無収縮高流動コンクリートで一体化した逆打ちコンクリートの 打継ぎ部の力学性状に関する研究

MECHANICAL BEHAVIOR OF HORIZONTAL JOINT INVERSELY CAST WITH SHRINKAGE COMPENSATING HIGH FLUIDITY CONCRETE

石原 誠一郎^{*1}, 三橋 博三^{*2}, 金子 佳生^{*3}, 立松 和彦^{*1}, 山崎 順二^{*1}

Seiichiro ISHIHARA, Hirozo MIHASHI, Yoshio KANEKO,

Kazuhiko TATEMATSU and Junji YAMASAKI

Shrinkage compensating high fluidity concrete is a new type of concrete for construction joints which enables the joint to bond firmly in the inverse placing construction method. With the aim of examining mechanical behavior in horizontal joint inversely cast with shrinkage compensating high fluidity concrete, the bending test and shear test were conducted. As the result, it has become clear that the flexural strength and shearing strength of horizontal joint inversely cast with shrinkage compensating high fluidity concrete is equal to the strength of the construction joint of normal placing method.

Keywords : shrinkage compensating high fluidity concrete, inverted construction method, construction joint, flexural strength, shearing strength

無収縮高流動コンクリート, 逆打ち, 打継ぎ, 曲げ強度, せん断強度

1. はじめに

コンクリート構造物の逆打ち工法における打継ぎ処理法は, 長い間研究, 改善が加えられ多くの工法が提案されてきたが, 未だ標準化されるに至っていないのが現状である³⁾。逆打ちコンクリート工法の打継ぎ処理方法として, 先打ちコンクリートの下面に後打ちコンクリートを直接付着させる直接法がある。しかし, 後打ちコンクリートの材料分離やブリーディングによる沈下が生じ, 打継ぎ処理方法として問題があった。その問題点を改善する方法として, 無収縮モルタルの充填法や, セメントペーストや樹脂の注入法などの工法が提案され実施されてきた⁴⁾。

一方, 逆打継ぎ部の力学性状の研究は, 逆打ちと一体打ちの構造性能を部材レベルで比較する研究^{5) 6) 7)}が主で, 逆打継ぎ部のコンクリートのみの曲げおよびせん断応力下での力学性状についての研究は少ない⁸⁾。特に, せん断応力下での力学性状については, 逆打継ぎ部を鉄筋で補強した試験体による実験^{9) 10)}がほとんどで, 鉄筋の影響を除いたコンクリートのせん断挙動は十分明らかにされていない。逆打継ぎ部のコンクリートの力学性状について研究が少ない背景には, 逆打継ぎ部を一体化できるようなコンクリートが少なく, 逆打継ぎ部に隙間が出来る事を前提として, その隙間をモルタルやセメントペーストで詰める対応が取られているためと考えられる。

筆者らは, 高流動コンクリートにアルミニウム粉末, 膨張材, 乾燥収縮低減剤等を主成分とする混和材料を添加し, 各混和材料の機能により, 高い流動性と材料分離抵抗性及び適度の発泡作用と膨張

作用により打設後の沈下と収縮を補償して, 逆打継ぎ部のコンクリートの一体性の確保を実現することを目的として新たな打継ぎコンクリートを提案してきた^{11) 12)}。この打継ぎコンクリートを以下, 無収縮高流動コンクリートと呼ぶ。本研究では, 無収縮高流動コンクリートを逆打ちした打継ぎ部の力学性状について述べる。

まず, 無収縮高流動コンクリートを逆打ちした供試体の打継ぎ部の曲げ付着性状を, 日本コンクリート工学協会 (JCI) の「コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会」において提案されたプレーンコンクリートの破壊エネルギー試験法¹³⁾に基づいた試験により評価し, 一体打ち, 順打ちによる供試体と比較した結果を述べる。次に, 打継ぎ部のコンクリートのせん断性状をより精密に評価する試験方法を新たに提案し, 無収縮高流動コンクリートを逆打ちした試験体の打継ぎ部のせん断挙動を, 一体打ち, 順打ちおよび無収縮モルタルの充填法による試験体と比較することで, その一体性を検証した結果について述べる。

