

鋼製グリップを用いたトラス鉄筋合成床版の静的耐荷力特性

Experimental study on Ultimate load-carrying capacity of Composite Deck with Mechanical Grip Truss Reinforcements

高林和生*, 小栗文泰**, 阪野雅則***, 松井繁之****, 堀川都志雄*****

Kazuo TAKABAYASHI, Fumiyasu OGURI, Masanori SAKANO, Shigeyuki MATSUI and Toshio HORIKAWA

- * 修(工) 松尾橋梁(株) 技術部技術開発室 (〒550-0005 大阪市西区西本町3-1-43)
- ** 松尾橋梁(株) 製造部生産情報課 (〒590-0977 大阪府堺市大浜西町3)
- *** 博(工) 松尾橋梁(株) 技術部技術開発室 (〒550-0005 大阪市西区西本町3-1-43)
- **** 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
- ***** 工博 大阪工業大学教授 工学部 都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

MGT Deck (Composite Deck with Mechanical Grip Truss Reinforcements) is a new type composite slab of which steel panel consisting of prefabricated 3-dimensional truss reinforcements with mechanical grips for fastening the components. In developing MGT Deck, static load tests were conducted for a full-size beam model of a large span slab supported by 2-plate-girders in order to investigate its load carrying capacity as a composite structure.

This paper principally describes the results of these experiments such as, cracking properties of concrete of negative bending moment over support girders and ultimate load-carrying capacity of the model in positive bending moment at the span center.

Key Words: composite deck, mechanical grip, truss reinforcements, static load tests, cracking property, ultimate load-carryng capacity

1. はじめに

従来から鋼道路橋に広く採用されてきた鉄筋コンクリート床版は、型枠施工と配筋作業に要する時間が現場工期短縮の観点から問題視されており、近年では自動車の繰り返し通行による疲労作用下での耐久性も問題となっている。また、鋼橋の合理化工法として主桁本数を減らし構造を簡略化する少数主桁形式が施工されているが、この場合、床版には長支間に対応できる大きな耐荷力と高い疲労耐久性が求められている。

著者らは現場作業量の軽減による工期短縮と施工精度の向上を目的に、鋼製グリップを用いたトラス鉄筋合成床版(MGT床版)の開発を進めており¹⁾、輪荷重走行試験により本床版の疲労挙動の把握や疲労耐久性の確認、また、架設時の型枠支保工性能の確認試験^{2), 3), 4)}を行っている。

本論文では、2主桁を想定した実物大供試体によるMGT床版の静的載荷試験を行い、コンクリートのひび割れ性状および曲げ耐荷力について調べている。

2. MGT床版の概要

MGT床版は、図-1に示すように主鉄筋として機能する上弦筋と鋼製グリップにより結合された斜材筋から成るトラス鉄筋および底鋼板で構成され、トラス鉄筋と底鋼板とは、ネジスタッドにより板パネ(π形に曲げ加工された短冊鋼板)を介して連結される。これらの鋼板パネルを工場で製作し、現場にて配力鉄筋の配筋とコンクリート打込みを行って完成するハーフプレハブ鋼合成床

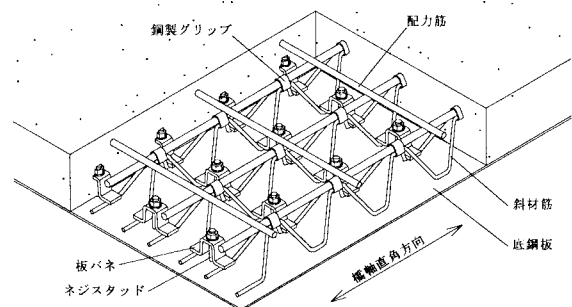


図-1 MGT床版の概念図

版であり、型枠支保工が不要で現場作業の省力化が図れる。以下にMGT床版の特長を示す。

- ①トラス鉄筋の高さと鉄筋径を変化させることにより、床版支間に応じた経済的な床版断面が選択できる。
- ②トラス鉄筋と底鋼板の結合をナット締めによる板パネ構造とすることで、組立作業の省力化が図れる。
- ③トラス鉄筋によるせん断補強および、トラス鉄筋内のコンクリートの変形拘束をもたらすコンファインド効果により、疲労耐久性の向上が期待できる。
- ④鋼製グリップで機械的に鉄筋を連結することにより、溶接接合の場合に発生する熱ひずみによる初期不整合等の障害が排除でき、鉄筋や底鋼板に対する初期負荷が軽減できる。
- ⑤トラス鉄筋と底鋼板は別途の輸送ができ、現場での組

