

一定せん断流パネルをPC橋に適用する場合のモデル化検討

(株)オリエンタルコンサルタンツ (正) ○原田 健彦, 同左 (正) 栗山 照雄

国土交通省 国土技術政策総合研究所 河野 晴彦, 同左 白戸 真大, 同左 (正) 星隈 順一

1. まえがき

PC 橋の設計計算では主桁を一本のはりとして扱い、応力度については公称応力を算出することが大半である。しかし、局所的な応力分布の変化は、耐荷力や耐久性の信頼性に影響を与える可能性もある。そこで、経験的な用心鉄筋の配置やコンクリート打設等の施工上の工夫で対処されることが多いが、PC 橋の初期品質向上のためには、設計計算の段階で、初期ひびわれ発生の可能性を最小限にする断面形状等の検討が望まれる。一方で、必要に応じてシェル要素等を用いた有限要素解析を行って主応力を求め、細部構造の検討や施工上必要な工夫について検討されることもある。しかし、主要な設計計算で用いる許容値は、公称応力と対比することを前提にした実験の整理結果や経験の積み上げによるものが大部分であるので、はりを前提にした設計計算の実施も欠かせない。そこで、これらを同時に検討できる手法があれば、設計の合理化と高度化を実現できると考えた。

一定せん断流パネルを用いた解析¹⁾は、その定式化上、公称応力とせん断流を同時に算出できるものであり、鋼道路橋の合理的設計法の一つとして研究されている。PC 橋も基本的には床版、ウェブ等を弾性体として扱うことでその適用が期待されるが、プレストレスのモデル化方法が確立されていないという課題がある。そこで本検討では、本解析手法を PC 橋に適用する場合のモデル化検討を実施した。

2. 一定せん断流パネル解析のPC箱桁橋への適用

(1)一定せん断流パネル解析の概要 一定せん断流パネルは、図-1 に示すように、せん断のみに抵抗する板要素とその周囲の曲げに伴う垂直応力のみを負担するはり要素(以下、縁部材と称す)から構成される要素(以下、せんパネと称す)であり、板要素と縁部材間には同図に示す内力分布の関係がある。このせんパネを用いて床版やウェブ等の部材をモデル化し、解析する手法が一定せん断流パネル解析である。

(2)PC箱桁橋への適用 PC 箱桁橋では、鋼橋と異なり、部材厚が厚く、ハンチやテーパーを有するため、図-2 に示すように板要素には平均部材厚 t_m とせん断弾性係数 G を与えてせん断変形のみ抵抗させる。また、表-1 に示すように、縁部材には断面積 A および弾性係数 E をそれぞれ持たせて軸変形および面内曲げ変形に伴う垂直応力を負担させ、面外曲げ変形に対しては断面二次モーメント I_z を与えて抵抗させる。なお、せんパネの面内せん断変形を拘束しないように、縁部材の面内断面二次モーメント I_y には小さな値を入力した。

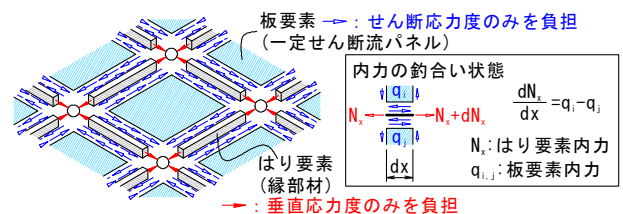


図-1 一定せん断流パネルの構成と内力分布(概念図)

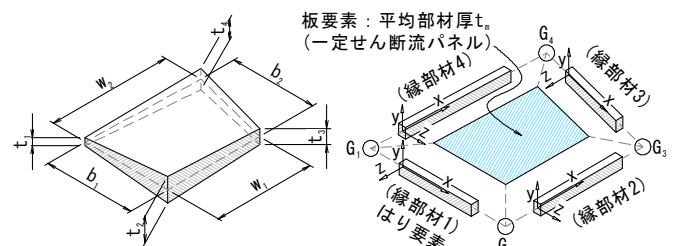


図-2 一定せん断流パネルの構成

表-1 縁部材に持たせる断面定数(記号は図-2 参照)

