

論文

[1037] 高流動コンクリートの実大壁部材への打込み実験

安田正雪*1 榊田佳寛*2 杉山 央*3 荒金直樹*4

1. はじめに

近年、高い流動性と分離抵抗性を有し、締固めを必要としないで型枠に充填できる高流動コンクリートが提案され[1], 実大規模の施工実験も盛んに行われている。しかしながら、高流動コンクリートについては、まだ品質基準や調合設計方法ならびに施工基準などが確立されておらず、実施工にあたっては、室内実験、プラントのミキサ（以下、実機という）を用いた試し練り実験及び実大部材への打込み実験などの手順を経て、調合や製造・施工方法を定める必要がある。

本報告は、各種セメントを用いた高流動コンクリートの実大部材への施工にあたって、上記の一連の手順に従って調合を定め施工した結果を述べたものであり、セメントの種類によるコンクリートの性状を明らかにするとともに、今後の高流動コンクリートの調合設計や製造・施工に関する指針を策定するための資料とするものである。なお、本実験は建設省官民連帯共同研究「高性能コンクリートの開発」の一環として行ったものである。

表-1 使用セメント

記号	セメントの種類	比重	比表面積
LH	高レイト系セメント	3.20	4180cm ² /g
OPC	普通ポルトランドセメント	3.16	3210cm ² /g
BB	高炉セメントB種	3.04	3720cm ² /g

2. 実験概要

2.1 実験計画

実験は、室内実験、実機を用いた試し練り実験、実大壁部材への打込み実験からなる。

2.2 使用材料

使用セメントを表-1に、使用骨材を表-2に示す。混和剤はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を、増粘剤は水溶性セルロースエーテル系のものを使用した。

2.3 室内実験

室内実験は、レディーミクストコンクリート工場から実大壁部材の打込み現場までの運搬時間約50分を考慮して、荷降ろし時にスランプフロー65cm程度の流動性が得られる調合を定めるために行った。コンクリートの調合を表-3に示す。単位水量は水セメント比30%が160kg/m³とし、水セメント比35%が170kg/m³とした。また、単位粗骨材かさ容積は0.54m³/m³とした。これらの値は既往の文献などを参考に、流動性などがよいと判断された調合の範囲で、高い品質と耐久性を確保するため、単位水量については小さい値とし、単位粗骨材かさ容積については大きい値を設定した。

コンクリートは、20±2℃の室内において、容量100ℓのパン型強制練りミキサを用いて練混

表-2 使用骨材の品質

骨材	産地および骨材の種類	最大寸法	表乾比重	絶乾比重	吸水率(%)	実積率(%)	粗粒率(%)
細骨材	鹿島産陸砂	5mm	2.59	2.56	1.30	—	2.41
	葛生産石灰石砕砂	5mm	2.70	2.66	1.57	—	2.81
粗骨材	筑波産砂岩碎石	20mm	2.67	2.65	0.86	61.0	6.56

注) 細骨材は混合砂として使用(陸砂:砕砂=7:3)

- *1 東洋建設(株)総合技術研究所美浦研究所建築材料グループ係長(正会員)
- *2 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室室長, 工博(正会員)
- *3 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室研究員, 工修
- *4 東洋建設(株)総合技術研究所美浦研究所建築材料グループ, 工修

表-3 コンクリートの調合

実験名	記号	W/C (%)	単 位 量 (kg/m³)							練混ぜ直後のスランプローの測定値(cm)	28日標準圧縮強度 (kgf/cm²)
			W	C	F.A	C.A	V*1	SP*2	AE剤*3		
室内実験	LH30-1	30	160	533	796		—	1.4	—	62.5	839
	LH35-1	35	170	486	804		—	1.1	0.001	55.5	732
	LH35-2	35	170	486	804	878	—	1.2	0.001	61.0	664
	OPC35V-1	35	170	486	810		0.1	1.5	—	64.5	768
	OPC35V-2	35	170	486	810		0.1	1.7	0.002	70.5	694
	BB35V-1	35	170	486	789		0.1	1.4	0.002	73.0	688
打込実験	LH30	30	165	550	802		—	1.8	0.006	65.0, 68.0*4	793 *5
	LH35	35	175	500	817	846	—	1.6	0.006	66.0, 60.5	694
	OPC35V	35	175	500	812		0.1	2.0	0.003	71.3, 70.5	827
	BB35V	35	175	500	796		0.1	1.4	0.003	59.8, 63.0	679