立も容易であるため、山間部や狭隘な場所での架設が可能である。

3. 梁状合成床版の片持部載荷試験

床版の片持部の片側先端に油圧ジャッキを用いて線荷重載荷を行い、負曲げモーメントに対する支点上コンクリートのひび割れ性状を調べる。

3.1 供試体

供試体は標準的な2主桁橋に採用される長支間合成床版を想定して寸法を決定した。すなわち、支間6.0mおよび片持部支間2.4mを有する連続版として鋼構造物設計指針 PART B に従い、床版厚、底鋼板厚、鉄筋配置およびスタッド本数を決定し、図-2に示す幅1.2mの梁状供試体とした。供試体は上フランジ幅600mmの支持桁で支持している。ハンチ部は図-3に示す台形型のリブ有している。これは架設時の型枠支保工性能の補強部材で主桁上の治具とHTBを用いて結合している。底鋼板は、支持桁上のスタッドボルトにより固定している。また、本実験は橋軸直角方向の床版性能確認を目的としており、主桁上にはジベルを設けていない。

ただし、供試体は一連の実験である架設時の型枠性能評価のためのコンクリート打設試験によって制作したものであり、設計床版厚が260mmであったが、実際の試験では、支間中央部では285mm、端部では271mmの大きさとなっている。後述する計算値については、上記の床版厚を考慮して計算を行っている。

試験実施時のコンクリートの圧縮強度は39.6N/mm²、ヤング係数は33.8kN/mm²であった。

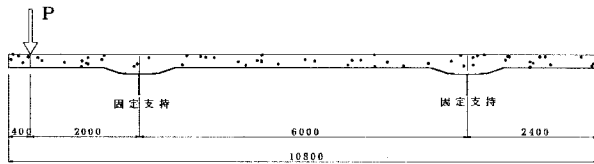


図-4 載荷方法

表-1 設定荷重

	ひび割れ時	設計荷重時	載荷荷重との距離
載荷荷重 (kN)	39.2	49.7	—
ハンチ先端部 曲げモーメント (kN・m)	52.9	67.0	1.35m
設計曲げモーメント (kN・m)	—	99.3	2.00m

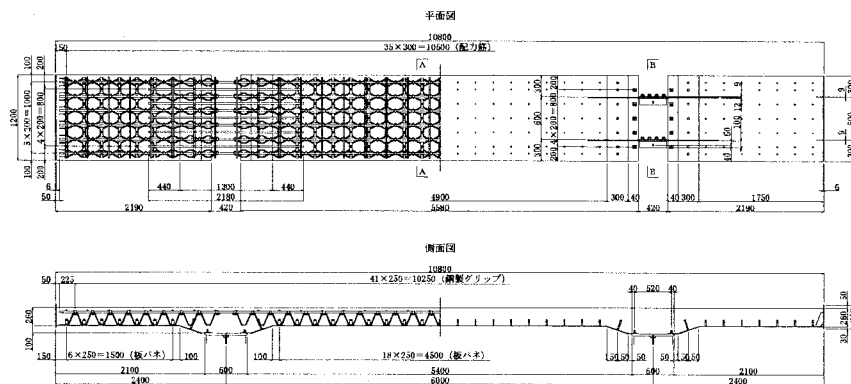


図-2 供試体概要

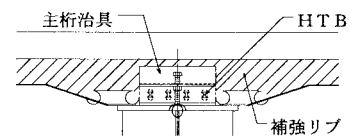


図-3 ハンチ補強

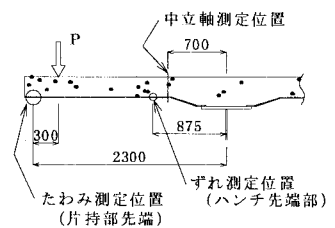


図-6 測定位置

3.2 実験方法

図-4 に示す片持部先端の載荷位置に線荷重を載荷する。ジャッキにより載荷梁 (H350×300×2000) に荷重を与え、線荷重載荷治具により載荷を行う。

載荷荷重の大きさは土木学会の鋼構造物設計指針 PART B に従う設計荷重を基準に、後述する支間中央載荷試験に影響を与えない設計荷重の2倍程度の荷重にとどめ、支点上コンクリート上面に発生するひび割れの状況を調査することを目的とした。載荷プログラムを図-5に、設定荷重を表-1に示す。

