

V-39

せん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

北海道大学工学部 学生員 田中 雄太

北海道大学大学院 学生員 モハブ ザハラ

北海道大学工学部 正 員 上田 多門

1. はじめに

異種材料をその特性を活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。本研究ではせん断補強鋼材としてタイプレート（タイバー）を用いたサンドイッチ梁の疲労耐力についての実験的検討を行う。

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、シアコネクタなどのせん断補強鋼材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となっており、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。そこで本研究ではせん断補強鋼材の溶接の形状に着目し、異なった断面形状のタイプレート（タイバー）を有する3種類のサンドイッチ梁を用いて、その疲労耐力について検討することを目的に行われた。

2. 供試体の寸法と実験の概要

実験には図1に示すような供試体を用いた。寸法は、長さ175(cm)、幅20(cm)、高さ35(cm)であり、外殻鋼板とタイプレート（タイバー）に用いた鋼材の降伏強度は4000 (kgf/cm²)、外殻鋼板の厚さは1.6(cm)である。またスパンは145(cm)であり、せん断スパン比は1.8である。コンクリートの配合強度は370 (kgf/cm²)とした。供試体にタイプレート以外のせん断補強鋼材およびシアコネクタは取り付けしていない。

タイプレート（タイバー）の断面積（1.35 (cm²)）、3.0(cm)×0.45(cm)の長方形の断面を持ち、軸に対し直角方向に向けて配置してある。以下この供試体をtype Aとする。（図1参照）

支持条件は一端をローラー、一端をヒンジとし、2点載荷（25(cm)間隔）で実験をおこなった。試験装置には上限30(tf)の繰り返し載荷装置を用いた。

測定は繰り返し載荷回数が所定の回数（1, 10, 100, 1000, …, etc）に達することに行い、上下鋼板、タイプレート（支点の上の物は除く）、コンクリートのひずみ、および支間中央におけるたわみなどを測定した。また測定と同時にひび割れの状況を目視にて確認した。

Fatigue Test of Steel-Concrete Sandwich Beams with Shear Reinforcement

by Yuta TANAKA, Mohab ZAHRAN, Tamon UEDA

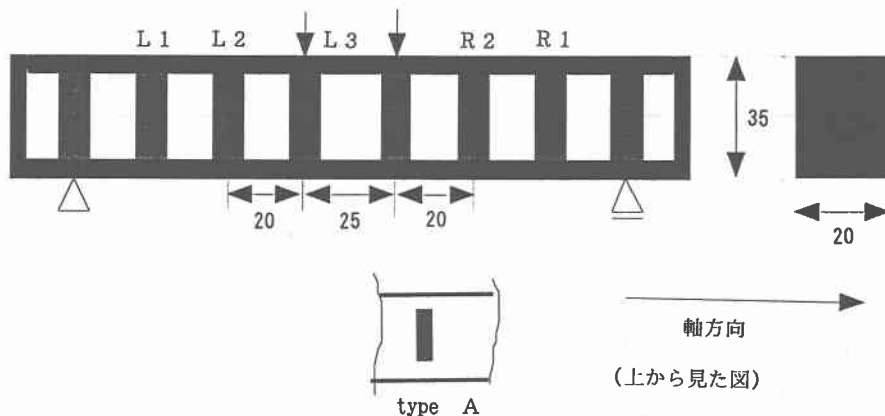


図 1 供試体およびタイププレートの形状

3. 実験の経過と結果

実験はtypeA（タイププレートを軸直角方向にして配列した供試体）より行った。はじめに疲労载荷最大荷重として $P_{max}=16.34(tf)$ 最小荷重として $P_{min}=2(tf)$ を設定した。静的せん断強度を次の式から推定し、その50%のせん断力を得る荷重を最大荷重とした。⁽¹⁾（… test1 とする。）

$$V = \sin \alpha (\cot \theta + \cot \alpha) A_w \sigma_w (z/s) + V. \quad (2)$$

V : 作用せん断力 α : せん断補強鋼材と部材軸のなす角度

θ : コンクリートの圧縮斜材と部材軸のなす角度

A_w : タイププレート（タイバー）の断面積

σ_w : せん断補強鋼材の応力 s : せん断補強鋼材の部材軸方向の間隔

V : トラス機構以外で受け持たれるせん断力

繰り返し载荷開始直後に支間中央部（载荷点の真下）に曲げひび割れが発生した。その後曲げひび割れは伸展しなかったが、せん断ひび割れも発生せず200万回载荷した後も供試体は壊れなかった。（支点付近に上方からひび割れが発生した。）

その後、最大荷重を23(tf)に上げて実験を再開した。（… test2 とする。）しかし100万回経過した後も新たなひび割れは曲げ、せん断ともに発生せず、たわみもtest1とほぼ同様に2(mm)以下だった。

