

特別講演

合成構造の最近の話題

大阪大学名誉教授 前田 幸雄

1. まえがき

最近の複合構造は古典的な鋼とコンクリートの合成構造（ずれ止めによって一体化された異種材料からなる断面をもつ部材）に加えて、鋼またはコンクリートと他の材料（高分子系材料など）の複合構造、および1つの構造物が異種材料のいくつかの部材からなる混合構造システムが世界の各地で積極的に使用されつつある。

アメリカの専門雑誌をみると、“Concrete for Beauty, Economy and Long Life”といったコンクリート構造物普及のための宣伝をしばしば目にする。昭和63年度富山県に完成した日本最長154.4m PC方杖ラーメン橋（中央径間66m）祖山橋は、自然景観と調和がとれ、且つ鋼橋とちがって脚と桁の連結継手が無く、力学通りの力の流れ方が明瞭である。なお、本橋の脚はメラン鉄骨を使用したSRC構造である。長大鋼橋は別にして普通スパンの鋼橋の宣伝は、どの専門誌でもあまり見たことがない。鋼とコンクリートの長短を補った複合構造は今後更に発展すると思われるが、一体、鋼構造、コンクリート構造、複合構造の中からどの構造形式を当面する設計に用いるべきかについては基礎理念を明確にした指針が全くない。このような選択の問題を含んだ、設計のための基礎理念が確立されてないことが、国際的な構造工学の討論の場において議論されて、国際的な総合設計指針作成の必要が叫ばれつつある。

この特別講演においては、最初に合成構造に関する最近の国際研究集会を紹介し、これらの中で注目を集めてきた北アメリカの複合斜張橋、世界的な混合構造システム、ずれ止め設計に対する新しい挑戦について述べる。次に、IABSEが実施にふみきった構造設計指針の新しい枠組の作成について触れ、最後に、複合構造の最近の応用例として著者の目にとまったものの中からいくつかを取り上げると共に、将来の複合構造応用の発展について論じたい。

2. 複合構造の国際的研究集会

2.1 IABSEシンポジウム“混合構造物—新材料を含む”，1990年，ベルギー，ブラッセル

シンポジウムのサブテーマは次の4つである。

テーマⅠ：鋼・コンクリート合成部材

テーマⅡ：鋼・コンクリート混合構造システム

テーマⅢ：鋼・コンクリート以外の新材料を含む混合構造

テーマⅣ：混合構造に用いる新しい材料

このテーマは、ベルギー政府の構造技術者が中心となってベルギーのIABSEグループが提案したものである。術語と定義、特に合成、複合、混合の定義とそれらの英・佛・独訳をめぐってIABSEの学術委員会において激しく議論したところである。広義の混合構造（性質の異なる2つ以上の材料が構造的に協力し合う構造）を扱う。構造面のみならず、同一構造物内における異種材料間の挙動も扱う。構造物寿命の概念の導入によって、使用性の延長と投資の安全保護の目的から混合構造の維持も議論の対象とする。したがって、シンポジウムにおいて強調されるべき問題点は以下のようなものである。

- 異種材料の使用による構造物の経済性と効率の改善
- 解析と施工の新しい方法の開発
- 混合構造に新材料を導入して性能の向上を図る問題

- 現存構造物の修理または補強に混合構造を用いる問題
- 現存混合構造物の維持、修理または補強の方法。

2.2 ASCCS第1回合成構造国際会議, 1991年9月, 日本, 福岡市

1988年8月, 中国ハルビンにおいて, ハルビン建築工程学院主催で開かれた“コンクリート充填鋼管構造”の国際会議(約100名の参加者, 48編の論文発表, 日本からは17名参加)の結果, 国際合成構造研究協会(Association for International Cooperation and Research in Steel-Concrete Composite Structures, 略称ASCCS)が設立され, その第1回の会議が1991年日本で開催されることに決定した。会議で扱う討議の範囲は, コンクリート充填鋼管構造, 鉄骨鉄筋コンクリート構造, 合成梁および合成床, その他の合成構造である。

