

報告 第二名神高速道路 錐ヶ瀧橋の設計・施工

藤田 貴司^{*1}・干村 秀次^{*2}・堤 忠彦^{*3}・藤木 和敏^{*4}

要旨：中日本高速道路（株）（旧日本道路公団）では，平成15年度の工事において，新しい契約制度のうち契約後VE提案方式を試行的に導入している。提案内容として，従来現場打ちで施工されるPC箱桁のウェブの一部をプレテンション方式のプレキャストウェブに置き換えるプレテンションウェブ橋への適用を実施している。その契約後VE提案により検討を行って提案した設計の概要，ならびに施工状況について報告する。

キーワード：契約後VE方式，コスト削減，新工法

1. はじめに

高速道路などの構造物は，品質や耐久性を向上させ，より経済的な建設を行うために，橋梁では鋼コンクリート複合橋やプレキャストセグメント工法によるPC箱桁橋など各種の新技术・新工法を開発・適用している。

また契約方法では，契約後VE方式や入札時VE提案付設計・施工一括発注方式などを試行して，今後予定している高速道路整備網を円滑に効率的に推進するために建設費のコスト削減を目指している。新しい方法を導入することで，入札参加希望者の技術開発や得意分野を最大限に活用し，建設費の削減を可能にするとともに，採用されたVE提案で，提案者へ利益が還元されるインセンティブが働くなど，従来の価格競争から技術力の競争に変換することにより，一層の技術開発促進が期待されるものである。

契約後VE提案とは，設計図書などに定める工事目的物の機能，性能を低下させることなく，受注者が請負金額を節減可能な構造や施工方法を提案するもので，第二名神高速道路錐ヶ瀧橋（PC上部工）上り線工事では提案する範囲を「PC構造物の詳細設計」とした。

具体的なVE提案の内容は，プレテンション

部材を箱桁のウェブの一部に使用する場合の設計上の課題点を，道路橋示方書²⁾（以降 道示）やJH設計要領³⁾などの技術基準に準じた設計を行うのに代わり，FEM解析など受注者が有している高度な解析技術を用いて構造物の実挙動を正確にシミュレーションした設計を行い，安全性・施工性を確保して経済的な詳細設計を行ったものである。

プレテンションウェブ橋は，高強度コンクリートを使用したプレテンション部材をウェブに用いることで，高いせん断抵抗性が確保されるので，ウェブ厚さを薄くすることが可能になることで，主桁重量が軽減できて上下部構造の規模が縮小され，橋梁建設の低コスト化が期待できる構造である。当工事では下部工は完成しているため，上部構造のみの縮小となっている。

