

論文 高流動コンクリートの付着性状に及ぼす打設方法の影響

坂ノ上 宏*1・駒田 憲司*2・森野 亮吾*2・牛島 栄*3

要旨: ダムの監査廊にプレキャスト (P C a) 化部材を用いるに当たり、底版コンクリートに自己充てん性を有する高流動コンクリートを逆打ち工法で打設することにした。本報では、P C a 監査廊と高流動コンクリートの一体性を確認するため、それを模擬した試験体の打継ぎ部 (境界部) から採取したコアの割裂引張試験を実施するとともに、後打ちコンクリート (高流動コンクリート) の打上がり高さの変化、打継ぎ面の空げき率および側圧が付着強度へ及ぼす影響を明らかにした。

キーワード: 高流動コンクリート, 逆打ち工法, 付着, 空げき率, 側圧, 打上がり高さ

1. はじめに

一般に、ダム堤体内の監査廊は、供用中のダムの変状を把握するための管理用点検路として建設される。その監査廊は、今まで型枠・鉄筋工などの組立を人力による施工で建設されていたが、熟練作業員の不足や労働者の高齢化などの問題点を抱えており、施工の合理化や省人化が今後必要不可欠と考えられている。

近年では、これらの問題を解決するために、ダムの監査廊にプレキャストコンクリートを使用する工法が提案され実用化されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。また、高流動コンクリートは、自己充てん性や流動性に優れ、材料分離やブリーディングが少ないことから、逆打ち工法に採用されることが多くなってきている。しかし、高流動コンクリート逆打ち工法では、先打ち部と高流動コンクリート部 (逆打ち打設部) との付着性状についての実験・研究成果は少なく⁵⁾、使用した高流動コンクリートの物性、施工報告および打継ぎの性状について報告されている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

本報では、①逆打ち工法で打設した高流動コンクリートの付着に関し、基礎的性状を把握するための梁状の曲げ強度試験、②プレキャスト

監査廊を模擬した試験体の打継ぎ部 (境界部) のコアを採取し、割裂引張試験の実験結果より打継ぎ面の空げき率や側圧が付着性状に及ぼす影響についてまとめたものである。

2. 付着に関する基礎的性状確認実験

2.1 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合
使用材料を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。

表-1 使用材料

材料名	種類・産地など	記号
セメント	早強ポルトランドセメント(密度3.13g/cm ³)	C
細骨材	霞ヶ浦産陸砂(密度2.59g/cm ³ , 吸水率2.60%)	S
粗骨材	筑波産砕石(Gmax20mm, 密度2.70g/cm ³)	G
混和剤	高性能AE減水剤(マレイン酸誘導体共重合体)	SP
	AE減水剤(リグニンスルホン酸化合物)	AE
	増粘剤(水溶性セルロースエーテル)	V

(2) 実験方法

本実験は、逆打ち工法や通常打継ぎ (以下、「順打ち」と言う) などの付着性状を基礎的に把握する目的で曲げ強度試験を行った。

図-1に曲げ強度試験体の形状および寸法を示す。試験体は、先打ちコンクリート打設後

* 1 (株)青木建設 研究所 材料研究室 研究員 (正会員)

* 2 (株)青木建設 研究所 材料研究室 研究員

* 3 (株)青木建設 研究所 副所長 工博 (正会員)

表-2 コンクリートの配合

記号	名称	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
					W	C	S	G	SP	AE	V
NC	普通	20	42.0	41.5	170	405	704	1037	—	0.2	—
SCC	高流動	20	48.6	51.1	180	370	850	848	調整	—	0.25

