

[94] 反応遅延性アルミニウム粉末による膨張コンクリートの諸物性

正会員○佐藤哲司 (大林組土木技術部)  
 小沢郁夫 (大林組土木技術部)  
 正会員 青木 茂 (大林組技術研究所)  
 正会員 玉田信二 (大林組技術研究所)

1 はじめに

逆巻工法は、既に打設されたコンクリートに下方よりコンクリートを打ち継ぐ工法で、その打継目処理工法として直接法、充填法、注入法のいずれかの工法が従来採用されてきた。直接法は、作業効率が良い反面、打ち込まれたコンクリートの主にブリージングに伴う沈下によって打継目が弱点となり易く、充填法や注入法による施工例が多い。これらの後処理工法の施工に際しては、足場や型枠などが必要であり、工期短縮、安全性及び打継目の信頼性などの観点から改善の余地を残していた。これに対して、逆巻コンクリートの打継目をより完全なものとする目的で直接法を膨張コンクリートで施工することが考えられる。この場合、アルミニウム粉末による反応を、コンクリート打設後に生じさせることが重要となる。

本報告は、逆巻打継目処理方法の信頼性を高めるために行った反応遅延性アルミニウム粉末を主体とする膨張剤を添加した膨張コンクリート、膨張剤に加えてブリージング抑止剤を添加した膨張性ブリージング抑止コンクリートの基礎物性実験および実施工を想定した実物大逆巻実験の結果について述べるものである。

2 実験概要

実験項目および試験方法を表-1に示す。

表-1 実験概要

項目	内容	試験方法	
基礎物性	膨張性状	膨張率, 膨張経時変化の測定	JIS A 1132, 測定方法は図-2 参照
	圧縮強度	JIS A 1132, JIS A 1108, 但し膨張コンクリートは2t/m <sup>2</sup> で拘束	
	引張強度	JIS A 1132, JIS A 1113, 但し膨張コンクリートは2t/m <sup>2</sup> で拘束	
実験	曲げ強度	逆巻きを模した供試体の曲げ強度試験	JIS A 1108 供試体作成方法は図-3 参照
	耐久性	テストピースによる耐久性試験	ASTM-C-686 水中急速凍結融解による耐久性試験
実物大	膨張性状	打込み高さの膨張率への影響	打込み高さ0.5m, 1.0m, 1.5m 測定方法は基礎実験に同じ
	沈下性状	上部に打継がれたコンクリートによる下部コンクリートの沈下性状	沈下板による測定, 図-7 参照
逆巻実験	コア強度	コア採取による実物大実験体強度試験	JIS A 1107
	耐久性	コア採取による実物大実験体の耐久性試験	採取コアによる凍結融解試験 (ASTM-C-686 に準ず)
	止水性	逆巻打継目の透水試験	図-10 参照
実験	膨張圧	セバレータ歪力測定	ひずみゲージによる歪力測定

2-1 使用材料および配合

表-2に実験に使用した材料、表-3にコンクリートの配合を示す。

2-2 膨張剤の添加方法

基礎物性実験は、可傾式ミキサー(100ℓ)で予め練り上げたコンクリートに膨張剤(アルミ粉末懸濁液)と流動化剤を同時添加し、1分間更に練り混ぜた。実物大逆巻実験は、生コンプラントで製造したコンクリートをトラックミキサーで運搬し、現場到着後基礎物性実験と同様に膨張剤と流動化剤を同時にトラックミキサー内に投入し、30回高速攪拌して練り混ぜた。なお、ブリージング抑止剤についても、現場添加とした。

2-3 実物大実験体の製作方法

図-1に実物大実験体の形状寸法を示す。コンクリートの打設は、通常の層打ち施工時間に合わせて、一般部コンクリート打設後約1時間で上部膨張コンクリートを打ち継いだ。なお、実験体は配合別に三体製作した。

3 実験結果および考察

3-1 基礎物性実験

3-1-1 膨張性状

反応遅延性アルミニウム粉末を添加した膨張コンクリートの膨張性状を図-4~5に示す。コンクリートの膨張は、セメントの種類、温度およびアルミニウム粉末添加量などの影響で大きく変化する。普通ポ

