

機能分割型鋼床版の構造特性に関する研究

飯田, 貴之 / IIDA, Takayuki

(発行年 / Year)

2005-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2005-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2004 年度 修士論文

機能分割型鋼床版の構造特性に関する研究

Study on Structural Characteristics of Functional Divided Steel Plate Deck

法政大学大学院工学研究科
建設工学専攻修士課程

03R5101 飯田貴之

指導教授

主査 山下清明教授

副査 森 猛 教授

まえがき

合成桁の劣化した床版の張替工法として、機能分割型鋼床版を検討する。本構造は、単純な部材の結合からなり、製作と施工が容易であり、また溶接を少なくしボルト接合を多くして、疲労強度・現場施工性の向上を狙う。機能分割とは、主桁と鋼床版との合成機能を発揮する力のうち、水平方向せん断力と鉛直方向支持力を、異なった部材が分担することを意味する。

本構造の機能を確認するために、橋軸方向に関する実験及び解析、幅員方向に関する実験および解析を行った。その結果、実験値と解析値はよく一致し、連結版による部分接合機能、横リブ構造の機能を確認した。このことから、機能分割型鋼床版の橋軸方向、幅員方向の構造特性を確認した。また、FEM 解析を主体とした研究が有効であることを確認した。

その結果を受けて、FEM 全体モデルでの検討により、本構造を実際の橋に適用した際の効果を確かめた。FEM 全体モデルでの検討により、部分接合法が、他の接合方法と比べても、十分な効果を発揮できることを確認した。また、部分接合機能を発揮する主要部材である連結版について着目し、そのパラメータを変化させることで、今後の設計に活かせるデータの取得を行った。その結果、連結版の板長を変化させても、全体挙動に与える影響は少なく、基準モデルの 6 割程度までは十分に合成機能を保てることを確認した。連結版の板厚は、全体挙動を考慮に入れず、最小板厚 $t=8\text{mm}$ を使用できることを確認した。連結版を取付ける際には、その施工条件に合わせて、自由に取付け位置を決めることができることを確認した。

また、今後の設計に活かすことを考え、単純理論値による計算を行った。その結果、解析値と実験値は 1 割程度の差であり、今後の設計のひとつの目安として使えることを確認した。

Study on Structural Characteristics of Functional Divided Steel Plate Deck

No. 03R5101 Takayuki IIDA

Functionally divided steel plate deck is examined as a new material used for replacing decrepit deck of composite girder. This research aims at improving former industrial methods, reducing fatigue strength and making a site construction effective, by mean of this structure. Separating of functions means that horizontal and vertical shear forces acting between main girder and floor system are transmitted to different members.

To check the function of this structure. Structural characteristics were experimented and analyzed. As a result, experiment value accorded analytical value. The function of partial connection and structure of lateral rib was checked. According to that, the structural characteristic of functional divided-steel-plate-deck structure was checked. And It was checked that study that FEM analysis was used very well was effective.

From the result, the effect when this structure applies real bridge was checked. By considering FEM analysis, partial connection method has been understood to be able to demonstrate an enough effect in comparison with another connection method. And from the point the point of that, connection component has the function of partial connection, date which can be used for design from now on was acquired. As a result, even if length of boards is changed, it has been understood the influence of change to a composite function is few and to be able to demonstrate composite to about 60% of base model .Not considering a composite function, that a-8mm -thick board can be used in connection component was checked. As the connection component was fixed, it was decided an installation place freely was checked.

To use it to the design in the future. it was calculated by a simple theory value. As a result, there is a difference of about 10% between analytical value and experiment value, it can be used as reference value of design in the future was checked.

目次

第1章	序論	1
1.1	はじめに	2
1.2	従来工法との違い	2
1.3	研究の目的	3
第2章	機能分割型鋼床版	4
2.1	機能分割型鋼床版とは	5
2.2	構造部材の説明	5
2.3	施工方法	7
第3章	部分接合構造要素に関する基礎的研究	13
3.1	基礎的研究の目的	14
3.2	部分接合機能に関する検討	14
3.2.1	2主桁モデルの実験	14
3.2.2	解析方法	18
3.2.3	実験経過	19
3.2.4	実験値と解析値の比較	21
3.2.5	橋軸方向の特性に関する考察	22
3.3	横リブ構造に関する検討	23
3.3.1	3主桁実験の概要	23
3.3.2	解析対象モデル	27
3.3.3	実験値と解析値の比較	28
3.3.4	幅員方向の特性に関する考察	32
3.4	各解析モデルの比較	33
3.4.1	解析対象モデル	33
3.4.2	解析結果	35
3.4.3	各解析モデルの比較・検討	37
3.5	疲労試験	38
3.5.1	目的	38
3.5.2	疲労試験の方法	38
3.5.3	疲労試験の載荷荷重	39
3.5.4	疲労試験結果	39
3.5.5	疲労試験の考察	41

第 4 章	連結版の機能に関する数値実験	42
4.1	対象橋梁	43
4.2	床版と主桁間の接合方法について	46
4.2.1	部分接合方法	46
4.2.2	連結版について	47
4.3	接合方法を変えたモデルとの比較	48
4.3.1	目的	48
4.3.2	比較対象モデル	48
4.3.3	解析方法	50
4.3.4	解析結果	50
4.3.5	考察	53
4.4	連結版長に関する検討	54
4.4.2	目的	54
4.4.3	解析概要	54
4.4.4	解析結果	55
4.4.5	考察	57
4.5	連結版の板厚に関する検討	58
4.5.1	目的	58
4.5.2	解析概要	58
4.5.3	解析結果	59
4.5.4	考察	62
4.6	連結版の取付け高さ位置に関する検討	63
4.6.1	目的	63
4.6.2	解析概要	63
4.6.3	解析結果	64
4.6.4	考察	70
第 5 章	数値実験の詳細検討	71
5.1	単純理論値との比較	72
5.1.1	目的	72
5.1.2	検討概要	72
5.1.3	単純理論値の算出方法	73
5.1.4	解析結果との比較	76
5.1.5	考察	84

第 6 章	設計荷重の載荷	85
6.1	連結版に対する L 荷重の載荷	86
6.1.1	目的	86
6.1.2	検討概要	86
6.1.3	解析結果	87
6.1.4	考察	93
第 7 章	まとめ	94
7.1	結論	95

参考文献

謝辞

第 1 章

序論

1. 1 はじめに

道路橋において床構造は、橋の構造部分の中で最も損傷を受けやすい部分である。近年、交通量の増大や活荷重の増加に伴い、RC床版は、ひび割れやコンクリートの欠落などの損傷が発生している。既設橋梁においては、様々な補強対策が考えられているが、RC床版の損傷が著しく、補強が困難な場合は、床版コンクリートの全面張替えが必要になる。しかし、これまでの全面張替方法では橋全体を閉鎖して工事をしなければならないことも多くあり、これでは道路を遮断してしまうことになり様々な支障が発生する。また、修復工事も損傷した部分に限らず、それに附随する主桁などの構造要素すべてが工事の対象となってしまう、工期・工費とも膨大なものになってしまう。そこで、道路交通を遮断せず、工期・工費をできるだけ減らして、損傷した床版のみを張り替えることができる工法が検討されている。ここではそれらの対策の一つとしての、機能分割型鋼床版についての研究を行う。

1. 2 従来工法との違い

張り替え用の鋼床版の研究では、大きなテーマの一つとして主桁との接合もその大きなテーマの一つである。主桁上の接合部以外のコンクリートを残して、スタッドとモルタル充填による部分接合案や、接合部にライナープレートを挿入する部分接合を提案されている²⁾。ライナープレートを挿入する部分接合では、接合部以外の鋼床版がライナープレートの分だけ、高く持ち上がるので、既設スタッドをラフに切断するだけで済むメリットがある。この部分接合案は、現在広く利用されている。しかし、これらの案は主桁の上フランジに新設鋼床版を載せて接合する構造のため、路面高さの制限などから、主桁上フランジ上のコンクリート部分を撤去・養生する必要があった。合成桁橋の主桁上フランジ上のコンクリートは密に配置されたスタッドジベル等で拘束されており、夜間だけの急速施工などでは、撤去するための時間と手間が問題であった。

この問題を解決するために、主桁のウェブから鋼床版のデッキプレートへと、桁作用によるせん断力を伝え、床版の鉛直方向の支持は、組み立て部材からなる横リブ構造を採用する方法が考えられた。ウェブとの接合は連続ではなく、横リブ構造ごとに接続する部分接合方法となる。これにより、路面高さを自由に出来るなどのメリットがあり、主桁上フランジ上のコンクリートを残したままの施工が可能となる。また、3主桁以上の時は、横リブ構造をどのようにして中主桁を介して連続させるかが問題になる。この時、剛性を連続させる方法についても工夫が必要だが貫通材によって力を伝達し、連続させる構造としている。このように、従来の構造にはない、特殊な方法によって力を伝達する構造となっている。

1. 3 研究の目的

本構造は、従来の主桁上フランジ上からの接合ではなく、主桁ウェブから連結版を介して、水平方向のせん断力を伝えている。また、鉛直荷重を伝える横リブ構造は、主桁を貫通して連続化しているなど、従来構造にはない特殊な工法をとっているため、その全体的な挙動は未解明な点が多い。そのため、本構造の構造特性を明らかにし、その機能が効果的に発揮されているかを確かめることを本研究の目的とする。また、特殊な構造部材である連結版に着目し、その機能を探ることを目的とする。

機能分割型鋼床版の実用化に向けての検討テーマを次にあげる。

- (1) 実験・解析により、機能分割型鋼床版の構造要素の機能を確認。
- (2) 実用化に向け、全体構造での FEM 解析を行い、その構造特性を確認。
- (3) 特徴的な部材である、連結板に着目し、今後の設計に活かせるデータの取得を行う。

第 2 章

機能分割型鋼床版

2. 1 機能分割型鋼床版とは

鋼床版には、床組みとして鉛直荷重を主桁に伝える機能と、主桁作用としての水平方向せん断力を伝えるための機能がある。床版を張り替える際の、これらの力の伝達方法に工夫を凝らしたものが、機能分割型鋼床版である。既設橋梁のRC床版を撤去し、新設の鋼床版を主桁とを接合する際、合成桁の主桁上のコンクリートは、密に配置されたスタッドジベルがあり、撤去するためには多くの労力が必要であった。その問題を解決するために、本構造では、主桁直上から直接鋼床版へ接合する従来型の工法ではなく、主桁ウェブ中間位置から連結版、縦リブを介して鋼床版へ接合する方法を採用した。この方法により、主桁上フランジ上のコンクリート部分を残しそのまま施工することが可能である。また、従来の鋼床版横リブを、支材と横梁を組み合わせた横リブ構造とし、主桁に貫通材を通すことで横リブ構造を連続化し、鉛直荷重を支えている。これにより、水平方向のせん断応力は床板から縦リブ、連結材と経て主桁に伝わり、鉛直方向の支持力は床板から縦リブ、支材、横リブと経て主桁に伝わる（【図 2.2】参照）。このように、「機能分割」とは床版に荷重がかかった際、主桁に伝わる応力のうち、鋼床版との合成機能を発揮する水平方向のせん断応力と鉛直方向の支持力を異なった部材が分担して伝達することを意味する。

また、この鋼床版は施工性を考え現場組み立てを前提としたものである。部材は鋼板のみを用い、単純なボルトによる接合方法を採用することで製作を単純化している。また、ボルト接合とすることで疲労損傷にも強い。

ここに、機能分割型鋼床版の主なメリットを示す。

- (1) 主桁との接合が簡単（ボルトを使用し、溶接を使用していない、樹脂モルタル、スタッドアンカーがない）
- (2) 単純な部材の接合なので製作と施工が容易
- (3) 溶接を少なくし、ボルト接合を多くしたことによる、疲労強度の向上と現場施工性の向上
- (4) 施工時、全車線を封鎖することなく施工できる。
- (5) 横リブ構造の曲げ剛性が大きい。
- (6) 従来の工法より、工費・工期が削減できる。

2. 2 構造部材の説明

機能分割型鋼床版では、一般的な鋼床版と同じデッキプレートや縦リブといった部材の他にも、支材や横梁、貫通材などの特殊な部材を使用している。本構造を構成する部材についての名称と設計上の考え方²⁾を以下に示す。

<デッキプレート>

デッキプレートの厚みは、一般的な鋼床版と同じく、縦リブ間隔から決定する。既設主桁を跨ぐ場合には、この部分だけ、縦リブ間隔が広くなることもありえる。部分的にデッキ PL を厚く出来ない場合は、主桁上の縦リブ間隔から決定される板厚を採用することになる。縦リブはデッキプレートに溶接、あるいはボルト接合で取り付けられる。

<縦リブ>

垂直支材と組み合わせる関係から、縦リブは開リブとした。開リブとすると、両側からデッキプレートに溶接できるので、疲労損傷が発生しにくいメリットもある。溶接による疲労損傷を嫌う場合は、縦リブとデッキプレートを、ボルト接合することも可能である。開リブでは横リブ間隔と縦リブピッチから縦リブの大きさが決まる。縦リブピッチの決定では、主桁上の縦リブ間隔やボルトの施工性を考慮して決定する。

<主桁>

本研究では、張替え鋼床版として提案しているため、既設橋梁の主桁をそのまま利用することになる。

<横リブ構造>

鋼床版構造では、床版、縦リブからの力を横リブで支え、主桁に伝達されるが、本構造では組み立て式の垂直支持材と横梁の組み合わせで構成し、それを横リブ構造と呼ぶ。垂直支持材はデッキプレートに垂直に取り付ける。垂直であることにより、デッキプレートの傾斜の影響を排除し、部材の統一をはかる。垂直支持材の曲げ剛性を高めることで、デッキプレートと横梁とが合成構造となる。合成構造となることで、横梁の単独の曲げ剛性は低くてすみ、薄型鋼の採用が可能となる。横梁をデッキプレートから離すことで、組み立て式となり、主桁ウェブとの接合位置も自由に選択が可能となる。垂直支持材は薄型鋼のほか、プレートを折り曲げて製作する。垂直支持材との接合をすべてボルトにすることで、横リブ構造から溶接をなくすことが可能になる。

<連結版>

連結版は、鋼床版の主桁作用のためのせん断力を、主桁ウェブに伝達する部分接合部材である。主桁に隣接した縦リブと主桁ウェブ中間高さ位置とを接合する。接合位置は、施工条件等から定めることになる。連結版の位置及び拡大図をそれぞれ【図 2.3】、【図 2.4】に示す。

＜貫通材とブラケット＞

貫通材は横リブ構造が主桁を介して連続するための部材である。横リブ構造の下側部分を構成するウェブ中間位置にある横梁を、ウェブに一つ開けた開口部を通して直接貫通材で結合する、横梁に働く軸力は貫通材で伝達される。支材から伝達される垂直力はブラケットを介して主桁ウェブに伝達する。貫通材は直接ウェブと接合することはないので、ウェブ板厚方向の応力は作用しない。貫通材の位置及び拡大図をそれぞれ【図 2.3】、【図 2.4】に示す。

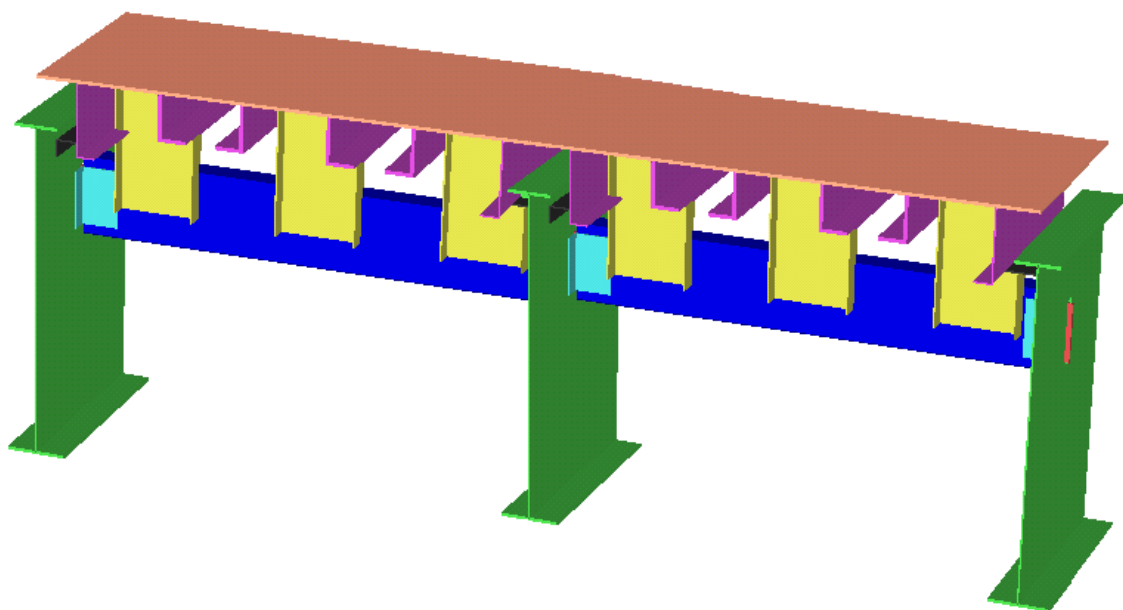
2. 3 施工方法

機能分割型鋼床版の施工手順は次のようになる。

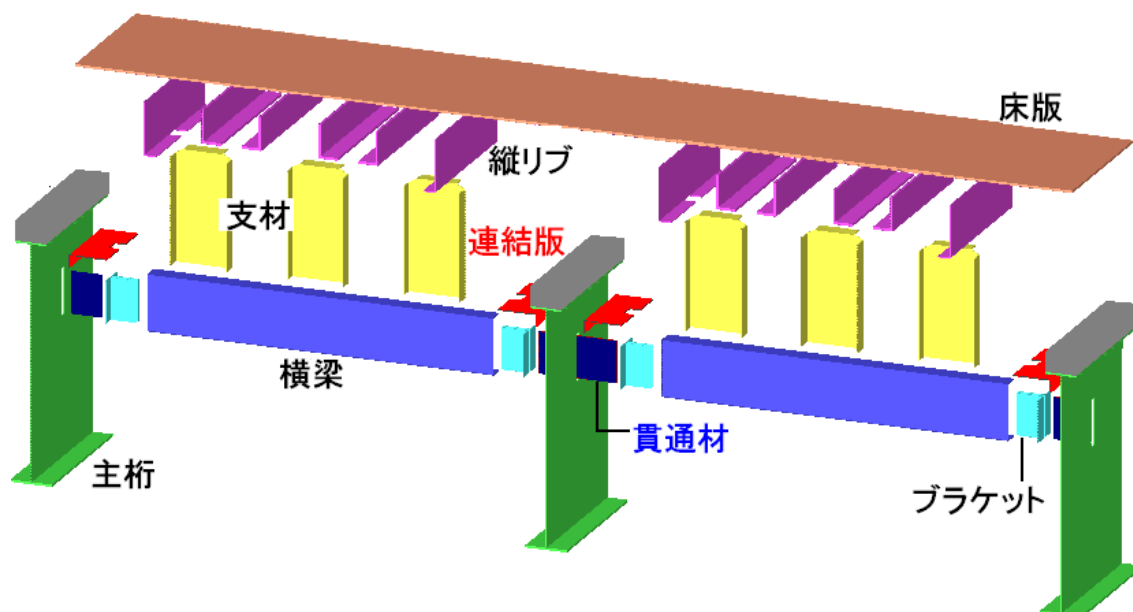
- (1) 既設橋梁に横梁・連結版を取り付ける【図 2.6】。
※この時点では、道路交通を遮断する必要がない。
- (2) 横梁を取り付けた在来の主桁はそのままにしておき、老朽化した RC 床版だけを取り除く。この時主桁上フランジのコンクリートは残したまま施工ができる【図 2.7】。
- (3) 工場で、縦リブ・支材を組み付けた鋼床版を製作する【図 2.8】。
※上記(1)(2)と同時進行で進めることができる。
- (4) 完成した鋼床版を上方から吊り下げ、取り付ける【図 2.9】～【図 2.10】。

