

P C道路橋を対象にした一定せん断流パネルを用いた設計モデルに関する検討

(株)オリエンタルコンサルタンツ	正会員	博(工)	○原田	健彦
(株)オリエンタルコンサルタンツ	正会員	工修	水田	崇志
国土交通省 国土技術政策総合研究所	正会員	工修	横田	剛
国土交通省 国土技術政策総合研究所		博(工)	白戸	真大

キーワード：一定せん断流パネル，公称応力，P C中空床版橋

1. まえがき

P C道路橋の耐荷力照査では，図-1 に示すように，主桁を梁（棒）として扱い，平面あるいは立体骨組モデルによる構造解析から断面力や公称応力を求めている（以下，既存法と称す）¹⁾。既往の耐荷力式や許容値は，棒状あるいは版状の部材を用いた実験結果との対比で確立されてきており，これと比較するにあたり，骨組解析で得られる断面力や公称応力がもっとも適合するからである。このため，シェル要素やソリッド要素を用いた有限要素解析により応答値を算出しても，断面力や公称応力が直接得られない場合には，得られた応答値を着目断面の断面力や公称応力に換算して照査するという手順になる。また照査に用いる許容値などは，実験結果に合わせた再評価が必要になる。

一方，設計の中では，局所の応力に対してひび割れを抑制するための鉄筋を配置することがあり，必要に応じて有限要素解析により各部の応力度を評価することもある。上述のとおり，その結果を耐荷力の照査に使うことができないため，結果的に2つの異なる構造解析を目的に応じて使い分けることになる。あるいは，計算を行わずに経験や構造細目などの仕様規定²⁾に基づいて鉄筋の配置や量を決定していることも多いと考えられる。

これまでも設計ツールの合理化として，高度な構造解析を橋梁設計に適用するための研究は多数行われており，基準化の提案なども行われている³⁾。しかし，経験的に実績が多い技術基準における許容値とそのまま対比できる公称応力ならびにひび割れ抑制の検討に必要な局所の応力を同時に把握し，設計計算の試行錯誤を合理化できるような手法にもニーズがあると考えた。

そこで著者らは，これまでに公称応力と局所の応力を同時に算出できる一定せん断流パネル要素（以下，せんパネと称す）を用いた解析手法をP C道路橋に適用するための基礎検討を行ってきた。せんパネは，既存の格子モデルの格子要素（以下，縁部材と称す）の間をせん断のみに抵抗する板要素で補間した要素であり，既存の梁曲げ理論では無視されるせん断変形の影響を考慮することが可能となる。鋼道路橋への適用についてはこれまで多く研究されており⁴⁾，実橋の設計における使用実績もある⁵⁾。著者らの先の検討では，P C鋼材やその定着部・偏向部のモデル化とプレストレスの導入方法を提案してP C箱桁橋を対象とした試算を行い，本手法で合理化および高度化できる点ならびに橋梁設計へ適用する上での留意点をそれぞれ整理した⁶⁾。本報告では，P C中空床版橋を対象に，耐荷力照査と局所の応力によるひび割れの抑制を一つの構造解析モデルで検討する設計手順の合理化の可能性を明らかにすることを試みた。具体には，実橋に対する試算を行い，既存法による計算応答値（公称応力）と対比し，局所の応力評価について既存法との違いに着目して設計合理化の可能性を検討した。最後に，得られた結果をもとに本手法のP C橋への適用性や優位性について整理した。

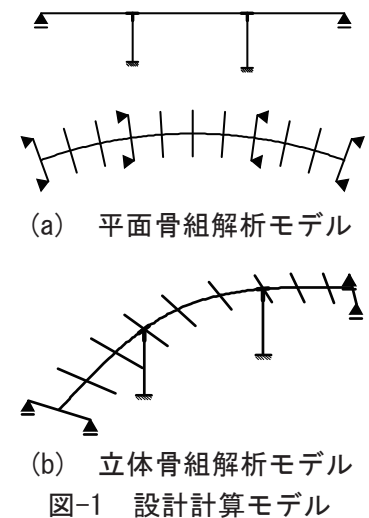


図-1 設計計算モデル

2. 試算対象とする橋梁および解析の概要

2.1 対象橋梁

試算対象橋梁は、図-2 に示す橋長 82.9m の P C 3 径間連続中空床版橋である。本橋の有効幅員および主版厚はそれぞれ 10.15m および 1.25m であり、支間全長にわたり等断面構造である。またそのほかの主要諸元は、表-1 に示すとおりである。

