

連続中空合成床版橋の支承数削減に関する解析的検討

Analytical study on reducing number of bearings of continuous composite hollow slab bridges

中村 聖三*, 松本 久幸**, 高橋 和雄***, 熊野 拓志****, 小島 実*****

Shozo Nakamura, Hisayuki Matsumoto, Kazuo Takahashi, Takuji Kumano and Minoru Kojima

*博(工), 長崎大学准教授, 工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号)

**修(工), 中央コンサルタンツ(株), 福岡支店 (〒812-0039 福岡市博多区冷泉町2番1号)

***工博, 長崎大学教授, 工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号)

****博(工), JFE エンジニアリング(株), 橋梁設計部 (〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2番1号)

***** JFE エンジニアリング(株), 橋梁開発営業室 (〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2番1号)

Composite slab bridges have been widely adopted and have growing needs for continuous bridges because of their low girder height. The supports of continuous composite slab bridges should have more complicated structures and require wider space, compared to those of simply supported bridges. Thus, it is difficult to place a bearing under each main girder, as in constructing a simply supported bridge, when it has relatively short intervals between girders. In this study, the possibility of reducing number of bearings is evaluated by a series of three-dimensional finite element analyses.

Key Words: composite slab bridge, support, filling concrete, 3D finite element analysis

キーワード: 合成床版橋, 支承, 打下しコンクリート, 3次元有限要素解析

1. 序論

一般に市街地で架橋される中小スパン橋梁においては、交差する河川、道路、鉄道などに対する桁下空間の制約と路面計画高との関係から構造高を低く抑えることを求められる場合が多い。

図-1 に示す主鋼材に突起付き T 形鋼を用いた鋼-コンクリート合成床版橋¹⁾は、このような条件に対応できる橋梁形式の一つであり、都市内河川を跨ぐ場合を中心にして多くの施工実績がある。また、近年、長支間化や連続化へのニーズも高まってきている。

本形式橋梁については、支間長 20m 程度以上の中空タイプ単純合成床版橋²⁾において採用されている。端支点部の床版コンクリートを打下す構造と同様に、負曲げ領域となる連続合成床版橋の中間支点部においても、打下しコンクリートを設置することにより、中間支点部コンクリート床版の応力低減効果があることが明らかにされている³⁾。また、中間支点部における打下しコンクリート形状の影響に関する検討もなされている⁴⁾。なお、本構造形式における連続合成桁は、道路橋示方書(以下、道示)Ⅱ鋼橋編⁵⁾ 11.1.1 に示されるプレストレスしない連続合成桁として設計し、活荷重に対してはひび割れ

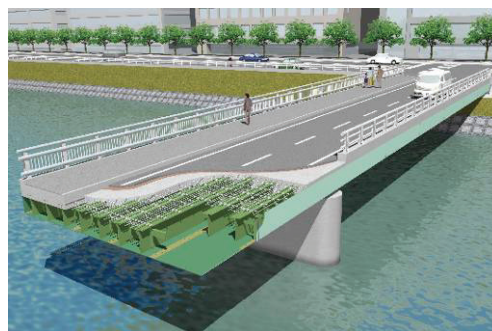


図-1 合成床版橋イメージ図

制御を行うものである。

標準的規模の合成床版橋では、各主桁直下に支承を配置するのが一般的であるが、長支間タイプや連続桁タイプの場合、支承サイズも大型化するため、落橋防止構造等も合わせて配置される支点部周辺の構造が複雑になるケースがある。さらに、単純桁形式の合成床版橋においては、支承部は一般にゴムパット形のタイプ A 支承⁶⁾(レベル 2 地震動により生じる水平力に別途設けられる変位制限構造と補完しあって抵抗する支承)を基本としている。しかし、連続桁に対応していくためには、レベル 2 地震動により生じる水平力に対しても道示に規定された支承部の性能を満足するタイプ B 支承が必要となる。