またこの施工方法では、幅員方向に1車線ずつ施工することができるので、施工中、車線全線を閉鎖することなく他の車線での通行が可能であり、交通問題が軽減される。

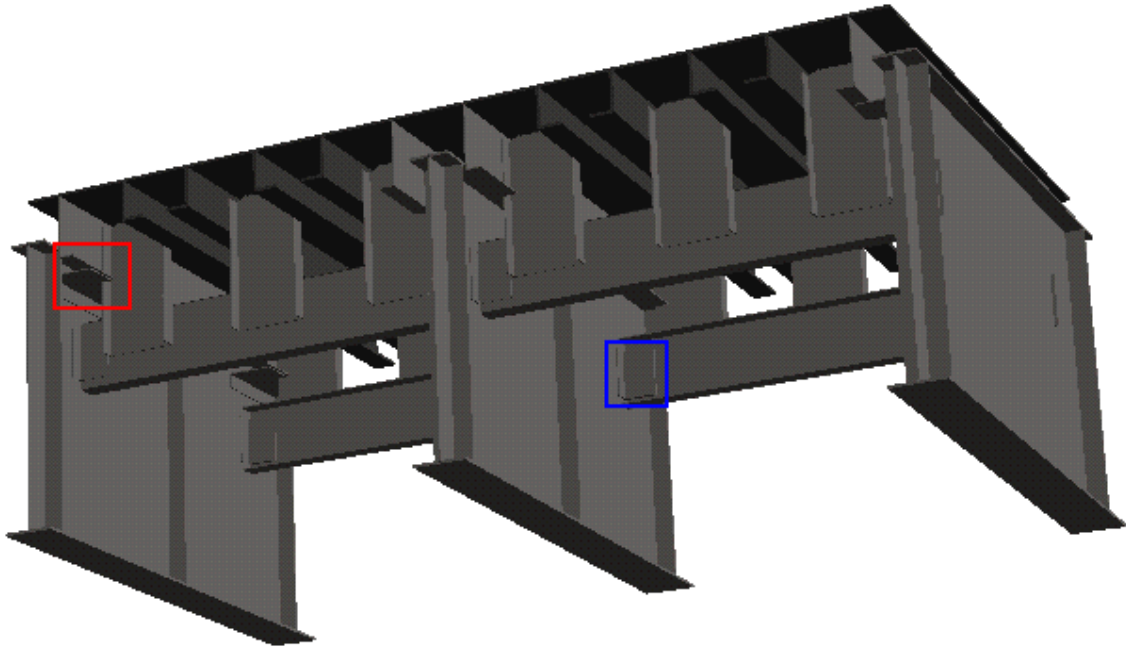
部材の名称



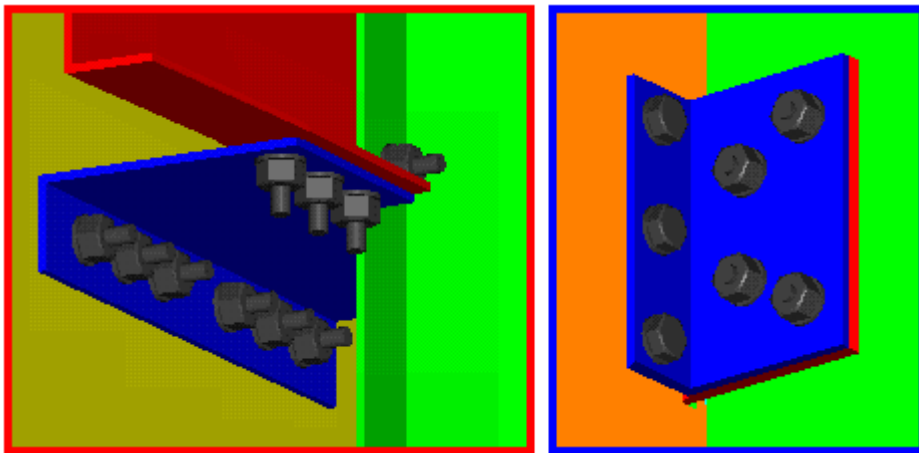
【図 2.1】主桁横断面の基本的な構造



【図 2.2】各部材の名称



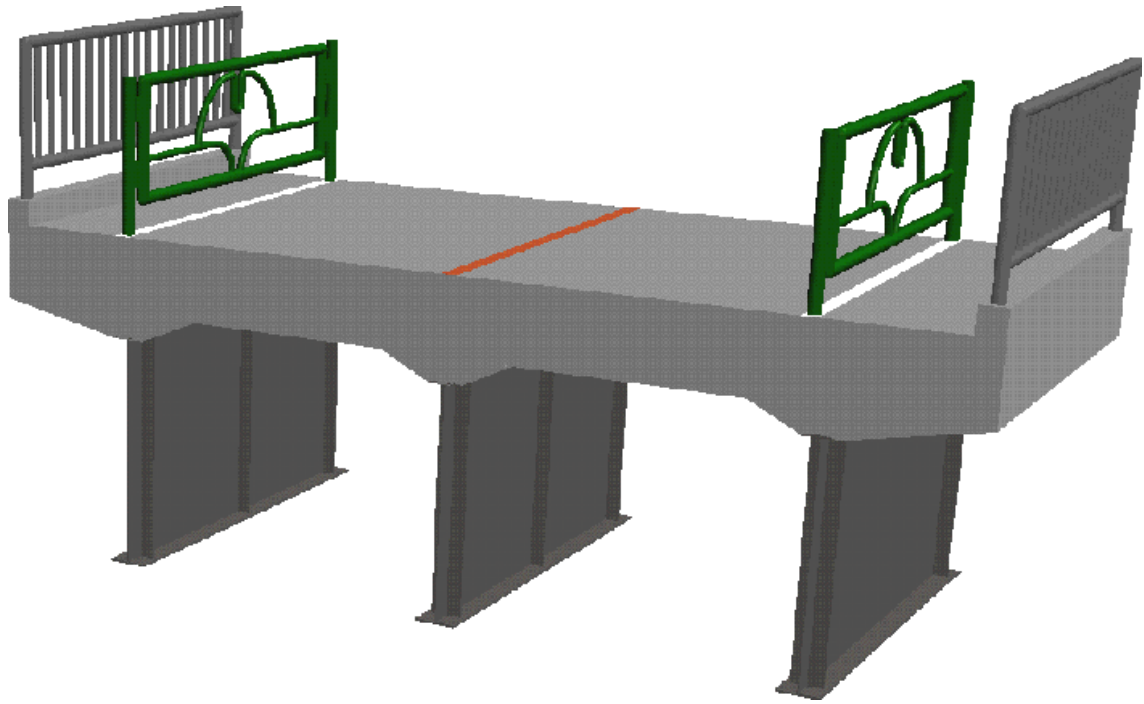
【図 2.3】 機能分割型床版の連結部



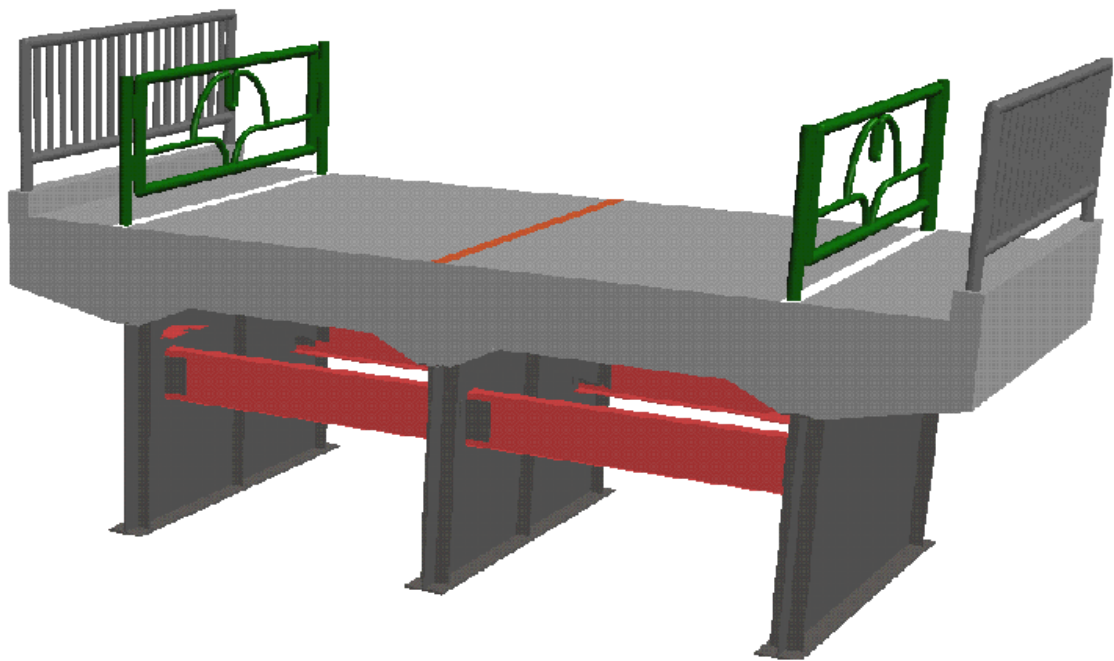
(1) 連結版部分

(2) 貫通材部分

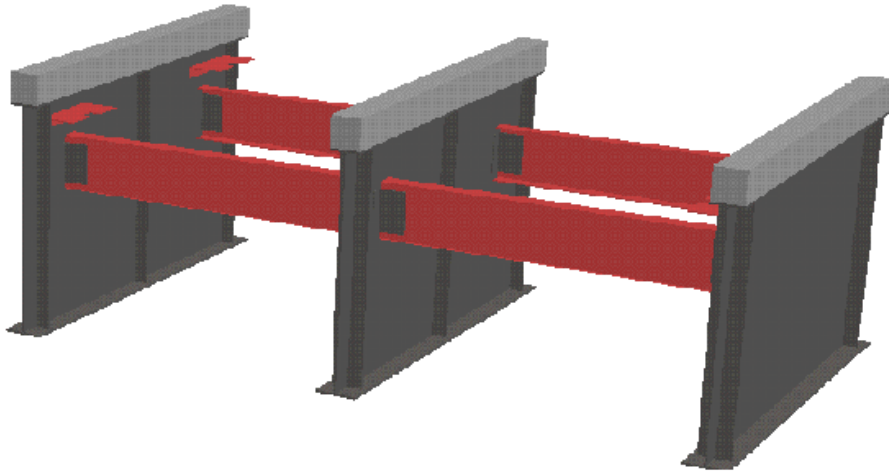
【図 2.4】 連結部拡大図



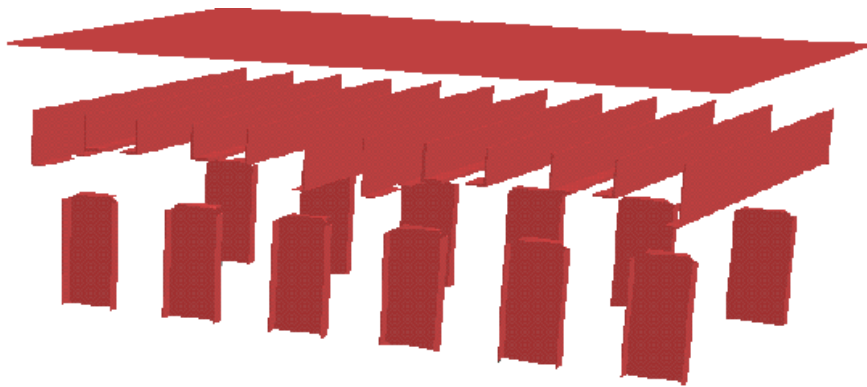
【図 2.5】 既存床版構造



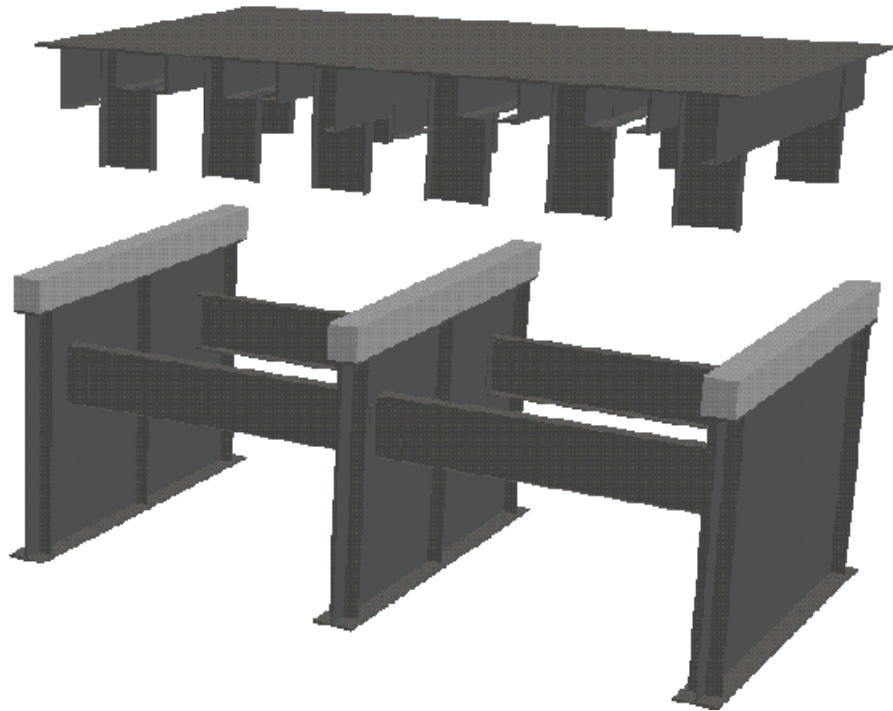
【図 2.6】 既設床版をつけたまま、横梁・連結版を取り付ける



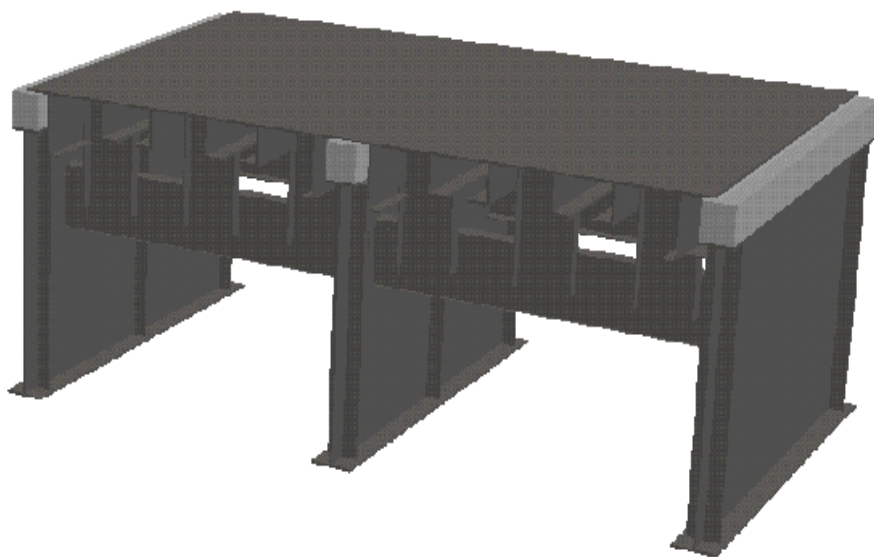
【図 2.7】 上フランジ上のコンクリート部分を残したまま、旧 RC 床版を撤去



【図 2.8】 工場で縦リブ・支材をデッキプレートに組み付ける



【図 2.9】 完成した鋼床版を上方から吊り下げ



【図 2.10】 鋼床版を取り付ける

第 3 章

部分接合構造要素に関する基礎的研究

3. 1 基礎的研究の目的

機能分割型鋼床版では、床版から主桁に伝達される応力のうち、主桁作用としての橋軸方向のせん断力と鋼床版を直接支える鉛直方向の支持力を、その機能ごとに分離した部材で受け持つことを想定し、全体として最適な構造を目指す鋼床版である。

本章では、橋軸方向応力と鉛直方向応力をそれぞれ異なる部材が分担するという機能分割型鋼床版の従来構造には無い構造特性を、特徴的な構造部分に注目し、実験と解析の両面から検討を行い、その機能を確認する。

なお、2主桁モデルを対象とした部分接合機能の検討は、既存の成果をとりまとめた³⁾。

3. 2 部分接合機能に関する検討

本節では、機能分割型鋼床版の特徴的な機能の一つである、部分接合機能による橋軸方向せん断力の伝達についての検討を行う。部分接合機能とは、床版と主桁との接合を、従来の主桁上部からではなく、主桁ウェブ中間高さ位置から行い、かつ、橋軸方向に連続ではなく鋼床版縦リブへ飛び飛びに配置された連結版を介して部分的に接合することで、橋軸方向のせん断力を伝達し、合成機能を期待する機能のことを指す。

実験及び解析は試験装置を考慮し、2主桁モデルを用いた。モデルは、合成モデル・非合成モデルの2つの状態として行った。非合成モデルとは、縦リブ、連結材、ウェブを接合するボルトを緩めた状態とし、床版と主桁の合成機能がないものをいう。また、合成モデルとはこれらのボルトをすべて締めた状態とし、主桁と床版とが一体となって働くことを想定したモデルである。これら、非合成・合成モデルの2つを比べることにより、部分接合機能の効果を確かめ、橋軸方向の構造特性を明らかにする。

3.2.1 2主桁モデルの実験

2主桁の試験体を用いて実験を行った。実験スペースの関係から、実際のモデルの1/2で製作した。この2主桁モデルに荷重を載荷し、主桁ウェブの橋軸方向応力・主桁下フランジの変位を測定する。その結果をFEM解析による結果と比較する。

以下に、実験モデルの写真と実験方法について示す。

<実験モデル>

寸法は実際モデルの 1/2 で、部材は全て鋼板である。組み立ての際、溶接を行った箇所もあるが、着目する構造部分はボルト接合となっている。



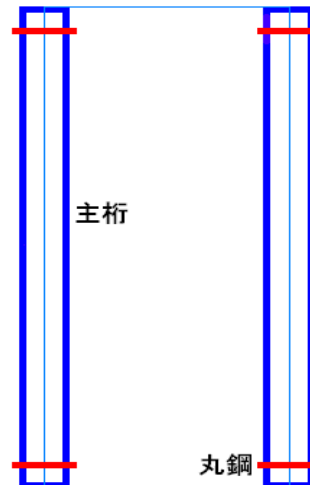
【写真 3.1】 試験体（断面）

<載荷方法、支点条件>

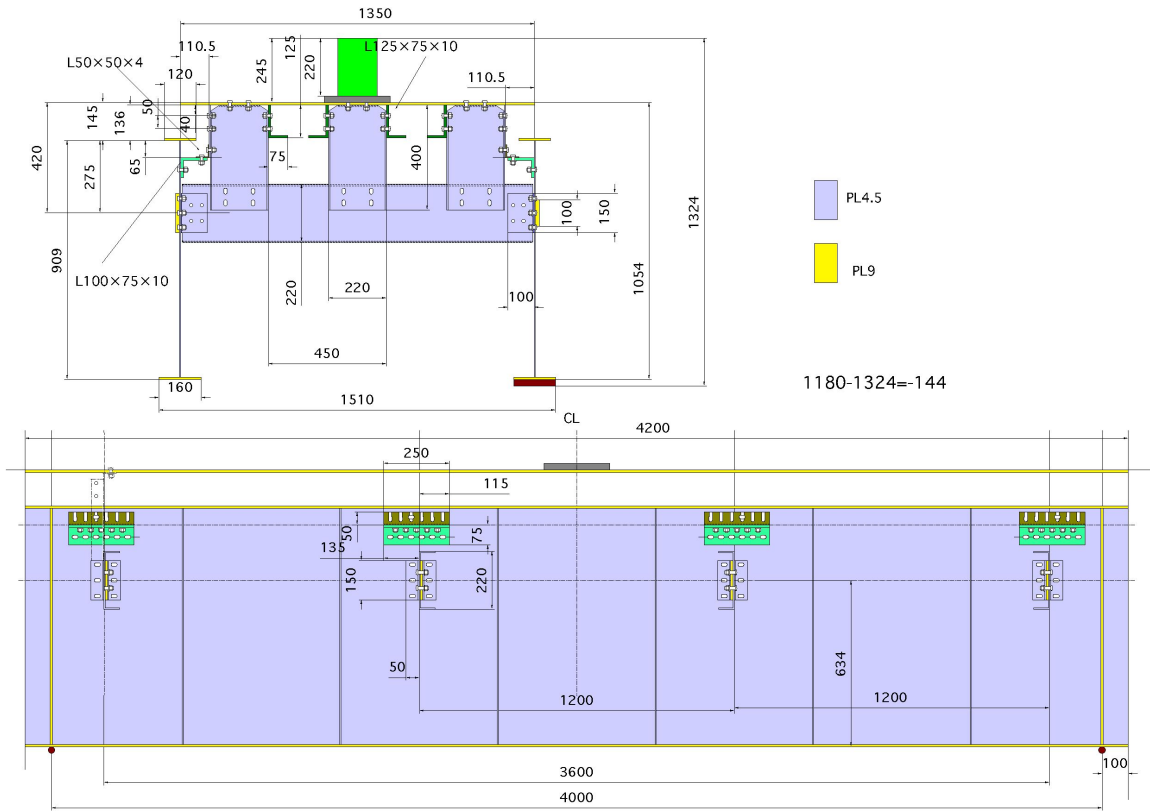
大型構造実験室の 2 方向載荷装置を用いた。荷重は鋼床版の中央にタイヤの接地面積を考慮して 250×100mm の範囲に載荷する（写真 3）。最大で 6tf まで載荷する。



【写真 3.2】 2 主桁実験の載荷状態



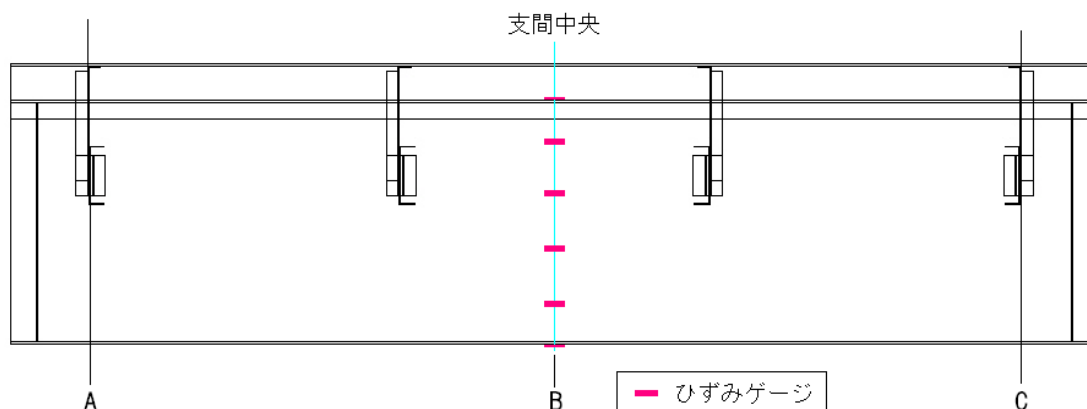
【図 3.1】 2 主桁実験の支点条件



【図 3.2】 2 主桁実験モデルの寸法

<応力の測定方法>

主桁支間中央断面の橋軸方向曲げ応力に着目した。主桁中央の上・下フランジと、ウェブの上フランジから 150,350,550,750mmの点の表裏にゲージを貼りひずみを測定する【図 3.3】。ウェブ部については表裏の平均値を用いる。これは実験モデルの初期不正などの影響を除くためである。測定した応力より主桁支間中央の応力分布を描き、主桁の応力状態を確認する。



【図 3.3】 ひずみゲージ貼り付け位置

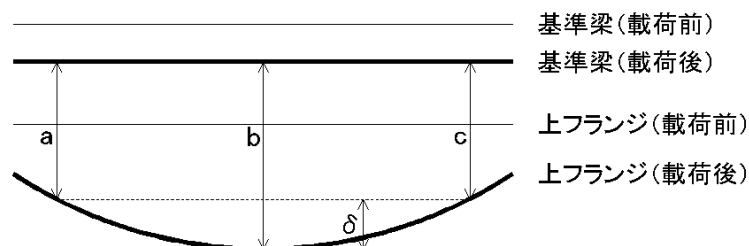
<変位の測定方法>

実験初期では下フランジの支間中央のたわみに着目していたが、試験体の初期不正などのため正確な測定ができなかったので、上フランジの鉛直方向への変形に着目することとした。

上フランジ支間中央の鉛直方向の変位を測定する。測定方法としては、床版の上に測定用の基準梁を設置し、ここに変位計を設置することで上フランジ上 3 点の相対変位を測定する。測定箇所は断面 A,B,C【図 3.4】参照）での上フランジ上の点で、そこで計測値を図 2.5 のように a,b,c とする。検討に用いるたわみとしては a,c を基準とした b の相対変位 δ とする。計算方法は

$$\delta = b - (a + c) / 2$$

である。



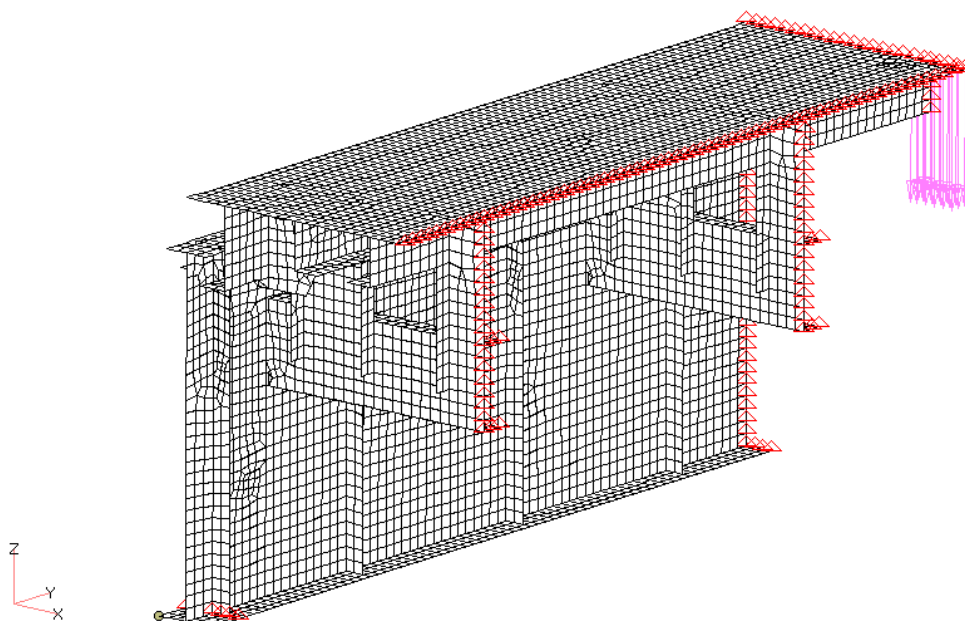
【図 3.4】 変位 a,b,c とたわみ δ

3.2.2 解析方法

解析には Femap-sss/Nastran を用い FEM 解析を行う。対称性を考慮し、1/4 モデルとし、プレート要素を用いる。【図 3.5】に解析モデルを示す。要素分割のメッシュサイズは 30mm 間隔である。荷重は鋼床版中央の 125×50mm の範囲に載荷する。拘束は xz 断面については y 方向の変位と x、z 方向の回転を拘束し、yz 断面については x 方向の変位と y、z 方向の回転を拘束する。支点では x、z 方向の変位と y、z 方向の回転を拘束しローラ支点とする。

以上のことをまとめると次の通りである。

- ① 1/4 に分割
- ② 要素：プレート要素
- ③ 要素分割：30mm 間隔
- ④ 荷重：250mm×100mm に 1tf 載荷
- ⑤ 拘束：対称面拘束、ローラ支点



【図 3.5】 2 主桁解析モデル

解析においても、主桁支間中央断における面橋軸方向曲げ応力、上フランジの鉛直方向相対変位に着目した。

3.2.3 実験経過

試験体における、桁と鋼床版との接合条件などを色々変化させて、その合成機能の違いを検討した。

<応力の観点から>

初めは初期モデル（以下 **ORG** モデルと呼ぶことにする）で実験を始めた。応力分布は **FEM** 解析値とほぼ一致した。しかし、実験値・解析値による主桁支間中央断面の橋軸方向応力分布を検討したところ、中立軸が主桁高さの中央よりやや下に位置していることがわかった。これは鋼床版と主桁との合成作用が実現されていないことを意味する。その原因としては主桁ウェブと鋼床版縦リブを連結する連結版による力の伝達が十分でないことが考えられ、その原因として連結版での面内剛体変位の発生が考えられた。この面内剛体変位を防ぐために、初期モデルに新たに補剛部材を取り付けることにした。次の3つの部材である。（【図 3.6】参照）

- ① 鋼床版側縦リブ（**A** と呼ぶ）
- ② ウェブ水平補剛材（**H** と呼ぶ）
- ③ 台形リブ（**T** と呼ぶ）

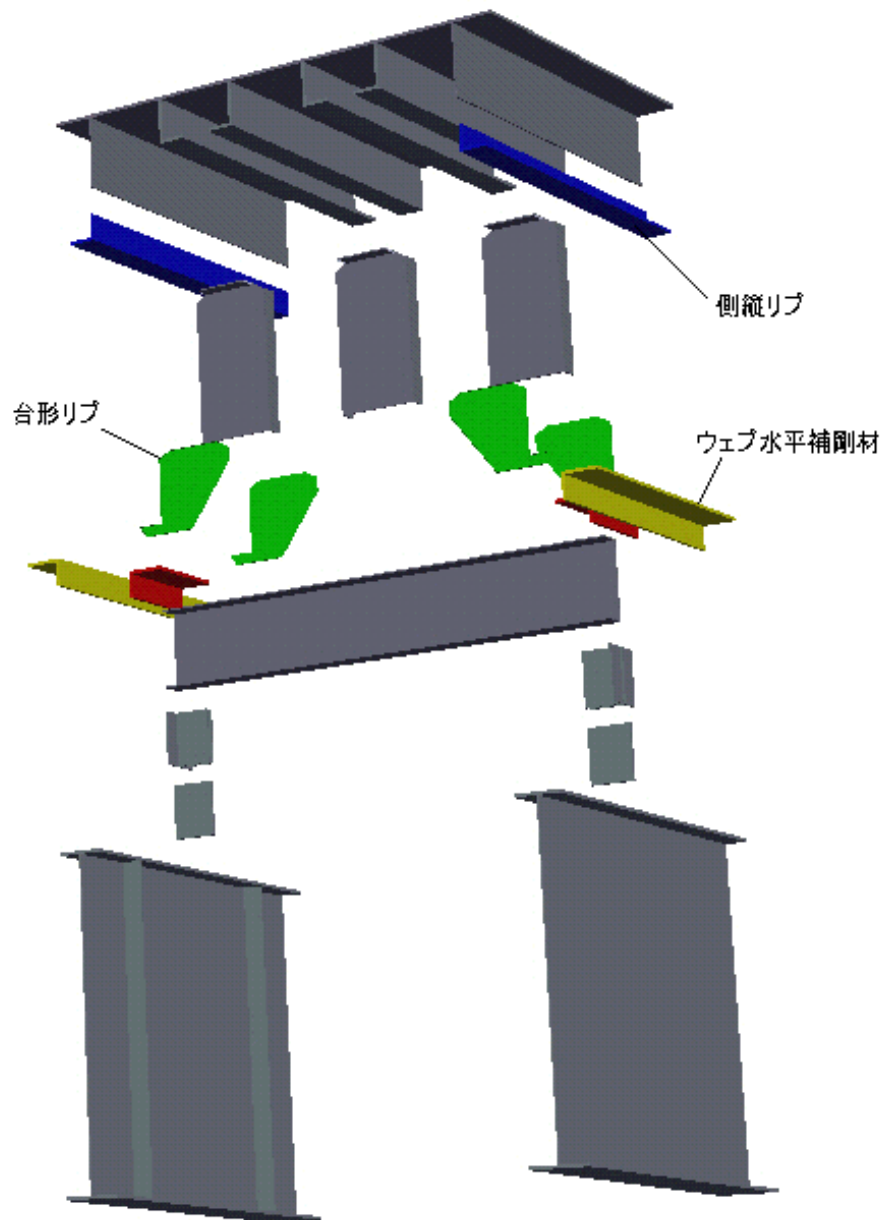
この3部材を取り付けて、実験・解析を行ったところ、中立軸位置は上方に移動し合成作用が機能するようになった。これらの結果を受けて、本節で扱う実験値・解析値は、すべて **A-H-T** モデルと呼ばれる、新たな3つの部材を追加したモデルでの検討を行うこととする。

ORG モデルで、合成効果が低下した原因については、第7章 設計の際の留意点 で詳細に検討する。

ここでは **A-H-Tmodel** を用いた合成・非合成モデルの違いについてのみ示す。今後、モデルの構造別に名前を付けて呼ぶこととするので、ここで名前の一覧を【表 3.1】に示す。

【表 3.1】 構造別モデル名

model名	構造・取り付け補剛部材
A-H-T	側縦リブ+水平補剛材+台形リブ
A-H-T-Ncon	A-H-T modelの非合成状態



【図 3.6】 新たに取り付けた補剛部材

3.2.4 実験値と解析値の比較

<主桁ウェブの応力>

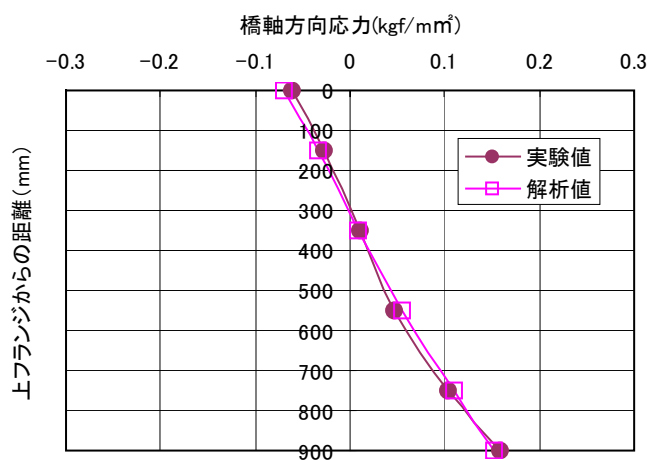
支間中央の主桁ウェブ橋軸方向応力に着目する。主桁支間中央にはゲージが合計 10箇所貼り付けてある。そこで、比較する対象としては、この 6 ヶ所の応力値と、主桁の応力分布線とする。それぞれのモデルでのゲージ位置応力値と応力分布線を、【表 3.2】【表 3.3】、【図 3.7】、【図 3.8】に示す。

合成モデルの場合

【表 3.2】 橋軸方向応力値

ゲージ名称	応力 (kgf/mm ²)	
	実験値	解析値
TF1	-0.0610	-0.0687
W1a	-0.0265	-0.0341
W1b	0.0096	0.0091
W1c	0.0474	0.0550
W1d	0.1026	0.1091
LF1	0.1594	0.1527

(載荷荷重 1tfあたり)



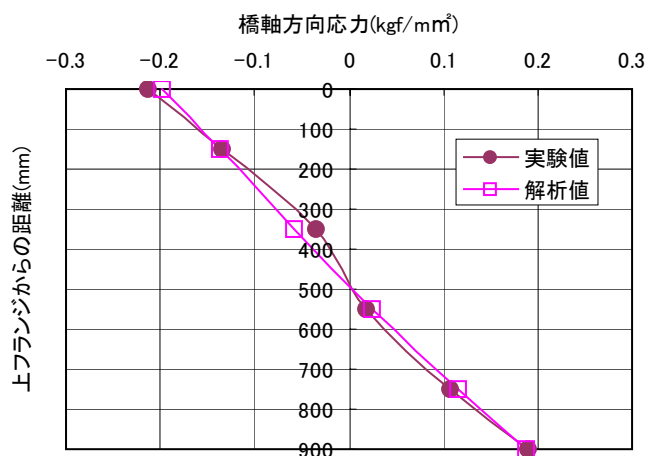
【図 3.7】 主桁支間中央の中立軸位置

非合成モデルの場合

【表 3.3】 橋軸方向応力値

ゲージ名称	応力 (kgf/mm ²)	
	実験値	解析値
TF1	-0.2138	-0.1980
W1a	-0.1339	-0.1377
W1b	-0.0359	-0.0588
W1c	0.0184	0.0242
W1d	0.1063	0.1150
LF1	0.1901	0.1866

(載荷荷重 1tfあたり)



【図 3.8】 主桁支間中央の中立軸位置

<たわみ>

たわみでは先に述べた鋼床版上の基準梁と上フランジの相対たわみに着目した。上フランジの変位測定は A-H-T model、A-H-T-Ncon model について行った。この 2 モデルでの実験値、解析値を【表 3.4】に示す。なお相対変位 a, b, c は基準梁と上フランジ各点との相対変位であり、 δ とは a, c を基準とした b の相対たわみである。（【図 3.3】参照）

【表 3.4】 基準梁との相対変位とたわみ

	変位(mm)			
	A-H-T		A-H-T-Ncon	
	実験値	解析値	実験値	解析値
a	-0.029	-0.027	-0.047	-0.043
b	-0.004	-0.002	-0.007	-0.001
c	-0.030	-0.027	-0.047	-0.043
δ	0.025	0.025	0.041	0.042

(載荷荷重1tfあたり、鉛直方向下向きを正とする)

3.2.5 橋軸方向の構造特性に関する考察

主桁ウェブの橋軸方向応力は、合成モデルと非合成モデル共に、実験値・解析値はよく一致している。このことから、FEM 解析モデルは、実際の構造をよく再現していると考えられる。非合成モデルの結果では、中立軸位置は桁下から 410~420 mm の位置にあることがわかる。主桁のみでの中立軸位置は単純理論値で桁下から 435 mm に位置するはずである。要素の大きさが 30 mm であることを考えると、これらの差はほぼないと考えられ、解析結果・実験結果ともに信頼できる値であることが確認できる。

合成モデルの中立軸位置は桁下から 600 mm 程度で、非合成モデルよりも 200mm 程度、中立軸位置の改善がみられた。また、上フランジの橋軸方向応力は 0.2 kg f/mm² から 0.06 kg f/mm² と、半分以下にまで軽減されている。これらのことから、機能分割型鋼床版の特徴的な機能である部分接合機能は、効果的に発揮されているものと考えられる。

また、たわみの比較についても同様に実験値と解析はよく一致していることがわかる。合成モデルでは、非合成モデルに比べてそのたわみ量は半分以下に軽減されることがわかり、このことから部分接合機能の効果を確認できた。

鋼床版と主桁ウェブ中間高さ位置を、橋軸方向に部分的に接合する方式は、有効に機能することが判ったが、扱った 2 主桁モデルでは、連結版を支える付加的な部材が多くなることがわかり、問題点として残された。

3. 3. 横リブ構造に関する検討

前節では、2 主桁モデルの実験・解析を用いた研究から、本構造の部分接合機能を確認し、主桁ウェブ中間位置で橋軸方向に部分的に接合する場合の、橋軸方向に関する特性を確認した。本節では、機能分割型鋼床版のもう一つの特徴的な構造である横リブ構造に着目し、幅員方向の力の伝達に関する検討を行う⁴⁾。

横リブ構造は、床版からの鉛直力を、支材と横梁および鋼床版のデッキプレートが共同して働き、合成構造となって支持する構造となっている。横リブ構造が主桁を跨ぐ際には、貫通材が主桁を貫通することによって、横リブ構造下側に位置する横梁に発生する軸力を伝達することを期待した構造となっている。本節では、この従来の構造には無い横リブ構造について着目し、主に横梁の下縁に発生する幅員方向応力について実験値と解析値の比較を行い、幅員方向の構造特性を明らかにする。

3.3.1 3 主桁実験の概要

幅員方向応力を検討する際には、横梁が主桁を跨ぐ必要があるため、3 主桁の試験体を用いて実験を行った。実験モデルはスペースの関係から、実際のモデルの 1/2 スケールで製作した（【写真 3.3】参照）。この実験モデルに荷重を加え、着目点で応力・変位の測定を行い、その結果を FEM 解析結果と比較し検討する。

