

(13) セン断補強鋼材を用いた鋼コンクリートサンドイッチ梁の疲労実験

FATIGUE TEST OF STEEL-CONCRETE SANDWICH BEAMS WITH SHEAR REINFORCEMENT

田中 雄太* モハブ ザハラン* 上田 多門**

By Yuta TANAKA, Mohab ZAHARAN and Tamon UEDA

Fatigue tests of steel-concrete sandwich beams with tie plates were conducted. Fatigue fracture was found at the end of the tie plates welded to the frange plates. The fatigue strength of the tie plate was compared with that of reinforcing bar for concrete structures. The behavior of the specimen with shear connector was compared with that of the specimen without the shear connector.

1. まえがき

異種材料をその特性を生かすように一体化し合理的に利用する合成部材として、鋼コンクリートサンドイッチ合成部材が挙げられる。その強度、靱性の高さや水密性から海洋構造物などへの適用が期待され、研究・開発が進められている。

しかし鋼コンクリートサンドイッチ合成部材の疲労特性についての研究は、その静的性状の研究と比べると、かなり少ない。一般にサンドイッチ構造はフルウェブ、ダイアフラム、タイプレートなどのせん断補強構造を溶接によって外殻鋼板に取り付けるために、その接合部分が弱点になって疲労耐力は普通の鉄筋コンクリートよりも低いものとされている。本研究ではせん断補強鋼材としてタイプレートをを用いたサンドイッチ梁の疲労性状を明らかにすることを目的に実験的検討を行う。

2. 供試体と実験の概要

3つの供試体を準備し、2つにはシアコネクタを付けずにそれぞれ疲労試験（供試体type A）、静的試験（供試体type B）をおこない、もう1つにはシアコネクタを付けて疲労試験（供試体type C）をおこなった。供試体の寸法は長さ175cm、幅20cm、高さ35cmで、外殻鋼板の厚さは1.6cm、スパン長は145cm、せん断スパン比は1.8、タイプレートの設置間隔は20cm、それぞれの幅は3cm、厚さは0.45cm、断面積は1.35cm²である。（図1参照）なおtype Cのシアコネクタには、幅20cmで5cm×5cmの形鋼を20cm間隔で取り付けた。（タイプレートもシアコネクタも溶接によって外殻鋼板に取り付けられている。）また鋼材の降伏強度は387MPaであり、コンクリートの圧縮強度は約39MPaである。測定項目は上下鋼板、タイプレートおよびコンクリートのひずみと、スパン中央部のたわみであり、それぞれひずみゲージと変位計で測定した。

* 北海道大学大学院 土木工学専攻

** 工博 北海道大学助教授 工学部土木工学科

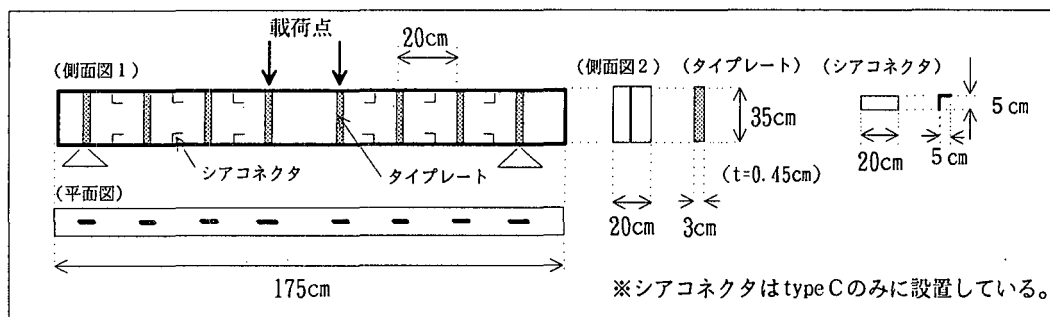


図 1. 供試体の形状

3. 実験の結果と考察

3. 1. シアコネクタとサンドイッチ梁の疲労耐力

静的試験の結果と疲労試験における最大・最小繰返し荷重および載荷回数は表 1 のとおりである。

最初type A の疲労実験における最大荷重は、RC 梁のせん断耐力式⁽¹⁾から計算された静的せん断耐力の50%の値を選択した。載荷開始直後に支間中央部に曲げひび割れが発生、拡大・伸展したが、その他の大きな変化が見られなかったので、最大荷重を増加させて実験を続けたが、結局せん断ひび割れが発生することなく893,065回で下側鋼板支承部分が破断して供試体が破壊した。

