

# 社会資本整備に不可欠な新たな技術

社会にインパクトを与えた鋼構造技術と商品群

## New Technologies on Steel Structures for Social Infrastructures

尾栢 茂	鋼構造本部 橋梁建設部 部長	Shigeru Ogaya
石井 孝	鋼構造本部 鉄構建設部 部長	Takashi Ishii
川村 隆一	鋼構造本部 建築営業部 部長	Ryuichi Kawamura
岡本 隆	基盤技術研究所 都市工学研究部 部長 工博	Takashi Okamoto
山田 浩司	エンジニアリング研究所 生産技術研究部 部長	Kooji Yamada

当社は、鋼構造分野においてその時々々の社会ニーズに応え、インパクトのある商品を橋梁、港湾、鉄管・水門、鉄骨分野を中心に送り出してきた。本稿では、それら商品について概観し、今後の社会資本整備における鋼構造分野をとりまく動向とニーズ、そして、それに対応する主要な技術・商品への取り組みについて報告する。

*NKK has produced effective products and services in steel structures division such as bridges, coastal civil works, steel pipes, water gates, and steel frames in response to the current social demands. This paper summarizes the trends and needs on improvement of social capital surrounding the domain of steel structures and reports the new technologies and products to respond to emerging needs of tomorrow.*

### 1. はじめに

橋梁、港湾構造物、水門などの鋼構造関連の技術は、道路、河川、港湾をはじめとした社会資本整備のために、重要な役割を担ってきた。当社は鋼構造分野においてその時々々の社会ニーズに応えた商品を世に送り出し、インパクトを与えてきた。

現在、公共建設事業を取り巻く環境は、量的、質的な変化の時期を迎えているが、多様化するニーズを背景として鋼構造の特性を生かした構造物の役割は、さらに高まっていくものと思われる。

本稿では、当社の鋼構造分野の商品群について概観し、今後の社会資本整備、とりわけ鋼構造分野をとりまく動向とニーズについて述べ、それに対応する主要な技術・商品への取り組みについて報告する。

### 2. 当社の鋼構造技術と商品

当社の鋼構造技術はほぼ 80 年の歴史を有し、とりわけ橋梁は設計、製作、架設のいずれの技術面においても鋼構造商品の中核をなしてきた。古くは関東大震災復興事業の一つである隅田川にかかる厩橋（1928 年、2550t）や、多摩川の大師橋（1939 年、2869t）などを施工してきた。

戦後の 1955 年に施工した相模大橋（1162t）は、初めて 52 キロ級鋼を使用した橋梁であり、さらに耐候性鋼材の橋梁への積極的導入や、本四架橋（瀬戸大橋）で 80 キロ級鋼

を使用した道路鉄道併用橋の与島橋の施工などに、鋼材技術をも併せ持つファブリケーターとして当社の橋梁技術の特徴を形成してきた。

昭和 30 年代後半以降、首都高速道路、東名神高速道路など高速道路の建設が開始され、当社は多摩川を渡る連続合成桁東名多摩川橋を 1964 年に完成させた。昭和 40 年代末から本四連絡橋をはじめとする長大橋の建設が開始され、世界最大の吊橋明石海峡大橋に至るまで、主要な橋梁の建設に参加してきた。

当社は橋体を大ブロックで海上から一括架設する工法でも他社に先駆けて 1963 年の首都高速 1 号線の天王洲付近で施工実績をつけ、大ブロック工法の礎を構築した。以後、海峡横断橋のニーズを受けて、1973 年扇島連絡橋、1975 年道路公団大島大橋とその後の数多くの大ブロック架設工事の実績を積み重ねてきた。

このように、当社の橋梁技術は、桁構造から吊橋の塔、ケーブル架設まで幅広いものとなり、更に、鋼製橋脚や、鋼製ケーソン基礎にまで及んでいる。

さらに、橋梁の技術を土木建材の技術と結び付け、昭和 40 年代には、大黒大橋の橋脚基礎工事において、水中鉄構工法を用いて、初めて施工し、この海中・構造技術の進展により、本四架橋の設置ケーソン工法や、東京湾横断道路、川島人工島ジャケット、同橋脚構造に連なり、当社の鋼構造技術の進展に寄与してきた。

設置ケーソン工法は、1979 年に当社が備讃瀬戸大橋基礎

の 5P ケーソン (5400t) で施工したものが最初である。その後、櫃島 3P ケーソン (5600t) を経て、明石海峡大橋の本土側塔基部である 2P ケーソン (16000t) を津製作所の海洋ドックにおいて製作・組み立て、据付現地まで曳航を行った。

横浜ベイブリッジ (首都公園) で代表される斜張橋は、昭和 40 年代以降急速に普及し、今日では根強いニーズのある橋梁形式である。当社は初期の大型斜張橋として徳島県末広大橋 (2134t) を 1973 年に完成させ、その後の斜張橋時代の先鞭をつけた。1981 年には、当時国内最大スパンの道路公園名港西大橋を完工して、その架設工事の中でコンピューターによるケーブル張力・桁形状管理を初めて導入した。

最近では、エジプトのスエズ運河を跨いで完成したスエズ運河橋 (Photo 1) も中央スパン 404m の 3 径間連続斜張橋である。今後、耐風安定性を確保しつつ構造の簡略化を進めることで、低コスト化を図ることが重要な課題となっている。



Photo 1 Suez Canal Bridge in Egypt (2001)  
3-span continuous cable-stayed bridge  
(Total length : 730m, main span length : 404m)

当社の鉄管・水門技術も長期間の施工実績によって培われた。古くは朝鮮半島の大型水力発電建設の水圧鉄管で関東水力電気 (1928 年, 4800t) を納入し、戦後は 1946 年に相模湖水門 (520t) を施工している。以後昭和 30 年代の新中地山の水圧鉄管、1965 年の城山ダムの水門、鉄管など着実に実績を積んできた。

これらの実績は、今日の河川用のラジアルゲートや、ダム仮締切設備などの老朽化したダム関連技術、河口堰魚道設備などの生態系の維持を狙った自然環境保全関連技術、選択取水設備、ステンスクラッドやステンレス鋼を使用した水門、さらには水門用ピアのハイブリッド化などの多様な水門関連技術・商品に結びついている。広島県の八田原ダム選択取水設備 (Photo 2) は、ステンレス鋼のシリンダーゲートの選択取水設備である。

