

打継目におけるループ継手の拘束効果

Confinement Effect of Loop Splice at Construction Joint

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 佐倉圭太郎 (Keitaro Sakura)
北海道大学大学院工学研究科 正会員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)
ドービー建設工業株式会社 正会員 今村晃久 (Akihisa Imamura)
北海道大学大学院工学研究科 フェロー 角田與史雄 (Yoshio Kakuta)

1. まえがき

過去の研究¹⁾から、はり中央部の打継目にループ継手が跨るように配置された部材の載荷実験を行った結果、打継目におけるひび割れ成長を抑制し、健全部へひび割れを誘導できることが確認された。しかし、その変形・抵抗機構は十分には明らかにされていない。そこで本研究は、ループ継手部の変形・抵抗機構をより詳細に検討することを目的とし、ループ継手を有する部材の一軸引張試験を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本実験では、ループサイズと鉄筋本数をパラメータとして4体の供試体を用意した。断面の鉄筋数が4本、ループサイズが100mm、200mm、300mmのものを各々SP-1、SP-2、SP-3とし、断面の鉄筋数が6本、ループサイズが200mmのものをSP-4とした。供試体形状はすべて同一とし、高さ150mm、幅150mmの断面で全長1500mmである。供試体の中央部に打継目を設け、左右のコンクリートの打込みを2回に分けて行った。左右の材齢差は1日である。硬化遅延材を塗布し、脱型後に洗い出し処理を行った。供試体諸元を表-1に、供試体形状と鋼材配置を図-1に示す。

2.2 試験方法

供試体の試験方法は、載荷フレームの中に実験供試体を水平に設置し、引張力を加えるものである。具体的には、供試体から突出した両端の鉄筋にヒンジを介し、一端を固定、他端をセンターホールジャッキによって引張力を与えた。供試体両端のヒンジは載荷時の偏心を防ぐためのものである。

2.3 測定項目

供試体に配置したゲージ位置の概略図を図-2に示す。測定項目は、コンクリートのひび割れ幅とひずみ、鉄筋のひずみ、および引張荷重である。コンクリートのひび割れ幅はコンクリート表面上部に中央から100mm間隔に貼付したコンタクトチップによって測定し、鉄筋のひずみは検長5mmのひずみゲージを中央から40mm間隔に貼付して測定した。コンクリートのひずみはループ位置におけるコンクリートの応力状態を把握するために測定されており、本実験では、検長30mmの埋込みゲージによりコンクリート内部のひずみを、検長70mmの箔ゲージによりコンクリート表面のひずみを測定した。なお、ひずみゲージは、0°、45°、90°の3方向に配置されて

表-1 供試体諸元

供試体名	ループサイズ	断面の鉄筋数
SP-1	100mm	4本
SP-2	200mm	4本
SP-3	300mm	4本
SP-4	200mm	6本

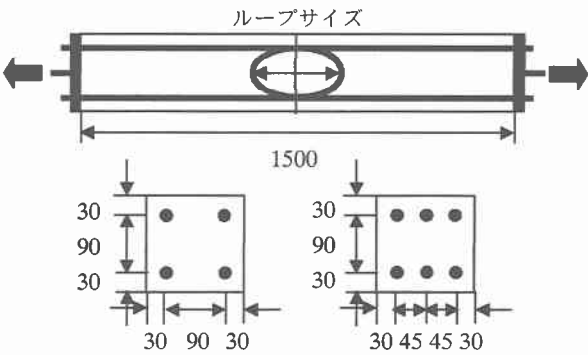


図-1 供試体諸元と鋼材配置

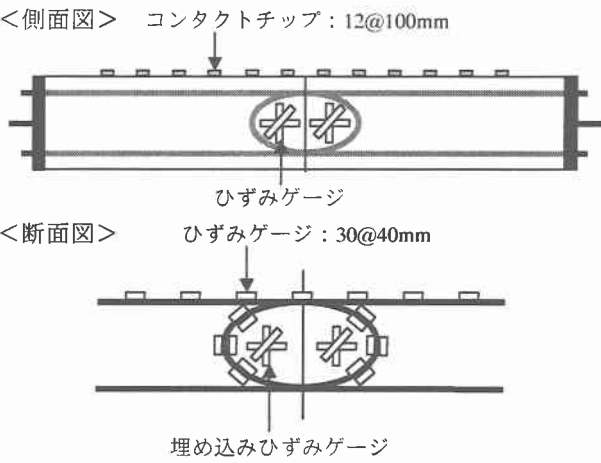


図-2 ゲージ位置

いる。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

基本的なひび割れ発生・成長の過程に関しては、すべての供試体についてほぼ同様であったが、最終的な破壊モードはループサイズによって異なった。以下の供試体ごとに示す。

(1) SP-1 (ループサイズ 100mm)

