

論文 継手を有するハーフプレキャスト合成スラブの疲労性状

山田 尚義*1・原 夏生*2・三島 徹也*2・大屋戸 理明*3

要旨：ハーフプレキャスト合成スラブの接合部にループ継手を適用した場合の、耐力および疲労性状に関して、継手部の補強方法を実験変数として実験を実施した。その結果、継手部の耐力は一般部の主鉄筋降伏耐力以上であることが確認された。また、疲労試験を実施した結果、所定の疲労寿命期間において部材の一体性が確保されることが確認され、ひび割れ幅も既往の算定式で評価可能であることが確認された。

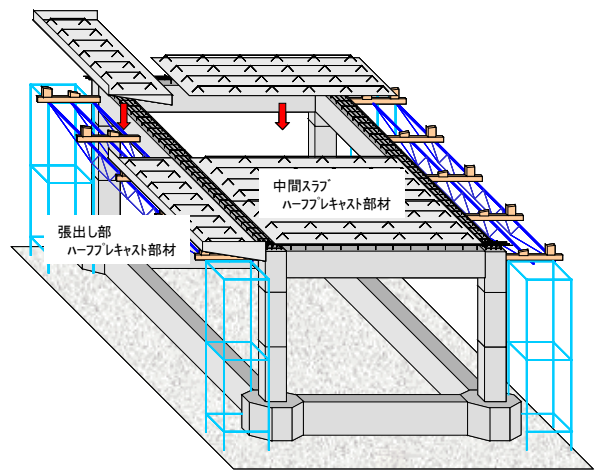
キーワード：スラブ，ハーフプレキャスト部材，ループ継手，疲労耐久性

1. はじめに

都市部では鉄道需要の増加に伴う複々線化，あるいは道路渋滞の緩和などを目的として，鉄道の高架化事業が推進されている。しかし，一般的にこのような工事は，営業線の近接状況下で，営業線を切り回しながら進められるの現状である。これらのことから，鉄道高架構造物の施工には，工期短縮と安全な工事の実施を目指した合理的な工法の開発が望まれている。

このような背景を考慮し，鉄道高架橋に一般的に用いられている RC ラーメン高架橋に対して，耐震性能および経済性に優れた工法の開発を目的として，著者らはプレキャスト型枠を適用した合理化施工法の開発を行っている¹⁾。その一環として，スラブの施工合理化工法の開発を行った。その工法とは，線路方向に分割したハーフプレキャスト部材を用い，中間スラブに関しては，線路直角方向にプレストレスを導入することにより，無支保でスラブの施工を実現するものである。図-1 に鉄道ラーメン高架橋スラブの施工法の概念図を示す。

しかしながら，一般的に鉄道 RC ラーメン高架橋の中間スラブは，四辺が線路方向の梁と線路直角方向の梁で支持される 2 方向スラブとして設計されるため，ハーフプレキャスト部材を線路方向に分割する場合，その継ぎ目の接合方



工程 1	ハーフプレキャストスラブ設置
工程 2	スラブ上端鉄筋組立
工程 3	スラブ コンクリート打設

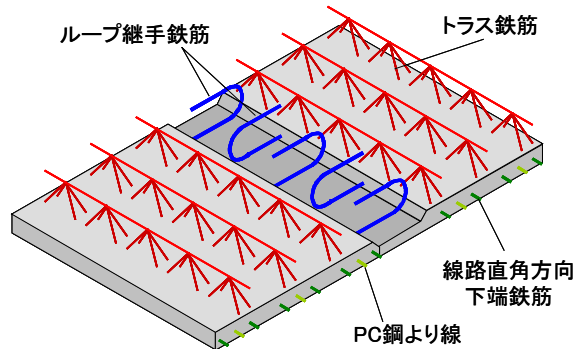


図-1 スラブ施工方法概念図

法が問題となる。そこで本研究では，ハーフプレキャスト合成スラブ接合部へのループ継手の適用を目的に，その補強方法を実験変数として，以下に示す項目について検討を行った。

*1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第 1gr. 工修(正会員)
 *2 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第 1gr. 工博(正会員)
 *3 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 工修(正会員)