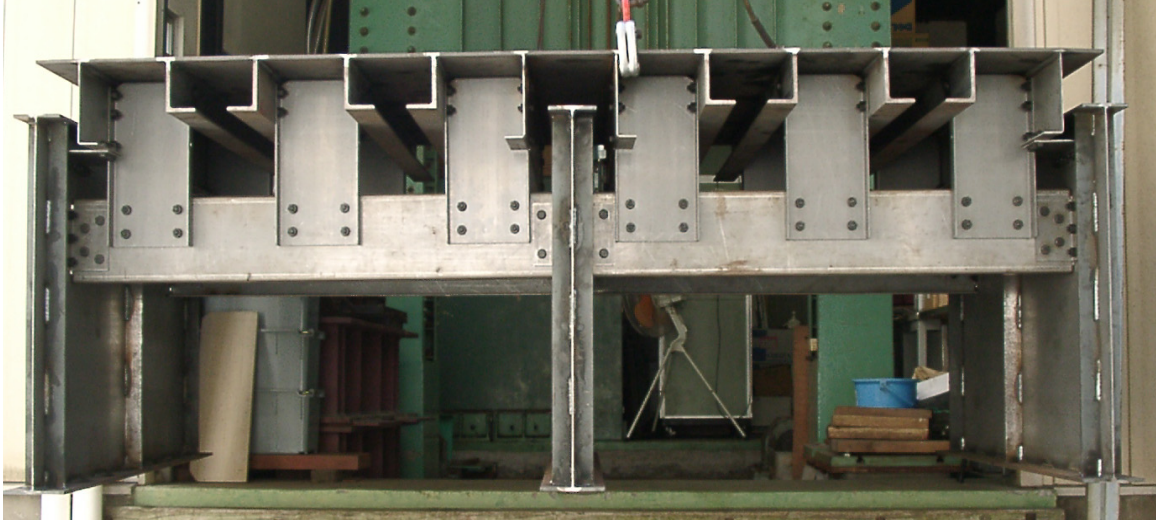
実験は、横リブ構造中央位置に正曲げが生じる正曲げ載荷実験と、横リブ中央に負曲げが生じる負曲げ載荷実験の 2 つについて行う（【図 3.8】参照）。

以下に、実験方法及び解析方法、実験結果と解析値との比較の結果について示す。

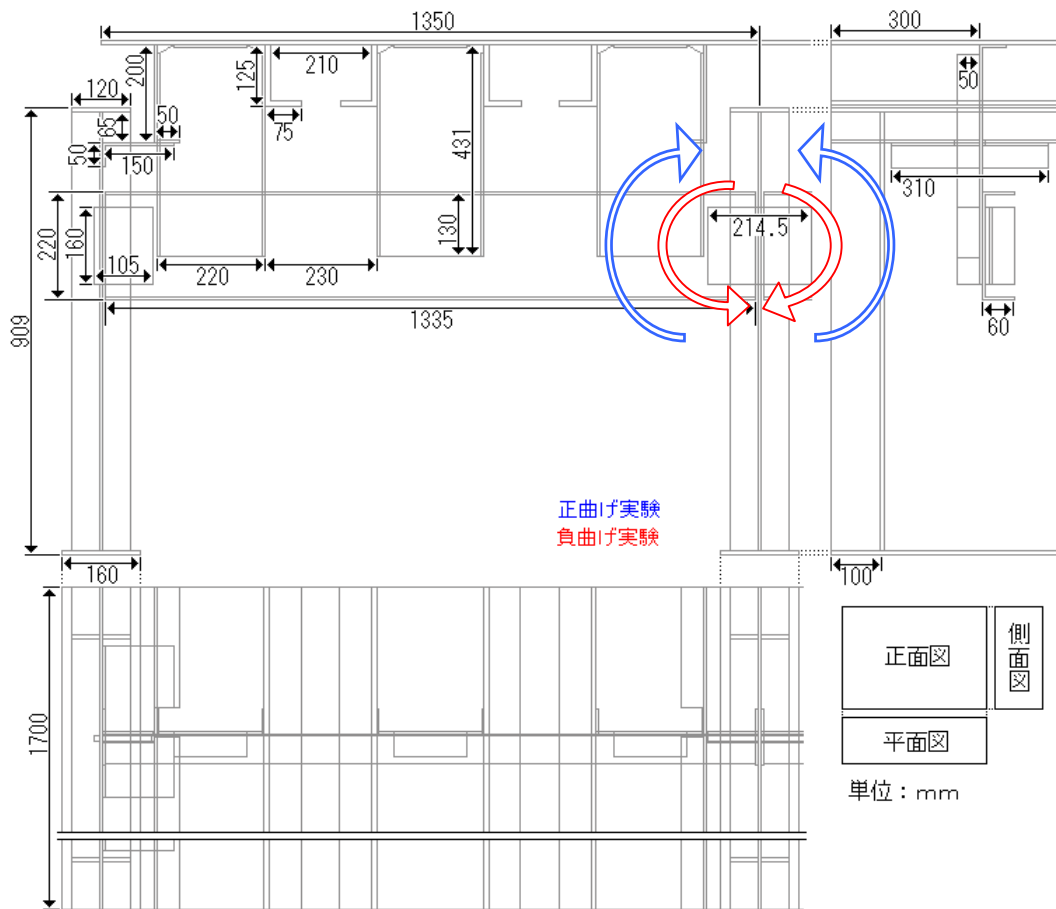
<実験モデルおよび実験方法>

寸法は実際に想定されるモデルの 1/2 スケールで、部材は全て鋼板である。さらに接合部分においてほとんどの箇所はボルト接合である。工場で製作された後、搬入作業を行い、所定位置に設置した。その後、実験モデルにひずみゲージを貼り付け、変位計を取り付けた。試験体の概略寸法を【図 3.8】に示し、支点・載荷条件、ひずみゲージ・変位計の位置を【図 3.9】～【図 3.14】に示す。

実験は、正曲げ載荷実験・負曲げ載荷実験の 2 つを行う。両実験における支点条件・荷重載荷位置を【図 3.9】～【図 3.10】に示す。荷重は床版の局部変形を防ぐために、縦リブ載荷とした。5kN を初期荷重として与え、それ以降 10kN ずつ荷重を増やしていき、最大 35kN まで与える。その後、10kN ずつ荷重を減らし、初期荷重に戻す。これを複数回繰り返す。応力の測定支点は【図 3.13】～【図 3.14】のひずみゲージの位置で、幅員方向応力を測定する。



【写真 3.3】 試験体



【図 3.8】 実験モデルの寸法

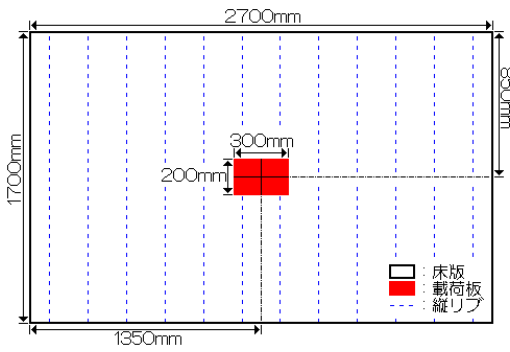
<各実験概要>



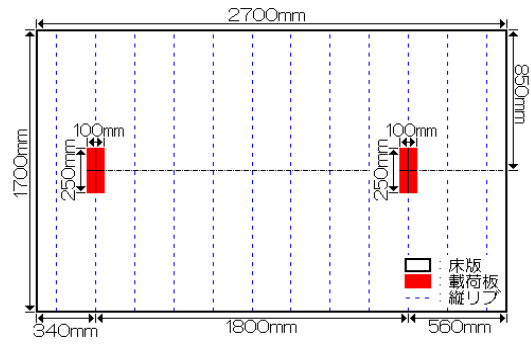
【写真 3.4】正曲げ载荷試験



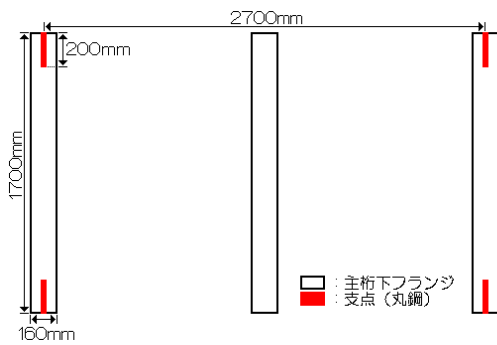
【写真 3.5】負曲げ载荷試験



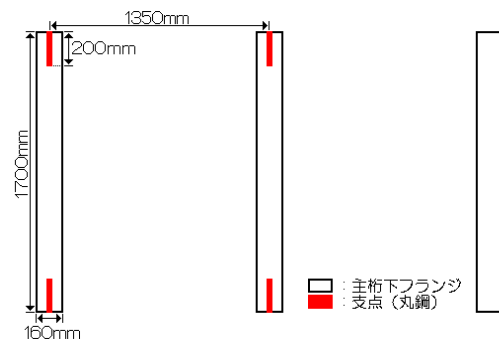
【図 3.9】正曲げ試験・载荷位置



【図 3.10】負曲げ試験・载荷位置

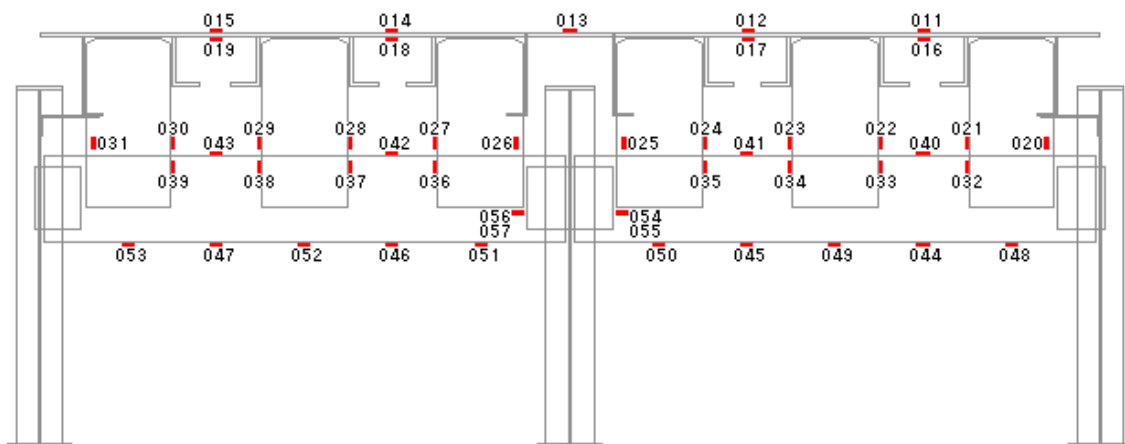


【図 3.11】正曲げ試験・支点条件

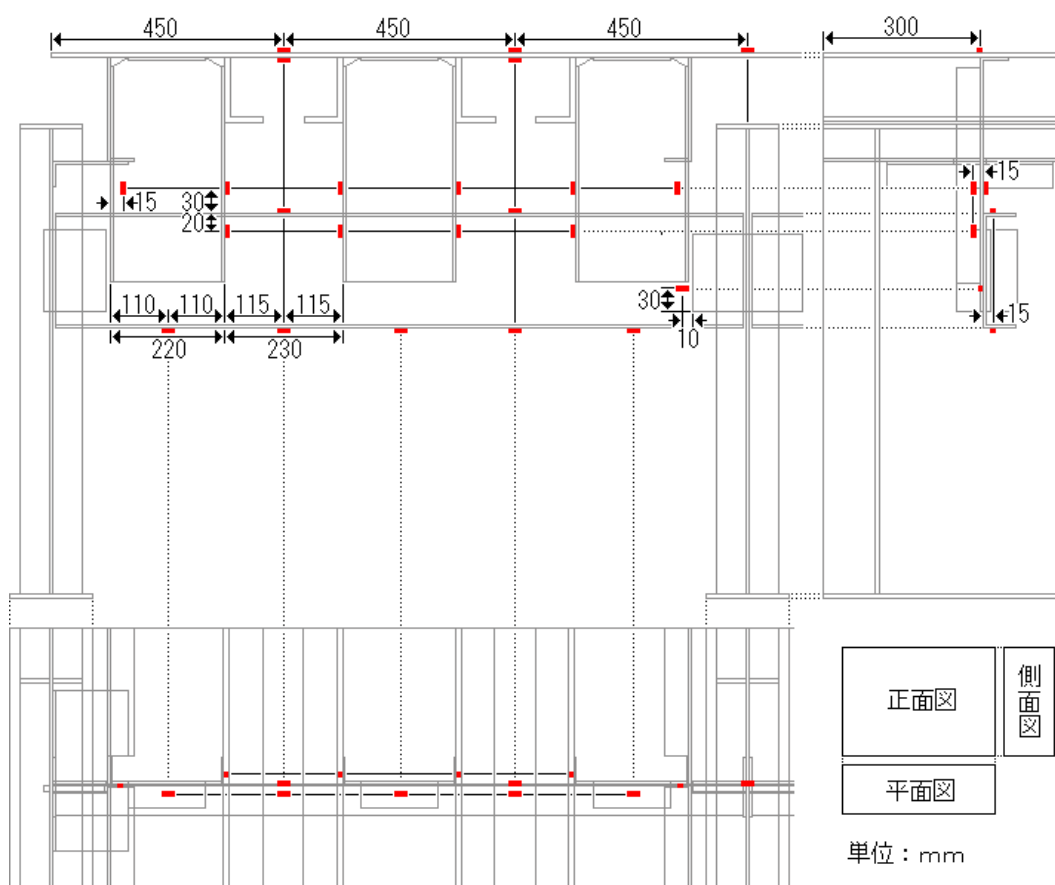


【図 3.12】負曲げ試験・支点条件

<ひずみゲージ番号と位置>



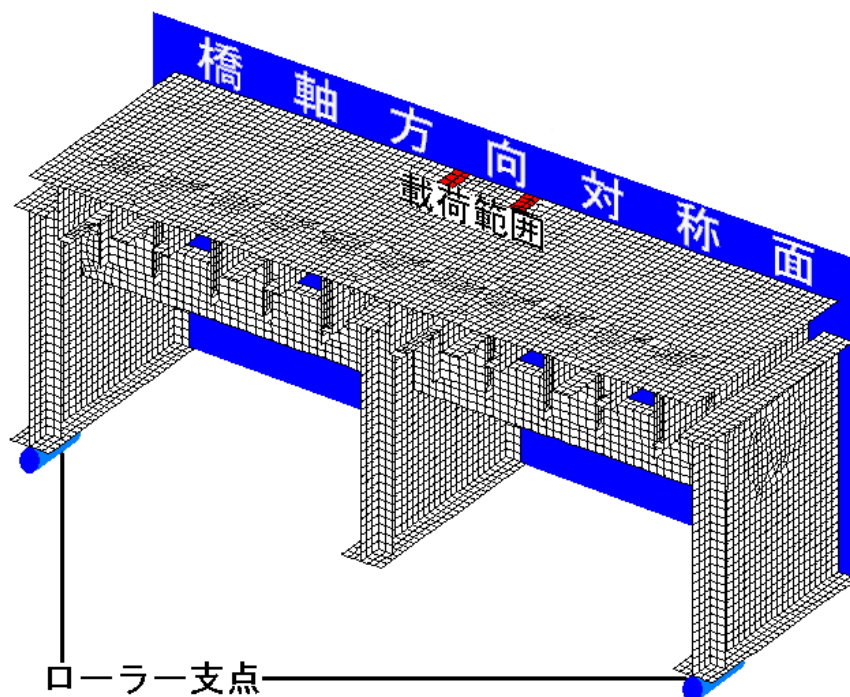
【図 3.13】 ひずみゲージ番号



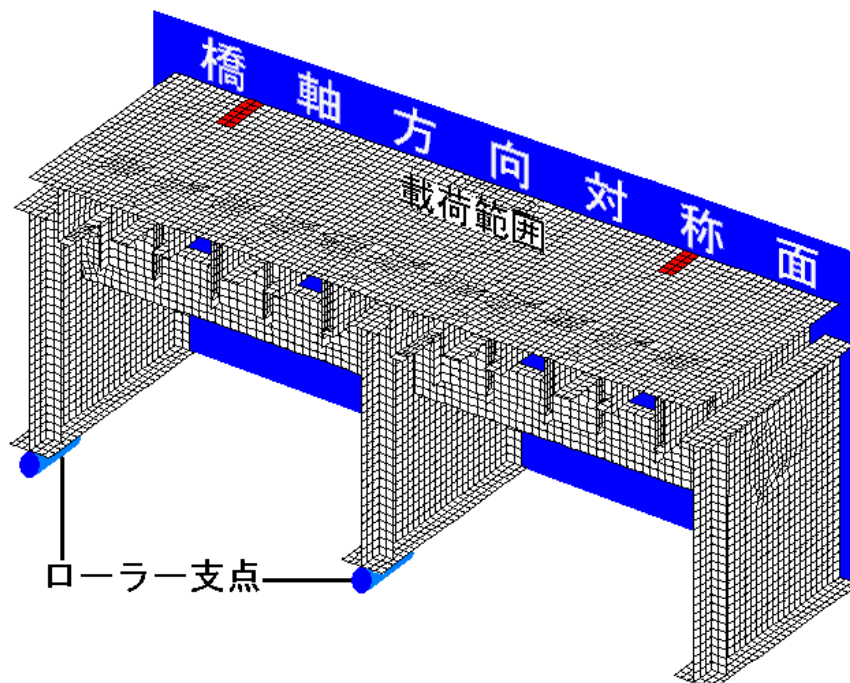
【図 3.14】 ひずみゲージ位置

3.3.2 解析対象モデル

最終モデルに至るまでに様々なモデルでの解析を行った。【図 3.15】・【図 3.16】にそれぞれ、性曲げ載荷実験・負曲げ載荷実験における解析モデルを示す。



【図 3.15】 正曲げ載荷解析モデル



【図 3.16】 負曲げ載荷解析モデル

以上の解析モデルの詳細を示す。

- ①実験モデルの 1/2 モデル
- ②要素：プレート要素
- ③ヤング率： $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ポアソン比：0.3
- ④要素分割：32mm 間隔
- ⑤荷重：【図 3.15】～【図 3.16】に示す縦リブに合計 5 kN 荷重
- ⑥拘束：対称面拘束、ローラ支点

3.3.3 実験値と解析値の比較

本研究においては、横リブ中央付近に正曲げが生じる正曲げ荷重実験、横リブ中央付近に負曲げが生じる負曲げ荷重実験の 2 つの荷重方法による実験、解析を行った。実験値と解析値の検討を行い、今後、実際の橋の設計を行う際に FEM 解析をメインとした設計の可能性を明らかにする。

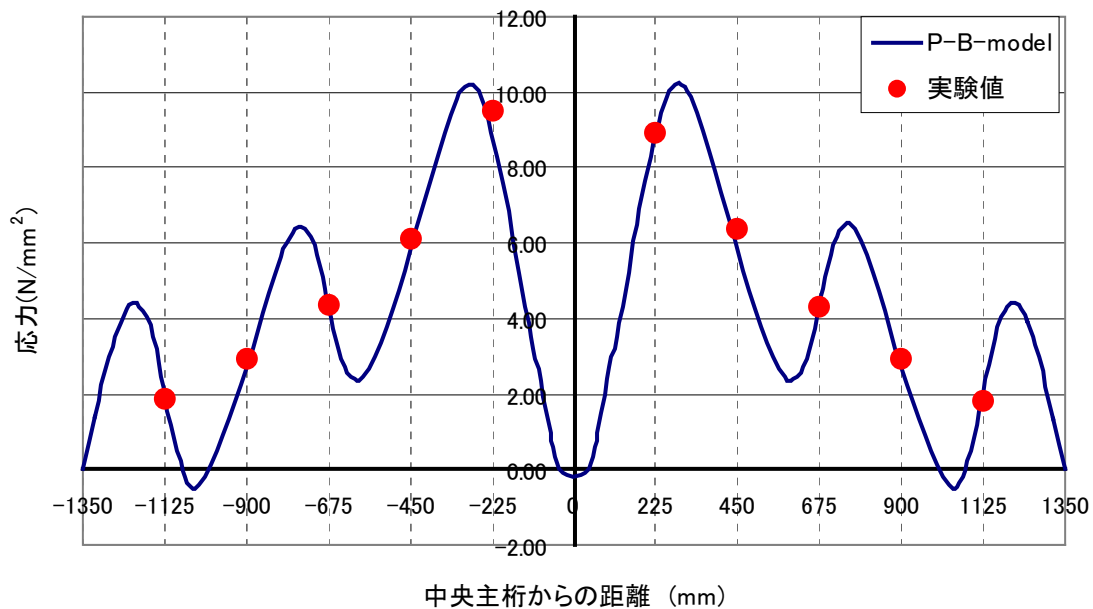
<応力の比較>

実験、解析ともに、荷重荷重の合計は 10kN とし、着目点における応力（着目点については【図 3.13】、【図 3.14】参照）を比較する。実験値は、各荷重荷重での応力を、最小自乗法で整理し 10kN 荷重時の応力を実験値とした。解析値は着目点周辺部分で複数の要素の応力を取り出し、それらを平均、また、必要に応じて線形補間を用いることで算出した。応力の比較基準として、解析値を 100 としたときの実験値を解析値と実験値との比として表す方法を取る。

ここでは、幅員方向の構造特性のうち、横梁に発生する軸力が主桁ウェブを貫通して伝達する機能に注目し検討を行うため、横梁下縁の応力についてのみ着目している。

正曲げ荷重実験における応力の実験結果と解析結果の比較を【図 3.17】、【表 3.5】に、負曲げ荷重実験における応力の実験結果と解析結果の比較を【図 3.18】、【表 3.6】に示す。

正曲げ載荷試験・応力



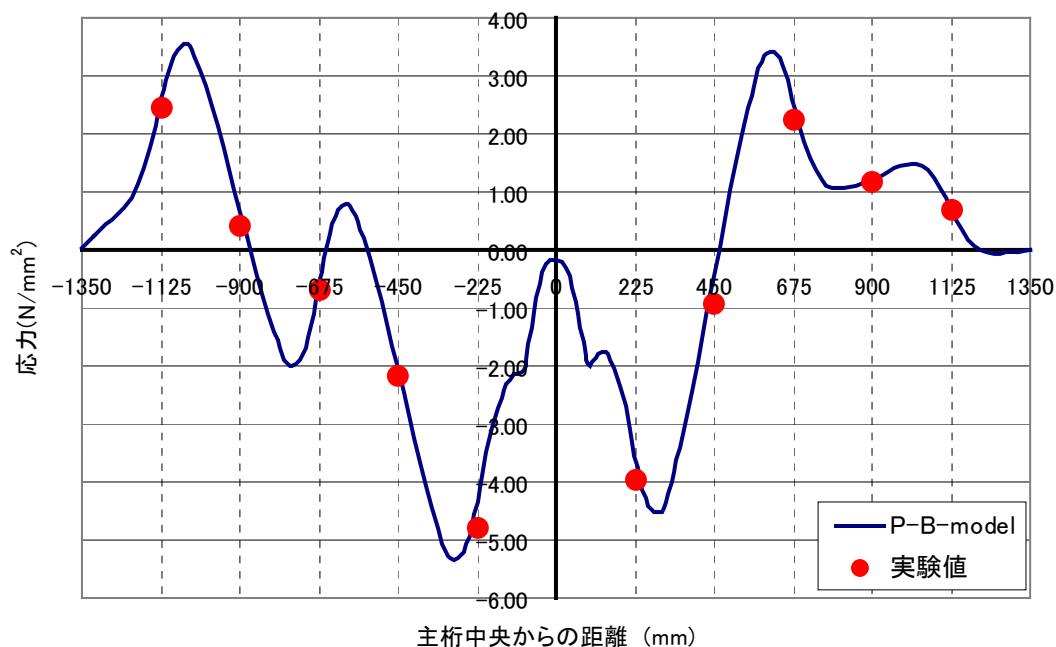
【図 3.17】 横梁下縁の幅員方向直応力分布図（正曲げ載荷時）

【表 3.5】 中央主桁付近での横リブ幅員方向直応力（正曲げ載荷）

model 名	応力 (N/mm ²)									
	CH53	CH47	CH52	CH46	CH51	CH50	CH45	CH49	CH44	CH48
実験値	1.87	2.93	4.38	6.12	9.52	8.91	6.40	4.29	2.93	1.83
解析値	2.00	2.73	4.43	5.76	8.88	8.88	5.76	4.43	2.73	2.00
実験値との相違(%)	-7	7	-1	6	7	0	10	-3	7	-9

(CH は【図 3.13】のひずみゲージ番号に対応)

負曲げ載荷試験・応力



【図 3.18】 横梁下縁の幅員方向直応力分布図 (負曲げ載荷時)

【表 3.6】 中央主桁付近での横リブ幅員方向応力の違い (負曲げ載荷)

model 名	応力 (N/mm ²)									
	CH53	CH47	CH52	CH46	CH51	CH50	CH45	CH49	CH44	CH48
実験値	2.46	0.42	-0.67	-2.18	-3.97	-4.78	-0.94	2.25	1.16	0.68
解析値	2.52	0.68	-0.63	-2.06	-3.54	-4.33	-0.46	2.57	1.22	0.71
実験値との相違(%)	-3	-62	6	6	11	10	51	-14	-5	-4

(CH は【図 3.13】のひずみゲージ番号に対応)

<たわみの比較>

変位では、鋼床版上の基準梁と上フランジの相対変位に着目した。変位の測定方法については【図 3.5】の 2 主桁実験と同じ方法を用いた。なお、相対変位 a、b、c は基準梁と上フランジ上各点との相対変位であり、 δ とは a、c を基準とした b の相対たわみとなっている。実験と解析の測定結果を、【表 3.7】と【表 3.8】に示す。実験値との相違は、変位の実験値を 100 とした時の解析値の比を示す。

【表 3.7】 たわみの比較（正曲げ載荷時）

	変位 (mm)	
	実験値	解析値
a	0.0109	0.0680
b	0.1852	0.2518
c	0.0111	0.0680
たわみ δ	0.1742	0.1838
実験値との比		106

【表 3.8】 たわみの比較（負曲げ載荷時）

	変位 (mm)	
	実験値	解析値
a	-0.0070	-0.0300
b	0.0984	-0.0515
c	0.0114	-0.2584
たわみ δ	0.0952	0.1054
実験値との比		111

3.3.4 幅員方向の特性に関する考察

実験値と解析値との差は、正曲げ载荷においては最大で 10%程度、負曲げでは、得られた応力の比較から、小さい CH47、CH45 を除くと、最大でも 14%の差である。平均的には、ほぼ 5~10%程度の小さな差であり、解析値と実験値はよく一致していると言える。

たわみの比較においても、値の差は最大で 10%程度であり、正曲げ载荷実験・負曲げ载荷実験ともに実験値と解析値は全体的によく一致していることがわかる。

これらのことから、機能分割型鋼床版の特徴的な機能である、横梁軸力が主桁ウェブを貫通して力を伝達するという幅員方向の構造特性を確認することが出来た。

また、橋軸方向および幅員方向の実験・解析による研究成果として、FEM モデルによる解析値は実験値とほぼ等しく、実際の現象をほぼ正しく反映していることがわかった。このことから、今後は、実験モデルではなく FEM 解析を主体として研究を進めていけることを確認できた。

3. 4 各解析モデルの比較

実験モデルを FEM でモデル化する時には、様々な工夫がなされる。特に本構造においては、構成する部材の数が多く、また複雑な接合方法をとっている部分も多い。すなわち、支材と横梁の接合部分や、横梁と主桁ウェブの接合部分においては部材が複雑に重なることも多々生じるため、特に注意が必要となる。

ここでは、主に支材と横梁の接合、横梁と主桁ウェブの接合部分についてのモデル化について着目し、モデル化の違いによって、解析結果にどのような影響を与えるかについて検討する。

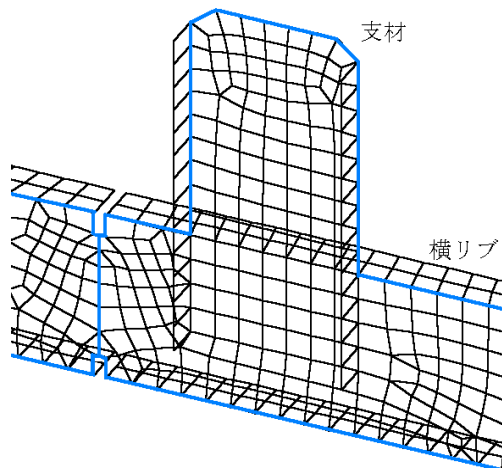
3.4.1 解析対象モデル

モデル化の違いによる影響を調べるために、ここでは着目する複雑な構造部分について4つのモデルを作成して、幅員方向の検討をした3-3節と同じ方法（【図 3.3】を参照）で解析を行う。4つのモデルを【表 3.11】に示す。N・B-model は過去に使用した解析モデルを参考にし、本来は別の板で構成されている支材と横リブを、一枚の板で表現し、また主桁と横梁の接合部においても相互を全面的に接合する(節点共有)形をとっている。このモデル化のメリットは、各部材のモデル化を簡略化でき、解析モデルを短時間で作成することができる。より現実の現象を反映していると思われるモデル化を探るため、段階を踏んでモデルの詳細化を行った。B - model は支材・横梁は別々の板で構成し、ボルト位置のみで節点を共有する。P・B-model は、B-model よりもさらに実物に近づけるために、主桁ウェブに貫通材を通し、ブラケット、主桁、横梁、貫通材をすべてボルト位置の節点で共有したモデルである。B・B-model は、貫通材を省略したモデルであり、貫通材が機能しない場合、どのような影響があるかを調べるために参考までに作成したモデルである。

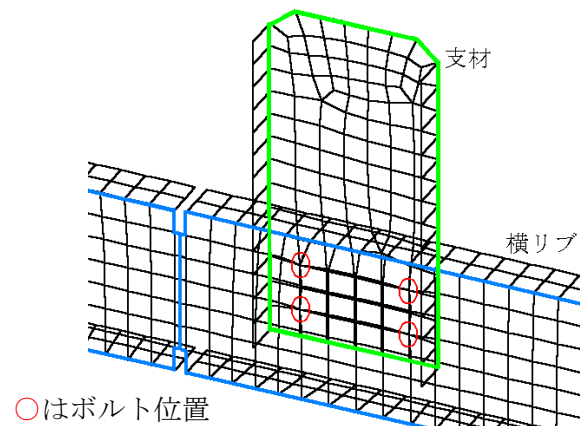
これら4つのモデルに、幅員方向の検討に用いた方法で荷重を載荷し、応力・たわみの解析結果を比較・検討することで最適なモデル化の違いを検討する。解析結果を【図 3.26】、【図 3.27】、【表 3.12】、【表 3.13】に示す。

