

(42) 鋼管ストラットで支持された床版を有するPC箱桁橋の計画と設計

建設省 苫田ダム工事事務所	正会員	西村 明
アジア航測(株)	正会員	○高橋 恵悟
アジア航測(株)		平田 典生
アジア航測(株)		前田 志穂

1. はじめに

近年、PC橋の軽量化を目的としてウェブに鋼材を用いた複合構造が注目されているが、従来のPC箱桁の床組に鋼管ストラットを用いる方法も自重軽減に有効である。この構造では、PC箱桁断面の片持ち床版先端と下床版側面との間に鋼管ストラットを設けることで、片持ち部が鋼管ストラットを斜材とするトラスを構成する。このトラスの効果によって片持ち版が支間長の短い両端支持版となるため、ウェブ枚数が少なく床版厚の薄い主桁断面とすることが可能となり、主桁の軽量化による主ケーブル量の減少や横締めケーブルの省略など多くのメリットが得られる。

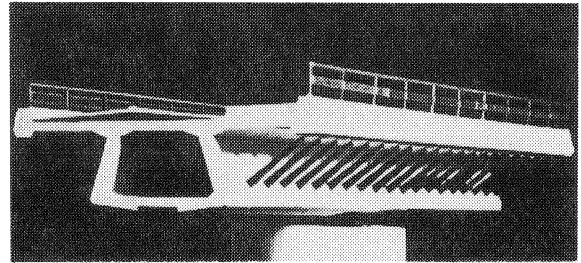


図-1 模型写真

苫田ダム付替県道橋(図-2)の計画では、鋼管ストラットを用いた断面に加え、外ケーブルを採用してウェブ厚を薄くしたことから、同規模のPC箱桁に比べて15%程度の軽量化を実現した。本文ではこの橋梁の構造特性と床版の挙動を把握するために行った構造解析および設計の概要について述べる。

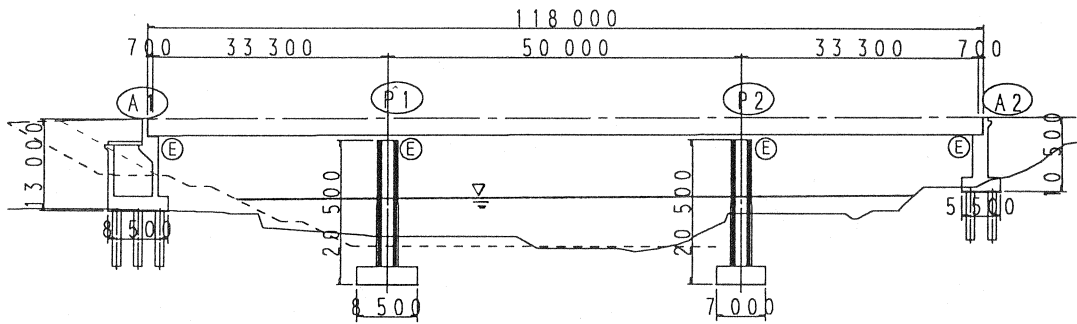


図-2 全体側面図

2. 構造の概要

片持ち床版の先端を鋼管ストラットで支持したPC箱桁断面は、従来の断面に比べて下記のようなメリットがある。

1) RC床版2室箱桁断面に対して

- ・ウェブを1枚省略できるので橋体重量が減少する
- ・自重の減少に伴ってPC鋼材量も減少する
- ・1室断面のため施工性が向上する

2) PC床版1室箱桁断面に対して

- ・支間の短い両端支持版となるので必要床版厚が薄くなる。
- ・横締めPC鋼材を省略しRC床版とすることができる

本橋の断面形状は図-3に示す正台形の箱を基本としている。これは、上床版においてはウェブと鋼管ストラットで支持される床版の支間が3m程度以下となるようなウェブ位置とすること、下床版はゴム支承に大きな上揚力が作用しない幅を確保することによって決定した。また、各部の厚さは、上床版が道示ⅢのRC床版の規定によって決定される他、ウェブは外ケーブルとの併用により1列配置となる内ケーブルと施工時のパイプレーターが挿入可能な厚さまで、下床版はRC部材としての最小厚まで縮小した。このような部材構成に加えて下床版の両端と上床版先端との間に鋼管ストラットを設けたことにより、構造的にも視覚的にもバランスのとれた断面形状となった。