水門技術・商品は、今後新たなダム建設の減少からゲートを含む制御関連機器やダム排砂用放流設備、流木リサイクルなどの環境関連の周辺技術へとニーズは多様化する傾向にある。



Photo 2 Hattabara Dam selective water intake facilities (1994)  
Telescopic cylinder gate to select warm or clean water

港湾関連の構造物としては、ケーソン、ポンツーン、ジャケット構造などがある。これらは、港湾や漁港整備に伴って必ず必要とされる技術・製品である。当社は、大規模埋立の段階施工における中仕切り護岸として、軽量で施工性の優れた鋼製 L 型や箱型鋼製ケーソンを水深に応じて施工してきた。鋼製ケーソンでは、昭和 50~60 年代の横浜大黒埠頭から南本牧埠頭護岸など 20 件程度の実績を有している。

一方、ハイブリッドケーソン (Fig.1) は、在来のコンクリートケーソンに対し施工性、経済性を狙って当社が開発した工法である。鋼材と鉄筋コンクリートを一体化した合成版で函体を構成することで軽量化、浮遊時の喫水深さの減少が図れる。またフーチングの張り出し長を大きくとることで底面反力の減少を可能とした。

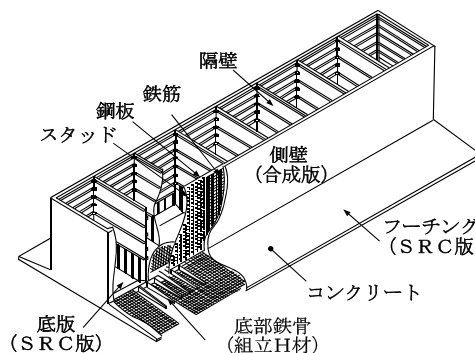


Fig.1 Hybrid caisson

当社は 1987 年に大黒埠頭の 13.1m 水深護岸ではじめて施工を行い、以後港湾工事で約 50 件、漁港関連で約 20 件の実績を積んできた。

今後、ハイブリッドケーソンに対するニーズは、より深い水深や軟弱地盤、高波浪域などの厳しい条件での施工、L2 レベルを対象とした耐震性の向上などの構造性能向上とともに、海水交換や消波機能を併せ持つ高機能化 (Photo 3) への取り組みが必要となっている。

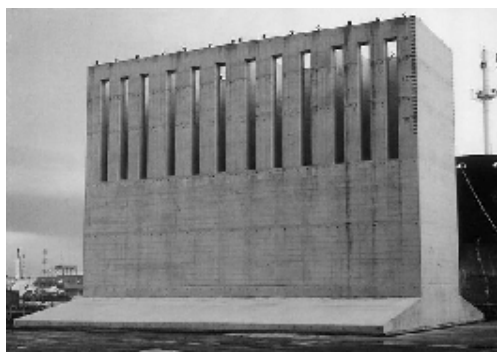


Photo 3 Seawall caisson, Ukishima (2000)  
(Hybrid caisson with a slit wall)

ジャケット構造は、石油/ガス掘削用として、1975年のシェル石油向けのマウイAタワー(11900t)以後、1980年代半ばまで、1万~3万トンの大規模なジャケットの製作工事を実施したが、沿岸構造向けのジャケットとしては、1987年の首都高速道路鶴見つばさ橋の栈台(1408t)以後、東京湾横断道路川崎人工島(11755t)、道路公団名港中央の栈台などを施工し、最近では常陸那珂揚炭栈橋(2560t)と実績を重ねている。

沈埋トンネルは、当社京浜製鉄所の扇島海底トンネルの鋼殻製作を1973年に実施して以来、川崎港海底トンネルの鋼殻、首都高湾岸線の川崎航路トンネルの端部鋼殻、神戸港港島トンネル、東京西航路トンネルの立坑鋼殻などを実施してきた。この間、沈埋トンネルの耐震継手や、ハイブリッド構造の検討などを進めてきた。今後は、よりコスト縮減を狙った構造の合理化、建造方法の開発が課題となっている。

当社の建築鉄骨も、戦前からの伝統商品である。古くは名古屋駅舎(1935年)、戦後ではB29格納庫(1946年、782t)、富士銀行ビル(1950年、1186t)などを納入してきた。

近年では東京都新都庁、横浜ランドマークタワー、恵比寿ガーデンプレイス、東京国際フォーラム、六本木六丁目再開発(六本木ヒルズ)(Photo 4)など首都圏の著名な多くの建造物に当社の鉄骨を供給してきた。この他照明鉄塔、無線鉄塔など、設計から製作までCAD/CAMの活用による最先端のシステムを駆使して高品質の鉄骨を供給している。



Photo 4 Roppongi Hills Highrise Building (2002)  
NKK provide 18000t steel frames for Roppongi Hills

一方、社会資本ストックの蓄積が進むにつれて新設構造から既設構造物への関心が高まってきている。橋梁においては既設橋梁延長の約半数は鋼橋であるが、そのうち昭和40年代に建設された橋令が30年を越える橋が1/3以上を占めるようになってきており、これらの寿命を延ばすためのメンテナンスのニーズが急速に高まっている。この傾向は水門その他の構造物も同様である。

次章以降では、これらの技術動向、ニーズに対応する橋梁、港湾、水門、メンテナンスの技術分野における当社の取り組みの一部について述べる。

### 3. 低コスト型斜張橋

橋梁の低コスト化の要請から、斜張橋に2主桁(エッジガーダー)を採用する構造形式が国内で注目されている。

2主桁形式の斜張橋は、海外では既に多くの実績があるものの、断面形状の空力特性が悪いこと、ねじれ剛性も低いことから、台風常襲国の日本では主として1箱桁断面が採用されてきた。しかし、国内でも最近活発に耐風性の検討が実施されており<sup>1)</sup>、耐風性に優れた桁断面が幾つか提案されている。既往の耐風対策は桁断面形状の変更による空力的対策が主流であり、代表的なものとして、Alex-Fraser橋における桁の張出しとエッジプレートの設置<sup>2)</sup>などが挙げられる。しかし、経済性をより追及するためには、これらによらず、供用上不可欠な部材を耐風安定化部材として有効に活用する対策が望まれている。また、構造力学的対策についても、ねじれ剛性の高い主塔の採用など橋梁の全体剛性を高める対策が、耐風安定性の向上のために必要とされている。