2. 無収縮高流動コンクリートの開発コンセプト

逆打継ぎ部の先打ちコンクリートと後打ちコンクリートが一体となりにくい原因として, 以下のような要因が考えられる。

- 1) 後打ちコンクリートのブリーディングによる沈下
- 2) 先打ちコンクリート下面への後打ちコンクリートの付着が不十分であること
- 3) 後打ちコンクリートの硬化後の乾燥収縮

本論文は, 参考文献1)2)の内容を加筆, 修正したものである。

^{*1} 浅沼組技術研究所

^{*2} 東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻 教授・工博

^{*3} 東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻 助教授・Ph.D.

Technical Research Institute, Asanuma Corporation

Prof., Dept. of Architecture & Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture & Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Ph.D.

これらの問題点を解決するため、無収縮高流動コンクリートには図1に示す混和材料を添加しコンクリートに以下の機能を持たせた。

- 1) 流動性の良い、分離抵抗性の高い高流動コンクリートとする。
- 2) アルミニウム粉末（以下、AL粉末と略記する）を添加しフレッシュコンクリートを膨張させることで、ブリーディングによる沈下を補償し、打継ぎ面への付着性を向上させる。
- 3) コンクリートに膨張材、乾燥収縮低減剤を添加し、硬化後のコンクリートの乾燥収縮を補償する。

なお、無収縮高流動コンクリートの基本物性については参考文献11)に実大施工実験の結果については参考文献12)に発表している。

3. 曲げ実験

3.1 供試体

供試体の形状を図2に示す。供試体の寸法は10×10×40cmとした。供試体の中央にコンクリートカッターで幅3mm、高さ50mmの切欠きを設けた。供試体一覧を表1に示す。使用コンクリートの種類は普通コンクリート（C01、C02）と水結合材比の異なる2種類の無収縮高流動コンクリート（SHA、SHB）である。打継ぎ方法は一体打ち、順打ち、および逆打ちの3種類、打継ぎ面は平滑面とした。

3.2 コンクリートの調合と使用材料

使用材料を表2に、各コンクリートの調合を表3に示す。各材料試験結果を表4に示す。各供試体は図3に示すように製作した。打継ぎ供試体は、まず先打ち部の普通コンクリートを打設した。打継ぎ面は塗装合板による平滑仕上げとした。約2週間後に、順打ち供試体の後打ち部に普通コンクリートを打設し、逆打ち供試体の後打ち部には無収縮高流動コンクリートを打設した。無収縮高流動コンクリートのAL粉末の発泡による最大自由膨張率はSHAが1.78%、SHBが1.21%であった。SHA、SHBの自由膨張率の経時変化を図4に示す。なお、SHA、SHBおよび市販の無収縮モルタルについて拘束膨張収縮試験（JIS A 6202）を行った。図5に示すように無収縮モルタルに比べて、硬化後の乾燥収縮が極めて小さいことを確認した。なお、曲げ試験は材齢約1年で行った。

3.3 試験方法

試験装置の概要を図2に示す。载荷には容量200kNのサーボバルサ用アクチュエータを用いた。载荷は0.002 mm/secの一定速度でアクチュエータのヘッドを変位制御しながら载荷した。データのサンプリングは5回/秒とした。破壊エネルギー試験法（案）¹³⁾に準じて、ひび割れ開口変位（CMOD）をクリップゲージにより計測した。

