

[83] 負の曲げを受ける合成桁の静的および疲労性状について

正会員 ○ 有 住 康 則 (琉球大学工学部)
 正会員 浜 田 純 夫 (琉球大学工学部)

1. まえがき

多スパンの橋梁は単純桁を並べるより連続桁を並べた方が、基礎の条件さえよければ、経済性、走行性、耐力の点で有利になる。しかし、合成桁は中間支点付近で負の曲げが作用するので、床版にひび割れが生ずる欠点も有している。このひび割れを防ぐために、中間支点付近にプレストレスを導入することがあるが、プレストレスの導入は施工上の難かしさ、工期の長期化あるいは設計計算の繁雑さを生ずる。このため、負の曲げを生ずる部分のスラブに鉄筋のみ入れた連続合成桁が架設されるようになった。プレストレスしない連続合成桁は我国の示方書¹⁾でもAASHTOの示方書²⁾でも適用されている。一方、AASHTOの示方書では負の曲げを生ずる部分にジベルを配置しない断続合成桁の適用もある。ただし、断続合成桁のスラブ中の鉄筋は応力計算に入れないことになっている。我国においても、断続合成桁についていくつかの研究報告^{3) 4)}はあるが示方書では適用されていない。

この研究では、一般的な合成桁と断続合成桁の負の曲げを受ける場合について、静的および疲労試験を行った。試験桁は連続桁の負の曲げの部分のみモデル化したものを用いた。⁵⁾ この研究で特に注目したのは、曲げ剛性、スラブ中鉄筋の有効性、ひび割れの性状、スラブと鋼桁のずれ量、たわみ・応力・ひび割れ幅の残留等である。

2. 実験供試体および実験方法

2.1 供試体の概要

供試体の概要を図-1に示す。13本の供試体のうちパラメーターとなるのは、スラブ幅、スパン、鉄筋量およびジベル配置である。ジベル配置は等分布配置 (TYPE A)、断続配置 (TYPE B)、および部分断続配置 (TYPE C)とした。疲労試験に用いた断続合成桁は、中間にスラブアンカーを設けた。No.20~23は部分断続合成の効果を見るためにスパンを長くした。また、補剛材はスパン中央の荷重載荷部分と支点上に設けた。鉄筋比は1.58~2.96%で、道路橋示方書の最小規定に近い値とした。これらのパラメーターを表-1に示す。

2.2 材料試験

各鋼材ともに細幅フランジのH型鋼 (200×100×5.5×8)である。この材質はSS41であり、その引張試験結果を表-2(a)に示す。鋼材の材料試験はフランジから4本、ウェブから3本の試験片を採り行った。鉄筋の引張り強度およびコンクリートの強度を表-2(b),(c)に示す。

2.3 載荷方法

負の曲げモーメントを与えるため、桁を上下反対にして載荷を行った。載荷状態の一例を写真-1に示す。供試体を上下逆にするため、スラブを線支持とした。しかし、スラブはいく分ゆがんでいる場合があり、隙間にアルミ板を埋め込んだ。一点集中荷重であるが、