【表 3.11】 構造別モデル名

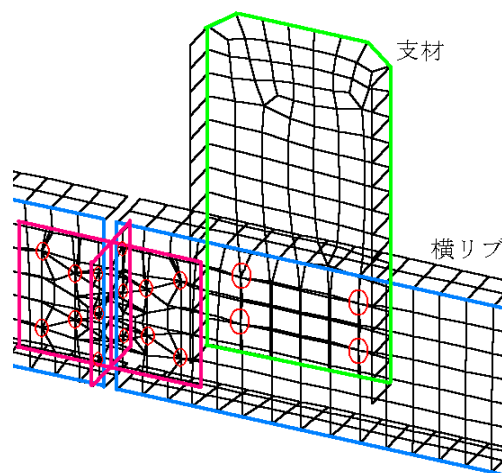
model 名	構造・反映部材
N-B	初期モデル 横リブ・支材は一枚のプレート
B	横リブ・支材をボルトで接合
P-B	貫通材・ブラケットを取り付けボルトで接合
B-B	貫通材無しでブラケットのみ



【図 3.22】 N-B-model



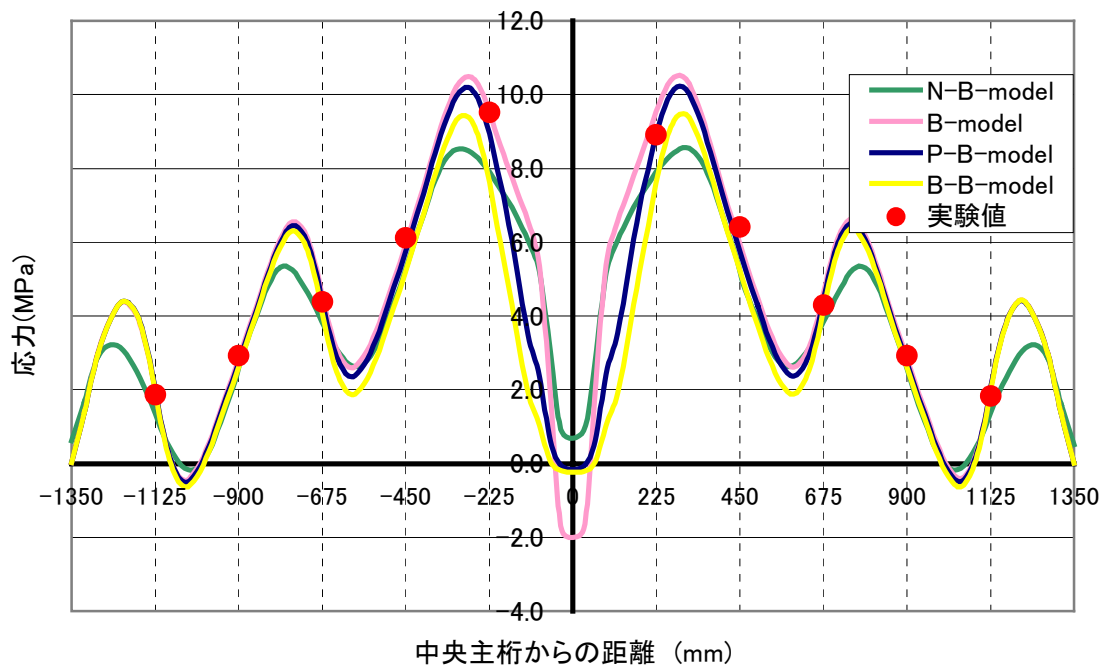
【図 3.23】 B-model



【図 3.24】 P-B-model

3.4.2 解析結果

解析モデルの違いによる応力（正曲げ時）

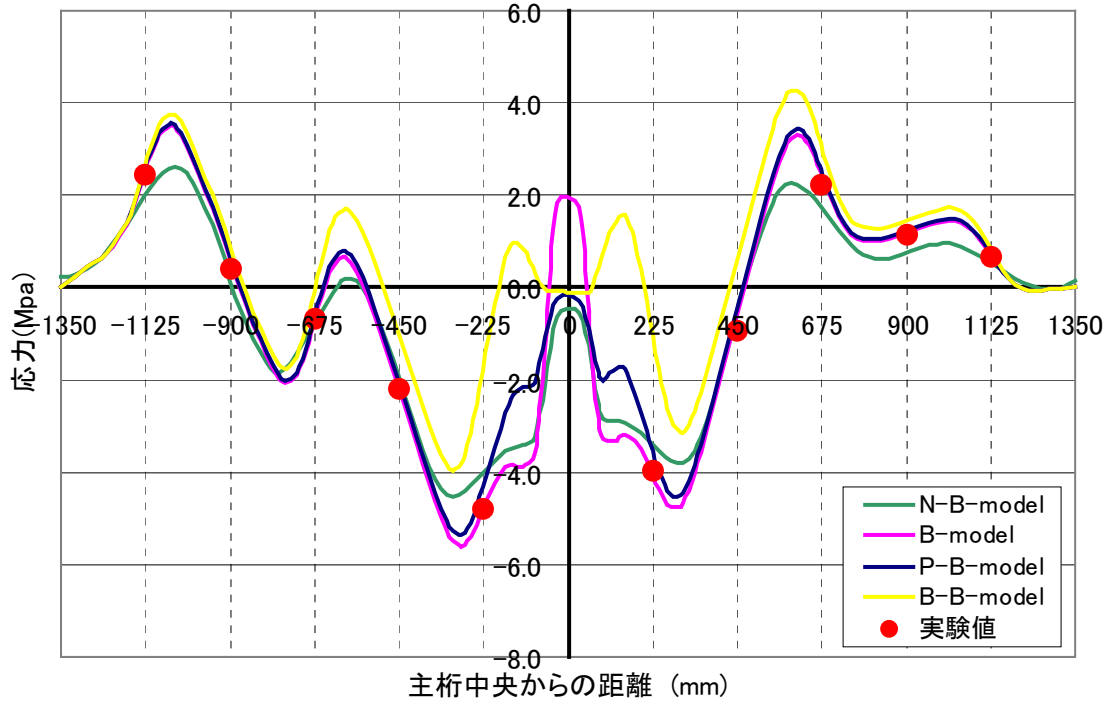


【図 3.26】 横リブ下縁の幅員方向応力分布図（正曲げ載荷）

【表 3.12】 横リブ下縁の幅員方向応力の違い（正曲げ載荷）

model 名	応力 (N/mm ²)		実験値との相違 (%)		
	CH 50	CH 51	CH 50	CH 51	平均
実験値	8.91	9.52			
N-B-model	7.88	7.88	-12	-17	-14
B-model	8.91	8.91	0	-6	-3
P-B-model	9.52	9.52	7	0	3
B-B-model	7.58	7.58	-15	-20	18

解析モデルの違いによる応力（正曲げ時）



【図 3.27】 横リブ下縁の幅員方向応力分布図（負曲げ載荷）

【表 3.13】 横リブ下縁の幅員方向応力の違い（負曲げ載荷）

model 名	応力 (N/mm ²)		実験値との相違 (%)		
	CH 50	CH 51	CH 50	CH 51	平均
実験値	-4.78	-3.97			
N-B-model	-4.01	-3.39	-16	-14	-15
B-model	-4.82	-4.05	1	2	1
P-B-model	-4.33	-3.54	-10	-11	-10
B-B-model	-1.79	-1.02	-62	-74	-68

3.4.3 各解析モデルの比較・検討

<横リブ下縁の応力>

横リブ下縁の幅員方向応力について着目すると、N-B-model については正曲げ載荷実験、負曲げ載荷実験ともに、応力は全体的に実験値よりも低い値を示した。特に中央主桁に近づくにつれその傾向が顕著に表れた。B-B-model については、中央主桁から離れたところにおいては、P-B-model、B-model とほぼ同じ値だが、貫通材付近の応力で大きな差になっている。そこで、中央主桁から最も近い 225mm (CH 50、CH51) における応力に注目したが、大きな変化は見られなかった。

<変位>

N-B-model においては、正曲げ載荷実験、負曲げ載荷実験ともに実験値よりも平均で 15%前後低い応力となった。一方で P-B-model と B-model はどちらも実験値とほぼ同じ値を示しているといえる。このことから N-B-model において横リブの応力が全体的に減少したのは、支材と横リブが一枚のプレートでモデル化されていることが原因であることが推測できる。

これらのことをまとめると、横梁の応力に影響を与える要因として考えられるのは、支材と横梁を 1 枚のプレートとして扱うのか、2 枚のプレートをボルト位置のみでノードを共有するのか、によって大きく左右されると考えられる。

結果としては、1 枚のプレートは 2 枚のモデルのものよりも、応力で 10%程度実験値から離れてしまう。このことから、より詳細に本構造をモデル化するためには、支材・横梁を別々のプレートで作成し、ボルト位置のノードのみ共有するというモデル化を行ったほうがよいと考えられる。

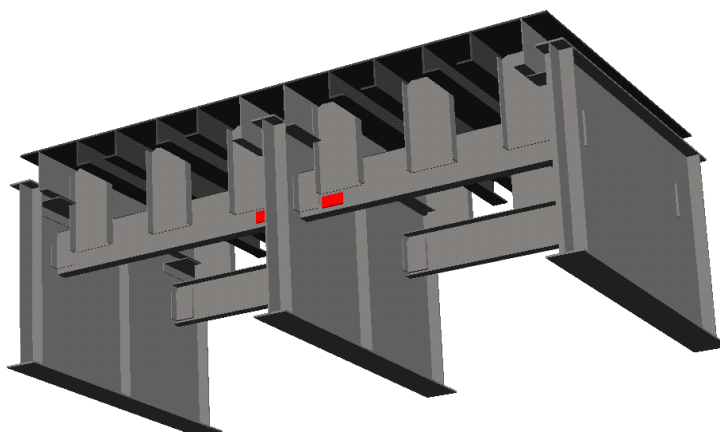
3.5 疲労試験

3.5.1 目的

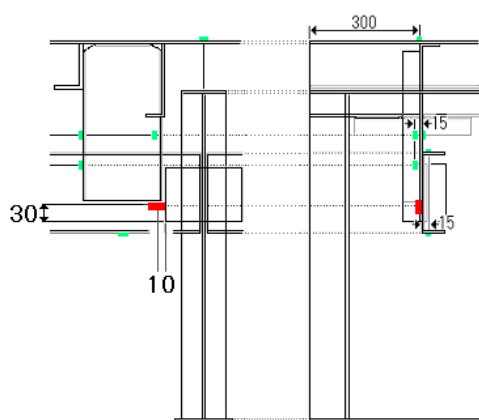
機能分割型鋼床版は数多くの部材をボルト接合によって構成している。特に横リブ構造はボルト接合部が多い。そこで、このような構造の繰り返し载荷の下での性状を確認するための疲労実験を行った。

3.5.2 疲労試験の方法

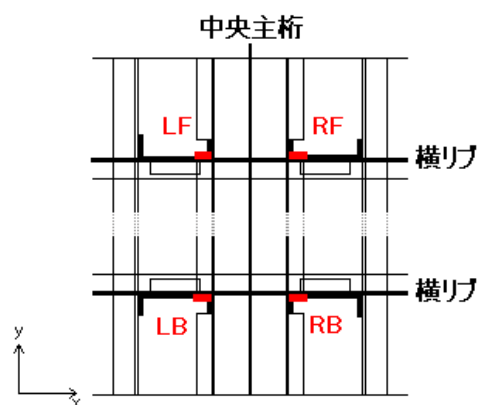
正曲げ载荷、負曲げ载荷に関する実験終了後、同じ試験体で実験を行う。(第3章3節の【写真 3.3】参照)。この実験モデルに、正曲げ载荷実験と同じ荷重位置(【図 3.9】～【図 3.12】参照)に変動幅 70kN の応力範囲の荷重を加え、繰り返し回数が、2000 回、100 万回、150 万回、200 万回で応力、変位の測定を行い、疲労試験前の計測値と比較する。疲労による破壊は、正曲げ载荷実験の結果を踏まえ、最も応力が高い中央主桁の貫通材付近であることが予想されるので、横梁の中央主桁付近 4 点にひずみゲージを取り付け、応力の変化を検討する。取り付けたひずみゲージの名称、位置を【図 3.19】～【図 3.21】に示す。



【図 3.19】 疲労試験時に着目するひずみゲージ位置①



【図 3.20】 ひずみゲージ位置②



【図 3.21】 ひずみゲージの名称

3.5.3 疲労試験の載荷荷重

疲労を検討する部材は鋼床版の横リブにあたる横リブ構造とする。疲労試験に用いる荷重は、トラックの片側後輪部分の荷重を 100kN と想定し、実験モデルは実際の構造物の 1/2 スケールであり、実験モデルでの応力は実際の構造物の 1/4 となるので、載荷荷重も 1/4 とする。疲労を検討する横リブ構造は 2 列ある。車両の衝撃係数を 0.4 とし疲労荷重の変動幅を算出した。

$$100 \times 1/4 \times 2 \times 1.4 = 70$$

以上の計算より、疲労試験に用いる荷重の変動幅を 70kN とした。実際に載荷する荷重は初期荷重を 5kN 加え、載荷荷重を 5~75 kN とし、疲労試験を実施した。

3.5.4 疲労試験結果

疲労試験における応力の比較を行う。正曲げ載荷実験の結果より、床版、横梁上縁については、応力が小さいため検討しない。従って、ここでは支材の上部、支材の下部、横梁の下縁の応力について検討する。

<貫通材付近の応力の比較>

正曲げ載荷の解析結果から、中央主桁に近い横梁と、貫通材付近で大きな応力が生じることがわかった。このことから、疲労破壊もこの付近から生じるものと考えた。貫通材は直接、目で確認することは難しいので、貫通材付近の応力（ひずみゲージの位置については【図 3.19】～【図 3.21】参照）の変化を観察することで、貫通材に生じる異常を検出することにする。疲労試験における各回数毎の実験値を【表 3.9】に示す。

<疲労試験における変位の比較>

変位は、鋼床版上の基準梁と鋼床版の相対変位に着目した。疲労試験による変位の実験値と解析値を【表 3.10】に示す。なお、相対変位 a、b、c は基準梁と鋼床版との相対変位であり、 δ とは a、c を基準とした b のたわみである。

<実験結果>

【表 3.9】 疲労試験における貫通材付近の応力 単位：N/mm²

回数	LF		RF	
疲労試験前	11.28		8.41	
2000	9.07		6.60	
100×10 ⁴	9.71		7.26	
150×10 ⁴	9.35		7.09	
※186×10 ⁴	9.48		7.26	
200×10 ⁴	9.41		7.18	
疲労試験前	8.75		8.14	
2000	8.79		7.85	
100×10 ⁴	9.15		8.51	
150×10 ⁴	9.54		8.95	
※186×10 ⁴	9.13		8.68	
200×10 ⁴	9.56		8.88	
	LB		RB	
	計測値			

※冬期休暇中により一時中断後

【表 3.10】 疲労試験における相対変位とたわみ δ 単位：mm

	変位						
	実験値	試験前	2000 回	100 万回	150 万回	186 万回	200 万回
a	0.011	0.013	0.015	0.011	0.010	0.009	0.011
b	0.185	0.177	0.179	0.179	0.194	0.187	0.196
c	0.011	0.015	0.008	0.008	0.010	0.010	0.013
δ	0.174	0.163	0.168	0.169	0.183	0.177	0.184
実験値との相違(%)		94	96	97	105	102	106

3.5.5 疲労試験についての考察

<全体的な応力に関して>

疲労試験直前に測定した応力だけが、全体から比べて高い傾向がある。疲労試験前の CH11～CH53 までの応力は、正曲げ載荷実験の応力と比べても異なり、また、疲労試験後の応力では正曲げ載荷実験での応力とほぼ一致している。このことから、疲労試験前の実験値は実験モデル設置の際の初期不良だと考えることができる。疲労載荷 2000 回以降は、大きな応力の変化は見られないので、全体的に大きな異常は見られないと判断した。このことから、本構造は 200 万回までの疲労載荷に耐えられることが分かった。

<貫通材に関して>

貫通材付近の応力を測定した結果、載荷回数 2000 回から 200 万回までに最大で 8% 程度の緩やかな応力の上昇は見られたものの、大幅な変化は見られなかった。貫通材付近においても応力の急激な変化が見られなかったことから、疲労試験中に貫通材にクラックなどの損傷は発生していないと判断した。

<変位に関して>

【表 3.10】から、疲労載荷 2000 回から 200 万回までに、変位の差は最大 6% と大きな変化はみられなかった。このことから、試験体は 200 万回の疲労載荷においても、変位に大きな影響を与えないことが分かった。

<疲労試験のまとめ>

全体的な応力や変位の変化を見ても変化は特に見られない。また、構造が特殊であり、高い応力が発生するため、最も心配された貫通材においても損傷は見られなかった。このことから、横リブ構造が主桁を貫通して力を伝達するという本構造は、疲労においても問題なく機能していることを確認した。

第 4 章

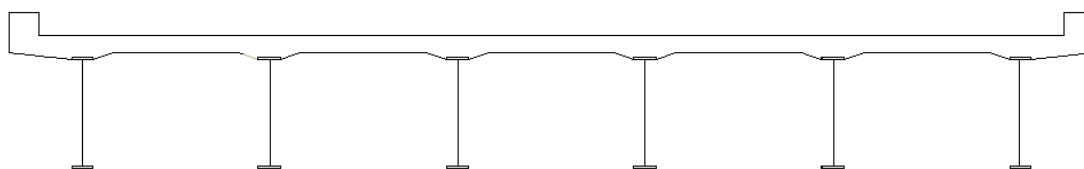
連結版の機能に関する数値実験

4. 1 対象橋梁

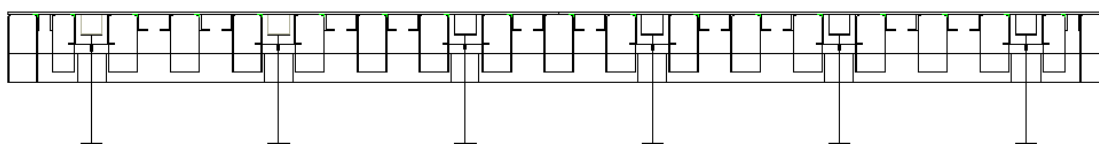
機能分割型鋼床版を張替えの鋼床版として、実際の橋梁に適用した場合にどのような問題が起こるか、FEM 解析を主として検討する。対象となる橋梁は首都高速 718I 区高架橋とした（【図 4.1】）。対象橋梁の概略を示す。対象橋梁を汎用有限要素法解析プログラム「FEMAP - CAEFEM」を使用して FEM 解析を行うことで、既存の合成桁橋梁との違いを明確にし、今後の張替え鋼床版の設計に必要なデータの取得を行う。

なお、既設橋梁と取替え床版適用例の概要を以下の【図 4.1】～【図 4.4】に示す。

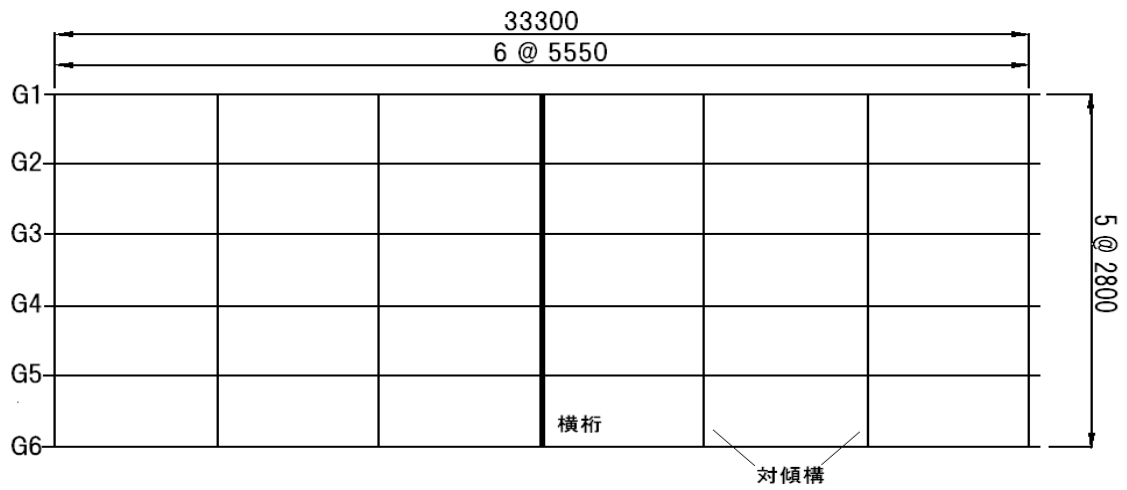
橋格	1 等橋 (TL-20)
形式	活荷重単純格子合成桁橋
橋長	34.00m
支間	33.30m
幅員	16.50m (車道幅員 15.60m)
主桁間隔	2.80m



【図 4.1】 合成桁橋梁の横断面図



【図 4.2】 機能分割型鋼床版適用橋梁の横断面図



【図 4.3】 合成桁橋梁の横断面

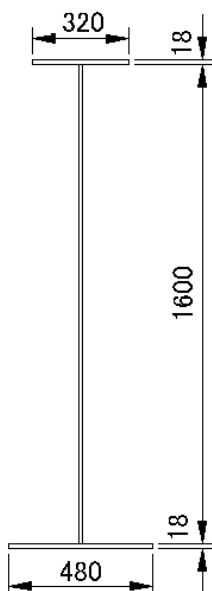


【図 4.4】 機能分割型鋼床版適用橋梁の横断面図

主桁設計時基本データ

腹板最小板厚		9 mm
水平補剛材の段数		1 段
使用鋼材		SM490
主桁腹板高		1600 mm
使用板厚		1 mmピッチ
曲げ応力度の余裕	圧縮時	0 kg f/cm ²
	引張時	0 kg f/cm ²
コンクリート設計基準強度		350 kg f/cm ²
剛比	i	1.000
曲げ格子剛度	Z	50

主桁データ



【表 4.1】 主桁断面寸法

鋼 桁 断 面		A (cm ²)	I (cm ²)
1-UFLG. PL	320×18	57.60	376981
1-Web. PL	1600×9	144.00	307200
1-LFLG. PL	480×18	86.40	565472
合計		288.00	2211220

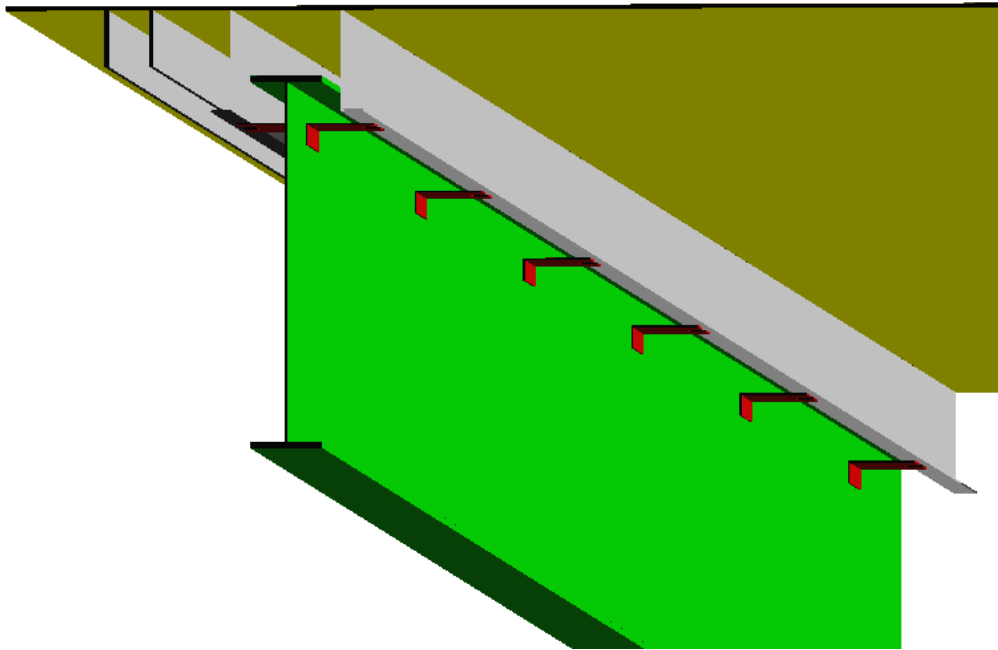
4. 2 床版と主桁間の接合方法について

4.2.1 部分接合方法

本構造では、床版－主桁間を接合する際に、連結版を用いて主桁ウェブ中間位置から部分的に接合するという、従来の鋼床版とは異なった特殊な工法を用いる。

第3章では、橋軸方向に関する検討によって、2主桁モデルでの部分接合機能の効果を確認した。しかし、実験スペースの問題などから、そのスパンは8mと限られたモデルで検討を行ったため、連結版の総延長もスパンの25%を占め、実際の橋梁に適用する際に想定される11%のものよりもかなり長く接合されている。また、連結版の面内回転変位の抑止が必要となるなどの問題があり、新たな部材を取り付けた上での検討となった。

そこで、本節では改めて、連結版を両側に配置した全体モデルで、FEM解析を主とした部分接合機能の検討を行う。



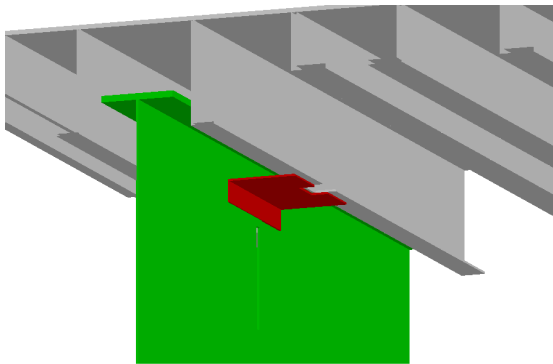
【図 4.5】 主桁ウェブからの部分接合方法

【表 4.2】 2 主桁実験モデルとの違い

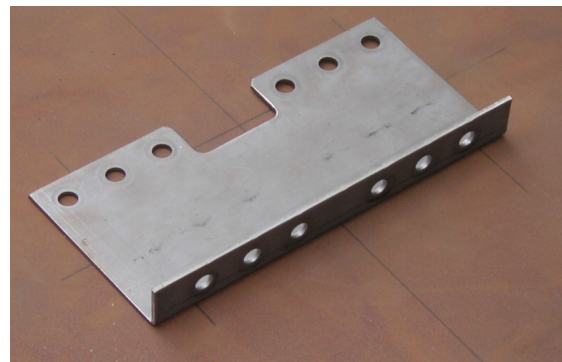
	スパン (mm)	連結版		スパンに対する割合(%)
		個数	総延長 (mm)	
2主桁実験モデル	8000	4	2000	25
全体モデル	34000	6	3720	11

4.2.2 連結版について

解析対象とする部分接合モデルでは、1つの連結版の板長さが620mmで、その合計延長が桁長の11%にあたる連結版を横リブ構造位置6ヶ所に配置している。この構造を基準モデルと呼ぶこととする。連結版取付け部の拡大図と、連結版の写真を【図 4.6】、【図 4.7】に示す。



【図 4.6】 連結版拡大図



【図 4.7】 連結版の写真

上図に示す連結版は、主桁を挟んで両側に配置されている。第 3 章では、連結版が片側に配置されている場合、連結版が面内回転変位を起し、合成機能が低下するなどの問題点があった。ここでは、連結版を主桁ウェブ両側に配置することにより、相互の変位を打ち消し合うことを期待した構造に変更し検討を行う。

4. 3 接合方法を変えたモデルとの比較

4.3.1 目的

部分接合方法と他の接合方法で、どのような違いがあるかを確認するために、接合方法を変えた様々なモデルとの比較を行った。

4.3.2 比較対象モデル

部分接合方法と比較する、他の接合方法のモデルについては以下のとおりである。

①非合成モデル

非合成モデルとは、第3章の橋軸方向に関する検討で使用したモデルと同じように、鋼床版と主桁との連結版による接合の無いものをいう。鋼床版と主桁とは支材により鉛直方向には連結しているが、橋軸方向に自由にずれるため、重ね梁の構造となり、鋼床版と主桁とが別々に抵抗することになる。

②連続接合モデル

連続接合モデルとは、主桁と鋼床版との接合を主桁ウェブから行っている点では、部分接合モデルと同じだが、その接合部材を部分的にではなく橋軸方向に主桁長さと同じ長さで接合する構造となっている。このモデルとの比較により、部分的に接合したものと、連続的に接合したものの違いを確認することが出来る。

③直接接合モデル

完全合成モデルとは、主桁と鋼床版とを、主桁上フランジの直上から直接接合したモデルとなっており、鋼床版と桁との接合を最も強固にし、完全合成を期待したものとなっている。

④部分接合モデル

本構造で採用している部分接合方法モデル。主桁ウェブ中間位置から鋼床版へ、橋軸方向に部分的に連結版を配置し接合している。

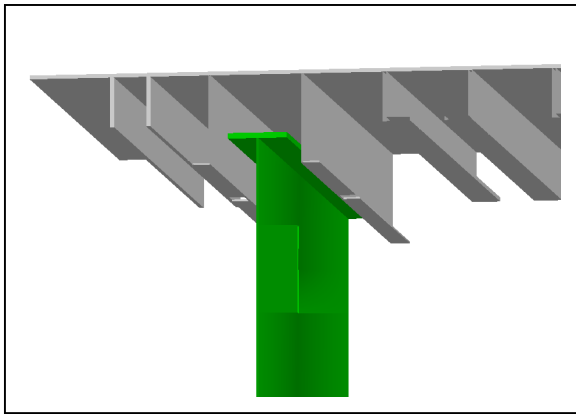
部分接合モデルを中心に、その他のモデルと比較する。各接合方法をまとめて、【表 4.3】に示す。

また、本検討対象橋梁の基となった合成桁橋もモデル化して、比較のための解析を行った。RC床版部はソリッド要素を用いる。

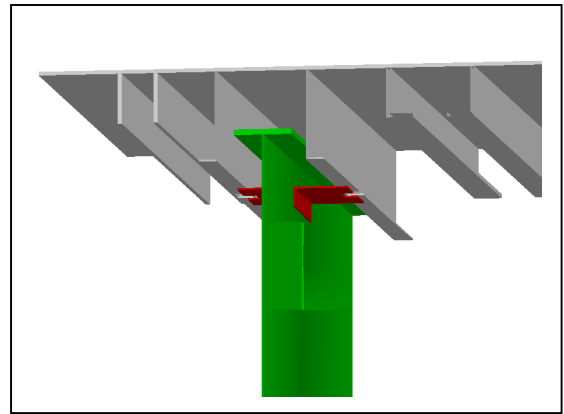
【表 4.3】各接合方法の説明

①	非合成モデル	主桁との接合がない、非合成桁
②	部分接合モデル	本構造の特徴の一つである、部分接合材を用いた接合方法
③	連続接合モデル	部分接合材を主桁長まで延長し、連続的に接合したもの
④	完全合成モデル	主桁と鋼床版を、主桁直上で完全合成したもの