本文では，VE提案による詳細設計と施工状況について報告する。

2. 工事概要

錐ヶ瀧橋は，東橋，中橋，西橋の3連からなる橋梁であり，その工事概要を以下に示す。また，**図-1**に中橋一般図，**図-2**に標準横断面を示す。

*1 中日本高速道路（株） 亀山工事事務所 錐ヶ瀧工事区（正会員）

*2 中日本高速道路（株） 亀山工事事務所 錐ヶ瀧工事区 工事長

*3 富士ピ・・エス（株） 技術本部 土木技術グループ グループリーダー

*4 富士ピ・・エス（株） 富士ピ・・エス・ド・ピ・建設工業・日本高圧コンクリートJV 現場代理人

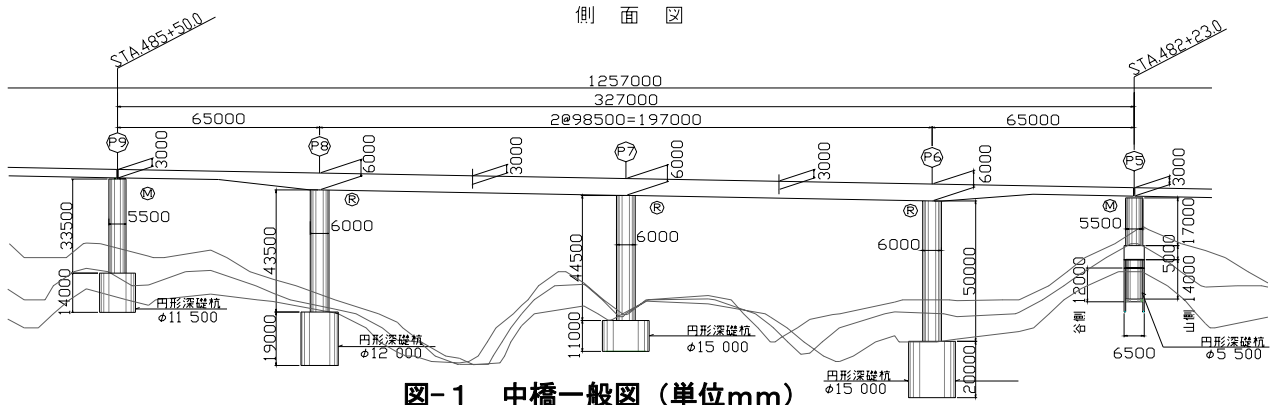


図-1 中橋一般図 (単位mm)

工事名: 第二名神高速道路

錐ヶ瀧橋 (PC 上部工) 上り線工事

路線名: 高速自動車国道 近畿自動車道名古屋
神戸線

工事位置: (自)三重県亀山市安坂山町字小総

(至)三重県亀山市安坂山町字錐ヶ瀧

構造形式: (東橋)PC 5 径間連続ラーメンストラット
ト付 2 室箱桁橋

(中橋)PC 4 径間連続ラーメン 2 室
箱桁橋

(西橋)PC 5 径間連続ラーメン 1 室
箱桁橋

設計荷重: 活荷重の適用はB活荷重とする

橋長: 445m+327m+485m=1,257m

支間長: (東橋) 57.5m+3@109.0+57.5m

(中橋) 65.0m+2@98.5m+65.0m

(西橋) 70.0m+3@115.0m+70.0m

有効幅員: (東橋) 12.309~15.670m

(中橋) 11.375~12.309m

(西橋) 11.375m

工期: 平成 16 年 1 月 29 日~平成 19 年 3 月 13 日

架設工法: 張出し架設工法

3. 設計概要

3.1 VE 概要

プレテンションウェブ橋は、「プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン (案) 平成 15 年 11 月 (社団法人プレストレストコンクリート技術協会)」⁴⁾ (以降 ガイドライン(案)) に準じて設計を行った。本橋では、VE 提案としてプレテンションウェブへの置き換えを、2 室箱桁

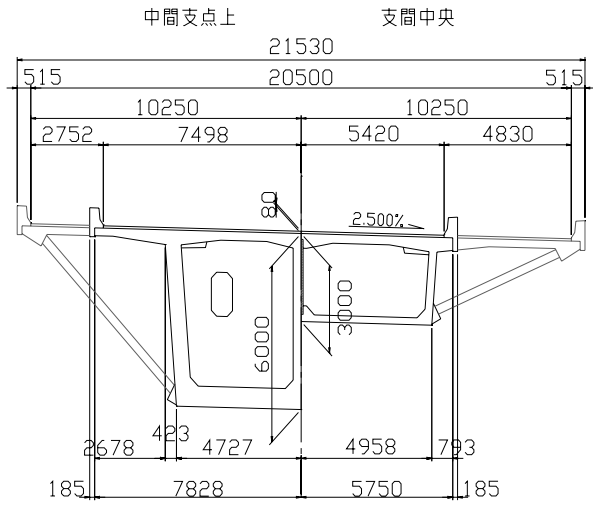


図-2 標準横断面図 (単位mm)

内の中ウェブに限定した。これは本橋の一部分をストラットで支持された床版構造の主桁⁵⁾として施工するため、外ウェブに適用した場合は、ストラット受台を含めたプレキャストウェブとすることが必要であり、製造が煩雑となること、施工が煩雑となる中ウェブのみのプレキャスト化した場合でも、現場作業の省力・効率化の効果が大きいと判断した。このように、中ウェブのみに適用した場合には中外ウェブ厚が大きく異なって、せん断力の分担比率も異なることを予想した。そのため、全ウェブをプレテンション方式のプレキャストウェブに置き換える場合の適用を範囲としたガイドライン (案)⁴⁾ に準じた設計だけでは、安全性を確保する担保が十分ではないので、部材厚の違いが及ぼす影響を詳細設計に考慮する必要があった。そこで、実橋モデルを用いた FEM 解析を用いて、せん断力分担比率の検討を行い、設計荷重時を照査する線形領域と終局限界状態を照査する非線形領域のせん

