

論文 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

石原誠一郎^{*1}・三橋博三^{*2}・立松和彦^{*1}・山崎順二^{*1}

要旨:逆打ちコンクリートの打継ぎ部の一体性を確保するために、新たな打継ぎコンクリートとして高流動コンクリートに AI 粉末、膨張材および収縮低減剤を加えた無収縮高流動コンクリートを検討した。この無収縮高流動コンクリートの開発を目指して基礎物性実験を実施し、さらにこのコンクリートを用い逆打ちで打継いだ試験体のせん断試験を行った。その結果、無収縮高流動コンクリートは逆打ちコンクリートの打継ぎ面を一体化させ、順打ちと同等の打継ぎ性能があることが確認できた。

キーワード:無収縮高流動コンクリート、アルミ、膨張材、逆打ち、せん断、打継ぎ

1. はじめに

逆打ち工法は、通常の順打ち工法と異なり、打継ぎ部に空隙あるいは弱点部を生じやすい。そのため、逆打ち工法における打継ぎ処理法については、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、未だ標準化されていない。逆打ち工法の打継ぎ部が弱点となる原因には、大きく三つの要因が考えられる。

- 1) 打継ぐ新コンクリートのブリーディングによる沈下
 - 2) 旧コンクリート面へ打継ぐ新コンクリートの密着が不十分であること
 - 3) 打継ぐ新コンクリートの硬化後の乾燥収縮
- これらの問題を解決するため、以下の点を考慮して新たな打継ぎコンクリートを検討した。
- 1) 流動性が良く、分離抵抗性も高い高流動コンクリートをベースコンクリートとする。
 - 2) コンクリートのブリーディング沈下を補償し、密着性を向上させるため AI 粉末を使用する。
 - 3) コンクリート硬化後の乾燥収縮を補償するため膨張材、収縮低減剤を使用する。

高流動コンクリートに AI 粉末、膨張材および収縮低減剤を加えた新たな打継ぎコンクリートを、以下において無収縮高流動コンクリートと呼ぶ。本研究はこの無収縮高流動コンクリ

ートの開発を目指して行った基礎物性実験、および無収縮高流動コンクリートを直接法で逆打ちに打ち継いだ試験体の打継ぎ部のせん断挙動を、一体打ち、順打ち、充填法による試験体と比較したせん断試験について述べる。

2. 実験概要

2.1 基礎物性実験

(1) コンクリートの調合と使用材料

コンクリートの調合表とフレッシュ時の性状を表-1 に、使用材料を表-2 に示す。調合はベースとなる高流動コンクリート (Plain)、それに AI 粉末のみを添加したもの (AI)、AI 粉末に加え石灰系およびエトリンサイト系の膨張材を各々加えたもの (AI+Lm、AI+Et)、さらに石灰系膨張材に収縮低減剤を加えた無収縮高流動コンクリート (SHF) の 5 種類とした。

(2) コンクリートの製造および試験項目

コンクリートの製造は温度 20℃、相対湿度 60% の恒温恒湿室で行い、パン型強制ミキサーを用いて練混ぜた。フレッシュ時の試験項目は、スランプフロー、空気量および自由膨張率とした。コンクリートの自由膨張率は $\Phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の型枠を用い鉛直方向の膨張変位を変位計で計測した。硬化コンクリートの試験項目は、圧縮

*1 (株)浅沼組 技術研究所 (正会員)

*2 東北大学大学院工学研究科教授 工博 (正会員)

表-1 コンクリート調合表とフレッシュ性状

調合種類	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)									SP C×%	スランプフロー cm×cm	空気量 (%)
			W	C	S	G	SF	Al	Lm	Et	Te			
Plain	47	52.8	180	383	890	832	0.36	-	-	-	-	2.0	53.0×52.0	1.2
Al	47	52.8	180	383	890	832	0.36	28.75g	-	-	-	1.8	44.0×45.0	2.7
Al + Lm	47	52.8	180	383	890	832	0.36	28.75g	30	-	-	2.0	52.0×51.1	0.6
Al + Et	47	52.8	180	383	890	832	0.36	28.75g	-	30	-	2.0	51.0×50.6	1.7
SHF	47	52.8	180	383	890	832	0.36	28.75g	30	-	10	2.0	55.7×57.0	1.1