継手を有する梁の静的載荷試験を実施し、継手部の耐力が一般配筋部以上であることの確認。

適用部位がスラブであることから、等曲げ区間に継手を配置したハーフプレキャスト合成スラブの繰り返し載荷実験を行い、その疲労性状について検討する。

2. 静的載荷実験

2.1 実験概要

試験体は、鉄道 RC ラーメン高架橋の中間スラブを模擬したものである。図-2 に試験体配筋図を示す。実験変数は以下に示すような継手部の補強方法である。

L1： 1 方向スラブにおける配筋筋の接合方法として適用実績のあるループ内に補強鉄筋および線路直角方向の主鉄筋として鉄筋を配置する方法²⁾³⁾。

LF05： 今回新たに提案する方法であり、ループ

内の補強鉄筋の代わりに、継手部に鋼繊維（鋼繊維径 0.6mm，鋼繊維長 30mm，引張強度 1100N/mm² 以上）を体積比率で 0.5% 混入したコンクリートを適用することにより補強する方法。

載荷方法は、2 点静的単調載荷で荷重の低下が認められるまで順次荷重を増加させた。なお、本実験では継手部の構造性能に着目したため、ハーフプレキャスト部材を用いず一体打ちコンクリートで製作した。また、鉄筋が降伏する前にループ継手部で継手破壊し、耐力が低下するよう継手鉄筋には D19-USD685 を使用した。

2.2 実験結果

表-1 に試験結果一覧を、図-3 に荷重-変位関係を示す。試験体は、どちらの補強方法も主鉄筋が降伏する以前にループ継手部において破壊に至った。継手破壊耐力は、継手を考慮せず全強と仮定した断面における SD345 規格降伏相当耐力(主鉄筋 345N/mm² 時の荷重:P_{cal.} = 119kN)

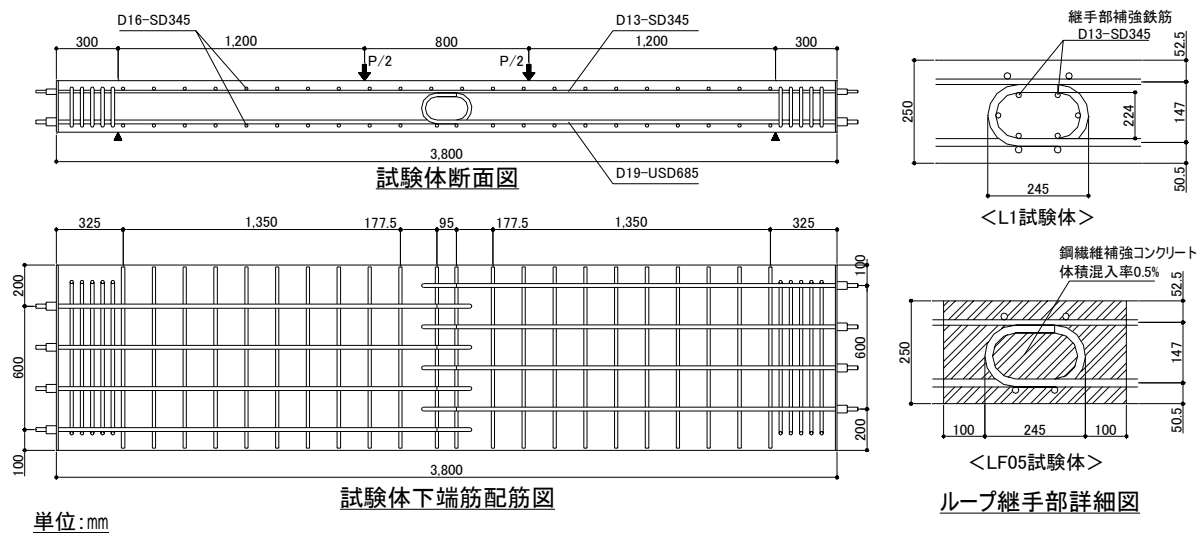


図-2 試験体配筋図<静的載荷試験>

表-1 試験結果<静的載荷試験>

試験体	材料強度			荷重計算値				荷重実験値		
	コンクリート強度 (N/mm ²)	継手鉄筋		ひび割れ発生時 (kN)	曲げ耐力			ひび割れ発生時 (kN)	継手破壊時 (kN)	最大時 (kN)
		鉄筋径	降伏強度 (N/mm ²)		SD345降伏相当時*1 (kN)	主鉄筋降伏時 (kN)	終局時 (kN)			
L1	23.9	D19	712.2	29.8	119.0	236.2	239.6	44.2	144.4	167.6
LF05	24.1			30.0	118.9	236.4	239.9	49.1	188.7	206.6