ここでは、床版の張出しを設けない2主I桁、端2箱桁を有する低コスト型斜張橋を対象とし、維持管理上の通路あるいは公共添架物を活用した低コスト型耐風安定化対策の提案、また、全体剛性増加によるフラッター発現風速の向上を狙った構造力学的対策の検討結果について述べる。そして、フラッター発現風速に着目した場合の2主桁斜張橋の適用支間長について述べる。

#### 3.1 対象断面

対象とした橋梁はFig.2に示すような中央径間400m、側径間180m(側径間比0.45)を有する3径間連続斜張橋である。主塔はH型形状、ケーブルは2面吊りとし、主塔と桁の接続はフローティング形式としている。橋桁は、経済性を考慮して床版張出しのない2主I桁断面(断面A)、端2箱桁断面(断面B)とした。端2箱桁は、長支間用の橋桁断面として主桁に箱桁を用いた断面である。

#### 3.2 空力的対策の検討

当社所有の測定断面2m(幅)×3m(高さ)の回流式風洞を使用し、たわみとねじれの2自由度系ばね支持試験を実施した。模型の縮尺は1/50、模型長は1.59mとした。ばね支持条件をTable 1に示す。同条件は、中央径間400mクラスの斜張橋を想定して定めた。各断面とも一様流中の迎角0°、

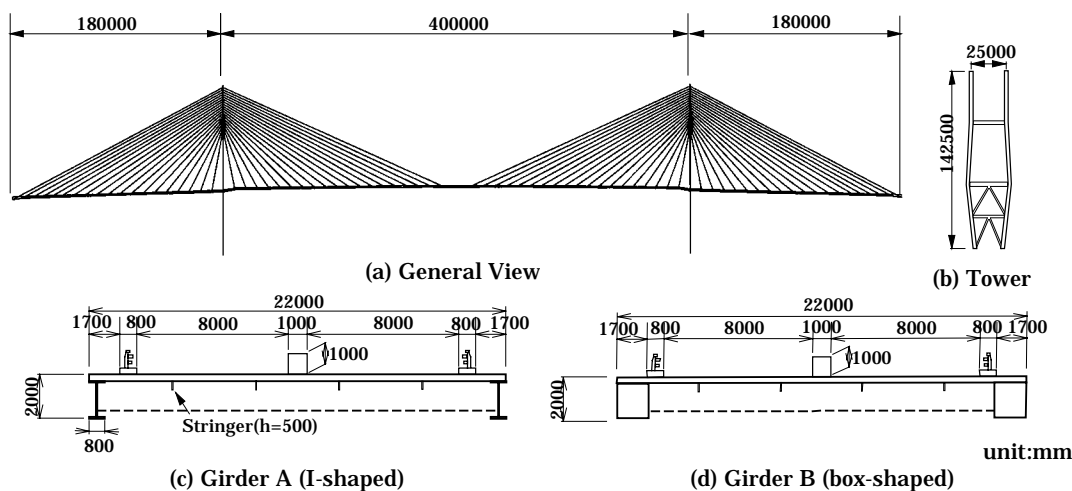


Fig.2 Cable-stayed bridge for investigation

Table 1 Properties of bridge section model

Property	Prototype (assumed)	Model (Scale 1:50)
Width	22.0m	0.44m
Depth	2.0m	0.04m
Mass	25.23t/m	16.05kg/Model
Inertia	1548t·m <sup>2</sup> /m	0.394kgm <sup>2</sup> /Model
Damping( )	-	0.020
Bending freq.	0.27Hz	2.10Hz
Torsional freq.	0.54Hz	4.20Hz

±3°の試験を実施した。提案した耐風安定化対策を Fig.3 に示す。これは、矩形部材で模擬した供用上不可欠な添架部材により擬似隅切りを形成する方法である。2主I桁では主桁内側に、端2箱桁では桁の上下面に設置するが、パラメータとして、I桁からの突出高 Pa、箱桁端部からの距離 XU、XL を適宜変化させた。

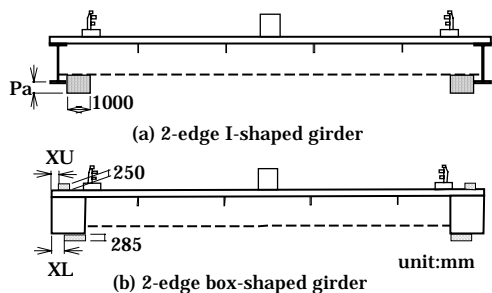


Fig.3 Concept of new countermeasure

本試験の結果、以下のことが明らかになった。

(1) 2主I桁断面の内側から管理路、公共添架物を想定した矩形部材を突出させて擬似隅切り効果を狙った耐風安定化対策については、適当な突出高を設けた場合には、同等以上のフラッター発現風速を確保しつつ渦励振振幅を低減する効果を有する。ただし、桁断面形状によって、最適な突出高が異なることに注意を要する。

(2) 今回実施した端2箱桁断面は、2主I桁断面よりも優れた空力特性を示している。端箱桁断面の桁下に隅切りを設けた場合には正の迎角でフラッター発現風速が低下するが、桁上、桁下に適切なサイズの隅切りを設けた場合には、フラッター発現風速は約15%向上した。本対策は、端箱桁断面を有する斜張橋の長径間化を実現できる有効な対策になり得ると判断される。

### 3.3 構造力学的対策の検討

全体剛性を増加させる構造力学的対策は、フラッター発現風速の増加を狙ったものであるため、橋梁全体系の固有値解析と二次元フラッター解析によって評価することとした。主要な構造諸元を Table 2 に示す。解析ケースは、側径間中間橋脚の追加設置検討、主塔塔頂水平材の追加、主塔塔頂をケーブルで接続する方式(以下、タワーケーブル方式と略記する)を実施した。各対策の概念図を Fig.4 に示す。塔頂水平材の剛性は主塔上側の中間水平材と同一とし、タワーケーブル方式の断面積については、主ケーブルの断面積と同等の0.013m<sup>2</sup>としたケースを基本とした。二次元フラッター解析に入力する橋桁の空気力には、前節で検討した断面Aの非定常空気力係数(迎角0°)を用いた。