主な計測項目は、片持部先端のたわみ、コンクリート上面、主鉄筋、底鋼板支間方向のひずみ、コンクリート上面のひび割れ幅、ひび割れ状況および底鋼板とコンクリート下面のずれである。

支点上のコンクリート上面に発生するひび割れ幅については、評点距離 50mm のπゲージにより計測した。πゲージはフランジ端部とハンチ先端部に重点を置き、図-7に示すように設置した。

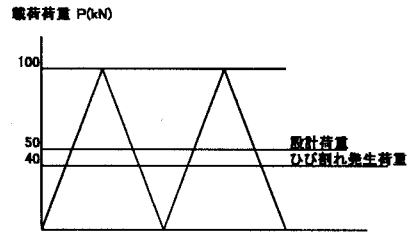


図-5 載荷プログラム

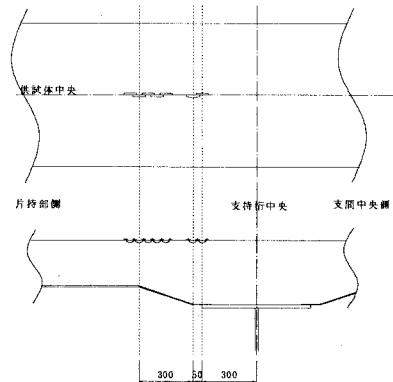


図-7 ひび割れ幅の測定

3.3 試験結果

3.3.1 ひび割れ状況

図-8 にひび割れ発生状況を示す。図には、床版上側に配置された鉄筋のうち、配力筋の配置位置を破線で表記した。

ひび割れは計算によるひび割れ荷重載荷よりも小さい載荷荷重時において少数確認されたが、設計荷重載荷時まではほとんど進展せず、図-8(a)に示すとおり、ハンチ先端部位置付近に短いひび割れが確認できる程度であった。

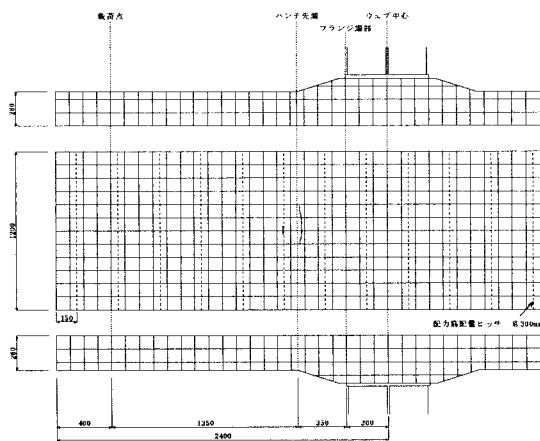
その後、荷重が増加するにつれてひび割れは進展し、80kN 載荷時付近でひび割れが比較的多く発生し始め、試験終了までひび割れ本数が増加していった。

ひび割れは、配力筋位置直上から発生しているが、1カ所に集中せずひび割れは分散していることが確認できた。

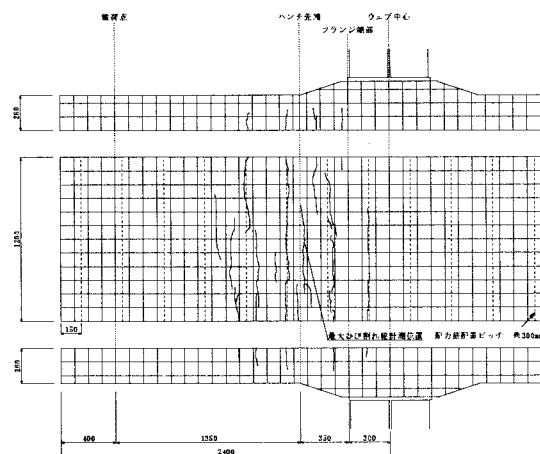
3.3.2 曲げモーメント-たわみ関係

3.3.1 に示したひび割れ状況より、ハンチ先端部からひび割れが発生したことから、ハンチ先端部のひび割れ幅が最大ひび割れ幅の計測位置であったことから、以降では同位置のひび割れに着目して論ずる。