* 計算値は、載荷試験当日のコンクリート強度を用いてループ継手を全強として算定した。

*1: 主筋応力が350N/mm²の時の荷重

以上であり，一般配筋部における降伏時の耐力以上であると考えられる。また，継手破壊耐力までは，いずれの補強方法においても，継手部において角折れなどの異常な変形は見られず良好であった。

以上のことから，今回採用したループ継手およびその補強方法は，いずれも一般配筋部におけるSD345降伏耐力以上まで一体性が確保されており，耐力，変形状とも2方向スラブの主鉄筋としての機能を有するものであることが確認された。

3. 疲労耐久性実験

3.1 実験概要

(1) 試験体

試験体は鉄道 RC ラーメン高架橋の中間スラブを模擬したものであり，実験変数は，繰り返し载荷における荷重振幅およびループ継手の補強方法である。なお，継手部の補強方法は静的载荷試験と同様である。表-2 に材料強度一覧を，図-4 に試験体配筋図を示す。

試験体の製作方法は，継手を介して2枚のハーフプレキャスト部材を突き合わせ，上端鉄筋を配置した後，場所打ちコンクリートを打設するものである。なお，ハーフプレキャスト部材にはプレストレスは導入していない。また，ハーフプレキャスト部材と場所打ちコンクリートの打ち継ぎ面の処理は，ほうき目荒らし程度である。

(2) 载荷方法

载荷方法は，アクチュエーターによる2点对

表-2 材料強度一覧

コンクリート			
	ハーフプレキャスト部 (N/mm ²)	場所打ち部 (N/mm ²)	場所打ち部 SFRC (N/mm ²)
L10	55.5	42.1	-
L50	50.3	37.7	-
F10	59.4	43.8	32.5
F50	59.5	45.1	33.2
鋼材			
	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
D13	370.1	539.4	184.2
D16	372.6	570.6	190.3

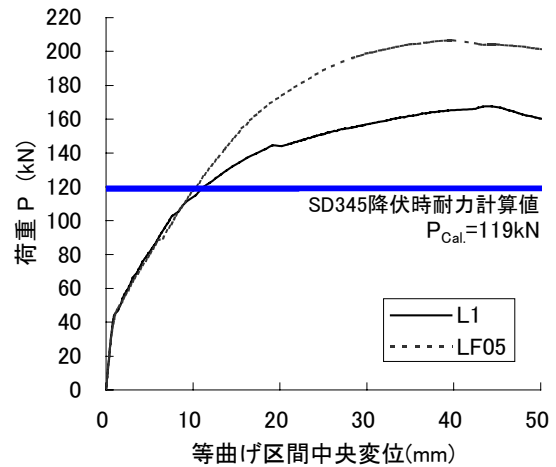


図-3 荷重-変位関係

称载荷(せん断スパン 1050mm，等曲げ区間 800mm)とし，継手は等曲げ区間内に配置した。設計繰り返し回数は，それぞれ 10 万回および 50 万回として，疲労振幅荷重を決定した。繰り返し载荷における周波数は 1Hz とし，波形は sin 波とした。また，あらかじめ設定した繰り返し回数に達した時点(N=1,10,100,1000,1 万,2 万,4 万,5 万,10 万 20 万,50 万…以降 25 万回ピッチ)で所定荷重の静的载荷を実施し，計測を行った。

