

鋼製グリップを用いたトラス鉄筋床版の長支間適用に関する研究

A study on long distanced truss bar slab using steel grips

小堀義隆*, 小林 勝**, 影石真一***, 小栗文泰****

Yoshitaka KOBORI, Masaru KOBAYASHI, Shinichi KAGEISHI and Fumiyasu OGURI

* 松尾橋梁(株) 技術開発室 (〒276-0046 千葉県八千代市大和田新田 686-3)

**工修 松尾橋梁(株) 技術開発室 (〒590-0977 大阪府堺市大浜西町 3)

*** 松尾橋梁(株) 技術開発室 (〒590-0977 大阪府堺市大浜西町 3)

**** 松尾橋梁(株) 技術開発室 (〒276-0046 千葉県八千代市大和田新田 686-3)

RC slabs, which are popularly used, have problems during the construction period. For example molding and assembling the reinforcing rod takes much time. We are now developing a prefab Truss bar slab using Steel Grips. (it is called TSG slab) It is aimed to shorten the terms of construction and making the quality of the bridge higher.

There are two features in this product. The first is using a steel grip made of caulking in the 3-chord truss. And the other is that it is able to change the shape of the triangle depending on the span of the slab. This makes it possible to arrange the reinforcing rod more economically.

In recent years the demand of plate girder bridges with few main girders are rising rapidly to cut cost. So we started to research the TSG slab again to use it for long distanced girders.

This report describes the results of those static experiments such as the composition of the 3-chord trusses and concrete and the bottom steel plate.

Key Words : 3-chord truss bar, composite slab, steel grip

1. はじめに

従来から広く採用されてきたRC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きた。本床版は現場作業量の軽減による工期短縮と施工精度向上を目的に、鋼製グリップを用いたトラス鉄筋床版(TSG床版)のプレハブ化に着目して開発している。その特徴は3弦トラスを形成する格点に鋼製グリップを用いる点と3角形状を適用床版支間に応じて自由に変えることで経済的鉄筋配置が可能になる点にある。

近年では、更なるコスト縮減に向けて少数主桁橋の需要が急増しており、TSG床版を長支間用に格上げするための研究を再開した。本論文では底鋼板・3弦トラス・コンクリートを確実に合成することを主課題として行った各種静的試験の結果を中心に報告する。

2. TSG床版の概要

図-1, 2に示すTSG床版(Truss bar Slab using Steel Grips)の主要構成要素は、異形鉄筋(上弦筋, 下弦筋, 斜材筋)と鋼製グリップから成る3弦トラスと、スタッドジベル・ネジ付スタッドを溶接した底鋼板, これらを連結する板バネである。

3弦トラスは、腹材となる斜材筋を折り曲げ加工にて成形し、主鉄筋として機能させる上弦筋および下弦筋を機械加工による鋼製グリップにて格点ごとに連結する。

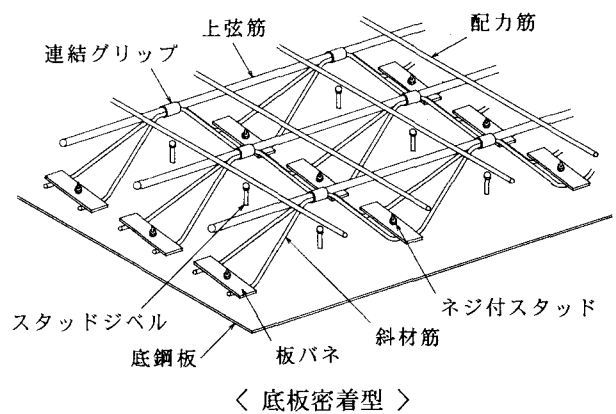
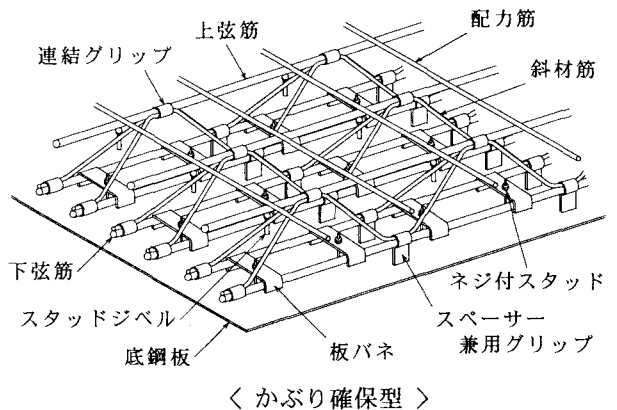