強度と拘束膨張試験とした。圧縮強度試験用供試体は、鋼製型枠上面に 2N/cm² の荷重をかけ脱型時まで拘束した。拘束膨張試験は JIS A 6202 「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法」に従い実施した。ただし、ベースコンクリート (Plain)は拘束膨張でなく、JIS A 1129 の長さ変化試験とした。

2.2 せん断試験

(1) 試験体

試験体は打継ぎ方法と打継ぎ面の処理法を変えた表-3 に示す 7 種類で、合計 17 体とした。打継ぎ方法は直接法、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らしの 2 タイプとした。各試験体は図-1 に示すように製作した。まず、直接法、順打ち、充

表-2 使用材料

材料	記号	規格・性状 他
セメント	C	普通ポルトランドセメント
細骨材	S1	城陽産山砂 [80] 比重 2.56 吸水率 1.88 %
	S2	高槻産砕砂 [20] 比重 2.66 吸水率 1.84 %
粗骨材	G	高槻産砕石 (G _{max} =15mm) 比重 2.69, 吸水率 0.63 %, 実積率 58%
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系
分離低減剤	SF	セルロース系
発泡剤	Al	特殊処理アルミニウム粉末
膨張材	Lm	石灰系
	Et	エトリンサイト系
収縮低減剤	Te	低級アルコールアルキレンオキシド付加物

表-3 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 CON
SHFP2	直接法	平滑面	無収縮高流動 CON
SHFP3	直接法	平滑面	無収縮高流動 CON
SHFM1	直接法	目荒らし	無収縮高流動 CON
SHFM2	直接法	目荒らし	無収縮高流動 CON
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	目荒らし	普通 CON
SBM2	順打ち	目荒らし	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	目荒らし	無収縮モルタル
SCM2	充填法	目荒らし	無収縮モルタル

