

埋込み式合成桁の構造試験

高野祐吉*
原 昭恵**

1. まえがき

H型鋼埋込み桁については、多くの研究が発表され^{4)~10)}特に鉄道橋においては、設計標準も整備され¹¹⁾実用化がなされている。当社では小支間用の橋梁として、すでに薄鋼板を用いた鋼、コンクリート合成桁を発表している。

それと開発の狙いを同じくするものであるが、図-1に示す7~12mを適用支間とする小支間の道路橋に、今まで研究がなされている各種のずれ止めや、薄鋼板による梁の研究を基に、埋込み式合成桁に適用すべく研究を進めている。この構造上の特色および開発の狙いは以下の通りである。

(1) 構造上の特色

- 1) 下フランジを型わくを兼ねた薄鋼板とした。
- 2) コンクリートの割れ止め用に入れた鉄筋のうち、桁直角方向のものは、T型リブのフランジに溶接することにより、ずれ止めの機能も兼ねさせた。
- 3) 底板の巾を2mと1mの2種とし、それを組み合わせることにより、1m間隔ではあるが、あらゆる巾員に対処できるものとした。
- 4) 底板は橋軸方向にH.T.Bにより連結されているが、H.T.Bの孔をピッチ間隔でずらすことによりある程度の斜角にも対応できるものとした。
- 5) 主桁間隔を1mとしたが、底板がコンクリート打設時に垂れ下がる事を防止するため吊鉄筋を、400mm間隔で配置した。
- 6) 鉄筋は大部分のものが、工場において鋼桁部に取り付けられている。

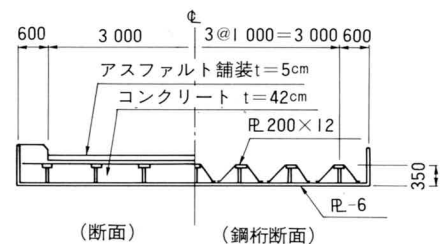
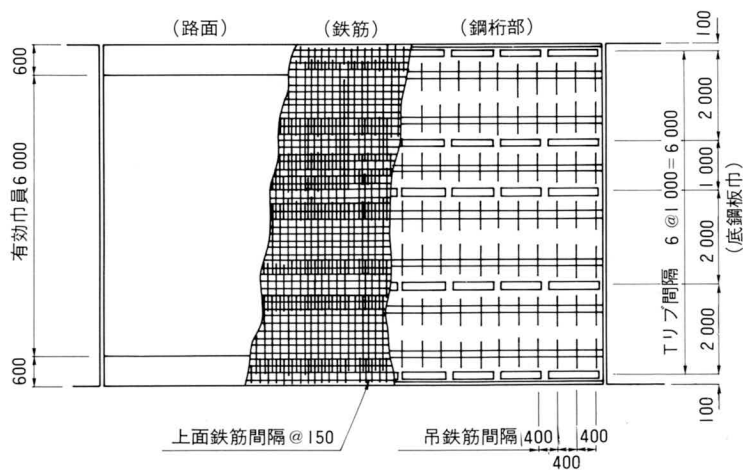
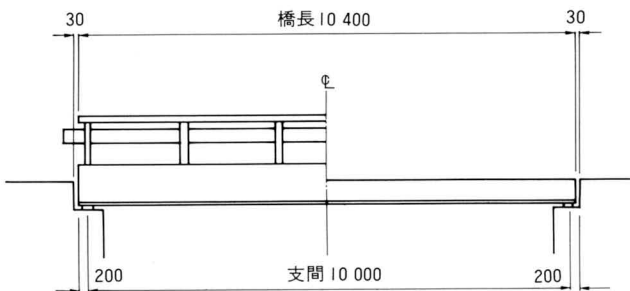


図-1 小支間用橋梁一般図

* 技術本部技術開発部長

** 技術本部技術開発部技術開発課長

(2) 開発の狙い

- 1) 型わくが不要であり、鉄筋も大部分工場で取り付けられているので、現場での工事が少なく簡便で、急速施工も可能である。
- 2) 桁高を他の型式のものに比して、低くすることが出来る。
- 3) 支間により断面は異なるが、巾貝、斜角には組合せにより対応できるので、主桁の種類が少なく、工場での計画生産が可能である。
- 4) 他の競合する構造型式のものに比し、経済的である。

以上のような埋込み桁を考えている。本文はその開発にあたり、試験体の載荷試験により、その性能と特質を把握するため実験を行った報告である。

2. 試験体について

図-2に示すI型試験体は、主桁としての性能を調べる事を目的としたものであり、NO. 1~4と4体製作した。NO. 1、2は静試験用であり、NO. 3、4は疲労試験用である。NO. 2は桁直角方向の横鉄筋を1本おきに(300mmピッチ)にT型リブフランジに溶接したものであり、他の3体は全ての横鉄筋がフランジに溶接されている。(150mmピッチ)

