

# ハッ場ダム湖面 3 橋の 5 径間連続橋の構造形式と施工

— エキストラードズド橋, PC 複合トラス・エキストラードズド橋, Y 字形橋脚の箱桁ラーメン橋 —

辻 幸和\*

ハッ場ダム湖面 1 号, 2 号, 3 号橋は, 吾妻川中流に計画中のハッ場ダム湖面を渡る PC 橋である。ハッ場ダムから上流側に数えて, 1 号橋 (ハッ場大橋), 2 号橋 (不動大橋), 3 号橋 (丸岩大橋) で, いずれも主桁が PC 5 径間の連続橋である。そしてそれぞれ, エキストラードズド橋, 鋼・コンクリート複合トラスのエキストラードズド橋, Y 字形橋脚の箱桁ラーメン橋である。わずか 3 km の区間において, 橋長が 442 m から 590 m の間で, 5 径間の連続橋で統一した 3 種類の構造形式が採用され, 独自の景観美が発揮されている。2 号橋 (不動大橋) は, 橋長が一番長く, PC 複合トラス構造を主桁としたエキストラードズド橋としては, 世界で最初の構造形式である。次に長い湖面 1 号橋は, 主桁が PC 箱桁形式のエキストラードズド橋で, 湖面 3 号橋は主桁が PC 箱桁形式のラーメン橋であるが, 中央の 2 本の橋脚は Y 字形として, 主桁の桁高を低減している。

本稿では, ハッ場ダム湖面 1 号, 2 号, 3 号橋における 5 径間連続橋で統一した設計と施工の技術的特徴を相互に比較した結果について報告する。そして, 主桁が PC 5 径間のわが国で代表的な橋が 3 橋も, 狭い区間に, 技術的, 景観的検討を経て, 最適な選定がなされ, 建設されていることを強調する。

キーワード: PC 連続橋, エキストラードズド橋, 鋼・コンクリート複合トラス・エキストラードズド橋, Y 字形橋脚のラーメン橋, 張出し施工

## 1. はじめに

ハッ場ダムは, 群馬県吾妻川中流に計画中の多目的ダムで, その建設に際しては, 現在の集落はその山側に造成して移転する方式が採用された。これにより, 吾妻川の対岸同士で密接な関係があった地区がダム湖によって遮られるため, 5 橋の湖面橋が架設された。そのうちハッ場ダム建設予定地から吾妻川の上流に, 湖面 1 号橋から 3 号橋の 3 橋が約 3 km の区間に建設された (図 - 1)<sup>1)</sup>。

本稿では, ハッ場ダム湖面 1 号, 2 号, 3 号橋における設計と施工の技術的特徴を相互に比較した結果について報

告する。主桁が PC の 5 径間に統一され, 構造形式の異なる景観に優れた大規模な橋が 3 橋も, 約 3 km の区間の狭い地域に建設されていることを強調する。