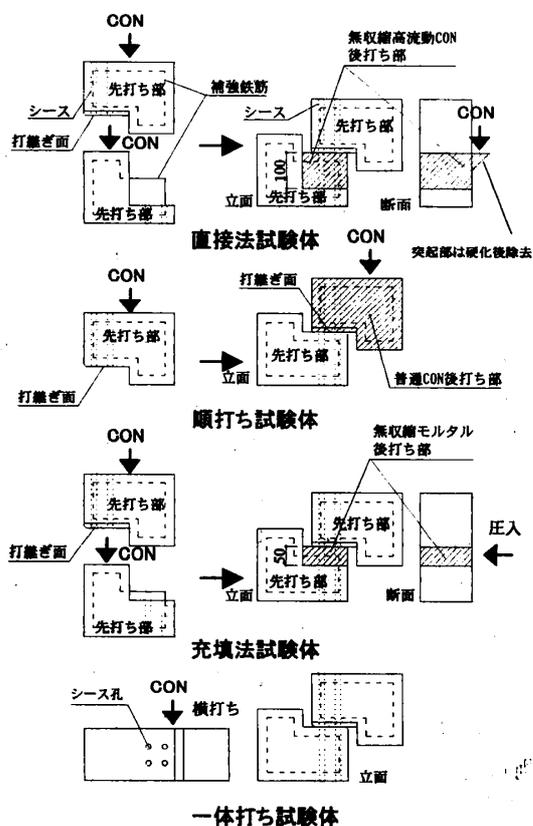


図-1 試験体製作要領

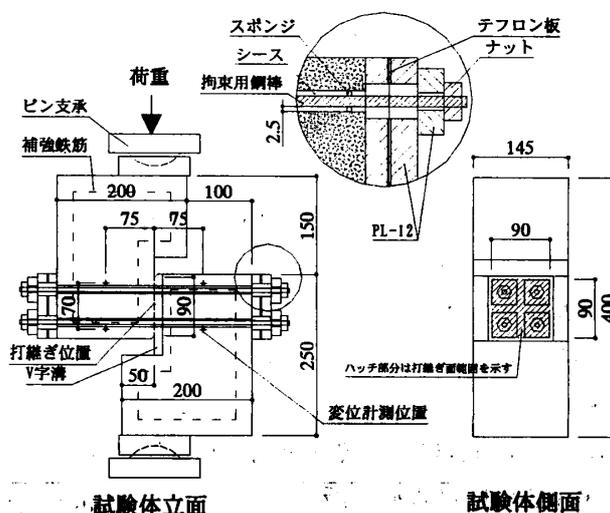


図-2 試験体寸法・載荷方法および測定位置

填法の先打ち部に普通コンクリートを打設した。平滑面タイプは打継ぎコンクリート面を塗装合板による仕上げとし、目荒らしタイプは打継ぎ面の型枠に凝結遅延シートを張付け、材令7日に目荒しを行った。材令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を同時に打設し、さらに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。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。直接法に用いた無収縮高流動コンクリートの調合は基礎物性実験のSHFの調合とした。充填法の無収縮モルタルには、市販のプレミックス無収縮モルタルを用いた。先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の調合を表-4に、使用材料の試験時の材料試験結果を表-5に示す。

試験体形状は各試験体とも同じで、その詳細を図-2に示す。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81cm²(9cm×9cm)である。一体打ちの試験体にも同じ位置で溝を切り、せん断破断面が打継ぎ面積と同じになるようにした。各試験体には、4本の拘束用鋼棒(鋼棒有効直径5.6mm)をシースに通し打継ぎ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してある。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。

(2) 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、打継ぎ面のコンクリート表面粗さを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R_aによった。

(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、せん断ひび割れを起こすま

で0.005mm/min、ひび割れ発生後0.06mm/minの速度で載荷した。各試験体についてせん断応力、せん断変位、ひび割れ幅の変化を測定した。

表-4 コンクリート調合表

コンクリートの種類	呼び強度	W/C (%)	単位重量 (kg/m ³)				混和剤 ℓ/m ³
			W	C	S	G	
普通	21	60.0	189	315	867	888	0.788

表-5 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 (N/mm ²)
先打ち部普通 CON	30.1	2.4	2.4
後打ち部普通 CON	26.5	2.2	2.3
無収縮高流動 CON	34.7	3.5	2.6
無収縮モルタル	75.5	3.7	2.7