図-9 にハンチ先端部の曲げモーメントと片持部先端の鉛直たわみとの関係を示す。また、図にはハンチ厚を



(a) 設計荷重時



(b) 試験終了時

図-8 ひび割れ状況

無視したウェブ中心を固定端とする片持梁による計算値と鉛直たわみとの関係を示す。計算値に用いた断面剛性は、全断面有効時および引張側コンクリート無視時の2種類とした。

これより、30kN・m までは全断面有効時値の値に近い荷重-たわみ曲線となっているが、40 kN・m からはひび割れの発生により剛性が低下しはじめ、その後荷重の増加とともに徐々に低下する。しかし、試験終了時における除荷・再載荷曲線の傾きを、引張側無視時の計算値と比較すると、まだ大きな剛性を有しており十分な残存耐力があることが確認できる。

3.3.3 中立軸位置の推移

図-10 に、発生曲げモーメントと中立軸との関係を示す。ここで、中立軸位置は、主鉄筋と底鋼板に貼付したひずみゲージより推定した。なお、中立軸の位置は底鋼板下面からの距離である。

試験開始から 80kN・m まで、中立軸位置は徐々に引張側コンクリートを無視した場合の中立軸位置に向かって下降しているが、80kN・m より後は、全コンクリート断面を有効と考えた場合の中立軸位置に向かって上昇するような結果となった。これは、引張側領域の斜材筋の影響もあり、ひび割れが 1カ所に集中せず分散しており、剛性の低下が 1断面に集中せず、また、ひび割れ断面に作用する力も分散されていることを示している。

3.3.4 ひび割れ幅

表-2 に、設計曲げモーメント時の最大ひび割れ幅、コンクリート標準示方書⁶⁾による許容ひび割れ幅も併せて示した。ここで許容ひび割れ幅の算出に当たっては、床版は輪荷重が直接載荷され、水が侵入すると骨材化す

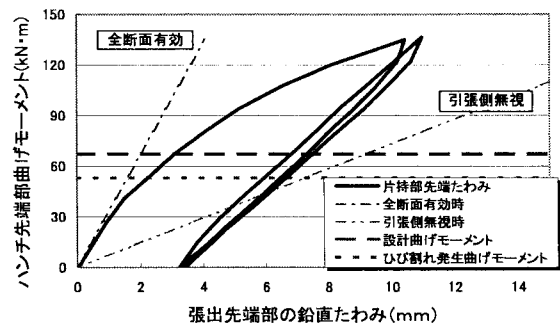


図-9 曲げモーメント-たわみ関係

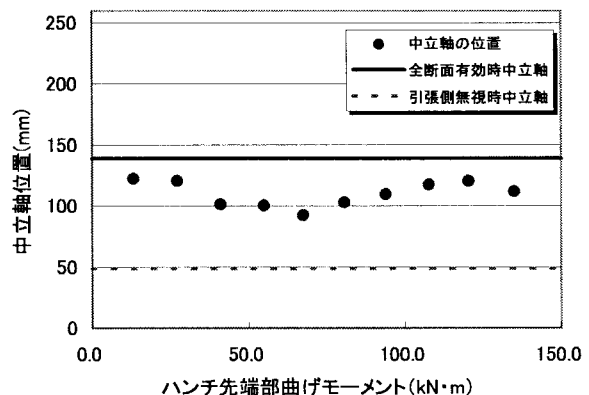


図-10 中立軸位置の推移

る恐れがあるので、環境条件を「特に厳しい腐食性環境」と仮定した。

これより、設計荷重時の許容ひび割れ幅 0.123mm に対し最大ひび割れ幅は 0.046mm であり、MG T床版のひび割れ幅は許容ひび割れ幅より十分小さく、ひび割れを集中させない構造であることが分かった。

3.3.5 コンクリート下面と底鋼板のずれ

図-11 に、床版側面におけるコンクリート下面と底鋼板とのずれ量について示す。これより、設計曲げモーメント時では 0.002mm、最大荷重時にも 0.006mm と微小なずれであった。また、残留ずれも 0.002mm と小さく、問題となる値には達していなかった。

