

(51) 合成桁橋に用いるトラス型合成床版の 疲労耐力に関する研究

EXPERIMENTAL STUDY OF COMPOSITE SLAB WITH TRUSS SHAPED SHEAR CONNECTORS

浜田純夫* 日野伸一** 高海克彦*** 兼行啓治**** 佐々木善博*****

Sumio HAMADA, Shin-ichi HINO, Katsuhiko TAKAMI, Keiji KANEYUKI, Yoshihiro SASAKI

Fatigue strength of the composite slab is as important as ultimate strength for practical design of bridge structures.

In this paper, an static and fatigue bending tests are carried out on composite beams composed of a thin steel plate and concrete which are connected by truss framed shear connectors. Several characteristics of this member related to displacements, strains and slips between the steel plate and concrete are herein discussed. It is a special interest that fatigue cracks of steel plate occur under the welded line to shear connector near the loading point.

1. まえがき

鋼・コンクリートの長所を利用した合理的な橋梁構造である合成桁橋において、鉄筋コンクリート床版の損傷が問題化して久しく、今後も走行車両の重量化、走行頻度の増加が予測される中、床版補修方法および架け替え工法の開発実用化が待たれるところである。

最近、これに代わる新しい床版形式として、鋼製型枠合成床版が開発され、試験施工も何件か行われている。鋼製型枠合成床版は、施工時に型枠を兼用しているため、型枠工、支保工、配筋工における省力化、それ故工期の短縮化を図ることができること、鋼板が高い曲げ剛性を有することから、RC床版に比べ床版厚を薄くでき、死荷重を軽減できることなどの特徴がある。

本研究で対象とするトラス型ジベル合成床版も鋼製型枠合成床版の一つであり、ずれ止めに立体トラスを用いることにより、上記の特性に加えて、トラス型ジベルが2方向せん断力に十分な抵抗性を示し、同時にコンクリートの浮き上がりを防止すること、トラス斜材がせん断補強筋の役割を果たすことなどの特性を持ち、床版としての耐力も十分との判断が得られている。

しかし、床版には耐荷力と同時に耐久性も要求されるが、これまでこうした合成床版の疲労強度に関する研究は少なく、十分な成果は得られていない。特に合成床版は、版が薄い上に溶接箇所も多く、疲労には厳

* :Ph.D 山口大学教授 工学部土木工学科 ** : 工博 九州大学助教授 工学部土木工学科
*** : 工博 山口大学講師 工学部土木工学科 **** : 山口大学技官 工学部土木工学科
***** : 石川建材工業

しい状態と考えてよい。

本報告では、トラス型ジベル合成床版の支間方向に着目し、はり試験体による静的耐荷力試験、および疲労試験を行ったものである。

2. 実験概要

2. 1 供試体

静的曲げ耐力試験および曲げ疲労試験に用いた供試体を図-1に示す。供試体の寸法諸元はいずれも同一であり、低部鋼板(540x2000x 6)に型鋼を打ち抜きにしたトラス型ジベル7本を等間隔に溶接接合し、更にその上部に主力筋を3本(2x ϕ 13、 ϕ 19)配置した骨組みに、コンクリートを打設して合成構造としたものである。コンクリート厚は16cmとした。供試体は、静的試験に1体(TSC-0)、疲労試験に4体(TSC-1~TSC-4)準備した。

鋼材の材質は、ジベル及び低部鋼板にはSS41材を、主力筋にはSD30を用いた。静的試験および疲労試験のコンクリートの配合および力学特性をそれぞれ表-1と表-2に示す。

