

学 位 論 文 題 名

PC 中空床版橋の設計合理化と
スプライス PC 構造の実用化に関する研究

学位論文内容の要旨

近年の橋梁建設コスト削減のニーズに応えるためには、発注量の 8 割を占める中小規模橋梁の建設コスト削減が重要であるが、PC 橋を鋼橋と比較した場合、40m～60m 支間の橋梁が最も価格競争力が低いとされている。そのような背景を受け、中小規模 PC 橋梁の中で特に経済性に優れる中空床版橋に対する設計手法の検証と、その経済的特長を継承したスプライス PC 構造の提案とその実用化を目的として行った研究成果を以下に示す。

第 1 章：現状において支間毎に採用されている構造を述べ、中小規模支間の中でも PC 構造の価格競争力が低い支間長が 40m～60m であり、経済性に優れる中空床版橋を検証した上で、その支間に適した構造の提案および、その検証を行うことが本研究の目的であることを述べた。

第 2 章：中空床版橋は、その経済性が一般的に認識されている構造である。低コストの中小規模 PC 橋梁を提案する上で、その構造の特徴を把握する必要がある、オーソライズされた設計手法が存在しないという著者の設計経験からも、設計実態を調査する必要があると考えた。そこで、PC 中空床版橋 43 橋について、設計諸元と設計手法に関する調査を行った。諸元に関しては主曲げ方向の支間に対する桁高の配慮が無い、補強方法に統一性がない、終局釣合い鋼材量の規定を満足していない等、多くの問題点が明らかになった。設計手法においても同様だが、格子桁解析を行う際の解析モデルの形状に、横方向部材配置が斜角なりの平行格子形状と主方向部材に直角配置した直角格子形状が存在する点と、格子桁解析で算出された各主方向部材の断面力を、支承線と平行なライン上の節点同士で足し合せて、使用状態の検討を行うという言わば再分配された断面力を用いて使用状態の検討を行っている点が特に重要な問題であり、本手法に対する検証の必要性を明らかにした。

第 3 章：第 2 章の結果を受け、中空床版橋について構造解析とその解析値の取り扱いに関する検証を行い、以下ような設計手法を提案した。

- a. 本構造は異方性版構造であるが、格子桁解析で断面力を算出しても良い。
- b. 反力を含む全ての断面力について、直角格子形状が FEM 解析値に近い値となった。
- c. 断面力を足し合わせる方法は不適切であり、ウェブ毎に設計しなければならない。
- d. 設計で用いる断面力は格子桁モデル節点で算出される左右の値の平均値を用いて良い。
- e. 直角格子モデルで算出した主方向曲げモーメントに対して、補強設計をすることで、水平せん断力による振りモーメント成分に対する補強を行うことができる。
- f. 振りモーメントに対する補強は、スターラップではなく、主方向、横方向の上下フラン

ジ鉄筋で行う必要がある。

第4章：本章で支間 40m～60m に対応する構造として、「スプライス PC 構造」を提案した。本構造は、支間中央部に工場製プレキャスト・プレテンション桁（プレテン桁）を使用した合成桁構造、端支点部と中間支点部を場所打ち構造として、それらをポストテンション鋼材で一体化した構造である。本章ではこの構造に対して試設計を行うことで、設計的検証とコスト面の検討を行い、3次元全体 FEM 解析により設計結果を検証した。本章で得た知見は以下の通り。

- a. 本構造は十分に実現可能であり、工期短縮と工費節減が同時に実現できる。尚、場所打ち箱桁構造に対して 20%近いコスト縮減と 3 か月の工期短縮が確認できた。
- b. 従来構造に対する経験に基づく設計手法によって設計可能な構造である。
- c. 多径間への適用が容易である反面、単純桁構造での採用は不可能である。
- d. プレテン桁搬送長の制限から適用範囲が 40m～60m に限られる。
- e. 設計的に考慮すべき要素が多く、中小規模橋梁としては設計難易度が高い。

第5章：「スプライス PC 構造」に打継目部は不可避であり、断面剛性が急変するため、曲げとせん断力に対する検証が必要と考え、繰返し載荷実験を行い、以下の知見を得た。

- a. ひび割れ発生限界の算定に際し、コンクリートの引張強度の低減係数が必要である。
- b. 横拘束を与えた打継目のひび割れ発生荷重は計算値とほぼ一致した。
- c. 土木学会のひび割れ幅算定式は打継目にも適用できる。
- d. 終局耐力については、継目を有していても現状の計算手法で算出可能である。
- e. ループ継手に耐力向上の効果は認められず、集中配置する場合には本継手構造の特性が継目に悪影響を及ぼす可能性がある。
- f. せん断耐力については、土木学会式はせん断補強鉄筋降伏時を終局時とした場合でも、安全側の値を算出する。
- g. 供試体をディープビームとした既往の研究成果との比較からも、本構造のせん断耐力算定は通常部材と同様の設計が可能である。