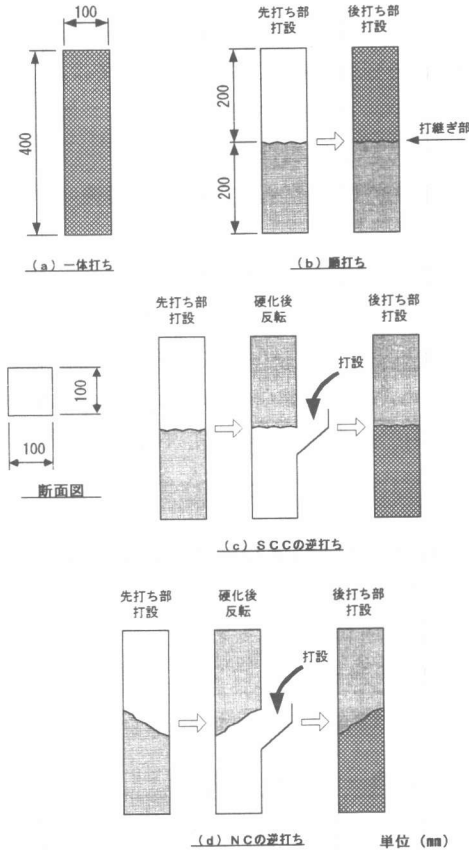


図-1 曲げ強度試験体の形状および寸法

は湿布による湿润養生を行い、後打ちコンクリート打設後 20°C の水中養生とした。

曲げ試験は、後打ちコンクリート打設後 28 日（先打ちコンクリート打設後 35 日）で試験を実施した。

(3) 実験の水準

試験体の先打ち部は、20cm の高さまで打設した後、残りの 20cm を後打ち部として打設した。曲げ試験体の水準を表-3 に示す。ここでの目荒らし方法は、先打ち部を打設翌日に高圧

水にて表面の脆弱部を洗い流し、目荒らしを行った。

なお、逆打ち試験体の作

製は、先打ちコンクリートを打設し硬化後、試験体を上下反転させ（図-1(c), (d)参照）逆打ち用の打設口よりコンクリートを打設した。特に、普通コンクリートを後打ちとして逆打ちする場合は、土木学会コンクリート標準示方書の水平打継目の施工（直接法）に準じて、先打ち部の下端に気泡やブリーディング水が逃げやすい「レ形」に成形した。

コンクリートの打設は、普通コンクリートの場合は、1層を 10cm とし各層 10 秒間コンクリート棒形振動機を用いて締め固めた。一方、高流動コンクリートの場合は、振動締め固めは行わず、20cm の高さまで連続打設を行った。

2.2 実験結果

(1) コンクリートの力学的特性

表-3 曲げ試験体の水準

実験ケース	コンクリートの種類		打設方法	目荒らしの有無	参考図
	先打ち	後打ち			
1	NC		一体	—	図-1(a)
2	NC	NC	順打ち	有	図-1(b)
3	NC	NC	逆打ち	有	図-1(d)
4	SCC		一体	—	図-1(a)
5	NC	SCC	順打ち	有	図-1(b)
6	NC	SCC	逆打ち	有	図-1(c)
7	SCC	SCC	順打ち	有	図-1(b)
8	SCC	SCC	順打ち	無	図-1(b)
9	SCC	SCC	逆打ち	有	図-1(c)

注) NC: 普通コンクリート, SCC: 高流動コンクリート

表-4 各コンクリートの試験結果

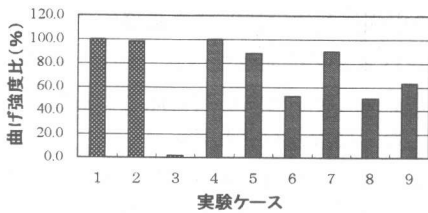
コンクリートの種類	コンクリートの温度(°C)	スランプ(cm) スランプフロー(mm)	空気量(%)	圧縮強度 [*] (N/mm ²)	
					先打ち
普通	先打ち	15.0	8.0	4.6	46.2
	後打ち	17.0	7.5	3.5	58.2
高流動	先打ち	17.0	630	6.4	44.8
	後打ち	17.0	635	6.0	43.1