3.4 実験結果および考察

代表的な供試体の荷重とCMODとの関係を図6に示す。普通コンクリートの一体打ちUJT1、UJT2と無収縮高流動コンクリートの一体打ちSHA、SHBとを比較した荷重とCMODとの関係のうち全体を(a)に、開口変位0.5mmまでの関係を(b)に示す。無収縮高流動コンクリートは普通コンクリートにくらべ高強度であるため、SHA、SHBはUJT1、2にくらべ高いピーク荷重値を示した。

混和材料構成	各混和材料の機能
①膨張材	⇒ コンクリート硬化後の乾燥収縮を補償
②高性能 AE 減水剤	⇒ 高い減水性能及び良好なスランプ保持性
③アルミニウム粉末	⇒ ブリーディングによる沈下を補償する
④乾燥収縮低減剤	⇒ コンクリート硬化後の乾燥収縮を補償

図1 無収縮高流動コンクリートの混和材料構成とその機能

図2 供試体および試験装置

表1 供試体一覧

供試体記号	種類	打継ぎ面	供試体数	使用 CON
UJT1	一体打ち	—	3 体	C01
UJT2	一体打ち	—	5 体	C02
SHA	一体打ち	—	5 体	SHA
SHB	一体打ち	—	5 体	SHB
JPT	順打継ぎ	平滑	4 体	C01（先打ち）+ C02（後打ち）
JIPTA	逆打継ぎ	平滑	5 体	C02（先打ち）+ SHA（後打ち）
JIPTB	逆打継ぎ	平滑	5 体	C02（先打ち）+ SHB（後打ち）

表2 使用材料

材料	規格・性状 他
セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
細骨材	山砂（城陽産） 表乾密度 2.56 g/cm ³ 粗粒率 2.80 吸水率 1.96%
粗骨材	砕石 1505（高槻産硬質砂岩）（Gmax=15mm） 表乾密度 2.67 g/cm ³ 吸水率 0.77% 実積率 57%
分離低減剤	セルロース系
発泡剤	特殊処理アルミニウム粉末
膨張材	石灰系
収縮低減剤	低級アルコールアルキレンオキシド付加物
AE 減水剤	C01～2 は AE 減水剤（リグニルスルホン酸系）使用
高性能 AE 減水剤	SHA～B は高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系）使用

図3 供試体作製要領

表4 材料試験結果

CON 記号	スランプフロー (cm)	最大自由膨張率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
C01	—	—	29.7	2.43	29
C02	—	—	35.5	2.63	27
SHA	54×52	1.78	56.0	4.30	36.2
SHB	57×56	1.21	65.9	4.10	37.7

表3 調合表

CON 種類	W/B (%)	s/a (%)	水 (kg)	セメント (kg)	膨張材 (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	分離低減剤 (kg)	収縮低減剤 (kg)	AL 粉末 (g)	(高性能) AE 減水剤 (kg)
C01, 02	60	51.1	186	310	—	878	876	—	—	—	3.29
SHA	45	51.4	180	370	30	847	836	0.36	7.5	21.5	5.6
SHB	35	51.0	175	465	35	806	806	—	10	21.5	5.3

図4 自由膨張率の経時変化

図5 拘束膨張収縮試験結果

順打ちした JPT と、SHA、SHB を逆打ちした JIPTA および JIPTB とを比較した荷重と CMOD との関係のうち全体を (c) に、開口変位 0.5mm までの関係を (d) に示す。逆打ちした供試体は順打ちと同様な荷重-CMOD 関係を示した。

破壊エネルギー G_F (単位面積あたりのひび割れを形成するのに必要なエネルギー) と破断時 CMOD との関係を図 7 に、曲げ強度と最大荷重時 CMOD との関係を図 8 に示す。図 7 から一体打ちにくらべ打継ぎ供試体の G_F が非常に小さいことがわかる。一方、逆打ちと順打ちの打継ぎ供試体の G_F はほとんど差がなく、さらに逆打ちした JIPTA と JIPTB の G_F にも明確な差は認められなかった。