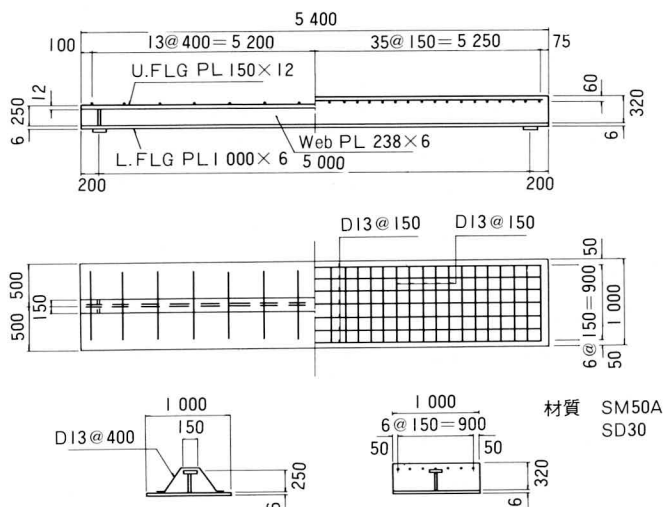


図-2 I型試験体

図-3に示す工型試験体は橋軸直角方向の荷重分配を確認する事を目的とするもので試験体は同一のものを4体製作した。

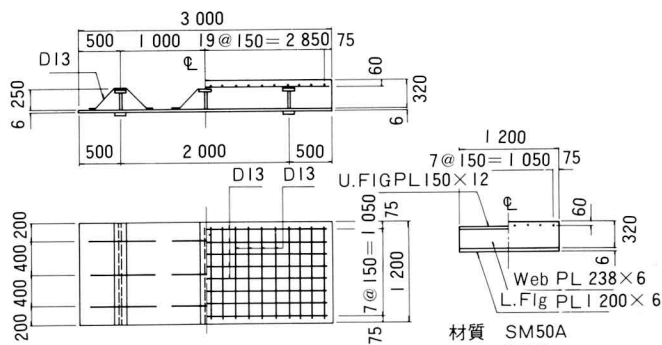


図-3 II型試験体

表-1 コンクリートの強度と配合

強度試験結果(実験開始時)	298kg/cm ²
強度試験結果(実験完了時)	361kg/cm ²
ス ラ ン プ	12cm
水	153kg/m ³
セ メ ン ト	266kg/m ³
細 骨 材	799kg/m ³
粗 骨 材	1108kg/m ³
混 和 材	0.665kg/m ³
水・セメント比	57.5%

試験体に使用した材料は鋼板は全てSM50A規格品、鉄筋はSD30規格品とした。又、コンクリートは早強コンクリートを使用した。強度および配合は表-1の通りである。なお養生は建屋内における湿潤養生とした。

3. 試験方法

I型のNO. 1、2の静試験は、写真-1、および図-4のごとく、2点載荷とし、門型フレームを使用し、ロードセルで荷重を計測しながらジャッキで載荷した。各載荷時におけるスパン中央の撓みを変位計により計測し、コンクリート上面、底板の上下面、リブ上フランジ、鉄筋のひずみをひずみゲージにより計測した。ひずみゲージの配置および使用ゲージは図-5に示す。

NO. 3、4の疲労試験は上記の門型フレーム内のジャッキを疲労試験機に切り替えて載荷した。載荷荷重はNO. 3は上限荷重を17.0t(底鋼板の支間中央部において約 $\sigma_a = 1100\text{kg/cm}^2$)、下限荷重2.0tとし、NO. 4はそれぞれ14.0t($\sigma_t = 900\text{kg/cm}^2$)、2.0tとした。なお荷重のサイクルは250回/分である。50万回、100万回時において繰返し荷重をとめ、それぞれについて上限荷重までの静試験をNO. 1、NO. 2と同様の方法により行い、繰返し荷重載荷後における性状の変化をしらべた。