本橋の単位面積当たりのコンクリート量を既存のPC橋と対比させると図-4のようになり、橋体の軽量化に伴って小さな値を示していることがわかる。また、この断面と従来の1室および2室箱桁断面を本橋の条件に適用した場合について比較検討を行った結果(表-1)、RC床版2室箱桁断面に対しては、橋体重量(コンクリート量)15%、ケーブル量33%程度の低減が、PC床版1室箱桁断面に対しては、橋体重量13%、ケーブル量26%程度が低減され、加えて横締めケーブル4.9tが不要となった。

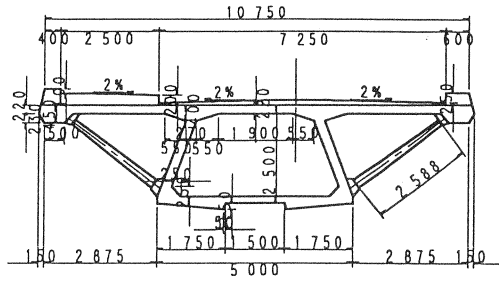


図-3 断面詳細図

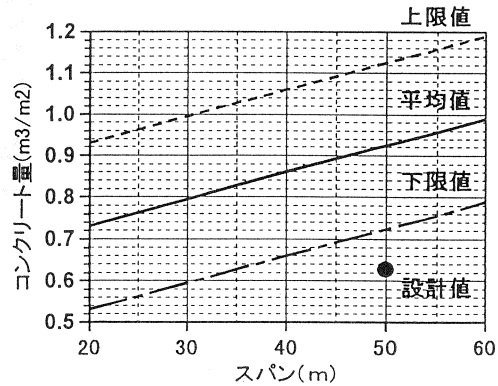
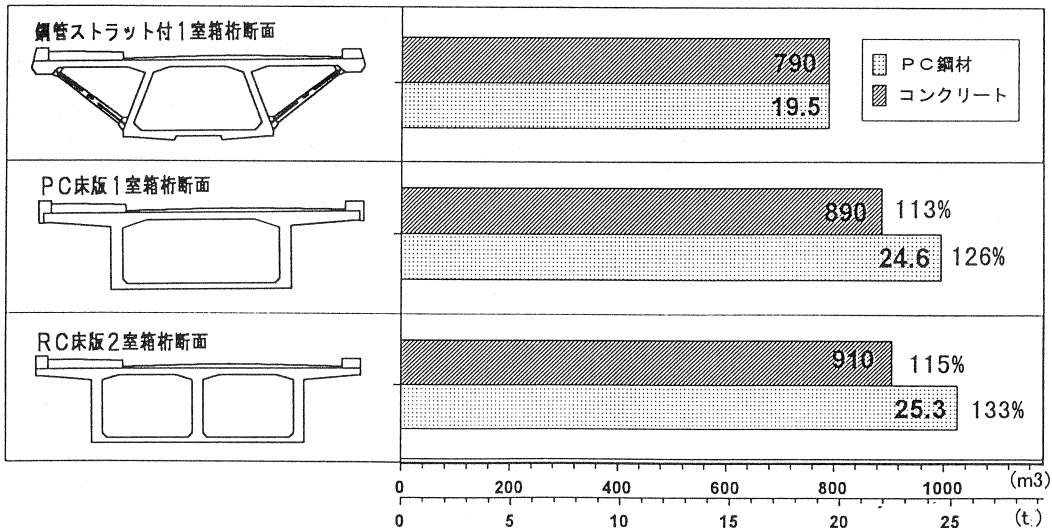