2.3 全米工学財団(Engineering Foundation, USA)主催の第2回合成構造に関する国際会議, 1992年, Potosi, ミズーリ, 米国

この会議は2回にわたる合成構造の日米セミナー(東京とシアトル)に引き続いて1987年6月7日~12日, 米国, ニュー・ハンプシャーのHennikerにおいて開催された全米工学財団による合成構造(Composite Construction)の国際会議の継続である。Hennikerの会議では, 設計と規準, 施工, 研究を中心として, 論文発表の他に, 午後7:30~10:00 ワークショップが開かれた。内容はかなりレベルの高いものであったが, アメリカの色彩の濃いもので, 文字通りの国際的とはいかなかった。わが国の橋梁の設計には限界状態設計法や荷重・強度係数設計法を採用してないために, AASHTO, DIN, BS5400, カナダオンタリオ規準など, 規定に関する議論には積極的に参加できなかった。その後5年を経過したが, わが国の合成橋梁は依然として許容応力度設計法に従っている。その間, 設計法の研究や試設計が行われている。中でも土木学会関西支部の共同研究グループによって発表された“限界状態設計法による合成桁橋の設計法に関する研究”¹⁾は優れた内容と高いレベルであるといえる。研究報告を参照されたい。

3. 複合構造の新しい時代

北アメリカでは, 1978年中央スパン298.9mのコンクリート斜張橋 Pasco-Kennewick 橋が, また, 1982年には中央スパン372mの鋼斜張橋 Luling 橋が架けられ, その後, 斜張橋についてコンクリートと鋼が激しい競争を繰り返してきた。最近完成した主な斜張橋を示すと表-1のようであるが, 主塔はすべてコンクリート構造である。

Sunshine Skyway 橋はPC箱桁の斜張橋であるが, それ以外はすべて床版が桁と合成された断面構造となっている。床版は何れもプレキャストコンクリート床版であって, その一ユニットはQuincy橋では, $14.17\text{m} \times 4.0\text{m} \times 22.9\text{cm}$, Fraser橋では $13.5\text{m} \times 4.0\text{m} \times 21.5\text{cm}$ である。かかる合成斜張橋のさきがけとなったのはEast Huntington橋であって, 鋼橋とコンクリート橋の激しい競争の中であって, 合成構造を提案して成功したものである。アメリカでは, 日本やヨーロッパと異なり, 鋼床版の製作工費が極めて高くなることから, プレキャスト床版を用いるが, 広幅員の橋梁では, 床版の有効幅を考えると合成作用が十分に確保できるかどうか疑問に思われる。また, 重交通の頻度の大きな橋梁に対してプレキャスト床版の耐久性が十分に確かめられているかどうか問題である。事実, カナダのFraser橋では, すでに床版に損傷が生じていると聞いている。このような問題はあっても, 合成構造の主桁断面を用いたことは高く評価できる。なお, この種合成構造斜張橋の適用支間について検討した設計資料が, 佐野らによって発表されている。²⁾

表－１ アメリカとカナダの最近の斜張橋

橋 名	国 名	中央スパン(m)	有効幅員(m)	主 桁	断面の合成	完成年
East Huntington	アメリカ	274.32	9.14	P C 桁	有	1985
Sunshine Skyway	アメリカ	365.60	24.32	P C 箱桁	無	1987
Alex Fraser	カナダ	465.00	36.00	プレートガーダー	有	1987
Weirton-Steubenville	アメリカ	249.94	24.68	プレートガーダー	有	—
Quincy	アメリカ	274.32	9.74	プレートガーダー	有	1988