表 1. 静的耐力および疲労荷重・載荷回数

(静的試験)

供試体	破壊荷重	破壊形式
type B	735kN	せん断破壊

(疲労試験)

供試体	最大荷重	最小荷重	載荷回数	破壊形式
type A	161kN	20kN	2,000,000	下側鋼板支承部分破断
	225kN	20kN	1,000,000	
	294kN	20kN	893,065	
type C	176kN	20kN	1,000,000	下側鋼板支承部分破断
	225kN	20kN	704,180	

予想された最大荷重で供試体が破壊しなかった原因はシアコネクタがないため、せん断ひび割れが発生しにくく、RC 梁のせん断耐力式が当てはまらなかったためと考えられる。(ひび割れ性状は図 2 参照)

そこでシアコネクタのない供試体の静的せん断耐力を確認するため、type B を用いて静的載荷実験を行った。

その破壊荷重は735kNとなり、前述の式による予想値322kNを大幅に上回っていた。

シアコネクタのあるtype Cにおける疲労実験も、前述と同様にして最大荷重を設定した。疲労載荷開始直後に小さなせん断ひび割れが発生したが、あまり伸展しなかった。

さらに最大荷重を225kNにあげると、いくつかのせん断ひび割れが繋がって、載荷回数 $10^4 \sim 10^5$ 回の間に載荷点から支承部分に向かって大きなせん断ひび割れが発生した。その後704,180回で、type A と同様に下側

鋼板支承部分が破断して供試体が破壊した。シアコネクタの有無以外は同じ供試体であるtype Aとtype Cの疲労実験の結果を比較すると、シアコネクタの無いサンドイッチ梁の方が疲労寿命が長いことが予想される。

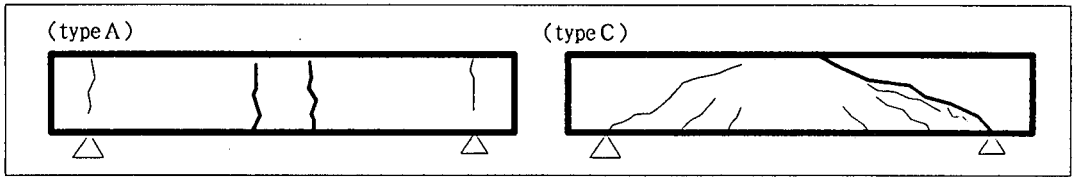


図2. ひび割れ図

3. 2. タイプレートおよび下側鋼板支承部分の疲労破断

前述の通り、実験開始直後からtype Cには多くのせん断ひび割れが入ったが、type Aには全くせん断ひび割れが発生しなかった。図3はtype Aとtype Cの同じ位置にあるタイプレートのひずみ振幅変化を比較したものであるが、type Aのひずみはほとんど変化していない。これに対してtype Cは、せん断ひび割れが発生してからは、タイプレートのひずみが急激に増加している。この傾向はRC梁のスターラップのひずみが、せん断ひび割れ発生後に増加し始めることと類似している。この後、type Cでは、このタイプレートをふくめて3点でタイプレートが破断した。

また図4はtype Cにおいて、疲労破断した下側鋼板支承部分とその近辺（支承部分から荷役点方向に10cmの所）のひずみ振幅変化を比較している。このグラフにおいて破断部分の近辺では、あまりひずみ振幅が変化していないのに、破断した部分のひずみ振幅は荷役回数 10^4 回のところから急に増加している。これはこのスパンのあるタイプレートが破断して、せん断ひび割れが荷役点～支承部分へと伸展・拡大した時期と一致している。

サンドイッチ梁の下側鋼板支承部分が疲労荷役における弱点になりやすい⁽²⁾。この実験においては、せん断ひび割れの発生によって、タイプレートに大きな引張応力が作用するようになり、その後、上下鋼板との溶接部付近で疲労破断が生じ、その結果として、より大きな応力が局所的に支承部分に作用するようになったことが予想される。

3. 3. 応力振幅－疲労寿命

図5はtype Cにおいて、破断した3本のタイプレートおよび下側鋼板支承部分と本実験で使用した下側鋼板と同じ厚さ・強度の鋼材で作られた試験片を用いて行った引張疲労試験⁽²⁾の応力振幅－疲労寿命曲線である。

