

論文

[1050] 石灰石粉によるブリージングの低減がコンクリートの強度・耐久性に及ぼす影響

正会員○平田 隆祥 (大林組技術研究所)

正会員 竹田 宣典 (大林組技術研究所)

正会員 十河 茂幸 (大林組技術研究所)

1. はじめに

ブリージングの発生は、沈下ひびわれ、粗骨材や鉄筋下面の間隙の増大による付着強度・水密性の低下、部材上下方向での強度差などコンクリートの品質および耐久性に影響を与えられられる。しかし、ブリージングの量とその影響の定量的な関係は明らかにされておらず、コンクリート示方書や各種の基準にもブリージングに関する規定値は、明確に設けられていないのが現状である。一方、構造物が大型化する昨今、良質な骨材は減少の一途をたどり、微粒分の少ない海砂の使用等によっても、ブリージングは増大する傾向にある。

本論文では、石粉の添加によりブリージングを抑制したコンクリートを用い、高さ1.8 mの壁状モデルでの高さ方向のコンクリートの強度・耐久性・鉄筋の付着強度について調査し、ブリージング率がコンクリートの諸性質に及ぼす影響について検討を行った結果について述べる。

2. 実験概要

表-1に実験に用いた材料を示す。セメントはブリージングを増加させる傾向の強い三成分系の低発熱性セメントを用いた。表-2にセメントの化学組成を示す。細骨材は、0.15mm以下の微粒分の少ない海砂を用いた。粗骨材は、最大寸法20mmのものを用いた。

ブリージング率は、石灰石微粉末（以下石粉と呼称；単位石粉量をLFと略号）の添加量により、約9%、6%、3%、1%に調整した。図-1に骨材・石粉の粒度分布曲線を示す。表-3にコンクリートの配合とフレッシュコンクリートの試験結果を示す。

壁状モデルの寸法は、幅130cm、厚さ45cm、高さ180cmとした。

打設は、型わく上部よりたて型シュートを用い、締固めは棒状振動機を用いて行った。

壁状モデルは材令7

表-1 使用材料

材料	物理的性質
セメント	三成分系低発熱セメント：比重 2.73, 比表面積 5510cm ² /g (中庸熟クリンカー 23%, 高炉スラグ 50%, フライアッシュ 27%)
細骨材	香川県広島産海砂：比重 2.56, 吸水率 1.86%, 粗粒率 3.10%
粗骨材	青梅産砕砂：最大寸法 20mm, 比重 2.64, 吸水率 0.38%, 粗粒率 6.70%
石灰石微粉末	舗装用石粉石粉 (JIS A 5008) : 比重 2.73, 比表面積 5400cm ² /g
AE減水剤	リグニンスルホン酸系

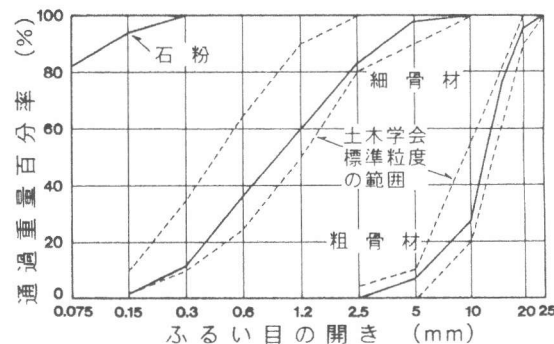


図-1 骨材・石粉の粒度分布

表-2 三成分系低発熱セメントの化学成分

化学成分 (%)												計	R ₂ O (%)
ig. loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻			
1.4	22.0	22.3	8.5	1.4	36.1	3.4	2.8	0.13	0.26	0.002	98.3	0.30	

