

報告

[1005] 特殊増粘剤を用いた締固め不要コンクリートに関する研究

正会員 万木正弘 (鹿島技術研究所)
 正会員 坂田 昇 (鹿島技術研究所)
 正会員 ○岩井 稔 (鹿島技術研究所)

1. はじめに

近年、コンクリート施工の合理化・省力化を目指し、複雑な断面や高密度配筋部においても自重のみで密実に充填できる流動性の高いコンクリートに関する研究が盛んに行われている [1]。筆者らもこの締固め不要コンクリートに関する研究を進めており、良好な充填性を示す超流動コンクリートの配合条件をある程度明らかにしてきた。その配合は、高性能AE減水剤の添加量を比較的多くするとともに、骨材の一部を石灰石粉で置換して微粉末量を増加することによって、締固め不要コンクリートに要求される高流動性と材料分離抵抗性をバランスよく確保したものである [2]。しかしこの配合の問題点として、高性能AE減水剤の添加量が多くなるため、その効果が鋭敏になり流動品質が不安定になる傾向が認められること、微粉末量の増加だけでは高流動性を付与したときにブリージングが生じやすくなることが挙げられる。このような問題点を解決し、締固め不要コンクリートの流動品質を向上させるため、グルコース系の特殊増粘剤の使用について検討を行ってきた。

本報文中では、グルコース系の特殊増粘剤の性質について述べるとともに、この増粘剤を用いた締固め不要コンクリートの諸性質の検討及び実規模での流動実験の結果について報告する。

2. 特殊増粘剤の性質

コンクリート用増粘剤として要求される品質は、適切な粘性を与えることのほか、化学的に安定していることや温度依存性の少ないことが挙げられる。そこで、従来よりコンクリート系材料に用いられている増粘剤3種類 (MC系, HEC系, アクリル系) 及びグルコース系増粘剤1種類について粘度特性, 化学的安定性, 温度依存性, 懸濁安定性等の基礎的物性の比較検討を行った。増粘剤の粘度測定には、各増粘剤の濃度が1%となるように攪拌・溶解したアルカリ溶液 (水酸化ナトリウム2%, 水酸化カルシウム飽和溶液) を用いた。なお、グルコース系増粘剤は、微生物発酵作用によって生成されるポリマーの一種である。

2.1 粘度特性

各増粘剤溶液の粘度をレオメータで測定した結果を図-1に示す。グルコース系増粘剤では他の増粘剤に比べて降伏応力が大きく、ひずみ速度の大きな領域で粘性係数が小さくなる傾向を示した。このことは、コンクリートが流動している間は容易に変形し、コンクリートが静止した状態では変形しにくくなる

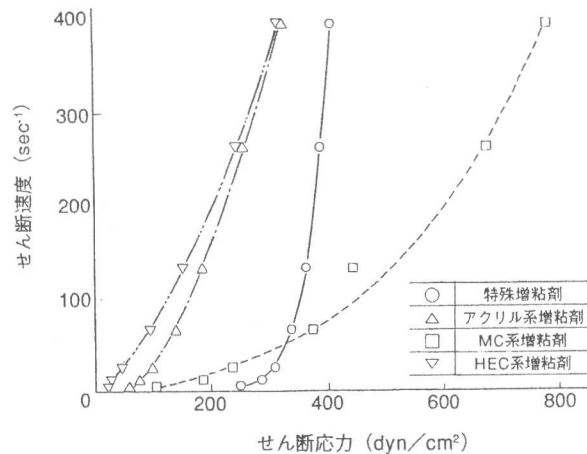


図-1 増粘剤の粘度特性

ことを示しており、高流動性を有するコンクリートの材料分離抑制には有利な性質と考えられる。

2.2 化学的安定性

増粘剤の化学的安定性として、加熱分解に対する抵抗性の検討を行った。各増粘剤溶液に100℃で6時間、50℃で18時間を1サイクルとして経時的に温度変化を与え、各サイクルごとの粘度をBM型粘度計を用いて25℃の温度条件下で測定した。測定結果を図-2に示す。粘度保持率として試験開始時の粘度に対する百分率で表したが、MC系、HEC系の増粘剤に比べてグルコース系、アクリル系の増粘剤では経時に対する粘度の低下が小さく、化学的安定度の高いことを示した。