最初に約 33kN でループ位置から外側へ 200mm 離れた地点にひび割れが入り、その後計算ひび割れ間隔と同程度に左右のひび割れが発生した。しかし、破壊直前にループに沿うように入ったひび割れが急速に発達し、ループ内のコンクリートを引き出すようにして破壊に至った。(写真-1(a))

(2) SP-2 (ループサイズ 200mm)

基本的な性状に関しては SP-1 と同様であり、最終的にループに沿ったひび割れによって、コンクリートが破壊に至った。ただし、ループ内のコンクリートが引き出され、ループ位置のかぶるコンクリートが面外方向にはがれ飛んだ SP-1 ほど激しい破壊ではなかった。(写真-1)

(3) SP-3 (ループサイズ 300mm)

ひび割れ発生・成長の過程は他の供試体と同様であったが、ループ位置から外側へ 15mm 離れた地点のひび割れの成長が最も早く、最終的にこの地点の鉄筋の降伏によって破壊に至った。

(4) SP-4 (ループサイズ 200mm)

39kN でループに沿ったひび割れが側面に現れ、荷重がいったん低下した後、再び増加し、141kN でループ内のコンクリートが引き出される形で破壊した。(写真-2) SP-4 は断面内に 3 組のループを有しており、外側のループの引張力に起因するひび割れが発生した後、中央及びひび割れが見られた逆側のループへの応力の再分配が起こり、荷重が増加したものと考えられる。すなわち、ループがあることによる影響を 3 次元的に捉えなければならない。

3.2 ひび割れ発生荷重と耐荷力

ひび割れ発生荷重と鉄筋降伏荷重について、計算値と実験値の比較を表-2 に示す。ただし、*印がついているものは鉄筋の降伏前に、ループ内のコンクリートが破壊した終局荷重を表す。本実験供試体におけるひび割れ発生荷重は、30～40kN の範囲にあり、計算値よりも 70% 程度小さい。なお、計算値とは、コンクリート標準示方書に基づき求めたコンクリートの引張強度にコンクリートの断面積を掛けて求めた値である。鉄筋が降伏した SP-3 は計算値と近い値をとっているが、その他のループ内のコンクリートが破壊した供試体は、鉄筋降伏前にコンクリートが破壊したため、計算により求めた降伏耐力より終局耐力が小さくなっている。

3.3 ひび割れ間隔

ひび割れ間隔の計算値と実験値の比較を表-3 に示す。ただし、計算値はループを考慮せずに、鉄筋コンクリートはりの曲げひび割れ幅算定式²⁾から求めた数値である。SP-1～SP-3 ではループ位置付近のひび割れ間隔が計算値よりも大きくなっているが、ループ位置から離れていてあまりループの影響を受けていないと考えられる地点のひび割れ間隔は計算値と近い値を示す傾向が見られた。SP-4 では概ね全体的にひび割れ間隔が計算値よりも大きく、とりわけループ位置付近よりもループ位置から離れた地点の方が大きいという傾向が見られた。これは、発生すべきひび割れがすべて入る前にコンクリートが破