日で脱型し、コア供試体を材令14日で採取した後、所定の試験材令まで水中養生を行った。

表-4に試験項目および試験方法を示す。図-2にコア供試体の採取位置および試験位置を示す。

表-3 コンクリートの配合とフレッシュコンクリートの性質

No.	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						スラブ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (t/m ³)	練上り温度 (°C)
			W	C	L	F	S	G				
①	63.5	40.0	165	260	0	717	1108	0.65	11.5	4.2	2.26	19.5
②					30	688		0.70	12.0	3.8	2.29	19.7
③					90	633		0.55	11.0	3.8	2.27	20.2
④					160	567		0.59	11.5	3.7	2.28	19.8

表-4 試験項目・試験方法

試験項目	試験方法	供試体・試験位置	試験材令	コア採取位置
スランプ	JIS A 1101	フレッシュコンクリート	-	-
空気量	JIS A 1128		-	-
ブリージング率	JIS A 1123		-	-
凝結時間	JIS A 6204		-	-
天端の沈下量	コンクリート打設後、天端にアクリル板を設置し、沈下量の経時変化を測定	-	-	-
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	28	A
	水密性	透水試験 (水圧: 25 kgf/cm ² 加压時間: 24時間) により拡散係数を算出	28	D
	遮塩性	Cl ⁻ 濃度1.8%の海水中に1ヶ月浸漬後フルオレセインナトリウムの変色域を測定	28	E
	凍結融解抵抗性	土木学会規準	14	C
	乾燥収縮	JIS A 1129	14	B
	鉄筋回りの空隙	コア採取後、断面を切斷し、パイプの回りの空隙を観察	28	G, H
鉄筋の付着強度	引抜き試験 (土木学会規準)	28	L	

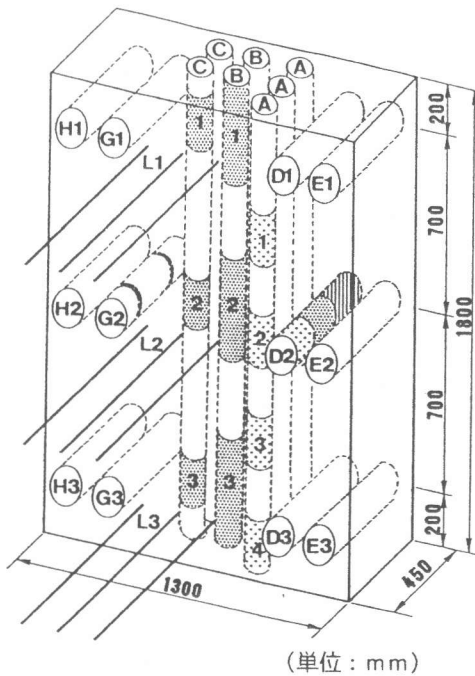


図-2 コア供試体の採取位置および試験位置

3. 実験結果および考察

3.1 ブリージングおよび凝結時間

図-3にブリージング率の経時変化を示す。石粉の添加量の増大に伴いブリージング率は減少し、発生速度(単位時間当たりのブリージング量)の最大値も小さくなる。図-4に壁状モデルの天端の沈下量を示す。沈下量はブリージング率の増加に伴い大きくなるが、ブリージング試験の結果から計算されるブリージング水の量だけ沈下すると仮定した場合の