次に、一体打ちと打継ぎ供試体の曲げ強度を比較すると、打継ぎ供試体は一体打ちにくらべ曲げ強度が低くなっているが、その減少の程度は G_F ほど大きくない。逆打ちと順打ちの供試体の一体打ちに対する曲げ強度比を図 9 に示す。一体打ちの 40% 程度しか曲げ強度がない順打ち JPT に比べ、逆打ち供試体の曲げ強度比の方が少し大きく、特に JIPTA の曲げ強度比は 60% 以上と高かった。材齢約 1 年時の試験で、さらに逆打ちにもかかわらず順打ちと同等以上の曲げ強度を示したのは、無収縮高流動コンクリートが AL 粉末によりフレッシュ時に膨張し、逆打ち継ぎ面に十分付着し、さらに硬化後の乾燥収縮が小さいためと考えられる。写真 1 に JIPTA と JPT の破面状況を示す。JIPTA は JPT にくらべ破面の凹凸が激しく一体性が高いことがわかる。逆打ち供試体のうち JIPTA は JIPTB に打継いだ SHB よりも低強度の SHA を打継いだにもかかわらず、曲げ強度が高かった原因は、打継いだ SHA の AL 粉末による膨張が SHB よりも大きく打継ぎ面に十分付着したためと考えられる。

4. せん断実験

4.1 試験体

試験体一覧を表 5 に示す。試験体は打継ぎ方法と打継ぎ面の処理法を変えた 7 種類で、合計 17 体とした。打継ぎ方法は直接法 (逆打ち)、一体打ち、順打ち、充填法の 4 種類、打継ぎ面の処理法は平滑面と目荒し面の 2 タイプとした。試験体形状は各試験体とも同じで、その詳細を図 10 に示す。従来の間接一面せん断試験では、破壊想定断面に鉄筋を配した場合、鉄筋のダウエル作用の影響を受け、コンクリートのみのせん断挙動を把握することが難しい。そのため、今回の試験法では各試験体に 4 本の拘束用鋼棒 (鋼棒直径 8mm) をシースに通し打継ぎ面に直交するように配置し、せん断破壊後の骨材かみ合い段階の挙動も把握できるようにした。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してある。鋼棒の補強筋比は 2.39% である。載荷前の

(a) 全体

(b) 拡大図 (開口変位 0.5mm まで)

(c) 全体

(d) 拡大図 (開口変位 0.5mm まで)

図6 荷重-CMOD 曲線

図7 G_F -CMOD

図8 曲げ強度-CMOD

図9 曲げ強度比

写真1 破面状況の比較

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。さらに打継ぎ面で確実にせん断破壊を起こすよう、打継ぎ面の上下左右に V 字形の溝を切った。試験体の打継ぎ面積は 78.3 cm^2 ($8.9 \text{ cm} \times 8.8 \text{ cm}$) である。一体打ちの試験体にも同じ位置で溝を切り、破壊想定面積が打継ぎ面積と同じになるようにした。

各試験体は図 11 に示すように製作した。まず、一体打ちを除く試験体の先打ち部に普通コンクリート C03 を打設した。剥離用テープ

を巻いた丸鋼を打ち込み、硬化直前に丸鋼を引抜き鋼棒用のシースを作製した(図11(a)～(c)の①②参照)。平滑面タイプは打継ぎ面を塗装合板による仕上げとし、目荒タイプは打継ぎ面に凝結遅延シートを貼付け、材齢7日に目荒しを行った。材齢14日に順打ちの後打ち部と一体打ちの普通コンクリートC04を同時に打設し、直接法試験体の後打ち部に無収縮高流動コンクリートを打設した(図11(a)(b)の③④参照)。その翌日に充填法試験体の後打ち部に無収縮モルタルを充填した。充填法の無収縮モルタルには、市販のブレミックス無収縮モルタルを用いた(図11(c)の③④参照)。なお、後打ち部および一体打ちにも先打ち部と同様に丸鋼を打ち込み、硬化前に引抜き、鋼棒用のシースを作製した(図11(d)①～③参照)。