注) *1増粘剤(Wx%), *2高性能AE減水剤(Cx%), *3 Cx%, *4 アジテータ車1車目と2車目, *5 出荷時

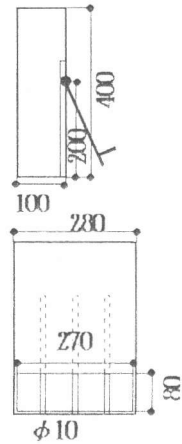


図-1 鉄筋間通過性試験装置

ぜ量を80ℓとして製造した。練混ぜは、先にモルタルを90秒間練混ぜた後、粗骨材を投入しさらに90秒間練混ぜた。試験項目を表-4に示す。コンクリートの経時変化は、可変速可傾式ミキサ（容量70ℓ、1.5r.p.m）を用いた。鉄筋間通過性試験[2]は、図-1に示す箱型容器にφ10mmの鉄筋を37、46、60mmの空きとなるように配した装置を用いて、試料通過率を評価する試験である。試料通過率は、コンクリート試料質量に対する蓋を解放した後の鉄筋間を通過した試料質量の比で表される。

表-4 試験項目

室内実験		スランプロー、空気量、コンクリートの経時変化 鉄筋間通過性試験、圧縮強度
実機 試し 練り 実験	プラント	スランプロー、空気量、圧縮強度 ミキサ 負荷電流
	打込み 現場	スランプロー、空気量、圧縮強度 鉄筋間通過性試験、流動・充填状況(床)
壁打 込み 実験	プラント	スランプロー、空気量、圧縮強度 ミキサ 負荷電流
	打込み 現場	スランプロー、空気量、ポンプ圧送変化 鉄筋間通過性試験、流動・充填状況 粗骨材容積率、圧縮強度、コア強度

2.4 実機試し練り実験

実機試し練り実験は、打込み実験で用いる調合を定めるために、室内実験で得られた調合のコンクリートを実機で練混ぜ（但し、高性能AE減水剤の量は加減した）、フレッシュコンクリートの性状およびスランプローの経時変化などを検討したものである。コンクリートは、10月初旬に、容量3m³の水平二軸型強制練りミキサを用いて練り混ぜ量を1.8m³として製造した。練混ぜは、モルタルを120秒間先練りし粗骨材を投入して、合計240秒間練混ぜた。1アジテータ車に3バッチのコンクリートを積載し、現場に運搬し、経時変化を調べるとともに、床に打ち込んで、流動性・充填状況を観察した。試験項目を表-4に示した。

2.5 打込み実験

実大壁部材への打込み実験では、実機試し練りの結果を踏まえて修正された調合のコンクリートを用いて施工した場合の流動性、充填性、仕上がり状態および硬化コンクリートの品質などを調べた。コンクリートの調合を表-3に示した。室内実験および実機試し練り実験の結果をもとに、単位水量は5kg/m³増加し、単位粗骨材かさ容積は0.02m³/m³減少させたものとした。

コンクリートは、10月中旬に、練混ぜ量を2m³とし、実機を用いて製造した。練混ぜは、材料投入一括方式で240秒間練混ぜた。同一の調合でコンクリートの必要量8m³を4バッチに分け、2バッチずつ1車のアジテータ車に積載し、運搬した。壁試験体の概要は図-2(a),(b),(c)に示すようなコの字型の壁である。ただし、LH30の壁試験体はL字型であり、高さ2.4~2.2mである。

