

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

Analytical study on structural simplification of support area in continuous composite hollow slab bridges

○松本 久幸*, 中村 聖三**, 高橋 和雄***, 熊野 拓志****, 小島 実*****
Hisayuki MATSUMOTO, Shozo NAKAMURA, Kazuo TAKAHASHI,
Takuji KUMANO and Minoru KOJIMA

ABSTRACT Composite slab bridges are being increasingly employed because of their many design advantages. In standard composite slab bridges, a bearing is generally allocated under each main girder. However, if the composite slab bridge has long span or continuous girder, the configuration near support may become complex due to the large size of bearing. Because of those factors, in this study, a series of 3D finite element analysis is carried out in order to propose the configuration which can reduce the number of bearings.

Keywords : 打下しコンクリート, 合成床版橋, 支承, FEM 解析

Filling concrete, Composite slab bridge, Bearing, Finite element analysis

1. はじめに

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、鉄道などの路面計画高と桁下空間との制約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、近年では、長支間化や連続化のニーズが高まってきている。

支間長 20m 程度以上の中空タイプ単純合成床版橋²⁾においては、桁端部の剛性向上のため、端支点部の床版コンクリートを打ち下ろす構造が採用されているが、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、端支点部同様に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とされている³⁾。

ところで、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

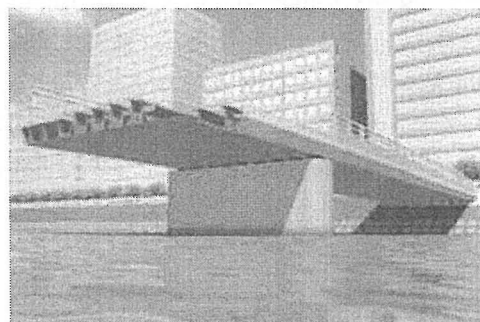


図-1 合成床版橋イメージ図

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。そのため、連続中空合成床版橋において、支承数を削減することが可能な構造を提案することができれば、支承部周辺を簡素化することができ、さらに経済性が向上すると考えられる。

本研究は、連続合成床版橋における支点部構造の簡素化をテーマとしたものであり、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反力に与える影響を検討した上で、

*工学士 長崎大学大学院 生産科学研究科 学生 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号)

**博(工) 長崎大学 工学部 准教授 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号) 第2種正会員

***工博 長崎大学 工学部 教授 (〒852-8521 長崎市文教町1番14号) 第2種正会員

**** 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)

支承数を削減することが可能な構造を提案することを目的としており、その第一ステップとして、全面等分布荷重が作用した場合の合成床版橋の基本挙動を解明するため、3次元有限要素解析による基礎的な検討を行った。

2. 対象とする構造

検討対象は、図-2に示すような支間長が25.5m、幅員が10.36mの2径間連続合成床版橋であり、中間支点部で橋軸方向300mm、600mm、1000mmの範囲にわたり床版コンクリートが底鋼板上まで打下してある場合、中間支点部においても中空とした場合、および床版コンクリートも打下しコンクリートも存在しない鋼部材のみの構造を対象とする。主桁はG1からG10まで10本配置されている。打下しコンクリートの梁幅は、中間支点部においてコンクリート上面および底鋼板下面の橋軸方向直応力の低減効果が期待される、打下しコンクリート梁幅 $B(\text{mm})$ と構造高 $h(\text{mm})$ の比 B/h が0.6から1.0程度⁴⁾の範囲で設定している。ゴム支承の配置は、図-3の断面図に示すように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と、支承数を削減し主桁直下および主桁間に配置した3ケースを対象とする。図-4に断面寸法を示し、図-5に中間支点部打下しコンクリート形状を示す。

3. 解析概要

本研究では、汎用有限要素解析ソフトウェアMARC⁵⁾を用い、線形弾性解析を実施した。鋼部材には4節点厚肉シェル要素、コンクリートおよびゴム支承には8節点立体要素を用いた。鋼材のヤング係数は 200kN/mm^2 、ポアソン比は0.3とし、コンクリートのヤング係数は 28kN/mm^2 、ポアソン比は0.17とした。ゴム支承のヤング係数は、中間支点部で 188.4N/mm^2 、端支点部で 141.4N/mm^2 とし、ポアソン比は0.49とした。なお、端支点部および中間支点部におけるゴム支承のヤング係数は式(1)により算出した。

$$E = \alpha \cdot \beta \cdot S1 \cdot Ge \quad \dots (1)$$

E : ヤング係数

α : ゴム支承の種類による係数

β : ゴム支承の平面形状による係数

$S1$: 1次形状係数

Ge : ゴムのせん断弾性係数(N/mm^2)