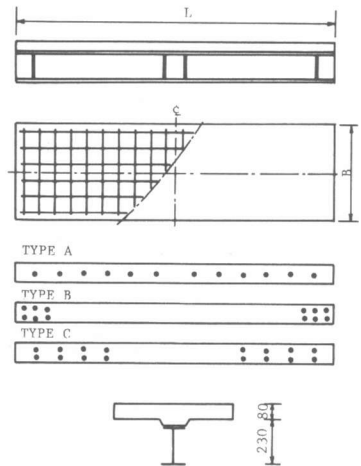


図-1 供試体の形状

表-1 断面諸量

BEAM No.	SPAN (m)	WIDTH (cm)	A _g (cm ²)	SHEAR CONNECTOR
4	2.4	60	4-D16(8.0)	TYPE A
5	2.4	100	6-D16(11.9)	TYPE A
6	2.4	60	4-D16(8.0)	TYPE B
7	2.4	100	6-D16(11.9)	TYPE B
8	2.4	60	6-D16(11.9)	TYPE A
9	2.4	60	6-D16(11.9)	TYPE B
11	2.4	60	6-D13(7.6)	TYPE A
12	2.4	60	6-D13(7.6)	TYPE B
13	2.4	60	4-D16(8.0)	TYPE A
14	2.4	60	4-D16(8.0)	TYPE B
20	3.6	60	8-D16(15.9)	TYPE A
21	3.6	60	8-D16(15.9)	TYPE B
22	3.6	60	8-D16(15.9)	TYPE C

実際には、20 cm 間隔 2 点に分布あるいは 20 cm の等分布荷重とした。静的試験における荷重増分は 2 ~ 3 ton とし、フランジの降伏後は増分荷重をかなり小さくした。一方、疲労試験における最大荷重は道路橋示方書に基づく設計荷重を基準にした。この設計荷重を 50 ~ 100 万回載荷し、除々に最大荷重を増加させた。下限荷重は最大荷重の 1/2 とした。試験機は油圧サーボ式であり、荷重速度は 3 ~ 4 Hz である。

2.4 測定方法

たわみ、ひずみ（鉄筋および鋼桁）、曲率、スラブと鋼桁のずれおよびひび割れ幅を測定した。たわみはダイヤルゲージ、ひずみはワイヤストレインゲージ、ひび割れ幅は拡大鏡およびコンタクトゲージで測定した。

鉄筋のゲージは十分に防水加工を行った。測定位置を図-2に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 たわみ性状

荷重とスパン中央のたわみに関する静的試験と疲労試験結果の一例を図-3および4に示す。同図

には理論値も示す。理論値はスラブは鉄筋のみ有効とし、せん断力によるたわみも含めた。静的試験においては、スラブの不整により、いく分実験値は理論値より大きくなった。疲労試験においてはスラブ不整に対するたわみの補正を行った。疲労試験における荷重とたわみの関係は、繰返し回数の増加とともに理論値に近づく。理論値と実験値の差と繰返し回数との関係の一例を図-5に示す。実験値の方が剛性が大きいのはコンクリートの引張抵抗によるものと思われる。図-6に残留たわみと図-6 残留たわみと繰返し回数との関係

表-2 材料試験結果

(a) STEEL BEAM			
	YIELD STRESS kg/cm ²	ULTIMATE STRESS kg/cm ²	
SS 41	2940	4250	
(b) REINFORCEMENT			
	YIELD STRESS kg/cm ²	ULTIMATE STRESS kg/cm ²	
SD 16	3620	5590	
(c) CONCRETE			
BEAM No.	YOUNG'S MODULUS kg/cm ²	COMPRESSIVE STRESS kg/cm ²	SPLITTING TENSILE STRESS kg/cm ²
4 - 9	2.9×10^6	360	31
11 - 14	3.1×10^6	347	31
20 - 22	2.6×10^6	398	-