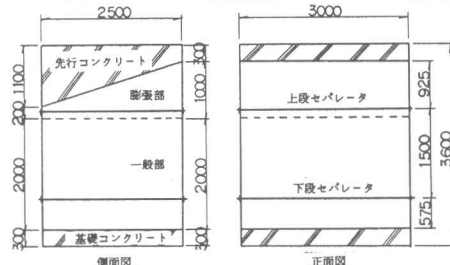


図-1 実物大実験体

ルトランドセメントと混合セメントでは、前者を使用した膨張コンクリートの方が、アルミニウム粉末同一添加量に対して膨張率が大きく、また膨張反応が速い。さらにブリージング抑止剤を加えた膨張性ブリージング抑止コンクリートでは、膨張反応が促進される傾向にある。

温度の影響は、コンクリート温度が高い程、アルミニウム粉末同一添加量に対して膨張率が大きくなり、また膨張開始時間も早まる。

### 3-1-2 膨張コンクリートの各種強度試験結果

表-4に強度試験結果を示す。

圧縮強度をセメント種別でみると、混合セメントを用いた膨張コンクリートの方が強度低下が大きい傾向にあり、強度低下率は、最大20%程度となった。これは、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの方が、拘束後に生じるコンクリートの沈下による隙間が小さく、膨張開始後の自由膨張量が少ないため強度低下も小さいものと思われる。

圧縮強度と引張強度の関係は、通常のコンクリートと同様で、アルミニウム粉末を添加したことの影響は見られない。試験結果を図-6に示す。

打継目を有する供試体の曲げ強度は普通コンクリートで逆打ちした供試体に較べて、膨張剤、ブリージング抑止剤を添加することで改善されるが、両者を併用することで著しく向上する。

表-2 使用材料

分類	材料名	主な性質
セメント	普通セメント (NP)	比重3.16, 粉末度 3250 cm <sup>2</sup> /g
	高炉B種セメント (BB)	3.00, 3680 cm <sup>2</sup> /g
	フライアッシュ20%混入高炉B種セメント (FBB)	2.70, 3400 cm <sup>2</sup> /g
細骨材	千葉産山砂 (50%)	比重2.53, 吸水率2.52, 粗粒率2.35
	静岡産川砂 (50%)	2.57, 1.77, 3.16
粗骨材	静岡産川砂利 (70%)	2.60, 1.04, 6.67
	奥多摩産砕石 (30%)	2.63, 0.67, 6.64
混和剤	AE減水剤	遅延形
	流動化剤	スランプロス低減形
	膨張剤	表面処理アルミニウム粉末, 界面活性剤
	ブリージング抑止剤	水溶性セルロースエーテル系, 粉体

表-3 コンクリートの配合

区分	NO	コンクリート区分	セメント	W/C (%)	S/a (%)	スランプ (cm)		Air (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (C × %)			
						ベース	流動化		C	W	S	G	AE減水剤	流動化剤	A1粉末	ブリージング抑止剤
基礎物	1	膨張	NP	55	46	12	18	4	284	156	855	1017	0.25	0.8	0.01~0.03	—
	2	膨張	BB	50	44	12	18	4	276	138	837	1078	0.25	0.8	0.05	—
	3	膨張	FBB	46	44	12	18	4	288	136	823	1060	0.25	0.6	0.02~0.04	—
	4	膨張ブリージング抑止	FBB	46	44	—	18	4	354	163	768	981	0.25	—	0.02	0.3
実物大	5-1	普通	FBB	48	44.5	—	12	4	288	138	832	1052	0.25	—	—	—
	5-2	膨張	FBB	43	45.5	12	18	4	312	134	845	1028	0.25	0.5	0.03	—
	6-1	普通	NP	57	45.5	—	12	4	278	158	845	1028	0.25	—	—	—
	6-2	膨張	NP	57	45.5	12	18	4	278	158	845	1028	0.25	0.7	0.02	—
実物大	7	膨張ブリージング抑止	NP	57	45.5	—	18	4	298	170	823	1003	0.25	—	0.01	0.3