II型の試験体はいずれも静試験とし、NO. 1、NO. 2はコンクリート面より載荷する表曲げとし、リブ直上お

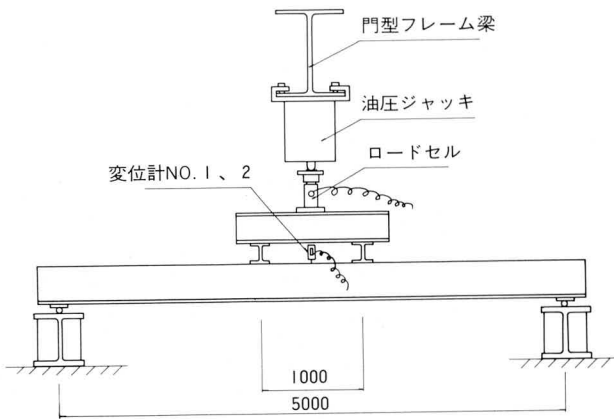


図-4 I型試験体静試験載荷法

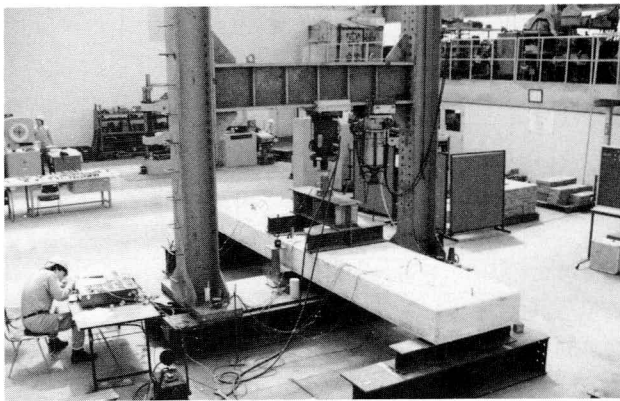
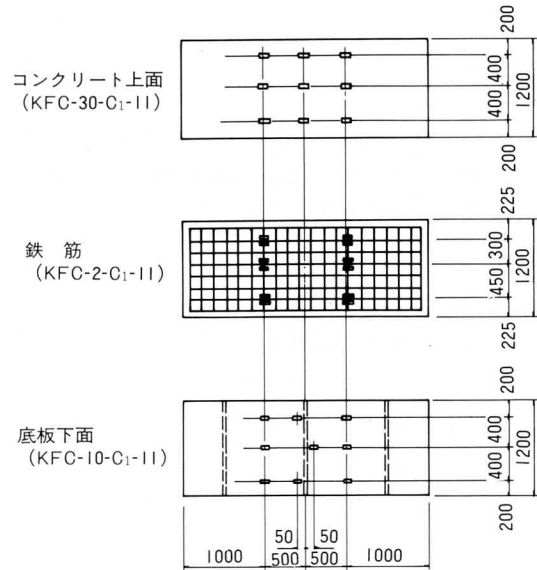


写真-1 載荷試験状況



()は使用ゲージ名

図-6 II型試験体ひずみゲージ配置

よびリブ間の中央より載荷した。又、NO. 3、4は鋼板側より載荷する裏曲げ用とし、これもリブ直上およびリブ間中央より載荷した。荷重載荷法は1点載荷であるがI型の場合と同様の方法で行い、コンクリート上面、鉄筋、鋼板面にとりつけたひずみゲージにより、各荷重下におけるひずみを計測した。又、載荷点における撓みを変位計により計測した。ひずみゲージの配置は図-6に示す。ただし荷重直下の点については計測してない。

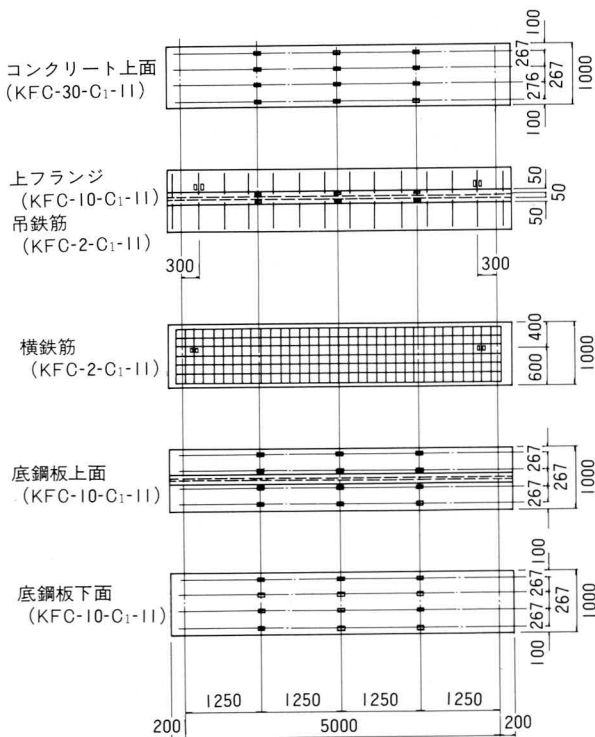
4. 試験結果

図7~17まで各試験体の試験結果を示すが、実際の試験においては、いずれもここに示す約3倍のデータを計測している。

図-7、8はI型のNO. 1、NO. 2のコンクリート上面および底鋼板の支間中央と $\frac{1}{4}L$ 点における荷重とひずみ量の関係をプロットしたものである。コンクリート上面においては、支間中央の4ヶ所のひずみ量を平均したものであり、 $\frac{1}{4}L$ 点では8ヶ所のものを平均した。又鋼板部においては鋼板の上下面のものもさらに加え、それぞれ、8ヶ所と16ヶ所のものを平均してある。図中の直線と点線で示した理論線については考察の項に記す。