4.2 コンクリートの調合と使用材料

先打ち部、後打ち部および一体打ち試験体に用いた普通コンクリートC03と04、無収縮高流動コンクリートSHFの調合を表6に示す。SHFの調合はSHAに準じた調合でW/Bを若干高くしている。使用材料は表2と同じである。無収縮高流動コンクリートを直接法で打継いだ試験体は打設高さが100mmと小さく、打継ぎ面への無収縮高流動コンクリートの付着が不十分になる恐れがあったため目標膨張率を2.5%程度になるようAL粉末を添加した。

4.3 コンクリート表面粗さの測定方法

打継ぎ部の目荒し程度を数値化する目的で打継ぎ面の表面粗さをレーザー変位計で0.1mm間隔で計測した。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によった(図12参照)。

4.4 試験方法

試験は図13に示す100kNコンピュータ制御式精密万能試験機を用い、せん断ひび割れを起すまで0.005mm/min、ひび割れ発生

図11 試験体製作要領

表5 試験体一覧

試験体記号	打継ぎ方法	打継ぎ面の処理法	打継ぎ材料
SHFP1	直接法	平滑面	無収縮高流動コンクリート
SHFP2	直接法	平滑面	無収縮高流動コンクリート
SHFP3	直接法	平滑面	無収縮高流動コンクリート
SHFM1	直接法	目荒し	無収縮高流動コンクリート
SHFM2	直接法	目荒し	無収縮高流動コンクリート
SA1	一体打ち	—	普通 CON
SA2	一体打ち	—	普通 CON
SA3	一体打ち	—	普通 CON
SBP1	順打ち	平滑面	普通 CON
SBP2	順打ち	平滑面	普通 CON
SBP3	順打ち	平滑面	普通 CON
SBM1	順打ち	目荒し	普通 CON
SBM2	順打ち	目荒し	普通 CON
SCP1	充填法	平滑面	無収縮モルタル
SCP2	充填法	平滑面	無収縮モルタル
SCM1	充填法	目荒し	無収縮モルタル
SCM2	充填法	目荒し	無収縮モルタル

図10 試験体形状と計測位置

図12 表面粗さ計測法とRaの定義

図13 載荷装置

表6 調合表

CON種類	W/B (%)	水 (kg)	セメント (kg)	膨張材 (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	分離低減剤 (kg)	収縮低減剤 (kg)	AL粉末 (g)	(高性能) AE減水剤 (kg)
C03, 04	60	189	315	—	867	888	—	—	—	0.788
SHF	47	180	353	30	832	890	0.36	10	28.75	2.0

表 7 材料試験結果

使用材料種類	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
先打ち部普通 CON (C03)	30.1	2.4	24
後打ち部普通 CON (C04)	26.5	2.2	23
無収縮高流動 CON	34.7	3.5	26
無収縮モルタル	75.5	3.7	27

後には、0.06mm/min の速度で載荷した。データサンプリングは 0.5~1 回/秒とした。各試験体の変位計測位置間のせん断応力、せん断変位およびひび割れ幅の変化を測定した。

4.5 実験結果および考察

使用した材料の材料試験結果を表 7 に示す。後打ちした無収縮高流動コンクリートの最大自由膨張率は 2.89 %であった。せん断試験は、後打ち部の普通コンクリート打設後、7 週経過した時点で行った。せん断試験結果の一覧を表 8 に示す。すべての試験体が V 字溝を切った破壊想定位置でせん断破壊した。

(1) せん断応力とせん断変位の関係

打継ぎ面が平滑な代表的試験体のせん断応力とせん断変位の関係を図 14 (A) に、打継ぎ面を目荒したものや一体打ちの代表的試験体のせん断応力とせん断変位の関係を図 14 (B) に示す。