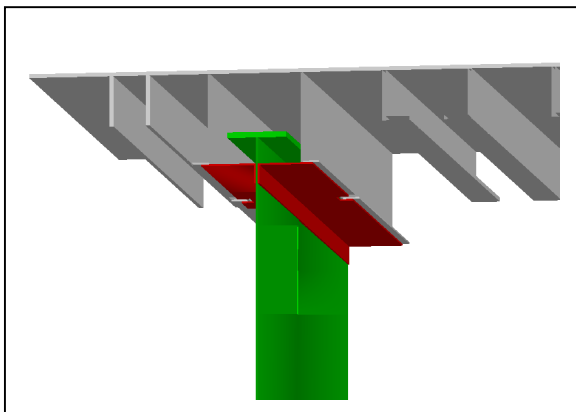
解析モデルの概略を【図 4.8】～【図 4.11】に示す。図中、鋼床版を直接支える横リブ構造部分（支材、横梁）は省略してある。



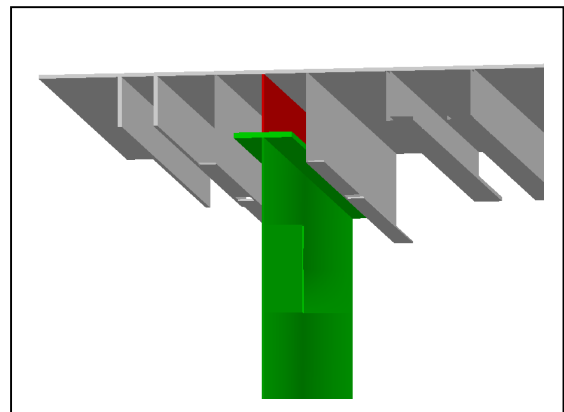
【図 4.8】非合成モデル



【図 4.9】部分接合モデル



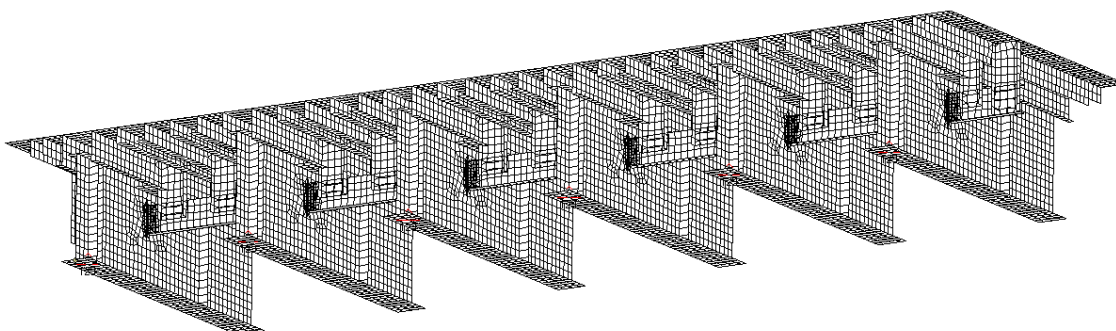
【図 4.10】連続接合モデル



【図 4.11】完全合成モデル

4.3.3 解析方法

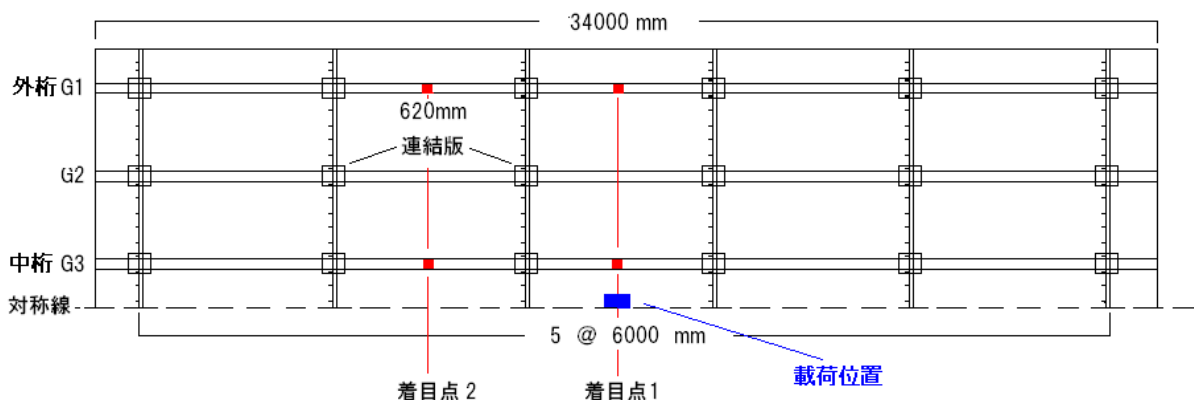
橋梁構造全体を細部まで有限要素でモデル化し解析を行う。節点数 159794、要素数 156744 の規模となった。部分接合モデルを、各種検討の基準となるモデルを使用した。非合成モデルは、部分接合モデルから連結版を取り除いたモデル、連続モデルは、連結版を橋軸方向に主桁長まで伸ばしたモデル、完全合成モデルは連結版をとり去り、主桁直上から鋼床板に接合した。構造全体を、プレート要素を使ってモデル化した(【図 4.12】参照)。



【図 4.12】 解析対象モデルの一部

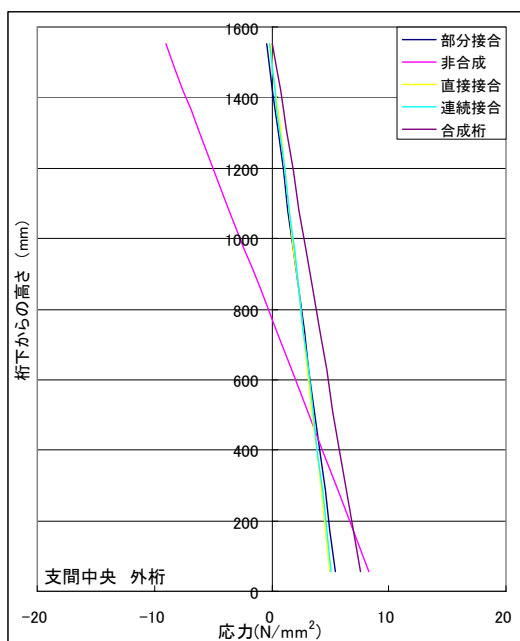
4.3.4 解析結果

解析では、荷重を支間中央に集中荷重として合計 200 kN 載荷した。着目点は、支間中央と桁端から 11000 mm地点の 2 箇所、外桁と中桁に着目するため、合計 4 箇所のウェブ内直応力、たわみについての比較を行った。ウェブ内直応力の解析結果を【図 4.14】～【図 4.17】に示す。中立軸位置、たわみに関しては【表 4.4】～【表 4.7】に示した。

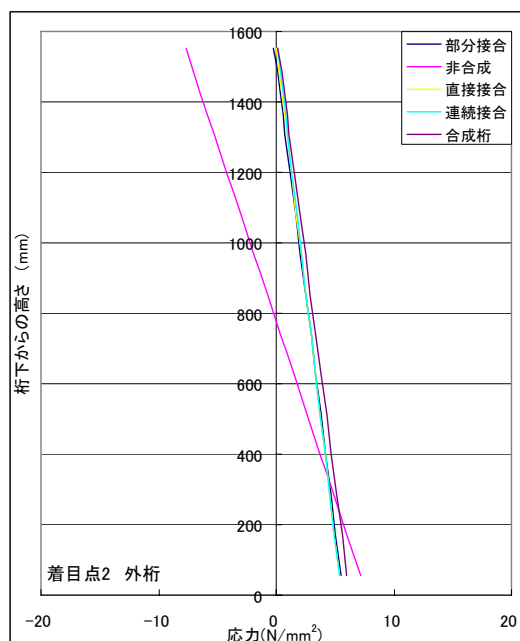


【図 4.13】 載荷位置と着目点位置

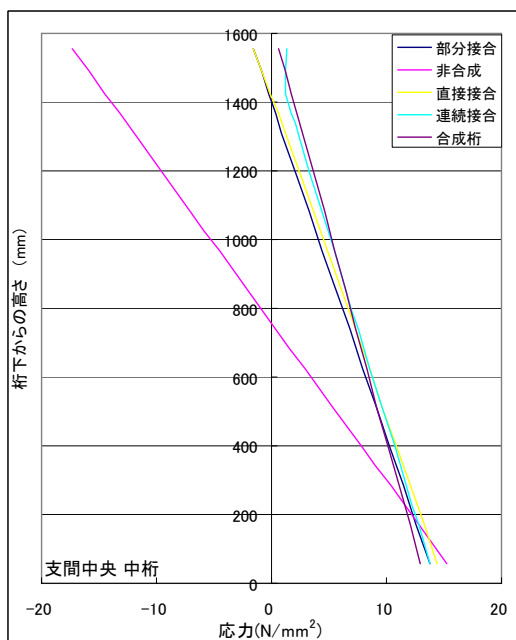
＜ウェブ内直応力分布＞



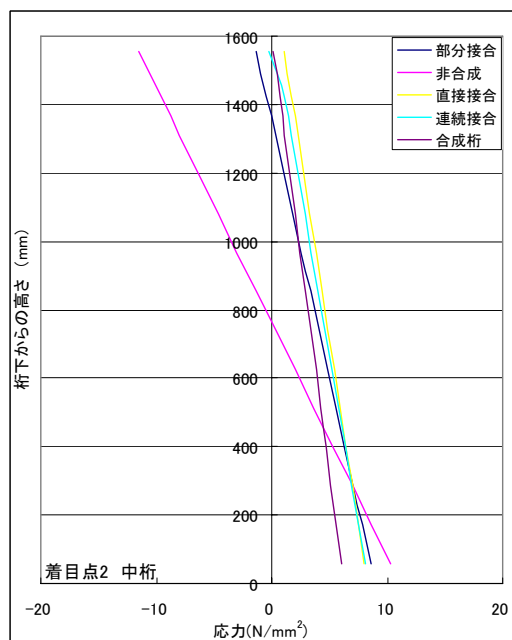
(1) 支間中央 外桁



(2) 着目点2 外桁



(3) 支間中央 中桁



(4) 着目点2 中桁

【図 4.14】各着目点におけるウェブ内直応力分布

【表 4.4】 中立軸位置とたわみ

(1) 外桁 支間中央

外桁 支間中央	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
完全合成	1542	0.96	5.17	1.00	-2.18	1.00
連続接合	1513	0.95	5.35	1.03	-2.23	1.02
部分接合	1443	0.90	5.70	1.10	-2.53	1.16
非合成	773	0.48	8.99	1.74	-6.79	3.11
合成桁	1469	0.92	8.16	1.58	-2.81	1.29

(2) 中桁 支間中央

中桁 支間中央	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
完全合成	1595	1.00	14.97	1.00	-4.48	1.00
連続接合	1469	0.92	14.30	0.96	-4.40	0.98
部分接合	1397	0.87	14.36	0.96	-5.14	1.15
非合成	758	0.47	16.55	1.11	-10.66	2.38
合成桁	1707	1.07	13.87	0.93	-4.06	0.91

(3) 外桁 着目点2

外桁 着目点2	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
完全合成	1569	0.98	5.57	1.00	-1.95	1.00
連続接合	1586	0.99	5.56	1.00	-1.98	1.02
部分接合	1513	0.95	5.73	1.03	-2.23	1.15
非合成	778	0.49	7.75	1.39	-5.75	2.95
合成桁	1600	1.00	6.45	1.16	-2.38	1.22

(4) 中桁 着目点2

中桁 着目点2	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
完全合成	1792	1.12	8.30	1.00	-3.48	1.00
連続接合	1637	1.02	8.42	1.01	-3.47	1.00
部分接合	1362	0.85	8.98	1.08	-4.04	1.16
非合成	764	0.48	11.17	1.35	-8.66	2.49
合成桁	1605	1.00	7.72	0.93	-3.23	0.93

4.3.5 考察

<中立軸位置に関する検討>

主桁作用の全体的な挙動を表す中立軸の位置で検討してみる。非合成モデルでは主桁単体の図心軸位置とほぼ同じ、桁高の 5 割程度の高さに位置している。

外桁においてはどの接合方法を用いても大きな変化はみられないことがわかる。一方、中桁では連続接合や RC 合成桁は他に比べて中立軸が若干異なるといえる。しかし、いずれも非合成に比べて大幅に上昇し、桁高に対して 9 割前後の高さに位置している。部分接合モデルでも他モデルと比べて大きな中立軸位置の変化は見られないため、ほぼ同じ合成機能を発揮しているといえる。

<たわみに関して>

各モデルのたわみを比較すると、完全合成モデルと連続接合モデルはほぼ同じたわみ量であるといえる。中桁の支間中央付近では、完全合成モデルの方が、たわみ量が増加しているが、完全合成モデルは主桁直上から接合しているため、載荷位置付近では変形が大きくなってしまったためだと考えられる。

完全合成モデルと部分接合モデルを比較してみると、どの着目点でも 15%程度たわみ量が増加していることがわかる。しかし、非合成モデルでのたわみ量は最大で 3 倍程度増加しており、部分接合モデルのたわみ増加量は小さいといえる。

<下フランジ応力>

着目点によってやや傾向が異なる結果になったが、完全合成モデル、連続接合モデル、部分接合モデルの 3 モデルについては、ほぼ同じ応力である。このことから、接合方法を変えたことによる下フランジの応力増加率に与える影響は小さいものと考えられる。

<接合方法の違いについてのまとめ>

これらの結果から、床版と主桁との合成機能については次のように言える。接合方法を主桁の直上ではなく、主桁ウェブの中間位置からにしたものでも連続的に接合すればその効果は変わらないことがわかる。このことから、主桁との接合は、主桁直上から接合する必要はなく、ウェブ中間位置から接合してもその効果は変わらないと考えられる。また、連続的にではなく、部分的に接合した本構造の合成効果も、中立軸位置としては数十 mm 程度の変化しかなく、たわみに与える影響も少ない。このことから、主桁と床版とは連続的に接合しなくても、部分接合でその効果は十分であることが確かめられた。

主桁ウェブ中間位置から床版との部分接合方法は、本来の合成桁、連続的に接合したものに比べても、合成機能は大きく低下しないことがわかった。また、連続的に接合することは施工上難しく、工費の削減などの観点からも、部分接合方法をとることが有利であることがいえる。

4. 4 連結版長に関する検討

4.4.1 目的

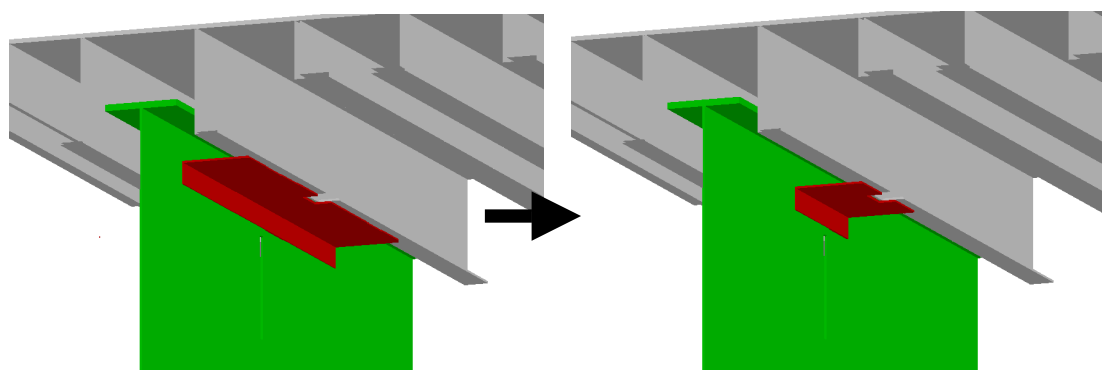
連結版は橋軸方向に 6 ヶ所に配置され、各主桁ウェブの両側にとりつけられている。連結版は板長さ 620 mm、板厚 9 mm、板幅 250 mm を想定し、これを基準モデルとしている。連結版サイズの縮小を念頭において、板長さの短縮を検討する。連結版の板長さ 620 mm から、その長さを 60%、20% と連結版の板長さを小さくしていく。これにより、全体構造の挙動にどのような変化が出るかについて検討を行う。

4.4.2 解析概要

解析には、【図 4.15】に示すようにそれぞれ板長さを変化させた 3 つのモデルで解析を行った。連結版の板長さと、橋長に占める割合について、【表 4.8】にまとめる。載荷する荷重は、支間中央に集中載荷 200kN とした。

検討は 4.3 と同じく、板長さが主桁ウェブの中立軸位置に与える影響、各桁の下フランジ応力、各桁のたわみについての検討を行った。

着目位置は、【図 4.13】に示す位置と同じである。



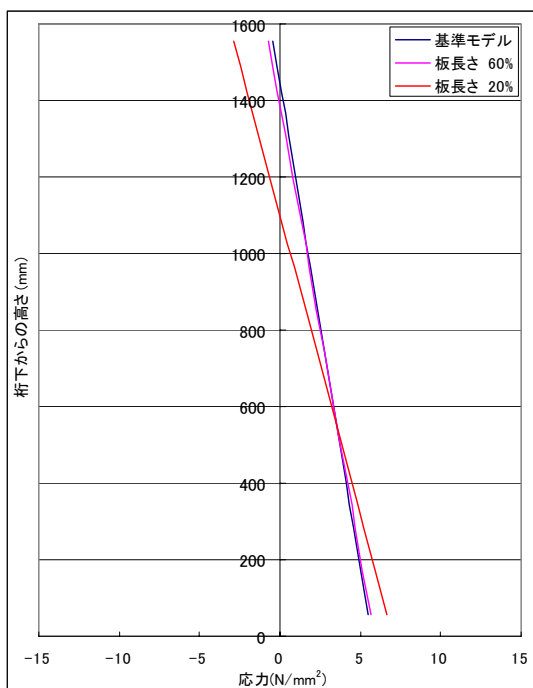
【図 4.15】 連結版板長さの削減方法

【表 4.5】 連結版延長の割合

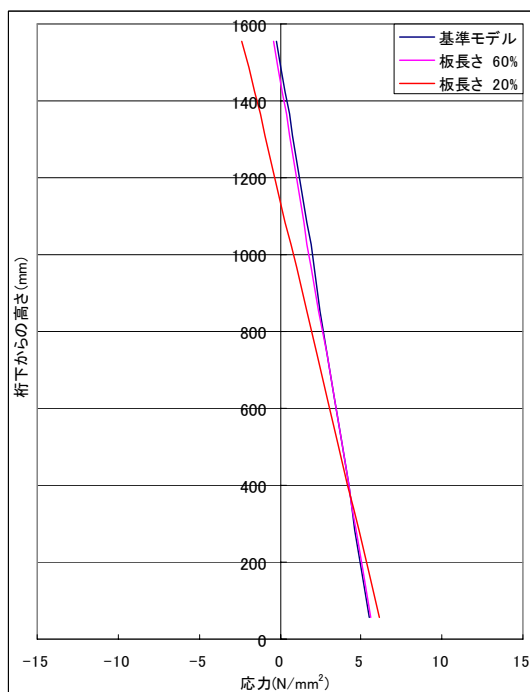
	板長 (mm)	橋軸方向個数	橋長に対する割合(%)
基準モデル	620	6	11
60%	372	6	7
20%	124	6	2

4.4.3 解析結果

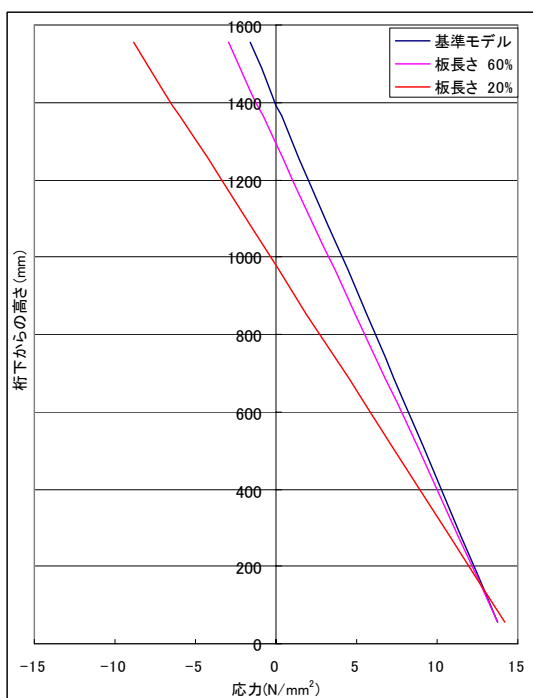
解析結果を、【図 4.16】、【表 4.6】に示す。



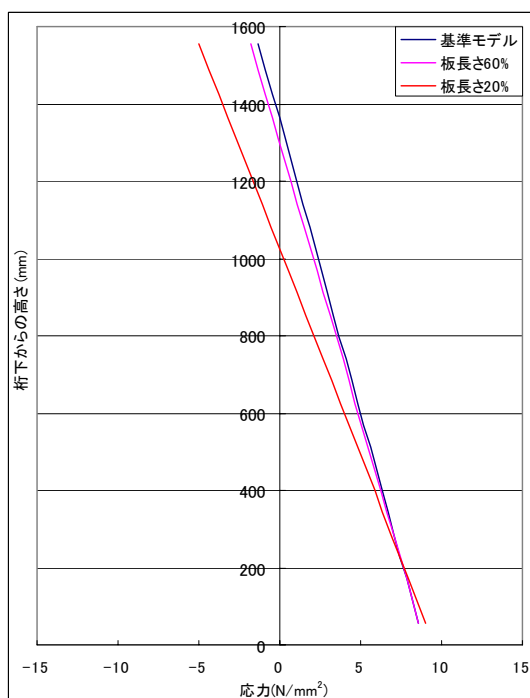
(1) 支間中央 外桁



(2) 着目点2 外桁



(3) 支間中央 中桁



(4) 着目点2 中桁

【図 4.16】 連結版板長さの変化による中立軸位置

【表 4.6】 下フランジ応力とたわみ

(1) 外桁 支間中央

板長	外桁中央 たわみ(mm)	たわみ 増加率	下フランジ 応力度(N/mm ²)	応力 増加率
基準	-2.53	1.00	5.70	1.00
60%	-2.67	1.05	5.99	1.05
20%	-3.93	1.55	7.16	1.26

(3) 中桁 支間中央

板長	中桁中央 たわみ(mm)	たわみ 増加率	下フランジ 応力度(N/mm ²)	応力 増加率
基準	-5.14	1.00	14.36	1.00
60%	-5.45	1.06	14.60	1.02
20%	-7.21	1.40	15.25	1.06

(3) 外桁 着目点2

板長	外桁・着目点2 たわみ(mm)	たわみ 増加率	下フランジ 応力度(N/mm ²)	応力 増加率
基準	-2.23	1.00	5.73	1.00
60%	-2.37	1.06	5.90	1.03
20%	-3.33	1.49	6.54	1.14

(5) 中桁 着目点2

板長	中桁・着目点2 たわみ(mm)	たわみ 増加率	下フランジ 応力度(N/mm ²)	応力 増加率
基準	-4.04	1.00	8.98	1.00
60%	-4.28	1.06	9.16	1.02
20%	-5.77	1.43	9.51	1.06

4.4.4 考察

<中立軸位置>

【図 4.15】の基準モデルは、機能分割型鋼床版で現在使用を想定した板長さが 620mm、6ヶ所での総延長が橋長の 11%にあたる連結版を配置したものである。その連結版の板長さを 60%にあたる 370mm 程度に小さくしても、合成機能に関しては大きく低下しないことがわかる。また、下フランジの応力についても同様である。20%まで小さくすると、中立軸位置が大きく下がり、合成機能が大きく低下することがわかる。

<たわみ>

連結版板長さを 60%に削減したものでも、たわみ量の増加は、6%程度と小さく抑えられる。しかし、20%まで削減すると、たわみ量は 4割から 5割の増加となってしまうことがわかった。このことから、連結版の板長さが 60%までは合成効果を保っていることがわかる。

<連結版板長さの変化に関するまとめ>

連結版板長さを減少させても、その板長さが基準モデルの 6割程度(総延長が橋長の 7%)であれば、十分に合成機能を保っていることが確認できる。しかし、連結版の板長さが 20%まで減少すると、合成機能は大きく低下することがわかった。

以上のことから、合成効果だけを検討するのであれば、板長さ基準サイズの 60%程度(総延長が橋長の 7%)程度でも十分であることがわかる。しかし、連結版の板長さが減る分、連結版そのものに発生するせん断応力は大きくなると考えられるため、そのせん断応力については別途検討が必要である。

4.5 板厚の変化に関する検討

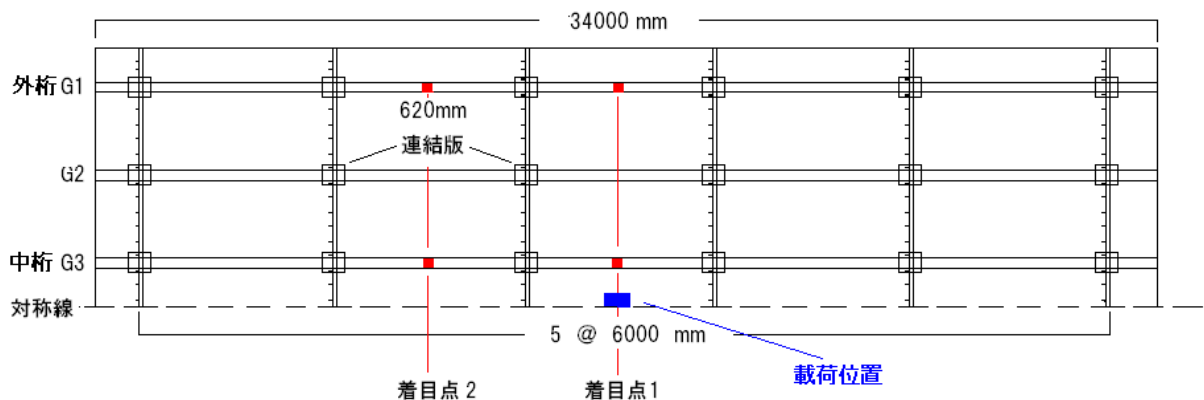
4.5.1 目的

本構造では、実橋梁で使用する連結版の板厚を $t=9\text{ mm}$ と想定している。ここでは、連結版の板厚を $t=9\text{ mm}$ から徐々に薄くしていき、全体構造にどのような影響を与えるかを検討する。また、参考として、板厚を 10 倍に増やした場合に合成機能はどの程度改善するのかを確認する。

4.5.2 解析概要

解析には、連結版の板幅を $t=9\text{ mm}$ から、 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/6$ 、 $1/8$ 、 $1/10$ と減らした各モデルで解析を行った。また、参考として板厚を 10 倍にして、 $t=90\text{ mm}$ にしたモデルでも解析を行い、連結版の板厚が合成機能に与える影響について検討を行う。載荷荷重は、支間中央に集中荷重として合計 200 kN とし、解析を行った。

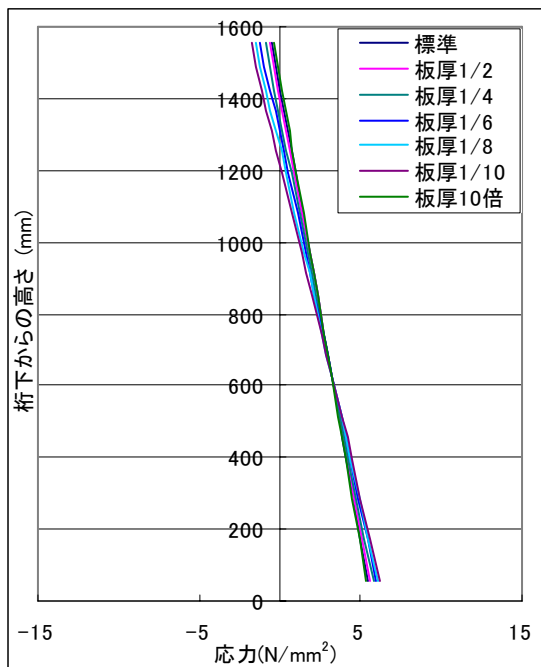
検討は、主桁の中立軸位置、各桁の下フランジ応力、各桁のたわみについて、【図 4.16】に示す着目点で検討した。