図-9、10は、NO. 3、NO. 4の50万、100万回の繰返し荷重載荷後における荷重-ひずみの関係をプロットしたものである。データは、NO. 1、NO. 2の場合と同様の方法でまとめた。又理論線についても考察の項に記す。

図-11、12は、NO. 1~4の荷重と支間中央部における撓みについてまとめたものである。



()は使用ゲージ名

図-5 I型試験体ひずみゲージ配置

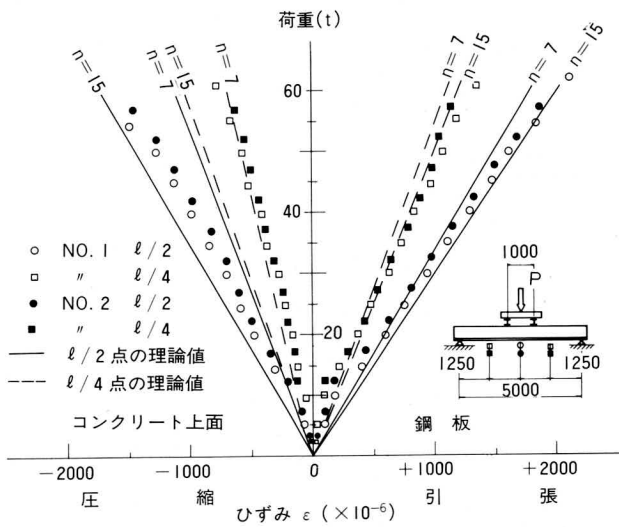


図-7 I型NO.1、NO.2 荷重—ひずみ図

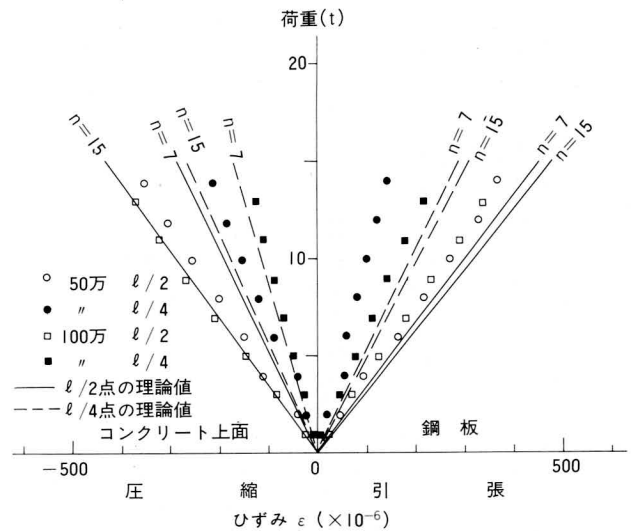


図-10 I型NO.4

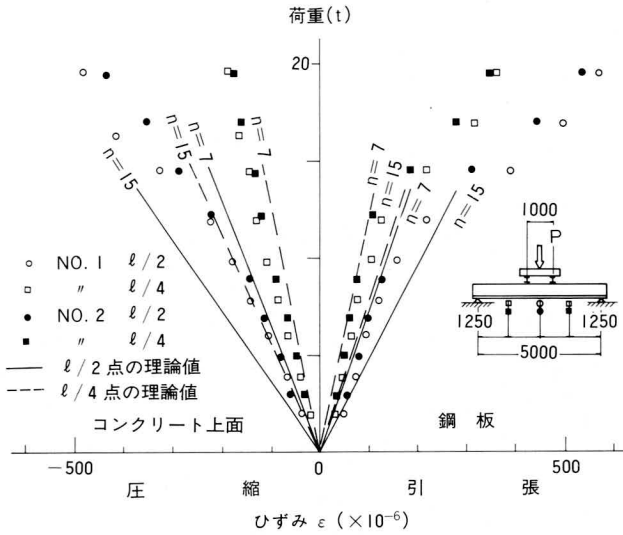


図-8 I型NO.1、NO.2 荷重—ひずみ図

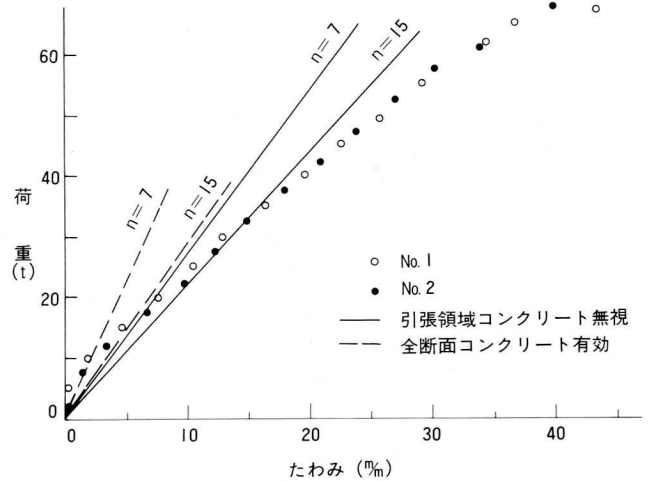


図-11 I型NO.1、NO.2 荷重—たわみ

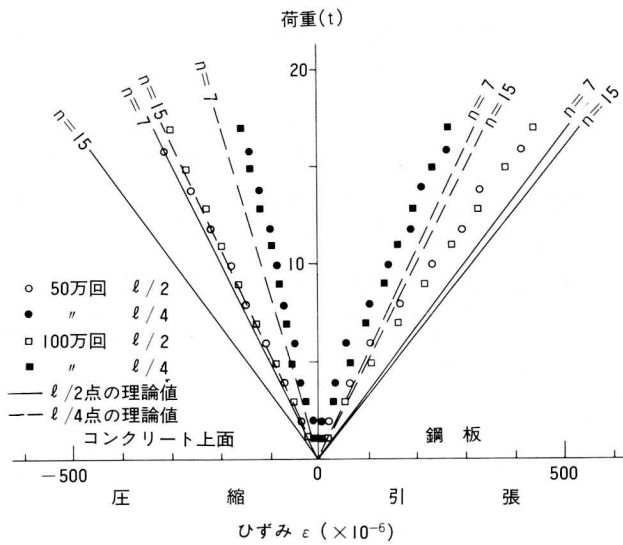


図-9 I型NO.3

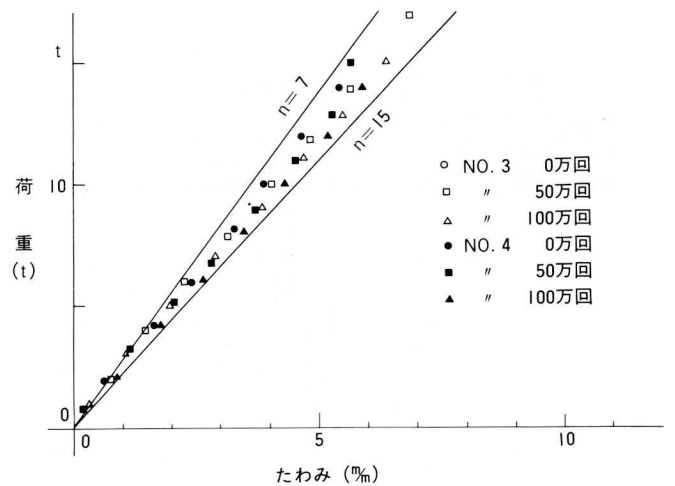