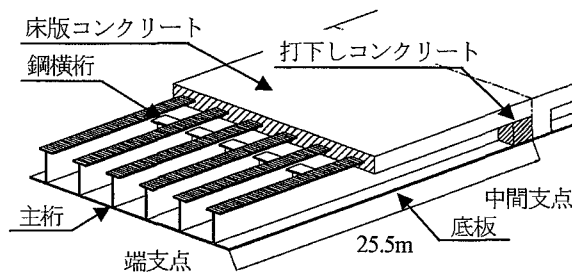


図-2 構造概要図

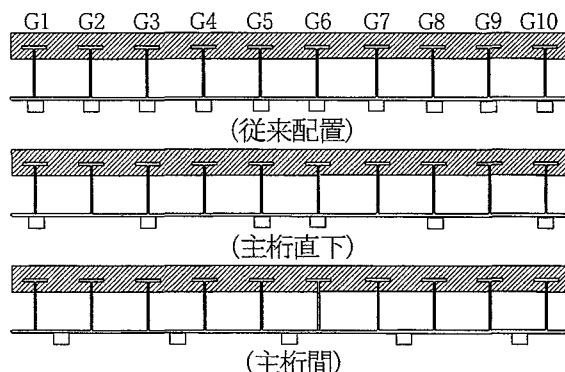


図-3 支承配置

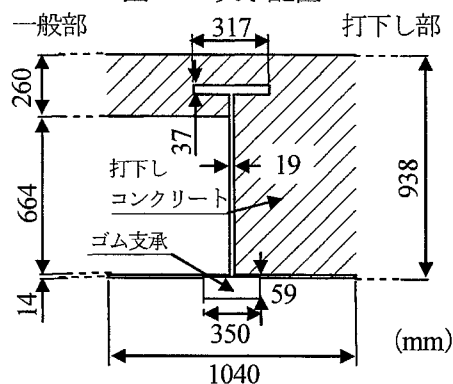


図-4 断面寸法

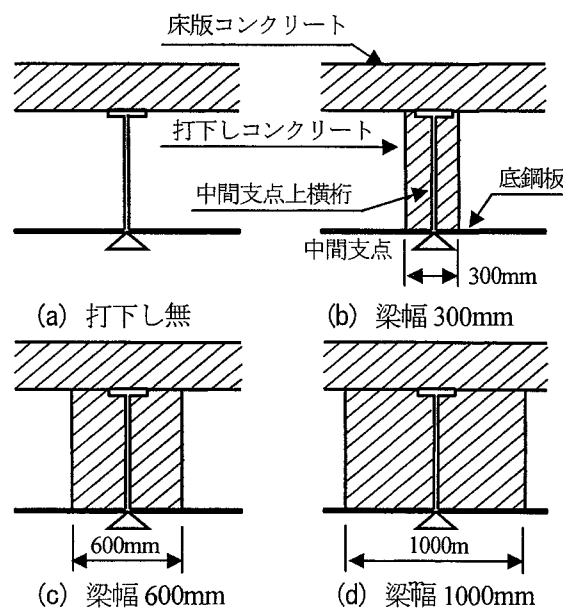


図-5 中間支点部打下しコンクリート形状

外力は床版コンクリート上面に荷重強度 1kN/m^2 の全面等分布荷重とした。床版コンクリートが存在しない鋼部材のみの構造においては、底鋼板上面に荷重強度 1kN/m^2 の全面等分布荷重を載荷した。また、T形鋼フランジ上面には有効なずれ止め(突起)が設けられていることから、コンクリートと鋼材は剛結していると仮定することとした。鉄筋についてはモデル化していない。