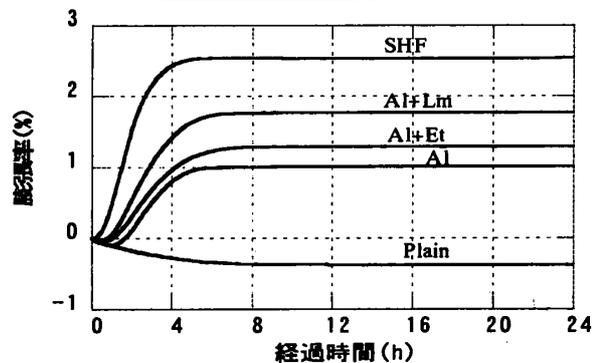


図-3 自由膨張率の経時変化

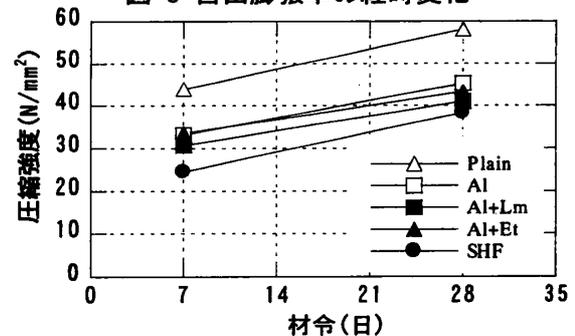


図-4 材令と圧縮強度の関係

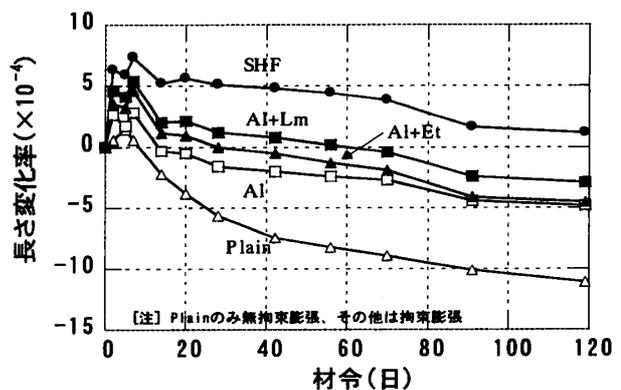


図-5 各調合の膨張・収縮特性

3. 実験結果および考察

3.1 基礎物性実験結果

(1) 自由膨張率

各調合の自由膨張率と経過時間との関係を図-3 に示す。AI 粉末と膨張材を併用すると、AI 粉末のみを使用したものに比べ、発泡開始が早くなり最終膨張率も大きくなった。その傾向は膨張材にエトリンサイト系よりも石灰系を使用した方が、さらに石灰系膨張材に収縮低減材を加えた無収縮高流動コンクリートの方がより顕著になった。なお、せん断試験体に用い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。

(2) 圧縮強度

材令と圧縮強度の関係を図-4 に示す。今回の実験では AI 粉末を混入した供試体はベースコンクリートよりも材令4週時の圧縮強度が約20~30%低下した。自由膨張率の大きい供試体ほど強度の低下が大きかった。これまで報告された例では AI 粉末の添加による圧縮強度の低下は僅かである。^{1) 2)} 本実験での大きな強度低下は養生時の拘束が十分でなく膨張圧がまさり自由膨張を起こした事が原因と考えられる。