図-12 I型NO.3、NO.4 荷重—たわみ

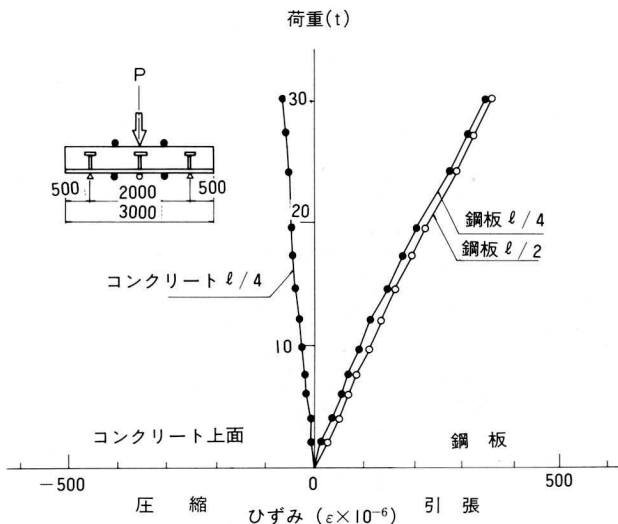


図-13 II型NO. 1

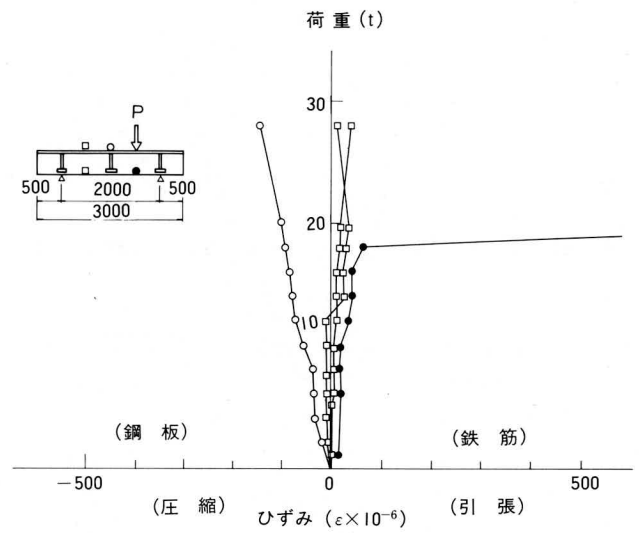


図-16 II型NO. 4

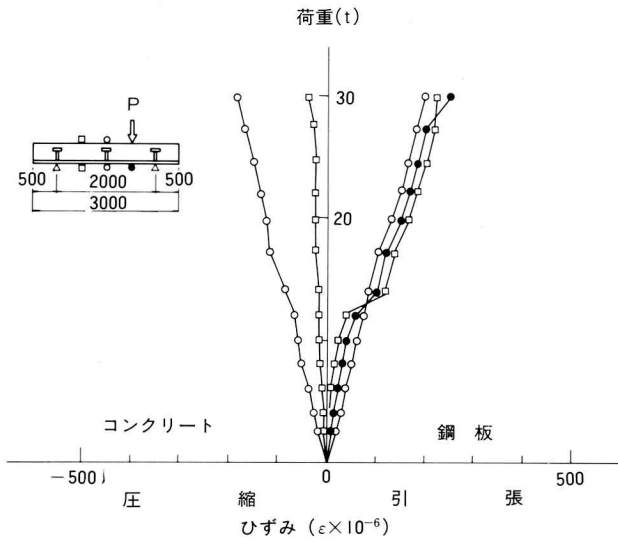


図-14 II型NO. 2

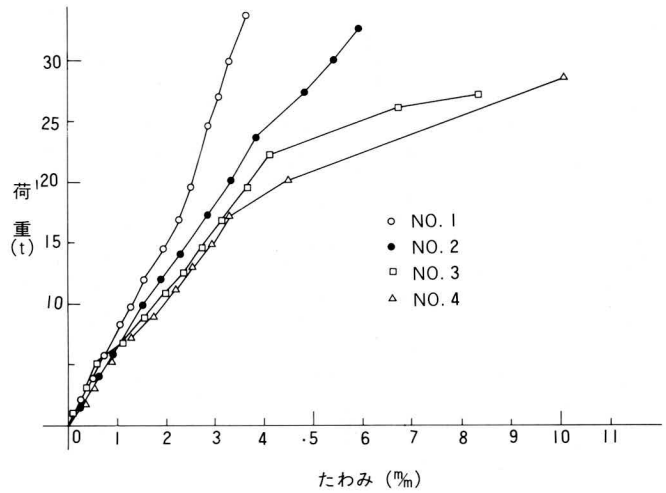


図-17 II型NO.1,2,3,4荷重-たわみ

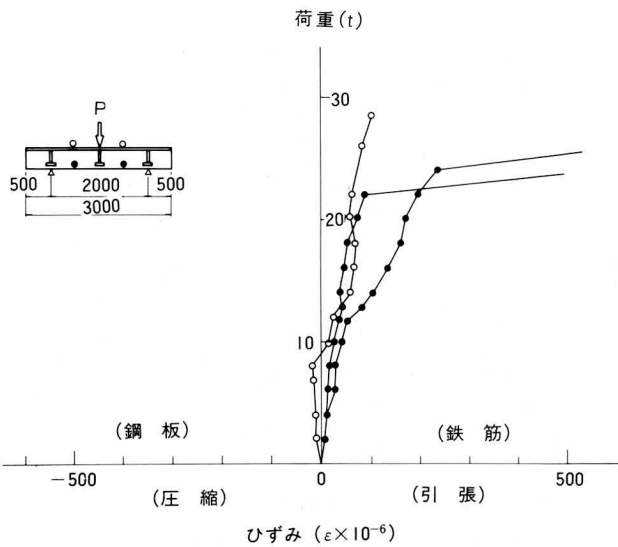


図-15 II型NO. 3

図-13~16にII型試験体のNO. 1~4についての荷重と各点のひずみ量の関係をプロットした。又図-17に荷重と荷重載荷点における撓み量について示す。

写真-2はI型試験体のひび割れの状況写真である。上の数字は支間中央よりの距離をcmで表わしており、クラック上の数字はクラック発生荷重である。

写真-3はI型試験体NO. 3のひび割れの状況写真でありクラック上の数字はクラックが発生した回数を万単位で表わしたものである。