図-1 TSG床版概念図

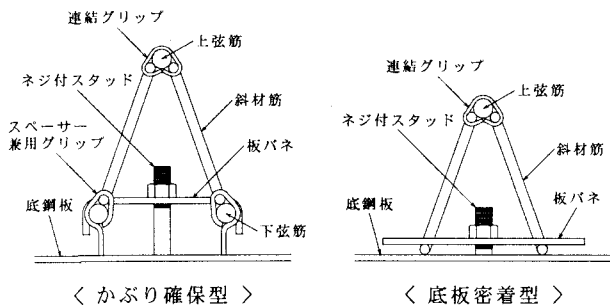


図-2 3弦トラス断面図

3弦トラスの下弦筋を省略して底鋼板の耐力を有効利用した「底板密着型」とコンクリートの回り込みに配慮した「かぶり確保型」の2種類を基本形とする。

3弦トラスと底鋼板の連結は、左右の下弦筋または斜材筋下端水平部の上面に配置した短冊鋼板（板バネ）をネジ付スタッドのナットで押えつけて固定する。

以上の構造を採用したことにより、TSG床版が持つ長所と考える点を以下に示す。

- ① 3弦トラスの形状（高さ・底辺長）と鉄筋径を変化させて、床版支間に応じた経済断面を選択できる。
- ② 機械加工の鋼製グリップにて鉄筋連結することで、異形鉄筋同士の溶接における不確実性を排除できる。
- ③ 3弦トラスと底鋼板の結合をナット締めによる板バネ構造にすることで、組立作業の省力化が図れる。

3. 試験内容

TSG床版が合成床版として必要な機能を有しているかを確認するため、下記に示す①～⑤の静的試験を行った。紙面の関係から以降には②、④、⑤について報告する。

- ① グリップ引張試験
- ② 3弦トラス単体の載荷試験
- ③ 型枠機能に対する曲げ試験
- ④ 押し抜きせん断試験
- ⑤ 梁試験

(1) 3弦トラス単体の載荷試験

上弦筋、下弦筋および斜材筋を鋼製グリップでカシメて組立てた3弦トラスについて静的載荷試験を行った。

a) 目的

3弦トラスは上・下弦筋と1本の鉄筋を折り曲げて作られた斜材筋を鋼製グリップでカシメて製作している。したがって、斜材筋製作時に鋼製グリップをカシメる水平部が必要となり、完全なトラス形状にはならない。そこで、鋼製グリップでカシメるために必要な水平部が3弦トラスの耐力に及ぼす影響について確認する。

b) 試験方法

1本の3弦トラスを支間6.0mに単純支持し、荷重分配桁を介し荷重制御による漸増繰返し載荷試験を行った（図-3）。供試体は、斜材筋の水平部長さが29mmと43mmの2種類用意した（表-1）。

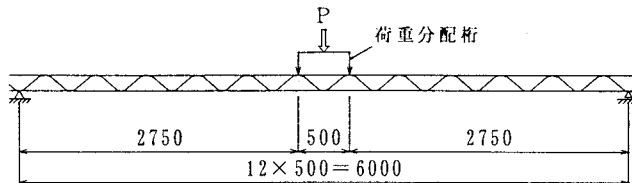


図-3 3弦トラス供試体

表-1 供試体の種類と製作数

供試体名	H 29	H 43
形状		
供試体数	2組	2組

(2) 押し抜きせん断試験

a) 目的

6種類の条件下にあるジベルについて、基本性状と各ジベルのせん断力分担の傾向を確認する。各ジベル構造（底板密着型）の概要を表-2に示す。a1・b2・c3は1列配置の基本形とし、a4・b5・c6は実構造を想定して3弦トラス外にスタッドジベルを配置したものである。

b) 試験方法

図-4に供試体の概要図を示す。供試体のコンクリートは設計基準強度 $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ を使用し、スタッド軸に対して正立に打設した。また、コンクリートと接触するフランジ面には、付着を排除するためにグリースを塗布した。載荷方法は漸増繰返しで行い変位制御とした。供試体5、6では、せん断力の分担度を確認するため、スタッド基部の前後でのフランジひずみを計測した。