図-4 単位面積当たりコンクリート量

表-1 断面特性の比較



3. 床組・床版の設計

(1) 床版の設計方法

床版の設計は、ウェブと床版先端下側の鋼管ストラットに支持された1方向版に近い挙動を示すように、床版先端の地覆下側にRC構造の縦桁を設けた。これにより、活荷重による床版の設計曲げモーメントは、道示に示される連続版の一般式による計算値を基本とすることが可能となる。床版の設計では図-5に示す鋼管ストラットと床版を立体骨組構造でモデル化したフレーム解析により算出される曲げモーメントに20%の割増しを考慮した値と道示の一般式による値を比較し(表-2)、安全側の値を設計値として用いた。

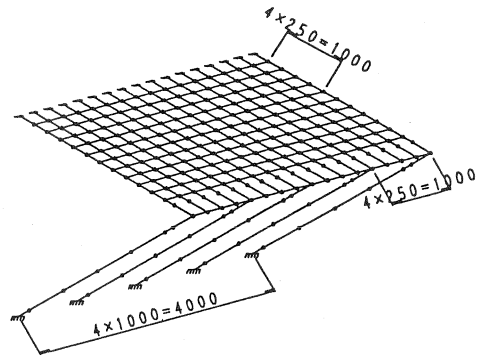


図-5 立体骨組解析モデル

表-2 床版の設計曲げモーメント

	支間モーメント		支点モーメント
	主鉄筋方向	配力筋方向	主鉄筋方向
解析値	2.456	1.570	-5.115
解析値×安全率	2.947	1.884	-6.138
版の区分	連続版	連続版	連続版
示方書計算式	$(0.12L+0.07)P*0.8$	$(0.10L+0.04)P*0.8$	$-(0.15L+0.125)P$
示方書計算値	3.494	2.664	-5.645
設計値	3.494	2.664	-6.138

(tfm)

さらに、このような設計方法の妥当性を検証するため、床版と鋼管ストラットからなる床組部分をシェル要素でモデル化した立体 FEM 解析を行って比較した結果、図-6に示すように立体骨組み解析と FEM 解析の曲げモーメントの値は概ね一致しており、解析の妥当性と安全性が確認された。

また、2種類の解析を行った結果から、先端を鋼管ストラットに支持された床版は、基本的には両端固定版としての挙動を示すが、鋼管ストラット支持部の剛性(たわみ易さ)がウェブ付け根に比べて大きいこと、縦桁の回転拘束が小さいことなどから、両端固定版に比べてウェブ側の固定端モーメントが大きく支間モーメントが小さくなる傾向になることがわかった。

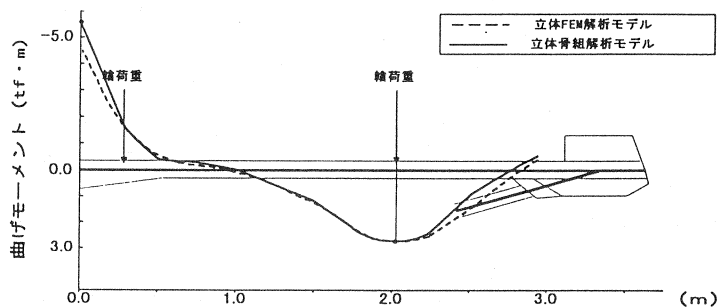


図-6 曲げモーメントの比較

(2) 床版の断面力特性

a) 縦桁の影響

本橋では鋼管ストラットに支持された床版が道示に示されるような1方向版に近い挙動を示すように地覆下側に縦桁を設けたが、この効果を確認するために縦桁の有無をモデル化した立体骨組解析を行った。