鉄筋のかぶり厚さは40mmである。

コンクリートの打設は、ブーム付きコンクリートポンプ車（最大吐出量 100 m^3 、ピストン式）を用いて、筒先は原則として移動せず、締固めなしで打設した。圧送速度は約25 m^3 を目標とし、ポンプ車の油圧計が示す最大値を読みとった。壁の型枠には全面樹脂性透明型枠を用い、充填状況をコンクリートの上端の位置で20秒間隔で型枠上に記録した。鉄筋通過性試験及び管理用供試体の作製はアジテータ車1車目で行い、ポンプ圧送前後のコンクリート変化は2車目で調べた。型枠の脱型は材齢1週とした。コア供試体は、材齢9週に、図-2(b)に示したように各位置で2本採取し、試験日まで20 $^{\circ}\text{C}$ の室内に保存した。圧縮強度試験は材齢13週に行った。粗骨材容積率は、各2本のコア供試体表面の粗骨材を写し採り、切断面における全表面積に対する粗骨材表面積の比率の平均値で求めた。試験の項目を表-4に示した。

3. 実験結果及び考察

3.1 室内実験

スランプフローと空気量の経時変化を図-3に示す。普通ポルトランドセメントを用いた調合のコンクリートは30分～60分のスランプフローの低下が大きいことが認められる。また、空気量は30分で2～3%程度低下している。鉄筋間通過性試験における試料通過率の結果を図-4に示す。この図より、OPC35V-2の調合を除き、練り混ぜ直後でのスランプフローは、65cm以上の流動性を示したにもかかわらず、鉄筋の空気が46mmに対して40～60%程度の試料通過率を示した。この値は、打込み実験で十分な流動性および充填性が確認された既往の研究[2]の70%以上の試料通過率と比較すると小さいため、壁打ち込み実験時での十分な充填性が得られるかどうか危惧された。この理由として、粗骨材量が多いことが考えられる。

3.2 実機試し練り

実機試し練りの単位水量及び単位粗骨材かさ容積を室内実験と同じにし、高性能AE減水剤の添加量のみで、スランプフロー及び空気量の調整を行った。しかし、高性能AE減水剤のみでの調整

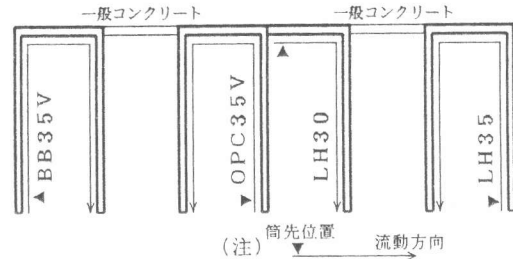


図-2(a) 壁試験体平面図 (全体)

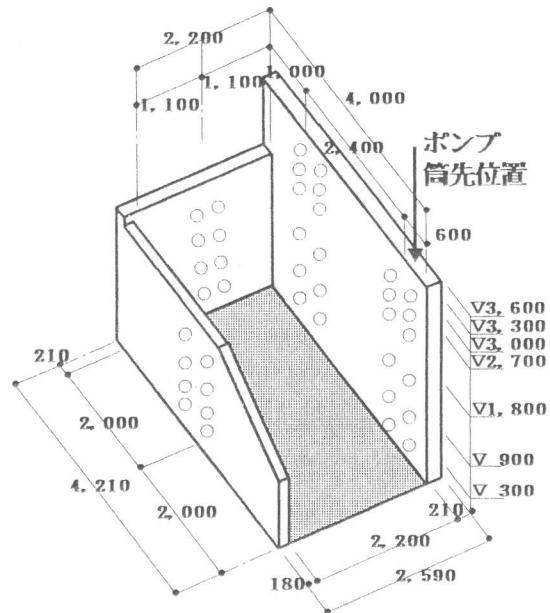


図-2(b) 壁試験体見取り図 (部分)