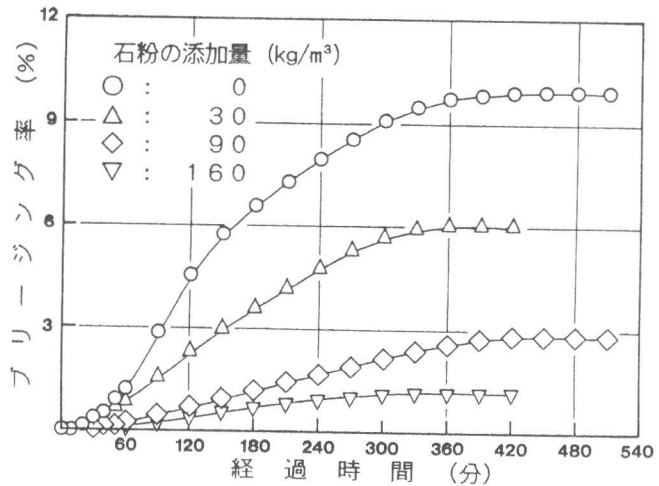


図-3 ブリージング率の経時変化

1/2~1/5程度となった。

図-5に凝結試験の結果を示す。石粉によりブリージングを抑制したことにより、凝結は若干早くなる傾向となる。また、天端部のコンクリートの貫入抵抗値による表面部の凝結時間の推定値は凝結試験(JIS)の結果に比べて、いずれの配合も5~7時間早い。これは表面が乾燥し、こわばりが発生するためと考えられる。

3.2 圧縮強度

図-6に圧縮強度の高さ方向の分布を示す。ブリージング率が9%程度のコンクリートの場合は、高さ135cmから高さ10cmの範囲での圧縮強度は標準養生供試体と同程度であり、高さ方向にほぼ均一な分布をしている。ブリージング率が6%以下の場合、ブリージングの減少に伴い下部ほど高い強度を示す傾向が顕著となる。

図-7に標準養生供試体に対する圧縮強度比を示す。下部のコンクリート(高さ10cm)の標準養生供試体に対する圧縮強度の比率は、ブリージング率が9%程度で106%、6%で110%、3%で131%、1%で135%とブリージング率の減少に伴い高くなる。いずれの配合も、高さ135cm以下の範囲での圧縮強度は、標準養生供試体の90%以上であり、現場養生供試体と同等以上である。

ブリージング率が9%程度のコンクリートを十分な締固めを行い打設した場合の高さ方向の強度の差は小さく、ブリージングが少ない方が標準養生供試体に比較して強度が増大し、高さ方向の強度差は大きくなることが確認された。