図-7の△、□および○は縦桁有りの場合、▲、■および●は縦桁無しの場合における鋼管ストラット間隔をパラメーターとした床版の曲げモーメントの変化を示している。この図からわかるように、縦桁有りの場合は鋼管ストラットの間隔にかかわらずに主鉄筋方向の曲げモーメントが卓越しており、配力筋方向の曲げモーメントとの相対関係は概ね変わらないことから、1方向版としての挙動を示していると考えられる。しかしながら、縦桁無しの場合は鋼管ストラット間隔の広がりに伴って配力筋方向の曲げモーメントが卓越するようになり、明らかに橋軸方向の支間長の影響を受けていることがわかる。以上の検討結果から、床版先端の縦桁は床版自体の力の流れを明確にするために有効な構造であることが確認された。

b) 鋼管ストラットの間隔の影響

鋼管ストラット間隔と床版の曲げモーメントの関係は、同様に図-7から読みとることができる。図中の□は床版支間部の主鉄筋方向の曲げモーメントを示すが、鋼管ストラット間隔が広がってもほとんど変化していない。また図中の△ウェブ側の支点曲げモーメントを示すが、鋼管ストラット間隔の広がりに応じて増加する傾向にある。これは図中の▽で示される床版先端のたわみとリニアな関係を示していることから、鋼管ストラット支持点のたわみによる付加曲げモーメントの影響と推定することができる。

これらの検討結果を総合すると、鋼管ストラット間隔を3mまで大きくしても床版の支間モーメントはほとんど変化せず、かつウェブ側の支点モーメントも7%程度の増加しか見られないことから、適度な剛性をもつ縦桁を設けることにより、鋼管ストラット間隔は広くできることがわかった。

C) 鋼管ストラットの角度の影響

上記の検討から、床版の曲げモーメントに対しては鋼管ストラット取付部のたわみ特性が影響することがわかったが、たわみ特性には、縦桁の剛性、鋼管ストラット間隔の他に鋼管ストラットの取付角が大きな影

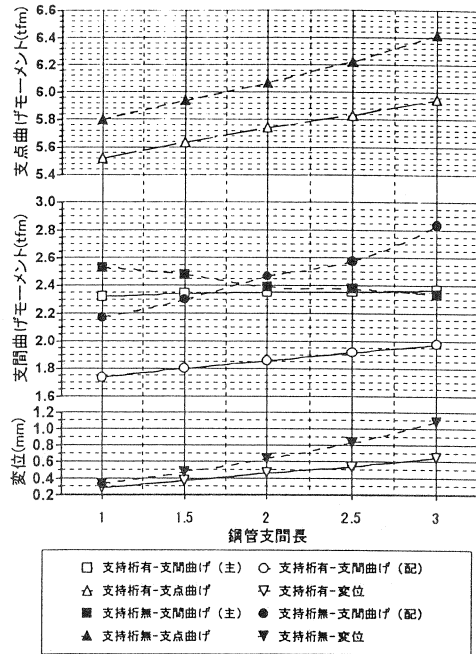


図-7 床版曲げモーメント

(鋼管ストラット間隔)

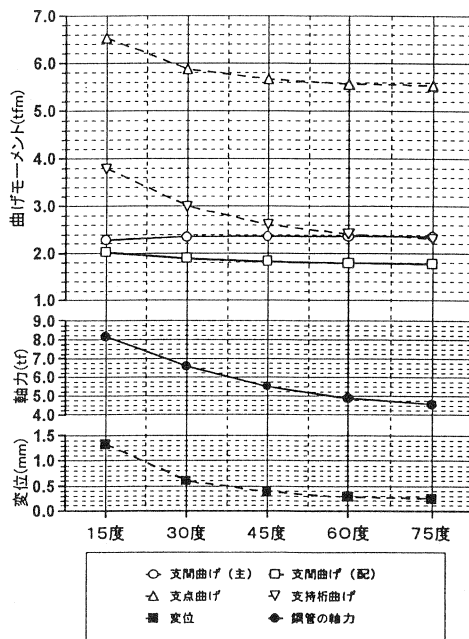


図-8 床版および縦桁の曲げモーメント、軸力

(鋼管ストラット角度)