East Huntington 橋は Arvid Grant 社の設計によるもので、当初の鋼橋案に対して約25億円安くなり、低価格の長大スパン斜張橋の1つとして新しい可能性を開き、ENR、1984年11月15日号の表紙に“New Generation of Hybrid”として紹介されている。また、同社はこれ迄橋梁で用いられた中で最も強度の高いコンクリート560 kg/cm²の使用を提案した。Arvid Grant 氏は ENR、1984年11月29日号の中で“橋梁技術者は鋼で設計するか、またはコンクリートで設計するかを選択についての議論をやめて、代りに、現在の手持ちの橋梁の設計について、2つの材料の最も有効な組み合わせを見出すような設計を研究すべきである”と主張している。上記の ENR、1984年11月15日号はこの橋の特集号で“Hybrid girder in cable-stay debut”，“High-strength concrete deck rivals the weight of steel”，“Score one for bridge art”，などといった見出し語にみられるように、この橋の設計の考え方を全面的に支持していることが分る。

4. 混合構造システム

鋼・コンクリート複合構造の発達として、上記の主桁断面合成構造に加えて、鋼・コンクリート混合構造システムをあげることができる。橋梁では表－2 に示したように斜張橋にその例が年々多くみられる。

表－2 鋼・コンクリート混合構造システム斜張橋

橋 名	国 名	中央径間(m) (鋼桁)	側径間(m) (P C 桁)	接 合 位 置	完成年
Bybrua 橋	ノルウェー	185.0	120.0	主塔位置	1978
Düsseldorf-Flehe 橋	西 独	367.25	780.0	主塔位置	1979
New Tjörn 橋	スウェーデン	386.00	156.6/124.5	側径間、主塔から10m	1980
菅原城北大橋 ⁴⁾	日 本	238.00	159.3	側径間内	1989
生 口 橋	日 本	490.00	150.0	主塔位置	工事中
Normandy 橋 ³⁾	フランス	856.00	618.0/737.5	中央径間、主塔から52m	工事着手

表－2 中の菅原城北大橋は大阪市が淀川に架設した斜張橋であって、淀川のワンドやヨシ原などの自然環境を保護するため、鋼斜張橋の両端支点に橋脚を設けず、左右の側径間部に設けた3径間連続P C 箱桁橋の側径間の張り出し先端部によって斜張橋本体を支持する構造となっている。混合構造システムの設計に当たって大切なことは、P C 桁と鋼桁の接合位置と接合法である。接合位置は、架設工法によっても支配され、完成時の最適位置からきまるとは限らない。接合の方法は、P C 鋼棒やスタッドによって軸力やせん断に抵抗できるようにするが、鋼箱桁の中にコンクリート箱桁を挿入する方法、突き合わせ接合によるもの、横桁を介する方法など、いろいろ

あるが、応力状態が架設時も含めて不明確な場合が多く、個々の場合に応じて細部構造の研究が必要である。

5. ずれ止めの設計に対する新しいチャレンジ

西独の連邦鉄道の Hannover ～ Würzburg 間の新線建設に当って、Hedemünden 近くの Werratal 鉄道橋の合成桁設計のために Ruhr 大学 Bochum の K. Roik 教授は、Hannover 鉄道管理局から委託をうけて、現在各国で普及している合成理論にもとづき、頭付きスタッドの押し抜き疲労試験と実働荷重に対するせん断結合の疲労強度評価の研究を実施した。⁵⁾ これに対して Stuttgart 大学の F. Leonhardt 教授は批判的な立場をとり、いわゆるずれを認めるせん断結合方式が誤りであることを指摘し、その代わり、トラス理論にもとづいて、突起付き鋼フランジと径の小さな背の高いスタッドを用いた新しい方法を提案し、更にこの方法を用いた試験桁の疲労試験を行ってその有利なことを報告した。⁶⁾ また、Leonhardt 教授は、肉厚のコンクリート床版を頭付きスタッドで鋼桁と合成する場合、スタッドは梁の曲げによる引張をうけるが、通常の押し抜き試験ではスタッドに圧縮が作用し高い疲労強度を生ずる結果となることと、前田・梶川の研究を引用してコンクリートと鋼の間のずれを許す場合には疲労強度が低下することを強調している。⁷⁾ Roik 教授と Leonhardt 教授の合成桁の疲労問題に関する研究は平城・前田によって紹介されている。⁸⁾ ここでは簡単に原理的な説明をしたい。