表-2 ジベル構造概要

名称	仕様	概略図
a1 スタッド1本	スタッドジベル $\phi 16 \times 120$	
b2 3弦トラス1列	3弦トラス + ネジ付スタッド M12×40	
c3 内スタッド1列	3弦トラス + 内スタッド $\phi 16 \times 120$	
a4 スタッド3本	スタッドジベル $\phi 16 \times 120$	
b5 3弦トラス2列	3弦トラス + ネジ付スタッド M12×40 + 外スタッド $\phi 16 \times 120$	
c6 内外スタッド3列	3弦トラス + 内外スタッド $\phi 16 \times 120$	

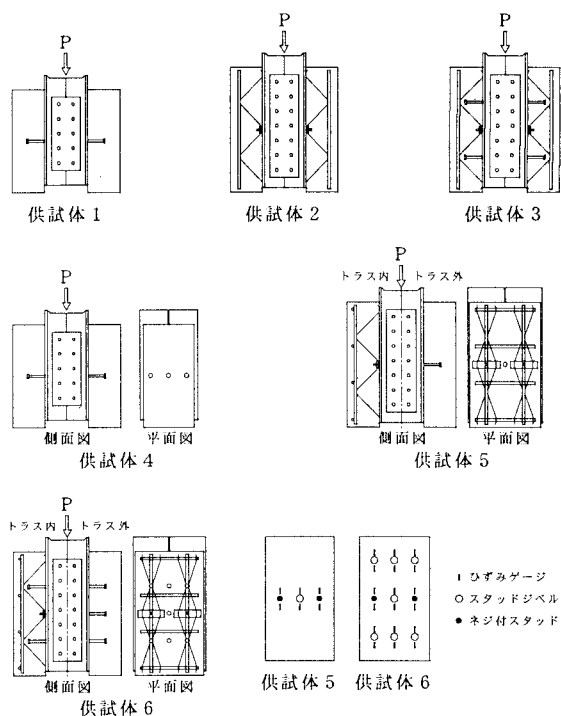


図-4 押し抜きせん断試験供試体

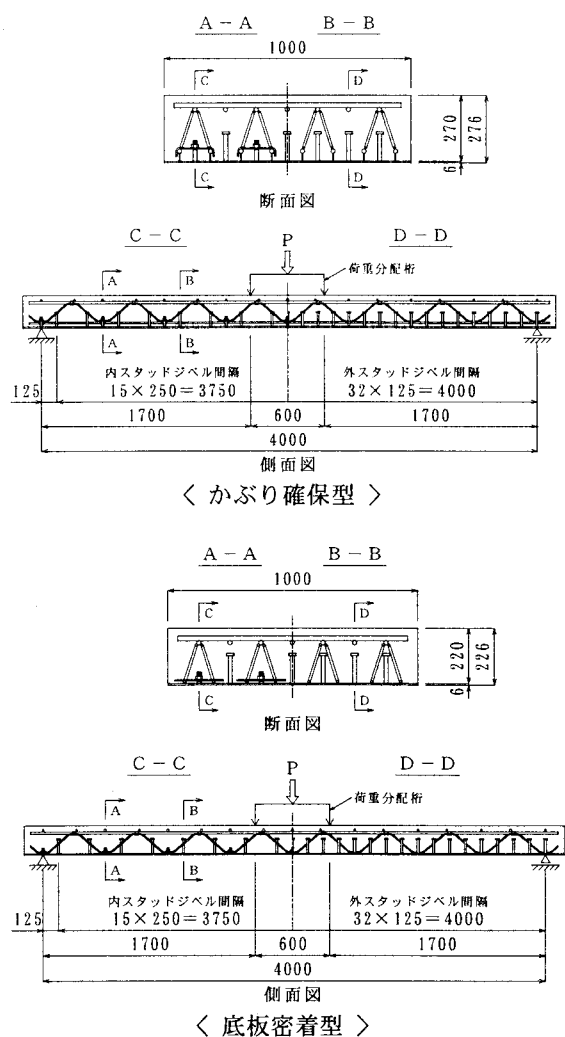


図-5 梁試験供試体

(3) 梁試験

a) 目的

TSG床版ではコンクリート硬化後に作用する後死荷重および活荷重による作用力に対して、コンクリート・3弦トラス・底鋼板を応力部材とする合成床版として設計している。TSG床版の合成床版としての梁機能を確認するとともに、全体構造の耐荷力を把握する。