4. 梁状合成床版の支間中央載荷試験

支間中央部に油圧ジャッキを用いて 2 点の線荷重載荷を行い、正の曲げモーメントに対する MG T 床版の静的曲げ耐荷力を調べる。

4.1 供試体

供試体は、3 章の片持部載荷試験の供試体を転用したので、ここでは説明を省略する。

4.2 載荷方法

図-12 に示す 2 カ所の載荷位置に線荷重を載荷する。荷重の載荷に関しては、1000ton フレームを反力受けとして 500ton の油圧ジャッキにより荷重分配梁 (H 350×300×2000) を介して載荷を行う。写真-1 に載荷状況を示す。

表-2 ひび割れ幅

設計曲げモーメント	計測値	許容ひび割れ幅
ハンチ部換算	最大ひび割れ幅	0.0035c
67.0kN・m	0.046mm	0.123mm

c: 鉄筋のかぶり

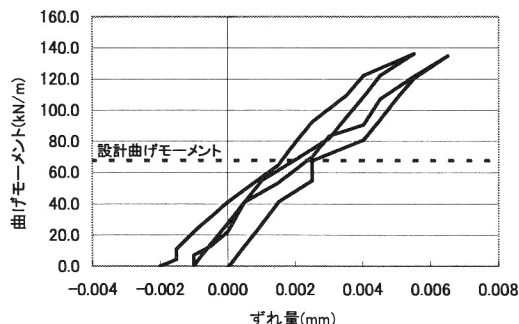


図-11 曲げモーメント-ずれ量の関係

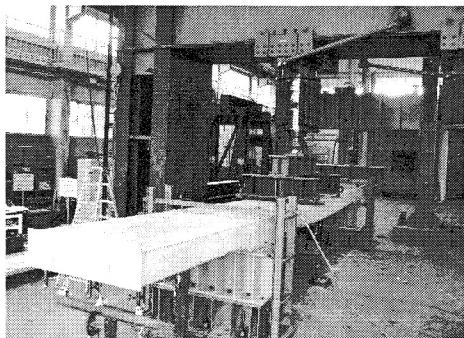


写真-1 実験状況

図-13 に本実験の載荷プログラムを示す。設計荷重は、支間中央断面が床版としての設計曲げモーメントになる荷重を設計荷重とした。破壊荷重は、RC の複鉄筋断面の曲げ耐力をもとに算出した。ここで、設計寸法とは、設計断面寸法を用いて算出した曲げ耐荷力である。また実測寸法とは、供試体寸法の実測値を用いて計算した値であり、床版厚の実測値が設計値よりも厚くなった分、破壊荷重の計算値は大きくなっている。

載荷は漸増繰り返し載荷とし、最大荷重まで繰り返し載荷を行うこととする。表-3 に荷重と曲げモーメントの関係を示す

主な測定項目は、たわみ、底鋼板、主鉄筋、コンクリート上面のひずみ、底鋼板-コンクリート間のずれ、コンクリートのひび割れ状況である。

4.3 実験結果

4.3.1 実験状況

荷重の載荷とともに、正曲げモーメント区間のコンクリート側面に下側から曲げひび割れが発生し、その後ひび割れが増加、進展するのが確認できた。供試体の破壊は支間中央部の底鋼板の降伏に伴い載荷荷重が増加しない状態に至った時とした。

本試験では、供試体の支持条件から支持桁近傍にて負曲げモーメントが発生するため載荷とともに負曲げモーメント区間においてコンクリート上面にひび割れが発生していた。

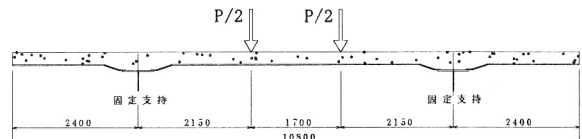


図-12 載荷方法

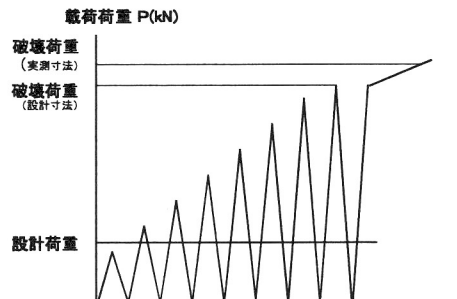


図-13 載荷プログラム

表-3 載荷荷重

	設計荷重	破壊荷重 (設計寸法)	破壊荷重 (実測寸法)
載荷荷重 (kN)	236	899	1142
支間中央曲げモーメント (kN・m)	109	346	440