各試験体とも弾性変形後、破壊想定位置でせん断ひび割れが発生し、急激に滑り破壊を起しせん断応力を低下させ安定した骨材かみ合い段階へと遷移した。なお、図 14 において△で示されたせん断ひび割れ強度とは弾性変形後、破壊想定位置でせん断ひび割れが目視で確認された時点での応力度である。○で示された骨材かみ合い開始時せん断強度とは、滑り破壊後、骨材かみ合いを開始した時点での応力度である。なお、表 8 にある最大せん断強度とは、計測されたせん断応力とせん断変位の関係の中で最大の応力度を意味する。打継ぎ試験体では、せん断ひび割れ強度が最大せん断強度であったが、一体打ちの試験体は滑り破壊後のせん断応力の低下が小さく、骨材かみ合い開始後も応力の上昇が見られたため、最大せん断強度はせん断ひび割れ時ではなく、骨材かみ合い段階時に得られた。

(2) せん断ひび割れ強度と表面粗さ (Ra) との関係

図 15 にせん断ひび割れ強度 τ_d と表面粗さ Ra との関係を示す。平滑面に無収縮高流動コンクリートを逆打ちした試験体 SHFP のせん断ひび割れ強度は、平滑面に普通コンクリートを順打ちした試験体 SBP および $\times$ 部分の普通コンクリートの一体打ちのせん断ひび割れ強度よりも高くなっている。逆打ちにもかかわらず順打ち以上のせん断ひび割れ強度を示したのは、無収縮高流動コンクリートが AL 粉末によりフレッシュ時に膨張し、逆打継ぎ面に十分付着したためと考えられる。さらに、一体打ち以上の強度を示したのは、これまでに膨張材を添加することでひび割れ抵抗性が向上することが報告されているが¹⁴⁾、膨張材を添加した無収縮高流動コンクリートのひび割れ抵抗性が向上したためではないかと考えられる。一方、目荒し面を逆打ちした SHFM のせん断ひび割れ強度は SBM と同等であるが、SHFP よりも少し小さくなっている。これは、無収縮高流動コンクリートの打設高さが 10cm と小さいため、AL 粉末による膨張高さが小さく、目荒し面への無収縮高流動コンクリートの付着が平滑面より不十分であった事が原因ではないかと考えられる。

充填法による試験体 SCP、SCM のせん断ひび割れ強度は、他の試験体にくらべかなり小さかった。これは、試験後の破面観察から、

図 14 せん断応力とせん断変位の関係

表 8 試験結果一覧

試験体 記号	中心線 平均粗 さ Ra	せん断 ひび割 れ強度 (N/mm ²)	同左時 せん断 変位 (mm)	骨材かみ 合い開 始時 せん断 強度 (N/mm ²)	同左時 せん断 変位 (mm)	最大せん 断強度 (N/mm ²)	同左時 せん断 変位 (mm)
SHFP1	0.040	5.794	0.026	2.112	0.342	5.794	0.026
SHFP2	0.070	5.664	0.031	2.107	0.355	5.664	0.031
SHFP3	0.078	5.816	0.037	1.811	0.371	5.816	0.037
SHFM1	0.455	4.526	0.040	1.040	0.413	4.526	0.040
SHFM2	0.358	5.298	0.031	1.410	0.443	5.298	0.031
SA1	-	3.920	0.049	3.564	0.170	7.861	0.646
SA2	-	4.894	0.032	4.455	0.060	6.142	0.692
SA3	-	4.408	0.063	4.238	0.059	7.689	0.430
SBP1	0.040	4.790	0.047	1.856	0.361	4.790	0.047
SBP2	0.075	4.630	0.043	0.701	0.451	4.630	0.043
SBP3	0.025	3.997	0.033	0.425	0.367	3.997	0.033
SBM1	0.435	5.181	0.031	2.088	0.406	5.181	0.031
SBM2	0.450	4.986	0.031	2.409	0.429	4.986	0.031
SCP1	0.065	1.770	0.039	0.806	0.184	1.770	0.039
SCP2	0.045	2.161	0.029	0.924	0.144	2.161	0.029
SCM1	0.425	2.084	0.021	1.234	0.146	2.478	0.936
SCM2	0.460	3.151	0.032	1.864	0.167	3.151	0.032