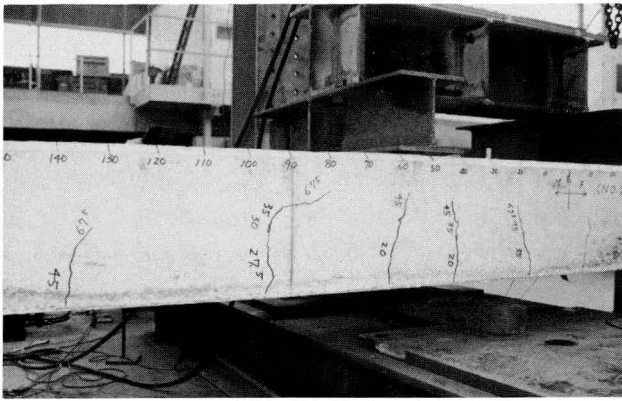


写真-2 I型NO.2ひび割れ状況

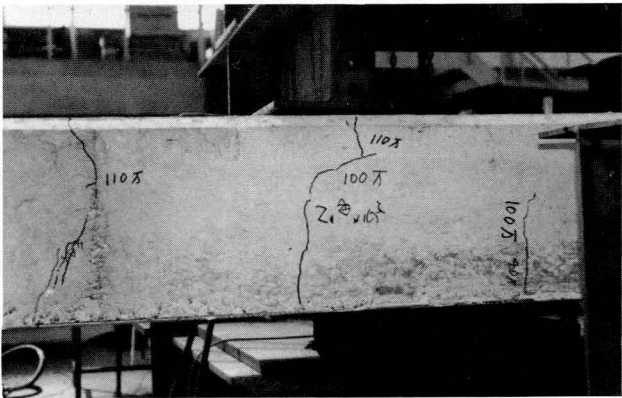


写真-3 I型NO.3ひび割れ状況

5. 考察

(1) I型試験体NO.1、NO.2（静試験）

前述のごとく、NO.2は横鉄筋の半数をリブフランジに溶接したものであるが、図-7、8、11より全数溶接したNO.1との差異は見あたらない。よって横鉄筋については半数程度フランジ部に溶接すれば鋼桁部とコンクリートを一体化させるためのずれ止めとしての機能は満足すると結論づけられる。底鋼板部には上下面にゲージを取りつけたが、そのひずみ量の差（鋼板部の曲げによるもの）はコンクリートと鋼板がはく離し、引張領域のコンクリートにひび割れが発生するまでは、（本試験においては約13t）当然であるがほとんどない。しかし、はく離後においては載荷荷重の大きさに関係なく、 $\epsilon = 140 \sim 160 \times 10^{-6}$ の差が示された。これはコンクリートにひび割れが発生し、そのひび割れた個所でコンクリートが角折れた影響と考えられる。