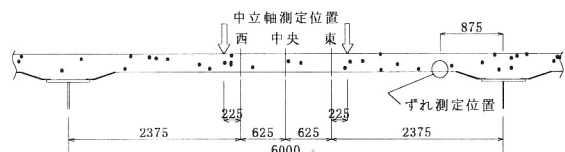


図-14 測定位置

4.3.2 たわみ

図-15 に支間中央の曲げモーメントと総たわみの関係を示す。図には梁理論を用いた計算値（全断面有効時、および引張側コンクリート無視時）と、設計曲げモーメントを示す。

図-15 より、荷重初期は設計曲げモーメントの値まではコンクリートを全断面有効とした計算値とほぼ合っているが、設計曲げモーメントより小さい荷重段階でたわみが計算値よりも大きくなっている原因は負曲げを受けるコンクリート上面部でひび割れが発生したためと考えられる。その後、繰り返し荷重による除荷、再載荷曲線の傾きは、最大荷重付近まで引張側コンクリート無視時よりも大きい剛性を保有しており、十分な安全性を有することが確認できた。

最大曲げモーメントは 413kN・m であり、実測寸法を用いた曲げ耐力力の計算値とほぼ一致しており、本床版断面の曲げ耐力は RC 複鉄筋断面として仮定する曲げ耐力力から推定できる。これより、設計寸法での曲げ耐力力は 346kN・m 程度と推測され、正曲げモーメントに対しては約 3.17 倍の十分な安全率を有していることが分かった。

図-16 に支間方向の各段階での弾性たわみの分布を示す。また、図にはコンクリート全断面を有効とした場合の支間部のたわみ分布と、引張側コンクリートを無視した場合の支間部のたわみ分布の計算値を併せて示す。

これより、設計曲げモーメント程度の荷重時においては、全断面有効の値よりも小さな値となっている事が分かる。これは、斜材筋に囲まれているコンクリートの拘束効果による梁の剛性向上への寄与が影響したものと考

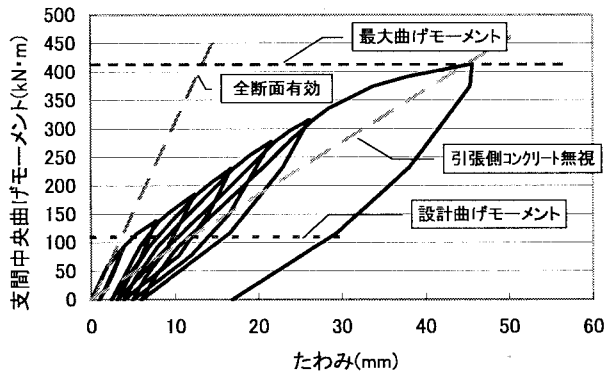


図-15 支間中央での曲げモーメント-たわみの関係

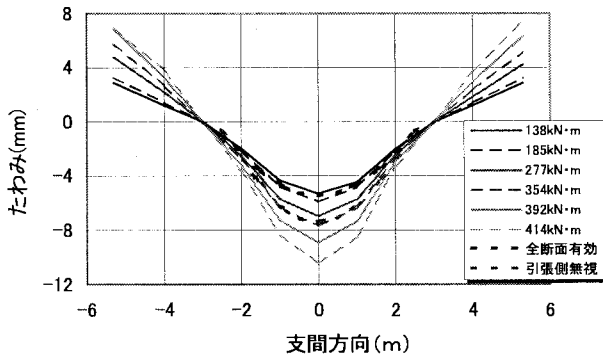


図-16 支間方向のたわみ分布

えられる。荷重荷重が増加するに従い、床版下面にひび割れが発生し断面剛性が低下していくのが分かる、ここで、引張側コンクリート無視時の計算値と比較すると、設計曲げモーメントの約 3.2 倍の 353kN・m までは引張側コンクリート無視時の場合の計算値以下であり、終局状態までは剛性低下が起こりにくい床版であることが分かる。