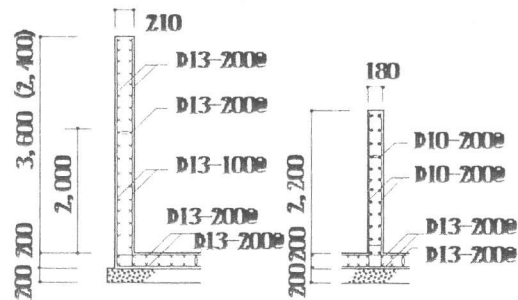


図-2(c) 壁試験体配筋図

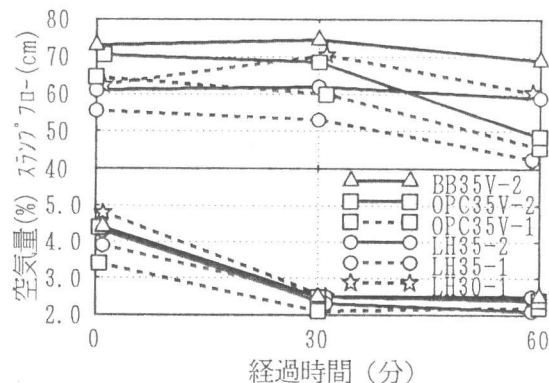


図-3 コンクリートの経時変化 (室内実験)

では、フレッシュコンクリートが安定した性状及び経時変化を示さず、管理が困難であった。次に、コンクリート製造時のミキサ負荷電流の経時変化を図-5に示す。この図より、実機試練り時のミキサ負荷電流のピーク値はモルタル先練りのため低い、排出時の値は同じ実機による高強度コンクリートの練混ぜ時と同程度の約25Aであった[3]。

また、実機試し練りで用いたコンクリートは床に打ち込んだが、かなり高い粘性が認められ、この調合では壁部材への打ち込みは困難である事が予想された。その結果、高性能AE減水剤だけでなく単位水量の調整によって安定性を確保し、単位粗骨材かさ容積の調整と練混ぜ方式を一括練りにすることによって粘性を低く抑えることにした。

3.3 壁打ち込み実験

(1) フレッシュコンクリートの性質

コンクリート製造時のミキサ負荷電流の経時変化を図-5に示した。排出時の負荷電流の値は実機試し練りのものと比較すると小さいので、粘性が低くなっていることがわかる。このことは、調合の調整の効果によるものと考えられる。

次に、図-6にプラント出荷時、荷降し時およびポンプ圧送後の筒先でのフレッシュコンクリートの性状を示す。出荷時のスランプフローは、60~72cmの範囲にあり、荷降し時にはスランプフローはOPC35Vが5cm程度低下した他は1~4cm程度増加した。ポンプ圧送前後では、圧送後のスランプフローはLH30が2cm程度増加したのに対し、その他の調合が1.5~3cm程度減少した。また、出荷時の空気量は2.5~6.6%の範囲にあり、荷降し時および圧送後ではほぼ同じか、若干減少した。OPC35Vのスランプロス、他の調合と比較して大きい、その理由は定かでないので今後の課題としたい。

以上のように、実験に用いたコンクリートは練混ぜから打ち込み終了まで約70分要したものの、その間の経時変化は小さく、品質は安定していた。

図-7に鉄筋間通過試験における試料通過率と材料分離抵抗率(R)を示す。材料分離抵抗率は、コンクリート試料の流出時に粗骨材が取り残されずに流れ出る割合を百分率で表示したものであり、材料分離抵抗率は式(1)により算出した。