b) 試験方法

図-5に示すように支間4.0mで単純支持した供試体の支間中央から両側300mmの位置に油圧ジャッキにより荷重分配桁を介し、供試体全幅に2線集中荷重を載荷した。ロードセルにより荷重計測するとともにコンクリート上面・3弦トラス・底鋼板に取付けたひずみゲージにより各荷重時におけるひずみを計測した。また、支間中央の鉛直変位についても同時に計測した。

コンクリートには設計基準強度 $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ を使用し、底鋼板とコンクリートとの接触面は付着力が発生しないようにグリースを塗布した。

4. 試験結果および考察

(1) 3弦トラス単体の載荷試験

載荷試験結果を図-6, 7に示す。図中に示す計算値は立体骨組解析により求めたものである。図-6に示す荷重-変位曲線より水平長さが異なる2つの供試体のたわみはH43供試体の方がわずかに大きな値となったが、大きな差は見られなかった。荷重の増加に伴って計算値との離れが大きくなってきているのは、上弦筋が面外変形したことにより3弦トラスの重心と載荷位置が偏心した影響である。

また、試験結果は図-8に示すように斜材筋屈曲部がバネ的な挙動をしているため、その挙動を斜材筋のみかけ上のヤング係数(E')として評価した立体骨組解析の計算値と良く一致している。図-7に示す荷重-応力曲線では、H29/H43、 E_s/E' とも大きな差が見られないことから、斜材筋のバネ挙動を考慮することにより3弦トラスを正しく評価できると考えられる。