Table 2 Properties of analytical model

	Outline	Shape	2-edge I-shaped girder
		Width	22m
Girder	Mass	Mass	23t/m
		Moment of Inertia	2400t·m <sup>2</sup>
		Area	1.05m <sup>2</sup>
Stiffness		Vertical	0.8m <sup>4</sup>
		Horizontal	160m <sup>4</sup>
		Bending-Torsional	85m <sup>6</sup>
Tower	Stiffness	Out-Plane	11~20m <sup>4</sup>
		In-Plane	6~8m <sup>4</sup>
		Torsional	15~21m <sup>4</sup>
	Horizontal Member	Out-Plane	6m <sup>4</sup> (U), 11m <sup>4</sup> (L) <sup>-1</sup>
		In-Plane	5m <sup>4</sup> (U), 7m <sup>4</sup> (L)
		Torsional	8m <sup>4</sup> (U), 15m <sup>4</sup> (L)

(Remarks) \*1) U: Upper Member L: Lower Member

本検討の結果、以下のことが明らかになった。

今回検討した中では、塔頂水平材を追加する方法（橋梁のねじれ剛性のみを増加させる方法）が最も効果があり、フラッター発現風速を16%上昇できる。

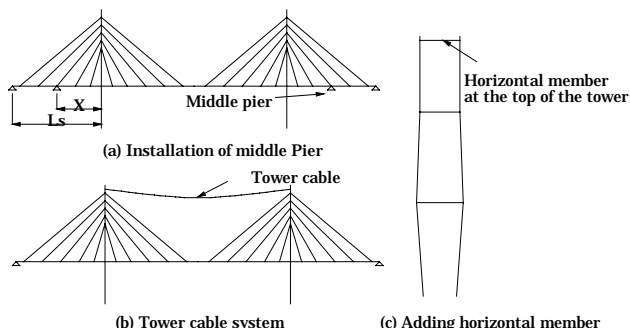


Fig.4 Concept of structural countermeasures

### 3.4 適用支間長に関する検討

張出しのない2主I桁、端2箱桁を採用する場合に、どれくらいの支間長まで適用できるか、さらに今回提案した対策を実施することによりどの程度効果があるかを検討した。まず中央径間 200~600m（側径間比 0.45）について試設計ならびに固有値解析を実施し、各径間におけるたわみ、ねじれの最低次振動数を算出した後に、本検討における基本断面（Girder A, B）および改良断面の非定常空気力係数を用いて二次元フラッター解析を実施した。改良断面は2主I桁断面AにPa=80cmとした断面と、端2箱桁断面BにXU=30cm, XL=45cmとした断面である。検討結果を Fig.5 に示す。解析ケースは迎角 0°, ±3°としたが、同図にはその中の最低風速を示した。これより、以下のことが明らかになった。

フラッター特性に着目すると、張出しを設けない2主I桁断面では中央径間 300m を超えると対策が必要となることがわかった。今回提案した低コスト耐風安定化対策を施せば、中央径間 400m 程度まで適用可能となる。一方、端2箱桁断面では中央径間 600m 程度で対策が必要となるが、今回提案した空力的対策により 600m 以上の規模にも適用できる。

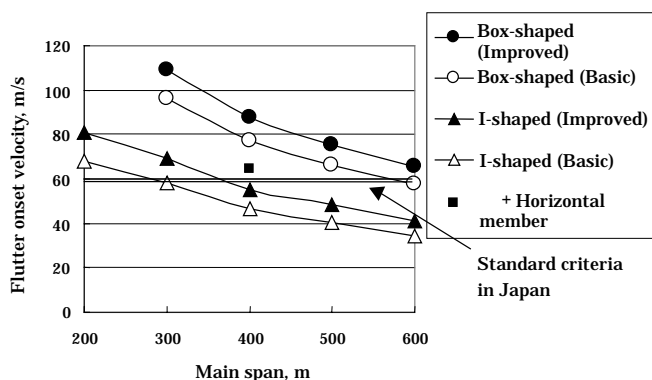


Fig.5 Main span length vs flutter onset wind velocity

## 4. ハイブリッドケーソン

これまで、ハイブリッドケーソンは岸壁、護岸、防波堤工事に採用されているが、2章で述べたニーズに加え、建設コストの縮減も大きな課題である。ここでは、これら課題に取り組んでいる開発事例として、「ハイブリッドケーソンの耐震強化岸壁への適用」、「海水交換機能付きハイブリッドケーソン」および「上部斜面消波型ハイブリッドケーソン」について述べる。

### 4.1 耐震強化岸壁への適用<sup>3)</sup>

#### 4.1.1 耐震強化岸壁を想定した実験

ハイブリッドケーソン式岸壁は、重力式岸壁の一形式であり、ケーソン後趾（陸側フーチングの陸側先端）を通る鉛直面（仮想背面）よりも海側部分を壁体とみなして滑動や転倒などの安定計算を行っている。ところが、レベル2地震動が作用したときに、陸側フーチング上の裏込め部分が有効重量として働いているのか明確な知見が得られていなかった。そこでハイブリッドケーソンと従来のケーソンの壁体幅、壁体重量および重心位置を等しくして実験を行って、陸側フーチングの裏込めの耐震性に与える影響を比較検討した。模型断面図を Fig.6 に示す。

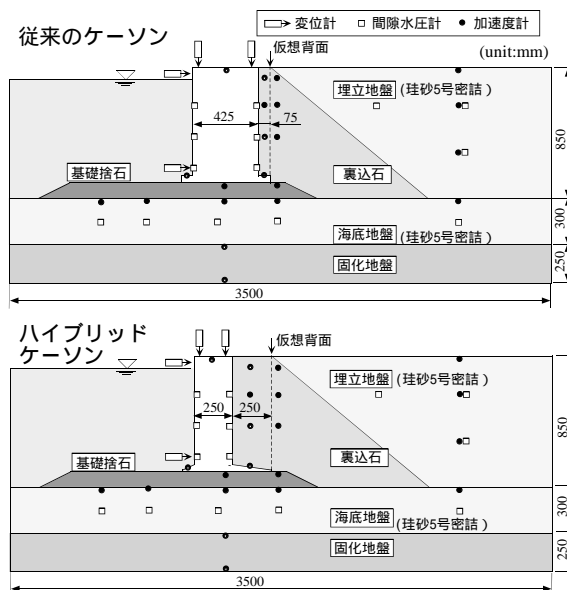


Fig.6 Cross sections of test models

入力地震動は1968年十勝沖地震の八戸波を用いて、振幅レベルを1倍（170Gal）から3倍（510Gal）まで変化させた。

加振前後におけるハイブリッドケーソン模型の周辺地盤の状況より、仮想背面部分の裏込め石は加振後も鉛直を保っており、フーチング上の裏込め部分がケーソンと一体となって挙動していることを確認した。次にケーソン天端での残留水平変位量の結果を Fig.7 に示す。横軸は、埋立地盤地表面で計測された最大加速度を港湾で用いられる野田・上部式(1)