4. 解析結果と考察

4.1 支点反力

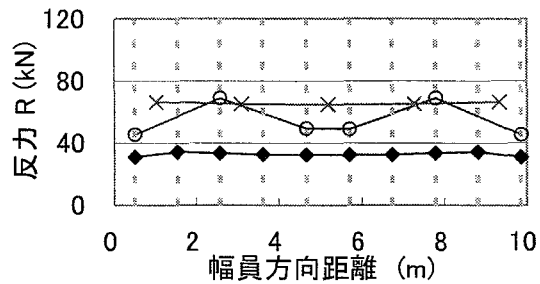
図-6 および図-7 に、中間支点および端支点部における支点反力を示す。

同図より、中間支点および端支点部ともに、従来配置に比べ、支承を削減した場合は支承数が減少した分だけ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。中間支点部においては中間部に存在する支承の反力が大きいという傾向は、打下しコンクリートの有無や支承配置によらずほぼ共通しているが、打下しコンクリートの梁幅が大きくなるほどその傾向は著しい。打下しコンクリートの梁幅が600mmのモデルにおける外桁と内桁の反力比 $R_{\text{外桁}}/R_{\text{内桁}}$ については、従来配置の54.7%に対し、主桁間配置では75.5%であった。このように支承の配置により反力比に違いが現れた理由として、反力比 $R_{\text{外桁}}/R_{\text{内桁}}$ が張出し長と支承間隔の比に依存していることが考えられる。すなわち、主桁間配置は従来配置に比べ、支承間隔に対する張出し長の割合が大きいため、主桁間配置における反力比 $R_{\text{外桁}}/R_{\text{内桁}}$ が従来配置の場合より大きくなったと考えられる。端支点部支点反力については、鋼桁のみの場合は各支承における反力はほぼ等しい値となっているが、床版コンクリートが存在するモデルにおいては外桁支承の反力が大きいという傾向にある。また、床版コンクリートが存在するモデルにおいては、打下しコンクリートの梁幅が変化しても端支点における支点反力はほとんど変わらず、中間支点部支点上横桁の剛性の変化が端支点反力へ与える影響は小さいことが確認できる。

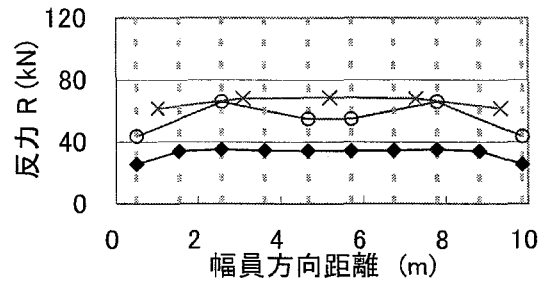
4.2 コンクリート床版上面橋軸方向直応力

図-8 に中間支点部におけるコンクリート床版上面橋軸方向直応力を示す。

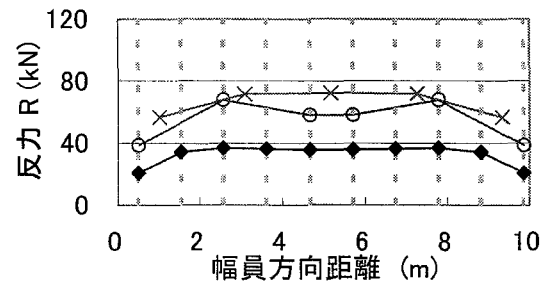
同図より、打下しコンクリートの梁幅が広くなり、支点上横桁の剛性が大きくなるほど、支承配置の違い



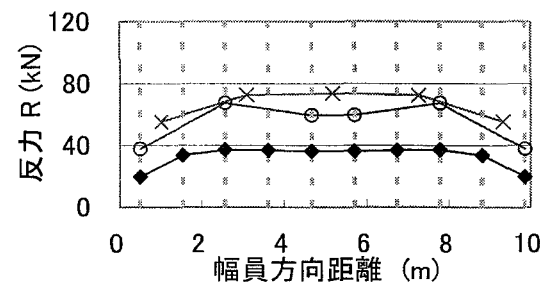
(a) 鋼部材のみ



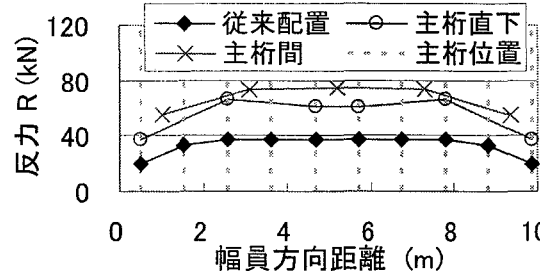
(b) 打下し無



(c) 梁幅 300mm



(d) 梁幅 600mm



(e) 梁幅 1000mm

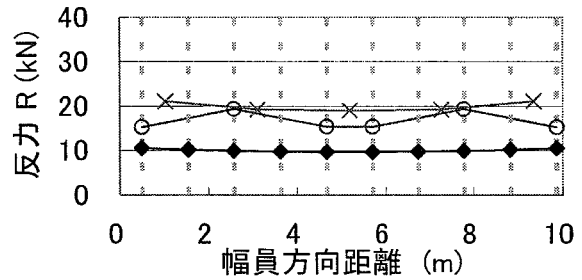
図-6 支点反力(中間支点部)

による発生応力の差異は小さくなることが確認できる。また、従来配置に比べ、主桁直下配置および主桁間配置においては、支承位置直上において応力が大きくなる傾向にある。例えば、打下しコンクリート梁幅が300mmのモデルについては、主桁直下配置の場合、G5主桁直上において従来配置に比べ発生応力が2.8%大きな値になっており、主桁間配置の場合、G5～G6間において従来配置に比べ発生応力が7.6%大きな値となっている。また、打下しコンクリートが存在しない場合についても、支承を削減し配置すると、支承位置直上において従来配置よりも発生応力が大きくなっている。その増加量は打下しコンクリートが存在する場合に比べやや顕著であり、主桁直下配置の場合にはG5主桁直上において6.6%、主桁間配置の場合にはG5～G6間において20%、従来配置に比べ発生応力が大きくなっている。