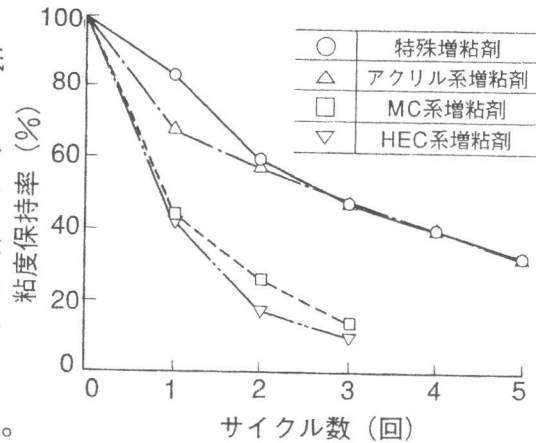


図-2 増粘剤の化学的安定性

2.3 温度依存性

各増粘剤溶液の温度を5～30℃の範囲で変化させて、レオメータで粘度を測定した。結果を図-3に示す。グルコース系増粘剤では他の増粘剤に比べて温度変化に対する粘度の変化はほとんど認められなかった。

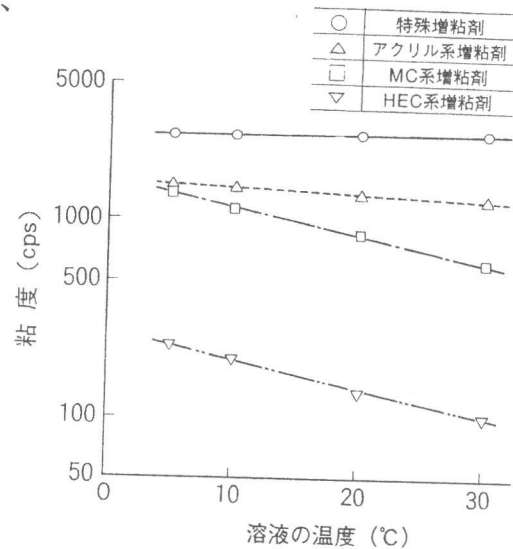


図-3 増粘剤の温度依存性

2.4 懸濁安定性

各増粘剤を用いたペーストについて懸濁安定性の検討を行った。試験には、水と石粉の重量比30%、高性能AE減水剤の添加量を石粉の0.5%としたペーストを用いた。それぞれのペーストを300mlのメスシリンダー内に3時間放置した後にメスシリンダーの所定の位置にスポイトを挿入して試料を採取し、その試料を乾燥させて固形分濃度を求めた。結果を図-4に示す。グルコース系増粘剤で濃度分布がほぼ一樣なのに対して、アクリル系増粘剤ではメスシリンダー上下で大きな濃度差が認められ、MC系、HEC系の増粘剤でも上面付近における濃度がわずかに小さくなった。

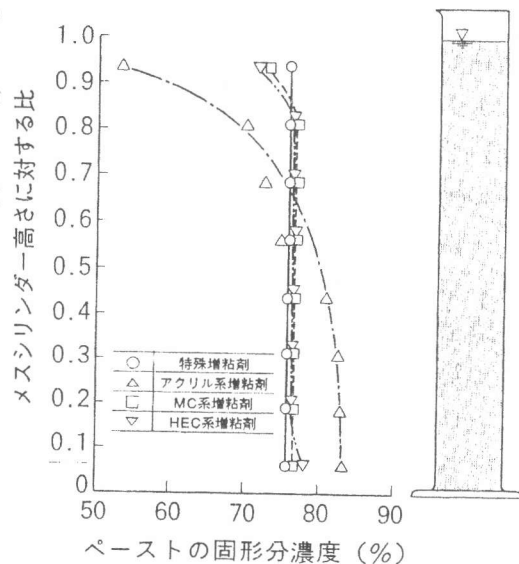


図-4 増粘剤の懸濁安定性

以上、アルカリ溶液等を用いた場合の試験であるがこれらの結果からグルコース系増粘剤が締固め不要コンクリートに対して最も良好な性質を付与する可能性が高いものと考えられた。