ブリージング率が

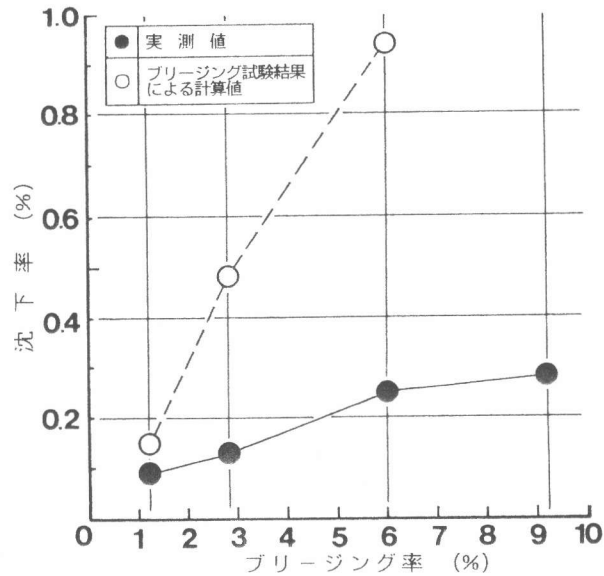


図-4 天端の沈下量

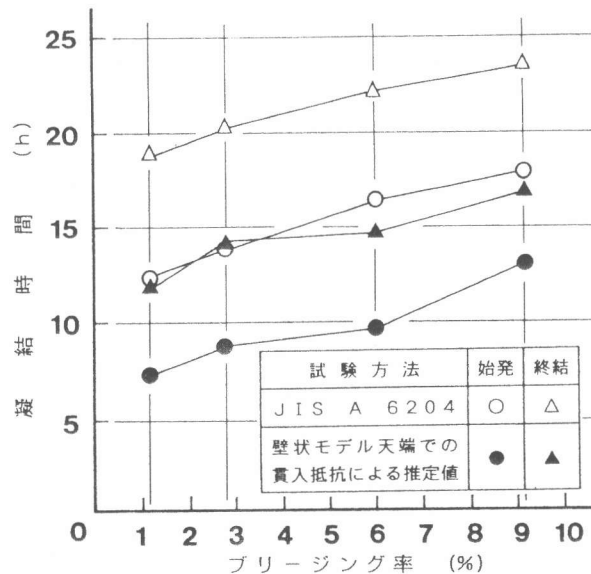


図-5 凝結試験結果

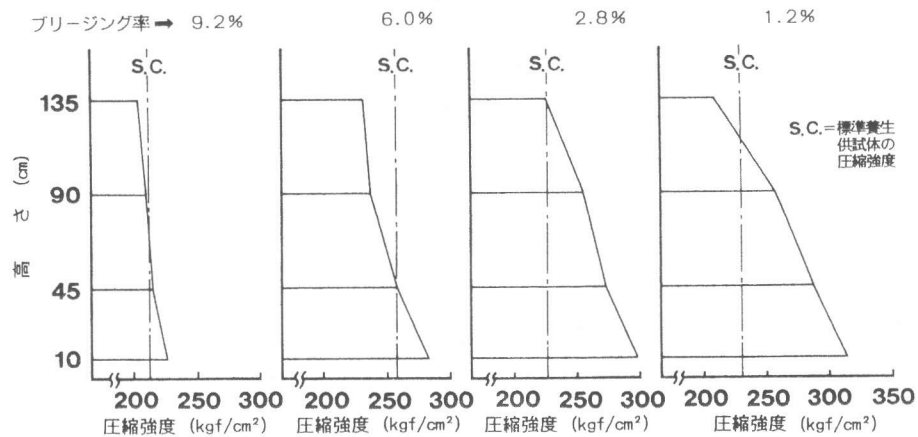


図-6 圧縮強度の高さ方向の分布

小さいコンクリートは水の保水性が高いことを示しているが、加圧によるブリージングとは必ずしも対応しておらず、強度分布の差異は、加圧によって発生したブリージング水の保水能力の違いに起因しているものと考えられる。すなわち、ブリージング率が大きい場合は、ブリージング水が容易に逸散するため高さ方向に均一な強度分布となるが、ブリージング率の小さい場合は、保水性が高いため加圧によって発生したブリージング水の逸散が少なく、上部においてブリージング水がとどまり、水セメント比に差が生じ上部・下部の強度差が発生するものと考えられる。

3.3 水密性

図-8に透水試験により求めた拡散係数を示す。ブリージング率が3%以上の配合では高さ方向の拡散係数の差は少ないが、ブリージングが少なくなるに伴い、高さ方向の拡散係数の差が大きくなる。下部(高さ20cm)においては、ブリージングが少ないほど水密性は高くなる傾向がみられた。

3.4 遮塩性

図-9に人工海水の浸漬による塩化物イオンの浸透深さを示す。塩化物イオンの浸透深さは、ブリージング率が1%と3%では同程度であるが、3%以上となるとブリージング率の増加に伴い大きくなる傾向を示す。高さ方向の浸透深さの差は、ブリージング率の大小にかかわらず小さい。

3.5 凍結融解抵抗性

図-10にコア供試体の凍結融解試験における相対動弾性係数の変化を示す。標準養生供試体では、9%以下のブリージング率のコンクリートであれば300サイクルの凍結融解のくり返し後も動弾性係数の低下はみられない。