3.2 実験結果

(1) 疲労耐久性および破壊性状

実験値の最大モーメント作用時の鉄筋応力を，ループ継手を考慮せず全強と仮定したファイバーモデルにより算定し，それを疲労振幅強度 f_{sr} とした。その値を用いて，式(1)に示す二羽らの異形鉄筋の疲労強度算定式⁴⁾を適用して繰り返し回数を算定し，実験値と比較することで疲労耐久性を評価した。

$$\text{疲労振幅強度} : f_{sr} = \left(1 - \frac{\sigma_{min}}{f_{su}}\right) \frac{10^\alpha}{N^k} \quad (1)$$

σ_{min} : 鉄筋の下限応力(N/mm²)

f_{su} : 鉄筋の引張強度(N/mm²)

$$\alpha = k_0 (3.17 - 0.003D) \quad (2)$$

N : 繰り返し回数

k : 0.12 ただし $N < 200$ 万回

D : 鉄筋径(mm)

k_0 : 鉄筋の節の形状に関する係数 1.02

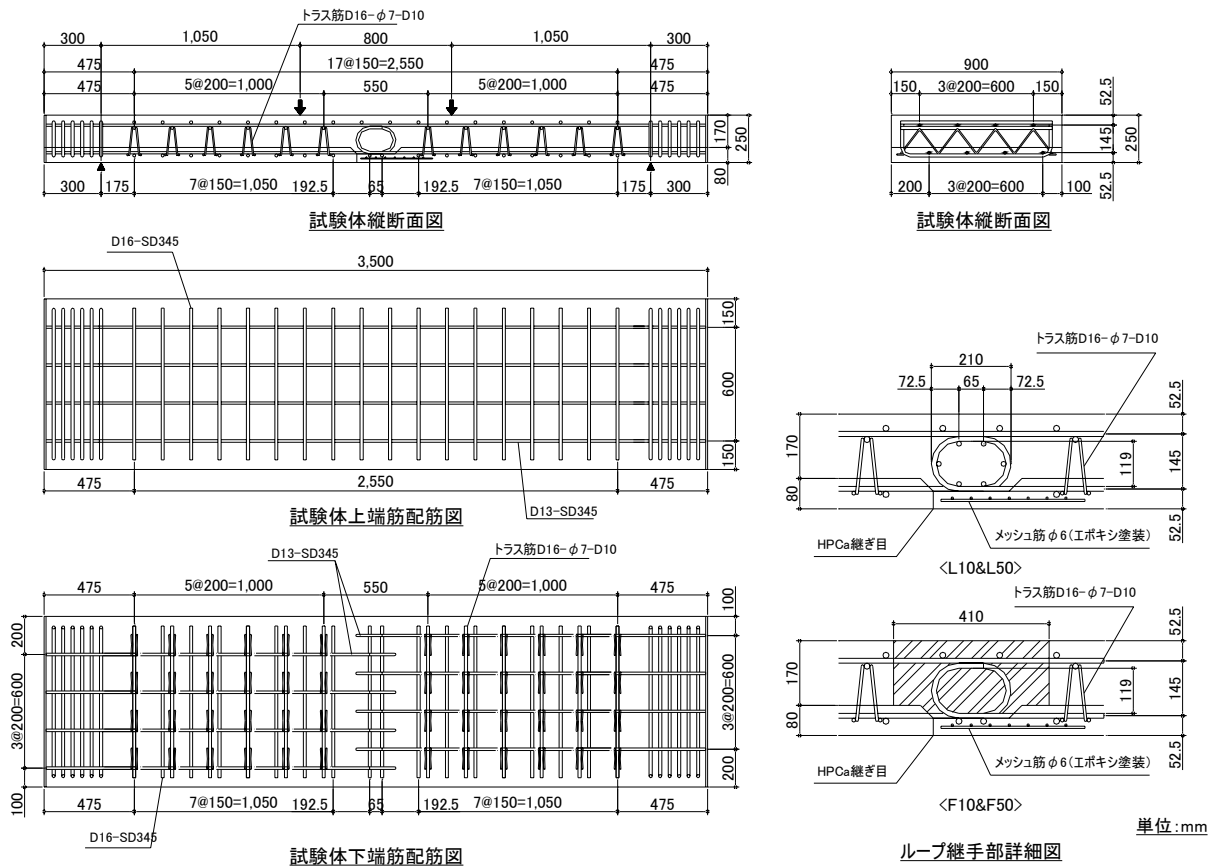


図-4 試験体配筋図<疲労耐久性試験>

試験結果の一覧を表-3に、繰り返し回数と疲労振幅強度の関係を図-5に示す。

Lシリーズにおいては、ハーフプレキャスト部材間の継ぎ目付近の鉄筋の疲労破断により、Fシリーズにおいては、場所打ち部における鋼繊維補強コンクリートと普通コンクリートの境界面付近の、鉄筋の疲労破断により破壊にいたった。なお、L50およびF50試験体は、繰り返し回数200万回を超えても疲労破壊に至らなかった。以上から、いずれの補強方法を用いた試

験体も、計算値と比較して安全側の結果となり、十分な疲労耐久性を有していることが確認された。

図-6に試験終了後のひび割れ状況の一例を示す。ループ継手の重なり部分には、顕著なひび割れは確認されなかった。これは、継手部分の鉄筋比が一般配筋部に比べ大きいことに起因しているものと思われる。また、疲労载荷中に変位や剛性が急変することがなく、目視によりハーフプレキャスト部材と場所打ちコンクリー