これによるとタイプレートの方が下側鋼板より疲労強度が弱いこと、および引張試験の値に近いことがわかる。この理由としては①タイプレートが破断した部分（外殻鋼板との接合部分）はタイプレート全面が溶接されている為、破断した下側鋼板支承部分よりも疲労荷役に弱い、②タイプレートの接合部には梁のせん断変形に伴い不均一な引張力を受けることが考えられる。また図6は、この実験におけるタイプレートの応力振幅－疲労寿命とRC梁の折り曲げ鉄筋やスターラップの疲労設計に用いられる異形鉄筋の疲労強度式⁽¹⁾から得られる値と比較したものである。なお、コンクリート標準示方書の規定では溶接部分の疲労設計には式から得られる値を50%に低減することになっているので、これに従っている。この図によるとタイプレートの疲労強度はこの式の値と比較的近いようである。

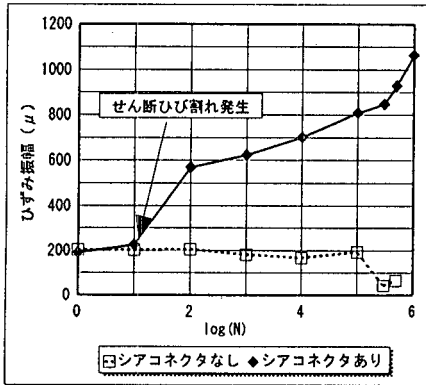


図3 シアコネクタの有無とタイプレートのひずみ変化

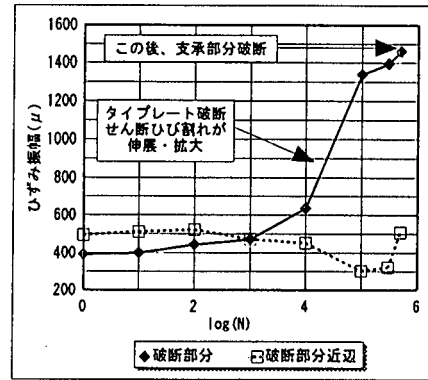


図4 下側鋼板破断部分及びその近辺のひずみ変化

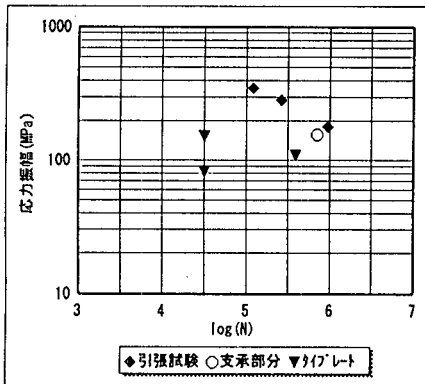


図5 応力振幅-疲労寿命曲線
(単純引張疲労試験と供試体との比較)

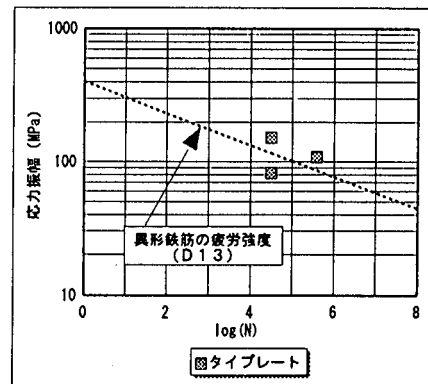


図6 応力振幅-疲労寿命曲線
(タイプレートと異形鉄筋の比較)

4. まとめ

- 1) 本実験においてはシアコネクタが無い供試体の方が、シアコネクタの有る供試体よりも疲労寿命は長い。
- 2) サンドイッチ梁においてシアコネクタが有る方がせん断ひび割れが発生しやすい。またせん断ひび割れが発生するとタイプレートのひずみが荷重回数とともに増加する。反対にせん断ひび割れが発生しないとタイプレートに作用する応力は小さいままである。
- 3) タイプレートと外殻鋼板の接合は溶接によっておこなわれるため、疲労に対し弱点となる。なお、タイプレートの疲労強度は示方書の異形鉄筋の式から得られる値に比較的近いと考えられる。
- 4) 疲労荷重において下側鋼板支承部分はひずみ振幅が大きく弱点となる。シアコネクタなどの溶接は支承部分には、おこなわない方がよいと思われる。

(参考文献)

- 1) コンクリート標準示方書(平成3年度版)設計編、土木学会、1991年9月
- 2) M.ZAHRAN T.UEDA Y.KAKUTA: "A study on fatigue fracture of steel plates in steel-concrete sandwich beams", Proceedings of the JSCE Annual Conference Vol 5, Sep.1995 (to be published)