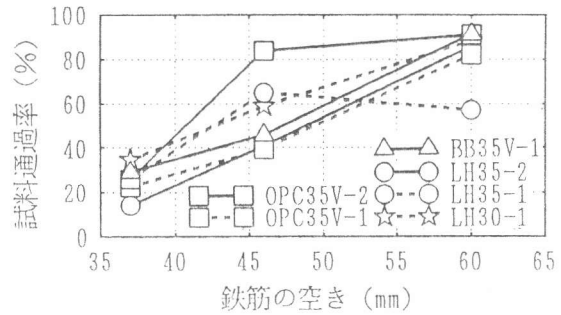


図-4 試料通過率の経時変化

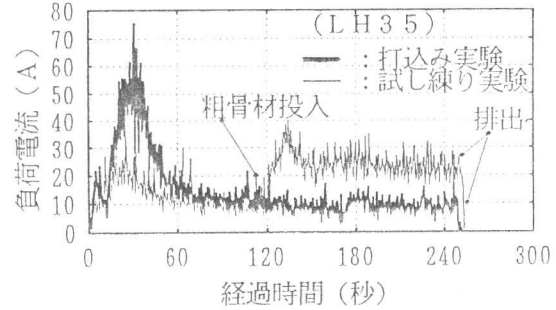


図-5 ミキサ負荷電流の経時変化

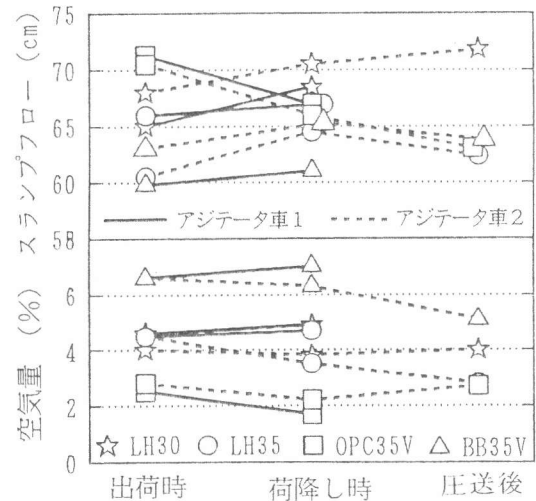


図-6 コンクリートの経時変化 (壁打ち込み実験)

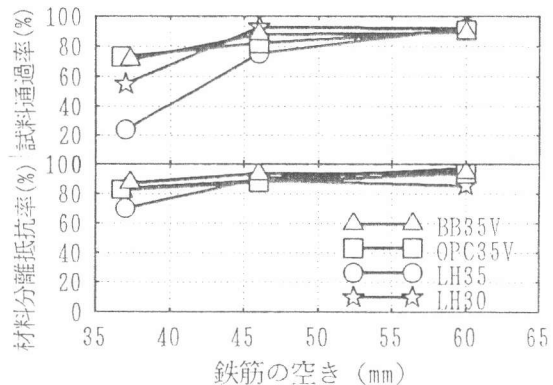


図-7 鉄筋間通過試験結果

$$R = \frac{\text{通過した粗骨材量 (kg)}}{\text{通過したコンクリート質量 (kg)}} \times \frac{\text{フレッシュコンクリートの単位容積質量 (kg/m}^3\text{)}}{\text{調合上の単位粗骨材量 (kg/m}^3\text{)}} \dots\dots (1)$$

試料通過率は、室内実験と比較すると、いずれの調合も鉄筋間隔46mmでは70%を超えており高い鉄筋間通過性を示している。材料分離抵抗率は鉄筋間隔46mmではいずれの調合も約90%であり、高い材料分離抵抗性を示しているといえる。

(2) コンクリートの流動・充填状況

コンクリートの流動勾配は、LH30、LH35及びOPC35Vが6～8度程度であった。LH35の場合を図-8に示す。これに対して、BB35Vの流動勾配は12～14度程度であった。この理由として、BB35Vのほうがスランプフローがやや小さいので、粘性が高いことが

