連続合成桁の中間支点部におけるひび割れ幅の疲労挙動に関する実験的検討

東京鐵骨橋梁　正会員　○碇山　晴久　鉄道総合技術研究所　正会員　谷口　望
東京鐵骨橋梁　フェロー　入部　孝夫　東京鐵骨橋梁　正会員　永﨑　央輔
早稲田大学　学生員　神谷　崇　早稲田大学　フェロー　依田　照彦

１．はじめに

近年，鋼鉄道橋では，経済性や騒音低減効果の観点からプレストレスしない連続合成桁が多く用いられるようになっている．道路橋では，ひび割れ制御設計を取り入れた事例も見られており，ひび割れ制御設計の基本思想の多くは，テンションスティフニング効果を考慮した理論を基本としている．連続桁の中間支点部には負曲げが生じ，コンクリート床版に引張力が作用するため，ひび割れ発生後のコンクリートの応力分担を考慮し，設計時に適切に評価することが重要となる．負曲げ領域のひび割れ発生荷重およびひび割れ幅，ひび割れ分散性については，合成桁モデルを用いた静的載荷による耐荷力試験での検討は行われているが，疲労荷重を受けた試験体での実験的研究はほとんど行われていない．本研究では，連続合成桁の模型試験体を製作して，ひび割れの挙動に着目し，疲労荷重の有無および疲労荷重の大きさによる差異を検討する．

２．実験概要

供試体は，鋼桁と床版のずれ止め高さ 130mm の頭付きスタッドを 150mm ピッチで２列配置した合成桁であり（図 2.1，図 2.2），主鉄筋間隔は 150mm，鉄筋比ρは 2%で，コンクリート呼び強度は 27N/mm² とした．試験体は，終局載荷のみを行うものを１体と疲労荷重を受けた後に終局載荷を行う 2 体の合計 3 体を製作した．試験時でのコンクリートの圧縮強度を表 2.1 に示す．

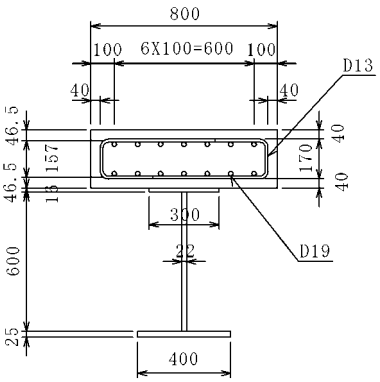

図 2.1　供試体断面

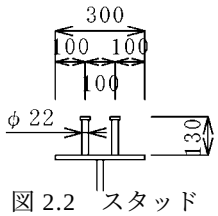

図 2.2　スタッド

（単位：mm）

１）疲労試験

疲労荷重は，初期ひび割れ発生荷重の 200kN と定常ひび割れ荷重の 600kN の 2 種類とし，疲労載荷回数は 200 万回とした．疲労試験時の計測は，疲労載荷前および載荷回数 1 万回，5 万回，50 万回，100 万回，200 万回載荷後に，疲労荷重で静的載荷をおこなった．

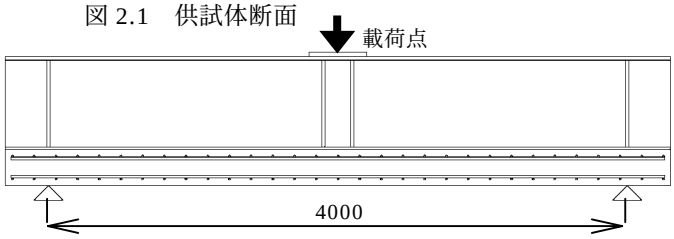

図 2.3　載荷図

２）終局載荷試験

荷重がそれぞれ 180ｋN，380kN，680ｋN，1300kN なるごとに除荷をおこなう繰返し載荷とし，1300kN 除荷後に試験体中央のたわみ量が 40mm または載荷荷重が 4000kN になるまで載荷をおこなった．