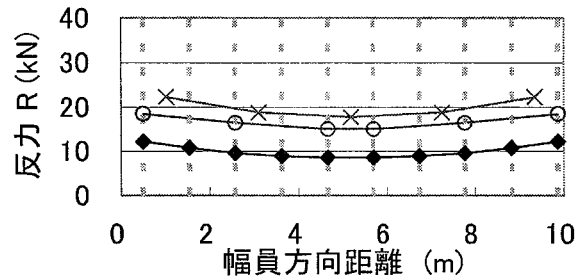
4.3 底鋼板下面橋軸方向直応力

図-9に中間支点部における底鋼板下面橋軸方向直応力を示す。

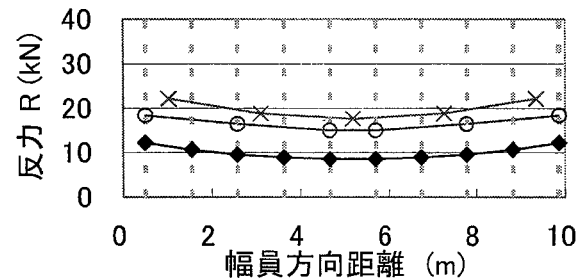
図-9(a)および図-9(b)より、鋼材のみの場合と打下しコンクリートが存在しない場合について、主桁間配置における支承位置での発生応力は、他の部位における発生応力よりも極めて大きな値であることが確認できる。これらの場合には、支承上において主桁ウェブや打下しコンクリートなど橋軸方向に剛性を持ったものが存在しないため、荷重が加わると支承上の底鋼板が横桁のウェブに沿うように変形し、支承位置において大きな引張力が発生したものと考えられる。しかしながらこのような構造の場合には、鋼断面のみで断面設計すれば良いので、設計上問題にはならないと考えられる。一方、主桁直下に支承を配置した場合や打下しコンクリートの梁幅が大きな場合は、支承配置の違いによる底鋼板下面橋軸方向直応力に大きな差異はないことが確認できる。例えば、打下しコンクリート梁幅が600mmのモデルについては、従来配置に比べ、主桁直下配置の場合にG5主桁直下において発生応力が2.4%増加、主桁間配置の場合にG5主桁直下において発生応力が0.7%減少している程度である。また、各ケースについて、支承配置の違いにより設計上問題となるような応力集中が見られないことを別途確認した。



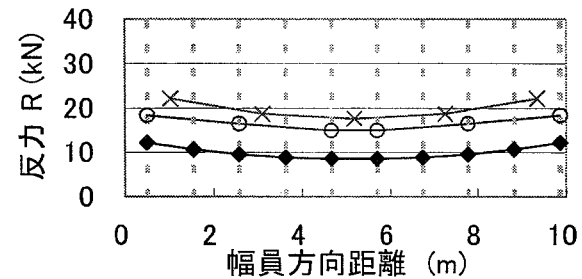
(a) 鋼部材のみ



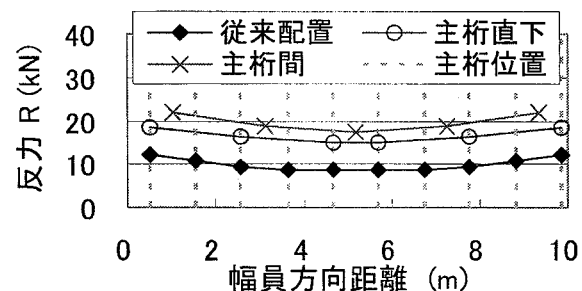
(b) 打下し無



(c) 梁幅 300mm



(d) 梁幅 600mm



(e) 梁幅 1000mm

図-7 支点反力(端支点部)