備考 1) NP: 普通ポルトランド BB: 高炉B種 FBB: フライアッシュ混入高炉B種  
2) 実物大実験体I: 配合 NO 5-1,2 実物大実験体II: 配合 NO 6-1,2 実物大実験体III: 配合 NO 8-1, NO 7

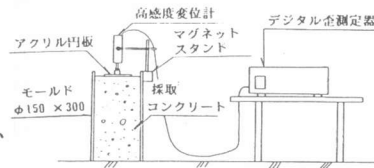


図-2 膨張率の測定方法

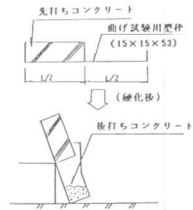


図-3 曲げ強度試験用供試体の作成方法

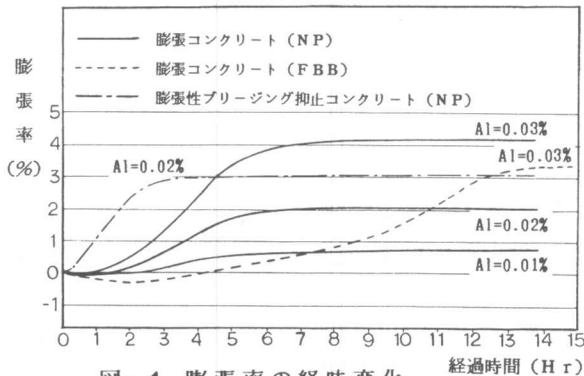


図-4 膨張率の経時変化

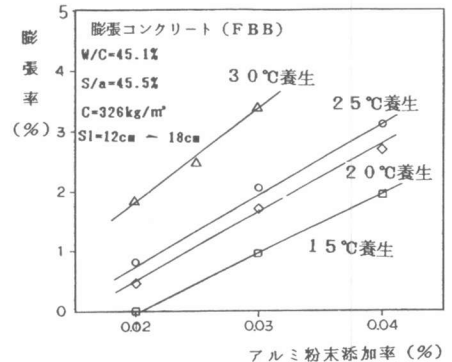


図-5 温度と膨張率

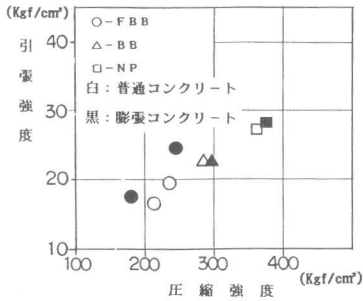


図-6 圧縮強度と引張強度

### 3-2 実物大逆巻実験

#### 3-2-1 コンクリートの沈下性状

実物大逆巻実験体の一般部コンクリートの沈下測定結果を図-7に示す。

打ち込まれたコンクリートの沈下は、時間経過と共に進行し、1~2時間後に打継ぐと、この上部コンクリートの荷重によって直ちに大きな沈下を生ずるが、沈下は長く継続しない。また、別途実施した層厚70cmの三層打設による沈下実験(打継ぎ時間2時間)では、第三層打設の影響は最下層には生じなかった。

#### 3-2-2 打設高と膨張

図-8は、膨張コンクリートの打設高さを変化させた場合の膨張測定結果である。打設高が1m以上になると、膨張率3%程度では、膨張圧がコンクリートの自重によって拘束を受けて、膨張量が増加していない。

#### 3-2-3 膨張圧

膨張コンクリートの膨張圧をセパレータに取り付けた張力計で測定した結果を図-9に示す。膨張によるセパレータ張力の増分は膨張率が1~3%の範囲において130kgf/cm<sup>2</sup>~370kgf/cm<sup>2</sup>(側圧換算; 0.6~1.6tf/m<sup>2</sup>)であった。また、一般部コンクリート中の下段セパレータの張力は、上部膨張コンクリートの影響を受けない。

#### 3-2-4 止水性

逆巻打継目の密着を確認するため、図-10に示す方法で透水試験を実施した。透水圧は、実験体規模より先行コンクリートの荷重を考慮し0.5kgf/cm<sup>2</sup>で実施した。その結果いずれの実験体とも透水は認められなかった。なお、試験材令は、実験体打設後40日とした。

