

薄鋼板を用いた新しい鋼・コンクリート合成桁

上前行孝* 原 昭恵***
高崎一郎** 鬼頭省吾****

1. 開発の狙い

一般に、橋梁はスパンの大小にかかわらず、現場でのコンクリート作業を伴う場合、足場、支保工や型枠の施工が必要となる。更に現場によっては、落下物の防護などに対する手当が必要となる。

近年、床版コンクリートに対し、鋼製型枠を埋め殺しするなどで、これらに対応した工法があるが、材料の有効的な使用、施工性・経済性等の面で難点があった。こゝに報告する新しい合成桁は、このことを踏まえ、鋼板を単にコンクリート型枠としてだけではなく、桁や床版の構造部材とし、鋼とコンクリートのそれぞれの特性を活用して経済性と合理性をもたらすことを目指して開発に着手したものである。

2. 形式の特質

その結果、本橋梁形式は他の形式に比べて以下のような特質をもっている。

- 1) 急速施工が可能であるので、現場の工期を大巾に短縮できる。
- 2) 現場施工が簡単確実で、施工管理が容易である。
- 3) 桁下での作業がほとんどないので、施工の安全性が高い。
- 4) 鋼板によりコンクリートの劣化が防止できる（特に潮風に対して有効である）。
- 5) 付属構造物をも含めて一括施工できる。
- 6) 積算業務が簡単に行える。
- 7) 競合する支間に対する在来の構造形式に比べて経済性でも劣らない。

又、設計に当たっては、以上のような要件を満たし、更に製作上、以下のような要件を配慮した。

- 1) 主要部分はユニット化して、任意に生産保管が可能である。
- 2) 薄板のプレス加工を主体とし、溶接等の作業量を極力減らす。
- 3) 鋼とコンクリートの合成構造であるが、コンクリート橋より施工精度が高い。
- 4) 現場溶接を避け、高力ボルトの使用も極力少く又、鋼板には耐候性鋼板を用いるのを標準とし、維持管理費の節減を図った。本構造は簡易な施工と工期の短縮を目的としてはいるが、あくまでも永久構造物であることを前提としている。

3. 設計方針

図-1に見るように、床版は鋼床版として、又主桁は鋼・コンクリートの合成桁として設計する。すなわち、床版の縦リブは、コンクリート打設時におけるデッキプレートとの座屈耐力を上げ、主桁圧縮部としての必要な断面を構成するが、床版作用に対してはコンクリートを無視して一方向版としての鋼床版を構成する。このため、横桁間隔は通常より小さくした。

又、主桁は床版と連続した6mm厚の鋼板とコンクリートとで構成するウェブ部と床版部から成り立つ合成桁であり、引張部断面は必要に応じて鉄筋によって補強する。断面力の算出に当たっては、コンクリート硬化後の荷重に対してのみ格子構造として扱う。

図-3には別な構造形式の一例を示す。この場合、床版は半円筒状の鋼板と、その上に打設されたコンクリートによって構成される合成床版として設計する。鋼板上の縦リブは、コンクリート打設時の主桁圧縮として必要な断面を構成するものである。主桁は、図-1に示す構

* 取締役社長・技術本部長・工博 *** 技術本部技術開発部開発課長
** 技術本部技術開発部長 **** 千葉工場製造部生産技術課長

4. 構造概要

(1) 主要構造

主要構造の概要を図-1に示す。鋼部材を工場で製作し、現場でこれを組立ててからコンクリートを打設する。鋼部材は、経済性の面から出来るだけ薄い鋼板を用いて軽量化を図る。発錆が片面又はコンクリートに埋め込まれる部材は、板厚6mmとしてプレス成形を主体とする。両面から発錆する可能性のある横桁部材の板厚は8mmとする。又、無塗装仕様の耐候性鋼材を適用し得る地域では、外板にこれを使用することによって、桁下に塗装用足場を設ける必要がなく、メンテナンスフリーとなれば、更に経済化・施工の簡易化を図ることが出来る。

図-1の構造は、現場における組立時にも桁下に足場を設ける必要がない。下フランジでは、部材間に大きなせん断力が作用することはないので、図のように縁端部を曲げ上げ、普通ボルト又はクリップにより、セメントペーストが漏れ出ない程度に連結する。横桁フランジの連結は、図-1、図-2に示す構造とする。上フランジは高力ボルト接合とし、組立て時の形状保持が容易となるようにする。下フランジは、鉄筋コンクリート断面で応力を伝えるようにした構造である。

