lo: 沖波波長, Ks: 浅水係数

図4 実験概要および実験条件

Caisson model, allocation of wave pressure points and experimental condition

とができるという特徴を有している。

3.2 ケーソン設計の現状と研究目的

港湾施設の設計基準である港湾の施設の技術上の基準・同解説では、図3に示すように、ケーソンのフーチングには波の作用側においてフーチング上面で鉛直下向きに圧力が作用し、揚圧力は底面前趾が $pu'$ 、後趾が0となるフーチングを含めた底面全幅に三角形分布するとされている。また、同書ではフーチングが非常に長い場合を除き、フーチングを有する場合の上記圧力の合力が、フーチングがないとしたときの揚圧力と大差ないとしている。これら圧力の取扱いはフーチングを無視して直立壁前面の延長位置で $pu$ 、後面の延長位置で0の三角形分布として揚圧力を算定してもよいされている。

HBケーソンの設計は、現状フーチングを無視した揚圧力を算定し行っているが、この方法はフーチングの張出し長が比較的短い場合に適用されるものである。フーチングの張出し長が大きい場合には、フーチング上面に作用する鉛直下向きの圧力の合力と揚圧力の合力に差が生じると考えられる。

こうした背景にもとづき、当社ではより合理的なケーソン設計法を提案するため、フーチングに作用する鉛直下向きの圧力および揚圧力に関する水理実験を京都大学防災研究所と共同で実施し、これらの定量的検討を行った。

3.3 水理実験の概要

水理実験は、京都大学宇治川水理実験所内の実験水路を用いて実施した。実験概要および実験条件を、図4に示す。実験は、フーチングの張出し長を0m, 0.2m, 0.4mの3ケースについて行った。波圧の計測は、図4に示すように波が作用する側壁、底版下面、およびフーチング上面に13個の波圧計を取り付けて実施した。

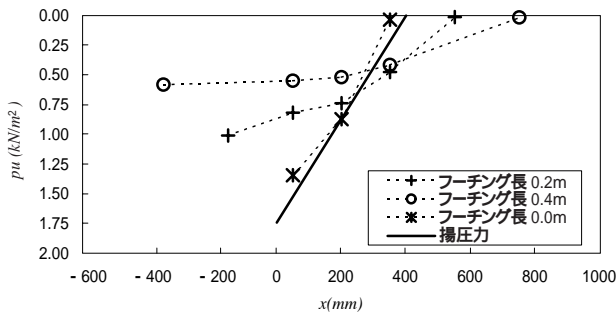


図5 揚圧力分布の比較  
Comparison of uplift pressure

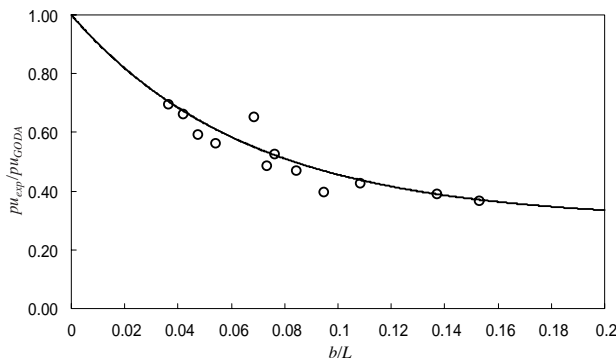


図6 底面前趾の揚圧力  
End of footing uplift pressure

3.4 実験結果の考察

水理実験で得られた底版下面の揚圧力分布を、図5に示す。図5の横軸は、図4に示す原点(0,0)を起点とした水路長手方向位置xを示す。ケーソン底版に作用する揚圧力はフーチングの有無や長さにかかわらず、底面前趾で最大の揚圧力を取り、後趾で0となる三角形分布をしていることが確認できる。合田式と比較すると、フーチングなしの場合は良く一致するが、フーチングを有する場合は張出しが長くなるほど底面前趾の揚圧力が小さくなる傾向を示す。よって、揚圧力の合力は底面前趾の揚圧力に大きく依存すると考えられた。そこで、各ケースにおける底面前趾の揚圧力とフーチングの張出し長の関係を調べ、図6に示した。図6の横軸は、フーチングの張出し長bを波長Lで無次元化し、縦軸は実験で得られた底面前趾の揚圧力 $pu_{exp}$ をフーチングの張出しがないとしたときの合田式で得られる揚圧力 $pu_{GODA}$ でそれぞれ無次元化している。 $pu_{exp} / pu_{GODA}$ はb/Lの増加とともに減少し、ある値に収束する指数関数的な特徴を持つことが図6より確認できる。そのため、フーチングがある場合の底面前趾の揚圧力は、次式で推定できるとした。

$$\frac{pu}{pu_{GODA}} = 0.7 \times \exp\left(-15 \frac{b}{L}\right) + 0.3 \dots\dots\dots$$

次に、フーチングの上面に作用する鉛直下向きの圧力(抑圧力)とケーソン本体に作用する水平波圧との関係を、図7に示す。図7の縦軸は、実験で得られた抑圧力 $pc_{exp}$ を図4に示す位置の水平波圧 $ph_{80}$ で無次元化している。また、横軸についても図4で示した原点(0,0)からの水路長手方向の計測点座標xを波長Lで無次元化している。図7より、抑圧力はフーチング長により分布形状が異なる。一般的に、抑圧力分

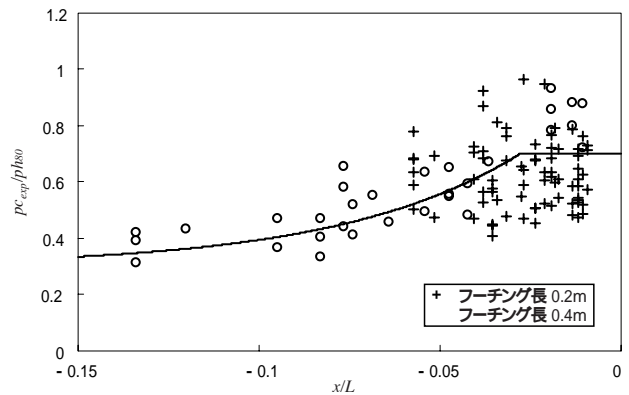


図7 抑圧力分布  
Compressive pressure distribution

布はフーチング基部から先端に向かうに従って波圧が低減すると推定され、フーチング長 $b = 0.4m$ ではそのような分布を示すが、 $b = 0.2m$ では増大もしくは一様な分布形状を呈することが実験結果より得られた。このため、抑圧力は概ね式で推定できるとした。

$$\frac{pc}{ph_{80}} = \min\left\{ 0.7, 0.7 \times \exp\left(20 \frac{x}{L}\right) + 0.3 \right\} \dots\dots\dots$$

式および式の採用により、フーチングに作用する圧力をより精度よく算定することが可能になる。RC構造であれば、フーチングを張り出せず大きな堤体断面となっていたケーソンを、フーチングを張り出すことで、より合理的な断面として設計することが可能になる。したがって、本設計法の採用は、港湾施設の建設工事費低減に大きく貢献するものと期待している。

5 むすび

本報では、以下に示す当社の港湾複合構造物に関する技術開発について詳述した。

沈埋函の短時間台船積込み工法であるテフロンスキッド工法の開発と本工法の那覇港沈埋函2号函への適用を述べた。

長いフーチングを有するケーソンの水理実験を実施し、フーチングに作用する抑圧力および揚圧力を考慮した設計法を提案した。

今後、のテフロンスキッド工法は沈埋函の他、大型構造物へ適用を図り、については、様々な海象条件に対し提案設計法を適用し、長いフーチングを有する方が優位な海域を選定していく予定である。

最後に、京都大学防災研究所の高山知司教授の多大な助言と協力に、感謝の意を表する。

(参考文献)

前田滋, 山平喜一郎, 佐藤隆, 河野信久. 那覇港沈埋函の製作・積込み. 住友重機械技報, no. 149, p.37~40, Aug., 2002.  
財団法人沿岸開発技術研究センター. 沈埋トンネル技術マニュアル(改訂版). Aug., 2002.  
社団法人日本港湾協会. 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上・下巻). Apr., 2002.  
谷本勝利, 本浩司, 石塚修次, 合田良実. 防波堤の設計波力算定式についての検討. 第23回海岸工学論文集, p.11~16, 1976.

# 新型油圧式水門開閉装置

New Water Gate Hoist Model Driven by Hydraulic Motors

岩長孝啓\* 窪谷博道\* 佐藤直哉\*

Takahiro IWANAGA

Hiromichi KUBONOYA

Naoya SATOU



図1 試験装置  
Test device of gate hoist

大型ゲートや高揚程のゲートに使用されているワイヤロープウィンチ式開閉装置の低コスト化・コンパクト化の要望にこたえるため、当社では複数の油圧モータを使用した新形式の開閉装置を開発した。

この油圧モータ式開閉装置は、ドラムに直結した歯車に、2台ないしそれ以上の小型油圧モータを組み合わせて回転トルクを得る構造である。他社の油圧モータ式開閉装置と比較し、コスト的、かつ取扱いの上で有利であるとともに、油圧モータが1台故障しても、開閉操作が確保できる特長がある。

本報では、この油圧モータ式開閉装置について概要を説明し、試験機による各種機能確認のための実証試験の内容と結果について報告する。

We have developed a new water gate hoist model driven by multiple hydraulic motors. The conventional hoists for large or high lift gates are operated by motor-driven winches. Since the application of hydraulic motors eliminates the reduction gears and fan brakes required for motor-driven devices, it meets the increasing requirements to reduce cost and to make more compact devices. Two or more hydraulic motors directly connected with a winch drum generate the necessary torque to operate a water gate. Our device has the advantage in cost and operability over those of our competitors. One of the features is that our device is operative even if one of the hydraulic motors fails. This report outlines the new water gate hoist model and discusses the results of the laboratory tests conducted to demonstrate its performance.

## 1 まえがき

近年ゲート設備のコスト縮減や景観への配慮から、設備の低コスト化・コンパクト化の要望が強くなっている。大型ゲートや高揚程のゲートに使用されているワイヤロープウィンチ式開閉装置においても、低コスト化およびコンパクト化の要望が増えている。

このような要望にこたえるため、当社では複数の油圧モータを使用した新型の開閉装置を開発した。本報では、この新型開閉装置について、特に各種機能を確認するために行った実証試験を中心に報告する(図1)。

## 2 開閉装置の構成と特長

従来のワイヤロープウィンチ式開閉装置は、一般的にワイ

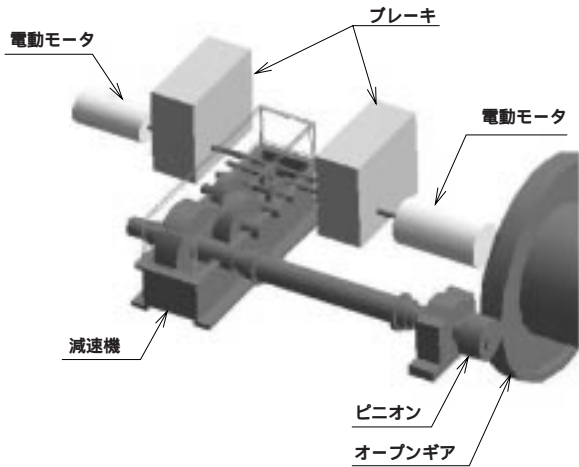


図2 従来の電動ワイヤロープウィンチ式開閉装置  
Hoist of electric motor wire-rope winding type

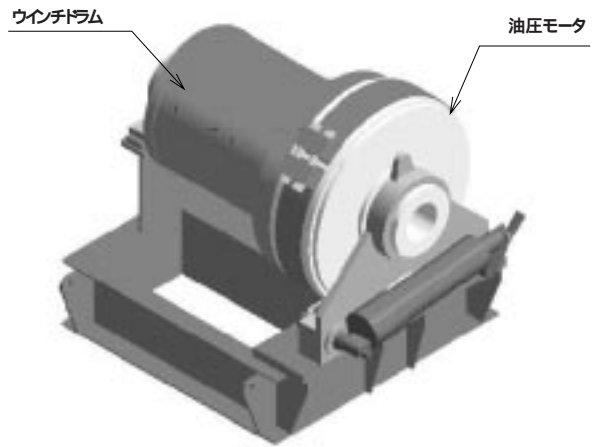


図4 ドラム直結の油圧モータワイヤロープ式開閉装置  
Hoist of hydraulic motor wire-rope type connected with drum directly

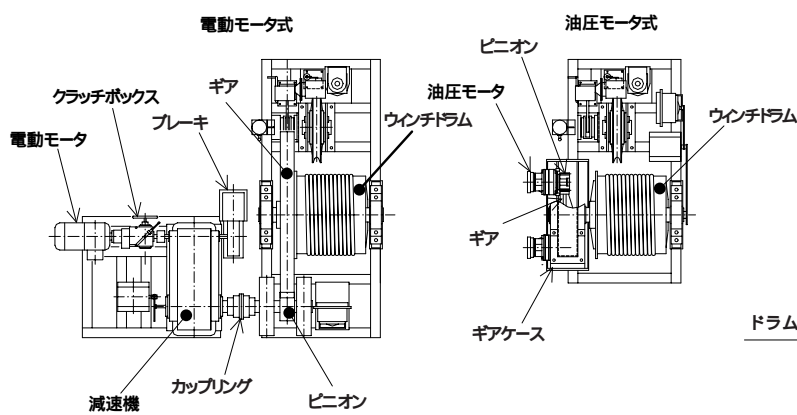


図3 電動モータ式と油圧モータ式的设计比較  
Design comparison of hoist of electric motor type and hydraulic motor type

ヤロープを巻き取るドラムと平歯車、伝動軸、減速機、ブレーキ、そして電動モータで構成されている(図2)。この電動モータによる駆動機構を油圧モータに換えたものが油圧モータ式開閉装置である。

電動モータ式開閉装置には、高トルクを得るための大型減速機や自重降下時に使用する速度制御用ファンブレーキなどが必要である。また、開閉装置には2系統の制動機構が義務づけられているので、モータ内蔵のブレーキのほかに押し上げ式制動機などの制動機構が必要である。これらの機器すべてを開閉装置に組み込む必要から、従来の開閉装置は設置スペースが広がっていた。

これに対して油圧モータ式開閉装置では、油圧モータの特性である低回転・高トルクが得られるので、大型の減速機を省略することができる。また油圧回路に速度制御回路や制動回路を組み込むことで、ファンブレーキや押し上げ式制動機などの制動機構も不要になるというメリットを持っている。油圧モータ式と電動モータ式の開閉装置の比較設計を行った例を、図3に示す。

油圧モータ式開閉装置の場合、別途油圧ユニットが必要になるが、油圧ユニットは開閉装置と切り離して任意の場所に設置することができる。操作室内の省スペース化が可能になり、ゲートの景観設計を行う上で柔軟な対応が可能になる。

他社の油圧モータ式開閉装置の事例としては、従来の電動

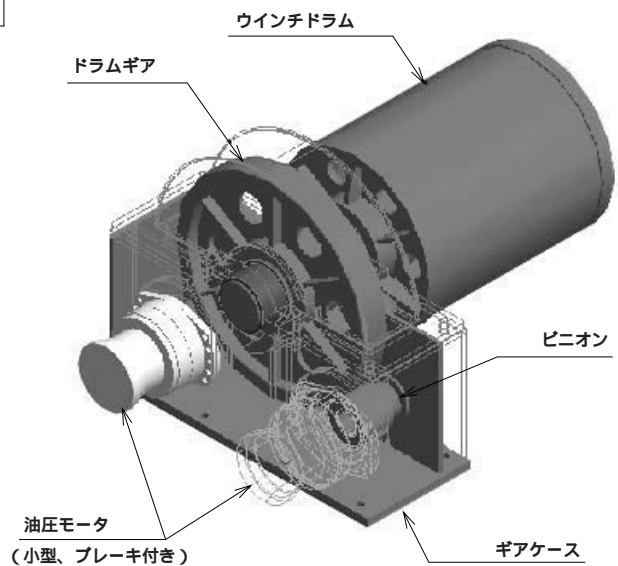


図5 住重型油圧モータワイヤロープ式開閉装置  
Hoist of hydraulic motor wire-rope type of SHI type

モータをそのまま油圧モータに置き換えて大型の減速機を廃した開閉装置と、比較的大型の油圧モータをウィンチドラムに直結した開閉装置(図4)の2種類の実施例がある。

当社で開発した油圧モータ式開閉装置は、ドラムに直結した歯車(ドラムギア)に、2台ないしそれ以上の小型油圧モータを組み合わせて回転トルクを得る構造(図5)で、大型で高価な油圧モータを使用しない構造にしている。他社の油圧モータ式開閉装置と比較し、小型油圧モータの採用はコストの面でも、かつ取扱いの上でも有利である。また、油圧モータや配管の耐圧に余裕を持たせることで、油圧モータが1台故障しても、他の油圧モータを昇圧して開閉操作が確保できることが大きな特長となっている。

表1 試験装置仕様  
Specifications of test device

項目	仕様	実機仕様	試験装置仕様
開閉荷重		150kN	75kN
開閉速度	常時	0.3m/min	常時 0.6m/min
	自重降下	0.9m/min	自重降下 1.8m/min
ロープ掛け本数		4本	2本
揚程		-	4m
ドラム径		0.6m	
油圧力	常時	21MPa	
	非常時	35MPa	
モータ理論トルク		0.1975kN・m/MPa	
モータ台数		2台	
作動油粘度		ISO VG 46	

### 3 実証試験

#### 3.1 試験装置の概要

表1に、試験装置の仕様を示す。試験装置の仕様は、表中に示す実機仕様を想定して設定した。

試験装置は、2個の油圧モータで1組のドラムを回転させる方式である2M1D（2モータ1ドラム）式の開閉装置としている。

また、このクラス（開閉荷重）のゲートでは、ワイヤロープ2本を扉体部分のシーブを介してロープ掛け本数4本とするのが一般的であるが、試験装置では構造を簡略化するため、ワイヤロープ2本で直接ウェイトを吊っている。したがって、開閉速度は実機仕様の2倍になる。

なお、試験装置用の油圧モータにはブレーキ付きマルチストロークラジアルピストンモータを使用した。油圧モータの仕様を、表2に示す。

#### 3.2 試験装置の油圧回路

試験装置は基本機能の確認を目的としているので、複雑な回路は組んでおらず、操作可能な機能は、「開」、「閉」、「自重降下」のみである。ただし、実機にはない試験装置特有の機能として、フレキシブルホースの破損などを想定した「配管破裂模擬回路」を設け、不測の事態でも扉体（ウェイト）が落下しないことを確認した。

開閉速度の調整、すなわち油量の調整は可変容量ポンプで調整し、アクチュエータ手前の絞り弁で微調整を行う。油圧モータ出口側にはカウンタバランス弁を設けて、負の荷重によるウェイトの落下が起きないようにしている。

自重降下はウェイトの自重を利用して、モータ出口の作動油をモータ入口に戻す循環回路によって行う。循環回路の油量調整はフローコントロールバルブ（フロコン）で行い、フロコンの流量調節で自重降下速度を任意に調整することができる。

#### 3.3 試験項目と試験結果の考察

##### 3.3.1 油圧モータ式開閉装置の機械効率

開操作時のポンプ吐出口の作動圧力（絞り弁開放）と、効率を無視（全効率を1）してウェイト重量から求めた作動圧力の計算値を比較し、開閉装置の効率（ただし試験装置）を求める。

作動圧力の計測値 15.0MPa（ポンプ吐出口）

表2 試験装置用油圧モータ仕様  
Specifications of hydraulic motor for test device

項目	仕様
モータ形式	マルチストローク・ラジアルピストンタイプ
容量	1260cm <sup>3</sup> /rev
理論トルク/圧力	0.1975kN・m/MPa
ブレーキトルク	7.0kN・m
最高回転数	105min <sup>-1</sup>
最高圧力	40MPa
重量	81kg

