

4. コンクリート打継ぎ部のせん断伝達機構に関する研究

石原誠一郎 立松 和彦
山崎 順二 恩村 定幸

要 旨

コンクリート構造物の打継ぎ部におけるせん断伝達メカニズムを明らかにすることを目的として実験をおこなった。その結果、コンクリート打継ぎ部のせん断伝達のメカニズムは弾性、ひび割れ伝播、遷移および骨材のかみ合いの4段階からなること、さらに打継ぎ部のコンクリート表面粗さとせん断性状との各段階における関係を明らかにすることができた。

キーワード

コンクリート／打継ぎ／せん断強度／せん断伝達／ひび割れ／表面粗さ

目 次

1. はじめに
2. 実験概要
3. 実験結果および考察
4. ま と め

4. STUDY ON SHEAR TRANSFER MECHANISM IN CONSTRUCTION JOINTS OF CONCRETE STRUCTURES

Seiichiro Ishihara Kazuhiko Tatematsu
Junji Yamasaki Sadayuki Onmura

Abstract

With the aim of examining shear transfer mechanism in construction joints of concrete structures, shear tests were conducted. As a result, it has become clear that the shear transfer mechanism is subdivided into approximately four stages: before crack initiation, crack propagation stage, transition stage, and interlocking stage, also that the relation between shear stress and concrete surface roughness of construction joints each stage.

1. はじめに

コンクリート構造物を打継ぎする際、打継ぎ部のコンクリート表面を目荒しすることで打継ぎ部のせん断性能が向上することが知られている。しかし、打継ぎ表面の目荒しの程度が、コンクリート打継ぎ部のせん断伝達メカニズムにどのような影響を与えるかについてはまだ十分に解明されていない。さらに、コンクリート打継ぎ部のせん断伝達メカニズムのうち、ひび割れ発生から骨材かみ合い段階へといったまでのプロセスについても十分に明らかにされていない。

本報では、打継ぎ部のせん断伝達メカニズムのひび割れ発生から骨材かみ合い段階へいたるプロセスを観察する目的で行った低速度載荷のせん断実験の結果とコンクリート打継ぎ部表面の目荒しの粗さとせん断性状との関係について報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、打継ぎ面を上向きにした打継ぎ-UPタイプ、打継ぎ面を下向きにした打継ぎ-LWタイプ、そして一体打ちタイプの3種類である。各タイプの試験体を打継ぎ部の目荒し程度に応じて表-1に示す試験体数ずつ製作した。

各タイプの試験体は図-1に示すように製作した。まず、打継ぎ-UP、打継ぎ-LWタイプの先打ち部のコンクリートを打設した。その6日後に、打継ぎ部分のコンクリート表面を、ウォータージェットを用いて、大、中、小の3種類の粗さで目荒しを行った。目荒しした表面の状況を写真-1に示す。目荒し作業の7日後に、打継ぎ-UP、打継ぎ-LWタイプの後打ち部と一体打ちタイプのコンクリートを同時に打設した。

試験体の形状は各試験体とも同じである。その詳細を図-2に示す。打継いだ接合面で確実にせん断破壊を起こすよう、接合面の左右にV字形の溝を切った。試験体の接合面積は100cm² (10cm×10cm)である。一体打ちの試験体にも同じ位置で溝を切り、接合面積が同じになるようにした。

各試験体には、4本の拘束用鋼棒をシースを通して接合面に直交するように配置した。シースの直径を鋼棒直径よりも5mm大きくし、鋼棒によるダウエル作用と不必要なせん断抵抗を排除できるようにした。

表-1 試験体一覧

打継ぎタイプ	打継ぎ部目荒し程度	試験体数
打継ぎ-UP	粗さ (小)	2
	粗さ (中)	3
	粗さ (大)	3
打継ぎ-LW	粗さ (小)	3
	粗さ (大)	2
一体打ち	—	3

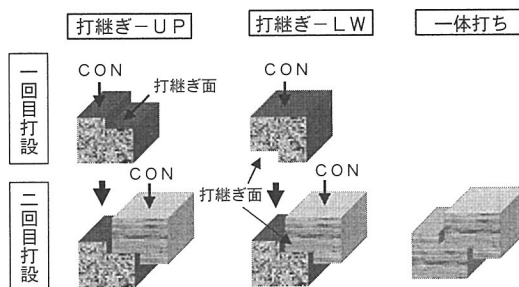


図-1 試験体製作要領

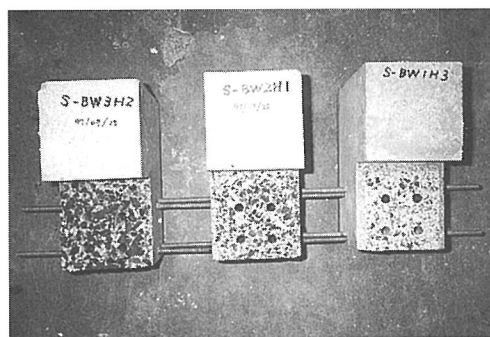


写真-1 試験体の目荒し程度の比較
(左から粗さ 大、中、小)