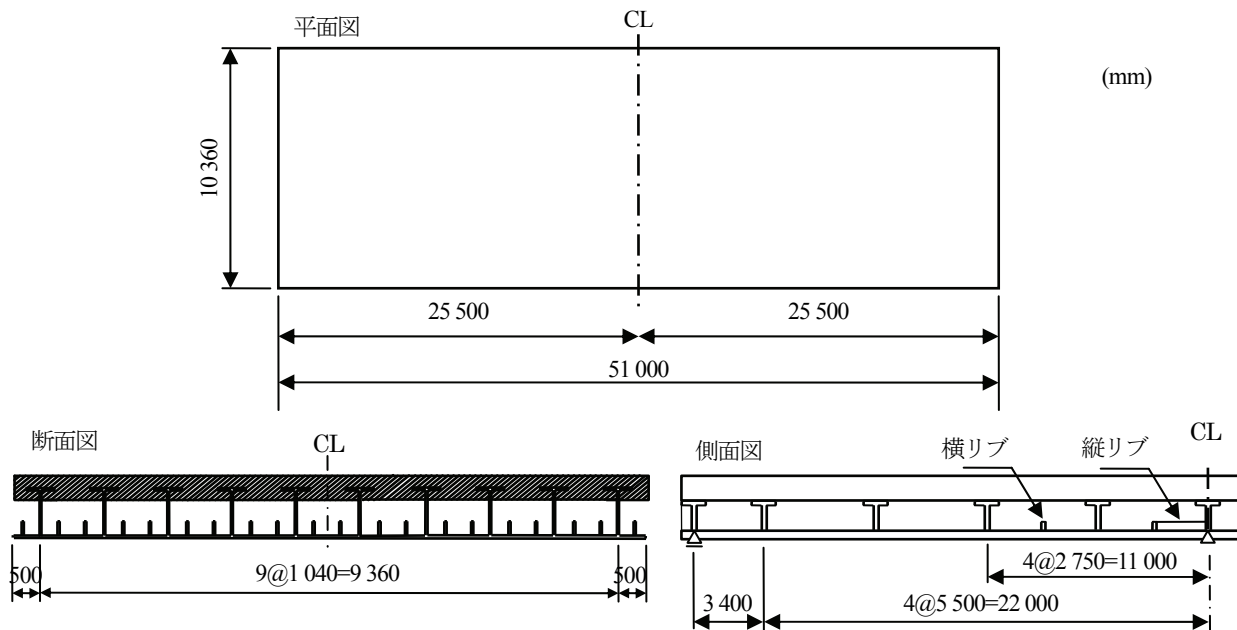


図-2 対象構造の形状・寸法

支承部の構造に着目すると、タイプ A ゴム支承は桁下にゴム板が設置されているのみであるのに対し、タイプ B ゴム支承は上揚力に抵抗するために、底鋼板とベースプレート、上鋼板とソールプレートがボルトで接合されている。このため、ベースプレートのサイズを考慮すると、主桁間隔が 1m 程度と比較的狭い連続桁タイプの合成床版橋においては、単純桁タイプのように全主桁直下に支承を配置することが困難になると考えられる。

このような背景から、著者らは以前、連続中空合成床版橋において支承数を削減することの可能性を明らかにすることを目的として、3 種類の異なる支承配置を有する合成床版橋を対象に、中間支点部における打下しコンクリートの梁幅、すなわち横桁剛性の変化が全面等分布荷重作用時の挙動に与える影響を検討した⁷⁾。その結果、支承数を削減することにより 1 つの支承に作用する反力は大きくなるものの、打下しコンクリートの梁幅が 600mm 程度以上であれば、検討を行った支承配置における支承の削減に伴う各部発生応力の変化は小さく、支承数を削減できる可能性があるということが明らかとなった。本研究では、まず、支承数削減の可能性を明らかにするための解析を実施する前の基礎的検討として、有限要素解析を行う際の床版コンクリート中の鉄筋のモデル化の必要性について検討を行う。次に、文献 7) と同様 3 種類の異なる支承配置を有する連続中空合成床版橋に対して、T 荷重載荷時および死荷重載荷時の解析を実施することにより、支承数削減の可能性を検討する。

2. 対象構造

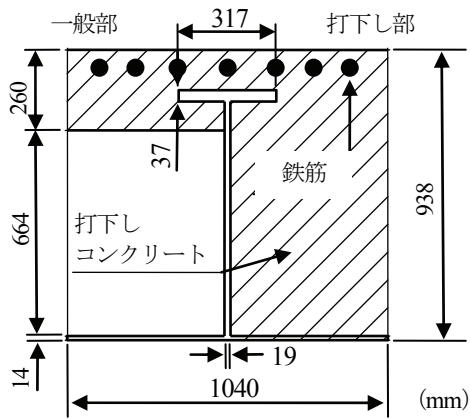
本研究で解析対象とする構造は、図-2 に示す支間長

25.4m、幅員 10.36m の 2 径間連続合成床版橋であり、G1 から G10 まで 10 本の主桁を有する。また、横桁が一定間隔で配置されており、中間支点部から橋軸方向前後 2.75m、8.25m の位置に横リブが設けられている。負曲げが生じる中間支点部においては、橋軸方向 5.5m の範囲にわたり底鋼板に縦リブが存在する。一般部は、厚さ 260mm の床版コンクリートを上方に配置した中空構造であり、中間支点部および端支点部においては、床版コンクリートを底鋼板上まで打下した構造となっている。

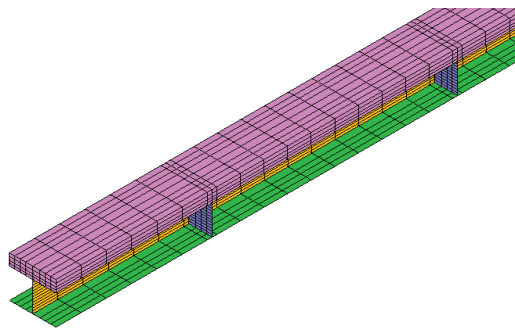
3. 鉄筋のモデル化の必要性に関する検討

合成床版橋の床版コンクリート中には鉄筋が配置されており、中間支点近傍などの負曲げが作用する部分においては、コンクリートに作用する引張力を負担する役割を担っている。したがって、実構造の挙動を忠実に再現するためには、解析において鉄筋をモデル化する必要がある。しかし、実構造におけるコンクリート中の鉄筋は、引張鉄筋やせん断補強鉄筋などが存在するため配筋が複雑であり、有限要素解析モデルを作成する際にそれらのモデル化を行うと、多大な労力を必要とすると推察される。また、桁作用を対象にする場合、本構造では突起付き T 形鋼のフランジが負曲げ域において引張鉄筋の役割をある程度担うことが期待されるため、場合によっては鉄筋のモデル化を行わずに解析を行うことも可能であると考えられる。

そこで本章では、鉄筋の有無による合成床版橋の力学的挙動の違いを明らかにし、鉄筋の効果を把握すると共に、有限要素解析を行う際の鉄筋モデル化の必要性について検討を行う。