## 2. ハッ場ダム湖面 1 号橋, 2 号橋, 3 号橋の架橋位置

湖面 3 号橋の架橋位置を, 写真 - 1 に示す<sup>1)</sup>。吾妻川に沿って, ハッ場ダムの建設地点から上流側に湖面橋の番号が付いている。

湖面 1 号橋のハッ場大橋は, 県道川原畑大戸線に架けられ, 左岸の川原畑地区と右岸の川原湯地区の生活再建と地

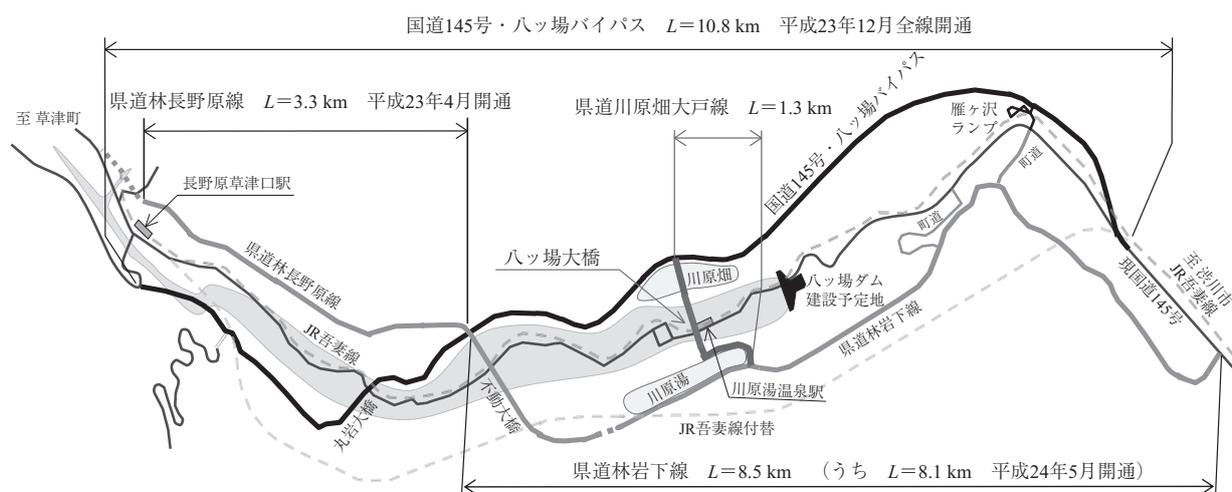


図 - 1 ハッ場ダムの湖面 1 号橋 (ハッ場大橋), 2 号橋 (不動大橋), 3 号橋 (丸岩大橋)

\*Yukikazu TSUJI: 前橋工科大学 学長



写真 - 1 ハッ場ダムから湖面1号橋と他2橋の架橋位置

域振興、川原湯温泉の振興に寄与するものである。

湖面2号橋の不動大橋は、左岸側の付替え国道145号線と右岸側の新川原湯温泉街を結ぶ県道林・東吾妻線に位置する湖面橋である。

湖面3号橋の丸岩大橋は、一般国道145号の付替え道路の橋である。右岸の横壁地区と左岸の林地区を結んでいる。

### 3. 湖面3橋の概要

湖面3橋の概要を表-1に示す。3橋の間隔は約3kmの狭い区間において、橋長は湖面3号橋の丸岩大橋が442m、湖面1号橋のハッ場大橋が494m、湖面2号橋の不動大橋が590mの順番に長くなっており、約150mの範囲で橋長が異なっている。橋脚高は最大で80m程度と高くなるため、橋の構造形式の選定に大きな制約が生じる。

橋長が600mクラスの湖面2号橋の不動大橋は、1999年時点では、(仮称) 峡南大橋として橋長が591m、幅員が13.5mの吊橋の構造形式で計画されていた<sup>2)</sup>。その後PC橋は上部構造の合理化を目指した多くの技術開発がなされてきた。そのことにより湖面2号橋では、主桁をコン

クリートと鋼の異種材料を用いたPC複合トラス構造の開発による軽量化や、エクストラード橋の橋長の長大化などを組み合わせた新構造形式が採用された。このように最大橋長にも5径間のPC橋を採用することが可能になり、統一したPCの径間数とした構造の合理化と優れた景観を考慮した新しい具体的な取組みがなされた。

PC複合トラス橋は、通常のPCの箱形断面におけるウェブを鋼トラス部材に置き換え、コンクリートの上床版と下床版に鋼トラス部材を直接結合した構造である。国内では表-2に示すような数橋の実績がある<sup>3)</sup>。

エクストラード橋は、連続桁の中間支点上に塔状の偏向部を設け、外ケーブルを主桁断面外に配置した大偏心の外ケーブル橋である。約20年前の1994年に、わが国で初めて小田原ブルーウェイブリッジに採用されて以来、国内外で数十橋の実績がある。

エクストラード橋にPC複合トラス構造を組み合わせた世界で最初の構造形式を採用することにより、橋長が600mクラスの高い橋脚を必要とするハッ場ダムの湖面2号橋も、5径間の連続橋とすることができ、湖面1号橋、湖面3号橋とともに、同一の径間数で統一して架設することができた。