により作用震度  $K_e$  に換算し、模型の滑動限界時の破壊震度  $K_c$  で除して無次元化している。

$$K_e = \sqrt{g} (200 \text{ Gal}), K_e = 1/3 (\sqrt{g})^{1/3} (>200 \text{ Gal}) \quad \dots\dots(1)$$

ただし、 $\gamma$ : 地表最大加速度 (Gal),  $g$ : 重力加速度 (Gal)  
 $K_e/K_c > 1$  では破壊震度を上回る地震動が作用していることになる。残留水平変形量は、すべての加振ケースでハイブリッドケーソンの方が 1 割程度小さな値となった。これは、裏込め部分の砕石が振動エネルギーを吸収している可能性が考えられる。

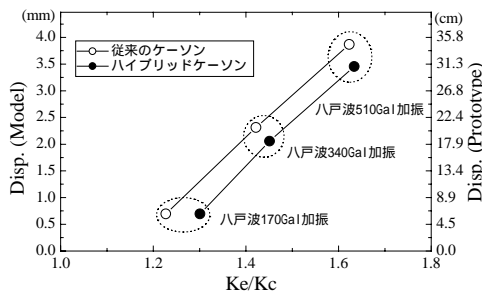


Fig.7 Residual displacement at the top of the caisson

#### 4.1.2 新興津岸壁 (清水港)への適用例

静岡県の清水港の新興津岸壁は、外貨コンテナ貨物を取り扱うための公共埠頭および大規模地震対策施設として、1999年度から整備が進められている。岸壁構造形式には、前節の実験結果をもとに Fig.8 のハイブリッドケーソンが採用された。

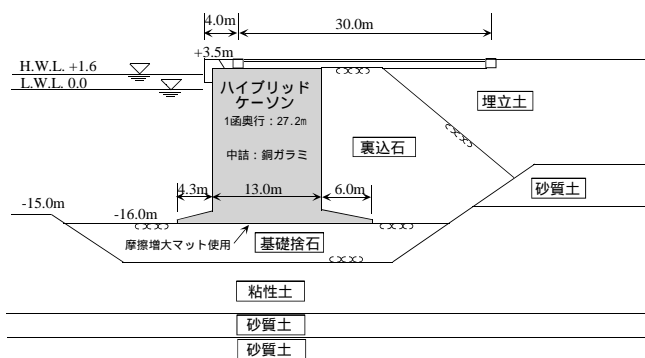


Fig.8 Cross section of quaywall, Shin-Okitsu

### 4.2 海水交換機能付きケーソン<sup>4)</sup>

#### 4.2.1 海水交換のメカニズム

海水交換のメカニズムを模式的に表すと Fig.9 のようになる。押し波時には、スリット壁を透過してきた水塊が、越波版を乗り越え、水位上昇が生じ、開口部 (導水管) から外海水が港内へ導水される。一方、引き波時には、後壁と越波版との間の水位低下が、越波版によって妨げられるため、戻り流れは生じない。したがって、常に一方方向の流れを発生させることができる。

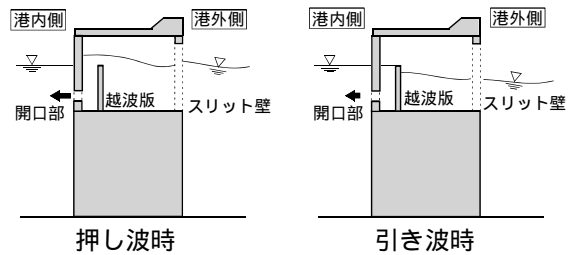


Fig.9 Flow pattern of seawater exchange

#### 4.2.2 三崎漁港への適用例

港内水域は蓄養殖利用が計画されており、南防波堤の一部に海水交換機能を持たせることとし、Fig.10 に示す「二重スリット付きハイブリッドケーソン式混成堤」が採用された。南防波堤は水深 10m ~ 20m、設計波高 11.9m と非常に厳しい条件となっている。長周期から短周期の波の消波のため二重スリット構造とし、かつ夏期の低波浪時にも海水交換が十分に行われるように、越波版の高さは、潮位変動の影響に配慮して 2 種類とし、導水管は 4m ごとに 1200mm サイズのものが配置されている。

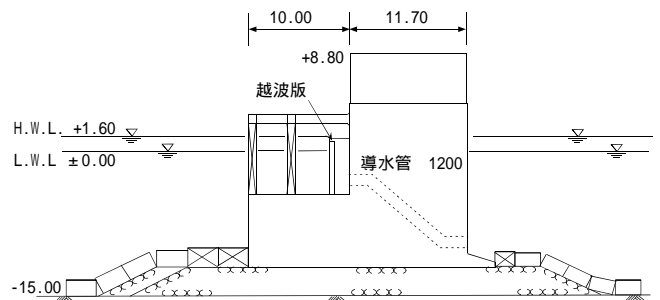


Fig.10 Cross section of a breakwater having a function of seawater exchange, Misaki fishing port

### 4.3 上部斜面消波ケーソン<sup>5)</sup>

#### 4.3.1 構造概要

上部斜面消波ケーソンは、Fig.11 のように従来の直立消波ケーソンの上部を斜めにしたことで、斜面部に作用する波力のうち鉛直成分がケーソンを安定させる側に働き、耐波安定性に優れた構造となっている。

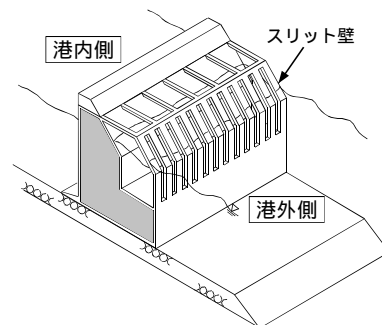


Fig.11 Sloping top caisson with a slit wall

### 4.3.2 水槽実験

水深 15m に設置される防波堤を対象とし、Fig.12 の模型 (スリット開口率 30%) を用いて、実験を行った。

Fig.13 は、一連の実験結果から導き出した上部斜面消波ケーソンの波力算定式を用いて、種々の波浪条件(波高,周期)に対して、直立消波ケーソンと上部斜面消波ケーソンの滑動限界重量を比較した結果である。波高の比較的小さい範囲では、直立消波ケーソンと上部斜面消波ケーソンの差はほとんど見られないが、波高の増大とともに、その差は顕著になる。波高 10m のような高波浪域では、直立消波ケーソンと比べて所要重量が約 4 割減少しており、上部斜面消波ケーソンは、高波浪域において経済的に有利な構造となる。