(a) 断面諸元



(b) FE モデルのイメージ

図-3 解析モデル

3.1 解析対象

検討対象は、支間長が 25.5m の 2 径間連続合成床版橋であり、中間支点位置を中心として橋軸方向 600mm の範囲にわたり床版コンクリートを底鋼板上まで打下したものと、比較ケースとして中間支点部も中空としたものの 2 ケースについて、それぞれ鉄筋をモデル化した場合とモデル化しない場合の 2 パターンの解析を行った。なお、本構造は道示 II 11.1.1 に示されるプレストレスしない連続合げたとして設計するものであり、実際の架設計画にあたってはコンクリートに過度な引張応力を発生させないように打設順序を検討している。本検討では、簡略化のため主桁一本のみを図-3 に示すように取り出した構造をモデル化するが、直径 16mm の鉄筋が、床版上面にかぶり 41.5mm で 7 本配置されている。なお、図-3 (b) は解析モデルのイメージを示したものであり、実際に用いた解析モデルでは、3.2 に示すように桁高方向の分割がより細かくなっている。また、端支点近傍のみを示した図となっており、中間支点部分は含まれていない。

3.2 解析概要

汎用有限要素解析ソフトウェア MARC[®] を用い、材料非線形を考慮した 3 次元有限要素解析を実施する。鋼材には 4 節点厚肉シェル要素、コンクリート部分には 8 節点立体要素、鉄筋には三次元トラス要素を用いる。メッシュ分割については、幅員方向 8 分割、桁高方向 68 分

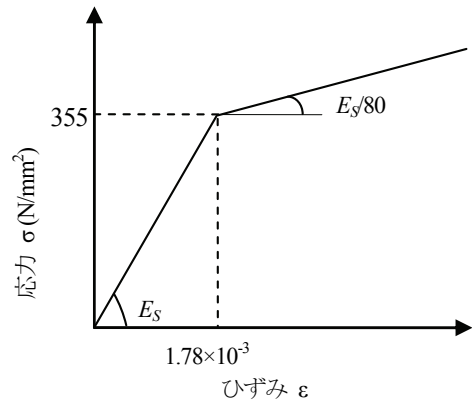


図-4 鋼材および鉄筋の応力-ひずみ関係

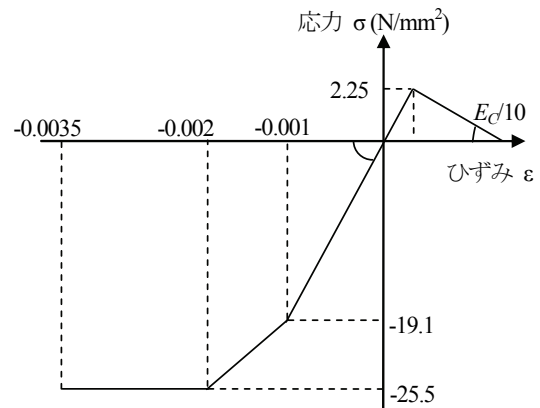
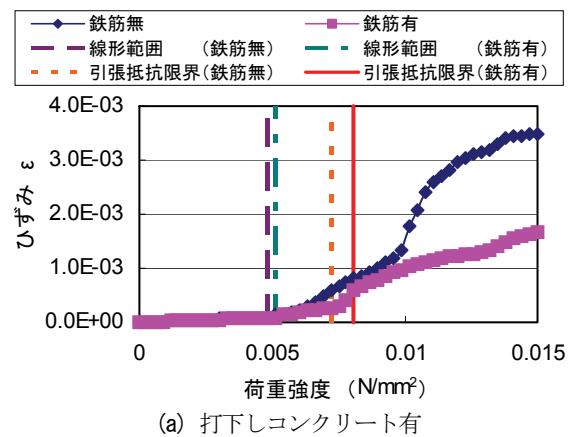
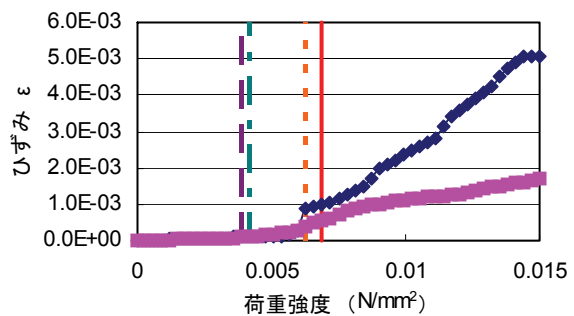