響を与えると推定できる。図-8は鋼管ストラット間隔を2mに固定し、角度のみを変化させた場合の床版および縦桁の曲げモーメント、軸力の変化を表しているが、角度の変化と床版軸力は概ね1次比例している。また、支間モーメントは角度にかかわらずほぼ一定の値を示すが、縦桁のたわみと曲げモーメントおよびウェブ側の支点モーメントは角度が30度より小さくなると急激に増加することがわかる。一方、鋼管ストラット構造を採用する目的を考えると、必要以上に角度の大きい構造は床版の支持間隔が小さく無意味であり、逆に角度の小さ過ぎる構造はストラットの効果が薄くなる。このような構造特性を踏まえれば実用的な角度の範囲は概ね30度から45度程度と考えられるが、この範囲では特に問題なく鋼管ストラットの角度を選定できることがわかった。

(3) 鋼管ストラットの断面力

鋼管ストラットはトラスの圧縮斜材の機能が期待される部材である。設計上は曲げモーメントと軸力を受ける柱として扱うが、鋼管は床版に比べて曲げ剛性が著しく小さいので概ね軸圧縮部材に近い状態となる。図-9は鋼管ストラットの取付角と鋼管の固定端に発生する曲げモーメントおよび軸力の関係を示しているが、取付角が30度以下になると曲げモーメントが急激に増加する傾向がわかる。また、図-10は鋼管ストラット間隔と鋼管の断面力の関係を表している。概ね鋼管ストラット間隔に比例して軸力は増加、曲げモーメントは減少していることより、鋼管ストラットの間隔が広がるほど軸力が卓越する部材になることがわかる。

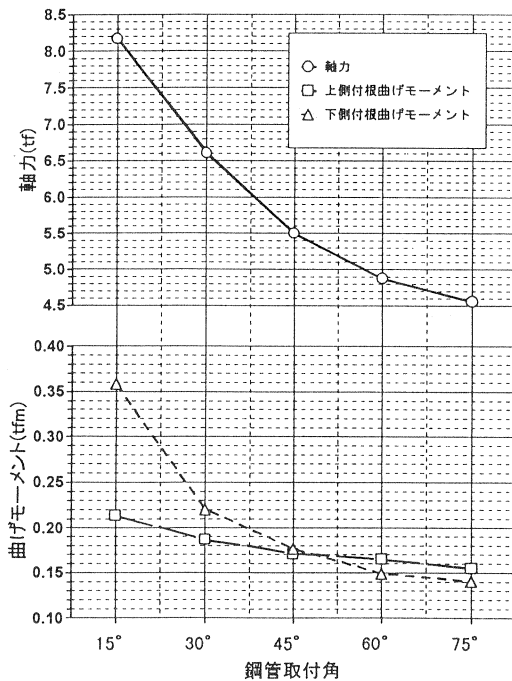


図-9 鋼管ストラットの軸力、曲げモーメント  
(鋼管ストラット角度)

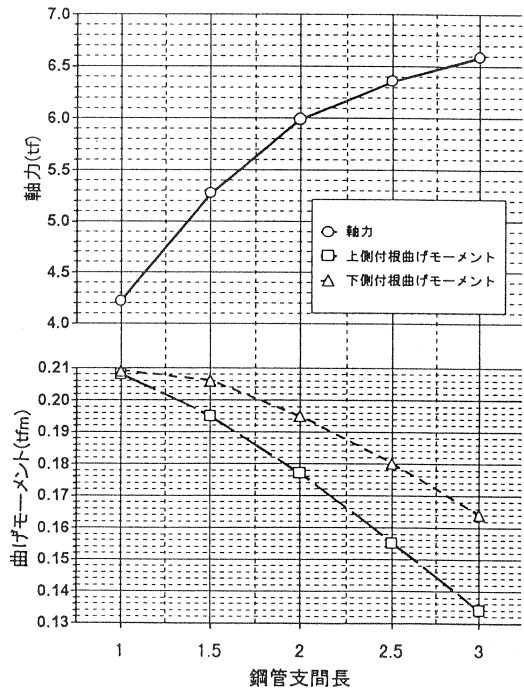


図-10 鋼管ストラットの軸力、曲げモーメント  
(鋼管ストラット間隔)