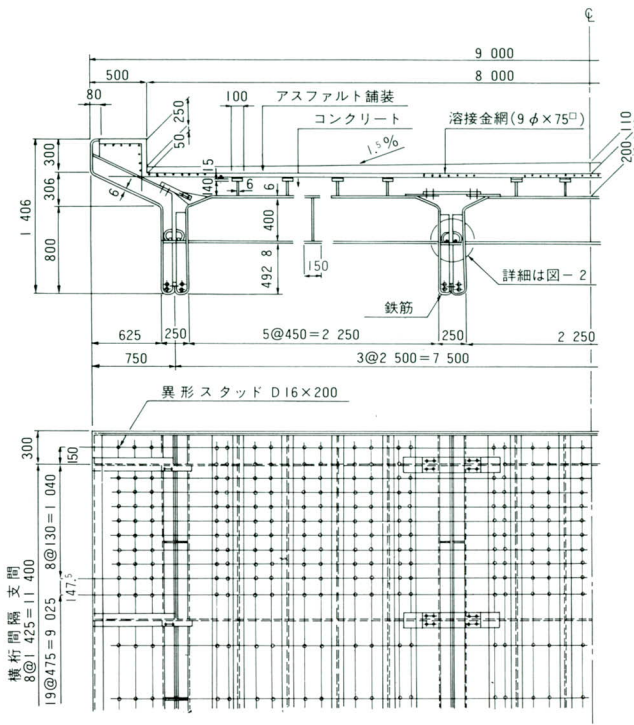


図-1 構造概要図

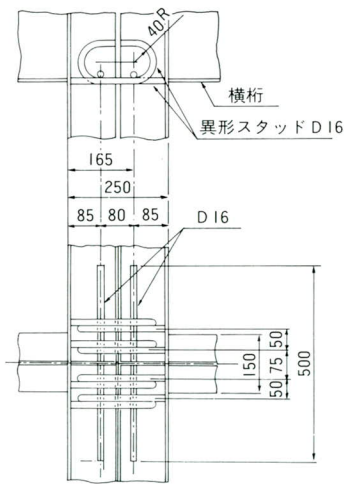


図-2 横桁フランジの連結

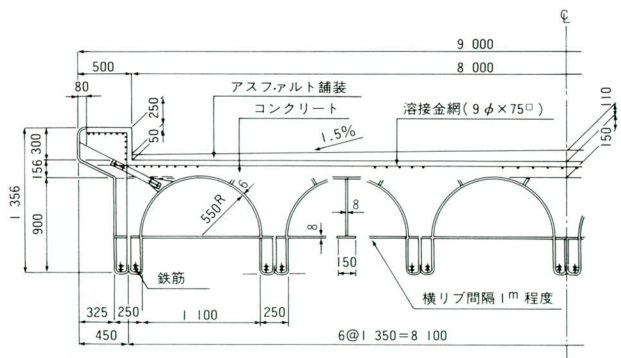


図-3 主要部材断面を半円形とした場合の構造

造形式と同様な考え方で合成桁として設計する。

前述したように、図-1の形式の場合、鋼板上の縦リブはコンクリート打設時に必要であるだけでなく、一方方向性版としての主要断面に組み入れたものである。両形式ともコンクリート打設時に対しては、死荷重の他に橋面全体に250kg/m²の作業荷重を載荷して断面応力を照査し、架設時許容応力度に対して1.8以上の安全率を確保している。

床版上側の鋼板には、主桁作用によって圧縮応力が生ずるので、コンクリート打設時の座屈を防止するため、鋼板上縁を水平に曲げ、横桁位置ごとに支材を設ける。コンクリート打設時の腹板の面外変形は垂直補剛材で抑える。床版上側の網鉄筋は用心鉄筋として配筋する。