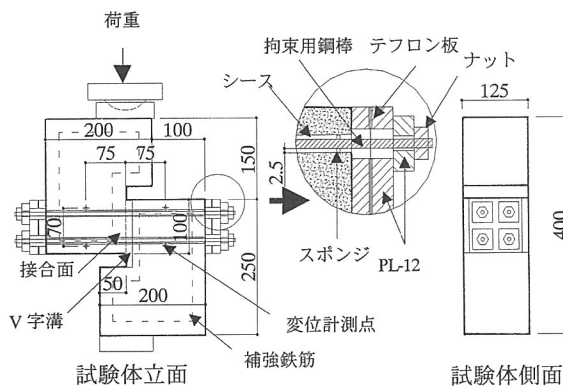


図-2 試験体図

さらに、この鋼棒にひずみゲージを貼付け、鋼棒にかかる応力を計測した。鋼棒の補強筋比は1.34%である。載荷前の鋼棒の拘束は、鋼棒を所定位置に配するためナットを軽く手締めする程度にして、ほとんど拘束力をかけないようにした。

試験体に使用したコンクリートの調合を表-2に、使用したコンクリートの材料試験結果を表-3に示す。

2.2 コンクリート表面粗さの測定方法

打継ぎ部目荒し程度を数値化する目的で、打継ぎ面のコンクリート表面粗さをコンピュータに接続したレーザー変位計を用いて0.1mm間隔で計測した。コンクリート表面計測の概念図を図-3に示す。コンクリート表面粗さを定量的に示す粗さの定義は、JIS B 0601の中心線平均粗さRaによる。Raの定義を図-4に示す。

2.3 試験方法

試験は100kNコンピュータ計測制御式精密万能試験機を用いて行い、最大荷重を過ぎるまで0.02mm/min、それ以降0.06mm/minの低速度で載荷した。各試験体についてせん断応力、せん断変位、ひび割れ幅および鋼棒にかかる拘束力の変化を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 せん断応力とせん断変位の関係

すべての試験体が接合面でせん断ひび割れを発生させ、せん断破壊した。さらにどの試験体においても、せん断応力とせん断変位の関係に段階的变化が見られた。その段階的变化を示す代表的試験体として打継ぎ部の目荒し程度の小さい試験体A、大きい試験体B、一体打ちの試験体Cを選び、試験した結果を表-4に、せん断応力とせん断変位の関係を図-5に示す。

今回の実験では、ひび割れ発生後にひび割れの伝播する段階が確認された。その段階的变化の概念図を図-6に示す。段階的变化はだまかに4段階に分けられる。まず、ひび割れ発生前の弾性段階、次にひび割れ伝播段階、三番目はすべり破壊を起こす遷移段階、最後に安定した骨材かみ合い段階である。このうち、ひび割れ伝播段階のD1からD2への変化および遷移段階のD2からD3への変化は、非常にゆっくりとした載荷にも拘わらず、各々ほぼ1秒程度のごく短時間での挙動であった。図-5から明らかなように、各試験体のせん断挙動の大きな相違は遷移段階の開始以降に見られた。打継ぎのある試験体の遷移段階でのせん断変位は一体打ち試験体よりも大きく増大した。遷移後は、各試験

表-2 調合表

最大骨材 寸法(mm)	単位量(kg/m ³)				混和剤 (ℓ/m ³)
	セメント	水	細骨材	粗骨材	
15	315	189	808	949	0.788

表-3 コンクリートの材料試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
先打ち部	24.2	2.07	2.3
後打ち部	24.2	2.04	2.32
一体打ち	24.2	2.04	2.32