断力分担比率について検討を行った。

また、道示Ⅲ²⁾に準じた主桁のせん断に対する詳細設計では、設計荷重時において斜引張応力度の照査、終局荷重時においては斜圧縮破壊耐力の照査を行った。斜引張応力度に対してはプレストレスの効果が有効であり、プレテンションウェブの合理性が発揮されると考えられる。一方、斜圧縮破壊耐力の照査においてはプレストレスの効果を考慮できないので、終局荷重時の斜圧縮破壊耐力により部材厚さが決定する場合には、プレテンションウェブを適用することの効果が発揮できない。しかし、修正圧縮場理論によりせん断耐力の評価を行う場合、斜めひび割れ角度に及ぼすプレストレスの効果は大きく、この効果を解析的に考慮することが可能なら、さらに構造の合理化が可能になるので、本橋では、効果を解析検証し、終局荷重時の照査の平均せん断応力度最大値の制限値を新たに設定することとした。

3.2 せん断力分担比率の解析

(1) 概要

設計荷重時及び終局荷重時の中外のウェブの設計せん断力は、はり理論で求めた主桁全断面に作用するせん断力に、各ウェブのせん断力分担比率を乗じて求めた。従って設計荷重時及び終局荷重時の各ウェブのせん断力分担比率を主桁高さ、ウェブ剛性比率の違いにFEM解析を用いて求めた。図-3に検討フローを示す。

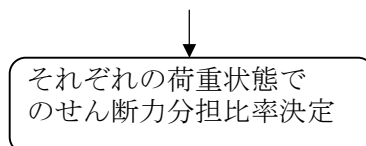
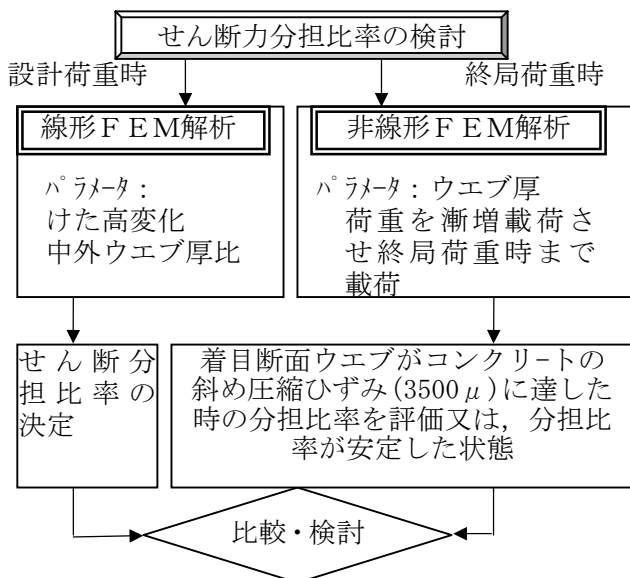


図-3 せん断力分担比率検討

(2) 設計荷重時のせん断力分担比率

中橋のP6~P7 径間全体を対象として、上部構造をシェル要素、下部構造 P6, P7 橋脚を梁要素でモデル化して行った。モデルは、中外ウェブ厚比率の異った3種類を想定し、着目断面は桁高の違いによる分担比率の影響を確認するため4断面で実施した。

(3) 解析結果

図-4より支点部 6.0m~支間中央部 3.0m の桁高が変化する範囲に対して、同一に近い比率で推移しており、桁高の違いによるせん断力分担比率への影響はないものと考えた。

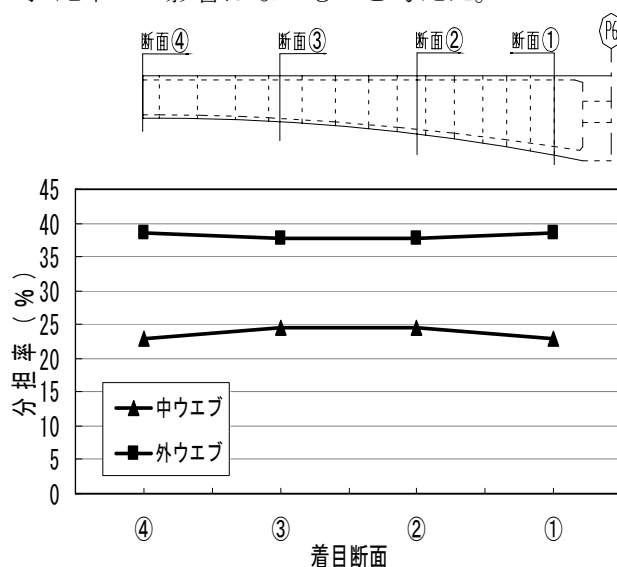


図-4 せん断力分担比率 (ウェブ厚比率一定)