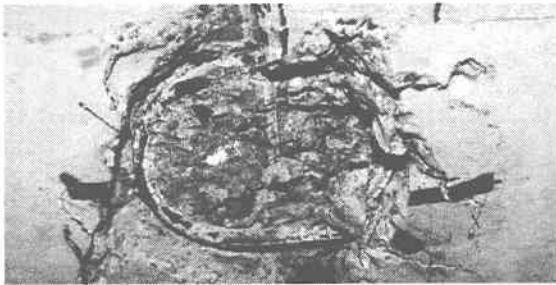


写真-1 SP-1 の破壊写真

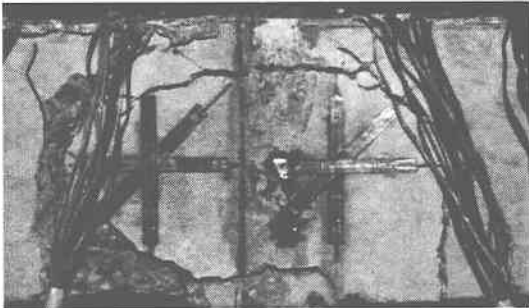


写真-2 SP-4 の破壊写真

表-2 ひび割れ発生荷重と鉄筋降伏荷重

供試体名	ひび割れ発生 (kN)		鉄筋降伏 (kN)	
	計算値	実験値	計算値	実験値
SP-1	54.022	33	97.865	60*
SP-2	52.305	30	97.865	81*
SP-3	54.041	38	97.865	94
SP-4	57.433	39	146.797	141*

*印は鉄筋の降伏前にコンクリートが破壊したものを示す。

表-3 ひび割れ間隔

供試体名	実験値 (mm)			計算値
	最大間隔	最小間隔	平均値	
SP-1	195	60	124.38	115.67
SP-2	140	80	112.50	115.67
SP-3	180	95	127.78	115.67
SP-4	205	95	143.13	92.38

壊してしまったことが原因ではないかと考えられる。また、全供試体を通じて、ループコア内部には打継目を除いて新たなひび割れは生じていなかった。このことから、部材に引張応力が作用する状態で、向い合せに配置されたループコア内部に圧縮応力が発生し、引張ひずみを低減させる効果（ループ効果）がはたらいっているのではないかと考えた。そして、このループ効果がループ位置付近のひび割れ間隔を決定する際に大きな影響を与えていることが予想された。

3.4 ひび割れ幅

継目部の荷重-ひび割れ幅の関係を図-3 に示す。図-3 から分かるように、継目部のひび割れ幅は他の位置のそ

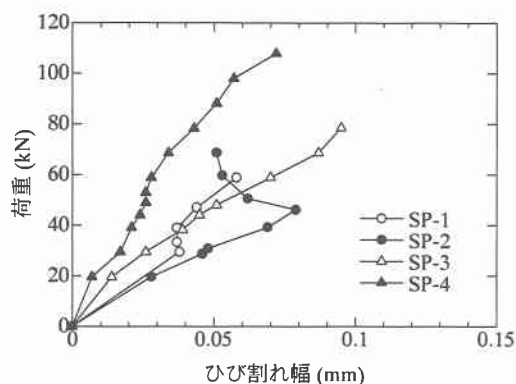


図-3 継目部の荷重-ひび割れ幅関係

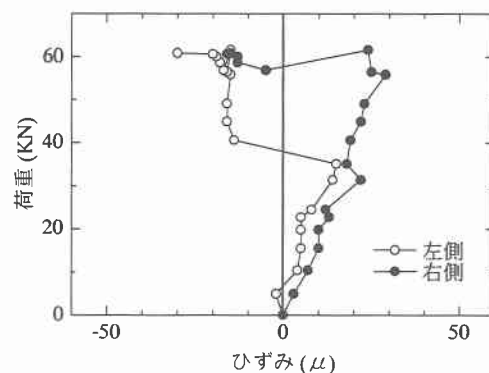


図-5 コンクリート内部の荷重-ひずみ関係 (SP-1)

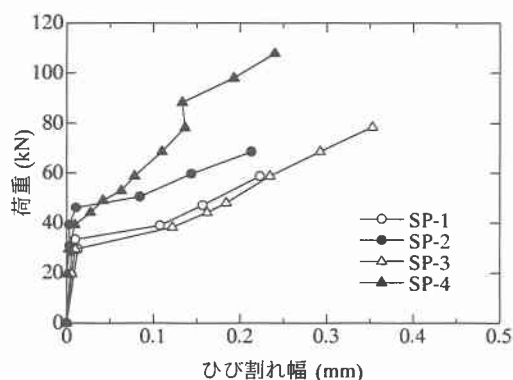


図-4 継目部外側の荷重-ひび割れ幅関係

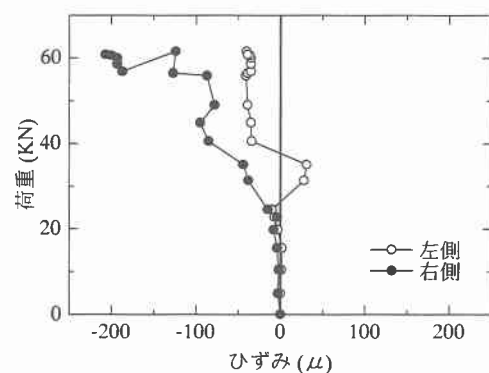


図-6 コンクリート表面の荷重-ひずみ関係 (SP-1)