図 15 せん断ひび割れ強度 τ_d と表面粗さ Ra との関係

施工上の不備から無収縮モルタルの打継ぎ面への充填が不十分であったことが原因であると考えられる。

以上の結果から、無収縮高流動コンクリートを逆打ちした試験体のせん断ひび割れ強度は、普通コンクリートを順打ちした試験体と比較すると同等以上の性能を有することが確認できた。

無収縮高流動コンクリートを逆打ちした試験体、普通コンクリートを順打ちした試験体および無収縮モルタルを充填した試験体の各々のせん断ひび割れ強度と表面粗さ Ra の関係をみると、この実験の範囲では表面粗さ Ra の程度にかかわらずせん断ひび割れ強度はほぼ一定であった。以上から、打継ぎ部のせん断ひび割れ強度は表面粗さ Ra の影響を受けにくいことが判った。

(3) 骨材かみ合い開始時せん断強度と表面粗さ (Ra) との関係

図 16 に骨材かみ合い開始時のせん断強度 τ_{si} と表面粗さ Ra の関係を示す。図 17 に骨材かみ合い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_d と表面粗さ Ra との関係を示す。無収縮高流

図16 骨材かみ合い開始時のせん断強度 τ_{si} と表面粗さ Ra の関係 図17 τ_{si} / τ_{ci} と表面粗さ Ra との関係

逆打ち SHFP の破面

順打ち SBP の破面

写真2 破面状況の比較

動コンクリートを平滑面に逆打ちした SHFP の骨材かみ合い開始時のせん断強度は、順打ちした SBP および充填法による SCP よりも少し大きな値を示した。写真2に示すように SHFP の破面は SBP に比べ凹凸が激しく、SBP よりも打継ぎ部の一体性が高いことが判ると同時に、破面の凹凸が大きいため滑り破壊後の骨材かみ合い強度が高くなったと考えられる。一方、目荒した面に無収縮高流動コンクリートを逆打ちした試験体 SHFM の骨材かみ合い開始時のせん断強度は、目荒し面に普通コンクリートを順打ちした SBM よりも少し小さく、無収縮モルタルの充填が不十分であった充填法による SCM とほぼ同程度であった。さらに普通コンクリートを順打ちした試験体および無収縮モルタルを充填した試験体では、打継ぎ面が平滑な試験体にくらべ目荒した試験体の方が τ_{si} / τ_{ci} は大きくなる傾向がみられたのに対し、無収縮高流動コンクリートを用いた試験体においては τ_{si} / τ_{ci} が若干小さくなる傾向がみられた。前述のようにフレッシュ時の膨張高さが小さいため、目荒し面への無収縮高流動コンクリートの付着が不十分であったためと考えられる。以上から、逆打継ぎ部の骨材かみ合い開始時せん断強度を順打継ぎ部と同等以上にするには、適切な膨張高さを確保し、無収縮高流動コンクリートを逆打継ぎ面に確実に付着させる必要があることが判った。

(4) 今後の問題点

今回提案したせん断試験方法によって、無収縮高流動コンクリートを逆打ちした打継ぎ部と各種の処理法で打継いだ打継ぎ部にお

るせん断挙動について、弾性変形、滑り破壊、骨材かみ合いの各段階での差異を比較的適切に捕えることができた。今後は鋼棒による拘束度の違い、打継ぎ面の粗度、無収縮高流動コンクリートの膨張高さなど条件の違いによる影響をさらに検証していく必要がある。