4.3.3 中立軸の推移

図-17 に、中立軸位置の推移を示す。ここで、中立軸の位置は、コンクリート上面と底鋼板下面に貼付したひずみゲージの値より算出した。図には、梁理論による全断面有効時の中立軸および引張側コンクリートを無視した場合の中立軸も併せて示す。

この図より、荷重初期は全断面有効の値よりも中立軸がやや下方にある。これはたわみの考察でも述べた様に、引張側領域にある斜材筋が影響したものと考えられる。荷重が進むにつれて、コンクリート下面にひび割れが発

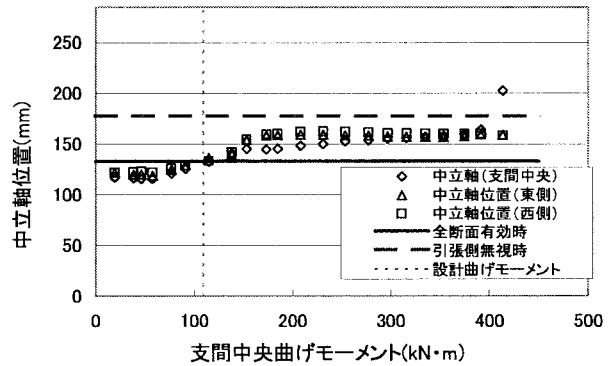


図-17 中立軸位置の推移

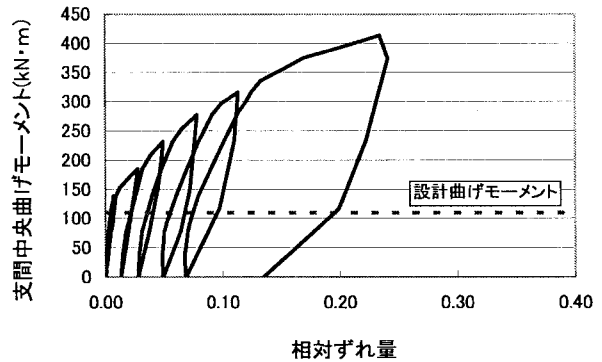


図-18 コンクリート下面と底鋼板との相対ずれ

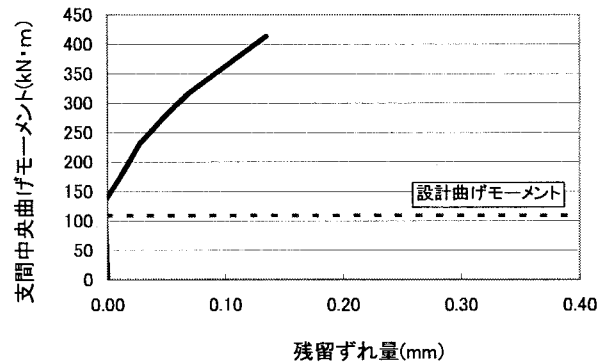


図-19 コンクリート下面と底鋼板との残留ずれ

生し、中立軸の位置が上昇しているが、破壊直前までコンクリート無視の中立軸よりも下方で中立軸は安定しており、コンクリートのひび割れが進展しにくいことが分かった。また、いずれの測定位置も、同様な中立軸の推移をしており、ひび割れは一カ所に集中せずよく分散しているとの観察結果とよい一致を示している。

4.3.4 コンクリート下面と底鋼板のずれ

図-18 にコンクリート下面と底鋼板の相対ずれ量について示す。ずれは、スタッド、板バネの影響を受けにくい、スタッド、板バネから離れた位置で測定した。

これより、設計曲げモーメント荷重時においては微小なずれ(0.006mm)しか発生していない。また、図-19 に示すコンクリート下面と底鋼板の残留ずれから分かる様に、138kN・m までは残留ずれが発生しておらず、設計曲げモーメント荷重時ではほぼ弾性挙動を示していることが確認できた。

4.3.5 ひび割れ状況

図-20 に、試験終了時のひび割れ状況を示す。支持桁部は、固定支持に近い支持条件であるため、支持桁付近には、負曲げモーメントによるひび割れがコンクリート上面に発生した。支間中央の正曲げモーメント区間の側面ひび割れは荷重の増加とともに徐々に増加および進展し、終局状態ではほぼ等ピッチに発生していた。これらのひび割れは、スタッド位置から発生しているものとそうでないものが混在しており、スタッド位置との相関関係はないと考えられる。また、ひび割れは、上面から100mm 程度の位置までひび割れが進展しており、その到達位置は図-17 に示す中立軸の位置とほぼ一致していることが分かる。