縁部材	断面積 A	断面二次モーメント	
		面外 I_z	面内 I_y
1, 3	$t_m \times (w_1 + w_2) / 4$	$t_m^3 \times (w_1 + w_2) / 48$	$I_y \approx 0$
2, 4	$t_m \times (b_1 + b_2) / 4$	$t_m^3 \times (b_1 + b_2) / 48$	$I_y \approx 0$

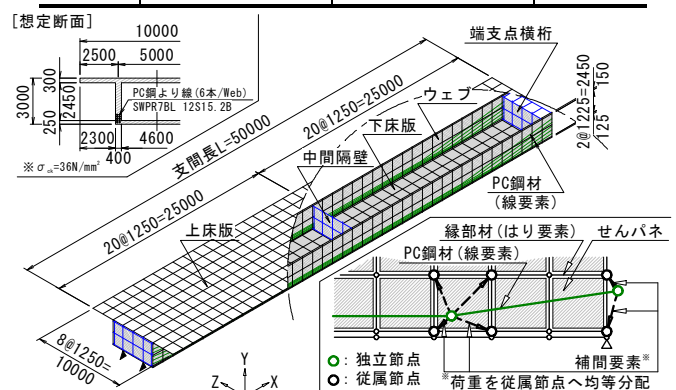


図-3 PC箱桁橋におけるせんパネ解析モデルの例

キーワード：PC 箱桁橋、一定せん断流パネル、骨組解析、公称応力、せん断遅れ、許容応力度

連絡先：〒530-0005 大阪市北区中之島 3-2-18, TEL: 06-6479-2137, FAX: 06-6479-0506.

PC 単純箱桁橋を対象としたせんパネ解析モデルの例を図-3 に示す。図の例では、張出床版は床版支間方向に2分割し、中間床版は同4分割としており、横桁や中間隔壁もせんパネを組み合わせてモデル化した。PC 鋼材には線要素を用い、モデル化する1部材当りの鋼材断面積 A_p を持たせ、その定着部や偏向部のモデル化には仮定の補間要素を用いた。またプレストレスは、PC 鋼材を構成する線要素のみに導入応力度相当の鋼材ひずみを生じさせる温度荷重(温度降下)を与えることで表現した。その際、鋼材自身の伸び剛性を小さくする目的で、表-2 に示すように、線膨張係数 α_p および弾性係数 E_p をそれぞれ調整することで、鋼材要素に導入プレストレス力相当の断面力が発生することを確認した²⁾。その他は、鋼橋における研究成果を活用し、得られた断面力から応力度の算出を行った。

3. せんパネ解析による試算結果

(1) 公称応力の算定 図-3 に示すPC 単純箱桁橋を対象とする試算結果の代表として、プレストレス作用時における上床版上縁応力度 σ_U の分布を図-4 に示す。図中<1>~<9>の実線は橋軸方向の各縁部材における解析値を示したものであり、縁部材両端の断面力から公称応力を算出した(図-5)。また、図中一点鎖線は一本のほりによる従来設計値を示したものであり、両者は良く一致する。端支点付近のせんパネ解析値に着目すると、張出床版端部<1>とウェブ上<3>で σ_U が異なっていることもわかる。これは、従来設計において有効伝達長や有効幅として考慮されるせん断遅れの影響をせんパネにより評価できたためと考えられる。

なお、面内せん断応力度 τ_{xz} は、板要素から得られるせん断流 q を平均板厚 t_m で除すことで公称応力として算出する。

(2) 主応力の算定 図-6 は、プレストレス作用時における上床版上縁の最大・最小主応力分布をコンターベクトルで表したものであり、板要素のせん断応力度 τ_{xz} とその外周の縁部材の垂直応力度 σ を用い、図-7 に示す要領で主応力の大きさと向きをそれぞれ算出したものである。前述の σ_U 分布が桁端付近で一様ではないこと、ならびに図-6 に見るプレストレス作用時の主応力の広がり様子から、せん断変形の影響が無視される従来のほり曲げ理論に対し、せんパネ解析では、板要素に生じた τ_{xz} と等価な σ が縁部材に伝達され、せん断遅れの影響を評価できることがわかる。