表-3 試験結果一覧<疲労耐久性試験>

試験体	材料強度				下限応力 σ_{min} (N/mm^2)	疲労 振幅強度 f_{sr} (N/mm^2)	繰り返し回数(回)	
	コンクリート		ループ継手鉄筋				計算値	実験値
	コンクリート 種類	圧縮強度 (N/mm^2)	鉄筋径	引張強度 (N/mm^2)			$N_{cal.}$	$N_{exp.}$
L10	普通 コンクリート	42.1	D13	539.4	66.9	354.4	77350	650340
L50		37.7			66.3	303.2	286912	2000000*1
F10	鋼繊維補強 コンクリート 体積混入率0.5%	32.5			68.4	357.7	69727	707010
F50		33.2			68.5	293.7	359821	2000000*1

*1: 繰り返し回数200万回を超えても破壊に至らなかった。

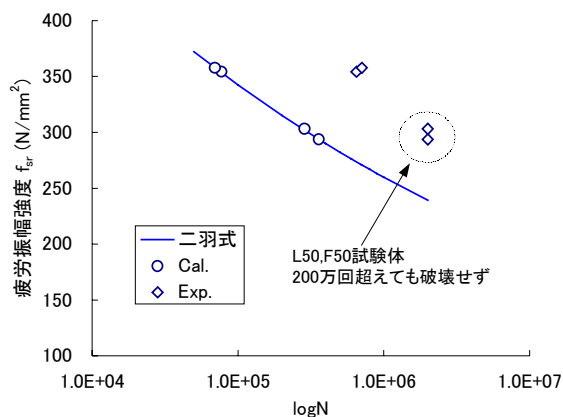


図-5 S-N 関係

ト部との境界部で剥離現象などは確認できなかったことから、所定の繰り返し荷重を受けた後もスラブの一体性は保たれていると考えられる。

(2) ひび割れ幅

図-7 に荷重振幅ピーク時におけるループ継手の鉄筋応力の遷移を示す。図は、L50 および F50 試験体のハーフプレキャストスラブ間の継目位置と載荷点のループ継手鉄筋ひずみの実測値から求めた鉄筋応力である。

繰り返し回数が増加するにつれ、ひずみから求まる鉄筋応力は疲労振幅強度 f_{sr} に漸近していく。これは、付着に起因するコンクリートの引張力負担が減少するためと考えられ、実験時の観察から新たなひび割れは生じなくなったおよそ 100 万回で、ひび割れ間隔は定常状態になったと思われる。しかし、鋼繊維補強コンクリートにより補強してある区間(F50 試験体のハーフプレキャスト部材間継ぎ目部)の鉄筋応力は、200 万回相当に達しても疲労振幅強度に漸近しなかった。これは、鋼繊維による引張力の負担、および鋼繊維のひびわれ抑制効果に起因する鉄筋とコンクリートの付着性能の向上が考えられる。