ウェブ厚を変化させたときの解析も行ったが、中ウェブのウェブ厚比率が小さくなるとせん断力分担率も小さくなることが分かった。また、ウェブ厚比が 3(外): 1(中)の場合でも、せん断力分担比率比は 1.7(外): 1(中)程度となり、ウェブ厚比率にせん断力分担比率は比例しないことが確認できた。

なお、終局荷重時についても解析しているが、設計荷重時と同じ分担比率が使用できる結果となったため、記載は省略する。

3.3 せん断耐力の解析

(1) 概要

ウェブにプレストレスを導入するのでせん断破壊耐力への影響を検討するため、プレテンションウェブをモデル化した非線形FEM解析を行って効果を検証した。

解析モデルは、終局荷重時のせん断分担比率で使用したうち、中ウェブを取り出したI形(図-5)とした。

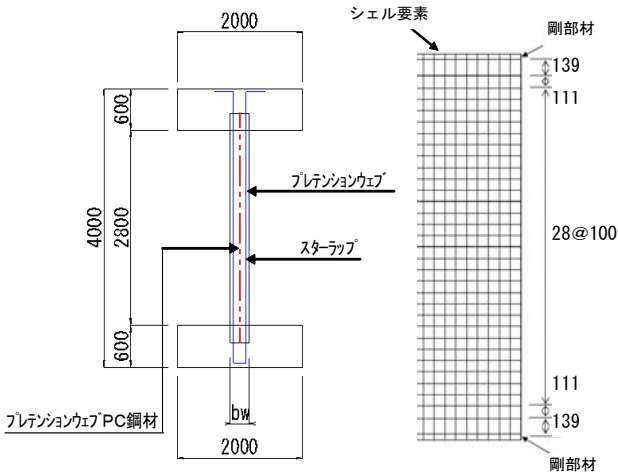


図-5 ウェブモデル構造図(単位mm)

解析は、ウェブ厚200mmのプレテンションウェブ構造とプレテンション鋼材を配置しないRCウェブ構造で行った。

(2) せん断耐力の評価

プレストレスを導入したプレテンションウェブの圧縮破壊に対するせん断耐力の評価方法について検討を行った。道示²⁾Ⅲ4.3 せん断力が作用する部材の照査 表-4.3.2 コンクリートの平均せん断応力度の最大値では、コンクリート設計基準強度に対する平均せん断応力度の最大値は、 $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$ の 6.0N/mm^2 を上限値としている。プレストレスを導入すると主応力方向の変化により、斜めひび割れ角度が大きくなる効果は解析で明らかである。この効果を適切に考慮することが、プレテンションウェブ構造の合理的な詳細設計に重要である。したがって、図-6に示す解析結果からRCウェブの解析結果が道示²⁾に規定する τ_{\max} に対する安全率と同等程度になるようにプレテンションウェブを用いる場合の τ_{\max} を定めた。

A: RCウェブ 安全率=解析結果/道示 τ_{\max}

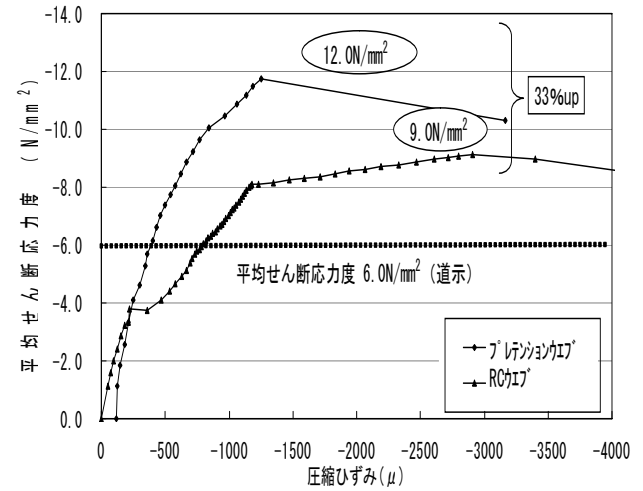
$$\text{SF}=(8.5\sim 9.0)/6.0=1.42\sim 1.50$$