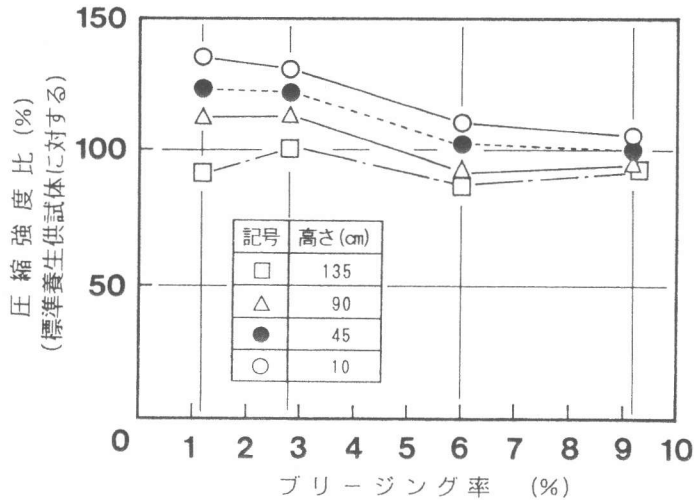


図-7 標準養生供試体に対する圧縮比

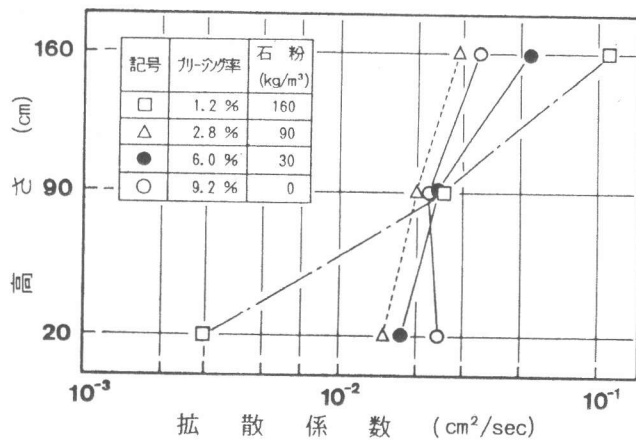


図-8 透水試験結果

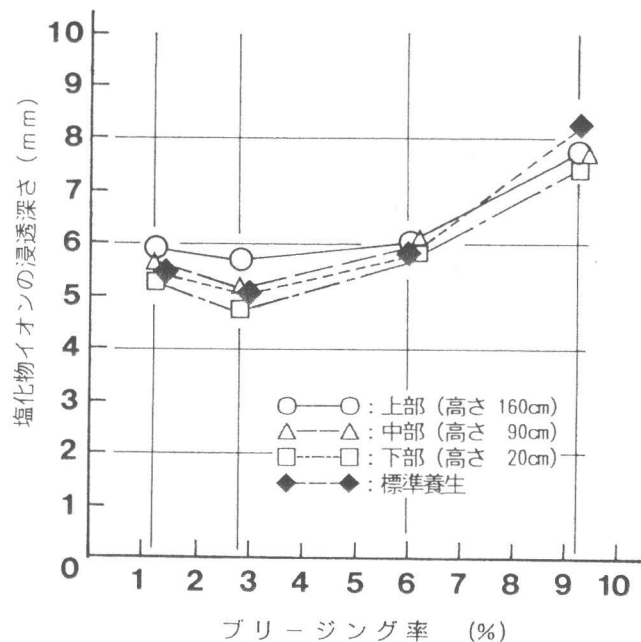


図-9 塩化物イオンの浸透深さ

高さ 160cm位置のコア供試体では、ブリージング率が3%以下では動弾性係数の低下はないが、6%以上となると30サイクル以内で相対動弾性係数は80%以下となる。また、高さ 20cm 位置のコア供試体においては、ブリージング率が3%以上の場合、急激に動弾性係数は低下し、3%以下でも200サイクルを越えると相対動弾性係数の低下がみられる。