5.1 ずれを伴うせん断結合モデル

鉄筋コンクリート床版と鋼桁から成る合成桁が曲げを受ける場合、合成桁は図-1 に示したせん断結合モデルに従って設計され、合成の最終崩壊状態は図-2 に示したいわゆる Roik モデルのようになる。この考え方は広く受容されて、各国の、または国際的な合成桁設計指針の中で定着した感がある。

この考え方では、合成力は鋼桁フランジに平行に働くせん断力として評価され、比較的径の大きな、背の低い頭付きスタッドの溶接によって抵抗が確保される。せん断結合理論に従う限りは、押し抜き試験の結果が、ずれ止めのせん断耐荷力に対して支配的な資料を提供することになる。例えば Roik 教授らの押し抜き試験では、スタッドの破壊荷重の凡そ 0.3 倍の荷重でずれが生じ始める。すなわち、低い荷重段階でコンクリート床版は鋼桁に対してずれ、その結果、大きな支圧力がはじめてコンクリートに作用することになる。英国のワーウィック大学の Johnson 教授はずれの影響について解析を行い、コンクリートと鋼桁の間の接触面において、ずれが生じてはじめて、スタッドがその機能を果す、と述べている。ずれによる合成作用の損失は確かに生じるが、その結果の応力増加は大きな問題にならないことから、現行の鋼・コンクリート合成桁はせん断結合モデルによる完全合成を前提として設計されている。

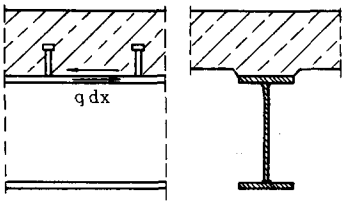


図-1 合成桁のせん断結合モデル

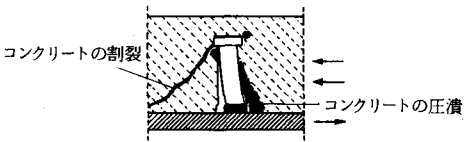


図-2 頭付きスタッドを用いたせん断結合の崩壊状態

5.2 主応力線理論にもとづいたトラスモデル

曲げとせん断が同時に作用する梁では、この両者による応力が組み合わせられて主応力を生じる。鉄筋コンクリート部材でも、ひびわれが生じない場合には、この主応力線理論が適用できる。曲げとせん断をうける合成桁では図-3 の側面図と平面図に示したように、主応力線が鋼桁のウェブから同じ方向を保持してコンクリート床版の中に連続して進むと仮定できる。したがって、合成の結合部分にはせん断のみならず、斜め方向の引張および

圧縮応力成分が作用する。今この中の圧縮主応力に着目すると、その垂直成分（引張）が完全に伝達できる合成の方法が用いられるならば、主応力の作用が実現できる。すなわち、スタッドの高さが床版のほぼ全厚に互っており、かつスタッドの頂部に大きな頭部分、あるいは溶接した横筋がある場合に、垂直方向引張力に抵抗できてコンクリートの斜め方向圧縮ストラットを支えることができる。

更に、鋼桁の上フランジ表面は通常粗であるために、傾斜のゆるい斜め圧縮ストラットをずれを生ずることなく伝達できる。Leonhardt 教授は、実験の結果、合成の継目におけるずれを防止するには、鋼フランジ表面に僅かな突起があれば十分であることを確かめている。圧縮ストラットに抵抗し、垂直方向の引張成分を完全に受けとめるためには、トラスモデルに従って合成手段の形式と結合材寸法の設計を行わなければならない。もしこれが可能となれば、合成桁は高い疲労強度を示すことが予想できる。

以上の考え方にもとづいて Leonhardt 教授が提案している設計方法は次のようである。鋼フランジ表面に小さな突起をつけて斜め圧縮ストラットに抵抗させることと、通常のスタッドに代って、背の高い頭付き鋼棒を用