れよりも小さい。この理由として、継手部では2倍の鉄筋量が配置されていることとともに、ループによる圧縮応力の影響が考えられる。継目部のひび割れ幅はループ効果により、その成長が抑制されている。SP-2については、ひび割れ幅の成長が抑制されるばかりでなく、ひび割れ幅が閉じていくことも観測されており、ループコア内部には予想以上に大きな圧縮応力が作用していることが考えられる。しかし、この効果によって、ループコア外側に悪影響を与える可能性があると考え、継手部外側のひび割れ幅に関しても検証を行った。継目部外側の荷重-ひび割れ幅関係を示す図-4 から、この地点の鉄筋が降伏して破壊に至った SP-3 のひび割れ幅はとりわけ大きな値をとっているが、全供試体を通じて同様にひび割れ成長が早いことが確認され、予想されたように、ループコアにはたらくループ効果により、その外側には大きなひずみが現れることが分かった。また、図-3 と図-4 を同時に比較すると、全供試体について、継目部外部にひび割れが入るとすぐさま、継目部のひび割れ幅の成長率が低減するという形で影響が現れている。

3.5 ループコア内部の挙動

(1) コンクリートのひずみによる検討

ループコア内部の挙動を把握するにあたって、破壊モードから最も顕著にループ効果が表れていると推測される SP-1 について、2.3 節で述べた埋め込みひずみゲージにより得られたループコア内部におけるコンクリート内

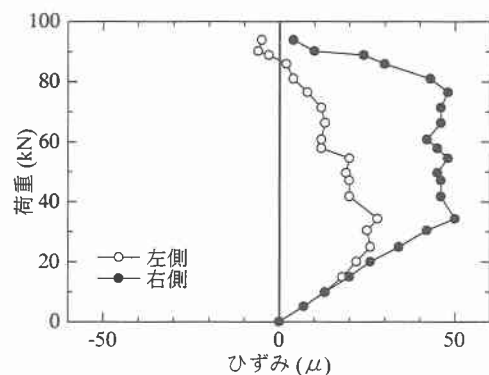


図-7 コンクリート内部の荷重-ひずみ関係 (SP-3)

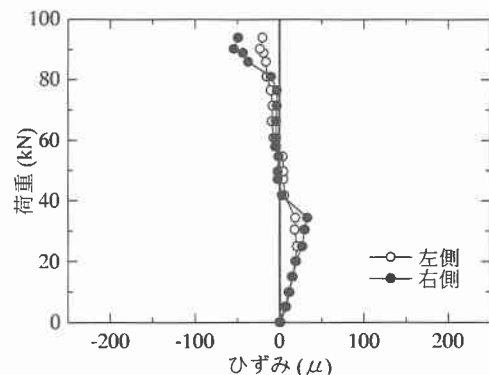


図-8 コンクリート表面の荷重-ひずみ関係 (SP-3)

部の荷重-ひずみ関係を図-5 に、ひずみゲージにより得られたコンクリート表面の荷重-ひずみ関係を図-6 に示す。

コンクリート内部（図-5）では、左右両方のループ内で載荷開始後から、引張ひずみが測定され、荷重の増加とともにほぼ一定の割合で増加している。しかし、継目部外側にひび割れが発生する約 35kN 以降、ループ内に圧縮応力がはたらき始め、ループ左側では、その後常に破壊に至るまで 20 μ 前後の圧縮ひずみが測定された。ループ右側では、35kN 以降も引き続き、引張ひずみの増加が続くが、破壊直前に圧縮ひずみへ移行している。一方、コンクリート表面（図-6）では、載荷開始後、しばらくはひずみが測定されず、25kN あたりでようやくループ左側に引張ひずみ、右側に圧縮ひずみが測定される。35kN 以降はいずれも圧縮ひずみとなり、ループ右側では破壊時に最大 207 μ にまで増加したが、左側では比較的小さなひずみにとどまっていた。両図の比較から、各荷重状態における細かいひずみの変化はコンクリート内、外でよく類似しているが、ひずみの大きさについては、コンクリート内部でループ左側の圧縮ひずみが右側よりも終始大きくなっているのに対し、コンクリート表面では終始右側の圧縮ひずみのほうが大きいという相違も見られた。現時点では、この理由を明らかにできていない。