3. 特殊増粘剤が流動性状に及ぼす影響

前述のような特性を有するグルコース系の特殊増粘剤の効果を、モルタル及びコンクリートで検討した。配合を表-1に示す。

3.1 モルタルフローに及ぼす影響

表-1に示すコンクリートのモルタル部と同じ配合のモルタルに対して、高性能AE減水剤と特殊増粘剤の

添加量を変化させ、モルタルフローへの影響を調べた。モルタルフローは自重のみで広がる静置フローを測定し、同時に分離状況を目視により観察した。結果を図-5に示す。高性能AE減水剤の添加量が増加するほどモルタルフローは大きくなるが、その増加の割合は特殊増粘剤の添加量が多いほど緩やかになる傾向が認められた。このことは、特殊増粘剤を用いることにより、高性能AE減水剤の多少の変動による流動性の変化を抑制し、コンクリートとしたときの流動品質のばらつきが小さくできることを示すものと思われる。また、モルタルフローが270mm以上の流動性の極めて高い範囲では、増粘剤を用いないモルタルで砂とペーストの分離が認められたが、増粘剤の添加量を単位水量の0.03%以上とすることにより、これらの分離も防止することができた。

表-1 コンクリートの配合

ケース	W/C (%)	s/a (%)	スラグ添加量 (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					*1 高性能減水剤 (%)	*2 特殊増粘剤 (%)
					水	セメント	石粉	細骨材	粗骨材		
1	52.9	45.3	60±5	4±1	175	331	216	710	875	1.5	0
2										2.0	0.05

*1 高性能AE減水剤は微粉末(セメント+石粉)に対する重量百分率
*2 特殊増粘剤は単位水量に対する重量百分率

使用材料 セメント：普通ポルトランドセメント (比重3.16, 比表面積3800cm²/g)
石粉：石灰石微粉末 (比重2.70, 200メッシュ(比表面積3000cm²/g相当))
細骨材：大井川産川砂 (比重2.61, 粗粒率2.48, 実積率67.2%)
粗骨材：津久井産砕石 (Gmax20mm, 比重2.66, 粗粒率6.72, 実積率59.9%)
高性能AE減水剤：β-ナフタリンスルホン酸カルシウム+反応性高分子

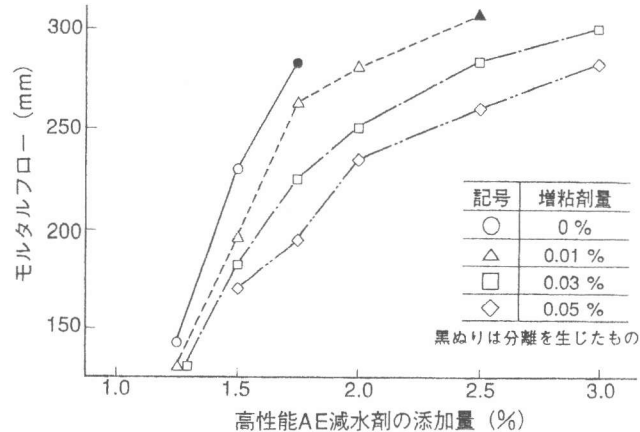


図-5 モルタルフロー試験結果

3.2 コンクリートの充填性試験

鉄筋の錯綜した部分への締固め不要コンクリートの充填性を検討するために、特殊増粘剤を使用した配合及び使用しない配合の2種類(表-1参照)について充填性試験を行った。試験は、図-6に示す装置の片側よりコンクリートを打込み、流動状況の観察、流動先端部のコンクリートの打上り高さを測定するものである[2]。また、フレッシュコンクリートの性質として、ブリージング試験、凝結試験を行った。

試験の結果を表-2及び図-7に示す。高性能AE減水剤の添加量を調整してスランプフローを同一としたため、充填性試験の結果は増粘剤の有無にかかわらずほぼ同じであった。増粘剤を用いた配合では、流動性が高いにもかかわらずブリージングが全く認められなかった。また、凝結時間は増粘剤を用いた配合の方が長くなったが、これは高性能AE減水剤の使用量が多かったためと考えられる。

室内実験におけるこれらのフレッシュコンクリートの性質の違いが、実施工における施工性にどのように影響を与えるかについては、今後実規模レベルの実験を数多く行って検討していく必要がある。