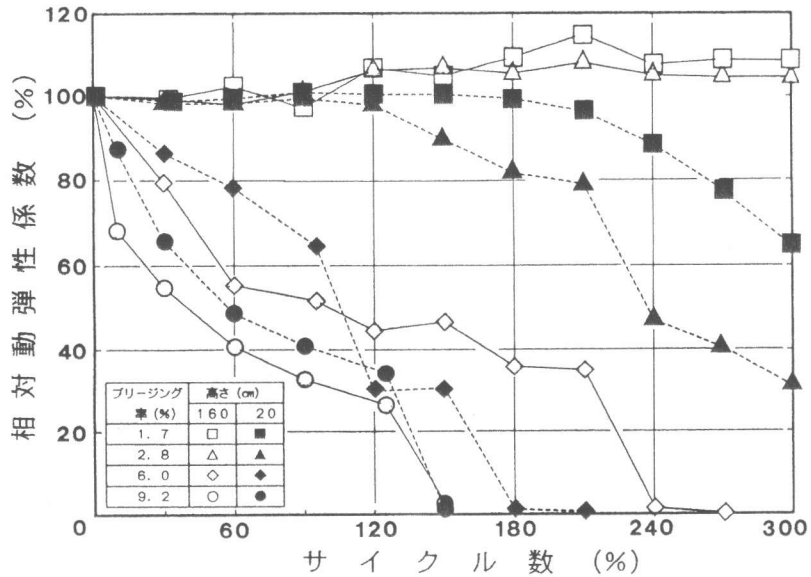


図-10 凍結融解試験結果

本実験で用いたブリージング率が3%程度以上のコンクリートでは、壁状モデルの下部においては、加圧によって発生するブリージングにより、微細な水のおり道が発生し、凍結融解抵抗性が低下するものと考えられる。

3.6 乾燥収縮

図-11 に乾燥材令2ヶ月までの乾燥収縮による長さ変化率を示す。標準養生供試体の収縮量は、ブリージング率が9%程度になると、6%以下のものに比べて大きくなるが、コア供試体の収縮量は、ブリージング率による差は少ない。また、コア供試体の収縮量は、標準養生供試体より少なく、位置的には下部ほど少ない傾向にある。

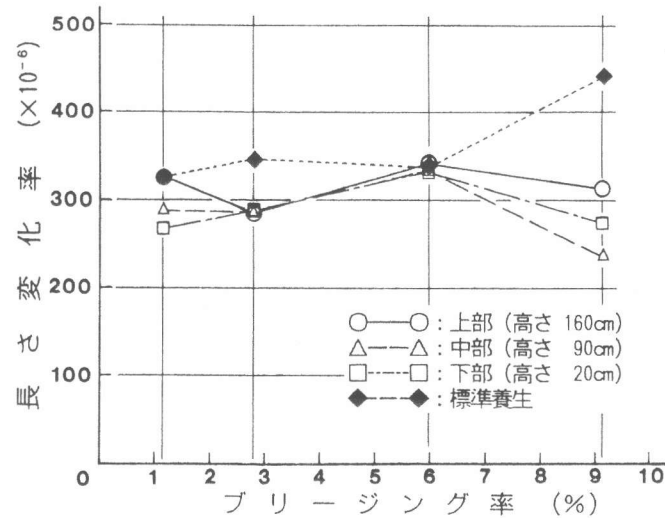


図-11 乾燥収縮による長さ変化

3.8 鉄筋との付着性状

いずれのブリージング率の配合においても、壁状モデルにおける鉄筋の付着強度は下部ほど大きく、高さ20cmの位置においては、高さ160cmの位置における付着強度の2~3倍となった。

図-12に水平に設置したパイプの下部におけるコンクリートの付着状況を示す。ブリージング率が高いほど

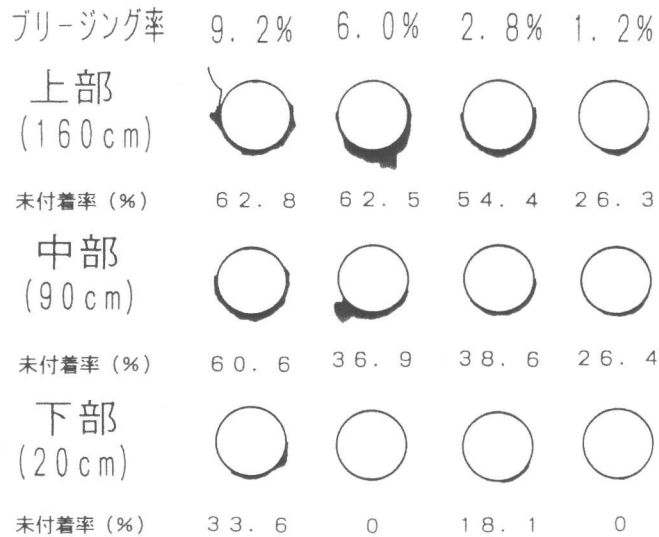


図-12 パイプ下部のコンクリートの付着状況

ど、また同一配合では上部ほど、コンクリートが付着していない部分が多くなる傾向がある。

パイプ（直径20mm）の全周に対するコンクリートが付着していない部分の弧の長さを未付着率と定義すると、ブリージング率が3%程度以上の場合、高さ160cmの位置における未付着率は50%以上であった。