* 曲げ強度を実施した材齢での圧縮強度
即ち、先打ちは材齢35日、後打ちは材齢28日

表-4に普通コンクリートおよび高流動コンクリートのフレッシュおよび圧縮強度試験結果を示す。

(2) 曲げ強度試験結果

梁状の曲げ強度試験の結果を図-2に示す。まず、普通コンクリートを後打ちコンクリートとして使用した場合の試験結果(実験ケース No.1~No.3)について見ると、順打ちの試験体(No.2)の場合は、一体打ちの試験体(以下、「基準の試験体」と言う)と同じ強度結果である。一方、逆打ちの試験体(No.3)は、曲げ強



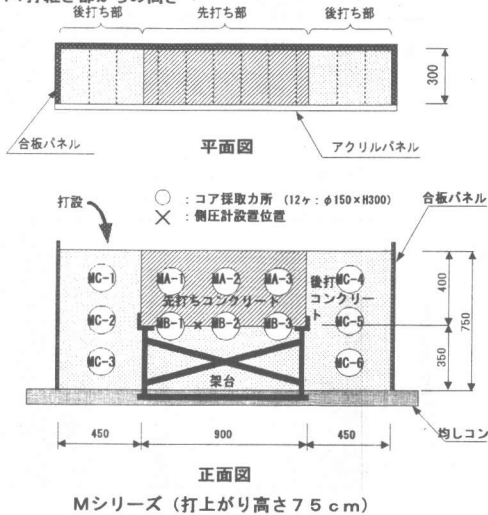
注) No. 1~3の基準の試験体はNo. 1
No. 4~9の基準の試験体はNo. 4

図-2 曲げ強度試験結果

表-5 模擬試験体の水準

実験のシリーズ	打上がり高さ	ヘッド	コア本数	備考
Mシリーズ	75cm	40cm	12本	基準
Lシリーズ	40cm	5cm	5本	
Hシリーズ	110cm	75cm	11本	

ヘッド: 打継ぎ部からの高さ



Mシリーズ (打上がり高さ 75 cm)

度が「0」に近い値となった。このことは、普通コンクリートに僅かながらブリーディング(0.1%)が発生したことが原因と思われる。

次に、高流動コンクリートを後打ちコンクリートとして使用した場合の試験結果(実験ケース No.4~No.9)について見ると、順打ち(No.5,7)の場合は普通コンクリートと同様の結果となった。また、逆打ち(No.6,9)の場合は、基準強度の50~60%程度となった。このことは、既往の研究⁵⁾とほぼ同じ結果となった。

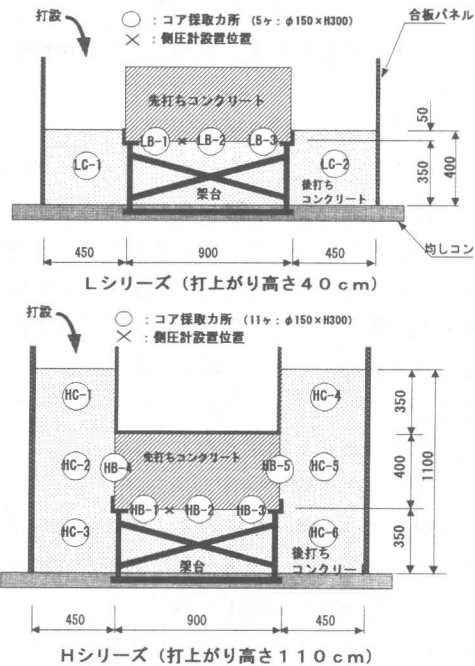
3. 模擬試験体による実験

3.1 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合
使用材料およびコンクリートの配合は、付着に関する基礎的性状確認実験で使用した高流動コンクリートを用いた。(表-1, 2参照)

(2) 試験体の作製

模擬試験体の水準を表-5に、模擬試験体の形状および寸法を図-3に示す。模擬試験体は、



Hシリーズ (打上がり高さ 110 cm)

図-3 模擬試験体の形状および寸法

単位 (mm)