(2) 付属構造

付属構造物についても、施工の容易、急速施工が可能な構造とする。図-4に伸縮継手の例を示す。橋梁側の部材は本体と一体とし、橋台側の部材は仮ボルトでとめて現場に搬入する。遊間のシール材は工場で施工しておいてよい。現場で遊間の調整が必要な場合は仮ボルトによって行うことが出来る。仮ボルトのナットはコンクリートを打設する前に除去する。高欄の形状は発注者の意向によって決められる場合が多いが、ボルト又は溶接によって本体に取付けることが可能である。図-5は支承構造の例である。

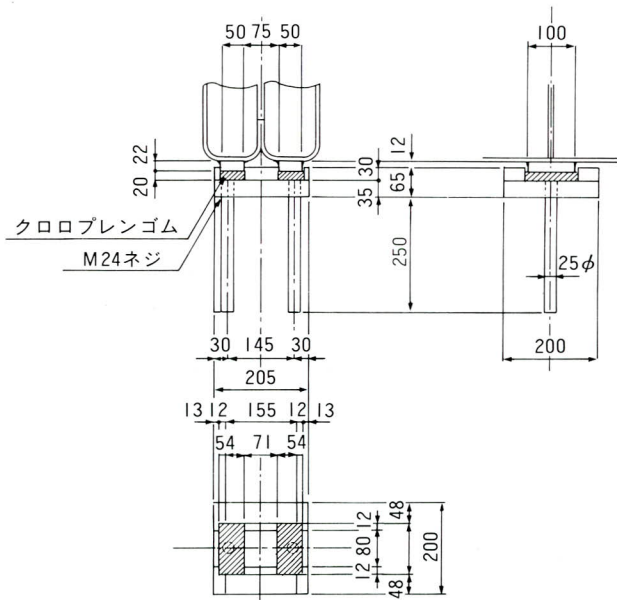


図-5 支 承

5. 予備実験概要

本構造に関する設計上の資料を得る目的で、合成版及びずれ止めに対する基礎的な実験を行った。ここでは、合成版に対する実験結果について簡単に述べ、ずれ止めについては稿を更めて報告する。

(1) 実験の種類

- a) 静的荷重試験………力学的特性、耐荷力、破壊形態
- b) 繰返し荷重試験………疲労耐力

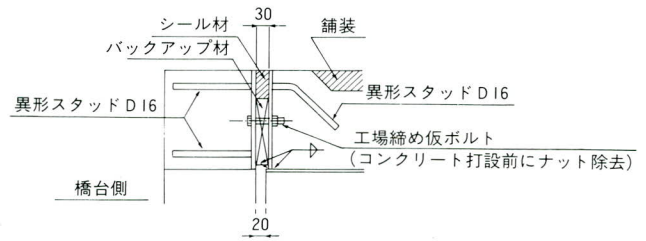


図-4 伸縮継手

(2) 供試体

a) 今回は基礎実験であるので、版とせず、幅50cmの合成梁とした。形状は下記の3種類である。ずれ止めには、いずれもスタッド16φ×100を使用した。

b) 単純梁 (図-6、7)

コンクリートに曲げ引張によるクラックが生じた場合のずれ止め機能、ずれ止め間隔の影響など、合成版の基礎的性状を調べる。

c) アーチ状梁 (図-8)

図-3に示す構造に対して、鋼板の型枠としての機能、及び合成床版としての性状を調べる。

d) 連続梁 (図-9)

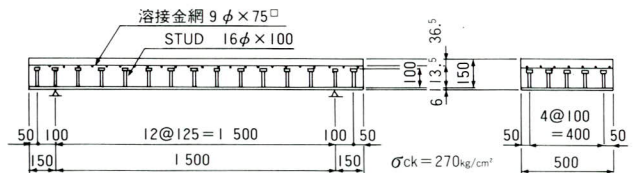


図-6 単純梁供試体(スタンドピッチ=125)

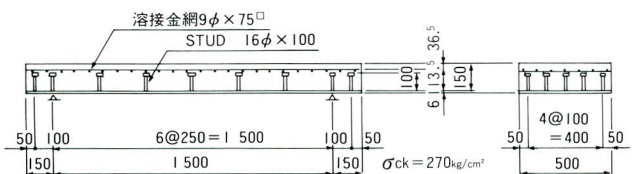


図-7 単純梁供試体(スタンドピッチ=250)