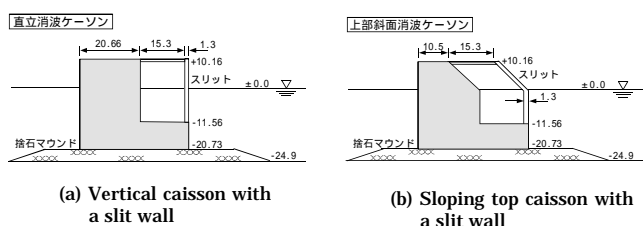


Fig.12 Cross sections of test models

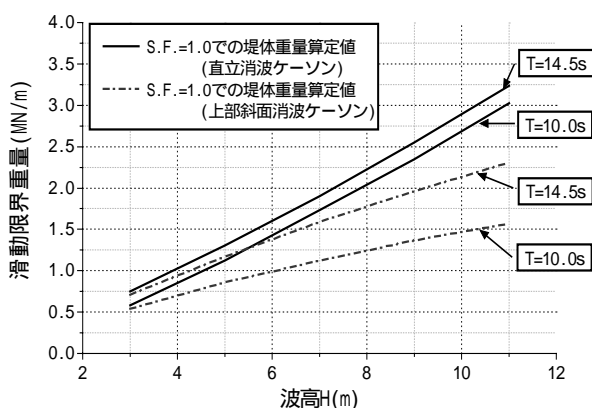


Fig.13 Calculated results of caisson weight (water depth  $h=15.0\text{m}$ , wave period  $T=10.0\text{s}, 14.5\text{s}$ )

## 5. 地下鉄浸水防止機の開発

地下鉄浸水防止機は、地下構内やトンネルの換気口に設置され、雨水など浸水を防止するもので、最近首都圏を中心に集中豪雨などによる浸水被害が問題化していることに対応して開発を進めたものである。

地下鉄トンネルは、特に、幹線道路の地下を通るため換気口は歩道部または中央分離帯部に設置される。このため、換気口出口を高くすることができず、地盤高さが換気口高さとなる場合が多く、雨水などの浸入が起り易い状況にある。

通常、換気口は 100m ~ 500m ごとに設けられ、浸水防止機は換気口 1 箇所当たり、2 基から 15 基設置されている。従来、このような換気口にはフラップ式の浸水防止機が設置

されてきた (Fig.14)。今回、新しく開発したラジアルゲート式の浸水防止機 (Fig.15) は、従来のフラップ式の欠点を解決したもので、以下の特徴がある。

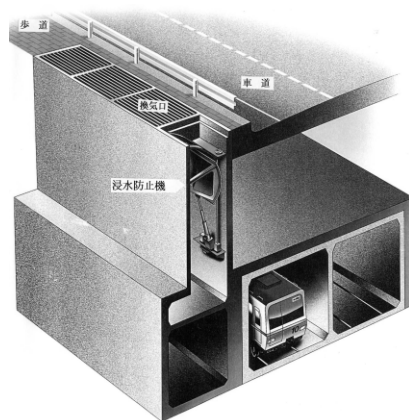


Fig.14 Water intrusion prevention facilities for subways

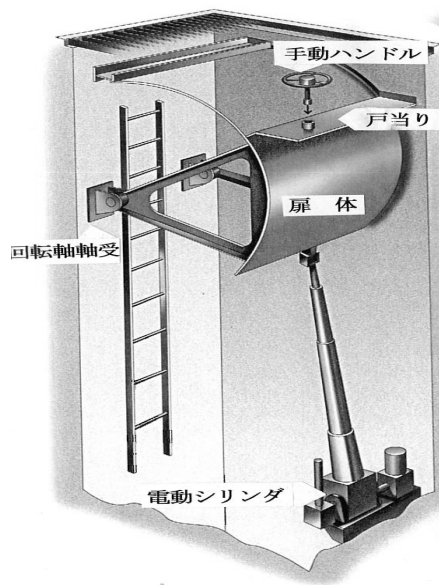


Fig.15 Radial gate type water intrusion prevention facilities

### (1) 開閉動力 (操作力) の低減と開閉時間の短縮

ラジアルゲート式は、扉体に作用する水圧荷重がすべて回転中心軸に作用するため、水圧が直接開閉装置に作用せず、従来のフラップ式に比べ開閉動力 (操作力) が低減する。

このため、同じ電気容量であれば数多くを同時に操作することができ、操作時間が短縮できる。帝都高速度交通営団 (営団地下鉄) の場合、従来型では 2 基同時操作で行っていたが、新形式では 6 基同時操作が可能となり、操作時間は 1/3 に短縮された。

### (2) 信頼性の向上

扉体の開閉機構を単純化するとともに、ギヤーなどの可動部や扉体位置検出用のセンサ類を電動シリンダに内蔵する

ことで、機械可動部への異物の噛み込みや、各センサの誤作動の防止を図っている。また、推カリミットを具備し、万一扉体などに異物が噛み込んだ場合には過負荷を検出し、自動停止や故障表示を行う機能を設けている。

(3) 安全性の確保

本機には電動操作が不可能の場合、機側にて手動操作を行うが、手動操作のとき、または点検時には電動操作が行えないようにインターロック機構を設け安全性を高めている。また、機側での手動操作のとき全閉の確認ができるように表示灯を具備している。

ラジアルゲートは、ダム放流設備として多く使用され、当社でも実績があるが、本機はダム放流設備とは使用条件が異なること、また小型であるが数量が多いこと、などから実機と同スケールの試作機を製作し、構造・機能の妥当性（水密性、操作性、閉鎖確認の良否など）、制御設備との整合性（電気設備との整合と機能の確認）、製作検討（構造、製作方法、使用材料、塗装方法）などを行い、使用条件に適合する機能と技術を確立した。なお、本形式は、帝都高速度交通営団より 2001 年度に Table 3 に示す諸元の 32 基を受注し、同年に納入した実績がある。

Table 3 Basic design criteria

形式	ラジアルゲート式
開口寸法	850mm × 900mm
設計水深	路面より 2m
操作水深	扉体から路面までの水深
開閉方式	電動シリンダ
開閉時間	20 秒
操作方式	機側、遠方（駅）操作、自動および手動操作