作動圧力の計算値 10.9MPa（全効率を1として計算）

これらを比較し装置全体の効率と考えれば、 $\eta = 10.9/15.0 = 0.73$  になる。これには油圧配管や油圧モータ内部の圧力損失、ドラムやドラムギアなどの機械効率が含まれる。実設計では、それぞれの設備に応じて詳細な検討が必要になるが、検討段階より効率の目安を把握できることは非常に有意義である。

##### 3.3.2 自重降下回路の実証

圧油の供給を停止し、無動力状態として自重降下を行う。自重降下速度は1.8m/minの仕様としているが、別途フロコン操作によって0~3.6m/minまで容易に速度調整が行えることを確認した。この試験結果を、下記に示す。

自重降下速度1.8m/minにおいて、自重降下押釦操作に従って降下し、停止押釦操作によって問題なく停止した。

自重降下速度を0~3.6m/minに任意に調整した場合においても、それぞれ問題なく降下・停止操作が行えることを確認した。

試験結果から、油圧回路で自重降下機能を持たせることが容易であり、従来のような大型のファンブレーキや油圧ブレーキを必要としないことが実証できた。

また、自重降下速度も容易に調整が可能であり、高揚程の予備ゲートや防潮ゲートなどの急降下操作が必要なゲートに対して、開閉速度の高速化や変速機能を経済的に提供できることを確認した。

##### 3.3.3 制動（ブレーキ）試験

開・閉および自重降下中に停止操作を行い、それぞれの場合の制動距離を測定し実用上問題がないことを確認した。

各制動距離は、ブレーキ開始地点からウェイトの停止位置までをスケールで計測した。

常用開閉運転時：0.3m/min 制動距離 0cm

自重降下運転時：1.8m/min 制動距離 0cm

自重降下運転時：3.6m/min 制動距離 0cm

制動はカウンタバランス弁と、油圧モータに内蔵された多板式ディスクブレーキにより行われている。常用開閉、自重降下ともに停止釦に寸分遅れることなくウェイトは停止し、ゲートの使用上十分に安全な制動力であることが確認できた。

##### 3.3.4 油温変化と速度変動

油温の変化による作動油の粘度変化が、ゲートの開閉速度に与える影響を調べた。

油圧モータを開閉装置に使用する場合、作動油の油温によ

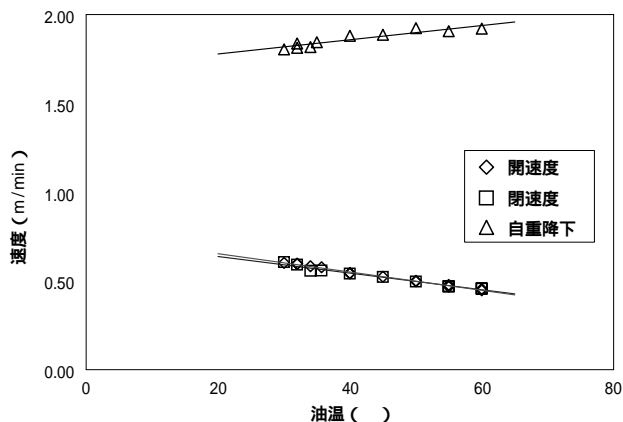


図6 油温と開閉速度の関係(作動油 VG46)  
Relation between fluid temperature and operating speed (hydraulic operating fluid VG46)

ってその粘度が変化するので、内部漏れ量や配管抵抗が変化して開閉速度に変動が生じる。これらは油圧回路の構成や選定した油圧機器によって異なってくるので、その傾向を把握しておくことは設計上重要である。

図6に、油温と開閉速度の関係を示す。

今回実験を行った温度範囲は、外気温との関係上30 以上、作動油の使用限界付近60 以下とした。

実験結果から、油温が高くなると開・閉ともに速度が遅くなるのがわかる。これは油温が高いほど作動油の粘度が下がり、油圧モータや電磁弁などの内部漏れ量が増えるためと考えられる。自重降下時においては、循環回路内の損失抵抗が低くなるので、油温上昇とともに速度が上がると考えられる。

### 3.3.5 非常時動作確認

停電を想定し、「開」、「閉」、「自重降下」中に、突然主電源を切ってもウェイトの落下がなく、その後自重降下ができることを確認した。また、フレキシブルホースの破損など、突然の配管破損においてもウェイトの落下が起きないように、配管破裂模擬回路を使用して安全性を確認した。

今回の実験では、突然の動力遮断においてもウェイトの落下は認められず、自重降下も問題なく操作できた。また、配管破裂模擬回路を作動させた場合においても、ウェイトの落下は認められなかった。

以上のことから、停電やホース破裂などの非常時にも、扉体の落下を防止できることが確認できた。

### 3.3.6 モータ故障時の非常時運転試験

油圧モータが1 台故障した際の応急対策として、残りの油圧モータ1 台を昇圧して開閉操作を行うことが可能かどうかを確認した。油圧モータ1 台への油圧供給を停止し、残りの油圧モータ1 台でウェイトの昇降を行った。

モータ1 台によるウェイトの昇降を行った結果、下記の開閉速度が得られた。

開速度 1.0 m/min 閉速度 1.4 m/min

開・閉ともに絞りはモータ2 台運転時のままであるが、モータ1 台に油量が集中するので、開閉速度は2 台運転時(0.6m/min) に比べ速くなる。ただし、空転側のモータの影響およびカウンタバランス弁とのかね合いから、開操作と閉操作で速度に違いが出ている。

また、開操作においては、ポンプ吐出圧力が32～35MPa の間で変動し、ウェイトの速度にもやや変動がみられたが、ゲート操作上は特に問題になるような動きではなかった。これは空転側モータの抵抗が原因ではないかと考えられる。

なお、制動距離は開時・閉時ともに約0 cmだった。

### 3.4 今後の課題

作動油の油温が30 以下の場合および粘度グレードが異なる場合の開閉速度の変動を、実証試験により確認する。

ゲートのように海・河川・湖などで使用される油圧機器では、環境保護の観点から生分解性作動油の使用が今後求められると考えられる。本試験装置においても生分解性作動油を使用し、その特性を把握しておく必要がある。

今回の試験装置は、ワイヤロープウィンチ式としては最小規模の仕様を想定したものであった。今回の実験により、大型ゲートに対しても対応可能であると判断しているが、大型ゲートを想定した実験についても行っていく必要があると思われる。

最近では、自重降下速度を5～6m/minにしている事例も10数例報告されている。本試験装置は最大4m/min(実機に換算して2m/min)までの自重降下速度で計画していたので、上記速度での実験を試みる事ができなかった。今後は実機仕様5m/min程度の自重降下が可能な試験装置に改造し、実証試験を行う必要がある。

## 4 むすび

本報では、当社で開発した油圧モータ式のワイヤロープウィンチ式開閉装置について概要を説明し、試験機による各種機能確認のための実証試験結果について詳述した。

本油圧モータ式開閉装置のシステムは、ゲート用開閉装置として求められる機能を十分に満足し、適用できることを確認した。

油圧モータをワイヤロープウィンチ式開閉装置に適用するに当たり、その特性を把握することで、実設計で考慮すべき注意点を習得することができた。

油圧モータ採用のゲートは、まだ一般的に使用実績が少なく、当社においても実績はない。しかし、今後はこの実証試験の結果を基に、低コスト化や省スペース化に利点のある油圧モータ式開閉装置の採用を、精力的に提案していく所存である。

最後に、本開閉装置を開発するに当たり指導を頂いた、京都大学名誉教授の中川博次先生および前・社団法人ダム堰施設技術協会技術部長の丸本二郎氏をはじめとする関係各位に、深く感謝の意を表す。

### (参考文献)

- 菅野朝夫, 三浦有司, 前原昌一, 神戸清. 花宗水門機械設備工事報告. 水門鉄管協会機関誌, no.207, p.31～34, June, 2001.
- 植吉勝彦, 田中甚一, 石井雅典. 宇奈月発電所取水口製水門工事報告. 水門鉄管協会機関誌, no.204, p.67～71, Sep., 2000.
- 豊田裕介. 友内川水門扉製作据付工事報告. 水門鉄管協会機関誌, no.213, p.30～34, Jan., 2003.

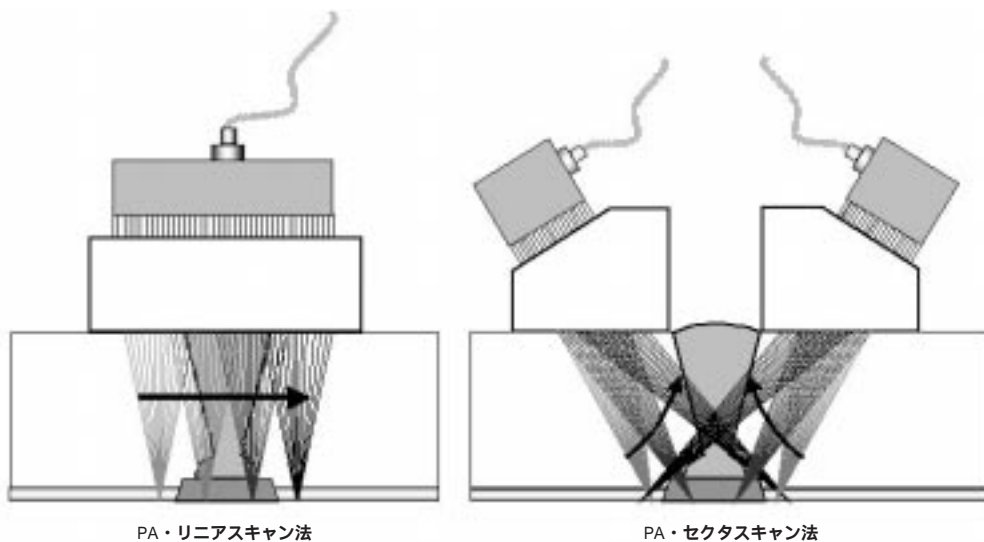
# 供用中検査用改良型AUTシステムの開発

Development of Modified AUT System for In-service Inspection

岡 正 明\* 川 島 賢 一\*\*

Masaaki OKA

Kenichi KAWASHIMA



PA法の深傷イメージ  
Scanning image of Phased Array (PA) technique

当社の現有AUT (Automatic Ultrasonic Test) システムは、「Phased Array Linear Scan法 + Dual TOFD法同時探傷システム」としている。本AUTシステムは、コークドラム胴部の周継ぎ手・長手継ぎ手を検査対象として、放射線透過試験代替の工場内製作中検査およびユーザサイトでの供用中検査に適用されている。オーバーレイ溶接部およびその熱影響部に発生する低サイクル疲労割れの検出・サイジング能力向上を目的として、「Dual Phased Array Sector Scan法」を新たに採用した。本報にて報告した実証試験結果に準じて、コークドラムおよび石油精製・石油化学プラントの主要リアクタ溶接部の供用中検査として、4種類のAUTを同時に行う「Dual Phased Array Sector Scan法 + Dual TOFD法同時探傷システム」を適用する。

Currently, our Automatic Ultrasonic Test (AUT) system is based on the simultaneous inspection of the "Phased Array Linear Scanning and Dual TOFD". The system has been applied to pre-service inspections at our shop as an alternative to the radiographic test and for in-service inspections at plant sites to inspect the circumferential and longitudinal weld joints of coke drum shells. We have newly adopted a "Dual Phased Array Sector Scanning Method" for improving the capability to detect and measure cracks caused by low cycle fatigue within overlay welds and their heat affected zones. This paper reports the improved inspection performance demonstrated by the model tests. The new simultaneous inspection system of the "Dual Phased Array Sector Scanning and Dual TOFD", which simultaneously implements four different kinds of Automatic Ultrasonic Tests, will be applied to the in-service inspections of coke drums and major reactors of petroleum refining and petrochemical plants.

## 1 まえがき

2002年秋以降、国内原子力発電プラントのシュラウドおよび再循環配管において、低炭素系ステンレス鋼の応力腐食割れによるひび割れ検出が報道されている。そのひび割れ検出および割れ高さの計測を正確に行う改良型超音波探傷 (Ultrasonic Test) 技術の一つとして、Phased Array法 (PA法) が注目され、その実証試験結果が報告されている。

一方、当社においては、コークドラムの溶接部 (内面にインコネル オーバレイ溶接施工) を検査対象とした「PA・リ

ニアスキャン法 + Dual TOFD法同時探傷システム」(特許出願中) にて、ASME CODE CASE 2235を適用した放射線透過試験 (Radiographic Test) 代替の製作中検査 (Pre-Service Inspection)、および国内外のユーザサイトにおける供用中検査 (In-Service Inspection) にてPA法適用実績を有している。海外ユーザサイトにおける供用中検査時写真を、図1に示す。

ただし、現有の自動超音波探傷 AUT (Automatic Ultrasonic Test) システムは、図2に示す運転中に発生する低サイクル疲労割れなどの微細割れ検出能力を向上させる必要があった。





図1 コークドラムのAUT供用中検査  
In-service inspection for coke drum by AUT

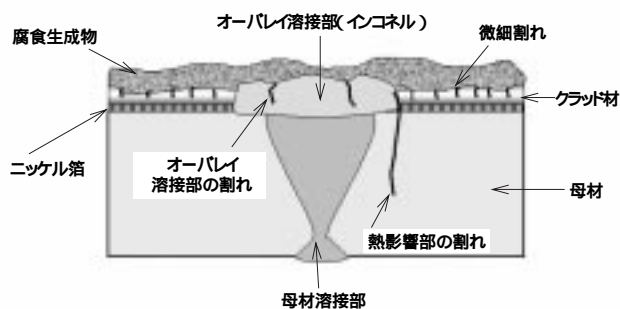


図2 コークドラムオーバーレイ溶接部の低サイクル疲労割れ  
Low cycle fatigue crack caused in clad restoration weld of coke drum

本報では、現有の当社のAUTシステムの特長を紹介するとともに、上述の課題解決のために新たに採用したPA・セクタスキャン法による実証試験結果をTOFD法の試験結果との比較を交えながら報告する。

## 2. PA法の概要

PA法に使用されるPAプローブは、ピエゾ振動素子からなるエレメントが複数個直線状に配列されている。当社は、20個、32個、および64個のエレメントから構成される3種類のPAプローブを所有している。各エレメントは、AUT制御装置のドライブチャンネルに接続され、その中の複数個（当社の場合、最大32個）のエレメントが1つのグループとしてドライブされる。各エレメントをドライブするタイミングにナノ秒単位的时间差を設定することで、個々の超音波を合成させて所定の送受信角度と焦点距離を持った超音波ビームを発生させることができる。

PA法には、「リニアスキャン（Liner Scan）法」および「セクタスキャン（Sector Scan）法」の2種類の探傷方法がある。両探傷法ともに、超音波ビームの焦点距離を任意の深さに設定することができる。内面にオーバーレイ溶接を施工した溶接部を検査対象としたPA法の探傷イメージを、冒頭の図に示す。

PA・リニアスキャン法は、複数個のエレメントからドライブされる超音波を合成して、オーバーレイ溶接部へ集束させた超音波ビームを探傷方向と垂直方向にスライドさせて探傷

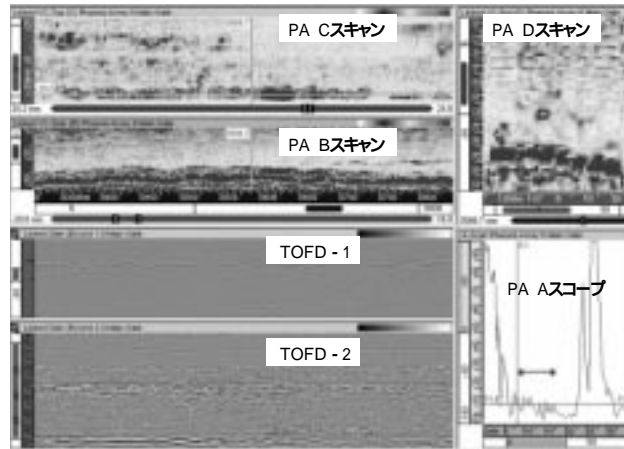


図3 PA・リニアスキャン法およびTOFD法画像  
PA linear scan and TOFD display

を行う。ただし、適用条件として、探傷面となる外面溶接部がフラットでなければならない。垂直探傷法を基本としているため、特に、母材溶接/オーバーレイ溶接間の融合不良・ブローホールなどの製作時の溶接欠陥検出に優れている。

一方、PA・セクタスキャン法は、同一仕様の2個のPAプローブを溶接線に対して対称に配置して、オーバーレイ溶接部へ集束させた超音波ビームを $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ の範囲でスイングさせて探傷を行う。斜角探傷法であるため、運転中に発生した低サイクル疲労割れなどの微細割れ検出能力に優れている。また、探傷面となる外面溶接部をフラットとする必要がない。

## 3. 現有のAUTシステムの特長および課題

### 3.1 PA法の特長

TOFD法においては、母材溶接部とオーバーレイ溶接部間の境界エコーが探傷画像中表示されるため、オーバーレイ溶接部に内在する傷（境界エコー/バックエコー間に表示される傷エコー）を検出することが極めて困難である。一方、PA法は、超音波ビームが集束する焦点距離をオーバーレイ溶接部に設定することにより、オーバーレイ溶接部およびその溶接熱影響部に内在する傷を明瞭に検出可能である。供用中検査においてオーバーレイ溶接熱影響部に発生した傷を捕えたPA・リニアスキャン画像およびTOFD画像を、図3に示す。

TOFD法においては、溶接線と平行に走査する場合、板厚方向の探傷画像（B-スキャン画像）しか表示されない。検出傷の平面的な位置および正確な傷高さを検証するために、再度、溶接線と平行走査にて得られた検出傷位置を溶接線と垂直に走査しなければならない。一方、PA法は、B-スキャン画像に加えて、検出傷を平面的に表示した画像（C-スキャン画像）も表示する。すなわち、PA法の場合、PAプローブを溶接線と平行走査することのみで、検出傷の三次元的な位置情報を把握することができる。

### 3.2 Dual TOFDシステムの特長

TOFD法は個々の探傷条件により、メリット/デメリットが生じる。例えば、周波数の大きいプローブを使用した場合、次のようになる。

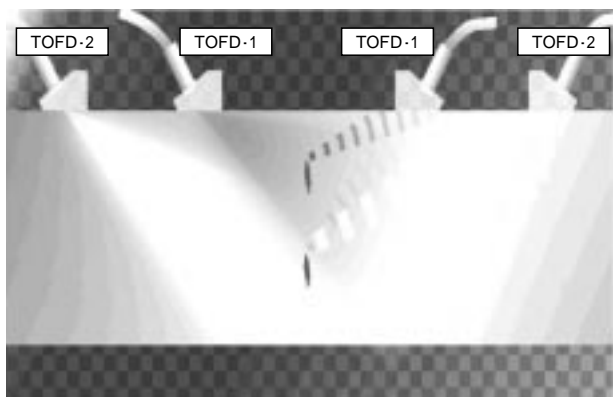


図4 Dual TOFD法の深傷イメージ  
Scanning image of dual TOFD technique

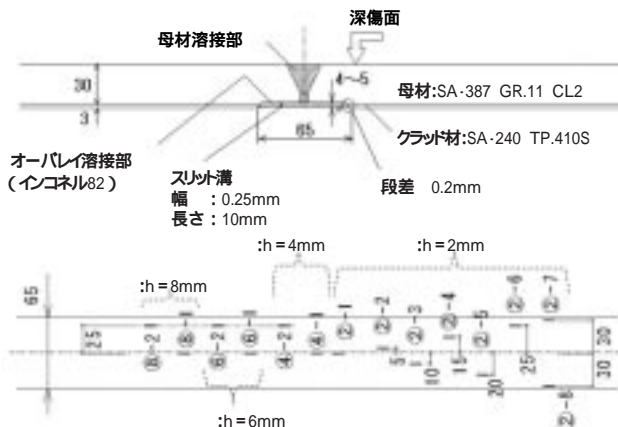


図6 インコネルオーバーレイ試験体の傷配置  
Flaw mapping diagram of inconel overlaid test piece

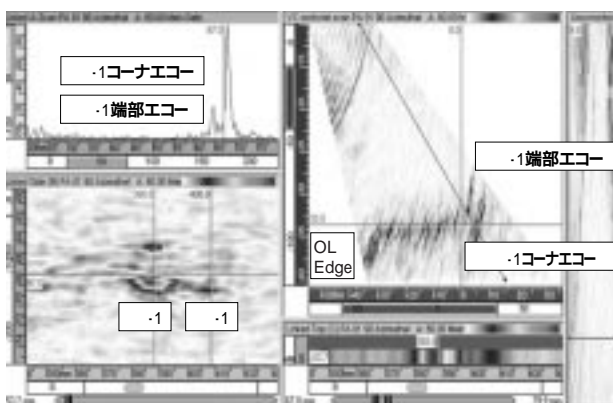


図5 PA・セクタスキャン法 / VCセクタ画像  
PA sector scan technique / VC-sector display

- 検出傷のサイジング精度が向上する。(メリット)
- 探傷面近傍の傷未検出領域を狭められる。(メリット)
- 超音波ビームの減衰が大きくなる。(デメリット)
- また、2個のTOFDプローブの中心間距離を狭くした場合、検出傷のサイジング精度が向上する。(メリット)
- 傷検出可能な板厚方向領域が狭くなる。(デメリット)