い、それを床版の上面近くで十分に定着することを提案している。この鋼棒はスターラップと同じ性質のものであって、もはやせん断力は作用しないで引張のみが働くことになる。その設計はトラスモデルで行い得るが、桁端附近ではコンクリートの斜め圧縮ストラットの傾斜は $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ と仮定してよいと同教授はのべている。また、同教授は市場にある突起付き縞鋼板を用いるならば、ずれに対して十分な抵抗を確保できることを示唆し、かつ 3mm 深さの突起を 8~12mm 間隔で設計してよいとのべている。結局、この理論によるとずれのないせん断結合の確保が最も大切といえよう。合成桁が実用に供されはじめたその昔のことを考えると、当時は、ブロックまたはチャンネル形式のずれ止めによってせん断力に抵抗し、併用した斜め筋によって引き抜きに抵抗する構造であった。製作の不便さを別とすれば、昔の方法の方がある点では合理的であったともいえよう。

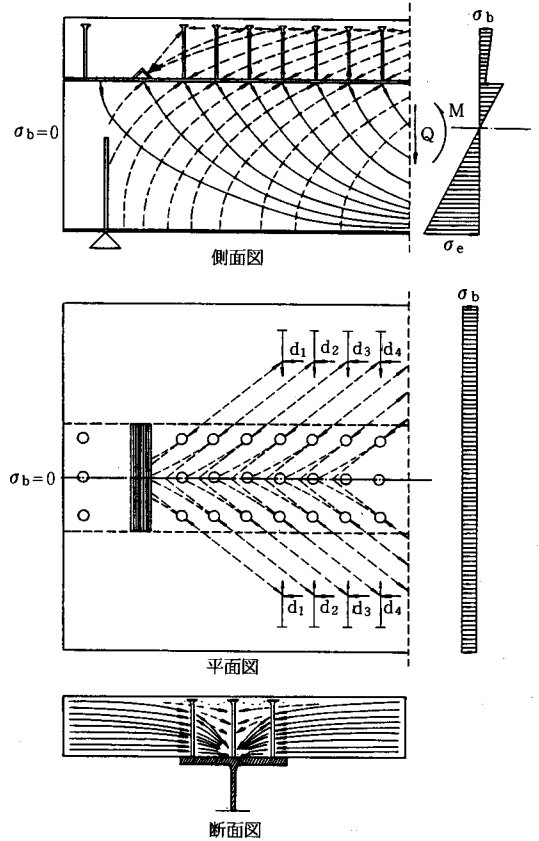


図-3 主応力線理論にもとづいたトラスモデル

6. New Concept for Structural Design Codification

構造物の設計に当たって最も大切な理念は、その構造物が安価で、安全で、長持ちし、美しく、皆に喜ばれるものであることにつきます。現在の鋼やコンクリートの設計示方書や規準に従って構造物を設計しても、それは構造上の機能を満足しても、安価、安全、耐久性、審美性、人に与える喜びと感性などを必ずしも保証しないし、また保証できるような設計規準は皆無である。したがって、設計に当たって鋼構造にするのか、コンクリート系構造にするのか、あるいは複合構造でやるのか、選択の原理を示した規準は何もない。現在の設計規準にみられる多くの矛盾点、新しい技術の導入に障害となる多くの、かつ複雑な、細部に互る規定、追加条文でしのいできた技術の進歩への対応、鋼構造とコンクリート構造の不整合、道路橋と鉄道橋の不整合、橋梁と建築物の不整合、RCとPCの間の不調和、原則の欠除、非論理性、といった根本問題が多く、の規準作成経験者、研究者、技術者に