表 - 1 橋梁諸元

	湖面1号橋 (ハッ場大橋)	湖面2号橋 (不動大橋)	湖面3号橋 (丸岩大橋)
構造形式	PC 5 径間連続エクストラード橋	PC 5 径間連続鋼・コンクリート複合トラスエクストラード橋	PC 5 径間連続箱桁ラーメン橋 (Y 字形橋脚)
橋長	494.0 m	590.0 m	442.0 m
スパン割	48.5 m + 94.0 m + 2@135.0 m + 78.5 m	63.4 m + 125.0 m + 2@155.0 m + 88.4 m	64.9 m + 100.0 m + 110.0 m + 100.0 m + 64.9 m
幅員	(標準部) 14.3 m, (定着部) 16.8 m, (主塔部) 19.3 m	(標準部) 13.5 m, (定着部) 16.0 m, (主塔部) 18.5 m	(標準部) 12.6 m
桁高	3.0 ~ 4.0 m	5.0 m ~ 6.0 m	2.3 m ~ 4.5 m
発注者	群馬県	国土交通省	国土交通省

表 - 2 PC 複合トラス橋の実績

橋名	最大スパン	桁高	構造形式
木ノ川高架橋	85.0 m	6.00 m	PC 4 径間連続複合トラス橋
山倉川橋梁	53.2 m	5.25 m	PC 単径間複合トラス橋
猿田川橋	110.0 m	6.50 m	PC 7 径間連続複合トラス橋
巴川橋	119.0 m	6.50 m	PC 5 径間連続複合トラス橋
志津見大橋	75.0 m	2.50 ~ 6.50 m	PC 5 径間連続複合トラス橋
不動大橋	155.0 m	5.00 ~ 6.00 m	PC 5 径間連続複合トラス橋

PC 複合トラス・エクストラードード橋である湖面 2 号橋の不動大橋の構造形式を、図 - 2 に示す<sup>3)</sup>。本橋のようなコンクリートと鋼の異種材料を組合せた材料面での複合と、複合トラス形式とエクストラードード形式を組合せた構造面での複合を併せた、PC 複合トラス・エクストラードード橋は、前述したように世界初の構造形式である。この構造形式により、スパンを 155 m までに延長することができた。橋脚の高さは、P2 橋脚が 81 m、P3 橋脚が 80 m の高橋脚である。

橋長が 494 m の湖面 1 号橋のハッ場大橋には、図 - 3 に示すように<sup>1)</sup>、5 径間連続の PC エクストラードード橋が選定された。湖面 2 号橋の不動大橋と同じ 5 径間連続の PC エクストラードード橋であり、スパンが 135 m であるので、従来の箱形断面が採用できた。橋脚の高さは、P3 橋脚が 77.5 m、P2 橋脚が 70 m のそれぞれ高橋脚である。

湖面 3 号橋の丸岩大橋の構造形式については、図 - 4 に示すように<sup>4)</sup>、両橋端に曲率を有する 5 径間連続の PC

箱桁ラーメン橋である。橋長が 442 m を 5 径間の PC 箱桁ラーメン橋とすると、スパンが 100 m 程度になり、箱桁形式では桁高さがスパン中央でも 4 m 程度と高くなる。そこで、高さが約 70 m の中央橋脚 P2 と P3 には、上から 1/3 の位置で分岐した Y 字形の橋脚構造が採用された<sup>5)</sup>。そのことにより、橋脚間隔が 110 m のスパンにおいても、主桁高さが 2.3 m から 4.5 m となり、5 径間連続の PC エクストラードード橋の湖面 1 号橋とほぼ同じ高さに抑えることができた。Y 字形の橋脚構造は、施工が大変であるが、構造的にも景観的にも優れた橋となっている。

湖面 3 号橋の設計と施工に際しては、設計と解析手法の妥当性の検証、張出し施工時の安全性の照査、コンクリート打込みにおける充填性やポンプ圧送性、および施工時ひび割れの抑制などの品質の確保に向けた検討などが必要であった。また、独自の構造形式を採用した橋は、たとえば、PC 複合トラスの格点構造の合理化と安全性の実験による照査、Y 字形橋脚の安全で工期短縮と経済性を図る施工な