そのため、より信頼性のある検査結果を得る目的で、2種類のTOFDを同時に実施する「Dual TOFDシステム」を採用している。その探傷イメージを、図4に示す。

図4中に示す探傷条件：TOFD-1は、主に探傷面側の表面近傍に存在する傷の検出を受け持つ。Single-TOFD仕様の装置を使用する場合は、図4中に示すTOFD-2の探傷条件にてTOFD探傷を行っている。

また、試験体板厚が50mm以上、かつSingle-TOFD仕様の装置を使用する場合、試験体の全板厚領域を探傷するためには、異なったTOFD探傷条件にて同一箇所を複数回探傷する必要がある。極厚試験体の場合、Dual TOFDシステムは検査時間の短縮にも大きく貢献している。

### 3.3 現有AUTシステムの課題

現有AUTシステムに採用しているPA・リニアスキャン法は、特に、母材溶接 / オーバレイ溶接間の融合不良・ブローホールなどの製作時の溶接欠陥検出に優れている。しかし、運転中に発生する微細疲労割れの検出能力を向上させる必要性があった。この課題を解決すべく、PA・セクタスキャン

法を新たに採用した。

## 4 . PA・セクタスキャン法の傷サイジング方法および特長

PA・セクタスキャン法は、集束した超音波ビームの内面開口傷への入射角を、通常 1°ピッチごとに30°～35°の範囲でスイングさせる。探傷位置ごと(通常 1 mmごと)に1°ピッチごとの探傷画面を合成して、個々の検出傷ごとに図5に示す扇状のV Cセクタ画像を表示する。

内面開口傷高さが 2 ～ 3 mm以上の場合、内面開口傷コーナ部からのエコーと傷先端部からのエコーを、V Cセクタ画像およびAスコープのエコー形状にて識別表示することができる。コーナ部 / 先端部からのエコー高さが最大となる探傷角度は異なるため、エコー高さが最大となる個々の探傷角度にて、コーナ部 / 先端部の探傷面からの深さを読み取り、その差を傷高さとして計測する「端部エコー法」を適用する。

傷指示長さの計測は、開口傷の先端部からのエコー高さに注目して、その最大エコー高さの1/2のエコー高さ範囲(プローブ走査方向距離)を読み取る「6 dB振幅ドロップ法」を適用する。開口傷の先端部エコーが識別できない場合は、開口傷のコーナ部エコーを使用して、同様に「6 dB振幅ドロップ法」を適用して傷指示長さを計測する。

PA・セクタスキャン法においても、後出の図7および図9に示すように、検査実施領域の全検出傷の板厚方向位置(B - スキャン画像)および平面的な位置(C - スキャン画像)を合成表示(Merged Display)させることが可能である。すなわち、PA・リニアスキャン法と同様に、プローブを溶接線と平行に走査することで、すべての検出傷の三次元的な位置情報を画像表示させることができる。

## 5 . PA・セクタスキャン法の実証試験

実機コークドラム胴部の溶接継ぎ手と同一仕様の試験体を製作した。板厚：33 (30 + 3) mmのステンレスクラッド鋼：SA387 GR.11 CL.2 (1.25 Cr 0.5 Mo鋼) + SA240 T.P 410Sを使用し、オーバーレイ溶接材料は、インコネル82を使用している。オーバーレイ溶接幅(65mm)は、溶接幅方向の傷検出可能領域を確認するために実機より幅広としている。オーバーレイ溶接部に疲労割れを模擬した開口スリット溝(幅 0.3mm)を放電加工(EDMワイヤカット)により加工して

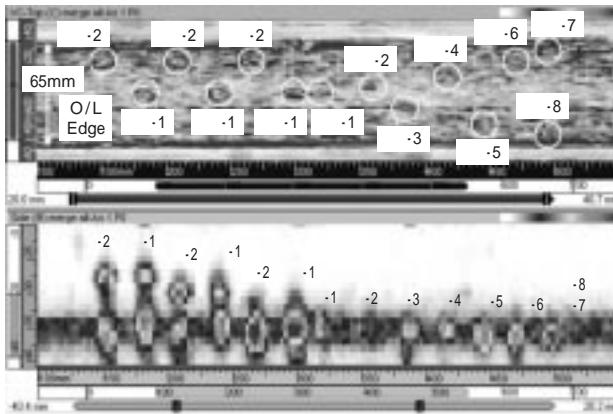


図7 インコネルオーバーレイ試験体のDual PA・セクタスキャン法の合成画像  
Merged display of dual PA sector scan for inconel overlaid test piece

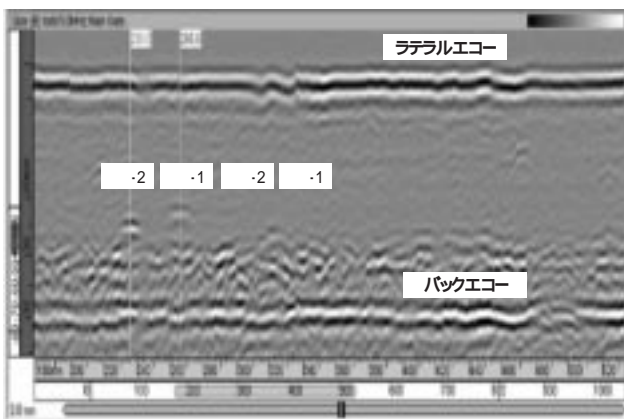


図8 インコネルオーバーレイ試験体のTOFD画像  
TOFD display for inconel overlaid test piece

いる。放電加工を可能とするために、スリット溝の加工前にオーバーレイ面をフライス加工した。したがって、フライス加工後のオーバーレイ溶接面とクラッド鋼面には、0.2mm程度の段差が生じている。図6に、傷配置図を示す。溶接中心線と溶接端部に配置された傷の検出能力および検出傷の高さ・長さの計測値の差異が検証できる配置としている。

母材面から探傷して、反探傷面であるインコネルオーバーレイ面に配置された各種スリット溝の検出可否、および傷高さ・傷長さの計測精度の実証試験を行った。

PA・セクタスキャン法(同一仕様のプローブ2個を溶接線に対して対称に配置して探傷)を適用した検証試験結果を、以下に示す。その合成探傷画像を、図7に示す。

インコネルオーバーレイ溶接中に内在する傷高さ  $h = 2$  mmの傷はすべて検出可能であった。ただし、傷コーナー部/先端部からのエコーが識別不可能で、傷高さの計測は不可能であった。

オーバーレイ溶接面とクラッド鋼面間の両端の段差(0.2mm)を検出しており、溶接幅方向の傷検出可能領域は、65mm以上を確保できている。

傷高さ  $h = 4$  mm,  $h = 6$  mm, および  $h = 8$  mmのすべての傷は、VCセクタ画像(図5)を用いた「端部エコー法」を適用して、正確な傷高さの計測が可能であった。次に、同一試験体を用いたTOFD検証試験結果およびその

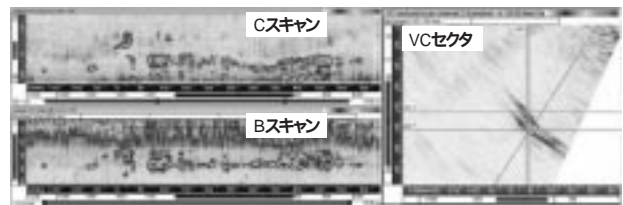


図9 Dual PA・セクタスキャン合成画像およびVCセクタ画像  
Merged display of dual PA sector scan and VC-sector display

TOFD画像を、図8に示す。

インコネルオーバーレイ溶接中に留まっている傷高さ  $h = 2$  mmおよび  $h = 4$  mmの傷は検出不可能であった。

溶接中心線に配置された傷高さ  $h = 6$  mmおよび  $h = 8$  mmの傷高さを正確に計測することが可能であった。

溶接中心線から25mm離れた位置に配置された傷高さ  $h = 8$  mmの傷のTOFD画像は、実際値より小さい値 ( $h = 7.2$  mm) となっている。前述のとおり、溶接線と平行走査にて検出された傷の正確な傷高さを検証するために、検出傷位置を再度溶接線と垂直に走査して検出傷を詳細に解析する必要がある。

PA・セクタスキャン法を実機溶接部に適用した。オーバーレイ溶接部の傷を捕えたPAセクタスキャン合成画像および傷コーナー部/傷先端部からのエコーを識別表示し、傷高さの計測が可能であった代表的なVCセクタ画像を、図9に示す。

## 6. むすび

オーバーレイ溶接部とその熱影響部に発生した低サイクル疲労割れ検出およびサイジングは、PA・セクタスキャン法にて対処できることが検証できた。

TOFD法のみでは、オーバーレイ溶接部に内在する傷の検出が不可能なことが再度確認された。

今後の供用中検査においては、4種類のAUTを同時に行う「Dual PA Sector Scan法+Dual TOFD法同時探傷システム」を適用する。

Dual PA Sector Scan法は、同一仕様の2個のPAプローブを溶接線に対して対称に配置して、2種類のPA・セクタスキャン法を同時に行う。機器運転中に発生したオーバーレイ溶接部とその熱影響部に内在する微細割れの検出およびその割れ高さ計測を主目的とする。

Dual TOFD法は、板厚方向の検査可能領域を最大化して検査結果の信頼性を向上させるために、探傷条件の異なる2種類のTOFD探傷を同時に行う。母材溶接部に内在する傷の進展性のモニタリングを主目的とする。

### (参考文献)

Jorge Penso, Robert Owen, Masaaki Oka. TOFD Automatic Ultrasonic Test for Condition Monitoring of Coke Drums. ASME PVP-2003, PVP-Volume 468.

Journal of the Japanese Society for Non-Destructive Inspection, vol. 49, no.12, Dec., 2000.

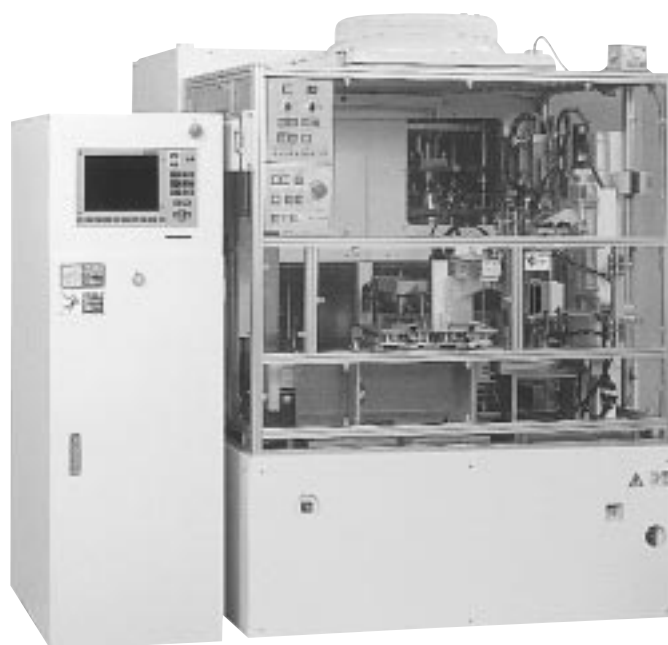
特願平11-222310. 自動超音波探傷方法及び自動超音波探傷装置。

# 住友マイクロオプティクス成形機 NANO-Press

Sumitomo Micro Optics Molding Machine NANO-Press

黒岩 秀樹\*

Hideki KUROIWA



NANO-Press

プレス成形法により高精度かつ生産性高く光学素子を製造する装置として、マイクロオプティクス成形機『NANO-Press』を開発した。

本装置は、以下に示す特徴および機能を有している。

直圧式空圧サーボ機構により、プレス力およびプレス位置を高精度に制御する。

集光式光加熱装置と型締め機構により金型の加熱・冷却制御を最適化しており、金型内温度をフィードバックして高精度に温度を制御する。

非酸化性ガス雰囲気中での成形以外に、真空中での成形にも対応する。

成形プロセスを複数工程に分割し、複数の金型を各工程に順次搬送して連続的に成形を行う方式を採用し、生産性を向上している。

金型搬送ユニットを標準装備し、複数プレスユニットへの金型供給・排出、金型からの成形品取出しおよび硝材設置などの作業を自動化している。

We have developed Sumitomo Micro Molding Device "NANO-Press", which produces optical elements with a high degree of accuracy at high throughput by press molding.

The device has the following features and functions.

- 1) A newly developed linear pneumatic servo actuator controls very precisely the position of a molding press spindle and molding press pressure.
- 2) Heating and cooling of metal molds are optimized by infrared heating using a condensing mirror and by a mold clamping mechanism. Mold temperature is precisely controlled through a feedback control system.
- 3) Press molding is done under vacuum as well as an inert environment.
- 4) The press molding process is divided into several steps in order to accommodate a number of metal molds for enhancing productivity. The metal molds are sequentially transferred to individual steps.
- 5) The transfer device of metal molds is standard equipment. It enables an automatic operation to take out and feed metal molds into or out of individual mold steps and to pick up vitreous materials.

## 1 まえがき

情報通信産業の発展に伴い、光通信や光情報機器の分野を中心に多くの光学素子が開発されており、その高精度、低コストな量産製造技術のニーズがますます増大している。

これらの光学素子の材料には、一般にプラスチックとガラスが使用される。プラスチック材料は材料コストの低さや生

産性の高さ、ガラス材料は光学設計の自由度の高さや耐候性の高さそれぞれ利点があり、適用する製品の要求仕様によって選択されている。

プラスチック製の光学素子は一般に射出成形法により製造され、当社のプラスチック射出成形機は、精密光学部品分野において市場で高い評価を得ている。一方、レンズを中心としたガラス製の光学素子は、従来研削・研磨加工による製

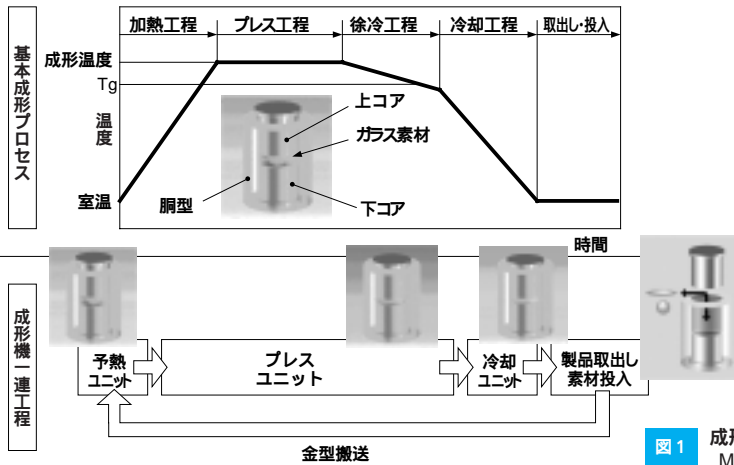


図1 成形プロセス Molding process



図2 プレスユニット外観 Molding unit

造方法が主流であったが、非球面レンズの採用や部品の極小化などにより、近年は加工精度が優れ、生産性の高いプレス成形による生産が増加している。現在は、プレス製光学素子のさらなる高品質化と低コスト化が求められている。

当社は、プラスチックの精密光学素子成形の分野で長年蓄積したノウハウを生かし、プレス成形法により高精度かつ生産性高く光学素子を製造する装置としてマイクロ-optics成形機『NANO-Press』を開発した。本報では、NANO-Pressについてその特長と成形事例を併せて報告する。

## 2 装置の概要

### 2.1 プレス成形法

図1の上段に、プレス成形法の成形プロセスを示す。

使用する成形金型は、成形面が加工された1対のコアと、コアの軸位置決めをするスリーブ(胴型)から構成される。本成形法は、まず収縮しわなどが無い鏡面ガラス素材を、サブミクロンの精度でレンズ形状に加工した金型の間に入れ、ガラスの屈伏点付近まで加熱する。素材が所定の温度になったところでプレスして変形させ、型の面形状を転写する。その後、最適な冷却条件での冷却を経て、金型から成形品を取り出して最終製品を得る成形方法である。

一般に使用されるガラス材料は成形温度が400~700程度であり、金型の酸化防止の目的で窒素などの非酸化性ガス雰囲気中で成形する。

### 2.2 装置構成

図1の下段に、本成形機における一連の成形工程を示す。本成形機は、前述した成形プロセスを複数工程に分割し、複数の金型を各工程に順次搬送して連続的に成形を行う方式を採用している。基本成形プロセスは主にプレスユニットで行うが、成形品の品質に影響しない金型予熱および冷却機能をプレスユニットから分割することにより、成形時間を短縮して生産性を向上している。

また、各ユニットへの金型の供給・排出、金型からの成形品取出し・素材設置などの作業を自動化した金型搬送装置を標準装備し、量産成形に対応している。さらに、生産量に応じて1台の装置に複数のプレスユニットを配置する構成も可能である。

### 2.3 プレスユニットの特徴

本成形機において基本成形プロセスを行うプレスユニットは、以下に示す特長を有している。

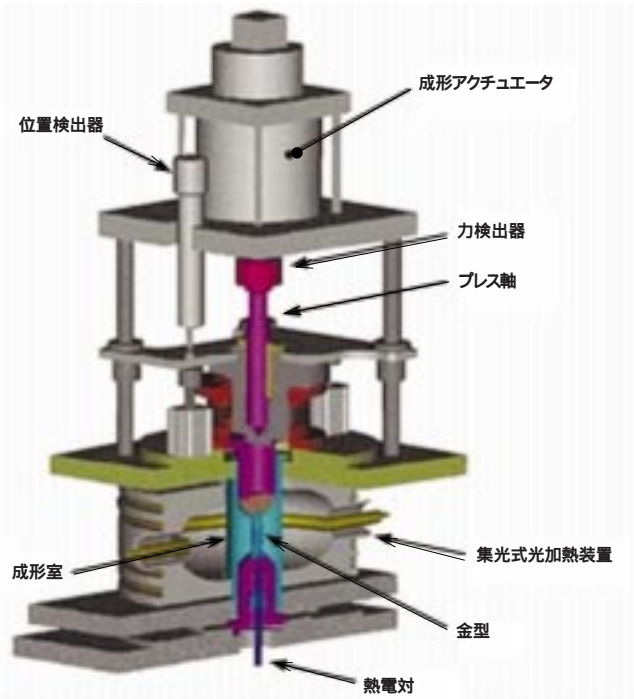


図3 成形部の構成 Configuration of pressing unit

直圧式空圧サーボ機構によりプレス力およびプレス位置を高精度に制御する。

集光式光加熱装置と型締め機構により金型の加熱・冷却制御を最適化しており、金型内温度をフィードバックして高精度に温度を制御する。

非酸化性ガス雰囲気中での成形以外に、真空中での成形にも対応する。

次章において、プレスユニットの詳細を説明する。

## 3 プレスユニット

### 3.1 構造

図2に本成形機のプレスユニットの外観を、図3に成形部

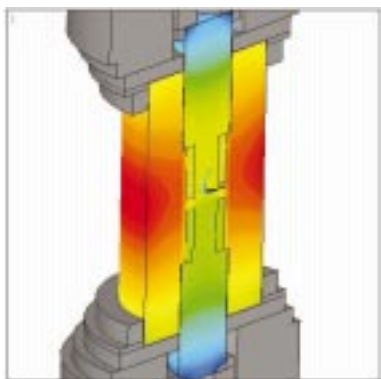


図4 金型温度分布解析例  
Temperature distribution of mold

の構成をそれぞれ示す。透明石英円管で構成される成形室の外周にハロゲンランプと集光式反射ミラーから構成する光加熱装置が、成形室の上方に成形アクチュエータが配置される。成形室内に搬送された金型は、光加熱装置により成形温度まで加熱された後、成形アクチュエータにより押圧される。成形時には、成形室内部が非酸化性ガス雰囲気あるいは真空中に保持される。