よって指摘されてきた。

以上の諸問題を解決するために、構造設計の新しい概念を確立して21世紀のために役立つ総合的なモデル規準の骨組みを定めることを目的として、スイス、チューリッヒ工科大学の B.Thürlimann 教授を委員長とした国際委員会を IABSE の中に設立した(2年間の作業グループ)。この作業は規準(Code)そのものを作成することではないという点と、鋼構造に限るとかコンクリート系構造に限るのではなく、すべての材料を対象とすることを強調しておきたい。このような動きの中心となったのは、西独の Stuttgart 大学の J.Schlaich 教授、アメリカ Texas 大学の J.E.Breen 教授と筆者である。このような“Fundamental Principles for Designers in Structural Engineering”が確立し、国際的にも認められるならば、合成構造は現在よりも選択の高い自由度を得て大きく発展できると思う。

7. 新しい応用例と将来の発展の可能性

最初に筆者の関係した、または興味をもった複合構造の応用として5つの例をあげてみたい。

1) 北陸自動車道親不知海岸高架橋(昭和63年開通)⁹⁾

橋脚の波浪対策として、海岸が砂利浜であるために波浪に伴う砂礫の衝突により既設のコンクリート構造物に摩耗が生じていることから、橋脚部には、鋼板にクロロプレンゴムを加硫圧着したものを埋設型枠として設置した。これを耐摩耗層と呼んでいる。この層は強度材ではないが保護材として複合部材を形成している。ゴム厚は砂礫の衝突エネルギーと耐衝突性能から6~10mmとし、一部の橋脚ではコンクリートの増厚(15cm)で対応している。この耐摩耗層は、最もきびしい砕波帯での橋脚の塩害対策の機能もかねている。

2) 炭素繊維複合材をPC橋の緊張材として用いた例(石川県新宮橋、昭和63年竣工)¹⁰⁾

炭素繊維複合材(CFRP)がPCの緊張材として、塩害に対して耐食性のある新素材として用いられた例である。φ12.5のストランドであって、7本の線条体をより合わせ、加熱によって硬化・成形したものである。PC鋼材に代る新しい複合材の応用である。

3) 密閉式複合セグメント¹¹⁾

都市地下構造成造のシールド工法のために合成セグメントが中口径を対象として使用されてきたが、大口径用の改良した密閉式複合セグメントが市場に現れた。外径2.95m、内径2.60m、厚さ17.5cmのものである。このセグメントは円周方向の2枚のウェブプレート、これと直角の2枚の継手プレート、およびこれらをふさぐ形の2枚のスキンプレートから成る密閉した六面体の鋼殻にコンクリートを充填したもので、スキンプレートに溶接したずれ止めによってコンクリートと鋼殻は一体として働く。工事用のものであるから疲労は心配ないと思われるが、引張側スキンプレートにはスタッド溶植により疲労きれつが発生し易いので注意を要する。

4) 原子力発電所鋼板・コンクリート躯体構造(SC構造)¹²⁾

この構造は、建設工期短縮、耐震性能の向上、柔軟な設計の可能性、建屋と機器の調和のとれた整合性、モジュール工法の導入可能などの長所を有していることから、原子力発電所の躯体構造物のような高い耐震性が要求される大規模機器集約の建屋には有効な構造である。

構造の特色は、2枚の鋼板の間にサンドイッチ式にコンクリートを充填した形式であって、コンクリートと鋼板の合成のために鋼板にはスタッドが溶植されている。厚さ14~20mmの2枚のスキンプレート(例えばSM53)を間隔1060~1072mmをもって、ウェブプレートまたはせん断鉄筋(φ19)で連結し、間にコンクリートを打設する。このようなものをユニットとしてボルト接合または溶接によって立体的に組み上げるものである。

5) Bank of China's Hong Kong Branch Building — Stretching the art of composite structures¹³⁾

世界で第5位の高さ368.5m(73階建超高層ビル、香港、1988年完成)の中国銀行ビルは合成構造であって、斜

材はコンクリート充填角形パイプで出来ており、柱はH型鋼の鋼柱を鉄筋コンクリートで被覆したもの。基礎は52m辺長の正方形であって、これは斜材によって4つの三角形プリズムに分割され、1つは25階迄、次は38階迄、そしてその次は51階迄である。中央の柱は頂上から25階迄。合成構造の応用というよりは建築家 L. E. Robertson の純幾何学的表現を導入したデザインが大きな注目を浴びた。