実際の PCa 監査廊の施工を模擬した打上がり高さ 75cm (以下、「Mシリーズ」と言う) の試験体と、打上がり高さを変化させた 40cm (以下、「Lシリーズ」と言う) および 110cm (以下、「Hシリーズ」と言う) の 3 種類の試験体を作製した。

試験体の作製手順は以下のとおりである。

- ① 先打ちコンクリートを打設し、打継ぎ部に凝結遅延剤を散布し、翌日高圧水にて打継ぎ処理を行った。
- ② 先打ちコンクリートを湿潤養生した後、架台に設置し、後打ちコンクリートを打設した。
- ③ 後打ちコンクリート打設後、コア採取まで湿布による湿潤養生を行った。

(3) 実験方法

PCa 監査廊を模擬した試験体の打継ぎ部の付着性状を把握するために、以下に示す試験を行った。

① コア供試体による割裂引張試験

後打ちコンクリート打設後、材齢 14 日目に図-3 に示す位置でコアを採取した。採取したコアは水中養生した後、材齢 28 日で割裂引張試験に供した。

② 打継ぎ面の空げき率の測定

①の割裂引張試験を行うコア供試体の内、水平境界部においては、図-3 の矢印に示すように片側から打設をしている。そのために、打継ぎ面に巻込みエアが残存し、引張強度に影響があると推察され、割裂引張試験後の打継ぎ面の空げき率を測定した。打継ぎ面の空げき率の測定は、気泡を透明ビニールシートにトレースし、画像解析装置にて測定した。

(4) 側圧の測定

試験体には、図-3 に示すように先打ちコンクリートの底版部 (境界部) に側圧計 (図-3 の×印) を設置し、側圧を測定した。このことは、後打ちコンクリートが先打ちコンクリート部を押し上げる力 (揚圧力) を把握するためである。

3.2 実験結果および考察

(1) 割裂引張試験

模擬試験体から採取したコアの割裂引張試験結果を表-6 に、引張強度比を図-4 に示す。

なお、表-6 での引張強度比は、それぞれのシリーズでの採取コアの平均値から求めた。境界部 (水平部) での引張強度比は、Mシリーズで MA の先打ち部の 59% 程度、Lシリーズで 55% 程度、Hシリーズで 68% 程度という結果となった。また、境界部 (鉛直部) の引張強度比は、Hシリーズで 91% という結果となった。一般的に逆打ち工法と言われる境界部 (水平部) の引張強度比は、2. での基礎的性状確認実験の逆打ち方法の曲げ強度比と同じ 60% であったが、打上がり高さが高いほど引張強度比は大きくなる傾向が見られた。

(2) 空げき率が付着性状に与えるの影響

境界部のコアでの割裂引張試験後の打継ぎ面の空げき率を測定した結果を表-7 に示す。打上がり高さが最も高い Hシリーズについて

表-6 割裂引張試験結果

試験体名称 (打上がり高さ)	供試体名称	コア採取位置	試験値 (N/mm ²)	比率
Mシリーズ (75cm)	MA	先打ち部	2.2	基準
	MB	境界部 (水平部)	1.3	59.1
	MC	後打ち部	2.7	122.7
Lシリーズ (40cm)	LB	境界部 (水平部)	1.2	54.5
	LC	後打ち部	2.7	122.7
Hシリーズ (110cm)	HB	水平部	1.5	68.2
		鉛直部	2.0	90.9
	HC	後打ち部	3.0	136.4