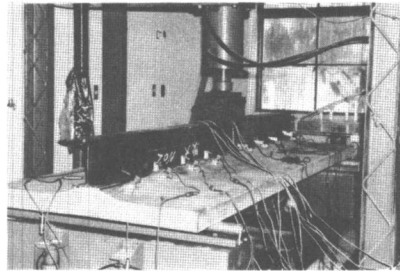


写真-1 荷重状態

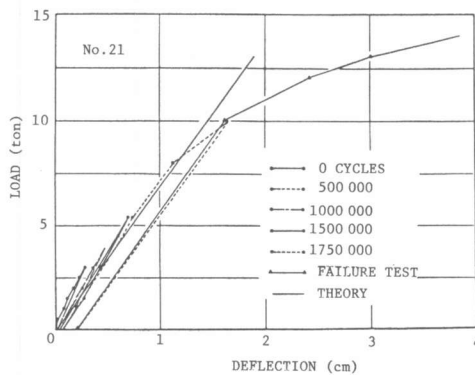


図-4 荷重-変位曲線（疲労試験）

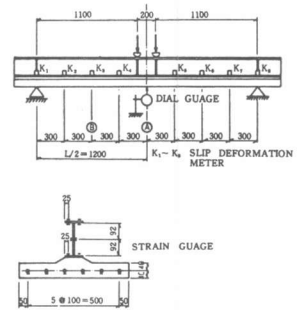


図-2 測定位置

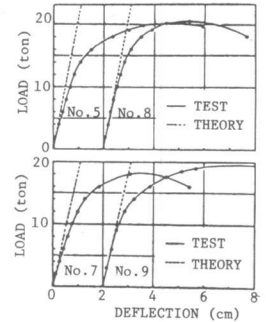


図-3 荷重-変位曲線

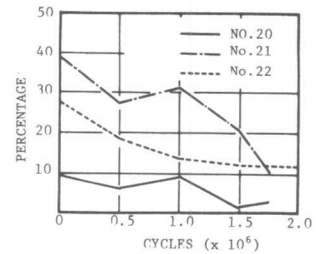
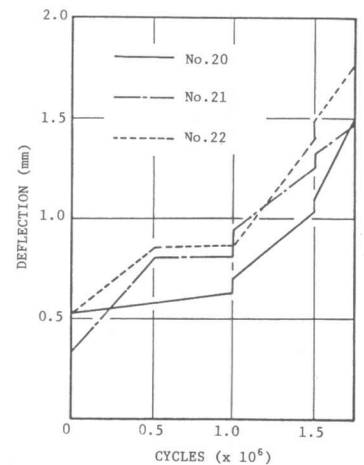


図-5 理論値と実験値の差と繰返し回数との関係



繰返し回数との関係の一例を示す。示方書にはたわみ制限の規定はあるが、残留たわみに関する規定はない。しかし、最初のひび割れにより大きい残留たわみを生じ、それは、繰返し回数とともに増大している。

3.2 鉄筋応力度

測定から得られた荷重とスパン中央の鉄筋応力の関係の一例を図-7に示す。桁は最初高い剛性を示すが、繰返し

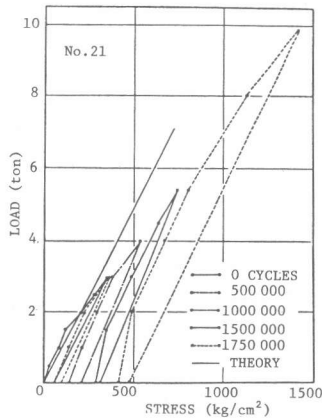


図-7 荷重と鉄筋の応力の関係

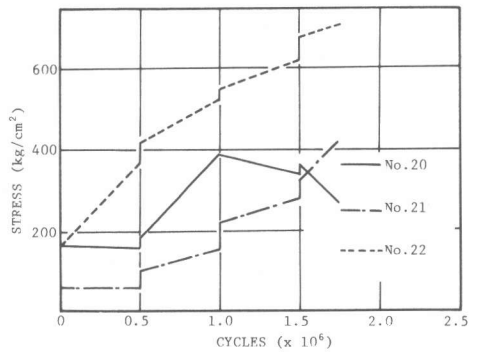


図-8 残留応力と繰返し回数との関係

回数の増加とともに理論値に近ずき、たわみと同様な性状を示している。図-8に鉄筋の残留応力と繰返し回数との関係の一例を示す。この図から明らかなように、最初のひび割れによる影響も大きく、残留応力は繰返し回数の増大とともに大きくなっている。