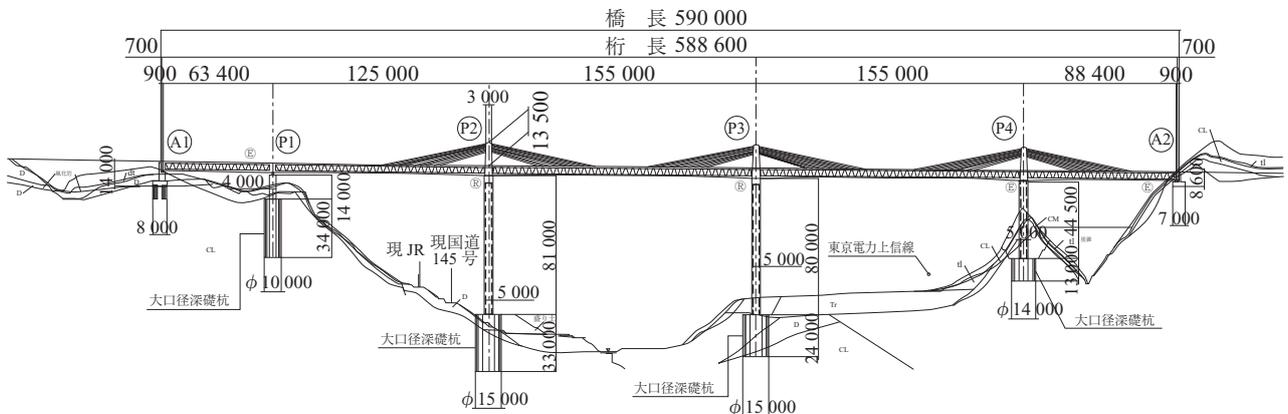


図 - 2 湖面 2 号橋（不動大橋）の橋梁一般図

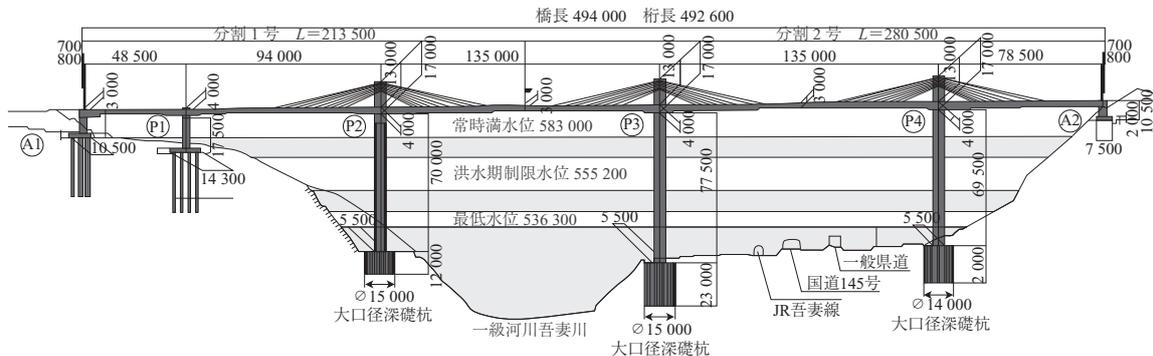


図 - 3 湖面 1 号橋（ハッ場大橋）の橋梁一般図



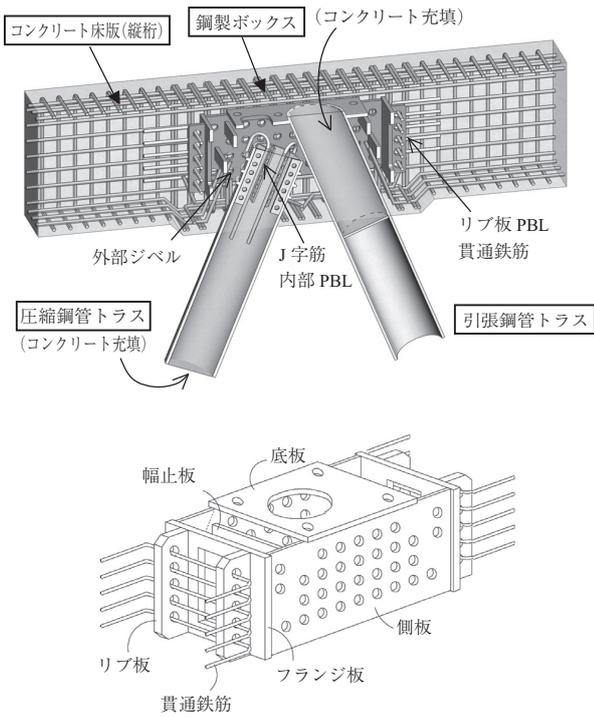


図 - 6 格点部の構成と鋼製ボックス構造

は、鋼製ボックスそのものが抵抗するのが特徴である。

技術課題に対応するため、「八ッ場ダム湖面2号橋技術検討会（座長：加島 聡（財）海洋架橋・橋梁調査会 常務理事）」が設置され、その指導・助言のもとに、施工に先立ち部分模型による実証実験を行い、トラス格点部の構造的合理性や安全性の確認がなされた。すなわち、本橋の構造的な特性および要求性能を踏まえ、① 移動作業車による張出し架設工法で施工されるため、架設段階ごとに構造系が逐次変化していく架設系、② 橋のトラス構造を構成する重要構造部位である格点部について新たに考案された鋼製ボックスを用いた完成系のそれぞれにおいて、使用目的との適合性（供用性）、構造物の安全性（耐荷性・耐震性）、耐久性、施工品質の確保、および維持管理性の考慮がなされた（写真 - 2）<sup>3)</sup>。



写真 - 2 湖面2号橋の不動大橋（後方に湖面3号橋の丸岩大橋）

また施工に際しては、下記の点に留意された。

- a. 最大で81mの高橋脚、最大張出し長で75mの長大支間でのコンクリート圧送、ならびに鋼製ボックスや鋼管、鉄筋が密に配置されている箇所でのコンクリートの充填性および確実な施工性