5. まとめ

本研究から以下の知見が得られた。

- (1) 無収縮高流動コンクリートを平滑面に逆打ちした逆打継ぎ部は順打継ぎ部に比べ G_F にはほとんど差が見られないが、曲げ強度は同等以上である。
- (2) 無収縮高流動コンクリートを平滑面に逆打ちした逆打継ぎ部の曲げ強度は一体打ちの 50～60% である。
- (3) 無収縮高流動コンクリートを逆打ちした試験体のせん断ひび割れ強度は、普通コンクリートを順打ちした試験体のせん断ひび割れ強度と比較すると同等以上の性能を有する。
- (4) 今回の実験の範囲では表面粗さ Ra の程度にかかわらず、せん断ひび割れ強度はほぼ一定であったため、打継ぎ部のせん断ひび割れ強度は、表面粗さ Ra の影響を受けにくいと考えられる。
- (5) 逆打継ぎ部の骨材かみ合い開始時せん断強度を順打継ぎ部と同等以上にするには、適切な膨張高さを確保し、無収縮高流動コンクリートを逆打継ぎ面に確実に付着させる必要がある。
- (6) 今回提案したせん断試験法により、各種処理法で打継いだ打継ぎ部でのせん断挙動について、弾性変形、滑り破壊、骨材かみ合いの各段階での差異を比較的適切にとらえることができる。

参考文献

- 1) 石原誠一郎, 三橋博三, 立松和彦, 山崎順二: 無収縮高流動コンクリートで一体化した逆打ちコンクリートの打継ぎ部せん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.439～444, 1999
- 2) 石原誠一郎, 三橋博三, 立松和彦, 森 浩二, 山崎順二: 無収縮高流動コンクリートで一体化した逆打ちコンクリートの打継ぎ部付着性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.529～530, 2002.8
- 3) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, p.242, 2003.2
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編], pp.104～106, 2000.1
- 5) 入沢賢一, 武田寿一, 大内一, 竹本靖: 逆打工法による打継部を含む RC 柱の実験的研究, 大林組技術研究所報, No.14, pp.24～28, 1977
- 6) 高幣喜文, 両角昌公, 宮内靖昌: 逆打工法における柱打継ぎ部の力学性状に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, No.393, pp.1～10, 1988.11
- 7) 石崎長俊, 大西靖和, 丸隆宏, 浜崎政治, 横須賀誠一, 渡部嗣道: 逆打ち工法における打継ぎ部の構造性能 (その1) 試験体の製作, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.779～780, 1996.9
- 8) 小谷一三, 中里吉明, 本橋賢一: 逆巻コンクリート工法の開発研究, 鹿島建設技術研究所年報, No.31, pp.1～8, 1983.6
- 9) 宇治公隆, 松岡康訓: A1 粉末を混入したコンクリートで一体化した逆打ちコンクリートの打継部せん断挙動, 大成建設技術研究所報第16号, pp.51～59, 1983
- 10) 高瀬三郎, 田辺清, 松岡康訓: アルミニウム粉末を使用した逆打ちコンクリート, 土木学会論文集, No.355/V-1, pp.63～71, 1986.3
- 11) Ishihara, S., Mihashi, H., Tatematsu, K. and Yamasaki, J.: Fundamental Study on Shrinkage Compensating High Fluidity Concrete, International Workshop on Control of Cracking in Early-Age Concrete, Tohoku University, Sendai, Japan, 2000.8
- 12) 石原誠一郎, 三橋博三, 立松和彦, 高見錦一, 山崎順二: 無収縮高流動コンクリートを用いた逆打ち工法の実大施工実験, 日本建築学会技術報告集, No.13, pp.19～24, 2001.7
- 13) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 2001.5
- 14) 溝淵利明, 横関康祐, 信田佳延: 一軸拘束試験装置を用いた膨張材の温度応力抑制効果に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1051～1056, 1998

(2003年7月10日原稿受理, 2003年10月31日採用決定)