図-5 コンクリートの応力-ひずみ関係



(a) 打下しコンクリート有



(b) 打下しコンクリート無

図-6 ひずみ-荷重強度関係

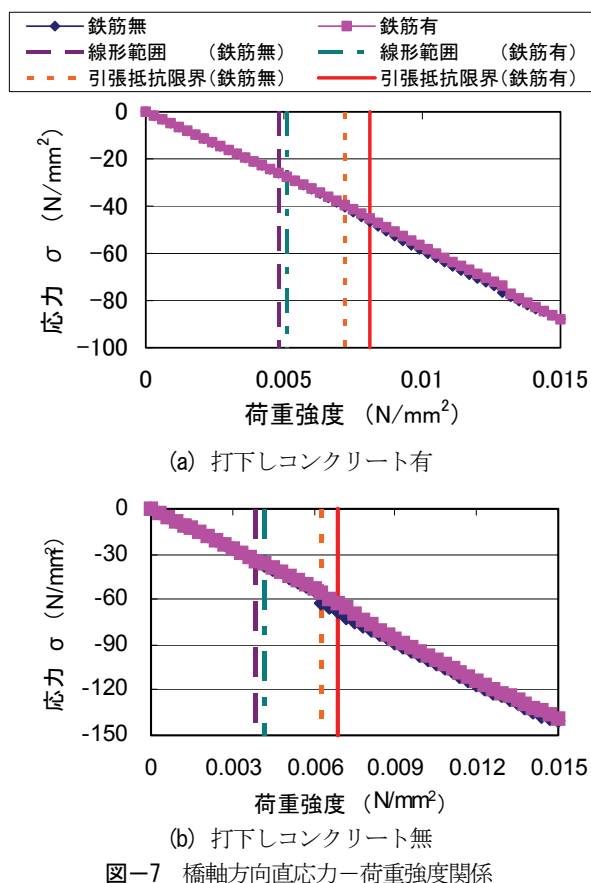


図-7 橋軸方向直応力-荷重強度関係

割とし、橋軸方向には横桁間隔を 10 分割とする。これは、事前実施したメッシュ分割数を変えた解析の結果、解が概ね収束したと判断された分割数である。支持条件は中間支点をヒンジ、両端支点をローラーと想定し、支点位置断面の下フランジ・ウェブ交点の 1 節点に、中間支点では橋軸直角方向軸周りの回転以外は固定、両端支点では橋軸直角軸周りの回転と橋軸方向変位以外は固定という境界条件を与える。コンクリートと鉄筋を含む鋼材とは完全に付着が保たれるものとし、両者の節点を共有する。作用させる外力は床版上面全面に作用する等分布荷重とする。荷重強度は、コンクリートにひび割れが発生した状態における各部の挙動を確認することを目的とし、L 荷重⁵⁾の主載荷荷重の 1.5 倍に相当する荷重強度 0.015N/mm²に達するまでステップ数 50 で単調増加させる。鋼材および鉄筋のヤング係数 E_s は 200kN/mm²、ポアソン比は 0.3、降伏条件は von Mises とし、応力-ひずみ関係を図-4 に示すようにバイリニアでモデル化する。コンクリートのヤング係数 E_c は 28kN/mm²、ポアソン比は 0.17 とする。応力-ひずみ関係は文献 9) 等を参考に、図-5 に示すようにモデル化する。降伏条件は線形 Mohr-Coulomb としたが、MARC では引張域におけるひび割れ発生等は最大主応力により判定されている。

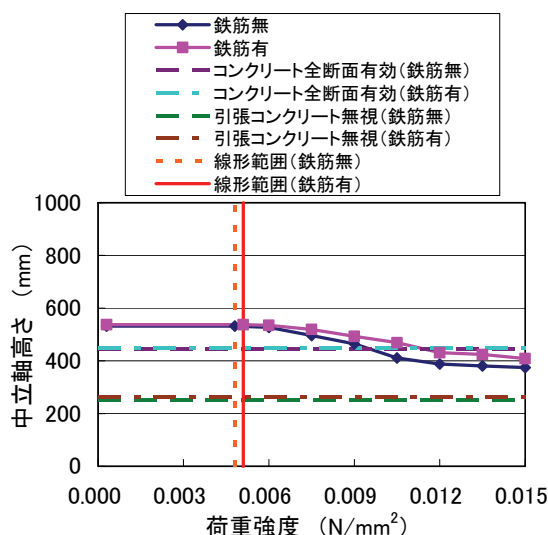


図-8 中立軸高さ-荷重強度関係

3.3 解析結果

(1) コンクリート床版上面のひずみ

図-6 に中間支点部コンクリート床版上面における橋軸方向ひずみ-荷重強度関係を示す。同図にはコンクリート床版上面においてひび割れが発生した時点での荷重強度と、引張抵抗限界、すなわちコンクリートが完全に応力伝達機能を失い、応力値がゼロとなった時点での荷重強度も示している。打下しコンクリートの有無によらず、コンクリート床版上面にひび割れが発生する荷重強度までは、鉄筋の有無によるひずみ-荷重強度関係に大きな差は見られない。しかし、それを超えると、鉄筋を考慮したモデルの方がコンクリート上面の伸びが抑えられ、最終的なひずみが小さな値となっている。また、コンクリート床版上面にひび割れが発生する荷重強度は、鉄筋が存在する場合の方が約 7% 高い値である。

(2) 底鋼板下面の応力

図-7 は中間支点部底鋼板下面における橋軸方向応力-荷重強度関係である。床版上面においてコンクリートがまったく引張応力を負担しなくなる荷重強度を境に多少の応力の増加がみられるが、線形範囲内、コンクリート床版ひび割れ発生後ともに、底板下面直応力橋軸方向直応力関係には鉄筋の有無による大きな差が無いことがわかる。この傾向は、打下しコンクリートの有無によらず、同様である。

(3) 中立軸位置

図-8 には打下しコンクリートが存在するモデルの中間支点部における中立軸高さ-荷重強度関係を示す。同図にはコンクリート全断面有効、引張コンクリート無視とした場合の中立軸高さの理論値も示している。線形範囲を超えると、荷重強度の増加に伴い中立軸位置の低下が起こっている。これはコンクリートにひび割れが発生し、有効断面が上面から徐々に減少しているためである。