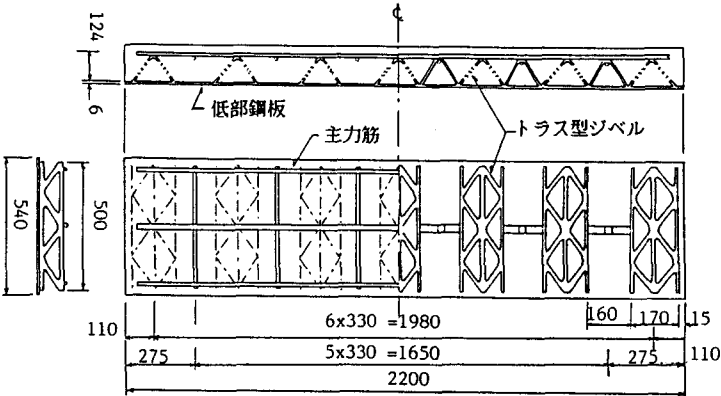


図-1 供試体諸元

表-1 コンクリートの配合表

試験の種類	呼び強度 (kgf/cm ²)	スラブ (cm)	空気量 (%)	w/c (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					試験体
						水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 _(g)	
静的試験	300	7	2	48.4	43.0	143	400	1055	1356	4	TSC-0
疲労試験	300	8±1	4	52.0	40.0	160	305	725	1139	1.22	TSC-1~TSC-4

† w/c : 水セメント比
s/a : 細骨材率

2. 2 実験方法

静的試験は、載荷スパンが198cmの両端単純支持で、支間中央での1点集中線荷重とし、油圧ジャッキを用いて1t刻みで破壊するまで載荷した。

疲労試験の実験状況を写真-1に示す。疲労試験は載荷スパン200cmの両端単純支持で、対称2点集中線荷重とした。荷重間隔は、25cmである。載荷荷重の最大値、最小値を表-3のように設定し、繰り返し載荷した。疲労試験機は、ローゼンハウゼン型のため、繰り返し回数200回までは手動の静的載荷をし、以後機械載荷による毎分200回の繰り返し荷重とした。

2. 3 計測

静的試験

静的試験では、コンクリートの上縁ひずみ9点、低部

表-2 コンクリートの力学特性

試験の種類	試験体	圧縮強度 (σ_{28}) (kgf/cm ²)	試験時 圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^5$ kgf/cm ²)
静的試験	TSC-0	362.4	---	2.53
疲労試験	TSC-1	358	380	3.49
	TSC-2	375	411	3.52
	TSC-3	416	434	3.49
	TSC-4	398	420	3.38

鋼板ひずみ12点、鉄筋ひずみ6点、トラスひずみ10点をストレインゲージで、鉛直たわみ6点を変位計で荷重増加毎に計測し、最後に終局耐力を得た。図-2に貼付したひずみゲージの一部である鋼板およびトラスのゲージ位置を示す。

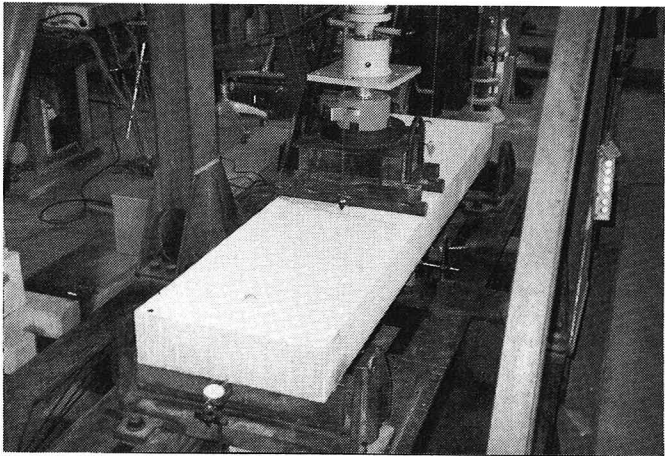


写真-1 実験状況

疲労試験

疲労試験では、所定繰返し回数毎に、静的載荷を行い計測した。計測項目は静的試験とほぼ同じであるが、加えてコンクリートと鋼板のずれおよびジベル溶接部付近の局所ひずみもそれぞれバイゲージおよびひずみゲージで測定した。さらにひび

表-3 疲労試験荷重

試験体	最大荷重(ton)	最小荷重(ton)
TSC-1	11.1	2.2
TSC-2	10.0	2.2
TSC-3	15.5	2.2
TSC-4	13.3	2.2