第6章：第5章の結果を受けて、ループ継手を採用するためには定量的検証が必要と考え、継手性状に着目した実験を行った。また、ループコア内に周囲より引張応力度が低くなる領域が形成される“ループ効果”を想定し、打継目のひび割れ成長を意図的に遅らせる目的で、ループ鉄筋を打継目に配置した場合（仮称：アンクラック継手）の検証も行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- a. 耐力に継手種類による影響は見られず、通常部材と同様の設計を行うことができる。
- b. ひび割れ発生荷重の差は、鉄筋換算剛性の影響であることが判明した。また、解析でループ効果を定性的に明らかにしたが、継手によってひび割れ発生荷重に大きな差は無い。
- c. ループ継手は継手部中心とその左右の歪み分布に大きな差が発生することが確認出来た。
- d. アンクラック継手は、継目のひび割れ成長を抑止する効果が確認出来た。
- e. ひび割れ成長抑止効果は主に二重に配置された鉄筋の影響であるが、ループ長が小さくなるに従い、その影響は広いひび割れ間隔となって現れる。
- f. アンクラック継手は継目部のひび割れが抑制されるため、その左右のひび割れに影響が出る。しかし、ループサイズを調整することで、歪み分布の影響を小さく出来る。
- g. アンクラック継手のループサイズに関して、使用上の下限サイズは D10 鉄筋の場合は 20cm 程度と考えられる。上限は解析で鉄筋径 ϕ に対して 25ϕ 程度という結果を得た。

アンクラック継手は十分な効果があったが、二重配置鉄筋としての影響が大きいことが確認された。しかし、付着長を確保した二重配置鉄筋に比べて、20cm 程度の長さで効果を発揮できる。本継手は、搬送制限を伴うプレテン桁長を確保するために有効であることが確認できた。

第7章：本章では全体を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 角 田 興史雄

副 査 教 授 佐 藤 浩 一

副 査 教 授 佐 伯 昇

副 査 助教授 上 田 多 門

学 位 論 文 題 名

PC 中空床版橋の設計合理化と

スプライス PC 構造の実用化に関する研究

近年、土木構造物の建設費縮減は最も重要な社会的要求となっている。本研究は、支間25m～35mの橋梁に対して経済的な構造形式として広く採用されているPC中空床版橋について実態調査を行い、その設計法が設計技術者によってかなりの相違があることを明らかにし、統一的な合理的設計法を提案するとともに、その経済的特徴を支間60mまで拡大適用しうる構造形式として、スプライスPC構造を提案し、その設計に関する基礎的力学性状を明らかにしたものであり、全7章からなっている。

第1章では、本研究の背景である中小規模PC橋梁の概要と、本研究の目的について述べている。

第2章では既設のPC中空床版橋43橋について、支間や斜角の範囲などの適用諸元および設計法について調査し、現状で経済性を発揮できる適用範囲を示すとともに、設計上の問題点、とくに、構造解析に用いる格子モデルの形状、断面力の再分配の是非、格子節点における断面力の不連続の取扱い、ねじり補強鉄筋の設計法など、設計技術者によって手法および結果がかなり異なる問題点があることを明らかにしている。

第3章では上記の問題点について3次元有限要素解析に基づいて検討し、構造解析に用いる格子モデルとしては斜角に対しても直交格子モデルを採用すべきこと、少なくとも使用限界状態に対しては断面力の再分配はすべきでないこと、格子節点における断面力の不連続については従来一般に用いられている最大値ではなく平均値を用いてよいこと、ねじりモーメントに対する補強は、それが平板主曲げモーメントの成分であるとして取扱えばよいことなどを明らかにし、それらの設計手法を統一的な合理的設計法として提案している。

第4章では支間40m～60mの橋梁に適用しうる新たな構造形式として、スプライスPC構造を提案している。それは、支間中間部にはプレテンションのプレキャストPCのT桁構造、端支点部および中間支点部には場所打ちの中空床版または箱桁構造とし、全体をポストテンションにより一体化する混合型複合構造で、その試設計により、従来の構造形式に比べて設計難易度は高いが、大幅な工期短縮と工費縮減が可能であることを示している。

第5章では、スプライスPC構造におけるプレキャスト部と場所打ち部との打継目の

性状について実験的に検討し、断面剛性の不連続によりひび割れ発生限界断面力が低下することを設計で考慮すべきこと、しかしひび割れ幅および終局耐力の算定には通常の鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリート構造の設計に対する土木学会式が適用可能であることなどを明らかにしている。

第6章では、上記のプレキャスト部と場所打ち部との打継目の構造について実験と有限要素解析により詳細に検討し、打継目を跨ぐように鉄筋のループ継手を配置すれば、継手長が十分あるときには鉄筋が二重になる効果により、また、継手長を短縮してもループ効果によるコンクリート引張応力の低減により、継手部のひび割れ発生および成長の抑止効果が得られることを明らかにし、継手長として鉄筋径の25倍とすることを提案している。

第7章では本研究の主要な成果を総括している。

これを要するに、著者は支間35m以下の橋梁において経済性に優れるPC中空床版橋を取り上げ、従来からの慣用設計法の問題点を明らかにし合理的設計法を提案するとともに、その経済的優位性を支間60mまで拡張しうる新たな構造形式として、プレキャストPC桁との混合型複合構造とするスプライスPC構造を提案し、断面形状が不連続に変化する打継目の性状について実験および解析的に明らかにするなど、多くの新知見を得たものであり、構造工学およびコンクリート工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。