3.2 プレス制御

本成形機では、成形アクチュエータに同軸型空圧サーボアクチュエータを用い、プレス動作をサーボ制御する。プレス軸にはフィードバック制御用の位置検出器と力検出器が配置される。サーボ制御装置は位置制御系と力制御系を構成し、無負荷時には位置制御、成形負荷発生以降は力制御に切り替えて制御する。その際、成形時に変化していく負荷特性の変化に応じてプレス制御する成形制御方式を付加しており、これにより負荷の変化にかかわらず高精度にプレス制御することが可能である。

3.3 金型温度制御

本成形機では、加熱装置にハロゲンランプと集光式反射ミラーから構成する光加熱装置を採用した。本方式は、ハロゲンランプの発する光を反射ミラーで金型に集光し、金型を集光的に加熱することで、昇温速度を向上している。その際、金型の軸方向温度分布が生じるが、図4に示すように、熱解析により金型構造、成形機部材の材質、および機構などを最適化し、成形品の品質に影響しない温度分布を得ている。

成形時には金型のコア内に熱電対を挿入して金型温度を計測し、フィードバックして高精度に温度を制御している。最高設定温度は700 で、一般的な光学ガラス材料に対応できる。

4 成形事例

マイクロオプティクス成形機NANO-Pressで成形した事例を示す。図5に、デジタルカメラ用レンズおよびDVDピックアップ用レンズの成形例を示す。

4.1 デジタルカメラ用レンズ

レンズ形状は外径 8 mm、厚み 2 mmの両凸非球面レンズで、これをモールドレンズ用精密ゴブ材（重量261.2mg、ガラス転移点516 ）を用いて成形した。金型数は 4 型で、金型素材には低バインダ超微粒超硬合金を使用した。プレスユ



デジタルカメラレンズ



ピックアップレンズ

図5 成形事例  
Molding samples by NANO-Press

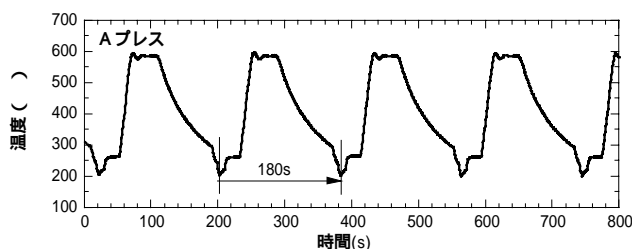


図6 成形時の金型温度（デジタルカメラ用レンズ）  
Measured temperature of mold in molding process (digital camera lens)

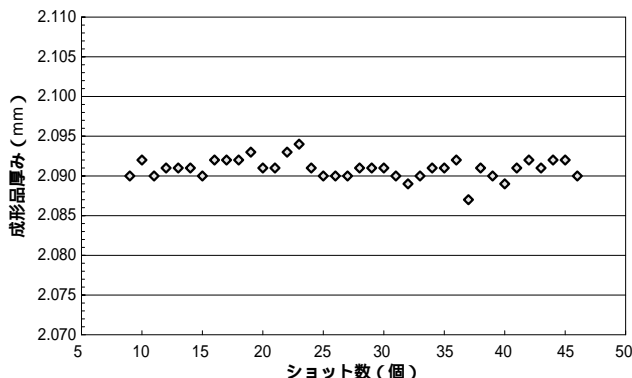


図7 成形品厚み（デジタルカメラ用レンズ）  
Thickness of mold lenses

ニット数は 1 軸を用いた。

図6に連続成形時の温度波形を、図7に各ショットの成形品厚みを示す。成形サイクルは180秒/個で、成形品厚みは値で1.4 μm以下のばらつきであった。図8に、触針式非球面測定器により測定した金型と成形品の形状精度(非球面)を示す。図は設計非球面形状からのズレを示しており、成形品では近軸曲率半径のわずかなズレによりPV値が若干悪化しているが、良好な転写を示している。

4.2 光ディスクピックアップ用レンズ

レンズ形状は外径4.7mm、厚み1.7mm、ツバ部厚み0.3mmの両凸レンズ（曲率半径R1 約7mm、R2 約2mm）で、これをモールドレンズ用精密球プリフォーム（直径2.84mm、ガラス転移点285 ）を用いて成形した。図9に、連続成形時の温度波形を示す。金型数は 8 型、プレスユニット数は 2

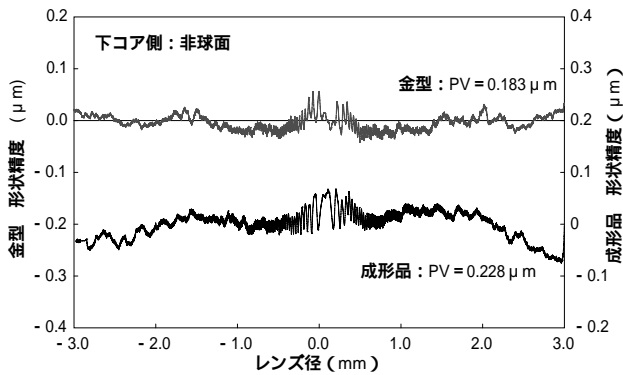


図8 金型および成形レンズの形状精度（非球面）  
Results of accuracy measurement of aspheric mold and glass lens

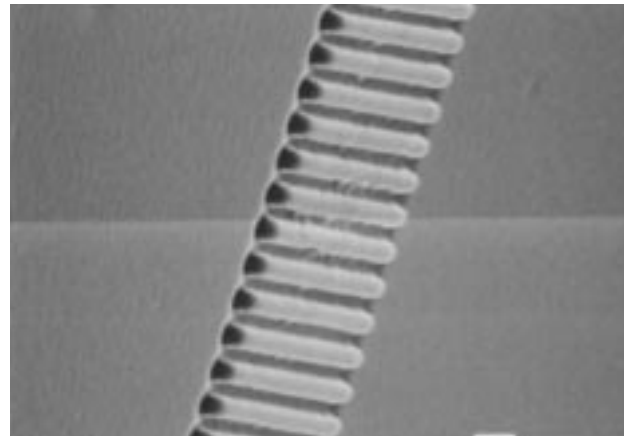


図10 微細パターン転写事例（PMMA）  
Transferred pattern on PMMA sheet

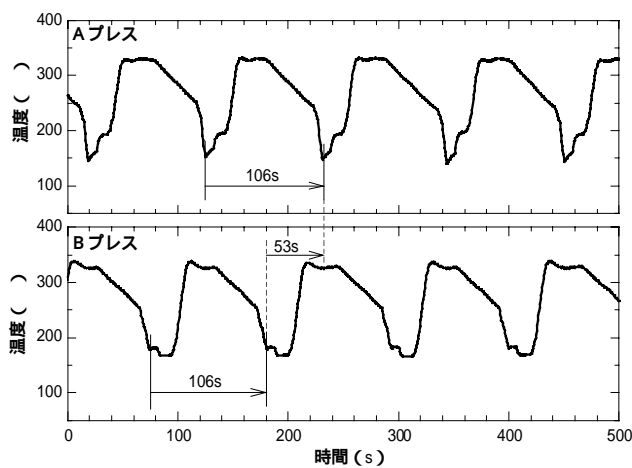


図9 成形時の金型温度（ピックアップレンズ）  
Measured temperature of mold in molding process (pick up lens)

軸を用いることにより、成形サイクルは53秒/個であった。

#### 4.3 微細転写

近年マイクロマシン技術による微細パーツ製作が注目を集めているが、最近ではさらに光/ライフサイエンス応用で商用ベースのデバイスが出現し始めている。本成形機は、それらの部品のプレス成形にも適用できる可能性を有している。図10に、サブミクロンオーダの微細パターンの転写例を示す。金型素材にはSiスタンプを用い、幅 $0.5\mu\text{m}$ 、アスペクト比1程度のライン・アンド・スペースパターンをPMMA樹脂に転写した。

## 5. むすび

プレス成形法により高精度かつ生産性高く光学素子を製造する成形装置として開発した、マイクロ光学形成機 NANO-Pressについて紹介した。

プレスユニットは、以下の特徴を有する。

直圧式空圧サーボ機構によりプレス力およびプレス位置を高精度に制御する。

集光式光加熱装置と型締め機構により金型の加熱・冷却制御を最適化しており、金型内温度をフィードバック

して高精度に温度を制御する。

非酸化性ガス雰囲気中での成形以外に、真空中での成形にも対応する。

また、量産設備として、以下の機能を有する。

成形プロセスを複数工程に分割し、複数の金型を各工程に順次搬送して連続的に成形を行う方式を採用し、生産性を向上している。

金型搬送ユニットを標準装備し、複数プレスユニットへの金型供給・排出、金型からの成形品取出し・硝材設置などの作業を自動化している。

本報で紹介したマイクロ光学形成機は、現在はガラスレンズ成形への適用が中心であるが、成形事例で紹介したように、レンズ以外の微細パターンを有する光学素子の製造方法としてプレスによる転写技術の適用が検討されている。材料もガラスに限らず、プラスチック材料で射出成形法では難しいといわれる形状をプレス成形で成形する事例が増え、プレス成形に対する要望はますます高まっている。そのような要求にこたえるために、今後もさらなる生産性および品質安定性の向上と、多種光学素子の製造への適用を目指して開発を進めていく所存である。

#### （参考文献）

平田徹，塚根浩一郎，長瀬裕．精密多段成形によるマイクロパーツ製作．成形加工 02, p.187～190, June, 2002.

# 薄肉容器の新成形法 Wedge Molding Process

New Concept for Thin-wall Container Wedge Molding Process

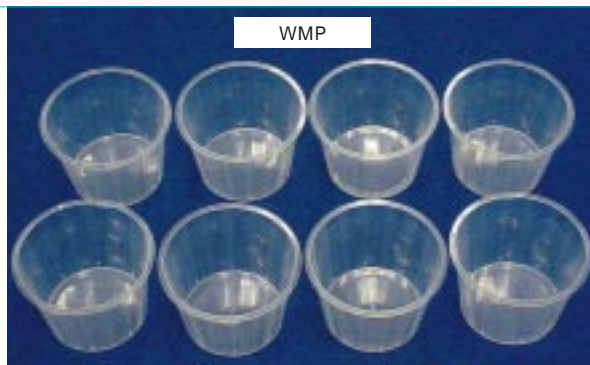
滝川 直樹\* 井辻 孔康\*

Naoki TAKIGAWA

Yoshiyasu ITSUJI



従来成形法



WMP

図1 WMPの効果  
Effect of WMP

本論文は新しい薄肉容器の射出成形法に関するものであり、その新成形法をWMP (Wedge Molding Process) と称する。

近年の環境保護とリサイクルの社会的要求にこたえることを目的に開発され、従来成形法に比較して以下のような特徴を備えている。

充填圧力が30～40%低減する。

溶融樹脂温度が20～30℃低温化される。

低樹脂温度成形と高密度化により、成形品の機械的強度が5～10%向上する。

低樹脂温度成形により、樹脂焼けを防止し、食品容器における低臭化を可能とする。

容器肉厚の薄肉化が図れる。

流動性の悪い生分解性樹脂および紙材料の薄肉化が実現できる。

成形機の小型化を可能とし、成形品のコスト低減ができる。

This paper reports the new molding process for thin-wall containers called the "Wedge Molding Process". The process has been developed to meet the current social requirements of environmental protection and product recycling, and has the following features when compared with the conventional molding processes.

- 1) 30 to 40% lower mold-filling pressure,
- 2) 20 to 30℃ lower resin temperature,
- 3) Increased mechanical strength of formed products by 5 to 10% due to the lower forming temperature and higher density of molten resin,
- 4) Minimized burning of formed products and reduced odor for food containers due to the lower forming temperature of molten resin,
- 5) Forming of thinner wall containers,
- 6) Forming of thinner wall containers of biodegradable resins with poor fluidity and mixtures of resin and paper, and
- 7) Smaller injection molding machines and reduction of manufacturing cost.

## 1 まえがき

プラスチック容器において、重量削減の要求が「包装容器リサイクル法」の施行に伴って近年急激に高まっている。また、環境問題への配慮から生分解性樹脂や紙・木粉が半分以上混入された樹脂の実用化が進んでいる。

しかし、重量軽減を目的とした成形品の薄肉化や汎用樹脂に比べて、流動性の悪い生分解性樹脂の成形は従来の射出成形技術で限界があり、新しい成形法が求められている。

薄肉容器を主な目的として、当社で開発したWMP (Wedge Molding Process) は従来の射出成形法で不可能な超薄肉成形や高粘度材料の薄肉成形を可能とし、高い成形品質と生産性を実現する成形法である。図1は、WMPにより成形可能となった成形品の一例である。射出圧縮成形法の一つであるが、強力な油圧シリンダなどを必要とせず、汎用電動式射

出成形機を用いて薄肉成形が可能である。

以下に、WMPの特徴と成形事例を中心に紹介する。

## 2 従来の薄肉成形技術

従来、薄肉品の成形に多く用いられているのは高速充填法である。金型に射出された溶融樹脂は冷却に伴って流動性が低下するため、できるだけ短時間で充填を完了させようという考えである。

当社の成形機『SGM-HPシリーズ』は最大射出速度が2000mm/s、また高速化を目的に射出圧力も高くなり最大射出圧力が350MPaとなっている。これの実現に、射出装置には大流量のアキュムレータなどを搭載し、高速・高圧に耐える十分な強度を持った金型と成形機を必要としている。電動成形機も年々高速化しているが、まだこの域には達していない。また、成形品によっては高速充填によって生じる配向や



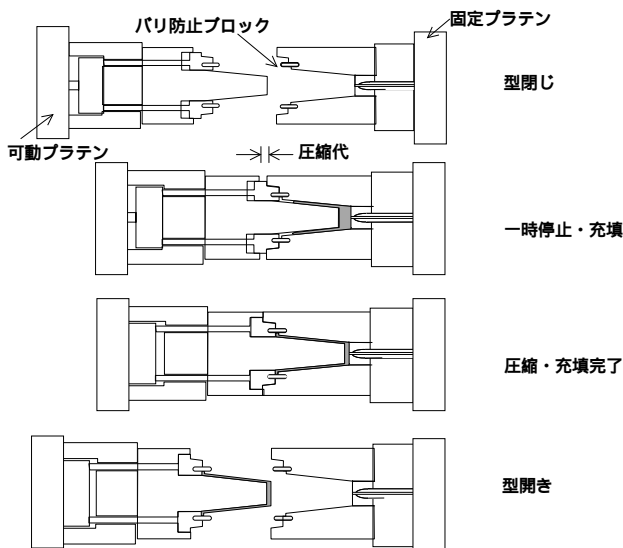


図2 金型構造と成形法の原理  
Mold structure and principle of WMP

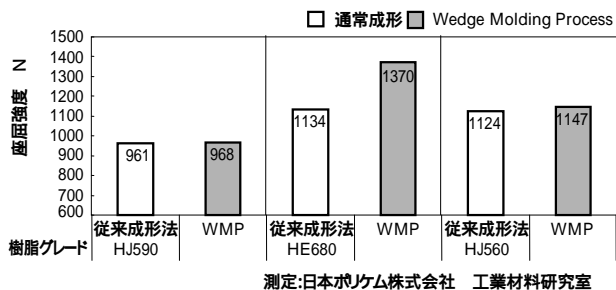


図3 ポリエチレン (HDPE) 容器の座屈強度比較  
Comparison of top-load of HDPE container

内部応力が問題になる場合もある。

射出圧縮成形法も、従来から薄肉成形に用いられている。充填中に金型を数mm程度開くことで樹脂の流動を確保し、充填完了後に金型を完全に閉じ、圧縮して所定の形状を付与する成形法である。保圧工程に圧縮・加圧することで成形品の表面性状や転写性の向上が可能な利点もあり、光学レンズ、導光板およびCD、DVDなどに用いられている。成形品形状に制限があり、平面的な成形品に効果大きい。

射出圧縮成形法による薄肉成形では射出装置は汎用のもので十分だが、圧縮のため金型を閉じるのに大きな力を必要とする。成形品によるが型締力の50%程度の推力を圧縮ストローク(数mm程度)の範囲内で発生させる必要がある。これはトグル機構を用いた電動成形機の型締め装置では難しく、従来、型締め機構や金型内に強力な油圧シリンダを組み込む場合が多かった。

### 3 WMPの金型構造と動作・成形原理

WMPは上記に示す射出圧縮成形法をベースに平面(二次元)的な成形品でなく、容器状の立体(三次元)的な成形品の薄肉成形を目的に開発した成形法である。電動式射出成形機を用い、従来充填不可能であった多くの成形品を成形可能としている。

図2に、WMPに用いる金型構造と動作を示す。金型を閉じ、射出圧縮成形法と同様に金型が少し開いた状態で樹脂を金型に充填し、金型コアにて圧縮動作を行い、金型

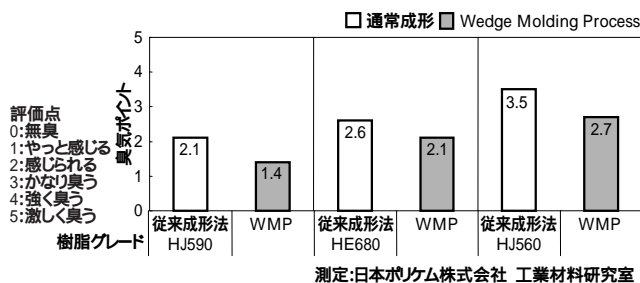


図4 ポリエチレン (HDPE) 容器の低臭性比較  
Comparison of smell of HDPE container

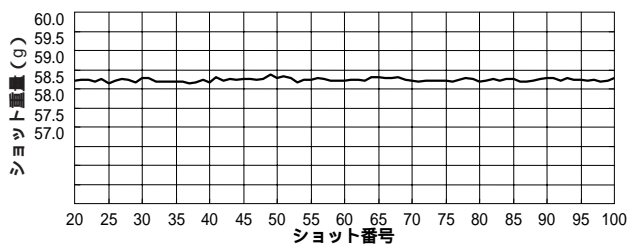


図5 ポリプロピレン (PP) による8個取り超薄肉成形の重量安定性  
Shot weight constancy of ultra thin-wall molding for PP cup with 8 cavity mold

を開いて成形品を取り出す。

特徴的なのは圧縮を必要とする薄肉部が圧縮方向と鉛直ではなく、角度が付けられていることである。圧縮に必要な推力は圧縮方向の投影面積におおむね比例するので、WMPでは小さな圧縮力で薄肉部面積の大きい成形品を成形することができる。また、最終充填部にはバリ防止のためのブロック構造を持ち、エジェクタにより駆動される。

### 4 WMPの特徴

WMPは金型を開いて充填するので樹脂の流動抵抗が小さくなることから、多くの利点を持つ。

#### 4.1 高い成形品質

樹脂を高温にして粘度を下げる必要がないので、成形時の樹脂温度を低くでき「熱劣化」や「樹脂焼け」の発生が少ない成形品が得られる。図3は通常成形とWMPで成形品の強度を比較したものである。圧縮による密度の向上に加えて熱劣化が少ないことから、WMPの成形品は強度が高いことがわかる。