3.3 ひび割れ性状

ひび割れは一般にスラブ中の鉄筋の腐食などに対する問題から制限されている。静的試験における桁の破壊までに生じたひび割れ分布の一例を図-9に示す。ジベルを等分布配置した桁では、曲げひび割れが床版表面、側面、そして裏面という順に発生し、床版裏面のひび割れはジベルを配置した付近に発生している。断続桁では、ジベルを集中配置した端部に、斜めひび割れが発生した。なお、疲労試験では、端部に十分な補強鉄筋を配置したため、斜めひび割れは生じなかった。

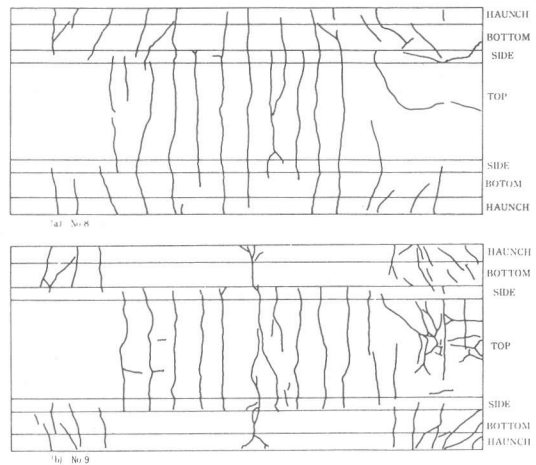


図-9 ひび割れ分布

図-10に静的試験における荷重とひび割れ幅の関係、図-11に設計荷重における最大ひび割れ幅と繰返し回数との一例を、図-12に鉄筋応力とひび割れ幅の関係の一例を示す。図-10および11からわかるように設計荷重におけるひび割れ幅は0.1 mm程度であることがわかる。これから明らかなように、ひび割れ幅は必ずしも繰返し回数とともに増大するものではな

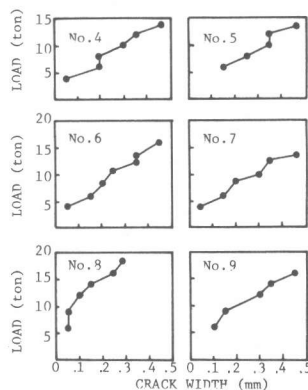


図-10 荷重とひび割れ幅の関係

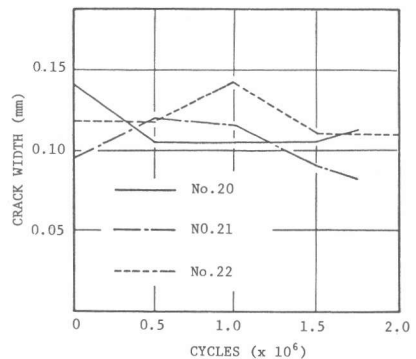


図-11 設計荷重における最大ひび割れ幅と繰返し回数との関係

い。図-12からひび割れ幅と鉄筋の応力はほぼ直線的な関係がある。なお、この応力およびひび割れ幅には残留の影響も含まれている。これらの図から普通の合成桁と断続合成桁の間には大きな差がないことがわかる。

3.4 終局耐力

表-4に静的および疲労試験後の終局耐力を示す。理論上完全合成桁と断続合成桁の間に差はない。これは、終局状態の応力分布が全く同じになるからである。実験値は理論値より大きい耐力を示した。これはひずみ硬化後の応力によると考えられよう。破壊モードは局部座屈と横倒れ座屈を示した。その一例を写真2、3に示す。横倒れ座屈は、いずれも断続合成桁の場合に生じた。なお、疲労試験においては、中間にスラブアンカーを設けたため横倒れ座屈は生じなかった。実験結果より、完全合成桁と断続合成桁の間にはほとんど差のないことが判明した。