#### 4. 鋼管ストラット取付部

本橋はダム湖周辺全域を対象とした景観検討における橋梁でもあることから、詳細設計の中で主桁の断面形状、鋼管ストラットの形状・間隔や取付方法などの構造デザインを検討し、構造、施工、景観の広い観点から細部を決定している。特にテーパをつけた鋼管ストラット取付部の台座構造など、局部の応力集中が予想される部分については図-11 に示すソリッドモデルを用いた FEM 解析を実施し、安全性を確認している。

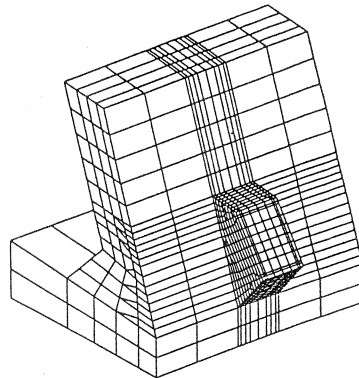


図-11 FEM解析モデル

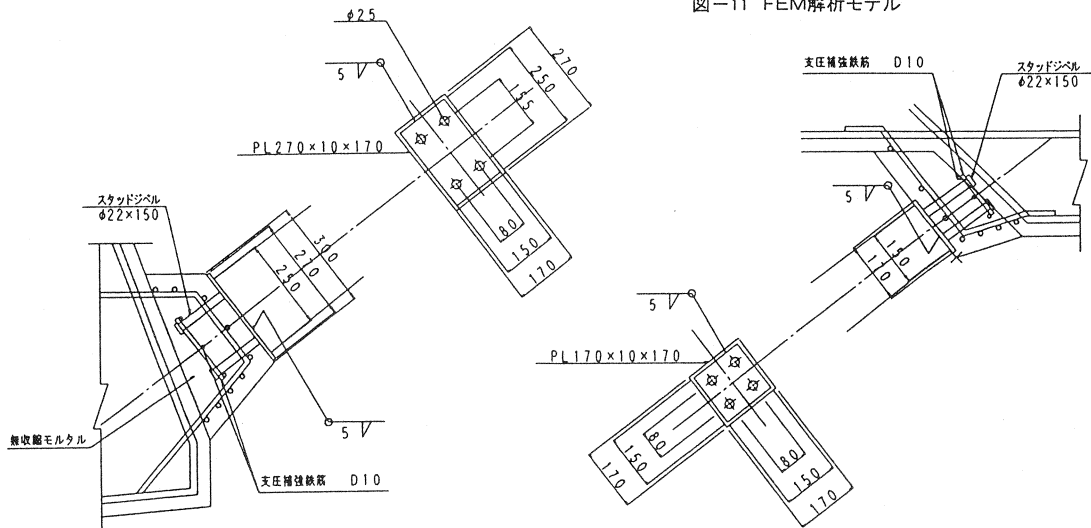


図-12 鋼管ストラット取付詳細図

おわりに

本橋では比較的規模の小さいRC床版を対象に鋼管ストラットを用いた場合の構造特性について検討を行ったが、従来のPC箱桁断面に比べ、軽量化に起因する多くのメリットが得られることがわかった。今後は支間の大きいPC床版への適用や、波形鋼板ウェブなどの複合構造との組合せによって、より合理的かつ大規模な橋梁構造への発展が期待されるが、同時に軽量化に伴う耐久性の低下などが生じないよう、十分な配慮が必要と考える。本研究が今後のPC構造の発展に役立てば幸いである。

参考文献

安森, 蝦名, 上平, 園田: Xトラスを有する波形鋼板ウェブPC橋の力学特性, プレストレスとコンクリートの発展に関する論文集, 平成10年10月