ゲージによるひびわれ幅実測値と鉄筋ひずみから求めたひびわれ幅計算値の鉄筋応力との関係を、図-8 に示す。ここで、個々のゲージをまたぐ顕著なひび割れは一本であることを確認している。なお、ひびわれ幅の計算値は土木

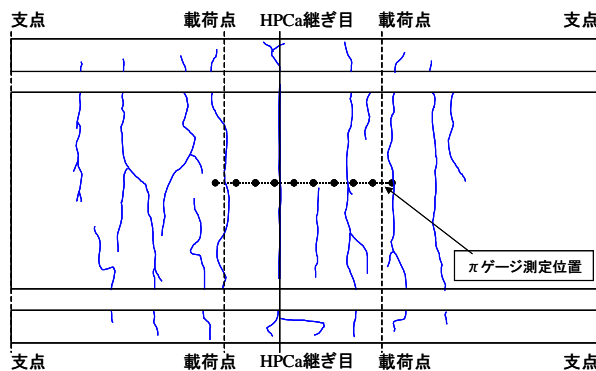


図-6 ひび割れ状況 <L50 試験体>

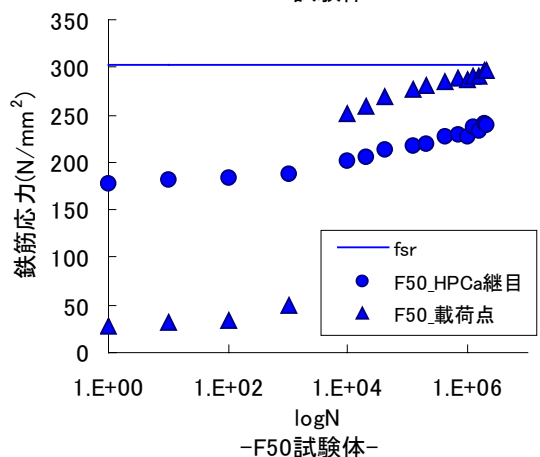
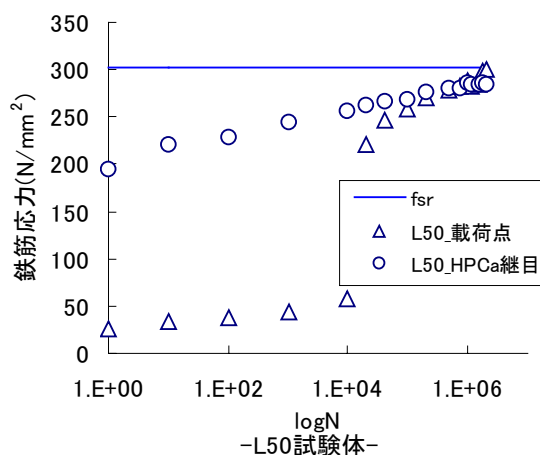


図-7 継手鉄筋応力の遷移

学会コンクリート標準示方書に準じて算定した⁵⁾。図より、いずれの補強方法においても、定常状態におけるひびわれ幅の検討は既往の算定式で概ね評価できるといえる。また、懸念されたハーフプレキャスト間の継ぎ目部においても、繰り返し回数の計算値相当までは、既往のひびわれ幅算定式により安全側に評価できることが確認された。