また、食品容器では熱分解によって発生し、においの原因となるアセトアルデヒドに厳しい基準が設けられているが、樹脂温度の低下はこの低減にも有効である。図4は、通常成形とWMPで成形品ににおいの官能試験をした結果である。WMPを用いることで、においを低減できることが明らかである。

さらに、「ばり」や「ひけ」などの成形不良現象も樹脂温度が低けれ発生しにくくなるし、成形開始から安定するまでの時間の短縮も期待できる。

図5は、超薄肉容器の成形品重量の安定性を測定した結果である。成形サイクル4秒というハイサイクル成形にも関

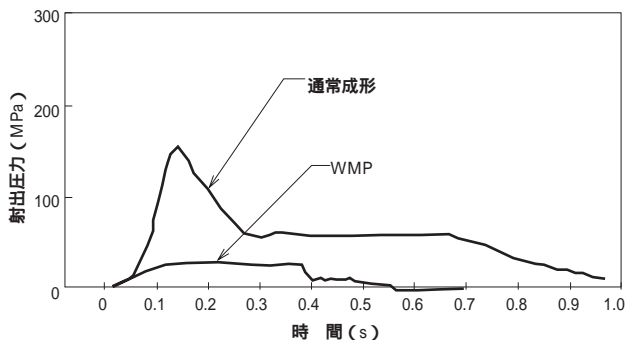


図6 生分解性樹脂による薄肉成形の射出圧力の比較  
Comparison of filling pressure of biodegradable thin-wall container

ならず、成形開始から20ショット以下で安定領域に入り、変動係数(標準偏差/平均値)は0.0754%と安定している。

#### 4.2 充填樹脂圧力の低下

図6に、通常成形とWMPの成形波形を比較する。通常成形では150MPaの充填圧力を必要としていたが、WMPでは30MPaと従来の20%に低下した。金型を開いた状態で樹脂を充填するため、薄肉成形品でも実質的には厚肉品と同様に成形することができ、成形可能な範囲が大幅に拡大する。また、同じ成形品であればWMPを用いることで、残留応力によって発生する「そり」や「偏肉」などの成形不良防止を期待できる。

さらに、金型・成形機にかかる負荷が小さくなり、長寿命・コストダウンも可能である。たとえば、電動射出装置では高馬力のサーボモータを不要とし、ボールネジの耐久性を向上することができる。

#### 4.3 高い生産性

充填圧力が低いWMPでは同じ射出装置に対して径の大きいスクリーを採用することが可能となり、可塑化能力や射出容積を大きくすることができる。可塑化能力は成形サイクルの短縮、射出容量は多数個取りに有効であり、生産性の向上につながる。

また、充填時の樹脂温度を下げることで成形サイクルの多くを占める冷却時間を短縮でき、さらに高い生産性を確保できる。

#### 4.4 成形機のダウンサイジングと多数個取り

WMPは低充填圧力により金型・成形機にかかる負荷が小さいことから、サイズの小さい成形機で多数個取りが可能である。これを確認するため、射出成形用流動解析ソフトとして定評のある『TM Concept』(TMC)を用いて解析を行った。図7は、TMCを用いた従来成形法における解析結果である。この成形はWMPを用いれば型締め力2250kNの機種で成形可能なことが確認されているが、TMCの解析結果によると従来成形法では型締め力4410kN、2倍の能力を持つ機種が必要であることを示している。

## 5 成形品事例の紹介

以下に、WMPの特徴を生かして成形した事例を示す。

### 5.1 高粘度樹脂の薄肉成形

図8に示す薄肉容器の成形例は薄肉でも十分な強度を確保するために、フィルムグレードの高密度ポリエチレン

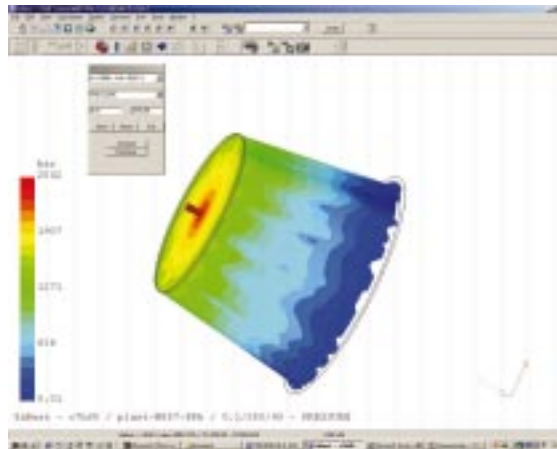


図7 TMCによる従来成形法における成形機仕様のシミュレーション  
Simulation result of conventional molding with TMC

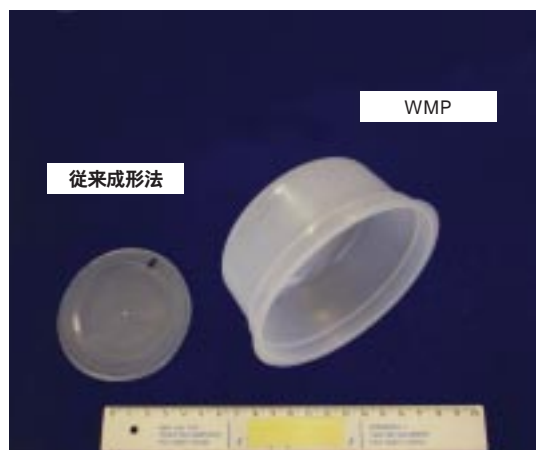


図8 フィルムグレード高密度ポリエチレンによる薄肉成形  
Thin-wall container with HDPE of film grade

(HDPE)を用いたものである。薄肉に加え樹脂の流動性が悪いことから、従来の成形法では実現できなかった。

寸法：直径100mm、高さ55mm、肉厚0.4mm  
L/T：250

樹脂：押出しグレードHDPE (MFR = 0.04mm)

### 5.2 超薄肉成形

薄肉成形の能力は、通常流動長Lと肉厚Tの比、L/Tで評価される。図9は、L/T = 400の超薄肉成形の例である。WMPを用いることで、成形品の肉厚を0.5mmから0.33mmに、重量を10.7gから7.4gにそれぞれ30%削減することができた。

成形品：デザート容器

寸法：直径75mm、高さ100mm、肉厚0.33mm  
L/T：400

樹脂：高流動ポリプロピレン

### 5.3 生分解性樹脂などの成形

近年、環境意識の高まりや「包装容器リサイクル法」の施行などによって使用される成形材料が多様化している。これらの成形材料は一般樹脂に比べ流動性が悪く、従来の成形法では限界があった。

図10および図11は、紙を51%以上含む成形材料による薄肉容器の成形事例である。法的には樹脂容器より有利な紙容器に分類されるため使用が拡大しているが、従来の高速充填法では流れにくい紙の繊維がゲート近傍に偏るなどの問題が

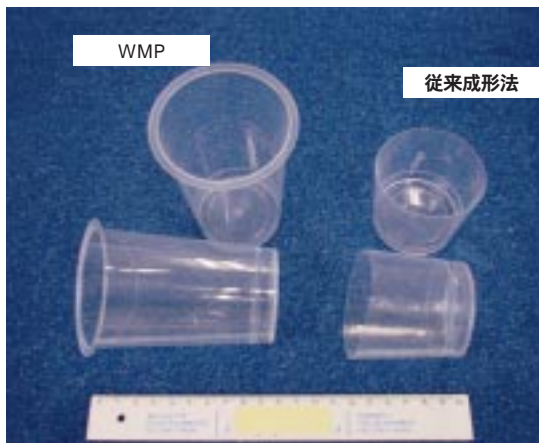


図9 ポリプロピレンによる超薄肉成形  
Ultra thin-wall cup with PP

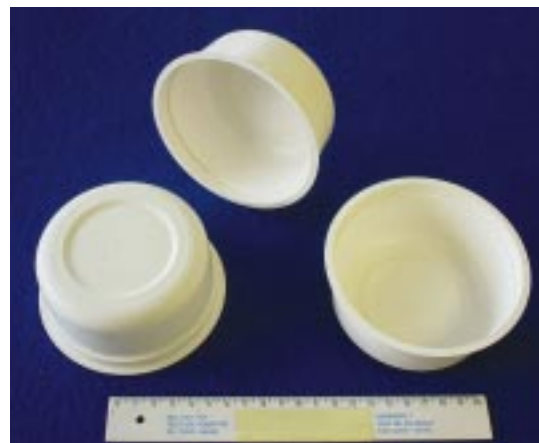


図11 紙51%以上を含む食品用材料によるマーガリン容器の薄肉成形  
Thin-wall margarine tub with paper rich for food container

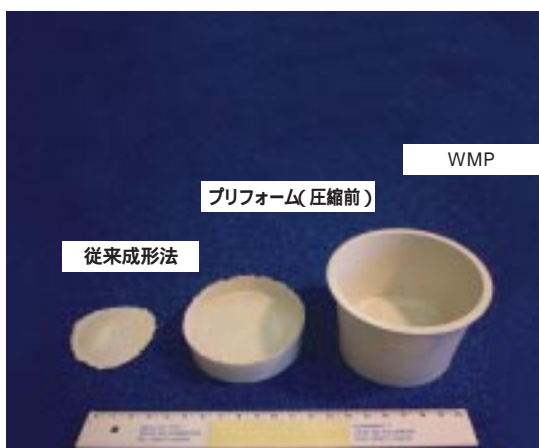


図10 紙51%以上を含む紙による薄肉成形  
Thin-wall container with paper rich material

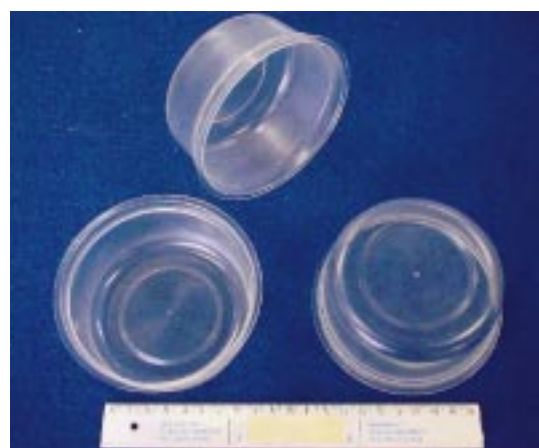


図12 生分解樹脂によるマーガリン容器の薄肉成形  
Thin-wall margarine tub with biodegradable resin

あり，WMPで初めて薄肉化が実現した。

成形品：デザート容器

寸法：直径 90mm，高さ 55mm，肉厚0.6mm

L / T : 130

材料：古紙51%以上

成形品：薄肉マーガリン容器

寸法：直径 110mm，高さ 55mm，肉厚0.4mm

L / T : 250

材料：食品用紙51%以上

図12は，生分解性樹脂による超薄肉成形の例である。

成形品：薄肉マーガリン容器

寸法：直径 110mm，高さ 55mm，肉厚0.4mm

L / T : 250

材料：ポリ乳酸系生分解性樹脂

## 6 むすび

WMPの高付加価値成形における特徴を，以下に示す。

金型を開いた状態で充填するため，充填樹脂圧力が低圧となり，従来成形できなかった流動性の悪い高粘度樹脂での薄肉成形が可能となる。

圧縮により薄肉化されるので，薄肉充填に必要とされる高速・高圧の射出性能が不要である。また，高速充填に対して材料の均一性，残留応力などの点で有利である。

径の大きいスクリー搭載による高可塑化能力，射出容量増大による多数個取り対応，成形時の樹脂温度低下による成形サイクル短縮によって生産性が高い。

低温化・低圧化により「樹脂熱劣化」「樹脂焼け」その他各種成形不良が発生しにくくなり，安定した成形が可能である。

環境問題に配慮した生分解性樹脂，紙，および木粉が混入された材料など，多様な成形材料の成形が可能である。

低圧充填により，成形機・金型にかかる負荷が小さく，耐久性向上，ダウンサイジングが可能である。

WMPは，2002年11月に開催された国際展示会IPF 02にて実演展示し好評を得た。その後，非プラスチック材料の成形も含め，IML，キャップ，医療機器，および各種工業部品に適用が拡大，進行している。

とかく環境問題の矢面に立たされるプラスチック製品ではあるが，本成形技術を通じて低環境負荷社会へ貢献していきたいと考える。

### (参考文献)

滝川直樹. Wedge Moldingの紹介. 産業機械4月号, 2003.

滝川直樹. 薄肉容器の新成形法「WMP(Wedge Molding Process)」。PACK PIA, 8月号, 2003.

大西祐史. 全電動射出成形機SE-Dシリーズ. 住友重機械技報, no.150, Aug., 2002.

# スクリューアセンブリの樹脂替え技術

Technology of Resin Change in Screw Assembly

佐藤 雄司\*

Yuji SATOU

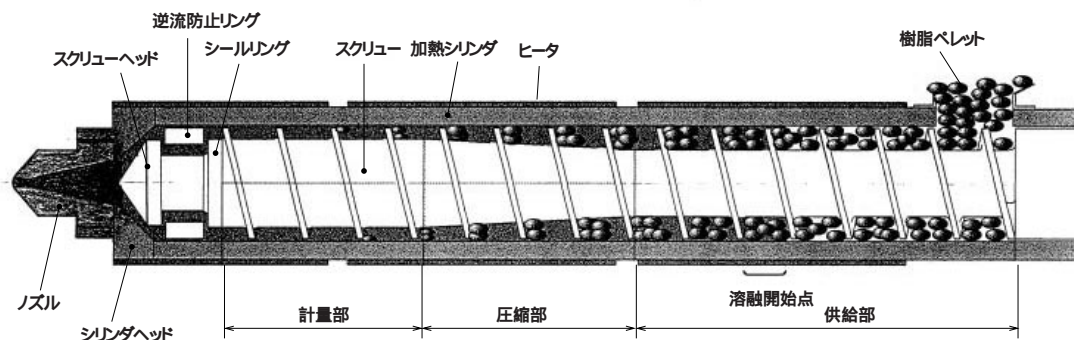


図1 スクリューアセンブリ  
Screw assembly

樹脂材料の応用範囲の拡大と高度化の進展に伴い、射出成形機成形分野も多種類の樹脂材料が同一のスクリューアセンブリを使用して成形されるようになり、必然的に材料替えの頻度が増大してきた。さらに、バブル崩壊後は小ロット化が進み、多品種・少量生産に拍車をかけている。

樹脂替えを完全に実施するためにはスクリューアセンブリを分解して清掃すれば良いが、作業時間がかかり効率が悪い。また、樹脂替えにかかる材料費も大型のスクリューアセンブリになる程、成形品のコストに直接影響してくる。

本報では一般的な樹脂替えに際しての注意事項、要領、および樹脂替え性を向上させる上でスクリューアセンブリとして考えるべき留意点について述べ、効率の良い樹脂替え作業の提案を行う。

Owing to the expanded use of various types of resin materials, the screw assembly of an injection molding machine needs to accommodate different kinds of resin materials. Consequently, the frequency of resin switch has increased. The small lot production since the economic bubble collapse has accelerated the need for the small lot production of large items. Disassembling and cleaning of a screw assembly would be a perfect practice for resin switch, but it would take much time and be inefficient. The larger screw assembly consumes a greater amount of resin for the switch, increasing the production cost per molded article. This paper presents the important procedures for resin switch and the points of concern in designing a screw assembly in order to implement an efficient resin switch.

## 1 まえがき

射出成形機はほとんどの場合、汎用機として用いられており、多種類の樹脂材料が同一のスクリューアセンブリを使用して成形されている。したがって、新しく段取りをするときには樹脂材料の交換が必要となる。図1に、スクリューアセンブリの概要を示す。

熱可塑性樹脂には多くの種類があり、成形温度域も樹脂によって大きく異なる。

樹脂の置換えが正しく行われないと、樹脂焼けおよび外観不良などの不良現象が発生し、場合によってはスクリューヘッドの折損などの機械的トラブルにつながることもあるので注意が必要となる。

以下に、一般的な樹脂替えに際しての注意事項と要領およ

び樹脂替え性を向上させる上でスクリューアセンブリとして考えるべき留意点について述べる。

## 2 樹脂替えに際しての注意事項と要領

### 2.1 樹脂替えにおける基本事項

樹脂替えを早く完全に行うには、以下の内容を徹底する必要がある。

粘度の低い樹脂を粘度の高い樹脂で置き換える。

成形温度の異なる樹脂の置換えには、両方の温度域にまたがる幅広い成形温度を持った樹脂を中間材として必ず使用する。

互いに化学反応して分解する樹脂の置換えには、両者と化学反応を起こさない安定した樹脂を必ず中間材として使用する。

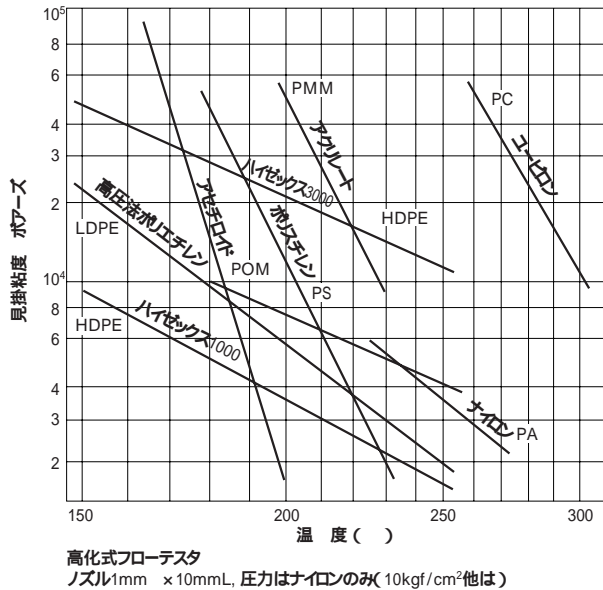


図2 樹脂熔融粘度と温度の関係  
Resin melt-viscosity vs temperature

2.1.1 設定温度上の注意

2.1.1.1 設定温度が高すぎる場合

腐食性ガスを発生する樹脂の場合、スクリューアッセンブリ部品が腐食される。

例 PVC - 塩素ガス

POM - ホルムアルデヒド

難燃材料 - ハロゲンガス

POMにおいて、分解ガスが急激に発生しスクリューアッセンブリ内の圧力が急上昇する。(ホッパの蓋が飛ぶことがある)

2.1.1.2 設定温度が低すぎる場合

樹脂粘度が高くなり、スクリューヘッドの折損、逆流防止リングと加熱シリンダ間およびスクリューと加熱シリンダ間のカジリ摩擦が発生する場合がある。

2.1.2 樹脂相性上の注意

2.1.2.1 PC (ポリカーボネート) の場合

PCを含窒素化合物 (ABSおよびPAなど) に置き換える場合は、化学反応して樹脂焼けの原因となるので、必ず中間材としてHDPEを用いる。

この場合、PEのかみ込み不良を防止するため、加熱シリンダのホッパ側の温度設定のみ200 に下げ、計量値および射出時間を短めにしてパージングを行うと良い。

前の樹脂が十分に置き換わってから、各ゾーンの温度設定を下げ、次の樹脂への置換えを行う。

2.1.2.2 洗浄材を使用する場合

PCおよびPOMは洗浄材に含まれる成分と化学反応を起こして樹脂が分解することがあるため、洗浄材の選択が重要である。

2.1.3 中間材の選択

通常用いられている中間材は、PEおよびGPPSなどがある。

2.1.3.1 PE (ポリエチレン)

熱安定性が良く、成形温度域が広いうえに熔融粘度の温度依存性が低いため、最も一般的に用いられている。

PEの粘度曲線が各材料の粘度曲線を横切っていると言う

表1 樹脂交換一覧表  
List of resin change

被置換え材	POM	ABS	PA6	PA66	PMMA	PBT	PC	PPO (ノリル)	高粘度材料 ポリカルボン PPS PESなど
置換え材	180~200	200~240	220~260	260~280	200~240	220~260	260~300	260~300	300~360
POM		PP	LD	HD	LD	HD	HD	挿除 (or HD)	挿除
ABS	直 or LD		直 or LD	HD	直	HD	HD		
PA6	PP	PP		PP	PP	HD	HD		
PA66	PP	PP	PP or 直		PP	HD	HD		
PMMA	直	直	直	PP		PS or 直	HD	↓	
PBT	HD	HD	直	HD	直		HD	直	
PC	HD	HD	PP	HD	HD	HD		直	
PPO (ノリル)	HD	HD	HD	HD	HD	直	HD		↓
高粘度材料 ポリカルボン PPS PESなど	HD	HD	HD	HD	HD	HD	直	直	