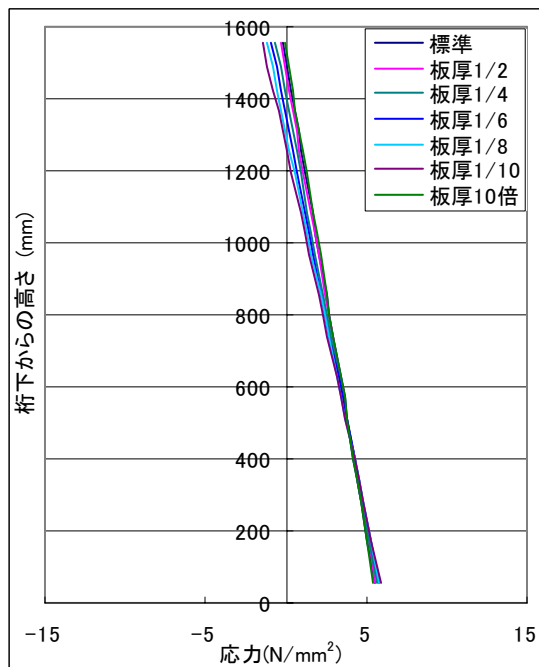
【図 4.16】 荷重載荷位置と、着目点の位置

4.5.3 解析結果

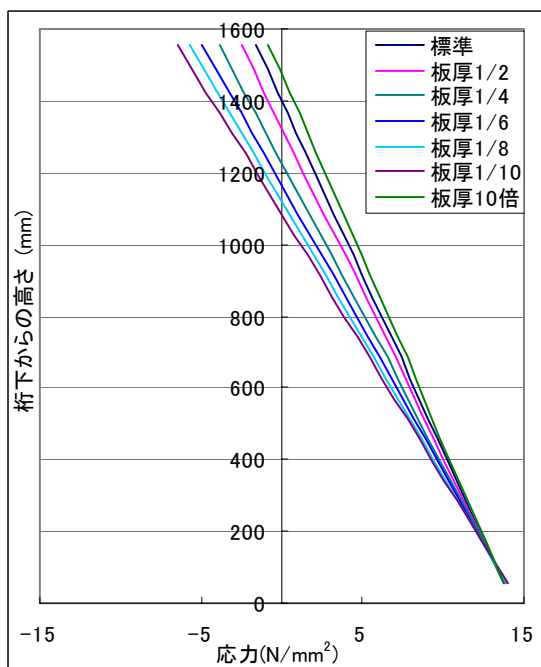
< 中立軸位置に関して >



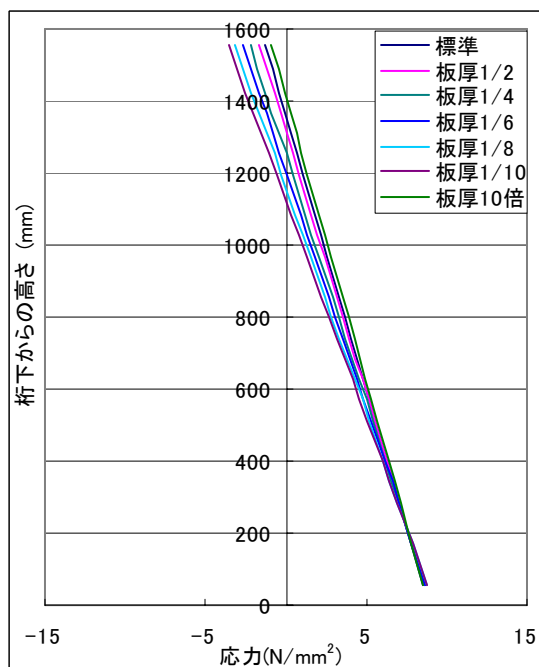
(1) 外桁・支間中央



(2) 外桁・着目点 2



(3) 中桁・支間中央



(4) 中桁・着目点 2

【図 4.17】 各着目点におけるウェブ内直応力分布

<下フランジ応力とたわみに関して>

【表 4.7】 外桁、支間中央

外桁 支間中央	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
基準 (t=9mm)	1443	0.90	5.70	1.00	-2.53	1.00
板厚1/2	1411	0.88	5.80	1.02	-2.63	1.04
板厚1/4	1353	0.85	6.03	1.06	-2.82	1.11
板厚1/6	1304	0.81	6.21	1.09	-2.99	1.18
板厚1/8	1262	0.79	6.38	1.12	-3.15	1.25
板厚1/10	1225	0.77	6.52	1.14	-3.30	1.30
板厚10倍	1473	0.92	5.50	0.97	-2.63	1.04

【表 4.8】 中桁、支間中央

中桁 支間中央	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
基準 (t=9mm)	1397	0.87	14.36	1.00	-5.14	1.00
板厚1/2	1326	0.83	14.38	1.00	-5.34	1.04
板厚1/4	1229	0.77	14.49	1.01	-5.68	1.10
板厚1/6	1165	0.73	14.58	1.02	-5.96	1.16
板厚1/8	1118	0.70	14.66	1.02	-6.20	1.21
板厚1/10	1083	0.68	14.73	1.03	-6.42	1.25
板厚10倍	1473	0.92	14.27	0.99	-5.34	1.04

【表 4.9】外桁、着目点 2

外桁 着目点2	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
基準(t=9mm)	1513	0.95	5.73	1.00	-2.23	1.00
板厚1/2	1474	0.92	5.78	1.01	-2.31	1.04
板厚1/4	1408	0.88	5.88	1.03	-2.47	1.11
板厚1/6	1353	0.85	6.00	1.05	-2.60	1.17
板厚1/8	1307	0.82	6.09	1.06	-2.73	1.23
板厚1/10	1268	0.79	6.17	1.08	-2.85	1.28
板厚10倍	1546	0.97	5.65	0.99	-2.31	1.04

【表 4.10】中桁、着目点 2

中桁 着目点2	中立軸位置 (mm)	桁高に 対する割合	下フランジ応力		たわみ	
			(N/mm ²)	増加率	(mm)	増加率
基準(t=9mm)	1362	0.85	8.98	1.00	-4.04	1.00
板厚1/2	1319	0.82	9.06	1.01	-4.20	1.04
板厚1/4	1252	0.78	9.13	1.02	-4.46	1.11
板厚1/6	1200	0.75	9.22	1.03	-4.69	1.16
板厚1/8	1159	0.72	9.28	1.03	-4.89	1.21
板厚1/10	1124	0.70	9.32	1.04	-5.07	1.25
板厚10倍	1416	0.88	8.91	0.99	-4.20	1.04

3.5.4 考察

<中立軸位置>

外桁では、全体的に板厚の減少に伴い、中立軸位置が低下していくことがわかるが、その低下率はそれほど大きくないといえる。中桁において、特に支間中央では、他の着目点に比べて中立軸位置の低下率が大きい。大きなせん断力がかかっていることが原因であると考えられる。

<たわみ>

板厚の減少によって、たわみ量の大きさは線形的に増加しているものと考えられる。たわみ量はどの着目点でも、ほぼ均等に増加している。このことから、板厚が大きく減少しても局部的に特異な現象を起こすことはないと考えられる。

<下フランジ応力>

板幅の減少に伴い、下フランジの応力は高くなるものと考察されたが、板厚が 1/10 程度に低下しても下フランジの応力増加率はそれほど高くないことがわかった。

<連結版板厚の変化に関するまとめ>

ここでは、板厚の減少が全体構造に与える影響について検討したため、10 分の 1 程度までの解析結果をのせている。その結果、極端に板厚を減らしても、合成機能には大きな影響を与えないことがわかった。また、板厚を 10 倍にしたモデルでの検討を行ったが、合成機能はほぼ変わらないといえる。このことから、実際に使用する際には最小板厚の部材を使用することが望ましいといえる。

4. 6 連結版の取付け高さ位置に関する検討

4.6.1 目的

これまでの検討では、本構造での連結版の位置は、施工上の観点から主桁上フランジから 160 mmの位置としている。ここでは、連結版の位置の取付け高さ位置が変わることにより、全体構造にどのような影響を与えるかを検討した。

4.6.2 解析概要

連結版の取付け高さ位置を変化させる際、横リブ構造位置を固定したまま変化させる。横梁、貫通材、ブラケットとの関係上、上フランジから 400mm 未満までしか下げられない。検討では上フランジから 320 mmの位置まで連結版の取付け高さ位置を変化させる。

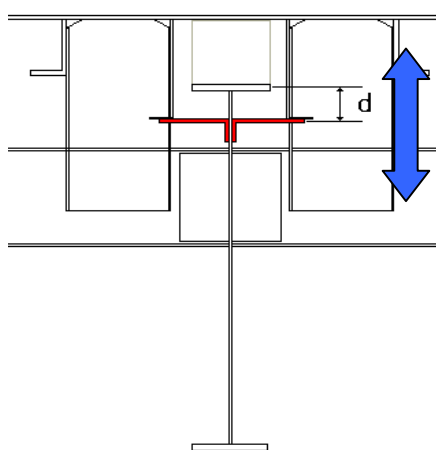
上フランジからの距離、 $d=0$ 、80、160 (基準モデル)、240、320mm の位置【図 4.18】まで変化させることとし、取付け高さ位置の変化が、中立軸、たわみ、上フランジ応力、下フランジ応力に与える影響、また、連結材が受け持つ水平方向のせん断応力の変化を調べる。

< 載荷位置 >

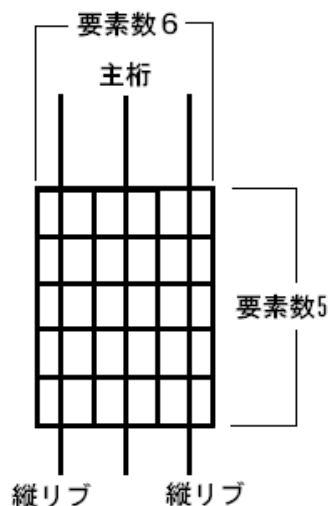
連結版に作用するせん断応力の変化を見るため、載荷荷重位置を変え、支間中央、1/4 支間位置に幅員方向に均等に線荷重を載荷したもの、また、床版の全面に分布載荷したものそれぞれについて検討を行った。

< 着目位置 >

中立軸位置、たわみの着目点は【図 4.16】の位置とした。また、解析結果として用いる連結版せん断応力の値については、【図 1.19】のように、せん断力を伝達している部分の要素のせん断応力値を平均化したものを解析値として用いることにした。



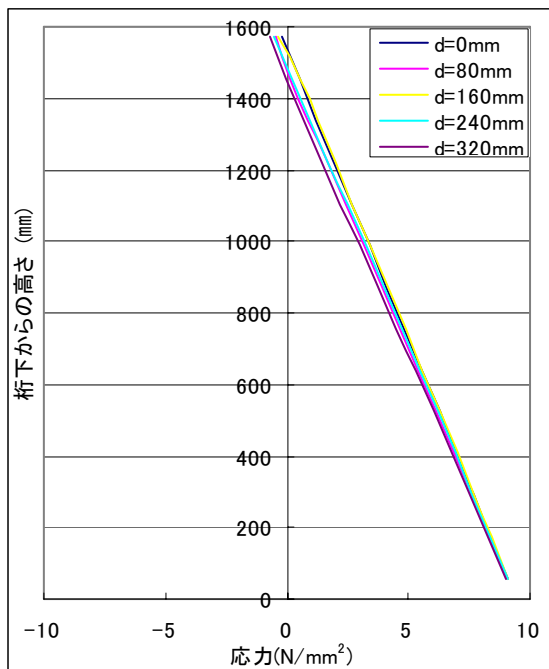
【図 4.18】 連結版の取付け高さ位置の変化



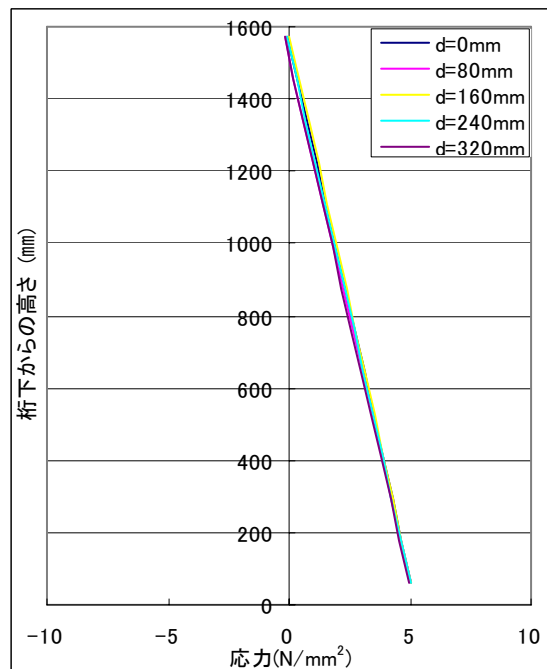
【図 4.19】 連結版のせん断応力算出要素

4.6.3 解析結果

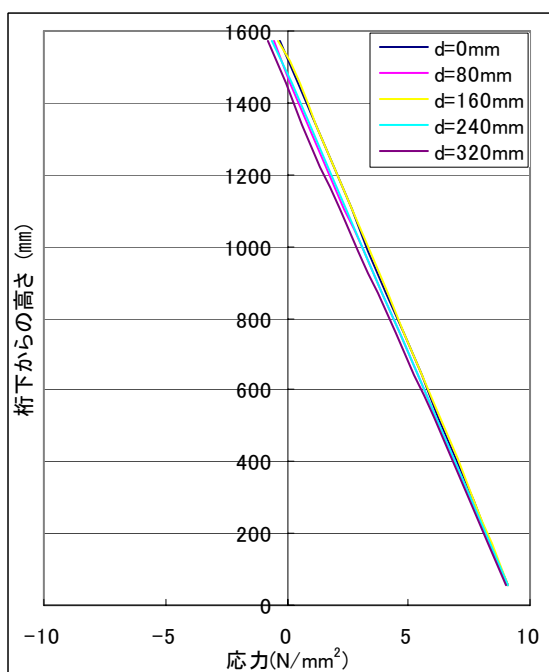
解析結果を【図 4.20】に示す。



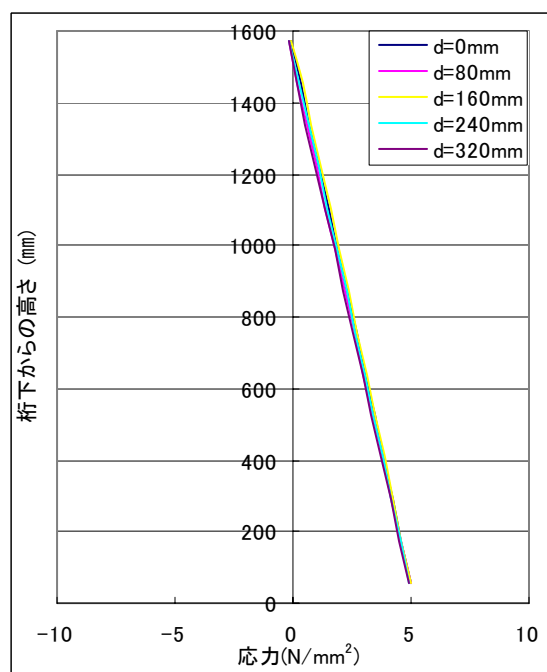
(1) 支間中央載荷 外桁



(2) 1/4 支間載荷 外桁



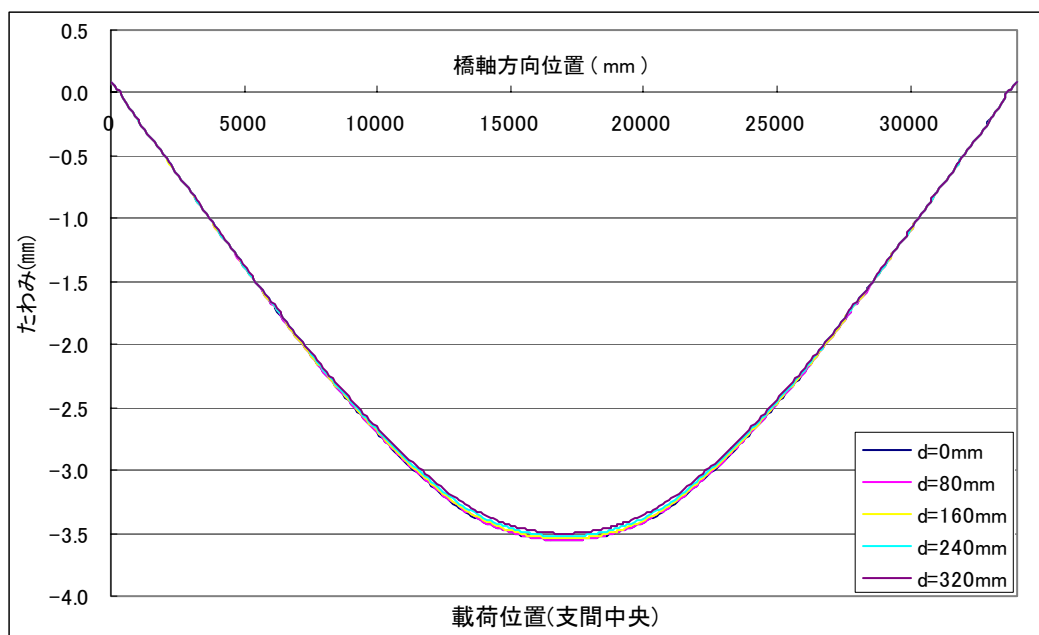
(3) 支間中央載荷 中桁



(4) 1/4 支間載荷 中桁

【図 4.20】各着目点における中立軸

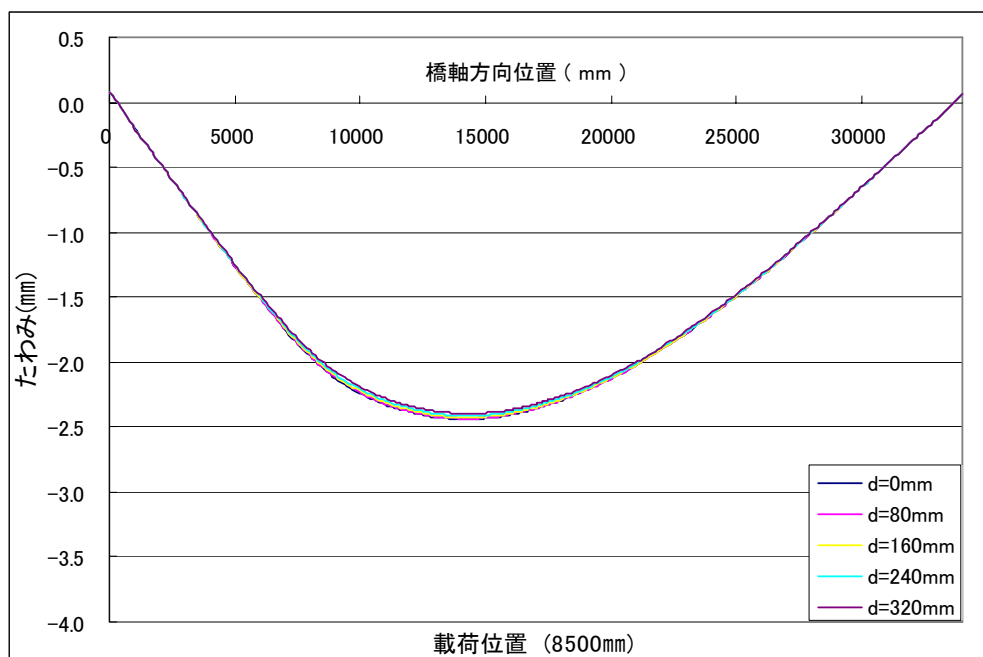
<たわみに関して>



【図 4.21】 支間中央載荷時のたわみ

【表 4.11】 支間中央載荷時の各着目点のたわみ

	中央たわみ		1/4支間	
	(mm)	比	(mm)	比
d=0mm	-3.56	1.00	-2.35	1.00
d=80mm	-3.55	1.00	-2.34	1.00
d=160mm	-3.54	1.00	-2.34	1.00
d=240mm	-3.53	0.99	-2.33	0.99
d=320mm	-3.50	0.98	-2.31	0.99

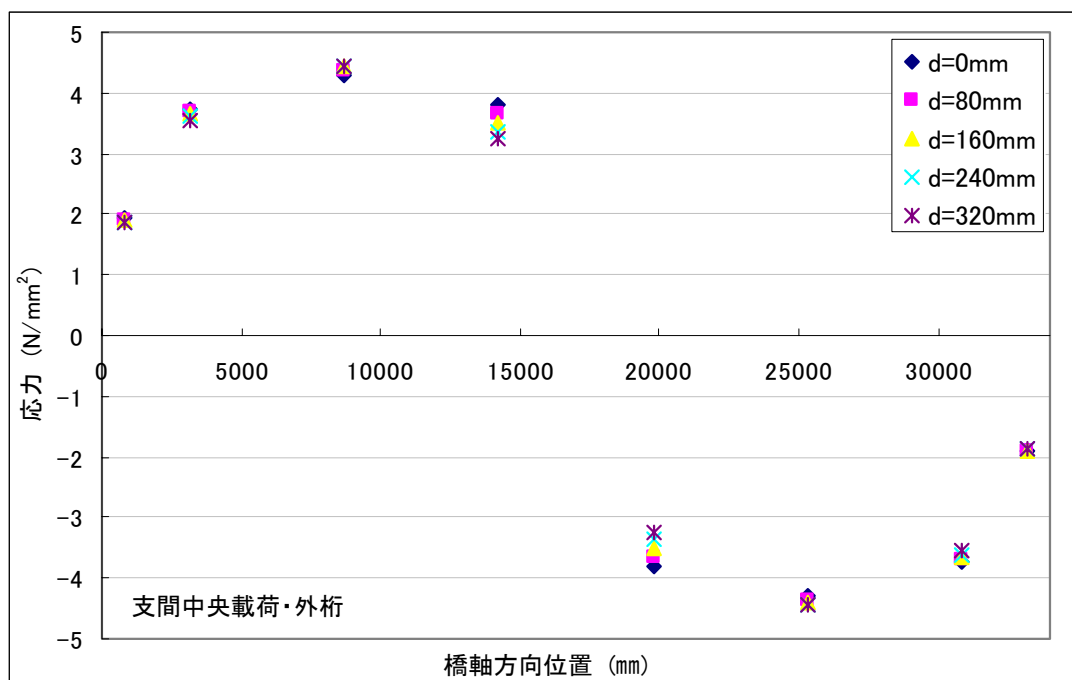


【図 4.22】 1/4 支間載荷時のたわみ

【表 4.12】 1/4 支間載荷時のたわみ

	中央たわみ		1/4支間	
	(mm)	比	(mm)	比
d=0mm	-2.05	1.00	-2.05	1.00
d=80mm	-2.04	1.00	-2.04	1.00
d=160mm	-2.03	0.99	-2.03	0.99
d=240mm	-2.02	0.99	-2.02	0.99
d=320mm	-2.00	0.98	-2.00	0.98

<せん断力に関して>

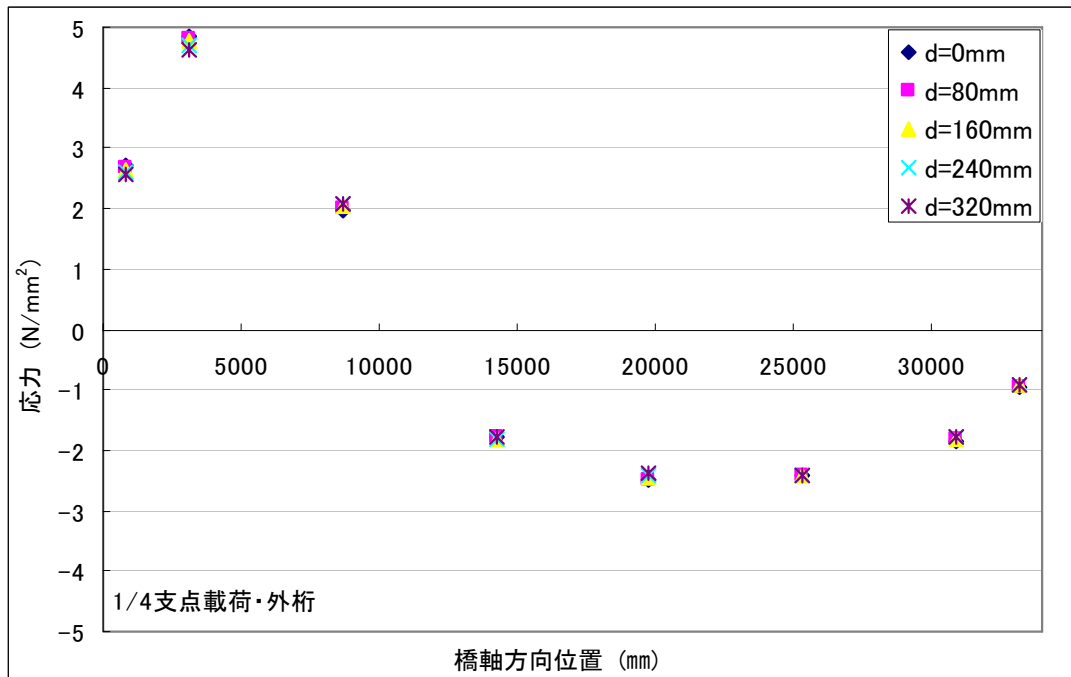


【図 4.23】 支間中央載荷時の連結版せん断応力

【表 4.13】 支間中央載荷時のせん断応力の比率

連結版 取付け高さ位置	左端からの橋軸方向位置(mm)							
	850	3125	8675	14225	19775	25325	30875	33150
d=0mm	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d=80mm	0.99	0.99	1.01	0.96	0.96	1.01	0.99	0.99
d=160mm	0.98	0.98	1.02	0.92	0.92	1.02	0.98	0.98
d=240mm	0.97	0.97	1.03	0.89	0.89	1.03	0.97	0.97
d=320mm	0.96	0.95	1.03	0.85	0.85	1.03	0.95	0.96

d = 0 mmを 1 とした場合

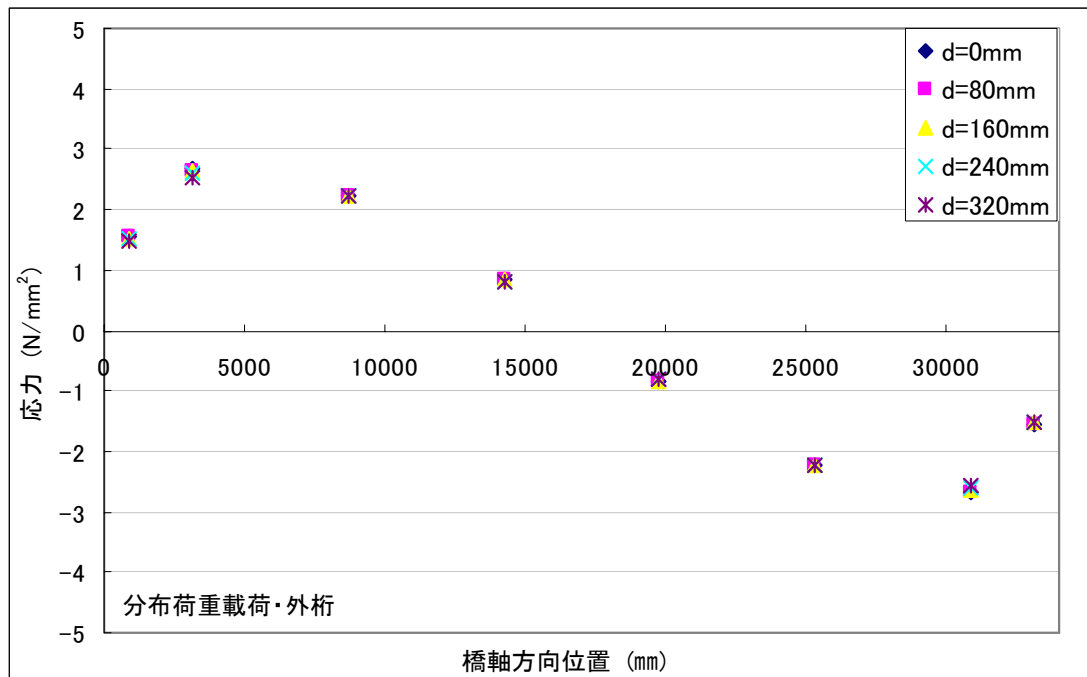


【図 4.24】 1/4 支点間載荷時の連結版せん断応力

【表 4.14】 1/4 支点間載荷時の連結版せん断応力比率

連結版 取付け高さ位置	左端からの橋軸方向位置(mm)							
	850	3125	8675	14225	19775	25325	30875	33150
d=0mm	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d=80mm	0.99	0.99	1.02	1.01	0.99	1.00	0.99	0.99
d=160mm	0.97	0.98	1.03	1.01	0.98	1.00	0.99	0.98
d=240mm	0.96	0.97	1.05	1.01	0.97	1.00	0.97	0.97
d=320mm	0.95	0.95	1.05	1.01	0.96	0.99	0.96	0.96

d = 0 mm を 1 とした場合



【図 4.25】 分布荷重時の連結版せん断応力

【表 4.15】 分布荷重時の連結版せん断応力の比

連結版 取付け高さ位置	左端からの橋軸方向位置(mm)							
	850	3125	8675	14225	19775	25325	30875	33150
d=0mm	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d=80mm	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99
d=160mm	0.99	0.98	1.01	0.98	0.98	1.01	0.98	0.99
d=240mm	0.97	0.96	1.01	0.97	0.97	1.01	0.97	0.97
d=320mm	0.96	0.95	1.00	0.95	0.96	1.00	0.95	0.96

d = 0 mmを 1 とした場合

4.6.4 考察

<中立軸位置に関して>

連結版の取付け高さ位置が変化しても中立軸にはほぼ影響を与えないことがわかった。特に、1/4 支点では中立軸位置に変化はなかった。また、下フランジ、上フランジの縁応力についても、変化は見られなかった。このことから、連結版取付け高さ位置の変化によって、主桁に与える影響は少ないものと考えられる。

<たわみに関して>

たわみについても、 $d=0$ mmから $d=320$ mmまで連結版取付け高さ位置を変化させても、大きな変化は見られない。取付け高さ位置が下がるとたわみ量はやや減少する傾向があるが、ほとんど変化してないと言える。

<せん断応力に関して>

また、連結版に発生するせん断応力についても、支間中央に載荷した【図 4.16】の載荷荷重付近で最大 15%の差はみられたものの、その変化はごく部分的なもので、全体構造としては、変化は見られなかった。

これらのことから、連結版の取付け高さ位置を変えても、せん断力の伝達効果に低下は見られず、全体構造には大きく影響を与えないといえる。また、連結版自体のせん断応力も変化しないことがわかった。このことから、施工上の問題にあわせて連結版の取付け高さ位置を自由に変えることができると思われる。

第 5 章

数値実験の詳細検討

5. 1 単純理論値との比較

5.1.1 目的

連結版などの他の構造には無い特殊な部材においては、既存の設計方法をそのまま適用することは難しい。FEM 解析を利用し、設計に活かす方法も考えられるが、本構造は複雑であり、その全体モデルを作成して解析を行うことは多大な労力を伴う。そこで、本節では、簡易な計算から連結版などの設計に役立つデータを得る可能性を検討するために、数値実験で得られた値と、簡易な計算によって得られた値との比較を行う。

ここでは、簡易な計算として、構造断面の平面保持の仮定を前提とした単純理論値を算出する。その単純理論値と、全体モデルでの数値実験での解析結果とが、どの程度変化するかを検討する。