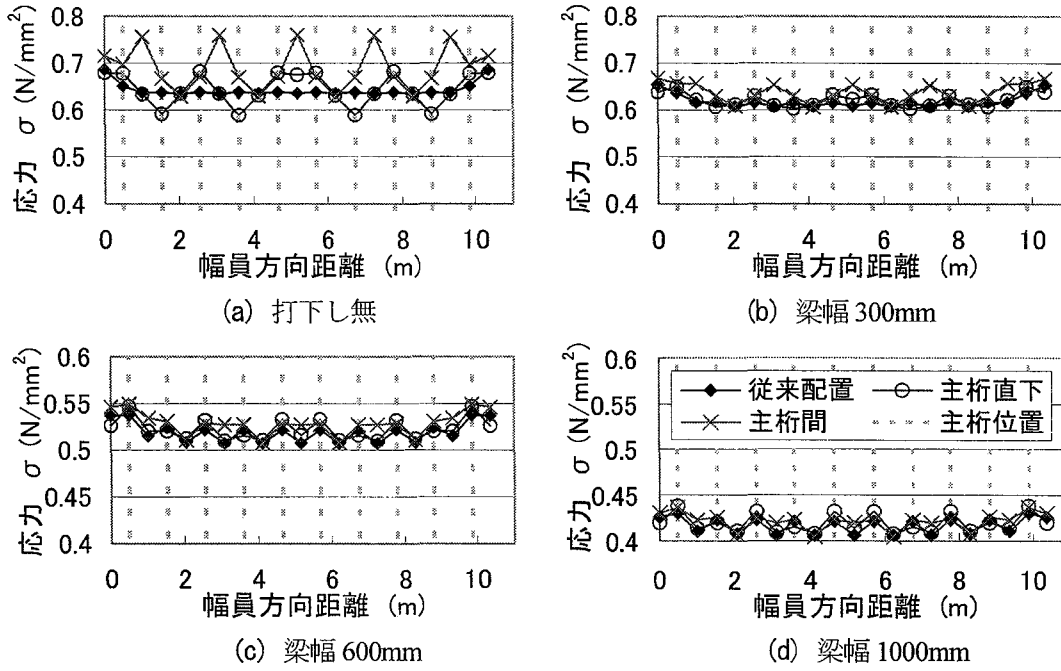


図-8 コンクリート床版上面橋軸方向直応力(中間支点部)

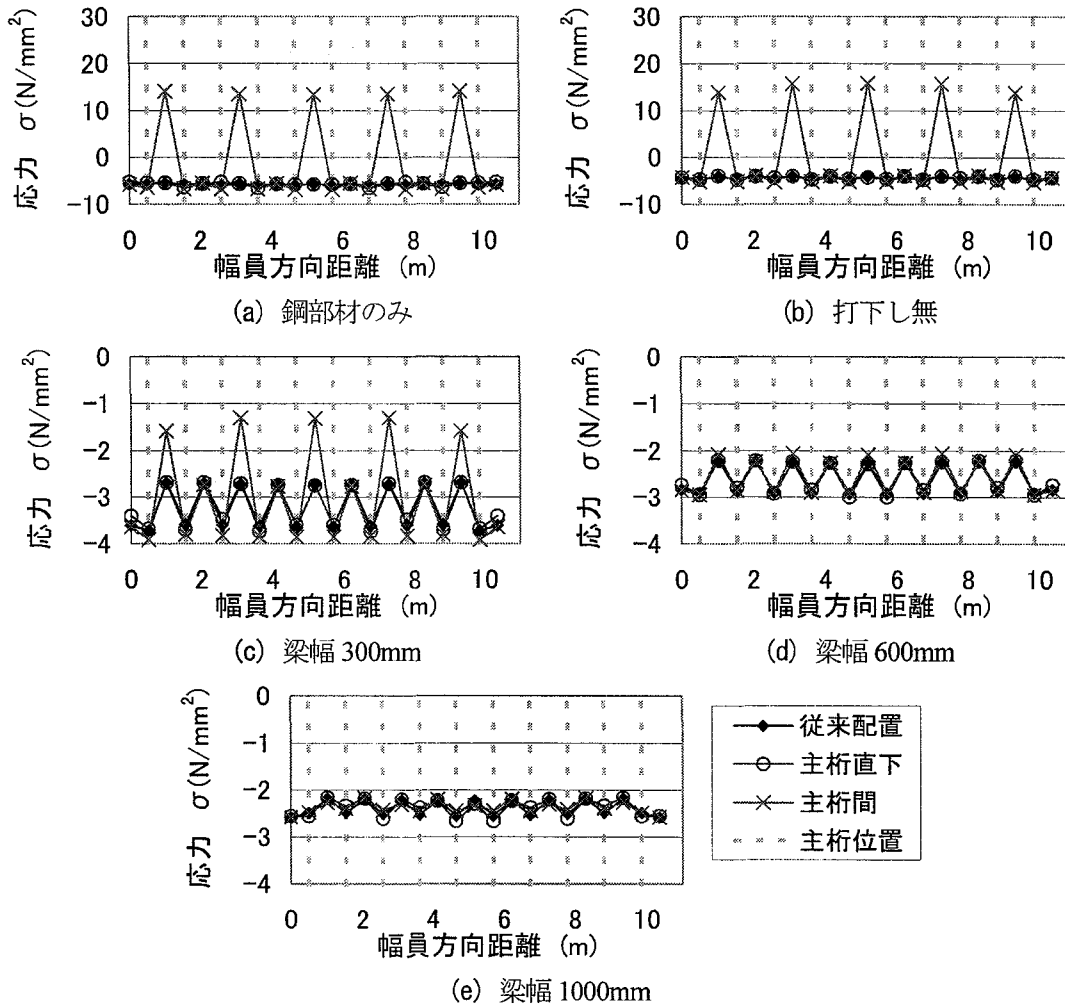


図-9 底鋼板下面橋軸方向直応力(中間支点部)