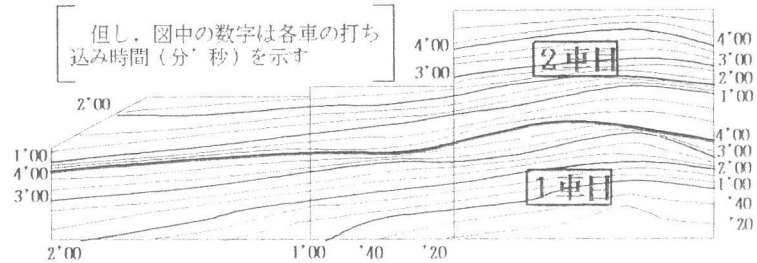


図-8 コンクリートの流動・充填状況の例 (LH35の壁試験体展開図)

考えられる。また、BB35Vのポンプ車の油圧計の示す最大値が70～110kgf/cm²で、打込み時間が12分間を要したのに対して、他の調合のそれぞれは50～80kgf/cm²、10分間程度であることから、BB35Vのほうが圧送抵抗が大きく打込みに要する時間が長かったことがわかる。しかし、いずれの調合においても締め固め無しに十分な流動性・充填性を示したことが確認された。

(3) 脱型後の表面状況の観察

ジャンカはいずれの調合でも全くみられなかった。微細な気泡は流動勾配に沿って発生しているが、いずれも美観上特に問題となるものではなかった。あばたは、粘性の高かったBB35Vに多く観察された。しかし、流動距離が4mを越えると、微細な気泡やあばたは非常に少なかった。材齢に伴う乾燥収縮ひびわれは、材齢13週では発生していない。

(4) 粗骨材の分布状況

図-9に流動方向および高さ方向の粗骨材の容積率を示す。粗骨材の容積率は、ばらつきがあるもののいずれの測定値も粗骨材量は調合上と同程度であり、材料が分離することなく流動したといえよう。高さ方向では、最上部の粗骨材の容積率がやや小さいが大差はない。

(5) 硬化コンクリートの性質

圧縮強度試験結果を表-5に示す。標準養生した供試体では、材齢28日圧縮強度に対する材齢91日の強度の増加率は、LH30が18%、LH35が25%、OPC35Vが7%、BB35Vが8%であり、高ビーライト系セメントのほうが強度の増加が大きいことがわかる。また、現場封緘養生したものの材齢91日圧縮強度に対する平均コア強度比は、LH30及びLH35が110%程度、OPC35Vが94%、BB35Vが98%であり、この程度の壁厚さ

表-5 圧縮強度試験結果

養生方法	LH30			LH35			OPC35V			BB35V		
	7日	28日	91日	7日	28日	91日	7日	28日	91日	7日	28日	91日
標準水中	488	749	884	415	650	811	640	794	846	440	637	685
20℃封緘	-	687	798	-	609	729	-	773	835	-	640	701
現場水中	-	703	821	-	622	748	-	782	881	-	614	687
現場封緘	-	646	786	380	583	735	650	773	866	430	597	706
屋外曝露	-	-	800	-	585	732	-	771	883	-	611	619

ではあまり大差がなく、現場封緘養生でコア強度が推定できよう。図-9にコア強度の分布状況を示した。コア強度は、流動距離が長くなると若干低下する傾向があるが、流動方向および高

さ方向とも変動は少ない。また、コア強度は現場封緘養生の供試体の圧縮強度と比較するとLH35は高く、OPC35VとBB35Vは若干低いものの大差はない。

5. まとめ

(1) 壁打込み実験のコンクリートの調合は、室内実験および実機試し練り実験を踏まえて調整し、単位粗骨材かさ容積は $0.52 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、単位水量は水セメント比30%で $165 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、水セメント比35%が $175 \text{ kg}/\text{m}^3$ としたが、スランプフローおよび空気量の経時変化は少なかった。

また、荷降ろし時の鉄筋間通過性試験結果は良好であり、材料分離抵抗性に優れたコンクリートであった。

(2) 高ビーライト系セメントでは増粘剤を添加しなくても、増粘剤を添加した普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種と同程度の材料分離抵抗性が得られた。