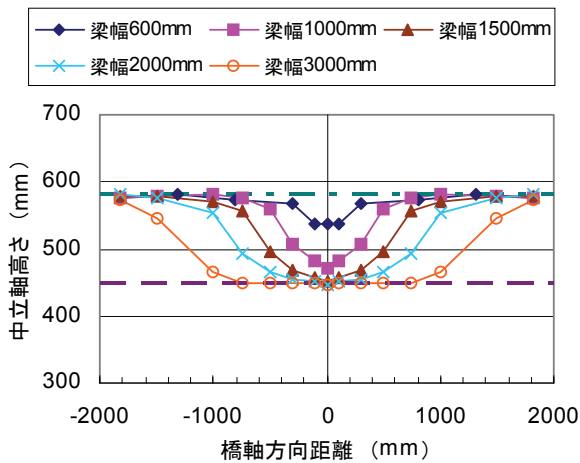


図-9 中立軸高さー橋軸方向距離関係（鉄筋有）
（荷重強度 0.0003N/mm²時）

線形範囲内においては中立軸高さー荷重強度関係に鉄筋の有無による差はほとんどないが、コンクリートにひび割れが発生すると、鉄筋がある場合の方がひび割れが発生しにくいいため、中立軸の低下が遅いことが確認できる。また、解析値が理論値に比べ上部に位置しているが、これは支間長に対して打下しコンクリート梁幅（600mm）が短すぎるためであると考えられる。

それを裏付けるのが図-9であり、コンクリート梁幅をパラメータとして追加解析を行った結果に基づき、主桁断面の中立軸の高さが橋軸方向にどのように変化するかを示した図である。支間長に対して相対的に打下しコンクリートの梁幅が小さいモデルにおいては、中間支点部で理論値ほどの急激な中立軸位置の低下は起こっていないが、梁幅の増加に伴い、中間支点部における中立軸位置が徐々に低下し、ある幅において理論値まで到達するようになっている。これは、梁幅が広いモデルではコンクリート梁が主桁の有効断面として作用し、梁幅が広がるほど主桁作用による応力がコンクリート梁の部分にも流れ出すことによるものと考えられる。今回の検討で用いた支間長 25.5m、主桁構造高 938mm のモデルにおいては、中間支点部における中立軸位置は梁幅 1500mm 程度で理論値まで達し、それ以上梁幅を増加しても、さらなる中立軸位置の低下は起こらなかった。

4. 支承数削減に関する検討

本章では、T 荷重載荷時および死荷重相当の荷重載荷時に、従来通りの支承配置と提案する支承削減配置とで支点反力、各部応力および変位にどの程度差異が生じるかを確認する。さらに、支承数を削減した場合において、支承部周辺の構造として設計上の問題がないか検討を行う。なお、いずれも設計荷重レベルに対する検討であることから、3 章の結果を踏まえ、鉄筋を考慮しない線形弾性解析を行う。

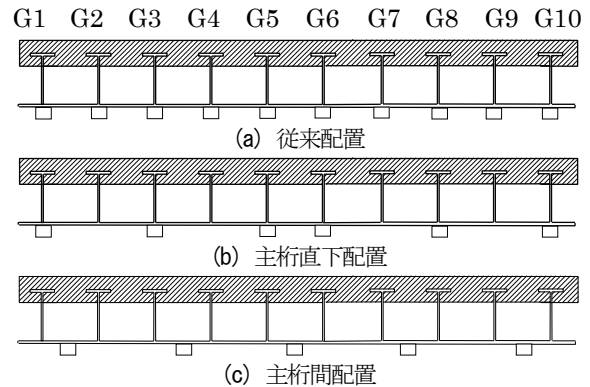


図-10 支承配置

表-1 支承サイズ

	橋軸方向 <i>a</i> (mm)	橋軸直角方向 <i>b</i> (mm)	厚さ <i>t</i> (mm)
端支点	200	250	105
中間支点	300	350	59

4.1 検討する支承配置

ゴム支承の配置は、図-10 の断面図に示すように、まず従来通り中間支点部および端支点部に 1 主桁 1 支承で配置したもの、支承数を削減し主桁直下に配置したもの、および支承数を削減し主桁間に配置したもの、これら 3 ケースを対象とする。従来配置は支承数が 10 であるのに対し、主桁直下配置では 6、主桁間配置では 5 である。

4.2 検討概要

打下しコンクリート梁幅が 600mm のモデルの中間支点部コンクリート床版上面に T 荷重を載荷した解析により、支承の位置と荷重載荷位置の関係に着目した検討を行う。さらに、対象構造の死荷重相当の荷重を載荷した解析により、支承数を削減した場合においても、死荷重レベルで発生する反力・応力等が、材料強度や設計の観点から問題がないか検討を行う。なお、支承部のモデル化にあたっては、安全側の評価を与えることと解析モデルの簡素化のため、すべての支承配置において支承サイズは同一とする。設定した支承サイズを表-1 に示す。

解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MARC[®] を用い、コンクリートおよびゴム支承に 8 節点立体要素、鋼部材に 4 節点厚肉シェル要素を使用する。解析モデルの一例を図-11 に示す。要素分割は、高さ方向に 8 分割、橋軸直角方向に主桁間隔を 22 分割、橋軸方向に横桁間隔を 10 分割を基本としている。鋼部材とコンクリートは一体で挙動するものとし、そのヤング係数、ポアソン比は 3.2 と同様とする。ゴム支承のヤング係数は、中間支点部で 188.4N/mm²、端支点部で 141.4N/mm² とし、ポアソン比はいずれの支点においても 0.49 とする⁷⁾。