4.4 コンクリート床版上面橋軸直角方向直応力

図-10 に中間支点部におけるコンクリート床版上面橋軸直角方向直応力を示す。

同図より、打下しコンクリートの梁幅によらず、支承配置の違いによるコンクリート床版上面における橋軸直角方向直応力の差異は、図-9に示した橋軸方向直応力の差異よりも大きいことが確認できる。しかし、打下しコンクリートの梁幅が異なる場合においても、コンクリート床版上面における橋軸直角方向直応力の最大値は、図-9に示した橋軸方向直応力に比べ低い値を示しており、支承配置が異なることにより生じるコンクリート床版上面における橋軸直角方向発生応力の差異が、対象橋梁の構造性能に与える影響は小さいと考えられる。また、主桁直下配置においては支承が存在しない主桁位置で従来配置よりも発生応力が小さく、主桁間配置においては支承位置で従来配置よりも発生応力が大きくなる傾向が見られる。さらに、コンクリート床版上面橋軸方向直応力と同様に、打下しコンクリートの梁幅が広くなり支点上横桁の剛性が大きくなるほど、支承配置の違いによる発生応力の差異は小さくなることを確認できる。

4.5 底鋼板下面橋軸直角方向直応力

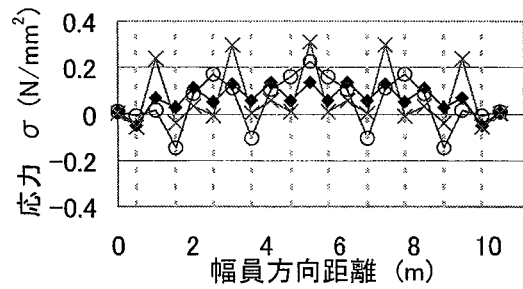
図-11 に中間支点部における底鋼板下面橋軸直角方向直応力を示す。

同図より、コンクリート床版上面と同様に、支承配置の違いによる底鋼板下面における橋軸直角方向直応力の差異は、図-9に示した橋軸方向直応力の差異よりも大きいことが確認できるが、打下しコンクリートの梁幅が異なる場合においても、底鋼板下面における橋軸直角方向直応力の最大値は、図-9に示した橋軸方向直応力に比べ低い値を示しており、支承配置が異なることにより生じる底鋼板下面における橋軸直角方向発生応力の差異が、対象橋梁の構造性能に与える影響は小さいと考えられる。

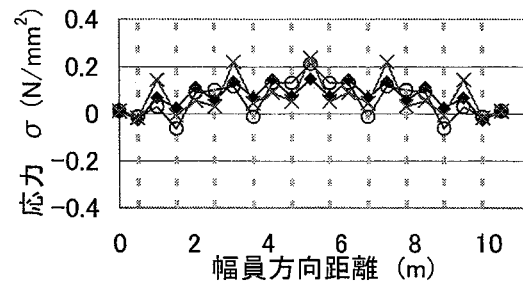
4.6 底鋼板鉛直方向変位

図-12 に中間支点部における底鋼板鉛直方向変位を示す。

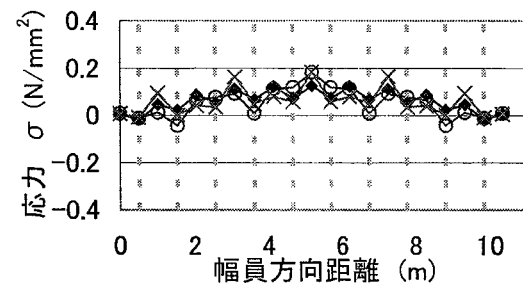
当然のことながら、支承が存在する位置よりも、支承と支承の中間部において変位が大きくなる傾向にあり、鋼材のみの場合と打下しコンクリートが存在しない場合にその傾向が著しい。これは、床版コンクリートや打下しコンクリートが存在す



