一定せん断流パネルを適用したＰＣ橋の試設計

(株)オリエンタルコンサルタンツ　(正) ○栗山 照雄，同左　(正)　原田 健彦
元　国土交通省 国土技術政策総合研究所［現 (株)富士ピー・エス］　(正)　正木　守
国土交通省 国土技術政策総合研究所　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，応力については，公称応力を算出することが大半である．他方，耐荷力や耐久性の信頼性に影響を与える初期ひびわれは局所的な応力分布の変化が原因であることが多く，公称応力の算出だけでは設計計算にて十分に対処することが難しい．そこで，前稿では，公称応力だけでなく，主応力も同時に算出される設計計算手法として提案されている一定せん断流パネル [1](以下，せんパネと称す)を用いた解析について，PC 橋の設計に用いるにあたって必要となるプレストレスのモデル化を検討し，一定の適用性が確認できた．本稿では，その解析の特徴を生かし，桁高変化を有する PC 箱桁橋について，段階施工時の収縮差による発生応力の評価や，許容応力度の設計計算を主方向，横方向を同時に行い，求まるせん断流分布を用いてひびわれ防止のための鋼材配置を同時に設計することを試みる．

2. 着目する変状と従来設計の照査方法

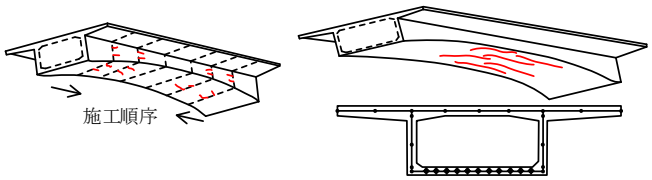
PC 橋は架設時に温度やクリープ・乾燥収縮，材令差等により応力状態が刻々と変化し，不適当な応力が累積され残留すると施工時段階で変状が顕在化する [2]．ここでは，せんパネ要素の特性を生かせる可能性，ひびわれ防止の観点で実務における設計の課題があると考えられた以下の 2 項目に着目した．

(1) 材齢差に伴う打継目の変状　打継付近の主桁縦方向に発生するひびわれである(図-1(a))．この打継付近ひびわれは，ブロック施工等で打継を設けた場合に先施工側のコンクリートが硬化し，この外部拘束により後施工側の RC 部材であるウェブ下床版コンクリートに発生する引張応力により生じるひびわれである．この変状に対しては，材料的な工夫や構造細目の規定から後施工コンクリートに用心鉄筋が配置されてきた．

(2) 下床版ケーブルの腹圧力に伴う変状　桁高変化を有し下床版 PC ケーブルを配置する場合，図-2(a)に示す腹圧力により図-1(b)のひびわれが生じる場合がある [3]．このひびわれは図-2(a)に示す下床版の鉛直下向きに腹圧力 N が作用し，曲げにより床版下面に生じるものである．従来設計では図-2(b)に示すように横方向ボックスラーメンモデルを用い，別途腹圧力から算出する鉛直成分を作用させて横方向の曲げモーメントを算出し，断面計算から補強鉄筋量を算出するように，照査を組み合わせて設計を行っている．なお，床版支間が大きい場合や，多室箱桁等の特殊な場合には FEM 解析などを用いて対処している．

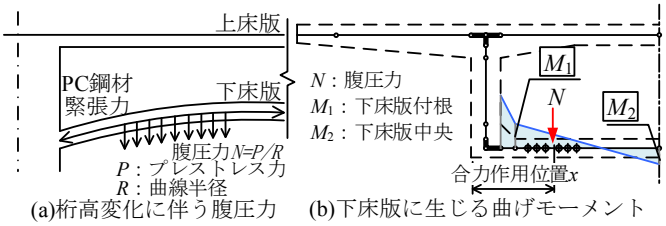
3. せんパネモデル試設計

(1) 対象橋　橋長 142m，最大支間長 59m，支点部桁高 3.5m，支間中央桁高 1.8m の桁高変化を有する PC3 径間連続ラーメン箱桁橋とした．構造諸元を図-3 に示す．PC 鋼材は下床版に 12S12.7mm を 9 本配置している．



(a)打継付近縦方向ひびわれ　(b)変断面桁のPC鋼材に沿ったひびわれ

図-1　施工中及び施工後初期の変状例



(a)桁高変化に伴う腹圧力　(b)下床版に生じる曲げモーメント

図-2 従来設計における腹圧力の評価方法

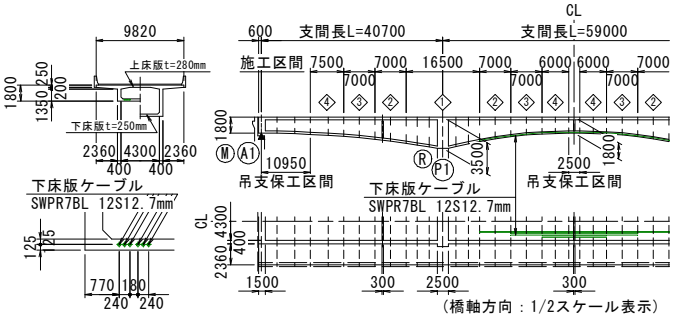


図-3　対象とした PC3 径間連続ラーメン箱桁橋

キーワード：一定せん断流パネル，骨組解析，PC 橋，腹圧力，架設時応力，設計手法
連絡先：〒530-0005　大阪市北区中之島 3-2-18，TEL: 06-6479-2137，FAX: 06-6479-0506.