表 2.1　試験時の圧縮強度

試験体	基本	初期疲労	定常疲労
圧縮強度 σck(N/mm²)	35.1	35.8	35.3

３．疲労試験結果

疲労試験での荷重載荷速度は，1.5Hz～2.5Hz 程度とした．

初期ひび割れ荷重での疲労載荷試験では，初期載荷時にひび割れを 1 本発生させた後，疲労載荷中に 2 本のひび割れが追加発生した．

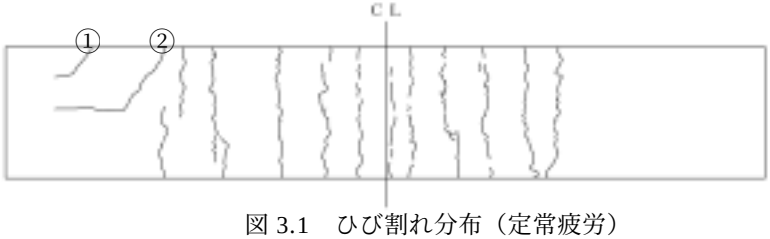

図 3.1　ひび割れ分布（定常疲労）

定常ひび割れ荷重での疲労試験では，初期載荷時に 9 本のひび割れが発生し，疲労載荷中に 5 本が追加発生した．疲労載荷後のひび割れ状況を図 3.1 に示す．ひび割れは，鉄筋位置に発生しており，その間隔は鉄筋１本おきの 300mm 程度であった．図中のひび割れのうち①と②については，疲労試験中に発生したひび割れであり，試験体のねじれによるもの

キーワード　連続合成桁，負曲げ，ひび割れ，疲労
連絡先　〒108-0023　東京都港区芝浦 4-18-32　㈱東京鐵骨橋梁　TEL:03-3451-1144　FAX:03-5232-3335

と考えられる．

疲労載荷回数ごとのひび割れ幅と試験体中央部のたわみ量の推移を，図 3.2，図 3.3 に示す．ひび割れ幅は，初期ひび割れ荷重の疲労載荷では，載荷回数が増加するとわずかに減少傾向であるが，定常ひび割れ荷重の疲労載荷では，1 万回載荷以降はほぼ一定である．ここで，ひび割れ幅は，πゲージの測定値である．疲労荷重の比とひび割れ幅の比が一致しないのは，ひび割れ本数の違いによるものである．試験体中央の変位は，初期ひび割れ荷重では，ほぼ一定しているが，定常ひび割れ荷重載荷では，載荷回数が５万回までに定常ひび割れがほぼ出尽くしたため試験体の剛性が安定したと考えられる．