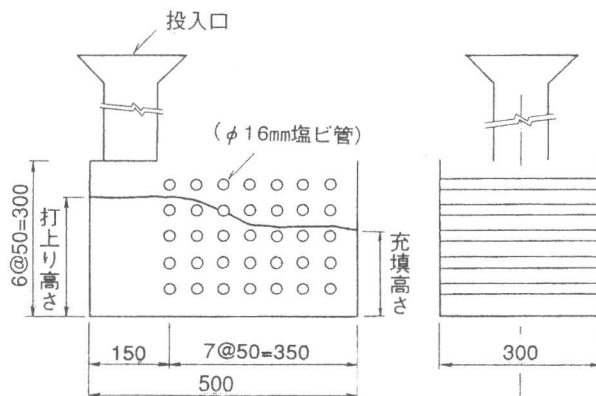


図-6 充填性試験装置

4. 硬化コンクリートの性質

本実験で使用した特殊増粘剤は、それ自体

の化学的安定性が従来のコンクリート用増粘剤と比較して優れているが、これまでコンクリート材料としての使用実績が

表-2 フレッシュコンクリートの試験結果

ケース	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	充填性試験			ブリージング		凝結試験	
				打上高さ (mm)	充填高さ (mm)	流動勾配 (cm ³ /cm ²)	量 (%)	率 (%)	始発 (h-m)	終結 (h-m)
1	25.0	58.5	5.0	235	150	17/100	0.05	1.19	12-15	14-40
2	25.0	58.5	4.8	220	170	10/100	0	0	16-50 (10-45)	19-30 (13-15)

※ () は高性能AE減水剤の添加をケース1と同量 (1.5%) とした場合の凝結時間

ないため、この増粘剤を用いたコンクリートの硬化後の性質について試験・検討を行った。

コンクリートの配合は表-1と同様とし、比較のために一般的な土木工事に用いられているスランブ8cm程度のコンクリート (単位水量165kg/m³, W/C=52.9%) についても試験を行った。試験項目を表-3に示す。

圧縮強度試験結果を図-8に、他の試験結果の一覧を表-4に示す。増粘剤を用いた配合では、高性能AE減水剤の添加量が多くなるため、初期の強度発現が多少遅れるが、特殊増粘剤の添加によるその他の物性の変化は顕著でなく、特に、ある種の増粘剤を用いた場合に低下する耐凍結融解抵抗性や乾燥収縮量、中性化深さなどについても特殊増粘剤の影響が認められず、一般の土木工事で用いられるコンクリートと同等以上の性質を有することが示された。

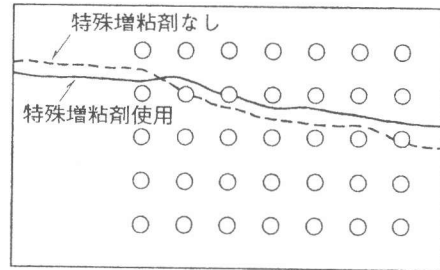


図-7 充填性試験結果 (特殊増粘剤の影響)

表-3 硬化コンクリートの試験項目

試験項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1108 に準拠
曲げ強度	JIS A 1106 に準拠
静弾性係数	ASTM 469-65 (エプソメ法) に準拠
凍結融解抵抗性	ASTM C666 に準拠
乾燥収縮	JIS A 1129 (コパレタ法) に準拠

5. 実規模流動実験

5.1 実験の概要

特殊増粘剤を用いた締固め不要コンクリートについて施工性検討の一資料を得るために、実際の構造物における柱・床の接合部をモデル化した大型模型を用いた打設・流動実験を行った。

型わくは、図-9に示す高さ2.5m、幅2.5m、部材断面0.5m×0.5mのU字形のものを用い、コンクリートの流動状況を観察できるように一面を透明アクリル板とした。鉄筋は一般的構造物を想定してD25及びD19を15cm間隔

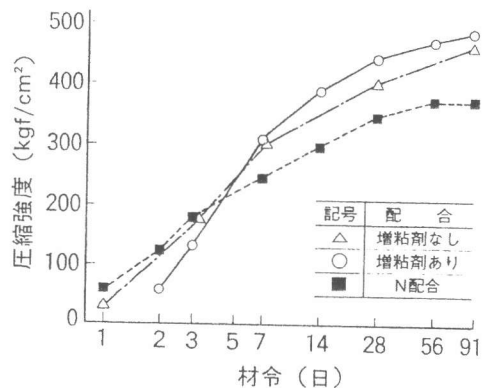


図-8 圧縮強度試験結果

表-4 硬化コンクリートの試験結果

*1 ケース	圧縮強度 (kgf/cm ²)		曲げ強度 (kgf/cm ²)		静弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)		凍結融解 300サイクルの 相対動弾性係数 (%)	乾燥収縮量 (×10 ⁻⁶)			中性化深さ ^{*2} (mm)		
	7日	28日	7日	28日	7日	28日		4週	13週	26週	4週	8週	13週
1	308	401	-	-	2.59	3.00	96.9	393	680	772	-	-	-
2	308	442	47	59	2.56	3.00	96.7	495	565	610	9.4	13.0	16.3
N配合	244	346	42	55	2.49	2.99	98.4	412	654	729	14.1	18.7	22.3