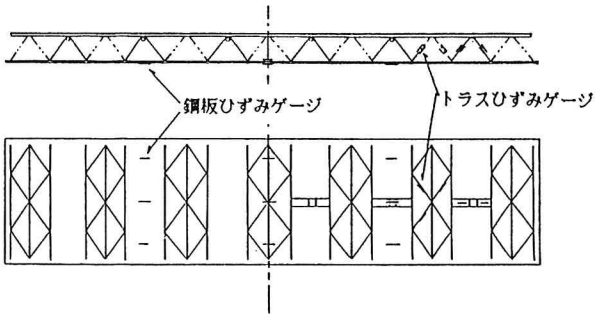


図-2 鋼板・トラスひずみゲージ位置

割れ発生状況を目視により観察した。測定点数は、試験体毎に異なるが、例えばTSC-3では、たわみ3点、コンクリートのひずみ6点、鋼板のひずみ18点、トラスのひずみ6点、鉄筋のひずみ4点である。

3 実験結果と考察

3.1 静的試験

支間中央の荷重-たわみ曲線を図-3に示す。実験値は支間中央2個所の平均値である。計算値は、試験体をトラス型ジベルは無視して複鉄筋断面に換算し、ヤング係数比 $n=15$ としたはり理論による値である。実験値が計算値より剛性が低いのは、主に鋼板とコンクリートの間のずれによるものと考えられる。

図-4に、荷重-応力曲線を示す。応力値は、鉄筋、鋼板、コンクリート、トラスの測定ひずみにそれぞれ弾性係数を乗じた値である。荷重が20ton程度まで荷重と各

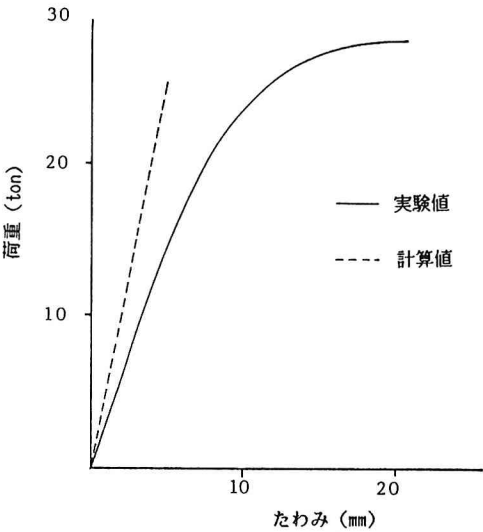


図-3 荷重-たわみ曲線

応力はほぼ比例しているが、荷重がそれ以上になると特に鋼板の非線形性が顕著になる。鋼板の材料的降伏応力に達する時の外荷重はほぼ21tonであるが、破壊に至るまでなお外力に抵抗し、靱性が高いことを示している。なお、荷重に対してスラブは直接荷重を受けるので、荷重と応力の関係から生ずる剛性に、実験値と計算値に大きい差は生じていない。また、ずれ止めは荷重が作用すると同時に応力を受け、鋼板のコンクリート付着力はほとんど期待できないことも分かる。

終局耐力の実験値は28.5ton、計算値は18.6tonであった。曲げ試験における鋼板の降伏強度が理論値より高いことと、ずれ止めに用いているトラス材が終局時に有効に作用していることから、実験値が理論値を大きく上回ったと考えられる。

3. 2 疲労試験

疲労破壊形式は、繰返し回数200万回を越え破壊しなかったTSC-2を除き、いずれも低部鋼板の軸直角方向の亀裂破断であった。亀裂発生個所は、支間中央部のトラス3体のうち、いずれも鋼板とトラスの溶接付近である。これは溶接残留応力による影響が大きいと考えられる。破壊時における繰返し回数を表-4に示す。TSC-1~4の破壊時および200万回経過時の亀裂位置およびひび割れ状況を図-5(a)~5(d)に示す。ひび割れは支間長にわたり分散し、ひび割れ幅は計測時にアセトン塗布により観察される程度であった。破壊時には鋼板亀裂個所から発生したひび割れが、圧縮鉄筋付近で鉄筋に沿って伸展している。

図-6にTSC-1の支間中央の荷重-たわみ履歴を、繰返し回数1,1万,10万,50万,100万回について示す。繰返し回数が増えると、多少の残留たわみが増大するが、剛性に差は生じない。これは他の試験体についても、たわみ量の差はあるが、類似の傾向を示している。