- b. 超大型移動作業車（吊り能力8000kN・m）の採用
- c. 斜ウェブのワーレントラスである3次元的配置の鋼トラス材の架設
- d. 貫通固定方式のサドル構造の主塔サドルおよびセミプレファブケーブルによる斜材ケーブルの合理化
- e. 熱電対を用いた床版温度およびダミーケーブルと併用の斜材温度による出来型品質管理としてのたわみ管理

## 5. 湖面1号橋のハッ場大橋の構造形式と施工

湖面1号橋のハッ場大橋の橋梁諸元を表 - 1に、橋梁一般図を図 - 3に示した。ハッ場ダムの建設地点に一番近く、橋長、橋脚高がいずれも湖面2号橋の不動大橋に次ぐものとなっている。発注者の群馬県が施工する構造形式としては、最初の5径間連続のPCエクストラード橋である。そして、70mを超える高橋脚の多径間連続橋である（写真 - 3）。



写真 - 3 湖面1号橋のハッ場大橋

高橋脚の多径間連続橋の斜張橋では、南フランスに建造されたミヨール高架橋が代表的である。斜張橋に比べて主塔が低く、斜材の角度が水平に近く配置するエクストラード橋は、吊構造の斜張橋よりも従来の桁橋に近く、主桁の剛性が大きい構造形式である。したがって、斜張橋に比べて、斜材の疲労強度が大きく、斜材の張力を大きく設定でき、斜材の軽減ができることから、コストの面で斜張橋よりも有利になる構造形式である。

このようなエクストラード橋は、約20年前に、わが国で初めて小田原ブルーウェイブリッジに採用されて以来、国内外で数十橋の実績があり、設計手法も確立されてきた。しかしながら、エクストラード橋の70mを超える高橋脚の施工は、わが国では最初の試みといえる。