*1 N配合はスランブ8cmの一般的な配合のコンクリート
*2 養生条件: 温度40°C, 湿度40%R.H., 炭酸ガス濃度10%

で配置した（鉄筋量約150kg/m³）。

実験では、充填性に影響を及ぼす要因として流動性を取り上げ、表-1に示した特殊増粘剤を用いた配合に対して高性能AB減水剤の添加量を変えることでスランブフローを45cm及び60cm（以下、SF45cm及びSF60cmと略記する）とした。SF45cmのコンクリートを用いた室内充填性試験の結果では、図-10に示すように、充填性がそれほど良好ではなかったが、これらの室内試験結果と実規模での施工性との関係を把握するために実験を行った。

コンクリートの練りまぜは現場付近の生コンプラント（2軸強制型ミキサ、練りまぜ容量3m³）で行い、現場までアジテータ車で約5分運搬した後、0.3m³のバケツを用いて型わくの一方の柱部分から打設速度約4m³/hで打込み、締固めは一切行わなかった。

5.2 流動性状

結果の一覧を表-5に示す。本実験においては、SF45cm、60cmともに良好な流動性状を示した。一方の柱部分から打込んだコンクリートは最初下床の水平部を流動していき、下床部が充填された後には打込み側（A部）のコンクリートヘッドが上がるにつれて反対側の柱部分（B部）にも下側からコンクリートが流動・充填した。水平部分を流動する時の勾配はSF45cmで1/10、SF60cmで1/25であった。また、A・B部の最終的な打上り高さの差は、SF45cmで60cm、SF60cmで23cmと小さいものであった。

流動後のコンクリートの粗骨材量を調べるために、A部及びB部の表面からコンクリートを採取し、

洗い試験を行った。結果は表-5に示すように、コンクリート重量に対する粗骨材の重量比は、A・B部ともほぼ同じ値であったが、SF60cmの場合では配合から計算される理論的な値よりも小さい値を示した。スランブフローを大きくした場合の粗骨材の沈降・分離については今後十分検討していく必要がある。

5.3 硬化コンクリートの品質

脱型後のコンクリート表面は、いずれのケースともあばたが認められず、平滑であった。また、採取したコアからも充填不良部は認められなかった。

材令28日におけるコア供試体及び標準養生を行った供試体（以下、標準供試体と称する）の圧縮強度試験の結果を表-6及び図-11に示す。コア供試体と標準供試体の圧縮強度比はいずれのケースにおいても1.0程度、コア供試体の変動係数はSF45cmで5.5%、SF60cmで4.7%となり、圧縮強度は全体的に均一であった。SF60cmのコンクリートでは、試験体表面部から採取した試料の

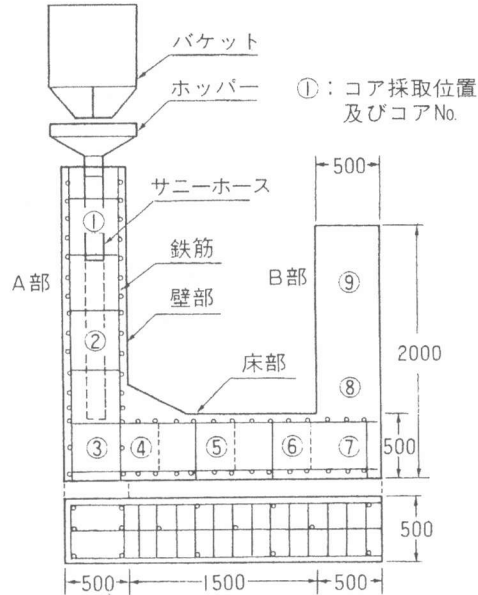


図-9 流動実験の試験体

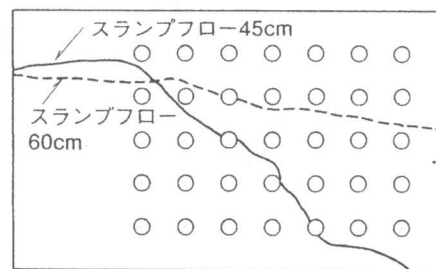


図-10 充填性試験結果
(スランブフローの影響)