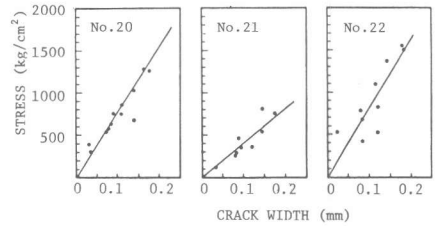


図-12 鉄筋応力とひび割れ幅の関係

4. あとがき

実験結果より次のような結論を得た。

- (1) 荷重-たわみ関係は繰返し回数の増加とともに理論値に近くなる。荷重と鉄筋の応力の関係も同様となる。また、ひび割れの増加は残留たわみを増加させる。
- (2) 断続合成桁のスラブ中の鉄筋は有効に作用している。しかし、残留応力は繰返し回数とともに増加し、相当大きくなるので注意を要する。
- (3) 現行の示方書に規定されている鉄筋量では設計荷重におけるひび割れ幅は、0.2 mm より大きくなることはない。これは断続合成桁でも同じであり、断続合成桁と完全合成桁に大きい差は見られない。
- (4) 完全合成桁と断続合成桁の終局耐力は、実験結果においてはほとんど差は見られない。また、疲労試験後の耐力低下も見られない。

5. 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980
- 2) AASHTO：Standard Specification for Highway Bridges, Twelfth Ed., 1977
- 3) 浜田純夫，有住康則：不完全連続合成桁の有限要素解析，土木学会論文報告集，NO. 265, pp. 1～9, 1977
- 4) 梶川靖治，前田幸雄：断続合成桁の塑性曲げ性状および曲げ耐荷力について，第32回年次学術講演会講演概要集，I-301，土木学会，1977
- 5) Hamada, S. and Longwarth, J, Buckling of Composite Beams in Negative Bending, Proc. ASCE, Vol. 100, No. ST11, pp. 2203～2222, 1974

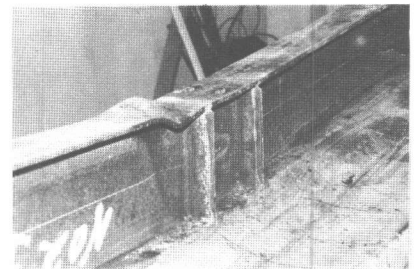


写真-2 局部座屈

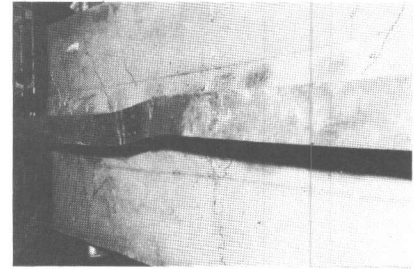


写真-3 横倒れ座屈

表-3 終局耐力

BEAM No.	ULTIMATE STRENGTH (t·m)			(3) (1)	(3) (2)	FAILURE MODE
	THEORY I (1)	THEORY II (2)	TEST (3)			
4	7.79	9.35	11.40	1.46	1.22	LOCAL BUCKLING
5	8.68	10.41	12.00	1.38	1.15	LOCAL BUCKLING
6	7.79	9.35	11.04	1.42	1.18	LOCAL BUCKLING
7	8.68	10.41	10.80	1.24	1.04	LATERAL BUCKLING
8	8.68	10.41	12.30	1.42	1.18	LOCAL BUCKLING
9	8.68	10.41	11.40	1.31	1.10	LATERAL BUCKLING
11	7.56	9.16	11.40	1.51	1.24	LOCAL BUCKLING
12	7.56	9.16	11.88	1.57	1.30	LOCAL BUCKLING
13	7.56	9.16	11.40	1.51	1.24	LOCAL BUCKLING
14	7.56	9.16	12.12	1.60	1.32	LOCAL BUCKLING
20	9.57	11.49	14.4	1.50	1.25	LOCAL BUCKLING
21	9.57	11.49	13.5	1.41	1.17	LOCAL BUCKLING
22	9.57	11.49	14.1	1.47	1.23	LOCAL BUCKLING

Note : THEORY I = Ultimate strength based on specified yield stress and concrete strength
 THEORY II = Ultimate strength based on tested yield stress and concrete strength