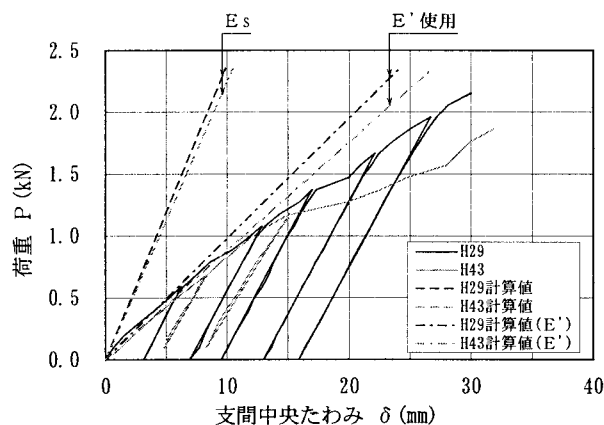


図-6 荷重-変位曲線

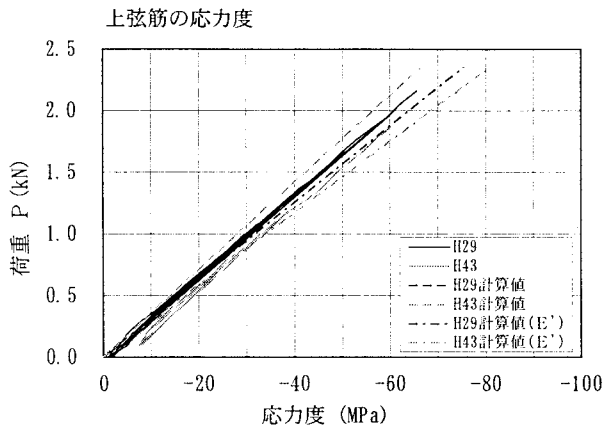


図-7 荷重-応力曲線

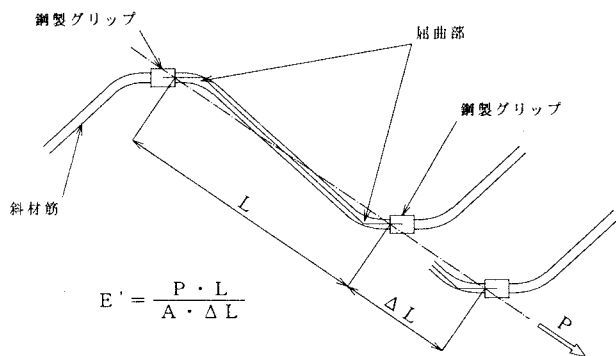


図-8 斜材筋のバネ挙動

(2) 押し抜きせん断試験

表-3 に試験結果, 図-9 に荷重-ずれ曲線, 図-10 に各繰り返し載荷時のずれ定数を示す。

a) スタッド1本(a1)と内スタッド(c3)の比較

表-3の結果より内スタッドはスタッド1本に比べて最大せん断耐力で4%, 降伏せん断耐力で13%の耐力向上が認められ, 限界せん断耐力ではほぼ同じ値である。また, 図-9, 10では差はみられない。

ところで今回の試験ではスタッドを2段配置にした供試体を使用しており, その影響は無視できない。既往の研究¹⁾では2段配置の場合は1段配置の場合に比べて, 最大せん断耐力で10%以上の低下があり, 最大せん断耐力の影響を受ける降伏せん断耐力も, 同様に若干の低下が認められていることが報告されている。試験結果に2段配置の影響を加味すると, 3弦トラスの内部に位置するスタッドジベルには最大せん断耐力の向上効果が生じていると判断できる。

b) スタッド3本(a4)と内外スタッド(c6)の比較

図-9のなかで変位1mm以降, 差があるのは供試体4にコンクリート割裂が生じたためである。図-10では有意差はみられず, 表-3では内外スタッドはスタッド3本に比べて降伏せん断耐力で7%の向上, 限界せん断耐力は5%の低下が認められる。これも前述と同様に3弦トラスの効果があると判断できる。ただし中央列の外スタッドには3弦トラスの効果が出ないため, 前述のc3とa1の比較よりは効果度が落ちている。

表-3 押し抜き試験結果

	許容せん断耐力	最大せん断耐力	降伏せん断耐力	限界せん断耐力	備考
	道路橋示方書	試験結果	0.2mm割れ計法	残留変位0.075mm時	
a1	13.18	97.90	39.93	21.58	a1=供試体1
b2	3.92	35.51	13.83	12.46	b2=供試体2
c3	13.18	102.02	45.13	21.48	c3=(供試体3-供試体2) ₂
a4	39.54	*180.11	129.20	96.53	a4=供試体4
b5	21.02	135.97	63.96	62.49	b5=供試体5
c6	39.54	237.70	138.62	92.02	c6=(供試体6-供試体5) ₂