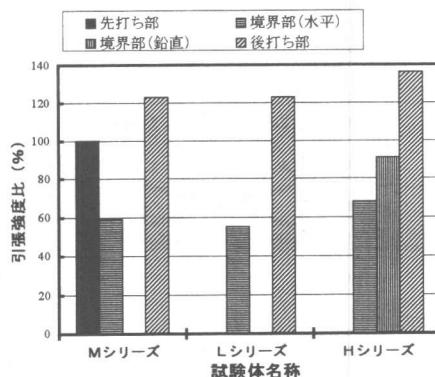


図-4 割裂引張強度比

ては、水平境界部の空げき率が平均で 12%程度であったのに対し、Mシリーズで 22%程度およびLシリーズで 18%程度と大きな値を示した。これは、打設時の巻込みエアが境界面に残留したものと推察され、打上がり高さが高い程、コンクリートの流動距離が長くなるので、基本的には、巻込みエアが逃げやすい状況と考えられる。流動距離の長い M シリーズの空げき率が L シリーズの値より大きくなったことは、Lシリーズよりも打設速度が速かったことが影響したと思われる。

また、鉛直境界部 (HB-4,5) の打継ぎ面では、空げき率が 0.2%程度であり、ほとんど空げきは認められなかった。

次に、境界部のコアの引張強度と空げき率の関係を図-5に示した。空げき率の増加に伴い引張強度が低下する傾向があった。

(3) 側圧が付着性状に与える影響

模擬試験体の全シリーズの境界部に側圧計 (図-3参照, ×印部) を設置し、側圧の測定を行った。境界部に作用する側圧は、後打ちコンクリートが先打ちコンクリートを押し上げる

力 (揚圧力) である。この側圧は、少なからず、硬化後の付着性状に影響を及ぼすと思われる、引張強度を側圧と空げき率の関数で表すことにした。

まず、引張強度を側圧と空げき率の関係を重回帰分析にて求めるのに、回帰式を与えるデータ数が多いほどその信頼性が高くなる。そこで、HB-4,5 位置においては側圧が不明なため、図-6に示すように側圧の最大値とコンクリート天端からの高さの関係から側圧の最大値を推定できる回帰式(1)をまず得た。

$$P = 18.34h + 1.32 \quad (1)$$

ここで、

P : 側圧(N/mm²)

h : 各測点におけるコンクリート天端からの距離(m)

その式(1)を用いて HB-4,5 の位置における側圧の最大値を求めると $9.57 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ を得る。実験で得られた値と式(1)で得られた側圧は表-8のとおりである。

次に、HB-4,5 を含めた側圧の最大値と空げき率の説明変数で、割裂引張強度を推定でき

表-7 打継ぎ面の空げき率

試験体名称 (打上がり高さ)	コア採取位置		供試体 名称	空げき率 (%)	
				個別	平均
Mシリーズ (75cm)	境界部	水平部	MB-1	14.7	21.6
			MB-2	26.8	
			MB-3	23.4	
Lシリーズ (40cm)	境界部	水平部	LB-1	14.9	18.0
			LB-2	19.3	
			LB-3	19.8	
Hシリーズ (110cm)	境界部	水平部	HB-1	9.6	11.7
			HB-2	13.5	
			HB-3	12.1	
		鉛直部	HB-4	0.2	
			HB-5	0.1	

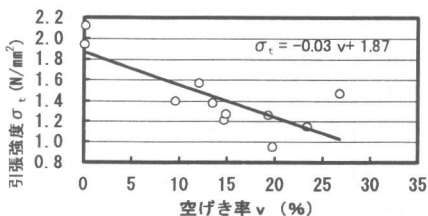


図-5 空げき率と引張強度の関係

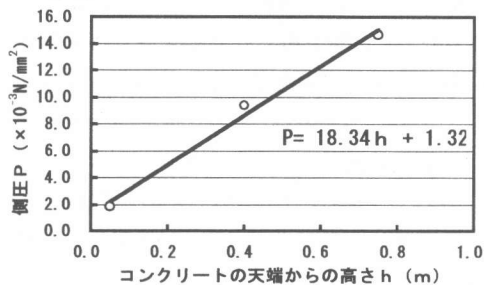


図-6 側圧と天端高さからの関係

表-8 重回帰分析における説明変数と従属変数

	引張強度の 平均: σ_t (N/mm ²)	天端からの 高さ: h (m)	側圧の 最大値: P ($\times 10^3 \text{N/mm}^2$)	空げき率 : v (%)
HB-4, 5	2.0	0.45	9.57	0.1
HB-1, 2, 3	1.5	0.75	14.70	11.7
MB-1, 2, 3	1.3	0.40	9.41	21.6
LB-1, 2, 3	1.2	0.05	1.86	18.0