B: プレテンションウェブ

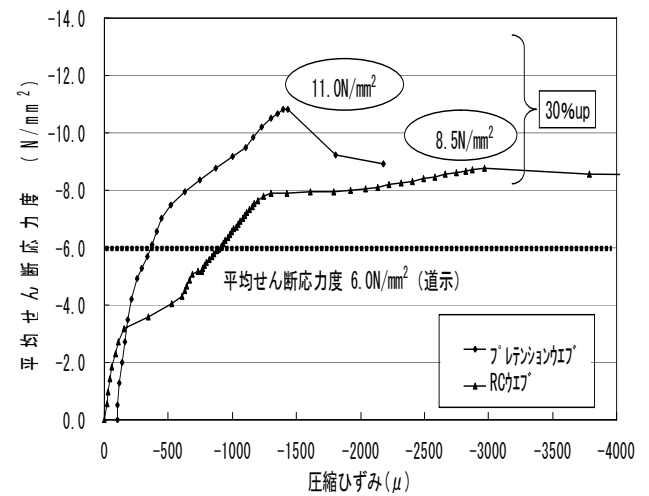
τ_{\max} を 8.0N/mm^2 とした場合

$$\text{SF}=(11.0\sim 12.0)/8.0=1.38\sim 1.50$$

以上より、せん断圧縮破壊耐力の算定に用いるせん断応力度の最大値を 8.0N/mm^2 とした場合、道示²⁾で規定する制限値を用いてRCウェブで設計される場合と同程度の安全率を有している。また、荷重の増加に伴う平均せん断応力度-圧縮ひずみ関係でも最大値まで安定して推移していることを考えると、十分妥当な数値であると考えた。



断面1



断面2

図-6 平均せん断応力度-圧縮ひずみ

3.4 プレテンションウェブ橋の設計

FEM解析を用いたせん断力分担比率及びせ

せん断耐力に関する検討結果を反映して、詳細設計を行った。図-7に設計フローを示す。

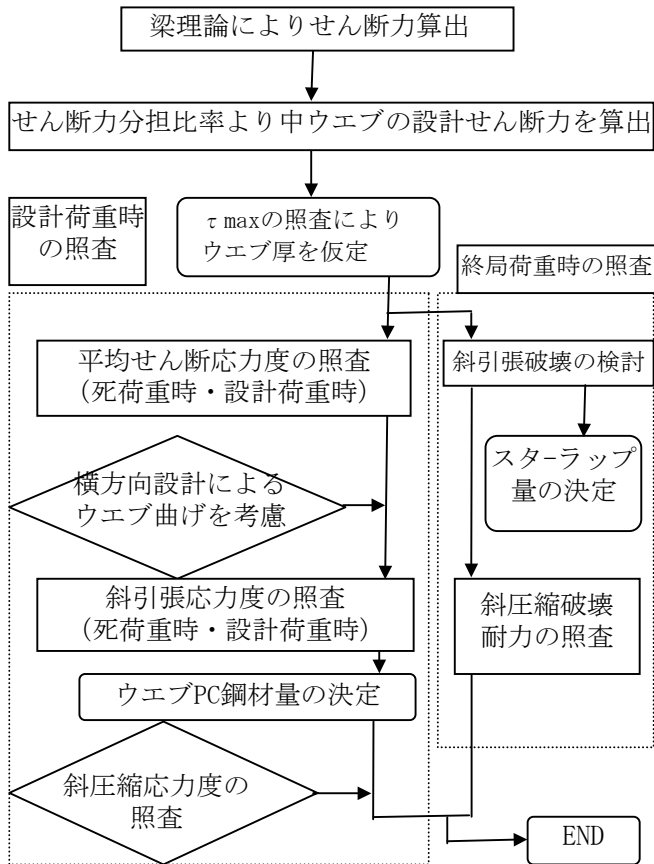


図-7 せん断に対する設計フロー

4. 実験概要

4.1 要求性能評価実験

性能については、重要となる鉛直プレストレスに着目した実験を行い、効果を検証するとともに、部材の安全性を確認した。

(1) PC鋼材の付着定着長確認実験

箱桁断面の主桁では、上下ハンチの付根で斜引張応力度が最も大きくなるため、プレストレスによるせん断補強が有効であると考えれば、定着長を低減させることは必要不可欠である。この定着に必要な長さは、 $\Phi 15.2\text{mm}$ までのPC鋼より線の場合、道示²⁾Ⅲではその直径の65倍としている。ガイドライン(案)⁴⁾では、プレテンション鋼材の選定にあたり、付着定着長の影響を考慮するように記載があり、供試体(表-1)を製作し低減効果およびプレストレス分布を確認した。