吾妻川右岸側では、国道145号、一般県道、JR吾妻線が設置されている崖錐堆積層、段丘堆積層の下に、高橋脚の橋梁基礎の支持層として十分なハッ場安山岩を支持地盤

としている。また左岸は、大きく異なる地質で、ローム層、粘土・砂礫・安山岩質の岩塊が複雑に混在した岩屑流堆積物と玉石で形成される段丘堆積層の下にある川原畑層を、高橋脚の橋梁基礎の支持地盤としている。

P2橋脚、P3橋脚、P4橋脚の高橋脚の基礎工法は、いずれも直径が14mまたは15mの大口径深礎杭を採用している（写真-4、5）<sup>1)</sup>。



写真-4 湖面1号橋の大口径深礎杭



写真-5 湖面1号橋の大口径深礎杭の配筋

橋脚高さは、P2橋脚が70.0m、P3橋脚が77.5m、P4橋脚が69.5mの70mクラスの高橋脚である。そのため、設計強度が40N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートと呼び名がD51でSD490の太径高強度異形鉄筋を採用して、橋脚断面を絞っている。

P2橋脚とP3橋脚の施工には、高橋脚に適した型枠と外周・内周足場を一体化した昇降式移動足場が採用された。打込みロットが5mの場合で、1施工サイクルがわずかに7日間となり、従来工法の枠組足場の12日間と比較すると、約40%の工期短縮となった（写真-6）<sup>1)</sup>。

また、品質と安全性の向上、および施工の効率化のために、配力鉄筋の地組、コンクリートホッパーの使用、機械式継手の採用をしている。

斜材ケーブルは、湖面2号橋の不動大橋と同様に、一般的な貫通固定方式を採用している。支間のバランスがよく、重交通による疲労の懸念が少ないためである。また、



写真-6 湖面1号橋の昇降式移動足場（手前P3橋脚）と枠組足場（後方P4橋脚）

この方式の採用により、片面9本の斜材の間隔を密にでき、サドル部をユニット化して工場で作製して、現場での作業を省力できる利点がある。

## 6. 湖面3号橋の丸岩大橋の構造形式と施工

湖面3号橋の丸岩大橋の橋梁諸元を表-1に、橋梁一般図を図-4に示した。構造形式は、5径間連続のPC箱桁形式で、橋長が442mと湖面1号橋より約50m短いため、エクストラード橋を採用するまでの長さではない。主桁にはPC箱桁形式より軽量化を図って、主桁高を低減するために波形鋼板ウェブ箱桁形式、景観を高めるためにPC複合トラス構造をもつ連続ラーメン橋も考えられる。

本橋も湖面を横断する、地域のシンボリックな橋となることから、八ッ場ダム環境デザイン検討部会において、中央の2本の橋脚にY字形の橋脚構造が採用された（写真-7）。このデザインの特徴は、支間の長さを実質的に軽減することにより、橋脚間隔に対する主桁高を抑えること



写真-7 湖面3号橋の丸岩大橋

ができ、スレンダーな橋として景観にも優れた構造形式となっている。なお主桁高が最大で4.5 mとなり、湖面1号橋のエクストラードズド橋の4.0 mに近い高さに低減されている。

また多目的ダムの湖面橋であるために、夏季の制限水位時には、Y字橋脚となって見えるが、満水時には変則的な橋脚となって見え、季節によって橋自体の景観が変わる特徴を有している(図-4)。

橋脚のY字形部の施工には、自己上昇式吊りステージ工法を採用している。型枠とコンクリートの打込み時の荷重をY字形部中央に配置している上面架台から支持する構造とし、上面架台からPC鋼棒によりガーダーを吊り下げ、このガーダー上に作業床や足場を設置する工法である。この架台は、施工の進捗に合わせてリフトアップするので、接地式支保工が不要で、高橋脚の施工には適した工法である。