*印はコンクリートの割裂で破壊

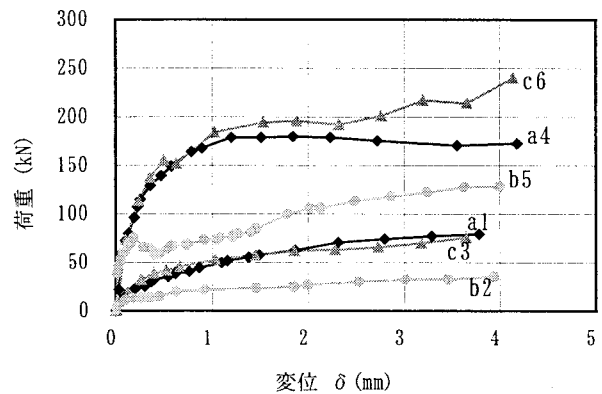


図-9 荷重-ずれ曲線

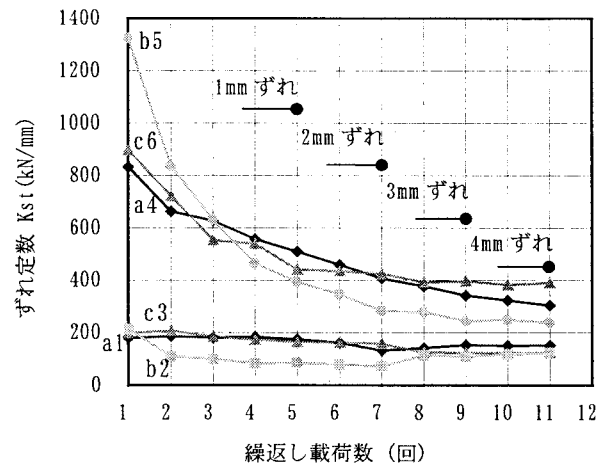


図-10 各繰り返し載荷時のずれ定数

c) スタッド1本(a1)と3弦トラス1列(b2)の比較

表-3より3弦トラス1列の最大せん断耐力はスタッド1本の36%, 同じく降伏せん断耐力は35%, 限界せん断耐力は58%となっている。ちなみに道示の許容せん断式から算出するネジ付スタッドの耐力値はスタッドジベルの30%であり最大せん断耐力および降伏せん断耐力の傾向に一致する。3弦トラス1列の限界せん断耐力がスタッド1本の50%以上ある理由は, ネジ付スタッドがコンクリート中の3弦トラスと板バネを介して連結されており, 合成効果が高いためだと判断する。このことは図-10の示す初回値以外が50%程度のずれ定数を示していることから判る。

d) 各ジベルにおけるせん断力の分担度

荷重-ひずみ曲線を図-11, 12, 13 に示す。図-11 は外スタッド列で、上段のスタッドジベルに作用せん断力が集中しているのが判る。図-12 は側列の内スタッドと3弦トラスの列で、ネジ付スタッドの分担率が側列の約 30%を示していることが判る。また、図-13 は3弦トラス2列(b5)の外スタッドとネジ付スタッドのひずみ比較で、降伏までは外スタッドとネジ付スタッドが同等のせん断力を分担していることが明らかである。

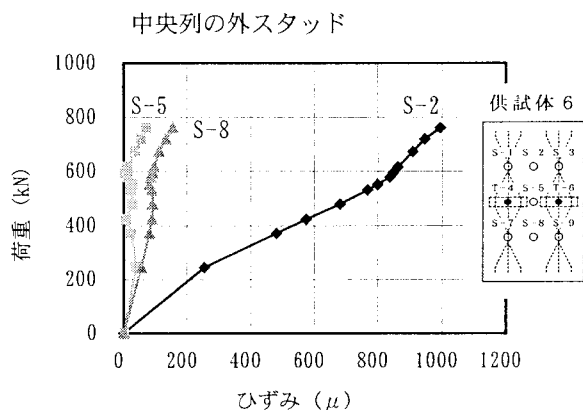


図-11 荷重-ひずみ曲線 (供試体 6)

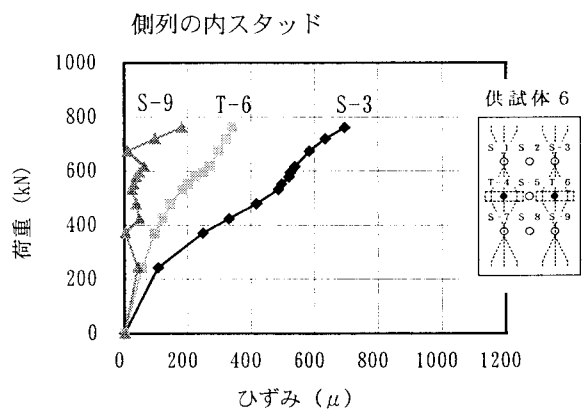


図-12 荷重-ひずみ曲線 (供試体 6)

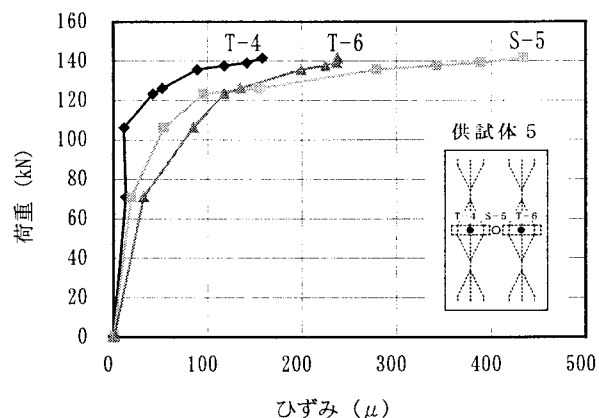


図-13 荷重-ひずみ曲線 (供試体 5)