(3) 拘束膨張試験

拘束膨張試験の結果を図-5 に示す。AI 粉末のみ添加した供試体より膨張材も合わせて添加した供試体の材令経過に伴う拘束膨張率の低下

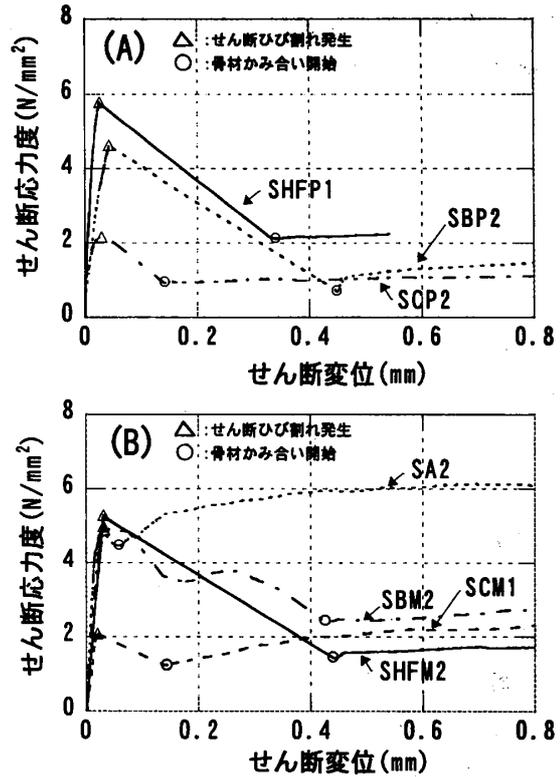


図-6 せん断応力とせん断変位の関係

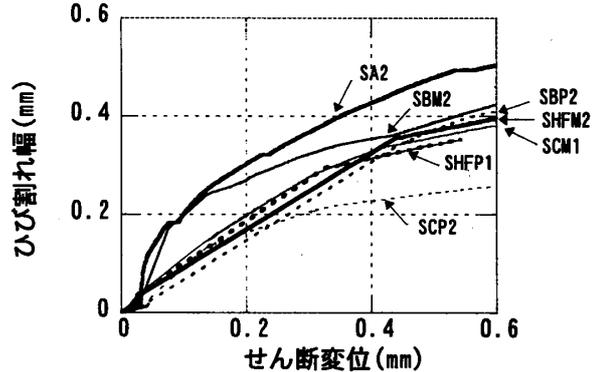


図-7 せん断変位とひび割れ幅の関係

表-6 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)	同左せん 断変位 (mm)	同左ひ び割れ 幅 (mm)	骨材かみ 合い開始時 せん断強 度 (N/mm ²)	同左せん 断変位 (mm)	同左ひ び割れ 幅 (mm)	最大せん 断強 度 (N/mm ²)	同左せん 断変位 (mm)	同左ひ び割れ 幅 (mm)
SHFP1	0.04	5.794363	0.02575	0.0285	2.111611	0.34175	0.2975	5.794363	0.02575	0.0285
SHFP2	0.07	5.664483	0.03125	0.023	2.106954	0.35525	0.332	5.664483	0.03125	0.023
SHFP3	0.0775	5.815687	0.03725	0.021	1.810922	0.37075	0.3375	5.815687	0.03725	0.021
SHFM1	0.455	4.525761	0.04	0.0185	1.040207	0.41275	0.36125	4.525761	0.04	0.0185
SHFM2	0.3575	5.297886	0.03125	0.0275	1.410229	0.4425	0.357	5.297886	0.03125	0.0275
SA1	-	3.92	0.0493	0.0203	3.564	0.1695	0.0613	7.86146	0.64575	0.4613
SA2	-	4.894257	0.03175	0.052	4.455348	0.06	0.1543	6.1417	0.69225	0.5273
SA3	-	4.407691	0.06275	0.0175	4.23831	0.05925	0.0503	7.689048	0.42975	0.55
SBP1	0.04	4.790303	0.047	0.02675	1.85565	0.36125	0.20975	4.790303	0.047	0.02675
SBP2	0.075	4.630081	0.04275	0.019	0.701075	0.4505	0.34575	4.630081	0.04275	0.019
SBP3	0.025	3.997478	0.0325	0.023	0.424746	0.367	0.31275	3.997478	0.0325	0.023
SBM1	0.435	5.181231	0.03125	0.0385	2.087831	0.406	0.35875	5.181231	0.03125	0.0385
SBM2	0.45	4.986366	0.031	0.0295	2.40873	0.42875	0.35875	4.986366	0.031	0.0295
SCP1	0.065	1.770009	0.0385	0.01775	0.805887	0.1835	0.1285	1.770009	0.0385	0.01775
SCP2	0.045	2.161021	0.029	0.01425	0.924453	0.1435	0.13825	2.161021	0.029	0.01425
SCM1	0.425	2.083832	0.0205	0.02825	1.233824	0.1455	0.154	2.478438	0.93625	0.43675
SCM2	0.46	3.150993	0.032	0.0295	1.863631	0.167	0.28425	3.150993	0.032	0.0295

は小さくなった。しかし、エトリンガイト系の膨張材は石灰系に比べ、拘束膨張率の低下が大きくなった。無収縮高流動コンクリートは材令の経過に伴う拘束膨張率の低下が極めて小さいことが確認された。

3.2 せん断試験結果

試験結果の一覧を表-6 に示す。すべての試験体が打継ぎ面でせん断ひび割れを発生させ、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-6(A)示す。各試験体ともせん断ひび割れ発生後、滑り破壊を起こし、急激に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。打継ぎ面を目荒らししたものと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-6(B)に示す。各試験体とも打継ぎ面が平滑な試験体と同様なせん断挙動を示した。ただ一体打ちの試験体(SA2)は滑り破壊による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。

(2) せん断変位とひび割れ幅との関係

図-7 に代表的試験体のせん断変位とひび割れ幅の関係を示す。無収縮高流動コンクリートを用いた直接法試験体のせん断変位とひび割れ幅の関係は、打継ぎ面の平滑な試験体(SHFP1)と目荒らしした試験体(SHFM2)にはほとんど差が無く、平滑面に普通コンクリートを順打ちした試験体(SBP2)とほぼ同じ関係を示した。