分岐した斜材部は、図-7に示すように<sup>5,6)</sup>、35度傾いた状態での施工になる。また非常に緻密な鉄筋の配置になっているため、橋脚施工ヤードにて、帯鉄筋をあらかじめ水平に組み立ててプレファブ化することで、施工の効率化と安全の確保を図っている。

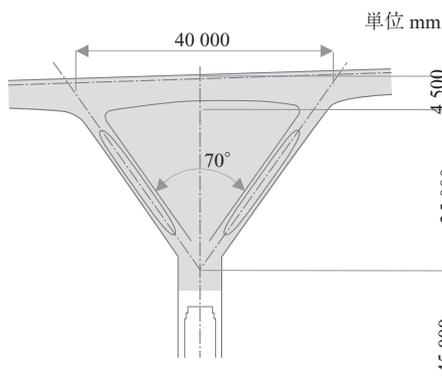


図-7 Y字形橋脚の形状寸法

## 7. おわりに

八ッ場ダム湖面1号、2号、3号橋における5径間連続橋で統一した設計と施工の技術的特徴を相互に比較した結果について報告した。そして、主桁がPC5径間のわが国

で代表的な橋が3橋も、約3 kmの狭い区間に、技術的、景観的検討を経て、最適な構造形式の選定がなされ、建設されている。エクストラードズド橋、鋼・コンクリート複合トラスのエクストラードズド橋、Y字形橋脚の箱桁ラーメン橋である。またいずれの3橋も建設に際しては、構造の特殊性を踏まえ、設計面、施工面、実証実験などのさまざまな技術検討がなされた。

最後に、本稿の作成にあたり、国土交通省関東地方整備局八ッ場ダム工事事務所、群馬県八ッ場ダム水源地域対策事務所、川田建設株式会社、三井住友建設株式会社から多くの有用な資料の提供をいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 織田澤勲, 小野文彦; 一般県道川原畑大戸線(仮称)湖面1号橋建設事業, 群馬を拓く, Vol.23, 土木学会関東支部群馬会, pp.17-21, 2013.9
- 2) 谷本光司; 関東地建設八ッ場ダム周辺道路整備で橋梁も40橋以上計画, 橋梁新聞, 平成11年6月11日
- 3) 大久保孝, 田中太郎, 大嶋秀明, 大澤浩二; 八ッ場ダム湖面2号橋の技術検討および施工 - PC複合トラス・エクストラードズド橋 -, プレストレストコンクリート, Vol.52, No.6, pp.47-56, 2010.11
- 4) 儘田 勉; 八ッ場ダム・付替国道145号3号橋上部工の施工 - Y字橋脚構造を有するPC5径間連続ラーメン橋 -, 群馬を拓く, 第19号, 土木学会関東支部群馬会, pp.28-31, 2009.7
- 5) 澁谷慎一, 藤田 浩, 松村春雄, 木村裕史, 山田哲治, 堀江芳一; 八ッ場ダム湖面3号橋上部工の施工 - Y字形橋脚構造を有するPC5径間連続ラーメン橋, 橋梁と基礎, pp.5-12, 2009.2
- 6) 堀江芳一, 藤田 浩, 儘田 勉, 松村春雄; Y字形橋脚を有する連続ラーメン橋の施工 - 八ッ場ダム湖面3号橋 -, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.17, pp.381-384, 2008.11
- 7) 木村是一, 山村正人, 本田 明, 山口統央, 南 浩郎; 那智勝浦道路木ノ川高架橋の設計 - 鋼・コンクリート複合トラス橋 -, 橋梁と基礎, Vol.36, No.10, pp.31-35, 2002.10
- 8) 石田 清, 木戸素子, 小山幸寛, 大久保秀樹; 羽越線山倉川橋りょうの設計・施工 - 鋼管トラスウェブPC開床式下路桁 -, プレストレストコンクリート, Vol.46, No.2, pp.56-63, 2004.3
- 9) 北野勇一, 中山良直, 牛木敬一, 小林丘明; 複合トラス格点構造に関する実証実験(八ッ場ダム湖面2号橋), プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.19, pp.55-60, 2010.10

【2013年11月22日受付】