注) PVCは除外

: いきなり高回転で回すと負荷がかかるので低回転から行う。

直: 直接交換, ただし温度設定を誤ると熱分解を起こすものもあるので注意が必要。

HD: 高密度ポリエチレン (HDPE)

LD: 低密度ポリエチレン (LDPE)

HD PS: 中間材として2種類使用し、まずHDに置き換え、その後PSに置き換える。

特性を利用して適正な温度を選ぶことによって、置き換えようとする樹脂より粘度を高くすることも、低くすることも可能である。図2に、種々の樹脂の熔融粘度と温度との関係の一例を示す。図のように、PEの粘度曲線は他の多くの樹脂の粘度曲線と交差している。

PEは大きくLDPEとHDPEに分かれるが、HDPEの使用温度が広く、広範囲に安定して使用できる。

2.1.3.2 GPPS (汎用ポリスチレン)

比較的使用温度域が広く粘着性が低いので、新材料への置換えが容易である。また、透明であることを好んで透明材料の置換えに用いられることも多い。ただし、熔融粘度の温度依存性が大きいので、相手樹脂との適合および温度設定などに注意が必要である。

以上の考え方と経験を基に、総合的に各樹脂間の置換えについてまとめたのが表1である。

2.2 樹脂替え操作手順

操作に当たっては、樹脂替えを、スクリュー本体部分と、スクリューヘッド、ノズル部分の二つに分けて考える。

まず、スクリュー本体の置換えを行う。計量値は最大ストロークの1/2~1/3、回転数は高速、無背圧、設定温度は旧材料の成形温度か、10 程度高い温度とし、パージングを行う。また、オープン仕様のスクリューアッセンブリの場合はパージングの代わりに背圧を高くし、連続押し出し状態にて置換えを行うことも有効である。

パージングされた材料がほぼ新材料または中間材に置き換わった時点で、スクリュー部分はほぼ終了したとみなす。次に、そのままの温度で計量値を小さくし、射出速度も高速として、ハイサイクルでパージングを行う。これはスクリューヘッドからノズル部にかけての残留材

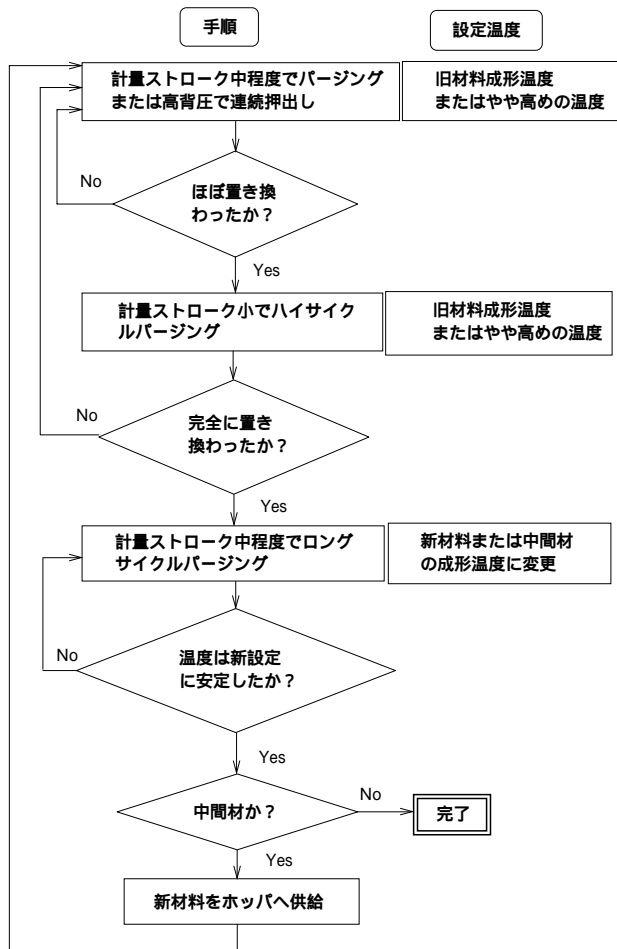


図3 樹脂置換え手順  
Procedure of resin change

料を熔融材料自身により剥ぎ取っていくためのものである。

旧材料が完全に新材料または中間材に置き換わったことを確認した後、新材料または中間材の成形温度まで漸次移行させる。温度が移行している間は、計量値を最大ストロークの1/2~1/3に戻し、射出時間を30秒程度に延ばして、長いサイクルでパージングを続ける。

中間材使用の場合は、中間材から新材料へ ~ の手順で再び置き換えて完了する。

以上の手順を図式化すると、図3のようになる。

### 3 スクリューアセンブリ内の留意点

スクリューアセンブリの中で留意すべきは図1に示すように主に、スクリュー、スクリューヘッド、シリンダヘッド、ノズル、および加熱シリンダである。

基本的には、熔融した樹脂が流動面で滞留しにくいような構造及び形状でなければならない。

#### 3.1 スクリュー

標準的なフルフライトスクリューについて検討する。

一般的に樹脂の熔融開始点はスクリュー圧縮部の手前であり、顔料などの付着もこの付近に集中している(図4)。

この熔融開始点は固体層が熔融層へ成長していく不安定な部分であるため、計量部や圧縮部のように内部圧力が発生しやすくセルフクリーニングが活発に行われる所よりは、樹脂及び顔料が滞留しやすい。

特に、熔融樹脂を掻取り輸送するフライトの前側面やコー



図4 スクリューの顔料付着状況  
Pigment adhesion situation

表2 色替え条件  
Color replacement condition

1. 色替え手順	PP赤 PP白(各々マスタバッチ3%含有)
2. 評価方法	スクリュー前進限連続押し出しで目視により赤が出ないことを確認する

表3 硬質クロムメッキの効果  
Effect of hard chrome plating

仕様	色替え重量比
メッキなし(窒化)	1.0
スクリューのみメッキ	0.63
スクリュー、スクリューヘッド 逆止リング(内側)メッキ	0.45

(重量比はメッキなしに対する比)

ナに滞留物が発生する。

この滞留をできるだけ避けるには、スクリュー面粗度を向上させるか、樹脂との剥離性の良い硬質クロムメッキやTiNコーティングを施すと良い。

#### 3.2 スクリューヘッド

スクリューヘッドは、逆流防止リングおよびシールリングとともに逆流防止機構を担う部品の一つである。

スクリューヘッドはシリンダヘッド内壁に隣接するスクリューヘッド先端部に、逆流防止リングは内側に樹脂および顔料が滞留し易くなる。この対策としては、スクリューと同様に面粗度を向上させるか、樹脂との剥離性の良い硬質クロムメッキやTiNコーティングを施すと良い。

また、シリンダヘッドの項で後述するが、スクリューヘッドはスクリューヘッド先端部とシリンダヘッド内壁で形成される隙間をできるだけ小さくし、先端角度を大きく鈍角状にすれば良い。逆流防止リングは爪付きでスクリューヘッドとともに回転するタイプと爪なしで回転しないタイプがあるが、内側での滞留を避けるためにはスクリューヘッドは回転して逆流防止リングは回転しない非共回りタイプの方が良い。ただし、非共回りタイプの場合スクリュー回転時に吐出圧力によって逆流防止リングがスクリューヘッド側に押し付けられ、接触面での摩擦や樹脂焼けが発生するおそれがあるため、面圧発生を抑えるような形状の工夫や適用する樹脂を限定するような配慮が必要である。

ここで、フルフライトスクリュー、スクリューヘッド、および逆流防止リングに対する硬質クロムメッキの効果確認の実施例を紹介する。色替え条件を表2に、色替え結果を表3に示す。

硬質クロムメッキの施工によって、色替えに要するパーシ量は減少する。硬質クロムメッキ未施工のパーシ量に対してフルフライトスクリューのみのメッキ施工で63%に減少し、このフルフライトスクリューに加えてスクリューヘッド及び逆

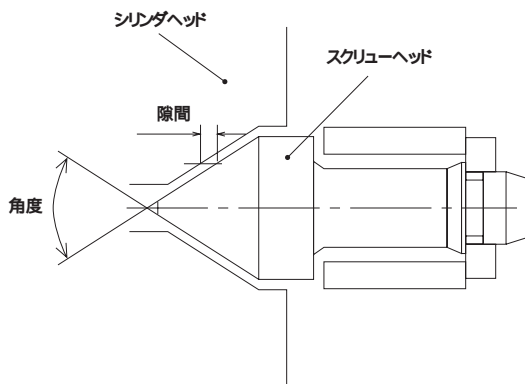


図5 スクリューヘッドとシリンダヘッドの角度と隙間  
Angle and clearance between screw-head and cylinder-head

表4 スクリューヘッドとシリンダヘッドの形状効果  
Shape effect screw-head and cylinder-head

先端角度	60°	90°	120°
隙 1 mm	0.88	0.82	0.67
隙 5 mm	1.0	0.88	0.80

(先端角度60°, 隙間 5 mmの色替え重量に対する比)

流防止リングの内側にもメッキ施工すると45%に減少する。  
この結果より、硬質クロムメッキの効果が大きいことがわかる。

### 3.3 シリンダヘッド

スクリューヘッドで、前述した先端角度と隙間について検討する(図5)。

スクリューヘッドとシリンダヘッドの角度を60°, 90°, 120°, 隙間を1mm, 5mmとして、すべての組み合わせについて色替え性を確認した結果を表4に示す。この時の色替え条件は、表2と同一である。

この結果から、角度は大きく、隙間は小さくした場合に色替え性が向上することがわかる。

これは角度が大きくなるほど樹脂と接触する表面積が小さくなるため、また隙間が小さくなるほど連続押し出し時の隙間を通過する樹脂流速が速くなり、より高いせん断力が発生するため滞留しにくくなるためである。

### 3.4 ノズル

ノズルの色替え及び樹脂替え性を向上させるには、内部形状の工夫と流路表面のメッキ処理が効果的である。

ここで、内部形状の違う3種類のノズルの色替え性について紹介する。ノズルの形状を図6に、色替え性の結果を表5に示す。この時の色替え条件は、表2と同一である。

この結果より、ノズルの内部形状は極力滞留部が少なく流路内径も急激な変化がない形状が最適であるといえる。

### 3.5 加熱シリンダ

加熱シリンダの場合、内壁の面粗度が問題となる。スクリューでは熔融開始点で樹脂及び顔料が付着しやすいことを述べたが、加熱シリンダもスクリューと同じ位置にあたる内壁に残留する傾向にある。加熱シリンダ内壁の面粗度が粗ければ付着が増加し、やがて焼けて黒点となって成形品に混入するようになる。

一方、スクリューの可塑化能力という視点から評価すれ

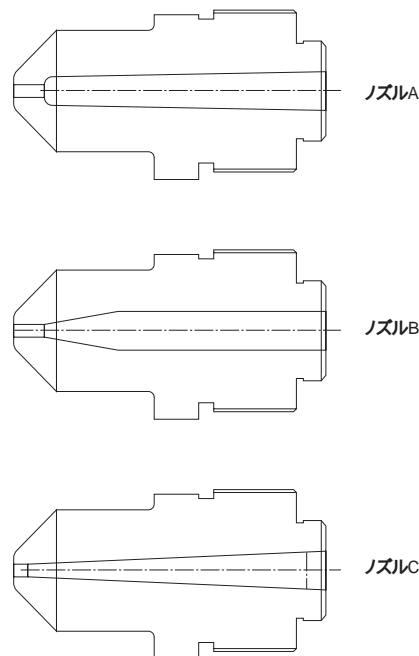


図6 ノズル内部形状  
Inner shape in nozzle

表5 ノズル内部形状の効果  
Effect of inner shape in nozzle

形状	色替え重量比
ノズルA	1.0
ノズルB	0.60
ノズルC	0.45

(重量比はノズルAに対する比)

ば、加熱シリンダ内壁の面粗度が粗い方がペレットに対する摩擦が大きくなり、ペレット輸送が十分行われることで安定した熔融樹脂の供給が可能になる。

この二つの相反する状況を適正に判断して、加熱シリンダ内壁の面粗度を決定する必要がある。

## 4 むすび

本報では射出成形機の樹脂替えの考え方と要領およびスクリューアセンブリの形状、表面粗度の差の影響について述べた。

新しい材料が次々と開発されている状況の中で、その材料特性を知ることが成形条件の設定法のみならず、樹脂替え作業においても重要である。個々の材料特性については樹脂メーカーの発行しているカタログやデータ集を参考にすることが望ましい。

樹脂替え性向上に関して、スクリューアセンブリにおいて留意すべき点は、同時に同一樹脂でも長期にわたる成形にて引き起こされる樹脂焼け、成形品へのコンタミネーション混入対策とも密接な関係がある。このコンタミネーション混入対策に関するニーズは短期的な成形での樹脂替え性と同等のものがあ、今後も可塑化装置の開発改良に取り組んでいく所存である。

### (参考文献)

坂本一郎, 佐藤雄司. 成形機からみた樹脂替え・色替え技術. プラスチック成形加工学会誌, 7巻 11号, p.663~689, 1995.  
三菱瓦斯化学株式会社. ユーピロン 技術資料 物性編.

# 300Wエキシマレーザの開発

Development of 300 Watts Excimer Laser

平田 一 弘\* 河村 譲 一\* 棧 敷 一 明\* 加藤 宏 之\*

Kazuhiro HIRATA

Joichi KAWAMURA

Kazuaki SAJIKI

Hiroyuki KATO



300Wエキシマレーザ  
300 watts excimer laser

当社では、主に液晶アニール用途を目的とした大出力XeClエキシマレーザの国産化を進めてきており、開発当初の200W（667mJ×300Hz）機から240W（800mJ×300Hz）の市場投入を果たしてきた。本報では、次世代機としてほぼ開発に成功した300W機（1000mJ×300Hz）の開発項目および性能を示す。1000mJ、300Hzの発振条件においては、パルス安定性をほぼ値1.2%以下でウィンドウのクリーニングを行わない状態で50Mshots以上のガス寿命を保ち、出力向上のみならずガス寿命の大幅伸長も達成した。

本開発機にはさらに潜在ポテンシャルを示唆するデータも得られており、310Wのサーボ運転を安定性重視の条件でレーザガス調整を行った結果、世界でもトップクラスのデータであるパルス安定性値1.0%以下で45Mshotsの発振試験を達成した。

The high power excimer laser has been developed for TFT (Thin Film Transistor) LCD (Liquid Crystal Display) annealing. We had supplied to the market up to the 240 watts (800 mJ, 300 Hz) average power excimer laser for industrial use. We are going to add the 300 watts (1000 mJ, 300 Hz) average power laser for our line-up. This 300 watts new laser is based on the 240 watts laser, but improved some points. In our test, 300 watts servo operation is able to oscillate over 50 million pulses with almost less than 1.2 percent for output stability. Our special gas control for better performance had been able to oscillate over 45 million pulses in 310 watts servo operation with almost less than 1.0 percent for output stability. We are confident that it will be possible for this laser to produce over 300 watts average power with good stability.

## 1 まえがき

これまでの電子ディスプレイといえば、一般にブラウン管と呼ばれる陰極線管（CRT）が主流を占めていた。しかし、薄型化、大画面化の要請が高くなってきたディスプレイ市場において、急速に液晶ディスプレイ（LCD）やプラズマディスプレイ（PDP）に有機ELディスプレイを加えたフラット

パネルディスプレイが主流を占め始め、今後の主導権争いへの様相を呈している。とりわけ、高性能の液晶TFTディスプレイはモバイル用の小型高精細用途から大型テレビまで幅広い用途に使用されており、今後とも成長分野として注目されている。

この液晶TFTディスプレイ製造のための基板アニールを行う熱源としてパルス幅が短く、Si基板への吸収率も高



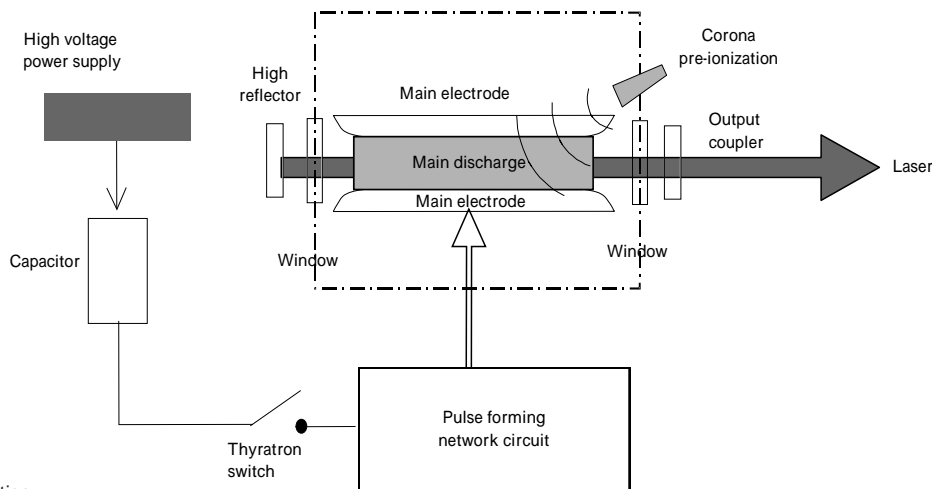


図1 エキシマレーザ発振概念図  
Schematic of excimer laser oscillation

い紫外光を発生するエキシマレーザは、極短時間での熱処理および急冷が可能であり、移動度の高いSi単結晶のサイズの大きいものを形成することができる。

当社では、1997年度より200W (667mJ × 300Hz) クラスのエキシマレーザの国産化に着手し、この200W機、さらにこれを改良した240W (800umJ × 300Hz) 機と、液晶基板の大型化に対応して高出力化を実施してきた。本報においては、さらに基板の大型化およびスループット向上のために市場の要求が高い出力の増大に対応して、常用出力300W (1000mJ × 300Hz) のエキシマレーザの開発を行い、所定の性能を確保した結果を示す。

エキシマレーザは、発生する光が短波長の紫外領域にあり、微細加工や半導体メモリ製造のステッパ光源として使用されている。しかし、これらの用途においては紫外光としての特質を利用するため、ビーム品質に関する要求が比較的高く、出力に関する要求はさほど大きくはない。アニール用途に使用するような数百Wクラスのエキシマレーザを製造しているのは、当社を含め数社であり、本レーザはその中でもトップの性能を有している。

## 2. 300Wエキシマレーザの概要

### 2.1 基本コンセプト

当社開発の300Wエキシマレーザは、基本コンセプトは従来の200Wおよび240W機と同様のものとしてある。すなわち、3軸直交型の放電励起エキシマレーザであり、レーザ媒質としては一般的な希ガスハライドエキシマの中でも高出力化に向いているXeClエキシマレーザとなっており、発振波長308nmの紫外光を発生する。図1に、エキシマレーザの概念図を示す。1対の対向する主電極間にあるレーザガスを高電圧のグロー放電によって、通常では存在し得ない準安定状態である上準位でXeClエキシマを生成し、この分子が下準位へ戻るときに発生する光を放電方向とは直交する共振器によって増幅し、最終的に光エネルギーとして取り出すというメカニズムとなっている。主電極間のレーザガスは、発振周波数に応じて常にフレッシュなガスを供給する必要があるため、ブロウを用いてレーザベッセル内のガスを常に循環している。先に示した3軸直交型とは、光の射出方向、放電方