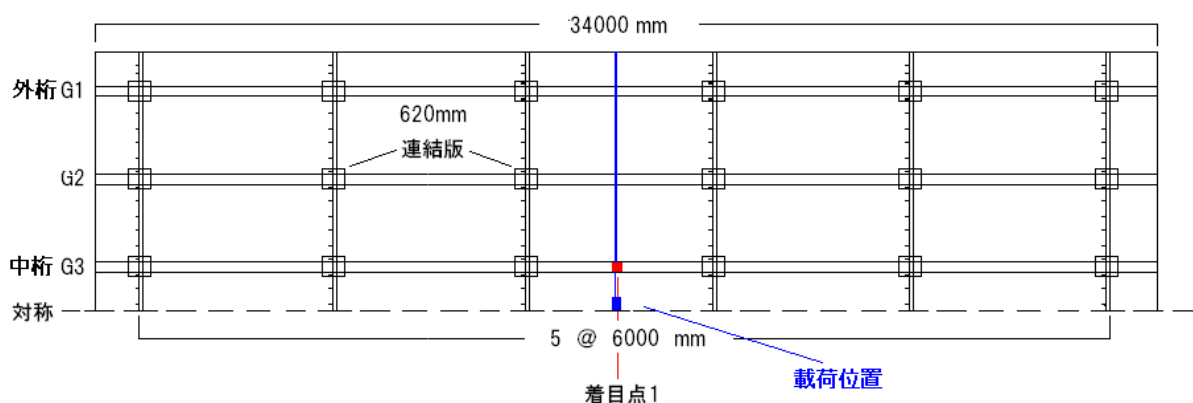
5.1.2 検討概要

単純理論値との比較は、以下の 2 つの条件で行う。

- ① 連結版板長を変化
- ② 連結版取付け高さ位置

解析には、第 4 章で使用したモデルを使用する。【図 5.1】に示すように、支間中央に線荷重として合計 200kN を載荷する。着目点は、支間中央中桁の中立軸位置、上下フランジ直応力、たわみについてそれぞれ検討を行った。

②の連結版取付け高さ位置については、連結版に発生するせん断応力についても単純理論値との比較を行った。



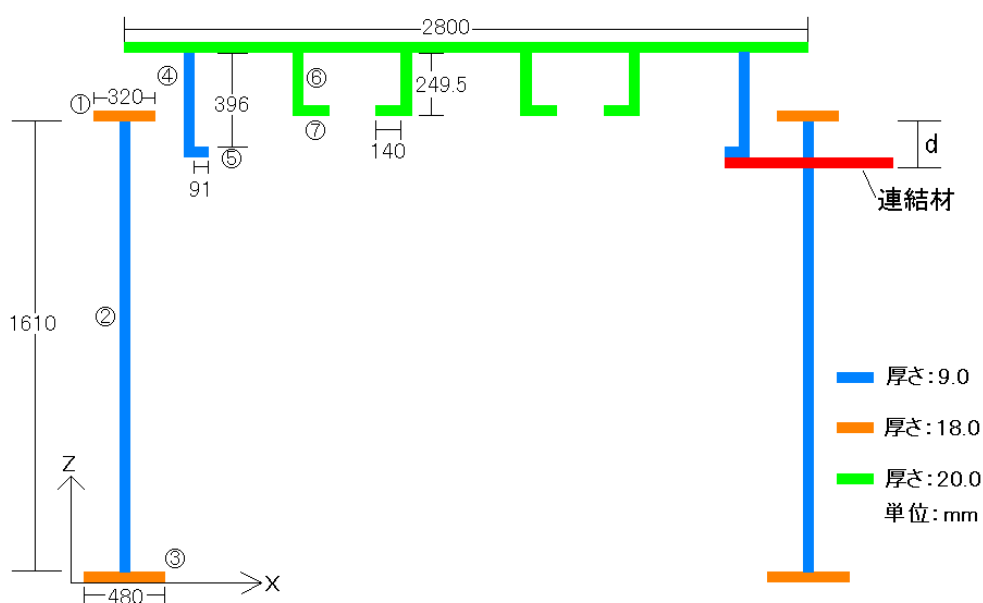
【図 5.1】荷重載荷位置と着目点

5.1.3 単純理論値の算出方法

単純理論値は、橋軸方向に連続する床版、縦リブ、主桁が一体となり、平面保持の仮定を満たした構造から算出する。単純理論値の算出方法を以下に示す。単純理論値は、ウェブ内直応力、たわみ、連結版のせん断応力について算出する。算出方法を以下に示す。

a) 断面定数の算出方法

まず、ここでは中立軸位置、下フランジ位置のたわみ、上下フランジの橋軸方向応力を算出するために、各部材ごとの断面定数を求める。結果は【表 5.1】に示す。



【図 5.1】単純理論算出断面

【表 5.1】断面の計算結果

		b	h	本数	z	A	Az	Az ⁰ ^2	I _o
主桁	①	320	18	6	1637.0	34560	5.66E+07	9.26E+10	9.33E+05
	②	9	1610	6	823.0	86940	7.16E+07	5.89E+10	1.88E+10
	③	480	18	6	9.0	51840	4.67E+05	4.20E+06	1.40E+06
縦リブ	④	9	476	12	1706	8.77E+07	1.50E+11	9.71E+08	8.77E+07
	⑤	91	9	12	1472.5	1.45E+07	2.13E+10	6.63E+04	1.45E+07
	⑥	20	249.5	24	1819.3	119760	2.18E+08	3.96E+11	6.21E+08
	⑦	140	20	20	1704.5	56000	9.55E+07	1.63E+11	1.87E+06
床版		16509	20		1954.0	330180	6.45E+08	1.26E+12	1.10E+07
				合計		7.41E+05	1.19E+09	2.14E+12	2.04E+10

単純理論値の中立軸位置の計算は、【表 5.1】の値を使用して、以下のように算出した。

$$z_0 = \frac{\sum A \times z}{\sum A} = \frac{1.19E+9}{7.41E+5} = 1606.0$$

(例：連結版取付け高さ位置 $d=160$ mm)

【表 5.1】から橋梁全体の断面 2 次モーメントを算出する。

$$I_x = \sum A \cdot z^2 + \sum \frac{b \cdot h^3}{12} - \sum A \cdot z_0^2 = 2.14E+12 + 2.04E+10 - 7.41E+5 \times 1606.0^2$$

$$I_x = 2.53E+11 \text{ mm}^4$$

ここでは、合計 200kN を幅員方向に線荷重として分布させる。主桁は 6 本であるため、 $P=200/6$ を主桁一本あたりに作用する力 P と考え、支間中央に発生する曲げモーメントは次式とした。

集中荷重

$$M = \frac{Pb}{l}x - P\langle x - a \rangle$$

分布荷重

$$M = \frac{qx}{2}(l - x)$$

b) ウェブ内直応力の算出方法

中立軸位置の検討で用いるグラフには、主桁ウェブ内直応力分布図とした。ウェブ内直応力分布図は、桁下からの高さを z とし、次式で算出した。

$$\sigma = \frac{M}{I_x} \cdot z$$

c) たわみの算出方法

たわみについては、上式の曲げモーメントを算出し、たわみ曲線の微分方程式から導くことができる。たわみ曲線の微分方程式は次式を用いた。

$$\frac{d^2 v}{dx^2} = -\frac{M}{E \cdot I}$$

E ：弾性係数 (200kN/mm²)

上式を 2 回積分することで求められる。境界条件を定義し、集中荷重と分布荷重がそれぞれ載荷された場合のたわみの式を下記に記す。

集中荷重

$$v = \frac{P}{6EI} \left\{ -bx^3 + \langle x-a \rangle^3 l + b(l^2 - b^2)x \right\}$$

分布荷重

$$v = \frac{q}{24} (x^4 - 2lx^3 + l^3x)$$

d) セン断応力の算出

次にせん断応力について述べる。せん断応力の算出式を下記に示す。

$$\tau = \frac{Q \cdot G}{I \cdot b}$$

G : 断面 1 次モーメント (mm³)

Q : セン断力 (N)

I : 断面 2 次モーメント (mm⁴)

b : 連結材の厚さ (mm)

断面 2 次モーメントは上式で算出した I を使用する。断面 1 次モーメント G は、せん断応力 τ を考えている位置から中立軸に対して、外側にある部分の断面積の中立軸に関する断面 1 次モーメントである。式に表すと、 $G = \sum A \cdot z$ となる。

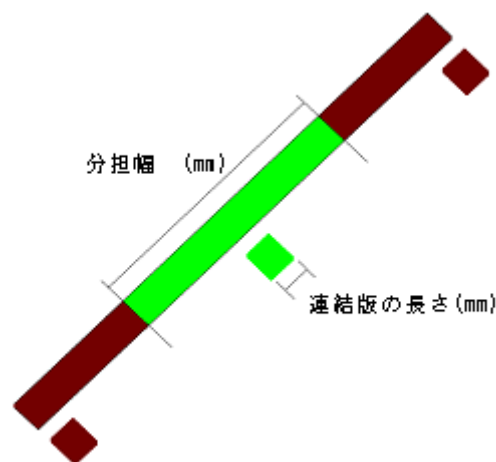
【表 5.2】 G の計算結果

		幅 b (mm)	高さ h (mm)	個数 (本)	z(mm)	A(mm ²)	A × z(mm ³)
主桁	②	9	1530	6	825.2	82620	6.82E+07
	③	480	18	6	1599.2	51840	8.29E+07
						合計	1.51E+08

算出されたせん断応力値は、連結版が連続している場合の平均せん断応力値である。しかし、実際の解析モデルは連結版が連続でなく、8つの連結版で受け持っている。したがって、計算結果を8つの連結版に分担させるようにしなければならない。その計算方法を下記式に示す。

$$\tau = \frac{Q \cdot G}{I \cdot b} \cdot \frac{l_1}{l_0}$$

l_1 : 分担幅(mm)
 l_0 : 連結版の長さ(mm)



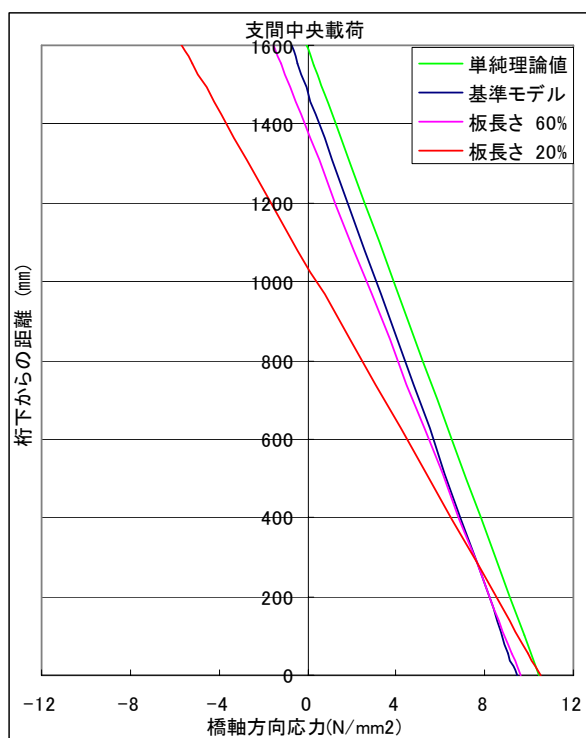
【図 5.2】 連結版の分担幅

以上の式を使って、単純理論値を算出した。

5.1.4 解析結果との比較

数値実験によって得られた結果と、単純理論値で算出された結果を比較する。比較対象は、連結版長さの変化による、中立軸位置の変化とたわみ。連結版取付け高さ位置の変化による、中立軸位置、たわみ、連結版のせん断応力についての比較を行う。解析結果との比較は、【図 5.3】～【図 5.9】、【表 5.3】～【表 5.9】に示す。

<連結版板長さに関して>



【図 5.3】 ウェブ内直応力分布

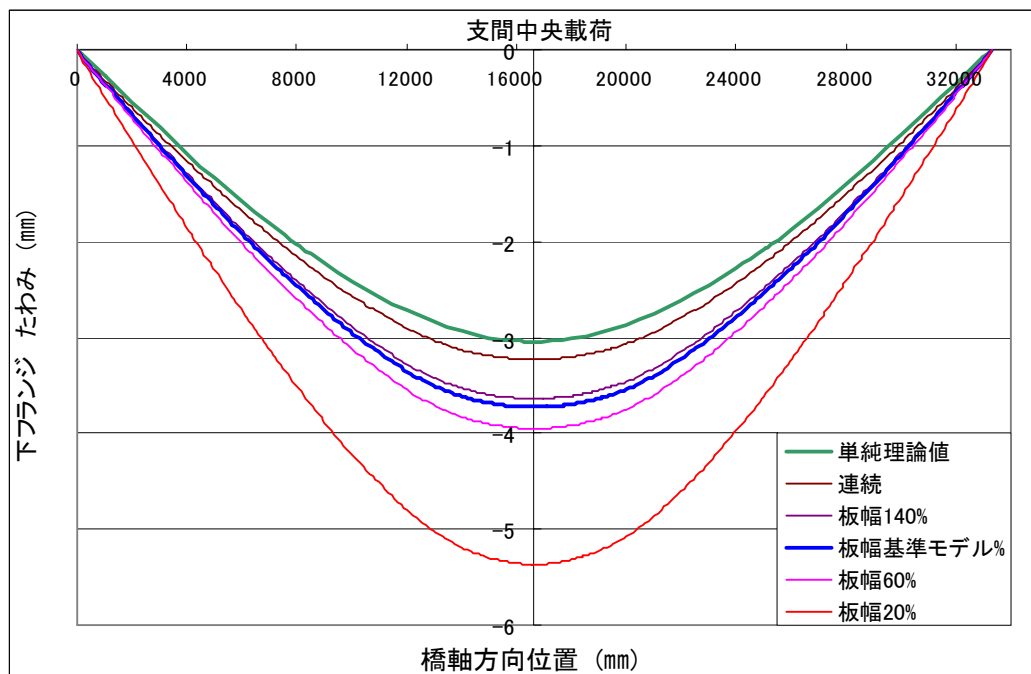
【表 5.3】 上下フランジ応力と中立軸位置

板幅	上フランジ(N/mm ²)	比
単純理論	0.04	
基準	-0.78	
60%	-1.59	
20%	-5.74	

板幅	中立軸位置(mm)	差 (mm)
単純理論	1606	
基準	1485	121
60%	1379	227
20%	1038	568

板幅	下フランジ(N/mm ²)	比
単純理論	10.58	100
基準	9.44	89
60%	9.62	91
20%	10.51	99

たわみに関して

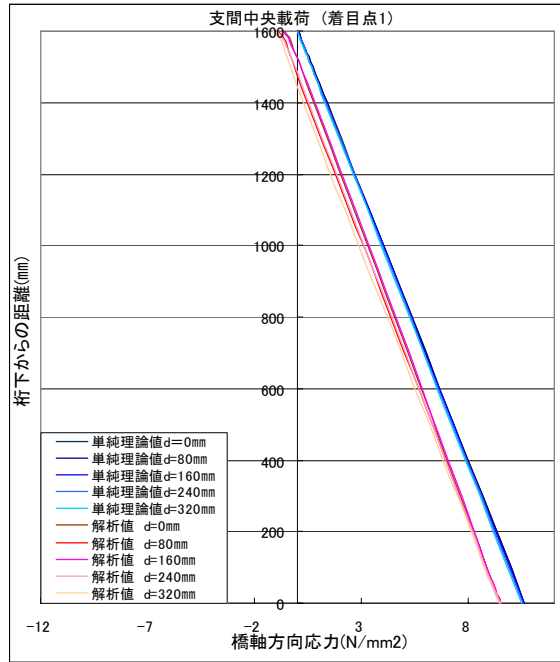


【図 5.4】 板長の変化による支間中央でのたわみ分布

【表 5.4】 連結版板長さの変化によるたわみ

	1/4支間		中央	
	たわみ	比	たわみ	比
単純理論	-2.06	1.00	-3.05	1.00
連続版 (34000mm)	-2.19	1.06	-3.23	1.06
板幅 140%	-2.45	1.19	-3.64	1.19
基準モデル (620mm)	-2.50	1.22	-3.73	1.22
板幅 60%	-2.64	1.28	-3.95	1.30
板幅 20%	-3.57	1.73	-5.37	1.76

<取付け位置に関して>



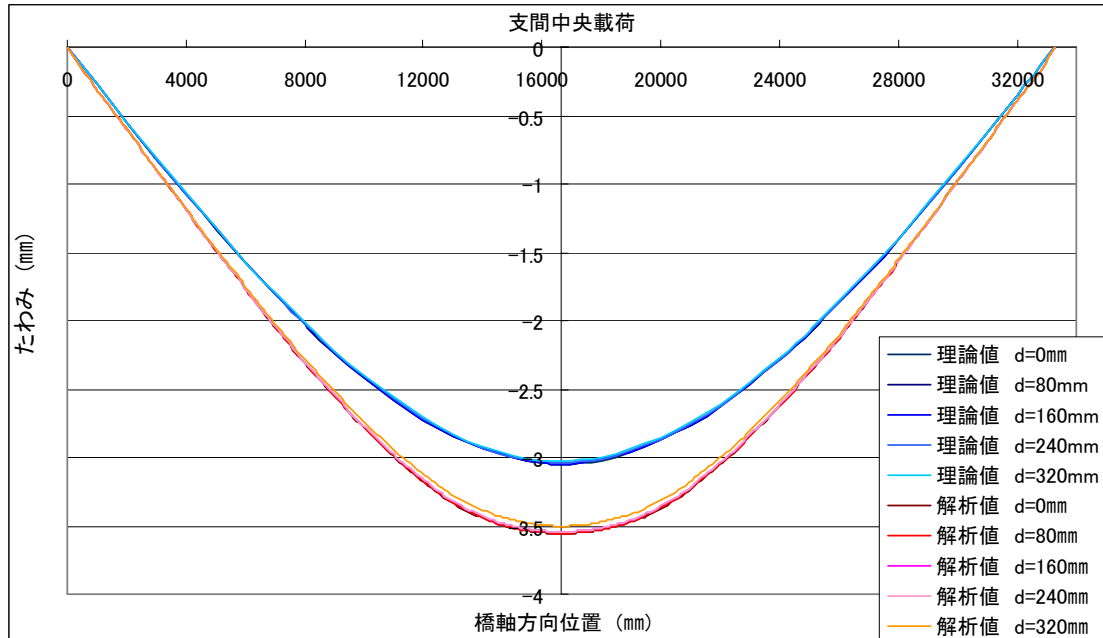
【図 5.5】単純理論値と解析値中立軸位置

【表 5.5】上下フランジ応力と単純理論値との比

取付け高さ位置	上フランジ応力 (N/mm ²)	
	解析値	単純理論値
d=0mm	-0.62	0.06
d=80mm	-0.94	0.05
d=160mm	-0.70	0.04
d=240mm	-0.97	0.02
d=320mm	-1.25	-0.01

取付け高さ位置	中立軸位置(mm)		差 (mm)
	解析値	単純理論	
d=0mm	1522	1610	87
d=80mm	1469	1608	139
d=160mm	1520	1606	86
d=240mm	1475	1603	128
d=320mm	1428	1599	171

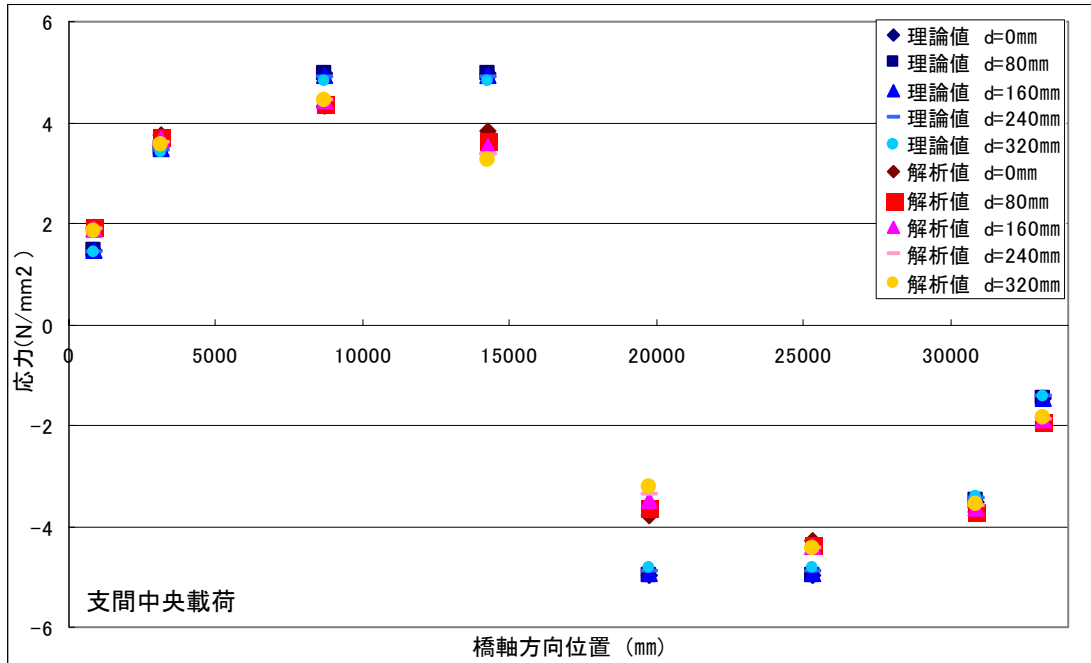
取付け高さ位置	下フランジ応力 (N/mm ²)		比
	解析値	単純理論	
d=0mm	9.44	10.62	1.13
d=80mm	9.50	10.62	1.12
d=160mm	9.50	10.58	1.11
d=240mm	9.49	10.54	1.11
d=320mm	9.43	10.48	1.11



【図 5.6】 支間中央載荷時のたわみ分布

【表 5.6】 単純理論値と解析値のたわみ

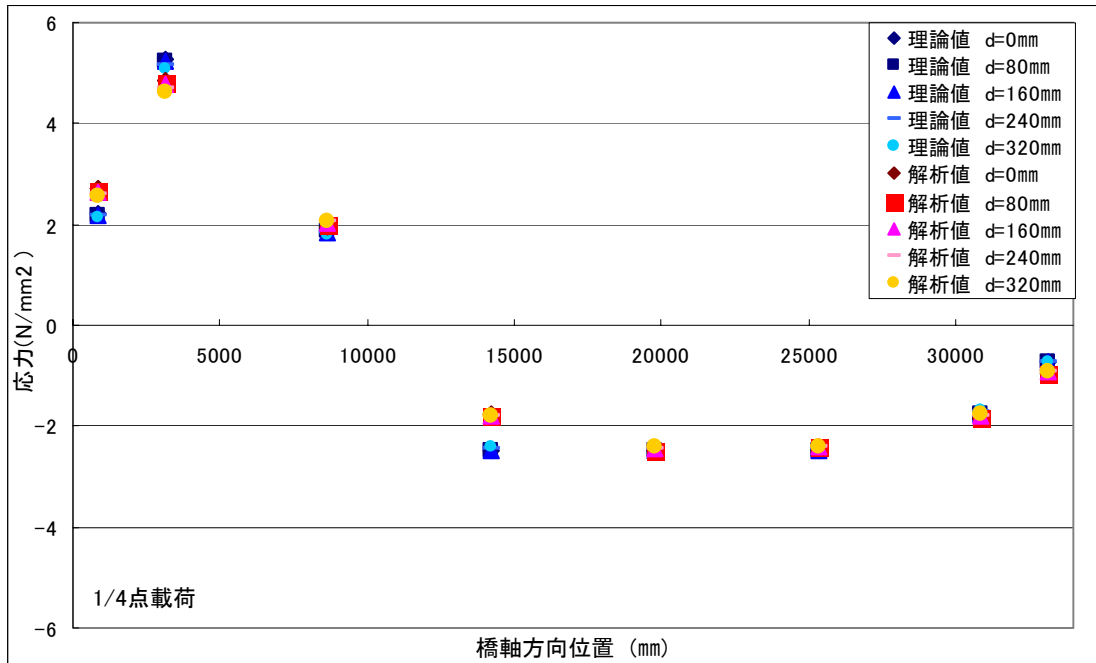
たわみ	1/4支間			中央		
	理論	解析	比	理論	解析	比
d=0mm	-2.06	-2.35	1.14	-3.05	-3.56	1.17
d=80mm	-2.06	-2.34	1.14	-3.05	-3.55	1.17
d=160mm	-2.06	-2.34	1.14	-3.05	-3.54	1.16
d=240mm	-2.05	-2.33	1.13	-3.04	-3.53	1.16
d=320mm	-2.05	-2.31	1.13	-3.03	-3.50	1.16



【図 5.7】 支間中央載荷での連結版せん断応力分布図

【表 5.7】 単純理論値と解析値の連結版せん断応力

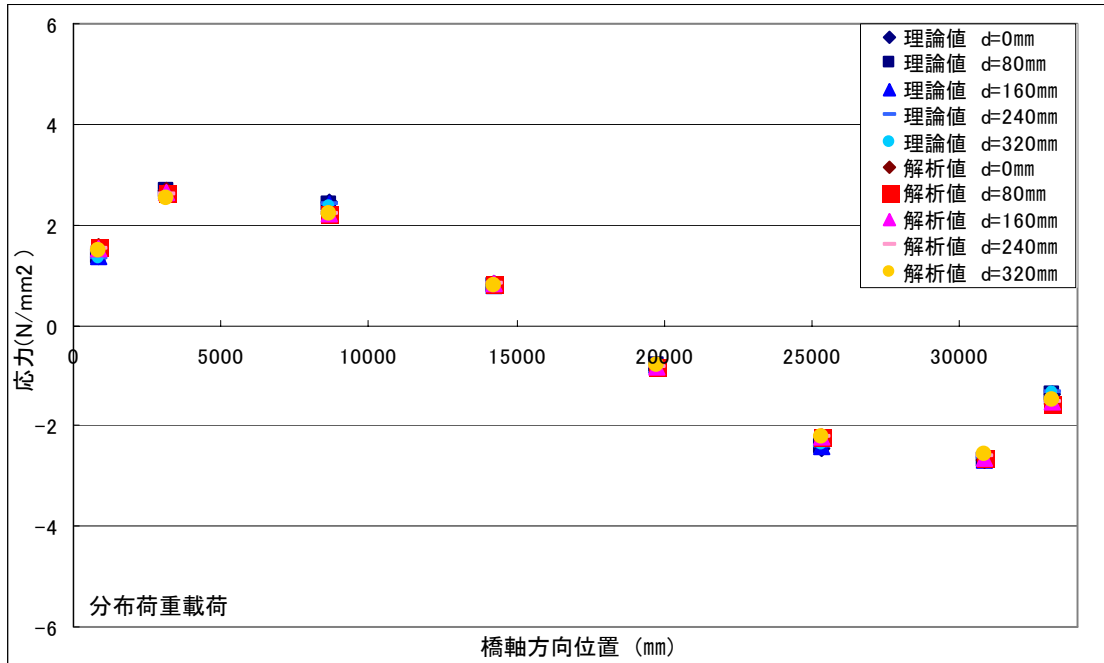
連結版 取付け高さ位置	左端からの橋軸方向位置(mm)							
	850	3125	8675	14225	19775	25325	30875	33150
理論値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d=0mm	1.31	1.07	0.87	0.77	0.77	0.86	1.06	1.31
d=80mm	1.30	1.06	0.88	0.74	0.73	0.88	1.06	1.30
d=160mm	1.30	1.05	0.90	0.71	0.71	0.89	1.05	1.30
d=240mm	1.30	1.05	0.91	0.69	0.69	0.91	1.05	1.30
d=320mm	1.31	1.05	0.92	0.68	0.67	0.92	1.04	1.31



【図 5.8】 1/4 支間载荷での連結版せん断応力分布図

【表 5.8】 1/4 支間载荷での連結版せん断応力

連結版 取付け高さ位置	左端からの橋軸方向位置(mm)							
	850	3125	8675	14225	19775	25325	30875	33150
理論値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d=0mm	1.23	0.92	1.06	0.71	1.01	0.97	1.05	1.30
d=80mm	1.22	0.92	1.08	0.72	1.00	0.98	1.04	1.29
d=160mm	1.21	0.92	1.10	0.73	1.00	0.98	1.04	1.28
d=240mm	1.21	0.91	1.13	0.74	0.99	0.99	1.04	1.29
d=320mm	1.21	0.91	1.15	0.74	0.99	1.00	1.04	1.29



【図 5.9】 分布載荷での連結版せん断応力分布図

【表 5.9】 1/4 支間載荷での連結版せん断応力

連結版 取付け高さ位置	左端からの橋軸方向位置(mm)							
	850	3125	8675	14225	19775	25325	30875	33150
理論値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
d=0mm	1.14	1.00	0.91	1.04	1.04	0.91	1.00	1.14
d=80mm	1.13	0.99	0.91	1.03	1.04	0.91	0.99	1.13
d=160mm	1.13	0.98	0.92	1.02	1.03	0.92	0.98	1.13
d=240mm	1.13	0.98	0.93	1.02	1.03	0.93	0.98	1.13
d=320mm	1.13	0.98	0.94	1.02	1.03	0.94	0.98	1.13

5.1.5 考察

単純理論値と第4章で得られた成果を比較して、その関係を考察する。単純理論では、橋軸方向全体にわたって、断面の平面保持を仮定している。よって、連結版が一定の間隔で接合されている場合については、その効果について直接検討することはできないため、このような手順を踏んだ。

<連結版取付け位置に関して>

連結版の取付け位置高さの変化に伴い、その取付け部材である縦リブ断面が増加するため、中立軸位置の単純理論値は変化するが、その影響は小さかった。解析値でも同様な現象が見られ、取付け高さ位置を変化させても、中立軸に与える影響は小さい。中立軸位置の値としては、桁高に対して10%程度の違いしかなかった。

たわみに関して、単純理論値は取付け高さ位置を変化させても影響がないことがわかったが、解析値でも同様に取付け高さ位置による変化はない。また、単純理論値と比較して、解析値は10%程度のたわみ量の増加がみられた。

3つの荷重状態で、連結版に発生するせん断応力を比較したが、いずれの荷重状態でも、端部で1割から3割程度、解析値の方が大きくなり、荷重位置付近では、2割から3割理論値が大きくなった。設計の際に重視すべき、せん断応力が最も大きくなる部分では、解析値は単純理論値よりも1割程度低くなった。

まとめ

数値実験と単純理論値との比較により、単純理論値を設計に活かす可能性を探ったが、単純理論値に対して、解析値はたわみ量で1割程度の大きく、連結版のせん断応力で1割程度小さくなる傾向を示すことができた。このことから単純理論で算出される値は、解析結果とほぼ等しく、今後の設計にあたって一つの目安となりうることを確認した。