(3) 梁試験

図-14, 15, 16 に各部位の試験結果を示す。

荷重-応力曲線の図中に示す計算値は圧縮側コンクリート、上・下弦筋、底鋼板を応力部材とし、鋼とコンクリートのヤング係数比を $n=10$ および $n=15$ を用いて複鉄筋RC断面の計算式により求めたものである。斜材筋を応力部材とする試計算を行ったが、計算値に有意差はみられなかったため、無視することとした。

ひび割れはかぶり確保型が $P=170\text{kN}$ 、底板密着型は $P=60\text{kN}$ 位から引張側コンクリートに細かなひび割れが確認され、以後ひび割れ長さが増加していった。コンクリート上面と底鋼板の応力度が $n=10$ の計算値から $n=15$ へと変化していくが、変化時期の荷重はひび割れ発生時期とほぼ一致しており、両方のタイプとも同様の傾向を示している。このことからひび割れ発生により、引張側コンクリート断面の寄与率が減少したことが判る。

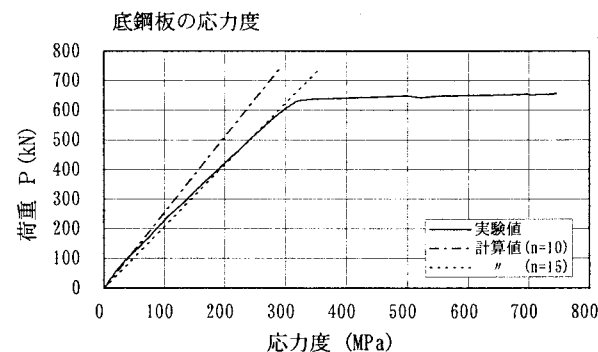
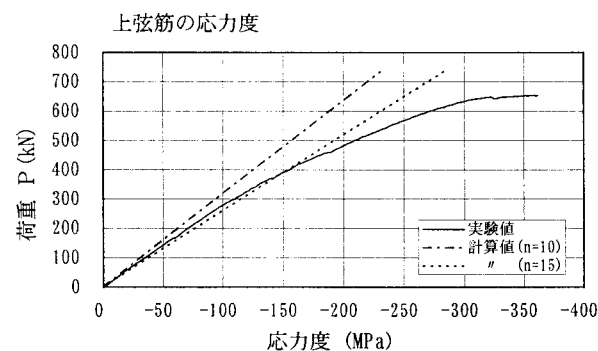
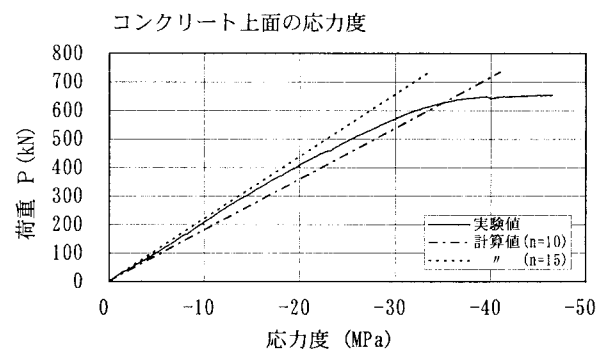