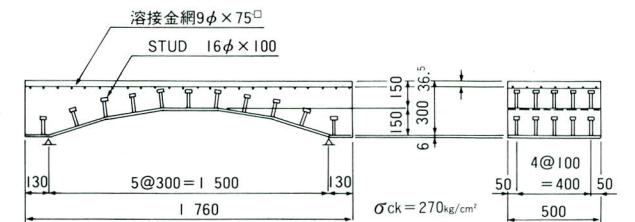


図-8 アーチ状梁供試体

図-1の構造では、床版作用に対しては鋼断面のみで負担すると仮定して設計するが、実際には2方向版として橋軸直角方向の曲げモーメントも生ずるので、主桁上で負の曲げモーメントが生ずる場合の合成版としての性状を調べる。

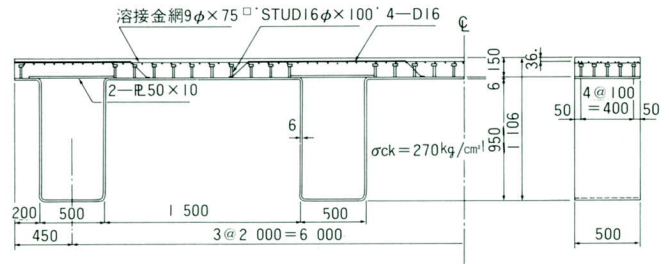


図-9 連続梁供試体

(3) 静的載荷試験

a) 単純梁

荷重—撓みの関係を図-10、荷重—ひずみの関係を図-11に示す。図中の設計荷重は、輪荷重 $P = 8.0 \times 1.2 = 9.6 \text{ t}$ が載荷された単純版の曲げモーメント（〔道路橋示方書〕鋼橋編6.1.4項による）と等しい曲げモーメントを生じさせる荷重である。

スタッドピッチ=250mmに比べて、125mmの方がひずみは15%程度小さく、崩壊荷重は20%程大きい。クラックは、最初に支間中央部の下面に曲げ引張によるものが発生し、次に載荷点の両側斜め下面にせん断（斜引張）によるものが生じた。荷重に伴うクラックの進展は、曲げ引張よりもせん断による影響の方が顕著で、崩壊の様相も同様であった。崩壊に至る最後のクラックは、支間中央部付近においてスタッドの頭部に水平に生じ、載荷点の左右から進展してきたクラックが連続した形状となり、急激に崩壊した。

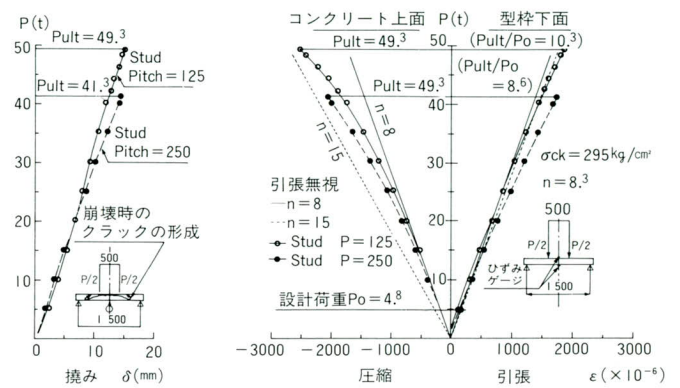


図-10 単純梁の荷重—撓み

図-11 単純梁の荷重—ひずみ

b) アーチ状梁

荷重—撓みの関係を図-12、荷重—ひずみの関係を図-13に示す。比較のため図中に単純梁の性状も示した。設計荷重は、(a)項の単純梁の場合と同様にして算出した値である。試験治具の構造上、支点の水平変位を完全には拘束出来なかったため、荷重—水平変位の関係も図-12に示した。撓み及び鋼板下面のひずみは単純梁の1/2程度であるが、コンクリート上面のひずみには顕著な差異は認められない。

コンクリートのクラックは、単純梁の場合と同様に曲げ引張によるものが最初に発生し、その後せん断によるものが生じた。荷重の増加に伴い、せん断クラックの方が顕著に進展し、載荷点の両側斜め下面から発生したクラックが、中央部で連続した形状となって急激に崩壊に至った。支間中央部付近においては、クラックはスタッドの頭部に沿って水平に生じた。