2.2 解析モデルおよび試算対象とする作用

図-3 に示すように、円形ボイドは等価な断面積をもつ矩形ボイドへ置換し、多室箱桁断面としてモデル化した。試算で使用したせんパンネ解析モデルを図-4 に示す。コンクリート部材はすべてせんパンネによりモデル化し、P C 鋼材には線要素を用いた。また横桁などの充実部も剛性換算した板厚を有するせんパンネによりモデル化した。なおパネルの分割、剛性およびプレストレス力などのモデル化の詳細については文献 6) を参考にされたい。

代表としてプレストレス力作用，ならびに第二径間中央断面に鉛直荷重を偏載荷および等分布載荷したケースをそれぞれ試算し，単ケースごとに既存法による結果と対比した。また，偏載荷時および等分布載荷時のせん断流分布を相対比較し，ねじり変形に伴うせん断流分布も確認した。

表-1 試算対象橋梁の主要諸元

上部構造形式	P C 3 径間連続中空床版橋
橋長	82.9m
支間長	26.7+27.8+26.8m
幅員	10.86m
主版厚	1.25m
使用材料	コンクリート： $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ P C 鋼材：12S15.2 (SWPR7BL)
P C 鋼材配置	2 本/ウェブ
導入応力度	1000N/mm ²
架設方法	固定支保工一括架設
支承条件	A1,P2,A2：可動 P1：固定

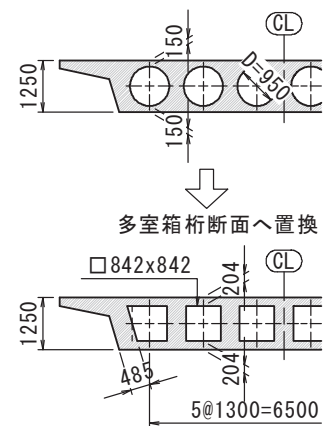
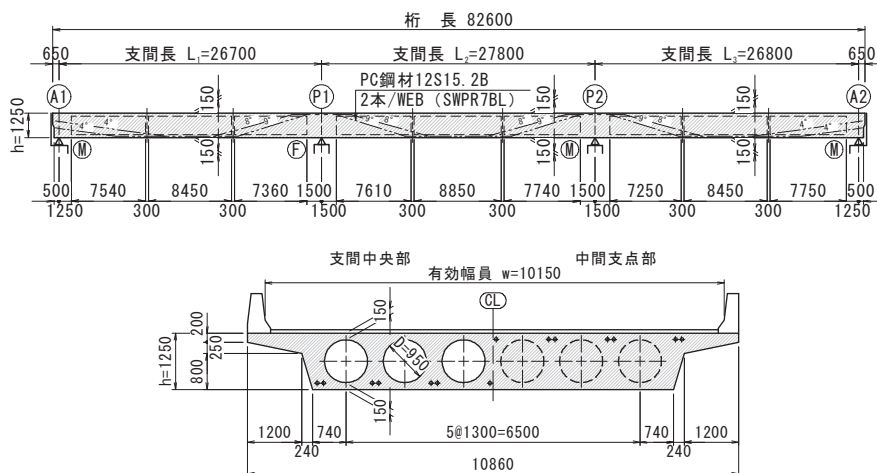


図-2 対象橋梁の側面図 (上；縦横比=2:1) および断面図 (下)

図-3 断面形状置換方法

支点	A1, P2, A2	P1
条件	可動支持	固定支持
方向	X Y Z	X Y Z
並進	自由 拘束 拘束	拘束 拘束 拘束
回転	拘束 自由 拘束	拘束 自由 拘束