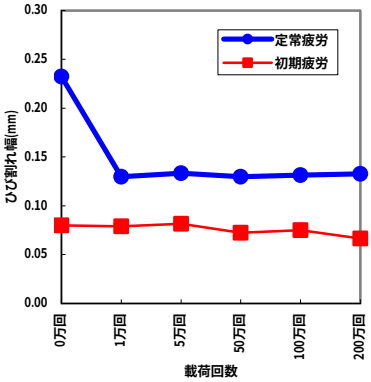

図 3.2　ひび割れ幅の推移

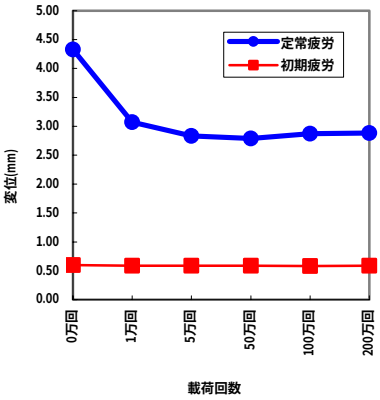

図 3.3　たわみの推移

４．終局載荷試験

基本供試体と疲労載荷後の初期疲労供試体，定常疲労供試体の荷重－変位曲線を図 4.1 に示す．基本供試体と初期疲労供試体の値はほぼ一致しており，定常疲労供試体の終局荷重の値はわずかに低下しているが，終局耐荷力に大きな影響はないと考えられる．供試体ごとの鉄筋の荷重ひずみ曲線の理論値と実測値を図 4.2～図 4.4 に示す．測定位置は，中央配力鉄筋の供試体中央部の床版上面側である．図中のεs2 とεsm は最大ひずみと平均ひずみの計算値である．また，鉄筋+鋼桁はコンクリートを無視した剛性での計算値であり，設計値で用いられる乾燥収縮ひずみを 150μ考慮している．基本供試体では，荷重が 1000kN 近くまでひび割れが出揃わなかったため，合成断面として挙動したと考えられ，ひび割れ発生後にεsm に漸近している．初期疲労供試体では，初期ひび割れが発生していたため，荷重増加に従い定常ひび割れが発生してεsm に漸近する方向であると考えられる．定常疲労供試体は，疲労載荷中に定常ひび割れが出揃ったため，荷重載荷初期からεsm に漸近したと考えられる．

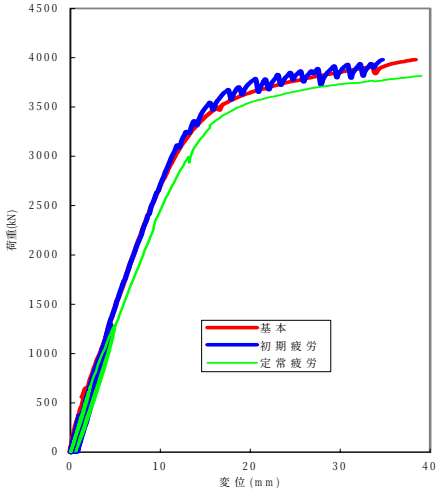

図 4.1 荷重－変位曲線

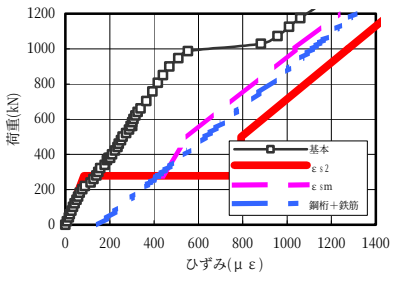

図 4.2 鉄筋の荷重ひずみ曲線
（基本）

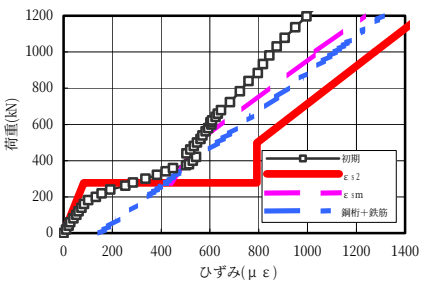

図 4.3 鉄筋の荷重ひずみ曲線
（初期疲労）

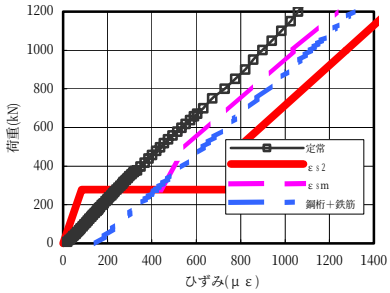

図 4.4 鉄筋の荷重ひずみ曲線
（定常疲労）

５．まとめ

- ひび割れ幅の検討は，定常ひび割れが定常疲労載荷 1 万回までに出揃い，5 万回載荷で剛性も安定することから，ひび割れが安定した疲労試験後（疲労載荷５万回以降）に行うことがよいと考えられる．
- 疲労載荷は，終局耐荷力への影響はほとんど無いと考えられる．

謝辞

本研究は国土交通省からの委託を受けて実施した「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一環として行われたものである．記して謝意を表します．

参考文献

1)　長井正嗣，奥井義昭，岩崎英治：連続合成桁の各種ひび割れ幅算定法とその相違に関する一考察，土木学会論文集 No.710/Ⅰ-60，pp.427-437，2002.7
2)　土木学会：コンクリート標準示方書（構造性能照査編）pp.100-102，2002.