表-5 流動実験の結果

目 標 スランブ フロー (cm)	コンクリートの流動品質				粗骨材の洗い試験結果		
	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	流動勾配	A・B部の 高低差 (cm)	基本配合	打込み側 (A部)	流動先端 (B部)
45±5	45.0	4.5	1/10	60.0	0.381	0.375	0.381
60±5	58.0	4.5	1/25	23.0	0.381	0.300	0.316

洗い試験の結果で粗骨材量がやや少なくなっていたが、コア供試体の表面の目視観察ではあまり差がないようであり、強度等の変動がSF45cmのコンクリートと同程度であることから、ほぼ均質なコンクリートであると考えられた。

以上の試験結果により、今回用いた試験体程度の鉄筋量でコンクリートヘッドが作用するような施工条件では、SF45cmと小さくしても十分に充填することが確認できた。このことは、構造物に応じた適切なスランプフローとすることによって材料分離を生じない均質なコンクリートとすることができることを示すものであり、今後は、締固め不要とするために必要な流動性の程度と構造物の条件との関係などについての検討を進めて行く必要がある。

5. まとめ

本報文では、締固め不要コンクリートの流動品質を向上させる目的で使用したグルコース系の特殊増粘剤の性質について述べ、この増粘剤を用いたコンクリートの諸性状及び実規模での適用性について検討した結果を報告した。まとめると次のようになる。

- (1) 締固め不要コンクリート用として検討したグルコース系特殊増粘剤は、アルカリ溶液において優れた粘度特性を示し、化学的に安定で温度依存性が少ないなどが確かめられた。
- (2) 特殊増粘剤をコンクリートに用いると、高性能AE減水剤の鋭敏な効果を緩和して安定した流動品質が得られ、ブリージングを抑制する効果も確認できた。
- (3) 特殊増粘剤を用いたコンクリートの硬化後の強度・耐久性は、一般的な配合のコンクリートと同等以上であり、特殊増粘剤を用いてもその品質に影響を及ぼさないことが確かめられた。
- (4) 実規模の流動実験によって、スランプフローを45cm及び60cmとしたいずれの締固め不要コンクリートにおいても良好な充填性が認められ、均質なコンクリートであることが確認できた。

〔謝辞〕

本研究の実施にあたり、三晶(株)より多大の御援助を頂いたことをここに記し、深く感謝致します。

〔参考文献〕

- [1] 例えば、小沢, 前川, 岡村: 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, 11-1, 1989
- [2] 万木, 山本, 古沢, 坂田: 締固めが不要なコンクリート配合についての実験的研究, 鹿島建設技術研究所年報 第38号, 1990

表-6 コア供試体の強度試験結果

スランプ 高	圧縮強度 (kgf/cm ²)				コア供試体	
	標準	コア	コア 標準	B部 A部	静弾性係数 (kgf/cm ²)	単位容積重量 (kg/m ³)
45cm	338 (0.6%)	340 (5.5%)	1.01	1.05	2.73×10 ⁵ (4.5%)	2360 (0.91%)
60cm	335 (0.2%)	334 (4.7%)	1.00	0.94	2.74×10 ⁵ (4.6%)	2360 (0.52%)

※ () は変動係数を示す。

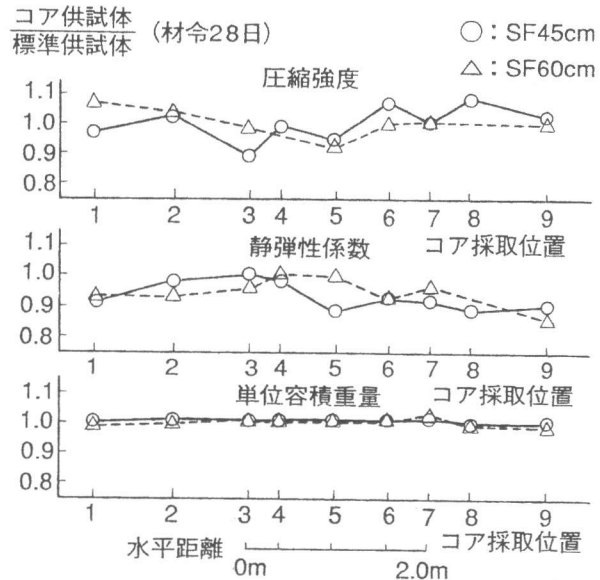


図-11 流動距離とコアの品質との関係