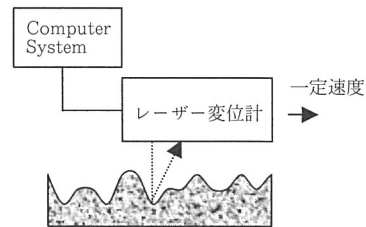


図-3 コンクリート表面粗さ計測の概念図

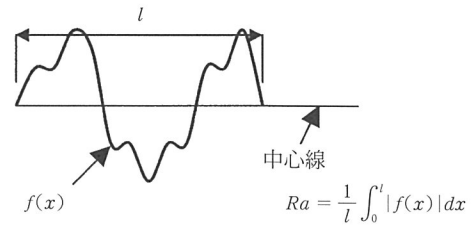
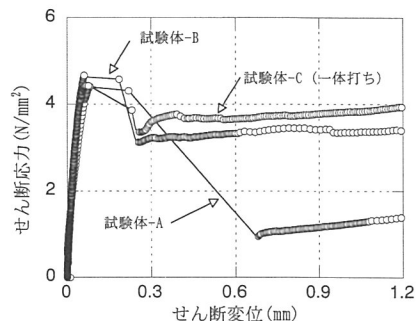


図-4 表面粗さの定義

表-4 代表的試験体の試験結果

試験体名	打継ぎタイプ	Ra (mm)	τ_{ci} (N/mm ²)	τ_{si} (N/mm ²)	τ_{si}/τ_{ci} (%)
A	打継ぎ-UP	0.61	4.42	0.93	21.0
B	打継ぎ-UP	2.19	4.73	3.16	66.8
C	一体打ち	—	4.43	3.36	75.9



注) グラフ中の○は採取したデータを示す。

図-5 代表的試験体のせん断応力とせん断変位関係

体とも安定した骨材かみ合い段階へと移行した。

3.2 セン断応力とコンクリート表面粗さとの関係

図-7にせん断ひび割れ強度 τ_{ci} と表面粗さ Ra との関係を示す。せん断ひび割れ強度は表面粗さにかかわらずほぼ一定の値を示した。これは、せん断ひび割れ強度が試験体のモルタルマトリックスのひび割れ強度に支配されているためと考えられる。打継いだ試験体のせん断ひび割れ強度は一体打ち試験体と同等の値を示した。さらに、打継ぎ方向の上下によるせん断ひび割れ強度の差はほとんどなかった。

図-8に骨材かみ合い段階開始時のせん断強度 τ_{si} と表面粗さ Ra の関係を示す。打継ぎ方向の上下にかかわらず、表面粗さが1.5を下回るとせん断強度が低下する傾向がみられた。図-9に骨材かみ合い段階開始時せん断強度のせん断ひび割れ強度に対する割合 τ_{si}/τ_{ci} と表面粗さ Ra との関係を示す。表面粗さが小さくなると、 τ_{si}/τ_{ci} の低下が大きくなった。

3.3 垂直応力とコンクリート表面粗さの関係

ひび割れ発生前には鋼棒に拘束力は発生せず、接合面でひび割れ発生後、ひび割れが伝播するにつれて鋼棒に拘束力が生じた。

図-10に示すように、ひび割れ発生後、ひび割れが伝播するにつれて、コンクリートひび割れ面のせん断変形 δ に応じて、ひび割れ界面の小さい凹凸によるひび割れの目開き ω が発生する。その結果、ひび割れの目開きが鋼棒に引張力(拘束力)を発生させ、ひび割れ界面にはその反力としての接合面に垂直な方向の応力 σ (鋼棒拘束力/接合面積)が発生する。せん断力の伝達はこの垂直応力による摩擦およびひび割れ界面の凹凸の架橋によると考えられる。図-11の凹凸かみ合いの模式図に示すように、ひび割れ界面の表面粗さが粗いほどひび割れの角度 θ が大きくなり、せん断変位 δ_0 が同じ場合には、角度 θ が大きいほどひび割れの目開き幅 ω_0 が増大し、それに呼応して垂直応力 σ_0 が大きくなると考えられる。

表-4に示した代表的試験体のひび割れ発生後の垂直応力とせん断変位の関係を図-12に示す。ひび割れ伝播時の垂直応力は打継ぎ部の表面粗さが粗い試験体-Bの方が、粗さの小さい試験体-Aよりも大きくなっている。これは、打継ぎ部の表面粗さが粗いほど、ひび割れ後のひび割れ界面が粗くなり、その結果、ひび割れの角度 θ が大きくなることで垂直応力が大きくなったと考えられる。さらに、一体打ち試験体-Cの垂直