TSC-2のコンクリートと鋼板の支間1/

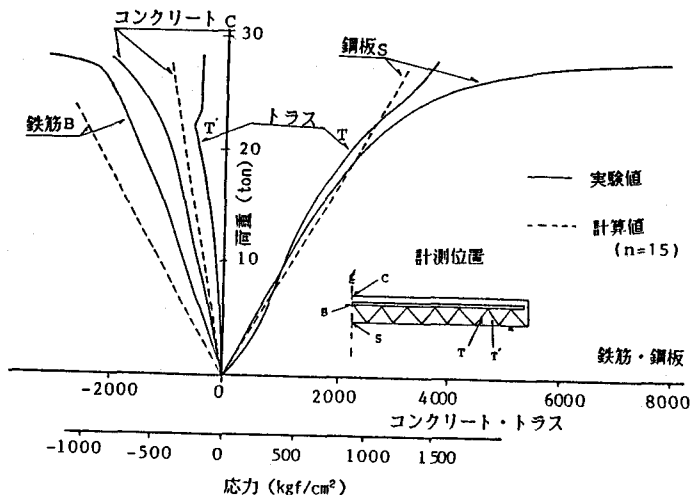


図-4 荷重-応力曲線

表-4 破壊時繰返し回数

試験体	回数(万)
TSC-1	188
TSC-2	--
TSC-3	68
TSC-4	90

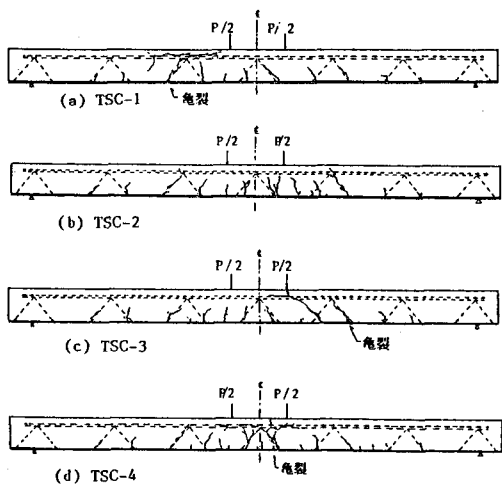


図-5 ひびわれ状況

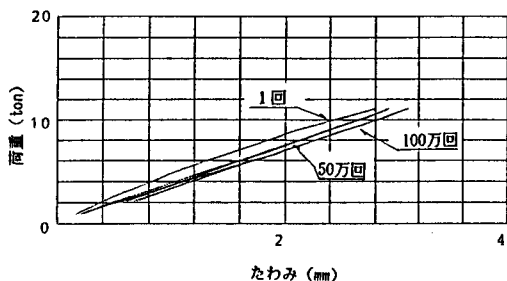


図-6 荷重-たわみ履歴 (TSC-1)

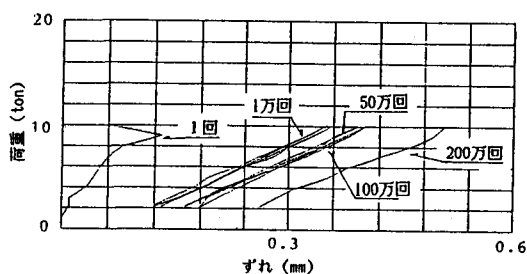


図-7 荷重-ずれ履歴 (TSC-2)

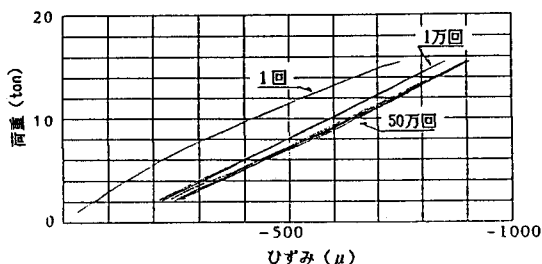


図-8 荷重-コンクリートひずみ履歴 (TSC-3)

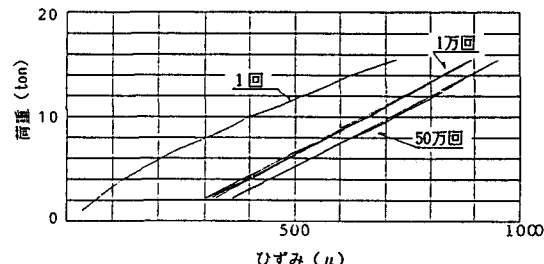


図-9 荷重-鋼板ひずみ履歴 (TSC-3)