#### 3-2-5 圧縮強度

実物大実験体の標準養生供試体強度とコア強度を表-5に示す。膨張コンクリートの圧縮強度は、両者共に、一般部の普通コンクリートと同等以上であった。これは、供試体についてはコンクリートの自由膨張が極小さくなる様に管理したこと、実験体については、充分な締固めと打設

表-4 圧縮強度及び曲げ強度

セメント種別	アルミ粉末 添加量	ブリージン グ抑止剤量	圧縮強度 (Kgf/cm <sup>2</sup> )		
			7日	28日	91日
普通ポルト ランドセメント	—	—	260	347	364
	C×0.02%	—	244	337	357
高炉B種 セメント	—	—	115	277	364
	C×0.05%	—	83	194	284
フライアッ シュ混入高炉 B種セメント	—	—	94	227	351
	C×0.03%	—	90	211	298
	—	—	116	259	374
	C×0.02%	1Kg/m <sup>2</sup>	94	234	316
			曲げ強度		
			供試体作成方法	28日強度(Kgf/cm <sup>2</sup> )	
フライアッ シュ混入高炉 B種セメント	—	—	無打継	31.7 (100)	
	—	—	逆打	1.1 (3.4)	
	C×0.03%	—	〃	5.3 (16.6)	
	—	1Kg/m <sup>2</sup>	〃	3.4 (10.8)	
C×0.02%	1Kg/m <sup>2</sup>	〃	22.1 (69.6)		

備考: ( )内は無打継供試体の曲げ強度に対する強度比

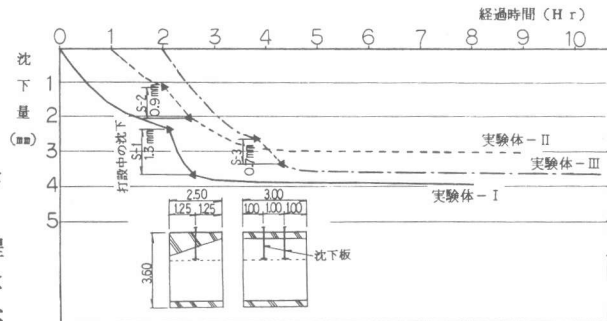


図-7 コンクリートの沈下量経時変化

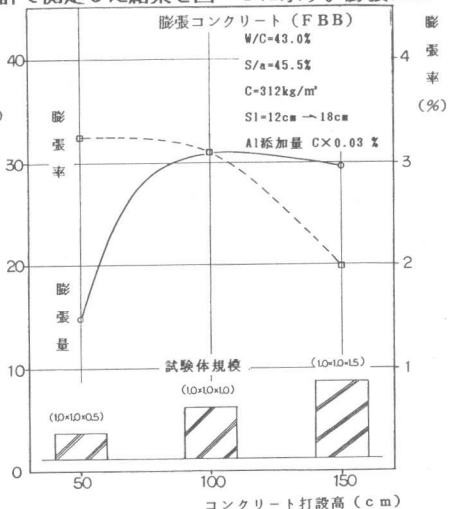


図-8 コンクリート打設高と膨張量

完了後コンクリート投入口に30cmの余盛りコンクリートを打設した効果によるものと考えられる。また、コアの強度は、いずれも強度発現が早い。

なお、実験体Ⅲのコアは、高温履歴(60°C)によると見られる強度低下が生じており、マスコンクリートの施工においては水和熱に起因した長期的な強度発現に対する品質管理上の配慮の必要性が認められた。これは、通常のコンクリートについても同様に考慮すべき問題である。