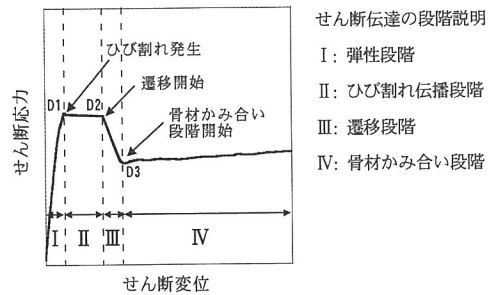


図-6 セン断応力とせん断変位関係の概念図

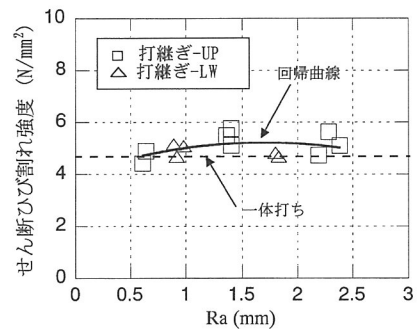


図-7 τ_{ci} と Ra の関係

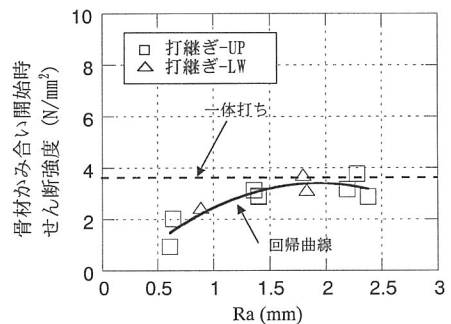


図-8 τ_{si} と Ra の関係

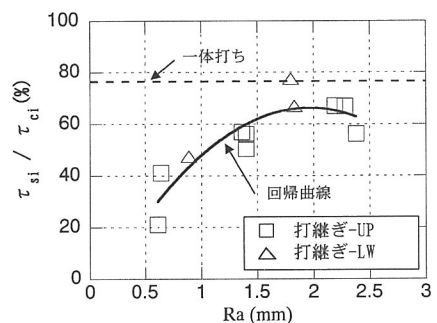


図-9 τ_{si}/τ_{ci} と Ra との関係

応力は、打継ぎのある試験体-A,Bの垂直応力よりも大きい、この原因は一体打ちのひび割れ界面の粗さが打継ぎのある試験体のひび割れ界面よりも粗いためと考えられる。

ひび割れ伝播終了後、ひび割れ面の小さい凹凸の架橋および摩擦が崩れ、すべり破壊を起こし全体のせん断伝達メカニズムが新しい平衡システムへ遷移する。遷移段階では、すべり破壊によってせん断変位が増大する現象が見られた。打継いだ試験体の遷移段階でのせん断変位は、一体打ち試験体よりも大きくなった。打継ぎ部の表面粗さの小さい試験体-Aにおいて、せん断変位の増大が著しかった。さらに、せん断変位の増大に呼応して、垂直応力も著しく増加した。

遷移後のシステムは骨材等の大きい凹凸が乗り上げ現象を起こす、いわゆる骨材かみ合いによるせん断伝達である。

表-4に示す代表的試験体の骨材かみ合い開始以降における垂直応力とせん断変位の関係を図-13に示す。表面粗さが粗い試験体-Bの方が、粗さの小さい試験体-Aよりも垂直応力が大きくなっている。この現象はひび割れ伝播時と同様に、大きい凹凸の乗り上げ現象においても、打継ぎ部の表面粗さが粗い方が、ひび割れ後のひび割れ界面が粗くなり、垂直応力が大きくなったと考えられる。さらに、一体打ち試験体-Cの垂直応力は、打継ぎのある試験体-A,Bの垂直応力よりも大きくなっている。この現象も同様に、一体打ち試験体の方が打継ぎのある試験体よりもひび割れ界面の粗さが粗いためと考えられる。

4. まとめ

本実験の結果から以下のことが確認された。

- 1) コンクリート打継ぎ部のせん断伝達メカニズムは大まかに4段階に分けることが出来る。即ち、ひび割れ発生前の弾性段階、ひび割れ伝播段階、すべり破壊を起こす遷移段階および骨材かみ合い段階である。
- 2) コンクリート打継ぎ部のせん断ひび割れ強度は表面粗さにかかわらずほぼ一定の値を示した。さらに、打継いだ試験体のせん断ひび割れ強度は一体打ち試験体と同等の値を示した。
- 3) 打継ぎ部の目荒し程度が異なる試験体のせん断挙動の相違は、遷移段階の発生以降に見られた。