図-14 かぶり確保型 荷重-応力曲線

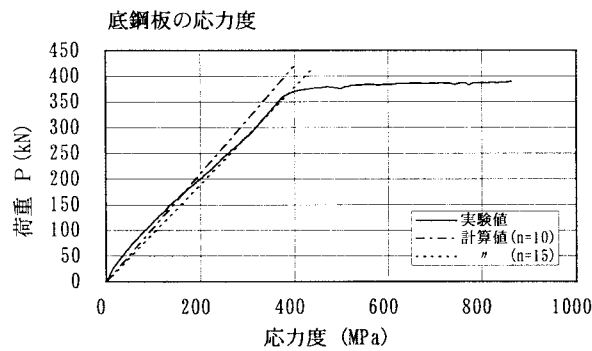
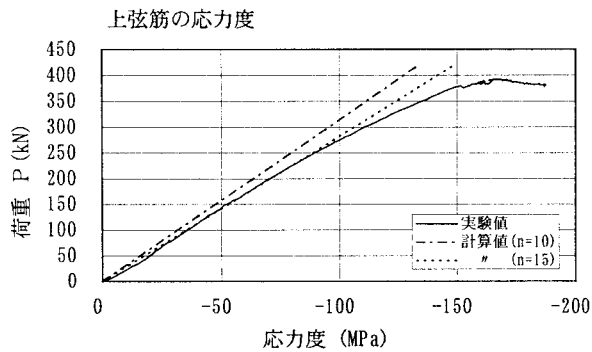
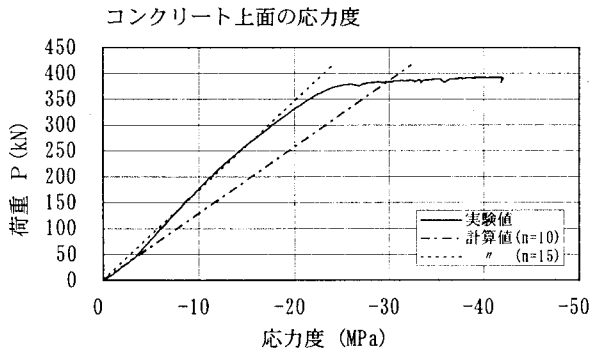


図-15 底板密着型 荷重-応力曲線

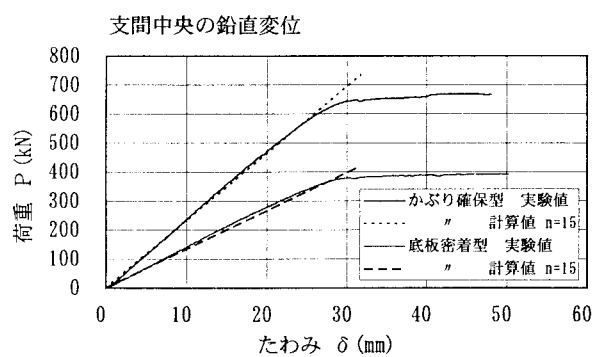


図-16 荷重-たわみ曲線

底板密着型にヤング係数率の変動傾向が顕著に表れる理由は、下弦筋を省略したことでコンクリート断面の有効度が相対的に大きくなっているためと考えられる。

上弦筋の応力度とたわみは両タイプとも $n=15$ の計算値によく一致している。TSG床版のヤング係数比は部分的に $n=10$ の性状を示すものの全体傾向から判断して、 $n=15$ と評価するのが妥当である。

5. まとめ

今回の静的試験から得られた結果を以下にまとめる。

- ① 鋼製グリップは 6.0m 支間の所要耐荷力を満足するものである。今回は 3.2mm 厚を使用した。加工難易度に配慮した上で 4.5mm 厚についての検討を行う。
- ② 斜材筋はその屈曲度を考慮して水平部を 29mm とする。3 弦トラスの性状は屈曲部のバネの挙動にみかけ上のヤング係数を用いることで、立体骨組解析にて評価できる。
- ③ 型枠機能については、底板密着型の方が底鋼板との一体化性状が大きい。かぶり確保型はネジ付スタッドが長く、底鋼板とは重ね梁の挙動を示し、長支間への適用は難しい。
- ④ 3 弦トラスの内側に配置したスタッドには約 10% の耐荷力向上が期待できる。3 弦トラスを底鋼板に固定するネジ付スタッドにも相応の合成効果が期待できる。
- ⑤ 梁モデルはヤング係数比 $n=15$ とした複鉄筋断面として評価することが出来る。斜材筋の断面性能への影響度が確認できず、今後の検討課題となる。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法（案）とスタッドに関する研究の現状，テクニカルレポート No35，pp61-74，1996-11。
- 2) 土木学会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物〔平成 9 年版〕
- 3) 中川敏之，井澤衛，阿部幸夫，柳本泰伴：トラス鉄筋により補強された型枠鋼板付き床版の力学特性，鋼構造年次論文報告集第 4 巻，pp. 471-476，1996-11
- 4) 中井博，松本雅治，中村求，山本晃久，真田健司：トラス型ジベルを用いた合成床版の耐荷力と疲労強度に関する実験的研究，構造工学論文集 Vol. 37A，pp1357-1365，1991-3
- 5) 向井利和：M床版の開発について（その 1），技報まつお No37，pp23-30，1999-10