### 3-2-6 耐久性

図-11に示すように、実験体より採取したコアの耐久性指数は、いずれも90%以上であり膨張による影響はない。

表-5 実物大実験での圧縮強度

	配合NO	圧縮強度 (Kgf/cm <sup>2</sup> ) (標準養生)			コア強度 (Kgf/cm <sup>2</sup> )			
		14日	28日	91日	14日	28日	91日	
実験体Ⅰ	普通	5-1	109	242	357	260	283	405
	膨張	5-2	158	286	395	277	308	392
実験体Ⅱ	普通	6-1	162	251	—	248	275	—
	膨張	6-2	159	245	—	233	266	—
実験体Ⅲ	普通	6-1	157	256	—	232	266	—
	膨張	7	166	277	—	170	223	—

### 4 まとめ

反応遅延性アルミニウム粉末を用いた膨張コンクリートの性状について以下にまとめる。

i) 膨張コンクリートの膨張は、セメント種別、コンクリート温度及び養生温度等の影響を受けるため、実施工に際しては、現場の諸条件を考慮した試験練りを実施して膨張剤の添加量を決定することが望ましい。

ii) 膨張コンクリートの膨張反応は、その硬化初期に現われるもので、硬化後の基本物性は、十分な締固めと、拘束が与えられれば、普通コンクリートと同等である。

iii) 打継目の止水性、曲げ強度などの品質は、アルミニウム粉末による膨張コンクリートによって改善され、さらにブリージングを抑制することによってより大きく改善される。

iv) 反応遅延性アルミニウム粉末による膨張コンクリートの膨張率は通常の使用範囲(膨張率1~3%)で最大約2 tf/m<sup>2</sup>であり、型枠計画上に考慮する必要はない。

本工法による膨張コンクリートは、既に地下構造物の一部として打設しており、その効果を確認することができた。

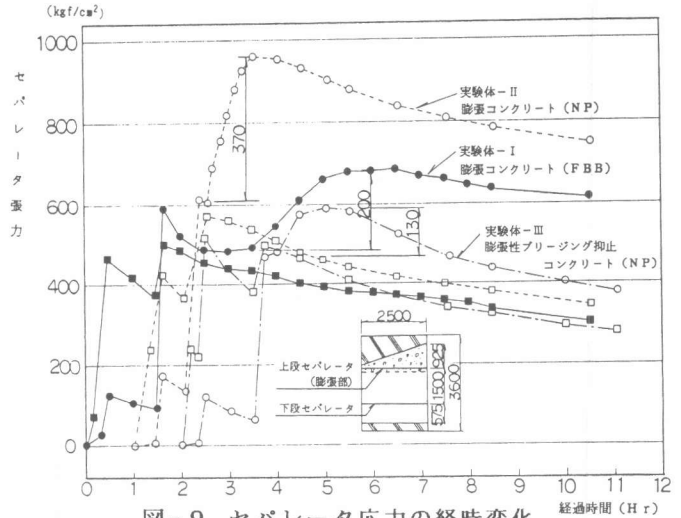


図-9 セバレータ応力の経時変化

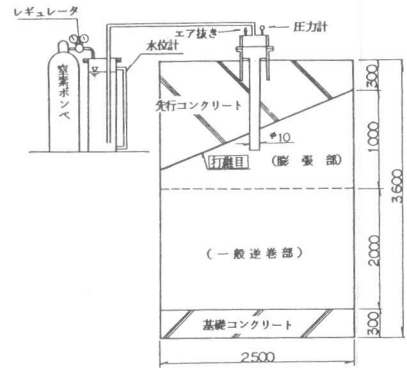


図-10 透水試験装置

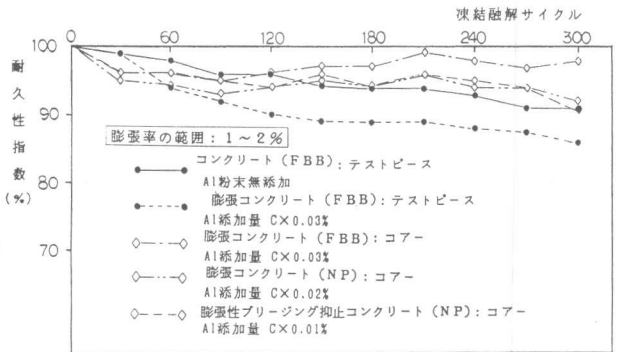


図-11 凍結融解試験結果