6. メンテナンス技術

21 世紀を迎え、社会動向は大きな転換期を迎え、投資余力の減少に伴い、新規の社会基盤整備とともに、既存の社会基盤をいかに維持・管理し、有効に活用していくかが重要な課題であり、21 世紀はメンテナンスの時代ともいわれている。たとえば、橋梁分野では供用 50 年を超える老朽化橋梁が、今後大幅に増大し、メンテナンス費用が新規建設投資額を上回ると予測されている。当社はこれらの要請に応え、貢献していくため、この分野の技術開発にも積極的に取り組んでいる。ここでは、点検・診断・モニタリング技術を中心にその一部を紹介する。

6.1 点検・検査・評価

最適なメンテナンスを行うために、まず必要なことは、さまざまな損傷を正確に把握することにある。当社の有するこれら対応技術を Table 4 に示す。

この点検・検査技術の一例として、「加熱赤外線画像計測法」を紹介する<sup>6)</sup>。これは、道路橋で用いられている鋼製伸縮装置のアンカーバー、フェースプレートなどの溶接部の損傷を非破壊的にかつ路面を掘削することなく検査できる技術である。この原理は、Fig.16 に示すように、鋼製伸縮装置のフェースプレートを局部的に短時間加熱し、その後、熱拡散を解析することで健全性を評価する技術である。Fig.17 は、損傷の有無による熱拡散解析結果の比較画像である。

この技術は、少ない道路規制で、かつ安価で正確に検査ができるため、道路管理者の点検マニュアルに採用されるなど高い評価を受けている。

Table 4 Technology related to inspection, estimation, repair, reinforcement, replacement of steel structures

メンテナンスフェーズ	技術名称	技術概要
点検・検査・評価	加熱赤外線画像計測法 (Fig.16,17)	赤外線カメラによる損傷、減肉調査
	アレイ超音波探傷法	超音波の位相制御による高機能探傷
	塗膜劣化測定	交流インピーダンス測定による塗膜の劣化度の測定
	音響診断	打音時の音響解析によるき裂、空洞検査
	き裂計測	画像処理によるコンクリートのき裂長さ計測
	レーザドップラ式振動計測	桁、部材の振動を遠隔測定、解析
	環境測定	水分、飛来塩分、SOx、NOx などの定量測定
モニタリング・診断	橋梁カルテデータベース	点検・検査に基づいた診断結果、施工記録、補修履歴などのデータを一元管理
	磁歪式非接触応力測定法 (Fig.18,19)	非接触・非破壊的な応力計測手法（絶対的な応力計測技術）
	疲労損傷度計測 (Fig.20)	疲労センサによる疲労損傷度測定
	簡易応力頻度測定	自律型動的応力簡易測定装置
	疲労余寿命評価	検査結果と信頼性理論によって、疲労残存寿命を高精度に推定
	塗装余寿命評価	検査結果と信頼性理論によって、塗膜性能の残存寿命を高精度に推定



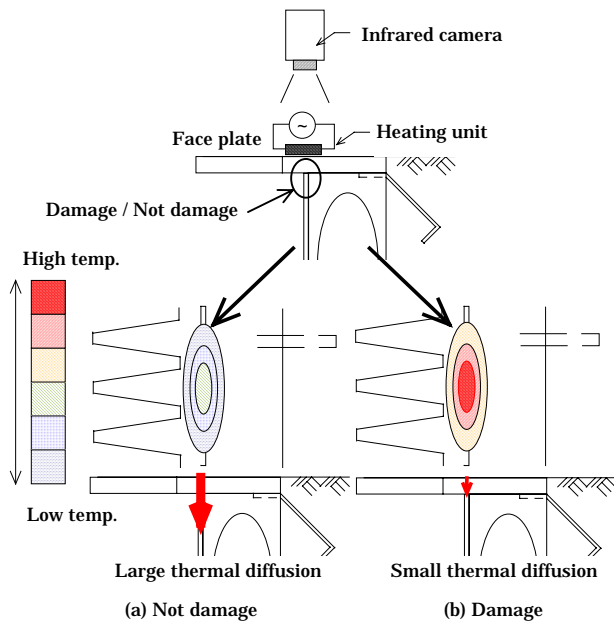


Fig.16 Principle of defect detection method by using an infrared radiation thermometer

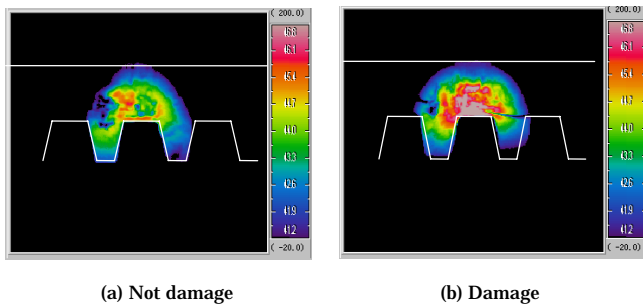


Fig.17 Thermography of face plate measured

## 6.2 モニタリング・診断

メンテナンスを行うために、次に必要となることは、損傷が発生してから、対策を施すのではなく、予知保全の観点から、モニタリング・診断を行い、対策を実施していくことである。

最近、問題となっている疲労を例にとり、このモニタリング・診断技術への取り組みを紹介する。

「磁歪式応力測定技術」<sup>7)</sup>は、Fig.18 に示すように鋼材に応力が作用した時に発生する磁気的な異方性（透磁率の異方性）を利用して応力を測定するもので、磁歪センサと呼ぶプローブを測定対象上にあてて測定する（Fig.19）。磁歪センサは一般的な塗装はもちろん、数 mm 単位の厚みをもつ重防食層の上からでも測定することが可能であることから、完全に非破壊的な測定が可能である。また特殊な準備や前処理を必要とせず、簡便にかつ短時間で行うことができる極めて現場的な応力測定技術である。測定される応力は絶対的な応力であることから、死荷重応力の測定や残留応力評価などにも有効である。