表-1 製作供試体

種類	定着方法
タイプA	付着のみの定着
タイプB	圧着グリップ+支圧版(50mm)
タイプC	圧着グリップ(70mm)
タイプD	圧着グリップ(35mm)

表-2 低減効果

種類	付着定着長	低減率
タイプA	$\Phi 53\text{mm}$	100%
タイプB	$\Phi 26\text{mm}$	49%
タイプC	$\Phi 26\text{mm}$	49%
タイプD	$\Phi 26\text{mm}$	49%

実験の結果、プレストレス導入直後の鉄筋のひずみおよびコンクリート表面ひずみを計測した結果から低減効果(表-2)が得られた。

プレストレスを確実に伝達出来る長さやコンクリートと鋼材との圧着性能およびプレテンションウェブ部材を製作する施工性などから製作供試体タイプCで定着させた圧着グリップの70mm、付着定着長は低減効果が概ね同率であるため、 $\Phi 30\text{mm}$ とした性能の評価を行うことが出来た。

(2) プレテンションウェブ曲げ載荷実験

プレテンションウェブ部材に所要のせん断抵抗力が確保されているかを確認するために、曲げ部材として鉛直プレストレスを確認することで、間接的にせん断部材としての安全性を確認した。曲げひび割れ試験は「設計・製造便覧 合成床版用プレキャスト板 平成16年9月(社団法人プレストレストコンクリート建設業協会)」⁸⁾に準じて行い、曲げモーメントは道示²⁾Ⅲ3.2コンクリート許容応力度 表-3.2.3にある設計基準強度 50N/mm^2 に対する許容曲げ引張応力度 -1.8N/mm^2 に達するまで作用させてひび割れが発生していないか確認した。(写真-1)



写真－１ 曲げ載荷試験

5. 施工の概要

5.1 プレテンションウェブの製造

製造は、現地にヤードが確保できないことと、近郊に製造可能な工場を有していたことから、品質管理の行届く工場製とした。

5.2 プレテンションウェブの架設

- ・架設は、張出し施工サイクルのうち、移動作業車の据付完了後、当日搬入されたウェブを橋面上に荷揚げ後、橋面上を移動させる。

- ・移動作業車の後方まで移動後、移動作業車に設置した吊り天井クレーンでウェブの取り込みを行う。(写真－２)

- ・ウェブを仮接合して、接着剤を塗布し引き寄せ緊張を行い、接着面を仕上げて設置完了となる。

- ・以降は型枠組立から通常のサイクルで施工進捗していく工程となる。



写真－２ ウェブ取り込み

6. おわりに

本文では、日本で初めてプレテンションウェブを用いたPC箱桁構造を採用した設計・施工

について報告した。本文が、今後の橋梁計画・設計の参考になれば幸いである。

VE提案により新しい構造を実橋へ適用する手法や高度な解析技術を詳細設計に用いることによるコスト削減効果については、現在数量精査中であることと、施工状況も含めて総合的に検証する予定である。

本橋は、平成17年6月からプレテンションウェブの製造・保管を開始し、現地の施工サイクルの工程に併せ出荷して、順次張出し架設を行っている段階である。施工については、概要を一部記載したが、今後の施工を通して得られた知見を含め、改めて報告する予定である。

参考文献

- 1) 忽那幸浩ほか:設計VEによる新技術の適用, プレストレストコンクリート, Vol.47, No.3, pp.16-24, 2005.3
- 2) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編: 社団法人日本道路協会, 2002.3
- 3) 設計要領第二集: 日本道路公団, 1997.11
- 4) プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン(案): 社団法人プレストレストコンクリート技術協会, 2003.11
- 5) ストラットに支持された床版を有するPC箱げた橋の設計・施工マニュアル(案): 財団法人高速道路技術センター, 2004.2
- 6) K. Maekawa, A. Pimanmas and H. Okamura: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, 2003.
- 7) コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 土木学会, 2002.
- 8) 設計・製造便覧合成床版用プレキャスト板: 社団法人プレストレストコンクリート建設業協会, 2004.9