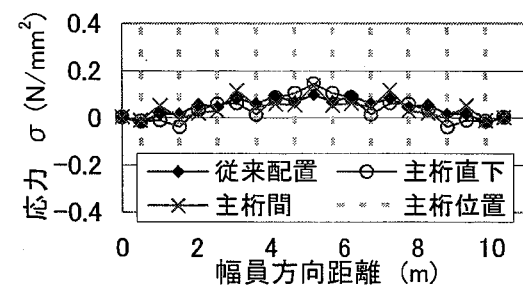
(a) 打下し無



(b) 梁幅 300mm



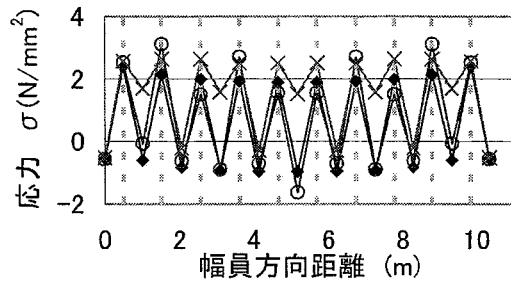
(c) 梁幅 600mm



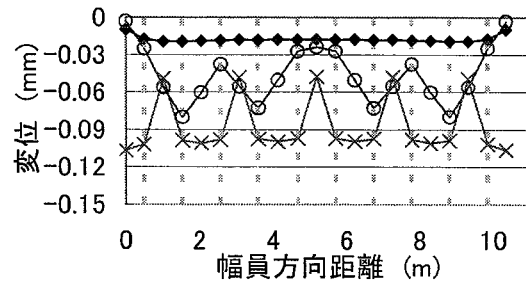
(d) 梁幅 1000mm

図-10 コンクリート床版上面橋軸直角方向直応力 (中間支点部)

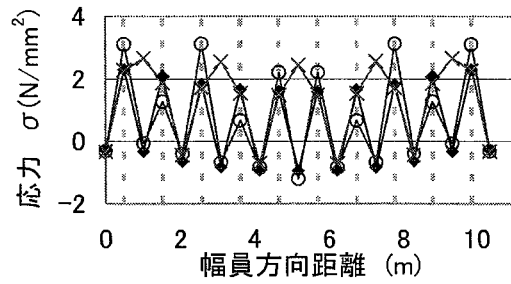
る場合には、剛性が大きいために支承間においてたわみにくく、そのため支承部の変位と支承間の変位に大きな差があらわれないものと考えられる。また、各ケースともに従来位置よりも主桁直下配置および主桁間配置の方が変位量が大きくなっているが、この理由としては、支承数が少ないために1つの支承に作用する荷重が大きく、そのために従来位置よりも主桁直下配置および主桁間配置