さらに最大荷重を繰り返し载荷試験機の上限である30(tf)まで上げて実験を開始した。（… test3 とする。）test1と同様に载荷開始直後、新たな曲げひび割れが、支間中央部のタイププレートのある部分に発生した。その後、せん断ひび割れが発生しないまま、ピン支承部の下側鋼板が893,065回で破断し、供試体は疲労破壊した。（図2参照）

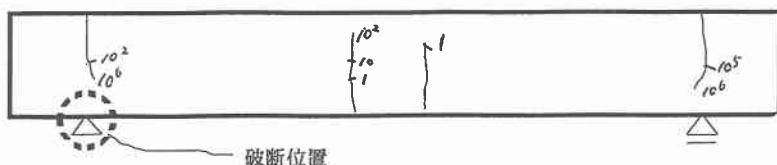


図 2 ひびわれの様子と下側鋼板の破断位置

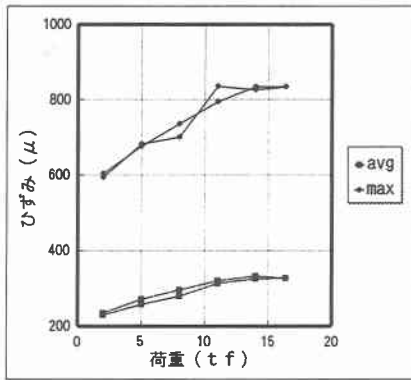


図 3 ひずみ-荷重曲線
(test1 L2)

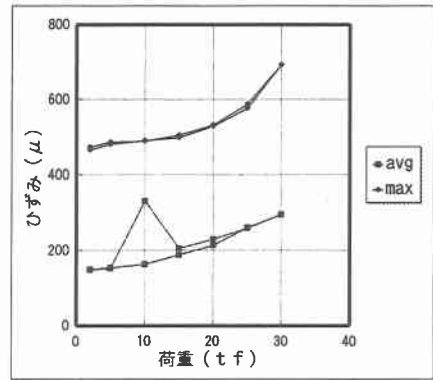


図 4 ひずみ-荷重曲線
(test3 L1)

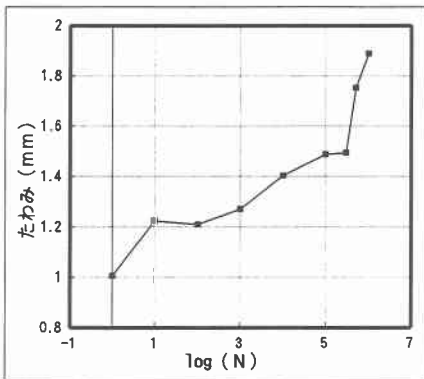


図 5 たわみ-載荷回数曲線
(test1)

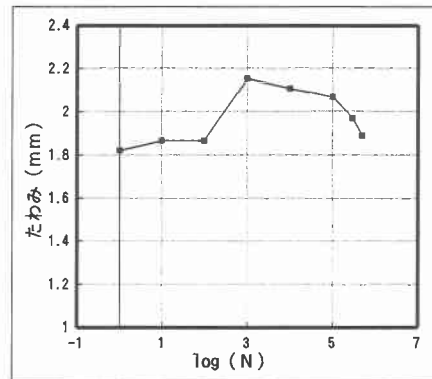


図 6 たわみ-載荷回数曲線
(test3)

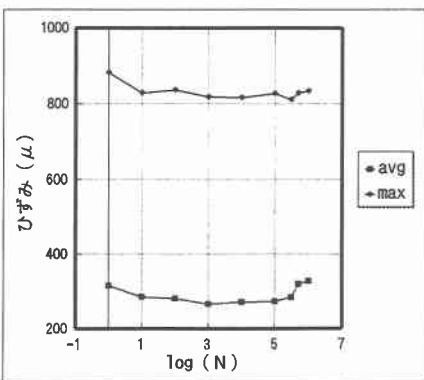


図 7 ひずみ-載荷回数曲線
(test1 L2)

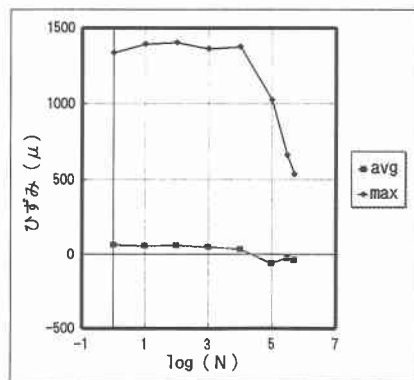


図 8 ひずみ-載荷回数曲線
(test3 L1)