第 6 章

設計荷重の載荷

6. 1 連結版に対する L 荷重の載荷

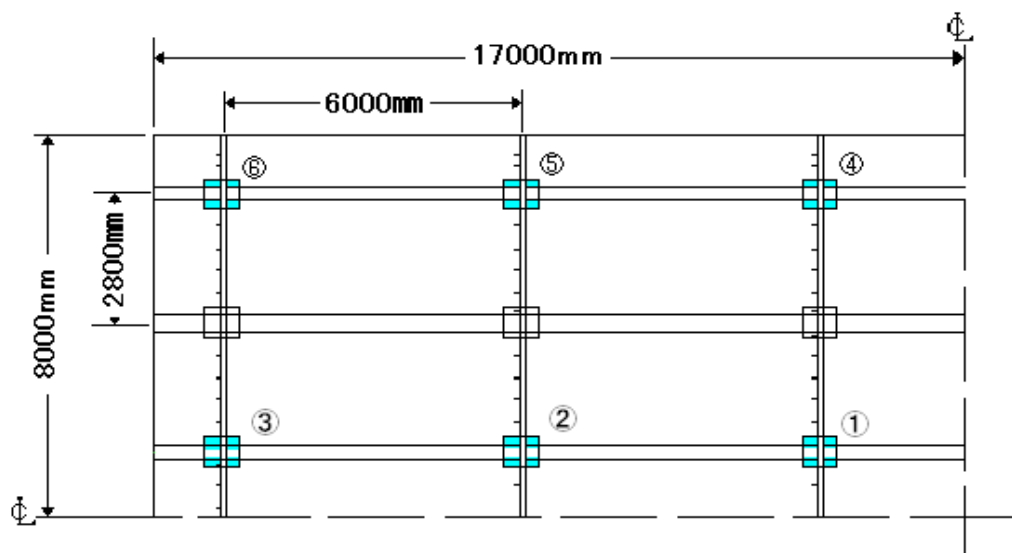
6.1.1 目的

本構造の特徴的な部材の一つである連結版について着目し、設計荷重の下での発生応力を検討する。連結版は従来の鋼床版構造には無い構造部材であるため、既存の設計方法をそのまま適用することは難しい。そのため、ここでは FEM 全体モデルを利用し、設計荷重を実際に載荷して解析を行うことで連結版に発生するせん断応力を確かめ、設計に活かす方法を考える。

連結版に設計荷重をかける際には、連結版に最も不利な応力状態を与える載荷位置を見つけなければならない。そこで、連結版に最も不利な応力を生じる載荷地点を探るために、本研究室で開発された「影響面処理プログラム」を利用する。連結版に発生するせん断応力の影響面を描き、L 荷重を載荷することとする。

6.1.2 検討概要

「影響線処理プログラム」を利用し、連結版に発生するせん断応力の影響面を描く。算出される連結版の影響面は、青色、赤色がせん断応力の正負を表し、色の濃淡がその大きさを表す。影響値の最も大きくなる部分に、L 荷重の主載荷荷重を載荷し、その他の部分には従載荷荷重を載荷する。解析には第 4 章で扱った基準モデルを使用した。連結版の板厚は $t=9\text{ mm}$ 、板長さは橋長に対して 11% である。

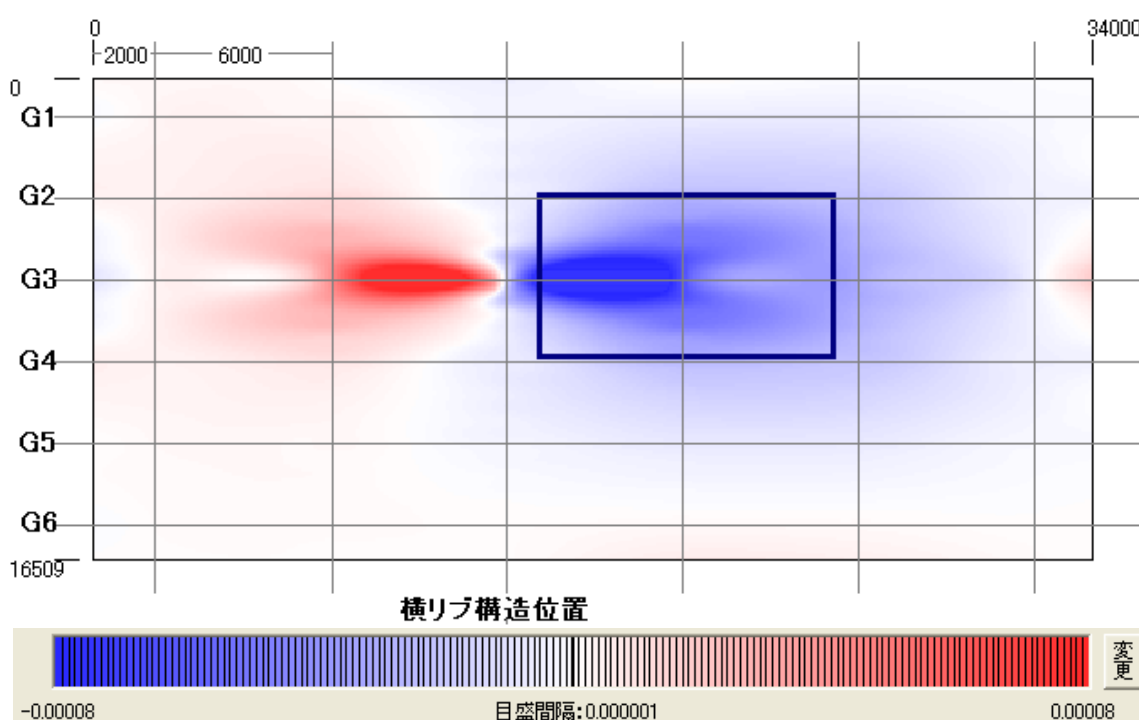


【図 6.1】 連結版の場所・上面図

6.1.3 解析結果

ここでは、【図 6.1】に示す中桁の連結版①～③と外桁の連結版④～⑥の影響線を描き、最も不利な位置に L 荷重を載荷した場合の発生せん断応力度と鋼材の許容応力度を示す（【図 6.2】～【図 6.7】、【表 6.1】～【表 6.6】）。

連結版①

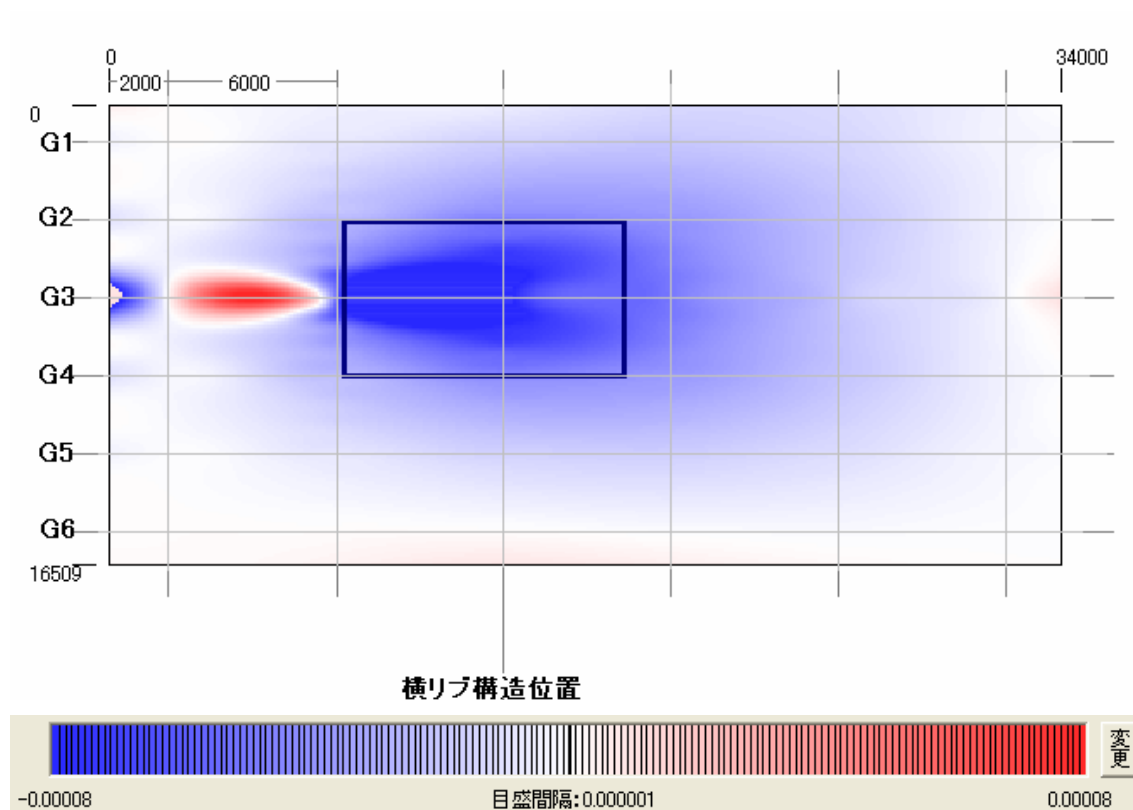


【図 6.2】 影響面と主載荷荷重載荷位置

【表 6.1】 せん断応力の算出結果

連結版1	影響体積	応力 (N/mm ²)
主載荷荷重	3344.7	36.4
従載荷荷重	1463.0	7.0
合計	4807.7	43.4
許容応力度 (SS400)		80.0

連結版②

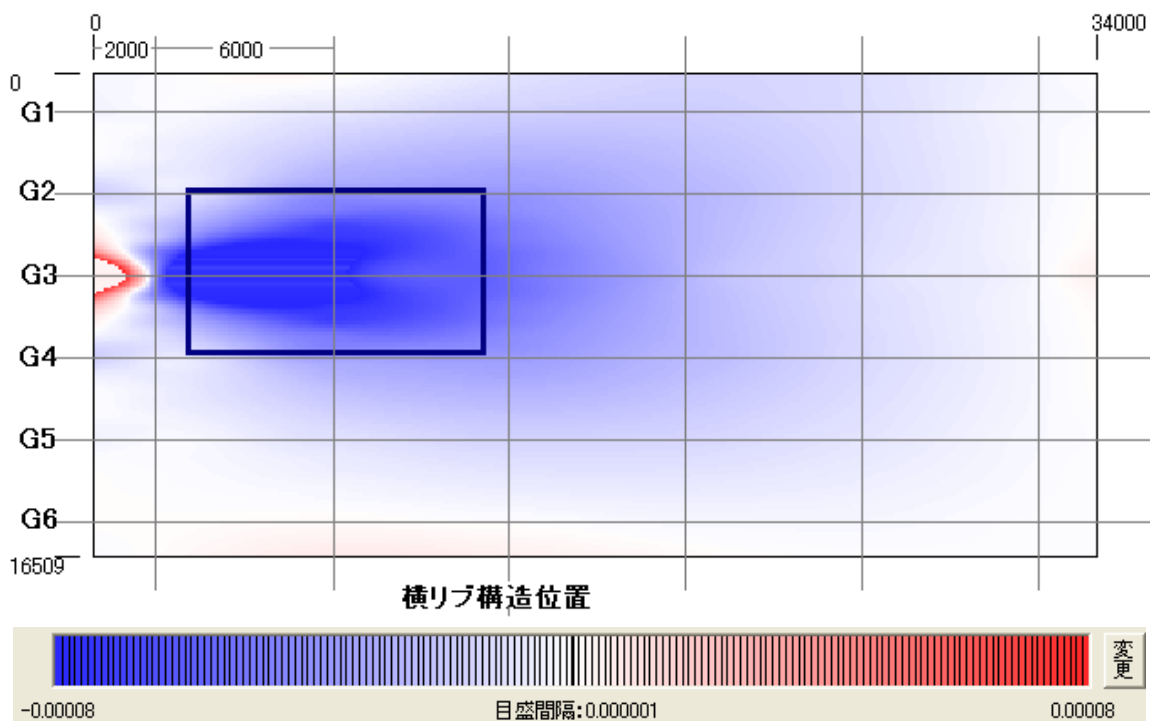


【図 6.3】 影響面と主載荷荷重載荷位置

【表 6.2】 せん断応力の算出結果

連結版2	影響体積	応力 (N/mm ²)
主載荷荷重	6481.5	60.8
従載荷荷重	4252.3	16.7
合計	10733.8	77.5
許容応力度 (SS400)		80.0

連結版③

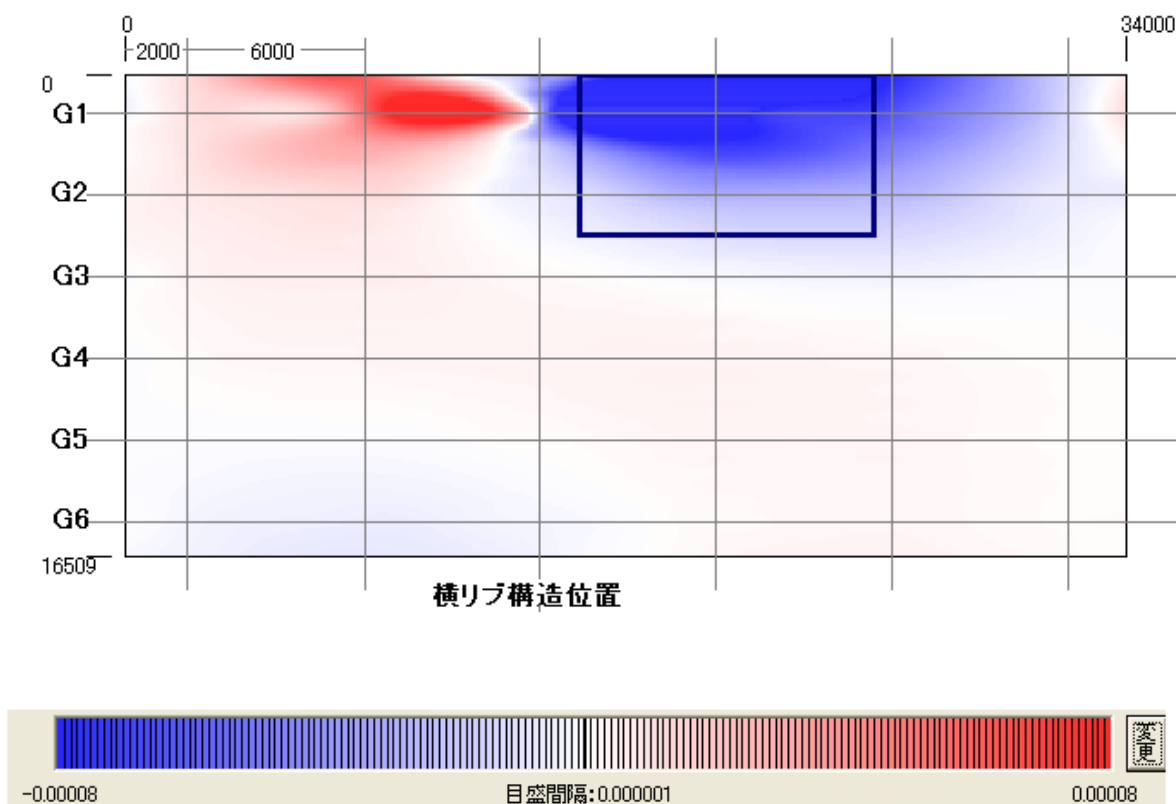


【図 6.4】 影響面と主載荷荷重載荷位置

【表 6.3】 せん断応力の算出結果

連結版3	影響体積	応力 (N/mm ²)
主載荷荷重	6376.4	58.8
従載荷荷重	3915.5	12.0
合計	10291.9	70.8
許容応力度 (SS400)		80.0

連結版④

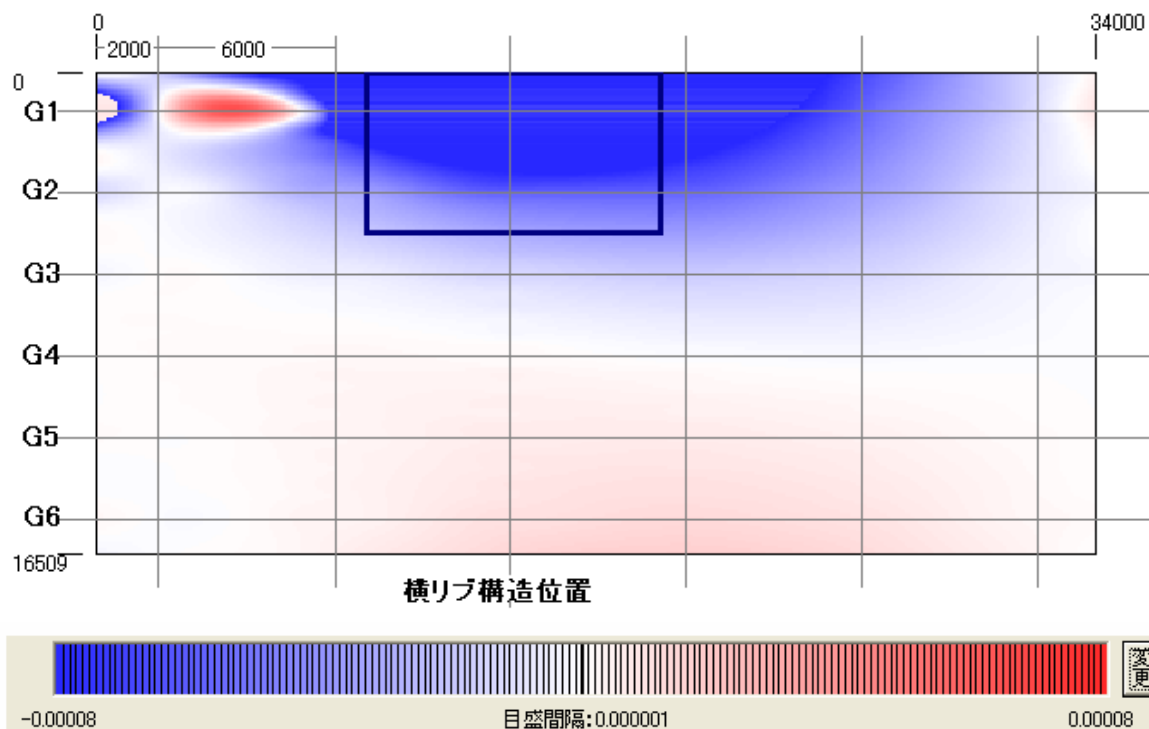


【図 6.5】 影響面と主載荷荷重載荷位置

【表 6.4】 せん断応力の算出結果

連結版4	影響体積	応力 (N/mm ²)
主載荷荷重	4917.2	51.8
従載荷荷重	385.5	1.2
合計	5302.7	53.0
許容応力度 (SS400)		80.0

連結版⑤

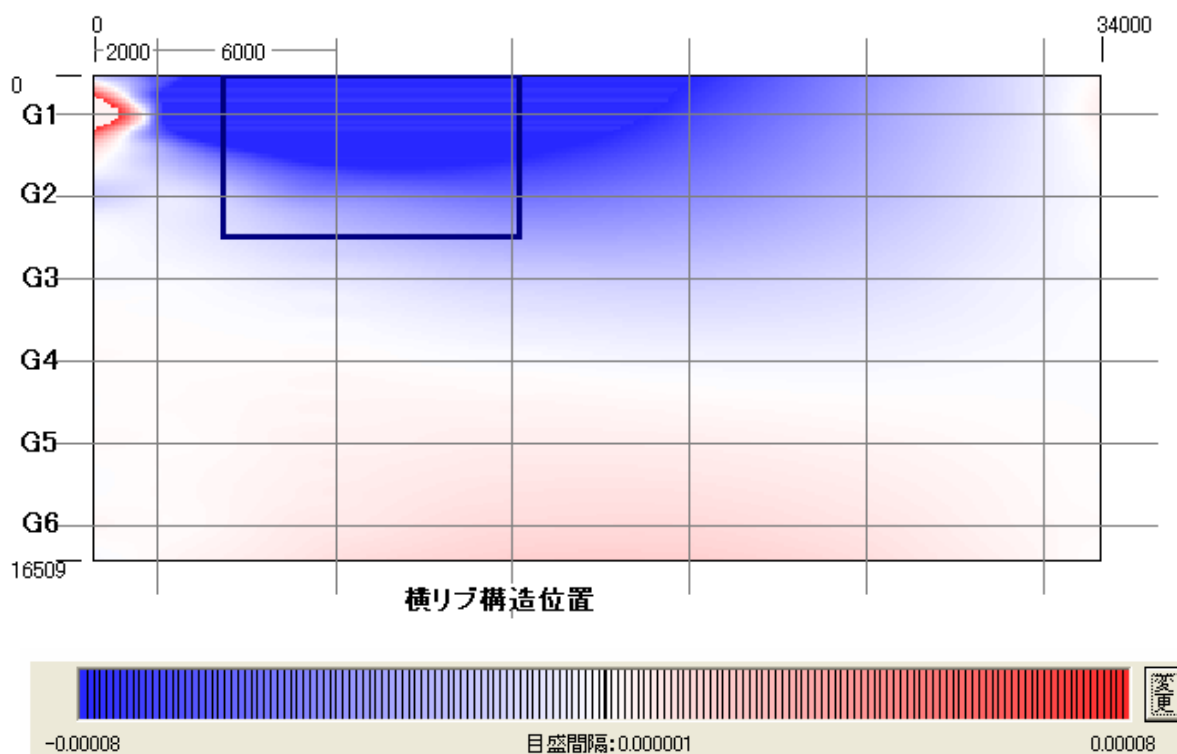


【図 6.6】 影響面と主載荷荷重載荷位置

【表 6.5】 せん断応力の算出結果

連結版5	影響体積	応力 (N/mm ²)
主載荷荷重	10728.4	95.2
従載荷荷重	1145.5	4.3
合計	11873.9	99.5
許容応力度 (SS400)		80.0

連結版⑥



【図 6.7】 影響面と主載荷荷重載荷位置

【表 6.6】 せん断応力の算出結果

連結版6	影響体積	応力 (N/mm ²)
主載荷荷重	10089.1	85.2
従載荷荷重	1248.8	3.9
合計	11337.8	89.1
許容応力度 (SS400)		80.0

6.1.4 考察

「影響面処理プログラム」を使用することによって、連結版に発生するせん断応力の影響面を載荷床版面全体について求め、最も不利な載荷位置に L 荷重を載荷した。得られた解析結果を【表 6.7】に整理する。

【表 6.7】 L 荷重載荷時の連結版に発生するせん断応力

	せん断応力度 (N/mm ²)		
外桁	連結版⑤	連結版⑥	連結版④
	89	100	53
中桁	連結版③	連結版②	連結版①
	71	77	43

→ 支間中央

中桁では、支間中央付近にある連結版①のせん断応力は 43N/mm²である。着目する連結版位置が端部に近づいた連結版②では 77N/mm²、連結版③では 71 N/mm²となり、支間中央付近にある連結版①より、約 2 倍程度に増加することがわかった。連結版は桁の橋軸方向の曲げに伴う、せん断応力を伝達する部材であるため、端部で最も大きな値を示すと考えられたが、連結版②、③を比較しても大きな差は見られなかった。その原因としては、連結版①と連結版②では、均等に配置されているのに対して、連結版③では端部付近にあるため、連結版の受け持つせん断応力が少なくなったものと考えられる。

外桁でも、中桁と同じ傾向を示しており、支間中央付近にある連結版よりも、他の連結版の方が 2 倍程度に大きく算出されることとなった。

中桁、外桁ともに支間中央付近にある連結版よりも、他の連結版の方が 2 倍程度のせん断応力の増加が見られた。これは、桁のせん断力の影響線と同じ傾向を示しているものと考えられるが、本構造の連結版でも同じような傾向があると考えられる。

基準モデルにおける、6つの連結版に L 荷重の下で発生するせん断応力を比較した結果、その応力度は、極端に大きくはならず、一般使用鋼材である SS400 で対応できることがわかった。このことから、連結版を設計する際には、基準モデルからの連結版の板長さ、板厚の増減を考慮することで、設計に活かせると思われる。

第7章

まとめ

7. 1 結論

- (1) 2主桁モデルでの実験及び解析により、連結版による部分接合機能に関する検討をした。その結果、縦リブの下端折り曲げフランジと主桁ウェブ片面とを繋いだ初期モデルでは合成機能が十分発揮されないことがあった。連結版の面内回転変位を抑止するための、様々な補剛部材を取り付けることにより、合成機能が発揮されることを確認した。実橋への適用では連結版を主桁ウェブの両側に配置することにより、解決できることを確認できた。
- (2) 鋼床版を支える横リブ構造の下側部分にある横梁に発生する軸力を、中主桁ウェブを貫通して伝達するという、横リブ構造の幅員方向の構造特性を、実験モデルで確認することが出来た。
- (3) 部分接合機能についての橋軸方向の実験及び解析、横リブ構造の機能についての幅員方向の実験及び解析の結果より、実験値と解析値がよく一致することを確認した。それにより、今後 FEM 解析を主体とした構造特性の研究が有効であることを確認することができた。
- (4) 実橋を想定した 6 主桁の全体モデルにおいて、連結版の部分接合機能を改めて確認するため、連結版を主桁ウェブ両側に配置し、細部までモデル化した全体モデルを作成した。全体モデルでの解析により、本構造の主桁ウェブ中間位置からの部分接合機能が、主桁直上からの接合方法や、連続的に接合した接合方法など、他の接合方法と比べても十分に合成効果を発揮できることを確認した。
- (5) 主桁ウェブと鋼床版縦リブを接合する連結版の板長さを変化させ、板長さが全体構造に与える影響を確認した。その結果、基準モデル(総延長が橋長の 11%)から 60%程度までは、たわみの増加量は 5%程度に抑えられ、中立軸位置もほぼ変わらず、桁としての合成機能が十分発揮されていることがわかった。このことから、連結版長さを基準モデルの 60%程度まで削減しても、全体挙動に与える影響は小さいことを確認した。
- (6) 主桁ウェブと鋼床版縦リブを接合する連結版の板厚に関する検討により、連結版の板厚を減らすとそれに伴い合成効果はゆるやかに低下するが、板厚を基準モデルの 10 倍である $t=90\text{ mm}$ にしても合成効果はほとんど上がらないことがわかった。このことから、連結版の板厚には、全体構造に与える影響は考慮せずに決めることができることを確認した。

- (7) 主桁ウェブと縦リブとを接合する連結版の取付け高さ位置に関する検討により、連結版の取付け高さ位置を変えても、中立軸位置、たわみ量ともにほとんど変わらず、連結版の取付け高さ位置が、合成機能に与える影響はほとんどないことを確認した。また連結版のせん断応力度に与える影響もほとんどないことを確認した。これらのことから、連結版の取付け高さ位置は、施工条件などの条件に合わせて自由に決めることができることがわかった。
- (8) 今後の設計に活かすことを考え、たわみ量や連結版のせん断応力に関して、簡易な計算でその値を類推する可能性を探った。桁断面全体に対して平面保持を仮定する単純理論値との比較を行った。その結果、単純理論による計算では、解析値に比べてたわみ量で 10%程度小さく、連結版の幅を考慮して得たせん断力では 10%程度大きく算出されることがわかった。解析値との差は 10%程度であり、単純理論による計算結果が、機能分割型鋼床版を設計する際の一つの目安にできることを確認した。
- (9) 単純理論値で算出される値は、その載荷位置を検討しなければならないなどの問題から、直接設計に適用することは難しい。そこで、連結版に対して、最も不利な載荷状態を確認するために、「影響面処理プログラム」を利用し、設計荷重として L 荷重を載荷した。その結果、どの連結版においてもせん断応力度は極端に大きくはならず、普通鋼材でも十分対応できる範囲であることを確認した。

参考文献

■ 参考文献

- 1) AEN 編：機能分割型鋼床版の実験、横梁部実験計画書、2001年5月
- 2) 建設図書：橋梁と基礎 2004 Vol.38、pp.38-42、(2004年、2月)
- 3) 青木隆志、神谷武智、佐藤研：2001年度卒業論文機能分割型鋼床版の実験研究、2002年2月6日
- 4) 飯田貴之、平野聡、吉田毅：2002年度卒業論文機能分割型鋼床版の横リブについて、2003年2月6日
- 5) AEN 編：実験状況中間報告書 2003年12月
- 6) 土木工学会編 第四版：土木工学ハンドブック I、p. 1005、(1989)
- 7) 倉西 茂：橋構造(第4版)、森北出版株式会社、pp. 38-47、2000年2月25日
- 8) 小堀 為雄：橋梁工学、朝倉書店、p. 39、1983年
- 9) 神谷武智、山下清明、杉崎 守、橋本和夫：土木学会第57回年次学術講演会講演概要集 機能分割型鋼床版の実験研究、pp.191-192、2002年9月
- 10) 菊池洋一、近藤明雅：橋梁設計例、オーム社、pp.67-117 (平成7年・7版)
- 11) 小西 一郎：鋼橋 設計編 I、丸善、pp.147-157、(昭和50年3月25日)
- 12) 橋梁工学ハンドブック編集委員会：橋梁工学ハンドブック、技報堂出版、(2004年、3月)、pp.1072-1079
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、I 共通編、II 鋼橋編、1996年
- 14) 中井博、北田俊行：鋼橋設計の基礎 共立出版、pp.85-113、(1992年、5月20日)
- 15) 日本橋梁建設協会 保全研究委員会：HK スラブの主桁協同作用に関する検討報告書、(2001年、7月)
- 16) 日本橋梁建設協会：取替え鋼床版(HK スラブ)設計・施工の手引き、(平成11年、3月)
- 17) 崎元 達郎：構造力学 [上]、森北出版株式会社、p. 107、pp. 115-118、pp. 124-126、1991年
- 18) 社団法人 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂出版、pp. 4-39、1993年
- 19) 橋 善雄：橋梁工学、共立出版株式会社、pp.190-213、(2000年・第5版)
- 20) 高島 春生 (昭和40・発行、平成6年改訂8版)：道路橋の横分配実用計算法 前編、現代理工学出版株式会社、pp. 233-244
- 21) 吉川 弘道：鉄筋とコンクリートの設計、丸善、p11、(平成12・第4版)
- 22) 山寺 徳明：鋼桁橋の設計計算例、山海堂、pp.119-168、(平成7・新版)

謝辭

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始丁寧なる御指導・御鞭撻を承りました法政大学工学部都市環境デザイン工学科の山下清明教授に厚く伏して御礼申し上げます。また、多大なるご配慮を頂きました ISMIC の杉崎守氏、AEN の橋本和夫氏に深く感謝いたします。また、本研究に用いた「影響面処理プログラム」の使用を許してくれた、堀内勇次君、並びに多くの助言、励ましを頂きました山下ゼミの同期の方々に深く感謝致します。