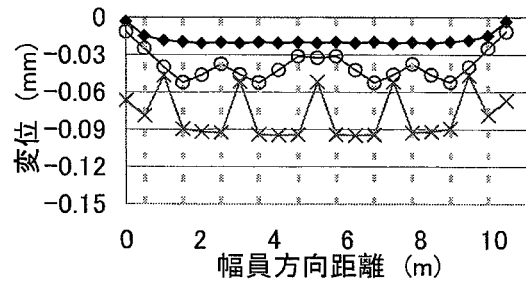
(a) 鋼部材のみ



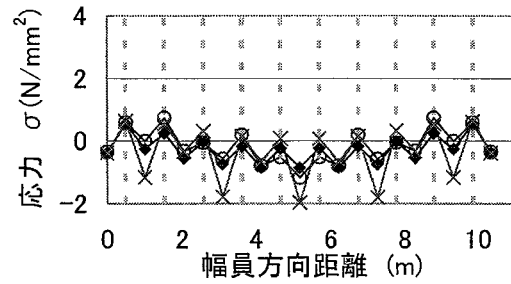
(a) 鋼部材のみ



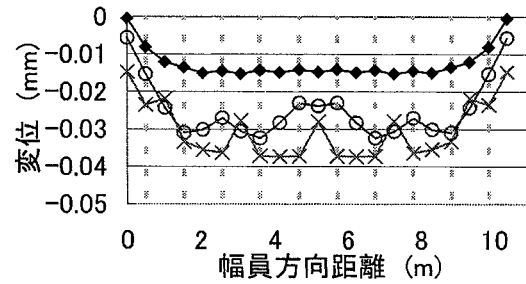
(b) 打下し無



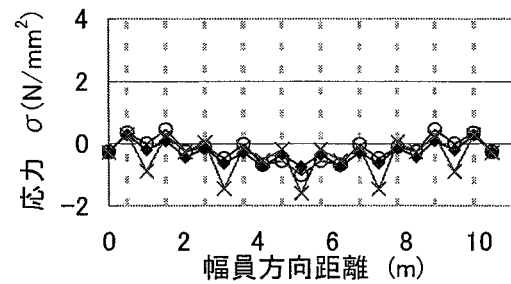
(b) 打下し無



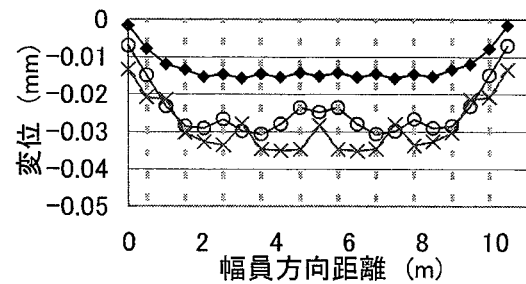
(c) 梁幅 300mm



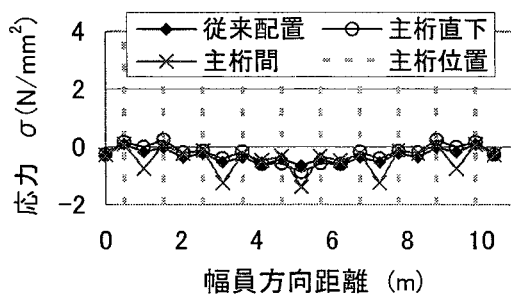
(c) 梁幅 300mm



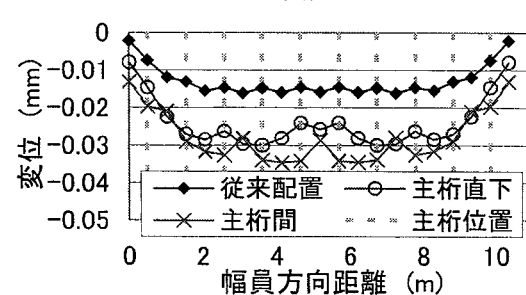
(d) 梁幅 600mm



(d) 梁幅 600mm



(e) 梁幅 1000mm



(e) 梁幅 1000mm

図-11 底鋼板下面橋軸直角方向直応力
(中間支点部)

図-12 底鋼板鉛直方向変位

の方がゴム支承が沈んでいるためであると考えられる。ただし、底鋼板の変位量は最大でも0.1mm程度であり、事実上影響の無い程度に小さい値であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、2 径間連続合成床版橋における支承部の構造簡素化に関して、3 次元有限要素解析を用いて基礎的な検討を行った。本研究で得られた主な知見は以下のとおりである。

- 1) 支承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一方で、最大最小反力比は小さくなる傾向が見られた。また、中間支点部においては中間部に存在する支承の反力が大きく、端支点部においては端に存在する支承の反力が大きいという傾向は、打下しコンクリートの梁幅によらず、どの支承配置においてもほぼ共通している。
- 2) 支承数を削減し配置した場合においても橋軸方向直応力に大きな変化はなく、さらに、中間支点部における打下しコンクリートの梁幅が広がるほど、支承配置の違いによる橋軸方向直応力の差異は小さくなる考えられる。一方、主桁間配置において、打下しコンクリートが存在しない場合や打下しコンクリート梁幅が狭い場合は、底鋼板下面の橋軸方向直応力が大きくなる傾向が見られた。ただ、このような構造の場合には鋼断面のみで断面設計を行うため、設計上問題になることはない。
- 3) 支承配置の違いによる橋軸直角方向直応力の差異は橋軸方向直応力に比べ大きいですが、橋軸直角方向直応力の最大値は橋軸方向直応力に比べ低い値を示しており、支承配置が異なることにより生じる橋軸直角方向発生応力の差異が、対象橋梁の構造性能に与える影響は比較的小さいと考えられる。
- 4) 支承数が少なくなるほど底鋼板の変位量が大きくなる傾向にあるが、底鋼板の最大変位は0.1mm程度であり、事実上影響の無い程度に小さい値であると考えられる。

以上述べたように、今回検討を行った支承配置

においては、支承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、支承の削減に伴う各部発生応力の変化は小さいという結果となった。すなわち、支承数を削減できる可能性が示されたと考える。

また、連続合成床版橋は通常、支点上横桁剛性を評価し格子理論により断面力を算出するため、一般のけた橋と同様に支承配置の違いにより解析手法を変える必要はない¹⁾。しかしながら、斜角の厳しい場合における格子理論の適用性については、単純桁形式の場合と同様に事前に確認しておく必要があると考える。

なお、今回は基本挙動の解明を目的としたことから、全面等分布荷重が載荷した場合を想定して検討を行ったが、今後支承位置と荷重載荷位置の関係に着目した集中荷重に対する検討を行う予定である。また、経済性に関する定量的評価についても今後の課題である。

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) 佐藤他；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) 小島他；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，第 14 回鋼構造年次論文報告集，2006.11
- 4) 小島他；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，第 15 回鋼構造年次論文報告集，2007.11
- 5) MARC Analysis Research Corporation：MARC 2003 Manual，Volume A~E