T 荷重に対する検討においては、橋軸直角方向の載荷

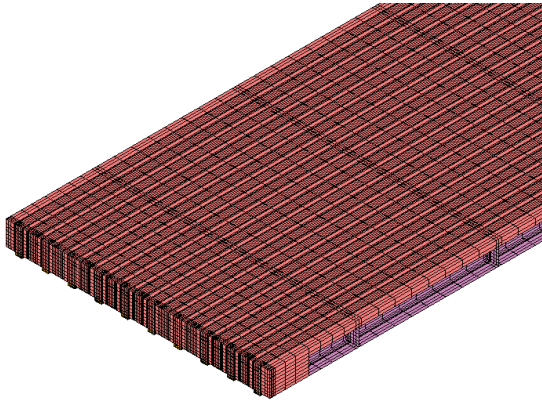


図-11 解析モデルの一例

位置を主桁直上、主桁間中央、および主桁上フランジ端部とし、橋軸直角方向に複数組の輪荷重群を持たない単一の荷重として載荷する。死荷重に対する検討においては、「床版コンクリート重量」、「鋼重」、「後死荷重（アスファルト舗装、地覆）」を考慮する。これら3つの死荷重を想定した解析を個々に行い、それぞれの死荷重により発生する反力・応力を足し合わせることで、対象構造全体の死荷重により発生する支点反力、応力等の確認を行う。単位体積重量は、床版コンクリートと地覆では 24.5kN/m^3 とし、鋼部材およびアスファルト舗装ではそれぞれ 77.0kN/m^3 、 22.5kN/m^3 とする。

4.3 T 荷重に対する検討結果

(1) 支点反力

図-12にG5主桁直上にT荷重を載荷した際の間中支点部における支点反力を示す。従来配置に比べ、支承数を削減した場合には1つの支承に作用する反力が大きくなっていることが確認できる。また、各支承配置ともに載荷位置に近い支承ほど支点反力が大きくなる傾向にあり、支承直上に載荷した場合においても載荷位置直下に存在する支承が全ての荷重を負担することなく、載荷位置からの距離が遠くなるにつれ各支承に作用する反力の割合が緩やかに低下している。

(2) 橋軸方向直応力

図-13にG5主桁直上にT荷重を載荷した際の間中支点部コンクリート床版上面および底鋼板下面における橋軸方向直応力を示す。コンクリート床版上面においては、各支承配置ともに載荷位置において大きな圧縮応力が発生している。また、発生応力は支承配置の違いによる差異が小さいことが確認できる。主桁直下配置における発生応力は従来配置とほぼ等しく、主桁間配置における発生応力は従来配置に比べ1%高い程度である。底鋼板下面においては、全ての支承配置に共通して載荷位置において引張応力が発生している。従来配置と主桁直下配置の応力分布形状は類似しているが、主桁直下配置は従来配置に比べ、支承が存在しないG4主桁直下において応力が若干大きくなっていることが確認できる。また、

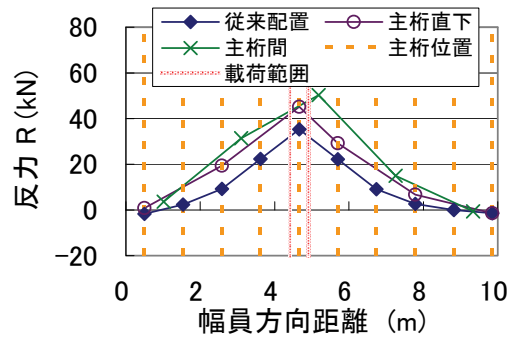
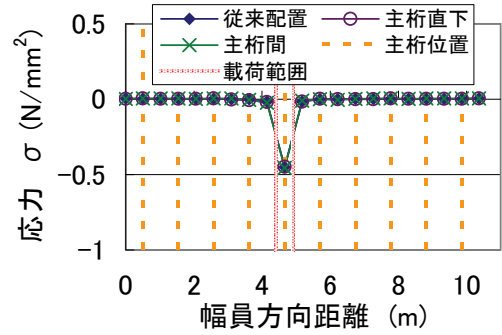
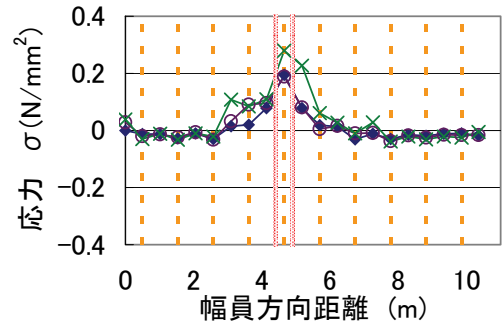


図-12 支点反力（中間支点部）



(a) コンクリート床版上面



(b) 底鋼板下面

図-13 橋軸方向直応力（中間支点部）

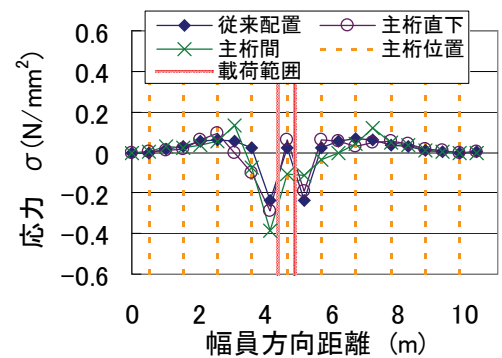


図-14 横桁上フランジ上面応力（中間支点部）

主桁間配置は従来配置に比べ、支承が存在するG3・G4間、G5・G6間、G7・G8間周辺において応力が大きくなる傾向にあり、載荷位置における発生応力は従来配置に比べ約40%高い値を示している。