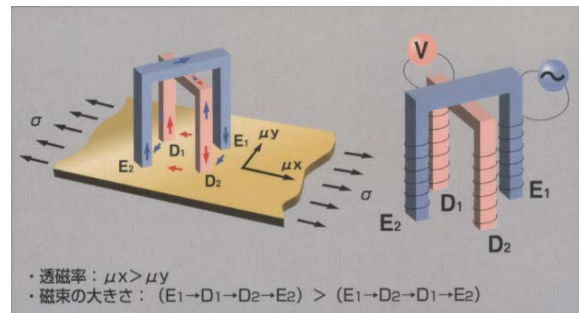


Fig.18 Principle of magnetic stress measurement using magnetic anisotropy sensor



Fig.19 An appearance of the system

また、複数の応力感度レベルに対応した「疲労センサ」Fig.20 は、構造物に一定期間（たとえば1月、1年）貼付することにより、センサに設けた鋭敏な人工き裂のその期間における進展量を測定することにより、構造物が受けた疲労損傷度、すなわち疲労損傷速度をきわめて簡単に測定する手法である。これは、疲労損傷度が応力の作用回数と応力変動幅の累乗との積で評価することができ、かつそれが疲労センサのき裂進展量の指標でもあることを利用している。センサの貼付時と測定時には現場に行く必要があるが、遠隔通信装置を使用して結果を取り込むことも可能である。また、現場に容易に行くことができる場合には基本的には電源不要で貼付けておくだけで良い。

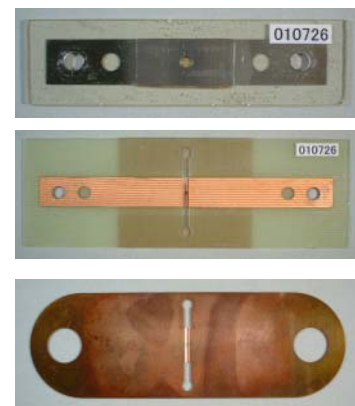


Fig.20 Fatigue sensors

### 6.3 メンテナンスソリューションへの展開

鋼構造分野において、膨大な社会資本を適切に維持・管理していくためには最適化手法による計画的なメンテナンスが不可欠であるとともに、新たな視点でメンテナンスを捉えていくことが必要である。メンテナンスは現状の課題解決は言うまでもなく、今後発生するであろう新たな課題発掘からその解決法の提言まで含めたソリューションとしての展開が求められている（Fig.21）。

当社は、メンテナンスをソリューションとして提案するため、OPM法（Optimized Planning for Maintenance）と称する最適計画法を開発している。これは、技術的な予測が意味のある精度で可能な期間として、たとえば、20年～30年を管理の期間として設定し、管理期間においてコストを最小にすることを考え、状態の変化や検査の結果を取り入れながら、メンテナンスを計画的あるいは予防的に、さらには戦略的に行っていくために逐次行っていく方法である。

このような理論的なアプローチに基づいて、定量的かつ客観的にメンテナンスの必要性を評価し、納得性を高めること、そして、それらの実行を通じて構造物の長寿命化を達成すること、さらには、老朽構造物に新たに価値を創出するような取り組みをすることが必要と考えている。

この一環として、現在、当社は、施工した既設橋梁に対して“旧橋調査”を逐次実施し、その診断結果と必要な補修・補強対策をもとに“ソリューションの提案”の取り組みを推進中である。

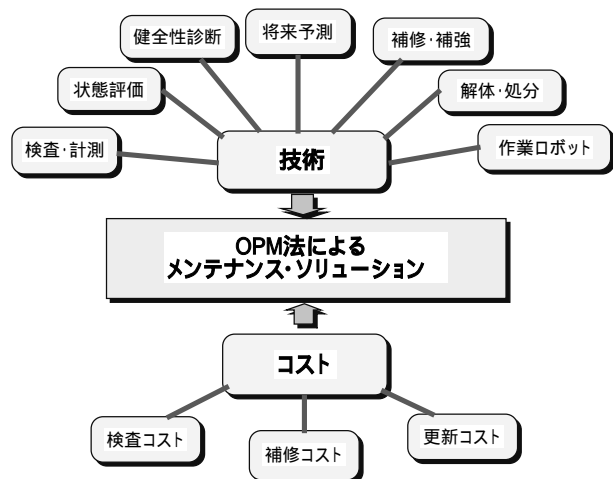


Fig.21 Development of maintenance-solution business in NKK

### 7. おわりに

当社は、鋼構造技術・商品を通じ、道路、港湾、河川、建築などの社会基盤整備に貢献してきた。現在、社会資本整備への投資環境は極めて厳しい状況にあるが、まだまだ、整備の必要がある状況の中、ライフサイクルコストの観点も含めたコスト縮減とともに、国土・国民を災害から守るという恒久的な課題に取り組んでいく必要がある。このためには、従来のハードのみの提供に加えて、設計はもとより、維持管理、運営までを含めたシステム化したマネジメント、ソリューションを提供する必要がある。

一方、多くの国民が生活し、経済・社会活動の中心である都市の再生は、今後の社会基盤整備の方向を示すキーワードである。都市環境、中心市街地の活性化、都市住環境などから、周辺地域と一体となった道路、その他の施設の開発は、耐震性などの安全性、環境、近接施工、アメニティー、景観、持続可能性などの観点から、従来にない鋼構造の特長を活かした技術・商品を必要とする。

当社の有する幅広く、高い技術力をもって、今後も、これら時代の要請に応え、貢献し続けたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 横山功一ほか。“二主桁合成床版を有する斜張橋に関する総合的検討”。土木学会構造工学論文集. Vol.38A, pp.1153-1160(1992).
- 2) Irwin, P. A. “Wind Tunnel Tests of Long Span Bridge!”. Final Rep. 12th Congress IABSE, pp.689-696(1984).
- 3) 菅野高弘ほか。“長フーチングを有するハイブリッドケーソンの耐震強化岸壁への適用”。土と基礎. 第50巻, 第4号(2002).
- 4) 塩崎禎郎。“海水交換機能付き直立消波型ハイブリッドケーソンについて”。漁港. 42巻, 4号(2000).
- 5) 本田秀樹ほか。“高波浪域向け消波型ケーソンの開発”。海洋開発論文集第16巻(2000).
- 6) 山田浩司ほか。“鋼製伸縮装置の点検技術”。NKK 技報. No.178(2002).
- 7) 境禎明ほか。“磁歪応力測定システムによる橋梁架設時の応力測定実験”。土木学会第54回年次学術講演概要集第6部. pp.314-315(1999).
- 8) 藤本由紀夫ほか。“構造物の疲労信頼性とモニタリング”。材料学会中国支部講習会「腐食疲労の基礎と劣化予測」, (2001).
- 9) 阿部雅人。“メンテナンス工学に向けて”。橋梁と基礎. pp.58-61(2001-8).