向、およびレーザガスの流れ方向が各々直交していることを示す。主放電が安定にグロー放電を発生かつ持続できるように、これに先立って放電空間を電離状態にするための予備電離を行う必要がある。当社エキシマレーザでは、この方式としては不純物の発生が少なく均一な予備放電が可能であるコロナ予備電離を採用している。レーザ増幅に不可欠な共振器は全反射鏡と部分反射鏡からなり、レーザベッセル自体からの振動や温度変動による影響を避けるために、これと切り離れた外部共振器構造を採用した。また、レーザ発振によるレーザガスの汚れやこれに伴うレーザガスをシールして共振する光を取り出すウィンドウの汚れを防止するために、冷凍機を用いたクライオガスプロセッサ装置により不純物を除去したガスを循環させている。

### 2.2 性能仕様

レーザの基本仕様としては、すでに開発した240W機の仕様を維持したままで、パルスエネルギーのみを増大させることを当初の開発目標とした。しかし、世界最高級レベルの性能を目標として、特にレーザガス寿命およびウィンドウクリーニングインターバルに関しては、240W機の2倍のショット数を開発目標として掲げ、パルスエネルギーに関する仕様値も当初目標を上回るレベルに設定している。主な設定仕様を下記に示す。

パルスエネルギー：1033mJ (出力310W相当)

発振周波数：300Hz

パルスエネルギー安定性：1.8% ( )

ビームダイバージェンス：2 mrad (水平方向)  
4 mrad (鉛直方向)

ポインティングスタビリティ：0.45mrad (水平鉛直とも)

レーザガス寿命：40Mshots

ウィンドウクリーニングインターバル：40Mshots

### 2.3 開発項目

基本コンセプトでも示したとおり、本開発の300W機は従来の240W機をベースに開発が進められた。さらなる高出力化を実現し、他のレーザ性能を落とすことなくむしろ改善させるために行った主な項目を以下に示す。

主放電電極の長尺化によるゲイン領域の増大  
励起回路および充電電源の増強ならびに最適化

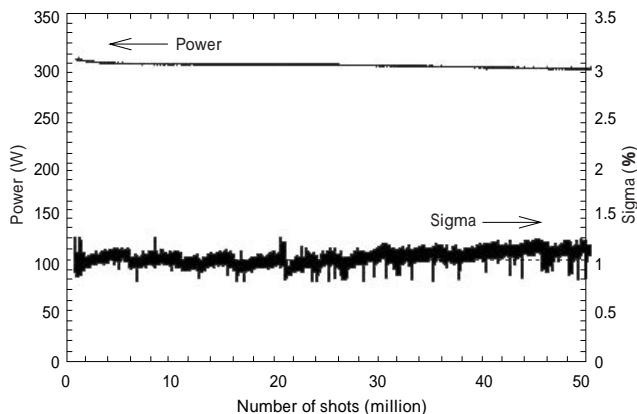


図2 300Wサーボ試験  
Power & standard deviation of pulse energy at 300Hz/1000mJ servo operation

放電領域に常にフレッシュなレーザガスを供給するためのブロウ強化ならびに安定化

放電およびハロゲン、紫外光による生成不純物除去用ガス精製系強化

レーザガスの精密コントロールによる放電安定性の改善  
もっとも大きな開発ポイントは、主放電電極の長尺化である。放電励起エキシマレーザは、共振器内のグロー放電部分で光エネルギー増幅のためのゲインを得る。開発当初目標は240W (800mJ) から300W (1000mJ) への出力アップ、すなわち最低25%の上昇率を必要とする。主放電電極を長くし、投入エネルギーも増加させることによりゲイン領域が広がり、共振器間の増幅が起こることにより必要な電極長は25%以下に抑えられることが予想される。また、理論的には電極長を長くすることはそのままゲイン領域の拡大につながり、プラス要素のみを思い浮かべることになる。しかし、実際は精密な形状を有する金属加工物を高い精度で正確に対向させることは製作精度および取付け精度においても非常な困難を内包している。さらに、インダストリアル用途のレーザであれば、そのサイズにおいて無制限な拡大は当然避けるべきものである。以上の条件下で、出力の増大を確実にすることを踏まえて、20%の主放電電極長の拡張およびこれに伴うトリリならびにレーザベッセルの拡張を決定した。

出力エネルギーを増大させるためには、電気・光効率が一定の場合、入力エネルギーをそれに見合った分だけ増大させる必要がある。放電励起回路は、1次側および2次側のコンデンサ容量を30%強増やし、1次側コンデンサへの充電電源は従来用いていた2台の直流高圧電源を3台に増やして対応した。

240Wレーザ開発時より、大きなポイントを占めていたブロウの改良も実施した。主放電空間をレーザガスが何回交換可能かという指標にCR (Clearing Ratio) 値という値が用いられる。主にこのCR値と熱コントロールの違いにより、一般に発振周波数の低い方がより高いパルスエネルギーを出すことができ、安定性にも有利であるといわれている。開発を行っているエキシマレーザに関しても、この傾向は見られており、ブロウの改良により風速を高めてCR値を上げることが重要な改善項目とみなされていた。また、風速を上げることによりレーザベッセル内に配置した熱交換器の熱交換率も

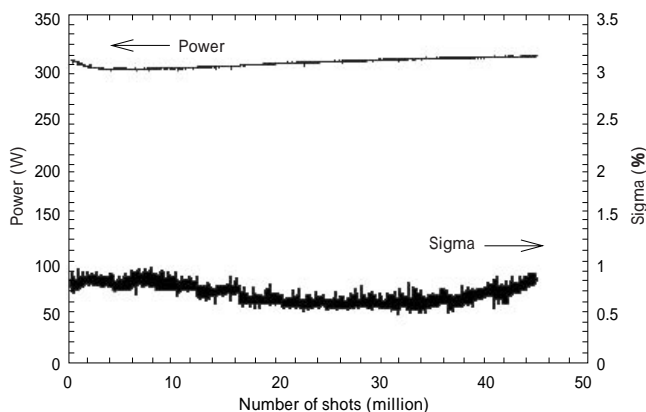


図3 310Wサーボ試験  
Power & standard deviation of pulse energy at 310Hz/1030mJ servo operation (gas control for stability)

上昇し、廃熱もよりスムーズに行われることとなる。発振周波数が低く、ガス流れに関しても層流状態を維持しながらCR値を十分な大きさ確保できる場合は、層流状態を崩してまでガス流速を上げることはパルスエネルギーの安定性に直結する放電安定性に関して有利とはならない。しかし、開発を進めている常用300Hzのレーザでは、安定した放電をさせるためにも十分なCR値が必要であり、常に乱流領域での風速が必要となる。ただし、風速を効率よく上げるためにもガス流れに関してはシミュレーションも考慮に入れた上で、ブロウおよびガイド部分の設計を行った。さらに風速アップならびに主放電電極の長尺化に伴うブロウ振動の増加も抑えて安定した動作を実現したブロウを採用している。

希ガスハライドエキシマレーザは、そのガス成分としてハロゲンガスを使用する。現在使用しているXeClエキシマレーザでは、濃度としては非常に薄いもののHClガスを使用することは避けられない。また、高電圧を用いた放電による電極のスパッタリングや紫外光も常時発生している。これらによって、レーザガス中にガス状あるいはダスト状の不純物が発生することを完全に抑止することはきわめて困難である。これに対応すべく、本レーザは冷凍機を用いたクライオガスプロセッサを内蔵しており、さらに電気集塵機およびダストフィルタも備えて安定長期運転に対応している。

レーザアニールに欠かせないレーザ性能として、パルスエネルギーの安定性が挙げられる。従来の240W機においても、パルスエネルギー安定性は値で2%以下を仕様としており、高出力のエキシマレーザとしては優秀な性能を示していた。本開発においては、レーザアニール顧客からのVOCも調査の上で、さらに性能改善を追及し、レーザガスの精密コントロールを実施することにより、世界でもトップクラスのパルスエネルギー安定性を示すことが可能となった。

### 3. 300Wエキシマレーザの性能

図2に300Wサーボ運転を行った例をパルスエネルギー安定性値とともに示す。なお、この試験においては安定性はある程度までの配慮に留め、より出力の持続性に力点を置いた発振条件にレーザガスを調整している。現状、供給電圧としては最大6kVの範囲を想定しているが、この50Mshotsの発振試験においては電圧上昇は1kV程度に抑えられており、さらに長期の運転も可能である。パルスエネルギー安定性に関して、大きく劣る値ではなく、値1.2%をわずかに超えた程度でおおむね推移している。

図3には、310Wのサーボ運転を安定性重視の条件でレーザガス調整を行った試験結果を示す。パルス安定性値1%以下で45Mshotsの発振試験をクリアしている。電圧上昇に関しては、3kV強で推移しており、まだ余裕のある段階と判断できる。

問題点としては、現状では1Mshotsに数パルスの割合でミスファイアのようなパルスがあることが挙げられる。

上記試験結果は、共振器およびウィンドウを含む光学系の状態のほか、改善の余地の残された結果であり、さらに改善されたデータは今後の試験によって得られる可能性が高い。

### 4. 今後の展開

現状の試験結果から類推すると、レーザ本体のポテンシャルとしてはかなり高いものがまだ内包されていると考えられる。レーザ光学系を十分状態の良いものに替えることにより、常用出力をさらに高いエネルギーで発振したり、ガスおよびウィンドウクリーニングインターバルをさらに伸ばす可能性も十分ある。

パルス安定性に関しては、インダストリアル用途のエキシマレーザとしては実用上世界でも最も改善されたレベルにあるものと考えられ、これ以上の値に関しては、測定システムのノイズ成分を十分なレベルまで低減させる必要があるほどの安定度である。

ミスファイアのような低エネルギーパルスに関しては、発振条件をさらに最適化することにより、発生頻度を下げていくことはまだできる範囲もあるが、根本的にスイッチング素子としてサイラトロンから固体電源の使用を視野に入れた開発が望まれる。

また、アプリケーションとしてもアニール分野のみに留まらず、高出力を生かして基板の一括穴あけの分野他適用範囲が広がる可能性がある。

### 5. むすび

世界でもトップクラスの性能を持つ300Wクラスのエキシマレーザの開発に成功した。

ウィンドウクリーニングなしのガス寿命で、50Mshots以上という長寿命化を実現した。

パルスエネルギー安定性に関して、値1%以下で40Mshots以上の長寿命発振を実現した。

さらに、高出力でのレーザ発振の可能性を秘めて開発を継続中である。

#### (参考文献)

Kazuhiro Hirata, Kazuhiro Saida and Hiroyuki Kato, Proc. SPIE vol. 3889, Advanced High-Power Lasers, p.788~792, 2000.

Kazuhiro Hirata and Joichi Kawamura, Proc. SPIE vol. 4065, High-Power Laser Ablation, p.923~930, 2000.

# RFデフレクタの開発

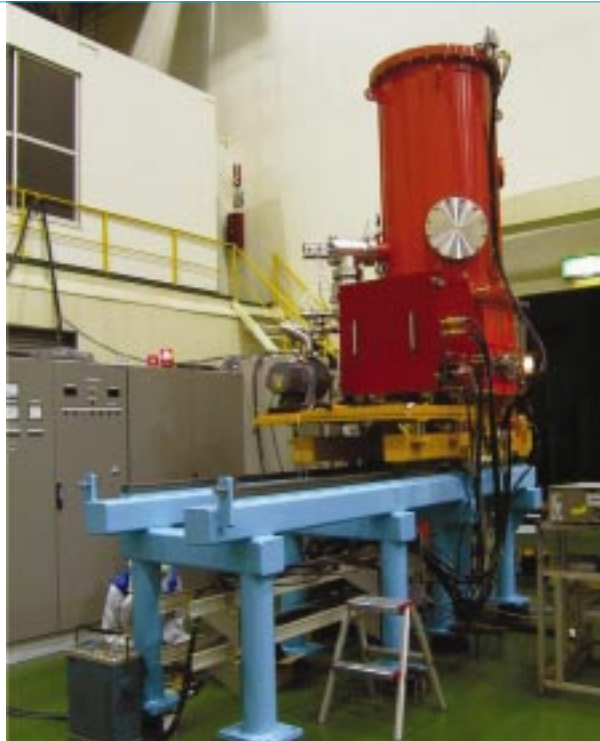
Development of RF Deflector

宮崎 洋文\* 熊田 幸生\* 星加 敬三\*

Hirofumi MIYAZAKI

Yukio KUMATA

Keizo HOSHIKA



RFデフレクタ  
RF deflector

理化学研究所の大型サイクロトロンを用いた2次ビーム実験設備では、核種の選別に分析マグネットを用いているが、新たに2次ビームの飛行速度の違いを利用した粒子弁別装置(RFデフレクタ)を開発した。本装置により、従来のマグネット方式のみの場合に比べて、 $^{16}\text{O}$ 、 $^{17}\text{F}$ 、および $^{18}\text{Ne}$ などの選別において、30倍の純度の2次ビームが得られた。装置の構成は、高周波の高電圧を発生させる同軸空洞、偏向電極、弁別スリット、真空排気装置、および25kW高周波電源などから成る。周波数12~18MHz、最大電圧100kV、偏向電極ギャップ40mm、および電極長700mmといった主要仕様を持つ。弁別スリットは偏向電極の1760mm下流に設置され、弁別能力はスリット幅で調整が可能となっている。本装置の完成により、RI 2次ビームを用いた、より精度の高い実験結果が期待される。

We developed a new concept of RF (Radio Frequency) deflector to eliminate undesired nuclear particles from the secondary RI (Radio Isotope) beam, using their flight velocity difference in combination with the existing magnetic beam analyzer. The deflector was installed into the "RI Beam Factory" in the Institute of Physical and Chemical Research. In the preliminary test, purity of the secondary beam was 30 times higher in the separation of  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{F}$  and  $^{18}\text{Ne}$  when compared with the beam obtained only by the conventional magnetic analyzer system. The deflector consists of a coaxial cavity, a deflecting electrode, discriminating slits, a 500 l/s TMP vacuum system and 25kW RF power supply. The major specifications are as follows: frequency range from 12 to 18MHz, maximum voltage of 100kV, electrode gap of 40mm and its length of 700mm. The discriminating slits are located 1760mm downstream of the deflecting electrode and their analyzing power is adjusted by the gap. We expect more precise experiment result will be obtained by using the RF deflector in "RI Beam Factory".

## 1 まえがき

RF (Radio Frequency) デフレクタ型ビーム間引き装置 (RFデフレクタ) は、電極間に発生させる最大100kVの高周波電圧を使ってRIビームの軌道を曲げ、必要とするRIビームの純度を上げるために使用される。

加速器から取り出されたイオンビーム(1次ビーム)をターゲットに当たったとき、入射核破砕反応でさまざまな核子のRIビーム(2次ビーム)が生じる。必要とするRIビームを得るため、磁気剛性の異なる核子は磁場を利用して除外できるが、磁気剛性が同じ核子は、磁場を使った選別ができず、RIビームの純度を上げることが不可能であった。RFデフレ

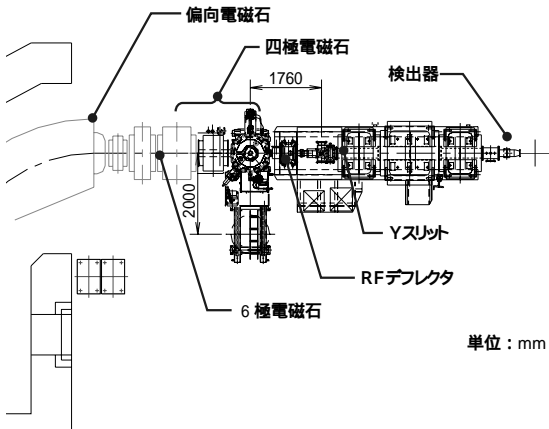


図1 RIPSにおけるRFデフレクタの配置  
Layout of RF deflector at RIPS beam line

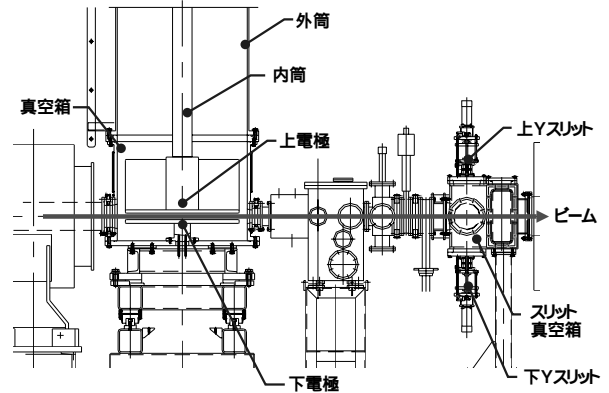


図3 RFデフレクタの構成機器詳細  
Structure and devices consisting in RF deflector

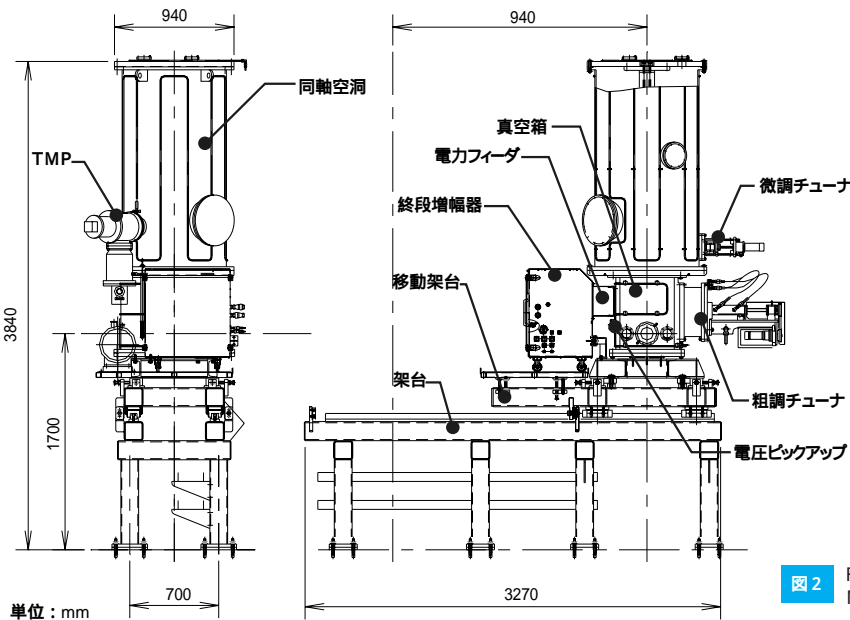


図2 RFデフレクタの構成機器  
Main components of RF deflector

表1 RFデフレクタ主要仕様  
Main specification of RF deflector

周波数範囲	12 ~ 18MHz
最大電圧	100kV
電極間ギャップ寸法	40mm
電極長	700mm
電圧安定度	$1 \times 10^{-3}$
位相安定度	$\pm 1^\circ$

クタは、2次ビームに混交する核子の飛行速度差と高周波電圧の印加を利用して不必要な核子の軌道を曲げ、スリットでこれを取り除くことを可能にした装置である。

本装置は、2002年5月に理化学研究所のRIPS (RIKEN Projectile-Fragment Separator) に組み込まれ、同年9月に<sup>16</sup>O、<sup>17</sup>F、および<sup>18</sup>Neの選別に使用された。本装置を使用したことで、ビームの純度は約30倍改善された。

当社は、2002年度に理化学研究所から本装置の基本設計から据付け・調整までを受注した。

## 2 RFデフレクタ

### 2.1 機器構成

RFデフレクタは、主に下記の機器から構成されている。

- RFデフレクタ本体
- 電力増幅器
- Yスリット
- 制御システム

図1、図2、および図3に、RIPSにおけるRFデフレクタ配置と構成機器をそれぞれ示す。基本仕様で本装置の電極間ギャップ寸法は40mmに制限されているが、この値はRIPSのアクセプタンスを70~80%に制限するため、本装置を常時

RIPSに設置した場合、本装置を使用しない多くの実験に悪影響を与えることになる。そのため、本装置は、実験に使用されないときにはビームラインから引き出すことができるように移動架台に載せられている。またこの機構によって、RFデフレクタの高周波エージングと真空引きが本体をビームラインに組み入れることなく実施することが可能となり、実験準備に要する期間を短縮することができる。