図-13にコンクリートの未付着率と引抜き荷重（すべり量0.002D時）の関係を示す。未付着率が高いほど、引抜き荷重は低くなる傾向がある。同一配合では下部ほど、付着率が高いために、付着強度は高くなるものと考えられる。なお、異形鉄筋の付着強度は、表面の凹凸による機械的抵抗力に依存しているために、付着率の影響は少ないものと思われる。

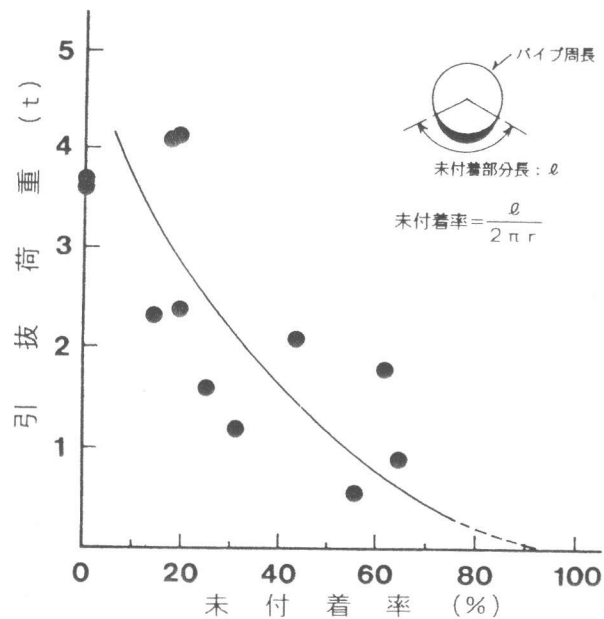


図-13 未付着率と引抜き強度の関係

4. 結論

本研究により明らかになった事項を以下に示す。

(1) 本実験の範囲内では、ブリージング率が9%程度の場合、高さ1.8 mの供試体では、高さ方向の強度の差は小さい。石粉によりブリージングを抑制した場合、高さ方向の強度の差は大きくなる傾向がある。上部にブリージング水がとどまらないようにするため、表面のこわばりを防止する様な打設中の養生に対する配慮が必要である。

(2) コンクリートの表面部分を除き、石粉を用いてブリージングを抑制した場合、ブリージング率が3%程度以上となると、遮塩性・凍結融解抵抗性および水密性が低下する傾向が得られた。

(3) 乾燥収縮量は、壁状モデルではブリージング率による差は少なく、位置的には下部ほど少ない傾向が見られた。

(4) ブリージングが多い場合は、水平に設置した鉄筋の下部には、コンクリートが付着していない部分が多くなり、鉄筋の引抜き荷重が低下する。よって、鉄筋の付着に関してはブリージングは極力少なくするのが望ましい。下部の鉄筋はコンクリートの付着状態が良いため、上部の鉄筋に比べて付着強度が増大する傾向が見られた。

以上のことより、ブリージング率により、コンクリートの強度分布・耐久性および鉄筋の付着状態が異なることが確認できた。ブリージングがコンクリートの品質に及ぼす影響に関するデータをさらに集積し、コンクリートの要求品質に応じた、適切なブリージング率の規定値を設定することが望ましいと考えられる。ブリージング率の調整は、分離低減剤の使用、セメント・石粉・混和材等の粉体の混入量の増減により可能であるが、耐久性・強度等も考慮した上で、要求されるブリージング率に応じて、使用材料、添加量を決定することが適当であると考えられる。