次に、ループサイズが 100mm と最も小さくループ効果が顕著だと考えられる SP-1 に対し、ループサイズが 300mm と最も大きく、唯一、鉄筋の降伏によって破壊した SP-3 のコンクリートのひずみ挙動を比較として図-7、図-8 に示す。図から、ループサイズが大きくなると、コンクリートの内外において、ループコア内部にはたらく圧縮応力は減少し、破壊直前にわずかに圧縮ひずみが測定される程度となっていることが分かる。ただし、コンクリート内部において 80kN 以降急激に引張ひずみが減少しており、大きな圧縮応力が作用していることを確認できる。このことから、鉄筋の降伏強度がさらに大きければ、他の供試体同様、コンクリートの破壊が起こることも予想され、適切なループサイズの算定には、さらなる検討が必要であると考えられる。

(2) 鉄筋のひずみによる検討

SP-1 について、図-2 に示したループ鉄筋に貼付したひずみゲージから得られたひずみ分布図（図-9）を求めた。ただし、左側の軸方向 0° のひずみゲージは正常に機能していなかったため、その裏側に貼付されたひずみゲージの値を代用した。

載荷開始から、ひび割れ発生荷重である 30kN ではループにおける位置によって鉄筋のひずみにほとんど差はない。荷重の増加につれ、上下 45° のひずみが大きく増加し、60kN 時点では左下方 45° のひずみは 1656 μ と極めて大きな値を記録した。位置によるひずみが大きくなるということは、付着応力が増加していることを意味しており、ループ内の付着応力の増加が、ループ内のコンクリートの応力状態に大きな影響を及ぼしているものと考えられる。今後さらにコアコンクリートの圧縮応力とループ鉄筋のひずみ（応力）との関係を本実験結果とともに解析を通じて明らかにしていきたい。

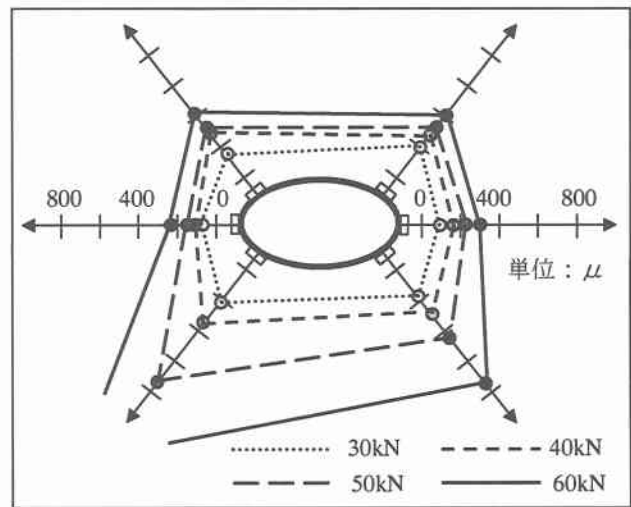


図-9 鉄筋のひずみ分布

4. まとめ

- (1) 打継目にループ鉄筋を配置することで、構造的にひび割れを内在していると考えられ、弱点となる恐れのある打継目におけるひび割れの成長を抑制し、それと同時に健全部にひび割れを誘導できることが確認された。
- (2) 破壊性状はループサイズによって異なる。ループサイズが 100mm、200mm の供試体はループに沿ったひび割れによってコンクリートが破壊し、ループサイズが 300mm の供試体はループコア外部の鉄筋の降伏によって破壊に至った。
- (3) 継目部外側へのひび割れ発生後、部材に引張応力が作用する状態で、向き合せに配置されたループコア内部に圧縮応力が発生し、引張ひずみを低減させる効果（ループ効果）が作用していることが確認された。
- (4) ループサイズによってループコア内部に作用する圧縮応力が異なり、その圧縮応力の増加度によって、破壊性状が決定されるものと考えられる。

参考文献

- 1) 今村晃久：PC 中空床版橋の設計合理化とスプレッド PC 構造の実用化に関する研究，北海道大学博士論文，2001 年 2 月。
- 2) 趙唯堅・丸山久一：鉄筋コンクリートはりの曲げひび割れ幅算定式の再評価，土木学会論文集，第 490 号，pp.147-156，1994 年 5 月。