(3) せん断強度と表面粗さ(R_a)との関係

図-8 にせん断ひび割れ強度 τ_{ci} と表面粗さ R_a との関係を示す。無収縮高流動コンクリートを用いた直接法試験体(SHFP,SHFM)と普通コンクリートを順打ちした試験体(SBP,SBM)のせん断ひび割れ強度は、両試験体ともほぼ同じ値を示した。さらに両試験体のせん断ひび割れ強度は、一体打ちにくらべ同等以上であった。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小さな値となった。これは、試験後に観察した打継ぎ面の状態から、打継ぎ

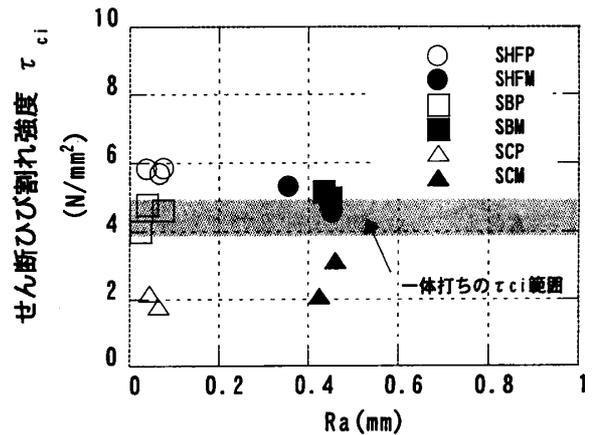


図-8 τ_{ci} と R_a の関係

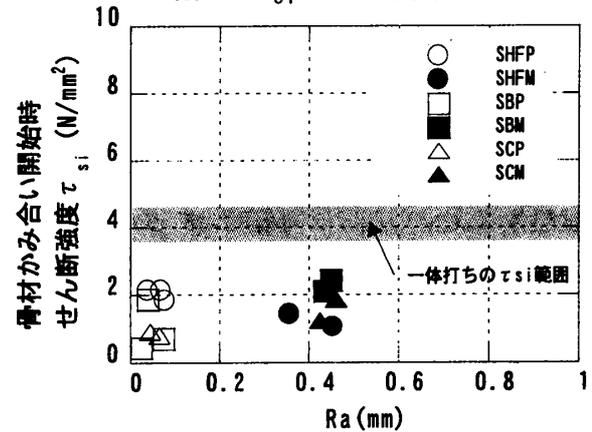


図-9 τ_{si} と R_a の関係

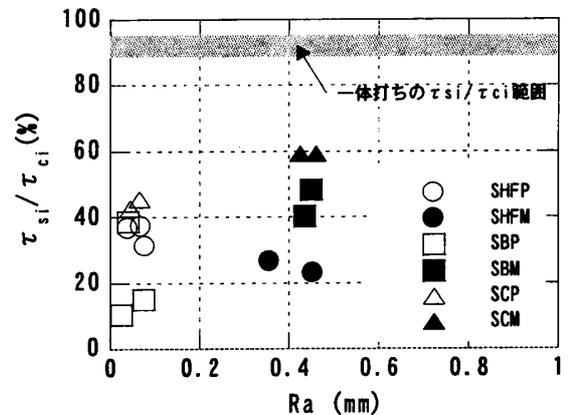


図-10 τ_{si}/τ_{ci} と R_a の関係

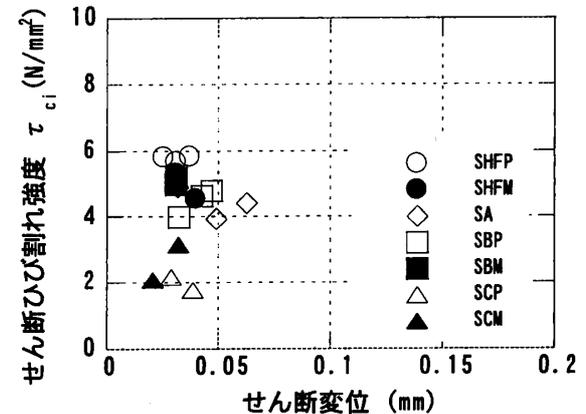


図-11 τ_{ci} とせん断変位の関係

面への無収縮モルタルの密着が十分でない部分が若干あったことが原因と考えられる。一方、無収縮高流動コンクリートを用いた試験体の打継ぎ面は、コンクリートの膨張により十分密着し一体化していた事が確認できた。