表-2 PC 鋼材の材料定数の設定とプレストレスの再現

項目	記号[単位]	調整前	調整後	比率
線膨張係数	α_p [1/°C]	1.2×10^{-5}	1.2×10^{-2}	1000
弾性係数	E_p [MPa]	2.0×10^5	2.0×10^2	0.001
導入応力度	σ_i [MPa]	1000	1000	-
解析値※	σ_p [MPa]	920.93	1000.05	-
再現率	σ_p / σ_i	0.92	1.00	-

※解析値 σ_p ：全鋼材平均値

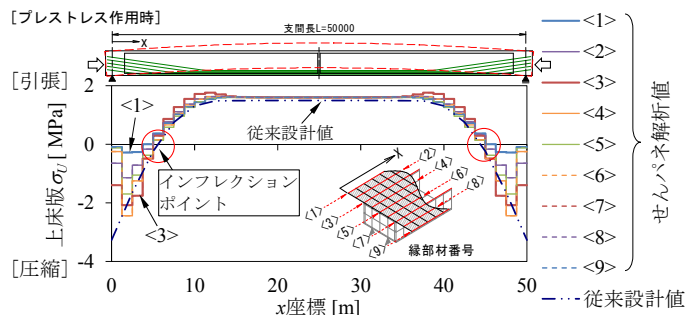


図-4 プレストレス作用時の上床版上縁応力度 σ_U 分布

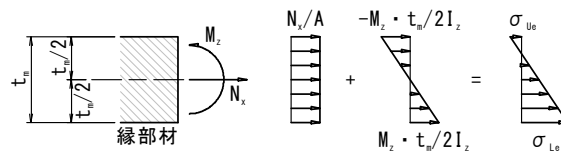


図-5 上・下縁応力度の算定

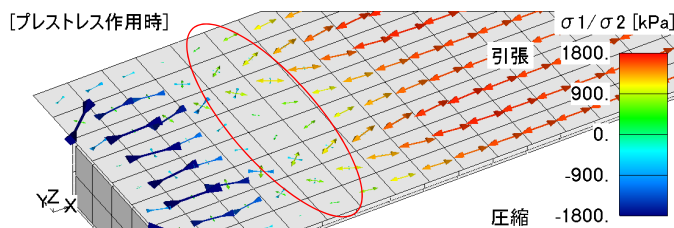


図-6 主応力分布(コンターベクトル表示の例)

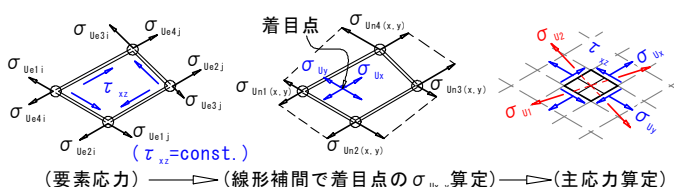


図-7 最大・最小主応力算定の流れ(上縁応力度の例)

4. むすび

せんパネ解析を PC 橋へ適用する場合のプレストレスのモデル化方法について整理し、縁部材の断面力から公称応力を算出可能な PC 箱桁橋のせんパネモデルを示した。また本モデルでは、板要素をモデルに組み込むことでせん断変形の影響を評価でき、主応力の大きさや向きを表現できることを明らかにした。

参考文献 1) 例えば、玉越ら：鋼道路橋の合理的な設計解析手法に関する研究—一定せん断流パネルを主体とした鋼道路橋の設計手法—、国総研資料第 841 号、H27.3. 2) 狩野ら：PC 橋の簡易解析手法に関する基礎的研究、構造工学論文集 Vol.62A, pp.166-173, H28.3.