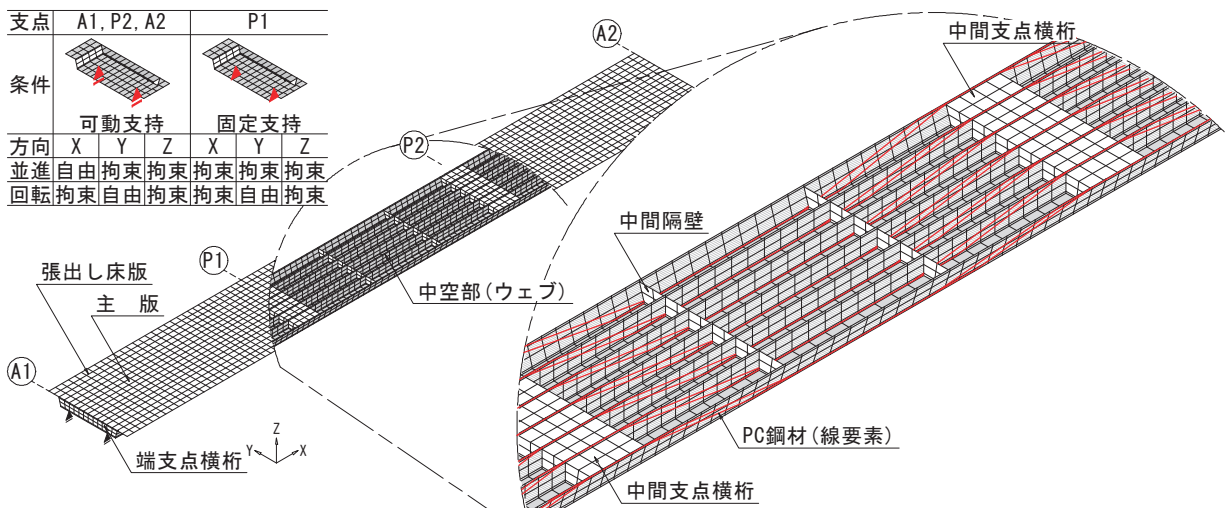


図-4 解析に使用したせんパンネ解析モデル

3. 試算結果にみられる設計合理化の可能性

3.1 公称応力と局所の応力評価

図-5は、代表としてプレストレス力に着目し、張出し床版端部およびウェブ位置における橋軸方向上下縁応力度，ならびにウェブの平均せん断応力度をそれぞれ示したものである。図-5(a)および図-5(b)に示すせんパネ解析による上下縁応力度は、既存法による公称応力と良く一致する。一方、局所の応力に着目すると、せんパネ解析による上下縁応力度の張出し床版端部の値が小さい。これはせん断遅れの影響が評価されたものであり、せんパネ解析モデルは張出し床版先端のシェアラグ用鋼材の検討にも利用できる。さらに、各ウェブ位置で縁応力度が異なっており、この分担を同一にすることがP C鋼材の合理的な配置に繋がるものと考えられる。なお、これらは既存法では表現できない。

この傾向は図-5(c)に示す平均せん断応力度にも見られ、せんパネ解析モデルの平均せん断応力度は既存法による公称応力と一致する。

3.2 変形および支点反力

図-6は、等分布載荷時のせんパネ解析および既存法による変形図を示したものであり、両者の最大たわみ δ_{zmax} は概ね一致する。

図-7は、等分布および偏載荷時の鉛直方向支点反力を示したもので、青および緑色で示すせんパネ解析値（いずれも一支承線上の合計値）は赤色で示す既存法と一致する。

これらの結果は、ほかの作用においても同様の傾向であり、既往の技術基準の許容値を適用した設計が可能であることを示唆している。

3.3 ねじりに伴う局所せん断流の評価

等分布および偏載荷時における荷重載荷断面付近のせん断流の方向および分布を図-8にそれぞれ示す。図中赤線と黒線で示す分布は、せんパネ解析値および理論値をそれぞれ表しており、せんパネ解析では板要素内でせん断流が一定値となるため、格子状に分割した同一要素内の平均的なせん断流分布を表していることが分かる。図-8(a)に示す結果は、橋軸直角方向に等分布載荷しているため、橋軸方向のせん断変形に伴う断面内せん断流分布を表している。一方、図-8(b)は、偏載荷による橋軸まわりのねじりモーメントと橋軸方向のせん断力が同時に作用し、断面内で左右非対称のせん断流分布となっている。