図-7中の理論線は、リブフランジと、鉄筋の断面上鉄筋の断面積とし、底鋼板の断面を下鉄筋の断面積として、いわゆる複鉄筋のコンクリート断面算定式(1)より算出した理論ひずみ量である。

$$x = -\frac{n(A_s + A'_s)}{b} + \sqrt{\left\{ \frac{n(A_s + A'_s)}{b} \right\}^2 + \frac{2n}{b}(d \cdot A_s + d' \cdot A'_s)} \cdots (1)$$

x：コンクリートの上面より中立軸までの距離

なお試験体の中は100cmであるが、鋼道橋路示方書に規定された支間と有効巾との規定を適用し、90cm中で計算した。コンクリートと鋼のヤング率比nは7と15について計算した。

図-8はNO.1、NO.2の低荷重部分を拡大したものであるが、理論線はまだコンクリートにクラックが発生していないので、コンクリート全断面が有効であるとして計算したひずみ量の理論線である。

(2) I型試験体NO.3、4（疲労試験）

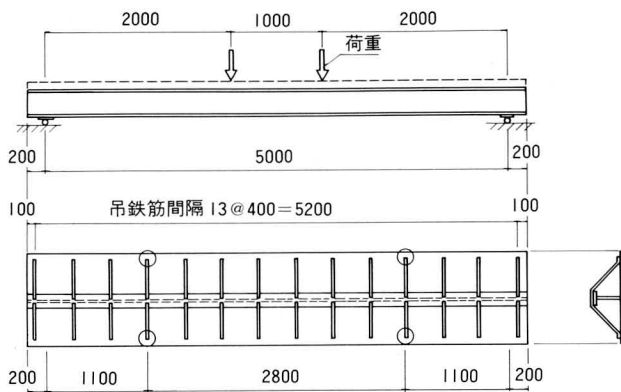
疲労試験については当初200万回までの繰返し荷重まで行う計画であったが、NO.3においては130万回、NO.4は170万回において、底鋼板が破断した。