最近、人工空間確保のための計画として、ウオータフロントの開発、水上または海上都市、大都市の地下空間開発、更に宇宙空間ステーションの建設、月の都市建設などの最先端計画が発表されている。海洋構造物のために開発され発展した技術、例えば CONDEEP 型プラットホーム¹⁴⁾ (ケーソンと中空タワーの下部構造をプレストレストコンクリート製とし、デッキなど上部構造を鋼製とした、いわゆる混合構造プラットホームと称される固定式石油生産用海洋構造) やコンクリート人工島掘削システム (鋼製デッキバージ、Honey Comb Bricks 軽量コンクリート層、鋼製 Mud Base 層をサンドイッチ式に結合した複合構造、1984年) などを大型プロジェクトに利用することによって、人工空間建設の最先端プロジェクトも実現可能になるであろう。

8. あとがき

以上広義の合成構造の最近の発展について概括した。鋼とコンクリート以外の新しい材料と複合した部材や構造が今後市場に現われてくるであろう。また、合成構造斜張橋や混合構造システム斜張橋は更に発展するであろうし、特に混合構造システムは斜張橋以外の橋梁や構造物にもその応用を拡張するものと思われる。このような応用面での発展の可能性に対して、それを支える基礎的研究が現在以上に要求されるであろう。特に異種材料の接合原理の研究、例えば提案された Leonhardt 教授の挑戦にどのように対応すべきか。合成構造は国際的にみて、大きな興味を持たれている構造であって、この構造を用いる理念を確立しておくことが大切で、IABSE の活動に期待したい。

参考文献

- 1) 土木学会関西支部共同研究グループ(代表者 谷平 勉); 限界状態設計法による合成桁橋の設計法に関する研究報告書, 昭和63年5月および昭和63年12月(改訂版).
- 2) 佐野・長井・井沢・奥井; 合成構造斜張橋の適用支間に関する一検討および構造詳細の紹介, 橋梁と基礎, 89-2
- 3) Virlogeux, M.; General Concept of the Normandy Bridge Project, 13th IABSE Congress Report, Helsinki, June 6-10, 1988.
- 4) 藤沢・亀井・井下; 菅原城北大橋主橋梁部の設計と施工, 土木学会論文集, 第403号, VI-10, 1989. 3.
- 5) Roik, K.; Werratalbrücke Hedemünden—Zur Frage der Dauerfestigkeit von Kopfbolzendübeln, Deutsche Bundesbahn, Bundesbahndirektion Hannover, Oct. 1985.
- 6) Leonhardt, F.; Zur Dauerfestigkeit von Stahlverbundträgern für Eisenbahnbrücken, Leonhardt, Andrä and Partner, Sept. 1985.
- 7) Leonhardt, F.; Kritische Bemerkungen zur Prüfung der Dauerfestigkeit von Kopfbolzendübeln für Verbundträger, Bauingenieur 63, H. 7, 1988.
- 8) 平城・前田; 西ドイツ鉄道橋の合成桁の疲労問題に関する2つの研究, 橋梁と基礎, 87-3.
- 9) 平山・青山; 北陸自動車道親不知海岸高架橋の設計と施工(上), 橋梁と基礎, 88-4.
- 10) 安達・山下; 新素材を用いたPC橋, 土木施工, 30巻5号, 1989. 5.
- 11) 田中・植村・加納・伊藤; Closed-hybrid-segment for Large Diameter Tunnel, NKK TECHNICAL REVIEW, No. 54, 1988.
- 12) 三菱重工; PWRプラントの内部コンクリートに適用する鋼板コンクリート構造の研究報告書, 昭59. 9.
- 13) Architect's vision, bank's visibility—Selective structural expression gives Bank of China's tower a pure geometry, ENR, Oct. 13, 1988.
- 14) 土木学会; 鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン, 8.8 海洋プラットホーム, 平成元年.