(3) 橋軸直角方向直応力

図-14にG5主桁直上に載荷した際の間中支点部横桁上フランジ上面における橋軸直角方向直応力を示す。従

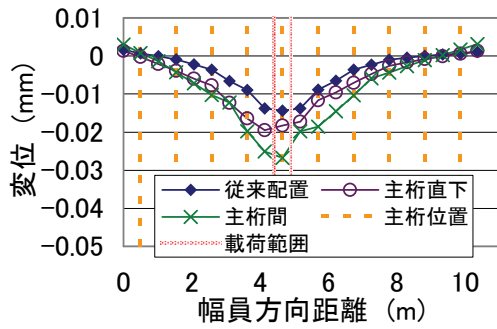


図-15 底鋼板鉛直方向変位 (中間支点部)

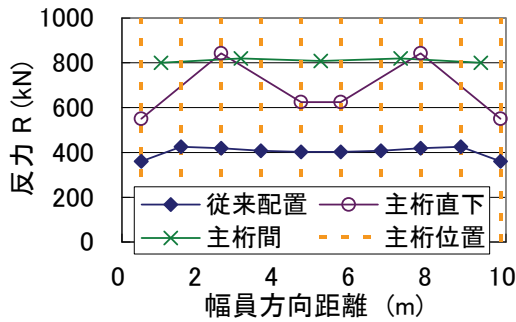


図-16 支点反力 (中間支点部)

来配置と主桁直下配置を比較すると、両者の応力分布形状は比較的良好に一致していることが確認できる。それに対し、主桁間配置は主桁直下配置に比べ従来配置との差異が大きく、支承が存在する位置において従来配置よりも引張側の応力が発生し、それ以外の部位においては従来配置よりも圧縮側の応力が発生している。

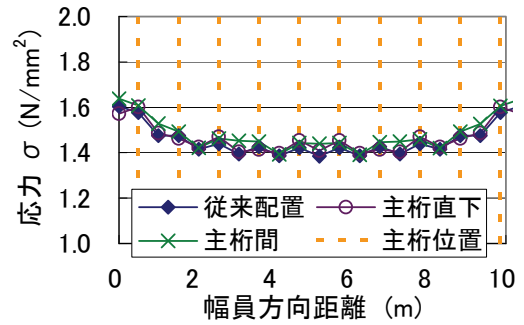
(4) 鉛直変位

図-15にG5主桁直上に載荷した際の間中支点部における底鋼板の鉛直方向変位量を示す。各支承配置ともに載荷位置において変位量が大きくなる傾向が見られ、主桁直下配置と主桁間配置の最大変位は、従来配置に比べ、それぞれ35%、85%程度大きな値となっている。また、若干ではあるが、支承が存在する位置よりも支承間の方が変位量が大きくなる傾向にある。

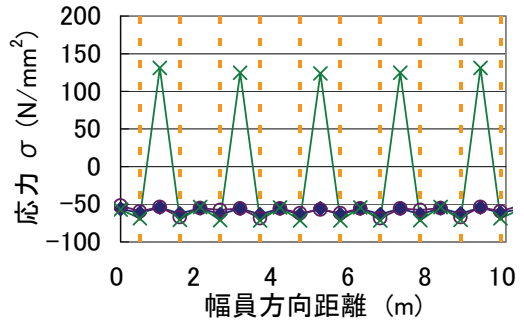
4.4 死荷重に対する検討結果

(1) 支点反力

図-16に中間支点部における支点反力を示す。従来配置や主桁間配置のように支承間の距離が等しい場合には、各支承における反力は同程度の値となっていることが確認できる。しかし、主桁直下配置においては、支承間の距離が長くなるG3、G8主桁直下の支承で反力が大きくなっている。また、各支承配置における支点反力の最大値は、従来配置が426kN、主桁直下配置が843kN、主桁間配置が814kNであり、支承数を削減した場合においても、ゴム支承として十分設計可能な反力であると考えられる。



(a) コンクリート床版上面



(b) 底鋼板下面

図-17 橋軸方向直応力 (中間支点部)

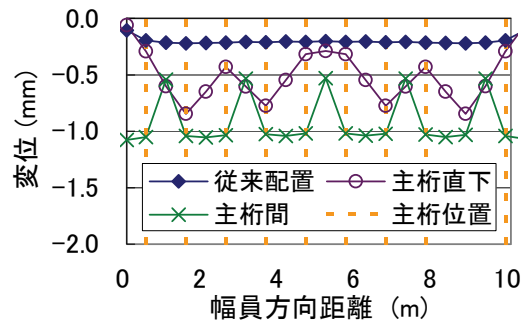


図-18 底鋼板鉛直方向変位 (中間支点部)

(2) 橋軸方向直応力

図-17に中間支点部コンクリート床版上面および底鋼板下面における橋軸方向直応力を示す。コンクリート床版上面においては、支承配置の違いによらず、発生応力に大きな差異が生じていないことが確認できる。発生応力が一番大きくなる主桁間配置においても、応力は最大で1.64N/mm²であり、コンクリート中に鉄筋が存在する実構造においては、この程度の発生応力であれば問題ないと考えられる。底鋼板下面においては、主桁間配置の支承位置で130N/mm²程度の大きな引張応力が発生している。これは、解析モデルにおいて支承位置の横桁ウェブに垂直補剛材を設置していなかったことに起因して、底鋼板が局所的な曲げを受けたためである。別途実施した垂直補剛材を設置したモデルを用いた解析で、適切に垂直補剛材を設置すれば、このような局部曲げによる大きな引張応力は発生しないことを確認している。