る重回帰式(2)を得た。

$$y = 1.870 + 8.503X_1 - 0.035x_2 \quad (2)$$

ここで、

y : 境界面における割裂引張強度の推定値
(N/mm^2)

x_1 : 側圧(N/mm^2)

x_2 : 空げき面積率(%)

式(2)の重相関係数は 0.97 であり、図-7 の推定強度と実強度の関係より、推定強度は実強度をよく表していることが分かる。

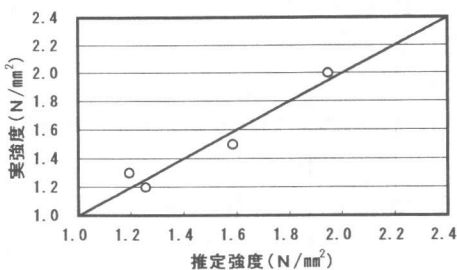


図-7 推定強度と実強度との関係

4. まとめ

本実験では、逆打ち工法にて施工した高流動コンクリートについて、基礎的性状確認実験および模擬試験体の実験により付着性状の確認を行った。本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 逆打ち工法の打継ぎには、普通コンクリートよりブリーディングの発生がほとんどない高流動コンクリートが適している。しかし、一体打ちに比べ打継ぎ強度は劣る。その値は、曲げ強度比で 50%程度、引張強度比で 60%程度である。
- (2) 式(2)の推定式の各変数項目を見てみると、引張強度には打設高さによって生ずる側圧と打継ぎ部境界面の空げき率が影響している。特に、打継ぎ部境界面の空げき率が引張強度に及ぼす影響は大きいと思われる。
- (3) (2)で述べた打継ぎ部において、境界部の空げき率の影響を小さくするために、先打ちコンクリート部にエア抜き孔を設けた

り、後打ちコンクリートの打設に際してコンクリートの落下高さを押さえ、巻込みエアの発生を抑える等の対策が必要と思われる。

参考文献

- 1) 永山功, 真下和彦, 稲留裕一, 佐藤健一, 赤坂雄司: 宇奈月ダムにおける通廊のプレキャスト化施工, コンクリート工学, Vol.33, No.8, pp.47-53, 1995.8
- 2) 鷹取正顕, 田中靖, 五十嵐昇, 滝澤宏昌: 通廊へのプレキャスト型枠の採用について, ダム技術, No.95, pp.46-56, 1994.8
- 3) 駒田憲司, 林忠郷, 牛島栄: 新官川ダムにおけるダム監査廊のプレキャスト化施工, 電力土木, No.281, pp.127-128, 1999.5
- 4) 牛島栄, 辻誠一, 石田教雄, 原田和樹: ダム監査廊のプレキャスト化に伴う堤体コンクリートとの一体性に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No3, pp.661-666, 1998
- 5) 宇野洋志城, 弘中義昭, 岩藤正彦: 締固め不要コンクリートの充てん性能および付着性能, 土木学会第 46 回年次学術講演会講演概要集, 第V部門, pp.616-617, 1991.9
- 6) 袋井肇, 宮野一也, 斎藤靖孝, 川邊信之, 福留和人: 高流動コンクリートの地下発電所クレーンポスト逆打ち部への適用, 土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集, 第V部門, pp.624-625, 1996.9
- 7) 境敏保, 太田一浩, 安田正雪, 池口素弘, 荒金直樹, 天沼邦一: 逆打ち工法における高流動コンクリートの壁への適用実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.123-124, 1996.9
- 8) 柿崎正義, 阿部保彦: 逆打ち工法による地下外周壁への高流動コンクリートの適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.951-952, 1998.