(3) 高ビーライト系セメントは、他のセメントと比較して7日強度は小さかったが、91日強度は高炉セメントB種より大きかった。

(4) 壁打込み実験では、いずれのセメントを用いた高流動コンクリートの調合も締固めなしで、材料が分離することなく、型枠の隅々まで充填されることが、打上がり状況、粗骨材分布状況およびコア強度によって確認された。

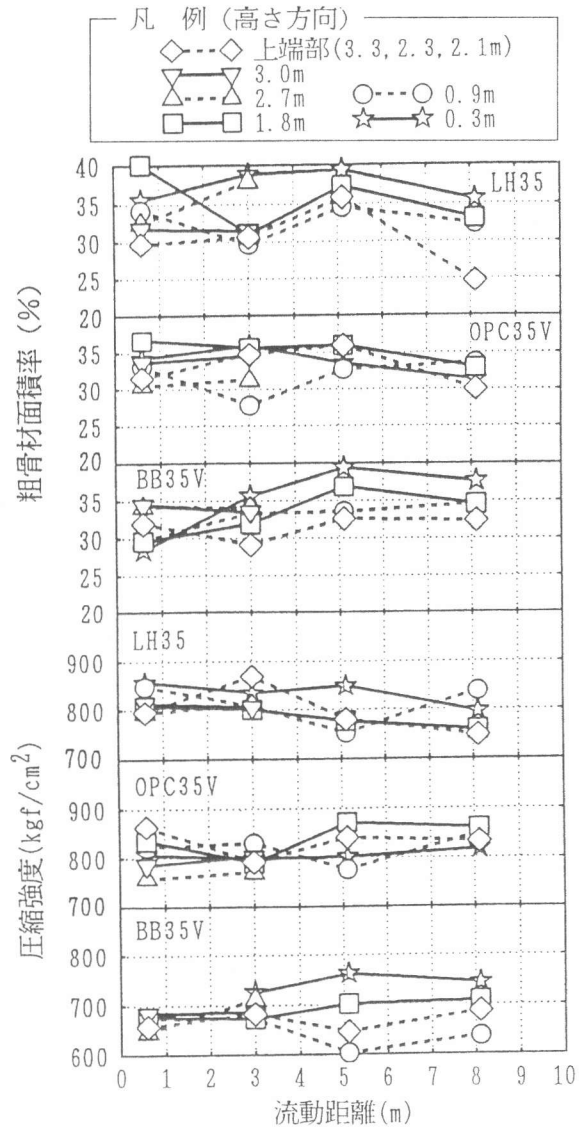


図-9 コア供試体による面積率と圧縮強度

(謝辞)

本実験を行うにあたり、建設省建築研究所の阿部道彦室長、鹿毛忠継研究員および前田弘美技官、(株)新井組の岩井信彰氏、(株)青木建設の伊藤卓幸氏、東海興業(株)の中川雄二氏、不動建設(株)の宮本鯉輔氏、秩父セメント(株)の名和豊春氏および我妻佳幸氏、(株)ポゾリス物産の高津行秀氏らに御協力を得ました。鉄筋間通過性試験については東京大学助手野口貴文氏の御助言を頂きました。また、コンクリートの製造では、つくば秩父生コン(株)の御協力を得ました。

(参考文献)

- 1) 小沢一雄・前川宏一・岡村甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 11, NO. 1, PP. 699~704, 1989
- 2) 和泉意登志・野口貴文, 小野山貫造他：各種高流動コンクリートの特性評価及び実大模型打設実験(その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集(A), PP. 1153~1154, 1993
- 3) 安田正雪・梶田佳寛・阿部道彦・田中斉：ミキサ負荷電流による高強度コンクリートの練り混ぜ特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, NO. 1, PP. 405~410, 1993