(3) 鉛直変位

図-18 に中間支点部における底鋼板の鉛直方向変位を示す。従来配置よりも支承数を削減した場合の方が変位量が大きくなっているが、従来配置が 0.22mm、主桁直下配置が 0.85mm、主桁間配置が 1.08mm であり、支承削減配置においても設計上問題のない程度に小さい値であると考えられる。

(4) 支点上補剛材付近の応力

本構造では架設時の荷重を鋼部材のみで支持することになるため、図-10(c)に示す主桁間配置では、支点上の横桁ウェブに垂直補剛材が必要となる。そこで、道示の規定に従い必要となる垂直補剛材のサイズを幅 120mm、厚さ 12mm と算定し、この補剛材を設置したモデルに対して、床版コンクリート重量のみを載荷して解析を行った。G5・G6 主桁間直下に存在する中間支点部の支承上横桁ウェブに発生するウェブ高方向直応力のコンター図を図-19 に示す。圧縮応力の最大値は 80N/mm² 程度で、問題となるような応力集中は発生していないことがわかる。

5. 結論

本研究では、連続中空合成床版橋における支承数削減の可能性を明らかにすべく、まず、基礎的検討として、有限要素解析における床版コンクリート中の鉄筋のモデル化の必要性を検討した。次に、荷重条件を変化させ、本研究で対象とする構造から支承数を削減することの可能性について検討を行った。以下に、本研究で得られた主な知見を示す。

- (1) コンクリート床版にひび割れが発生し、当該部分が応力を負担できなくなると、鉄筋のモデル化による力学的挙動に有意な差が生じるが、設計荷重レベル程度の概ね弾性的な挙動を示す領域における検討であれば、鉄筋のモデル化の有無による解析結果の違いはほとんどない。
- (2) 支承数を削減し、支承を設置する位置を変えることにより、各種荷重に対して支承に作用する反力や支承部周辺で発生する応力、主桁間における鉛直変位等は大きくなるが、それらの分布形状は従来の支承配置とほぼ同様である。値の違いについても、設計上問題となるほどではない。
- (3) 死荷重相当の荷重を載荷した解析により、支承数を削減した場合においても、発生する支点反力・変位はゴム支承として許容可能な値であり、支承上の鋼部材についても、道示の規定に従った補剛材を配置すれば問題ないことを確認した。

以上の結果より、本研究で検討を行った対象構造および支承配置においては、従来の支承配置から支承数を削減できる可能性が示されたと考えられる。今後、支間、幅員、主桁間隔等の構造パラメータを変化させた解析を

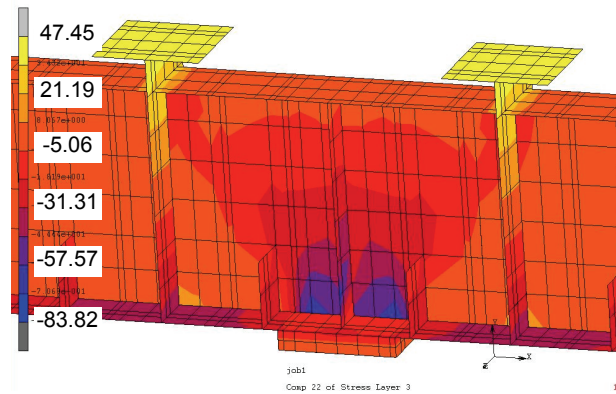


図-19 ウェブ高方向直応力コンター図

行い、本研究の結論の一般性を確認する必要がある。

それ以外の今後の課題として、特に主桁間配置において、適切な支点部垂直補剛材の設置方法をゴム支承近傍の局部応力にも着目して検討することや、活荷重を載荷した場合における設計上の問題点の有無を検証することが考えられる。

また、本橋梁形式では床版下面を目視により確認することが困難であり、これは点検や維持管理を行ううえで重要なポイントであると考えられる。実橋における維持管理は、合成床版と同様にその劣化に至るプロセスを把握し、その変状をモニタリングする間接的な方法としており、供用開始後 29 年が経過した橋梁においても現在のところ変状は確認されていない。

参考文献

- 1) 合成床版橋研究会：合成床版橋設計・施工指針(案)，1999.8.
- 2) 佐藤ら；突起付形鋼を用いた中空型合成床版橋の構造特性並びに道路橋への適用，第 44 回土木学会年次学術講演会，I-136，1984.
- 3) 小島ら：連続中空合成床版橋の中間支点部における打下しコンクリートの影響，鋼構造年次論文報告集，第 14 巻，2006.11
- 4) 小島ら：連続合成床版橋中間支点部のコンクリート形状に関する解析的検討，鋼構造年次論文報告集，第 15 巻，2007.11.
- 5) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2002.3.
- 6) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002.3.
- 7) 松本ら：連続中空合成床版橋の支点部簡素化に関する解析的検討，鋼構造年次論文報告集，第 16 巻，2008.11.
- 8) MSC Software：MSC.Marc 2000 日本語オンラインマニュアル.
- 9) (社)土木学会：コンクリート標準示方書，2007.3.

(2009 年 9 月 24 日 受付)