4点における荷重-ずれ履歴を、同様に繰り返し回数1,1万,10万,50万,100万,200万回について、図-7に示す。ずれは、1万から100万回ではほぼ一定であるが、100万回から200万回の間にかかなりの残留ずれが発生している。

図-8, 9にTSC-3の支間中央のそれぞれコンクリート上面および鋼板中央の荷重-ひずみの履歴を、繰り返し回数を1, 1万, 10万, 50万について示す。1万回から50万回にかけてほとんど差はなく、この間の残留ひずみはいずれも僅かである。したがって、この試験体では繰り返し初期の段階で残留ひずみは増加するが、以後その増加量は少ない。また、残留ひずみはコンクリートよりも鋼の方に大きくなる。

TSC-3における、コンクリート、鋼板、トラス、鉄筋の回数-ひずみ振幅を図-10に示す。ひずみ振幅は、最大荷重と最小荷重時におけるひずみの差である。コンクリート、鋼板、トラスおよび鉄筋のひずみは、緩やかな増加を示している。しかしながら、トラスとの溶接部の鋼板の局所ひずみは、50万回を越え

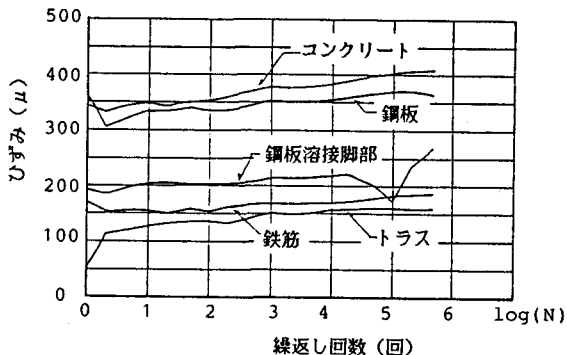


図-10 ひずみ振幅履歴 (TSC-3)

ると、急激に増加しており、亀裂発生個所が、溶接部付近であることを考えると、この局所ひずみが本構造の耐久性を左右すると思われる。

図-11に試験体4体のS-N曲線を示す。3体の試験結果はほぼ直線上にあり、本諸元のトラス型ジベル合成床版の疲労強度が推定できるが、本供試体における結果からは溶接部に弱点が生じ必ずしも高い疲労強度は得られない。今後この方面の改善が望まれる。

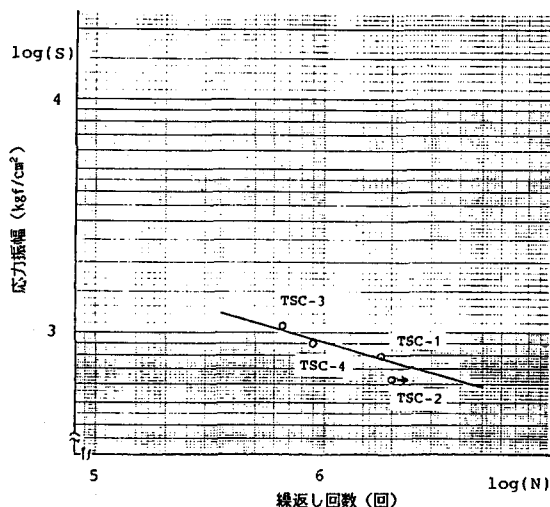


図-11 合成床版のS-N曲線

5. 結論

トラス型合成床版の支間方向に着目し、はり試験体による実験的研究を行い、次のような結論を得た。

1. トラス型ジベル合成桁は静的載荷に対し、終局時まで大きな靱性を有している。
2. 弾性内の繰返し荷重に対し、疲労破壊まで残留たわみは少なく、荷重たわみ関係は線形である。
3. 繰返し回数が増えると、鋼板とコンクリートのずれは増加し、その影響は鋼板に生ずる。
4. 繰返し荷重が終局荷重のほぼ1/2の時、繰返し回数1万回以上では、残留ひずみの増加は僅かである。
5. 疲労破壊は、いずれもトラスと鋼板の溶接個所付近で亀裂破断として生じており、この個所の強度が合成版全体の疲労強度を決定する。