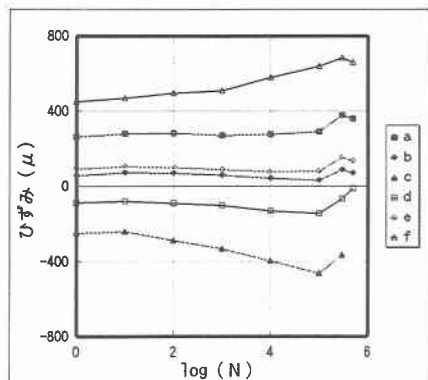


図 9 ひずみ-载荷回数曲線
(test3 L1)

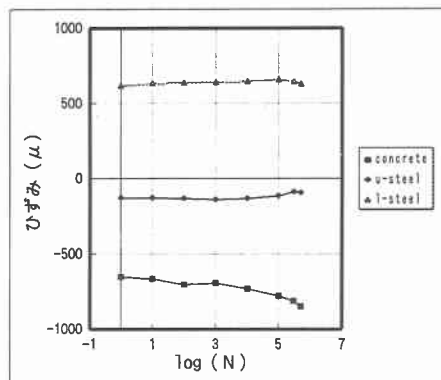


図 10 ひずみ-载荷回数曲線
(test3 上下鋼板とコンクリート)

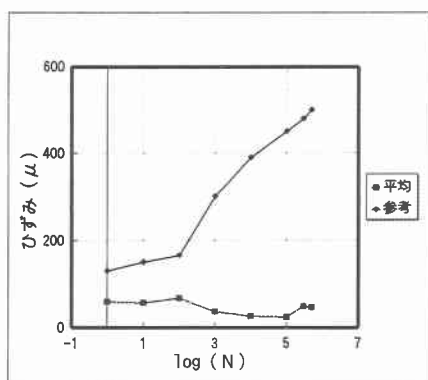


図 11 ひずみ-载荷回数曲線
(タイプレート中央部の平均ひずみ)

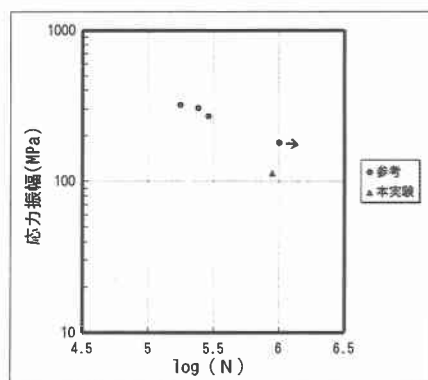


図 12 応力振幅と疲労寿命

図3、図4はtest1（载荷回数が 10^6 回の時）、test3（ 3×10^5 回の時）において、それぞれ最も大きなひずみが観測されたタイプレートの荷重-ひずみ曲線で（L1,L2はタイプレートの名前で、図1中の記号と対応している）それぞれにおいて「avg」は当該タイプレートにおいて測定したひずみの平均、「max」は最大のひずみを表している。図5、図6は支間中央におけるたわみの変化を、図7、図8、図9はタイプレートのひずみをそれぞれ表している。図10は支間中央部における上下鋼板のひずみ、および上鋼板のすぐそばにセットしたゲージによって測定されたコンクリートのひずみのグラフである。（引張ひずみを正、圧縮ひずみを負にしている。）また図11は測定したすべてのタイプレートの中央部の平均ひずみの変化と普通のRCはりの疲労試験におけるスターラップの平均ひずみの変化⁽³⁾を比較している。

4. タイプレートについての考察

タイプレートについてtest 1、test 2、test 3に共通して言えることは、測定したタイプレートのほとんどすべてにおいて、引張と圧縮の両方のひずみが発生している。(図9、図13参照)

つまりタイプレートと下側鋼板の接合部分においては内側(載荷点側)に引張ひずみが生じ、外側には圧縮ひずみが起こ

っている。また上側鋼板との接合部分では内側に圧縮、外側に引張のひずみが生じている。

なおタイプレートの中央部のひずみは小さい。図9はひずみの変化が他のタイプレートと比べて平均的な物を選んだが、グラフがほぼ上下で対称なことから、タイプレート自体を引き延ばそうとする引張の応力はかなり小さいことがわかる。

さらに図7、図8における最大ひずみ(図中の「max」)は両方ともタイプレートと下側鋼板の接合部分における引張のひずみであり、これら下側鋼板のひずみが、その他のひずみよりもはるかに大きい事を表している。