(2) 解析モデル　上部工はすべてせんパネ要素を用い，PC 鋼材は線要素，橋脚にははり要素を用い，横桁などの充実部は剛性換算により考慮している．モデル図を図-4 に示す．

(3) 打継施工による収縮差の影響　打継目付近の若材令部材に発生する引張応力度を再現する目的で，図-5 に示す側径間(同図ハッチング)のみに収縮変化を(解析上は，仮に温度降下として-20 度(線膨張係数 1.0×10^{-5}))付与した．この区間の主応力コンターベクトルを図-6 に示す．温度降下を与えた図中ハッチング部は，収縮に伴い支点部に拘束されて橋軸方向に引張応力が発生していることが分かる．また，打継目付近に着目すると，図中丸印で示す境界部において，施工済みブロックの外部拘束により他のパネル要素部と比べ若材齢側（温度降下側）の引張応力が定性的に大きい．

せんパネ解析では，安全率を含め制限値を設定する必要のある FEM 解析に対し，従来許容値(安全率考慮)が適用できる信頼性の高い公称応力で，打継目付近の引張応力として算出されるため，設計により鉄筋補強量が求まる可能性があることを示唆している．

(4) 下床版 PC ケーブルによる腹圧力の評価　せんパネ解析において，桁高変化に伴う腹圧力の影響が評価可能か確認する目的で，下床版に配置される PC 鋼材を分散配置したケース(図-7(a))と集中配置したケース(図-7(b))にて腹圧力の発生程度を比較した．ここに，作用荷重は $1000N/mm^2$ のプレストレス力(温度荷重)とした．図-8 にせんパネ解析による結果を示す．分散配置した図-8(a)に対し図-8(b)の集中配置した場合は，横方向曲げモーメント最大値が分散配置の 4 倍程度となった．

従来設計では，腹圧力による面外力を個別に算定し，その反力をボックスラーメンモデルに作用させている．また，FEM 解析ではモデル化が簡易でなく，かつ公称応力が得られない．これに対し，せんパネ解析では桁高変化を立体的にせんパネでモデル化し，鋼材を線要素として実際の鋼材配置で表現することができるため，腹圧力の影響を同一モデルで評価でき，かつ公称応力で設計できることを示唆している．

4. むすび

以上の試設計の結果から，せんパネ解析は設計実務に対する親和性が高く，かつ公称応力が算出できることから，従来設計に対して高度化できる設計手法の一つになり得る可能性があると考えられる．

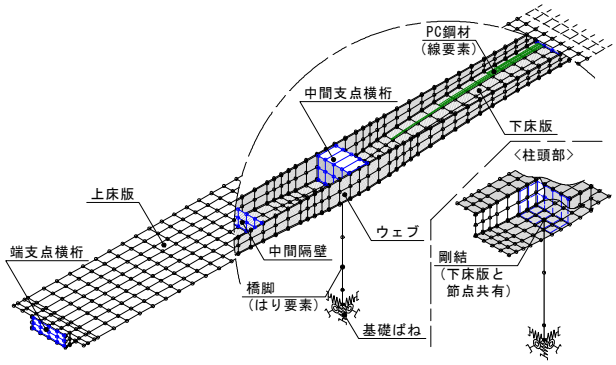
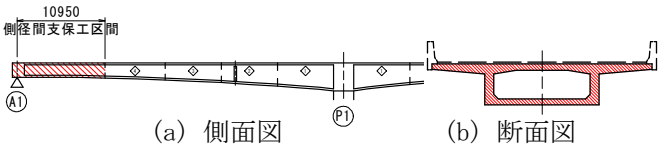
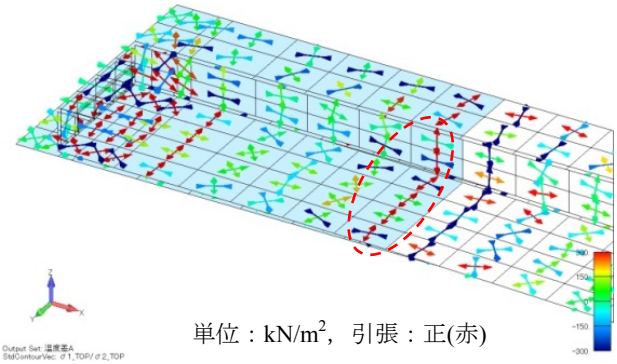


図-4　検討に使用したせんパネ解析モデル



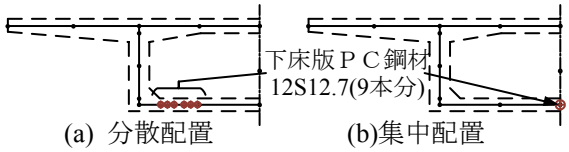
(a) 側面図　(b) 断面図

図-5 側径間支保工区間の温度降下作用範囲



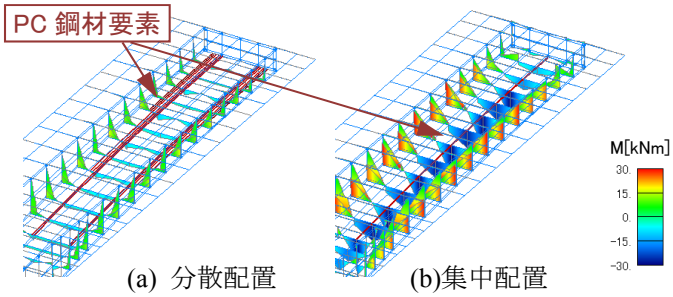
単位：kN/m^2，引張：正(赤)

図-6 側径間支保工区間の主応力コンターベクトル分布



(a) 分散配置　(b)集中配置

図-7 下床版ケーブル配置



(a) 分散配置　(b)集中配置

図-8 せんパネモデルを用いた腹圧力評価
（横方向の曲げモーメント分布）

参考文献　1) 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.

3) 玉越ら：全国規模の点検データに基づく道路橋のコンクリート部材の劣化の特徴，コンクリート工学論文集第 25 巻，167-180，2014 年.