図-9、10、12に示すごとく、NO.3、NO.4共に50万、100万回の繰返し荷重に対してはなんら梁としての劣化は見られない。図中の直線、点線で示す理論線は、図-7の場合と同様に複鉄筋コンクリートの断面算定式より求めたものである。

前記の底鋼板の破断個所は、NO.3、NO.4共にまったく同一位置で発生しており、図-18に示す。又破断個所の状況は、写真-4に示す。

破断個所はいずれも、主桁の支間中央部ではなく、支点側に寄っている事、又、吊鉄筋取り付け部の溶接部より発生している事が共通している。

主桁の曲げモーメントによる底鋼板の計算上の応力度は、NO.3の載荷荷重17.0tに対して、支間中央部で約1100kg/cm²、破断個所においては約600kg/cm²であり、NO.4においては14tに対してそれぞれおよそ900kg/cm²、500kg/cm²である。これらのことより、この破壊は主桁の下フランジとしての引張応力の他に、底鋼板がコンクリートとはく離した状態において、吊鉄筋がずれ止めとして作用し、底鋼板にそれが取りついてる個所に局部的曲げを与えたために疲労破壊されたものと考えられる。



○ 疲労による破断箇所
図-18 底鋼板部疲労位置



写真-4 疲労による破断箇所

(3) II型試験体 (NO. 1、NO. 2)

図-13、14よりコンクリート面より荷重した表曲げについてはかなり高い耐荷力を持っていることが分かる。ただし図が示すように底鋼板部は計測した支間方向の位置に関係なく同一荷重に対してはほぼ同一のひずみ量が発生している。これは早期においてコンクリートの引張領域で鋼板とコンクリートがはく離し、底鋼板をタイ材とするタイドアーチないしは三角トラス的機構により耐えていることが分かる。

(4) II型試験体NO. 3、NO. 4

図-15、16は底鋼板側より荷重した裏曲げであるが、最終耐荷力はNO. 3で22t、NO. 4で18t前後と判断される。しかし、NO. 3において8t、NO. 4において12t前後で鋼板部のひずみが本来マイナス側であるべきものがプラス側に移行していることが分る。これは底鋼板が梁の圧縮材としての機能から、支点を固定した吊板としての耐荷機構へと移行しているものと推測される。

(5) 結論

- 1) 主桁としての耐荷力は基本的には十分である。
- 2) コンクリート打設時における底鋼板垂れ止め防止のため設けた吊鉄筋については再検討を要する。
- 3) 橋軸直角方向の荷重分配のための強度については、不明確な点もあるが、設計上の必要強度は小さいので実用化できる。

6. あとがき

埋込み桁の道路橋への実用化にあたり、本試験を行ったわけであるが、前項結論のごとく、吊鉄筋の詳細については再検討が必要となった。これを本来の目的のみに機能させるために、この鉄筋と引張領域のコンクリートを遮断する作業が必要である。(例えばこの鉄筋にゴムホースをまく。)今後この点について再度試験を行い解決を計り、一日も早い実用化をめざしたい。

<参考文献>

- 1) 上前、高崎、原、鬼頭；薄鋼板を用いた新しい鋼・コンクリート合成桁、宮地技報NO. 1、1985年3月
- 2) 高崎、原、鬼頭；縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験、宮地技報NO. 1、1985年3月
- 3) 高崎、原、鬼頭；縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験(疲労試験)、宮地技報NO. 2、1986年1月
- 4) 中原；H型鋼埋込みコンクリートスラブの計算方法、土木技術22巻7号、昭和42年7月
- 5) 尾坂；H型鋼を埋込んだコンクリートスラブによる鉄道橋の設計方法に関する研究、コンクリートジャーナルVol. 6、NO. 3、1968年3月
- 6) 尾坂、田中、岡田；H型鋼埋込み桁の疲労試験、土木学会年次講演会、昭和41年
- 7) 尾坂；コンクリートを強度計算に考慮するH型鋼埋込み版けた、鉄道土木7-1、1965年1月
- 8) 曾我；H型鋼埋込けたの設計、鉄道土木24-1、1982年1月
- 9) 井上；H型鋼埋込み桁の設計、構造物設計資料NO. 28、1971年12月
- 10) 小林；斜角H型鋼埋込み桁の試験、構造物設計資料NO.65、1981年3月
- 11) 土木学会鋼鉄道橋設計標準に関する研究委員会；国鉄建造物設計標準解説(鉄筋コンクリート構造物)、昭和58年5月