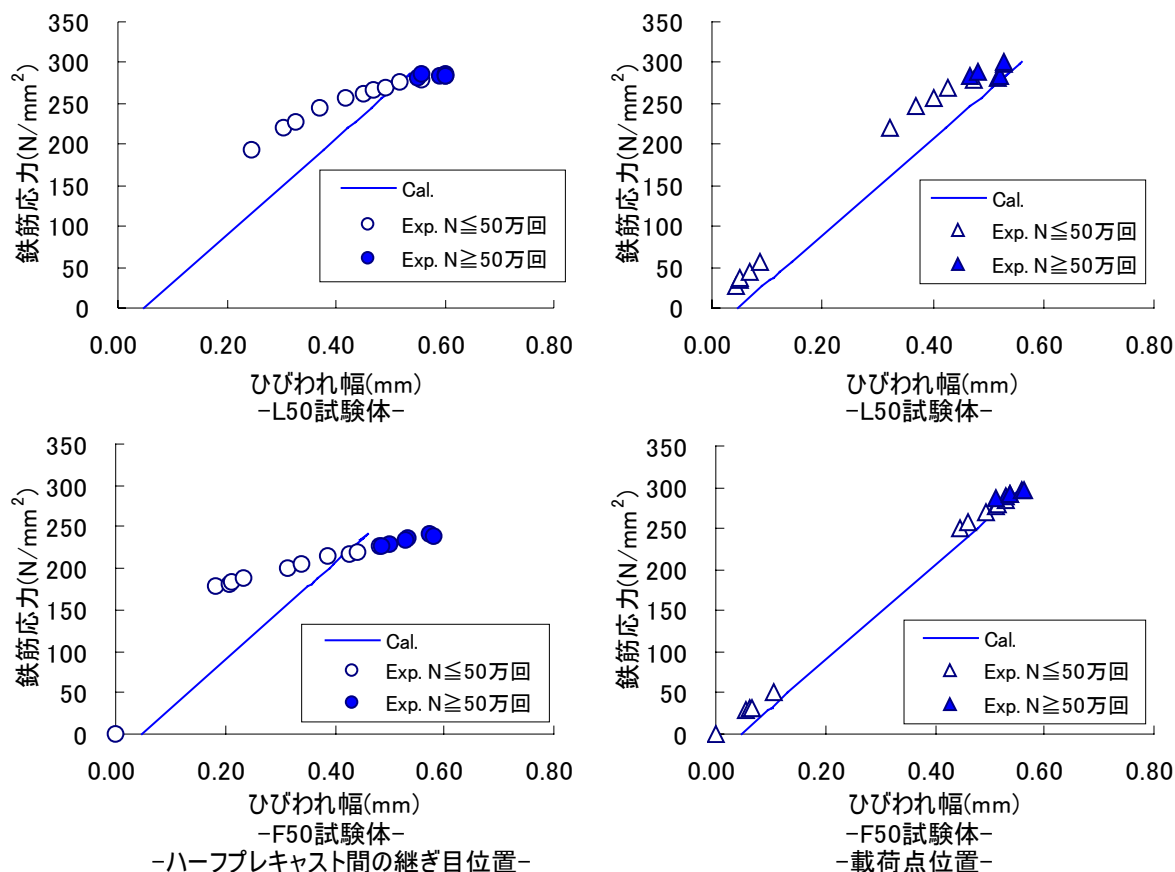


図-8 ひび割れ幅と鉄筋応力の関係

4. まとめ

本研究により、得られた知見を以下に示す。

- (1) ループ継手部の耐荷性状を確認するため、継手部の補強方法を実験変数とした静的載荷試験を行った。その結果、新たに提案した鋼繊維補強コンクリートを用いた補強方法においても、継手部の耐力は、一般配筋部の主鉄筋降伏耐力以上であることが確認された。
- (2) 疲労耐久性試験において、実験値と計算値の比較により、ループ継手を有するハーフプレキャスト合成スラブは、十分な疲労性能を有しており、所定の繰り返し回数以上においても、部材の一体性が確保されることが確認された。またひび割れ幅に関して、既往の算定式により評価可能であること、ハーフプレキャスト部材間の継ぎ目においても過大とならないことが確認された。

謝辞：疲労耐久性試験の試験体製作においては(株)日本カイザーにご指導を頂きました。関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：「プレキャスト型枠工法を適用した鉄道ラーメン高架橋の設計施工指針」1998.3
- 2) 牛島祥貴，松井繁之ほか：ループ状継手を有するプレキャスト床版接合部の疲労耐久性試験，土木学会第50回年次学術講演概要集，第5部門，pp.304-305，1995.9
- 3) 岡本浩，松井繁之ほか：トラス鉄筋付PC版合成床版の疲労耐久性，第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，pp.123-130，1997.11
- 4) 二羽淳一郎，前田詔一，岡村甫：異形鉄筋の疲労強度算定式，土木学会論文集，第354号/V-2，pp.73-79，1985.2
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書〔平成8年制定〕設計編，1996.8