図-9 に骨材かみ合い開始時のせん断強度 τ_{si} と表面粗さ R_a の関係を示す。無収縮高流動コンクリートを用いた試験体のうち、打継ぎ面の平滑な試験体(SHFP)の骨材かみ合い開始時のせん断強度は、打継ぎ面の平滑な、順打ち試験体(SBP)および充填法による試験体(SCP)よりも若干大きな値を示した。一方、打継ぎ面を目荒らした試験体(SHFM)の骨材かみ合い開始時のせん断強度は、順打ち(SBM)、充填法による試験体(SCM)とほぼ同程度であった。

図-10 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_{ci} と表面粗さ R_a との関係を示す。順打ち、充填法による試験体では、打継ぎ面が平滑な試験体にくらべ目荒らした試験体の方が τ_{si} / τ_{ci} が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。

(4) せん断強度とせん断変位との関係

図-11 はせん断ひび割れ時のせん断強度とせん断変位との関係を示したものである。無収縮高流動コンクリートを用いた試験体のせん断ひび割れ時のせん断変位は打継ぎ面が平滑な試験体(SHFP)と目荒らした試験体(SHFM)とでほぼ同じであった。さらに、一体打ち(SA)および他の打継ぎ処理法による試験体もほぼ同じせん断変位で 0.03~0.05mm 程度であった。図-12 に骨材かみ合い開始時のせん断強度とせん断変位の関係を示す。無収縮高流動コンクリートを用いた試験体(SHFP,SHFM)の骨材かみ合い開始時のせん断変位は普通コンクリートを順打ちした試験体(SBP,SBM)とほぼ同じせん断変位であった。しかし、一体打ち(SA)および充填法による試験体(SCP,SCM)の骨材かみ合い開始時のせん断変位に比べるとかなり大きくなった。

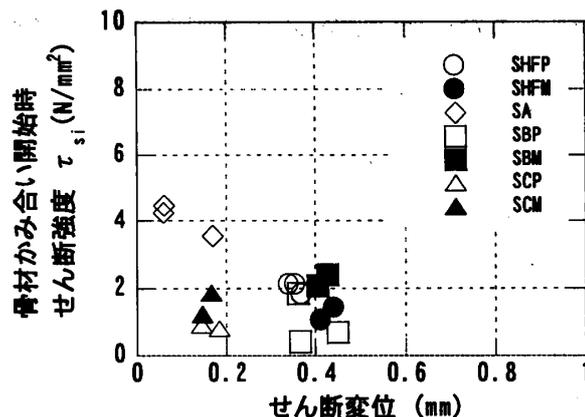


図-12 τ_{si} とせん断変位の関係

4. まとめ

本研究において、無収縮高流動コンクリートの基礎物性および無収縮高流動コンクリートで逆打ちに打継いだ試験体の打継ぎ部のせん断挙動を検討した結果、以下の事が確認できた。

- 1) 高流動コンクリートに AI 粉末、膨張材および収縮低減剤を加えた無収縮高流動コンクリートは材令の経過に伴う拘束膨張率の低減が極めて小さいことが確認された。
- 2) 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せん断ひび割れ強度は一体打ちと、ほぼ同等以上であった。
- 3) 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せん断ひび割れ強度および骨材かみ合い開始時のせん断強度ともに順打ち継ぎと同等で、逆打ち用の打継ぎコンクリートとして優れた性能を有することが確認できた。

末筆ながら、実験に御協力いただいた(株)ポゾリス物産の方々に厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 北村八朗, 西崎丈能, 鎌田文男, 十河茂幸: 逆打ち用ハイパフォーマンスコンクリートに関する基礎研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp101~106, 1992
- 2) 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/AI-1, pp63~71, 1986.3