打継ぎ部の目荒し程度が粗いほど、遷移段階での

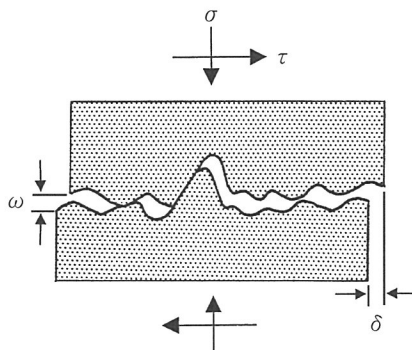


図-10 クラック界面とせん断伝達

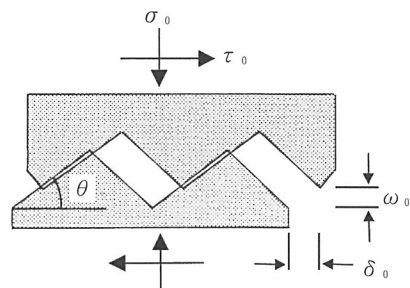
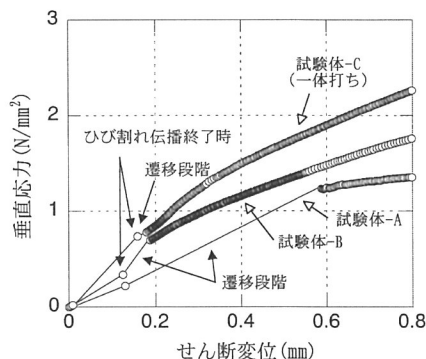


図-11 凹凸かみ合いの模式図



注) グラフ中の ○ は採取したデータを示す。

図-12 ひび割れ発生後の垂直応力とせん断変位の関係

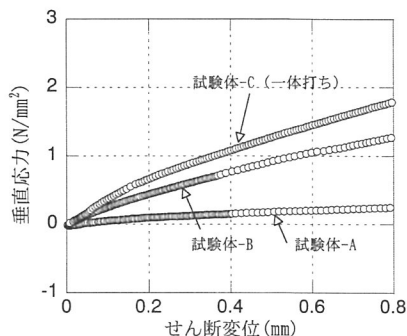


図-13 骨材かみ合い開始以降の垂直応力の変化

せん断変位は小さくなった。さらに、打継いだ試験体の遷移段階でのせん断変位は一体打ち試験体よりも大きくなった。

- 4) ひび割れ面に発生する垂直応力は、せん断伝達メカニズムの段階ごとに変化した。ひび割れ伝播段階、骨材かみ合い段階において、打継ぎ部の表面粗さが粗いほど、発生する垂直応力は大きくなった。

本研究を通じ、コンクリート構造物の打継ぎ部における表面粗さとせん断性状との関係、およびせん断伝達についての基本的メカニズムを把握する事ができた。今後、コンクリート構造物の打継ぎ部におけるせん断伝達メカニズムについてより詳細な解析を行うとともに、これらの成果をもとにコンクリート構造物のより有効な打継ぎ処理法の開発につなげて行きたいと考えている。

最後に、本実験に際し、御指導いただいた東北大学工学部建築学科の三橋教授に謝意を表します。

[参考文献]

- 1) Ishihara, S., Mihashi, H. and Rokugo, K.: Experimental Study on The Mechanical Behavior of Construction Joints in Concrete Structures, Fracture Mechanics of Concrete Structures (ed. H.Mihashi, K. Rokugo), Aedificatio Publishers, pp.783~792,1998
- 2) 石原 誠一郎, 三橋 博三, 立松 和彦, 山崎 順二: コンクリート打継ぎ部のせん断伝達機構に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, pp755~756, 1998.9
- 3) 李 宝禄, 前川 宏一: 接触密度関数に基づくコンクリートひび割れ面の応力伝達構成式, コンクリート工学, JCI, Vol.26, No.1, pp.123~137, 1988. 1
- 4) 岡村 甫, 前川 宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991
- 5) 香取 慶一, 林 静雄, 牛垣 和正, 乗物 丈巳: コンクリート接合面における表面粗さの評価とせん断伝達に関する実験研究, 日本建築学会大会学術梗概集, pp837~840 1996
- 6) Walraven, J .C. and Reinhardt, H. W. : Theory and Experiments on the Mechanical Behaviour of Cracks in Plain and Reinforced Concrete Subjected to Shear Loading, HERON, Vol.26, No.1A, 1981
- 7) 山田 一字, 青柳 征夫: ひびわれ面におけるせん断伝達, 第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, pp.19~28 1983.10
- 8) 塩原 等: コンクリートとコンクリートの接合, コンクリート工学, Vol.34, No.6, pp.14~24, 1996.6
- 9) 田辺 忠顕, 檜貝 勇, 梅原 秀哲, 二羽 淳一郎: コンクリート構造, 朝倉書店, 1985