5. まとめ

(1) 片持部荷重試験

- ① 支点上のコンクリート上面ひび割れは梁理論によるひび割れ発生荷重よりも小さい荷重で発生したが、設計荷重時におけるひび割れ幅は最大で 0.046mm であり、コンクリート標準示方書による許容ひび割れ幅 0.123mm より十分小さい値であった。また、

ひび割れは分散して発生しており、集中化する傾向にはなかった。

(2) 支間中央荷重試験

- ② 正曲げに対する曲げ耐荷力は、RC 床版の複鉄筋断面の破壊荷重と等しく、設計荷重の 3.17 倍の耐荷力を有していることが分かった。
- ③ コンクリート下面のひび割れ発生後、終局状態まで引張側コンクリートを無視した梁理論による計算値よりも大きな剛性を有していることが分かった。
- ④ 実験から得られた中立軸位置は RC 床版の梁理論から算出した位置よりも引張側コンクリート領域内にあり、コンクリートの圧縮領域が大きくなっていることが分かった。
- ⑤ ひび割れは正曲げモーメントの範囲において、ほぼ等間隔に分散しており、1カ所に集中して弱点となる様なひび割れ発生はみられなかった。
- ⑥ 設計荷重時では、コンクリート下面と底鋼板との間の残留ずれはほとんど発生していないことがわかった。

(参考文献)

- 1) 高林, 小栗, 阪野, 石橋, 平城, 堀川, 松井: 鋼製グリッパを用いたトラス鉄筋合成床版のずれ止め性能と疲労耐久性, 構造工学論文集 Vol. 50A, 2004. 3.
- 2) 阪野, 小栗, 谷口, 堀川: 鋼製グリッパを用いたトラス鉄筋合成床版の型枠支保工性能について, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 2003. 9.
- 3) 阪野, 小栗, 高林, 堀川: 片持部を有する鋼製グリッパを用いたトラス鉄筋合成床版の型枠支保工性能について, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2004. 9.
- 4) 高林, 小栗, 阪野, 堀川: 鋼製グリッパを用いたトラス鉄筋合成床版の型枠支保工性能に関する耐荷力試験およびコンクリート打設荷重試験, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2004. 9.
- 5) 土木学会: 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物, 1997.
- 6) 土木学会: コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕, pp. 97-102, 2002. 3.

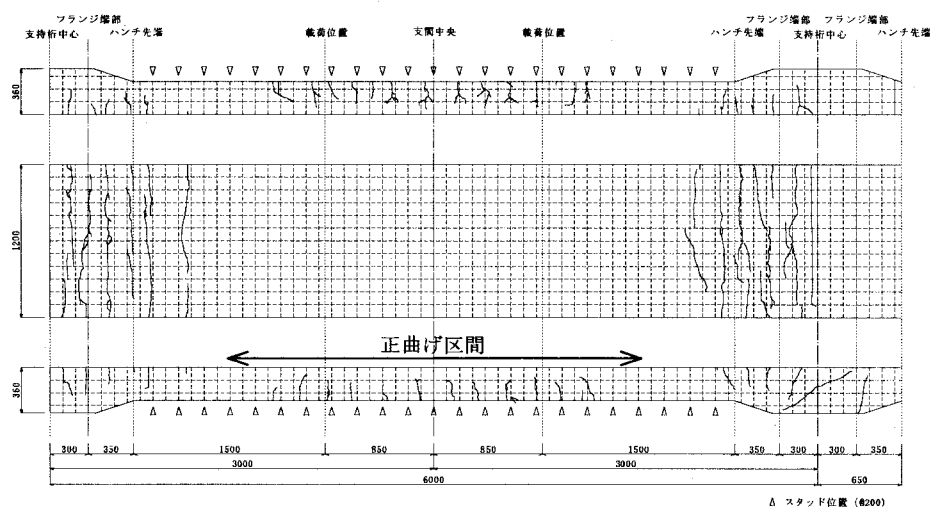


図-20 ひび割れ状況