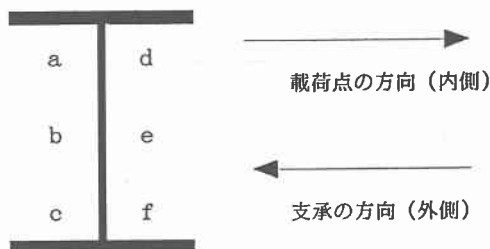


図 13 タイプレートのゲージの位置

5. せん断ひびわれについての考察

test 1の実験ではシアコネクタを付けなかったため、せん断ひび割れが発生しなかった。今回目標としていたタイプレートの破壊には、せん断ひび割れができてタイプレートに応力がかかることが必要だったが、この実験ではせん断変形による応力以外に作用していたのは、かなり小さいものだった。

図11における「参考」はRC梁のせん断疲労実験におけるスターラップのひずみの変化を表している。

スターラップなどのせん断補強鋼材にはせん断ひび割れの発生後に応力がかかり始めることを、このグラフは示している。これと比べて「平均」は最後までほぼコンスタントであり、これからもタイプレートに引き延ばす応力があまりかかっていなかったことが良くわかる。

また既往の研究より、サンドイッチ構造においてシアコネクタをつけるとせん断ひび割れができやすい事が知られている。このことからシアコネクタとタイプレートをあわせて設置したサンドイッチ梁を用いた疲労試験では、RC梁と類似した傾向を示すと思われる。

前述3.のせん断耐力の推定式はせん断ひび割れが発生することを前提にしている。type Aで行った実験では最終的にこの推定式から導かれた静的せん断耐力の9割以上の最大荷重で89万回疲労载荷を行ったことになり、この供試体の疲労耐力は予想より相当強かったことになる。実質的にせん断補強鋼材が働いていなかったことから、この供試体はタイアーチ的な耐荷機構によって支えられていたことが予想される。⁽⁴⁾

6. その他

下側鋼板の破断した部分は支承上部であると同時にタイプレートの溶接位置でもあった。調べてみるとタ

イブレードの溶接した線に沿って破断が起こっていた。

この実験に用いた供試体にはシアコネクタを設置していなかったため、疲労载荷が進むにつれて、上下鋼板とコアコンクリートの間で滑りが起こっていて、特に下側ではその現象が顕著だった。なお下側鋼板の破壊と同時に、载荷点より破壊点側のタイププレートはすべて下側鋼板との接合部分で破断した。図10より上部鋼板とすぐその下のコンクリートのひずみの大きさがかなり異なっている。これはかなり大きな曲げひび割れが支間中央部に発生したため、供試体全体で平面保持の仮定が成立していないことによると思われる。

また図6において10⁴回以降のタイププレートL1のひずみが減少しているが、この理由は不明である。なお、このひずみの減少とほぼ同時に、この周辺のタイププレートと下側鋼板の接合部分のゲージが壊れた。

破断した下側鋼板のところにはゲージをセットしていなかったためデータはないが、仮に支間中央での応力振幅に等しいとして既往の研究の応力振幅-载荷回数曲線⁽⁵⁾と比較してみた。図12における参考は支間中央で下側鋼板とフルウェブの溶接部分が破断を起こして曲げ破壊した既往の研究のデータを表しているが、本研究はそれより応力振幅が小さいがその分布は比較的近かったようである。しかしこれだけでは疲労载荷において弱点であるサンドイッチ梁の下側鋼板支承部分の研究としては不十分であり、今後の課題と思われる。

7. まとめ

- (a) シアコネクタを付けない鋼コンクリートサンドイッチ梁において、疲労载荷をした場合せん断ひび割れは起こりにくい。
- (b) シアコネクタを付けない方がサンドイッチ梁の疲労耐力が大きいと思われる。
- (c) タイプレートの溶接位置および支承部の外殻鋼板は疲労载荷においては弱点となりやすい。

8. 謝辞

本研究において木村勉技官（北海道大学工学部）に、ご協力いただいたことに深く感謝の意を表します。

（参考文献）

- (1) Mohab ZAHARAN , Kentaro KANAYA , Tamon UEDA , Yoshio KAKUTA "Shear-Fatigue Behavior of Steel-Concrete Sandwich Beams without Reinforcement," Transactions of the JCI, Vol.16, No.2, 1994 p1217-1220
- (2) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編（平成3年度版）
- (3) Tamon UEDA , Hajime OKAMURA , " Behavior in Shear of Reinforced Concrete Beams under Fatigue Loading, " Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo , Vol. XXXVII, No.1, (1983) p14-48
- (4) 原田直樹、島弘：鋼コンクリートサンドイッチ構造における合成度が小さいときの耐荷メカニズム、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16, No.2, 1994 p1211-1216
- (5) 金谷健太郎、上田多門、角田典史雄：鋼コンクリート系サンドイッチ構造梁の曲げ疲労耐力 北海道大学卒業論文 1994.3