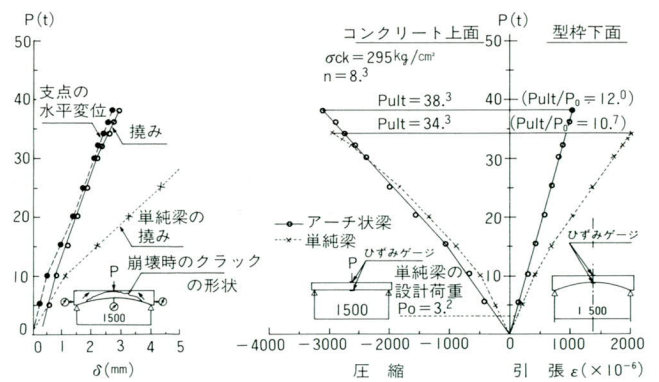


図-12 アーチ状梁の荷重—撓み

図-13 アーチ状梁の荷重—ひずみ

c) 連続梁

荷重—撓みの関係を図-14、荷重—ひずみの関係を図-15に示す。崩壊の形式は、単純梁及びアーチ状梁と同様にせん断によるもので、クラックの発生は載荷点の

斜め下からではなく、中間支点付近の上面から生じ、支点方向斜め下方に進展して崩壊に至った。崩壊直前には、クラックは既に上から下まで通っていたが、まだ耐力を有していた。これは、支点上の上面に設け斜め下方に曲げ下げた負鉄筋の効果と考えられる。しかし、負鉄筋の定着長が不足していたため、最終的には付着が切れて崩壊した。

(4) 繰返し载荷試験

a) 単純梁・アーチ状梁

支間中央に、上限 5 t 下限 1 t の荷重を繰返し载荷した。この上限荷重は設計荷重の約 1.5 倍である。クラックは、曲げ引張により肉眼では見えない程の細いものが早期に発生したが、ほとんど進展せず、又、せん断によるクラックは生じなかった。繰返し回数 270 万回で打切ったが、異常なく、支間中央の撓みも変化しなかった。

b) 連続梁

図-15に示す位置に上限 15 t 下限 1 t の荷重を繰返し载荷した。繰返し回数 270 万回で打切ったが、結果は上記と同様に、異常は見られなかった。

6. 考察

以上の実験結果から、供試体の数等不十分ながら、設計の基礎資料としては下記のように判断した。

- 1) コンクリートに曲げ引張クラックが生じても、スタッドはずれ止め機能を有しており、合成作用を期待してもよい。
- 2) 単純梁およびアーチ状梁の崩壊荷重は、設計荷重の 8 ~ 12 倍である。
- 3) スタッドをコンクリート上面まで達する長さとするか、又は斜引張鉄筋を配置することによって耐荷力を増加させ、かつ崩壊速度を緩やかにすることが出来る。
- 4) 繰返し荷重によって、コンクリートに曲げ引張クラックが生じても、合成作用を期待してよい。
- 5) 6 mm 厚の鋼板にスタッドを溶植した場合の疲労については、今回の実験では異常が認められなかったが、作用応力度を大きくして、さらに確認する必要がある。
- 6) 連続梁の試験において、腹板部の鋼板はコンクリート打設時に若干変形しており、補鋼材を設けるなどの変形防止策が必要である。
- 7) アーチ状の型枠については、タイを設けるなど