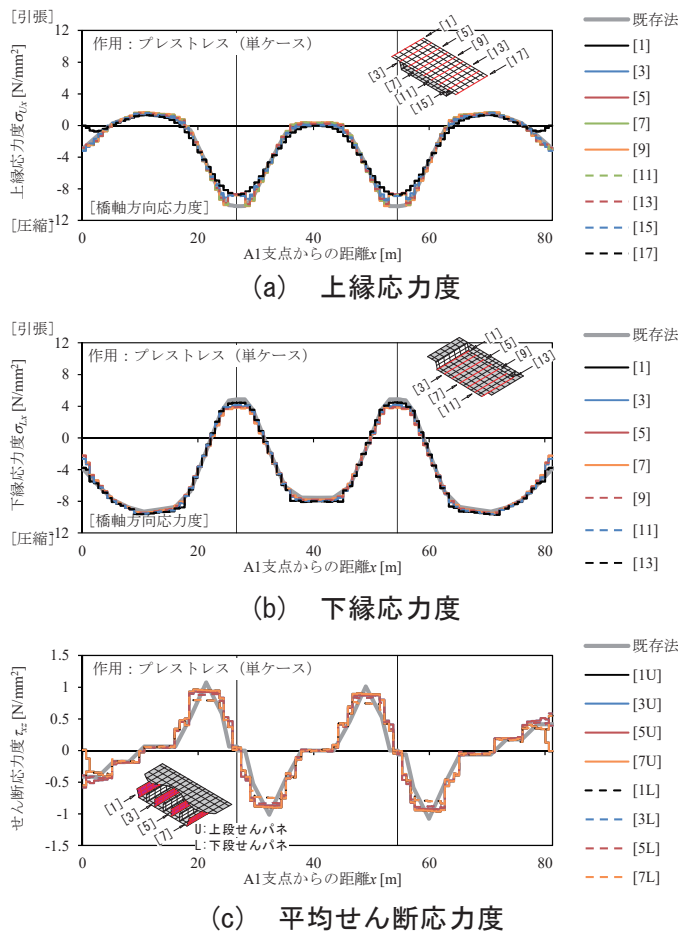


図-5 プレストレス力単ケースの応力度分布

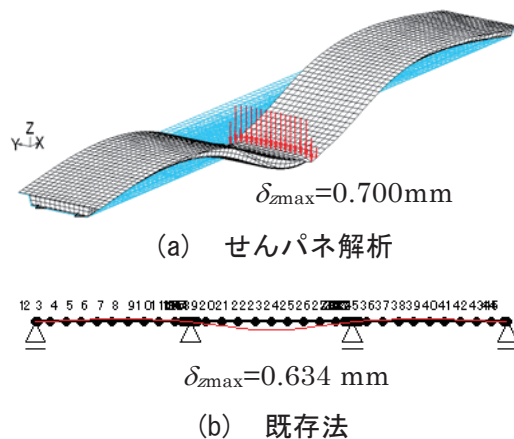


図-6 等分布載荷単ケースの変形図

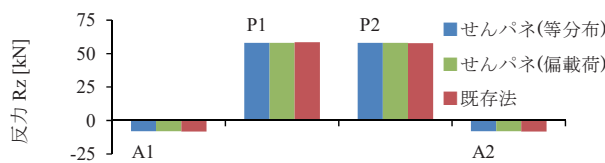


図-7 等分布載荷および偏載時の鉛直方向支点反力

図-9は、図-8(a)および図-8(b)のせん断流の差をとったものであり、ねじり変形のみによるせん断流分布を表す。図に示すように、ねじり変形による各ウェブのせん断流の分担は、外側のウェブがもっとも大きくなるのが分かる。このように、せんパネ解析では、中空床版橋を多室箱断面で立体的にモデル化することで、ねじりに伴う局所のせん断流を直接的に評価できることが分かる。