表1に、RFデフレクタの主仕様を示す。

設計に際しては、高電圧を印加する装置であり、放電を誘発する要因を作らないように注意をした。

### 2.2 RFデフレクタ本体

RFデフレクタ本体は、主に下記の機器から構成されている。

- 同軸空洞
- 電極
- 真空箱
- チューナ
- 電力フィーダ
- 電圧ピックアップ
- 架台
- 真空排気システム (複合分子ポンプおよびオイルフリースクロールポンプなど)



図4 同軸空洞外筒  
Outer cavity

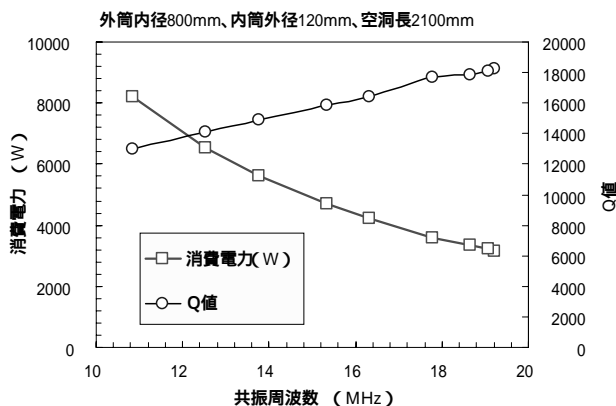


図5 同軸空洞の消費電力とQ値  
Power consumption and quality factor of RF coaxial cavity



図6 内筒と上電極  
Inner conductor and upper electrode

同軸型空洞は、電極間に100kVの電圧を発生させる1/4波長共振回路である。この空洞は、高さ1643mm、内径800mmの外筒（端板を含む）と外形120mmの内筒で構成されている。外筒は内部が真空となりその内表面は高周波電力にさらされるため、SS材で製作して表面を厚さ100 $\mu$ mの銅メッキで覆っている。銅メッキの厚さは、40 における12MHzの高周波電力の表皮厚さ20 $\mu$ mに対して5倍の厚さとした。図4に、外筒の外観を示す。一方内筒は無酸素銅で製作し、その内部に冷却水路を設けた。図5に、三次元電磁界解析コードMAFIAで計算した各周波数における同軸空洞の消費電力とQ値を示す。

電極は幅120mm、長さ700mm、および厚さ20mmの無酸素銅で作られており、ビーム軌道を挟んで40mmの間隔で上下に1対配置されている。この電極間に最大で100kVの高周波電圧を印加して通過するRIビームの不要な核子の軌道を曲げる。上電極は、同軸空洞の内筒の先端に直接取り付けられた一体構造になっている。図6に、内筒と上電極の外観を示す。上下の電極は、ともに内部に冷却水路を設け水冷してある。

真空箱はビーム入口側と出口側の取合いフランジ面間の寸法が960mmで、内部に長さ700mmの電極を収め、側面には粗調チューナが取り付けられている。またその内面が高周波電力にさらされるので、内表面をすべて厚さ100 $\mu$ mの銅メッキとした。真空箱は大気側で水冷されているが、特に高周波ロスによる発熱が大きい場所では真空側にも水冷板を設けた。

チューナは同軸空洞の共振周波数を変更・補正する装置で、同軸空洞の共振周波数を12～18MHzの範囲で変更する粗調チューナと、運転中に発熱などで変化する共振周波数を補正する微調チューナがある。どちらのチューナも、共振回路のキャパシタンスを変えることで共振周波数を変えている。各チューナはそれぞれDCサーボモータで駆動されている。

電力フィードは、電力増幅器で増幅された高周波電力を空洞に導入する装置である。本機では、電力の導入に容量結合型のカプラを採用し、終段電力増幅器から直接同軸空洞へ電力を導入している。

電圧ピックアップは、真空箱側面に設けられて、電極間の電圧を分圧して機外へ取り出している。この信号は、高周波電圧の安定化制御に用いられている。

架台は、本機をビームラインから2000mm引き出すことが

できるように、リニアガイドの上に移動架台を設け、その上にRFデフレクタ本体と終段電力増幅器を載せる構造とした。なお、チューナを含めた同軸空洞の重量は約1.7tで、重心の高さは床から約2300mmにある。

真空排気系は、一般的なロータリーポンプに用いられるオイルが高電圧の放電原因となるので、粗引き用真空ポンプにはオイルフリーのスクロールポンプを使用した。また、複合分子ポンプと同軸空洞の間にはゴム製ダンパダクトを、スクロールポンプと架台の間には防振ゴムダンパをそれぞれ設置した。実験に際しては既設のビームラインに多く設置されているロータリーポンプからの汚染を防ぐため、客先によって真空箱の上下流フランジに真空仕切り膜が設けられた。

### 2.3 電力増幅器

電力増幅装置は、下記の機器で構成されている。

20kW終段増幅器

500W初段増幅器

20kW終段増幅器は、12～18MHzのRFを増幅し、電極に100kVの電圧を印加する装置である。この増幅器では増幅素子にCPI社製の4CW25000A四極管を使用しており、20kWの最大出力を得ることができる。終段増幅器の入力回路には、実験時の調整が容易になるように、オールパスネットワークを採用した。この入力回路の採用によって、12～18MHzの周波数範囲で入力回路定数の調整を行うことなく共振器を励振できるようになった。また、終段アンプには4極管のプレート電極とコントロールグリッド電極の電圧をモニタするためのピックアップが設けられている。これらのピックアップでモニタされる電圧信号は、電圧・位相安定制御に使用される。

500W初段増幅器は、12～18MHzの周波数帯域を持ち、トランジスタを増幅素子に使用している。

### 2.4 Yスリット

Yスリットは、軌道が曲げられた不要なRIビームをスリット板に当てて取り除く装置である。スリット板は厚さ25mmの銅製で、ビーム進行方向に対して上下に1枚ずつ設けた。また、スリット板は容易に他の材質、形状のものに交換できるよう考慮されている。これらのスリット板はそれぞれ独立にサーボモータで駆動され、その駆動機構と制御システムは微調チューナとまったく同じ構成になっている。YスリットはRFデフレクタ本体と独立した真空箱に入れられ、本体が

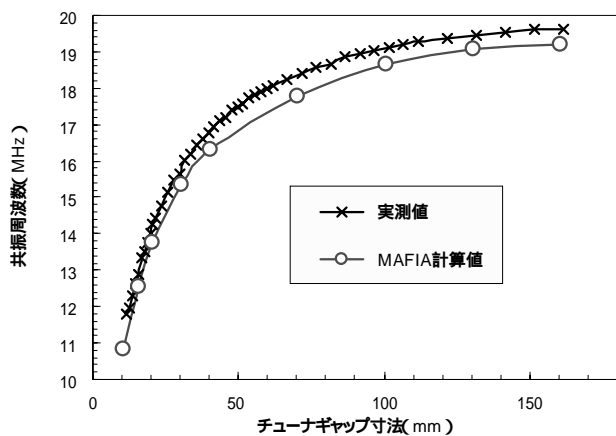


図7 粗調チューナの周波数可変範囲  
Tunable frequency range of coarse tuner

表2 18MHz最大電極間電圧測定時の運転パラメータ  
Operation parameter at maximum voltage in 18MHz

粗調チューナ位置	41.00mm
微調チューナ位置	17.89mm
プレート電圧	10.3kV
プレート電流	1.01A
スクリーン電流	19mA
真空管冷却水温度上昇	5
500W増幅器進行波	256W
500W増幅器反射波	58W

ら1760mm下流に設置されている。

### 2.5 制御システム

RFデフレクタの制御システムは、ローレベル信号制御システムと機器制御システムから構成されている。

ローレベル信号制御システムは、電極間に印加される高周波電圧の電圧値と位相を安定化させる制御システムで、下記のような機器から構成されている。

- 信号分配/ローカル発信器
- 位相調整ユニット
- 振幅調整ユニット
- 自動同調ユニット

機器制御システムは、チューナ、Yスリットの駆動や真空排気システムおよび電力増幅器の始動・停止を行うシステムで、下記の機器から構成されている。機器の操作を行う現場タッチパネルと遠隔PC (Personal Computer) の画面は、ともに新規に製作した。実験中は入室が禁止されるので、遠隔からPCによる操作となる。遠隔操作用PCは、GUI (Graphical User Interface) 上で各機器の操作と真空度、電圧、および位相などのデータロギングを行うことができる。

- シーケンサ
- 駆動制御ユニット
- タッチパネル
- 遠隔操作用PC

## 3 性能確認

### 3.1 周波数範囲

図7に、RFデフレクタの共振周波数の可変範囲を実測値

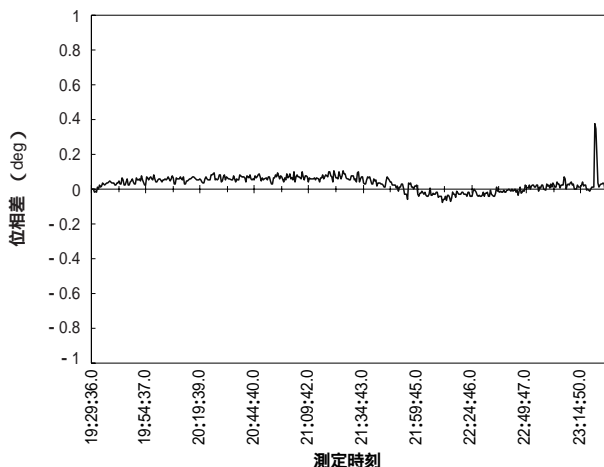


図8 位相安定度  
Phase stability for 4 hours

と三次元電磁界解析コードMAFIAによる計算値でそれぞれ示す。同図から、同装置の共振周波数範囲は12~18MHzを満たしていることがわかる。

### 3.2 最大電圧の確認

電極間電圧の測定は、電圧ピックアップの信号をアナログオシロスコープ (SONY Tektronix 2465B) で測定し、その波形の振幅から評価した。電圧ピックアップは、あらかじめ測定ケーブルとアッテネータを含めて校正を行った。表2に、そのときの運転パラメータを示す。測定されたピックアップ電圧は、11.5V、校正比1/9082から電極間電圧は104kVとなった。

### 3.3 位相安定度の確認

図8に、高周波信号の基準となるシグナルジェネレータの信号と、電圧ピックアップで測定された電圧信号の位相差の時間変化を示す。同図において、位相差は長時間経過しても、仕様値の $\pm 1$  deg以内にあることがわかる。

## 4 むすび

本装置の設計製作を行い、下記のとおり結果を得た。

RIビームから必要な核子を選別するRFデフレクタを設計し、所定の性能が満足されたことを確認した。

周波数と消費電力の設計には三次元コードMAFIAを用い、実測データとの整合性を確認できた。

最大電圧 (100kV) の印加時にも、放電などの不安定性は見られず、位相とともに安定な長時間運転を達成できた。

本装置は実験に使用され、当初の設計どおりに、RIビームの純度を30倍向上させる成果を得た。

理化学研究所RIビーム研究室の谷畑勇夫理事および山田一成研究員の助言に感謝の意を表す。

### (参考文献)

T. Kubo et al, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 70, p.309, 1992.  
K. Yamada et al, RF deflector system for RI beams on RIPS, RIKEN Accel. Prog. Rep. 34, p.201, 2001.  
K. Yamada et al, RF deflector system for proton-rich RI beams (III), RIKEN Accel. Prog. Rep. 36, p.190, 2003.

## 新製品紹介

## 水門扉開閉用減速機 SGDシリーズ

Water Gate Drive SGD Series



水門扉の機械式開閉装置には、ウォーム減速機のほか、効率が安定し、高効率であるヘリカル減速機が用いられている。その中でも歯車段数を多くすることで高い減速比を持たせたタイプは、従来方式において必要であったオープンギヤの削減が可能となり、装置スペースの低減および維持管理の省力化に有効である。

本シリーズは、5段形で2500の減速比まで製作可能な水門扉開閉専用シリーズである。また、水門関係の技術基準への適合に加え、屋外および寒冷地における使用なども十分に考慮されている。旧シリーズ(SGA, SGB, およびSGCシリーズ)の後継シリーズとして、2003年7月より販売を開始した。旧シリーズに対し、サイズ間のトルクの飛びをさらに小さくし、ユーザの最適選定をより一層可能にした。

### 主要仕様

#### タイプ

開閉装置のレイアウトにより平行軸、直交軸を選択することが可能である。平行軸はヘリカルギヤ、直交軸はスパイラルベベルギヤ+ヘリカルギヤを使用している。標準軸配列は平行軸で9種類、直交軸で6種類のバリエーションを有している。オプションとして、エアブリーザ、オイルゲージ、およびドレンバルブを標準装備している。

#### サイズ

3段減速機は12サイズ、4段減速機は24サイズ、

5段減速機は11サイズの全26サイズにて、出力トルク範囲(1.7kN・m~278kN・m)をカバーしている。

#### 減速比

R10数列およびR20数列の標準数として、20~2500まで36種類の減速比を設定している。

### 特長

SGDシリーズは、「ダム・堰施設技術基準」に準拠して設計されている。

25°圧力角ヘリカルギヤおよび高強度浸炭鋼の採用により、衝撃荷重に強く、高寿命という高い信頼性を有している。

5段減速機のラインナップにより、要望が多い高減速比仕様への対応も可能にしている。

平行・直交軸歯車減速機以外にも、水門扉開閉の駆動用歯車・軸継手関係一式が製作可能である。

歯車および軸などの主要構成部品の多くを、標準化による量産が行われているパラマックス減速機と共用しており、短納期かつ高品質である。

(PTC事業本部 山崎 泰正)



## 新製品紹介

## 標準減速機 パラマックス 9000シリーズ(新サイズ追加)

Standardized Gear Box PX9000 Series (New Size Add)



パラマックス 9000シリーズ減速機は、さまざまな用途に適用できるように標準化された汎用減速機として、2000年10月より販売している。

今回、さらなる最適選定が行えるように、9045および9065の2サイズを2003年7月から追加した。その結果、現在パラマックス 9000シリーズは全26サイズで構成され、汎用減速機として世界市場でもトップクラスのラインアップを有するシリーズとなった。

## 主要仕様

サイズ	9015～9136 (9045, 9065新規追加)
出力トルク	2.6～552kN・m
公称減速比	6.3～500 (標準数R20列)
軸形式	平行軸 直交軸
据付け	横形 立形 直立形
出力軸	ソリッド(中実)軸 ホロー(中空)軸

## 特長

今回2サイズを追加して全26サイズとなったラインアップにより、最適なサイズ選定が可能である。

直交形減速機において、モータとギヤボックスを直結するドライブユニット構造を標準化しており、ギヤードモータと同じ使い勝手を実現している。

新型冷却ファンおよび導風カバーにより、従来比最大約80%の熱容量アップを達成している。

歯車箱についてはFEM解析を行い、負荷時における変形を可能な限り抑えている。これにより、常に良好な歯当たりを確保することが可能となっている。

圧力角25°を採用し、歯車曲げ強度のアップを実現している。

高精度に加工されたヘリカルギヤおよびスパイラルベベルギヤを採用しており、低騒音の運転が可能である。

歯車には浸炭焼入れと高精度の機械加工が施され、さらに最適な歯形・歯すじ修整を行うことで、高負荷容量化およびコンパクト化を実現している。

出力トルクの飛び



(PTC事業本部 石田 敏浩)

## 新製品紹介

## 自走式ロールクラッシャー SS100RG

Roll Crusher SS100RG



建設副産物排出量は、年々増加の一途を辿っている。現場内処理や再利用を図る自走式破碎機の需要はますます増大し、多様化している。コンパクトで機動性に富み、どんな小さな現場でも動き回れて、高品質の再生材を生産できる小型機種をガラクシーシリーズ（自走式ガラ破碎機）として新しく追加開発した。

## 主要仕様

運転質量	11000kg
破碎方式	2段4軸ロール式
処理能力	15～30t/h（ズリ分を含む）
最大投入塊	寸法(mm) 300×300×200
エンジン	いすゞBB・4BG1T
定格出力	66.2kW / 2100min <sup>-1</sup>
走行速度	3.7km/h
登坂能力	36% (20°)
輸送寸法(mm)	6200(L)×2480(W)×2700(H)
排出コンベア(mm)	500(W)×550(L)
鉄片除去機	永久磁石式吊下げ磁選機 300(W)

## 特長

2段4軸ロールの採用と特殊ビット形状により、大塊から40mmアンダ95%以上を実現している。破碎力を増やし、破碎トルクは当社従来機に比べ30%アップで、無理のない連続処理を実現している。ロールは大きな回転力を無駄なく伝達できる1軸2モータ直結駆動である。

コンパクトで軽量、搬送質量11t、全高2700mm

のため、セルフトラックで搬送ができる。

3方向からガラ投入が可能、自由な現場レイアウトでの施工ができる。

軸間調整機能とフレーム側固定刃への可動調整機能の付加により、ビット摩耗による仕上り粒度の劣化を防止できる。

低回転ロール駆動(5～8min<sup>-1</sup>)により、低騒音、低振動、および低粉塵を実現している。

鉄筋入りのコンクリートガラや柔軟で粘りのあるアスファルトガラも、ロールの巻込み効果で閉塞、付着のない連続剥離、破碎ができる。

前方両面に非常停止スイッチを配備、異物混入時には圧力センサによりロールを自動反転して装置を保護する。また、車体の前後に搭載した2台の回転灯でオペレータに異常を知らせる安全設計である。

異物混入による万一のコンベア停止時には、コンベア後端にコンベアの正逆転手動スイッチを設置しているため、コンベア後端から異物を簡単に排出でき、復旧作業を大幅に軽減できる。

排出ガス2次規制対応エンジンを搭載している。

クリーンネフロン（作動油透析装置）の搭載により、作動油交換を大幅に延長している。

（住友建機製造株式会社 堤 俊郎）

## 新製品紹介

## 荷役ファジィ制御の電磁比例弁搭載バッテリーフォークリフト

Fuzzy-controlled Proportional Electro-hydraulic Valves Battery Forklift



本機は、「誰にでも、やさしく、安全に作業ができるバッテリーフォークリフト」を目指し、人の感覚に近いしなやかな安全荷役を実現するために開発したファジィ制御を用いた比例弁搭載のフォークリフトである。ファジィ制御により、きめ細かな荷役作業が可能になり、フォークの上昇・下降などひとつひとつの動作に、滑らかさおよびしなやかさが加わり、より安全なフォークリフトになった。

この特長を生かすことにより、以下のことが可能となった。

**ショックレス荷役機能**

フォークの上昇・下降の起動・停止時を滑らかに制御するため、例え急激なレバー操作があっても、積荷へのショックを軽減することができる。

**揚高自動停止機能**

フォークを設定した高さで停止させることができる。任意に3ヶ所（上昇2ヶ所、上昇・下降1ヶ所）の高さが設定でき、リフトレバーと一体化した操作ボタンを押しながらレバーを操作すると、設定した高さにフォークが停止する。

**フォーク水平自動停止機能**

ティルトレバーと一体化した操作ボタンを押しながらレバーを操作すれば、フォークはあらかじめ設定されている位置までティルト動作し停止する。この機能は安全を考慮し、無負荷時以外は作

動させない。さらに、作業効率アップにつながる揚高自動停止機能とフォーク水平自動停止機能シンクロさせることも可能である。

特にフォーク側に作業者が乗り、操作を行うリフトリモコン車に前述の機能を搭載することにより、作業の安全性を向上させた。

**主要仕様****通常作業時**

リフトスピード 560/310mm/s(無負荷時/負荷時)  
(リモコン操作時)

リフトスピード 240/220mm/s(無負荷時/負荷時)  
上昇・下降時ショックレススタート・ストップ機能付き

**特長**

フォーク側での上昇・下降操作およびファジィ制御により、ショックの少ない安全な操作ができる。

作業内容に応じて、フォーク作業にも、ピックアップ作業にも使える。

リフトリモコン操作中は走行できないようなインターロック機能および非常停止スイッチなど、徹底した安全対策を織り込んでいる。

(住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 塚本 芳幸)