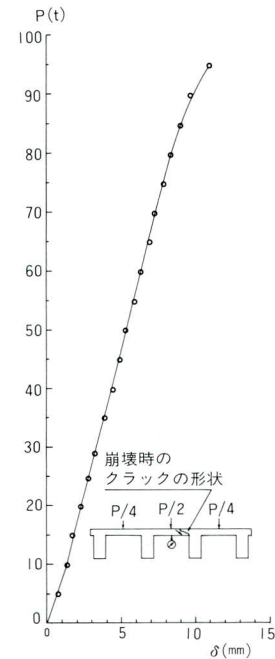


図-14 連続梁の荷重-撓み

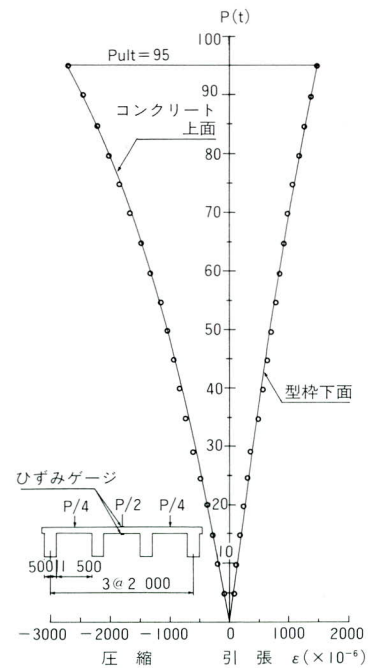


図-15 連続梁の荷重-ひずみ

により水平変位を確実に拘束すれば、打設時のコンクリートによる変形も小さく、独立した型枠としても用いることが出来る。

7. 設計への反映

スタッドを適切に配置すれば、十分な耐荷力を持つ合成床版が得られるが、打設時のコンクリート荷重を図-11のように縦リブで受ける構造とする場合は、縦リブフランジの断面を若干増すことにより、活荷重に対しても鋼断面のみで負担することが出来る。この場合、スタッドは床版作用に対する分を減らすことが可能となる。

スタッドはせん断に対する補強を兼ねて、コンクリート厚に等しい長さとする。ずれ止めの構造としては、例えばスタッドの他に、図-16のように鉄筋を設け、橋軸直角方向の鉄筋を兼用させることも考えられる。このような構造のずれ止め機能については、追加試験を実施したので別稿⁹⁾で報告する。

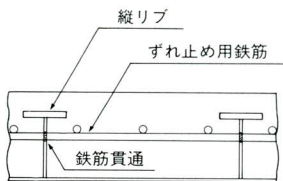


図-16 鉄筋によるずれ止め

8. あとがき（今後の開発方向）

橋梁の長大化、構造の精密化が進む一方で、中小の橋梁に対して安全かつ簡易な施工に対する追求が今少し欠けているように思える。本構造は、前段に述べたような主旨をもって、これに答えるものとする。何らかの指針に基づいて設計・施工がなされるべきであるが、本構造物のような鋼構造とコンクリート構造の複合的な構造物に対しては、未だ明確な指針がないので可成り安全側の設計になったと考えている。この面での研究が進めば、更に思い切った合理的設計に踏み切れるものと思う。

本構造は、現在、鋼板プレス機械の能力や、輸送上の制約などから、道路橋としての小支間単純桁を想定しているが、今後、適用支間の延長、連続構造への発展、あるいは又、下部構造との一体化など、その活用範囲の拡大を目指して行く予定である。そのためには当面、

1) 鋼・コンクリート合成構造としての合理的な現

場継手構造の開発。

2) 本構造と主旨を同じくする下部構造、基礎構造、並びにその施工法の開発。

が急務であると考えている。又、小支間の場合には応力が極めて小さく、問題とならなかった、例えば、施工時のアーチ状鋼板の座屈なども、適用支間の増大に伴って構造を支配する要素となってくると考えられ、今後の課題であると受け止めている。

なを、本稿は、土木学会構造工学委員会の報告書⁸⁾に基づくものである。

＜参考文献＞

- 1) 新津、浅島、大貫、落合；鋼製型枠合成床版を用いた合成桁の設計施工、橋梁と基礎、昭和55年11月
- 2) 岡村、二羽；鉄筋コンクリート部材の疲労、コンクリート工学、昭和58年1月
- 3) 青柳；せん断伝達機構とその設計上の取扱い、コンクリート工学、昭和57年12月
- 4) 和田；橋梁における鉄筋コンクリート床版の疲労と補強、コンクリート工学、昭和58年6月
- 5) Sohn F.McDermott;STRUCTURAL TESTS ON COMPOSITE FLOOR SYSTEM,Journal of the STRUCTURAL DIVISION ASCE Feb.1967
- 6) Stahlbau Handbuch Band 1,Stahlbau-Verlags Nov.1982
- 7) 鋼・コンクリート合成構造の現況、土木学会、構造工学委員会、鋼・コンクリート合成構造小委員会、土木学会誌、1981年9月
- 8) 鋼とコンクリートの合成構造に関する調査研究報告書、土木学会構造工学委員会、鋼・コンクリート合成構造小委員会、昭和59年3月
- 9) 縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験 本技報P9