また図-8(b)では、各ウェブのせん断流に差が生じていることも分かる。既存法における平均せん断応力度は、一本棒モデルで得られるせん断力をウェブの有効断面で除して算出される。一方、せんパネ解析の場合には、各ウェブの平均せん断応力度が直接得られることから、せん断やねじりに対する補強筋もウェブごとに算出される。

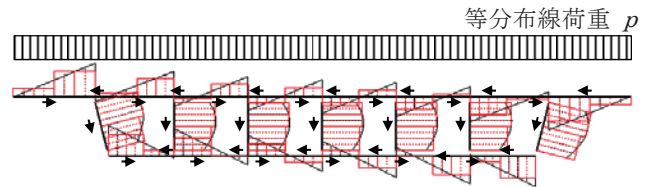
4. むすび

これまでPC箱桁橋を対象に検討を進めてきたせんパネ解析モデルをPC中空床版橋に適用し、実橋を対象に試算した結果、せんパネ解析と既存法で得られる応答値が概ね一致することから、既往の耐荷力式や許容値との対比が可能な公称応力として計算応答値を評価できることを示した。またせんパネ解析では、張出し床版先端や各ウェブの局所せん断流を直接的に評価することが可能となり、PC鋼材や補強筋の配置や量を合理的に決定できる可能性を示唆した。

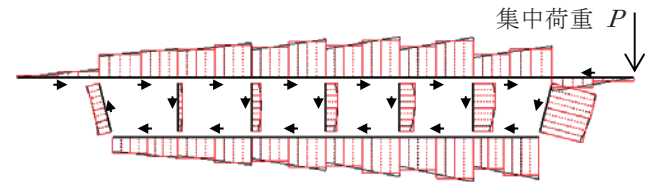
定着部、横桁などの細部のモデル化についての課題は残るものの、せんパネ解析モデルは、既存法と同様にPC橋の設計手法として適用可能と考えられる。つまり、これは既往の技術基準の耐荷力式や許容値を適用した場合も、構造物は既存法レベルの安全性および信頼性が確保されることを意味する。さらに、モデルの組み合わせなどが不要になることや局所の部位ごとに応答値が導かれるなど、設計の高度化および合理化も可能になることを示した。とくに設計モデルの使い分け、応答値の組み合わせが複雑となる曲線橋や斜橋、拡幅部などの設計に対してはその効果が大きいものとする。

参考文献

- 1) コンクリート道路橋設計便覧, (公社)日本道路協会, 1994. 2.
- 2) 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編, (公社)日本道路協会, 2017. 11.
- 3) 橋梁設計における最新FEM解析技術の適用と課題, (公社)土木学会, 2012. 8.
- 4) たとえば, 玉越隆史, 白戸真大, 横井芳輝, 水口知樹: 鋼道路橋の合理的な設計解析手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第841号, 2015. 3.
- 5) たとえば, 西憲一郎, 稲江清継, 中川実, 黒河武晴: 第二東名高速道路 駒門高架橋(鋼上部工)工事の設計・施工, YBHDグループ技報, No.38, pp.36-43, 2009.1.
- 6) たとえば, 原田健彦, 栗山照雄, 正木守, 星隈順一: 一定せん断流パネル解析を用いたPC道路橋の設計手法の提案, 第26回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, pp.151-156, 2017. 10.

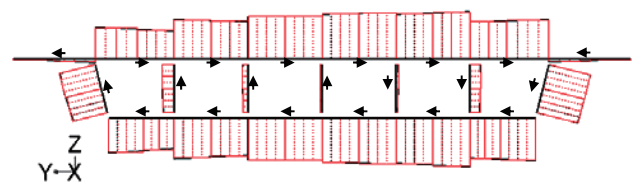


(a) 等分布荷重単ケース (せん断変形時)



(b) 偏荷重単ケース (せん断+ねじり変形時)

図-8 荷重断面付近の板要素のせん断流分布



※図-8(a)および(b)のせん断流分布について両者の差分をとって図示したもの

図-9 ねじり変形のみによるせん断流分布※